

이 보고서는 노동부의 「화학물질에 의한 근로자 건강장해예방 연구용역사업」에 의한 것임

화학물질 노출기준 개정 연구

□ 디에탄올아민(Diethanolamine)

2005. 12

연구기관 한국방송통신대학교



이 보고서는 노동부의 「화학물질에 의한 근로자 건강장해예방 연구용역사업」에 의한 것임

화학물질 노출기준 개정 연구

□ 디에탄올아민(Diethanolamine)

2005. 12

연구기관 한국방송통신대학교



제 출 문

노동부장관 귀하

본 보고서를 2005년도 노동부 화학물질에 의한 근로자 건강장해 예방 연구 용역 사업 중 “화학물질 노출기준 제·개정 연구 및 물질별 산업 보건 편람 작성”의 최종보고서로 제출합니다.

2005. 12.

연구기관 한국방송통신대학교
연구책임자 박 동 욱 교 수

공동연구원 :

창원대학교
원진노동환경연구소
원진노동환경연구소

교수 하권철
산업위생실장 최상준
산업의학실장 이상윤

연구보조원 :

한국방송통신대학교
한국방송통신대학교
한국방송통신대학교
한국방송통신대학교
한국방송통신대학교
서울대학교 농업생명과학
원진노동환경연구소
원진노동환경연구소
원진노동환경연구소
한강성심병원 산업의학센터
GS 칼텍스
동국대 포항병원
창원대학교
LG 환경연구원

연구원 박정숙
연구원 박종민
연구원 선옥남
연구원 장희정
연구원 진구원
연구원 황주연
연구원 곽현석
연구원 김 원
연구원 정연희
연구원 원종식
연구원 김재중
연구원 이원호
연구원 김웅용
연구원 박현미

<목 차>

I. 연구목적

- 1. 궁극적인 목적 1
- 2. 구체적인 목적 1

II. 연구내용 및 방법

- 1. 연구범위 및 연구내용 6
- 2. 연구방법 14

III. 연구결과

- 1. 물질의 특성 33
- 2. 취급현황 63
- 3. 동물에 있어서의 영향 129
- 4. 인체 영향 167
- 5. 각국의 노출기준 요약 및 해설 172
- 6. 작업장내 근로자 노출실태 200
- 7. 노출기준 제안 234
- 8. 취급근로자 건강장해예방 조치 272
- 9. 규제영향 분석 307

- 참고문헌 325

<표 목 차>

<표 II-1> 연구범위별 조사내용의 구체적인 분류	7
<표 II-2> DEOA 위험성 평가, 노출평가, 건강상의 영향 평가 대상 사업장 수	16
<표 II-3>. 노출기준과 건강상의 장해의 조합에 의한 유해성 범주	20
<표 II-4> 증발가능성과 사용량을 근거로 공기 중 노출가능성 범주	23
<표 II-5>. DEOA에 대한 노출범주와 유해성범주를 조합한 위험등급 결정	24
<표 II-6> DEOA에 대한 발암성, 변이원성, 생식독성, 유전독성 등의 자료를 검색한 주요 기관의 URL	25
<표 II-7> 나라별 노출기준 검색에 이용한 URL이나 참고문헌	26
<표 II-8> 공기 중 DEOA에 대한 채취 및 분석방법 요약	27
<표 II-9> DEOA 분석조건	28
<표 II-10> 여재에 주입한 양과 검출양에 대한 자체 정도관리 결과	29
<표 II-11> DEOA의 건강상의 영향을 평가하기 위한 설문내용	30
<표 1-1> DEOA의 물질 개요	35
<표 1-2> DEOA의 물리화학적 특성(Weast, 1998-1989)	42
<표 1-3> 물질별 증발률 비교	49
<표 1-4> DEOA의 냄새 서한도와 자극을 일으킬 수 있는 수준	51
<표 1-5> DEOA과 암모니아의 염기성 비교	53
<표 1-6> DEOA의 화학적 성상	58
<표 1-7> NFPA 및 OSHA의 인화성(flammable) 및 가연성(combustible) 액체 분류	60
<표 2-1> 업종별 DEOA의 사용용도 및 조사내용 개요	67

<표 2-2> 2002년 DEOA의 국내 유통량 현황	69
<표 2-3> DEOA의 국내 제조량 및 수출량, ton	69
<표 2-4> 연도별 DEOA의 수입 및 수출 현황	71
<표 2-5> DEOA의 국가별 수입량과 수출량 통계	72
<표 2-6> DEOA에 대한 국내 사용량 비교	73
<표 2-7> 업종별 공정별 노출경로별 DEOA 노출의 가능성에 대한 정성적인 평가	120
<표 2-8> 한국산업안전공단이 작업환경실태 조사를 통해 보고한 DEOA에 노출되는 근로자 수	122
<표 2-9> 기계장비 가공업종에서 DEOA에 노출될 것으로 추정되는 근로자 수	123
<표 2-10> DEOA에 노출될 것으로 추정되는 근로자 수	124
<표 2-11> DEOA를 사용하는 업종별 공정과 사용용도 요약	127
<표 3-1> 산업안전보건법시행규칙의 독성에 따른 유해인자 분류기준	130
<표 3-2> DEOA에 의한 급성독성 동물실험 결과	132
<표 3-3> DEOA에 의한 아급성독성 동물실험 결과	134
<표 3-4> DEOA에 의한 아급성독성 동물실험 결과(Smyth, 1951)	134
<표 3-5> DEOA에 의한 아급성독성 동물실험 결과(GSRI, 1980)	136
<표 3-6> DEOA에 의한 아급성독성 동물실험 결과	138
<표 3-7> DEOA 용량에 따른 주요 장기별 이상소견 유병율	139
<표 3-8> DEOA 용량에 따른 아급성독성 동물실험 결과	141
<표 3-9> DEOA 용량에 따른 주요 장기별 이상소견 유병율	143
<표 3-10> DEOA 용량에 따른 아급성 독성 동물실험 결과	145
<표 3-11> DEOA에 의한 아급성독성 동물실험 결과	147
<표 3-12> DEOA 용량에 따른 아급성독성 동물실험 결과	149

<표 3-13> DEOA 용량에 따른 주요 장기별 이상소견 유병율	150
<표 3-14> DEOA 용량에 따른 아급성독성 동물실험 결과	153
<표 3-15> DEOA 용량에 따른 주요 장기별 이상소견 유병율	154
<표 3-16> DEOA에 의한 생식독성	163
<표 4-1> DEOA의 발암 독성, IARC	171
<표 5-1> DEOA에 대한 국가 및 기관별 산업보건 노출기준	173
<표 5-2> 미국 OSHA, ACGIH, NIOS의 DEOA노출기준 설정근거 요약	175
<표 5-3> DEOA에 대한 ACGIH의 노출기준 변화 및 역사	188
<표 5-4> 독일의 DEOA노출기준 설정근거 요약	192
<표 5-5> 스웨덴의 DEOA노출기준 설정근거 요약	196
<표 5-6> 프랑스의 DEOA노출기준 설정근거 추정 요약	199
<표 6-1> DEOA에 대한 측정 및 분석방법 요약	200
<표 6-2> OSHA PV2018방법의 시료채취방법	204
<표 6-3> DEOA 분석을 위한 분석시스템 조건	206
<표 6-4> PV2018방법에서 시료의 탈착효율	207
<표 6-5> PV2018방법에서 흡착튜브의 체류효율	208
<표 6-6> PV2018방법에서 시료의 저장성	208
<표 6-7> NIOSH 3509II 방법의 개요	213
<표 6-8> 수정된 분석방법	217
<표 6-9> 본 연구에서 활용한 측정 및 분석방법 개요	219
<표 6-10> 본 연구에서 측정한 사업장의 일반적인 특성	221
<표 6-11> 공정특성별 DEOA 농도	223
<표 6-12> 설문 응답자의 일반적 특성	228
<표 6-13> 수용성 금속 가공유를 취급하기 전후의 호흡기 질환의 이환여부에 대한 자기응답	228

<표 6-14> 호흡기질환에 대한 유병율	229
<표 6-15> 로지스틱 회귀분석에 의한 호흡기질환 영향인자 분석(n=57)	230
<표 6-16> 자극성 질환 호소율(n=170)	231
<표 6-17> 로지스틱 회귀분석에 의한 자극증상 영향인자 분석(n=57)	231
<표 6-18> 작업전과 후의 폐기능의 차이에 대한 비율	232
<표 6-19> 로지스틱 회귀분석에 의한 폐기능 영향인자 분석(n=57)	233
<표 7-1> 노출기준별 제안기관(단체)와 활용 특성	236
<표 7-2> ACGIH TLV의 전체적인 수준의 변화	237
<표 7-3> 우리나라 노출기준 개정과정	243
<표 7-4> 국가별 노출기준의 수 비교	243
<표 7-5> ACGIH 노출기준(TLV)의 제정 및 개정 변화	246
<표 7-6> DEOA에 대한 주요 국가 및 기관의 노출 기준	249
<표 7-7> DEOA 노출농도별 TWA 초과비율	254
<표 7-8> 국가별 DEOA 시간가중평균기준(TWA)의 분류	255
<표 7-9> 국가별 DEOA 단시간노출기준(STEL)과 피부흡수에 대한 분류	257
<표 7-10> 우리나라 DEOA노출기준에 대한 개정 필요성 판단	258
<표 7-11> 연도별 DEOA의 사용량에 대한 추정	259
<표 7-12> 2004년 DEOA에 노출된 것으로 추정되는 근로자 수	260
<표 7-13> 업종별 공정별 DEOA에 대한 노출 및 취급형태의 정성적 평가	260
<표 7-14> 본 연구에서 제안한 DEOA 노출기준과 제안 근거 요약	264
<표 7-15> 제안된 DEOA노출기준 따른 실행가능성(feasibility)을 평가하기 위한 항목과 주요 내용	265
<표 7-16> 화학물질에 대한 DEOA의 법적 규정내용과 개선방향	268
<표 8-1> ILO 위험성평가 사례. 화학물질의 유해성, 증발가능성, 사용량에 따른 위험등급	273

<표 8-2> ILO 위험등급별 관리대책 수준 (ILO chemical control toolkit)	274
<표 8-3> 업종별 공정별 DEOA 위험등급 총괄	276
<표 8-4> 위험등급별 DEOA의 위험을 관리하기 위한 대책의 구분	279
<표 8-5> 업종별 공정별 DEOA 노출을 방지하기 위한 예방대책(조치) 종합 ·	282
<표 8-6> 업종별 공정별로 설치해야 할 환기장치의 형태와 이유	292
<표 8-7> 업종별 공정별로 설치해야 할 세안설비, 방유제	295
<표 8-8> 업종별 공정별 DEOA를 안전하게 관리하기 위한 대책 종합	297
<표 8-9> 석유정제업에서 황화수소 흡착용도로 사용한 MEOA의 대체 효과 ·	298
<표 8-10> 기계가공 공정에서 DEOA의 대체 가능성	298
<표 9-1> DEOA에 대한 현재 국내 노출기준	307
<표 9-2> 국가별 산업재해 사망률(100,000명당) 비교	309
<표 9-3> 우리나라 노출기준 개정과정	310
<표 9-4> DEOA 노출기준 변경 내용과 제안 근거 요약	313
<표 9-5> 연도별 DEOA의 사용량에 대한 추정	314
<표 9-6> DEOA 노출 근로자 수 현황	315
<표 9-7> 업종별 공정별 DEOA에 대한 노출 및 취급형태의 정성적 평가	316
<표 9-8> DEOA 노출로 인한 직업병 예방 규제 대안별 장 · 단점	318
<표 9-9> 작업환경 개선을 위한 규제의 비용분석	319
<표 9-10> 산업재해로 인한 경제적 총 손실추정액	320
<표 9-11> DEOA 노출기준 규제 목표 달성을 통한 총 편익	320

<그 립 목 차>

[그림 II-1] 연구범위(DEOA의 발생과 노출 그리고 건강상의 장해)	11
[그림 II-2] 주요 연구내용에 대한 전개 틀.	13
[그림 II-3] 조사대상 선정 과정	14
[그림 II-4] DEOA국내 사용량을 조사하기 위한 단계.	18
[그림 II-5] DEOA에 대한 위험성 평가 내용 및 방법.	19
[그림 II-6] 증발력을 결정하는 방법(공정운전조건과 끓는점을 조합)	22
[그림 II-7] 이온크로마토그래피로 분석한 DEOA의 크로마토그램	28
[그림 1-1] 끓는점과 공정운전 온도에 따른 액체의 휘발성 구분	45
[그림 1-2] 모노아민 중 1차, 2차, 3차 아민의 구조식	56
[그림 1-3] 인화성 및 가연성 분류	61
[그림 1-4] 가스와 증기의 폭발 압력과 폭발 범위	62
[그림 2-1] DEOA 제조공정.	76
[그림 2-2] DEOA저장탱크. 방류제가 탱크 둘레에 설치되어있음.	79
[그림 2-3] DEOA저장 탱크와 연결된 탱크로리 포장 출고 파이프라인	79
[그림 2-4] DEOA 포장. 저장탱크와 연결된 파이프라인(AP-6001)을 통해서 드럼 으로 DEOA가 포장. 상부에 국소배기장치(비닐커튼)설치.	80
[그림 2-5] DEOA 저장 및 포장 공정.	82
[그림 2-6] DEOA저장탱크	85
[그림 2-7] DEOA탱크와 연결된 입고, 출고 파이프라인	85
[그림 2-8] DEOA 포장. 저장탱크와 연결된 파이프라인	86
[그림 2-9] DEOA의 황화수소를 흡착 공정	88
[그림 2-10] DEOA저장 탱크(탱크로리로 DEOA 저장함)	91

[그림 2-11] DEOA저장탱크에 연결하는 밸브	91
[그림 2-12] 수용성 금속가공유에 DEOA가 첨가제로 첨가됨	93
[그림 2-13] 수용성절삭유 혼합탱크에 DEOA를 첨가. DEOA드럼의 무게를 쟀 다음 혼합탱크와 연결된 파이프를 통해서 DEOA를 첨가.	96
[그림 2-14] 수용성 절삭유를 혼합하는 탱크 주변 바닥에 설치된 저류조 1	97
[그림 2-15] 수용성 절삭유를 혼합하는 탱크 주변 바닥에 설치된 저류조 2	97
[그림 2-16] DEOA보관창고	98
[그림 2-17] PPG(폴리올)에 DEOA를 첨가제로 첨가하는 공정.	100
[그림 2-18] DEOA보관창고. 화학물질보관창고이므로 스프링클러가 상부에 설치.	103
[그림 2-19] PPG 탱크에 연결된 진공펌프라인. 탱크 주변에 방유제설치.	103
[그림 2-20] PPG탱크에 연결된 진공펌프라인을 통해 DEOA가 첨가됨.	104
[그림 2-21] DEOA을 부원료 사용한 화학반응에 의해 주사제를 생산하는 공정 ...	106
[그림 2-22] DEOA 보관창고	109
[그림 2-23] DEOA의 무게를 재는 기기(칭량기). 국소배기장치 상부에 설치 ...	109
[그림 2-24] 기계를 가공할 때 DEOA이 포함된 금속가공유가 사용되는 공정 ·	111
[그림 2-25] 기계에 딸린 수용성절삭유 탱크(통)	114
[그림 2-26] 기계에 딸린 수용성절삭유 탱크(통). 탱크에 덮개가 있음	114
[그림 2-27] 수용성금속가공유가 미스트로 발생하는 모습	115
[그림 2-28] 플라스틱 호스로 수용성절삭유를 기계위로 흘림	115
[그림 2-29] 기계를 완전 밀폐 및 국소배기장치 설치	116
[그림 2-30] 수용성 금속가공유가 묻어 있는 제품을 손으로 검사하는 작업. ...	119
[그림 2-31] 공정별 DEOA 위험성 분포	128
[그림 3-1] DEOA 투여량에 따른 체중 증가의 감소	140

[그림 3-2] DEOA 투여량에 따른 체중 증가의 감소	144
[그림 3-3] DEOA 투여량에 따른 체중 증가의 감소	148
[그림 3-4] DEOA 투여량에 따른 체중 증가의 감소	152
[그림 3-5] F344 Rat, 실험군과 대조군의 생존율 차이	156
[그림 3-6] F344 Rat, 실험군과 대조군의 평균 체중의 차이	157
[그림 3-7] B6C3F1 Rat, 실험군과 대조군의 생존율 차이	158
[그림 3-8] B6C3F1 Rat, 실험군과 대조군의 평균 체중의 차이	158
[그림 5-1] DEOA에 대한 각 나라 및 기관의 노출 기준(2005년).	174
[그림 6-1] 증류수를 사용한 에탄올아민의 크로마토그램	217
[그림 6-2] DEOA 농도 누적분포.	222
[그림 6-3] 국소배기장치 유무에 따른 DEOA 농도의 비교	224
[그림 6-4] 기계밀폐 정도에 따른 DEOA 농도의 비교.	225
[그림 6-5] 기계자동유무에 따른 DEOA 농도의 비교.	226
[그림 6-6] 절삭유탱크형태에 따른 DEOA 농도의 비교.	227
[그림 7-1] 건강상의 장애를 예방하기 위한 노출기준과 법적 노출기준	240
[그림 7-2] DEOA노출기준 제안 방향	250
[그림 7-3] 노출기준 제안 단계별 주요 내용	251
[그림 7-4] 산업안전보건법에서 노출기준의 이원화에 대한 기본적인 모형	267
[그림 7-5] DEOA에 대한 노출기준의 개정	269
[그림 8-1] 영국 HSE에서 제안한 위험성평가에 따른 관리대책 수준의 결정 과정	273
[그림 8-2] DEOA위험을 예방하기 위한 대책 제시 과정	278
[그림 8-3] DEOA를 포장하는 포장기 위에 설치된 국소배기장치	290
[그림 8-4] 수용성 금속가공유가 사용되는 기계가공 공정에서 국소배기장치. ..	291
[그림 8-5] DEOA가 저장된 실외 공정에 설치된 세안설비	293

[그림 8-6] DEOA저장 탱크에 설치된 방유제(혹은 방류조)	294
[그림 8-7] 수용성 금속가공유가 사용되는 기계가공 공정에서 밀폐 사례	299
[그림 8-8] DEOA의 실외 보관(근로자와 격리)	301
[그림 8-9] DEOA를 포장하는 공정에서 간략한 안전표시	302
[그림 9-1] 국내 산업재해 현황	308
[그림 9-2] 국내 산업재해 사망률 추이	309
[그림 9-3] 규제영향평가 과정	312
[그림 9-4] 노출기준 개정 절차	322

< 약 어 표 >

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists (미국정부산업위생전문가협회)
AIHA	American Industrial Hygiene Association(미국산업위생학회)
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry(미국의 독성물질 및 질병등록원)
CDC	Centers for Disease Control and Prevention(미국 질병관리본부)
CCOHS	Canadian Centre for Occupational Health and Safety(캐나다산업 보건안전센터)
DEOA	Diethanolamine(디에탄올아민)
EPA	U.S. Environmental Protection Agency(미국 환경보호청)
IARC	International Agency for Research on Cancer(국제암연구원)
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health(생명이나 건강에 직 접적으로 위협한 수준)
ILO	International Labour Organization 국제노동기구
MAK	Maximum Concentration Values(독일의 노출기준)
MSDS	Material Safety Data Sheets(물질안전보건자료)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health(미국 국 립산업안전보건연구원)
NTP	National Toxicology Program(미국 국립독성프로그램)

OEL	Occupational Exposure Level(가장 광범위하게 사용 노출기준)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration(미국 산업안전보건청)
PEL	Permissible Exposure Limits(미국 OSHA의 노출기준)
RTECS	Registry of Toxic Effects of Chemical Substances(화학물질독성영향등록원)
STEL	Short-term Exposure Limit(단시간노출기준)
TLV	Threshold Limit Values(미국 ACGIH의 노출기준)
TWA	Time-weighted Average(시간가중평균노출기준)
REL	Recommended Exposure Limits(미국 NIOSH의 노출기준)
WHO	World Health Organization(국제보건기구)

I. 연구목적

1. 궁극적인 목적

현재 우리나라 노동부의 Diethanolamine(이하 DEOA라 함)에 대한 공기 중 노출기준은 시간가중 평균농도(time weighted average, 이하 TWA라 함)가 3ppm이고 단시간 노출기준(short term exposure limit, 이하 STEL이라 함)은 설정되어 있지 않으며 피부흡수 주의가 포함되어 있지 않다(노동부, 2002). 본 연구의 궁극적인 목적은 DEOA에 노출되는 근로자의 건강을 보호하고 우리나라 여건에도 맞고 근로자의 건강을 보호할 수 있는 DEOA 노출기준을 제안하는 것이다. 즉, DEOA에 대한 국내외 노출기준의 설정배경과 근거를 고찰하는 한편 DEOA노출에 따른 근로자의 건강상의 영향(간, 신장, 피부, 혈액에 대한 영향, 천식, 호흡기계 질환 등)을 평가한 것을 종합하여 노출기준을 제안하고자 한다([그림 I-1] 참조).

2. 구체적인 목적

우리나라 여건에 맞는 노출기준을 설정하기 위한 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 우리나라에서 DEOA를 제조, 수입, 사용하는 주요 업종별 공정을 대상으로 취급현황, 발생특성, 사용량, 대책(control), 노출근로자수 등을 정성적으로 조합하여 DEOA에 대한 위험성을 평가(risk assessment)한다.

우리나라에서 수용성 금속가공유(metalworking fluids, 이하 MWF라 함)에서 DEOA의 사용용도와 특성, 공기중 농도, MWF벌크 중 농도 등이 일부 보

고 된 바 있다(이권섭 등, 2005). Kenyon 등(1993)은 MWF내에서 DEOA의 함량을 분석하고 이러한 양을 물질안전보건자료(Material Safety and Data Sheets, 이하 MSDS라 함)와 비교하여 신뢰성을 평가한 결과를 보고하였다. 국내외에서 아직까지 DEOA에 대한 노출량 추정 등 위험성평가와 관련된 보고는 아직 없다. 미국산업위생전문가 협의회(American Conference for Governmental Industrial Hygienist, 이하 ACGIH라 함)의 “Documentation of Threshold Limit Value”(ACGIH, 2004)와 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, 이하 OSHA라 함)의 “Occupational Health Guideline for Diethanolamine”(OSHA, www.osha.gov)에서도 DEOA의 주요 용도(usage)만 언급되어 있을 뿐이다. 따라서 DEOA이 취급되는 주요 업종별 공정에 대한 위험성평가나 건강상의 장해사례 등은 보고되거나 평가된 적이 없다. 따라서 국내에서 DEOA를 취급하는 업종별 공정에 대한 위험성평가를 수행하여 우리나라 여건에 맞는 DEOA 노출기준을 개정 또는 설정하는데 필요할 기초 자료로 활용한다.

둘째, DEOA을 취급하는 근로자의 DEOA에 대한 노출과 건강상의 영향인 자극(irritation) 및 호흡기계 질환과의 관계(양-반응관계)를 관계를 평가한 후, 이를 근거로 현재의 DEOA노출기준(TWA: 3 ppm, STEL: 설정되지 않음, 피부흡수 주의 없음)에 대한 타당성을 평가하였다.

DEOA의 노출기준은 모두 동물실험결과에 근거한 것이다. 근로자를 대상으로 노출과 건강상의 영향과의 사례에 대해 보고된 문헌은 아직 없다. 따라서 DEOA의 노출위험이 높은 공정을 대상으로 노출과 건강상의 영향을 평가하여 노출기준의 타당성을 평가하는 연구가 필요한 것으로 판단된다.

셋째, 선진 6개국(미국, 일본, 독일, 스웨덴, 영국, 프랑스)의 DEOA 노출기준의 농도, 노출기준 설정근거와 배경, DEOA 노출로 인한 건강상의 장해 사례 그리고 현재까지 밝혀진 유해성(toxicity) 등을 우리나라의 노출기준과 비교하고 고찰한다. 이러한 비교를 통해서 DEOA 노출기준에 대한 차이점과 유

사점 그리고 그 근거들을 비교하고 고찰하여 나라별로 노출기준이 갖고 있는 실태와 한계점을 추정하였다.

넷째, 우리나라 DEOA노출기준을 선진 6개국의 노출기준과 비교함으로써 노출기준에 대한 개정 필요성을 판단한다. 즉 우리나라 DEOA 노출기준이 다른 나라와 비교하여 지나치게 높은지 혹은 적절한지 그리고 설정배경과 근거가 타당한지 등을 비교하고 고찰하여 개정의 필요성을 판단하였다.

노출기준은 국가별로 혹은 국가내의 기관별로 다른 것이 일반적이다. 이것은 국가나 기관의 노출기준에 대한 설정과정, 목적 등이 다르기 때문이다. DEOA 노출기준이 설정된 주요 국가별(미국, 프랑스, 일본, 스웨덴, 독일, 영국)로 노출기준과 함께 설정배경 등을 우리나라와 종합적으로 비교 검토하여 개정의 필요성을 판단하였다. 필요한 경우 다른 여러 나라의 DEOA에 대한 노출기준과 노출기준 설정근거도 비교하였다.

다섯째, DEOA에 노출된 근로자를 대상으로 DEOA에 대한 노출정도와 함께 눈과 피부점막 자극 그리고 호흡기계질환 등 건강상의 영향을 평가한다. 국내외에서 근로자를 대상으로 DEOA에 대한 노출농도와 노출에 따른 건강상의 영향은 평가된 적이 없다. 따라서 근로자를 대상으로 직접 DEOA에 대한 노출과 함께 자극 및 호흡기능을 평가하는 것은 노출기준의 개정여부를 판단하는데 매우 중요할 것으로 판단된다.

여섯째, DEOA에 노출된 근로자를 대상으로 조사한 공기 중 DEOA 노출정도와 건강상의 영향과의 관계를 도출하여 건강상의 장해를 예방할 수 있는 노출기준을 평가하였다.

ACGIH의 TLV도 동물실험에 의한 노출기준이다. 선진외국도 역학조사에 근거한 DEOA노출기준 설정근거를 가지고 있는 나라는 없다. 따라서 본 연구에서 DEOA노출과 건강상의 영향(반응)과의 관계를 통해서 노출기준을 추정하

고 이를 기존의 노출기준과 비교하였다.

일곱째, 우리나라 여건에 맞는 공기 중 DEOA의 노출기준을 제안한다. 우리나라 DEOA에 대한 노출기준은 단순히 ACGIH의 TLV를 DEOA의 사용 특성 등을 전혀 고려하지 않고 그대로 활용하였다. ACGIH의 TLV는 법적기준으로 그대로 적용할 목적으로 설정된 것은 아니다(Perkins, 1997). 따라서 본 연구에서 DEOA에 대한 노출기준을 제안하는 큰 틀은 건강상의 장해를 예방하기 위한 과학적 근거를 바탕으로 두고 추가로 아래와 같은 사항을 고려하여 결정한다.

- DEOA 사용량
- 노출정도
- 노출근로자 수
- 노출특성 및 위험
- 기업활동에 미치는 영향
- 행정적, 기술적 적용 가능성(feasibility)
- 다른 나라와의 노출기준과의 비교 등

여덟째, 제안된 노출기준을 경제적 편익분석(economic factors), 법적집행가능성(enforcement) 등을 규제에 따른 영향을 평가한다. 즉 제안된 노출기준을 법적 기준으로 실행했을 때 지불해야 할 비용과 얻어지는 이득(benefit)을 분석한다.

구체적 목적

- DEOA에 대한 위험성평가
- DEOA의 노출과 건강상의 영향에 대한 관계 평가
- 국내외 DEOA노출기준의 비교 및 고찰
- : 노출기준 개정 필요성 판단
- DEOA에 대한 노출과 건강상의 영향 평가
- 우리나라 여건에 맞는 노출기준 제안
- 제안된 노출기준에 대한 규제영향 분석
- DEOA의 노출로 인한 건강상의 장애 예방 대책 수립



궁극적 목적

DEOA의 노출로 인한 건강상의 장애를 예방할 수 있고 우리나라 여건(사용량, 노출정도, 노출근로자수, 위험 등)을 고려한 노출기준을 제안한다.

[그림 1-1] 연구의 구체적인 목적과 궁극적인 목적

II. 연구내용 및 방법

1. 연구범위 및 연구내용

가. 연구범위

본 연구범위는 DEOA에 대한 공기 중 노출기준의 개정에 필요한 산업위생, 산업독성, 산업의학 및 산업역학 내용은 물론 노출기준의 개정으로 인한 규제 영향까지 포함된다([그림 II-1] 참조). 과학적 근거가 되는 연구범위는 DEOA이 발생하는 업종별 공정에서 발생근원에 대한 조사, 근로자 노출과 건강영향에 대한 평가 및 대책, 다른 나라의 노출기준 설정배경고찰 그리고 우리나라 여건에 맞는 노출기준 개정 제안 등이다. 과학적인 근거라고 하는 것은 DEOA와 관련되어 공인된 근거자료는 물론이고 본 연구에서 밝혀낸 결과 등을 말하는 것으로 산업보건(occupational health) 영역에 해당되는 내용 등이다. 한편 노출기준이 개정되어 법적으로 시행될 경우 규제에 따른 구체적인 영향정도를 분석하는 내용도 연구에 포함된다.

그러나 본 연구에서 연구대상물질이 몸에 흡수되어 나타나는 건강상의 영향을 평가하거나 혹은 동물실험을 통해 독성을 직접 실험하고 평가하는 독성실험은 제외되지만 독성실험에 의한 동물실험결과나 건강상의 장애와 관련된 내용은 본 연구에 포함된다.

나. 연구내용

연구내용을 연구목적별로 정리하면 크게 3가지로 분류할 수 있다. 하나는 노출기준을 개정하는데 필요한 기초적인 내용으로서 DEOA의 물리화학적 성상, DEOA의 취급현황(국내 사용량 및 노출현황, 위험성평가 등), 건강상의 영향 등이다. 또 하나는 노출기준을 개정 또는 설정하는데 과학적 근거가 되는

DEOA에 대한 노출 양과 노출에 따른 건강상의 영향(반응)관계와 선진 5개국의 DEOA노출기준과 설정배경 등이다. 마지막으로 노출기준을 개정하거나 설정하여 이를 법적으로 규제함에 따라 나타날 수 있는 경제적 영향을 분석하고 DEOA의 노출에 따른 건강상의 장해를 예방하는 대책을 수립하는 것이다(<표 II-1> 참조).

<표 II-1> 연구범위별 조사내용의 구체적인 분류

대분류 조사내용	세분류(세부 항목) 조사내용
노출기준을 개정하는데 필요한 기초자료	☐ DEOA의 물리화학적 성상 ☐ DEOA의 취급현황(국내 사용량 및 노출현황 등) ☐ 동물 및 사람에서의 건강상의 영향
노출기준을 개정하는데 필요한 과학적 근거자료	☐ DEOA에 대한 노출 양과 노출에 따른 건강상의 영향(반응)관계 ☐ 선진 5개국의 DEOA노출기준과 설정배경 고찰
노출기준의 법적 집행방안 및 규제영향 분석	☐ 노출기준 집행에 따른 규제영향 ☐ DEOA건강장해 예방대책

연구내용을 구체적으로 열거하면 다음과 같다.

① DEOA의 물리화학적 성상에 대한 조사이다. 산업보건과 안전에 관련된 내용을 중심으로 아래의 내용을 조사하였다.

- 공기 중 발생과 노출에 관련되는 물리적 성상(분자량, 비중, 녹는점, 끓는점, 증기압, 증기밀도, pH, 점도, 용해도, 분배계수, 증발률, 냄새의 서한도 등)
- 공기 중 발생, 근로자 노출, 안전과 관련되는 화학적 성상(인화점, 자연발화점, 폭발성, 산화성, 반응성, 안정성, 피해야할 물질, 유해분해산물, 소화제 등)
- 기타 근로자의 건강상의 장해와 안전에 관련되는 특성

② DEOA의 국내 사용량의 변화를 알아보기 위하여 연도별 수입 및 수출량 그리고 국내 제조량을 조사하였다.

- 환경부의 “화학물질 유통량 결과보고서”분석 비교
- 관세청 수출, 수입 통계량 분석 비교
- DEOA국내 제조량을 파악하기 위한 방문 조사

③ 업종별로 DEOA를 취급(사용)하는 공정을 대상으로 DEOA 건강상의 위험에 대한 평가(risk assessment)를 실시하였고 구체적인 내용은 아래와 같다

- 업종별 공정의 특성 및 개요
- DEOA사용 특성
- 위험성평가를 위한 항목 조사
 - 공정운전 및 특성 파악
 - 근로자의 DEOA취급특성(취급시간, 취급량, 방법 등)에 대한 평가
 - 근로자의 DEOA의 노출특성 평가
 - 국내외 보고자료를 종합하여 과거의 노출정도 파악 및 추정
- 업종별 공정별 DEOA의 위험성 평가
- 업종별 공정별 DEOA의 노출방지를 위한 공학적 대책 제안

④ DEOA를 대상으로 동물실험에서 나타난 급성독성, 아급성독성(아만성독성), 만성독성, 변이원성, 생식독성, 발암성 등을 조사하였다.

이러한 영향은 선진 외국의 독성실험기관과 산업보건기관이 보고한 자료에 근거하여 비교하였다.

⑤ DEOA의 노출로 나타날 수 있는 건강상의 인체영향을 조사하였다.

- 인체흡수, 분포, 대사, 배설 등과 관련된 독력학 거동(toxicokinetic)
- 단기간 노출, 흡입 또는 섭취시에 나타나는 건강상의 장애
- 장기간 노출, 흡입 또는 섭취시에 나타나는 건강상의 장애
- 흡입 또는 섭취시에 간, 폐, 신장, 혈액 등 장기와 조직에 미치는 장애와 건강상의 영향
- 인체 영향에 대한 논문, 문헌 수집 및 검토

⑥ 주요 선진 5개국의 가장 최근의 노출기준 현황과 노출기준의 설정배경을 요약하고 우리나라와 비교한다.

이러한 결과를 통해서 우리나라 노출기준의 개정필요성을 판단한다.

- 미국 ACGIH, OSHA, 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, 이하 NIOSH라 함), 일본, 독일, 프랑스, 스웨덴, 영국의 노출기준 비교
- 우리나라 노출기준을 외국과 비교
- 미국 ACGIH, OSHA, NIOSH의 노출기준 설정배경 고찰
- 주요 선진 외국(일본, 독일, 프랑스, 스웨덴, 영국 등)의 물질별 노출기준 설정배경 고찰
- 노출기준 설정근거(동물실험, 역학조사 여부 등)의 한계점 고찰
- 우리나라 노출기준의 문제점, 현황, 선진외국과의 비교
- 우리나라 노출기준의 개정 필요성에 대한 판단

⑦ 근로자의 DEOA에 대한 노출을 평가(exposure assessment)하여 노출기준의 설정에 필요한 양-반응관계에서 “양(exposure dose)”에 대한 과학적인 근거를 조사한다.

- 공기 중 DEOA의 시료채취 및 분석
- 공기 중 DEOA에 대한 노출자료 분석
- 공기 중 DEOA에 대한 노출평가

⑧ DEOA노출로 인해 근로자에게서 나타날 수 있는 건강상의 영향인 호흡기계, 눈, 피부 자극 및 천식 등을 설문을 통해서 조사한다.

이 조사내용은 노출기준의 설정에 필요한 양-반응관계에서 “반응(response)”에 대한 과학적인 근거이다.

- DEOA에 노출되는 근로자를 대상으로 점막자극(피부, 눈, 호흡기계)에 대한 설문 조사 및 분석
- DEOA에 노출되는 근로자를 대상으로 호흡기질환(천식, 비염 등)에 대한 설문조사 및 자료 분석

⑨ DEOA에 노출되는 근로자에게서 나타날 수 있는 호흡기계장해를 조사하기 위하여 근로자의 폐기능(반응, response)을 조사한다.

이 조사내용도 노출기준의 설정에 필요한 양-반응관계에서 “반응(response)”에 대한 과학적인 근거이다.

⑩ 우리나라 실정에 맞는 DEOA에 대한 노출기준을 제안하는 내용이다.

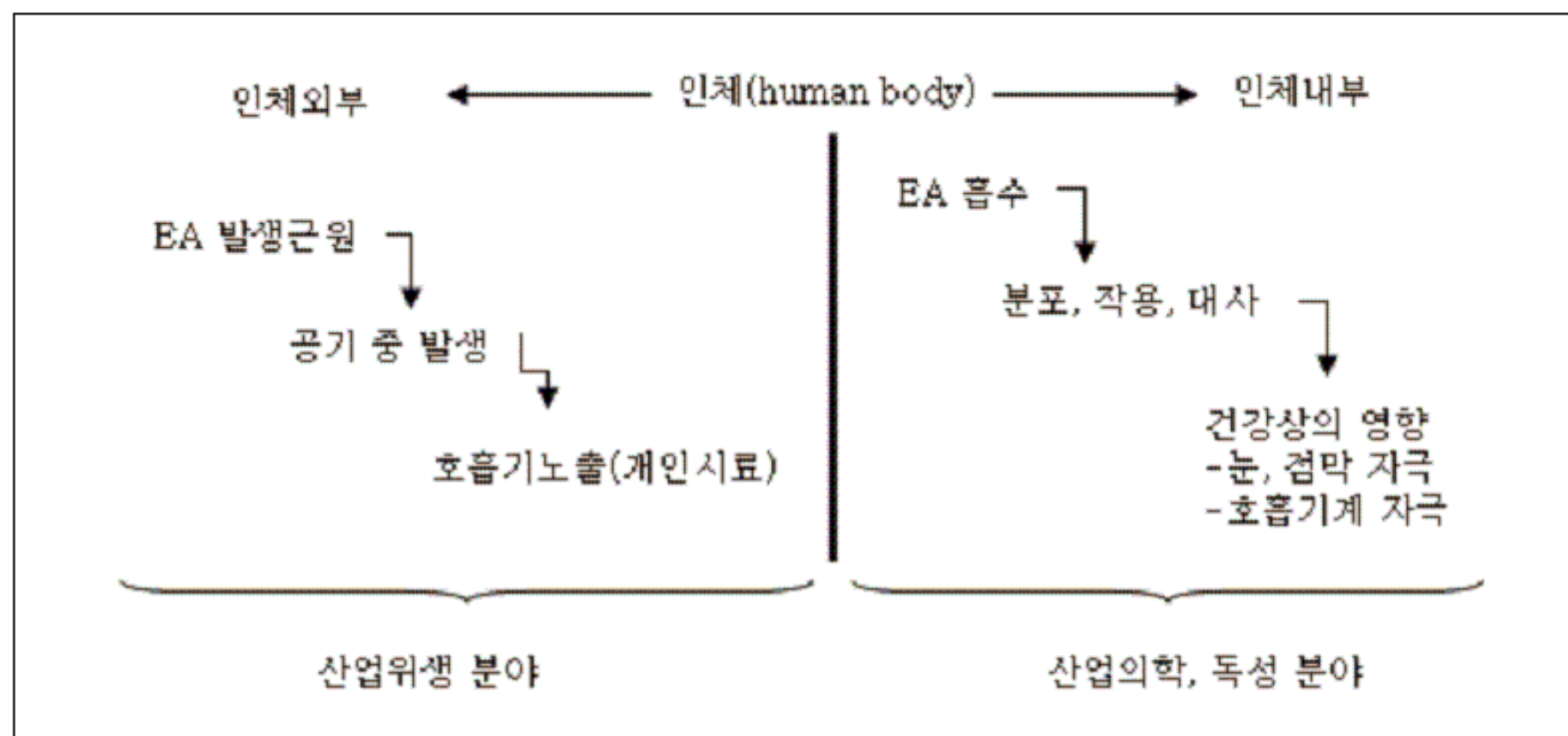
노출기준 제안을 위해 참조하는 조사내용은 아래와 같다.

- 노출과 건강상의 영향과의 관계분석
- 국내외 노출기준 비교 및 설정근거의 고찰
- 노출기준 제안

⑪ DEOA노출기준을 법적으로 규제함에 따라 나타날 수 있는 경제적 영향을 분석한다.

⑫ DEOA노출로 인한 건강장해를 예방하기 위한 지침(편람) 작성

- DEOA노출을 억제하기 위해 작업환경관리에 대한 방안 조사
- DEOA의 안전한 관리를 위한 대체, 격리, 환기 등 공학적인 대책 방안 조사
- DEOA로 인한 안전상의 위험을 예방하기 위한 방안 조사



[그림 II-1] 연구범위(DEOA의 발생과 노출 그리고 건강상의 장애)

다. 연구내용 전개 틀

본 연구에서 수행해야 할 주요 연구내용은 9가지이다. 물질의 특성(1항), 물질의 취급현황(2항), 동물(3항)과 인간에 대한 유해성(4항), 각국의 노출기준 요약(5항), 노출평가(6항), 노출기준제안(7항), 건강상의 예방조치(8항), 규제영향(9항)이다. 본 연구의 궁극적인 목적인 우리나라 여건에 맞는 노출기준을 제안할 수 있도록 아래와 같이 체계적으로 주요 연구내용을 전개할 틀을 구성하였다([그림 II-2] 참조).

(1) 위험성평가(risk assessment)

DEOA를 취급하는 주요 업종에서 DEOA노출로 인해서 발생될 수 있는 건강상의 장애에 대한 위험(risk)을 정성적으로 평가하였다. 위험성평가에 활용된 세부 조사내용은 물질의 특성(1항), 공정에서의 취급현황(2항), 동물과 사람에서의 유해성(3, 4항), 노출평가(6항) 등이다. 이 조사내용을 조합하여 정성적

인 위험등급(risk index, RI)를 결정하였다.

(2) 노출평가(exposure assessment) 및 건강상의 영향평가(health effect assessment)

제1단계의 위험성평가를 통해서 위험이 높은 공정의 근로자만을 대상으로 DEOA에 대한 노출과 건강상의 영향을 함께 평가하였다.

(3) 노출기준 추정

DEOA에 대한 노출평가와 건강상의 영향(반응)을 평가한 결과에 근거하여 DEOA의 노출량(dose)과 건강상의 영향(response)의 관계에 따라 노출기준을 점정하고 가능하다면 노출기준을 추정하였다. 본 연구에서 추정된 DEOA에 대한 노출기준의 타당성을 각국의 노출기준과 그 설정근거를 비교하여 평가하였다. 만약 본 연구의 DEOA노출량과 건강상의 영향과의 양-반응관계가 유의하지 않으면 국내외 DEOA노출기준을 비교하고 분석하여 노출기준을 추정하였다.

(4) 우리나라 실정에 맞는 DEOA노출기준 제안

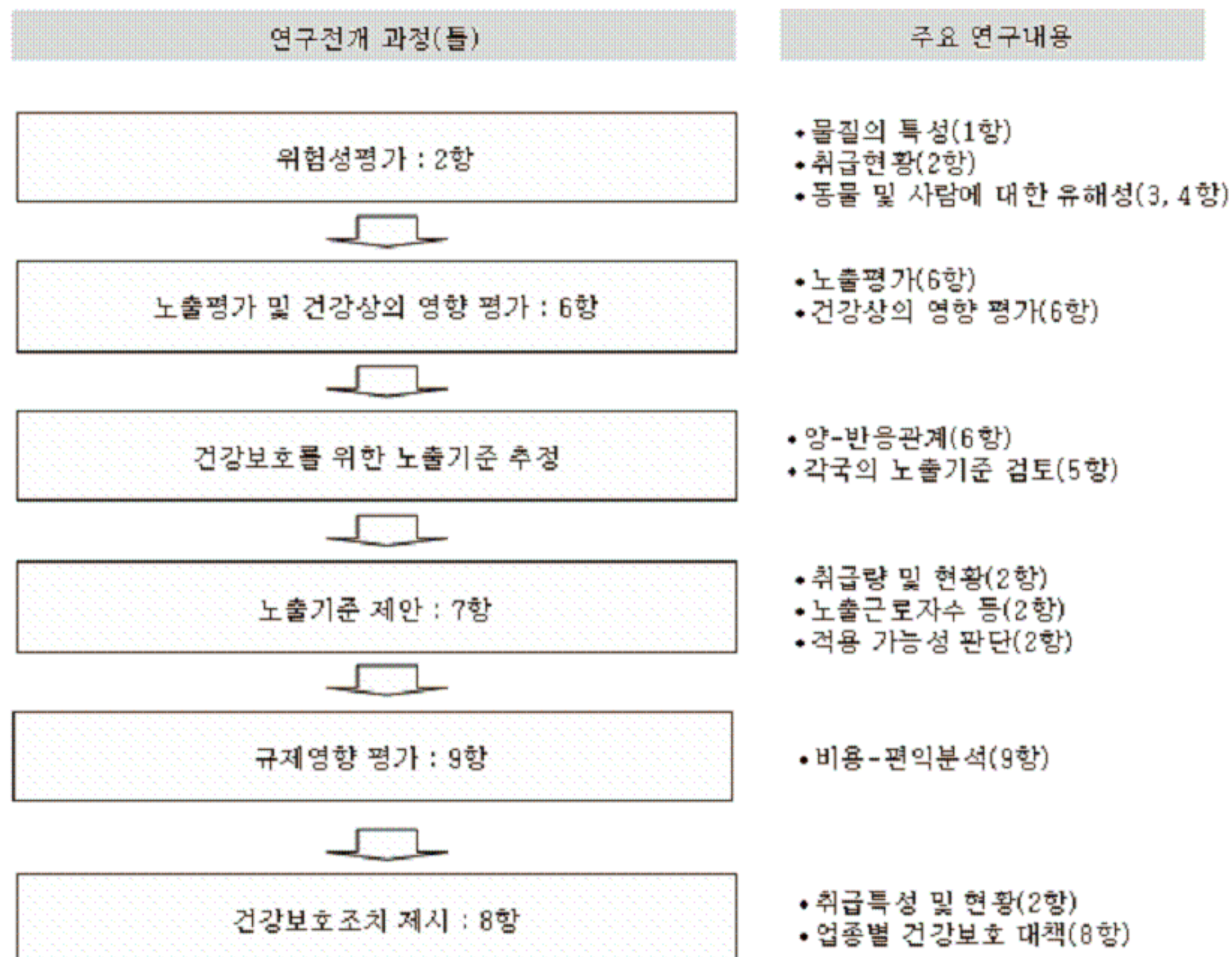
위험성평가(2항)에서 조사한 우리나라 DEOA의 사용특성과 상황(사용량, 노출근로자수, 사용형태 등)과 본 연구에서 추정한 노출기준을 평가하여 우리나라 여건에 맞는 DEOA에 대한 노출기준을 제안하였다.

(5) 규제영향 평가

건강상의 영향을 예방하기 위해 추정한 노출기준을 제정 혹은 개정하였을 때 미칠 수 있는 비용과 편익에 대한 영향을 평가하였다. 즉, 노출기준의 제정이나 개정에 따라 지출해야 하는 비용과 얻어지는 편익을 분석하였다. 이 단계에서 이용한 조사내용은 사용량, 노출된 근로자수 등이다

(6) 건강보호조치 제안

DEOA을 취급하는 업종의 근로자를 보호하기 위한 구체적인 대책을 업종별 공정별로 제시하였다. 이 대책은 본 연구에서 제안한 노출기준이하로 노출되어 건강상의 장해가 일어나지 않도록 하기 위한 법적, 공학적, 행정적인 대책



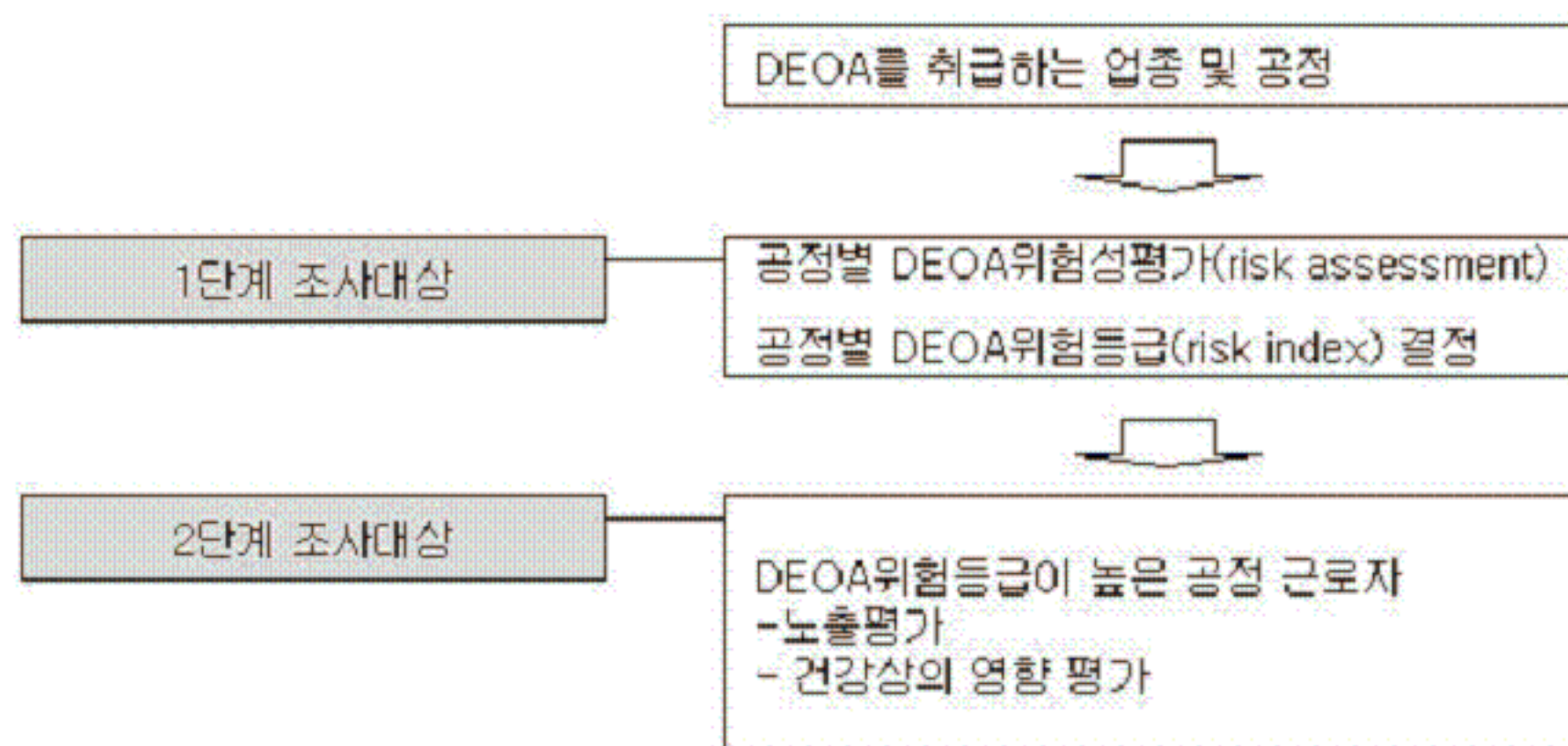
[그림 II-2] 주요 연구내용에 대한 전개 틀.
을 구체적으로 제안하는 것이다.

2. 연구방법

가. 연구대상

연구대상 사업장은 2단계로 구분하여 선정하였다([그림 II-3] 참조). 연구대상 사업장은 노동부와 환경부에서 보유한 “작업환경실태조사”에서 물질의 사용량, 연구대상 물질의 취급여부 등을 판단하여 선정하였다. DEOA에 대한 정보는 오류가 있었고 연구목적에 달성하지 못할 정도로 사업장이 부족하였다. 연구팀이 직접 문헌 및 논문의 검색을 통해서 업종과 공정을 알아 본 다음 선정하였다.

DEOA를 취급(사용)하거나 제조한 업종별 사업장은 2단계로 구분하여 조사하였다. 1단계는 예비조사를 통하여 “위험성 평가”를 수행하였다. 즉, 사업장을 방문하여 인터뷰나 혹은 설문지를 통해서 공정도, 취급실태, 노출근로자수, 사용량 등을 조사하여 DEOA에 대한 위험성 평가를 정성적으로 수행하였다. 2단계는 위험등급이 높은 사업장을 추가로 노출과 건강상의 영향을 평가하였다. DEOA에 대한 위험성평가, 노출평가 그리고 건강상의 영향평가에 대한 자세한 내용은 아래에 설명하였다.



[그림 II-3] 조사대상 선정 과정

(1) DEOA에 대한 위험성평가 대상

DEOA를 사용(혹은 제조)하는 업종을 위험성평가 대상 사업장으로 하였다. DEOA를 취급하는 공정별로 모두 위험성평가를 실시하였다. 총 7개 업종 21개 사업장을 직접 방문하여 DEOA가 취급되는 공정을 대상으로 위험성평가를 실시하였다. 위험성평가 후 노출이나 건강상의 영향에 대한 평가가 필요한 경우 추가로 실시하였다.

(2) DEOA에 대한 노출평가 대상

DEOA에 대한 노출을 평가한 업종은 위험성평가 결과에 따라 위험이 높은 것으로 판단되는 기계장비 제조업 12개소였다. 이 업종의 공정에서 공기 중 DEOA를 측정하였다. DEOA는 개인시료(personal sample)이 불가능하므로 근로자 노출과 가장 관련이 있을 것으로 판단되는 지역에서 채취하였다.

(3) 눈, 피부, 호흡기계 자극 평가 대상

DEOA의 노출로 인해 나타날 수 있는 건강상의 장해인 눈을 포함한 피부 자극과 호흡기계질환을 평가하였다(<표 II-2> 참조). 자극과 호흡기계질환에 대한 설문은 “나”항 연구방법의 “(7) 근로자에 대한 건강상의 영향 평가”에 설명되어 있다. 건강상의 영향을 평가한 근로자 표본은 노출근로자수, 사용량, 노출가능성, 과거의 노출농도 등을 참조하여 선정하였다. 본 연구에서는 노동부에서 과업으로 제시한 생물학적노출지수를 평가할 수 없었다. 왜냐하면 현재까지 알려진 DEOA의 노출을 추정할 수 있는 생물학적노출지수가 아직 개발되지 않았기 때문이다. 이처럼 DEOA에 대한 생물학적노출지수가 개발되지 못한 이유는 DEOA의 건강상의 영향은 주로 자극성이기 때문이다(Perkins, 1997). 따라서 현재까지 DEOA의 노출로 인한 건강상의 장해인 눈, 피부 등의 자극성과 호흡기계질환에 대한 설문으로 건강상의 영향을 평가하였다.

<표 II-2> DEOA 위험성 평가, 노출평가, 건강상의 영향 평가 대상 사업장 수

업종	공정	위험성평가 , 개소	노출평가 , 개소	건강상의 장해 평가
기초화학제품제조업 :DEOA제조, 판매	저장/포장	1개소	-	자극성에 대한 설문 : 1개소
기초화학제품제조업 :DEOA제조, 판매	저장/포장	1개소	-	자극성에 대한 설문 : 1개소
석유정제품제조업 :DEOA 황화수소흡착	저장/반응	3개소	-	자극성에 대한 설문 : 3개소
화학제품제조업: 수용 성금속가공유제조	혼합/보관	1개소	-	자극성에 대한 설문 : 1개소
화학제품제조업: PPG 제조	혼합/보관	2개소	-	자극성에 대한 설문 : 1개소
의약품제조업: 주사제 제조	무게잦/조제 및 칭량	1개소	-	-
기계, 장비제조업: 수용성금속가공유사용	탱크/ 기계가공	12개소	12개소	호흡기 설문 : 8개소 폐기능검사 : 8개소

나. 연구방법

(1) 물리적 화학적 특성

DEOA에 대한 개요, 물리적성상, 화학적성상은 주요 산업보건 관련기관과 문헌에서 제공한 자료를 비교하고 분석하였다. DEOA에 대한 화학물질의 특성은 근로자의 보건과 안전에 관련되는 산업안전보건학적인 측면에서 설명하였다. DEOA에 대한 물리적, 화학적 성상은 산업보건관련기관에서 조사한 자료를 Merck Index의 자료를 기준으로 비교하였다.

(2) 국내 제조량, 수입량, 수출량 조사

DEOA에 대한 국내 제조량, 수입량, 수출량을 여러 경로를 통해서 조사하였다. DEOA에 대한 제조량, 수입량, 수출량을 파악하고 기관별 자료들을 서로 교차 비교하여 가능한 정확한 국내 유통량을 조사하기 위해서 아래와 같은 단

계를 거쳐서 조사하였다([그림 II-4] 참조). 기본적으로 DEOA에 대한 수출량과 수입량은 관세청과 무역협회의 자료와 환경부자료를 비교하여 정확한 자료를 구하도록 하였다. 한편 국내 제조량은 환경부의 자료를 기본으로 하였고 본 연구에서 직접 방문 조사하여 파악한 자료와 비교하였다.

가) 1단계 : 환경부의 화학물질 유통량조사 보고서 활용

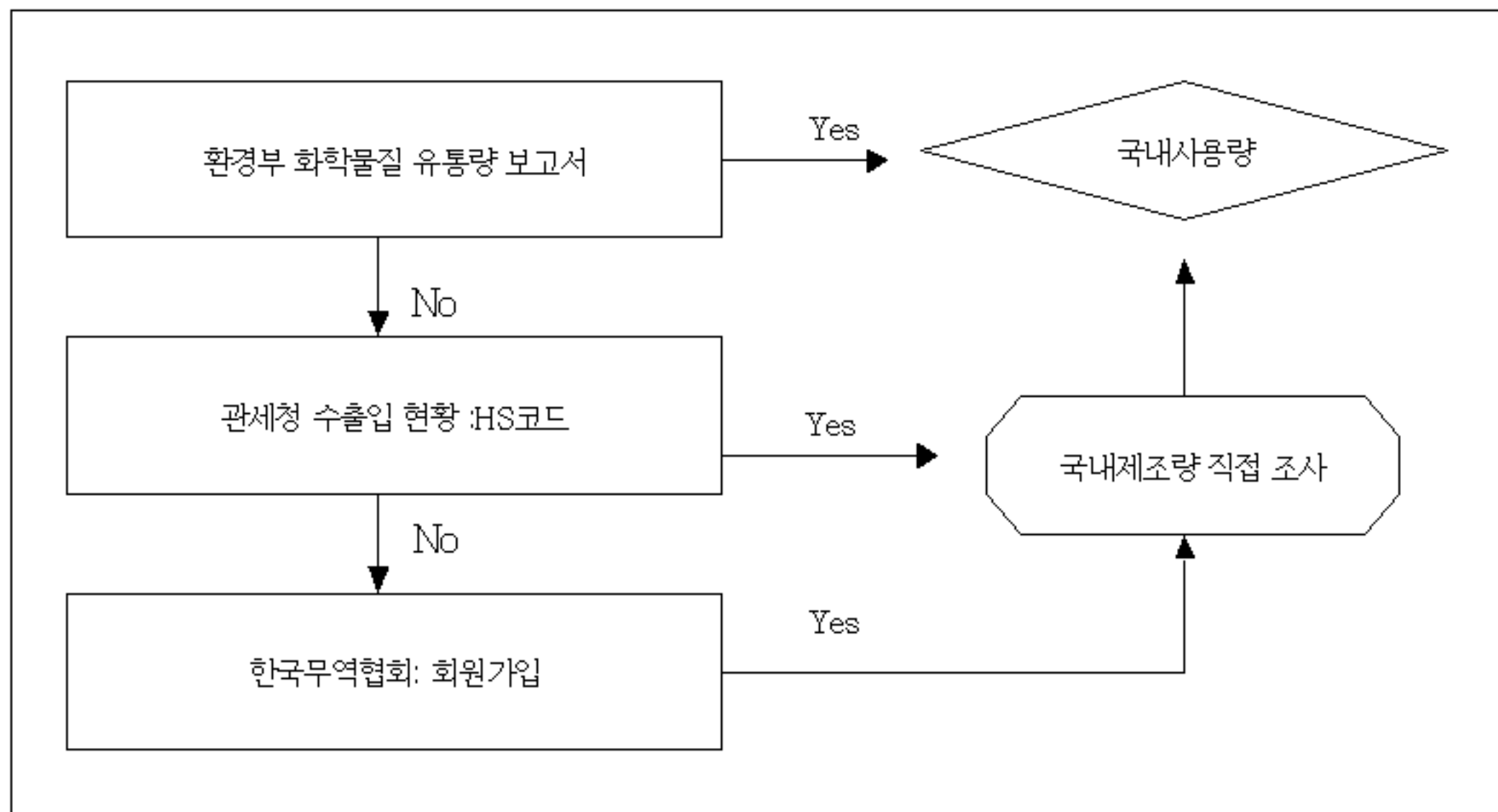
환경부의 화학물질 유통량조사 보고서를 참조하여 DEOA에 대한 제조량, 수입량, 수출량을 조사하였다. 환경부의 보고서는 화학물질정보센터(<http://kcic.nier.go.kr/>)에서 다운로드 받았다. DEOA에 대한 자료의 정확성을 확인하기 위해서 2단계(관세청)와 3단계(한국무역협회)에서 화학물질 수입량과 수출량을 추가로 조사하였다.

나) 2단계 : 관세청에서의 수입량, 수출량 조사

관세청 홈페이지(<http://www.customs.go.kr/>)를 통해서 수출입통계의 화학물질별(품목별) 무역수지 자료를 조사하였다. 관세청 홈페이지에서 통관종합서비스(주황색 메뉴) > 수출입통계 > 품목별 통계(왼쪽 메뉴) > 품목별 무역수지 조회 > HS코드 단위별 품목별 무역수지(단위: 천불)를 연도별로 검색하여 수출량과 수입량을 파악하였다. 본 연구에서 찾은 DEOA의 HS코드는 “HS 2921.19-9090”였다. 이 단계에서 수입량과 수출량에 대한 단위는 “금액”이므로 3단계의 조사를 거쳐야 한다.

다) 3단계 : 한국무역협회에서의 수입량, 수출량 조사

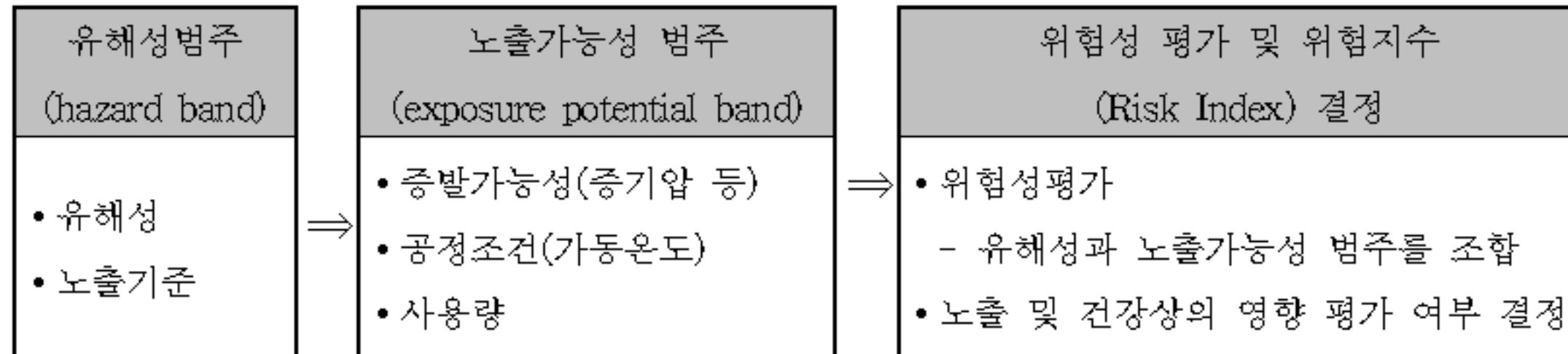
한국무역협회에서 제공하는 DEOA에 대한 수출량과 수입량의 정보를 파악하였다.



[그림 II-4] DEOA국내 사용량을 조사하기 위한 단계.

(3) 위험성 평가(risk assessment)

[그림 II-5]는 DEOA에 대한 정성적인(qualitative) 위험성평가(risk assessment) 과정이다. 이 위험성평가는 가장 간단한 방법으로 DEOA이 본래 가지고 있는 유해성과 취급될 때의 노출가능성을 조합하여 결정한다. 이 방법은 영국의 Health and Safety Executives(HSE)가 소규모 사업장을 대상으로 적용한 간략한 위험성평가방법(Topping et al., 1998; Guest, 1998; Russell et al., 1998; Brooke, 1998)과 미국산업위생학회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)의 위험성평가방법(Hawkins et al., 1992)을 조합한 것이다. DEOA에 대한 노출자료가 없더라도 전문가가 현장을 방문해서 평가를 할 수 있다. 연구결과의 2항 “취급현황”에서 DEOA에 대한 위험을 결정하는데 중요하게 활용하였다.



[그림 II-5] DEOA에 대한 위험성 평가 내용 및 방법.

가) 유해성 범주(hazard band)

유해성범주는 2004년 미국산업위생전문가협회(American Conference for Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 노출기준과 건강상의 영향을 기준으로 결정하였다. 이 기준에 의해 DEOA의 유해성범주는 “II”로 결정하였다. 노출기준만으로 보면 0.46 ppm으로 유해성범주 “III” 혹은 “IV”에 해당되지만 현재까지 밝혀진 DEOA의 유해성은 간, 신장, 피부, 혈액에 대한 장애 등으로 가역적인 건강상의 영향이기 때문에 노출기준과 건강상의 장애를 조합하여 유해성범주를 “II”로 결정하였다.

<표 II-3>. 노출기준과 건강상의 장애의 조합에 의한 유해성 범주

Hazard band	노출기준, ppm	유해성(건강상의 장애)
I	50-500이상	• 가역적인 건강상의 영향이 알려지지 않았거나 조금 있는 경우 • 건강상의 영향이 의심되는 경우
II	5-50	• 가역적인 건강상의 영향이 있는 경우
III	0.5-5	• 심각한 가역적인 건강상의 영향이 있는 경우
IV	0.5이하	• 동물실험에서 확인된 발암물질 • 비가역적인 건강상의 영향이 있는 경우
E	취급과 발생을 가능한 억제하고 특별한 대책이 필요	• 인간에게 확인된 발암물질 • 생명을 위협하거나 치명적인 상해나 질병에 대한 영향이 있는 경우

나) 노출범주(exposure potential band)

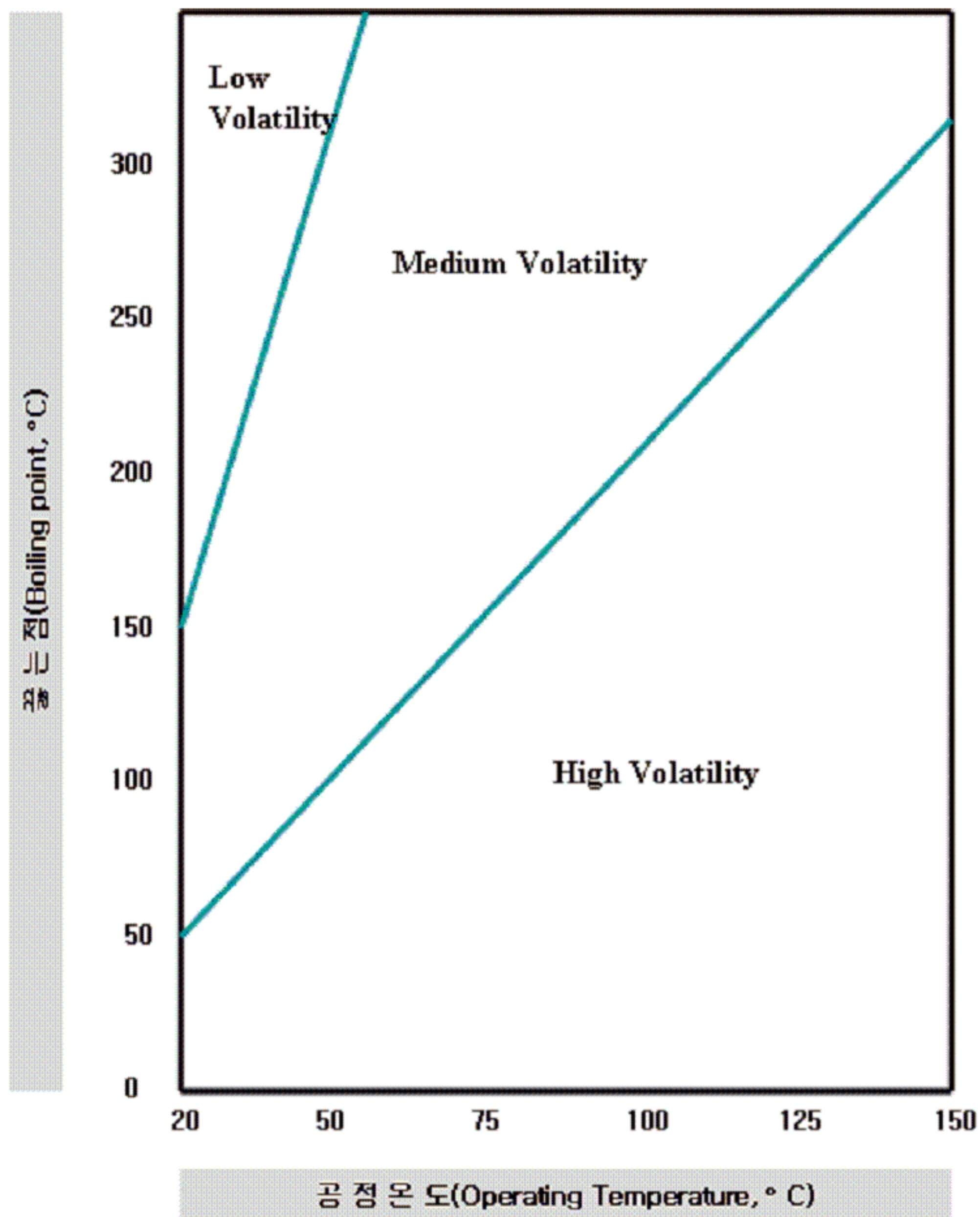
노출가능성(potential)은 호흡기 노출만 고려하였다. 노출가능성은 공정의 조건, 물질의 물리적 특성 그리고 사용량을 조합하여 정성적으로 4개의 범주로 구분하였다(Topping et al., 1998).

즉, 공정운전조건과 물질의 끓는점을 이용한 방법과 증기압을 이용한 방법에 따라 예측하였다. HSE에서는 상온에서 증기압을 이용한 방법이나 그림 II-6의 그래프를 이용한 방법간의 증기화 가능성은 비슷한 것으로 보고하였다. 물질이 취급되는 공정의 운전 온도와 끓는 점을 조합하여 공기 중 노출가능성을 “고”(high), “중”(medium), “저”(low)로 예측하였다. 물질의 끓는점과 공정운전 조건을 조합하여 증발가능성을 [그림 II-6]과 같이 구분한 것이다.

만약 상온에서 50℃이하의 끓는점을 가진 액체류는 모두 증발가능성이 “고”에 해당되고 50℃-150℃의 끓는점을 가진 액체류는 “중”에 해당되는 것을 그림 2에서 볼 수 있다. 톨루엔(toluene)은 끓는점이 100℃이다. 만약 이것이 20-50℃ 공정에서 취급되면 증발가능성은 “중”이고 만약 50℃이상에서 취급되

면 “고”이다. 혼합물일 경우 가장 낮은 끓는점을 가진 물질을 기준으로 적용하였다.

본 연구에서 공정 운전조건을 조사하지 못했을 때는 물질의 증기압을 이용하여 노출가능성을 예측하였다. 즉 화학물질의 증기압이 25 kPa이상일 경우 공기 중 노출가능성은 “고”이고 25-0.5 kPa사이일 경우에는 “중” 그리고 0.5 kPa이하는 “저”로 평가하였다. DEOA의 증기압은 0.01 mmHg이하로 공기 중 증발 가능성은 매우 낮다.



[그림 II-6] 증발력을 결정하는 방법(공정운전조건과 끓는점을 조합)

<표 II-4>는 DEOA의 공기 중 발생가능성과 사용량을 조합하여 결정한 호흡기 노출가능성을 예측한 4 개범주다. 사용량은 하루의 사용량을 의미한다.

<표 II-4> 증발가능성과 사용량을 근거로 공기 중 노출가능성 범주

공기 중 노출범주	내용
I	증발 가능성이 “저”인 액체류를 ml정도 취급한 경우
II	증발 가능성이 “고”인 액체류를 ml정도 또는 증발 가능성이 “저”인 액체류를 m'이나 l 정도 취급한 경우
III	증발 가능성이 “중”인 액체류를 m'정도 또는 증발 가능성이 “고”인 액체류를 l 정도 취급한 경우
IV	증발 가능성이 “고”인 액체류를 m'정도 취급한 경우

다) 위험등급(Risk Index, RI)

가)항과 나)항에서 설명한 물질의 유해성범주와 공기 중 노출가능성 범주를 조합하여 정성적인 위험등급(Risk Index, RI) 범주를 결정하였다. RI등급(I, II, III, IV)에 따라 유해인자에 대한 근로자노출과 건강상의 영향을 평가여부를 결정하였다(<표 II-4, 5> 참조).

예를 들어 RI III과 RI IV는 위험이 높은 평가로 가장 우선적으로 관리대책을 수립해야 하고 특별한 공학적인 대책을 마련해야 한다. 본 연구에서는 DEOA를 취급하는 공정에 대한 위험평가를 수행하여 위험등급(RI)가 I과 II인 경우 공정평가만 수행하였다. 필요한 경우에는 노출 및 건강상의 영향도 평가하였다. RI가 높은 경우인 III, IV는 위험성평가는 물론 노출과 건강상의 영향을 평가하였다.

<표 II-5>. DEOA에 대한 노출범주와 유해성범주를 조합한 위험등급 결정

유해성범주	노출범주			
	I	II	III	IV
I	RI I	RI I	RI I	RI II
II	RI I	RI I	RI II	RI II
III	RI I	RI II	RI III	RI III
IV	RI II	RI III	RI IV	RI IV
E	RI IV	RI IV	RI IV	RI IV

내용주

위험지수별 주요 위험의 정도를 정성적으로 나타내면 다음과 같다

- RI I : 위험이 매우 낮음, 근로자가 직접 DEOA를 취급하는 작업이 거의 없어 노출염려가 거의 없음
- RI II : 위험이 낮음, 근로자가 직접 DEOA를 취급하나 취급량이 많지 않고 간헐적으로 취급
- RI III : 위험이 있음, 근로자가 직접 DEOA를 취급하면서 취급량이 많아 노출우려가 있는 경우
- RI IV : 위험이 높음, 근로자가 직접 상시 취급

(4) 동물에 있어서의 영향과 인체영향

DEOA의 유해성 및 독성에 대한 정보는 각종 문헌과 외국의 산업보건관련 기관의 홈페이지(URL), 논문 등을 참조하여 정리하였다. 유해성 자료의 기본은 “Patty’s Industrial Toxicology”의 5 판과 ACGIH에서 발행한 “Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices”(ACGIH, 2004)이었다. 이 결과에 대한 근거를 국내외 주요 독성 및 산업보건기관의 홈페이지에서 제공한 자료와 비교하여 가장 최신의 독성 및 유해성 자료를 정리하였다. 본 연구에서 정리한 유해성 및 정보는 공인기관에서 보고한 과학적인 근거에 의한 보고서(자료)만을 활용하였다. 논문에서 주장하는 독성 및 유해성은 공인기관에서 인정한 내용과 가설 등을 언급하였다.

<표 II-6> DEOA에 대한 발암성, 변이원성, 생식독성, 유전독성 등의 자료를 검색한 주요 기관의 URL

기관이름	URL	검색내용
NTP	http://ehp.niehs.nih.gov/roc/toc10.html	발암성, 변이원성, 생식독성, 변이원성
IARC	http://monographs.iarc.fr/monoeval/grlist.html	발암성

내용 주

- NTP : National Toxicology Program(독성프로그램)
- IARC :International Agency for Research on Cancer(국제암연구소)

(5) 각국의 노출기준 요약 및 해설

미국(ACGIH, OSHA, NIOSH), 영국, 스웨덴, 프랑스, 일본 그리고 우리나라 노동부의 DEOA에 대한 노출기준, 노출기준 설정근거와 배경 등을 고찰하고 비교하였다.

가) 노출기준

각국의 노출기준은 ACGIH가 발행한 “Documentation of the TLVs and BEIs with other worldwide occupational exposure values: 2005, 7th edition. Paper and CD-ROM Combo”를 참고하였다. 각국의 노출기준에 대한 최신성과 자료의 신뢰성을 확보하기 위해서 기관(혹은 국가)의 홈페이지를 검색하여 비교하였다(<표 II-7> 참조).

<표 II-7> 나라별 노출기준 검색에 이용한 URL이나 참고문헌

나라	URL	참고문헌
미국 OSHA	http://www.osha.gov/SLTC/pel/index.htm	
미국 ACGIH	-	ACGIH(2004)
미국 NIOSH	http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0208.html	
영국	http://www.hse.gov.uk/coshh/	HSE(1994)
스웨덴	http://www.av.se/english/legislation/	NIOH(1992)
독일	http://www.hvbg.de/e/bia/fac/stoffdb/index.html	
프랑스	http://www.inrs.fr/dossiers/ 에서 VL(OEL)	
일본	http://joh.med.uoeh-u.ac.jp/oel/index.html	JOH(2005)

내용 주

- OSHA : Occupational Safety and Helath Administration(미국산업안전보건청)
- ACGIH : American Conference for Governmental Industrial Hygienists(미국정부산업위생전문가협회)
- NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health(미국국립산업안전보건연구원)

나) 노출기준 설정근거

미국 ACGIH의 물질별 설정근거는 ACGIH가 발행한 “Documentation of the TLVs and BEIs with other worldwide occupational exposure values: 2005, 7th edition. Paper and CD-ROM Combo”에서 참고하였다. 미국 NIOSH와 OSHA 그리고 영국은 홈페이지를 검색하여 구하였다. 또한 스웨덴, 독일, 프랑스, 일본은 참고문헌을 활용하였다. 노출기준 설정근거에 대한 참고는 AIHA가 발행한 “An international review of procedure for establishing occupational exposure limits” 2700 Prosperity Avenue, suite 250 Fairfax, VA 22031, ISBN 0-932627-73-0, 1996을 참조하였다.

노출기준에 대한 설정근거와 배경이 명확하지 않은 경우 해당 기관에 전자 메일을 보내서 관련정보를 확보하여 보완하였다.

(6) 작업장내 근로자 노출실태 및 평가

DEOA를 취급(혹은 사용)하는 사업장 총 12개소를 대상으로 DEOA에 대한

노출실태를 평가하였다. DEOA는 개인시료채취가 불가능하기 때문에 노출과 유사한 지점에서 지역시료에 의해 공기 중 DEOA를 채취하였다. 공기 중 DEOA에 대한 채취여재, 주요 채취 및 분석과 관련된 내용은 <표 II-8>에 제시되어 있다. 공기 중 DEOA의 채취 및 분석방법은 제 6 장 “작업장내 근로자 노출실태”에서 설명하였다.

<표 II-8> 공기 중 DEOA에 대한 채취 및 분석방법 요약

채취내용 구분	채취 및 분석 내용
채취유량(ℓ/min)	1
채취여재	임핀저(흡수액: 증류수 18mΩ 10mℓ)
분석기기	이온크로마토그래피(IC)
검출기	Conductivity detector(전기전도도 검출기)

가) 공기 중 채취 및 운반

공기 중 DEOA는 임핀저에 흡수액(증류수 18mΩ) 10mℓ를 채우고 개인시료 채취기(escortelf, Mine Safety Appliances company, USA)와 연결하여 채취유량 1ℓ/min으로 일정 시간동안 채취하였다. 채취 후에는 냉장 상태에서 실험실로 운반하였다.

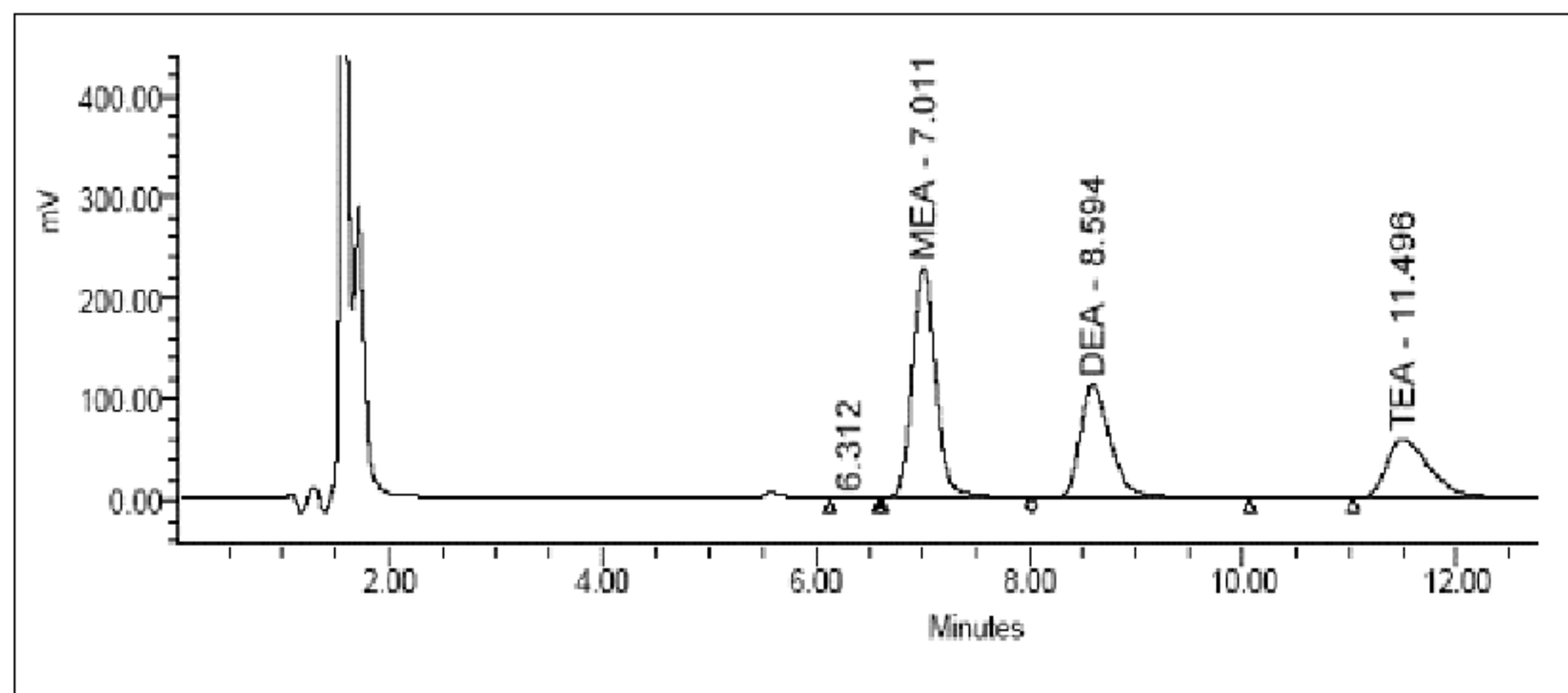
나) 전처리 및 분석

시료는 일정량을 실린지 필터(0.45μm pore size, 13mm diameter, PVDF, Whatman, USA)로 여과하여 불순물을 제거하고 적당한 범위로 희석하여 준비하였다. 준비된 시료는 일정량을 이온크로마토그래피에서 분석하였다. 이온크로마토그래피의 분석조건은 <표 II-9>와 같다.

<표 II-9> DEOA 분석조건

분석 시스템 (Analysis system)	Waters Ion Chromatograph
검출기(Detector)	Waters 432 conductivity detector
컬럼(Column)	Waters cation M/D column
이동상(Eluent)	2mM Nitric acid/0.1mM EDTA
유량(Flow rate)	1.0ml/min
주입량(injection volume)	10 μ l
머무름(Retention time)	8.5 min

DEOA를 분석한 검량선(calibration graph)은 표준용액의 농도와 이온크로마토그래피의 반응과의관계가 0.99이상인 경우만을 인정하였다. DEOA의 크로마토그램은 다른 인접하는 화학물질과 명확히 분리된 것만을 정량용으로 인정하였다([그림 II-7] 참조).



[그림 II-7] 이온크로마토그래피로 분석한 DEOA의 크로마토그램
(지체시간: 8.594분)

다) 실험실 자체 정도관리 결과

실험실 책임자는 공기 중 DEOA의 양과 비슷한 적정한 양을 주사기로 여재(종류수)에 주입한다(spiked amount). 주입한 양은 책임자만 알고 분석자는 알지 못한다. DEOA 분석을 담당하는 실험자는 책임자가 제조한 시료를 분석하여 그 결과를 제출한다. 책임자가 주입한 양과 분석자가 분석한 양과의 비를 통해서 정확도를 평가한다. 100 %에 가까울수록 우수한 분석능력을 갖고 있다고 판단할 수 있다. 3종류의 농도를 설정하고 농도별 4개의 자체정도관리 시료를 제조하여 평가하였다. 문헌을 참조하여 공기 중 DEOA의 3종류의 농도는 노출기준(threshold limit value)을 기준으로 0.1배, 0.5배, 1배로 결정하였다. 구체적으로 주입해야 할 양은 공기채취량 240 ℓ (1 ℓ/분으로 4시간 채취기준)를 기준으로 제조한 농도이다.

<표 II-10> 여재에 주입한 양과 검출량에 대한 자체 정도관리 결과

농도 수준	0.1 × TLV			0.5 × TLV			TLV		
	주입량 (μg)	검출량 (μg)	회수율 (%)	주입량 (μg)	검출량 (μg)	회수율 (%)	주입량 (μg)	검출량 (μg)	회수율 (%)
1	48	46	96	96	92	96	480	480	100
2	48	45	94	96	94	98	480	461	96
3	48	41	85	96	92	96	480	450	94
4	48	43	90	96	95	99	480	470	98
평균	48	44	91.2	96	93	97.3	480	465	96.9

참고 : 노출기준(threshold limit value)은 공기채취량 100 L를 기준으로 제조한 농도이다.

정도관리 결과 회수율의 범위는 91.2 %-96.9 %으로 우수한 것으로 판단된다. 노출기준의 0.1배에서 회수율의 범위가 85 %-96 %로 다른 농도 수준에 비해 변이가 있으면 회수율이 낮았다. 그러나 분석결과에서 오차를 유발할 정도의 회수율은 아니었다. 따라서 DEOA에 대한 분석방법, 분석기기, 분석자의 분석능력 등에 대한 신뢰성은 문제가 없는 것으로 판단된다.

<표 II-11> DEOA의 건강상의 영향을 평가하기 위한 설문내용

생산부서	공정:				단위 공정:					
성명					나이		세			
작업경력	본 공정에서 일 한지 _____년 _____개월									
흡연여부	흡연 / 금연				흡연력		_____년 _____개월			
본 공정에서 일하기 전에 호흡기에 병이 있었다면 어떤 것이었습니까?				병이	()있었음		있었던 질병명:			
					()없었음					
본 공정에서 일한 후에 호흡기가 나빠지거나 호흡기 관련 질병이 발생했다면 어떤 것입니까?				병이	()생겼음		생긴 질병명:			
					()이상없음					
항 목	경험하신 증상을 모두 선택하세요.		작업과 관련이 있다고 생각하십니까?		작업에 방해될 정도로 증상이 심했습니까?		휴일동안 증상이 호전되었나요?		휴일 후 첫날 다시 증상이 악화되었나요?	
	예	아니오	예	아니오	예	아니오	예	아니오	예	아니오
비염	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
코막힘	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
씨근거림(천식)	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
가슴답답함	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
호흡곤란	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
숨가쁨	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
코 따끔거림	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
목 따끔거림	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
눈이 따끔거림	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
눈이 아픔	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
피부가 따끔거림	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
시력이 떨어짐	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()

(7) 근로자에 대한 건강상의 영향 평가

DEOA에 노출된 근로자를 대상으로 눈, 피부자극, 호흡기계질환과 관련된 13개 항목을 설문하였다. 설문은 피부점막 자극 5 개항, 눈 장애 3개항 그리고 호흡기계질환 5개 항목으로 구성되었다. 이 질환들에 대한 증상여부, 작업과의 관련성, 증상의 심각성, 작업전후의 호전여부 등을 같이 설문하였다. 이외에도 근로자의 근무부서, 근무경력, 나이, 성 등 일반적인 특성도 함께 설문하였다. 설문지는 <표 II-11>에 제시하였다.

(8) 노출기준 추정 및 제안

가) 양-반응관계 분석

설문에 의해 DEOA 노출이 눈과 피부 자극, 호흡기계질환 그리고 폐기능의 변화를 초래할 위험이 있는 지 분석하였다. 즉, DEOA의 건강상의 장해에 대한 증상호소에 대한 응답 “예”와 “아니오” 가변수를 종속변수로 그리고 DEOA농도를 독립변수로 설정하였다. 로지스틱 회귀분석을 활용하여 DEOA 농도가 호흡기계질환에 대한 호소를 그리고 폐기능의 변화에 유의한 영향을 미치는지 분석하였다. 이 분석을 통하여 DEOA에 노출되었을 때 눈, 피부, 호흡기질환, 폐기능 변화에 대한 위험이 유의한지 통계적으로 검정하였다

나) 다른 나라의 노출기준 비교

가)항에서 양-반응관계가 유의하지 못할 경우, 다른 나라(미국 ACGIH, 미국 OSHA, 미국 NIOSH, 영국, 스웨덴, 프랑스, 독일, 일본, 캐나다, 노르웨이 등)의 DEOA에 대한 노출기준과 노출기준 설정근거를 고찰하여 우리나라 실정(취급량, 노출근로자수, 실행가능성, 규제에 대한 영향 등)에 맞는 노출기준을 제안하였다.

(9) 규제영향 평가

본 연구에서 제안한 DEOA노출기준의 시행으로 인해 나타날 수 있는 영향

을 경제적인 측면, 기술적인 측면 등을 통해서 비용(cost)과 편익(benefit)를 분석하였다. 구체적으로 규제목표(노출기준의 제안)를 설정하고 이를 실현 할 수 있는 가능성을 먼저 분석하였다. 규제의 시행이 필요하다면 이에 따른 비용과 편익을 분석하였다. 규제에 투입되는 비용은 국소배기장치와 같은 공학적인 시설의 설치에 따른 비용만을 감안하였다. 한편 규제에 따른 편익은 규제하지 않았을 때 발생할 수 있는 근로손실에 따른 경제적인 손실액을 추정하였다.

(10) 건강상의 장해 예방 조치

DEOA의 노출로 인한 건강장해를 예방하기 위한 대책(조치)를 업종별 공정별로 구분하여 설명하였다. 대책은 위험성평가에 따라 위험등급에 근거하여 공정별로 제안하였다. 즉 위험등급이 높을 수록 보다 엄격한 공학적 행정적인 대책을 제안하였다. 업종별 공정별로 “작업환경관리요령”, “유해물질(DEOA) 안전관리 요령”, “보호구착용” 그리고 “응급조치 요령”으로 구분하여 제안하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 물질의 특성

가. 물질의 개요

지방족 아민들은 암모니아에 붙어 있는 수소원자가 알킬 또는 알카놀 레디칼(alkanol radical)에 의해서 치환된 유도체이다. 알카놀아민(Alkanolamines) 또는 아미노알코올(amino alcohols)은 1차, 2차, 3차의 아민을 치환한 것이다. 즉 암모니아의 수소원자를 히드록시에틸 라디칼($-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$)로 치환하여 만들며 보통 monoethanolamine(이하 MEOA이라 함), diethanolamine(이하 DEOA이라 함), triethanolamine(이하 TEOA이라 함)으로 만들어진다. 반응 용액은 알칼리성이다. 3가지 화합물은 공업에서 주로 천연 가스와 석유정제 가스 흐름에 들어 있는 이산화탄소와 같은 산성 성분을 흡수하는 흡수제로 널리 사용한다. 무기 또는 유기 산과 함께 쉽게 반응하여 염을 형성하므로 지방산과 결합시켜 염(鹽) 형태로 만든 화합물(비누)은 수많은 가정용 제품과 공업 제품에서 유화제, 세정제, 용해제, 화장품, 약물 그리고 직물의 마무리 과정에 필요한 물질 등에 대한 중간생성물로서 화학 및 의약산업에서 중요하다. TEOA은 자동차의 부동액과 비행기 기관의 냉각수에 사용하는 부식방지제이다.

상업적으로 많이 알려지고 사용되고 있는 아민류는 기체상이거나 휘발성이 높은 액체이다. 하급 아민들은 물에 용해가 아주 잘되기 때문에 가스상의 물질들을 보통 수용성 액체로 공급하고 있다. 분자량이 높은 아민들은 휘발성이 낮고, 냄새가 없으며, 부분적으로 물에 용해된다. 이들 용액은 매우 자극적이어서 눈, 피부, 호흡기에 접촉 시 손상을 일으킬 수 있다. 알킬 사슬(alkyl

chain)에 있는 가지(branch)는 휘발성을 높이는 경향이 있는 반면에 알카노아민(alkanolamines)에 수산(hydroxy)기를 치환하게 되면 휘발성이 감소하게 된다. 하급 지방족 아민들의 대부분은 낮은 발화점을 가지고 있어 인화성 액체 또는 기체로 분류되고 있다. 피부흡수가 문제가 되고 있는데 많은 물질들이 피부에 손상을 주는 과민반응(hypersensitivity)을 일으킬 수 있다. 히스타민 방출과 혈관 확장과 같은 생리학적 또는 약리학적 효과를 갖기도 한다. 직업상의 노출에서는 주로 국소적인 건강 영향이 우세하게 나타난다.

암모니아와 아민의 불쾌한 냄새는 디히드록시아세톤(dihydroxyacetone)을 사용하여 제거할 수 있다. 이 물질은 사람과 동물에게 독성이 없으며, 암모니아와 아민에 빠르게 반응한다.

DEOA 대한 물질 개요를 다음 <표 1-1>과 같이 정리할 수 있다.

<표 1-1> DEOA의 물질 개요

개 요	내 용(Weast, 1988; The merck index; 2001)
한글물질명	DEOA
영문물질명 (IUPAC명, CA명)	Diethanolamine(DEA), 2,2'-iminodi-Ethanol
이명(異名)	디에탄올아민(Diethanolamine, Diaethanolamin), (2-히드록시에틸)아민((2-Hydroxyethyl)amine), 디에틸롤아민(diethylolamine), 디올아민(Diolamine), 2,2'-디히드록시디에틸아민(2,2'-dihydroxydiethylamine), 비스(히드록시에틸)아민(bis(hydroxyethyl)amine), 디(2-히드록시에틸)아민(Di(2-hydroxyethyl)amine), 2,2'-이미노비스에탄올 (2,2'-iminobisethanol), 2,2'-이미노디에탄올(2,2'-iminodiethanol)
CAS번호	111-42-2
외관, 냄새 등	실온에서 무색의 고체이거나 시럽과 같은 액체임. 녹는 점인 28℃ 이상에서는 연한 암모니아 냄새가 나는 흰색 의 액체임.
화학물질 분류	종양형성제(Tumorigen), 생식계영향물질(Reproductive Effector), 의약품(Drug), 1차 자극제(Primary Irritant)
분자식	$C_4H_{11}NO_2$, $(HOCH_2CH_2)_2NH$ $ \begin{array}{ccccccc} & H & H & H & H & H & \\ & & & & & & \\ HO & -C & -C & -N & -C & -C & -OH \\ & & & & & & \\ & H & H & & H & H & \end{array} $

내용 주

- The Merck Index, 2001.

(1) 제조

브롬화 에틸과 헥사메틸렌테트라민과의 반응생성물을 가수분해하면 얻을 수 있다. 공업적으로는 염화 에틸과 암모니아의 반응으로 만들었으나, 현재는 에탄올·에틸에테르 또는 아세트알데히드 등과 암모니아를 수소 존재 하에 환원촉매를 써서 반응시켜 제조한다. 1976년에 미국에서 232천톤 이상의 알킬아민이 상업용으로 생산되었다. 정확한 양은 알려지지 않았지만 지방질 아민과 고리형 아민이 미국에서 생산되었다.

하급 지방족 아민은 주로 암모니아와 함께 알코올, 알데히드, 케톤, 알킬할라이드(alkylhalide), 알칸(올레핀)과 시안화 수소 혼합물 등의 다양한 재료로 만들어 진다. 가장 많이 사용되는 방법은 다음과 같다.

첫째, 암모니아와 알코올을 300~500℃ 온도와 790~3,550kPa (100-500 psig)의 압력에서 촉매와 함께 연속적으로 진행시키면 극소량의 부산물과 함께 1차, 2차, 3차 아민의 혼합물을 좋은 수율로 생산한다.

둘째, 암모니아, 수소, 알코올을 다른 촉매제와 함께 130~250℃, 고압 하에서 분리가 가능한 아민류로 대부분이 전환될 때까지 진행시킨다.

셋째, 암모니아와 알데히드 또는 케톤과 수소를 방법 2와 유사한 조건에서 수소화 촉매로 진행시킨다.

넷째, 시안화수소를 30~60℃ 조건에서 알켄 $R_2C = CH_2$ 과 반응시킨 후 중간체 아미드(amide)인 $R_3CNHCNO$ 가 가수분해가 되도록 가열하여 R_3CNH_2 를 생산한다.

(2) 용도

에탄올아민류의 용도는 매우 다양하게 알려져 있다(영창화학, http://www.ycchem.co.kr/html/pro_420.html) 물질 자체로 또는 다른 화합물과 함께 용매로 사용된다. 이는 화학물질 합성을 위한 전구물질로 광범위하게 사용되고 있다.

가) 세제 및 유화제

에탄올아민의 지방산아미드와 지방산비누는 우수한 계면활성을 나타낸다. 에탄올아민으로부터 제조한 계면활성제는 금속비누에 비해 pH가 낮고 중성에서도 세정력, 포안정성이 우수하고 물에도 유기용제에도 녹는 잇점이 있어 금속비누를 대신하여 세제나 유화제로서 넓은 용도를 가지고 있다. 에탄올아민은 일반적으로, 지방산아마이드, 설포화지방산아마이드의 나트륨염, 설포화알킬에탄올아민염, 지방산염으로서 사용되고 있다. MEOA의 지방산아마이드는 음이온세제의 구성성분으로 사용되고 기포성, 포안정성, 그리스용해성을 증가시킨다. MEOA 세제는 일반적으로 내경수성이 있고 금속비누를 사용할 수 없는 곳에도 사용할 수 있다. TEOA의 지방산염은 특히 알칼리성이 낮아서 양모사와 모직물의 세제로서 매우 좋다. 유기용제에 녹여도 세정력이 떨어지지 않으므로 드라이크리닝용 세제로도 우수하다. TEOA의 지방산염은 유화제로서도 사용되어 절삭유, 피혁유, 광택제, 에멀전도료, 인쇄잉크 등 각종 에멀전을 만들 수 있다. 보통 에멀전베이스에 대하여 10-20%의 스테아린산 또는 올레인산의 트리에탄올아민염을 첨가하기만하면 완전히 유화되나, 에탄올아민염을 유화제로 한 에멀전은 수용성, 세정력, 비부성이고 광택제나 연마제로서 쓰일 때 내수성이 있는 잇점이 있다. 에탄올아민으로부터의 에멀전은 에탄올아민이나 지방산의 선택여하에 따라 비교적 점도가 낮은 액체에서 딱딱한 왁스상의 고체까지 될 수 있으나, 보통은 스테아린산, 올레인산의 트리에탄올아민염이 사용된다.

나)섬유공업

에탄올아민의 흡습성, 약염기성 및 유화제로서의 성질은 유연제, 가소제 등으로서 섬유공업의 여러곳에 활용되고 있다. 에탄올아민 또는 에탄올아민 지방산아마이드는 울이나 우스테드등 강알칼리에 적합하지 않은 섬유의 정련에 사용된다. 스테아린산, 올레인산등의 지방산 에탄올아민 비누는 섬유가공공정에서 세정제 또는 염화물 용매와 함께 침투제로 사용할 수 있다. 아마인유, 피마자유, 올리브유 등 천연지방산 에탄올아민 비누도 섬유가공 공정에서 섬유를 매끈하게 하기 위하여 이용되지만 수용성이므로 제거가 용이하다. 다공성

섬유에 TEOA를 소량첨가하면 액체의 침투가 현저히 촉진된다. 또, 에탄올아민으로 만든 편직유는 섬유를 유연하게할 뿐만 아니라 바늘에 묻은 고무상 물질을 제거하기도 하고 정전을 방지하는 효과도 있으며 완성된 편물의 염색성도 증가 시킨다. 기타 MEOA, DEOA의 염산염은 면직물의 수지가공 특히 디메틸롤용소가공의 촉매로도 되며 에탄올아민과 유황으로부터 섬유의 불연가공제를 만드는데에도 응용되고 있다.

다) 가스정제

에탄올아민은 산성가스를 잘 흡수하지만, 온도를 높이면 쉽게 가스를 방출하므로 가스흡수제로서 우수한 성질을 가지고 있어 가스를 제조 혹은 취급하는 공장에서 대량 사용하고 있다. 정유공장이나 천연가스정제 공장에서는 CO₂나 H₂S를 제거하기 위하여, 드라이아이스 공장에서는 탄산가스 농축을 위하여, 또 암모니아 합성원료가스에서는 CO₂를 제거하기 위하여 에탄올아민은 각각 중요한 역할을 수행하고 있다.

금속공업에서 금속을 가열하였다가 서서히 식힐 때 사용되는 불활성가스중의 산성성분은 대단히 위험하나 불활성가스중 산성성분의 제거에 에탄올아민은 없어서는 안되는 것이다. 흡수제로서 15-30%수용액이 일반적으로 사용되고 있으나 동시에 가스의 탈수도 필요한 때에는 클리콜, 에탄올아민과 물의 혼합물을 사용하는 경우도 있다.

세 종류의 에탄올아민 가운데 알칼리성이 강하고 일정량의 가스를 흡수하는데에 소요량이 적은 MEOA이 많이 사용되고, 다음으로 DEOA이 많이 사용되지만 황화합물을 함유하는 가스를 세정하는데에는 DEOA이 우수하다.

라) 농약

에탄올아민 및 그 유도체는 탈아염제제의 용제, 제초제, 살충제, 유화제의 원료로 널리 사용되고 있다. DEOA, TEOA은 2,4-D의 용제이지만 2,4-D의 중화제로서 알킬아민이나 알칼리금속의 대용으로 사용하면 넓은 온도범위에서

수용성 및 액체상태를 잃지않는 분산제를 만들 수 있다. 이 분산제는 농후수용액이지만 저온저장이 가능하여 분무기의 세정이 쉽다. 특히 파라핀유에 용해시킨 TEOA 오일 스프레이는 좋은 오일스프레이 살충제로 쓰인다.

마) 샴푸 및 화장품

에탄올아민에서 얻은 유화제는 약알칼리성이며 수용성이고 세정력이 있어 화장품 원료로서도 중요하다. 에탄올아민비누는 유화력이 강하고 염기성이 약하므로 핸드로션, 콜드크림, 바니쉬크림, 클린싱크림, 헤어크림 등 모든 크림류의 원료로 사용되고 피부를 자극하지 않는다. 지방산으로서는 스테아린산, 올레인산이 널리 이용되고 있으나 특히 스테아린산의 트리에탄올아민염은 백색고형물이므로 크림원료로 아주 좋다. 샴푸에서 DEOA는 계면활성제의 거품을 안정화시키는데 우수한 효과를 낸다. TEOA는 액상 샴푸의 활성성분인 라우릴 설페이트염을 중화하는데 사용되며 이 염은 화장품 유화제로도 사용된다. 철분이 적은 MEOA는 티오글리콜산염으로서 퍼머용로션의 원료가 된다.

바) 왁스, 광택제, 코팅제

에탄올아민 비누는 왁스 및 광택제의 유화 분산제로 사용되고 특히 물 에멀전 왁스는 세정성이 있어 세척과 광택의 이중효과를 얻을 수 있다. 에탄올아민은 수지,락카, 페인트 등 코팅제의 원료로 사용되고, 광유와 에탄올아민 비누를 혼합하여 에멀전 페인트를 만들 수 있고, TEOA, 프탈릭 안하이드라이드와 오일로 바니쉬레진을 만들고, MEOA과 로진을 반응시켜 안료 분산제를 만들 수 있다. 특히 TEOA은 염료, 고무라텍스, 카제인의 분산제로 쓰이며 산성점토, 오일, 안료 등의 중화제로도 사용된다.

사) 금속 공업

금속공업에서는 금속을 가열하였다가 서서히 식힐 때 사용하는 불활성 가스의 정제외에 에탄올아민 비누는 절삭유, 윤활유, 엔진냉매, 그밖의 첨가제로

사용된다. 일반적으로 에탄올아민 및 그 유도체는 부식방지능력을 나타내므로 엔진냉매, 윤활유, 금속세정액 등에 부식방지제로서 첨가된다. TEOA은 알콜 베스 부동액에 첨가되어 부동액의 부식성을 저하시킨다. TEOA의 인산염은 글리콜베스의 부동액의 부식방지제다. 에탄올아민을 유화제로서 사용한 절삭유, 윤활유는 부식성이 작은 잇점을 나타내고 있다. 에탄올아민이 황화탄화수소 오일과 결합하면 방향억제제로 작용하며 또한 윤활유의 유동점을 낮추는 첨가제로 사용된다. 그 밖에 에탄올아민은 윤활유의 주유점을 저하시키는 효과와 내연기관등의 피스톤에 부착한 카본의 고무상 물질을 제거하는 용도가 있다.

아) 제약

에탄올아민에서는 다수의 유도체를 얻을 수 있고 따라서 의약품용도로써도 널리 사용되고 있다. MEOA과 그 안식향산아마이드는 페니실린 배양액에 첨가시키면 현저하게 수율을 향상시킨다. 또한 비타민C의 모노에탄올아민염은 피하주사액으로 중요하며 설파디아진의 TEOA 용액은 국부화상약이다. DEOA은 프로카인과 항히스타민제의 합성원료로서 중요하다. 에탄올아민 유도체는 국부마취제로써도 사용할 수 있다.

자) 시멘트첨가제

트리에탄올아민염은 시멘트 및 콘크리트의 응고시간을 단축시키고 기온에 따른 시멘트 및 콘크리트의 붕괴 현상을 방지하는 첨가제로도 사용된다.

차) 기타

첨가제 트리에탄올아민염은 시멘트 및 콘크리트의 응고시간을 단축시키고 기온에 따른 시멘트 및 콘크리트의 붕괴 현상을 방지하는 첨가제로도 사용된다.

나. 물리적 성상

물리적 성상이란 화학적 변화를 수반하지 않고 그 물질의 특성을 나타내는 성질로서 그 물질의 특성치를 말한다. 즉, 분자량, 밀도, 비중, 끓는점, 녹는점, 결정구조, 색상 등이 이에 속한다. DEOA의 물리적 성상은 다음 <표 1-2>와 같다.

(1) 분자량(molecular weight)

분자량은 탄소의 원자 1개의 질량을 12로 했을 때에, 어떤 분자 1개의 질량과 ^{12}C 원자 1개의 질량의 비 분자량은 분자의 상대적인 질량을 나타내는 것이다. 분자량은 기체와 휘발성 물질에 대해서는 밀도로 계산하며, 비휘발성 물질에 대해서는 끓은 용액의 증기압 강하, 끓는점 상승 또는 녹는점 강하를 측정하여 구한다. 에탄올아민의 분자량은 105.14 이다.

(2) 밀도(density)와 비중(specific gravity)

밀도는 단위 체적 당 물질의 양이다. 어떤 물질이 특별한 체적과 그 질량을 확인할 수 있다면 질량을 체적으로 나눈 값을 밀도라 한다. 산업 환경에서 사용되는 많은 탄화수소 물질은 물보다 낮은 $0.7\sim 1\text{ g/ml}$ 의 밀도를 갖는 반면에 할로젠화 탄화수소의 경우는 1.5 g/ml 로 높은 값이다.

$$\text{밀도} = \text{질량} \div \text{체적}$$

어떤 물질의 밀도와 이와 같은 체적의 4°C 물의 밀도비를 비중이라 하며 이 값은 단위가 없는 무차원수이다. 액체와 고체 경우 물질의 비중은 그 물질의 중량과 물의 중량과의 비교로 알아보거나 증기의 경우에는 가스 중량의 비교로 나타낸다.

$$\text{비중} = \text{물질의 밀도} \div 4^{\circ}\text{C 물의 밀도}$$

$$\text{비중} = \text{물질의 중량} \div \text{동일체적의 물의 중량}$$

<표 1-2> DEOA의 물리화학적 특성(Weast, 1998-1989)

구 분	특 성(Lide, 1994; Lewis, 1993)
분자량, g	105.14
비중 (20℃, 물 = 1)	1.0966
증기밀도(DEOA가 끓는점에서의 공기 = 1)	3.65
녹는점, ℃	28
끓는점, ℃	268.8(760mmHg)
증기압, mmHg	0.01(20℃, 0.001kPa)
pH	11(0.1 N), pKa = 8.88로 강한 염기성임.
냄새의 서한도, ppm	0.27
물에 대한 용해도, g/100ml	물에 매우 잘녹음(95.4%). (알코올에 매우 잘 녹으며, 벤젠(4.2%), 에테르(0.8%), 헵탄(0.1%))
증발률(부틸초산=1)	0.01 이하
점성계수(cP)	351.9(30℃), 53.85(60 ℃)
분배계수(옥탄올/물)	-1.44(Log Kow, 25 ℃)
단위전환인자, 25 ℃, 760mmHg	1 ppm = 4.29 mg/m', 1 mg/m' = 0.23 ppm

가스의 밀도도 체적 당 물질의 양으로 표시된다. 가스와 증기의 비중은 공기를 기준으로 하여 비교한 값이다. 건조한 공기는 여러 원소들이 합쳐진 기체 혼합물이지만 역시 체적과 무게를 가지고 있어 밀도를 계산하면 1.29g/ℓ 이다. 산소 기체의 밀도는 1.43g/ℓ 이기 때문에 산소 기체 비중은 공기에 대해 1.11이 된다. 여기서 주의해야 할 점은 액체나 고체의 경우에서와 마찬가지로 기체의 밀도를 표시할 때는 온도를 반드시 표시해야 하며 특별히 온도가 표시되지 않는 경우에는 0℃, 1기압상태를 나타내며 이때의 모든 기체의 밀도는

분자량을 몰부피 즉, $22.4 \ell / \text{mole}$ 로 나눈 값이 된다. 따라서 기체는 0°C , 1기압 하에서의 비중은 분자량의 비와 같다. 1기압 하의 공기의 밀도는 25°C 에서 $1.187\text{kg}/\text{m}^3$ 의 밀도를 갖는다.

$$\text{기체의 밀도} = \text{분자량} \div 22.4(\text{g}/\ell), (0^\circ\text{C}, 1\text{기압})$$

$$\text{산소 기체 비중} = \text{산소밀도} \div \text{공기밀도} = 1.43 \div 1.29 = 1.11$$

기체의 밀도와 온도, 분자량 등 다른 변수와의 관계는 이상기체 방정식을 통해서 유추할 수 있다. 먼저 밀도는 단위 체적 당 무게이므로 다음 식과 같이 밀도(ρ)는 기체의 몰수와 분자량을 곱하여 기체 체적으로 나눈 값과 같다고 할 수 있다.

$$\text{밀도}(\rho) = \frac{nMW}{V} = \frac{MW(P)}{RT}$$

단, MW: 분자량(molecular weight)

n : 기체의 몰 수, mol

V : 물질의 체적, L

P : 물질의 압력, atm

R : 기체상수, $0.082 \text{ atm}\cdot\text{L}/\text{mol}\cdot\text{K}$

밀도는 분자량, 압력, 온도에 의해 결정되므로, 만일 압력과 온도가 일정하다면 이상기체의 밀도는 분자량에 따라 결정이 되며 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다. 또한 하나의 이상기체의 밀도를 알고, 다른 물질의 분자량을 안다면 그 물질의 밀도를 알 수 있다.

$$\frac{MW_1}{MW_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

DEOA의 공기가 1일 때 상대적 가스의 밀도는 3.65이다. 어떤 물질의 비중이 유체보다 작으면 그 물질은 유체 위에 떠 있게 되고 그 반대이면 아래에 존재하게 된다. 오랫동안 정제된 공기에서는 에틸아민이 바닥에 가라앉아 유해한 영향뿐만 아니라 산소가 결핍되는 현상을 초래할 수도 있다. 액체 상태 일 때의 비중은 1.097로 물보다 가볍다. 액체의 비중이 갖는 물리적 의미는 부력과 깊은 관련이 있다.

(3) 녹는점(melting point)

순수한 물질의 고체상태와 액체상태가 평형을 이루는 온도를 녹는점이라고 한다. 즉 녹는점은 고체상태의 물질이 액체상태로 변화될 때의 온도라고 할 수 있다. 고체를 가열하면 그 고체의 온도는 올라가지만 녹는점에 도달한 이후에는 온도는 변하지 않고 고체가 액체로 변한다. 고체가 다 녹고 난 후에 계속해서 가열하면 액체의 온도가 높아진다. 결정성(結晶性) 고체의 녹는점은 각 물질마다 다르므로 순수한 화합물이나 원소를 구별하는 데 이용된다. 대부분의 혼합물과 비(非)결정성 고체는 일정한 온도에서 녹지 않는다. 고체의 녹는점은 일반적으로 그 고체가 녹은 액체의 어는점과 같다고 본다. 그러나 액체는 원래의 고체구조와는 다른 결정구조로 열기도 하고, 액체 속에 있는 불순물은 어는점을 낮추기 때문에 실제 어는점은 녹는점과 같지 않을 수도 있다. 따라서 물질의 특성을 구별할 때는 어는점보다 녹는점을 사용하는 것이 좋다.

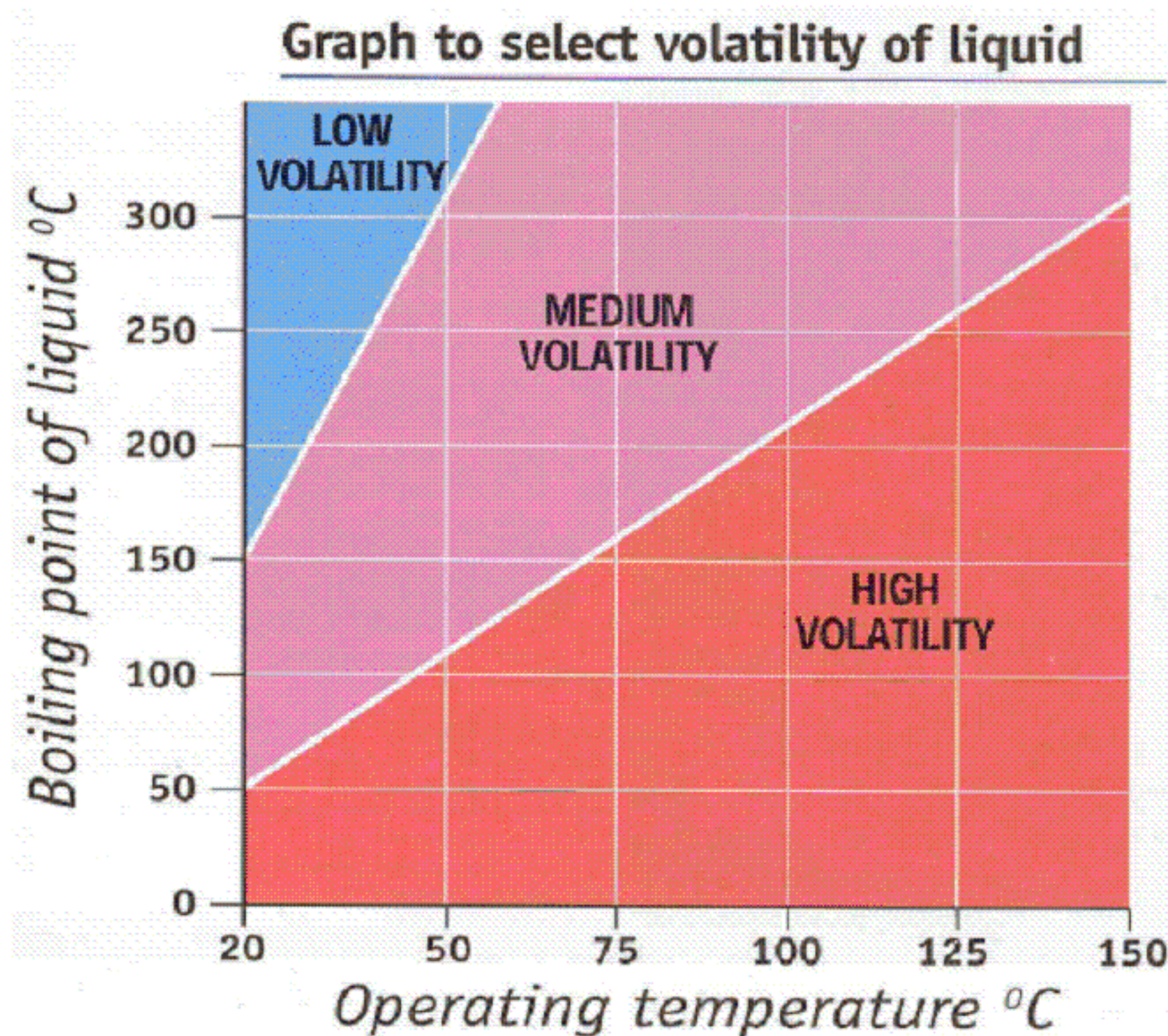
100% 순수한 DEOA의 녹는점은 28℃로 알려져 있다. 이는 다시 말해 순수한 DEOA 액체가 28℃ 이하에서는 고체로 변화된다는 것을 뜻하며 녹는점에서 끓는점사이의 온도에서는 액체로 존재한다는 것을 의미한다.

(4) 끓는점(비등점, boiling point)

끓는점은 액체에서 기체 상태로 물질의 상태가 바뀌는 온도로서 액체 물질의 증기압이 외부 압력과 같아져 끓기 시작하는 온도이다. 보통은 1기압에서의 값을 말하며 그 물질의 고유한 상수(常數)가 된다. 예를 들어 물의 경우는

100℃이다.

끓는점은 산업보건학적으로 작업환경을 관리하는데 유용한 도구로 사용할 수 있다. 국제노동기구(ILO)에서는 중소규모 사업장에서 스스로 화학물질 관리를 손쉽게 할 수 있는 ‘Control Tool Kit’을 개발하여 제안하였는데, 관리의 한 방법으로 [그림 1-1]과 같이 물질의 끓는점과 공정상 운전 온도와의 관계에 따라 휘발성 정도를 구분하여 휘발성이 높은 물질일수록 작업자의 노출 잠재위험도가 크다고 평가하도록 가이드를 제시하고 있다(ILO, 2003).



[그림 1-1] 끓는점과 공정운전 온도에 따른 액체의 휘발성 구분

아민류는 NH기와 NH₂기를 가지고 있어 수소결합이 가능하다. NH기 보다는 NH₂기가 더 강한 수소결합을 할 수 있다. 그러한 알콜이나 수산화기를 가진 분자들은 질소보다 더 전기음성도가 높은 산소를 포함하고 있어 NH₂기를 가진 물질보다 더 많이 수소결합을 할 수 있다. 에틸아민의 끓는점은 268.8℃

로 알려져 있으며, 이 온도 이하에서는 액체 상태로 존재한다고 할 수 있으며 이 이상의 온도에서는 기체 상태로 바뀌게 된다. 즉 상온인 25℃에서는 액체로 존재하게 된다. ILO의 가이드에 따르면 끓는점이 높아 휘발 가능성이 매우 낮아 저휘발성(low volatility) 물질에 속한다고 할 수 있다([그림 1-1] 참조).

(5) 증기밀도(vapor density)

증기밀도는 동일 온도와 압력 조건하에 기준 가스(예: 공기)와 비교하여 동일체적에 대한 상대 질량을 나타내는 지표이다. 증기밀도와 온도, 압력간의 관계는 보일샤를의 법칙에 의해 압력이 증가하고 온도가 감소할수록 증기밀도 값은 커지게 된다. 황산과 같이 상온에서 액체로 존재하는 물질은 액체에서 기체상태로 변화하는 끓는점 온도 이상에서 증기밀도를 측정할 수 있으며, DEOA의 경우 끓는점 온도에서의 증기밀도는 공기를 기준으로 할 때 3.65이며 공기보다 무겁다는 것을 알 수 있다. 이런 종류의 가스가 밀폐된 실내에서 용기로부터 누출된다면 바닥 부분에서 높은 농도로 한 곳에 모여서 낮은 부분으로 흘러가는 경향을 보이게 된다. 가연성 가스 또는 가연성 액체의 증기가 어느 농도 이상이 되면 특히 중대한 화재의 위험을 갖게 된다. 만약 그 물질이 건강상 위험을 일으키게 되며 인화성이 있는 경우 누출을 탐지할 수 없어 대형화재의 원인이 되기도 한다.

(6) 증기압(vapor pressure)

압력이란 단위 면적에 가해지는 힘의 크기로 정의할 수 있다. 따라서 압력은 힘과 면적의 단위로 표시되며 다양한 단위로 압력을 표현할 수 있다. 측정된 압력 값은 대기의 가스에 의한 압력과 비교가 되므로 대기 압력에 대한 정의를 먼저 고려하여야 한다. 대기압은 고도, 경도, 온도 등에 따라서 변하기 때문에 상대적 개념이며, 보통 경도 45°, 해면에서의 평균 압력으로 정의된다. 1기압은 14.7 lb/in^2 , 1.01325×10^5 파스칼이다. 1기압은 수은 기둥 760mm, 마노미터의 물의 높이는 1035.6cm를 지탱할 수 있다. 해수면에서 진공의 공간까지의 공기기둥의 힘을 지표면의 수은 기둥이나 물기둥에 적용시킨다면 다음과 같은

압력 단위를 갖는다.

$$\begin{aligned} 1\text{기압} &= 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 76 \text{ cmHg} = 0.76 \text{ mHg} = 760 \text{ torr} = 1031.6 \\ \text{cmH}_2\text{O} &= 1013.25 \text{ millibar} = 29.92 \text{ " Hg} = 406.14 \text{ " H}_2\text{O} = 33.93 \text{ ft H}_2\text{O} = \\ 14.70 \text{ psia} &= 14.7 \text{ lb/in}^2 = 1.013 \text{ bar} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \times 10^5 \text{ pascals} \end{aligned}$$

압력과 몰분율, 온도, 체적간의 관계는 다음의 식을 통해서 알아볼 수 있다.
일정한 전체 체적과 온도 하에서는 압력은 몰분율과 같다.

$$P_a \propto n_a$$

구성분 A의 경우

$$P_a V_T = n_a RT$$

일정한 전체 압력(P_t)과 온도 하에서는

$$\begin{aligned} P_a &\propto n_a \quad \text{또는} \\ P_T V_a &= n_a RT \end{aligned}$$

두 공식을 합치면

$$P_a V_T = P_T V_a$$

다시 표시하면,

$$\frac{P_a}{P_T} = \frac{V_a}{V_T}$$

그런데 V_a/V_T 는 a 구성분의 농도와 같다. 따라서 P_a/P_T 는 또한 a의 농도와 같다.

증기는 상온에서 액체 상태이던 것이 증발하여 기체화된 것으로 일반적으로

탄소수가 5개 이상인 포화탄화수소계 화합물과 방향족, 치환족 화합물 등의 유기용제가 해당된다. 증기압(vapor pressure)은 액체 또는 고체에서 증발하는 압력으로 정의할 수 있으며 증기장력(蒸氣張力)이라고도 한다. 액체 표면에서는 끊임없이 기체가 증발하는데, 밀폐된 용기의 경우 어느 한도에 이르면 증발이 일어나지 않고, 안에 있는 용액은 그 이상 줄어들지 않는다. 그 이유는 같은 시간 동안 증발하는 분자의 수와 액체 속으로 용해되는 기체분자의 수가 같아져서 증발도 액화도 일어나지 않는 것처럼 보이는 동적평형상태가 되기 때문이다. 이러한 상태에서는 물질이 2상(相) 또는 3상으로 존재할 수 있으며 증기압은 어느 물질이 기체, 즉 증기 상태로 변환되려고 하는 경향을 나타내는 척도이며 온도에 따라 증가한다. 이 상태에 있을 때 증기가 나타내는 압력을 포화증기압이라 하고, 그 때의 농도를 포화농도라고 한다. 액체의 표면에서 증기압이 대기압과 같게 되는 온도를 액체의 끓는점이라고 한다.

산업보건학적으로 물질의 증기압을 알면 포화농도를 계산함으로써 공간 중 존재하는 최대 농도를 추정할 수 있기 때문에 증기압은 매우 유용한 지표이다. 증기압과 포화농도와의 관계는 다음식과 같다.

$$\text{공기 중 포화농도(ppm)} = \frac{\text{증기압(mmHg)}}{\text{대기압(760 mmHg)}} \times 10^6$$

물질의 증기압이 높으면 휘발성이 좋은 액체라고 할 수 있다. 휘발성은 액체 또는 고체가 기체상태로 변하기가 쉬운 성질이다. 증기압은 액체의 증기 잠재력으로 측정되고 증기압이 높으면 더 휘발성이 좋은 액체이다. 즉 공기 중으로 휘발되어 흡입을 통해 인체에 영향을 줄 수 있게 된다. 증기압이 높은 물질은 증발이 잘 되어 공기 중에서 쉽게 높은 농도를 형성하기 때문에 국소 배기장치의 설치 등을 통해 관리를 철저히 해야 한다. 또한 역학조사를 수행할 때 과거의 노출자료가 없을 경우 극단적인 노출수준을 추정하는 지표로도 활용할 수 있다.

DEOA의 증기압은 0.01 mmHg(20℃ 기준)로 매우 낮은 편에 속해서 저휘발

성 물질이다. 공기 중 포화농도를 상기의 식에 대입하여 계산하면 최고 13 ppm 정도 밖에 도달하지 못한다. 이를 통해 상온에서는 공기 중 포화농도가 낮아 흡입을 통해 인체에 미치는 영향은 낮을 것으로 판단된다.

(7) 증발률

증발률이란 액체 상태의 물질이 단위 시간동안 단위 면적 당 증발되는 양을 기준 물질의 증발량과 비교한 비율을 나타내며 단위가 없는 상수 값이다. 따라서 증발률을 나타낼 때는 기준 물질명을 함께 표기해야 한다.

<표 1-3>은 노말 부틸초산(Butylacetate)을 기준물질로 사용했을 때 상대적인 물질별 증발률을 예를 나타낸 것이다. 산업보건학적으로 증발률은 폭발위험 또는 공기 중 흡입 노출 위험을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며 증발률이 높은 물질일수록 공기 중 흡입 노출 위험이 높다고 할 수 있다. 따라서 증발률은 물질의 증기압과 끓는점과 밀접한 관계를 갖는다. 증기압이 높은 물질일수록 증발률이 크며, 끓는점이 낮은 물질일수록 증발률은 커진다.

<표 1-3> 물질별 증발률 비교

증발속도	증발률(부틸초산 = 1.0)	물질
빠름	> 3.0	Methyl Ethyl Ketone = 3.8
		Acetone = 5.6
		Hexane = 8.3.
중간	0.8 to 3.0	95% Ethyl Alcohol = 1.4
		Naphtha = 1.4
느림	< 0.8	Xylene = 0.6
		Isobutyl Alcohol = 0.6
		Water = 0.3
		Mineral Spirits = 0.1

DEOA은 앞서 살펴보았듯이 증기압이 매우 낮으며, 끓는점도 268.8 ℃로 높았으며 증발률도 0.01 이하로 상기의 표에서 보듯이 매우 느린 증발 물질이라

고 할 수 있다. 따라서 증기상으로 흡입 노출 될 위험은 상당히 적다고 할 수 있다.

(8) 냄새의 서한도(odor threshold)

화학물질에 대한 냄새를 처음에는 쾌적과 불쾌로 구분하였으나 수 세기 흘러 스웨스의 과학자인 Linnaeus가 ① 강한 향기(aromatic - strong pleasant smell), ② 향기(fragrant), ③ 사향냄새(musky), ④ 악취(garlicky), ⑤ 불쾌(repulsive), ⑥ 메스꺼움(nauseous) 등으로 나누게 되었다. 20세기에 들어서는 네덜란드의 생리학자가 에테르향의 과일향(ethereal)과 유기물이 탄 냄새(empyreumatic)를 분류체계에 추가시켰다. 최근에 냄새 서한도 농도를 결정하거나 정량화하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

독일의 작업장 건강유해요인 조사위원회(German Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, 짧게 MAK 위원회라고 함)에서 MAK에 대해“근로자가 하루 8시간, 주 40시간, 긴시간동안 반복적으로 노출되어도 근로자의 건강에 해로운 영향이나 과도한 불쾌감(메스꺼운 냄새)을 야기시키지 않는 작업환경 공기 중 화학물질의 최대농도”로 정의하고 있다. MAK 위원회에서는 과도한 불쾌감도 노출기준 설정의 근거가 된다고 설명하고 있다. ACGIH에서도 이와 유사하게 건강상의 손상과 관련이 있다면 포함될 수 있다고 한다. 최근에는 냄새, 맛, 일반적인 감각(자극 등)에 대한 인체의 화학감지시스템(Chemosensory)과 노출기준을 연결시키려는 연구가 이루어지고 있다.

산업보건학적으로 활용되는 예로 냄새 서한도를 비교함으로써 작업자에게 물질에 대한 경고표시로 활용할 수 있다. 1958년에 산업보건 발전에 큰 기여를 한 패티(Patty)는 산업위생전문가는 산업체에서 중요한 가스나 증기에 대한 냄새를 감지할 수 있어야 하며 그 농도까지 예측할 수 있어야 한다고 했다. 일부 사람들은 그 물질의 냄새와 농도까지 파악하는 방법을 훈련받기까지 하였다. 그러나 훈련받은 사람들도 온도, 습도 등 환경인자의 변동과 감기나 알레르기 같은 개인적 특성으로 인하여 매일 변이가 있었다. 예를 들어 톨루

엔의 경우 노동부 노출기준은 100 ppm이고 냄새 서한도는 0.16 ppm 이라면 적어도 톨루엔 냄새를 느끼지 못한다면 노출기준과 비교할 때 노출수준이 매우 미미할 것으로 판단할 수 있는 것이다. 그러나 벤젠과 같이 노출기준은 1 ppm 이고 냄새 서한도는 8.65 ppm 인 경우 벤젠 냄새를 느끼는 수준에는 벌써 노출기준을 8배 이상 초과한 경우이기 때문에 적절한 경고표시로 활용할 수 없다고 할 수 있다. 따라서 현장의 작업자에게 취급하는 물질의 노출기준과 냄새 서한도에 대한 교육을 통해 적절한 경고표시로 인지할 수 있도록 활용할 수 있을 것이다.

DEOA은 약한 암모니아 냄새가 나는 물질로 냄새 서한도는 <표 1-4>에 나타난 것처럼 0.27 ppm이다. ACGIH에서 제안하고 있는 노출기준은 0.46 ppm 이기 때문에 냄새서한도는 기준 대비 약 59%에 해당한다. 보통 냄새서한도가 노출기준의 10% 이하이면 기준 대비 노출 농도에 대한 좋은 경고 기준이 되어 건강장해 예방에 기여할 수 있을 것으로 간주되고 있다. DEOA의 경우는 냄새서한도가 비록 노출기준에는 미치지 못하지만 기준의 10%를 훨씬 초과하기 때문에 기준 대비 경고치가 되지 못한다고 할 수 있다.

<표 1-4> DEOA의 냄새 서한도와 자극을 일으킬 수 있는 수준
(1989년 미국 산업위생학회)

화학물질	냄새 서한도(ppm)	냄새	ACGIH TLV-TWA
DEOA	0.27	암모니아성 냄새	0.46 ppm

※참고

* 범위 중 최저 냄새서한도는 실험자 중 한 사람이라도 감지하는 농도이며, 최고 냄새서한도는 실험자 100%가 감지하는 농도임(Ruth, Jon H., Odor Thresholds and Irritation Levels of Several Chemical Substances: A Review, 1986, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J* (47) 142-151)

** 공기 중 냄새서한도는 기하평균(GM, geometric mean) 값이다(AIHA, 1989).

(9) 물에 대한 용해도(溶解度, solubility)

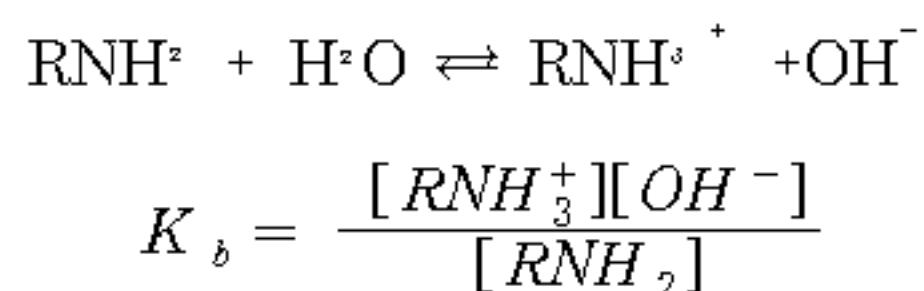
용해도는 포화용액중의 용질의 농도를 나타내며 용매·용질에 따라서 서로 다른 값을 가진다. 또 용질이 고체나 액체인 경우 용해도는 온도가 증가할수

록 용해도가 증가하지만 기체의 용해도는 온도와 압력의 함수로써 일반적으로 온도가 올라가면 감소한다. 단위로서는 용액의 무게에 대한 용질의 무게의 백분율(%) 등으로 표현할 수 있다. 산업보건학적으로 물질의 용해도는 취급상 노출가능한 물질의 형태를 파악하는데 참고자료로 활용할 수 있다. 보통의 아민류는 물에 잘 녹지 않는다. 그러나 에틸아민과 같이 탄소수가 5개 미만인 물질은 물에 매우 잘 녹는 성질이 있는 것으로 알려져 있다. 탄소수가 5개 미만인 물질의 질소원자의 극성기가 탄화수소부분의 소수성을 극복하여 전체적으로 극성을 띄게 된다. 이러한 친수성의 성질은 흡입 시 호흡기의 상기도 부분에서 흡수되어 호흡기계에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다. 또한 ACGIH에서 노출기준을 제안할 때도 자극 반응을 근거로 제안하고 있다.

(10) pH(potential of hydrogen)

pH는 산, 알칼리 정도를 나타내는 지표로써 pH 7인 상태를 중성이라 하고 7보다 작은 값일수록 산성도가 강하다고 할 수 있고 7보다 클 경우 알칼리성이 강하다고 할 수 있다. 각 물질별 pH 값은 해당 물질의 분자량에 대한 H^+ 이온과 OH^- 이온 수의 비율인 그램 당량수에 따라 달라지게 되는데 이 지표를 용질 1 그램 당량에 대한 1ℓ 속에 녹아 있는 용질의 양으로 나타내는 노르말농도(N)라고 한다. 산업보건학적으로 pH가 낮은 강산성 물질일수록 부식성이 강하고 인체의 눈과 피부에 노출되었을 경우 심한 자극과 부식을 일으킬 수 있어 안전한 물질 취급의 중요한 지표로 활용할 수 있다.

알킬아민들과 알카놀아민은 유기용매와 수용성 용액에서 염기로 작용한다. 아민의 염기성을 나타내는 한 가지 방법은 물과의 반응에 중심을 두어야 한다. 아민과 물의 산-염기 반응의 평형상수를 K_b 라고 한다.



그리고 이것을 pK_b 로 간단하게 나타내면

$$pK_b = -\log_{10} K_b$$

화합물의 염기성이 강할수록 낮은 pK_b 값을 갖게 된다. 이러한 방법으로 측정하면 알킬아민은 3~5의 pK_b 값을 갖고, 알릴아민(arylamine)의 pK_b 값은 9~10, 파이롤(pyrrole)의 pK_b 값은 13.6이다. 암모니아의 pK_b 값은 4.76이다. <표 1-5>에서 보는 것처럼 본 연구의 대상 물질인 DEOA는 pK_b 값이 5.12, pK_a 값은 8.88이며, 암모니아 보다 더 약한 염기성 물질임을 알 수 있다.

<표 1-5> DEOA과 암모니아의 염기성 비교

Amine	Formula	pK_b	pK_a
암모니아 (Ammonia)	NH_3	4.76	9.24
디에탄올아민 (Diethanolamine)	$(CH_3CH_2)_3N$	5.12	8.88

일반적으로 1차 아민은 암모니아보다 더 강한 염기성이고, 2차 아민은 3차 아민보다 염기성이 더 강하다. 사슬의 길이 즉, 탄소원자가 4, 5개까지 증가하면 염기성의 세기가 감소하는 경향이 있다. 에틸렌아민과 같은 디아민류(Diamines)도 강한 염기로 작용한다. 알카놀아민류는 아민으로 치환되는 것보다 더 약한 염기이다.

(11) 점도(viscosity)

액체의 점성도란 흐름에 대한 저항을 말하며, 점성도가 클수록 흐름이 느리다. 점성도는 일정한 양의 액체가 모세관을 통해 흘러가는 시간을 측정하거나, 주어진 반경의 쇠구슬이 액체관을 통해서 아래로 떨어질 때 걸리는 시간을 측정해서 비교할 수 있다. 점도 혹은 점성도는 형태가 변화할 때 나타나는 유체

(流體 : 액체나 기체)의 저항, 또는 서로 붙어 있는 부분이 떨어지지 않으려는 성질을 나타내는 지표이며 점성의 반대되는 성질을 유동성이라고 하는데, 이는 어떤 물질이 잘 흐르는 정도를 나타내는 것이다. 유체의 한 부분이 움직일 때 인접한 부분이 같이 따라 움직이기 때문에 점성은 분자들 사이의 내적 마찰이라고 생각할 수도 있다. 이때 마찰은 유체 내에서 속력의 차이가 생기는 것을 저지하려는 힘이다. 점성은 유체를 윤활유로 사용하거나 파이프 라인을 통해 운반할 때 생기는 저항력을 산출할 때 고려해야 하는 주된 요소이다. 분무(噴霧), 주입식 조형(造形), 도장(塗裝) 같은 과정에서 점성은 액체의 흐름을 조절하는 지표로 활용된다. 대부분의 유체에 대하여 흐름을 일으키는 접선 방향의 응력 또는 전단응력은 전단변형률에 정비례한다. 즉 전단응력을 전단변형률로 나눈 값은 같은 액체일 경우 주어진 온도에서는 일정하다. 이 일정한 값(상수)을 동적 점성도, 또는 절대점성도라고 부르는데 흔히 단순히 점성도 혹은 점도라고 한다. 이와 같은 방식으로 움직이는 유체의 점성을 최초로 수학적으로 공식화한 뉴턴의 이름을 따서 뉴턴 유체라고도 부른다. 액체의 점도는 온도가 올라가면 급속히 감소하고, 반대로 기체의 점도는 온도가 올라가면 증가한다. 그러므로 열을 가하면 액체의 유동속도는 빨라지지만 기체의 유동속도는 더 늦어진다.

동적 점성도의 크기는 힘에 단위면적당 시간을 곱한 값이다. 따라서 점성의 단위는 $N \cdot s / m^2$ 이며, N / m^2 은 압력의 단위이므로 압력을 나타내는 Pa(파스칼)로 바꾸어 표현 할 경우 점도는 $Pa \cdot s$ 로 나타낼 수 있다. 점성도를 나타내는 다른 단위로는 프랑스 과학자 Jean Louis Poiseuille의 이름을 따서 PI(Poiseuille) 혹은 P(poise) 등이 있다. 주요 단위사이의 관계는 다음과 같다.

$$1 \text{ Poiseuille(PI)} = 1 \text{ Pa} \cdot s = 10 \text{ poise(P)} = 1000 \text{ centi-poise(cP)}$$

물리적 성질은 분자간 힘과 밀접한 관계가 있다. 액체 분자간 힘이 강할수록 표면에서 탈출하기 어려우므로 증기압이 작으며, 증기압이 낮으면 높은 온도에서 끓게 된다. 즉, 분자간 힘이 강하면 끓는점이 높다. 표면적을 넓히기 위해서는 분자 간 인력에 대항하여 분자들을 떼어 놓아야 하므로 분자간 인력

이 강할수록 표면 장력이 크다. 또한, 액체의 점성도도 분자간 힘이 강할수록 대체로 크다.

DEOA의 점도는 30℃에서 351.9 cP, 60℃에서 53.85 cP이다. 참고로 다른 물질과 비교하면 트리에틸아민의 점도는 $0.431 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 이며, 수증기의 경우 0.125 cP, 에틸렌글리콜 19.9 cP, 올리브유 84 cP, 그리고 점성이 매우 큰 꿀의 경우 3,000 cP 정도이다.

(12) 분배계수(partition coefficient)

화학물질이 서로 섞이지 않는 이상간(二相間), 예를 들면 물과 공기, 물과 유기용매 간에 있어서 분배방법을 나타낸 값으로 보통은 평형에 있는 이상(二相)에서 농도 비의 상용대수 값으로 나타낸다. 환경 과학적으로 공기-물 사이에 있어서의 분배계수 및 물-옥탄올 사이에 있어서의 분배계수가 중요하며 특히 물과 옥탄올에 대한 분배계수는 화학물질이 환경 중으로 배출된 후 생물 농축성의 지표로도 활용할 수 있다. 물-옥탄올 분배계수는 다음식과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{Log}(K_{ow}) = \text{Log}\{\text{옥탄올 중 물질 농도} / \text{물 중 물질 농도}\}$$

에틸아민의 물-옥탄올 분배계수(Log K_{ow}) 값은 25℃에서 -1.44로 보고되었다. 일반적으로 물-옥탄올 분배계수(Log K_{ow}) 값이 1 이하인 경우 물에 대한 용해도가 매우 높고 유기체에 생물학적 농축 가능성이 작다고 할 수 있으며, 값이 4 이상인 경우 소수성이 높고 생물학적 농축가능성이 높다고 할 수 있다.

(13) 단위(Unit)

단위란 어떤 물리량(物理量)의 크기를 나타낼 때 비교의 기준이 되는 크기로 가스와 증기에 대한 공기 중 물질의 양인 농도(concentration)를 표시하기

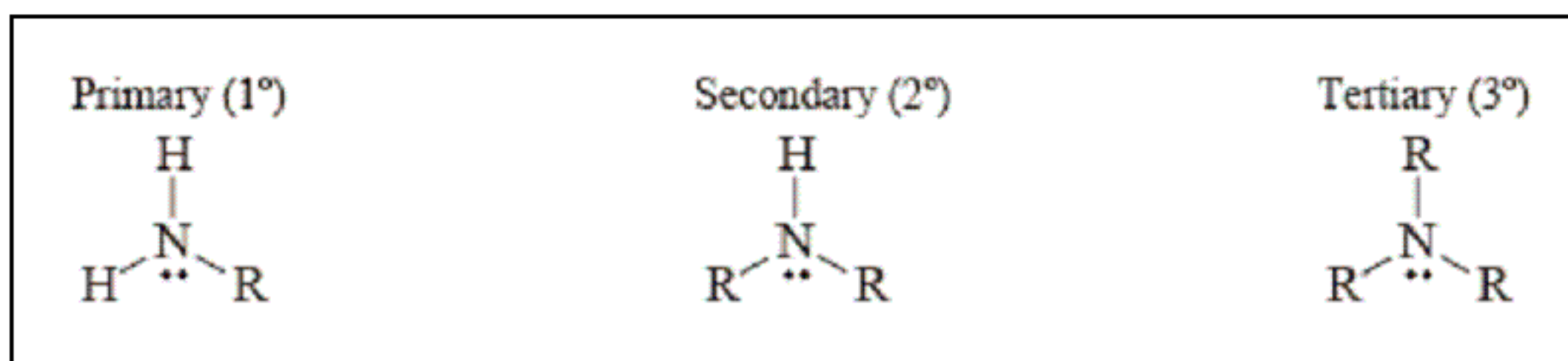
위해서 사용하는 단위는 ppm(parts per million)이나 입방미터당 밀리그램(mg/m³) 등이다. 온도, 기압 등 물리적 조건에서는 두 단위 모두 기압에서는 1기압(760 mmHg)을 기준으로 하고 있으나 온도 부분에서는 우리나라를 비롯한 미국 등의 나라에서는 25℃, 유럽 대부분의 나라에서는 20℃, 1기압(760 mmHg)을 기준으로 하고 있어 ppm과 mg/m³ 두 단위 간 전환 공식이 다음과 같이 약간 다르다.

$$25^{\circ}\text{C에서 } \text{mg/m}^3 = \text{ppm} \times \frac{\text{분자량}}{24.45}$$

$$\text{ppm} = \text{mg/m}^3 \times \frac{24.45}{\text{분자량}}$$

$$20^{\circ}\text{C에서 } \text{mg/m}^3 = \text{ppm} \times \frac{\text{분자량}}{24.04}$$

$$\text{ppm} = \text{mg/m}^3 \times \frac{24.04}{\text{분자량}}$$



[그림 1-2] 모노아민 중 1차, 2차, 3차 아민의 구조식

에틸아민의 두 단위간 단위전환인자는 25℃, 1기압(760mmHg) 조건에서 1ppm은 4.29mg/m³과 같고, 1mg/m³는 0.23 ppm과 같다.

다. 화학적 성상

지방족 아민류는 질소 원자에 붙은 수소가 다른 물질로 치환된 수에 따라 1차, 2차, 3차 아민으로 분류할 수 있다. [그림 1-2]와 같이 만약 하나의 기(基, 레디칼, radical)가 치환된다면 1차 아민이 된다. 상세한 분류체계는 다음과 같다.

□ **모노아민(Monoamine):** 1개의 아미노기(基)를 가진 아민화합물

- 1차 아민(1° , primary)
- 2차 아민(2° , secondary)
- 3차 아민(3° , tertiary)
- 불포화 아민(unsaturated)
- 지환식(指環式, alicyclic) 아민

□ **폴리아민(polyamine) :** 1개 이상의 아미노기를 가진 화합물

□ **알카놀아민(Alkanolamonies)**

DEOA의 반응성 및 연소성과 관련한 화학적 성상에 대한 내용은 다음 <표 1-6>과 같이 정리할 수 있다.

<표 1-6> DEOA의 화학적 성상

항 목	내 용
불안정 조건	공기, 빛, 습기, 137℃ 이상의 온도
금기	산화제, 강산, 무수산(acid anhydrides), 아실할라이드(acyl halides), 알킬 및 알릴할라이드(aralkyl halides), 니트로화물(nitrosating agent, 질산, 질소산화물 등), 구리, 구리합금, 아연
유해한 중합체	존재하지 않음.
인화점	137.8~148 ℃ (밀폐상태)
자연발화온도	662 ℃
공기중연소농도 (Vol. %)	하한 1.6(10% LEL, 1,600 ppm), 상한 9.8
유해분해산물	보고되지 않음.
소화제	CO ₂ 소화제, 건성 화학물질 파우더, 알코올 포말, 중합체 포말, 수증기, 물 스프레이
특별유의사항	플라스틱류, 고무류, 피복제를 상하게 함.

(1) 반응성

DEOA은 2차 아민과 1차 알코올의 특징적인 반응을 하게 된다. 불안정한 조건은 공기, 빛, 습기, 137℃ 이상의 온도 등이 있는 조건이다. DEOA이 화재, 폭발, 인화성 및 독성화학물질이 생성되는 유해한 상황을 초래하는 화학반응은 산화반응과 격렬한 반응이다. DEOA은 산화제(쉽게 산화되고 격렬하게 반응), 강산(격렬하게 반응), 무수산(acid anhydrides, 격렬하게 반응), 아실할라이드(acyl halides, 격렬하게 반응), 알킬/알릴할라이드(aralkyl halides, 격렬하게 반응) 니트로화물(nitrosating agent, 질산, 질소산화물 등과 격렬하게 반응) 등과 격렬하게 반응하기 때문에 금기시 된다. 또한 구리, 황동, 청동 등 구리 합금과 아연, 아연 도금된 철 등을 부식시키는 성질이 있다.

이런 격렬한 반응은 반응을 냉각시키는 등 적절한 대책을 실행한다면 많은

반응을 위험하지 않게 안전하게 수행할 수 있다. 비록 완벽하게는 아니지만 일반 화학물질이 포함되는 중요한 반응의 전반적인 개요를 알 수 있다면 안전한 작업방법을 개발하는데 많은 도움이 된다.

(2) 인화점(flash point)

인화점이란 물질이 가연성(可燃性, 물질이 타기 쉬운 성질) 증기를 충분히 발생하여 외부의 발화원에 노출이 되면 불이 붙을 수 있는 최저 온도이다. 인화점 온도는 발화원이 있을 경우 점화될 수 있는 최저 온도라는 점에서 자연 발화점(autoignition temperature)과 구분되며 착화원을 제거할 경우 더 이상 발화 하지 않기 때문에 발화점(fire point)과도 구분된다. 발화점은 착화원이 없어도 공기와 반응하여 지속적으로 연소될 수 있는 최저온도를 말하여 일반적으로 인화점보다 높다고 할 수 있다. 인화점의 측정은 밀폐컵 용기(closed cup apparatus)에 대상 물질을 넣고 공기에 노출시킨 후 온도를 높이면서 점화원을 주기적으로 접촉시켜 최저 점화온도를 확인하게 된다. 인화점은 물질마다 갖고 있는 증기압과 온도변화와의 관계에 의해 결정되어 물질 특유의 값을 보이며, 주로 액체의 인화성을 판단하는 수치로서 중요하다. 인화점을 넘어서 가열을 더 계속하면 불꽃을 가까이 댔을 때 계속해서 연소하는 온도에 이른다. 이 온도를 연소점이라고 하여 인화점과 구별한다. DEOA의 인화점은 밀폐상태에서 137.8~148 °C, 개방상태에서는 152 °C로 보고 되고 있다.

미국 산업안전보건청(OSHA, Occupational Safety and Health) 기준(29 CFR 1910.106)에서는 인화성(flammable)과 가연성(combustible) 액체에 대한 기준을 다음의 <표 1-7>과 같이 6단계로 나누어 관리하고 있는데, DEOA에 대해서는 인화점이 137.8~148 °C 이므로 가장 낮은 Class IIIB의 가연성 액체로 분류하고 있다. 인화점은 소방안전의 측면에서도 매우 중요한 지표이다. 미국소방협회(National Fire Protection Association, NFPA)에서는 물질의 인화성에 대해 0 - 4점까지의 경고점수를 주고 있다.

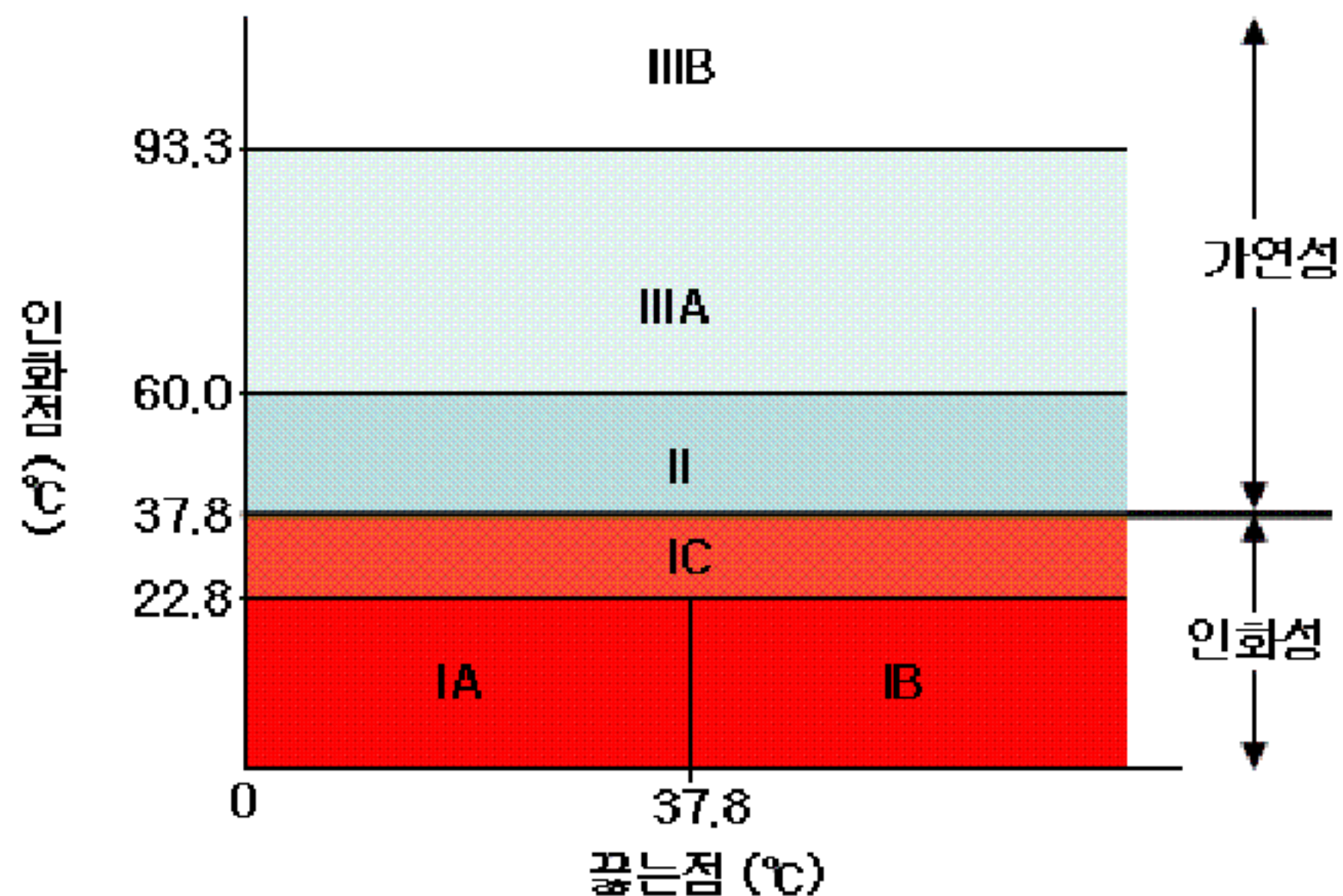
<표 1-7> NFPA 및 OSHA의 인화성(flammable) 및 가연성(combustible) 액체 분류

등급			인화점	끓는점	NFPA 경고기준	
					경고점수	경고내용
Class I	A	인화성 액체	22.8℃ 미만	37.8℃ 미만	4	인화성 매우 높음
	B	인화성 액체	22.8℃ 미만	37.8℃ 이상	3	인화성 높음
	C	인화성 액체	22.8~37.8℃	-		
Class II	A	가연성 액체	37.8~60℃미만	-	2	인화성 보통
Class III	A	가연성 액체	60~93℃미만	-		
	B	가연성 액체	93℃ 이상	-	1	인화성 낮음

* NFPA의 경고점수 0점(인화성 없음) : 815℃에서 5분 동안 공기 중 노출 시에도 연소되지 않는 물질

<표 1-7>은 인화성과 가연성을 구별하기가 힘들다. 좀 더 이해하기 쉽게 끓는점과 인화점을 고려하여 [그림 1-3]과 같이 인화성과 가연성으로 구분하여 나타낼 수 있다. 에틸아민은 끓는점이 268.8 ℃이고 인화점이 137.8~148 ℃ 이므로 Class IIIB에 속하는 가연성 물질로 분류할 수 있다.

점수로는 1점이 주워져 먼저 예열이 되면 발화가 일어날 수 있는 물질로 분류하고 있다.



[그림 1-3] 인화성 및 가연성 분류

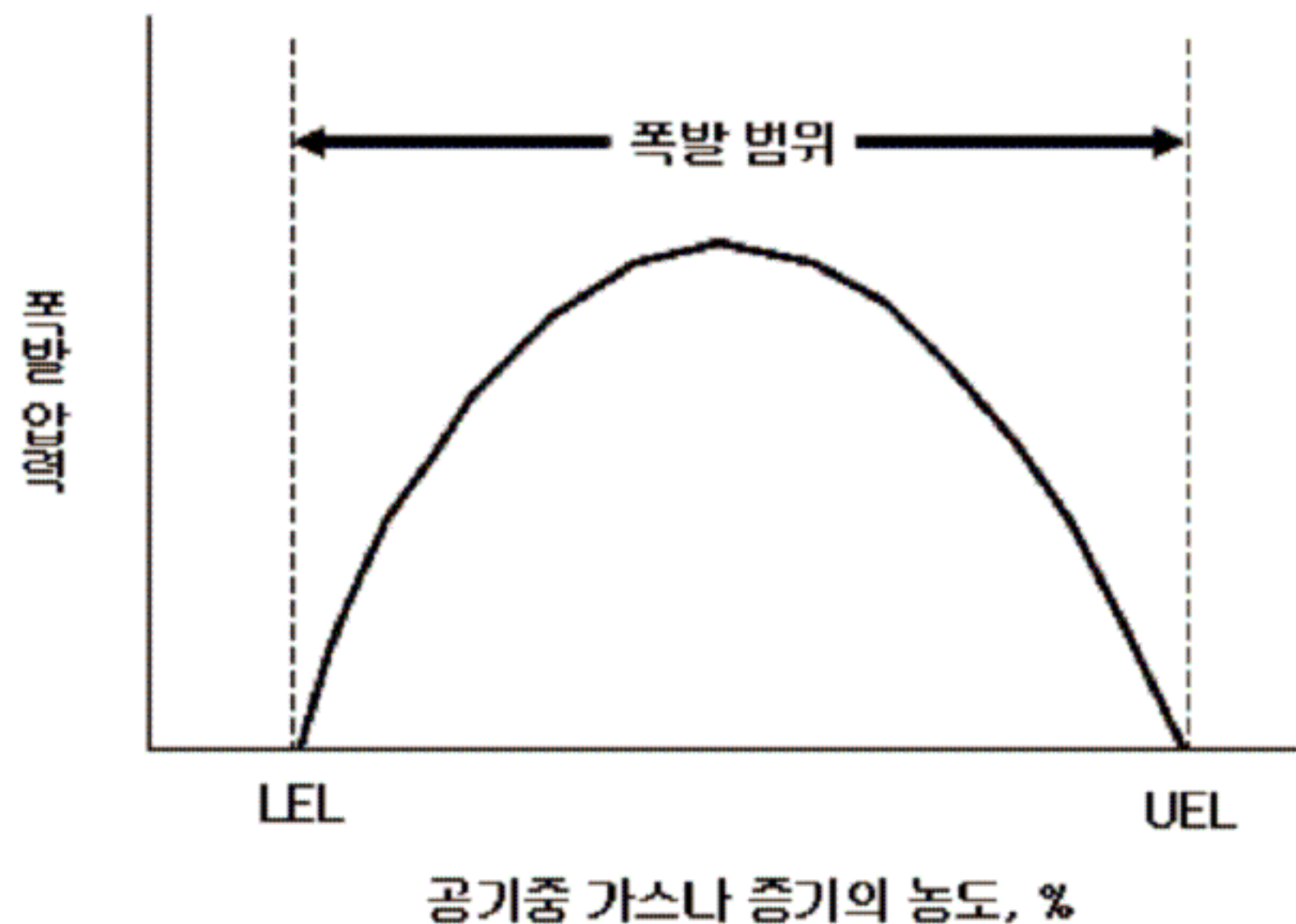
(3) 자연발화온도

자연발화점은 정상적인 공기 조건하에서 스파크나 불꽃과 같은 특별한 점화원 없이 자연적으로 발화하여 연소가 가능한 최저 온도를 말한다. 자연발화점의 측정방법은 인화점 측정방법과 동일한 밀폐컵용기(closed cup apparatus)를 이용한다. 에틸아민의 경우는 662 °C이므로 상온에서는 자연발화가 일어날 가능성이 거의 없다.

(4) 폭발성

폭발은 분해, 신속한 화학반응, 또는 고체에서 액체로 변하는 과정에서 물질이나 화합물 등이 갑작스럽고도 격렬하게 에너지를 방출하는 현상으로 정의된다. 화학물질에 있어서 폭발성은 주로 가연성 가스의 경우 해당하며, [그림 1-4]와 같이 폭발을 일으킬 수 있는 농도범위의 상한과 하한값으로 표현된다. 이때의 상한값을 폭발상한계(Upper Explosive Limit, UEL)라고 하며 공기 중에 함유된 증기나 가스 농도로서 그 이상의 증기 또는 가스 농도에서는 화염의 확산이 이루어지지 않는 최고농도를 말한다. 하한값은 폭발하한계(Lower

Explosive Limit, LEL)라고 하며 어떤 물질이 점화원에 의해 폭발을 일으킬 수 있는 최저농도를 말한다. 폭발하한계와 상한계를 모두 일컬어 폭발한계 (explosive limit)라고 하며, 하한계와 상한계 사이의 농도범위를 폭발범위 (explosive range)라고 한다(소방방재청, 2005).



[그림 1-4] 가스와 증기의 폭발 압력과 폭발 범위

DEOA는 가장 등급이 낮은 가연성 액체 또는 고체이다. 공기 중 폭발(인화) 하한치나 상한치는 상온에서의 공기 중 해당물질의 부피 퍼센트(%)로 나타낸다. DEOA의 연소농도는 하한 1.6 %(10 % LEL, 1,600 ppm), 상한 9.8 %이다.

(5) 기타

DEOA는 강한 열로 가하게 되면 타게 되며, 화재 중에는 자극성이 있고 유독한 질소산화물이 생성될 수 있다. 에틸아민에 의해서 화재가 발생했을 때에는 소화제로 CO₂소화제, 건성 화학물질 파우더, 알코올 포말, 중합체 포말, 수증기, 물 스프레이 등을 사용하여 소화하여야 하며 수증기와 물 스프레이는 거품을 형성하게 된다. 또한 DEOA는 금속류인 구리, 청동/황동 등 구리합금, 아연 등을 공격하여 부식시키는 특성이 있다.

2. 취급현황

가. 업종별 공정별 DEOA 사용용도

Diethanolamine(이하 DEOA라 함)은 대략 9-10개 업종에서 사용되는 것으로 조사되었다. 업종에서 DEOA를 사용하는 용도는 비슷하다. DEOA가 가지고 있는 특성을 부여(부가)하기 위한 첨가제나 보조제로 사용되는 경우가 대부분이다. 업종별로 DEOA가 사용되는 원리와 용도를 아래에 설명하였다(<표 2-1> 참조). DEOA를 취급하는 업종 중에서 사용특성(사용량 등), 사용용도 등을 근거로 일부 사업장을 선정한 후 방문하여 공정별 공정분석, 제조 및 사용현황 등과 함께 종합적인 위험성을 평가하였다.

(1) 기타화학제품 제조업: DEOA제조 또는 수입

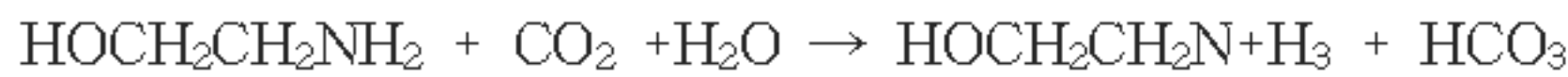
기타 화학제품제조업에서 DEOA를 제조하거나 수입하는 사업장이다. 암모니아와 에탄올옥사이드(EO)가 반응하면 에탄올아민(ethanolamine, 이하 ETA라 함)이 형성된다. ETA에는 monoethanolamine(이하 MEOA라 함), diethanolamine(이하 DEOA라 함), triethanolamine(이하 TEOA라 함)가 혼합되어 있다. 3가지 ETA를 증류탑에서 온도에 따라 분리한다. 분리된 DEOA는 별도의 저장탱크에 보관한 다음 필요에 따라 포장하여 판매한다.

(2) 석유정제품 제조업 : DEOA가 황화수소 흡착

석유정제품 제조업은 원유를 정제하여 각종 화학제품을 분리하고 제조한다. MEOA와 DEOA는 천연가스, 석유(오일)정제, 암모니아합성가스 등에서 나오는 이산화탄소와 황화수소(hydrogen sulfide)를 제거하기 위해 사용된다. 석유를 정제할 때 발생하는 각종 부산물 가스들(gas stream)이 MEOA나 DEOA 있는 층(물과 일정 비율에 혼합)을 통과하면서 황화수소나 이산화탄소 같은 산성가스와 반응하여 염을 아래와 같이 생성하여 흡착한다(Knaak et al., 1997).



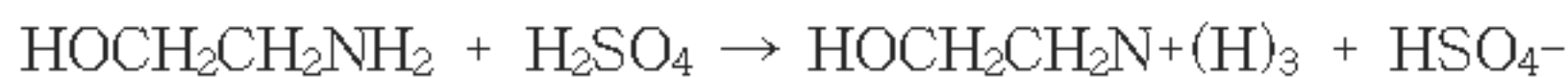
<MEOA> <Hydrogen sulfide>



<MEOA>

(3) 기계, 장비 제조업: 수용성 금속가공유에 DEOA 포함

각종 기계, 장비 등(자동차, 트레일러, 자동차엔진, 부품, 기타 운송장비, 선박 및 보트, 철도장비, 항공기, 우주선 및 부품 제조업 등)을 제조하거나 가공하는 업종에서는 수용성 금속가공유를 사용한다. 수용성 금속가공유에 DEOA가 포함될 수 있다. DEOA를 포함한 에탄올아민들(MEOA, TEOA)은 금속가공유, 오일-천공혼합물(oil-drilling mixtures), 수처리(water treatment), 부동액과 같은 혼합용매에서 부식방지제(corrosion inhibitor)로 유용하게 사용되는 염(salts)을 형성하기 때문이다. 외에도 수용성 금속가공유에 pH를 적정하게 유지하는 역할도 한다. MEOA와 TEOA가 부식방지제를 형성하는 반응식은 아래와 같다(Knaak et al., 1997).



<MEOA> <황산>



<TEOA> <인산>



금속의 표면층을 산화시키고 침투하여 금속부식을 방지하는 인산과 황산 기능을 제공한다. 산화물(oxides)은 매일 금속을 공격하는 산으로부터 금속을 보호한다. 금속가공유에서 염이 요구될 때 TEOA가 사용되고 자유염기(free base)가 필요할 때 MEOA가 사용된다. 실제로 수용성 금속가공유에서 방청제

로써 DEOA보다 MEOA나 TEOA가 더 많이 사용된다.

(4) 화합물 및 화학제품 제조업: 화학물질에 DEOA를 혼합

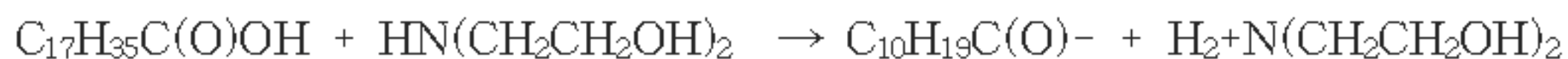
화합물 및 화학제품 제조업은 각종 화학물질을 혼합하여 혼합물을 제조하는 업종이다. 화합물에 단순히 DEOA를 첨가하여 혼합함으로써 또 다른 제품을 제조한다. 예를 들면 PPG(polyol)에 DEOA를 첨가하여 플라스틱에 신축성을 부여하거나 수용성 금속가공유에 DEOA를 첨가한다.

(5) 의약품 제조업: 주사제 등 의약품에 DEOA첨가

DEOA와 같은 에탄올유도체는 약이나 anesthetics의 제조에 사용된다. DEOA는 제약업종에서 유기용제로 사용된다. Sulfoxazole과 같은 약과 같은 용액상태의 DEOA는 정맥으로 투여된다. 또한 화상치료에도 사용된다. 이외에도 DEOA를 포함한 에탄올아민은 아교, 접착제, 고무, 제초제 등의 생산에도 사용된다(Knaak et al., 1997).

(6) 비누제조업: 세제 및 유화제

비누는 일반적으로 왁스형태이고, 비결정형이며, 섬유에 해를 주지 않고, 금속을 부식시키지 않으면 중간 알칼리에 중성이다. 비누는 세제유화제에 광범위하게 쓰인다. 즉 기름, 지방, 왁스와 같은 탄화수소와 물간의 동일한 혼합물을 형성하는데 도움을 준다. 낮은 알칼리도와 높은 수용성이 요구될 때 DEOA가 사용된다. 즉 낮은 알칼리도와 좋은 수용성을 가진 DEOA는 액체 세탁, 식기세척기세제, 화장품, 샴푸, 머리컨디셔너 등에 사용된다. 이런 활용에서 거품개선제 (foam improvers), thickeners, opacifying agents로 사용된다. DEOA는 중성 카르복실레이트(carboxylates)나 알카아놀아민(alkanolamine)을 생성하기 위하여 긴 사슬의 지방산과 결합한다(Knaak et al., 1997)



(7) 섬유 제품제조업

DEOA를 포함한 에탄올아민은 섬유제품제조업에서 광범위하게 쓰인다. 음이온섬유처리제(anionic fiber treatment), 자외선 변색방지제(UV light fade inhibitor), 산수용제(acid acceptor), 정전기방지제(antistatic agents) 등 많은 용도에 쓰인다. DEOA는 음이온섬유 깊숙이 침투하여 섬유의 강도를 증가시키고 마모에 대한 저항을 부여하는 에탄올아미드(ethanolamides)를 만드는데 사용된다. 또한 UV변색방지제로서 사용되는 DEOA와 TEOA는 염색된 섬유에 흡수되어 기능기 그룹이 자외선이 색을 변하게 하는 것을 방지해준다(Knaak et al., 1997).

(8) 시멘트 제품제조업

시멘트 제품제조업(산업분류: 263)에서 DEOA와 같은 에탄올아민은 콘크리트를 만들 때 건조제로서 사용된다. 즉, 시멘트 혼합물에서 시멘트가 빠른 속도로 건조되도록 습기를 흡수하는 건조제로서 작용한다. 주로 이러한 역할을 담당하는 에탄올아민은 DEOA보다는 TEOA가 더 잘 쓰인다(Knaak et al., 1997).

<표 2-1> 업종별 DEOA의 사용용도 및 조사내용 개요

업종 (산업분류)	사용형태 및 특성	사용용도 요약	조사내용
기타화학제품제조업 (산업분류 243)	DEOA제조	제조 판매	위험성평가 건강상의 영향평가(설문)
	DEOA수입	수입 판매	위험성평가 건강상의 영향평가(설문)
석유정제품제조업 (산업분류 232)	DEOA가 원료로 사용	황화수소 흡착	위험성평가 건강상의 영향평가(설문)
화합물 및 화학제품 제조업 (산업분류 24)	수용성수용성 금속 가공유 제조	수용성 금속 가 공유에 첨가	위험성평가 건강상의 영향평가(설문)
	PPG에 DEOA 첨가	플라스틱에 신축 성 제공	위험성평가 건강상의 영향평가(설문)
기계, 장비제조업 (산업분류 29,34,341,342,35,351,3 52,353,359)	수용성 금속가공유 에 DEOA 첨가	pH 조절, 방청제	위험성평가 DEOA 노출평가 Peak flow meter에 의한 호흡기 능 평가
의약품제조업 (산업분류 242)	중간 첨가제	유도체 형성 항히스타민	위험성평가 건강상의 영향평가(설문)
샴푸 및 화장품	중간첨가제	유화분산제, 광택제	문헌조사(Knaak 등, 1997)
비누제조업:세제 및 유화제	중간첨가제	계면활성	문헌조사(Knaak 등, 1997)
섬유제품제조업 (산업분류 17)	중간첨가제	유연제, 가소제, 정련	문헌조사(Knaak 등, 1997)
시멘트제품 제조업 (산업분류 263)	중간첨가제	응고시간 단축	문헌조사(Knaak 등, 1997)
농약제조업	중간첨가제	발아억제제	문헌조사(Knaak 등, 1997)

내용 주

- DEOA : diethanolamine
- PPG : Polyol

나. DEOA 제조 및 사용현황

국내에서 유통되고 있는 DEOA사용량을 파악하여 국내 사용량을 조사하였다. 국내에서 사용되는 DEOA양은 국내 제조량과 수입량을 더한 다음 수출량을 빼서 계산하였다. 화학물질에 대한 국내 제조량 정보는 환경부에서 4 년마다 발간하는 “화학물질 유통량 보고서”가 유일하다. 국내제조량은 DEOA를 제조하는 사업장을 직접 방문하여 년도별 제조량을 조사하였다. DEOA수입량과 수출량은 관세청을 통해 한국무역협회 자료를 요청하여 조사하였다. 본 연구에서 조사한 국내 DEOA 제조량, 수입량, 수출량에 대한 결과를 환경부의 자료와 비교 검토하였다.

(1) 국내 DEOA 제조 및 사용량 현황

국내에서 유통되고 있는 DEOA의 양을 정확하게 조사하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 DEOA의 국내 유통량을 가능한 정확하게 조사하기 위해서 DEOA 제조량, 수출량, 수입량 등을 파악할 수 있는 기관이나 사업장을 모두 조사하였다. 즉, 환경부의 화학물질 유통량 보고서 자료, DEOA를 제조하는 회사를 직접 방문하여 국내 판매량과 수출량 자료 그리고 관세청과 한국무역협회에서 확보한 수입량과 수출량 자료 들을 서로 비교하고 조합하여 2002년부터 최근까지 국내에서 유통되고 있는 DEOA양을 추정하였다.

가) 환경부의 화학물질 유통량조사 보고서 자료

환경부에서 유해화학물질관리법에 의해 2002년에 조사한 “화학물질 유통량 조사결과 보고서”에 의하면 DEOA의 국내 총 사용량은 3,803톤으로 화학물질 중 640위이다. 화학물질 유통량 총량인 287.4백만 톤의 0.00002 %도 되지 않은 매우 적은 양이다. DEOA에 대한 국내 제조량, 유통량, 사용량에 대한 자세한 내용은 <표 2-2>에 제시하였다. 2004년에 총 304.69톤을 제조하고 1,875.2335톤을 수입하여 총 3,803.17톤을 사용하고 있는 것으로 보고 되었다 (환경부, 2005).

<표 2-2> 2002년 DEOA의 국내 유통량 현황

물질명	화학물질 총계(톤)	DEOA, 톤	DEOA/화학물질총계(%)
제조량	26,672,304.31	304.69	0.00002 %이하
사용량	19,396,645.33	3,803.17	0.00002 %이하
판매량	14,036,616.51	없음	
보관/저장량	7,375,233.10	없음	
운반량	3,832,458.73	없음	
수입량	4,365,249.30	1,875.25	0.0002 %이하
수출량	5,549,916.29	없음	

내용 주

- 환경부: '02년 화학물질 유통량 조사결과, 2004
- 화학시장정보: <http://www.ceicinfo.or.kr>
- 약어 : DEOA : Diethanolamine

나) 국내 DEOA제조량 방문 조사

DEOA를 제조하는 국내 사업장은 1개소이다. <표 2-3>의 제조량과 수출량은 생산하는 업체를 방문해서 조사한 자료이다. 여기서 생산하는 DEOA의 양은 2002년 2,500톤, 2003년 1,650 톤, 2004년 2,300 톤 그리고 2005년 10월 현재 3,700 ton으로 많이 늘어나고 있다. 수요가 증가되고 있다고 볼 수 있다. 수출량도 증가되고 있어 2004년 이후 수출이 급격히 증가되고 있다. 국내 소비량이 많은 것으로 볼 수 있다.

<표 2-3> DEOA의 국내 제조량 및 수출량, ton

물질명	제조량 (a+b)	수출량 (a)	국내판매(사용)량 (b)
2002	2,500	9	2491
2003	1,600	50	1,550
2004	2,300	860	1,440
2005년 10월 현재	3,700	1,900	1,800

(2) DEOA 수입량과 수출량

가) 환경부 화학물질 유통량조사 보고서 자료

환경부의 화학물질 유통량 보고서에 의하면 2002년 DEOA의 수입량은 1,875.25 톤이었고 수출량은 없는 것으로 조사되었다. 관세청(한국무역협회) 자료에서도 2002년 DEOA의 수출량은 없는 것으로 나와 있다. 그러나 국내에서 DEOA를 제조한 사업장의 수출현황을 보면 매년 하고 있는 것으로 본 연구에서 확인하였다.

나) 관세청 및 한국무역협회 자료

한국무역협회에서 제공하는 DEOA에 대한 관세청 수출입 통계자료를 정리하면 <표 2-4>과 같다. DEOA에 대한 수입량이 수출량보다 훨씬 많고 연도별 변화가 크지 않은 것으로 조사됐다. 이것은 국내에서 DEOA를 제조한 사업장이 1개소이기 때문이다. 수입량은 2003년 이후 급격히 늘어나고 있다. 특이한 점은 2002년에 DEOA에 대한 수출량은 없는 것으로 나타났다. 환경부의 2002년 DEOA의 수출량도 없는 것으로 조사되었다. 2002년을 제외하고 DEOA는 일정 양이 수출되었다.

<표 2-5>는 DEOA의 수입과 수출에 대한 주요 국가별 구분이다. DEOA 수출은 중국, 방글라데시 그리고 일본이다. 2004년부터 중국으로 수출을 해서 수출량이 증가되고 있는 것으로 보인다. DEOA에 대한 주요 수입국은 일본과 말레이시아이다.

<표 2-4> 연도별 DEOA의 수입 및 수출 현황

년도	수입량		수출량	
	중량(ton)	금액(천불)	중량(ton)	금액(천불)
1988	2,177	1,952	-	-
1989	1,654	2,135	147	201
1990	2,382	2,177	14	14
1991	1,942	1,908	44	59
1992	2,179	1,760	10	22
1993	2,239	1,739	1,137	821
1994	1,781	1,311	3,702	2,936
1995	1,748	1,445	1,030	1,014
1996	2,148	1,900	428	394
1997	1,643	1,684	507	522
1998	289	288	629	580
1999	1,141	1,078	156	145
2000	1,219	1,168	0.4	3
2001	1,365	1,353	519	438
2002	1,863	1,708	-	-
2003	2,972	2,332	64	70
2004	2,934	2,673	862	1,021
2005	2,255	3,008	1,587	2,183

<표 2-5> DEOA의 국가별 수입량과 수출량 통계

단위: US 천\$, kg

구분	국가명	2003		2004		2005(1월~09월)	
		금액	중량	금액	중량	금액	중량
주요 수출국	중국	-	-	1,021	862,400	2,177	1,584,000
	방글라데시	14	12,100	-	-	5	3,080
	일본	57	52,800	-	-	-	-
총계		70	64,900	1,021	862,400	2,183	1,587,080
주요 수입국	일본	757	944,773	1,206	1,282,725	1,336	1,040,647
	말레이시아	1,010	1,385,671	1,093	1,349,721	840	665,064
	대만	216	256,520	179	139,040	568	381,700
	미국	49	58,724	164	136,250	171	103,600
	멕시코	137	176,690	23	23,920	-	-
	이탈리아	35	9,846	8	2,931	-	-
	벨기에	1	250	-	-	-	-
	브라질	13	20,010	-	-	-	-
	독일	114	120,363	-	-	93	64,930
총계		2,332	2,972,847	2,673	2,934,587	3,008	2,255,941

(3) DEOA 국내 사용량

국내에서 사용하는 DEOA양은 수입량과 국내에서 내수용으로 제조한 양을 더한 다음 수출량을 빼면 된다. 2002년부터 2005년 현재(9월말)까지 국내 사용량을 추정하였다. 다른 화학물질에 비해서 DEOA 국내 사용량은 매우 적은 편이다.

가) 2002년 국내 사용량

2002년 환경부의 “화학물질 유통량 보고서”에 의하면 DEOA의 국내 제조량은 304.69 톤, 수입량은 1,875.3톤이고 수출량은 없는 것으로 나타났다(<표 2-2> 참조). 따라서 국내 사용량은 2,180 톤이었다.

나) 2003년부터 최근(2005년 9월)까지의 국내사용량

2003년 이후의 DEOA에 대한 국내 유통량 자료는 보고된 것이 없다. 따라서 한국무역협회의 수출량과 수입량을 조사하고 국내에서 DEOA 제조 사업장을 직접 방문하여 조사한 국내 제조량, 수출량을 비교하고 조합하여 국내 사용량을 구하였다(<표 2-6> 참조). 수출량은 한국무역협회의 자료와 제조회사의 자료가 있다.

<표 2-6> DEOA에 대한 국내 사용량 비교

년도 및 구분		수입량(a), 톤	국내 제조량(b), 톤	수출량(c), 톤	국내사용량 (a+b-c), 톤
2002	환경부 ¹⁾	1,875.25	304.69	해당없음	3,803.17
	한국무역협회 ²⁾	1,863	해당없음	해당없음	
	국내제조회사 ³⁾	해당없음	2,500	9	4,354 =1,863+2,500-9
2003	환경부 ¹⁾	보고자료 없음	보고자료 없음	보고자료 없음	보고자료 없음
	한국무역협회 ²⁾	2,973	해당없음	64.9	4458
	국내제조회사 ³⁾	해당없음	1,550	50	=2,973+1,550-64.9
2004	환경부 ¹⁾	보고자료 없음	보고자료 없음	보고자료 없음	보고자료 없음
	한국무역협회 ²⁾	2,935	해당없음	862.4	3,512
	국내제조회사 ³⁾	해당없음	1,440	860	=2,935+1,440-862
	한국산업안전공단 ⁴⁾	보고자료 없음	보고자료 없음	보고자료 없음	<u>1,883</u>
2005 9월 말	환경부 ¹⁾	보고자료 없음	보고자료 없음	보고자료 없음	보고자료 없음
	한국무역협회 ²⁾	2,256	해당없음	1,587	2,469
	국내제조회사 ³⁾	해당없음	1,800	1,900	=2,256+1,800-1587

내용 주

1) 환경부: '04년 유독물 유통·취급실태 조사결과, 2005

2) 한국무역협회(<http://www.kita.net/>)

3) 본 연구에서 DEOA를 제조한 사업장을 방문하여 파악한 제조량

4) 한국산업안전공단, 2004년 제조업체 작업환경실태 조사, 2005

2003년, 2004년과 2005년의 자료는 거의 일치한다. 한편 2004년에 한국산업안전공단이 실시한 제조업체 작업환경실태 조사에 의해 보고한 DEOA의 국내 사용량은 1,883 톤으로 본 조사에서 파악한 3,512톤에 비해 훨씬 작은 양이다.

결론적으로 한국무역협회의 수출량과 수입량 그리고 제조회사의 국내 제조량을 조합하여 추정한 DEOA 국내 사용량은 2003년은 4,458톤, 2004년은 3,512톤 그리고 2005년 9월까지의 2,469톤이었다. 이러한 양은 국내에서 사용되고 있는 화학물질 총량(19,396,645 톤, 2002년)에 0.0001 % - 0.0002 %로써 매우 적은 양이다.

다. 업종별 DEOA 발생원 및 발생공정에 대한 위험성평가

DEOA를 취급하는 10개 업종에 대한 공정분석, DEOA사용용도 그리고 DEOA위험성을 평가하였다. 공정분석은 DEOA가 관련되는 공정만을 개략적으로 분석하였다. DEOA에 대한 위험성평가는 DEOA의 노출특성, 사용특성 등과 DEOA유해성을 조합하여 공정별 위험을 평가하여 위험등급을 정하였다. 공정별 DEOA에 대한 위험성평가는 표로 요약하여 제시하였다. 위험성 평가표에서 간단하게 요약한 노출특성과 사용특성 등은 7장 “노출실태”에서 그리고 공학적 대책 등은 제 8 장 “취급근로자 건강장해 예방조치”에서 자세히 설명하였다.

(1) 기초화학제품 제조업: DEOA 제조, 판매

가) 공정 및 DEOA 사용개요

① 공정요약

암모니아와 에틸렌옥사이드(ethylene oxide, EO)를 반응시켜 에탄올아민을 만든다음 비점차이에 의해 모노에탄올아민(monoethanolamine, MEOA), 디에

탄올아민(di-ethanolamine, DEOA), 트리에탄올아민(tri-ethanolamine, TEOA)을 분리하여 생산한다. 우리나라에서 생산되는 DEOA의 전량을 제조한다. 이외에도 Ethoxylates, Polyethylene glycol을 생산한다.

② 사용용도

기초화학제품에서 DEOA는 제조된 제품이다. DEOA제조공정에서 DEOA용도는 없다. 기초화학제품제조업은 다양한 화학제품을 제조하는 업종이다. DEOA도 하나의 화학제품에 불과하다. 또한 본 연구에서 조사한 사업장은 국내에서 DEOA를 제조하는 유일한 사업장이다. 따라서 본 연구에서 DEOA를 제조한 사업장에서 조사한 DEOA의 위험성평가에 대한 내용은 동종업종(기초화학제품제조업)에 일반적인 자료로 활용할 수 없다.

나) DEOA가 사용된 공정

① 에탄올아민(ethanolamine, ETA) 반응

암모니아와 에탄올옥사이드(EO)를 반응시켜 에탄올아민(ethanolamine, ETA)을 형성한다. 여기는 MEOA, DEOA, TEOA가 혼합되어 형성된다. 중앙조정실에서 자동으로 공정이 운영된다.

② 암모니아 회수(stripper) 및 물 증발(evaporation)

반응에서 남은 암모니아와 물을 회수한다. 회수된 암모니아와 물은 암모니아탱크로 다시 저장된다.

③ DEOA분리

혼합된 MEOA, DEOA, TEOA를 비점에 따라 차례대로 컬럼을 통과하면서 저장탱크로 이송된다. 중앙조정실에 자동으로 공정이 운영된다. 근로자가 취급할 필요가 없다.

④ DEOA포장

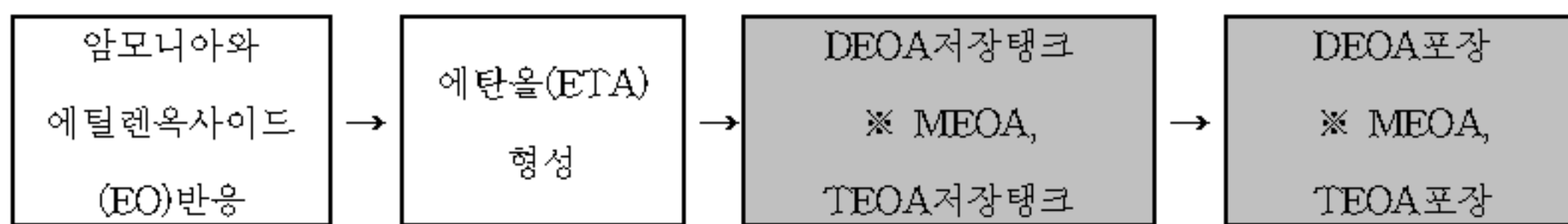
저장탱크(600 톤)에 저장된 DEOA는 200 kg용 드럼에 포장하여 화학물질 보관창고에 일정기간 보관 후 납품하거나 곧바로 탱크로리(18 톤)에 적재하여 납품된다. 탱크로리에 의한 적재납품이 대부분이다.

□ 드럼포장

드럼포장은 로드셀 (자동저울)에 올려서 자동으로 200 kg이 포장된다.

□ 탱크로리에 의한 적재

DEOA저장탱크와 연결된 파이프라인을 탱크로리의 하부에 체결하여 DEOA를 자동으로 적재(loading) 포장한다. 적재된 양만큼 탱크로리 상부에서 빠져나가는 가스는 DEOA가 증기가 아닐 것으로 판단된다. DEOA의 증기압이 낮아 상온에서 거의 증발이 일어나지 않기 때문이다. 탱크로리적재 작업시간은 탱크로리의 용량, 판매량 등에 따라 달라진다. 탱크로리적재 작업은 실외에서 이루어지고 하부적재 방법을 활용하고 또한 DEOA의 증발이 거의 일어나지 않으므로 DEOA에 대한 근로자노출은 심각하지 않을 것으로 판단된다.



[그림 2-1] DEOA 제조공정.

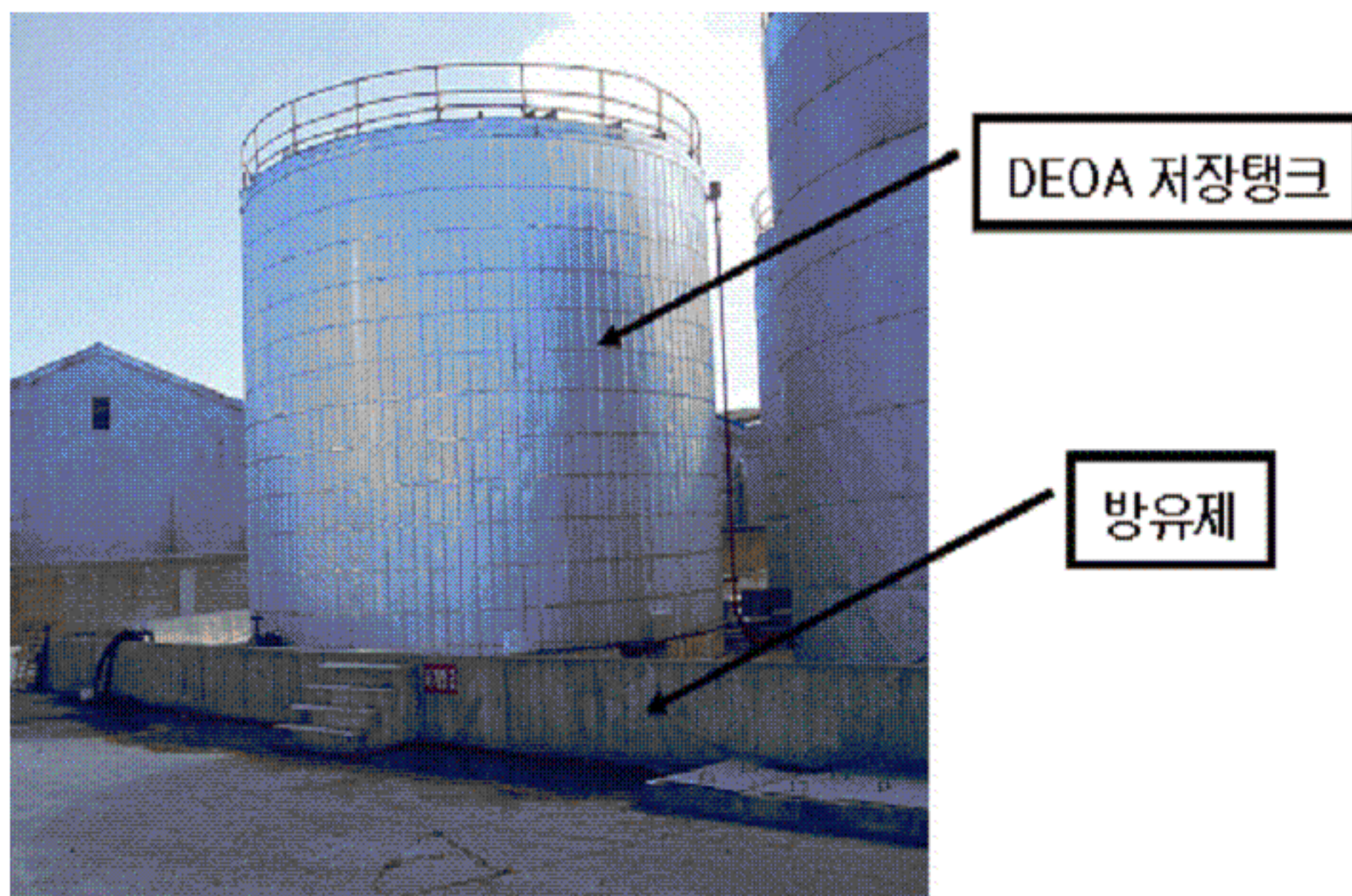
다) DEOA에 대한 공정분석 및 위험성 평가

① DEOA 반응(제조)탱크

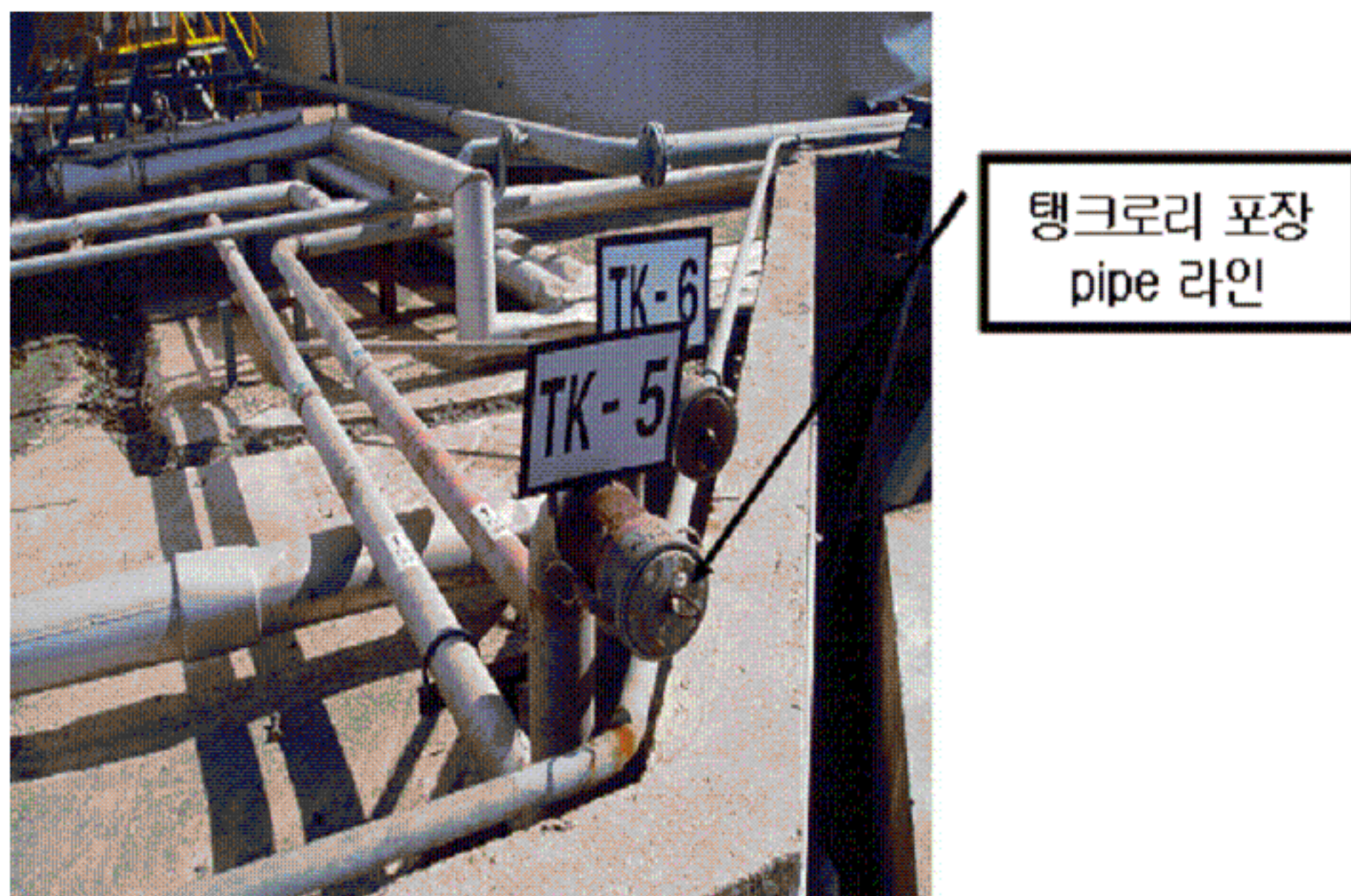
공정(작업)이름	DEOA 반응탱크	비고
공정설명	암모니아와 에틸렌옥사이드(EO)가 반응하여 에탄올아민이 형성됨.. DEOA는 증류되어 제조됨.	
DEOA사용특성 평가(I)	DEOA는 밀폐된 반응 공정을 통해서 생성됨. 공정운영은 중앙조정실에서 이루어지므로 근로자가 DEOA를 취급하지 않음. 모든 공정도 실외에서 이루어짐.	그림 2-2
DEOA노출특성 평가(II)	DEOA반응과 증류공정은 중앙 조정실(control room)에서 운영되므로 근로자가 직접 DEOA를 취급할 필요가 없음. 따라서 정상적인 작업에서 DEOA노출가능성은 거의 없음 - 자동공정 운영 <u>노출범주 : I</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고 된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음(해당사항 없음)	
DEOA 유해성 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 미제정(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험성 평가(I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : I (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 연구 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - 저장탱크를 정비하고 청소할 때 충분한 환기 등 치환 안전상의 조치 - 저장탱크 방류제	산업안전 보건법
보호구착용	해당없음 ※ 저장탱크 정비시 호흡 및 피부보호구 착용	
기타 유해요인	암모니아, EO가스 등	

② DEOA 드럼 포장

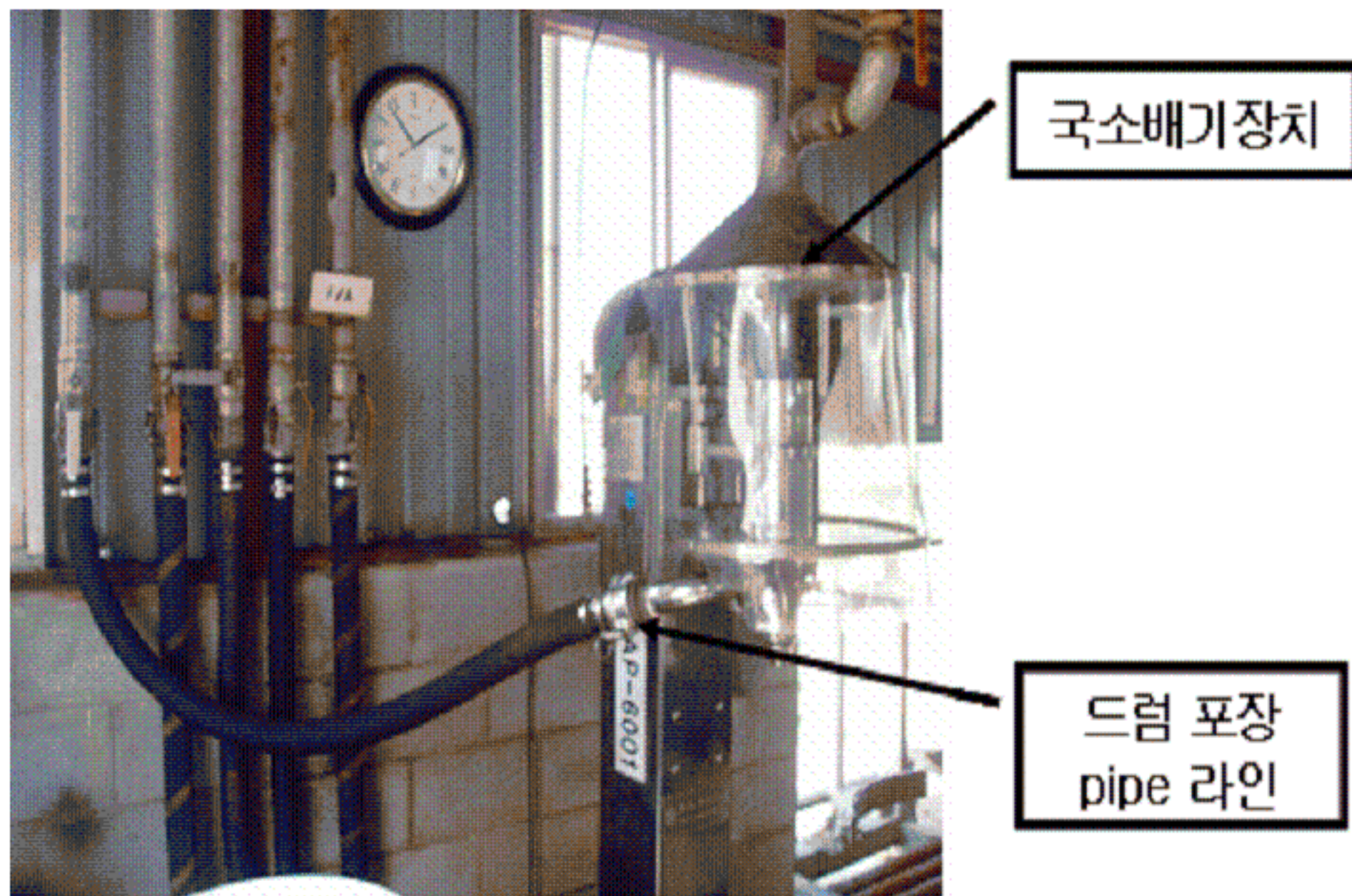
공정(작업)이름	DEOA 드럼 포장	비고
공정설명	DEOA를 드럼(200 kg)에 포장	
DEOA 사용특성 평가(I)	DEOA저장탱크와 연결된 파이프라인을 통해 DEOA를 드럼에 포장, 저장탱크에 연결된 파이프를 드럼에 연결하여 포장, 근로자가 직접 실내에서 포장 - 210 kg 드럼을 월 200 개 포장 - 포장작업은 2일/월 정도	그림 2-3 그림 2-4
DEOA 노출특성 평가(II)	DEOA가 드럼으로 떨어지면서 포장될 때 DEOA미스트가 공기 중으로 발생될 수 있음. ※ 포장기 위 상부에 국소배기장치 설치 ※ 호흡기계질환을 초래하는 것으로 알려진 Monoethanolamine, Triethanolamine을 같이 취급하므로 호흡기계질환에 대한 관리 철저 필요 <u>노출범주 : II</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음 ※ 포장할 때 DEOA 미스트가 발생될 경우 노출에 대한 위험이 있을 수 있음	
DEOA 유해성 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 미제정(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험성 평가(I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : II (낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 연구 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - 포장기 상부 국소배기장치 안전상의 조치 - 온도에 감지에 의한 자동 폼(foam) 소화설비 - 창고둘레로 화학물질 누출을 대비한 저류조(ump) 또는 피트 설치	
보호구착용	피부보호구 착용(0)	
기타 유해요인	Monoethanolamine, Triethanolamine 등	



[그림 2-2] DEOA저장탱크. 방류제가 탱크 둘레에 설치되어있음.



[그림 2-3] DEOA저장 탱크와 연결된 탱크로리 포장 출고 파이프라인



[그림 2-4] DEOA 포장. 저장탱크와 연결된 파이프라인(AP-6001)을 통해서 드럼으로 DEOA가 포장. 상부에 국소배기장치(비닐커튼)설치.

(2) 기초화학제품 제조업: DEOA수입 판매

가) 공정 및 DEOA 사용개요

① 공정요약

DEOA를 일본에서 수입하여 저장한 다음 탱크로리로 적재(loading)하거나 드럼으로 포장하여 국내에 납품한다. DEOA외에도 분말유황, 구황, MIDAS, 정제황산, DBA, LAS, DBS-60, LAS-65, LDE, 폴리우레탄 등을 판매한다.

② DEOA 사용용도

DEOA를 일본에서 수입하여 저장탱크에 보관하고 별도로 드럼(210 kg 드럼)으로 포장하여 국내에 공급한다. 국내에서 DEOA를 수입하여 판매하는 유일한 사업장이다. 따라서 본 연구결과를 기초 화학제품 제조업에 적용할 수 없다.

나) DEOA가 사용된 공정

① DEOA 저장

일본에서 DEOA를 수입하여 DEOA탱크에 저장한다. DEOA저장탱크 용량은 2,000 톤이고 개수는 2개이다. DEOA저장탱크로 들어가는 입고 파이프라인을 탱크로리에 연결하여 DEOA를 저장한다. 보통 3개월에 1회 저장 작업이 이루어지고, 1회에 3,000톤을 저장한다. DEOA저장작업은 모두 실외에서 이루어진다.

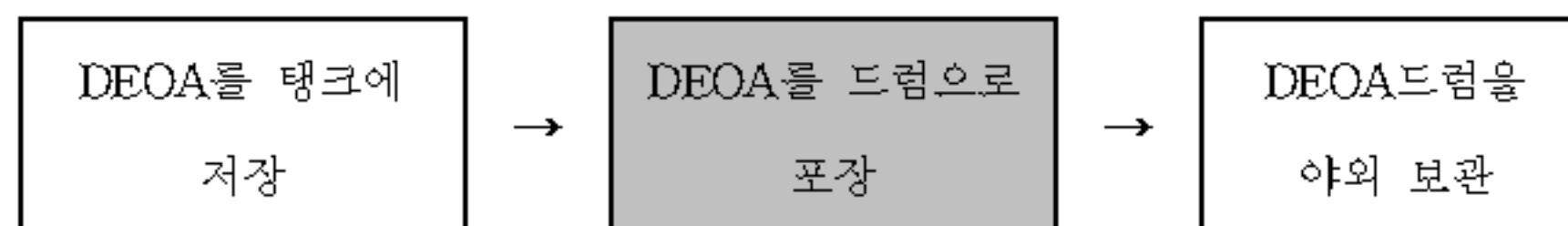
② DEOA 포장 판매

DEOA저장탱크와 연결된 포장실의 파이프라인을 통해 DEOA를 드럼에 담는다. 즉 저장탱크와 연결된 파이프를 드럼에 연결하여 포장한다. DEOA 드럼 용량은 210 kg이며 월 200 개 정도 포장한다. 1명이 포장작업을 전담한다. 포

장작업은 보통 월 2일 정도이다.

③ DEOA드럼 보관창고

DEOA드럼은 야외에 적재한다. DEOA는 상온에서 굳기 때문에 납품할 때 필요한 경우 예열하여(녹여) 납품한다.



[그림 2-5] DEOA 저장 및 포장 공정.

다) DEOA에 대한 공정분석 및 위험성 평가

① DEOA를 탱크에 저장

공정(작업)이름	DEOA저장 탱크	비고
공정설명	DEOA를 저장탱크에 저장	
DEOA사용특성 평가(I)	DEOA를 탱크로리로 탱크(2,000톤)에 저장. 실외에서 작업. 근로자 직접 취급 : 반자동(파이프라인 체결 후 자동 저장됨)	그림 2-6
DEOA노출특성 평가(II)	탱크로리를 DEOA 저장탱크의 입고밸브로 연결하여 DEOA가 탱크로 자동 이송되어 저장됨. 실외작업이고 DEOA가 증발이 되지 않으므로 노출가능성 거의 없음 <u>노출범주 : I</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음	
DEOA 유해성 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 미제정(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험성 평가(I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : II (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 연구 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - MSDS게시 안전상의 조치 - 저장탱크 둘레 방유제	
보호구착용	피부보호구 착용 보안경 착용	
기타 유해요인	해당없음	

② DEOA 드럼 포장

공정(작업)이름	DEOA 드럼 포장	비고
공정설명	DEOA를 드럼(210 kg)에 포장	
DEOA 사용특성 평가(I)	DEOA저장탱크와 연결된 파이프라인을 통해 DEOA를 드럼에 포장. 저장탱크에 연결된 파이프를 드럼에 연결하여 포장. 근로자가 직접 실내에서 포장 - 210 kg 드럼을 월 200 개 포장 - 포장작업은 2일/월 정도.	그림 2-7 그림 2-8
DEOA 노출특성 평가(II)	DEOA가 드럼으로 포장되면서(떨어지면서) DEOA미스트가 공기 중으로 발생될 수 있음. <u>노출범주 : II</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음 ※ 포장할 때 DEOA 미스트가 발생될 경우 노출에 대한 위험이 있을 수 있음	
DEOA 유해성 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 미제정(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험성 평가(I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : II (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 연구 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - 포장기 상부 국소배기장치 - 전체환기장치 - MSDS게시 - 작업환경측정(권고) 안전상의 조치 - 전체환기장치 - 화학물질 보관창고이므로 자동소화장치	
보호구착용	피부보호구 착용 보안경 호흡보호구 착용(권고)	
기타 유해요인	호흡기계질환을 초래하는 것으로 알려진 Monoethanolamine, Triethanolamine을 같이 취급하므로 호흡기계질환에 대한 관리 철저 필요	



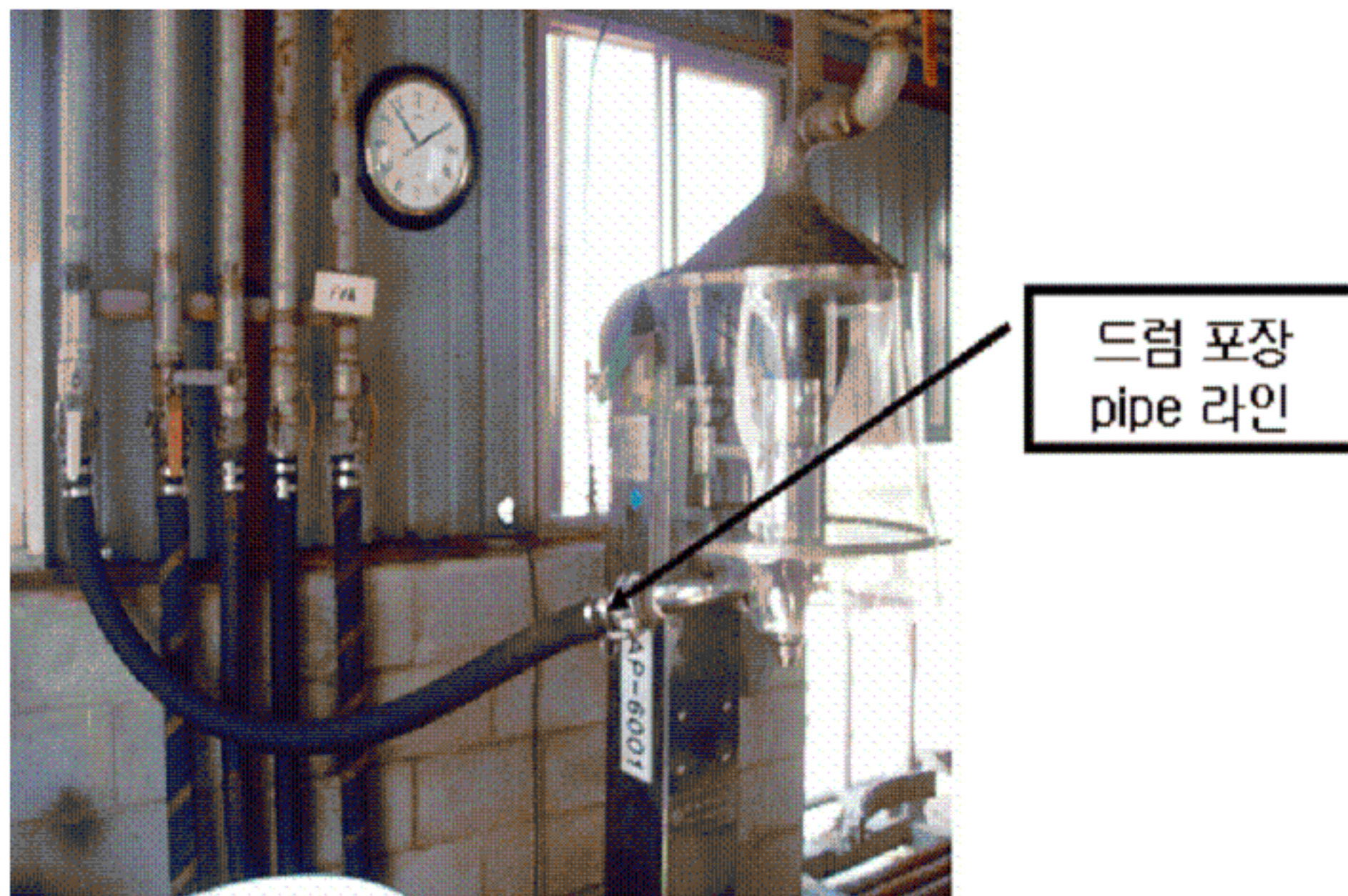
DEOA 저장탱크

[그림 2-6] DEOA저장탱크



저장탱크 연결
출고 pipe 라인

[그림 2-7] DEOA탱크와 연결된 입고, 출고 파이프라인



[그림 2-8] DEOA 포장. 저장탱크와 연결된 파이프라인

(3) 석유정제품제조업: DEOA황화수소흡착

가) 공정 및 DEOA 사용개요

① 공정(업종)개요

원유(crude oil)는 다양한 유기화합물이 섞여있다. 원유에서 정제된 유기화합물은 LPG, 납사, 등유, 경유(diesel), 병커씨유와 아스팔트 등이다. 이 중에서 납사(나프타)는 납사 크래킹(납사를 깨뜨리는 공정)을 통해서 에틸렌·프로필렌·부탄·부틸렌 유분·방향족 등을 얻는다. 이것을 원료로 다양한 화학 반응을 거쳐 합성수지·합성고무·합성섬유 등을 제조한다.

② DEOA사용용도

DEOA는 원유를 정제할 때 원유에 포함된 황화수소를 제거하기 위한 흡착제이다

석유정제업종에서는 황화수소를 제거하기 위해서 DEOA나 MEOA(monoe-thanolamine)를 흡착제로 사용한다. 석유정제업종에서 DEOA의 사용은 모두 자동주입 및 이동 등으로 밀폐된 파이프라인과 탱크를 통해서 이루어진다. 또한 공정운영도 중앙조정실에서 담당하므로 일상적인 노출은 거의 없다.

③ DEOA 사용특성의 업종 적용

석유를 정제하는 업종은 모두 황화수소를 제거해야 한다. 황화수소를 제거하는 화학물질은 보통 아민류이면 대부분 DEOA를 사용한다. 그러나 최근에 DEOA에 비해 불순물이 적고 제거효율이 우수한 이유로 MEOA를 사용하는 사업장도 늘어나고 있다. 본 연구결과에서 조사한 2-3개 사업장에서 조사한 공정특성 및 위험평가의 결과는 석유정제업종에 적용할 수 있다.

나) DEOA가 사용된 공정

원유에는 황이 들어있다. 황이 석유정제 제품에 포함되어 있으면 그 질이 떨어지므로 석유정제업에서는 항상 황을 제거하는 수소화반응공정(hydro processing)을 운영한다. 이 공정은 수소를 첨가하여 황을 제거하는 수첨탈황 반응(Hydrotreating)과 탈황반응 및 정제공정에서 발생한 황화수소(H_2S)에서 황을 회수하는 황회수(sulfur recovery) 공정으로 이루어진다. 탈황반응 및 정제 공정에서 발생하는 부산물 가스(off gas)에는 환경 오염 물질인 황화수소가 다량 포함되어 있으므로 이를 제거해야 한다. H_2S 의 제거는 다음과 같은 과정을 통해 이루어진다. 우선 부산물 가스 중에 포함된 황화수소는 흡수탑(absorber tower)에서 DEOA와 접촉하여 흡착된다. 황화수소를 흡착한 DEOA는 재생탑(regeneration tower)에서 고농도의 황화수소와 깨끗한 DEOA(lean amine이라고 함)으로 분리된다. 그 후 고농도의 황화수소는 황회수 공정에서 유황으로 회수된다.

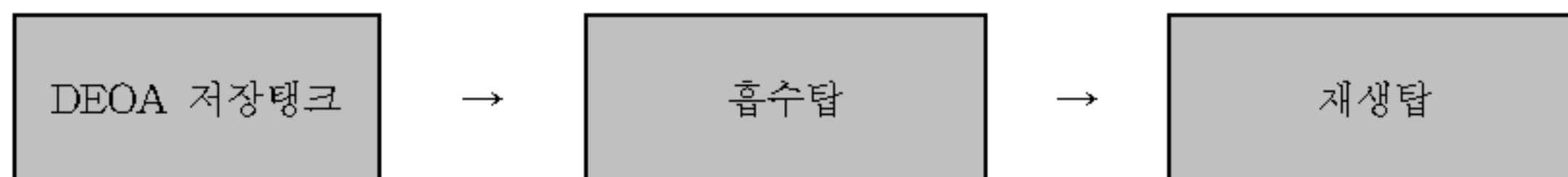
① 흡수탑(absorber tower)

정제과정에서 생긴 부산가스(off gas)가 흡수탑의 하단으로 유입되고 다시 흡수탑상부로 부상한다(올라간다). 한편, 흡수탑 상부에서는 DEOA가 펌프로

유입되어 하부로 흘러내리면서 부산가스 중에서 황화수소만 선택적으로 흡수한다. 이 공정은 흡수탑 안에서 자동으로 진행된다([그림 2-10] 참조). 즉 부산가스의 황화수소는 DEOA와 흡착 반응을 통해 자동으로 분리되어 나온다.

② 재생탑(regeneration tower)

재생탑은 아민에 흡착된 황화수소를 탈기(떼내어)하여 분리하는 공정이다. 즉 보일러 열에 의해 재생탑의 온도를 약 130 ℃ 정도로 가열하면 황화수소와 아민은 분리된다. 탈기된 황화수소는 유황제조 공정으로 운반되고 아민은 다시 흡수탑으로 이송되어 황화수소를 흡착하는데 다시 사용된다. 이 공정은 탑 내에서 자동으로 운영된다.



[그림 2-9] DEOA의 황화수소를 흡착 공정

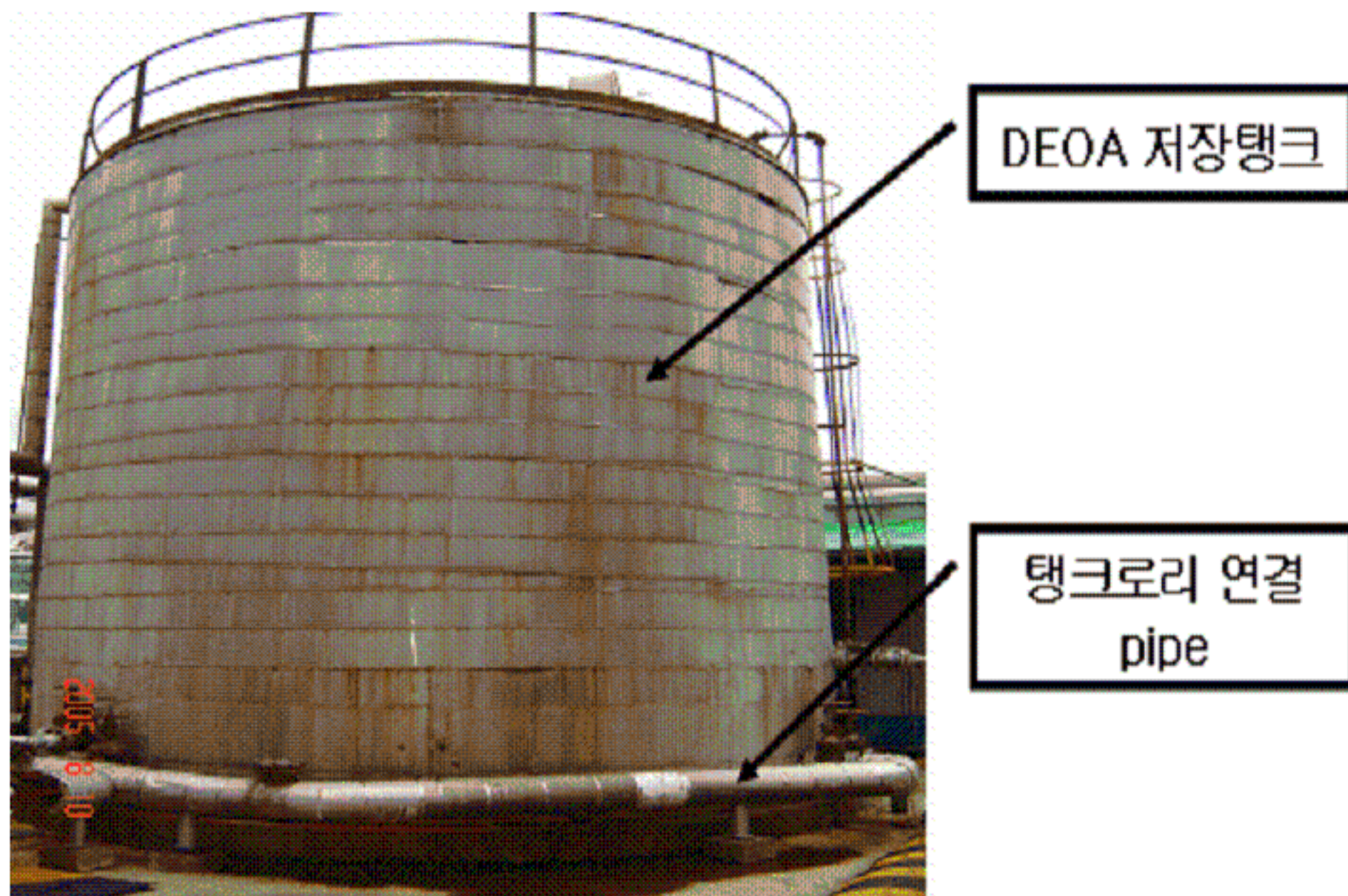
라) DEOA에 대한 공정분석 및 위험성평가

① 탱크로리로부터 DEOA저장 탱크로 저장

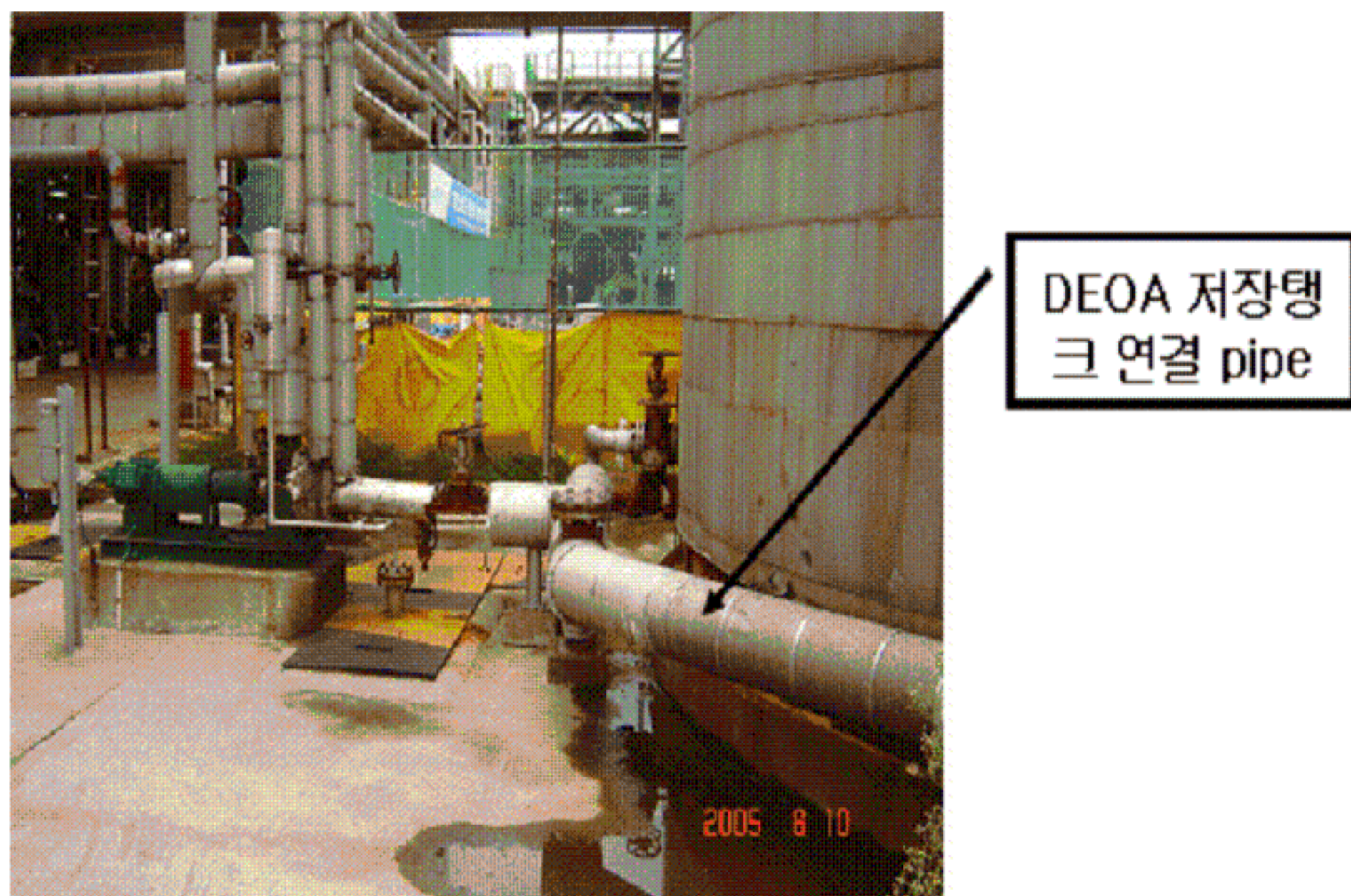
공정(작업)이름	DEOA 저장	비고
공정설명	DEOA 저장탱크로의 DEOA적재(loading)	
DEOA 사용특성 평가	탱크로리로 DEOA 저장탱크에 DEOA를 적재, 파이프를 체결하여 자동 주입	그림 2-10 그림 2-11
DEOA 노출특성 평가(I)	탱크로리를 DEOA 저장탱크에 수동으로 체결한 후 자동으로 적재되므로 근로자 노출은 크지 않음: 반자동 - 실외작업 - 탱크로리 작업 : 하부 주입 - DEOA 증기압이 매우 낮음 :0.01 mmHg이하 <u>노출범주 : I</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음	
DEOA 유해성, 노출기준 (II)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 제정되지 않음(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA 위험성 평가(I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : I (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 조사에 의한 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - MSDS게시 안전상의 조치 - DEOA저장탱크 둘레에 방유제	
보호구착용	피부보호구 착용 보안경 착용 호흡보호구 착용(권고)	
기타 유해요인	해당 없음	

② 흡수 및 재생탑 정비

공정(작업)이름	정비 검사	비고
공정설명	흡수탑, 재생탑 정비, 검사	
DEOA 사용특성 평가	DEOA가 탑에 잔류되어 있음. 3회 반복하여 물을 채운다음 배출하여 잔존된 황화수소 가스 및 DEOA를 제거	
DEOA 노출특성 평가(I)	1년에 1회 정비 및 검사. 정비하기 전 황화수소 및 DEOA를 완전히 제거한 후 탑(tower)으로 들어가 작업. 호흡보호구를 착용하고 작업함 <u>노출범주 : I</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음	
DEOA 유해성, 노출기준 (II)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 제정되지 않음(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA 위험성 평가(I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : I (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 조사에 의한 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - 출입전 충분한 환기 및 안전상의 조치 - 출입전 가스검지기에 의한 측정 안전상의 조치 - 탱크 주변에 방류 저류조 설치(탱크용량 110 %)	
보호구착용	피부보호구 보안경 호흡보호구	
기타 유해요인	정제된 가스, 용제 등	



[그림 2-10] DEOA저장 탱크(탱크로리로 DEOA 저장함)



[그림 2-11] DEOA저장탱크에 연결하는 밸브

(4) 화합물 및 화학제품제조업: 수용성금속가공유제조

가) 공정 및 DEOA사용 개요

① 공정요약

기유(base oil), 물, 각종 첨가제(산화방지제, 방청제, 극압첨가제 등)를 혼합(blending)하여 수용성 금속가공유((metalworking fluids, MWF, 또는 절삭유)를 제조한다. DEOA는 수용성금속가공유를 혼합할 때 첨가한다. 이외에도 비수용성 금속가공유도 제조한다.

참고

금속가공유는 기계와 기계의 가공 과정에서 발생하는 열을 제거하기 위해 사용되는 화학물질이다. 금속 가공유는 비수용성, 합성유, 준합성유, 수용성 4종류이다. 비수용성을 제외한 나머지 3종류는 물을 포함하기 때문에 수용성 금속가공유라고 한다. 금속가공유는 종류마다 차이는 있지만 보통 20여 가지 이상의 화학첨가제가 들어있는 것으로 알려져 있다(NIOSH, 1996). 본 사업장은 금속가공유에 들어가는 각종 첨가제를 수입하거나 국내에서 구입하여 적절한 조합으로 혼합하는 공정으로 이루어져 있다.

② DEOA 사용용도

DEOA는 수용성 금속가공유에서 pH를 조절하고 부식을 방지하기 위해서 첨가하는 제제이다. 모든 수용성 금속가공유에 DEOA가 첨가되는 것은 아니다. 따라서 요구가 있을 경우 생산되므로 항상 취급하지는 않는다. 주문에 따라 생산되는 품목이므로 간헐적으로 공정이 이루어진다. 따라서 자동공정은 불가능하다.

③ 동종업종(화합물 및 화학제품제조업) 적용 가능성

화합물 및 화학제품 제조업은 다양한 화합물을 제조한다. 수용성 금속가공

유도 이 중의 하나이다. 본 연구에서 DEOA를 제조한 사업장에서 조사한 DEOA에 대한 공정특성 및 위험성평가에 대한 내용은 동종업종(기초화학제품 제조업)에 일반적인 자료로 활용할 수 없다. 그러나 수용성 금속가공유를 제조하는 사업장에는 적용할 수 있다.

나) DEOA가 사용된 공정

① 원료

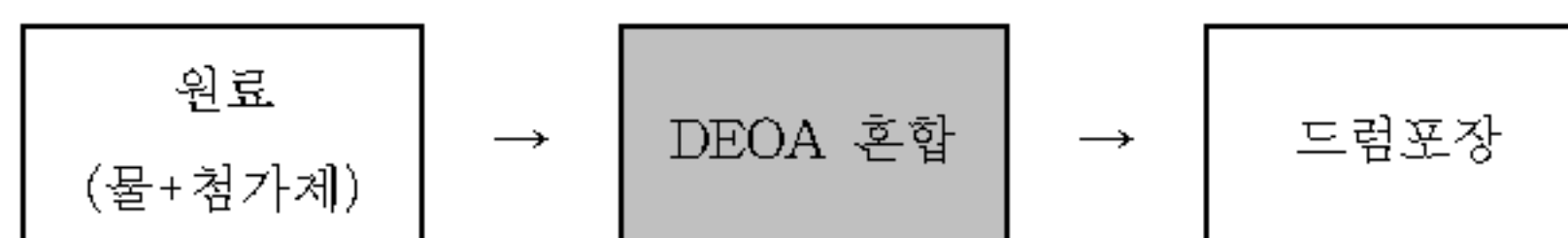
수용성 금속가공유에 포함되는 원료는 물과 각종 첨가제이다. 첨가제로 사용하는 화학물질은 보통 5 - 20여 가지로 제품에 따라 다르다. 보통 극압첨가제, 윤활제, 방부제, 방청제, 산화방지제이다.

② 혼합(blending, 교반)

혼합탱크에서 각종 물과 첨가제들이 물리적으로 교반기에 의해 혼합된다. DEOA는 주문정도에 따라 혼합공정이 운영된다. 주문량이 일정하지 않기 때문에 근로자가 직접 취급하여 일정량을 첨가할 수 밖에 없다. 근로자가 DEOA가 담긴 드럼의 무게를 잰 다음, 진공펌프로 혼합탱크(20 m³ 1개)에 첨가한다.

③ 드럼 포장(loading)

여러 제재로 혼합된 수용성 금속가공유가 200 kg드럼에 인위적으로 적재된다.



[그림 2-12] 수용성 금속가공유에 DEOA가 첨가제로 첨가됨

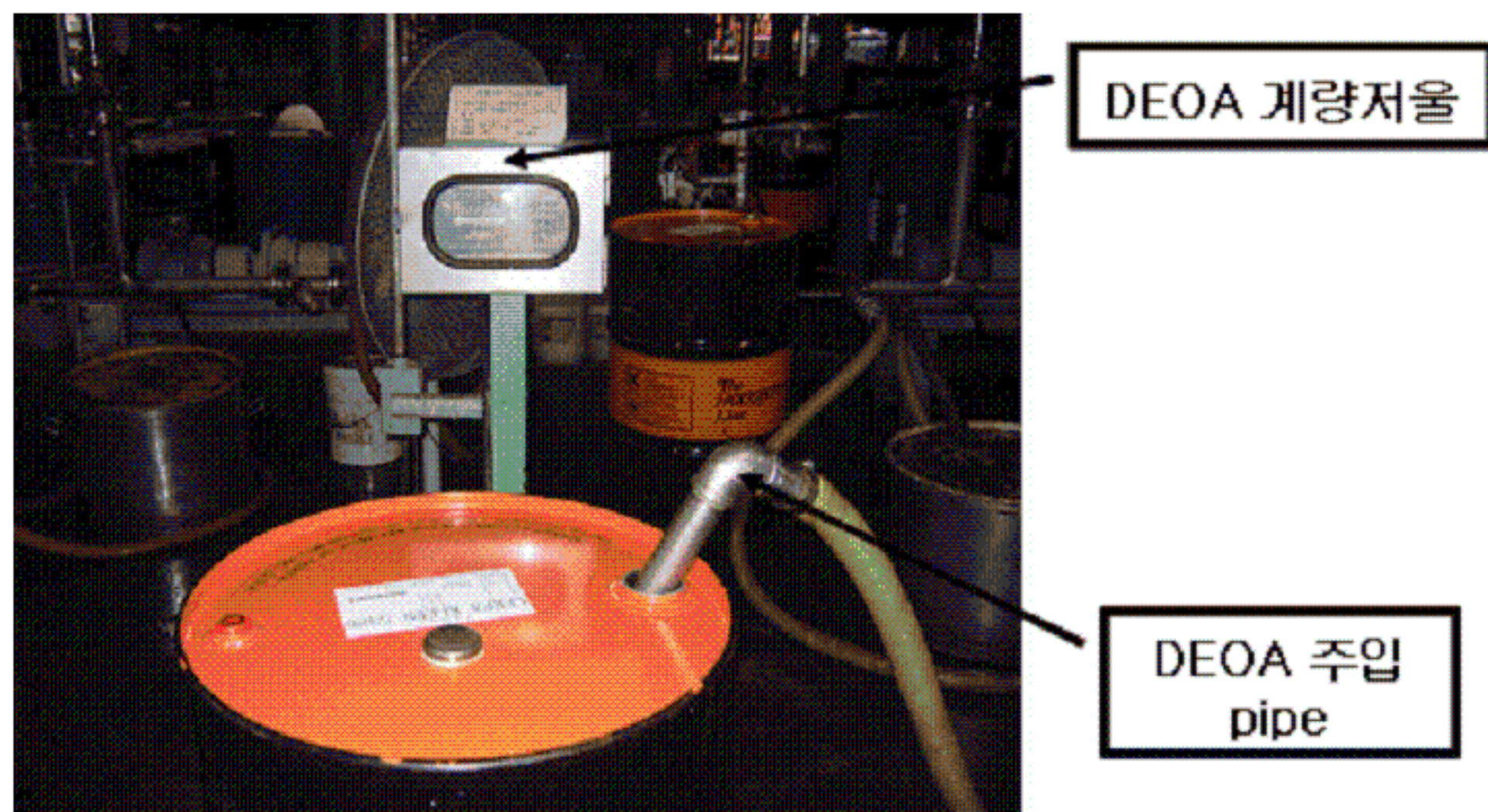
다) DEOA에 대한 공정분석 및 위험성평가

① 수용성 금속가공유에 DEOA 혼합(blending)

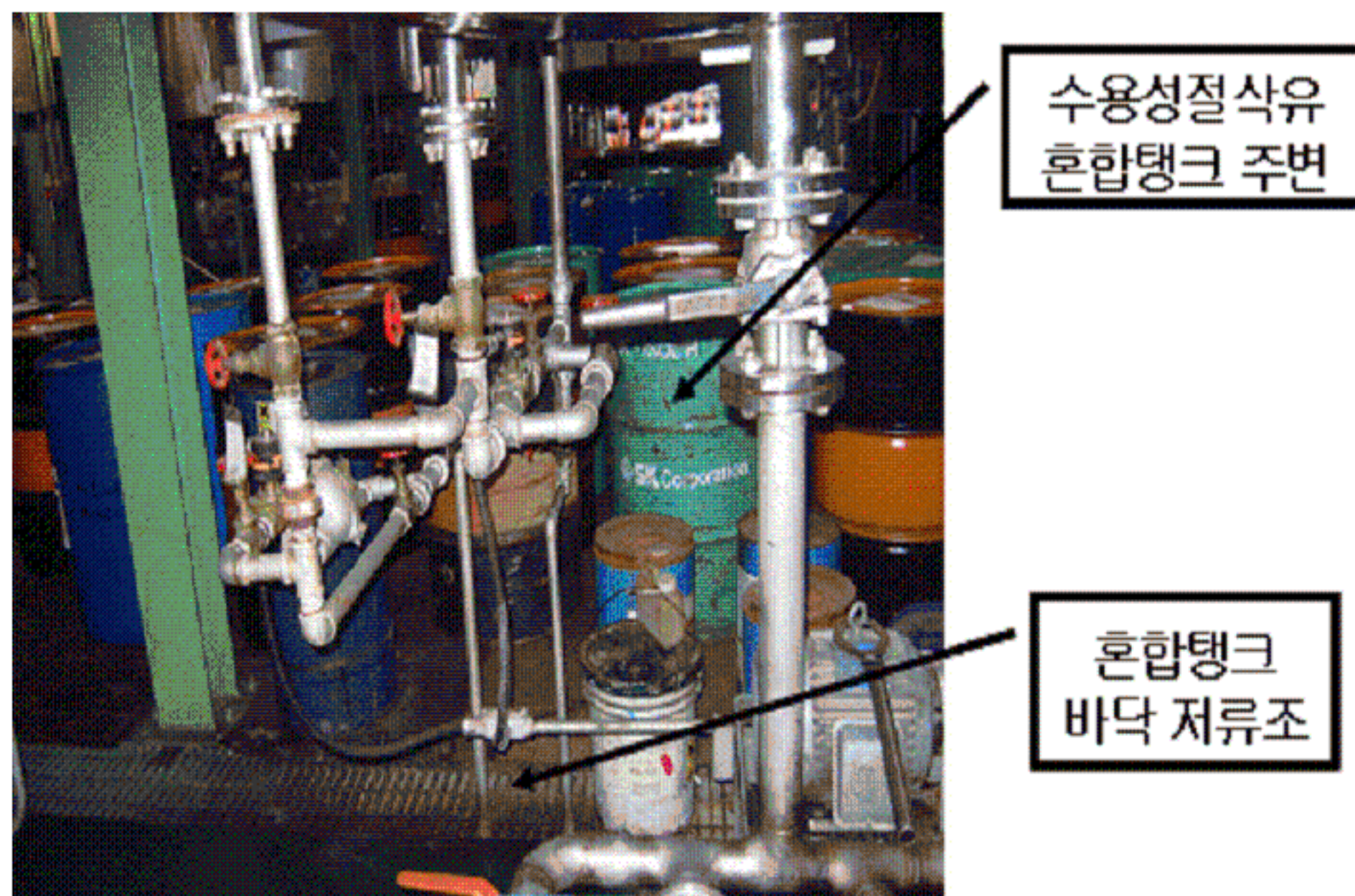
공정(작업)이름	수용성 금속가공유에 DEOA첨가	비고
공정특성	수용성 금속가공유에 DEOA가 첨가됨	
DEOA사용특성 평가(I)	DEOA가 현장에서 철제 드럼통으로 보관되어 있음. 간헐적으로 DEOA가 취급됨 - 취급량 : 월 10 드럼 x 200 kg/드럼	그림 2-13 그림 2-14 그림 2-15
DEOA노출특성 평가(II)	DEOA 무게를 쟀 다음 뚜껑을 열고 수용성 절삭유 혼합탱크에 부착된 펌프를 연결하여 자동으로 DEOA가 투입되게 함. 근로자는 DEOA 무게를 재고, 펌프를 연결하고 혼합탱크에 투입되는 것을 관리하지만 노출가능성은 낮음 - DEOA의 증기압(0.001 mmHg)이 매우 낮음 - 공정운전온도 상온 - 공기 중 증발 가능성은 거의 없음 <u>노출범주 : I</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음	
DEOA 유해성, 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 제정되지 않음(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험평가 (I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : I (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 연구 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - MSDS게시 - 전체환기장치(실내) 안전상의 조치 - 전체환기장치(실내) - 탱크둘레에 저류조(방유제)	
보호구착용	피부보호구 보안경	
기타 유해요인	해당없음	

② DEOA보관참고

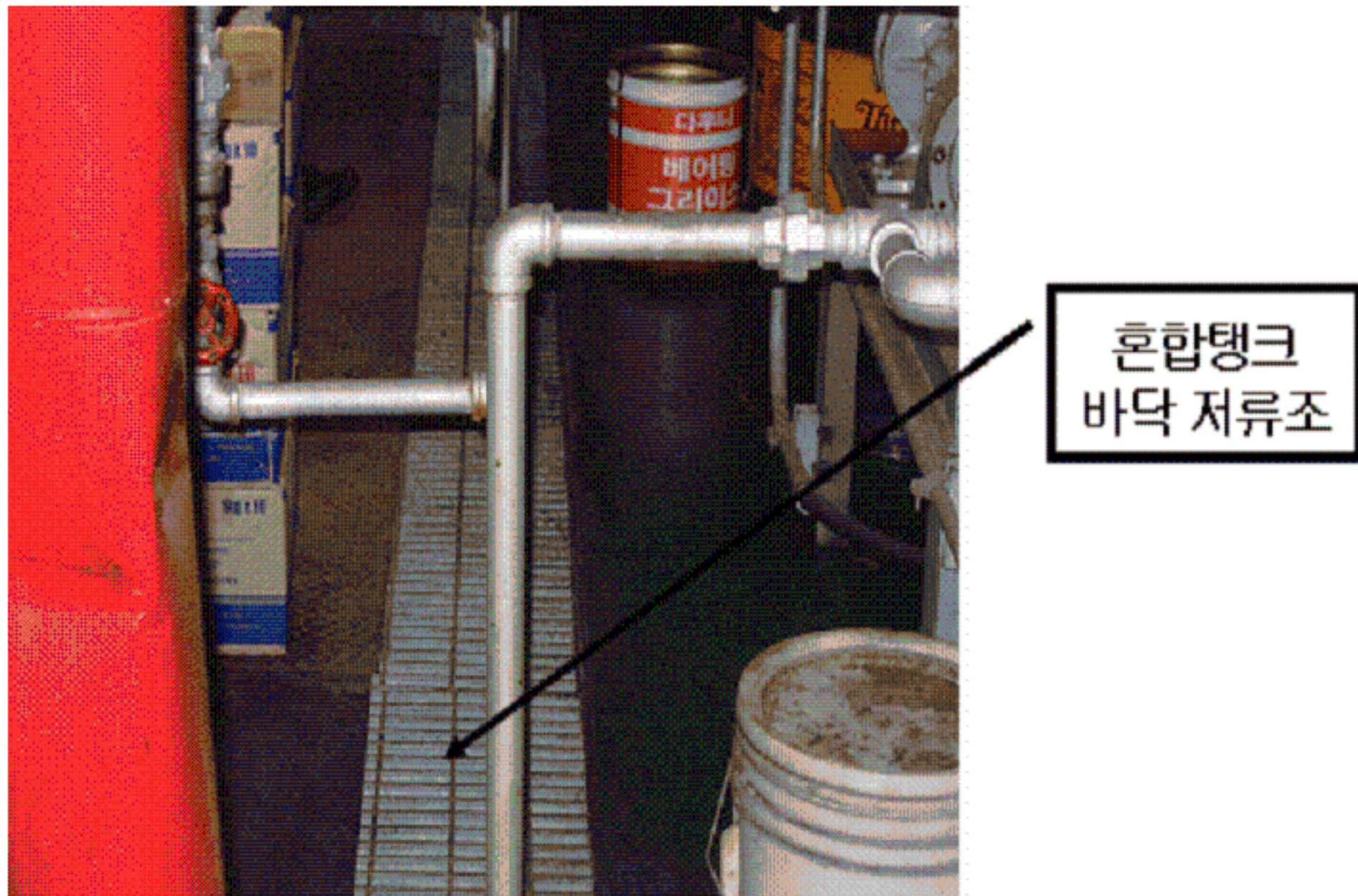
공정(작업)이름	DEOA보관 참고	비고
공정특성	DEOA의 보관 참고	
DEOA사용특성 평가(I)	DEOA를 드럼으로 보관 DEOA 드럼 통 운반 직접 취급할 필요가 없음	그림 2-16
DEOA노출특성 평가(II)	DEOA 노출가능성은 거의 없음 - 직접 취급할 필요가 없음 - 증기압이 매우 낮음 :0.01 mmHg이하 - 드럼이 밀폐되어 있음 <u>노출범주 : I</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음	
DEOA노출농도	국내외 DEOA 노출농도 보고되지 않음 작업환경측정결과 : 없음 본 연구결과 : 측정하지 않음	
DEOA 유해성 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 미제정(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험성 평가(I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : I (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 연구 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - MSDS게시 - 전체환기 장치 설치 안전상의 조치 - 전체환기장치 - 화학물질 보관참고이므로 자동소화장치	
보호구착용	해당없음	
기타 유해요인	보관된 다른 화학물질	



[그림 2-13] 수용성절삭유 혼합탱크에 DEOA를 첨가. DEOA드럼의 무게를 잰 다음 혼합탱크와 연결된 파이프를 통해서 DEOA를 첨가.



[그림 2-14] 수용성 절삭유를 혼합하는 탱크 주변 바닥에 설치된 저류조 1



[그림 2-15] 수용성 절삭유를 혼합하는 탱크 주변 바닥에 설치된 저류조 2



[그림 2-16] DEOA보관창고

(5) 화합물 및 화학제품 제조업 : PPG수지 제조

가) 공정 및 DEOA 사용개요

① 공정요약

단량체(monomer)를 중합 반응(polymerization)하여 플라스틱 원료인 PS(poly styrene), ABS(acrylonitrile-butadiene-styrene), EPS(extended PS), PP(polypropylene), PE(polyethylene), AN(acrylonitrile), PPG(polypropylene glycol) 등 수지(resin)를 제조한다. DEOA는 PPG수지에 신축성 및 복원력을 부여하기 위한 가교제로 첨가한다.

글리세린에 Propylene oxide과 Ethylene oxide를 부가하여 PPG를 형성한다. 여기에 중합반응을 촉진하기 위해 각종 첨가제 등을 첨가한다. 수요자(우레탄 수지 제조업종)의 요구에 따라 PPG에 각종 첨가제를 추가로 첨가하여 혼합한 다음 최종 납품한다.

② DEOA 사용용도

PPG수지에 신축성을 위한 가교제로 DEOA를 첨가한다. PPG를 원료로 제조된 플라스틱은 딱딱하므로 신축성 및 복원력이 없다. 신축성과 복원력을 필요로 하는 제품(의자 시트, 접착제, 스펀지 등)을 요구할 경우, 최종 생산된 PPG에 DEOA를 일정량 첨가해서 납품한다.

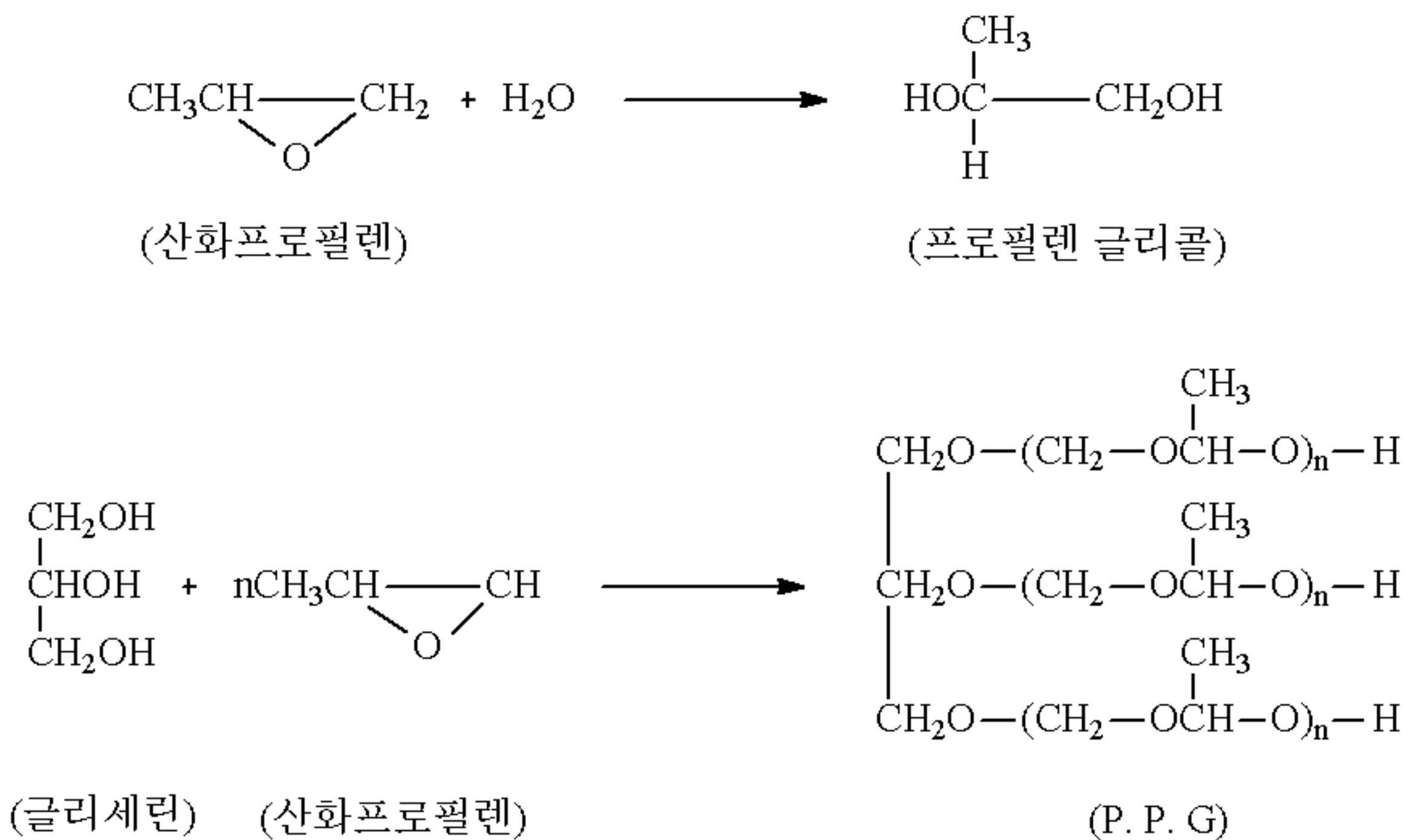
③ 동종업종(화합물 및 화학제품제조업) 적용 가능성

화합물 및 화학제품 제조업은 다양한 화합물을 제조한다. PPG도 화합물 중의 하나이다. 따라서 본 연구에서 DEOA를 제조한 사업장에서 조사한 DEOA에 대한 공정특성 및 위험성평가에 대한 내용은 동종업종(기초화학제품제조업)에 일반적인 자료로 활용할 수 없다. 그러나 PPG를 제조하는 사업장에는 적용할 수 있다.

나) DEOA가 사용된 공정

① 중합반응

글리세린에 Propylene oxide, Ethylene oxide을 부가하여 PPG를 형성한다 (아래 반응식 참조). 중합반응을 촉진하기 위한 촉매제로 알칼리(가성소다 등)를 투입한다. 중합반응은 밀폐된 자동공정이고 중앙조정실에서 공정이 진행되므로 근로자의 수동적인 공정운영은 없다.



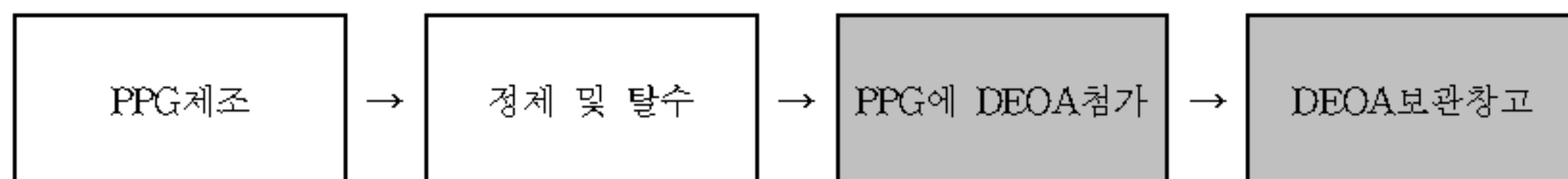
② 탈수 및 정제

중합반응에서 첨가되었던 각종 첨가제와 불순물을 탈수 및 정제 과정을 통해 제거한다. 밀폐된 자동공정이고 중앙조정실에서 공정이 진행되므로 근로자의 수동적인 공정운영은 없다.

③ PPG에 DEOA첨가

중합반응과 정제공정을 거쳐서 완성된 수지가 드럼으로 자동 포장된다. 복

원력과 신축성이 있는 프라스틱 제품을 요구하는 경우 PPG에 일정량(드럼:200 kg당 약 200 L)을 근로자가 직접 첨가한다. 첨가할 때는 PPG저장 탱크와 DEOA드럼을 진공펌프로 연결하여 혼합(blending)한다. 첨가작업은 야외에서 직접 수행하며 필요한 경우 간헐적으로 이루어지며 보통 10여분 작업으로 종료된다. 중합반응으로 완성된 PPG에 DEOA를 추가로 근로자가 직접 첨가하는 작업이고 야외에서 이루어짐. 작업조건이 상온이므로 DEOA의 공기 중 증발 가능성은 거의 없음.



[그림 2-17] PPG(폴리올)에 DEOA를 첨가제로 첨가하는 공정.

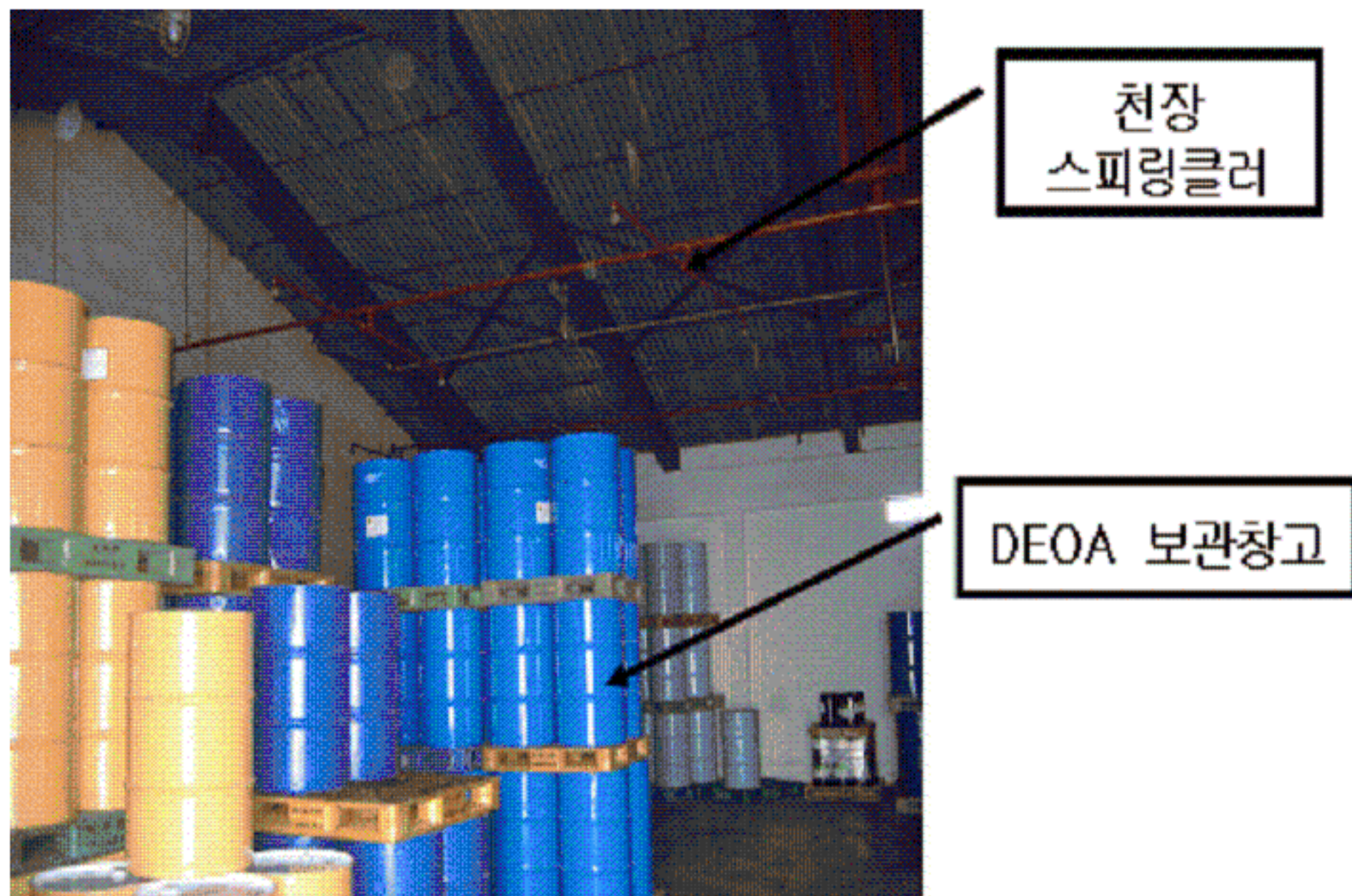
다) DEOA에 대한 공정분석 및 위험성 평가

① DEOA 보관창고

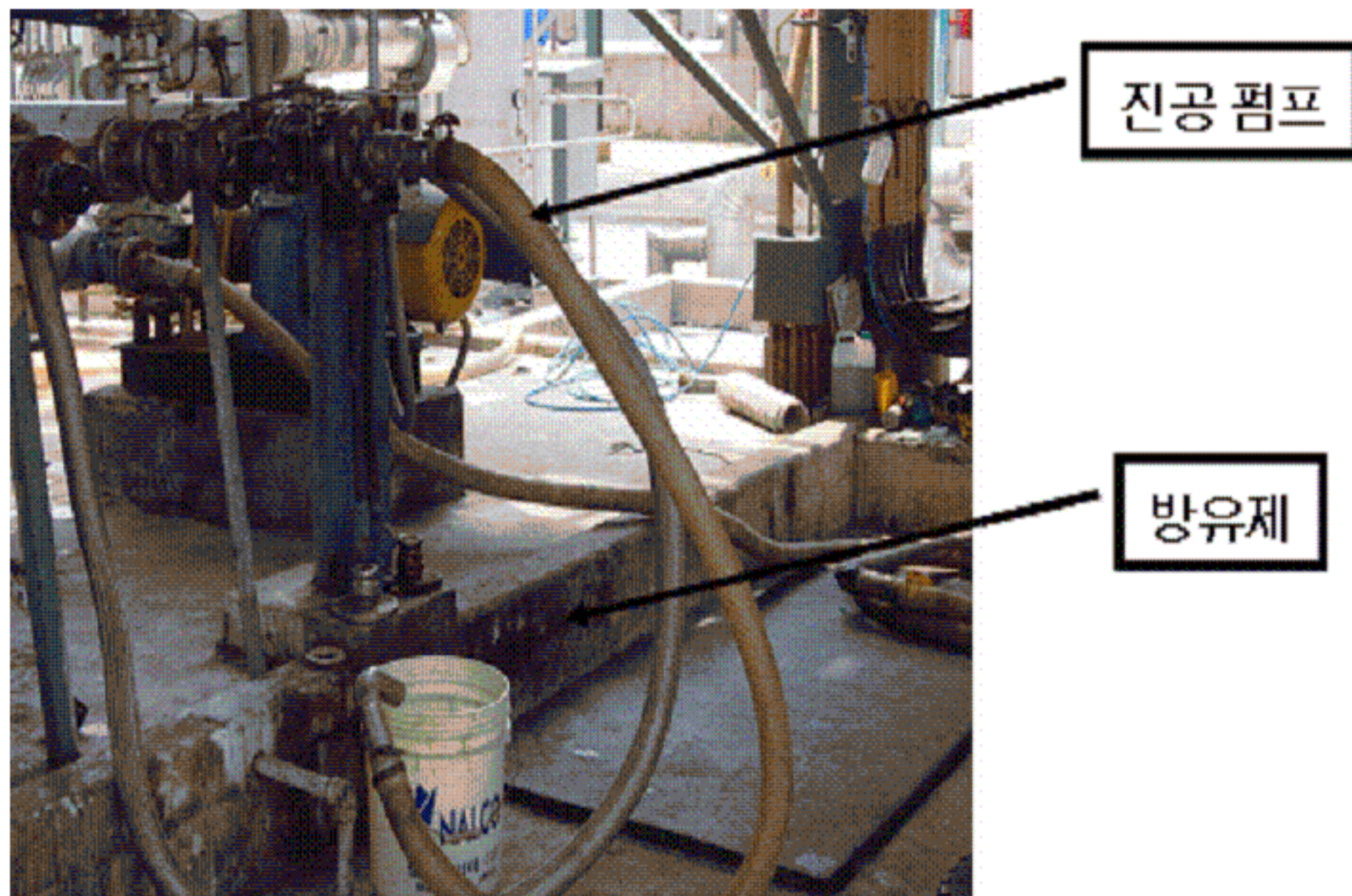
공정(작업)이름	DEOA보관 창고	비고
공정특성	DEOA의 보관 창고	
DEOA사용특성 평가(I)	DEOA를 드럼으로 보관, DEOA를 직접 취급할 필요가 없음	그림 2-18
DEOA노출특성 평가(II)	DEOA 노출가능성은 거의 없음 - 직접 취급할 필요가 없음 - 증기압이 매우 낮음 :0.01 mmHg이하 - 드럼이 밀폐되어 있음 <u>노출범주 : I (매우 낮음)</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음	
DEOA 유해성 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II (낮음)</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 미제정(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험성 평가(I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : I (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없음 - 본 조사에 의한 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - 전체환기 장치 - MSDS게시 안전상의 조치 - 방유제 - 화학물질 보관창고이므로 자동소화장치	
보호구착용	해당없음	
기타 유해요인	보관된 다른 화학물질	

② PPG에 DEOA를 첨가

공정(작업)이름	PPG에 DEOA첨가	그림(사진)
공정특성	PPG에 DEOA 첨가	
DEOA사용특성 평가(I)	PPG탱크에 DEOA를 첨가, 즉 PPG 탱크에 연결된 진공펌프를 드럼에 연결하여 일정량을 혼합(blending)함.	그림 2-19 그림 2-20
DEOA노출특성 평가(II)	DEOA를 PPG 탱크에 일정량 진공펌프로 투입. 실외작업. DEOA의 증기압이 매우 낮으므로(<0.01 mmHg) 공기 중으로 증발할 가능성은 거의 없음. 따라서 노출위험성은 매우 낮음 <u>노출범주 : I</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음	
DEOA 유해성, 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 제정되지 않음(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험평가 (I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : I (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 조사에 의한 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - MSDS게시 - 전체환기장치(실내) 안전상의 조치 - 탱크둘레 방유제	
보호구착용	피부보호구 보안경 호흡보호구(권고)	
기타 유해요인	해당없음	



[그림 2-18] DEOA보관창고. 화학물질보관창고이므로 스프링클러가 상부에 설치.



[그림 2-19] PPG 탱크에 연결된 진공펌프라인. 탱크 주변에 방유제 설치.



[그림 2-20] PPG탱크에 연결된 진공펌프라인을 통해 DEOA가 첨가됨.

(6) 의약품제조업: 주사제 제조

가) 공정 및 DEOA 사용개요

① 공정요약

주사제 의약품(MVH: 제품이름)의 보조원료로 첨가된다. 즉, DEOA가 다른 화학물질과 혼합되어 의약품이 제조된다. DEOA는 보조원료로 소량 첨가된다. 대부분이 무균실에서 진행된다.

참고

의약품은 2가지 공정에 의해 제조된다. 하나는 미생물을 배지에 대량으로 배양하고 그 발효산물을 원료로 이용하여 의약품 중간원료생산 및 최종 의약품을 생산하는 공정이다. 다른 의약품 제조는 순수한 화학물질의 혼합, 조합에 의해 이루어지는 공정이다.

② DEOA사용용도

의약품 부원료이다. 의약품이므로 인체에 무해한 양으로 부원료도 들어간다. DEOA를 취급하지만 건강에 장해를 줄 정도의 취급은 없다. 모두 의약품제조에 들어가는 정도의 양을 취급하므로 노출되더라도 건강상의 장해를 초래하지 않는다.

③ 동종업종(의약품제조업) 적용 가능성

의약품 제조업은 매우 다양한 제품을 제조한다. 본 연구에서 DEOA에 대한 공정특성 및 위험성평가에 대한 내용은 동종업종(의약품 제조업)에 일반적인 자료로 활용할 수 없다.

나) DEOA가 사용된 공정

① 원료 및 부원료 무게 칭량

의약품 원료와 부원료의 적정한 무게를 잰다. 모두 화학물질이지만 인체에 영향이 없는 양이다. 원료의 양은 의약품의 종류에 따라 다르다. 주사제를 만드는 원료는 니코틴산마이드, 텍스판테놀, 비타민에이, 아스코르빈산, 에르고칼 시페롤, 염산치아민, 염산피리독신, 인산리보플라빈나트륨 등이고, 부원료는 DEOA, 말레인산 등이었다. 의약품에 소량 첨가되는 화학물질에 대한 유해성은 산업보건보다는 의약품 안전측면에서 이미 검증되었을 것으로 판단되어 노출로 인한 건강상의 장해는 우려할 필요가 없는 것으로 판단된다.

② 용기세척 및 멸균

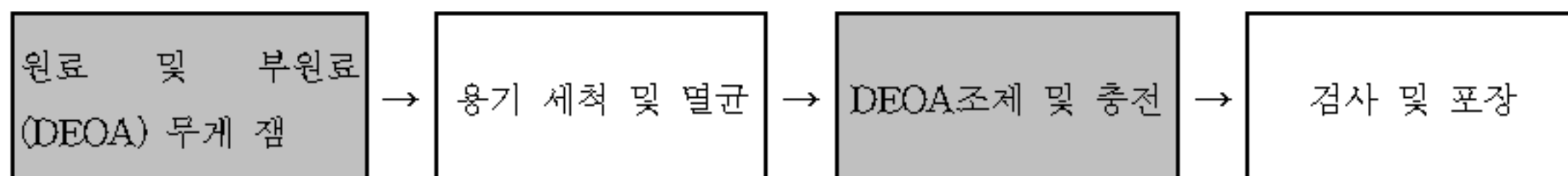
주사제를 넣는 용기를 세척하고 멸균한다. 이 공정은 2급 멸균실에서 진행된다.

③ 조제 및 충전

주사에 원료를 증류수에 용해시켜 용기에 충전한다(넣는다). 이 공정은 1급 멸균실로 진행된다. 충전은 자동으로 이루어져 근로자가 취급할 필요가 없다.

④ 검사 및 포장

주사제를 충전한 용기에서 액이 흘러나오지 않도록 견고히 밀착되었는지 그리고 이물질이 존재하는지를 검사하고 포장한다. 이 공정은 1급 멸균실에서 진행된다.



[그림 2-21] DEOA을 부원료 사용한 화학반응에 의해 주사제를 생산하는 공정

다) DEOA에 대한 공정분석 및 위험성평가

① DEOA청량(무게 잴)

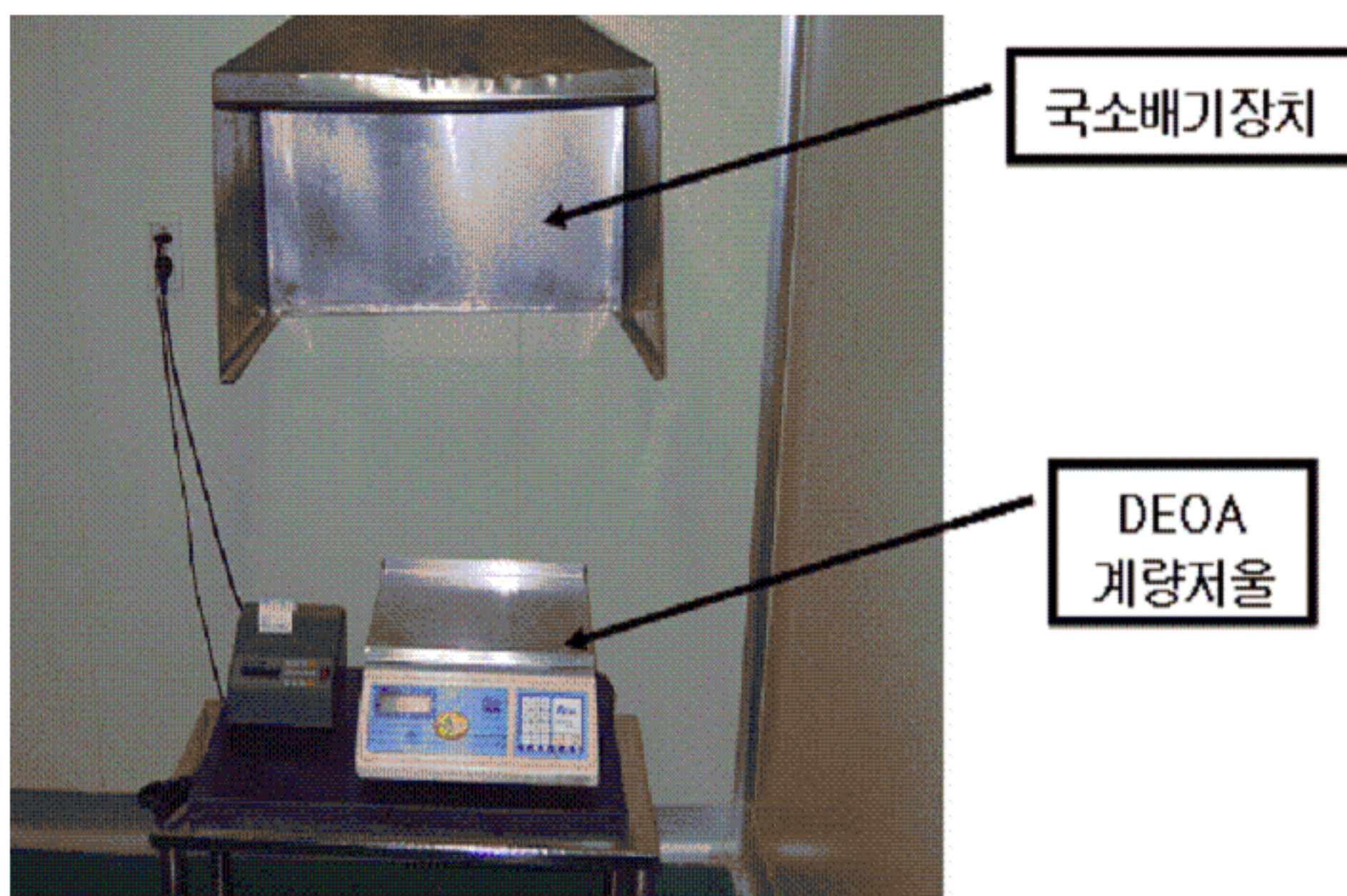
공정(작업)이름	DEOA청량	비고
공정특성	부원료로 첨가되는 DEOA을 청량함.	
DEOA사용특성 평가(I)	유리용기에 들어있는 DEOA의 일정량을 분취하여 무게를 잴. 후드내에서 작업을 함	그림 2-22 그림 2-23
DEOA노출특성 평가(II)	무게를 재는 단순한 조작과정 - 의약품에 들어가는 소량임 - DEOA의 증기압(0.001 mmHg)이 매우 낮음 - 공정온전온도 상온 - 공기 중 증발 가능성은 거의 없음 <u>노출범주 : I</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음	
DEOA 유해성, 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 제정되지 않음(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험평가 (I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : I (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 연구 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - MSDS게시 - 전체환기장치 - 국소배기장치(권고) 안전상의 조치 - 전체환기장치	
보호구착용	피부보호구 보안경	
기타 유해요인	해당없음	

② 조제 및 충전

공정(작업)명	조제 및 충전	비고
공정설명	주원료 및 부원료(DEOA를 증류수에 용해	
DEOA 사용특성 평가(I)	DEOA는 부원료로 첨가	
DEOA노출특성 평가(II)	무균실에서 의약품에 들어가는 소량을 취급함 - 무균실, 소량 - DEOA의 증기압(0.001 mmHg)이 매우 낮음 - 공정운전온도 상온 - 공기 중 증발 가능성은 거의 없음 <u>노출범주 : I</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음	
DEOA 유해성, 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 제정되지 않음(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험평가 (I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : I (매우 낮음)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 연구 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - 전체환기장치 안전상의 조치 - 전체환기장치	의약품제조 무균실 매우 적은 양
보호구착용	피부보호구	
기타 유해요인	해당없음	



[그림 2-22] DEOA 보관창고



[그림 2-23] DEOA의 무게를 재는 기기(칭량기). 국소배기장치 상부에 설치

(7) 기계, 장비 제조업 : 수용성금속가공유사용

가) 공정 및 DEOA사용 개요

금속과 금속이 부딪히고 가공될 때 발생하는 열을 식히기(제거하기) 위해서 금속가공유(metalworking fluids, 절삭유라고도 함)를 사용한다. 따라서 각종 기계, 장비 등(자동차, 트레일러, 자동차엔진, 부품, 기타 운송장비, 선박 및 보트, 철도장비, 항공기, 우주선 및 부품 제조업 등)을 제조하거나 가공하는 업종은 금속가공유를 사용한다. 금속가공유는 4가지가 있고 가공하고자 하는 금속(제품)의 특성에 따라 달리 사용된다. 비수용성 절삭유(straight metalworking fluids 또는 insoluble metalworking fluids)는 물이 포함되어 있지 않고 나머지 3가지(수용성, 합성, 준합성)는 모두 물이 포함되어 있어 수용성 금속가공유(soluble metalworking fluids)라고 한다. 수용성 금속가공유에 DEOA가 포함될 수 있다.

나) DEOA사용특성

수용성 금속가공유에 녹이 스는 것을 방지하고 가공유에서 적절한 pH를 유지할 목적으로 DEOA를 포함한 Alkanolamine류가 첨가된다. 다른 alkanolamine류인 Monoethanolamine(MEOA), DEOA, Triethanolamine(TEOA)도 방청제 및 pH 유지 목적으로 DEOA 대신 첨가될 수 있다. 수용성금속가공유에 DEOA가 포함되어 있다면 수용성금속가공유와 함께 노출된다. 즉, 수용성금속가공유를 사용할 때 DEOA에노출될 수 있다.

다) DEOA가 사용된 공정

① 금속제품 입고

주물, 용해 등의 공정을 통해서 금속기계 제품의 일반적인 형태를 갖춘다. 일종의 초벌을 마친 금속제품으로 볼 수 있다. 이들 금속제품을 보다 정밀하게 만들기 위해서 가공을 한다. 주물과 용해공정에 대한 공정특성은 생략한다.

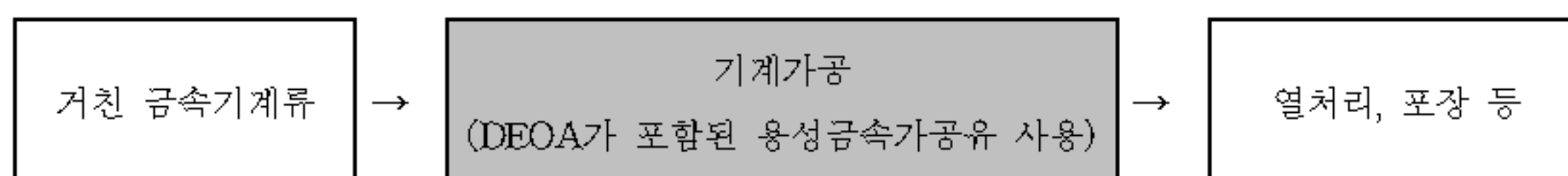
② 기계가공

금속제품을 자르고, 깎아내고(grinding), 뚫고(horing), 다듬고, 문지르는 가공(machining) 공정이다. 금속(가공물)과 금속(피가공물)이 부딪히면서 발생하는 높은 열을 제거하기 위해서 금속가공유(metalworking fluids, 절삭유라고도 함)를 사용한다. 수용성절삭유에는 MEOA, DEOA, TEOA 중의 하나가 포함되어 있다. 수용성절삭유는 가공하고자 하는 기계위로 뿌려진 후 탱크(sump)로 흘러들어가고 다시 순환되어 기계에 뿌려진다. 즉 수용성절삭유는 탱크 → 파이프(혹은 관) → 기계 위 → 탱크 등으로 순환한다. 탱크는 수용성절삭유가 모이는 일정 크기의 통으로 크기는 다양하다. 탱크에서는 금속가공유에 섞여 있는 각종 칩, 작동유 등 다른 물질을 제거하고 정제하기 위하여 일정 시간 동안 체류(정체)하는 탱크이다. 금속가공유가 탱크에 일정 시간동안 머문 후에는 다시 파이프를 통해 가공되는 기계에 뿌려진다.

DEOA의 증기압은 0.01 mmHg이하로 낮기 때문에 수용성금속가공유가 흐르는 동안 DEOA의 증발은 거의 일어나지 않는다. 그러나 수용성금속가공유가 기계위에 뿌려져서 수용성 금속가공유가 미스트로 발생될 때 거기에 포함된 DEOA도 함께 공기 중으로 발생될 수 있다.

참고

수용성 금속가공유가 들어있는 탱크에서는 미생물은 번식한다. 미생물이 지나치게 번식하여 곰팡이, 박테리아, 엔도톡신이 발생할 수 있고 이것은 천식, 비염, 폐렴 등 호흡기계에 큰 장애를 초래할 수 있다. MEOA와 DEOA는 호흡기계질환을 초래하는 것으로 알려져 있다(참고문헌).



[그림 2-24] 기계를 가공할 때 DEOA이 포함된 금속가공유가 사용되는 공정

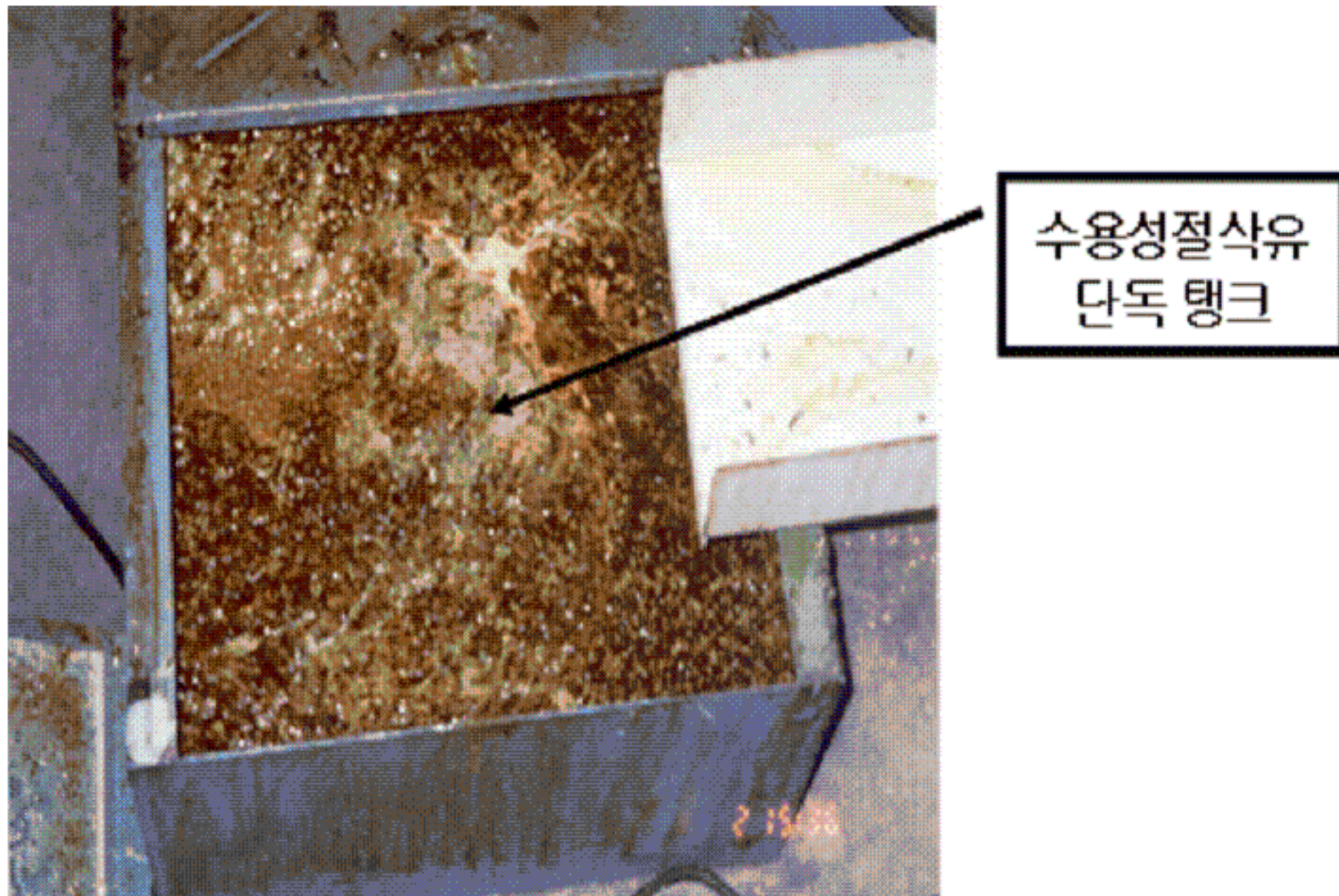
다) DEOA 노출 작업 위험평가

① 탱크

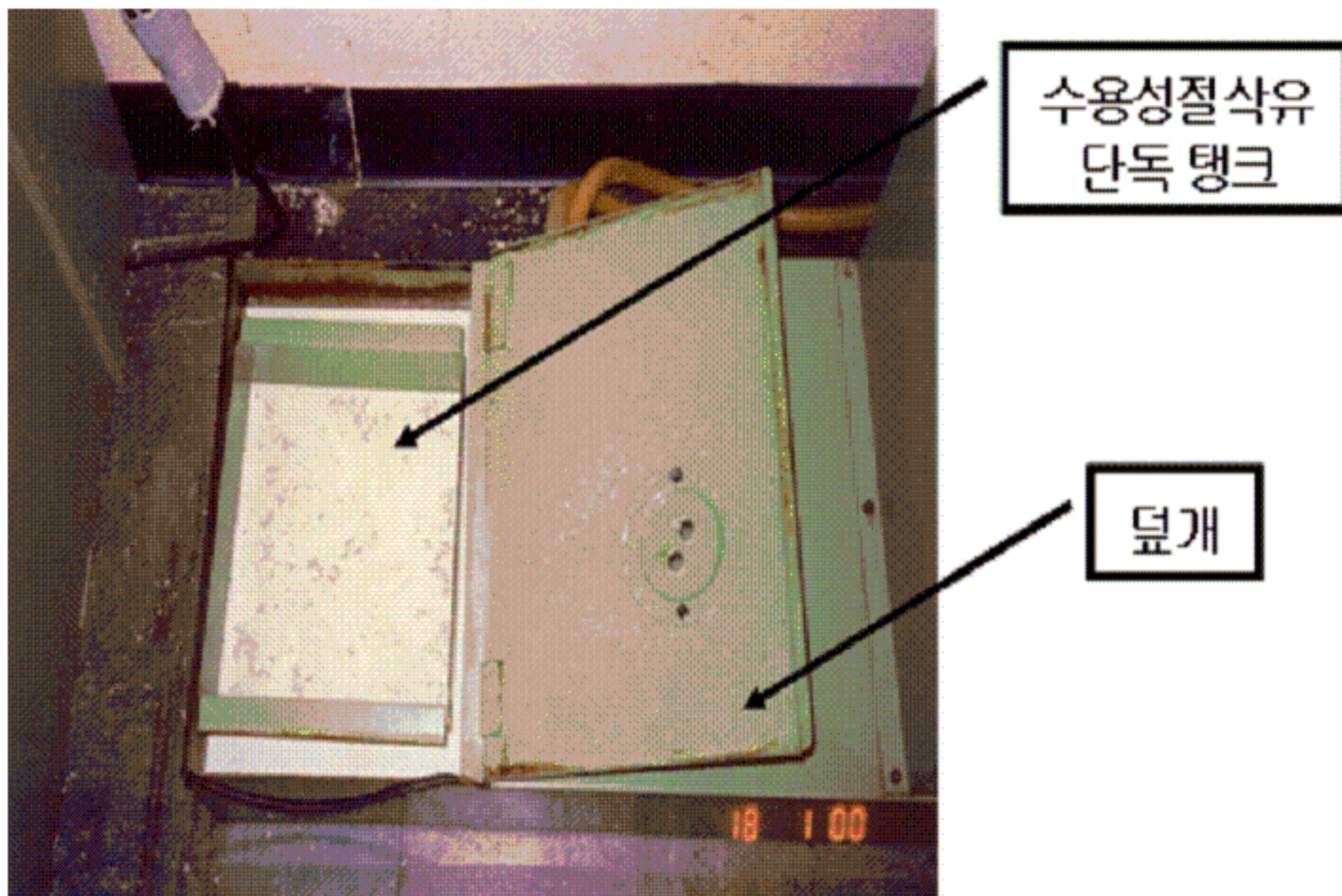
공정(작업)이름	탱크 혹은 섀프트	비고
공정설명	수용성 금속가공유가 모여 있는 통	
DEOA사용특성 평가(I)	금속가공유가 기계에 뿌려진 후 탱크에 모이고 금속 칩, 작 동유 등이 제거된 후 다시 기계가 가공되는 곳으로 파이프를 통해 순환됨. 근로자가 직접 취급하지 않고 자동적으로 흐르 고 순환됨.	그림 2-25
DEOA노출특성 평가(II)	탱크는 용성 금속가공유가 모여 있는 장소임. DEOA는 상온 에서 거의 증발이 되지 않으므로 탱크에서 자연적으로 증발 할 가능성은 낮음. 그러나 유속이 지나치게 빠른 경우 공기 중에 미스트로 발생될 수 있음 - DEOA의 증기압(0.001 mmHg)이 매우 낮음 - 상온 - 공기 중 증발 가능성은 거의 없음 <u>노출범주 : II(낮음)</u> - 국내외 DEOA 노출농도 보고된 경우가 없음 - 작업환경측정 결과 : 없음	
DEOA 유해성, 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 제정되지 않음(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험평가 (I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : III(중간)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 연구 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - 탱크덮개 안전상의 조치 - 미끄러짐 방지 조치	그림 2-26
보호구착용	해당없음	
기타 유해요인	미생물 번식(바이오에어로솔 등)	

② 기계가공

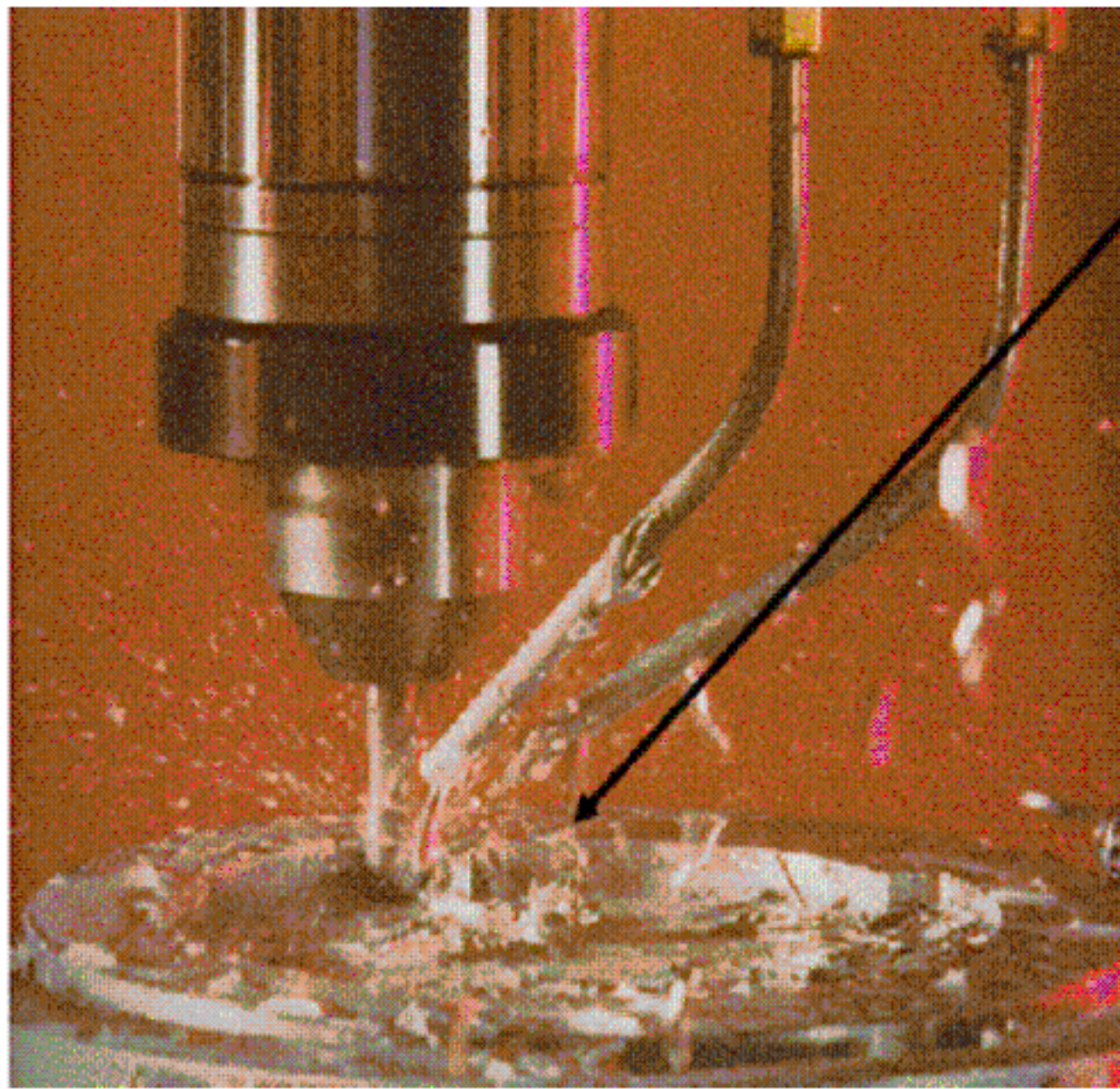
공정(작업)명	기계가공	비고
공정특성	가공되는 기계위로 수용성 금속가공유가 뿌려지거나 흘러진다	
DEOA사용특성 평가(I)	기계의 회전력에 의하여 금속가공유는 미스트로 공기 중으로 비산됨. 공정의 특성에 따라 매우 다양한 사용특성이 있음.	그림 2-27
DEOA노출특성 평가(II)	근로자는 DEOA가 포함된 수용성 절삭유에 노출됨. 노출되는 정도는 공정에 따라 큰 차이가 남. - 수용성 절삭유가 묻은 기계를 직접 만짐 - 수용성 금속가공유가 미스트로 발생: 회전하는 기계위로 뿌려질 때 미스트로 발생 <u>노출범주 : III</u> - 미스트내의 DEOA 노출농도 보고 - 작업환경측정 결과 : 없음 - 본 연구결과 :	DEOA 분석결과 -측정수 : 73 - 평균 : 0.072 mg/m ³ -검출범위: 검출한계 미만 ~ 3.3 mg/m ³
DEOA 유해성, 노출기준 등(III)	<u>유해성범주 : II</u> - 노출기준 : 0.46 ppm(ACGIH), 제정되지 않음(OSHA) - 건강상의 영향 : 눈, 피부자극, 호흡기계질환(가역적)	
DEOA위험평가 (I+II+III)	<u>위험성평가(RI) : III (중간)</u> - 건강진단결과 : 건강상의 장애 없었음 - 본 연구 설문결과 : 건강상의 장애 없었음	
공학적 대책	보건상의 조치 - 국소배기장치, 전체환기장치 - 밀폐 - 자동화(권고) - 작업환경측정 안전상의 조치 - 자동탱크주변에 저류조 혹은 피트 설치	그림 2-28 그림 2-29
보호구착용	보안경, 피부 보호구, 호흡보호구	
기타 유해요인	MEOA, TEOA, 미생물, 엔도톡신, 오일미스트, 첨가제 등 다수	



[그림 2-25] 기계에 딸린 수용성절삭유 탱크(통)

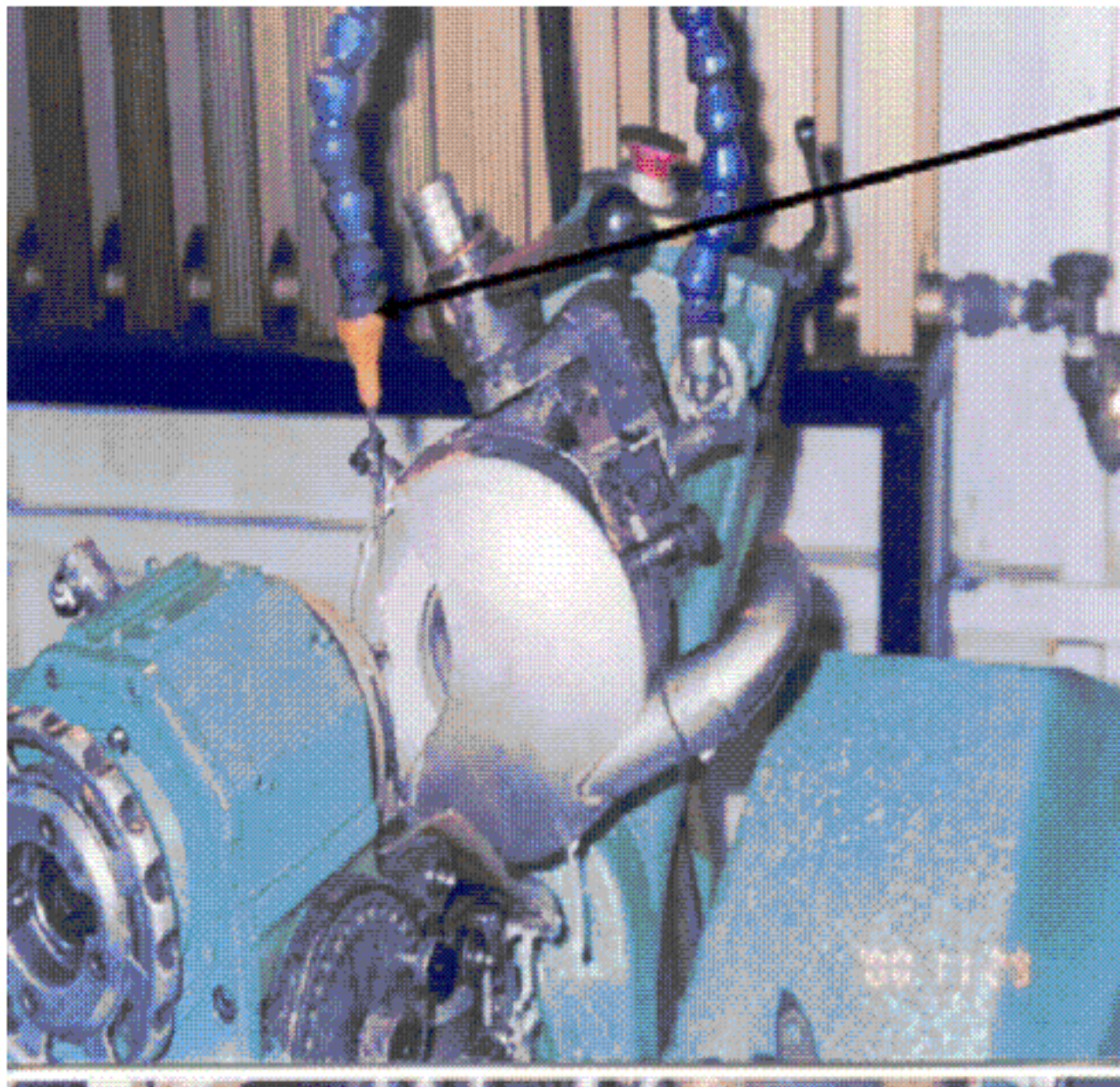


[그림 2-26] 기계에 딸린 수용성절삭유 탱크(통). 탱크에 덮개가 있음



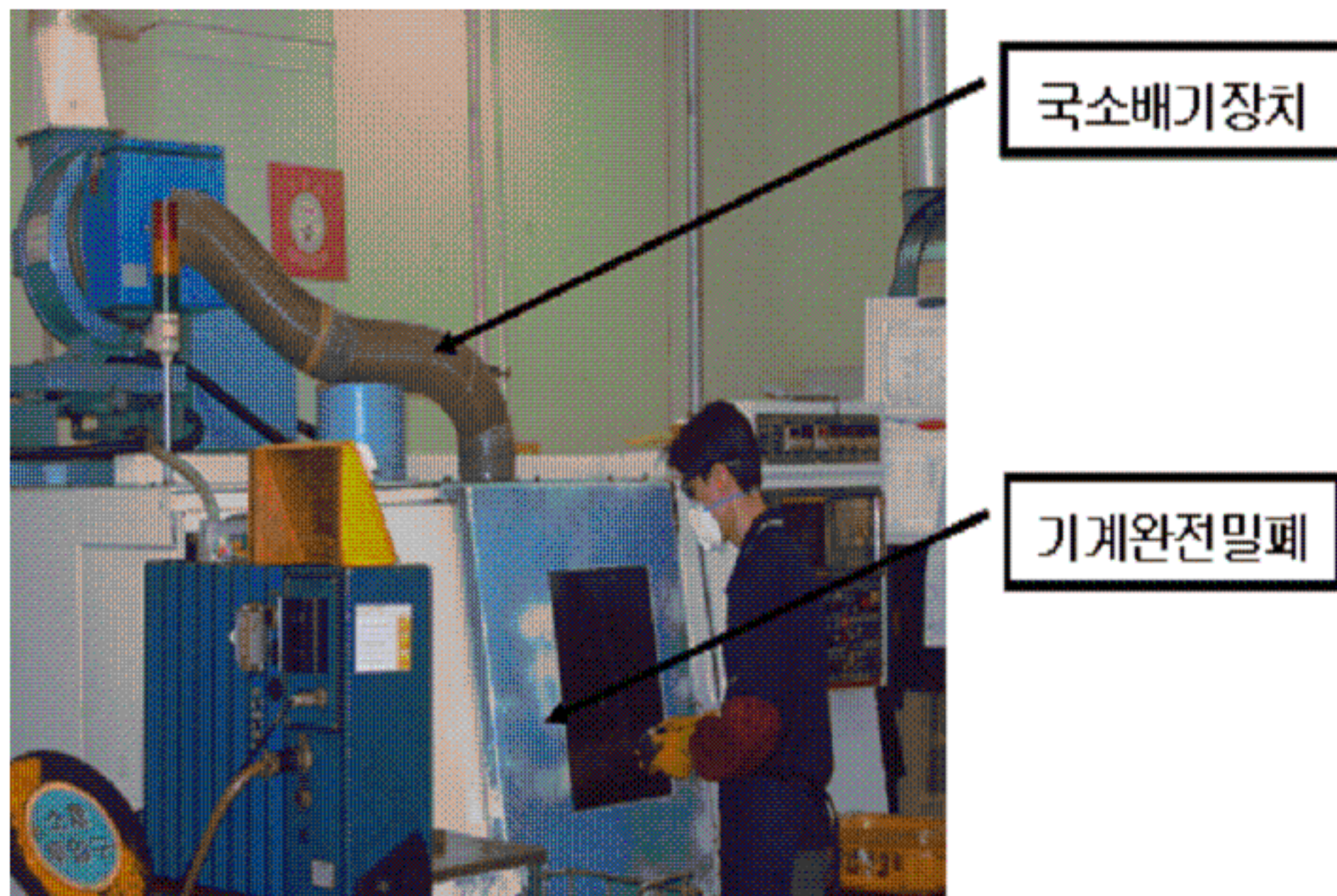
수용성절삭유
미스트로 발생

[그림 2-27] 수용성금속가공유가 미스트로 발생하는 모습



수용성절삭유
흘리는 호스

[그림 2-28] 플라스틱 호스로 수용성절삭유를 기계위로 흘림



[그림 2-29] 기계를 완전 밀폐 및 국소배기장치 설치

라. 업종별 공정별 DEOA 노출경로별 노출가능성 평가

<표 2-6>은 DEOA를 취급하는 업종별 공정별로 호흡기, 소화기, 피부노출 가능성을 정성적으로 평가하였다. 공정이나 작업의 특성에 따라 노출경로의 위험은 서로 차이가 있다. 따라서 DEOA를 취급하는 방법, 공정이나 작업의 특성, 인체의 흡수경로 등을 조사하여 노출경로별로 노출가능성을 정성적(매우 높음, 높음, 중간, 낮음, 매우 낮음)으로 평가하였다.

(1) 호흡기노출 가능성

DEOA가 공기와 함께 호흡기를 통해서 몸에 흡수되는 경로를 평가하였다. 호흡기를 통해 흡수되기 위한 가장 중요한 요소는 공기 중으로 증발 혹은 분산될 가능성이다. 이것은 DEOA 자체의 증발 능력(가능성)과 함께 공정과 작업특성이 결정적으로 영향을 미친다. DEOA의 증기압은 0.01 mmHg이하이므로

로 상온에서 이루어지는 작업일 경우 공기 중으로 증발될 가능성은 매우 낮다. 따라서 DEOA의 공기 중 분산가능성과 호흡기노출 가능성은 대부분 작업 특성에 영향을 받는다고 볼 수 있다. 즉 DEOA가 공정이나 작업의 특성으로 인해 미스트로 발생하는 경우 호흡기노출의 위험이 있다. 이러한 근거를 바탕으로 업종별 공정별로 호흡기 노출의 가능성을 아래와 같이 정성적으로 평가하였다.

□ 매우 낮음 혹은 거의 노출되지 않음(해당없음): 반응, 보관창고

DEOA를 직접 취급하지 않는 공정에서 호흡기 노출은 거의 일어나지 않는다. 즉 공정운영이 자동으로 이루어져 근로자가 DEOA를 직접 취급할 필요가 없는 공정이나 포장된 상태의 DEOA를 보관하거나 운반하는 공정이다. 석유정제업의 흡착공정, DEOA의 보관창고 등이 여기에 해당된다.

□ 낮음 : 첨가, 혼합, 저장 등

DEOA를 단순히 첨가하거나 혼합하는 공정에서는 공기 중으로 DEOA가 분산될 가능성이 매우 낮다. 실외에서 첨가작업을 할 경우의 호흡기노출의 위험은 훨씬 낮아진다. 또한 첨가하는 방법이 파이프를 체결하고 이후 자동으로 첨가되거나 저장되는 경우 호흡기 노출의 가능성은 매우 낮아진다. 따라서 이러한 공정에서 DEOA에 대한 호흡기노출은 매우 낮다. DEOA를 단순히 첨가하는 업종에서 수용성금속가공유, PPG에 DEOA를 첨가하거나 또는 DEOA를 저장탱크에 저장하는 공정은 여기에 해당된다.

□ 중간 : 드럼 포장

DEOA를 포장하는 작업은 탱크로리와 드럼포장 2가지이다. 탱크로리 포장은 반자동이고 실외작업이므로 호흡기노출가능성은 매우 낮다. 그러나 드럼포장 작업은 호흡기노출 가능성이 어느 정도 있을 수 있다. DEOA가 드럼으로 떨어지면서 낙하되고 액체에 부딪히면서 DEOA 미스트(mist)가 공기 중으로 분산될 수 있다. 드럼포장은 대부분 실내에서 이루어지므로 호흡기노출 가능성은 있다. 또한 포장작업 형태에 따라 미스트의 발생은 크게 영향을 받을 수

있다. 따라서 DEOA를 드럼으로 포장하는 경우 호흡기노출 가능성은 있다.

□ 높음 : 금속가공

DEOA가 호흡기를 통해서 노출될 가능성이 공정은 공정이나 작업특성으로 인해 미스트가 발생하는 경우이다. 수용성 금속가공유는 회전하는 기계위에 뿌려지므로 회전력에 의해서 수용성금속가공유가 미스트로 공기 중으로 발생되는 것은 일반적이다. 즉, DEOA가 포함된 금속가공유가 금속가공 과정에서 발생하는 열 등을 제거하기 위해 움직이거나 회전하는 가공기구에 뿌려지면 증발이 아닌 분산에 의해 DEOA는 공기 중으로 발생되고 이로 인해 호흡기 노출은 일어난다. 기계가공 공정에서 수용성 금속가공유는 근로자가 작업시간 동안 DEOA를 직접 취급하므로 호흡기 노출가능성은 높다고 볼 수 있다([그림 2-27]참조).

(2) 피부노출 가능성

DEOA는 피부를 통해서도 몸으로 흡수된다. 따라서 피부흡수에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 작업방법이다. 피부를 접촉할 가능성이 많은 작업일 경우 피부를 통한 흡수 가능성은 높다

□ 매우 낮음 또는 해당없음: 반응공정

DEOA를 직접취급하지 않는 공정에서는 피부 노출 가능성이 매우 낮거나 거의 없다. 공정운영이 자동으로 이루어지기 때문에 근로자가 DEOA를 직접 취급할 필요가 없고 따라서 피부로 흡수될 가능성이 거의 없는 공정이다. DEOA를 제조하는 반응공정과 석유정제업의 흡착공정 등이 여기에 해당된다.

□ 낮음: 첨가, 포장, 저장

DEOA를 간헐적으로 직접 취급하는 공정은 피부를 통한 흡수가 일어날 수 있다. DEOA를 첨가, 포장, 저장할 경우 DEOA를 직접 취급하게 된다. 특히 DEOA를 드럼에 포장할 경우 피부 접촉 빈도는 늘어난다. 따라서 피부노출은

어느 정도 일어날 수 있다.

□ 매우 높음 : 금속가공공정

금속가공에서는 작업특성 때문에 DEOA의 피부를 통한 흡수 가능성이 높다. 금속가공공정에서는 가공되거나 가공중인 제품은 금속가공유가 제품표면에 묻어있다. 근로자는 금속가공유가 묻어 있는 제품을 검사, 운반, 제거 등을 위해서 손으로 만지는 경우가 매우 많다. 또한 작업 중에 공기 중으로 비산되는 미스트가 얼굴, 손, 눈, 피부 등에 접촉될 수 있다. 수용성 금속가공유와 함께 DEOA가 피부를 통해 몸으로 흡수될 수 있다. 금속가공 공정에서 금속가공유가 피부를 통해 흡수되어 각종 피부질환의 발생사례는 많다(참고문헌). 따라서 수용성 금속가공유를 취급하는 공정에서 DEOA의 피부노출 가능성은 매우 높다고 할 수 있다([그림 2-30] 참조)



[그림 2-30] 수용성 금속가공유가 묻어 있는 제품을 손으로 검사하는 작업.

<표 2-7> 업종별 공정별 노출경로별 DEOA 노출의 가능성에 대한 정성적인 평가

업종	공정	호흡기노출	소화기노출	피부노출	이유
기초화학제품 제조업 :DEOA 제조, 판매	저장	매우 낮음	해당없음	낮음	실외작업 파이프체결 후 저장: 반자동
	포장	실내 : 중간 실외 : 낮음	해당없음	실내: 중간 실외: 낮음	음식물 오염 거의 없음 드럼 포장시 노출 중간
기초화학제품 제조업: DEOA수입판 매	저장	매우 낮음	해당없음	낮음	실외작업 파이프체결 후 저장: 반자동
	포장	실내 : 중간 실외 : 매우 낮음	해당없음	실내: 중간 실외: 낮음	음식물 오염 거의 없음 드럼 포장시 노출 중간
석유정제품제 조업 :DEOA 황화수 소흡착	저장	매우 낮음	해당없음	매우 낮음	실외작업 파이프체결후 저장: 반자동
	반응	해당없음	해당없음	해당없음	실외작업 완전자동화: 밀폐
화학제품제조 업: 수용성금 속가공유제조	혼합 (첨가)	실내 : 낮음 실외 : 매우 낮음	해당없음	실내: 낮음 실외: 낮음	음식물 오염 거의 없음 파이프체결 후 혼합: 반자동
	보관 창고	매우 낮음	해당없음	매우 낮음	사용 후 남은 양 저장 취급 주의
화학제품제조 업: PPG제조	혼합 (첨가)	실내 : 낮음 실외 : 매우 낮음	해당없음	실내: 낮음 실외: 낮음	음식물 오염 거의 없음 파이프체결 후 혼합: 반자동
	보관 창고	매우 낮음	해당없음	매우 낮음	사용 후 남은 양 저장 취급 주의
의약품제조업: 주사제 제조	DEOA 무게 잴	해당없음	해당없음	해당없음	소량취급
	조제 및 충전	해당없음	해당없음	해당없음	무균실
기계, 장비제 조업: 수용성금속가 공유사용	탱크	해당없음	해당없음	해당없음	정비 시 근로자 직접 접촉 피부노출 가능성 높아짐
	기계가 공	높음	매우 낮음	높음	미스트로 노출 작업장내 음식 섭취시 소화기 노출 가능 제품검사: 피부노출 위험

(3) 소화기노출 가능성

소화기를 통한 흡수는 음식에 오염되어 음식과 함께 몸으로 흡수되는 경우이다. DEOA가 취급되는 사업장안에서 음식을 먹지 않는다면 소화기를 통한 흡수는 거의 일어나지 않는다.

마. DEOA에 노출되는 근로자수

(1) 한계점

DEOA는 특수건강진단 대상물질이 아니다. 따라서 DEOA에 노출되는 근로자수를 정확하게 조사하는 것은 불가능하다. DEOA에 노출되는 근로자수를 파악하기 위해서는 DEOA를 취급하는 공정을 정확하게 파악하고 여기에서 노출될 수 있는 가능성이 있는 근로자를 종합해야 한다. 그러나 이러한 방법에 따라 노출근로자수를 조사하는 것은 본 연구범위에 포함되지 않는다. 따라서 DEOA에 노출되는 근로자수를 조사하기 위해서는 보고된 자료를 참조하였다.

(2) 작업환경실태조사에서 보고한 DEOA 노출근로자 수

한국산업안전공단은 전국의 제조업체를 대상으로 실시한 작업환경실태조사를 통해서 DEOA 노출근로자수를 보고하였다. 1999년에는 5인 이상 사업장을 대상으로 하였지만 2004년에는 인원과 관계없이 전 사업장을 조사하였다. 그 결과는 <표 2-8>에 정리하였다

본 연구조사에서 설명한 제 2 장 “취급현황”의 결과에 근거해 볼 때 한국산업안전공단이 조사한 사업장수와 노출근로자수는 실제 보다 적게 조사된 것으로 판단된다. DEOA를 제조하거나 사용하지 않지만 DEOA가 발생할 수 있는 사업장은 매우 많은데도 불구하고 DEOA 발생사업장은 없었고 노출근로자수도 없는 것으로 보고하였다. (7)항 “기계장비 제조업”에서 설명한 바와 같이 수용성 금속

<표 2-8> 한국산업안전공단이 작업환경실태 조사를 통해 보고한 DEOA에 노출되는 근로자 수

년도별	제조		사용		발생	
	사업장수	노출 근로자수	사업장수	노출 근로자수	사업장수	노출 근로자수
1999년	0개소	0 명	6개소	42명	0	0
2004년	3개소	10 명	34개소	236명	0	0

내용 주

- 1) 1999년 한국산업안전공단에서 5인 이상 사업장을 직접 방문해서 조사한 자료
- 2) 2004년 한국산업안전공단에서 1인 이상 사업장을 직접 방문해서 조사한 자료

가공유를 사용하는 기계가공 공정은 직접 DEOA를 제조하거나 사용하지 않지만 DEOA가 금속가공유에 함유될 수 있기 때문에 DEOA가 발생될 수 있다. 작업환경실태 조사에서 DEOA의 발생이 누락된 것은 조사자가 금속가공유의 특성에 대한 전문성이 부족하여 DEOA의 함유가능성을 인식하지 못했기 때문이다. 또한 사업장에서도 수용성 금속가공유를 취급하더라도 물질안전보건자료(MSDS)에서 DEOA의 함유에 대한 언급이 없는 경우가 매우 많고 작업환경측정에서도 측정한 경우가 거의 없기 때문에 DEOA 발생을 역시 인식하지 못한 경우가 대부분이다. 이러한 이유 때문에 DEOA 발생 사업장이나 노출근로자수는 없는 것으로 조사된 것으로 판단된다.

(3) DEOA 발생시 노출 근로자 수 추가 추정

기계나 장비를 가공하는 업종인 자동차 차체 및 트레일러 제조업(산업분류 34), 기타운송장비제조업(산업분류 35)은 금속가공유를 사용한다. 따라서 이 업종에 근무하는 근로자 중 일정비율은 DEOA에 노출될 수 가능성이 있다. 한국산업안전공단에서 조사한 DEOA 발생에 대한 내용은 문제점이 있기 때문에 이에 대한 노출근로자수의 추정은 필요할 것으로 판단된다. 기계나 장비를 가공하는 사업장이라고 하더라도 금속가공유를 사용하는 부서의 분류, 금속가공유의 종류(수용성 및 비수용성), 금속가공유 중에서 DEOA의 함유가능성 등

의 변수가 있으므로 DEOA에 노출되는 근로자 수를 추정하는 것은 쉽지 않다. 금속가공유를 취급하는 기계장비 가공 업종의 총 근로자를 근거(노동부, 2002년)로 아래와 같이 DEOA노출(혹은 발생)에 영향을 미치는 변수를 적용하여 노출근로자수를 추정하였다(<표 2-9> 참조).

<표 2-9> 기계장비 가공업종에서 DEOA에 노출될 것으로 추정되는 근로자 수

업종	총근로자수	금속가공유를 사용할 확률 : 5 %	수용성 금속가공유를 사용할 확률(50 %)	DEOA가 함유될 확률(33 %)	DEOA에 노출될 수 있는 근로자 수
자동차 및 트레일러업	220,209명	11,010 명	5,505 명	1,817 명	1,817 명
기타운송장 비제조업	111,525명	5,576 명	2,788 명	920 명	920 명
계	331,734 명	16,586 명	8,293 명	2,737 명	2,737 명

□ 기계장비 가공 업종에서 금속가공유를 취급할 가능성: 5 %

기계와 장비를 가공하는 모든 업종은 금속가공유를 취급한다. 업종이나 사업장에 따라 금속가공유를 취급하지 않은 공정, 사무직 등의 비율은 서로 다르더라도 전체적으로 최소 5 %의 근로자는 금속가공유를 취급할 수 있는 것으로 가정하였다.

□ 금속가공유를 취급하는 공정에서 수용성 금속 가공유를 취급할 가능성 : 50 %

금속가공유는 4가지 종류가 있다. 비수용성을 제외하고 다른 3개의 금속가공유(합성, 준합성, 수용성)는 DEOA가 함유될 수 있는 가능성이 있다. 이러한 가능성에 대한 추정이다. 따라서 금속가공유를 취급하면 DEOA가 함유될 수 있는 가능성은 50 %이다.

□ 수용성 금속 가공유에서 DEOA가 함유된 가능성: 33 %

수용성 금속가공유에는 pH 조절과 기계가 녹이 스는 것은 방지하기 위해서 3 종류의 알카놀아민류(MOEA, DEOA, TEOA) 중에 한 가지가 함유되는 것이 일반적이다. 따라서 수용성 금속가공유중에서 DEOA가 함유될 가능성은 약 33 %이다.

기계장비 가공업종에서 DEOA에 노출될 가능성을 3단계의 변수에 의한 추정하였다. 이와 같은 추정결과 DEOA의 발생에 따른 추정된 근로자수는 총 2,737명이었다.

(4) DEOA 노출 근로자 수 추정

DEOA를 제조하거나 사용하는 사업장수와 노출근로자수는 작업환경실태조사에서 참고하였고, DEOA발생에 따른 노출근로자수는 본 연구에서 추정하여 총 DEOA에 노출될 수 있는 근로자수를 추정하였다. DEOA에 노출되는 근로자 수는 DEOA제조시 10 명, DEOA 사용시 36 명 그리고 DEOA발생시 2,737 명으로 총 2,783명으로 추정하였다(<표 2-10> 참조).

<표 2-10> DEOA에 노출될 것으로 추정되는 근로자 수

DEOA제조시 노출 근로자 수 ¹⁾	DEOA사용시 노출 근로자 수 ¹⁾	DEOA발생시 노출 근로자 수 ²⁾	DEOA 노출 근로자 수
10 명	36명	2,737명	2,783 명

내용 주

1) 한국산업안전공단에서 2004년 작업환경측정 실태 조사에서 보고 된 자료(<표 2-8> 참조)

2) 본 조사를 근거로 DEOA 발생시 노출근로자수의 추정 자료(<표 2-9> 참조)

바. 업종별 공정별 DEOA 위험성 종합

업종별 공정별로 DEOA위험을 정성적으로 평가하였다. 위험평가는 위에서 살펴본 공정에서 증발 가능성, DEOA의 유해성, 노출경로, 작업특성 그리고

노출근로자수를 종합하여 평가하였다(Donoghue, 2001, <표 2-11>과 [그림 2-31] 참조).

(1) 위험이 중간 이상인 공정(RI III이거나 RI IV)

DEOA의 위험이 어느 정도 있거나 높은 공정은 기계가공 공정뿐이다. 이와 같이 판단한 근거는 아래와 같다.

- **공정특성** : DEOA가 포함된 수용성 금속가공유가 가공되는 기계에 부딪히면서 미스트로 수시로 발생됨
- **노출경로** : 미스트에 의한 호흡기노출과 피부노출 그리고 근로자가 수용성 금속가공유를 취급하는 과정에서 피부노출
- **작업특성** : 일하는 동안 줄곧 수용성 금속가공유를 직접 취급하여 상시 노출 가능성이 있음
- **DEOA의 유해성** : DEOA가 천식 등 호흡기계질환을 초래하는 원인물질이라는 주장이 제기됨(Ameille, 1995))
- **DEOA 노출근로자수** : DEOA가 포함될 수 있는 수용성 금속가공유는 기계나 장비를 제조하는 모든 업종에 사용된다. 따라서 노출근로자수는 대단히 많다.
- **사용량** : 기계 장비를 가공하는 공정에서 수용성 금속가공유의 사용량은 매우 많다. 제조되는 기계에 연속적으로 뿌려져야 하기 때문이다.

DEOA의 유해성을 호흡기계에 감작(sensitization)을 일으키는 물질로 가정할 경우 위험은 더 높아진다. 현재까지 확정되지는 않았지만 MEOA와 함께 DEOA는 호흡기계에서 천식이나 비염을 초래하는 원인인자로서 의심되고 있다. 결론적으로 기계가공 공정에서 DEOA에 대한 위험은 높다고 할 수 있다. 기계가공 공정에서 DEOA에 대한 위험은 대책에 따라 줄일 수 있다. 이에 대한 내용은 8장 “취급근로자 건강장해 예방조치”에 설명하였다.

(2) 위험이 낮은 공정

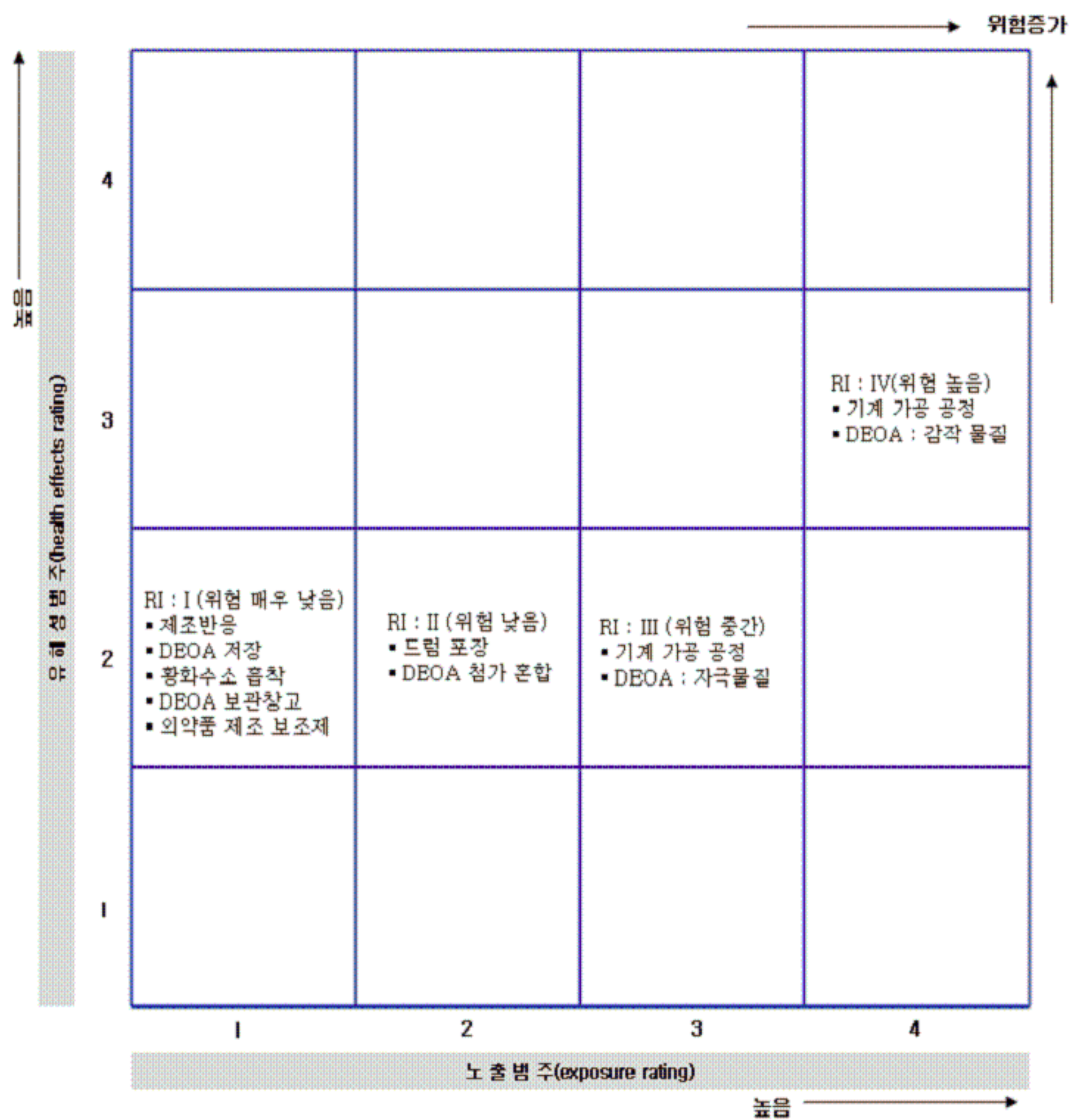
DEOA를 직접 취급하는 경우 낮은 위험이 존재한다. DEOA를 취급하지만 간헐적으로 취급하고 짧은 시간동안 공정으로 드럼포장, DEOA첨가 등이 여기에 해당된다. 드럼포장일 경우 미스트가 발생하는 작업방법일 경우 DEOA 위험은 증가될 수 있다.

<표 2-11> DEOA를 사용하는 업종별 공정과 사용용도 요약

업종(산업분류)	공정	취급형태	노출범주	유해성범주	위험등급
기타화학제품제조업: DEOA 제조 판매 (산업분류:243)	반응 저장	- 자동운전 - 노출위험 없음	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
	포장	- 수동 포장	II (낮음)	II (낮음)	II (낮음)
기타화학제품제조업: DEOA 수입 판매 (산업분류:243)	저장	- 반자동 저장 - 실외작업 - 노출위험 없음	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
	포장	- 수동 포장	II (낮음)	II (낮음)	II(낮음)
석유정제품제조업: DEOA 황화수소 흡 착 (산업분류:232)	저장 반응 정비	- 자동운전 - 노출위험 없음	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
화합물 및 화학제품 제조업:수용성 금속 가공유 제조 (산업분류:24)	혼합 (첨가)	- 반자동 첨가 - 실외작업 - 간헐적취급	I(실외: 매우 낮음) II(실내: 낮음)	II (낮음)	I(실외: 매우 낮음) II(실내: 낮음)
	저장	- 수동 저장 - 수동 운송 등	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
화합물 및 화학제품 제조업: PPG제조 (산업분류:24)	혼합 (첨가)	- 반자동 첨가 - 실외작업 - 간헐적취급	I(실외: 매우 낮음) II(실내: 낮음)	II (낮음)	I(실외: 매우 낮음) II(실내: 낮음)
	저장	- 수동 저장 - 수동 운송 등	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
의약품제조업: 주사제 제조 (산업분류:242)	DEOA 무게 잴	- 반자동 - 소량 취급	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
	조제 및 충전	- 무균실 - 소량 취급	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
기계, 장비제조업: 수용성금속가공유사 용 (산업분류:29, 34,341,342,35,351,352, 353,359)	탱크	- DEOA순환	II (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
	기계 가공	- 직접 취급 - 다량 취급	III 또는 IV (중간 또는 높음)	II(낮음)	III(중간) 혹은 IV(높음)

(3) 위험이 매우 낮은 공정

DEOA를 취급하지만 위험이 거의 없는 경우이다. 즉 DEOA를 자동공정으로 운영하거나 실외에서 반자동으로 간헐적으로 DEOA를 취급하는 경우이다. DEOA 제조반응, 황화수소 흡착공정과 같은 자동화 공정이나 실외에서 DEOA를 탱크에 저장하는 공정이 여기에 해당된다. 의약품제조에서 의약품 보조제로 극히 소량 첨가되는 DEOA는 위험이 거의 존재하지 않는다.



[그림 2-31] 공정별 DEOA 위험성 분포

3. 동물에 있어서의 영향

가. 급성독성

동물에 대한 급성독성(acute toxicity)연구는 각 노출경로에 따라 경구독성(oral toxicity), 피부독성(dermal toxicity), 흡입독성(inhalable toxicity)으로 나누며 14일 이내의 노출기간에 대한 독성영향을 관찰한 경우에 해당한다.(ATSDR, 1998; HSDB, 2003).

또한, 동물에 대한 독성영향 실험은 일반적으로 사람이 노출되는 수준보다 훨씬 높은 농도에서 이루어지며 주로 극단적인 반응인 치사율에 대한 지표(예, LC50;실험군 중 반수 치사농도, LD50;실험군 중 반수 치사섭취 혹은 접촉량)로 독성 정도를 평가하게 된다. 이후 설명하게 될 독성 연구자료에서도 LD50, LC50 등의 지표값이 제시되는데 이러한 지표값이 얼마나 큰 독성을 의미하는지 이해를 도모하기 위해 우리나라 산업안전보건법시행규칙 제81조에서 제시하고 있는 유해인자 분류기준을 제시하고자 한다. 산업안전보건법시행규칙 제81조 유해인자 분류기준에는 화학적 유해인자에 대해 독성실험 결과를 기준으로 ‘고독성물질’, ‘독성물질’, ‘유해물질’로 분류하고 있으며 각 분류의 세부기준은 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 산업안전보건법시행규칙의 독성에 따른 유해인자 분류기준

분류항목	정의	분류기준
고독성물질	흡입·섭취 또는 피부를 통하여 흡수될 때 극소량으로 사망하게 하거나 건강에 급성 또는 만성장해를 일으키는 물질	(1) 경구투여시: $LD_{50} \leq 25 \text{ mg/kg}$ (랫트) (2) 24시간 경피처리시 : $LD_{50} \leq 50 \text{ mg/kg}$ (랫트 또는 토끼) (3) 4시간 연속흡입시 · 가스 또는 증기: $LC_{50} \leq 0.5 \text{ mg/l/4hr}$ (랫트) · 입자 또는 에어로졸 $LC_{50} \leq 0.25 \text{ mg/l/4hr}$ (랫트)
독성물질	흡입·섭취 또는 피부를 통하여 흡수될 때 소량으로 사망하게 하거나 건강에 급성 또는 만성장해를 일으키는 물질	(1) 경구투여시: $25 < LD_{50} \leq 200 \text{ mg/kg}$ (랫트) (2) 24시간 경피처리시 $50 < LD_{50} \leq 400 \text{ mg/kg}$ (rat 또는 토끼) (3) 4시간 연속흡입시 · 가스 또는 증기 $0.5 < LC_{50} \leq 2 \text{ mg/l/4hr}$ (rat) · 입자 또는 에어로졸 $0.25 < LC_{50} \leq 1 \text{ mg/l/4hr}$ (랫트)
유해물질	흡입·섭취 또는 피부를 통하여 흡수될 때 급성 또는 만성장해를 일으킬 우려가 있는 물질	(1) 급성독성 (가) 경구투여시 $200 < LD_{50} \leq 2,000 \text{ mg/kg}$ (랫트) (나) 24시간 경피처리시 $400 < LD_{50} \leq 2,000 \text{ mg/kg}$ (랫트 또는 토끼) (다) 4시간 연속흡입시 · 가스 또는 증기 $2 < LC_{50} \leq 20 \text{ mg/l/4hr}$ (랫트) · 입자 또는 에어로졸 $1 < LC_{50} \leq 5 \text{ mg/l/4hr}$ (랫트) (2) 아급성독성 (가) 경구투여시 무영향농도(NOEL) $\leq 50 \text{ mg/kg/90day}$ (랫트) (나) 경피처리시 무영향농도(NOEL) $\leq 100 \text{ mg/kg/90day}$ (랫트) (다) 6시간 연속흡입시 무영향농도(NOEL) $\leq 0.5 \text{ mg/l/6hr/90day}$ (랫트) (3) 그 밖의 장해 (가) 해당물질에 반복적 또는 장기적으로 노출된 경우의 사망 또는 심각한 손상 (나) 임상관찰 또는 기타 적절한 방법에 따른 평가에 의해 시각·청각 및 후각을 포함한 중추 또는 말초신경계에서의 주요 기능장애 (다) 혈액의 골수세포 생산감소 등 임상학적으로 나타나는 일관된 변화 (라) 간·신장·신경계·폐 등의 표적기관의 손상 (마) 헤모글로빈의 기능을 약화시키는 등 혈액이나 조혈계의 장애 (바) 그 밖에 해당 물질로 인한 신체기관의 기능장애 또는 비가역적 변화

(1) 급성경구독성

Korsrud(1973)는 diethanolamine(이하 DEOA이라 함) 200mg/kg을 랫트에게 1회 경구 투여 후에 진정, 운동 실조 등의 중추신경계 저하로 인한 증상들을 관찰하였으며, 혈액 검사 상 혈중 내 간 효소 수치가 증가하여 간독성을 확인하였다. 간의 무게가 증가하였고, 조직 검사 상 간의 부종과 조직의 공포화가 관찰되었으며, 간 세포내 미토콘드리아의 손상과 소포체 손상이 관찰되었다. 200mg/kg이상 투여 시에는 혈액 검사 상 혈중 내 요소 수치가 증가하여 신 독성을 확인하였으며, 혈중 내 아미노산(arginine)이 감소하고, 신장의 무게가 증가하였다. 조직 검사 결과, 신장에서는 근위세뇨관의 부종이 관찰되었다.

반수 치사 경구량(LD50)은 마우스의 경우 3300mg/kg이었고, 기니아피그의 경우 2200mg/kg이었고, 토끼의 경우에도 2200mg/kg이었다(<표 3-2> 참조).

(2) 급성경피독성

Clayton(1981)은 10% DEOA을 토끼의 피부에 접촉시에 발적을 형성하며, 10%이상 농도에서는 피부 손상이 관찰되었다. 40%의 DEOA을 안구에 점적시 심각한 안구 화상을 일으키지만, 15%의 DEOA은 경미한 손상만을 일으키는 것으로 파악되었다.

Dutertre(1982)은 토끼의 눈과 피부에 DEOA을 접촉시켰을때, 각막의 다발성 열상과 피부의 화상 및 괴사를 관찰하였다(<표 3-2> 참조).

(3) 급성흡입독성

Foster(1972)는 1471ppm의 DEOA을 랫트에게 노출시켰을때, 폐부종이 발생하고 2시간 이내에 사망하는 것을 관찰하였다(<표 3-2> 참조).

<표 3-2> DEOA에 의한 급성독성 동물실험 결과

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출경로	농도	관찰내용	참고문헌
랫트	1회 투여	경구	200mg/kg	중추신경계 기능 저하 간 기능 장애 간세포 미토콘드리아 손상	1973, Korsrud
랫트	1회 투여	경구	200mg/kg 이상	신장 기능 장애 근위 세뇨관 부종	1973, Korsrud
랫트	1회 접촉	피부	10% 이상 DEOA	피부의 발적 및 손상	1981, Clayton
랫트	1회 접촉	안구	40% DEOA	안구 화상	1981, Clayton
랫트	1회 접촉	안구	15% DEOA	경미한 손상	1981, Clayton
랫트	1회 흡입	흡입	1471ppm	폐부종, 사망	1972, Foster
마우스	1회 투여	경구	3300mg/kg	LD ₅₀	1982, Izmerov
기니아피그	1회 투여	경구	2200mg/kg	LD ₅₀	1982, Izmerov
토끼	1회 투여	경구	2200mg/kg	LD ₅₀	1982, Izmerov

Grice(1971)는 100, 500mg/kg의 DEOA을 랫트에게 복강내 주사로 투여한 결과, 간세포에서 세포질의 공포화, 미토콘드리아의 변성이 관찰되었고, 신장 세뇨관 상피의 괴사를 관찰할 수 있었다.

Hartung(1970)은 랫트에게 250mg/kg의 DEOA을 복강내 주사로 반복적으로 투여한 결과, 간 무게의 증가를 관찰하였다.

Blum(1970)은 반수치사량 농도인 2300mg/kg을 마우스에게 복강내 주사로 투여한 결과, 간의 심각한 지방변성이 관찰되었고, 미토콘드리아의 변성, 소포체의 확장 및 비과립화를 관찰할 수 있었다.

나. 아급성독성

동물에 대한 아급성 독성은 단기독성(Short Term Toxicity) 혹은 아만성(Subchronic Toxicity)라고도 하는데, 이는 실험동물의 평균수명 중 일부기간에 걸쳐 대상물질을 반복 투여했을 때 나타나는 독성을 시험하는 것이다. 즉, 2주간~6개월간의 연속투여시험으로 일반적으로는 14일, 28일 또는 90일의 투여기간을 채택하고 있으나, 이는 각 연구기간마다 상이하다.

Hruban(1965)은 랫트에게 1000mg/kg의 DEOA를 4일 동안 경구 투여시에, 간세포의 미토콘드리아의 팽창과 소포체의 파괴를 관찰할 수 있었으며, 췌장 선세포의 파괴도 관찰할 수 있었다(<표 3-3> 참조).

Hartung(1970)은 랫트에게 4mg/ml의 DEOA이 녹아있는 물을 7주간 섭취 시에는 사망에 이르게 되었으며, 조직 검사 결과, 간과 신장의 손상을 관찰할 수 있었고, 골수의 소실 없는 정상적혈구 빈혈을 관찰할 수 있었다(<표 3-3> 참조).

Barbee(1976)는 수컷 Sprague-Dawley Rat에게 물과 함께 0.25, 1.3, 5.0mg/l (42~490mg/kg/day)의 중성화된 DEOA를 마시도록 하여 1, 2, 3개월 후에 조직검사를 시행하였다. 조직검사 결과, 간 세포내 미토콘드리아의 세포막이 손상되어 변형이 관찰되었으나, 신장 세포내 미토콘드리아의 변형은 관찰되지 않았다(<표 3-3> 참조).

<표 3-3> DEOA에 의한 아급성독성 동물실험 결과

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출경로	농도	관찰내용	참고문헌
랫트	4일	경구	1000mg/kg	간세포미토콘드리아의 팽창과 소포체 파괴 핵장 선세포 파괴	1965, Hruban
랫트	7주	경구	4mg/ml	간, 신장의 손상, 빈혈	1970, Hartung
랫트	3개월	경구	0.25/1.3/5.0 mg/ℓ	간세포 미토콘드리아의 세포막 손상, 변형	1979, Barbee

Smyth(1951)는 10마리의 랫트에게 5.1, 20, 90, 170, 350, 680mg/kg의 DEOA 이 포함되어 있는 식이를 13주 동안 제공하였을 때, 680mg/kg을 섭취한 랫트 들은 모두 사망하였고, 170~350mg/kg을 섭취한 랫트들도 사망하였다. 체중의 증가는 관찰되지 않았으며, 음식 섭취량은 고농도의 DEOA을 섭취한 랫트들 에게서 감소하는 것으로 파악되었다. 90mg/kg이상 의 DEOA을 섭취한 쥐들에 게서 간과 신장의 무게가 양-반응 관계를 보이면서 증가하였고, 조직학적인 간과 신장의 변화는 170mg/kg 이상의 DEOA을 섭취한 랫트들에게서 관찰되었 다. 5.1~20mg /kg의 DEOA을 섭취한 랫트들에게서는 병적인 변화를 관찰할 수 는 없었다(<표 3-4> 참조).

<표 3-4> DEOA에 의한 아급성독성 동물실험 결과(Smyth, 1951)

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출경로	농도	관찰내용
랫트	13주	경구	680mg/kg	사망, 음식 섭취량의 감소, 간과 신장의 무게증가 조직학적인 간, 신장의 변성
랫트	13주	경구	170, 350mg/kg	사망, 간과 신장의 무게증가 조직학적인 간, 신장의 변성
랫트	13주	경구	90mg/kg	간과 신장의 무게증가
랫트	13주	경구	5.1, 20mg/kg	병적인 변화 없음

1980년 Gulf South Research Institute에서는 경구 아급성 독성을 파악하기 위해 F344 수컷과 암컷의 랫트에게 0, 20, 50, 100, 200, 400mg/kg의 DEOA를 13주 동안 경구 투여한 결과, 100, 200, 400mg/kg의 DEOA를 투여한 그룹에서는 사망하는 랫트들이 관찰되었고, 저용량을 투여한 그룹을 제외한 모든 그룹에서 체중 증가의 감소를 관찰할 수 있었다. 200, 400mg/kg을 투여한 암컷 랫트들에게서는 신장의 변형이 관찰되고 위장에서는 위장세포의 증식과 각화증이 관찰되었다. B6C3F1 수컷과 암컷의 랫트들을 이용한 경구 아급성 독성 시험에서는 0, 50, 100, 200, 400, 800mg/kg의 DEOA를 13주동안 투여하였을때, 800mg/kg을 투여한 수컷 랫트들에게서 사망하는 랫트들이 관찰되었고, 200, 400, 800mg/kg을 투여한 수컷 랫트들에게서는 체중 증가의 감소를 관찰할 수 있었다. 저용량을 투여한 그룹을 제외한 모든 그룹에서는 탈모 현상을 관찰할 수 있었다. 조직 검사 결과, 800mg/kg을 투여한 수컷 랫트들에게서만 신장의 근위세뇨관의 손상이 발견 되었다(<표 3-5> 참조).

<표 3-5> DEOA에 의한 아급성독성 동물실험 결과(GSRI, 1980)

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출경 로	농도	관찰내용
랫트, 수컷 (F344)	13주	경구	100, 200, 400mg/kg	사망, 체중 증가의 감소
랫트, 수컷 (F344)	13주	경구	50mg/kg	체중 증가의 감소
랫트, 수컷 (F344)	13주	경구	20mg/kg	이상 소견 없음
랫트, 암컷 (F344)	13주	경구	200, 400mg/kg	사망, 체중 증가의 감소, 신장의 변형, 위장세포의 증식, 각화증
랫트, 암컷 (F344)	13주	경구	100mg/kg	사망, 체중 증가의 감소
랫트, 암컷 (F344)	13주	경구	50mg/kg	체중 증가의 감소
랫트, 암컷 (F344)	13주	경구	20mg/kg	이상 소견 없음
랫트, 수컷 (B6C3F1)	13주	경구	800mg/kg	사망, 체중 증가의 감소, 탈모 근위 세뇨관의 손상
랫트, 수컷 (B6C3F1)	13주	경구	200, 400mg/kg	체중 증가의 감소, 탈모
랫트, 수컷 (B6C3F1)	13주	경구	100mg/kg	탈모
랫트, 수컷 (B6C3F1)	13주	경구	50mg/kg	이상소견 없음
랫트, 암컷 (B6C3F1)	13주	경구	100, 200, 400,800mg/kg	탈모
랫트, 암컷 (B6C3F1)	13주	경구	50mg/kg	이상 소견 없음

1992년 U.S National Toxicology Program(NTP)에서는 F344 랫트와 B6C3F1 랫트를 이용하여 DEOA의 아급성 경구 독성과 경피 독성과 관련된

실험을 진행 하였다.

(1) F344 랫트를 이용한 DEOA의 아급성 경구 독성

F344 랫트를 이용한 DEOA의 2주간 경구독성을 파악하기 위해 수컷과 암컷 모두 0, 630, 1250, 2500, 5000, 10000ppm의 DEOA이 포함된 물을 섭취토록 하였다. 암컷에서는 5000/10000ppm을 섭취한 그룹의 랫트들은 모두 사망하였으며, 수컷에서는 1000ppm를 섭취한 5마리의 랫트 중에 2마리가 사망하였다. DEOA을 섭취한 모든 랫트들에서 신장의 무게가 증가하고 세뇨관의 괴사와 신장기능의 감소가 관찰되었다. 수컷에서는 고환의 위축이 관찰되었고, 양-반응 관계로 간의 무게가 증가하고 적혈구, 혈색소, 망상적혈구등이 감소하는 것을 관찰할 수 있었다.

<표 3-6> DEOA에 의한 아급성독성 동물실험 결과

(NTP, 1992, F34 Rat, 2weeks, 경구)

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출경 로	농도	관찰내용
랫트, 수컷 (F344)	2주	경구	10000ppm	3/5 사망, 체중 증가 감소, 수분섭취 감소, 세뇨관 피사, 빈혈 소견, 요소질소 증가
랫트, 수컷 (F344)	2주	경구	5000ppm	체중 증가 감소, 수분섭취 감소, 빈혈 소견, 요소질소 증가
랫트, 수컷 (F344)	2주	경구	2500ppm	빈혈 소견, 요소질소 증가
랫트, 수컷 (F344)	2주	경구	1250ppm	빈혈 소견, 요소질소 증가
랫트, 수컷 (F344)	2주	경구	630ppm	빈혈 소견, 요소질소 증가
랫트, 암컷 (F344)	2주	경구	10000ppm	5/5 사망, 세뇨관 피사, 빈혈 소견, 요소질소 증가
랫트, 암컷 (F344)	2주	경구	5000ppm	5/5 사망, 세뇨관 피사, 빈혈 소견, 요소질소 증가
랫트, 암컷 (F344)	2주	경구	2500ppm	체중 증가 감소, 간효소수치 증가, 세뇨관 피사 빈혈 소견, 요소질소 증가
랫트, 암컷 (F344)	2주	경구	1250ppm	체중 증가 감소, 빈혈 소견, 요소질소 증가
랫트, 암컷 (F344)	2주	경구	630ppm	빈혈 소견, 요소질소 증가

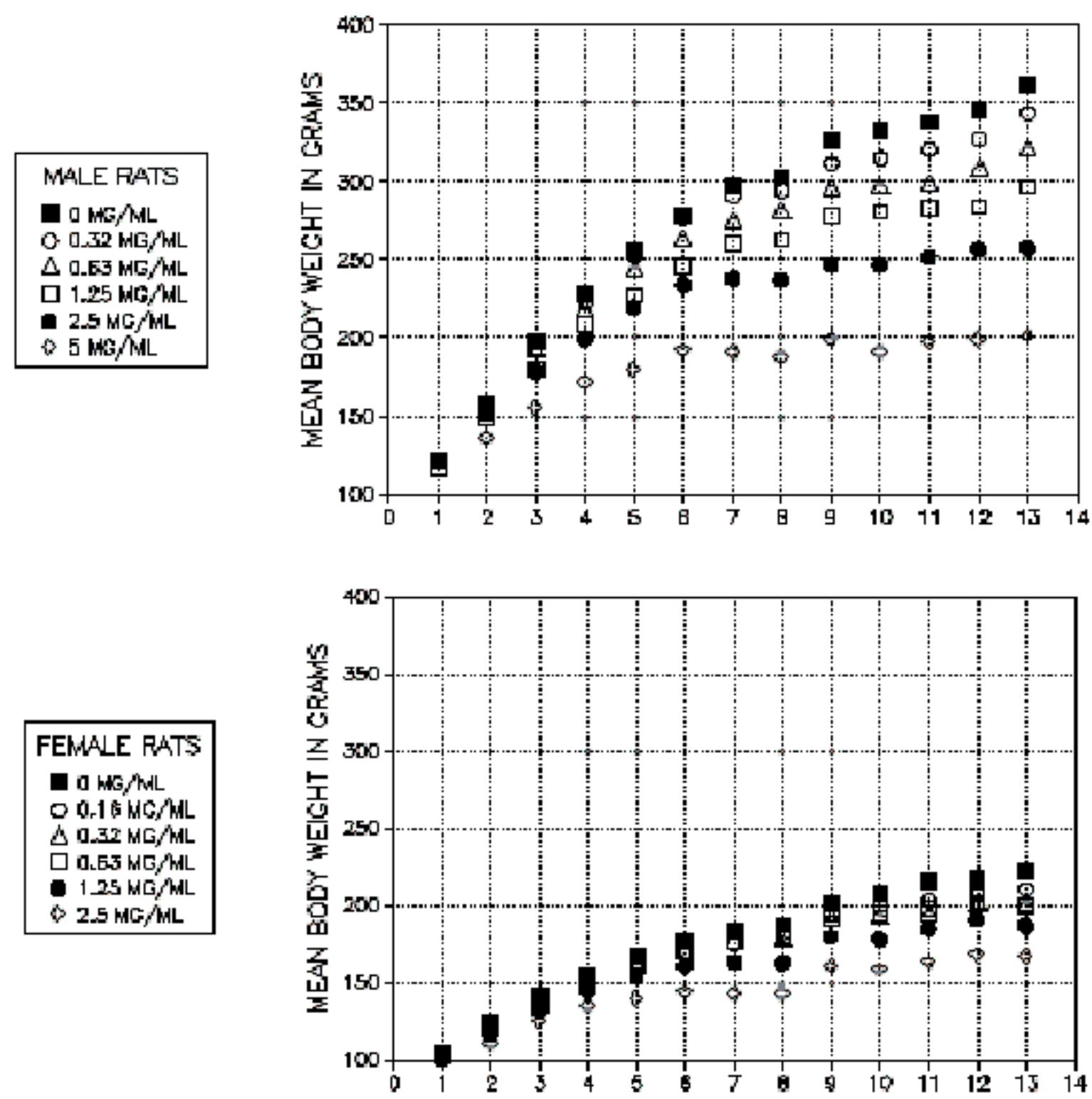
F344 랫트를 이용한 DEOA의 13주간 경구독성을 파악하기 위해 수컷 랫트들에게는 0/0.32/0.63/1.25/2.5/5.0mg/ℓ (0/28.3/55/109/233.2/487.5mg/kg)의 DEOA을 물과 함께 섭취하도록 하였고 암컷 랫트들에게는 DEOA 0/0.16/0.32/0.63/1.25/2.5mg/ℓ (0/15/36/64/141.4/248.6mg/kg)를 물과 함께 섭취하도록 하였다. 양-반응 관계에 따라 체중 증가의 감소가 관찰되었다. 최고 농도를 투여한 랫트들에게는 10마리 중 2마리가 사망하였으며, 나머지 랫트들은

일시적인 진전 현상을 보였다. 0.32mg/ℓ 이상을 투여한 랫트들에게서는 적혈구/혈색소/헤마토크릿의 감소를 관찰할 수 있었다. 모든 실험 대상 랫트들에게서는 혈중 요소질소의 증가를 관찰할 수 있었다. 대조군보다 DEOA를 투여한 모든 암컷 랫트들과 0.63mg/ℓ 이상 투여한 수컷 랫트들에게서는 유의한 간의 무게 증가가 관찰되었고, 신장의 무게 증가는 DEOA를 섭취한 모든 암컷과 수컷 랫트들에게서 관찰할 수 있었다. 조직학적 검사결과, DEOA를 투여한 모든 랫트들에게서 신장의 변화(신증성 변화)가 관찰되었고, 0.63mg/ℓ 이상 섭취한 랫트들의 뇌와 척수에서는 탈수초화가 관찰되었으며, 1.25mg/ℓ 이상 섭취한 랫트들에게서는 정자수의 감소와 고환의 위축이 발견되었고, 부신 수질의 공포화와 흥선에서의 임파성 조직의 감소, 폐에서의 대식세포의 증식등을 관찰할 수 있었다. 실험 결과 NOAEL은 결정할 수 없었다.

<표 3-7> DEOA 용량에 따른 주요 장기별 이상소견 유병율

(NTP, 1992, F34 Rat, 13weeks, 경구)

수컷 F33 랫트		0	0.32 mg/ℓ	0.63 mg/ℓ	1.25 mg/ℓ	2.5 mg/ℓ	5.0 mg/ℓ
신장	신증	6/10	2/10	2/10	3/10	6/10	10/10
	세뇨관 상피 괴사	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	10/10
	세뇨관 광화 (mineralization)	0/10	0/10	0/10	1/10	10/10	10/10
뇌	탈수초화	0/10	0/10	0/10	0/10	10/10	10/10
척수		0/10	0/10	0/10	0/10	10/10	10/10
암컷 F33 랫트		0	0.16 mg/ℓ	0.32 mg/ℓ	0.63 mg/ℓ	1.25 mg/ℓ	2.5 mg/ℓ
신장	신증	2/10	9/10	10/10	10/10	9/10	2/10
	세뇨관 상피 괴사	0/10	0/10	0/10	0/10	1/10	3/10
	세뇨관 광화 (mineralization)	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
뇌	탈수초화	0/10	0/10	0/10	0/10	10/10	10/10
척수		0/10	0/10	0/10	0/10	10/10	10/10



[그림 3-1] DEOA 투여량에 따른 체중 증가의 감소
(NTP, 1992, F34 Rat, 13weeks, 경구)

<표 3-8> DEOA 용량에 따른 아급성독성 동물실험 결과
(NTP, 1992, F34 Rat, 13weeks, 경구)

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출 경로	농도	관찰내용
랫트, 수컷 (F344)	13주	경구	5.0 mg/l	2/10사망, 진전, 빈혈, 요소질소 증가, 간/신장 무게 증가, 신장 변성, 탈수초화, 정자수 감소, 부신수질 공포화, 흉선 임파 조직 감소, 폐 대식세포 증식
랫트, 수컷 (F344)	13주	경구	1.25, 2.5 mg/l	빈혈, 진전, 요소질소 증가, 간/신장 무게 증가, 신장의 변성, 탈수초화, 정자수 감소, 부신수질 공포 화, 흉선 임파 조직 감소, 폐 대식세포 증식
랫트, 수컷 (F344)	13주	경구	0.63 mg/kg	빈혈, 진전, 요소질소 증가 간/신장 무게 증가, 신장의 변성
랫트, 수컷 (F344)	13주	경구	0.32 mg/kg	빈혈, 진전, 요소질소 증가, 신장 변성, 신장 무게 증 가
랫트, 암컷 (F344)	13주	경구	2.5 mg/l	2/10사망, 진전, 빈혈, 요소질소 증가 간/신장 무게 증가, 신장 변성, 탈수초화, 부신수질 공포화, 흉선 임파 조직 감소, 폐 대식세포 증식
랫트, 암컷 (F344)	13주	경구	1.25 mg/l	빈혈, 진전, 요소질소 증가 간/신장 무게 증가, 신장의 변성, 탈수초화, 부신수질 공포화, 흉선 임파 조직 감소, 폐 대식세포 증식
랫트, 암컷 (F344)	13주	경구	0.63 mg/kg	빈혈, 진전, 요소질소 증가 간/신장 무게 증가, 신장의 변성, 탈수초화
랫트, 암컷 (F344)	13주	경구	0.32 mg/kg	빈혈, 진전, 요소질소 증가, 신장의 변성, 간/신장 무게 증가
랫트, 암컷 (F344)	13주	경구	0.16 mg/kg	진전, 요소질소 증가, 신장의 변성, 간/신장 무게 증가

(2) B6C3F1 마우스를 이용한 DEOA의 아급성 경구 독성

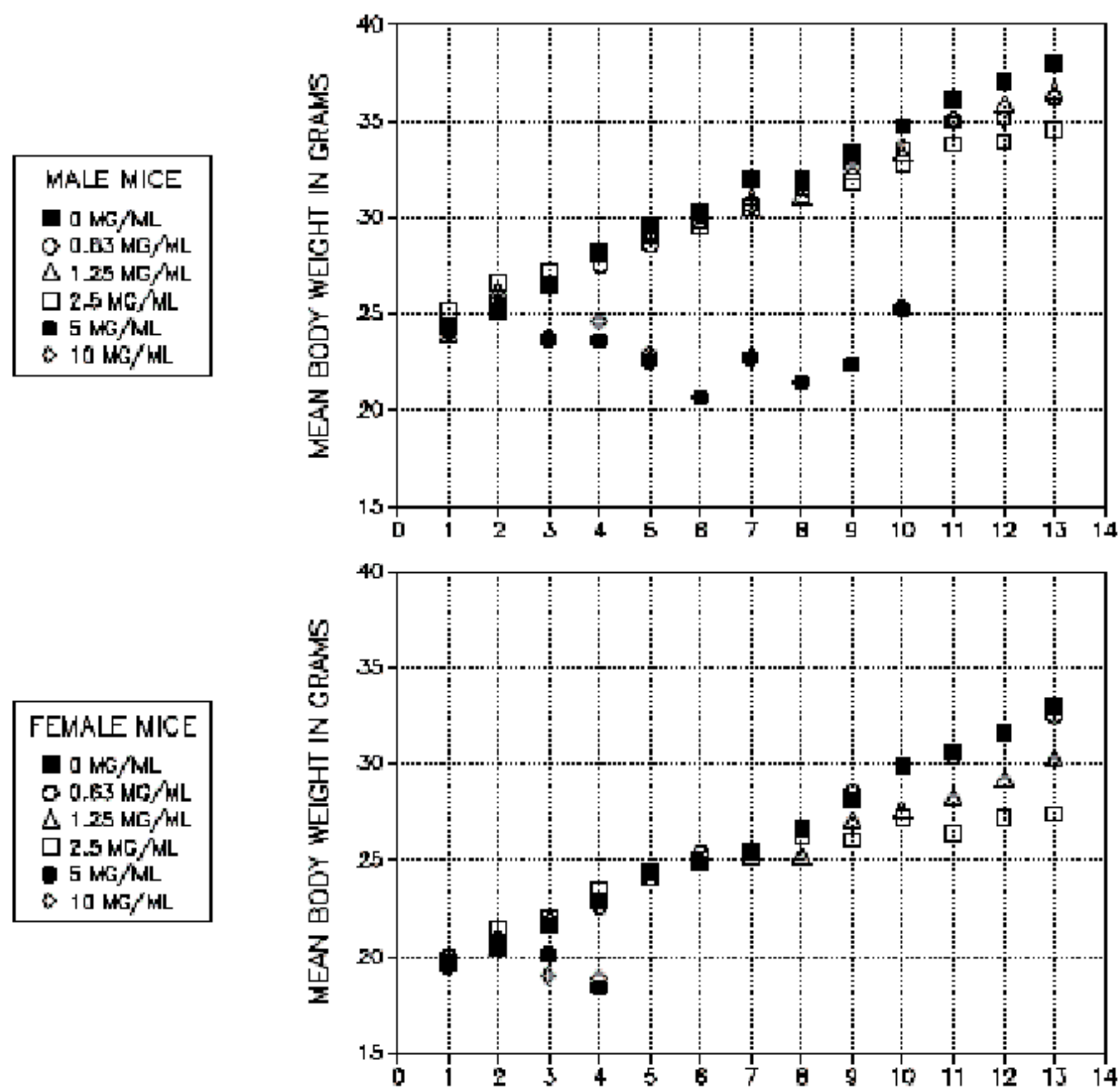
B6C3F1 마우스를 이용한 DEOA의 2주간 경구독성을 파악하기 위해 수컷과 암컷에게 0, 630, 1250, 2500, 5000, 10000ppm의 DEOA을 포함한 물을 섭취토록 하였다. 사망하는 마우스는 관찰되지 않았고, 수컷의 경우에는 10000ppm을 섭취한 마우스에서 체중증가의 감소가 관찰되었고, 암컷의 경우에는 5000ppm을 섭취한 마우스에서 체중증가의 감소가 관찰되었다. 양-반응 관계에 따른 간무게의 증가와 조직검사상 간세포의 변형을 관찰할 수 있었다. 10000ppm을 섭취한 마우스에서 심근의 변성을 관찰할 수 있었다.

B6C3F1 마우스를 이용한 DEOA의 13주간 경구독성을 파악하기 위해 수컷 마우스들에게는 0, 0.63, 1.25, 2.5, 5.0, 10.0mg/ℓ (0, 103.6, 178, 422.4, 806.5, 1673.8mg/kg)의 DEOA을 물과 함께 섭취하도록 하였고, 암컷 마우스들에게는 0, 0.63, 1.25, 2.5, 5.0, 10.0mg/ℓ (0, 142.3, 346.8, 883.6, 1153.8, 2128.2mg/kg)의 DEOA을 물과 함께 섭취하도록 한 결과, 최고농도에서는 모든 마우스들이 사망하였고, 암컷 마우스들은 2.5mg/ℓ의 DEOA을 섭취한 10마리 중 3마리가 실험 도중 사망하였다. 5.0, 10.0mg/ℓ를 섭취한 마우스들에게서 수분 섭취량이 급격히 감소하였고, DEOA을 섭취한 대부분의 마우스들에게서 활동량의 감소가 관찰되었다. 1.25mg/ℓ 이상의 DEOA을 섭취한 쥐들에게서는 체중증가의 감소가 관찰되었고, 혈중내 알부민과 아미노산의 농도는 0.63, 1.25mg/ℓ에서 증가 하였다. 대조군보다 DEOA을 섭취한 모든 마우스들에게서 간의 무게가 증가하였으며, 신장 및 심장의 무게 역시 1.25mg/ℓ 이상 DEOA을 섭취 시 대조군보다 증가하는 것으로 파악되었다. DEOA을 섭취한 모든 마우스들에게서 간세포의 피사가 관찰되었고, 2.5mg/ℓ의 DEOA을 섭취시에는 심근의 변성이 관찰되었고, 수컷에 있어서는 1.25, 2.5mg/ℓ의 DEOA을 섭취시에 신장의 손상을 관찰할 수 있었다. 위의 실험결과에서도 NOAEL은 결정할 수 없었다.

<표 3-9> DEOA 용량에 따른 주요 장기별 이상소견 유병율

(NTP, 1992, B6C3F1 Rat, 13weeks, 경구)

수컷 B6C3F1 랫트		0	0.63 mg/ℓ	1.25 mg/ℓ	2.5 mg/ℓ	5.0 mg/ℓ	10.0 mg/ℓ
간	세포질 변형	0/10	9/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	간세포 괴사	0/10	0/10	0/10	9/10	7/10	9/10
신장	신증	0/10	1/10	5/10	8/10	2/10	0/10
	세뇨관 상피 괴사	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	2/10
심장	심근 변성	0/10	0/10	0/10	1/10	10/10	10/10
침샘	세포질 변형	0/10	0/10	0/10	10/10	10/10	10/10
암컷 F33 랫트		0	0.63 mg/ℓ	1.25 mg/ℓ	2.5 mg/ℓ	5.0 mg/ℓ	10.0 mg/ℓ
간	세포질 변형	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	간세포 괴사	0/10	0/10	1/10	4/10	8/10	7/10
신장	신증	0/10	0/10	0/10	1/10	1/10	0/10
	세뇨관 상피 괴사	0/10	0/10	0/10	0/10	1/10	0/10
심장	심근 변성	0/10	0/10	0/10	9/10	10/10	10/10
침샘	세포질 변형	0/10	0/10	0/10	7/10	10/10	10/10



[그림 3-2] DEOA 투여량에 따른 체중 증가의 감소

(NTP, 1992, B6C3F1 Rat, 13weeks, 경구)

<표 3-10> DEOA 용량에 따른 아급성 독성 동물실험 결과

(NTP, 1992, B6C3F1 Rat, 13weeks, 경구)

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출 경로	농도	관찰내용
마우스, 수컷 (B6C3F1)	13주	경구	10.0 mg/ℓ	10/10사망, 수분섭취량의 감소, 활동량의 감소, 체중증가의 감소, 혈중 내 알부민/아미노산 증가 간무게의 증가, 간세포의 괴사
마우스, 수컷 (B6C3F1)	13주	경구	5.0 mg/ℓ	수분섭취량의 감소, 활동량의 감소, 체중증가의 감소, 혈중 내 알부민/아미노산 증가, 간무게의 증가, 간세포의 괴사
마우스, 수컷 (B6C3F1)	13주	경구	2.5 mg/kg	활동량의 감소, 체중증가의 감소, 혈중 내 알부민/아미노산 증가, 간무게의 증가, 간세포의 괴사 심근의 변성, 신장의 손상
마우스, 수컷 (B6C3F1)	13주	경구	1.25 mg/kg	활동량의 감소, 체중증가의 감소, 혈중 내 알부민/아미노산 증가, 간무게의 증가, 간세포의 괴사 신장의 손상
마우스, 수컷 (B6C3F1)	13주	경구	0.63 mg/kg	활동량의 감소, 혈중 내 알부민/아미노산 증가, 간무게의 증가, 간세포의 괴사
마우스, 암컷 (B6C3F1)	13주	경구	10.0 mg/ℓ	10/10사망, 수분섭취량의 감소, 활동량의 감소, 체중증가의 감소, 혈중 내 알부민/아미노산 증가, 간무게의 증가, 간세포의 괴사
마우스, 암컷 (B6C3F1)	13주	경구	5.0mg/ ℓ	수분섭취량의 감소, 활동량의 감소, 체중증가의 감소, 혈중 내 알부민/아미노산 증가, 간무게의 증가, 간세포의 괴사
마우스, 암컷 (B6C3F1)	13주	경구	2.5mg/ kg	3/10사망, 활동량의 감소, 체중증가의 감소, 혈중 내 알부민/아미노산 증가, 간무게의 증가, 간세포의 괴사 심근의 변성
마우스, 암컷 (B6C3F1)	13주	경구	1.25mg/ kg	활동량의 감소, 체중증가의 감소, 혈중 내 알부민/아미노산 증가, 간무게의 증가, 간세포의 괴사
마우스, 암컷 (B6C3F1)	13주	경구	0.63mg/ kg	활동량의 감소, 혈중 내 알부민/아미노산 증가 간 무게 증가, 간세포의 괴사

(3) F344 랫트를 이용한 DEOA의 아급성 경피 독성

경구 아급성 독성에 대한 실험이외에 경피 아급성 독성에 대한 실험도 진행되었다.

F344 랫트를 이용한 DEOA의 2주간 경피독성을 파악하기 위해 수컷과 암컷 랫트들에게 0, 125, 250, 500, 1000, 2000mg/kg의 DEOA을 피부에 접촉시켰다. 수컷의 경우, 2000mg/kg을 접촉한 5마리의 랫트 중에 3마리가 사망하였고, 암컷의 경우에는 2000mg/kg을 접촉한 5마리 모두 사망하였고, 1000mg/kg을 접촉한 5마리 중에서는 1마리가 사망하였다. 체중 증가의 감소는 수컷의 경우에는 1000, 2000mg/kg을 접촉한 경우, 암컷의 경우에는 1000mg/kg을 접촉한 경우에 나타났다. 양-반응 관계에 따른 빈혈 소견이 수컷과 암컷 모두에게 관찰되었으며, 신장 기능의 감소와 세뇨관의 피사를 관찰할 수 있었다. 500, 1000, 2000mg/kg의 DEOA을 접촉시에 피부의 자극반응을 관찰할 수 있었다. 수컷의 경우에는 고환의 변성이 관찰되었다.

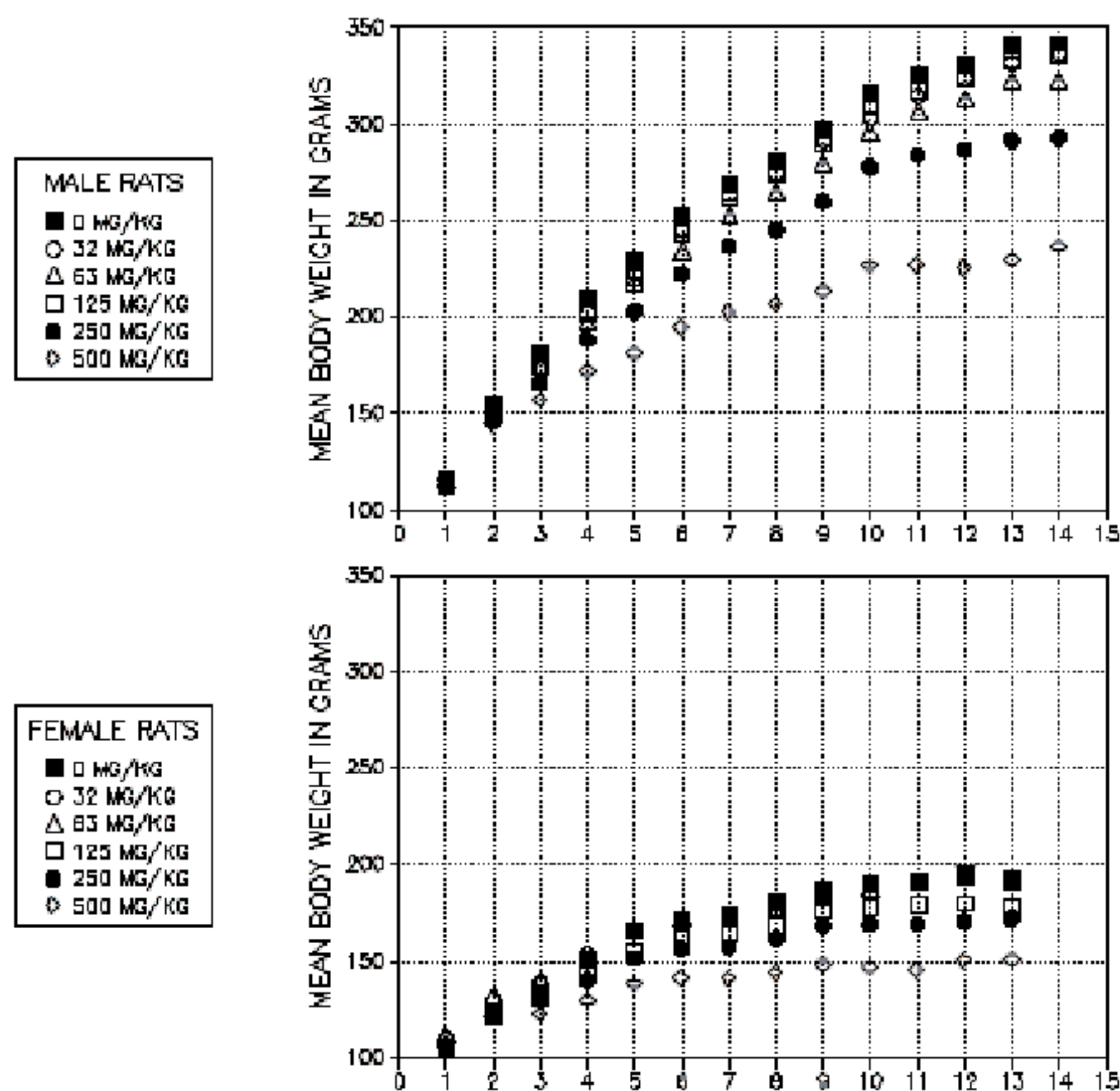
<표 3-11> DEOA에 의한 아급성독성 동물실험 결과

(NTP, 1992, F34 Rat, 2weeks, 피부)

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출 경로	농도	관찰내용
랫트, 수컷 (F344)	2주	피부	2000mg/kg	2/5 사망, 피부자극 반응, 체중 증가의 감소, 요소 질소의 증가, 혈색소, 적혈구 감소
랫트, 수컷 (F344)	2주	피부	1000mg/kg	피부자극 반응, 체중 증가의 감소, 요소 질소의 증가, 혈색소, 적혈구 감소
랫트, 수컷 (F344)	2주	피부	500mg/kg	피부자극 반응, 혈색소, 적혈구 감소
랫트, 수컷 (F344)	2주	피부	250mg/kg	혈색소, 적혈구 감소
랫트, 암컷 (F344)	2주	피부	2000mg/kg	5/5 사망, 피부자극 반응
랫트, 암컷 (F344)	2주	피부	1000mg/kg	1/5 사망, 피부자극 반응, 체중 증가의 감소, 요소 질소의 증가, 혈색소, 적혈구 감소
랫트, 암컷 (F344)	2주	피부	500mg/kg	피부자극 반응, 혈색소, 적혈구 감소
랫트, 암컷 (F344)	2주	피부	250mg/kg	혈색소 감소

F344 랫트들에게 매일 0, 32, 63, 125, 250, 500mg/kg의 DEOA를 13주 동안 피부 점적을 시행하였으며, 500mg/kg의 DEOA를 경피 섭취한 수컷 10마리 중 1마리와 암컷 10마리 중 2마리가 사망한 것으로 관찰되었다. 250, 500mg/kg의 DEOA를 경피 섭취시 체중의 감소가 관찰되었고, 125, 250, 500mg/kg의 DEOA를 피부 점적한 랫트들에게서는 해당 피부의 자극 반응이 관찰되었다. 250/500 mg/kg을 경피 섭취한 수컷과 DEOA를 경피 섭취한 모든 암컷들에게서 적혈구의 감소를 관찰할 수 있었으며, 125mg/kg 이상을 경피 섭취한 수컷과 DEOA를 경피 섭취한 모든 암컷들에게서 혈색소의 감소를 관찰할 수 있었고, 63mg/kg 이상을 경피 섭취한 암컷과 DEOA를 경피 섭취한 모든 수컷들에

게서 평균 적혈구 용적의 감소를 관찰할 수 있었다. 생화학적인 분석 결과, 혈중내 알부민 수치는 수컷의 경우 63mg/kg이상, 암컷의 경우 32mg/kg이상인 경우에 증가하였으며, 요소 질소 수치는 암컷의 경우 63mg/kg이상, 수컷의 경우 250mg/kg이상인 경우 증가하였다. DEOA의 점적 부위의 피부 자극의 빈도와 정도는 양-반응관계를 보였으며, 조직학적 소견상 63mg/kg이상의 DEOA를 점적한 랫트 들에게서는 피부의 궤양과 과각화증등이 관찰되었다. 이 실험에서도 NOAEL은 결정할 수 없었다.



[그림 3-3] DEOA 투여량에 따른 체중 증가의 감소
(NTP, 1992, F34 Rat, 13weeks, 피부)

<표 3-12> DEOA 용량에 따른 아급성독성 동물실험 결과

(NTP, 1992, F34 Rat, 13weeks, 피부)

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출경로	농도	관찰내용
랫트, 수컷 (F344)	13주	피부	500 mg/kg	1/10 사망, 체중의 감소, 피부자극 반응, 적혈구 감소 혈색소 감소, 요소질소 증가, 피부의 궤양/과각화증
랫트, 수컷 (F344)	13주	피부	250 mg/kg	체중의 감소, 피부자극 반응, 적혈구 감소, 혈색소 감소, 요소질소 증가, 피부의 궤양/과각화증
랫트, 수컷 (F344)	13주	피부	125 mg/kg	피부자극 반응, 혈색소 감소, 피부의 궤양/과각화증
랫트, 수컷 (F344)	13주	피부	63 mg/kg	피부의 궤양/과각화증
랫트, 수컷 (F344)	13주	피부	32 mg/kg	적혈구 용적 감소
랫트, 암컷 (F344)	13주	피부	500 mg/kg	2/10 사망, 체중의 감소, 피부자극 반응, 적혈구 감소 혈색소 감소, 요소질소 증가, 피부의 궤양/과각화증
랫트, 암컷 (F344)	13주	피부	250 mg/kg	체중의 감소, 피부자극 반응, 적혈구 감소, 혈색소 감 소, 요소질소 증가, 피부의 궤양/과각화증
랫트, 암컷 (F344)	13주	피부	125 mg/kg	피부자극 반응, 적혈구 감소, 혈색소 감소, 요소질소 증가, 피부의 궤양/과각화증
랫트, 암컷 (F344)	13주	피부	63 mg/kg	적혈구 감소, 혈색소 감소, 요소질소 증가, 피부의 궤양/과각화증, 적혈구 용적 감소
랫트, 암컷 (F344)	13주	피부	32 mg/kg	적혈구 감소, 혈색소 감소

<표 3-13> DEOA 용량에 따른 주요 장기별 이상소견 유병율

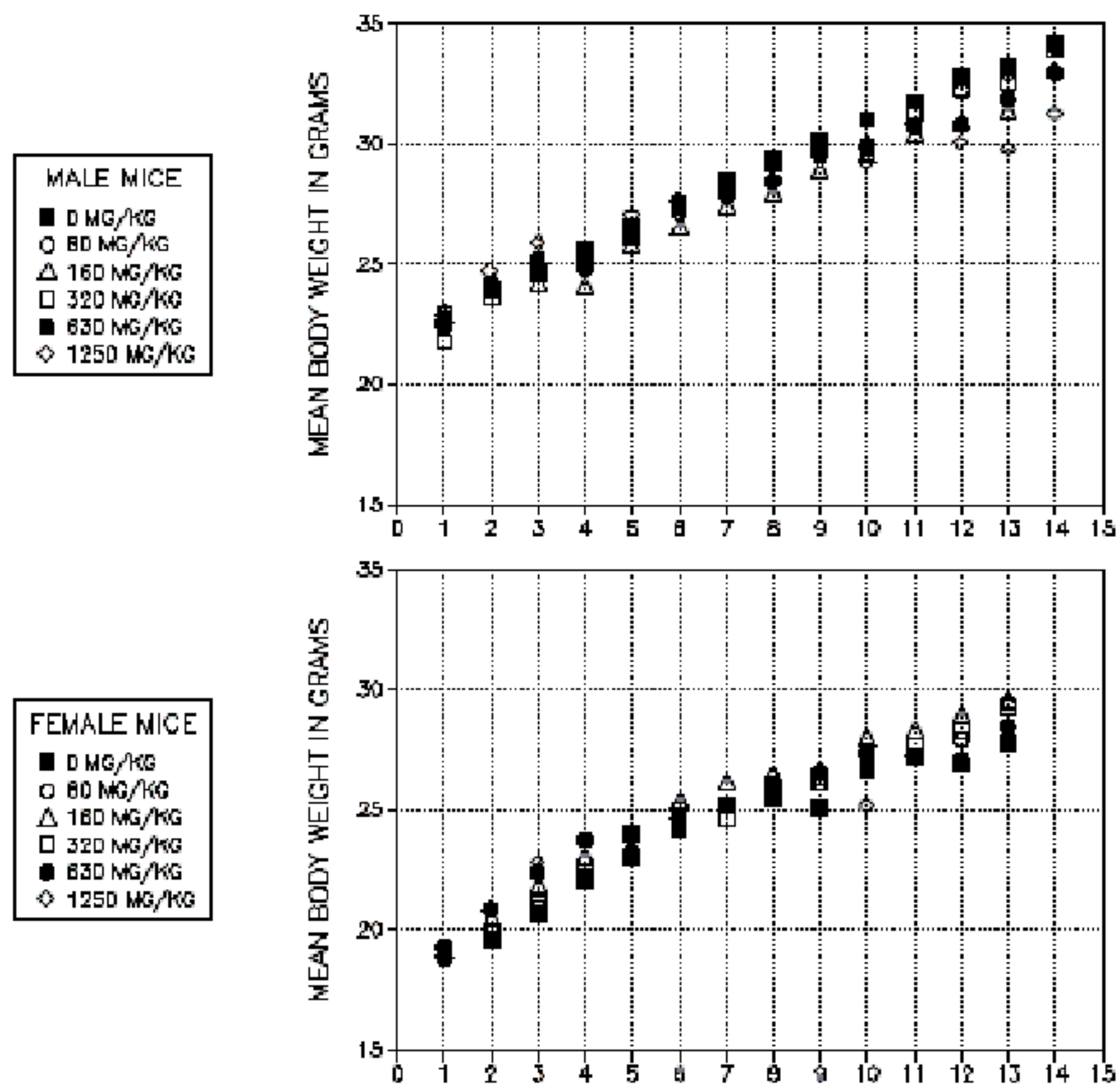
(NTP, 1992, F344 Rat, 13weeks, 피부)

수컷 F344 랫트		0	32 mg/kg	63 mg/kg	125 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg
신장	신증	9/10	6/10	5/10	6/10	4/10	5/10
	세뇨관 상피 피사	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	세뇨관 광화 (mineralization)	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	9/10
뇌	탈수초화	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	10/10
피부	궤양	0/10	0/10	0/10	0/10	3/10	10/10
	만성 염증	0/10	0/10	0/10	0/10	3/10	10/10
	극세포증	0/10	0/10	3/10	6/10	6/10	10/10
	각화증	0/10	0/10	5/10	10/10	10/10	10/10
암컷 F344 랫트		0	32 mg/kg	63 mg/kg	125 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg
신장	신증	3/10	9/10	10/10	10/10	7/10	4/10
	세뇨관 상피 피사	0/10	0/10	0/10	0/10	2/10	10/10
	세뇨관 광화 (mineralization)	4/10	9/10	10/10	10/10	10/10	10/10
뇌	탈수초화	0/10	0/10	0/10	0/10	7/10	9/10
피부	궤양	0/10	0/10	0/10	1/10	7/10	10/10
	만성 염증	0/10	0/10	0/10	3/10	7/10	10/10
	극세포증	0/10	0/10	1/10	6/10	7/10	10/10
	각화증	0/10	5/10	6/10	9/10	10/10	10/10

(4) B6C3F1 마우스를 이용한 DEOA의 아급성 경피 독성

B6C3F1 마우스를 이용한 DEOA의 2주간 경피 독성을 파악하기 위해 수컷과 암컷에게 0, 160, 320, 630, 1250, 2500mg/kg의 DEOA를 접촉시켰다. 수컷에서는 2500mg/kg을 접촉한 마우스 5마리 모두 사망하였고, 암컷에서는 2500mg/kg을 접촉한 마우스 5마리 중 2마리가 사망하였다. 피부의 자극 반응은 수컷의 경우 1250, 2500mg/kg에서 관찰되었고, 암컷의 경우에는 2500mg/kg에서 관찰되었다. 양-반응 관계에 따른 간의 무게가 증가하였고, 2500mg/kg에서만 간세포의 변성이 관찰되었다.

B6C3F1 수컷과 암컷 마우스들을 이용한 경피 아급성 독성 실험은 0, 80, 160, 320, 630, 1250mg/kg의 DEOA를 13주 동안 피부 점적하였으며, 1250mg/kg의 DEOA를 점적한 수컷 10마리 중 2마리와 암컷 10마리 중 4마리가 사망하였으며, 남은 마우스들에게서는 체중의 감소를 관찰할 수 있었다. 피부 점적부위의 피부 자극 반응은 630/1250mg/kg의 DEOA를 점적시에 관찰할 수 있었으며, 조직학적 검사상 피부 상피의 궤양과 괴사는 160mg/kg 이상의 DEOA를 점적시 관찰할 수 있었다. 간세포의 변형은 DEOA를 경피 섭취한 모든 수컷들과 160mg/kg이상의 DEOA를 경피 섭취한 암컷들에게서 발견할 수 있었으며, 비장에서의 임파구 감소는 수컷의 경우 320mg/kg이상, 암컷의 경우 1250mg/kg에서 관찰할 수 있었고, 신장 세뇨관 세포의 괴사는 1250mg/kg을 경피 섭취한 마우스들에게서 발견할 수 있었고, 부신 피질에서의 출혈은 암컷에서는 630, 1250mg/kg, 수컷에서는 1250mg/kg을 경피 섭취시에 관찰할 수 있었고, 침샘의 변형은 1250mg/kg을 경피 섭취한 마우스들에게서 발견할 수 있었고, 심근세포의 변형 역시 1250mg/kg의 DEOA를 경피 섭취한 쥐들에게서 발견할 수 있었다. NOAEL은 결정할 수 없었다.



[그림 3-4] DEOA 투여량에 따른 체중 증가의 감소

(NTP, 1992, B6C3F1 Rat, 13weeks, 피부)

<표 3-14> DEOA 용량에 따른 아급성독성 동물실험 결과

(NTP, 1992, B6C3F1 Rat, 13weeks, 피부)

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출 경로	농도	관찰내용
마우스, 수컷 (B6C3F1)	13주	피부	1250mg/kg	2/10 사망, 피부 자극 간 세포 변형, 비장 임파구 감소
마우스, 수컷 (B6C3F1)	13주	피부	630mg/kg	피부 자극, 간 세포 변형, 비장 임파구 감소
마우스, 수컷 (B6C3F1)	13주	피부	320mg/kg	비장 임파구 감소, 간 세포 변형
마우스, 수컷 (B6C3F1)	13주	피부	160mg/kg	간 세포 변형
마우스, 수컷 (B6C3F1)	13주	피부	80mg/kg	간 세포 변형
마우스, 암컷 (B6C3F1)	13주	피부	1250mg/kg	4/10 사망, 피부 자극, 간 세포 변형, 비장 임파구 감소
마우스, 암컷 (B6C3F1)	13주	피부	630mg/kg	피부 자극, 간 세포 변형
마우스, 암컷 (B6C3F1)	13주	피부	320mg/kg	간 세포 변형
마우스, 암컷 (B6C3F1)	13주	피부	160mg/kg	간 세포 변형

<표 3-15> DEOA 용량에 따른 주요 장기별 이상소견 유병율

(NTP, 1992, B6C3F1 Rat, 13weeks, 피부)

수컷 B6C3F1 랫트		0	80 mg/kg	160 mg/kg	320 mg/kg	630 mg/kg	1,250 mg/kg
간	세포질 변형	0/10	4/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	간세포 괴사	0/10	2/10	0/10	3/10	7/10	6/10
	세뇨관 상피 괴사	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	4/10
뇌	탈수초화	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	4/10
피부	세포질 변형	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	9/10
	궤양	0/10	0/10	0/10	0/10	2/10	10/10
	만성 염증	0/10	0/10	0/10	0/10	5/10	10/10
	극세포증	0/10	10/10	9/10	10/10	10/10	10/10
	각화증	0/10	0/10	0/10	2/10	5/10	10/10
암컷 F33 랫트		0	80 mg/kg	160 mg/kg	320 mg/kg	630 mg/kg	1,250 mg/kg
간	세포질 변형	0/10	0/10	10/10	10/10	10/10	9/10
신장	세뇨관 상피 괴사	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	1/10
심장	심근 변형	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	8/10
침샘	세포질 변형	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	8/10
피부	궤양	0/10	0/10	0/10	0/10	2/10	9/10
	만성 염증	0/10	0/10	0/10	1/10	1/10	9/10
	극세포증	0/10	10/10	10/10	9/10	10/10	10/10
	각화증	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	10/10

Hartung(1970)은 랫트에게 2.5ppm의 DEOA를 216시간동안 계속 흡입시킬 경우에 간과 신장의 비대가 관찰되고, 혈청 내 간 효소인 트랜스아미나제와 요소질소의 농도가 증가함을 관찰할 수 있었다. 수컷 랫트들에게 6ppm의 농도로 13주 동안 흡입 시켰을때, 성장속도의 지연과 폐와 신장의 무게가 증가했고, 일부 쥐들은 사망하였다.

Annau(1950)는 체중당 12mg의 DEOA를 복강내 2일부터 48일간 주사할 경우, 체중증가가 감소하였고, 간 및 신장의 무게가 증가하였고, 혈청내 중합인산염의 수치가 증가하였다.

Foster(1971)는 랫트에게 100-1000mg/kg의 DEOA를 매일 14일 동안 복강내

주사할 경우, 간세포에서의 미소체 수소화 반응과 N-디메틸레이션이 억제되었고, 마취기간이 증가하였다.

Foster(1972)는 랫트에게 26.3-557.9mg/kg을 2-49일간 복강내 주사할 경우, 부신피질의 기능이 증가하였다.

Gamer et al.(1993) 는 랫트 26 마리 (수컷 13, 암컷 13)에게 하루에 6시간, 90일동안 DEOA 에어로졸을 15,150,400 mg/m³ 농도로 흡입시켰다. 연구에서 어떤 기능적 또는 신경독성상의 증거는 발견되지 않았다. 400 mg/m³의 DEOA에 노출된 동물에서 체중증가 지연이 관찰되었다. 15 mg/m³의 DEOA에 노출된 그룹에선 어떤 전신적인 독성 영향이 관찰되지 않았지만, 400 mg/m³의 DEOA에 노출된 그룹에선 간, 신장, 수컷의 생식계와 적혈구에서 독성 영향이 관찰되었다. 150 mg/m³의 DEOA에 노출된 그룹에서 경도의 간과 신장 독성 영향이 관찰되었다. 150 mg/m³이상의 DEOA에 노출된 그룹에서는 후두와 호흡기관에 국소 자극이 있음이 발견되었고 15 mg/m³의 DEOA에 노출된 그룹에서도 후두의 자극 증상이 관찰되었다. 이 연구에서는 15mg/m³의 DEOA이 간과 신장에 대한 영향에 대해서는 NOAEL이고, 후두부 자극에 대해서는 NOAEL이다.

Sundlof(1983)에 따르면, 1980년과 1981년에, 플로리다에서는 50마리 이상의 개와 고양이가 신경마비 증상을 보인바 있는데, 이들은 53%의 DEOA이 함유된 베틀 치료제를 먹었던 것이 밝혀졌다. 체중당 44mg의 DEOA을 먹은 것으로 진전, 운동실조, 마비 증상을 보였고, 치사율은 41%였다.

다. 만성독성

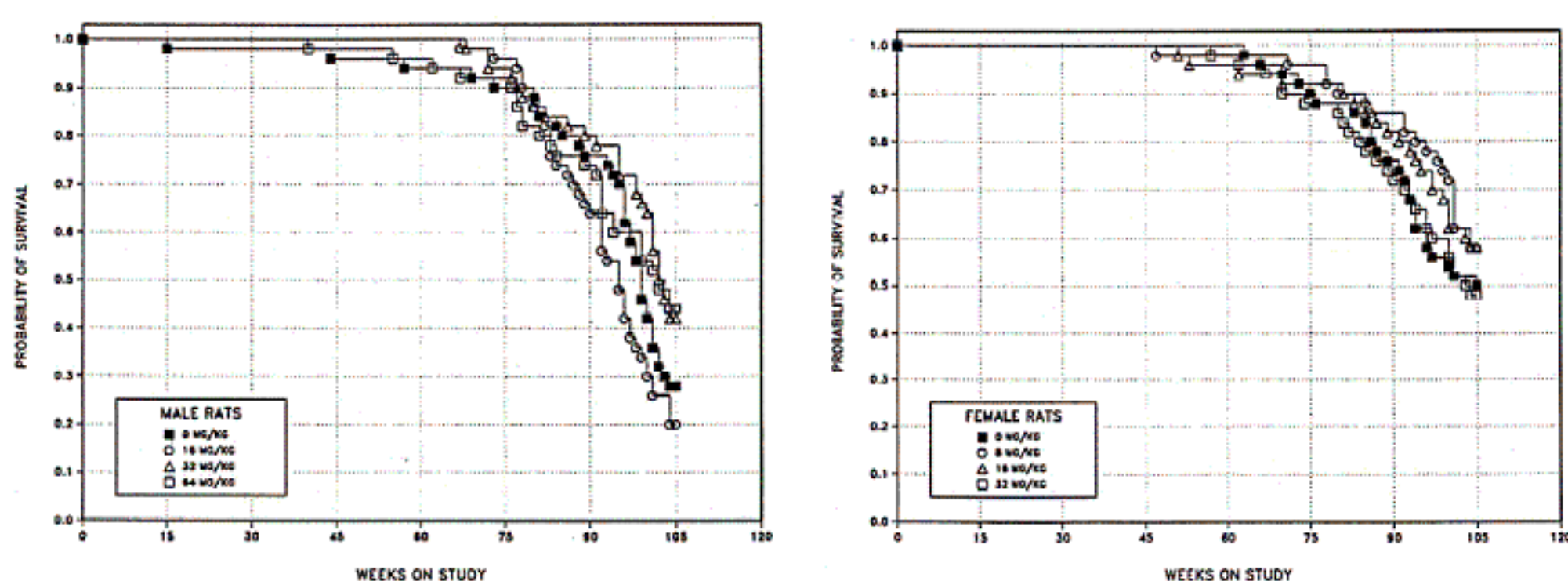
장기독성시험(Long-Term Toxicity Test)이라고도 하며 이는 실험동물의 거의 일생동안에 걸쳐 시험물질을 투여하여 나타나는 독성을 시험하는 것이다. 시험의 목적은 장기간 투여이후 최대 무작용 농도를 검출

하여 시험물질의 안전성에 대한 최종평가 및 폭로의 안전수준(safe level)을 결정하는 것이다. 일반적으로 만성독성시험은 대상물질을 최소한 1년 이상의 기간동안 매일 투여하면서 시험하며, 연구 기관에 따라 최대 투여 기간은 상이하다.

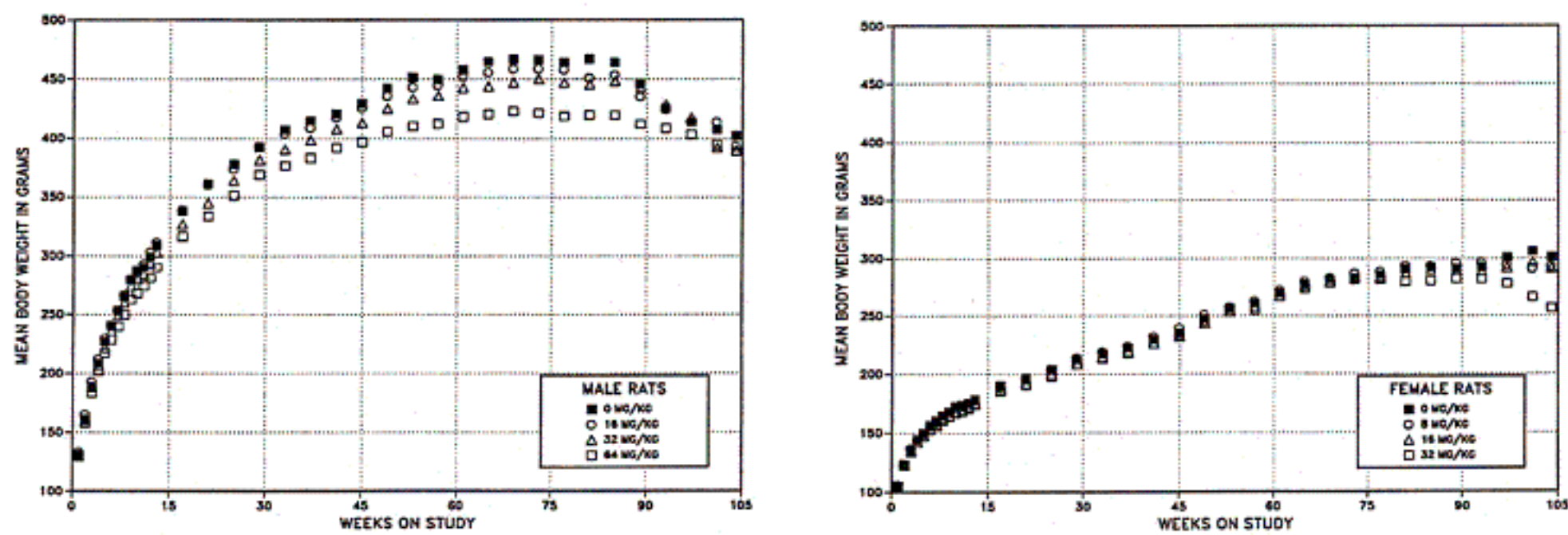
DEOA의 만성 독성과 관련된 동물 실험 연구는 1999년 U.S. National Toxicology Program(NTP)에서 F344 랫트와 B6C3F1 마우스에 대한 2년간 만성 경피 독성을 조사하였다.

(1) F344 랫트를 이용한 만성 독성 시험

50마리의 수컷에는 0, 16, 32, 64mg/kg의 DEOA를 접촉 시켰고, 암컷 50마리에게는 0, 8, 16, 32mg/kg을 접촉 시켰다. 생존율은 실험군과 대조군에서 차이가 없었다([그림3-5] 참조). 체중의 감소는 64mg/kg을 접촉한 수컷 랫트들에게서 관찰되었다. 8주째부터 대조군에 비해 평균 체중의 감소가 관찰되었다. 암컷 랫트들은 대조군 및 실험군에서 평균 체중의 차이를 관찰할 수는 없었다([그림3-6] 참조). 육안적인 소견에서의 실험군과 대조군의 유일한 차이는 접촉부위에서의 피부 자극 반응이었다.



[그림 3-5] F344 Rat, 실험군과 대조군의 생존율 차이

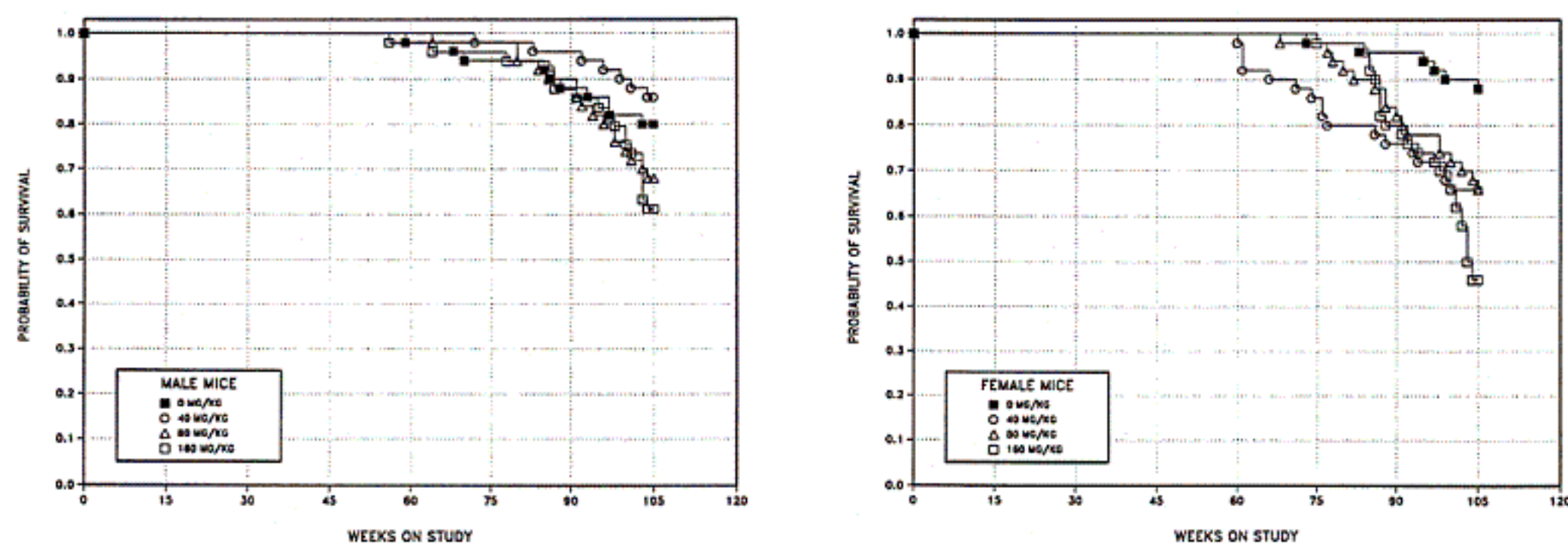


[그림 3-6] F344 Rat, 실험군과 대조군의 평균 체중의 차이

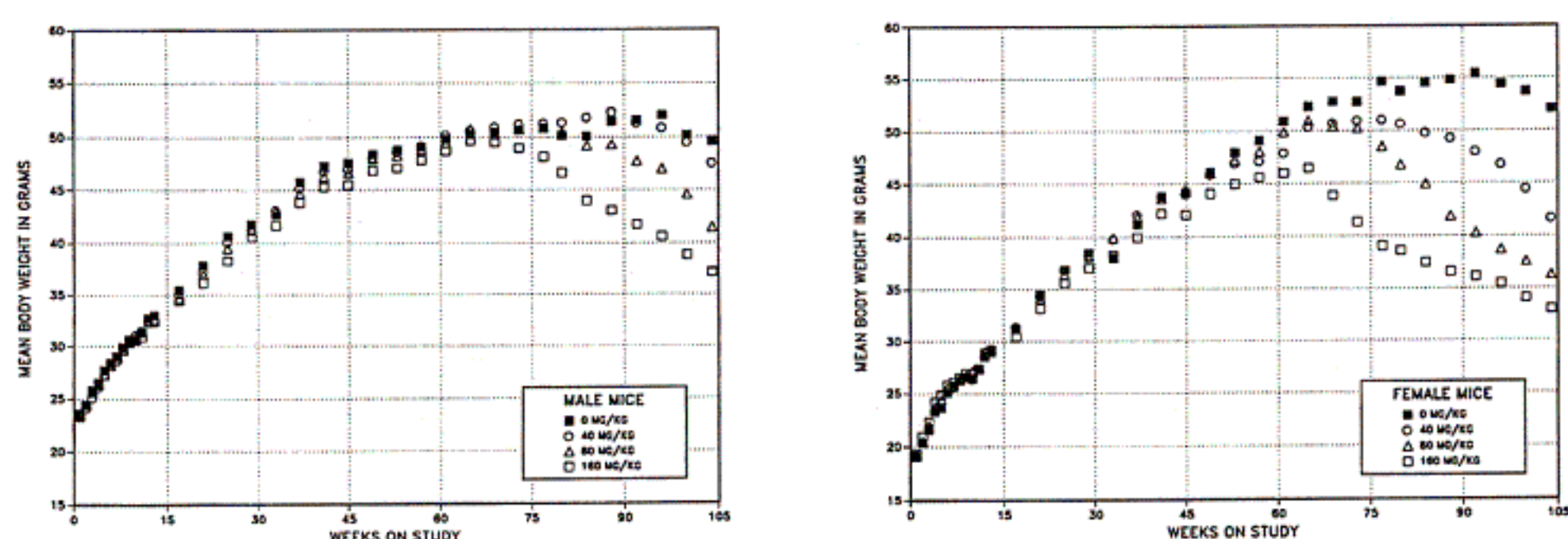
조직학적 검사상 수컷과 암컷 모두 DEOA의 피부접촉 부위에서 양성 병변이 관찰되었는데, 수컷의 경우 64mg/kg을 접촉한 부위에서 극세포증이 관찰되었고, 32, 64mg/kg을 접촉한 부위에서는 각화증이 관찰되었다. 암컷의 경우에는 모든 실험군의 피부 접촉 부위에서 과각화증이 관찰되었다. 암컷에서는 신장기능의 감소가 대조군보다 실험군에서 두드러졌다.

(2) B6C3F1 마우스를 이용한 만성 독성 시험

수컷과 암컷 각각 50마리씩, 0, 40, 80, 160mg/kg의 DEOA을 2년간 피부에 접촉한 후 경과 관찰하였다. 수컷의 경우, 생존율은 실험군과 대조군에서 차이를 관찰할 수는 없었지만, 암컷에서는 대조군보다 실험군에서의 생존율이 유의하게 낮았다([그림3-7] 참조). 평균 체중의 차이는 수컷에서는 80, 160mg/kg의 DEOA을 접촉한 랫트들이 대조군보다 유의하게 낮았으며, 암컷의 경우에는 대조군에 비해 실험군에서의 평균체중이 전반적으로 낮았다([그림3-8] 참조).



[그림 3-7] B6C3F1 Rat, 실험군과 대조군의 생존율 차이



[그림 3-8] B6C3F1 Rat, 실험군과 대조군의 평균 체중의 차이

조직학적 검사상, 수컷의 경우에는 간세포 선종과 간세포암이 같이 있는 경우가 대조군보다 실험군에서 유의하게 높았으며, 80, 160mg/kg을 접촉시킨 군에서는 간세포암과 간모세포종의 발생이 관찰되었다. 암컷에서도 간세포 종양의 발생율이 대조군보다 실험군에서 유의하게 높았다. 수컷에서는 접촉된 DEOA의 농도가 증가함에 따라, 세뇨관 선종의 발생률도 높아졌으나, 악성 종양은 유의한 차이가 없었다. 실험군에서 발생한 간세포 종양의 평균 크기는 대조군에서 발생한 종양보다 컸으며, 실험군에서 발생한 간세포 종양의 개수도 5개 이상의 다발적인 발생형태를 보이는 것에 반해 대조군에서의 간세포 종양은 다발적이지 않았다. 암컷에서의 생존율의 감소는 간세포 종양의 발생 때문인 것으로 판단된다. 간모세포선종이 간세포암과 같이 발생하는 것은 드

문 현상이며, 암컷보다도 수컷에서 그 발생률이 높았다. 갑상선의 여포상 증식의 발생률도 대조군보다 실험군에서 유의하게 높은 것으로 나타났다. DEOA 접촉부위에서는 각화증, 극세포증의 피부병변이 발생하였다.

DEOA의 만성 독성은 F344 랫트를 이용한 2년간의 경피독성 연구에서는 발암 독성을 확인할 수 없었지만, B6C3F1 마우스에서는 DEOA이 간의 종양 발생과 밀접한 관련성이 있음을 확인할 수 있었으며, B6C3F1 수컷 마우스에서는 신장의 세뇨관에서 발생하는 종양과도 관련이 있음을 확인할 수 있었다. 또한 피부접촉을 통한 DEOA의 독성은 각화증과 극세포증과 관련이 있었으며, 암컷에서는 신장기능의 감소와도 관련이 있었다. 마우스에서는 피부를 통한 DEOA의 독성이 간의 세포질과 합포체의 변형을 유도하고 세뇨관의 과증식과 피부의 각화증과 관련이 있음을 확인할 수 있었다.

라. 변이원성

변이원성이란, 화학물질로 인한 DNA 손상의 기전을 파악하여, 화학물질의 발암 독성을 예측할 수 있도록 해준다. 초기의 변이원성에 대한 검사는 살모넬라(*Salmonella*) 유전자에 대한 화학독성이 양성일 경우, 다양한 설치류들에게서 발암독성을 가질 것으로 파악하였다(Ashby and

Tennant, 1991). 하지만, 변이원성에 대한 연구들이 진행됨에 따라 설치류의 말초혈액을 이용한 소핵실험(micronucleus test)에서 양성일 경우, 설치류들에게서 발암독성을 가질 가능성이 더 큰 것으로 파악하고 있다

(Witt et al., 2000). 이에 최근의 변이원성에 대한 검사는 살모넬라균을 이용한 검사와 설치류의 소핵실험을 이용한 검사가 주를 이루고 있다.

그 외에 다양한 검사들이 화학물질의 변이독성을 파악하기 위해 수행되고 있다. 시험관내 검사(In vitro)로는 살모넬라균을 이용한 검사와 마

우스 림포마 세포(Mouse Lymphoma cell)를 이용한 검사, 그리고 중국 햄스터 난자 세포(Chinese hamster ovary cell)를 이용한 검사가 대표적이며, 생체내 검사(In vivo)로는 초파리의 근원세포(Drosophila melanogaster germ cell)를 이용한 검사와 소핵실험이 대표적이다.

(1) 살모넬라균을 이용한 변이독성 검사

살모넬라균을 이용한 화학물질의 변이 독성을 파악하는 검사는 살모넬라균에 변이 독성을 가질 경우, 여러 실험동물에서 발암성을 가진다는 것이 확인되었고, 이는 사람에게서도 발암성을 가질 가능성이 있기 때문이다. 살모넬라균에 변이원성을 가진 화학물질의 3/4에서 설치류에서 발암독성이 확인되었으나, 모든 실험동물에서 발암독성이 확인된 것은 아니다. 하지만, 다른 변이 독성 검사보다도 쉽고, 빠르며(3-4주 소요), 비교적 검사비용이 적게 들기 때문에 여전히 중요한 검사로 받아들여지고 있다(Mortelmans, 2000).

1983년 Haworth는 살모넬라균을 이용한 DEOA의 변이독성을 검사한 결과, 음성이었다.

(2) 중국 햄스터 난자 세포를 이용한 변이독성 검사

중국 햄스터 난자 세포를 이용한 변이독성 검사는 염색체 손상(Chromosomal aberration)을 확인하거나, 자매염색체 교환빈도(Sister chromatid exchange)를 파악하기 위해 이용된다. 염색체 손상은 기형 출산과 악성 종양발생과 관련이 깊지만, 단지 염색체의 구조적인 손상만을 파악할 수 있을 뿐, 독성 물질로 인한 염색체 교환(이수체 형성)은 발견할 수 없는 단점이 있다. 자매염색체 교환은 DNA의 손상을 측정하고, DNA손상이 많을수록 악성종양 발생은 증가한다(Galloway, 1987).

Loveday(1982)는 중국햄스터 난자세포에서 DEOA이 자매염색체 교환빈도를 증가시키지 않으며, 염색체 손상도 일으키지 않는다고 하였다.

(3) 마우스 림포마 세포를 이용한 변이독성 검사

특정화학물질이 포유류에서 변이독성을 일으키는지 파악하기 위해서는 포유류 세포를 배양시켜 염색체 손상과 점돌연변이 발생 여부를 파악하는데, 이때 사용되는 것이 마우스 림포마 세포(Mouse Lymphoma Cell)를 이용하게 된다.

1999년 NTP에서는 마우스 림포마 세포를 이용한 DEOA의 변이독성 검사를 실시했으나, 점돌연변이 및 염색체 손상을 일으키지 않는 것으로 파악되었다.

마. 생식독성

수컷과 암컷의 생식에 영향을 미치는 화학물질의 독성을 2세대에 걸쳐 파악하는 것으로, 암·수 동물에 대하여 교배 전부터 교미, 착상까지 시험물질을 투여할 때 나타나는 독성 및 장애를 검사하는 수태능 및 초기 배 발생시험과, 암컷에게 착상부터 이유기까지 시험물질을 노출시켜 임신·수유기의 암컷, 수태산물 및 출생자의 발달에 미치는 독성을 검사하는 출생 전·후 발생 및 모체기능시험, 착상부터 경구개가 닫히는 시기까지 암컷에 시험물질을 노출시킬 때 임신동물 및 배 태자의 발생에 미치는 영향을 검사하는 배·태자 발생시험이 있다.

1987년 Environmental Health Research and Testing(EHRT)에서는 1125mg/kg의 DEOA을 제태6일부터 15일까지 섭취한 어미 랫트들에게서 모성 사망은 관찰되지 않았고, 출생 수나 크기, 생존율, 출생체중, 체중 증가에 있어 어떠한

영향도 관찰되지 않았다.

Burnett(1976)은 수태한 랫트 20마리에게 20%의 DEOA를 함유한 염색약을 털을 제거한 피부에 제태 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19일에 도포하고 20일째, 조직검사를 실시하였다. 태아의 연부 조직 및 골조직에 변화는 관찰되지 않았고, 대조군과 실험군에 있어 새끼들의 수와 착상률, 황체수의 차이는 관찰되지 않았다.

Gamer(1993)는 임신한 랫트 25마리를 제태기간 6-15일 동안 DEOA 에어로졸 10, 50, 200mg/m³을 흡입시킨 실험에서는 제태 14일째 8마리에서 어미 랫트의 중독증상이 나타났고, 질내 출혈이 관찰되었다. 태아 독성은 200mg/m³에서 확인되었으며, 치명적인 골격변화를 동반한 독성 증상이 통계적으로 유의하게 ($p < 0.05$) 증가했다. 기형적인 변화는 어떤 농도에서도 보이지 않았다.

1999년 NTP에서는 Sprague-Dawley 랫트에게 하루에 kg당 50, 125, 200, 250, 300mg의 DEOA를 제태 6일에서 19일까지 제공하였다. 200mg/kg/day를 제공 받은 랫트 중 한 마리가 제태 22일째 사망하였고, 250mg/kg/day를 제공 받은 랫트 중 한 마리가 제태 15일째 사망하였고, 다른 한 마리는 21일째 사망하였다. 300mg/kg/day를 제공 받은 랫트들에게서는 독성 증상이 발견되었는데, 어미 쥐들의 26%에서 체중의 감소가 관찰되었고, 진전, 기면, 탈모가 관찰되었다. 어미 쥐들에게서 음식 섭취량의 감소는 200mg/kg/day 이상을 투여한 경우 관찰되었고, 수분 섭취량의 감소는 125mg/kg/day이상의 DEOA를 섭취한 경우, 감소되었다. 반면에 실험군이 대조군보다 전반적인 음식 섭취량 및 수분 섭취량은 상대적으로 많았다. 200mg/kg/day 이상을 투여한 랫트들에게서는 어미 체중의 감소가 관찰되었다. 어미 랫트에서의 간 무게는 별 영향을 받지 않았으나, 신장의 무게는 증가하는 추세를 보였으며, 125mg/kg/day이상을 투여한 랫트들에게서는 절대적인 신장의 무게의 증가가 관찰되었다. 200mg/kg/day이상의 DEOA를 투여한 쥐들에게서 착상률의 감소가 관찰되었다. 250mg/kg/day의 DEOA를 투여한 랫트들에게서 조기사산율이 증가하였는데, 이는 125mg/kg/day를 투여한 랫트들에게서도 관찰되었다. 200mg/kg/day이상의 DEOA를 투여한 랫트들에게서 태아의 체중 감소가 관찰되었다. 외형적인 기형들은

DEOA의 투여 여부에 따른 차이는 관찰되지 않았고, 부검시에도 형태학적인 이상은 관찰되지 않았다. 따라서, 어미 랫트와 발생 독성의 NOAEL는 50mg/kg/day였고, LOAEL은 125mg/kg/day이었다(<표 3-71> 참조).

<표 3-16> DEOA에 의한 생식독성

실험대상 Species	노출기간 (빈도)	노출 경로	농도	관찰내용
랫트	제태 6-19일	경구	300mg/kg	착상률의 감소, 태아 체중 감소
랫트	제태 6-19일	경구	250mg/kg	착상률의 감소, 조기 사산율 증가, 태아 체중 감소
랫트	제태 6-19일	경구	200mg/kg	착상률의 감소, 태아 체중 감소
랫트	제태 6-19일	경구	125mg/kg	조기 사산율 증가
랫트	제태 6-19일	경구	50mg/kg	..

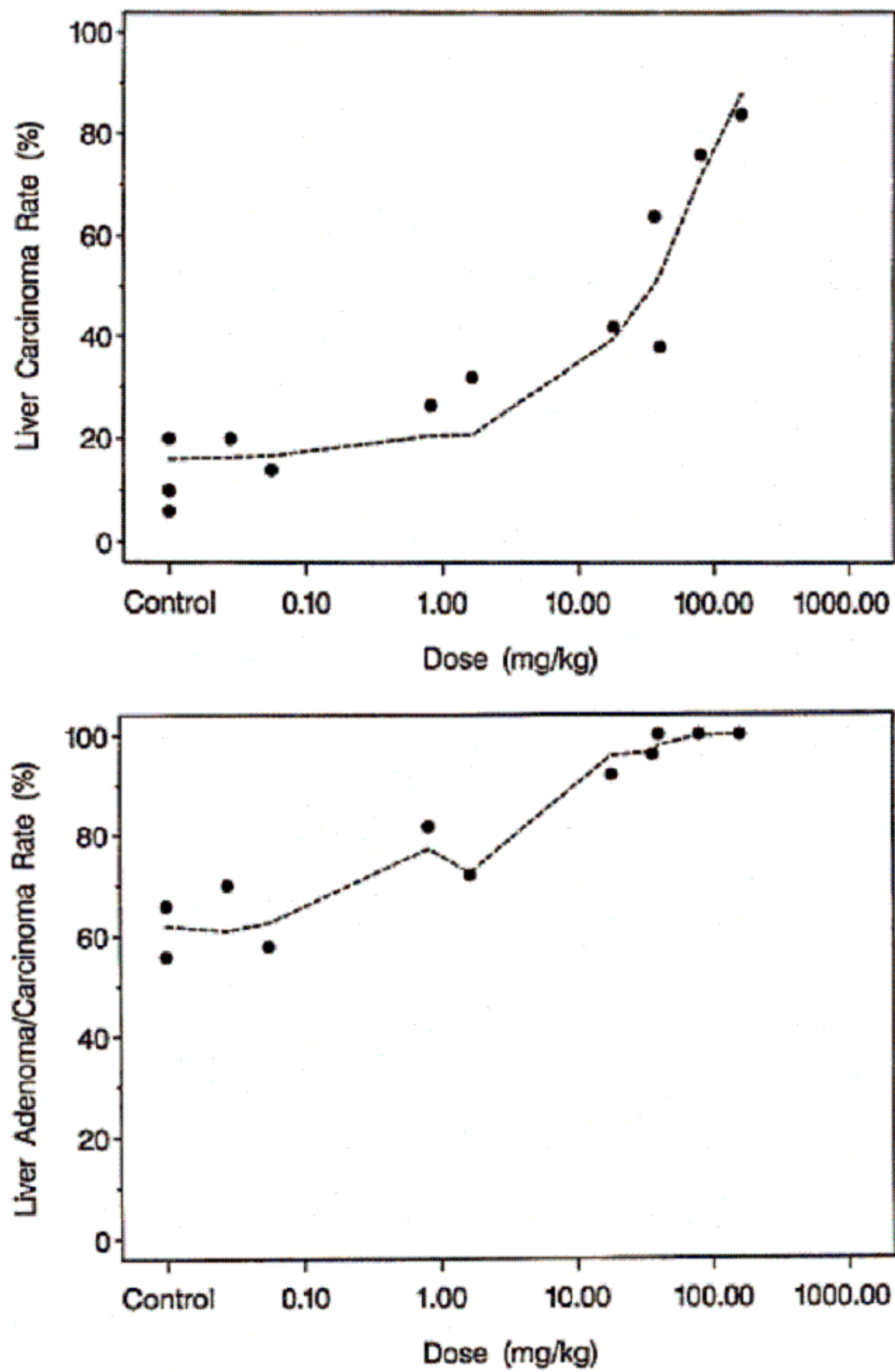
바. 발암성

화학물질의 발암성을 확인하는 방법은 동물시험으로 설치류 2년 투여 시험이 사용되는데, 이 방법은 실험동물에게 2년 동안 시험하고자 하는 물질을 투여한 후에 부검 및 조직의 병리학적인 진단을 통하여 발암성 여부를 확인하는 것이다. 발암성의 최종적인 확인은 배경병변의 범위를 벗어나는 종양의 발생 수, 희귀종양, 종양의 발생시기 등을 검토하는 방식으로 진행된다. 비록, 이러한 시험 방법에 의해 발견된 물질들의 상당 수가 사람의 위해성 측면에서 크게 사람의 발암성과 직접 관련이 없다는

비판에도 불구하고, 사람의 발암성을 예측하는 방법으로 다른 대안이 없다고 할 수 있을 정도로 발암물질을 확인하는데 자주 사용되고 있다.

DEOA의 발암 독성은 N-nitrosodiethanolamine을 형성하여 발암독성을 일으키는 것으로 알려져 있다. Lijinsky(1980)는 1주일에 5일, 34주 동안 F344 랫트에게 3,900, 7,800, 15,600, 31,250ppm의 N-nitrosodiethanolamine이 포함되어 있는 물을 섭취토록 하여, 추적관찰한 결과, 모든 실험 랫트들에게서 간세포암이 발생하였고, 7,800ppm이상을 섭취한 랫트 들에게서는 담관암도 발생하였다. Preussmann(1981)은 DEOA과 아질산을 랫트에게 투여하였을 때, 생체 내에서 N-nitrosodiethanolamine이 형성된다고 하였다.

DEOA의 발암 독성과 관련된 동물실험은 1999년 U.S. National Toxicology Program(NTP)에서 F344 랫트와 B6C3F1 마우스에 대해 2년간 조사한 바 있다. DEOA의 노출과 관련된 암은 수컷과 암컷 마우스에서는 간세포 종양이었고, 수컷 마우스에서는 신장의 세뇨관에서 발생한 암이었다. 종양 발생 부위는 간이 암 발생에 있어 가장 민감한 부위였고, 수컷 보다는 암컷에서의 발생률이 높았다. 간세포 종양의 발생과 DEOA의 농도와의 관계를 파악하기 위한 회귀분석 모델에서는 DEOA의 농도와 생존율이 간세포 종양 발생에 중요한 요인임을 알 수 있었다([그림 3-9] 참조).



[그림 3-9] DEOA 접촉량과 간세포 종양 발생률간의 관계

DEOA과 간세포 종양 발생과의 관련성은 DEOA 화합물과 간세포종양 발생 간의 연구들의 결과에서도 입증되었다. 이들 연구들에서도 간세포 종양의 발생은 유리 DEOA의 농도와 관련이 깊다고 한다. Lauric acid diethanolamine 화합물과 Oleic acid diethanolamine 화합물들은 유리 DEOA를 포함하고 있으며, 이들 물질들의 발암 독성은 유리 DEOA 농도에 의해 결정된다고 한다. Coconut oil acid diethanolamine 화합물에 대한 발암 독성 연구에서도 간세포 종양의 발생은 실험군에서 높았으며, 그 원인은 유리 DEOA 때문이라고 판단된다.

4. 인체 영향

가. 인체내 작용기전

(1) 흡수

Diethanolamine(이하 DEOA이라 함)은 흡입, 섭취 및 피부로 흡수되어 독성 작용을 일으키게 된다. 그 중에서도 피부를 통한 흡수가 직업적으로 또는 화장품의 사용 시 주요한 노출 경로가 된다. 1991년 NTP에서 F344 랫트와 B6C3F1 마우스를 이용한 DEOA의 독성 실험에서 2.1, 7.6, 27.5mg의 ¹⁴C 가 부착된 DEOA를 피부에 접촉 후에 48시간 이후 흡수량을 살펴 본 결과, 접촉한 각 농도마다 2.9%, 10.5%, 16.2%가 흡수되는 것으로 파악되었고, 1.2%, 4.3%, 4.5%가 접촉 부위에 남아있는 것으로 파악되었다. B6C3F1 마우스의 견갑부위에 81.1mg/kg의 DEOA를 피부접촉 시켰을때, 58.1%가 흡수되었고, 2.2%는 피부 부착부위에 남아 있었다. Knaak(1997)는 DEOA의 흡수는 접촉한 양과 비례하여 증가한다고 하였다.

(2) 분포

¹⁴C 가 부착된 DEOA를 F344 랫트에 정맥, 경구 및 피부로 제공 시 첫 번째 투여 후 48시간이 지난 후에 간과 신장에서 대부분의 DEOA이 축적된다(Matthews, 1995). 경구 및 피부를 통한 DEOA의 흡수 시에는 보다 적은 양이지만 뇌와 심장에도 축적이 된다. 정맥을 통한 DEOA의 흡수 시에는 보다 적은 양이 비장과 폐에 축적되게 된다. 조직에서의 DEOA 중 70-80%는 대사되지 않고 원래의 형태를 유지하고 있으며, 일부는 N-methyl-diethanolamine과 N,N-dimethyl-diethanolamine으로 대사되며, 간에서 발견되는 수용성의 물질들은 인산화된 형태로 존재하게 된다. 인산화된 대사물질들의 95%는 Diethanolamine-phosphate 형태로 존재하며, 그 외에 N,N-dimethyldiethanolamine-phosphate, N-methyldiethanolaminephosphate 형태로도 존재하게 된다.

(3) 대사

클로로폼/메탄올을 이용한 간에서의 방사선이 부착된 물질을 추출할 때 관련된 물질은 Phosphatidylethanolamine과 Phosphatidylcholine이다.

Phosphatidylethanolamine을 포스포리파제 D와 함께 배양을 시키면, 방사선 부착물질이 분리되는데 이때 발견되는 것이 DEOA이다.

반면에, Phosphatidylcholine을 포스포리파제 D와 배양을 시키면, N-methyldiethanolamine과 N,N-dimethyldiethanolamine으로 분리된다. 동일한 방법으로 뇌에서 방사선이 부착된 물질을 추출하여 포스포리파제 D와 함께 배양시키면, 방사선물질이 부착된 DEOA 만이 추출된다. DEOA이 포스포리피드 그룹과 결합되는 기전은 에탄올아민이 결합하는 것과 같은 기전으로 결합하게 된다. 이에 랫트에게 330mg/kg의 DEOA을 경구 투여시, Phosphatidylethanolamine생성이 감소되는 것을 관찰할 수 있다(Barbee, 1976). DEOA을 1주일간 반복적으로 투여하면, Phosphatidylethanolamine생성은 대조군보다 27%가 감소한다. 3주간 연속 투여시에는 이러한 감소가 증가하지는 않았다. 신장에서도 DEOA에 의한 Phosphatidylethanolamine생성의 감소를 관찰할 수 있었으며, 3주간 연속 투여시 대조군보다 41%가 감소되는 것을 발견할 수 있었다. DEOA과 인지질(phospholipid)의 결합은 정상 세포막의 구조를 파괴하며, 세포막의 기능을 변형을 초래한다.

(4) 배설

DEOA의 배설은 아주 느리게 발생하며, 주로 소변과 대변으로 배출된다, 극히 소량은 호기를 통해 배설되기도 한다(Matthews, 1995). 반복적인 경구섭취시에는 DEOA이 조직에 축적되며, 4-8주사이에 평형상태에 도달하게 된다(NTP, 1991). F344 랫트에게 ^{14}C 가 부착된 DEOA을 14일동안 매일 7mg/kg 씩 제공하였을 때, 그 이후 14일은 제거되는 시기이다. 방사선이 부착된 DEOA의 소변과 대변에서의 제거는 꾸준히 이루어지며, 반감기는 1주일 정도이다(NTP, 1991).

나. 단기 노출시 인체 유해성

DEOA의 단기 노출로 인한 인체 유해성에 대한 연구 결과들은 주목할 만한 것이 없으며, 단편적인 보고들이 이루어지고 있다. Balato(1986)는 에틸렌디아민에 피부 감작되어 있는 32명의 환자를 대상으로 피부 첩포 검사를 시행한 결과, 한명이 DEOA에 양성반응을 보였다고 한다.

다. 장기노출시 인체 유해성

DEOA의 장기 노출로 인한 건강상의 영향에 대해서도 주목할만한 연구 결과들은 없으며, 단편적인 보고들이 이루어지고 있다(Piipari, 1988, Robertson et al., 1998). Piipari(1998)은 DEOA를 함유하고 있는 절삭유를 취급하는 근로자에서 직업성 천식을 보고한 바 있다. 아민 알콜들은 저분자량 화합물이며, 알레르기 접촉성 피부염의 원인 물질로 알려져 있다. 하지만, 아민 알콜들이 기관지 천식의 원인임을 입증할 만한 자료는 적으나, Piipari는 DEOA를 함유하고 있는 절삭유와 0.75, 1.0 mg/m³ 의 DEOA 에어로졸을 이용하여 기관지 특이유발검사를 실시한 결과, 유의한 기관지의 반응을 관찰할 수 있었다. 하지만, DEOA에 대한 특이 면역글로불린 E는 발견하지 못하였다.

라. 인체 표적장기독성

DEOA의 인체에 대한 영향은 노출로 인한 상기도의 점막 및 피부의 자극 증상이 대부분이며, 일부에서는 접촉성 피부염 및 직업성 천식의 원인이 된다는 보고가 있다.(Savonius et al., 1994)

마. 인체 발암성

에탄올아민과 그 첨가제를 다루는 근로자에서 암 발생률 및 사망률을 파악하기 위한 두 가지 코호트 연구와 두 가지 코호트 내 환자-대조군 연구가 진행되었다. 그 결과, 다양한 신체 부위, 위와 식도, 인두에서 암 발생률이 조금 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, 이들 연구들은 사용하고 있는 물질 중에 DEOA이 얼마만큼 포함되었는지, 노출 정보에 대한 제공이 없어 DEOA의 인체 발암성을 확인하기는 어렵다. DEOA이 아질산과 같이 제공시에는 발암성이 있는 N-nitrosodiethanolamine을 형성한다고 확인되었으나, 이와같은 반응이 인체에서도 발생하는지는 확인되지 않았다.

DEOA이 인체에서 발암독성을 가진다는 것을 확인할 만한 자료는 충분치 않으나, 1999년 NTP에서 시행한 시험에서는 DEOA이 B6C3F1 마우스에서 간의 종양 발생과 밀접한 관련이 있음은 확인할 수 있었다.

Kamendulis(2005)는 DEOA과 콜린의 부족이 마우스, 랫트, 인체 간세포에서의 DNA생성에 영향을 미치는지 살펴보았다. DEOA은 세포에서 콜린을 흡수를 억제하여 설치류에서 종양발생을 일으키는 것으로 알려져 있기 때문이다. 마우스와 랫트의 간세포에서는 DEOA이 DNA 생성을 증가시키는 것으로 나타났다지만, 인체 간세포에서는 DNA생성을 증가시키지 않는 것으로 파악되었다. 유전자 분석 결과, 마우스와 랫트의 간세포에 DEOA을 제공하였을때, 세포의 성장과 관련된 유전자의 표현은 증가하였지만, 세포사멸을 일으키는 유전자는 억제되는 것을 확인하였다. 이는 설치류에서 DEOA으로 인한 간 세포 종양 발생의 기전에 콜린의 부족이 중요한 역할을 함을 확인할 수 있었지만, 인체 간세포에서는 확인할 수 없었다. 이는 DEOA이 인체에서는 발암독성을 일으키지 않는 것을 증명하는 것이다.

IARC에서도 디에탄올 아민이 설치류에서의 간세포 종양 발생의 원인 물질이기는 하지만, 인체에서는 발암독성이 없는 것으로 평가하여 Group3으로 분류하였다(<표 4-1> 참조).

<표 4-1> DEOA의 발암 독성, IARC

TABLE 1 IARC MONOGRAPHS WORKING GROUP - VOLUME 77: SOME INDUSTRIAL COMPOUNDS						
Agent	Previous evaluation			Current evaluation		
	Degree of evidence in humans	Degree of evidence in animals	Overall evaluation	Degree of evidence in humans	Degree of evidence in animals	Overall evaluation
Diethanolamine				I	L	3
S, sufficient evidence of carcinogenicity; L, limited evidence of carcinogenicity; I, inadequate evidence of carcinogenicity; ND, no data Group 1, carcinogenicity to humans; Group 2A, probably carcinogenic to humans; Group 2B, possibly carcinogenic to humans; Group 3, cannot be classified as to its carcinogenicity to humans;						

바. 사람에 대한 국내외 재해사례

DEOA로 인해 발생한 국내외 재해사례에 대한 보고는 없었다. 또한 DEOA의 노출로 인한 건강상의 장해사례도 거의 보고된 적이 없다.

5. 각국의 노출기준 요약 및 해설

가. 디에탄올아민(DEOA)에 대한 각 국의 노출기준 요약

미국, 일본, 독일, 영국, 스웨덴, 프랑스 등 주요 선진외국의 디에탄올아민(diethanolamine, 이하 DEOA이라 함)에 대한 노출기준은 <표 5-1>과 같다. 미국 우리나라, 미국정부 산업위생전문가 협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 이하 ACGIH라 함), 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, 이하 NIOSH라 함), 스웨덴, 프랑스가 시간가중평균기준(time weighted average, 이하 TWA라 함)을 설정하였다. 단시간노출기준(short term exposure limit, 이하 STEL이라 함)은 유일하게 스웨덴에서만 설정하였다. 그리고 피부흡수(skin)는 ACGIH, 독일, 스웨덴에서만 노출기준에 포함시키고 있다. DEOA에 대한 노출기준의 특성은 나라마다 차이가 큰 것을 알 수 있다(Carnevale et al., 1987). 또한 특별한 점은 독일은 DEOA를 감작물질(sensitization, Sh)로 명기하였으며 동물실험에서는 나타났으나 사람에게 암을 나타내는지 자료가 충분하지 않은 물질인 “A3(MAK-3)”로 규정하였다. 한편 영국은 2005년까지 DEOA에 대한 노출기준을 삭제하였다.

TWA의 경우 [그림 5-1]에서 보는 것처럼 두 가지 그룹으로 ACGIH에서 권고한 0.46 ppm과 우리나라와 NIOSH, 스웨덴, 프랑스 등의 3 ppm이다. NIOSH는 DEOA에 대한 IDLH는 없다(NIOSH, 1997).

<표 5-1> DEOA에 대한 국가 및 기관별 산업보건 노출기준

국가 및 기관		노출기준, ppm			피부 및 발암성	기타
		TWA	STEL	Ceiling		
대한민국		3 (15 mg/m ³)	-	-	-	
미국	OSHA(PEL)	-	-	-	-	
	ACGIH(TLV)	0.46 (2 mg/m ³)	-	-	피부	간, 신장, 혈액장애
	NIOSH(REL)	3 (15 mg/m ³)	-	-	-	-
일본	노동성	-	-	-	-	
	산업위생학회	-	-	-	-	
독일(MAK)		-	-	-	3A, 피부	Sh(감작물질)
스웨덴(OEL)		3	6	-	피부	
영국(WEL)		-	-	-	-	2005년 영국 Health & Safety Commission 에 의해 철회
프랑스(OEL)		3 (15 mg/m ³)	-	-	-	

내용 주

OSHA: Occupational Safety and Health Administration, Permissible Exposure Limits.

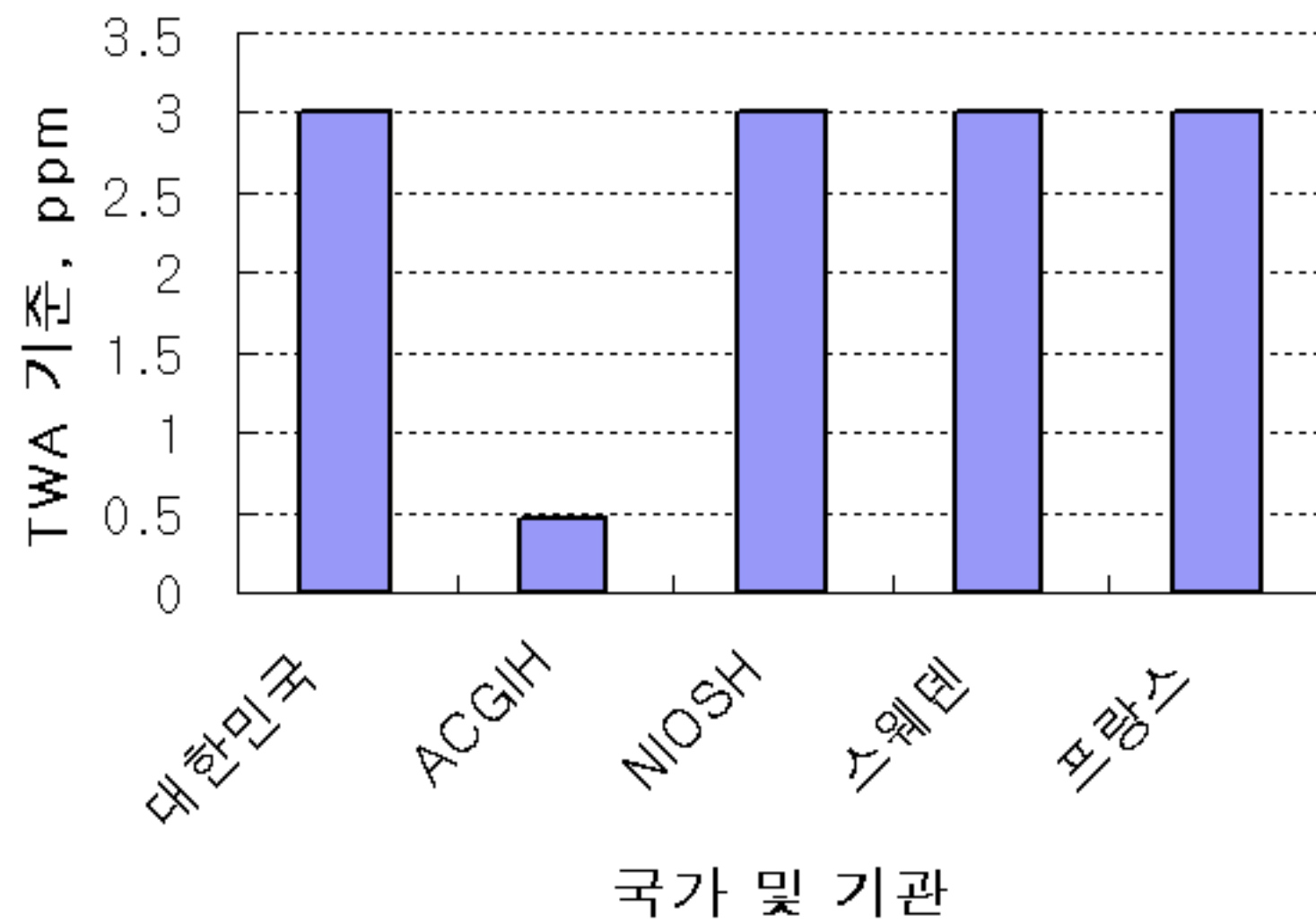
ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Threshold Limit Values

NIOSH: National Institute for Occupational Safety & Health, Recommended Exposure Limits

MAK : Maximum Concentration Values,

IDLH : Level Immediately Dangerous to Life or Health

OEL : Occupational Exposure Limits, WEL : Workplace Exposure Limits



[그림 5-1] DEOA에 대한 각 나라 및 기관의 노출 기준
(2005년).

나. 미국의 DEOA 노출기준 설정 근거

미국에서 작업환경 중 건강에 해로운 화학물질에 대한 노출기준을 설정하고 있는 기관은 법적 행정력이 있는 OSHA와 미국정부의 산업위생전문가가 자발적으로 조직하고 법적 집행력을 갖지 않은 기관인 ACGIH, 보건복지부의 산하 국립연구소인 NIOSH 등이다. 미국 OSHA는 NIOSH와 함께 1970년 산업안전보건법(Occupational Safety and Health Act of 1970)에 의해 설립되었다. 미국 OSHA, ACGIH, NIOSH에서 설정한 DEOA에 대한 노출기준 설정근거를 비교하고 고찰하였다. 이 설정근거를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 기관별 노출기준에 대한 개념, 적용배경 등도 함께 설명하였다.

<표 5-2> 미국 OSHA, ACGIH, NIOS의 DEOA노출기준 설정근거 요약

기관별	노출기준	주요 근거
OSHA: PEL	TWA : 없음 STEL : 없음 피부흡수 : 없음	해당없음
ACGIH: TLV	TWA : 0.46 ppm STEL : 없음 피부흡수	□ Barbee 등이 랫트와 마우스를 대상으로 13 주 동안 흡입독성 실험을 수행한 결과, 무관찰작용량(NOAEI)이 15mg/kg/day으로 더 낮아졌으며, 13주 동안 6 ppm(25.7 mg/m³)의 농도의 노출에서 악영향을 발견함(Barbee 등, 1976년) □ 1993년에 ACGIH는 이 결과를 근거로 TWA로 환산한 노출기준으로 0.46 ppm을 제안하고 현재까지 활용하고 있음 □ DEOA의 유해성은 피부, 간, 신장, 혈액에 대한 만성독성임. 따라서 단시간노출에 의해서 건강상의 장애가 발생되지 않음. 따라서 DEOA의 단시간 고농도 노출에 의한 장해예방은 상한치 노출기준으로 관리할 수 있음 □ 스웨덴을 제외한 모든 나라와 기관에서 STEL은 설정되어 있지 않음
NIOSH: REL	TWA : 3 ppm STEL : 없음 피부흡수	□ 1993년 이전에 랫트를 대상으로 단기간(90일) 급성 동물실험에서 얻어진 무관찰작용량(NOAEI) 20 mg/kg/day에 근거한 것임(Smyth 등, 1951)

내용 주

OSHA: Occupational Safety and Health Administration, Permissible Exposure Limits.

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Threshold Limit Values

NIOSH: National Institute for Occupational Safety & Health, Recommended Exposure Limits

<표 5-2>에 미국 OSHA, ACGIH, NIOSH의 DEOA에 대한 노출기준 설정 근거를 요약하였다. DEOA에 대한 노출기준과 설정근거는 OSHA는 없고 ACGIH와 NIOSH만 있다. ACGIH의 노출기준(TWA 0.46 ppm)은 NIOSH의 3 ppm에 비해 6.5 배 더 엄격하다. NIOSH의 3 ppm은 ACGIH에서 1978년부터 1993년까지 활용했던 TWA이다. OSHA, ACGIH, NIOSH의 노출기준에 대한 기초적인 개념과 적용을 바탕으로 DEOA에 대한 노출기준 설정근거를 알아보았다.

(1) 미국 OSHA의 PEL 기초개념 및 설정 근거

가) 노출기준 적용 배경

OSHA는 미국 노동성(U.S. Department of Labor)에 속한 기관으로 안전보건 법규(기준)의 개발과 실행, 작업장 안전보건에 있어 지속적 향상을 위한 독려, 협력관계 확립, 교육/훈련/구호활동 제공 등을 통해 미국 근로자들의 안전과 보건을 확보하는 것이 기관의 임무이다. 이를 위해서 미국 전체에 약 200개 이상의 사무실에 2,100여 명의 감독관과 불평/차별 조사관, 기술자, 의사, 교육자, 법률가, 기타 기술 및 지원 인력을 보유하고 있다.

OSHA에서는 작업장 공기 중 유해물질에 대한 노출기준으로 산업안전보건법에 의거하여 제정 공포한 노출기준(Permissible Exposure Limits, 이하 PEL이라 함)이 있다. 1971년에 OSHA는 설립된 후에 약 2년 동안은 ACGIH의 TLVs와 미국표준협회(American National Standards Institute, 이하 ANSI라 함)의 기준을 비교 검토하여 OSHA의 연방정부규정(Code of Federal Regulations, CFR) 1910.1000 조항의 PEL 값으로 설정하였다. 그러나 현재는 독자적인 노출기준(PEL)을 설정하며 설정근거도 가지고 있다. 물론 정부 기관인 NIOSH의 권고기준과 ACGIH의 노출기준을 참고하여 독자적인 노출기준을 설정하고 있다. 다른 점이 있다면 건강상의 영향을 예방하는 목적과 함께 사업장에서 적용할 수 있는 기술적인 실행가능성과 함께 규제에 따른 영향도 분석하여 사업장의 경제적인 활동도 고려하고 있다는 것이 특별하다.

자발적 기관인 ACGIH에서는 유해인자에 대한 새로운 정보를 얻을 때마다 매년 정기적으로 작업장 건강유해인자에 대한 TLV를 개정하고 있으나, OSHA의 PEL은 ACGIH와는 달리 노출기준 개정에는 있어 훨씬 까다롭다. 1980년대에 들어와 OSHA의 노출기준이 시대에 뒤떨어진 것으로 판단되자 1988년에 420종 화학물질의 PEL에 대한 개정을 제안하게 되었다. 새로운 PEL은 좀 더 최신의 과학적 정보를 근거로 하기 때문에 과거의 기준보다는

근로자의 건강을 더 많이 보호할 수 있을 것으로 기대되었다. OSHA는 효율적으로 기준을 제정하기 위해서 ACGIH와 NIOSH의 권고치들을 활용하였다. 수차례의 청문회와 의견수렴을 거쳐서 OSHA에서는 최종안으로 212개 물질들에 대한 PEL을 더 강화시키고 1개의 물질에 대한 노출기준은 더 완화시키고 이전에는 규정되지 않았던 164개의 물질에 대한 새로운 PEL을 최종안으로 제안하게 되었다(54 FR 2332). 또한 1992년에는 건설업과 해상산업까지 범위가 적용되도록 그 범위를 확장하여 제안하였다(57 FR 26002).

그러나 이 기준에 대한 산업체와 노동계의 법률 소송(American Federation of Labor and Congress of Industrial Organizations v. Occupational Safety and Health Administration)으로 법원은 OSHA로 하여금 각 물질의 건강영향에 대해 좀 더 광범위한 논의가 필요하므로 비발암물질의 정량적 위험성 평가를 수행하고 실행가능성을 좀 더 자세하게 분석할 것을 선고하였다. 공기 중 유해물질에 대한 노출기준 개정안이 OSHA로 반송되었으며, 현재 OSHA의 PEL의 수치는 1970년대의 노출기준이 효력을 갖고 있는 것이 많다. 이러한 배경으로 인해 미국 OSHA의 PEL이 미국 ACGIH의 노출기준에 비해 훨씬 높은 이유이다. 즉, 작업장 공기오염물질에 대한 노출기준 개정안과 관련하여 OSHA가 산업체 등 이해집단과의 소송에서 패한 이후로 각 물질별로 보다 명확한 근거가 있어야만 개정이 가능하도록 법률로 규정되었다. 따라서 OSHA의 PEL은 1970년대 이후로 의미 있게 개정된 적이 없기 때문에 지금은 너무 오래되거나 부적절한 기준이 되어버렸으며 또한 많은 새롭게 발견된 독성물질들을 포괄하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 많은 주 정부들이 이러한 연방정부의 PEL 대신에 독자적으로 유해물질에 대한 노출기준을 만들어 쓰고 있으며 이는 ACGIH의 TLV에 기초한 것들도 많다.

PEL에서 사용되고 있는 TWA, STEL, Ceiling의 개념은 ACGIH에서 정의한 개념을 그대로 적용하고 있다. 발암성에 대해서는 물질의 발암성이 있는 경우에 한해 “Ca(Carcinogen, 발암물질)”이라고 분류하며, 더 이상은 세부적으

로 분류하지 않는다.

OSHA의 PEL은 초기에는 ACGIH의 TLV를 그대로 적용하였으나, 후에는 독자적인 노출기준 설정 체계를 갖추게 되었다. 두 기준은 근본 배경은 같으면서도 두 가지 커다란 개념상의 차이점 때문에 독자적인 노출기준이 되었다. 첫 번째 개념상의 차이는 ACGIH의 TLV는 거의 모든 근로자라고 한데 반해서 OSHA의 PEL에서는 모든 근로자가 건강장해를 가져오지 않는 농도라고 정의하고 있으며, 둘째로는 ACGIH의 TLV는 일일 8시간의 노출에 따른 주당 40시간 노출 시의 기준인 반면 OSHA의 PEL은 일생 근무동안 아무런 건강장해를 가져오지 않는 기준으로 설정되었다.

나) 설정하지 못한 근거

OSHA의 DEOA에 대한 노출기준과 설정근거는 없다. OSHA는 1988년에 420종 화학물질의 PEL에 대한 개정을 제안하게 되었다. 여기에 DEOA에 대한 TWA 3 ppm이 NIOSH의 권고를 근거로 제안하였다. 새로운 PEL을 최종안으로 제안하게 되었다. 이미 “가)항의 노출기준 적용배경”에서 설명한 바와 같이 DEOA를 포함한 PEL에 대한 산업체와 노동계의 법률 소송(American Federation of Labor and Congress of Industrial Organizations v. Occupational Safety and Health Administration)으로 법원은 OSHA로 하여금 각 물질의 건강영향에 대해 좀 더 광범위한 논의가 필요하므로 비발암물질의 정량적 위험성 평가를 수행하고 실행가능성을 좀 더 자세하게 분석할 것을 선고하였다. 공기 중 유해물질에 대한 노출기준 개정안이 OSHA로 반송되어 아직 DEOA에 대한 노출기준이 없는 것이다.

(2) 미국 ACGIH TLV의 기초개념 및 설정 근거

가) 노출기준 적용 배경

ACGIH는 미국정부의 산업위생전문가들이 작업환경 중 근로자의 건강과 관

련된 각종 자료를 수집·연구하고 주요 화학물질의 노출기준(TLVs : Threshold Limit Values)를 정하여 권고하고 있다. ACGIH는 자발적인 민간기관으로서 현재 유해화학물질 700여종에 대한 TLV를 설정하여 대·내외적으로 권고하고 있으나, OSHA와 같은 법적인 구속력은 없다. TLV는 산업보건 노출기준과 관련하여 전 세계적으로 가장 널리 알려졌으며 대부분의 나라들이 노출기준을 새로이 만들거나 개정하고자 할 때 그대로 도입하여 사용하거나 가장 중요한 참고치로 활용하고 있다. 미국 연방정부를 비롯한 많은 나라에서 TLV의 일부를 법적 규제 목적을 위한 노출기준으로 채택하는 경우도 많다. 우리나라도 국내에서 발생한 직업병의 자료가 있는 일부 물질 이외에는 ACGIH의 TLV 기준을 대부분 받아들여 사용하고 있다.

TLV는 ACGIH의 TLV위원회에서 발간하고 있다. 이 위원회는 미국표준협회(American National standards Institute, ANSI)의 위원회(American standards Association)와 함께 1941년도에 설립된 중요한 위원회였다. ANSI 위원회는 Z-37로 알려져 있으며 ACGIH와 ANSI 양 위원회에서는 작업장 오염에 대한 노출기준을 개발하였다. ACGIH와는 달리 ANSI는 산업체, 정부, 노동조합, 기타 관련 이해당사자로 구성된 합의 기관이다. 반대로 ACGIH위원회는 소수의 산업체 컨설턴트와 함께 정부에 의해 고용된 산업위생전문가와 산업보건전문가로 구성되어 있다.

1942년에 ACGIH 위원회는 63가지 물질에 대한 최대 허용 농도를 발간하였다. 이 보고서에는 안전한 농도로 추천한다고 추론해서는 안 됨을 명시하고 있으며, 물질에 대해 아무런 언급이 없이 제시되고 있다. 이는 보고서의 기준들이 절대적 이라기보다는 가이드라인 또는 지침이라는 의미이다. 이 기준은 산업위생전문가에게 작업장을 개선하기 위한 출발점이 되었다. 1945년까지 ACGIH 위원회의 구성원은 132개 산업체 화학물질 목록을 출간하여 노출기준으로 권고하였다(Cook, 1987).

1900년대 초반에는 모든 OEL이 동물을 대상으로 한 독성실험에 근거하여 설정되었다. 작업장의 인체 자료는 극히 적은 자료가 있었다. Cook's 목록, 13가지 광물 분진에 대한 ANSI 목록, 1942년에 발간된 ACGIH 목록을 합쳐 1946년에 ACGIH에서 새로이 발간하였다. 이 목록에는 131개의 가스, 증기, 분진, 흙, 미스트 등을 포함하고 있으며 역치기준(threshold limit)이 아닌 독일에서 개발되어 현재도 사용되고 있는 최대허용농도(MACs, maximum allowable concentrations 또는 MAKs) 개념으로 적용되었다. 그러나 MACs도 초과되어서는 안되는 절대적 개념의 최대 기준은 아니다. ACGIH에서 발간한 OEL 목록은 계속 발전했으며, TLVs(threshold limit values)라고 부르기 시작했다. 현재 TLV는 ACGIH에 의해 매년 개정되어 발간되고 있다.

시간이 흐르면서 인체의 건강에 악영향을 미치는 방사선과 같은 물리적 유해인자에 대한 기준이 추가되었으며 마지막으로 BEI(Biological Exposure Indices)가 추가되어 출간되었다. BEI는 혈액과 소변과 같은 생체조직에서 오염물질의 수준과 관련하여 “허용할 수 있는(acceptable)” 기준이다.

나) 설정근거

ACGIH에서는 TLV-TWA 값으로 0.46 ppm(2 mg/m^3)을 제안하고 있으며 STEL은 설정되어있지 않다. 또한 피부 흡수에 대한 주의를 위하여 “피부(skin)” 표시를 하고 있다. ACGIH에서는 간, 신장, 혈액 등에 대한 독성을 근거로 0.46 ppm(2 mg/m^3)을 제시하고 있다(ACGIH, 2005).

다) 설정근거 세부설명

① 설정근거 요약

DEOA 0.46 ppm(2 mg/m^3)의 TWA이 간, 신장, 피부, 혈액(빈혈증)의 부작용 잠재력을 최소화하기 위한 작업자 노출로 권고된다. 피부 표시법을 보증한다.

랫트(rats)와 마우스(mice)에게 DEOA 부분 적용 후, 간, 신장 손상과 혈액적 영향들로 표현된 독성은 피부 표시법을 지시한다. SEN(감작)이나 발암성 표기 혹은 STEL을 권고할 충분한 자료가 없다.

②동물실험

급성

랫트의 경구독성(LD₅₀) 범위는 1,410-3,460 mg/kg이다. 마우스, 기니피그, 토끼의 경구독성 값은 각각 3,300, 2,200, 2,200 mg/kg이다. 랫트(내복막), 마우스, 랫트(피하)주입에 의한 독성값은 각각 120, 2,300, 2,200 mg/kg으로 나타났다. 200 mg/kg 이상의 단일 경구섭취량이 랫트의 중추 신경계(CNS) 저하(진정, 실조)와 간 손상(체중 증가, 혈청 아미노기 전이효소 및 기타 간 효소의 증가, 흐릿한 종기(cloudy swelling)와 vacuolization, 세포질세망, 미토콘드리아의 손상)을 일으켰다. 더 높은 섭취량은 간에 영향을 끼친다(체중 증가, 혈청 요소 증가, 혈청 아르기닌의 감소, 작은판에 인접한 흐릿한 종기(cloudy swelling)). 마우스와 랫트에게 단일 내복막 주입 후 동일한 영향들이 보고된다. 랫트는 DEOA 1,471 ppm 흡입농도에서 폐부종이 나타났고, 노출 2시간 이내에 사망했다. DEOA는 토끼에 적용될 때, 눈과 피부에 심각한 자극이 된다. 기니피그의 피부 감도 테스트는 음성으로 나타났다.

아만성

1,000 mg DEOA/kg 체중을 4일간 매일 경구 투여의 결과 큰 액포(vacuoles), 간세포 내 세포질세망의 저하, 부푼 미토콘드리아, 췌장 포상세포(acinar cell)의 손상이 나타났다. 음용수내 중성화된 DEOA는 랫트에게 7주간 섭취시킨 4 mg/ml에서 많은 죽음을 일으켰다. 간과 신장 손상 그리고, 골수 감소 없이 해상적혈구 빈혈을 나타냈다. Sprague-Dawley 수컷 랫트에게 0.25, 1.3, 5.0 mg/l (42-490 mg/kg체중/day)의 양을 음용수에 중성화된 DEOA로 섭취시켰고, 1, 2, 3개월 뒤 죽었다. 간 미토콘드리아는 원형감소(막과 종기의 손상)를 보였다. 신장 미토콘드리아는 영향 받지 않았다. 13주간 10마리 랫트 집단은 DEOA를

포함한 식이요법으로 섭취하였다. 매일 평균 섭취량은 5.1, 20, 90, 170, 350, 680 mg/kg체중으로 정량화하였다. 170, 350, 680 mg/kg를 섭취한 집단은 모두 죽었다. 체중 증가의 변화는 없었다. 많은 DEOA섭취그룹에서 더 적은 사료를 섭취하는 경향을 띄었으며, 간과 신장의 기관무게는 90 mg/kg이상에서 증가하였고, 이는 섭취량과 관계가 있었다. 조직학적으로, 간과 신장의 변화는 170 mg/kg이상에서 관찰되었고, 5.1 mg/kg과 20 mg/kg의 그룹에서는 악영향이 나타나지 않았다. 아만성 경구독성은 DEOA 0, 20, 50, 100, 200, 400 mg/kg의 섭취로 13주 동안 매일 위관영양법으로 F-344 랫트 수컷 10마리와 암컷 10마리의 집단에서 평가되었다. 더욱 적게 섭취한 그룹을 제외하고, 다른 그룹의 랫트에서는 체중 증가가 현저하게 낮은 것으로 관찰되었다. 2개의 다량섭취 그룹의 암컷은 신장의 더 높은 분해율을 보였으며 다량섭취 그룹은 위 비후증(hyperplasia)와 위 과각화증(hyperkeratosis)이 조사되었다. 13주간 위관영양조사는 매일 0, 50, 100, 200, 400, 800 mg/kg의 섭취량으로 각 10마리 수컷과 암컷 B6C3F1 마우스의 집단에서도 수행하였다. 다량 섭취 그룹의 수컷에게서만 치사적이었고, 3개의 다량 섭취 집단의 수컷에서 체중 감소가 나타났다. 소량 섭취 집단을 제외하고, 다른 그룹의 마우스는 탈모증이 나타났다. 조직학적으로, 다량섭취그룹의 수컷 신장에서만 세관 손상이 일어났다.

F-344 랫트 10마리 수컷, 암컷 그룹에게 13주간 음용수에 DEOA 투여를 했다. 수컷은 0, 0.32, 0.63, 1.25, 2.5, 5.0 mg/l의 농도(0.28, 3, 55, 109, 233.2, 487.5 mg/kg체중 단위 상응)로 암컷에는 0, 0.16, 0.32, 0.63, 1.25, 2.5 mg/l의 농도(0, 15, 36, 64, 141.4, 248.6 mg/kg체중 단위 상응)로 투여하였다. 다량 섭취 그룹에서 2마리가 죽었고, 더욱 많은 다량섭취 그룹의 몇몇 랫트에게 간혈적으로 종양이 발견되었다. 0.32 mg/l 이상의 랫트 집단은 적혈구수, 헤모글로빈 농도와 혈구를 혈장에서 분리 시 원심분리수치의 감소를 나타냈다. 모든 처리구는 섭취량과 관계된 혈청 BUN(blood urea nitrogen) 농도 증가로 나타났다. 모든 암컷 처리구와 0.63mg/l 이하의 수컷 집단의 간 무게의 상관성은 대조군보다 현저하게 관련 깊은 것으로 나타났다. 또한, 모든 암컷 처리구와 수컷 그룹의 신장 무게 상관성도 대조군보다 현저히 높은 것으로 나타났다.

조직의 조직 병리학적검사는 신장(모두 처리된 섭취 수준에서 신장해(nephropathy), 뇌와 나선조직(0.63 mg/ℓ 에서 탈수초화(demyelinization), 부고환(epididymis), 고환선(testicular gland) 위축, 부신수질(medullae of the adrenals vacuolization), 가슴샘(thymus) (임파조직의 감소), 폐(대식세포의 비후증)의 변화가 관찰되었다. 무관찰부작용량(NOAEL; no observed adverse effect level)은 입증될 수 없었다. B6C3F1 마우스 10마리 수컷, 암컷 그룹에게 13주간 음용수에 DEOA를 투여했다. 수컷, 암컷은 0, 0.63, 1.25, 2.5, 5.0, 10.0 mg/ℓ 의 농도로 투여하였다. 이는 수컷은 0, 103.6, 178, 422.4, 806.5, 1,673.8 mg/kg의 섭취량, 암컷은 0, 142.3, 346.8, 883.6, 1,153.8, 1,128.2 mg/kg의 섭취량과 각각 대응한다. 실험 중 암, 수컷 모두2개의 가장 많은 섭취집단과 2.5 mg/ℓ 이하의 3개 암컷 섭취집단이 죽었다. 2개의 다량섭취 마우스 집단은 물 소비량이 현저하게 줄었으며, 대부분 처리된 마우스는 과민성행동과 강한 반응을 보였다. 체중 증가는 1.25 mg/ℓ 이상의 농도에서 줄었으며, 알부민과 알라닌 아미노기 전이효소 기능의 혈청 농도는 각각 0.63 mg/ℓ 와 1.25 mg/ℓ 에서 증가하였다. 모든 처리구 마우스의 간 무게 상관성은 대조군보다 현저하게 관련 있었다. 1.25 mg/ℓ 이상의 처리구 마우스의 신장과 심장 무게 상관성 역시 대조군보다 현저히 높았다. 간세포 괴저현상은 모든 마우스의 처리구에서 관찰되었다. 심장 근육 수축은 2.5 mg/ℓ 에서 나타났으며, 수컷은 1.25 mg/ℓ 와 2.5 mg/ℓ 에서 신장 손상이 발생되었다. 이 조사에서도 무관찰부작용량(NOAEL)이 없었다. 아만성 표피 독성은 F-344 랫트 10마리 수컷과 암컷의 집단에서 13주 동안 매일 95% 에탄올에 DEOA를 표피에 사용하여 0, 32, 63, 125, 250, 500 mg/kg의 투여하는 방식으로 평가하였다. 치사량은 500 mg/kg 투여 그룹에서 빈사상태로 한 마리 수컷과 두 마리 암컷이 죽은 것으로 알 수 있었다. 실질적으로 2개의 다량 섭취 집단에서 수컷, 암컷의 체중이 감소된 것을 관찰하였다. 임상 관찰로는 3개의 다량 섭취 집단 암수컷의 실험장소에서 표피 자극과 피부의 상피가 나타났다. 혈액학적 발견에서는 적혈구수(수컷 250과 500 mg/kg; 암컷 모두 처리)와 헤모글로빈수치(수컷 125 mg/kg 이상 암컷 모두 처리), 평균 미립체(수컷 모두 처리 암컷 63 mg/kg 이상)의 현저한 저감을 포함하였으며, 임상 생화학적 분석에서는 평균 혈청 알라닌 아미노기 전

이효소 수치(수컷 125와 250 mg/kg; 암컷 500 mg/kg), 평균 혈청 알부민 수치(수컷 63 mg/kg; 암컷 모두 처리), 요소 질소값(수컷 250과 500 mg/kg; 암컷 63 mg/kg 이상)의 현저한 증가를 나타내었다. 총 부검은 섭취 양과 빈도가 증가된 랫트의 처리한 부분의 표피 형성과 피부의 변색(갈색과 붉은색)이 나타났다. 관련 기관 무게에서 상당한 증가는 뇌(수컷 250, 500 mg/kg; 암컷 125 mg/kg 이상), 간(수컷 125 mg/kg 이상, 암컷 모두 처리), 신장(수컷, 암컷 모두 처리), 심장(수컷 250, 500 mg/kg; 암컷 125 mg/kg 이상), 가슴샘(수컷 다량 섭취 암컷 32, 63, 250 mg/kg), 고환(250, 500 mg/kg), 부고환(32, 500 mg/kg)에서 관찰되었다. 미시적 조직병리학적 조사에서 피부(암수컷 63 mg/kg 이상)의 궤양, 각막 비후증, 극세포증과 뇌(수컷 500 mg/kg; 암컷 250, 500 mg/kg)의 손상이 나타났다. NOAEL은 입증될 수 없었다.

B6C3F1 마우스 10마리 수컷과 암컷 집단에서 13주 동안 매일 95% 에탄올에 DEOA를 표피에 사용하여 0, 80, 160, 320, 630, 1,250 mg/kg의 투여하는 방식으로 평가하였다. 치사량은 가장 다량의 섭취 집단에서 2마리 수컷과 4마리 암컷이 죽은 것으로 판명할 수 있었고, 다량섭취 수컷 집단에서 체중이 감소된 것으로 드러났다. 가장 많이 섭취한 2개의 그룹의 실험장소에서 피부의 자극, 표피 형성, 변색이 나타났다. 임상 생화학적 접근은 평균 혈청 알라닌 아미노기 전이효소 수치(수컷 320 mg/kg 이상 암컷 1,250 mg/kg), 평균 혈청 소르비톨 탈수소효소 수치(수컷 320 mg/kg 이상)에서 현저한 감소를 나타냈고, 평균 총 혈청 알부민 값(수컷, 암컷 모두 처리)은 증가하였다. 관련 기관 무게에서 상당한 증가는 간(수컷 160 mg/kg 이상 암컷 모두 처리), 신장(수컷 160 mg/kg 이상 암컷 630, 1,250 mg/kg), 심장(수컷, 암컷 다량섭취 시), 폐(암컷 다량섭취)에서 관찰되었다. 조직병리학적 검사는 상피조직의 궤양, 괴저(수컷, 암컷 160 mg/kg 이상), 간 세포변형(수컷 모두 처리 암컷 160 mg/kg 이상), 비장의 임파감소(수컷 320 mg/kg 이상 암컷 1,250 mg/kg), mild 신장기관세포 괴저(암수컷 가장 많은 2개의 섭취 그룹), mild 부신피질 출혈(수컷 1,250 mg/kg, 암컷 630, 1,250 mg/kg, 침샘 형성장애(암수컷 가장 많은 2개의 섭취 그룹), 심장 수축세포(cardiac myocytes)(다량 섭취 그룹)에서 나타났다. 200 ppm증기나 1,400

ppm 에어로졸에서 단기간 흡입으로 야기된 수컷 랫트에서 호흡곤란과 죽음을 야기하였다. 216시간 지속적으로 25 ppm DEOA 흡입된 랫트는 간과 신장 무게의 증가와 아미노기 전이효소와 요소질소의 혈청 농도 증가를 초래하였다. 13주간 6 ppm의 평소 흡입 일정은 침체 성장률을 가져왔고, 수컷의 폐와 간장 무게 증가와 죽음을 가져왔다. 2-48시간동안 6 mg과 12 mg DEOA/kg 체중 내복막 주입은 랫트의 체중 증가를 지체하였고, 간과 신장 무게 증가, 혈청 알카라인 포스파타제 활성을 증가시켰다. 매일 100-1,000 mg/kg으로 14일간 내복막 주입으로 처리된 랫트는 미립자 수산기 억제, 간세포에서 N-demethylation의 억제, hexabarbital 혼수 지속이 관찰되었다. 2-49일동안 내복막으로 26.3-557.9 mg/kg/day의 섭취는 랫트에게 아드레날린 외피적 기능항진을 나타내었다. 1980-1981년 동안, 플로리다주의 개와 고양이에게 50 번 이상 신경마비증후군이 발생되었다. 2일-18개월간 물에 DEOA 53% 수용액을 포함한 베틀퇴치제를 경구 섭취하도록 하였다. 단일 복용량은 44 mg DEOA/kg체중이었다. 개와 고양이는 뒷다리의 경련, 경직, 실조, 전신부전마비 증세를 보였다. 치사량은 41%이었다.

만성/발암성

랫트에게 DEOA는 주로 간종양을 일으키는 발암성 물질인 N-nitroso-diethanolamine를 형성하는 능력이 있다.

생식독성/행동발달

출생 후 진단 검사에서, 마우스는 6-15일간의 임태기에 위관영양법으로 1,125 mg DEOA/kg체중 을 받았다. 모자간 치사율은 발생되지 않았고, 생존 동복자(litters), 동복자 크기, 새끼 생존율, 새끼 출생 시 체중, 새끼로부터의 체중증가 등의 어떤 변화도 나타나지 않았다. 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19일째의 임태기에 20마리의 랫트 그룹 털을 제거하는데 일반적으로 20% DEOA를 함유한 털 염료가 사용되었고, 20일째 죽었다. 중요한 연부조직이나 골격변화는 태아에서 발견되지 않았다. 황체, 착상지, 활동성 태아, 흡수성의 평균수치가 염색

처리군과 대조군에서 두드러진 차이를 보였다.

유전독성

에임스 실험(Ames test)에서 DEOA는 *Salmonella typhimurium* 중 TA1535, TA1537, TA1538, TA98와 TA100 혹은 *Escherichia coli* 중 WP2, WP2 *uvrA* 더불어 돌연변이 발생률을 높이지는 않았다. DEOA는 마우스 임파종 L5178 실험에서 변이를 유발하지 않았고, *Saccharomyces cerevisiae JDI*에서 유사분열인자 전환도 발생되지 않았다. DEOA는 Chinese 햄스터 난소세포에서 염색체 변이나 자매염색분체 교환을 야기하지 않았고, 간세포선 RL1에서 염색체 변이도 없었다. DEOA에 의해 햄스터 배아세포가 변이되지 않았다. 4(p-nitrobenzyl) 피리딘 반응으로 DEOA의 알킬활성은 나타나지 않았다.

③약동력학적/ 신진대사 조사

250 mg/kg의 단일 경구투여는 phosphatidyl 에탄올아민의 합성을 촉진했으나, 반복인330 mg/kg/day의 투여는 현저히 억제하였다. 콜라인과 에탄올아민의 가장 두드러진 저감은 간에서 발생했다. DEOA 투여 1주 후, 에탄올아민 phosphoglycerides의 합성은 대조값의 27%로 저감되었다. 더 많은 저감은 남은 3주 동안에도 관찰되지 않았다. 콜라인 합성은 1주 후 대조값의 82%로, 2주, 3주 후에도 각각 47%, 41%로 저감되었다. 신장조직에서의 이러한 내생표준 합성도 저감되었다. 에탄올아민 phosphoglyceride 합성은 3주의 섭취 기간 동안대조군의 41% 값으로 꾸준히 저감하였으며 콜라인 합성은 3주째까지 대조군의 71%로 저감하였다. Diethylamineophospholipides는 정상 phospholipides보다 반감기가 더 길어서 체내에 축적할 수 있다.

④역학조사

32명의 환자를 대상으로 에틸렌디아민 반응에서, 1명이 DEOA(미네랄 오일에 1% DEOA 첨가한 알레르기 반응 검사)에 양성반응을 보였다.

⑤TLV 권고

인체의 DEOA영향에 대한 언급은 한정적이어서 동물연구 결과는 TLV를 입증하였다. 90일간 랫트의 식이조사에서 20 mg/kg/day no-ill-effect가 3 ppm (12.9 mg/m³)의 이전 TLV에 근거하였다. 이후, 13주간 랫트와 마우스의 경구 조사와 랫트의 흡입 조사가 수행되었고. 모든 경구조사의 평가에서 랫트는 15 mg/kg/day 이하의 무관찰부작용량(NOAEL)이 권고되었다. 13주간 랫트의 흡입 조사에서는 6 ppm (25.7 mg/m³)시 부작용이 일어났다. 그러므로 2 mg/m³(0.46 ppm)의 TWA이 급성, 만성 영향(간, 신장, 혈액)의 잠재위험을 최소화하기 위해 제안된다. ACGIH는 아만성 흡입 조사나 DEOA에 노출된 작업자의 연구의 이러한 기준이 더욱 조사 되어야 한다고 본다. SEN(감작) 표지나 발암성 표시, STEL을 권고할 충분한 자료가 없으므로, TLVs와 BEIs의 최신 개정판 '화학물질 TLVs의 개론'의 Excursion Limits 부분을 숙지해야 하겠다.

반복 투여 후 랫트와 마우스의 피부 독성은 매우 높았으며 랫트는 32 mg/kg/day 이하, 마우스는 80 mg/kg/day 이하의 무관찰부작용량(NOAEL; no observed adverse effect level)으로 나타나서 피부 표시법이 권고된다.

⑥TLV 설정 및 개정 역사

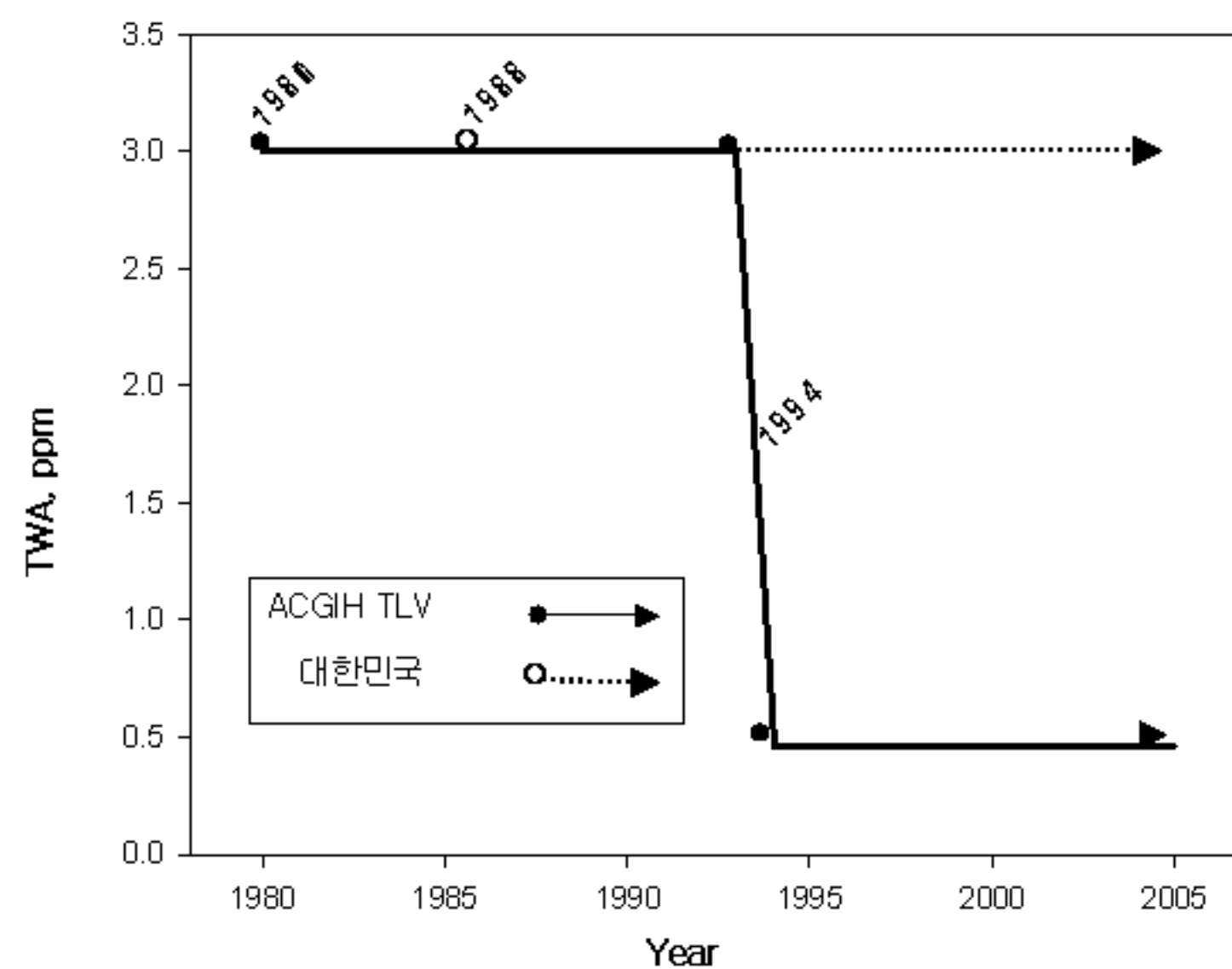
ACGIH에서는 DEOA에 대해 간, 신장, 혈액 등에 대한 독성을 근거로 0.46 ppm(2 mg/m³)을 제시하고 있으며 피부흡수에 대한 주의를 위해 "피부(skin)"을 명시하고 있다.

ACGIH에서 DEOA의 노출기준의 변화정도는 <표 5-3>과 같다. ACGIH에서는 DEOA에 대해서 1978년도에 처음 TWA로 3 ppm을 제안하였다. 제안된 TWA가 1980년부터 1993년까지 적용되었다. 1993년에 다시 TWA를 0.46 ppm 그리고 피부흡수를 제안하였다. 이 제안된 기준이 1994년부터 현재까지 권고되고 있다. TWA의 변화를 살펴보면 <표 5-3>과 [그림 5-2]에서 보듯이 1980년 3 ppm이었던 것이 1994년부터 현재까지는 약 15% 수준인 0.46 ppm이 권고되고 있다. 이를 통해 기준이 매우 엄격해지고 있음을 알 수 있다. 우리나라의 경우는 1986년에 ACGIH의 3 ppm 기준을 도입하여 현재까지 그대로 적

용하고 있다.

<표 5-3> DEOA에 대한 ACGIH의 노출기준 변화 및 역사

연 도	내 용 (ACGIH, 2005)		
	TLV-TWA	TLV-STEL	피부/발암성 표시
1978	3 ppm (12.9 mg/m ³) 제안	설정하지 않음	
1980~1993	3 ppm	설정하지 않음	
1993	0.46 ppm 제안	설정하지 않음	"피부" 제안
1994~현재	0.46 ppm	설정하지 않음	"피부"



[그림 5-2] DEOA에 대한 연도별 노출기준(ACGIH TLV-TWA)의 변화 추이.

DEOA의 인체에 대한 영향과 관련한 정보가 제한되어 동물 연구에서 얻은 결과를 TLV를 설정하는데 사용하고 있다. 과거의 노출기준(TLV) 3 ppm(12.9 mg/m³)은 랫트(rat)를 대상으로 매일 20 mg/kg씩 90일간 식이 섭취시켜 나타난

결과인 무질병영향(no-ill-effect)에 관한 연구결과에 근거한다. 이러한 연구 이후에 랫트와 마우스(mouse)를 대상으로 한 13 주 경구 연구와 랫트를 대상으로 한 13 주 흡입 연구가 실행되었다. 경구 연구들을 통해서는 랫트에서의 NOAEL 값이 15 mg/kg/day 이하로 나타났으며, 흡입 연구에서는 6 ppm (25.7 mg/m³)에서 악영향이 관찰되었다. 따라서 간, 신장, 혈액 등에 대한 급/만성 영향의 잠재적 위험성을 최소화하기 위해 TLV-TWA로 2 mg/m³ (0.46 ppm)을 권고하게 되었다. ACGIH는 DEOA에 노출된 근로자 연구나 아만성의 흡입 연구가 진행될 때까지는 이러한 기준치가 유지되어야 한다고 권고하고 있다. 감작(SEN) 표시, 발암성 표시, TLV-STEL을 권고하기에는 자료가 충분치 않다. 랫트와 마우스를 대상으로 반복적으로 투여한 결과 피부독성이 매우 높게 나타나, 랫트에서 NOAEL 값이 32 mg/kg/day 이하로, 마우스에서는 80 mg/kg/day 이하의 결과를 얻었다. 따라서 “피부(Skin)” 표시가 권고되었다.

TWA의 변화를 살펴보면 그림 5-2에서 보듯이 1980년 3 ppm이었던 것이 1994년부터 현재까지는 약 15% 수준인 0.46 ppm이 권고되고 있다. 이를 통해 기준이 매우 엄격해지고 있음을 알 수 있다. 우리나라의 경우는 1986년에 ACGIH의 3 ppm 기준을 도입하여 현재까지 그대로 적용하고 있다.

(3) 미국 NIOSH의 REL 기초개념 및 설정 근거

가) 노출기준 적용 배경

미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH)은 직업 관련 상해(work-related injury) 질병을 예방하기 위한 연구를 수행하고 권고안을 만드는 책임이 있는 연방기관이다. NIOSH는 보건부(Department of Health and Human Services) 산하의 질병관리본부(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)의 부속 연구기관이다. 1970년 산업안전보건법(Occupational Safety and Health Act of 1970)에 의해

행정력이 있는 OSHA와는 달리 NIOSH는 산업안전보건분야에서 연구, 정보, 교육, 훈련 등을 통해 일하는 사람들을 위하여 안전하고 건강한 작업환경을 확보하는데 도움을 주기 위해서 설립되었다.

NIOSH에서는 1970년대 초부터 작업장의 유해물질이나 조건에 대하여 “Criteria Documents”를 만들어 왔으며 여기에 REL도 포함되어 있다. 작업장 유해물질의 노출기준을 검토하여 OSHA에 건의한다. NIOSH에서는 순수하게 학문적, 이론적 근거에 입각하여 근로자들의 건강유지를 보장할 수 있는 기준을 검토한 후, OSHA에 이를 건의하면 OSHA에서는 이를 현실적인 여러 가지 조건을 고려하여 적법절차를 거쳐 산업안전보건법상의 노출기준으로 채택 여부를 결정한다. 따라서 NIOSH의 권고기준이 OSHA의 노출기준보다 엄격한 경우가 많다. NIOSH의 기준은 ACGIH와 마찬가지로 권고기준에 불과하며 법적구속력은 없으며 OSHA에서는 이를 참고자료만으로 활용할 뿐 실제로 NIOSH의 권고기준이 OSHA에서 그대로 받아들여진 경우는 별로 많지 않다.

NIOSH의 REL에서 정의하고 있는 STEL, 천장값(Ceiling), 피부(skin) 등은 ACGIH의 정의에 따라 동일한 개념으로 적용된다. 하지만 TWA에 있어서는 NIOSH에서는 1일 10시간, 주 40시간 근무시간을 기준으로 설정하고 있는 반면에 ACGIH나 OSHA에서는 1일 8시간, 주 40시간을 기준으로 한다. 이런 기준의 차이로 동일한 물질에 대하여 OSHA 및 ACGIH와는 다른 값을 갖게 된다. 보통은 1일 10시간 기준으로 하는 NIOSH에서 설정하는 기준이 더 낮은(엄격한) 편이다.

나) 설정근거

NIOSH에서 제안하고 있는 DEOA의 REL 설정근거는 OSHA에서 개정안으로 제안한 3 ppm의 PEL과 동일하다. 이미 설명한 바와 같이 OSHA에서 DEOA에 대한 PEL의 TWA를 3 ppm으로 제안할 때 근거는 ACGIH에서 1993년 이전에 활용한 근거였다. 그 당시 ACGIH에서 DEOA에 대한 TWA 3 ppm에 대한 설정 근거는 다음과 같다. 랫트(rats)와 기니피그(guinea pigs)에

대한 DEOA의 경구 LD₅₀는 2 g/kg으로 보고되었다. 급성독성연구에서는 만일 반복적으로 노출시키면 직접적인 접촉으로 시각 손상과 피부 변성을 보였다. 랫트에 대한 식이 연구에서는 매일 20 mg/kg씩 90일간 먹인 결과 아무런 질병이 관찰되지 않았다(Smyth, 1951). 이 기준이 DEOA의 TWA(3 ppm) 이상에서 나타날 수 있는 건강 손상과 관련된 뚜렷한 눈의 손상과 피부 자극의 위험성으로부터 근로자를 보호할 수 있다고 믿고 있다(NIOSH, 1992)

다. 일본의 노출기준 적용배경 및 설정근거

일본에서는 작업환경 중 건강에 해로운 화학물질에 대한 노출기준을 설정한 기관은 2개소이다. 법적 행정력이 있는 일본 노동성(ministry of labor)과 자발적으로 조직되어 이윤을 추구하지 않고 정부에 노출기준을 권고하는 일본산업위생학회(Japan Society of Occupational Health, 이하 JSOH라 함)이다. 일본 노동성의 노출기준은 관리농도(control limit, 이하 CL이라 함)이고 JSOH의 노출기준(OEL)은 권고기준이다. JSOH가 화학물질에 대한 노출기준을 설정하여 노동성에 권고하면 노동성은 여러 요인을 감안하여 관리농도로 활용할지 여부를 결정한다. 일본 노동성과 JSOH는 DEOA에 대한 노출기준을 설정하지 않았다. 설정하지 않은 근거에 대해서는 자료를 찾을 수 없었다(JSOH, 2005).

라. 독일의 노출기준 적용배경 및 설정근거

독일 산업의학중앙연구소(Central Institute for Occupational Medicine)가 속해있는 보건부(Ministry of Health)에서 작업환경 중 유해물질에 대한 허용 농도와 관련된 기준인 MAK을 정하고 있다. 일반 화학물질에 대한 노출기준이다. 한편, TRK는 독일 연방 고용 및 사회부(Federal Ministry for Employment and Social Affairs)에 속한 3자위원회(정부, 근로자대표, 경영자대표)인 유해화학물질 위원회(Committee on Hazardous Chemicals)에서 결정

한다. TRK 형태의 노출기준을 갖는 물질은 독성이 높은 발암물질 등이다. <표 5-5>는 독일의 DEOA에 대한 MAK 설정근거를 요약한 표이다. 독일에서는 DEOA에 대한 TWA, STEL 등의 노출기준에 대해 권고하고 있지 않다. 그러나 DEOA에 대한 발암성으로는 3A, 피부 흡수에 관한 주의를 위해 “피부” 표시를 하였으며 감작(Sh)에 대해서도 규정하고 있다. 발암성과 관련해서 국제암연구소에서도 DEOA에 대해 제3군으로 분류하고 있다. 제3군(Group 3)은 인체에 발암성이 있다고 구분할 수 없는 물질로 인체에 대한 발암증거가 불충분(inadequate)하고 동물실험에서도 불충분하거나 제한된 증거일 경우 (inadequate or limited evidence) 이다(Arbeishyiene).

<표 5-4> 독일의 DEOA노출기준 설정근거 요약

노출기준 분류	노출기준	주요 근거
MAK	TWA : 없음 STEL : 없음 피부흡수 주의 A3(MAK 3) Sh	☐ TWA, STEL은 설정하지 않음 ☐ DEOA를 “A3”(인간에게 발암성을 나타내는 충분한 자료가 없음), “Sh”(감작물질)로 규정하고 있음
TRK	설정하지 않음:	DEOA는 발암성을 나타내는 물질이 아님

내용 주

MAK : Maximum Allowable Concentration

TRK : Technical Guidance Concentration

마. 스웨덴의 노출기준 적용배경 및 설정근거

(1) 노출기준 적용배경

스웨덴에서는 세 곳의 이해당사자가 협력하여 OEL을 설정하는 작업반 (working group) 체계이다. 즉, 정부 기관인 산업안전보건위원회(Board of Occupational Safety and Health)가 중심기관으로 감독부서(Supervision Department), 행정부서(Administrative Department), 정부위원회(Board of

Governors)로 구성되어 있다. 공기 중 오염물질에 대해 제안된 법적 기준치에 대한 논의를 위해 감독부서에서 관련그룹을 소집한다. 이 그룹에는 위원회, 노조, 고용주 조직의 대표자가 속해 있다. 위원회 활동은 법적으로 작업환경법(Work Environment Act)과 작업환경법령(Work Environment Ordinance)에 근거하고 있다.

(2) 설정근거

스웨덴에서는 DEOA에 대해 TWA로 3 ppm, STEL로 6 ppm과 함께 피부 흡수에 대한 주의를 위해서 “피부” 표시를 권고하고 있다. 단시간 노출기준은 설정하지 않았다(Arbetar-Skyddsverket, 1983, SWEA, 2000).

①섭취, 생체변화, 배설

DEOA는 피부를 통해 흡수될 수 있다. 쥐(rat)의 면도한 피부에 DEOA를 묻히고 아질산염이 담긴 음용수를 섭취시켰을 때 N-니트로소디에틸아민이 소변에서 발견되었다.

쥐에게 음식의 형태로 주어진 DEOA은 간의 인지질에서의 에틸아민 결합을 증가시켰다. 쥐(rat)에게 매일 230 mg/kg의 용량을 3주간 주었을 때 간과 신장에서의 포스파티딜에틸아민의 합성을 억제하였다; 250 mg/kg의 단일 용량에서는 억제가 발생하지 않았다.

②독성 영향

DEOA은 강염기로 피부와 점막을 자극한다. 토끼에 대한 눈-자극 시험에서 1-10까지의 10점 척도 중 5점을 나타내었다: 0.02 ml의 원액 DEOA을 적용시켰을 때 각막의 약 75%가 괴사되었다. 다른 연구에서 DEOA은 심한 눈 자극과 중등도의 피부 자극을 일으켰다.

DEOA(95% 에탄올 중에 포함된)을 피부에 16일간 적용시켰을 때 적용 부위에 염증과 피부 손상을 일으켰다. 이때의 일일 용량은 쥐(rat)는 0.5 g/kg 이

상, 마우스는 1.25 g/kg이다. 1.0 g/kg을 쥐(rat)에게 적용했을 때 신장에서 노세관괴사가 나타났다.

마우스에게 DEOA를 복강내 주사했을 때 간의 상대중량(relative liver weight) 증가, 글리코겐 수치 상승, 알칼리성 인산분해효소 활성 증가, 지질 감소, 간세포의 핵비대 영향이 보고되었다.

용량은 6 또는 12 mg/동물/day(약 240 또는 480 mg/kg/day)이었으며 48일 동안 적용하였다. 마우스에게 2.3 g/kg의 용량을 단일 복강내 주사 4시간 후에 간세포의 공포형성, 미토콘드리아와 세포질세망의 구조 변화가 관찰되었다. 유사한 효과가 쥐(rat)에게 500 또는 1,000 mg/kg을 복강내 주사한 후에 관찰되었다. 신장 손상-괴사와 관모양 상피의 공포형성이 보고 되었다.

DEOA 800 mg/kg을 단일 경구 용량으로 쥐(rat)에게 투여하였을 때 일부 다른 혈청효소 활성이 증가되었다; 400 mg/kg은 신장세관의 괴사를 야기했다; 200 mg/kg 용량에서 간의 실질 세포에 손상을 일으켰다.

쥐(rat)에게 DEOA 25 ppm을 216시간동안 지속적으로 흡입시킨 후 신장과 간의 상대중량(relative kidney and liver weights) 증가, 간 효소의 혈청 수준 증가가 관찰되었다. 13주 동안 DEOA 6 ppm(7시간/일, 5일/주)에 노출시켰을 때 간과 폐의 상대중량(relative weights of liver and lungs)이 증가되었다.

쥐(rat)에게 90일간 음식과 함께 DEOA를 주었을 때 독성 효과를 유발하지 않은 최고 농도는 20 mg/kg이었다. 90 mg/kg 이상의 용량은 간과 신장에 손상을 초래하였으며 때론 사망을 야기했다.

쥐(rat)를 대상으로 매일 250, 500, 750 mg/kg의 용량을 5일간 적용하였을 때 간의 미세소체에서의 N-메틸효소와 수산화효소 활성의 용량-의존 감소가 관찰되었다. 그러한 감소는 시험관내 시험 연구에서는 보고되지 않았다. DEOA이 함유된 음용수(4 mg/ml)을 쥐(rat)에게 7주간 주었을 때 간과 신장 손상을 초래했다.

DEOA이 함유된 음용수가 투입된 쥐(rat)에게서 간의 미토콘드리아에 대한 영향이 보고되었다. 효과는 일일 용량 160 mg/kg을 1주일간, 단일 용량 490 mg/kg의 용량을 3일간 투여한 후에 보고 되었다.

간세포에 대한 시험관 시험과 함께 실시된 세포독성 시험에서 독성의 정도는 단백질 구성물의 감소에 의해 측정되었는데, 50% 감소를 야기한 농도는 14 mM이다. 다른 연구에서 DEOA 10 mM 농도에서 적출된 간세포로부터의 젖산탈수소효소(LDH) 분비가 증가되었다.

에틸렌디아민(ethylenediamine)에 민감화 된 32명에 대해 DEOA으로 시험했을 때 단 1명만이 양성 반응을 보였다.

③돌연변이, 발암성, 최기형성

DEOA은 일부 돌연변이 시험에 음성이었다. DEOA의 발암성 연구에 대해 보고된 바 없다. 쥐(rat)를 대상으로 DEOA 2%가 함유된 염모제에 대해 최기형성 시험을 실시한 결과 골격 영향이나 새끼 수에 대한 영향이 없었다.

※ 해설(comment): 질산염이나 질산화물의 존재 하에서 DEOA은 N-니트로소 DEOA을 형성한다. 이 물질은 금속가공유, 화장품 등의 오염물질로 존재한다. N-니트로소디에탄올아민은 일부 동물 연구에서 암을 일으켰다.

④용량-반응/용량-효과 관계

쥐(rat)에 대한 흡입 연구에서 DEOA 25 ppm에 216시간동안 지속적으로 노출되었을 때 간과 신장의 상대증량(relative liver and kidney weights) 증가를 초래하였으며, 간 효소의 혈청 수치를 상승시켰다. DEOA 6 ppm에 13주일동안(90일) 노출된 후 신장과 폐의 상대증량이 증가되었다.

쥐(rat)를 대상으로 DEOA이 함유된 음식을 투여하였을 때 독성효과를 나타내지 않은 최대 일일 농도는 20 mg/kg이다. 90 mg/kg의 일일 용량에서 간과 신장에서 손상이 나타났다. 간과 신장에 대한 영향은 단일 용량으로(per dose) 200 mg/kg을 투여한 후와 240 mg/kg에 노출된 후 48시간 후에도 관찰되었다. 90일 이상의 노출에 대해 보고된 연구는 없다.

<표 5-5> 스웨덴의 DEOA노출기준 설정근거 요약

노출기준	노출기준 종류	주요 설정근거
OEL	TWA : 3 ppm STEL : 6 ppm 피부흡수 주의	☐ 랫트를 대상으로 한 흡입 연구에서 DEOA 25 ppm에 216 시간동안 지속적으로 노출되었을 때 간과 신장의 중량증가를 초래하였고, 간 효소의 혈청 수치를 상승. 6 ppm에 13주일동안(90일) 노출된 후 신장과 폐의 상대중량이 증가됨 ☐ 랫트를 대상으로 단기간(90일) 동안 섭식으로 투여한 결과 무관찰작용량(no-ill-effect)으로 발견한 20 mg/kg/day을 근거로 환산한 값 ☐ 위 실험결과에 따라 TWA와 STEL을 설정함

내용 주

OEL : Occupational Exposure Limit

바. 영국의 노출기준 적용배경 및 설정근거

(1) 노출기준 적용배경

영국은 1930년대에 작업환경의 공기 중 목화먼지와 석면에 대한 기준을 설정하고 있었으나, 1948년 미국 ACGIH에서 TLV를 발표하고 난 후 좀 더 체계적인 노출기준 체계를 갖추기 시작하였다. 영국의 노출기준은 1974년 제정된 보건안전법에 따라 보건안전성(Health & Safety Executive)에서 산업장의 유해물질을 규정하고 있다(HSE, 2005). 납, 석면 등 10종의 발암물질을 관리기준(Control Limit, CL)으로 규정하고 나머지 유해물질은 권고기준(Recommended Limit, RL)으로만 규정하였었는데 이는 ACGIH의 TLV와 비슷한 원칙을 가지고 비슷한 수준으로 설정하였다. 1988년에 COSHH 법규(Control of Substances Hazardous to Health Regulations)에서 ACGIH의 TLV를 그대로 수용하는 원칙을 철회하고 RL은 OEL(Occupational Exposure Limit, 직업노출기준)로, CL은 MEL(Maximum Exposure Limit, 최대노출농도)체계로 전환하게 되었다. OEL중에는 8시간 OEL과 short-term OEL이 포

함되어 있다. OES는 ACGIH의 TLV와 마찬가지로 근로자가 하루 8시간씩 일정한 기간 동안 매일 흡입하더라도 건강장해를 일으키지 않을 노출농도를 정한 것이다. 이에 대해서 노출된 근로자에게 심각한 건강장해를 일으키거나, 비록 사소한 건강장해라 할지라도 많은 인구집단에게 문제를 야기 시킬 위험성이 있는 물질에 대해서는 사회경제적인 요소를 고려하여 OSHA의 PEL에 해당하는 MEL을 법적으로 규제하고 있다. 실제로 MEL은 발암성 물질이라든가, 독작용의 서한도가 정해져 있지 않은 물질 또는 노출되었을 때의 독작용의 중대성을 의심할 여지가 없는 물질에 대해서 정하고 있다.

그 후 WATCH(Working Group on the Assessment of toxic Chemicals)를 결성하여 기존 설정작업을 재검토한 2단계 규제방식의 원칙을 고수하면서 최대노출기준(Maximum Exposure Limit, MEL)을 그대로 도입하고 새로운 직업노출기준(Occupational Exposure Standard, OES)을 설정하였다(Health and Safety Commission, 2002). MEL은 어떤 경우라도 그 이하로 유지하여야 하는 노출규제를 말한다. 따라서 이것은 강제적으로 지키도록 하고 있는 반면에 OES 정의는 매우 독특한 내용을 가지고 있다. 즉, OES를 초과하더라도 기업주가 기준을 초과하는 이유를 발견하고 합리적으로 실행 가능한 한도 내에서 상황에 대한 적절한 조치를 취하기만 하면 된다. 즉 사업주는 MEL보다는 적은 농도의 수준을 유지해야할 의무가 있는 반면, OES는 타협의 원칙을 적용하여 만약 근로자가 OES에 도달되는 농도에 노출되어도 이를 감소시켜야 할 법적 강제성이 없다(HSC, 2002).

2005년부터는 위의 두 가지 개념의 노출기준을 통합하여 396가지 물질에 대한 WEL(Workplace Exposure Limits)이란 새로운 하나의 개념을 적용시키고 있다. WEL 값은 초과해서는 안 되는 기준으로 8시간 TWA이다.

(2) 설정하지 않은 근거

영국에서는 DEOA에 대해 TWA로 3 ppm을 제안하여 유지해오다가 2005년부터 영국 보건안전위원회(HSC)에 의해 노출기준을 철회하였고 현재는 공식적으로 설정된 기준은 없다. 그렇다고 해서 이 물질이 안전하다는 것을 의미하는 것은 아니고 법적으로 노출기준이 없어진 상태이지만 사업주가 작업장 현장에 대해 노출을 저감시킬 수 있는 개선활동을 하면서 사용할 수 있다는 것을 의미하며 현장에서 적용할 수 있는 개선 방안의 원리에 대해서는 영국 보건안전위원회에서 인터넷을 통해 자료를 제공하고 있다.

사. 프랑스의 노출기준 적용배경 및 설정근거

(1) 노출기준 적용배경

프랑스에서는 직업병과 직업성 유해성을 예방하기 위해서 근로자가 위험한 물질에 노출되는 것을 방지하고 최소수준으로 낮출 것을 요구하고 있다. 프랑스에서 최초로 OEL이 발간된 것은 1982년으로 노동성의 관보에 실렸다. 여기에는 다음과 같이 두 가지 형태의 OEL이 있다.

- 석면, 비닐클로라이드(vinyl chloride), 먼지, 벤젠, 납, 혼증가스(HCN, CH₃Br, PH₃) 등에 대한 법령 및 강제적인 OEL
- 그 외 물질에 대해 권고되는 OEL

직업성 유해 예방을 위한 고위급 위원회(High Council for the Prevention of Occupational Hazards)의 소위원회인 작업환경감독을 위한 과학위원회(Scientific Committee for the Surveillance of Workplace Environment)에서 OEL에 대한 설정 및 개정이 이루어진다. 이 위원회에는 전문가, 과학자, 해당 화학물질 관련 산업체대표로 이루어진다. 유럽공동체(European Community)에서도 OEL을 설정하고 있다. 입법 기구에서 이를 이행하라고 할 때 과학위원

회의 검토를 거쳐 프랑스의 법으로 전환되게 된다.

(2) 설정근거

프랑스에서는 DEOA에 대한 노출기준으로 TWA 3 ppm으로 설정하였다. 프랑스와 마찬가지로 DEOA에 대한 TWA 3 ppm을 설정한 국가는 스웨덴이다. 또한 미국 ACGIH에서 1980년부터 1993년까지 활용한 TWA이다. 따라서 프랑스에서 DEOA에 대한 설정근거에 대한 문헌을 발견하지 못했지만 설정근거의 핵심은 ACGIH의 1993년 이전에 활용한 3 ppm의 설정근거와 비슷할 것으로 추정된다.

<표 5-6> 프랑스의 DEOA노출기준 설정근거 추정 요약

노출기준	노출기준 종류	주요 설정근거 추정
OEL	TWA : 3 ppm STEL : 없음 피부흡수 주의 없음	랫트를 대상으로 단기간(90일) 동안 섭식으로 투여한 결과 무관찰작용량(no-ill-effect)으로 발견한 20 mg/kg/day을 근거로 환산한 값일 것으로 추정함

내용 주

OEL : Occupational Exposure Limit

6. 작업장내 근로자 노출실태

가. 작업환경 측정방법 고찰

(1) 작업환경측정 방법요약

공기 중 DEOA을 측정·분석하는 대표적인 방법으로는 우리나라 한국산업안전공단에서 제공한 “A-1-090” 방법“(한국산업안전공단, 2004), 미국 OSHA의 PV2018 방법(OSHA, 1987), NIOSH의 3509Ⅱ 방법(NIOSH, 1994) 등이 있다.

〈표 6-1〉 DEOA에 대한 측정 및 분석방법 요약

기관	분석방법 No.	시료채취여재	분석방법	비고
한국산업안전공단 산업보건연구원	A-1-090	임편저 (2 mM hexanesulfonic acid 15ml)	IC	2003. 09 제정
미국 OSHA	PV2018	XAD-2 resin coated with 10% NITC	HPLC/UV	1987. 11 제정
미국 NIOSH	3509Ⅱ	임편저 (2 mM hexanesulfonic acid 15ml)	IC	1989 제정 1994 개정

내용 주

OSHA: Occupational Safety and Health Administration, 미국산업안전보건청

NIOSH: National Institute for Occupational Safety & Health, 미국국립산업안전보건연구원

가) 한국산업안전공단 산업보건연구원 방법(KOSHA CODE A-1-2004)

한국산업안전공단 산업보건연구원에서 제시하는 분석방법은 미국의 NIOSH

method 3509Ⅱ번을 기본으로 하고 있다. 시료채취는 임편저를 이용한 액체포집방법으로, 흡수액으로 2 mM hexanesulfonic acid를 사용한다. 임편저에 흡수액(2 mM hexanesulfonic acid) 15ml를 채운 후 개인시료 채취용 펌프와 연결하여 0.5~1ℓ/min 유량으로 최종볼륨이 5~300ℓ가 되도록 채취한다. 채취한 시료는 0.45μm pore size의 멤브레인 필터를 이용하여 시료내의 부유물(particle)을 제거한다. 전처리 과정을 거친 시료는 이온크로마토그래피를 이용하여 전기전도도 검출기로 검출한다. 이온크로마토그래피는 시료와 수지 사이의 이온강도, 즉 수지와 이온의 친화력 차이의 원리를 이용하여 시료내의 성분을 분리시키며, 이온 크로마토그래피로 분석할 수 있는 대표적인 물질이 아미노산이다. 아미노산뿐만 아니라 핵산, 무기금속화합물의 경우도 분석이 가능하다. 이 #3509Ⅱ분석방법으로 DEOA뿐만 아니라 같은 아민종류인 모노에탄올아민(MEOA), 트리에탄올아민(TEOA)도 분석이 가능하다. 그러나 시료채취여재로 임편저를 사용하고 있어 개인시료채취 보다는 지역시료채취에 적합하다는 한계점을 가지고 있다.

나) 미국 OSHA 방법

미국 OSHA가 제공한 DEOA 분석방법은 PV2018이다. 시료채취는 XAD-2 튜브(resin coated with 10% 1-naphthylisothiocyanate(NITC))를 이용하여 채취하며, 채취된 시료는 dimethylformamide(DMF)용액으로 탈착하여 준비한다. 전처리 과정을 거친 시료는 High Performance Liquid Chromatography(고성능액체크로마토그래피, 이하 HPLC라 함)의 ultraviolet(UV) 검출기로 분석한다. OSHA에서 제공하는 PV2018의 장점은 NIOSH에서 제공하는 방법과 달리 개인시료채취가 가능하다. NIOSH에서는 시료채취여재로 임편저를 이용한 액체포집방법을 제안하고 있어 개인시료 보다는 지역시료채취에 적합하다는 한계점을 가지고 있다. 그러나 PV2018방법에서는 여재로 흡착튜브를 이용하기 때문에 손쉽게 개인시료 채취가 가능하다.

이러한 방법이 제안된 배경을 살펴보면, OSHA에서는 NIOSH에서와 마찬가지로 0.1N 황산을 이용하여 버블러로 포집하는 액체흡수법을 제안했다. 그러

나 버블러를 이용한 액체흡수법은 취급하기에 불편하고 개인시료채취가 불가능하다는 단점을 가지고 있으며, 또한 크로마토그램상의 피크의 모양과 carryover의 문제점 때문에 DEOA의 직접적인 분석이 힘들다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 버블러 대신 흡착튜브(XAD-2 tube)를 사용했고, 이 흡착튜브는 DEOA를 유도화하여 크로마토그램을 향상시켰다. 뿐만 아니라 오랜 저장에도 계속적으로 유지가 되며, 아무런 영향을 보이지 않았다. 검출한계도 시료 15 μ l 주입시 1ng까지 검출할 수 있으며, 이는 분석기기의 일반적인 작동상태에서는 가장 낮은 검출량이다. 총 검출한계는 공기포집량 10L를 기준으로 했을 때 0.04ppm이다. 이렇게 하여 고안된 PV2018방법은 여러 가지 장점이 있다. 첫째, 흡착튜브를 이용하기 때문에 종전의 버블러를 이용한 채취방법에 비하면 시료채취과정이 편리하다. 둘째, 분석방법에 재현성이 있고, 민감도가 뛰어나다. 셋째, 시료의 재분석이 가능하며, DEOA뿐만 아니라 동시에 다른 아민들의 분석이 가능하다. 넷째, 적절한 컬럼의 선택과 LC의 매개변수에 의해 방해작용을 피할 수 있다. 이렇게 많은 장점을 가지고 있으나 시료채취여재로 사용되는 XAD-2 튜브는 생산이 되지 않아 일반적인 구매가 불가능하다. 명확한 이유는 모르지만 수요의 한계 때문에 생산을 하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 일반적인 측정여재로 구할 수 없어 OSHA의 방법의 활용은 한계가 있다.

PV2018방법을 좀 더 구체적으로 시료채취방법과 분석방법으로 구분하여 살펴보면 다음과 같다.

□ 시료채취방법

일반적으로 흡착제를 이용한 가스상물질의 포집방법과 동일하다. 흡착제로 10% NITC가 코팅된 resin을 사용하며 개인시료채취기를 사용하여 0.1 ℓ /min으로 최종공기량이 10 ℓ 가 되도록 포집한다.

① 시료채취기구

- ㉔ 보정된 개인시료채취기는 권고된 유량의 $\pm 5\%$ 범위내에서 측정이 가능하다.
- ㉕ 시료채취에 사용되는 여재 XAD-2 튜브(resin coated with 10% NITC)는 glass wool plug로 두 부분으로 나누어져 있으며, 앞층 80mg/뒷층 40mg의 흡착제로 구성되어 있다. 흡착제의 앞·뒷층은 teflon wool plug로 막혀져 있고 튜브는 4mm지름에 70mm길이를 이루어져 있다.
- ㉖ 유연성이 있는 튜브는 개인시료채취기와 시료채취여재를 연결하는데 필요하다.

② 시료채취 과정

- ㉔ 시료채취여재는 시료채취 바로 전에 여재의 양끝을 절단한다.
- ㉕ 유연성튜브를 이용하여 개인시료채취기와 연결한다.
- ㉖ 유량을 0.1 l/min으로 최종공기량이 10 l가 되도록 채취한다.
- ㉗ 모든 연결 부위에 공기의 누출이 없도록 하고, 연결시키기 전에 시료채취 여재에 공기가 유입되는 것을 방지해야 한다.
- ㉘ 시료채취가 끝난 후에는 즉시 플라스틱캡을 사용하여 시료채취여재를 막고 봉한다.
- ㉙ 채취된 시료는 1세트당 적어도 1개의 공시료를 준비한다. 공기를 채취하는 것 외에 여재의 양끝을 절단하고, 봉하고 운반하는 과정을 시료와 동일하게 한다.
- ㉚ 시료는 분석을 위해 실험실로 운반한다.

〈표 6-2〉 OSHA PV2018방법의 시료채취방법

방법(method)	흡착제를 이용한 채취
여재(media)	XAD-2 튜브(resin coated with 10% NITC), 70mm × 4mm ID
유량(flow rate)	0.1 ℓ /min
운반(shipment)	일반적인 방법
채취 공기량(air volume)	10 ℓ
공시료(blank)	시료 셋트당 적어도 1개의 현장 공시료

□ 분석 방법

탈착용액 Dimethylformaamide(DMF)를 이용하여 시료를 탈착한 후 HPLC/UV detector를 이용하여 분석한다.

① 분석장치

- ㉔ UV 검출기를 이용하여 HPLC로 분석하며 UV 파장은 254nm에서 280nm에서 분석이 가능하다. 반응의 감도는 254nm에서 가장 뛰어나다. PV2018에 사용된 기기장치는 Waters사의 M-6000A pump, 440 Absorbance detector이다.
- ㉕ 컬럼은 분석의 방해 작용을 받지 않는 컬럼을 선택하여야 하며, PV2018에 사용된 컬럼은 10u Radial CN(10cm × 8mm ID)이다.
- ㉖ 피크의 면적을 측정하기 위하여 분석시스템상에서 자동 intergration을 이용하거나 혹은 분석자가 매뉴얼로 integration 하기도 한다.
- ㉗ 시료의 탈착을 위하여 테프론계열의 캡이 있는 4ml 바이엘을 준비한다.
- ㉘ 20 μ ℓ 실린지를 이용하거나 혹은 autosampler를 이용하여 시료 15 μ ℓ를 주입한다. PV2018에 사용된 autosampler는 Waters사의 WISP 710이다.
- ㉙ 탈착을 위하여 2.0ml dimethylformamide를 덜어내기 위하여 디스펜서

(dispenser)를 사용하거나 또는 피펫을 사용한다.

- ㉔ 표준용액을 제조하기 위하여 볼륨플라스크와 피펫을 준비한다.
- ㉕ 분석용저울은 0.01mg까지 측정이 가능해야 한다.

② 시약

- ㉖ Diethanolamine, reagent grade(표준용액)
- ㉗ Dimethylformaamide(DMF), HPLC grade(탈착용액)
- ㉘ 1-Naphthylisothiocyanate(NITC), reagent grade(표준용액 제조시 용매제로 사용)
- ㉙ Isooctane, HPLC grade(이동상)
- ㉚ Isopropanol, HPLC grade(이동상)

③ 시료 전처리

- ㉛ 흡착튜브의 앞·뒤를 절단하고 앞·뒷층의 흡착제를 각각 4ml vial에 담는다.
- ㉜ 2ml DMF용액을 이용하여 탈착한다.
- ㉝ 시료가 잘 탈착되도록 하기 위하여 교반기에서 30분 동안 교반 한 후 즉시 vial을 봉한다.

④ 표준용액 준비

- ㉞ 표준용액은 NITC/DMF 용액으로 희석하여 각 단계별로 준비한다.

NITC 1분자량은 185.25고, DEOA의 분자량은 105.14이다. 유도체 1분자량은 DEOA 1분자량과 NITC 1분자량으로부터 만들어 진다. 초과된 NITC는 모든 DEOA가 안전하게 반응하도록 하기 위해서 첨가되어 진다. 예를들어, DMF내에 4.747mg/10ml DEOA가 용해되어 있다면 NITC는 적어도 4.747mg이 포함되어 있다. 따라서 5mg의 NITC는 모든 DEOA가 안전하

게 반응하도록 쓰여 지는 것이다.

- ㉔ 표준용액은 시료농도가 포함될 수 있는 적절한 범위로 제조하고 적어도 4단계 수준으로 제조하여 검량선을 작성한다.
- ㉕ 표준용액과 시료는 유도체가 분해될 수 있기 때문에 초음파세척기내에 두어서는 안 된다.

⑤ 분석

㉔ 분석조건

다른 물질들에 의해서 방해를 받지 않는 적절한 조건하에서 분석이 이루어 져야 하며 요약하면 <표 6-3>과 같다. HPLC/UV로 254nm파장에서 분석한다. 254nm에서 280nm까지 분석이 가능하나 254nm에서 민감도가 가장 뛰어나다. PV2018에서 사용한 컬럼은 10u Radial CN(10cm × 8mm ID)컬럼으로, 이 컬럼은 다른 방해작용을 받지 않고 분석이 가능하다. 이동상은 이소옥탄과 이소프로파놀을 80대 20 비율로 제조하여 사용하고, 이동상은 1ml/min 유량으로 흘려준다. 시료는 15μl을 주입해 주며 분석결과 DEOA의 머무름 시간(retention time)은 15.7min으로 나타났다.

<표 6-3> DEOA 분석을 위한 분석시스템 조건

분석 시스템 (Analysis system)	High Performance Liquid Chromatography (Waters M-6000A pump)
검출기 (Detector)	Waters 440 Absorbance detector at 254nm
컬럼 (Column)	10u Radial CN, 10cm × 8mm ID
이동상 (Mobile Phase)	Isooctane/isopropanol 80/20 at 1ml/min
주입량 (Injection volume)	15μl
머무름 시간 (Retention time)	15.7min

- ㉞ 검량선은 표준용액의 농도수준마다 기기에서 반응되어 나오는 면적의 값과 일치하는 위치에 점들을 모두 이어서 작성한다.

□ 분석방법 평가

① 탈착효율

- ㉞ DEOA 134.7 μ g을 주입하고 채취 공기량을 10 ℓ 를 기본으로 하여 탈착용액 2ml로 탈착시 농도는 6.26ppm정도가 된다.
- ㉞ DEOA 269.4($\times$ 2TLV), 134.7($\times$ 1TLV), 67.35($\times$ 0.5TLV), 13.47($\times$ 0.1TLV) μ g을 흡착튜브에 spike한 후, 실제 시료와 같은 조건을 유지하기 위하여 상온에서 하룻밤정도 둔다. 여재를 절단하여 각 부분(section)을 4ml vial에 넣고 탈착용액 dimethylformamide(DMF)를 2ml를 더한다. 탈착을 위하여 30분동안 shaking을 한 후 HPLC로 분석 한다. 분석결과 탈착효율평균은 100%를 보여준다(<표 6-4> 참조).

<표 6-4> PV2018방법에서 시료의 탈착효율

No.	회수율(%) 269.4 μ g	회수율(%) 134.7 μ g	회수율(%) 67.35 μ g	회수율(%) 13.47 μ g
1	103	104	102	99.8
2	101	104	96.3	99.8
3	103	104	94.3	97.5
4	104	104	95.9	98.9
5	101	104	95.2	97.6
6	100	105	98.9	97.0
average	102	104	97.1	98.4
overall average	100			
atandard diviation	$\pm$ 3.33			

② 체류효율(retention efficiency)

DEOA 269.4 μ g을 흡착튜브에 spike하고 상대습도가 93%인 공기 10 ℓ 주입

한 후 HPLC로 분석한 결과 여재의 뒷층에는 DEOA이 거의 검출되지 않았으며 6개의 테스트 결과 앞층의 회수율은 98.8%로 나타났다(<표 6-5> 참조).

<표 6-5> PV2018방법에서 흡착튜브의 체류효율

No.	앞층의 회수율(%)	뒷층의 회수율(%)	총 회수율(%)
1	99.9	0	99.9
2	101	0	101
3	92.6	0.4	92.6
4	101	0.4	101
5	97.7	0.3	98.0
6	99.4	0.6	100
average	98.8		

③ 저장성

- ㉠ 시료의 저장성을 알아보기 위하여 DEOA 134.7 μ g을 주입하여 4일, 8일, 16일 동안 상온에서 보관하면서 회수율을 비교해 본 결과 아래 <표 6-6>과 같다.

<표 6-6> PV2018방법에서 시료의 저장성

저장기간(day)	회수율(Recovered, %)
4	99.6
4	105
4	104
8	99.6
8	101
8	98
16	101
16	97.3
16	92.5

④ 정밀도

정밀도를 알아보기 위하여 각 농도 단계별로 6개씩 표준용액을 제조하여 분석해 보았으며, 이때 피크의 면적을 이용하여 정량하였다. 제조된 표준용액의 농도는 7.0, 70, 140 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 로써 이는 공기중 시료 10 ℓ 를 포집했을 경우 0.325, 3.25, 6.5ppm과 동일한 농도이다. 분석결과 각각의 CV(coefficient of variation)값은 0.026(7.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$), 0.030(70 $\mu\text{g}/\text{ml}$), 0.019(140 $\mu\text{g}/\text{ml}$)로 나타났으며 Pooled CV는 0.1077로 나타났다. CV가 10%이하로 정밀도면에서도 안정하다고 보여 진다.

PV2018방법은 개인시료채취가 가능하고 분석의 재현성 및 민감도가 뛰어나며, 시료의 탈착효율 및 흡착효율, 저장성, 정확도 모두 적합한 것으로 나타났으나 아직까지 완전한 검증이 이루어지지 않은 방법(partially validated)이며, 단지 정보제공과 시험을 위한 방법에 지나지 않아 실제 측정 및 분석에는 활용할 수 없다. OSHA에서 제공하는 DEOA의 분석방법은 PV2018방법 이후에 새롭게 검증된 방법이나 개정된 방법은 찾을 수 없었다.

나) 미국 NIOSH 방법

미국 NIOSH 방법은 우리나라에서 많이 이용하고 있는 방법이다. 한국산업안전공단 산업보건연구원방법도 NIOSH 3509Ⅱ방법을 근거로 한 것이다. NIOSH 3509Ⅱ방법은 아미노에탄올 화합물의 시료채취 및 분석에 적합한 분석방법이다. 이 방법은 DEOA뿐만 아니라 MEOA, TEOA를 동시에 분석하는데 활용할 수 있다. NIOSH 3509Ⅱ방법은 1989년 5월 처음으로 제정되어 1994년 8월에 개정되었다. 임편저를 이용한 액체포집방법을 이용하고 있으며, 포집된 시료는 전처리 과정을 거친 후 이온크로마토그래피로 분석한다. 분석방법의 개요를 정리하면 <표 6-7>과 같다.

NIOSH 3509Ⅱ방법을 좀 더 구체적으로 시료채취방법과 분석방법으로 구분하여 살펴보면 다음과 같다

① 기구

- ㉠ 채취기: 미젯임펀저(2mM hexansulfonic acid(HSA) 15ml 포함)
- ㉡ 개인시료 채취용 펌프: 05 ~ 1 l/min, 임펀저와 펌프를 연결할 수 있는 유연성튜브, glass wool trap
- ㉢ 이온크로마토그래피, 가드컬럼(ion-piring guard column), 컬럼(separator column), 양이온 서프레서(cation suppressor, fiber or micromembrane suppressor) 전도도 검출기
- ㉣ 바이엘: 시료 운반 및 저장을 위한 20ml vials
- ㉤ 주사기(syringe): 10ml, 루어팁(luer tip)이 있는 폴리에틸렌 주사기
- ㉥ 실린지 필터(여과필터): 13 or 24mm, 0.45 μ m pore size의 멤브레인 필터
- ㉦ 마이크로피펫(마이크로 실린지): 1 ~500 μ l
- ㉧ 용량플라스크, 50, 100ml
- ㉨ 폴리에틸렌 병: 100ml
- ㉩ 피펫: 15ml

② 시약

- ㉠ 2mM Hexanesulfonic acid(HSA)
- ㉡ Acetonitrile: 시약등급
- ㉢ Diethanolamine: 고순도
- ㉣ 증류수
- ㉤ 표준원액(stock solution): 1 μ g/ μ l, DEOAe 0.1g을 100ml 용량플라스크에 넣고 2mM HSA 용액으로 녹여 눈금까지 채운다.

③ 시료채취방법

- ㉠ 시료채취시와 동일한 연결 상태에서 시료채취전 각 시료채취 펌프를 보정한다.

- ㉔ 2mM HSA 용액 15ml를 임편저에 넣고 최초 용액 부피수준을 표시해 둔다.
- ㉕ 유연성튜브를 이용하여 펌프와 임편저를 연결하고, 임편저의 용액이 펌프로 역류되는 것을 방지하기 위해 이들 사이에 glass wool trap을 삽입한다.
- ㉖ 0.5 ~ 1 l/min에서 정확한 유량으로 공기량이 5 ~ 300 l 정도가 되도록 채취한다.
- ㉗ 시료채취 후 시료용액의 부피가 정확히 15ml가 되도록 증류수로 채운다.
- ㉘ 시료채취가 끝나면 각 임편저에 들어있는 용액을 바이엘에 담은 후 옆지르는 일이 발생하지 않도록 잘 밀봉하여 운반한다.

④ 검량선 작성과 정도관리

- ㉙ 시료농도가 포함될 수 있는 적절한 범위에서 최소한 6단계의 표준용액으로 검량선을 작성한다.
- ㉚ 검량선 작성용 표준원액(stock solution)을 각 농도에 맞게 일정량을 50ml 용량플라스크에 넣고 용리액(eluent, 2mM HSA)으로 눈금까지 채워 희석하여 각 단계별 표준용액을 제조한다.
- ㉛ 제조된 표준용액은 폴리에틸렌 병에 잘 밀봉하여 보관한다.(유리병은 나트륨이온을 생성하여 크로마토그램을 방해한다.) 매주 표준용액을 제조한다.
- ㉜ 표준용액과 함께 시료 및 공시료도 함께 분석한다.
- ㉝ 분석대상 물질에 대한 검량선을 작성한다. 검량선은 각 표준용액의 주입량(μ g) 대 각 피크의 높이로 구한다.

⑤ 분석과정

이온크로마토그래피 제조회사가 권고하는 대로 아래와 같은 조건으로 기기를 작동한다.

㉔. 기기 조건

- 주입량: $50\mu\text{l}$
- 컬럼: Ion-pairing guard and cation separator, Dionex MPIC-NG1, MPIC-NS1, and cation suppressor
- 전도도 설정: $3\mu\text{s}$ full scale

㉕ Fiber 또는 micromembrane suppression을 사용했을 때, 만약 배경농도가 높을 경우 sample loop를 통해 acetonitrile을 몇 번 주입해 주어 배경농도를 낮추어 준다.

※ 주의: IC 기기의 밸브 및 컬럼 등에 시료 막힘을 방지하기 위해 모든 시료 및 이동상의 용매들은 분석하기 전에 반드시 필터로 걸러주어야 한다.

㉖ Autosampler를 통해 시료를 주입할 경우 $50\mu\text{l}$ 를 주입하고, 분석자가 직접 주입할 경우 2 ~3ml를 주입한다.

㉗ 피크의 높이를 측정한다. 만약 피크가 표준용액의 범위를 벗어날 경우 이동상으로 희석하여 다시 분석한다.

<표 6-7> NIOSH 3509 II 방법의 개요

NIOSH 3509 II 방법		
시료 채취 개요	방법 (method)	액체채취
	여재 (media)	임편저(흡수액: 2mM hexanesulfonic acid 15ml)
	유량 (flow rate)	0.5 ~ 1 ℓ/min
	운반 (shipment)	일반적인 방법
	시료 안정성 (sample stability)	상온(20℃에서 3주동안 안정)
	채취 공기량 (air volume)	최소: 5ℓ 최대: 300 ℓ
	공시료 (blank)	시료셋트당 2 ~ 10개의 현장 공시료 필요
분석 개요	원리 (technique)	이온크로마토그래피를 이용하여 분석
	전처리 (sample preparation)	0.45μm pore size를 가진 실린지 필터로 여과
	분석 시스템 (analysis system)	Dionex Ion Chromatography
	검출기 (detector)	WESCAN Conductivity detector
	컬럼 (column)	Dionex MPIC column
	이동상 (mobile phase)	2mM hexanesulfonic acid(HSA)
	주입량 (injection volume)	50μℓ
	범위 (range)	0.07 ~ 4.5 mg/시료
	정밀도 (precision)	0.064
	검출한계 (limit of detection)	13μg/시료
	적용 (applicability)	0.09 ~ 7 ppm(100L 공기채취) 이 방법은 시료채취에 임편저를 사용하기 때문에 개인시료보다는 지역시료에 더 적합함.

(2) 본 연구에서 활용한 작업환경측정방법

가) 예비조사

① 사업장 선정

노동부로부터 받은 사업장 정보와 문헌에서 보고된 자료를 근거로 동일업종이나 유사업종, 또는 유사업체로 대상을 확대하여 연구대상 사업장을 선정하였다. 업종별로 DEOA를 사용하는 대표적인 사업장을 표본으로 선정하였다.

② 예비조사 방법 및 내용

예비조사는 사업장 선정 후 현장 방문을 통해 이루어졌으며 예비 조사에서 얻은 정보의 내용은 다음과 같다.

첫째, 주생산품, 근로자수, 그리고 취급 화학물질의 종류 및 양 등과 같은 사업장의 일반 특성

둘째, 주생산품이 생산되는 일련의 생산 공정에 대한 정보

셋째, 전체 생산과정 중 DEOA관련 공정(취급, 사용, 반응 등)에 대한 세부적인 정보

넷째, DEOA 또는 DEOA 함유제품에 대한 물질정보(예, 물질안전보건자료 등)

다섯째, 근로자의 작업특성 및 DEOA 취급특성

다섯째, 과거 작업환경 측정 결과 보고서 등이었다.

또한 문서로 접할 수 있는 정보 이외에 실제로 DEOA가 취급되고 있는 현장을 직접 방문하여 관리자 및 실제 작업자와의 인터뷰를 통해서 DEOA가 언제 어떻게 취급되고 있는지를 알아보고 작업 중 DEOA 노출에의 가능성을 검토하였다.

마지막으로 문서와 현장 방문을 통해 수집된 정보를 토대로 측정이 필요한

공정과 측정대상 근로자 및 장소를 결정하였다. DEOA의 취급 및 사용특성상 전체 생산공정이나 일정 중 극히 일부에서, 일부시간동안만 사용되므로 본 측정일정상 사업장의 사용일정을 맞추기 어려운 경우에는 위험성 평가로 대체하였으며, 일정을 맞춘 경우에는 본 측정을 실시하여 노출수준 및 위험도를 평가하였다.

나) 시료채취전략

DEOA는 사용특성은 대부분은 공정 운영의 보조로제로 첨가되는 것이 일반적이다. 취급 시간도 대부분 간헐적이다. 따라서 첨가제로 사용되는 공정에서는 DEOA의 노출위험은 크지 않다. 하지만 기계가공 공정에서 수용성 금속가공유에 첨가된 DEOA에 대한 노출위험은 크다. 기계가공 공정에서 미스트에 포함되어 발생하는 DEOA를 측정하였다. 시료채취의 특성상 측정은 개인 측정이 어려워 지역 측정으로 대체하였으며 실제 작업이 이루어지는 공정에서 작업 위치와 가능한 가까운 곳에서 측정을 실시하였다.

실제 측정에 적용한 방법은 앞서 제시한 바와 같이 NIOSH에서 제시하는 공정시험법상의 측정방법을 적용하였다.

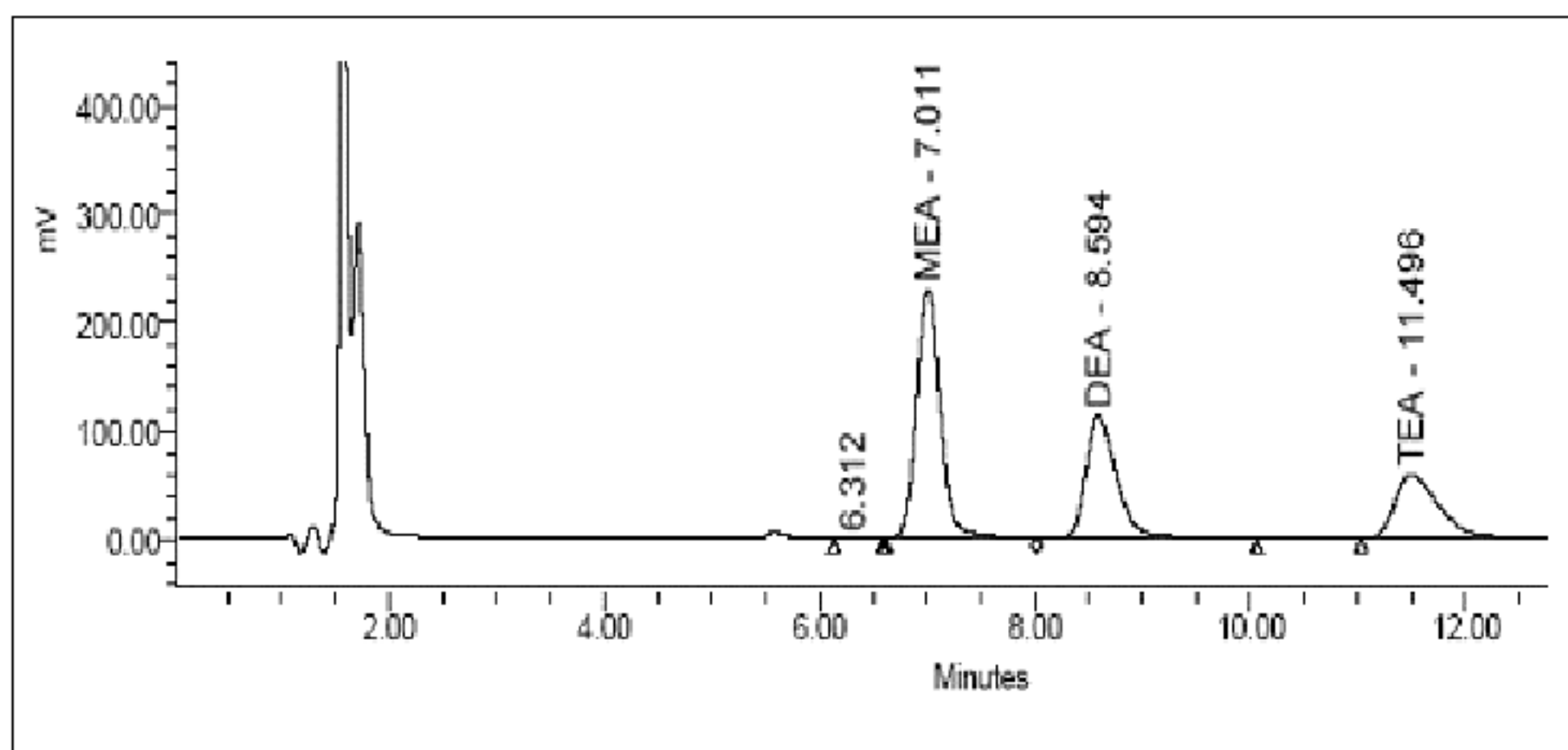
다) 측정 및 분석방법

각 기관에서 제공하는 공기중 DEOA의 측정분석방법은 임핀저를 이용한 액체포집방법의 NIOSH방법과 흡착튜브를 이용한 고체포집방법의 OSHA 방법이 대표적이다. 그러나 OSHA의 방법은 여재의 구매가 불가능하여 활용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 한국산업안전공단 산업보건연구원방법에서도 근거로 한 NIOSH 3509Ⅱ방법을 기본으로 하였으며, 김신범이 보완한 연구방법(김신범, 1999)을 활용하였다.

① 시료채취 및 분석방법의 수정

김신범(1999)은 NIOSH의 연구방법은 수정할 필요성이 있다고 제기 하였다. NIOSH는 Bouyoucos등의 연구(Bouyoucos 등, 1989)를 바탕으로 하여 3509Ⅱ

II를 만들었다. 이는 주로 Dionex의 분석 시스템을 이용하도록 되어 있으며, 현재의 시스템에 비하여 덜 발전된 방법이라고 볼 수 있다. 본 연구기관에서는 Waters 분석시스템을 이용하고 있으며, Krol(1992)등의 연구는 분석기기의 발전을 Waters의 입장에서 충분히 담고 있다고 보여 진다. 다만 Waters의 방법은 주로 벌크중의 이온분석과 관련 되어 있다는 것이 산업보건의 입장에서 한계로 지적될 수 있다. NIOSH방법에서는 분석시 나트륨, 암모니아가 MEOA(monoethanolamine)피크를 간섭하기 때문에 임편저의 흡수액과 이동상으로 hexanesulfonic acid(HSA)를 권고하고 있다. 그러나 hexanesulfonic acid(HSA)의 경우 각종 시약 카탈로그에 제조 및 판매처가 기록되어 있지 않는 등 구입이 힘들고 비싸다는 단점이 있다. 이에 김신범(1999)은 hexanesulfonic acid(HSA) 대신에 증류수(18mΩ)를 사용하였다. 증류수를 사용한 이유는 우선 에탄올아민이 물에 잘 용해된다는 성질을 이용한 것이며, 또한 손쉽고 저렴하게 구할 수 있다는 장점이 있기 때문이다. 증류수를 이용한 실험결과 나트륨 피크와 MEOA피크는 서로 간섭 없이 분리가 잘 됨을 증명해 보였다([그림 6-1] 참조). 이동상(eluent)과 컬럼도 Waters 분석시스템에 적합하도록 hexanesulfonic acid(HSA)대신 EDTA/Nitric acid를 사용하였고 MPIC대신에 cation M/D column을 사용하였다. 이러한 수정사항을 바탕으로 김신범은 수정된 분석방법을 제시 했으며(<표 6-8> 참조) 본 연구는 그 수정방법을 따랐다.



[그림 6-1] 증류수를 사용한 에탄올아민의 크로마토그램

<표 6-8> 수정된 분석방법

	NIOSH 3509 II 방법	수정된 분석방법
reference	Bouycoucos et al, 1986	Krol et al, 1992
analytical system	Dionex Ion Chromatography	Waters Ion Chromatography
detector	WESCAN conductivity detector	Waters 432 conductivity d.
separator	MPIC column	Waters cation M/D c.
guard column	MPIC-NG1	cation M/D guard c.
suppressor	4×240 mm AGI-X10	-
mobile phase	0.005M HSA	2mM nitric acid/0.1mM EDTA
flow rate	1.0 ml/min	1.0ml/min
absorbent	Hexanesulfonic acid(free acid)	Deionized water(18mΩ)

② 시료채취방법

시료는 임편저를 이용한 액체포집방법을 이용하였다. 예비조사결과 현장에 노출되는 DEOA의 농도가 그리 높지 않다고 판단되어 흡수액을 권고된 양보다 적게 넣었다. 임편저에 흡수액(증류수 18mΩ) 10ml를 넣은 후 임편저와 개

인시료채취기(escortelf, Mine Safety Appliances company, USA)를 연결하여 유량 1ℓ/min으로 하루 최저 4시간에서 최장 8시간 평균 6시간 이상 포집하였다. 시료채취 후 임편저의 용액을 준비한 vial에 담은 후 임편저에 묻어 있을 수 있는 시료를 증류수를 이용하여 헹구어 내었으며, 최종볼륨을 10ml로 맞추었다. 모든 시료채취펌프는 사용전후로 유량을 보정 하였다. 채취된 시료는 분석을 위하여 얼지르는 일이 발생하지 않도록 vial을 잘 밀봉하여 4℃이하로 냉장 보관하여 운반 하였다.

③ 시료전처리 및 분석

시료는 일정량을 실린지 필터(0.45μm pore size, 13mm diameter, PVDF, Whatman, USA)로 여과하여 불순물을 제거하고 적당한 범위로 희석하여 vial에 준비하였다. 이동상(eluent)은 18mΩ 증류수를 사용하여 2mM nitric acid/0.1mM EDTA를 만들었으며, 부유물질 등을 제거하기 위하여 membrane filter(0.45μm, pore size, 47mm diameter, ADVANTEC MFS, USA)로 여과 하였다. 여과된 액은 다시 40분간 초음파세척기(model 3210, Branson, USA)를 이용하여 기포를 제거하여 사용하였다. 표준용액은 diethanolamine(ACROS ORGANICS, first grade, USA) 1ml를 100ml 볼륨플라스크에 넣고 증류수로 눈금까지 채운 후 적절한 범위의 농도로 희석하여 단계별로 제조하였다.

분석은 Ion Chromatography(626 pump, 717 plus auto sampler, Waters, USA)로 실시하였다. 컬럼은 Cation M/D guard column (Alltech, Lexington, KY)과 IC PAK Cation M/D column (3.9 x 150 mm WAT 036570, Alltech)을 사용하였고, 검출기는 conductivity detector (model 432, Waters, USA)를 사용하였다.

<표 6-9> 본 연구에서 활용한 측정 및 분석방법 개요

시료 채취 개요	방법 (method)	액체채취
	여재 (media)	임편저(흡수액: 증류수(18mΩ) 12.5ml)
	유량 (flow rate)	1 ℓ/min
	운반 (shipment)	일반적인 방법
	시료 안정성 (sample stability)	상온(20℃에서 3주 동안 안정)
	채취 공기량 (air volume)	최소: 5 ℓ 최대: 300 ℓ
	공시료 (blank)	시료셋트당 2 ~ 10개의 현장 공시료 필요
분석 개요	원리 (technique)	이온크로마토그래피를 이용하여 분석
	전처리 (sample preparation)	0.45μm pore size를 가진 실린지 필터로 여과
	분석 시스템 (Analysis system)	Waters Ion Chromatography (626 pump, 717 plus auto sampler)
	검출기 (Detector)	Waters 432 Conductivity detector
	컬럼 (Column)	IC PAK Cation M/D column
	이동상 (Mobile Phase)	2mM nitric acid/0.1mM EDTA
	주입량 (Injection volume)	10μℓ
	정밀도 (precision)	0.064
	검출한계 (limit of detection)	13μg/시료

나. 측정 및 노출평가

(1) 측정대상사업정의 선정

DEOA는 각종 업종에서 다양한 목적으로 활용되는 화학물질이다. 제 2 장 “취급현황”에서 살펴본 바와 같이 대략 9-10여개 업종에서 다양한 용도로 사용된다. 사용특성은 대부분은 공정 운영의 보조로제로 첨가되는 것이 일반적이다. 취급 시간도 대부분 간헐적이다. 따라서 첨가제로 사용되는 공정에서는 DEOA의 노출위험은 크지 않다. DEOA는 간헐적으로 짧은 시간 동안 첨가되기도 하거나와 증발이 거의 일어나지 않은 물질(증기압 0.01 mmHg이하)이기 때문에 호흡기 노출의 위험은 상대적으로 낮기 때문이다. 그러나 기계가공 공정에서 수용성 금속가공유에 첨가된 DEOA에 대한 노출위험은 크다(제 2 장 “위험성평가” 참조). 이것은 DEOA가 함유된 수용성 금속가공유가 회전하는 기계가공 공정에 뿌려지면서 미스트로 공기 중으로 분산되기 때문이다. 따라서 수용성 금속가공유에 DEOA가 포함되어 있다면 DEOA의 호흡기노출 가능성은 매우 높다. 본 조사에서는 DEOA의 호흡기노출위험이 가장 높은 업종의 공정인 기계가공공정을 노출평가 대상으로 선정하였다.

(2) 사업장에 대한 일반적인 특성

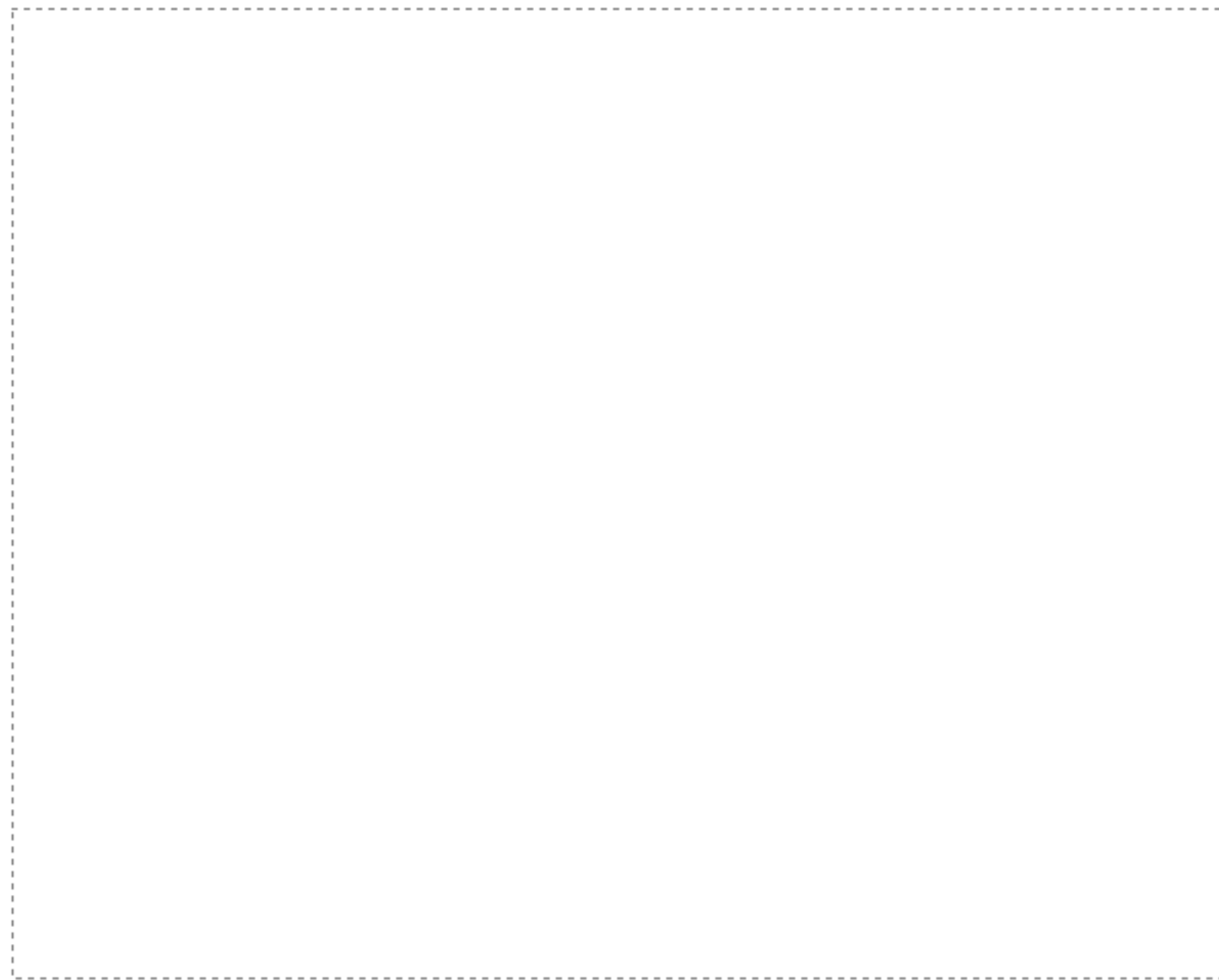
본 연구에서 공기 중 DEOA를 측정한 사업장은 총 12개소였다. 금형제조업, 냉동냉방기 공조기 제조업, 압축식 엔진 및 모터 제조업, 자동차부품 제조업, 자동차제조업 이었다. 측정대상 공정은 수용성 금속가공유를 사용한 기계가공 공정이었다(<표 6-10> 참조).

< 표 6-10> 본 연구에서 측정한 사업장의 일반적인 특성

업종	사업장 수, 개소	공정	생산품
금형 제조업	1	기계가공	금형몰드베이스
냉동 냉방 공조기 제조업	1	기계가공	냉방 공조기
압축식 엔진 및 모터 제조업	1	기계가공	유압 모터 등
자동차 부품 제조업	8	기계가공	자동차 부품
자동차 제조업	1	기계가공	자동차 생산

(3) 공기 중 DEOA 농도

공기 중 DEOA농도는 총 73개의 시료에서 평균 0.072 mg/m³, 범위는 검출한계 미만-3.259 mg/m³으로 나타났다. DEOA의 평균농도는 가장 엄격한 노출기준인 ACGIH의 2 mg/m³(0.46 ppm)보다 훨씬 낮은 농도이다. 총 73개의 시료에서 72개가 ACGIH TWA보다 낮았다. 또한 시료 중 53개가 검출한계 미만인 것으로 나타났다([그림 6-2] 참조). 이렇게 DEOA가 수용성 금속가공유를 취급하는 공정에서 낮게 나타나거나 검출되지 않은 이유는 벌크의 수용성 금속가공유에서 함유되지 않았거나 함유되었더라도 미량이기 때문일 것으로 판단된다. 실제 수용성 금속가공유에서 pH 조절이나 방청을 목적으로 첨가되는 양은 보통 1 %미만이다(NIOSH, 1998). 이 정도의 함량이 포함된 수용성 금속가공유가 공기 중의 미스트로 발생되더라도 극단적으로 높은 농도가 형성되는 것은 어렵다. 또한 수용성 금속가공유에 DEOA대신 MEOA나 TEOA가 첨가될 가능성도 있다. 따라서 이러한 요인 때문에 공기 중에 DEOA의 농도는 일반적으로 ACGIH의 노출기준(0.46 ppm)이하이다.



[그림 6-2] DEOA 농도 누적분포.

(4) 공정 특성별 DEOA 농도

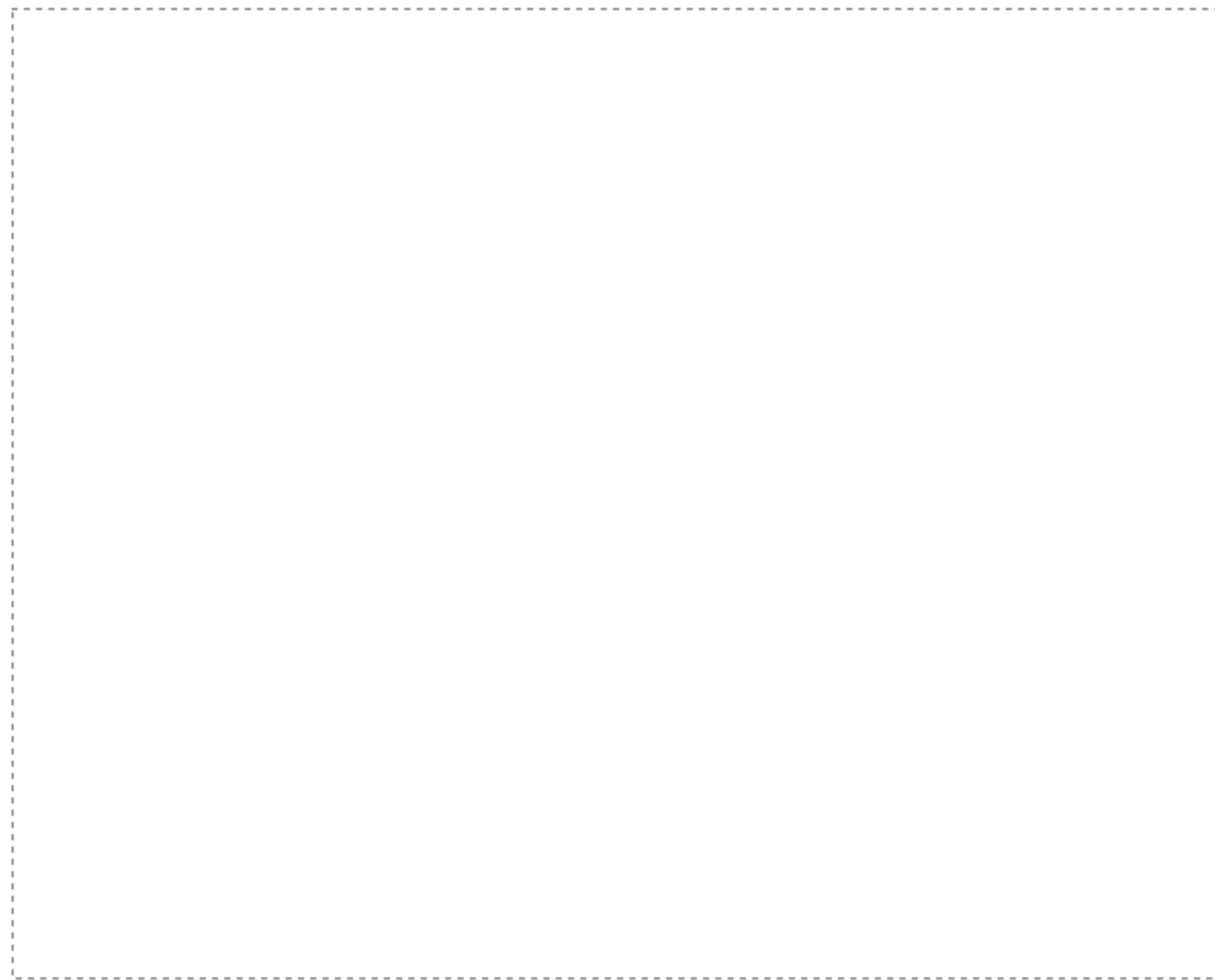
수용성 금속가공유를 사용하는 공정에서 공기 중 오염물질의 농도에 영향을 미치는 요소는 대단히 많다. 우선 수용성 금속가공유에 함유된 오염물질의 비율, 국소배기장치의 설치여부와 효율, 밀폐정도, 작업방법, 탱크의 형태, 공정의 운영형태 등 대단히 많다. 본 연구에서 이러한 요인의 특성에 따른 DEOA 농도를 비교하였다(<표 6-11> 참조).

<표 6-11> 공정특성별 DEOA 농도

공정특성		측정 수	평균± 표준편차	범위
국소배기장치	설치	45	0.038±0.09	미검출-0.41
	미설치	28	0.127±0.61	미검출-3.26
밀폐	완전밀폐	15	0.006±0.01	미검출-0.05
	부분밀폐	20	0.023±0.08	미검출-0.35
	밀폐되지 않음	38	0.124±0.52	미검출-3.26
공정자동화	자동화	25	0.023±0.07	미검출-0.35
	수동	48	0.097±0.47	미검출-3.26
공기호스사용	사용	72	0.073±0.39	미검출-3.26
	사용하지 않음	1	미검출	미검출
탱크형태	중앙집중식	32	0.005±0.01	미검출-0.04
	개별식	41	0.125±0.51	미검출-3.26

가) 국소배기장치 설치 여부별 DEOA의 농도

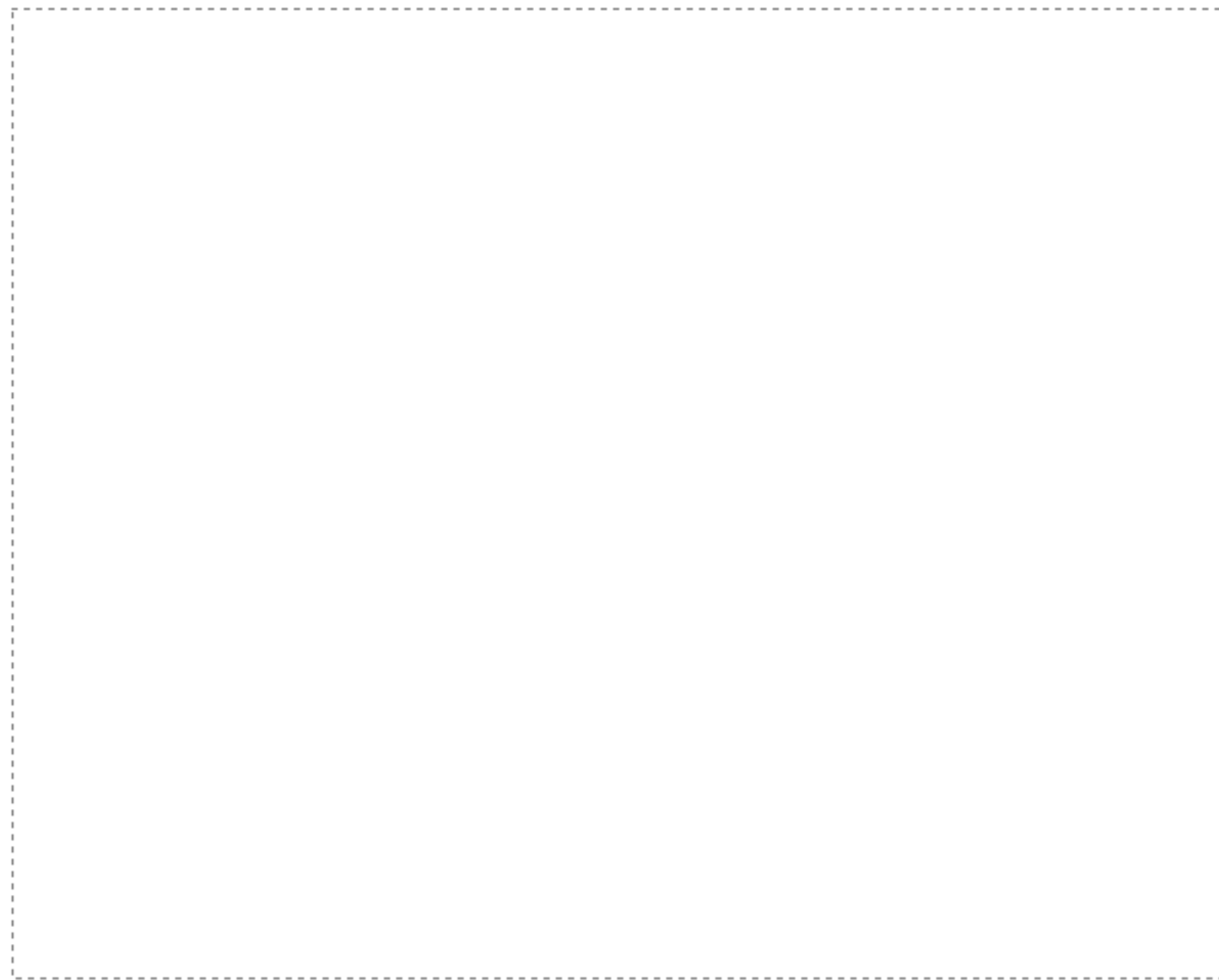
국소배기장치의 설치유무에 따라 DEOA의 농도가 차이가 있는지 분석하였다(<표 6-11> 및 [그림 6-3] 참조). 국소배기장치가 설치되었던 주변에서 측정한 평균 DEOA농도는 0.038 mg/m³으로 설치되지 않았던 주변에서 측정한 농도(0.127 mg/m³)보다 훨씬 낮은 것으로 나타났다. 그러나 t-검정에 의한 유의성 검정결과에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이것은 검출되지 않은 농도가 많고 이에 따른 영향인 것으로 판단된다. 그러나 국소배기장치가 설치된 곳의 DEOA농도가 평균 3배 정도 낮은 것으로 나타났다. 국소배기장치의 설치가 DEOA의 농도와 연관이 있고 농도의 감소에 효과적인 것으로 판단할 수 있다.



[그림 6-3] 국소배기장치 유무에 따른 DEOA 농도의 비교

나) 밀폐정도에 따른 DEOA의 농도

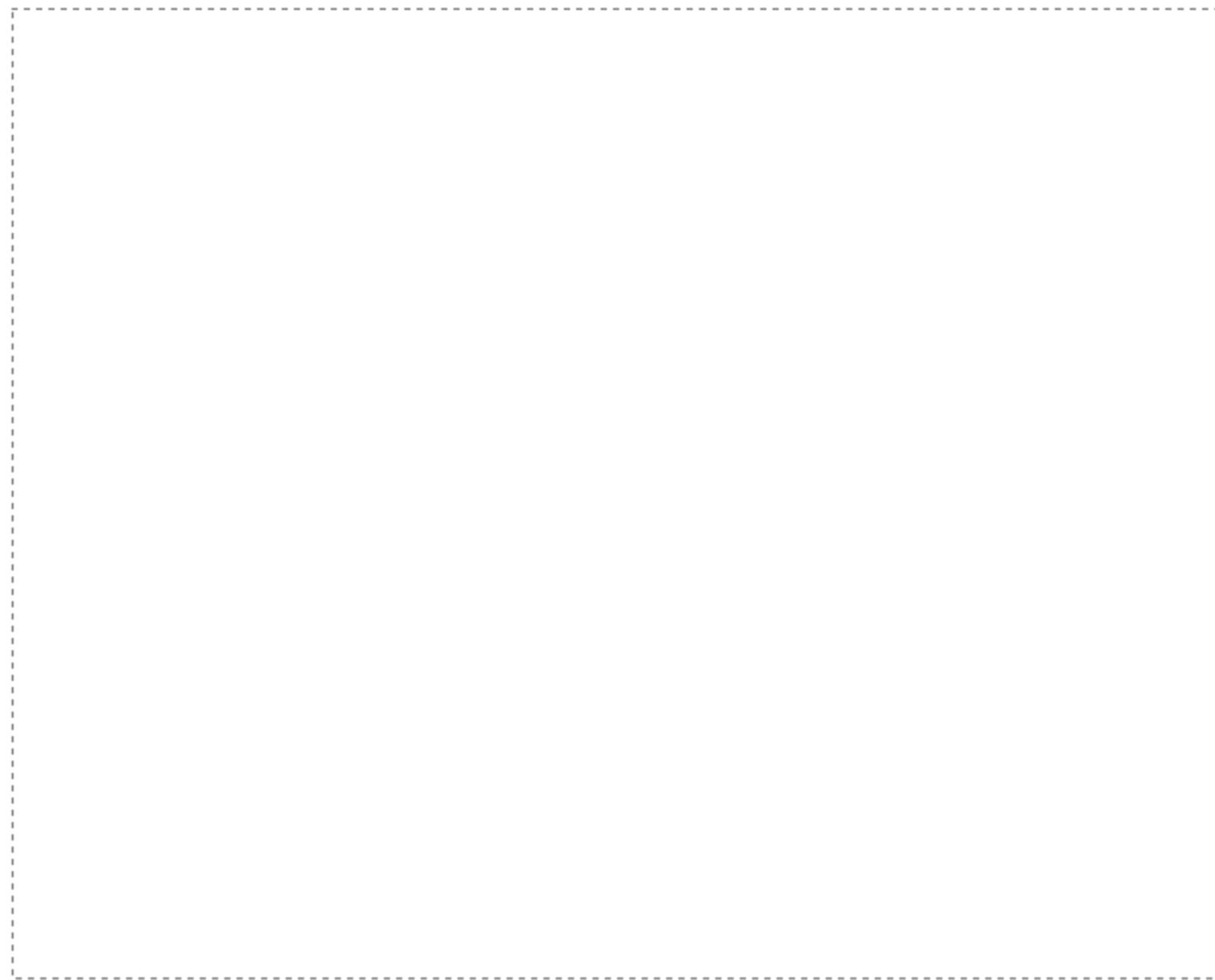
수용성 금속가공유를 사용하여 기계를 가공하는 공정의 작업범위에서 밀폐의 정도에 따라 DEOA의 농도가 차이가 있는지 분석하였다. 즉 완전하게 밀폐가 되는 작업, 부분적으로 밀폐가 된 작업 그리고 밀폐가 되지 않은 작업 근처에서 측정한 DEOA농도를 비교하였다(<표 6-11> 및 [그림 6-4] 참조). 밀폐되지 않고 완전노출된 작업이나 공정 근처에서 측정한 DEOA농도(0.124 mg/m^3)가 “어느 정도” 혹은 “완전 밀폐”된 근처에서 측정한 농도보다 10 배 정도 높은 것으로 나타났다. 그러나 t-검정에 의한 유의성 검정결과에서는 밀폐의 정도에 따라 DEOA농도는 차이가 없는 것으로 나타났다($p=0.1330$). 이것은 검출되지 않은 시료가 많기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 밀폐의 정도는 기계가공 공정에서 MWF미스트의 공기 중으로 발생을 억제하는 가장 효율적인 공학시설 중의 하나로 알려져 있다(NIOSH, 1998). 본 연구에서도 유의한 차이는 발견되지 않았지만 공정이 밀폐된 공정에서 측정한 DEOA 농도가 밀폐되지 않은 공정보다 10배 낮은 것으로 보아 기계가공의 밀폐는 DEOA의 농도의 발생을 억제하는 효과가 있는 것으로 판단된다.



[그림 6-4] 기계밀폐 정도에 따른 DEOA 농도의 비교.

다) 공정의 자동화에 따른 DEOA의 농도

기계가공이 기계에 의해 자동으로 운영되는 공정에서 측정한 DEOA의 농도는 0.023 mg/m^3 으로 근로자가 직접 기계를 가공하는 공정의 농도(0.097 mg/m^3)보다 5배 정도 낮았다(<표 6-11> 및 [그림 6-5] 참조). 자동공정이 근로자가 오염물질을 취급하거나 노출될 기회는 낮고 공기 중으로 발생하는 농도가 수동공정보다 더 낮은 것으로 나타났다.



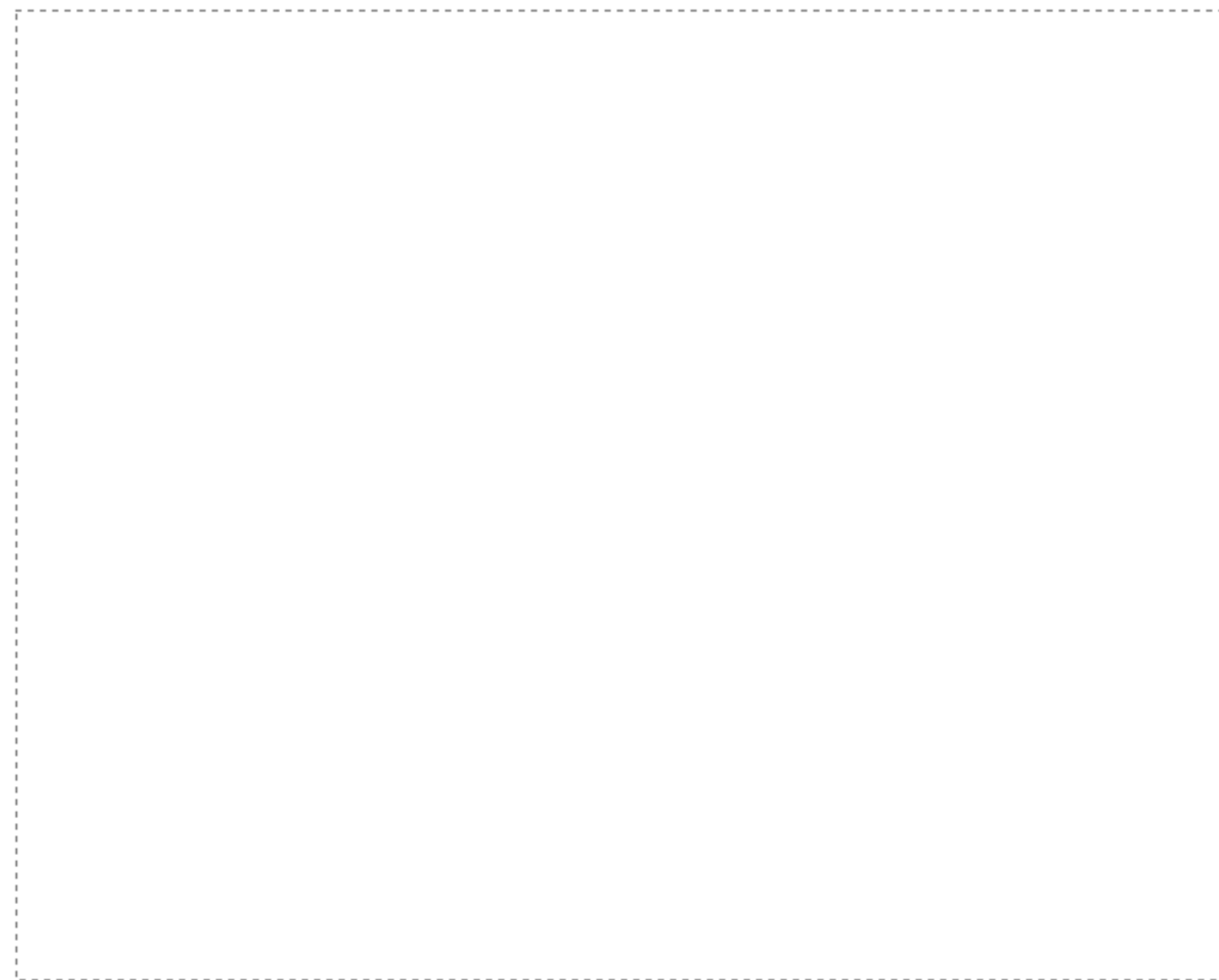
[그림 6-5] 기계자동유무에 따른 DEOA 농도의 비교.

라) 공기 호스 사용에 따른 DEOA의 농도

수용성 금속가공유를 사용하여 기계를 가공하는 공정에서 가공된 제품을 검사할 때 에어호스를 사용하는 경우가 많다. 즉 가공된 제품 중에서 표본을 뽑아 검사할 때 이물질 제거하고 제품의 질을 간단하게 테스트한다. 제품의 질을 검사하기 전에 에어호스를 불어서 이물질을 제거한다. 에어호스를 사용할 경우 제품에 묻어 있는 MWF미스트가 공기 중으로 발생하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 에어호스를 사용한 경우의 DEOA농도는 0.073 mg/m^3 이었다. 반면에 에어호스를 사용하지 않은 공정에서는 DEOA가 검출되지 않았다(<표 6-11> 참조). 그러나 에어호스를 사용하지 않은 공정에서 채취한 시료는 단 1 개여서 유의한 비교를 할 수가 없었다. 그러나 기계가공 공정에서 에어호스의 사용은 MWF미스트와 함께 오염물질의 공기 중 발생을 증가시키는 작업요인으로 알려져 있다.

마) 수용성 금속가공유 탱크형태에 따른 DEOA의 농도

수용성 금속 가공유를 기계가공 공정으로 공급하는 방식은 2가지가 있다. 개별기계가공 기계에 붙어있는 개별탱크(individual tank)와 중앙의 큰 탱크에서 각각의 기계가공 공정 기계로 공급하는 방식이다. 개별 탱크를 가진 기계 주변에서 측정한 DEOA의 농도가 0.125 mg/m³으로 중앙공급 탱크를 이용한 기계 주변의 농도(0.005 mg/m³)보다 높았다(<표 6-11>과 [그림 6-6] 참조). 그러나 이러한 차이는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이것은 검출되지 않은 시료가 많기 때문인 것으로 판단된다.



[그림 6-6] 절삭유탱크형태에 따른 DEOA 농도의 비교.

다. 건강상의 장애 평가

(1) 근로자의 일반적인 특성

수용성 금속가공유를 취급하는 근로자에게 호흡기계질환과 자극에 대한 증

상(유병율)을 파악하고자 설문을 하였다. 조사대상자는 총 285명이었다. 이 중 응답자는 279명이었다. 응답자의 나이범위는 22세에서 56세였다. 설문응답자의 40.4 %(23 명)가 흡연을 하고 있었고 이들의 흡연력은 평균 8.3년이였다(<표 6-12> 참조).

<표 6-12> 설문 응답자의 일반적 특성

	평균±표준편차	범위
나이	37.2±7.1	22 - 56
근무년수(년)	8.12±6.2	0 - 18.6
흡연경력(년)	8.3±8.7	0 -30

수용성 금속 가공유를 취급하는 근로자 총 279명 중 대부분(97.9 %)이 기계 가공 공정에서 일하기 전에는 호흡기 관련 질환이 없었고 단 6명만이 있었다고 응답하였다. 그러나 기계가공 공정에서 일한 이후에 호흡기질환에 이환되었다고 응답한 근로자는 41명(14.4%)이나 되었다(<표 6-13> 참조). 수용성 금속가공유를 취급하는 근로자에게 호흡기질환을 초래하는 원인인자의 규명이 필요하다.

<표 6-13> 수용성 금속 가공유를 취급하기 전후의 호흡기 질환의 이환여부에 대한 자기응답

구분	예	아니오
일하기 전	6(2.1 %)	279(97.9 %)
일한 이후	41(14.4 %)	243(85.6 %)

(2) 호흡기계 질환 호소율

호흡기질환에 대한 설문은 170명이 유효한 응답을 하였다. 응답자의 19.4 %에서 46.5 %가 호흡기 질환을 호소하였다. 코가 막히는 경우는 48.8 %, 비염은 41.2 %, 가슴이 답답함은 46.5 %로 증상호소율이 비교적 높았다(<표 6-14> 참조). 천식은 20.6 % 그리고 숨가쁨은 19.4 %로 다른 호흡기질환에 비해 낮았지만 일반인의 증상호소율에 비하면 높은 편이다. 수용성 금속가공유를 취급하는 공정에서 호흡기질환의 위험은 높은 것으로 알려져 있다(Ameille, 1995). 호흡기질환을 초래하는 원인인자로 알려진 것은 엔도톡신, 곰팡이, MEOA(monoethanolamine), DEOA, TEOA(triethanolamine) 등이다.(Annau E. and Manginelli A., 1950, Brieger H. and Hodes W.A., 1951) 각각이 호흡기질환을 초래하는 정도는 알려져 있지 않지만 원인인자로 언급되고 있다(Hendy et al., 1985; Piipari et al., 1988)..

<표 6-14> 호흡기질환에 대한 유병율

	예	아니오
비염	70(41.2 %)	100(58.8 %)
코막힘	83(48.8 %)	87(51.2 %)
천식	35(20.6 %)	135(79.4 %)
가슴 답답함	79(46.5 %)	91(53.5 %)
숨가쁨	33(19.4 %)	137(80.6 %)

본 연구에서 수용성 금속가공유를 취급하는 근로자들의 호흡기질환에 대한 DEOA의 영향을 밝히는 것은 매우 어렵다. 또한 측정된 농도도 매우 낮았다. 본 연구에서 비염, 코막힘, 천식, 가슴답답함, 숨가쁨에 대한 호소율(“예”와 “아니오”)을 종속변수로 설정하고 DEOA, MEOA, TEOA, MWF 미스트, 엔도톡신 농도를 공변량으로 하여 호흡기질환의 호소에 영향을 미치는지 분석하였다. DEOA외에 독립변수로 설정한 MEOA, TEOA, 엔도톡신, MWF미스트는

본 연구에서 결과를 제시하지 않았지만 호흡기질환을 초래하는 원인인자로 밝혀졌으므로(Annau E. and Manginelli A., 1950, Brieger H. and Hodes W.A., 1951) 통계분석에서는 포함하여 분석하였다. 즉, 근로자의 설문과 이들이 일하는 주변에서 측정한 농도와 일치하는 57개의 자료를 분석한 결과, 호흡기질환 각각에 유의한 영향을 미치는 변수는 관찰되지 않았다(<표 6-15> 참조). 또한 독립변수로 DEOA만을 대입하여도 유의한 모델은 도출되지 않았다. 즉 호흡기질환에 영향을 미치는 유의한 변수는 발견할 수 없었다. 다만 “가슴이 답답함”에 대한 증상은 유의한 수준(5 %)에 가깝게 모델이 도출되었지만 통계적인 유의성이 달성되지 않았다. 향후 보다 많은 대상자를 설문하고 개인시료(personal sample)에 의한 노출을 평가하여 다시 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

<표 6-15> 로지스틱 회귀분석에 의한 호흡기질환 영향인자 분석(n=57)

종속변수	카이제곱	유의확률	분류정확도, %	비고
비염	1.102	0.777	56.5 %	
코막힘	3.736	0.291	50.0 %	
천식	2.888	0.409	84.8 %	
가슴 답답함	7.765	0.051	60.9 %	
숨가쁨	3.307	0.347	87.0 %	

내용 주 :

- 독립변수: 엔도톡신, DEOA(diethanolamine), MEOA(monoethanolamine), TEOA(triethanolamine), MWF미스트(수용성 금속가공유 미스트)
- 종속변수: 호흡기질환의 증상(1: 예, 0:아니오)

(3) 자극성 질환 호소율

자극성 질환에 대한 유효한 응답자 수는 170명이었다. 응답자의 18.8 %에서 37.7 %의 근로자가 자극성 증상을 호소하였다. 자극 증상 호소율은 호흡기질환 호소율보다 낮은 것으로 나타났다. 눈이 따끔거린다고 응답한 비율은 37.7

%로 가장 높은 것으로 나타났다. 목이 따끔거린다고 응답한 근로자는 18.8 %, 눈은 37.7 %, 피부는 30 %였다. 이외에도 시력이 떨어진다고 응답한 경우도 30 %나 되었다. 수용성 금속가공유를 취급하는 공정에서 자극성을 초래하는 인자는 화학물질로 의심되지만 구체적인 인자는 밝혀져 있지 않다. 본 연구에서 수용성 금속가공유를 취급하는 근로자들의 자극성질환의 원인인자를 알아보기 위하여 로지스틱 회귀분석을 활용하였다.

<표 6-16> 자극성 질환 호소율(n=170)

	예	아니오
코 따끔거림	32(18.8 %)	138(81.2 %)
눈이 아픔	43(25.3 %)	127(74.7 %)
눈이 따끔거림	63(37.1 %)	107(62.9 %)
목이 따끔거림	49(28.8 %)	121(71.2 %)
피부가 따끔거림	51(30.0 %)	119(70.0 %)
시력이 떨어짐	51(30.0 %)	119(70.0 %)

<표 6-17> 로지스틱 회귀분석에 의한 자극증상 영향인자 분석(n=57)

종속변수	카이제곱	유의확률	분류정확도, %	비고
코 따끔거림	1.742	0.884	82.0 %	
눈이 아픔	3.740	0.587	60.0 %	
눈이 따끔거림	6.652	0.248	80.0 %	
목이 따끔거림	8.903	0.113	78.0 %	
피부가 따끔거림	7.560	0.181	76.0 %	
시력이 떨어짐	2,227	0.817	70.0 %	

내용 주

- 독립변수: 엔도톡신, DEOA(diethanolamine), MEOA(monoethanolamine), TEOA(triethanolamine), MWF미스트(수용성금속가공유 미스트)

- 종속변수: 자극증상(1: 예, 0:아니오)

본 연구에서 조사한 자극증상(눈, 코, 피부 따끔거림, 눈아픔, 시력이 떨어짐 등)을 종속변수인 "예"(1), "아니오"(0)인 가변수(dummy variable)로 지정하였다. 독립변수로 설정한 MEOA(monoethanolamine), TEOA(triethanolamine), 엔도톡신, MWF미스트는 본 연구에서 측정을 하고 결과는 제시하지 않았지만 점막자극을 초래하는 원인인자(NIOSH, 1997)이므로 통계분석에서는 포함하여 분석하였다. 근로자의 설문과 이들이 일하는 주변에서 측정된 농도와 일치하는 57개의 자료를 분석한 결과 자극성에 유의한 영향을 미치는 변수는 관찰되지 않았다(<표 6-17> 참조). 또한 독립변수로 DEOA만을 대입하여도 유의한 모델은 도출되지 않았다. 즉 자극성에 영향을 미치는 유의한 변수는 발견할 수 없었다.

(4) 폐기능에 대한 평가

수용성 금속 가공유를 취급하는 근로자를 무작위로 선택하여 peak flow meter를 이용하여 폐기능을 검사하였다. 작업전과 작업후의 폐활량을 자기가 조사하여 기록한 차이가 3 %인 경우와 5 %인 경우를 구분하여 분석하였다. 169명이 폐활량의 차이가 3 %이상이었다. 5 %이상으로 조사된 경우도 220명 중에 112명(50.9 %)이나 되었다(<표 6-18> 참조).

<표 6-18> 작업전과 후의 폐기능의 차이에 대한 비율

폐기능의 차이	근로자 수 (비율)	근로자 수 (비율)	계
3 % 이상 차이	169(76.8 %)	51(23.2 %)	220(100.0 %)
5 % 이상 차이	112(50.9 %)	108(49.1 %)	220(100.0 %)

이미 언급한대로 수용성 금속가공유를 취급하는 공정에서 호흡기질환을 초래하는 원인인자인 엔도톡신, 곰팡이, MEOA, DEOA, TEOA등이 호흡기능력

에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(NIOSH, 1998).

<표 6-19> 로지스틱 회귀분석에 의한 폐기능 영향인자 분석(n=57)

종속변수	카이제곱	유의확률	분류정확도, %	비고
3 % 이상 차이	4.870	0.561	87.2 %	
5 % 이상 차이	4.912	0.555	76.9 %	

내용 주

- 독립변수: 엔도톡신, DEOA(diethanolamine), MEOA(monoethanolamine), TEOA(triethanolamine), MWF미스트(수용성금속가공유 미스트)
- 종속변수: 폐기능(FVC₁)의 작업전과 후의 차이가 3 %이상 혹은 5 %이상 (1: 예, 0:아니오)

본 연구에서 조사한 작업전과 후에 조사한 폐기능의 차이(3 %이상 혹은 5 %이상)를 종속변수인 "예"(1), "아니오"(0)의 가변수(dummy variable)로 지정하였다. 독립변수는 MEOA, TEOA, 엔도톡신, MWF미스트로 입력하였다. 근로자의 폐기능 조사결과와 이 근로자들이 일하는 주변에서 측정된 농도와 일치하는 57개의 자료를 분석한 결과 폐기능과 유의한 관련이 없는 것으로 나타났다(<표 6-19> 참조). 또한 독립변수로 DEOA만을 대입하여도 유의한 모델은 도출되지 않았다. 본 조사에서는 폐기능에 영향을 미치는 유의한 인자가 발견되지 않았다.

7. 노출기준 제안

가. 노출기준의 활용에 대한 이론적인 고찰

(1) 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준들

가) 주요 한계점

현재 세계적으로 산업장에서 사용되고 있는 화학물질의 수는 대략 10만 여종이다. 그리고 매년 새롭게 몇 백종씩 화학물질이 도입되고 있다. 이 중에서 공기중 노출기준이 설정된 화학물질은 대략 2,000여종에 불과하다(Whaley et al., 2000; Roach, 1994; Buringh et al., 1991; David et al., 2000). 노출기준 없이 사용되는 화학물질이 대부분이다. 사실, 화학물질에 대한 유해성을 모두 평가하고 건강상의 장해를 예방하기 위한 기준을 설정하는 것은 불가능하다. 노출경로나 사용특성에 따라 설정이 필요하지 않은 경우도 있겠지만 대부분 비용에 따른 독성실험의 한계 등으로 설정하지 못한 경우가 대부분이다.

노출기준을 설정하는 중요한 목적은 유해인자의 노출로 인한 건강상의 장해를 예방하는 것이다. 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준은 유해인자에 노출되었을 때 생물학적으로 보상하거나 방어할 수 있는 기전 등만을 고려한 것이다. 건강상의 장해를 예방외의 다른 행정적, 경제적, 사용여건, 기술적 실행가능성(feasibility) 등의 요인은 고려하지 않는다(Weisburger, 1994). 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준이라고 하더라도 근로자의 건강을 보호하는데 한계점은 있다(Gough, 1991; Henschler, 1984). 건강상의 장해를 예방하기 위해 설정된 노출기준이 모든 혹은 대다수 근로자의 건강상의 장해를 보호할 수 있지 못하다는 점이다. 노출기준 이하의 노출에서는 근로자의 대부분(nearly all workers)을 보호할 수 있다고 하지만 “대부분의 근로자”를 정량화하는 것은 애매하다. 어떤 경우는 1,000명중의 1명 또 어떤 경우는 100명 중의 5명이 건강상의 장해가 일어나는 것으로 해석하기도 한다(Perkins, 1997). Roach와 Rappaport는 많은 경우에 있어서 노출기준은 근로자의 절반도 보호

할 수 없다고 극단적으로 주장하기도 한다(Raoch and Rappaport, 1990). 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준의 불완전 요인으로 지적되는 것은 노출기준의 대부분이 동물실험을 통한 2차 근거(secondary criteria)로 설정되었고, 1차 근거(primary criteria)인 사람을 대상으로 얻어진 근거를 가진 노출기준이 매우 적다는 점이다. Roach(1994)는 공기 중 노출기준(airborne exposure criteria)이 설정된 2,000여개의 화학물질 중에서 단지 250개 정도만 사람을 대상으로 얻어진 자료에 근거한 것이고 대부분은 동물실험에 의한 근거만을 가지고 있다고 하였다. 또한 사람을 대상으로 얻어진 조사결과를 근거로 설정된 노출기준이라고 하더라도 역시 근로자를 모두 보호할 수 있는 것은 아니다. 노출기준 이하에 노출되고서도 건강상의 장해가 유의하게 밝혀진 사례가 자주 발견되었다. 대표적인 예가 석면, 벤젠, 납, 염화비닐 등 대단히 많다. 이들의 노출기준은 근로자를 대상으로 얻어진 역학조사 결과를 근거로 설정되었는데도 불구하고 노출기준 이하에서도 새로운 건강상의 영향이 밝혀지면서 노출기준이 다시 여러 번에 걸쳐서 낮아진 물질이다. 따라서 건강상의 장해를 예방하기 위해 설정된 노출기준은 단지 현재까지 과학적으로 안전하다고 여겨지는 노출기준에 불과하다.

나) 건강장해의 예방만을 고려한 노출기준들

건강장해만을 예방하기 위한 노출기준은 미국 ACGIH의 TLV(Threshold Limit Value, 이하 TLV라고 함), 미국 NIOSH의 REL(recommended exposure level, 이하 REL이라 함), 미국 AIHA의 WEEL(Workplace Environmental Exposure Level, 이하 WEEL이라 함), 독일 MAK(Maximum Allowable Concentration, 이하 MAK이라 함), 영국 HSE의 WEL(Workplace Exposure Limit, 이하 WEL이라 함)이다. 이 노출기준들은 법적 노출기준이 아니다. 여러 나라에서 나라의 여건을 참조하여 노출기준을 설정할 때 폭넓게 활용하는 기준들이다(<표 7-1>참조).

① ACGIH TLV

건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준으로 대표적인 것은 ACGIH의

TLV이다. 1942년에 ACGIH 노출기준 위원회가 63개의 화학물질에 대한 최대 노출기준(maximum allowable concentration, MAC)을 제시하였다. 1945년에는 훨씬 늘어난 132개의 화학물질 노출기준 목록을 다시 발간하였다(Cook, 1945). 이후 ACGIH의 노출기준의 수는 점점 늘어나 현재는 700여 종에 이른다.

<표 7-1> 노출기준별 제안기관(단체)와 활용 특성

노출기준의 형태	제안기구	법적제한 여부
PEL	미국 OSHA	Yes
REL	미국 NIOSH	No
TLV	미국 ACGIH	No
WEEL	미국 AIHA	No
MAK	독일 GCIHHCC	No
WEL	영국 HSE	Yes
OEL	일본 JOHS	No

내용 주

OSHA : Occupational Safety and Health Administration, Permissible Exposure Limits

NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health, Recommended Exposure Limits

ACGIH : American Conference for Governmental Industrial Hygienists, Threshold Limit Values

AIHA : American Industrial Hygiene Association, Workplace Environmental Exposure Levels

GCIHHCC: The German Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, Maximum Allowable Concentration

Health and Safety Executives, Workplace Exposure Limit

JOHS: Japan Occupational Health Society

1962년에는 처음으로 노출기준 설정근거를 기록한 “Documentation of the Threshold Limit Values for Substances in Workroom Air”가 발간되었고 현재 7판에 이르고 있다(ACGIH, 2005).

TLV가 설정된 이후 동물실험이나 역학조사에서 새로운 유해성 혹은 건강상의 장애가 보고됨에 따라 노출기준의 수는 물론 노출기준의 값도 크게 변화되었다(<표 7-2> 참조).

<표 7-2>에서 보는 바와 같이 1970년 이전에는 1946년에 설정된 노출기준

의 약 70-80 %나 개정되었다. 이것은 1960년대 이전에 설정된 ACGIH의 노출기준은 대부분 동물실험 근거에 의한 것이었고 역학조사 근거는 거의 없었기 때문이다. 그러나 1980년대 이후에는 35 %이하로 낮아지고 있고 최근 1996년에는 약 23 % 정도가 개정되었다. ACGIH TLV가 점점 안전한 수준으로 접근하고 있는 것이다. <표 7-2>나 ACGIH의 TLV책자(ACGIH, 2005)에서 보는 것처럼 TLV의 개정이나 개정공고(Notice of Intended Change, NIC)는 거의 매년 이루어진다.

<표 7-2> ACGIH TLV의 전체적인 수준의 변화

년도	TLV의 수준
1946	1.00*
1951	0.74
1956	0.71
1961	0.66
1966	0.59
1971	0.52
1976	0.45
1981	0.35
1986	0.31
1991	0.29
1996	0.23

* 1946년의 TLV 값을 기준으로 년도별 변화수준을 측정함(기하평균).

출처 : Sven Ove Hansson, Setting the limit - Occupational Health Standards and the Limits of Science, pp 24~26, New York, Oxford University Press, 1998

ACGIH의 TLV 변화는 매우 신속하게 이루어지는 것을 알 수 있다. 이것은 ACGIH의 TLV 제정이나 개정은 법적 노출기준(official government standards)보다 훨씬 쉽기 때문이다. 왜냐하면 ACGIH TLV위원회는 단지 산업보건전문가로 구성되어 의견통일이 쉽고, 건강상의 장해를 예방하기 위한 근거만을 고려하므로 결정하는 것이 단순하고 빠르기 때문이다(Perkins, 1997).

② NIOSH REL

NIOSH의 REL도 건강상의 장해를 예방하기 위한 기준이다. 약 400여개가 설정되어 있다. REL은 미국 OSHA가 노출기준(PEL)을 설정할 때 참고하는 과학적인 근거이다. REL은 폭넓은 독성정보와 사용정보를 제공하는 기준이다. NIOSH에서 발간하는 “The Pocket Guide to Chemical Hazards”는 화학물질의 노출이나 노출기준을 이용하는 사람들에게는 필수적인 자료이다. NIOSH의 REL에서 시간가중평균농도는 하루 10시간 주 40시간에 근거한 것이다.

③ 미국 AIHA의 WEEL

WEEL은 미국 산업위생학회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)가 설정한 노출기준이다. WEEL은 ACGIH나 다른 기관에서 노출기준을 설정하지 않은 화학물질에 대해 설정된 기준이다(Brief R.S. and Scala R.A., 1975) WEEL이 설정된 화학물질은 약 80여개이다(AIHA, 1996).

④ 독일 MAK

독일 MAK은 “The German Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area”에서 설정한 노출기준이다. 건강상의 장해를 예방하기 위해서 미국을 제외하고는 가장 잘 알려진 노출기준이다. 설정과정, 발간 등은 미국과 유사하지만 매우 중요한 차이가 있다. 화학물질에서 자극(sensitization), 돌연변이를 초래하는 기형을 유발할 수 있는 물질에 대한 표시를 한다는 점이다. 약 800개의 화학물질에 대한 MAK이 있다(Deutscher Forschungsgemeinschaft, 1992).

(2) 법적기준(official government standard)

이미 언급한대로 ACGIH의 TLV는 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준이고 가이드라인이다. ACGIH는 법적기준으로 활용할 목적으로 TLV를 개발하지 않았고 TLV가 법적 기준으로 활용되는 것을 옹호하지도 않는다(Perkins, 1997). 그럼에도 불구하고 많은 나라에서 법적 노출기준을 정하는데

ACGIH의 TLV를 근거자료로 많이 활용하고 있다. 미국의 연방정부는 물론 다른 여러 주에서도 ACGIH의 TLV를 정부기준으로 채택하고 있는 경우도 많다(Perkins, 1997). 그러나 ACGIH TLV의 모든 것이 그대로 법적 노출기준으로 활용되지는 않는다. 활용되지 않은 물질도 있고 노출기준 농도가 달라진 경우도 많다. 41개 이상의 나라에서 그들만의 노출기준을 가지고 있으며 노출기준 값도 나라마다 다르다(Cook, 1989). 건강상의 장해를 예방하기 위해 설정된 노출기준의 모든 내용(노출기준의 수, 농도 등)을 모두 행정력(enforcement purpose)을 갖는 법적기준으로 도입하는 것은 문제가 있다. 다음과 같은 이유 때문이다.

첫째, 모든 유해인자에 대해 노출기준을 적용하고 관리하면 가장 바람직하겠지만 법적으로 관리해야 할 인적, 경제적 한계에 따라 관리우선 순위를 둘 필요가 있기 때문이다. 나라마다 노출기준이 설정된 화학물질의 위험정도는 다르다. 따라서 화학물질에 대한 사용량, 노출근로자 수, 유해성 등을 조합한 위험의 순위에 따라 관리하는 전략이 필요하다.

둘째, 법적 노출기준은 행정력을 갖기 때문에 조정하고 협의해야 할 이해당사자가 많다. 법적 노출기준을 준수해야 하는 사업주는 물론이고 노출기준 물질과 관련되는 제조업체, 노조 등의 의견조정이 필수적이다.

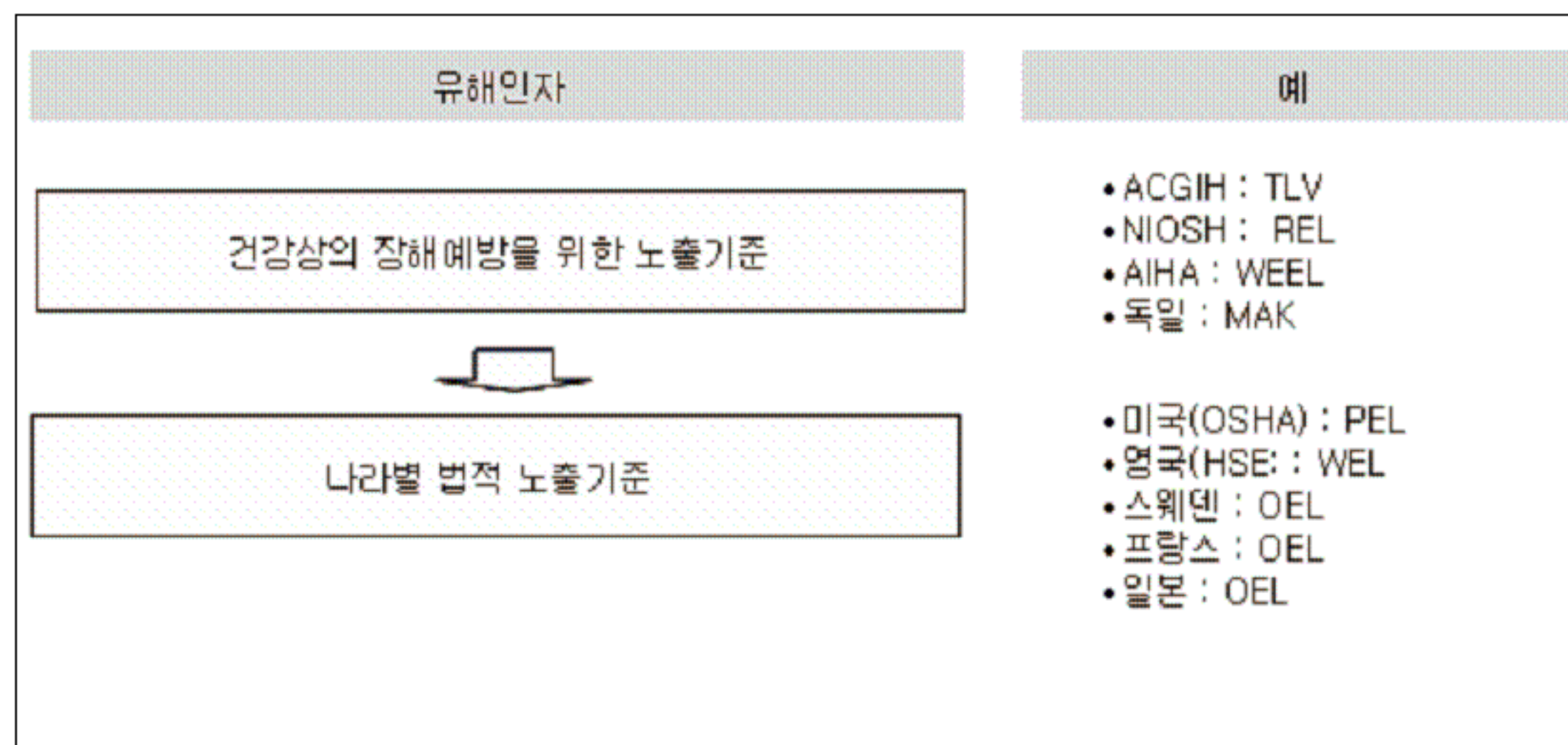
셋째, 건강상의 장해를 예방하기 위해 설정된 노출기준이 사업장에서 준수할 수 있는지, 강제할 수 있는지 그리고 준수할 필요성이 있는지 경제적인 비용편익분석(cost-benefit analysis), 기술적인 실행가능성(technical feasibility), 사용현황과 특성 등의 측면도 고려해야 한다.

각 개별 국가에서는 근로자의 건강보호와 함께 산업장의 경제적인 활동도 고려해야 하는 행정적인 입장을 가지고 있기 때문에 유해인자에 대한 노출기준을 설정 할 때 물질별 우선순위를 두는 것이 일반적인 과정이다(AIHA, 1996).

유해인자의 유해성을 제외하고도 고려해야 할 조건들은 국가마다 다르다. 즉, 경제적인 여건, 규제의 정도, 사업장에서의 문화 등도 차이가 있기 때문이다. 따라서 나라마다 노출기준과 노출기준을 설정하는 근거가 다를 수밖에 없다. 또한 구체적인 노출기준에 대한 법적 준수사항이나 권고내용도 다르다

(Cook, 1989).

각국의 노출기준은 ACGIH의 노출기준(TLV)의 수와 농도의 차이가 있는 경우가 많다. 보통 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준을 기초로 국가의 여건에 맞는 여러 상황을 고려하여 노출기준을 설정하는 것이다([그림 7-1] 참조).



[그림 7-1] 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준과 법적 노출기준

나. 우리나라 노동부 노출기준의 문제점

우리나라는 화학물질에 대한 노출기준은 있지만 설정한 근거는 없다. 노출기준의 설정근거(rationale)는 노출기준과 관련된 정보 중에서 가장 중요하다. 설정근거에 포함될 내용은 다음과 같다.

- 화학물질의 물리화학적 성상
- 영향부위(부분 혹은 전신)
- 영향의 형태(자극, 냄새, 기형성 등)
- 동물실험에서 사용된 노출경로, 양 등의 관련성(relevance) 결정

- 사람에게 외삽 할 동물실험에서 관찰된 영향의 관련성 결정
- 동물과 사람의 감수성에서의 차이
- 활용한 자료의 강도에 근거한 안전계수 등

그러나 노출기준 설정에 필요한 근거자료를 모두 확보하여 노출기준을 설정하거나 개정하기 위해서는 비용은 물론 시간이 많이 소요되는 힘든 일이다. 이런 이유 때문에 많은 나라에서 최소한의 과학적인 실험이나 선진외국의 노출기준을 참조하여 노출기준을 설정하는 수밖에 없다. 현재 우리나라도 외국의 노출기준을 참조하여 활용하고 있으며 우리나라 노출기준의 설정이나 개정은 아래와 같은 문제점이 있다.

(1) ACGIH의 TLV를 거의 100 % 받아들이고 있다

우리나라의 노출기준 설정의 변천과정을 간략히 살펴보면 <표 7-3>과 같다. 우리나라 노출기준 관계법규는 최초 1953년 공포된 근로기준법의 “안전과 보건” 규정에서 1981년 산업안전보건법의 제정 후 1983년 노동부 고시로서 발표된 후 5 회의 개정을 거쳐 오늘날에 이르고 있다.

노출기준의 설정 배경을 살펴보면 1983년 작업환경 측정방법 제정시 설정된 총 50 종의 유해인자에 대한 노출기준은 ACGIH TLV를 거의 그대로 받아들였으며 분진의 경우만 일본의 관리농도로 받아들였다. 1986년에는 작업환경 측정방법과 유해물질 노출기준에 관한 규정을 분리하여 확대 적용하였고, 1991년에는 미국 OSHA PEL의 기준을 도입하여 일부 노출기준을 변경하였다. 1997년에는 유해물질의 허용농도를 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준으로 용어를 바꾸었고 LG전자 양산공장의 세정액 또는 침지액으로 사용되는 2-bromopropane의 실험결과 생식독성 물질로 밝혀짐에 따라 이를 추가하여 총 698종의 화학물질에 대하여 노출기준을 설정하고 있다. 이후 2002년에는 석면과 벤젠에 대한 노출기준을 ACGIH TLV값과 동일한 수준으로 각각 20배, 10배 강화하였다.

이미 언급한 바와 같이 ACGIH의 TLV위원회의 구성원은 모두 산업보건전

문가이므로 노출기준의 제안, 개정 등은 매우 빠르게 이루어진다(Perkins, 1997). 그러나 각 나라는 정부, 사업장 그리고 관련기관의 이해관계를 조정하여야 하므로 노출기준의 제정이나 개정은 쉽지 않다. 1940년 초기 노출기준에 대한 정보가 부족하고 설정할 시스템이 갖추어지지 않았을 때는 미국 OSHA 나 선진외국에서도 미국 ACGIH의 TLV를 그대로 활용하였다(Beard 등, 2001).

그러나 이후에 노출기준을 설정하고자 하는 나라와 기관이 노출기준을 설정할 수 있는 여건을 갖게 됨에 따라 여건에 맞게 TLV를 참조하고 변화하여 개정하여 활용하였다. 즉 ACGIH 노출기준을 참고하거나 노출기준을 독특하게 설정하는 등 여건에 맞는 노출기준을 설정하였다. 즉 나라의 특성과 현황에 대한 분석 그리고 이해 당사자간의 협의 등을 거쳐 나라의 여건에 맞는 노출기준으로 조정한 것이다. <표 7-4>에서 보듯이 선진국일수록 ACGIH TLV에 비해 노출기준의 수가 적고, 후진국 일수록 ACGIH TLV의 노출기준의 수와 비슷하다. 즉, 우리나라와 같이 노출기준을 설정하고 개정하는 시스템이 없는 경우 ACGIH의 TLV와 같은 건강상의 장해를 예방하기 위한 많은 노출기준을 그대로 받아들여서 노출기준의 수가 많은 것이다.

<표 7-3> 우리나라 노출기준 개정과정

연도 (제, 개정)	고 시	규정물질 수	비 고
1983. 1. 20. (제정)	제 1 호	총 50 종	1983년 “작업환경측정방법” 제정 당시 동 고시내 에 유기용제 16종, 특정화학물질 31종 및 소음, 분 진, 납에 대한 허용농도 제정
1986. 12. 22. (제정)	제86-45호	총 324 종	“작업환경측정방법” 중 “유해물질의 허용농도”를 분리하여 별도 고시, 허용농도 고시 물질 수 추가
1988. 12. 23. (1차 개정)	제88-69호	총 697 종	유기용제, 중금속으로 인한 직업병이 사회문제화 된 것을 계기로 유해물질 373종을 추가로 규정
1991. 3. 30. (2차 개정)	제91-21호	총 697 종	일부 화학물질에 대한 허용농도 변경, 오자 및 누 락사항 추가
1998. 1. 5. (3차 개정)	제97-65호	총 698 종	LG 전자 양산공장의 2-bromopropane으로 인한 생식독 성 발견으로 인한 2-bromopropane 항목 추가
2002. 2. 4. (4차 개정)	제2002-2호	총 698 종	석면 노출기준 20배 강화(2개/cc ---> 0.1개/cc)
2002. 5. 6. (5차 개정)	제2002-8호	총 698 종	벤젠 노출기준 10배 강화(10 ppm ---> 1ppm)

<표 7-4> 국가별 노출기준의 수 비교

국가	노출기준 수	비고
미국 OSHA PEL	400 - 500 여개	법적기준
영국 HSE WEL	390 여개	법적기준
독일 MAK	800여개	권고기준
일본 노동성 CL	80 여개	법적기준
일본 JOSH OEL	210 여개	권고기준
프랑스 OEL	550 여개	법적기준/권고기준
스웨덴 OEL	430 여개	법적기준
우리나라 노동부	700 여개	법적기준/권고기준

내용 주

OSHA : Occupational Safety and Health Administration, Permissible Exposure Limits

MAK : Maximum Allowable Concentration

Health and Safety Executives, Workplace Exposure Limit

CL : Control Limit

JOHS: Japan Occupational Health Society, Occupational Exposure Limits

OEL : Occupational Exposure Limits

(2) 노출기준을 검토하고 개정하는 시스템이 전혀 없다.

이미 언급한 바와 같이 노출기준의 수와 농도는 항상 변화한다. 특히 농도는 개정할 필요성이 있으면 수시로 변화한다. 노출기준의 변화를 선도하는 기관은 미국 ACGIH이다. 많은 나라에서 ACGIH의 TLV 변화를 참조하기 때문이다. 하지만 ACGIH의 TLV를 그대로 받아들이는 나라는 거의 없다. 같은 나라인 미국 OSHA도 ACGIH TLV나 NIOSH의 REL을 그대로 받아들이지는 않는다. 나라마다 독특한 노출기준을 제정하고 개정하는 시스템이나 과정에 따라 노출기준을 설정하고 개정한다(AIHA, 1996). 다른 나라의 노출기준을 참고하되 적용하는 국가의 여러 여건과 상황을 고려해서 활용하는 것이 일반적이다. 우리나라처럼 ACGIH TLV의 수와 농도를 특별한 검토 없이 그대로 법적 노출기준으로 적용하는 나라는 거의 없다. 우리나라의 여건과 상황을 고려하지 않고 다른 나라의 산업안전보건법을 그대로 적용하는 것과 동일한 의미이다. ACGIH의 노출기준을 그대로 받아들일 경우 편리하겠지만, 우리나라 여건에 맞지 않은 불필요한 유해요인의 노출기준의 설정 및 법적 집행 등이 있을 수 있다.

우리나라가 ACGIH의 노출기준을 그대로 받아들일 수밖에 없는 이유는 노출기준을 검토하고 개정하는 시스템이 없고 노동부의 법적 관점에서 극단적인 필요성이 있을 때 개정하는 노력에만 의존하고 있기 때문이다. 물론 미국 OSHA도 노출기준을 설정할 인력, 자료, 연구 등이 부족할 때는 ACGIH와 ANSI(American National Standard Institute, 이하 ANSI라고 함)가 설정한 노출기준을 그대로 활용하였다(Clattyton, 2005). 그러나 노출기준의 설정에 필요한 근거자료인 노출형태, 노출근로자 수, 비용-편익자료, 이해당사자의 형성 등이 조성되었을 때는 ACGIH의 TLV, NIOSH의 REL를 검토하고 선별하여 활용하고 있다. 따라서 OSHA의 노출기준 유해인자 수와 유해인자의 농도가 ACGIH와 NIOSH의 노출기준과 다른 유해인자가 많다. 같은 나라에서도 노출기준의 활용목적에 따라 노출기준의 수와 농도가 다른 것이다. 이것은 노출기준이 건강상의 장해를 예방하는 것은 물론 사용목적도 매우 중요하다는 것을 의미한다.

우리나라도 과거 노출기준을 설정할 인력이 부족하고 기구 등 시스템이 결여되었을 때는 외국의 노출기준을 그대로 받아들여 활용할 수밖에 없었다. 그러나 현재는 산업위생을 포함한 산업보건인력, 관련기관이나 학회 등 선진외국 못지않게 성장했다. 이러한 인력을 바탕으로 우리나라 여건에 맞는 노출기준을 수시로 개정하는 시스템을 만드는 것이 필요하다.

다. DEOA 노출기준에 대한 고찰

(1) ACGIH TLV 설정근거

현재 ACGIH TLV의 DEOA에 대한 시간가중평균 노출기준(Time Weighted Average, 이하 TWA라 함)은 0.46 ppm이고 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit, 이하 STEL이라 함)은 설정하지 않았다. TWA는 1978년에 3 ppm으로 제안되어 1980년부터 1993년 까지 유지되었다. 이 때의 기준(3 ppm)은 90일 동안 쥐를 대상으로 다이어트 동물실험에서 20 mg/kg의 무관찰작용량(no-ill-effect)에 근거한 것이다. 이 후 쥐를 대상으로 실험기간을 늘려 13 주 동안 흡입독성과 경구독성 실험을 수행한 결과, 무관찰작용량(NOAEL)이 15mg/kg/day였다. 또한 13주 동안 6 ppm(25.7 mg/m³)의 흡입독성 농도에서 악영향이 발견되었다(Barbee 등, 1976년). 이 실험결과를 근거로 DEOA노출로 인한 급성과 만성독성(간, 신장, 혈액)의 위험을 최소화하기 위한 TWA로 0.46 ppm(2 mg/m³)이 1993년에 제안되었다. 1994년에 이 기준이 받아들여져 현재까지 유지되고 있다. DEOA에 대한 단시간노출기준(STEL)이나 발암성 그리고 감작성(민감성)에 대한 영향을 권고할 만한 충분한 실험결과는 아직 없다. 랫트와 마우스에게 반복적인 노출에서 피부독성이 높은 것으로 관찰되었다. 피부독성의 NOAEL이 랫트에게는 32 mg/kg/day 그리고 마우스에게는 80 mg/kg/day이었다. 이러한 결과에 따라 ACGIH는 DEOA를 피부흡수 주의 물질로 권고하였다(<표 7-6> 참조).

ACGIH가 DEOA의 노출기준을 설정할 때 사람으로부터 나타난 건강상의

장해사례는 없었다. 즉 지금까지 DEOA의 노출로 인한 건강상의 장해사례가 거의 보고되지 않았다는 뜻이다. 1986년에 Balato는 Ethylenediamine에 민감한 32명의 환자로부터 철폐실험을 한 결과 단지 1명만이 금속가공유에 들어있는 1 %의 DEOA에 양성반응을 보인 사례를 보고하였다. 그러나 이러한 결과는 DEOA의 TWA를 설정하는데 이용될 수가 없었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 ACGIH에서 권고한 현재 DEOA의 TWA와 피부흡수주의 함수는 랫트와 마우스를 대상으로 수행한 동물실험 결과에서 근거한 것이다. STEL에 대한 기준은 아직 제정되지 않았다.

<표 7-5> ACGIH 노출기준(TLV)의 제정 및 개정 변화

년도	시간가중평균농도 TWA-TLV	단시간노출기준 STEL-TLV	피부흡수주의 Skin
1978	3 ppm(12.9 mg/m ³)	제정되지 않음	제정되지 않음
1980-1993	3 ppm(12.9 mg/m ³)	제정되지 않음	제정되지 않음
1993	0.46 ppm(2 mg/m ³)제안	제정되지 않음	제안
1994- 현재	0.46 ppm(2 mg/m ³)	제정되지 않음	yes

ACGIH의 노출기준은 권고기준이고 법적 집행력이 없지만 다른 나라에서 건강상의 예방을 위한 기준으로 광범위하게 참고하고 활용하기 때문에 파급력은 매우 크다. 따라서 ACGIH가 개정을 의도하면 관련된 이해당사자가 유리한 과학적인 근거를 가지고 이의를 제기하는 것이 일반적이다. 그럼에도 불구하고 그 동안 ACGIH가 DEOA에 대한 노출기준을 급격하게 낮추었을 때도 (1993년에 3 ppm에서 0.46 ppm으로 개정의사 나타냄) 별다른 이의가 제기되지 않았고 단지 1년의 개정공고기간만을 거쳐 제안기준들이 TLV로 확정되었다. 이에 대한 근본적인 이유는 3가지로 요약할 수 있다.

첫째, DEOA는 여러 산업에서 사용되지만 광범위하게 사용되는 화학물질이

아니어서 TLV 변화에 따른 경제적인 영향이 크지 않을 것으로 판단하기 때문이다. 2장 “취급현황”에서 살펴본 바와 같이 DEOA의 국내 사용량은 년 5,000톤 이하로 수요가 많지 않다. 따라서 DEOA 노출기준이 변화해도 DEOA의 수요도 등 경제적인 영향이 크지 않기 때문이다.

둘째, 대부분의 산업에서 DEOA는 간헐적으로 사용되는 첨가제이므로 TLV를 준수하는데 기술적으로 어렵지 않기 때문이다. 2항의 “취급현황”에서 살펴본 바와 같이 대부분의 산업에서 DEOA의 사용량은 많지 않고 취급빈도도 매우 낮았다. 또한 취급특성이 단순하여 국소배기장치의 설치만으로도 노출을 억제할 수 있는 것으로 평가하였다. 따라서 ACGIH의 DEOA에 대한 TLV는 경제적, 기술적으로 어렵지 않게 달성되기 때문이다.

셋째, DEOA에 대한 근로자 노출이 다양하거나 빈번하지 않으므로 지금까지 DEOA의 노출로 인해 보고된 건강상의 영향 사례가 거의 없기 때문이다. 물론 DEOA가 포함된 수용성 금속가공유를 취급하는 고정에서 천식, 비염 등 호흡기계질환에 대한 건강상의 장해를 보고되고 있다(NIOSH, 1981). 그러나 수용성금속가공유에서 호흡기계질환을 초래하는 원인인자는 DEOA를 포함한 다른 알카놀아민류인 monethanolamine(이하 MEOA라 함)과 triethanolamine(이하 TEOA라 함) 그리고 미생물 등 복합적이다. 따라서 DEOA만의 노출로 인한 건강상의 장해는 아직 보고되지 않고 있다. 6장 “작업장내 근로자 노출 실태”에서 언급한 것처럼 본 연구에서도 DEOA를 취급하는 근로자에게서 건강상의 영향이 발견되지 않았다.

(2) 국가별 DEOA노출기준 비교

<표 7-6>은 미국의 3개 기관(ACGIH, NIOSH, OSHA)과 선진 5개국의 DEOA 노출기준을 비교한 것이다. 미국의 ACGIH TLV가 다른 나라와 기관에 비해 가장 낮은 TWA(0.46 ppm)를 설정하고 있다. 이에 비해 독일, 영국, 일본은 DEOA에 대한 노출기준이 없다. 독일은 DEOA에 대한 피부흡수와 감작물질(sensitization)이라는 것을 언급하였을 뿐이다. 프랑스, 스웨덴, 미국

NIOSH의 DEOA에 대한 TWA는 우리나라와 동일한 3 ppm을 유지하고 있다. 이러한 기준은 ACGIH보다 훨씬 높다.

결론적으로 DEOA에 대한 TWA는 미국 ACGIH의 TLV가 가장 엄격하다. STEL은 ACGIH를 포함하여 대부분의 나라와 기관에서 설정되지 않았다. DEOA의 노출로 인한 건강상의 장해는 간, 신장, 피부, 혈액에 대한 만성독성이다. 단시간 노출로 인한 급성독성이 우려되지 않기 때문이기도 하다. 따라서 DEOA은 STEL을 설정하지 않고 상한치인 excursion limit으로 관리가 가능하다(ACGIH, 2005). 피부흡수 주의도 미국 ACGIH, 스웨덴, 독일만 노출기준에 포함되어 있다.

우리나라 노출기준(TWA: 3 ppm)은 ACGIH가 1978년에 제안하여 1993년까지 활용한 노출기준이다. 즉, 우리나라에서 법적기준으로 활용하고 있는 DEOA노출기준은 ACGIH에서 1993년 이전에 근거한 기준이다.

<표 7-6> DEOA에 대한 주요 국가 및 기관의 노출 기준

국가 및 기관		노출기준, ppm			피부 및 발암성	기타
		TWA	STEL	Ceiling		
미국	OSHA(PEL)	제정하지 않음	제정하지 않음	-	-	-
	ACGIH(TLV)	0.46 (2.0 mg/m ³)	제정하지 않음	-	skin A4	피부, 신장, 간, 혈액 독성
	NIOSH(REL)	3 (12.9 mg/m ³)	제정하지 않음	-	-	NIOSH IDLH: 200 ppm
일본	노동성	제정되지 않음	제정하지 않음	-	-	-
	산업위생학회	제정되지 않음	제정하지 않음	-	-	-
독일(MAK)		제정되지 않음	제정하지 않음	-	skin	감작물질
스웨덴(OEL)		3 (12.9 mg/m ³)	6 (mg/m ³)	-	skin	-
영국(WEL)		제정되지 않음	제정하지 않음	-		
프랑스(OEL)		3 (12.9 mg/m ³)	제정하지 않음	-	-	-
대한민국		3 (12.9 mg/m ³)	제정하지 않음	-	-	

PEL : Permissible Exposure Limits, TLV : Threshold Limit Values

REL : Recommended Exposure Limits, MAK : Maximum Concentration Values,

IDLH : Level Immediately Dangerous to Life or Health

OEL : Occupational Exposure Limits, WEL : Workplace Exposure Limits

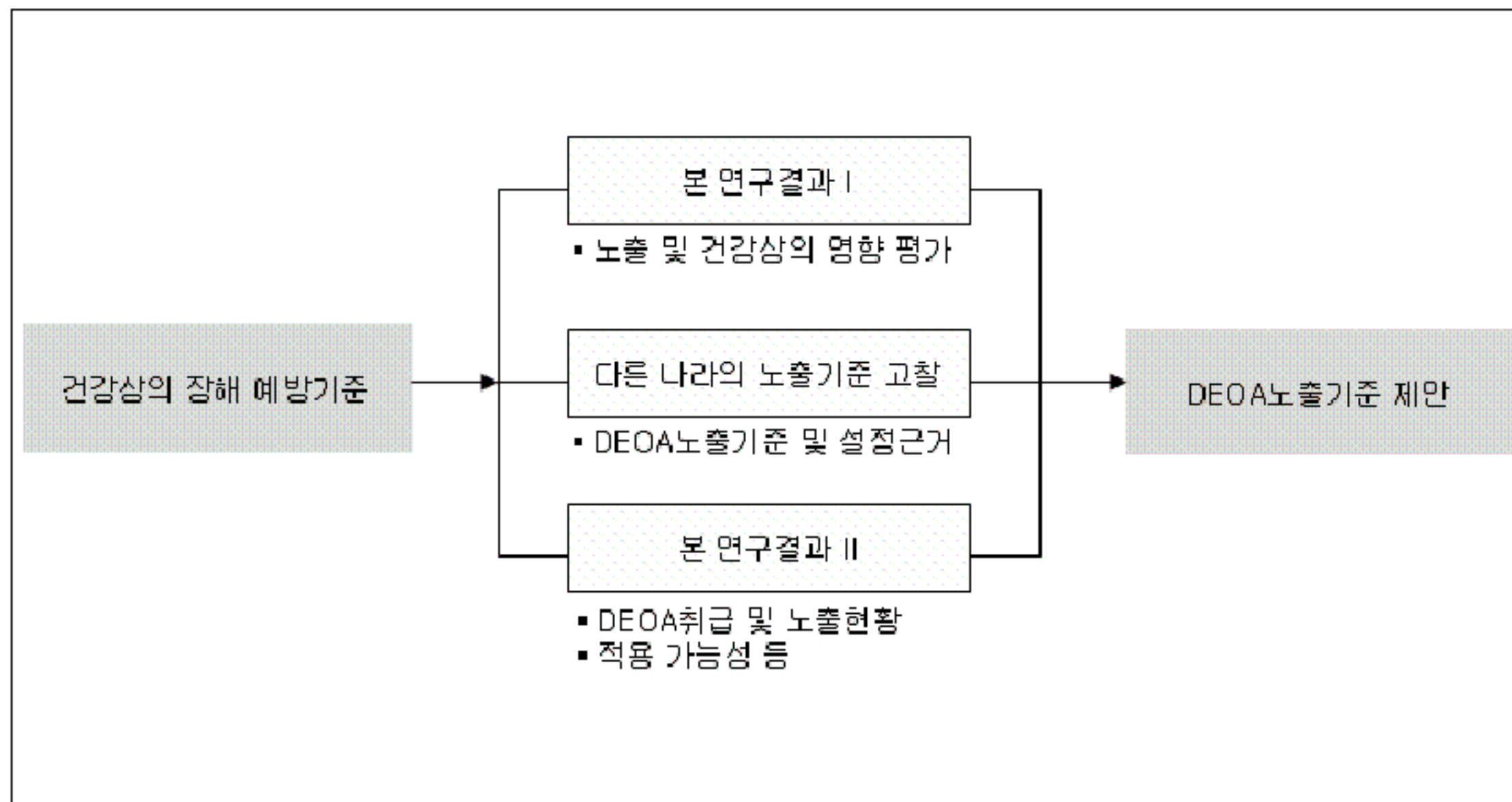
라. DEOA 노출기준 제안 방향과 단계

(1) 노출기준 제안 방향

본 연구에서 DEOA에 대한 노출기준을 제안할 때 참조한 자료는 본 연구결과, 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준, 다른 나라의 노출기준 그리고 우리나라에서 DEOA사용과 관련된 여건 등이다.

이 자료 중에서 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준을 가장 먼저 고려하였다. 이 근거를 바탕으로 본 연구에서 조사한 DEOA에 대한 연구결과와

다른 나라의 노출기준을 비교하고 참조하여 DEOA노출기준을 제안하고자 한다. 구체적으로 DEOA의 노출기준을 제안하는 방향은 [그림 7-2]와 같다.



[그림 7-2] DEOA노출기준 제안 방향

(2) 노출기준 제안 단계

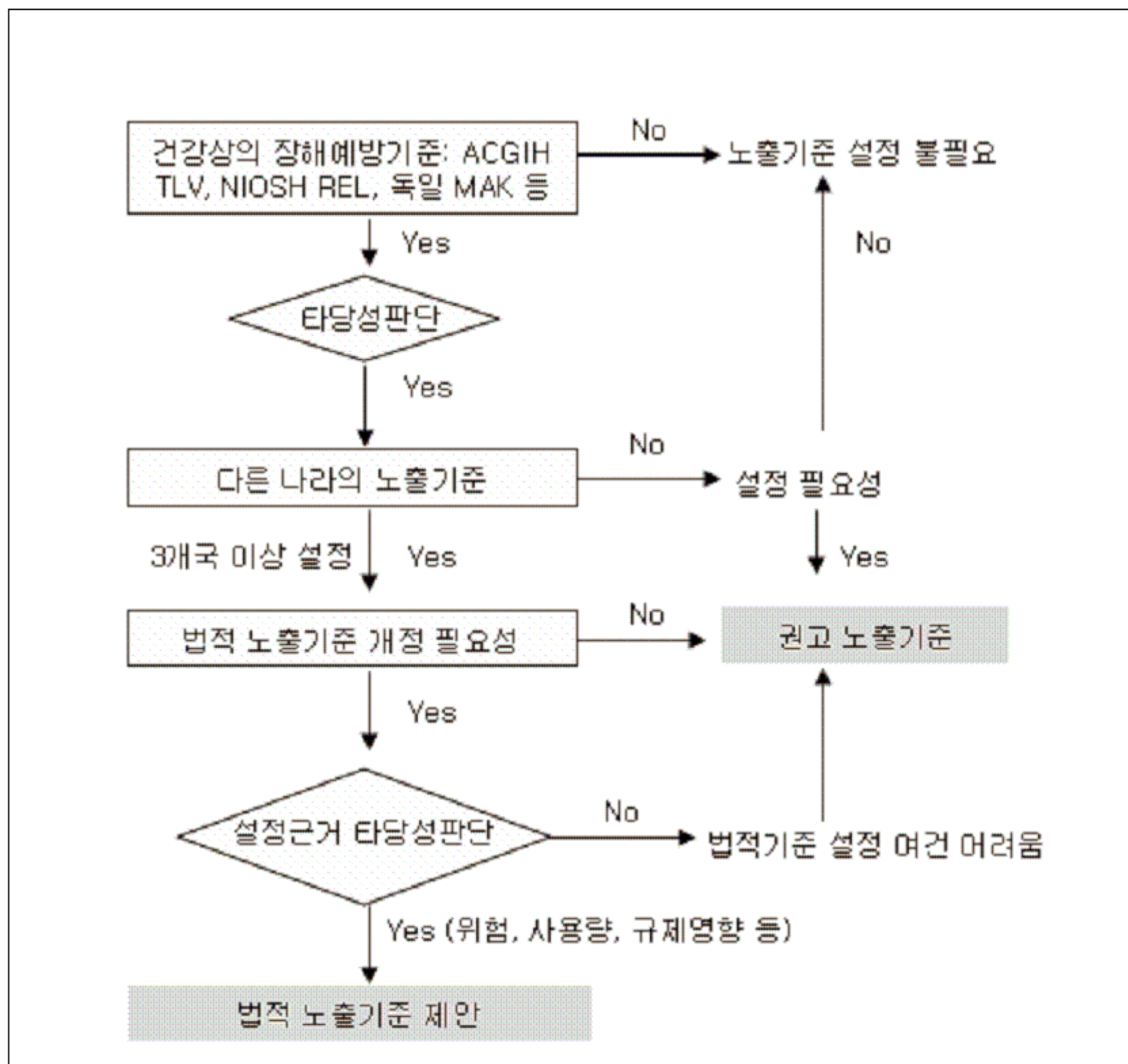
DEOA 노출기준을 제안하기 위한 구체적인 단계는 아래와 같다([그림 7-3] 참조)

① DEOA의 노출에 따른 건강상의 장애를 예방하는 과학적 사실에 근거한 노출기준이 있는지 조사한다.

건강상 장애의 예방만을 목적으로 설정된 ACGIH의 TLV, NIOSH의 REL, 독일 MAK, 영국 WEL에서 DEOA노출기준이 있는지 조사한다.

② 건강상의 장애를 예방하기 위한 노출기준을 우리나라를 포함한 다른 나라의 노출기준과 비교한다.

미국(OSHA:PEL, ACGIH:TLV, NIOSH:REL), 영국, 독일, 프랑스, 일본, 스



[그림 7-3] 노출기준 제안 단계별 주요 내용

웨덴 등 주요 선진국의 DEOA노출기준을 비교한다. DEOA에 대한 노출기준이 2개국 이상에서 제정되어 있고, 설정근거가 타당하다고 판단되면 우리나라에서 DEOA 노출기준을 개정할 필요가 있는지 결정한다. 그러나 ACGIH에서 DEOA의 노출기준이 설정되어 있더라도 선진 외국에서 설정되어 있지 않고 우리나라 여건과 상황을 분석해서 그 위험이 크지 않다면 법적 강제가 아닌 권고 노출기준으로 설정한다. 우리나라에는 권고기준은 없다. 노출기준이 설정된 모든 물질은 위험의 정도와는 상관없이 사업주가 지켜야 하고 노동부는 집

행해야 하는 법적 강제기준이다. 본 연구에서 권고기준으로 제안할 타당성이 있다면 노출기준에 대한 이원화된 기준의 운영을 제안한다. 노출기준 이원화에 대한 내용은 “바”항 우리나라 노출기준제안에서 자세히 설명하였다.

③ 우리나라 DEOA노출기준을 개정하고 법적 노출기준으로 개정할 타당성이 있는지 결정한다. 노출기준을 개정할 필요가 있는지 다음의 조사내용을 고찰하여 판단하고자 한다.

- DEOA노출과 건강상의 장해에 대한 양-반응관계(6항)
- 다른 나라의 노출기준(5항)
- DEOA취급현황(사용량, 노출근로자수, 노출특성 등)(2항)
- DEOA노출기준 실행 가능성(feasibility) 등이다

노출기준을 개정할 필요가 있는지 이 법적관리가 필요할 정도의 위험을 가지고 있다면 법적 강제기준으로 제안한다. 그러나 ②항에서 언급할 것처럼 우리나라에서 DEOA에 노출로 인한 건강상의 영향에 대한 위험이 크지 않다고 판단되면 사업주(사용자)의 자율책임에 의한 권고기준으로 두는 것이다.

④ 마지막으로, 개정된 노출기준이 DEOA를 취급하는 사업장에 미칠 규제영향 그리고 국제적인 수준과의 비교 등을 통하여 대외적인 영향 등을 검토한다.

사업주가 개정된 노출기준을 준수하고 근로자의 건강상의 장해를 예방하기 위해 지불해야 할 비용과 이로 인한 작업환경의 개선과 건강보호 등의 이익과 같은 규제에 따른 편익을 분석하여 노출기준의 개정에 따른 영향을 분석한다. 이에 대한 자세한 내용은 8항 “규제영향분석”에 설명되어있다.

마. 우리나라의 DEOA 노출기준에 대한 개정 필요성 판단

우리나라의 현재 DEOA노출기준은 TWA가 3 ppm(12.9 mg/m³)이고 STEL은 설정되어 있지 않다. TWA를 개정할 필요가 있는지를 본 연구결과, 다른

나라의 DEOA노출기준 그리고 우리나라에서 DEOA취급현황 특성, 기업에 미치는 영향, 기술적인 실행가능성(feasibility), 법적 관리 가능성 등을 중심으로 판단하였다.

(1) 본 연구결과

본 연구에서 노출기준을 제안하기 위한 목표는 “근로자를 대상으로 DEOA의 노출(양)에 따른 피부와 호흡기계질환에 대한 건강상의 영향(반응)을 평가하여 양-반응관계의 모델을 노출기준에 반영하고자 하는 것이었다(1장 구체적인 목표 참조). 즉 본 연구에서 DEOA를 취급하는 근로자를 대상으로 수행한 노출과 건강상 영향의 양-반응관계 모델을 통해 현재 DEOA노출기준의 설정근거인 동물실험 결과의 타당성을 검증하고 이를 노출기준의 근거에 활용하려고 하는 연구목표를 세웠었다. 이러한 목표를 수립한 것은 우리나라 TWA 3 ppm이 미국 ACGIH에서 1978년에서 1993년까지 유지된 기준으로 동물실험 결과를 근거로 설정된 자료이기 때문이다. 더욱이 이 기준은 1993년 이후 동물실험에서 밝혀진 랫트와 마우스를 대상으로 수행한 동물실험을 통해 TWA가 0.46 ppm으로 낮아졌음에도 불구하고 이에 대한 도입여부를 검토하지 못해 현재의 기준이 건강상의 장해를 보호하는데 한계점을 가지고 있는 노출기준으로 판단되었다. DEOA노출기준의 안전성에서 한계점을 인식하였기 때문에 본 연구에서 DEOA에 노출되는 근로자들의 설문조사를 통해서 피부자극 및 호흡기계질환에 대한 건강상의 장해 등을 확인하고 양-반응관계도 밝히려고 한 것이다.

그러나 본 연구에서는 이 목표를 달성할 수 있는 유의한 DEOA노출과 건강상의 장해를 발견하지 못했다. 호흡기계 질환은 물론이고 피부자극과 같은 건강상의 장해도 발견하지 못했다. 이것은 DEOA를 취급하는 근로자가 건강상의 장해가 나타날 수 있는 농도이하에 노출되었거나 또는 노출기간, 노출시기, 조사의 한계점 등이 있었기 때문으로 판단된다.

7항 “노출평가”에서 언급한 바와 같이 DEOA을 취급하는 모든 근로자나 지

역에서 현재 ACGIH의 TWA(0.46 ppm)이하로 평가되었다는 사실로 알 수 있다(<표 7-7> 참조). 작업, 시간, 환경 등의 변이를 고려한다고 해도 노출기준을 초과하여 노출되는 경우는 흔하지 않을 것으로 판단된다. 이처럼 노출이 낮을 수밖에 없는 주요 이유는 DEOA 사용의 대부분이 첨가제로 사용되어 빈번한 취급과 노출이 일어나지 않기 때문이다. 또한 취급할 경우에도 매우 짧은 시간에 간단한 작업요령으로 첨가하는 작업이므로 적절한 작업방법만 준수하면 과다한 노출이 일어나지 않을 것으로 판단된다. 만약, 근로자가 우리나라의 현재의 TWA(3 ppm) 이상의 일정한 농도에 노출되었다면 본 연구에서 설정했던 피부자극이나 호흡기계 질환 등의 건강상의 장해가 발견되었을지 모른다. 그러나 본 조사에서는 대부분이 검출한계 미만이었고 0.46 ppm(2 mg/m³)을 초과한 경우는 총 73개의 시료에서 단지 1건(3.3 mg/m³) 있었다. 이러한 이유 때문에 국내외 산업보건 분야에서도 DEOA의 노출에 따른 건강상의 장해사례가 보고 되지 않았을 것으로 판단된다. DEOA는 대부분 공정의 운영을 돕는 첨가제이므로 과다한 취급이 없기 때문이다.

<표 7-7> DEOA 노출농도별 TWA 초과비율

총 측정건수	0.46ppm 미만(%)	0.46 ppm 이상
73	72	1

참고

ACGIH TWA : 0.46 ppm

우리나라, 스웨덴, 프랑스 TWA: 3 ppm

(2) 건강상의 영향을 예방하기 위한 노출기준의 활용

본 연구에서 DEOA노출(양)과 건강상의 장해(반응)와의 유의한 양-반응관계가 발견되지 않았기 때문에 ACGIH의 TWA(0.46 ppm)을 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준을 개정의 근거로 삼았다. 건강상의 장해만을 예방하기 위한 DEOA 노출기준이 미국 ACGIH의 TWA가 0.46 ppm, 독일 MAK과 영국 WEL은 설정되지 않았고, 그리고 NIOSH의 REL은 3 ppm으로 서로 다르다. ACGIH의 TLV가 다른 나라에서 가장 많이 참조하므로 우리나라 DEOA

노출기준 제안의 근거로 삼고자 한다. 이를 근거로 선진 외국의 노출기준 그리고 노출기준의 설정근거 등을 비교하고 고찰하여 우리나라의 DEOA노출기준(3 ppm)의 개정 필요성을 판단하였다.

(3) 다른 국가들과 노출기준 비교

현재 DEOA의 노출기준은 나라마다 기관마다 차이가 있다. 또 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준과 법적 노출기준과도 차이가 있다. 우리나라 노출기준(3 ppm)은 ACGIH TWA보다는 훨씬 높지만 프랑스, 스웨덴과 동일하다(<표 7-6> 참조). 독일과 영국은 DEOA에 대한 노출기준을 설정하지 않고 있다. 보다 구체적으로 선진외국의 노출기준에 대한 설정 근거를 비교하여 우리나라 노출기준을 개정할 필요성이 있는지 판단하였다.

가) 시간가중 평균농도(TWA)에 대한 검토

우리나라의 DEOA TWA 기준은 3 ppm이다. 미국 ACGIH의 0.46 ppm보다 훨씬 높지만 스웨덴, 프랑스 그리고 미국 NIOSH의 기준과 동일하다. DEOA에 대한 TWA를 5개국 외에 다른 여러 나라와 비교하였다. TWA가 2 ppm 이하와 3 ppm으로 구분된다(<표 7-8> 참조). 2 ppm 이하의 TWA를 설정한 나라와 기관은 ACGIH를 비롯하여 11개이다.

<표 7-8> 국가별 DEOA 시간가중평균기준(TWA)의 분류

노출기준 분류	국가 및 기관
0.46 ppm	ACGIH, 핀란드, 스페인, 말레이시아, 네덜란드, 캐나다온타리오주, 캐나다 브리티시컬럼비아주
0.69 ppm, 1.2 ppm, 2 ppm	캐나다 퀘벡주(0.69 ppm), 체코(1.2 ppm), 캐나다 알버타주, 폴란드(2 ppm)
3 ppm	아일랜드, 노르웨이, 프랑스, 스웨덴, 뉴질랜드, 남아프리카, 대한민국, 미국 NIOSH
설정되지 않음	영국, 일본, 독일

우리나라와 동일한 TWA를 설정한 나라나 기관은 8개이다. DEOA의 TWA를 설정하지 않은 나라도 3개국(일본, 영국, 독일)이다. 다른 화학물질의 노출기준은 매우 엄격하게 설정하는 영국과 독일에서 DEOA에 대한 노출기준이 있는지 그 근거는 발견하지 못했다.

노출기준에 대한 여건과 상황이 서로 다른 나라의 노출기준 농도만을 비교하여 노출기준을 개정할 것인지에 대한 판단은 쉽지 않다. 그러나 국가별 노출기준과 노출기준 설정근거를 검토하면 우리나라 노출기준을 개정할 필요성에 대한 판단은 가능할 것으로 판단된다. “다”항 “DEOA 노출기준에 대한 고찰”에서 언급한 바와 같이 우리나라 DEOA의 TWA 3 ppm은 미국 ACGIH에서 1993년 까지 유지된 기준이다. 그러나 랫트와 마우스를 대상으로 13 주 동안 흡입독성과 경구독성 실험을 수행한 결과, 무관찰작용량(NOAEL)이 15mg/kg/day이었고, 6 ppm(25.7 mg/m³)의 흡입독성 농도에서 악영향이 발견되었다(Barbee et al., 1976년). 이 실험결과에 근거한 DEOA의 TWA가 0.46 ppm이다. 1994년에 이 기준이 받아들여져 현재까지 유지되고 있다(<표 7-6> 참조). ACGIH의 DEOA에 대한 설정근거를 고찰하여 보면 DEOA의 TWA 3 ppm은 건강상의 장해를 보호하는데 높은 기준인 것으로 판단할 수 있다. 따라서 본 연구에서 우리나라 여건에 맞는 노출기준을 제안할 때 건강상의 장해를 보호할 수 있는 기준으로 현재의 3 ppm은 한계점을 가지고 있는 것으로 판단되며, 개정할 필요성은 있는 것으로 판단된다.

나) 단시간노출농도(STEL)의 타당성에 대한 검토

STEL을 설정한 나라는 스웨덴뿐이다. STEL은 ACGIH를 포함하여 대부분의 나라와 기관에서 설정되지 않았다. 이것은 DEOA를 취급하는 과정에서 단시간노출로 인한 간, 신장, 피부, 혈액에 대한 독성이 우려되지 않기 때문으로 판단된다. 따라서 모든 나라에서 DEOA는 STEL을 설정하지 않고 상한치인 excursion limit으로 관리하고 있다.

<표 7-9> 국가별 DEOA 단시간노출기준(STEL)과 피부흡수에 대한 분류

노출기준 분류	국가 및 기관
STEL : 6 ppm	스웨덴
피부흡수 주의	ACGIH, 캐나다알버타주, 브리티시컬럼비아주, 핀란드, 독일, 네덜란드, 캐나다 퀘벡, 스페인, 스웨덴, 프랑스 등

다) 피부흡수 주의에 대한 검토

ACGIH는 랫트와 마우스에게 반복적인 노출에서 피부독성이 높은 실험결과를 근거로 DEOA를 피부흡수 물질로 권고하였다. 피부독성의 NOAEL이 랫트에게는 32 mg/kg/day 그리고 마우스에게는 80 mg/kg/day이었다. 이러한 결과에 따라 대부분의 나라와 기관에서 DEOA를 피부흡수 주의 물질로 노출기준에 포함하였다.

이상 우리나라 DEOA노출기준의 개정 혹은 제정의 필요성을 다른 나라의 노출기준과 비교하여 설명하였다. 우리나라 DEOA노출기준에 대한 개정 필요성에 대한 판단을 종합한 결과를 <표 7-10>에 제시하였다.

결론적으로 DEOA의 TWA는 현재의 기준(3 ppm)을 개정할 필요가 있고 STEL은 설정할 필요가 없으며 피부흡수는 제정할 필요가 있는 것으로 판단하였다.

<표 7-10> 우리나라 DEOA노출기준에 대한 개정 필요성 판단

노출기준 종류	현재 우리나라 노출기준	주요 근거
시간가중평균기 준(TWA)	3 ppm (12.9 mg/m ³)	☐ 현재의 기준(3 ppm)이 높음. 개정할 필요가 있음 - 현재의 TWA는 1993년 이전의 동물실험에 의한 근거 한 기준임 - 이후에 이루어진 랫트와 마우스를 대상으로 한 흡입독 성실험에서 현재의 기준의 노출은 건강상의 장해를 초래 한 것으로 밝혀짐 - 따라서 개정할 필요가 있음
단시간노출기준 (STEL)	설정되어 있지 않음	<u>설정할 필요가 없음</u> - DEOA의 신장, 간, 혈액독성의 만성독성을 나타냄. 따 라서 단시간노출에서 이러한 건강상의 장해는 일어나지 않음. 상한치로 단시간노출에 따른 건강상의 장해를 예방 할 수 있음 - 스웨덴을 제외한 모든 나라와 기관에서 STEL기준은 없음
피부흡수(Skin)	없음	☐ 피부흡수를 설정해야 할 것으로 판단 - DEOA가 동물실험을 통해서 피부로 흡수되는 것이 확 인됨 - 산업장에서 DEOA는 액체로 취급됨. 따라서 피부접촉 가능성이 높음 - 피부흡수를 방지하기 위한 피부흡수주의가 포함될 필요 가 있음

(4) DEOA 취급현황 측면

우리나라에서 DEOA의 사용, 취급과 관련된 상황 즉, DEOA사용량, DEOA에 노출된 근로자수, DEOA노출 및 취급특성 등을 근거로 DEOA노출기준의 개정필요성을 판단하였다.

가) 사용량

우리나라에서 DEOA사용량은 매우 적은 것으로 추정되었다. 2002년에 국내에서 사용된 것으로 추정된 양은 3,803톤(640위), 2003년은 4,458톤 그리고 2004년은 3,512톤이었다. 이러한 양은 전체화학물질 사용량(2002년, 19,396,645톤)의 0.0002 %가 되지 않는 양이다. DEOA의 사용량이 적은 이유는 생산공정에서 이용되는 주된 화학물질이 아니고 대체가능한 아민류가 많고, 첨가제 등으로만 사용하기 때문이다. 사용산업과 공정 등의 활용도에 근거할 때 위험이 클 정도의 사용량은 아닌 것으로 판단된다. 또한 DEOA의 화학적 특성, 공정에서 사용특성을 고려할 때 향후에도 사용량은 급격히 증가되지 않을 것으로 판단된다. 따라서 현재의 DEOA노출기준(3 ppm)을 0.46 ppm으로 강화해도 사용량이 감소되어 기업의 경제적인 활동에 유의한 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

<표 7-11> 연도별 DEOA의 사용량에 대한 추정

년도	국내 사용량, 톤	추정근거(제 2 장 취급현황 참조)
2002	3,803	환경부 화학물질 유통량 보고서, 2002
2003	4,458	한국무역협회의 수출량과 수입량 DEOA 제조사업장의 국내 공급량 조합하여 추정
2004	3,512	
2005, 9월말 현재	2,469	

나) 노출근로자수

본 연구에서 DEOA에 노출되는 근로자수는 제 2 장 “취급현황”에 자세하게 설명하였다. 2004년 DEOA에 노출되는 근로자수를 추정하기 위해서 DEOA를 제조하거나 사용하는 사업장에서 노출된 근로자수는 한국산업안전공단에서 보고한 작업환경실태조사결과(한국산업안전공단, 2004)를 참고하였고, DEOA발생에 따른 노출근로자수는 본 연구결과에 따라 추정하여 총 DEOA에 노출될 수 있는 근로자수를 추정하였다. 2004년에 DEOA에 노출되는 근로자 수는 DEOA제조시 10 명, DEOA 사용시 36 명 그리고 DEOA발생시 2,737명으로 총 2,783명으로 추정하였다(<표 7-12> 참조).

가)항에서 살펴본 바와 같이 공정의 특성상 DEOA는 첨가제로 사용되기 때문에 사용량도 많지 않았고 향후에도 사용량이 급격히 증가되지 않을 것으로 판단된다. 따라서 DEOA 노출기준이 강화되더라도 단시간에 DEOA에 노출되는 근로자수가 급격히 증가하지는 않을 것으로 판단된다.

<표 7-12> 2004년 DEOA에 노출된 것으로 추정되는 근로자 수

DEOA제조시 노출근로자 수 ¹⁾	DEOA사용시 노출근로자 수 ¹⁾	DEOA발생시 노출근로자 수 ²⁾	DEOA 노출근로자 수
10 명	36명	2,737명	2,783 명

내용 주

1) 한국산업안전공단에서 2004년 작업환경측정 실태 조사에서 보고된 자료(표 2-8참조)

2) 본 조사를 근거로 DEOA발생시 노출근로자수의 추정 자료(표 2-9 참조)

다) 노출특성

DEOA은 공정에서 원료의 반응을 돕기 위한 보조제로 사용되는 경우가 대부분이다. 따라서 DEOA에 대한 취급은 간헐적이고 취급시간도 짧다. 즉, 근로자가 일하는 동안 DEOA를 연속적으로 취급하는 공정은 없다. 즉 DEOA를 제조하거나 사용하는 업종에서는 DEOA의 사용이나 취급은 간헐적이다. 다른 업종에 비해서 DEOA의 위험이 높은 것으로 판단되는 기계나 장비를 가공하는 업종에서 측정한 공기 중 DEOA농도도 본 연구에서 노출기준으로 제안한 0.46 ppm이하로 조사되었다. 따라서 DEOA를 취급하는 정상적인 작업과정에서는 과다한 노출은 없을 것으로 판단된다.

<표 7-13> 업종별 공정별 DEOA에 대한 노출 및 취급형태의 정성적 평가

업종	DEOA발생특성	취급형태	공기 중 DEOA농도
기계장비 가공업종	수용성 금속가공유에 포함된 DEOA가 발생	연속 취급	0.46 ppm이하 (시료수 : 73개)

라) 기업활동에 미치는 영향 측면

이미 언급한 바와 같이 기업에서 DEOA 사용량은 많지 않다. DEOA를 취급하는 근로자도 적다. 따라서 DEOA 노출기준을 강화해도 기업의 경제활동에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 그러나 노출기준 강화와 같은 규제로 인해 영향을 받은 사업장이 많지 않다고 해서 불필요하게 노출기준을 낮추어 규제를 강제할 경우 향후 DEOA를 사용하는 산업에의 진입장벽으로 작용할 가능성은 있을 수 있다. 그러나 DEOA사용량과 공정특성으로 미루어 볼 때 노출기준의 강화가 특별히 진입장벽이 되지는 않을 것으로 판단된다.

(5) 기술적인 실행가능성(feasibility) 측면

근로자는 간헐적으로 DEOA를 탱크나 용기에 일정 시간 동안 첨가한다. DEOA가 취급되는 곳에 적절한 공학적인 시설을 설치하면 선진외국의 엄격한 노출기준(TWA 2 ppm) 이내로 관리할 수 있다. 이러한 판단은 본 연구에서 직접 방문하여 DEOA가 취급되는 작업이나 공정에 대한 평가에 근거한 것이다(제 2 항 "취급현황" 참조). 본 연구에서 조사한 DEOA 노출공정에는 모두 국소배기장치가 설치되어 있었고 평가한 농도도 모두 0.46 ppm 이하였다. DEOA가 첨가되는 공정에 적절한 환기장치를 설치하면 선진 외국의 엄격한 노출기준들을 적절하게 유지하는데 기술적인 문제점은 없을 것으로 판단된다.

바. DEOA 노출기준 제안

(1) 노출기준 제안 내용

본 연구에서 DEOA에 대한 노출기준을 제안한 결과는 <표 7-14>에 요약되어 있다. “마”의 1)항에서 설명한 바와 같이 본 연구결과를 근거로 노출기준을 유도하지 못했다. 이것은 본 연구대상자의 노출특성, 단면적인 노출과 건강상의 영향평가에 대한 연구의 한계점 때문으로 판단된다. 따라서 다른 여러 나라의 노출기준과 노출기준 설정근거를 우리나라와 비교하고 고찰하여 DEOA 노출기준을 제안하고자 한다. 본 연구 결과 노출기준 개정을 위한 제안 내용

은 DEOA의 TWA는 현재의 3 ppm에서 0.46 ppm으로 그리고 피부흡수 주의 (skin)를 새롭게 노출기준에 포함하여 설정하는 것이다. 이렇게 노출기준을 제안하는 구체적인 근거는 아래에 설명하였다.

가) 시간가중 평균농도(TWA) : 0.46 ppm

우리나라의 현재 DEOA TWA는 3 ppm이고 본 연구에서 제안한 노출기준은 0.46 ppm이다. 약 6배 이상 강화되는 노출기준이다. 이와 같이 TWA를 제안하는 근거는 현재의 TWA 3 ppm은 1993년 이전의 노출기준으로 건강상의 영향을 예방하는데 한계가 있기 때문이다. ACGIH에서 DEOA의 TWA는 맨 처음 1978년에 3 ppm으로 제안되어 1980년부터 1993년 까지 유지되었다. 이때의 기준(3 ppm)이 현재 우리나라 기준이며 단지 90일 동안 쥐를 대상으로 단지 다이어트 동물실험에서 20 mg/kg의 무관찰작용량(no-ill-effect)에 근거한 것에 불과하다. 이 후 랫트와 마우스를 대상으로 실험기간을 늘려 13 주 동안 흡입독성 실험을 수행한 결과, 무관찰작용량(NOAEL)이 15mg/kg/day으로 더 낮아졌으며, 13주 동안 6 ppm(25.7 mg/m³)의 농도의 노출에서 악영향이 발견되었다(Barbee 등, 1976년). 이 실험결과를 근거로 DEOA노출로 인한 급성과 만성독성(간, 신장, 혈액)의 위험을 최소화하기 위한 TWA로 ACGIH의 0.46 ppm(2 mg/m³)이 1993년에 제안되었다. 1994년에 이 기준이 받아들여져 현재까지 유지되고 있다. 따라서 DEOA의 노출로 인한 건강상의 장해를 예방하기 위한 기준으로 TWA는 0.46 ppm이다.

따라서 본 연구에서 제안한 TWA 2 ppm은 DEOA의 노출로 인한 건강상의 장해를 예방하는 타당한 기준이라고 판단하였다. DEOA의 노출기준을 가장 엄격한 외국의 기준을 도입하였을 때 우리나라에서 준수할 가능성이 있고 규제에 따른 기업활동에 큰 영향이 나타나지 않는가를 판단하는 것이다.

DEOA의 제안기준 0.46 ppm을 법적 기준으로 실행해도 DEOA의 취급현황측면, 기업활동 측면 그리고 기술적인 실행 가능성 측면에서 제안기준을 준수하는데 문제가 없는 것으로 판단되기 때문이다. 즉 제안된 노출기준(0.46

ppm)이 현재의 기준(3 ppm)에 비해 엄격하게 강화되었지만 우리나라에서 DEOA의 사용여건(사용규모, 기업활동, 공정의 운영 등)을 급격하게 변화시키는 영향은 없을 것으로 판단된다. 또한 사업주가 제안된 노출기준을 준수하는데 행정적, 기술적으로 실행하는데 큰 문제는 없는 것으로 확인하였다. 이에 대한 자세한 내용은 (2)항 “실행가능성”에서 설명하였다.

나) 단시간노출기준(STEL) : 설정할 필요가 없음

단시간 노출기준은 현재와 같이 설정할 필요가 없다. <표 7-9>에서 살펴본 바와 같이 스웨덴을 제외한 모든 나라와 기관에서 STEL을 설정하지 않았다. DEOA의 STEL을 설정하지 않은 이유는 DEOA의 독성이 피부, 신장, 간, 혈액에 독성을 초래하는 만성독성물질이기 때문이다. 즉 단시간 높은 농도에 노출되더라도 급성독성이 나타나지 않는다는 의미이다. 또한 높은 농도의 노출로 인한 영향은 다른 노출기준인 상한치에 의해 관리할 수 있기 때문에 구태여 STEL을 설정할 필요가 없다.

다) 피부흡수 주의 개정

노출기준에 피부흡수에 대한 주의를 포함할 것을 제안하였다. 현재 노출기준에서 피부흡수에 대한 주의를 대부분의 나라에서 노출기준에 포함시키고 있다. 본 연구에서 피부흡수를 제안한 이유는 ACGIH의 권고와 공정에서 작업특성에 따른 것이다. ACGIH는 랫트를 대상으로 수행한 피부 독성 동물실험에서 피부흡수에 의한 독성을 확인하였다(ACGIH, 2005). 우리나라에서 DEOA를 취급하는 공정의 특성이 근로자가 DEOA를 직접 액체로 첨가하므로 피부가 접촉할 위험은 항상 있기 때문이다. 피부흡수에 대한 주의를 사업주에 특별한 제한 요인은 없는 것으로 판단된다.

<표 7-14> 본 연구에서 제안한 DEOA 노출기준과 제안 근거 요약

노출기준 종류	노출기준		제안근거
	현재	제안	
시간가중 평균기준 (TWA)	3 ppm	0.46 ppm	<u>□ TWA 3 ppm : 피부, 간, 신장, 혈액 독성의 예방 기준으로 높음.</u> - 이 기준은 1993년 이전에 이루어진 단기간(90일) 급성 동물실험에서 얻어진 무관찰작용량 20 mg/kg/day에 근거한 것임 - 랫트와 마우스를 대상으로 13 주 동안 흡입독성 실험을 수행한 결과, 무관찰작용량(NOAEL)이 15mg/kg/day으로 더 낮아졌으며, 13주 동안 6 ppm(25.7 mg/m³)의 농도의 노출에서 악영향이 발견되었고(Barbee et al., 1976년) 이 결과를 근거로 개정된 노출기준이 0.46 ppm임 <u>□ 0.46 ppm 제안 이유</u> - 피부, 간, 신장, 혈액에 대한 건강상의 장해 위험을 최소화 기 위한 기준임 - 본 연구결과 TWA는 73개의 시료중 72개가 0.46 ppm이하로 나타남. 따라서 제안된 TWA 0.46 ppm을 법적기준으로 시행해도 사업주가 이를 준수하는데 실행가능성(feasibility)에 문제가 없음 - 우리나라 DEOA의 TWA를 0.46 ppm으로 설정하면 DEOA로 인한 건강상의 장해는 예방할 수 있을 것으로 판단
단시간 노출기준 (STEL)	설정되지 않음	설정할 필요가 없음	<u>□ STEL 설정하지 않음</u> - DEOA의 유해성은 피부, 간, 신장, 혈액에 대한 만성독성임. 따라서 단시간노출에 의해서 건강상의 장해가 발생되지 않음. 따라서 DEOA의 단시간 고농도 노출에 의한 장해예방은 상한치 노출기준으로 관리할 수 있음 - 스웨덴을 제외한 모든 나라와 기관에서 STEL은 설정되어 있지 않음
피부흡수 (Skin)	없었음	피부 “Skin”	<u>□ 동물실험에서 피부흡수 확인됨</u> - DEOA는 랫트와 마우스에서 피부흡수가 확인됨 - 공정에서 근로자가 액체형태의 DEOA을 근로자가 직접 취급하므로 피부노출 가능 - “피부흡수”에 대한 주의는 규제영향이 적음

(2) 실행 가능성(feasibility)

본 연구에서 제안한 DEOA노출기준을 실행하였을 때 노동부, 사업장 그리고 해당기관들이 이를 준수하기 위해 실행하는 조치 혹은 대책들이 실행가능성이 있는가를 평가하였다. 즉 노동부에서는 이 노출기준을 법적으로 실행하고 그 결과를 관리할 수 있는지 그리고 사업주 입장에서는 보편적으로 적절한 기술적인 대책을 적용했을 때 제안된 노출기준을 준수할 수 있는지에 대한 가능성(feasibility)을 따져보았다. 결론적으로 DEOA의 제안된 노출기준(5 ppm)이 실행되더라도 노동부, 사업주가 이를 준수하기 위한 활동들은 실행 가능성이 있는 것으로 판단된다(<표 7-15> 참조). 보다 자세한 내용은 아래에 설명하였다.

<표 7-15> 제안된 DEOA노출기준 따른 실행가능성(feasibility)을 평가하기 위한 항목과 주요 내용

항목	주요 내용	실행주체	판정
법적관리	노출기준이 초과되었을 때 법적 조치 실행가능성 - TWA와 STEL의 엄격하게 낮아짐에 따른 초과 가능성이 현재보다 커짐 - 초과에 따른 법적 조치 업무 증가 예상 - 현재의 노출수준이 대부분 2 ppm 이하 - 법적관리업무 크게 증가되지 않을 것으로 판단	노동부	가능
노출평가: 작업환경 측정	DEOA에 대한 노출 평가에 대한 실행 가능성 - 사업주 DEOA에 대한 노출을 평가해야 함 : 주기적인 측정대상 항목(현재), 그러나 평가한 사업장은 없었음 - DEOA의 노출평가는 법적인 작업환경측정기관 보유장비로 쉽게 측정하고 분석할 수 있는 항목임 - 따라서 DEOA에 대한 노출 평가는 가능함	사업주, 작업환경 측정기관	가능
기술적인 대책	개정된 노출기준(TWA: 0.46 ppm)을 준수할 수 있는지에 대한 기술적인 실행 가능성 - DEOA를 취급하는 공정에서 국소배기장치를 설치하면 제안된 노출기준(0.46 ppm)이하로 유지할 수 있음 - 본 연구조사에서 측정한 결과는 모두 0.5 ppm이하	사업주	가능

가) 법적관리 측면

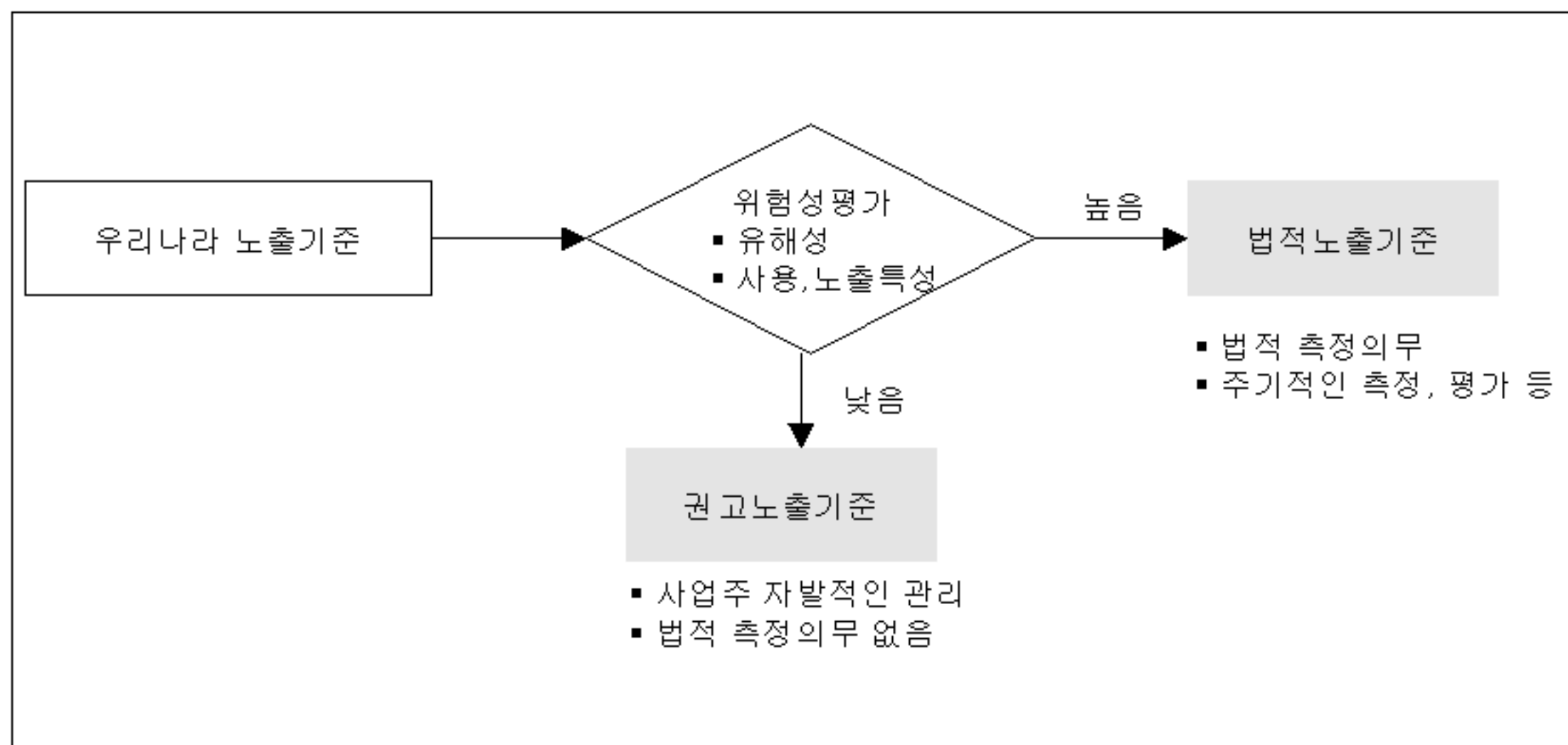
본 연구에서 제안한 DEOA노출기준을 법적으로 실행할 때 발생하는 행정적인 부담을 감당(실행)할 수 있는지를 평가하였다. 산업안전보건법 시행규칙 제 93 조 1항에 따르면 DEOA는 주기적인 작업환경측정 유해인자 항목이다(노동부, 2004). DEOA는 노동부가 법적, 행정적으로 측정여부, 측정농도 등을 관리해야 할 항목으로 새롭게 첨가된 측정대상이나 노출기준 항목이 아니다. 따라서 DEOA에 대한 노출기준을 개정한다고 해서 추가로 부과되는 법적 관리내용은 없다. 다만 2가지 측면에서 업무의 증가량은 따져보아야 한다.

첫째, 제안한 노출기준(TWA: 0.46 ppm)이 현재(TWA: 3 ppm)보다 엄격하게 강화되므로 노출기준을 초과할 확률은 높아지고, 이에 따라 법적조치에 해당하는 행정적인 업무량은 증가될 수 있다. 그러나 6항 “작업장내 근로자 노출실태” 연구결과를 볼 때 DEOA가 노출기준을 초과하는 경우는 크게 증가하지는 않을 것으로 판단된다. 즉 본 연구에서 평가한 12개 사업장 73개의 시료에서 72개가 제안한 노출기준 0.46 ppm을 초과하지 않았기 때문이다. DEOA이 대부분 간헐적으로 사용되는 첨가제이기 때문에 대부분의 사업장에서도 제안된 노출기준을 초과할 가능성은 높지 않을 것으로 판단된다. 따라서 새롭게 제안된 노출기준((TWA: 0.46 ppm)을 적용한다고 해도 노출기준 초과로 인해 급격하게 증가되는 법적행정적인 업무는 없을 것으로 판단된다.

둘째, DEOA이 법적으로 측정해야 하는 항목임에도 DEOA를 취급하는 사업장에서 측정을 하지 않았고, 노동부는 이에 대한 법적 조치를 취하지 않은 것에 대한 추가 관리 업무이다. 위험성평가에 근거하여 DEOA를 측정을 해야 하는가는 논란이 있을 수 있다. 그러나 DEOA는 산업안전보건법의 산업보건규칙에서 DEOA를 취급하는 사업장에서 측정을 해야 하는 항목이다. 그러나 본 연구에서 방문한 DEOA 취급 사업장은 측정을 하지 않았다. 측정을 하지 않은 이유는 언급하였던 대로 DEOA의 사용량이 적고 간헐적으로 사용하여 측정 대상인자로 인식하지 못했을 수도 있다. 따라서 앞으로 노동부가 DEOA를 측정하지 않은 사업장에 대해 측정의 의무를 알리고 측정결과에 따른 행정

적인 조치를 취해야 하는 것은 본 연구를 통해서 드러난 새로운 업무이다. 그러나 이러한 행정적인 업무량은 DEOA 노출기준의 강화로 부과되는 새로운 업무는 아니다.

산업안전보건법에서 화학물질로 인한 건강상의 장해를 예방하기 위한 3가지 주요 활동은 작업환경측정, 노출기준 그리고 특수건강진단으로 판단된다(<표 7-16>참조). 작업환경측정과 특수건강진단은 산업안전보건법 시행규칙에서 사업주가 구체적으로 실행해야 할 방법, 주기 등이 언급되어 있어 기술적이고 구체적인 법적기준(specification or technical standard)이라고 할 수 있다. OSHA에서처럼 주로 위험성이 큰 물질에 대한 기준이다. 반면에 노출기준은 고시에 규정되어 있지만 사업주가 어떻게 해야 하는지에 대한 구체적인 근거나 내용이 산업안전보건법에 없다. 이것은 사업주가 스스로 판단하여 지켜야 할 성과기준(performance standard)라고 할 수 있다([그림 7-4] 참조). 위험한 물질일 경우 사업주가 건강상의 장해를 예방하기 위해 해야 할 의무는 많아지고 이에 따라 노동부도 업무도 늘어난다.



[그림 7-4] 산업안전보건법에서 노출기준의 이원화에 대한 기본적인 모형

이미 언급한 것처럼 DEOA는 사업주가 주기적으로 작업환경측정을 해야 하고 노출기준도 준수해야 하는 항목이다. 본 연구결과의 “취급현황(2항)”과 “작업장내 노출실태에 근거하여 현재 DEOA에 대한 법적 규정(작업환경측정, 노출기준)이 효율성이 있는지 검토하였다. 왜냐하면 DEOA의 노출로 인한 건강상의 장해를 예방하기 위한 사업주의 적정한 의무수준을 규정하는 것이 바람직하기 때문이다. 자칫 사용여건을 고려하지 않은 법적 규정은 불필요한 의무, 비현실성을 초래하여 실효성이 떨어질 수 있기 때문이다.

나) DEOA는 법적 노출기준

사업주는 근로자 건강보호를 위해서 주기적으로 DEOA를 측정해야 하고 그 결과를 노동부에 보고하는 한편 기록도 보관해야 하는 법적 의무를 갖는다. 노동부도 DEOA에 대한 측정여부를 확인해야 하는 것은 물론 작업환경측정결과에 따라 적정한 행정적인 조치를 취해야 한다. 따라서 DEOA가 법적 노출기준으로 설정될 만큼 위험성이 높은 물질인가를 검토해보아야 한다.

<표 7-16> 화학물질에 대한 DEOA의 법적 규정내용과 개선방향

구분	작업환경측정대상	노출기준	비 고
산업안전보건법 산업보건규칙 제 93조 제 1 항 관련	유기화합물 : 113종 금속류 : 23종 산 및 알칼리류 : 17종 가스상물질류 : 15종 허가대상물질 : 14 종 분진 : 6종	700여종 (작업환경측정대상 물질 포함)	유기용제 : 55종 특정 화학물질 ; 42종 금속 및 중금속 : 11종 분진
DEOA : 현행	측정대상물질	노출기준 있음	해당 없음
DEOA : 개선	<u>측정대상제외</u>	노출기준 있음	해당 없음

다) 제안 : DEOA는 권고 노출기준이 적정

노출기준은 설정되어 있지만 주기적으로 측정하거나 건강진단을 해야 하는 대상이 아닌 경우는 법적 구속력은 없다. 즉 건강상의 장해를 예방하기 위해 사업주가 스스로 알아서 노출기준을 준수하는 것이다. 즉, 이러한 물질에 대해

서는 사업주의 구체적인 의무를 규정하지 않았다.

본 연구결과에서 나타난바와 같이 우리나라에서 DEOA의 사용특성, 노출특성 등을 검토할 때, 산업안전보건법에서 DEOA는 성과기준(performance standard) 혹은 권고기준으로 규정 하는 것이 보다 적절할 것으로 판단된다. 즉, 주기적인 작업환경측정 대상에서 제외하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 미국 OSHA도 위험이 크고 사용하는 공정이 많은 26개 물질(주로 발암물질)만 사업주가 구체적으로 준수해야 할 내용을 법적으로 규정하여 노출기준을 준수하도록 방법을 제공하고 이외의 물질은 성과기준으로 노출기준의 준수여부는 사업주가 판단하도록 하고 있다. OSHA의 법규에는 DEOA가 노출기준만 설정되어 있는 항목으로 성과기준이다. 법적으로 건강상의 장해를 예방하기 위해 노출기준을 준수할 구체적인 지침을 강제하지 않는 것이다.

결론적으로 말하면 DEOA의 위험성평가, 사용방법, 노출특성, 위험성 등을 근거로 판단할 때 법적 노출기준보다는 권고기준이 보다 타당할 것으로 판단된다([그림 7-5] 참조). 주요 이유는 다음과 같다.



[그림 7-5] DEOA에 대한 노출기준의 개정

첫째, DEOA 취급 작업이 간헐적이므로 외부에서 특정한 날에 방문하여 DEOA 노출에 대해서 평가하는 것은 정확하지 않기 때문이다. 오히려 사업주가 DEOA를 사용할 때 자발적으로 측정 하도록 유도하거나 측정 없이 공학적 행정적인 대책만으로 노출기준을 준수하도록 권고하는 것이 효과적일 수 있다.

둘째, 현재 DEOA는 법적으로 노출기준이 설정되어 있고 작업환경측정대상 물질임에도 불구하고 측정한 사업장이 없었다. 법적 노출기준임에도 불구하고 측정도 하지 않았고 이에 대한 행정적인 관리도 하지 않은 것이다. DEOA는 매우 간헐적으로 소량 사용하는 첨가제이기 때문에 주원료에 비해 위험성이 낮았거나 아니면 측정인자로 인식이 되지 않아 측정하지 않은 것으로 판단된다.

셋째, 측정을 주기적으로 해야 하는 항목이 많기 때문이다. 사용량이나 노출 근로자수 위험에 상관없이 유해성만을 근거로 정한 법적 노출기준이 다른 나라보다 많다. 향후 현재 주기적으로 측정을 해야 하는 법적 노출기준 항목에 대한 적정성도 연구할 필요가 있다.

넷째, 법적 집행력의 한계가 있기 때문이다. 주기적인 작업환경측정과 함께 노출평가 결과에 대한 조치 등에 한계가 있을 수 있기 때문이다.

라) 노출평가(작업환경) 측면

사업주가 DEOA의 노출기준을 준수하기 위해서 노출평가를 하고자 할 경우 사업장 자체에서 하는 경우도 있고 외부의 작업환경측정기관에 의뢰하는 경우도 있다. DEOA은 “연구방법”과 6장 “작업장내 근로자 노출실태”에서 설명하였듯이 작업환경측정기관이 법적 인력과 시설 및 장비 기준만 있다면 쉽게 측정하고 분석할 수 있다. 따라서 DEOA의 노출에 따른 평가 가능성은 문제될 것이 없다.

마) 기술적인 대책측면

본 연구에서 제안한 DEOA의 노출기준 TWA(0.46 ppm)를 준수하기 위해 사업주가 기술적인 대책을 적용했을 때 실행가능성을 의미한다. 즉, 공학적인

대책 기술을 적용해도 노출기준이 준수할 수 없을 정도로 낮다면 실행가능성이 없는 것이다. 본 연구에서 조사한 DEOA를 취급하는 사업장은 모두 해당 공정에서 적절한 국소배기장치를 설치하였고 평가된 DEOA농도도 제안된 노출기준 TWA: 0.46 ppm이하였다. 따라서 DEOA를 취급되는 공정에서 국소배기장치 등 적절한 기술의 공학적인 대책을 수립하면 제안된 노출기준들을 준수할 수 있을 것으로 판단된다.

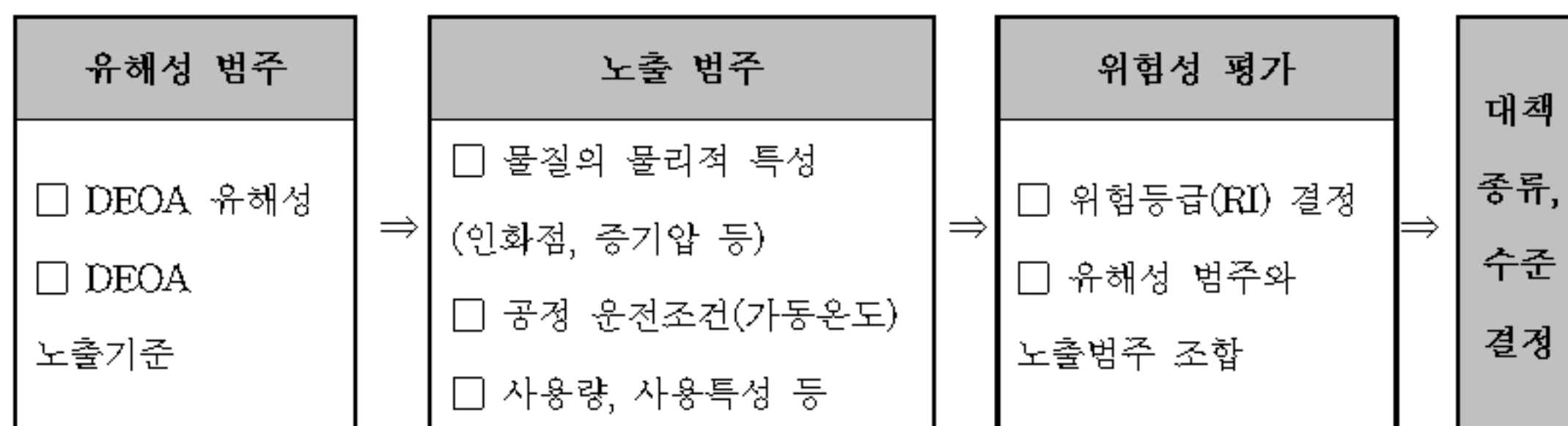
8. 취급근로자 건강장해 예방조치

가. 위험성 평가에 근거한 DEOA위험 대책 개요

(1) 본 연구에서 활용한 위험성 평가에 근거한 관리대책 사례

노동부나 사업장에서 관리해야 할 유해인자의 특성은 독성이나 유해성 뿐만 아니라 근로자의 노출가능성까지 고려한 위험(risk)이다. 즉 유해인자의 유해성이 실제 나타날 수 있는 위험을 평가하고 위험의 우선순위에 따라 관리하는 것이 원칙이다. 위험의 정도에 따라 대책의 수준(level)도 결정된다. 위험이 큰 유해인자일수록 노출이 되지 않도록 엄격한 대책을 적용해서 위험을 줄여야 한다. 이에 비해 위험이 낮은 유해인자는 간단한 관리대책(보호구지급, 교육 등)으로도 위험을 관리할 수 있다(화학방재연구센터, 2005)

Topping et al.(1998)은 유해인자의 위험을 효과적으로 관리하기 위한 Health and Safety Executive (HSE)의 Scheme모형을 개발하였다. 이 모형은 유해인자의 유해성과 노출가능성을 고려하여 일반적인 위험평가(generic risk assessment)를 한 다음 이를 근거로 유해인자 대책수준을 결정한다([그림 8-1] 참조). 국제노동기구(International Labour Office, 이하 ILO라 함)도 화학물질의 위험평가에 근거한 관리대책을 제안하였다(<표 8-1> 참조). ILO는 유해물질의 유해성, 유해물질의 사용량 그리고 유해물질의 증발가능성을 조합하여 위험을 평가하고 위험등급(risk index, RI)에 따라 대책수준을 구분하였다. 위에서 설명한 위험성평가 사례들을 본 연구에서 DEOA에 대한 위험을 관리하기 위한 전략으로 활용하였다. 즉, DEOA를 취급하는 업종별 공정별 위험등급에 따라 적절한 예방대책을 제안하였다.



[그림 8-1] 영국 HSE에서 제안한 위험성평가에 따른 관리대책 수준의 결정 과정

<표 8-1> ILO 위험성평가 사례. 화학물질의 유해성, 증발가능성, 사용량에 따른 위험 등급

1일 사용량	증발가능성 “저”	증발가능성 “중”	증발가능성 “고”
유해성그룹 I : 급성독성(치명), 피부, 눈 자극초래 화학물질			
mL	RI I	RI I	RI I
L이하	RI I	RI I	RI II
m'이하	RI I	RI I	RI II
유해성 그룹 II : 급성독성 초래(치명, 전신독성) 화학물질			
mL	RI I	RI I	RI I
L이하	RI I	RI II	RI II
m'이하	RI I	RI II	RI III
유해성 그룹 III : 급성독성 초래(치명, 전신독성), 피부, 눈, 호흡기자극, 감각 화학물질			
mL	RI I	RI II	RI II
L이하	RI II	RI III	RI III
m'이하	RI II	RI IV	RI IV
유해성 그룹 IV : 급성독성 초래(치명, 전신독성), 동물 발암성, 생식독성 화학물질			
mL	RI II	RI III	RI III
L이하	RI III	RI IV	RI IV
m'이하	RI III	RI IV	RI IV
유해성 그룹 V : 변이원성, 인간 발암성, 호흡기감작 화학물질			

<표 8-2> ILO 위험등급별 관리대책 수준 (ILO chemical control toolkit)

위험등급	대책
RI I (위험 매우 낮음)	- 일반적인 예방조치 원칙 준수(general principles) - 병이나 드럼을 일정 장소에 보관
RI II (위험 낮음)	- 일반적인 예방조치 원칙 준수(general principles) - 환기가 되는 작업대, 부스에서 취급(ventilated workbench or cupboard) - 액체물질을 운반 이송할 때 컨베이어에 의한 이동 - 반응기에 물질을 투입할 때 드럼이나 병에 들어있는 물질을 체결하여 투입 - 반응기에 드럼을 드럼펌프로 체결하여 투입 - 액체와 액체를 혼합
RI III (위험 중간)	- 일반적인 예방조치 원칙 준수(general principles) - 그립박스(일종의 포위식)에서 취급(ventilated workbench or cupboard) - 국소배기장치에 의한 제거 - 반응기에 드럼을 드럼펌프로 체결하여 투입 - 액체와 액체를 혼합
RI IV (위험 높음)	- 해당없음(특별한 조치)

내용 주

- RI : risk index(위험등급)

(2) 업종별 공정별 DEOA 위험등급 총괄

<표 8-3>은 DEOA를 취급하는 업종별 공정별 위험등급을 종합한 것이다. 2항의 “취급현황”에서 DEOA에 대한 유해성과 노출가능성(노출범주)을 각각 평가한 다음 이들을 조합하여 업종 및 공정별로 위험등급을 결정하였다. DEOA를 취급하는 공정별 DEOA에 대한 위험등급은 수용성 금속가공유를 사용하는 기계가공 공정을 제외하고 위험이 “매우 낮거나(RI I)”, “낮은(RI II)”상태였다. 산업장에서 사용되는 DEOA의 노출에 대한 위험은 크지 않은 것으로 판단된다. 이것은 다음과 같은 이유 때문으로 판단된다.

첫째, DEOA의 증기압은 0.01 mmHg이하로 상온에서 증발이 잘 일어나지 않기 때문에 공정온도가 지나치게 높거나 미스트가 발생되지 않으면 공기 중으로 증발되지 않는다. 따라서 상온에서 취급하는 작업에서 호흡기를 통한 DEOA 노출은 거의 일어나지 않는다.

둘째, 대부분의 공정에서 DEOA는 간헐적으로 취급되며 취급 장소도 실외인 경우가 많아 노출의 위험은 높지 않다. 옥내(실내)에서 취급하더라도 DEOA의 특성상 노출의 위험은 높지 않다.

셋째, DEOA를 취급하는 공정에서 자동 혹은 반자동으로 공정이 운영되므로 근로자가 DEOA에 직접 그리고 장시간 접촉되어 노출될 가능성이 낮기 때문이다.

반면에 DEOA에 대한 노출위험이 어느 정도 존재하는 공정도 있다. 수용성 금속가공유를 취급하는 기계, 장비제조업으로 위험등급은 중간이 "RI III"이다. DEOA를 취급하는 공정에서 가장 위험이 높은 업종이다. 이 업종에서 DEOA에 대한 노출의 정도는 기계기구, 장비의 가공방법, 수용성 금속가공유에서 DEOA 함유정도 등에 따라 다르지만 전반적으로 근로자가 DEOA를 직접 취급하기 때문에 노출가능성은 높다.

<표 8-3> 업종별 공정별 DEOA 위험등급 총괄

업종(산업분류)	공정	취급 형태	노출 범주	유해성 범주	위험 등급
기타 화학제품제조업: DEOA 제조 판매 (산업분류:243)	반응 저장	- 자동운전 - 노출위험 없음	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
	포장	- 수동 포장	II (낮음)	II (낮음)	II (낮음)
기타화학제품제조업: DEOA 수입 판매 (산업분류:243)	저장	- 반자동 저장 - 실외작업 - 노출위험 없음	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
	포장	- 수동 포장	II (낮음)	II (낮음)	II (낮음)
석유정제품제조업: DEOA 황화수소 흡착 (산업분류:232)	저장 반응 정비	- 자동운전 - 노출위험 없음	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
화합물 및 화학제품제 조업:수용성 금속가공 유 제조 (산업분류:24)	혼합 (첨가)	- 반자동 첨가 - 옥내작업 - 간헐적 취급	II (낮음)	II (낮음)	II (낮음)
	저장	- 수동 저장 - 수동 운송 등	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
화합물 및 화학제품제 조업: PPG제조 (산업분류:24)	혼합 (첨가)	- 반자동 첨가 - 실외작업	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (낮음)
	저장	- 수동 저장 - 수동 운송 등	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
의약품제조업: 주사제 제조 (산업분류:242)	DEOA 무게 잴	- 반자동 - 소량 취급	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
	조제 및 충전	- 무균실 - 소량 취급	I (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
기계, 장비제조업: 수용성금속가공유사용 (산업분류:29, 34,341,342,35,351,352,35 3,359)	탱크	- DEOA순환	II (매우 낮음)	II (낮음)	I (매우 낮음)
	기계 가공	- 직접 취급 - 다량 취급	III (중간)	II (낮음)	III (중간)

내용 주

- DEOA : diethanolamine
- PPG : Polyol
- RI : Risk Index

나. DEOA의 위험을 관리하기 위한 대책 제안 과정 요약

(1) 대책 제안 과정

동일한 물질을 사용하더라도 노출을 억제하고 건강상의 장해를 예방하기 위한 대책은 공정별/작업별로 다르다. 본 연구에서도 DEOA의 노출로 인한 건강장해를 예방하기 위한 대책을 업종별 공정별로 구분하여 설명하였다. 노동부 과업 지시서에 따라 업종별 공정별 대책을 구체적으로 “작업환경관리요령”, “유해물질(DEOA) 안전관리 요령”, “보호구착용” 그리고 “응급조치 요령”으로 구분하여 제안하였다([그림 8-2] 참조).

가) 작업환경관리요령

작업환경관리요령은 보건상의 조치로서 국소배기장치, 전체환기장치 등 환기를 중점으로 대책을 제안하였다. 추가로 안전상의 조치는 최소한의 법적 의무규정만을 포함하여 설명하였다.

나) DEOA에 대한 안전한 취급요령

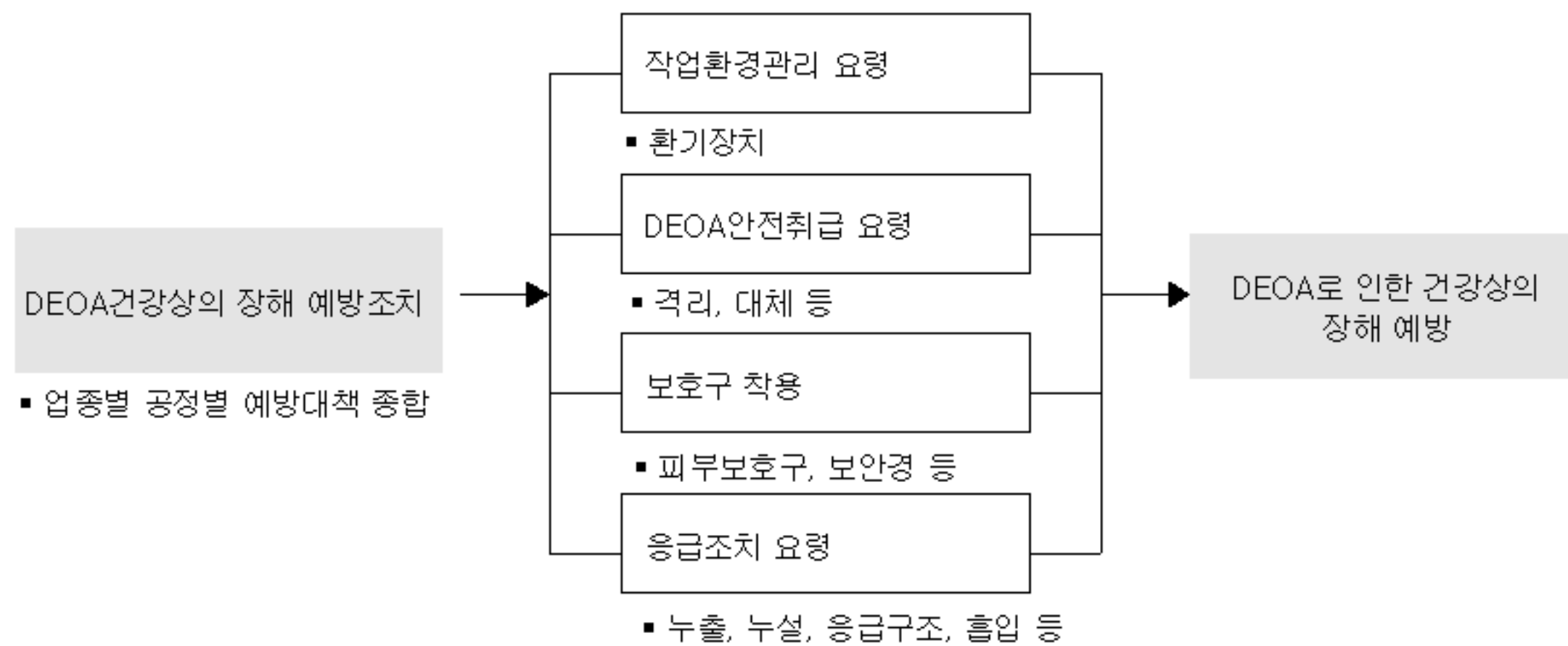
DEOA에 대한 안전한 취급요령은 제거, 격리, 대체 등 물질관리에 중점을 두고 대책을 마련하였다.

다) 보호구 착용

보호구 착용은 공정별 작업특성에 따라 착용해야 할 적절한 보호구를 제안하였다.

라) 응급조치 요령

마지막으로 DEOA의 노출이나 누설로 인해 발생하는 위험상황에서 조치해야 할 응급조치요령을 설명하였다.



[그림 8-2] DEOA위험을 예방하기 위한 대책 제시 과정

(2) 위험등급별 대책 구분

<표 8-4>는 본 연구에서 평가한 위험등급에 따라 공학적, 행정적 대책수준을 결정하였다. 또한 안전상의 조치도 함께 수립하였다. DEOA가 발생하는 주요 업종별 공정별로 위험등급을 종합하고 그에 따른 건강장해 예방조치 내용을 요약한 것이다. 이것은 2항 “취급현황”에서 평가한 공정별 위험등급(<표 8-4> 참조)에 따라 공학적 행정적 예방대책(조치)에 대한 수준이다.

본 연구에서 대책 수준에 대한 판단은 아래의 연구나 보고내용을 참고하여 결정하였다.

- 본 연구에서 수행한 현장 조사
- OSHA의 DEOA에 대한 산업보건지침(occupational health guideline for DEOA)의 내용(OSHA, 1978)
- HSE의 위험평가 모델(Topping 등, 1998)
- ILO의 위험등급에 따른 대책인 “ILO Chemical Control Tool Kit”를 참조하였다(ILO, 2003).

<표 8-4> 위험등급별 DEOA의 위험을 관리하기 위한 대책의 구분

위험등급	보건상의 조치		안전상의 조치
	공학적인대책(작업환경관리)	유해물질관리 및 보호구 착용	
RI I	전체환기 국소배기장치(권고)	일반적인 안전관리 원칙 준수 MSDS 게시, 격리된 보관창고	전체환기 탱크 방유제
RI II		보호구 착용(피부, 보안경 등) 주기적인 노출평가(권고)	
RI III	국소배기장치 전체환기장치 공정 가능한 밀폐 공정 자동화(권고)	주기적인 노출평가 추가	
RI IV	국소배기장치 전체환기장치 공정 자동화 노출을 억제하기 위한 모든 대책 수립 ※ 해당 없음	주기적인 노출평가 추가 특수건강진단 추가 ※ 해당 없음	

다. 업종별 공정별 DEOA의 위험을 관리하기 위한 대책 종합

(1) 기타 화학제품 제조업: DEOA 제조 판매

DEOA를 제조하여 판매하는 사업장으로 기타 제품제조업종에서 단지 1개소이다. DEOA를 제조하는 사업장에서 DEOA에 노출될 가능성이 있는 공정은 반응과 포장이다.

① 반응과 저장

화학공장으로 중앙 조정실에서 자동으로 운전되고 실외에 탱크가 설치되어 있어 근로자가 DEOA를 직접 취급할 필요가 없다. 즉 DEOA와 근로자가 안전하게 격리(isolation)된 상태이다. 따라서 반응과 저장탱크에서 DEOA의 위험등급은 가장 낮은 "I"이다. 위험등급 "I"인 경우 근로자의 건강보호를 위한 작업환경관리요령, DEOA 안전취급요령에 대한 특별한 대책은 없다. 다만, DEOA를 취급하거나 노출될 가능성이 발생하는 경우 피부보호구와 보안경을 착용하면 된다. 반응과 저장에서 유일하게 DEOA에 노출될 수 있는 작업은 저장탱크를 정비하거나 수리할 때이다. 이 작업을 수행할 때는 저장 탱크의 내부 공기를 충분히 치환시킨 후 호흡 및 피부보호구와 보안경을 착용하고 안전한 작업요령에 따라 작업하면 된다.

반응과 저장시 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 해당없음(실외, 자동공정, 완전 밀폐와 격리)
- DEOA관리 요령 : 해당없음(실외, 자동공정, 완전 밀폐와 격리)
- 보호구착용 : DEOA를 저장했던 탱크를 정비할 때만 필요

② 포장

저장탱크에 저장된 DEOA를 포장하는 공정이다. 포장의 종류는 탱크로리로 직접 적재(loading)하거나 드럼포장(200 kg)이다. DEOA를 근로자가 포장하므로 노출가능성은 있다. 그러나 실외에서 수행하고 DEOA의 증발가능성이 낮으므로 포장공정에서 DEOA위험등급은 매우 낮거나(I) 낮은 것(II)으로 평가하였다.

☐ 탱크로리 적재(loading)에 의한 포장

DEOA저장탱크와 연결된 파이프라인이 탱크로리의 하부에 체결되면 자동으로 적재(loading)된다. 적재된 양만큼 탱크 로리 상부에서 빠져나가는 증기가 있다. 이것은 공기일 것으로 판단된다. DEOA는 상온에서 증발이 거의 발생되지 않을 것으로 판단하기 때문이다(증기압 : < 0.01 mmHg).

따라서 탱크로리 작업으로 인한 환경오염이나 노출의 문제는 없을 것으로 판단된다. 탱크로리적재는 실외에서 이루어지고 하부적재방법을 활용하므로 노출은 거의 일어나지 않을 것으로 판단된다. 따라서 탱크로리에 의한 포장작업에서 DEOA의 노출로 인한 건강장해 예방대책은 피부보호구 착용과 적절한 작업방법을 준수하면 충분할 것으로 판단된다. 탱크로리 적재할 때 DEOA가 누출되어 환경 중으로 배출되지 않도록 적절한 조치를 취하고 작업한다.

탱크로리 포장 시 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 해당없음(실외)
- DEOA관리 요령 : MSDS게시, 누출방치 조치를 취하고 수행
- 보호구착용 : 보안경, 피부보호구 착용

□ 드럼포장

드럼(200 kg) 포장은 로드셀 (자동저울)에 올려서 무게를 잰 다음 200 kg이 포장된다. DEOA는 상온에서 증발이 거의 발생되지 않으므로 노출은 크지 않을 것으로 판단된다. 그러나 포장 작업이 대부분 실내이므로 전체환기장치의 설치는 필요하다. 또한 포장 작업시 미스트가 발생될 수 있으므로 국소배기장치의 설치를 고려할 필요가 있다. 결론적으로 드럼 포장작업에서 DEOA의 노출로 인한 건강장해 예방대책은 피부보호구 착용과 적절한 작업방법을 준수하면 충분할 것으로 판단된다. 안전조치로 눈을 포함한 피부에 DEOA가 묻었을 경우 즉시 씻을 수 있는 세안설비(eye shower)의 설치가 필요하다.

드럼 포장 시 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 전체환기 장치 설치, 세안설비설치, 국소배기장치 설치(권고)
- DEOA관리 요령 : MSDS게시
- 보호구착용 : 보안경, 피부보호구 착용

<표 8-5> 업종별 공정별 DEOA 노출을 방지하기 위한 예방대책(조치) 종합

업종	공정	위험등급(RI)	작업환경관리요령	DEOA 안전취급요령	보호구착용
기초화학 제품제조 업 :DEOA 제조, 판 매	반응 저장	RI: I (매우 낮음)	보건상의 조치 - 해당없음	격리 - 자동공정 가능 대체 : 해당없음 MSDS게시	해당없음
	포장	RI: II (낮음)	보건상의 조치 - 전체환기장치 설치 - 국소배기장치 설치 (권고) - 세안설비 설치	격리, 대체: 해당없음 MSDS게시 주기적인 측정(권고)	피 부 보 호 구, 보안경
기초화학 제품제조 업: DEOA수 입판매	저장	RI: I (낮음)	보건상의 조치 - 해당없음	격리 - 반자동작업 대체: 해당없음 MSDS게시	피 부 보 호 구, 보안경 - DEOA저장 - DEOA포장
	포장	RI: II (낮음)	보건상의 조치 - 전체환기장치 설치 - 국소배기장치 설치 (권고) - 세안설비 설치	격리, 대체: 해당없음 MSDS게시 주기적인 측정(권고)	
석유정제 품제조업 :DEOA 황화수소 흡착	반응	RI: I (매우 낮음)	보건상의 조치 - 해당없음	격리 - 자동공정 가능 대체 - MEOA 대체(고려) MSDS게시	피 부 보 호 구, 보안경
화학제품 제 조 업 : 수용성금 속가공유 제조	혼합	RI: II (낮음)	보건상의 조치 - 전체환기장치 설치 - 세안설비 설치	격리, 대체: 해당없음 MSDS게시 주기적인 측정(권고)	피 부 보 호 구, 보안경
	보관 창고	RI: I (매우 낮음)	보건상의 조치 - 전체환기 설치	격리, 대체: 해당없음 MSDS게시	해당없음

내용 주

- DEOA : diethanolamine
- PPG : Polyol
- RI : Risk Index

<표 8-5> 계속

업종	공정	위험등급(RI)	작업환경관리요령	DEOA 안전취급요령	보호구착용
화학제품 제조업 : PPG제조	첨가	RI: II (낮음)	보건상의 조치 - 환기(해당없음) - 세안설비 설치	격리, 대체: 해당없음 MSDS게시 주기적인 측정(권고)	피부보호구, 보안경
	보관 창고	RI: I (매우 낮음)	보건상의 조치 - 전체환기 설치 - 세안설비 설치	격리, 대체: 해당없음 MSDS게시	해당없음
의약품제 조업: 주사제 제조	DEO A 무계 첨	RI: I (매우 낮음)	보건상의 조치 - 전체환기 설치	격리 - 무균실	해당없음
	조제 및 충전	RI: I (매우 낮음)	보건상의 조치 - 전체환기 설치	격리 - 무균실	
기계, 장 비제조업: 수용성금 속가공유 사용	탱크	RI: II (낮음)	보건상의 조치 - 환기: 해당없음 - 세안설비 설치 - 밀폐	격리 - 자동공정 가능 대체 - MEOA, TEOA (의미없음) MSDS게시	피부보호구, 보안경 호흡보호구
	기계 가공	RI: III (중간)	보건상의 조치 - 국소배기장치 설치 - 전체환기장치 설치 - 세안설비 설치 - 밀폐	격리 - 자동공정 가능 (권고) 대체 - MEOA, TEOA 주기적인 측정(권고)	피부보호구, 보안경 호흡보호구

내용 주

- DEOA : diethanolamine
- PPG : Polyol
- RI : Risk Index

(2) 기타 화학제품 제조업: DEOA 수입 판매

DEOA를 수입하여 저장탱크에 저장한 다음 필요할 때 포장하여 판매한다. 기타화학제품제조업에서 수입하여 저장하고 판매하는 사업장은 1개소이다. DEOA에 노출될 수 있는 작업은 저장과 포장이다.

① 탱크로리에서 DEOA저장탱크로 저장

탱크로리에서 DEOA탱크로 연결되는 파이프를 연결하면 자동으로 이송되어 저장된다. 작업이 반자동이고 실외에서 이루어지므로 노출위험은 크지 않아 DEOA의 위험등급은 가장 낮은 "I"로 평가하였다. 위험등급 "I"인 경우 근로자의 건강보호를 위한 작업환경관리요령, DEOA 안전취급요령에 대한 특별한 대책은 없다. 다만, DEOA를 취급하거나 노출될 가능성이 발생하는 경우 피부 보호구를 착용하면 된다.

DEOA 탱크 저장 시 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 해당없음(실외, 반자동)
- DEOA관리 요령 : MSDS게시, 세안설비 설치
- 보호구착용 : 보안경, 피부보호구 착용

② 드럼 포장

드럼(200 kg) 포장은 로드셀 (자동저울)에 올려서 무게를 잰 다음 200 kg이 포장된다. DEOA는 상온에서 증발이 거의 발생되지 않으므로 노출은 크지 않을 것으로 판단된다. 그러나 포장 작업이 대부분 실내이므로 전체환기장치의 설치는 필요하다. 또한 포장 작업시 미스트가 발생될 수 있으므로 국소배기장치의 설치를 고려할 필요가 있다. 즉 DEOA가 낙하되어 포장되면서 미스트가 발생되면 노출위험은 클 수 있다. 노출을 억제하기 위한 방안으로 포장기 위에 국소배기장치의 설치를 고려할 필요가 있다. 포장실 주변에 세안설비(eye shower)의 설치가 필요하다. 또 다른 DEOA의 노출로 인한 건강장해 예방대

책은 피부보호구 착용과 적절한 작업방법을 준수하면 충분할 것으로 판단된다. 안전조치로 눈을 포함한 피부에 DEOA가 묻었을 경우 즉시 씻을 수 있는 세안설비의 설치가 필요하다.

드럼 포장 시 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 전체환기 장치 설치, 국소배기장치 설치(권고)
- DEOA관리 요령 : MSDS게시, 주기적인 작업환경측정(권고)
- 보호구착용 : 보안경, 피부보호구 착용

(3) 석유정제품 제조업 : DEOA 황화수소 흡착

원유를 정제하는 모든 업종에 해당된다. DEOA는 원유를 정제할 때 발생된 부산물 가스인 황화수소를 흡착하여 제거하는데 활용된다. DEOA가 탱크로리로 저장탱크에 적재(unloading)된다. 저장탱크에 들어있는 DEOA는 자동으로 흡착탑으로 이송되어 황화수소를 흡착하는데 활용된다. 모두 밀폐된 시스템에서 자동으로 중앙조정실에서 통제되므로 DEOA에 노출될 위험은 매우 낮다. 따라서 석유정제업에서 DEOA취급으로 인한 위험등급은 "I"로써 매우 낮다. 따라서 특별한 작업환경관리대책이나 DEOA안전한 관리대책은 없고 탱크로리 작업자는 피부보호구를 착용하면 된다.

황화수소 흡착 반응 시 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 해당없음
- DEOA관리 요령 : 격리, 대체(monoethanolamine, triethanolamine 대체 검토), MSDS게시
- 보호구착용 : 해당없음

(4) 화합물 및 화학제품제조업: DEOA가 함유된 수용성 금속가공유 제조

수용성 금속가공유를 제조하는 업종에 해당된다. DEOA가 함유된 수용성

금속가공유를 제조하여 기계, 장비를 제조하는 업종에 판매한다.

① 혼합 : DEOA첨가

DEOA를 수용성 금속가공유에 첨가한다. 수용성 금속가공유 탱크에 일정량의 DEOA를 진공파이프를 통해서 자동으로 혼합된다. 근로자는 반자동으로 DEOA를 취급한다. 혼합에서 위험등급은 낮은 “II”이다. 국소배기장치의 설치 는 필요없다. 전체환기장치의 설치면 충분하다. DEOA를 취급할 경우 보안경, 피부보호구를 착용하고 적절한 작업요령에 따라 작업하면 된다.

DEOA 첨가시 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 전체환기 장치 설치, 세안설비 설치
- DEOA관리 요령 : MSDS게시, 주기적인 작업환경측정(권고)
- 보호구착용 : 보안경, 피부보호구 착용

② DEOA보관창고

DEOA를 드럼으로 운반하고 저장하는 곳이다. 드럼으로 밀폐되어 있으므로 노출될 우려는 없다. 보통 다른 화학물질과 함께 보관하므로 일반적인 보건, 안전상의 조치를 취하면 된다.

DEOA를 보관창고에서 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 전체환기 장치 설치
- DEOA관리 요령 : MSDS게시
- 보호구착용 : 해당없음

(5) 화합물 및 화학제품제조업: PPG에 DEOA 첨가

PPG(Polyol)를 제조하는 업종에만 해당된다. PPG에 가교제로써 DEOA를 첨가한다.

① 혼합 : DEOA첨가

DEOA를 PPG유에 첨가한다. PPG탱크에 일정량의 DEOA가 진공파이프를 통해서 자동으로 혼합된다. 근로자는 반자동으로 DEOA를 취급한다. 혼합에서 위험등급은 매우 낮은 “I”이다. 국소배기장치의 설치는 필요없다. 전체환기장치의 설치면 충분하다. DEOA를 취급할 경우 보안경, 피부보호구를 착용하고 적정한 작업요령에 따라 작업하면 된다.

DEOA 첨가시 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 전체환기 장치 설치(실외일 경우 불필요), 세안 설비 설치
- DEOA관리 요령 : MSDS게시, 주기적인 작업환경측정(권고)
- 보호구착용 : 보안경, 피부보호구 착용

② DEOA보관창고

DEOA를 드럼으로 운반하고 저장하는 곳이다. 드럼으로 밀폐되어 있으므로 노출될 우려는 없다. 보통 다른 화학물질과 함께 보관하므로 일반적인 보건, 안전상의 조치를 취하면 된다.

DEOA를 보관창고에서 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 전체환기 장치 설치
- DEOA관리 요령 : MSDS게시
- 보호구착용 : 해당없음

(6) 의약품 제조업: 주사제(DEOA) 원료

의약품에서 DEOA가 의약품의 원료로 첨가되는 업종에 해당된다. DEOA가 주사제의 원료로 첨가된다. 의약품으로 안전성이 검증되었으므로 노출에 따른 건강상의 장해 위험은 없는 것으로 판단된다. 따라서 특별한 보건상의 조치는 필요 없을 것으로 판단된다. DEOA를 소량 취급하는 장소에서 보관에 따른

전체환기장치 설치와 MSDS게시는 필요할 것으로 판단된다.

DEOA를 취급하는 장소: 무게재는 곳

- 작업환경관리 요령 : 전체환기 장치 설치
- DEOA관리 요령 : MSDS게시
- 보호구착용 : 해당없음

(7) 기계, 장비 제조업: DEOA가 함유된 수용성 금속가공유를 사용

기계, 장비 등을 제조하는 모든 업종에서 수용성 금속가공유를 사용하는 업종이 포함된다.

① 탱크(sump) : 수용성 절삭유가 모여 있는 곳

수용성 금속가공유가 순환하는 탱크이다. 즉 DEOA가 포함된 수용성 금속가공유가 가공되는 기계에 뿌려진 후 모이는 탱크이다. 탱크에서 다시 순환되어 기계가공에 뿌려진다. 근로자가 가끔 탱크에 있는 수용성 금속가공유를 점검, 취급할 때 노출될 수 있다. 위험등급은 낮은 “II”이다. 국소배기장치의 설치 필요없고 탱크의 밀폐는 필요하다.

탱크에서 대책 종합

- 작업환경관리 요령 : 세안설비 설치, 탱크 밀폐
- DEOA관리 요령 : MSDS게시
- 보호구착용 : 탱크 점검시 보안경, 피부보호구 착용

② 기계가공

기계를 가공할 때 DEOA가 포함된 수용성절삭유가 뿌려진다. 기계기구를 직접 근로자가 취급하므로 수용성 금속가공유에 노출될 수 있다. 노출정도는 가공되는 기계의 특성, 수용성절삭유의 특성에 따라 다르지만 일반적으로 DEOA가 포함된 미스트에 노출될 수 있다. 위험등급은 DEOA를 취급하는 공

정에서 가장 높은 “III”이다. 따라서 엄격한 작업환경관리, DEOA관리가 요구된다.

기계가공

- 작업환경관리 요령 : 전체환기 장치 설치, 국소배기장치 설치, 공정 밀폐, 자동화(권고), 세안설비 설치
- DEOA관리 요령 : MSDS게시, 주기적인 작업환경측정
- 보호구착용 : 피부보호구, 보안경, 호흡보호구 착용

라. DEOA위험을 관리하기 위한 구체적인 작업환경관리요령

(1) 환기장치(ventilation)

환기는 DEOA가 작업환경(공기) 중으로 배출된 후에 가능하면 근로자에게 호흡기 노출이 일어나지 않도록 관리하는 공학적인 대책이다. 업종별 공정별 위험에 따라 설치해야 할 환기장치를 <표 8-6>에 요약하였다. 구체적인 환기의 형태 등 구체적인 사양은 작업의 특성에 맞게 추가로 대책을 수립해야 한다. DEOA의 증기압(mmHg)이 0.01 mmHg이하로 매우 낮기 때문에 상온에서 공기 중으로 증발할 가능성이 매우 낮다. 따라서 작업특성으로 인해 DEOA가 미스트로 발생되지 않으면 상온에서 공기 중으로 증발되어 호흡기 노출이 일어날 가능성은 매우 낮다. 공정과 작업특성에 따라 설치해야 할 환기장치의 종류와 이유를 설명하면 아래와 같다.

가) 국소배기장치를 설치해야 할(권고할) 업종의 공정

☐ 포장공정 : 기초화학제품 제조업에서 DEOA를 판매

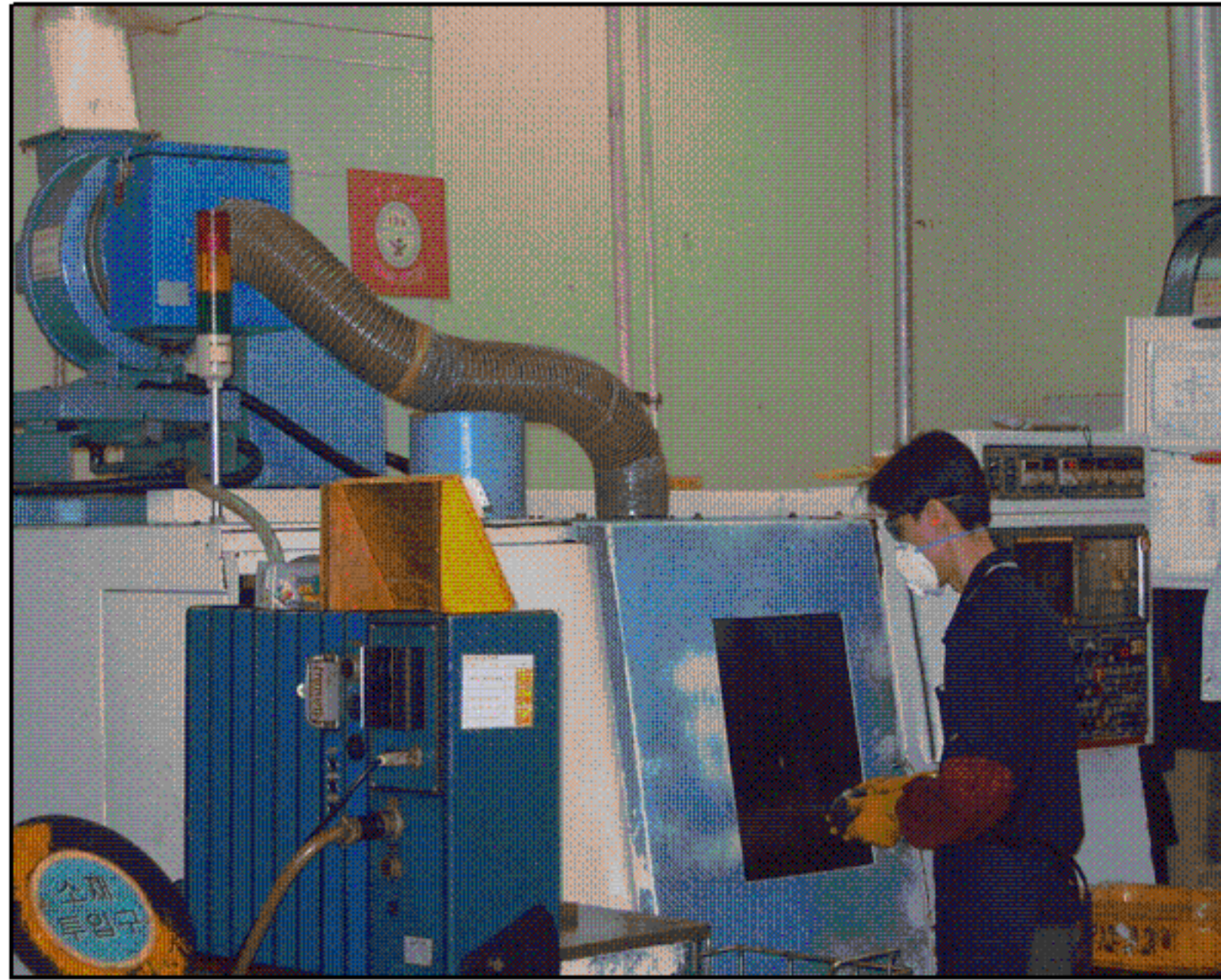
DEOA를 직접 제조하거나 수입하여 200 kg 드럼에 포장하는 작업이다. 포장은 파이프라인을 통해서 드럼의 입구로 떨어져서 이루어진다. DEOA가

떨어질 때 DEOA미스트가 발생될 가능성은 있지만 높지 않다. DEOA가 증기로 발생될 가능성은 낮기 때문이다. 그러나 노출을 근원적으로 예방하고 노출가능성을 최소화하기 위해서는 상부에 국소배기장치를 설치하는 것이 바람직하다. 또한 작업빈도, 작업특성 등을 고려하여 설치여부를 결정할 수 있다. 위험등급이 II로 낮아 반드시 국소배기장치를 설치할 필요는 없지만 설치하면 노출을 억제할 수 있다.



[그림 8-3] DEOA를 포장하는 포장기 위에 설치된 국소배기장치

□ 기계가공공정 : 기계가공시 수용성 금속가공유를 이용한 가공 기계, 장비를 가공할 때 DEOA를 포함한 수용성 금속가공유가 공기 중으로 배출되지 않도록 밀폐형 국소배기장치를 설치해야 한다. 기계가공 특성에 따라 설치되는 국소배기장치의 형태는 매우 다양하다.



[그림 8-4] 수용성 금속가공유가 사용되는 기계가공
공정에서 국소배기장치.

나) 전체환기장치를 설치해야 할 업종 및 공정

전체환기장치는 실내 공간이면 유해물질의 취급과 상관없이 설치해야 한다. DEOA를 실내에서 취급할 경우 전체환기장치를 설치해야 한다. DEOA를 보관하는 창고 그리고 DEOA를 첨가, 혼합, 포장하는 공정에는 전체환기장치를 설치해야 한다.

(3) 환기장치를 설치할 필요가 없는 공정

실외작업이나 자동공정이 이루어지는 DEOA반응탱크, 저장탱크, 첨가, DEOA에 의한 황화수소 흡착 등은 환기장치를 설치할 필요가 없다. 실외에서 자동 혹은 반자동으로 이루어지는 저장작업도 환기장치가 필요하지 않다. 석유정제업에서와 같이 DEOA가 황화수소를 흡착하는 공정도 모두 자동으로 이루어지므로 역시 환기장치는 불필요하다. 또한 PPG탱크에 DEOA를 첨가하는 경우도 작업이 간헐적이고 실외에서 이루어지므로 특별한 환기장치가 필요하

지 않다. 그러나 만일 옥내(실내)에서 이루어지는 작업인 경우 전체환기장치는 필요하다.

<표 8-6> 업종별 공정별로 설치해야 할 환기장치의 형태와 이유

업 종	공정	국소배기장치	전체환기장치	이 유
기초화학제품제조업 :DEOA제조, 판매	반응 저장	해당없음	해당없음	실외작업, 자동공정
	포장	필요(권고)	필요(실내) 해당없음(실외)	DEOA증기압 낮음 DEOA노출억제
기초화학제품제조업: DEOA수입판매	저장	해당없음	해당없음	실외공정, 자동공정
	포장	필요(권고)	필요(실내) 해당없음(실외)	DEOA증기압 낮음 DEOA노출억제
석유정제품제조업 :DEOA 황화수소흡착	저장	해당없음	해당없음	실외작업, 반자동공정
	반응	해당없음	해당없음	자동공정
화학제품제조업: 수 용성금속가공유제조	혼합	해당없음	필요(실내) 해당없음(실외)	실외작업, 반자동공정
	보관창고	해당없음	필요	전체환기: 안전상의 조 치
화 학 제 품 제 조 업 : PPG제조	첨가	해당없음	필요(실내) 해당없음(실외)	실외작업, 반자동공정
	보관창고	해당없음	필요	전체환기: 안전상의 조 치
의약품제조업: 주사제 제조	DEOA 무게 잴	해당없음	필요	공기 순환
	조제 및 충전	해당없음	필요	전체환기: 안전상의 조 치
기계, 장비제조업: 수용성금속가공유사 용	탱크	해당없음	해당없음	실외작업, 반자동공정
	기계가공	필요	필요	DEOA노출방지

내용 주

- DEOA : diethanolamine
- PPG : Polyol

(2) 세안설비: 긴급세척시설

순간적으로 근로자가 DEOA에 과다하게 노출될 경우 긴급하게 세척할 수 있는 시설을 말한다(OSHA, 1978; 한국산업안전공단, 2003). 세안설비는 DEOA가 눈을 포함한 피부점막에 묻었을 때 곧바로 현장에서 접촉된 부위를 씻어내기 위한 안전장치이다.

□ 세안설비를 설치해야 할 공정

세안장치의 설치가 필요한 공정은 근로자가 DEOA를 직접 취급하는 공정은 모두 해당된다. DEOA를 저장, 포장, 혼합, 수용성금속가공유를 취급하는 공정 등이다(<표 8-5> 참조)



[그림 8-5] DEOA가 저장된 실외 공정에 설치된
세안설비

(3) 방유제 설치

DEOA를 액체 상태로 저장하는 저장탱크에는 사고로 DEOA가 누출되었을

때 환경(지하수, 수로 등)으로 확산되는 것을 방지하기 위하여 방유제를 설치하여야 한다. 산업안전보건법 산업안전기준에 관한 규칙 제 291조의 2에 의하면 DEOA는 여기에 해당된다.

□ 방유제를 설치해야 할 공정

DEOA를 저장하는 탱크가 해당된다(<표 8-6>과 [그림 8-6]참조).



[그림 8-6] DEOA저장 탱크에 설치된 방유제(혹은 방류조)

<표 8-7> 업종별 공정별로 설치해야 할 세안설비, 방유제

업종	공정	세안설비	방유제 설치	이유
기초화학제품제조업 :DEOA제조, 판매	저장	해당없음	설치	DEOA저장
	포장	필요	해당없음	근로자 직접 접촉
기초화학제품제조업: DEOA수입판매	저장	해당없음	설치	DEOA저장
	포장	필요	해당없음	근로자 직접 접촉
석유정제품제조업 :DEOA황화수소흡착	저장	해당없음	설치	DEOA저장
	반응	해당없음	해당없음	자동공정
화학제품제조업: 수 용성금속가공유제조	혼합	필요	해당없음	근로자 직접 접촉
	보관창고	해당없음	해당없음	
화 학 제 품 제 조 업 : PPG제조	첨가	필요	해당없음	근로자 직접 접촉
	보관창고	해당없음	해당없음	
의약품제조업: 주사제 제조	DEOA 무게 잴	해당없음	해당없음	소량취급
	조제 및 충전	해당없음	해당없음	무균실
기계, 장비제조업: 수용성금속가공유사 용	탱크	필요	해당없음	근로자 직접 접촉
	기계가공	필요	해당없음	근로자 직접 접촉

내용 주

- DEOA : diethanolamine
- PPG : Polypropylene Glyol

마. DEOA에 대한 안전한 취급요령

(1) 공학적인 대책

DEOA를 안전하게 취급하기 위한 공학적인 대책으로는 사용금지, 대체, 격

리 등이 있다. 즉, DEOA를 사용하지 않거나(사용금지), 유해성이 낮은 다른 물질로 바꾸거나(대체), 근로자가 DEOA에 접촉되지 않도록 격리하는 것이다. 이러한 대책은 공정별 작업별로 달리 적용된다. 업종별, 공정별 DEOA에 대한 안전한 관리대책을 <표 8-8>에 요약하였다.

가) 사용금지(elimination)

DEOA를 사용하지 않을 대책이다. DEOA를 사용하지 않고 공정의 목적을 달성한다면 가장 바람직한 대책이다. DEOA의 사용으로 발생할 수 있는 건강상의 장애가 일어나지 않기 때문이다. DEOA를 취급하는 업종의 공정에서 DEOA를 사용하지 않을 가능성을 판단하는 것은 본 연구의 범위 밖이다. DEOA를 사용하는 것을 전제로 가능하면 노출을 억제하기 위한 안전한 관리 방안을 제안하는 것이 본 연구의 내용이다.

나) 대체(substitution)

대체는 DEOA를 유해성이 덜한 다른 화학물질로 바꾸는 것이다. 공정에 지장이 없어야 하는 것이 원칙이다. 공정에 지장이 없고 유해성이 덜 하거나 혹은 다른 경제적인 이득이 있는 물질을 찾아 내는 것도 본 연구의 범위 밖이다. 다만 동일한 공정에서 DEOA를 사용하다가 다른 물질로 대체한 사례에 대한 경험 등을 정리하여 대체방안으로 제안하는 것이다.

□ 석유정제업에서 MEOA(monoethanolamine, 이하 MEOA라 함)로 대체
대부분의 석유정제업에서 황화수소의 흡착목적으로 DEOA를 사용하는 것이 일반적이다. 일부 석유정제 사업장에서 DEOA에 의한 흡착의 효율성이 낮고 또한 불필요한 폐기물이 발생하는 문제점을 발견하였다. 동일한 화학적 특성과 활용도를 가지고 있는 MEOA를 황화수소 흡착용으로 사용한 결과, 흡착효율은 오히려 증가되었고 폐기물의 거의 발생되지 않은 것으로 설명하였다(<표 8-9> 참조).

<표 8-8> 업종별 공정별 DEOA를 안전하게 관리하기 위한 대책 종합

업 종	공정	대체	밀폐	격리	이 유
기초화학제품제조업 :DEOA제조, 판매	저장	해당없음	해당없음	가능: 자동화	중앙조정실에서 공정운영
	포장	해당없음	해당없음	불가능	근로자 직접 접촉
기초화학제품제조업: DEOA수입판매	저장	해당없음	해당없음	반 자동화	진공펌프 체결 후 자동포장
	포장	해당없음	해당없음	불가능	근로자 직접 접촉
석유정제품제조업 :DEOA황화수소흡착	저장	해당없음	해당없음	반 자동화	진공펌프 체결 후 자동포장
	반응	MOEA	해당없음	가능: 자동화	대체 : 효율성이 높음 격리: 중앙조정실에서 공정운영
화학제품제조업: 수용성금속가공유제조	혼합	해당없음	해당없음	반 자동화	진공펌프 체결 후 자동포장
	보관창고	해당없음	해당없음	가능	DEOA를 별도 보관
화학제품제조업: PPG제조	첨가	해당없음	해당없음	반 자동화	진공펌프 체결 후 자동포장
	보관창고	해당없음	해당없음	가능	DEOA를 별도 보관
의약품제조업: 주사제 제조	DEOA 무게 잴	해당없음	해당없음	해당없음	소량취급
	조제 및 충전	해당없음	해당없음	해당없음	무균실
기계, 장비제조업: 수용성금속가공유사용	탱크	해당없음	가능	해당없음	탱크와 수용성금속가공유 순환되는 수로(도관) 밀폐 근로자 직접 접촉
	기계가공	해당없음	가능	가능: 자동화	기계가공 공정 밀폐 자동화 접촉기회 줄임

내용 주

- DEOA : diethanolamine
- PPG : Polyol

<표 8-9> 석유정제업에서 황화수소 흡착용으로 사용한 DEOA의 대체 효과

대체물질	흡착효율	폐기물감소량	적용가능성
MEOA	DEOA사용 때 보다 10 % 향상	년 1탱크 정도 감소	일부 사업장에서 이미 대체

내용주

- MEOA: monoethanolamine

□ 수용성 금속가공유에서 DEOA대신 아미노알콜(aminoalcohol)로 대체
DEOA는 방청특성과 적절한 pH를 유지하기 위한 목적으로 수용성 금속가공유에 첨가된다. 이와 같은 목적으로 첨가될 수 있는 것은 동일한 기능을 가진 alkanolamine 그룹인 MEOA(monoethanolamine), TEOA(triethanolamine)가 있다. 이들도 역시 DEOA와 같은 비슷한 유해성(호흡기계질환 초래, 피부자극제)을 갖고 있어 대체물질로 바람직하지 않다. 수용성 금속가공유를 제조하는 연구소에서는 아미노알콜이 DEOA와 같은 동일한 사용목적에 달성할 수 있고 유해성 또한 낮기 때문에 대체물질로 적합한 것으로 이미 개발하였다고 한다. 그러나 가격이 DEOA보다 2배 이상 비싸기 때문에 경쟁력이 없다고 한다. 이러한 이유 때문에 여전히 수용성 금속가공유에는 피부자극 및 호흡기계질환을 초래하는 DEOA를 포함한 MEOA, TEOA가 아직까지 광범위하게 사용되고 있다. DEOA가 천식 등 호흡기계질환을 초래할 수 있는 원인인자로 밝혀지면 아미노알콜로 대체가 이루어질지 모른다.

<표 8-10> 기계가공 공정에서 DEOA의 대체 가능성

대체물질	장점	단점	적용가능성
아미노알콜	유해성 낮음	가격 비쌈	대체되지 못하고 있음

다) 밀폐(enclosure)

밀폐는 DEOA가 사용되는 공정을 가능하면 밀폐하여 DEOA가 공기 중으로

비산 혹은 증발되지 않도록 하는 대책이다. DEOA는 상온에서 증발이 거의 이루어지지 않기 때문에 특별한 밀폐가 필요하지는 않다. 그러나 화학물질이 포함된 공정이나 작업은 가능하면 밀폐하는 것이 바람직하다. DEOA가 취급되는 공정 중 밀폐가 필요한 공정은 수용성 금속 가공유를 취급하는 공정으로 자세한 내용은 다음과 같다

□ 수용성 금속가공유 취급업종

탱크와 수용성 금속가공유가 순환되는 도관은 가능하면 덮어서 밀폐하여야 한다. DEOA가 포함된 수용성 금속가공유가 흐르면서 미스트 형태로 공기 중에 분산될 수 있기 때문이다. 또한 수용성 금속가공유가 뿌려지는 기계, 장비 가공 공정은 가능하면 밀폐를 해야 한다. 밀폐를 하지 않을 경우 DEOA미스트가 쉽게 공기 중으로 비산되어 근로자에게 노출될 수 있다. 기계, 장비를 가공하는 공정은 밀폐가 가장 중요한 공학적인 대책이다 ([그림 8-7] 참조).



[그림 8-7] 수용성 금속가공유가 사용되는
기계가공 공정에서 밀폐 사례

라) 격리(isolation)

격리는 DEOA와 근로자를 격리하는 대책이다. 즉 근로자가 가능하면 DEOA를 취급하지 않도록 시간, 거리, 공간 등을 격리하는 대책이다. DEOA를 취급하는 공정에서 격리대책으로는 공정의 자동화와 DEOA의 별도보관이 다.

□ 공정의 자동화

공정을 자동화하여 근로자가 DEOA를 가능하면 취급하지 않도록 하는 대책이다. 공정을 자동화하기 위해서는 DEOA의 사용량이 일정해야 하는 작업요건이 있어야 한다. 가끔 운영되는 공정이나 반응은 자동공정을 운영할 수 없다. DEOA를 취급하는 공정에서 자동화가 가능한 경우는 다음과 같다.

- DEOA의 제조공정의 반응, 석유정제업종의 황화수소 흡착공정(반응)
- DEOA가 들어있는 수용성 금속가공유가 사용되는 기계가공 공정

자동화는 근로자의 건강보호측면에서는 바람직한 대책이다. 그러나 비용이 투입되는 대책이므로 공정의 가능성, 경제적인 여건 등을 고려하여 적용할 필요가 있다. 간헐적인 작업이거나 자동공정이 어려운 경우 완전한 격리는 불가능하다. 이러한 공정에 대한 대책은 노출을 최대한 억제하기 위해서 반자동화, 환기, 보호구 착용 등을 추가로 마련하는 것이 필요하다. 이러한 공정은 DEOA첨가, 포장, 운반, 이송하는 작업이다(<표 8-8> 참조)

□ DEOA보관창고 혹은 실외 보관

DEOA는 근로자와 격리된 창고나 실외에 보관하고 담당자를 지정하는 것이 바람직하다. 담당자는 현장 사용자에게 반출할 양, 시기 등 안전과 관련된 사항을 기록하여야 한다. 또한 근로자가 보기 쉬운 곳에 DEOA의 물질안전보건자료(MSDS)를 게시하여야 한다. 한편 DEOA를 실내에 보관할

경우 보관창고에는 전체환기장치를 설치하여야 한다.



[그림 8-8] DEOA의 실외 보관(근로자와 격리)

(2) 행정적인 대책

DEOA의 위험을 예방하기 위한 행정적인 대책은 교육, 물질안전보건정보(MSDS)의 게시, 작업환경측정 등이다. DEOA를 취급하는 업종별 공정별로 행정적인 대책을 설명하면 다음과 같다.

가) MSDS 게시

DEOA를 취급하는 모든 공정에는 MSDS를 게시하여야 한다. 근로자가 보기 쉬운 곳에 잘 보이도록 요약된 DEOA에 대한 MSDS를 게시하도록 한다. 간단한 안전표시도 필요하다([그림 8-9] 참조).

나) 작업환경측정

현재 산업안전보건법 시행규칙 제 93조에 의하면 DEOA를 취급하는 공정은

주기적으로 근로자의 노출을 측정하도록 되어 있다. DEOA는 공기 중 증발이 거의 일어나지 않기 때문에 호흡기노출 위험은 크지 않다. 그러나 기계가공 공정에서는 수용성 금속가공유의 미스트 발생으로 공기 중에서 DEOA의 노출 위험은 크다. 따라서 현재의 산업안전보건법에 따른 작업환경측정이 필요한 공정은 근로자가 직접 DEOA를 취급하는 공정인 포장, 혼합, 기계가공 공정 등이다(<표 8-5> 참조).

다) 교육

교육은 DEOA로 인한 위험을 예방하기 위한 행정적인 대책의 방법이다. DEOA를 취급하는 모든 근로자를 대상으로 실시해야 한다. 주요 교육내용으로는 DEOA를 안전하게 취급하는 요령(작업), DEOA의 유해성 고지, 보호구 착용 요령, DEOA에 대한 응급조치 등이다.



[그림 8-9] DEOA를 포장하는 공정에서 간략한 안전표시

바. 보호구 착용

(1) 호흡보호구

DEOA는 상온에서 취급하는 경우 공기 중으로 거의 증발이 일어나지 않는다. DEOA를 취급하는 대부분의 공정은 호흡보호구를 착용할 필요가 없다. 그러나 DEOA가 미스트로 발생될 수 있는 가능성이 있는 DEOA포장 공정과 기계가공 공정은 호흡보호구를 착용하고 작업을 해야 한다. 또한 DEOA가 저장되었던 탱크를 정비하거나 수리할 목적으로 출입할 경우 적절한 호흡보호구를 착용하여야 한다.

(2) 피부보호구

DEOA는 피부를 통해서도 몸에 흡수된다. 따라서 DEOA를 취급할 경우 눈과 피부를 보호할 수 있는 피부보호구를 착용하여야 한다. 따라서 DEOA를 직접 취급하는 포장, 운반, 첨가 등의 공정에는 노출될 수 있는 피부보호구를 착용하고 작업해야 한다. 또한 DEOA가 포함된 수용성 금속 가공유를 취급하는 기계가공 공정에서도 보호의, 보호장갑 등을 착용해야 한다. 만약 피부가 액체상태의 DEOA에 노출되었을 경우 세안설비에서 노출된 부위를 즉시 씻어야 한다.

(3) 보안경

DEOA는 눈과 피부자극을 초래할 수 있다. 미스트가 발생될 경우 눈에 노출될 수 있다. 따라서 DEOA를 직접 취급하는 포장, 운반, 첨가 등의 공정에는 보안경을 착용하고 작업해야 한다. 또한 DEOA가 포함된 수용성 금속 가공유를 취급하는 기계가공 공정에서도 보안경을 착용해야 한다. 만약 근로자의 눈이 액체상태의 DEOA이나 0.75 %이상의 DEOA를 포함하는 용액에 노출될 경우 세안시설(eye wash fountain)에서 즉시 씻어야 한다.

사. DEOA사고에 따른 응급조치 요령

(1) 누출 혹은 누설(leak or spill)되었을 때

DEOA나 DEOA가 포함된 용액이 누출되었을 때는 현장이 깨끗하게 조치(청소)되기 전까지는 적절한 보호구와 보호의를 착용하지 않은 사람은 출입을 하지 못하도록 조치한다. 만일 DEOA나 DEOA가 포함된 용액이 누출(혹은 누설)되었을 때는 다음과 같은 조치를 취한다.

- ① 누출(혹은 누설)된 물질(용액)을 만지지 않도록 한다. 만일 특별한 위험이 없다면 누출(혹은 누설)을 막을 수 있는 조치를 취한다.
- ② 담당자(안전관리자 혹은 보건관리자)에게 즉시 알리도록 한다.
- ③ 모든 열원이나 점화원을 제거한다. DEOA는 낮지만 화재위험을 갖고 있기 때문이다
- ④ 잠재적으로 일어날 수 있는 폭발을 대비하기 위하여 환기를 충분히 하도록 한다.
- ⑤ 불활성 흡수제인 건조모래로 혼합해서 적절한 폐기용 용기에 담아둔다.
- ⑥ DEOA에 흡착된 잔류물(모래)를 중화제인 sodium bisulfate로 중화한 후에 많은 양의 물로 씻는다. 씻은 물은 하수관이나 수로로 흘려보내지 않도록 한다.

(2) 근로자에게 과다하게 흡입, 접촉, 노출되었을 때

가) 흡입

공기 중에 증발된 DEOA이 공기와 함께 흡입될 수 있다. 공기 중에 있는 과다한 양의 DEOA을 호흡기를 통해서 흡입하면 눈, 호흡기에 자극을 초래할 수 있다.(Ameille et al., 1995, Annau E. and Manginelli A., 1950) 이런 증상이 나타는 경우 영향을 받은 근로자를 DEOA이 발생하지 않는 신선한 지역으로 옮기고 따뜻하게 하는 한편 충분한 휴식을 취하게 한다. 가능한 빠르게 의

학적인 조치를 받게 한다.

나) 피부에 접촉(exposure) 되었을 때

DEOA는 피부를 통해서 몸으로 흡수될 수 있으므로 피부에 접촉되었을 때 즉시 응급조치를 취해야 한다. DEOA로 오염된 피부는 즉시 세척하고 샤워를 해야 한다. DEOA나 DEOA가 포함된 수용성금속가공유에 작업복이 젖었을 경우, 신속하게 침투한 의복 등을 벗고 가까운 세안설비나 화장실에서 15분 이상동안 피부를 비누와 물로 세척한다. 작업복에 젖지 않고 눈, 손 등 피부에 접촉할 경우 가까운 곳에 설치되어 있는 세안설비나 수도에서 물로 씻어 내리고 비누로 충분히 접촉한 피부를 세척한다. 물로 접촉된 피부를 세척한 후에도 자극이 계속되면 의학적인 조치를 받아야 한다. DEOA에 젖은(묻은) 보호 의(옷)나 작업복은 DEOA가 완전히 제거된 것이 확인되거나 폐기될 때까지 밀폐된 저장용 폐기통에 두어야 한다. 만약 DEOA에 젖은 옷을 세탁할 경우, 세탁하는 사람에게 DEOA의 유해성을 알려주어야 한다.

다) 눈에 접촉(eye exposure) 되었을 때

DEOA를 직접 취급하는 작업 중에 DEOA 용액이 튀어서 눈으로 들어갈 수 있다. 만일 DEOA나 DEOA가 포함된 수용성 금속가공유가 눈에 들어갔을 때 즉시 눈의 위아래 눈꺼풀을 깜박거리면서 물로 여러 번 씻어야 한다. 그런 다음 곧바로 병원치료를 받도록 한다. DEOA를 취급할 때는 콘택트 렌즈를 착용하지 말아야 한다.

라) 삼켰을 때

DEOA나 DEOA가 포함된 수용성 금속가공유를 삼키는 경우는 의도적인 사고를 제외하고는 거의 일어나지 않는다. 만약 DEOA나 DEOA가 포함된 수용성 금속가공유를 삼켰을 때는 많은 양의 물을 즉시 마시도록 한다. 그리고 난 다음 손가락으로 입안의 목젢 안쪽을 누르면서 토하게 한다. 그러나 의식이 없다면 토하게 하지 말아야 한다. 만약 호흡이 일어나지 않을 경우 응급조치로 인공호흡을 실시하고 신선한 곳으로 옮긴 다음 병원으로 긴급히 후송한다.

(3) 응급구조(rescue)

DEOA에 영향을 받은 사람은 위험노출지역에서 신속히 신선한 곳으로 옮긴다. DEOA에 노출된 사람이 회복되면 다른 사람에게 알리고 설정된 응급구조 절차를 실행한다. 평소 응급상황이 발생되기 전에 공장의 응급구조절차를 이해하고 구조장비가 어디에 있는지를 알아둔다(NIOSH/OSHA, 1981).

9. 규제영향분석

가. 노출기준 제·개정 필요성

(1) 규제의 정의

가) 노출기준의 정의

국내 산업안전보건법 제39조에 의해 노동부장관은 근로자의 건강장해를 유발하는 화학물질 및 물리적 인자 등(이하 "유해인자"라 한다)을 노동부령이 정하는 분류기준에 따라 분류하고, 이를 관리하도록 하고 있으며, 유해인자의 노출기준을 정하여 관보 등에 고시하도록 하고 있다.

현재 고시되어 있는 ‘화학물질 및 물리적인자의 노출기준’(노동부고시 제 2002-8호)에서는 노출기준을 다음과 같이 정의하고 있다.

『“노출기준”이라 함은 근로자가 유해요인에 노출되는 경우 노출기준 이하 수준에서는 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는 기준을 말하며, 1일작업시간동안의 시간가중평균노출기준(Time Weighted Average, TWA), 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit, STEL) 또는 최고노출기준(Ceiling, C)으로 표시한다.』 즉, 노출기준은 유해물질을 취급하거나 발생하는 사업장에 근무하는 근로자들을 직업병이 발생하지 않도록 작업환경 중 농도 및 세기를 관리하기 위한 기준이라고 할 수 있으며, 각 물질의 물리·화학적 특성과 동물독성 실험 및 인체 건강영향과 관련된 역학연구 자료 등을 토대로 설정되게 된다. 본 규제영향분석 대상 물질인 DEOA에 대한 현재 노출기준은 <표 9-1>과 같이 제정되어 있다.

<표 9-1> DEOA에 대한 현재 국내 노출기준

노출기준, ppm			피부 및 발암성
TWA	STEL	Ceiling	
3 (13 mg/m ³)	-	-	-

나) 노출기준의 역할

현재 ‘산업안전보건법 제42조’에 의해 사업주는 인체에 해로운 작업을 행하는 작업장으로서 노동부령이 정하는 작업장에 대하여 노동부령이 정하는 자격을 가진 자로 하여금 작업환경측정을 하도록 한 후, 그 결과를 기록·보존하고 노동부령이 정하는 바에 의하여 노동부장관에게 보고하도록 하고 있다. 또한 사업주는 작업환경측정 결과에 따라 근로자의 건강을 보호하기 위하여 당해 시설 및 설비의 설치 또는 개선 등 적절한 조치를 하도록 하고 있다.

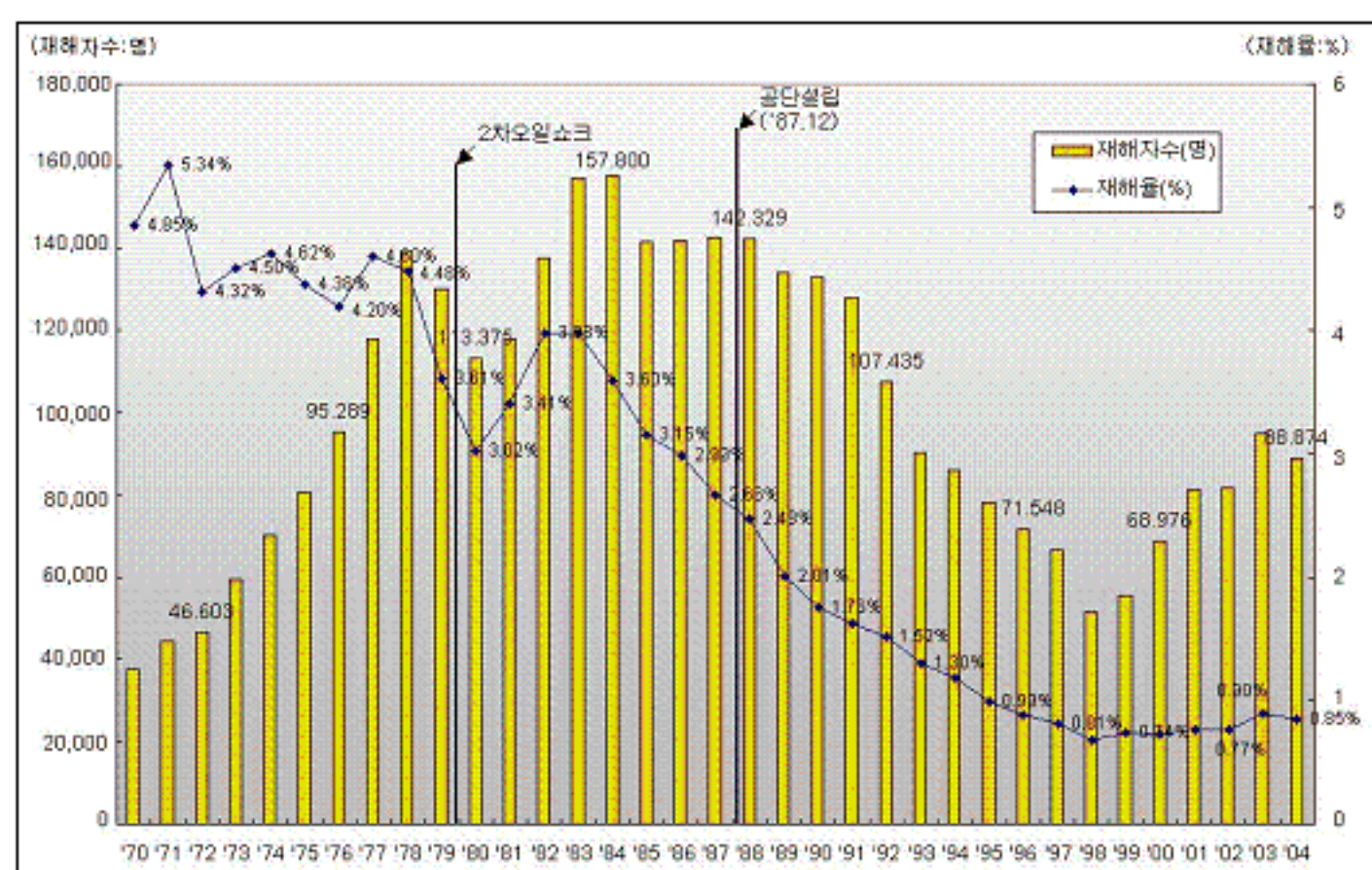
작업환경측정에 대한 세부적인 사항은 노동부고시로 정해져 있으며, 현재 ‘작업환경측정 및 정도관리규정’(노동부고시 제2001-39호)에서는 산업안전보건법시행규칙 별표 11의3에 제시되어 있는 작업환경측정대상 유해인자 191종에 대해 측정을 실시하고 그 결과를 노동부고시로 정해져 있는 각 물질별 노출기준과 비교함으로써 평가하도록 하고 있다. 현재 DEOA도 작업환경측정대상 유해인자에 포함되어 있다.

즉, 현재 국내에서 노출기준은 단순한 유해물질에 대한 가이드 수준이 아닌 작업환경측정의 평가 기준으로 활용됨으로써 사업장의 근로자에 대한 보건관리의 중요한 수단으로 활용되고 있다.

(2) 규제의 필요성

가) 국내 산업재해 현황

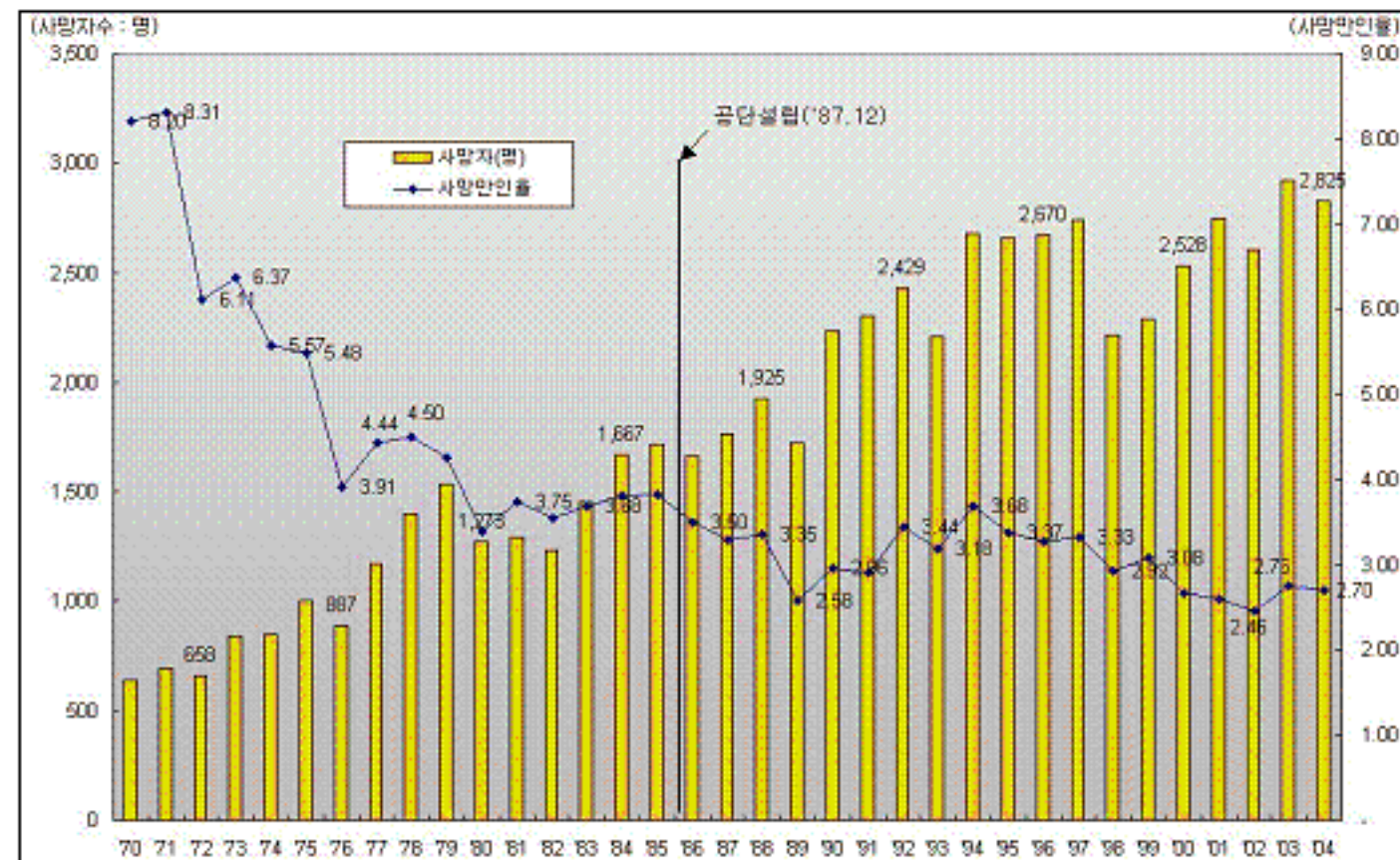
산업재해보상보험법에 의해 산재요양 승인을 받은 자만을 대상으로 하는 산재통계 자료를 보면 2004년 국내 산업재해자수는 88,874명이며, 재해율 0.85%로 근로자 수 1,000



[그림 9-1] 국내 산업재해 현황

명당 8.5명 수준이다.

특히 [그림 9-1]에서 보듯이 1998년 이후 최근까지 재해율은 증가추세에 있고, [그림 9-2]에서와 같이 산업재해로 인한 사망자수는 계속 증가추세에 있고 2004년도 사망만인율은 2.825로 근로자 만명당 2.8명이 산재로 사망하고 있어 산업재해 예방 대책이 시급한 실정이다.



[그림 9-2] 국내 산업재해 사망률 추이

선진 외국과 비교할 때 <표 9-2>와 같이 국내의 산재 사망률은 미국, 영국, 프랑스, 독일, 스웨덴보다 약 6배에서 25배 이상 높은 수준이다.

<표 9-2> 국가별 산업재해 사망률(100,000명당) 비교

국가	2000년	2001년	2002년	2003년
한국	26.7	26.0	24.6	27.6
미국	4	4	4	4
영국	0.9	0.8	0.7	-
프랑스	4.4	-	-	-
독일	3.1	3.0	2.9	-
스웨덴	1.5	1.4	1.4	-
일본*	0.01	0.01	0.01	0.01

내용 주

* : 정규직 100인 이상 사업체만 대상

자료원 : 국제통계연감(통계청, 2005)

나) 국내 노출기준 개정의 필요성

노출기준은 유해물질을 취급하고 사용하는 사업장 근로자의 건강보호와 작업환경 관리를 위해 필수적이며 기본적인 규제 수단이다. 우리나라는 <표 9-3>에서 보듯이 1983년 최초 50종의 화학물질에 대해 노출기준을 제정한 이

래 1986년 별도의 노동부고시로 제정하였고 1988년 697종의 물리·화학물질에 대한 노출기준을 확대제정 후 네 차례 개정 후 오늘에 이르고 있다. 1988년 노출기준 제정당시 우리나라는 미국 산업위생전문가협회(ACGIH)의 노출기준(TLV)를 그대로 받아들였으며, 이후 사회적으로 문제가 되었던 특정 물질을 제외하고는 현재까지 기준값에 대한 개정은 없는 실정이다.

특히 우리나라의 DEOA에 대한 현행 노출기준은 3 ppm(TWA)인데 비해 국내 노출기준의 모태가 되었던 ACGIH-TLV는 2005년 현재 0.46 ppm(TWA)이다. 우리나라의 현행 기준은 ACGIH에서 1993년 이전에 정하였던 기준이며(노동부, 2001; 노동부, 2002) ACGIH에서는 1994년부터 0.46 ppm으로 훨씬 엄격한 규제기준을 갖고 있어 DEOA의 현행 노출기준에 대한 재검토와 개정의 필요성은 매우 크다고 할 수 있다.

<표 9-3> 우리나라 노출기준 개정과정

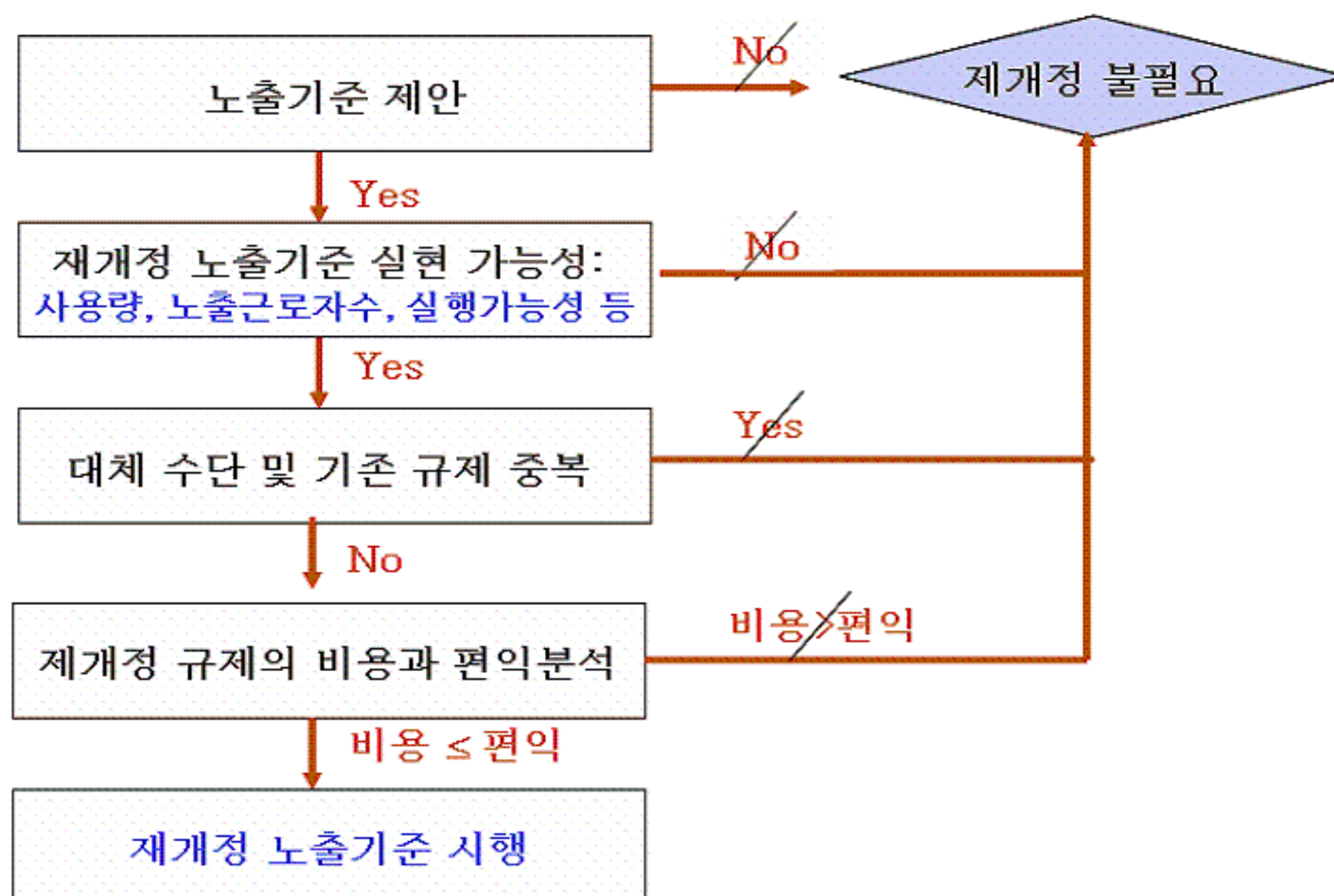
연도 (제, 개정)	고 시	규정물질 수	비 고
1983. 1. 20. (제정)	제 1 호	총 50 종	1983년 “작업환경측정방법” 제정 당시 동 고시내에 유기용제 16종, 특정화학물질 31종 및 소음, 분진, 납에 대한 허용농도 제정
1986. 12. 22. (제정)	제86-45호	총 324 종	“작업환경측정방법” 중 “유해물질의 허용농도”를 분리하여 별도 고시, 허용농도 고시 물질 수 추가
1988. 12. 23. (1차 개정)	제88-69호	총 697 종	유기용제, 중금속으로 인한 직업병이 사회문제화된 것을 계기로 유해물질 373종을 추가로 규정
1991. 3. 30. (2차 개정)	제91-21호	총 697 종	일부 화학물질에 대한 허용농도 변경, 오자 및 누락 사항 추가
1998. 1. 5. (3차 개정)	제97-65호	총 698 종	LG 전자 양산공장의 2-bromopropane으로 인한 생식독성 발견으로 인한 2-bromopropane 항목 추가
2002. 2. 4. (4차 개정)	제2002-2호	총 698 종	석면 노출기준 20배 강화(2개/cc ---> 0.1개/cc)
2002. 5. 6. (5차 개정)	제2002-8호	총 698 종	벤젠 노출기준 10배 강화(10 ppm ---> 1ppm)

(3) 규제 목표 설정

DEOA에 대한 현행 국내 노출기준은 1993년 이전의 단기간(90일) 급성동물 실험 연구결과 NOAEL(무관찰작용량) 20 mg/kg/day에 기초한 것이다. 이후 13주동안 추가적인 흡입독성 실험 결과 무관찰작용량은 15 mg/kg/day 임이 확인되었고 이를 근거로 ACGIH에서는 0.46 ppm을 제안하고 있다. 따라서 현재 국내에서 설정하고 있는 “3 ppm(TWA), 피부 경고 없음”의 기준으로는 피부, 간, 신장, 혈액에 대한 만성독성으로부터 보호 할 수 없다. 따라서 DEOA에 대한 노출기준은 <표 9-4>와 같이 개정하고자 한다.

(4) 규제영향평가 과정

본 연구에서 활용한 DEOA에 대한 노출기준에 시행에 따른 규제영향평가 과정이다. 1단계에서 DEOA에 대한 노출기준 제정과 개정여부를 결정한다. 2단계에서 DEOA 사용량, 노출근로자수, 실행가능성 등의 요인을 분석하여 재개정 노출기준 실현가능성 여부를 확인 한다. 3단계에서 제정되거나 개정된 DEOA 노출기준외에 다른 대체 수단 및 기존 규제 중복여부를 따져 본다. 만약 다른 대체수단이 없다면 마지막 단계로 가서 제·개정 규제의 비용과 편익분석을 수행한다. 만약 비용이 편익보다 같거나 적다면 재개정 노출기준 시행한다. 그렇지 않다면 제·개정이 필요하지 않거나 어렵게 된다([그림 9-3] 참조).



[그림 9-3] 규제영향평가 과정

<표 9-4> DEOA 노출기준 변경 내용과 제안 근거 요약

노출기준 종류	노출기준		제안근거
	현재	변경제안	
시간가중 평균기준 (TWA)	3 ppm	0.46 ppm	<u>□ TWA 3 ppm : 피부, 간, 신장, 혈액 독성의 예방 기준으로 높음.</u> - 이 기준은 1993년 이전에 이루어진 단기간(90일) 급성 동물실험에서 얻어진 무관찰작용량 20 mg/kg/day에 근거한 것임 - 13 주 동안 흡입독성 실험을 수행한 결과, 무관찰작용량 (NOAEL)이 15mg/kg/day으로 더 낮아졌으며, 13주 동안 6 ppm(25.7 mg/m³)의 농도의 노출에서 악영향이 발견되었고 (Barbee 등, 1976년) 이 결과를 근거로 개정된 노출기준이 0.46 ppm임 <u>□ 0.46 ppm 제안</u> - 피부, 간, 신장, 혈액에 대한 건강상의 장해 위험을 최소화 기 위한 기준임 - 0.46 ppm을 법적기준으로 시행해도 사업주가 이를 준수하는데 실행가능성(feasibility)에 문제가 없음 - 따라서 우리나라 DEOA의 TWA를 0.46 ppm으로 설정하면 DEOA로 인한 건강상의 장해는 예방할 수 있을 것으로 판단
단시간 노출기준 (STEL)	설정되지 않음	설정되 지 않음	<u>□ STEL 설정하지 않음</u> - DEOA의 유해성은 피부, 간, 신장, 혈액에 대한 만성독성임. 따라서 단시간노출에 의해서 건강상의 장해가 발생되지 않음. 따라서 DEOA의 단시간 고농도 노출에 의한 장해예방은 상한치 노출기준으로 관리할 수 있음 - 스웨덴을 제외한 모든 나라와 기관에서 STEL은 설정되어 있지 않음
피부흡수 (Skin)	없었음	피부 “Skin”	<u>□ 동물실험에서 피부흡수 확인됨</u> - DEOA는 랫트와 마우스에서 피부흡수가 확인됨 - 공정에서 근로자가 액체형태의 DEOA을 근로자가 직접 취급하므로 피부노출 가능 - “피부흡수”에 대한 주의는 규제영향이 적음

나. 노출기준 제·개정의 실현 가능성

(1) 규제에 대한 반대 및 사회적 제약 요소

가) DEOA 기준 강화로 인한 신규 규제 부담여부

DEOA는 기존 ‘화학물질 및 물리적인자의 노출기준’(노동부고시 제2002-8호)에 이미 제정되어 있던 물질이며, 산업안전보건법시행규칙에 의해 작업환경측정 대상 유해인자에 포함되어 있던 물질이므로 기준개정에 의해 추가적인 작업환경 측정 부담 및 신규 규제에 대한 기업체의 부담은 없다고 판단된다.

나) 국내 DEOA 취급 실태

우리나라에서 DEOA사용량은 매우 적은 것으로 추정되었다. 2002년에 국내에서 사용된 것으로 추정된 양은 3,803톤, 2003년은 4,458톤 그리고 2004년은 3,512톤이었다(<표 9-5> 참조). 이러한 양은 전체화학물질 사용량(2002년, 19,396,645 톤)과 비교할 때 매우 적은 양이다.

<표 9-5> 연도별 DEOA의 사용량에 대한 추정

년도	국내 사용량, 톤	추정근거(제 2 장 취급현황 참조)
2002	3,803	환경부 화학물질 유통량 보고서, 2002
2003	4,458	한국무역협회의 수출량과 수입량 DEOA 제조사업장의 국내 공급량을 조합하여 추정
2004	3,512	
2005, 9월말 현재	2,469	

DEOA의 사용량이 적은 이유는 생산공정에서 이용되는 주된 화학물질이 아니고 대체가능한 아민류가 많고, 첨가제 등으로만 사용하기 때문이다. DEOA의 화학적 특성, 공정에서 사용특성을 고려할 때 향후에도 사용량은 급격히 증가되지 않을 것으로 판단된다. 따라서 현재의 DEOA노출기준(3 ppm)을 0.46 ppm으로 강화해도 사용량을 감소시켜 기업의 경제적인 활동에 유의한 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

다) DEOA 노출 근로자수

한국산업안전공단에서 보고한 작업환경실태조사결과(한국산업안전공단, 2000, 2004) DEOA에 대한 1999년의 노출근로자수는 총 194명, 2004년에는 437명인 것으로 보고하였다(<표 9-6> 참조). 앞서 설명했듯이 공정의 특성상 DEOA는 첨가제로 사용되기 때문에 사용량도 많지 않았고 향후에도 사용량이 급격히 증가되지 않을 것으로 판단된다. 따라서 DEOA의 노출기준이 강화되더라도 단시간에 DEOA에 노출되는 근로자수가 급격히 증가하지는 않을 것으로 판단된다.

<표 9-6> DEOA 노출 근로자 수 현황

년도별	제조		사용		발생		계	
	사업장 수	노출 근로자 수	사업장 수	노출 근로자 수	사업장수	노출 근로자수	사업장수	노출 근로자 수
1999년 ¹⁾	0개소	0 명	6개소	42 명	0개소	0 명	6개소	42 명
2004년 ²⁾	1개소	10 명	89개소	36 명	7,404개소	2,737 ³⁾ 명	7,494개소	2,783명

내용 주

- 1) : 1999년 한국산업안전공단에서 5인 이상 사업장을 직접 방문해서 조사한 자료
- 2) : 2004년 한국산업안전공단에서 1인 이상 사업장을 직접 방문해서 조사한 자료
- 3) : 본 조사를 근거로 DEOA발생시 노출근로자수의 추정 자료(표 2-9 참조)

라) DEOA에 대한 노출실태

DEOA는 공정에서 원료의 반응을 돕기 위한 보조제로 사용되는 경우가 대부분이다. DEOA에 대한 취급은 간헐적이고 취급시간도 짧아 근로자가 일하는 동안 DEOA를 연속적으로 취급하는 공정은 없다. DEOA는 간헐적으로 짧은 시간 동안 첨가되기도 하거니와 증발이 거의 일어나지 않은 물질(증기압 0.01 mmHg 이하)이기 때문에 호흡기 노출의 위험은 상대적으로 낮다. 다른 업종에 비해서 DEOA의 위험이 높은 것으로 판단되는 기계나 장비를 가공하는 업종에서 측정한 공기 중 DEOA농도도 본 연구에서 노출기준으로 제안한 0.46 ppm이하로 조사되었다. 따라서 정상적인 작업과정에서는 과도한 노출은

없을 것으로 판단된다.

본 연구조사에서 계면활성제제조업, 화공약품제조업, 절삭유 취급 사업장 등을 대상으로 측정한 공기 중 DEOA농도를 보면 모두 제안한 노출기준 0.46 ppm을 초과하지 않았다(<표 9-7> 참조).

결론적으로 DEOA취급공정과 노출특성을 볼 때 본 연구에서 제안하고자 하는 TWA 0.46 ppm을 초과하여 과다하게 노출되지 않을 것으로 판단된다. 따라서 노출기준 개정에 따른 작업환경 개선에 추가되는 비용 부담은 크지 않다고 판단된다.

<표 9-7> 업종별 공정별 DEOA에 대한 노출 및 취급형태의 정성적 평가

공정	DEOA발생특성	취급형태	공기 중 DEOA농도
기계장비 가공업종	수용성 금속가공유에 포함된 DEOA가 발생	연속 취급	0.46 ppm이하 (시료수 : 57개)

(2) 기술수준 등에 비추어본 실현 가능성

DEOA의 변경 기준을 준수하기 위해 다음과 같은 관리기술을 활용할 수 있다.

첫째, 공정의 특성상 DEOA는 보통 적은 양이 불규칙적으로 사용되므로 공정의 자동화는 불가능한 경우가 대부분이다. 그러나 DEOA를 사용해야 할 요구가 있더라도 공정에서 대체할 수 있는 다른 지방족 아민이 많기 때문에 물질의 대체를 통한 작업장 관리가 가능하다.

둘째, 현재 DEOA의 취급 형태는 DEOA를 탱크나 용기에 일정 시간 동안 첨가하는 작업이며 작업시간은 1시간 이내로 짧고 간헐적으로 이루어진다. 본 연구에서 직접 방문하여 DEOA가 취급되는 작업이나 공정에 대해 위험도 평가를 한 결과 조사한 DEOA 노출공정에는 모두 국소배기장치가 설치되어 있었고 평가한 농도도 모두 0.46 ppm 이내였다. 따라서 DEOA가 취급되는 곳에 적절한 환기시설을 설치하면 변경 기준 이내로 관리할 수 있다.

다. 노출기준 제·개정외 대체수단 존재 및 기존규제와의 중복 여부

(1) 기존규제로 대체가능 여부

본 규제는 신규 규제가 아니며 기존에 설정되어 있는 DEOA의 국내 노출기준 3 ppm(TWA)에서는 피부, 간, 신장, 혈액에 대한 건강장해 위험성을 예방할 수 없기 때문에 0.46 ppm(TWA)으로 변경하여 관리하고자 한다. 현재 국내에서는 근로자의 화학물질에 대한 노출수준을 관리할 수 있는 규제로서 노출기준 외에 다른 대체할 만한 규제는 없는 상황이다.

(2) 규제외 다른 방법으로 목적달성 여부

DEOA 노출로 인한 직업병을 예방하기 위해서는 현행 노출기준을 개정하여 변경된 기준 미만으로 주기적인 작업환경측정과 공학적 대책을 통해 사업장을 관리하는 방법과 현재 산업안전보건법과 유해화학물질관리법에 의해 물질의 취급 금지 규제 조항을 통해 DEOA의 제조, 수입, 양도, 제공, 사용 등을 금지함으로써 직업병 발생 가능성을 근본적으로 제거하는 방법이 있다. 그러나 후자의 방법은 노출위험성을 근본적으로 제거할 수 있는 장점이 있으나 현재 제조 및 취급 기업체에 부담이 크며 사회적 반대로 인한 실현 가능성이 낮다.

DEOA는 현재로서도 취급 사업장에서 변경하고자 하는 기준값을 초과할 정도의 고노출 위험이 나타나고 있지 않으며 기술적으로도 충분히 변경 기준 미만으로 관리가 가능함으로 노출기준 개정을 통한 사업장 관리 방법이 직업병 예방 목적을 달성하는데 적절하다고 판단된다.

<표 9-8> DEOA 노출로 인한 직업병 예방 규제 대안별 장·단점

규제방법	규제근거	장점	단점
제조, 수입, 양도, 제공, 사용 금지	산업안전보건법 제37조 ; 제조등의 금지 유해화학물질관리법 제32조 ; 취급제한·금지물질의 지정	노출위험성을 근본적으로 제거함으로써 완벽한 직업병 예방	현재 제조 및 취급 사업장의 부담 및 실현가능성 낮음
변경된 노출기준 미만으로 관리	산업안전보건법 제42조 ; 작업환경측정등	추가적인 규제에 의한 기업체 반대를 최소화하며 변경된 기준 미만으로 관리함으로써 직업병 예방 가능	지속적인 사업주의 관심과 관리 노력이 요구됨

(3) 유사한 기존규제와 중복 여부

현재 국내에서는 근로자의 화학물질을 취급하면서 노출수준을 관리할 수 있는 규제으로써 노출기준 외에 다른 규제는 없는 상황이므로 노출기준의 개정을 통한 규제는 중복 규제에 해당되지 않는다.

(4) 규제의 확대 재생산 가능성

DEOA는 기존에 노출기준 제정 물질로 포함되어 있고 작업환경측정대상 물질에도 포함되어 있으므로 본 규제는 신규규제가 아니며, 노출기준 개정으로 인해 추가적인 제재조치 가능성은 없다.

라. 노출기준 제·개정 규제의 비용과 편익의 비교분석

(1) 규제의 비용분석

DEOA의 노출기준 개정에 의해 작업장 노출수준을 0.46 ppm(TWA) 미만으로 유지하기 위해 가장 크게 비용이 소요되는 방법은 공학적 개선으로 국소배기설비를 설치하는 것이다. 본 연구에서 취급 사업장을 방문하여 위험도 평가를 실시한 결과 절삭유 사업장의 기계라인 쪽은 모두 국소배기설비가 설치되어 있었으며 별도로 DEOA를 담아서 투입하는 경우에만 추가적인 국소배기설

비가 필요한 것으로 조사되었다. 2000년 노동부 제조업실태조사에 근거할 때 현재 국내 DEOA를 담아서 투입하는 등의 취급 사업장은 총 6개소이다. 그러나 금속가공유중 수용성금속가공유를 사용할 것으로 추정되는 기계장비제조업(자동차트레일러제조업, 기타 운송장비 제조업 등) 3,702개소에서 작업하는 근로자가 DEOA가 포함된 수용성 금속가공유에 노출될 가능성이 있다. DEOA의 취급 용도가 생산의 주원료로 사용되기보다 첨가제로 소량 투입되기 때문에 소형 국소배기 설비를 설치함으로써 충분히 관리가 가능하다. 한국산업안전공단에서 운영하고 있는 Clean 3D 사업 우수사례를 참조할 때 DEOA를 제어하기 위한 국소배기설비의 설치 단가는 약 300만원 수준이며 추가 운용비용을 10%로 산정할 때 총 소요 비용은 14,180만원으로 추정된다(<표 9-9> 참조).

<표 9-9> 작업환경 개선을 위한 규제의 비용분석

대상업체수	국소배기설비 설치단가 ²⁾ (만원)	국소배기설비 운용비용 ³⁾ (만원)	총 비용(만원)
6개소 ¹⁾	300	30	1,980
3,702개소 ⁴⁾			12,200
합계	300	30	14,180

내용 주

- 1) 2004년 노동부 제조업실태조사 결과 근거
- 2) '한국산업안전공단 Clean 사업 우수사례' 근거
- 3) 운용비용은 전력 사용 외에 점검, 관리비용을 예상하여 설치비용의 10%로 산정
- 4) * 금속가공유를 사용할 것으로 추정되는 기계장비제조업 : 7,404개소
 - 자동차트레일러제조업 : 5,443개소
 - 기타운송장비제조업 : 1,961개소
- * 수용성금속가공유를 사용할 것으로 추정되는 개소
 - 7,404개소 × 0.5 = 3,702개소

(2) 규제의 편익분석

2002년 국내 산업재해로 인한 경제적 총 손실추정액은 <표 9-10>과 같이 약 10조원을 넘고 있다. 이를 2002년도 산재보상보험 가입 사업장수와 적용 근로자수를 이용하여 각 근로자 1인당 손실액과 사업장 1개소 당 손실액으로 추정한 후 DEOA 노출근로자수를 이용하여 환산하면 약 연간 26억원으로 추

정된다(<표 9-11> 참조).

<표 9-10> 산업재해로 인한 경제적 총 손실추정액

구분	근로 손실일수 (일)	경제적 손실추정액(백만원)			경제적 손실 단가 ¹⁾ (일, 백만원)		
		총액	산재 보상액	간접 손실액	근로손실일수/ 근로자1인	경제적 손실추정액/ 근로자1인	경제적손실 추정액/ 사업장1개
2002년	54,011,503	10,101,675	2,020,335	8081340	5.1	0.96	10.1

내용 주

자료원: '도표로보는 주요통계 편람' 한국산업안전공단, 2003

1) 근로자수는 2002년도 산업재해보상보험법 가입 사업장의 적용 근로자수를 활용하였고 사업장수는 2002년도 산업재해보상보험법 가입 사업장수를 활용하였음.

<표 9-11> DEOA 노출기준 규제 목표 달성을 통한 총 편익

연간 DEOA로 인한 직업병 예방 대상 수 ¹⁾	경제적 편익추정 총액 ²⁾ (일, 백만원)	
DEOA 노출근로자수	근로손실일수	근로자수를 근거로 추계한 편익
2,783	14,219.1	2,659.4

내용 주

1) 본 연구결과 추정 노출근로자수

2) <표 9-10>의 경제적손실단가와 연간 DEOA로 인한 직업병 예방 대상 수를 이용하여 계산

(3) 비용 · 편익의 비교 및 검토

DEOA 변경 노출기준 준수를 위한 작업환경 개선비용은 약 14억으로 추계되었고, 노출기준 준수를 통해 직업병 예방에 의한 경제적 편익은 연간 26억 원으로 추정되어 비용 대비 편익 발생 효과가 더욱 크다고 할 수 있다. 특히 작업환경 개선비용은 초기 투자비용 이후 매년 관리 비용으로 소요되는 금액은 투자비용의 50% 이내임을 감안할 때 편익은 매년마다 발생하므로 편익 효

과는 훨씬 크다고 할 수 있다.

마. 노출기준 제·개정 규제의 경쟁적 요소 포함 여부

(1) 시장경쟁 제한요소 포함 여부

본 규제를 통해 인·허가, 면허 등 행정기관의 허가를 받도록 하는 진입제한 등이 발생하지 않고, 사업의 범위 또는 구역을 제약하거나 생산·판매 등을 금지하도록 규제하지 않으며, DEOA를 취급하는 모든 사업장을 대상으로 적용되는 규제이므로 시장경쟁제한요소는 없다.

(2) 기업활동 저해요소 포함 여부

DEOA의 변경 기준 규제를 위해 작업환경 개선비용이 발생하나 이는 효율적 공정관리와 작업환경 관리를 통해 작업환경의 개선효과와 근로자의 직업병 예방을 통해 근로손실일수 및 경제적 손실액을 보상할 수 있으므로 기업활동에 저해된다고 할 수 없다.

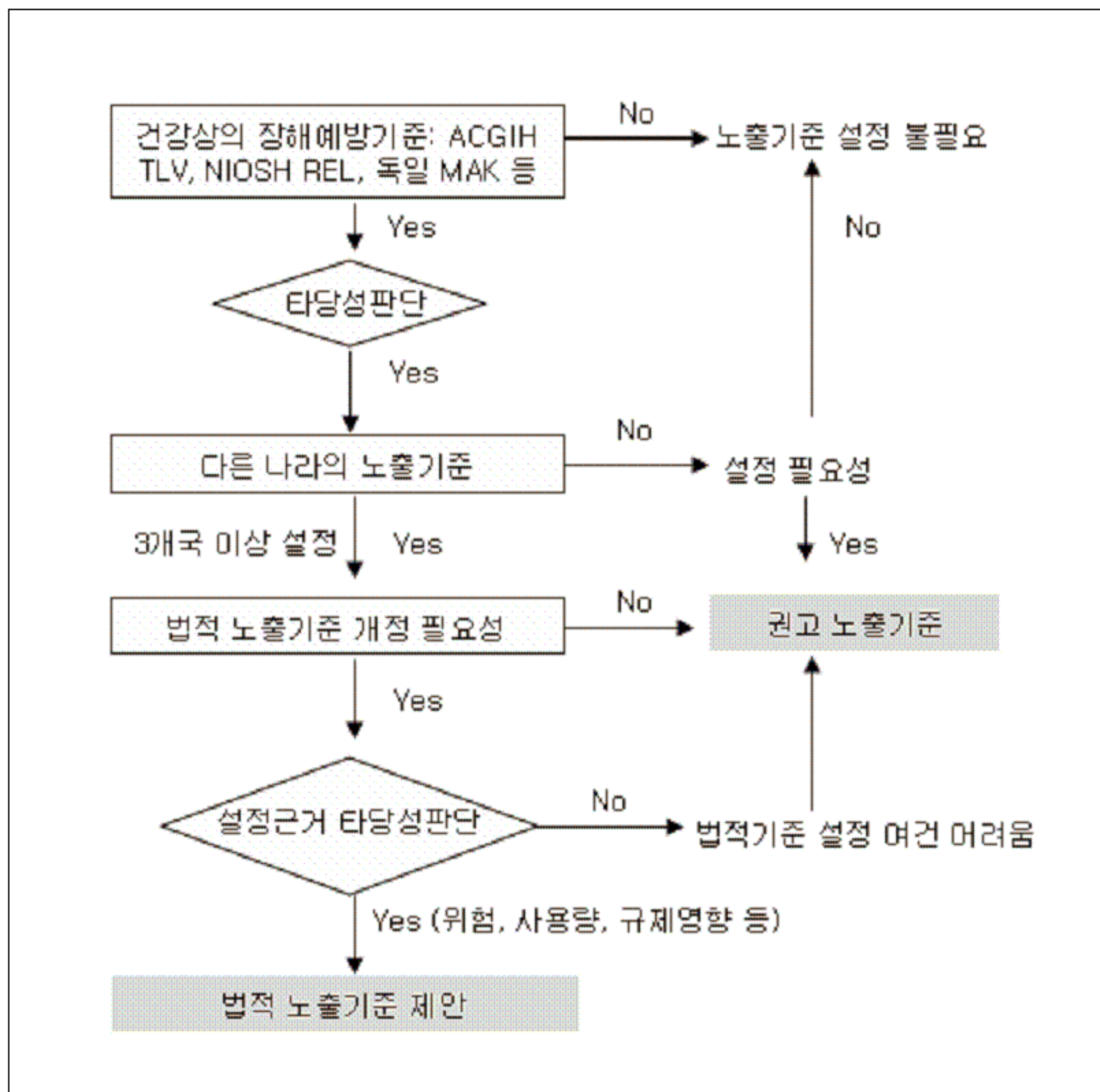
바. 노출기준 제·개정 규제내용의 객관성·명료성

(1) 규제기준, 절차의 명확성

산업안전보건법 제39조에 의해 노동부장관은 유해인자에 대한 노출기준을 제정·공시하도록 하고 있으며 산업안전보건법시행규칙 제81조의2항에는 노출기준 제정을 위해 다음 사항을 고려하도록 하고 있다.

- 그 유해인자에 의한 건강장해에 관한 연구·실태조사의 결과
- 그 유해인자의 유해·위험성의 평가결과
- 그 유해인자의 노출기준 적용에 관한 기술적 타당성

본 연구에서는 위의 고려사항을 포함하여 [그림 9-3]과 같은 개정 절차를 통해 국내외 관련 문헌 검토와 선진국의 규제 현황, 경제·기술적 타당성을 고려하여 기준 변경을 제안함으로써 절차의 객관성과 명확성을 제고하였다.



[그림 9-4] 노출기준 개정 절차

(2) 규제의 법적근거 및 존속기한의 타당성 여부

가) 규제의 법적근거

□ 제39조 (유해인자의 관리 등)

①노동부장관은 근로자의 건강장해를 유발하는 화학물질 및 물리적 인자 등(이하 "유해인자"라 한다)을 노동부령이 정하는 분류기준에 따라 분

류하고, 이를 관리하여야 한다.

②노동부장관은 유해인자의 노출기준을 정하여 관보 등에 고시한다.

③노동부장관은 유해인자가 근로자의 건강에 미치는 유해·위험성을 평가하고 그 결과를 관보 등에 공표할 수 있다.

④제3항의 규정에 의하여 유해·위험성을 평가할 대상물질의 선정기준 및 평가방법 등에 관하여 필요한 사항은 노동부령으로 정한다.

□ 산업안전보건법시행령 제45조의4 (산재예방사업의 지원)

법 제62조제1항에서 "대통령령이 정하는 사업"이라 함은 다음 각호의 1에 해당하는 업무와 관련된 사업을 말한다. <개정 2003.6.30>

①. 산업재해예방을 위한 방호장치·보호구·안전설비 및 작업환경개선 시설·장비 등의 제작·구입·보수·시험·연구·홍보 및 정보제공 등의 업무

②. 사업장 안전·보건관리에 대한 기술지원업무

③. 산업안전·보건관련 교육 및 전문인력 양성업무

④. 산업재해예방을 위한 연구 및 기술개발업무

⑤. 직업성질환 발생 원인규명을 위한 역학조사·연구 또는 직업성질환예방에 필요하다고 인정되는 시설·장비등의 구입업무

⑥. 안전보건교육 고취 및 무재해운동 추진업무

⑦. 작업환경측정 및 건강진단기관의 정도관리에 필요한 시설·장비 등의 구입업무

⑧. 산업의학분야의 학술활동 및 인력양성 지원에 관한 업무

⑨. 유해인자의 노출기준 및 유해·위험성 조사·평가 등에 관한 업무

⑩. 기타 산업재해예방을 위한 업무로서 정책심의회위원회의 심의를 거쳐 노동부장관이 정하는 업무

□ 산업안전보건법시행규칙 제81조 (유해인자의 분류·관리)

①법 제39조제1항에서 "노동부령이 정하는 분류기준"이라 함은 별표 11의2의 분류기준을 말한다.

②노동부장관은 제1항의 규정에 의한 분류기준에 해당하는 유해인자를

제3항의 규정에 의한 조사 및 법 제39조제3항의 규정에 의한 유해·위험성평가 등의 결과에 따라 다음 각호의 물질 또는 인자로 정하여 관리하여야 한다.

- ㉓. 법 제37조의 규정에 의한 제조 등 금지물질
 - ㉔. 법 제38조의 규정에 의한 제조 등 허가물질
 - ㉕. 보건규칙의 관리대상 유해물질
 - ㉖. 제93조제1항의 규정에 의한 작업환경측정 대상 유해인자
 - ㉗. 법 제39조제2항의 규정에 의한 노출기준설정 대상 유해인자
- ③ 노동부장관은 제2항의 규정에 의한 유해인자의 관리에 필요한 자료를 확보하기 위하여 유해인자의 취급·노출량, 취급근로자수, 취급공정 등을 주기적으로 조사(이하 "유해인자 노출실태조사"라 한다)할 수 있다.

□ 산업안전보건법시행규칙 제81조의2 (노출기준의 설정 등)

노동부장관은 법 제39조제2항의 규정에 의한 유해인자의 노출기준을 정하는 때에는 다음 각호의 사항을 고려하여야 한다.

- ①. 그 유해인자에 의한 건강장해에 관한 연구·실태조사의 결과
- ②. 그 유해인자의 유해·위험성의 평가결과
- ③. 그 유해인자의 노출기준 적용에 관한 기술적 타당성

나) 존속기한의 타당성 여부

노출기준 설정의 목적은 해당 물질에 대한 직업적 노출을 통해 발생 가능한 건강장해를 예방하기 위한 것이다. 따라서 노출기준 설정을 위해서는 해당 물질의 인체에 대한 독성 정도와 기술적, 경제적 타당성에 근거해 기준 값이 결정된다. 인체에 대한 독성 영향은 인체 실험을 통해 얻을 수 있는 자료가 아니며 해당 물질을 취급하는 사업장에서의 직업병 사례와 그 크기에 의해 평가될 수 밖에 없기때문에 노출기준은 한 번 결정된 값에 대해 존속기간을 규정할 수 없으며 새로운 건강장해 사례가 보고될 경우 지속적으로 재검토되고 재규정되어야 한다. 따라서 본 규제에 대한 존속기한의 지정은 타당하지 않다.

참고문헌

- 관세청: <http://www.customs.go.kr/>, 2005.
- 김신범: 에탄올아민의 공기중 발생에 관한 연구-일부 금속가공공정을 중심으로-서울대학교 보건대학원 석사학위 논문, 1999.
- 이권섭, 선옥남, 윤경섭, 박동욱: 수용성 절삭유에서 분석한 MEOA, DEOA, TEOA의 농도분포 특성 및 MSDS에 대한 신뢰성 평가, 한국산업위생학회지, 15:43-52, 2005.
- 노동부: 작업환경측정 및 정도관리규정(노동부고시 제2001-39호), 2001.
- 노동부: 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(노동부고시 제2002-8호), 2002.
- 소방방재청: <http://www.nema.go.kr/>, 2005.
- 영창화학: http://www.ycchem.co.kr/html/pro_420.html, 2005.
- 통계청: 국제통계연감, 2005.
- 한국무역협회: <http://www.kita.net/>, 2005.
- 한국산업안전공단: Clean 사업 우수사례, 2004.
- 한국산업안전공단: '99제조업체작업환경실태조사, 2000.
- 한국산업안전공단: 도표로보는 주요통계 편람, 2003.
- 한국산업안전공단: 작업환경측정 분석방법 지침. KOSHA CODE A-1-090, 2004.
- 화학방재연구센터: <http://www.ceicinfo.or.kr/>, 2005.
- 화학시장정보: <http://chema.co.kr/domestic/>, 1999.
- 환경부: '04년 유독물 유통·취급실태 조사결과, 2005.
- 환경부: 화학물질 유통량('02) 조사 결과, 2004.
- American Industrial Hygiene Association's(AIHA) Workplace Environmental Exposure Level(WEEL) Committee: Workplace Environmental Exposure Level Guides. Fairfax, Va: American Industrial Hygiene Association, 1996.
- American Conference for Governmental Industrial Hygienist(ACGIH) :

- “Documentation of the TLVs and BEIs with other Worldwide Occupational Exposure Values: 2005, 7th edition. Paper and CD-ROM Combo, 2005.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). 2005 TLVs & BEIs, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH 1330 Kemper Meadow Drive Cincinnati, OH 45240-1634. ISBN 1-1882417-46-1; 2005.
- American Industrial Hygiene Association(AIHA) : An International Review of Procedure for Establishing Occupational Exposure Limits 2700 Prosperity Avenue, suite 250 Fairfax, VA 22031, ISBN 0-932627-73-0, 1996.
- Ameille J., Wild P. P., et al.: Respiratory Symptoms, Ventilatory Impairment, and Bronchial Reactivity in Oil Mist-Exposed Automobile Workers. *Am. J. Ind. Med.* 27:247-256, 1995.
- Annau E, Manginelli A.:Chemical and Biological Effects of Diethanolamine. *Nature*, 166:815-816, 1950.
- Arbeitshygiene zulässige Konzentrationen Gesundheitsschädlicher Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz.
- Arbets- Skyddsverket, Vetenskaplig Skriftserie :Scientific Basis for Swedish Occupational Standards. IV., 36, 1983.
- Balato N., Cusano F.: Ethylenediamine Dermatitis, Contact Dermatitis, 15: 263-265. 1986.
- Barbee S.J, Hartung R.:The effect of Diethanolamine on Hepatic and Renal Phospholipid Metabolism in the Rat, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 47: 421-430. 1976.
- Beard R.R., and Noe J.T.:Aliphatic and Alicyclic Amines. In: D.G. Beardon and F.E. Clayton, Eds., *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, 5th ed. Vol. 2B. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons, New York, NY, 3135-3173, 1981.

- Blum K, Huizenga C.G. : Toxicity of Diethanolamine in Mice, Toxicol. Appl. Pharmacol. 22:175-185, 1970.
- Bouyoucos S.A., and Melcher R.G.: Collection of Ethanolamines in Air and Determination by Mobile Phase Ion Chromatography. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 47(3):185-188, 1986.
- Brieger H., W.A. Hodes: Toxic Effects of Exposure to Vapors of Aliphatic Amines. Arch. Ind. Hyg. Occup. Med. 3:287-291, 1951.
- Brooke I.M.:A UK Scheme to Help Small Firms Control Health Risks from Chemicals: Toxicological Considerations. Ann Occup Hyg . 42(6):377-390,1998.
- Burnett C., and Goldenthal E.I.: Teratology and Percutaneous Toxicity Studies on Hair Dyes, J. Toxicol. Environ. Health, 1027-1040, Diethanolamine - Subchronic Inhalation Toxicity and Neurotoxicity Study in Wistar Rats. 90-day Liquid Aerosol Exposure-. BASF Project No. 50I0075/93011. Heidelberg, FRG: BASF. Diethanolamine. Cancer Lett. 13, 227-231. 1976.
- Buringh E., and Lanting R.: Exposure Variability in the Workplace: Its Implication for the Assessment of Compliance. Am Ind Hyg. Assoc.J. 52:6-14, 1991.
- Carnevale F.R., Montesano C. P. and Tomais L: Comparison of Regulations on Occupational Carcinogens in Several industrialized Counries.Am.J.Ind.Med. 11:454-473, 1987.
- Cook W.A.: Maximum Allowable Concentrations of Industrial Atmospheric Contaminants. Ind. Med. Ind. Hyg. 6:936-946, 1945.
- Cook W.A.: Occupational Exposure Limits-World-Wide. Akron, Ohio: American Industrial Hygiene Association, 1987.
- Cook W.A.: 1990 HENRY F. SMYTH, JR. AWARD LECTURE Criteria for Occupational Exposure Limits by Selected Countries. AM. IND. HYG.

- ASSOC. J. 53;395-397, 1992.
- Cook W.A.: Occupational Exposure Limits for Carcinogens Variant Approaches by Different Countries. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 50;A680-A684, 1989.
- David A.W., Michael, D. A., et al. :Regression Method to Estimate Provisional TLV/WEEL-equivalents for Non-carcinogens, Ann.occup.Hyg.,44(5),361-374, 2000.
- Deutsche Forschungsgemeinschaft: MAK and BAT Values(Report 28). Weinheim, Germany: Commission for the investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, Achievable in the Work Area. Qvailavle in the United States from VCH,220 E.23rd St. New york. Ny10010-4606, 1992.
- Donoghue A.M. : The Design of Hazard Risk Assessment Matrices for Ranking Occupational Health Risks and Their Application in Mining and Minerals Processing. Occup Med., 5(2):118-123,2001.
- Duetre H, Nguyen Phu L.: Comparative Study of Skin and Eye Irritation by Ethanolamines(Mono, Di, Tri and Poly). Arch. Mal. Profess, 43, 455-460, 1982.
- Environmental Health Research and Testing, Inc.;Screening of Priority Chemicals for Reproductive Hazard. Monoethanolamines, Diethanolamine, Triethanolamine, NTIS Pub, No. PB-89-139-067, U.S. National Technical Information Service, Springfield, VA, 1987.
- Foster G.V, Hartung R. :Inhibition of Hepatic Microsomal Enzymes by N-Substituted Ethanolamine. Toxicol. Appl. Pharmacol, 19, 386, 1971.
- Foster G.V. :Studies of the Acute and Subacute Toxicologic Responses to Diethanolamine in the Rat. Diss. Abstr. B32, 6549, 1972.
- Galloway S. M., Armstrong MJ, Reuben C. et al.: Chromosome Aberrations and Sister Chromatid Exchanges in Chinese Hamster Ovary Cells: Evaluations of 108 Chemicals. Environ. Mol. Mutagen. 10(Supplement 10):

- 1 - 175. 1987.
- Gamer A.O., Hellwig J., and Hildebrand B. :Study of the Prenatal Toxicity of Diethanolamin in Rats after Inhalation. BASF Project No. 31RO233/90010. Ludwigshafen, FRG: BASF, 1993.
- German Research Society: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen and Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte[Maximum Concentrations at the Workplace and Biological Tolerance Values for Working Materials](Report No. XXII). VCH Verlagsgesellschaft, Postfach 1260/1280, D-6940 Weinheim, FRG: Commission for the investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area. German Research Society.1986.
- Grice H.C., and Barth M.L.: Correlation Between Serum Enzyme, Isoenzyme Patterns and Histologically Detectable Organ Damage. Food Cosmet. Toxicol, 9, 847-855,1971.
- Gough M.: Zero Risk or Acceptable Risk. Am. Ind. Hyg Assoc.J.52:556-560, 1991.
- Guest I.:The Chemical Industries Association Guidance on Allocating Occupational Exposure Bands. Ann Occup Hyg;42(6):407-411, 1998.
- Gulf South Research Institute :Subchronic Test of Diethanolamine in B6C3F1 Mice and Fischer 344 Rats, Rockville. MD. GERI. New Iberia, LA, 1980.
- Hartung R, Rigas L.K.: Acute and Chronic Toxicity of Diethanolamine Toxicol. Appl. Phamarcol, 17, 308. 1970.
- Hawkins N.C., Jayjock M.A., Lynch J.:A Rationale and Framework for Establishing the Quality of Human Exposure Assessments. Am. Ind. Assoc. J., 53(1):34-41. 1992.
- Haworth S., and Lawlor T. :Salmonella Mutagenecity Test Results for 250 Chemicals. Environ. Mutagen, 5:1-142, 1983.
- Hazardous Substances Data Bank(HSDB): Hazardous Substances Data Bank National Library of Medicine's TOXNET system(

- <http://toxnet.nlm.nih.gov>), 2003.
- Henschler D.: Exposure Limits: History, Philosophy, Future Developments. *Annals of Occupational Hygiene*, 28(1):79-92, 1984.
- Health and Safety Commission: Control of Substances Hazardous to Health Regulations 1999-proposals for Maximum Exposure limits and Occupational Exposure Standards, 2002.
- Health and Safety Executive: EH40/2005 Workplace Exposure Limits, 2005.
- Hendy M.D., Beattie B.E., and Burge P.S.: Occupational Asthma due to an Emulsified Oil Mist. *Br. J. Ind. Med.* 42:51-54, 1985.
- Hruban Z., and Swift H.: Effect of Triparanol and Diethanolamine on the Fine Structure of Hepatocyte and Pancreatic Acinar Cells. *Lab. Invest*, 14,1652-1672. <http://www.atsdr.cdc.gov/>. 1965.
- International Agency for Research on Cancer(IARC): Lists of IARC Evaluations; 2002. Available from:URL:<http://monographs.iarc.fr/monoeval/grlist.html>
- International Labour Office(ILO): Encyclopedia of Occupational Health and Safety, 4th edition, McGraw-Hill, New York, 1988.
- International Labour Office: ILO Chemical Control Toolkit Draft Guidelines(<http://www.ilo.org/safework>), 2003.
- Izmerov N.F, Sanotzky I.I.:Toxicometric Parameters of Industrial Toxic Chemicals Under Single Exposure. United Nations Program(UNEP), Moscow, 1982.
- Kamendulis LM, Klaunig JE,:Species Differences in the Induction of Hepatocellular DNA Synthesis by Diethanolamine, *Toxicol Sci.* Oct., 87(2):328-36, 2005.
- Kenyon E.M., Hammond S.K., Shatkin J., Woskie S.R. et al.: Ethanolamine Exposures of Workers Using Machining Fluids in the Automotive Parts Manufacturing Industry. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 8(7):655-661, 1993.

- Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. 4th ed. Volumes 1: New York NY. John Wiley and Sons, 1991-Present., p. V13 (95) 896
- Knaak J.B., Leung H-W., Stott W.T., Busch J., and Bilsky J.: Toxicology of Mono-, Di-, and Triethanolamine. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 149, 1-86.1997.
- Korsrud G.O, Grice H.G, Sensitivity of Several Serum Enzymes for Detection of Thioacetamide-, Dimethylnitrosamine-and Diethanolamine-induced Liver Damage in Rats, Toxicol. Appl. Pharmacol, 26, 299-313, 1973.
- Krol J., Alden P.G. and Morawski J.: Ion Chromatography of Alkylamines and Alkanolamines Using Conductivity Detection. J. Chromatogr. 626:165-170, 1992.
- Lewis R. J., Sr(Ed.): Hawley's Condensed Chemical Dictionary. 12th ed. New York, NY; Van Nostrand Rheinhold Co., 613, 1993.
- Lide David: CRC Handbook of Chemistry and Physics. 74th ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 1994.
- Lijinsky W., Reuber M.D., and Manning W.B.: Potent Carcinogenicity of Nitrosodiethanolamine in rats. Nature 288:589-590, 1980.
- Loveday K.S, Lu M.H. :Chromosome Aberration and Sister-Chromatid Exchange Tests in vitro Transformation Assays on Triethanolamine. Mutat. Res. 101:305-313, 1982.
- Maidment S., C.: Occupational Hygiene Considerations in the Development of a Structured Approach to Select Chemical Control Strategies. Ann. Occup. Hyg., 42(6):391-400, 1998.
- Matthews J.M., Garner C.E., and Matthews H.B.: Metabolism, Bioaccumulation, and Incorporation of Diethanolamine into Phospholipids. Chem. Res. Toxicol. 8:625-633. 1995.
- Mortelmans K, Zeiger E.:The Ames Salmonella/microsome mutagenicity assay. Mutat Res. 20;455(1-2):29-60, 2000.

National Fire Protection Association:

<http://www.nfpa.org/faq.asp?categoryID=920>, 2005.

National Institute of Safety Hygiene: Occupational Health Guideline for Diethanolamine, U.S Department of Labor, 1978.

National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): NIOSH Method 3509 II. Amionethanol compounds II. NIOSH Manula of Analytical Methods(NMAM), NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. Atlanta, USA. 1994.

National Institute for Occupational Safety and Health/OSHA: Occupatinoal Health Guidlelines for Chemical Hazards, DHHS (NIOSH) Publication No. 81-123, 1981.

National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposures to Metalworking Fluids, US. Dep. of Health and Human Services, CDC. NIOSH. February, 1998.

National Toxicology Program(NTP) :Report on Carcinogens, Tenth Edition. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service; Available from: URL:<http://ehp.niehs.nih.gov/roc/toc10.html>, 2002.

Occupational Safety & Health Administration(OSHA): PV2018: Diethanolamine. Sampling and Analytical Method. Washington, USA. 1987.

Perkins J.L.: Mordern Industrial Hygiene. Recognition and Evaluation of Chemical Agents. Van Nostrand Reinhold. 1997.

Piipari R, Tuppurainen M, Tuomi T, Mantyla L, Henriks-Eckerman ML,Keskinen H, and Nordman H.: Diethanolamine-induced Occupational Asthma, A Case Report. Clin. Exp. Allergy, 28(3):358-362. 1988.

Roach S. A.: On Assessment of Hazards to Health at Work. American Industrial Hygiene Association Journal, 55:1125-1130, 1994.

Roach S. A. and Rappaport S.M.: But They are not Thresholds: A critical

- Analysis of the Documentation of Threshold Limit Values. *American J. Ind. Med.* 17:727-753. 1990.
- Robertson A.A., Weir D.C., and Burge P.S.: Occupational Asthma due to Oil Mists. *Thorax.* 43:200-205, 1988.
- Russell R.M., Maidment S.C., Brooke I., Topping M.D.: An Introduction to a UK Scheme to Help Small Firms Control Health Risks from Chemicals. *Ann Occup Hyg*, 42(6):367-376, 1998.
- Savonius B., Keskinen H., Tuppurainen M., and Kanerva L.: Occupational Asthma Caused by Ethanolamines. *Allergy* 49:887-891, 1994.
- Smyth H.F.: Carpenter, C.P.; Weil, C.S.: Range-Finding Toxicity Data: List IV. *Arch. Ind. Hyg. Occup. Med.* 4:119-122, 1951.
- Sundlof S.F, Maybew I.G.: Neuroparalytic Syndrome Associated with an Oral Flea Repellant Containing Diethanolamine. *Vet. Hum. Tox.* 25: 247-249, 1983.
- Swedish Work Environment Authority: Occupational exposure limit values and measures against air contaminants, AFS, 3, 2000.
- The Japan Society for Occupational Health(JSOH): Recommendation of Occupational Exposure Limits(2004-2005), *J. Occup. Health*, 46:329-344, 2004.
- The Merck Index-An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. Whitehouse Station, NJ: Merck and Co., Inc., 2001.
- Topping M.D., Williams C.R., and Devine J.M.: Industry's Perception and Use of Occupational Exposure Limits. *Ann Occup Hyg*, 42(6):357-366, 1998.
- U.S National Toxicology Program: NTP Technical Report on toxicity Studies of Diethanolamine, Research Triangle Park, NC(October 1992).
- U.S National Toxicology Program: Toxicology and Carcinogenesis Studies of Diethanolamine in F344/N Rats and B6C3F1 Mice, 1999.
- U.S. Department of Health and Human Services: Hazardous Substances Data Bank(HSDB, online database). National Toxicology Information

- Program, National Library of Medicine, Bethesda, MD. 1993.
- United Nations Environmental Programme: SIDS Initial Assessment Report for 11th SIAM, <http://www.inchem.org/pages/sids.html>, 2003.
- Warren A.C.,: Criteria for Occupational Exposure Limits by Selected Countries. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 53:395-397, 1992.
- Warren D.W., and Selchan D.F.: An Industrial Hygiene Appraisal of Triethylamine and Diethanolamine Exposure Limits in the Foundry Industry. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 49:630-634, 1998.
- Weast R.C.: Handbook of Chemistry and Physics. 69th ed. Boca Raton, FL: CRC Press Inc., 1988-1989., B-94.
- Weisburger E.: Lowering Threshold Limit Values(TLVs) has Additional Benefits. J. Haz. Mat. 36:143-148, 1994.
- Whaley D.A., Meloy T.P., Barrett S.S. and Bedillion E.J.: Incorporation of Potential for Multimedia Exposure into Chemical Hazard Score for Pollution Prevention. Drug and Chemical Toxicology 22(1):241-273, 1999.
- Whaley D.A., Attfield M.D., et al. :Regression Method to Estimate Provisional TLV/WEEL- equivalents for Non-carcinogens, Ann. Occup. Hyg., 44(5):361-374, 2000.