

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

화학물질 노출기준 개정 연구

□ 1,1-디메틸하이드라진
(1,1-Dimethylhydrazine)

2005. 12

연구기관 창 원 대 학 교



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

화학물질 노출기준 개정 연구

□ 1,1-디메틸하이드라진
(1,1-Dimethylhydrazine)

2005. 12

연구기관 창 원 대 학 교



제 출 문

노동부장관 귀하

본 보고서를 2005년도 노동부 화학물질에 의한 근로자 건강장해 예방 연구 용역 사업 중 “1,1-디메틸하이드라진(1,1-Dimethylhydrazine) 노출 기준 개정(안) 연구”의 최종보고서 초안으로 제출합니다.

2005. 12.

연구기관 창원대학교
연구책임자 하권철 교수

공동연구원 :	원진노동환경건강연구소	소장 임상혁
	한국방송통신대학교	교수 박동욱
	인제대학교	교수 문덕환
	원진노동환경건강연구소	실장 최상준

연구보조원 :	창원대학교	연구원 김용용
	창원대학교	연구원 전영준
	창원대학교	연구원 류지일
	창원대학교	연구원 남택형
	창원대학교	연구원 최영태
	창원대학교	연구원 김경희
	한국방송통신대학교	연구원 진구원
	한국방송통신대학교	연구원 선옥남
	대한산업보건협회 마산지부	연구원 오상민
	대한산업보건협회 울산지부	연구원 양승혁
	원진노동환경건강연구소	연구원 이상윤
	원진노동환경건강연구소	연구원 광현석
	원진노동환경건강연구소	연구원 김 원
	원진노동환경건강연구소	연구원 양원수
	원진노동환경건강연구소	연구원 이성민

<목 차>

목차	i
표목차	iii
그림 목차	vii
약어표	x

I. 연구목적

1. 서론	1
2. 궁극적인 목적	5
3. 구체적인 목적	6

II. 연구내용 및 방법

1. 연구내용	10
2. 연구방법	19
3. 연구 기대효과 및 활용방안	33

III. 연구결과

1. 물질의 특성	36
2. 취급현황	63
3. 동물에 있어서의 건강영향	77
4. 인체영향	106

5. 각국의 노출기준 요약 및 해설	117
6. 작업장내 근로자 노출실태	181
7. 노출기준 제안	198
8. 취급근로자 건강장해 예방조치	244
9. 규제영향분석	258
 참고문헌	 277

〈표 목 차〉

<표 I-1> 노동부, ACGIH, OSAH, NIOSH에서 제안하고 있는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 산업보건 노출기준	3
<표 II-1> 연구범위별 연구내용의 구체적인 분류	12
<표 II-2> 1,1-디메틸하이드라진의 유해성 자료를 검색한 주요 기관의 URL	22
<표 II-3> 국가별 노출기준 검색에 이용한 URL이나 참고문헌	23
<표 II-4> 공기중 1,1-디메틸하이드라진(UDMH)과 메틸하이드라진(MMH)의 공인된 시료 채취 분석 방법	28
<표 III-1-1> 1,1-디메틸하이드라진의 물질 개요	37
<표 III-1-2> 1,1-디메틸하이드라진의 물리학적 특성	39
<표 III-1-3> 물질별 증발률 비교	49
<표 III-1-4> 1,1-디메틸하이드라진과 모노메틸하이드라진의 냄새 서한도와 자극을 일으킬 수 있는 수준	51
<표 III-1-5> 1,1-디메틸하이드라진의 화학적 성상	57
<표 III-1-6> NFPA 및 OSHA의 인화성(flammable) 및 가연성(combustible) 액체 분류	59
<표 III-2-1> 로켓 추진제로 사용되는 1,1-디메틸하이드라진	66
<표 III-2-2> 하이드라진과 그 유도체의 연간생산량, 용도, 노출근로자 수	69
<표 III-2-3> 1,1-디메틸하이드라진 제조 및 사용현황(환경부, 2002)	70
<표 III-2-4> 하이드라진 수·출입통계	71
<표 III-2-5> 1,1-디메틸하이드라진 예비조사 대상 및 조사 결과	71
<표 III-2-6> 스팅텍스 중합공정에서 1,1-디메틸하이드라진의 노출 경로	76
<표 III-3-1> 산업안전보건법시행규칙의 독성에 따른 유해인자 분류기	

준	78
<표 III-3-2> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 급성경구독성 동물 실험 결과	79
<표 III-3-3> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 급성경피독성 동물 실험 결과	82
<표 III-3-4> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 급성흡입독성 동물 실험 결과	86
<표 III-3-5> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 아급성경구독성 동물 실험 결과	88
<표 III-3-6> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 아급성흡입독성 동물 실험 결과	92
<표 III-3-7> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 만성흡입독성 동물 실험 결과	95
<표 III-3-8> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 발암성 동물 실험 결과	102
<표 III-5-1> 다양한 국가에서 적용시키고 있는 작업환경 노출기준 (Cook, 1986)	122
<표 III-5-2> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 각 나라 및 기관의 노출 기준(2005년 기준)	133
<표 III-5-3> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 각 국 및 기관의 발암성 표시	135
<표 III-5-4> 국제암연구센터(International Agency for Research on Cancer, IARC)의 발암성 분류	136
<표 III-5-5> ACGIH의 발암성 분류 체계	139
<표 III-5-6> 미국 EPA의 발암성 분류 체계(1986년)	141
<표 III-5-7> 미국 EPA의 발암성 분류 체계(1996년)	142
<표 III-5-8> 미국 EPA의 발암성 분류 체계(1999년)	142
<표 III-5-9> 일본 산업위생학회의 발암물질 체계	143
<표 III-5-10> 독일 MAK의 발암성 분류 체계	144
<표 III-5-11> 미국에서 행정적으로 적용되고 있는 1,1-디메틸하이드라	

진에 대한 기준 및 근거	149
<표 III-5-12> TLC 갱신 물질 선정을 위한 기준	152
<표 III-5-13> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 ACGIH의 노출기준 역사	156
<표 III-6-1> 공기 중 1,1-디메틸하이드라진의 분석방법 요약	184
<표 III-6-2> 1,1-디메틸하이드라진의 표준용액 농도수준	186
<표 III-6-3> 1,1-디메틸하이드라진 측정 및 분석방법	189
<표 III-6-4> 0.1M 염산용액 중 1,1-디메틸하이드라진의 재현성 ...	190
<표 III-6-5> 1,1-디메틸하이드라진의 지역농도 측정 결과	191
<표 III-6-6> 반응기별 1,1-디메틸하이드라진 TWA-A 측정 결과 (단 위: ppm)	192
<표 III-6-7> 분배기별 1,1-디메틸하이드라진 TWA-A 측정 결과(단 위: ppm)	193
<표 III-6-8> 1,1-디메틸하이드라진의 저장탱크에서의 지역 농도측정결 과	195
<표 III-6-9> 1,1-디메틸하이드라진의 STEL-A 측정 결과	197
<표 III-7-1> 노출기준별 제안기구(단체)와 활용 특성	200
<표 III-7-2> ACGIH TLV의 전체적인 수준의 변화	201
<표 III-7-3> 국내 노출기준 개정과정	206
<표 III-7-4> 미국 ACGIH의 노출기준(TLV)에 대한 국가별 법적 노출 기준의 수의 비	208
<표 III-7-5> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 주요 국가 및 기관의 노출 기준(2005년 기준)	210
<표 III-7-6> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 ACGIH의 노출기준 역사	212
<표 III-7-7> 1,1-디메틸하이드라진의 측정 농도	220
<표 III-7-8> 국가별 1,1-디메틸하이드라진 시간가중평균기준(TWA)의 분류	222
<표 III-7-9> 국가별 1,1-디메틸하이드라진의 단시간노출기준(STEL)의	

분류	224
<표 III-7-10> 국가별 1,1-디메틸하이드라진 발암성의 평가	228
<표 III-7-11> 우리나라 1,1-디메틸하이드라진 노출기준에 대한 개정 필요성 판단	229
<표 III-7-12> 본 연구에서 제안한 1,1-디메틸하이드라진 노출기준과 제안 근거 요약	234
<표 III-7-13> 제안된 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 따른 실행가능성 (feasibility)을 평가하기 위한 항목과 주요 내용	237
<표 III-7-14> 화학물질에 대한 1,1-디메틸하이드라진의 법적 규정 내 용	239
<표 III-8-1> NFPA 건강 위험성	249
<표 III-8-2> NFPA 화재 위험성	250
<표 III-8-3> NFPA 반응 위험성	251
<표 III-8-4> 1,1-디메틸하이드라진의 누출사고시 초기 결리 및 보호행 동 거리에 대한 가이드라인	254
<표 III-8-5> 1,1-디메틸하이드라진과 물질 융화성	255
<표 III-9-1> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 현재 국내 노출기준	259
<표 III-9-2> 국가별 산업재해 사망률(100,000명당) 비교	261
<표 III-9-3> 우리나라 노출기준 개정과정	263
<표 III-9-4> 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 변경내용과 제안 근거 요 약	265
<표 III-9-5> 1,1-디메틸하이드라진 노출로 인한 직업병 예방 규제 대 안별 장·단점	269
<표 III-9-6> 작업환경 측정 및 개선을 위한 규제의 비용분석	270
<표 III-9-7> 산업재해로 인한 경제적 총 손실추정액	271
<표 III-9-8> 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 규제 목표 달성을 통한 총편익	272

<그 립 목 차>

[그림 I-1] 연구의 구체적인 목적과 궁극적인 목적	5
[그림 II-1] 노출기준 설정 및 적용을 위한 연구범위	11
[그림 II-2] 노출기준 개정 및 편람 작성에 관한 연구의 목적, 필요성, 기대효과	20
[그림 II-3] 1,1-디메틸하이드라진의 국내 사용량을 조사하기 위한 단계	26
[그림 III-1-1] 하이드라진류의 공간 배열	38
[그림 III-1-2] 온도에 따른 1,1-디메틸하이드라진 액체와 증기의 밀도 변화	42
[그림 III-1-3] 하이드라진류의 혼합물에 있어서 밀도의 변화	43
[그림 III-1-4] 끓는점과 공정운전 온도에 따른 액체의 휘발성 구분 ..	45
[그림 III-1-5] 액체상의 1,1-디메틸하이드라진에 있어서 점도와 온도의 관계	54
[그림 III-1-6] 인화성 및 가연성 분류	60
[그림 III-1-7] 가스와 증기의 폭발 압력과 폭발 범위	61
[그림 III-1-8] 하이드라진의 분해와 증기압의 관계	62
[그림 III-2-1] 라시히 방법(Raschig process)에 의한 하이드라진 제조 과정	64
[그림 III-2-2] 로켓 액체추진기관 구성도 및 실제 형상	67
[그림 III-2-3] 스파텍스 생산 공정 중 1,1-디메틸하이드라진의 사용 공 정도	75
[그림 III-3-1] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하 이드라진의 노출수준별 급성(≤ 14 일) 경구독성 영향(자료 원: ATSDR, 1998)	80
[그림 III-3-2] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하	

이드라진의 노출수준별 급성(≤ 14 일) 호흡독성 영향(자료원: ATSDR, 1998)	86
[그림 III-3-3] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 아급성(15-364일) 경구독성 영향(자료원: ATSDR, 1998)	89
[그림 III-3-4] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 아급성(15-364일) 흡입독성 영향(자료원: ATSDR, 1998)	94
[그림 III-3-5] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 만성(≥ 365 일) 흡입독성 영향(자료원: ATSDR, 1998)	96
[그림 III-3-6] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 만성(≥ 365 일) 흡입독성 영향(자료원: ATSDR, 1998)	103
[그림 III-3-7] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 만성(≥ 365 일) 경구독성 영향(자료원: ATSDR, 1998)	104
[그림 III-5-1] 작업환경 기준의 (OELs) 연대기 (ILO,1998)	121
[그림 III-5-2] 국가 및 기관별 TWA 기준(2005년)	134
[그림 III-5-3] OSHA 노출기준 설정 절차	147
[그림 III-5-4] ACGIH-TLV 위원회 체계	151
[그림 III-5-5] ACGIH의 노출기준 설정 절차	154
[그림 III-5-6] 1,1-디메틸하이드라진에 대한 우리나라와 ACGIH의 연도별 TWA 변화	157
[그림 III-5-7] 미국 NIOSH의 노출기준 설정 절차	166
[그림 III-5-8] 일본의 노출기준 설정 절차	156
[그림 III-5-9] 독일 노출기준 설정(1. 위급한 경우)	168
[그림 III-5-10] 독일 노출기준 설정(2. 위급하지 않는 경우)	169
[그림 III-5-11] 독일 노출기준 설정 절차의 변경 과정(3. 절차 변경 시)	

.....	170
[그림 Ⅲ-5-12] 스웨덴의 노출기준 설정 절차	174
[그림 Ⅲ-5-13] 영국의 OEL 권고 기준	176
[그림 Ⅲ-5-14] 영국의 노출기준 설정 절차	178
[그림 Ⅲ-5-15] 프랑스의 노출기준 설정 절차	180
[그림 Ⅲ-6-1] 1,1-디메틸하이드라진의 검량선	188
[그림 Ⅲ-6-2] 1,1-디메틸하이드라진과 스파텍스가 반응하는 반응기	192
[그림 Ⅲ-6-3] 스파텍스와 1,1-디메틸하이드라진을 분리하는 분배기	194
[그림 Ⅲ-6-4] 1,1-디메틸하이드라진의 분배기와 반응기에서의 지역농 도 비교	194
[그림 Ⅲ-6-5] 1,1-디메틸하이드라진의 저장탱크	195
[그림 Ⅲ-7-1] 건강상의 장애를 예방하기 위한 노출기준과 법적 노출기 준	204
[그림 Ⅲ-7-2] 1,1-디메틸하이드라진노출기준 제안 방향	216
[그림 Ⅲ-7-3] 노출기준 제안 단계별 주요 내용	218
[그림 Ⅲ-7-4] 산업안전보건법에서 노출기준의 이원화에 대한 기본적인 모형	238
[그림 Ⅲ-7-5] 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준의 개정	242
[그림 Ⅲ-9-1] 국내 산업재해 현황	260
[그림 Ⅲ-9-2] 국내 산업재해 사망률 추이	261
[그림 Ⅲ-9-3] 규제영향평가 과정	264
[그림 Ⅲ-9-4] 노출기준 개정 절차	273

< 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(캐나다산업보건안전센터)
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 직각적으로 위험한 수준)
ILO	International Labour Organization 국제노동기구
MAK	Maximum Concentration Values(독일의 노출기준)
MMH	Methylhydrazine(메틸하이드라진)
MSDS	Material Safety Data Sheets(물질안전보건자료)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health(미국 국립산업안전보건연구원)
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)
UDMH	1,1'-Dimethylhydrazine(디메틸하이드라진)
WHO	World Health Organization(국제보건기구)

I. 연구목적

1. 서 론

현재 전 세계적으로 1,700만 여종의 화학물질이 개발되어 있고, 그 중에서 약 10만 여종의 화학물질이 상업적으로 유통되고 있다. 우리나라의 경우 유통되고 있는 화학물질의 수는 2001년 기준으로 약 3만8천여 종에 이르고 매년 300여 종이 새로 시장에 진입하고 있다. 화학물질의 종류뿐만 아니라 사용량도 급격히 증가하고 있는 추세라 근로자가 화학물질에 노출되는 빈도가 높아져 위해성 발생 확률이 높아졌다. 또한 위해성이 다양화, 광역화, 저 농도화, 장기화, 복합화 되는 경향을 나타내어 근로자의 건강에 심각한 영향을 미칠 수도 있다고 보고 되고 있다. 이와 같이 위해성이 다양화되다 보니, 이에 대한 정확한 정보를 생산하는 것과 이를 필요로 하는 이해당사자들에게 전달하는 과정이 과거에 비해 매우 어렵고 복잡하게 되었다(한국환경정책·평가연구원, 2003).

화학물질에 대한 위해성의 증가에 따라 직업병을 유발할 수 있는 가능성이 높아져 근로자의 건강 보호에 대한 관심이 증대되고 있다. 기업체의 국제적 경쟁력을 확보하기 위해서는 건강한 근로자의 확보와 유지가 매우 중요한 요소가 되었다. 이를 위해 건강에 해로운 영향을 주는 화학물질에 대한 보다 효과적인 관리 조치들이 요구되고 있다. 관리 방법에는 여러 가지가 있으나 본 연구의 주제인 법적인 규제 방법 중 산업보건법규에서 제정되는 화학물질 노출기준도 들 수 있다.

산업환경에서 사용되는 화학물질의 종류가 점차 다양화되고 사용량이 많아짐에 따라 근로자가 작업환경에서 화학물질을 건강상의 악영향을 받지 않고 안전하게 다룰 수 있도록 노출기준의 중요성이 강조되고 있다. 노출기준은 화

학물질의 건강상의 영향, 작업환경, 사회, 경제적, 기술적 가능성 등을 고려하여 체계적으로 제·개정이 되어야 한다.

우리나라의 경우 1988년 산업안전보건법에 따라 698 종에 대한 노출기준이 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서 제안하는 기준을 여과 없이 받아들여 동일하게 제정되었다. 제정 당시에 우리나라의 작업환경 상황에 대한 고려가 없이 ACGIH의 기준을 그대로 적용한 것이다. 이에 따라 기준 제정 시 검토되어야 할 과학적 근거, 제정에 따른 경제적(economic aspects)인 검토, 실행가능성(feasibility), 문서 및 논리적인 근거에 대한 자료가 없이 기준을 제정하여 이에 대한 보완이 필요하다고 할 수 있다.

노출기준을 제정하고 있는 미국을 비롯한 주요 선진국과 기관에서는 제정 후에 이에 대한 주기적인 검토와 제·개정이 이루어지고 있는 반면에 우리나라에서는 제정된 후 지금까지 단 세 가지 물질에 대해서만 제·개정이 이루어졌다. 1995년 전자부품 제조업에서의 2-Bromopropane에 의한 직업병의 발생 사건으로 이에 대한 노출기준이 설정되었으며, 2002년에 이루어진 석면과 벤젠에 대한 노출기준이 개정되었다. 그러나 다른 기관이나 선진국에서는 기준에 대해 제·개정하고 있었으나 우리나라의 경우는 외국 기준(미국 ACGIH)을 수용한 이후 주기적인 검토가 수행되지 않아 많은 화학물질의 경우 현재 적용되는 기준이 환경 변화를 대변하지 못해 그 적정성에 문제가 제기되고 있어 이에 대한 재검토가 필요한 실정이다.

본 연구의 대상 화학물질인 1,1-디메틸하이드라진(1,1-Dimethylhydrazine)에 대한 주요 기관의 노출기준은 <표 I-1>에 나타낸 것과 같이 기관마다 다른 기준을 권고하고 있다. 이러한 기준의 적절성에 대해서 기준이 설정된 과학적 근거를 평가하여 우리나라의 노출기준과 비교함으로써 구체적인 차이의 근거, 개정의 필요성, 현재 노출기준의 타당성을 평가하는 연구가 필요하다.

더 나아가서는 우리나라에서 제정하고 있는 화학물질의 노출기준에 대한 기술적 및 경제적 적용가능성 등을 검토하여 우리나라 상황에 맞게 효율적이고 효과적으로 적용하기 위해서 이에 대한 신뢰성을 확보하여야 한다.

<표 1-1> 노동부, ACGIH, OSHA, NIOSH에서 제안하고 있는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 산업보건 노출기준

국가 및 기관		노출기준, ppm			피부 및 발암성	기타
		TWA	STEL	Ceiling		
대한민국		0.5 (1mg/m ³)	-	-	피부, A2	
미국	OSHA (PEL)	0.5 (1mg/m ³)	-	-	skin	
	ACGIH (TLV)	0.01 (0.025mg/m ³)	-	-	A3, skin	자극, 종양형성(neo- plasia)
	NIOSH (REL)	-	-	0.06 (0.15mg/m ³), 120분	Ca	IDLH: 15 ppm

TWA : Time-weighted Average(시간가중평균노출기준)

STEL : Short-term Exposure Limit(단시간노출기준)

C(Ceiling) : 천장값

OSHA: Occupational Safety and Health Administration(미국산업안전보건청)

NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health(미국산업안전보건연구원)

ppm : part per million(백만분율, 농도 단위)

*TWA, STEL, C 등 각종 약어에 대한 정의 및 적용은 약어표를 참고하거나 연구결과의 부록을 참조할 것.

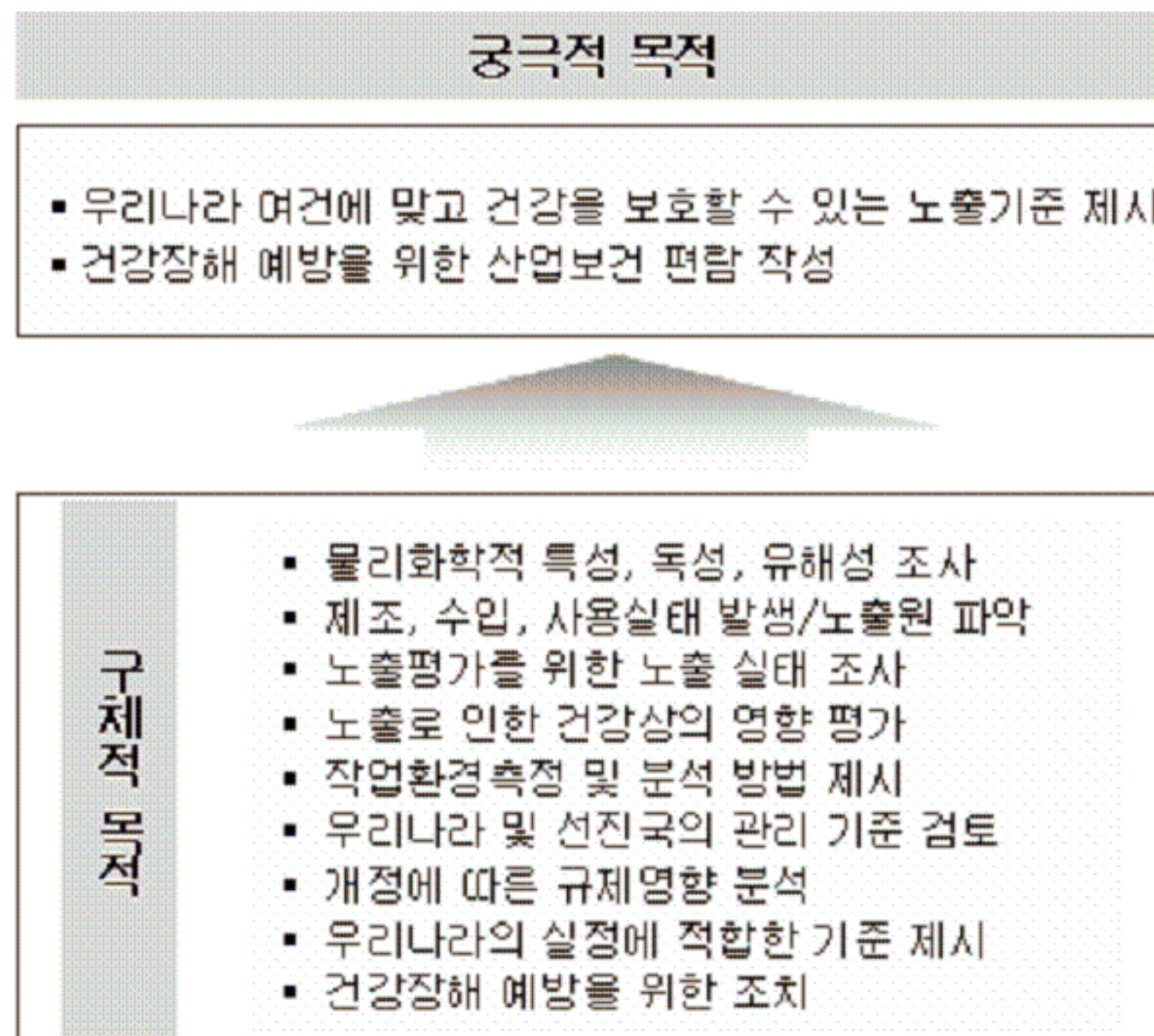
화학물질의 안전한 사용을 위해서 국내에서 사용되고 있는 화학물질에 대한 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheets, MSDS) 제도를 통해서 위해성 및 위험성에 대한 정보를 제공하고 있으나(1995년) 사용량이 많고 독성이 강할 것으로 예측되는 물질에 대한 유해·위험 정보가 부족하거나 없어 근로

자 건강장해 예방을 위한 대처가 미흡하여 노출기준을 근거로 산업보건편람 등의 보완을 통해 위해·위험정보의 강화가 필요하다.

유해화학물질에 대한 정보는 물질안전보건자료 등을 통해서 근로자에게 전달되고 있으나 그 내용이 전문용어(특히 영어로 사용) 등을 사용하여 이해하기 힘든 내용들로 그 유효성에 대해 의문을 제기하고 있어 산업보건과 관련된 이해당사자들이 화학물질의 유해성이나 관리방법 등을 보다 쉽게 알 수 있고 접근할 수 있는 산업보건편람이 필요로 하고 있다. 각 물질별 또는 공정별로 산업보건편람은 자율적인 작업환경관리 체제 확립과 근로자의 건강보호에 많은 기여를 할 것으로 기대된다. 이에 따라 본 연구의 목적은 다음과 같다.

2. 궁극적인 목적

본 연구의 궁극적인 목적은 작업환경 중 건강에 악영향을 주는 유해물질 중 근로자의 건강장해를 예방하기 위해서 제정된 우리나라 노동부의 노출기준 중에서 1,1-디메틸하이드라진(1,1-Dimethylhydrazine, UDMH)에 대해 우리나라 여건에 맞고 근로자의 건강을 보호할 수 있는 노출기준 개정안을 제시하고, 이 화학물질과 관련한 근로자 건강장해 예방을 위한 실무자용의 산업보건편람을 작성하는데 있다([그림 I-1] 참조).



[그림 I-1] 연구의 구체적인 목적과 궁극적인 목적.

3. 구체적인 목적

위의 궁극적인 목적인 우리나라 여건에 맞는 노출기준을 설정하기 위해서 다음과 같이 구체적인 목적을 세워서 접근하였다.

첫째, 1,1-디메틸하이드라진의 물리화학적 특성과 독성·유해성을 파악하였다. 물질의 물리화학적 특성 중 산업보건과 관련이 있는 분자량, 증기압 등의 특성들과 실험동물 등을 통한 독성과 유해성 조사 결과를 문헌고찰을 통해 연구하여 노출기준 설정 시 고려토록 하였다.

둘째, 1,1-디메틸하이드라진의 제조·수입·사용실태 및 발생원·노출원 등을 조사하였다. 우리나라에서 제조, 수입, 사용하는 주요 업종별 공정을 대상으로 취급현황, 발생특성, 사용량, 개선대책(control), 노출근로자수 등을 정성 및 정량적으로 조합하여 1,1-디메틸하이드라진에 대한 위험성 평가(risk assessment)를 고려하였다. 알릴 글리시딜 에테르에 대한 직업적 노출 평가에 대한 내용에 있어서 전 세계적으로 에폭시 레진 취급 사업장에서 일하는 근로자들에게서 발생된 사건들이 몇 건 있을 뿐 전체적인 노출평가 자료는 거의 없다고 봐야 한다. 미국정부산업위생전문가협회(American Conference for Governmental Industrial Hygienist, ACGIH)의 “Documentation of Threshold Limit Value”(ACGIH, 2005)와 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)의 “Occupational Health Guideline”에서도 1,1-디메틸하이드라진에 대한 우주산업에서의 연료로 사용되는 위험한 물질이라고 언급되어 있다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진이 취급되는 주요 업종별 공정에 대한 위험성평거나 건강상의 장해사례 등은 보고되거나 평가된 적이 없다. 우리나라의 경우도 1,1-디메틸하이드라진에 대한 산업보건 관련 자료는 찾아 볼 수 없었으며 사용하는 사업장도 극히 드물었다. 따라서 국내에서 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 공정에 대한 위험성평가를 수행하여 우리나라 여건에 맞는 1,1-디메틸하이드라진 노출기준을 개정하는데 기초 자료로 활용한다.

셋째, 1,1-디메틸하이드라진의 국내 작업장 근로자의 노출 실태 파악(유해물질 취급사업장 근로자에 대한 작업환경측정 실시 및 기존 측정자료 분석)한다. 1,1-디메틸하이드라진을 사용하거나 취급하는 사업장을 대상으로 유해물질에 대한 노출 평가나 근로자 건강진단 자료 등을 수집하여 특성들을 종합함으로써 노출기준 설정 시 고려하도록 하였다.

넷째, 1,1-디메틸하이드라진에 노출 시 근로자 건강장해(급·만성), 표적장기 및 체내 작용기전(흡수, 분포, 대사, 배설 등), 국내 직업병 사례 등을 조사 연구하였다. 문헌조사 등을 통해 기존에 발표된 1,1-디메틸하이드라진 관련 건강장해 등 독성학적 요소들을 연구하였다.

다섯째, 1,1-디메틸하이드라진에 대한 작업환경측정 및 분석방법을 제시한다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출 평가 및 분석 방법에 있어 미국 1,1-디메틸하이드라진 등의 공인된 연구 방법을 통해서 실시하며 그 세부적인 사항들을 제시토록 하여 추후 이 물질에 대한 측정 및 분석 방법의 표준화 등에 이용될 수 있도록 하고 본 측정 자료의 신뢰성을 확보토록 하였다.

여섯째, 1,1-디메틸하이드라진과 관련한 산업안전보건법규의 관리 내용 및 주요 선진국의 관리기준 등을 조사하였다. 1,1-디메틸하이드라진과 관련된 노출기준과 취급 및 사용 시의 특이 사항들에 대해 조사한다. 우리나라 1,1-디메틸하이드라진 노출기준을 선진 6개국의 노출기준과 비교함으로써 노출기준에 대한 개정 필요성을 판단토록 한다. 즉 우리나라의 노출기준이 다른 나라와 비교하여 설정 배경과 근거 및 기준이 적정한 지를 비교 고찰하여 개정의 필요성을 판단하였다. 노출기준은 국가나 기관별로 노출기준에 대한 개념에 따라 다른 것이 일반적이다. 국가나 기관의 노출기준에 대한 설정과정, 목적 등이 다르기 때문이다. 1,1-디메틸하이드라진의 노출기준이 설정된 주요 국가별(미국, 프랑스, 일본, 스웨덴, 독일, 영국)로 노출기준과 함께 설정배경 등을 우리나라와 종합적으로 비교 검토하여 개정의 필요성을 판단한다. 필요한 경우 다른 여러 나라의 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준과 설정근거도 비교

함으로써 우리나라의 노출 기준 근거의 적절성 등을 평가하였다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 ACGIH TLV도 동물실험에 의한 노출기준이다. 미국 OSHA, 기타 외국에서도 대부분이 동물실험 결과를 근거로 하고 있기 때문에 인체 경험인 역학조사에 근거한 설정 근거를 가지고 있는 나라는 없다. 따라서 본 연구에서 1,1-디메틸하이드라진 노출과 건강상의 영향(반응)과의 관계를 통해서 노출기준을 추정하고 이를 기존의 노출기준과 비교한다.

일곱째, 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준 개정에 따른 규제영향분석서 작성하여 제시한다. 연구 결과 1,1-디메틸하이드라진의 노출기준에 대한 개정의 필요성이 도출되었다면 개정 시에 나타날 수 있는 경제적, 사회적 영향, 기술적 적용 가능성 등을 연구하여 개정되는 기준에 대한 신뢰성을 확보할 수 있도록 하였다. 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.

여덟째, 우리나라 실정에 적합한 노출기준(1,1-디메틸하이드라진에 대한 생물학적모니터링(BEI) 기준은 제시되지 않았으므로 제외함)을 제시한다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준 설정 시 상기의 독성학적 특성과 더불어 경제적 영향 및 타당성, 기술적 적용 가능성 등을 고려하였다. 1,1-디메틸하이드라진의 노출기준은 모두 동물실험 결과에 근거한 것이다. 근로자를 대상으로 노출과 건강상의 영향과의 사례에 대해 보고된 문헌은 아직 없다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진의 노출위험이 높은 공정을 대상으로 노출과 건강상의 영향을 평가하여 노출기준의 타당성을 평가하는 연구가 필요한 것으로 판단된다. 우리나라에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준으로 ACGIH TLV를 사용특성 등을 전혀 고려하지 않고 그대로 도입 활용하고 있다. ACGIH의 TLV는 법적기준으로 그대로 적용할 목적으로 설정된 것은 아니다(Perkins, 1996). 따라서 본 연구에서 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준을 제안하는 큰 틀은 건강상의 장해를 예방하기 위한 과학적 근거를 바탕에 두고 추가로

아래와 같은 사항을 고려하여 결정한다.

- 1,1-디메틸하이드라진에 대한 취급 및 사용량
- 노출정도
- 노출근로자 수
- 노출특성 및 위험
- 기업활동에 미치는 영향
- 행정적, 기술적 적용 가능성(feasibility)
- 다른 나라와의 노출기준 비교 등

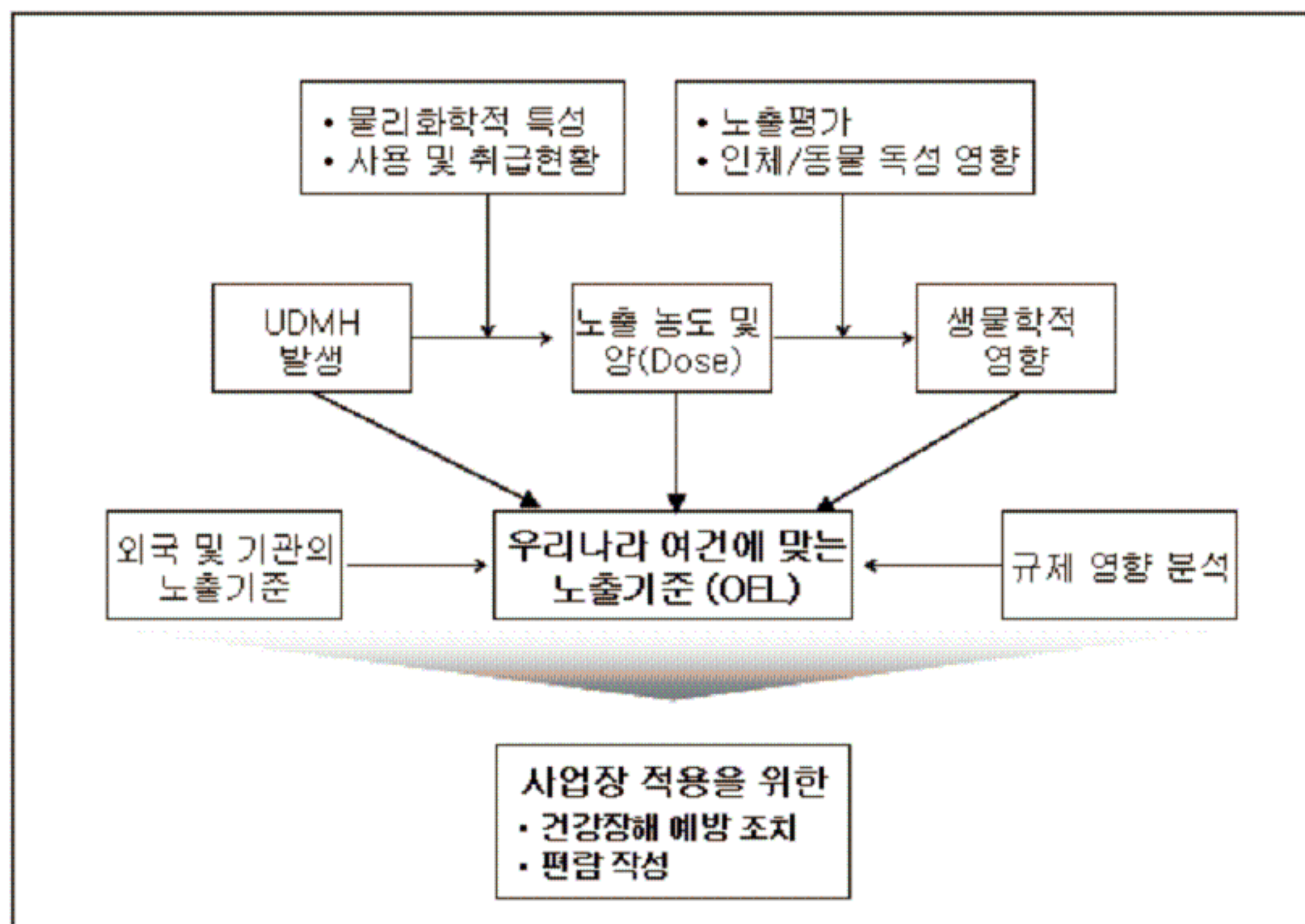
아홉째, 1,1-디메틸하이드라진에 대한 건강장해 예방을 위한 조치 방안을 제시하였다. 1,1-디메틸하이드라진으로 인한 건강상의 대책으로 물질을 취급하는 공정 위주로 “작업환경관리요령”, “유해물질 관리”, “보호구 착용” 등으로 구분하여 제안하였다. 구체적 목적 중 한 가지가 산업보건 편람작성이며 이를 통해 이 물질을 취급하거나 사용하는 사업장에서 근로자의 건강보호에 활용할 수 있도록 하였다. 편람에는 작업공정별 작업환경관리, 취급 근로자 건강관리, 취급 시 주의사항, 보호구 등을 포함시켰다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구내용

본 연구범위는 [그림 II-1]에 표시한 노출기준 설정 및 적용을 위한 연구범위로 나타낼 수 있다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 공기 중 노출기준의 개정
에 필요한 산업위생, 산업독성, 산업의학 및 산업역학 내용은 물론 노출기준의
개정으로 인한 규제영향까지 포함된다. 노출기준 설정의 과학적 근거가 되는
연구범위는 1,1-디메틸하이드라진이 발생하는 업종별 공정에서 발생원에 대한
조사, 근로자 노출과 건강영향에 대한 평가 및 대책, 다른 나라의 노출기준 설
정배경고찰, 우리나라 여건에 맞는 노출기준 개정 제안 등이며 이를 토대로
사업장에 적용할 수 있는 근로자의 건강장해를 예방하기 위한 조치 방안과 편
람 작성까지 포함된다. 과학적인 근거라고 하는 것은 1,1-디메틸하이드라진과
관련 공인된 근거자료는 물론이고 본 연구에서 밝혀낸 결과 등을 말하는 것으
로 산업보건(occupational health) 영역에 해당되는 내용 등이다. 한편 노출기
준이 개정되어 법적으로 시행될 경우 규제에 따른 구체적인 영향정도를 분석
하는 내용도 연구에 포함된다.

그러나 본 연구에서 연구대상물질이 몸에 흡수되어 나타나는 건강상의 영향
을 평가하거나 혹은 동물실험을 통해 직접 독성을 실험하고 평가하는 독성실
험은 제외되지만 독성실험에 의한 동물실험 결과나 인체의 건강상의 장해와
관련된 내용은 본 연구에 포함된다.



[그림 II-1] 노출기준 설정 및 적용을 위한 연구범위.

연구목적인 우리나라 여건에 맞는 노출기준 개정과 건강장애 예방을 위한 산업보건편람을 달성하기 위하여 <표 II-1>에 나타난 바와 같이 연구내용을 크게 5가지로 분류하였다. 하나는 노출기준을 개정하는데 필요한 기초적인 내용으로서 물리화학적 특성, 물질의 독성 및 유해성 파악이며, 둘째는 국내 작업장 노출 실태로 물질의 취급현황으로 국내 사용량 및 노출 현황, 노출 평가, 위험성평가 등이다. 셋째는 물질의 건강영향 평가로 노출기준을 개정 또는 설정하는데 과학적 근거가 되는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출양과 노출에 따른 건강상의 영향인 양-반응 관계를 설정하는 것이다. 네 번째는 다른 국가 및 기관에서 설정하고 있는 노출기준과 그 설정배경 등을 비교 평가하는 것과 법적 기준 개정하여 규제함에 따라 나타날 수 있는 경제적, 사회적, 기술적인 영향을 분석하는 규제영향평가를 하는 것이다. 마지막으로 다섯 번째는 설정한 기준을 사업장에 적용할 수 있도록 1,1-디메틸하이드라진으로 인한 건강상의

장해를 예방하기 위한 대책을 제시하고 산업보건편람을 작성하는 것이다.

<표 II-1> 연구범위별 연구내용의 구체적인 분류

대분류 연구내용	세부 항목 연구내용
노출기준을 설정에 필요한 기초자료	- 1,1-디메틸하이드라진의 물리화학적 성상 - 물질의 독성 및 유해성 파악
국내 작업장 노출실태 파악	- 취급현황(국내 사용량 및 노출현황 등) - 노출평가 : 작업환경 측정
건강 영향 평가	- 노출 양과 노출에 따른 건강상의 영향 : 양-반응 관계에 기초 - 동물 및 사람에서의 건강상의 영향 : 독성 자료
개정에 따른 규제영향 분석	- 다른 국가 및 기관의 기준과 설정배경 고찰 - 경제적, 사회적, 기술적인 영향을 분석
사업장 적용을 위한 자료	- 건강장해 예방대책 - 노출기준 집행에 따른 규제영향

가. 물리화학적 특성 조사

산업보건과 안전에 관련된 내용을 위주로 1,1-디메틸하이드라진의 물리 화학적 특성을 파악하기 위해서 국내외 물질안전보건자료(MSDS)와 독성실험기관의 자료를 확보하여 분석하였다. 물리적, 화학적 성상은 산업보건관련기관에서 조사한 자료를 Merck Index의 자료를 기준으로 비교 분석 하였다. 주요 내용은 1,1-디메틸하이드라진의 공기 중 발생 농도를 결정할 수 있는 물리적 성상과 사람이 노출되는데 관련이 있는 인화성 등 화학적 특성 및 근로자의 건강상의 영향과 안전에 관련된 사항을 조사하였다. 세부적으로 조사한 항목은 다음과 같다.

○ 물질의 개요 : 한글물질명, 영문물질명(IUPAC 명, CA 명), 이명(異名), CAS 번호, 외관, 냄새 등

○ 물리적 성상 : 분자량, 비중, 녹는점, 끓는점, 증기압, 증기밀도, pH, 점도, 용해도, 분배계수, 증발률, 냄새의 서한도 등

○ 화학적 성상 : 인화점, 자연발화점, 폭발성, 산화성, 반응성, 안정성, 피해야 할 물질, 유해분해산물, 소화제 등

나. 제조, 수입, 사용실태 및 발생원과 노출원 조사

우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진을 제조, 수입, 사용하고 있는 실태와 발생원 및 노출원 파악과 근로자의 노출 실태를 파악하기 위해서 기존의 작업환경측정 결과표를 참조하여 활용하려고 하였으나 측정 및 평가 자료를 전혀 입수하지 못하였으며 환경부의 “화학물질 유통량 결과보고서”, 관세청 수출, 수입 통계량 등을 기초로 분석 비교하였다. 세부적인 조사 내용은 다음과 같다.

○ 제조 또는 사용현황 : 국내 제조 및 사용량, 취급 근로자수, 제조 또는 사용 용도

○ 발생원 및 발생과정 : 작업장내 주요 발생원, 발생과정

○ 노출경로 : 취급근로자에 대한 유해물질 노출경로

○ 근로자 노출실태

- 작업환경측정방법 및 결과 : 작업환경측정을 위한 예비조사, 본 측정 및 분석방법 등 설명

- 측정결과분석 및 해석 : 측정결과 통계분석 및 근로자 노출실태 등 해석

다. 유해성에 대한 고찰

장단기 건강상의 영향을 외국의 독성실험기관과 산업보건기관이 보고한 자료를 웹상에서 찾아서 비교 분석하였다. 주로 미국 국립의학도서관(National Library of Medicine)의 톡스넷(TOXNET)의 자료를 중심으로 공식적으로 인정하고 있는 학술지의 각종 논문을 참조하여 종합적으로 파악하였다. 유해성에 대한 자료는 크게 동물실험 자료와 인체 영향자료를 파악하였다.

(1) 동물실험 자료

- 급성독성 : 급성경구독성, 급성경피독성, 급성흡입독성
- 아급성독성(아만성독성) : 14일, 28일, 90일 반복투여 독성 등
- 만성독성 : 1년 이상 장기간 투여독성, 최대무작용농도(NOEL) 등
- 변이원성 : 복귀돌연변이시험(Ames test), 염색체 이상 시험, 소핵시험 등
- 생식독성 : 수태능력시험, 최기형시험 등
- 발암성 : 설치류 등 동물의 암 유발시험
- 기타 : 상기 독성정보 이외의 추가정보

(2) 인체 영향 자료

- 인체내 작용기전 : 흡수, 분포, 대사, 배설 등 독역학적(toxicokinetic) 내용
- 단기 노출 시 인체 유해성 : 단기간 흡입 또는 섭취시의 인체 영향
- 장기 노출 시 인체 유해성 : 장기간 흡입 또는 섭취시의 인체 영향
- 인체 표적장기독성 : 흡입 또는 섭취시 인체의 간, 폐, 신장, 혈액 등에 대한 영향
- 인체 발암성 : 국제암연구원(IARC) 등에 연구한 인체에 대한 발암성 정보
- 사람에 대한 국내외 재해사례

- 국내외에서 발생한 직업병 등의 재해사례

라. 노출기준의 설정배경 고찰

산업보건 분야에서 중요한 위치를 차지하고 있는 미국(ACGIH, OSHA, NIOSH), 주요 선진국(독일, 스웨덴, 영국, 프랑스, 일본 등) 등에서 제안하고 있는 노출기준 현황과 설정배경을 중심으로 고찰하였다. 국가나 기관에서 제안하고 있는 노출기준과 관련하여 파악한 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 노출기준 비교 및 설정 근거 고찰

- 미국
 - OSHA : PEL(Permissible Exposure Limits)
 - ACGIH : TLV(Threshold Limit Values)
 - NIOSH : REL(Recommended Exposure Limits)
- 일본 : 노동성 노동안전위생법상의 관리농도 제시 및 설정근거 요약
- 독일 : MAK(Maximum Concentration Values)
- 영국 : OEL(Occupational Exposure Limit)
- 스웨덴 : OEL(Occupational Exposure Limit)
- 프랑스 : OEL(Occupational Exposure Limit)

(2) 노출기준 설정근거(동물실험, 역학조사 여부 등)의 한계점 고찰

(3) 우리나라 노동부의 노출기준의 문제점, 현황, 선진외국과의 비교

마. 산업장 근로자를 대상으로 노출 실태 파악

근로자의 노출 실태를 파악하기 위해서 노출평가(exposure assessment)를 통해 노출기준의 설정에 필요한 양-반응관계에서 양(exposure, dose)에 대한 과학적인 근거를 조사하였다. 노출 평가에 필요한 공정에 대한 조사 등을 통해 근로자의 노출 상황과 관련한 자료들을 수집하여 분석하였다.

- 발생하는 주요 산업 공정 조사
- 발생하는 주요 산업 공정에서 과거의 작업환경측정 자료 분석
- 발생하는 주요 산업 공정에서 이들에 대한 노출 평가(개인 및 지역시료)
 - 공기 중 1,1-디메틸하이드라진 시료 채취 및 분석
- 측정결과 통계분석 및 근로자 노출실태 등 해석

바. 우리나라의 실정에 적합한 노출기준 제안

상기 연구 결과들을 바탕으로 우리나라 실정에 맞는 노출기준을 설정하였다. 주로 연구되는 내용은 다음과 같다.

(1) 현행 노출기준 요약 및 해설

선진국의 노출기준 해석, 현행 우리나라 노출기준 요약 및 해설

(2) 우리나라 실정에 적합한 노출기준 제시

국내 사업장의 실태 설명 및 우리나라에 적합한 노출기준 제시 (TWA, STEL, Ceiling, 생물학적 모니터링 기준 포함)

사. 규제영향 분석

1,1-디메틸하이드라진의 법적 기준을 더 강화하여 더욱 엄격하게 규제함에 따라 나타날 수 있는 경제적, 사회적, 기술적 영향을 분석하였다.

(1) 노출기준 개정의 필요성

- 규제의 정의: 현행 작업환경측정에 따른 노출기준의 역할 설명
- 규제의 필요성: 작업환경내 유해물질별 노출기준 설정의 당위성 설명
- 규제의 목표 설정: 변경되는 노출기준의 수준(제·개정 기준)설명

(2) 노출기준 개정의 실현 가능성

- 규제에 대한 반대 및 사회적 제약 요소: 노출기준 제·개정하는 경우 작업환경 개선비용 소요에 따른 해당 사업주의 반대 및 사회적 파장 설명
- 기술수준 등에 비추어 본 실현 가능성: 노출기준 강화시 작업환경 개선에 대한 기술적, 경제적 실현 가능성 설명

(3) 노출기준 개정의 대체수단 존재 및 기존 규제와의 중복 여부

- 기존규제로 대체가능 여부: 노출기준을 제·개정하지 않고 기존의 노출기준으로도 직업병 등을 사전 예방할 수 있는지 여부 설명
- 규제 외 다른 방법으로 목적달성 여부: 노출기준 강화는 유해물질 취급근로자 건강장해예방을 위한 최소한의 기본적 조치임을 설명
- 유사한 기존규제와 중복 여부: 노출기준 설정과 유사한 기존규제는 없음을 설명
- 규제의 확대 재생산 가능성: 노출기준 제·개정 이외에 규제확대 생산 가능성이 없음을 설명

(4) 노출기준 제·개정 규제의 비용과 편익의 비교분석

- 규제의 비용분석: 노출기준 강화에 따른 작업환경개선 비용을 분석

○ 규제외 편익분석: 직업병 발생으로 인한 손실 및 노출기준 강화에 따른 편익을 분석

○ 비용·편익의 비교 및 검토: 직업병 손실비용 및 작업환경 개선비용의 편익을 비교 검토

(5) 노출기준 제·개정 규제의 경제 제한적 요소 포함 여부

○ 시장경쟁 제한요소 포함여부: 노출기준 제·개정은 시장경쟁 제한요소가 없음을 증명

○ 기업활동 저해요소 포함 여부: 노출기준 제·개정은 기업활동 제한요소가 없음을 설명

(6) 노출기준 제·개정 규제내용의 객관성·명료성

○ 규제기준, 절차의 명확성: 노출기준 제·개정을 위해 선진국의 기준참고, 전문가회의, 공청회 등의 절차를 거친 내용을 자세히 설명

○ 규제의 법적근거 및 존속기한의 타당성 여부: 노출기준의 성질상 존속기한을 설정하기 어려움을 설명

아. 건강장해의 예방을 위한 산업보건 편람 제작

1,1-디메틸하이드라진에 노출되어 나타날 수 있는 건강상의 장해를 예방하기 위하여 공정을 중심으로 공학적 대책 위주의 개선 방안을 제시한다. 또한 1,1-디메틸하이드라진에 대해 새로 설정한 기준을 사업장에 적용할 수 있도록 산업보건편람을 작성하였다.

○ 산업장 근로자의 유해물질에 대한 노출수준을 감소시키기 위해서 건강상의 영향, 작업환경관리, 근로자건강관리, 주의사항 항목 등을 작성한 산업보건 편람 제작

○ 유해공정별 작업환경관리요령 : 유해물질 취급 유해공정별 국소배기장치, 시설·설비 등의 작업환경관리요령

- 유해물질 안전취급요령 : 유해물질의 대체, 격리 등 안전취급요령
- 취급근로자 노출방지조치 : 유해물질 취급근로자 노출방지조치
- 취급시 주의사항 : 유해물질 취급시 주의사항
- 응급조치요령 : 유해물질 취급시 응급상황에서의 긴급조치요령
- 유해물질 저장·보관방법 : 유해물질 보관 장소의 환기, 안전용기 등 보관 방법
- 개인보호구 : 방독마스크, 보호의, 보호장갑, 보안경의 선택 및 착용방법 등
- 기타 : 근로자 예방지침에 필요한 내용

2. 연구방법

1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준 개정안 제안 및 편람작성에 대한 연구의 전반적인 전략은 다음 [그림 II-2]와 같다. 노출기준 개정안과 편람 작성을 위한 연구의 필요성, 연구 방법 및 세부 연구항목, 기대효과 순으로 제시하였다.

가. 광범위한 문헌 고찰

1,1-디메틸하이드라진에 대한 유해성은 주요 독성연구기관인 NTP, IARC 등의 관련 논문을 검색하고 수집하였으며 최신의 자료를 기준으로 하였다. 노출기준은 ACGIH “노출기준 문서(documentation of TLV)”를 고찰하고 관련되는 내용은 산업위생, 산업의학, 산업독성 등 관련분야의 논문을 광범위하게 검색하여 고찰 비교하였다.

노출기준 개정 및 산업보건 편람 작성에 관한 연구

1,1-디메틸하이드라진 (1,1-Dimethyl hydrazine)

연구의 필요성

- 유해화학물질의 종류 및 사용량 증가로 위해성 증대
- 현재 적용되는 노출기준에 대한 신뢰성 검토필요
- 유해위험정보의 강화 필요 - 산업보건편람

○ 문헌고찰 ○ 현장 근로자 노출수준 평가

- 물리화학적 특성
- 제조/수입/사용실태, 발생원, 노출원 조사
- 근로자 노출실태 파악(작업환경측정 실시)
- 유해위험성 조사 - 건강장애, 직업병 사례 등

○ 문헌고찰 ○ 전문가 검토 [회의체 운영]

- 노출기준(BEI 기준 포함) 제시
- 작업환경측정 및 분석방법 제시
- 산안법, 주요 선진국의 관리기준 조사
- 개정에 따른 규제영향분석서 작성
- 산업보건 편람 작성 등

기대효과

- 우리나라 실정에 맞는 화학물질 노출 기준 설정
- 유해 위험 정보 제공을 통한 근로자 건강 장애 예방에 기여
- 직업병 등 사업장 산재 예방에 기여

[그림 II-2] 노출기준 개정 및 편람 작성에 관한 연구의 목적, 필요성, 기대효과.

(1) 문헌고찰의 정보 창고

가) 전자정보망 (Internet)

주로 미국 국립의학도서관(National Library of Medicine)의 독스넷(TOXNET) 자료를 중심으로 공식적으로 인정하고 있는 학술지의 각종 논문

을 참조하여 종합적으로 파악하였다. 유해성에 대한 자료는 크게 동물실험 자료와 인체 영향자료를 파악하였다. 산업보건 분야에 좋은 자료들을 제공하고 있는 NIOSH, OSHA, EPA, WHO, ILO, 영국 HSE, 일본 National Institute of Industrial Health, 우리나라 산업안전공단, 노동부 등 각국의 산업보건관련 정부기관 및 연구기관의 웹사이트 접근하여 자료를 확보하였다.

나) 국내외 학술지

국제학술지 AOEH (Applied Occupational and Environmental Hygiene), AIHA (American Industrial Hygiene Association) 저널 등), 국내 학술지 (한국산업위생학회지, 대한산업의학학회지, 한국독성학회지 등) 등의 자료를 확보하여 연구에 참고하였다.

다) 유해물질 관련 기관에서 발간한 유해화학물질 관련 자료

: 연구보고서, 지침서, 안내서 등

(2) 유해성 및 독성에 대한 정보

동물 및 인체에 대한 유해성과 독성에 관한 정보는 <표 II-2>에 나타난 것과 같이 외국의 산업보건관련기관의 홈페이지(URL), 논문 등을 참조하여 정리하였다. 유해성 자료의 기본은 Patty's Industrial Toxicology의 5 판 (Clayton, 2005)과 ACGIH의 "Documentation of the TLVs and BEIs with other worldwide occupational exposure values"을 인용하였다(ACGIH, 2005). 이 결과를 국내외 주요 독성 및 산업보건기관의 홈페이지에서 제공한 자료와 비교하여 가장 최신의 자료를 정리하였다. 본 연구에서 정리한 유해성 및 정보는 공인기관에서 보고한 과학적인 근거에 의한 보고서(자료)만을 활용하였다.

<표 II-2> 1,1-디메틸하이드라진의 유해성 자료를 검색한 주요 기관의 URL

기관이름	URL	특징 및 검색내용
ACGIH	http://www.acgih.org/	급성독성, 만성독성, 아만성독성
TOXNET	http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB	HSDB 등 다양한 독성정보 제공 사이트를 연계시켜 물질에 대한 유해성 등 산업보건 관련자료를 찾을 수 있음.
CCOHS	http://www.ccohs.ca/	TOXNET과 비슷한 기능이나 산업보건 관련 자료가 더 풍부함.
IARC	http://www-cie.iarc.fr/	발암성
NTP	http://ntp-server.niehs.nih.gov/	발암성, 변이원성

* NTP: National Toxicology Program(미국 국립독성프로그램)

IARC: International Agency for Research on Cancer(국제암연구소)

CCOHS: Canadian Centre for Occupational Health and Safety(캐나다산업보건안전센터)

(3) 각국의 노출기준 요약 및 해설

산업보건분야에서 영향력이 있는 국가 또는 기관인 미국(ACGIH, OSHA, NIOSH), 영국, 스웨덴, 프랑스(Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France), 일본 그리고 우리나라 노동부에서 권고하고 있는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준을 비교 분석하였으며 노출기준 설정근거와 배경 등을 고찰하고 비교하였다.

가) 노출기준 비교 분석

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-3> 참조). 따라서 비교한 자료들은 모두 2005년 현재 각국

에서 사용되고 있거나 권고되고 있는 기준이다.

<표 II-3> 국가별 노출기준 검색에 이용한 URL이나 참고문헌

나라		URL	참고문헌
미국	OSHA	http://www.osha.gov/SLTC/pel/index.htm	
	ACGIH	http://www.acgih.org/	ACGIH 발행 CD (2005)
	NIOSH	http://www.cdc.gov/niosh/npg	
영국		http://www.hse.gov.uk/cosHH/	
스웨덴		http://www.av.se/english/legislation/	
독일		http://www.hvbg.de/e/bia/fac/stoffdb/index.html	
프랑스		http://www.inrs.fr/dossiers/ 에서 “VL”(OEL을 의미)로 검색	
일본		http://joh.med.uoeh-u.ac.jp/oel/index.html	JOH(일본산업위생학회지 2005)

나) 노출기준 설정근거

미국 ACGIH의 물질별 설정근거는 ACGIH가 발행한 “Documentation of the TLVs and BEIs with other worldwide occupational exposure values”(ACGIH, 2005)를 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”(AIHA, 1996)을 참조하였다.

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

나. 전문가 풀(pool)을 구성하여 의견 수렴

화학적/물리적 특성, 화학적 안전성 및 취급 관련사항, 동물 대상 독성, 인체 유해성, 세계 주요국가 노출 기준 정리, 근로자 건강 장애 예방 산업보건 편람 제작을 제작하기 위하여 광범위한 문헌고찰 및 전문가 풀을 구성하여 전문가 회의를 통하여 의견을 수렴하였다. 근로자의 건강과 밀접한 노출기준을 개정하는 일이므로 연구팀의 결정과 함께 다른 전문가의 의견을 수렴하는 것도 매우 중요하게 생각하여 연구 과정에 포함시켰다.

전문가 풀 구성 및 운영 : 본 연구에 참여하는 연구원은 필수적으로 참여하며 다양한 분야의 전문가가 참여토록 하고 주기적인 모임과 회의를 통해서 연구의 전반에 걸친 내용들에 대해서 검토하고 의견을 제시토록 하여 연구결과에 포함시켰다.

다. 현장 조사

(1) 국내 제조 및 사용에 관한 사항 조사

사업체기초통계조사보고서, 기업체통계보고서, 광업·제조업통계조사보고서, 각 지방단체의 산업단지 업체입주현황 자료 참조, 기타 각종 정부통계자료 등을 인용하였다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 국내 제조량, 수입량, 수출량을 여러 경로를 통해서 조사하였다. 정확한 1,1-디메틸하이드라진에 대한 제조량, 수입량, 수출량을 파악하기 위해서 아래와 같은 단계를 거쳐서 조사하였다([그림 II-3] 참조). 기본적으로 1,1-디메틸하이드라진에 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) 환경부의 화학물질 유통량조사 보고서 활용

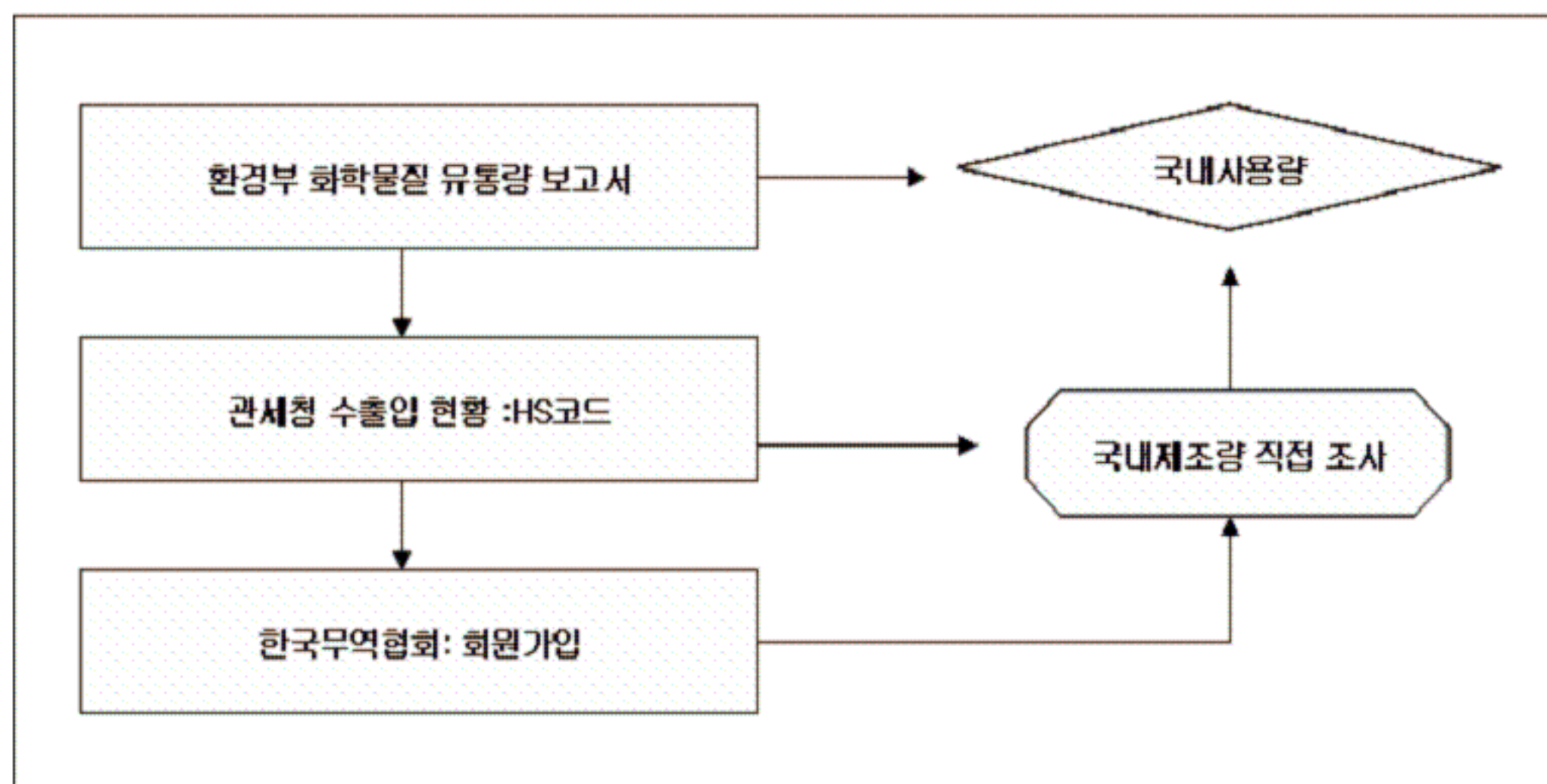
환경부의 화학물질 유통량조사 보고서를 참조하여 1,1-디메틸하이드라진에 대한 제조량, 수입량, 수출량을 조사하였다. 환경부의 화학물질 유통량 보고서는 화학물질정보센터(<http://kcic.nier.go.kr/>)에서 다운로드 받았다. 1,1-디메틸하이드라진 유통량에 대한 자료의 확인을 위해서 2단계(관세청)와 3단계(한국무역협회)에서 화학물질 수입량과 수출량을 추가로 조사하였다.

나) 관세청에서의 수입량, 수출량 조사

관세청 홈페이지(<http://www.customs.go.kr/>)를 통해서 수출입통계의 화학물질별(품목별) 무역수지 자료를 조사하였다. HS코드 단위별 품목별 무역수지(단위: 천불)를 연도별로 검색하여 수출량과 수입량을 파악하였다. 무역수지 자료에서 수입량과 수출량에 대한 조사가 부족할 경우 다음 단계를 활용하였다.

다) 한국무역협회에서의 수입량, 수출량 조사

관세청에서 제공하는 1,1-디메틸하이드라진의 수입량과 수출량의 단위는 “금액(천불)”이므로 중량을 파악하기 위해서 한국무역협회의 유료서비스를 신청해서 추가로 조사하였다.



[그림 II-3] 1,1-디메틸하이드라진의 국내 사용량을 조사하기 위한 단계.

(2) 노출실태 파악을 위한 공기 중 시료채취 및 분석

가) 대상사업장 선정

연구대상 사업장은 노동부에서 연구팀에 제공한 “작업환경실태조사” 결과자료를 중심으로 물질의 사용량, 연구대상 물질의 취급여부 등을 판단하였으나 대상 사업장이 부족하여 목록에 있는 사업장 전부를 대상으로 하였다. 그러나 1,1-디메틸하이드라진 사용 사업장에 대한 정보는 시간이 오래 경과되어 오류가 있어서 목록에 나와 있는 사업장에서는 1,1-디메틸하이드라진을 전혀 사용하고 있지 않아 연구목적을 달성하지 못할 정도로 사업장이 부족하였다. 연구팀이 직접 문헌 및 논문의 검색과 해당 물질 전문가들을 통해서 업종과 공정을 알아 본 다음 사업장을 직접 방문하여 예비조사를 통해 물질의 사용 여부, 공정, 사용량 등 노출 평가와 관련한 자료를 선정하였다.

노동부에서 제공한 목록과 연구팀에서 조사한 1,1-디메틸하이드라진 사용 가능 사업장은 5곳이었으며 이들 중 실제 사용하고 있는 곳은 한 곳으로 울산에 있는 사업장이었다. 나머지 사업장은 수 년 전에 사용했다가 현재는 쓰지 않고 있거나 노동부의 자료 자체가 잘못 된 경우도 있었다. 사업장의 특성

은 2항의 취급현황에서 자세히 설명하였다.

2) 측정하기 전 예비조사 및 시료채취전략 수립: 대상사업장을 찾기가 어려운 관계로 한 사업장에 대해 집중으로 1,1-디메틸하이드라진 노출실태를 점검하기 위하여 예비조사를 실시하여 시료채취 전략을 수립 하였다. 이전의 작업환경 측정 자료 확보하고 최대한 상세한 측정을 위해 많은 시료를 포집하였다. 시료채취전략을 수립할 때 필요한 유사노출그룹(HEG)을 선정하였으며 장소시료와 개인시료를 적절하게 측정하였으며, 정도보증(Quality Assurance)을 위한 계획을 수립하였다.

나) 시료채취전략

1) 본 연구에서 측정한 시료 수는 총 33개였으며 개인시료와 지역시료, 시간가중평균노출기준과 단시간노출기준 자료를 측정하여 비교하였다. 또한 근로자들을 대상으로 유사노출그룹(SEG)내에서 선정하여 자료의 통계처리가 가능토록 하였다.

2) 일부 시료는 개인시료와 자료 비교를 하기 위하여 개인 시료와 병행 채취한다.

3) 시료채취 시간은 오염물질의 농도를 예측하여 적절히 나누어 채취한다. 특히 STEL이 설정되어 있는 물질인 1,1-디메틸하이드라진의 경우 단시간 시료채취를 병행하여 8시간 시간가중치 이외에 단시간 노출기준의 자료로 사용할 수 있도록 하였다.

다) 시료 채취 및 분석 방법 선정

1) 공기 중 1,1-디메틸하이드라진에 대한 채취여재, 주요 채취 및 분석과 관련된 내용은 다음 <표 II-4>에 제시하였다. 공인된 채취 및 분석방법을 활용하여 정확한 채취와 분석을 통해서 노출정도를 추정할 계획이다. 1,1-디메틸하이드라진은 메틸하이드라진(MMH)과 동일한 하이드라진류이므로 비슷한 시료

채취 방법을 사용하였다.

2) 분석하고자 하는 물질에 대해 국제적으로 공인된 방법 및 국내에서 많이 사용하고 있는 방법을 적용할 것이다. 국내에서는 주로 NIOSH 방법이나 OSHA 방법 또는 이를 준용한 산업안전보건연구원 방법을 사용하고 있으나 본 연구에서는 이들 방법과 최근에 국제적 표준화를 이루고 있는 국제표준화 기구인 ISO 방법도 고려하여 이들 방법 중에서 국내 조건에 잘 맞고 또 국제적으로 통용될 만한 방법을 적용할 것이다. 현재까지 고찰한 바에 의하면 세 방법 모두 그 기본 원리는 동일하나 세부사항은 약간씩 차이가 있다. 본 연구에서는 NIOSH의 측정 및 분석 방법을 이용하였다.

<표 II-4> 공기 중 1,1-디메틸하이드라진(UDMH)과 메틸하이드라진(MMH)의 공인된 시료 채취 분석 방법

채취 및 분석 주요 내용	1,1-디메틸하이드라진	메틸하이드라진
채취유량 (L/분)	0.2-1.0	0.5-1.5
채취여재 (매체)	버블러(Bubbler) (0.1M Hydrochloric Acid)	버블러(Bubbler) (0.1M Hydrochloric Acid)
분석기기- 검출기	흡광도계-가시광선 (Visible Spectrophotometry)	흡광도계-가시광선 (Visible Spectrophotometry)
분석방법 (Method No.)	NIOSH 3515	NIOSH 3510

라) 시료의 채취 및 분석

1) 공기 시료 채취 및 분석방법

위 여러 가지 방법 중 측정 분석 방법의 정확성 및 가능성 등을 고려하여 NIOSH의 방법을 선정하였다. <표 II-4>에서 나타낸 바와 같이 저유량 펌프를 이용하여 0.2 -1.0 ℓ pm(L/분)의 유량으로 작업환경 중 공기를 흡입하였으

며 흡수액으로는 0.1M 염산(Hydrochloric Acid)을 사용하였으며 채취한 다음 흡광광도계(스펙트로포토미터)로 분석하였다. 분석할 때는 시료의 탈착효율 및 농도가 높은 사업장에서의 파과(breakthrough)여부를 검사하였으며 다른 유기용제와 같이 사용하는 경우 다른 유기용제도 병행하여 분석하였다. 총 시료수는 33개였다.

2) 검출한계, 정량한계, 검출한계 미만 자료의 처리

○ 실제로 작업장을 측정하면 낮은 농도 값이 많이 존재한다. 이에 대해 명확한 해석이나 정의가 되지 않고서는 작업장을 측정자료의 해석이 난해하다(WHO, 2000). 본 연구에서는 이런 점을 감안하여 검출한계, 정량한계, 검출한계 미만 자료에 대해 명확히 설정하여 자료를 처리하였다.

○ 현재까지 국제적으로 검출한계, 정량한계를 구하는 방법은 여러 가지가 있으며 모든 방법을 적용하여 검출한계, 정량한계를 구하여 그 장단점을 비교할 것이다. 이는 추후 분석방법의 제안에도 꼭 필요하다.

○ 검출한계는 보통 2가지 방법으로 평가된다. 첫 번째는 시각에 의한 비기각적인 방법으로 signal/noise ratio(S/N)를 구하여 이용하는 방법이다. 이 방법에서 S/N 비가 보통 2 또는 3의 값을 가지는 농도로 평가한다. 또는 공시료 신호의 3배에 해당하는 signal을 나타내는 농도로 평가하기도 한다.

○ 정량한계는 검출한계와 마찬가지로 signal/noise ratio와 계산에 의한 방법으로 구할 수 있다. 먼저, S/N ratio를 이용할 때는 보통 S/N=10:1을 나타내는 농도를 정량한계로 보았다.

○ 검출한계미만의 값을 포함한 자료의 평균을 구할 때는 여러 방법이 제시되고 있으나 분포가 대수정규분포하는 경우는 ND의 값을 $1/\sqrt{2}$ LOD로 추정하였다. 단 자료가 0점으로 매우 치우쳐 있고 기하표준편차가 3이상이면 ND의 값을 1/2로 하였다(Perkins et al., 1990; Hornung & Reed, 1990).

마) 자료의 통계처리

측정자료는 산술평균과 표준편차, 기하평균과 기하표준편차를 모두 제시한다. 공기 중 노출자료는 대개 기하정규분포를 한다고 알려져 있으나 실제로 측정한 자료가 정규분포를 하는지 기하정규분포를 하는지를 결정하기 위하여 유의수준 5%에서 Shapiro and Wilk Test(일명 W-test)를 실시하였다 (Mulhausen and Damiano, 1998).

시료채취단계부터 유사노출그룹(SEGs)를 설정하여 접근하였으므로 각 집단 간 차이가 있는지 분산분석을 실시하였다.

시료의 탈착효율 및 스파이크(Spiked sample)의 농도는 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{탈착효율(or 스파이크시료), \%} = \frac{\text{분석량}}{\text{첨가량}} \times 100$$

분석방법의 정밀도를 보기 위하여 합병상대표준편차(pooled relative standard deviation, Sr_{pooled})를 계산하였다.

$$Sr = \frac{\text{표준편차}}{\text{평균}}$$

$$Sr_{pooled} = \sqrt{\frac{(N_1-1) Sr_1^2 + (N_2-1) Sr_2^2 + \dots + (N_n-1) (Sr_n)^2}{(N_1-1) + (N_2-1) + \dots + (N_n-1)}}$$

바) 정도관리

작업환경 중 유해인자를 측정/분석하는데 있어서 그 자료의 질이 확보되어야 한다. 본 연구에서는 정확한 평가를 위하여 다음과 같이 정도관리 방안을 같이 추진하였다.

- 시료채취 분석전 충분한 예비조사 및 예비 실험

연구진은 이미 유기용제에 충분한 경험이 있지만 이 연구를 수행함에 있어서 작업장의 선정단계부터 전반적 시료채취전략을 수립하여 동일노출그룹을 잘 설정하고, 작업장의 특성에 맞게 시료 채취시간, 작업자를 선정하였다. 분석 이외의 측정에 대한 질관리는 단순한 이론이 아닌 많은 작업장 경험이 있는 연구자가 총괄적으로 실행하였다. 이런 측면에서 보면 본 연구진은 측정단계의 질 관리를 할 수 있으며 또한 실험 분석에 있어서도 측정자료에 대한 탈착 효율 검증, 공시료를 통한 방해물질 점검, 분석 시약의 순수성 등을 검증하여 자료의 신뢰성을 유지하기 위해 노력하였다.

- 분석단계의 정도관리

본 연구를 진행하면서 연구책임자는 분석 정도관리를 총괄지휘하며 분석 중간 중간에 분석자에게 미지시료의 제공, 탈착 효율의 검증, 공시료 분석결과, 검량선 작성등에 대해 점검할 것이다. 특히 시료 중간에 스파이크 시료를 분석하게 하여 분석 자료의 질을 확보하였다.

- 검출한계, 정량한계의 명확화

작업장의 유해물질 농도가 높지 않으면 낮은 농도의 분석과 검출한계, 정량한계의 명확한 설정이 필요하다. 본 연구에서는 국제적으로 공인된 방법에 따라 검출한계, 정량한계를 구하였으며 이런 방법은 분석방법을 제시할 때도 강조하였다. 실제로 많은 작업환경측정 자료에서 'ND(non-detectable)', '불검출', '미검출', '불검출', '흔적', 'Trace'등의 용어가 사용되고 있지만 이런 자료의 의미와 통계처리를 할 때 이런 자료는 어떻게 처리할 것인지 명확한 개념이 있어야 한다.

라. 건강상의 장해 예방 조치

ILO에 따르면 위험성평가에 의한 공정별 위험등급에 따라 관리 및 조치내용은 달라야 한다. 위험이 큰 공정이나 물질은 엄격한 공학적, 행정적 대책이

적용되어야 하고 상대적으로 위험이 낮은 공정은 경제적인 관리방법을 적용하는 것이다. 1,1-디메틸하이드라진의 경우는 일단 동물에게서 암을 일으키는 것으로 확인되었기 때문에 인체에서도 잠재적인 발암가능성을 염두에 두고 취급하여야 할 것이다. 또한 1,1-디메틸하이드라진은 안전측면에서도 매우 위험한 물질로 공기와 접촉하면 자발적으로 인화하는 매우 위험성이 큰 물질이다. 2항 “취급현황”에서 평가된 위험등급별로 공정별로 적정한 대책을 제안하였다. 대책은 노동부의 과업지시서에 따라 “작업환경관리요령”, “유해물질 관리”, “보호구 착용”등으로 구분하여 제시하였다.

마. 노출 기준 제시 및 규제영향분석서 작성

규제 영향분석서는 1,1-디메틸하이드라진의 법적 기준을 더 강화하여 더 엄격하게 규제함에 따라 나타날 수 있는 경제적, 사회적, 기술적 영향을 분석하였다. 새로운 기준을 제안하는 물질에 대한 사회의 영향, 기업활동에 대한 영향 등에 대해 작성하였다.

바. 산업보건편람 작성

(1) 산업보건편람은 노동부에서 정해진 일정한 양식과 체제를 정하여 진행하였다.

(2) 본 연구를 진행하며 다른 연구과제의 책임자 및 공동연구원으로 구성된 전문가 풀을 구축하여 공동으로 산업보건편람에 들어갈 항목, 체제, 구성 등을 통일하여 실제적으로 사업장의 사용자 중심으로 유용한 편람이 작성되도록 노력하였다.

3. 연구 기대효과 및 활용방안

가. 기대효과

본 연구는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준의 근거를 제시하고 이를 근거로 산업보건편람을 작성하여 아래와 같이 활용하거나 기대효과를 얻을 수 있을 것이다. 유해화학물질 사용에 따른 직업병을 예방할 수 있고 재산상 및 신체상의 각종 손해를 야기할 수 있는 재해 발생을 미연에 방지할 수 있다. 최근 직업병 등 안전보건 사고의 해결비용이 급증(rising of costs of disasters)하고 있어 기업 활동으로 인한 안전보건 사고가 발생할 경우 직·간접적 피해보상액이 크게 증가하고 있음은 물론 기업이미지 실추 등으로 인한 잠재적 피해액도 상당한 규모로 예상된다. 이에 따라 유해화학물질 관련 정확한 자료를 제공 활용함으로써 기업의 경쟁력(competitiveness)에 영향을 미칠 수 있는 가장 중요한 요인인 건강한 노동력의 확보가 가능하여 경쟁기업보다 유리한 위치를 차지할 수 있어 궁극적으로 국가 경쟁력을 확보하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

○ 1,1-디메틸하이드라진의 유해성 및 건강상의 위험성(risk)에 대한 사업주, 근로자, 노동부의 인식 제고

○ 1,1-디메틸하이드라진의 국내 근로자 노출수준 파악, 최신의 정보 획득 가능

○ 1,1-디메틸하이드라진에 대한 산업보건 편람을 작성함으로써 근로자의 건강보호에 기여할 수 있으며 동물실험을 통해서 얻어진 유해성에 대한 최신의 정보 확보 가능

○ 산업보건분야 학계의 연구자와 측정기관의 연계로 사업을 진행함으로써 상호 의견교환 및 연계 사업 실시로 시너지 효과 기대

○ 단순히 외국의 노출기준을 채택하는 것이 아니라 우리나라 실정을 고려한 노출기준을 개정하고 그 근거자료를 제시함에 따라 산업보건 수준의 향상 및 국가의 위상강화

○ 국제 안전보건 규제(legislation)의 강화로 GHS(화학물질 분류 및 표시제도) 등의 국제기준에 적합한 화학물질 관리 방안을 제시하는 기초자료가 될 수 있으며, 화학물질정보의 제공 체계의 구축에 기여

○ 규제 영향분석을 함으로서 노출기준 개정시 예상되는 새로운 규제에 대한 반발 내지 혼란을 미리 방지

○ 본 연구에서 여러 가지 시료채취방법, 정량정성한계, 검출미만자료처리 지침을 제공함으로써 향후 분석방법 제정시 가이드라인 제공

나. 활용방안

본 연구 결과는 산업보건 관련한 1,1-디메틸하이드라진에 대한 가장 최신의 모든 것이 담겨있다고 본다. 1,1-디메틸하이드라진에 직접 노출되거나 될 수 있을 때 본 자료는 산업보건에서 가장 중요한 근로자의 건강을 보호를 위한 좋은 지침서가 될 것이다. 1,1-디메틸하이드라진 노출로 인한 건강위험을 예방할 수 있는 노출기준의 개정과 종합적인 예방관리 편람을 작성하는데 활용될 수 있다.

또한 정확한 화학물질 정보에 대한 신뢰성 있는 유해화학물질 자료의 데이터베이스(DB)를 작성 및 제공하는데 있어 체계적인 정보제공시스템 구축하는데 기여할 수 있을 것이다. 이는 체계적이고 전문적으로 정보를 지속적으로 축적하고 모니터링하여 효과적인 유해화학물질 관리 체계를 수립하는데 기초자료로 활용될 수 있다. 주요 활용도는 다음과 같다.

○ 우리나라 실정에 맞는 1,1-디메틸하이드라진, 모노메틸하이드라진, 알릴 글리시딜 에테르 노출기준 개정 근거자료

○ 1,1-디메틸하이드라진, 모노메틸하이드라진, 알릴 글리시딜 에테르의 건강위험에 대한 종합적인 예방 관리 방안 제공으로 자율적인 안전보건관리 체계 구축

○ 건강에 유해한 화학물질의 체계적 관리 체계 수립을 위한 근거 자료

○ 산업보건편람은 전산매체로 전환하여 유해화학물질 정보 형태로 인터넷 상에서 사업장, 근로자 등에 제공

Ⅲ. 연구결과

1. 물질의 특성

가. 물질의 개요

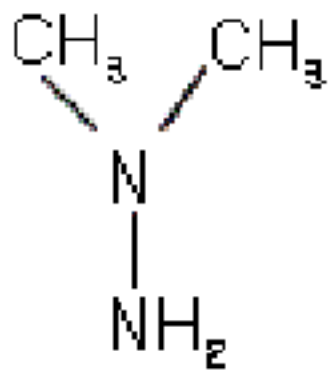
1,1-디메틸히드라진은 1949년에 소련(Soviet Union)에서 개발하여 1950년대에 로켓의 저장 가능한 액체연료(storable liquid fuel)로 사용되었다. 1,1-디메틸히드라진은 하이드라진(Hydrazine)의 유도체이다. 하이드라진류는 투명하고 무색의 암모니아 같은 냄새가 나는 액체물질이다. 반응성이 높으며 쉽게 화재가 발생하는 특징이 있다. 하이드라진류에는 다양한 종류가 있으며, 자연계에서도 발견이 되는데 식물에 소량의 하이드라진이 존재한다.

하이드라진류이 사용에 있어서 가장 유해한 점은 인화성(flammability), 폭발성(explosion), 독성(toxicity)이다. 예를 들어 하이드라진과 니트로메탄(nitromethane)을 혼합하면 폭발물인 TNT보다 더 강한 폭발성 물질이 만들어진다. 하이드라진류는 증기압이 높아서 흡입을 통해 인체에 흡수되어 건강상의 악영향을 미칠 수 있다. 하이드라진류는 특징적으로 생선비린내나 암모니아성 냄새를 가지고 있어 짧은 순간 노출 사고와 같은 위험한 농도 수준을 감지할 수 있다.

하이드라진의 건강상의 영향은 첫째는 눈, 코, 호흡기계를 자극(염증 유발)하고, 둘째는 전신독성으로 중추신경계, 혈액, 간, 신장 등에 건강상의 악영향을 주며, 셋째는 실험동물에서 암종을 일으킬 수 있다. 발암물질인지, 촉진제(promoter) 인지, 혹은 대사산물이 발암기작에 관여하는 지는 아직 알려지지 않았다. 인체 발암성의 위험성이 있기 때문에 노출수준을 최소화하여야 하며, 적절한 보호구를 착용하고, 옆지르는 사고가 발생했을 때를 대비한 적절한 교

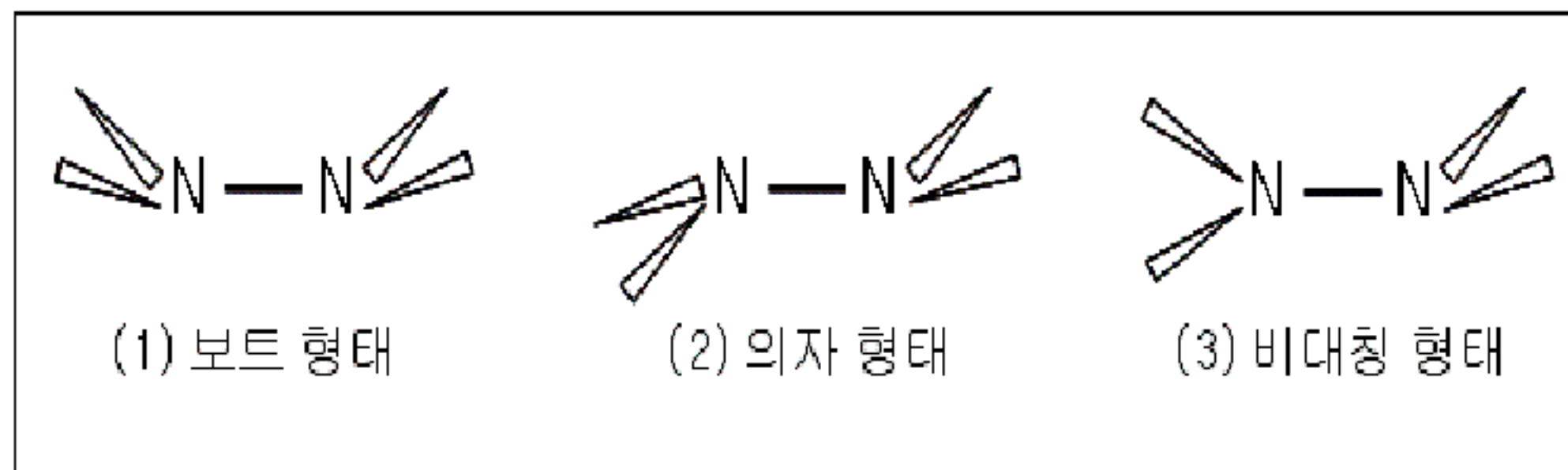
육 훈련과 대책을 마련하여야 한다.

<표 III-1-1> 1,1-디메틸하이드라진의 물질 개요

개 요	내 용
한글물질명	1,1-디메틸히드라진
영문물질명 (IUPAC명, CA명)	1,1-Dimethylhydrazine (amino-methyl-amino)methane
이명(異名)	에어로진(Aerozine)-50, 디마진(Dimazine, Dimazin), DMH, <i>N,N'</i> -디메틸히드라진(<i>N,N'</i> -Dimethylhydrazine), 1,1-디메틸히드라진(1,1-Dimethylhydrazin), 디메틸히드라진(Dimethylhydrazine), 비대칭-디메틸히드라진(asymmetric-Dimethylhydrazine, Unsymmetrical, <i>asym</i> , as-Dimethyl hydrazine, uns-Dimethylhydrazine), 메틸로하이드로라지나(Niesymetryczna dwu metrylohydrazyna)
CAS번호	57-14-7
외관, 냄새 등	무색의 가연성인 흡습성 액체이며 공기 중 훈증기는 점차 황색으로 변함. 암모니아 비슷한 생선 비린내가 남. 흡습성(공기 중 습기를 흡수)이 있음.
화학물질 분류	중양/돌연변이 생성, 생식계 영향
분자식	$\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_2$ $(\text{CH}_3)_2\text{NNH}_2$ 

하이드라진의 독특한 특성은 화학결합 등을 통해서 이해할 수 있다. 다음
[그림 III-1-1]과 같이 다양한 형태의 공간배열을 할 수 있는 것은 N-N 결합

이 안정과 불안정의 경계선에 존재하기 때문이며 이로 인해 다양한 결합을 할 수 있다. 고에너지 화합물이 되는 것도 “dinitrogen tetrahydride” 분자 구조 때문이다.



[그림 III-1-1] 하이드라진류의 공간 배열.

1,1-디메틸하이드라진은 알킬하이드라진의 그룹으로 알칼리성 액체이고, 강력한 환원제이다. 1,1-디메틸하이드라진은 휘발성 및 가연성이며, 아민이나 강한 암모니아와 같은 강렬한 냄새가 난다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 물질의 개요를 <표 III-1-1>과 같이 정리할 수 있다.

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. 1,1-디메틸하이드라진의 물리적 성상은 다음 <표 III-1-2>와 같다.

<표 III-1-2> 1,1-디메틸하이드라진의 물리학적 특성

구 분	특 성
분자량, g	60.12
비중 (20℃, 물 = 1)	0.782 (25℃), 0.791 (22℃)
증기밀도(1,1-디메틸하이드라진이 끓는점에서 의 공기 = 1)	2.1
녹는점, ℃	-58
증기/공기 혼합물의 상대밀도(공기=1)	1.2(20℃)
끓는점, ℃	63.9
증기압, mmHg	103(20℃), 156.8(25℃)
증발률(부틸초산=1)	자료 없음
냄새의 서한도, mg/m ³	12~20
물에 대한 용해도, g/100ml	> 10 %, 메탄올/에탄올에서 는 잘 녹음(20℃)
이온화 전위(Ionization potential), eV	7.46
점성계수	0.492 mPa · s(25℃)
분배계수(옥탄올/물)	-1.9(Log Kow @ 25 ℃)
단위전환인자, 25 ℃, 760mmHg	1 ppm = 2.5 mg/m ³ , 1 mg/m ³ = 0.542 ppm

(1) 분자량(molecular weight)

분자량은 탄소의 원자 1개의 질량을 12로 했을 때에, 어떤 분자 1개의 질량과 ¹²C 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. 1,1-디메틸하이드라진의 분자량은 60.12 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 할로젠화탄화수소의 경우는 1.5 g/ml 로 높은 값이다.

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

어떤 물질의 밀도와 이와 같은 체적의 4°C 물의 밀도 비를 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.

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

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

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 1.29 g/l 이다. 산소 기체의 밀도는 1.43 g/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 표현되지 않는 경우에는 0°C , 1기압상태를 나타내며 이때의 모든 기체의 밀도는 분자량을 몰부피 즉, 22.4 l/mole 로 나눈 값이 된다. 따라서 기체는 0°C , 1기압 하에서의 비중은 분자량의 비와 같다. 1기압 하의 공기의 밀도는 25°C 에서 1.187 kg/m^3 의 밀도를 갖는다.

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

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

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 atm·L/mol·K

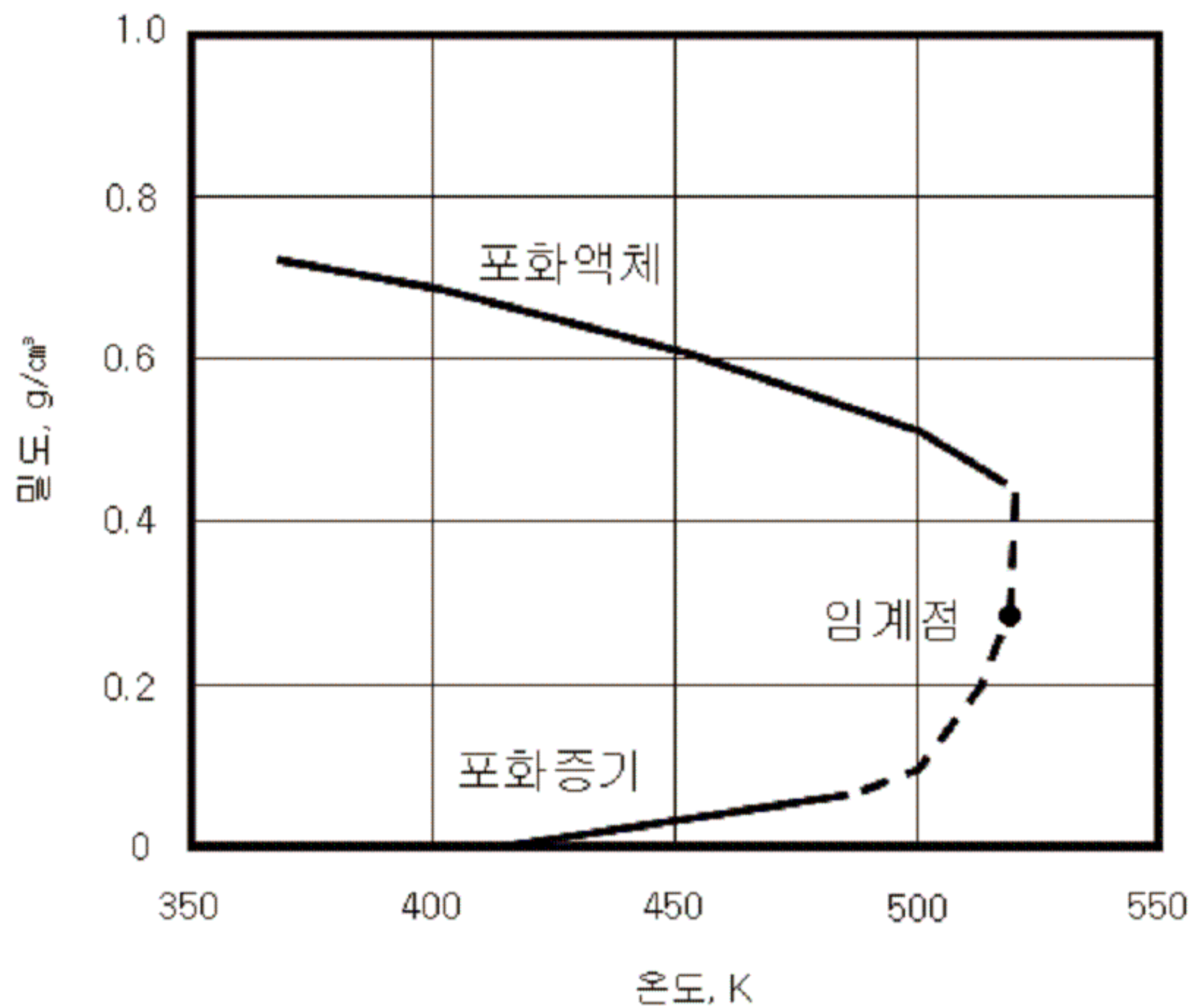
밀도는 분자량, 압력, 온도에 의해 결정되므로, 만일 압력과 온도가 일정하다면 이상기체의 밀도는 분자량에 따라 결정이 되며 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다. 또한 하나의 이상기체의 밀도를 알고, 다른 물질의 분자량을 안다면 그 물질의 밀도를 알 수 있다.

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

1,1-디메틸하이드라진의 밀도는 공기가 1일 때 상대적 가스의 밀도는 2.1이다. 어떤 물질의 비중이 유체보다 작으면 그 물질은 유체 위에 떠 있게 되고 그 반대이면 아래에 존재하게 된다. 오랫동안 정체된 공기에서는 1,1-디메틸하이드라진이 바닥에 가라앉아 유해한 효과뿐만 아니라 산소가 결핍되는 현상을 초래할 수도 있다.

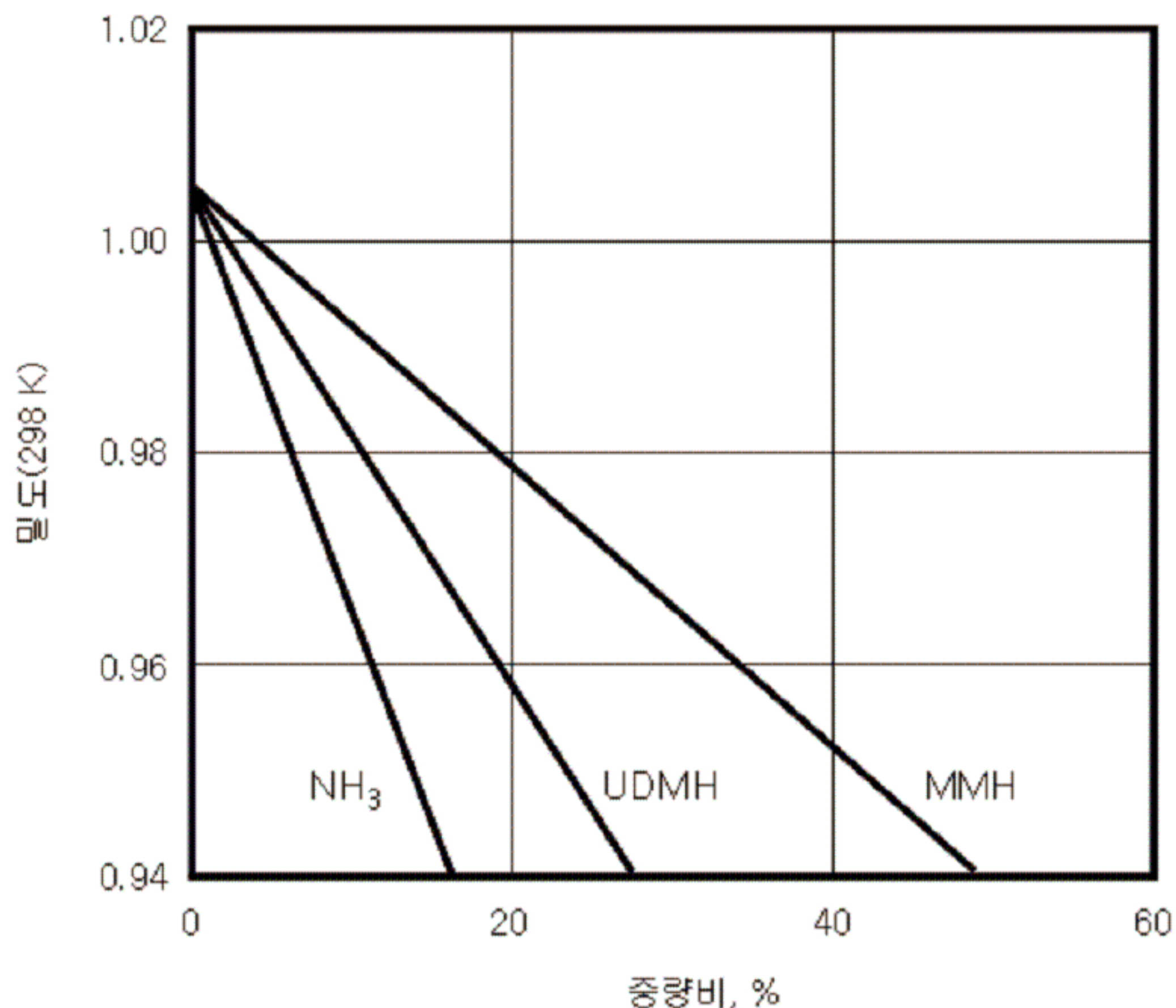
밀도는 온도와의 밀접한 관련이 있어서 [그림 III-1-2]에서 보듯이 온도의 변화에 따라 1,1'-디메틸하이드라진의 증기일 때와 액체일 때 밀도가 변화하는

것을 알 수 있다.



[그림 III-1-2] 온도에 따른 1,1-디메틸하이드라진 액체와 증기의 밀도 변화.

액체 상태일 때의 비중은 0.782(25℃)로 물보다 가볍다. 액체의 비중이 갖는 물리적 의미는 부력과 깊은 관련이 있다. 밀도는 온도와도 밀접한 관련이 있어서 [그림 III-1-3]에서 보듯이 물, 암모니아 등의 로켓연료에서 1,1-디메틸하이드라진의 비율이 감소함에 따라 밀도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다.



[그림 III-1-3] 하이드라진류의 혼합물에 있어서 밀도의 변화.

(3) 녹는점(melting point)

순수한 물질의 고체 상태와 액체상태가 평형을 이루는 온도를 녹는점이라고 한다. 즉 녹는점은 고체상태의 물질이 액체 상태로 변화되는 시기의 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 얼기도 하고, 액체 속에 있는 불

순물은 어는점을 낮추기 때문에 실제 어는점은 녹는점과 같지 않을 수도 있다. 따라서 물질의 특성을 구별할 때는 어는점보다 녹는점을 사용하는 것이 좋다.

100% 순수한 1,1-디메틸하이드라진의 녹는점은 -58°C 로 알려져 있다. 이는 다시 말해 순수한 1,1-디메틸하이드라진 액체가 -58°C 이하에서는 고체로 변화된다는 것을 뜻하며 상온을 포함한 그 이상의 온도에서는 액체로 존재한다는 것을 의미한다.

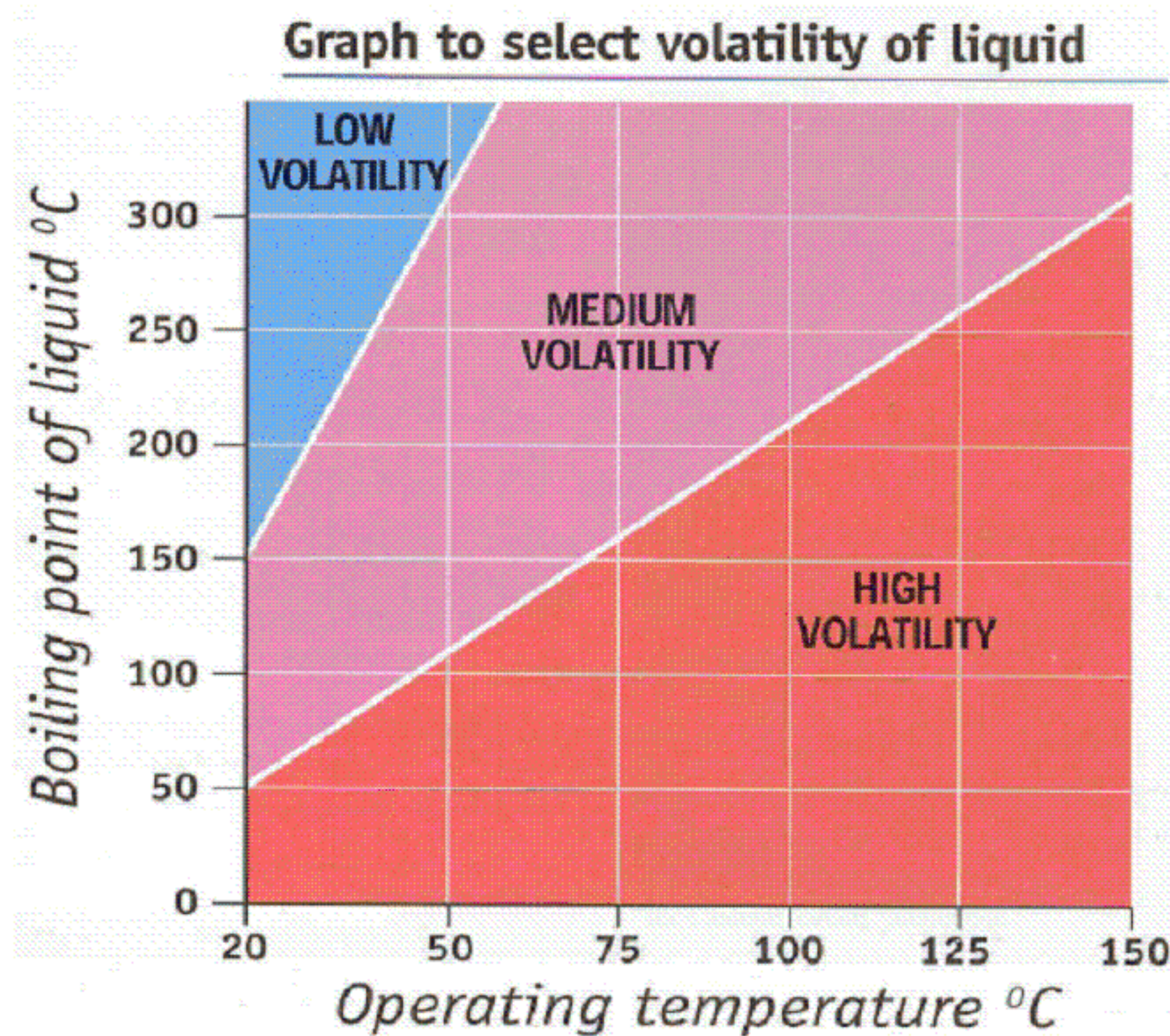
(4) 끓는점(비등점, boiling point)

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°C 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 III-1-4]와 같이 물질의 끓는점과 공정상 운전 온도와의 관계에 따라 휘발성 정도를 구분하여 휘발성이 높은 물질일수록 작업자의 노출 잠재위험도가 크다고 평가하도록 가이드를 제시하고 있다(ILO, 2003).

1,1-디메틸하이드라진은 질소와 NH_2 기를 가지고 있어 수소결합이 가능하다. 질소보다는 NH_2 기가 더 강한 수소결합을 할 수 있다. 그러한 알코올이나 수산화기를 가진 분자들은 질소보다 더 전기음성도가 높은 산소를 포함하고 있어 NH_2 기를 가진 물질보다 더 많이 수소결합을 할 수 있다. 1,1-디메틸하이드라진의 끓는점은 63.9°C 로 알려져 있으며, 상온과 같은 끓는점 이하의 온도에서는 액체 상태로 존재한다고 할 수 있으며 끓는점 이상의 온도에서는 기체 상태로 바뀌게 된다. 즉 상온에서는 기체로 존재하게 된다. ILO의 가이드에

따르면 끓는점이 낮아 휘발 가능성이 매우 높다고 할 수 있다[그림 III-1-4]. 휘발성이 높으면 증발이 빨리 되어 공기 중 유해물질이 됨으로서 근로자가 흡입 노출될 위험성이 있게 된다.



[그림 III-1-4] 끓는점과 공정운전 온도에 따른 액체의 휘발성 구분.

(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 기체 상태로 변화하는 끓는점 온도 이상에서 증기밀도를 측정할 수 있다.

1,1-디메틸하이드라진의 경우 끓는점 온도에서의 증기밀도는 공기를 기준으로 할 때 2.1이며 공기보다 무겁다는 것을 알 수 있다. 이런 종류의 가스가 밀폐된 실내 용기 중에서 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 물 기둥에 적용시킨다면 다음과 같은 압력 단위를 갖는다.

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

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

$$P_a \propto n_a \quad \text{또는}$$

$$P_T V_a = n_a RT$$

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 매우 증기압은 매우 유용한 지표이다. 증기압과 포화농도와의 관계는 다음식과 같다.

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

1,1-디메틸하이드라진의 증기압은 상온에서 156.8 mmHg(25℃ 기준)로 상기의 식에 대비하여 공기 중 포화농도를 계산하면 공기 중 농도가 최고 20.63%까지 도달할 수 있다. 물질의 증기압이 높으면 휘발성이 좋은 액체라고 할 수 있다. 휘발성은 액체 또는 고체가 기체 상태로 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 국소배기장치의 설치 등을 통해 관리를 철저히 해야 한다. 또한 역학조사를 수행할 때 과거의 노출자료가 없을 경우 극단적인 노출수준을 추정하는 지표로도 활용할 수 있다.

(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 물질 명을 함께 표기해야 한다.

<표 III-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 III-1-3> 물질별 증발률 비교

증발속도	증발률(부틸초산 = 1.0)	물 질
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

1,1-디메틸하이드라진의 증발률에 대한 자료는 없지만 앞서 살펴보았듯이 증기압이 매우 높았으며, 끓는점도 63.9 ℃로 낮기 때문에 증발률도 상당히 높을 것으로 추정된다. 이는 증발률은 끓는점에 반비례하여 끓는점이 높으면 증발률이 낮고 끓는점이 낮으면 증발률이 높기 때문이다. 따라서 증기상으로 흡입 노출 될 위험이 상당하다고 할 수 있다.

(8) 냄새의 서한도(odor threshold)

초기에는 화학물질에 대한 냄새를 쾌적과 비쾌적으로 구분하였으나 수 세기 흘러 스위스의 과학자인 Linnaeus가 1) 강한 향기(aromatic - strong pleasant smell), 2) 향기(fragrant) 3) 사향냄새(musky) 4) 악취(garlicky), 6) 불쾌(repulsive) 7) 메스꺼움(nauseous) 등으로 나누었다. 20세기에 들어서에는 네덜란드의 생리학자가 에테르향의 과일향(ethereal)과 유기물이 탄 냄새(empyreumatic)를 분류 체계에 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, 장기간 반복적으로 노출되어도 근로자의 건강에 해로운 영향이나 과도한 불쾌감(메스꺼운 냄새)을 야기 시키지 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. 예를 들어 톨루엔의 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 활용 할 수 있을 것이다.

1,1-디메틸하이드라진은 아민이나 암모니아 또는 암모니아 비슷한 특징적인 냄새가 난다. 냄새 서한도는 <표 III-1-4>에 나타난 것처럼 최저 감지 농도 12.0 mg/m³에서 최고 감지 농도 20.0 mg/m³까지 보고하고 있다(Ruth, 1986). 보통 냄새서한도가 노출기준의 10% 이하이면 기준 대비 노출 농도에 대한 좋은 경고 기준이 된다고 추천되고 있다. ACGIH에서 제안하고 있는 노출기준은 0.025mg/m³이므로 민감한 사람을 포함하여 대부분의 사람이 냄새를 감지할 때는 이미 노출수준을 초과한 것이라고 할 수 있기 때문에 냄새 서한도를 통해서 1,1-디메틸하이드라진에 의한 건강장해를 예방하기는 어렵다고 할 수 있다.

<표 III-1-4> 1,1-디메틸하이드라진과 모노메틸하이드라진의 냄새 서한도와 자극을 일으킬 수 있는 수준

화학물질	냄새 서한도*, mg/m ³		냄새	자극 농도, mg/m ³
	최저	최고		
1,1-디메틸하이드라진	12.0	20.0	아민, 암모니아 냄새	-
메틸하이드라진	1.75	5.25	아민, 암모니아 냄새	-

* 최저 냄새서한도는 실험자 중 한 사람이라도 감지하는 농도이며, 최고 냄새서한도는 실험자 100%가 감지하는 농도임.

(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 증가할수록 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. 1,1-디메틸하이드라진은 물에 대한 용해도로 10% 이하를 보이기 때문에 물에 잘 녹지 않는다고 할 수 있다. 탄소수가 5개 이상인 물질은 물에 거의 녹지 않으나 1,1-디메틸하이드라진과 같이 탄소수가 5개 미만인 물질은 -NH₂기의 극성기가 탄화수소부분의 소수성을 극복하여 전체적으로 약한 극성을 띄게 된다. 공기 중 1,1-디메틸하이드라진을 흡입 시 주로 상기도보다는 폐포 쪽에서 흡수된다고 생각되며, 탄소수가 5개 미만인 물질의 질소원자의 이러한 약한 친수성의 성질은 호흡기의 상기도 부분에서도 소량 흡수가 가능하여 호흡기계에 영향을 미칠 수 있다. 또한 ACGIH에서 노출기준을 제안할 때도 자극과 종양형성 반응을 근거로 제안하고 있다. 1,1-디메틸하이드라진은 메탄올이나 에탄올에서는 잘 녹는다(20℃).

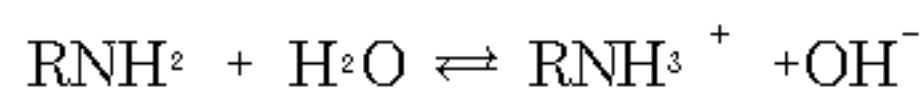
(10) 이온화전위(ionization potential)

분자(또는 원자)가 양전하 또는 음전하를 얻어 이온이 되는 현상을 이온화라고 하며, 이온화할 때 필요한 에너지를 이온화 전위라고 한다. 1,1-디메틸하이드라진의 이온화전위 값은 7.46 eV(전자볼트, electron volt) 전자볼트는 에너지의 단위로 1eV의 크기는 $1.602 \times 10^{-19} \text{J}$ 또는 $1.602 \times 10^{-12} \text{erg}$ 의 힘을 갖는다. 물질의 이온화 반응을 물질의 동정과 정량에 사용하여 그 물질의 농도를 모니터링 하는 기기 등에 활용할 수 있다.

(11) 수소이온농도(pH)

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 달라지는데 이 지표를 용질 1 그램당량에 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.

1,1-디메틸하이드라진은 아민류를 포함하고 있어서 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.



$$K_b = \frac{[\text{RNH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{RNH}_2]}$$

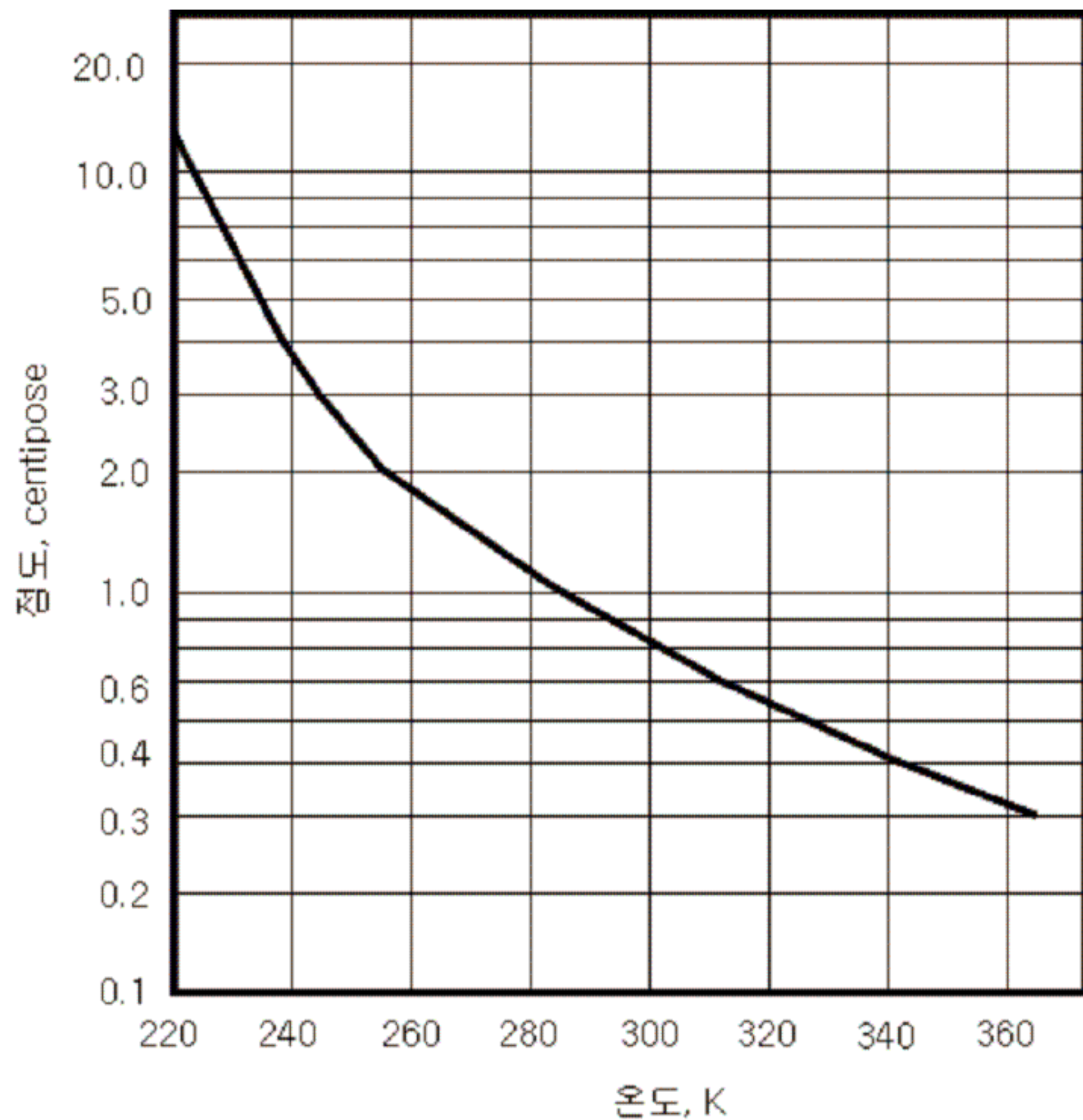
그리고 이것을 pK_b 로 간단하게 나타내면

$$\text{pK}_b = -\log_{10} K_b$$

화합물의 염기성이 강할수록 낮은 pK_b 값을 갖게 된다. 이러한 방법으로 측정하면 1,1-디메틸하이드라진은 pK_b 값이 6.79이며 pK_a 값은 7.21이다. 이러한 값을 통해 1,1-디메틸하이드라진은 염기성이라고 할 수 있다.

(12) 점도(viscosity)

액체의 점성도란 흐름에 대한 저항을 말하며, 점성도가 클수록 흐름이 느리다. 점성도는 일정한 양의 액체가 모세관을 통해 흘러가는 시간을 측정하거나, 주어진 반경의 쇠구슬이 액체 관을 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 파이프라인을 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 점선 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. 액체상의 1,1-디메틸하이드라진의 점도와 온도와의 관계는 [그림 III-1-5]에 따라 온도가 증가할수록 점도가 낮아지는 것을 볼 수 있다.



[그림 III-1-5] 액체상의 1,1-디메틸하이드라진에 있어서 점도와 온도의 관계.

동적 점성도의 크기는 힘에 단위면적당 시간을 곱한 값이다. 따라서 점성의 단위는 $\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ 이며, N / m^2 은 압력의 단위이므로 압력을 나타내는 Pa(파스칼)로 바꾸어 표현 할 경우 점도는 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 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.

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

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

1,1-디메틸하이드라진의 점도는 25℃, 1기압에서 0.492 mPa·s이다. 참고로 다른 물질과 비교하면 트리에틸아민의 점도는 $0.431 \cdot 10^{-3}$ Pa·s이며, 수증기의 경우 0.125 cP, 에틸렌글리콜 19.9 cP, 올리브유 84 cP, 그리고 점성이 매우 큰 꿀의 경우 3,000 cP 정도이다.

(13) 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 생물농축성의 지표로도 활용할 수 있다. 물-옥탄올 분배계수는 다음식과 같이 계산할 수 있다.

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

1,1-디메틸하이드라진의 물-옥탄올 분배계수(Log Kow) 값은 25℃에서 -1.9로 보고되었다. 일반적으로 물-옥탄올 분배계수(Log Kow) 값이 1 이하인 경우 물에 대한 용해도가 매우 높고 유기체에 생물학적 농축 가능성이 적다고 할 수 있으며, 값이 4 이상인 경우 소수성이 높고 생물학적 농축가능성이 높다고 할 수 있다.

(14) 단위(Unit)

단위란 어떤 물리량(物理量)의 크기를 나타낼 때 비교의 기준이 되는 크기로 gas와 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.

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

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

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

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

1,1-디메틸하이드라진의 두 단위간 단위전환인자는 25℃, 1기압(760mmHg) 조건에서 1ppm은 2.5 mg/m³과 같고, 1mg/m³는 0.542 ppm과 같다.

다. 화학적 성상

이 물질은 공기와 접촉하여 자발적 발화가 가능하다. 연소 시 질소산화물, 수소, 암모니아, 디메틸아민, 히드라조익산(hydrazoic acid) 등의 독성 및 인화성의 물질이 발생한다. 이 물질은 강력한 환원제이며 사산화질소(nitrogen tetroxide), 질산, 과산화수소와 같은 산화제와 격렬하게 반응한다. 이 물질은 또한 강한 염기이므로 산과 격렬하게 반응하고 부식성이 있다. 산소와 반응하여 화재와 폭발을 일으킬 수 있는 위험물이며 플라스틱을 손상시킨다.

1,1-디메틸하이드라진의 반응성 및 연소성과 관련한 화학적 성상에 대한 내용은 다음 <표 III-1-5>와 같이 정리할 수 있다.

<표 III-1-5> 1,1-디메틸하이드라진의 화학적 성상

항 목	내 용
금기	강한 환원제, 철 또는 구리의 산화물, 망간, 납, 구리 또는 이들의 합금
인화점	-15℃ (밀폐상태)
자연발화온도	249℃
공기중연소농도 (Vol. %)	하한 2(10% LEL 2000 ppm), 상한 95
유해분해산물	질소산화물, 일산화탄소
소화제	알코올 발포제, 건성 화학물, 대량의 물
특별유의사항	플라스틱류, 고무류, 피복제를 상하게 함.

(1) 반응성

금기시되는 물질은 강한 환원제이며 철 또는 구리의 산화물, 망간, 납, 구리 또는 이들의 합금과 접촉하면 불이 나고 폭발한다.

(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. 이온도를 연소점이라고 하여 인화점과 구별한다. 1,1-디메틸하이드라진은 밀폐상태에서 -15°C 이하로 매우 낮은 물질이다.

미국 산업안전보건청(OSHA, Occupational Safety and Health) 기준(29 CFR 1910.106)에서는 인화성(flammable)과 가연성(combustible) 액체에 대한 기준을 다음의 <표 III-1-6>과 같이 6단계로 나누어 관리하고 있는데, 1,1-디메틸하이드라진에 대해서는 인화점이 -15°C 이며 끓는점이 63.9°C 이므로 Class I B의 인화성 액체로 분류하고 있다. 인화점은 소방안전의 측면에서도 매우 중요한 지표이다. 미국소방협회(National Fire Protection Association, NFPA)에서는 물질의 인화성에 대해 0 - 4점까지의 경고점수를 주고 있으며 1,1-디메틸하이드라진에 대해서는 Class I B에 속하므로 인화성이 높은 3점의 경고점수를 주고 있다. 3점에 해당되는 물질은 상온의 조건에서도 쉽게 점화가 된다.

그러나 <표 III-1-6>은 인화성과 가연성을 구별하기가 힘들다. 좀 더 이해하기 쉽게 끓는점과 인화점을 고려하여 [그림 III-1-6]과 같이 인화성과 가연성으로 구분하여 나타낼 수 있다. 1,1-디메틸하이드라진의 끓는점이 63.9°C 이고 인화점이 -15°C 이므로 Class IB에 속하는 인화성이 매우 높은 액체에 해당되므로 작업장에서 사용 시 상당한 주의를 요하고 적절한 조건에서 다루어야 한다.

(3) 자연발화온도

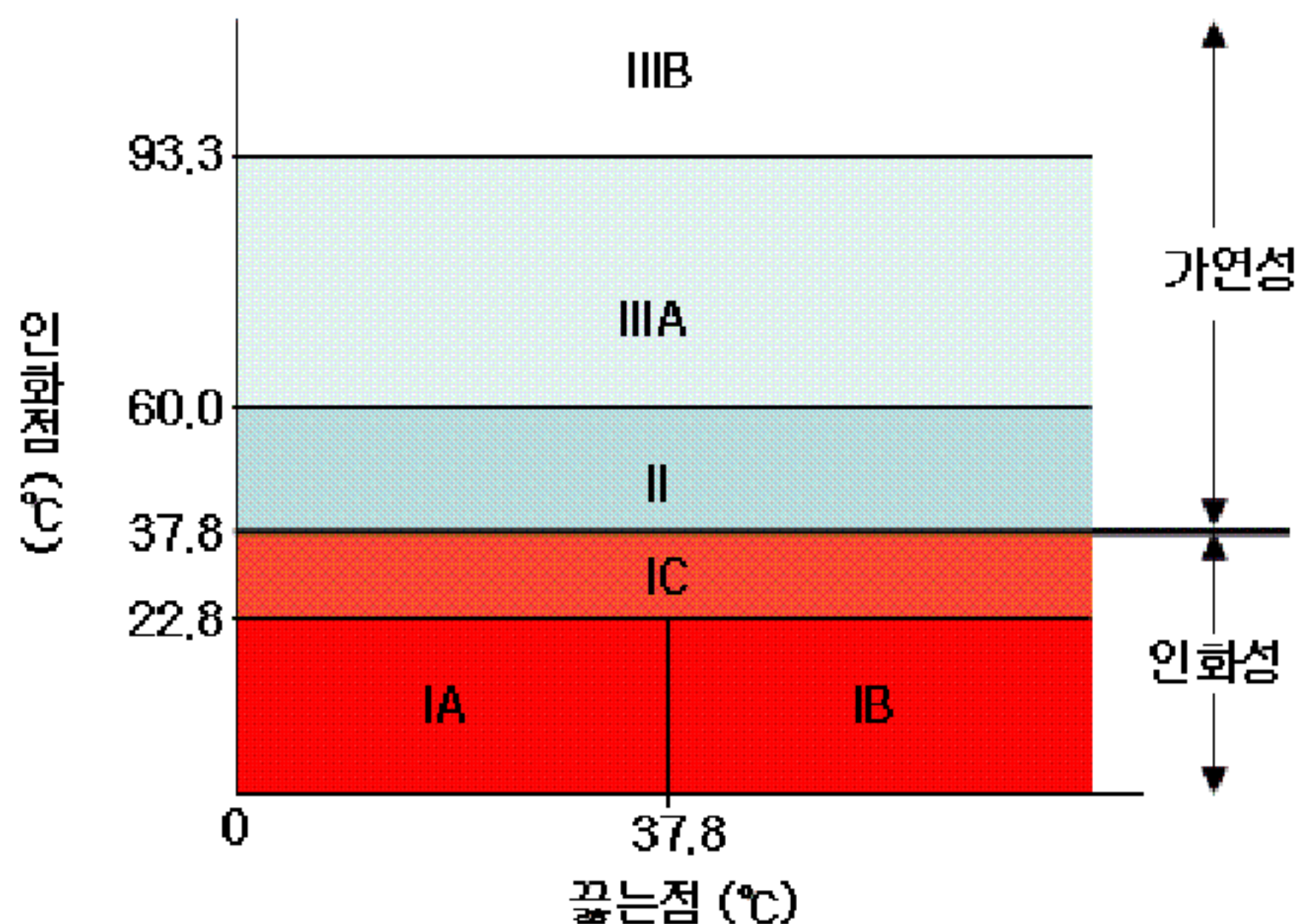
자연발화점은 정상적인 공기 조건하에서 스파크나 불꽃과 같은 특별한 점화원 없이 자연적으로 발화하여 연소가 가능한 최저 온도를 말한다. 자연발화점

의 측정방법은 인화점 측정방법과 동일한 밀폐컵용기(closed cup apparatus)를 이용한다. 1,1-디메틸하이드라진의 경우는 자연발화온도가 249 ℃이므로 상온에서는 자연발화가 일어날 가능성이 낮다고 할 수 있다.

<표 III-1-6> 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



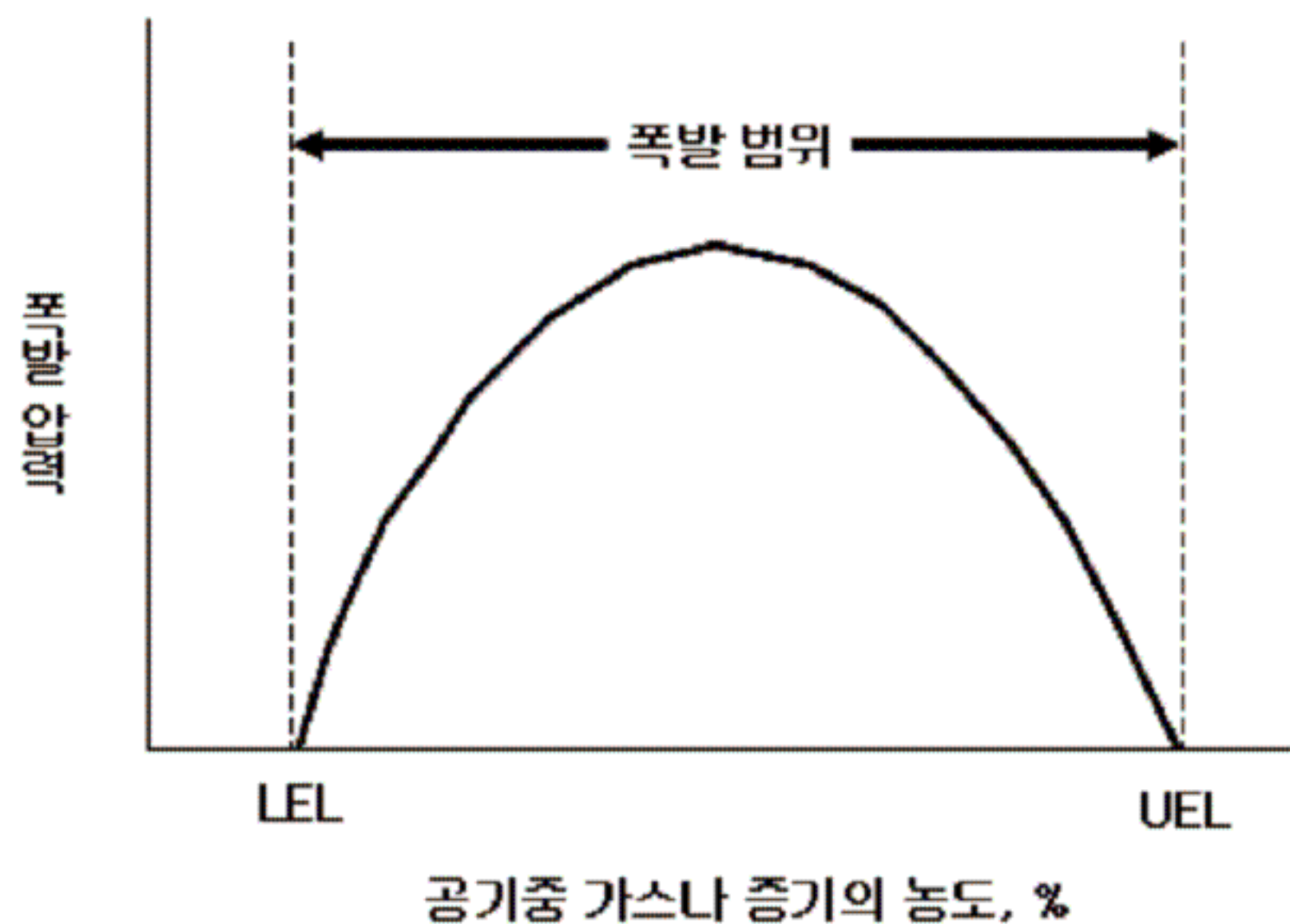
[그림 III-1-6] 인화성 및 가연성 분류.

(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, 폭발을 일으킬 수 있는 농도범위의 상한과 하한 값으로 표현된다([그림 III-1-7]참조). 이때의 상한 값을 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. 하한 값은 폭발하한계(Lower Explosive Limit, LEL)라고 하며 어떤 물질이 점화원에 의해 폭발을 일으킬 수 있는 최저농도를 말한다. 폭발 하한계와 상한계를 모두 일컬어 폭발한계(explosive limit)라고 하며, 하한계와 상한계 사이의 농도범위를 폭발범위(explosive range)라고 한다(소방방재청, 2005).

1,1-디메틸하이드라진은 가연성 액체로 공기(산소)와 일정량 혼합되어 있는 경우 점화원에 의해 점화되어 연소 및 폭발이 일어나는 가스이다. 공기 중 폭

발(인화) 하한치나 상한치는 상온에서의 공기 중 해당물질의 부피 퍼센트(%)로 나타낸다. 1,1-디메틸하이드라진의 연소농도는 하한 2(10 % LEL, 2,000 ppm), 상한 95.0로 범위가 상당히 넓다.

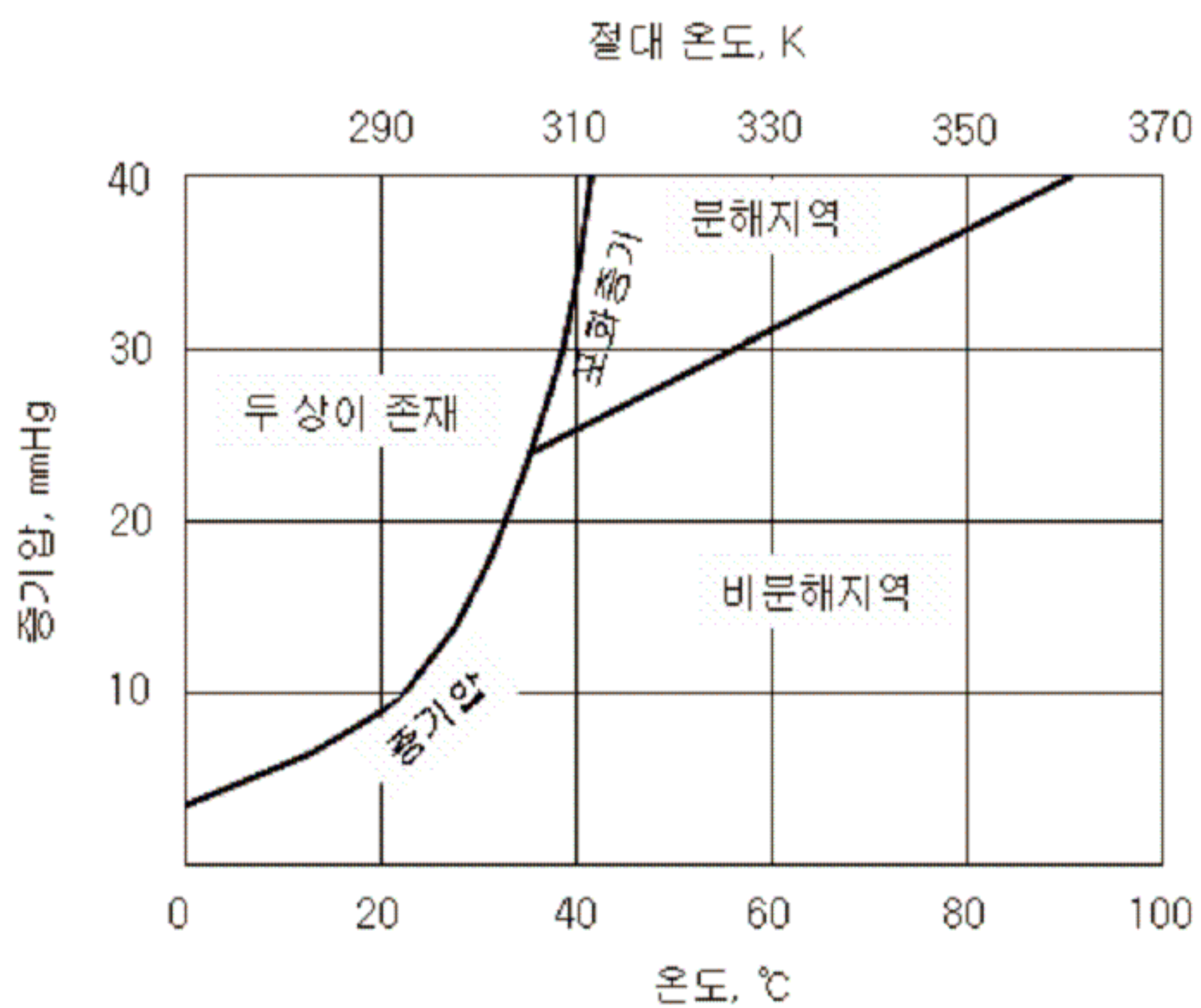


[그림 III-1-7] 가스와 증기의 폭발 압력과 폭발 범위.

(5) 기타

가연성 액체인 1,1-디메틸하이드라진은 열분해 시 건강에 유해한 산물로 질소산화물과 일산화탄소 같은 유독가스와 증기가 발생한다. 하이드라진류의 분해와 증기압과의 관계는 [그림 III-1-8]에서 보는 것처럼 일정한 분해 한계가 있다. 분해 한계에는 최저 분압이 관여한다. 305 K에서 최소 분해 증기압은 약 23.8 mmHg이다.

1,1-디메틸하이드라진을 바닥에 옆질러서 공기와 접촉하거나 흙, 석면, 목재, 옷감에 닿았을 때 또는 과산화수소나 질산과 접촉하면 자연 발화하게 된다. 1,1-디메틸하이드라진에 의해서 화재가 발생했을 때에는 소화제로 알코올 발포제, 건성 화학물, 대량의 물 등을 이용하여 소화하여야 한다. 또한 1,1-디메틸하이드라진은 플라스틱류, 고무류, 피복제 등을 상하게 하는 특성이 있다.



[그림 III-1-8] 하이드라진의 분해와 증기압의 관계.

2. 취급현황

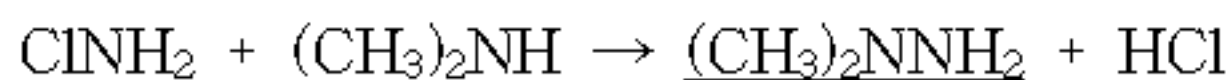
가. 제조 또는 사용현황

(1) 1,1-디메틸하이드라진의 제조방법 고찰

하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진 등의 하이드라진 화합물은 암모니아, 디메틸아민, 과산화수소 또는 차아염소산나트륨 등과 같은 화학물질을 이용하여 제조한다. 널리 사용되고 있는 하이드라진은 raschig process, ketazine process 그리고 peroxide process 등 세 가지 방법에 의해 제조된다고 알려져 있다(Budavari et al. 1989; IARC 1974; Schmidt 1988; WHO 1987).

1,1-디메틸하이드라진은 라시히 방법을 변형시켜서 제조하는 것으로 알려져 있다. 라시히 방법을 이용한 하이드라진의 제조과정은 [그림 III-2-1]과 같다. 암모니아(NH_3)와 하이포아염소산(NaOCl)을 반응시켜 생성한 클로라민(ClNH_2)에 암모니아를 연속적으로 반응시켜 하이드라진류를 생산한다(Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2003).

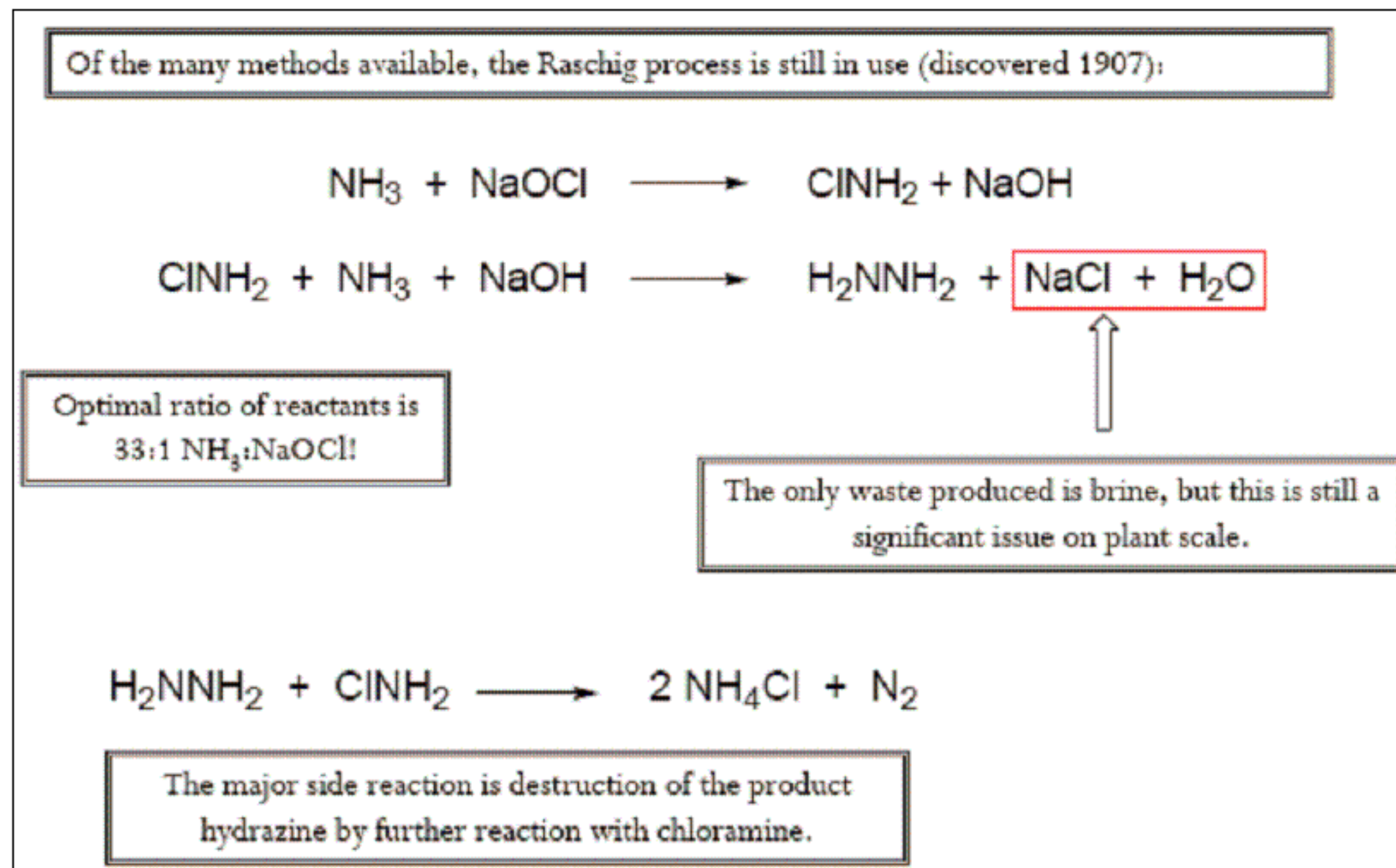
1,1-디메틸하이드라진은 암모니아와 하이포아염소산이 반응하여 생성된 클로라민과 디메틸아민을 반응시켜서 생산한다.



또 다른 방법으로는 디메틸니트로스아민의 환원반응에 의해 또는 카르복실산 하이드라지드와 포름알데히드의 알킬 축매 환원반응 후 가수분해과정을 거쳐 1,1-디메틸하이드라진을 제조하기도 한다(Budavari 등, 1989; EPA 1984a, 1992b; IARC 1974; Schmidt 1988).

현재 국내에서는 1,1-디메틸하이드라진을 제조하는 곳이 없으며, 외국의 경

우 미국 Louisiana의 Olin and Uniroyal Chemical company에서 제품으로 생산하고 있다(SRI, 1992).



[그림 III-2-1] 라시히 방법(Raschig process)에 의한 하이드라진 제조 과정.

(2) 1,1-디메틸하이드라진의 용도

대부분의 하이드라진류는 로켓 추진제와 연료, 보일러 물의 처리, 화학 반응제, 의약품, 압 연구 등을 위하여 사용되고 있다.

로켓 추진제로 가장 널리 사용되는 것이 액상의 이중추진제(bipropellants)와 고체상의 추진제이다. 고체상의 추진제는 다양한 종류가 있으며 많이 알려진 것이 니트로셀룰로우스(Nitrocellulose)와 혼합 분말가루이다. 고체상의 추진제는 밀도가 높아서 로켓에 안전하게 장시간 동안 충전할 수 있다는 장점이 있다. 액상의 이중추진제는 연료와 산화제로 구성되어 있으며 연소챔버에 따로 충전이 된다. 산화제로서는 하이드라진류와 함께 액상산소, 사산화질소, 농축 질산, 과산화수소 등이 사용되며 연료로는 액상이 수소가 사용된다. 고체상에

비교하여 장점은 높은 에너지를 발생시킬 수 있어서 로켓이 빠른 속도로 멀리까지 이동시킬 수 있으며 로켓 엔진을 여러 번 사용할 수 있다는 점이다.

1,1-디메틸하이드라진의 가장 주요한 용도는 로켓트 연료 및 제트기의 추진제이다. ATSDR (1997)의 보고에 의하면, 미국에서 1950년 대 말에서 1960년대까지 가장 많은 양의 1,1-디메틸하이드라진이 이러한 목적으로 사용되었다. 그 외에 군대의 고에너지 연료, 우주선 엔진연료, 작은 규모의 발전소에서 연료로 사용되기도 한다.

가) 로켓 추진제로서의 1,1-디메틸하이드라진

1,1-디메틸하이드라진의 가장 큰 용도는 로켓연료 추진제로 사용되는데, 로켓의 추진에너지가 화학적 작용을 하느냐 하지 않느냐에 따라서 크게 화학로켓, 비화학 로켓으로 구분하고 있다. 아직까지 비화학 로켓이 화학 로켓보다는 추진력이 낮은 것으로 보고되고 있으며, 1,1-디메틸하이드라진은 이 화학로켓의 액체 추진제로서 사용되는 것이다.

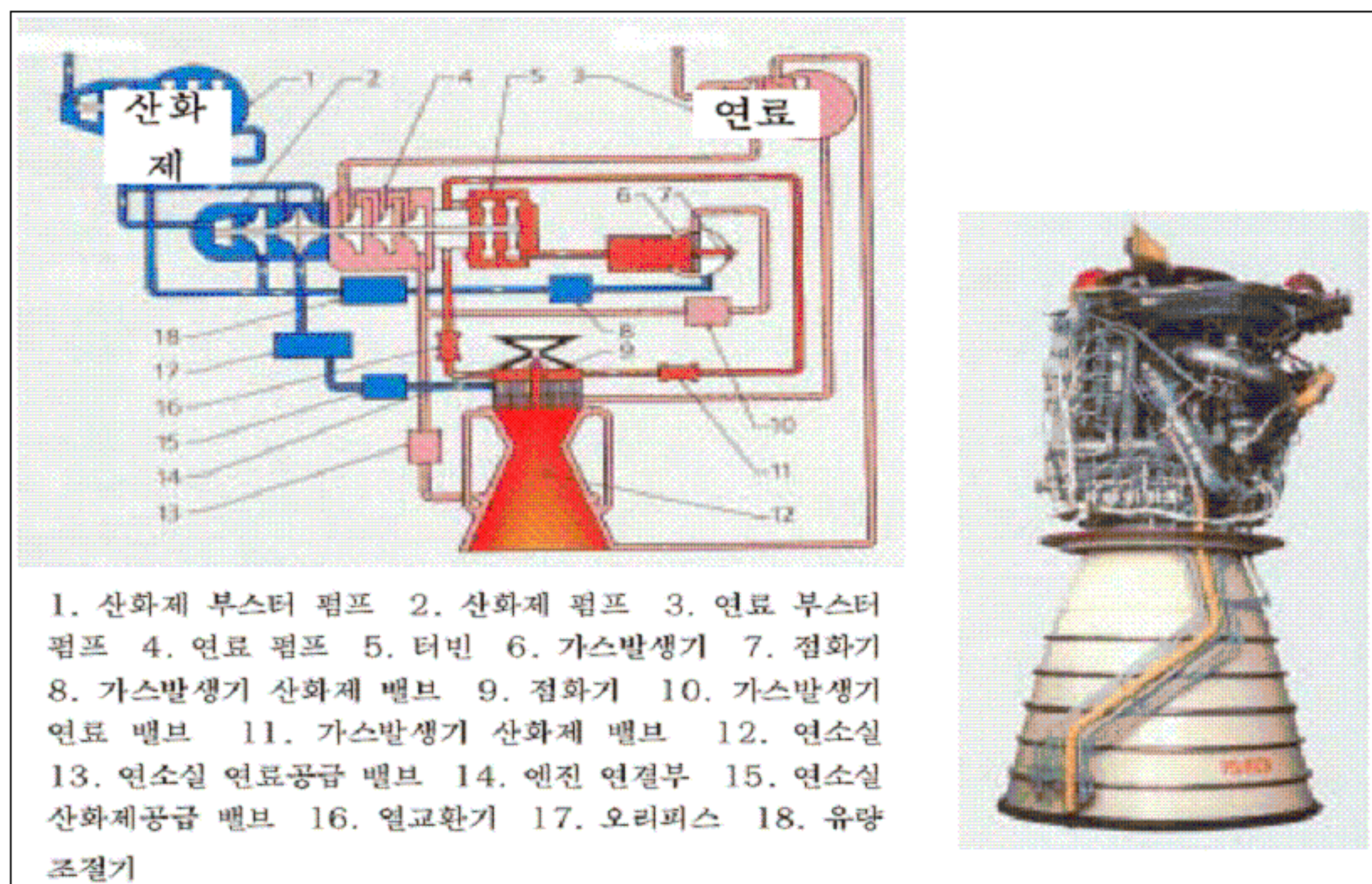
액체추진 로켓엔진에 사용하는 재료는 저온 액체와 접촉되어야 하므로 인성(toughness)과 연성(ductility)저하가 가장 큰 문제이고, 또한 뜨거운 배기가스와 만나는 금속은 고온에서 크립(creep)과 부식(corrosion)에 대한 내구성이 있어야 한다. 특히 액체엔진의 추진제로 많이 사용하고 있는 수소와 산소는 많은 재료를 취약하게 하는데 예를 들면 마텐사이트강, 니켈합금 그리고 티타늄합금 등이 더운 기체 수소에 노출되었을 경우 강도가 저하되는 현상을 나타내며, 이는 이들 재료가 수소취성(hydrogen embrittlement)성질을 갖기 때문이다. 티타늄합금은 기체나 액체 산소와 질산가스 등과는 반응을 일으킬 수 있으므로 여러 추진제로부터의 연소부산물과의 접촉은 피해야 하며 액체추진 로켓엔진에는 사용이 제한될 수 밖에 없다. 액체추진제의 대표적인 연료로는 액체수소, 1,1-디메틸하이드라진, 1,2-디메틸하이드라진, 메틸하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진과 하이드라진의 1:1 혼합물인 Aerozin-50 그리고 탄화수소연료인 RP-1이 있다(<표 III-2-1> 참조).

<표 III-2-1> 로켓 추진제로 사용되는 1,1-디메틸하이드라진

로켓 추진에너지의 화학적 유무	로켓 구분	추진제에 따른 구분
화학적 작용	화학 로켓	고체 추진제
		액체 추진제 (액체수소, 1,1-디메틸하이드라진, 1,2-디메틸하이드라진, 메틸하이드라진, Aerozin-50, RP-1)
		고체 + 액체 > 혼합형 추진제
비화학적 작용	비화학 로켓	전기 추진시스템
		핵에너지 로켓
		레이저 및 태양 에너지 로켓

액체추진기관의 구성은 <그림 III-2-2>의 좌측과 같으며, 실제 액체추진기관의 형상은 그림 우측과 같다.

우리나라에서는 지난 88년 한국항공우주연구원이 과학관측 로켓 개발 사업을 시작한 이래 KSR-I인 1단형 관측로켓 '과학 1호, 2호'를 93년 6월과 9월에 각각 시험비행에 성공하였으며, 2단형 중형과학로켓 KSR-II를 97년 발사해 150kg의 과학 탑재물을 148km 상공까지 쏘아 올리는데 성공한 바 있다. KSR-I과 KSR-II는 일반적으로 많이 사용되고 있는 고체추진제를 연료로 사용하는 로켓인 반면, KSR-III는 등유와 액체산소를 연료와 산화제로 사용하는 국내 최초의 액체추진제 로켓이다.



[그림 III-2-2] 로켓 액체추진기관 구성도 및 실제 형상.

추진기관은 유도탄을 지정된 표적까지 운반하는데 필요한 에너지를 공급하는 역할을 수행한다. 유도탄 추진기관은 사용연료에 따라 고체 추진기관, 액체 추진기관으로 분류 할 수 있다.

고체 로켓모터를 사용하는 고체 추진기관은 비교적 단순하고 제작비용이 저렴하며 작동 및 운용성이 간편하다. 반면 액체추진기관은 명령신호에 따라 연료소비량을 조절할 수 있고 재발진과 재보급이 가능하며 추진기능을 원하는 때에 정지시킬 수 있으므로 주로 전략 유도탄의 추진시스템으로 사용된다.

전술유도탄에서 많이 사용되는 고체추진기관의 주요 구성품으로는 추진제, 모타약실(Mortar Chamber), 분사노즐(Nozzle) 및 점화기 등이 있다. 추진제는 크게 Double Base 추진제와 Composite 추진제로 구분된다.

Double Base 추진제는 니트로 셀룰로우스(Nitro-Cellulose)와 니트로 글리세

린(Nitro-Glycerin)을 혼합하여 제작한다. 추력성능은 Composite 추진제 보다 못하나 연기가 적은 장점이 있다. 반면 Composite 추진제는 연료와 자체에서 산소를 발생하는 산화제의 혼합물로써 추력성능이 좋다. 산화제로는 Ammonium Perchlorate, 연료는 Polyurethane, Polysulfide가 주로 사용된다. 고체 추진기관은 주조법으로 제조할 수 있기 때문에 대형 추진제로 제조가 가능하다. 전에는 추진제의 성능향상을 위하여 알루미늄분말을 첨가하는 경향이 있었으나 연기가 많이 발생하는 단점이 있어 요즘에는 잘 사용하지 않는다.

나) 1,1-디메틸하이드라진의 기타 용도

1,1-디메틸하이드라진은 화학물질 합성, 유기 과산화물 연료 첨가제의 안정제, 산 가스의 흡수제 및 사진 인화용액으로 사용된다. 그리고 채소, 꽃 또는 사과, 포도, 땅콩, 벧찌, 봉숭아 및 토마토 같은 과일을 재배할 때에 사용되는 식물 성장 조절제의 안정제로 사용된다(IARC, 1974; Clayton 등, 1981; EPA, 1984; ATSDR, 1997; IARC, 1999; ACGIH, 2001).

1973년 시험공장 규모에서 aminimides의 생산과정에서 화학 중간생산물로 사용되기도 하였다(Hawley, 1997)

(3) 외국 제조 및 사용량

하이드라진과 그 유도체는 다양한 생물학적 영향과 독성이 큰 반응물질들이다. 1,1-디메틸하이드라진은 알킬하이드라진의 그룹으로써 알칼리성 액체이고, 강력한 환원제이다. 1978년 NIOSH에서는 하이드라진과 그 유도체에 대해 조사하였고 그 결과 <표 III-2-2>에서 잘 알려진 다섯 가지 하이드라진에 대한 제조량, 주요 사용처, 작업자 노출을 개략적으로 나타내었다.

그러나 1980년에서 1990년 사이에 보고된 자료를 보면 미국에서는 1977년 적어도 45톤의 1,1-디메틸하이드라진을 그리고 1982년에는 4.5톤 이상을 생산한 것으로 추정하고 있다고 보고하였다(HSDB 1995; Schmidt 1988; SRI 1987, 1988, 1992; WHO 1987). 1991년 EPA는 현재 생산량이 어느 정도인지에 대한

공식적인 자료는 없는 것으로 보고하였다.

<표 III-2-2> 하이드라진과 그 유도체의 연간생산량, 용도, 노출근로자 수

화학물질	연간 생산량	용도	노출 근로자 수 (명, 추정치)
하이드라진 (Hydrazine)	17,000톤	로켓 추진제, 중합반응촉매제, 취입성형(blowing) 물질, 환원제, 산소유리기, 의약품제조	102,700*
메틸하이드라진 (Methylhydrazine)	91 톤	로켓 연료	1,000
1,1-디메틸하이드라진 (1,1-Dimethylhydrazine)	500~1000톤	로켓 추진제, 화학물질 제조, 사진인화, 연료안정제, 첨가제, 식물성장조절제	1,500
1,2-디메틸하이드라진 (1,2-Dimethylhydrazine)	소량	연구	소수
페닐하이드라진 (Phenylhydrazine)	알려지지 않음.	시약, 중간물질, 염색중간체, 의약품제조	5,000

* : 9,000 hydrazine, 98,000 dihydrochloride salt, 2,500 sulfate salt, 1,500 hydrobromide salt, 1,700 hydrate하이드라진

(4) 생산량 및 취급현황

가) 환경부 유통량 조사결과

환경부에서 조사한 1998년과 2002년 화학물질 유통량 조사 결과를 보면 1,1-디메틸하이드라진의 국내 제조는 없었으며 전량 수입해서 사용하는 것으로 확인 되었다. 1998년은 1,1-디메틸하이드라진을 전혀 사용하지 않은 것으로 조사되었으며, 2002년은 수입 및 이월로 인해 총 15.3톤이 입고되었으며 이 중 11.7톤을 사용하고 3.6톤의 재고가 남은 것으로 조사되었다.

<표 III-2-3> 1,1-디메틸하이드라진 제조 및 사용현황(환경부, 2002)

화학 물질명	업종	조사년도	입고량(단위:톤/year)					출고량(단위:톤/year)					
			제조	수입	구매	이월	합계	사용	판매	수출	재고	소실	합계
1,1-디 메틸하 이드라 진	화합물 및 화학제품 제조업	1998년	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2002년	0	12	0	3.3	15.3	11.7	0	0	3.6	0	15.3

나) 관세청 수출입 통계 자료

한국 무역협회에서 제공하는 수출입 통계 자료를 찾아본 결과 1,1-디메틸하이드라진 단일 물질에 대한 자료는 없었다. 다만, 수출입량이 적은 경우 동일 또는 유사한 계열의 물질에 대한 통합 자료는 제시하고 있다. 1,1-디메틸하이드라진이 통합되어 있는 계열의 물질은 하이드라진(품목 번호 : HSK 2825109010)으로 이에 대한 수출입 통계자료를 정리하면 <표 III-2-4>와 같다. 하지만, 1,1-디메틸하이드라진 외 다른 물질들이 통합된 자료이므로 1,1-디메틸하이드라진의 정확한 수출입 통계는 알 수 없었다.

다) 1,1-디메틸하이드라진 취급 사업장 방문 조사 결과

2004년 노동부 제조업실태조사 결과 1,1-디메틸하이드라진을 사용하는 것으로 조사된 사업장은 총 5개 사업장이었다. 예비조사 결과, <표 III-2-5>에서와 같이 2005년 현재 1,1-디메틸하이드라진은 한 개 사업장에서 사용하고 있는 것으로 확인되었다. 스판 섬유를 제조하는 곳으로 1,1-디메틸하이드라진을 산화방지제로 사용하고 있었다. 나머지 4개 사업장을 방문 조사한 결과 1,1-디메틸하이드라진이라는 화학물질을 전혀 모르고 있거나 사용하지 않는 것으로 조사되었다.

<표 III-2-4> 하이드라진 수·출입통계

구분	국가명	2004년		2005년(1~9월)	
		금액 (US 천\$)	중량(Kg)	금액 (US 천\$)	중량(Kg)
국내수출량	총계	5	1,600	-	-
주요 수출국	태국	5	1,600	-	-
국내수입량	총계	18	5,621	17	5,209
주요 수입국	일본	11	650	10	505
	싱가포르	2	2,750	6	3,456
	영국	6	2,220	1	1,248
	미국	0	1	-	-

자료원: 한국무역협회(<http://www.kita.net/>)

<표 III-2-5> 1,1-디메틸하이드라진 예비조사 대상 및 조사 결과

업체명	업종	취급 화학물질명	사용여부	조사결과
A	DY 조립	1,1-디메틸하이 드라진	사용안함	1,1-디메틸하이드라진 과 관계없음
B	POWER TRANS 제조	1,1-디메틸하이 드라진	사용안함	1,1-디메틸하이드라진 과 관계없음
C	간판 및 광고물	1,1-디메틸하이 드라진	사용안함	1,1-디메틸하이드라진 과 관계없음
D	엘리베이터	1,1-디메틸하이 드라진	사용안함	1,1-디메틸하이드라진 과 관계없음
E	스판 섬유 제조	1,1-디메틸하이 드라진	사용함	스판 섬유 생산시 산 화방지제로 사용

(5) 취급 근로자 수

가) 국내 사업장

현장 예비조사 결과 2005년 현재 국내에서 1,1-디메틸하이드라진을 사용하는 곳은 한 개 사업장으로 확인되었다. 사업장의 총 인원은 600여명이었는데, 1,1-디메틸하이드라진은 한 공정에서 제한적으로 사용하고 있었으므로 최대한 노출인원은 600여명을 넘지 않을 것으로 생각된다.

나) 국외 사업장

미국 산업안전보건연구원은 1981~1983년까지 국내의 직업적 노출 조사(National Occupational Exposure Survey) 프로그램을 수행한 결과 잠재적으로 2197명의 작업자가 1,1-디메틸하이드라진에 직업적으로 노출된다고 보고하였는데, 자료에서의 노출인원은 오직 1,1-디메틸하이드라진을 실제로 사용하는 대상만을 파악한 것이다(NIOSH, 1984). 1976년에 진행된 미국 국내의 직업적 노출 조사 프로그램에서는 1972~1974년 동안 1,1-디메틸하이드라진에 잠재적으로 노출된 작업자는 오직 16명이라고 추정하였는데, 작업장에서 분해산물로 발생하는 1,1-디메틸하이드라진에 노출된다고 보고하였다(NIOSH, 1976). 미국 EPA의 독성 화학물질 유출량 조사 목록(Toxic Chemical Release Inventory, TRI)에 따르면, 1999년에 1,1-디메틸하이드라진을 생산하거나 고정에서 사용하는 사업장은 총 5개 사업장이었으며, 5개 사업장에서 공기 중으로 약 998파운드의 1,1-디메틸하이드라진이 누출되고 약 8000파운드의 1,1-디메틸하이드라진이 처리를 위해 옮겨진다고 보고하였다(TRI99, 2001).

나. 발생원 및 발생공정

1,1-디메틸하이드라진을 사용하는 국내 사업장은 한 개 사업장이었다. 스펀 섬유를 생산하는 과정에서 첨가제로 사용하였는데, 산화방지가 목적이었다.

(1) 스판덱스의 중합

스판덱스 중합시 사용된 각각의 원재료에 따라 반응성이 달라지므로, 다양한 중합 방법이 시도된다. 또한 사용된 원재료에 의하여 물리적 성질 및 화학적 성질이 변하게 되므로, 방사 및 후처리 방법이 달라진다. 예를 들어 중합시 사용되는 쇠연장제의 종류에 따라서 스판덱스의 방사방법이 달라지게 되는데, diol 쇠연장제가 사용된 스판덱스는 urethane기만이 존재하므로 용융방사가 가능하다. 그러나 쇠연장제로 diamine이 사용된 경우에는 urethane기 외에도 urea기가 형성되며 urea기의 용융온도가 폴리우레탄의 열분해 온도보다 높기 때문에 용융방사가 불가능하여 건식 또는 습식방사에 의하여 섬유화 된다. 이와 같이 스판덱스의 제조공정에 영향을 미치는 요인들을 파악함으로써, 원하는 물성의 스판덱스를 제조하기 위한 적절한 원재료 및 제조 공정을 선택할 수 있다.

가) 스판덱스의 중합반응

일반적으로 스판덱스는 분자량이 2000g/mol 내외의 polyol과 diisocyanate, diol 또는 diamine 쇠연장제 사이의 중합반응 및 방사를 통하여 형성된다. 스판덱스의 중합은 모든 구성성분을 동시에 투입하여 반응을 시행하는 1단계 중합법과, 반응을 두 번에 걸쳐서 진행시키는 2단계 중합법이 있다. 2단계 중합법에서의 첫 번째 반응은 과량의 diisocyanate와 polyol의 반응에 의해 prepolymer가 형성되는 prepolymerization반응이며, 두 번째 반응은 첫 번째 반응에서 형성된 prepolymer에 저분자량의 diol 또는 diamine를 반응시켜 중합도를 높이는 쇠연장반응(chain extension)이다. 이들 두 반응을 통하여 고분자량의 스판덱스용 polyurethane이 형성된다. 2단계 중합법은 1단계 중합법에 비하여 보다 규칙적인 구조를 얻기가 용이하며, branch나 가교결합의 가능성이 낮아 중합계의 조절이 용이하다. 현재 생산되고 있는 스판덱스의 대부분은 2단계 중합법에 의하여 제조된다.

나) 첨가제

스판덱스는 나일론, 폴리에스터 등의 섬유에 비하여 열 또는 빛(자외선)에

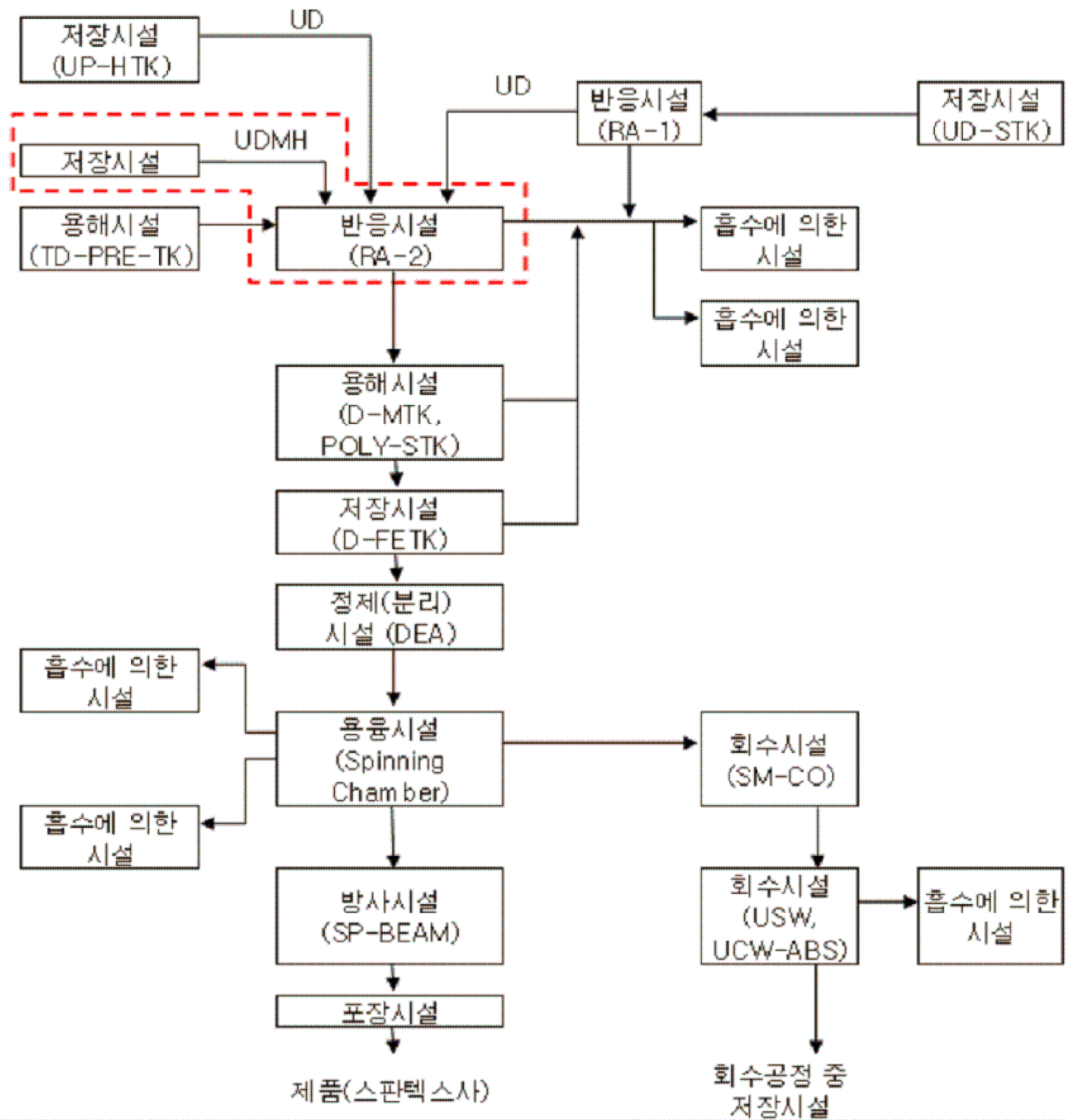
의해 쉽게 열화되며 공기 중의 산화질소에 의해서도 쉽게 변색된다. 이를 방지하기 위하여 여러 가지 첨가제가 사용된다. 산화방지제로는 phenol계 또는 입체장애효과를 나타내는 amine계, 자외선 흡수제로는 benzotriazole계, phosphite계, 산화질소흡수제로는 tertiary amine류, carboxylic acid ester계 등이 사용되며 백색도 향상을 위해 TiO₂ 등도 사용된다. 스판덱스를 나일론과 교직할 때 나일론 보다 염착속도가 느리기 때문에, 염착증진제로서 N-alkylalkanoamine, N-alkyldiaminoalkylamine 등의 화합물을 사용하기도 한다. 또한 폴리에스터계의 polyol을 사용한 경우 내염소성을 증진시키기 위해 ZnO, MgO 등을 첨가하기도 한다.

다. 노출경로

(1) 스판덱스의 중합공정

스판덱스 중합공정에서 1,1-디메틸하이드라진은 부식방지 목적의 첨가제로 스판덱스 중합 반응기에 주입된다. 반응 후 분배기를 통해 스판덱스와 1,1-디메틸하이드라진을 분리하고 1,1-디메틸하이드라진은 재순환된다([그림 III-2-3] 참조). 공정은 완전 밀폐된 설비에서 실시되고 있고 작업자는 주로 제어실에 위치하기 때문에 일상 작업 시 작업자의 노출 가능성은 매우 낮다고 할 수 있다.

일상적인 작업 외에 주기적으로 실시되는 대정비 작업 시 장비를 해체하고 장비 내부로 들어가야 하므로 대정비 작업 시 1,1-디메틸하이드라진 노출 가능성은 증가할 것으로 판단된다. 대정비 작업으로 인해 작업자는 1,1-디메틸하이드라진에 흡입 또는 피부 노출이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 작업 후 손 등에 1,1-디메틸하이드라진이 묻은 상태에서 음식물 섭취, 흡연 등으로 인해 섭취 노출될 수 있다. <표 III-2-6>에 스판덱스 중합공정에서 1,1-디메틸하이드라진의 노출경로 및 가능성에 대해 정리하였다.



[그림 III-2-3] 스팅텍스 생산 공정 중 1,1-디메틸하이드라진의 사용 공정도.

<표 III-2-6> 스파덱스 중합공정에서 1,1-디메틸하이드라진의 노출 경로

공정	주요 작업내용	호흡기노출	피부 노출	섭취 노출
생산	생산 운영 에 필요한 점검/운전 등	1,1-디메틸 하이드라진은 pipe line으로 이송되고 밀 폐된 공정이므로 운전 중 호흡기를 통한 노출 가능성 은 거의 없다. 단, Pump 및 pipe 등이 부 식되었을 경우에는 노출이 가능하다. 대정비시에는 노출이 가능 하다.	일상적인 작업 과 정에서 피부 노출 의 가능성은 거의 없다. 설비에 트러블이 발생할 경우 응급 조치시 피부 노출 이 가능할 수 있 다.	일상적인 작업 과정 에서 섭취 노출의 가 능성은 거 의 없다.

3. 동물에 있어서의 건강영향

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 치사 섭취 혹은 접촉량)로 독성 정도를 평가하게 된다. 이후 설명하게 될 독성 연구 자료에서도 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 III-3-1>과 같다.

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).

(1) 급성경구독성

1,1-디메틸하이드라진의 동물실험결과 경구노출에 의해 급성적으로 사망한 보고가 있었다. Roe(1967) 등은 다섯 마리의 마우스에 533mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 5일 동안 위관영양법으로 주입한 결과, 다섯 마리 모두 사망하였다고 보고하였다. Bingham(2001) 등의 문헌고찰에 따르면 마우스와 랫트의 급성경구독성을 각각 265, 122mg/kg으로 보고하였다(<표 III-3-2> 참조).

<표 III-3-1> 산업안전보건법시행규칙의 독성에 따른 유해인자 분류기준

분류항목	정의	분류기준
고 독 성 물 질	흡입·섭취 또는 피부를 통하여 흡수될 때 극소량으로 사망하게 하거나 건강에 급성 또는 만성장해를 일으키는 물질	(1) 경구투여시: $LD_{50} \leq 25$ mg/kg(랫트) (2) 24시간 경피처리시: $LD_{50} \leq 50$ mg/kg(랫트 또는 토끼) (3) 4시간 연속흡입시 · 가스 또는 증기: $LC_{50} \leq 0.5$ mg/ℓ/4hr(랫트) · 입자 또는 에어로졸 $LC_{50} \leq 0.25$ mg/ℓ/4hr(랫트)
독성물질	흡입·섭취 또는 피부를 통하여 흡수될 때 소량으로 사망하게 하거나 건강에 급성 또는 만성장해를 일으키는 물질	(1) 경구투여시: $25 < LD_{50} \leq 200$ mg/kg(랫트) (2) 24시간 경피처리시 $50 < LD_{50} \leq 400$ mg/kg (rat 또는 토끼) (3) 4시간 연속흡입시 · 가스 또는 증기 $0.5 < LC_{50} \leq 2$ mg/ℓ/4hr(rat) · 입자 또는 에어로졸 $0.25 < LC_{50} \leq 1$ mg/ℓ/4hr(랫트)
유해물질	흡입·섭취 또는 피부를 통하여 흡수될 때 급성 또는 만성장해를 일으킬 우려가 있는 물질	(1) 급성독성 (가) 경구투여시 $200 < LD_{50} \leq 2,000$ mg/kg(랫트) (나) 24시간 경피처리시 $400 < LD_{50} \leq 2,000$ mg/kg (랫트 또는 토끼) (다) 4시간 연속흡입시 · 가스 또는 증기 $2 < LC_{50} \leq 20$ mg/ℓ/4hr(랫트) · 입자 또는 에어로졸 $1 < LC_{50} \leq 5$ mg/ℓ/4hr(랫트) (2) 아급성독성 (가) 경구투여시무영향농도(NOEL) ≤ 50 mg/kg/90day(랫트) (나) 경피처리시무영향농도(NOEL) ≤ 100 mg/kg/90day(랫트) (다) 6시간 연속흡입시 무영향농도(NOEL) ≤ 0.5 mg/ℓ/6hr/90day(랫트) (3) 그 밖의 장애 (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

LD₅₀: 실험군 중 반수 치사량, LC₅₀: 실험군 중 반수 치사농도,

NOEL: 건강영향이 나타나지 않는 최고농도

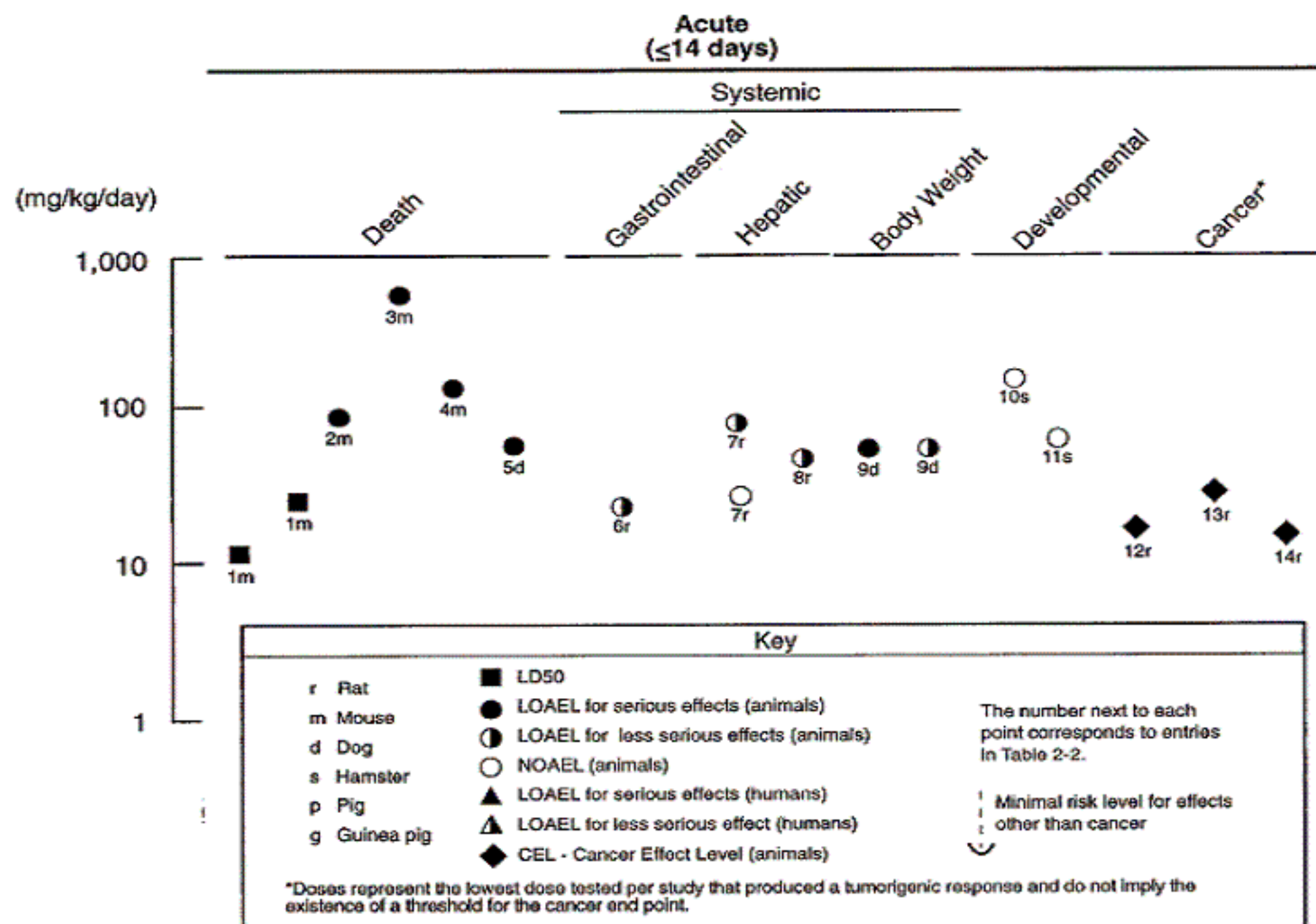
Barth(1967) 등은 개에게 80~100mg/kg을 주입한 결과 이뇨과다증이 나타났다고 보고하였으며, 10mg을 뇌로 주입한 경우에도 이뇨과다증이 나타났다고 보고하였다.

그 외에 농도수준에 대한 자료는 없지만, 고농도의 1,1-디메틸하이드라진을 섭취한 동물에서 중추신경계 자극과 경련을 보고하였다(G.D. Clyton and F.E. Clyton, 1981).

<표 III-3-2> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 급성경구독성 동물 실험 결과

그림삽입번호 *	실험대상 종 :Species(strain)	노출기간 (빈도)	노출경로	관찰내용	농도 (mg/kg)	참고문헌
3	마우스 (Swiss)	1주(5일/주)	위관영양	치사율(5/5)	533	Roe et al. 1967
	마우스			LD ₅₀	265	Bingham, E. 2001
	랫트			LD ₅₀	122	Bingham, E. 2001
	개		위관영양	이뇨과다증	80~100	Barth et al., 1967

* [그림 III-3-1] 삽입, LD₅₀; 실험군의 50% 치사농도



[그림 III-3-1] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 급성(≤14일) 경구독성 영향(자료원: ATSDR, 1998).

* <표3-2>의 그림삽입번호만이 1,1-디메틸하이드라진의 데이터임

(2) 급성경피독성

1,1-디메틸하이드라진의 급성경피독성은 개, 토끼 그리고 기니아 피그를 중심으로 연구가 이루어졌다. 개에서는 사망한 경우가 보고되었으며, 피부로 노출된 경우 빠르게 피부로 흡수되어 자극 증상을 나타내었으며, 눈에 결막염과 홍반이 실험동물에서 주로 보고되었다(<표 III-3-3> 참조). 그러나 피부노출을 통한 호흡기계, 순환기계, 소화기계, 혈액관련, 근골격계, 신장, 간, 체중 등에 대한 이상 증상에 대한 보고자료는 없다.

Smith(1971) 등은 개의 피부에 1,1-디메틸하이드라진 300mg/kg을 노출시킨 결과 노출 6시간 후에 네 마리의 개 중 한 마리가 사망하였다고 보고하였다. 그리고 1,1-디메틸하이드라진을 투여한 후 30초 이내에 개의 혈액에서 1,1-디

메틸하이드라진이 검출되었으며, 각막이 불투명해지는 증상이 발생하였고 변색되는 증상이 관찰되었다고 보고하였다.

Jacobson(1958)은 개의 피부에 1,1-디메틸하이드라진을 노출시킨 결과 1200~1680mg/kg의 농도에서 급성피부독성이 나타났다고 보고하였다. 그리고 열 세 마리의 개에게 300~1800mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 피부에 한번 노출시켰을 때 세 마리에서 가벼운 경련이 나타났다고 보고하였다.

털을 깎은 개의 피부에 1,1-디메틸하이드라진 용액을 바르면 피부에 빠르게 흡수되고 자극증상이 나타나며, 눈에 들어가면 경증의 결막염을 일으켰다고 보고하였다. 피부에 노출되면 피부가 붉어지는 홍반 증상이 나타난다고 보고하였다(NIOSH, 1997).

Hodge(1954)는 토끼의 피부에 1,1-디메틸하이드라진을 투여한 결과 156mg/kg에서 급성피부독성을 보고하였으며, 이 농도에서 피부의 혈관이 막히는 혈관폐색이 발생하였다고 보고하였다.

Rothberg(1956) 등은 토끼와 기니아 피그를 대상으로 1,1-디메틸하이드라진의 급성피부독성을 실험한 결과 각각 1060mg/kg과 1327mg/kg으로 보고하였다. 토끼의 눈에 3 μ l의 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진을 단일물질로 직접 투여한 결과, 결막염과 홍반이 나타났다고 보고하였다.

Bingham(2001) 등의 문헌고찰에서도 토끼의 눈에 1,1-디메틸하이드라진을 투여한 실험에서 가벼운 결막염과 홍반이 나타났지만 5일 이내에 없어졌다고 보고하였다. 로덴트 눈에 직접적으로 1,1-디메틸하이드라진을 주입시킨 경우에도 영구적인 눈 손상은 없었다고 보고하였다.

<표 III-3-3> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 급성경피독성 동물 실험 결과

실험대상 종 :Species (strain)	노출기간 (빈도)	노출경로	관찰내용	농도 (mg/kg)	참고문헌
개 (Mongrel)	1회 실험	피부	치사율(1/4)	300	Smith and Clark, 1971
개 (Mongrel)	1회 실험	피부	피부에 가벼운 자극	300	Smith and Clark, 1971
개	1회 실험	피부/ 눈	트롬보플라스틴 생성시간 감소/ 각막팽창	300	Smith and Castaneda, 1970
개		피부	LD ₅₀	1200~1680	Jacobson et al, 1958
토끼 (Albino)	1회 실험	피부	LD ₅₀	1059	Rothberg and Cope, 1956
토끼		피부	LD ₅₀ (혈관폐색증)	156	Hodge, 1954
기나아피그	1회 실험	피부	LD ₅₀	1329	Rothberg and Cope, 1956

* LD₅₀: 실험군의 50% 치사농도

(3) 급성 흡입독성

1,1-디메틸하이드라진은 휘발성이 크기 때문에 호흡에 의한 노출이 중요하다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 급성흡입독성 동물 실험결과는 Jacobson(1955) 등과 Weeks(1963) 등에 의해 보고되었다. 주로 개에서의 급성 흡입독성을 평가하였는데, 다양한 농도수준의 1,1-디메틸하이드라진에 노출되면 사망한 경우가 보고되었다. 또한 1,1-디메틸하이드라진에 급성흡입 노출되면 구토, 경련 및 기타 신경학적인 영향 그리고 폐부종 및 출혈 등의 증상이 나타났다고 보고하였다. 실험동물의 급성흡입독성영향은 <표 III-3-4>와[그림 III-3-2]에 나타내었다.

가) 개

Jacobson(1955) 등은 개에게 1,1-디메틸하이드라진을 각각 24, 52 또는

111ppm의 농도수준으로 4시간 동안 노출시켰을 때의 사망률을 보고하였다. 24ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 개는 모두 생존하였으며, 52ppm에 노출된 개는 1마리가 사망하였고 111ppm에 노출된 개는 세 마리 모두 사망하였는데, 모두 노출이 시작된 날에 사망하였다고 보고하였다. 111ppm에 노출된 세 마리의 개는 사망하기 전에 구토, 혈떡거림 그리고 경련 등의 증상을 보였다고 보고하였다. 52ppm에 노출된 사망한 개에서도 이러한 증상이 관찰되었으나 생존한 두 마리의 개에서는 이러한 독성증상이 관찰되지 않았다고 보고하였다. 24ppm에 노출된 세 마리의 개 중 한 마리에서 구토와 경련 증상이 나타났으나 사망하지는 않았다고 보고하였다. 그리고 경련이 일어났던 개의 부검결과 폐부종과 여러 곳에서의 출혈이 관찰되었다고 보고하였다.

Weeks(1963) 등은 다양한 농도의 1,1-디메틸하이드라진을 개에게 5, 15 또는 60분 동안 흡입시켰을 때의 독성영향에 대해 보고하였다. 농도 수준에 상관없이 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 모든 개에서는 눈이 멍해져 보이거나 날카로운 소리에 몸을 떨고 움츠렸다고 보고하였다. 노출 2~15분 정도에는 간헐적인 경련증상이 관찰되었는데 사망한 개는 죽기 전에 그리고 일부 생존한 개에서도 이러한 증상이 관찰되었다고 보고하였다. 살아남은 개는 노출 48시간 이후에는 완전히 회복되었고 사망한 개는 노출이 시작되고 24시간 이내에 모두 사망하였다고 보고하였다. 각각 5, 15 그리고 60분 동안 1,1-디메틸하이드라진에 노출되었을 때의 급성흡입독성 농도는 각각 22300, 3580 그리고 981ppm으로 보고하였다. 또한 다양한 농도 수준의 1,1-디메틸하이드라진을 노출시켰을 때의 신경행동학적인 반응에 대해서도 보고하였다. 두 마리의 개를 4230ppm에서 5분 동안 노출시켰을 때 한 마리가 사망하였고, 610ppm에서 15분 동안 노출시켰을 때는 네 마리의 개 중 두 마리에서 떨림과 경련 증상이 나타났으며, 360ppm에 노출된 세 마리의 개 중 한 마리에서 근육수축증상이 나타났다고 보고하였다. 400~500ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 60분 동안 노출된 세 마리의 개 중 두 마리와 200~250ppm에 60분 동안 노출된 세 마리의 개 중 한 마리가 사망하였으며, 80~120ppm에 60분 동안 노출된 네 마리의 개는 모두 생존하였고 가벼운 떨림 증상만 나타났다고 보고하였다. 1,1-디메틸

하이드라진에 5, 15 그리고 60분 동안 노출되었을 때 최소한의 증상이 나타나는 농도 수준은 각각 1200, 400 그리고 100ppm이었으며, 96ppm을 노출되었을 때 독성반응이 나타나지 않는 최고의 농도수준인 NOAEL(No Observed Adverse Effect Level)로 보고하였다.

Bingham(2001) 등의 문헌고찰에서는 개에게 일주일에 2번씩 400ppm에서 2시간, 400ppm에서 15분, 그리고 1200ppm에서 5분 동안 노출시켰을 때 경련을 일으켰다고 보고하였다.

나) 랫트

Jacobson(1955) 등은 랫트의 급성흡입독성을 252ppm으로 평가하였다고 보고하였다.

Weeks(1963) 등은 수컷 랫트에 다양한 농도 수준의 1,1-디메틸하이드라진을 5, 15, 30, 60 그리고 240분 동안 노출시켰을 때의 독성영향에 대해 보고하였다. 1,1-디메틸하이드라진을 흡입한 랫트는 재채기, 눈을 감거나 불안해하는 등의 자극증상이 나타났으며, 사망한 랫트는 노출이 있는 후 24시간 이내에 모두 발생하였다고 보고하였다. 5, 15, 30, 60 그리고 240분 동안 노출되었을 때의 급성흡입독성은 각각 24500, 8230, 4010, 1410 그리고 252ppm으로 보고하였다.

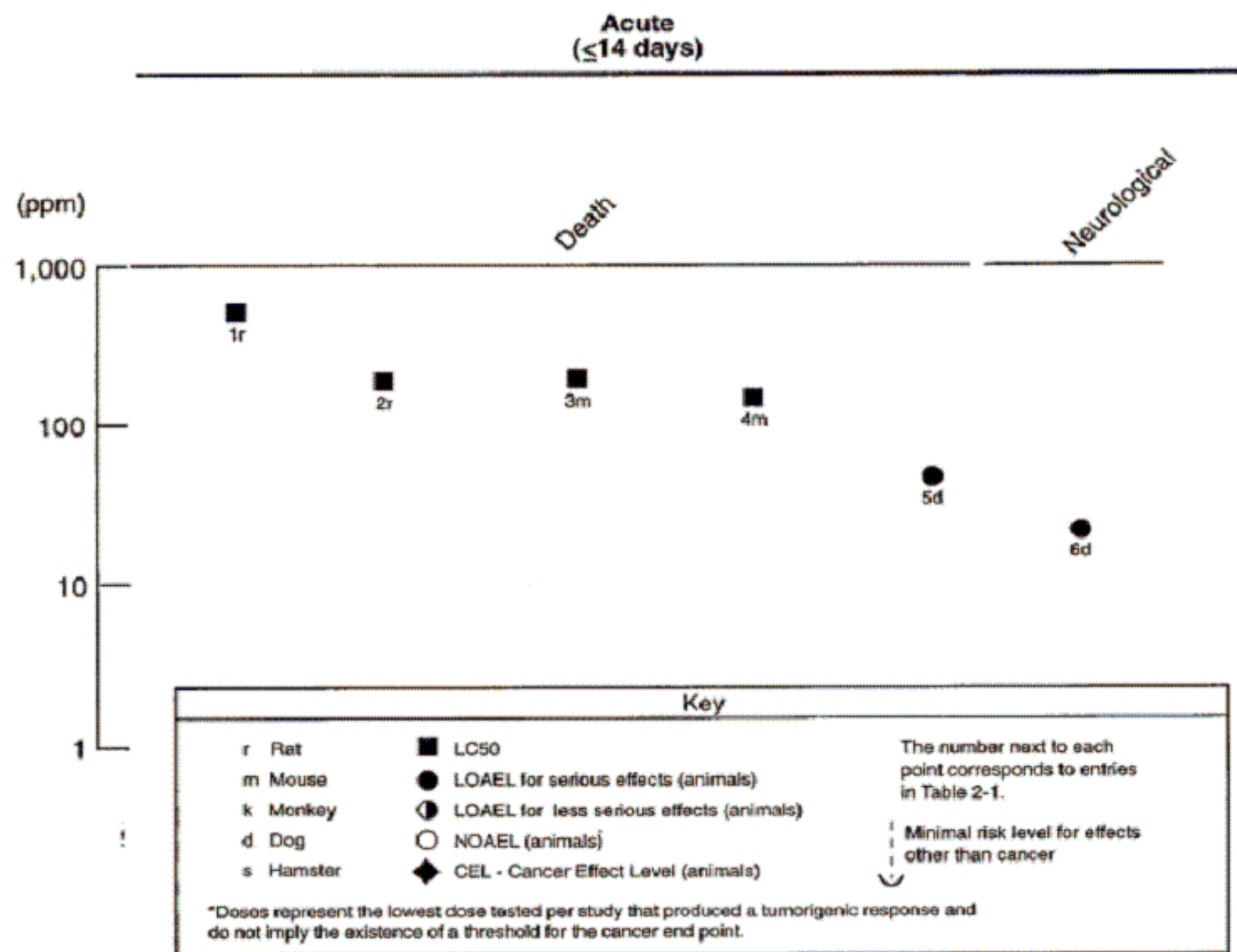
3) 마우스

Jacobson(1955) 등은 20마리의 마우스에 1,1-디메틸하이드라진을 4시간 동안 흡입시켰을 때의 급성흡입독성 영향에 대해 보고하였다. 노출기간동안 마우스는 불안해했으며 호흡곤란, 경련 그리고 눈이 돌출되는 증상이 나타났고 급성흡입독성을 172ppm으로 보고하였다. 그리고 마우스의 사후조직에서 폐부종과 잦은 국부 출혈이 발견되었으나, 출혈은 경련에 의한 2차적인 것으로 1,1-디메틸하이드라진에 의한 직접적인 영향은 아닌 것으로 생각된다고 보고하였다.

House(1964)는 수컷 ICR 스위스 마우스에 0.56ppm의 1,1-디메틸하이드라진을 90일 동안 흡입시켰다. 처음 10일 동안은 0.43ppm(0.22~0.80ppm)의 1,1-디메틸하이드라진에 노출되었는데, 흡입이 있는 5일 동안 한 마리가 사망하였다고 보고하였다. 노출 첫째 날에 특별한 증상은 발견되지 않았고 더 오랜 기간 동안 노출된 마우스의 조직에서도 중요한 변화가 나타나지 않았다고 보고하였다. 그래서 연구자는 0.43ppm에 하루동안 노출되었을 때는 건강장애가 나타나지 않는다고 하였으며, 이를 하루 동안 건강장애가 나타나지 않는 농도(1-d no-effect-level)로 보고하였다.

4) 햄스터

햄스터의 1,1-디메틸하이드라진에 대한 급성흡입독성은 Jacobson(1955) 등에 의해 보고되었다. 햄스터의 급성흡입독성은 392ppm으로, 랫트나 마우스보다는 다소 덜 민감하다고 보고하였다.



[그림 III-3-2] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 급성(≤14일) 호흡독성 영향(자료원: ATSDR, 1998).

* <표3-4>의 그림삽입번호만이 1,1-디메틸하이드라진의 데이터임

<표 III-3-4> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 급성흡입독성 동물 실험 결과

그림삽입번호 *	실험대상 종 Species (strain)	노출기간 (빈도)	노출경로	관찰내용	농도 (ppm)	참고문헌
	개 (Beagle)	192분	흡입	치사율(100%)	111	Jacobson et al, 1955
5	개 (Beagle)	4시간	흡입	치사율(33%)	52	Jacobson et al, 1955
6	개 (Beagle)	4시간	흡입	신경계영향(구토), 경련	24	Jacobson et al, 1955

	개	1시간 15분 5분	흡입	LC ₅₀ LC ₅₀ LC ₅₀	981 3580 22300	Weeks et al , 1963
	개	5분	흡입	치사율(50%)	4230	Weeks et al , 1963
	개	15분	흡입	신경행동학적 영향 (떨림, 경련)	610	Weeks et al , 1963
	개		흡입	신경행동학적 영향 (근육수축증상)	360	Weeks et al , 1963
	개		흡입	NOAEL	96	Weeks et al , 1963
	개	2시간/ 번 2번/주	흡입	경련	400	Bingham et al, 2001
	개	15분/ 번 2번/주	흡입	경련	400	Bingham et al, 2001
	개	5분/번 2번/주	흡입	경련	1200	Bingham et al, 2001
2	랫트	4시간	흡입	LC50	252	Jacobson et al, 1955
	랫트 수컷	4시간 1시간 30분 15분 5분	흡입	LC50 LC50 LC50 LC50 LC50	252 1410 4010 8230 24500	Weeks et al , 1963
4	마우스	4시간	흡입	LC50	172	Jacobson et al, 1955
	햄스터	4시간	흡입	LC50	392	Jacobson et al, 1955

* [그림 Ⅲ-3-2] 흡입, LC50; 실험군 50% 치사농도, NOAEL; 건강장해가 나타나지 않는 최고농도

나. 아급성독성(아만성독성)

동물에 대한 아급성독성(Subacute toxicity)연구는 15일에서 364일 동안의 노출기간에 대한 독성영향을 관찰한 경우에 해당한다(ATSDR, 1998).

(1) 아급성경구독성

1,1-디메틸하이드라진의 아급성경구독성에 대한 보고자료는 극히 제한적이다(<표 III-3-5>, [그림 III-3-3] 참조).

Roe(1967) 등이 마우스에 4~21주 동안 위관영양법으로 33mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 투여한 결과 다섯 마리의 마우스 중 두 마리가 사망하였다고 보고하였는데, 유일한 아급성경구독성에 관한 연구이다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 호흡기계, 심장혈관계, 위장계 및 혈액학적인 영향에 대한 연구는 보고되지 않았다.

<표 III-3-5> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 아급성경구독성 동물 실험 결과

그림삽입번호*	실험대상 종 :Species(strain)	노출기간 (빈도)	노출경로	관찰내용	농도 (mg/kg)	참고문헌
18	마우스 (Swiss)	4-21주 5번/주	위관영양	치사율(2/5)	33	Roe et al. 1967
55	마우스 (Swiss)	40주 5번/주	위관영양	폐종양, 선암종	33	Roe et al. 1967

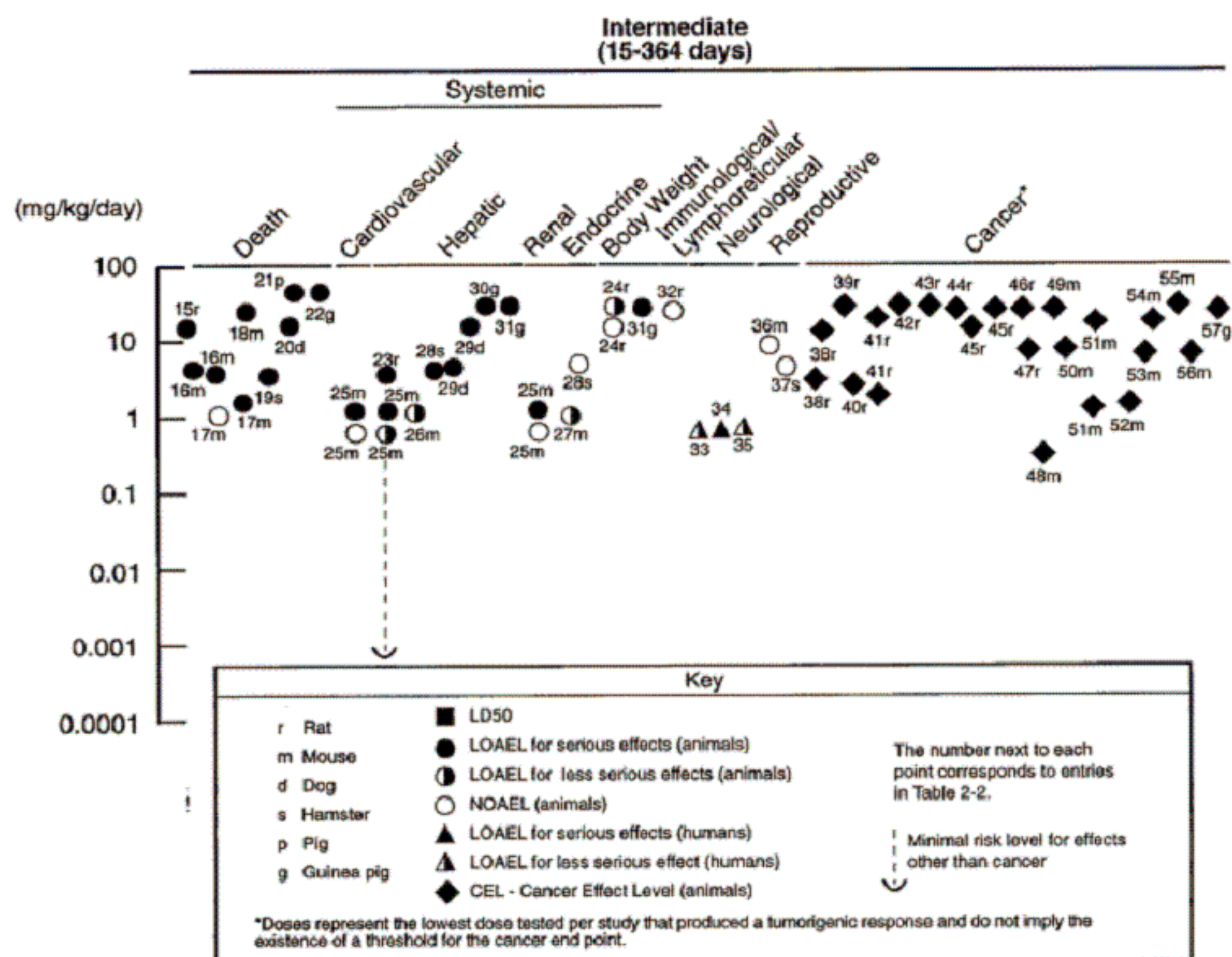
* [그림 III-3-3] 삽입, LD₅₀; 실험군의 50% 치사농도

(2) 아급성경피독성

1,1-디메틸하이드라진에 피부 노출 후 동물에서 호흡기계, 심혈관계, 소화기계, 간, 신장 등의 아급성독성영향에 대한 보고 자료는 없다.

Cornish(1969) 등은 랫트에 70, 50, 30 그리고 10mg/kg 씩 매일 주입한 결과

초기 3일 이내에 각각 90, 60, 50 그리고 0 마리씩 사망했다고 보고하였다. 초기 3일 이내에 생존한 동물들은 일 투여량이 계속됨에 따라 체중이 감소하기 시작했으며, 10mg/kg/일 이상 주입한 랫트는 21일의 실험기간동안 이뇨증상이 현저하게 증가하였다고 보고하였다. 혈액 요소 질소와 SGOT¹⁾(serum glutamic oxalacetic transaminase) 수치가 21일 동안 50mg/kg을 주입한 그룹에서 현저히 증가하였으며 30mg/kg을 주입한 그룹에서는 약간 증가하였고, 신장 관 상피세포에서 지질이 침투하는 몇몇 증거도 나타났다고 보고하였다.



[그림 III-3-3] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 아급성(15-364일)경구독성 영향(자료원: ATSDR, 1998).

* <표3-5>의 그림삽입번호만이 1,1-디메틸하이드라진의 데이터임

1)SGOT란 간 기능의 수치로 간세포의 손상을 반영해 주는 간접적인 지표이다.

Cier(1967) 등은 마우스와 토끼에 하루에 10mg/kg씩 20일 동안 투여한 결과 6~15일 동안 노출된 토끼에서 적혈구 세포의 반감기가 현저히 감소하였으나 마우스에서는 독성 영향이 없었다고 보고하였다.

(3) 아급성흡입독성

1,1-디메틸하이드라진의 흡입노출에 의한 아급성독성연구는 개, 랫트 및 마우스를 대상으로 한 보고가 많았다(<표 III-3-6> 참조). 특히 랫트와 마우스에는 거의 동일한 독성영향이 관찰되었다. 주로 신경계, 간 및 혈액학적인 영향이 관찰되었으며, 소화기계, 눈 및 신장 등의 영향에 대한 연구보고는 없었다.

가) 개

Rinehart(1960) 등은 세 마리 수컷 개에게 5ppm의 1,1-디메틸하이드라진을 노출시킨 결과, 노출 2~3주 후에 혼수상태, 약간의 체중감소 등이 나타났으며 사망한 개는 없었다고 보고하였다. 그리고 유사한 기간 동안 25ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 또 다른 개에서는 노출 3일째 되는 날에 우울증, 침흘리는 증상, 구토, 설사, 사지기능장애, 경련, 맥박이 느려지고 열이 나는 증상이 나타났다고 보고하였다. 그러나 나머지 개에서는 아무런 독성 증상도 없었다고 보고하였다. 13주 동안 25ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 노출시킨 개에서는 파리벽에서의 출혈, 폐기종 및 무기폐 등의 호흡기계 영향이 관찰되었으나 26주 동안 5ppm에 노출된 개에서는 이러한 증상이 관찰되지 않았다고 보고하였다. 그러나 하루에 6시간 일주일에 5일씩 26 주 동안 5ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 개에서 가벼운 빈혈과 지라에서 혈철소증이 관찰되었고 체중이 감소하였다고 보고하였다. 더 높은 수준인 25ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 4주 동안 노출된 개에서는 빈혈 증상이 더 뚜렷하게 나타났다고 보고하였다.

Haum(1977) 은 개에게 8.5주 동안 5ppm의 1,1-디메틸하이드라진을 간헐적으로 노출시켰을 때 간의 세포질 변성이 관찰되었다고 보고하였다. 그리고

1984년 유사한 연구에서는 6개월 동안 5ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 개에서 SGPT가 일시적으로 증가하였다고 보고하였다.

Bingham(2001) 등은 개에게 8.5주동안 5ppm의 1,1-디메틸하이드라진을 노출시킨 결과 독성반응은 나타나지 않았지만, 디메틸니트로스아민이 1200ppm 정도 오염된 경우에는 간 손상이 나타났다고 보고하였다.

나) 랫트

Rinehart(1960) 등은 30마리의 랫트에 하루에 6시간씩 일주일에 5일, 총 26주 동안 75ppm의 1,1-디메틸하이드라진을 노출시켰을 때 떨림 증상이 나타났다고 보고하였다.

Haum(1984) 등은 랫트에 6개월 동안 0.05ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 노출시켰을 때 폐의 파리와 림프구 조직이 과다하게 증식하였다고 보고하였다. 그리고 지방변성, 혈관확장증, 방광의 유리질변성 및 간 울혈 등의 간 영향을 보고하였다.

다) 마우스

Rinehart (1960) 등은 암컷 CF-1 마우스에 하루에 6시간, 일주일에 5일 동안 1,1-디메틸하이드라진을 노출시켰다. 6주 동안 30마리의 마우스를 140ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 노출시킨 결과 29마리가 사망하였고 7주 동안 20마리의 마우스를 75ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 노출시킨 결과 8마리가 5주 이내에 모두 사망하였다고 보고하였다. 75ppm에 노출된 마우스에서는 노출 동안 떨림과 경련 증상이 나타났다고 보고하였다.

Haum(1984) 등은 마우스에 6개월 동안 0.05ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 노출시켰을 때 폐의 파리와 림프구 조직이 과다하게 증식하였으며, 이러한 증상이 있는 마우스에 더 높은 수준인 0.5ppm의 1,1-디메틸하이드라진을 노출시키면 폐 울혈과 혈관주위세포의 침윤증상이 나타났다고 보고하였다. 그리고

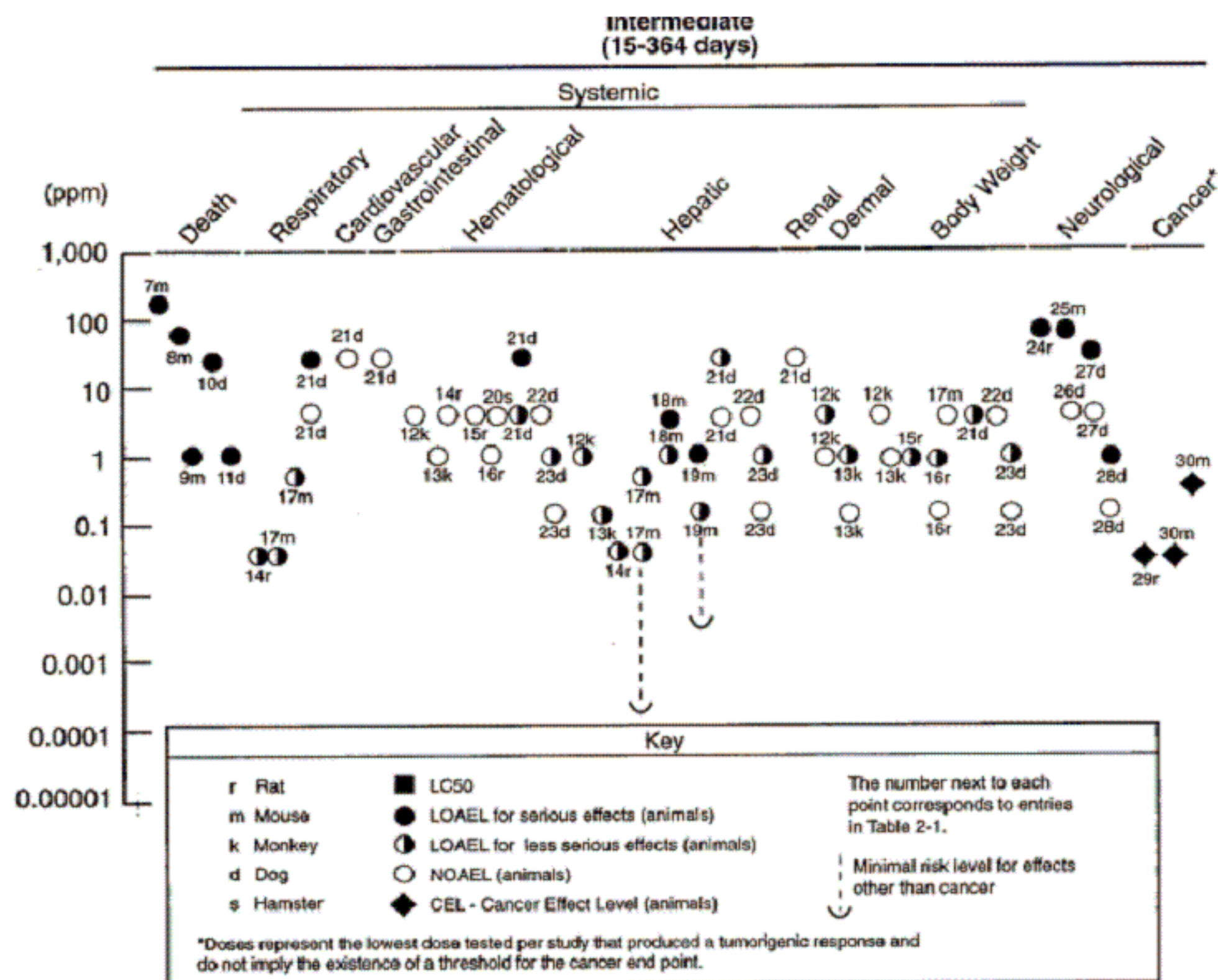
6개월에서 1년 동안 0.05~5ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 마우스에서 혈관이 비정상적으로 확장되었다고 보고하였다.

<표 III-3-6> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 아급성흡입독성 동물 실험 결과

그림삽입 번호*	실험대상 종 :Species (strain)	노출기간 (빈도)	노출경로	관찰내용	농도 (ppm)	참고문헌
10	개 (Beagle)	3일 6시간/일	흡입	치사율(1/3)	25	Rinehart et al, 1960
21	개 (Beagle)	13-26주 5일/주 6시간/일	흡입	NOAEL(호흡기) NOAEL(간) 가벼운 빈혈 13% 체중감소 호흡기영향(출혈, 폐기종, 무기폐) 빈혈, 혈철소증 NOAEL(심장혈관계) NOAEL(위장) NOAEL(신장)	5 25	Rinehart et al, 1960
26	개 (Beagle)	13-26주 5일/주 6시간/일	흡입	NOAEL	5	Rinehart et al, 1960
27	개 (Beagle)	3일 6시간/일	흡입	노출3일후 우울, 운동실조증, 타액분비, 입덧 및 발작 NOAEL	25 5	Rinehart et al, 1960
22	개 (Beagle)	6개월 5일/주 6시간/일	흡입	NOAEL(혈액) NOAEL(간) NOAEL(체중)	5	Haun et al, 1984
	개 (Beagle)	8.5주	흡입	간영향(세포질변성)	5	Haun et al, 1977
24	랫트 (Wistar)	6-7주 (연속)	흡입	작은 홍분, 떨림	75	Rinehart et al, 1960
14	랫트 (F-344/ CrIBR)	6개월 5일/주 6시간/일	흡입	호흡기영향(폐포이상 증식) NOAEL(혈액) 지방간으로 변화	0.05 5 0.05	Haun et al, 1984
29	랫트 (F-344/CrIB R)	6개월 5일/주 6시간/일	흡입	이자섬세포낭종, 뇌하수체 혈색소성 선종, 단핵세포백혈병	0.05	Haun et al, 1984
7	마우스 (CF-1)	2주 (연속)	흡입	치사율(29/30)	140	Rinehart et al, 1960

8	마우스 (CF-1)	5주 (연속)	흡입	치사율(8/30)	75	Rinehart et al, 1960
25	마우스 (CF-1)	6-7주 (연속)		작은 홍분, 떨림	75	Rinehart et al, 1960
17	마우스 (C57BL/6)	6개월 5일/주 6시간/일	흡입	호흡기영향(폐의 림프구 이상증식) 간영향(방광의 유리질 변성) 폐충혈 및 혈관주위세포침윤증 상 간 충혈 NOAEL(체중)	0.05 0.5 5	Haun et al, 1984
30	마우스 (C57BL/6)	6개월 5일/주 6시간/일	흡입	뇌하수체 샘종, 혈관육종, Kupffer 세포 육종 갑상선 난포세포 암종	0.05 0.5	Haun et al, 1984
20	햄스터 (Syrian Golden)	6개월 5일/주 6시간/일	흡입	NOAEL(혈액)	5	Haun et al, 1984

* [그림 III-3-4] 흡입, LC₁₀₀; 실험군 100% 치사농도, LC₅₀; 실험군 50% 치사농도, NOAEL; 건강장해가 나타나지 않는 최고농도



[그림 III-3-4] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 아급성(15-364일) 흡입독성 영향(자료원: ATSDR, 1998).

* <표3-6>의 그림삽입번호만이 1,1-디메틸하이드라진의 데이터임

다. 만성독성

동물의 대상으로 한 1,1-디메틸하이드라진에 대한 만성경구노출 및 피부노출에 대한 보고자료는 거의 없다. 일부 연구자에서 흡입노출에 의한 만성적인 독성영향에 대해 보고를 정리하였다(<표 III-3-7>, [그림 III-3-5] 참조).

Haun(1984) 등은 랫트와 마우스에 5ppm의 1,1-디메틸하이드라진을 하루에 6시간씩 일주일에 5일을 1년 동안 간헐적으로 노출시켰을 때의 독성영향에 대해 보고하였다. 호흡기 영향으로는 상기도 호흡기계에 염증, 과다증식 및 화생

등의 증상을 보고하였으며, 1년 동안 5ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 흡입 노출된 마우스는 약 15%의 체중이 감소하였다고 보고하였다.

Jacobson(1955) 등은 개를 25ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 반복하여 노출시켰을 때 구토, 설사, 운동실조, 경련, 및 용혈성 빈혈을 일으켰다고 보고하였다.

Clayton(1981) 등의 문헌고찰에 따르면, 만성적으로 흡입을 통해 노출된 동물에서 용혈성빈혈, 경련성 떨림 같은 중추신경계 영향 그리고 호흡기 및 신장 영향도 관찰되었다고 보고하였다.

<표 III-3-7> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 만성흡입독성 동물 실험 결과

그림삽입 번호*	실험대상 종 :Species (strain)	노출기간 (빈도)	노출경로	관찰내용	농도 (ppm)	참고문헌
33	마우스 (C57BL/6)	1년 5일/주 6시간/일	흡입	호흡기영향(상기도호흡기계의 염증, 증식 및 화생) 간 혈관확장증 15% 체중감소	5	Haun et al, 1984
	개	반복노출	흡입	구토, 설사, 운동실조, 경련, 용혈성빈혈	25	Jacobson et al, 1955

* [그림 III-3-5] 삽입

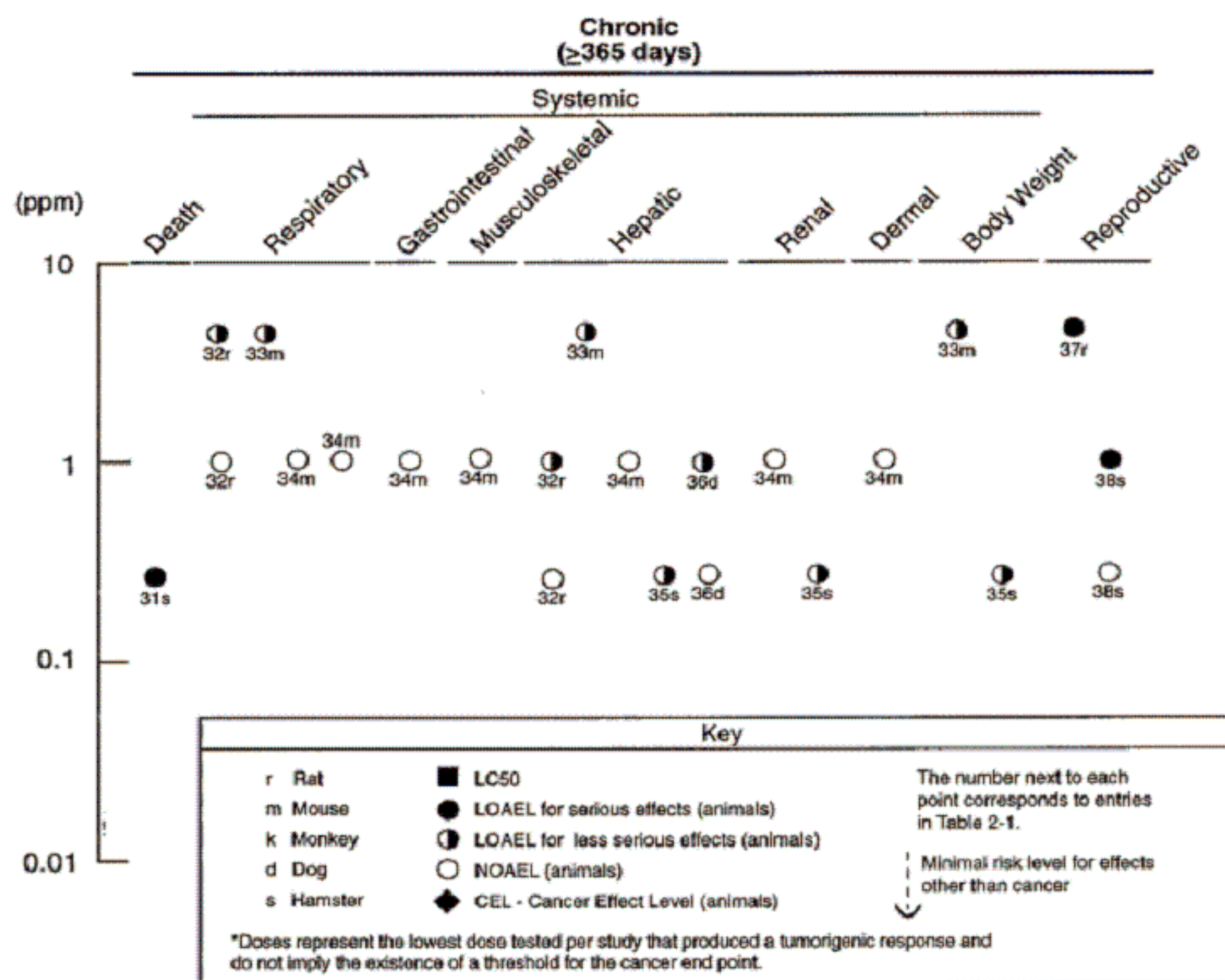
라. 변이원성

1,1-디메틸하이드라진의 유전적 영향에 동물 실험 결과 유전적 영향이 있다고 알려져 있다.

Rogan(1982) 등, Matheson(1978) 등, Tosk(1979) 등 그리고 Parodi(1981) 등은 1,1-디메틸하이드라진은 *Salmonella typhimurium*에서 활성화적이며 Kuszynski(1981) 등은 1,1-디메틸하이드라진에 의해 L5178Y 마우스 림프종

세포(lymphoma cells)와 V-79 간세포에서 돌연변이가 생성되었다고 보고하였다. Rogers와 Back (1981)도 마우스의 배양시킨 L5178Y 임파종 세포를 이용한 연구에서 1,1-디메틸하이드라진이 전진돌연변이를 일으킨다고 보고하였다.

Lingens(1964)는 영양결핍 *Escherichia coli* 종을 변화시켰으며, 간세포에서 예기치 않는 DNA 합성이 증가하였다고 보고하였다. 그러나 Heinemann(1971)은 람부다 파지(lambda prophage)의 돌연변이를 유도하지는 않았다고 보고하였다.



[그림 III-3-5] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 만성(≥365일) 흡입독성 영향 (자료원: ATSDR, 1998).

* <표3-7>의 그림삽입번호만이 1,1-디메틸하이드라진의 데이터임

Calandra(1990) 등은 랫트 간의 S-9의 활성이 없이 차이나스 햄스터 (Chinese hamster)의 난소 세포에 딸 염색체 교환이 일어났다고 보고하였다. 여러 연구자에서 동물 실험 연구가 진행되었는데, Beng 과 Beltz(1980)은 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 개에서 소핵 생성을 보고하였고 Matheson(1978) 등과 Epstein(1972) 등은 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 마우스에서의 우성치사유전자증(dominant lethals)은 음성을 보였다고 보고하였다. Wyrobeck와 Bruce(1975) 는 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 마우스에서 비정상 정자가 만들어지지 않았다고 보고하였다. Cllet(1989) 등은 마우스에 1,1-디메틸하이드라진을 주사한 후에 마우스의 골수에서 소핵은 생성되지 않았으나 주입 후 96시간 뒤에 부분적 간 절제술(hepatectomy)을 했을 때 소핵화된 간세포(micronucleated hepatocytes)가 생성된 것을 확인할 수 있었다고 보고하였다. Sina(1973) 등은 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 랫트의 간세포에서 DNA 한 가닥이 절단된 것은 DNA 상호작용으로 설명하였다. Parodi(1980) 등은 1,1-디메틸하이드라진을 복강주사한 후 간세포 손상은 생체내에서 알칼리 용리 기법(alkaline elution technique)을 통해 확인할 수 있으며, 1981년의 연구에서는 간과 폐의 DNA에서 단편들을 확인 할 수 있었다고 보고하였다.

Brusick와 Matheson (1976)은 *Salmonella typhimurium* 또는 *Saccharomyces cerevisiae*를 이용하여 대사활동이 있거나 없는 경우에 유전 돌연변이 평가를 수행한 결과 격세유전이 증가되는 것이 실패했다고 보고하였다. 마우스의 임파종에서 농도와 관련하여 반응이 관찰되었지만 주요한 치사 실험은 음성이었다고 보고하였다.

마. 생식독성

1,1-디메틸하이드라진의 생식독성은 주로 경구노출 및 흡입 노출된 동물에서 나타났다. 제한된 연구결과이지만 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 동물에서 심각한 생식독성이 발생하였다고 보고하고 있다.

Haum(1984) 등은 1,1-디메틸하이드라진에 흡입 노출되었을 때 동물에서 나타난 생식독성에 관해 보고하였다. 암컷 마우스에 0.05ppm의 1,1-디메틸하이드라진을 6개월 동안 흡입노출시킨 결과 자궁내막에 낭종이 생겼으며, 1년 동안 5ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 흡입노출시킨 암컷 마우스에서도 자궁내막의 낭종 발생률이 증가하였다고 보고하였다.

Wyrobek(1973) 등은 랫트의 복강 내로 임신 6일째에서 15일째까지 하루에 10, 30 또는 60mg/kg씩 주사하면 투여량에 따라서 어미의 체중 증가가 감소되고 20일된 태자의 무게가 감소하는 등 태자에 대한 가벼운 독성이 나타났다고 보고하였다. 그러나 기형독성은 없었다고 보고하였다.

Keller(1984) 등은 14~18 마리의 임신한 마우스에게 임신 6일째에서 15일째까지 하루에 10, 30 그리고 60mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 복강 내로 투여한 결과, 높은 농도의 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 그룹에서 어미의 체중 증가가 투여기간 내내 뚜렷이 감소하였고, 평균 태아 체중도 역시 통계학적으로 유의하게 감소하였다고 보고하였다. 그리고 수컷 마우스에 하루에 급성경구독성(LD₅₀)의 0.1, 0.25, 0.4, 0.55 또는 0.7배의 양을 5일 동안 복강 투여한 결과, 마우스에서 비정상적인 모양의 정자 비율이 유의하게 증가하였다고 보고하였다.

Greenhouse(1976) 는 임신한 개구리(African clawed frog)에 10mg/ℓ 이상의 1,1-디메틸하이드라진을 노출시키자 배에 기형이 생겼으며, 꼬리가 비틀어지고 비정상적인 척삭, 소두증, 외눈증, 몸체가 짧아지는 증상 그리고 부종 등이 나타났다고 보고하였다.

미국 환경청(US EPA)에서는 1,1-디메틸하이드라진을 주입한 동물에서 비정상적인 정자가 발견되고 정자수가 감소되는 것이 관찰되었으나, 복막주입에 의해 노출된 동물에서 태자기형은 관찰되지 않았다고 보고하였다.

바. 발암성

일부 연구에서는 1,1-디메틸하이드라진이 다양한 종에서 발암성을 일으킨다고 보고하고 있다(<표 III-3-8>. [그림 III-3-5] 및 [그림 III-3-6] 참조). 미국 환경청(US EPA)은 특히 1,1-디메틸하이드라진에 흡입노출되었을 때 발암성을 일으킬 수 있다고 보고 하였는데, 호흡기계의 종양과 관련하여 흡입단위위험도(inhalation unit risk)를 $0.001/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 로 평가하였다(HEAST, 1992; IRIS, 1995).

MacEwen(1977)), Haun(1976) 등은 개, 랫트, 마우스 그리고 햄스터에 0, 0.05, 0.5 그리고 5ppm 농도의 1,1-디메틸하이드라진을 하루에 6시간씩 일주일에 5일을 6달 동안 흡입시켰을 때의 발암성에 대해 보고하였다. 랫트, 마우스 및 햄스터는 연구가 끝나고 나서도 17~20개월까지 지속적으로 노출시켰다. 1,1-디메틸하이드라진은 발암성물질인 디메틸니트로스아민이 약 0.12% 포함되어 있었는데, 생산과정에서 첨가된 것인지 분해산물인지에 대한 정보는 정확하지 않다. 랫트에서는 폐 및 뇌하수체에 양성종양이 관찰되었고, 마우스에서는 호흡기, 특히 간에 종양이 많이 관찰되었고, 호흡기 상기도에 여러 가지 희귀한 양성 종양과 폐에 선종이 관찰되었다고 보고하였다. 간 조직에는 여러 가지 양성 및 악성종양이 관찰되었는데, 이러한 증상은 0.05ppm에 노출된 마우스에서도 가끔 관찰되었다고 보고하였다. 5ppm에 노출된 개에서는 간 기능 테스트에서 약간 비정상이었고 간에서 생성되는 효소인 SGPT의 수치가 증가하였다고 보고하였다. 그러나 이러한 영향들은 노출이 끝난 후에 원상태로 회복되었다고 보고하였다. 햄스터에서는 증가된 종양과 1,1-디메틸하이드라진과의 관련성이 명확하지 않았다고 보고하였다. 5ppm에 노출된 마우스는 혈관육종과 쿠퍼셀(kupffer cell) 육종이 증가하였지만, 다른 농도 수준에 노출된 마우스에서는 종양이 관찰되지 않았다고 보고하였다. 5ppm에 노출된 랫트에서는 폐에서 종양, 편평상피세포와 간세포에서 악성종양이 관찰되었고, 0.5ppm에 노출된 랫트에서는 이자의 섬세포 샘종이 증가하였는데, 이러한 증상은 5ppm에 노출된 랫트에서 약간 더 증가하였다고 보고하였다. 0.5ppm에 노출된

랫트에서 피부섬유종은 약간 증가하였으며, 5ppm에 노출된 랫트의 피부섬유종은 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 그리고 헴색소성 선종은 두 농도 수준에 노출된 랫트에서 모두 증가하였다고 보고하였다. 그리고 디메틸니트로스아민이 종양의 증가에 기여했는지의 여부를 확인하는 연구도 진행하였는데, Haun(1976)은 개를 8.5주 동안 0.12%의 디메틸니트로스아민을 포함하는 1,1-디메틸하이드라진 5ppm에 노출시킨 결과, 개에서는 SGPT가 증가하였고, 간 모양에 변화가 있었다고 보고하였다. 그러나 오염되지 않은 1,1-디메틸하이드라진 5ppm에 노출된 개에서는 간 기능 인자는 정상이었고 간 모양에도 변화가 없는 것으로 관찰되었다고 보고하였다. 즉 간에 대한 영향은 디메틸니트로스아민에 의한 것임이 확인되었다. 그러나 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 랫트에서 생성된 종양이 디메틸니트로스아민에 의한 영향인지는 연구결과에서 결정할 수 없다고 보고하였다.

하이드라진 자체의 발암성은 전적으로 염증 반응에 근거하고 있다는 것이 알려졌다. Steinhoff(1988) 등은 간접적인 알킬레이션은 하이드라진의 돌연변이와 발암성에 대한 근거(즉, 발암과정의 중간체인 세포내 물질과 반응을 통해)로 제시되고 있으며 독성 영향과도 밀접한 관계에 있다고 보고하였다. Heinemann(1971) 등은 햄스터를 대상으로 피하주사를 통해 매주 37 mg/kg (수컷) 또는 32 mg/kg (암컷)을 평생 동안 노출시킨 결과 악성 말초신경초종(malignant peripheral nerve sheath tumor)이 발생했으며 전반적으로 종양반응이 증가하였다고 보고하였다. 이러한 연구와는 달리 Jeong(1993) 등은 매주 8~35mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 피하주사한 시리안골든 햄스터(Syrian golden hamster)에서는 종양이 발생하지 않았다고 보고하였다. Beniashvili(1992) 등은 9 마리의 마카카 패시쿨라리스(*Macaca fascicularis*) 종의 원숭이를 2년 동안 한 달에 3번씩 16mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 피하주사하여 노출시켰더니 두 마리에서 대장 선암(adenocarcinoma)이 생겼고 한 마리 암컷의 자궁에서 섬유근성증식증(fibromyoma)이 발견되었다고 보고하였다.

Roe(1967) 등, Toth(1972, 1973, 1977), Druckery(1967) 등 그리고 Trochimowicz(1994) 는 경구노출에 의한 발암성 여부에 대해 보고하였다. Roe(1967) 등은 마우스에 하루에 1.7mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 일주일에 5번 씩 40-50주 또는 50-60주 동안 마시도록 한 결과 폐종양의 발생률이 증가하였다고 보고하였다. Toth(1972, 1973, 1977)는 마우스 암컷과 수컷 각각 50마리에 음용수에 0.1%의 1,1-디메틸하이드라진을 섞어서 먹인 결과, 실험대상의 79%에서 각 장기에 혈관육종이 관찰되었다고 보고하였다. 그리고 71%에서 폐종양, 10%에서 신장종양 그리고 7%의 마우스에서 간종양이 발생하였다고 보고하였다. Trochimowicz(1994)에 따르면, 마우스에 하루에 19mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 40주 동안 반복적으로 위관영양 투여한 결과 폐의 종양이 약간 커지는 것을 관찰하였으며, 1,1-디메틸하이드라진이 함유되어 있는 물을 2년 동안 마신 랫트와 마우스에서는 간 종양이 관찰되었다고 보고하였다. Druckery(1967) 등은 햄스터에게 1,1-디메틸하이드라진을 투여한 물을 마시도록 한 결과, 혈관과 맹장에서 종양이 관찰되었다고 보고하였다.

일부 연구에서는 1,1-디메틸하이드라진의 발암성을 확인하기 위해서 여러 가지 요인들이 시험되고 있다. 음식에 섬유소를 첨가시켰어도 대장 반응을 변화시키지 못한 반면에 폴산염(Floate) 결핍과 음식의 낮은 구리 농도는 증가시켰다고 보고하고 있다(Cravo 등 1992, Disilvestro 등 1992, Thorup 등 1992).

<표 III-3-8> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 발암성 동물 실험 결과

그림삽입 번호*	실험대상 종 :Species (strain)	노출기간 (빈도)	노출경로	관찰내용	농도 (ppm)	참고문헌
그림 3-5, 40	마우스 (C57BL/6)	1년 5일/주 6시간/일	전신흡입	파리/세기관지 샘종, 간세포 샘종, 림프구샘종, 코의 유두종, 골종, 혈관종	5	Haun et al, 1984
그림 3-6, 63	마우스 (Swiss)		음용수	간(혈관육종, 간암, 샘종), 폐(선암종), 신장(샘종)	19	Toth, 1973a
	마우스	40-50주, 50-60주, 5번/주	음용수	폐 종양	1.7	Roe et al, 1967
	햄스터		음용수	혈관 및 맹장 종양	정보없음	Druckery, 1967
	햄스터		피하주사	악성말초신경초종	37(수컷) 32(암컷)	Heinemann et al, 1971
	원숭이 (Macaca fascicularis)	3번/달 1년	피하주사	대장 선암 섬유근성중식증(자궁)	16	Beniashvili et al, 1992

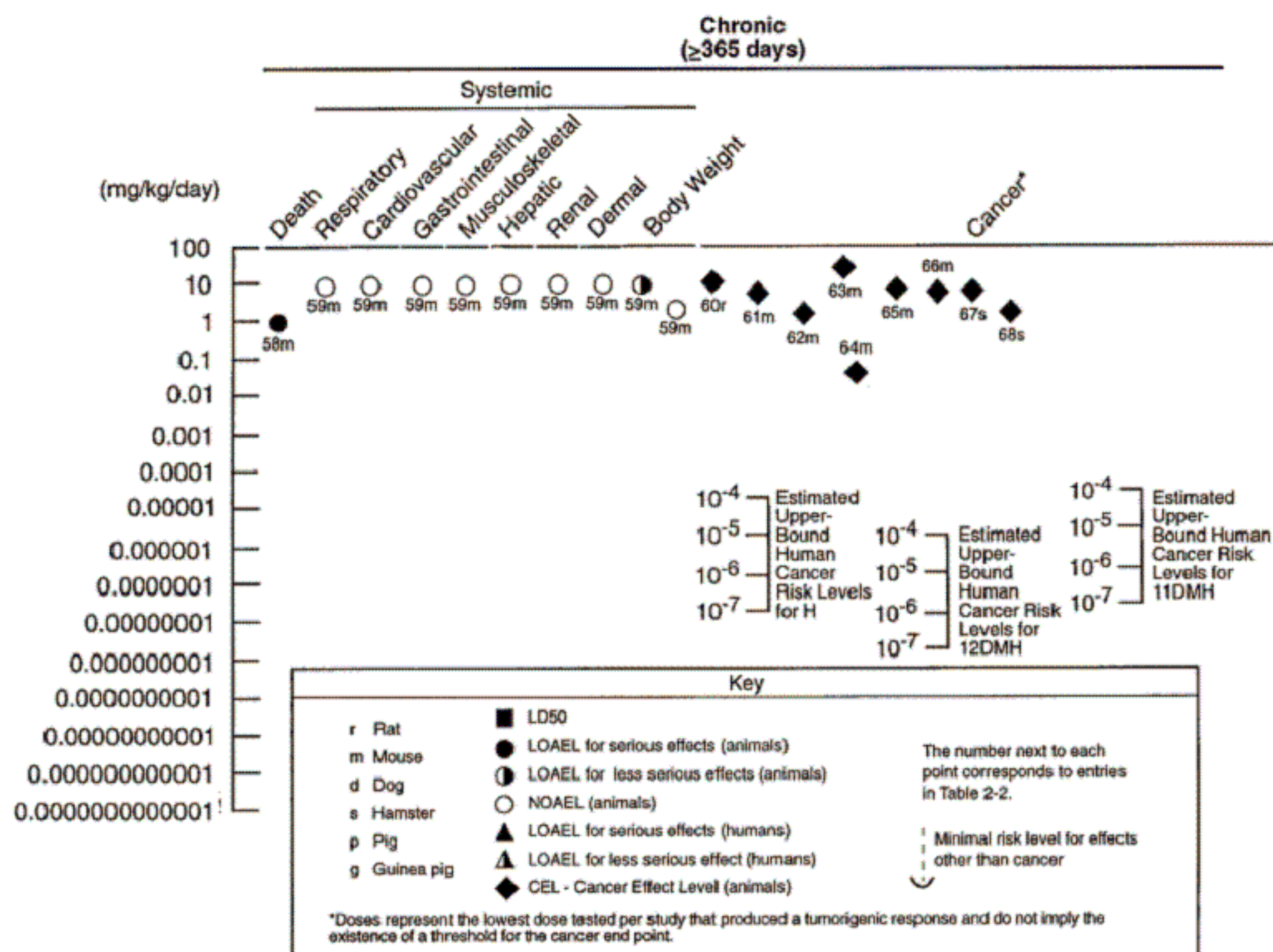
* [그림 III-3-5], [그림 III-3-6] 삽입

사. 기타: 상기 독성정보 이외의 추가정보

Bingham(2001) 등의 문헌고찰에 따르면, 1,1-디메틸하이드라진을 투여한 원숭이는 6~9시간 정도 지속됨에 따라 수행능력이 감소함을 보였, 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 기니아 피그의 면역학적 반응은 감소하였다고 보고하였다. 그러나 면역억제제로 알려진 6-mercaptopurine 보다는 덜 감소하였다고 하였다.

1,1-디메틸하이드라진은 모든 경로에 의해 노출이 되면 유해하며, 비타민 B6가 해독제가 될 수 있다(EPA).

민감하고 햄스터는 다소 덜 민감한 것 같다. 치명적인 노출시 불안과 경련 증상이 가장 많이 나타났으며 사망은 노출 24시간 이내에 대부분 발생하였다.



[그림 III-3-7] 하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진 그리고 1,2-디메틸하이드라진의 노출수준별 만성(≥ 365 일)경구독성 영향 (자료원: ATSDR, 1998).

* <표3-8>의 그림삽입번호만이 1,1-디메틸하이드라진의 데이터임

토끼 또는 기니아 피그의 피부에 소량의 1,1-디메틸하이드라진을 노출시킨 부위에서 가벼운 홍반이 생겼다. 1200-1800mg/kg를 투여한 개의 피부에서는 많은 가역적인 생화학 변화가 발생하였고 치명적인 농도수준에서만 가벼운 경련을 보였다. 가벼운 붉어짐 증상을 동반하였기 때문에, 1,1-디메틸하이드라진의 가장 심한 독성은 가벼운 피부 자극물질로 간수할 수 있다. 이는 급성경피

독성에 관한 연구에서도 확인되었다. 노동부 산업안전보건법 시행규칙 제 81조 1항의 유해물질분류기준(<표 III-3-1>)과 비교하여 보면, 1,1-디메틸하이드라진은 경구독성물질 그리고 경피독성물질로 분류할 수 있다. 주요 표적 조직은 다양한 실험동물에서 신경계와 간이었으며 특히 1,1-디메틸하이드라진만 단독 투여했을 때 간 독성이 가장 컸다.

4. 인체영향

가. 인체내 작용기전

1,1-디메틸하이드라진에 사람이 흡입, 경구 또는 피부 노출되었을 대의 독성 기작에 대한 보고자료는 없다. 3장 동물영향에서 살펴보았듯이 동물에서의 흡입, 경구 및 피부 노출결과 혈액에 빠르게 흡수되는 것을 알 수 있다. 동물에서의 독성연구결과를 통해 1,1-디메틸하이드라진은 특이 지점에서의 특별한 농축과정이 없이 바로 조직으로 쉽게 분포하는 것을 알 수 있다. 1,1-디메틸하이드라진은 자유 아미노기(NH₂-)를 가지고 있기 때문에 몸속의 알파 케토산과 반응할 수 있고 이 부산물로 인해 다양한 부적절한 건강영향이 나타나는 것이다.

제한된 동물 연구 자료를 통해 1,1-디메틸하이드라진은 체내에서 대사되어 우선적으로 소변과 내쉬는 공기로 배출되는 것을 알 수 있다.

(1) 흡수

사람이 1,1-디메틸하이드라진에 경구, 피부 그리고 흡입으로 노출되었을 때의 기작에 대한 보고자료는 없다. 다만 Smith 와 Clark(1971, 1972)은 1,1-디메틸하이드라진을 개의 피부에 단일물질로 투여하고 나서 30초 이내에 혈액에서 검출되었다고 보고하였다. 개에게 300~1200mg/kg을 피부에 노출시키고 나서 3시간 후에 최대 약 130mg/l 가 검출되었다. 즉 1,1-디메틸하이드라진은 피부에 빠르게 흡수되어 혈액으로 이동하는 것을 짐작할 수 있다.

(2) 분포

사람이 1,1-디메틸하이드라진에 경구, 피부 그리고 흡입 노출되었을 때 체내에서의 분포에 관한 보고자료는 없다. 일부 동물을 대상으로 한 연구에서 짐작 할 수 있는 정도이다. Back(1963) 등은 랫트, 토끼, 개, 고양이 그리고 원숭

이를 대상으로 10~50mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 복막 투여한 결과, 모든 종에서 주사 후 1시간 이내에 혈청내의 1,1-디메틸하이드라진이 가장 높았으며, 투여량의 14.3% 그리고 고양이는 투여량의 8.7% 수준이었다고 보고하였다. 랫트는 2~24시간 이후에는 혈청에서 1,1-디메틸하이드라진이 검출되지 않았는데 아마도 조직으로 빠르게 분포하였거나 배설되었을 것이라고 보고하였다. 원숭이의 혈청내 1,1-디메틸하이드라진 농도는 1시간 후에 빠른 속도로 감소하다가 24시간 이후에는 검출되지 않았다고 보고하였다. Fiala와 Kulakis (1981)는 수컷 랫트에 50mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진 또는 100mg/kg의 1,2-디메틸하이드라진을 피하 주사한 결과, 노출 후 두 물질의 혈청내 농도 수준은 빠르게 감소하였는데, 약 1시간 이내의 반감기를 가진다고 보고하였다. Mitz(1962) 등은 랫트에 0.78~80mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 복막 주사한 결과, 투여량의 약 71.1%가 4시간 후에 체내에 남아있었다고 보고하였다. Dost(1966) 등도 동일한 실험을 하였는데, 7.1~38.7%가 56시간 후에 체내에 남아있었다고 보고하였다. 랫트에 11~60mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 단일 물질로 복막주사로 투여한 실험에서는 투여량의 0.1~3.1%의 낮은 수준이 주로 랫트의 뇌, 간, 신장, 심장 그리고 혈액 같은 조직에서 검출되었으며, 기관에 농축되는 현상은 없었다고 보고하였다(Mitz 등, 1962; Reed 등, 1963).

즉 단일물질로 1,1-디메틸하이드라진을 투여했을 때 농축되지 않고 1시간 이내에 모든 조직으로 빠르게 분포한 다음, 24시간 이내에 완전히 배출된다고 볼 수 있다.

(3) 대사

하이드라진 화합물의 대사는 몇몇 효소 및 비효소적인 경로로 진행되는 것으로 알려져 있다. 사람들은 느린 아세테이트 유전자형을 가지고 있어서 하이드라진 화합물은 혈청에 더 쌓이는데, 물질을 대사하거나 배설시키는 능력에 장애가 있기 때문이다(Blair 등, 1985) 비록 총 대사에 관여하는 각각의 경로는 노출경로가 어딘지에 따라 영향을 받지만, 진행되는 경로와 대사되는 형태가 노출경로에 항상 의존하는 것은 아닌 것 같다.

Weeks 등(1963)은 마취시킨 개에게 기관 내를 통해 1,1-디메틸하이드라진을 투여했을 때 약 80%가 호흡기내에 남아 있었다고 보고하였다. Dost(1966) 등과 Reed(1963) 등은 랫트에 0.78~60mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 단일물질로 투여했을 때 투여량의 약 12~27%가 내선 공기 중 이산화탄소로 검출되었다고 보고하였다. Mitz(1962) 등은 랫트에 40mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 단일물질로 투여하고 4시간 후에 투여량의 2% 이하가 내선 공기에서 검출되었고 소변에서는 1,1-디메틸하이드라진의 대사물질인 글루코스 하이드라존과 확인되지 않은 대사물질이 각각 투여량의 3~10% 와 20~25% 수준으로 검출되었다고 보고하였다. Dost(1966) 등은 랫트에 1,1-디메틸하이드라진을 단일물질로 0.88mg/kg을 복강 주사한 결과 약 30%가 10시간 이내에 이산화탄소로 변화하였고 20mg/kg 또는 80mg/kg을 주사한 경우에 이산화탄소로의 대사율은 각각 15.2, 7% 였다고 보고하였다. 이러한 데이터는 1,1-디메틸하이드라진이 탈메틸화반응을 하고 체내의 세포분자와 반응을 할 수 있다는 것을 의미한다.

Albano(1989) 등과 Tomasi(1987) 등은 1,1-디메틸하이드라진 대사에 의해 생성된 반응성 결합 종들은 자유라디칼의 중간매개체가 될 수 있는 있다는 것을 알았다고 보고하였다. 랫트의 간 염색체와 간세포에서 1,1-디메틸하이드라진은 대사과정을 거칠 수 있는데 메틸기 라디칼 중간매개체를 형성하는 것으로 알려져 있다고 보고하였다. 이러한 라디칼의 형성은 억제제 시토크롬 P-450과 단일산소첨가효소계(메티마줄)를 포함하는 플라빈을 첨가함으로써 방해받을 것이라고 하였다. Tomasi(1987) 등은 또한 구리 이온이 존재하면 자유라디칼은 비효소적인 방법으로 형성될 수도 있다고 보고하였다. 이러한 데이터는 적어도 두 개의 독립된 효소 시스템과 한 개의 비효소적인 경로에 의해 1,1-디메틸하이드라진이 대사과정을 거치는 것을 의미한다.

(4) 배설

사람이 1,1-디메틸하이드라진에 경구, 피부 그리고 흡입 노출된 후의 배설에 관한 보고자료는 없다. 동물 연구 자료도 거의 없거나 있어도 제한된 연구뿐

이다. Smith 와 Clark(1971) 은 개의 피부에 800~1200mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 투여했을 때 소변으로 최고 600mg/ℓ의 1,1-디메틸하이드라진이 5시간 이내에 배출되었다고 보고하였다.

Dost(1966) 등, Mitz(1962) 등 그리고 Reed(1963) 등의 보고에 의하면, 랫트에 0.78~60mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 단일물질로 투여했을 때, 탄소 투여량의 약 18.9~76%가 소변으로 배출되었고 탄소 투여량의 약 2~23%는 내쉬는 공기로 배출되었다. 배출되는데 걸린 시간은 4~54시간 이었다고 보고하였다. 또 Dost(1966) 등의 연구에서는 1,1-디메틸하이드라진 투여량의 50%가 2일에 걸쳐 배출되었다고 보고하였다. Back(1963) 등은 50mg/kg를 복강 주사한 개에서는 5시간 이내에 탄소 투여량의 약 34.8~39.1%, 고양이는 6시간 이내에 탄소 투여량의 37.2~51.2%가 소변으로 배출되었다고 보고하였다. 이러한 연구는 전형적으로 식별용 방사성 동위원소인 탄소(^{14}C -1,1-dimethylhydrazine)를 이용한다. 이 식별용 방사성 동위원소는 1,1-디메틸하이드라진이 탈메틸화되는 동안 나머지 분자로부터 분리될 수 있다. 그러므로 이러한 연구는 투여량에 포함된 질소의 대사율을 정확하게 설명할 수 없다. 이러한 제한점에도 불구하고, 이러한 보고 자료는 흡수된 1,1-디메틸하이드라진 중 상당량의 탄소가 소변으로 배출되지만 투여된 탄소의 상당 부분이 이산화탄소의 형태로 내쉬는 공기로 배출될 수도 있음을 제안한다.

(5) 독성 메카니즘

1,1-디메틸하이드라진 독성에 대한 정확한 메카니즘은 확실하지 않다. 1,1-디메틸하이드라진에 접촉했을 때 자극증상 그리고 급성으로 노출되었을 때에 중추신경계에 영향이 나타나는데, 예를 들면 떨림과 경련(Shaffer 와 Wands, 1963), 아급성 수준에서의 행동변화(Streman 등, 1969) 등이 있다. Back과 Thomas(1963)는 1,1-디메틸하이드라진에 노출되었을 때 사망하는 것은 아마도 호흡 정지와 심장혈관의 쇠약 때문인 것 같다고 언급하였다.

나. 단기노출시 인체유해성

사람에서 1,1-디메틸하이드라진에 흡입노출 된 후 사망한 보고 자료는 없다. 일부 연구자에서 흡입노출 후 호흡기, 신경계 및 간 영향에 대한 보고가 있었다.

Frierson(1965) 는 두 남성이 하이드라진과 1,1-디메틸하이드라진 혼합물에 약 90분 동안 급성으로 흡입 노출되었을 때의 결과를 보고하였다. 두 작업자 중 한 사람은 1,1-디메틸하이드라진의 냄새를 맡은 후에 두통, 매스꺼움, 쇠약증, 피부 화상, 가슴이 답답해짐 그리고 목의 통증을 호소하였고 나머지 한 사람은 노출을 인식한 후에 신선한 공기가 있는 곳으로 옮겨졌지만 심각한 호흡곤란 증상을 나타냈다고 보고하였다. 그리고 두 사람 모두에서 폐부종이 발생하였다고 보고하였다. 추가적으로 네 명의 작업자가 하이드라진과 1,1-디메틸하이드라진에 높은 농도로(정확한 농도에 대한 정보는 없음) 노출되었는데 심한 매스꺼움과 구토 증상을 호소하였다고 보고하였다.

Petersen(1970) 등과 Cowart(1957) 등은 1,1-디메틸하이드라진의 누출 사고에 의해 두 명의 작업자가 급성으로 노출되었을 때의 결과를 보고하였다. 노출 농도는 알 수 없지만, 두 작업자가 누출사고 지점에서 약 750야드(700미터쯤 안되는 거리) 떨어진 곳에서 노출 되었다고 보고하였다. 노출 후에 두 작업자는 기침과 호흡곤란 증상이 나타났고, 네 시간 후에는 심한 매스꺼움 증상을 보였다고 보고하였다. 그리고 작업자에서 혈청 알라닌아미노전이효소 활성도(serum alanine aminotransferase activity)가 증가하고, 지방이 분해되는 등 간 영향을 알아보는 지표 수치에 변화를 보고하였다.

G.D. Clyton(1981) 등과 Trochimowicz(1994) 등의 문헌고찰에 따르면 고농도의 1,1-디메틸하이드라진을 흡입한 사람에서 코와 목의 자극증상, 가벼운 결막염, 매스꺼움, 구토, 신경계 영향과 혈청의 효수수치가 증가하였다고 보고하였다. O'Neil(2001)은 1,1-디메틸하이드라진에 과다노출 되었을 경우 눈과 피

부에 자극을 주고, 기침, 가슴통증 및 호흡곤란, 혼수상태, 매스꺼움, 무산소증, 경련, 간 손상 등이 나타난다고 보고하였다. Bingham, E.(2001)의 문헌고찰에 따르면, 600ppm에서 5분, 200ppm에서 15분, 100ppm에서 30분 그리고 50ppm에서 60분 동안 1,1-디메틸하이드라진에 노출되면 눈과 점막의 자극 증상이 예상된다고 보고하였다. 일부 자료에서는 우발적으로 1,1-디메틸하이드라진에 폭로하면 눈을 자극하고 가슴이 답답하고 흉통, 호흡곤란, 기민증, 구토 및 피부자극 증상이 나타난다고 보고하였다. 개의 실험결과로 미루어 보아 사람이 1,1-디메틸하이드라진에 다양한 농도에서 60분 동안 노출되면 다음과 같은 증상이 생길 것으로 짐작된다. 즉, 100ppm 농도에서는 눈과 호흡기의 자극증상 그리고 200ppm에서는 현저한 중추 신경 자극증상이 나타나고 사망하기도 하며, 900ppm에서는 경련을 일으키고 사망할 수 있다고 예상한다.

미국 보건복지부(US ATSDR)에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 아급성 흡입노출에 대한 최소 위험 수준(Intermediate Minimum Risk Level)을 0.0002ppm으로 평가하였다. 이는 0.5ppm의 1,1-디메틸하이드라진에 흡입 노출된 암컷 마우스에서 간 영향이 보고된 자료를 기본으로 해서 설정되었다. MRL은 다른 연구에 의해서도 지지를 받고 있는데, 1,1-디메틸하이드라진을 흡입했을 때의 주요 표적기관은 간이라는 것을 지적하고 있다.

그 밖에 사람이 1,1-디메틸하이드라진에 흡입노출 된 후 심혈관계, 소화기계 및 신장 영향에 대한 보고자료는 없다. 그리고 사람이 1,1-디메틸하이드라진에 경구노출 및 피부 노출된 후의 독성 보고 자료는 없다.

결론적으로, 고농도의 1,1-디메틸하이드라진은 단시간 동안 노출되면 떨림이나 경련 등의 중추신경계 영향, 메트헤모글로빈혈증과 용혈반응 등의 혈액학적인 영향 그리고 간과 신장에 손상을 줄 수 있다. 그리고 무산소증, 청색증, 열이 나는 등의 증상이 나타날 수 있다. 피부와 눈에 자극증상과 화상을 야기시킬 수 있다.

다. 장기노출시 인체유해성

사람에서의 1,1-디메틸하이드라진에 대한 독성영향에 대한 보고는 급성노출에 대한 일부 사례연구와 암 환자에서의 화학요법을 시도한 사례일 뿐 거의 보고되어 있지 않다. 이러한 보고에서 공통적인으로 지적하고 있는 사실은 1,1-디메틸하이드라진에 흡입, 경구 또는 피부로 노출된 후의 주요 증상은 신경계 영향이라는 것이다. 특히 노출이 있는 직후에 신경계 영향이 관찰되었다고 보고하고 있다.

Shook와 Cowart(1957)는 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 5명의 실험실 작업자(화학자, 엔지니어 그리고 기술자)와 6명의 취급 작업자를 대상으로 6개월 동안 관찰한 결과 간기능 검사의 일종인 세팔린 면상시험에서 양성반응을 나타내는 몇몇 사례가 있었다고 보고하였다. 또한 한 명의 작업자는 타이폴 혼탁도 시험에서 양성반응을 나타냈고 소변에서 적혈구와 백혈구의 수가 비정상적으로 확인되었다고 보고하였다. 실험실 작업자는 초기 3 개월은 하루에 10 시간씩 일주일에 6일 동안 그리고 3 개월은 일주일에 네 시간 이상씩 6~8번씩 소량의 1,1-디메틸하이드라진에 아급성 노출되었다고 보고하였다. 다른 작업자는 1,1-디메틸하이드라진을 로딩하거나 실외로 운반하는 작업을 통해 2~3주마다 3~4일씩 노출되었다고 보고하였다. 3개월 후에 누출사고가 발생하였지만 작업자에서 급성독성은 관찰되지 않았다고 보고하였다.

Petersen(1970) 등은 액체 로켓트 추진제를 다루는 네덜란드 공군 중 일부를 대상으로 일 년에 3~4번 정도 간기능 검사의 하나인 SGPT 활성도를 조사하였다고 보고하였다. 대상자가 어느 수준의 1,1-디메틸하이드라진에 노출되었는지에 대한 정보는 없었다고 보고하였다. 1961년 3월부터 1964년 1월까지 총 1193 명을 조사한 결과 4%에 해당하는 47명에서 SGPT의 활성도가 증가하였다고 보고하였다. 그리고 26명의 지원자에서 간 생검을 실시한 결과 6명에서 가벼운 지방간이, 5명은 확인할 수 없는 조직의 변화, 4명은 일부 세포에서 지방 변성 그리고 1명은 가벼운 림프구 침윤이 관찰되었다고 보고하였다.

지방간을 보인 6명은 SGPT의 활성도도 증가한 것으로 관찰되었다고 보고하였다. 후속조사가 이루어지지 않아 대상자에서 관찰된 간 영향이 1,1-디메틸하이드라진의 노출에 의한 것인지를 확인하는 것은 불가능하였지만 간 손상에 영향을 줄 수 있는 다른 조건들이 배제되었을 때의 결과라고 보고하였다.

제한적이기는 하지만 두 연구에서는 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 사람에서 간 손상이 있을 수 있다고 제안하고 있다.

Ernst(1987) 등과 Frierson(1965)은 1,1-디메틸하이드라진에 반복적으로 노출된 사람에서, 호흡기 영향, 폐부종, 매스꺼움, 구토, 신경계 영향 그리고 간 효소인 SGPT가 증가하였다고 보고하였다.

라. 인체 표적장기독성

(1) 호흡기계 영향

Fierson(1965) 은 하이드라진과 1,1-디메틸하이드라진 혼합물에 노출된 두 남자에서 호흡곤란과 폐부종 증상이 관찰되었다고 보고하였다.

(2) 심혈관계 영향

사람이 1,1-디메틸하이드라진에 흡입, 경구 또는 피부 노출되었을 때 심혈관계 독성영향에 대한 보고자료는 없다.

(3) 소화기계 영향

사람이 1,1-디메틸하이드라진에 급성으로 노출되면 매스꺼움, 구토, 설사 그리고 식욕부진 등의 증상이 일반적으로 나타난다.

(4) 혈액학적 영향

사람이 고농도의 1,1-디메틸하이드라진에 단시간 동안 노출되면 메트헤모글로빈혈증과 용혈반응 등의 증상이 나타난다.

(5) 근골격계 영향

사람이 1,1-디메틸하이드라진에 흡입, 경구 또는 피부 노출되었을 때 근골격계 독성영향에 대한 보고자료는 없다.

(6) 간 영향

Petersen (1970) 등과 Shook(1957) 등은 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 작업자에서 혈청의 알라닌 아미노전이효소 활성도가 증가하였고 지방변성 그리고 뇌조직에서부터 추출되는 조제 인지질인 세파린의 응집 테스트 결과 양성 반응 등이 나타났다고 보고하였다.

급성노출 후에는 간 효소인 SGPT의 활성도가 증가하였고 로켓트 연료에 노출된 작업자에서 지방간이 관찰되었다.

사람에서의 보고 자료는 제한적이기는 하지만 동물 독성연구결과를 토대로 1,1-디메틸하이드라진의 주요 표적기관은 간이다.

(7) 신장 영향

사람이 1,1-디메틸하이드라진에 흡입, 경구 또는 피부 노출되었을 때 신장 독성영향에 대한 보고자료는 없다.

(8) 내분비계 영향

1,1-디메틸하이드라진에 급성으로 노출되면 고혈당 또는 저혈당 증상이 나타날 수 있다.

(9) 피부질환 영향

1,1-디메틸하이드라진은 피부에 부식성이 있다. 용액에 소량으로 접촉만 하여도 2, 3도의 화상을 입을 수 있다. 흡입으로 노출되면 자극성이 있다.

(10) 눈 영향

사람이 1,1-디메틸하이드라진에 흡입, 경구 또는 피부 노출되었을 때 눈의 독성영향에 대한 보고자료는 없다.

(11) 체중에 대한 영향

사람이 1,1-디메틸하이드라진에 흡입, 경구 또는 피부 노출되었을 때 체중에 대한 독성영향에 대한 보고자료는 없다.

(12) 면역학기계 및 림프계 영향

Pereyo(1986)와 Reidenberg(1983) 등은 사람에서의 사례 보고를 통해 하이드라진과 디메틸하이드라진이 홍반성 루프스병을 일으킬 수 있다고 보고하였다.

(13) 신경계 영향

Richter(1992)등, Sotaniemi(1971) 등은 1,1-디메틸하이드라진에 흡입노출 된 사람에서 구토, 매스꺼움, 떨림, 불안정한 인지 기능 등의 신경계 영향이 나타났다고 보고하였다. Dhennin(1988) 등과 Kirklin(1976) 등은 작업장에서 산업 폭발의 결과로 두 명의 남자가 하이드라진과 1,1-디메틸하이드라진에 피부를 통해 노출되었는데 혼수상태, 무의식 그리고 다발성 신경염 등이 발생했다고 보고하였다.

마. 인체 발암성

실험동물에서는 발암성에 대한 충분한 증거가 있으나 인체에 대한 역학조사 자료가 부족하여 인체에 대한 발암물질 여부는 아직 불확실하다. 사람에서의 발암 작용은 아직 확인되지 않았으나 1,1-디메틸하이드라진은 암종을 일으킬 것으로 의심되는 물질로 분류하고 있다. NIOSH에서는 1,1-디메틸하이드라진의 발암성을 평가할 때에는 이 물질에 오염물질로서 함유되어 있는 1,1-니트로소

디메틸히드라진의 함유량을 고려하여야 한다고 제안하고 있다. 순수한 1,1-디메틸히드라진을 사용하는 작업자를 추적 조사한 결과, 전에 나타난 발암 소견과 추적 전 조사 결과가 서로 일치하지 않았다고 한다.

결론적으로 국제암연구센터(IARC)에서는 1,1-디메틸하이드라진을 사람에서 발암이 가능한 물질(Group 2B)로(IARC 1974, 1982, 1999), 미국산업위생가협의회(ACGIH)에서는 동물 발암성물질(A3)으로 분류하고 있다.

바. 사람에 대한 국내외 재해사례

국내에서 1,1-디메틸하이드라진에 직업적으로 노출되어 중대사고 또는 재해를 당한 경우는 한 건도 없는 것으로 확인되었다.

5. 각국의 노출기준 요약 및 해설

가. 노출기준의 개념과 역사

미국에서 해밀턴 박사가 처음으로 위험한 물질 취급에 대한 조사를 시작할 때인 1900년대 초기에는 공장의 관리 감독자들이 오염된 손을 통해서 오염물질이 입으로 들어가서 나타내는 영향에 대해 더 관심이 많았기 때문에 근로자가 호흡하는 오염된 공기가 전체적인 건강 상태에 더 큰 영향을 미친다는 것을 확신시키는 데에는 상당한 어려움이 있었다. 증기나 혹은 작은 입자들이 폐를 통과하거나 혈류에 들어갈 수 있다는 개념을 많은 사람들에게는 생소한 것이었다. 해밀턴 박사를 포함한 몇 명은 공기 중 오염물질의 농도를 제한할 수 있다면 오염된 대기 중에서 극히 적은 유해 위험성 하에서 근로자가 일할 수 있을 것으로 생각하였다(Hamilton, 1948).

공기 중 오염 물질에 안전하게 노출될 수 있는 것이 무엇인가에 대한 이해가 점차 확대되면서 노출기준(occupational exposure limites, OELs)의 발전에 의해 큰 영향을 받게 되었다. 초기의 OEL은 작업장에서 죽음에 이르게 하는 농도에 쉽게 도달할 수 있는 증기나 가스를 중심으로 만들어졌다. 예를 들면 일산화탄소, 염소, 암모니아, 시안화수소(hydrogen cyanide), 염화수소(hydrogen chloride), 브롬, 벤젠, 사염화탄소(carbon tetrachloride), 이황화탄소(carbon disulfide) 등이다. 독일의 맥스 그루퍼(Max Grouper)는 처음으로 일산화탄소에 대한 노출기준을 개발하였는데 일산화탄소에 노출된 암탉과 토끼에 대한 연구에 기초하였다(Cook, 1987). 일산화탄소의 영향을 요약한 그루퍼의 진술은 오늘날 산업위생전문가들이 적용하고 있는 OEL을 명확하게 이해하고 있었다. 실험동물에 유해한 작용을 하는 일산화탄소 농도 범위는 명확하게 200ppm 이하의 농도는 아니며, 500 ppm의 농도에서는 확실하게 영향을 미쳤다고 그루퍼는 기술하였다. 중요한 사항은 “200ppm보다 낮은 농도에서는 영향을 주지 않았다”는 것이다. 이것은 모든 근로자들이 200 ppm 이하의 농도

에서는 해로운 영향 없이 노출될 수 있는 것을 의미한다. 이것이 “무영향 수준(no-effect level)”에 대한 개념이다(Cook, 1987).

1912년에 코버트(Kobert)는 독일에서 12가지 물질에 대한 OEL 목록을 발표하였다. 이 목록에서는 무영향수준 같은 단일 노출 값을 설정하기가 어렵다는 것을 보여준다. 코버트는 20가지 물질들을 (1) 빠르게 인간과 동물에게 치명상을 주는 것, (2) 30분에서 1시간 내에 위험한 수준에 이르게 하는 것, (3) 30분에서 1시간 내에 심각한 장애가 없는 것, (4) 단지 최소한의 증상이 관찰되어지는 것 등 4가지로 분류하였다. 마지막 네 번째 분류(최소한의 증상이 관찰되어지는 것)가 장시간 OEL 설정에 중요하며 약간의 증상이 발견되었으나 최소라고 한 내용에 주목하여야 한다. 코버트는 OEL이 절대적이 아니라 소수의 근로자에서는 약간의 증상이 발견되는 노출기준이라고 처음으로 인식하게 되었다.

미국과 독일을 포함한 여러 나라에서 다양한 OEL 목록이 출판되고 있다. 비록 초기의 목록에는 급성의 유해한 가스와 증기가 포함되었으나 후에 입자상물질(aerosol)도 그 독성(실리카와 납 등) 때문에 목록에 나타나기 시작하였다.

1930년 이전에는 출간된 목록들이 법적 규제 기관에 의해 강제되지는 않았다. 1921년 미국 광업부(U.S. Bureau of mines)에서 33개 물질에 대한 OEL을 발간한 자료와 미국 보건복지부(U.S. Public Health Service)의 근로자들이 발간한 목록이 있었지만 법적인 규제가 없이 실행되었다. 반면에 1930년에 소련의 노동부(Soviet ministry of labor)의 칙령에는 12가지의 산업체 물질에 대한 OEL이 포함되어 있다. 국제노동기구(International Labor Office)에 따르면 이 목록은 1933년에 소련(Soviet Union)에서 법적으로 시행되었다고 한다(Cook, 1987). 실행 정도에 있어서는 약간의 의문점이 있다. 미국과는 달리 소련에서는 생물체가 정상 상태에서 벗어나지 않을 때의 노출 수준으로 OEL을 정하는 경향이 있었다. 결론적으로는 소련(현재는 러시아)의 OEL은 다른 나라

보다 몇 배 ~ 수백 배까지 낮은(엄격한) 기준으로 설정되었다.

미국에서는 1937년에 매사추세츠 연방(Commonwealth of Massachusetts)에서 처음으로 규제성 OEL 목록을 출간하였으며, 독일에서는 1938년에 출간하였다. 이후 전 세계적으로 OEL 채택이 일반화가 되었다. 1977년에는 국제노동성(International Labor Office)에서 16개의 유럽 나라와 미국, 일본, 유럽의회에서 권고하거나 규정하고 있는 OEL을 출판하였으며 1980년에는 1,178개 물질에 대한 OEL을 명시하고 있다(ILO, 1980). 1987년에 국은 45개 나라(66개 주)의 OEL을 요약 정리하여 출판하였다.

작업환경 공기 중에 존재하는 유해물질은 산업위생전문가에게 항상 제일가는 관심사가 되어왔다. 작업환경 중 유해물질에 대한 건강위험성 인식이 지속적으로 증대되어 법률적 규제가 강화되고 또 자발적으로 오염도를 줄이기 위한 노력들이 이루어지고 있다. 작업환경에서 사용하고 있는 건강에 해로운 물질을 다른 물질로 대체하거나 공기 중으로 확산되는 것을 완벽하게 막을 수 없기 때문에 그 농도에 사람이 노출되었을 때 건강상으로 문제가 없다고 하는 수준까지 감소시키는 방법들을 개발하고 있다.

여기에서 가장 중요한 점은 바로 “건강상에 문제가 없다고 하는 안전한 수준이 어느 정도인가?” 하는 것이다. 이러한 수준은 대부분 산업체 현장에서 발생한 사건을 기초로 하는 역학조사나 실험동물을 통한 독성학적 연구 결과를 인체영향으로 외삽을 통하여 설정되고 있다. 기준설정에 있어서 노출 수준과 그 건강 영향의 상관관계, 즉 양-반응 관계를 기초로 하고 있다. 그러나 이러한 기준 설정 과정은 일정한 형태가 있는 것이 아니고 시간에 따라 변하고 각 기관이나 나라에 따라 변하여 결국 여러 나라나 기관에서 한 물질에 대한 노출기준이 각각 다를 수 있다.

설정되는 기준들은 질병을 예방하기 위하여, 또는 대부분의 근로자의 건강을 보호하기 위하여, 또는 정상적인 행동과 확연하게 다른 것을 조기에 예방

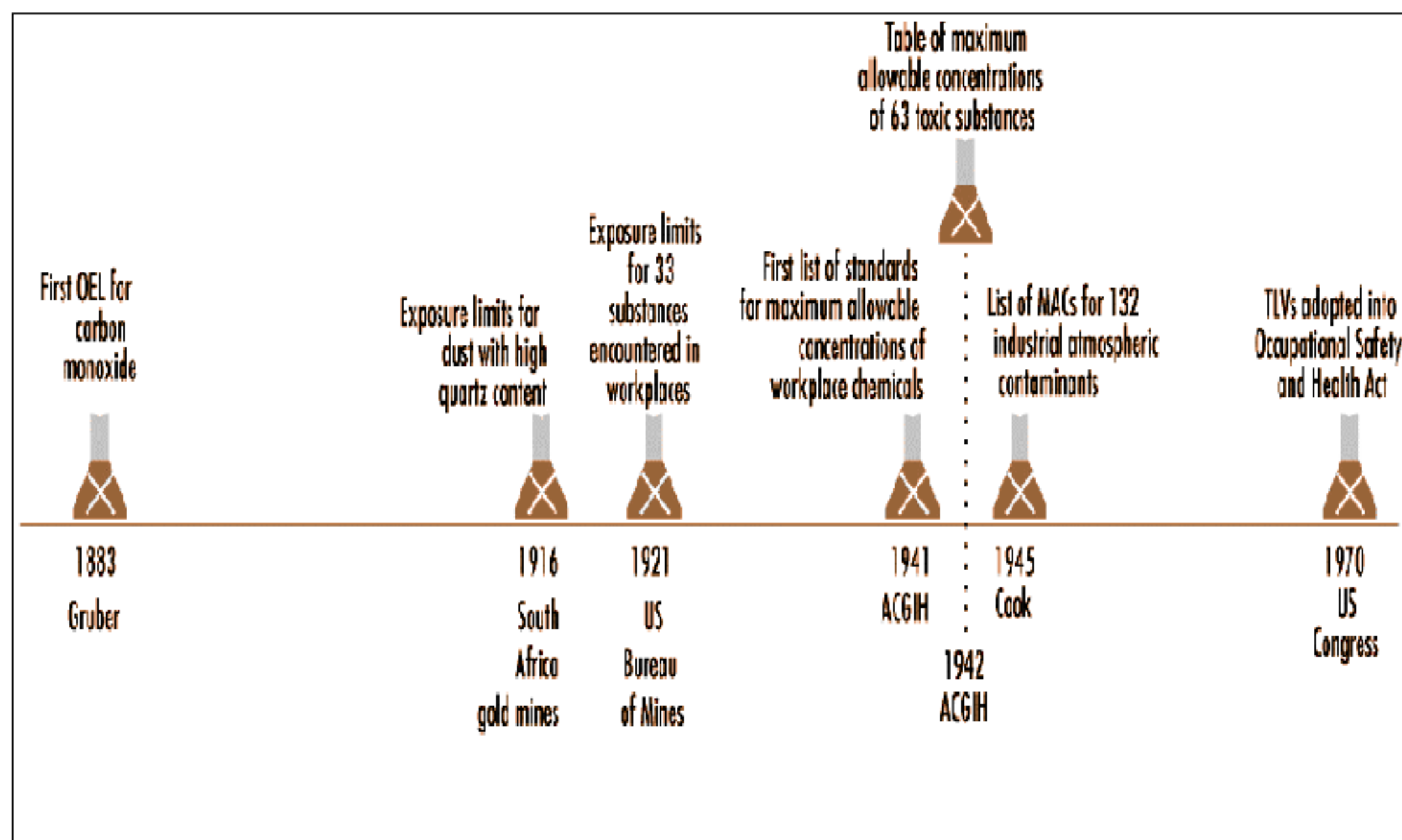
하기 위하여 등 다양한 목적을 위해 경제적 사회적인 여건을 근거로 설정되고 있다. 모든 노출기준에 포함된 안전계수(safety factor)는 작업환경 중 농도를 결정하거나 환경 수준을 모니터링하기 위한 분석 방법에 적용되는데 각 나라마다 다르다. 또한 고감도의 대책 및 모니터링 방법이 발달되고 있어 더욱 정교해지고 향상되어 노출 수준을 낮추는 데 기여하고 있다.

설정된 노출기준(occupational exposure limit)은 산업체에서의 경험과 과학적 연구에서 얻어지는 지식을 기반으로 매년 지속적으로 더욱 엄격하게 업데이트 되어 왔다. 산업체 경험에 있어서는 시간이 지남에 따라 만성적이고 장기간 영향에 대한 건강 위험성도 고려하게 되었고 좀 더 신뢰성이 있고 정확한 기준을 안전수준(safe limit)으로 결정하려고 노력하고 있다. 직업적 노출과 관련된 생물학적 반응을 좀 더 효과적으로 이해하기 위한 노력이 지속되고 있으나 지금까지의 경험으로는 안전수준이 생물학적 관점에서는 부적절하고 노출기준이 더 적절하였다. 직업적 위험성에 대한 대책을 세우는데 노출기준이 매우 중요한 지침으로 받아들여져 선진국에서는 환경측정 자료와 건강진단 자료를 지속적으로 축적하고 있다. 그러나 실험적, 임상적, 역학적으로 필요한 자료를 얻기 위해서는 방대한 기술과 자원이 필요하므로 극소수의 나라만이 상기의 목적을 달성할 수 있는 적절한 시스템을 가지고 있다고 할 수 있다.

각 나라에서 채택하고 있는 기준이 다른 것은 노출기준을 설정하는 방법, 기준의 의미, 산업체에 적용되는 방법 등이 다르기 때문이다. 또한 어떤 나라에서는 공식적인 법적 규제 치로 제정하고, 또 어떤 나라에서는 비공식적인 기관에서 노출기준 목록을 정하고 있으나 이들 모두 근로 감독에서는 중요하다. 여러 나라가 속해있는 유럽위원회(Council of Europe, Partial Agreement)에서는 특정 물질들에 대한 일정한 형태의 노출기준들을 제안하고 있는데 그 기준은 여러 기관에서 합의에 이르기 위한 노력들을 표시하기 위해 전체적으로 표로 나타내고 있다.

[그림 III-5-1]은 과거부터 1970년대까지 제정되어 온 노출기준의 연대기를 나타내고 있다.

<표 III-5-1>은 Cook(1986)이 발표한 각 국의 노출기준 제정 및 활용의 유형을 간단히 정리하였다.



[그림 III-5-1] 작업환경 기준의(OELs) 연대기 (ILO, 1998).

<표 III-5-1> 다양한 국가에서 적용시키고 있는 작업환경 노출기준

(자료원: Cook, 1986)

국가/지방	기준의 유형
아르헨티나	OELs은 1978년의 ACGIH TLVs와 거의 동일하다. ACGIH와 다른 것은 총 630 개의 물질 중, ACGIH에 의해 STEL이 적용되지 않은 144종의 물질에 대해 아르헨티나에서의 TWA의 값을 STEL 값으로 적용시켰다는 것이다.
호주	National Health and Medical Research Council(NHMRC)에서 1992년 개정된 Occupational Health Guide Threshold Limit Value를 받아들였다. 호주에서는 특별히 법에 의해 지정된 항목 이외에는 OEL이 법적인 구속력을(no legal status) 갖지 않는다. 또한 ACGIH TLVs는 Occupational health guide의 부록으로 발간되며 ACGIH가 개정될 때마다 홀 수년에 역시 개정된다.
오스트리아	권고값은 Worker Protection Commission for Appraisal의 전문가 위원회와 화학노동자 노동조합(Chemical Workers Trade Union)의 사고예방위원회(General Accident Prevention Institute)가 공조해서 권고하게 되며 이 권고값은 Federal Ministry for Social Administration에서 수용하게 된다. 이렇게 만들어진 기준은 노동자 보호법(Labour Protection Law)에 근거해 노동 감독관예(Labour Inspectorate) 의해 적용된다.
벨기에	노동부와 고용부(Ministry of Employment and of Labour)의 산업의학 및 보건청에서(Administration of Hygiene and Occupational Medicine) ACGIH TLVs를 가이드라인으로 사용한다.
브라질	1978년 이후로 ACGIH TLVs가 브라질 산업보건법령(occupational health legislation)의 기초로 사용되고 있다. 브라질의 노동시간은 통상적으로 48시간이므로 ACGIH TLVs를 사용목적에 맞게 보정하여 사용한다. ACGIH 목록 중 실제로 적용되고 있는 항목은 국가적인 규모로 사용되고 있는 공기 중 오염물질에 한정되어 있다. 노동부에서는 지금까지 Fundacentro Foundation of Occupational Safety and Health로부터 권고되는 추가적인 항목에 대한 기준값들을 적용시키고 있다.
에콰도르	에콰도르에는 법적 규칙으로써 허용가능농도 수준이 정해져 있지 않다. 다만, ACGIH 의 TLVs가 산업 위생을 현장에 적용시키는데 가이드라인으로 사용되고 있을 뿐이다.

<표 III-5-1> 다양한 국가에서 적용시키고 있는 작업환경 노출기준(계속)

(자료원: Cook, 1986)

국가/지방	기준의 유형
캐나다	각 지방은 별도의 법령 갖고 있으며 이에 근거해 기준을 적용시키고 있다.
캐나다 (Alberta)	OEL은 산업안전보건법에(Occupational Health and Safety Act) 기초하고 있다. 화학물질 위해성에 관한 규칙(Chemical Hazard Regulation)에 의해 사업주는 각 유해물질에 따라 정해진 기준 이상의 농도에 노동자들이 노출되지 않도록 해야 한다.
캐나다 (British Columbia)	산업안전보건 규칙(Industrial Health and Safety Regulation)에서 British Columbia의 대부분의 산업에 적용될 수 있는 법적 요구사항을 규정하고 있다. 이 내용은 ACGIH에서 발행하는 의 공기 중 오염물질에 대한 현행의 TLVs를 따르고 있다.
캐나다 (Manitoba)	환경 및 산업 안전보건부서(Department of Environment and Workplace Safety and Health)에서 OELs에 관한 법적/행정적 책임을 맡고 있다. 건강에 영향을 줄 수 있는 위험을 평가하기 위해 적용되고 있는 가이드라인은 ACGIH TLVs를 따르고 있으나 발암물질의 경우는 예외로써 가능한 한 노출되지 않도록 (zero exposure level so far as is reasonably practicable)별도의 규정을 두고 있다.
캐나다 (New Brunswick)	적용 기준은 가장 최근의 ACGIH issue를 따르고 있으며 만약 위반이 된 경우에는 위반 당시에 발행된 준수 기준 (compliance)을 적용시킨다.
캐나다 (Northwest Territories)	Justice and Service Department의 안전 부서에서 ACGIH TLVs의 가장 최근 버전을 적용하여 비연방 노동자의 (nonfederal employee) 작업환경을 관장한다.
캐나다 (Nova Scotia)	적용되고 있는 OELs은 1976년의 ACGIH 와 동일하며 이후의 수정과 개정 내용 역시 동일하게 따르고 있다.
캐나다 (Ontario)	유해물질에 대한 기준은 산업안전보건법에(Occupational Health and Safety Act) 의해 준수된다. 각 유해물질에 대한 허용가능 노출 기준, 호흡보호구 기준, 공기 중 농도를 측정하는 방법, 그리고 건강진단 등에 관련한 내용들이 별도의 책자로 발행된다.
캐나다 (Quebec)	허용가능 노출기준(Permissible exposure levels)은 ACGIH TLVs와 유사하며 작업 현장에서의 공기 중 오염물질에 관한 허용가능 노출기준은 법적으로 준수되어야 한다.

<표 III-5-1> 다양한 국가에서 적용시키고 있는 작업환경 노출기준(계속)

(자료원: Cook, 1986)

국가/지방	기준의 유형
칠레	칠레에서 적용되는 기준은 ACGIH TLVs를 받아들인 것이며 노동시간이 48시간인 관계로 0.8을 계수를 곱해주어 평가한다. 급성 독성이 있거나 치명적인 건강영향을 미칠 수 있는 11가지 항목의 물질에 대해서는 한 순간이라도 그 이상으로 노출되어서는 안 되는 최대 농도를(Maximum Concentration)을 만들어 놓고 있다.
덴마크	542종의 화학물질과 20가지의 입자상 물질에 대한 OELs이 있다. 이 기준들은 시간 가중 평균에 기초해 초과해서는 안 되는 법적인 요구사항을 갖고 있다. 이와 같은 기준을 만들기 위해 ACGIH의 자료들이 활용되었으나 약 25 % 정도는 ACGIH의 것과 다른 기준이 적용되고 있다. 즉, ACGIH보다 좀 더 엄격한 기준을 적용시키고 있다.
핀란드	OELs이란 장기간 노출되었을 경우 최소한 일부의 노동자들에게 영향을 미칠 것이라고 여겨지는 농도수준이라고 정의되고 있다. ACGIH에서는 TLVs 이하에서는 거의 대부분의 노동자들이 건강에 영향을 받지 않을 것이라는 철학적 토대를 갖고 있는 반면에 핀란드에서는 기준 이상의 노출에서 건강에 영향을 받을 수 있다는 관점을 갖고 있다.
독일	독일에서는 MAK(Maximum Permissible Concentration)이라는 개념을 사용하고 있는데 이는 “작업환경에 존재하는 가스, 증기, 혹은 입자상물질이 현재의 과학수준에서 일반적으로 노동자들의 건강을 위협하지 않거나 원치 않는 불쾌감(annoyance)을 일으키지 않을 허용 가능한 최대 농도”라고 정의하고 있다. 이러한 조건 하에서 하루 8시간, 주당 40시간 혹은 8시간으로 운영되는 4번의 엄격한 교대근무에서 노출 수준이 허용가능하다. 독일에서 적용시키고 있는 기준은 기술적으로 혹은 경제적으로 실현가능한 것인지에 기초하지 않고 건강을 보호하기 위한 과학적인 근거에서 비롯된 것들이다.
아일랜드	ACGIH의 가장 최근 버전의 TLVs를 사용하고 있으나 법이나 규칙으로써 이용되고 있지는 않다.
필리핀	ACGIH의 1970년 TLVs를 사용하고 있다. 단, 염화비닐은 50 ppm, 그리고 납, 무기 화합물, 흙, 그리고 분진에 대해서는 0.15 mg/m³를 적용시키고 있다.

<표 III-5-1> 다양한 국가에서 적용시키고 있는 작업환경 노출기준(계속)

(자료원: Cook, 1986)

국가/지방	기준의 유형
네덜란드	MAC을 사용하고 있으며 이것들의 대부분은 ACGIH에서 준용하였으며 독일과 NIOSH의 자료를 함께 활용하였다. 네덜란드에서 적용시키는 MAC은 “현재의 과학수준 하에서 반복된 장기간의 노출, 심지어는 전체 고용기간동안 노출되더라도 일반적으로 노동자의 건강이나 그들의 자손들에게 영향을 미치지 않을 농도”로 정의된다.
러시아 연방	이전의 USSR에서는 가역적인 건강영향의 가능성까지를 예방하기 위한 목적으로 수많은 물질에 대한 기준을 설정했었다. 그러나 이런 기준은 너무 엄격해서 미국을 비롯한 다른 나라들에서는 현실적으로 적용하기 힘든 수준이었다. 사실, 경제적 혹은 기술적인 한계로 인하여 이런 기준을 적용한 나라들에서 그것을 준수할 수 있는 현실성은 거의 없다는 것이 일반적인 견해였다. 이런 기준은 제조업자들이 법적인 구속 하에 준수해야할 기준이거나 도덕적으로 이행해야 하는 기준이라기보다는 이상적인 목표를 가진 기준으로 기능할 수 있을 것이다.
미국	적어도 6개 정도의 기관에서 작업환경의 노출 기준을 권고하고 있다. ACGIH의 TLVs, NIOSH의 RELs(Recommended Exposure Limits), AIHA(American Industrial Hygiene Association)의 WEEL(Workplace Environment Exposure Limits), American National Standards Institute(EAL)의 Z-37 Committee에서 제안하는 작업 환경의 공기 중 오염물질에 관한 기준, APHA(American Public Health Association)의 작업환경 가이드, 그리고 지방 혹은 주정부 등에서 적용하고 있는 권고값 등이 그것이며 이 외에도 노동부에서 공표하고 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)에 의해서 집행되는, 따라서 법적인 구속력을 갖는 PEL(Permissible Exposure Limits)이 있다.

나. 노출기준의 정의 및 적용

본 연구에서는 각 나라에서 공인된 자료들을 바탕으로 하였으며 원문의 형태로 표시하였다. 노출기준(exposure limit)이란 용어는 1977년에 국제근로회의(International Labor Conference)에서 채택한 작업환경(Working Environment)에서 사용하기 시작하였다. 이제는 노출기준이란 용어가 일반적이 되어서 각 기관이나 나라에서 제시하고 있는 기준인 "Maximum Allowable Concentration(최대허용농도)", "Threshold Limit Values(허용기준)", "Permissible Level(허용수준)", "Limit Level(기준수준)", "Permissible Limit(허용기준)", "Time-Weighted Average(시간가중평균치)", "Industrial Hygiene Standards(산업위생기준)" 등의 용어를 대신하여서 폭 넓게 사용되고 있다.

노출기준을 결정하는 기준과 방법은 각 나라마다 다르며 보통 생물학적으로 기능적 변화가 없는 엄격한 기준인 과거 소련(USSR)의 최대허용농도(Maximum Allowable Concentration, MAC)와 이것 보다는 좀 더 탄력적으로 접근하여 가역적인 임상적 변화를 허용하는 미국 ACGIH의 노출기준(Threshold Limit Values, TLV) 범위에서 결정되고 있다. 이들 기준치는 8시간 노출, 정상적 작업강도와 기상조건, 독성효과가 제거가 되는 16시간 동안의 비노출 등을 가정하며 일반적인 작업조건이라고 할 수 있다. 과다 작업시간, 높은 고도에서의 작업, 힘든 육체적 작업, 과도한 열이나 습도와 같은 기상조건에서 호흡률 증가 등의 특별한 조건에서는 기준을 보정하여 적용하여야 한다. 또한 이들 기준을 산업위생의 복잡한 영역에 적용시키기 위해서는 산업위생학을 교육 및 훈련받은 전문가들이 설명하고 적용하여야 한다.

처음 노출기준을 설정할 때는 어떤 순간에서도 넘어서면 안 되는 최대허용농도 또는 천장값의 개념으로 설정되었다. 후에 ACGIH에서 일정수준을 넘어서거나 낮더라도 보상이 이루어지는 평균개념으로 접근하여 시간가중평균(time-weighted average)을 도입하였다. 이 개념은 TWA 수준이 작업환경 공기 중 유해인자의 수준을 모니터링 하는 가장 안정적인 방법이며, 효과적으로

작업 상황을 설명할 수 있다. ACGIH의 영향으로 대부분의 나라에서 허용농도(permissible concentration)를 최대농도의 개념이 아니라 시간가중평균농도 개념으로 적용하고 있다.

자극성, 마취성이 있거나 특별한 독성이 있어 빠르게 작용하는 물질(fast acting substance)의 경우는 TWA를 적용할 수 없다. 이러한 경우는 천장값(ceiling)과 같은 최대허용농도가 필요하다.

또 다른 형태의 노출기준은 특정시간 즉 단시간을 초과하지 않아야 하는(단시간 노출이 허용되는) 최고 기준인 단시간노출기준(Short-Term Exposure Limit, STEL)이다. TWA는 기준 이상에서 제한된 시간 동안의 최고 농도를 의미한다. 체코, 루마니아 등의 나라에서는 평균과 최고농도기준을 명시하고 있는데 특정 TWA 수준을 초과하는 경우 최대 농도까지 허용된다는 개념이다.

미국 OSHA의 노출기준은 몇 가지 명시한 예외를 제외하고는 작업시간 동안의 TWA를 나타낸다. IDLH(immediately dangerous to life and health) 농도는 사람이 비가역적인 건강영향과 탈출 시 건강손상 증상이 없이 30분 이내에 탈출할 수 있는 최대의 농도이다.

ACGIH에서는 전 세계에서 가장 영향력 있는 노출기준을 제시하고 있으며 거의 대부분의 나라가 작업환경 중 유해물질에 대한 노출기준을 설정할 때 그 개념을 기본적으로 적용하고 있다. 이에 따라 우리나라를 비롯한 세계 각국의 노출기준을 이해하기 위해서는 ACGIH에서 제시하고 있는 노출기준에 대한 정의와 개념들을 먼저 이해하여야 한다. ACGIH의 정의와 개념을 가지고 각국이나 기관의 노출기준에 접근한다면 큰 무리가 없으리라 생각되며, 각국이나 기관에서 노출기준 관련 용어의 정의에서 ACGIH에서 정의하고 있는 개념과 다른 사항이 있다면 세부 내용에서 이를 언급하거나 추가적으로 설명하였다.

(1) 정의

ACGIH에서는 노출기준으로 TLV(Threshold Limit Values)를 사용하고 있다. TLV의 정의는 “거의 모든 근로자가 건강상의 나쁜 영향을 받지 않고 매일 반복되어 노출될 수 있다고 믿어지는 공기 중 유해물질의 농도 또는 조건 (TLVs refer to airborne concentrations of substances and represent conditions under which it is believed that nearly all workers may be repeatedly exposed day after day without adverse health effects)”이라고 정의할 수 있다.

이러한 정의에는 다음과 같은 세 가지 원칙이 적용된다.

첫째, 대부분의 근로자가 나쁜 영향을 받지 않고 장시간 견딜 수 있는 유해물질의 농도나 물리적 인자의 수준이 존재한다.

둘째, 본 TLV는 권장농도로서 ACGIH “노출기준위원회”의 견해이다.

셋째, TLV미만이라고 해서 모든 근로자가 보호받는 것은 아니다. 감수성이 높은 소수 근로자는 노출기준으로 보호할 수 없다. 즉 개인감수성 차이로 인하여 소수는 불쾌감을, 소수는 기존 질병의 악화나 새로운 질병이 발생할 수 있다. 개인차(유전적 요인, 나이, 개인습관, 의학적 치료, 기존노출 등)로 인해 더 민감해지거나 반응성이 증대하여 TLV 이하에서도 보호받지 못할 수 있다.

또한 노출기준에 대한 정의를 하면서 담배의 유해성에 대한 경고도 하였는데 “흡연하는 것은 몇 가지 이유로 해로운데, 흡연은 작업장 유해인자의 생물학적 영향을 증대시킬 수 있고, 신체의 방어 기작을 감소시킬 수 있다”고 명시하였다.

(2) 종류

TLV의 종류에는 다음과 같이 크게 시간가중평균 노출기준(TWA), 단시간 기준(STEL), 천장값(Ceiling) 등 세 가지로 나누며, 예외적으로 단시간 상한기준 등이 있다.

가) 시간가중평균 노출기준(TLV-TWA, Time Weighted Average)

1일 8시간, 주 40시간 동안 거의 모든 근로자가 나쁜 영향을 받지 않고 노출될 수 있는 시간가중평균 농도(the time weighted average concentration for a conventional 8-hour workday and a 40 hour workweek, to which it is believed that nearly all workers may be repeatedly exposed, day after day, without adverse effects)로 대부분의 노출기준이 이에 해당된다.

나) 단시간노출기준(TLV-STEL, Short-Term Exposure Limit)

근로자가 ① 자극(irritation), ② 만성 또는 불가역적 조직 장애(chronic or irreversible tissue damage), ③ 사고 유발, 자기구조 능력저하, 및 작업능률 저하 등을 초래하기에 충분할 정도의 마취 등을 일으키지 않고 단시간(대개 15분) 계속하여 노출될 수 있는 농도이다. 단시간노출기준은 시간가중평균기준치(TLV-TWA)에 대한 보완 기준이며 유해물질의 영향이 주로 만성중독이지만 고농도일 때 급성중독을 일으킬 수 있는 물질에 적용된다. 즉 작업환경 측정에서 8시간 평균치는 TLV-TWA를 초과하지 않아야 하고, 비록 8시간 측정치가 노출기준을 초과하지 않았다고 하더라도 가장 고농도라고 생각될 때 측정하는 15분 측정치는 TLV-STEL을 초과하지 않아야 한다. 측정치가 TLV-TWA와 TLV-STEL사이에 있을 때는 노출시간이 15분 이하이어야 하고, 초과횟수가 1일 4회를 넘어서면 안 되고, 노출과 노출사이의 간격은 60분 이상이어야 한다.

다) 천장(최고농도)값 노출기준(TLV-C, Ceiling)

작업시간 중 잠시라도 초과되어서는 안 되는 농도이다. 실제로 순간농도측정은 불가능하므로 보통 15분간 측정한다. 이 노출기준은 자극성 가스(염산, 천장값노출기준 5 ppm)나 독성이 빠른 물질(HCN(시안화수소) C4.7ppm 등)에 적용된다.

라) Excursion Limit(단시간 상한기준)

TWA가 설정된 물질 중 독성자료가 부족하여 STEL이 설정되지 않은 경우

단시간 상한치를 설정하여 적용한다.

- 화학물질의 농도가 대수정규분포를 하고 있고 GSD(기하표준편차)를 1.5~2.0으로 가정

$$0 \sim GM(\text{기하평균}) \times GSD^{1.645} = \text{단시간 노출 자료의 95 \%}$$

$$GSD = 2.0 \text{ 이라면 } 2.0^{1.645} = 3.13$$

$$\text{따라서 } 3 \times TLV-TWA \leq 30 \text{ minutes}$$

$$5 \times TLV-TWA : \text{No exposure}$$

(3) 피부흡수 주의

노출기준에 피부(skin) 표시가 되어 있는 물질은 피부 흡수에 대한 주의를 하여야 한다. “피부” 표시가 첨가된 물질은 공기 중 농도를 측정하는 것만으로는 근로자의 노출 실태를 파악하는데 불충분하며 가능한 한 생물학적 지표가 되는 물질도 병행하여 측정해야 하며 피부흡수에 대한 예방대책을 세워야 한다. 이런 물질은 직접 피부에 접촉되어 흡수되기도 하고, 증기 상태일 때에도 점막이나 눈을 통하여 흡수된다. 또한 용액이나 혼합물로 존재할 때에도 피부로 흡수된다. 피부표시는 피부흡수에 대한 주의를 주기 위함이며 피부자극, 피부질환 및 감작 (sensitization) 등과는 관계가 없으나 피부상처는 흡수에 많은 영향을 준다. 현재 근로자의 피부흡수에 관한 자료는 충분하지 않으나 다음과 같은 물질에 대하여 피부표시를 첨부한다.

- 손이나 팔에 의한 흡수가 몸 전체 흡수에 지대한 영향을 주는 물질 (특히 노출기준이 낮은 물질이 여기에 해당됨)
- 급성 동물실험결과 피부흡수에 의한 치사량 (LD₅₀)이 비교적 낮은 물질(즉 1000 mg/체중(kg) 이하일 때)
- 반복하여 피부에 도포했을 때 전신작용을 일으키는 물질

- 옥탄올-물 분배계수(octanol-water partition coefficient)가 높아서 피부흡수가 용이하고 다른 폭로경로에 비하여 피부흡수가 전신작용에 중요한 역할을 하는 물질

(4) 노출기준 적용 시 주의사항

노출기준을 적용할 때에는 다음과 같은 사항에 주의하여야 한다.

- 대기오염 평가 및 관리에 적용불가
- 정상작업시간을 초과한 노출에 대한 독성평가에는 적용할 수 없음.
- 기존의 질병이나 육체적 조건을 판단하기 위한 척도로 사용될 수 없음.
- 작업조건이 미국과 다른 나라에서는 그대로 적용할 수 없음.
- 안전과 위험농도를 구분하는 경계선이 아님.
- 독성강도를 비교할 수 있는 지표가 아님.
- 경험 있는 산업위생가가 적용하여야 함.

(5) 혼합 유기용제의 평가

대부분의 TLV는 단일 화학물질에 대해서 설정되었다. 그러나 많은 작업환경에서 근로자들은 동시에 또는 연속적으로 한 가지 이상의 다양한 화학물질에 노출되고 있다. 이런 작업환경에서 근로자가 유해영향을 받지 않고 작업할 수 있도록 다음과 같은 기준을 권고하고 있다.

화학물질의 상호작용은 상가 작용 (additive, 각 물질이 독립적으로 작용할 때의 생물학적 영향 정도가 더해져서 나타나는 경우), 상승작용(synergistic, 각 물질이 독립적으로 작용할 때의 생물학적 영향 정도가 더한 것 이상으로 나타나는 경우), 강화작용(potentiation, 원래 독성이 없는 물질을 어느 정도 독성을 가지고 있는 물질과 혼합하면 그 독성이 훨씬 강해지게 되는 경우), 길항작용(antagonism, 동일한 생리적 기능에 길항작용을 나타낼 경우) 등으로 나타날 수 있다.

ACGIH에서는 혼합물에 대한 상가 작용에 적용하여 건강을 보호할 수 있는 기준을 제시하였다.

i) 가(additive) 모델

$$\text{노출지수}(EI) = \frac{C_1}{TLV_1} + \frac{C_2}{TLV_2} + \dots + \frac{C_n}{TLV_n}$$

만일 $EI > 1$: TLV(노출기준) 초과

$EI \leq 1$: TLV(노출기준) 미만

ii) 액체 혼합물일 경우

$$\text{혼합물의 노출기준}[mg/m^3] = \frac{1}{\frac{f_a}{TLV_a} + \frac{f_b}{TLV_b} + \dots + \frac{f_n}{TLV_n}}$$

f_n : 액체 혼합물에서의 각 성분 중량구성비

TLV_n : 해당물질의 TLV, 반드시 단위가 mg/m^3 일 것.

다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 각국의 노출기준

(1) 노출기준 요약

세계 각국의 디메틸하이드라진에 대한 노출기준은 다음 <표 III-5-2>과 같다. 시간가중평균 기준을 제시하고 있는 국가 및 기관은 우리나라, OSHA, ACGIH, 스웨덴, 프랑스 등이다. 스웨덴에서만 단시간노출기준을 제시하고 있다. 천장값 기준은 발암물질(Potential occupational carcinogen)로 간주하여 TWA나 STEL 값은 제시하지 않고 있는 NIOSH에서만 제시하고 있다.

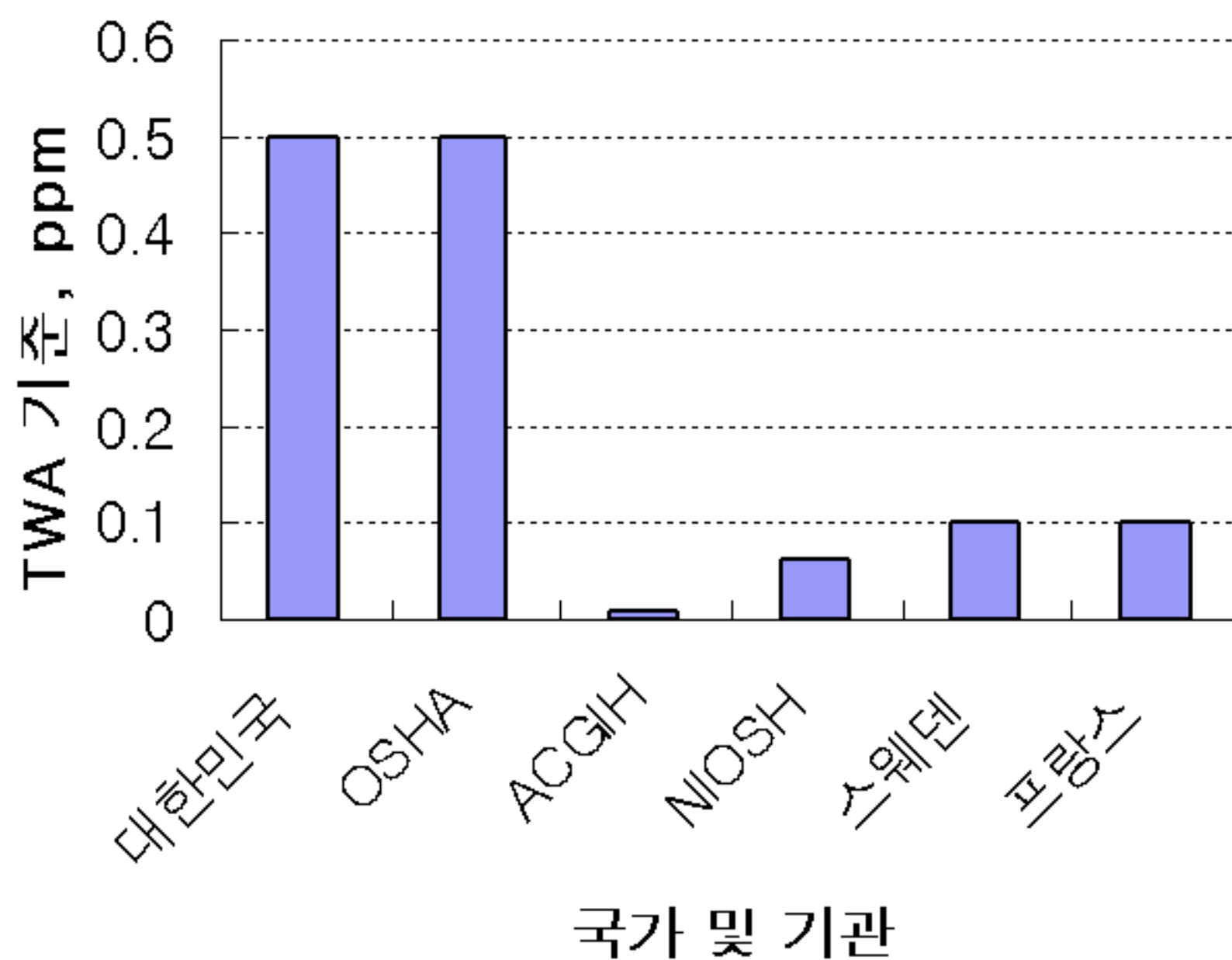
시간가중평균 기준인 TWA의 경우 [그림 III-5-2]에서 보는 것처럼 세 가지 종류로 ACGIH에서 가장 낮은 0.01 ppm을 제안하고 있고, 우리나라와 OSHA에서 ACGIH보다 약 50배 높은 0.5 ppm을 제시하고 있으며, 스웨덴과 프랑스

에서 ACGIH 대비 약 10배 높은 0.1 ppm을 제안하고 있다. NIOSH에서 제안하고 있는 노출기준 0.06 ppm은 NIOSH 자체의 발암물질에 대한 원칙을 적용하여 측정 가능한 수준이라고 할 수 있다.

<표 III-5-2> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 각 나라 및 기관의 노출 기준 (2005년 기준)

국가 및 기관		노출기준, ppm			피부 및 발암성	기타
		TWA	STEL	Ceiling		
대한민국		0.5 (1mg/m ³)	-	-	피부, A2	
미국	OSHA(PEL)	0.5 (1mg/m ³)	-	-	skin	
	ACGIH(TLV)	0.01 (0.025mg/m ³)	-	-	A3, skin	자극, 종양형성 (neoplasia)
	NIOSH(REL)	-	-	0.06 (0.15mg/m ³), 120분	Ca	IDLH: 15 ppm
일본	노동성	-	-	-	-	
	산업위생학회	-	-	-	Group 2B	
독일(MAK)		-	-	-	MAK-2, skin,	Sh(감작)
스웨덴(OEL)		0.1	0.2	-	Ca, skin	Group B*
영국(OEL)		-	-	-	-	
프랑스(OEL)		0.1 (0.2 mg/m ³)	-	-	C2, AC	

PEL : Permissible Exposure Limits, REL : Recommended Exposure Limits,
OEL : Occupational Exposure Limits, MAK : Maximum Concentration Values,
TLV : Threshold Limit Values, Ca : Carcinogen
Group B* : 물질 취급시 반드시 안전보건관리자의 입회와 허가를 받아야 함.



[그림 III-5-2] 국가 및 기관별 TWA 기준(2005년).

NIOSH에서 제안하고 있는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 IDLH 기준을 보면 50 ppm에서 15 ppm으로 더 엄격하게 바뀌었다(1995년 개정).

(2) 1,1-디메틸하이드라진의 발암성

1,1-디메틸하이드라진의 발암성에 대한 각 국 및 기관의 분류 체계는 <표 III-5-3>와 같이 나타낼 수 있다. 미국 OSHA와 미국 환경보호청(EPA, U.S. Environmental Protection Agency)을 제외한 여러 국가나 기관에서 발암성이 있는 것으로 동의하고 있다. 발암물질로 받아들이고 있는 기관에서는 주로 인체에서의 발암 효과가 아직 밝혀지지 않았기 때문에 동물 발암물질로 분류하고 있다.

현재 1,1-디메틸하이드라진의 발암성은 주로 동물실험을 통해서 확인한 단계이며 아직까지 1,1-디메틸하이드라진과 관련한 인체 정보는 이용할 수 없다.

1,1-디메틸하이드라진의 발암성은 처음으로 마우스와 랫트를 대상으로 한 흡입시험에서 암이 발생했다고 보고됐다. 또 다른 랫트를 대상으로 한 실험에서는 흡입 노출한 결과 피부, 폐, 췌장(pancreas), 뇌하수체(pituitary) 등에서 종양이 발생하였다고 보고하였다. 햄스터와 마우스를 대상으로 1,1-디메틸하이드라진을 경구 투여한 결과 발암효과가 나타났으며, 특히 마우스의 경우 폐, 신장, 간 등에서 종양이 발생했다. 또한 마우스의 경우는 여러 기관에서 혈관육종(angiosarcomas)이 발생했다.

<표 III-5-3> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 각 국 및 기관의 발암성 표시

A1	1		Ca	A1	Ca	K	1	1	Ca	1		
	2	A		A2				2				
		B		A3				3		A		
	3			A4			2	A		B	2	
	4			A5				B		4		
A2	5							5			3	
대한 민국	IARC	OSHA		ACGIH		NIOSH	NTP	일본		독일	스웨 덴	프랑 스
		미국										

우리나라 노동부의 경우 1986년 노출기준 설정 당시 미국 ACGIH의 분류기준을 적용하여 발암성을 A1(발암성 물질로 확인된 물질)과 A2(발암성 물질로 추정되는 물질)의 두 단계로 나누고 있으며 1,1-디메틸하이드라진을 A2에 해당하는 물질로 분류하고 있다.

가) IARC

국제암연구센터(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 화학물질의 발암성과 관련하여 역학연구와 동물실험에 기초한 발암성의 정

도에 따라 다음과 같이 분류한다. 다음 <표 III-5-4>과 같이 4단계로 나누고 있다.

<표 III-5-4> 국제암연구센터(International Agency for Research on Cancer, IARC)의 발암성 분류

분 류		설 명
제1군		인체에 대한 확실한 발암물질(carcinogenic to humans)
제2군	A	발암 가능성이 높은 물질 (probably carcinogenic to humans)
	B	발암 가능성이 있는 물질 (possibly carcinogenic to humans)
제3군		인체 발암물질로 분류하지 않는 물질 (Unclassifiable as to carcinogenic to humans)
제4군		인체에 암을 일으킬 가능성이 없는 물질 (probably not carcinogenic to humans)

제1군(Group 1)은 인체에 대한 확실한 발암물질로 노출 상황이 화학물질 노출로 인해 인체에 암이 발생한 충분한 증거가 있는 경우이다. 예외적으로 인체 발암성에 대한 충분한 증거는 없지만 실험동물에 대한 발암성의 충분한 증거가 있으며 그 물질의 발암기작이 확실하며 동물실험에서는 충분한 증거가 있고 노출된 사람에게서 연관된 발암기전을 작용한다는 유력한 증거가 있는 물질 등을 말한다.

제2A군(Group 2A)은 인체에 암을 일으킬 가능성이 큰 물질이다. 인체 발암성에 대해서는 제한된 증거(limited evidence)가 있는 반면 동물실험에서는 발암성에 대한 충분한 증거(sufficient evidence)가 있는 물질이다. 또한 인체에 대한 발암성 증거는 불충분하나 동물실험에서 발암성에 대한 확실한 증거가 있고 인체에서도 동일한 발암기전을 나타낸다는 유력한 증거가 있는 물질에도

적용된다. 예외적으로 인체에 대한 발암성에 제한된 증거를 근거로 물질, 혼합물, 노출환경 등을 2A군으로 분류할 수 있다. 제2B군(Group 2B)은 인체에 암을 일으킬 가능성이 있는 물질이다. 인체에 암을 일으킨다는 제한된 증거가 있으며 실험동물에서 충분하지는 않지만 증거가 있는 물질, 혼합물, 노출상황 등이다. 또한 인체 발암성에 대해서는 충분한 증거가 없지만 실험동물에게서는 충분한 증거가 있는 물질도 해당된다. 예를 들면 인체발암성에 대해서는 불충분한 증거(inadequate evidence)가 있으나 다른 관련 자료의 도움으로 실험동물에서는 제한된 증거가 있는 물질, 혼합물, 노출상황 등이 이에 해당된다.

제3군(Group 3)은 인체에 발암성이 있다고 구분할 수 없는 물질로 인체에 대한 발암증거는 불충분(inadequate)하고 동물실험에서도 불충분하거나 제한된 증거일 경우(inadequate or limited evidence)이다. 예외적으로 인체에 대한 발암성 증거는 불충분하나 동물실험에서는 충분한 증거가 있으나 동물에서 물질의 발암 기전이 인체와 다르다는 유력한 증거가 있는 경우에도 이 군에 분류한다. 또한 발암성과 관련하여 다른 군에 속하지 않는 물질도 이에 해당한다.

제4군(Group 4)은 인체에 암을 일으킬 가능성이 없는 물질로 인체와 실험동물에 대한 발암성을 지지할 만한 증거가 없는 물질이다. 인체 발암성에 대한 불충분한 증거가 있고 실험동물에서의 발암성 증거가 없고 다른 광범위한 관련 자료들도 이를 지지하는 물질들로 이에 속한다.

IARC에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대해서 동물 실험을 통해 발암성에 대한 충분한 증거가 있다고 판단하여 인체에 암을 일으킬 가능성이 있는 Category 2B인 발암 가능성이 있는 물질(possibly carcinogenic to humans) 분류하고 있다.

나) ACGIH

ACGIH에서는 물질의 발암성과 관련하여 다음 <표 III-5-5>와 같이 5단계로 나누고 있다.

A1은 확인된 인체 발암 물질로 역학적 및 임상적으로 인체에 대한 발암성이 확인된 물질이다.

A2는 의심되는 인체 발암 물질이다. 인체 관련 자료들은 상당한 신뢰성으로 받아들여지지만 확인된 인체 발암 물질(A1)로 분류하기에는 부족하거나 대립이 있는 경우 또는 실험동물을 대상으로 인체 노출과 관련이 있는 투여 경로, 부위, 조직형태, 기전으로 발암성이 있는 물질이 해당된다. 인체 발암성에 있어서는 증거가 제한되고 실험동물에서의 인체와 관련한 발암성에 대한 증거가 충분할 때 A2를 우선적으로 사용한다.

A3은 인체 관련성은 알려지지 않았으나 동물에게 암을 일으킨다고 확인된 물질이다. 인체 노출과는 상관이 없는 투여 경로, 부위, 조직형태, 기전으로 실험동물을 대상으로 상대적으로 높은 양(dose)에서 암을 발생시키는 물질이다. 활용 가능한 역학조사 결과에서는 노출된 사람들에서 암 발생 위험성이 증가하지 않는 것으로 확인된다. 현재까지 밝혀진 자료에서는 특별한 노출 수준이나 경로를 제외하고는 인체에게서 암을 발생시키지 않는 물질이다.

A4는 인체 발암물질로 분류할 수 없는 물질이다. 인체에 대한 암도 일으킬 수 있을 것 같으나 자료의 부족으로 결론적으로는 평가할 수 없는 물질들이다. 시험관이나 동물실험에서도 다른 군으로 분류할 수 있는 발암성에 대한 근거를 제시할 수 없다.

A5는 인체에 대한 발암성이 의심되지 않는 물질이다. 사람들을 대상한 역학조사 결과를 근거로 인체 발암물질로 의심되지 않는 물질로 역학조사는 충분히 긴 시간 동안 추적 조사되었고, 노출경력에 신뢰성이 있으며, 충분히 높은

양이며, 적절한 통계적 검정력으로 유의한 인체에 대한 발암 위험성이 없다고 결론을 내리거나, 또는 실험동물에서 발암성이 없다는 증거들이 물질 작용기전에 의해서도 뒷받침이 되는 물질들이다.

ACGIH에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대해서 인체 관련성은 알려지지 않았으나 동물에게서 암을 일으킨다고 확인된 물질로 간주하여 A3로 분류하고 있다. A1부터 A3에 해당하는 물질에 대해서는 근로자들이 TLV 이하보다도 가능한 낮은 수준으로 노출되도록 해야 한다고 ACGIH에서는 권고하고 있다.

<표 III-5-5> ACGIH의 발암성 분류 체계

분류	내용	물질의 예
A1	확인된 인체 발암 물질(Confirmed human carcinogen)	Arsenic(As), Asbestos, Benzene, CTPV, Beryllium(Be), Cr ⁶⁺
A2	의심되는 인체 발암 물질(Suspected human carcinogen)	Benzidine, Benzo(a)pyrene, 1,3-Butadiene, Cadmium(Cd), CCl ₄
A3	인체 관련성은 알려지지 않았으나 동물 발암이 확인된 물질(Confirmed animal carcinogen with unknown relevance to Human)	Acetaldehyde, Lead(Pb)
A4	인체 발암 물질로 분류할 수 없는 물질(Not classifiable as a human carcinogen)	Acetone, Carbon black, Toluene, Xylene
A5	인체 발암 물질로 의심되지 않는 물질(Not suspected as a human carcinogen)	니켈 원소

다) NIOSH, NTP, OSHA 등

미국 NIOSH에서도 발암성에 대하여 물질의 발암성이 있는 경우에 "Ca(Carcinogen, 발암물질)"이라고 분류하며, 더 이상은 세부적으로 분류하지 않는다. NIOSH에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대해 "Ca" 표시를 하여 발암물질로 분류하고 있다. 미국 국립독성프로그램(National Toxicology Program, NTP)에서는 물질의 발암성을 인체 발암성과 관련하여 충분한 증거가 있는 Category K(인체발암물질)와 인체 발암성과 관련하여 제한된 증거가 있는 Category RAC(Reasonably Anticipated to be a Human Carcinogen)로 나누고 있다. NTP에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대해 인체에 대해 암을 일으킬 것으로 예측되는 물질인 Category RAC로 분류하고 있다.

그러나 미국에서 노동성 산하의 정부기관으로서 별칙을 부여할 수 있는 규제기준을 제시하고 있는 즉, 행정력이 있는 OSHA에서는 발암성과 관련하여 아무런 권고를 하고 있지 않으며 1989년에 제출한 공기 중 오염물질에 대한 노출기준에서도 1,1-디메틸하이드라진에 대한 발암성은 고려하지 않고 있다.

라) EPA

또한 미국 EPA에서도 물질에 대한 발암성에 대해서 권고하고 있다. EPA에서 제안하고 있는 물질의 발암성에 대한 체계는 다음 <표 III-5-6>와 같다. 분류 체계에서는 크게 A에서 E의 5단계로 나누고 있으며, Class A가 인체 발암물질로 확인된 물질이며, Class B는 인체 발암 가능성이 있는 물질로 인체 발암 관련 자료의 신뢰성을 기초로 B1과 B2 등으로 나누고 있다. 이러한 분류 체계와 함께 EPA에서는 1996년 새로운 가이드라인(Guidelines for Carcinogen Risk Assessment)에서 종양 효과 등의 자료를 이용하여 인체에 대한 발암 가능성을 충분히 설명할 수 있을 때 "K", "L" 등이 더 유용한 표시가 될 수 있다고 판단하고 <표 III-9-7>과 같이 분류했다. 그 뒤 위험성평가 등의 기법이 더 세밀해지고 설명력을 얻게 되자 1999년에 <표 III-5-8>과 같은 분류 체계를 제안하게 되었다.

EPA에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대해 발암물질로 분류하지 않고 있다. 분류하지 않는 이유는 처음 실험동물을 통하여 발암효과를 관찰한 실험에서 사용한 물질이 구성성분에 오염물질이 포함되어 있어서 발암성이 1,1-디메틸하이드라진에 의한 것이라고 판단하기 어렵다는 의견을 견지하고 있다.

<표 III-5-6> 미국 EPA의 발암성 분류 체계(1986년)

분류	내용
A	역학적(疫學的)연구에 근거해 볼 때 사람에게 발암성(human carcinogen)
B	2종류 이상의 실험동물에서 종양 유발(probable human carcinogen)
B ₁	어떤 역학적인 조사 연구에 근거해 볼 때 사람에게 대한종양 유발 가능성이 상당히 크다고 여겨지는 경우
B ₂	실험동물에서는 충분한 증거가 있으나 인체에 대해서는 증거가 불충분한 경우
C	한 종류의 실험동물에서 종양 유발(possible human carcinogen)
D	증거불충분으로 인체 발암물질로 볼 수 없음(not classifiable as to human carcinogenicity)
E	인체에 대한 발암성 증거 없음(no evidence of carcinogenicity)

<표 III-5-7> 미국 EPA의 발암성 분류 체계(1996년)

분류	내용
K	확실한 실험 자료와 역학적인 근거에 의해서 사람에게 대한 발암성이 알려져 있는 물질(Known Human Carcinogen)
L	사람에 대한 발암성의 가능성이 높거나 있는 물질(Likely to Produce Cancer in Humans)
CBD	발암성여부를 결정하지 못하는 물질(Cannot Be Determined)
NL	사람에게 발암성이 없다고 추정되는 물질(Not Likely to be Carcinogenic in Humans)

<표 III-5-8> 미국 EPA의 발암성 분류 체계(1999년)

분류	내용
CaH	역학조사를 통해서 노출과 암 간의 인과관계를 설명할 수 있는 인체 발암물질(Known Human Carcinogenic to Human)
L	종양 등의 이용할 만한 자료를 통해서 인체에 대한 잠재적 발암성이 있는 물질(Likely to be Carcinogenic to Humans)
S	인체나 동물에 대한 자료를 통해 인체의 발암성을 제안할 수 있음(Suggestive Evidence of Carcinogenicity, but Not Sufficient to Assess Human Carcinogenic Potential)
I	인체에 대한 발암성을 평가하기에는 자료가 부족함(Data are inadequate for an Assessment of Human Carcinogenic Potential)
NL	사람에게 발암성이 없다고 추정되는 물질(Not Likely to be Carcinogenic to Humans)

마) 일본 및 유럽 국가

기타 외국의 경우 노출기준 목록에서 빠져있는 영국을 제외하고 대부분의 나라에서 1,1-디메틸하이드라진에 대해 발암성을 명시하고 있다.

일본에서는 1,1-디메틸하이드라진을 인체 발암 가능성이 있는 물질인 Category 2B(Possibly Carcinogenic Humans)로 분류하고 있다. 일본에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준을 제정하지는 않고 있으나 발암성에 대한 기준만을 제정하고 있다. 일본의 산업위생학회(JSOH, Japan Society for Occupational Health)의 산업보건 관련 발암물질 분류 체계는 <표 III-5-9>에서 보듯이 국제암연구센터(International Agency for Research on Cancer)의 분류 체계와 유사하다. 인체에 대한 발암성이 확정된 Group 1과 증거가 부족하여 발암성의 가능성이 있을 것으로 추정하고 있는 Group 2로 나누며 다시 Group 2는 발암성에 대한 증거 정도에 따라 인체에 암을 일으킬 수 있는 가능성이 큰(probable) A와 그 가능성이 있는(possible) B로 세부적으로 2개의 분류 체계로 나눈다. JSOH의 발암물질 분류위원회(Carcinogen Classification Subcommittee)에서는 위의 체계 하에서 몇 가지 물질에 대한 정보들을 취합하여 발암물질들을 분류하고 있으며 1,1-디메틸하이드라진의 경우 Group 2B에 속하여 충분한 증거는 없지만 인체에 암을 일으킬 가능성이 있는 물질로 인정하고 있다.

<표 III-5-9> 일본 산업위생학회의 발암물질 체계

분류		내 용	물질의 예
Group 1		인체에 대해 발암성이 있음 (carcinogenic to human).	석면, 벤젠, 비닐클로라이드(vinyl chloride) 등
Group 2	A	인체에서 암을 일으킬 수 있는 물질 (probably carcinogenic to human): 암을 일으킨다는 좀 더 충분한 증거가 있음.	아크릴아미드(Acrylamide), Benzo(a)pyrene 등
	B	암을 일으킨다는 증거들이 충분하지 않아 암을 일으킬 가능성이 있는 물질 (possibly carcinogenic to human)	아세트아미드(Acetamide), 스티렌(Styrene) 등

독일에서는 발암성과 관련하여 다음 <표 III-5-10>와 같이 MAK-1부터 MAK-5까지 5단계로 나타내며, 1,1-디메틸하이드라진의 경우는 장기간 동물 실험을 통해서 확실한 발암성이 있거나 제한된 증거가 있지만 역학조사를 통해서 유의할만하게 발암 가능성이 높다고 판단하여 사람에게서도 그 가능성이 유추되는 물질로 간주하여 MAK-2로 분류하고 있다. 발암물질 허용농도는 MAK-List에는 따로 나타내지 않고 기술적 안내농도(Technical Guidance Concentration, TRK)로 정하고 있다.

<표 III-5-10> 독일 MAK의 발암성 분류 체계

분류	내용
MAK-1	사람에 대한 발암성이 확인된 물질
MAK-2	동물실험에서는 확실히 발암성이 있는 것으로 입증되었으며 사람에게서도 그 가능성이 유추되는 물질
MAK-3	사람에 대한 발암성에 대한 자료가 불충분한 물질
MAK-4	사람에 대한 발암성은 없을 것으로 추정되며, 발암기전상 유전독성효과는 없으나 기타 세포증식이나 분화로 인한 발암성 영향은 있는 물질
MAK-5	발암강도가 너무 낮기 때문에 사람에게 대한 발암가능성은 희박하나, 유전독성 효과에 의해 발암기전이 있는 물질

스웨덴에서는 발암물질인 “Ca(Carcinogen)”으로 분류하고 있으며 프랑스의 경우는 물질의 발암성과 관련하여 크게 세 가지 단계로 나누며 1,1-디메틸하이드라진은 2단계로 분류하고 있다.

(3) 미국

미국에서는 작업환경 중 건강에 해로운 화학물질에 대한 노출기준을 설정하고 있는 곳은 행정력이 있는 OSHA와 자발적으로 조직되어 이윤을 추구하지 않는 단체인 ACGIH, 정부의 연구기관인 NIOSH 등이다.

가) OSHA : PEL(Permissible Exposure Limits)

미국 OSHA(Occupational Safety and Health Administration, 산업안전보건청)는 NIOSH와 함께 1970년 산업안전보건법(Occupational Safety and Health Act of 1970)에 의해 설립되었다. 산업보건과 관련하여 우리나라의 노동부처럼 미국 내에서 행정력이 있는 기관이다. 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 2100여 명의 감독관과 불평/차별 조사관, 기술자, 의사, 교육자, 법률가, 기타 기술 및 지원 인력으로 구성되어 있다.

OSHA에서는 작업장 공기 중 유해물질에 대한 노출기준으로 산업안전보건법에 의거하여 제정 공포한 PEL(Permissible Exposure Limits)이 있다. 1971년에 OSHA가 설립된 후에 약 2년에 걸쳐 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 노출기준(Threshold Limit Values, TLV)과 미국표준협회(American National Standards Institute, ANSI)의 기준을 비교 검토하였으며 이를 기초로 OSHA의 노출기준으로 채택하여 연방정부규정(Code of Federal Regulations, CFR) 1910.1000 조항의 PEL 값으로 설정되게 되었다. OSHA에서는 일반 산업체를 대상으로 공기 중 오염물질에 과다 노출로 인한 건강상의 악영향으로부터 근로자의 건강을 보호하기 위하여 규제하기 시작하였다. 법규 제정 역사의 미소한 차이로 인하여 건축과 해상산업의 노출기준과 약간의 차이가 있다. 이 기준은 모든 기업체가 반드시 지켜야 할 의무가 있는 미국 연방정부가 적용하는 공식적인 기준이라고 할 수 있다.

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.

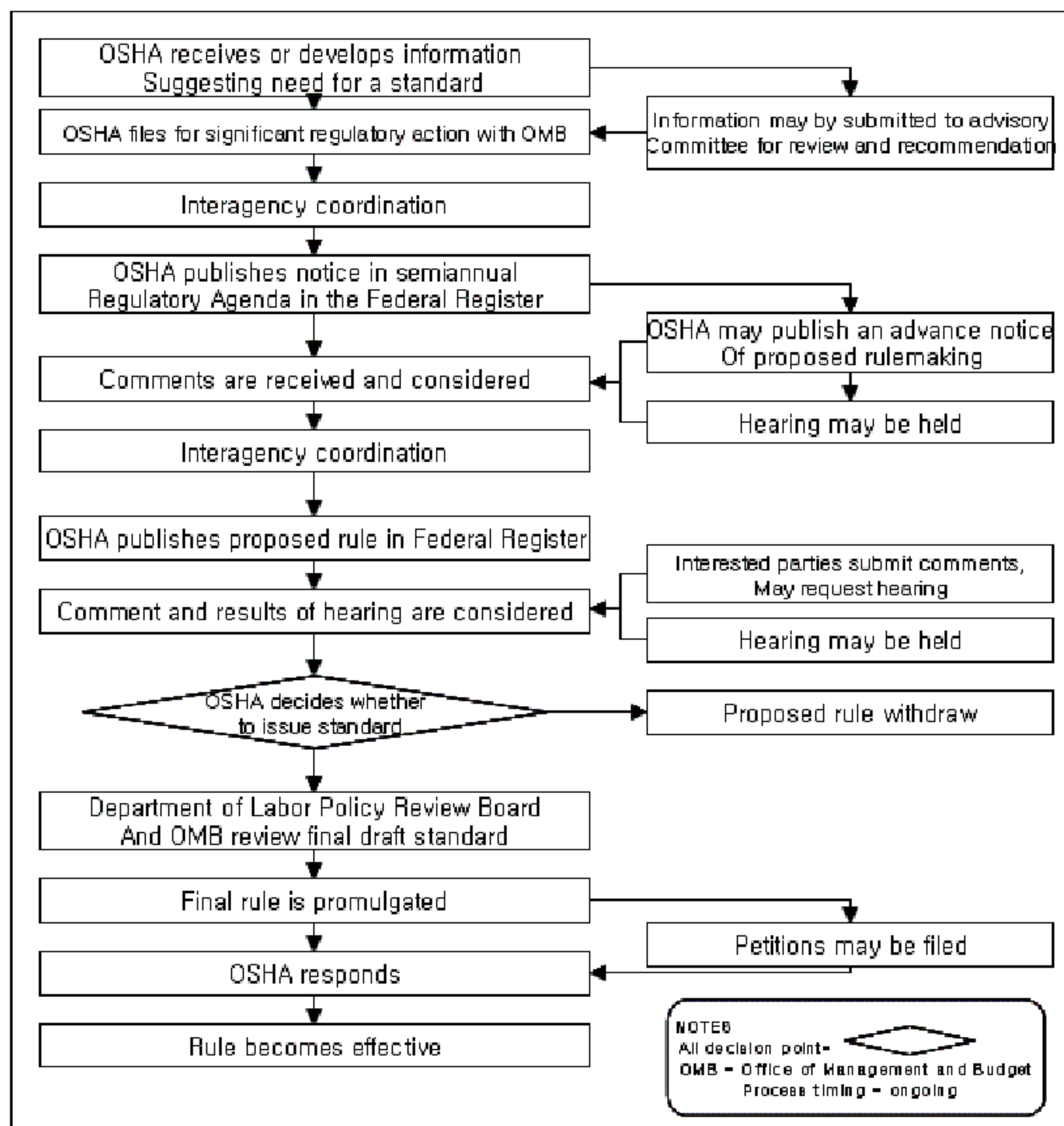
1980년대에 들어와 OSHA의 노출기준이 시대에 뒤떨어진 것으로 판단되자 1988년에 420종 화학물질의 PEL에 대한 개정을 제안하게 되었다. 새로운 PEL은 좀 더 최신의 과학적 정보를 근거로 하기 때문에 과거의 기준보다는 근로자의 건강을 더 많이 보호할 수 있을 것으로 기대되었다. OSHA는 효율적으로 기준을 제정하기 위해서 ACGIH와 NIOSH의 권고치들을 활용하였다. 수차례의 청문회와 의견수렴을 거쳐서 OSHA에서는 최종안으로 212개 물질들에 대한 PEL을 더 강화시키고 1개의 물질의 기준은 더 완화시키고 이전에는 규정되지 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). OSHA의 PEL은 ACGIH와는 달리 노출기준 개정에 있어 훨씬 까다롭다. 미국 AIHA의 1993년 세계 각국의 노출기준 제정 시스템에 대한 조사 보고에 따르면 OSHA의 PEL의 제정 체계는 다음 [그림 III-5-3]와 같다.

그러나 이 기준에 대한 산업체와 노동계의 법률 소송(American Federation of Labor and Congress of Industrial Organizations v. Occupational Safety and Health Administration)을 통해 법원으로부터 각 물질의 건강영향에 대해 좀 더 광범위한 논의가 필요하므로 비발암물질에 대한 정량적 위험성 평가를 수행하고 그 실행가능성을 좀 더 자세하게 분석할 것을 선고받았다. 공기 중 오염물질에 대한 개정안이 OSHA로 반송되었으며, 현재 미국에서는 법적으로 1970년대의 노출기준이 효력을 갖고 있다.

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 노출기준은 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 위해물질에 관한 노출기준을 만들어 쓰고 있으며 이는

ACGIH의 TLV에 기초한 것들이 많다.

PEL에서 사용되고 있는 TWA, STEL, C의 개념은 ACGIH에서 정의한 개념을 그대로 적용하고 있다. 발암성에 대해서는 물질의 발암성이 있는 경우에만 “Ca(Carcinogen, 발암물질)”이라고 분류하며, 더 이상은 세부적으로 분류하지 않는다.



[그림 III-5-3] OSHA 노출기준 설정 절차.

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.

현재 적용되고 있는 OSHA의 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준은 다음 <표 III-5-11>과 같다. 이에 따르면 광산, 일반산업체, 건축업, 조선소 등과 연방기준으로 8시간 시간가중평균(TWA) 기준값으로 0.5 ppm(1 mg/m³)과 함께 피부(skin) 표시를 권고하고 있다. 이 기준에 대한 근거는 미국 ACGIH에서 1960년부터 1994년까지 8시간 시간가중평균 기준으로 적용한 것을 근거로 하고 있다.

1,1-디메틸하이드라진에 대한 설정 근거로 1960년부터 1994년까지 ACGIH에서 권고하였던 노출기준인 TLV-TWA 0.5 ppm의 설정 근거에 OSHA에서 동의하여 이를 PEL값으로 설정하고 있다. 당시 ACGIH에서는 1,1-디메틸하이드라진의 노출기준으로 설정한 근거로 Reinhart 등의 연구결과를 제시하고 있다(Reinhart 등, 1960). 이 실험에서 개를 대상으로 빈혈기, 체중감소, 혼수상태를 야기하는 농도의 1/10에 해당하는 농도를 작업환경 중 근로자 보호를 위한 기준으로 설정하였다. 또한 개에게서 피부흡수가 관찰되었고, 마우스에서는 혈관과 폐에서 암종이 발견되어 피부와 A2(인체에게서 암을 일으키는 것으로 의심되는 물질) 표시를 하게 되었다. 단시간노출기준인 STEL에 대해서는 좀 더 많은 독성학적 자료와 산업위생 경험 자료를 통해서 정량화를 보완하여야 하기 때문에 따로 기준을 권고하지는 않았다.

OSHA에서 공기 중 오염물질에 대한 노출기준에 대해 1989년 개정안을 제
안할 때 1,1-디메틸하이드라진은 PEL 값이 변하지 않는 160가지 물질 중 한
가지였다.

<표 III-5-11> 미국에서 행정적으로 적용되고 있는 1,1-디메틸하이드라진에
대한 기준 및 근거

적용분야	기준	근거
MSHA* (광산)	0.5 ppm (1 mg/m ³) (skin)	The Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) booklet issues by American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Cincinnati, OH, 1996 Volume(issue)/page/year: 3,91,1971
OSHA PEL (일반산업체)	0.5 ppm (1 mg/m ³) (skin)	CFRGBR Code of Federal Regulations. (U.S. Government Printing Office, Supt. of Documents, Washington, DC 20402) Volume(issue)/page/year: 9,1910.1000,1994
OSHA PEL (건축업)	0.5 ppm (1 mg/m ³) (skin)	CFRGBR Code of Federal Regulations. (U.S. Government Printing Office, Supt. of Documents, Washington, DC 20402) Volume(issue)/page/year: 29,1926.55,1994
OSHA PEL (조선소)	0.5 ppm (1 mg/m ³) (skin)	CFRGBR Code of Federal Regulations. (U.S. Government Printing Office, Supt. of Documents, Washington, DC 20402) Volume(issue)/page/year: 29,1915.1000,1993
OSHA PEL (연방기준)	0.5 ppm (1 mg/m ³) (skin)	CFRGBR Code of Federal Regulations. (U.S. Government Printing Office, Supt. of Documents, Washington, DC 20402) Volume(issue)/page/year: 41,50-204.50,1994

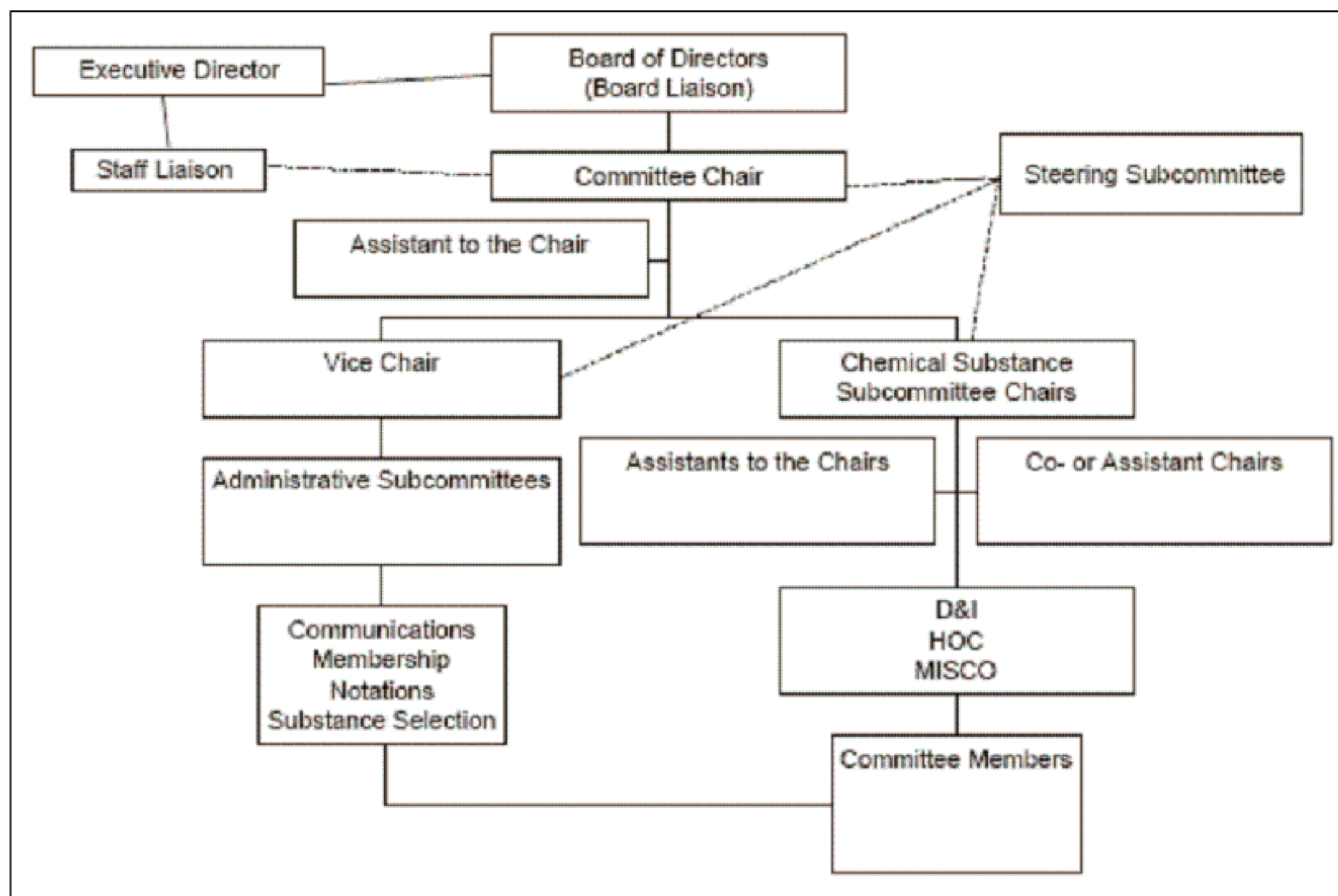
* MSHA: Mine Safety and Health Administration(미국 광산안전보건청)

나) ACGIH : TLV(Threshold Limit Values)

미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental and Industrial Hygienists, ACGIH)는 세계적으로 권위 있는 전문가들이 작업환경 중 근로자의 건강과 관련된 각종 자료를 수집·연구하고 주요 화학물질의 노출기준(TLV : Threshold Limit Values)을 정하여 권고하고 있다. ACGIH는 자발적인 민간 기관으로서 현재 유해화학물질 697종에 대한 TLV를 설정하여 대·내외적으로 권고하고 있으나, OSHA와 같은 법적인 구속력은 없다.

ACGIH는 다음 [그림 III-5-4]과 같이 운영위원회(steering committee)의 조정 아래 화학물질 특성에 따른 하부 위원회(chemical substance sub-committee)를 두고 매년 TLVs를 제·개정 하고 있다.

TLV 제정의 첫 단계는 물질 선택인데, TLV 물질선정 하부위원회에서는 독일의 MAK commission, 영국의 HSE(Health and Safety Executive), 유럽 연합(DGV), 미국 OSHA, MSHA, NIOSH, AIHA WEELs 등 전 세계적으로 노출기준 제정에 대한 일정한 시스템을 갖고 운영하고 있는 자료를 데이터베이스화하여 지속적으로 검토한 후 생산량의 정보를 고려하여 매년 제정 대상 물질을 선정한다. TLV의 제·개정 시스템은 두 축으로 운영되는데 하나는 현재까지 TLV가 미제정되어 있는 물질 중 제정 필요가 있는 물질에 대한 제정 과정과 TLV가 제정되어 있으나 개정이 필요한 물질을 선택하는 시스템이다.



[그림 III-5-4] ACGIH-TLV 위원회 체계.

TLV 미제정 물질 중 제정대상으로 선정하는 과정은 매년 경제협력개발기구 (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)에서는 1988년부터 연간 1,000 톤 이상 생산규모의 화학물질(high production volume chemicals, HPV)을 대상으로 유해성에 대한 검토 자료를 SIDS(Screening Information Data Set) 초기 유해성 평가 보고서로 제출하고 있는데, TLV 위원회에서는 OECD의 HPV 목록을 대상으로 TLV가 미제정 되어 있는 물질 중 생산량이 큰 규모 순으로 우선순위를 정하여 상위 40개의 물질 목록을 선정 후 TLV 운영위원회에 검토를 요청하게 된다.

TLV 제정 물질 중 개정 대상으로 선정하는 과정은 <표 III-5-12>와 같이 검토기준에 따른 점수를 준 후 가장 점수가 큰 순서대로 우선순위를 정하여 운영위원회에 검토를 요청하게 된다. TLV의 일반적인 제·개정 체계는 [그림 III-5-4]와 같다.

<표 III-5-12> TLV 갱신 물질 선정을 위한 기준

검토기준		점수
새로운 독성 자료		1-15
미국 내 생산량(톤)	<100	2
	100-10,000	4
	10,000-100만	6
	100만-100백만	8
	>100백만	10
	미국내 생산은 없으나 건강보호를 위해 중요한 경우	2-10
특별한 문헌보고는 없으나 노출수준이 심각한 경우		2-10
다른 물질과 TLV 값이 불일치하는 경우		1-5
최근 인용문헌이 10년 이상 지난 경우		1-5
다른 기관의 기준과 2배 이상 차이가 날 경우		0 또는 5

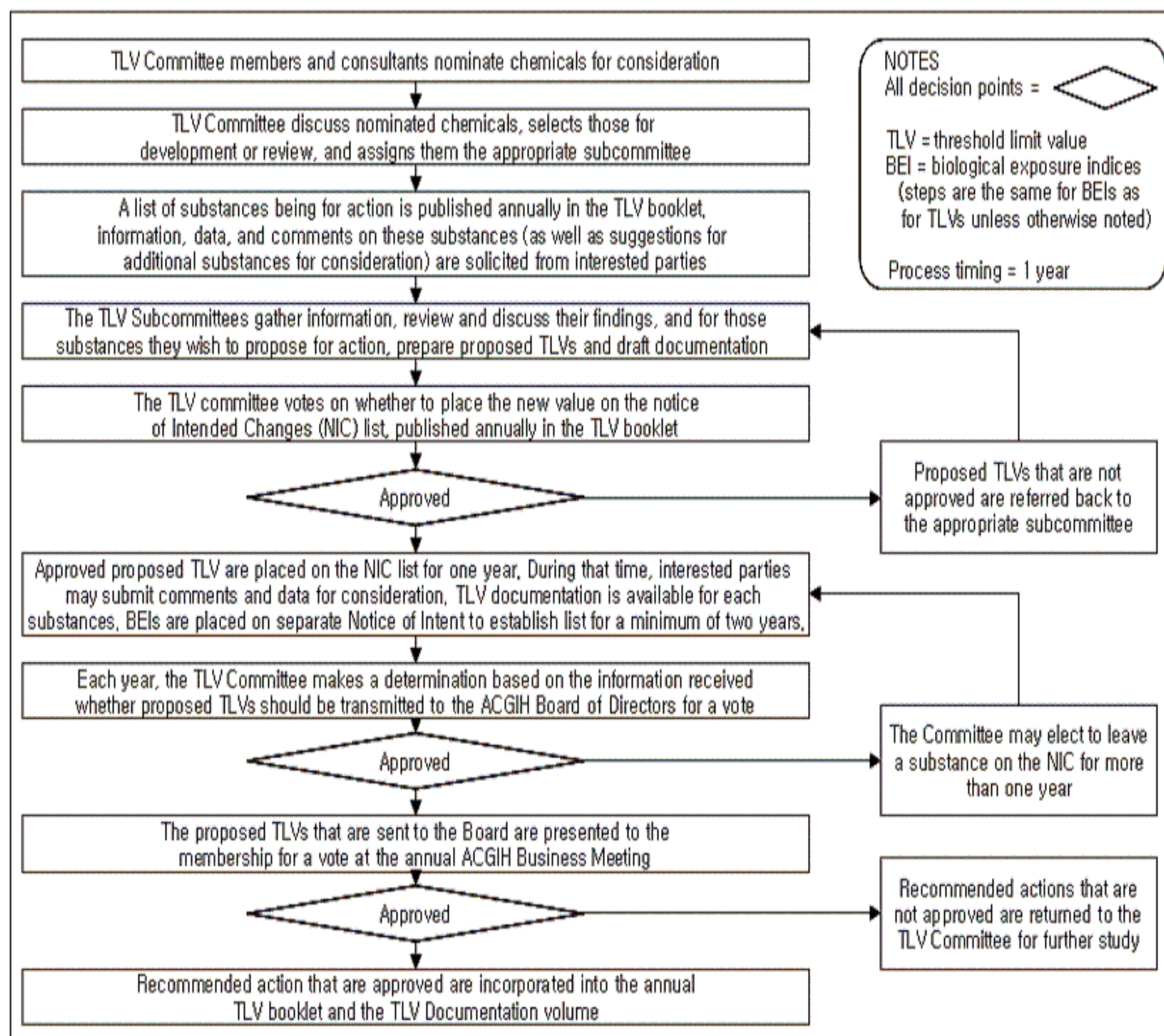
TLV 위원회는 산업보건 분야에 가치 있는 많은 정보들을 제공하고 있다. TLV는 산업보건 노출기준과 관련하여 전 세계적으로 가장 널리 알려졌으며 대부분의 나라들이 노출기준을 새로이 만들거나 개정하고자 할 때 그대로 도입하여 사용하거나 가장 중요한 참고치로 활용하고 있다. 미국 연방정부를 비롯한 많은 나라에서 TLV를 규제 목적으로 공식적인 노출기준으로 채택하고 있다. 우리나라도 국내에서 발생한 직업병의 자료가 있는 일부 물질 이외에는 ACGIH의 TLV 기준을 대부분 받아들여 사용하고 있다.

ACGIH의 위원회에서 TLV를 발간하고 있다. 이 위원회는 미국표준협회(American National standards Institute, ANSI)의 위원회(American standards Association)와 함께 1941년도에 설립된 중요한 두 위원회이다. ANSI 위원회는 Z-37로 알려져 있으며 ACGIH와 ANSI 양 위원회에서는 작업장 오염을 대한 노출기준을 개발하였다. ACGIH와는 달리 ANSI는 산업체, 정부, 노동조합, 기타 관련 이해당사자로 구성된 합의 기관이다. 반대로 ACGIH위원회는 소수

의 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 절대적이라고 하기보다는 대략적인 지침임을 뜻한다고 해설될 수 있다. 이 기준은 산업위생전문가에게 작업장을 개선하기 위한 출발점이 되고 있다. 1945년까지 ACGIH 위원회의 구성원은 132개 산업체 화학물질 목록을 출간하여 노출기준으로 권고하였다(Cook, 1945, 1946).

1900년대 초반에는 모든 OEL이 동물을 대상으로 한 독성실험에 근거하여 설정되었다. 작업장의 인체 자료는 극히 적은 자료가 있었다. 1946년에 ACGIH에서는 Cook's 목록, 13가지 광물 분진에 대한 ANSI 목록, 1942년에 발간된 ACGIH 목록을 합쳐 새로운 목록을 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) 개념으로 적용되었다. 그러나 MACs도 초과되어서는 안 되는 절대적 개념의 최대 기준은 아니다. ACGIH에서 발간한 OEL 목록은 계속 발전했으며, TLV(threshold limit values)라고 부르기 시작했다. 현재 TLV는 ACGIH에 의해 매년 개정되어 발간되고 있다. ACGIH의 노출기준 설정 절차는 다음 [그림 III-5-5]과 같다.



[그림 III-5-5] ACGIH의 노출기준 설정 절차.

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.

1,1-디메틸하이드라진 0.05ppm에 노출된 랫트의 코에서 종양 발생률이 약간 높았고, 메틸하이드라진의 경우 0.02 ppm에 노출된 랫트와 마우스에서 비염이 관찰되어 하이드라진류에 대한 독성의 유사성을 근거로 TLV-TWA로 0.01ppm을 권고하고 있다. 동물을 대상으로 한 피부 접촉 실험에서 전신 반응

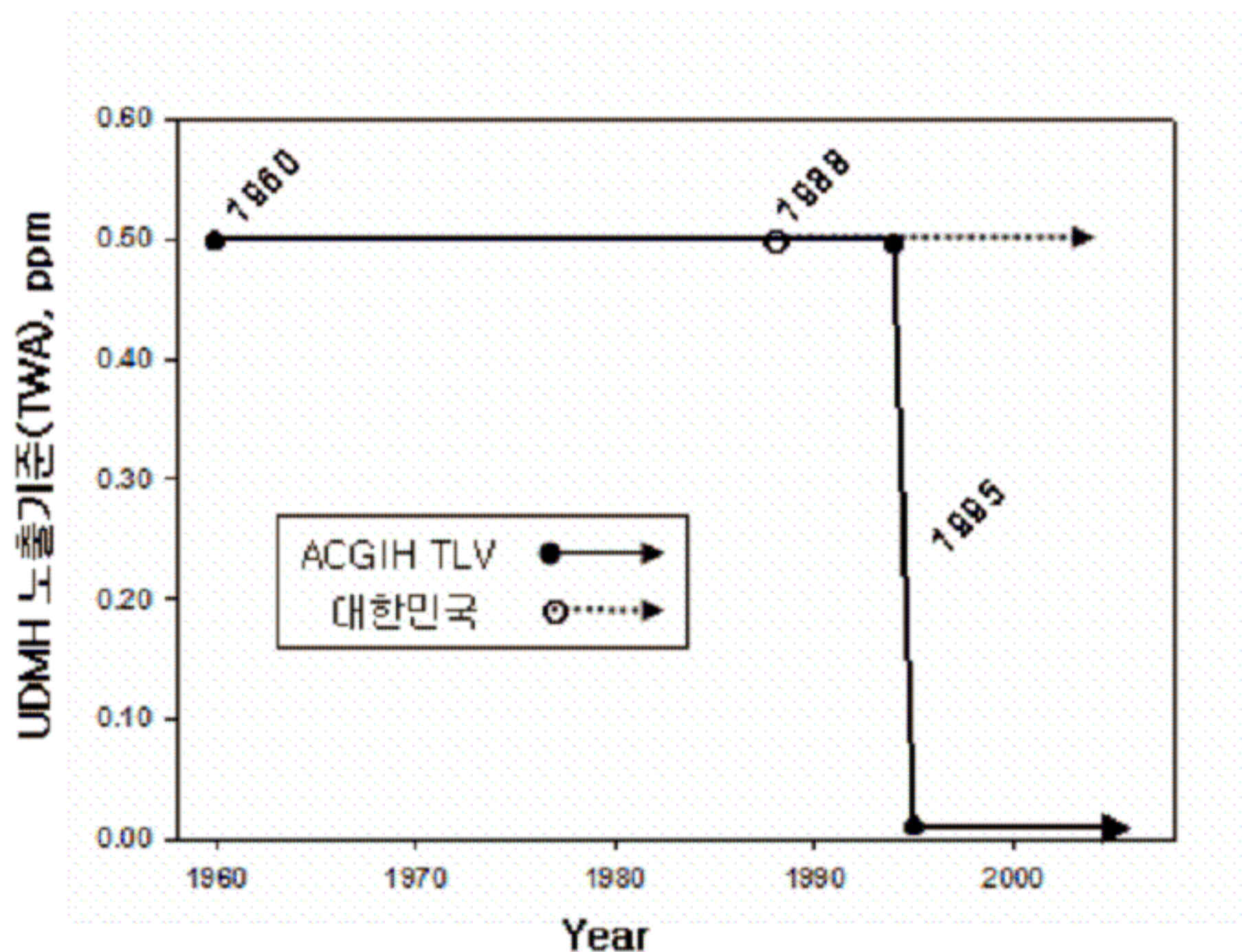
이 일어난 것을 근거로 “피부” 표시를 권고하고 있다(Clayton et al, 1981; EPA IRIS, 1991; IARC, 1974). 1,1-디메틸하이드라진은 일련의 단계를 거쳐 설치류에서 발암 반응을 보였다. 예를 들면, 발암 영향은 음식 중 섬유질이나 농약과 같은 화학물질 등 여러 가지 다른 요인에 의해서 제거되거나 감소될 수 있다. 아직까지는 동물의 활성화 경로에 대한 정보가 인체보다는 더 많이 알려졌기 때문에 ACGIH에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 발암성 분류에서 A3(인체와의 관련성은 알려지지 않은 확인된 동물 발암물질)로 분류하고 있다. 감작(SEN) 표시와 TLV-STEL을 권고하기에는 자료가 충분치 않다. 따라서 비록 8시간 시간가중평균값이 TLV-TWA 권고치를 초과하지 않았다고 하더라도 작업시간 중 부분적으로 TLV-TWA를 초과하는 경우를 대비하여 상한치 기준(*Excursion Limits*)을 활용하여야 한다.

ACGIH에서 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준의 변화 역사는 다음 <표 III-5-13>과 같다. ACGIH에서는 1960년도에 처음 시간가중평균 기준치로 0.5 ppm의 아주 낮은 농도를 적용하기 시작하여 1995년까지 적용하였으며, 1989년에 0.01 ppm으로 제안하여 1995년부터는 이 기준을 받아들여 현재까지 적용하고 있다. 단시간 노출기준으로는 1976년에 1 ppm을 제안하였으나 이에 대한 논란이 많아서 상당한 시간을 거친 후 1986년에 이를 철회하기에 이른다. 현재는 STEL 값을 권고하고 있지 않다. 피부흡수에 대한 주의를 알려주는 “피부” 표시는 1961년부터 현재까지 적용되고 있으며 동물실험에서 나타난 종양으로 발암성에 대한 논의도 활발해져 1977년부터 1994년까지 A2(인체발암물질로 의심)를 적용하다가 1995년부터는 새로운 발암물질 관련 체계에서 A3(동물에게 발암성이 확인된 물질)인 물질로 분류하고 있다.

<표 III-5-13> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 ACGIH의 노출기준 역사

연 도	내 용		
	TLV-TWA	TLV-STEL	피부/발암성 표시
1960-1994	0.5 ppm		
1961- 현재			"skin"
1976-1985		1ppm 제안	
1977-1994			A2(인간에게 발암물 질로 의심됨)
1986		STEL 철회	
1989	0.01ppm 제안		
1994			A3(동물에게 발암성 이 확인된 물질) 제 안
1995-현재	0.01ppm		"skin", A3

미국 ACGIH에서는 1960년부터 노출기준을 제안하여 권고하고 있었으나 [그림 III-5-6]에서 보는 바와 같이 우리나라는 1988년부터 당시의 미국 ACGIH의 권고치를 받아들여 적용하고 있다. 그러나 ACGIH에서는 노출기준에 대해 매년 검토과정을 거쳐서 1995년에 0.5 ppm에서 단 2 % 수준인 0.01 ppm으로 줄여서 권고하게 되었다. 우리나라는 1988년의 기준을 현재까지 적용하고 있다.



[그림 III-5-6] 1,1-디메틸하이드라진에 대한 우리나라와 ACGIH의 연도별 TWA 변화.

ACGIH에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대해 1995년부터 TLV-TWA로 0.01 ppm, 피부 표시, 발암성(A3)이 있는 물질로 권고하고 있다. 이에 대해 ACGIH에서 근거나 참고로 하였던 내용들은 다음과 같다.

1) 동물 연구

○ 급성독성

1,1-디메틸하이드라진의 LC₅₀(4시간 흡입)은 랫트의 경우 252ppm, 마우스 172ppm, 햄스터 392ppm이다(Jacobson 등 1955). 개의 경우 4시간 동안 110ppm에 노출될 경우 사망하였으나 24ppm에서는 생존하였다. 1,1-디메틸하이드라진의 LD₅₀(피부)은 개의 경우에 1200~1680mg/kg이었으며, 기니피그에서는 1329mg/kg, 토끼에서는 1060mg/kg이었다(Smith 등 1971, Jacobson 등 1958, Rothberg 등 1956). 토끼의 피부 시험 부위의 혈관을 폐색(occlusion)시키면 독성이 증가하여 LD₅₀가 156 mg/kg으로 나타났다(Hodge 등 1954). 1,1-디메틸

하이드라진은 개의 피부를 통해서 빠르게 흡수되는데 노출 후 30초 내에 혈액에서 감지할 수 있다(Smith 등 1971). 또한 개의 피부에 노출시켜 각막혼탁이 나타났다(Smith 등 1970). 피부노출로 홍반(erythema)이 나타났다. 또한 급성 독성으로 구토, 경련, 기타 신경 증상, 폐수종, 출혈, 고혈당증 등도 나타났다(NIOSH 1997).

○ 아만성독성

랫트, 마우스, 개를 1,1-디메틸하이드라진의 증기에 6시간/일, 5일/주 흡입 노출시켰다(Rinehart 등 1960). 노출농도는 랫트와 마우스는 7주 동안 75ppm 또는 6주 동안 140 ppm이었고, 개는 26주 동안 5ppm 또는 13주 동안 25ppm에 노출시켰다. 75ppm이나 140ppm에 노출되었던 랫트와 마우스에서 사망, 신경계와 호흡계 영향이 관찰되었으나 조직의 형태학적 변화는 관찰되지 않았다. 25ppm에 노출되어 한 마리의 개가 사망하였고 나머지 개에서는 신경계 이상, 체중 감소, 용혈성 빈혈, 세망내피계(reticuloendothelial system)의 혈철 침착증(hemosiderosis)이 나타났다. 5ppm에 노출된 개는 체중이 약간 감소하였고, 용혈성 빈혈과 비장에 혈철침착증이 나타났다.

○ 만성 독성 및 발암성

여러 연구에서 1,1-디메틸하이드라진은 다양한 종에서 발암성이 있음을 보여주고 있다. 식수를 통해 1,1-디메틸하이드라진을 마우스, 랫트, 햄스터에 투여한 결과 마우스에서는 혈관, 폐, 신장, 간에서 종양이 유의하게 높게 관찰되었으며 랫트에서는 간암, 햄스터에서는 혈관과 맹장에 종양이 발생하였다(Toth 등 1973, Toth 등 1972, Druckery 등 1967, Toth 등 1977). 개, 랫트, 마우스, 햄스터를 대상으로 0, 0.05, 0.5, 5 ppm의 1,1-디메틸하이드라진을 6시간/일, 5일/주, 6개월 동안 흡입 노출시킨 결과 설치류는 노출 후 17-20개월에 사망하였다(MacEwen 등 1977, Haun 등 1976). 1,1-디메틸하이드라진에는 발암 물질인 디메틸니트로사민 0.12%에 오염되어 있었는데 제품 생산 시 불순물로 들어갔는지 또는 1,1-디메틸하이드라진의 분해산물인지는 분명하지 않다. 5 ppm에 노출된 개는 간 기능 시험에서 약간의 이상을 보였으며 SGPT(serum

glutamic-pyruvic transaminase)가 증가 하였으며 더 낮은 양에서는 물질 관련 영향은 나타나지 않았다. 이들 변수는 노출이 끝난 후에 가역적이었다. 햄스터의 경우는 어떠한 양에서도 화합물 관련 종양 증가를 발견할 수 없었다. 5ppm에 노출된 마우스는 혈관육종(hemangiosarcomas)과 쿠퍼세포육종(Kupffer cell sarcomas)이 관찰되었으며 더 낮은 농도에서 종양은 발견되지 않았다. 5 ppm에 노출된 랫트에서는 폐 종양, 비늘모양 세포 악성종양(squamous cell carcinomas), 간세포 암(hepatocellular carcinomas)이 증가되었다. 0.5 ppm에 노출된 랫트의 췌장에서 섬세포선종(Islet cell adenomas)이 증가하였으나 5 ppm에서 적게(통계적으로 유의하지 않음) 증가하였다. 섬유성 조직구종(fibrous histiocytomas)이 0.5 ppm에서 약간 증가되었고 5 ppm에서 유의하게 증가하였으며, 혐색소성선종(chromophobe adenomas)은 0.5와 5ppm에서 증가하였다. 디메틸니트로사민이 증가된 종양 발생과 관련이 있다고 할 수 있다. 5 ppm의 1,1-디메틸하이드라진(0.12 %의 디메틸니트로사민 함유)에 8.5주 노출된 개에게서 SGPT가 증가하였으며 간조직형태가 약간 변화하였다(Haun 등 1976). 그러나 순수한 1,1-디메틸하이드라진 5 ppm에 노출된 개에서는 간 기능이 정상적이었으며 간조직에 형태변화도 없었기 때문에 간에 대한 영향은 디메틸니트로사민 때문에 나타난 것으로 보인다. 그러나 이 자료를 통해서 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 랫트에서 종양 생성에 대한 디메틸니트로사민의 영향을 확정할 수는 없다. 히드라진 자체의 발암성은 전적으로 염증 반응에 근거하고 있다는 것이 알려졌다. DNA의 간접적인 알킬레이션은 히드라진의 돌연변이와 발암성에 대한 근거(즉, 발암과정의 중간체인 세포내 물질과 반응을 통해)로 제시되고 있으며 독성 영향과도 밀접한 관계에 있다(Steinhoff 등 1988). 햄스터를 대상으로 피하주사를 통해 매주 37 mg/kg (수컷) 또는 32 mg/kg (암컷)을 평생 동안 노출시킨 결과 악성 말초신경초종(malignant peripheral nerve sheath tumor)이 발생했으며 전반적으로 종양반응이 증가하였다(Heinemann 등 1971). 이러한 연구와는 달리 매주 8~35mg/kg를 피하주사한 시리안골든드햄드터(Syrian golden hamster)에서는 종양이 발생하지 않았다(Jeong 등 1993). 9 마리의 마카카 패시쿨라리스(Macaca fascicularis) 종의 원숭이를 2년 동안 한 달에 3번씩 16mg/kg의 1,1-디메틸하

이드라진을 피하 주사하여 노출시켰더니 두 마리에서 대장 선암(adenocarcinoma)이 생겼고 한 마리 암컷의 자궁에서 섬유근성종식증(fibromyoma)이 발견되었다(Beniashvili 등 1992). 1,1-디메틸하이드라진의 발암성을 확인하기 위해서 여러 가지 요인들이 시험되고 있다. 음식에 섬유소를 첨가시켰어도 대장 반응을 변화시키지 못한 반면에 폴산염(Folate) 결핍과 음식의 낮은 구리 농도는 증가시켰다(Cravo 등 1992, Disilvestro 등 1992, Thorup 등 1992).

○ 발생 및 생식 독성

임신한 랫트에 임신기간 6일에서 15일 사이에 1,1-디메틸하이드라진 10, 30, 60 mg/kg을 복강내 투여하였다(Wyrobek 등 1973). 1,1-디메틸하이드라진은 임신한 쥐에서는 최기형성(teratogenic)은 아닌 배독성(embryotoxic)을 나타냈으며 어미의 체중도 감소하였다. 1,1-디메틸하이드라진을 0.1, 0.25, 0.4, 0.55, 0.7 배의 LD₅₀를 5일 동안 매일 복강주사한 마우스에서 비정상적인 모양의 정자가 가역적으로 유의하게 높게 관찰되었다(Keller 등 1984).

○ 유전 독성

1,1-디메틸하이드라진은 다양한 여러 연구에서 유전적 영향이 있다고 알려져 있다. *Salmonella typhimurium*에서 활성적이며(Rogan 등 1982, Matheson 등 1978, Tosk 등 1979, Parodi 등 1981) L5178Y 마우스 림프종 세포(lymphoma cells)와(Matheson 등 1978, Rogers 등 1981) V-79 간세포에서(Kuszynski 등 1981) 1,1-디메틸하이드라진에 의해 돌연변이가 생성되었다. 또한 영향결핍 *Escherichia coli* 종을 변화시켰으나(Lingens 등 1964) 람뮤다 파지(lambda prophage)의 돌연변이를 유도하지는 않았다(Heinemann 등 1971). 간세포에서 예기치 않는 DNA 합성이 증가하였고(Lingens 등 1964), 랫트 간의 S-9의 활성이 없이 차이니스 햄스터(Chinese hamster)의 난소 세포에 딸 염색체 교환이 일어났다(Calandra 등 1990). 동물 실험에서는 개에서 소핵 생성을 포함하여 마우스에서의 우성치사유전자증(dominant lethals)은 음성을 보였으며(Matheson 등 1978, Epstein 등 1972), 마우스에서는 비정상 정자

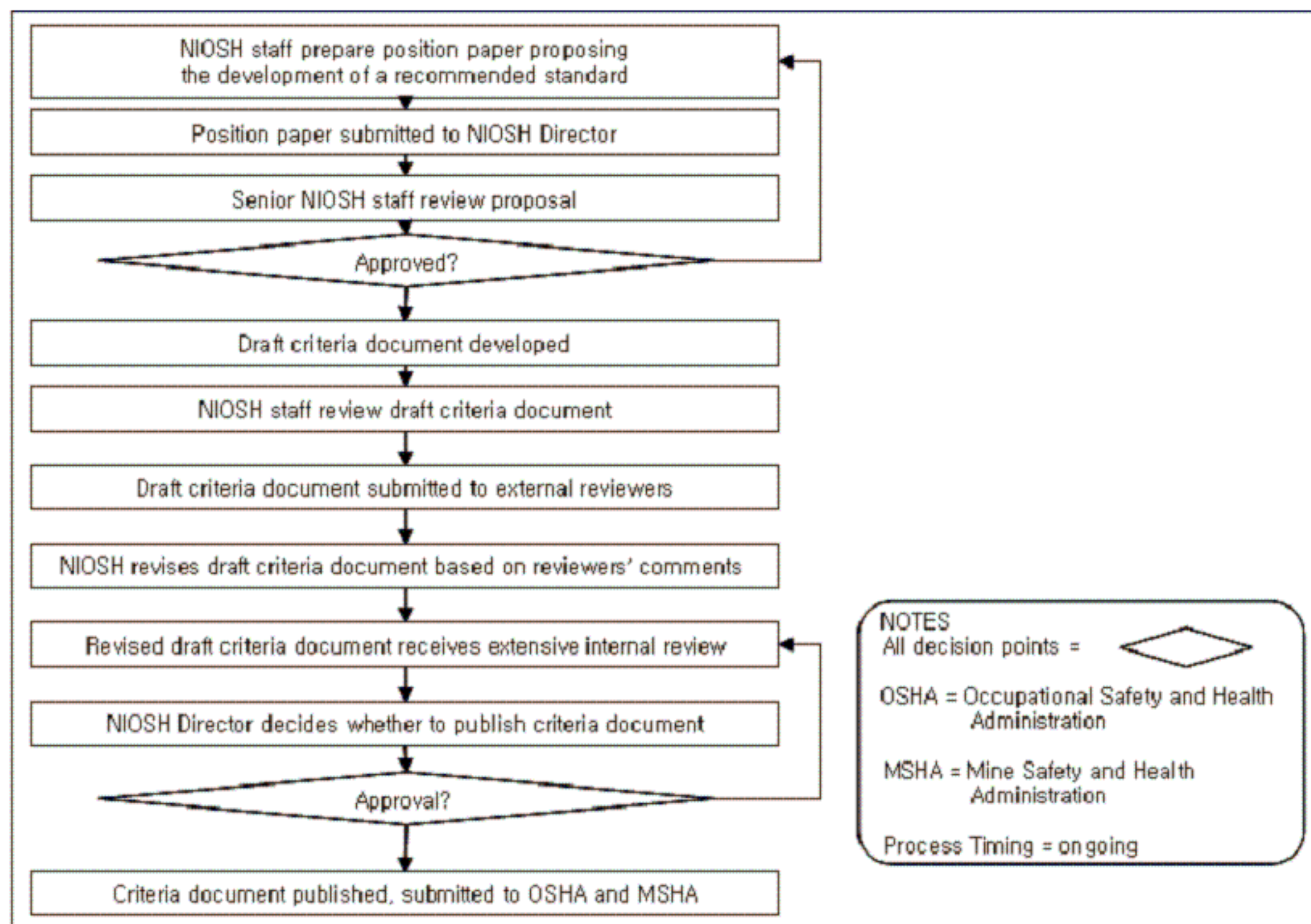
가 만들어지지 않았다(Wyrobeck 등 1975) 주사 후에 마우스의 골수에서 소핵은 생성되지 않았으나 1,1-디메틸하이드라진 주입 후 96시간 뒤에 부분적 간 절제술(hepatectomy)을 했을 때 소핵화된 간세포(micronucleated hepatocytes)가 생성된 것을 확인할 수 있었다(Cliet 등 1989). 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 랫트의 간세포에서 DNA 한 가닥이 절단된 것은 DNA 상호작용으로 설명될 수 있다(Sina 등 1983). 1,1-디메틸하이드라진을 복강주사한 후 간세포 손상은 생체내에서 알칼리 용리 기법(alkaline elution technique)을 통해 볼 수 있으며(Parod 등 1980), 간과 폐의 DNA에서 단편들을 볼 수 있었다(Parodi 등 1981).

2) 인체 연구

인체의 경우 1,1-디메틸하이드라진에 흡입 노출된 사건들이 여럿 보고되었으나 노출 농도는 확인할 수 없었다. 노출 증상으로 호흡기계 영향, 폐수종(pulmonary edema), 메스꺼움(nausea), 구토, 신경 영향, SGPT 증가 등이 나타났다(Shook 등 1957, Ernst 등 1987, Frierson 등 1965, Petersen 등 1970).

다) NIOSH

미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH)은 직업 관련 상해(work-related injury)와 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 부속기관이다. NIOSH와 OSHA는 1970년 산업안전보건법(Occupational Safety and Health Act of 1970)에 의해 설립되었는데 행정력이 있는 OSHA와는 달리 NIOSH는 산업안전보건분야에서 연구, 정보, 교육, 훈련 등을 통해 일하는 사람들을 위하여 안전하고 건강한 작업환경을 확보하는데 도움을 주기 위해서 설립되었다. NIOSH에서 이루어지는 노출기준 설정과정은 다음 [그림 III-5-7]와 같다.



[그림 III-5-7] 미국 NIOSH의 노출기준 설정 절차.

1) REL(Recommended Exposure Limits)

NIOSH에서는 1970년대 초부터 작업장의 위해물질이나 조건에 대하여 “Criteria Documents”를 만들어 왔으며 여기에 REL도 포함되어 있다. 작업장 유해물질의 노출기준을 검토하여 OSHA에 이를 건의한다. NIOSH에서는 노출기준 검토에 순수한 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 보건 노출기준으로 채택하게 되므로 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 단시간노출기준(STEL), 천장값(Ceiling), 피부(skin) 등은 ACGIH의 정의에 따라 동일한 개념으로 적용된다. 하지만 시간가중평균기준(TWA)에 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.

NIOSH에서는 OSHA에서 설정하고 있는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 PEL에 동의하지 않고 있다. 대신에 자체적으로 TWA나 STEL 기준은 정하지 않고 천장값으로 0.06 ppm(2시간)을 기준으로 제시하고 있다.

NIOSH에서 권고하고 있는 노출기준에 대한 근거는 1,1-디메틸하이드라진을 발암물질로 간주하는데서 찾아볼 수 있다. 암을 유발하는 화학물질의 메커니즘이 점차 밝혀지게 됨에 따라 단일 OEL 기준이 모든 근로자를 보호할 수 있는가에 대한 논쟁이 부각되었으며 여러 가지 발암에 대한 이론 중 하나의 분자가 유전적 변화를 초래해 암을 발생시킬 수 있다는 것이 "one-hit theory"이다. 따라서 발암성이 있는 물질에 대해 역치나 무영향 OEL을 적용하는 것은 이 이론에 위배되는 것이다. NIOSH에서는 발암물질에 대한 OEL을 권고할 때 무역치설(no-threshold doctrine)을 적용시켜서 분석 방법으로 감지할 수 있는 가장 낮은 수준을 OEL로 설정하고 있다(NIOSH, 1978). 따라서 어떤 발암물질을 감지할 수 있으면 그 물질은 존재하며, 감지되지 않으면 존재하지 않는다고 추측한다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진에 대해서 분석방법으로 감지할 수 있는 가장 낮은 수준인 0.06 ppm(2시간)을 천장값 기준으로 제시하고 있으며 이 물질을 취급할 때는 가장 보호가 잘되는 보호구(most protective respirators)를 착용할 것을 권고하고 있다.

2) IDLH(Immediately Dangerous to Life and Health, 생명과 건강에 즉각적으로 위험을 주는 수준)

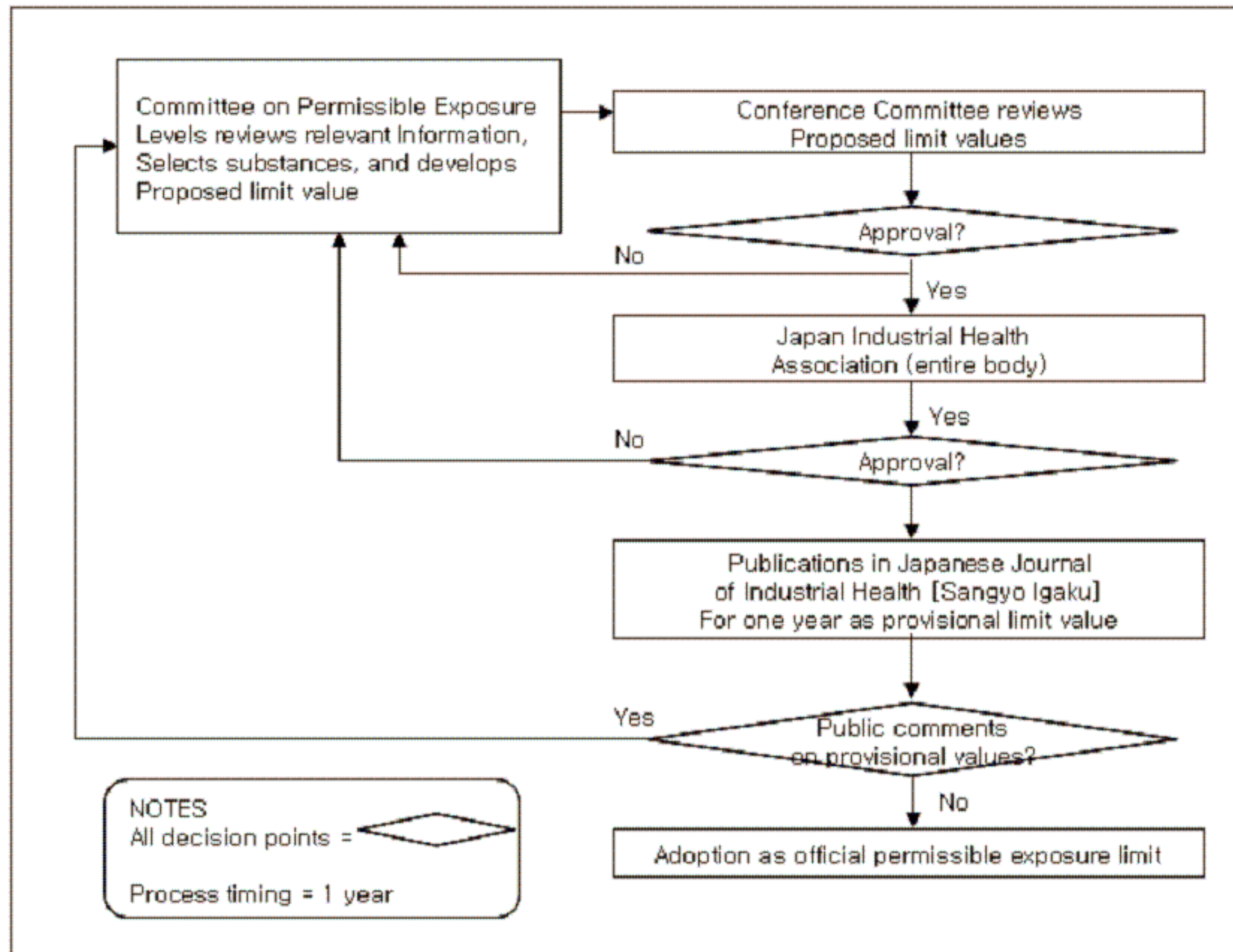
1970년 중반에 NIOSH와 OSHA가 공동으로 호흡기 보호구를 선정하는데 사용하기 위해서 IDLH 기준을 제정하였다. IDLH는 생명을 잃거나 즉시 또는 지체된 비가역적인(영구적인) 건강상의 악영향이나, 이런 환경에서 탈출하는 것을 방해할 정도의 공기 중 오염물질에 노출될 수 있는 위험에 대처하기 위한 것이다. 달리 말하면 호흡기 흡수관에 오염물질이 들어갔을 때, 송풍식 호흡기 보호구에 공기가 통하지 않았을 때 등 호흡기 보호구와 관련한 결함이 생겨 탈출하기 어렵게 되거나, 또는 비가역적인 건강장해가 우려되는 공기 중 오염물질의 수준일 때 즉시 탈출하게 하기 위함이다. 탈출을 방해하는 요인으로 눈과 호흡기의 심한 자극작용, 그 밖에 지남력 상실과 협동운동 장애 등을 생각할 수 있다. 대부분의 경우, 특정한 작업장에서 밖으로 빠져나오는 데 30분이 걸리는 경우는 별로 없지만 안전을 도모하는 뜻에서 IDLH 값은 30분 동안 노출되었을 때에 나타나는 작용을 기준으로 한 것이다. 따라서 IDLH를 제정하는 데 있어서 IDLH 이하의 농도에서는 30분 동안 노출되어도 비가역적인 건강장해를 일으키지 않는 농도를 기준으로 하였고, 그 이상의 농도에 노출될 때에는 보호성능이 가장 좋은 호흡기 보호구를 착용하도록 하였다. NIOSH에서는 “가장 신뢰할 만한(가장 보호가 잘되는)” 호흡기 보호구를 착용해야 할 상황으로 소방(fire fighting), 발암물질에 노출, 산소고갈 공기가 있는 곳에 들어갈 때, 어떤 물질의 공기 중 농도가 NIOSH REL이나 OSHA PEL의 2000배가 넘는 환경, 생명이나 건강에 즉각적인 위험을 줄 수 있는 환경 등을 들고 있다. 가장 신뢰할만한 호흡기 보호구에는 SCBA(self-contained breathing apparatus, 자급식 호흡기)와 공기 공급식(양압) 보호구 등이 포함된다. 초기에는 398개의 화학물질에 대한 기준농도를 제정하였으나 현재는 새로이 250개의 화학물질에 대한 IDLH가 추가 제정되었다. NIOSH에서 1,1-디메틸하이드라진에 대해 제안하고 있는 IDLH 기준은 15 ppm이며, 이는 1995년에 50 ppm에서 15 ppm으로 더 엄격하게 개정된 기준이다.

(4) 일본

가) 노동성 : 노동안전위생법상의 관리농도

일본 노동성에 의해 제안되는 산업보건은 관리기준이라고 한다. 이는 단위 작업장 내의 유해물질의 환경농도를 나타내는 기준이다. 관리기준인 노출기준(허용농도, 서한도)은 각 근로자가 유해물질에 노출되는 농도를 나타내는 기준이지만 일본의 산업안전위생법 제65조의 작업환경측정기준에 의한 작업환경 측정 결과는 작업환경 중의 유해물질 농도이지 근로자가 실제로 노출되는 농도가 아니다. 그러므로 노출한계의 개념을 그대로 적용하는 것은 불합리하며 노출기준과는 별도로 작업환경을 관리하기 위한 행정적인 규제농도이다. 즉 관리농도라 함은 “작업환경을 관리하는 과정에서 유해물질에 관한 작업환경상태를 평가하기 위하여 작업환경측정기준에 따라 단위작업장소를 대상으로 실시한 측정결과로써 당해 단위작업장소의 작업환경관리상태의 적부판정을 하는 경우의 관리구분을 결정하기 위한 지표”라고 정의하고 있다. 이 정의에서 알 수 있는 바와 같이 관리농도는 작업장의 공기 중의 유해물질의 농도를 행정적인 견지에서 작업장 전체로서 규제하기 위하여 작업환경측정의 결과로부터 작업환경관리의 적부를 판단하는 기본 수치이며 노출한계 또는 관리의 기술적 가능성 등을 감안하여 행정부에서 정한 것이므로 근로자 개개인의 노출농도와 대비를 전제로 하여 설정한 노출한계와 혼동하여서는 안 된다. 또한 관리기준은 기술적 방법으로 작업환경을 개선하기 위한 행정적 기준이며, 사업장이 위치해 있는 곳의 대기 질을 기준미만, 기준초과, 기준선의 세 등급으로 나누는데 이용된다. 일본에서는 작업환경측정이 의무화되어 있는 92개의 유해물질 중에서 현재 72개 물질에 대한 관리농도의 수치가 작업환경평가기준에 의해서 구체적으로 제시되어 있다. 관리기준의 경우에는 사업장의 공기 중 농도를 측정하여 작업환경이 열악하다는 판정을 받을 경우엔 작업환경을 향상시키기 위한 기술적 방법을 채택하도록 법적으로 요구받는다. 즉 작업장의 기중유해물질의 농도를 행정적인 견지에서 작업장 전체로서 규제하기 위하여, 작업환경측정 결과를 가지고 작업 환경관리의 적절성을 판단함에 있어서 기본이 되는 값이다. 이는 노출기준과 관리의 기술적 가능성 등을 감안하여 행정부가

정한 것이며 개개의 근로자의 노출농도와의 대비를 전제로 하여 설정된 노출 기준과는 다르다. 일본의 노출기준 설정과정은 다음 [그림 III-5-8]과 같다.



[그림 III-5-8] 일본의 노출기준 설정 절차.

나) 일본 산업위생학회

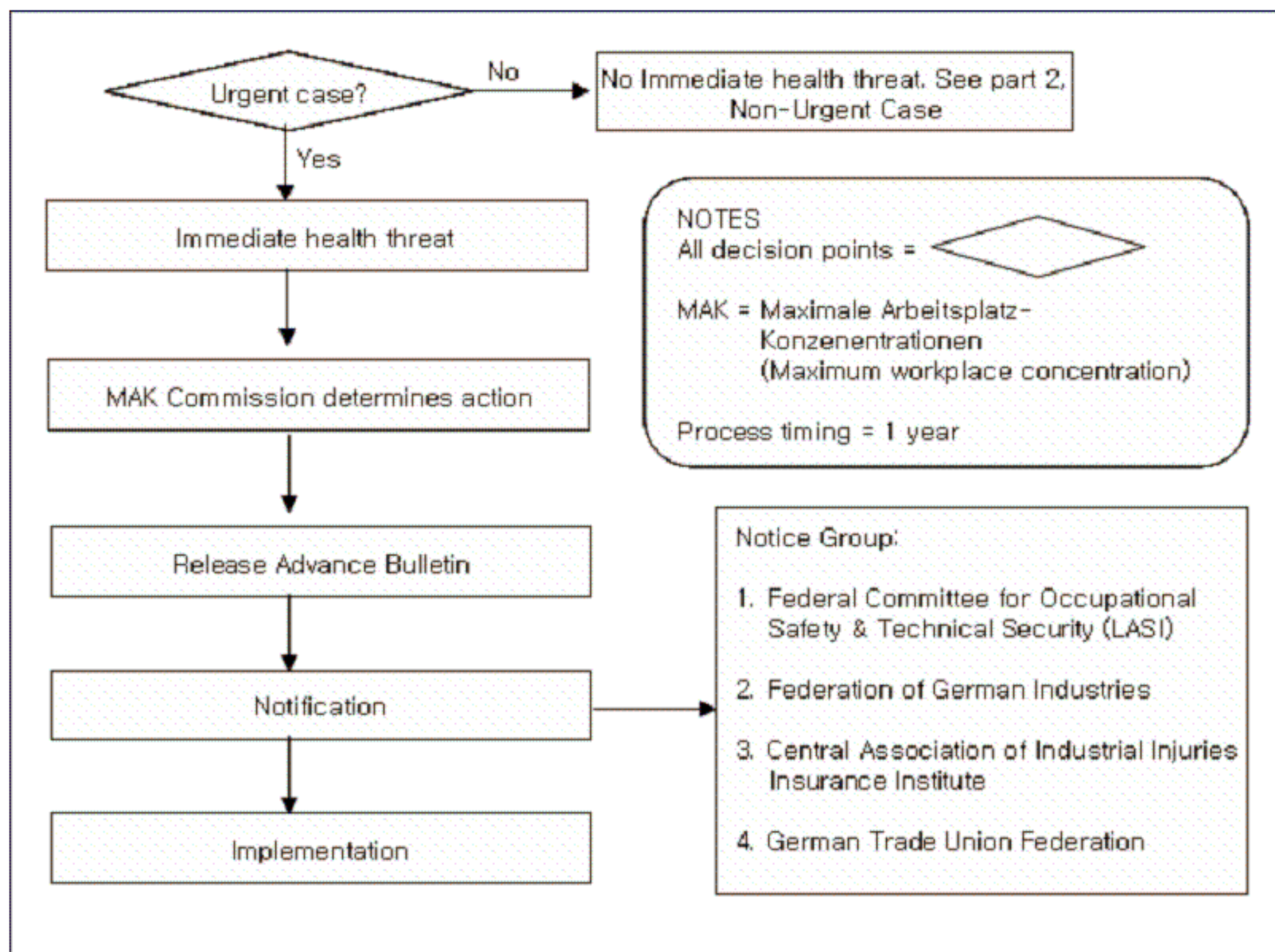
일본산업위생학회(Japan Society for Occupational Health, JSOH)의 직업적 노출기준 위원회(OEL Committee)에서 권고하는 기준으로 근로자의 건강을 보호하기 위한 과학적인 근거에 기초하여 세워진 생물학적 권고치이며, 법적 강제력은 없다. OEL을 설정할 때는 사회 경제적 요소를 고려하지 않으며, 단지 작업장에서 측정 가능한 OEL을 권고한다는 전문가적 가능성만을 고려한다. 이 농도는 안전과 위험과의 명백한 경계를 나타내주는 것이 아니며 노동 위생에 관한 지식과 경험을 가진 사람이 이용하여야 한다고 하였다. 그 직업

적 노출기준의 의미는 근로자가 유해물에 연일 노출되는 경우 당해 유해물의 공기 중 농도가 이 값 이하이면 대부분의 근로자에 나쁜 영향을 미칠 수 없는 농도이다. 단, 개인의 유해물에 대한 감수성은 개인마다 다르기 때문에 이 값 이하에서도 특별한 근로자에게 불쾌, 잠재적 이상상태의 악화 및 직업병의 발생을 초래할 수 있다.

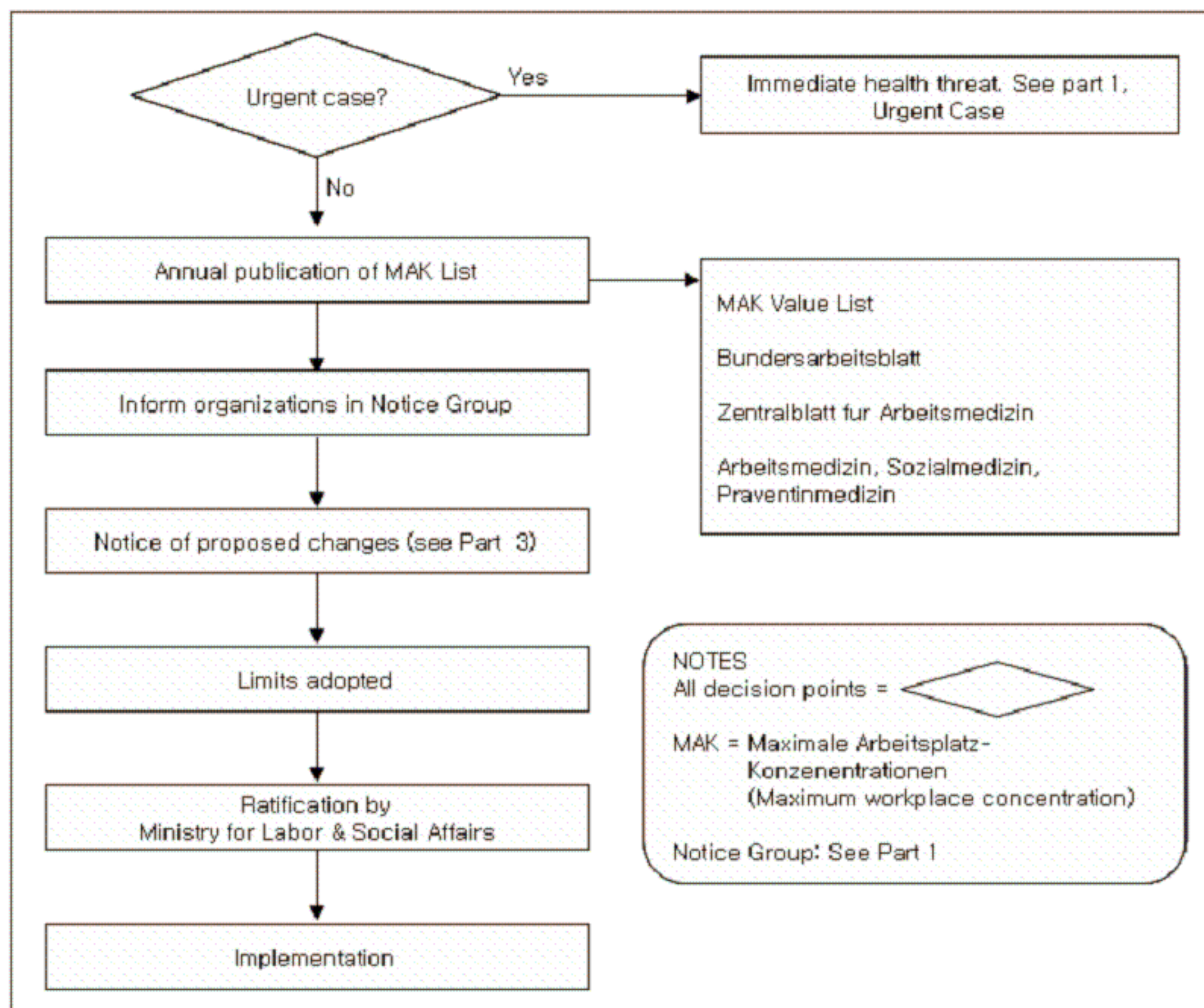
일본에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준을 제정하지는 않고 있으나 발암성에 대한 기준만을 제정하고 있다. JSOH의 발암물질분류위원회(Carcinogen Classification Subcommittee)에서는 위의 체계 하에서 몇 가지 물질에 대한 정보들을 취합하여 발암물질들을 분류하고 있으며 1,1-디메틸하이드라진의 경우 Group 2B에 속하여 충분한 증거는 없지만 인체에 암을 일으킬 가능성이 있는 물질로 인정하고 있다.

(5) 독일 : MAK(Maximum Concentration Values)

독일 산업의학중앙연구소(Central Institute for Occupational Medicine)가 속해있는 보건부(Ministry of Health)에서 작업환경 중 유해물질에 대한 허용 농도와 관련된 기준을 정하고 있다(Arbeitshygiene zulässige Konzentrationen Gesundheitsschädlicher Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz). 독일에서 노출기준을 설정하는 절차는 크게 세 가지 종류로 나눌 수 있다. 노출기준 설정시 위급한 경우([그림 III-5-9])과 그렇지 않는 경우([그림 III-5-10])로 나누어 절차를 달리하고 있으며 이러한 절차를 변경하는 것도 또 다른 절차([그림 III-5-11])에 따라 결정된다. 첫 번째는 위급한 경우에 절차를 빨리 가져갈 수 있는 시스템으로 근로자의 건강을 보호하기 위해 빨리 기준이 만들어져야 하는 경우이다.



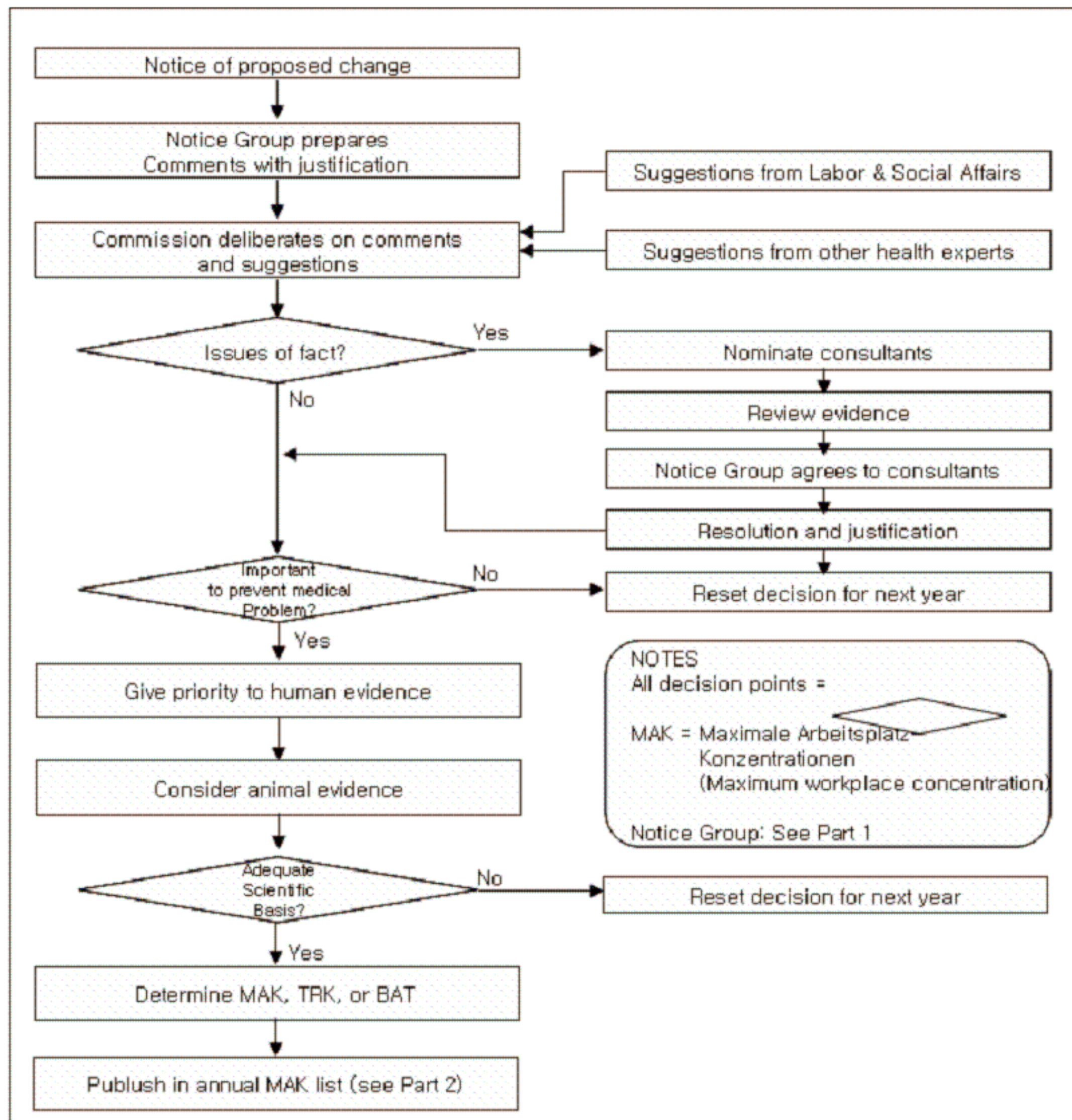
[그림 III-5-9] 독일 노출기준 설정 (1. 위급한 경우).



[그림 III-5-10] 독일 노출기준 설정 (2. 위급하지 않는 경우).

독일은 1958년부터 작업장 최대농도 및 생물학적 인내치 목록(MAK-List)을 만들어 매년 발간하기 시작하였다. 최대치(MAK)란 작업장 내에 존재하는 화학물질(가스, 증기 및 분진형태)의 최대허용농도로 현재의 지식수준에 의하여 근로자의 건강을 해치지 않으며 불필요한 불편함을 주지 않는 수준을 말한다. 이 최대치는 하루의 근로 중 또는 한 교대근무 중에 해당하는 시간동안의 평균농도를 말한다. 각 물질에는 MAK-D와 MAK-K의 두 가지가 명시되어 있다. MAK-D는 하루 중 8시간 45분간의 작업시간 동안 허용될 수 있는 “최대평균농도(Maximum Average Concentration)”를 의미하며 시간가중평균기준이다. MAK-K는 30분을 초과하지 않게 노출되는 단 시간동안 노출될 수 있는 물질의 “최대농도(Maximum Concentration)”이다. 혼합물의 경우는 미국

ACGIH와 비슷한 계산식을 이용한다.



[그림 III-5-11] 독일 노출기준 설정 절차의 변경 과정 (3. 절차 변경 시).

MAK-List는 8시간 가중평균(8-hour time-weighted averages)의 노출기준에 추가하여, 피부투과성(1958), 고감작반응물질(high sensitizing potential; 1969), 최대노출제한(controlling peak exposures; 1983)을 위한 새 체계, 생물학적 인내치(biological tolerance levels; 1981), 태아독성(embryotoxicity) 및

기형유발성(teratogenicity; 1985) 등의 항목을 추가하였다. 게다가 기증분석 및 생물학적 모니터링을 위한 분석기법을 개발하고 monograph를 발간하였다.

화학물질의 독성학적 농도와 분석방법의 실제 적용도를 고려하여 최대치를 몇 가지 범주로 나누어 분류하였다. 자극적이거나 강한 냄새가 나는 물질의 경우 단기노출농도가 8시간 가중농도의 2배를 넘지 않으면서 순간적 농도가 5분, 또는 10분을 넘지 않도록 고려하였으며, 반감기가 긴 물질과 짧은 물질을 나누어서 단기노출의 수준과 기간, 노출횟수를 달리하였다.

발암물질 노출기준은 MAK-List에는 따로 나타내지 않고 기술적 안내농도(Technical Guidance Concentration, TRK)로 정하고 있다. TRK는 과학적인 근거에 의한 안전농도수준이 아니고, 정치적, 사회경제적 및 기술적 결정과정을 거친 타협의 산물로 그 수준이 결정된다고 하였다. 따라서 TRK에서 정하는 농도수준은 안전한 수준이 아니고 현재의 독일 기술 수준 상 제한이 가능한 수준이며, 될 수 있는 대로 발암물질의 농도는 0이 되도록 노력해야한다. 유해물질의 최대치기준은 학자들의 위원회인 최대치위원회(MAK-Commission)에서 결정되지만, 이 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 결정한다.

독일의 기준은 철저하게 건강상의 영향에 대한 과학적인 자료에 근거하여 만들어진다. 과거 ACGIH의 기준을 고려했었으나 지금은 완전히 다른 체계로 운영되고 있다. 기술적, 경제적 가능성을 제외하고 건강상의 악영향을 예방하기 위한 과학적 기준으로 문서로 명시하고 있다. 발암물질과 유전독성 물질은 NOAEL(No Observed Adverse Effects Level, 무해영향관찰량)이나 NOEL(No Observed Effects Level, 무영향관찰량) 값을 결정할 수 없으므로 노출을 최소화하기 위해 TRK 값을 제시하고 있다.

독일 연구위원회(Deutsche Forschungsgemeinschaft : DFG)의 산업장 유해물질 조사위원회에서 제정하는 기준치로서 작업장의 공기 중에 있는 가스, 증기, 먼지 상태의 유해물질에 하루 8시간씩 주 40시간(4교대를 하는 작업장에서는 4주 동안의 주당 평균시간이 42시간) 동안 계속적으로 노출되더라도 건강장해를 일으키지 않을 뿐 아니라 불쾌감을 주지 않는 최고농도를 말한다. 원칙적으로 최대 허용농도는 1일 또는 1작업 교대시간 동안의 시간가중평균농도를 표시한다. MAK는 TLV와는 달리 기술적 또는 경제적인 면에 배려하기 보다는 근로자의 건강을 보호하기 위하여 의학적인 견지에서 정한 것으로 노출기준 기술에 다음과 같은 정의를 하고 있다.

- TWA : 하루 8시간씩 주 40시간, 4교대를 하는 작업장에서는 4주 동안의 주당 평균 42시간 기준

- STEL : ACGIH, OSHA, NIOSH와 달리 일정하지 않다. 1회에 노출되는 시간은 15분, 30분 등이며 한 번의 교대근무시간(shift) 중 허용되는 횟수도 4회, 8회 등으로 달리 표현될 수 있다.

- 배아 및 태아와 관련한 독성 : Group A (현저한 손상을 줄 위험이 있는 물질, 최대치나 생물학적인내치를 준수하더라도 직업성 폭로가 태아에 손상을 줄 수 있다), Group B (태아에게 손상을 중 가능성이 있는 물질), Group C(태아 손상 위험에 근거가 없는 물질)

- S : 피부나 호흡기에 감작성(sensitization)에 의하여 개인적으로 알레르기 반응을 가져오는 물질

- H : 표피를 아주 쉽게 침투하여 흡수되는 물질(실제 표기에서는 피부로 표시하였음).

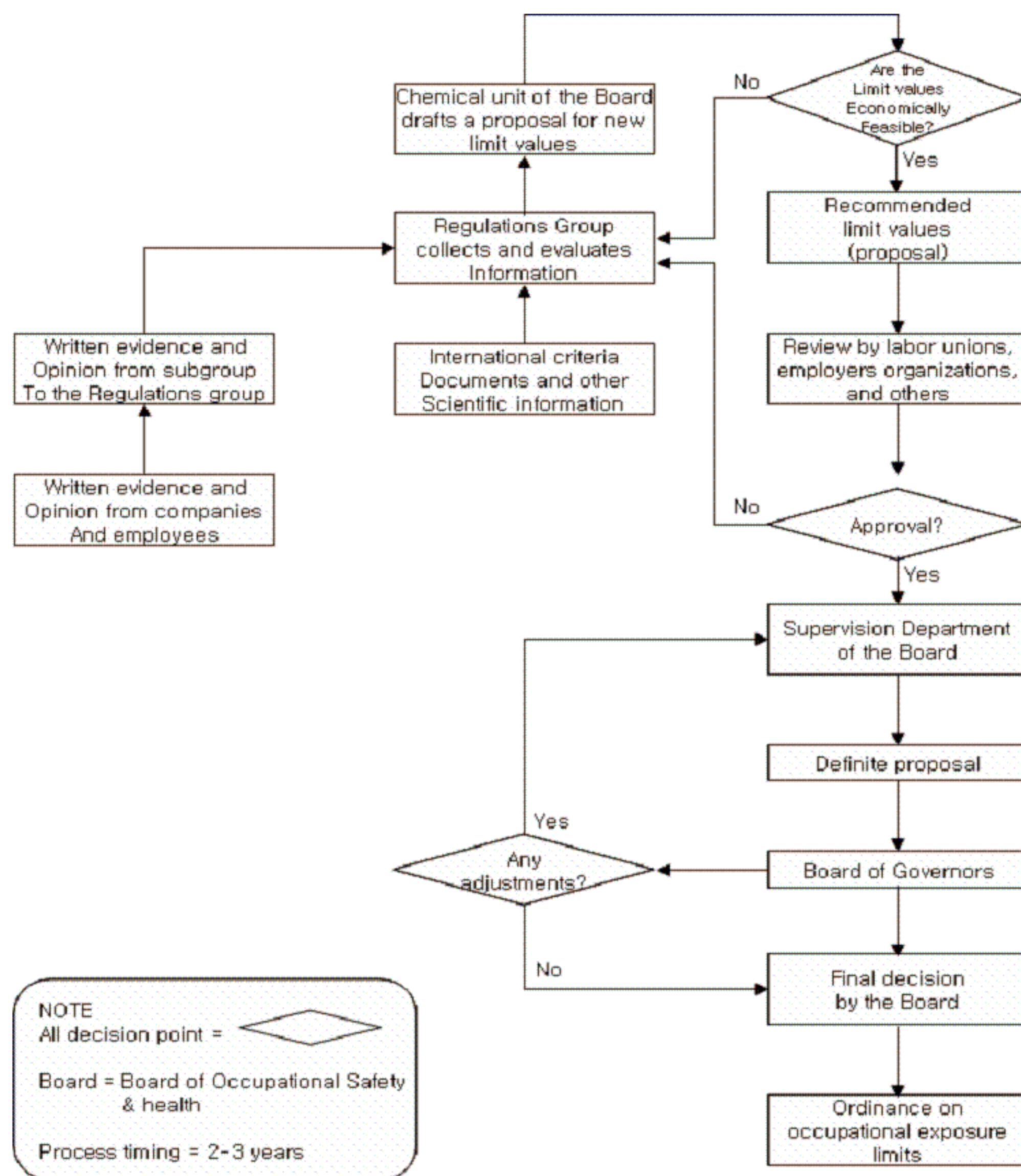
- 발암성 : 5단계로 분류하는 체계

독일에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대해 시간가중평균, 단시간노출 등의 기준값은 제시하지 않고 발암성에 있어서 MAK-2인 동물실험에서는 확실히 발암성이 있는 것으로 입증되었으며 사람에게서도 그 가능성이 유추되는 물질로 제시하고 있다. 피부흡수에 대한 주의를 주기 위해 “skin”을 명시하고 있으며 “Sh(감작)” 표시를 하여 감작 특성이 있음을 제시하고 있다.

(6) 스웨덴 : OEL(Occupational Exposure Limits)

초기에는 ACGIH TLV를 전적으로 채택하였으나 1969년 이래로는 자체적인 체계를 갖추고 있다. 건강상의 영향에 대한 과학적 근거와 구분하여 경제적, 기술적 가능성을 고려하는 의사결정 과정에 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력의 결과로 기준들이 점차 낮아져(더 엄격하게 됨) 매년 전체적으로 기준값이 3.9 %씩 낮아지고 있으며 유기용제류는 5 %, 발암물질류는 10 %가 감소하고 있다. 스웨덴은 유럽연합(EU)의 국가 중에서 가장 낮은 노출기준을 설정하고 있다.

스웨덴에서는 세 곳의 이해당사자가 협력하여 OEL을 설정하는 작업반(working group) 체계이다. 이 과정의 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 참조그룹(Regulation Group)을 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. 스웨덴에서 노출기준의 설정 절차는 [그림 III-5-12]과 같은 과정을 통해 설정된다.



[그림 III-5-10] 스웨덴의 노출기준 설정 절차.

스웨덴에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대해서 시간가중평균 기준으로 미국 ACGIH 대비 약 10배 정도 높은 0.1 ppm을 제안하고 있으며, 유일하게 단시간노출기준으로 0.2 ppm을 제안하고 있다. 또한 "Ca(Carcinogen)"로 표시하여 발암물질로 간주하고 있으며 "Skin"을 명시하여 피부 흡수에 대한 주의를 주고 있다(Lundberg 등, 1993).

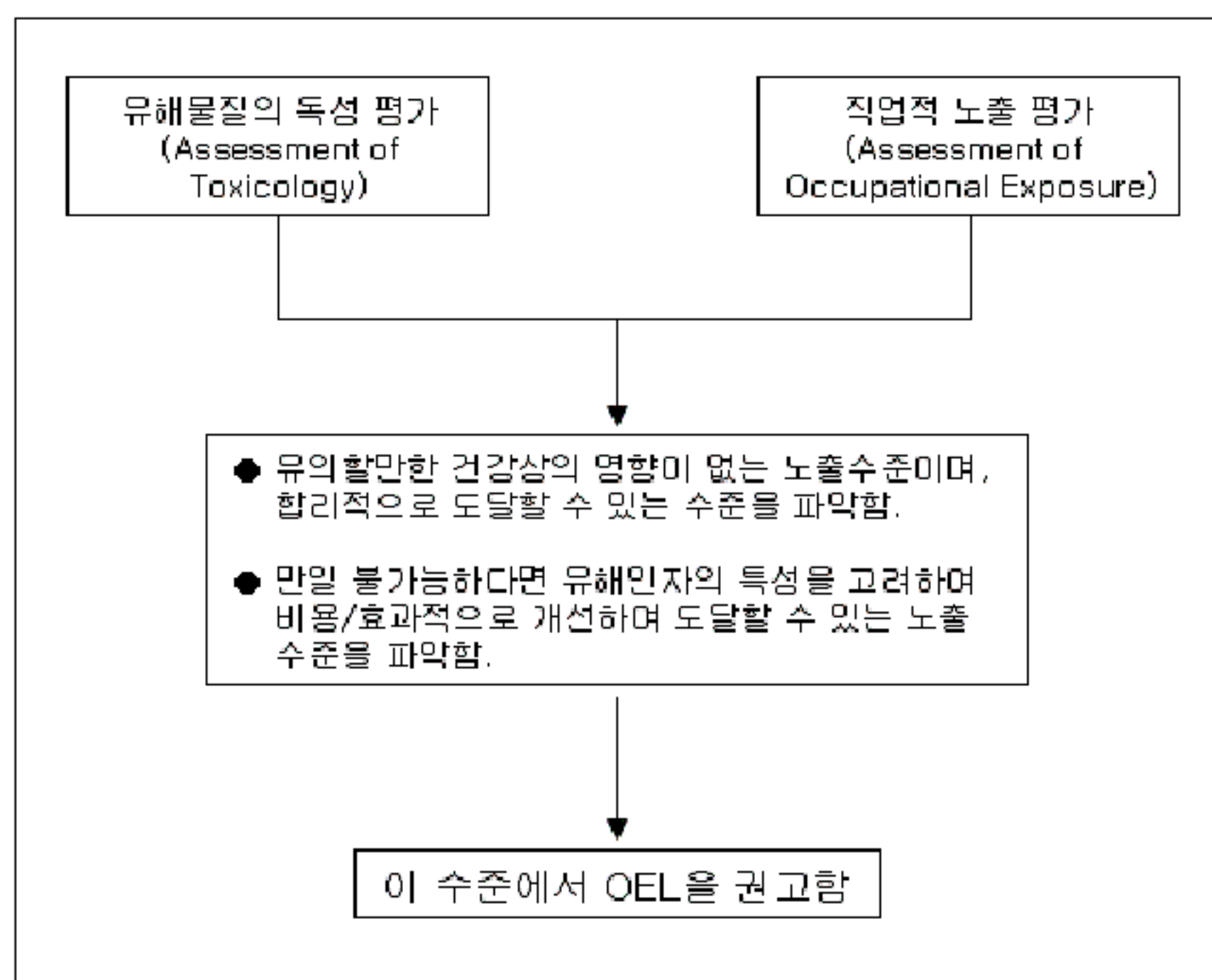
1,1-디메틸하이드라진에 대한 산업체의 역학 자료가 존재하지 않기 때문에 스웨덴에서는 동물실험을 토대로 인체의 중요 영향으로 발암 영향을 노출기준 설정의 근거로 삼았다. 점막의 자극과 혈액에 대한 영향 등을 중요한 건강상의 영향으로 간주하였다. 1,1-디메틸하이드라진은 피부를 통해서 쉽게 투과하는 것으로 판단하고 있다.

또한 발암물질의 분류체계 중 Group 2로 명시하여 1,1'-디메틸하이드라진을 취급할 때는 반드시 감독관(Supervisory Authority)의 허가를 받아야 한다고 명시하고 있다. 그룹 B에 속하는 물질은 암 발생 위험성을 증가시킬 수 있으며 저 농도에 노출되더라도 다른 독성 효과를 나타낼 수 있는 물질이다. 기본적으로 확실한 발암물질과 같이 근로자가 노출될 수 있는 가능성을 최대한 예방하여야 한다고 명시하고 있다. 또한 허가를 신청하기 전에 좀 더 위험성이 적은 물질로의 교체할 수 있는 가능성을 고려하여야 한다. 그룹 B에 속하면 일반적으로 1-3년의 제한된 기간 동안 사용이 허용된다. 이 물질 사용에 대해 신청을 하면 지역 단위의 감독관이 허용 여부를 결정하게 된다.

(7) 영국 : WEL(Workplace Exposure Limits)

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. 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 포함되어 있다. OES는 ACGIH

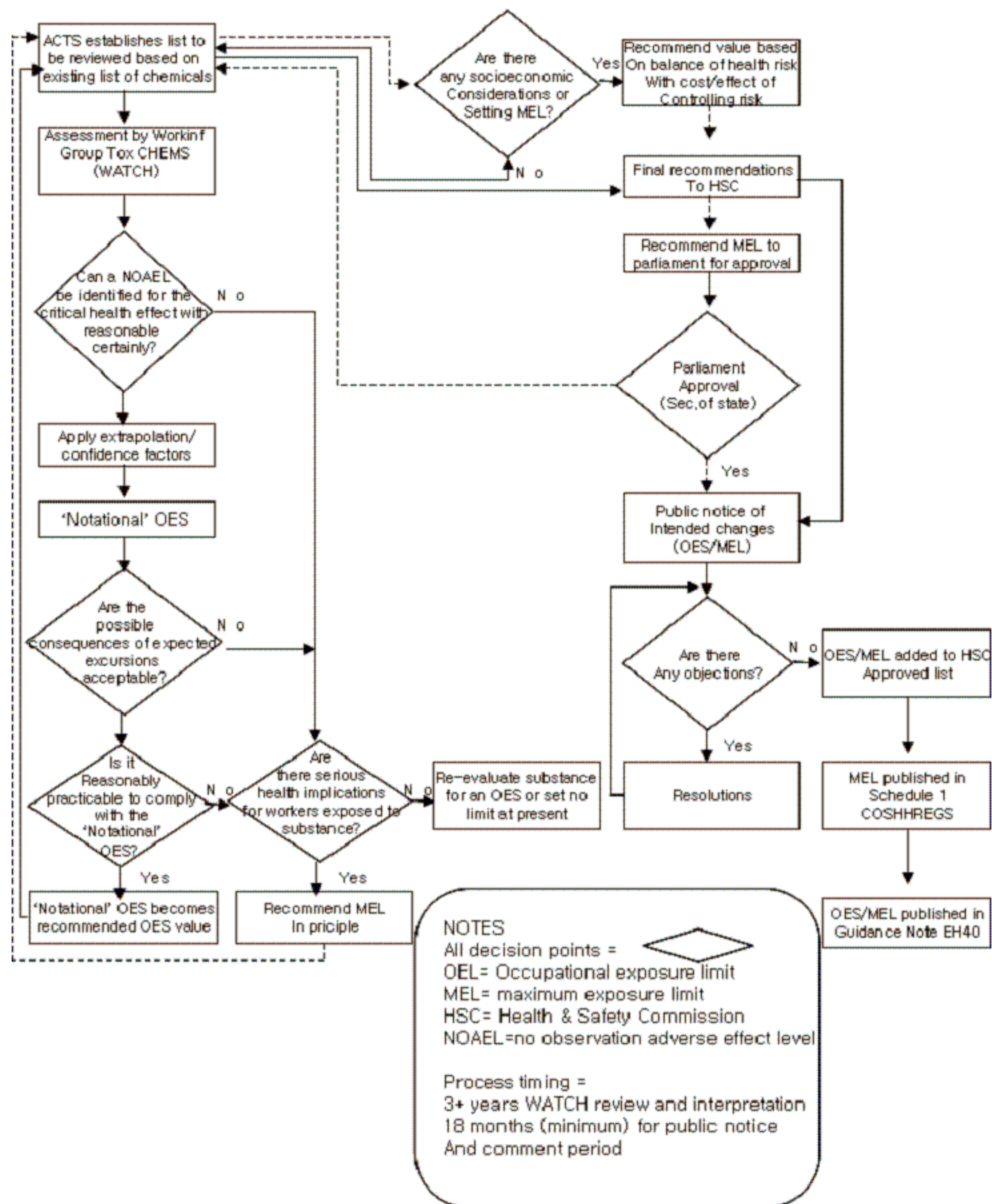
의 TLV와 마찬가지로 근로자가 하루 8시간씩 일정한 기간 동안 매일 흡입하더라도 건강장해를 일으키지 않을 노출농도를 정한 것이다. 이에 대해서 노출된 근로자에게 심각한 건강장해를 일으키거나, 비록 사소한 건강장해라 할지라도 많은 인구집단에게 문제를 야기 시킬 위험성이 있는 물질에 대해서는 사회경제적인 요소를 고려하여 OSHA의 PEL에 해당하는 MEL을 법적으로 규제하고 있다. 실제로 MEL은 발암성 물질이라든가, 독작용의 서한도가 정해져 있지 않은 물질 또는 노출되었을 때의 독작용의 중대성을 의심할 여지가 없는 물질에 대해서 정하고 있다. ([그림 III-5-13] 참조).



[그림 III-5-13] 영국의 OEL 권고 기준.

그 후 WATCH(Working Group on the Assessment of toxic Chemicals)를 결성하여 기준 설정작업을 재검토한 2단계 규제방식의 원칙을 고수하면서 최대노출기준(Maximum Exposure Limit, MEL)을 그대로 도입하고 새로운 직업노출기준(Occupational Exposure Standard, OES)을 설정하였다. MEL은 어떤 경우라도 그 이하로 유지하여야 하는 노출규제를 말한다. 따라서 이것은 강제

적으로 지키도록 하고 있는 반면에 OES 정의는 매우 독특한 내용을 가지고 있는데 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 유지해야 할 의무가 있는 반면, OES는 타협 원칙을 적용하여 만약 근로자가 OES에 도달되는 농도에 노출되어도 이를 감소시켜야 할 법적 강제성이 없다. 영국의 노출기준 설정 과정은 다음 [그림 III-5-14]와 같다.



[그림 III-5-14] 영국의 노출기준 설정 절차.

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 시간가중평균 기준이다.

영국에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대해 실험실 수준의 극히 적은 양이 사

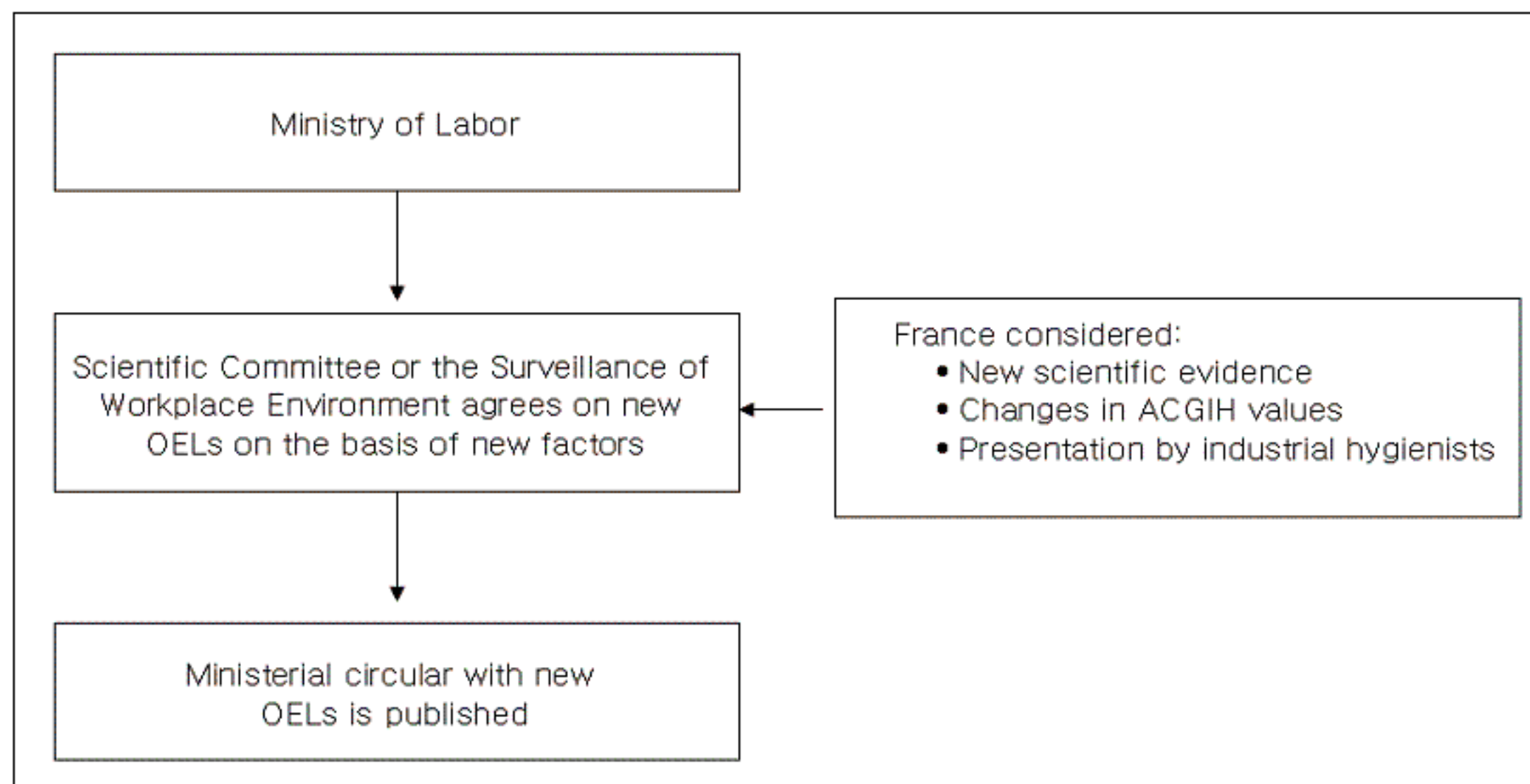
용되고 있어서 노출기준을 설정하지 않고 있다.

(8) 프랑스 : OEL(Occupational Exposure Limits)

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 과학위원회의 검토를 거쳐 프랑스의 법으로 전환되게 된다. 프랑스의 노출기준 설정 절차는 다음 [그림 III-5-15]과 같다. 노출기준 설정시 새로운 과학적 증거와 ACGIH 노출기준 변화 여부, 산업위생전문가의 의견 등을 고려해서 결정하게 된다.



[그림 III-5-15] 프랑스의 노출기준 설정 절차.

프랑스에서는 1,1-디메틸하이드라진에 대한 기준으로 8시간 시간가중평균 기준치로 미국 ACGIH 대비 약 10배 정도 높은 0.1 ppm(0.2 mg/m³)을 제시하고 있으며 발암물질(C2)이며, 알레르기를 일으킨다고(AC, risque d'allergie cutanee) 제안하고 있다. 노출기준을 제시하고 있으나 <http://en.inrs.fr/>를 통해서 그 근거를 검색하였으나 약 250 여 가지의 물질에 대한 자료는 공개하고 있었으나 이 물질에 대한 근거를 찾을 수 없었다.

6. 작업장내 근로자 노출실태

가. 작업환경측정방법 및 결과

(1) 예비조사

2004년 노동부 제조업실태조사 결과 1,1-디메틸하이드라진을 사용하는 것으로 조사된 총 5개 사업장을 방문 조사한 결과, 한 개 사업장을 제외한 4곳의 사업장에서는 1,1-디메틸하이드라진을 취급하거나 사용 하지 않는 것으로 확인되었다. 한 개 사업장에서는 1,1-디메틸하이드라진을 스판 섬유 생산 시 산화방지를 위한 첨가제로 사용하고 있었다. 그 사용량은 간헐적으로 하루 6.5kg의 액상 1,1-디메틸하이드라진을 소비하며 1년에 약 10톤 정도 사용하는 것으로 확인되었다. 스판 섬유 생산 공장은 총 2개 공장으로 확인되었다. 하지만, 1,1-디메틸하이드라진 첨가에 따른 효과가 명확히 나타나지 않고 스판 섬유 생산과잉으로 인해 계속 적자를 보고 있어 9월 이후 1,1-디메틸하이드라진을 사용하지 않을 계획으로 인해 1공장은 폐쇄되었으며 2공장은 30%만 가동하고 있고 스판 섬유 생산 라인은 총 12라인 중 6개 라인이 가동하고 있는 것으로 확인되었다. 작업장의 공정 흐름도는 [그림 III-2-3]과 같다.

(2) 작업장의 공정개요

1,1-디메틸하이드라진은 드럼으로 수입하여 이를 저장탱크에 보관한다. 저장탱크에 보관된 1,1-디메틸하이드라진은 라인을 통해 각 반응기에 주입하고 반응기에서 반응을 거친 후 분배기를 통해 1,1-디메틸하이드라진과 반응 생산물을 분리한 후 1,1-디메틸하이드라진은 반응기로 재순환 된다. 각 라인과 반응기, 분배기는 밀폐되어 있어 라인 등의 노화, 부식으로 인한 누출, 결함으로 인한 정비 및 대 정비 등 특별한 경우를 제외하고 작업자의 1,1-디메틸하이드라진에 노출 될 가능성은 낮을 것으로 판단된다. 또한, 작업자는 별도로 설치된 control room에 주로 위치하며 대부분의 작업이 control room에서 이루어지고 있어 작업자에 대한 1,1-디메틸하이드라진의 노출 가능성은 낮을 것으로

판단된다.

(3) 작업환경측정

작업환경측정은 공장 내에 노출되는 1,1-디메틸하이드라진의 농도를 평가하기 위해 각 반응기와 분배기 옆 두 곳에서 TWA-A(시간 가중 평균 지역 평가)를 실시했다. TWA-A와 함께 단시간 동안 노출되는 1,1-디메틸하이드라진의 농도를 평가하기 위해 반응기와 분배기 옆에서 STEL-A(단시간 노출 지역 평가)를 실시했다. 또한, 공장 외부에 위치한 1,1-디메틸하이드라진 저장탱크 옆에서 TWA-A를 함께 실시했다.

(4) 측정 및 분석방법

가) 분석방법의 개요

1,1-디메틸하이드라진은 산소에 의해 쉽게 산화되는 경향이 있으며 공기 중에서 흡으로 존재한다. 그러므로 이러한 특성을 고려한 시료채취 및 분석방법을 필요로 한다. 다양한 매트릭스에서의 1,1-디메틸하이드라진 분해를 방지하기 위해 산성화시키는 과정이 필요하며, 시료를 채취한 후에는 가능하면 빨리 분석을 진행해야 한다(Cook et al, 1979; WHO, 1987). 분석은 흡광광도계, 가스크로마토그래프(GC) 그리고 고성능액체크로마토그래프(HPLC)를 이용할 수 있다.

NIOSH(1977b) 는 처음에 황산으로 코팅된 실리카겔관으로 공기 중 1,1-디메틸하이드라진을 측정하도록 제안하였다. 측정된 시료는 2-furaldehyde로 유도체화 시킨 다음, 가스크로마토그래프/불꽃이온화검출기를 이용하여 분석하였다. 그러나 이 방법은 시료를 채취한 직 후 바로 분석을 진행하도록 권고하였는데, 시료의 안정성 때문이었다. 가스크로마토그래프로 분석하기 위해서는 반드시 1,1-디메틸하이드라진을 유도체화시킨 다음 그 유도체화된 물질을 분석해야 하는데 이러한 전처리 과정이 없이 바로 가스크로마토그래프로 분석하게 되면 분석과정 중 1,1-디메틸하이드라진이 분해되기 때문이다(EPA, 1990c; 1990d).

1977a 방법은 실리카겔대신 염산용액의 임편저를 이용하여 1,1-디메틸하이드라진을 채취하였고, 인몰리브덴산 용액으로 유도체화를 시킨 다음, 특정한 파장의 흡광광도계를 이용하여 분석하도록 제안하였다. 이 방법은 1,1-디메틸하이드라진의 가장 최근의 NIOSH 공정시험법인 3515 방법으로 발전하였다.

일부 문헌에서는 HPLC 방법을 이용하고 있다. Leonnard(1967) 등은 시료 중 1,1-디메틸하이드라진을 salicydaldehyde로 유도체화시킨 다음 흡광광도계를 이용하여 분석하였다. Hamed(1977) 등은 이소프로판올 용액을 이용하여 1,1-디메틸하이드라진을 채취한 후 salicydaldehyde 로 유도체화시킨 다음 HPLC를 이용하여 분석하였다. EMERICH(1981) 등은 전자화학검출기를 이용하여 유도체화 시키지 않고 바로 HPLC로 분석하였다. Denisov(2004) 등은 공기 중 1,1-디메틸하이드라진을 채취한 다음 4-nitrobenzaldehyde로 유도체화시킨 다음 HPLC로 분석하였다.

주요 문헌에서의 분석방법을 <표 III-6-1>에 정리하였다. 현재 사용되고 있는 대부분의 시험법은 1,1-디메틸하이드라진의 최소 흡입 수준인 0.0002ppm의 수준도 측정이 가능하도록 충분한 민감한 방법들이다. 그러나 다양한 매트릭스에서 1,1-디메틸하이드라진이 분해되는 특징이 있기 때문에 추출 및 분석 방법이 계속해서 연구되고 있는 중이다.

본 연구에서는 검출한계, 실험실에서의 적용 가능성을 고려하여 미국산업안전보건연구원 공정시험법(NIOSH Manual of Analytical Methods, NMAM) 3515를 참조하였다.

<표 III-6-1> 공기 중 1,1-디메틸하이드라진의 분석방법 요약

시료매질	전처리방법	분석방법	검출한계	%재현성	참고문헌
공기	염산용액 임피저; 수산화나트륨으로 중화; p-디메틸아미노벤젠알데하이드로 유도체화; 아세트산으로 회석	Spectrophotometer	0.9 μ g/sample	데이터 없음	NIOSH, 1984
공기	황산으로 코팅된 실리카겔관에 시료 채취 ; 2-furaldehyde로 유도체화; 에틸아세테이트로 추출	GC/FID	0.04mg/m ³	데이터 없음	NIOSH, 1977b
공기	염산용액 임피저; 인몰리브덴산으로 유도체화	Spectrophotometer	0.02mg/m ³	데이터 없음	NIOSH, 1977a
공기	salicydaldehyde으로 유도체화	Spectrophotometer	0.25 μ g/ml	97.1	Leonard 등, 1966
공기	이소프로판올용액; salicydaldehyde으로 유도체화	HPLC	-	100.04 $\pm$ 0.87	Hamed 등, 1977
공기	아세톤용액 마이크로임피저; 아세트산으로 농축시키면서 유도체화	GC/NSD	4ppb (5 μ g/m ³)	97-104	Holtzclaw 등, 1984
-	4-nitrobenzaldehyde로 유도체화	HPLC	120 μ g/l		Denisov 등, 2004

나) 현장에서 적용한 측정 및 분석방법

① 시약

- 1,1-디메틸하이드라진(1,1-디메틸하이드라진): ACS grade
- 염산: 37%, ACS grade
- 0.1M 염산: 증류수가 300ml 들어 있는 1ℓ 둥근 플라스크에 37% 염산용액 8.2ml를 첨가한다. 증류수로 1ℓ 까지 mass-up시켜서 준비한다.
- 인몰리브덴산(Phosphomolybic acid)
- 3%(W/V) 인몰리브덴산 용액: 인몰리브덴산 15g을 증류수 500ml에 녹인다. 하루 동안 상온에서 방치한 다음, 필터로 여과시킨 용액을 사용한다.
- 증류수: 전기저항이 18.2MΩ 이상인 용액으로 사용한다.

② 기기 및 장비

- 시료채취 여재: 0.1M 염산용액이 들어있는 25ml 임편저.
- 개인용 시료채취용 펌프: 0.2~2ℓ/분의 유량 조절이 가능한 펌프, 폴리에틸렌 또는 테플론 튜브와 연결하여 사용한다.
- 흡광광도계: 730nm 파장이 가능해야 함.
- 1cm 흡광광도계 셀.
- 온탕기(Water bath): 95℃에서 사용함.
- 메스플라스크: 50, 100, 500, 1000ml.
- 피펫: 10, 20, 50μℓ용, 10, 15ml용 메스피펫.

③ 시료채취방법

시료는 0.1M 염산용액을 흡수액으로 이용하여 채취하였다. 0.1M 염산용액 10ml가 담겨 있는 임편저를 0.2ℓ/min으로 보정시킨 개인 시료 채취용 펌프(Gilson, USA)와 튜브를 이용하여 연결시킨다. 흡수용액이 새지 않도록 주의하여 일정시간 동안 시료를 채취한다. 시료 채취가 끝나면, 현장에서 바로 50 ml 튜브에 채취용액을 옮긴다. 이때 임편저 용기에 추가적으로 0.1M 염산 용액을 넣어서 용기를 세척한다. 튜브의 뚜껑을 닫은 다음 실험실까지 안전하게 보관하여 옮긴다. 시료채취 부피는 2~100ℓ로 조절한다. 시료는 분석 전까지

냉장 보관하는 것이 바람직하며, 시료의 안정성은 상온에서 약 5일 정도이다. 시료의 안정성을 고려하여 시료를 채취한 후 일주일 이내에 분석한다.

④ 전처리방법

시료 채취용액이 담겨진 50ml 용기에 3%(Wt/vol) 인몰리브덴산 용액 10ml를 첨가한다. 그리고 50ml까지 0.1M 염산용액으로 mass-up 시킨다. 미리 95℃로 가열시킨 온탕기(Waterbath, SIBATA, Japan)에 용기를 넣고 60분 동안 가열시킨다. 가열 후 온탕기에서 꺼낸 다음 흐르는 물에서 실온까지 냉각시킨다. 시료 중 1,1-디메틸하이드라진은 인몰리브덴산 용액과 반응하여 1,1-디메틸하이드라진-인몰리브덴산 복합물 형태로 존재하여 짙은 연두색을 띠게 된다. 이 용액을 분석용으로 이용한다. 공시료는 0.1M 염산용액으로 이용하였다.

⑤ 표준용액 제조

1,1-디메틸하이드라진 표준용액은 시료에서의 농도 수준을 고려하여 5개의 농도 수준으로 제조하였다. 1,1-디메틸하이드라진 원액으로 1000 μ g/ml의 저장용액(Stock solution)을 제조하였다. 저장용액을 2, 5, 10, 30, 50 그리고 100 μ l씩 0.1M 염산용액 10ml에 주입하여 표준용액을 제조하였다(<표6-2> 참조). 각각의 표준용액은 시료와 동일한 방법으로 전처리를 하였다.

<표 III-6-2> 1,1-디메틸하이드라진의 표준용액 농도수준

STD	Inject(ml)	Conc.(μ g/ml)
STD00	0.000	0.0000
STD01	0.002	0.0202
STD02	0.005	0.0506
STD03	0.010	0.1011
STD04	0.050	0.5056
STD05	0.150	1.5168

⑥ 분석방법

표준용액 및 시료는 흡광광도계(UV-Visible Spectrophotometer, Cary 100, Varian, Australia)를 이용하여 분석하였다. 1cm 석영 셀에 분석용 용액을 옮긴 다음, 730nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다. 흡광광도계는 분석 전에 미리 기기를 켜 다음 730nm를 설정하여 충분히 광원을 안정화시킨 후, 증류수를 이용하여 기기를 보정 후 분석하였다. 표준용액의 농도와 흡광도를 이용하여 검량선을 작성하여 시료에서 1,1-디메틸하이드라진의 양을 계산하였다.

⑦ 시료에서의 농도계산

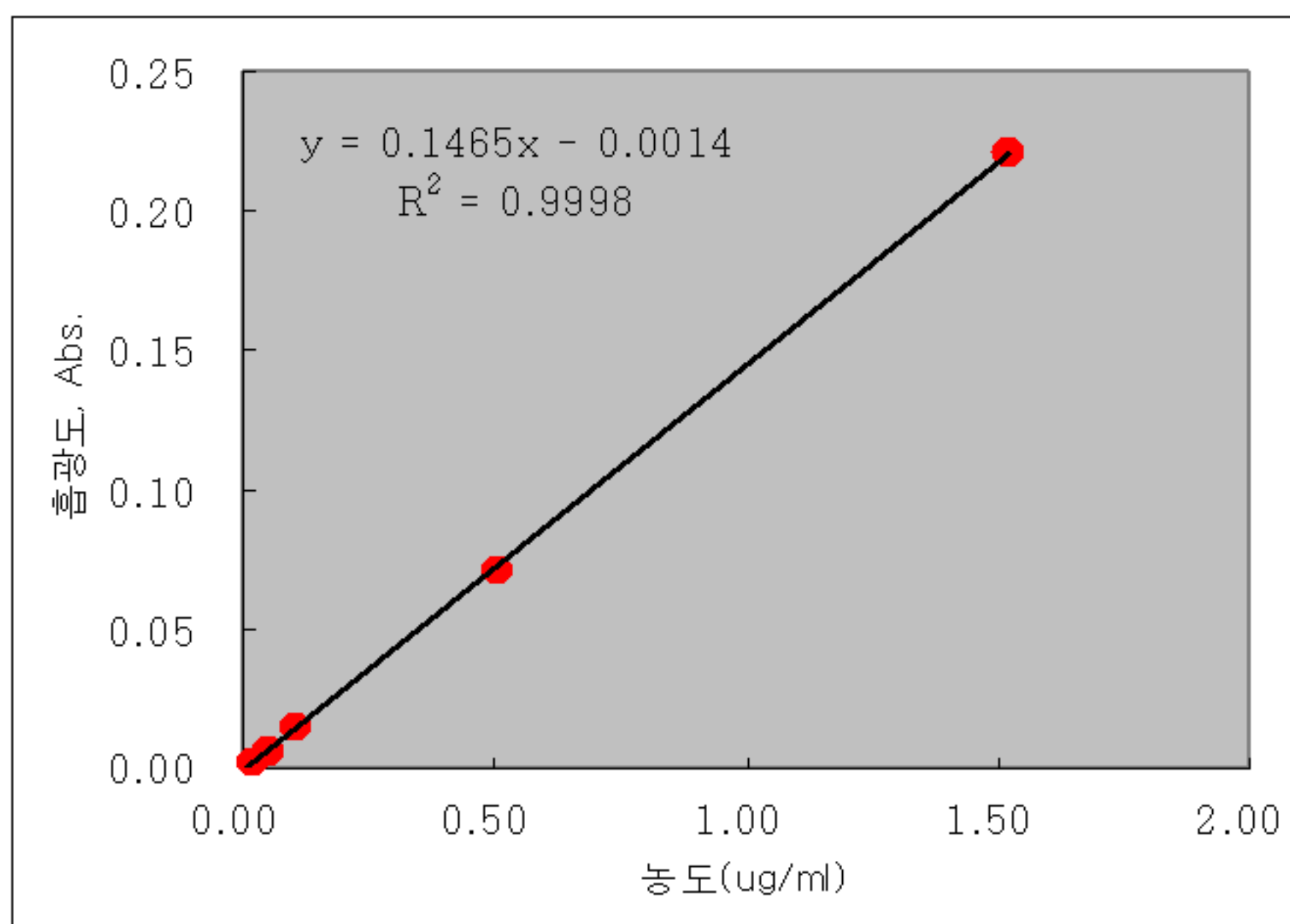
⑤에서 제조한 표준용액과 흡광도를 이용하여 [그림 III-6-1]과 같은 검량선을 작성하였다. 이를 이용하여 시료에서 1,1-디메틸하이드라진의 양을 계산한 다음 공기부피를 보정하였다. 공기 중 1,1-디메틸하이드라진의 농도는 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{농도, } C = \frac{W-B}{V}, \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

여기에서, W= 시료 중 1,1-디메틸하이드라진의 양(mg)

B= 공시료 중 1,1-디메틸하이드라진의 양(mg)

V= 공기 부피(m³)



[그림 III-6-1] 1,1-디메틸하이드라진의 검량선.

이상에서 설명한 시료채취방법 및 분석방법은 <표 III-6-3>에 요약 정리하였다.

다) 정도관리

측정 및 분석방법에 대한 정확성 및 정밀도를 평가하기 위해 실험실에서 임의의 농도수준으로 시료를 제조하였다. 각각 세 농도수준에서 3개씩 제조하여 평가하였다. 0.1M 염산용액에 1,1-디메틸하이드라진의 농도가 각각 2.53, 5.06 그리고 50.56 μ g이 되도록 주입한 다음 하루 동안 상온에서 방치하였다. 나)의 분석방법대로 진행하였다.

<표 III-6-3> 1,1-디메틸하이드라진 측정 및 분석방법

1,1-디메틸하이드라진 분석방법- NIOSH 3515 참조(Matrix : Air)	
노출기준	
OSHA: C 0.5 ppm(skin) NIOSH: C 0.06 ppm /120 min; 발암성 물질 ACGIH: C 0.5 ppm(skin); 발암가능물질 (2B) 노동부: 0.5 ppm(skin); A2 (1 ppm=2.46 mg/m³ @NTP)	
화학적 특징	
구조식: (CH₃)₂NNH₂ CAS 번호: 57-14-7 분자량: 60.10 비중: 0.80(20 °C) 끓는점: 63 °C 녹는점: -58 °C 증기압: 25°C에서 157 mmHg	
Sample	
Sampler	임편저 (0.1M 염산용액)
Flow rate	0.2 - 1.0 ℓ/min
Vol-Min	2 L @0.5 ppm
Max	100 L
Storage	최소 5일 @ 25 °C (5일 후 회수율은 101.3 %)
Standard preparation	
①Stock solution 1000 µg/ml 1,1-디메틸하이드라진 500mg을 무게를 잰 다음 0.1M 염산용액 100ml에 녹인다. ②Standard solution: 0.02 - 2µg/ml :저장용액 2, 5, 10, 50, 150µl를 0.1M 염산용액 10ml에 넣어 농도별로 제조한다. ③표준용액은 시료와 동일하게 전처리한다.(인몰리브덴산 10ml첨가부터)	
Sampling	
임편저에 0.1M 염산용액 10ml를 넣고, 튜브로 펌프와 임편저를 연결한다. 시료 채취 후 0.1M 염산용액 2ml로 임편저 내벽을 씻어주고 손실이 없도록 적당한 용기에 담아 밀봉하여 운반한다.	
Sample preparation	
①시료용액을 50ml 플라스크에 옮긴다. ②인몰리브덴산 용액 10ml를 첨가하고 0.1 M 염산용액으로 총 부피가 50 ml가 되도록 채운다. ③시료용액을 95°C에서 60분간 가열한다. ④용액을 흐르는 물에서 상온까지 냉각시킨다.	
Measurement	
Instrument: 흡광광도계, 730nm, 1cm-cell Analyte: 인몰리브덴산과 1,1-디메틸하이드라진의 복합체 Range: 2 - 250 µg/sample LOD: 1 µg/sample Recovery: 100.65±19.09%	
Remarks...	
적용: 0.008 - 1 ppm(0.02 - 2.5 mg/m³) for 100 ℓ air sample 방해작용: 다른 하이드라진, 주석이온, 철이온, 아연, 이산화황, 황화수소는 양의 방해작용을 한다. 할로젠, 산소(특히 구리(I)이온 존재시), 과산화수소등에 의한 산화로 음의 방해 작용을 한다.	
Special precaution	
1,1-디메틸하이드라진은 흡입하거나 삼키거나 또는 피부를 통해 흡수되어 인체에 치명적이다. 접촉으로 노출되면 눈과 피부에 화상을 일으키며, 증기는 눈, 피부 그리고 점막에 질환을 일으킨다. 그러므로 주의하여 다루어야하며 적절한 보호 장비를 착용하여야 한다.	

분석결과는 <표 III-6-4>와 같다. 낮은 농도 수준인 2.53 μ g과 5.06 μ g에서의 재현성은 각각 76~132%, 79~131%로 변이가 컸다. 그러나 50.06 μ g의 농도수준에서는 평균 99%의 재현성을 나타냈다. 전체적으로 9개 시료에 대한 재현성은 100.65 $\pm$ 19%였다. 제한된 데이터이기는 하지만 수 μ g 수준의 낮은 농도에서는 재현성에 변이가 있는 것으로 확인되었다. NIOSH에서는 이 방법에 대한 정확성을 $\pm$ 14%로 평가하고 있다.

<표 III-6-4> 0.1M 염산용액 중 1,1-디메틸하이드라진의 재현성

시료	검출량(μ g)	주입량(μ g)	재현성(%)
RE-01	3.35	2.53	132.52
RE-02	1.94	2.53	76.74
RE-03	2.49	2.53	98.50
RE-04	4.01	5.06	79.31
RE-05	6.52	5.06	128.86
RE-06	4.68	5.06	92.46
RE-07	50.31	50.56	99.51
RE-08	50.05	50.56	98.98
RE-09	50.05	50.56	98.99
Mean			100.65
SD			19.09

나. 측정결과분석 및 해석

(1) 1,1-디메틸하이드라진의 지역 농도 수준: TWA 중심

1,1-디메틸하이드라진이 존재하는 공정은 스파덱스와 1,1-디메틸하이드라진을 반응시키는 반응기, 반응이 완료된 스파덱스와 잔량의 1,1-디메틸하이드라

진을 재순환 시키는 분배기, 1,1-디메틸하이드라진을 저장하는 저장탱크로 볼 수 있다. 가동되고 있는 반응기와 분배기 각각 5개소와 저장탱크 1개소에 대한 측정을 실시했다. 1,1-디메틸하이드라진은 휘발성이 크기 때문에 공기 중 흡입에 의한 노출 가능성이 크다. 그러나 작업자는 대부분 control room에서 머무르며, 상시적인 점검 작업때에만 노출될 가능성이 있기 때문에 개인노출 보다는 지역에서의 1,1-디메틸하이드라진의 농도를 평가하였다.

TWA-A 측정 결과, 1,1-디메틸하이드라진의 평균 농도는 0.0017ppm(최대 0.0066ppm)으로 가장 낮은 노출기준인 ACGIH에서 제시하는 1,1-디메틸하이드라진의 피부 노출 기준, 0.01ppm과 비교해 약 5.9배 낮은 수준이었다(<표 III-6-5> 참조)

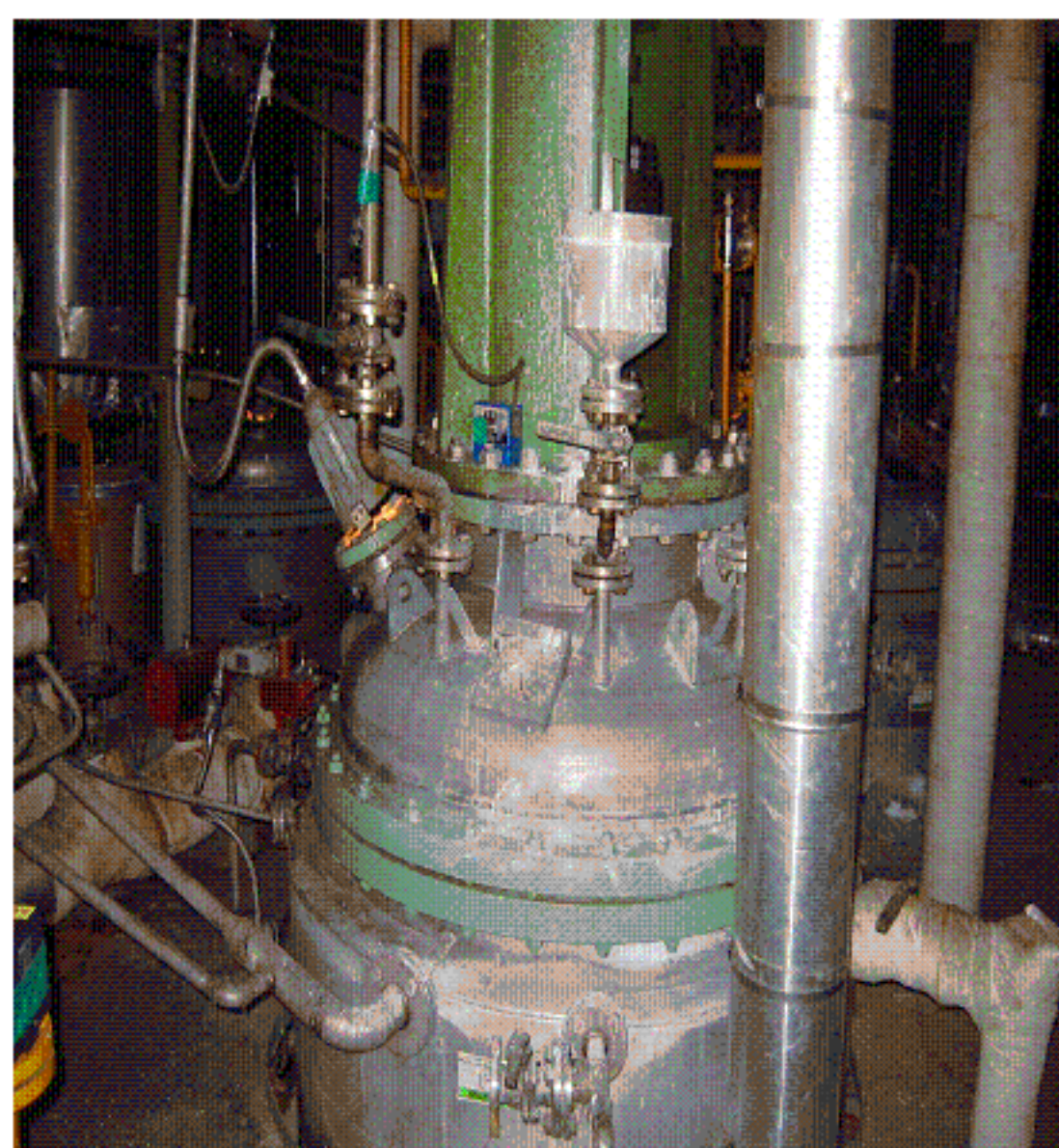
<표 III-6-5> 1,1-디메틸하이드라진의 지역농도 측정 결과 (단위:ppm)

관측수	평균	최소	최대	표준편차
22	0.0017	검출안됨	0.0066	0.0017

1,1-디메틸하이드라진이 투입되는 반응기에서의 평균 농도는 0.0012ppm(최대 0.0033ppm)으로 ACGIH의 1,1-디메틸하이드라진의 피부 노출 기준과 비교해 약 8.3배 낮은 수준이었다. 반응기별 1,1-디메틸하이드라진의 TWA-A 측정결과는 <표 III-6-6>과 같으며, [그림 III-6-2]는 반응기의 모습이다.

<표 III-6-6> 반응기별 1,1-디메틸하이드라진 TWA-A 측정 결과 (단위:ppm)

번호	측정위치	측정시간 (분)	농도
1	#13 반응기 옆	317	검출안됨
2	#13 반응기 옆	314	검출안됨
3	#14 반응기 옆	313	0.0007
4	#14 반응기 옆	312	0.0018
5	#15-1 반응기 옆	305	0.0033
6	#15-1 반응기 옆	301	0.0008
7	#19 반응기 옆	297	0.0015
8	#19 반응기 옆	296	0.0022
9	#20 반응기 옆	288	0.0012
10	#20 반응기 옆	238	검출안됨



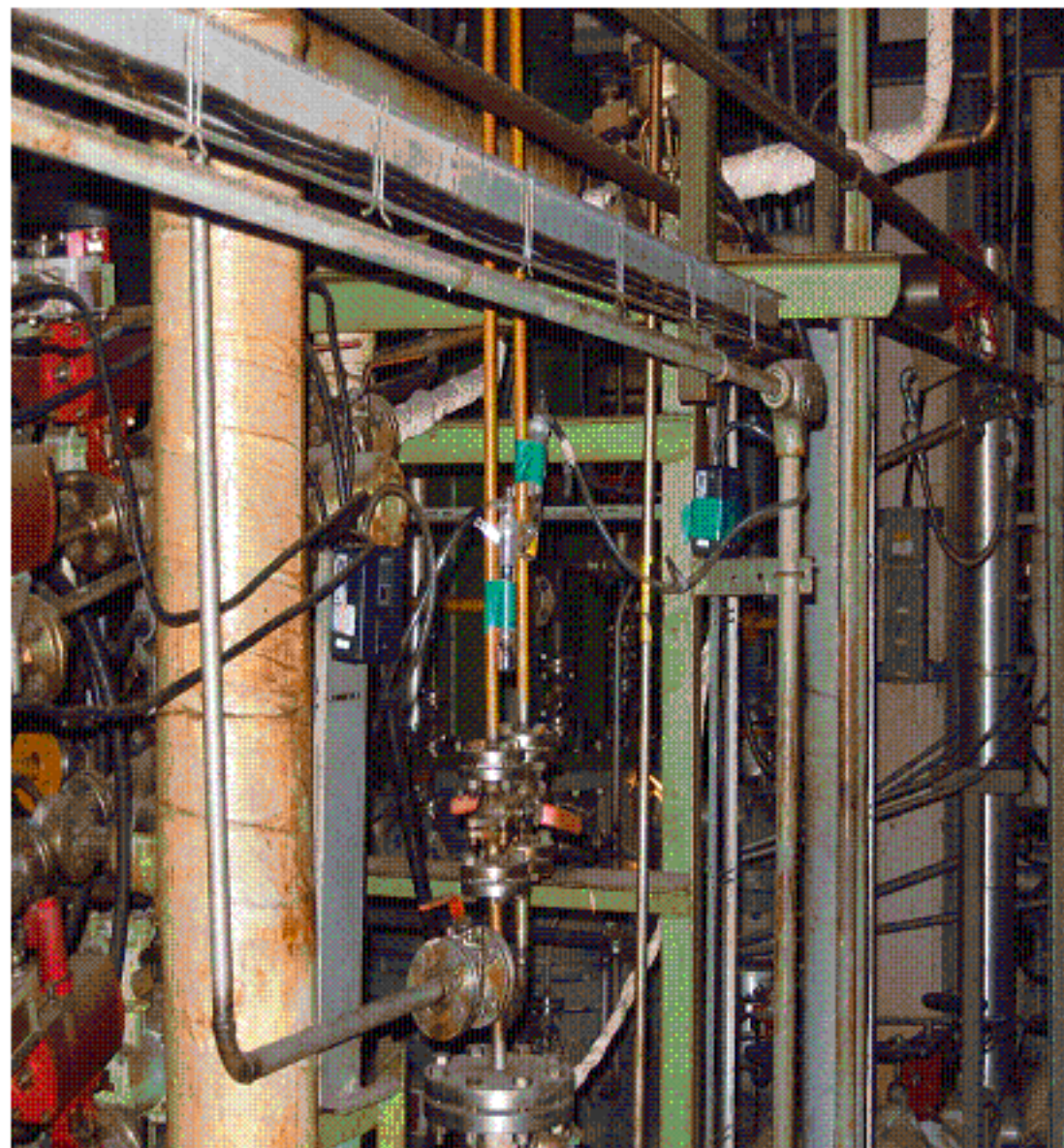
[그림 III-6-2] 1,1-디메틸하이드라진과 스파덱스가 반응하는 반응기.

스판덱스와 1,1-디메틸하이드라진을 분류하는 분배기에서의 평균농도는 0.0019ppm(최대0.0066ppm)으로 ACGIH의 1,1-디메틸하이드라진의 피부 노출 기준과 비교해 약 5.3배 낮은 수준이었다. 분배기별 1,1-디메틸하이드라진의 TWA-A 측정결과는 <표 III-6-7>과 같다. [그림 III-6-3]은 분배기의 모습이다.

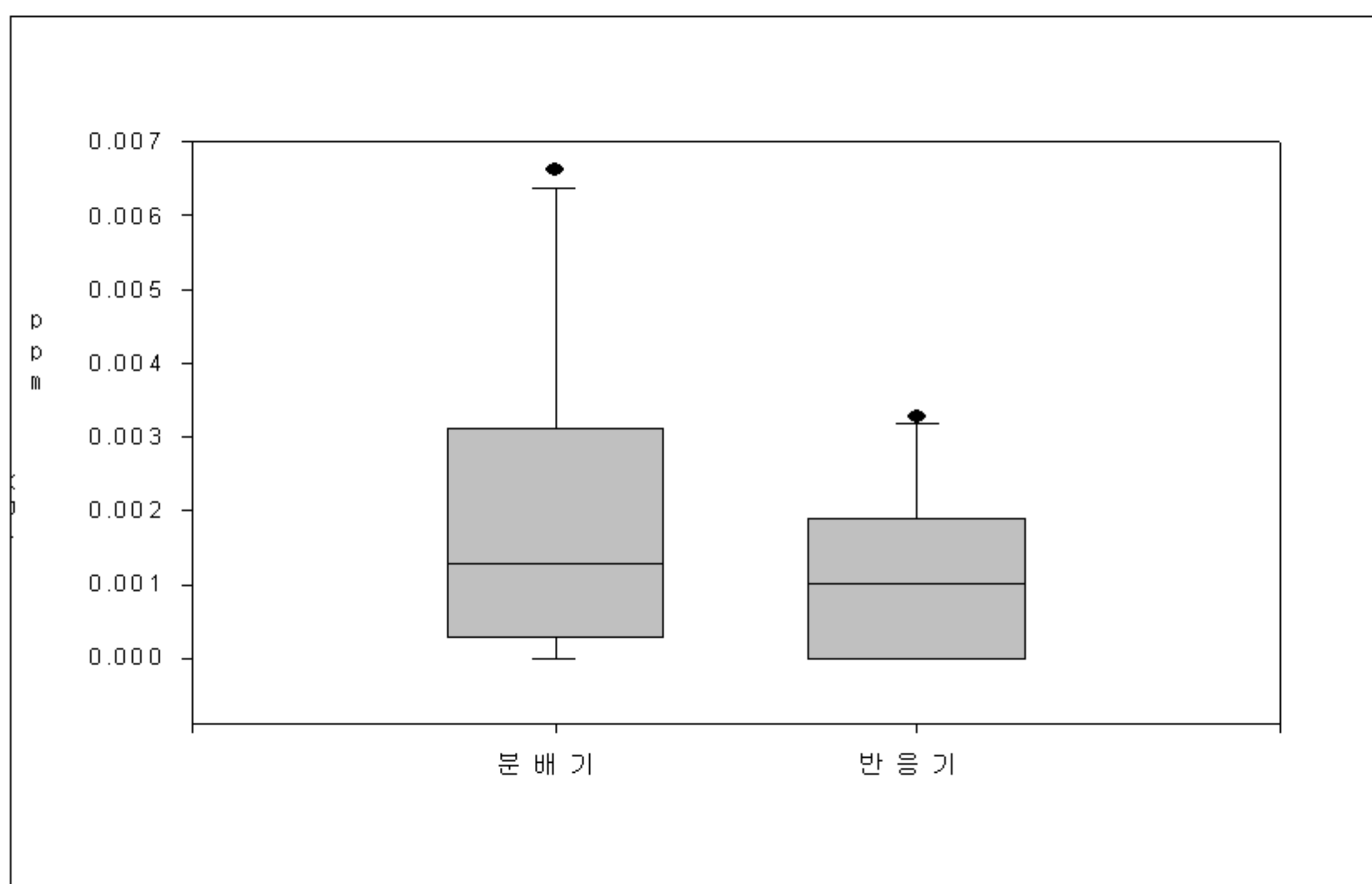
<표 III-6-7> 분배기별 1,1-디메틸하이드라진 TWA-A 측정 결과 (단위:ppm)

번호	측정위치	측정시간 (분)	농도
1	#13 분배기 옆	314	검출안됨
2	#13 분배기 옆	314	0.0009
3	#14 분배기 옆	306	0.0016
4	#14 분배기 옆	306	0.0028
5	#15-1 분배기 옆	298	0.0012
6	#15-1 분배기 옆	298	검출안됨
7	#19 분배기 옆	293	0.0013
8	#19 분배기 옆	292	0.0004
9	#20 분배기 옆	290	0.0066
10	#20 분배기 옆	290	0.0040

[그림 III-6-4]는 반응기와 분배기의 TWA-A의 농도수준을 비교한 그래프이다. 분배기와 반응기의 평균 농도를 비교한 결과, 95% 신뢰수준에서 분산 분석한 결과 p값이 0.34로 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).



[그림 III-6-3] 스파덱스와 1,1-디메틸하이드라진을 분리하는 분배기.



[그림 III-6-4] 1,1-디메틸하이드라진의 분배기와 반응기에서의 지역농도 비교.

저장탱크에서의 평균 농도는 0.0036ppm으로 반응기와 분배기의 평균 농도보다 높았다. 하지만 95% 신뢰수준에서 분산 분석 결과 p값이 0.16으로 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 저장탱크의 1,1-디메틸하이드라진 TWA-A 측정결과는 <표 III-6-8>과 같으며, [그림 III-6-5]는 저장탱크의 모습이다.

<표 III-6-8> 1,1-디메틸하이드라진의 저장탱크에서의 지역 농도측정결과
(단위:ppm)

번호	측정위치	측정시간 (분)	농도
1	1,1-디메틸하이드라진 저장 탱크	341	0.0035
2	1,1-디메틸하이드라진 저장 탱크	345	0.0037



[그림 III-6-5] 1,1-디메틸하이드라진의
저장탱크.

이상의 결과는 1,1-디메틸하이드라진 발생 위치에서의 지역 농도 수준이다. 실제로 작업자는 control room에서 주로 작업하며, 공정에 머무르는 시간은 매우 짧기 때문에 작업자의 1,1-디메틸하이드라진 노출은 더 낮은 수준일 것으로 판단된다.

(2) 1,1-디메틸하이드라진의 지역 농도 수준: STEL 중심

작업자가 1,1-디메틸하이드라진에 노출될 수 있는 시간은 상시적인 점검작업 등으로 매우 짧다. 이러한 작업에서의 노출농도 수준을 평가하였다.

단시간 동안 지역에서의 노출농도인 STEL-A 측정 결과 #15-1 반응기 옆에서 측정한 결과 외에는 모두 불검출이었다. 각 지점에서의 노출농도는 <표 III-6-9>와 같다. #15-1 반응기 옆에서 1,1-디메틸하이드라진의 STEL-A 농도는 0.0076ppm으로 확인되었다. 노동부 및 외국기관에서의 1,1-디메틸하이드라진의 단시간 노출 기준은 없으나, #15-1 반응기 옆에서의 농도 결과를 ACGIH의 TWA-A 노출 기준인 0.01ppm과 비교했을 때 낮은 수준이었다.

따라서 작업자가 작업하는 동안 1,1-디메틸하이드라진에 노출될 가능성은 없거나 거의 낮을 것으로 판단된다.

<표 III-6-9> 1,1-디메틸하이드라진의 STEL-A 측정 결과 (단위:ppm)

번호	측정위치	측정시간 (분)	농도
1	1,1-디메틸하이드라진 저장 탱크	32	검출안됨
2	#13 반응기 옆	36	검출안됨
3	#13 분배기 옆	36	검출안됨
4	#14 분배기 옆	34	검출안됨
5	#15-1 반응기 옆	32	0.0076
6	#15-1 분배기 옆	33	검출안됨
7	#19 반응기 옆	32	검출안됨
8	#19 분배기 옆	32	검출안됨
9	#20 반응기 옆	30	검출안됨
10	#20 분배기 옆	31	검출안됨

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 공기 중 노출기준이 설정된 화학물질은 대략 2,000여종에 불과하다(Whally 등, 2000; Roach, 1996). 노출기준 없이 사용되는 화학물질이 대부분이다. 사실, 화학물질에 대한 유해성을 모두 평가하고 건강상의 장해를 예방하기 위한 기준을 설정하는 것은 불가능하다(US EPA, 1986). 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. 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준이라고 하더라도 근로자의 건강을 보호하는데 한계점은 있다. 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, 1996). Roach와 Rappaport는 많은 경우에 있어서 노출기준은 근로자의 절반도 보호할 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. <표 III-7-1>에 나타낸 바와 같이 여러 나라에서 나라의 여건을 참조하여 노출기준을 설정할 때 폭넓게 활용하는 기준들이다.

1) ACGIH TLV

건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준으로 대표적인 것은 ACGIH의 TLV이다. 1942년에 ACGIH 노출기준 위원회가 63개의 화학물질에 대한 최대

허용기준(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 III-7-1> 노출기준별 제안기구(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	No

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

WEL: Health and Safety Executives, Workplace Exposure Limit

1962년에는 처음으로 노출기준 설정근거를 기록한 “Documentation of the Threshold Limit Values for Substances in Workroom Air”가 발간되었고 (ACGIH, 1991) 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 III-7-2>에서 보는 바와 같이 1970년 이전에는 1946년에 설정된 노출기준의 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 III-7-2>나 ACGIH의 TLV책자 (ACGIH, 2005)에서 보는 것처럼 TLV의 개정이나 개정공고(Notice of Intended Change, NIC)는 거의 매년 이루어진다. 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, 1996).

<표 III-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 1,1-디메틸하이드라진 lth Standards and the Limits of Science, pp 24~26, New York, Oxford University Press, 1998

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 미국산업위생학회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)가 설정한 노출기준이다. WEEL은 ACGIH나 다른 기관에서 노출기준을 설정하지 않은 화학물질에 대해 설정된 기준이다. 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 Air 1,1-디메틸하이드라진 lth Hazards of Chemical Compounds in the Work Air 1,1-디메틸하이드라진”에서 설정한 노출기준이다. 건강상의 장해를 예방하기 위해서 미국을 제외하고는 가장 잘 알려진 노출기준이다. 설정과정, 발간 등은 미국과 유사하지만 매우 중요한 차이가 있다. 그것은 화학물질에서 자극(sensitization), 돌연변이를 초래하는 기형을 유발할 수 있는 물질에 대한 표시를 한다는 점이다. 약 800개의 화학물질에 대한 MAK가 있다(Deutscher Forschungseinsch 1,1-디메틸하이드라진ft, 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, 1996). 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, 1996). 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.

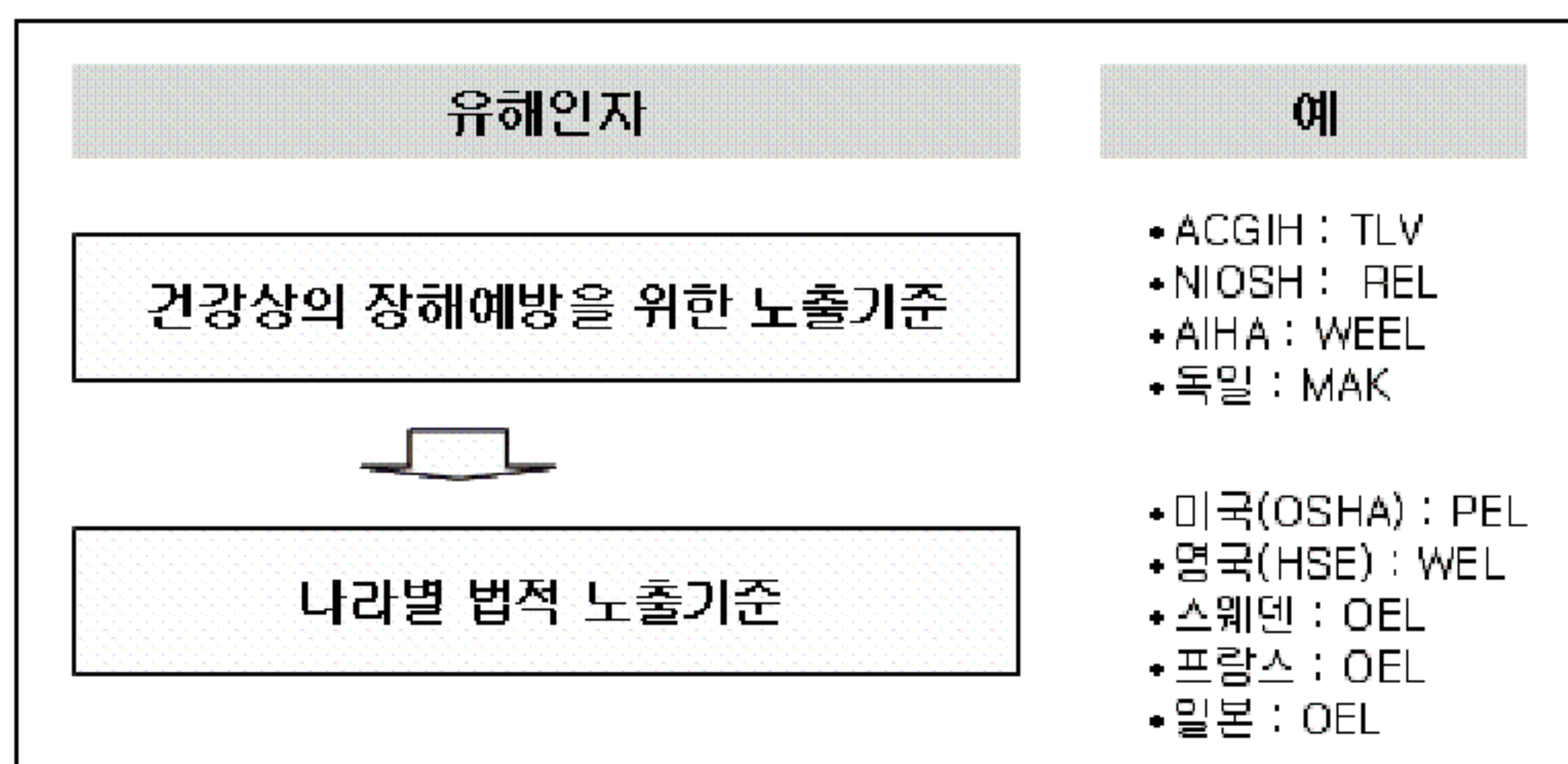
첫째, 모든 유해인자에 대해 노출기준을 적용하고 관리하면 가장 바람직하겠지만 법적으로 관리해야 할 인적, 경제적 한계에 따라 관리우선 순위를 둘 필요가 있기 때문이다. 나라마다 노출기준이 설정된 화학물질의 위험정도는 다르다. 따라서 화학물질에 대한 사용량, 노출근로자 수, 유해성 등을 조합한 위험의 순위에 따라 관리하는 전략이 필요하다.

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, 강제로 적용할 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, 규제 의 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 III-7-1] 참조).



[그림 III-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 III-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.

<표 III-7-3> 국내 노출기준 개정과정

연도 (제, 개정)	고 시	규정물질수	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 누락사항 추가
1998. 1. 5. (3차 개정)	제97-65호	총 698 종	전자부품회사(양산공장)의 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)

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 작업환경측정방법과 유해물질 노출기준에 관한 규정을 분리하여 확대 적용하였고, 1991년에는 미국 OSHA PEL의 기준을 도입하여 일부 노출기준을 변경하였다. 1997년에는 유해물질의 노출농도를 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준으로 용어를 바꾸었고 전자부품공장의 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 산업보건전문가이므로 노출기준의 제안, 개정 등은 매우 빠르게 이루어진다(Perkins, 1996). 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 OSHA나 선진외국에서도 미국 ACGIH의 TLV를 그대로 활용하였다(Clayton, 2005). 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 당사자 간의 협의 등을 거쳐 나라의 여건에 맞는 노출기준으로 조정한 것이다. <표 III-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 III-7-4> 미국 ACGIH의 노출기준(TLV)에 대한 국가별 법적 노출기준의 수의 비

국가	노출기준 수	비고
미국 OSHA	400 - 500 여개	법적기준
영국		권고기준
독일	800여개	권고기준
일본	40 여개	법적기준
프랑스		
스웨덴		
우리나라 노동부	700 여개	

* 2005년 노출기준 값을 비교한 것임

출처 : Sven Ove Hansson, Setting the limit - Occupational HI,1-디메틸하이드라진H Standards and the Limits of Science, pp 12~14, New York, Oxford University Press, 1998

(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 있

을 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(Clayton, 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 등이 선진 외국 못지않게 성장했다. 이러한 인력을 바탕으로 우리나라 여건에 맞는 노출기준을 수시로 개정하는 시스템을 만드는 것이 필요하다.

다. 1,1-디메틸히드라진 노출기준에 대한 고찰

(1) ACGIH TLV 설정근거

현재 1,1-디메틸히드라진(1,1-Dimethylhydrazine, 1,1-디메틸하이드라진)에 대한 ACGIH TLV는 <표 III-7-5>에서 표시하였듯이 시간가중평균 노출기준(Time Weighted Average, TWA)은 0.01 ppm이고, 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit, STEL)은 설정되지 않았으며, 피부흡수에 대한 주의를

표시하고 있으며, 발암성에 대해서는 A3(인체 관련성은 알려지지 않았으나 동물 발암이 확인된 물질)인 물질로 분류하고 있다. 이 노출기준들은 1989년에 제안되었고 1995년부터 현재까지 적용되고 있어 10년 이상 유지되어온 기준이다.

<표 III-7-5> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 주요 국가 및 기관의 노출 기준
(2005년 기준)

국가 및 기관		노출기준, ppm			피부 및 발암성	기타
		TWA	STEL	Ceiling		
대한민국		0.5 (1mg/m ³)	-	-	피부, A2	
미국	OSHA (PEL)	0.5 (1mg/m ³)	-	-	skin	
	ACGIH (TLV)	0.01 (0.025mg/m ³)	-	-	A3, skin	자극, 종양형성(neoplasia)
	NIOSH (REL)	-	-	0.06 (0.15mg/m ³), 120분	Ca	IDLH: 15 ppm
일본	노동성	-	-	-	-	
	산업위생학회	-	-	-	Group 2B	
독일(MAK)		-	-	-	MAK-2, skin,	Sh(감작)
스웨덴(OEL)		0.1	0.2	-	Ca, skin	Group B*
영국(OEL)		-	-	-	-	
프랑스(OEL)		0.1 (0.2 mg/m ³)	-	-	C2, AC	

PEL : Permissible Exposure Limits, TLV : Threshold Limit Values

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

IDLH : Level Immediately Dangerous to Life or Health, 1,1-디메틸하이드라진

OEL : Occupational Exposure Limits, WEL : Workplace Exposure Limits

Ca : Carcinogen(발암물질)

Group B* : 물질 취급시 반드시 안전보건관리자의 입회와 허가를 받아야 함.

1,1-디메틸하이드라진에 대한 ACGIH 노출기준의 역사를 보면 <표 III-7-6>에 나타낸 것과 같이 1960년에 1,1-디메틸하이드라진에 대한 TLV를 0.5 ppm으로 설정한 이후 동물실험 등을 통해서 나타난 결과를 토대로 지금까지 1회 개정하였다. 다른 유해인자에 비하면 개정횟수는 매우 적은 편이다.

첫 번째 개정은 노출기준 0.5 ppm이 제정된 지 29년 후인 1989년에 50배 강화된 0.01 ppm을 제안하였고 6년의 개정공고(Notice of Intended Change, NIC)를 거쳐 확정되었다. 이 기준은 동물에서만 보고되었던 발암성과 호흡기계 염증에 대한 잠재 위험성을 최소화시키기 위해서 설정되었다. 초기의 TLV-TWA는 개에게서 나타난 약간의 빈혈, 체중감소, 혼수상태를 야기시키는 농도의 1/10에 해당하는 0.5 ppm을 기준으로 권고하였다(Reinhart 등, 1960). 그러나 1989년에 TLV-위원회에서는 0.5와 5 ppm에서 랫트의 코에서 종양 발생률이 약간 높았고(MacEwen 등 1977, Haun 등 1977), 1,1-디메틸하이드라진과 동일한 하이드라진류인 모노메틸하이드라진(MMH)의 경우 0.02 ppm에 노출된 랫트와 마우스에서 비염이 관찰되어 화학구조의 유사성을 근거로 TLV-TWA로 0.01ppm을 권고하게 되었다. ACGIH로서는 1,1-디메틸하이드라진이 소량이지만 우주산업을 비롯한 각종 산업에서 다양한 용도로 사용되고 있어 건강상의 장애를 예방하기 위한 노출기준을 개정할 필요가 있었다.

<표 III-7-6> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 ACGIH의 노출기준 역사

연 도	내 용			
	TLV-TWA	TLV-STEL	피부 표시	발암성 분류
1960-1994	0.5 ppm			
1961- 현재			"skin"	
1976-1985		1ppm 제안		
1977-1994				A2*
1986		STEL 철회		
1989	0.01ppm 제안			
1994				A3** 제안
1995-현재	0.01ppm		"skin"	A3

* A2: 인간에게 발암물질로 의심됨.

** A3: 동물에게 발암성이 확인된 물질

단시간 노출기준으로는 1976년에 1 ppm을 제안하였으나 이에 대한 의견이 많아서 상당한 시간을 거친 후 논란 끝에 1986년에 이를 철회하여 현재는 독

성학적 자료의 부족으로 STEL 값을 권고하고 있지 않다.

피부흡수에 관해서는 개, 기니피그, 토끼의 피부에 1,1-디메틸하이드라진에 노출시킨 후 치사와 각막혼탁(corneal opacity)을 포함한 전신독성이 나타나자 피부흡수에 대한 주의를 알려주는 “피부(Skin)” 표시를 권고하였으며 1961년부터 현재까지 적용되고 있다.

다양한 종류의 동물들을 대상으로 1,1-디메틸하이드라진을 식수, 흡입, 피하 주사 등을 통해 처리하였을 때 나타난 중양 반응으로 발암성에 대한 논의도 활발해질 때, ACGIH에서 그 실험결과를 받아들여 1977년부터 1994년까지 A2(인체발암물질로 의심)를 적용하다가 1995년부터 새롭게 도입한 발암성 체계에서는 A3(인체 관련성은 알려지지 않았으나 확인된 동물성 발암물질)인 물질로 분류하고 있다. 자료의 부족으로 “감작(SEN)” 표시를 권고하고 있지 않다.

이상에서 살펴본 바와 같이 ACGIH에서 권고한 현재 1,1-디메틸하이드라진의 노출기준과 “피부” 표시는 동물실험 결과를 근거로 설정되거나 개정된 것이다. 인체에 대한 영향은 인체의 경우 1,1-디메틸하이드라진에 흡입 노출된 사건들이 여럿 보고되었으나 노출 농도는 확인할 수 없다. 노출 증상으로 호흡기계 영향, 폐수종(pulmonary edema), 메스꺼움(nausea), 구토, 신경 영향, SGPT 증가 등이 나타났다. 노출기준 설정에 가장 중요한 근거가 되는 발암성에 대한 인체영향은 알려지지 않았기 때문에 동물실험 결과가 노출기준 설정에 중요한 역할을 하게 되었다.

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 동물실험 결과만으로 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노

출기준을 2 % 수준으로 급격하게 낮추었을 때도 별 다른 이의가 제기되지 않았고 단지 6년의 개정공고기간만을 거쳐 제안기준들이 TLV로 확정되었다. 이에 대한 근본적인 이유는 3가지로 요약할 수 있다.

첫째, 1,1-디메틸하이드라진은 여러 산업에서 사용되지만 광범위하게 사용되는 화학물질이 아니어서 TLV 변화에 따른 경제적인 영향이 크지 않기 때문에 판단된다. 2항의 “취급현황”에서 살펴본 바와 같이 국내에서 취급되고 있는량은 겨우 년 15톤 정도로 수요가 극히 작다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준이 변화해도 수요도 등 경제적인 영향이 크지 않기 때문이다.

둘째, 대부분의 산업에서 1,1-디메틸하이드라진은 간헐적으로 사용되거나 첨가제이므로 TLV를 준수하는데 기술적으로 어렵지 않기 때문이다. 2항의 “취급현황”에서 살펴본 바와 같이 대부분의 산업에서 1,1-디메틸하이드라진의 사용량은 많지 않고 취급빈도도 매우 낮았다. 또한 취급특성이 단순하여 국소배기장치의 설치만으로도 노출을 억제할 수 있는 것으로 평가하였다. 따라서 ACGIH의 1,1-디메틸하이드라진에 대한 TLV는 경제적, 기술적으로 어렵지 않게 달성되기 때문이다.

셋째, 1,1-디메틸하이드라진에 대한 근로자 노출이 다양하거나 빈번하지 않으므로 보고된 건강상의 영향 사례가 거의 없기 때문이다. 즉, 1,1-디메틸하이드라진의 건강상의 장해가 동물실험 결과보다 우선한 근거가 될 수 있는 역학조사 결과가 지금까지 보고된 적이 없었다. 6항 노출평가에서 언급한 것처럼 본 연구에서도 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 근로자에게서 건강상의 영향이 발견되지 않았다.

(2) 국가별 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 비교

<표 III-7-5>는 미국의 3개 기관(ACGIH, NIOSH, OSHA)과 선진 5개국의 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준을 비교한 것이다. 시간가중평균 기준을

제시하고 있는 국가 및 기관은 우리나라, OSHA, ACGIH, 스웨덴, 프랑스 등이다. 스웨덴에서만 단시간노출기준을 제시하고 있다. 천장값 기준은 발암물질(Potential occupational carcinogen)로 간주하여 TWA나 STEL 값은 제시하지 않고 있는 NIOSH에서만 제시하고 있다.

시간가중평균 기준인 TWA의 경우 [그림 III-5-1]에서 보는 것처럼 세 가지 종류로 ACGIH에서 가장 낮은 0.01 ppm을 제안하고 있고, 우리나라와 OSHA에서 ACGIH보다 약 50배 높은 0.5 ppm을 제시하고 있으며, 스웨덴과 프랑스에서 ACGIH 대비 약 10배 높은 0.1 ppm을 제안하고 있다. NIOSH에서 제안하고 있는 천장값 노출기준 0.06 ppm은 NIOSH 자체의 발암물질에 대한 원칙을 적용하여 1,1-디메틸하이드라진을 측정 가능한 수준이라고 할 수 있다.

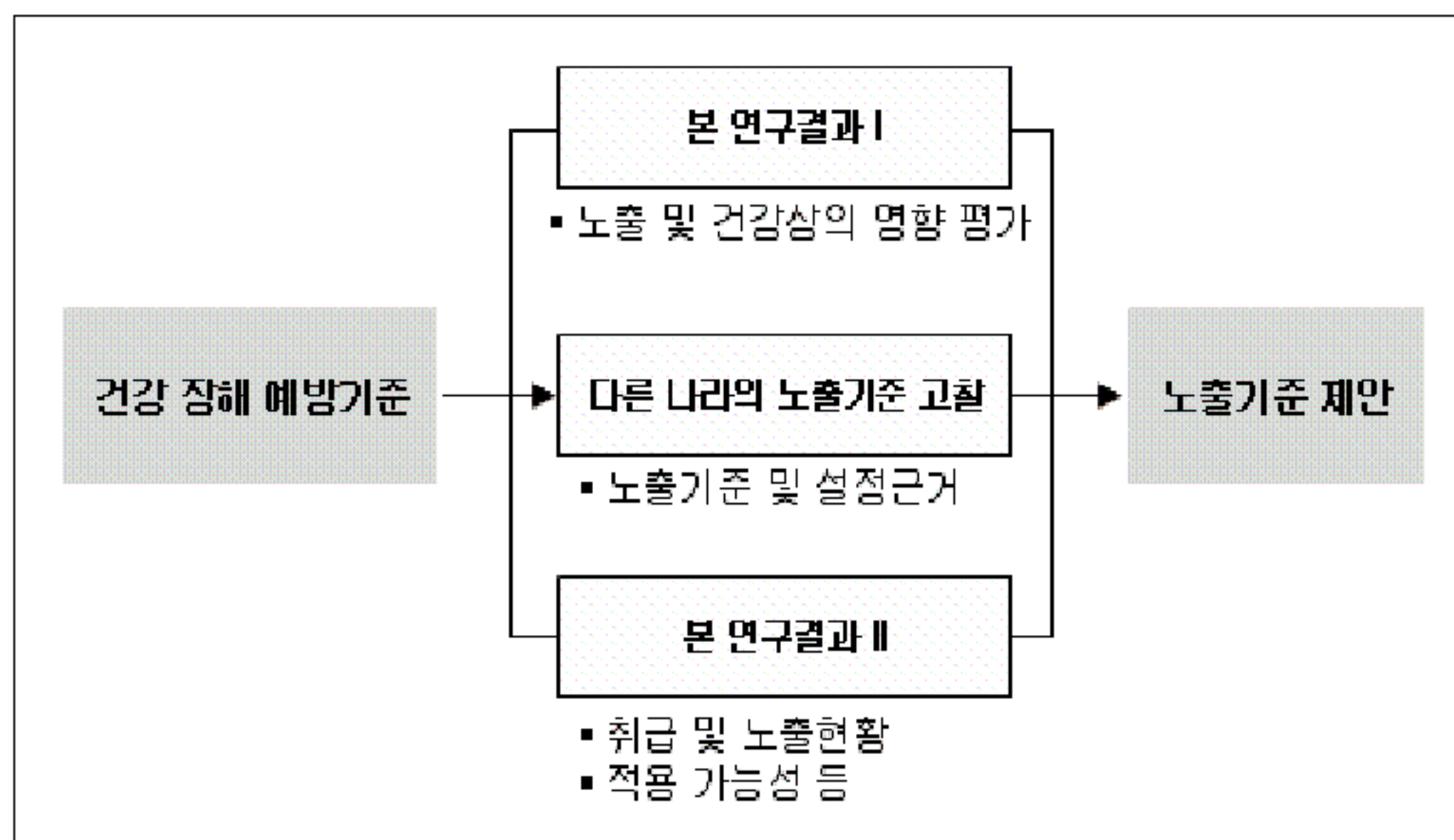
우리나라와 미국 OSHA는 법적 기준으로 ACGIH의 기준을 채택하였다. 우리나라 노출기준(0.5 ppm)은 ACGIH가 1,1-디메틸하이드라진에 대해 처음으로 제정한 노출기준 값이다. 노출기준을 제정할 때인 1986년도에 그 당시에 ACGIH에서 권고하고 있는 기준을 채택하였다. <표 III-7-6>에서 보는 것처럼 미국 OSHA는 1970년대 초에 채택하였기 때문에 TWA(0.5 ppm)와 “피부” 표시는 같으나 발암성에 있어서 시기적인 차이로 OSHA와는 달리 우리나라에서만 발암성물질로 정하고 있다.

라. 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 제안 방향과 단계

(1) 노출기준 제안 방향

본 연구에서 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준을 제안할 때 참조한 자료는 본 연구결과, 건강상의 장애를 예방하기 위한 노출기준, 다른 나라의 노출기준 그리고 우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진 사용과 관련된 여건 등이다.

이 자료 중에서 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준을 가장 먼저 고려하였다. 이 근거를 바탕으로 본 연구에서 조사한 1,1-디메틸하이드라진에 대한 연구결과와 다른 나라의 노출기준을 비교하고 참조하여 1,1-디메틸하이드라진 노출기준을 제안하고자 한다. 구체적으로 1,1-디메틸하이드라진의 노출기준을 제안하는 방향은 [그림 III-7-2]와 같다.



[그림 III-7-2] 1,1-디메틸하이드라진노출기준 제안 방향.

(2) 노출기준 제안 단계

1,1-디메틸하이드라진 노출기준을 제안하기 위한 구체적인 단계는 [그림 III-7-3]과 같다.

가) 1,1-디메틸하이드라진의 노출에 따른 건강상의 장해를 예방하는 과학적 사실에 근거한 노출기준이 있는지 조사한다.

건강상 장해의 예방만을 목적으로 설정된 ACGIH의 TLV, NIOSH의 REL, 독일 MAK, 영국 WEL에서 1,1-디메틸하이드라진 노출기준이 있는지 조사한다.

나) 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준을 우리나라를 포함한 다른 나라의 노출기준과 비교한다.

미국(OSHA:PEL, ACGIH:TLV, NIOSH:REL), 영국, 독일, 프랑스, 일본, 스웨덴 등 주요 선진국의 1,1-디메틸하이드라진 노출기준을 비교한다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준이 2개국 이상에서 제정되어 있고, 설정근거가 타당하다고 판단되면 우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진 노출기준을 개정할 필요가 있는지 결정한다. 그러나 ACGIH에서 1,1-디메틸하이드라진의 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 집행해야 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.

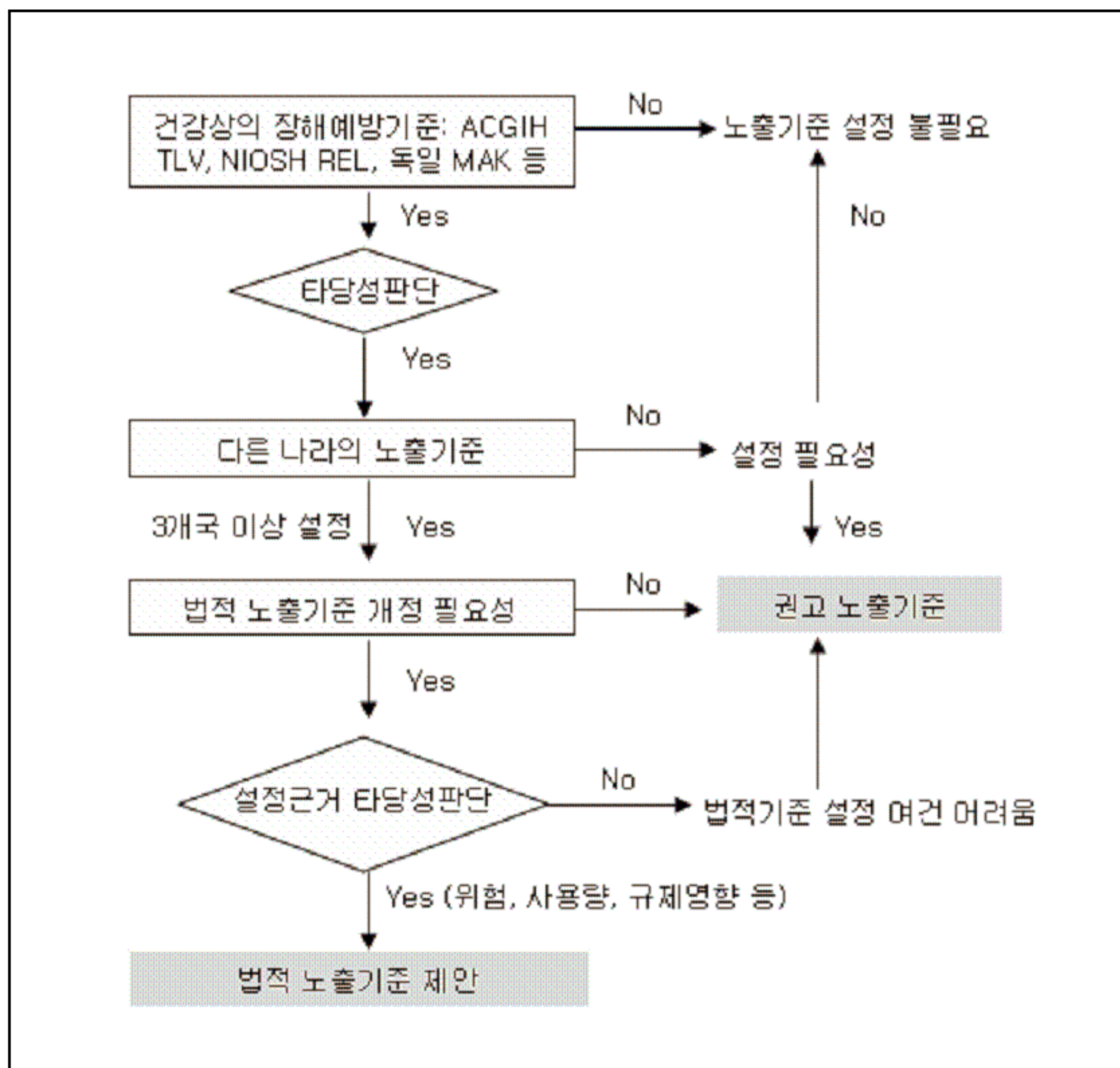
다) 우리나라 1,1-디메틸하이드라진 노출기준을 개정하고 법적 노출기준으로 개정할 타당성이 있는지 결정한다. 노출기준을 개정할 필요가 있는지 다음의 조사내용을 고찰하여 판단하고자 한다.

- 1,1-디메틸하이드라진 노출과 건강상의 장해에 대한 양-반응관계(7항)
- 다른 나라의 노출기준(5항)
- 1,1-디메틸하이드라진 취급현황(사용량, 노출근로자수, 노출특성 등)(2항)
- 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 실행 가능성(feasibility) 등이다

노출기준을 개정할 필요가 있는지, 이 법적관리가 필요할 정도의 위험을 가지고 있다면 법적 강제기준으로 제안한다. 그러나 다음에서 언급할 것처럼 우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진에 노출로 인한 건강상의 영향에 대한 위험이 크지 않다고 판단되면 사업주(사용자)의 자율책임에 의한 권고기준으로 두는 것이다.

라) 마지막으로, 개정된 노출기준이 1,1-디메틸하이드라진을 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 9항 “규제영향분석”에 설명되어있다.



[그림 III-7-3] 노출기준 제안 단계별 주요 내용.

마. 우리나라의 1,1-디메틸하이드라진 노출기준에 대한 개정 필요성 판단

우리나라의 현재 1,1-디메틸하이드라진 노출기준(TWA 0.5 ppm, 피부표시, A2)을 개정할 필요가 있는지를 본 연구결과, 다른 나라의 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 그리고 우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진 취급현황 특성, 기업에 미치는 영향, 기술적인 실행가능성(feasibility), 법적 관리 가능성 등을 중심으로 판단하고자 한다.

(1) 본 연구결과

본 연구에서 노출기준을 제안하기 위한 목표는 “근로자를 대상으로 1,1-디메틸하이드라진의 노출(양)에 따라 피부, 눈, 호흡기 자극에 대한 건강상의 영향(반응)을 평가하여 양-반응관계의 모델을 노출기준에 반영하고자 하는 것이었다(1장 구체적인 목표 참조). 즉 본 연구에서 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 근로자를 대상으로 수행한 노출평가와 건강진단 자료 등을 활용하여 양-반응관계 모델을 통해 노출기준 설정이라는 목표를 달성하고자 계획했다. 이는 1,1-디메틸하이드라진 노출기준의 설정근거인 동물실험 결과의 타당성을 검증하고, 노출기준이 사람을 대상으로 적용되어야 하는 기준이므로 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 사람의 건강상의 영향을 파악하여 노출기준의 근거에 활용하기 위해서였다. 즉 1,1-디메틸하이드라진 노출기준의 안전성에서 한계점을 인식하였기 때문에 본 연구에서 1,1-디메틸하이드라진에 노출되는 근로자들의 건강상의 영향을 확인하여 양-반응 관계를 정립하려고 시도하였다. 문헌고찰을 통해 사람의 경우 1,1-디메틸하이드라진에 흡입 노출된 사건들이 여럿 보고되었으나 노출 농도는 확인할 수 없었으며 호흡기계 영향, 폐수종(pulmonary edema), 메스꺼움(nausea), 구토, 신경 영향, SGPT 증가 등이 노

출 증상으로 나타났다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 현장에서 근무하는 근로자들에 대한 건강진단 자료를 확보하기가 어려워 양-반응 관계 중 반응에 해당하는 건강상의 영향 자료가 확보가 안 되어 상기의 목적으로 달성할 수 없었다. 추후 이러한 점을 보완하여 인체 영향까지 연구가 되면 더 신뢰성 있는 자료가 될 것으로 확신한다.

6항 “노출평가”에서 언급한 바와 같이 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 모든 근로자나 지역에서 현재 ACGIH의 TLV(0.01 ppm)이하로 평가되었다는 사실로 알 수 있다(<표 III-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 1,1-디메틸하이드라진 사용의 대부분이 화학반응의 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 1,1-디메틸하이드라진 노출기준의 범위(0.01-0.5 ppm)나 그 이하더라도 일정한 농도에 노출되었다면 본 연구에서 설정했던 건강상의 장애가 발견되었을지 모른다. 그러나 본 조사에서는 대부분이 검출한계 미만이었고 최고 ACGIH 기준의 76%에 해당하는 0.0076 ppm이었다. 이러한 이유 때문에 우리나라 산업보건 분야에서도 1,1-디메틸하이드라진의 노출에 따른 건강상의 장애사례가 보고되지 않았을 것으로 판단된다. 1,1-디메틸하이드라진은 대부분 공정의 운영을 돕는 첨가제이므로 소량만을 취급하기 때문이다.

<표 III-7-7> 1,1-디메틸하이드라진의 측정 농도

총 측정건수	측정농도(ppm)				
	< 0.005	0.005-0.01	0.01-0.1	0.1-0.5	>0.5
33	31(94 %)	2(6 %)	0	0	0

* 노출기준 - 우리나라, OSHA : 0.5 ppm, ACGIH TLV 0.01 ppm,
스웨덴, 프랑스 0.1 ppm

(2) 건강상의 영향을 예방하기 노출기준의 활용

본 연구에서 1,1-디메틸하이드라진 노출(양)과 건강상의 장해(반응)와의 양-반응관계를 끌어내지 못했기 때문에 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준을 개정의 근거로 삼았다. 건강상의 장해에서 가장 특징적인 것이 염증과 함께 종양 발생이다. 종양을 발생시킨다는 것은 인체에서도 발암성과 관련한 잠재적 위험성이 있으므로 특별히 안전계수(safety factor) 등을 더 고려하여야 한다. 건강상의 장해만을 예방하기 위한 1,1-디메틸하이드라진 시간가중평균 노출기준은 현재 우리나라 0.5 ppm, ACGIH 0.01 ppm, 스웨덴과 프랑스가 기준이 같은 0.1 ppm이다. ACGIH의 TLV는 건강상의 장해를 예방하기 위한 기준 중 가장 엄격한(보수적인) 기준을 제안하고 있으며 전 세계적으로 가장 큰 영향력을 주고 있으므로 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 개정안의 근거로 삼고자 하였다. 이를 근거로 선진 외국의 노출기준 그리고 노출기준의 설정근거 등을 비교하고 고찰하여 우리나라의 1,1-디메틸하이드라진의 노출기준의 개정 필요성을 판단하였다.

(3) 다른 국가들과 노출기준 비교

현재 1,1-디메틸하이드라진의 노출기준은 나라마다 기관마다 차이가 있다. 또 건강상의 장해를 예방하기 위한 노출기준과 법적 노출기준과도 차이가 있다. 우리나라 노출기준(0.5 ppm)은 ACGIH TLV, 스웨덴, 프랑스 등과 비교해 봤을 때 상당히 높은 수준이다. 선진외국의 노출기준에 대한 설정 근거를 비

교하여 우리나라 노출기준을 개정할 필요성이 있는지 판단하였다.

가) 시간가중 평균농도(TWA)에 대한 검토

1,1-디메틸하이드라진에 대한 세계 각국의 노출기준은 24개의 국가(캐나다 주 포함), 기관을 조사한 결과 다음 <표 III-7-8>과 같이 대략 5가지 종류로 나눌 수 있다. 노출기준의 범위는 TWA를 제시하고 있지 않고 있는 것부터 가장 낮은 노출기준인 0.01 ppm에서 이 보다 50배가 높은 0.5 ppm까지 분포해 있다. TWA를 제시하고 있지 않는 기관이 미국 NIOSH, 독일, 일본 등으로 1,1-디메틸하이드라진이 발암물질이고 사용량이 많지 않기 때문에 TWA를 제시하고 있지 않다. 가장 엄격한 0.01 ppm을 채택하고 있는 곳은 ACGIH, 호주, 벨기에, 캐나다(British Columbia, Alberta, Ontario), 말레이시아, 뉴질랜드, 노르웨이, 스페인, 체코 등이었으며, 0.05-0.1 ppm을 채택하고 있는 국가는 스웨덴, 프랑스, 핀란드, 폴란드($0.1 \text{ mg/m}^3 = 0.05 \text{ ppm}$) 등이며, 0.2~0.4 ppm은 브라질과 중국($0.5 \text{ mg/m}^3 = 0.271 \text{ ppm}$)에서 채택하고 있고, 가장 높은(덜 엄격한) 기준인 0.5 ppm은 우리나라를 비롯해 미국 OSHA, 멕시코, 캐나다-퀘벡주 등에서 채택하고 있다. 가장 많은 국가나 기관에서 채택하고 있는 기준은 0.01 ppm이었다.

<표 III-7-8> 국가별 1,1-디메틸하이드라진 시간가중평균기준(TWA)의 분류

노출기준 (ppm)	국가 및 기관수	국가 및 기관
기준설정하 지 않음	3	미국 NIOSH, 독일, 일본,
0.01	11	ACGIH, 호주, 벨기에, 캐나다(British Columbia, Alberta, Ontario), 말레이시아, 뉴질랜드, 노르웨이, 스페인, 체코($0.025 \text{ mg/m}^3 = 0.01 \text{ ppm}$)
0.02-0.1	4	스웨덴, 프랑스, 핀란드, 폴란드($0.1 \text{ mg/m}^3 = 0.05 \text{ ppm}$)
0.2-0.4	2	브라질, 중국($0.5 \text{ mg/m}^3 = 0.271 \text{ ppm}$)
0.5	4	OSHA, 멕시코, 캐나다-퀘벡주, 대한민국

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. ACGIH가 1,1-디메틸하이드라진에 대한 TWA를 0.01 ppm으로 설정한 근거가 된 것은 동물실험과 화학적 구조의 유사성으로 설명할 수 있다. 동물실험의 경우 1,1-디메틸하이드라진 0.05ppm에서 랫트의 코에서 종양 발생률이 약간 높았던 것(MacEwen 등 1977, Haum 1976)과 화학구조의 유사성에서는 메틸하이드라진의 경우 0.02 ppm에 노출된 랫트와 마우스에서 비염이 관찰된 것을 근거로 제시하고 있다. 이에 반해서 가장 높은 노출기준치인 0.5 ppm을 기준으로 설정한 근거로 제시한 것은 독성실험 결과이다. 개에게서 나타난 약간의 빈혈, 체중감소, 혼수 상태를 야기하는 농도인 5 ppm의 1/10에 해당하는 0.5 ppm을 기준으로 권고하였다(Reinhart 등, 1960). 노출기준의 차이는 새로운 독성학적 연구결과가 발표되면서 이를 과학적인 검증 절차에 의해서 받아들였는가에 따라 결정됨을 알 수 있다.

이와 같은 설정근거를 고찰하면 1,1-디메틸하이드라진 0.5 ppm에서는 동물 실험에서 나타났던 발암성과 호흡기계 염증에 대한 잠재적 위험성을 최소화시키기 어렵다고 판단 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 우리나라 여건에 맞는 TWA를 제안할 때 건강상의 장해를 최소화할 수 있는 기준으로 현재의 0.5 ppm은 타당하지 않은 것으로 판단되며, 개정할 필요성은 있는 것으로 판단된다.

나) 단시간노출농도(STEL)의 타당성에 대한 검토

1,1-디메틸하이드라진에 대해 STEL 값을 채택하고 있는 국가나 기관은 <표 III-7-9>에서 보는 것처럼 중국, 체코, 핀란드, 멕시코, 스웨덴 등이다. 전체 조사대상 국가나 기관 24개 중 5개 국가에서 STEL 값을 채택하고 있다. 중국의 경우는 최대기준계수(ultra limit coefficient)값으로 STEL 값을 채택하고 있다. 단시간노출을 제시하고 있는 근거들에 대한 자료는 찾지 못했다. 미국 ACGIH에서도 1976년부터 STEL 값으로 1 ppm을 제안하였으나 많은 논란을 거친 다음 1986년에 독성학적 자료와 산업체의 경험 정량 자료의 부족으로 정식으로 철회되었다. STEL 값을 설정하기 위한 독성학적 자료와 산업체에서의 경험 자료가 보충되어야 STEL 값을 제시할 수 있다고 ACGIH에서 언급하고 있다.

<표 III-7-9> 국가별 1,1-디메틸하이드라진 단시간노출기준(STEL)의 분류

노출기준 (ppm)	국가 및 기관수	국가 및 기관
0.03	1	체코($0.05 \text{ mg/m}^3 = 0.03 \text{ ppm}$)
0.1	1	핀란드
0.2	1	스웨덴
1	2	멕시코, 중국($1.5 \text{ mg/m}^3 = 0.813 \text{ ppm}$)
미설정	19	대한민국, 미국 OSHA, NIOSH, ACGIH, 캐나다(퀘벡주, 브리티시컬럼비아주, 온타리오주, 알버타주), 독일, 일본, 브라질, 호주, 벨기에, 말레이시아, 뉴질랜드, 노르웨이, 스페인, 프랑스, 폴란드

다) 천장값

1,1-디메틸하이드라진에 대해 천장값(Ceiling)을 제시하고 있는 국가나 기관은 미국 NIOSH가 유일하다. NIOSH에서 천장값을 설정하고 있는 근거는 1,1-디메틸하이드라진을 발암물질로 간주하는데서 찾아볼 수 있다. 암을 유발하는 화학물질의 메커니즘이 점차 밝혀지게 됨에 따라 단일 OEL 기준이 모든 근로자를 보호할 수 있는가에 대한 논쟁이 부각되었다. 여러 가지 발암기전에 대한 이론이 있으나 이론 중 하나가 물질 한 개의 분자가 유전적 변화를 초래해 암을 발생시킬 수 있다는 "one-hit theory"이다. 발암성 물질에 대한 이 이론에서 핵심은 역치나 무영향 노출기준을 적용하는 것은 적합지 않다는 것이다. 이 이론을 NIOSH에서 받아들여 발암물질에 대한 노출기준을 권고할 때 적용한다. 즉 발암성 물질에 대해 무역치설(no-threshold doctrine)을 적용시켜서 TWA나 STEL 값은 제시하지 않고 분석 방법으로 감지할 수 있는 가장 낮은 수준을 노출기준인 천장값으로 설정하고 있다(NIOSH, 1978). 따라서 어떤 발암물질을 감지할 수 있으면 그 물질은 존재하며, 감지되지 않으면 존재하지 않는다고 추측 평가 한다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진에 대해서 분석방

법으로 감지할 수 있는 가장 낮은 수준인 0.06 ppm(2시간)을 천장값 기준으로 제시하고 있으며 이 물질을 취급할 때는 가장 보호가 잘되는 보호구(most protective respirators)를 착용할 것을 권고하고 있다. 최근에 NIOSH에서는 발암물질에 대한 정책을 지금까지의 “가장 낮게(Lowest feasible) 개념에서 인체/동물 실험결과에 근거한 정량적인 값과 기술적 실행 가능성을 검토하는 새로운 정책을 채택하고 있다. 따라서 NIOSH와는 달리 우리나라의 경우 현재 발암성에 대해 A2로 명시하고 있으며 천장값에 대한 개념이 다르기 때문에 천장값을 설정하지 않아도 될 것으로 판단된다.

라) 피부흡수 주의에 대한 검토

노출기준에서 피부흡수에 대한 주의는 우리나라를 비롯하여 미국 OSHA, ACGIH, 독일, 스웨덴, 프랑스, 캐나다, 멕시코, 노르웨이, 스페인 등 노출기준을 설정하고 있는 나라나 국가에서는 거의 대부분 “피부” 표시를 하고 있다. 단, 1,1-디메틸하이드라진을 발암물질로 간주하고 있는 NIOSH와 아일랜드, 폴란드 등에서는 “피부” 표시를 하고 있지 않다. ACGIH에서 피부흡수에 대한 주의를 제안한 근거는 동물을 대상으로 한 피부 접촉 실험에서 전신 반응이 일어난 것을 들고 있다(근거로 “피부” 표시를 권고하고 있다)(Clayton 1981, IARC 1974, EPA 1999). 1,1-디메틸하이드라진의 물리화학적 성상(1항)은 증기압이 매우 높은 액체이다. 1,1-디메틸하이드라진이 사용되는 공정에서도 액체의 형태로 첨가되며, 근로자가 액체에 접촉할 위험은 항상 있다. 따라서 피부로 노출되어 흡수될 수 있는 가능성이 있다. 즉 노출기준의 설정근거에서 나타난 피부흡수 그리고 1,1-디메틸하이드라진이 사용되는 공정에서 흡수 가능성 등으로 미루어 볼 때 피부흡수에 대한 주의를 설정할 필요가 있는 것으로 판단된다.

마) 발암성

1,1-디메틸하이드라진의 발암성은 여러 동물 실험을 통해서 밝혀져서 발암성을 대체적으로 인정하고 있다. 여러 연구에서 1,1-디메틸하이드라진은 다양한 종에서 발암성이 있음을 보여주고 있다(Toth 1972, 1973, 1977, Druckery

등 1967). 식수를 통해 1,1-디메틸하이드라진을 마우스, 랫트, 햄스터에 투여한 결과 마우스에서는 혈관, 폐, 신장, 간에서 종양이 유의하게 높게 관찰되었으며 랫트에서는 간암, 햄스터에서는 혈관과 맹장에 종양이 발생하였다. 개, 랫트, 마우스, 햄스터를 대상으로 0, 0.05, 0.5, 5 ppm의 1,1-디메틸하이드라진을 하루에 6시간, 일주일에 5일씩, 6개월 동안 흡입 노출시킨 결과 설치류는 노출 후 17-20개월에 사망하였다(MacEwen 1977, Haun 1976). 그러나 이 실험에서 사용한 1,1-디메틸하이드라진 용액에 발암물질인 디메틸니트로사민이 0.12%에 오염되어 있었는데 제품 생산 시 불순물로 들어갔는지 또는 1,1-디메틸하이드라진의 분해산물인지는 분명하지 않았다. 이 점 때문에 미국 OSHA에서는 발암성에 대해 회의적으로 생각하여 발암성을 명시하고 있지 않다. 5 ppm에 노출된 개는 간 기능 시험에서 약간의 이상을 보였으며 SGPT(serum glutamic-pyruvic transaminase)가 증가 하였으며 더 낮은 양에서는 물질 관련 영향은 나타나지 않았다. 이들 변수는 노출이 끝난 후에 가역적이었다. 햄스터의 경우는 어떠한 양에서도 화합물 관련 종양 증가를 발견할 수 없었다. 5 ppm에 노출된 마우스는 혈관육종(hemangiosarcomas)과 쿠퍼세포육종(Kupffer cell sarcomas)이 관찰되었으며 더 낮은 농도에서 종양은 발견되지 않았다. 5 ppm에 노출된 랫트에서는 폐종양, 비늘모양 세포 악성종양(squamous cell carcinomas), 간세포 암(hepatocellular carcinomas)이 증가되었다. 0.5 ppm에 노출된 랫트의 췌장에서 섬세포선종(Islet cell adenomas)이 증가하였으나 5 ppm에서 적게(통계적으로 유의하지 않음) 증가하였다. 섬유성 조직구종(fibrous histiocyctomas)이 0.5 ppm에서 약간 증가되었고 5 ppm에서 유의하게 증가하였으며, 혐색소성선종(chromophobe adenomas)은 0.5와 5ppm에서 증가하였다. 디메틸니트로사민이 증가된 종양 발생과 관련이 있다고 할 수 있다. 5 ppm의 1,1-디메틸하이드라진(0.12 %의 디메틸니트로사민 함유)에 8.5주 노출된 개에게서 SGPT가 증가하였으며 간조직 형태가 약간 변화하였다(Haun 1976). 그러나 순수한 1,1-디메틸하이드라진 5 ppm에 노출된 개에서는 간 기능이 정상적이었으며 간 조직에 형태변화도 없었기 때문에 간에 대한 영향은 디메틸니트로사민 때문에 나타난 것으로 보인다. 그러나 이 자료를 통해서 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 랫트에서 종양 생성에 대한 디메틸니트

로사민의 영향을 확정할 수는 없다. 히드라진 자체의 발암성은 전적으로 염증 반응에 근거하고 있다는 것이 알려졌다. DNA의 간접적인 알킬레이션은 히드라진의 돌연변이와 발암성에 대한 근거(즉, 발암과정의 중간체인 세포내 물질과 반응을 통해)로 제시되고 있으며 독성 영향과도 밀접한 관계에 있다(Steinhoff 등 1988). 햄스터를 대상으로 피하주사를 통해 매주 37 mg/kg(수컷) 또는 32 mg/kg(암컷)을 평생 동안 노출시킨 결과 악성 말초신경초종(malignant peripheral nerve sheath tumor)이 발생했으며 전반적으로 종양반응이 증가하였다(Heinemann 등 1971). 이러한 연구와는 달리 매주 8-35 mg/kg를 피하주사한 시리안 골든 햄스터(Syrian golden hamster)에서는 종양이 발생하지 않았다(Jeong 등 1993). 9 마리의 마카카 패시쿨라리스(Macaca fascicularis) 종의 원숭이를 2년 동안 한 달에 3번씩 16 mg/kg의 1,1-디메틸하이드라진을 피하주사하여 노출시켰더니 두 마리에서 대장 선암(adenocarcinoma)이 생겼고 한 마리 암컷의 자궁에서 섬유근성증식증(fibromyoma)이 발견되었다(Beniashvili 1992). 1,1-디메틸하이드라진 발암성을 확인하기 위해서 여러 가지 요인들이 시험되고 있다. 음식에 섬유소를 첨가시켰어도 대장 반응을 변화시키지 못한 반면에 폴산염(Floate) 결핍과 음식의 낮은 구리 농도는 증가시켰다(Cravo 등 1992, Disilvestro 등 1992, Thorup 등 1992).

동물실험에서 나타난 종양으로 발암성에 대한 논의도 활발해져 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준을 설정하고 있는 ACGIH를 비롯한 국가나 기관에서는 동물성 발암성을 인정하고 있다. ACGIH에서는 1,1-디메틸하이드라진의 동물 발암성을 인정하여 1977년부터 1994년까지 A2(인체발암물질로 의심)를 적용하다가 1995년부터는 새로운 발암물질 관련 체계에서 A3(동물에게 발암성이 확인된 물질)인 물질로 분류하고 있다.

1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준을 설정하고 있는 국가나 기관 24곳을 대상으로 발암성과 관련한 조사를 한 결과 우리나라를 비롯한 15곳에서 발암성을 인정하고 있으며 미국 OSHA 등 9곳에서는 발암성에 대한 언급이 없었다(<표 III-7-10> 참조). 또한 암에 관한 전문 연구기관인

IARC(International Agency for Research on Cancer, 국제암연구센터)와 미국 NTP(National Toxicology Program, 국립독성프로그램)에서도 1,1-디메틸하이드라진에 대한 발암성을 인정하고 있다. 이를 통해 전반적으로 1,1-디메틸하이드라진에 대한 발암성을 인정하고 있음을 알 수 있다.

<표 III-7-10> 국가별 1,1-디메틸하이드라진 발암성의 평가

발암성	국가 및 기관수	국가 및 기관
인정	15	대한민국, 미국 NIOSH, ACGIH, 스웨덴, 멕시코, 캐나다(퀘벡주, 브리티시컬럼비아주), 독일, 일본, 호주, 벨기에, 뉴질랜드, 노르웨이, 스페인, 프랑스,
언급하지 않음.	9	미국 OSHA, 캐나다(알버타주, 온타리오주,), 브라질, 중국, 체코, 핀란드, 말레이시아, 폴란드

* 발암성연구 전문기관인 IARC(국제암연구소), 미국 NTP(국립독성프로그램)에서는 발암성을 인정하고 있음.

이상 우리나라 1,1-디메틸하이드라진 노출기준의 개정 혹은 제정의 필요성을 다른 나라의 노출기준과 비교하고 여러 독성학적 자료들을 체계적으로 검토한 결과 우리나라 1,1-디메틸하이드라진 노출기준에 대한 개정 필요성에 대한 판단을 종합한 결과를 <표 III-7-11>에 제시하였다.

결론적으로 TWA는 현재의 기준인 0.5 ppm을 개정할 필요가 있고 단시간 노출기준, 천장값, 피부흡수, 발암성 등은 현재 설정된 값을 그대로 유지하는 것이 바람직할 것 같다. STEL 기준은 독성학적 및 정량적인 자료가 부족하여 더 많은 자료가 과학적으로 인정될 때까지 표시하지 않도록 제안하는 바이다.

<표 III-7-11> 우리나라 1,1-디메틸하이드라진 노출기준에 대한 개정 필요성 판단

노출기준 종류	현재 우리나라 노출기준	주요 근거
시간가중평균기준 (TWA)	0.5 ppm	높은 것으로 판단. 개정 필요성이 있음 - 현재의 기준은 단기간(2주)의 동물실험에 의한 근거임 - 5 ppm 노출기준을 가진 나라 및 기관(10개)
단시간노출기준 (STEL)	설정하지 않음.	적정한 것으로 판단
천장값(Ceiling)	설정하지 않음.	적정한 것으로 판단
피부흡수(Skin)	표시	적정한 것으로 판단
발암성	A2	적정한 것으로 판단

(4) 1,1-디메틸하이드라진 취급현황 측면

우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진의 사용, 취급과 관련된 상황 즉, 1,1-디메틸하이드라진 사용량, 1,1-디메틸하이드라진에 노출된 근로자수, 1,1-디메틸하이드라진 노출 및 취급특성 등을 근거로 1,1-디메틸하이드라진 노출기준의 개정필요성을 판단하였다.

가) 사용량

우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진 사용량은 매우 적다. 화학물질 전체규모로 보아도 0.01 %가 되지 않는 미미한 양이다. 1,1-디메틸하이드라진의 사용량이 적은 이유는 생산 공정에서 이용되는 주된 화학물질이 아니고 대체가능한 아민류가 많고, 첨가제 등으로만 사용하기 때문이다. 또한 한정된 용도에다

가 안전상 폭발성을 가지고 있기 때문에 사용을 선호하지도 않는다. 이러한 이유로 1,1-디메틸하이드라진에 대한 사용량은 매년 감소하는 것으로 판단된다. 우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진을 생산하는 곳은 없으며 전량 수입에 의존하고 있다. 2002년 환경부의 화학물질 유통량 조사결과에 따르면 약 11톤의 1,1-디메틸하이드라진을 수입하였다. 사용산업과 공정 등의 활용도를 조사할 때 노출이 많거나 위험이 클 정도의 사용량은 아닌 것으로 생각된다. 또한 외국의 경우 1,1-디메틸하이드라진의 주요 사용처가 우주산업에서 사용되고 화학물질 합성 등에는 극히 소량이 사용되므로 화학적 특성, 공정에서 사용특성을 고려할 때 향후에도 사용량은 급격히 증가되지 않을 것으로 판단된다. 따라서 현재의 1,1-디메틸하이드라진 노출기준(0.5 ppm)을 0.01 ppm으로 강화해도 사용량을 감소시켜 기업의 경제적인 활동에 유의한 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 우리나라에서 우주산업에 적극적으로 참여하지 않는 이상 화학물질 제조에 소량 사용될 것으로 판단이 된다.

나) 노출근로자수

본 연구에서 조사한 결과 국내에서 1,1-디메틸하이드라진을 사용하는 한 개 사업장이었다. 사업장의 총 인원은 600여명이었는데, 1,1-디메틸하이드라진은 한 공정에서 제한적으로 사용하고 있었으므로 최대 노출인원은 600여명을 넘지 않을 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서 추정한 1,1-디메틸하이드라진에 노출되는 근로자의 수는 600여명이다. 전체 근로자의 0.01% 미만에 해당하는 매우 적은 근로자가 노출되는 것으로 추정되었다.

1,1-디메틸하이드라진에 노출된 근로자수가 적은 것은 이미 언급한 바와 같이 1,1-디메틸하이드라진이 대부분 첨가제로 소량 사용되고, 첨가제로 사용되는 공정은 간헐적으로 운영되기 때문에 취급하는 근로자는 당연히 적다. 또 다른 이유는 1,1-디메틸하이드라진의 사용용도에 다른 지방족아민류가 대체될 수 있기 때문이다. 만약, 많은 근로자가 취급하는 물질에 대한 노출기준이 엄격해질 경우 물질을 대체하거나 공정의 자동화 등으로 노출 근로자가 감소될

수 있다.

공정의 특성상 1,1-디메틸하이드라진은 보통 적은 양이 불규칙적으로 사용되므로 공정의 자동화는 불가능한 경우가 대부분이다. 한편 1,1-디메틸하이드라진을 사용해야 할 요구가 있더라도 공정에서 대체할 수 있는 다른 지방족 아민이 많기 때문에 사용량이 급격히 증가되지도 않는다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진 노출기준이 강화되더라도 단시간에 1,1-디메틸하이드라진에 노출되는 근로자수가 급격히 증가하거나 또는 감소되지 않을 것으로 판단된다.

다) 노출특성

1,1-디메틸하이드라진은 공정에서 원료의 반응을 돕기 위한 보조제로 사용되는 경우가 대부분이다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진에 대한 취급은 간헐적이고 취급시간도 짧다. 즉, 근로자가 일하는 동안 1,1-디메틸하이드라진을 연속적으로 취급하는 공정은 없다. 본 연구조사에서 1개 업종을 대상으로 조사한 바와 따르면 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 빈도도 매우 적다. 1,1-디메틸하이드라진을 저장탱크에 옮기는 작업이 가장 중요한 작업으로 평균 일 사용시간은 1시간을 넘지 않았다. 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출형태도 간헐적이고 노출시간도 짧다. 정상적인 작업과정에서는 과다한 노출은 없을 것으로 판단된다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진 노출특성을 볼 때 강화된 노출기준(0.01 ppm)을 초과하여 과다하게 노출되지 않을 것으로 판단된다.

라) 기업활동에 미치는 영향 측면

이미 언급한 바와 같이 기업에서 1,1-디메틸하이드라진 사용량은 많지 않다. 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 근로자도 적다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진 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 1,1-디메틸하이드라진을 사용하는 산업에의 진입장벽으로 작용할 가능성은 있을 수 있다. 그러나 1,1-디메틸하이드라진 사용량과 공정특성으로 미루어 볼

때 노출기준의 강화가 특별히 진입장벽이 되지는 않을 것으로 판단된다.

(5) 기술적인 실행가능성(feasibility) 측면

근로자는 간헐적으로 1,1-디메틸하이드라진을 탱크나 용기에 일정 시간 동안 첨가한다. 1,1-디메틸하이드라진을 사용할 때 가연성 등의 위험성 때문에 원액이 아닌 혼합물질로 사용되므로 혼합비율을 조절하고, 취급되는 곳에 적절한 공학적인 시설을 설치하면 노출수준을 제안된 노출기준(TWA 0.01 ppm) 이내로 관리할 수 있다. 이러한 판단은 본 연구에서 직접 방문하여 1,1-디메틸하이드라진 취급되는 작업이나 공정에 대한 평가에 근거한 것이다(제 2 항 취급현황 참조). 본 연구에서 조사한 1,1-디메틸하이드라진 노출공정에는 모두 국소배기장치가 설치되어 있었고 평가한 농도도 모두 0.01 ppm 이내였다. 1,1-디메틸하이드라진이 첨가되는 공정에 적절한 환기장치를 설치하면 제안된 노출기준(0.01 ppm)을 적절하게 유지하는데 기술적인 문제점은 없을 것으로 판단된다.

바. 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 제안

(1) 노출기준 제안 내용

본 연구에서 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준을 제안한 결과는 <표 III-7-12>에 요약되어 있다. “마의 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 1,1-디메틸하이드라진 노출기준을 제안하고자 한다. 본 연구 결과 노출기준 개정을 위한 제안 내용은 1,1-디메틸하이드라진의 TWA는 현재의 0.5 ppm에서 0.01 ppm으로 개정하고, 기타 “피부“ 표시, 발암성(A2) 등은 현재의 표시를 유지하고, 현재 설정하지 않고 있는 STEL이나 천장값은 그대로 유지하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 구체적인 제안근거는 다음과 같다.

가) 시간가중 평균농도(TWA) : 0.01 ppm

우리나라의 현재 1,1-디메틸하이드라진 TWA는 0.5 ppm이고 본 연구에서 제안한 노출기준은 0.01 ppm이다. 50 배로 강화되는 노출기준이다. 이와 같이 1,1-디메틸하이드라진에 대한 TWA를 제안하는 근거는 다음과 같다.

첫째, 1,1-디메틸하이드라진에 대한 현재의 TWA 0.5 ppm은 동물에서 확인된 발암성 효과에 대한 건강상의 장해를 보호하는데 한계가 있는 것으로 판단하였기 때문이다. 제안된 1,1-디메틸하이드라진의 TWA 0.01 ppm은 미국 ACGIH, 호주, 벨기에, 캐나다(British Columbia, Alberta, Ontario), 말레이시아, 뉴질랜드, 노르웨이, 스페인, 체코 등의 노출기준 설정근거에 따른 것이다.

둘째, 1,1-디메틸하이드라진의 제안기준 0.01 ppm을 법적 기준으로 설정하여 산업체에서 이를 실행해도 1,1-디메틸하이드라진의 취급현황측면, 기업활동측면 그리고 기술적인 실행 가능성 측면에서 제안기준을 준수하는데 문제가 없는 것으로 판단되기 때문이다. 즉 제안된 노출기준이 현재의 기준(0.01 ppm)에 비해 엄격하게 강화되었지만 우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진의 사용여건(사용규모, 기업활동, 공정의 운영 등)을 급격하게 변화시키는 영향을 없을 것으로 판단된다. 또한 사업주가 제안된 노출기준을 준수하는데 행정적, 기술적으로 실행하는데 큰 문제는 없는 것으로 확인하였다.

나) 단시간노출농도(STEL) 및 천장값 기준 : 설정하지 않음(변화없음)

단시간 노출기준은 현재까지 알려진 자료로는 평가할 수 없으므로 특별한 기준을 설정하지 않았다. 향후 STEL과 천장값과 관련한 건강상의 장해가 발견되는 확실한 역학조사나 산업체의 경험 자료가 질적으로 양적으로 축적된다면 고려할 필요가 있다.

<표 III-7-12> 본 연구에서 제안한 1,1-디메틸하이드라진 노출기준과 제안 근거 요약

노출기준 종류	노출기준		제안근거
	현재	제안	
시간가중 평균기준 (TWA)	0.5 ppm	0.01 ppm	<u>□ TWA 0.5 ppm : 발암성 예방 기준으로 높음.</u> - 개를 대상으로 한 동물실험에서 나타난 약간의 빈혈, 체중감소, 혼수상태를 야기하는 농도의 1/10에 해당하는 0.5 ppm을 기준으로 권고함.(Reinhart 등, 1960). - 0.5 ppm에서 발암성이 보고됨. <u>□ 0.01 ppm 제안</u> - 아직까지 0.01 ppm이하의 노출에서 건강상의 장애가 보고된 경우가 없음 - 0.01 ppm을 법적기준으로 시행해도 사업주가 이를 준수하는데 실행가능성도 문제가 없음 - 따라서 TWA를 0.01 ppm으로 설정하면 1,1-디메틸하이드라진로 인한 건강상의 장애가 예방될 것으로 판단됨.
단시간 노출기준 (STEL)	설정하지 않음.	설정하지 않음.	<u>□ 변화 없음.</u> - 독성학적 및 산업체 경험에 따른 자료 부족으로 STEL 값을 설정하지 않음.
천장값 (Ceiling)	설정하지 않음.	설정하지 않음.	<u>□ 변화 없음.</u> - 거의 모든 국가 및 기관에서 평균 개념인 TWA를 적용시키고 있으며 천장값을 제시하고 있는 NIOSH에서는 발암물질에 대한 정책의 일환으로 표시함.
피부흡수 (Skin)	표시	표시	<u>□ 변화 없음.</u> - 1,1-디메틸하이드라진은 피부 흡수되어 전신 독성 작용이 있음. - “피부흡수”에 대한 주의는 규제영향이 적음
발암성	A2	A2	<u>□ 변화 없음</u> - 동물을 대상으로 한 실험에서 발암성이 확인됨.

다) 피부흡수 주의 : “피부” 표시(변화없음)

노출기준에 피부흡수에 대한 주의를 그대로 유지하는 것이 바람직하다. 개, 기니아 피그, 토끼의 피부에 1,1-디메틸하이드라진을 노출시킨 후 사망과 각막 혼탁(corneal opacity)을 포함한 전신독성이 나타났기 때문이다. 이 독성자료는 과학적으로 인정되고 있어 노출기준을 조사한 24개 국가 및 기관 중 미국 NIOSH, 아일랜드, 폴란드를 제외한 21개 국가 및 기관에서 제정하고 있다. 또한 우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 공정의 특성이 근로자가 1,1-디메틸하이드라진을 직접 액체로 첨가하므로 피부에 접촉할 위험성이 항상 있기 때문에 피부흡수에 대한 주의를 명시함으로써 근로자의 주의 효과를 얻을 수 있을 것이다.

라) 발암성 : A2(변화없음)

1,1-디메틸하이드라진의 발암성은 여러 동물 실험을 통해서 밝혀져서 발암성을 대체적으로 인정하고 있다. 여러 연구에서 1,1-디메틸하이드라진은 다양한 종에서 발암성이 있음을 보여주고 있다(Toth 1972, 1973, 1977, Druckery 등 1967). 노출기준을 조사한 24개 국가 및 기관 중 발암성을 인정하고 있는 곳이 15곳으로 이는 62.5%에 해당한다.

(2) 실행 가능성(feasibility)

본 연구에서 제안한 1,1-디메틸하이드라진 노출기준(TWA; 0.01 ppm)을 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 가능성을 따져보았다. 결론적으로 1,1-디메틸하이드라진의 제안된 노출기준(0.01 ppm)이 실행되더라도 노동부, 사업주가 이를 준수하기 위한 활동들은 실행 가능성이 있는 것으로 판단된다(<표 III-7-13> 참조). 보다 자세한 내용은 아래에 설명하였다.

가) 법적관리 측면

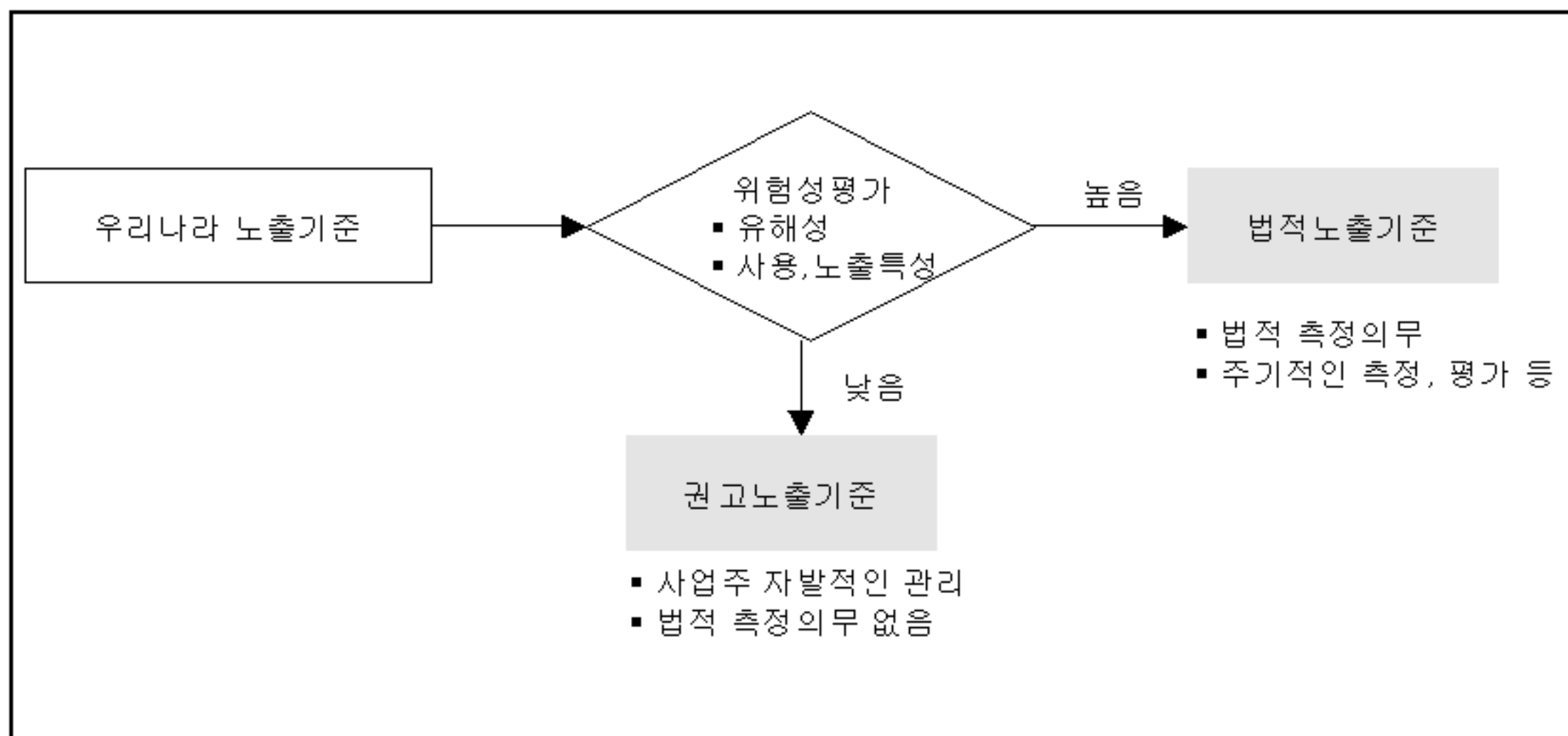
산업안전보건법에서 화학물질로 인한 건강상의 장해를 예방하기 위한 4가지 주요 활동은 화학물질에 대한 유해성에 따른 분류와 경고 표지 작성, 작업환경측정, 노출기준 그리고 특수건강진단 등이다. 작업환경측정과 특수건강진단은 산업안전보건법 시행규칙에서 사업주가 구체적으로 실행해야 할 방법, 주기 등이 언급되어 있어 기술적이고 구체적인 법적기준 (specification or technical standard)이라고 할 수 있다. OSHA에서처럼 주로 위험성이 큰 물질에 대한 기준이다. 반면에 노출기준은 고시에 규정되어 있지만 사업주가 어떻게 해야 하는지에 대한 구체적인 근거나 내용이 산업안전보건법에 없다. 이것은 사업주가 스스로 판단하여 지켜야 할 성과 또는 권고 기준(performance standard)이라고 할 수 있다([그림 III-7-4] 참조). 위험한 물질일 경우 사업주가 건강상의 장해를 예방하기 위해 해야 할 의무는 많아지고 이에 따라 노동부도 업무도 늘어난다.

이미 언급한 것처럼 1,1-디메틸하이드라진은 사업주가 주기적으로 작업환경측정을 해야 하고 노출기준도 준수해야 하는 항목으로 설정되어 있지 않은 권고 기준에 해당한다고 할 수 있다. 본 연구결과의 “취급현황(2항)”과 “작업장내 노출실태에 근거하여 현재 1,1-디메틸하이드라진에 대한 법적 규정(작업환경측정, 노출기준)이 효율성이 있는지 검토하였다. 왜냐하면 1,1-디메틸하이드라진의 노출로 인한 건강상의 장해를 예방하기 위한 사업주의 적절한 의무수준을 규정하는 것이 바람직하기 때문이다. 자칫 사용여건을 고려하지 않은 법적 규정은 실효성이 떨어질 수 있기 때문이다.

먼저 본 연구에서 제안한 1,1-디메틸하이드라진 노출기준(TWA; 0.01 ppm)을 법적으로 실행할 때 발생하는 행정적인 부담을 감당(실행)할 수 있는지를 평가하였다. 산업안전보건법상으로 1,1-디메틸하이드라진은 주기적인 작업환경측정 유해인자 항목이 아니다(시행규칙 제 93 조 1항, 노동부, 2004). 즉 1,1-디메틸하이드라진은 노동부가 법적, 행정적으로 측정여부, 측정농도 등을 관리해야 할 항목이 아니고 노출기준만을 설정해 놓았다(<표 III-7-14> 참조).

<표 III-7-13> 제안된 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 따른 실행가능성 (feasibility)을 평가하기 위한 항목과 주요 내용

항목	주요 내용	실행 주체	판정
법적 관리	노출기준이 초과되었을 때 법적 조치 실행가능성 - TWA가 0.5 ppm에서 0.01 ppm으로 낮아짐에 따른 초과 가능성이 현재보다 커짐 - 초과에 따른 법적 조치 업무는 별도로 없을 것으로 예상 - 현재의 노출수준이 대부분 0.01 ppm 이하 - 법적관리업무 크게 증가되지 않을 것으로 판단	노동부	가능
노출 평가: 작업 환경 측정	1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출 평가에 대한 실행 가능성 - 사업주 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출을 평가해야 하는 법적인 근거는 없음. - 1,1-디메틸하이드라진의 위험성 때문에 측정 평가 및 분석시 주의를 요함. 작업환경측정기관에서 측정하고 분석할 수 있는 항목임. - 1,1-디메틸하이드라진에 대한 보다 명확한 노출 평가는 전문 연구기관에서 이루어져야 함.	사업주, 작업환경 측정기관	가능
기술 적인 대책	개정된 TWA를 준수할 수 있는지에 대한 기술적인 실행 가능성 - 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 공정에서 국소배기장치를 설치하면 제안된 TWA이하로 유지할 수 있음. - 본 연구조사에서 측정한 결과는 모두 0.01 ppm 이하임.	사업주	가능



[그림 III-7-4] 산업안전보건법에서 노출기준의 이원화에 대한 기본적인 모형.

따라서 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준을 개정한다고 해서 추가로 부과되는 법적 관리내용은 없다. 다만 2가지 측면에서 업무의 변화 여부를 확인하여야 한다.

첫째, 제안한 TWA가 0.01 ppm으로써 현재(0.5 ppm)보다 강화되므로 TWA를 초과할 확률은 높아지고, 이에 따라 법적조치에 해당하는 행정적인 업무량에 변화가 올 수 있다. 그러나 6항 “작업장내 근로자 노출실태” 연구결과를 볼 때 1,1-디메틸하이드라진의 수준이 개정된 노출기준(TWA; 0.01 ppm)을 초과하는 경우는 크게 증가하지는 않을 것으로 판단된다. 즉 본 연구에서 평가한 근로자 개인 시료와 지역시료에서 1,1-디메틸하이드라진 농도가 제안된 노출기준을 초과하지 않았기 때문이다. 1,1-디메틸하이드라진은 대부분 간헐적으로 사용되는 첨가제이기 때문에 대부분의 사업장에서도 제안된 노출기준을 초과할 가능성은 높지 않을 것으로 판단된다. 따라서 새롭게 제안된 노출기준인 0.01 ppm을 적용한다고 해도 노출기준 초과로 인해 급격하게 증가되는 법적 행정적인 업무는 없을 것으로 판단된다.

둘째, 1,1-디메틸하이드라진이 법적으로 측정해야 하는 항목이 아니기 때문

에 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 사업장에서 측정을 하지 않고 있다. 측정을 하지 않은 이유는 언급하였던 대로 1,1-디메틸하이드라진의 사용량이 적고 간헐적으로 사용하고 있기 때문이다. 위험성 평가에 근거하여 1,1-디메틸하이드라진을 측정을 해야 하는가는 논란이 있을 수 있으나 1,1-디메틸하이드라진은 발암성 물질이므로 특별한 주의를 기울여야 할 필요가 있다. 그러나 법적으로는 측정 여부부터 모든 사항을 사업주의 자율에 맡겨두고 있다.

<표 III-7-14> 화학물질에 대한 1,1-디메틸하이드라진의 법적 규정 내용

구분	작업환경측정대상	노출기준	비 고
산업 안전 보건법 산 업 보건 규 칙 제 93 조 제 1 항 관련	유기화합물 : 113종 금속류 : 23종 산 및 알칼리류 : 17종 가스상 물질류 : 15종 허가대상물질 : 14 종 분진 : 6종	700여종 (작업환경측 정 대상 물질 포함)	유기용제 : 55종 특정 화학물질 ; 42종 금속 및 중금속 : 11종 분진
1,1-디메 틸하이드 라진	측정대상제외	노출기준 있 음	해당 없음

나) 발암물질에 대한 관리 강화 필요

1,1-디메틸하이드라진의 사용량이나 사업주는 근로자 건강보호를 위해서 주기적으로 1,1-디메틸하이드라진을 측정해야 하고 그 결과를 노동부에 보고해야 하고 기록도 보관해야 하는 법적 의무를 갖고 있지 않다. 그러나 1,1-디메틸하이드라진을 전 세계적으로 발암물질로 간주하고 있는 물질인 만큼 노동부에서 이에 대한 관심을 더 많이 갖도록 하여야 한다. 발암성 물질에 대해서는 사용량이 적더라도 그 유해성이 커 근로자의 건강상의 악 영향을 초래할 수 있으므로 보다 엄격한 관리가 이루어져야 한다. 발암성 물질을 사용하는 사업주에게는 그 물질의 유해성에 대한 관리 감독을 강화할 수 있는 방법들을 마련하여야 한다.

또한 발암성에 대한 관리체계도 현재 적용하고 있는 A1과 A2의 이분화 된 구분은 노출기준을 도입하던 초기에 ACGIH의 분류기준을 따랐다. 현재 ACGIH에서는 발암성에 대한 분류체계를 개선하여 A1 - A5까지 다섯 단계로 구분하고 있다. 우리나라의 분류체계도 세분화하여 발암물질에 대한 관리를 좀 더 효과적이고 효율적으로 할 수 있는 방안에 대한 관심을 가져야 한다. 발암성에 대한 분류체계는 5항 각국의 노출기준 요약 및 해설에서 기술하였으므로 이를 참조토록 하고 분류체계에 대한 내용은 본 연구의 범위를 넘어서는 것이므로 향후 이에 대한 검토가 되어야 한다.

다) 1,1-디메틸하이드라진은 법적 노출기준이 적정

노출기준은 설정되어 있지만 주기적으로 측정하거나 건강진단을 해야 하는 대상이 아닌 경우는 법적 구속력은 없다. 즉 건강상의 장해를 예방하기 위해 사업주가 스스로 판단하여 노출기준을 준수하는 것이다. 즉, 이러한 물질에 대해서는 사업주의 구체적인 의무를 규정하지 않았다. 본 연구결과에서 나타난 바와 같이 우리나라에서 사용특성, 노출특성 등을 검토할 때, 산업안전보건법에서 성과기준(performance standard) 혹은 권고기준으로 규정 하는 것보다는 1,1-디메틸하이드라진이 발암물질이므로 법적 노출기준으로 하는 것이 바람직 할 것으로 보인다. 미국 OSHA도 위험성이 크고 사용하는 공정이 많은 26개 물질(주로 발암물질)만 사업주가 구체적으로 준수해야 할 내용을 법적으로 규정하여 노출기준을 준수하도록 세세한 방법을 제공하고 이외의 물질은 성과기준으로 노출기준의 준수여부는 사업주가 판단하도록 하고 있다. OSHA의 법규에서도 1,1-디메틸하이드라진이 노출기준만 설정되어 있는 항목으로 성과기준이다. 법적으로 건강상의 장해를 예방하기 위해 노출기준을 준수할 구체적인 지침을 강제하지 않는 것이다. 그러나 1,1-디메틸하이드라진은 발암성에 있어서 인체 발암성이 확인된 물질은 아니며 동물실험에서 발암성이 있는 물질이며 그 사용량이 많지 않으므로 OSHA에서 지정하고 있는 석면 등의 발암 물질처럼 매우 엄격하게 관리하게 되면 그 실효성에 있어 의문이 제기될 수 있을 수 있다. 이러한 엄격한 규제보다는 사업주가 이 물질로 인한 근로자의 건강상에 문제에 대한 관심을 가질 수 있도록 하는 방안이 마련되어야 한다.

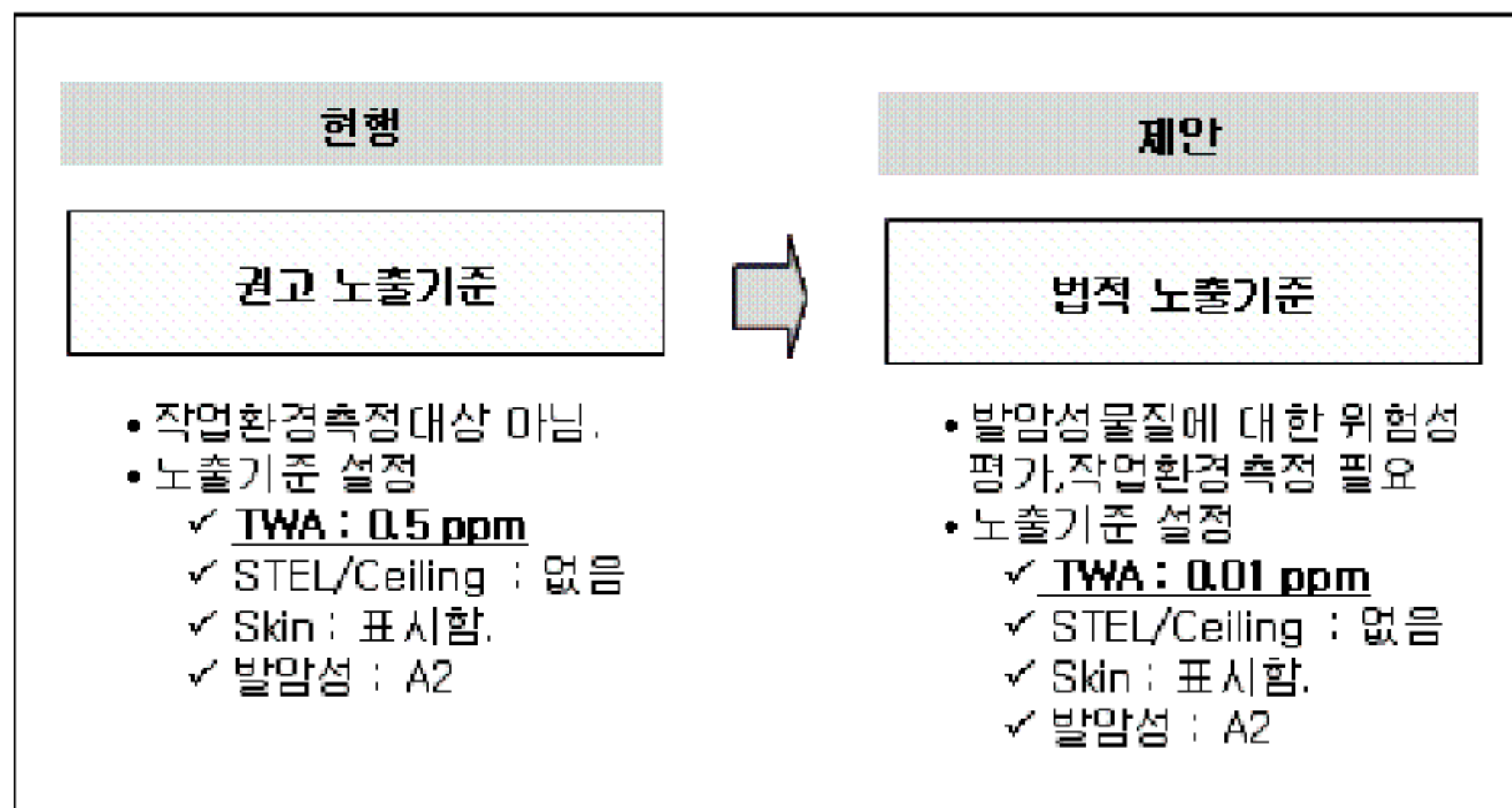
즉, 발암물질의 경우는 작업환경 측정대상물질로 분류하여 사업장에서 관리되어야 한다.

결론적으로 말하면 1,1-디메틸하이드라진의 위험성평가, 사용방법, 노출특성, 위험성 등을 근거로 판단할 때 현재의 권고기준이 보다는 법적기준이 더 타당하다고 판단된다([그림 III-7-5] 참조). 주요 이유는 다음과 같다.

첫째, 1,1-디메틸하이드라진은 발암성 물질이다. 비록 위험성 등의 이유로 우리나라에서의 사용량이 극히 적어서 우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진을 사용하고 있는 사업장을 찾기가 매우 힘들고 사용을 하더라도 본 연구에서 측정했던 사업장처럼 혼합물로서 사용되고 있다고 하지만 그 유해성(hazard)이 너무 크기 때문에 법적 관리가 되어야 한다. 또한 유해성과 노출가능성을 평가하는 위험성 평가를 통해서 화학물질에 대한 관리 필요성 여부를 평가하여야 할 것이다. 유해성은 크지만 그 사용량이 적어 노출 가능성은 매우 낮기 때문에 측정대상물질로 분류는 하되 측정 주기 등에 대해서는 적절한 위험성 평가 과정을 통해서 판단이 이루어 져야 할 것이다. 취급 작업이 간헐적이므로 외부에서 특정한 날에 방문하여 1,1-디메틸하이드라진 노출에 대해서 평가하는 것은 정확하지 않기 때문이다. 오히려 사업주가 1,1-디메틸하이드라진을 사용할 때 자발적으로 측정 하도록 유도하거나 측정 없이 공학적 행정적인 대책만으로 노출기준을 준수하도록 권고하는 것이 효과적일 수 있다.

둘째, 현재 1,1-디메틸하이드라진은 법적으로 노출기준이 설정되어 있고 작업환경측정대상물질이 아니다. 실제로 해당 사업장에서도 1,1-디메틸하이드라진에 대한 측정 평가는 하지 않고 있으나 위험한 물질이기 때문에 취급에 주의하면서 현장에서 사용되고 있었다. 1,1-디메틸하이드라진은 매우 간헐적으로 소량 사용하는 첨가제이기 때문에 주원료에 비해 유해성은 크지만 위험성이 낮다고 판단되어 측정하지 않은 것으로 판단된다. 또한 무엇보다도 법적으로 측정 대상물질이 아니기 때문에 사업주에서도 노출수준에 대해 크게 고려하고 있지 않다고 봐야 할 것이다. 따라서 발암물질에 대한 사업주의 주의를 환기

시키고 근로자의 건강상의 악영향을 적극 예방하기 위해서는 법적 관리가 되어야 한다. 특히 발암물질은 노출 후 건강상의 영향이 나타나기까지 상당한 시간이 소요되므로 예방이 가장 중요하다고 할 수 있다.



[그림 III-7-5] 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준의 개정.

셋째, 측정을 주기적으로 해야 하는 항목이 많아 그 효과성에 대해 검토하여야 한다. 향후 현재 주기적으로 측정을 해야 하는 법적 노출기준 항목에 대한 적정성도 연구할 필요가 있다. 노출가능성과 유해성을 검토한 위험성 평가 결과를 토대로 관리 여부가 결정되어야 하나 유해성이 큰 발암물질의 경우는 특별한 관리가 필요하다고 할 수 있다.

라) 노출평가(작업환경) 측면

사업주가 1,1-디메틸하이드라진의 노출기준을 준수하기 위해서 노출평가를 하고자 할 경우 사업장 자체에서 하는 경우도 있고 외부의 작업환경측정기관에 의뢰하는 경우도 있다. 1,1-디메틸하이드라진은 “연구방법”과 “6항 작업장 내 근로자 노출실태”에서 설명하였듯이 작업환경측정기관이 법적 인력과 시설 및 장비 기준만 있다면 측정하고 분석할 수 있다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진의 노출에 따른 평가 가능성은 문제될 것이 없다고 판단된다.

마) 기술적인 대책측면

본 연구에서 제안한 노출기준(0.01 ppm)을 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 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 사업장은 모두 해당 공정에서 적절한 국소배기장치를 설치하였고 평가된 1,1-디메틸하이드라진 농도도 제안된 노출기준 0.01 ppm 이하였다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 공정에서 국소배기장치 등 적절한 기술의 공학적인 대책을 수립하면 제안된 노출기준을 준수할 수 있을 것으로 판단된다.

8. 취급근로자 건강장해 예방조치

가. 유해공정별 작업환경관리요령

1,1-디메틸하이드라진은 주로 첨가제로 간헐적으로 사용되고 있었다. 작업자가 노출될 가능성이 있는 작업은 첫째, 직접 용기에 1,1-디메틸하이드라진 용액을 옮길 때, 둘째, 반응기 및 분배기의 일상적인 점검 작업시 등 뿐이었다. 따라서 저장용기 및 작업 공정 중 국소배기 장치를 설치하고 적절한 보호구를 착용함으로써 흡입 및 피부 접촉에 의한 노출을 방지할 수 있다.

나. 유해물질 안전취급요령

1,1-디메틸하이드라진에 노출될 위험이 예상되는 경우에 작업자는 오염원에서부터 떨어지거나, 1,1-디메틸하이드라진의 농도를 노출기준 이하의 수준으로 낮추거나 하는 방법으로 노출을 최소화해야 한다. 일반적으로 1,1-디메틸하이드라진을 독성이 다른 물질로 대체하거나, 기술적인 제어 또는 행적적인 제어 방법이 있을 수 있으며 개인 보호 장비를 이용하는 방법이 있다.

(1) 대체

1,1-디메틸하이드라진을 독성이 적은 다른 물질로 바꾸는 것인데, 공정에 지장이 없어야 하는 것이 원칙이다. 그러나 다른 화학물질로 대체할 때에 사업주는 대체하는 화학물질의 알려진 유해성이 어떠한 것이 있는지 그리고 대체한 물질을 사용시 작업자의 유해성이 감소되는지에 대한 확인과정이 선행되어야 한다.

(2) 기술적인 제어방법

1,1-디메틸하이드라진을 독성이 덜한 화학물질로 대체하는 방법이 불가능한 경우에 기술적인 제어는 노출을 줄이기 위한 가장 최선의 방법이다. 가장 좋

은 방법은 공정을 밀폐시키거나 1,1-디메틸하이드라진이 누출되는 지점에 국소배기장치를 설치하는 것이다.

가) 밀폐

1,1-디메틸하이드라진을 사용하는 공정을 가능하면 밀폐하여 1,1-디메틸하이드라진이 공기 중으로 비산 혹은 증발되지 않도록 하는 방법이다. 1,1-디메틸하이드라진은 상온에서 증기압이 156mmHg로 비교적 높기 때문에 공기 중으로 휘발될 가능성이 크다. 따라서 공정을 밀폐함으로써 공기 중 1,1-디메틸하이드라진의 증발을 줄일 수 있다.

나)국소배기장치

개인적인 노출을 최소화하기 위한 가장 경제적이고 안전한 방법이다. 국소배기장치는 공기 중 1,1-디메틸하이드라진의 오염원에 직접적으로 설치하여 공기 중으로 증기가 발생되지 않도록 하는 방법이다. 환기시스템은 1,1-디메틸하이드라진이 축적되거나 재비산하지 않도록 설계되어야 하며 음압조건에서 작동하도록 해야 한다. 구체적인 환기의 형태 등 구체적인 사양은 작업의 특성에 맞게 추가로 대책을 수립해야 한다.

다)격리

1,1-디메틸하이드라진과 작업자를 격리하는 대책이다. 즉 근로자가 가능하면 1,1-디메틸하이드라진을 취급하지 않도록 시간, 거리, 공간 등을 격리하는 대책이다. 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 공정에서 격리 대책으로는 공정의 자동화와 1,1-디메틸하이드라진의 별도보관이다.

(3) 행정적인 제어방법

1,1-디메틸하이드라진의 위험을 예방하기 위한 행정적인 대책은 물질안전보건정보(MSDS)의 게시 및 교육 등이다.

가) MSDS 게시

1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 모든 공정에는 MSDS를 게시하여야 한다. 작업자가 보기 쉬운 곳에 잘 보이도록 요약된 1,1-디메틸하이드라진에 대한 MSDS를 게시하도록 한다. 간단한 안전표시도 필요하다.

나) 교육

교육은 1,1-디메틸하이드라진으로 인한 위험을 예방하기 위한 행정적인 대책의 방법이다. 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 모든 작업자를 대상으로 실시해야 한다. 주요 교육내용으로는 1,1-디메틸하이드라진을 안전하게 취급하는 요령(작업), 유해성 고지, 보호구 착용 요령, 1,1-디메틸하이드라진에 대한 응급조치 등이다.

다. 취급근로자 노출방지조치

Cook(1979) 등은 로켓 추진제를 만드는 사업장에서 1,1-디메틸하이드라진의 공기 중 농도가 0.23~4.61ppm 수준이었다고 보고하였다. 그리고 사업장에서 일하는 작업자 중 1,1-디메틸하이드라진에 노출될 가능성이 있는 작업자는 호흡보호구를 착용하도록 하였다. 호흡보호구내에서의 채취한 시료의 분석결과 일반적으로 1,1-디메틸하이드라진이 검출되지 않았다고 보고하였으며 따라서 이러한 수준에서는 반복적인 노출이 예상되지 않으며 호흡보호구가 부적절하게 작동하거나 갑작스런 사고 등에 의해 노출이 일어날 수 있다고 보고하였다.

적절한 작업습관은 1,1-디메틸하이드라진의 노출을 줄일 수 있다. 일반적으로 사용되는 방법이지만 실천을 통해 노출을 줄일 수 있다.

첫째, 작업 중 1,1-디메틸하이드라진에 옷이 오염된 경우 즉시 새 작업복으로 갈아입는다.

둘째, 오염된 옷은 1,1-디메틸하이드라진의 노출 위험성에 대해 알고 있는 사람이 세탁하도록 한다.

셋째, 위급상황에 대비하여 공정근처에 세안설비(eye wash fountains)를 설치하도록 한다.

넷째, 피부노출 가능성이 있다면 위급상황에 대비하여 safety shower를 설치하도록 한다.

다섯째, 1,1-디메틸하이드라진이 피부에 접촉하였을 때에는 즉시 세안설비 또는 샤워기를 이용하여 화학물질을 닦아내도록 하며, 작업이 끝난 후에도 노출이 직접적인 노출이 없었다고 하더라도 몸을 씻는 것이 좋다.

여섯째, 1,1-디메틸하이드라진을 취급하거나 사용하거나 저장된 곳에서 음식을 먹거나 마시거나 또는 담배를 피우지 않는다. 화학물질이 함께 섭취될 수도 있기 때문이다. 그리고 음식을 먹거나 담배를 피우기 전에는 항상 손을 씻도록 한다.

라. 취급시 주의사항

미국 교통부(U.S. Department of Transportation)에서 발표한 '2000 Emergency Response Guidebook'에 따르면, 1,1-디메틸하이드라진은 건강상 독성물질이며, 매우 가연성인 물질로 분류하고 있다.

① 건강(독성)- 흡입하거나 섭취하거나 피부로 흡수되었을 때 치명적일 수 있다. 1,1-디메틸하이드라진을 흡입하거나 피부에 접촉하면 자극이 있거나 피부와 눈에 화상이 있을 수 있다. 화재시에는 자극성이며 부식성이 있는 증기 또는 독성 가스가 발생할 수 있는데, 증기를 흡입하게 되면 현기증 또는 호흡 곤란을 일으킬 수 있다.

② 화재 또는 폭발성(매우 가연성)- 열, 스파크 또는 불꽃에 의해 쉽게 점화가 된다. 1,1-디메틸하이드라진 증기는 공기 중에서 폭발성 혼합물을 생성할 수 있다. 대부분의 증기는 공기보다 무겁기 때문에 주로 지면 근처에 분포하게 되는데, 하수구, 지하실, 탱크 등의 낮은 곳이나 좁고 제한된 지역에 모여 있게 된다. 따라서 이러한 곳에서의 증기 폭발과 독성에 주의해야 한다. 1,1-디메틸하이드라진은 'P'라고 표기가 되어 있는데, 이는 불에 의해 가열되거나 화재가 났을 때 중합반응을 일으키게 된다. 1,1-디메틸하이드라진이 들어 있는 용기가 가열될 때에도 폭발할 수 있다.

국제소방협회(National Fire Protection Association, NFPA)는 건강위험성과 화재 위험성, 반응위험성에 대해 각각 0~4점까지 점수로 표시하여 위험성을 알리고 있다. 각각의 점수에 따른 위험성을 <표 III-8-1>, <표 III-8-2> 그리고 <표 III-8-3>에 정리했다. NFPA는 1,1-디메틸하이드라진에 대해 건강위험성 4점, 화재 위험성 3점, 반응 위험성 1점을 주고 있다.

1,1-디메틸하이드라진을 취급할 때에는 위의 사항들을 반드시 인지한 다음 작업을 진행하도록 한다. 주의 사항을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 1,1-디메틸하이드라진은 매우 가연성인 물질이다. 따라서 접촉시 자발적으로 점화가 될 수 있는 물질과는 분리하여 보관하거나 사용해야 한다. 흙, 석면, 나무 또는 천 같은 흡습성 물질 그리고 과염산화물, 과산화물, 과망간화물, 염산화물, 질산화물, 염소, 브롬, 불소 같은 산화제 등이 포함된다.

둘째, 1,1-디메틸하이드라진을 취급하거나 사용하거나 저장시에는 스모킹, 스파크, 불꽃 등의 점화원에 노출되지 않도록 한다. 가능하면 1,1-디메틸하이드라진을 수송하는 금속 수송관을 지하로 연결되도록 하거나, 저장 및 사용 드럼은 self-closing 밸브, 압력진공마개, 불꽃 정지장치 등이 장착되어 있는 것을 사용하도록 하고, 용기를 열거나 닫을 때에는 반드시 스파크가 일지 않은 도구 또는 장비만 사용하는 방법이 있다.

셋째, 1,1-디메틸하이드라진 증기는 공기 중에서 폭발성 혼합물을 생성하기도 한다. 철 또는 구리의 산화물, 망간, 납, 구리 또는 이들의 합금과 접촉하면 불이 나고 폭발한다. 따라서 이러한 물질과는 접촉하지 않도록 하며, 1,1-디메틸하이드라진을 사용하거나 취급하거나 제조 또는 저장시에는 폭발방지 전기설비와 장치를 설치하도록 한다.

<표 III-8-1> NFPA 건강 위험성

NFPA 점수	건강 위험성
4	극히 제한된 노출에도 사망의 원인이 되거나, 신속한 의료처치에도 후유증이 남거나, 특수 보호기구 없이 접근하면 대단히 위험 · 통상의 고무장갑을 침투할 수 있음. · 통상의 조건 또는 화기의 조건하에서 흡입, 접촉 또는 피부를 통해 흡수되는 대단히 위험한 가스(통상은 독성이고 부식성이 있음).
3	단시간 노출되어 신속한 처치를 해도 일시적 혹은 영구적인 후유증이 남거나 전신을 보호해야 하는 물질. · 맹독성의 가연성 물질 · 피부를 부식시키거나 피부흡수에 의해 위험
2	일시 혹은 연속적인 노출시 신속히 처치를 하지 않으면 영구적인 장애가 생기거나 일시적 쇼크의 원인이 됨. 호흡장비 혹은 독립된 공기공급기구가 필요 · 유독성 가연성물질 · 자극성이 강한 가연성물질. · 통상 혹은 화기조건하에서 유독성 증기를 발산하는 물질
1	처치를 하지 않으면 자극의 원인이 되거나 약간의 상처가 남는다. 승인된 방독마스크의 착용이 필요하다. · 화기조건하에서 자극성의 가연성물질 · 피부조직을 파괴하지는 않으나 자극적
0	무독성

<표 III-8-2> NFPA 화재 위험성

NFPA 점수	화재 위험성
4	상은 대기압하에서 신속하고 완전히 증발하거나, 대기중에 용이하게 확산되거나 쉽게 연소할 수 있는 가스 · 가스 · 초저온물질 · 가압시 액체 또는 가스물질로서 인화점이 22.8℃ 이하, 비점이 37.8℃ 이하인 것. (Class IA flammable liquids.) · 공기와 폭발성 혼합가스를 만들거나 공기중에 용이하게 확산되거나 가연성고체의 분말 혹은 가연성-연소성 분말을 만드는 물질
3	대기온도 하에서 착화할 수 있는 액체 또는 고체. 이 등급의 물질은 대부분의 대기온도 하에서 위험을 초래하거나 용이하게 착화할 수 있다. · 인화점이 22.℃ 미만이고, 비점이 37.8℃ 이상, 인화점이 22.8℃ 이상 37.8℃ 미만인 액체 (Class IB and Class IC flammable liquids) · 대기온도 하에서는 일반적으로 폭발하지 않으나 분진폭발을 일으킬 수 있는 고체물질 · 면화, 삼, 대마 같은 화재 위험성이 있는 섬유조각 등 · 니트로셀룰로오스 기타 유기 과산화물 등 산소를 포함하고 있어 매우 신속하게 연소할 수 있는 물질
2	착화가 일어나려면 가열하거나 대기온도보다 높게 되어야 하는 물질. 이 등급은 대기중에서는 일반적으로 안전하나, 가열되거나 가연성증기를 방출할 수 있는 온도에 노출되는 경우 위험을 초래할 수 있다. · 인화점이 37.8℃ 이상 93.4℃ 이하 · 가연성증기를 용이하게 방출할 수 있는 고체 또는 반고체
1	착화가 일어나려면 예열을 해야 하는 물질. 이 등급의 물질들은 대기온도 하에서 착화, 연소가 일어나려면 예열을 해야 한다. · 815.5℃에서 5분 이하 노출될 때 연소할 수 있는 물질 · 인화점이 93.4℃ 이상인 액체, 고체, 반고체 대부분의 통상적인 가연성물질을 포함
0	불연성 물질. 815.5℃에서 5분 이상 노출되어도 연소되지 않는 물질들을 포함

<표 III-8-3> NFPA 반응 위험성

NFPA 점수	반응 위험성
4	통상의 온도, 압력하에서 스스로 용이하게 폭발, 폭발적인 분해, 폭발적인 반응을 일으키는 물질로서 기계적충격 혹은 국부가열에 의해 민감한 것을 포함한다.
3	강한자극 혹은 밀봉된 상태에서의 가열에 의해 스스로 폭발하거나 폭발적인 반응을 할 수 있는 것. 이 등급에는 가열이나 밀봉과 관계없이 열 혹은 온도 및 압력의 상승, 물과 폭발적인 반응할 수 있는 것등이 포함된다.
2	그 스스로는 안정되지 않고 용이하게 격렬한 화학변화를 하거나 폭발적이지는 않음. 그러나 통상의 온도와 압력하에서 신속하게 에너지를 방출하면서 화학변화를 일으키거나 온도와 압력의 상승에 따라 격렬한 화학변화를 일으킴. 물과 반응하거나 물과 혼합시에 폭발잠재력을 갖는 물질
1	스스로는 안정. 온도 압력의 상승 또는 물과 반응 시 에너지를 방출하나 격렬하지는 않다.
0	불에 노출되어도 그 자체로 통상 안정적이며 물과 반응하지 않는다.

마. 응급조치요령: 유해물질 취급시 응급상황에서의 긴급조치요령 설명

(1) 화재사고

가연성 가스인 1,1-디메틸하이드라진은 열분해 시 건강에 유해한 산물로 질

소산화물과 일산화탄소 같은 유독가스와 증기가 발생한다. 1,1-디메틸하이드라진을 바닥에 엮질러서 공기와 접촉하거나 흙, 석면, 목재, 옷감에 닿았을 때 또는 과산화수소나 질산과 접촉하면 자연 발화하게 된다. 1,1-디메틸하이드라진에 의해서 소형화재가 발생했을 때에는 소화제로 알코올 발포제, 건성 화학물, 대량의 물 등을 이용하여 소화하여야 한다. 대형화재가 발생했을 때는 물 스프레이, 안개 또는 알코올 발포제를 아닌 방향으로 사용하여 소화하도록 한다. 또한 1,1-디메틸하이드라진은 플라스틱류, 고무류, 피복제 등을 상하게 하는 특성이 있다. 발생된 독성가스는 물을 뿌려 감소시킬 수 있다.

(2) 엮질렀거나 누출 사고

미국에서는 1,1-디메틸하이드라진의 운송시 누출되는 사고가 발생했을 때 초기에 격리되어야 하는 거리와 보호행동에 대한 지침을 마련하고 있다(US DOT, 2004). <표 III-8-4>에 따르면 소량의 1,1-디메틸하이드라진이 누출된 사고에는 초기에 모든 방향으로 30m 떨어져야 하며 그리고 나서 낮 또는 밤에 따라 일정거리 안에 있는 사람을 보호하도록 설명하고 있다. 그리고 작은 포장단위에서 많은 양의 1,1-디메틸하이드라진이 누출된 사고에는 초기에 약 60m 정도 떨어져 있어야 한다고 설명하고 있다.

누출 사고가 발생한 경우에는 다음 사항에 따라 사고에 대처하도록 한다.

- ① 오염지역을 완전히 치울 때까지 보호 장비를 착용하지 않은 사람은 출입을 엄격히 제한한다.
- ② 주변의 모든 점화원을 제거한다.
- ③ 오염지역을 환기시킨다.
- ④ 오염물을 질석, 마른 모래, 흙 또는 비슷한 물질을 이용하여 흡수시킨 다음 밀봉된 용기에 넣어둔다.
- ⑤ 1,1-디메틸하이드라진은 폭발 가능성이 있기 때문에 하수구 같은 제한된 곳에 버리지 않아야 한다. 만일 유해 폐기물로 처리가 필요한 경우에는 해당 법규에 따라 적절한 조치를 취하도록 한다.
- ⑥ 물을 뿌리면 증기를 감소시킬 수 있다. 그러나 밀폐된 곳에서는 점화원

이 될 수 있으므로 주의해야 한다.

(3) 눈에 접촉한 경우

즉시 많은 양의 미지근한 물로 적어도 30분 동안 계속해서 씻어준다. 때때로 눈꺼풀의 위, 아래를 들어 올려서 씻는다. 자극, 통증, 팽창, 눈물흘림 또는 눈부심 증상이 지속되면, 즉시 의료진의 처방을 받도록 한다.

(4) 피부에 접촉한 경우

즉시 오염된 옷을 벗고, 많은 양의 물과 비누로 노출 부위를 씻어낸다. 1,1-디메틸하이드라진이 피부에 접촉하면 화상을 입을 수 있다. 이러한 경우에는 즉시 가능한 한 차가운 물로 화상부위를 씻어내어 피부가 차갑도록 하고 피부에 옷이 닿아있다면 강제로 제거하지 않도록 한다. 통증과 자극이 지속되면, 의료진의 처방을 받을 필요가 있다.

(5) 흡입한 경우

가장 먼저 노출지역에서부터 사람을 옮긴다. 구조 작업시 고농도의 1,1-디메틸하이드라진이 오염된 지역에는 반드시 보호구를 착용하여 이차 희생자가 생기지 않도록 한다.

환자를 신선한 곳으로 옮긴 후 호흡이 멈추었는지 살펴본다. 재채기 또는 호흡곤란을 호소하면 호흡기계 자극, 기관지 또는 폐렴 여부를 확인해야 한다. 숨을 멈추었을 경우에는 인공호흡을 시작하고 심장박동이 멈추었을 경우에는 심폐소생술을 시작한다. 즉시 병원으로 옮긴다. 24~48시간 이내에 의사의 진찰을 받도록 한다.

(6) 섭취한 경우

구토를 유발해서는 안 된다. 약 120~240ml의 물이나 우유를 마시게 하여 희석시킨다. 약 30g의 활성탄을 240ml의 물에 개여서 환자에게 투여하도록 하는 방법도 있다.

<표 III-8-4> 1,1-디메틸하이드라진의 누출사고시 초기 격리 및 보호행동 거리에 대한 가이드라인

		SMALL SPILLS						LARGE SPILLS					
		(From a small package or small leak from a large package)						(From a large package or from many small packages)					
ID No.	NAME OF MATERIAL	First ISOLATE in all Directions		Then PROTECT persons Downwind during-				First ISOLATE in all Directions		Then PROTECT persons Downwind during-			
		Meters	(Feet)	DAY		NIGHT		Meters	(Feet)	DAY		NIGHT	
				Kilometers (Miles)	Kilometers (Miles)	Kilometers (Miles)	Kilometers (Miles)			Kilometers (Miles)	Kilometers (Miles)		
1082	Trifluorochloroethylene	30m	(100 ft)	0.1 km	(0.1 mi)	0.1 km	(0.1 mi)	60 m	(200 ft)	0.4 km	(0.3 mi)	0.8 km	(0.5 mi)
1082	Trifluorochloroethylene, inhibited												
1082	Trifluorochloroethylene, stabilized												
1092	Acrolein, inhibited	60m	(200 ft)	0.5 km	(0.3 mi)	1.7 km	(1.1 mi)	500 m	(1600 ft)	4.8 km	(3.0 mi)	10.2 km	(6.3 mi)
1092	Acrolein, stabilized												
1098	Allyl alcohol	30m	(100 ft)	0.1 km	(0.1 mi)	0.1 km	(0.1 mi)	60 m	(200 ft)	0.4 km	(0.2 mi)	0.6 km	(0.4 mi)
1135	Ethylene chlorohydrin	30m	(100 ft)	0.2 km	(0.1 mi)	0.3 km	(0.2 mi)	90 m	(300 ft)	0.8 km	(0.5 mi)	1.5 km	(1.0 mi)
1143	Crotonaldehyde, inhibited	30m	(100 ft)	0.1 km	(0.1 mi)	0.1 km	(0.1 mi)	60 m	(200 ft)	0.4 km	(0.3 mi)	0.8 km	(0.5 mi)
1143	Crotonaldehyde, stabilized												
1162	Dimethyldichlorosilane (when spilled in water)	30m	(100 ft)	0.2 km	(0.2 mi)	1.1 km	(0.7 mi)	300 m	(1000 ft)	3.0 km	(1.9 mi)	7.9 km	(4.9 mi)
1163	1,1-Dimethylhydrazine	30m	(100 ft)	0.1 km	(0.1 mi)	0.2 km	(0.1 mi)	60 m	(200 ft)	0.5 km	(0.4 mi)	1.2 km	(0.8 mi)
1163	Dimethylhydrazine, unsymmetrical												
1182	Ethyl chloroformate	30m	(100 ft)	0.2 km	(0.1 mi)	0.3 km	(0.2 mi)	90 m	(300 ft)	0.9 km	(0.6 mi)	1.8 km	(1.1 mi)
1185	Ethylenimine, inhibited	30m	(100 ft)	0.2 km	(0.2 mi)	0.7 km	(0.5 mi)	180 m	(600 ft)	1.8 km	(1.2 mi)	4.0 km	(2.5 mi)
1185	Ethylenimine, stabilized												
1196	Ethyltrichlorosilane (when spilled in water)	30m	(100 ft)	0.2 km	(0.2 mi)	1.1 km	(0.7 mi)	300 m	(1000 ft)	3.0 km	(1.9 mi)	7.9 km	(4.9 mi)
1238	Methyl chloroformate	30m	(100 ft)	0.3 km	(0.2 mi)	0.8 km	(0.5 mi)	180 m	(600 ft)	1.8 km	(1.1 mi)	3.9 km	(2.4 mi)
1239	Methyl chloromethyl ether	30m	(100 ft)	0.3 km	(0.2 mi)	1.0 km	(0.6 mi)	270 m	(900 ft)	2.5 km	(1.6 mi)	5.6 km	(3.5 mi)
1242	Methyldichlorosilane (when spilled in water)	30m	(100 ft)	0.2 km	(0.1 mi)	0.7 km	(0.4 mi)	180 m	(600 ft)	1.6 km	(1.0 mi)	4.8 km	(3.0 mi)
1244	Methylhydrazine	30m	(100 ft)	0.3 km	(0.2 mi)	0.5 km	(0.3 mi)	150 m	(500 ft)	1.4 km	(0.9 mi)	2.9 km	(1.8 mi)

바. 유해물질 저장, 보관방법

(1) 안전 용기

1,1-디메틸하이드라진은 유리병, 드럼, 탱크 등에 저장하여 보관하거나 운송하는 것이 바람직하다. 드럼은 작은 기어 펌프가 장착되어 있고 필요한 경우 스파크가 일지 않는 재질이어야 하며 질소로 가압되어 있는 것이 좋다. 질소는 1,1-디메틸하이드라진을 용기에서 덜어낼 때 사용한다.

많은 양의 1,1-디메틸하이드라진을 보관할 때에는 질소 또는 비활성가스로 가압된 실린더 탱크를 추천한다. 탱크는 전지 접지가 되어 있어야 하고 레벨 게이지, 압력 게이지, 파열디스크, 안전 밸브와 불꽃 방지 장치가 설치되어 있어야 한다.

1,1-디메틸하이드라진의 용기로는 반응성이 없는 재질을 선택하도록 한다. <표 III-8-5>에 저장용기로 적절한 재질 및 부적절한 물질을 정리하였다. 모든 용기는 사용하지 않을 때에는 확실하게 밀봉되어 있어야 한다.

<표 III-8-5> 1,1-디메틸하이드라진과 물질 융화성

반응성 있는 재질	반응성 없는 재질
알루미늄 및 합금	구리 및 합금
Hydropol OT Plastic	페놀수지
Kel-F와 폴리에틸렌	폴리비닐 알콜 폴리머
강철	셀룰로오스 아세테이트 부틸레이트
모넬(니켈과 구리합금)	염화비닐-아세테이트 폴리머
스테인레스 스틸- 303, 304, 321, 347	이소시아네이트 폴리에스테르
마일러 A	페놀-석면 플라스틱
니켈	염화비닐-비닐 폴리머
실리콘 고무 AMS 3305	유기 폴리황
테플론	
흑연	

출처: NIOSH Criteria, 1978

(2) 보관방법

1,1-디메틸하이드라진은 끓는점 이하의 온도에서 보관해야 한다. 강산화제와 강산과는 분리해서 어두운 곳에 보관한다. 실외에서 보관하는 경우에는 직사광선, 먼지, 눈, 빗물 그리고 얼음이 쌓일 수 있는 곳을 피해 차폐막을 설치하는 것이 좋다. 실내에서 보관하는 경우에는 시원하고 환기가 되는 곳이어야 한다.

사. 개인보호구

작업장에서 1,1-디메틸하이드라진의 노출을 줄이기 위해서는 기술적인 대책이 개인보호구보다는 더 효과적이다. 그러나 실외작업, 제한된 공간에 들어가서 하는 작업, 단시간 동안 이루어지는 작업 같은 경우에는 개인보호구의 사용이 적절할 수 있다. 1,1-디메틸하이드라진에 노출된다고 예상하는 경우 다음의 보호의를 착용해야 한다.

(1) 보호의

1,1-디메틸하이드라진은 피부에 빠르게 흡수되어 독성을 나타내기 때문에 피부 접촉을 피해야 한다. 고무 또는 플라스틱 재질의 손목, 팔 보호구, 고무장갑, 신발 등을 착용해야 한다. 모든 보호의는 깨끗한 것이어야 하고 매일 새 것으로 사용해야 하며, 항상 작업 전에 착용하도록 한다. ACGIH에서는 부틸 고무재질의 보호의를 추천한다.

(2) 보안경

액상의 1,1-디메틸하이드라진을 다룰 때에는 고글이나 보호면 등을 착용하여 튀는 것을 방지한다. 보호면은 고무 또는 플라스틱 재질을 추천한다.

(3) 호흡 보호구

피부노출과 흡입을 통해 1,1-디메틸하이드라진에 노출될 가능성이 가장 크

다. 공기 중에서 1,1-디메틸하이드라진의 소량이라도 검출될 때에는 적절한 호흡 보호구를 착용 한다

① 공기 중 1,1-디메틸하이드라진의 농도가 0.01ppm이상으로 노출이 예상되는 곳: 압이 공급되거나 양압 조건에서 작동되는 전면형 공기공급식 호흡보호구 또는 송기마스크를 착용한다.

② 공기 중 1,1-디메틸하이드라진의 농도가 15ppm 이상으로 노출이 예상되는 곳: 15ppm은 생명과 건강에 즉시 해로운 농도수준이다. 이 농도에서 노출이 예상된다면, 압이 공급되거나 양압 조건에서 작동되는 전면형 송기마스크를 착용한다.

9. 규제영향분석

가. 노출기준 제·개정의 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, 1일 작업시간 동안의 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 1,1-디메틸하이드라진(1,1-Dimethylhydrazine, UDMH)에 대한 현재 노출기준은 <표 III-9-1>과 같이 제정되어 있다.

<표 III-9-1> 1,1-디메틸하이드라진에 대한 현재 국내 노출기준

노출기준, ppm			피부 및 발암성
TWA	STEL	Ceiling	
0.5 (1 mg/m ³)	-	-	피부, A2

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.

즉, 현재 국내에서 노출기준은 단순한 유해물질에 대한 가이드 수준이 아닌 작업환경측정의 평가 기준으로 활용됨으로써 사업장의 근로자에 대한 보건관리의 중요한 수단으로 활용되고 있다.

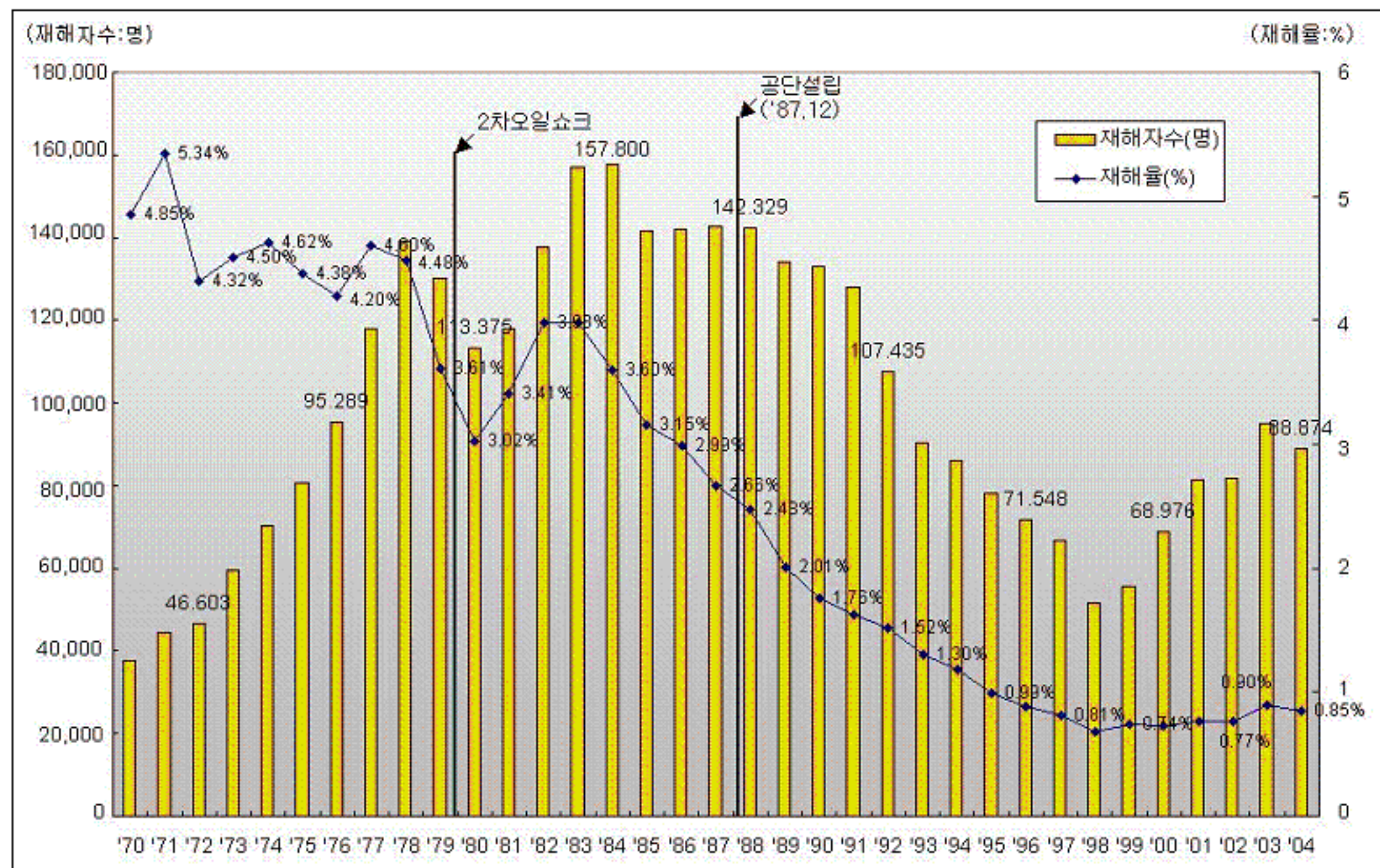
(2) 규제 의 필요성

가) 국내 산업재해 현황

산업재해보상보험법에 의해 산재요양 승인을 받은 자만을 대상으로 하는 산재통계 자료를 보면 2004년 국내 산업재해자수는 88,874명이며, 재해율 0.85%

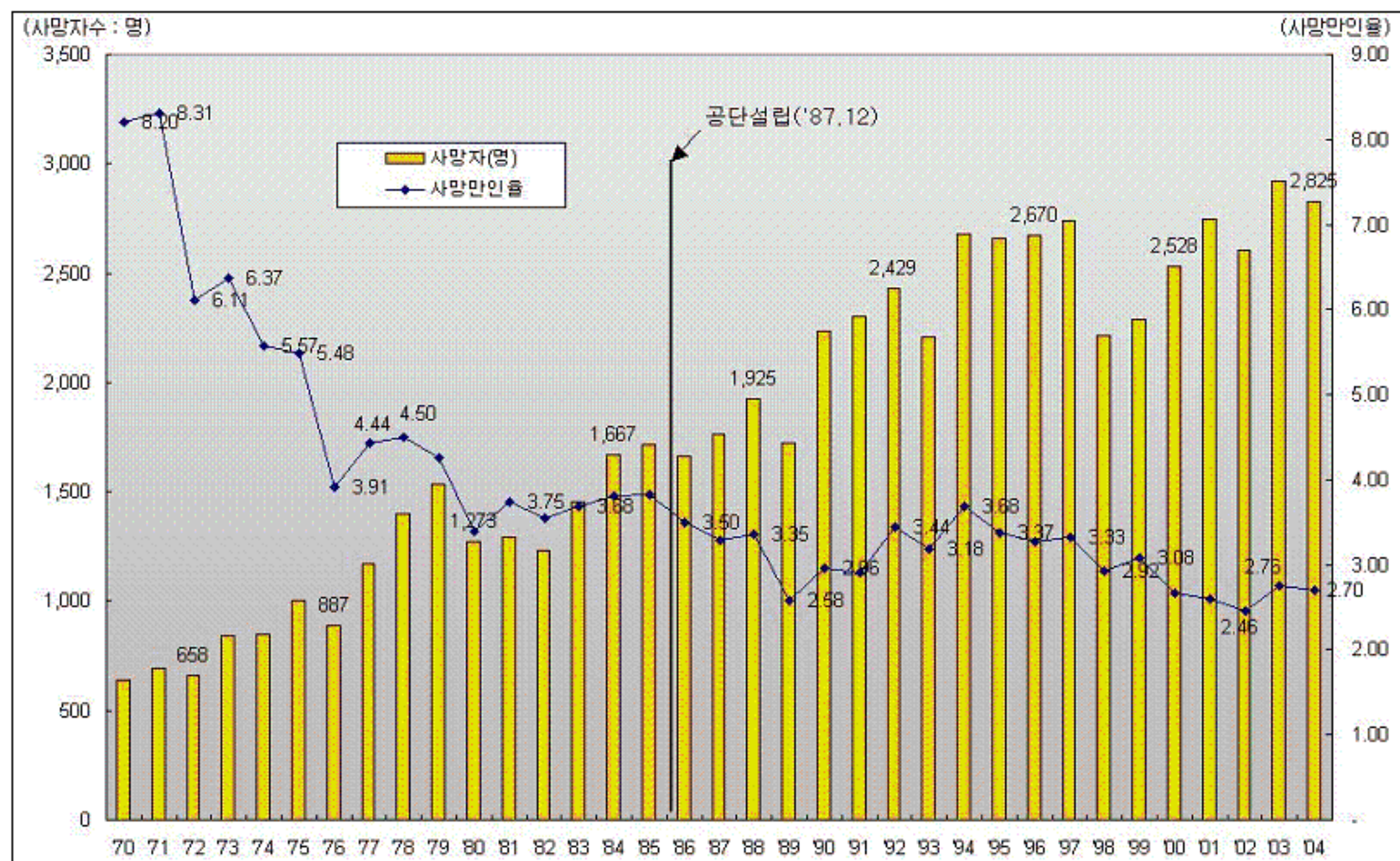
로 근로자 수 1,000명당 8.5명 수준이다.

특히 [그림 III-9-1]에서 보듯이 1998년 이후 최근까지 재해율은 증가추세에 있고, [그림 III-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 III-9-1] 국내 산업재해 현황.

선진 외국과 비교할 때 <표 III-9-2>와 같이 국내의 산재 사망률은 미국, 영국, 프랑스, 독일, 스웨덴보다 약 6배에서 25배 이상 높은 수준이다.



[그림 III-9-2] 국내 산업재해 사망률 추이.

<표 III-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

*: 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 III-9-3>에서 보듯이 1983년 최초 50종의 화학물질에 대해 노출기준을 제정한 이래 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 허용기준(TLV)를 그대로 받아들였으며, 이후 사회적으로 문제가 되었던 특정 물질을 제외하고는 현재까지 기준값에 대한 개정은 없는 실정이다.

특히 우리나라의 1,1-디메틸하이드라진에 대한 현행 노출기준은 0.5 ppm(TWA)인데 비해 국내 노출기준의 모태가 되었던 ACGIH-TLV는 0.01 ppm(TWA)이고, 우리나라보다 산재 사망률이 월등히 낮은 프랑스, 스웨덴 등은 0.1 ppm(TWA) 수준으로 훨씬 엄격한 규제기준을 갖고 있어 1,1-디메틸하이드라진의 현행 노출기준에 대한 재검토와 개정의 필요성은 매우 크다고 할 수 있다.

<표 III-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, 특정화학 물질 31종 및 소음, 분진, 납에 대한 허 용농도 제정
1986. 12. 22. (제정)	제86-45호	총 324 종	“작업환경측정방법” 중 “유해물질의 허 용농도”를 분리하여 별도 고시, 허용농 도 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 누락사항 추가
1998. 1. 5. (3차 개정)	제97-65호	총 698 종	전자부품 양산공장의 2-bromopropane으로 인한 생식독성 발견으로 인한 2-bromopropane 항목 추가
2002. 2. 4. (4차 개정)	제2002-2 호	총 698 종	석면 노출기준 20배 강화(2개/cc → 0.1개/cc)
2002. 5. 6. (5차 개정)	제2002-8 호	총 698 종	벤젠 노출기준 10배 강화(10 ppm → 1ppm)

(3) 규제 목표 설정

1,1-디메틸하이드라진에 대한 현행 국내 노출기준은 ACGIH에서 1960년에
서 1994년까지 유지해온 기준이며 개에게서 나타난 약간의 빈혈, 체중감소, 혼
수상태를 야기시키는 농도의 1/10에 해당하는 0.5 ppm을 기준으로 권고하였다
(Reinhart 등, 1960). 그러나 1989년에 TLV-위원회에서는 0.5와 5 ppm에서 랫
트의 코에서 종양 발생률이 약간 높았고(MacEwen 등 1977, Haun 등 1977),
1,1-디메틸하이드라진과 동일한 하이드라진류인 모노메틸하이드라진(MMH)의

경우 0.02 ppm에 노출된 랫트와 마우스에서 코에 자극이 관찰되어 화학구조의 유사성을 근거로 TLV-TWA로 0.01ppm을 권고하게 되었다. 따라서 현재 국내에서 설정하고 있는 “0.5 ppm(TWA), 피부 경고, A2”의 기준으로는 후두부 자극과 비강암 위험성에 대한 보호를 할 수 없다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준은 <표 III-9-4>와 같이 개정하고자 한다.

(4) 규제영향평가 과정

본 연구에서 활용한 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출기준에 시행에 따른 규제영향평가 과정이다. 1단계에서 물질에 대한 노출기준 제정과 개정여부를 결정한다. 2단계에서 사용량, 노출근로자수, 실행가능성 등의 요인을 분석하여 재개정 노출기준 실현가능성 여부를 확인 한다. 3단계에서 제정되거나 개정된 노출기준 외에 다른 대체 수단 및 기존 규제 중복여부를 따져 본다. 만약에 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 III-9-3] 참조).



[그림 III-9-3] 규제영향평가 과정.

<표 III-9-4> 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 변경내용과 제안 근거 요약

노출기준 종류	노출기준		제안근거
	현재	변경 제안	
시간가중 평균기준 (TWA)	0.5 ppm	0.01 ppm	<u>□ TWA 0.5 ppm : 발암성 예방 기준으로 높음.</u> - 개를 대상으로 한 동물실험에서 나타난 약간의 빈혈, 체중감소, 혼수상태를 야기하는 농도의 1/10에 해당하는 0.5 ppm을 기준으로 권고함.(Reinhart 등, 1960). - 0.5 ppm에서 발암성이 보고됨. <u>□ 0.01 ppm 제안</u> - 아직까지 0.01 ppm이하의 노출에서 건강상의 장애가 보고된 경우가 없음 - 0.01 ppm을 법적기준으로 시행해도 사업주가 이를 준수하는데 실행가능성도 문제가 없음 - 따라서 TWA를 0.01 ppm으로 설정하면 1,1-디메틸하이드라진로 인한 건강상의 장애가 예방될 것으로 판단됨.
단시간 노출기준 (STEL)	설정하지 않음.	설정하지 않음.	<u>□ 변화 없음.</u> - 독성학적 및 산업체 경험에 따른 자료 부족으로 STEL 값을 설정하지 않음.
천장값 (Ceiling)	설정하지 않음.	설정하지 않음.	<u>□ 변화 없음.</u> - 거의 모든 국가 및 기관에서 평균 개념인 TWA를 적용시키고 있으며 천장값을 제시하고 있는 NIOSH에서는 발암물질에 대한 정책의 일환으로 표시함.
피부흡수 (Skin)	표시	표시	<u>□ 변화없음.</u> - 1,1-디메틸하이드라진은 피부흡수되어 전신독성 작용이 있음. - “피부흡수”에 대한 주의는 규제영향이 적음
발암성	A2	A2	<u>□ 변화 없음</u> - 동물을 대상으로 한 실험에서 발암성이 확인됨.

나. 노출기준 제·개정의 실현 가능성

(1) 규제에 대한 반대 및 사회적 제약 요소

가) 1,1-디메틸하이드라진 기준 강화로 인한 신규 규제 부담여부

1,1-디메틸하이드라진은 기존 ‘화학물질 및 물리적인자의 노출기준’(노동부 고시 제2002-8호)에 이미 제정되어 있던 물질이며, 산업안전보건법시행규칙에 의해 작업환경측정 대상 유해인자에 포함되어 있지 않기 때문에 기준개정에 의해 추가적인 작업환경 측정 부담 및 신규 규제에 대한 기업체의 부담은 없다고 판단된다.

나) 국내 1,1-디메틸하이드라진 취급 실태

우리나라에서 1,1-디메틸하이드라진 사용량은 매우 적은 것으로 파악되었다. 환경부에서 조사한 1998년과 2002년 화학물질 유통량 조사 결과를 보면 1,1-디메틸하이드라진의 국내 제조는 없었으며 수입해서 사용하는 것으로 확인 되었다. 1998년은 1,1-디메틸하이드라진을 전혀 사용하지 않은 것으로 조사 되었으며, 2002년은 수입 및 이월로 인해 총 15.3톤이 입고되었으며 이 중 11.7톤을 사용하고 3.6톤의 재고가 남은 것으로 조사되었다. 이러한 양은 전체 화학물질 사용량(2002년, 19,396,645 톤)의 0.0001 %가 되지 않는 양이다.

1,1-디메틸하이드라진의 사용량이 적은 이유는 생산공정에서 이용되는 주된 화학물질이 아니고 산화방지제 등 첨가제 등으로만 사용하기 때문이다. 또한 폭발성이 있어 취급상 안전 문제 때문에 사용을 선호하지도 않는다. 외국의 경우도 1,1-디메틸하이드라진의 주요 사용처가 우주산업에서 사용되고 화학물질 합성 등에는 극히 소량이 사용되므로 화학적 특성, 공정에서 사용특성을 고려할 때 향후에도 사용량은 급격히 증가되지 않을 것으로 판단된다. 따라서 현재의 1,1-디메틸하이드라진 노출기준(0.5 ppm)을 0.01 ppm으로 강화해도 사용량을 감소시켜 기업의 경제적인 활동에 유의한 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 우리나라에서 우주산업에 적극적으로 참여하지 않는 이상 화학물질 제조에 소량 사용될 것으로 판단이 된다.

다) 1,1-디메틸하이드라진 노출 근로자수

2002년 환경부 유통량 조사결과에 의하면 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 국내 사업장은 한 곳으로 집계되었으며 스판섬유를 제조하는 섬유제조업에서 산화방지제의 목적으로 소량 사용하고 있었다. 본 연구에서 1,1-디메틸하이드라진 취급사업장을 방문하여 조사한 결과 해당 사업장의 총 근로자 수는 600여명이었고 교대근무를 하고 있어 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 공정 근로자 수는 최대 600여명을 넘지 않을 것으로 판단된다.

라) 1,1-디메틸하이드라진에 대한 노출실태

1,1-디메틸하이드라진은 공정에서 원료의 반응을 돕기 위한 보조제로 사용되고 있으며 공기와 접촉시 폭발 위험이 있는 물질이기 때문에 완전 밀폐된 시스템에서 주입되고 있다. 따라서 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 과정에서 노출 가능성은 매우 낮다고 할 수 있다. 본 연구조사에서 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 섬유제품제조업을 방문하여 반응기와 1,1-디메틸하이드라진 공급 탱크, 주입 라인 주변 등에서 공기 중 누출량을 조사한 결과 평균 농도는 0.0017ppm(최대 0.0066ppm)으로 ACGIH에서 제시하는 노출 기준인 0.01ppm과 비교해 약 5.9배 낮은 수준이었다.

결론적으로 1,1-디메틸하이드라진 취급공정과 노출특성을 볼 때 본 연구에서 제안하고자 하는 TWA 0.01 ppm을 초과하여 과다하게 노출되지 않을 것으로 판단된다. 따라서 노출기준 개정에 따른 작업환경 개선에 추가되는 비용 부담은 크지 않다고 판단된다.

(2) 기술수준 등에 비추어본 실현 가능성

1,1-디메틸하이드라진은 물질의 특성상 안전하게 취급을 위해 공기와 접촉하지 않도록 밀폐된 자동 주입 시스템을 사용해야 하며 현재 국내에서 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 사업장도 자동화 시스템을 갖추고 있었다. 따라서 자동화시스템을 통한 1,1-디메틸하이드라진의 공기 중 누출 가능성을 최소화할 수 있으며 추가적으로 반응기 주변에 국소배기 설비를 통해 노출수준을 변

경 기준 미만으로 관리하는데 기술적인 문제는 없다고 할 수 있다.

다. 노출기준 제·개정외 대체수단 존재 및 기존규제와의 중복 여부

(1) 기존규제로 대체가능 여부

본 규제는 신규 규제가 아니며 현재 국내에서는 근로자의 화학물질에 대한 노출수준을 관리할 수 있는 규제로써 노출기준 외에 다른 대체할 만한 규제는 없는 상황이다.

(2) 규제외 다른 방법으로 목적달성 여부

1,1-디메틸하이드라진 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 1,1-디메틸하이드라진의 제조, 수입, 양도, 제공, 사용 등을 금지함으로써 직업병 발생 가능성을 근원적으로 제거하는 방법이 있다(<표 III-9-5> 참조). 그러나 후자의 방법은 노출위험성을 근원적으로 제거할 수 있는 장점이 있으나 현재 제조 및 취급 기업체에 부담이 크며 사회적 반대로 인한 실현 가능성이 낮다.

1,1-디메틸하이드라진은 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 III-9-5> 1,1-디메틸하이드라진 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 근원적으로 제거함으로써 완벽한 직업병 예방	현재 제조 및 취급 사업장의 부담 및 실현 가능성 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

1,1-디메틸하이드라진은 기존에 노출기준 제정 물질로 포함되어 있고 작업환경측정대상 물질에도 포함되어 있지 않기 때문에 본 규제는 신규규제가 아니며, 노출기준 개정으로 인해 추가적인 제재조치 가능성은 없다.

라. 노출기준 제·개정 규제의 비용과 편익의 비교분석

(1) 규제의 비용분석

1,1-디메틸하이드라진의 노출기준 개정에 의해 작업장 노출수준을 0.01

ppm(TWA) 미만으로 유지하기 위해 가장 크게 비용이 소요되는 방법은 공학적 개선으로 국소배기설비를 설치하는 것이다. 2002년 환경부 유통량 조사에 근거할 때 현재 국내 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 사업장은 총 1개소이며, 1,1-디메틸하이드라진이 투여되는 반응기는 10개 정도였다. 1,1-디메틸하이드라진의 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 1,1-디메틸하이드라진을 제어 기 위한 국소배기설비의 설치 단가는 약 300만원 수준이며 추가 운용비용을 10%로 산정할 때 총 소요 비용은 6,880만원으로 추정된다(<표 III-9-6> 참조). 발암물질에 대한 관리를 강화하기 위해서 노출평가를 실시하도록 제안하여 이에 대한 추가 비용을 다음과 같이 계산하였다. 총 노출가능 인원인 600명 중 3명당 1개의 시료를 채취한다면 다음 <표 III-9-6>과 같은 1,580만원의 비용이 소요될 것으로 예상된다. 교육 및 홍보 등 기타비용을 1,000만원으로 추정하였다. 따라서 본 제안의 규제 비용은 총 6,880만원으로 추정된다.

<표 III-9-6> 작업환경 측정 및 개선을 위한 규제의 비용 분석(단위 : 만원)

대상업체수 및 최대근로자 수 ¹⁾	국소배기설비		작업환경측 정비용 ⁴⁾	교육 및 홍보 등 기타 비용	총 비용
	설치단가 ²⁾	소요 비용 ³⁾			
1개소/600명	300 (10곳 개선)	3,300	1,580 (7.9 * 200)	2,000	6,880

1) 2002년 환경부 유통량실태조사 결과 근거

2) '한국산업안전공단 Clean 사업 우수사례' 근거

3) 운용비용은 전력 사용 외에 점검, 관리비용을 예상하여 설치비용의 10%로 산정

4) 1인당 측정 및 분석 단가 79,000원, 200명 측정

(2) 규제 의 편익 분석

2002년 국내 산업재해로 인한 경제적 총 손실추정액은 <표 III-9-7>과 같이 약 10조원을 넘고 있다. 이를 2002년도 산재보상보험 가입 사업장수와 적용 근로자수를 이용하여 각 근로자 1인당 손실액과 사업장 1개소 당 손실액으로 추정한 후 1,1-디메틸하이드라진 노출근로자수를 이용하여 환산하면 연간 5억 7330만원으로 추정된다(<표 III-9-8> 참조).

(3) 비용 · 편익의 비교 및 검토

1,1-디메틸하이드라진 변경 노출기준 준수를 위한 작업환경 측정 및 개선비용은 약 6,880만원으로 추계되었고, 노출기준 준수를 통해 직업병 예방에 의한 경제적 편익은 연간 5억 7330만원으로 추정되어 비용 대비 편익 발생 효과가 더욱 크다고 할 수 있다. 특히 작업환경 개선비용은 초기 투자비용 이후 매년 관리 비용으로 소요되는 금액은 투자비용의 10% 이내임을 감안할 때 편익은 매년마다 발생하므로 편익 효과는 훨씬 크다고 할 수 있다.

<표 III-9-7> 산업재해로 인한 경제적 총 손실추정액

구분	근로 손실일수 (일)	경제적 손실추정액(백만원)			경제적 손실 단가 ¹⁾ (일, 백만원)		
		총액	산재 보상액	간접 손실액	근로손실일 수/근로자1인	경제적 손실추정액 /근로자1인	경제적손 실추정액/ 사업장1개
2002년	54,011,503	10,101,675	2,020,335	8081340	5.1	0.96	10.1

자료원: '도표로보는 주요통계 편람' 한국산업안전공단, 2003

1) 근로자수는 2002년도 산업재해보상보험법 가입 사업장의 적용 근로자수를 활용하였고 사업장수는 2002년도 산업재해보상보험법 가입 사업장수를 활용하였음.

<표 III-9-8> 1,1-디메틸하이드라진 노출기준 규제 목표 달성을 통한 총 편익

연간 UDMH로 인한 직업병 예방 대상 수 ¹⁾	경제적 편익추정 총액 ²⁾ (일, 백만원)	
노출근로자수	근로손실일수	근로자수를 근거로 추계한 편익
600	3065.6	573.3

1) 2004년 노동부 제조업실태조사 결과 근거

2) <표 III-9-7>의 경제적손실단가와 연간 1,1-디메틸하이드라진로 인한 직업병 예방 대상 수를 이용하여 계산

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, 1,1-디메틸하이드라진을 취급하는 모든 사업장을 대상으로 적용되는 규제이므로 시장경쟁제한요소는 없다.

(2) 기업활동 저해요소 포함 여부

1,1-디메틸하이드라진의 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.

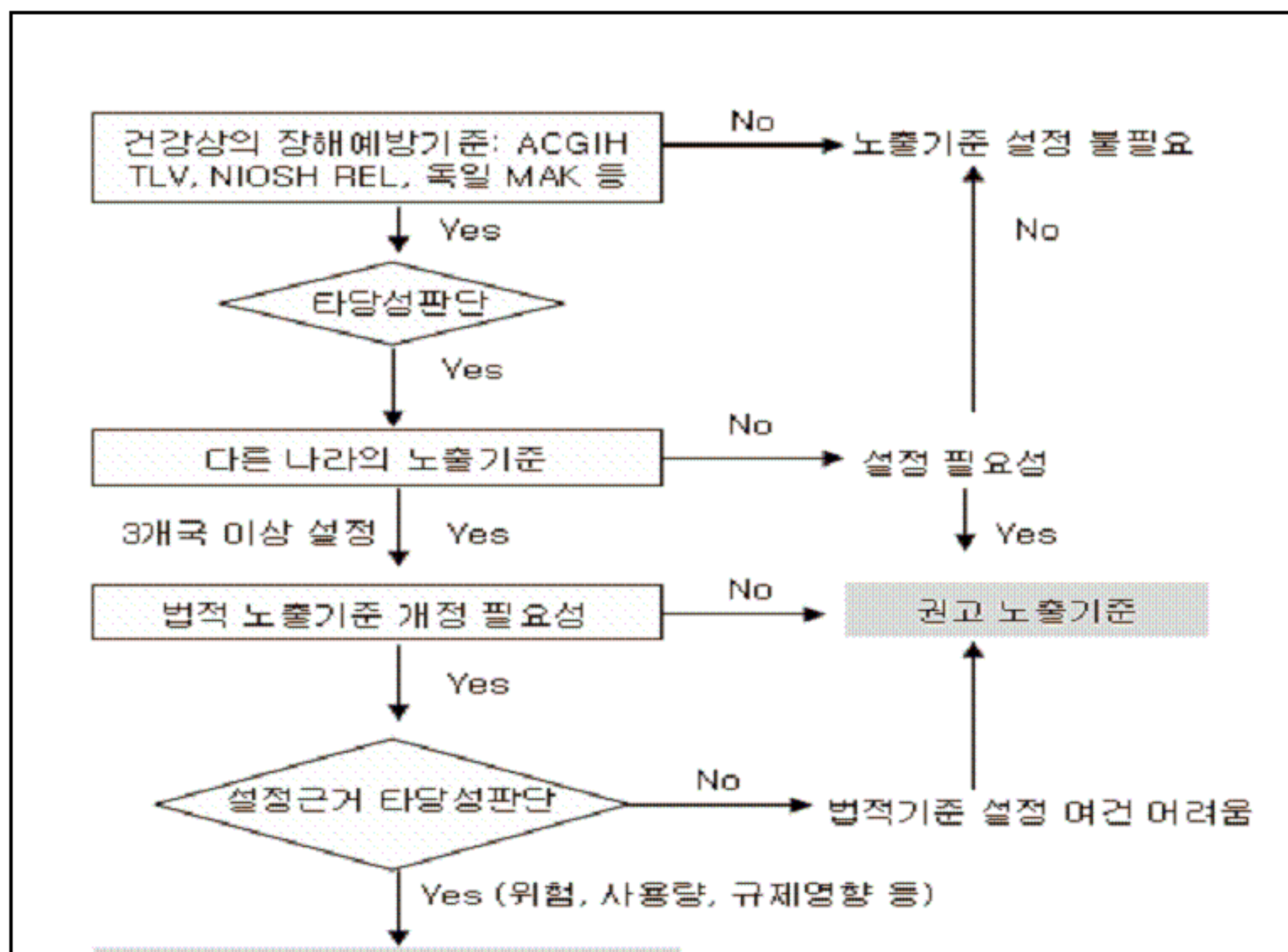
바. 노출기준 제·개정 규제내용의 객관성·명료성

(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 III-9-4]과 같은 개정 절차를 통해 국내외 관련 문헌 검토와 선진국의 규제 현황, 경제·기술적 타당성을 고려하여 기준 변경을 제안함으로써 절차의 객관성과 명확성을 제고하였다.



[그림 III-9-4] 노출기준 개정 절차.

(2) 규제의 법적근거 및 존속기한의 타당성 여부

가) 규제의 법적근거

1) 제39조 (유해인자의 관리 등)

① 노동부장관은 근로자의 건강장해를 유발하는 화학물질 및 물리적 인자 등(이하 "유해인자"라 한다)을 노동부령이 정하는 분류기준에 따라 분류하고, 이를 관리하여야 한다.

② 노동부장관은 유해인자의 노출기준을 정하여 관보 등에 고시한다.

③ 노동부장관은 유해인자가 근로자의 건강에 미치는 유해·위험성을 평가하고 그 결과를 관보 등에 공표할 수 있다.

④ 제3항의 규정에 의하여 유해·위험성을 평가할 대상물질의 선정기준 및 평가방법 등에 관하여 필요한 사항은 노동부령으로 정한다.

2) 산업안전보건법시행령 제45조의4 (산재예방사업의 지원)

법 제62조제1항에서 "대통령령이 정하는 사업"이라 함은 다음 각 호의 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. 안전보건의식 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 정책심의위원회의 심의를 거쳐 노동부장관이 정하는 업무

3) 산업안전보건법시행규칙 제81조 (유해인자의 분류·관리)

① 법 제39조제1항에서 "노동부령이 정하는 분류기준"이라 함은 별표 11의2의 분류기준을 말한다.

② 노동부장관은 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.

1. 법 제37조의 규정에 의한 제조 등 금지물질
2. 법 제38조의 규정에 의한 제조 등 허가물질
3. 보건규칙의 관리대상 유해물질
4. 제93조제1항의 규정에 의한 작업환경측정 대상 유해인자
5. 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.

4) 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 없기 때문에 노출기준은 한 번 결정된 값에 대해 존속기간을 규정

할 수 없으며 새로운 건강장해 사례가 보고될 경우 지속적으로 재검토되고 재
규정되어야 한다. 따라서 본 규제에 대한 존속기한의 지정은 타당하지 않다.

참고 문헌

고경심, 조수현. " 직업성 폭로의 허용기준 논의의 변천과 국제비교 ", *대한 산업의학회지* 7(1):152-168 (1995).

노동부 : 산업안전보건법, 노동부 고시 제97-27호 (1997).

한국무역협회(<http://www.kita.net/>).

화학방재 연구센터, <http://www.ceicinfo.or.kr>

환경부, 1998년 화학물질유통량조사 보고서.

환경부, 2002년 화학물질유통량조사 보고서.

한국환경정책·평가연구원, " 화학물질관리 선진화를 위한 조직체계 개선방안 ", 연구보고서 (2003).

한국환경정책·평가연구원, " 화학물질 안전관리를 위한 위해정보 전달체계 구축 ", 연구보고서 (2003).

A. A. Denisov, A. D. Smolenkov and O. A. Shpigun, " Determination of 1,1-Dimethylhydrazine by Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography with Spectrophotometric Detection as a Derivative with 4-Nitrobenzaldehyde ", *Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 59, No. 5, pp. 452-456 (2004).

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), "

Toxicological Profile for Hydrazine (Final Report) ". NTIS Accession No. PB98-101025. Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 203 (1997).

Albano E., Tomasi A., Goria-Gatti L., "Free radical activation of monomethyl and dimethyl hydrazines in isolated hepatocytes and liver microsomes ". *Free Radic Biol Med* 6, 3-8 (1989).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), " *TLVs and BEIs. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents Biological Exposure Indices* ". Cincinnati, OH. (1999).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), " *Threshold Limit Value(TLVs) for Chemical Substance and Physical Agents and Biological Exposure Indices(BEIs)* ", Cincinnati Ohio (2005).

American Conference for Governmental Industrial Hygienist (ACGIH), " *Documentation of the TLVs and BEIs with other worldwide occupational exposure values* " 7th edition. Paper and CD-ROM Combo (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).

Back KC, Pinkerton MK, Cooper AB, "Absorption, distribution, and excretion of 1,1-dimethylhydrazine (UDMH) ", *Toxicol Appl Pharmacol* 5, 401-413 (1963).

Beng, R.O., Beltz, P.A., "Cytogenetic Toxicologic Testing with Dogs", *Environ. Mutagen.* 2:312-313 (1980).

Beniashvili, D.S.H., Turusov, V.S., Krutovskikh, V.A., Sartania, M.S., "Tumor Induction in Monkeys after Administration of Dimethylhydrazine", *Jpn. J. Cancer Res.* 83:584-587 (1992).

Bingham, E., Cochrane, B., Powell, C.H., "Patty's Toxicology Volumes 1-9 5th ed", John Wiley & Sons. New York, N.Y. V4 1298 (2001).

Blair IA, Tinoco RM, Brodie MJ, et al., "Plasma hydrazine concentrations in man after isoniazid and hydralazine administration", *Human Toxicol* 4, 195-202 (1985).

Budavari S, O'Neil MJ, Smith A, et al., eds. "The Merck index: An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals", 11th ed. Rahway, NJ: Merck and Co., Inc., 512, 754 (1989).

Calandra, T.D., Caruso, J.E., Shahied, S.I., "Sister-Chromatid Exchange in Chinese Hamster Ovary Cells with Daminozide and 1,1-Dimethylhydrazine", *Environ. Mol. Mutagen.* Suppl. 15:12 (1990).

ChemSources. Chemical Sources International, Inc.
<http://www.chemsources.com>, (1989).

Cliet, I., Fournier, E., Melcion, C., Cordier, A., "In vivo Micronucleus Test Using Mouse Hepatocytes", *Mutat. Res.* 216: 321-326 (1989).

Cook, LR, Glenn RE, Podolak GE. "Monitoring and analysis of personnel

exposures to hydrazines at a rocket propellant plant ", *Am Ind Hyg Assoc J* 40, 69-73 (1979).

Cravo, M.L., Mason, J.B., Hutchinson, M. et al., "Folate Deficiency Enhances the Development of Colonic Neoplasia in Dimethylhydrazine-Treated Rats ", *Cancer Res.* 52:5002-5006 (1992).

Dhennin, C, Vesin L, Feurveaux J. "Burns and the toxic effects of a derivative of hydrazine ", *Burns* 2, 130-134 (1988)

Disilvestro, R.A., Greenson, J.K., Liao, Z., "Effects of Low Copper Intake on Dimethylhydrazine-Induced Colon Cancer In Rats ", *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 201:94-97 (1992).

Dost, FN, Reed DJ, Wang CH., "The metabolic fate of monomethylhydrazine and unsymmetrical dimethylhydrazine ", *Biochem Pharmacol* 15, 1325-1332 (1966).

Druckery, H., Preussmann, R., Ivankovic, S., Schmahl, D., "Organotrope Carcinogens Wirkungen Bei 65 Verschiedenen N-nitroso-verbindungen an BD-ratten ", *Z. Krebsforsch* 69:1201-1221 (1967).

Emerich, S., Fiala and Callie Kulakis, "Separation of hydrazine, monomethylhydrarine, 1,1 -dimethylhydrazine and 1,2-dimethylhydrazine by high-performance liquid chromatography with electrochemical detection ", *Journal of Chromatograph*, 214, 229-233 (1981).

Environmental Toxicology, AMRL-TR-76-125. Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, OH, pp. 188-192

(1976).

Epstein, S.S., Arnold, E., Andrea, J., "Detection of Chemical Mutagens by the Dominant Lethal Assay in the Mouse", *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 23:288-325 (1972).

Ernst, H., Rittinghausen, S., Wahnschaffe, U., Mohr, U., "Induction of Malignant Peripheral Nerve Sheath Tumors in European Hamsters with 1,1-Dimethylhydrazine (UDMH)", *Cancer Lett.* 35:303-311 (1987).

Fiala ES, Bobotas G, Lukakis C, et al., "Effects of disulfiram and related compounds on the metabolism *in vivo* of the colon carcinogen, 1,2-dimethylhydrazine", *Biochem Pharmacol* 26, 1763-1768 (1977).

"*Fire Protection Guide to Hazardous Materials*", 13 ed. Quincy, MA, National Fire Protection Association, p. 325-51 (2002).

Frierson WB, "Use of pyridoxine HCL in acute hydrazine and UDMH intoxication", *Ind Med Surgery*, 650-651 (1965).

G.D. Clayton and F.E. Clayton, Eds. "*Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*" Volume IIA. 3rd revised ed. John Wiley & Sons, New York. (1981).

Hamed M, Abdou, Thomas medwick and Leonard C. Bailey, "The determination of hydrazine and 1,1-dimethylhydrazine seperately or in mixtures by high-pressure liquid chromatography", *Analytica Chimica Acta*, 93, 221-226 (1977).

Haun, C.C., "Canine Hepatotoxic Response to the Inhalation of 1,1-Dimethylhydrazine (UDMH) and 1,1-Dimethylhydrazine with Dimethylnitrosamine (DMNA). In: Proceedings of 7th Annual Conference on Heinemann, B.: Prophage Induction in Lysogenic *Escherichia coli* with Simple Hydroxylamine and Hydrazine Compounds", *Appl. Microbial.* 21:726-731 (1971).

Haun, CC, Kinkead ER, Vemot EH, et al., "Chronic inhalation toxicity of unsymmetrical dimethylhydrazine: Oncogenic effects", AFAMRL-TR-85-020, (1984).

Haun, CC, Kinkead ER. "Chronic inhalation toxicity of hydrazine. Springfield", VA: U.S. Department of Commerce. AMRL-TR-73-125, (1973).

Haun, CC. "Canine hepatotoxic response to the inhalation of 1,1-dimethylhydrazine (UDMH) and 1,1-dimethylhydrazine with dimethylnitrosamine (DMNA)", AMRL-TR-76-125, (1977).

HEAST. "Health effects assessment summary tables", Annual FY 1992. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, NTIS No. PB92-921199, (1992).

Heinemann, B., "Prophage Induction in Lysogenic *Escherichia coli* with Simple Hydroxylamine and Hydrazine Compounds", *Appl. Microbial.* 21:726-731 (1971).

Hodge, H.C., "Screening Toxicity Tests of Unsymmetrical Dimethylhydrazine", University of Rochester, School of Medicine and Dentistry, Division of Pharmacology and Toxicology, Rochester, NY (1954).

Holtzclaw JR, Rose SL, Wyatt JR., " Simultaneous determination of hydrazine, methylhydrazine, and 1,1-dimethylhydrazine in air by derivatization/gas chromatography ", *Anal Chem* 56, 2952-2956 (1984).

" *Hydrazine, Report No. C-57, in Chemical Hazard Information Series* ", New York, Association of Casualty and Surety Companies, Accident Prevention Dept, Special Hazard Committee, 11 (1961).

International Agency for Research on Cancer (IARC). " Chemicals, Industrial Processes and Industries Associated with Cancer in Humans ", *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans*, Supplement 4. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 292 (1982).

International Agency for Research on Cancer (IARC). " *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans. List of IARC evaluations* ", World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, Lyon, France, 12 - 13 (1994).

International Agency for Research on Cancer (IARC). " Some aromatic amines, hydrazine and related substances, N-nitroso compounds and miscellaneous alkylating agents ", *IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans*. Vol. 4. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 127-151 (1974).

International Agency for Research on Cancer (IARC). " Re-evaluation of Some Organic Chemicals, Hydrazine, and Hydrogen Peroxide ", *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans*, vol. 71. Lyon, France: International Agency for Research on

Cancer, 1589 (1999).

ITA. Subheading 2928.00.5000, "Non-aromatic Organic Derivatives of Hydrazine or Hydroxylamine (Excluding Drugs)", International Trade Administration. U.S. Department of Commerce. <http://www.ita.doc.gov/td/industry/otea/Trade-Detail/>, (2000).

ITA. Subheading 2928.00.5000, "Non-aromatic Organic Derivatives of Hydrazine or Hydroxylamine (Excluding Drugs)", International Trade Administration. U.S. Department of Commerce. <http://www.ita.doc.gov/td/industry/otea/Trade-Detail/>, (2004).

J.E. Amoore and E. Hautala, "Odor as an aid to chemical safety: Odor thresholds compared with threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution", *Journal of Applied Toxicology*, 3(6), 272-290 (1983).

Jacobson KH, Clem JH, Wheelwright HJ, et al., "The acute toxicity of the vapors of some methylated hydrazine derivatives", *AMA Arch Ind Health* 12, 609-616 (1955).

Jacobson, K.H., "Chemical Warfare Laboratories Special Publication" 2-10, p. 28. Chemical Warfare Laboratories, U.S. Army Chemical Center, MD (August 1958).

Jeong, J.Y., Kamino, K., "Lack of Tumorigenic Activity of 1,1-Dimethylhydrazine in Syrian Golden Hamsters Treated by Subcutaneous Injection", *Toxicol. Pathol.* 45:61-63 (1993).

Keller, W.C., Olson, C.T., Back, K.C., Gaworski, C.L., "Teratogenic Assessment of Three Methylated Hydrazine Derivatives in the Rat", *J. Toxicol. Environ. Health* 13:125-131 (1984).

Kinkead, E.R., Haun, C.C., Vernot, E.H. et al., "A Chronic Inhalation Toxicity Study on Monomethylhydrazine", AFAMRL-85-025. Air Force Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, OH (1985).

Kirklin JK, Watson M, Bondoc CC, et al., "Treatment of hydrazine-induced coma with pyridoxine", *New England J Med*, 938-939 (1976).

Kuszyński, C., Langenbach, R., Malick, L., et al., "Liver Cell-Mediated Mutagenesis of V-79 Cells by Hydrazine and Related Compounds", *Environ. Mutagen.* 3:323-324 (1981).

Leonard C. Bailey and Thomas Medwick, "Spectrophotometric determination of hydrazine and 1,1-dimethylhydrazine separately or in mixtures", *Analytica Chimica Acta*, 35, 221-226 (1966).

Lewis, R.J., Sr (Ed.). "Hawley's Condensed Chemical Dictionary" 13th ed. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., p. 400 (1997).

Lingens, F., "Erzeugung Biochemischer Mangelmутanten von *E. coli* mit Hilfe von Hydrazin und Hydrazinderivaten", *Z. Naturforsch.* 19B:151-156 (1964).

Lundberg, Per, Arbetar-Skyddsverket, Vetenskaplig Skriftserie, Scientific

Basis for Swedish Occupational Standards. XIII, 1992:47 (1992).

MacEwen, J.D., Vernot, E.H., "Toxic Hazards Research Unit Annual Technical Report", AMRL-TR-77-46, ASA046-085. Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, OH (1977).

Matheson, D., Brusick, D., Jagannath, D., "Genetic Activity of 1,1-Dimethylhydrazine and Methylhydrazine in a Battery of *in vitro* and *in vivo* Assays", *Mutat. Res.* 53:93-96 (1978).

Mitz MA, Aldrich FL, Vasta BM., "Study of intermediary metabolic pathways of 1,1-dimethylhydrazine (UDMH)", *AMRL-TDR-62-110*, (1962).

Mulhausen, J.R. and J. Damiano, A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures, AIHA Press (1998).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "*Criteria for a recommended standard, Occupational exposure to Hydrazines*", U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "*Criteria for a Recommended Standard, Occupational Exposure to 1,1-Dimethylhydrazine*", DHEW Pub. No. 78-172; 1978. In: NIOSH Criteria Documents Plus CD-ROM. DHHS (NIOSH) Pub. No. 97-106; NTIS Pub. No. PB-502-082. U.S. National Technical Information Service, Springfield, VA (1997).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "

1,1-Dimethylhydrazine - method S143 ", In: *NIOSH manual of analytical methods*, 2nd ed. Vol. 3. Cincinnati, OH: NIOSH Centers for Disease Control. (1977a).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "Hydrazine compounds in air - method 248 ", In: *NIOSH manual of analytical methods*. 2nd ed. Vol. 1. Cincinnati, OH: NIOSH, Centers for Disease Control. (1977b).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "1,1-Dimethylhydrazine - method 3515 ", In: *NIOSH manual of analytical methods*. 3rd ed. Vol. 2. Cincinnati, OH: NIOSH. Centers for Disease Control. (1984).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "Monomethylhydrazine - method 3510 ", In: *NIOSH manual of analytical methods*. 3rd ed. Vol. 2. Cincinnati, OH: NIOSH. Centers for Disease Control. (1984).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), " *National Occupational Exposure Survey (1981-83)* ", Cincinnati, OH: U. S. Department of Health and Human Services. <http://www.cdc.gov/noes/noes3/empl0003.html>, (1984).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), " *National Occupational Hazard Survey (1972-74)* ", Cincinnati, OH: Department of Health, Education and Welfare, (1976).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "

Occupational Safety and Health Guidelines for 1,1-Dimethylhydrazine Potential Human Carcinogen", In: Occupational Safety and Health Guidelines for Chemical Hazards, Suppl. I-OHG. DHHS (NIOSH) Pub. No. 88-108; NTIS Pub. No. PB-89-203-129. U.S. National Technical Information Service, Springfield, VA (1988).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "*Pocket Guide to Chemical Hazards*", U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention. Cincinnati, OH. (1997).

NIOSH RECOMMENDED EXPOSURE LEVEL (REL), "NIOSH REL TO 1,1-DIMETHYLHYDRAZINE-air, CA CL 0.06 ppm/120M", National Institute for Occupational Safety and Health, U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare, Reports and Memoranda. Volume(issue)/page/year: DHHS #92-100, (1992).

NRC, "*Committee on Life Sciences; Assessment of Exposure-Response Functions for Rocket-Emission Toxicants*", p.91 (1998).

O'Neil, M.J. (ed.). "*The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*", 13th Edition, Whitehouse Station, NJ: Merck and Co., Inc., p. 571 (2001).

Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "Occupational Safety and Health Standards, Toxic and Hazardous Substances", *Code of Federal Regulations. 29 CFR 1910.1000*. (1998).

Parodi, S., Cavanna, M., Robbiano, L. et al., "Relationship Between in

in vivo DNA Damaging Potency and Carcinogenic Potency in a Series of Eleven Hydrazine Derivatives", *Proc. Am. Assoc. Cancer Res.* 21:99 (1980).

Parodi, S., DeFlora, S., Cavanna, M. et al., "DNA Damaging Activity *in vivo* and Bacterial Mutagenicity of Sixteen Hydrazine Derivatives as Related Quantitatively to Their Carcinogenicity", *Cancer Res.* 41:1469-1482 (1981).

Perkins, J., L., "Modern Industrial Hygiene, Recognition and Evaluation of Chemical Agents", Vol. 1 ISBN No. 0-442-02105-4 (1996).

Petersen P, Bredahl E, Lauritsen O, et al., "Examination of the liver in personnel working with liquid rocket propellant", *Br J Ind Med* 27, 141-146 (1970).

Richter ED, Gal A, Bitchatchi E, et al., "Residual neurobehavioral impairment in a water technician exposed to hydrazine-containing mixtures", *Isr J Med Sci* 28, 598-602 (1992).

Rinehart WE, Donait E, Green EA., "The sub-acute and chronic toxicity of 1,1-dimethylhydrazine vapor", *Indust Hyg J*, 207-210 (1960).

Roe FJ, Grant GA, Millican DM., "Carcinogenicity of hydrazine and 1,1-dimethylhydrazine for mouse lung", *Nature*, 216, 375-376 (1967).

Rogan, E.G., Walker, B.A., Gingell, R. et al., "Microbial Mutagenicity of Selected Hydrazines", *Mutat. Res.* 102:413-424 (1982).

Rogers, A.M., Back, K.C., "Comparative Mutagenicity of Hydrazine and

Three Methylated Derivatives in L5178Y Mouse Lymphoma Cells ", *Mutat. Res.* 89:321- 328 (1981).

Rothberg S, Cope OG. " Toxicity studies on hydrazine, methylhydrazine, symmetrical dimethylhydrazine, unsymmetrical dimethylhydrazine and dimethylnitrosamine (U) ", *Chemical Warfare Laboratories Report No. 2027*, (1956).

Ruth, Jon H., " Odor Thresholds and Irritation Levels of Several Chemical Substances: A Review " , *Am. Ind. Hyg. Assoc. J* (47) 142-151 (1986).

Sax NI., " *Dangerous properties of industrial materials* " , ed 3. New York, Van Nostrand Reinhold Co, pp 691, 819-820, 927, 974, 294, 1013-1014 (1968).

Schmidt EW., " One hundred years of hydrazine chemistry " , In: *The Third Conference on the Environmental Chemistry of Hydrazine Fuels*, SL-TR-87-74, 4-16 (1988).

Shook BS, Cowart OH., " Health hazards associated with unsymmetrical dimethylhydrazine " , *Ind Med Surgery*, 333-336 (1957).

Sina, J.F., Bean, C.L., Dysart, G.R. et al., " Evaluation of the Alkaline Elution/Rat Hepatocyte Assay as a Prediction of Carcinogenic/Mutagenic Potential " , *Mutat. Res.* 113:357-391 (1983).

Smith EB, Castaneda FA., " Effect of UDMH on blood coagulation, the blood-aqueous barrier and the cornea " , *Aerosp Med*, 1240-1243 (1970).

Smith EB, Clark DA., " Absorption of hydrazine through canine skin ", *Toxicol Appl Pharmacol*, 21, 186-193 (1972).

Smith EB, Clark DA., " Absorption of unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) through canine skin ", *Toxicol Appl Pharmacol* 18, 649-659 (1971).

Sotaniemi E, Hirvonen J, Isomaki H, et al. Hydrazine toxicity in the human. *Ann Clin Res* 3, 30-33 (1971).

Steinhoff, D., Mohr, U., " The Question of Carcinogenic Effects of Hydrazine ", *Exp. Pathol.* 33:133-143 (1988).

" *Storage and Handling* ", New York, FMC Corp, Organic chemical division, 37 (1972).

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

Thorup, I., Meyer, O., Kristiansen, E., " Effect of a Dietary Fiber (Beet Fiber) on Dimethylhydrazine-Induced Colon Cancer in Wistar Rats ", *Nutr. Cancer* 17:251-261 (1992).

Tomasi A, Albano E, Botti B, et al., " Detection of free radical intermediates in the oxidative metabolism of carcinogenic hydrazine derivatives ", *Toxicol Pathol* 15, 178-183 (1987).

Tosk, J., Schmeltz, I., Hoffmann, D., " Hydrazines as Mutagens in a Histidine-Requiring Auxotroph of *Salmonella typhimurium* ", *Mutat. Res.* 66:247-252 (1979).

Toth B., "1,1-Dimethylhydrazine (unsymmetrical) carcinogenesis in mice. Light microscopic and ultrastructural studies on neoplastic blood vessels", *J Natl Cancer Inst* 50, 181-194 (1973a).

Toth, B., "Comparative Studies with Hydrazine Derivatives", *Proc. Am. Assoc. Cancer Res.* 13:34 (1972).

Toth, B., "The Large Bowel Carcinogenic Effects of Hydrazines and Related Compounds Occurring in Nature and the Environment", *Cancer* 40:2427-2431 (1977).

Toxic Chemical Release Inventory 1999(TRI99). "Data contained in the Toxic Chemical Release Inventory", National Library of Medicine. <http://www.epa.gov/triexplorer/>, (2001).

Trochimowicz, H.J. "Heterocyclic and miscellaneous nitrogen compounds", in *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, 4th Ed, G.D. Clayton and F.E. Clayton, eds. New York: John Wiley & Sons, 3442-3445 (1994).

Toxic Substances Control Act, Chemical Substances Inventory (TSCA), (1979).

U.S. Department of Health and Human Services. "Hazardous Substances Databank" (HSDB, online database). National Library of Medicine. <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen>, (2000).

U.S. Department of Health and Human Services. "Hazardous Substances Databank" (HSDB, online database). National Toxicology Information Program, National Library of Medicine, Bethesda, MD. (1993).

U.S. Department of Health and Human Services. "*Registry of Toxic Effects of Chemical Substances*" (RTECS, online database). National Toxicology Information Program, National Library of Medicine, Bethesda, MD. (1993).

U.S. Department of Transportation. "*Emergency Response Guidebook*", RSPA P 5800.8 Edition. Washington, D.C: U.S. Government Printing Office, G-131 (2000).

U.S. Environmental Protection Agency. "Health and environmental effects profile for hydrazine and hydrazine sulfate", Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. EPA/600/X-84/332, (1984b).

U.S. Environmental Protection Agency. "Health and Environmental Effects Profile for 1,1-Dimethylhydrazine", Cincinnati, OH: Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, EPA/600/x-84/134. (1984).

U.S. Environmental Protection Agency. "Integrated Risk Information System (IRIS)", U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. February, (1995).

U.S. Environmental Protection Agency. "Integrated Risk Information System (IRIS) on 1,1-Dimethylhydrazine", National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC. (1999).

U.S. Environmental Protection Agency. "Method 8250A. Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GS/MS): packed column technique", Draft. Test methods for evaluating solid waste. SW-846. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1-32 (1990d).

U.S. Environmental Protection Agency. "Method 8270B. Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GCYMS): capillary column technique. Draft", Test methods for evaluating solid waste. SW-846. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1-43 (1990c).

UDMH and MAF-Fuels, In liquid propellant handling, storage and transportation, Report No. AFM 161 30. US Air Force, Vol 2, 10-1~10-15, C-1~C-10, (1976).

Vernot EH, MacEwen JD, Bruner RH, et al., "Long-term inhalation toxicity of hydrazine", *Fund Appl Toxicol* 5, 1050-1064 (1985).

World Health Organization (WHO), "Environmental health criteria 68: Hydrazine", Geneva, Switzerland, 1-89 (1987).

Wyrobeck, A.J., Bruce, W.R., "Chemical Induction of Sperm Abnormalities in Mice", *Proc. Natl. Acad. Sci.* 72:4425-4429 (1975).

Wyrobek, A.J., London, S.A., "Effect of Hydrazines on Mouse Sperm Cells. Proceedings of 4th Annual Conference on Environmental Toxicology", pp. 417-432. AMRL-TR-73-125. Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, OH (1973).