

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

화학물질 노출기준 개정 연구

□ 1,4-디옥산(1,4-Dioxane)

2005. 8

연구기관 연 세 대 학 교



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

화학물질 노출기준 개정 연구

□ 1,4-디옥산(1,4-Dioxane)

2005. 8

연구기관 연 세 대 학 교



제 출 문

노동부장관 귀하

본 보고서를 2005년도 노동부 화학물질에 의한 근로자 건강장해 예방
연구 용역 사업 중 “화학물질 노출기준 제·개정(안) 연구 및 물질별
산업보건 편람 작성”의 중간보고서로 제출합니다.

2005. 8.

연구기관 연세대학교
연구책임자 김치년

공동연구원 :

연세대학교대학교	노재훈
연세대학교대학교	원종욱
연세대학교대학교	양지연
연세대학교대학교	김현수

연구보조원 :

연세대학교대학교	최선행
연세대학교대학교	정우진
연세대학교대학교	신현지

〈목 차〉

I. 연구목적	1
II. 연구내용 및 방법	5
1. 연구내용	5
2. 연구방법	21
III. 연구결과	27
1. 물질의특성	27
2. 취급 현황	32
3. 동물에 있어서의 영향	78
4. 인체영향	95
5. 각국의 노출기준 요약 및 해설	98
6. 작업장내 근로자 노출실태	110
7. 노출기준 제안	235
8. 규제영향분석	245
9. 취급근로자 건강장해 예방조치	263
참고문헌	322

〈표 차례〉

<표 2-1 > 비발암 오염물질의 위험성 확인 단계	10
<표 2-2> 위험성 확인을 위한 데이터베이스	12
<표 2-3> 0세의 기대여명 : 1970-2002	15
<표 2-4> 0세의 기대여명(남자) : 1970-2002	16
<표 2-5> 0세의 기대여명(여자) : 1970-2002	17
<표 2-6> 60세의 기대여명(여자) : 1970-2002	18
<표 2-7> 60세의 기대여명(남자) : 1970-2002	19
<표 3-1 > 우리나라 1,4-디옥산의 연간 수출, 수입 현황 (\$천달러)	33
<표 3-2> 우리나라의 1,4-디옥산 수·출입 국가 현황(톤)	35
<표 3-3> 1,4-디옥산의 취급사업장 및 연간 사용량	36
<표 3-4> CTAT제조공정 중 합성 단계 시에 투입되는 물질	70
<표 3-5> CTAT제조공정 중 결정화 단계 시에 투입되는 물질	70
<표 3-6> CTAT제조공정 중 결정화 단계 시에 투입되는 물질	70
<표 3-7> TATT제조공정 중 용해 단계 시에 투입되는 물질	71
<표 3-8> TATT제조공정 중 결정화 단계 시에 투입되는 물질	71
<표 3-9> TATT제조공정 중 여과 / 세척 단계 시에 투입되는 물질	71
<표 3-10> 급성노출에 따른 전신 중독	79
<표 3-11> 1,4-디옥산의 투여 용량별 적혈구 생성과 간세포 증식의 억제	81
<표 3-12> 피부 및 눈의 자극 자료	83

<표 3-13> 1,4-디옥산 투여에 따른 간 마이크로솜의 monooxygenase 활성도	85
<표 3-14> 종양 형성 자료 및 참고자료	88
<표 3-15> 생식기독성자료	89
<표 3-16> in vitro에서 1,4-디옥산의 유전독성	90
<표 3-17> 변이원성 자료	92
<표 3-18> 1,4-디옥산의 생물학적 평가 방법	96
<표 3-19> 독성자료 참고 문헌	97
<표 3-20> 우리나라와 외국의 1,4-디옥산의 노출기준	99
<표 3-21> 현장방문 사업장 명단	110
<표 3-22> 1,4-디옥산 GC-FID 분석조건(NIOSH)	111
<표 3-23> 1,4-디옥산 GC-FID 분석조건(본 연구)	114
<표 3-24> 1,4-디옥산의 탈착 효율 결과	116
<표 3-25> 연구대상 사업장의 작업환경 상태평가	118
<표 3-26> A사업장 1차 측정결과	156
<표 3-27> A사업장 2차 측정결과	157
<표 3-28> A사의 작업 환경 산업위생통계	159
<표 3-29> B사업장 측정결과	164
<표 3-30> B사의 작업 환경 산업위생통계	165
<표 3-31> C사업장 측정결과	170
<표 3-32> C사의 작업 환경 산업위생통계	171
<표 3-33> D사업장 1차 측정결과	175
<표 3-34> D사업장 2차 측정결과	177

<표 3-35> D사업장 3차 측정결과	179
<표 3-36> D사업장 4차 측정결과	180
<표 3-37> D사 TWA 측정결과의 작업 환경 산업위생통계	182
<표 3-38> D사의 작업 환경 산업위생통계	188
<표 3-39> D사 단시간측정결과의 작업환경 산업위생통계	194
<표 3-40> E사업장 측정결과	199
<표 3-41> E사 TWA측정결과의 작업 환경 산업위생통계	201
<표 3-42> F사업장 측정결과	206
<표 3-43> F사 TWA측정결과의 작업 환경 산업위생통계	207
<표 3-44> 1,4-디옥산 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과	211
<표 3-45> 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과의 작업 환경 산업위생통계	213
<표 3-46> 분야별 1,4-디옥산의 TWA 측정농도 분포결과	218
<표 3-47> A사 1차측정시 위해도평가결과	221
<표 3-48> A사 2차측정시 위해도 평가결과	222
<표 3-49> B사의 위해도 평가결과	223
<표 3-50> C사의 위해도 평가결과	224
<표 3-51> D사의 1차 측정시 위해도 평가결과	225
<표 3-52> D사 2차 측정시 위해성 평가결과	226
<표 3-53> D사 3차 측정시 위해성 평가결과	227
<표 3-54> D사 4차 측정시 위해성 평가결과	228
<표 3-55> E사의 위해성 평가결과	229
<표 3-56> F사의 위해성 평가결과	230

<표 3-57> 연구대상 사업장의 위해도 평가 총괄결과	231
<표 3-58> 분야별 위해도 평가결과	233
<표 3-59> 국내사업장의 노출실태결과	238
<표 3-60> 불확실성 상수 적용 기준	240
<표 3-61> 1,4-디옥산의 호흡 참고치(RfC)에 적용된 불확실성 상수 ...	241
<표 3-62> 1,4-디옥산의 흡입 참고치(RfC) 산출값	242
<표 3-63> 유기화합물 취급 업무 관련 국소배기장치 후드의 제어풍속	265
<표 3-64> 국소배기장치의 성능 저하 원인 및 대책	267
<표 3-65> 산업안전보건기준에 의한 1,4-디옥산의 위험물 표시	273
<표 3-66> 독일 BGV A 8에 따른 1,4-디옥산의 위험물 표시	273
<표 3-67> 호흡기 보호구의 보호할당계수	284
<표 3-68> 개인보호구 점검표 (계속)	291
<표 3-69> 건강구분	303
<표 3-71> 업무수행 적합여부 평가기준	304
<표 3-70> 사후관리내용	304
<표 3-72> 유기용제에 따른 피부흡수량과 호흡을 통한 흡수량 비교	307
<표 3-73> 신체부위별 피부 면적	313
<표 3-74> 신체부위별 피부 면적, 유기용제의 피부흡수율에 관한 정보	315
<표 3-75> 유기용제의 피부흡수계수에 관한 정보	316
<표 3-76> 작업활동에 따른 피부흡수용량 계산 결과표	320

〈그림 차례〉

[그림 1-1] 화학물질의 독성, 유해성 그리고 위해성의 관계	1
[그림 1-2] 현행산업안전보건법상에서의 유해성 및 위해성 관리의 체계 ..	2
[그림 1-3] 산업위생분야의 위해성평가와 환경보건분야의 위해도평가	3
[그림 2-1] 연구의 틀	5
[그림 2-2] 위해성 평가와 위해도 관리과정	8
[그림 3-1] 우리나라의 1,4-디옥산의 연간 수출, 수입량 추이	34
[그림 3-2] A사 <반월공장, 전주공장>의 공정도	38
[그림 3-3] 1,4-디옥산 및 여러 가지 화학물질을 투입한 후 반응기에서 반응정도를 확인 Check하는 작업자	40
[그림 3-4] 반응기를 Check하는 작업자	41
[그림 3-5] 컨트롤 룸에서 공정을 컨트롤 하고 있는 작업자	41
[그림 3-6] PAC공정의 완제품인 감광제를 포장하고 있는 작업자	42
[그림 3-7] PAC공정의 완제품인 감광제를 포장하고 있는 작업자	42
[그림 3-8] 반도체공정도	43
[그림 3-9] 감광제로 반도체를 액칭하는 사진	46
[그림 3-10] 감광액(PR : Photo Resist) 도포하는 작업	46
[그림 3-11] B사의 제조공정도	47
[그림 3-12] 원료를 주입하는 작업자	48
[그림 3-13] 원료를 드럼에 투입하는 작업자	48

[그림 3-14] 자동포장(병 포장)하고 있는 작업자	49
[그림 3-15] 병 소분작업하고 있는 작업자	50
[그림 3-16] 병 소분 작업을 하고 있는 작업자	50
[그림 3-17] 말통 포장하는 장면	51
[그림 3-18] 말통 포장 작업하고 있는 작업자	51
[그림 3-19] 말통 포장하고 있는 작업자	52
[그림 3-20] 말통 포장 작업하는 작업자	52
[그림 3-21] C사의 공정도	53
[그림 3-22] 수동계량투입하기 위해 계량 작업을 하려는 작업자	54
[그림 3-23] 수동계량하는 작업자	55
[그림 3-24] 수동계량 작업하는 작업자	55
[그림 3-25] 반응기의 반응정도를 Check하는 작업자	56
[그림 3-26] D사 제조 공정도	57
[그림 3-27] 하드코팅 기계 안에 렌즈를 넣고 세팅	59
[그림 3-28] 하드코팅 기계에서 하드코팅 작업	59
[그림 3-29] 하드코팅 작업이 끝나고 하드코팅 기계에서 나오는 렌즈들	60
[그림 3-30] 하드코팅 되어 나온 렌즈를 검사하는 작업자	60
[그림 3-31] 하드코팅 룸 안에서 하드코팅 되고 나온 렌즈를 검사	61
[그림 3-32] 하드코팅 되고 나온 렌즈를 검사	62
[그림 3-33] 안경렌즈 생산 공정순서도	62
[그림 3-34] 세척기계에 렌즈를 Input station에 렌즈를 투입	63
[그림 3-35] Input station에서 Tank1으로 이동되며 세척	64
[그림 3-36] 세척작업은 Tank1에서 Tank2로 이동되며, 세척	64

[그림 3-37] Tank2에서 세척하는 모습	65
[그림 3-38] Tank2에서 Tank3으로 이동 세척 중인 렌즈	65
[그림 3-39] Tank3에서 Tank4로 세척 중인 렌즈	66
[그림 3-40] Tank4와 Tank5는 자체적으로 알칼리 정수시스템을 갖추고 알칼리정수기로 정수된 알칼리 세정수로 렌즈세척	66
[그림 3-41] 알칼리 세정수로 세척된 렌즈는 Dryer에 들어가 건조	67
[그림 3-42] Dryer에서 건조된 렌즈는 Output station으로 자동 이동	67
[그림 3-43] 자체 알칼리수로 정수하는 시스템	68
[그림 3-44] E사의 공정도	69
[그림 3-45] CTAT제조 공정 반응기를 통해 반응정도를 Check하는 작업 자	72
[그림 3-46] 반응기의 배관에 이상으로 인해 배관을 수리하고 있는 작업자	72
[그림 3-47] 배관 작업하는 작업자	73
[그림 3-48] TATT제조공정에서 반응기에서 반응을 Check하는 작업자	73
[그림 3-49] F사의 제조공정도	74
[그림 3-50] 1,4-디옥산을 실험실 선반 찬창과 실험실 선반 아래 시약병을 보관하는 모습	75
[그림 3-51] 실험실의 후드 안	75
[그림 3-52] 실험실에서 실험하고 있는 실험자	76
[그림 3-53] 실험장비인 HPLC와 버너	76
[그림 3-54] 실험실 시약병들 사이에서 측정하는 모습	77
[그림 3-55] 실험실내에서의 1,4-디옥산 보관하고 있는 장소	77

[그림 3-56] Vinblastine과 함께 1,4-디옥산 투여량별 소핵화된 적혈구 ..	82
[그림 3-57] 증식 및 비증식 세포에서 1,4-디옥산 투여량에 따른 소핵빈도	83
[그림 3-58] 1,4-디옥산 투여에 따른 간 마이크로솜의 Testosterone hydroxylase 활성도	85
[그림 3-59] 1,4-디옥산의 대사과정(Nannelli 등, 2004)	93
[그림 3-60] GC/FID로 분석한 1,4-디옥산의 크로마토그램	115
[그림 3-61] 1,4-디옥산의 검량선	116
[그림 3-62] 연구 대상 물질에 대한 유해 위험성의 이해 여부결과	122
[그림 3-63] 보건안전관리 체제의 구축여부결과	123
[그림 3-64] 보건관리자 (관계자)의 작업환경측정 및 건강 진단 참여 여부 결과	124
[그림 3-65] 현장의 정리, 정돈, 청소, 청결 등 위생관리상태	125
[그림 3-66] 근로자등에 관한 보건교육수립 및 정기적 실시여부결과	126
[그림 3-67] 작업 종료 후 세수 및 세안을 위해 사용제품의 유무 결과	127
[그림 3-68] 휴게실과 연구대상 물질 취급 장소와의 격리여부 결과	128
[그림 3-69] 휴식시간의 부여 여부결과	129
[그림 3-70] 연구대상 물질의 물질안전 보건 자료(MSDS) 작성여부결과	130
[그림 3-71] 작성된 MSDS를 취급 근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 게시 및 비치여부 결과	131
[그림 3-72] 연구대상 물질을 취급하는 용기 및 포장에 경고표시 부착여부 결과	132

[그림 3-73] MSDS 내용에 대한 교육 실시 및 근로자 대표의 확인을 받아 보관여부 결과	133
[그림 3-74] 연구대상 물질의 저장 시 일정한 장소에 지정 보관여부 결과 134	
[그림 3-75] 저장장소 및 취급 작업장에 관계자 이외의 출입금지 표지판 부착여부 결과	135
[그림 3-76] 연구대상물질에 노출되는 근로자 및 유해물질에 대하여 작업 환경측정의 누락 없이 실시여부 결과	136
[그림 3-77] 작업환경 측정결과를 당해 작업장 근로자에게 알리고 그 결과 에 따른 건강보호에 필요한 개선조치의 실시여부	137
[그림 3-78] 근로자의 건강보호 유지를 위해 건강진단 대상자의 선정 및 누락 없이 실시여부 결과	138
[그림 3-79] 건강진단 실시 후 유소견자에 대한 사후 관리여부 결과	139
[그림 3-80] 연구대상 물질의 발생원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치 의 설치 및 가동여부 결과	140
[그림 3-81] 국소배기장치 후드 형태의 유해물질 배출의 적합성 여부 결과 141	
[그림 3-82] 국소배기장치 후드의 위치의 적절성여부 결과	142
[그림 3-83] 국소배기시설의 설치 여부결과	143
[그림 3-84] 제어풍속의 적합성 여부결과	144
[그림 3-85] 후드주변의 난기류 영향을 받아 작업장 내부 확산여부 결과 145	
[그림 3-86] 배기구 설치의 적합성 여부 결과	146

[그림 3-87] 국소배기장치의 정기적 자체검사 실시여부결과	147
[그림 3-88] 자체검사 시 기록보존 및 점검결과 이상 발생 시 적절한 조치 여부 결과	148
[그림 3-89] 작업장 바닥의 불 침투성 재료 사용여부 결과	149
[그림 3-90] 연구대상물질 취급 작업 장소에 인체에 미치는 영향 등에 관 한 내용 등의 게시여부 결과	150
[그림 3-91] 연구대상물질 취급 장소에 근로자에게 흡연, 음식물의 금지 게시 여부	151
[그림 3-92] 세면, 세탁, 목욕 시설의 여부결과	152
[그림 3-93] 보호구의 교체가능한 필요수의 배치 및 착용여부 결과	153
[그림 3-94] 보호구를 항상 사용 또는 교환할 수 있게 보관여부 결과	154
[그림 3-95] 작업복의 착용상태 결과	155
[그림 3-96] A사의 연속자료도표	160
[그림 3-97] A사의 대수확률 산포도와 최소제곱 최적선	161
[그림 3-98] A사의 이상화된 대수분포	162
[그림 3-99] A사의 선형확률산포도와 최소제곱최적선	163
[그림 3-100] B사의 연속자료도표	166
[그림 3-101] B사의 대수확률 산포도와 최소제곱 최적선	167
[그림 3-102] B사의 이상화된 대수분포	168
[그림 3-103] B사의 선형확률산포도와 최소제곱최적선	169
[그림 3-104] C사의 연속자료도표	172
[그림 3-105] C사의 대수확률 산포도와 최소제곱 최적선	173
[그림 3-106] C사의 선형확률산포도와 최소제곱최적선	174

[그림 3-107] D사 TWA측정결과의 연속자료도확률	183
[그림 3-108] D사 TWA측정결과의 대수확률 산포도와 최소제곱 최적선 184	
[그림 3-109] D사 TWA측정결과의 이상화된 대수분포	185
[그림 3-110] D사 TWA측정결과의 선형확률산포도와 최소제곱최적선 ·	186
[그림 3-111] D사의 연속자료도표	189
[그림 3-112] D사의 대수확률 산포도와 최소제곱 최적선	190
[그림 3-113] D사의 이상화된 대수분포	191
[그림 3-114] D사의 선형확률산포도와 최소제곱최적선	192
[그림 3-115] D사 단시간측정결과의 연속자료 도표	195
[그림 3-116] D사 단시간측정결과의 대수확률 산포도와 최소제곱 최적선	196
[그림 3-117] D사 단시간측정결과의 이상화된 대수분포	197
[그림 3-118] D사 단시간측정결과의 선형확률산포도와 최소제곱최적선	198
[그림 3-119] E사 TWA측정결과의 연속자료도표	202
[그림 3-120] E사 TWA측정결과의 대수확률 산포도와 최소제곱 최적선 203	
[그림 3-121] E사 TWA측정결과의 이상화된 대수분포	204
[그림 3-122] E사 TWA측정결과의 선형확률산포도와 최소제곱최적선 ·	205
[그림 3-123] F사 TWA측정결과의 연속자료도표	208
[그림 3-124] F사 TWA측정결과의 대수확률 산포도와 최소제곱 최적선 209	
[그림 3-125] F사 TWA측정결과의 선형확률산포도와 최소제곱최적선 ·	210

[그림 3-126] 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과의 연속자료도표	214
[그림 3-127] 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과의 대수확률 산포도와 최소제곱 최적선	215
[그림 3-128] 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과의 이상화된 대수분포	216
[그림 3-129] 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과의 선형확률산포도와 최 소제곱최적선	217
[그림 3-130] 분야별 1,4-디옥산의 TWA 측정농도 분포결과	219
[그림 3-131] 공정별 시간가중평균농도 결과	220
[그림 3-132] 연구대상 사업장의 Hazard Quotient 총괄결과	232
[그림 3-133] 연구대상 사업장의 인체노출량값 총괄결과	232
[그림 3-134] 분야별 인체노출량 분포결과	234
[그림 3-135] 분야별 Hazard Quotient 분포결과	234
[그림 3-136] 비용 편익 비교	261
[그림 3-137] 이동 가능한 후드	268
[그림 3-138] 이동배기 후드	269
[그림 3-139] 투입공정의 외부식 후드	270
[그림 3-140] 투입공정의 벤트라인	270
[그림 3-141] 반면형 마스크	286
[그림 3-142] 전면형 마스크	286
[그림 3-143] 각종 정화통	287
[그림 3-144] 공기공급식 에어라인 마스크	287
[그림 3-145] 공기통식 에어라인 마스크	288
[그림 3-146] NIOSH의 호흡기 보호구 선정방법(계속)	293

[그림 3-147] 우리나라 호흡기 보호구의 사용지침 흐름도	295
[그림 3-148] 피부 단면도	308
[그림 3-149] 노출경로모델	309
[그림 3-150] 유리확산셀(glass diffusion cell)을 이용한 피부흡수 실험	317

I. 연구목적

화학물질에 대한 근로자들의 건강보호를 위해서는 물질 자체의 독성(toxicity)과, 노출 유발 가능성인 유해성(hazard) 그리고 근로자들이 어느 정도 노출되고 그 수준이 건강에 영향을 줄 수 있는지를 평가하기 위해서는 건강위해성(risk)의 개념이 필요하다(그림 1-1).



$$\text{Hazard} + \text{Exposure} = \text{Risk}$$

[그림 1-1] 화학물질의 독성, 유해성 그리고 위험성의 관계

현재 전 세계적으로 1,700만 여종의 화학물질이 개발되어 그 중 약 10만 여종의 화학물질이 상업적으로 유통되고 있으며, 매년 2천여 종의 새로운 화학물질이 개발되어 상품화되는 것으로 알려져 있다. 우리나라에서도 경제개발 이후로 화학물질의 생산 및 사용이 계속 증가하였으며 현재는 3만 8천여종이 유통되고 있고, 매년 약 200여종이 국내시장에 신규로 출시되고 있다.

최근에는 수많은 물질에 대하여 산업보건분야나 환경보건분야에서는 노출에 따른 건강위해성평가(health risk assessment)에 중점을 두고 있다. 독성과 유해성관리는 작업장내의 유해화학물질관리 등으로 이루어 질 수 있지만 실질적으로 근로자들이 유해물질에 노출되어 건강장해가 나타날 수 있는 것을 예방하기 위해서는 건강위해성평가를 통한 작업환경관리가 필요하다. 현행 산업안전보건법상에서 유해성관리에 해당하는 것은 제37조의 제조 등의 금지, 제

38조의 제조 등의 허가, 제40조의 신규화학물질의 유해·위험성조사 그리고 제41조의 물질안전보건자료의 작성·비치 등으로 구성되어 있다. 작업환경 및 근로자 보건관리에 해당하는 것은 제24조의 보건상의 조치와 새로이 신설된 제39조의 유해인자관리이다. 그리고 노출평가를 통한 근로자들의 건강 위해성평가에 해당하는 것은 제42조의 작업환경측정이다(그림 1-2).

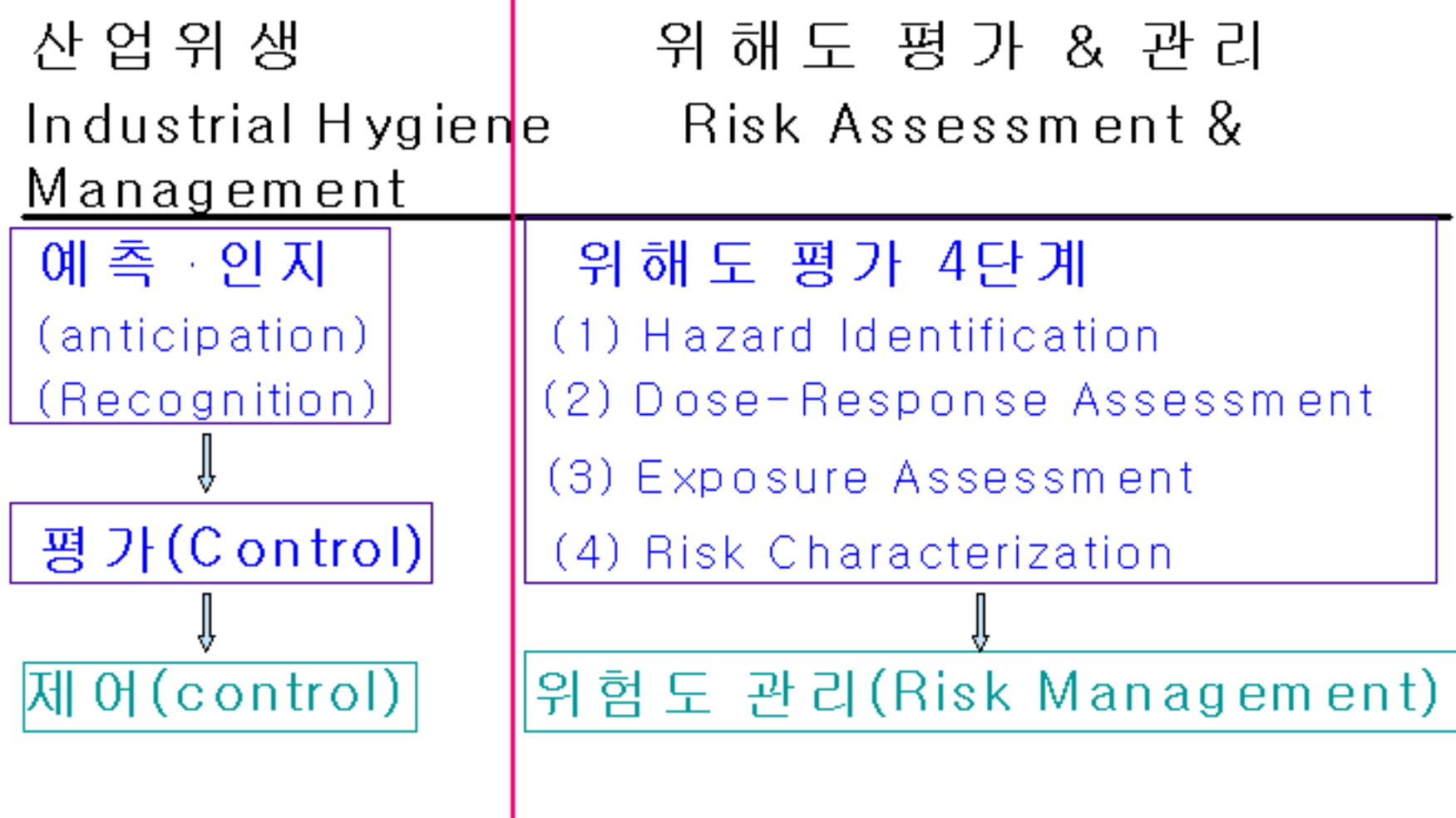


유해성 및 위해성 관리의 법적 사항

[그림 1-2] 현행산업안전보건법상에서의 유해성 및 위해성 관리의 체계

화학물질에 대한 위해성평가는 반드시 근로자들을 대상으로 노출모니터링을 실시해야 되고, 노출수준이 어느 정도 인체에 영향을 미칠 수 있는지 평가할 수 있는 노출기준이 반드시 있어야 한다. 환경보건분야에서는 위해성평가 과정에서 용량-반응관계를 이용하여 노출기준을 산출하는 경우가 많이 있지만 산업위생분야에서는 과거의 독성자료나 역학자료 등을 이용하여 선정되어 있는 노출기준과 노출량을 비교하여 위해도를 평가하고 우선순위에 입각한 효율적인 작업환경관리가 이루어진다(그림 1-3) 따라서 산업위생분야에서는 화학물질에 대한 위해성을 잘 관리하기 위해서는 신규 및 기존물질에 대한 노출기준의 설정 및 개정이 중요하다.

산업위생과 위험도 평가의 비교



[그림 1-3] 산업위생분야의 위험성평가와 환경보건분야의 위험도평가

우리나라는 1983년 노동부 고시 제1호로 작업환경측정방법에서 분진, 유기용제 16종, 특정화학물질 43종, 소음 및 연 등의 노출기준을 설정하였으며 이후 1986년 12월에 유해물질 대상을 324종으로 확대하였다(노동부 고시 제 86-45호). 1988년 12월에는 유해물질 373종이 추가되어 697종으로 확대 개정되었고(노동부 고시 제88-69호) 1991년에는 노동부 고시 91-21호로 하여 노출기준의 관리를 개선시켰으며 1998년에 노동부 고시 97-65호로 하여 유해물질 698종 그리고 물리적인자인 소음(별표3-1), 충격소음(표3-2), 고온(별표 4)으로 개정하였다. 현재는 고시 2002-8호인 노출기준을 사용하고 있다. 현재 사용하고 있는 노출기준은 2-브로모프로판을 제외하고는 노출기준제안 및 과학적 근거 등의 연구를 통하여 이루어진 것보다는 ACGIH의 TLV를 그대로 받아들이거나 OSHA기준과 ACGIH 기준을 비교하여 엄격한 기준을 채택하였다. 현재 사용되는 노출기준에는 우리나라에서 사용량이 없거나 미미한 물질이 규정되어 있는 반면 건강에 장해가 많으나 노출기준에서 누락된 물질이 상당히 있어 우리 실정에 맞는 노출기준의 설정이 요구된다.

1,4-디옥산(1,4-Dioxane)은 사슬 모양 에테르의 일종으로 향기를 가진 무색

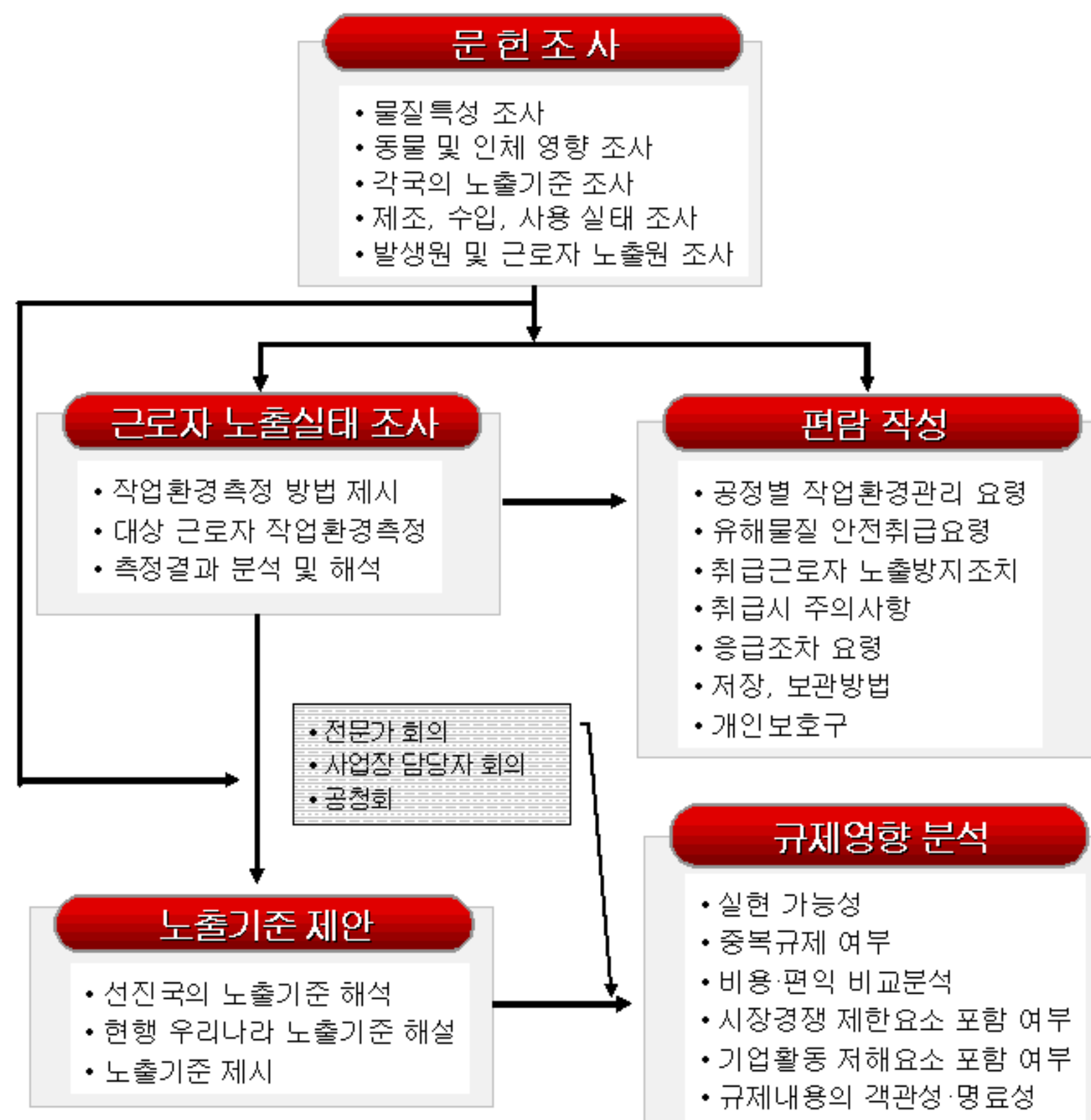
액체. 산화디에틸렌이라고도 한다. 녹는점 11.8℃, 끓는점 101℃, 비중 1.0356, 굴절률 =1.422. 가연성이며, 발화점 65℃. 물이나 여러 유기용매와 섞인다. 에틸렌글리콜 또는 폴리에틸렌글리콜을 진한 황산 등을 촉매로 하여 증류하든지, 산화에틸렌을 수산화나트륨과 가열하는 등의 방법으로 합성된다. 금속염화물이나 황산 등과 결정성 첨가물을 만든다. 공업적으로 아세트산셀룰로오스나 에틸셀룰로오스의 용제와 도료용 용제 등으로 사용된다. 또한 고분자화합물 및 무기물질의 용매와 리튬의 추출·분리에도 널리 사용되고 있다. 디옥산의 급성 노출시 눈과 점막등을 자극하고 만성 노출시 간과 신장에 독성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 현재 우리나라에서는 1,4-디옥산에 대한 TWA는 25ppm이고 STEL은 설정되어 있지 않다. 오스트레일리아와 캐나다에서 채택하고 있으며 핀란드, 아일랜드, 멕시코 및 영국에서는 STEL를 설정하고 있다. 반면에 ACGIH에서는 TWA를 20ppm으로 설정하고 있고 OSHA에서는 100ppm, NIOSH에서는 ceiling치 1ppm으로 설정하고 있다. 나라마다 다양하게 규정하고 있는 노출기준에 대해 우리나라의 작업환경실태 및 능력을 고려하여 노출기준의 개정과 표준화된 산업보건 편람의 작성이 필요하다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구내용

가. 연구의 틀

1,4-디옥산의 노출기준 개정 및 각 물질에 따른 산업보건편람을 작성하기 위한 전체적인 연구의 틀은 다음과 같다(그림 2-1).



[그림 2-1] 연구의 틀

나. 건강위해성 평가(Health risk assessment)

위해성 평가(risk assessment)의 궁극적인 목적은 평가결과를 위해성 관리(risk management)에 유용한 정보로써 사용하기 위함이다. 법적관리대상물질이 아니거나 특히 노출기준이 설정되어있지 않은 물질의 경우 작업환경관리가 이루어지기는 현실적으로 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 위해성 평가 도입이 어느 정도는 필요하다. 위해성 평가 과정을 거쳐 얻어진 평가치는 여러 가지 사회제도적인 문제, 기술적, 경제적인 문제들을 고려하여 정책 결정자들이 정책 결정의 수단으로 이용하고 동시에 질병의 예방 및 건강한 삶의 유지 그리고 위해 요인의 저감에 일반 국민의 이해와 협조를 이끌어 내는데 유용하게 사용될 수 있다.

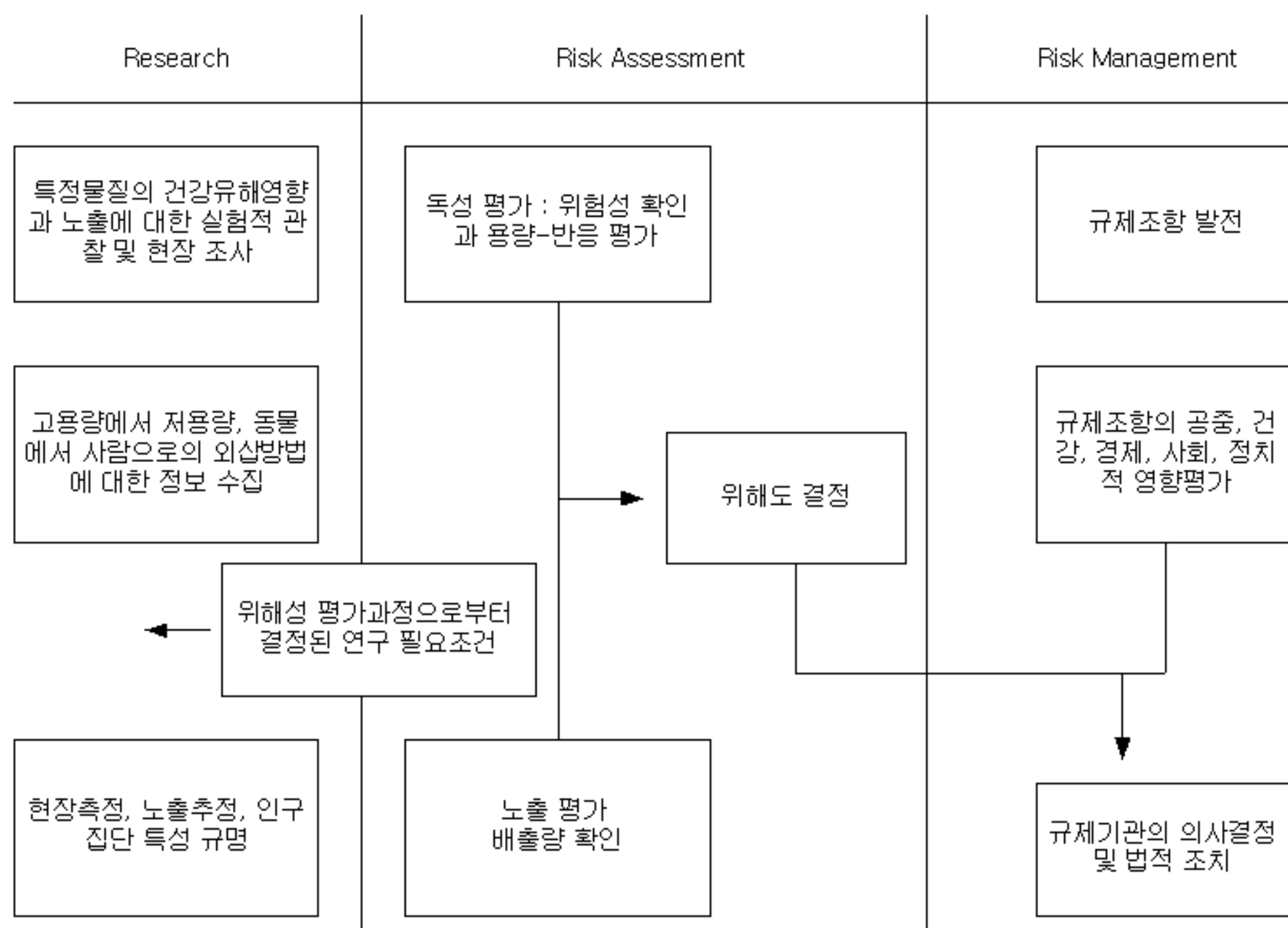
위해성 평가는 작업환경오염 및 각종 오염으로 인해 유발될 수 있는 인체 영향을 합리적이고 과학적인 평가 방법을 이용하여 정성 또는 정량적으로 추정하는 과정이다. 또한 노출기준을 설정할 때도 어느 정도의 노출자료와 독성자료가 존재한다면 매우 중요한 방법론으로 이용할 수가 있다. 따라서 위해성 평가는 단순히 환경 중 오염도를 위해도(risk)라는 종합적인 수치만을 제시하는 것뿐만 아니라 오염물질의 발생에서부터 인체로의 영향까지를 통계적, 독성학적, 수학적, 사회정책 및 경제학적 측면 등을 모두 고려하여, 정책 결정자들과 일반대중이 과학적 기반 위에서 합일점을 찾도록 하는데 과학적 근거로 제시될 수 있는 방법론이다.

일반적으로 위해도(risk)란 유해물질의 특정 농도나 용량에 노출된 개인 혹은 집단에게 유해한 영향이 발생할 확률(probability)로 정의된다. 그러나 미국 AIHA, 영국을 포함한 일부 EU국가들에서 다른 의미로도 사용을 한다. 노출기준의 설정함에 있어서는 앞에서 언급한 위해도의 정의하에 시작하는 것이 바람직하다. 일반적으로 독성 영향이 발생하지 않을 가능성을 안전성(safety)이라고 한다면, 위해도는 이와는 반대되는 개념으로 독성 영향이 발생할 가능성을 의미하는 것이다. 위해도는 자발적 위해도(voluntary risk)와 비자발적 위해도(involutary risk)로 분류할 수 있으며, 자발적 위해도란 어떤 활동이 위해

도를 가지고 있다는 사실을 이미 알고 받아들이는 것으로 흡연으로 인한 위해도를 예로 들 수 있다. 반면 비자발적 위해도는 알지도 못하고 통제할 수 없는 것으로서 타인의 흡연에 따른 간접흡연으로 인한 위해도나 작업환경오염으로 인한 위해도가 바로 그 예이다. 이러한 비자발적 위해도 중 어느 화학물질에 대한 건강 위해도를 평가할 때, 그 물질의 독성영향에 대한 역치(threshold)가 존재하느냐의 여부에 따라서 위해도를 추정하는 방법이 다르기 때문에 화학물질의 독성 영향에 대한 역치를 결정하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 역치 효과는, 어떤 노출조건 하에서 영향이 발생하지 않는다면, 이 화학물질은 역치가 존재한다고 말할 수 있으며 역치수준 이하에서는 영향이 발생하지 않는다는 것을 뜻한다.

역치가 존재하는 독성영향으로는 기형과 생식독성을 들 수 있으며, 독성을 유발하는 화학물질은 DNA와 같은 유전자 물질에 반응하지 않고 비유전자 물질과 반응한다. 반면 비역치 효과는 발암성이나 돌연변이원성과 같이 화학물질에 대한 모든 노출은 어느 정도의 위해를 수반한다는 가정을 전제로 하며, 그 독성영향에 대해서 안전용량이나 노출조건을 결정할 수 없다. 이러한 이유로 발암성 독성물질에 대한 건강 위해성 평가와 비발암성 독성물질에 대한 평가의 접근 방법이 다른 것이다.

위해성평가는 알려진 독성자료를 이용하여 인체 위해도를 추정하는 과정으로 위험성확인(hazard identification), 노출평가(exposure assessment), 용량-반응평가(dose-response assessment), 위해도 결정(risk characterization)의 주요 4단계로 구성된다(그림2-2). 노출기준 설정에서 가장 중요하게 활용되는 단계는 용량-반응 평가이다.



[그림 2-2] 위험성 평가와 위험도 관리과정

(1) 위험성 확인(hazard identification)

어떤 화학물질에 노출되었을 경우 과연 유해한 영향을 유발시키는가를 결정하는 단계로서 그 물질에 대한 모든 동물 실험자료 및 사람에 대한 자료(역학연구)를 토대로 그 물질의 위험성 여부를 확인하는 정성적인 평가 단계이다. 따라서 어떤 화학물질이 인체에 잠재적인 전신독성(systemic toxicity)을 유발시키는가를 결정하는 과정으로 독성영향에 대한 증거를 검색하고, 그 증거들에 가중을 주어 위험성을 결정한다. 즉 작업환경측정 분야의 예비조사에 해당한다. 최근 예비조사의 중요성이 대두되는 것도 이러한 이유이며 앞으로 근로자의 건강보호를 위해서는 이 분야의 체계적인 방법론이 필요하다.

위험성 확인 단계에서는 대상 화학물질이 인체에 유해한 영향을 유발시키는가를 결정하기 위해 이용될 수 있는 모든 적절한 자료를 수집하는 데에서부터 출발한다.

위험성 확인에 필요한 자료로는 역학자료(epidemiological study), 독성자료(toxicological study), 인체를 대상으로 한 인위적 실험자료(controlled human

experiments), in vivo/in vitro 실험 자료, 물리화학적 성질에 관한 자료 등이 있다. 이러한 자료들은 발암, 비발암물질에 대한 위험성 확인의 기본 자료로 이용된다.

대상물질에 대한 다양한 증거 자료를 바탕으로 물질의 독성이나 발암성을 확증하게 된다. 수집한 증거자료를 종합하여 그 증거의 가중(weight of evidence)에 따라 오염물질의 위험성(독성 및 발암성)을 분류하는데 ACGIH, NIOSH, OSHA외에도 각 나라나 기관마다 다른 체계를 가지고 있다.

가) 독성 영향에 대한 증거 검색

임의의 화학물질은 한가지 이상의 다양한 독성영향을 나타낼 수 있다. 그러나 영향은 미세한 생화학적, 생리학적, 또는 병리학적 변화부터 사망으로까지 나타날 수 있다. 화학물질의 노출에 따른 위해성 평가에 있어서 보통 다양한 독성 영향 중 가장 낮은 무관찰 유해영향수준(NOAEL)을 나타내는 임계 영향(critical effects)에 관심을 가지지만, 그 물질에 대한 다양한 건강장해를 규명하기 위해서는 유용한 모든 연구에서의 독성 종말점을(toxic endpoints)을 규명하여야 한다.

특정한 유해화학물질에 대한 다양한 독성 영향을 검토하기 위해서는 우선적으로 역학 연구 및 실험 동물(in vivo test) 연구 자료를 검색하며 시험관내 실험(in vitro test)등의 보충적인 연구자료로 조사·분석한다 (표 2-1).

특정 유해화학물질에 대한 다양한 독성 평가 자료를 조사·검토할 때에는 노출경로, 노출기간 및 전반적인 연구의 질을 고려하여야 한다.

노출경로가 다른 경우 작용기전이나 생체활성(bioavailability)과 같은 요소에 의해 차이를 나타낼 수 있다. 그러나 일반적으로 하나의 노출경로에서 증명된 독성은 확실한 반증이 없는 한 다른 노출경로에서도 발생가능하며, 단 노출경로의 차이로부터 발생할 수 있는 흡수(absorption) 또는 대사의 차이를 고려해야 한다.

<표2-1 > 비발암 오염물질의 위험성 확인 단계

구 분	주요 과정	세부 조사 내용
위험성확인 1 단계	역학연구검색	사람을 대상으로 원인물질과 영향간의 인과관계를 추론하는 역학 연구 검색을 실행하게 되며, 그 결과를 이용하여 동물 실험결과나 보조적 단기실험결과와 함께 그 물질의 독성을 확증. 사람에게 대한 적절한 독성 종말점과 관련된 노출수준에 대한 정보가 있다면, 역학연구는 용량-반응평가의 근거자료로도 이용함. 정량적인 역학연구 자료가 존재한다면 동물에서 사람으로의 외삽이 필요하지 않으며, 위해성 평가시 동물자료보다 우선순위에 두고 동물자료는 보충적인 정보로 이용.
위험성확인 2 단계	동물실험연구검색	만성독성이나 발암성에 대한 실험동물(in vivo test)연구 결과 검색을 수행하여 그 물질이 발암성은 없으나 독성을 지니는 물질과, 독성과 발암성을 함께 지니는 물질로 구분. 동물 실험에서 독성 또는 발암성에 대해 양성으로 판정되면 항상 그렇지는 않지만 사람에게 있어서 동일한 독성이나 발암위험의 가능성을 갖는다고 추정. 대부분의 화학물질에 있어서 역학 연구의 한계성 때문에 실험동물 결과를 통해 위험성을 유추. 실험 동물자료에서 적절한 독성 종말점(toxic endpoint)에 대한 무관찰영향수준(NOEL) 또는 최저관찰영향수준(LOEL)에 관한 정보가 있다면, 정량적인 용량-반응 평가의 근거자료로도 이용.
위험성확인 3 단계	보충연구 검색	독성에 관한 보충적인 정보를 제공하는 것으로서, 시험관 실험(in vitro test)결과, 약물동력학적 연구, 구조-활성 상관관계(structure-activity relationship)연구결과등을 검색. 대사작용 및 다른 약물동력학적 연구는 특정성분의 독성 작용기전(mechanism of action)에 대한 정보를 제공. 동물과 사람의 대사작용을 비교하여 인체 독성 잠재성을 예측할 수 있고, 사람에게 있어 동일한 독성을 나타내는 용량을 추정하는 것이 가능. 시험관내(in vitro test) 실험은 화학물질의 잠재적·생물학적 활성화에 대한 정보를 제공하며, 임의의 화학물질과 구조적으로 관련성이 있는 다른 화학물질의 구조-활성 상관관계(structure-activity relationship)는 대상 화학물질의 가능한 독성에 대한 정보를 제공.
위험성확인 4 단계	위험성 분류	역학연구, 실험동물연구 및 보충 연구 자료를 바탕으로 특정 화학물질의 인체 독성 유발 가능성 평가.

나) 조사된 증거 자료에 대한 가중치 평가

화학물질이 인체에 위험성을 부과한다는 증거들에 가중을 둘 수 있는 평가 요소들은 다음과 같다.

- 여러 연구자에 의해 반복된 동물실험에서 유사한 연구결과
- 다양한 성별, 계통(strain), 종, 그리고 노출경로에서 유사한 영향
- 용량-반응 상관관계의 명백한 증거
- 대사와 작용기전에 대한 자료와 영향간의 관련성
- 구조적으로 관련된 성분에서 나타나는 유사한 독성
- 화학물질과 인체영향에 대한 증거들 사이의 관련성

다) 위험성 분류

특정한 유해 화학물질에 대한 다양한 독성 유발 증거자료를 바탕으로 노출 경로 및 기간, 연구의 질, 증거 자료의 가중치 등에 대한 평가 결과에 따라 인체 독성 유발 가능성 및 그 정도를 판단한다.

일반적으로 위험성 확인 단계는 연구 논문, 보고서 및 각종 데이터베이스를 통해 증거자료를 수집한다. 표 2-2에는 위험성 확인을 위한 정보수집에 주로 이용되는 데이터베이스이다.

<표2-2> 위험성 확인을 위한 데이터베이스

정보원	내 용	온라인 주소
IRIS (Intergrated Risk Information 시스템)	화학물질의 포괄적인 독성자료를 바탕으로 위험성 확인 및 용량-반응 평가 과정에 필요한 정보제공	http://www.epa.gov/iris
IRPTC (International Register of Potentially Toxic Chemicals)	각국의 식품, 노동환경, 저장, 소비, 운반, 폐기 등에 관한 유해물질의 규제정보제공	http://irptc.unep.ch/pic
TOMES plus (Toxicology, Occupational Medicine & Environmental Series)	미국의 국립 의학 도서관이 제공하고 있는 각종 독성자료(BIOSIS, IPA, NLM)와 미국 화학회의 화학초록(Cheical abstract, NCIS)등을 이용하여 약물학, 생화학, 독물학, 및 환경학에 관련된 총제적인 정보 제공	http://www.micromedex.com/products/tomesplus/
TOXNET	유해화학물질의 건강영향, 환경노출 영향 및 환경영향에 관한 실험연구자료 및 정보를 제공	http://www.toxnet.nlm.nih.gov
IPCS (International Programme on Chemical Safety)	화학물질에 대한 환경오염원, 환경동태, 약동력학적 특성, 인체 및 생태 영향 등에 대한 정보제공. 세계보건기구(WHO)에서 주관하여 데이터베이스 구축하고 있음.	http://www.inchem.org

(2) 용량-반응 평가(dose-response assessment)

용량-반응 평가는 어떤 화학물질에 대해 위험성이 확인되었다면 그 물질은 과연 얼마만큼의 위해도를 나타내느냐를 수량적으로 표현하는 단계로서, 비발암 독성물질과 발암성 물질 접근법이 서로 다르다.

비발암 물질의 용량-반응 평가과정에서는 일반적으로 역치(threshold)가 존재한다고 가정하며, 이는 비발암 물질의 일정 용량 이상에서 노출되어야 유해영향이 관찰된다고 보는 것이다. 비발암 물질의 용량-반응을 평가하는 데에는 구조/활성 접근법(structure-activity relationship, SAR approach), 만성 참고치법(chronic reference dose, RfC method), 용량-반응 모델링(dose-response modeling), 결정분석 접근법(decision analysis approach) 등의 4가지 접근 방법이 있을 수 있다. 다양한 비발암 물질의 용량-반응 평가법 중 가장 일반적으로 이용되는 방법은 만성 참고치법(RfC method)이다.

만성 참고치법(RfC method)은 유해화학물질에 노출되는 인구집단의 일일 “안전 농도(safety concentration)”을 평가하는 방법으로서 만성 참고치(Reference Concentration, RfC)는 인체에 독성 영향을 나타내지 않을 것으로 기대되는 농도를 일컫는다.

만성 참고치는 임의의 유해화학물질의 인체 혹은 실험동물을 대상으로 한 만성 및 아만성 실험 연구에서 결정된 무관찰 유해영향수준(No Observed Adverse Effect Level, NOAEL) 또는 최저 관찰 유해영향 수준(Lowest Observed Adverse Effect Level, LOAEL)에 불확실성 상수를 고려하여 산출된다.

비발암 용량-반응 평가를 위한 대부분의 방법은 건강영향에 대한 역치가 있다는 조건하에 개발된 방법으로 일반적으로 역치의 존재를 인정하지만 실제로 역치가 개인간의 감수성 차이에 따라 유의하게 변화할지도 모른다. 이러한 개인간 차이로 인해, 단일 역치값으로써 전체 인구집단을 적용하기에는 무리가 있으므로 용량-반응 평가를 위해 자료를 선택할 때에는 개인간 감수성을 고려해야 한다. 그러나 근로자 노출기준을 설정할 때는 개개인에 대한 감수성을 고려하지 않고 단지 성인 남자가 하루 8시간 주 40시간을 보통작업으로 일

을 한다는 가정하에 설정하기 때문에 노약자나, 여자 등에게 노출기준을 적용할 때는 주의를 요한다. 비탈암 용량-반응 평가를 위한 자료 선택시 고려해야 할 것이 노출 농도와 기간이다. 짧은 시간에 고농도 노출 또는 저농도의 오랜 노출에 대한 건강 영향은 다른 것이다.

(3) 노출평가(exposure assessment)

노출평가는 사람이 위험성이 확인된 공기중의 유해물질에 얼마나 노출되는지를 결정하는 단계이다. 사람이 다양한 매체(공기, 음용수, 식품첨가물, 치료약품, 토양 등)를 통해 위험성이 확인된 유해물질에 과연 얼마나 노출되는지를 결정하는 단계로, 그 물질의 매체중 농도 또는 생물학적인 감시(biological monitoring) 자료들을 토대로 추정한다.

근로자들의 유해물질에 대한 노출농도를 평가하는 환경 노출 평가(environmental exposure assessment)와 유해물질로 오염된 공기를 흡입함으로써 인체 내부로 유입되는 오염물질의 양을 평가하는 인체 노출 평가(human exposure assessment)로 구분할 수 있다. 환경 노출 평가는 현장 측정, 수학적 모델을 이용한 예측 등을 통해 수행될 수 있으며, 인체 노출 평가는 환경 오염도를 바탕으로 노출의 강도(매체 접촉율), 빈도(frequency), 기간(duration), 노출 경로에 관한 요소들을 고려하여 수행된다. 고정오염원으로부터의 대기배출물의 위해도 평가는 전형적으로 만성노출에 의하여 발암과 비발암 인체영향에 초점을 맞춘다. 이런 연구에서 구할 수 있는 평생 평균노출량(lifetime exposure)은 다양한 단위로 나타낼 수 있다.

노출평가와 용량-반응평가는 위해도 결정단계에서 결합되어야 하므로 단위는 부분적으로 용량-반응모델 결과의 형태에 좌우된다. 용량-반응 평가가 단위위해도(risk/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이나 ppm 대기농도)의 형태로 표시되면 평생노출량은 대기중 농도의 단위(average $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이나 ppm)로 표시된다. 평생노출에 대한 일반적인 공식은 아래와 같다.

$$\text{평생 노출량 (Lifetime Exposure)} = \frac{\text{대기중 농도} \times \text{노출기간}}{\text{평균수명(70년)}}$$

참고적으로 각국의 평균 수명은 표 2-3에서 표 2-7과 같다.

<표 2-3> 0세의 기대여명 : 1970-2002

국 가 Country	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1999	2000	2001	2002
Australia	70.8	72.7	74.6	75.6	77	77.9	79	79.3	79.7	80
Austria	70	71.2	72.6	73.8	75.5	76.6	77.8	78.1	78.6	78.8
Belgium	71	71.9	73.4	74.6	76.1	76.8	77.6	77.7	78	78.1
Canada	-	-	75.3	76.5	77.6	78.1	79	79.4	79.7	-
Czech Republic	69.6	70.5	70.3	71.1	71.5	73.2	74.8	75.1	75.3	75.4
Denmark	73.3	74	74.3	74.5	74.9	75.3	76.6	76.9	77	77.2
Finland	70.8	71.7	73.4	74.4	74.9	76.5	77.4	77.6	78.1	78.2
France	72.2	73	74.3	75.4	76.9	77.9	78.8	79	79.2	79.4
Germany	70.4	71.4	72.9	74.8	75.2	76.5	77.7	78	78.5	-
Greece	72	-	74.5	76	77.1	77.7	78.1	78.1	78.1	78.1
Hungary	69.2	69.4	69.1	69.1	69.4	69.9	70.8	71.7	72.3	72.6
Iceland	74.3	76.1	76.7	77.6	78	78	79.6	79.7	80.3	80.4
Ireland	71.2	-	72.9	73.9	74.9	75.7	76.1	76.5	77.2	77.8
Italy	-	72.7	74	75.5	76.9	78.1	79.2	79.6	79.8	79.9
Japan	72	74.3	76.1	77.6	78.9	79.6	80.5	81.2	81.5	81.8
Korea	-	64.1	-	68.7	-	73.5	75.5	-	76.4	-
Luxembourg	70.3	-	72.5	74.3	75.4	76.6	77.9	78	78	78.2
Mexico	60.9	64.7	67.2	69.5	71.2	72.7	73.7	74.1	74.4	74.6
Netherlands	73.7	74.6	75.9	76.4	77.4	77.5	77.9	78	78.3	78.4
New Zealand	71.5	72.2	73.2	74.2	75.4	76.9	78.5	78.5	78.5	-
Norway	74.2	74.9	75.8	76	76.6	77.8	78.4	78.7	78.9	79
Poland	70	70.6	70.2	71.1	71.5	72	72.7	73.8	74.3	74.6
Portugal	67.5	68.9	71.5	72.9	73.9	75.2	76.1	76.6	76.9	77.2
Slovakia	69.8	70.3	70.6	70.8	71	72.4	73.1	73.3	73.7	73.9
Spain	72	73.3	75.6	76.4	76.8	77.9	78.6	79.1	79.3	79.4
Sweden	74.7	75	75.8	76.8	77.6	78.8	79.5	79.7	79.9	79.9
Switzerland	73.8	74.6	76.2	76.8	77.4	78.5	79.7	79.8	80.2	80.4
Turkey	54.2	56.1	58.1	62.1	66.5	67.2	67.9	68.1	68.3	68.6
United Kingdom	71.9	-	73.2	74.7	75.7	76.6	77.4	77.9	78.1	-
United States	70.9	72.7	73.7	74.7	75.3	75.7	76.7	76.8	77.1	-

<표 2-4> 0세의 기대여명(남자) : 1970-2002

국 가 Country	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1999	2000	2001	2001
Australia	67.4	69.2	71	72.4	73.9	75	76.2	76.6	77	77.4
Austria	66.5	67.7	69	70.3	72.2	73.3	74.8	75.1	75.6	75.8
Belgium	67.8	68.6	70	71.1	72.7	73.4	74.4	74.6	74.9	75.1
Canada	-	-	71.7	73.1	74.4	75.1	76.3	76.7	77.1	-
Czech Republic	66.1	67.1	66.8	67.5	67.6	69.7	71.4	71.7	72.1	72.1
Denmark	70.7	71.1	71.2	71.5	72	72.7	74.2	74.5	74.7	74.8
Finland	66.5	67.4	69.2	70.1	70.9	72.8	73.8	74.2	74.6	74.9
France	68.4	69	70.2	71.3	72.8	73.9	75	75.2	75.5	75.8
Germany	67.2	68.1	69.6	71.5	72	73.3	74.7	75	75.6	-
Greece	70.1	-	72.2	73.5	74.6	75	75.5	75.5	75.4	75.4
Hungary	66.3	66.3	65.5	65.1	65.1	65.3	66.4	67.4	68.1	68.4
Iceland	71.2	73	73.7	74.9	75.4	75.9	77.7	78	78.3	78.5
Ireland	68.8	-	70.1	71	72.1	72.9	73.4	73.9	74.7	75.2
Italy	-	69.5	70.6	72.3	73.6	74.9	76.1	76.6	76.7	76.8
Japan	69.3	71.7	73.4	74.8	75.9	76.4	77.1	77.7	78.1	78.3
Korea	-	60.2	-	64.5	-	69.6	71.7	-	72.8	-
Luxembourg	67.1	-	69.1	70.6	72.3	73	74.6	74.8	75.2	74.9
Mexico	58.5	62	64.1	66.6	68.3	70	71.2	71.6	71.9	72.1
Netherlands	70.8	71.5	72.5	73.1	73.8	74.6	75.3	75.5	75.8	76
New Zealand	68.3	69	70	71	72.4	74.2	76	76	76	-
Norway	71	71.7	72.3	72.6	73.4	74.8	75.6	76	76.2	76.4
Poland	66.6	67	66	66.9	66.7	67.6	68.2	69.7	70.2	70.4
Portugal	64.2	65.2	67.7	69.4	70.4	71.6	72.6	73.2	73.5	73.8
Slovakia	66.7	66.8	66.8	66.9	66.6	68.4	69	69.2	69.6	69.9
Spain	69.2	70.4	72.5	73.1	73.3	74.3	75.1	75.7	75.6	75.7
Sweden	72.2	72.1	72.8	73.8	74.8	76.2	77.1	77.4	77.6	77.7
Switzerland	70.7	71.4	72.8	73.4	74	75.3	76.8	76.9	77.4	77.8
Turkey	52	53.9	55.8	59.8	64.2	64.9	65.6	65.8	66	66.2
United Kingdom	68.7	-	70.2	71.7	72.9	74	75	75.5	75.7	-
United States	67.1	68.8	70	71.1	71.8	72.5	73.9	74.1	74.4	-

<표 2-5> 0세의 기대여명(여자) : 1970-2002

국 가 Country	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1999	2000	2001	2002
Australia	74.2	76.2	78.1	78.8	80.1	80.8	81.8	82	82.4	82.6
Austria	73.4	74.7	76.1	77.2	78.8	79.9	80.8	81.1	81.5	81.7
Belgium	74.2	75.1	76.8	78	79.4	80.2	80.8	80.8	81.1	81.1
Canada	-	-	78.9	79.9	80.8	81.1	81.7	82	82.2	-
Czech Republic	73	74	73.9	74.7	75.4	76.6	78.2	78.4	78.5	78.7
Denmark	75.9	76.8	77.3	77.5	77.7	77.8	79	79.3	79.3	79.5
Finland	75	75.9	77.6	78.7	78.9	80.2	81	81	81.5	81.5
France	75.9	76.9	78.4	79.4	80.9	81.8	82.5	82.7	82.9	83
Germany	73.6	74.7	76.1	78.1	78.4	79.7	80.7	81	81.3	-
Greece	73.8	-	76.8	78.4	79.5	80.3	80.6	80.6	80.7	80.7
Hungary	72.1	72.4	72.7	73.1	73.7	74.5	75.2	75.9	76.4	76.7
Iceland	77.3	79.2	79.7	80.3	80.5	80	81.5	81.4	82.2	82.3
Ireland	73.5	-	75.6	76.7	77.6	78.4	78.8	79.1	79.7	80.3
Italy	-	75.8	77.4	78.7	80.1	81.3	82.2	82.5	82.8	82.9
Japan	74.7	76.9	78.8	80.5	81.9	82.9	84	84.6	84.9	85.2
Korea	-	67.9	-	72.8	-	77.4	79.2	-	80	-
Luxembourg	73.4	-	75.9	77.9	78.5	80.2	81.1	81.1	80.7	81.5
Mexico	63.2	67.3	70.2	72.4	74.1	75.3	76.1	76.5	76.8	77.1
Netherlands	76.5	77.7	79.2	79.6	80.9	80.4	80.5	80.5	80.7	80.7
New Zealand	74.6	75.3	76.3	77.3	78.3	79.5	80.9	80.9	80.9	-
Norway	77.3	78.1	79.2	79.4	79.8	80.8	81.1	81.4	81.5	81.5
Poland	73.3	74.3	74.4	75.3	76.3	76.4	77.2	77.9	78.3	78.7
Portugal	70.8	72.6	75.2	76.4	77.4	78.7	79.5	80	80.3	80.5
Slovakia	72.9	73.8	74.3	74.7	75.4	76.3	77.2	77.4	77.7	77.8
Spain	74.8	76.2	78.6	79.6	80.3	81.5	82.1	82.5	82.9	83.1
Sweden	77.1	77.9	78.8	79.7	80.4	81.4	81.9	82	82.1	82.1
Switzerland	76.9	77.8	79.6	80.1	80.7	81.7	82.5	82.6	83	83
Turkey	56.3	58.3	60.3	64.3	68.7	69.4	70.2	70.4	70.6	70.9
United Kingdom	75	-	76.2	77.6	78.5	79.2	79.8	80.2	80.4	-
United States	74.7	76.6	77.4	78.2	78.8	78.9	79.4	79.5	79.8	-

<표 2-6> 60세의 기대여명(여자) : 1970-2002

국 가 Country	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1999	2000	2001	2002
Australia	19.4	20.8	21.9	22.4	23.2	23.7	24.5	24.7	25	25.2
Austria	18.8	19.6	20.3	20.9	22	22.8	23.5	23.7	24.1	24.1
Belgium	19.2	-	20.9	21.6	22.7	23.3	23.7	23.8	24	23.9
Canada	-	-	-	-	23.7	24.3	-	24.7	24.9	-
Czech Republic	18	18.5	18.2	18.6	19.1	20	21	21.2	21.4	21.5
Denmark	20.6	21.1	21.4	21.6	21.6	21.3	22	22.3	22.4	22.4
Finland	-	19.7	20.5	21.4	21.9	22.9	23.5	23.6	23.9	24
France	20.8	21.3	22.4	23	24.1	24.9	25.3	25.6	25.7	25.8
Germany	18.9	19.6	20.8	21.5	21.7	22.7	23.4	23.6	23.9	-
Greece	19.1	-	20.8	21.6	22.3	22.8	23.1	-	-	-
Hungary	18.2	18.4	18.3	18.7	19	19.5	19.7	20.3	20.6	20.9
Iceland	-	-	23	22.8	23.6	23.3	23.5	23.7	24.4	-
Ireland	18.7	-	19.5	-	20.9	21.4	21.6	22	22.5	22.9
Italy	-	20.3	21.2	21.9	23	24	24.5	24.8	-	-
Japan	19.3	20.7	21.9	23.2	24.4	25.3	26.3	26.9	27.1	27.4
Korea	-	18.5	-	19.3	-	21.1	22.2	-	22.8	-
Luxembourg	18.8	-	19.9	-	22.4	23.2	23.8	23.9	23.7	24.2
Mexico	18.9	20.1	20.5	21	21.6	21.6	21.9	22.1	22.2	22.3
Netherlands	20.1	20.9	22.1	22.8	23.1	23.2	23.3	23.4	23.5	23.5
New Zealand	19.8	20.3	20.8	21.5	22.2	23	23.9	23.9	23.9	-
Norway	20.9	21.5	22.2	22.6	22.7	23.3	23.7	23.9	24	24
Poland	19.2	19.4	19.4	19.5	20	20.5	21	21.4	21.7	22
Portugal	18.9	-	20.6	20.9	21.3	22	22.6	23	23.2	23.3
Slovakia	18.7	19.2	19.2	19.2	20	20	20.6	20.6	20.9	21
Spain	20	20.5	22.1	22.6	23.3	24.2	24.5	24.9	-	-
Sweden	20.9	21.4	22.1	22.7	23.2	23.9	24.1	24.3	24.3	24.3
Switzerland	20.4	21.5	22.3	23.2	23.7	24.5	25	25	25.4	25.3
Turkey	16	16.1	16.3	17	17.6	17.8	17.9	18	18	18.1
United Kingdom	19.8	-	20.4	21.2	21.8	22.2	22.6	23	-	-
United States	20.7	21.9	22.2	22.4	22.8	22.9	23.1	23.1	23.4	-

<표 2-7> 60세의 기대여명(남자) : 1970-2002

국 가 Country	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1999	2000	2001	2002
Australia	15	16.3	17.1	17.9	18.9	19.5	20.5	20.8	21.2	21.4
Austria	14.9	15.6	16.3	16.9	17.8	18.5	19.3	19.7	20.1	20.2
Belgium	15.2	-	16.3	16.7	17.9	18.5	19.1	19.3	19.6	19.6
Canada	-	-	-	-	18.9	19.9	-	20.7	21	-
Czech Republic	14.1	14.6	14.3	14.4	14.6	15.9	16.9	17	17.3	17.3
Denmark	17.1	17.1	17	17.2	17.4	17.6	18.6	18.9	19	19.1
Finland	-	15	15.6	16.2	17.1	18.1	18.8	19.2	19.4	19.5
France	16.2	16.5	17.3	17.9	19	19.7	20.2	20.4	20.6	20.8
Germany	15.2	15.5	16.4	17.1	17.4	18.2	19.2	19.4	19.8	-
Greece	17.5	-	18.2	18.9	19.4	19.8	20.1	-	-	-
Hungary	15.2	15.2	14.6	14.6	14.7	14.8	14.9	15.5	15.9	16.1
Iceland	-	19.4	19.4	19.4	20.1	20.2	20.9	22.2	21.8	-
Ireland	15.6	-	15.9	-	16.7	17.3	17.8	18.4	18.9	19.2
Italy	-	16.3	16.7	17.6	18.6	19.5	20	20.4	-	-
Japan	15.9	17.4	18.3	19.3	20	20.3	20.9	21.4	21.7	21.9
Korea	-	12.9	-	14.2	-	16.6	17.5	-	18.1	-
Luxembourg	15.2	-	15.5	-	17.8	18.2	19.1	19.2	19.7	19.6
Mexico	17.8	18.7	18.5	19	19.5	19.7	20.1	20.2	20.3	20.4
Netherlands	16.5	16.5	17.1	17.6	18.1	18.5	19	19.1	19.4	19.5
New Zealand	15.6	16.1	16.5	17.1	18.2	19.1	20.3	20.3	20.3	-
Norway	17.2	17.5	17.7	17.9	18.2	18.9	19.5	20	20.1	20.2
Poland	15.7	15.7	15.2	15.1	15.3	15.8	16.2	16.7	17	17.1
Portugal	15.5	-	16.3	17	17.5	18.2	18.7	19	19.3	19.4
Slovakia	15.7	15.9	15.5	15.2	15.2	15.6	15.9	15.9	16	16.4
Spain	16.8	17.1	18.4	18.5	19.1	19.7	19.8	20.3	-	-
Sweden	17.8	17.6	17.9	18.4	19.1	19.8	20.4	20.7	20.9	20.9
Switzerland	16.7	17.4	17.9	18.5	19	19.9	20.7	20.9	21.2	21.4
Turkey	14.6	14.7	14.8	15.2	15.6	15.7	15.8	15.9	15.9	16
United Kingdom	15.2	-	15.9	16.7	17.5	18.3	19.1	19.4	-	-
United States	16.1	16.8	17.4	17.8	18.5	19.1	19.6	19.9	20.1	-

(4) 위해도 결정(risk characterization)

용량-반응평가에서 도출된 정보를 종합하여 특정화학물질에 특정농도로 노출되었을 경우, 개인이나 인구집단에서 유해한 영향, 예를 들면 암과 같은 영향이 발생할 표를 결정하는 단계이다. 이 단계에서는 위해성 평가과정에서 발생이 가능한 모든 불확실성(uncertainty)이 기술·분석되어야 한다.

위해도 결정(risk characterization)은 위험성이 확인된 물질의 용량-반응 평가와 노출 평가 결과를 조합하여 실행하게 된다. 용량-반응 평가와 마찬가지로 비발암 독성 물질과 발암 물질에서의 위해도 결정은 접근 방법이 각각 다르다.

비발암성 물질의 노출에 따른 안전성 평가는 용량-반응 평가를 통해 산출된 만성 노출 참고치와 인체 노출 용량과의 비교를 통해 실행할 수 있다. 즉, 대기 오염 물질에 의한 일일 평균 인체 노출량(mg/kg-day)을 평생 동안의 일일 허용량인 만성 노출 참고치(RfD, mg/kg-day)로 나누어주어 독성 위험값을 산출할 수 있다. 비발암 독성 위험값이 1을 초과하는 경우에는 유해 영향(독성)이 발생할 가능성 있는 것으로 평가하게 된다.

위해성 평가에는 많은 불확실성(uncertainty)이 수반되기 때문에 결과 해석에 유의해야 하며, 위해도 결정 단계에 있어 반드시 불확실성에 대한 서술과 분석이 동시에 행해져야 한다. 공기 중 특정한 비발암 물질에 대한 위해도 결정은 용량-반응 평가를 통해 산출된 호흡 참고치, RfC와 노출 평가를 통해 산출된 인체 노출량의 비를 이용하여 위험값을 산출함으로써 수행된다. 비발암성 물질의 노출에 따른 위해도 결정은 용량-반응 평가를 통해 산출된 흡입 참고치와의 비교를 통해 실행한다. 현 오염수준을 평생동안의 일일허용가능량(참고치)과 비교함으로써 현 오염수준이 '1'을 초과하는 경우에는 유해영향(독성)이 발생할 가능성(likelihood)이 있음을 제시해 주며 '1'이하인 경우에는 발생할 가능성이 없음을 제시하여 준다.

$$\text{위험값} = \frac{\text{인체 노출량}(mg/kg/day)}{\text{호흡참고치 } RfC (mg/m^3) \times \text{체중}(kg) / \text{일일호흡율}(m^3/day)}$$

2. 연구방법

국내·외 문헌자료를 조사하여 통하여 1,4-디옥산에 대한 물리화학적 특성, 취급현황, 동물 및 인체 영향 그리고 각국의 노출기준에 대한 자료를 수집하였다. 구체적인 수집내용은 다음과 같다.

가. 물질의 특성 조사

(1) 물질의 개요

한글물질명, 영문물질명 (IUPAC명, CA명), 이명(異名), CAS번호, 외관, 냄새 등

(2) 물리적 성상

분자량, 비중, 녹는점, 끓는점, 증기압, 증기밀도, pH, 점도, 용해도, 분배계수, 증발률, 냄새의 서한도 등

(3) 화학적 성상

인화점, 자연발화점, 폭발성, 산화성, 반응성, 안정성, 피해야한 물질, 유해분해산물, 소화제 등

나. 취급현황 조사

1,4-디옥산에 대한 제조와 수입이 국내에서 어느 정도 이루어지고 있는지 통계 자료를 수집하고 현장조사를 통하여 사용실태 및 발생원·노출원을 조사 하였다.

(1) 제조 또는 사용현황

국내 제조 및 사용량, 취급 근로자수, 제조 또는 사용용도

(2) 발생원 및 발생과정

작업장내 주요 발생원, 발생과정

(3) 노출경로

취급근로자에 대한 유해물질 노출 경로

다. 동물에 있어서의 영향조사

1,4-디옥산에 대해 문헌조사를 통하여 다음 항목에 대해서 조사하였다.

(1) 급성독성

급성경구독성, 급성경피독성, 급성흡입독성

(2) 아급성독성(아만성독성)

14일, 28일, 90일 반복투여 독성 등

(3) 만성독성

1년이상 장기간 투여독성, 최대무작용농도 (NOEL) 등

(4) 변이원성

복귀돌연변이시험(Ames test), 염색체이상시험, 소핵시험 등

(5) 생식독성

수태능력시험, 최기형시험 등

(6) 발암성

설치류 등 동물의 암 유발시험

(7) 기타

상기 독성정보 이외의 추가정보

라. 인체영향 조사

1,4-디옥산에 대해 문헌조사를 통하여 다음 항목에 대해서 조사하였다.

(1) 인체내 작용기적

흡수, 분포, 대사, 배설 등

(2) 단기노출시 인체 유해성

단기간흡입 또는 섭취시의 인체영향

(3) 장기노출시 인체 유해성

장기간 흡입 또는 섭취시의 인체영향

(4) 인체 표적장기독성

흡입 또는 섭취시 인체의 간, 폐, 신장, 혈액 등에 대한 영향

(5) 인체 발암성

국립암연구학회(IARC) 등에서 연구한 인체에 대한 발암성 정보

(6) 사람에 대한 국내외 재해 사례

국내외에서 발생한 직업병 등의 재해사례

마. 각국의 노출기준 요약 및 해설

문헌조사를 통하여 선진국의 노출기준 내용을 조사하였다.

(1) OSHA

PEL(Permissible Exposure Limits)기준 제시 및 설정근거 요약

(2) ACGIH

TLV(Threshold Limit Values)기준 제시 및 설정근거 요약

(3) NIOSH

REL(Recommended Exposure Limits)기준 제시 및 설정근거 요약

(4) 일본

노동성 노동안전위생법상의 관리농도 제시 및 설정근거 요약

(5) 독일

MAK(Maximum Concentration Values)기준 제시 및 설정근거 요약

(6) 스웨덴

OEL(Occupational Exposure Limits)기준 제시 및 설정근거 요약

(7) 영국

OEL(Occupational Exposure Limits)기준 제시 및 설정근거 요약

(8) 프랑스

OEL(Occupational Exposure Limits)기준 제시 및 설정근거 요약

바. 국내 작업장 근로자의 노출 실태 파악

1,4-디옥산에 대한 기존의 작업환경측정자료와 외국의 사례를 비교 조사하였다. 국내에서 이 물질들을 제조 및 사용하는 사업장을 직접 방문하여 작업환경측정의 철저한 예비조사와 함께 본 조사를 실시하여 근로자들의 노출실태를 노출경로에 따라 종합적으로 평가하였다.

또한, 1,4-디옥산에 대한 공인된 측정 및 분석법을 예비실험을 통하여 장단점을 제시하고 우리나라 실정에 맞는 측정 및 분석법을 제시하였다. 필요시 외국의 측정법보다 검출 및 정량한계가 우수한 방법을 개발하여 제시하였다.

사. 우리나라 실정에 적합한 노출기준 제시

1,4-디옥산에 대한 외국의 노출기준 근거와 노출실태를 파악하여 우리나라 실정에 맞는 노출기준을 제시한다. 또한 피부흡수가 용이한 물질에 대해서는 가능한 생물학적 모니터링을 실시하도록 유도하고 외국의 기준값이나 참고수준을 제시하였다.

아. 노출기준 제·개정에 따른 규제영향분석서 작성

1,4-디옥산에 대한 노출기준을 개정하는 경우 파생될 수 있는 영향을 파악하기 위하여 노출기준 제·개정의 필요성, 노출기준 제·개정의 실현 가능성, 노출기준 제·개정의 대체수단 존재 및 기존규제와의 중복 여부, 노출기준 제·개정 규제의 비용과 편익의 비교분석, 노출기준 제·개정 규제의 경쟁 제한적 요소 포함 여부 및 노출기준 제·개정 규제내용의 객관성·명료성을 기술하였다.

자. 유해물질별 건강장해예방 편람 작성

1,4-디옥산의 물리화학적 특성, 노출경로에 따른 유해성 등을 고려하여 작업 공정별 작업환경관리, 취급 근로자 건강관리, 취급시 주의사항, 보호구 등을 포함한 유해물질별 건강장해예방 편람(백과사전)을 아래와 같은 내용으로 개정 물질에 대한 산업보건편람 및 건강장해 예방지침을 작성한다.

- 유해공정별 작업환경관리요령 : 유해물질 취급 유해공정별 국소배기장치, 시설·설비 등의 작업환경관리요령 설명
- 유해물질 안전취급요령 : 유해물질의 대체, 격리 등 안전취급요령 설명
- 취급근로자 노출방지조치 : 유해물질 취급근로자 노출방지조치 설명
- 취급시 주의사항 : 유해물질 취급시 주의사항 설명
- 응급조치요령 : 유해물질 취급시 응급상황에서의 긴급조치요령 설명
- 유해물질 저장·보관방법 : 유해물질 보관장소의 환기, 안전용기 등 보관 방법 설명
- 개인 보호구 : 방독마스크, 보호의, 보호장갑, 보안경의 선택 및 착용방법 등 설명

○ 기타 : 근로자 예방지침에 필요한 내용 설명

III. 연구결과

1. 물질의 특성

가. 물질의 개요

(1) 한글물질명

1,4-디옥산

(2) 영문물질명(IUPAC명, CA명)

1,4-DIOXANE

(3) 이명(異名), 관용어/동의어

P-디옥산, 디에틸렌 이산화물, 1,4-디에틸렌 이산화물, 디에틸렌 에테르, 디에틸렌 산화물, 1,4-디옥사시클로헥산, P-디옥산, 디옥산, 디옥시에틸렌 에테르, RCRA U108, 1,4-다이옥산, 테트라히드로-1,4-다옥신

Dioxan; Dioxan - 1,4 (German); p-Dioxane(Czech); Dioxane; Dioxane - 1,4 ; Glycol ethylene ether; NCI - C03689; RCRA waste number U108; Tetrahydro - p - dioxin; Tetrahydro - 1,4 - dioxin; 1,4 - Dioxane; Dioxane ; ACGIH : OSHA); 1,4 - Dioxacyclohexane; Diethylene dioxide; 1,4 - Diethylene dioxide; Diethylene dioxide (OSHA); Diethylene ether; Di(ethylene oxide); Diokan; Dioksan (Polish); Diossano -1,4 (Italian); Dioxaan - 1,4 (Dutch); Dioxanne (French); p - Dioxin, tetrahydro -; Dioxyethylene ether

(4) 물질 번호

CAS NO	RTECS NO	UN NO	EC NO
123-91-1	JG8225000	1165	603-024-00-5

(5) 외관

무채색 액체

(6) 냄새

달콤한 냄새

(7) 화학물질 군

헤테로 고리의 에테르

나. 물리적 성상

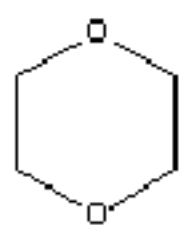
(1) 분자량

88.10

(2) 분자식

C₄H₈O₂

(3) 구조식



(4) 비중 (물=1)

1.0329 (20 °C)

(5) 녹는점

11.8℃

(6) 끓는점

101.1 ℃ (760 mmHg)

(7) 증기압

29 mmHg (20 ℃)

(8) 증기 밀도(공기=1)

3.0

(9) 수소이온지수 (pH)

없음

(7) 용해도

100%

(8) 분배계수

없음

(9) 증발률 (초산부틸=1)

2.7

(10) 냄새의 제한도

5.6ppm

(11) 점도

1.2 cP (25 °C)

(12) 휘발성

100%

(13) 용매 가용성

가용성 : 알코올, 에테르, 벤젠, 아세톤, 방향족용제, 오일, 유기용제

(14) 25°C, 1기압에서의 변환계수

1ppm = 6.0mg/m³, 1mg/m³ = 0.17ppm

다. 화학적 성상

(1) 인화점

12.22 °C(밀폐상태), 18.33 °C(개방상태)

(2) 자연발화점

180 °C

(3) 공기 중의 연소농도(Vol%)

폭발상한치 22.5%, 폭발하한치 2%

(4) 반응성

높은 연소성으로 불안정한 물질, 장기간 보관이나 공기, 빛과의 접촉 또는 실온이상에서 보관 및 사용을 피할 것,

(5) 피해야할 조건

스파크, 점화원, 강한 산화물, 뜨거운 표면에 의해 폭발. 증기와 공기가 혼합됨으로서 폭발의 위험이 있음

(6) 폭발성

증기/공기 혼합물 폭발성이 있음. 가능한 불안정한 물질을 접촉하지 말 것.

(7) 안정성

폭발성 과산화물이 형성될 수도 있음.

(8) 피해야할 물질

열, 화염, 스파크 및 기타 점화원을 피할 것.

(9) 유해분해산물

연소시 탄소 산화물 발생

(10) 중합반응

중합하지 않음

(11) 소화제

알코올 방지 거품, 이산화탄소, 입자상 분말 소화약제, 물

(12) 혼합금지물질

금속, 산화제, 가연성 물질

(13) 화재 및 폭발위험성

심각한 화재 위험이 있음. 증기/공기 혼합물은 폭발성이 있음. 증기는 공기보다 무겁고 원거리의 발화원으로부터 점화되어 순식간에 확산될 수 있음. 또한 물질의 흐름 또는 교반에 의하여 발화 또는 폭발을 초래할 수 있는 정전기가 발생할 수 있음.

2. 취급 현황

가. 제조 또는 사용현황

전세계적으로 1,4-디옥산의 생산은 1991년에는 10,000 - 20,000 ton이 생산되었으나 1994년에는 제약산업에서 1,4-디옥산의 재생의 증가와 염소탄화수소의 사용의 감소가 주요한 요인으로 영향을 받아 8,000 - 10,000 ton으로 생산이 감소되었다.

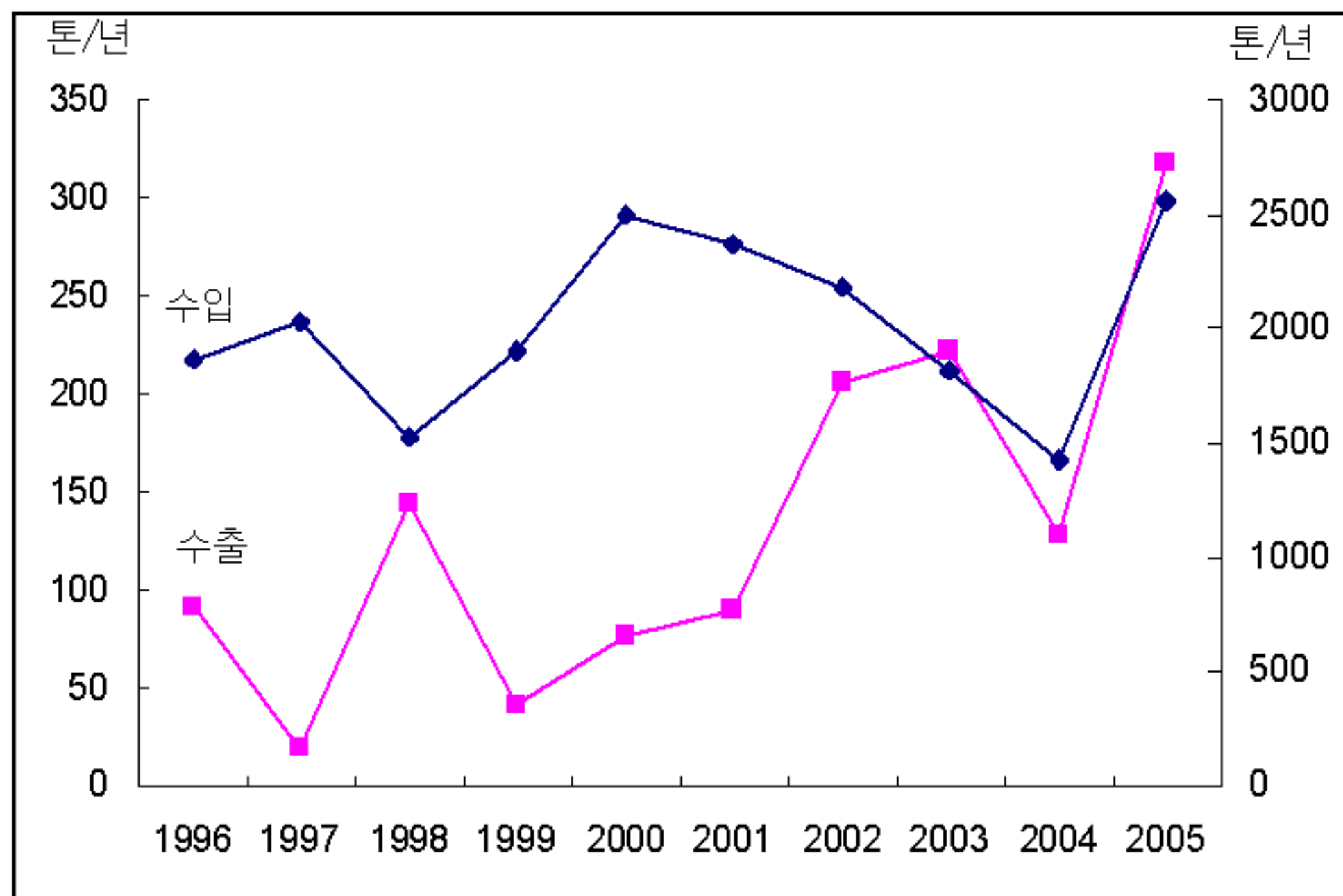
1,4-디옥산을 생산하는 공정은 국내에는 없었으며 제조업에서 원료 또는 실험용으로 사용하는 것으로 조사되었다. 전량을 수입에 의존하고 있는 1,4-디옥산은 일본의 오사카유키화학, 토호화학과 미국의 Ferro grant 등에서 생산한 제품이 수입되고 있다.

국내의 유통량에 대한 자료가 발표된 것은 없으며 관세청의 수출·입 통계 자료를 참조하여 유통량을 조사하였다. 조사 자료에서는 수출·수입 통계자료가 달러(\$)로 제시하고 있어 양(톤)으로 환산하였다.

표 3-1은 1995년부터 2005년 10월까지의 1,4-디옥산의 연간 수출, 수입량 자료이다. 수출보다는 수입량이 많으며 2004년도에 수·출입 양이 감소하였다가 2005년도에 증가 하였다(그림 3-1).

<표 3-1 > 우리나라 1,4-디옥산의 연간 수출, 수입 현황 (\$천달러)

년 도	수출	수입
1996	1,313	26,805
1997	266	29,199
1998	2,064	21,850
1999	601	27,312
2000	1,091	35,873
2001	1,294	34,134
2002	2,958	31,398
2003	3,189	26,051
2004	1,836	20,491
2005	4,574	36,869



[그림 3-1] 우리나라의 1,4-디옥산의 연간 수출, 수입량 추이
참고자료: 관세청 통관종합서비스, 2005

우리나라에서는 1,4-디옥산을 이용한 제품으로 주로 일본으로 수출하고 있으며 수입은 미국, 중국에서 1,4-디옥산 원액을 주로 수입하고 있다(표 3-2).

<표 3-2> 우리나라의 1,4-디옥산 수·출입 국가 현황(톤)

	수출	수입
독일	0.2	15.59
멕시코	0.3	29
미국	53.8	908.98
베트남	0	10.35
스페인	0.14	3.28
이탈리아	43.1	1.94
인디아	0.2	5.77
일본	386.9	704.02
중국	2.2	695.48
프랑스	0.1	179.14

자료원: 관세청 통관종합서비스, 2005

연구대상사업장의 총 6개의 사업장으로 3개의 사업장이 화합물 및 화학제품 제조업, 1개의 사업장이 광섬유 및 광학요소 제조업, 2개의 사업장은 의료용 약 제품 제조업이었다.

연구사업장의 1,4-디옥산의 사용량은 아래 표 3-3과 같다.

<표 3-3> 1,4-디옥산의 취급사업장 및 연간 사용량

사업장	한국표준산업에 의한 업종분류	주생 산품	취급 용도	연간 사용량 (kg/year)
A	기록용 매체 및 관련화학제품 제조업	감광제	부원료	36,000
B	그 외 기타 분류 안된 화학 제품 제조업	화학약 품	주원료	2,000
C	일반용 도료 및 관련제품 제조업	페인트	부원료	24,000
D	광섬유 및 광학요소 제조업	렌즈	코팅제	60
E	의학용 약제품 제조업	항생제	부원료	25,000
F	의약품 화합물 및 항생물질 제조업	항생제	실험용	1

나. 발생원 및 발생과정

(1) 일반적 발생원

1,4-디옥산은 비이온성 표면 계면활성제나 화장품에 불순물로 존재할 수 있으며 Fuh 등은 solid-phase microextraction (SPME)와 gas chromatography (GC) 그리고 gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)를 이용하여 분석을 하였다. 타이완에서 생산하는 비이온성 표면 계면활성제중 30%가 $11.6 \pm 0.3\text{ppm}$ 에서 $73.5 \pm 0.5 \text{ ppm}$ 이 검출되었다. 또한 화장품은 22%에서 $4.2 \pm 0.1\text{ppm}$ 에서 $41.1 \pm 0.6\text{ppm}$ 이 검출되었다. 오스트레일라에서 1,4-디옥산의 산업적인 노출은 실험실에서의 사용과 렌즈 제조업, 필름현상, 첨가제 화학물질 생산되는 과정에 발생 될 수 있다고 하고 EU에서는 산업적 노출이 실험실에서의 사용, 마그네틱 타입의 생산, 기계의 생산, 다른 물질의 생산의 용매로의 사용, 페인트, 래커, 니스의 세척작업 시 발생할 수 있다고 한다. 일반대중에서의 노출은 직업적 노출 보다는 더 낮지만 불순물로 인하여 노출이 될 수 있다.(OECD, 1999)

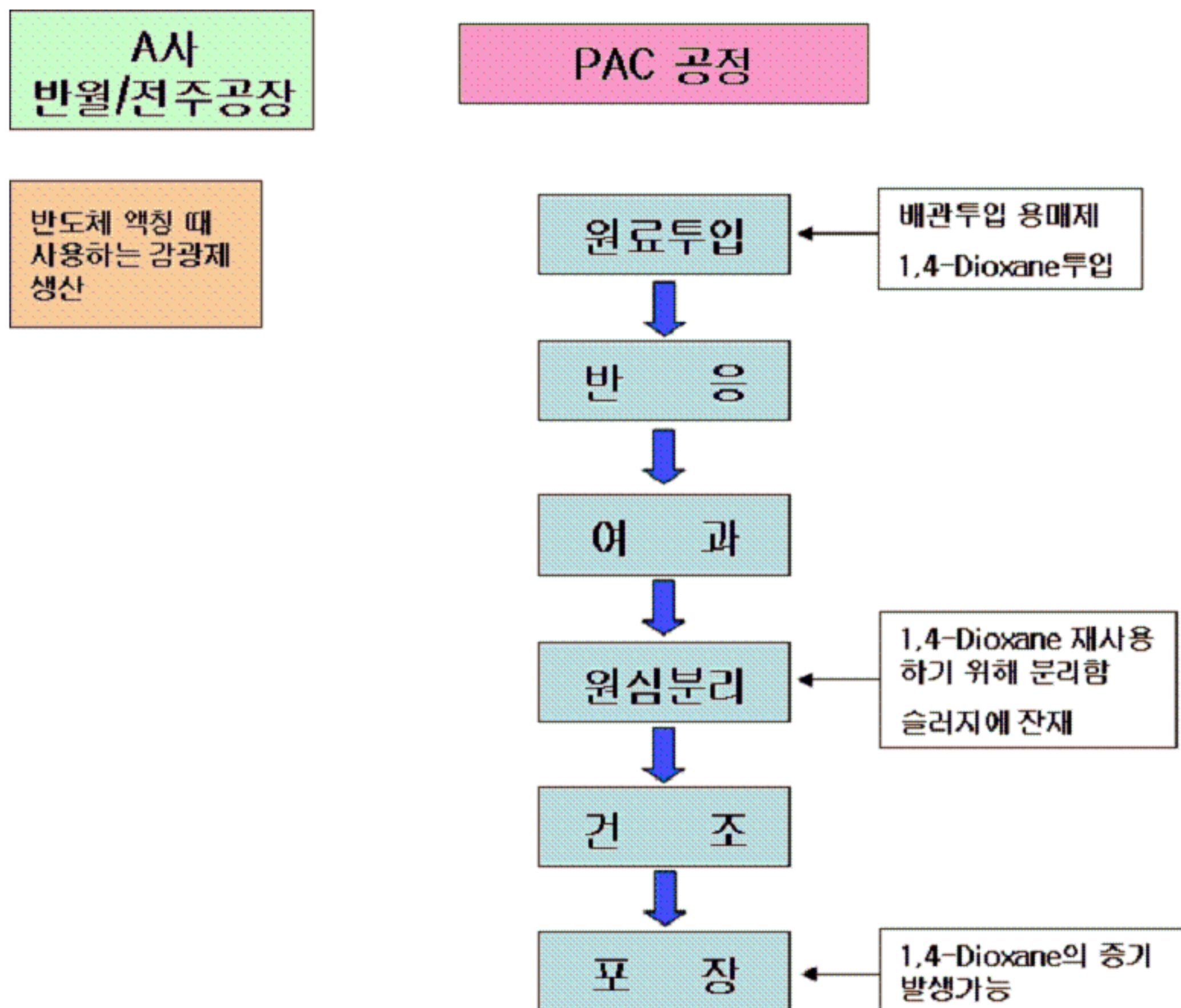
국내에서는 화학약품, 합성수지, 계면활성제, 렌즈, 도료의 생산공정에서 발생 할 수 있다. 연구대상 사업장의 생산제품별 주요 발생원 및 발생과정, 사용 용도 및 사용목적 등을 정리하여 제시 하였다.

(2) 사업장별 발생과정

가) A사 <반월공장, 전주공장>

○ A사 반월공장, 전주공장은 기록용 매체 및 관련화학제품 제조업으로서 영상, 음향 및 기타 현상을 기록하는데 사용되는 감광성 또는 비 감광성 기록용 매체 및 관련 화학제품을 제조하고 있다(그림 3-2).

○ A사의 감광제 생산은 반월공장에서 7월까지만 생산하고 전주공장에서 증설을 하여서 반월공장 생산라인 전부를 전주공장으로 이관하였다.



[그림 3-2] A사 <반월공장, 전주공장>의 공정도

A사에서는 감광제를 만드는 공정에서 1,4-디옥산을 원료투입 시에 사용하며, 1,4-디옥산은 물질을 용해시키는 용해제 역할을 한다. 1,4-디옥산이 근로자들에게 노출될 위험이 있는 공정은 크게 3가지 공정으로 원료투입, 원심분리, 포장공정이다. 원료투입 시에는 컨트롤 룸에서 배관을 통해 자동으로 투입하기 때문에 노출의 위험성은 크지 않다(그림 3-3). 원심분리공정에서는 1,4-디옥산을 재사용하기 위해서 분리하는 공정으로 반응이 끝난 물질에서 분리해내는 것이다. 이 때 슬러지가 발생하게 되는데, 1,4-디옥산이 100% 재사용이 되는 것이 아니기 때문에 원심분리공정에서 슬러지 제거 시에 작업자에게 노출될 가능성이 있다. 포장공정 시에는 1,4-디옥산의 성상이 없는 상태이며, 완제품인 감광제 속에 극미량으로 1,4-디옥산이 있을 가능성이 있기 때문에 포장공정에 있는 근로자에게 미량으로 노출될 위험이 있다(그림 3-6)(그림 3-7). 그림 3-3과 그림3-4는 1,4-디옥산 및 여러 가지 화학물질을 투입한 후 반응기에서 반응정도를 확인하는 작업자의 사진이다.



[그림 3-3] 1,4-디옥산 및 여러 가지 화학물질을 투입한 후 반응기에서 반응 정도를 확인 Check하는 작업자



[그림 3-4] 반응기를 Check하는 작업자



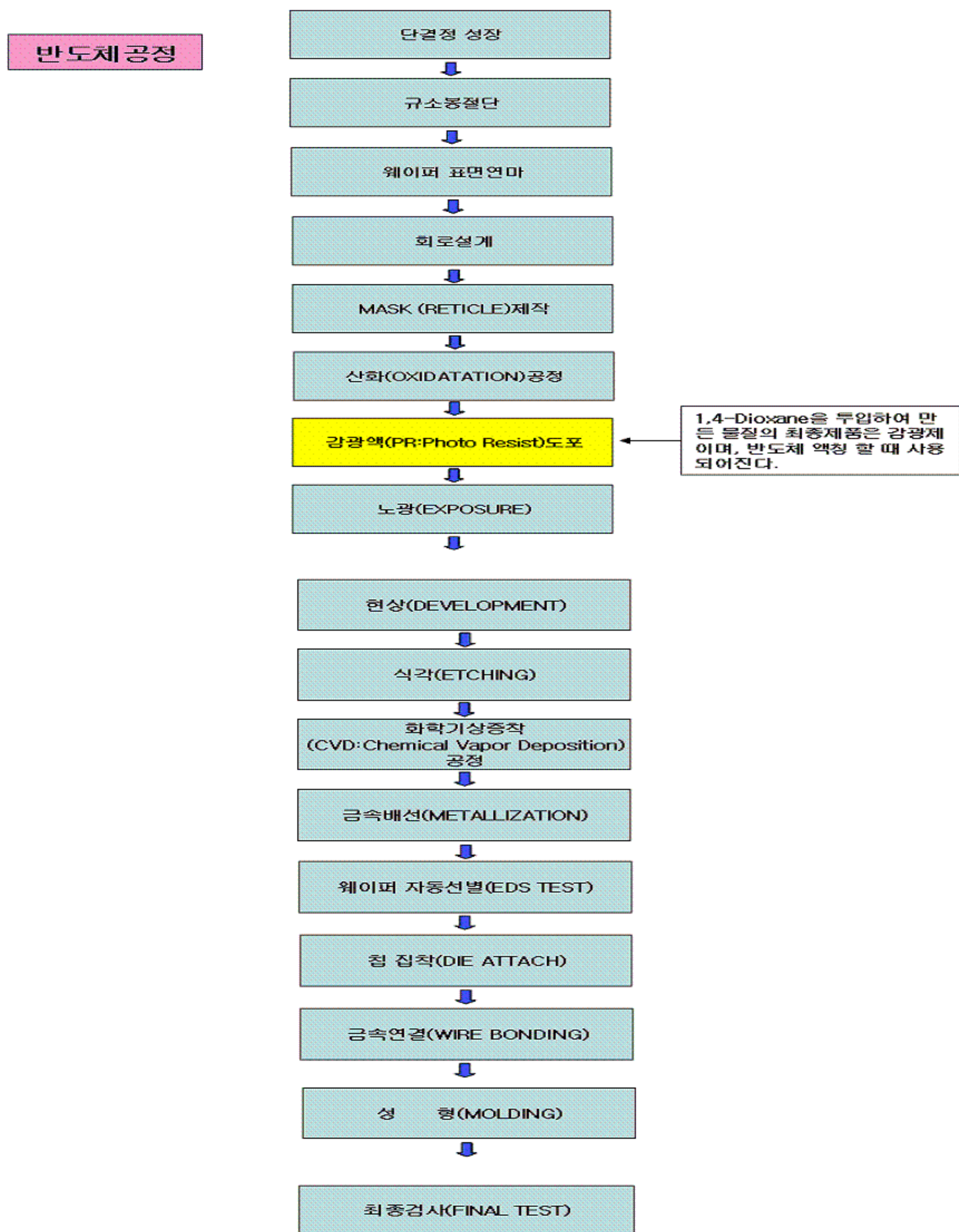
[그림 3-5] 컨트롤 룸에서 공정을 컨트롤 하고 있는 작업자



[그림 3-6] PAC공정의 완제품인 감광제를 포장하고 있는 작업자



[그림 3-7] PAC공정의 완제품인 감광제를 포장하고 있는 작업자



[그림 3-8] 반도체공정도

○ 반도체 공정

- 1단계 단결정 성장으로 고순도로 정제된 실리콘 용융액에 SEED 결정을 접촉, 회전시키면서 단결정규소봉(INGOT)을 성장시키는 작업이다.
- 2단계 규소봉절단은 성장된 규소봉을 균일한 두께의 얇은 웨이퍼로 잘라낸다. 웨이퍼의 크기는 규소봉의 구경에 따라 3",4",6",8"로 만들어지며 생산성향상을 위해 점점 대구경화 경향을 보이고 있다.
- 3단계 웨이퍼 표면연마는 웨이퍼의 한쪽면을 연마하여 거울면처럼 만들어주며, 이 연마된 면에 회로패턴을 그려넣게 된다.
- 4단계 회로설계는 CAD(Computer Aided Design)시스템을 사용하여 전자회로와 실제 웨이퍼 위에 그려질 회로패턴을 설계한다.
- 5단계 MASK(RETICLE)제작은 설계된 회로패턴을 E-beam설비로 유리판 위에 그려 MASK(RETICLE)를 만든다.
- 6단계 산화(OXIDATION)공정은 고온(800~1200℃)에서 산소나 수증기를 실리콘 웨이퍼표면과 화학 반응시켜 얇고 균일한 실리콘 산화막(SiO₂)을 현상시키는 공정이다.
- 7단계 감광액(PR:Photo Resist)도포는 빛에 민감한 물질인 PR를 웨이퍼 표면에 고르게 도포시킨다. 이 7단계에서 사용되는 감광제가 PAC공정을 통해 만들어진 감광제가 사용되고 있는 공정이다.
- 8단계 노광(EXPOSURE)은 STEPPEE를 사용하여 MASK에 그려진 회로패턴에 빛을 통과시켜 PR막이 형성된 웨이퍼 위에 회로패턴을 사진 찍는 공정이다.
- 9단계 현상(DEVELOPMENT)은 웨이퍼 표면에서 빛을 받은 부분의 막을 현상시키는 공정이다. (일반 사진현상과 동일)
- 10단계 식각(ETCHING)은 회로패턴을 형성시켜 주기 위해 화학물질이나 반응성 GAS를 사용하여 필요 없는 부분을 선택적으로 제거시키는 공정 이러한 패턴형성과정은 각 패턴 층에 대해 계속적으로 반복된다.
- 11단계 이온주입(ION IMPLANTATION)은 회로패턴과 연결된 부분에 불

순물을 미세한 GAS입자 형태로 가속하여 웨이퍼의 내부에 침투시킴으로써 전자 소자의 특성을 만들어 주며, 이러한 불순물주입은 고온의 전기로 속에서 불순물 입자를 웨이퍼 내부로 확산시켜 주입하는 DIFFUSION(확산)공정에 의해서도 이루어진다.

- 12단계 화학기상증착(CVD : Chemical Vapor Deposition)공정은 GAS간의 화학반응으로 형성된 입자들을 웨이퍼표면에 증착하여 절연막이나 전도성막을 형성시키는 공정이다.

- 13단계 금속배선(METALLIZATION)은 웨이퍼 표면에 형성된 각 회로를 알루미늄 선으로 연결시키는 공정이다.

- 14단계 웨이퍼 자동선별(EDS TEST)은 웨이퍼에 형성된 IC칩들의 전기적 동작여부를 컴퓨터로 검사하여 불량품을 자동선별하는 공정이다.

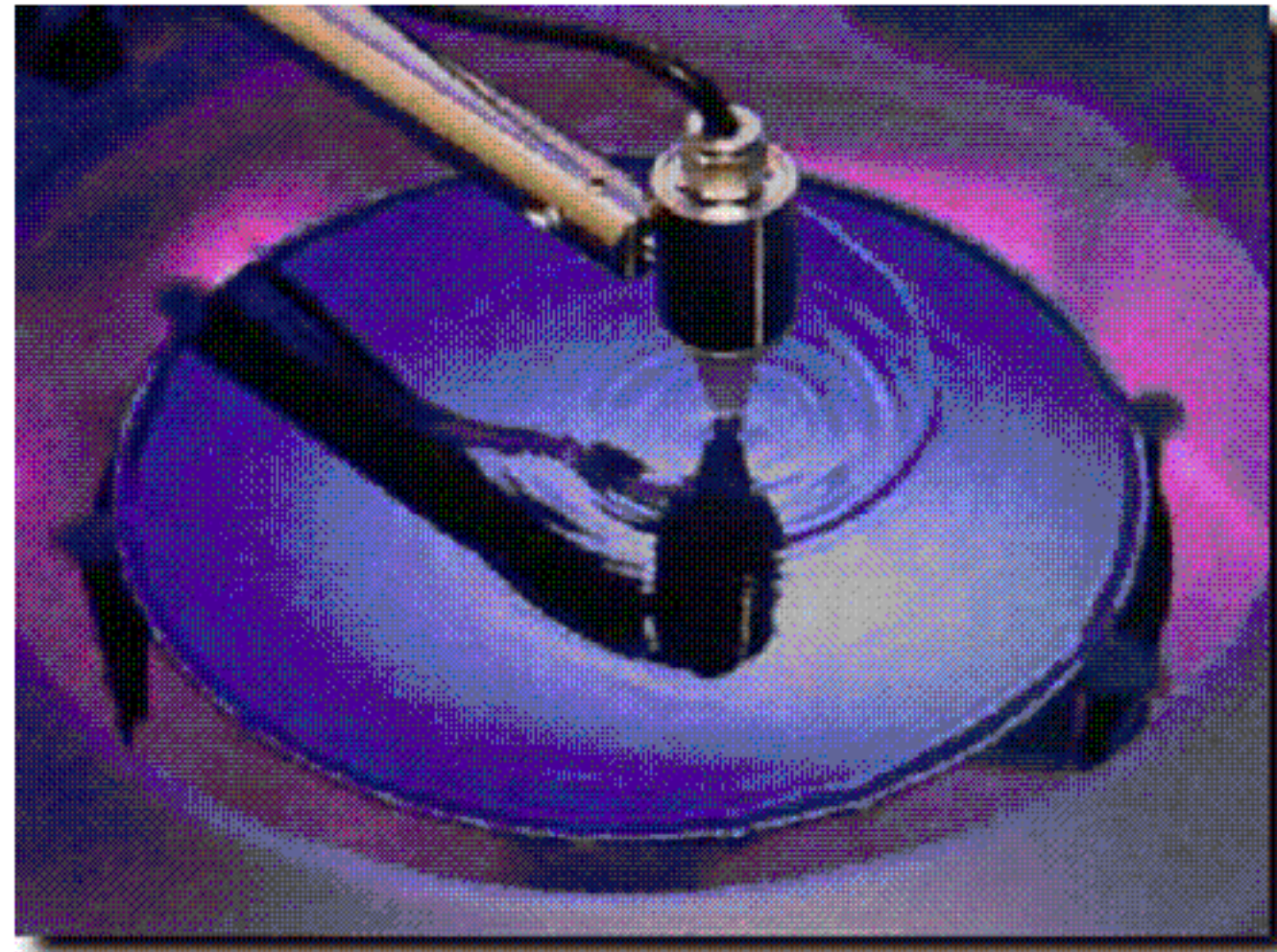
- 15단계 웨이퍼 절단(SAWING)은 웨이퍼상의 수많은 칩들을 분리하기 위해 다이아몬드 톱을 사용하여 웨이퍼를 전달하는 공정이다.

- 16단계 칩 집착(DIE ATTACH)은 날개로 분리되어 있는 칩 중 EDS TEST에서 실패로 판정된 칩을 리드프레임(READ FRAME)위에 올려놓은 공정이다.

- 17단계 금속연결(WIRE BONDING)은 칩 내부의 외부연결단자와 리드프레임을 가는 금선으로 연결하여 주는 공정이다.

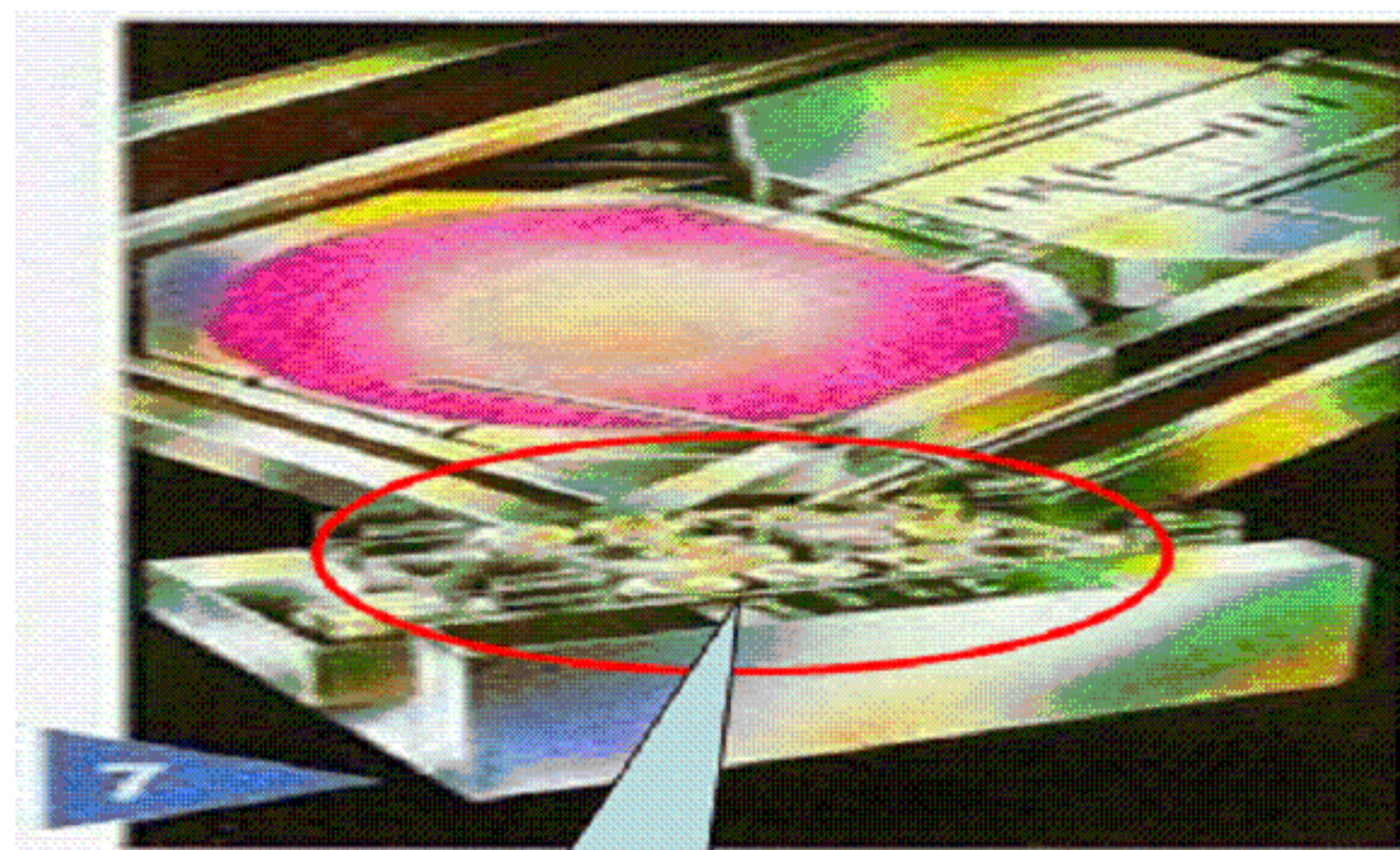
- 18단계 성형(MOLDING)은 연결 금선 부분을 보호하기 위해 화학수지로 밀봉해 주는 공정이다.

- 19단계 최종검사(FINAL TEST)는 성형된 칩의 전기적 특성 및 기능을 컴퓨터로 최종 검사하는 공정으로 최종 합격된 제품들은 제품명과 회사명을 MARKING한 후 입고 검사를 거쳐 최종소비자에게 판매된다.



Photoresist Application
(Ontrak)

[그림 3-9] 감광제로 반도체를 액칭하는 사진



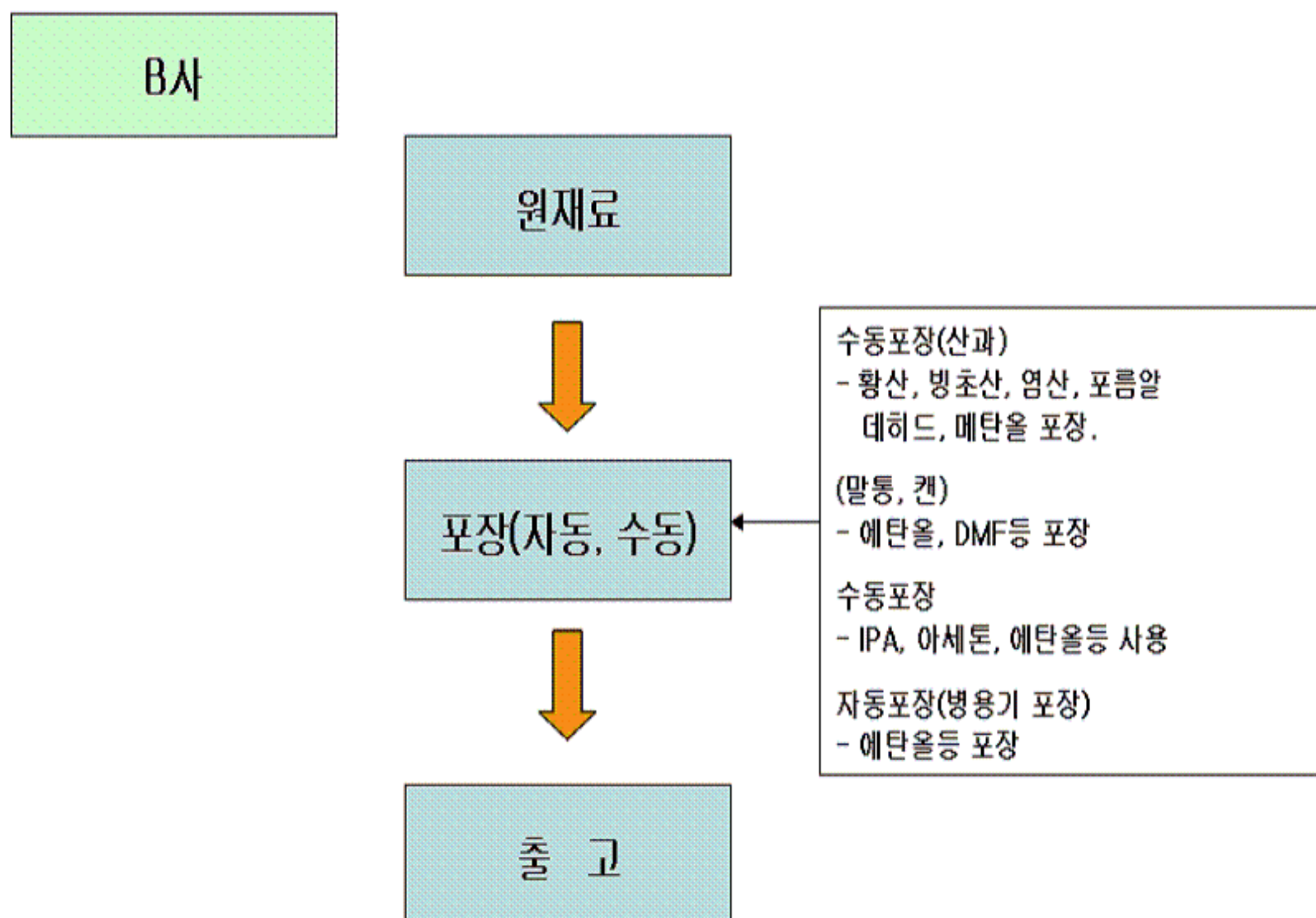
감광액(PR:Photo Resist)
도포하는 작업

[그림 3-10] 감광액(PR : Photo Resist) 도포하는 작업

나) B사

○ B사는 그 외 기타 분류 안된 화학제품 제조업으로 자체로 합성해서 생산하는 화학약품은 없으며, ton단위로 원료를 외국에서 수입하여 단순히 작은 병 또는 작은 말통 등에 나누어 담아서 판매하고 순도가 낮은 원료를 수입해서 증류탑에서 증류해서 고순도로 높이고 다시 병 또는 작은 말통 등에 나누어 담아서 판매한다.

B사의 공정도는 그림 3-11과 같다.



[그림 3-11] B사의 제조공정도



[그림 3-12] 원료를 주입하는 작업자

그림 3-12와 그림 3-13은 병 포장작업을 하기 전 단계로서 녹색의 드럼통에 소분할 원료를 저장시킨 뒤에 병 포장작업을 시작하는 사진이다.



[그림 3-13] 원료를 드럼에 투입하는 작업자



[그림 3-14] 자동포장(병 포장)하고 있는 작업자

○ 녹색 드럼에 투입된 원료를 자동으로 병 소분작업을 기계가 하고 작업자는 국소배기시설 앞에서 막개를 막는 작업하고 있다(그림 3-14)(그림 3-15)(그림 3-16). 그림17 ~ 그림 20은 말통 포장하는 장면이다.

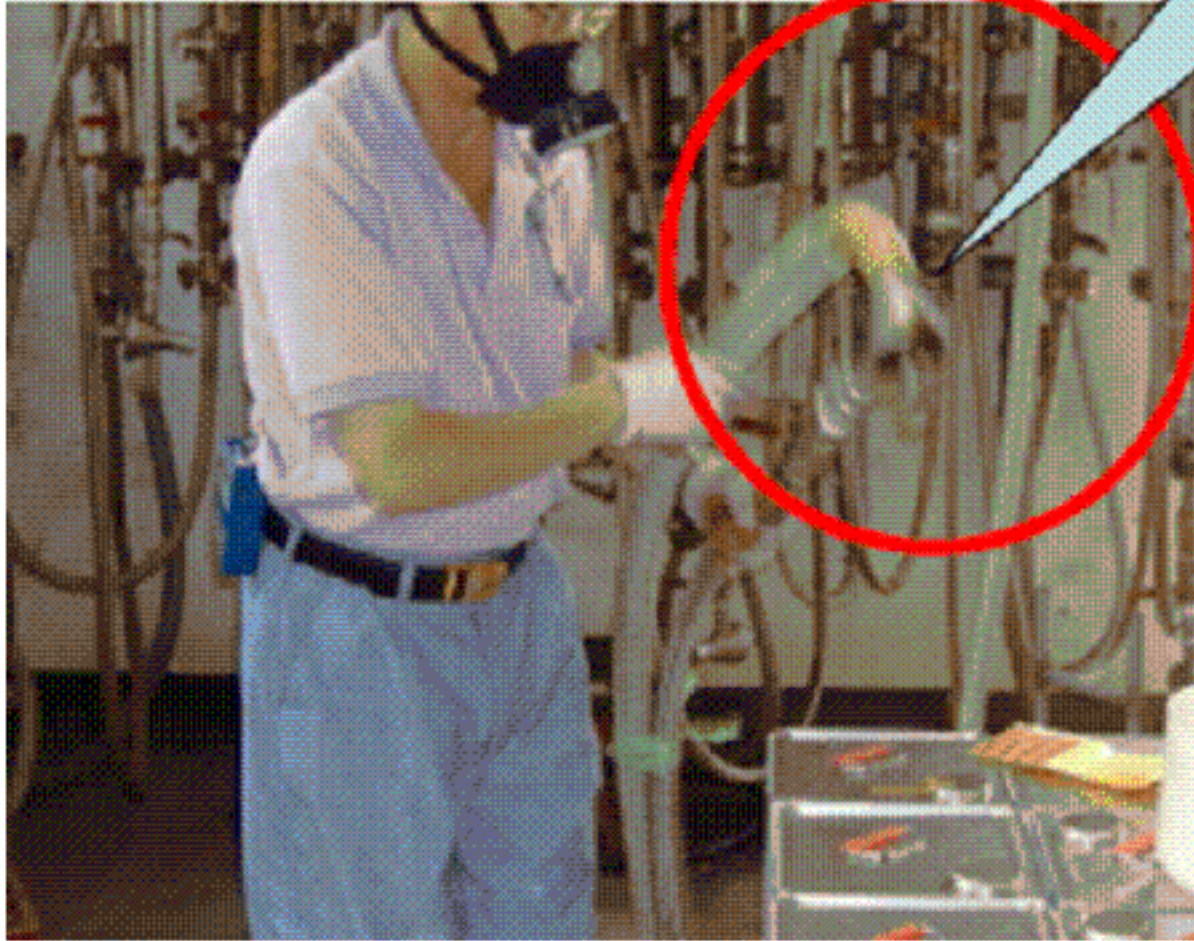


[그림 3-15] 병 소분작업하고 있는 작업자



[그림 3-16] 병 소분 작업을 하고 있는 작업자

국소배기시설과 원료
투입구가 동일하다



[그림 3-17] 말통 포장하는 장면



[그림 3-18] 말통 포장 작업하고 있는 작업자



국소배기시설과 원료
투입구가 동일하다

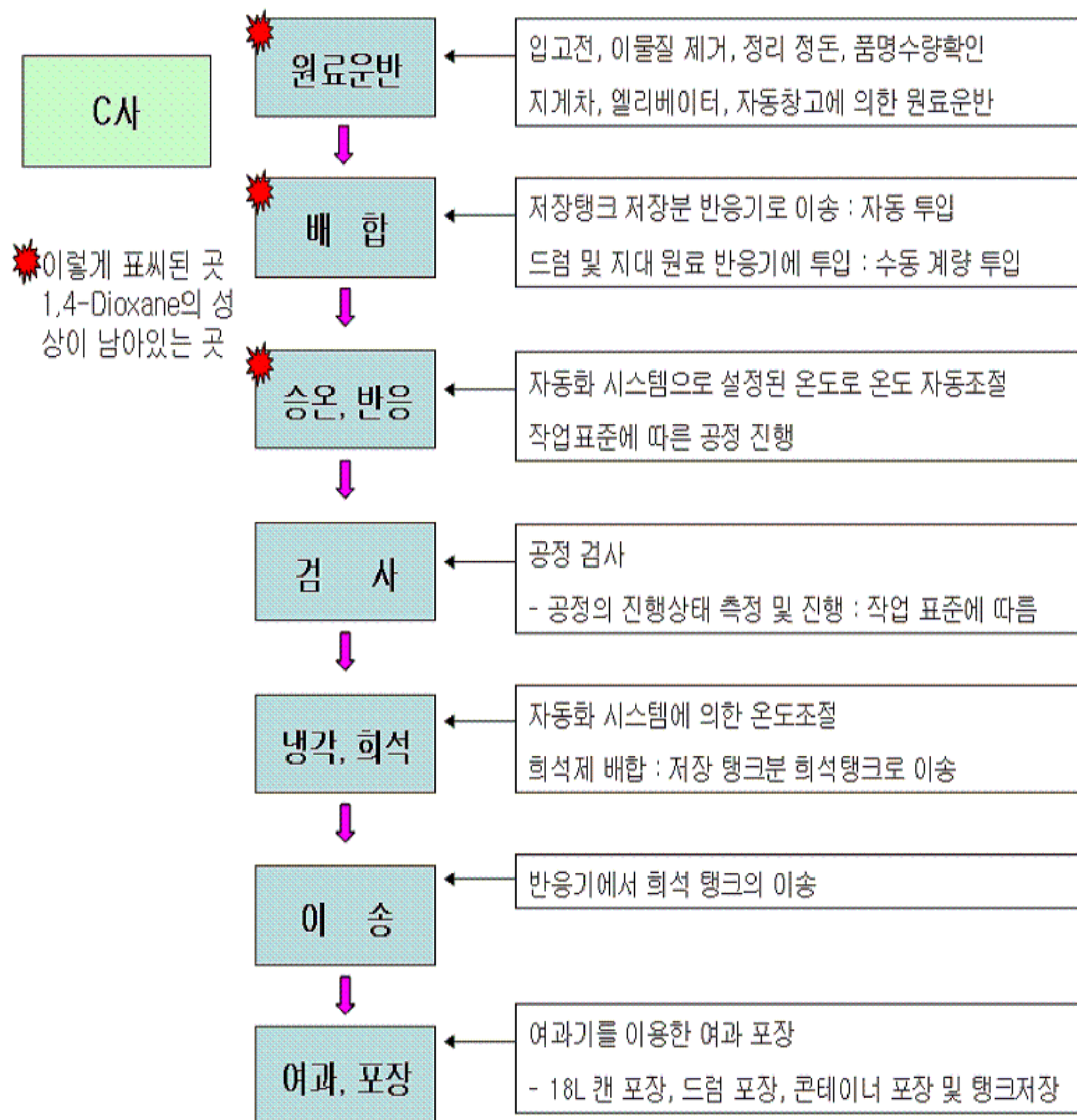
[그림 3-19] 말통 포장하고 있는 작업자



[그림 3-20] 말통 포장 작업하는 작업자

다) C사

C사는 각종 용도의 도료 및 유사 피막형성용 조제품, 칠기에 사용하는 옷칠 및 카슈, 도료 또는 도장관련 제품을 제조하거나 페인트 및 에나멜 제조용 비수매질 분산안료, 스탬핑포일 등을 제조한다.



[그림 3-21] C사의 공정도

그림 3-21에서 원료운반 단계 시에 입고 전 이물질 제거, 정리 정돈, 품명 수량 확인 및 지게차, 엘리베이터, 자동창고에 의한 방법 등으로 원료를 운반하게 된다. 배합단계 시에는 저장탱크에서 반응기로 원료를 이송하게 되며 이때 원료는 자동투입하게 된다. 드럼 및 지대 원료 반응기에 투입 시에는 수동 계량 투입하게 되는데, 이 때 유해물질에 노출될 가능성이 있으며 검사단계의 공정검사를 하게 되며, 이 때 공정 진행상태 측정 및 진행을 작업 표준에 따라서 실시한다. 냉각, 회석 단계에서는 자동화 시스템에 의한 온도조절이 회석제 배합은 저장 탱크로부터 회석탱크로 이송된다. C사에서 가장 1,4-디옥산에 노출될 위험 있는 공정은 원료운반 단계부터 배합, 승온, 반응이다.



[그림 3-22] 수동계량투입하기 위해 계량 작업을 하려는 작업자



[그림 3-23] 수동계량하는 작업자

○ 수동계량 작업 시에는 반응기의 해치를 Open한 상태에서 하게 된다.



[그림 3-24] 수동계량 작업하는 작업자

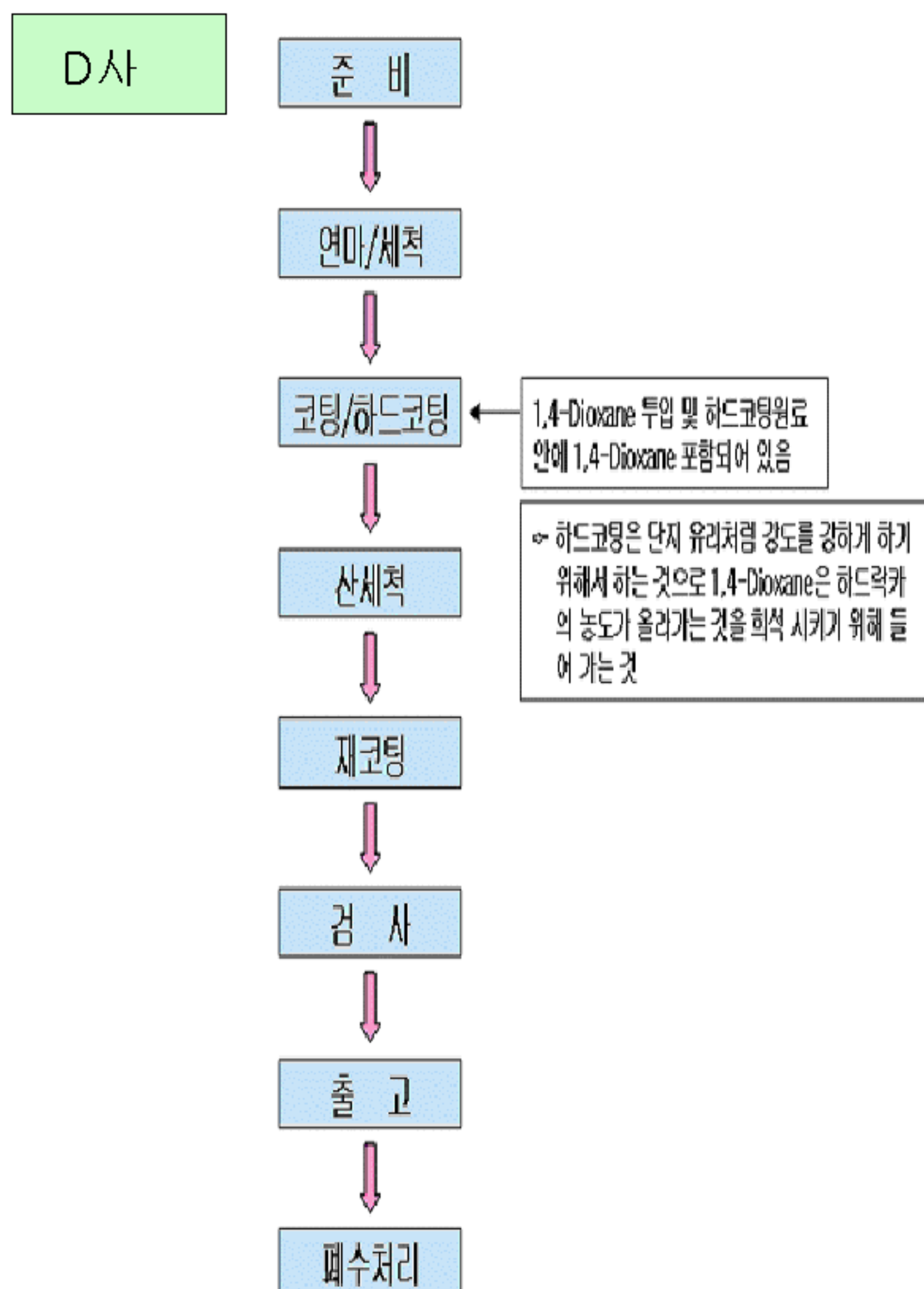


[그림 3-25] 반응기의 반응정도를 Check하는 작업자

라) D사

○ D사는 안경, 사진기 및 기타 광학기기 제조업(333)으로 안경테 및 조립된 안경, 피복되지 않은 광섬유 및 광섬유케이블, 기타재료의 광학요소, 사진기, 영화촬영기, 광학현미경 및 기타 광학 기기 등 광학용 기기를 제조하는 산업활동을 말한다.

D사의 공정도는 그림 3-26과 같다.



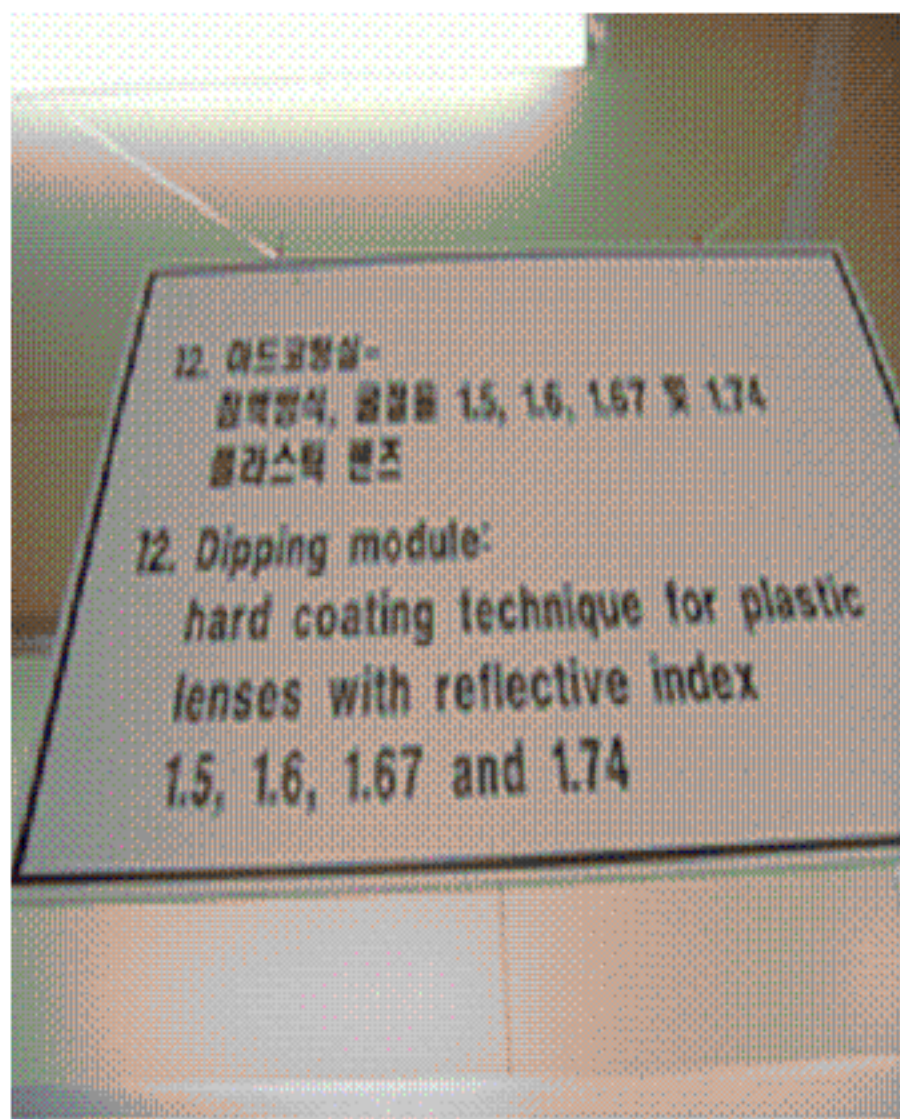
[그림 3-26] D사 제조 공정도

○ D사는 안경, 사진기 및 기타 광학기기 제조업으로서 1,4-디옥산의 노출될 만한 공정은 코팅/하드코팅 공정밖에 없다. 특히 하드코팅부분에서 1,4-디옥산에 노출된다(그림 3-27)(그림 3-28).

하드코팅 작업을 하는 이유는 플라스틱 렌즈의 경화도가 떨어지기 때문에 경도를 유리처럼 강하게 하기 위해서 하드코팅을 하게 되는 것이다. 하드코팅을 할 때 하드코팅을 하게 되는 수지 안에 1,4-디옥산이 30%정도 들어있다. 1,4-디옥산은 기계가 하드코팅 작업을 하는 과정에서 1,4-디옥산이 증발하게 되며, 이 때 하드코팅 룸 안에 작업하는 작업자에게 1,4-디옥산이 노출되게 된다. 하드코팅 룸은 외부에서 공기가 들어오지 않게 하는 시스템을 갖추고 있는데, 이유는 렌즈에 이 물질이 들어가지 않게 하기 위해서 이런 시스템을 갖추게 된 것이며, 하드코팅 룸 안에 공기 질 관리는 하드코팅 룸 자체에서 공기를 정화하는 시스템으로 하게 된다. 하지만, 여기서 분진은 정화된다고 하더라도 1,4-디옥산을 흡착하지는 못하는 시스템이다. 때문에 주문량이 많아짐에 따라 하드코팅 작업이 많이 이루어지며, 하드코팅 룸 안에 1,4-디옥산의 농도는 계속 올라가게 된다.

하드코팅 작업의 작업자는 총 3명이며, 이 중에 하드코팅 룸 안에서 작업하는 작업자는 2명이다. 하드코팅 룸 안에서 작업하는 시간은 한번 작업 시(待) 1시간정도이며, 하드코팅 룸 안에서 작업하는 작업자는 한번 작업할 때 1명씩 들어가서 1시간 정도를 작업을 하게 되며, 작업자의 작업 스타일은 작업자가 교대로 하드코팅 룸 안에서 작업을 하게 된다. 하드코팅 룸 밖에 작업자는 연마 작업에 들어가는 렌즈 및 하드코팅 작업이 끝난 렌즈를 세척기에 넣고 세척을 함으로서 하드코팅 공정은 마무리가 된다.

그림 3-27에서 그림 3-32는 하드코팅작업과정을 보여주고 있다.



[그림 3-27] 하드코팅 기계 안에 렌즈를 넣고 세팅



하드코팅하고 있는 모습

하드락카를 이용해서 plastic 경도를 강화 시키는 작업.
하드락카성분: (메탄올+디옥산)비율 7:3

[그림 3-28] 하드코팅 기계에서 하드코팅 작업



하드코팅하고 나온 렌즈들

[그림 3-29] 하드코팅 작업이 끝나고 하드코팅 기계에서 나오는 렌즈들



코팅이 되고 나온 렌즈검사

[그림 3-30] 하드코팅 되어 나온 렌즈를 검사하는 작업자



[그림 3-31] 하드코팅 룸 안에서 하드코팅 되고 나온 렌즈를 검사



코팅이 되고 나온 렌즈검사

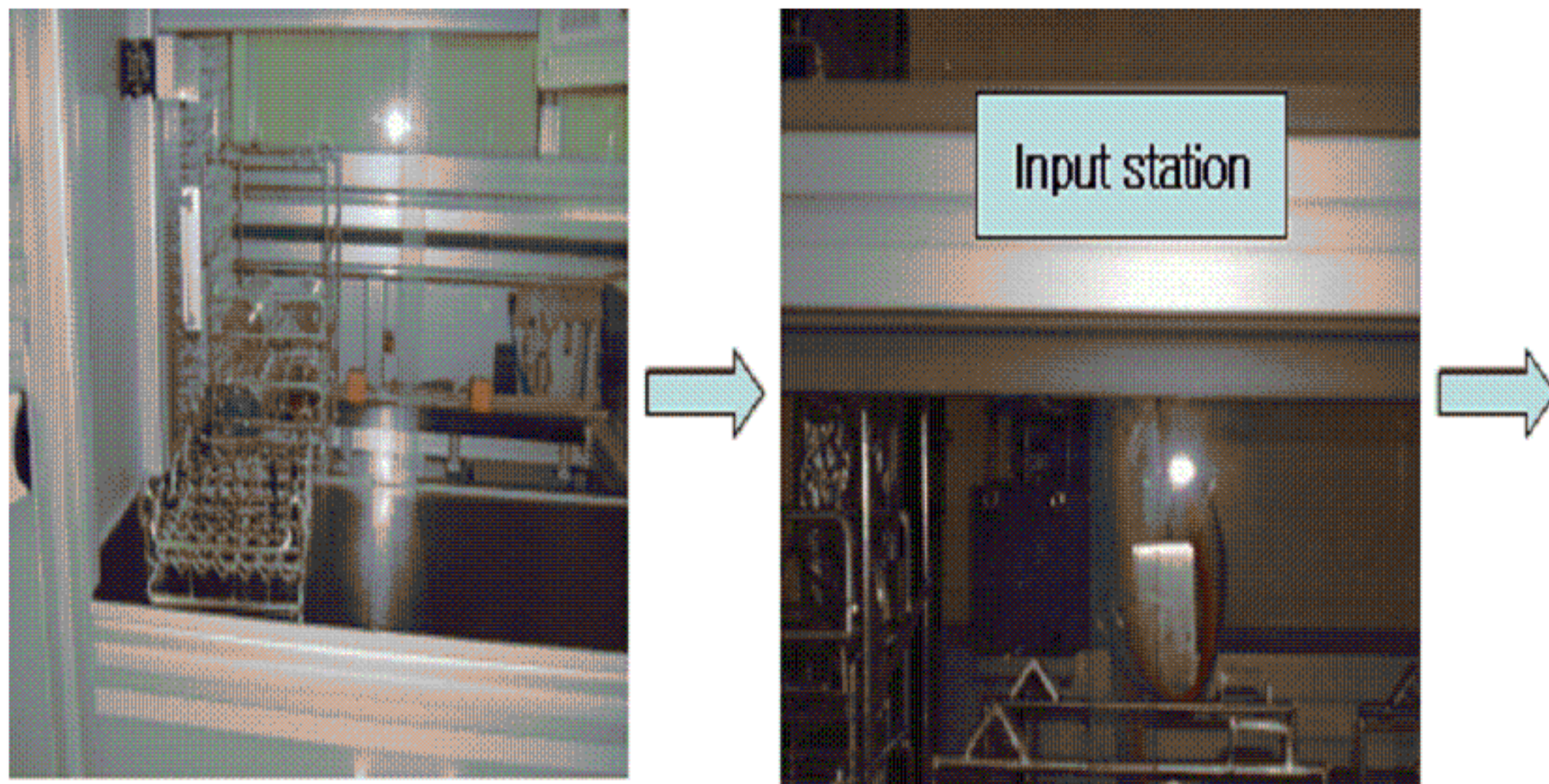
[그림 3-32] 하드코팅 되고 나온 렌즈를 검사



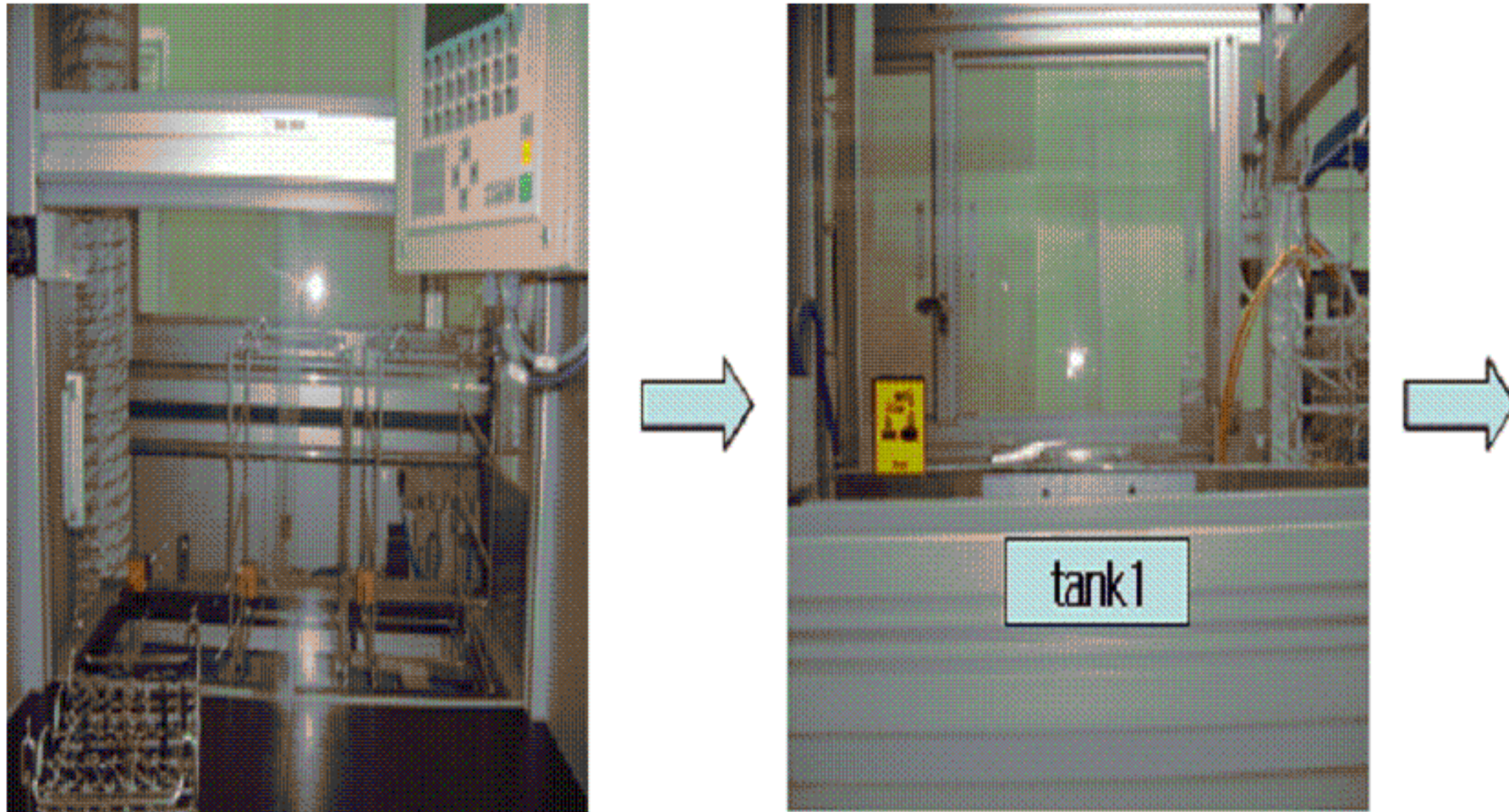
[그림 3-33] 안경렌즈 생산 공정순서도

그림 3-34 ~ 그림 3-43는 하드코팅이 완료된 렌즈와 연마작업이 끝난 렌즈를 세척기계에 넣어서 렌즈를 세척 과정의 사진이다.35-43

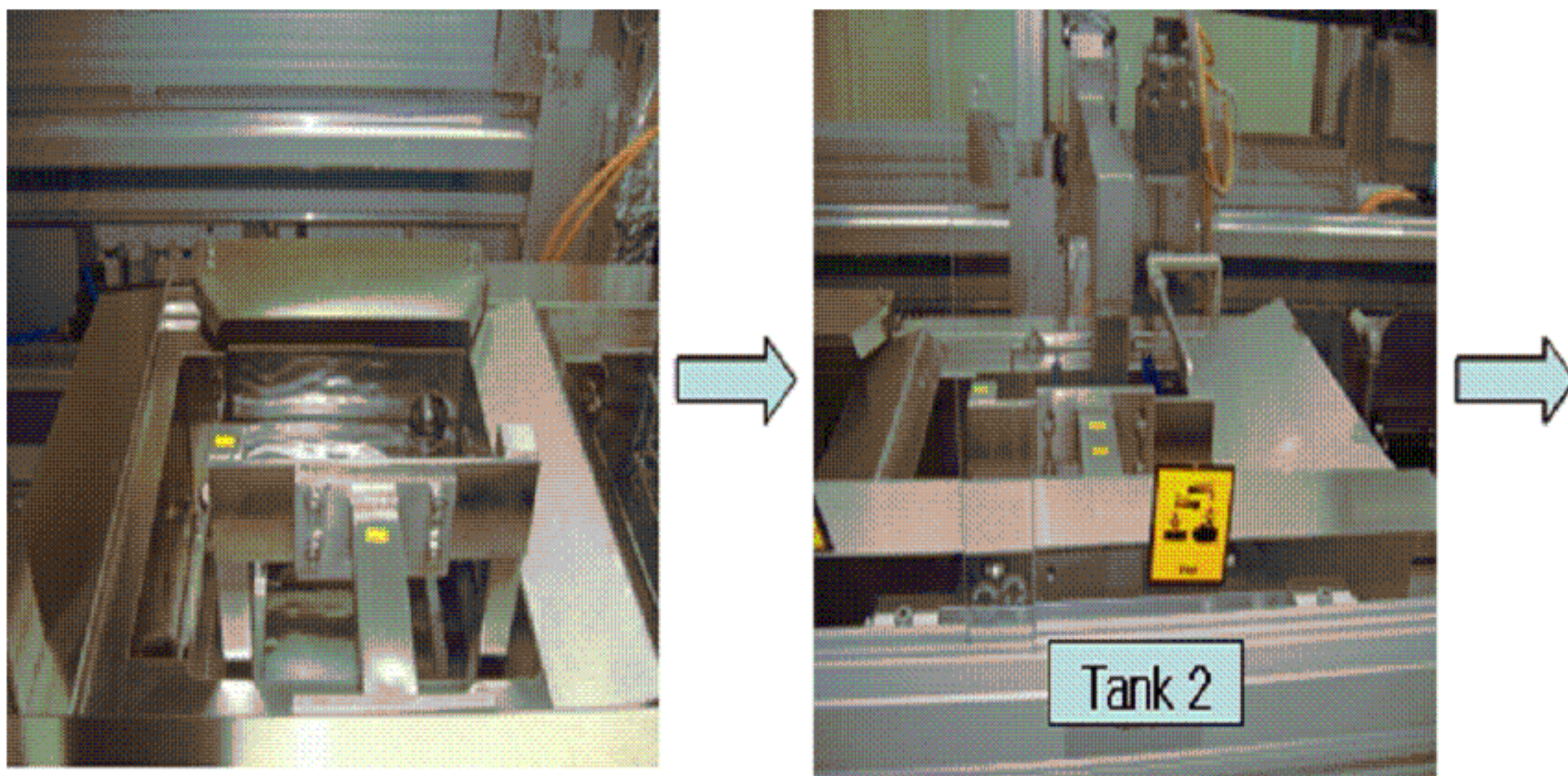
세척기계의 세척순서는 연마작업 또는 하드코팅된 렌즈를 넣는다(그림 3-34). 그림3-35에서 그림3-43은 세척단계 : input station tank 1, 2 tank 3 세제가 들어있는 세척수로 세정하는 과정을 보여주고 있다. 세척 (세제 수에 씻은 렌즈) : tank4, 5(정수된 알칼리 수 세척) Dryer Output station 이 과정에서 렌즈 둘레에 링이 끼었으면 코팅을 해야 되는 렌즈이고, 렌즈 둘레에 링이 끼었지 않으면 연마작업을 해야 되는 렌즈이다.



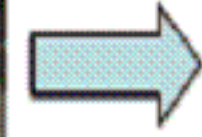
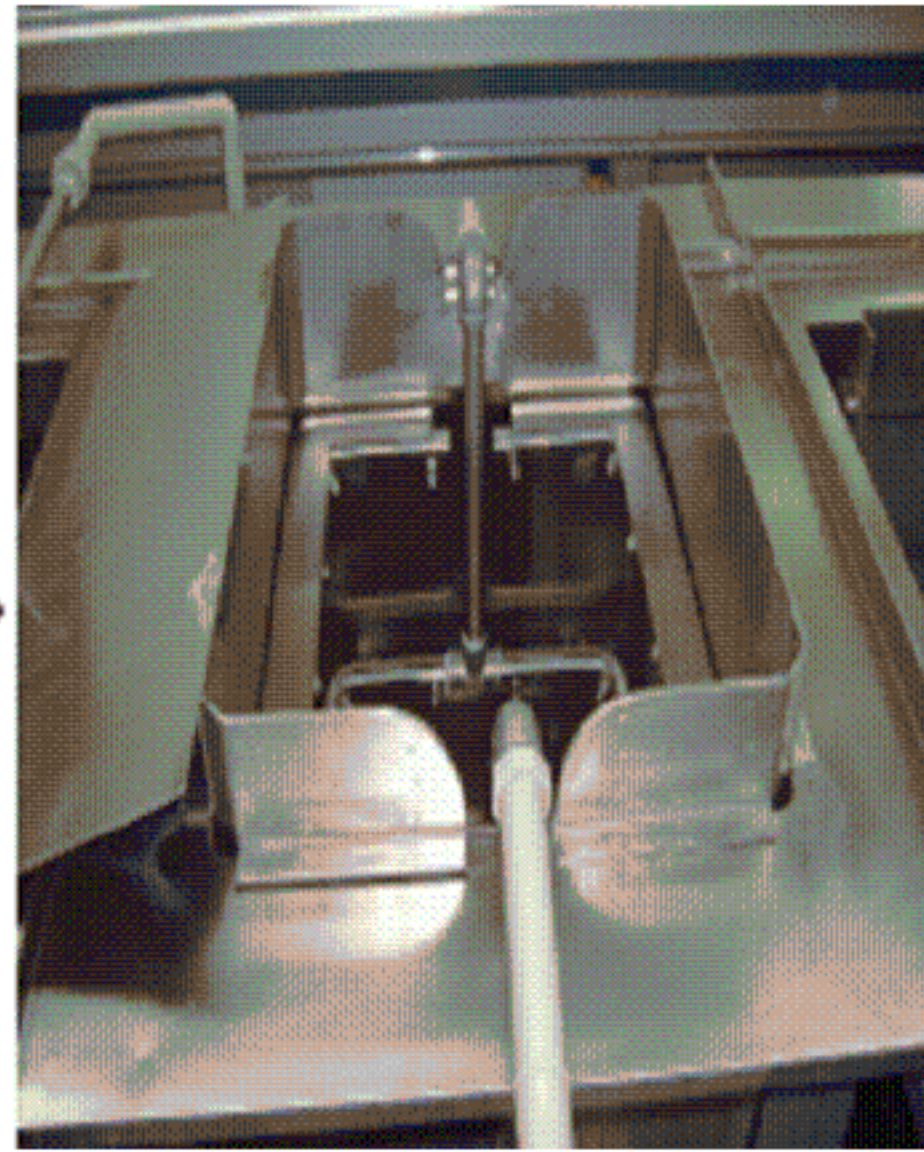
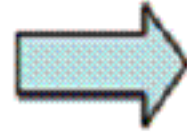
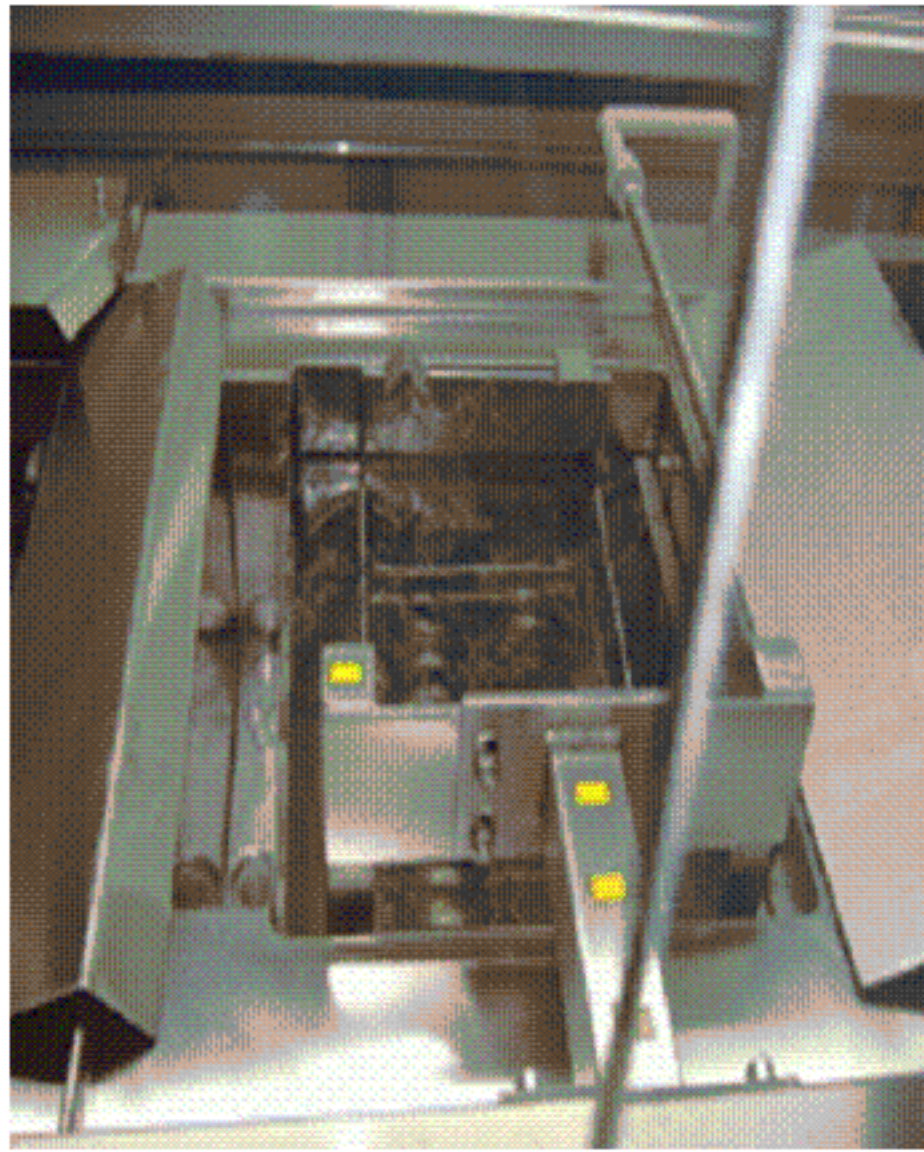
[그림 3-34] 세척기계에 렌즈를 Input station에 렌즈를 투입



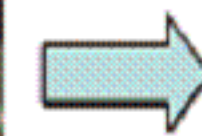
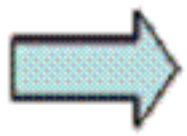
[그림 3-35] Input station에서 Tank1으로 이동되며 세척



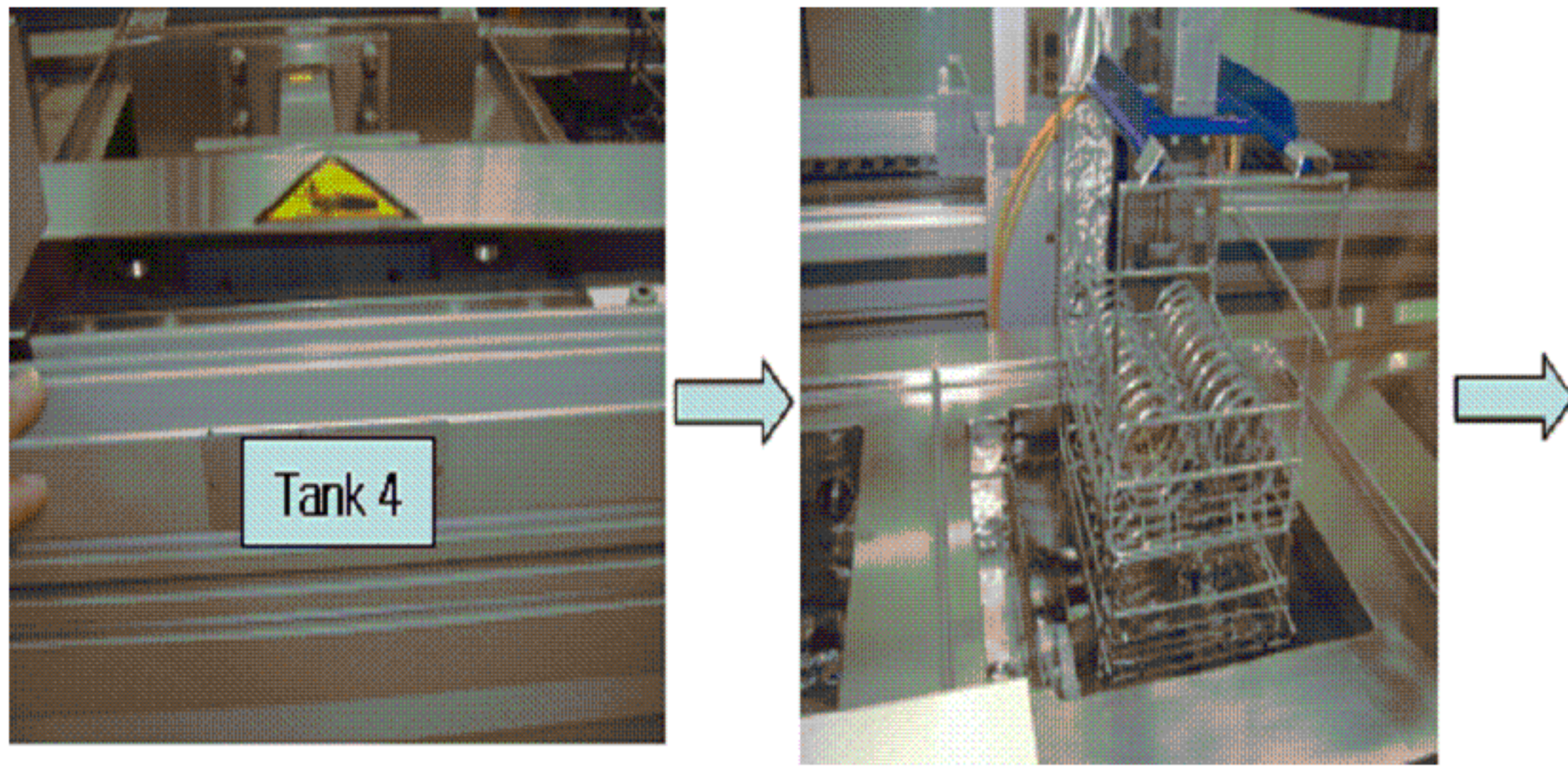
[그림 3-36] 세척작업은 Tank1에서 Tank2로 이동되며, 세척



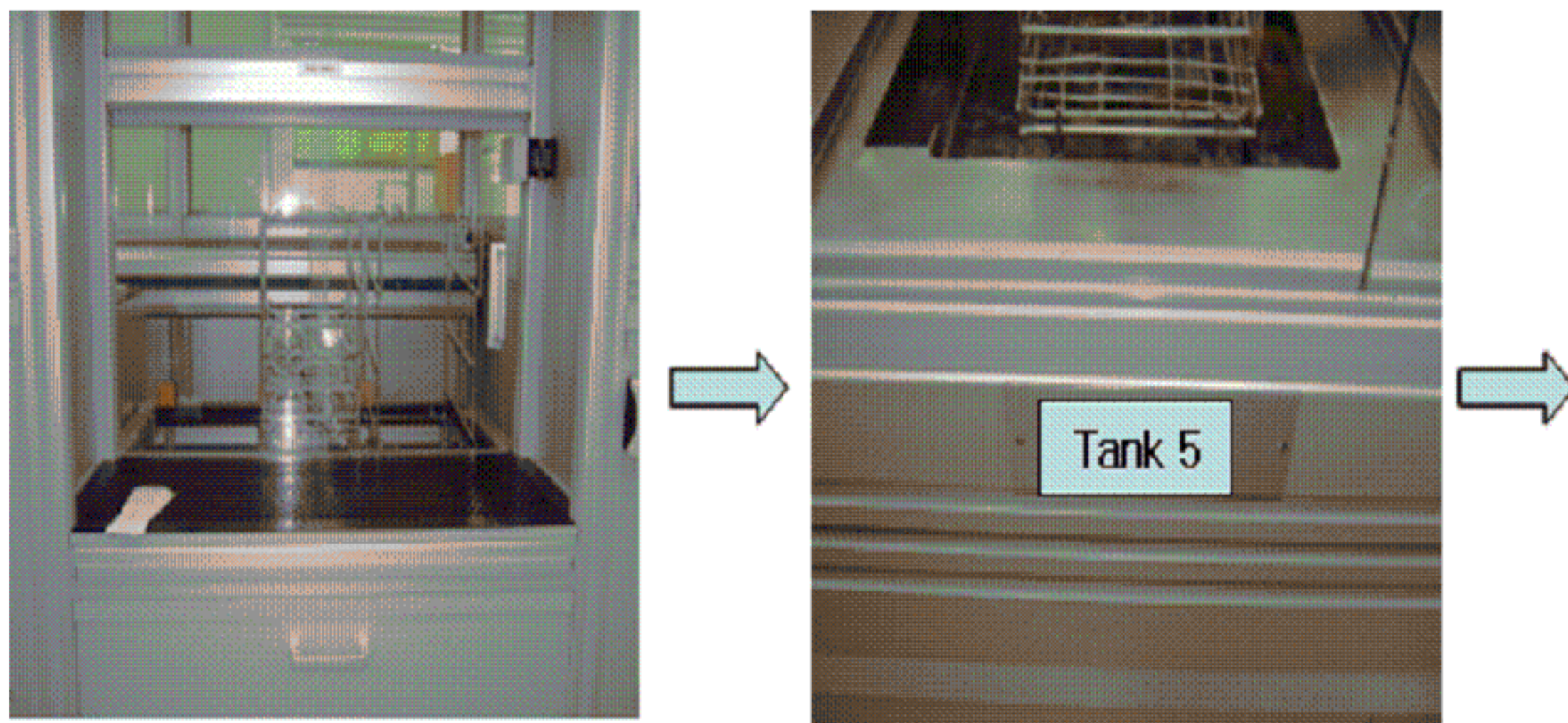
[그림 3-37] Tank2에서 세척하는 모습



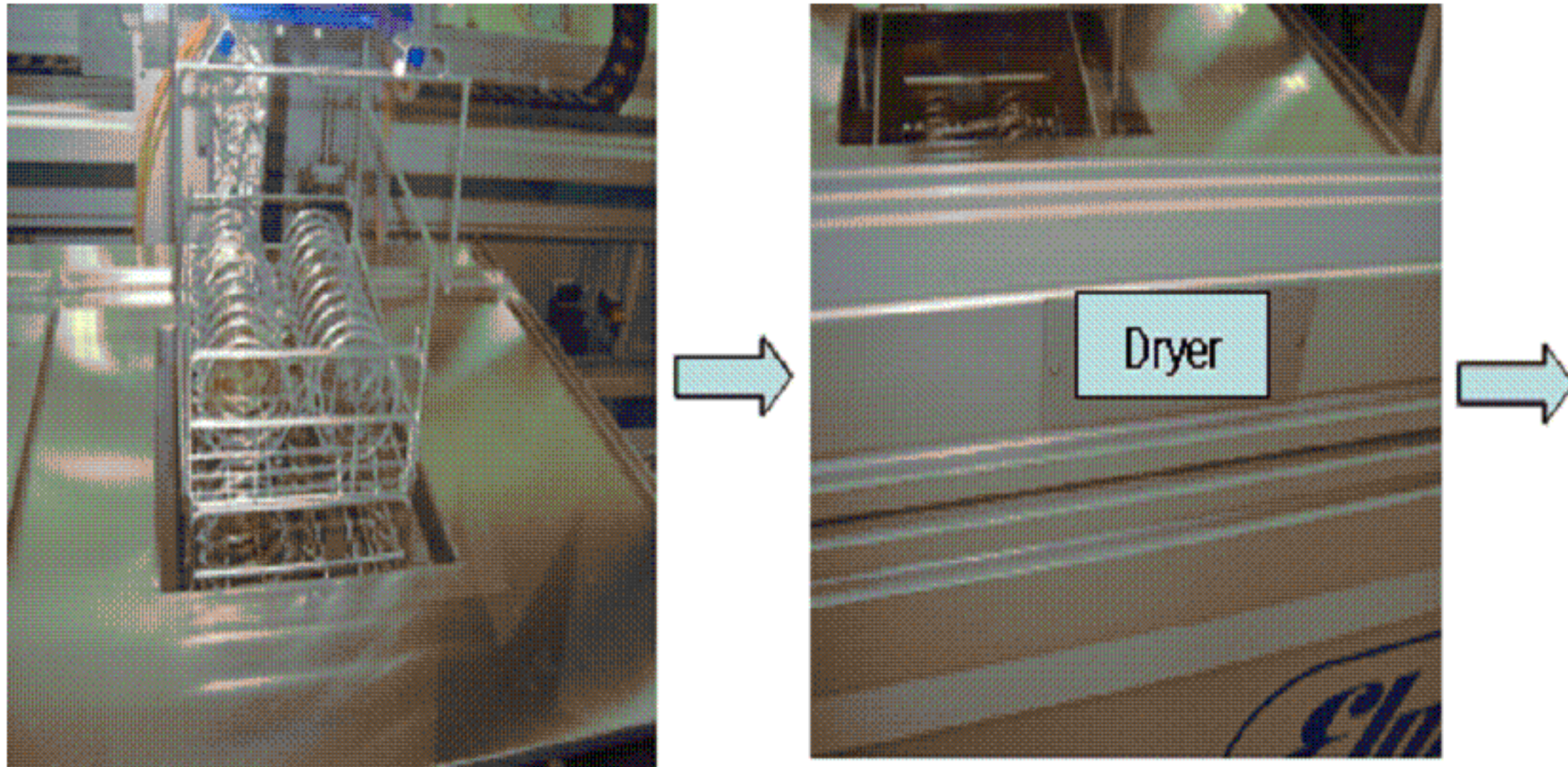
[그림 3-38] Tank2에서 Tank3으로 이동 세척 중인 렌즈



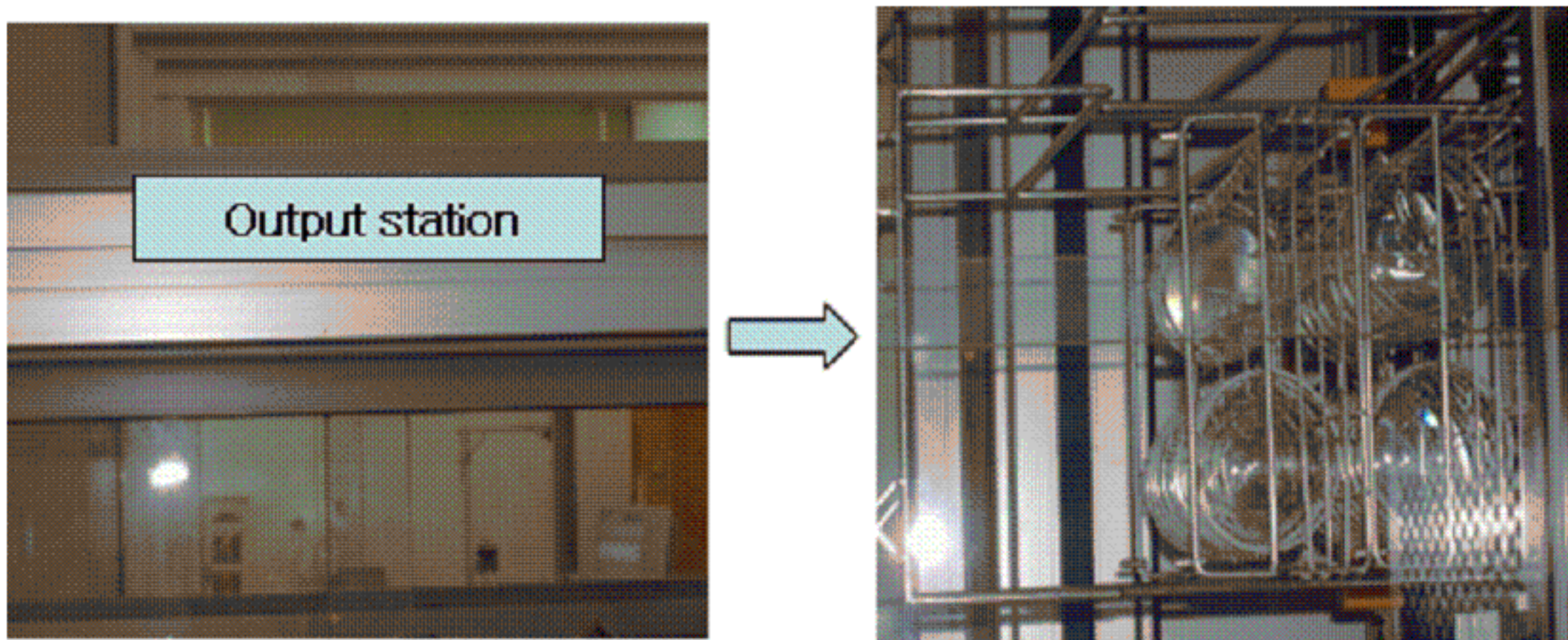
[그림 3-39] Tank3에서 Tank4로 세척 중인 렌즈



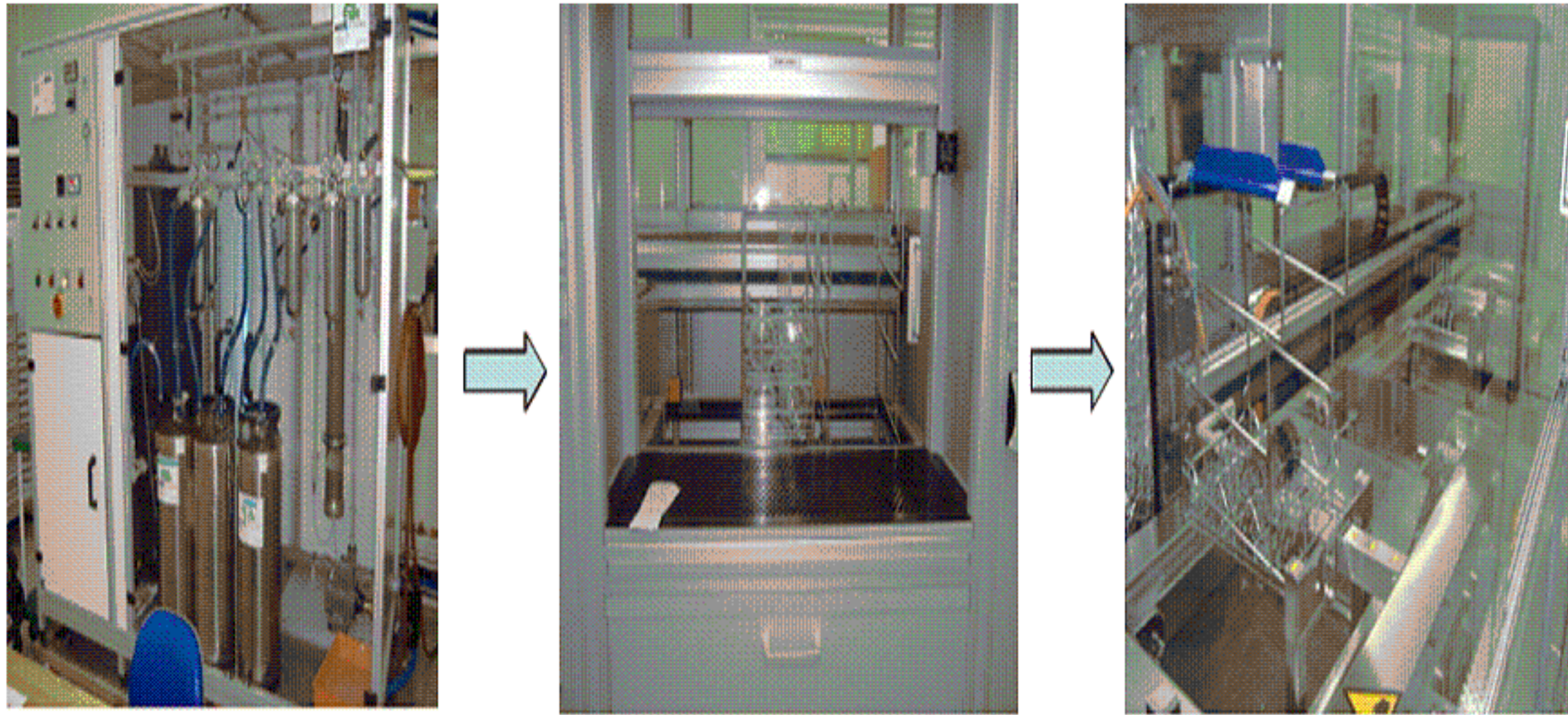
[그림 3-40] Tank4와 Tank5는 자체적으로 알칼리 정수시스템을 갖추고 알칼리 정수기로 정수된 알칼리 세정수로 렌즈세척



[그림 3-41] 알칼리 세정수로 세척된 렌즈는 Dryer에 들어가 건조



[그림 3-42] Dryer에서 건조된 렌즈는 Output station으로 자동 이동

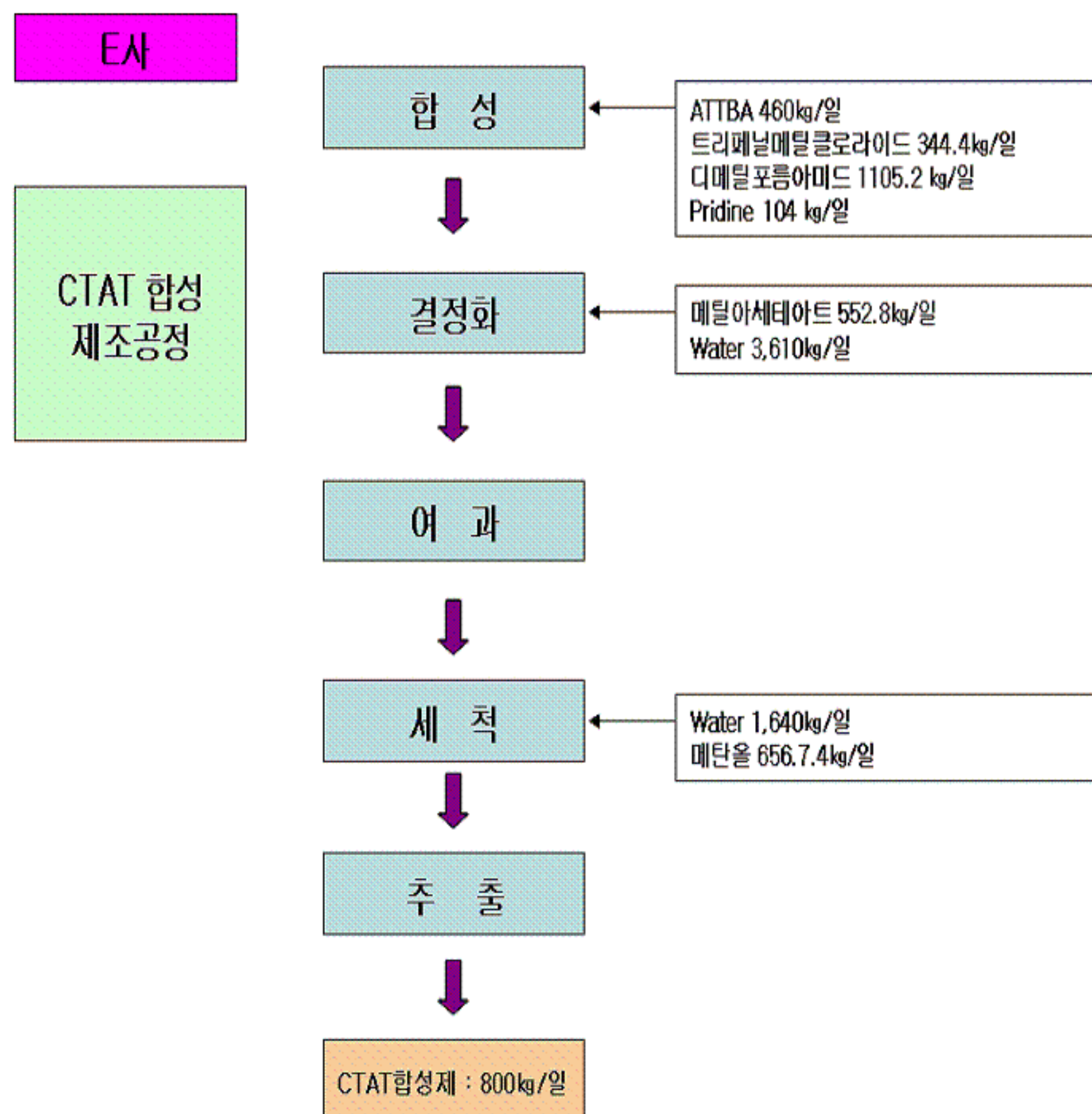


자제 알칼리수로 정수하는
시스템

[그림 3-43] 자제 알칼리수로 정수하는 시스템

마) E사

- E사는 의약품 화합물 및 향생물 제조업(24211)이며, 의약품 화합물 및 향생물 제조업이란 천연 동·식물성 물질 또는 광물성 물질 등에서 비타민과 그 혼합물, 호르몬과 그 유도체, 글리코시드 및 그 유도체, 식물알칼로이드 및 그들의 염, 에테르, 에스테르와 기타 유도체 등의 의약품 화합물을 추출 또는 합성하는 산업활동과 원료상태의 향생의약품 물질을 생산하는 산업활동을 말한다.
- E사의 공정도는 그림 3-44와 같다.



[그림 3-44] E사의 공정도

○ E사는 의약품 항생제 원료인 TATT를 생산하기 위하여 1,4-디옥산을 사용하며, TATT를 제조 하기 전 단계인 CTAT를 먼저 합성하여야 한다. 합성 단계에서는 ATTBA 460kg/일, 트리페닐메틸클로라이드 344.4kg/일, 디메틸포름아미드 1105.2 kg/일, Pridine 104 kg/일 등의 물질을 투입한다(표 3-4).

<표 3-4> CTAT제조공정 중 합성 단계 시에 투입되는 물질

ATTBA460kg/일
트리페닐메틸클로라이드344.4kg/일
디메틸포름아미드1105.2kg/일
Pridine104kg/일

CTAT 제조공정 중 결정화 단계에서는 메틸아세테이트 552.8kg/일, Water 3,610kg/일 등의 물질을 투입한다(표 3-5).

<표 3-5> CTAT제조공정 중 결정화 단계 시에 투입되는 물질

메틸아세테이트552.8kg/일
Water3,610kg/일

CTAT 제조공정 중 세척 단계에서는 Water 1,640kg/일, 메탄올 656.7.4kg/일 등의 물질을 투입한다(표 3-6).

<표 3-6> CTAT제조공정 중 결정화 단계 시에 투입되는 물질

Water1,640kg/일
메탄올656.7.4kg/일

○ CTAT 제조공정을 통해서 마지막으로 CTAT합성제 : 800kg/일을 생산하게 된다. CTAT는 의약품 항생물질 원료인 TATT을 합성하기 전에 필요한 물질로서 반드시 CTAT를 먼저 중간물질로 생산하게 된다.

○ CTAT 제조공정을 통해 얻은 CTAT를 TATT를 제조하기 위해 용해시켜야 되는데 그 때 1,4-디옥산을 용해제로 사용하여 CTAT를 용해를 시킨다. 작업자에게 위해물질이 노출되는 시기는 이 때이다.

TATT제조 공정에서 투입되는 물질은 CTAT 800kg/일, 1,4-디옥산 3,610kg/일 등이 들어간다(표 3-7).

<표 3-7> TATT제조공정 중 용해 단계 시에 투입되는 물질

CTAT 800kg/일
1,4-디옥산 3,610kg/일

TATT제조공정 중 결정화 단계에서는 Water 4,760kg/일 등이 투입된다(표 3-8).

<표 3-8>TATT제조공정 중 결정화 단계 시에 투입되는 물질

Water 4,760kg/일

TATT제조공정 중 여과 / 세척 단계에서는 Water 660kg/일, 메탄올 528.5kg/일 등이 투입된다(표 3-9).

<표 3-9> TATT제조공정 중 여과 / 세척 단계 시에 투입되는 물질

Water 660kg/일
메탄올 528.5kg/일

TATT제조공정 마지막엔 의약품 항생제 원료인 TATT합성제를 750kg/일을 얻게 된다.



[그림 3-45] CTAT제조 공정 반응기를 통해 반응정도를 Check하는 작업자



[그림 3-46] 반응기의 배관에 이상으로 인해 배관을 수리하고 있는 작업자



[그림 3-47] 배관 작업하는 작업자

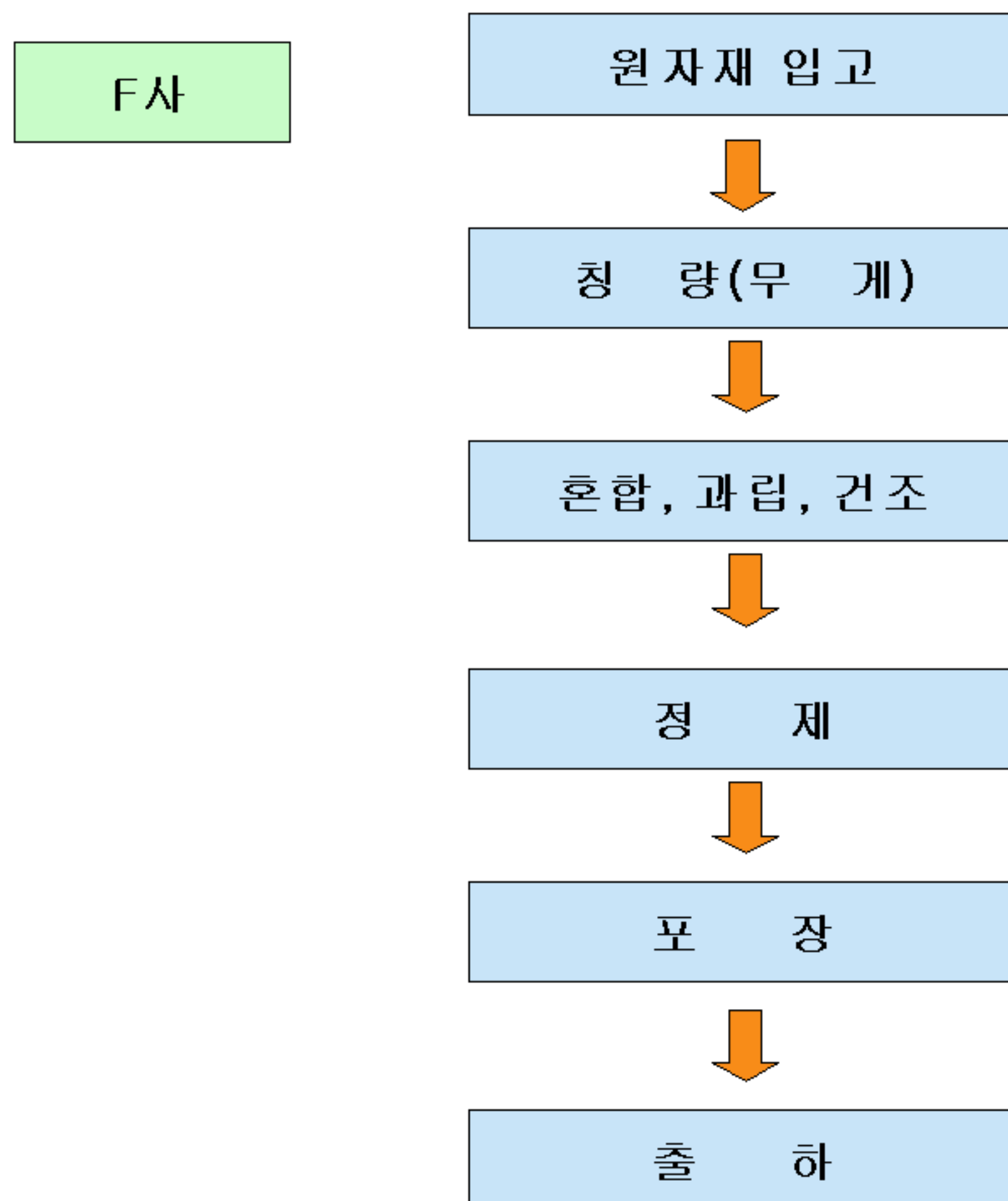


[그림 3-48] TATT제 조공정에서 반응기에서 반응을 Check하는 작업자

바) F사

○ F사는 의약품 화합물 및 향생물 제조업(24211)이며, 의약품 화합물 및 향생물 제조업이란 천연 동·식물성 물질 또는 광물성 물질 등에서 비타민과 그 혼합물, 호르몬과 그 유도체, 글리코시드 및 그 유도체, 식물알칼로이드 및 그들의 염, 에테르, 에스테르와 기타 유도체 등의 의약품 화합물을 추출 또는 합성하는 산업활동과 원료상태의 향생의약품 물질을 생산하는 산업활동을 말한다.

F사의 제조과정에서는 1,4-디옥산을 사용하지 않는 완제품을 실험실에서 실험할때 분석시약으로 1,4-디옥산을 사용한다(그림 3-49).



[그림 3-49] F사의 제조과정도

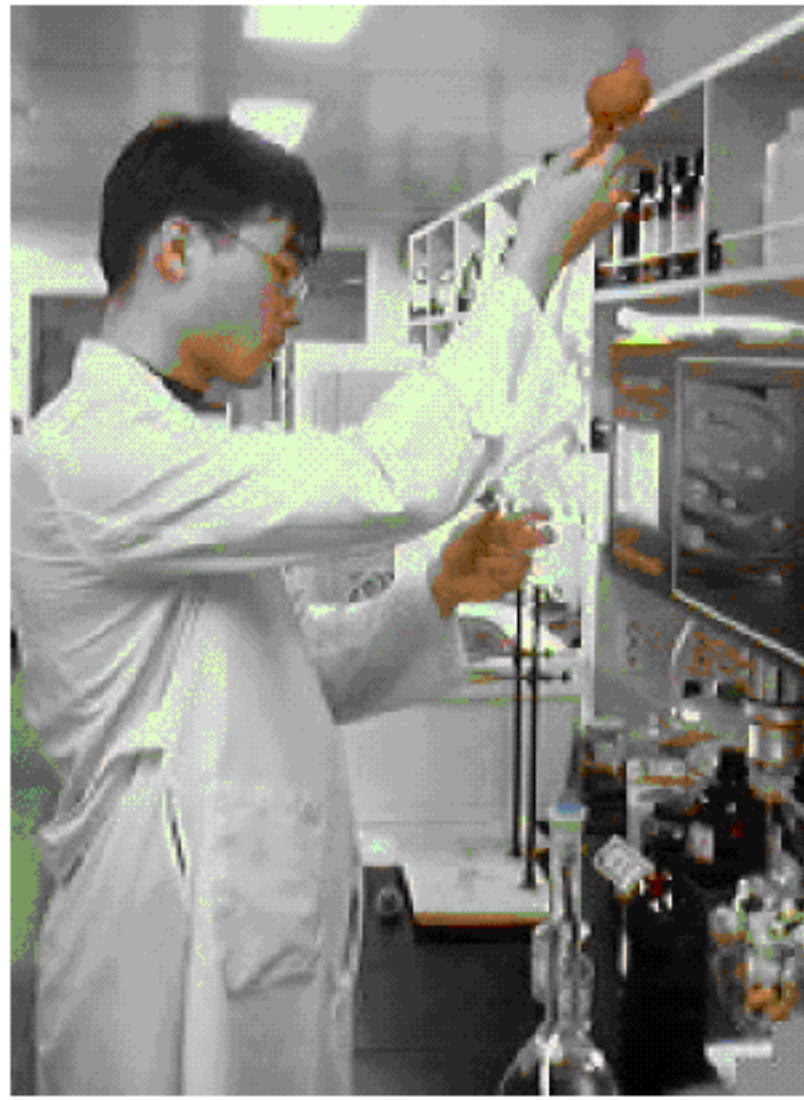
○ F사에서는 의약품 화합물 및 향생물 제조업(24211)이지만, 생산 공정 안에서 1,4-디옥산이 사용되지 않는다. F사에서 1,4-디옥산을 사용하는 곳은 F사의 실험실에서 사용하며, 부형제 원료 중 미 결정셀룰로오스 미국약전(USP) 규격으로 입고 될 경우 원료 중 불순물 함유 시험용으로 1,4-디옥산을 사용한다. 한번 사용 시(待)마다 약 5 ~ 20mL/년 (3 ~ 4회)을 사용한다.



[그림 3-50] 1,4-디옥산을 실험실 선반 찬창과 실험실 선반 아래 시약병을 보관하는 모습



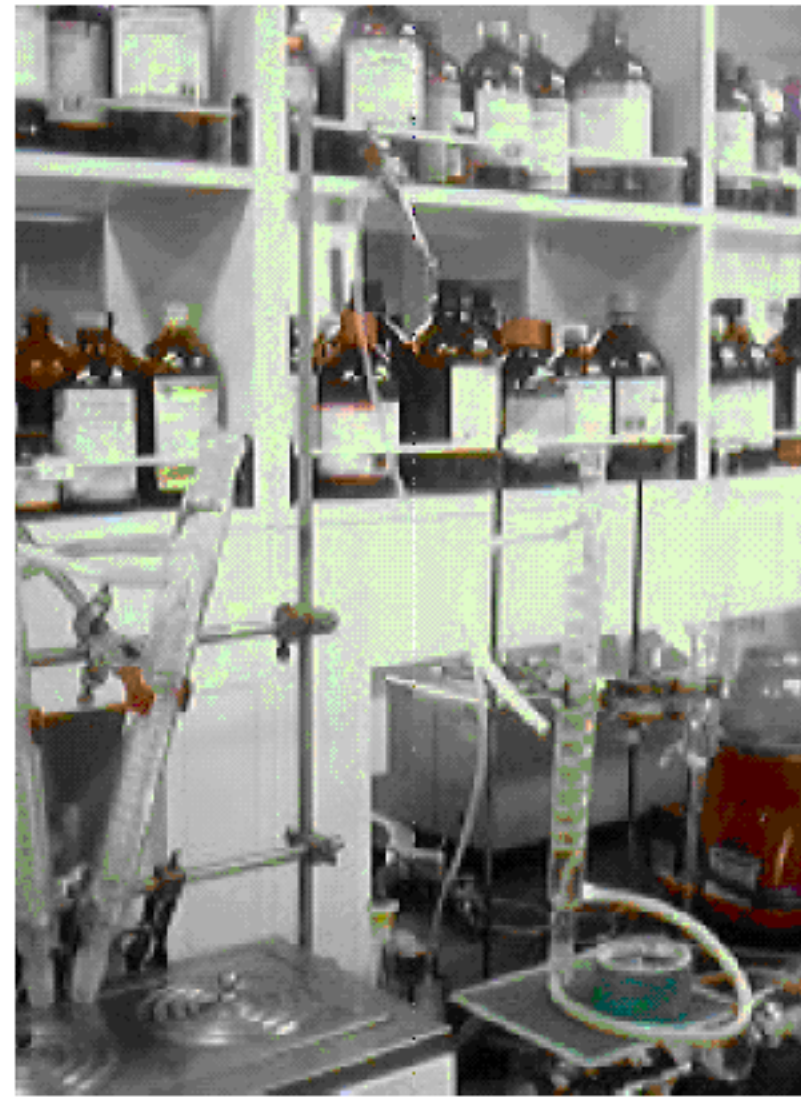
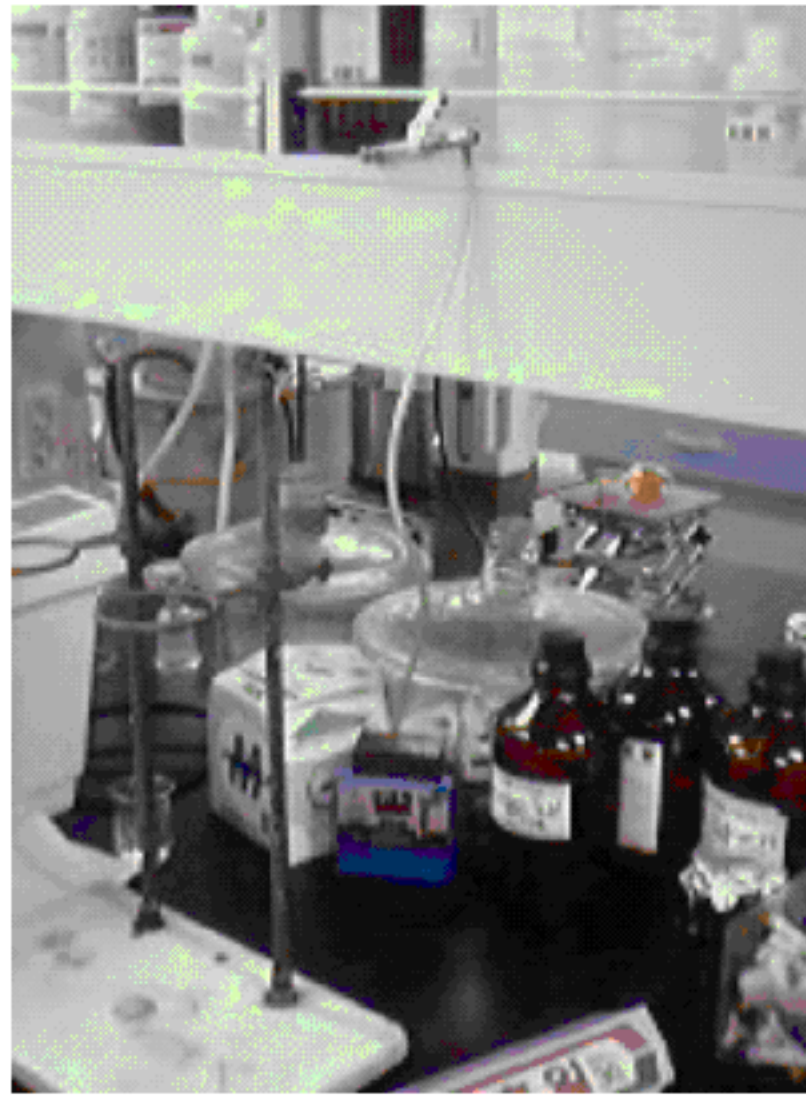
[그림 3-51] 실험실의 후드 안



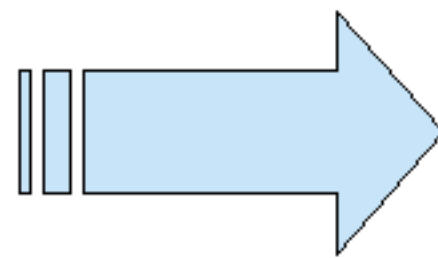
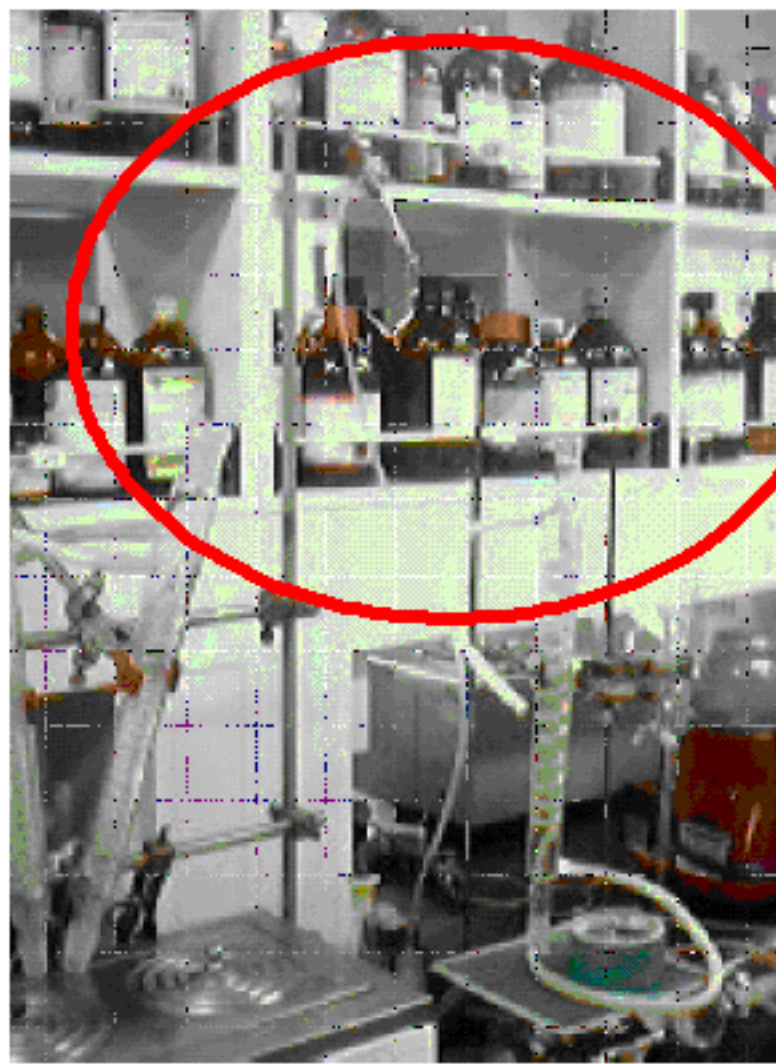
[그림 3-52] 실험실에서 실험하고 있는 실험자



[그림 3-53] 실험장비인 HPLC와 버너



[그림 3-54] 실험실 시약병들 사이에서 측정하는 모습



[그림 3-55] 실험실내에서의 1,4-디옥산 보관하고 있는 장소

나. 발생원 및 발생과정

(1) 일반적 발생원

오스트레일라에서 1,4-디옥산의 직업적인 노출은 실험실에서의 사용과 렌즈 제조업, 필름현상, 첨가제 화학물질 생산되는 과정에 발생 될 수 있다고 하고 EU에서는 직업적 노출이 실험실에서의 사용, 마그네틱 타입의 생산, 기계의 생산, 다른 물질의 생산의 용매로의 사용, 페인트, 래커, 니스의 세척작업 시 발생할 수 있다고 보고하였다. 일반대중에서의 노출은 직업적 노출 보다는 더 낮지만 불순물로서 인하여 노출이 될 수 있다.(OECD, 1999)

국내 1,4-디옥산 실태조사를 통해 근로자의 노출은 실험실에서의 사용, 화학약품, 합성수지, 계면활성제, 렌즈, 도료의 생산공정에서 발생 할 수 있다고 조사되었다. 발생과정으로는 연구대상 사업장의 생산제품별 주요 발생원, 발생과정, 사용용도 및 사용목적 등에 대해 정리하여 다음과 같이 제시 하였다.

다. 노출경로

주로 공기 중 증기의 형태로 호흡기를 통해 노출되며 피부를 통하여 흡수될 가능성이 있어 노출기준에 “피부”경고표시(skin)가 권고되어 있다.

3. 동물에 있어서의 영향

가. 급성독성

기니안 피그를 30,000ppm 농도에 노출시키면 87분 후에 마취되고 2일 이내에 사망한다. 1,4-디옥산의 급성 독성은 고양이, 토끼, 기니안 피그, 쥐, 생쥐에서 각각 LD₅₀이 2060, 2060, 4000, 5400, 5900 mg/kg 이라고 보고되어있다. DeNavasquesz는 정맥 주입시 치사 용량이 토끼에서는 1.5g/kg이라고 밝혔으며 동물들의 사망 원인은 급성신부전과 급성간부전 때문이라고 보고했다.

전신중독에 대한 NOAEL은 표 3-10과 같다.

<표 3-10> 급성노출에 따른 전신 중독

종	노출 빈도/ 기간	건강 영향	NOAEL (ppm)	LOAEL(Effect)		참고 문헌
				Less serious (ppm)	Serious (ppm)	
급성 노출						
전신중독						
사람	3분	Ocular	2000			Fairley et al. 1934
사람	15분	Ocular	200B	300B (눈 자극)		Silverman et al. 1946
사람	10분	Ocular		1600 (약간의 눈자극)		Yant et al. 1930
사람	6시간	Ocular		50M (눈 자극)		Young et al. 1977
급성 노출						
사망						
Rabbit	once		3800		7600ml/kg (LD50)	RTECS 2004
전신중독						
Rat	once	피부	8300M			Clark et

			mg/kg		al. 1984
간헐적 노출					
전신중독					
Gn pig	49~101d 5d/wk 2x/d	hepatic			143 mg/kg (cloudy swelling and patchy cell degeneration)
		renal			143 mg/kg (degeneration and necrosis of cortical tubules)
		피부	143 mg/kg		
Rabbit	49~101d 5d/wk 2x/d	hepatic			57 mg/kg (patchy cell degeneration)
		renal			57 mg/kg (tubular cell degeneration)
		피부	57 mg/kg		

4시간 LC₅₀은 쥐에서 14,250 ppm 이다. Yant와 동료들은 기니안 피그에서 1,4-디옥산을 흡입시켰을 때 2000ppm 까지는 수시간 동안 노출시켜도 심각한 증상을 보이지 않는 내성을 가지고 있다고 보고했다. 고농도에서는 눈, 코, 폐 자극 증상을 일으켰다(ACGIH, 2005).

Roy(2005) 등은 1,4-디옥산을 위장관 삼입법으로 CD-1계통의 생후 21일 된 어린 생쥐에게 0, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 and 3500 mg/kg bw로 투여하고 골수 PCEs에서 소핵 빈도를 0.05, 0.17, 0.15, 0.13, 0.1, 0.25, 0.18, 0.15, 0.2 그리고 0.28%로 각각 투여용량에 따라 관찰하였다. 세포 증식에 1,4-디옥산이 어떠한 영향을 미치는지 평가하기 위하여 골수에 미치는 독성을 간접적으로 평가가 가능한 PCE:NCE 비율을 조사한 결과 표 3-11과 같다.

1,500 mg/g과 2,500 mg/kg을 투여한 결과 PCE:NCE 비율이 16%가 감소하였고 3,500 mg/kg을 투여한 경우는 37%가 감소하였다.

<표 3-11> 1,4-디옥산의 투여 용량별 적혈구 생성과 간세포 증식의 억제

투여용량 (mg/kg)	동물 수	PCE/NCE ^a mean ± S.D.	간 세포 증식지수 ^b mean ± S.D (%)
0	5	1.3 ± 0.1	10.6 ± 2.5
1500	5	1.0 ± 0.3 ^d	9.5 ± 2.1
2500	5	1.0 ± 0.1 ^d	8.7 ± 1.6
3500	5	0.8 ± 0.1 ^d	5.7 ± 1.3 ^d
VB (0.85) ^c	5	0.7 ± 0.1 ^d	7.7 ± 1.4

Vinblastine sulfate (VB) was administered as a positive control.

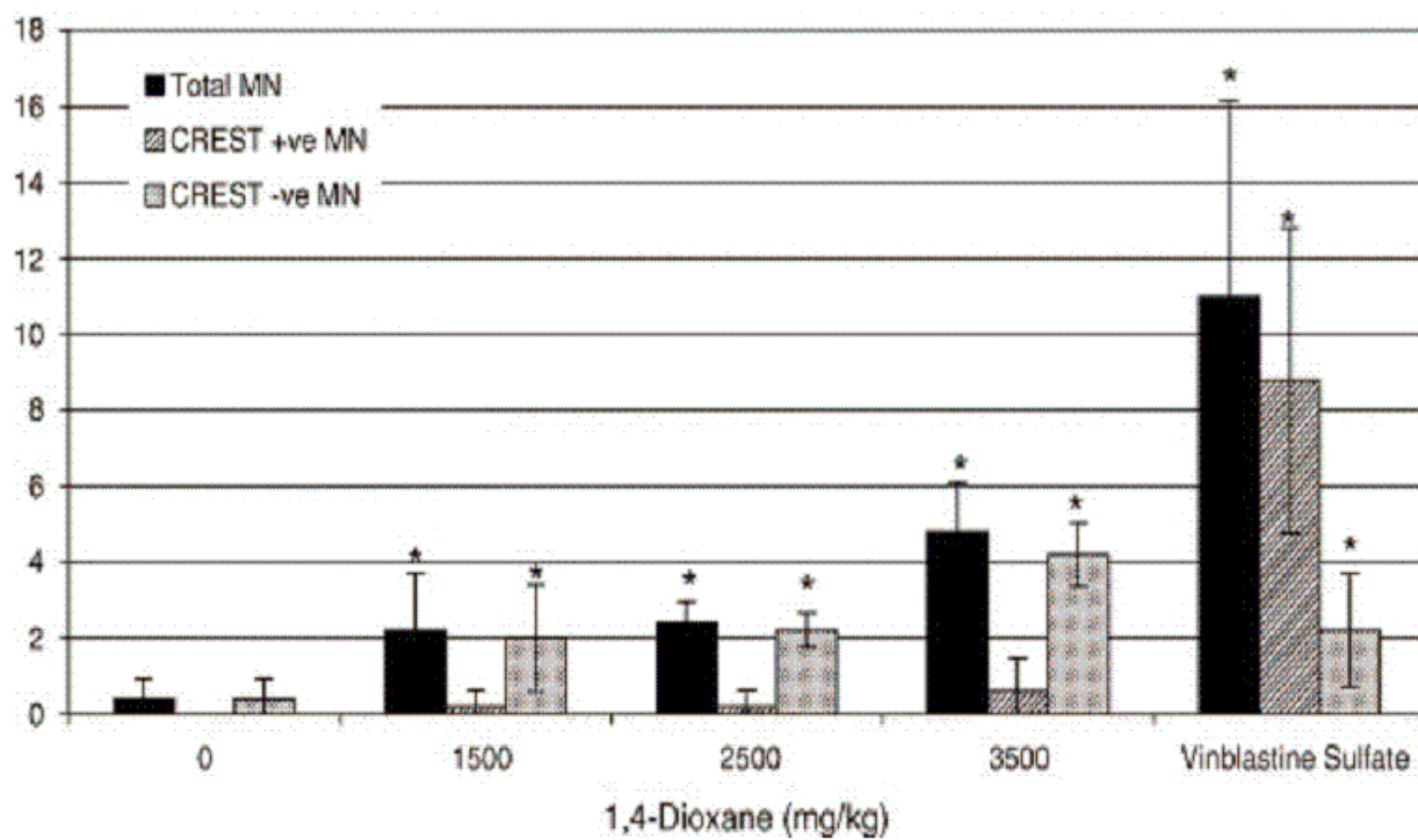
a PCE/NCE ratio was based upon scoring 200 erythrocytes per animal from an acridine orange stained slide.

b Proliferation index (percent BrdU-labeled cells) was determined from scoring 2000 hepatocytes.

c Vinblastine sulfate was administrated intraperitoneally.

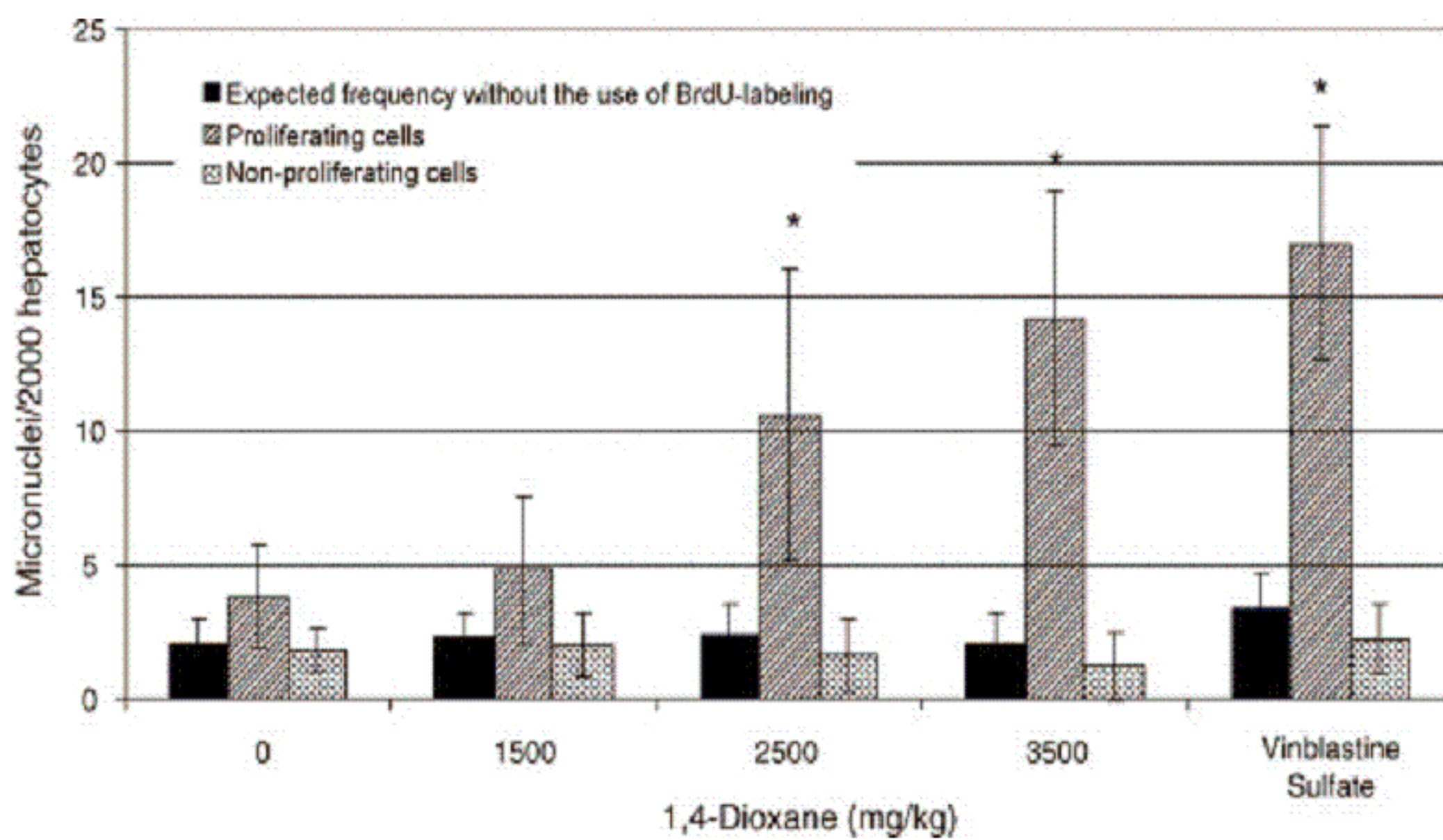
d Differs significantly from the control values; P < 0.05.

Vinblastine과 함께 1,4-디옥산을 용량별로 투여한 결과 소핵화된 적혈구가 유의하게 증가하였다(그림 3-56).



[그림3-56] Vinblastine과 함께 1,4-디옥산 투여량별 소핵화된 적혈구

또한 1,4-디옥산을 투여한 CD-1계 생쥐로부터 간세포를 적출하여 소핵검사를 실시하였다. 생쥐의 간에서는 세포증식이 감소하였으며 증식되는 세포에서는 소핵의 빈도가 1,4-디옥산의 투여용량에 따라 증가하였다. 그러나 비증식 세포에서는 소핵의 증가는 없었다(그림 3-57).



[그림 3-57] 증식 및 비증식 세포에서 1,4-디옥산 투여량에 따른 소핵빈도

<표 3-12> 피부 및 눈의 자극 자료

노출경로/ 대상	용량	영향	참고문헌 코드명
눈/ 기니아피그	10ug	없음	JPPMAB 11,150,1959
눈/ 사람	300ppm/15minute	없음	JIHTAB 28,262,1946
피부/ 토끼	100mg	심함	AJOPAA 29,1963,1946
눈/ 토끼	100mg/24hour	없음	85JCAE-,810,1986
피부/ 토끼	515mg open irritation test	가벼운 증상	UCDS 12/17/1971

나. 아급성 독성

각종 동물을 1,000ppm농도에 반복노출시키면 콩팥과 간이 손상되고, 토끼에게 800ppm농도의 증기를 30일 이상 반복 흡입시키면 신장해를 일으켜 사망한다고 보고하였다. Schrenk와 Yant 연구에서도 개에게 1,4-디옥산을 9일간 섭취시켜 총 노출용량이 3g/kg을 초과한 후 심각한 간손상과 신장손상으로 죽었다. 1,4-디옥산을 토끼와 기니안 피그의 피부에 점적하여 화학물질의 급격한 흡수가 협동운동실조와 마취 증상을 일으킨다는 것을 증명하였다. 현미경 검사상 신장과 간에서 세포 변성이 관찰되었다.

Smyth는 800ppm의 토끼에게 30일 동안 반복적으로 1,4-디옥산 증기를 흡입시킨 결과 치명적인 신장 독성이 나타났다고 보고했다. Gross는 1350ppm을 45일간 하루 8시간씩 고양이, 토끼, 기니안 피그에 노출 시켰다. 한 고양이는 병이 생겨죽었다. 다른 모든 동물들은 임상적으로 의미있는 신장 독성과 간 독성이 있다는 것을 보여주었다. 고양이, 생쥐, 토끼, 기니안 피그에 2700ppm 1,4-디옥산을 34일 동안 하루 8시간씩 흡입시켰을 때, 대부분의 동물이 죽었다. 호흡기계 자극, 간독성과 신장 독성에 의한 쇠약, 혼수 등이 죽기 전의 증상이었다.(ACGIH, 2005)

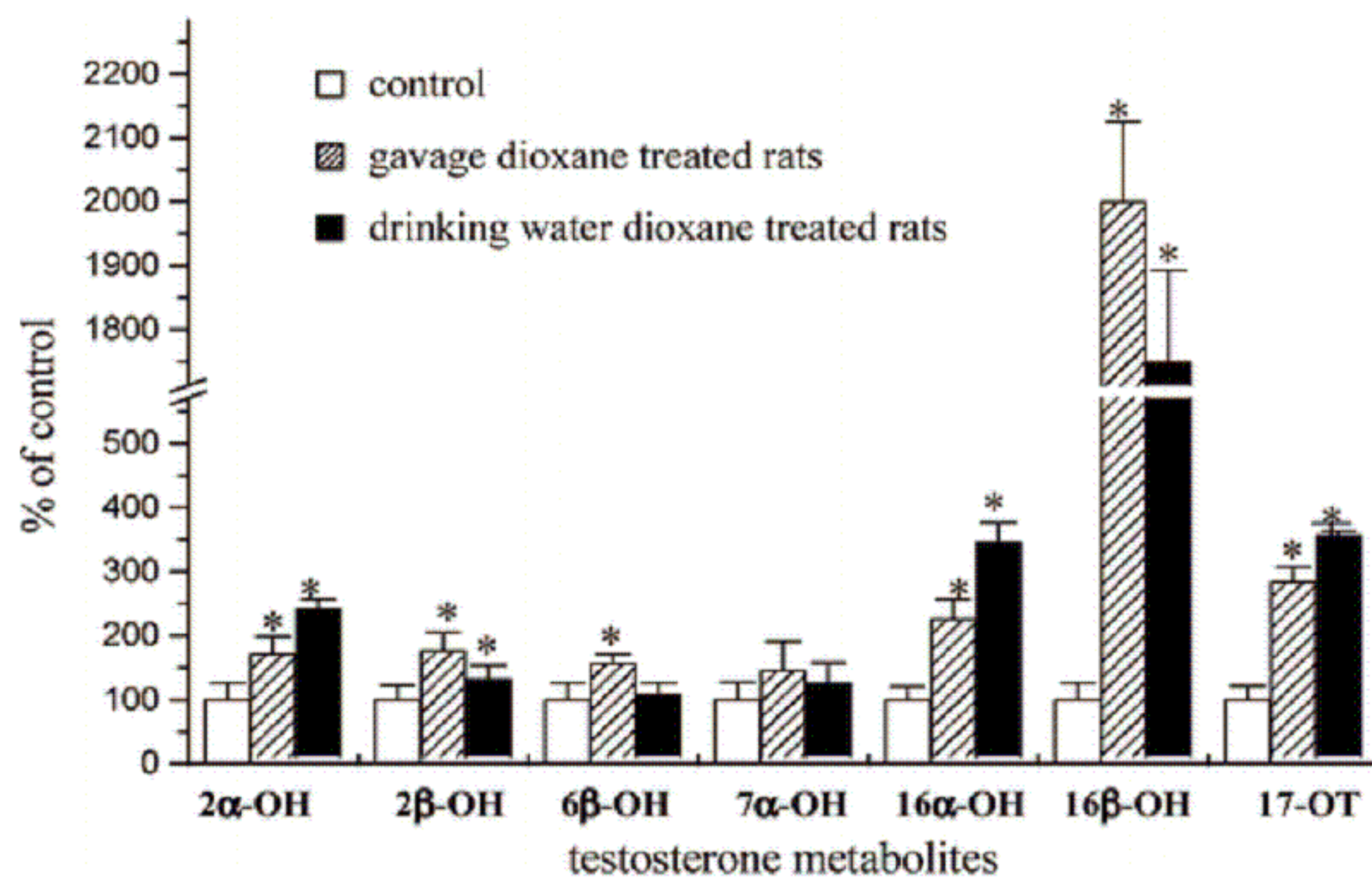
Nannelli(2004) 등은 1,4-디옥산의 노출로 인한 간, 신장, 폐 그리고 코 점막에서의 cytochrome P450 활성도의 변화를 알아보기 위하여 급성 또는 만성으로 Sprague-Dawley계통의 흰쥐(200 - 250 g, Charles River, Como, Italy)를 대상으로 실험을 하였다. 대조군은 먹이와 음료수만을 섭취시켰고 나머지 실험군은 모두 다섯 군으로 1,4-다이옥신을 음료수에 혼합시켜 노출시켰다. 다른 군들은 위장관 삽입법 및 다양한 방법으로 1,4-디옥산을 주입시켰다. 1,4-디옥산을 위장관법으로 2 g/kg을 2일간 주입하거나 10일간을 음용수(1.5% v/v, corresponding at about 0.4 g/kg per day)에 혼합시켜 10일간 섭취시킨 경우 결과이다. 효소활성도는 단백질 1mg당 nmol/min으로 표현하였다(표 3-13)(그림 3-57). (EROD ethoxyresorufin O-deethylase, AnH aniline hydroxylation, p-NPH p-nitrophenol hydroxylation, ErD erythromycin N-demethylase, PROD

pentoxyresorufin O-depentylase, Lauric H. lauric acid hydroxylase)

<표 3-13> 1,4-디옥산 투여에 따른 간 마이크로솜의 monooxygenase 활성도

Treatment	EROD	AnH	p-NPH	ErD	PROD	-Lauric H.	(-1)-Lauric H.
Control	0.03±0.008	0.71±0.07	0.95±0.06	0.57±0.04	0.01±0.003	0.8±0.2	0.6±0.2
Dioxane (gavage)	0.03±0.007	2.95±0.21**	2.78±0.61**	1.35±0.18**	0.10±0.03**	1±0.3	1.3±0.4*
Dioxane (drinking water)	0.04±0.009	3.04±0.43**	5.09±0.36**	0.64±0.24	0.06±0.015**	0.9±0.3	1.5±0.3**

*p<0.05, **p<0.01, Significantly different from control microsomes by Students t-test



[그림3-58] 1,4-디옥산 투여에 따른 간 마이크로솜의 Testosterone hydroxylase 활성도

*Significantly different from control at $p<0.05$ by Students t -test

다. 만성 독성/발암성

Argus와 Hoch-Ligeti는 쥐에게 14~23개월 동안 7000~18000ppm의 1,4-디옥산을 음용수로 섭취한 실험에서 (총 용량 104~ 256 g/rat) 비암과 간암이 발생하였다고 보고하였다 Argus와 Hoch-Ligeti는 음용수에 1,4-디옥산이 5000~20000ppm 포함되어 있는 것(총 섭취용량 588~634 g/guinea pig)을 섭취한 기인안 피그에서 폐종양이 발생하였다고 보고하였다.

2년간의 코호트 연구에서 60마리의 수컷쥐와 60마리 암컷쥐에게 각각 0%, 0.01%, 0.1%, 1.0%의 1,4-디옥산이 포함된 음용수를 주어 변화를 관찰하였다. 실험결과 간종양이 대조군에서 106마리 중 2마리 발생한 것에 비해 실험군에서는 66마리 중 12마리에서 발생하였으며, 비종양이 대조군에서는 발생하지 않은 것에 비해 실험군에서는 66마리 중에서 3마리에서 발생하였다. 간과 신장의 병리학적인 이상소견은 가장 높은 농도군에서만 발생하였다. 0.1% 농도군에서는 신세뇨관 부육형성이 일어났으며, 간세포의 변형이 나타났다. 그러나, 신생화 발생율은 현저하게 증가하지 않았다.

숫컷쥐와 암컷쥐 모두 9.6mg/kg/day와 19mg/kg/day에서는 비교적 유해하지 않았다. 또 다른 연구에서는 0.5%나 1% 1,4-디옥산을 음용수로 Osborne-Mendel 쥐에게 110주간 투여하고 B6C3F1 생쥐를 90주간 먹었을 때 암쥐에서는 간세포성 선암이 통계적으로 유의하게 증가하였다. 흰쥐암수 쥐 모두에서 비갑개의 편평세포암이 증가하고 생쥐암수 모두에서 간세포암이 통계적으로 의미있게 증가하였다. 대조군과 비교하였을 때 노출군에서 부작용이 나타나지 않은 경우도 있다.

288마리의 숫컷 흰쥐와 288마리의 암컷 흰쥐는 2년간 주 5일, 하루 7시간 동안 평균 111ppm의 1,4-디옥산에 노출되었으나 성별이나 종류에 관계없이 성장, 사망률, 임상적인 화학 검사, 혈액학적 검사, 육안적 조직학적 검사와 종양 발생율에 어떠한 영향도 나타나지 않았다(표 3-14).

<표 3-14> 종양 형성 자료 및 참고자료

노출경로/ 대상	용량	영향	참고문헌 코드명
흡입/ 쥐	발표된 최저 치사량: LC ₅₀ : 111ppm/7hour/2year	혈액: 종양 혈액: Hodgkin's 질병을 포함하여 림프종	TXAPA9 30,287,1974
복강내/ 쥐	발표된 최저 치사량 : LD ₅₀ :12mg/kg/8week	폐, 가슴, 또는 호흡: 종양	TXAPA9 82,19,1986
경구/ 쥐	발표된 최저 치사량 : LD ₅₀ : 239mg/kg/90week	간: 종양	NCITR* NCI-TR-80,1 978
경구/ 쥐	유독한 복용량: LD ₅₀ :523mg/kg/90week	간: 종양	NCITR* NCI-TR-80,1 978
경구/ 쥐	발표된 최저 치사량 : LD ₅₀ :185mg/kg/2year	후각: 종양 간: 종양	NCITR* NCI-TR-80,1 978
경구/ 쥐	유독한 복용량: LD ₅₀ :416mg/kg/57week	후각: 종양 간: 종양	BJCAAI 24,164,1970
경구/ 쥐	유독한 복용량: LD ₅₀ :408mg/kg/2year	후각: 종양 간: 종양	NCITR* NCI-TR-80,1 978
경구/ 쥐	유독한 복용량: LD ₅₀ :416mg/kg/57week	후각: 종양 간: 종양	BJCAAI 24,164,1970
경구/ 쥐	유독한 복용량: LD ₅₀ : 528mg/kg/63week	간: 종양 신장, 요관, 및 방광: 신장 종양	JNCIAM 35,949,1965
피부/ 쥐	발표된 최저 치사량 : 14mg/kg/60week	피부와 부속기: 종양	EVHPAZ 5,163,1973

라. 생식독성

임신중인 쥐에게 6일에서 15일 동안 1,4-디옥산을 1ml/kg/day으로 경구투여한 결과 어떠한 기형적 증거나 다른 배아독성의 징후가 나타나지 않았다. 태아독성의 태아 체중 감소는 최고농도에서 모체 체중 증가가 약간 줄어든 결과에 의해 나타났다. 2세대에 걸친 3% 1,4-디옥산을 포함한 1,1,1-trichloroethane 연구를 한 Lane은 흰쥐와 생쥐에게 30mg/kg의 1,4-디옥산이 함유된 음용수를 먹인군에서 생식에 대한 독성의 증거를 찾을 수 없었다고 보고했다(ACGIH, 2005). 표 3-15에 생식기독성 자료를 제시하였다.

<표 3-15> 생식기독성자료

노출경로/ 대상	용량	영향	참고문헌 코드명
복강내/ 마우스	발표된 최저 독성 용량: 10 gm/kg (임신 6-15 일)	태아 태아에 효력: 태아영향 (죽음, 예를들면, 성장을 방해된 태아를 제외하고) 명확한 개발 이상: 근골격계 체계	TOLED5 26,85,1985

마. 유전독성, 변이원성

1,4-디옥산은 salmonella typhimurium tester strain 에서 외인성 대사 활성도의 유무와 상관없이 돌연변이성향은 나타나지 않았다. 1,4-디옥산은 saccharomyces cerevisia에서도 돌연변이성향이 나타나지 않았다. 쥐의 간세포 unscheduled DNA 합성에서도 유전 독성의 증거는 없었고, 1,4-디옥산을 1회 1g/kg을 섭취시킨 후 쥐의 간에서는 DNA 알킬화나 DNA 수선을 유도하지 않았다(ACGIH, 2005). 표 3-16은 in vitro에서 유전독성자료, 표 3-17은 변이원성 자료를 제시하였다.

<표 3-16> in vitro에서 1,4-디옥산의 유전독성 (계속)

Species (test system)	End point	Results		Reference
		With activation	Without activation	
<i>Salmonella typhimurium</i> (TA100, TA98, TA1535, TA1537)	Gene mutation	-	-	Haworth et al. 1983
<i>S. typhimurium</i> (TA98, TA100, TA1535, TA1537, TA1538)	Gene mutation	-	-	Stott et al. 1981
<i>S. typhimurium</i> (TA100, TA1535)	Gene mutation	-	-	Nestmann et al. 1984
<i>S. typhimurium</i> (TA98, TA100, TA1530, TA1535, TA1537)	Gene mutation	-	-	Khudoley et al. 1987
<i>Photobacterium phosphoreum</i>	DNA damage	NT	-	Kwan et al. 1990
<i>Escherichia coli</i> K-12 <i>uvrB</i> recA	DNA damage	-	-	Hellmer and Bolcsfoldi 1992
<i>S. typhimurium</i> (TA98, TA100, TA1535, TA1537)	Gene mutation	-	-	Morita and Hayashi 1998
<i>E. coli</i> (WP2, WP2 <i>uvrA</i>)	Gene mutation	-	-	Morita and Hayashi 1998
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (D61M)	Chromosomal malsegregation	NT	-	Zimmermann et al. 1985
Mouse lymphoma cells	Gene mutation	-	-	Morita and Hayashi 1998
CHO-K1 cells	Chromosomal aberrations	-	-	Morita and Hayashi 1998
CHO-K1 cells	Sister chromatid exchange	-	-	Morita and Hayashi 1998
CHO-K1 cells	Micronuclei	-	-	Morita and Hayashi 1998
Rat hepatocytes	DNA repair	-	-	Goldsworthy et al. 1991
CHO-W-B1 cells	Chromosomal aberrations	-	-	Galloway et al. 1987
CHO-W-B1 cells	Sister chromatid exchange	-	±	Galloway et al. 1987
Mouse lymphoma cells	Gene mutation	-	-	McGregor et al. 1991
BALB/3T3 cells	Cell transformation	NT	+	Sheu et al. 1988

- = negative result; + = positive result; ± = weak positive result; CHO = Chinese hamster ovary; NT = not tested

<표 3-16>. in vivo에서 1,4-디옥산의 유전독성

Species (test system)	End point	Results	Reference
Human peripheral lymphocytes	Chromosomal aberrations	-	Thiess et al. 1976
Rat hepatocytes	DNA repair	-	Goldsworthy et al. 1991
Rat nasal epithelial cells	DNA repair	-	Goldsworthy et al. 1991
Mouse hepatocytes	Micronuclei	+	Morita and Hayashi 1998
Mouse peripheral blood	Micronuclei	-	Morita and Hayashi 1998
Rat hepatocytes	DNA alkylation or repair	-	Stott et al. 1981
Rat hepatocytes	DNA damage	+	Kitchin and Brown 1990, 1994
Mouse bone marrow	Micronuclei	-	Tinwell and Ashby 1994
Mouse bone marrow (C57BL6)	Micronuclei	+	Mirkova 1994
Mouse bone marrow (BALB/c)	Micronuclei	-	Mirkova 1994
Mouse bone marrow	Micronuclei	-	McFee et al. 1994
<i>Drosophila</i> (food)	Dominant lethal	-	Yoon et al. 1985
<i>Drosophila</i> (food)	Meiotic non-disjunction	+	Muñoz and Barnett 2002

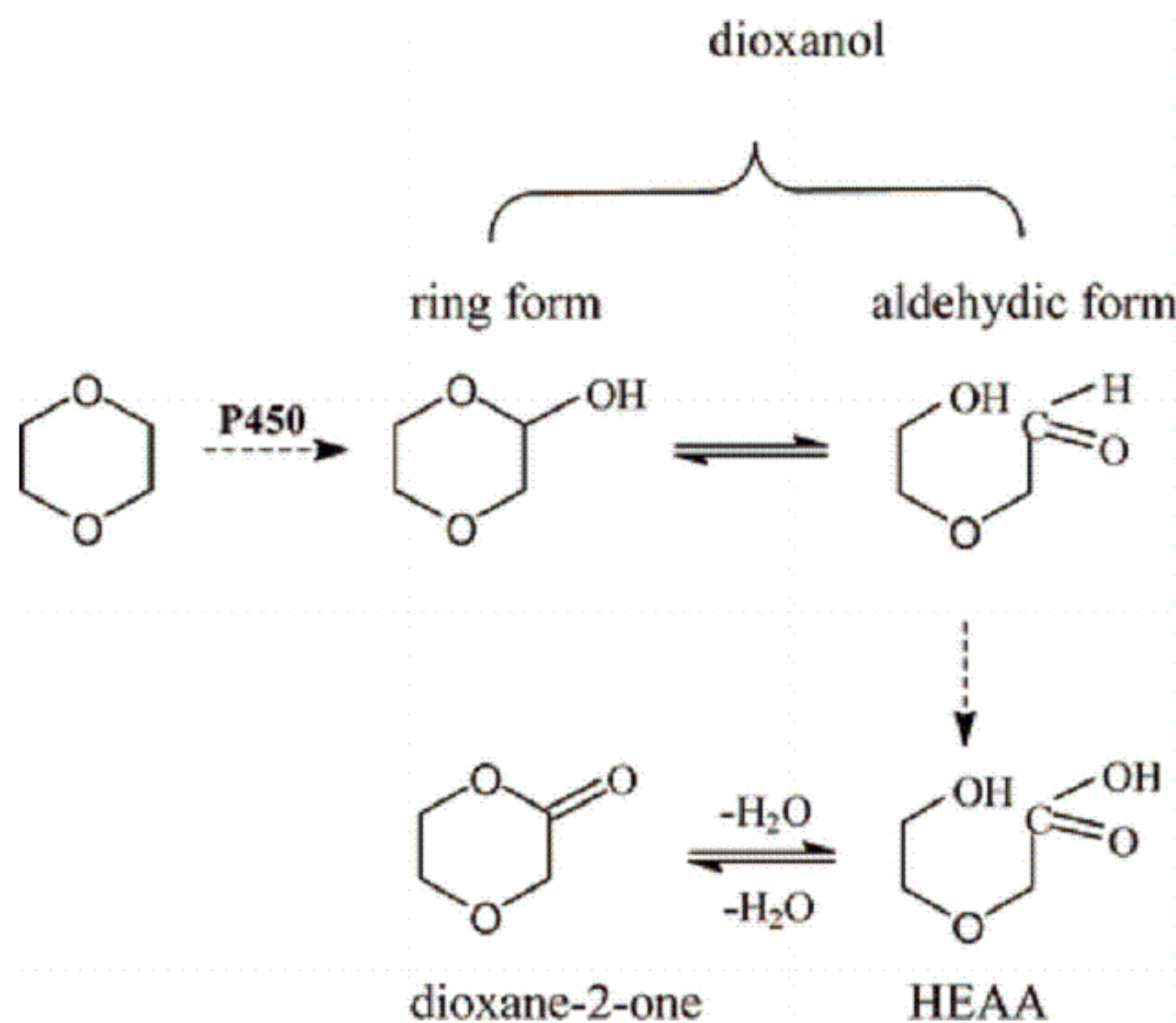
- = negative result; + = positive result; ± = weak positive result

<표 3-17> 변이원성 자료

시험 종류	경로/ 기관/ 조직	용량	참고문헌 코드명
DNA damage	oral rat	2,550 mg/kg	CALEDQ 53,67,1990
DNA damage	rat liver	300 mmol/L	SinJF 26OCT1982
DNA inhibition	human HeLa cell	400 mmol/L	CRNGDP 13,2389,1992
unscheduled DNA synthesis	oral rat	20 mg/kg	TXAPA9 60,287,1981
micronucleus test	oral mouse	900 mg/kg	MUREAV 322,142,1994
micronucleus test	oral mouse	3 gm/kg	MUREAV 322,145,1994
morphological transform	mouse fibroblast	1 gm/L	EMMUEG 11,41,1988
other mutation test 시스템s	intravenous rat	50 mg/kg	ARTODN 49,29,1981
sister chromatid exchange	hamster ovary	10,500 mg/L	EMMUEG 10(Suppl 10).1,1987

바. 기타

1,4-디옥산의 대사과정은 그림 3-59와 같다.



[그림 3-59] . 1,4-디옥산의 대사과정(Nannelli 등, 2004)

흰쥐에게 위장관 삽입법으로 1,4-디옥산을 1000mg/kg을 경구 투입시키거나 100~400 mg/kg을 비경구로 주사한 뒤 초기 흡수 용량의 85% 가 소변에서 β -hydroxyethoxyacetic acid (p-dioxane-2-one) 형태로 검출되었다. 나머지 초기 용량의 15%는 변화없이 원래의 형태로 소변에서 검출되었다. 소변의 p-dioxane-2-one 양은 투여용량에 따라 증가하였다.

Kociba와 Young은 쥐에서 1,4-디옥산 제거율이 용량에 영향을 받는다고 주장하였다.

그러나 10 mg/kg보다 큰 용량에서 처음 처리과정에서 예측한 것보다 적었다. 1,4-디옥산의 약동학적 양생을 독성학적 연구와 함께 "1,4-디옥산의 독성

은 해독과정과 처리과정을 포화시키기 충분한 양이 주어질 때 나타난다는 결론을 제안하였다.

1,4-디옥산 제거율의 포화는 쥐에게 100 mg/kg으로 정맥 내 주입이나 경구 투여했을 때 명백히 알 수 있다. 중요한 것은, 사람에게 6시간 동안 50ppm의 농도로 흡입노출 시 대사포화의 증거는 없었으며 예측 반감기가 1시간 보다 적게 나타났다. 방사능을 표지한 3H-디옥산을 수컷 Sprague Dawley 계통 흰 쥐에게 복강내로 주입한 후 간의 핵단편에 공유결합으로 가장 크게 배치되었다. 세포질 내 결합은 대체로 비공유결합이다.

Young은 건강한 성인남성에게 6시간동안 50 ppm으로 조절된 흡입으로 노출시킨 경우 총흡수용량이 5.41.1 mg/kg이라고 보고하였다. 약동학적 분석에서 59분의 반감기는 59분으로 나타냈으며 8시간 작업시 50ppm이하로 노출을 유지할 때 화합물의 축적은 일어나지 않았다. 쥐의 경우에서와 같이 사람에서도 흡수된 1,4-디옥산의 99%가 요중 hydroxyethoxyacetic acid 로 배설되었으며 소량 (0.7%)의 원래의 화합물이 검출되었다. Reitz등은 24시간동안 공기중에 0.74 에서 3.7 ppm의 1,4-디옥산에 지속적으로 노출되어도 암의 위험도를 증가시키지 않는다고 결론 내렸다. Goldsworthy 는 쥐의 코에서 repair-inducing DNA adduct formation, hepatic peroxisomes, hyperplastic response는 종양 반응과 거의 상관이 없으며, 간세포증식은 hepatocarcinogenicity를 설명해줄 수도 있다고 했다(ACGIH, 2005).

4. 인체영향

가. 인체내 작용기전

Barber는 인조실크공장에서 2달간 고농도의 1,4-디옥산 증기 노출로 중증의 출혈성 신염과 중심성 간 괴저로 사망한 5명의 근로자의 증상과 병리를 보고하였다.

황달은 보이지 않았으며, 발병후 1주내 급성신부전으로 사망했다. 다른 근로자는 오심, 구토 그리고 눈과 호흡기계의 자극증상으로 고생하였다. Johnstone은 평균 470 ppm의 1,4-디옥산 증기로 1주일간 노출된 근로자의 근무 후 근로자의 사망을 보고하였으며, 피부흡수의 가능성, 신장, 간, 뇌 손상이 부검에서 발견되었다. 비슷한 노출의 다른 근로자들은 영향을 받지 않았다. 대조적으로 분당 5000ppm의 의도적인 흡입은 단지 약간의 현기증만을 나타냈다.

NIOSH의 세개소 공장의 연구에서 평균 증기농도는 1.07ppm, 0.9ppm, 6.5ppm으로 나타났고, 최대농도는 7.2ppm, 2ppm, 23.6ppm 이었다. 새는곳이나 통풍구주변에서는 46 ppm이었지만 이들 공장에서의 17년에서 50년동안 1,4-디옥산을 취급한 몇몇 근로자의 사망률 연구에서 특별한 암의 발생은 없었다

다른 연구에서는 간과 신장기능 검사를 포함한 임상결과에서 약간의 근로자들에서 비정상이 보고되었다. 이학적검사에서는 두 공장의 근로자들에서 비정상소견은 없었다.

200 ppm이상의 농도에서 안구돌출, 코와 목 자극증상이 있었다. Theiss 등은 1,4-디옥산에 노출된 6명의 근로자에서 염색체 변화는 없었다(ACGIH, 2005).

1,4-디옥산의 생물학적 평가 방법에 관한 자료는 표 3-18과 같다.

<표 3-18> 1,4-디옥산의 생물학적 평가 방법

Sample matrix	Preparation method	Analytical method	Sample detection limit	Percent recovery	Reference
Blood or urine	Heat sample in a sealed tube to 120 °C; inject headspace into GC	GC	0.01–0.02 µg	No data	Royal Society of Chemistry 1988
Exhaled breath	Pre-concentrate on breath sample on porous styrene-divinylbenzene resin	Four polymer-coated surface-acoustic-wave (SAW) sensors	3.7–10.2 µg/L	No data	Groves et al. 1997
Urine	Samples treated with HCl/methanol to convert HEAA to its methyl ester; samples then directly injected into GC-MS	GC-MS	0.07 µg/mL (1,4-dioxane); and 0.1 µg/mL (HEAA)	No data	Young et al. 1976

GC = gas chromatography; HCl = hydrochloric acid; HEAA = β-hydroxyethoxyacetic acid; MS = mass spectrometry

<표 3-19> 독성자료 참고 문헌

코드명	참고문헌
85JCAE	"Prehled Prumyslove Toxikologie; Organicke Latky," Marhold, J., Prague, Czechoslovakia, Avicenum, 1986
AJOPAA	American Journal of Ophthalmology. (Ophthalmic Pub. Co., 435 N. Michigan Ave., Suite 1415, Chicago, IL 60611) Series 3: V.1-1918-
BJCAAI	British Journal of Cancer. (Macmillan Press Ltd., Houndmills, Basingstoke, Hants. RG21 2XS, UK) V.1- 1947-
CALEDQ	Cancer Letters (Shannon, Ireland). (Elsevier Scientific Pub. Ireland Ltd., POB 85, Limerick, Ireland) V.1- 1975-
CRNGDP	Carcinogenesis (London). (Oxford Univ. Press, Pinkhill House, Southfield Road, Eynsham, Oxford OX8 1JJ, UK) V.1- 1980-
EVHPAZ	EHP, Environmental Health Perspectives. (U.S. Government Printing Office, Supt of Documents, Washington, DC 20402) No.1-1972-
JHTAB	Journal of Industrial Hygiene and Toxicology. (Cambridge, MA) V.18-31, 1936-49. For publisher information, see AEHLAU.
JNCIAM	Journal of the National Cancer Institute. (Washington, DC) V.1-60, 1940-78. For publisher information, see JJIND8.
JPPMAB	Journal of Pharmacy and Pharmacology. (Pharmaceutical Soc. of Great Britain, 1 Lambeth High St., London SE1 7JN, UK) V.1-1949-
MUREAV	Mutation Research. (Elsevier Science Pub. B.V., POB 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands) V.1- 1964-
NCITR*	National Cancer Institute Carcinogenesis Technical Report Series. (Bethesda, MD) No.0-205. For publisher information, see NTPTR*.
SinJF#	Personal Communication from J.F. Sina, Merck Institute for Therapeutic Research, West Point, PA 19486, Oct. 26, 1982
TOLED5	Toxicology Letters. (Elsevier Science Pub. B.V., POB 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands) V.1- 1977-
TXAPA9	Toxicology and Applied Pharmacology. (Academic Press, Inc., 1 E. First St., Duluth, MN 55802) V.1- 1959-
UCDS**	Union Carbide Data Sheet. (Union Carbide Corp., 39 Old Ridgebury Rd., Danbury, CT 06817)

5. 각국의 노출기준 요약 및 해설

가. 한국

현재 우리나라의 1,4-디옥산에 대한 노출기준은 25ppm (90 mg/m³)으로 설정되어 있으며 발암성에 대한 표시는 되어 있지 않다. 1,4-디옥산은 허가대상 물질로 되어 있으며 화학물질정보카드(노동부, 한국산업안전공단)에서 건강유해성에 대해 호흡기도 자극, 피부자극, 눈 자극, 중추신경계통 억제로 표시하고있다. 우리나라 노출기준을 외국의 노출기준과 비교하면 ACGIH, 독일은 20ppm이며 일본은 10ppm으로 권고하고 있어 다소 높은 편에 속해 있다.

발암성에 대해서는 ACGIH에서는 A3, EPA에서는 B2, MAK에서는 4, NIOSH에서는 NIOSH-X로 분류하고 있다.

<표 3-20> 우리나라와 외국의 1,4-디옥산의 노출기준

기 관 명	TWA (ppm)	STEL (ppm)	비 고
Korea	25		
ACGIH-TLV	20		irritation; liver;kidney
Alberta-Canada	25	100	
Australia	25		
Belgium	25		
Finland	25	40	
Germany - MAK	20	40	
Hong Kong	25		
Ireland	25	100	
Japan - JSOH	10		2B
Netherlands	11	22	
Ontario - Canada	20		
Ouebec - Canada	25		
United Kingdom - OES	25	100	
USA -NIOSH IDLH		C100	
USA -NIOSH REL		C1	
USA -OSHA PEL	100		

나. 미국

(1) OSHA : PEL(Permissible Exposure Limits)

가) 노출기준 제·개정 절차

산업안전보건법(1970)에 따라 산업안전보건청(OSHA)이 설립되어 근로자들의 일하는 평생동안 안전하고 건강한 작업조건을 제공하고자 하였다. 이런 목표를 성취하기 위한 하나의 방법이 보건과 안전기준을 제정하는 것이다.

OSHA기준은 허용노출기준(PELs)으로서 언급되었고 의회는 기준을 첨가하거나 삭제하고 수정할 필요성을 인지하고 그것을 수행하기 위해 특별한 절차를 Act section 6에 포함시켰다. 1988년 OSHA는 24개 물질별 기준과 3개의 일반규정을 만들었다.

1988년 OSHA는 400개 이상의 물질에 대한 새로운 PELs과 수정된 PELs을 제안하였다.

노출기준 설정의 과학적 근거는 연구, 시범, 실험, 근로자에 대한 최상의 안전보건학적인 보호, 가장 최근의 과학적 지표에 근거하며 근로자가 평생동안 유해인자에 계속적으로 노출되어도 보건 또는 기능 해를 겪지 않도록 설정된다.

제안된 기준의 경제적 영향을 산업별로 평가하며 경제요인에 대한 OSHA의 고려는 규제완화조치인 행정명령 12291에 기초한다.

나) 노출기준

규제기준으로 1,4-디옥산의 노출기준은 시간가중평균치로 100ppm ,Skin이다.

다) 설정근거

1989년의 1,4-디옥산의 8시간 시간가중평균치는 25ppm, Skin이었지만 OSHA에서 새롭게 이 물질의 8시간 시간가중평균치를 100ppm, Skin으로 제안하여 현재 사용하고 있다.

○ 참고 문헌

- OSHA, Chemical sampling information 1,4-dioxane, 2003.

(2) ACGIH : TLV(Threshold Limit Values)

가) 노출기준 제·개정 절차

ACGIH이사회(Board of Director)는 1944년에 화학물질TLV위원회(Cgemical Substances Threshold Limit Value Committee)를 구성하였고 위원회는 1946년에 처음으로 TLV권고치를 이사회에 제출하고 현재 해마다 제안을 하고 있다. 위원회는 20-25명과 자문가(한명의 독일 MAK 위원)로 구성되어 있으며 ACGIH TLV 위원회는 현재 3개의 소위원회로 구성되어 있다.

ACGIH는 1982년에 Biological Exposure Indices (BEI) 위원회를 설립하였으며 84년부터 BEI를 제안하였고 최초의 BEI는 1986년에 공식적으로 채택되었다.

노출기준의 과학적 근거는 작업장 경험, 사람에 대한 연구, 그리고 동물실험 연구로부터 가장 유용한 정보에 기초하여 정해진다. 그중에서 근로자 노출자료가 있는 역학연구가 가장 중요하다. 값을 설정하기 위한 근거는 물질들에 따라 다양하며 다음과 같은 건강영향의 범주가 포함되어야 한다.

노출기준 제정에 있어서 ACGIH의 일차적인 관심은 경제적인 요소 또는 기술적인 접근정보보다 건강영향에 있다.

나) 노출기준

권고기준이며 시간가중평균치로 20ppm, Skin이다. 동물실험 결과 확실한 발암물질로 밝혀졌고 사람에게서 발암성과의 관계는 아직 알려지지 않은 물질(A3)로 규정하고 있다. 단시간 노출기준과 감작제 표시는 자료가 충분하지 않아 권고하고 있지 않다.

다) 설정근거

ACGIH는 1,4-디옥산이 동물실험에서 간독성과 신장독성이 있다는 결과와 경구투여 결과 1/10이 암이 발생했다는 결과를 근거로 TLV-TWA를 25ppm에서 20ppm으로 1,4-디옥산의 권고하였다. 음용수 동물실험결과 발암성이 확인되었다. A3(동물에서의 발암성은 확신하게 되었고 인간에게는 알려지지않음)로 제정하였다. 동물에게 피부로 흡수가 되는 것으로 보고되었고 인간에게는 전신독성이 알려져 피부흡수 표시를 하였다. “SEN” 경고표시나 TLV-STEL은

이용 가능한 연구자료가 충분하지 않아 현재 권고하고 있지 않다.

1,4-디옥산에 대한 ACGIH-TLV의 제, 개정 추이는 다음과 같다..

- 1946년 : MAC-TWA, 500ppm
- 1947년 : MAC-TWA, 100ppm
- 1948년-1973년 : TLV-TWA, 100ppm
- 1972년 제안 : Skin 표시
- 1974년-1980년 : TLV-TWA, 50ppm
- 1979년 제안 : TLV-TWA, 25ppm; TLV-STEL, 100ppm;
- 1981년-1985년 : TLV-STEL, 100ppm
- 1981년-1008년 : TLV-TWA, 25ppm
- 1986년 : TLV-STEL 삭제
- 1995년 제안 : TLV-TWA, 25ppm; A3,
- 1997년 제정 : TLV-TWA, 25ppm; A3
- 1998년 제안 : TLV-TWA, 20ppm; A3
- 1999년 제정 : TLV-TWA, 20ppm; A3

(3) NIOSH: REL(Recommended Exposure Limit)

가) 노출기준 제·개정 절차

산업보건법(1970)(29 USC 1900)과 광산안전보건법(30 USC 80)에 따라 NIOSH에서 RELs을 개발하고 정기적으로 수정하며 적절한 예방수단을 권고하고 OSHA와 광산 안전보건 행정부와 의견을 교환한 후 정부, 산업계, 학계에 이 권고안을 배포한다.

NIOSH에서는 노출기준 제·개정의 과학적 근거를 위해물질과 관련하여 알려진, 그리고 이용 가능한 모든 의학, 생물학, 공학, 화학, 상업과 그 외 다른 정보를 평가한다.

NIOSH criteria documents에는 권고기준, NOAELs, LOAELs의 근거를 공식

적으로 나타내며 OELs은 주로 건강장애와 관련한 과학적 정보에 기초하지만 일부 criteria document는 경제요인과 실행가능성을 고려하여 만든다.

나) 노출기준

권고기준으로 30분 천장값 1ppm (3.6 mg/kg)으로 권고하고 있다.

다) 설정근거 (<http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/77-226a.pdf>)

OSHA의 8시간 작업기준 100ppm, 360 mg/kg 기준을 참조하여 NIOSH는 직업적인 노출에 의한 발암성이 우려되어 1,4-디옥산을 천장값 30분간 1ppm의 노출기준을 권고하였다.

다. 일본

(1) 노출기준 제·개정 절차

협회는 위원회들로 구성된 민간학술단체로 협회안의 노출허용기준(PEL) 위원회에서 기준에 대한 정보를 평가하고 안을 마련한다. 물질선정은 사업장에서 사용되어지는 유해화학 물질, 유해영향을 미치는 농도,특성에 대한 유용한 자료가 있는 물질, 물질의 사용량 및 그 독성에 근거한 기존의 기준이 있는 물질을 우선적으로 선정하나 일본에서의 허용농도에 대한 기준 설정은 거의 ACGIH의 값의 영향을 받고 있는 실정이다. 대부분 ACGIH의 TLV를 채택하고 10%정도만 기타 자료를 참고하고 있다.

노출허용기준은 대기중에서 호흡영역에 존재하는 유해 물질 농도의 기준치이며 이는 참고치로서 사업장에만 적용가능하며 과학적 근거는 인체 및 동물실험의 결과와 사업장 역학 자료를 기초로 한다.

일본의 노출허용기준은 유해물질에 축적되었을 때의 건강장애에 기초하여 제안되지만, 새로운 허용농도가 제시되는 경우에 위원회에서는 종종 경제적인 영향을 고려하게 된다. 특히 발암물질에 대한 허용농도 제정에 있어서의 사회경제적 영향력은 크며 또한 위원회는 경제적인 면에서 기술적 가능성을 고려한다.

(2) 노출기준

일본 산업위생학회(The Japan Society for Occupational Health)의 권고기준은 시간가중평균치 10ppm, 피부흡수주의표시(skin)그리고 발암성2B로 권고하고 있다.

(3) 설정근거

1. 1,4-디옥산(분자량 88.10)은 상온, 상압에서 무색의 액체(비점, 101. °C)로 에틸 알콜과 같이 방향성을 갖는다. 용제로 사용하는 것 이외에 염소계 용제에 안정제로 첨가된다.

2. 1,4-디옥산은 공기를 통해 기체로 흡수된다. 이외에 동물실험에 의하면 피부를 통해 흡수된다. 원숭이 앞 팔에 도포한 경우 약 3%가 흡수되었다고 보고되고 있다.

3. 노동자에게의 연구에 의하면, 체내에 섭취된 1,4-디옥산은 주로 소변 중에 hydroxy ethoxy 초산으로 (일부는 미변화 물질 그대로) 60% 이상이 근로시간 중에 배설된다.

4. 냄새의 역치는 2.8ppm으로 보고되었다. 또한 280ppm에 15분간 노출시 눈, 코, 목에 자극을 느낀다.

5. 1,4-디옥산을 사용하고 있는 공장에서 1~8 주간 반복 노출 (고농도로 추리되지만 아직 불명)로 16명 중 5명이 사망한 사례에서 위가 아프다라는 국소적인 증상으로부터 간장이 커지고 강한 통증과 혈뇨, 단백뇨가 발생하였고 수일 내 사망하였다. 간괴사와 신장피질의 괴사가 확인되었다.

1,4-디옥산의 간장해 작용. 신장장해 작용은 1,4-디옥산을 첨가한 음료수를 흰쥐에 장기간 투여한 실험에서도 확인되었다.

6. 1,4-디옥산 제조공장의 근로자 74명에 대한 역학조사에 의하면, 연구시점에 근무했던 24명 그리고 이전부터 그 직장에서 근무한 23명 모두 S-GOT, S-GPT, Y-GTP의 상승이 확인되었다. 단, Y-GTP 상승에는 음주역(알코올 환산 80g/일 또는 그이상)이 있었다. 이공장의 1,4-디옥산 농도는 Drum관으로의 주입 작업에서 약 7ppm을 확인한 것 외에 거의 모든 측정되는 1ppm이하였다.

7. 별도의 1,4-디옥산 제조공장 조사에서는 근로자의 개인시료측정에서의 1,4-디옥산 농도는 평균 1.4ppm (범위 0.05~51ppm)이었다. 이 공장의 노동자 42명의 검진(간기능 검사 포함)결과에서는 이상을 확인 할 수 없었다.

8. 1,4-디옥산을 음료수에 1~2% 첨가해 13개월~2년간 경구투여한 실험에서 흰쥐(비강의 암, 간세포 암을 포함)와 몰모트(다람쥐과 동물)에서 악성종양이 발생하였다.

흰쥐를 1,4-디옥산 증기에 111ppm × 7시간/일 × 5일/주 × 2년간 노출 실험에서는 건강영향을 발견하지 못했다.

9. 제 3의 1,4-디옥산 공장에서 근무한 경우 노출정도는 대부분 2-3ppm 이하였으며 노동자 165명의 피해 역학조사에 의하면, 소재지(주)의 인구와의 사이에서 사망율의 유의한 차를 확인할 수 없었다.

10. 살모넬라균을 이용한 변이원성 시험에서는 음성결과가 보고되었다.

11. 동물실험에서 영향을 확인 할 수 없는 농도의 1/10인 10ppm을 잠정적으로 농도로 제안하고, 또한 기술적으로 가능한 저농도로 할 것을 요구하였다.

라. 독일: MAK(Maximum Concentration Values)

(1) 노출기준 제·개정 절차

사업장의 화학물질 유해성 조사를 위한 위원회(Commission for the investigation of Health Hazard of chemical Compounds in the Work Area)는 작업장에서 사용되는 화학물질의 최대 허용가능한 기중 농도(MAK, Maximale Arbeitskonzentratione)를 설정하며 MAK는 규제 기준이다.

위원회에서 MAK설정을 위한 물질 선택한 후 근로자에 있어서 예방 가능한 의학적 문제의 중요성에 따라 선택하며 위원회 위원, 산업계, 정부에서 제안할 수 있다. MAK 값을 설정하는데 혼합물의 효과를 먼저 고려한다.

(2) 노출기준

노출기준은 권고기준으로 시간가중평균치 20ppm, 단시간노출기준 40ppm, 피부흡수주의표시(skin) 발암성을 그룹4 로 권고하고 있다.

(3) 설정근거

노출기준 설정 근거에 대한 자료는 없음

마 스웨덴

(1) 노출기준 제·개정 절차

스웨덴은 노출기준 제정을 위해서 노동자, 고용주, 노조의 3자간의 협조 체계를 이용한다. 스웨덴의 노출기준 설정의 중추적인 기능은 정부기구인 산업안전 보건국이 담당하고 있다. 산업안전 보건국에는 감독부서, 행정부서와 의사결정기관인 간사회를 두고 있다.

산업안전보건국에서는 허용농도 제정의 임무 수행을 위하여 산학의 긴밀한 협조체계를 갖추며 기술, 화학, 생리학적 분야 및 산업의학 분야의 연구활동을 수행한다.

1987년 7월, 국립산업보건연구원이 산업안전보건국의 후원아래 연구 활동을 수행하기 위하여 설립되었으며 300여명의 과학자와 30여명의 운영요원으로 구성되어 있다.

물질 허용농도의 제정 및 수정은 대개 3년마다 이루어지는데 정부, 노국 사업주 대표로 이루어진 조정위원회에서 최선에 소개되는 정보에 근거하여 물질의 우선순위를 정하게 된다. 제안서는 조정위원회에서 결정되는데 우선 스웨덴에서 사용되는 물질이어야 하고 사업장에서 문제가 되었던 자료를 바탕으로 제안서를 작성하게 된다. 제안서는 고용자, 고용주, 과학자, 산업의학 전문가, 근로감독관, 조정위원회 비서 등으로부터 제출되면 산업안전보건국에서는 면밀히 자료를 검토하고 미국, 독일, 스칸디나비아, 유럽 공동체의 활동을 참고한다.

모든 제안서들을 취합한 후에 조정위원회에서 선택물질의 초안을 잡고 우선순위를 배정한다. 선택물질목록은 과학적 근거를 위하여 기준위원회에 제출된다.

과학적 기준을 결정하는 것 외에 조정위원회는 경제적인 요인을 고려하게

된다. 조정위원회는 노출되는 노출 근로자수와 각 사업장에서의 농도 등을 검토하고 여러 출판자료를 검토하는 일련의 과정을 거친다. 따라서 건강과 사업장의 요인을 함께 검토하게 되고 이러한 경제적인 요인은 감사회에서도 검토한다.

(2) 노출기준

규제기준으로 시간가중평균치 10ppm, 단시간 노출기준 25ppm, 피부흡수주의표시(skin), 발암성을 그룹Ca 로 규정하고 있다.

(3) 설정근거

노출기준 설정 근거에 대한 자료는 없음

바. 영국: WEL(Workplace Exposure Limits)

(1) 노출기준 제·개정 절차

COSHH(Control of Substances Hazardous to Health Regulations)가 작업장에서의 유해물질노출을 관리하기 위한 법적 틀을 만들었다.

1989년 HSC(Health and Safety Commission's) Advisory 위원회 on the Toxic Substances(ACTS)가 OEL을 설정하기 위한 기본 프로그램을 설정하였다.

ACTS는 WATCH(Working Group on the Assessment of Toxic Chemicals)와 연계되어 있으며 WATCH는 OEL 설정을 위하여 검토되어야 하는 화학물질 목록을 작성하였다.

WATCH와 ACTS는 OEL의 확립을 위한 물질의 우선순위를 정하는데 몇 가지 사항을 고려한다. 고려될 첫번째 요소는 현재의 과학 지식과 관심의 정도이고 둘째 검토사항은 화학물질과 관련 있는 자료와 증거를 모으고 새롭게 갱신하는데 걸리는 소요시간, 마지막으로 그러한 평가를 수행하기 위한 자원의 가용성 등이다.

OEL설정은 [Occupational Exposure Standards(OESs)와 Maximum Exposure

Limits(MELs) 모두] WATCH에 의한 모든 관련기초문헌(발표되지 않은 문헌도 포함)에 대하여 포괄적인 고찰과 과학위원회에 의한 평가, 상급위원회에서의 인정에 그 근거를 두고있다. HSE(Health and Safety Executive)내에서 전문가에 의해 기본 검토작업이 주로 수행되고 있다. 이들 전문가들은 독성학자, 산업위생학자, 화학분석가, 역학자와 산업의사들로 구성된 연구팀으로 구성된다.

자료검색은 모든 표준데이터베이스를 이용하여 수행되고, 관련 산업장과의 접촉을 통하여 접근 가능한 독성학적, 노출자료, 산업보건자료를 얻는다. 그 후 내부평가와 외부평가를 거쳐 위원회에 제출된다.

과학적인 요소와 사회경제적인 요소사이의 구분을 위한 노력이 충분히 이루어진다. 우선은 NOAEL 즉 threshold를 확인하고 건강에 기초를 둔 OES의 setting을 고려하여 이것이 과학적, 경제적, 실제적으로 접근가능한지에 대하여 분석한다. 만일 OES를 정할 수 없다면 경제요소를 고려하는 MEL을 정해야 한다.

(2) 노출기준

규제기준으로 시간가중평균치 25ppm, 단시간 노출기준 100ppm, 피부흡수 주의표시(skin)로 규정하고 있다.

(3) 설정근거

설정 근거에 대한 자료는 없으나 1997년에 제정된 ACGIH의 시간가중평균치 25ppm을 받아들여 설정한 것으로 사료됨

사 프랑스

(1) 노출기준 제·개정 절차

프랑스에서는 직업병과 산업위해의 예방을 위하여 위험한 물질에 근로자가 노출되는 것을 피하게 하거나 최소수준으로 감소시키고자 한다.

OELs에 대한 첫 목록은 1982년에 출판되었으며 현재 직업성 노출기준

(OELs)은 특정물질에 대한 허용기준(asbestos, vinyl chloride, dusts, benzene, lead, fumigation gases)과 권장기준 2가지 종류가 있다.

물질 선택기준과 우선순위는 매우 위험하다고 생각되는 6개 물질 그룹에 대해서는 허용기준이 있고 이는 준수하는 것은 의무사항이고 기타물질(500종 이상)에 대해서는 권장기준이 설정되어 있다.

14노출기준 제·개정 시 산업계에서 참여하여 경제적 현실을 반영시키고 있다.

(2) 노출기준

권고기준으로 시간가중평균치 10ppm, 단시간 노출기준 40ppm으로 권고하고 있다.

(3) 설정근거

노출기준 설정 근거에 대한 자료는 없음

6. 작업장내 근로자 노출실태

가. 작업환경측정방법 및 실태조사

(1) 예비조사

전화방문 및 현장 방문을 실시하여 1,4-디옥산 취급여부를 확인하였고 현장 방문 시에는 사용 및 취급 물질 내에 1,4-디옥산 함유 여부를 확인하기 위해 벌크 시료를 채취하였다. 조사된 사업장은 표 3-21과 같다.

<표 3-21> 현장방문 사업장 명단

사업장	소재지	업종	취급근로자수
A	경기도 안산시 단원구 신길동	기록용 매체 및 관련 화학제품 제조업	9
B	경기도 안산시 단원구 성곡동	그 외 기타분류 안된 화학제품 제조업	5
C	경기도 안양시 만안구	일반용 도료 및 관련제품 제조업	3
D	충북 진천군 덕산면	광섬유 및 광학요소 제조업	3
E	인천시 서구 가좌동	의학용 약제품 제조업	5
F	경기도 성남시 중원구 상대원1동	의약품 화합물 및 항생물질 제조업	3

(2) 측정방법 및 분석방법

미국 국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)와 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)의 공정시험법을 간략하게 정리하면 다음과 같다.

가) NIOSH Method No. 1602

▶Sampling

- SAMPLER : 코체흡착관(coconut shell charcoal, 100mg/50mg)
- 유속 : 0.01 ~ 0.2 l/min
- 유량 : 0.5 l ~ 15 l
- 시료 안정성 : 25℃에서 1주일, -10℃에서 6주일 이상

▶분석방법(표 3-22)

- 기기 : FID 부착된 GC
- 탈착 : 1ml CS₂, 30분
(내부표준물질 - 0.1%(v/v) octane, decane, or other suitable)
- 분석범위 : 0.2-7 mg/시료
- 검출한계 : 0.01 µg/시료

<표 3-22> 1,4-디옥산 GC-FID 분석조건(NIOSH)

Descriptions	Conditions
Instrument	Gas Chromatography
Detector	Flame Ionization Detector
Column	6m×3-mm stainless steel packed with 10% FFAP on 80/100 mesh Chromosorb W-HP Chromosorb W-HP
Temperature	Injection 225℃
	Detector 250℃
	Column 75℃
Carrier gas	He, 30ml/min(60 psig)
Injection volume	5 µl

나) OSHA Method No.07

▶ Sampling

○포집매체 고체흡착관(coconut shell charcoal, 100mg/50mg)

○유속 : 0.2 ℓ /min (최대)

○유량 : 10 ℓ

▶ 분석방법

○기기 : FID가 부착된 GC

○컬럼 : 60-m $\times$ 0.32mm DB-1 capillary column with 1m df

60-m $\times$ 0.32mm DB-WAX capillary column with 1um df

다) 본 연구에서의 측정 및 분석방법

본 연구는 위의 두 가지 방법을 병행하여 사용하였으며, 실험방법은 다음과 같다.

- 기구 및 시약

▶ 기구

1. 시료채취기구 : 고체흡착관(활성탄관, 100mg/50mg)
2. 개인시료 채취용 펌프(Gilian, Low flow sampler)
3. FID가 부착된 Gas Chromatography (HP 6890 Plus Series)
4. Vial (2ml, 10ml)
5. Micro Syringe (10ul)
6. Pipette

▶ 시약 (Chromatographic quality)

1. 탈착용매 : CS₂ (Internal Standard 0.05%(v/v) Octane)
2. 1,4-Dioxane (99.9%)
3. DE stock solution 0.1mg/ul
(Pentane 10ml에 1,4-디옥산 0.97ml를 넣어 희석시킨다.)

- 시료채취

1. 각 개인시료 채취용 펌프(Gilian)에 유량보정펌프를 연결하여 보정한다.
2. 채취전에 흡착관의 끝부분을 깨뜨리고 구부러지기 쉬운 고무 튜브를 통하여 개인시료 채취용 펌프에 연결한다.
3. 0.05 ~ 0.1 L/min의 유속으로 약 180분씩 오전, 오후로 나누어 2회 채취한다.
4. 채취한 흡착관의 마개를 한 뒤 안전하게 운반한다.
5. -10℃ 이하 냉동고에 보관한다.

- 시료전처리

1. 흡착관의 앞, 뒤층을 분리하여 2ml Vial에 담는다.
2. 각 Vial에 탈착용매 1ml를 넣고 마개를 한다.
3. 가끔씩 흔들어 주면서 30분간 방치한다.

- 표준용액 제조

1. Stock solution 제조 : 1,4-디옥산의 노출기준(25ppm)을 체크하여 농도에 맞게 Stock solution을 제조한다.

Stock solution calculations

$$25\text{ppm} \times 88.11/24.45 = 90.1\text{mg}/\text{m}^3$$

$$90.1\text{mg}/\text{m}^3 \times \{(0.07\text{L}/\text{min} \times 180\text{min})/1000\} = 1.13526\text{mg} = 1135.26\text{ug}$$

$$10\text{ul}/10\text{ml} \times 1.034\text{g}/\text{ml} \times 0.999 = 0.001033\text{g}/\text{ml} = 1033\text{ug}/\text{ml}$$

→ 10ml 탈착용매가 들어있는 Vial에 Micro syringe를 이용하여 1,4-Dioxane 10ul를 취해서 주입한다. (1033ug/ml)

2. Stock solution을 희석하여 2.066ug ~ 1033ug의 농도범위에서 6개의 표준용액으로 사용한다.

- Spike sample 제조

1. DE stock solution 제조 : 10ml Pentane에 0.97ml(0.968086ml) 1,4-Dioxane을 넣어 희석시킨다.

2. Micro syringe를 이용하여 1ul, 3ul, 5ul를 취한 후 needle이 활성탄관의 내벽에 닿지 않도록 주의하여 앞층에 주입한다.

- 기기분석조건

GC FID 최적의 분석조건은 표 3-23과 같다.

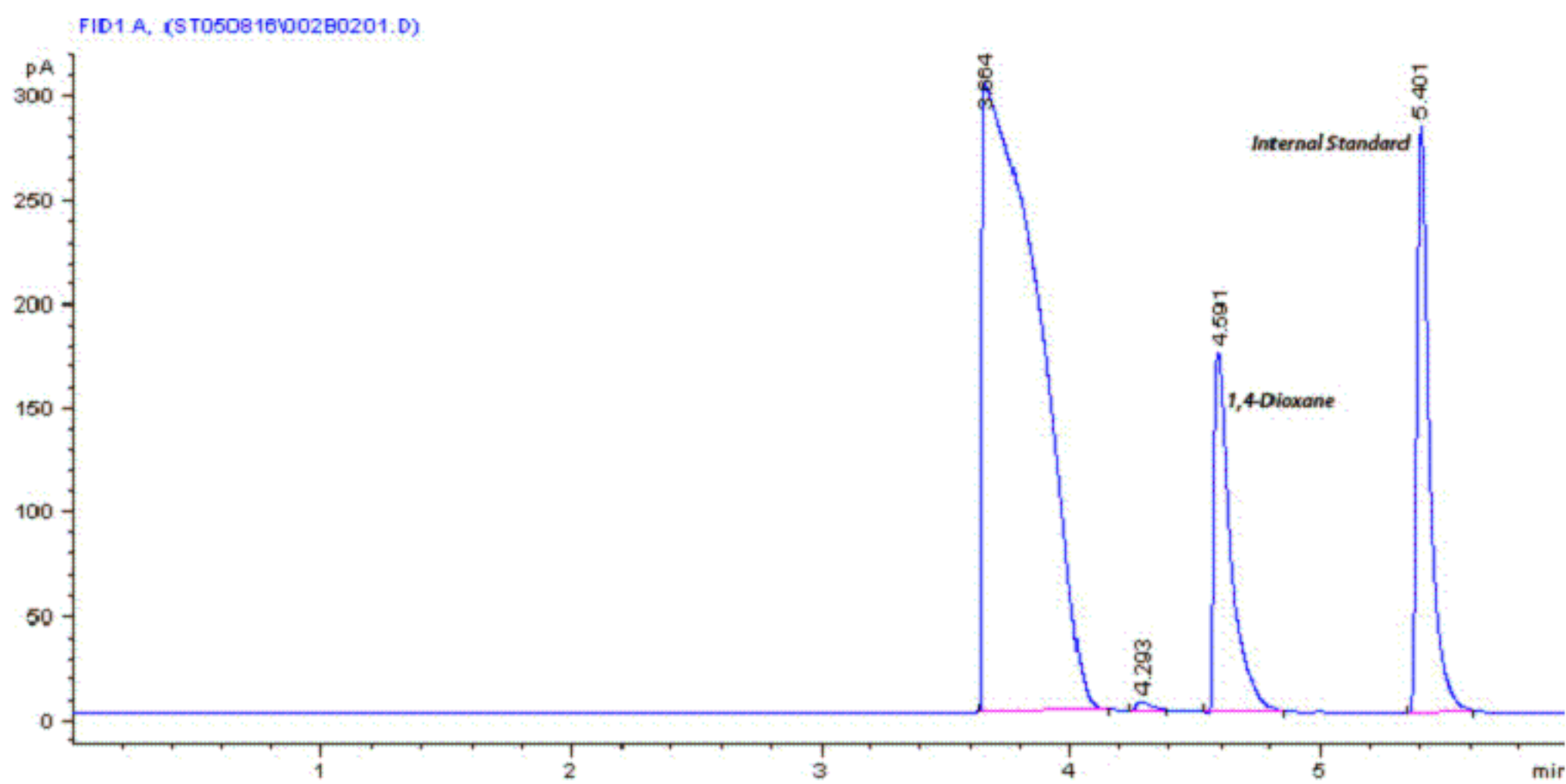
<표 3-23> 1,4-디옥산 GC-FID 분석조건(본 연구)

Descriptions	Conditions
Instrument	HP 6890 sries plus
Detector	Flame Ionization Detector
Column	HP-1 Crosslinked Methyl Silicone Gum (ID 0.2mm, Film Thickness 0.33um, Length 50m, Phase Ratio 150) Replaces Ultra 1, DB-1, BP-1, SPB-1, GB-1, CPSIL 5, 007-1, RSL-150, OV-1, SE-30, HP-5, Ultra 2, DB-5, BP-5, SPB-5, GC-5, CPSIL 8, 007-2, RSL-200, SE52, OV-73, SE-54
Temperature	Injection 225℃
	Detector 250℃
	Column 100℃
Injection volume	3 μ l
Split ratio	10 : 1

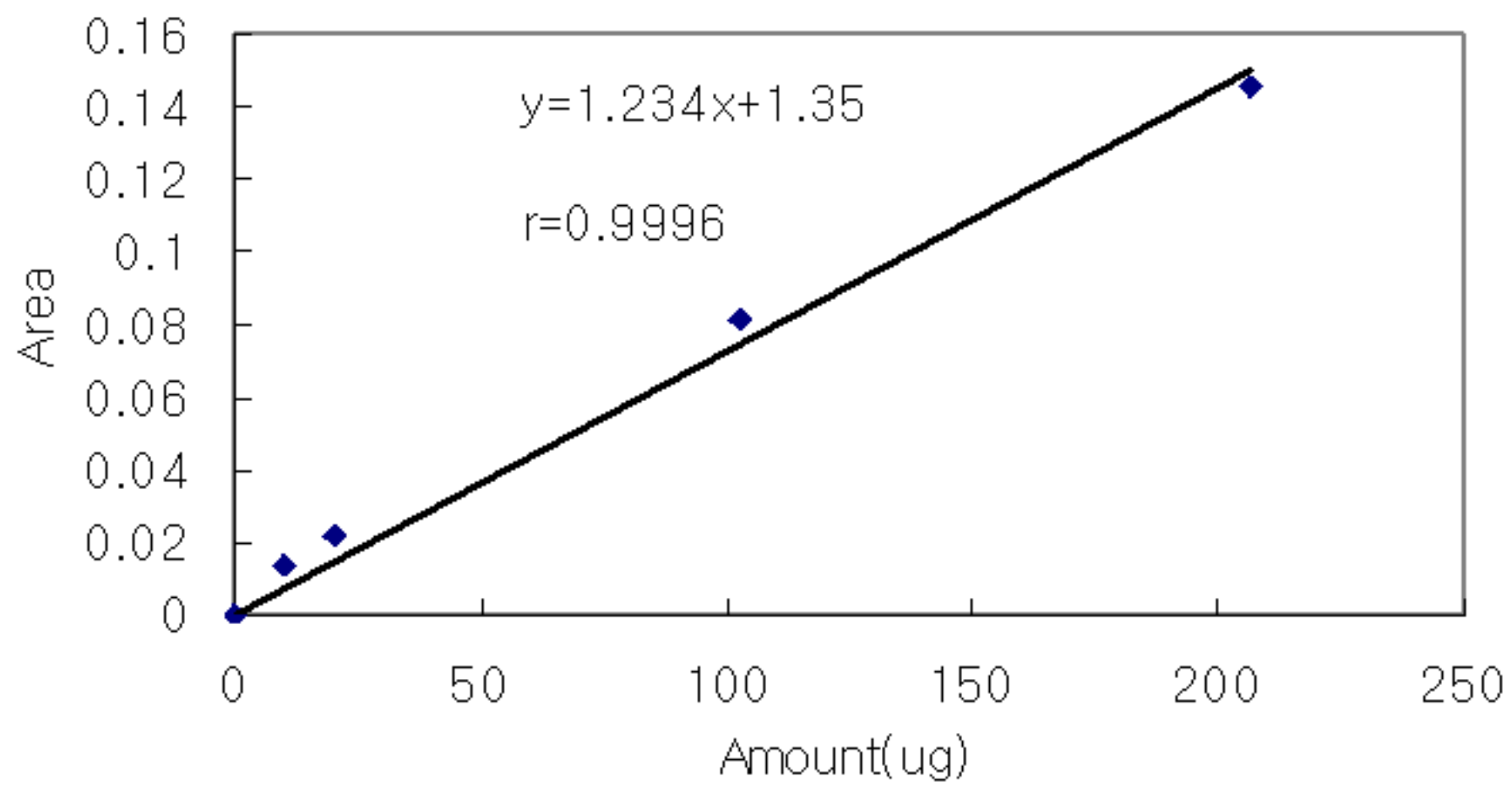
(3) 분석결과

가) 1,4-디옥산의 GC/FID분석

분석 조건에 따라 1,4-디옥산을 분석한 결과 그림 3-60과 같았다. 1,4-디옥산의 머무름 시간은 4.591분이었으며 내부 표준물질인 옥탄의 머무름 시간은 5.401분이었다(그림 3-60). 검량방법은 1,4-디옥산과 내부 표준물질인 옥탄의 피크 면적의 비로 내부 표준검량식을 구하였다(그림 3-61).



[그림 3-60] GC/FID로 분석한 1,4-디옥산의 크로마토그램



[그림 3-61] 1,4-디옥산의 검량선

나) 1,4-디옥산의 탈착효율

포집 매체인 활성탄관에 1,4-디옥산을 100 μ g, 300 μ g, 500 μ g을 주입하여 탈착 효율을 구한 결과 표 3-24와 같으며 평균 탈착률은 97.6 $\pm$ 9.3%이었다.

<표 3-24> 1,4-디옥산의 탈착 효율 결과

Added amount (ug)	DE1(%)	DE2(%)	DE3(%)	Total
100	94.1	101.2	109.9	105.6 $\pm$ 7.9
300	84.8	87.3	105.6	94.5 $\pm$ 11.4
500	86.7	86.0	90.7	88.4 $\pm$ 2.5
Total				97.6 $\pm$ 9.3

나. 근로자 노출실태

(1) 작업환경실태조사

1,4-디옥산을 사용하고 있는 연구대상 사업장 6개소에 대한 작업환경 평가표를 이용하여 사업장 전체의 일반 환경보건관리 및 1,4-디옥산을 취급하는 공정에 대한 작업환경관리 상태 등을 평가항목별로 조사하여 종합한 결과를 표 3-25에 yes(Y), no(N)로 나타내었다.

<표 3-25> 연구대상 사업장의 작업환경 상태평가 (계속)

구분	번호	평가항목	평가결과						
			A사	B사	C사	D사	E사	F사	G사
일반관리	1	조사대상 유해인자에 대한 유해·위험성을 인지하고 있는가?	N	N	Y	Y	Y	N	Y
	2	보건안전관리 체제가 구축되어있는가?	N	N	N	Y	Y	N	Y
	3	보건관리자(관계자)의 작업환경측정 및 건강진단 참여하고 있는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	4	현장의 정리·정돈·청소·청결 등 위생관리상태관리가 잘되어 있는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	5	근로자등에 관한 보건교육계획 수립 및 정기적 실시하고 있는가?	N	N	N	Y	Y	Y	Y
	6	위생조치를 통한 노출량감소 방안으로 세수 및 세안을 위해 화장품, 신나, 비누 등을 사용 하는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	7	휴게실과 유해화학물질 취급 장소와의 격리되어 있는가?	N	N	Y	Y	Y	Y	Y
	8	휴게실은 근로자들이 휴식을 취하기에 적절한 공간과 휴식시간 주어졌는가?	N	N	Y	Y	Y	Y	Y

<표 3-25> 연구대상 사업장의 작업환경 상태평가 (계속)

구분	번호	평가항목	평가결과						
			A사	B사	C사	D사	E사	F사	G사
일반관리	9	조사대상 화학물질의 물질안전보건자료(MSDS) 작성이 되어있는가?	N	N	N	N	N	N	N
	10	작성된 MSDS를 취급 근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 게시 및 비치되어있는가?	N	N	N	N	N	N	N
	11	조사대상 화학물질을 취급하는 용기 및 포장에 경고표지가 부착되어있는가?	N	N	N	N	N	N	N
	12	MSDS 내용에 대한 교육 실시 및 근로자 대표의 확인을 받고, 보관하고 있는가?	N	N	N	N	N	N	N
	13	유해화학물질을 저장할 때 일정한 장소를 지정하고 있는가?	Y	Y	Y	Y	N	N	Y
	14	유해화학물질 저장장소 및 취급하는 옥내작업장에 관계근로자 이외 출입금지 표지판이 있었는가?	N	N	Y	N	Y	Y	Y
	15	조사대상 화학물질에 노출되는 근로자 및 유해인자에 대하여 작업환경측정을 누락 없이 실시하고 있는가?	Y	Y	Y	Y	N	Y	N
	16	작업환경측정결과를 당해 작업장 근로자에게 알리고 그 결과에 따른 건강보호에 필요한 적절한 개선조치를 실시하고 있는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	17	근로자의 건강보호·유지를 위하여 일반, 채용 시, 특수, 배치 전 건강진단 대상자 선정 및 누락 없이 실시하였는가?	N	N	Y	Y	Y	Y	Y
	18	건강진단을 실시한 후 유소견자에 대한 사후관리제도가 있는가?	N	N	Y	Y	Y	Y	Y

<표 3-25> 연구대상 사업장의 작업환경 상태평가 (계속)

구분	번호	평가항목	평가결과						
			A사	B사	C사	D사	E사	F사	G사
작업환경관리작	19	조사대상 화학물질의 발생원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치를 설치했으며, 가동하고 있는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	20	국소배기 장치 후드의 형태는 위해 노출물질을 제거하기에 효율적으로 설치를 했는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	21	국소배기 장치 후드의 형태는 작업자가 작업을 하기에 불편한 위치에 설치되어있는가?	N	N	N	N	N	N	N
	22	발생원마다 후드의 설치가 되어있는가?	Y	Y	N	N	Y	Y	N
	23	설치된 후드의 제어풍속은 기준에 적당한가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	24	후드 주변의 난기류 영향을 받아 작업장내부로 확산이 잘 이루어지는가?	N	N	N	N	Y	N	N
	25	설치된 국소배기장치의 배기구는 옥외로 향하도록 하여 재 유입되지 않도록 설치하였는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	26	설치된 국소배기장치에 대하여 1년에 1회 이상 국소배기장치 자체검사를 실시하고 있는가?	N	N	N	N	Y	N	N
	27	자체검사 시 기록보존 및 점검 결과 이상 발견 시에는 적절한 조치를 하고 있는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	28	실내작업장의 바닥은 불 침투성의 재료를 사용하며, 청소가 쉬운 구조로 되어져 있는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

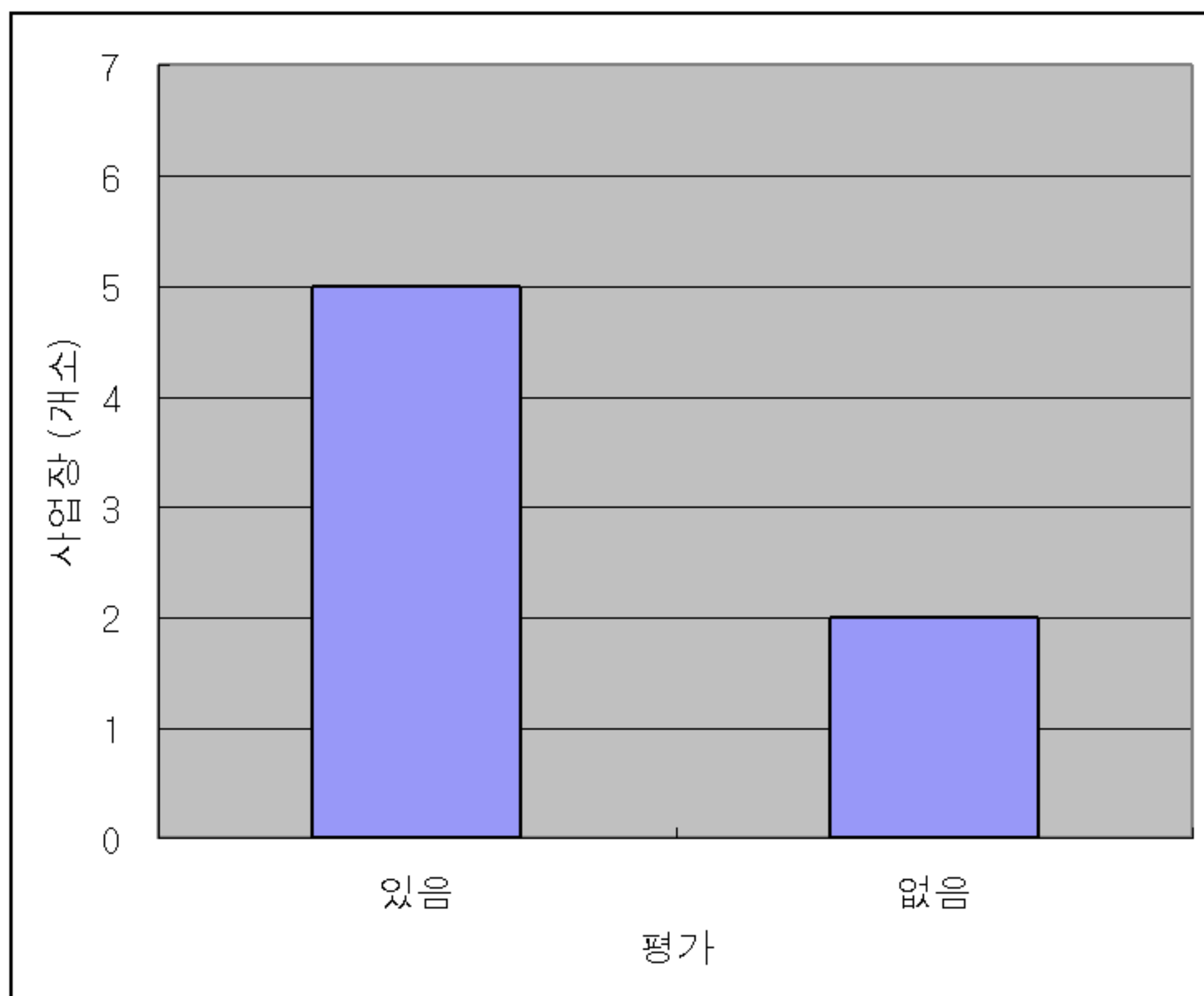
<표 3-25> 연구대상 사업장의 작업환경 상태평가

구분	번호	평가항목	평가결과						
			A사	B사	C사	D사	E사	F사	G사
작업 관리	29	유해화학물질을 취급하는 작업 장소에는 명칭, 인체에 미치는 영향 등에 관한 내용을 보기 쉬운 장소에 게시하고 있는가?	N	N	N	N	N	N	N
	30	유해화학물질을 취급하는 실내작업장에서는 근로자가 흡연을 하거나 음식물을 먹지 아니하도록 보기 쉬운 장소에 게시하였는가?	N	N	N	N	N	Y	N
	31	유해화학물질을 취급하는 작업에 근로자를 종사하도록 하는 때에는 세면·목욕·세탁 및 건조를 위한 시설을 설치하고 필요한 용품 및 용구를 비치하였는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	32	보호구는 적절하게 지급했으며, 착용하고 있는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	33	보호구는 항상 사용 또는 교환할 수 있게 필요한 개수를 보관장소에 배치하였는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	34	작업복착용은 올바르게 되어있는가?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
총 합 평 가 결 과			29	29	25	30	28	33	25

(2) 일반관리

① 연구 대상 물질에 대한 유해 위험성의 이해 여부

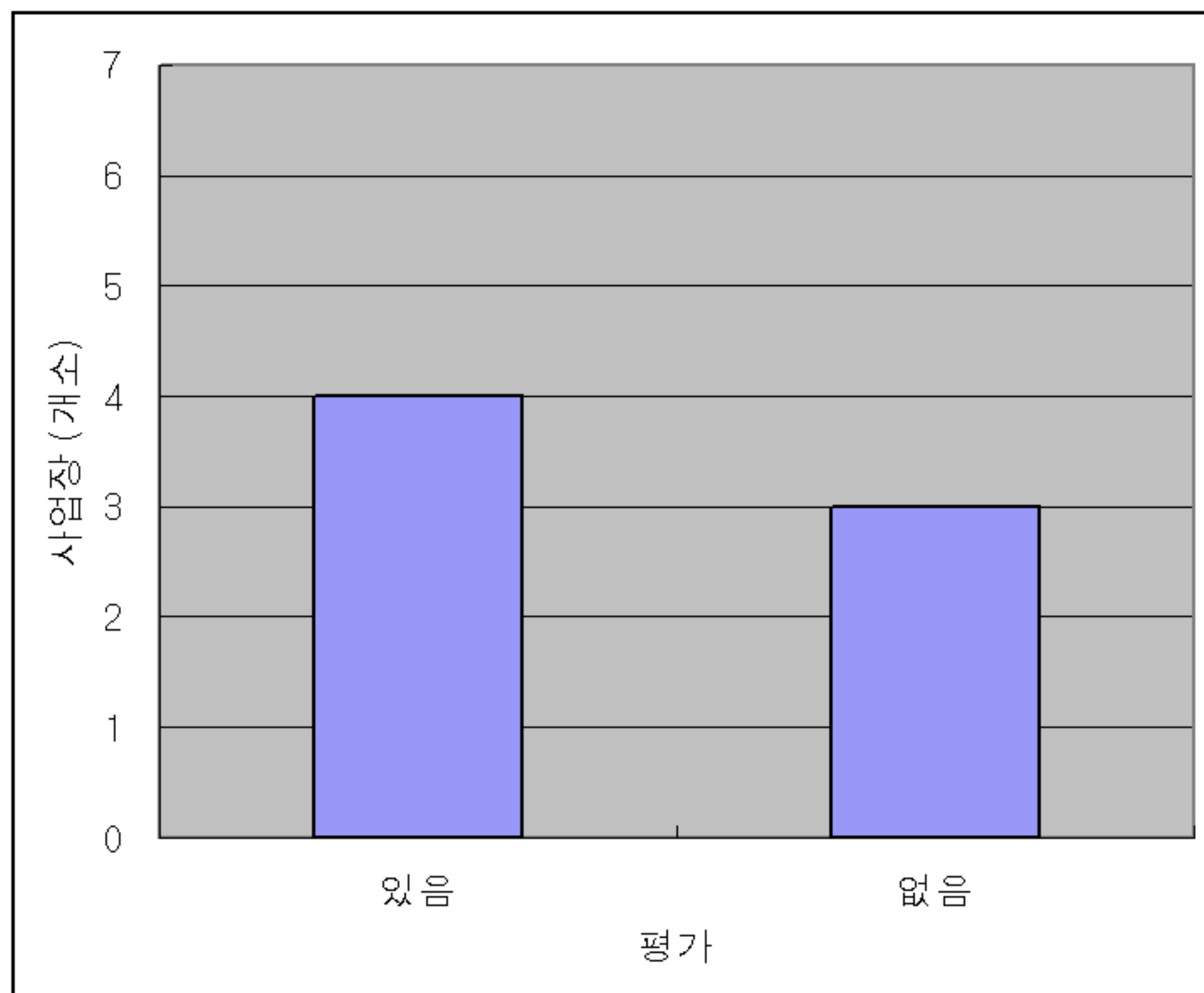
관리자 및 근로자가 연구 대상 물질에 대한 유해 위험성에 대해 이해하고 있는 사업장은 5개소이고 관리자 또는 근로자가 연구 대상 물질에 대한 유해 위험성에 대해 이해하지 못하고 있는 사업장은 2개소로 조사되었다(그림 3-62).



[그림 3-62] 연구 대상 물질에 대한 유해 위험성의 이해 여부결과

② 보건안전관리 체제의 구축여부

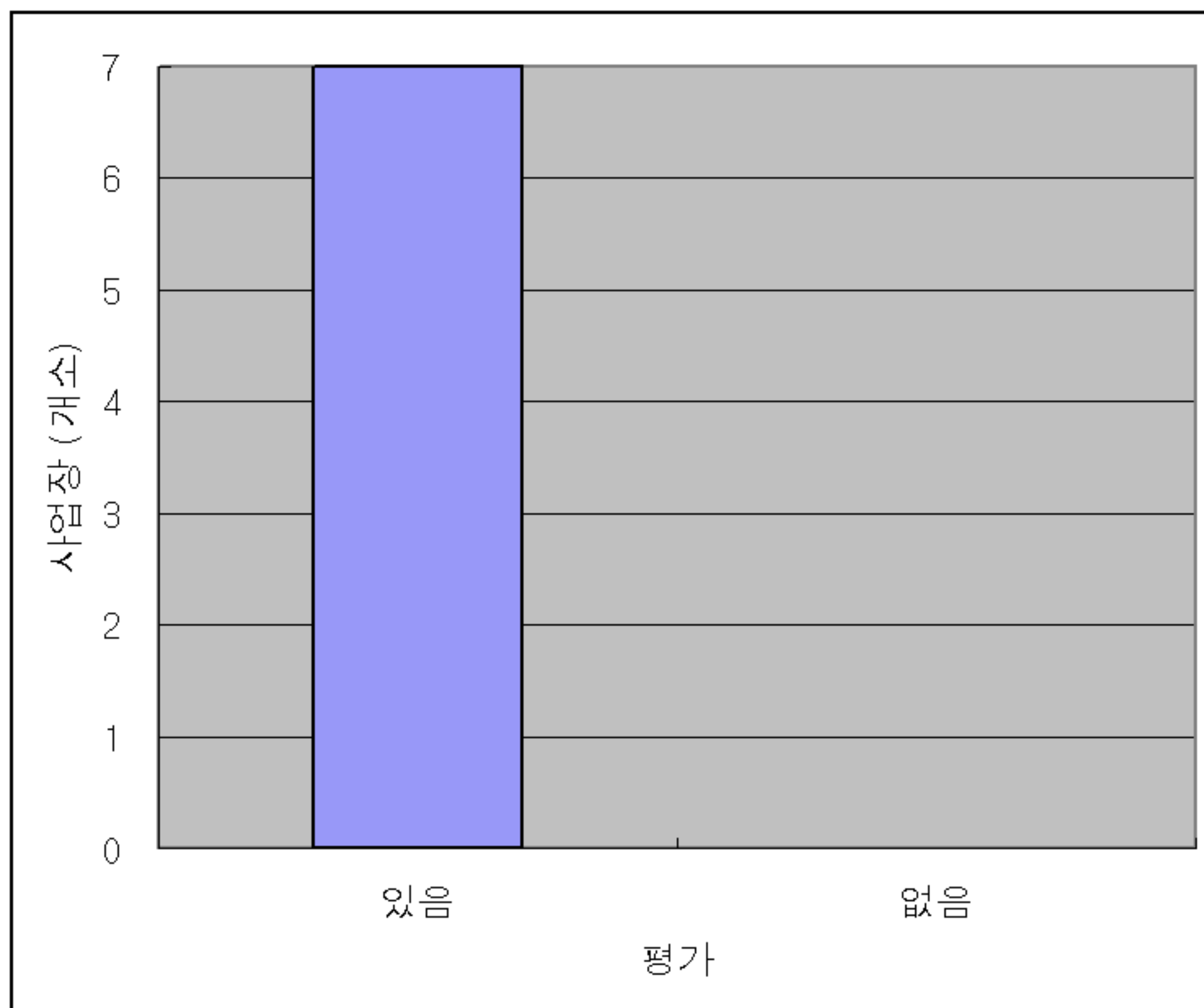
사업장 자체 보건안전 조직이 구성되어 있는 사업장은 4개소였고 보건안전 담당자만 지정되어 있고 사업장 자체 보건안전 조직이 구성되어 있지 않는 사업장은 3개소로 조사되었다(그림 3-63).



[그림 3-63] 보건안전관리 체제의 구축여부결과

③ 보건관리자 (관계자)의 작업환경측정 및 건강 진단 참여 여부

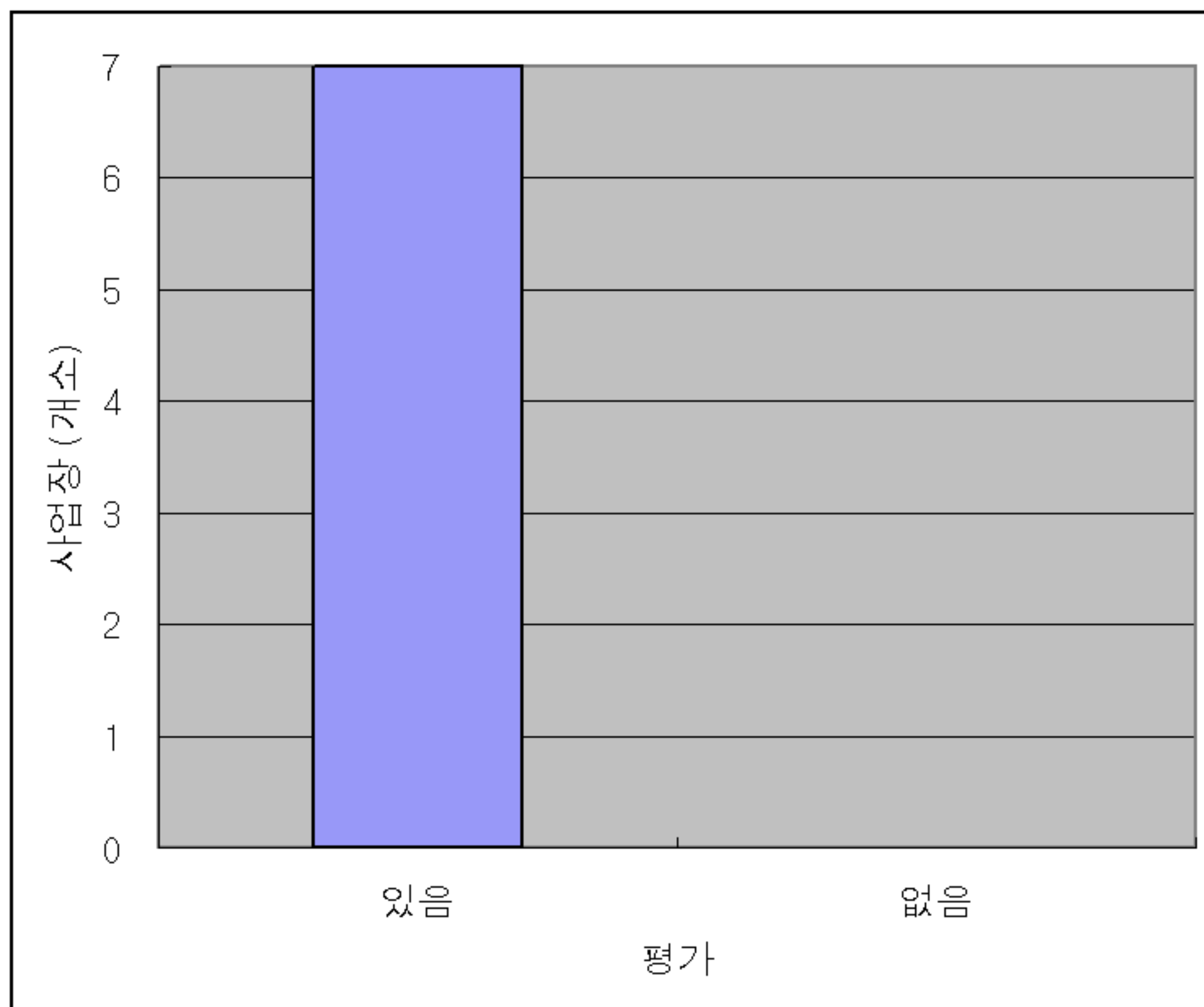
보건관리자가 작업환경측정 및 건강진단에 직접 참여하는 사업장은 7개소이었으며 참여하지않는 사업장은 없는 것으로 조사되어 모든 연구대상 사업장이 산업보건사업에 참여하는 것으로 조사되었다(그림 3-64).



[그림 3-64] 보건관리자 (관계자)의 작업환경측정 및 건강 진단 참여 여부결과

④ 현장의 정리, 정돈, 청소, 청결 등 위생관리상태

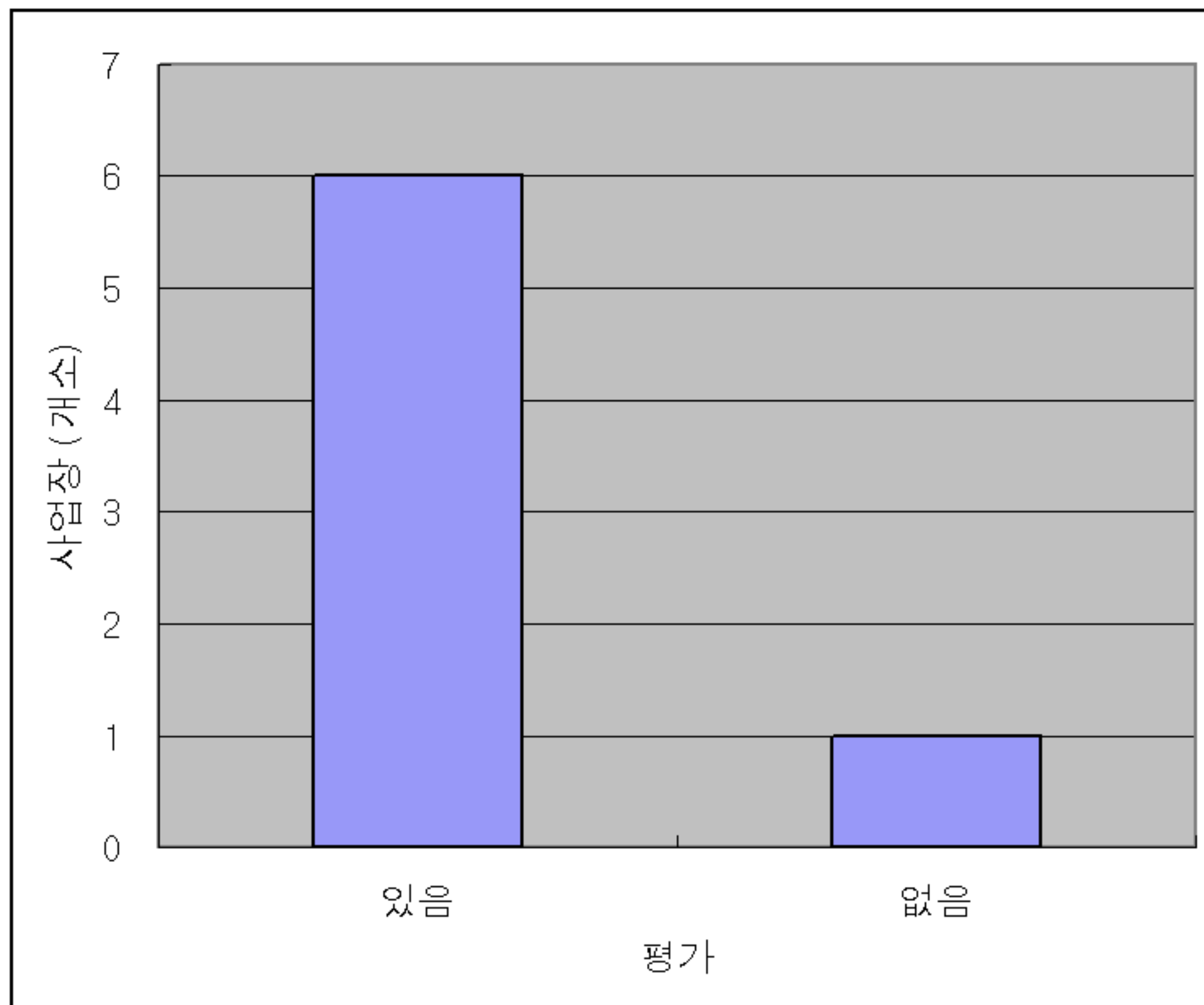
대청소 및 정리, 정돈, 청소 정기적으로 관리하는 사업장은 7개소 정기적으로 위생관리상태를 관리하지 않는 사업장은 없는 것으로 조사되어 사업장의 일반 위생관리가 대체로 잘 이루어지는 것으로 나타났다(그림 3-65).



[그림 3-65] 현장의 정리, 정돈, 청소, 청결 등 위생관리상태

⑤ 근로자들에 관한 보건교육수립 및 정기적 실시여부

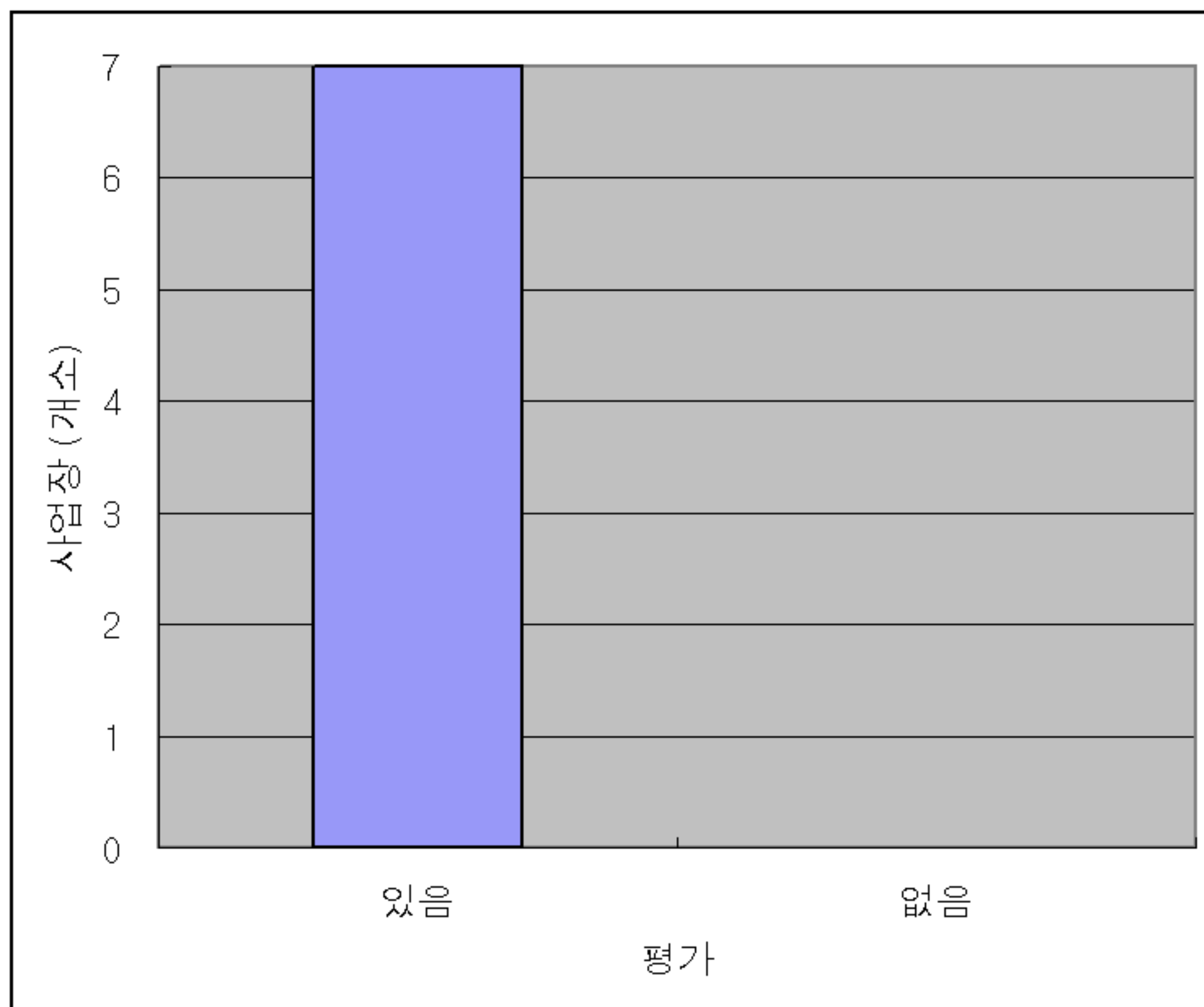
정기적으로 보건교육을 하는 사업장은 6개소, 미실시 사업장은 1개소 사업장으로 조사되었다(그림 3-66).



[그림 3-66] 근로자들에 관한 보건교육수립 및 정기적 실시여부결과

⑥ 작업 종료 후 세수 및 세안을 위해 사용제품의 유무

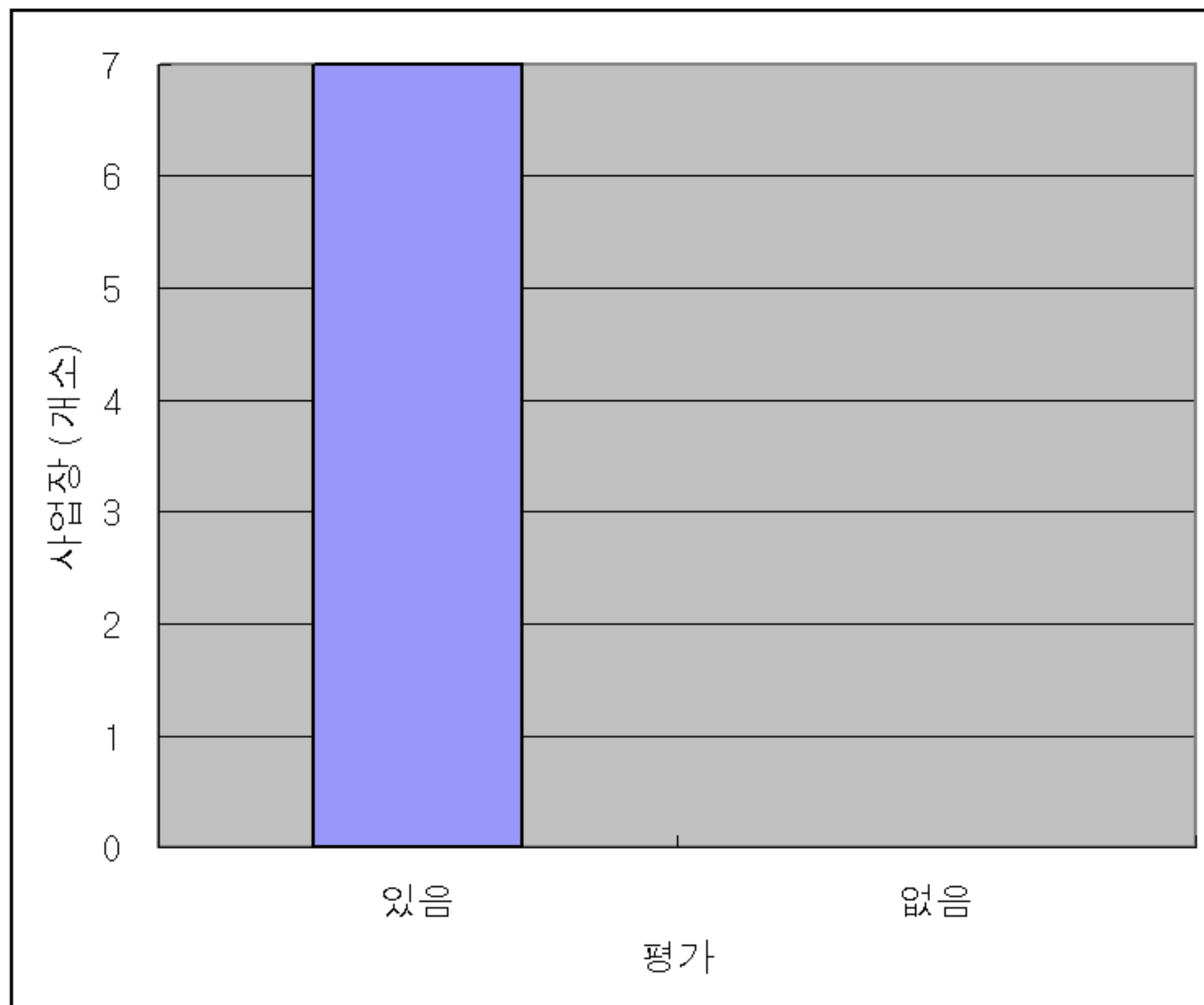
피부 보호용 화장품 및 비누를 사용하는 사업장은 7개소, 신나와 같은 등 기타 유기용제를 사용하는 사업장은 없는 것으로 조사되어 사업장에서 위생조치를 통한 노출량 감소 방안을 잘 준수하고 있는 것으로 생각된다(그림 3-67).



[그림 3-67] 작업 종료 후 세수 및 세안을 위해 사용제품의 유무 결과

⑦ 휴게실과 연구대상 물질 취급 장소와의 격리여부

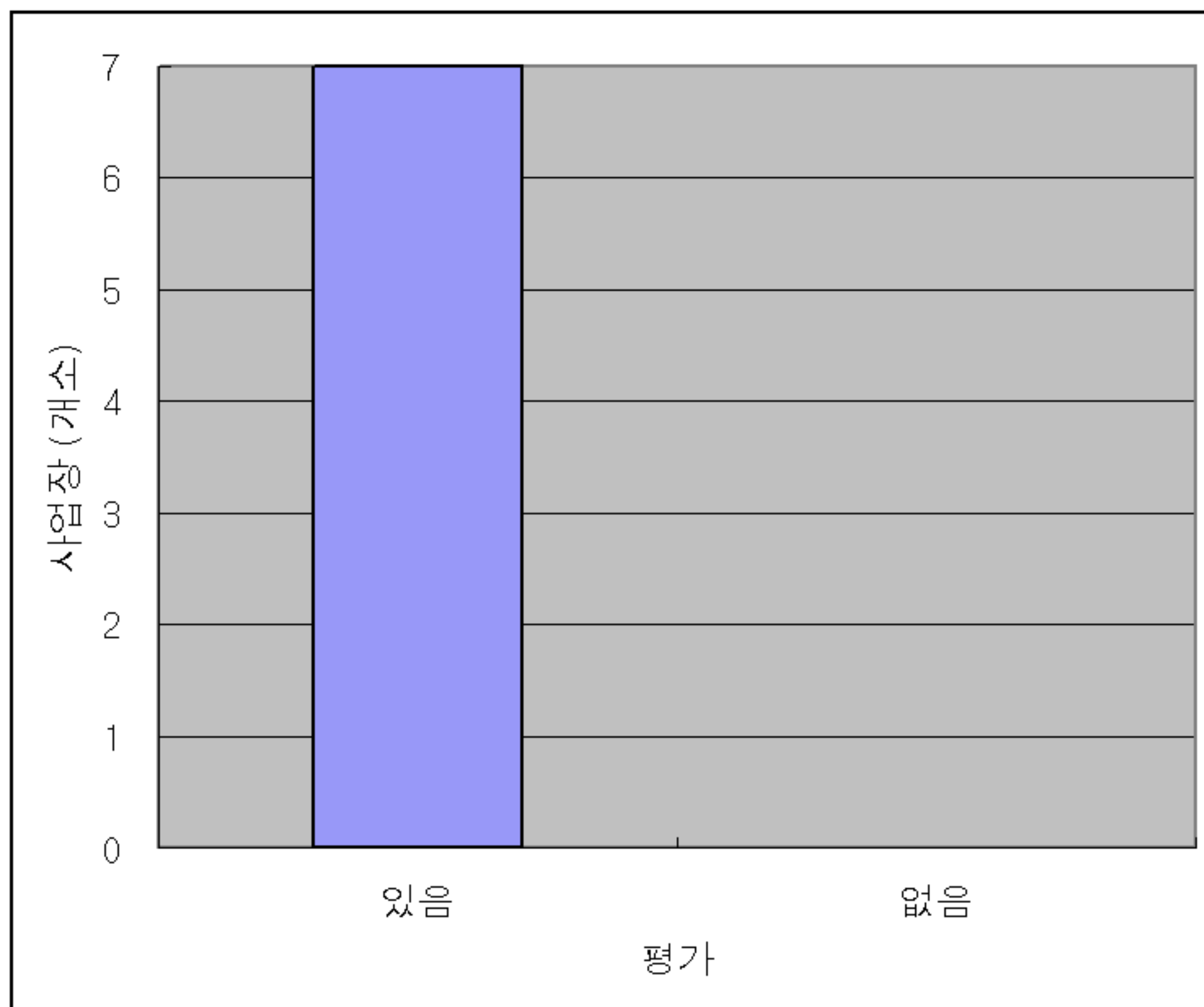
완전외부로 격리되어 있는 사업장은 7개소로 조사되어 대부분의 사업장은 휴게실과 유해화학물질 취급 장소를 격리하는 것으로 나타났다(그림 3-68).



[그림 3-68] 휴게실과 연구대상 물질 취급 장소와의 격리여부 결과

⑧ 휴식시간의 부여 여부

정기적 휴식시간 또는 작업주기별로 수시로 휴식을 취하는 사업장이 7개소이며, 휴식을 취하는 않는 사업장은 없는 것으로 조사되어, 작업 시 근로자들에게 일정한 휴식을 부여하고 있는 것으로 조사 되었다(그림 3-69).

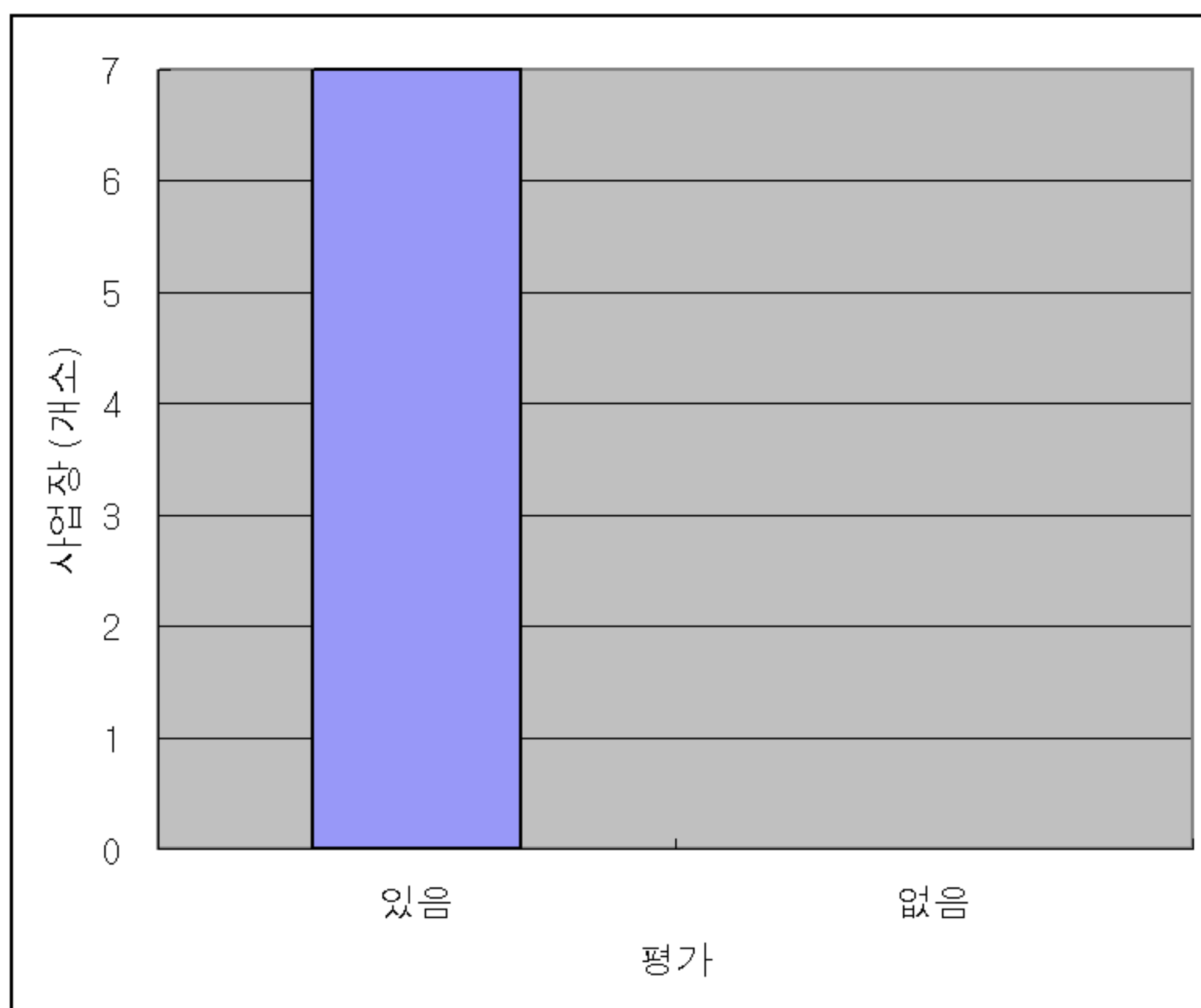


[그림 3-69] 휴식시간의 부여 여부결과

(3) 화학물질관리

① 연구대상 물질의 물질안전 보건 자료(MSDS) 작성여부

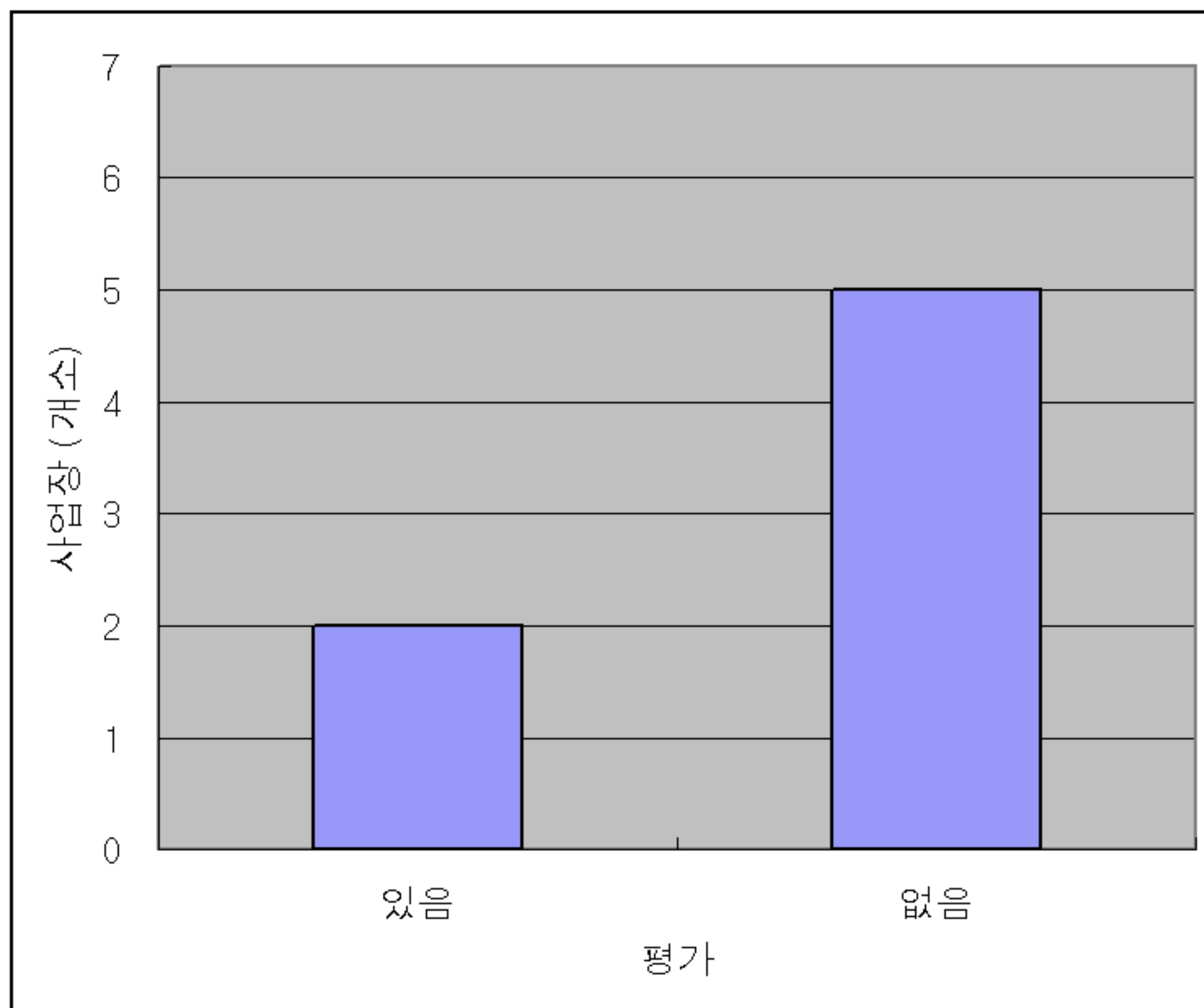
연구대상물질을 포함한 모든 사용물질의 MSDS 작성하는 사업장은 7개소이며 MSDS를 미작성하는 사업장은 없는 것으로 조사되어 MSDS 작성에 대한 사업장 인식은 매우 높은 것으로 나타났다(그림 3-70).



[그림 3-70] 연구대상 물질의 물질안전 보건 자료(MSDS) 작성여부결과

② 작성된 MSDS를 취급 근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 게시 및 비치여부

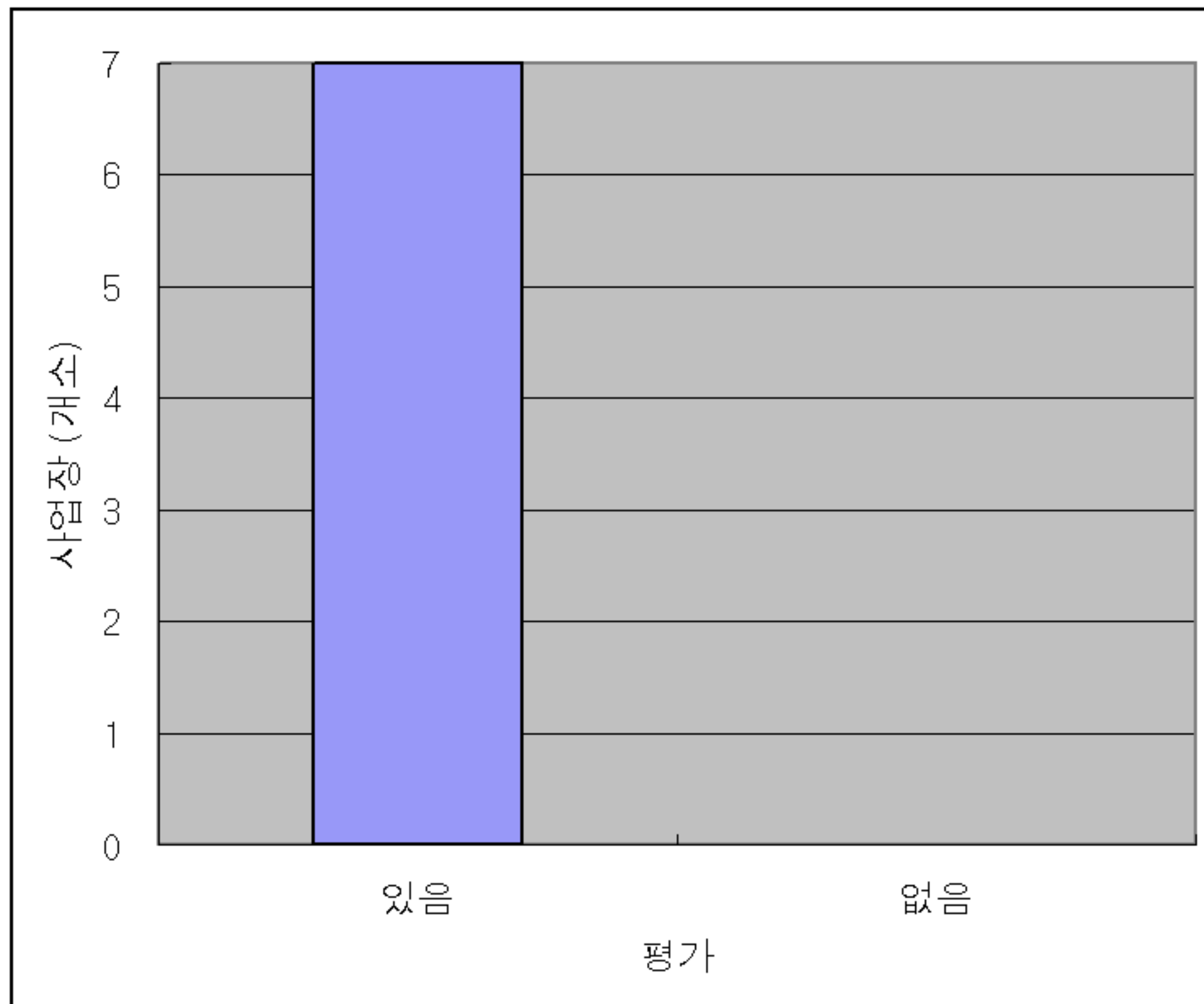
MSDS의 게시 및 비치를 모두 실시하는 사업장은 2개소이며 미실시하는 사업장은 5개소로 조사되어 MSDS를 근로자가 볼 수 있는 장소에 게시 및 비치하는 사업장은 적어 근로자에게 화학물질의 위험성을 알리고 대처하도록 하는데 대한 인식은 적은 것으로 나타났다(그림 3-71).



[그림 3-71] 작성된 MSDS를 취급 근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 게시 및 비치여부 결과

③ 연구대상 물질을 취급하는 용기 및 포장에 경고표시 부착여부

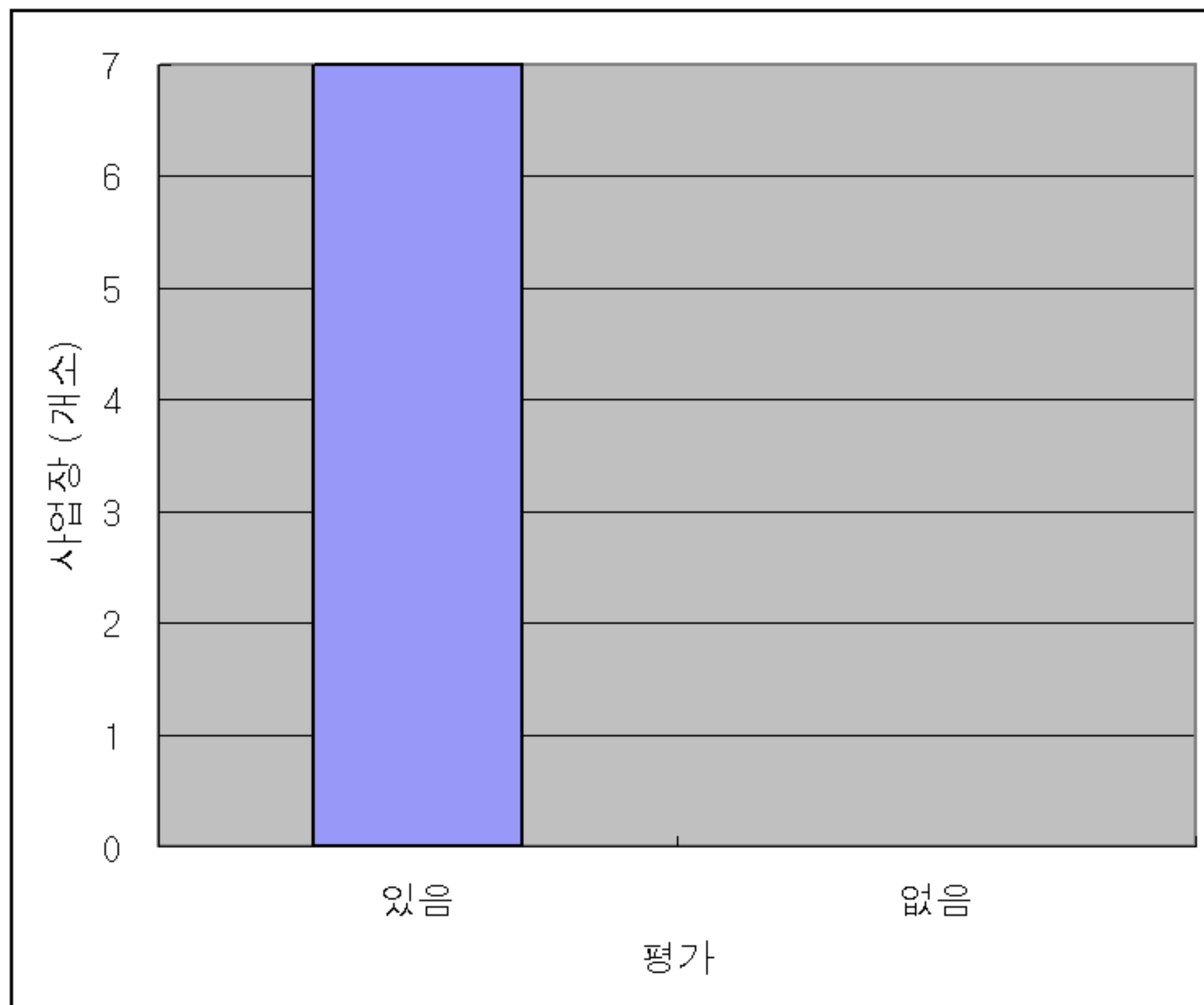
용기 및 포장에 부착 되어있는 사업장은 7개소 미부착한 사업장은 없는 것으로 조사되어 경고 표지를 부착을 통해 근로자에게 유해, 위험성을 주지시켜 주는 것으로 조사되었다(그림 3-72).



[그림 3-72] 연구대상 물질을 취급하는 용기 및 포장에 경고표시 부착여부 결과

④ MSDS 내용에 대한 교육 실시 및 근로자 대표의 확인을 받아 보관여부

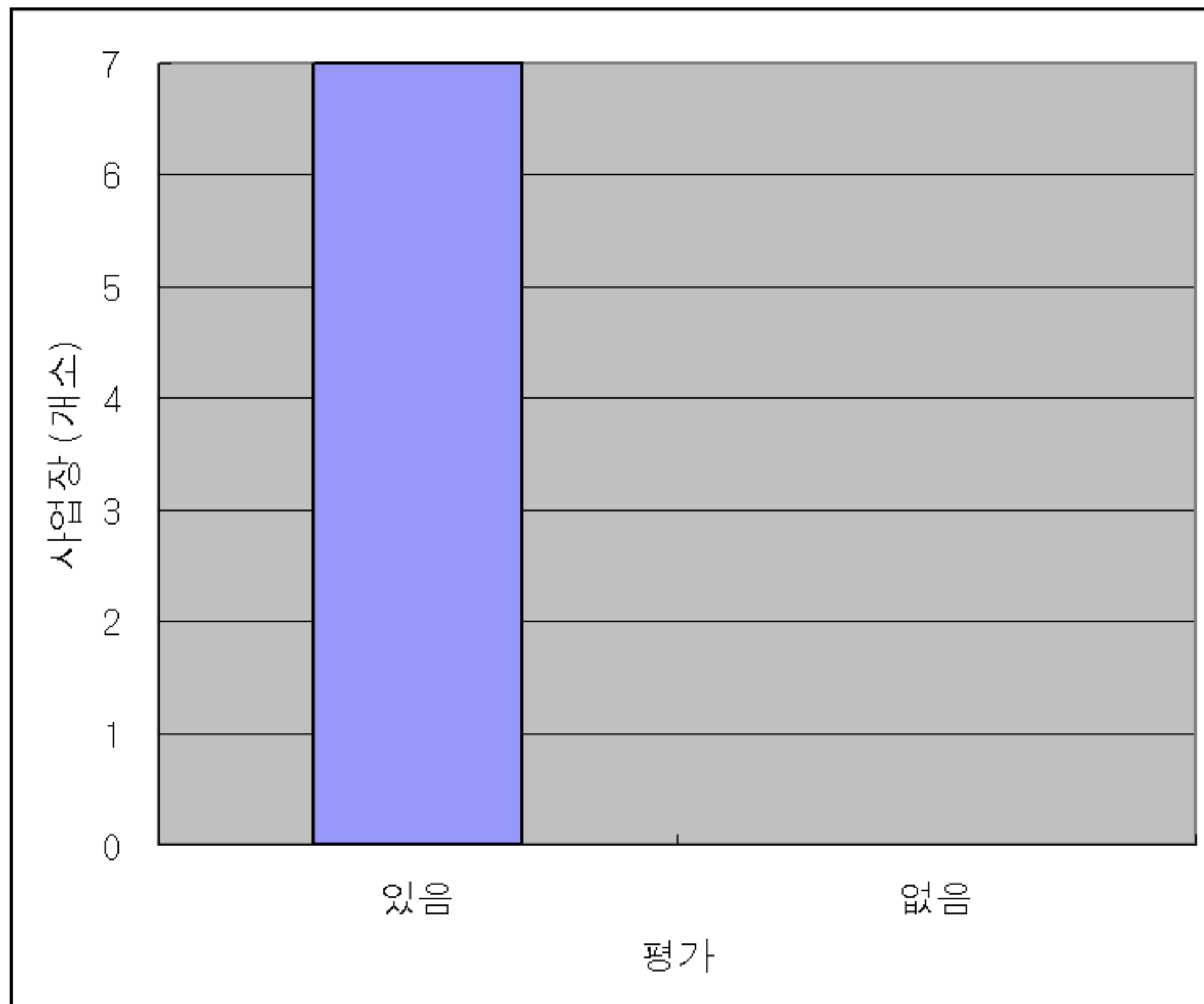
MSDS 내용에 대해 근로자에게 교육을 실시하고 확인을 받아보는 사업장은 7개소이며 MSDS 내용에 대해 근로자에게 교육을 실시하지 않는 사업장은 없는 것으로 조사되어 MSDS 내용에 대한 교육은 사업장에서 비교적 잘 이루어지는 것으로 생각된다(그림 3-73).



[그림 3-73] MSDS 내용에 대한 교육 실시 및 근로자 대표의 확인을 받아 보관 여부결과

⑤ 연구대상 물질의 저장 시 일정한 장소에 지정 보관여부

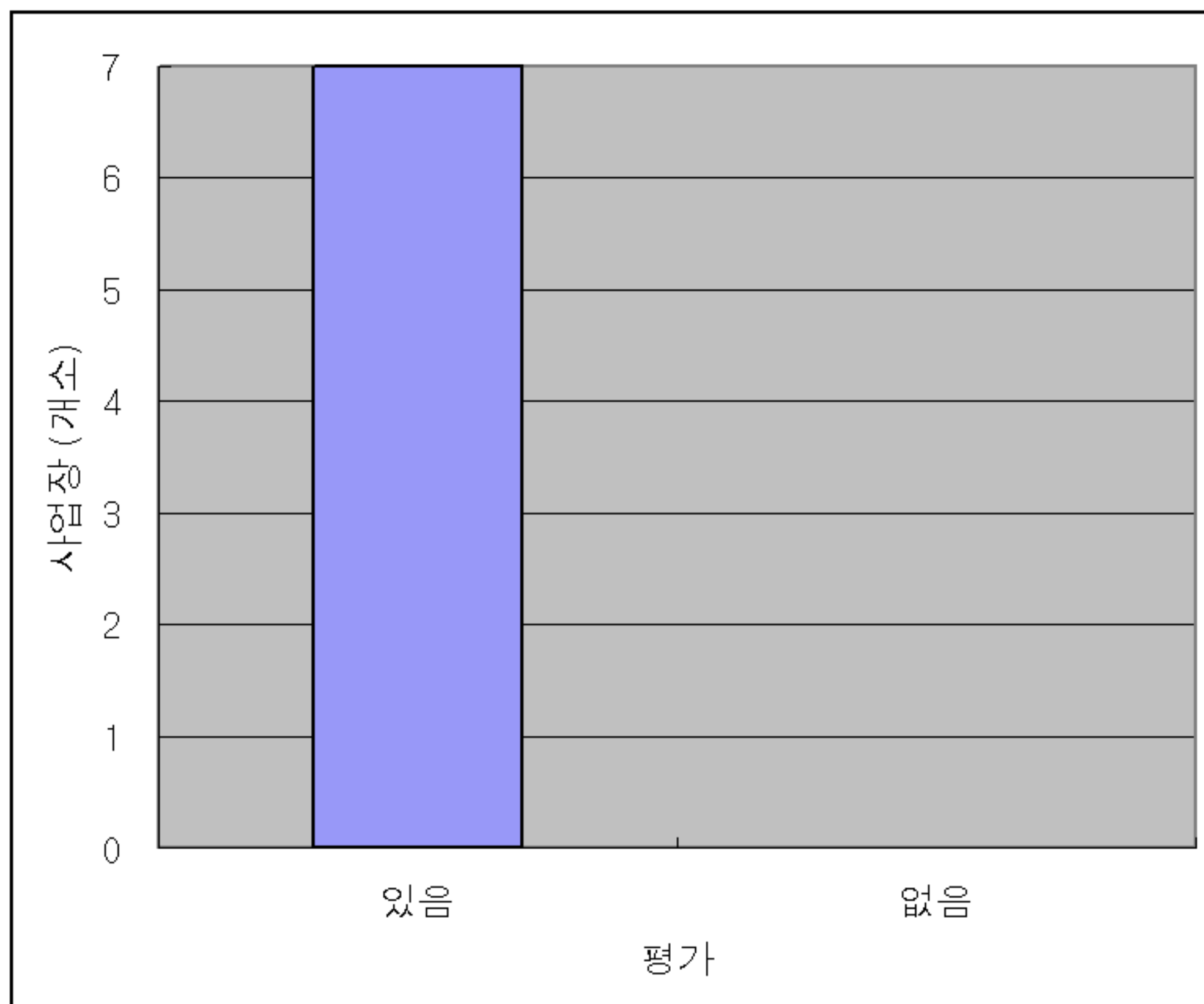
옥외 지정된 장소에 보관하는 사업장은 7개소, 옥내에서 무질서하게 방치하는 사업장은 없는 것으로 조사되어 비교적 지정된 장소에 연구대상 물질을 저장하고 있는 것으로 나타났다(그림 3-74).



[그림 3-74] 연구대상 물질의 저장 시 일정한 장소에 지정 보관여부 결과

⑥ 저장장소 및 취급 작업장에 관계자 이외의 출입금지 표지판 부착여부

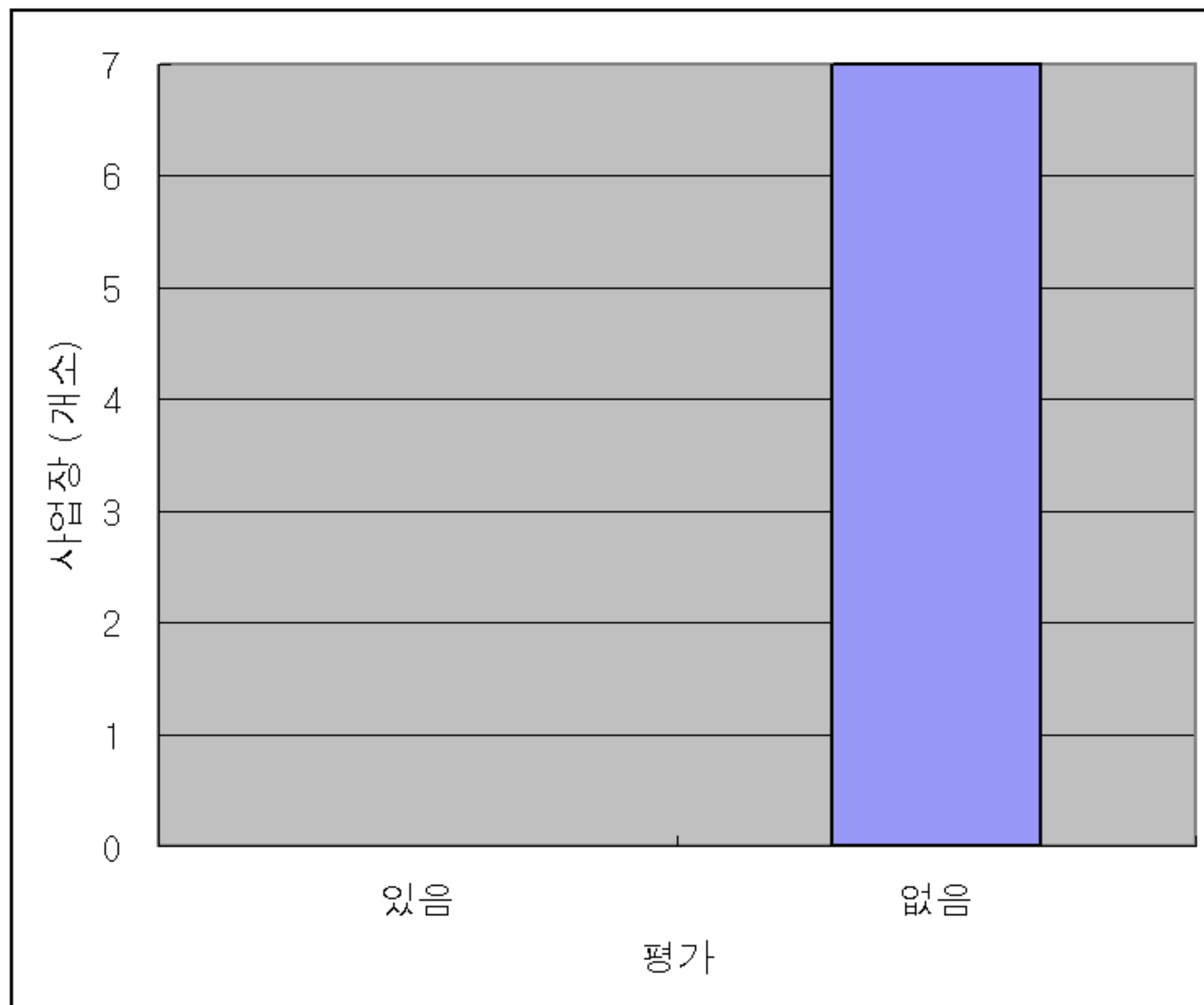
출입금지 표지판을 설치한 사업장은 7개소 미설치한 사업장은 없는 것으로 조사되어 화학물질 사용에 따른 유해 위험성에 대해 일반 근로자들에게 주지하고 있는 것으로 나타났다(그림 3-75).



[그림 3-75] 저장장소 및 취급 작업장에 관계자 이외의 출입금지 표지판 부착 여부 결과

⑦ 연구대상물질에 노출되는 근로자 및 유해물질에 대하여 작업환경측정의
누락 없이 실시여부

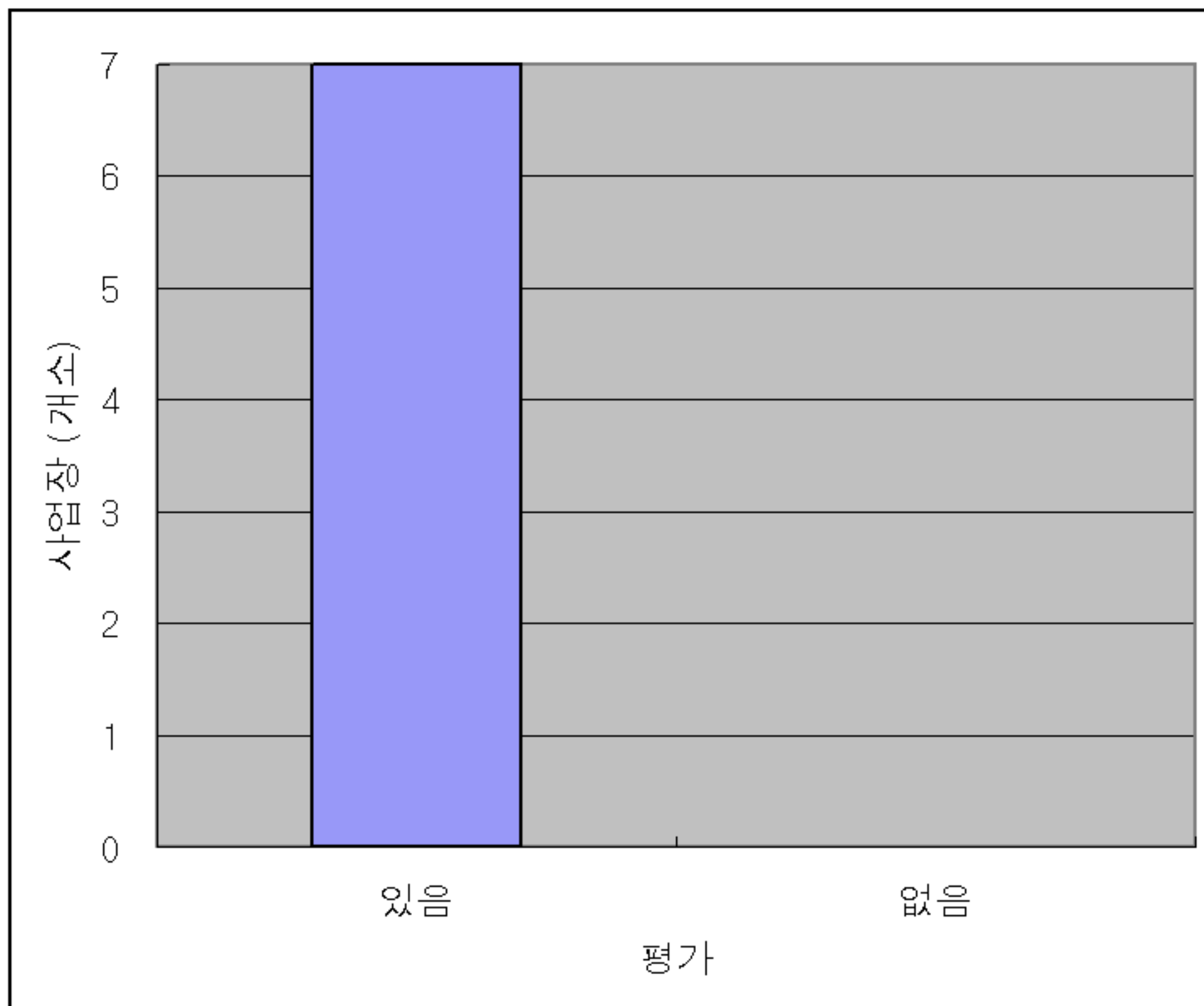
정기적인 작업환경 측정 시 연구대상물질을 포함한 유해물질을 모두에 대해
측정한 사업장은 없었으며, 연구대상물질은 누락되고 다른 유해물질에 대해
측정한 사업장은 7개소로 모든 연구대상사업장이 연구대상물질을 누락되어 측
정되어 실시되던 것으로 조사되어 연구대상물질의 노출농도 실태조사가 시급
한 것으로 나타났다(그림 3-76).



[그림 3-76] 연구대상물질에 노출되는 근로자 및 유해물질에 대하여 작업환경
측정의 누락 없이 실시여부 결과

⑧ 작업환경 측정결과를 당해 작업장 근로자에게 알리고 그 결과에 따른 건강 보호에 필요한 개선조치의 실시여부

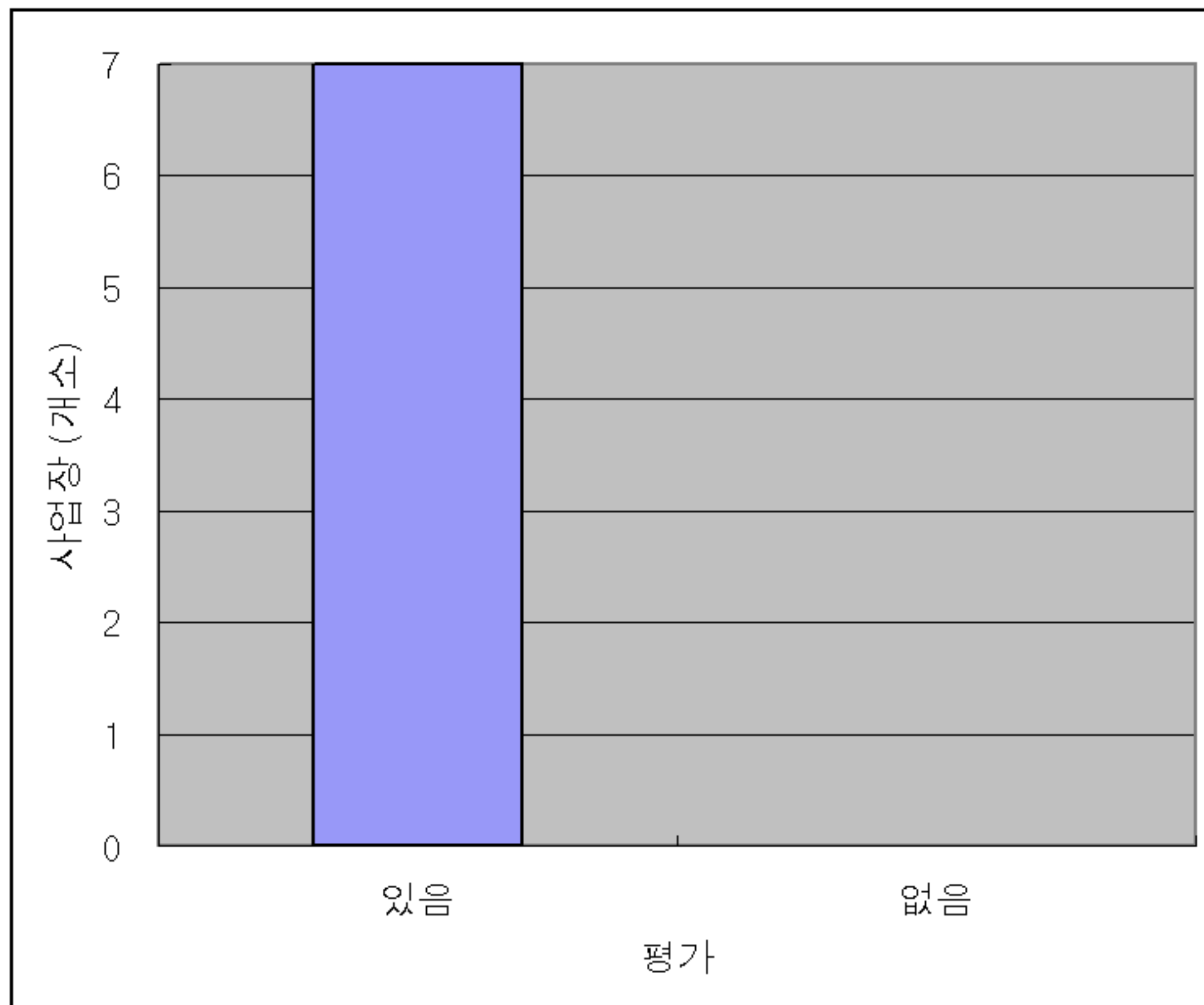
작업환경 측정 결과를 근로자에게 대한 알리고 작업환경을 개선조치를 수행하는 사업장은 7개소이며 작업환경측정 결과를 근로자에게 알리지 않거나 개선조치를 미실시하는 사업장은 없는 것으로 조사되어 조사된 모든 사업장이 비교적 측정 결과에 대해 근로자의 알권리 충족 및 작업환경개선을 위해 노력하는 것으로 조사되었다(그림 3-77).



[그림 3-77] 작업환경 측정결과를 당해 작업장 근로자에게 알리고 그 결과에 따른 건강보호에 필요한 개선조치의 실시여부

⑨ 근로자의 건강보호 유지를 위해 건강진단 대상자의 선정 및 누락 없이 실시여부

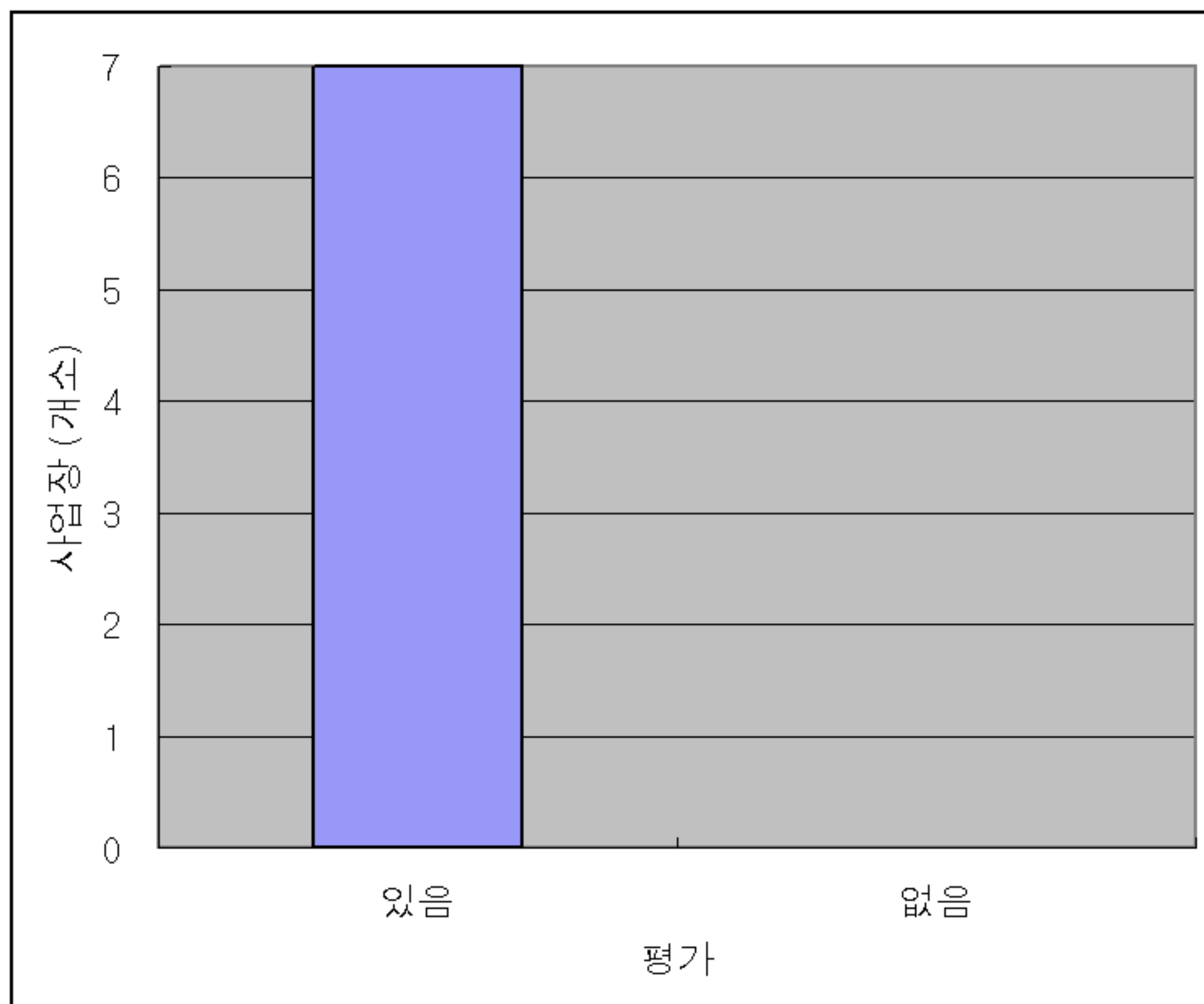
조사된 연구대상 사업장에서는 건강진단 시 대상자를 누락 없이 실시했다고 하는 사업장이 7개소로 건강진단을 실시하지 않거나 대상자를 누락시켜 실시한 사업장은 없는 것으로 조사되었다(그림 3-78).



[그림 3-78] 근로자의 건강보호 유지를 위해 건강진단 대상자의 선정 및 누락 없이 실시여부 결과

⑩ 건강진단 실시 후 유소견자에 대한 사후 관리여부

건강진단을 실시한 7개 사업장에서 일반 및 직업병 유소견자 모두에 대해 작업 전환, 근무 중 치료, 근로금지 및 제한 등 사후관리를 실시하고 있는 것으로 조사되었다(그림 3-79).

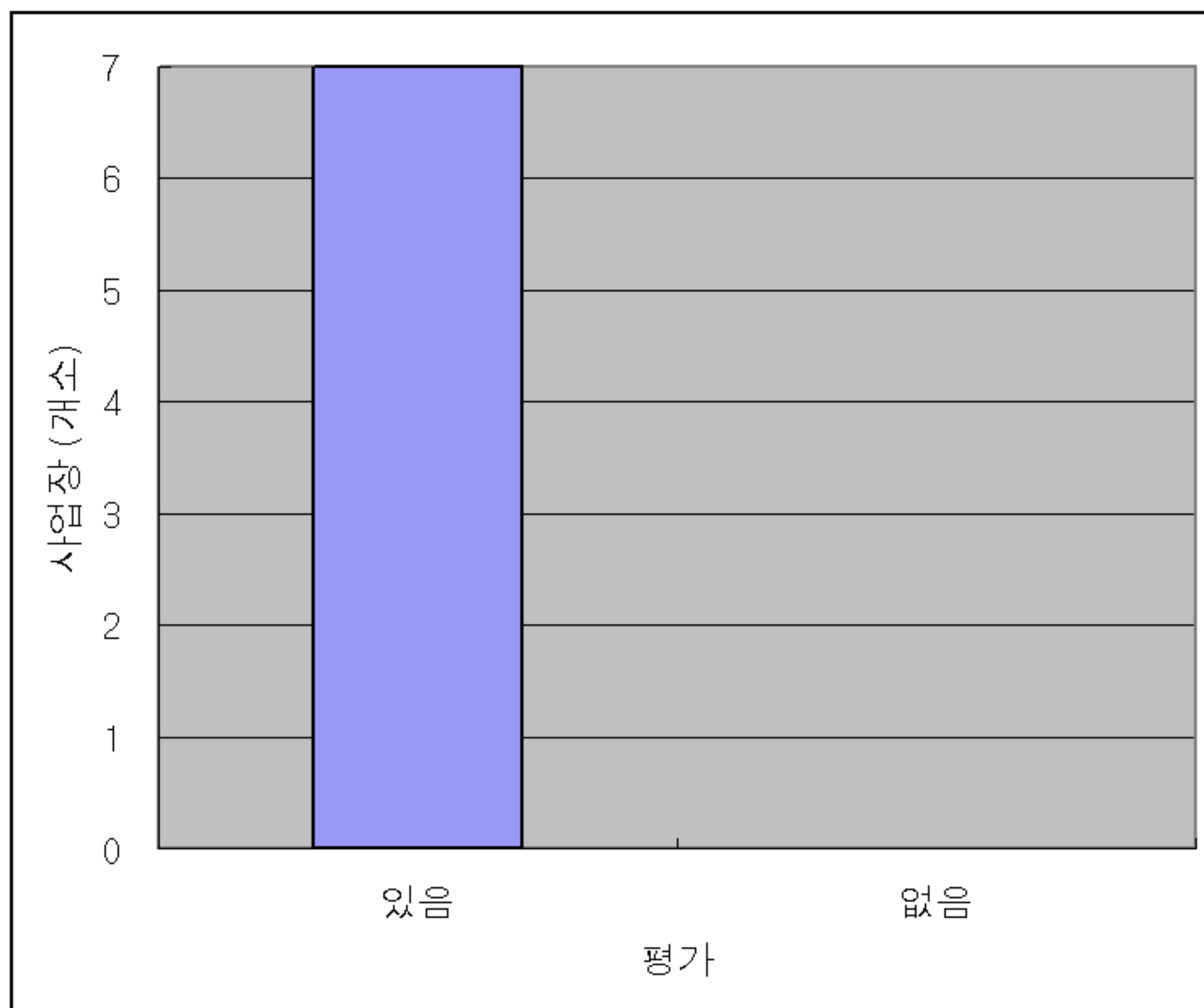


[그림 3-79] 건강진단 실시 후 유소견자에 대한 사후 관리여부 결과

(4) 작업환경관리

① 연구대상 물질의 발생원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치의 설치 및 가동여부

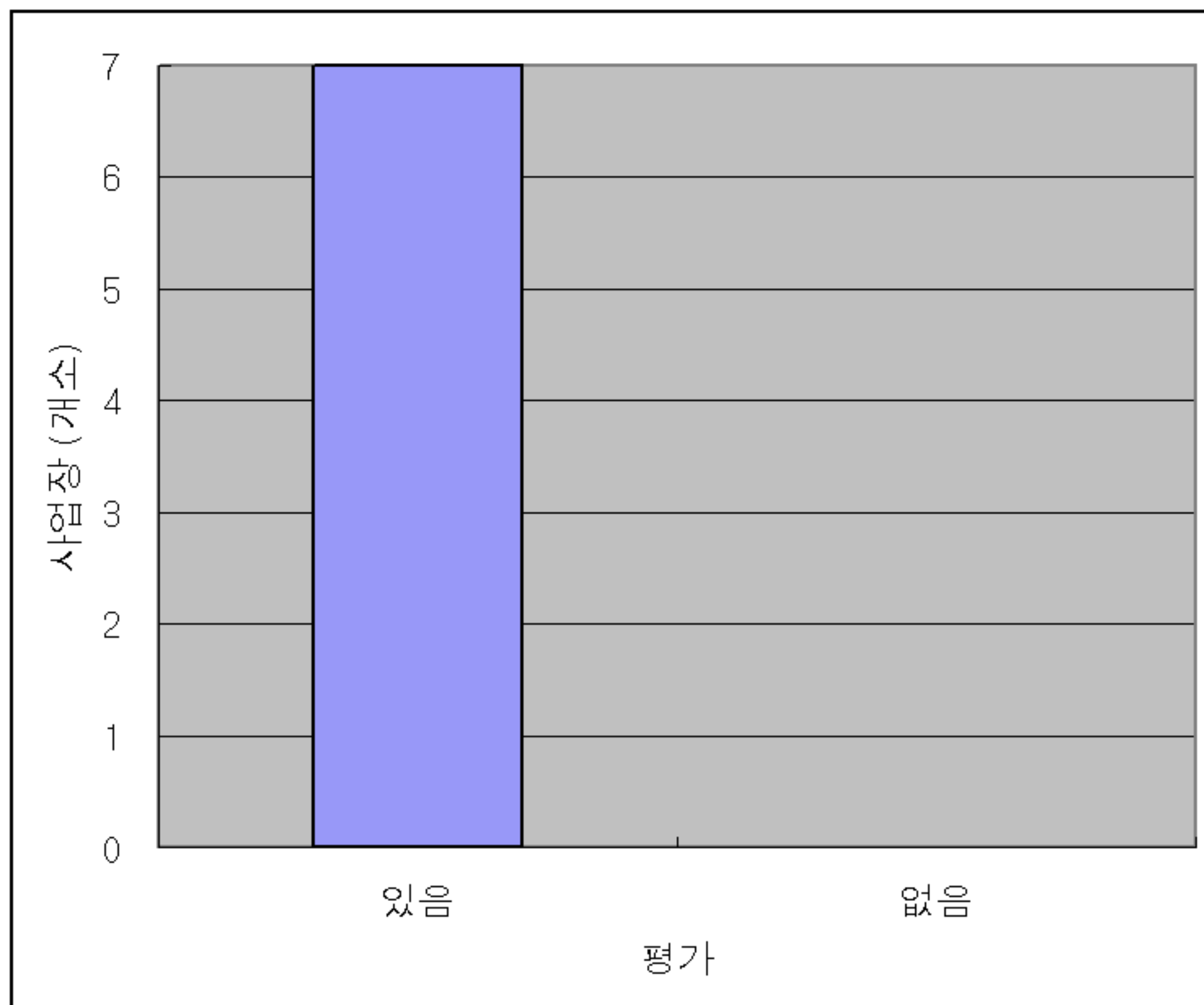
발생원 모두설치 및 가동하는 사업장은 7개소로 조사되어 대부분의 사업장에서는 밀폐설비나 국소배기장치의 설치는 잘 이루어지는 것으로 나타났다(그림 3-80).



[그림 3-80] 연구대상 물질의 발생원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치의 설치 및 가동여부 결과

② 국소배기장치 후드 형태의 유해물질 배출의 적합성 여부

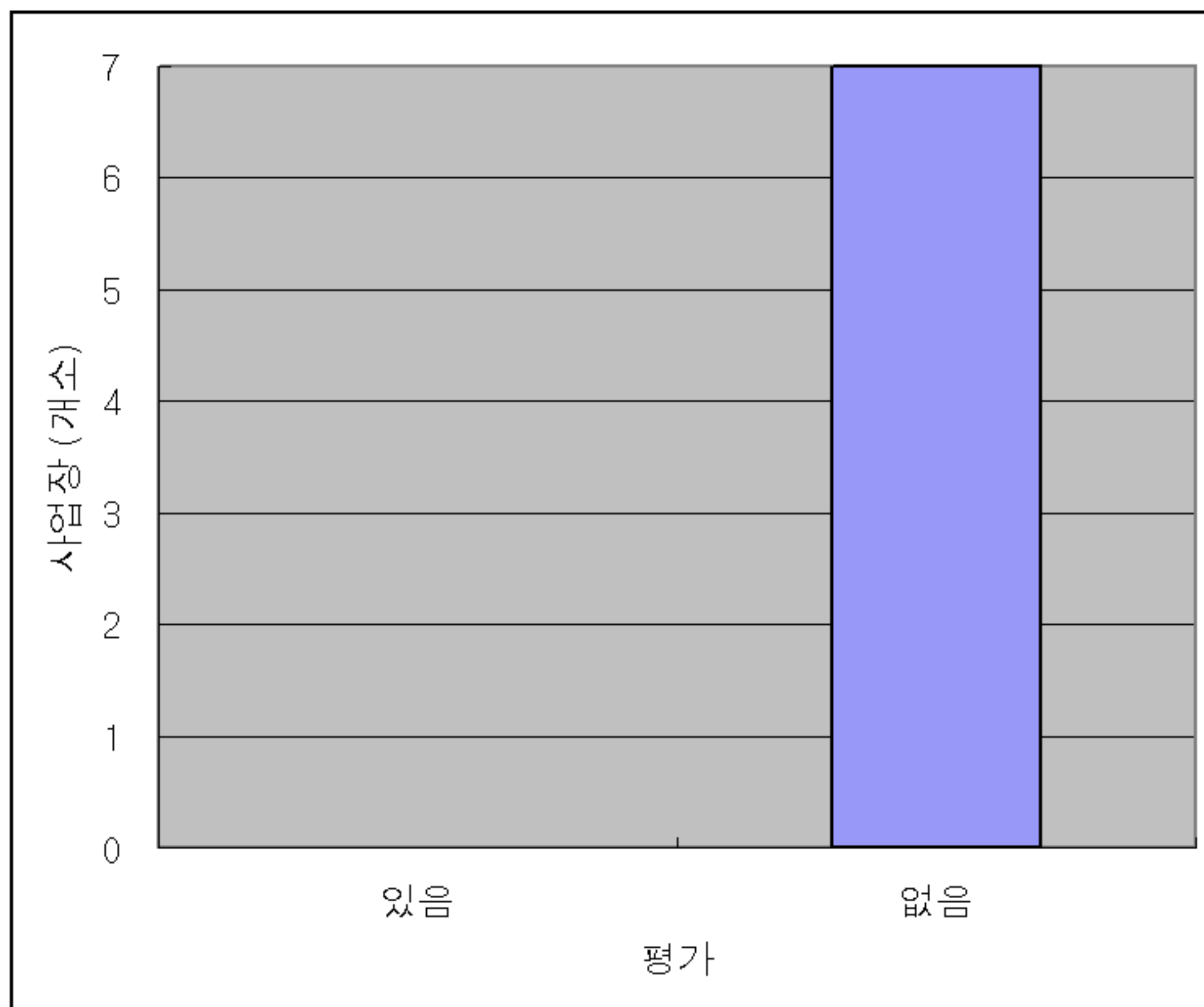
국소배기장치의 후드가 유해물질의 발생형태에 적합하고 발생원 가까이에 설치된 사업장은 7개소이고 국소배기장치의 후드가 유해물질 발생원에 맞지 않게 설치되어 있는 사업장은 없는 것으로 조사되었다(그림 3-81).



[그림 3-81] 국소배기장치 후드 형태의 유해물질 배출의 적합성 여부 결과

③ 국소배기장치 후드의 위치의 적절성여부

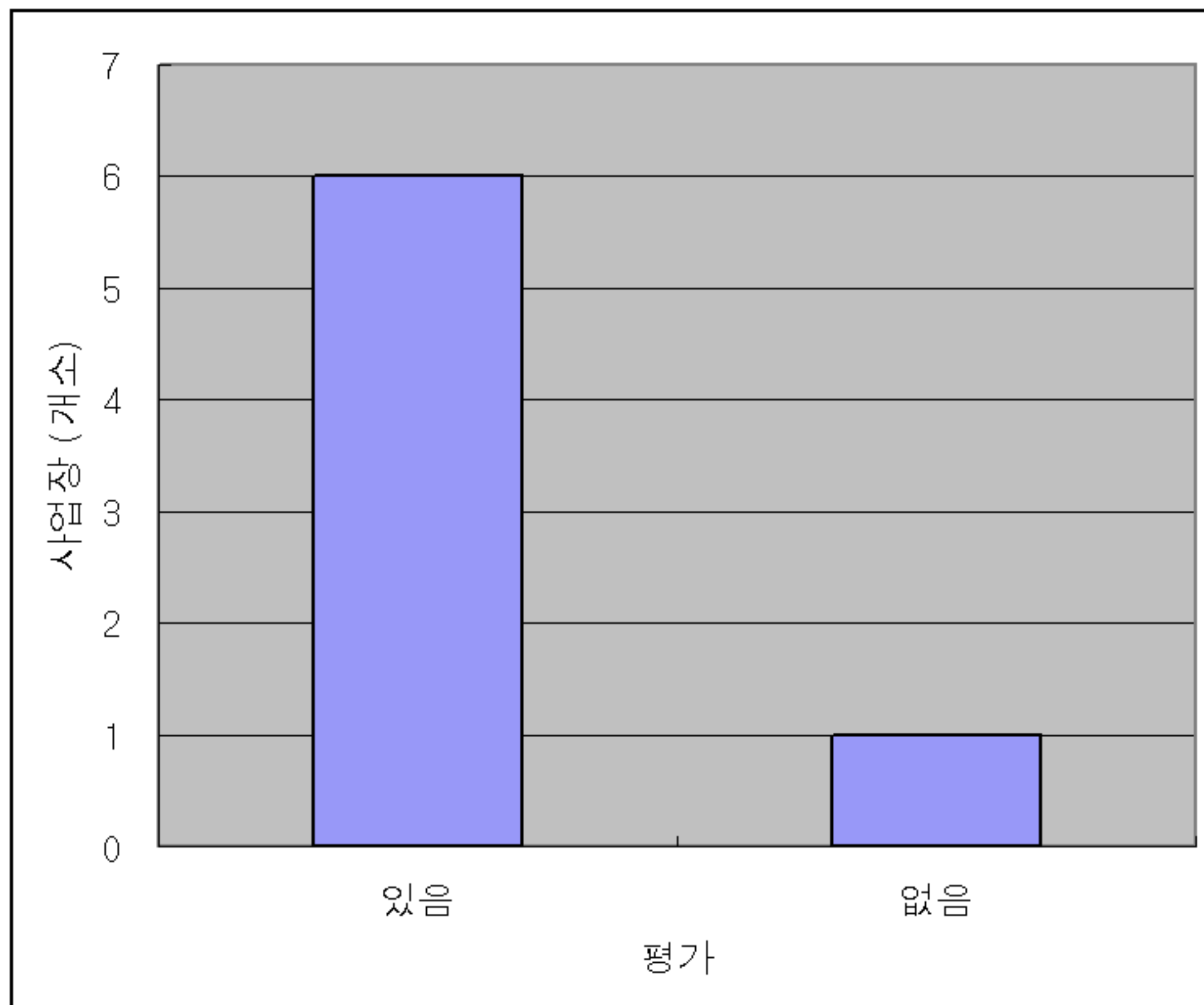
국소배기장치의 후드가 작업자가 활동하는데 불편하지 않는 위치에 설치된 사업장은 7개소로 조사되어 대부분의 사업장에서 작업자 위치 맞게 후드를 설치되어있는 것으로 나타났다(그림 3-82).



[그림 3-82] 국소배기장치 후드의 위치의 적절성여부 결과

④ 국소배기시설의 설치 여부

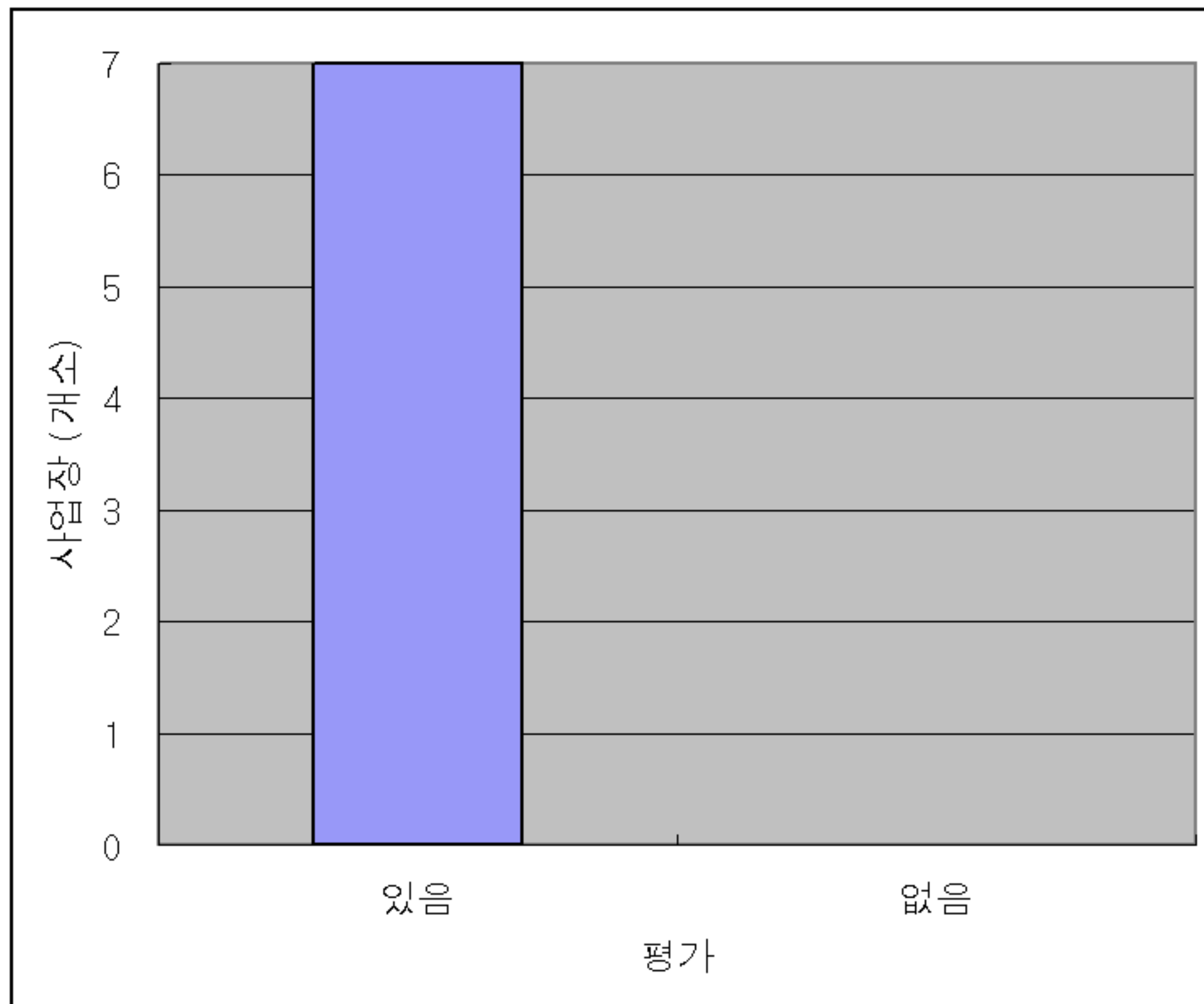
국소배기장치의 후드가 발생원마다 적절하게 설치되어 있는 사업장은 6개소이며 발생원마다 적절하게 설치되어 있지 않는 사업장은 1개소로 조사되어 대부분의 사업장에서 발생원에마다 국소배기장치 후드를 설치되어있는 것으로 나타났다(그림 3-83).



[그림 3-83] 국소배기시설의 설치 여부결과

⑤ 제어풍속의 적합성 여부

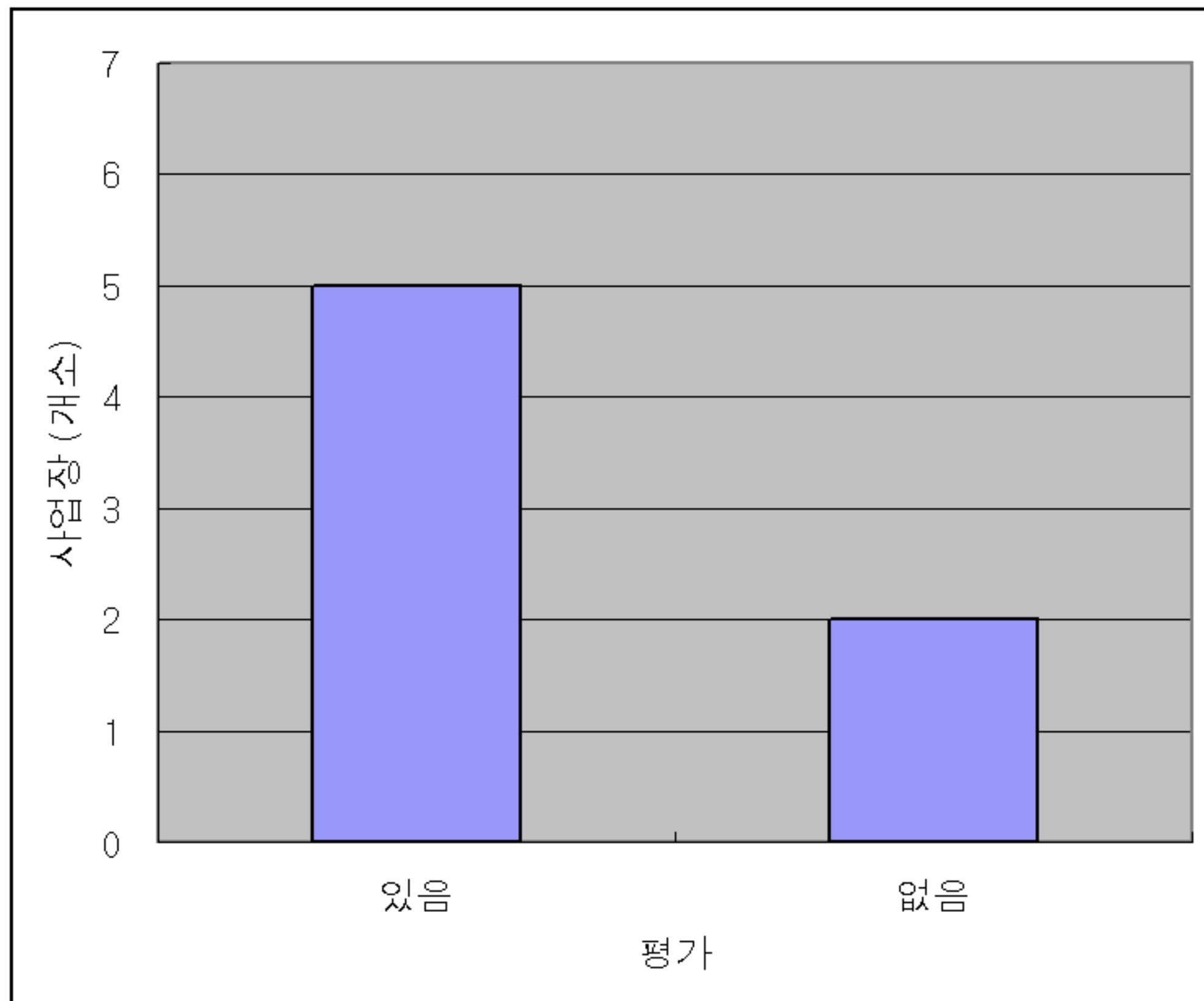
산업안전보건법령에서 정하고 있는 후드의 종류별 적정 제어풍속 이상을 설치된 모든 후드에서 나타낸 사업장은 6개소, 제어풍속에 미만으로 나타내는 사업장은 1개소로 조사되었다(그림 3-84).



[그림 3-84] 제어풍속의 적합성 여부결과

⑥ 후드주변의 난기류 영향을 받아 작업장 내부 확산여부

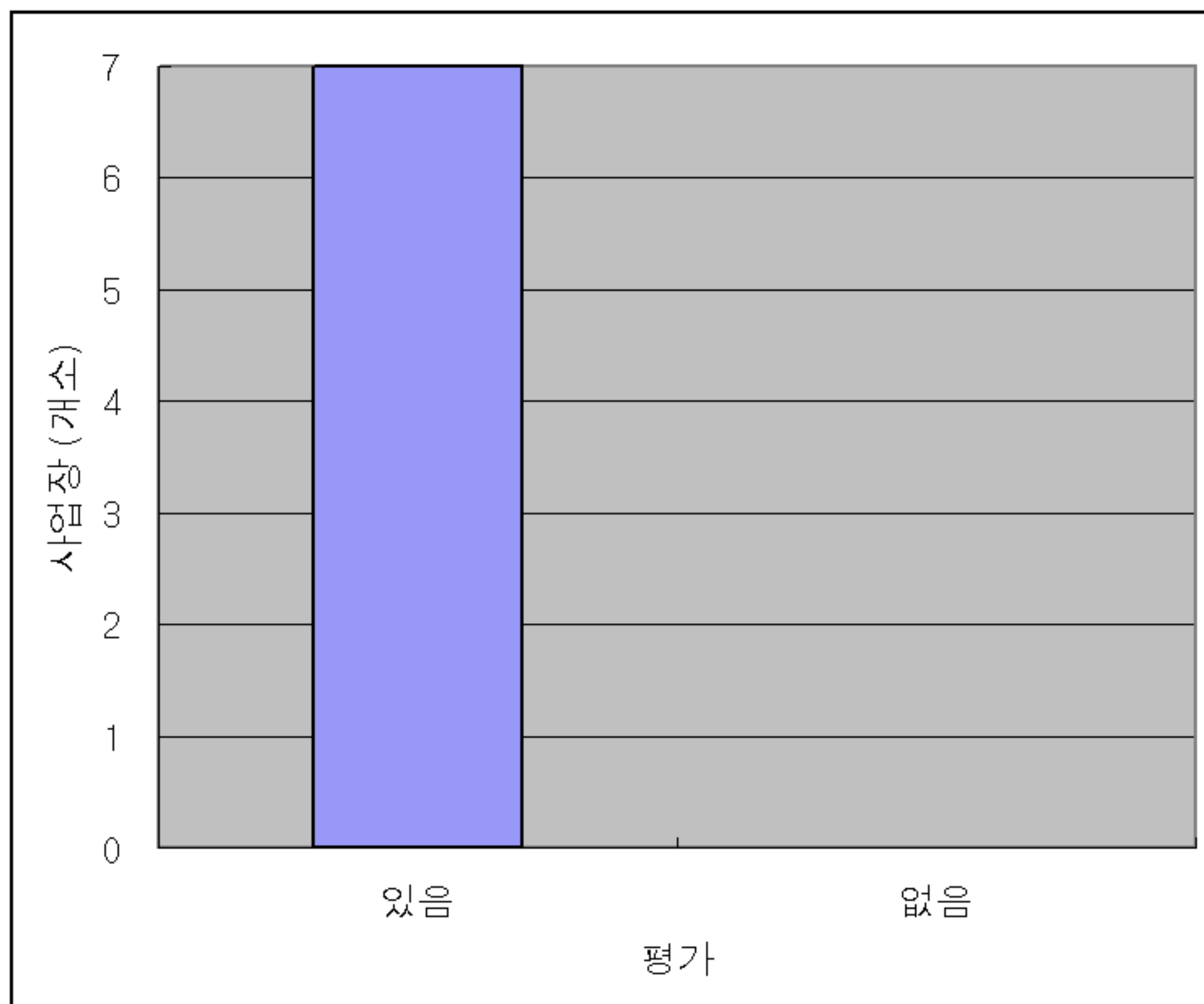
후드주변에 난기류의 발생 물체가 있는 사업장은 5개소로 이에 대한 결과는 조사 기간이 여름철에 조사된 것에 따른 계절적 원인으로 사료된다(그림 3-85).



[그림 3-85] 후드주변의 난기류 영향을 받아 작업장 내부 확산여부 결과

⑦ 배기구 설치의 적합성 여부

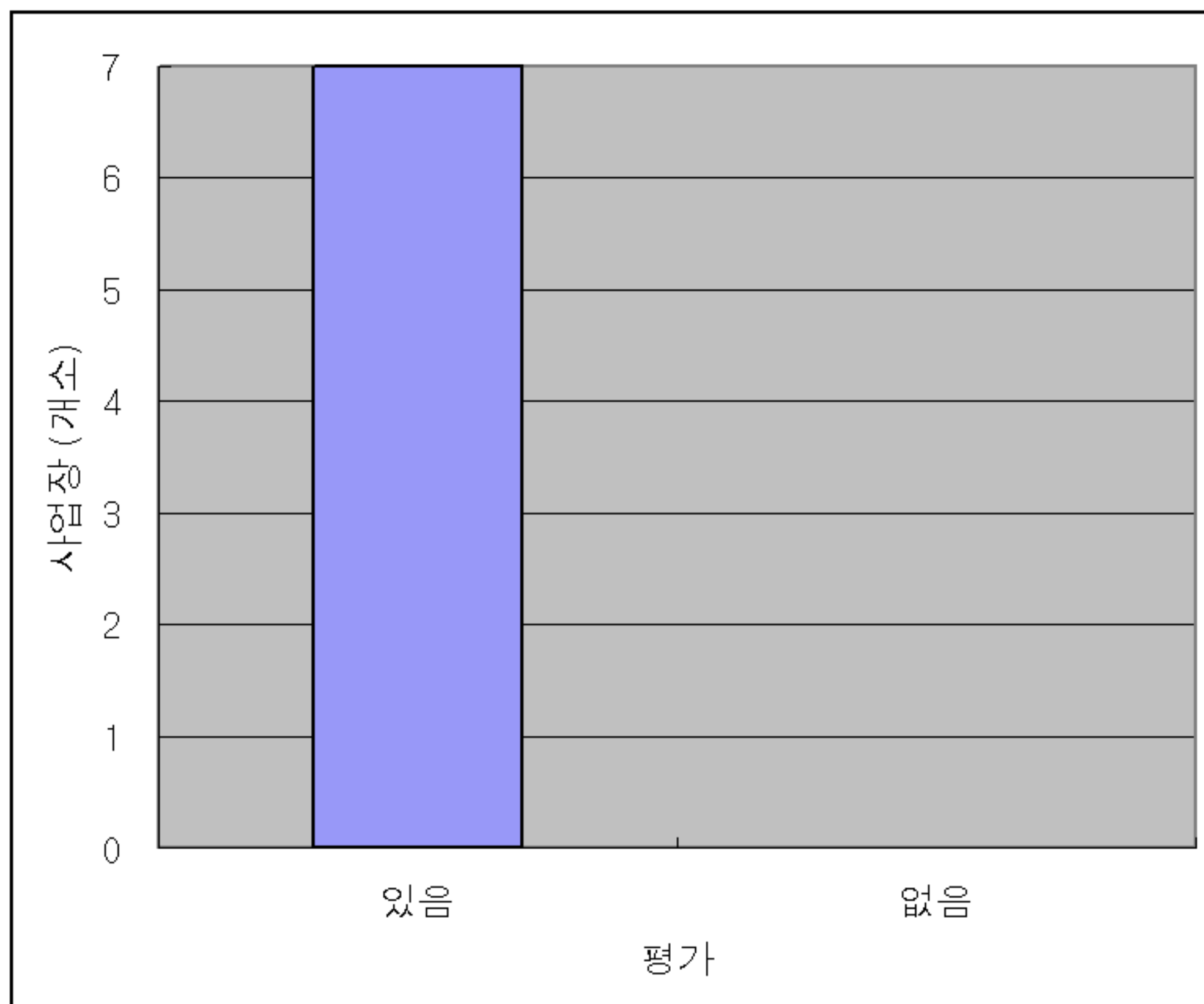
옥외 적정높이에서 설치되어 있어 재유입이 되지 않는 사업장은 7개소로 조사되어 국소배기장치의 배기구는 대부분 적합하게 설치되어 있는 것으로 나타났다(그림 3-86).



[그림 3-86] 배기구 설치의 적합성 여부 결과

⑧ 국소배기장치의 정기적 자체검사 실시여부

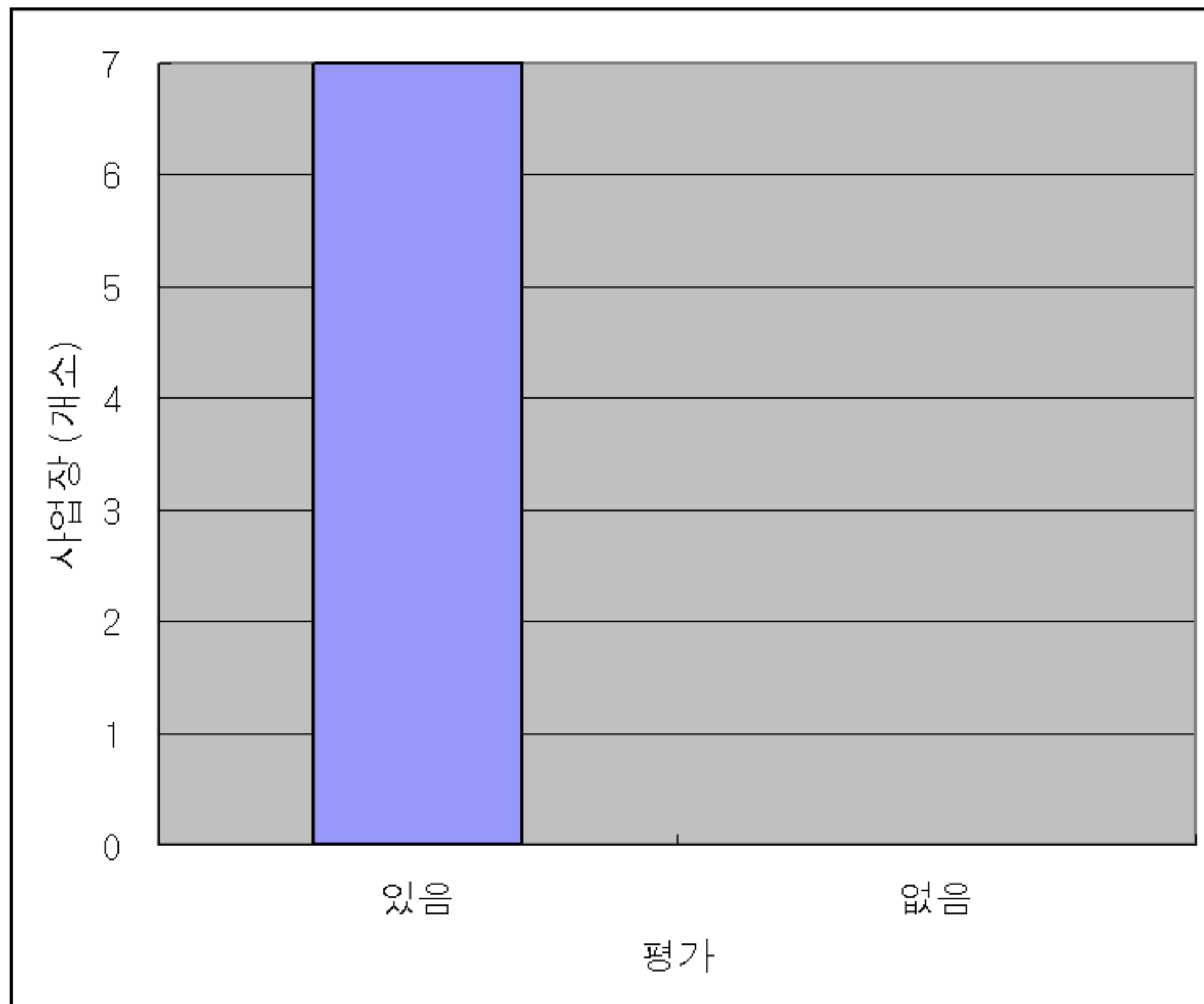
년 1회 이상 정기적으로 국소배기자체검사하고 있는 사업장은 7개소, 미 실시하는 사업장은 없는 것으로 조사되어 모든 연구대상 사업장에서 국소배기 자체검사를 정기적으로 실시하는 것으로 나타났다(그림 3-87).



[그림 3-87] 국소배기장치의 정기적 자체검사 실시여부결과

⑨ 자체검사 시 기록보존 및 점검결과 이상 발생 시 적절한 조치여부

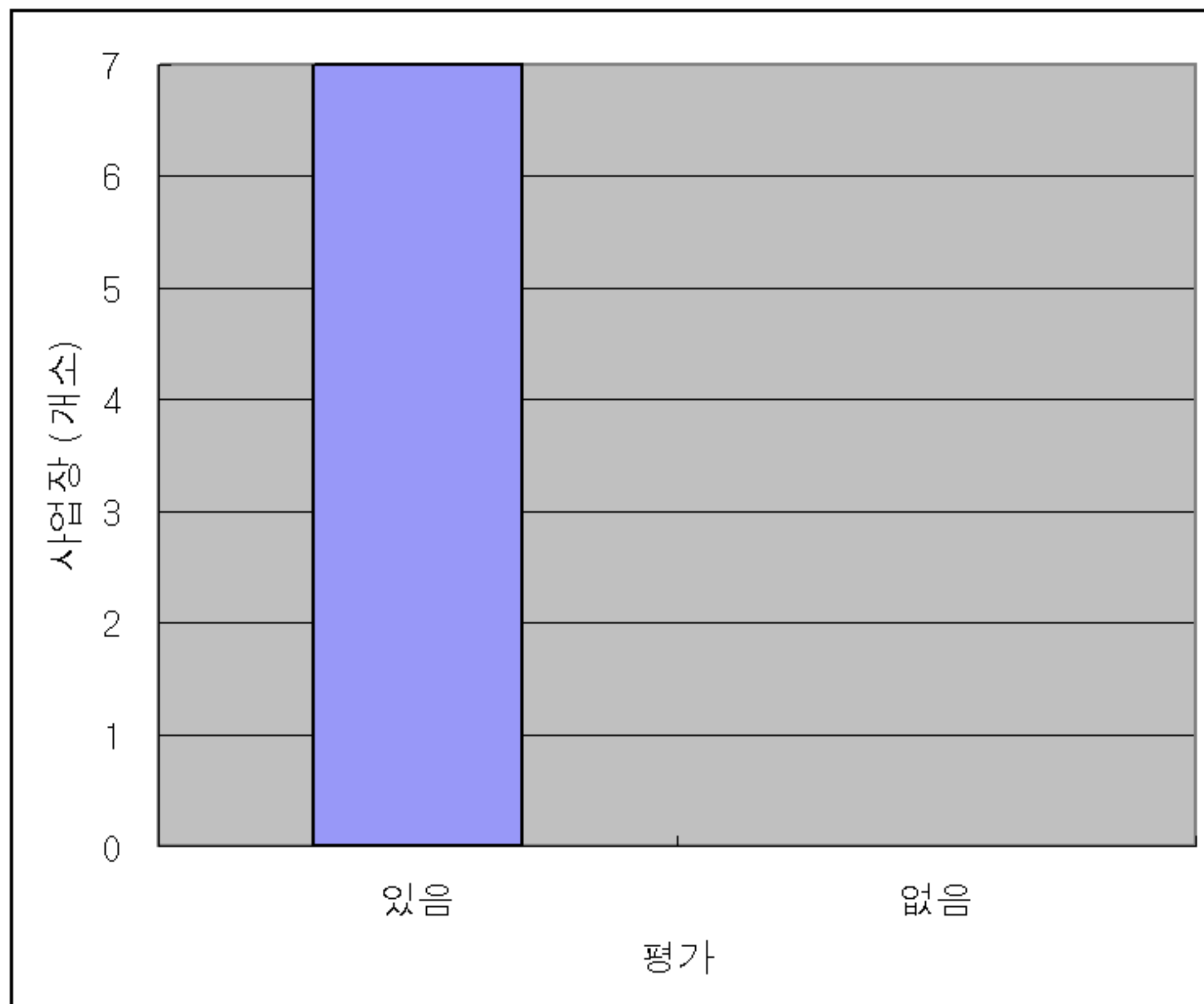
검사결과에 따른 조치를 취한 후 기록을 유지하는 사업장은 7개소이며 자체 검사를 실시하지 않는 사업장 없는 것으로 조사되어 대부분의 사업장에서 자체검사의 중요성을 인식하고 실시하는 것으로 나타났다(그림 3-88).



[그림 3-88] 자체검사 시 기록보존 및 점검결과 이상 발생 시 적절한 조치여부 결과

⑩ 작업장 바닥의 불 침투성 재료 사용여부

도기타일, 에폭시 마감재 페인트, 니스, 락카 등으로 시공한 사업장은 7개소이며 불 침투성 재료를 사용하지 않아 유해물질이 바닥에 퇴적되어 있는 사업장은 없는 것으로 조사되었다(그림 3-89).

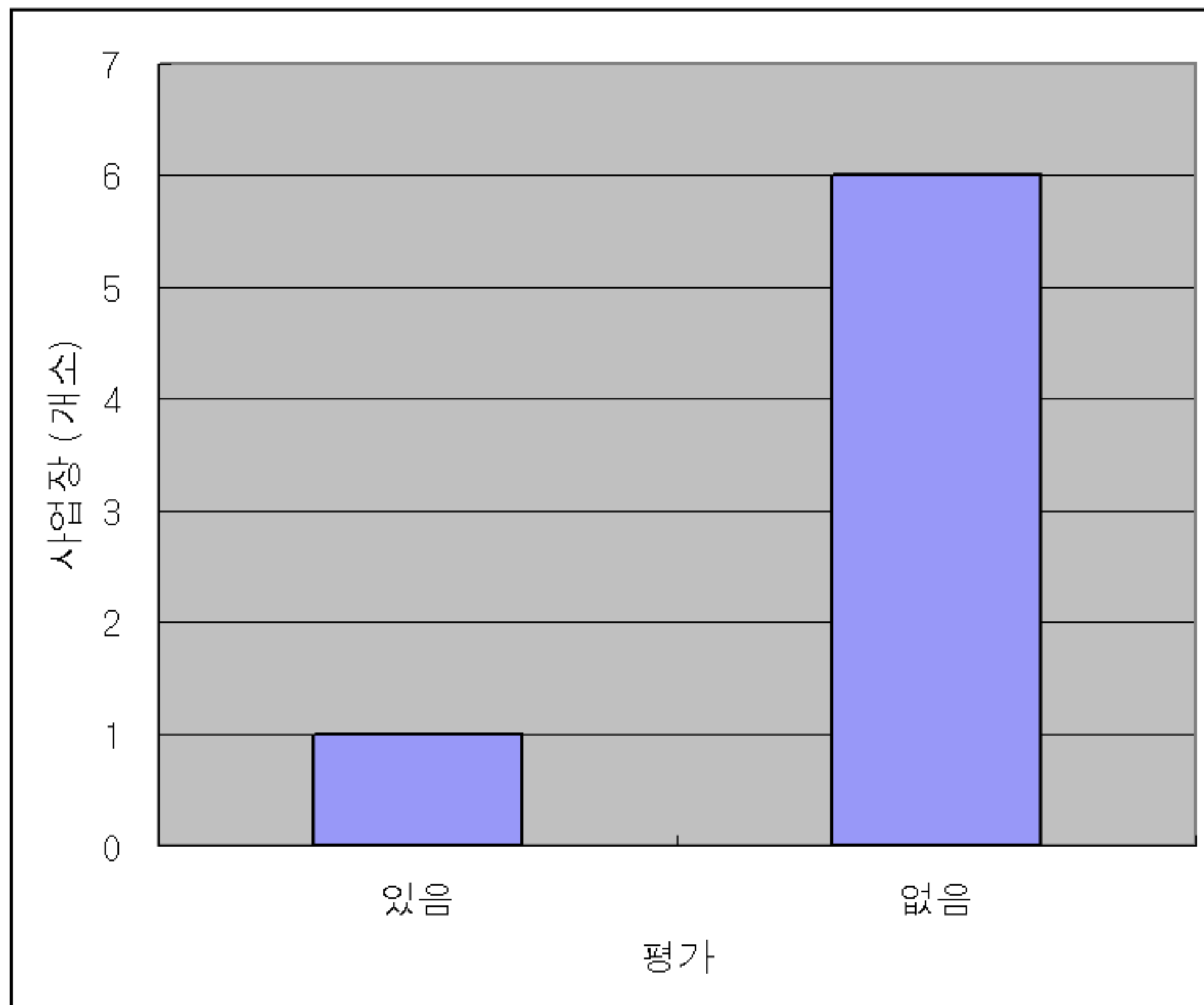


[그림 3-89] 작업장 바닥의 불 침투성 재료 사용여부 결과

(5) 작업관리

① 연구대상물질 취급 작업 장소에 인체에 미치는 영향 등에 관한 내용 등의 게시여부

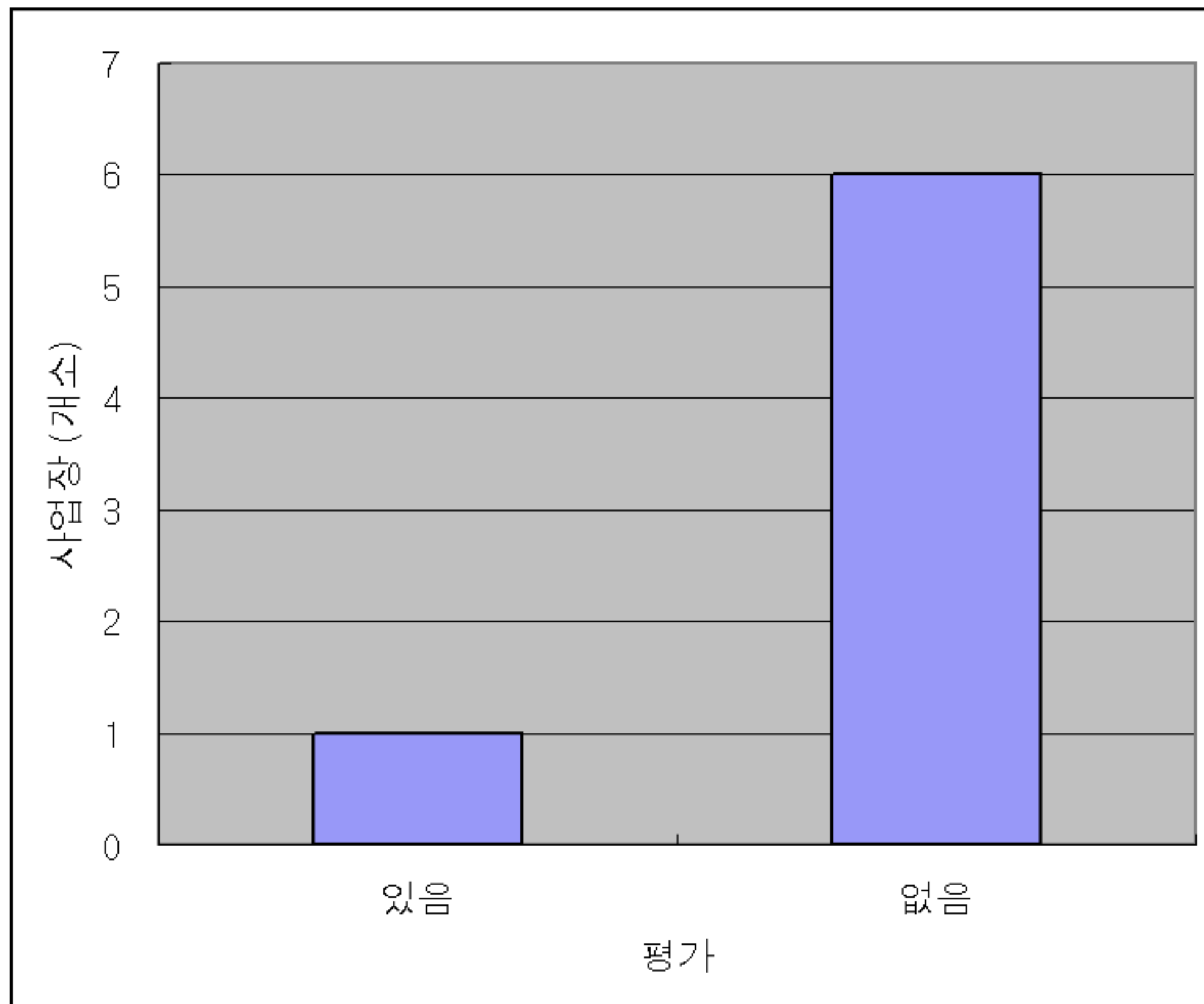
보기 쉬운 장소에 게시한 사업장은 7개소이며 미 게시한 사업장은 없는 것으로 조사되어 연구대상물질의 취급의 위험성을 표시판을 통하여 대부분의 사업장이 근로자에게 인지시켜주는 것으로 나타났다(그림 3-90).



[그림 3-90] 연구대상물질 취급 작업 장소에 인체에 미치는 영향 등에 관한 내용 등의 게시여부 결과

② 연구대상물질 취급 장소에 근로자에게 흡연, 음식물의 금지 게시 여부

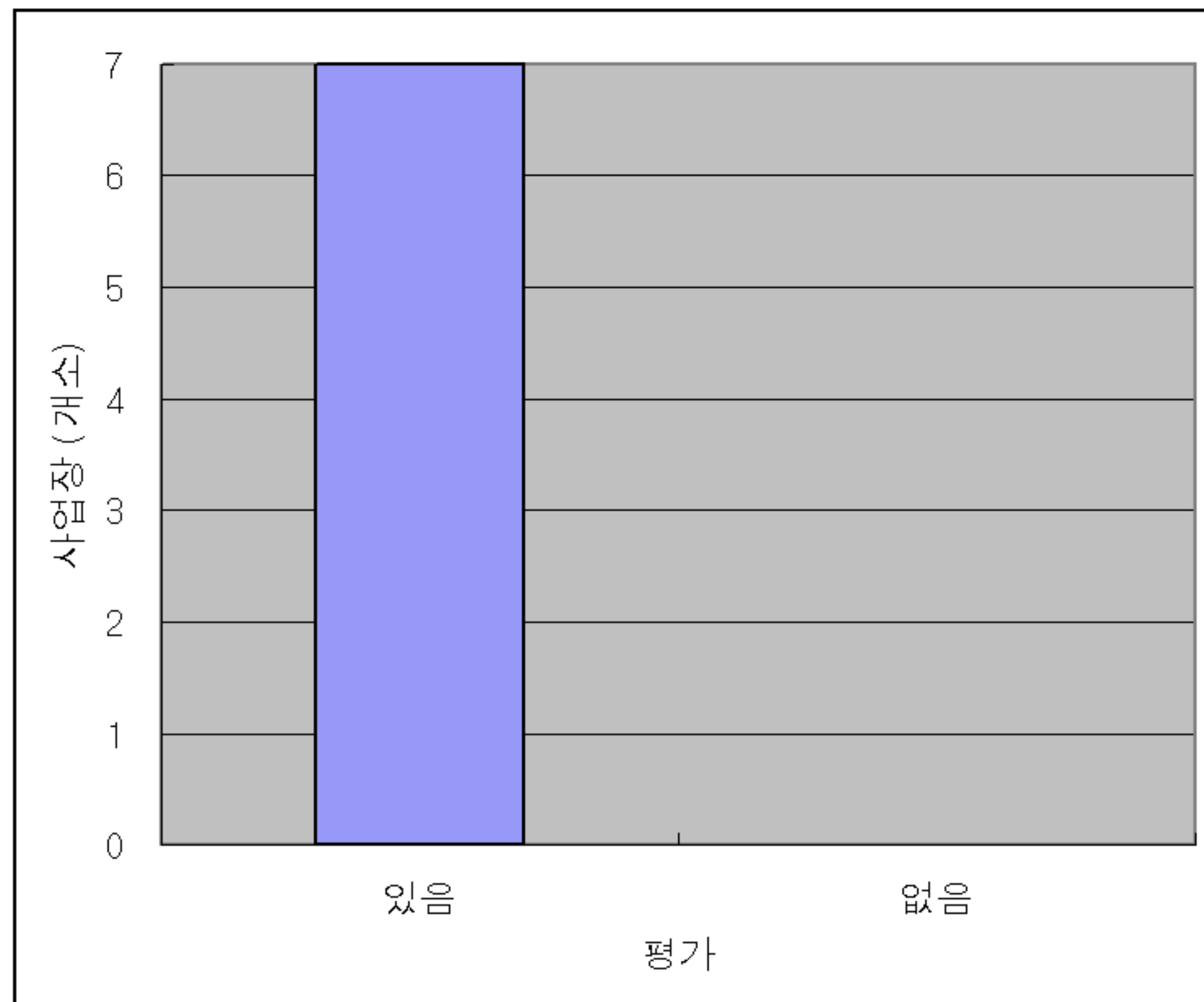
보기 쉬운 장소에 게시한 사업장은 1개소이며 미 게시한 사업장은 5개소로 조사되어 이들 사업장의 작업관리 방법에 대한 교육이나 계몽 등을 통해 효율적 관리가 될 수 있도록 하는 것이 필요하다(그림 3-91).



[그림 3-91] 연구대상물질 취급 장소에 근로자에게 흡연, 음식물의 금지 게시 여부

③ 세면, 세탁, 목욕 시설의 여부

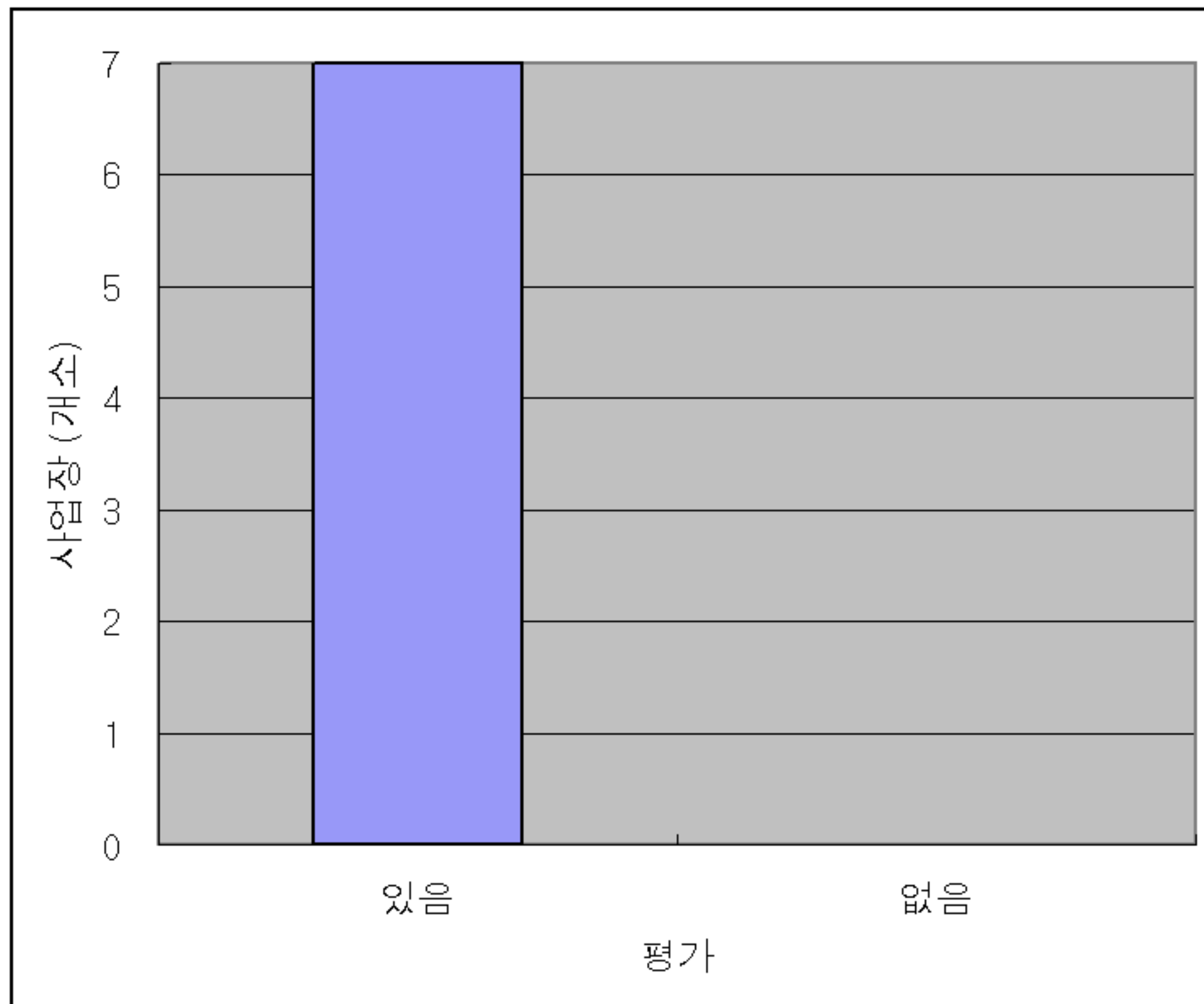
조사된 연구대상 사업장에서는 세면, 세탁, 목욕 시설을 갖춘 사업장은 7개소이며 미설비한 사업장은 없는 것으로 조사되었다(그림 3-92).



[그림 3-92] 세면, 세탁, 목욕 시설의 여부결과

④ 보호구의 교체가능한 필요수의 배치 및 착용여부

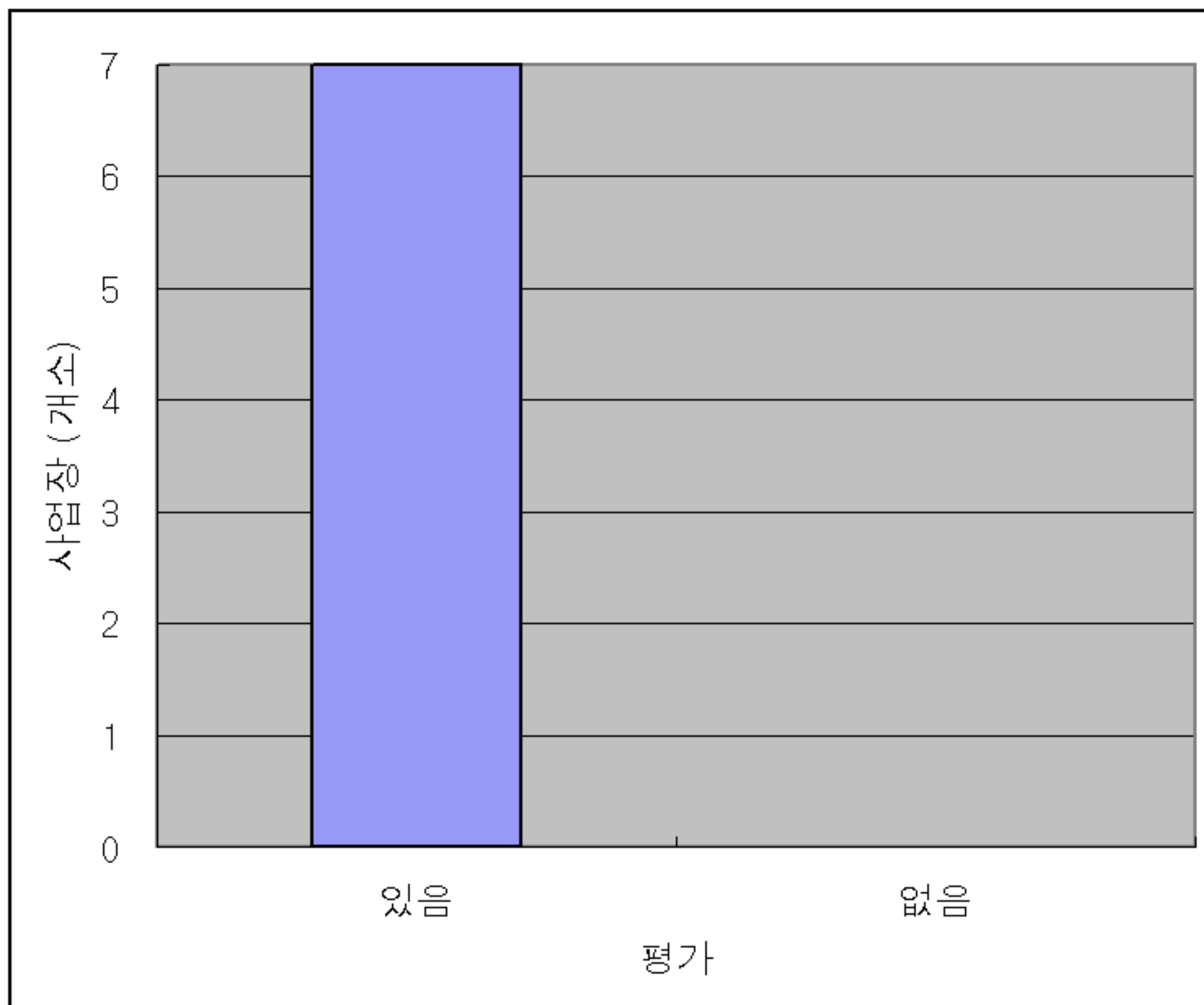
보호구를 필요에 따라 수시로 교체 가능한 수가 있도록 배치하며 근로자가 보호구를 착용한 사업장은 7개소로 보호구를 미 배치하고 근로자가 보호구 착용을 하지 않은 사업장은 없는 것으로 조사되었다(그림 3-93).



[그림 3-93] 보호구의 교체가능한 필요수의 배치 및 착용여부 결과

⑤ 보호구를 항상 사용 또는 교환할 수 있게 보관여부

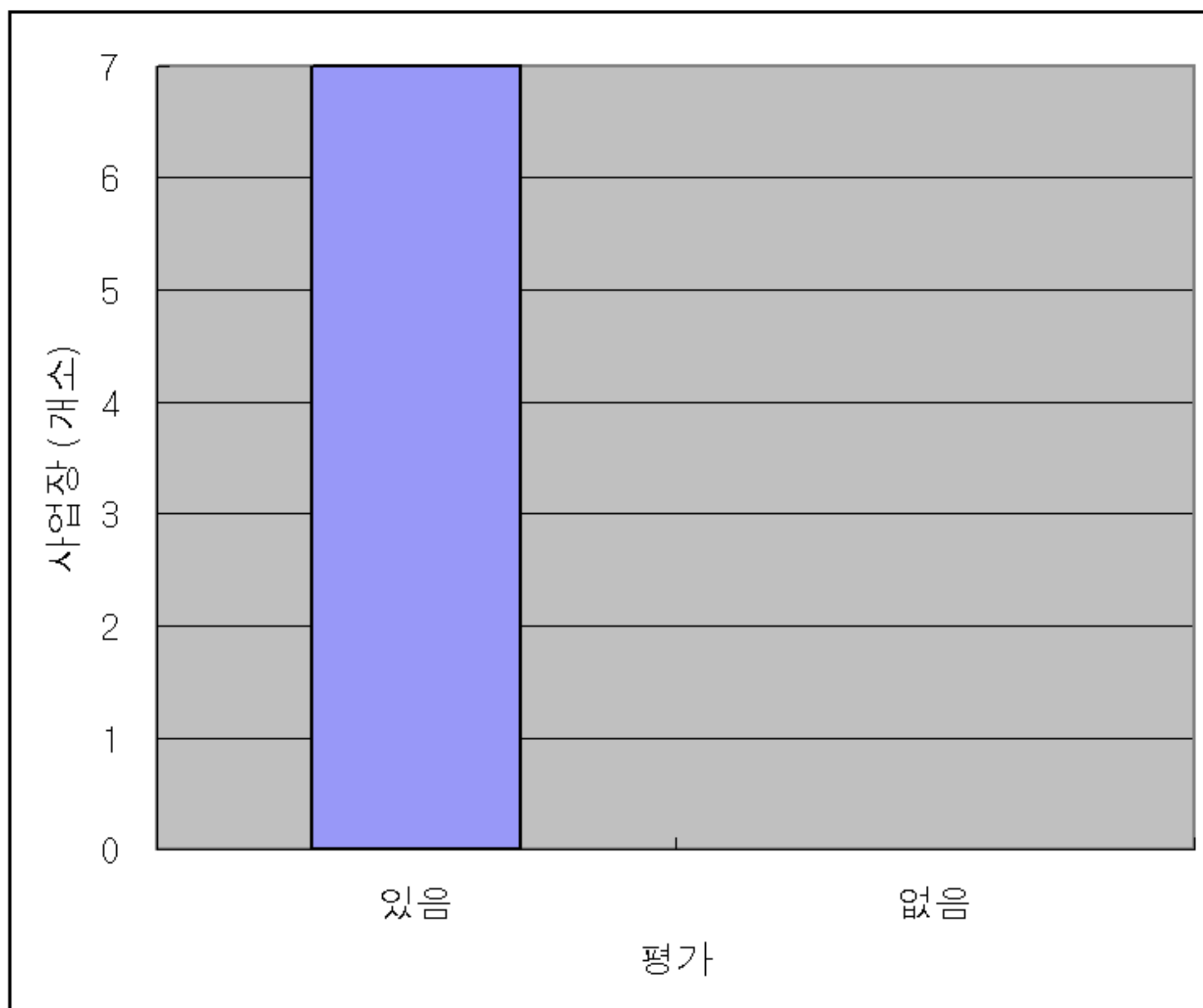
보호구를 항상 사용 또는 교환할 수 있게 보관하는 사업장은 7개소로 조사된 모든 연구대상 사업장에서 보호구의 지급을 잘 하고 있는 것으로 조사되었다(그림 3-94).



[그림 3-94] 보호구를 항상 사용 또는 교환할 수 있게 보관여부 결과

⑥ 작업복의 착용상태

긴소매 작업복을 착용하고 작업하는 사업장은 7개소이며 일반의복을 착용하고 작업하는 사업장은 없는 것으로 조사되어 연구대상사업장이 대부분 화학물질을 사용하는 작업장으로 작업복에 대한 인식이 잘 되어 있는 것으로 나타났다(그림 3-95).



[그림 3-95] 작업복의 착용상태 결과

다. 근로자 노출농도 조사

(1) 각 사업장별 공기 중 측정농도

가) A사 1차측정 (기록용 매체 및 관련화학제품 제조업)

1,4-디옥산을 사용하고 있는 원심분리 공정에 대한 시료포집 내용 및 측정 농도를 표 3-26과 같이 제시하였다.

<표 3-26> A사업장 1차 측정결과

작업공정	노출시간 (시작-종료)	측정 횟수	측정 위치	측정 방법	측정치 (ppm)	노출 기준 (ppm)	평가
반응, 여과, 원심분리	09:31-16:28	2	근로자1	TWA	0.1256	25	미만
	09:36-16:42	2	근로자2	TWA	0.1568		미만
	09:36-16:48	2	근로자3	TWA	0.1711		미만
	09:39-16:56	2	근로자4	TWA	0.1205		미만
	09:45-17:05	2	근로자5	TWA	0.1085		미만

근로자 노출 실태를 파악하기 위한 8시간 가중평균농도(TWA)는 평균 및 표준편차가 $0.1365 \pm 0.0263\text{ppm}$ 로 조사되었으며 범위는 0.1085ppm에서 0.1711ppm으로 모든 측정값이 우리나라 노출기준인 8시간가중평균 노출기준 (TWA) 25ppm을 초과하지 않았다. 이러한 결과는 작업자가 반응기 감시 작업이 자동화로 이루어져 직접 노출이 거의 없고 노출이 많은 슬러지 처리작업도 간헐적으로 이루어지기 때문으로 사료된다.

나) A사 2차측정 (기록용 매체 및 관련화학제품 제조업)

1,4-디옥산을 취급하는 PAC 공정에서 시료포집 내용 및 측정농도를 표 3-27과 같이 제시하였다.

<표 3-27> A사업장 2차 측정결과

작업공정	노출시간 (시작-종료)	측정 횟수	측정 위치	측정 방법	측정치 (ppm)	노출 기준 (ppm)	평가
반응, 여과, 원심분리	09:35-16:38	2	근로자1	TWA	0.0561	25	미만
	09:37-16:47	2	근로자2	TWA	0.0720		미만
	09:39-16:45	2	근로자3	TWA	0.0802		미만
	09:35-16:57	2	근로자4	TWA	0.8229		미만

근로자노출 실태를 파악하기 위한 8시간 가중평균농도(TWA)는 평균 및 표준편차가 $0.0525 \pm 0.0353\text{ppm}$ 로 조사되었으며 범위는 0.0017에서 0.0802ppm으로 모두 우리나라 8시간가중평균 노출기준(TWA) 25ppm을 초과하지 않았다. 이러한 결과는 작업자가 반응기 감시 작업이 자동화로 이루어져 직접 노출이 거의 없고 노출이 많은 슬러지 처리작업도 간헐적으로 이루어지기 때문으로 사료된다.

○ A사 TWA 측정결과 분석 및 해석 총괄총괄

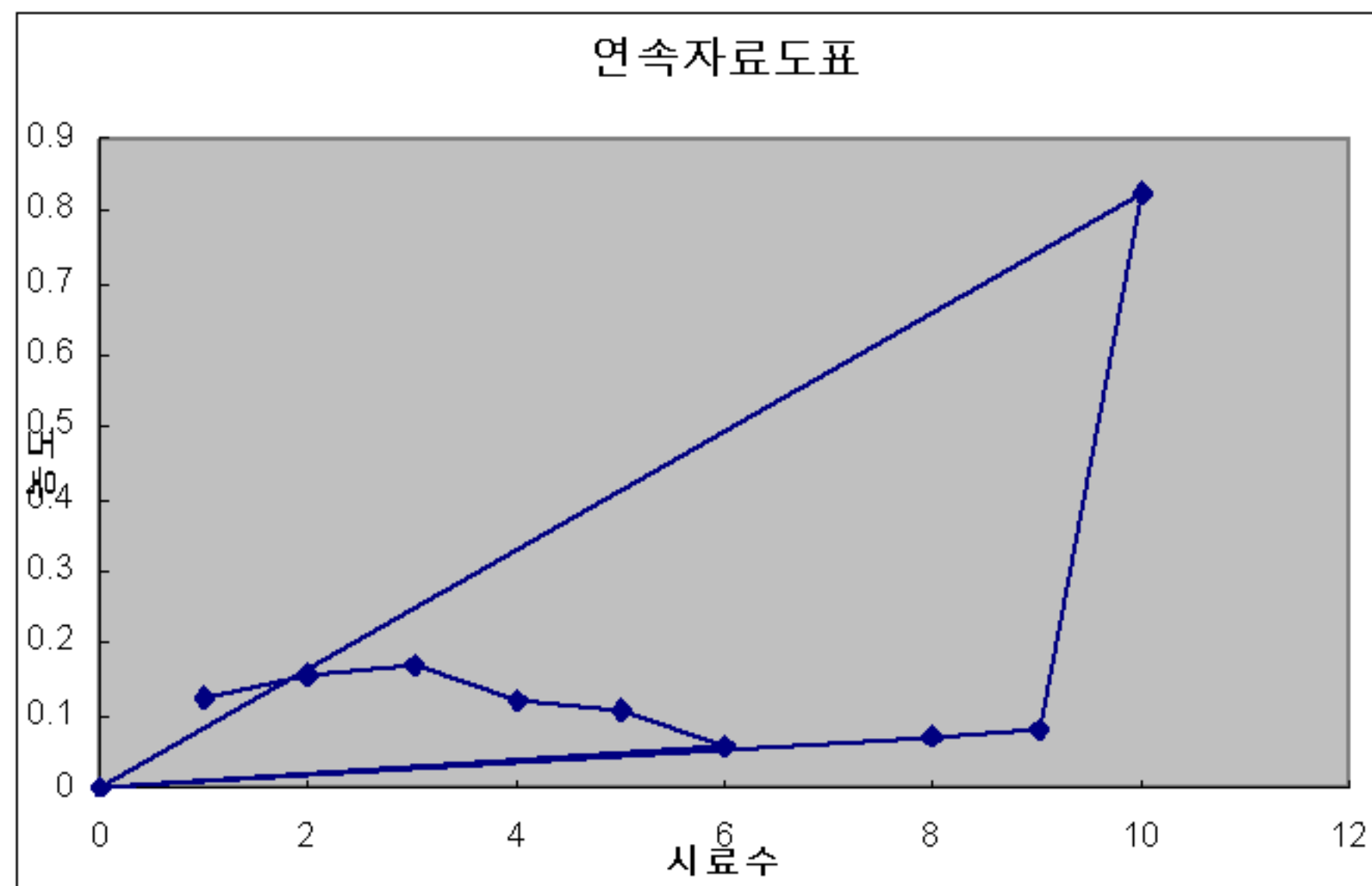
A사의 TWA 측정 시료수는 총 9개로 결과범위는 0.056 ~ 0.823 ppm이고 평균 및 표준편차가 0.190 ± 0.240 이었고 중앙값은 0.121ppm, 기하평균과 기하 표준편차가 0.131 ± 2.177 ppm으로 모두 노출기준 이하로 조사되었다.

작업환경측정결과에 대한 기술통계량, 분포적합성검정, 대수정규모수적통계량 및 정규모수적통계량 등 산업위생 결과는 표 3-28과 같다.

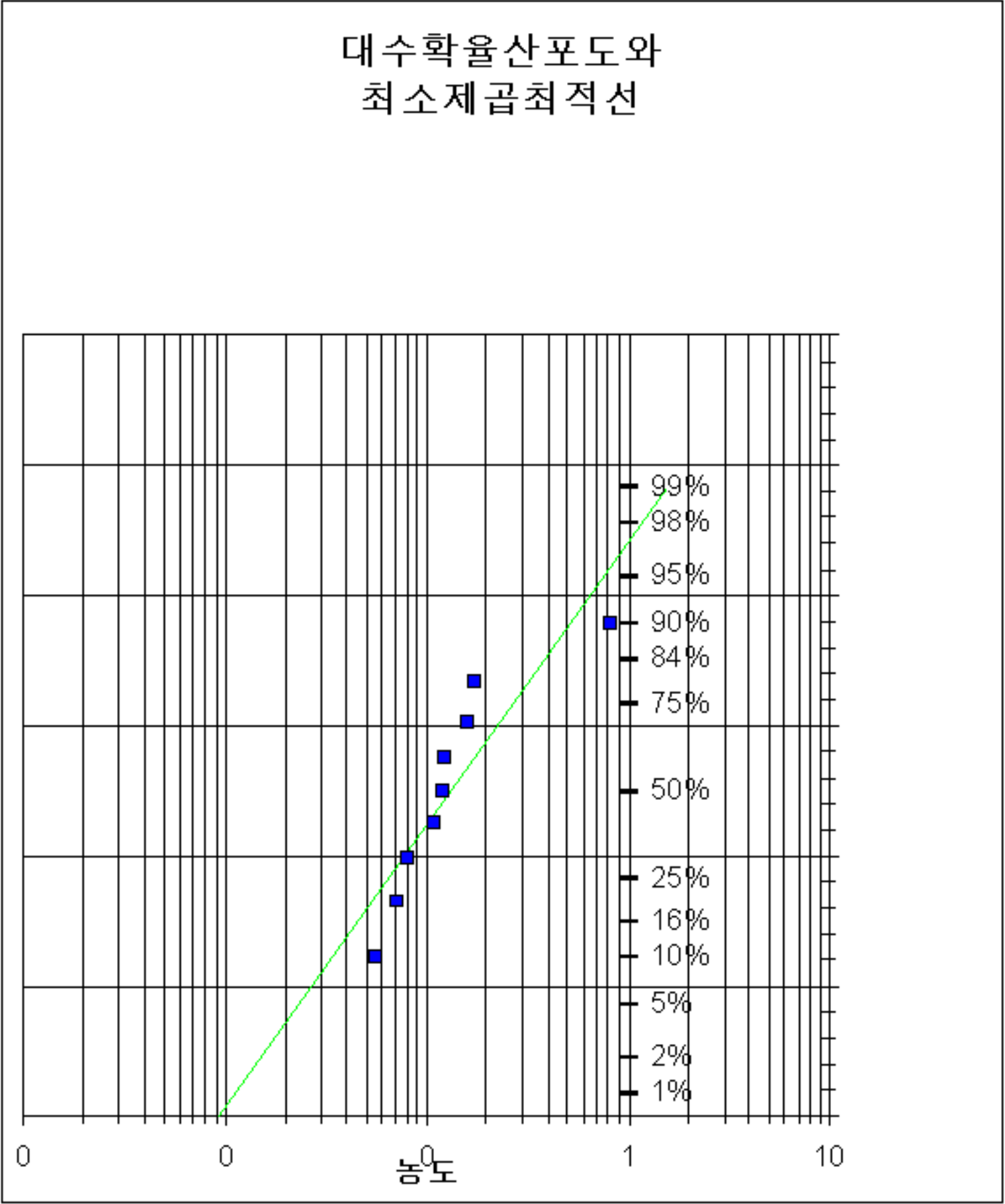
그림 3-96은 작업환경측정결과의 단순 연이은 산포도이고, 그림 3-97은 선형확률산포도와 최소제곱 적합선 그림 3-98은 대수확률 산포도와 최소제곱 적합선에 대한 그림이다. 그림 3-99는 작업환경측정결과의 산술평균에 대한 95%상위신뢰구간을 나타낸 그림이다.

<표 3-28> A사의 작업 환경 산업위생통계

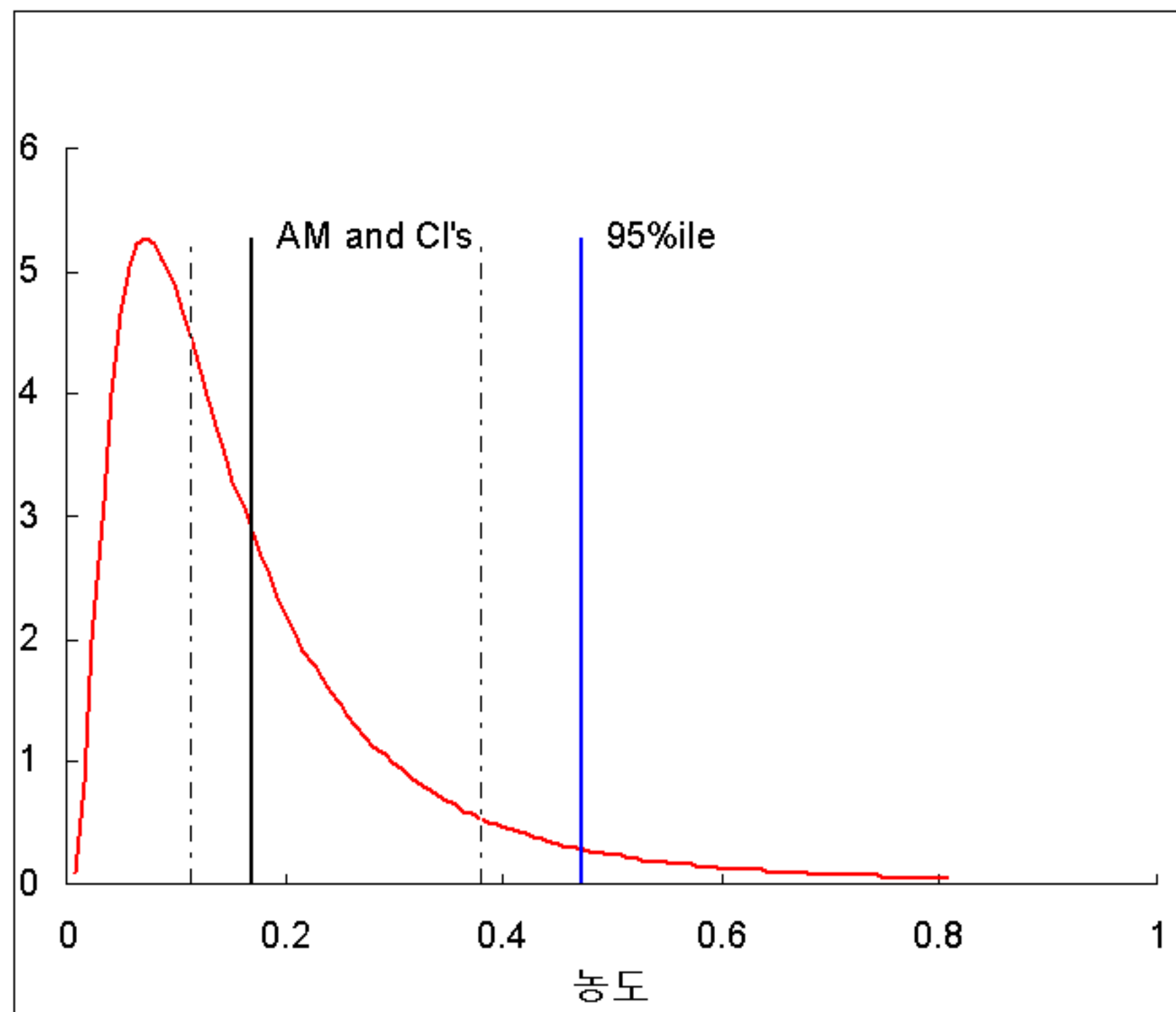
산업위생통계			
자료설명:			
OEL		기술통계	
25		시료수 (n)	9
		최대 (max)	0.823
측정자료		최소 (min)	0.056
(max n = 50)		범위	0.767
No less-than (<)		OEL이상% (%>OEL)	0.000
or greater-than (>)평균		0.190	
0.125		중앙값	0.121
0.156		표준편차 (s)	0.240
0.171		대수변환자료의 평균 (LN)	-2.029
0.121		대수변환자료의 표준편차 (LN)	0.778
0.108		기하평균 (GM)	0.131
0.056		기하표준편차 (GSD)	2.177
0.072			
0.080		분포적합성검정	
0.823		대수변환자료의 W-검정 (LN)	0.833
		대수정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		자료의 W-검정	0.542
		정규분포 (a = 0.05)?	No
		대수정규 모수적 통계량	
		추정된 산술평균 - MVUE	0.171
		LCL1,95% - Land's "Exact"	0.114
		UCL1,95% - Land's "Exact"	0.379
		95번째 백분위수	0.473
		UTL95%,95%	1.390
		OEL이상% (%>OEL)	0.000
		LCL1,95% %>OEL	<0.1
		UCL1,95% %>OEL	<0.027
		정규모수적 통계량	
		평균	0.190
		LCL1,95% - t 통계	0.042
		UCL1,95% - t 통계	0.339
		95번째 백분위수 - Z	0.586
		UTL95%,95%	0.92
		OEL이상% (%>OEL)	0.000



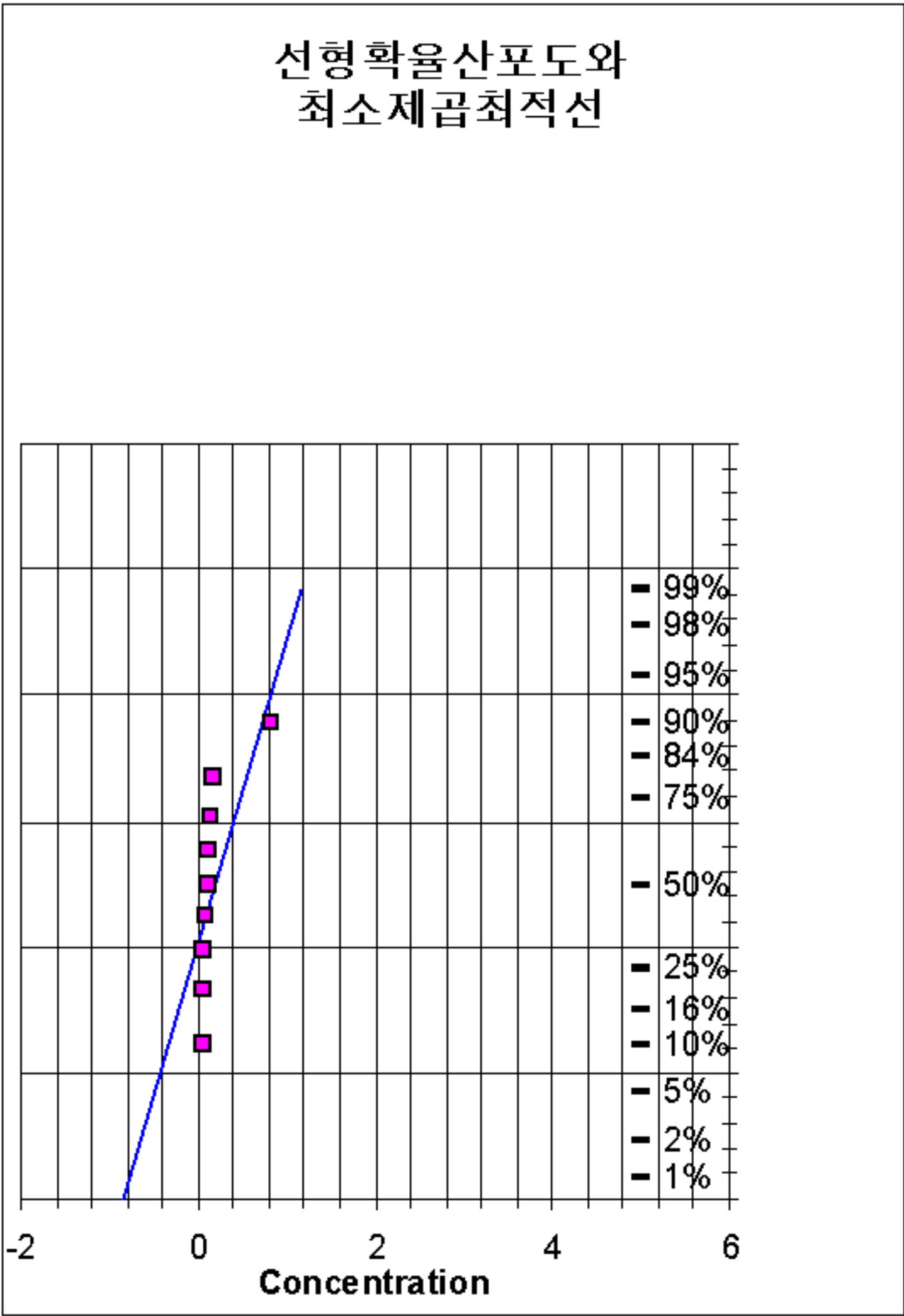
[그림 3-96] A사의 연속자료도표



[그림 3-97] A사의 대수확률 산포도와 최소제공 최적선



[그림 3-98]A사의 이상화된 대수분포



[그림 3-99] A사의 선형확률산포도와 최소제곱최적선

다) B사 (그 외 기타분류 안된 화학제품 제조업)

1,4-디옥산을 포장하는 공정에서 시료포집의 내용 및 측정농도를 표 3-29와 같이 제시하였다.

<표 3-29> B사업장 측정결과

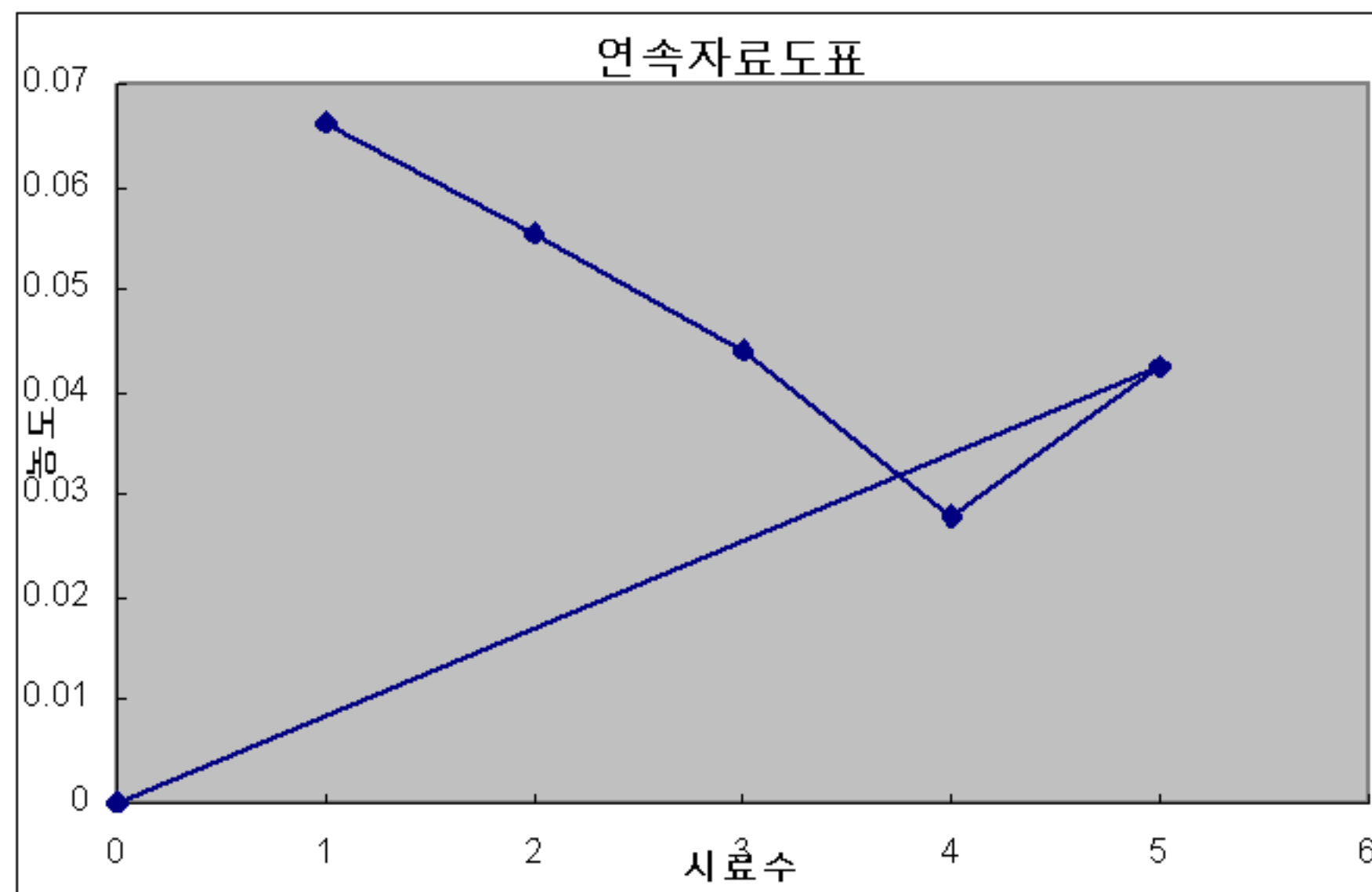
작업공정	노출시간 (시작-종료)	측정 횟수	측정위치	측정 방법	측정치 (ppm)	노출 기준 (ppm)	평가
포장	09:43-16:36	2	근로자1	TWA	0.0663	25	미만
	09:57-16:37	2	근로자2	TWA	0.0553		미만
	10:02-16:43	2	근로자3	TWA	0.0439		미만
	10:06-16:51	2	근로자4	TWA	0.0278		미만
	10:12-16:59	2	근로자5	TWA	0.0426		미만

근로자노출 실태를 파악하기 위한 8시간 가중평균농도(TWA)는 평균 및 표준편차가 0.0472 ± 0.0145 ppm로 조사되었으며 범위는 0.0278ppm에서 0.0663ppm이고 중앙값은 0.044 ppm, 기하평균과 기하표준편차가 0.045 ± 1.387 ppm으로 모든 측정값이 우리나라 8시간 가중평균농도 노출기준(TWA) 25ppm을 초과하지 않는 것으로 조사되었다. 자동포장의 가중평균농도의 평균은 0.0552ppm, 수동포장의 가중평균농도의 평균은 0.0352ppm으로 자동포장작업의 가중평균농도의 평균이 수동포장작업의 평균보다 노출수치가 높았다.

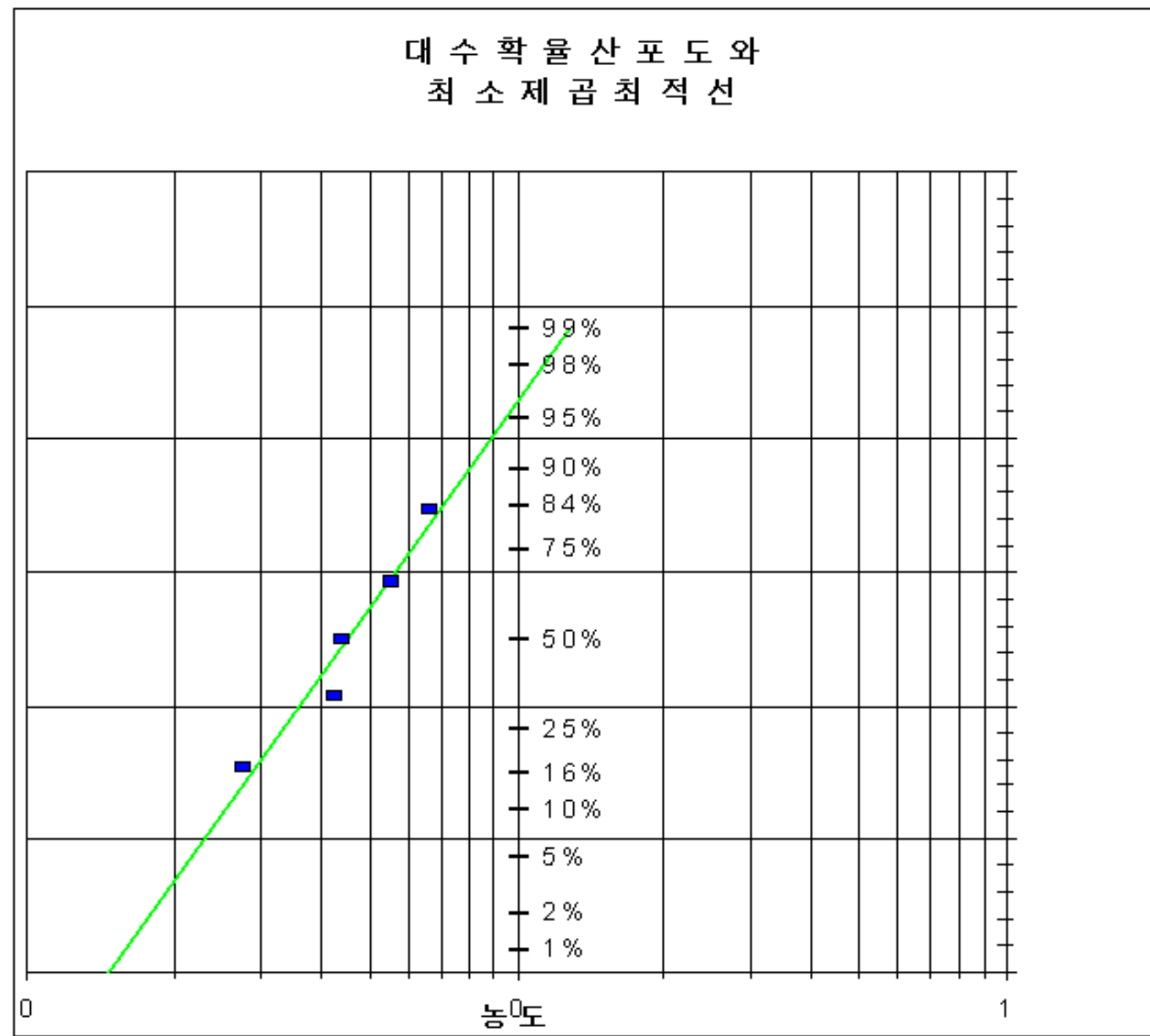
작업환경측정결과에 대한 기술통계량, 분포적합성검정, 대수정규모수적통계량 및 정규모수적통계량 등 산업위생 결과는 표 3-30과 같다. 그림 3-96은 작업환경측정결과의 단순 연이은 산포도이고, 그림 3-97은 선형확률산포도와 최소제곱 적합선 그림 3-98은 대수확률 산포도와 최소제곱 적합선에 대한 그림이다. 그림 3-99는 작업환경측정결과의 산술평균에 대한 95%상위신뢰구간을 나타낸 그림이다.

<표 3-30> B사의 작업 환경 산업위생통계

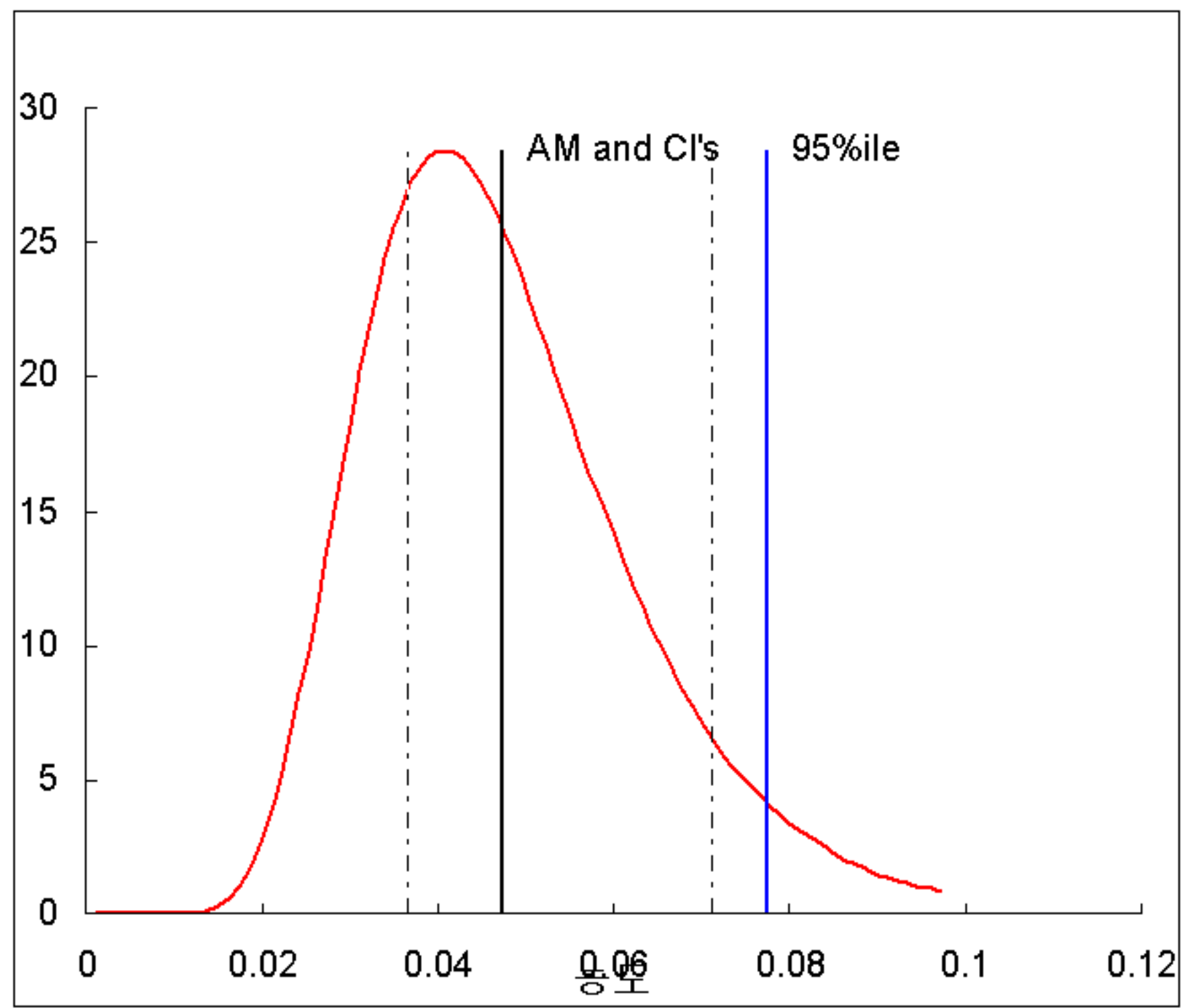
산업위생통계			
자료설명:			
OEL		기술통계	
25		시료수 (n)	5
		최대 (max)	0.066
측정자료		최소 (min)	0.028
(max n = 50)		범위	0.039
No less-than (<)		OEL이상% (%>OEL)	0.000
or greater-than (>)평균		0.047	
0.066		중앙값	0.044
0.055		표준편차 (s)	0.014
0.043		대수변환자료의 평균 (LN)	-3.095
0.028		대수변환자료의 표준편차 (LN)	0.327
0.0426		기하평균 (GM)	0.045
		기하표준편차 (GSD)	1.387
		분포적합성검정	
		대수변환자료의 W-검정 (LN)	0.959
		대수정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		자료의 W-검정	0.978
		정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		대수정규 모수적 통계량	
		추정된 산술평균 - MVUE	0.047
		LCL1,95% - Land's "Exact"	0.037
		UCL1,95% - Land's "Exact"	0.071
		95번째 백분위수	0.078
		UTL95%,95%	0.179
		OEL이상% (%>OEL)	0.000
		LCL1,95% %>OEL	<0.1
		UCL1,95% %>OEL	<0.735
		정규모수적 통계량	
		평균	0.047
		LCL1,95% - t 통계	0.033
		UCL1,95% - t 통계	0.061
		95번째 백분위수 - Z	0.071
		UTL95%,95%	0.11
		OEL이상% (%>OEL)	0.000



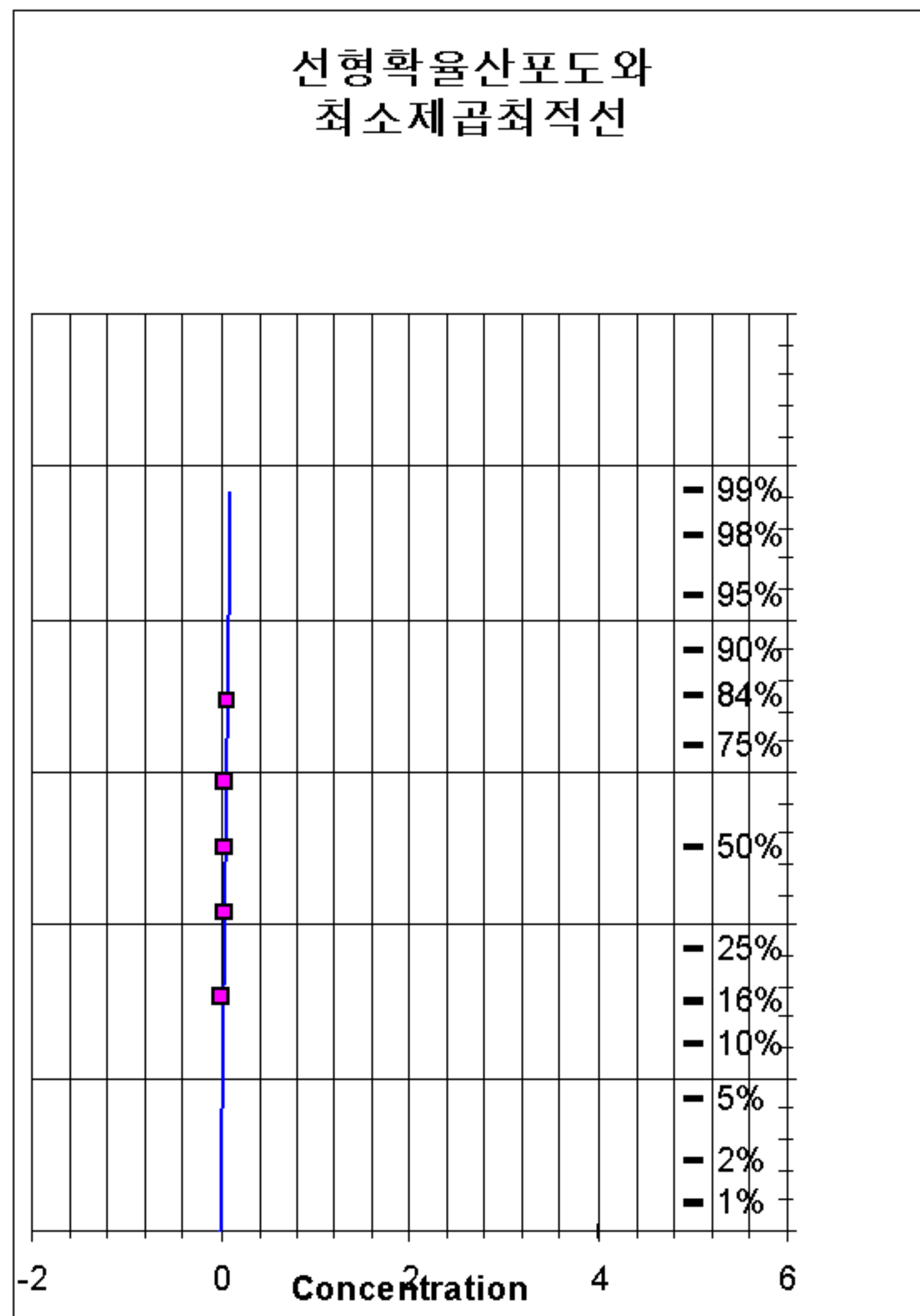
[그림 3-100] B사의 연속자료도표



[그림 3-101] B사의 대수확률 산포도와 최소제곱 최적선



[그림 3-102] B사의 이상화된 대수분포



[그림 3-103] B사의 선형확률산포도와 최소제곱최적선

라) C사 (일반용 도료 및 관련제품 제조업)

1,4-디옥산을 취급하는 실험실에서 시료포집 내용 및 측정농도를 표 3-31에 제시하였다.

<표 3-31> C사업장 측정결과

작업공정	노출시간 (시작-종료)	측정 횟수	측정위치	측정방법	측정치 (ppm)	노출 기준 (ppm)	평가
수지생산	09:43-16:36	2	근로자1	TWA	0.4193	25	미만
	09:57-16:37	2	근로자2	TWA	1.7990		미만
	10:02-16:43	2	근로자3	TWA	0.3618		미만

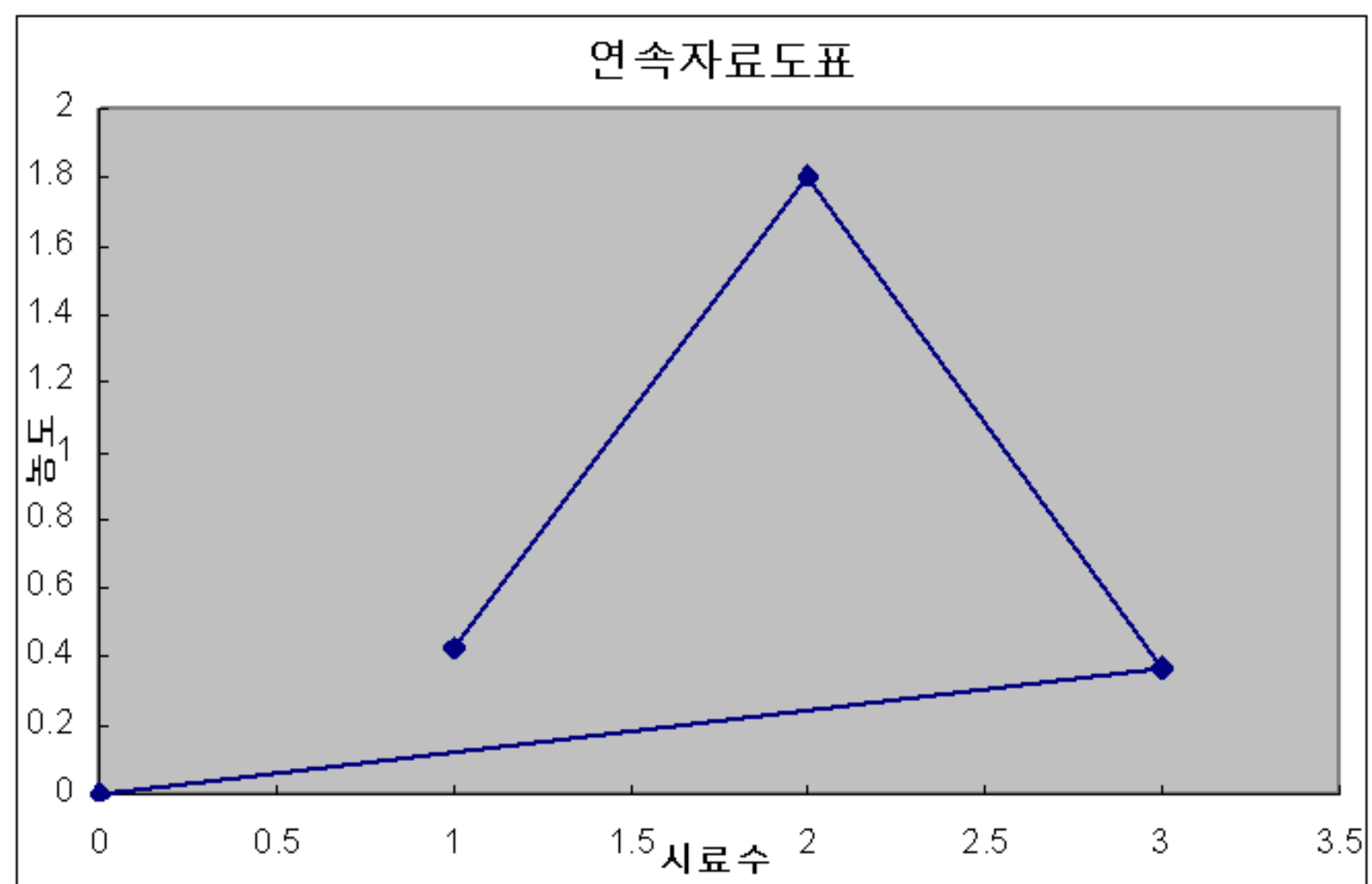
근로자노출 실태를 파악하기 위한 8시간 가중평균농도(TWA)는 평균 및 표준편차가 $0.8600 \pm 0.8137\text{ppm}$ 로 조사되었으며 범위는 0.3618ppm 에서 0.04193ppm 이고 중앙값은 0.419ppm , 기하평균과 기하표준편차가 $0.649 \pm 2.427\text{ppm}$ 으로 모든 측정값이 우리나라 8시간가중평균 노출기준(TWA) 25ppm 을 초과하지 않았다. 수지생산에서 근로자가 원료운반시 배관을 통해 이루어지고 반응기에서의 배합와 승온반응도 반응기가 밀폐되어 있어 작업자에게 노출농도가 낮은 것으로 사료된다.

작업환경측정결과에 대한 기술통계량, 분포적합성검정, 대수정규모수적통계량 및 정규모수적통계량 등 산업위생 결과는 표 3-32과 같다.

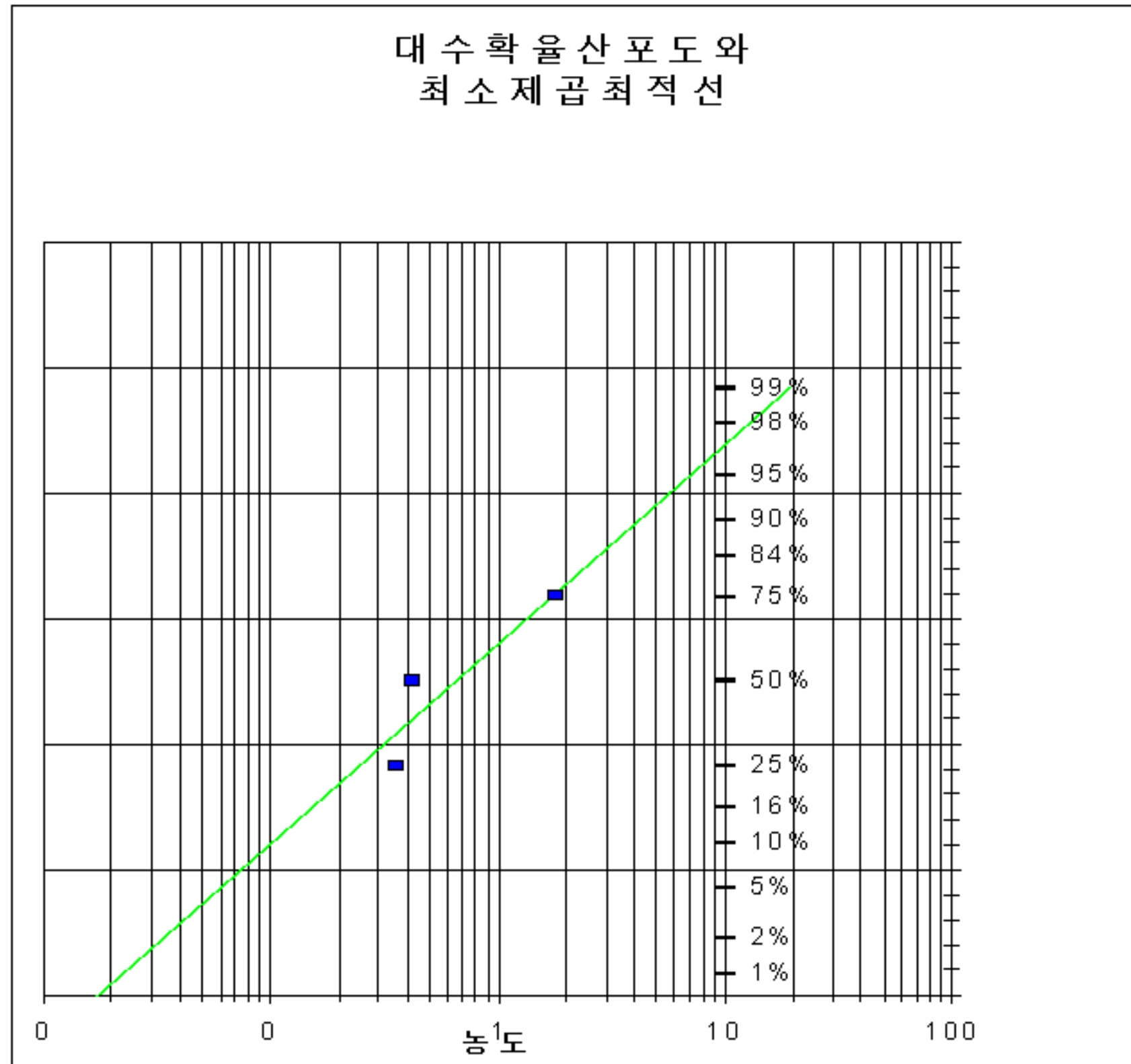
그림 3-104는 작업환경측정결과의 단순 연이은 산포도이고, 그림 3-105는 선형확률산포도와 최소제곱 적합선 그림 3-106은 대수확률 산포도와 최소제곱 적합선에 대한 그림이다.

<표 3-32> C사의 작업 환경 산업위생통계

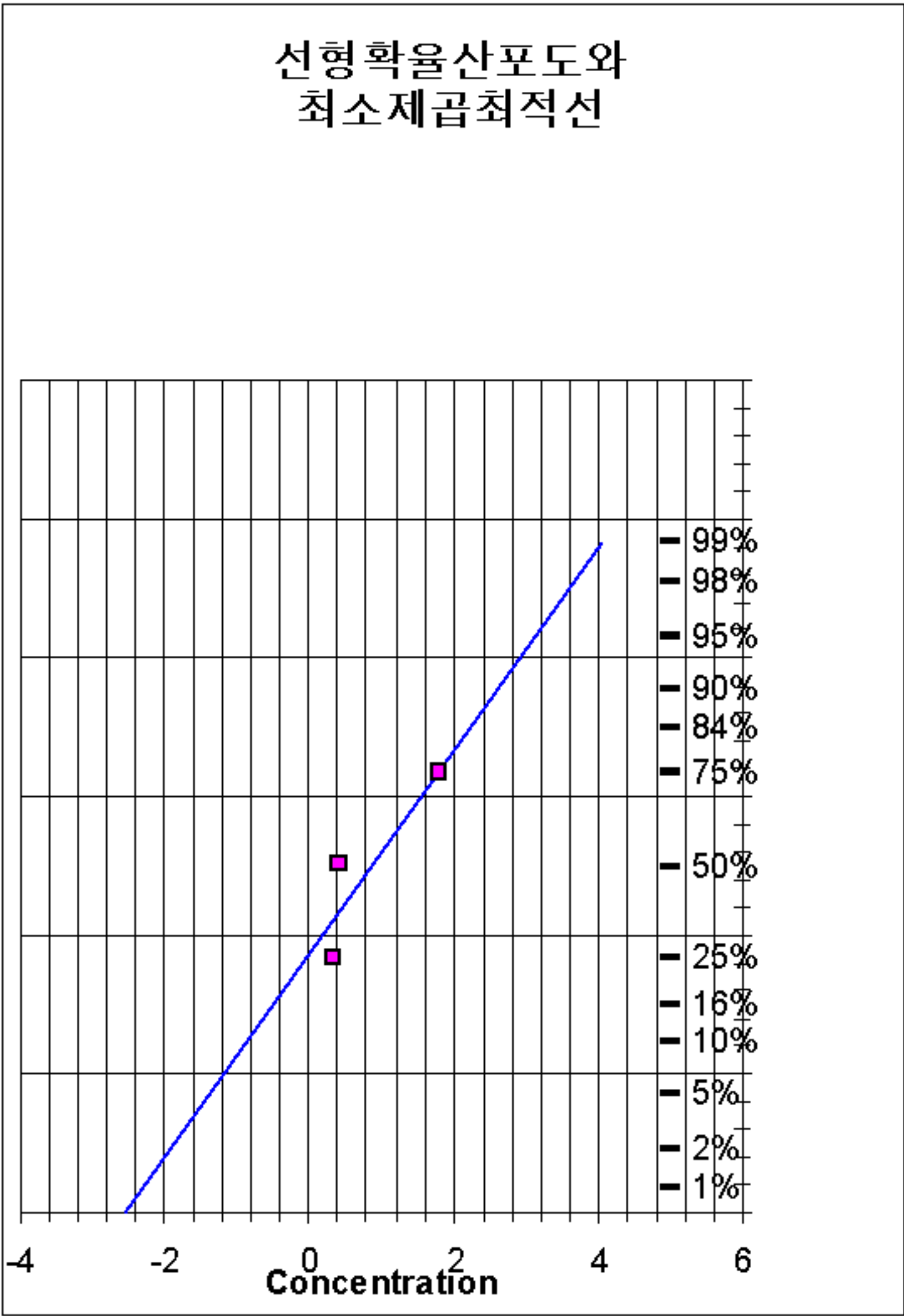
산업위생통계			
자료설명:			
OEL		기술통계	
25		시료수 (n)	3
		최대 (max)	1.799
측정자료		최소 (min)	0.362
(max n = 50)		범위	1.437
No less-than (<)		OEL이상% (%>OEL)	0.000
or greater-than (>)평균		0.860	
0.419		중앙값	0.419
1.799		표준편차 (s)	0.814
0.362		대수변환자료의 평균 (LN)	-0.433
		대수변환자료의 표준편차 (LN)	0.886
		기하평균 (GM)	0.649
		기하표준편차 (GSD)	2.427
		분포적합성검정	
		대수변환자료의 W-검정 (LN)	0.818
		대수정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		자료의 W-검정	0.780
		정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		대수정규 모수적 통계량	
		추정된 산술평균 - MVUE	0.830
		LCL1,95% - Land's "Exact"	0.368
		UCL1,95% - Land's "Exact"	1300.384
		95번째 백분위수	2.788
		UTL95%,95%	574.324
		OEL이상% (%>OEL)	0.002
		LCL1,95% %>OEL	<0.1
		UCL1,95% %>OEL	22.355
		정규모수적 통계량	
		평균	0.860
		LCL1,95% - t 통계	-0.512
		UCL1,95% - t 통계	2.232
		95번째 백분위수 - Z	2.199
		UTL95%,95%	7.09
		OEL이상% (%>OEL)	0.000



[그림 3-104] C사의 연속자료도표



[그림 3-105] C사의 대수확률 산포도와 최소제공 최적선



[그림 3-106] C사의 선형확률산포도와 최소제곱최적선

마) D사 1차측정 (광섬유 및 광학요소 제조업)

1,4-디옥산을 취급하는 하드코팅 공정의 시료포집 내용 및 측정농도를 표 3-33에 제시하였다.

<표 3-33> D사업장 1차 측정결과

작업공정	노출시간 (시작-종료)	측정 횟수	측정위치	측정방 법	측정치 (ppm)	노출 기준 (ppm)	평가
하드코팅	09:43-16:36	2	근로자1	TWA	1.4425	25	미만
	09:57-16:37	2	근로자2	TWA	0.9409		미만
	09:43-16:36	2	지 역1	TWA	2.2963	미제정	
	09:57-16:37	2	지 역2	TWA	2.1472		
	10:12-10:27	2	근로자1	STEL	1.1888		
	11:45-12:00	2	근로자1	STEL	2.2561		
	13:30-13:45	2	근로자1	STEL	2.7842		
	14:37-14:52	2	근로자1	STEL	불검출		
	10:42-10:47	2	근로자2	STEL	1.4452		
	11:20-12:35	2	근로자2	STEL	1.8399		
	13:15-13:30	2	근로자2	STEL	불검출		

하드코팅공정에서 1,4-디옥산을 취급하는 근로자의 수가 2명의 8시간 가중 평균농도(TWA)는 근로자1은 1.4425ppm, 근로자2는 0.9409ppm으로 취급근로자의 TWA의 평균1.1917ppm으로 조사되었으며 모든 측정값이 우리나라 노출기준인 8시간가중평균 노출기준(TWA) 25ppm을 초과하지 않는 것으로 조사되

었다. 하드코팅공정에서 1,4-디옥산을 취급하는 근로자수가 적은 관계 보다 정확한 측정을 위하여 지역시료측정을 하였고 지역측정의 장소로는 1,4-디옥산의 노출작업지역으로 하드코팅작업이 이루어지는 지역에서 2건을 측정하였다. 측정결과 지역1은 2.2963ppm, 지역2는 2.1472ppm으로 조사되었다. 지역시료측정이 개인시료측정 보다 높게 측정된 것은 근로자의 노출은 간헐적으로 이루어지는 것에 반면에 지역시료는 노출지역에서 설치되어 지속적으로 노출이 되기 때문이라고 사료된다.

1,4-디옥산 단시간측정결과 평균 및 표준편차가 $1.359 \pm 0.985\text{ppm}$ 측정결과 근로자1의 단시간 측정을 4회 측정한 결과 평균 및 표준편차가 $1.557 \pm 1.232\text{ppm}$ 으로 범위는 불검출 ~ 2.7842ppm으로 측정되었고 근로자2의 단시간 측정을 3회 측정한 결과 평균 및 표준편차가 $1.095 \pm 0.969\text{ppm}$ 으로 범위는 불검출 ~ 1.8399ppm으로 측정되어 편차가 큰 것으로 나타났다.

바) D사 2차측정 (광섬유 및 광학요소 제조업)

1,4-디옥산을 취급하는 하드코팅 공정에서 시료포집 내역 및 측정농도를 다음 표 3-34에 제시하였다.

<표 3-34> D사업장 2차 측정결과

작업공정	노출시간 (시작-종료)	측정 횟수	측정위치	측정 방법	측정치 (ppm)	노출 기준 (ppm)	평가
하드코팅	09:43-16:36	2	근로자1	TWA	6.0186	25	미만
	09:57-16:37	2	근로자2	TWA	8.4697		미만
	09:47-16:56	2	지 역1	TWA	불검출	미제정	
	09:53-16:32	2	지 역2	TWA	10.6348		
	13:30-13:45	2	근로자2	STEL	5.7957		
	14:37-14:52	2	근로자2	STEL	5.1225		
	10:42-10:47	2	근로자2	STEL	5.2230		
	11:20-12:35	2	근로자2	STEL	4.6268		

하드코팅공정에서 1,4-디옥산을 취급하는 근로자의 수가 2명의 8시간 가중 평균농도(TWA)는 근로자1은 6.0186ppm, 근로자2는 8.4697ppm으로 평균 7.2442ppm으로 조사되었으며 모든 측정값이 우리나라 노출기준인 8시간가중평균 노출기준(TWA) 25ppm을 초과하지 않는 것으로 조사되었다. 하드코팅공정에서 1,4-디옥산을 취급하는 근로자수가 적은 관계 보다 정확한 측정을 위하여

여 지역시료측정을 하였다. 측정결과 지역1은 불검출, 지역2는 10.6348ppm으로 조사되었다. 개인시료와 지역시료의 농도의 차이는 하드코팅공정에서 지역에 따라 을 1,4-디옥산 노출 차이가 크게 나타났기 때문으로 사료된다.

근로자2의 단시간 측정을 4회 측정한 결과 평균 및 표준편차가 5.1920 ± 0.4795 ppm으로 범위는 4.6268ppm에서 5.7957ppm으로 측정되었다.

전회 측정치와의 비교하여 비교적 측정치의 차이를 보인 것은 측정당시 주 문량이 많아 작업량이 평소 보다 많았기 때문으로 사료된다.

사) D사 3차측정 (광섬유 및 광학요소 제조업)

1,4-디옥산을 취급하는 하드코팅 공정의 시료포집 내용 및 측정농도를 다음 표 3-35에 제시하였다.

<표 3-35> D사업장 3차 측정결과

작업공정	노출시간 (시작-종료)	측정 횟수	측정위치	측정방 법	측정치 (ppm)	노출 기준 (ppm)	평가
하드코팅	09:53-16:56	2	근로자1	TWA	6.6321	25	미만
	09:53-16:47	2	근로자2	TWA	3.1188		미만
	09:46-16:26	2	근로자3	TWA	3.1230		미만

근로자노출 실태를 파악하기 위한 8시간 가중평균농도(TWA)는 평균 및 표준편차가 4.2913 ± 2.0272 ppm로 조사되었으며 범위는 3.1188ppm에서 6.6321ppm으로 모든 측정값이 우리나라 노출기준인 8시간가중평균 노출기준 (TWA) 25ppm을 초과하지 않는 것으로 조사되었다.

아) D사 4차측정 (광섬유 및 광학요소 제조업)

1,4-디옥산을 취급하는 하드코팅 공정의 시료포집 내용 및 측정농도를 표 3-36에 제시하였다.

<표 3-36> D사업장 4차 측정결과

작업공정	노출시간 (시작-종료)	측정 횟수	측정위치	측정 방법	측정치 (ppm)	노출 기준 (ppm)	평가
하드코팅	09:21-16:56	2	근로자1	TWA	5.9225	25	미만
	09:36-16:47	2	근로자2	TWA	7.6147		미만
	09:24-16:51	2	근로자3	TWA	6.0655		미만
	09:35-16:42	2	지 역1	TWA	9.0496	미제정	
	09:21-16:47	2	지 역2	TWA	9.7515		
	09:30-09:45	2	근로자2	STEL	3.7897		
	10:47-11:02	2	근로자2	STEL	6.3399		
	11:37-12:52	2	근로자2	STEL	5.2501		
	13:51-14:06	2	근로자2	STEL	5.8079		

하드코팅공정에서 1,4-디옥산을 취급하는 근로자의 수가 3명의 8시간 가중 평균농도(TWA)는 평균 및 표준편차가 6.5342 ± 0.9384 ppm로 조사되었으며 범위는 5.9225~ 7.6147ppm으로 모든 측정값이 우리나라 노출기준인 8시간가중평균 노출기준(TWA) 25ppm을 초과하지 않는 것으로 조사되었다. 하드코팅 공정에서 1,4-디옥산을 취급하는 근로자수가 적은 관계로 보다 정확한 측정을 위하여 지역시료측정을 하였다. 측정결과 지역1은 9.0496ppm, 지역2는 9.7515ppm으로 두 지역의 TWA의 평균은 9.4006ppm으로 조사되었다.

근로자2의 단시간 측정을 4회 측정한 결과 평균 및 표준편차가 5.2969 ± 1.0989 ppm으로 범위는 3.7897~ 5.8079ppm으로 측정되었다.

○ D사 시간가중평균치 측정결과 총괄

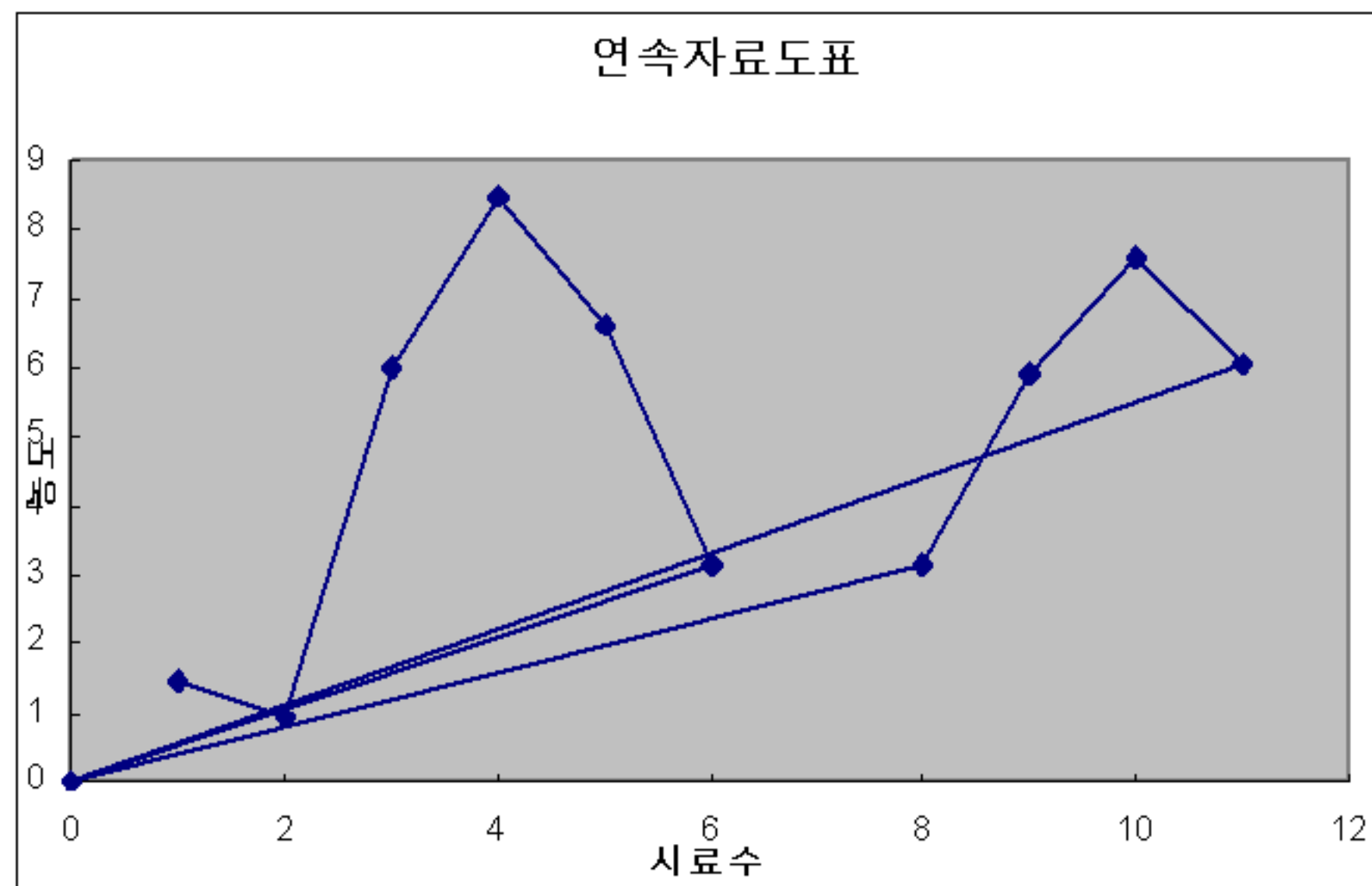
D사의 TWA 측정 시료수는 총 10개로 결과범위는 0.941 ~ 8.470 ppm이고 평균 및 표준편차가 4.935 ± 2.597 이었고 중앙값은 5.971ppm, 기하평균과 기하 표준편차가 4.062 ± 2.104 ppm으로 모두 노출기준 아래 표 3-37와 같이 조사되었다.

작업환경측정결과에 대한 기술통계량, 분포적합성검정, 대수정규모수적통계량 및 정규모수적통계량 등 산업위생 결과는 표 3-37과 같다.

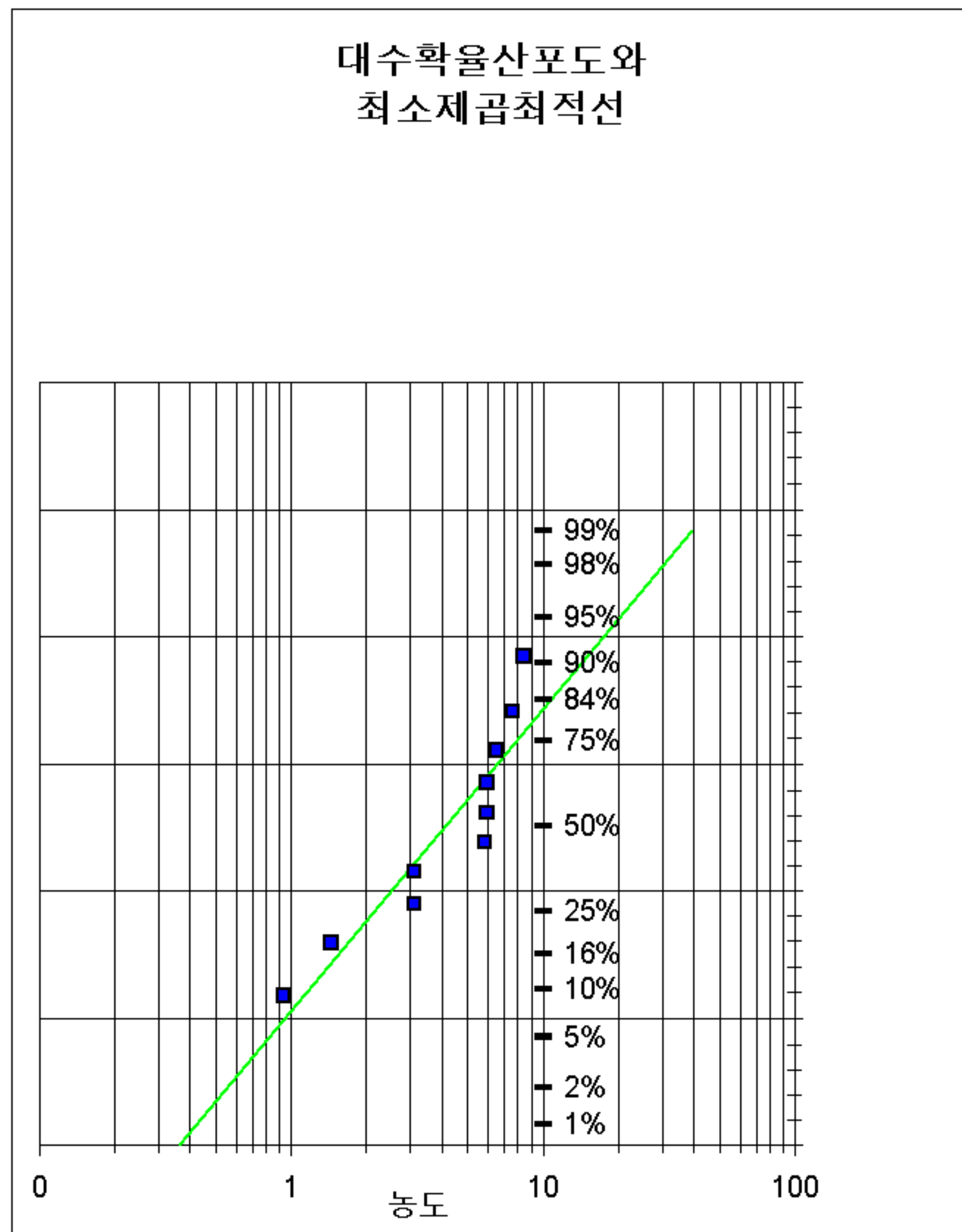
그림 3-107은 작업환경측정결과의 단순 연이은 산포도이고, 그림 3-108은 선형확률 산포도와 최소제곱 적합선 그림 3-109는 대수확률 산포도와 최소제곱 적합선에 대한 그림이다. 그림 3-110은 작업환경측정결과의 산술평균에 대한 95%상위신뢰구간을 나타낸 그림이다.

<표 3-37> D사 TWA 측정결과에 의한 작업 환경 산업위생통계

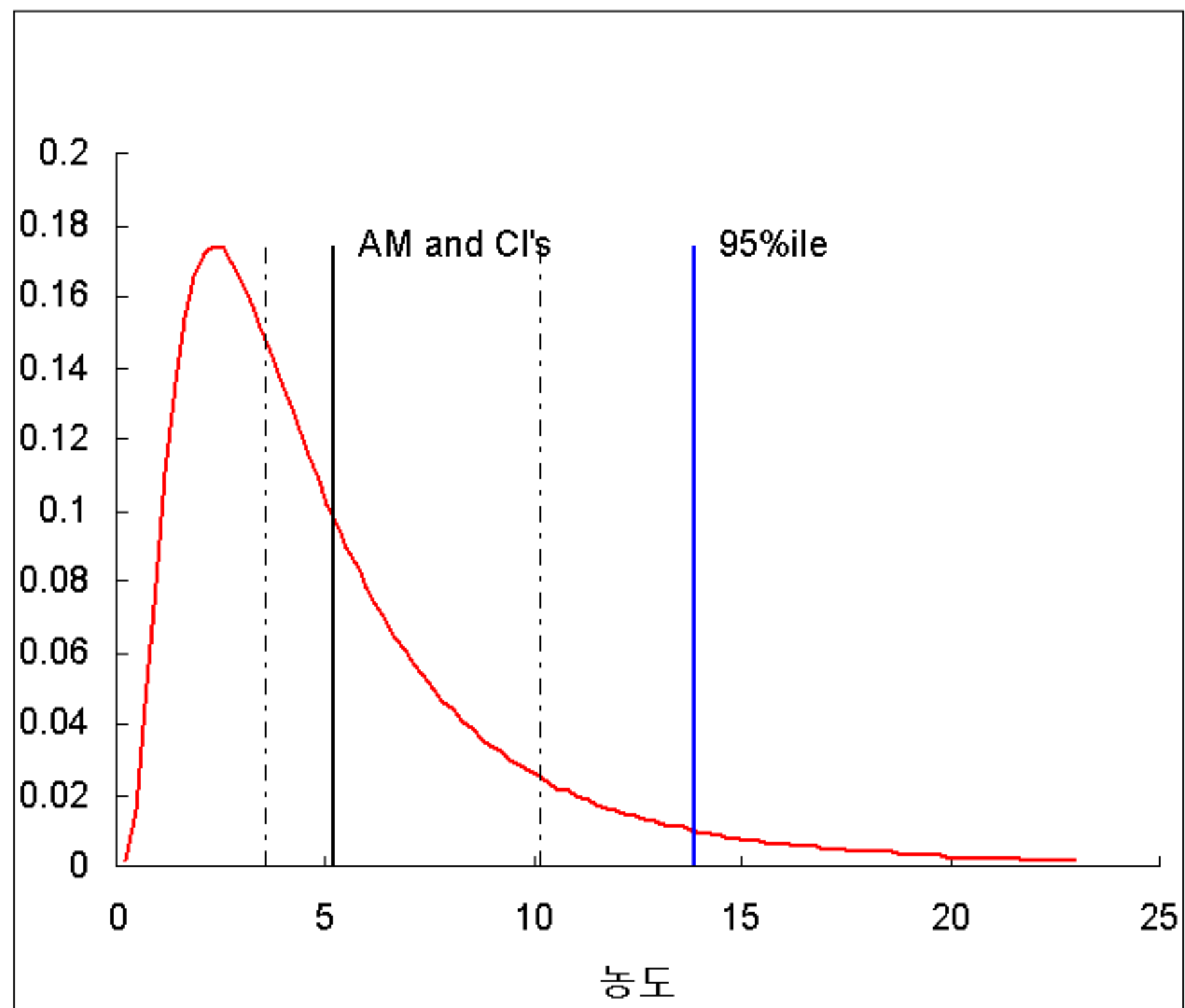
산업위생통계			
자료설명:			
OEL		기술통계	
25		시료수 (n)	10
		최대 (max)	8.470
측정자료		최소 (min)	0.941
(max n = 50)		범위	7.529
No less-than (<)		OEL이상% (%>OEL)	0.000
or greater-than (>)평균		4.935	
1.443		중앙값	5.971
0.941		표준편차 (s)	2.597
6.019		대수변환자료의 평균 (LN)	1.402
8.470		대수변환자료의 표준편차 (LN)	0.744
6.632		기하평균 (GM)	4.062
3.119		기하표준편차 (GSD)	2.104
3.123			
5.922		분포적합성검정	
7.615		대수변환자료의 W-검정 (LN)	0.845
6.065		대수정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		자료의 W-검정	0.919
		정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		대수정규 모수적 통계량	
		추정된 산술평균 - MVUE	5.183
		LCL1,95% - Land's "Exact"	3.579
		UCL1,95% - Land's "Exact"	10.166
		95번째 백분위수	13.813
		UTL95%,95%	35.431
		OEL이상% (%>OEL)	0.730
		LCL1,95% %>OEL	<0.1
		UCL1,95% %>OEL	9.091
		정규모수적 통계량	
		평균	4.935
		LCL1,95% - t 통계	3.429
		UCL1,95% - t 통계	6.440
		95번째 백분위수 - Z	9.207
		UTL95%,95%	12.50
		OEL이상% (%>OEL)	0.000



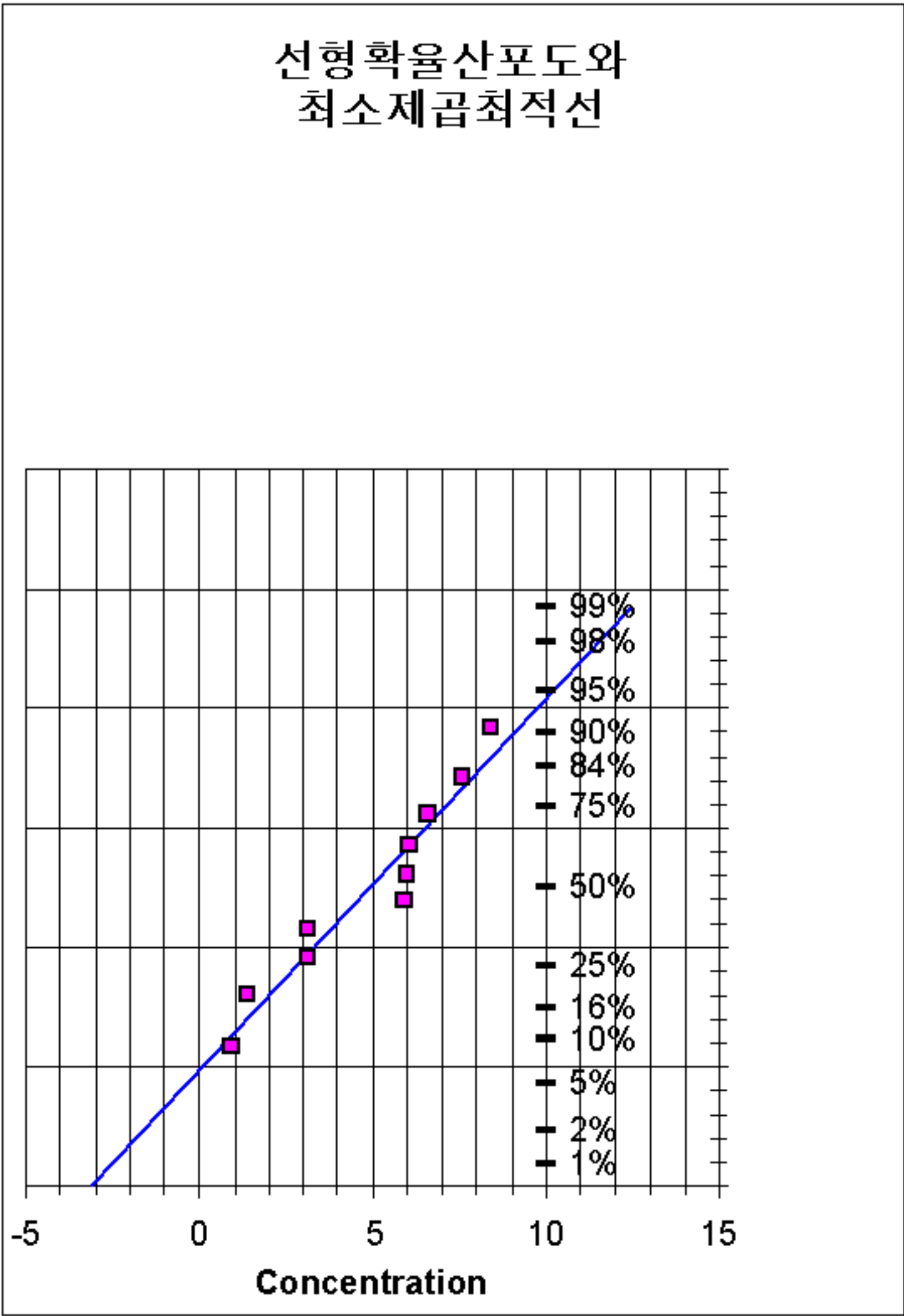
[그림 3-107] D사 TWA측정결과와의 연속자료도확률



[그림 3-108] D사 TWA측정결과의 대수확률 산포도와 최소제공 최적선



[그림 3-109] D사 TWA측정결과에의 이상화된 대수분포



[그림 3-110] D사 TWA측정결과의 선형확률산포도와
최소제곱최적선

○ D사 지역시료 측정결과 총괄

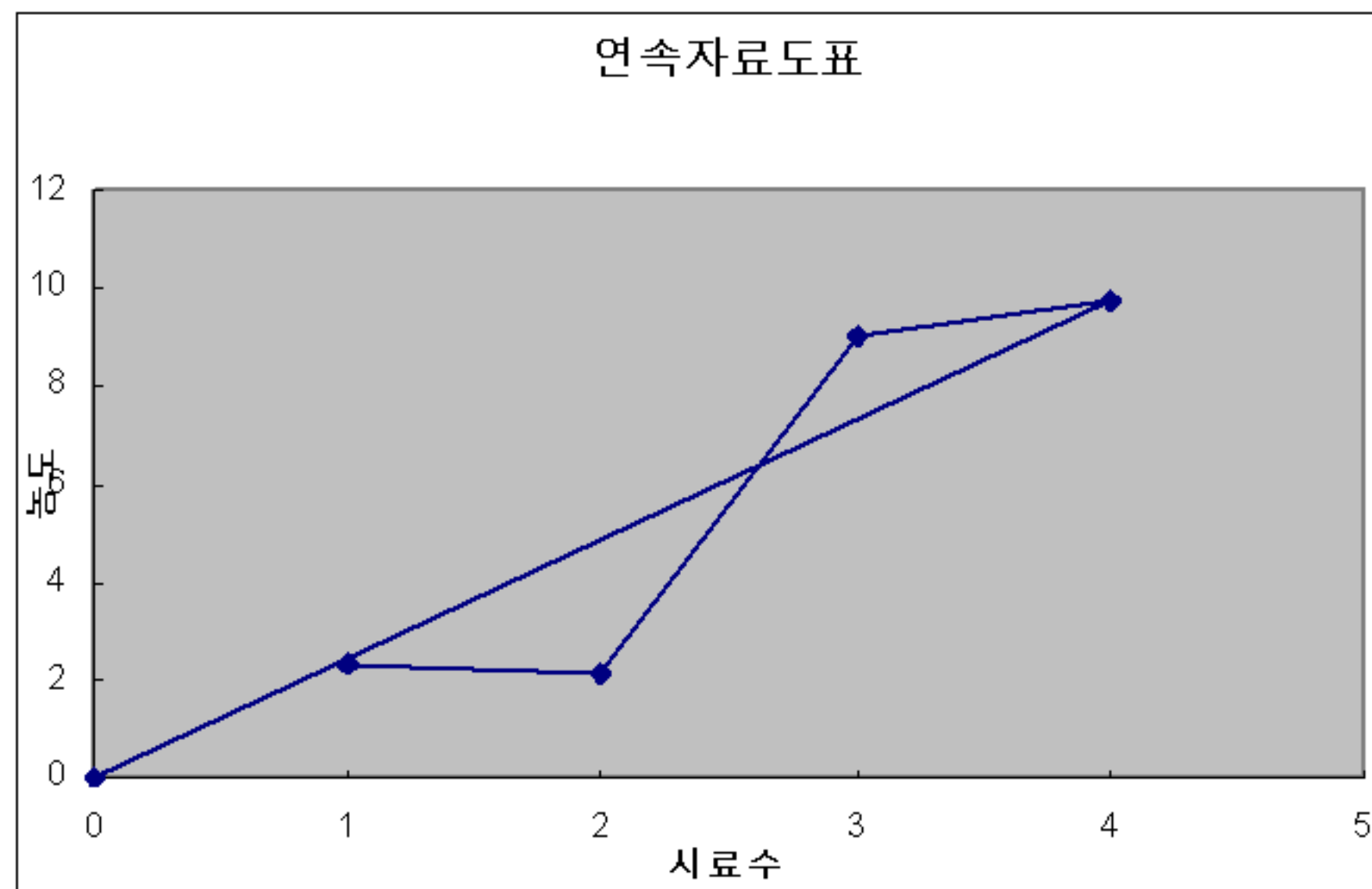
D사의 지역시료측정 시료수는 총 4개로 결과범위는 2.147 ~ 9.751 ppm이고 평균 및 표준편차가 $5.811 \pm 4.155\text{ppm}$ 이었고 중앙값은 5.673ppm, 기하평균과 기하표준편차가 $4.567 \pm 2.302\text{ppm}$ 으로 모두 노출기준 이하로 표 3-37과 같이 조사되었다.

지역시료측정에 대한 기술통계량, 분포적합성검정, 대수정규모수적통계량 및 정규모수적통계량 등 산업위생 결과는 표 3-37과 같다.

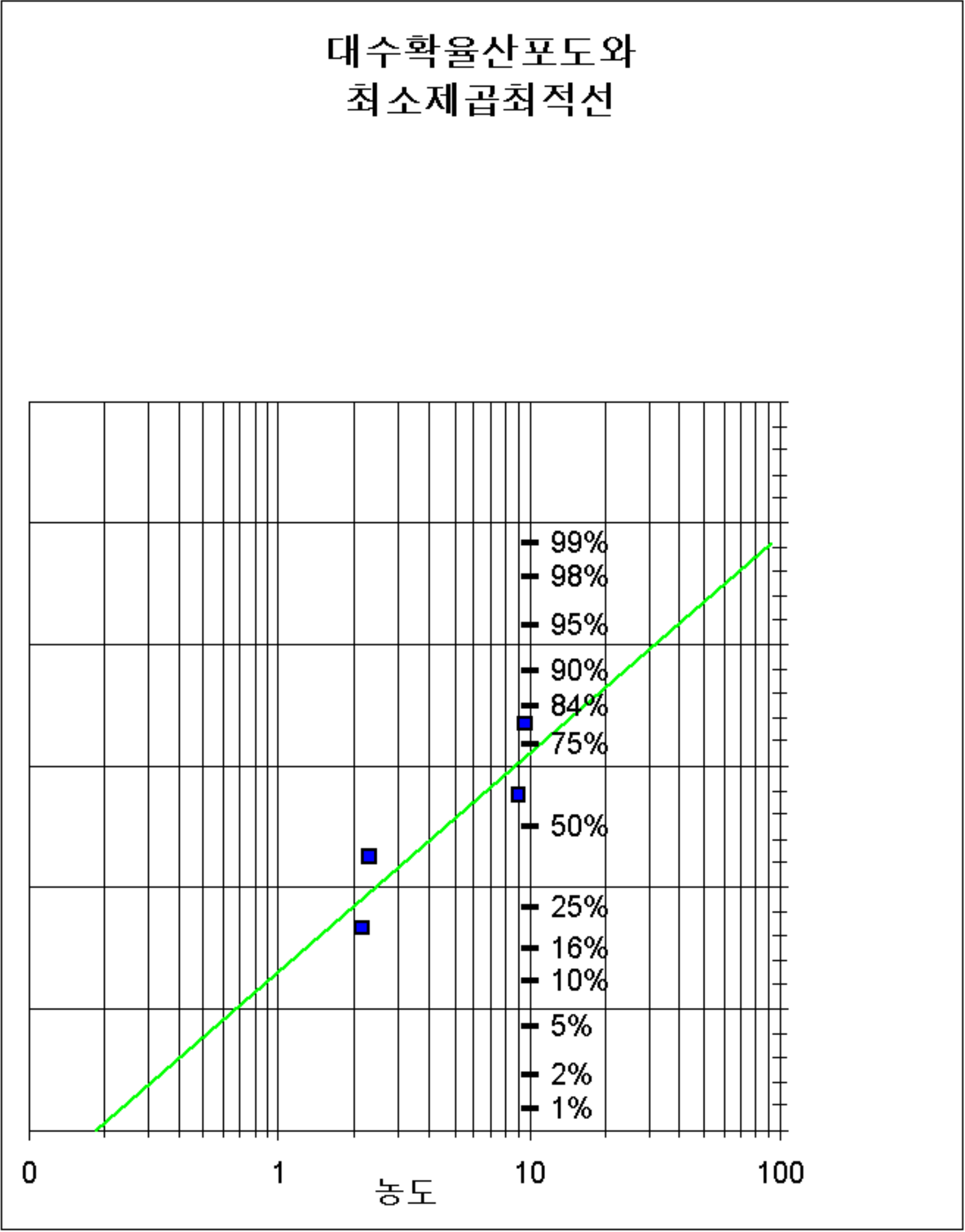
그림 3-111은 작업환경측정결과의 단순 연이은 산포도이고, 그림 3-112는 선형확률산포도와 최소제곱 적합선 그림 3-113은 대수확률 산포도와 최소제곱 적합선에 대한 그림이다. 그림 3-114는 작업환경측정결과의 산술평균에 대한 95%상위신뢰구간을 나타낸 그림이다.

<표 3-38> D사의 작업 환경 산업위생통계

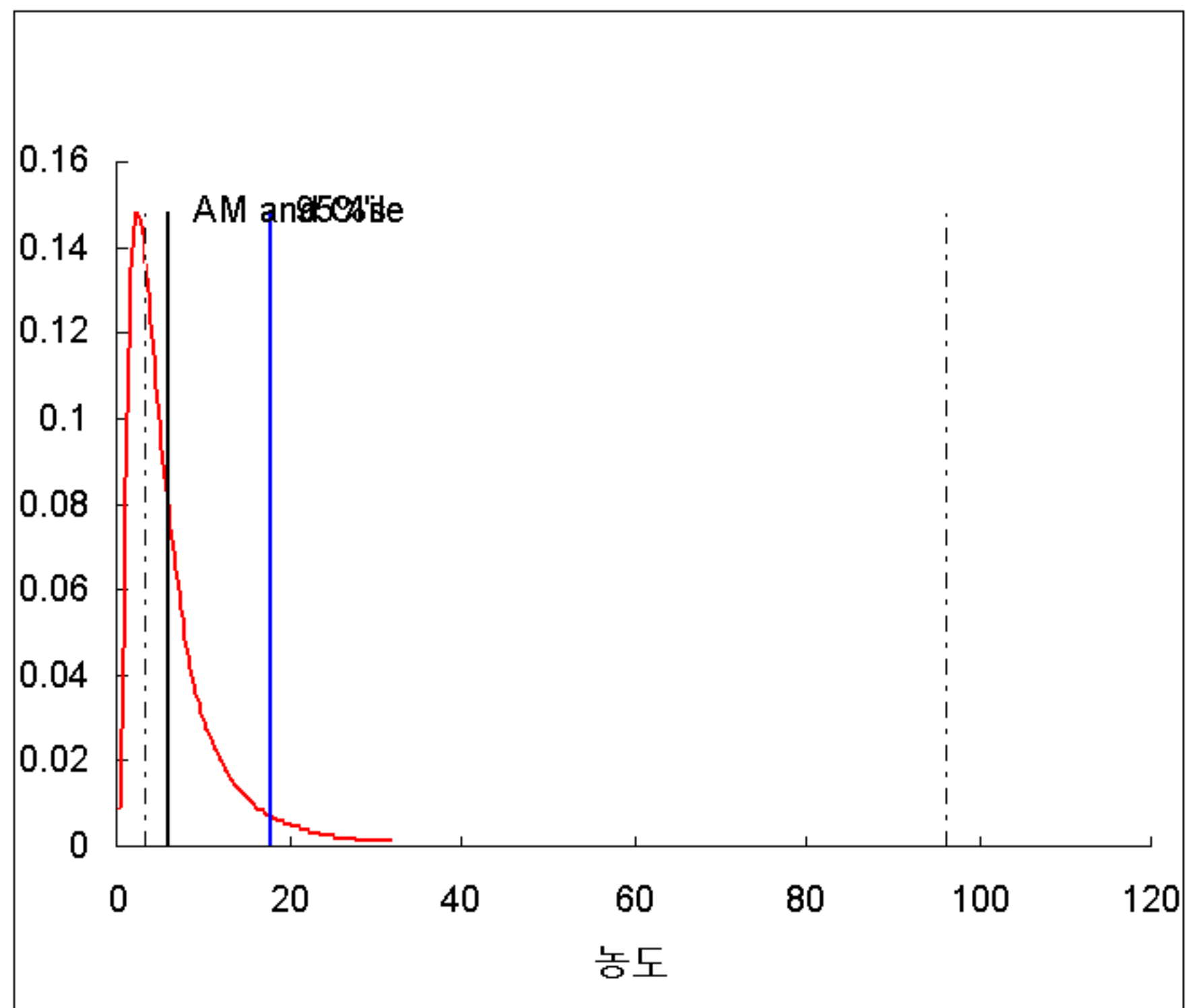
산업위생통계			
자료설명:			
OEL		기술통계	
25		시료수 (n)	4
		최대 (max)	9.75146
측정자료		최소 (min)	2.14716
(max n = 50)		범위	7.6043
No less-than (<)		OEL이상% (%>OEL)	0.000
or greater-than (>)평균		5.811	
2.2963		중앙값	5.673
2.1472		표준편차 (s)	4.155
9.0496		대수변환자료의 평균 (LN)	1.519
9.7515		대수변환자료의 표준편차 (LN)	0.834
		기하평균 (GM)	4.567
		기하표준편차 (GSD)	2.302
		분포적합성검정	
		대수변환자료의 W-검정 (LN)	0.773
		대수정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		자료의 W-검정	0.781
		정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		대수정규 모수적 통계량	
		추정된 산술평균 - MVUE	5.854
		LCL1,95% - Land's "Exact"	3.137
		UCL1,95% - Land's "Exact"	96.248
		95번째 백분위수	18.001
		UTL95%,95%	333.135
		OEL이상% (%>OEL)	2.073
		LCL1,95% %>OEL	<0.1
		UCL1,95% %>OEL	33.578
		정규모수적 통계량	
		평균	5.811
		LCL1,95% - t 통계	0.922
		UCL1,95% - t 통계	10.700
		95번째 백분위수 - Z	12.646
		UTL95%,95%	27.19
		OEL이상% (%>OEL)	0.000



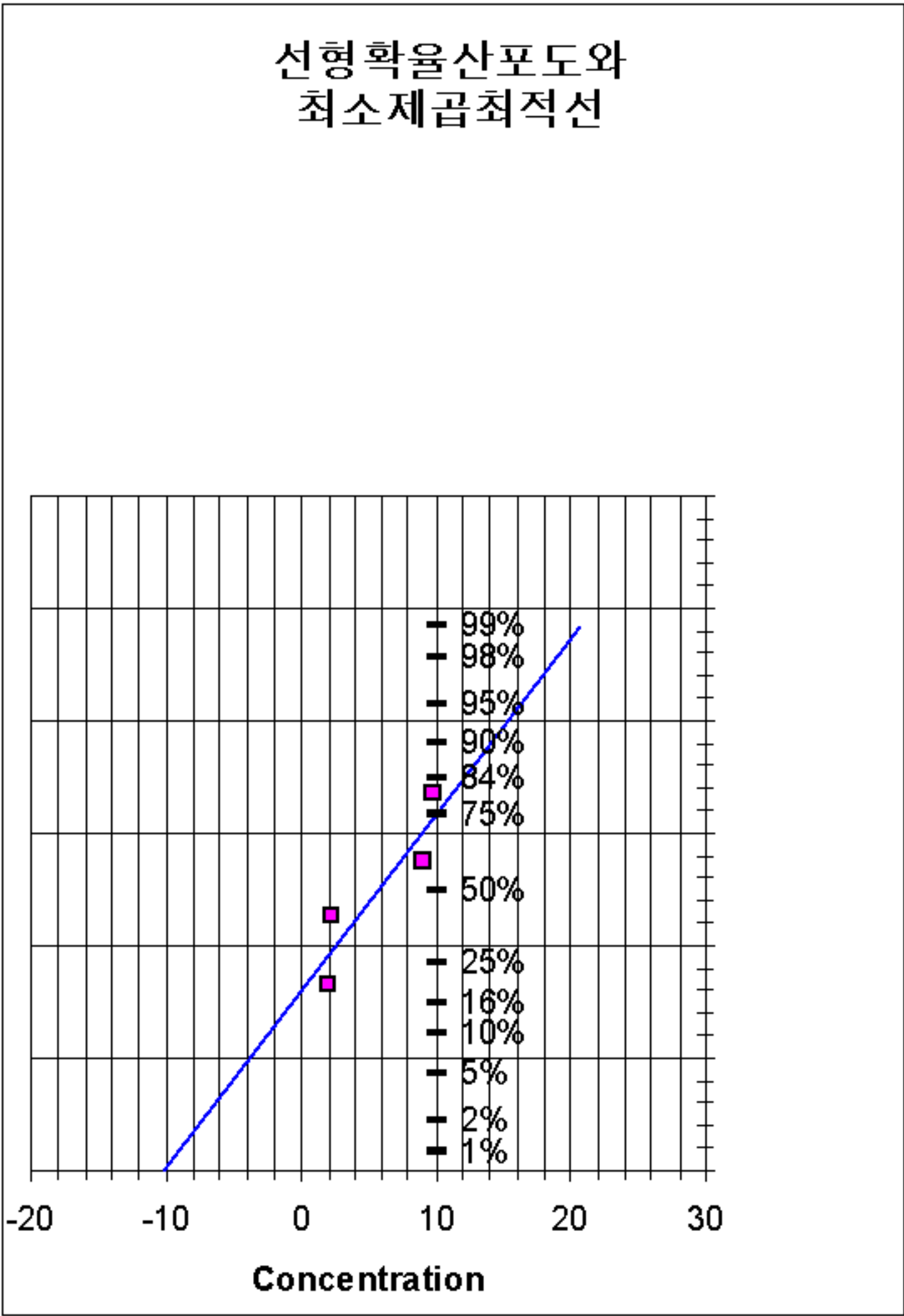
[그림 3-111] D사의 연속자료도표



[그림 3-112] D사의 대수확률 산포도와 최소제공 최적선



[그림 3-113] D사의 이상화된 대수분포



[그림 3-114] D사의 선형확률산포도와 최소제곱최적선

○ D사 단시간 측정결과 분석 및 해석 총괄

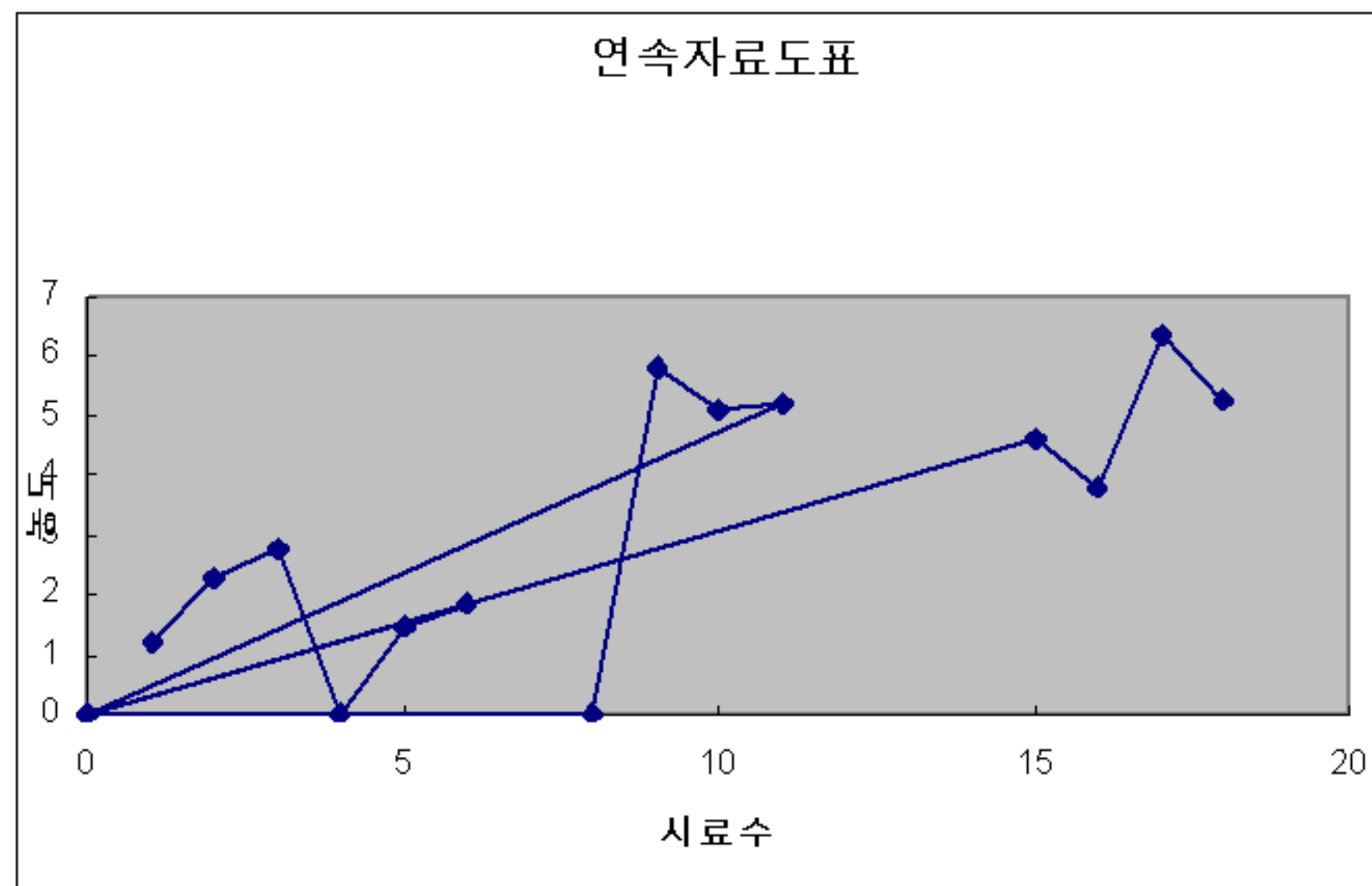
D사의 단시간 측정 시료수는 총 15개로 결과범위는 0 ~ 6.339ppm이고 평균 및 표준편차가 0.190 ± 0.240 이었고 중앙값은 0.121ppm, 기하평균과 기하표준편차가 0.131 ± 2.177 ppm으로 모두 노출기준 아래로 조사되었다.

단시간 측정결과에 대한 기술통계량, 분포적합성검정, 대수정규모수적통계량 및 정규모수적통계량 등 산업위생 결과는 표 3-39과 같다.

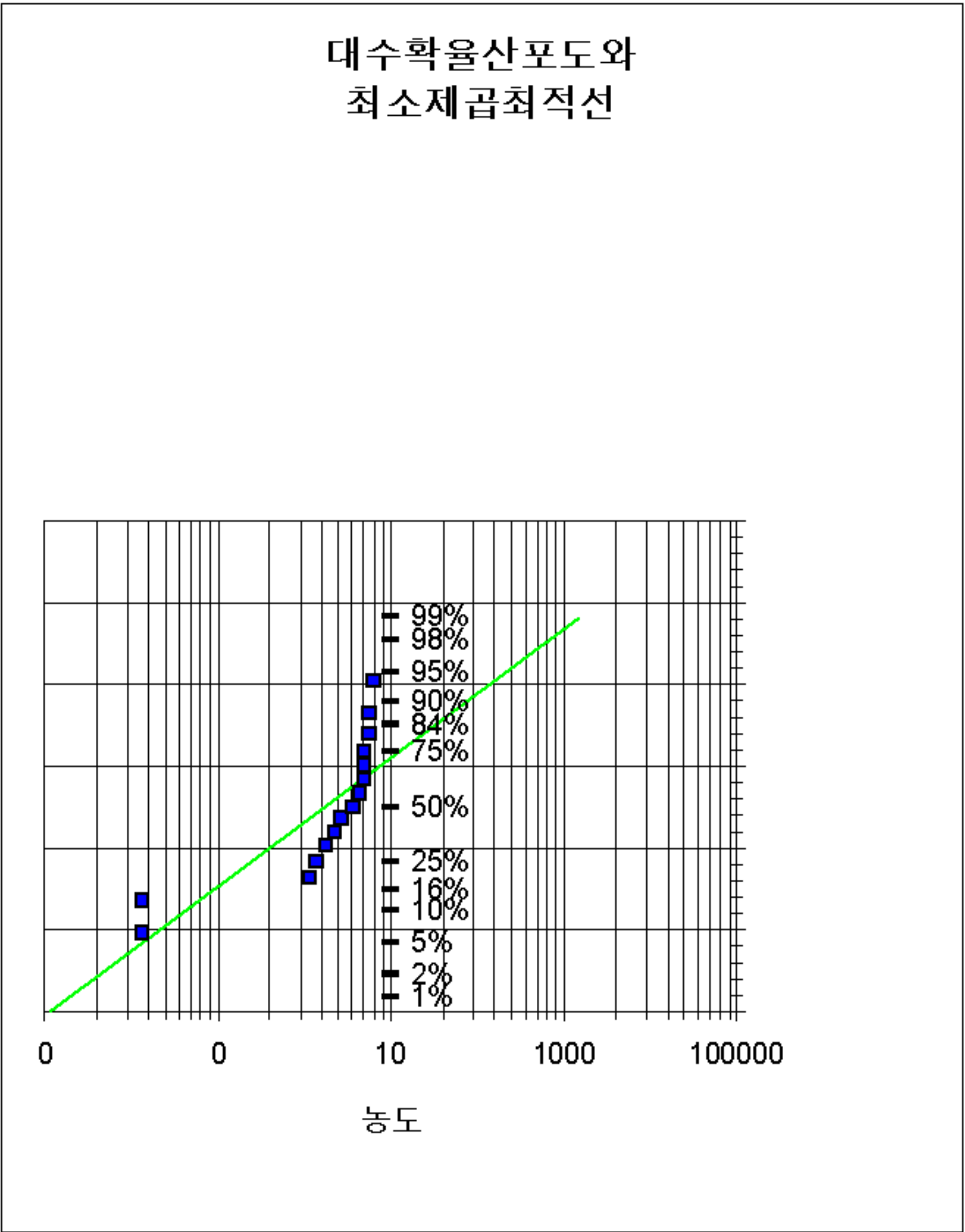
그림 3-115는 작업환경측정결과의 단순 연이은 산포도이고, 그림 3-116은 선형확률산포도와 최소제곱 적합선 그림 3-117은 대수확률 산포도와 최소제곱 적합선에 대한 그림이다. 그림 3-118은 작업환경측정결과의 산술평균에 대한 95%상위신뢰구간을 나타낸 그림이다.

<표 3-39> D사 단시간측정결과와 작업환경 산업위생통계

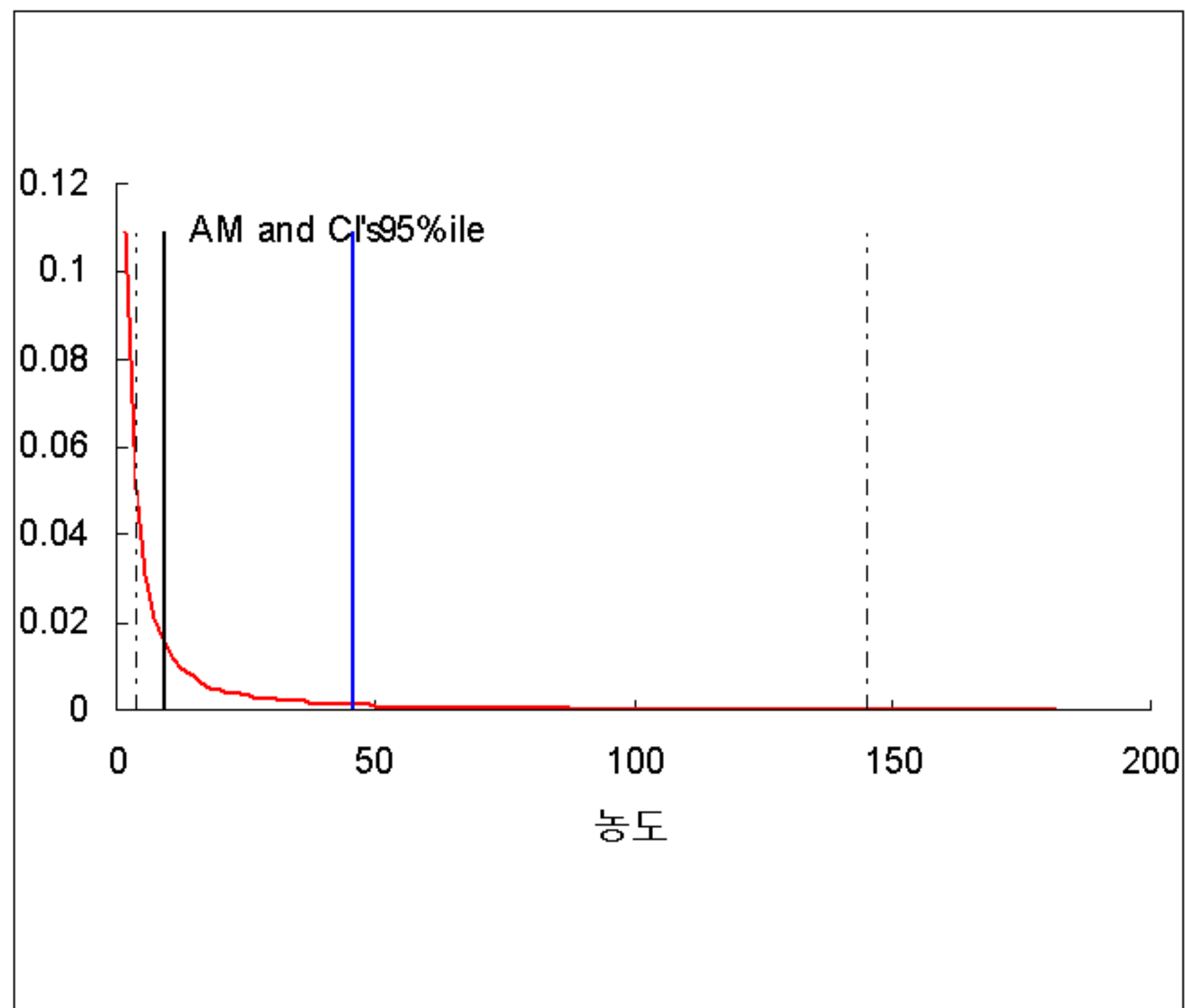
산업위생통계			
자료설명:			
OEL		기술통계	
25		시료수 (n)	15
		최대 (max)	6.340
측정자료		최소 (min)	0.0139
(max n = 50)		범위	6.326
No less-than (<)		OEL이상% (%>OEL)	0.000
or greater-than (>)평균		3.433	
1.189		중앙값	3.790
2.256		표준편차 (s)	2.192
2.784		대수변환자료의 평균 (LN)	0.507
0.014		대수변환자료의 표준편차 (LN)	2.015
1.445		기하평균 (GM)	1.661
1.840		기하표준편차 (GSD)	7.498
0.014			
5.796		분포적합성검정	
5.123		대수변환자료의 W-검정 (LN)	0.638
5.223		대수정규분포 (a = 0.05)?	No
4.626			
3.790		자료의 W-검정	0.910
6.340		정규분포 (a = 0.05)?	Yes
5.250			
5.808		대수정규 모수적 통계량	
		추정된 산술평균 - MVUE	9.219
		LCL1,95% - Land's "Exact"	3.936
		UCL1,95% - Land's "Exact"	145.282
		95번째 백분위수	45.664
		UTL95%,95%	292.003
		OEL이상% (%>OEL)	8.916
		LCL1,95% %>OEL	2.724
		UCL1,95% %>OEL	23.049
		정규모수적 통계량	
		평균	3.433
		LCL1,95% - t 통계	2.436
		UCL1,95% - t 통계	4.430
		95번째 백분위수 - Z	7.040
		UTL95%,95%	9.06
		OEL이상% (%>OEL)	0.000



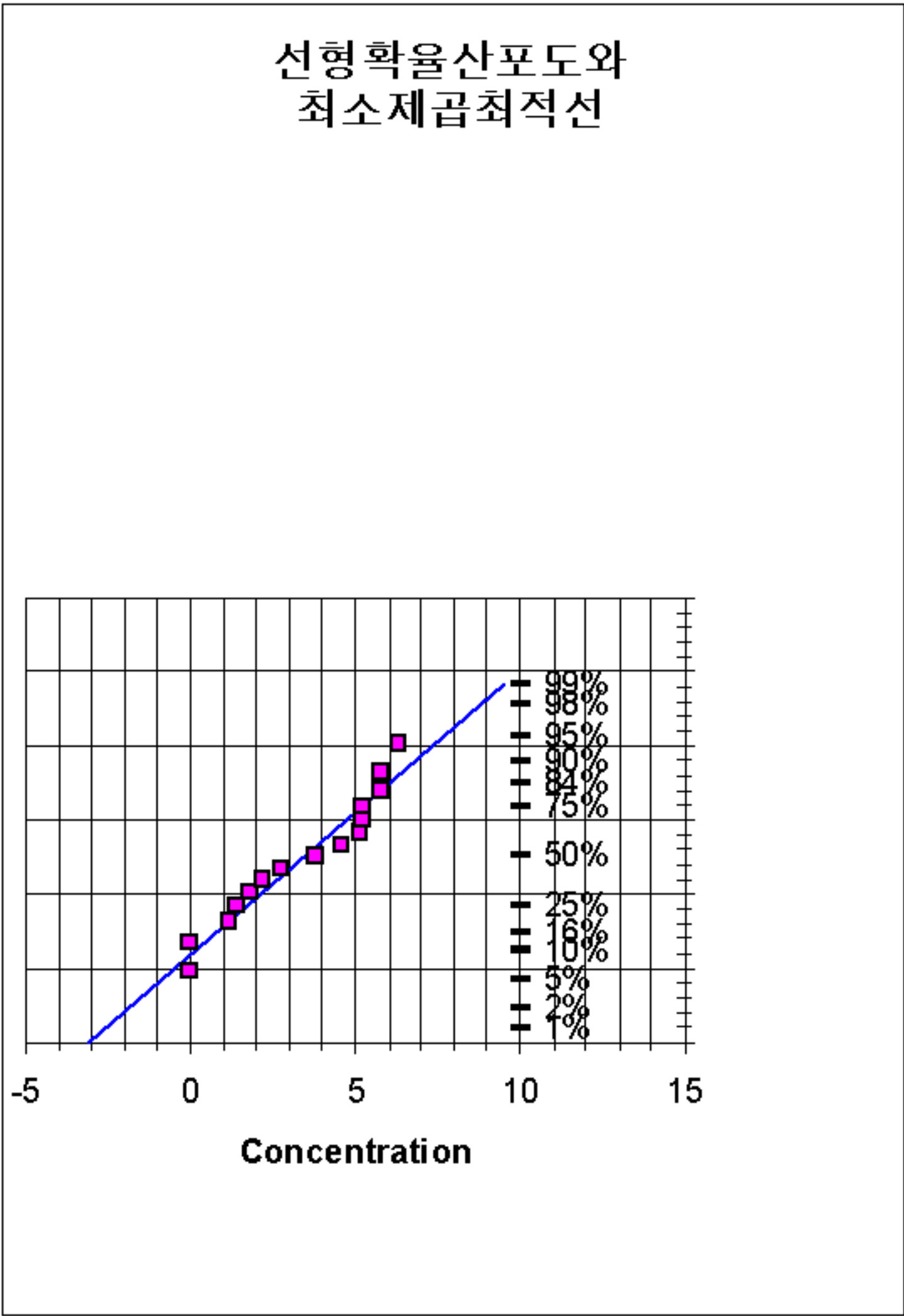
[그림 3-115] D사 단시간측정결과의 연속자료 도표



[그림 3-116] D사 단시간측정결과의 대수확율 산포도와 최소제공 최적선



[그림 3-117] D사 단시간측정결과와 이상화된 대수분포



[그림 3-118] D사 단시간측정결과의 선형확률산포도와 최소제곱최적선

차) E사 (의학용 약제품 제조업)

1,4-디옥산을 사용하고 있는 TATT 공정의 시료포집 내용 및 측정농도를 표 3-40에 제시하였다.

<표 3-40> E사업장 측정결과

작업공정	노출시간 (시작-종료)	측정 횟수	측정 위치	측정 방법	측정치 (ppm)	노출 기준 (ppm)	평가
TATT	09:41-17:46	2	근로자1	TWA	0.4129	25	미만
	09:52-17:13	2	근로자2	TWA	0.3781		미만
	09:36-17:04	2	근로자3	TWA	0.4955		미만
	09:45-17:05	2	근로자4	TWA	0.7401		미만
	09:32-17:02	2	근로자5	TWA	0.3482		미만

근로자노출 실태를 파악하기 위한 8시간 가중평균농도(TWA)는 평균 및 표준편차가 $0.4750 \pm 0.1581\text{ppm}$ 로 조사되었으며 범위0.3482ppm에서 0.7401ppm이고 중앙값은 0.413ppm, 기하평균과 기하표준편차가 $0.457 \pm 1.349\text{ppm}$ 으로 모두 노출기준 아래로 조사되었다. 모든 측정값 우리나라 노출기준인 8시간가중평균 노출기준(TWA) 25ppm을 초과하지 않는 것으로 조사되었다.

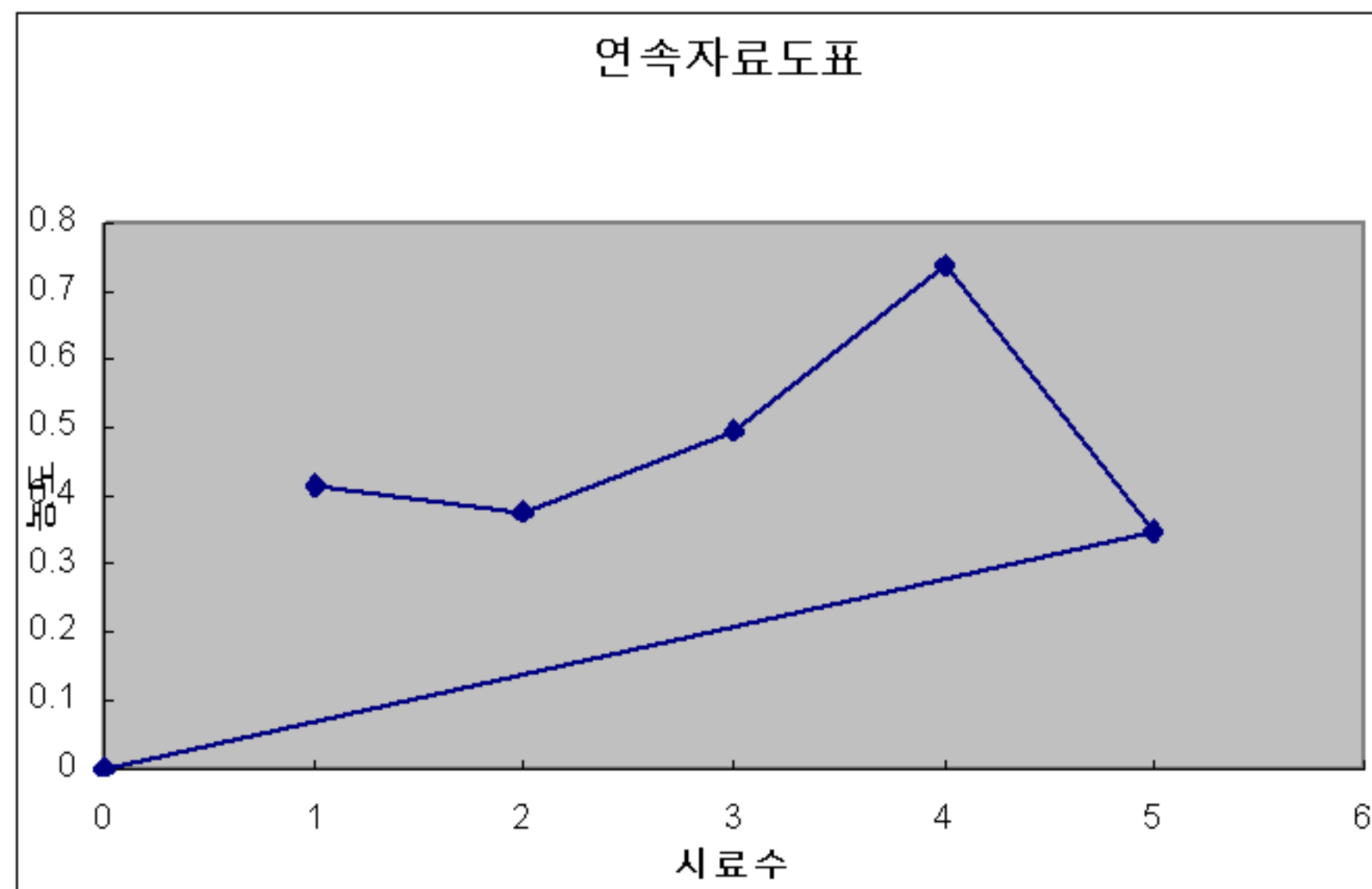
작업환경측정결과에 대한 기술통계량, 분포적합성검정, 대수정규모수적통계량 및 정규모수적통계량 등 산업위생 결과는 표 3-41과 같다.

그림 3-119는 작업환경측정결과의 단순 연이은 산포도이고, 그림 3-120은 선형확률산포도와 최소제곱 적합선, 그림 3-121는 대수확률 산포도와 최소제

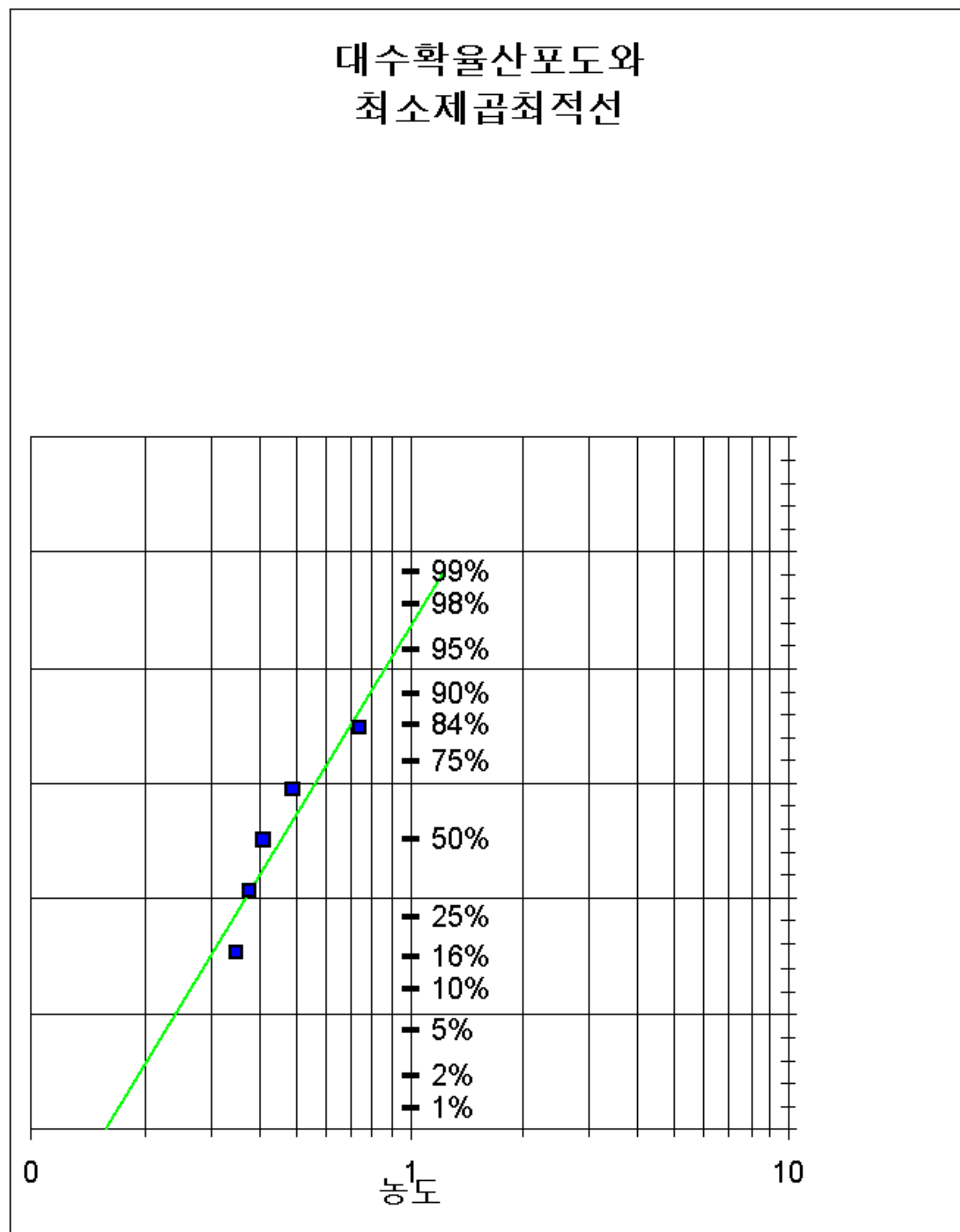
곱 적합선에 대한 그림이다. 그림 3-122는 작업환경측정결과와 산술평균에 대한 95%상위신뢰구간을 나타낸 그림이다.

<표 3-41> E사 TWA측정결과에 의한 작업 환경 산업위생통계

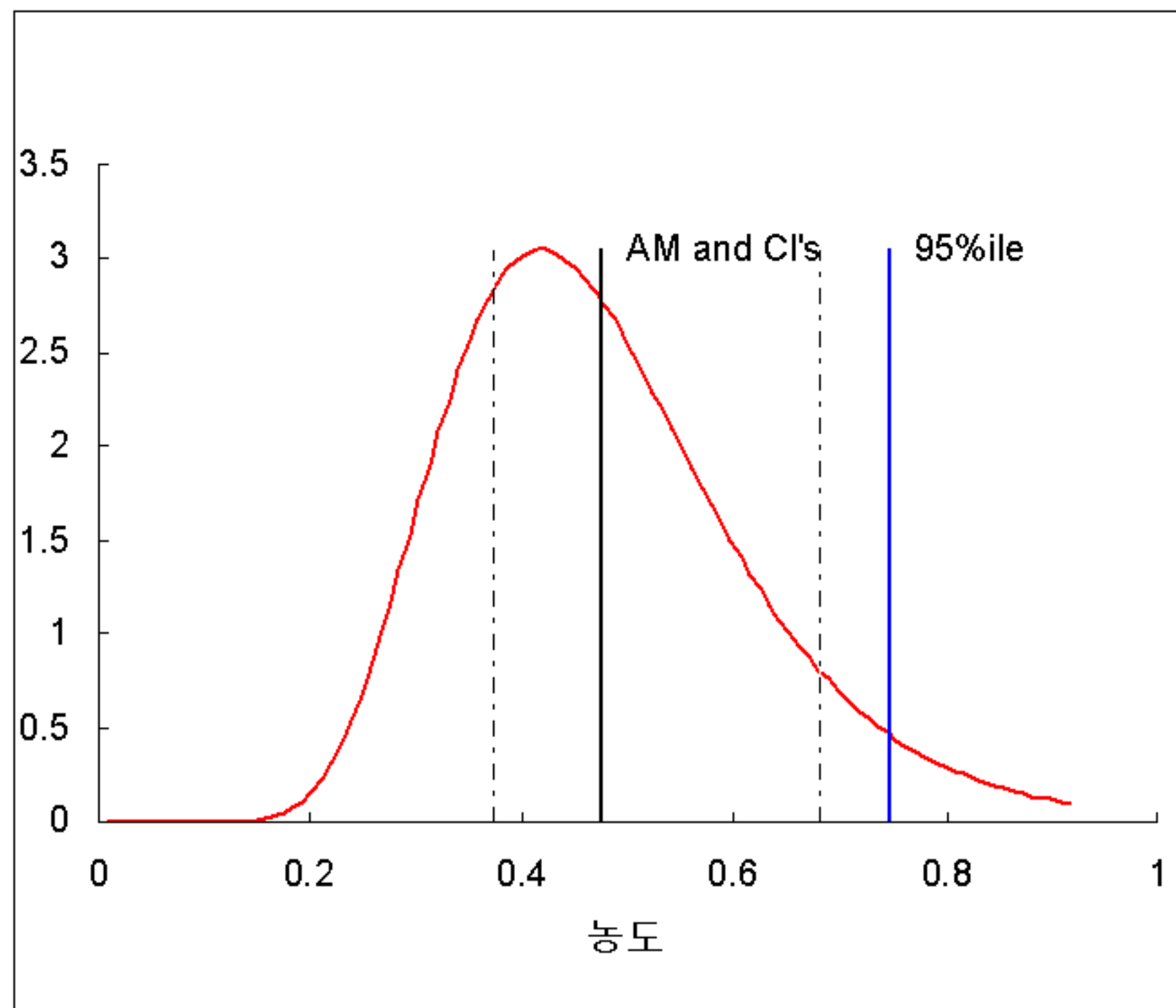
산업위생통계			
자료설명:			
OEL		기술통계	
25		시료수 (n)	5
		최대 (max)	0.740
측정자료		최소 (min)	0.348
(max n = 50)		범위	0.392
No less-than (<)		OEL이상% (%>OEL)	0.000
or greater-than (>)평균		0.475	
0.413		중앙값	0.413
0.378		표준편차 (s)	0.158
0.495		대수변환자료의 평균 (LN)	-0.783
0.740		대수변환자료의 표준편차 (LN)	0.300
0.348		기하평균 (GM)	0.457
		기하표준편차 (GSD)	1.349
		분포적합성검정	
		대수변환자료의 W-검정 (LN)	0.893
		대수정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		자료의 W-검정	0.834
		정규분포 (a = 0.05)?	Yes
		대수정규 모수적 통계량	
		추정된 산술평균 - MVUE	0.474
		LCL1,95% - Land's "Exact"	0.373
		UCL1,95% - Land's "Exact"	0.681
		95번째 백분위수	0.748
		UTL95%,95%	1.610
		OEL이상% (%>OEL)	0.000
		LCL1,95% %>OEL	<0.1
		UCL1,95% %>OEL	<0.735
		정규모수적 통계량	
		평균	0.475
		LCL1,95% - t 통계	0.324
		UCL1,95% - t 통계	0.626
		95번째 백분위수 - Z	0.735
		UTL95%,95%	1.14
		OEL이상% (%>OEL)	0.000



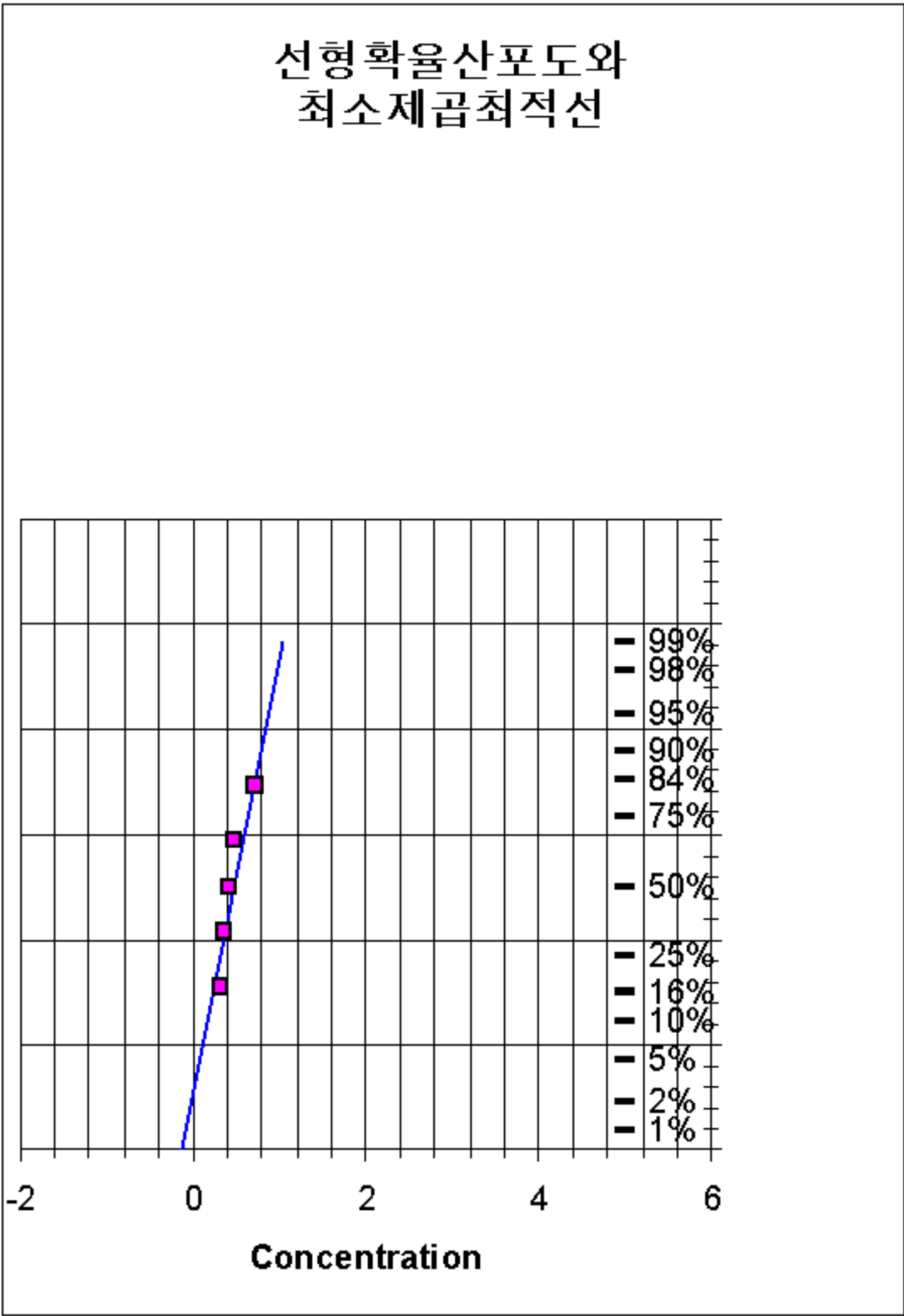
[그림 3-119] E사 TWA측정결과에의 연속자료도표



[그림 3-120] E사 TWA측정결과에의 대수확률 산포도와 최소제공 최적선



[그림 3-121] E사 TWA측정결과에의 이상화된 대수분포



[그림 3-122] E사 TWA측정결과와 선형확률산포도와
최소제곱최적선

카) F사 (의약품 화합물 및 항생물질 제조업)

1,4-디옥산을 취급하는 실험실의 시료포집 내용 및 측정농도는 표 3-42에 제시하였다.

<표 3-42> F사업장 측정결과

작업공정	노출시간 (시작-종료)	측정횟 수	측정위치	측정방 법	측정치(p pm)	노출 기준 (ppm)	평가
실험실	09:25-16:47	2	근로자1	TWA	불검출	25	미만
	09:37-16:24	2	근로자2	TWA	불검출		미만
	09:42-16:12	2	근로자3	TWA	불검출		미만
	09:47-17:12	2	지 역1	TWA	불검출	미제정	
	09:51-17:22	2	지 역2	TWA	불검출		

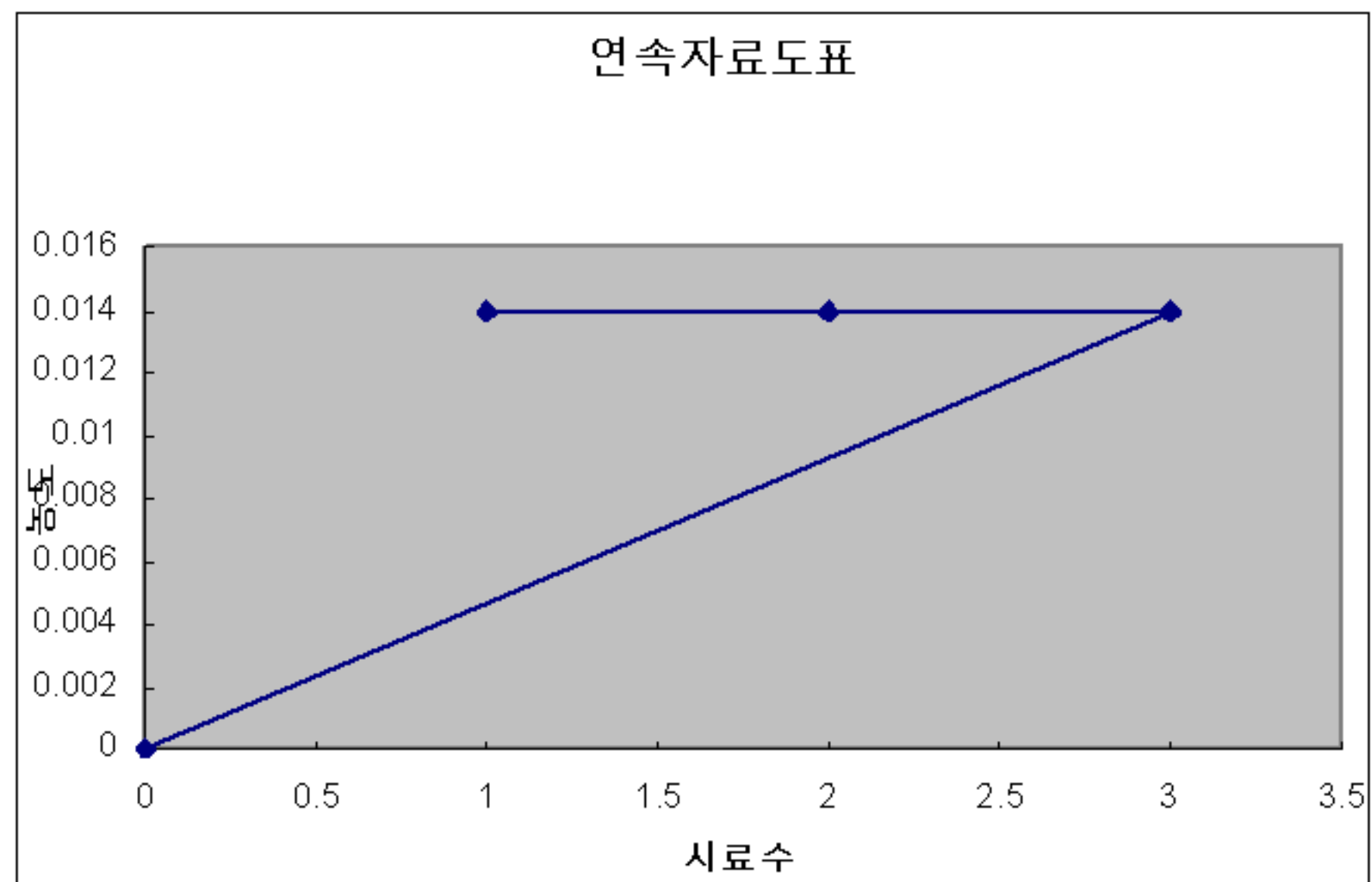
근로자노출 실태를 파악하기 위한 8시간 가중평균농도(TWA)는 모두 불검출로 모든 측정값이 우리나라 노출기준인 8시간가중평균 노출기준(TWA) 25ppm을 초과하지 않는 것으로 조사되었다. 실험실 불순물 검사 시 1,4-디옥산의 사용량이 극히 적고 작업도 후드 안에서 간헐적으로 이루어지기 때문에 모두 불검출로 측정된 것으로 사료된다.

작업환경측정결과에 대한 기술통계량, 분포적합성검정, 대수정규모수적통계량 및 정규모수적통계량 등 산업위생 결과는 표 3-43과 같다.

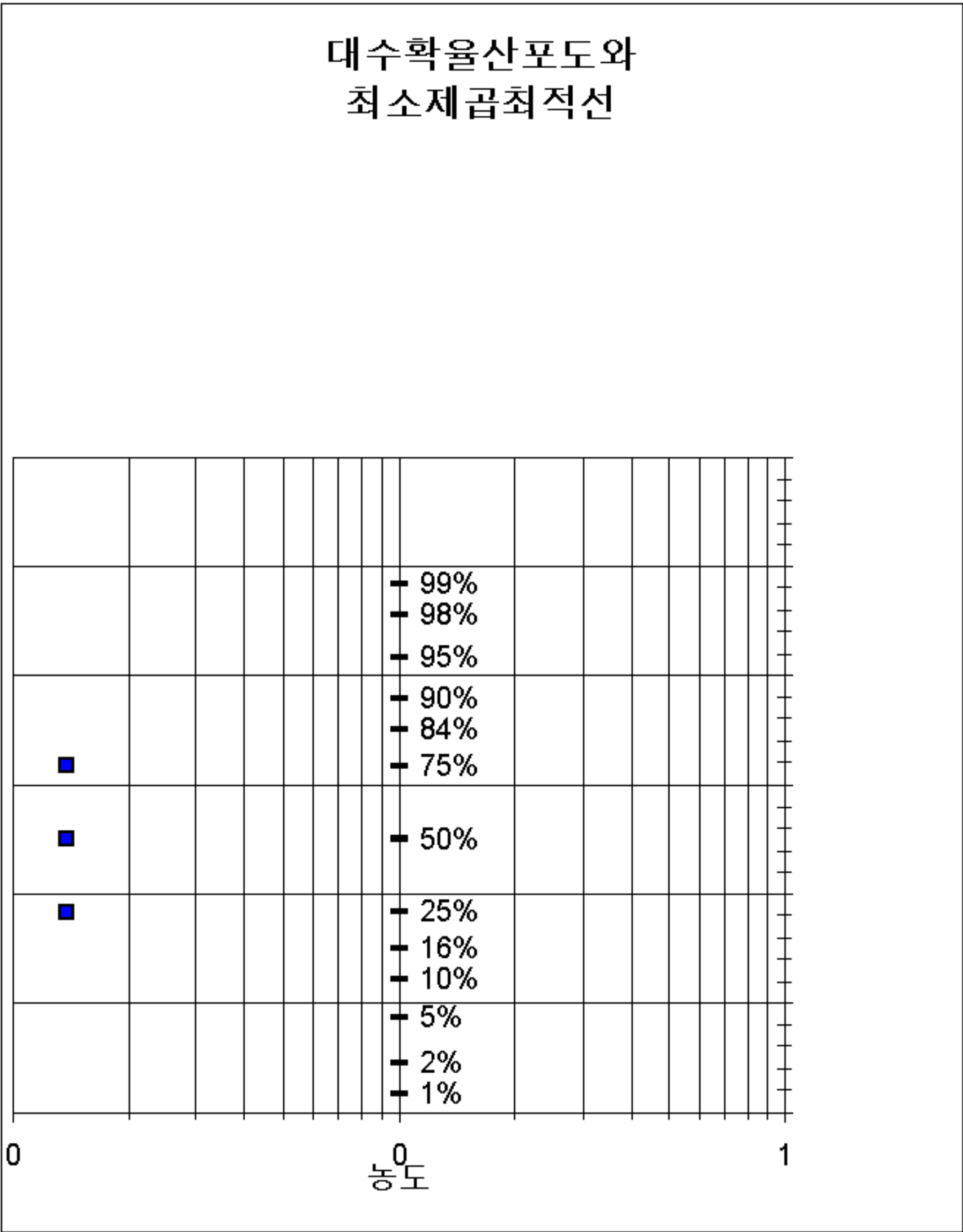
그림 3-123는 작업환경측정결과의 단순 연이은 산포도이고, 그림 3-124는 선형확률산포도와 최소제곱 적합선, 그림 3-125는 대수확률 산포도와 최소제곱 적합선에 대한 그림이다. 그림 3-126는 작업환경측정결과의 산술평균에 대한 95%상위신뢰구간을 나타낸 그림이다.

<표 3-43> F사 TWA측정결과와 작업 환경 산업위생통계

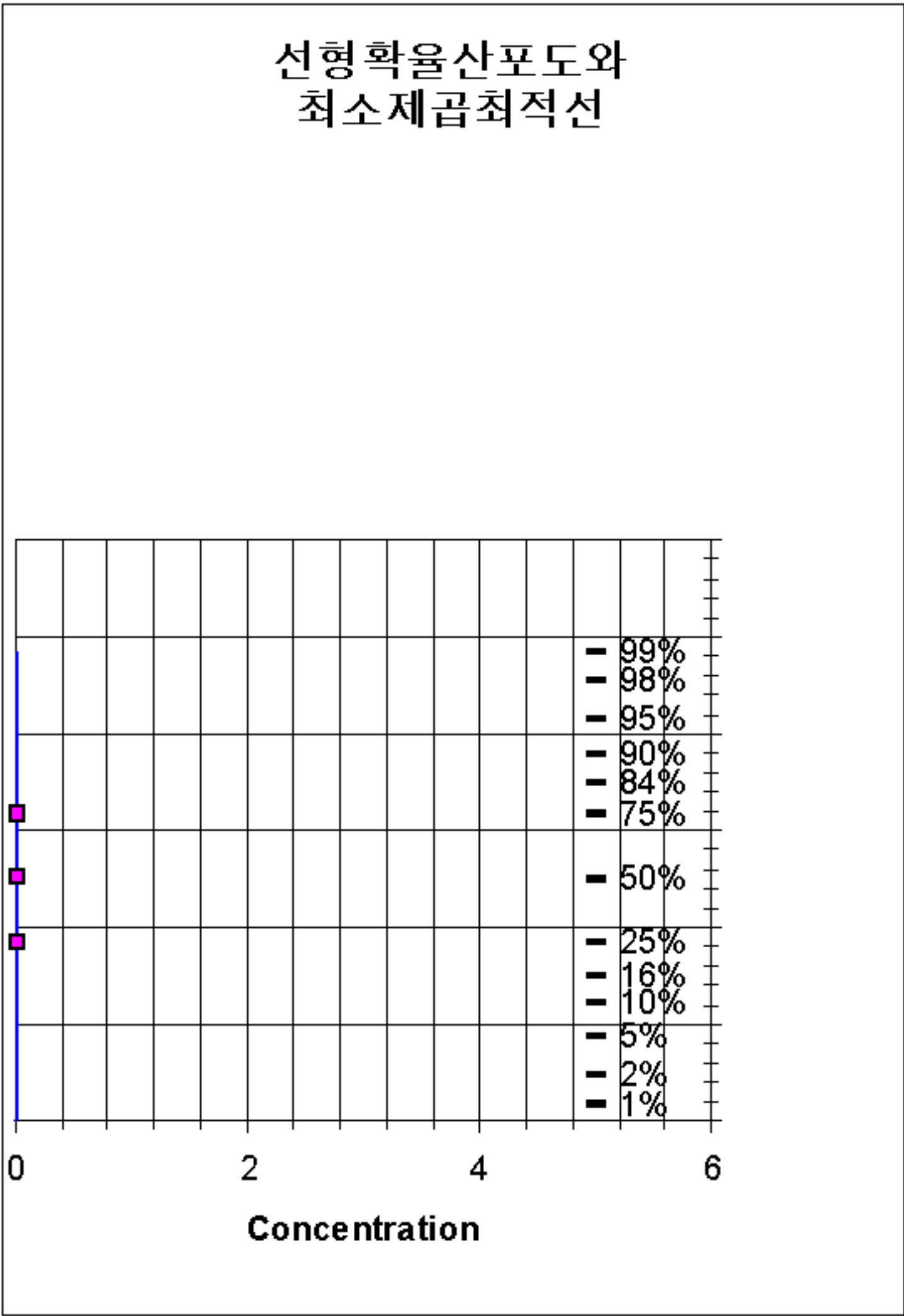
산업위생통계			
자료설명:			
OEL		기술통계	
25		시료수 (n)	3
		최대 (max)	0.0139
측정자료		최소 (min)	0.0139
(max n = 50)		범위	0
No less-than (<)		OEL이상% (%>OEL)	0.000
or greater-than (>)평균		0.014	
0.01390		중앙값	0.014
0.01390		표준편차 (s)	0.000
0.01390		대수변환자료의 평균 (LN)	-4.276
		대수변환자료의 표준편차 (LN)	0.000
		기하평균 (GM)	0.014
		기하표준편차 (GSD)	1.000
		분포적합성검정	
		대수변환자료의 W-검정 (LN)	
		대수정규분포 (a = 0.05)	
		자료의 W-검정	0.000
		정규분포 (a = 0.05)	No
		대수정규 모수적 통계량	
		추정된 산술평균 - MVUE	0.014
		LCL1,95% - Land's "Exact"	0.014
		UCL1,95% - Land's "Exact"	0.014
		95번째 백분위수	0.014
		UTL95%,95%	0.014
		OEL이상% (%>OEL)	
		LCL1,95% %>OEL	
		UCL1,95% %>OEL	
		정규모수적 통계량	
		평균	0.014
		LCL1,95% - t 통계	0.014
		UCL1,95% - t 통계	0.014
		95번째 백분위수 - Z	0.014
		UTL95%,95%	0.01
		OEL이상% (%>OEL)	0.000



[그림 3-123]F사 TWA측정결과에의 연속자료도표



[그림 3-124] F사 TWA측정결과와 대수확률 산포도와 최소제공 최적선



[그림 3-125] F사 TWA측정결과의 선형확률산포도와
최소제곱최적선

(2) 연구대상 사업장의 공기 중 측정농도 분포 총괄

연구대상 사업장 총 10개소의 시간가중평균농도(TWA)로 분석한 결과를 제시한 것으로 총 시료 개수 35개의 농도 범위를 보면 불검출에서 8.4697ppm으로 나타났으며 평균 및 표준편차는 $1.6072 \pm 2.5037\text{ppm}$, 중위수는 0.3618ppm으로 조사되었고 기하평균 및 기하표준편차는 $0.340 \pm 7.308\text{ppm}$ 로 측정되어 모든 TWA 측정 결과가 기준치 25ppm 이하로 나타났다(표 3-44).

<표 3-44> 1,4-디옥산 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과

한국표준산업분류	사업장	시료 개수	TWA 평균 (ppm)	표준편차	최대값 (ppm)	최소값 (ppm)
기타 화학제품 제조업	A(1)	5	0.1365	0.0235	0.1710	0.1085
	A(2)	4	0.2578	0.3264	0.8229	0.0561
	B	5	0.0472	0.0130	0.0663	0.0278
	C	3	0.8600	0.6644	1.7990	0.3618
안경, 사진기 및 기타 광학 기기 제조업	D(1)	2	1.1917	0.2508	1.4425	0.9409
	D(2)	2	7.2442	1.2256	8.4697	6.0186
	D(3)	3	4.2913	1.6552	6.6321	3.1188
	D(4)	3	6.5342	0.7662	7.6147	5.9225
의약품 제조업	E	5	0.4749	0.1415	0.7401	0.3482
	F	3	불검출	불검출	불검출	불검출
총 계	10개소	35	1.6072	2.5037	8.4697	불검출

D사의 단시간 측정(STEL)은 총 15번 측정하였으며 평균 및 표준편차는 $3.4313 \pm 2.1211\text{ppm}$, 중위수 3.7897 최대값은 6.3399 최소값 불검출로 조사되었

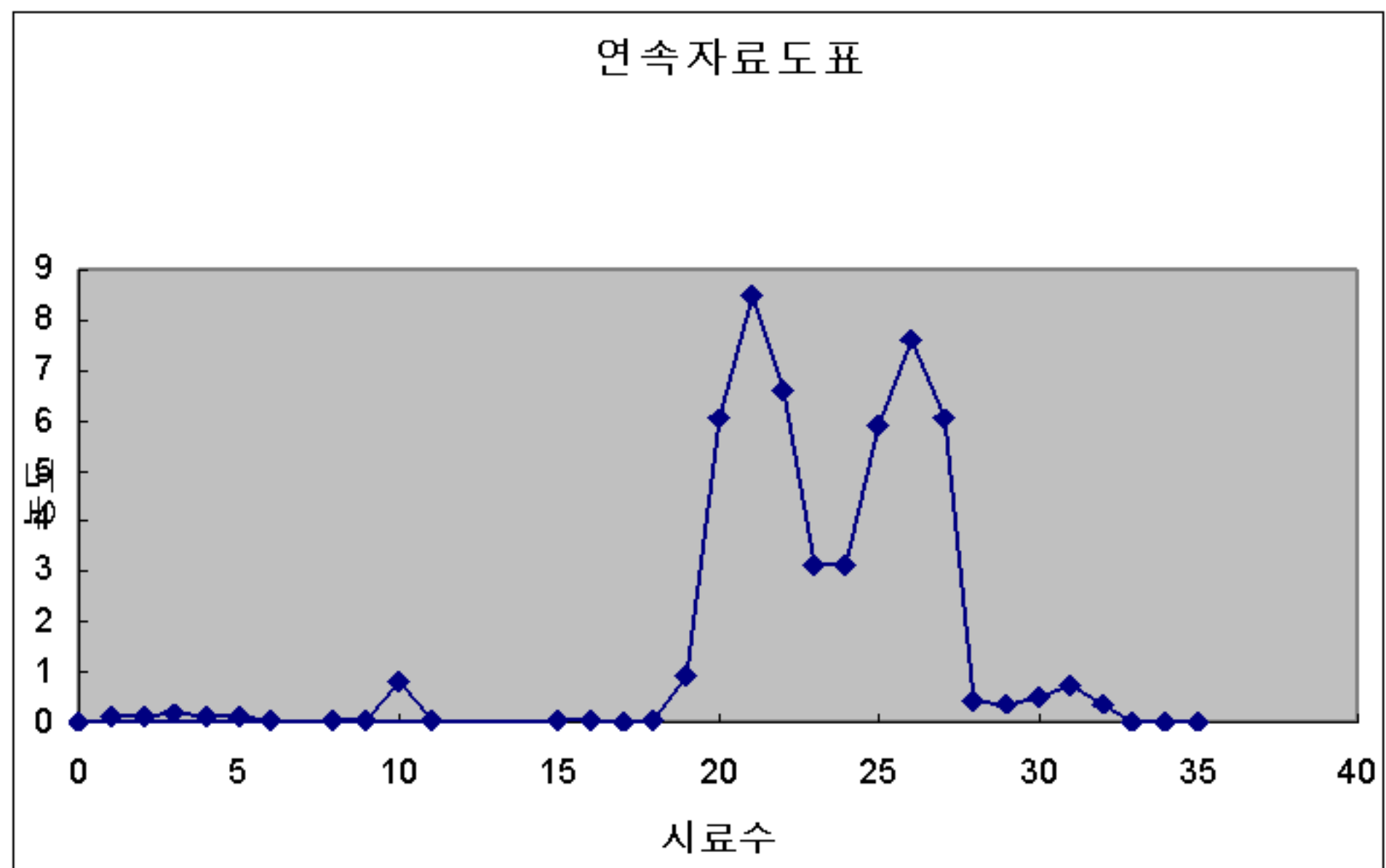
다.

작업환경측정결과에 대한 기술통계량, 분포적합성검정, 대수정규모수적통계량 및 정규모수적통계량 등 산업위생 결과는 표 3-45와 같다.

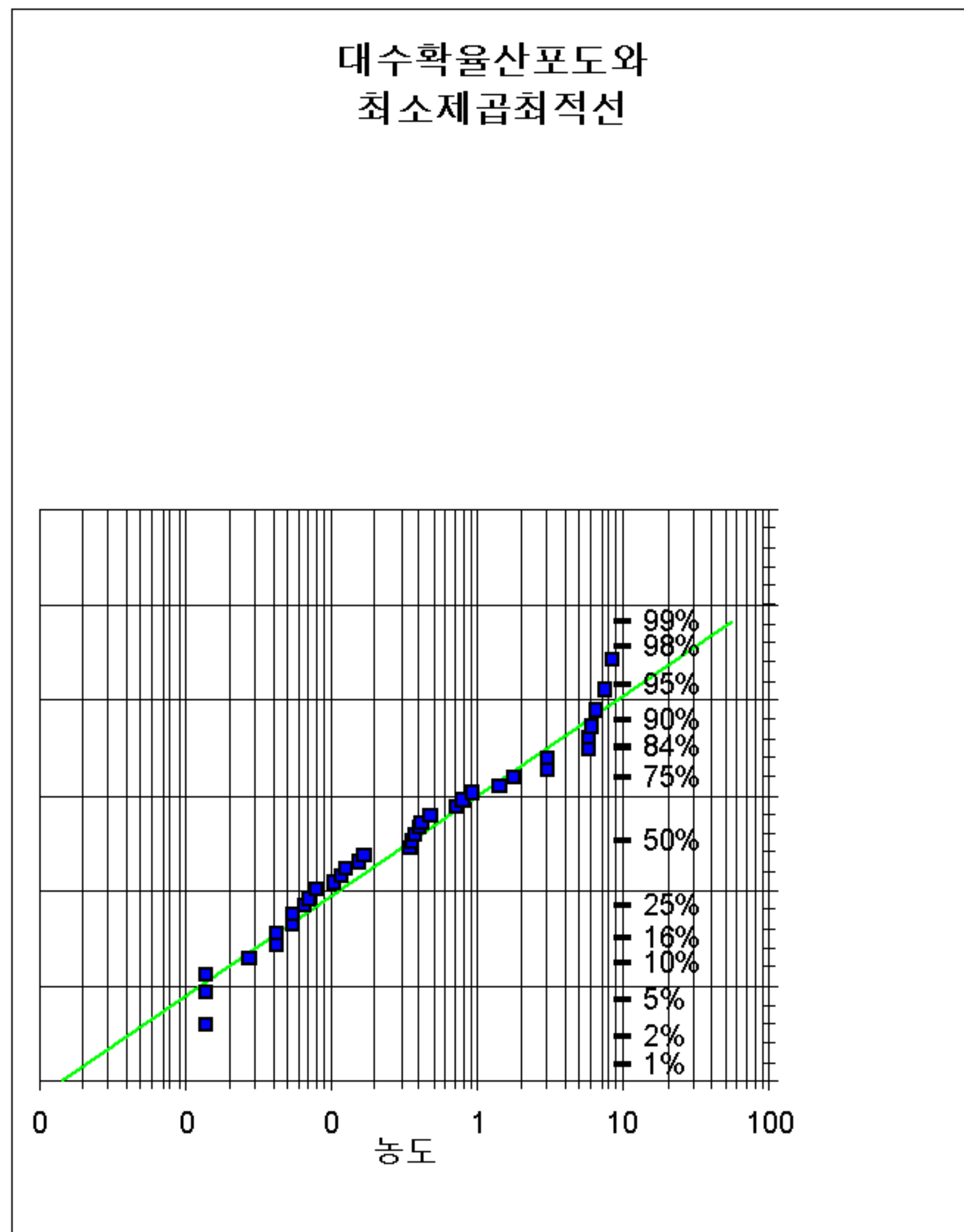
그림 3-126은 작업환경측정결과의 단순 연이은 산포도이고, 그림 3-127는 선형확률산포도와 최소제곱 적합선, 그림 3-128은 대수확률 산포도와 최소제곱 적합선에 대한 그림이다. 그림 3-129는 작업환경측정결과의 산술평균에 대한 95%상위신뢰구간을 나타낸 그림이다.

<표 3-45> 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과의 작업 환경 산업위생통계

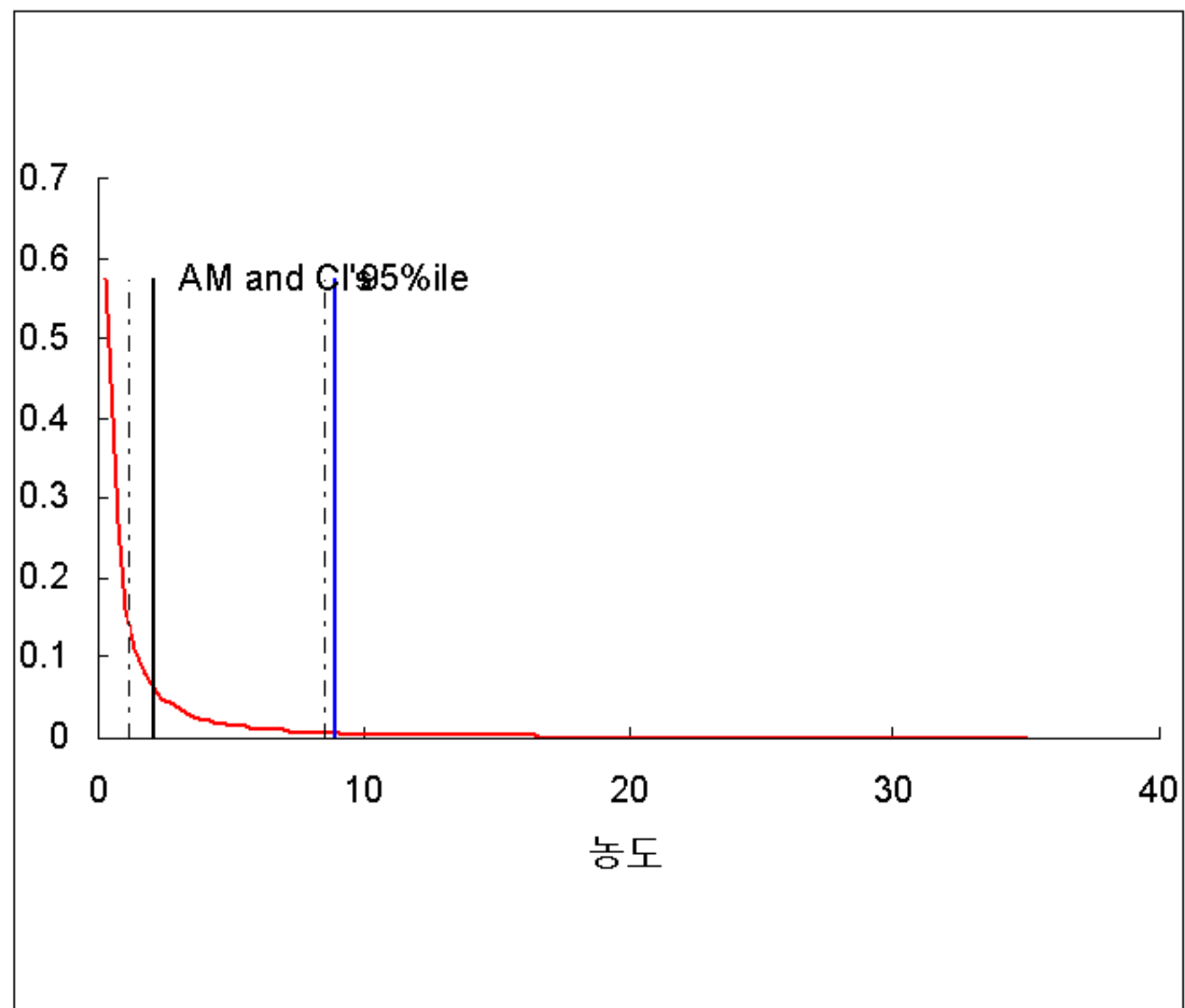
산업위생통계			
OEL		기술통계	
25		시료수 (n)	35
		최대 (max)	8.46974
측정자료		최소 (min)	0.0139
(max n = 50)		범위	8.45584
No less-than (<)		OEL이상% (%>OEL)	0.000
or greater-than (>)평균		1.608	
0.126		중앙값	0.362
0.157		표준편차 (s)	2.539
0.171		대수변환자료의 평균 (LN)	-1.079
0.121		대수변환자료의 표준편차 (LN)	1.989
0.108		기하평균 (GM)	0.340
0.056		기하표준편차 (GSD)	7.308
0.072			
0.080		분포적합성검정	
0.823		대수변환자료의 W-검정 (LN)	0.937
0.066		대수정규분포 (a = 0.05)?	Yes
0.055			
0.044		자료의 W-검정	0.658
0.028		정규분포 (a = 0.05)?	No
0.043			
0.419		대수정규 모수적 통계량	
1.799		추정된 산술평균 - MVUE	2.108
0.362		LCL1,95% - Land's "Exact"	1.111
1.443		UCL1,95% - Land's "Exact"	8.553
0.941		95번째 백분위수	8.963
6.019		UTL95%,95%	25.263
8.470		OEL이상% (%>OEL)	1.536
6.632		LCL1,95% %>OEL	0.388
3.119		UCL1,95% %>OEL	5.076
3.123			
5.922		정규모수적 통계량	
7.615		평균	1.608
6.065		LCL1,95% - t 통계	0.883
0.413		UCL1,95% - t 통계	2.334
0.378		95번째 백분위수 - Z	5.786
0.495		UTL95%,95%	7.11
0.740		OEL이상% (%>OEL)	0.000
0.348			
0.014			
0.014			
0.014		- 212 -	



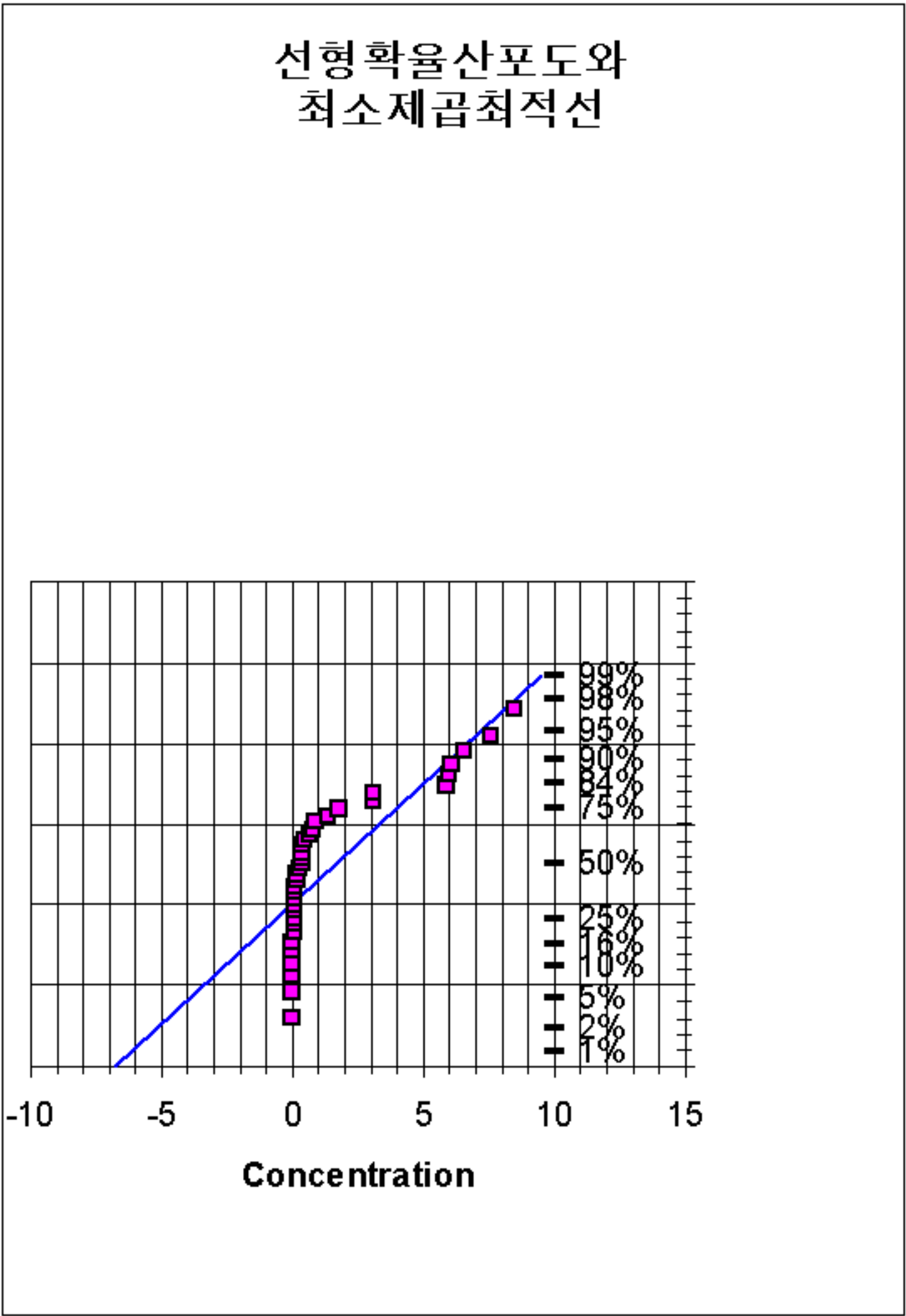
[그림 3-126] 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과의 연속자료도표



[그림 3-127] 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과와 대수확률 산포도와 최소제공 최적선



[그림 3-128]연구대상 사업장 전체 TWA측정결과에의 이상화된 대
수분포



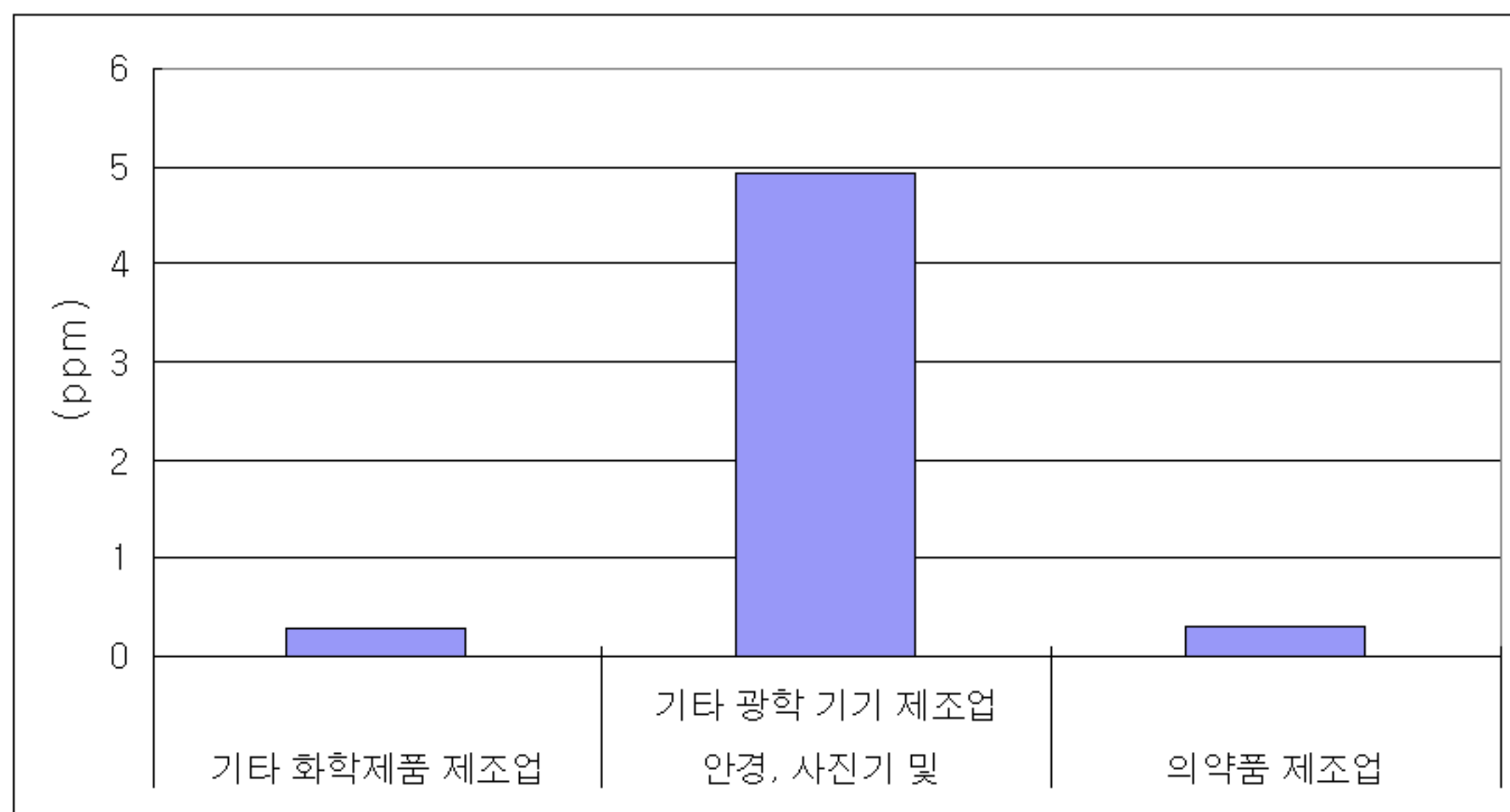
[그림 3-129] 연구대상 사업장 전체 TWA측정결과와
선형확률산포도와 최소제공최적선

통계청의 한국표준산업분류에 따라 연구대상사업장을 분류하여 분야별 시간가중평균농도(TWA)의 분포를 보면 기타 화학제품 제조업에서의 농도 범위는 0.0278ppm에서1.7990ppm으로 나타났으며 평균 및 표준편차는 0.2665 ± 0.4295 ppm, 중위수 0.1085ppm 나타났다. 안경, 사진기 및 기타 광학 기기 제조업에서의 농도 범위는 0.0278ppm에서8.4697ppm으로 나타났으며 평균 및 표준편차는 4.9348 ± 2.464 ppm, 중위수 5.9705ppm 나타났다. 의약품 제조업에서의 농도 범위는 불검출에서 0.7401ppm으로 나타났으며 평균 및 표준편차는 0.2968 ± 0.2557 ppm, 중위수는 0.3631ppm 나타났다(표 3-46).

<표 3-46> 분야별 1,4-디옥산의 TWA 측정농도 분포결과

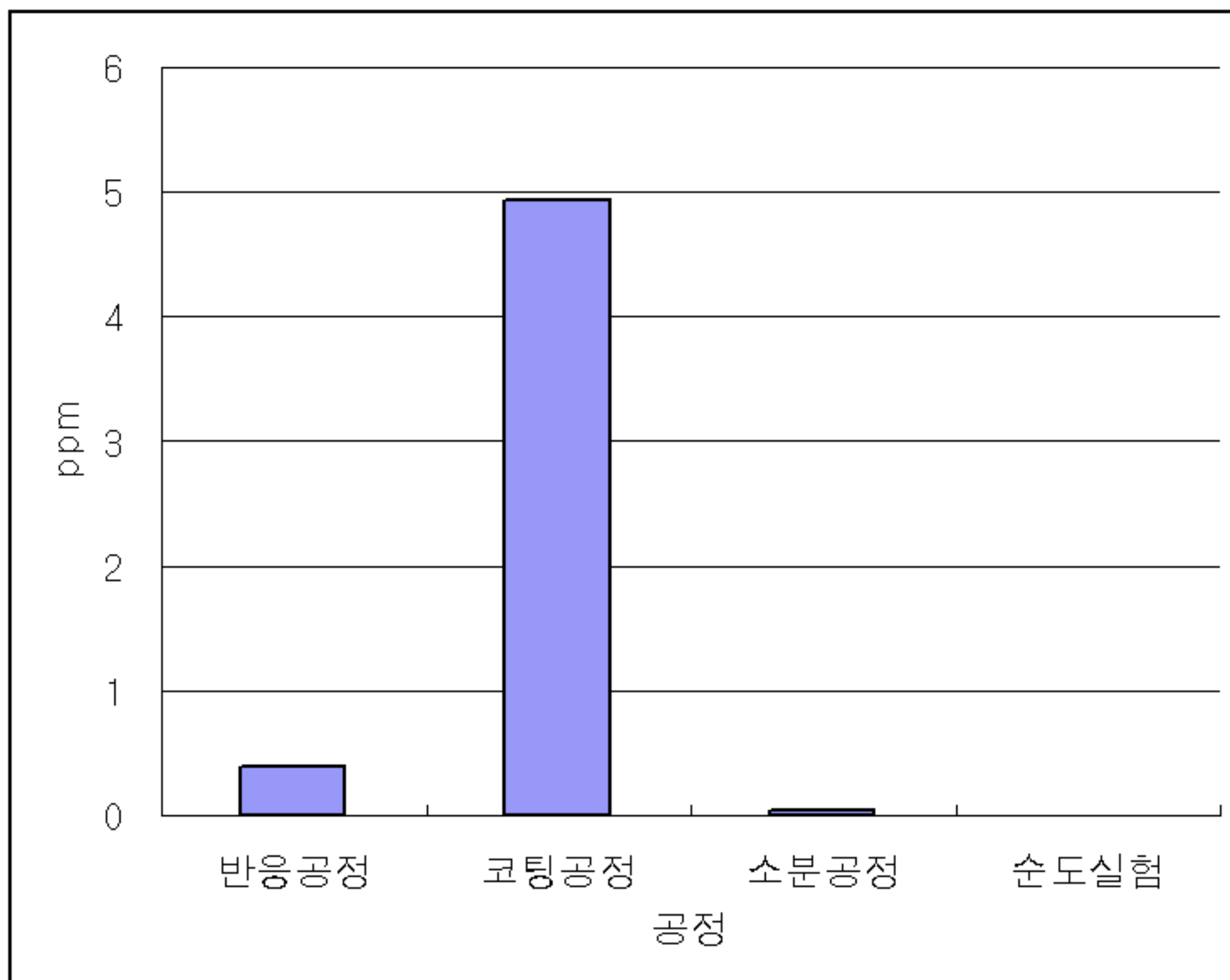
	기타 화학제품 제조업	안경, 사진기 및 기타 광학 기기 제조업	의약품 제조업
시료수	17	10	8
평균	0.2665	4.9348	0.2968
중앙값	0.1085	5.9705	0.3631
표준편차	0.4295	2.464	0.2557
최대값	1.7990	8.4697	0.7401
최소값	0.0278	0.0278	불검출

분야별 시간가중평균농도(TWA)를 보면 안경, 사진기 및 기타 광학 기기 제조업이 가장 높게 4.9348ppm으로 평균값을 보였으며 기타 화학제품 제조업의 평균이 0.2665ppm으로 가장 낮은 평균값을 보여 모두 우리나라 노출기준 25ppm보다 낮게 조사되었다(그림 3-130).



[그림 3-130] 분야별 1,4-디옥산의 TWA 측정농도 분포결과

공정별 시간가중평균농도(TWA)을 보면 반응공정이 0.3923ppm, 코팅공정이 4.9348ppm, 소분공정 0.0472ppm, 순도실험이 불검출로 렌즈코팅작업시 가장 높았 측정치를 보였으며 실험실 순도검사시 불검출로 가장 낮게 측정되었다(그림 3-131).



[그림 3-131]공정별 시간가중평균농도 결과

라. 위해도 평가결과

(1) 각 사업장 별 위해도 평가

현재 산업위생분야에서는 유해화학물질에 대한 위해성평가를 거의 고려하지 않고 있다. 이번 조사에서 노출기준의 범위 및 불확실성을 줄이기 위하여 작업환경측정 결과자료 및 문헌조사를 통해 연구대상사업체의 유해물질의 인체에 대한 실질적인 평가의 참고자료로서 위해성평가를 하도록 하였다. 위해성평가를 우선 공공분야에서 먼저 도입하여 위해성평가 기법을 발전을 기대된다.

가) A사 1차측정 (기록용 매체 및 관련화학제품 제조업)

A사의 1차측정 위해도 평가결과는 인체노출량의 최소치는 범위는 1.53E-09 ~ 2.41E-09 (mg/kg/day)이었고 Hazard Quotient의 범위는 8.63E-07 ~ 1.36E-06이었다. A사의 Hazard Quotient의 값은 비교적 낮아 근로자들이 반응, 여과, 원심분리 공정에서 반응기관리작업에서 1,4-디옥산에 취급근로자의 1,4-디옥산의 노출의 위해성이 안전한 수준으로 나타났다(표 3-47).

<표 3-47> A사 1차측정시 위해도평가결과

공정	이름	측정값 (ppm)	인체노출량 (mg/kg/day)	호흡독성참고치 (mg/kg/day)	Hazard Quotient
반응,여과, 원심분리	근로자1	0.12564	1.77E-09	0.0018	1.00E-06
	근로자2	0.15683	2.21E-09	0.0018	1.25E-06
	근로자3	0.17099	2.41E-09	0.0018	1.36E-06
	근로자4	0.12055	1.70E-09	0.0018	9.59E-07
	근로자5	0.10848	1.53E-09	0.0018	8.63E-07

나) A사 2차측정 (기록용 매체 및 관련화학제품 제조업)

A사의 2차측정 위해도 평가결과는 인체노출량의 최소치는 범위는 $7.92\text{E}-10 \sim 1.16\text{E}-08$ (mg/kg/day)이었고 Hazard Quotient의 범위는 $4.47\text{E}-07 \sim 6.55\text{E}-06$ 이었다. 전회 측정치와 위해성의 수준 비슷한 수준으로 비교적 낮아 근로자들이 1,4-디옥산에 취급 근로자의 1,4-디옥산의 노출의 위해성이 안전한 수준으로 나타났다(표 3-48).

<표 3-48> A사 2차측정시 위해도 평가결과

공정	이름	측정값 (ppm)	호흡독성참고치 (mg/kg/day)	인체노출량 (mg/kg/day)	Hazard Quotient
포장	근로자1	0.05612	0.0018	$7.92\text{E}-10$	$4.47\text{E}-07$
	근로자2	0.07196	0.0018	$1.02\text{E}-09$	$5.73\text{E}-07$
	근로자3	0.08021	0.0018	$1.13\text{E}-09$	$6.38\text{E}-07$
	근로자4	0.82294	0.0018	$1.16\text{E}-08$	$6.55\text{E}-06$

(3) B사 (그 외 기타 분류 안된 화학 제품 제조업)

B사의 위해도 평가결과는 인체노출량의 범위는 $4.91\text{E-}09 \sim 1.04\text{E-}08$ (mg/kg/day) 이었고 Hazard Quotient의 범위는 $2.77\text{E-}06 \sim 5.89\text{E-}06$ 이었다. 위해성은 낮은 수준으로 근로자의 노출수준은 안전한 것으로 나타났다. C사의 Hazard Quotient의 값은 비교적 낮아 근로자들이 수지생산에서 1,4-디옥산에 취급근로자의 1,4-디옥산의 노출의 위해성이 안전한 수준으로 나타났다(표 3-49).

<표 3-49> B사의 위해도 평가결과

공정	이름	측정값 (ppm)	호흡독성참고치 (mg/kg/day)	인체노출량 (mg/kg/day)	Hazard Quotient
수지생산	근로자1	0.41289	0.0018	$5.83\text{E-}09$	$3.29\text{E-}06$
	근로자2	0.37807	0.0018	$5.33\text{E-}09$	$3.01\text{E-}06$
	근로자3	0.49548	0.0018	$6.99\text{E-}09$	$3.94\text{E-}06$
	근로자4	0.74012	0.0018	$1.04\text{E-}08$	$5.89\text{E-}06$
	근로자5	0.34817	0.0018	$4.91\text{E-}09$	$2.77\text{E-}06$

(4) C사 (일반용 도료 및 관련제품 제조업)

C사의 위해도 평가결과는 인체노출량의 최소치는 범위는 $2.54\text{E}-08 \sim 5.92\text{E}-09$ (mg/kg/day)이었고 Hazard Quotient의 범위는 $1.43\text{E}-05 \sim 2.88\text{E}-06$ 이었다.

위해성은 낮은 수준으로 근로자의 노출수준은 안전한 것으로 나타났다. B사의 Hazard Quotient의 값은 비교적 낮아 근로자들이 포장에서 소분하는 작업에서 1,4-디옥산에 취급근로자의 1,4-디옥산의 노출의 위해성이 안전한 수준으로 나타났다(표 3-50).

<표 3-50> C사의 위해도 평가결과

공정	이름	측정값 (ppm)	호흡독성참고치 (mg/kg/day)	인체노출량 (mg/kg/day)	Hazard Quotient
포장	근로자1	0.41926	0.0018	$5.92\text{E}-09$	$3.34\text{E}-06$
	근로자2	1.79899	0.0018	$2.54\text{E}-08$	$1.43\text{E}-05$
	근로자3	0.36184	0.0018	$5.11\text{E}-09$	$2.88\text{E}-06$

(5) D사 1차 측정결과- 광섬유 및 광학요소 제조업

D사의 1차 측정시 위해도 평가결과는 인체노출량의 최소치는 범위는 1.33E-08 ~ 2.04E-08 (mg/kg/day)이었고 Hazard Quotient의 범위는 7.49E-06 ~ 1.15E-05이었다. Hazard Quotient의 값은 낮은 수치로 안전한 수준이었지만 다른 연구대상사업체에 비해 높은 수치를 보였다(표 3-51).

<표 3-51> D사의 1차 측정시 위해도 평가결과

공정	이름	측정값 (ppm)	호흡독성참고치 (mg/kg/day)	인체노출량 (mg/kg/day)	Hazard Quotient
하드코팅	근로자1	1.44254	0.0018	2.04E-08	1.15E-05
	근로자2	0.94093	0.0018	1.33E-08	7.49E-06

(6) D사 2차 측정결과- 광섬유 및 광학요소 제조업

D사의 2차측정시 위해도 평가결과는 인체노출량의 최소치는 범위는 $8.49\text{E}-08 \sim 1.19\text{E}-07$ (mg/kg/day)이었고 Hazard Quotient의 범위는 $4.79\text{E}-05 \sim 6.74\text{E}-05$ 이었다. 위해성은 낮은 수준으로 근로자의 노출수준은 안전한 것으로 나타났지만 전회 Hazard Quotient의 값과 비교해 높은 수준을 보였다(표 3-52).

<표 3-52> D사 2차 측정시 위해성 평가결과

공정	이름	측정값 (ppm)	호흡독성참고치 (mg/kg/day)	인체노출량 (mg/kg/day)	Hazard Quotient
하드코팅	근로자1	6.01862	0.0018	$8.49\text{E}-08$	$4.79\text{E}-05$
	근로자2	8.46974	0.0018	$1.19\text{E}-07$	$6.74\text{E}-05$

(7) D사 3차 측정결과- 광섬유 및 광학요소 제조업

D사의 3차측정시 위해도 평가결과는 인체노출량의 최소치는 범위는 4.40E-08 ~ 9.36E-08 (mg/kg/day)이었고 Hazard Quotient의 범위는 2.48E-05 ~ 5.28E-05 이었다. 위해성은 낮은 수준으로 근로자의 노출수준은 안전한 것으로 나타났다. D사의 Hazard Quotient의 값은 비교적 낮아 근로자들이 1,4-디옥산의 노출의 위해성이 안전한 수준으로 나타났다(표 3-53).

<표 3-53> D사 3차 측정시 위해성 평가결과

공정	이름	측정값 (ppm)	호흡독성참고치 (mg/kg/day)	인체노출량 (mg/kg/day)	Hazard Quotient
하드코팅	근로자1	6.63214	0.0018	9.36E-08	5.28E-05
	근로자2	3.11877	0.0018	4.40E-08	2.48E-05
	근로자3	3.12296	0.0018	4.41E-08	2.49E-05

(8) D사 4차 측정결과- 광섬유 및 광학요소 제조업

D사의 4차 측정시 위해도 평가결과는 인체노출량의 최소치는 범위는 $8.36\text{E}-08 \sim 8.56\text{E}-08$ (mg/kg/day)이었고 Hazard Quotient의 범위는 $4.71\text{E}-05 \sim 6.06\text{E}-05$ 이었다. 위해성은 낮은 수준으로 근로자의 노출수준은 안전한 것으로 나타났다. 전회치 결과와 마찬가지로 Hazard Quotient의 값은 비교적 낮아 근로자들이 렌즈 하드코팅공정에서 1,4-디옥산에 취급근로자의 1,4-디옥산의 노출의 위해성이 안전한 수준으로 나타났다(표 3-54).

<표 3-54> D사 4차 측정시 위해성 평가결과

공정	이름	측정값 (ppm)	호흡독성참고치 (mg/kg/day)	인체노출량 (mg/kg/day)	Hazard Quotient
하드코팅	근로자1	5.92246	0.0018	$8.36\text{E}-08$	$4.71\text{E}-05$
	근로자2	7.61468	0.0018	$1.07\text{E}-07$	$6.06\text{E}-05$
	근로자3	6.06545	0.0018	$8.56\text{E}-08$	$4.83\text{E}-05$

(9) E사 - 의학용 약제품 제조업

E사의 위해도 평가결과는 인체노출량의 최소치는 범위는 $3.92\text{E-}10 \sim 9.36\text{E-}10$ (mg/kg/day)이었고 Hazard Quotient의 범위는 $2.21\text{E-}07 \sim 5.28\text{E-}07$ 이었다. 위해성은 낮은 수준으로 근로자의 노출수준은 안전한 것으로 나타났다. Hazard Quotient의 값은 비교적 낮아 의학용 약제품 원료인 TATT생산에서 반응기 관리 작업자는 1,4-디옥산의 노출에 대한 위해성이 안전한 수준으로 나타났다(표 3-55).

<표 3-55> E사의 위해성 평가결과

공정	이름	측정값 (ppm)	호흡독성참고치 (mg/kg/day)	인체노출량 (mg/kg/day)	Hazard Quotient
TATT생산	근로자1	0.06631	0.0018	$9.36\text{E-}10$	$5.28\text{E-}07$
	근로자2	0.05532	0.0018	$7.81\text{E-}10$	$4.40\text{E-}07$
	근로자3	0.04388	0.0018	$6.19\text{E-}10$	$3.49\text{E-}07$
	근로자4	0.02780	0.0018	$3.92\text{E-}10$	$2.21\text{E-}07$
	근로자5	0.04260	0.0018	$6.01\text{E-}10$	$3.39\text{E-}07$

(10) F사 - 의학용 화합물 및 항생물질 제조업

F사의 위해도 평가결과 모든 근로자가 인체노출량이 0 (mg/kg/day)이었고 Hazard Quotient의 범위는 0 이었다. Hazard Quotient의 값은 모두 0의 수치로 실험실에서 순도검사하는 근로자들은 1,4-디옥산의 노출에 대해 위해성이 거의 없는 수준으로 나타났다(표 3-56).

<표 3-56> F사의 위해성 평가결과

공정	이름	측정값 (ppm)	인체노출량 (mg/kg/day)	호흡독성참고치 (mg/kg/day)	Hazard Quotient
실험실	근로자1	불검출	0.00E+00	0.0018	0
	근로자2	불검출	0.00E+00	0.0018	0
	근로자3	불검출	0.00E+00	0.0018	0

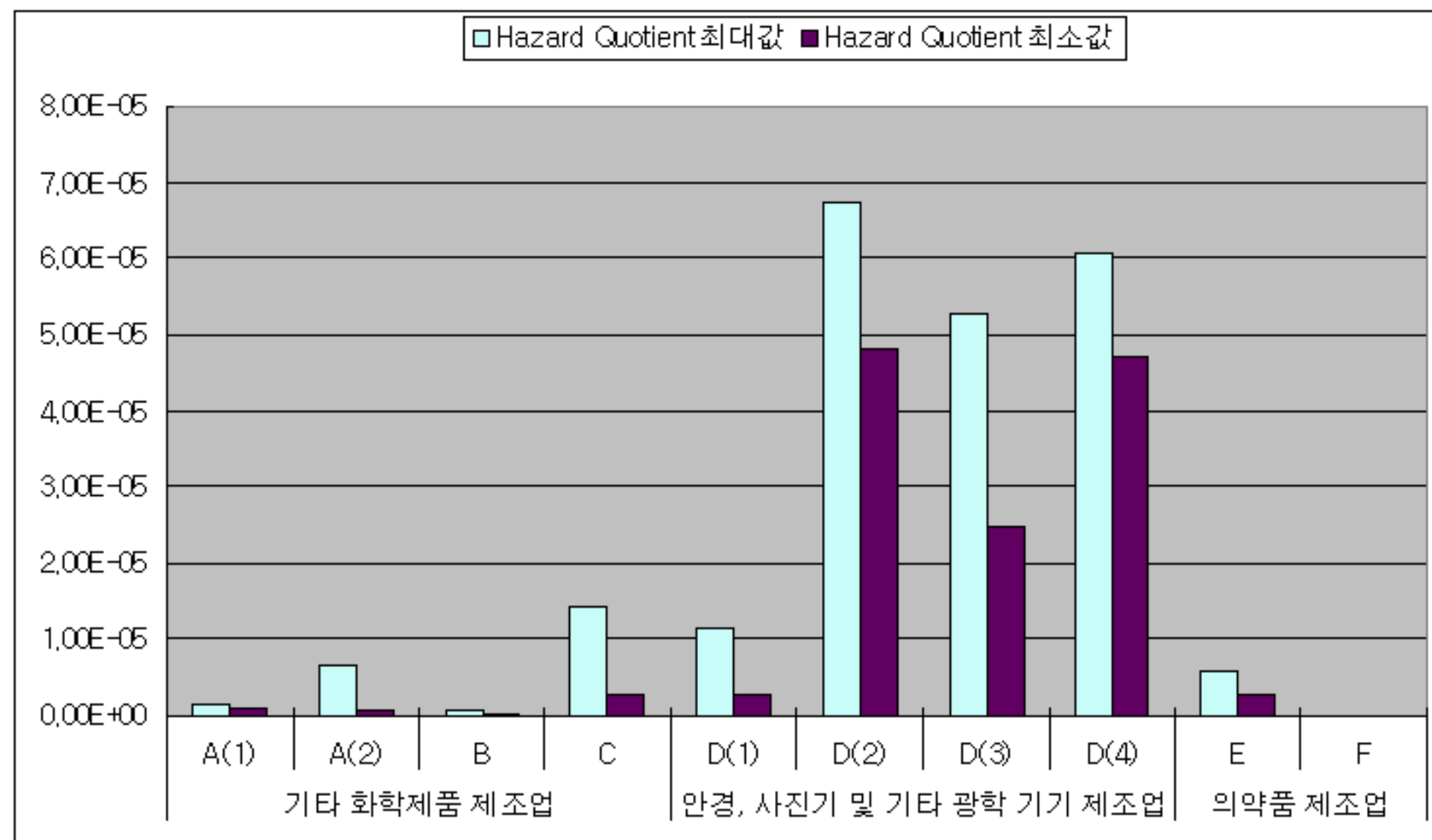
나) 연구대상 사업장의 위해도 평가 총괄

연구대상 사업장 총 10개소의 위해도 평가결과 35명의 인체노출량의 범위는 0 ~ 1.19E-07(mg/kg/day)로 나타났으며 중위수는 5.11E-09(mg/kg/day)이었고 Hazard Quotient은 범위는 0 ~ 6.74E-05으로 나타났고 중위수는 2.88E-06으로 1,4-디옥산 취급근로자의 위해성은 비교적 안전한 수준으로 조사되었다(표 3-57).

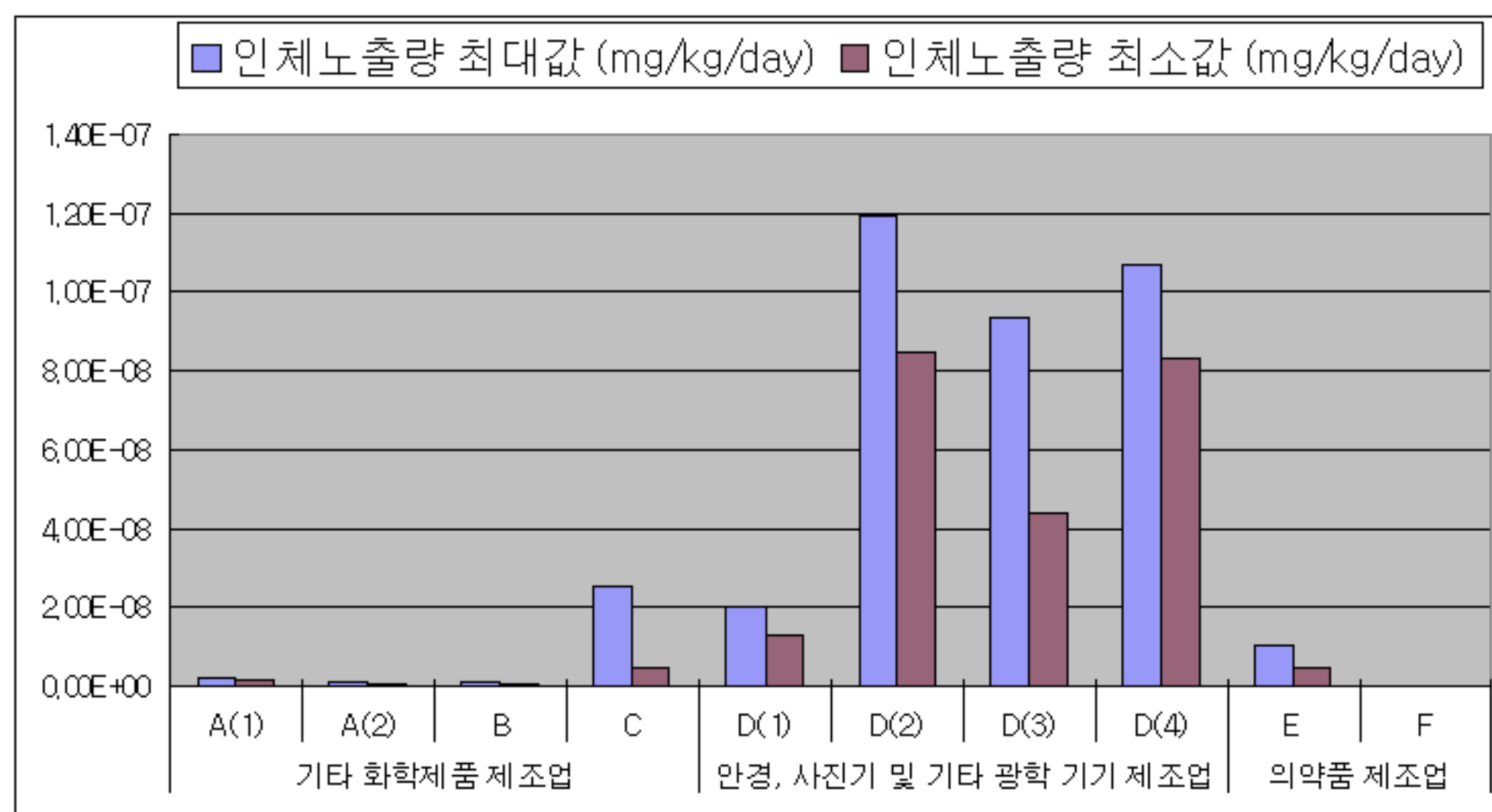
<표 3-57> 연구대상 사업장의 위해도 평가 총괄결과

한국표준산업분류	사업장	시료 개수	인체노출량 (mg/kg/day)		Hazard Quotient	
			최대값	최소값	최대값	최소값
기타 화학제품 제조업	A(1)	5	2.41E-09	1.53E-09	1.36E-06	8.63E-07
	A(2)	4	1.02E-09	7.92E-10	6.55E-06	4.47E-07
	B	5	9.36E-10	3.92E-10	5.28E-07	2.21E-07
	C	3	2.54E-08	5.11E-09	1.43E-05	2.88E-06
안경, 사진기 및 기타 광학 기기 제조업	D(1)	2	2.04E-08	1.33E-08	1.15E-05	2.77E-06
	D(2)	2	1.19E-07	8.49E-08	6.74E-05	4.79E-05
	D(3)	3	9.36E-08	4.40E-08	5.28E-05	2.48E-05
	D(4)	3	1.07E-07	8.36E-08	6.06E-05	4.71E-05
의약품 제조업	E	5	1.04E-08	4.91E-09	5.89E-06	2.77E-06
	F	3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
총 계	10개소	35	1.19E-07	0.00E+00	6.74E-05	0.00E+00

전체 연구대상 사업장의 Hazard Quotient와 인체노출량을 추정한 결과 안경, 사진기 및 기타 광학기기 제조업이 가장 높은 것으로 조사되었다(그림 3-132)(그림 3- 133).



[그림 3-132]연구대상 사업장의 Hazard Quotient 총괄결과



[그림 3-133] 연구대상 사업장의 인체노출량값 총괄결과

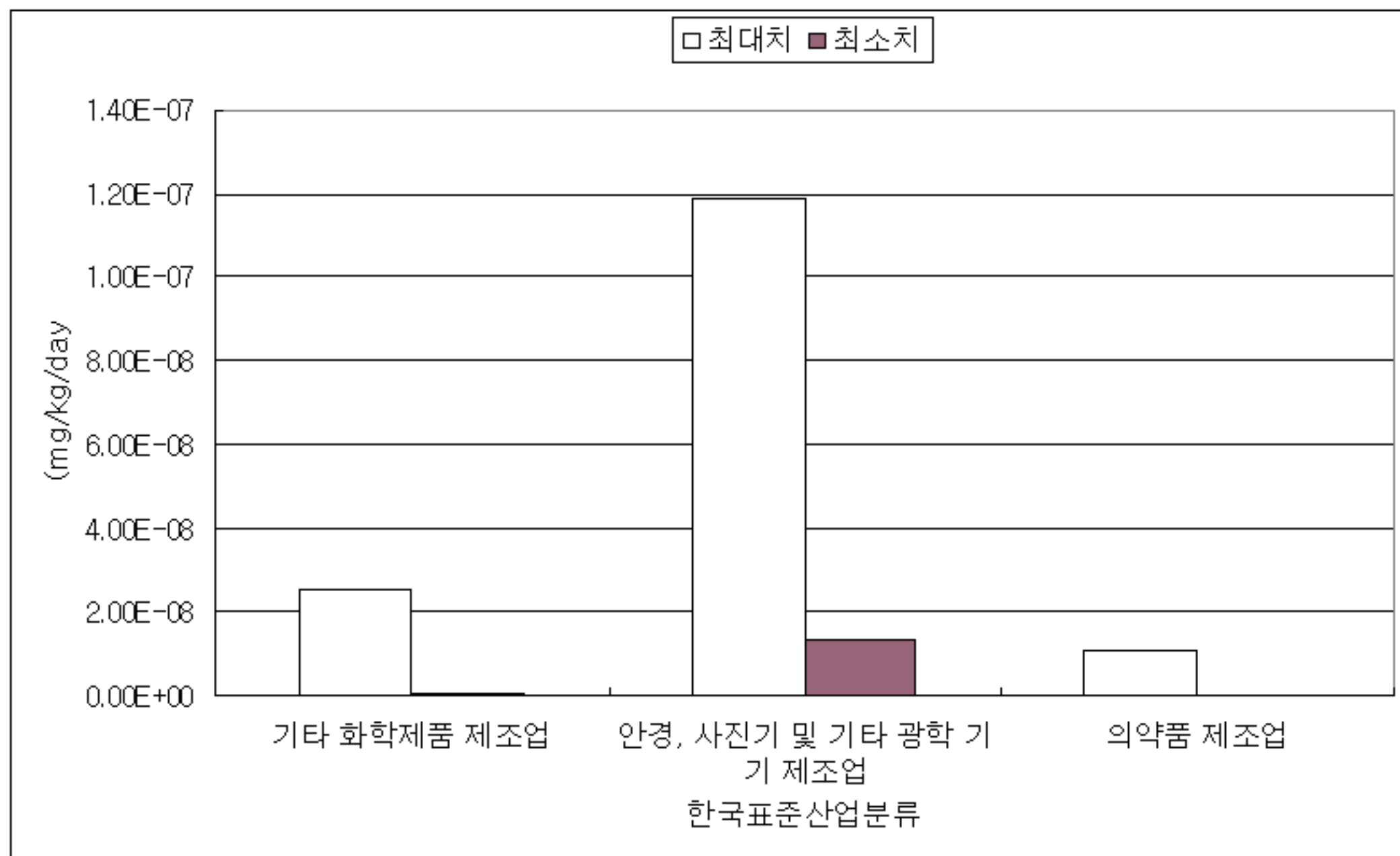
통계청의 한국표준산업분류에 따라 연구대상사업장을 분류하여 분야별 위해도평가 결과는 표 3-58과 같다.

분야별 위해도평가 결과 인체노출량, Hazard Quotien의 순위는 안경, 사진기 및 기타 광학 기기 제조업 의약품 제조업, 기타 화학제품 제조업 순으로 나타났다(그림 3-134)(그림 3-135).

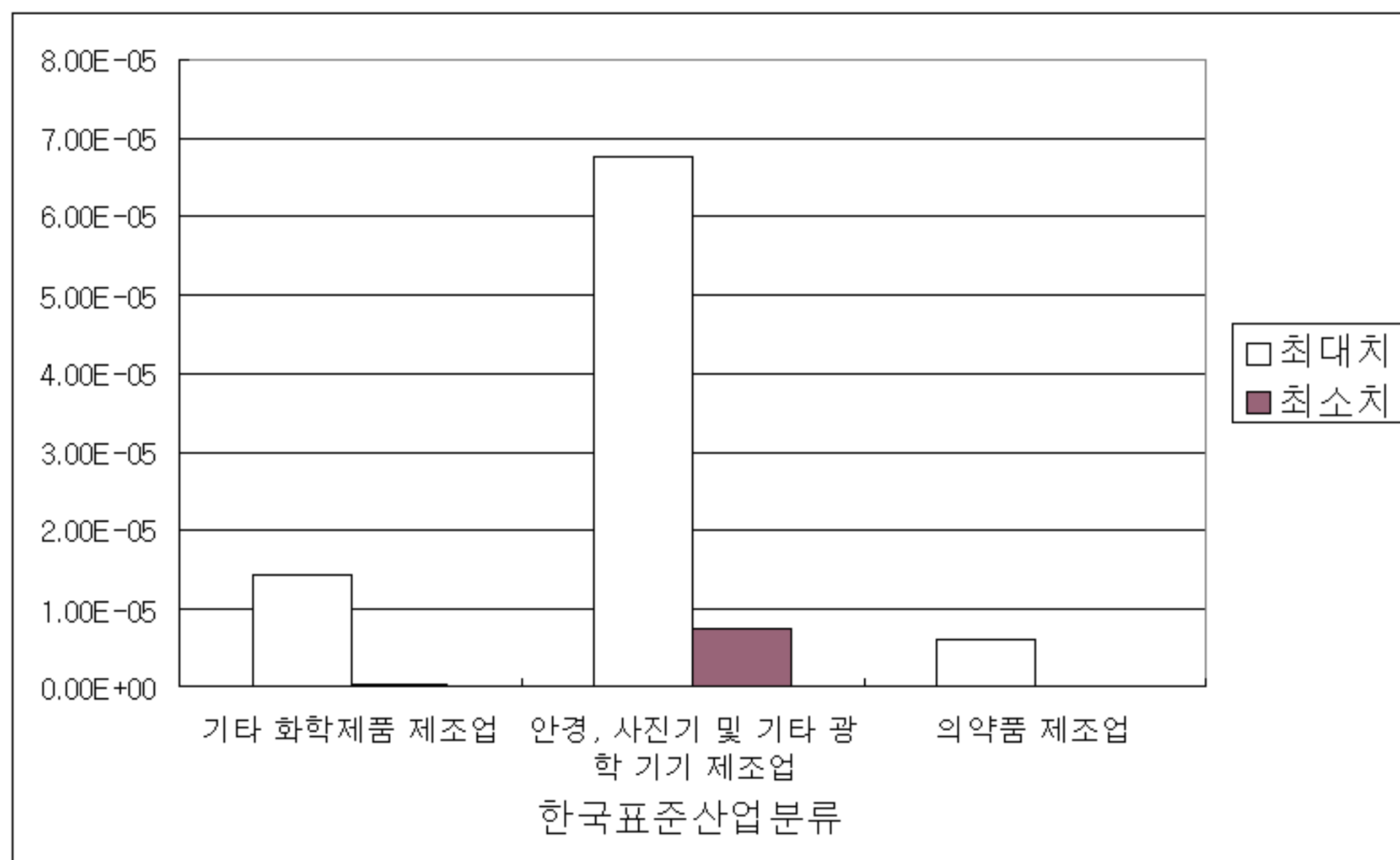
안경, 사진기 및 기타 광학 기기 제조업은 Hazard Quotient의 범위는 $7.49\text{E}-06 \sim 6.74\text{E}-05$ 이며 중앙값은 $4.75\text{E}-05$ 으로 가장 높았고 의약품 제조업에서의 Hazard Quotient의 범위는 $0.00\text{E}+00 \sim 5.89\text{E}-06$ 이며 중앙값은 $2.89\text{E}-06$ 으로 그 다음 순이었고 기타 화학제품 제조업에서의 Hazard Quotient의 범위는 $2.21\text{E}-07 \sim 1.43\text{E}-05$ 이며 중앙값은 $8.63\text{E}-07$ 으로 나타나 가장 낮은 수준이었다(표 3-58).

<표 3-58> 분야별 위해도 평가결과

	인체노출량 (mg/kg/day)			Hazard Quotient		
	최대치	최소치	중앙값	최대치	최소치	중앙값
기타 화학제품 제조업	$2.54\text{E}-08$	$3.92\text{E}-10$	$1.53\text{E}-09$	$1.43\text{E}-05$	$2.21\text{E}-07$	$8.63\text{E}-07$
안경, 사진기 및 기타 광학 기기 제조업	$1.19\text{E}-07$	$1.33\text{E}-08$	$8.42\text{E}-08$	$6.74\text{E}-05$	$7.49\text{E}-06$	$4.75\text{E}-05$
의약품 제조업	$1.04\text{E}-08$	$0.00\text{E}+00$	$5.12\text{E}-09$	$5.89\text{E}-06$	$0.00\text{E}+00$	$2.89\text{E}-06$



[그림 3-134] 분야별 인체노출량 분포결과



[그림 3-135] 분야별 Hazard Quotient 분포결과

7. 노출기준 제안

가. 현행 노출기준 요약 및 해설

(1) 선진국의 노출기준 해설

1,4-디옥산 의 노출기준 설정근거는 부분적인 설치류의 발암성 해석, 유전독성의 자료, 동물과 사람에서의 화합물의 약동학적 프로파일 등이 남아있다.

유전 독성이 아닌 다른 메커니즘에 의해 1,4-디옥산이 암을 유발한다는 증명 자료는 없다. 설치류와 사람에서 주된 대사과정에서 요 대사에서 설치류는 1,4-디옥산이 hydroxyethoxyacetic acid로 대사가 제한되어 있다. 부가적으로 암이 증가한 설치류에서 마시는 물의 발암성 생물학적 정량은 항상 대사적 배설의 포화가 일어난 용량 보다 많았다.

50ppm에서 쥐와 사람의 흡입노출은 1,4-디옥산의 clearance를 포화시키지 못했다. 순환농도의 축적을 일으키는 고농도의 1,4-디옥산노출은 전신적 손상과 암발생을 수반하는 확실한 독성이 일어났다.

첫번째 과정을 통해 1,4-디옥산 을 배설 할 수 있게 전환하는 과정에서 동물이나 사람은 독성이 관찰 되지 않았다. 건강장해 효과가 관찰되지 않은 농도는 111ppm의 7 Hour/day 이고 이에 상응하는 노출은 쥐에서 2년동안 주당 5일간 그리고 사람에서는 근무 장소에서 최소 50ppm이었다.

10,000ppm 섭취 농도에서의 설치류의 간암이나 폐암 발생과 2년동안 100ppm 이상의 흡입노출 농도에서 발암성이 부족하다는 점에서 1,4-디옥산은 직업적 발암물질로서의 유의성이 없고 동물 발암물질로서도 낮은 가능성을 지닌다. 이러한 결론은 50년이상 노출된 근로자들의 역학적 연구의 결과에 의해 확인되었다.

1,4-디옥산은 50ppm 이상 인간에게 노출 되어질때 눈과 호흡기의 자극한다. 또한 근로자가 고농도에 반복적으로 노출될 시 간과 신장에 치명적인 손상을 주는 특성이 있다. 1,4-디옥산에 직업적인 노출시 간암을 유발 시킨다는 증거

가 제한적이지만 계속적으로 보고되고 있다. ACGIH는 이러한 독성자료 고려하여 근로자의 건강보호를 위해 25ppm에서 20ppm까지 TLV-TWA 의 수정하였다. 발암성은 A3로 동물에게 발암성 있으나 사람에 대한 자료가 불충분하다고 제정하고 있고 민감도에 대한 경고표시나 TLV-STEL은 충분한 연구자료가 없어 제정하지 않았다.

EU의 ESR(Existing Substances Regulation)의 문서를 보면 근로자의 인체에 미치는 위험도가 793/93 이라고 상세히 보고하고 있다. OECD 국가들은 이러한 위험도의 결정을 자신의 나라의 노출 기준에 고려하고 있다.

(2) 현행 우리나라 노출기준 요약 및 해설

노동부고시 제2002-8호(2002. 5. 6) 확물질 및 물리적인자의 노출기준에서 1,4-디옥산에 대한 노출기준을 TWA 25ppm, 피부흡수주의표시물질로 규정하고 있으며 1995년 ACGIH에서 제안한 노출기준을 받아들여 그대로 제안하고 있다.

현재 노출기준이 설되어 있는 것 이외에는 산업안전보건법 제39조 유해인자의 관리 및 시행규칙 제 31조의 노출기준의 설정 등 규정에 의한 관리대상 물질, 산업안전보건법 제42조 작업환경측정 등 및 시행규칙 제93조 작업환경 측정대상사업장등의 규정에 의한 작업환경측정대상물질 그리고 산업안전보건법 제43조 건강진단 및 시행규칙 제93조 정의 규정에 의한 특수건강진단대상 물질로 선정되어 있다.

나. 우리나라 실정에 적합한 노출기준 제시

(1) 국내 사업장의 노출실태

본 연구 조사는 국내 노출실태를 파악하기 위해 기존 작업환경측정 결과자료 및 1,4-디옥산에 대한 노출실태를 조사한 문헌자료는 없었다.

본 연구 조사에서 파악한 국내 노출실태를 결과를 종합하여 보면 시간가중 평균농도(TWA)의 총 시료 개수는 35개로 농도 범위를 보면 불검출에서 8.4697ppm이었고 평균 및 표준편차는 1.6072 ± 2.5037 ppm, 중위수는 0.3618ppm으로 측정되어 모두 우리나라 기준치 25ppm 보다 낮게 조사되었다(표 3-59).

단시간 측정(STEL)은 총 15번 측정하였으며 평균 및 표준편차는 3.4313 ± 2.1211 ppm이고 범위는 불검출 ~ 6.3399ppm으로 조사되었다.

<표 3-59> 국내사업장의 노출실태결과

	개인	지역	STEL
측정수	35	6	15
평균 ± 표준편차	1.607±2.540	3.874±4.400	3.431±2.196
기하평균 ± 기하표준편차	0.340±7.308	0.662±21.356	1.661±7.498
범위	불검출-8.470	불검출-9.751	불검출-6.340
5percentile	불검출	불검출	불검출
10percentile	0.017	불검출	불검출
15percentile	0.043	불검출	0.476
20percentile	0.055	불검출	1.240
25percentile	0.066	불검출	1.445
30percentile	0.079	0.215	1.761
35percentile	0.116	0.966	2.090
40percentile	0.138	1.718	2.467
45percentile	0.206	2.170	2.985
50percentile	0.362	2.222	3.790
55percentile	0.406	2.274	4.459
60percentile	0.465	3.647	4.924
65percentile	0.773	6.011	5.163
70percentile	1.041	8.374	5.228
75percentile	1.799	9.225	5.250
80percentile	3.122	9.471	5.687
85percentile	5.980	9.716	5.803
90percentile	6.292	9.751	6.021
95percentile	7.786	9.751	6.340
100percentile	8.470	9.751	6.340

(2) 외국의 노출기준 적용 시 평가 결과

본 조사의 결과를 ACGIH에서 제시하고 있는 TWA 20ppm을 적용 시 개인 시료 35건 중 단 한건도 초과되지 않았고 지역시료의 경우에도 6건 중 단 한건도 초과 하지 않았다.

(3) 용량-반응 평가를 통한 노출기준 추정

정량적인 용량-반응 관계를 이용하여 독성 종말점(toxic endpoint)에서의 무관찰영향수준(NOAE) 또는 최저 관찰영향수준(LOAE)을 선정하고 불확실성 상수로 보정하여 호흡 노출로 인한 참고치, RfC(Reference Concentration)를 결정하여 노출기준을 간접적으로 제안하였다.

가) 주요 독성 평가 자료 선택

위험성 확인을 위해 조사된 자료를 중심으로 정량적인 용량-반응 결과가 제시되어 있는 자료를 선정하였다. 선정된 자료들을 노출 대상자, 노출기간, 노출경로, 노출량 및 그에 상응하는 독성 종말점(toxic endpoint)이 명확하게 제시되었는지 확인하였으며 이를 바탕으로 일반인들에 대한 무관찰 유해영향수준(NOAE) 또는 최저관찰 유해영향수준(LOAE)을 도출할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 OECD의 1999년 자료를 활용하였다.

나) 유해 영향에 대한 가장 낮은 NOAE를 선택

모든 화학물질은 하나의 실험동물, 여러 노출기간의 실험에서 하나 이상의 독성 영향을 유발한다. 일반적으로 이들 영향에 대한 NOAE는 서로 다르며, 용량-반응 평가에 사용되는 결정적인 종말점은 가장 낮은 NOAE를 나타내는 독성용량이 된다. NOAE이란 적절한 대조군에 비해, 노출군의 개체에서 유해영향의 빈도나 심각성이 통계학적으로나 생물학적으로 유의한 증거를 나타내지 않은 가장 높은 실험용량을 말한다. 본 연구에서는 흡입독성 실험을 통하여 제시된 NOAE 111ppm(OECD, 1999)을 선택하였다. 전환계수를 이용하여 111ppm을 399.6mg/확률으로 농도를 변경시켰다.

다) 불확실성 상수(Uncertainty Factor : UF)결정

종내 및 종간 다양성(intraspecies and interspecies variability), 동물실험의

질(quality) 및 기간(duration)등을 고려하여 상이한 인구집단에 있어 실제적으로 허용가능한 용량을 결정하기 위해 불확실성 상수(Uncertainty Factor : UF)를 적용하게 된다. 본 연구에서 활용된 불확실성 상수 적용기준은 표 3-60과 같다. 지표에 의거하여 선택하였다.

<표 3-60> 불확실성 상수 적용 기준

불확실성이 발생가능한 내용	적용상수
· 불확실성 상수(Uncertainty Factor : UF) - 사람에 있어 적절한 노출기간에 따르는 다양한 실험 결과를 이용하고, 인구집단내 개인간의 민감성을 고려한 불확실성 - 사람에 대한 자료가 유용하지 않고 단기노출연구의 실험결과를 이용한 경우, 동물에서 사람으로 외삽과정의 불확실성 - 사람에 대한 자료가 유용하지 않고 단기노출연구의 실험결과를 이용한 경우, 노출기간의 외삽과정에서의 불확실성 - NOAEL대신 LOAEL(Lowest Observed Adverse Effects Level)을 사용한 경우의 불확실성	10 10 10 10
· 첨가상수(Modifying Factor : MF) - 과학적인 판단에 의거하여 첨가되는 불확실성 상수로 크기는 과학적 불확실성(자료의 신뢰성이나 충분한 정도, 실험에 할당된 동물 수 등)의 전문적인 판단에 의존	$0 < MF < 10$ 기본값 = 1

불확실성 상수는 동물실험결과에서 사람으로의 외삽과정에서 발생하는 불확실성을 고려한 안전한계(safety margin)로서 1,4-디옥산의 호흡 참고치(RfC)에 적용된 불확실성 상수는 표 3-61과 같다.

<표 3-61> 1,4-디옥산의 호흡 참고치(RfC)에 적용된 불확실성 상수

불확실성 상수	적용 내역
10	사람에 있어 적절한 노출기간에 따르는 다양한 실험 결과를 이용하고, 인구집단내 개인간의 민감성을 고려한 불확실성
3	사람에 대한 자료가 유용하지 않고 단기노출연구의 실험결과를 이용한 경우, 동물에서 사람으로 외삽과정의 불확실성
10	사람에 대한 자료가 유용하지 않고 단기노출연구의 실험결과를 이용한 경우, 노출기간의 외삽과정에서의 불확실성
300	불확실성 상수의 총합

라) 참고치(Reference Concentration : RfC) 산출

비발암 물질들에 대한 동물 실험 또는 역학연구를 통해 결정된 무관찰 유해영향수준(NOAEL), 무관찰 영향수준(NOEL), 또는 최저관찰 유해영향수준(LOAEL)값을 이용하여 흡입 참고치(reference concentration, RfC)를 아래의 공식에 의해 산출하였다.

$$\text{호흡참고치(RfC)} = \frac{\text{무관찰유해영향수준(mg/m}^3\text{)}}{\text{불확실성 상수}}$$

수집된 1,4-디옥산의 독성자료에 적합한 불확실성 값(uncertainty factor)을 고려하여 흡입 참고치 RfC를 산출하였다(표 3-62).

<표 3-62> 1,4-디옥산의 흡입 참고치(RfC) 산출값

용량-반응자료 (mg/m ³)	불확실성 상수	Modifying 상수	호흡참고치 (mg/m ³)
NOAEL = 399.6	300	1	1.332

참고치는 일정용량에서 화학물질의 잠재적 영향을 측정하기 위한 기준으로 유용하다. 보통 참고치보다 적은 노출용량은 건강위해도와 관련되지 않을 가능성이 크며, 참고치를 초과하는 노출빈도나 크기가 증가하면, 인구집단 내에 유해한 영향이 발생할 확률이 크다는 것을 의미한다. 그러나, 참고치 이하의 용량은 ‘허용가능하다’ 또는 ‘위해도가 없다’라고, 또는 참고치 이상의 용량은 ‘허용가능하지 않다’ 또는 ‘유해영향을 초래한다’라고 단정할 수는 없다

마) 한국 근로자의 호흡독성 참고수준

NOAEL 111ppm(OECD, 1999)을 전환계수(1ppm = 3.60mg/m³)를 이용하여 399.6mg/m³로 변경했다. 불확실성계수를 300으로 가정하여 호흡참고치(RfC) 공식에 따라 RfC(mg/m³)를 1.332 mg/m³을 구하였다.

호흡독성 참고수준을 한국 근로자들에게 적용하기 위하여 아래와 같은 공식을 이용하였다.

$$\frac{RfC(ug/m^3) \times \text{일일호흡률}(m^3/day) \times \text{노출시간}(hr/day) \times \text{노출빈도}(day/year) \times \text{노출기간}(year)}{\text{체중}(kg) \times \text{기대수명}(year) \times \text{평균노출빈도}(day/year) \times \text{평균노출시간}(hr/day)}$$

이 공식에 대입하는 인자는 아래와 같이 선정하였다.

- 일일 호흡률 : 하루 호흡량 10 확률/day (미국 TLV 적용시 사용하는 수준)
- 노출 시간 : 일일 근무시간으로 가정하여 8 hr/day
- 노출 빈도 : 주 5일 근무제로 가정하여 240 day/year
= 1년×12개월×4주×5일
- 노출 기간 : 근로자가 작업장에서 근무할 수 있는 년도를 30년으로 가정
- 체중 : 한국인 성인의 평균 체중 61kg으로 가정 (보건복지부, 1977)

- 기대수명 : 통계청자료에 따라 한사람의 기대수명을 76.4(year)으로 가정
- 평균노출빈도 : 평균노출빈도를 365 day/year로 가정
- 평균 노출시간 : 평균노출시간을 24 hr/day로 가정

RfC값을 공식에 넣어 노출기준을 간접적으로 추정한 결과 14.09 mg/m^3 으로 산출되었다. 이수치를 전환계수($1 \text{ mg/m}^3=0.28\text{ppm}$)를 이용하여 3.95ppm으로 최종 계산하였다. 이 수치는 ACGIH의 TLV-TWA 20ppm과 비교해 볼 때 다소 낮은 수준이었다.

(4) 우리나라 노출기준의 제안

가) 노출기준 개정의 필요성

현재 우리나라의 1,4-디옥산에 대한 노출기준은 노출기준 제·개정 절차가 마련된 상태에서 과학적, 기술적 근거를 토대로 설정된 것이 아니라 미국의 ACGIH에서 제안하는 TLV를 그대로 적용한 노출기준이다. 그러나 ACGIH에서는 매년 연구자료를 근거로 노출기준 제·개정에 대한 논의가 이루어졌으며 노출기준 또한 변화하였다. 다른 선진국에서도 경제적 위상과 직업병 감소라는 사회적 분위기에 노출기준을 강화하고 있다.

위해도평가 결과 RfC값은 3.95ppm으로 ACGIH의 TLV-TWA 20ppm과 비교해 볼 때 다소 낮은 수준이었다.

1,4-디옥산은 간과 신장에 독성이 있고 동물실험결과 발암성이 확인된 물질로 IARC에서는 2B로 분류하고 있는 물질이다. 우리나라는 1995년에 ACGIH에서 제안한 25ppm을 채택하고 있지만 ACGIH에서는 동물실험 결과에서 추가적으로 보고된 자료로 노출기준을 20ppm으로 1998년부터 제안하고 있다.

따라서 1,4-디옥산 취급근로자의 건강을 예방하기 위해서 현재의 노출기준을 8시간가중평균치로 20ppm으로 개정하는 것이 필요하다.

나) 노출기준 개정(안)

1,4-디옥산의 노출기준을 선진국의 수준으로 개정하여 1,4-디옥산 취급 근로자들의 직업병을 최소화 하고자 다음과 같이 개정안을 제안하고자 한다.

- TLV-TWA : 20ppm(72mg/m³) ※ 개정
- 피부흡수주의 표시 ※ 현행유지
- A3 ※ 개정

※ 개정 : 1,4-디옥산은 50ppm 이상 인간에게 노출 되어질때 눈과 호흡기를 자극한다. 또한 근로자가 고농도에 반복적으로 노출될 시 간과 신장에 치명적인 손상을 주는 특성이 있다. 미국 ACGIH에서 제안하는 노출수준으로 20ppm으로 관리하는 것이 필요하다.

1,4-디옥산에 직업적인 노출시 간암을 유발 시킨다는 증거가 제한적이지만 계속적으로 보고되고 있다. IARC에서는 2B, NTP에서는 R, ACGIH에서는 A3, EPA에서는 B2, MAK에서는 4, NIOSH에서는 NIOSH-X로 분류하고 있다. 우리나라도 다른 선진국의 노출기준의 흐름을 받아들여 근로자에게 1,4-디옥산의 발암성을 A3(동물에게는 확실한 발암성이지만 인간에게는 자료가 불충분함)으로 제정하여 제정하여 발암성에 대한 근로자에게 인식시켜줄 필요가 있다.

8. 규제영향분석

규제영향분석에 대한 개념은 주로 다음과 같이 정의 한다.

○ 행정규제기본법의 정의

규제로 인하여 국민의 일상생활과 사회·경제·행정 등에 미치는 제반영향을 객관적이고 과학적인 방법을 사용하여 미리 예측·분석함으로써 규제의 타당성을 판단하는 기준을 제시하는 것

○ OECD의 정의

정부활동으로부터 발생하는 특정한 잠재적 영향을 체계적이고 지속적으로 검토하고, 그 정보를 정책결정자와 소통하는 정책결정도구

○ 일반적 개념

기존규제나 규제의 변동으로 인한 긍정적, 부정적 영향을 분석하는 방법

규제영향분석의 목적은 불합리한 규제의 신설을 방지하고 합리적인 규제수단과 대안을 탐색하여 기존규제의 합리적인 개선을 유도하는데 그 목적이 있다.

□ 규제정책결정의 방법

○ OECD 회원국들의 규제당국이 규제정책의 결정에 사용하는 방식은 크게 아래 5가지로 분류한다.

- 전문가(expert): 규제담당자나 외부전문가 등 신뢰할만한 전문가가 전문적인 판단에 의지하여 무엇을 해야할지 결정하는 형태
- 합의(consensus): 규제와 관련된 이해당사자간에 서로의 이익을 절충하여 균형점에 합의하는 방식
- 정치적(political): 정치적인 대표자에 의해 정치적인 입장이 정치과정을 통해 결정되는 방식
- 벤치마킹(benchmarking): 외국의 규제방식 등 외부의 규제모형에 근거하여 결정하는 형태
- 경험적(empirical): 결정된 기준에 따른 분석과 사실에 근거하여 결정하는

방식

○ 대부분의 규제정책은 조직문화, 관습, 행정행태 등에 따라 이상 5가지의 다양한 조합으로 결정됨. 경험적인 방법인 규제영향분석에 따라 정책이 결정되는 것은 아니지만, 규제문제의 논의와 이해에 필요한 중요한 정보를 제공하여 규제정책결정에 큰 영향을 행사할 수 있다.

□ 외국의 규제영향분석제도

① 규제영향분석제도의 활용 개관

○ 규제영향분석(RIA: Regulatory Impact Analysis)을 정부전반에 걸쳐 수행되고 있는 나라들과 일부 부문에 국한하여 수행되고 있는 나라들로 구별

- 정부전반에 걸쳐 규제영향분석을 시행하는 나라들은 호주, 캐나다, 뉴질랜드, 영국, 미국 등으로서 캐나다의 경우 규제영향보고서(Regulation Impact Assessment Statement)의 형태를, 뉴질랜드의 경우 기존 규제에 대한 순응비용에 초점을 맞춘 순응비용평가(CCA: Compliance Cost Assessment), 미국은 규제영향분석과 특정분야(건강, 보건, 환경보호 등)에 대한 계량적 위험분석(QRA: Quantitative Risk Assessment)을 병행

- 호주의 경우 역시 ESD(Ecologically Sustainable Development)에 근거한 규제영향보고서(RIS: Regulation Impact Statement)와 비용회수영향보고서(CRISs: Cost recovery impact statements) 등을 병행하여 수행

- 또한 RIA의 분석 및 집행과정상 특징에 따라 RIA와 이해관계자들간 협의(consultation) 과정을 병행 추진하는 나라(캐나다, 미국)와 RIA 과정상 정부부처들의 관여 및 책임을 법제화한 나라(영국, 캐나다, 호주), 그리고 독립적인 기관에 규제안건의 검토여부를 결정할 수 있는 권한을 부여한 나라(네덜란드) 등으로 구분

□ 미국의 규제영향분석제도

▶ 개관

○ 미국은 OECD 국가중 엄격한 비용편익분석을 제도화 하고 있는 나라임

- 특히 미국의 규제영향분석제도는 1977년의 B/C Analysis에서부터 시작하여 1981년과 1993년에 보완 개정되어 현재의 RIA (Regulatory Impact Analysis)에 이르고 있으며, 대통령의 행정명령에 의해서 완전한 형태의 규제영향분석서를 규제제안시에 첨부하도록 의무화

- 규제영향분석서는 OMB(Office of Management and Budget)의 OIRA(Office of Information and Regulatory Affairs)에서 독립적으로 검토되며 OIRA는 규제영향분석에 관한 지침을 제정

○ 중요규제에 해당할 경우 OIRA에서는 초안과 최종안에 대해 2번 규제영향분석의 적절성을 심사하며 규제영향분석은 다음의 원칙에 따라 실시

- 규제의 필요성과 규제의 결과에 대한 적절한 정보가 없으면 규제하지 않아야 함

- 예상편익이 예상비용보다 크지 않으면 규제하지 않아야 함

- 규제의 목적은 사회적 순편익을 극대화하는데 두어야 함

- 규제대안이 있는 경우에는 사회적 순편익을 극대화하는 규제대안을 선택해야 함

○ 이렇게 실시된 규제영향분석서는 그 초안과 최종분석서가 관보에 게재되어 일반에 공개됨

▶ 규제영향분석의 요구수준

○ OMB에서는 각 규제기관에 규제영향분석을 하도록 요구하고 있으나 그 분석의 정도 및 심도는 규제의 중요도 및 성격에 따라 다르게 운영

○ 모든 규제에 대해 비용과 편익을 평가할 것을 요구하면서 가능한한 계량화 할 것을 요구하고 있으나

- 실제 운영에 있어서는 OMB에서 중요규제(significant regulatory action)에 대해서만 심사를 하므로 중요규제가 아닌 규제에 대해서는 기관자체에서 가능한 대로 계량화를 하고, 계량화가 필요치 않은 경우는 정성적 평가로도 운영

○ 중요규제의 경우에도 다음의 2가지로 구분됨

① 경제적으로 중요한 규제

- 경제에 1억불 이상의 영향을 미치거나 환경, 안전, 보건 등에 심각한 부정적 영향을 미치는 중요규제에 대해서는 보다 엄격한 규제영향분석을 요구
- 기대편익과 비용의 가치 및 관련자료와 함께 가능한 한 정량적 평가를 하도록 요구

- OIRA에서는 연간 60-80개의 경제적으로 중요한 규제를 심사

② 중요규제이지만 경제적으로 중요한 규제는 아닌 규제

- 경제적으로 중요한 규제가 아닌 중요규제에 대해서도 정량적 분석을 요구하지만 그 요구수준은 경제적으로 중요한 규제에 비해서는 약한 수준이며 정량적 분석과 정성적 분석을 혼용
- 이러한 규제에 대한 심사는 연간 400여건 정도임

□ 캐나다의 규제영향분석제도

▶ 개관

○ 1978년 'Socio-economic Impact Analysis'에서 출발하여 1986년에 'General Impact Analysis'로 발전했다가, 1999년에 내각지침에 의하여 RIAS(Regulatory Impact Analysis Statement)로 발전

○ 단, 캐나다는 법(Primary Laws)과 하위령(Subordinate Regulations)에 대하여 비슷하기는 하나 약간 다른 규제영향분석제도를 취함

- 법과 정책에 대하여는 RIA와 유사한 MC(Memorandum to Cabinet)라는 것을 요구하여 RIA에 같음

- 이 MC는 RIA보다는 그 분석이 철저하지 못한 것으로 보이는데, 이는 캐나다에서 법과 정책에 대해 국회 등에서 충분한 논의과정을 거치므로 엄격한 RIA를 적용하지 않는 것으로 판단됨(하위령에 대하여는 RIAS가 요구)

○ 연방규제정책(The Government of Canada Regulatory Policy)에 의하여 모든 규제적 조치에 대해 RIAS를 요구

- RIA의 적용범위

- 군, 세금, 사법관련법 등 모든 사항에 대하여 적용하나 군 관련사항 등에 대하여는 비공개
- 다만 국가안보·국방·치안사항과 CRCT(캐나다 라디오 통신위원회) 소관사항에 대하여는 광범위한 의견수렴 절차 및 투명한 검증 등을 통하여 사전적으로 검증되므로 RIA를 적용하지 않음

○ 특정문제를 해결하기 위한 대체안들은 채택가능성(degree of acceptance)과 소요비용 정도에 따라 대규모(major), 중간(intermediate) 및 저비용(lower-cost)의 대안으로 분류하여 각각 검토

○ 1994년에는 대규모 규제안에 대해 그리고 '95년에는 증가 및 저비용 규제안에 대해 적용하기 위한 비용편익분석 편람을 만들어 활용

▶ 규제영향분석의 주요내용

① 분석명칭 및 목적

- RIAS(Regulatory Impact Analysis Statement) : 규제영향분석 보고서
- 해당규제가 최적 해결방식이고 순편익을 극대화한다는 점을 제시함으로써 각 규제기관의 장이 최종 판단에 활용되도록 함

② 의사결정기준

○ 각 규제기관들은 선택한 규제가 비용에 비하여 편익을 극대화시키고, 또한 도출되는 편익이 모든 종류의 비용을 정당화시킬 수 있다는 점을 증명해야 하며, 경쟁과 시장개방에 관한 영향은 모두 고려되어야 함

○ 단, 새로운 규제도입으로 인한 수혜자가 피해자를 보상하지 못할 수 있기에 경제적으로 효율성이 제고되었다는 것은 제도도입의 충분조건은 아님. 따라서 개인간, 지역간 또는 기업간에 발생하는 심각한 부의 이전을 측정하는 공평성 측면이 뚜렷하게 검토되어야 함

③ 분석자의 주요임무

- 모든 경우에 있어서 대체안들 각각에 대하여 만약 집행되었을 때 어떤

일이 발생하며, 그때의 결과가 만약 정부가 아무 조치도 취하지 않았을 때와 어떤 차이가 있는지를 규명

④ 분석방법 및 절차

○ 분석에 투입되는 노력의 정도는 규제 총비용에 비례해야 하고, 계량화시킬 수 있거나 기타 다른 효과들이 검토되어야 하며, 환경 및 안전규제들에 대해서는 종합적인 제안이 첨부되어야 함

○ 비용은 업계, 소비자, 정부부문으로 구분하여 별도로 산정되어야 하고, 비용과 편익은 모두 10%의 할인율이 적용되어야 하며, 아울러 5% 및 15%를 이용하여 민감도분석을 시행

○ 단, 업계에 대한 비용이 막중할 때 분석자는 추가로 다음 두가지 기법을 사용

- 비즈니스영향검사(Business Impact Test) : 업계에 부과되는 비용의 속성과 규모를 산정할 수 있는 소프트웨어

- 규제비용회계프로토콜(Regulatory Cost Account Protocol) : 특정 규제 정책에 변화가 생겼을 때 개인기업 차원에서 소요될 비용을 구체적으로 산정할 수 있는 도구

○ 분석은 규제기관에 의해 수행되며, 모든 단계에서 광범위한 협의가 이루어져야 함. 규제도입에 대한 최종적인 결정을 하기 전에 RIAS가 의사결정자들에게 전달되도록 하며, 모든 RIAS는 공공자료로서 초안부터 관보에 게재

□ 멕시코의 규제영향분석제도

▶ 개관

○ 1996년에 행정절차법 개정을 통해 민간부문에 비용을 유발하는 모든 규제에 대해 규제영향분석서를 제출토록 의무화함

○ 멕시코에서도 규제영향분석제도는 순탄하지 않았는 바, 1992년부터 기술적 기준에 대한 BC분석을 요구하였으나 실제운영과정에서 많은 문제가 발생함

- BC분석을 책임진 자문위원회는 과학적이고 객관적인 자료의 산출에 어려

움이 있었고 단지 정성적 분석 및 정치적인 고려사항만 열거

- 결과적으로 BC분석은 의사결정의 근거자료 보다는 불필요한 문서업무만 추가함

- 또한 초기에 규제심사 절차는 입안의 마지막 절차로 규제기관은 제3의 기관에서 심사받는데 익숙치 않았고 상호협의를 할 수 있는 충분한 시간도 확보하지 못함

- 즉 규제심사는 갈등만 야기하고 장기간의 협의로 인해 제대로 수행되지 못함

- 결국 1998년에 이르러서야 그간의 규제영향분석제도의 문제점을 분석하고 6개월간의 실험적 방법을 통해 규제영향분석제도가 정착됨

▶ 규제영향분석 적용대상

- 규제영향분석은 민간부문에 비용을 유발하는 모든 규제에 대해 실시해야 하며 독점사업자에 대한 비대칭적 규제도 규제영향분석을 요구

- 일반적인 RIA 적용대상 예외(행정절차법 및 다른 연방법에 규정)

- 국가방위, 해상, 재정정책, 공무원 의무, 농업·노동관련 사법적 절차에 관한 규제(행정절차법)
- 단 한번에 처리해야하는 긴급상황에 대비한 규제(기술표준법)
- 재해 및 비상시 확정된 법규에 관련된 규제(시민보호법)
- 국민건강에 관한 특별법의 법규와 이와 관련된 규제(보건법)

□ 우리나라의 규제영향분석제도

▶ 개관

○ 규제영향분석의 작성은 새로운 규제를 신설 또는 기존규제의 강화를 검토하는 각 부처가 작성하여, 그 타당성 여부를 자체적으로 우선 심사

- 각 부처의 결과를 기초로 규제개혁위원회에서 2차 심사를 실시

○ 규제영향분석 실명제

- 규제영향분석 작성에 관여한 국장·과장 또는 이에 상당하는 공무원의 인적사항을 명시

① 규제영향분석 대상

○ 1998.6.1 이후의 신설규제, 기존규제중 강화되거나 존속기한을 연장하는 규제

- 1998.6.1 이후 법제처 법령심사 및 국무회의 심의를 요청하는 규제부터 적용

○ 중요규제는 규제개혁위원회(본위원회)가 심사를 하는 현행체제를 유지하되 규제영향분석 유형을 다양화하고 전문화 할 필요

② 개선방향

○ 모든 규제에 대해 규제영향분석을 실시하되 규제의 중요도와 성격에 따라 요구되는 계량화 수준을 차별화

- 미국은 모든규제에 대해 RIA를 요구하되, 중요규제만 심사를 하고 있으며 경제적으로 중요한 규제에 대해서는 정량적 분석을 요구

- 캐나다는 법률은 국회에서 충분한 논의과정을 거쳐 제정되므로 RIA보다 완화된 MC를 실시하고 하위법령은 엄격한 RIA를 요구

- 멕시코는 모든 규제에 대한 RIA를 요구하되, 규제의 중요도에 따라 RIA의 요구수준이 다름

- 규제영향분석을 체계적이고 전문적으로 수행할 수 있는 인력이 부족하고 기법개발이 미흡한 바, 규제영향분석에 관한 지속적인 보완·발전 추진
 - 미흡한 규제영향분석기법, 특히 비용편익분석의 이론과 기법을 중점적으로 개발·발전시켜 규제영향분석을 내실화
 - 규제영향분석 전문가풀을 설치하여 분야별 전문가로 하여금 일선공무원의 규제영향분석시 부족한 전문지식과 노하우에 대해 자문
 - 규제개혁 담당자에 대한 체계적인 교육 및 실무를 통해 규제영향분석 능력을 제고

□ 비용과 편익의 개념

비용과 편익의 개념을 정확히 정의하기는 어려우나 다음과 같은 방법으로 정의될 수 있다. 자원(resources)과 환경의 여러 속성들(attributes)이 인간에게 일련의 귀중한 서비스를 제공한다는 점에서 이런 자연-환경체계의 경제적 가치의 변화에서 비용과 편익이 발생한다고 볼 수 있다. 이런 서비스의 증가는 편익으로, 감소는 비용으로 파악된다. 즉 정부정책이나 공공의 의사결정이 이런 자연-환경체계에 영향을 줄 때 그 사회 구성원이 이런 자원의 사용이나 환경의 변화로부터 얻는 것의 가치는 '편익(benefit)'이 되고 이로 인해 그 사회 구성원이 포기해야 하는 것(같은 자원의 다른 용도로의 사용)의 가치는 '비용(cost)', 즉 기회비용(opportunity cost)이 된다.

이런 비용과 편익의 이론적 개념은 실제 분석에 적용될 때는 그 범위를 명확히 해야 한다. 규제와 관련한 비용편익은 주로 국민경제 관점, 즉 사회적 관점에서 파악한 비용편익을 의미하며 개인단위의 비용편익과는 다르다는 점에 주의해야한다. 따라서 정부정책이나 공공사업의 비용편익분석에서 편익의 개념을 소비나 투자의 증가로 보는 견해(이정전)도 존재한다. 이런 경우 편익은 결국 '국민소득의 증가'를 의미하게 된다. 또한 비용이란 포기된 편익을 의미하기 때문에 결국 부호만 다른 편익의 개념으로 파악된다. 그러나 비용편익에 대한 이런 거시적 개념은 미시경제학과 거시경제학의 문제처럼 일반적인 비용편익분석이론에서 사용되는 개인의 선호에 근거한 미시적 비용편익 개념과 정확히 일치한다고 보기 어렵다. 즉 미시적 분석에서 도출된 개인의 편익

의 합계가 거시적 개념으로 파악된 편익의 크기는 서로 다른 종류로 직접 비교하기 어렵다. 거시적 개념으로 파악된 비용편익분석은 주로 공공사업의 경제적 분석에 이용된다.

가. 노출기준 제·개정 필요성

(1) 규제 정의

노동부장관은 근로자의 건강장해를 유발하는 화학물질 및 물리적 인자 등을 노동부령이 정하는 분류기준에 따라 분류하고, 유해인자의 노출기준을 정하여 관보 등에 고시하며(산업안전보건법 제29조) 유해인자의 노출기준을 정하는 때에는 유해인자에 의한 건강장해에 관한 연구·실태조사의 결과, 유해인자의 유해·위험성의 평가결과, 그리고 유해인자의 노출기준 적용에 관한 기술적 타당성을 고려하여야 한다(산업안전보건법 시행규칙 제81조의 2).

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 보고하여야 하며 작업환경측정의 결과를 당해 작업장 근로자에게

알려야 하며 그 결과에 따라 근로자의 건강을 보호하기 위하여 당해 시설 및 설비의 설치 또는 개선 등 적절한 조치를 하여야 한다(산업안전보건법 제42조).

따라서 노출기준은 유해요인으로부터 근로자의 건강을 보호하기 위한 작업환경측정결과와 작업환경 개선을 위한 기준으로 사용할 수 있다.

현재 1,4-디옥산은 노동부고시 제2002-8호(2002. 5. 6) 화학물질 및 물리적인자의 노출기준에서 TWA 25ppm, 피부흡수주의표시물질로 규정하고 있다.

(2) 규제의 필요성

현재 우리나라의 1,4-디옥산에 대한 노출기준은 노출기준 제·개정 절차가 마련된 상태에서 과학적, 기술적 근거를 토대로 설정된 것이 아니라 미국의 ACGIH에서 제안하는 TLV를 그대로 적용한 노출기준이다. 그러나 ACGIH에서는 매년 연구자료를 근거로 노출기준 제·개정에 대한 논의가 이루어졌으며 노출기준 또한 변화하였다. 다른 선진국에서도 경제적 위상과 직업병 감소라는 사회적 분위기에 노출기준을 강화하고 있다.

또한 꾸준한 작업환경개선을 통하여 근로자의 노출수준은 낮아지고 있으나 최근 구 결과들은 지금의 노출기준 이하에서도 건강장해가 발생할 수 있다는 보고들이 발표되고 있다.

따라서 현재의 1,4-디옥산에 대한 노출기준을 검토하여 근로자의 건강을 예방하기 위한 노출기준의 개정이 필요하다.

(3) 규제의 목표 설정

1,4-디옥산의 노출기준을 선진국의 수준으로 개정하여 1,4-디옥산 취급 근로자들의 직업병을 최소화 하고자 한다.

현재 시행되고 있는 노출기준

- TLV-TWA : 25ppm (90mg/m³)
- 피부흡수주의표시

노출기준 제안

- TLV-TWA : 20ppm (72mg/m³) ※ 개정
- 피부흡수주의표시 ※ 현행유지
- A3 ※ 개정

노출기준 제안근거 : 근로자를 건강을 보호하기 위해서는 선진국들의 1,4-디옥산의 공통적인 강력한 규제 흐름을 받아들여 미국 ACGIH에서 제안하는 노출수준으로 관리하는 것을 제안한다.

나. 노출기준 제·개정의 실현 가능성

(1) 규제에 대한 반대 및 사회적 제약 요소

1,4-디옥산의 TWA를 20ppm으로 개정 할 경우 현재 노출기준인 TWA 25ppm보다 강화되는 기준이지만 1,4-디옥산 취급사업장을 조사한 결과 근로자에 대한 노출수준이 현행 기준치 보다 매우 낮은 수치로 개정 후에도 초과한 사업장은 없어 규제에 대한 반대 여론은 없을 것으로 예상 된다.

(2) 기술수준 등에 비추어본 실현 가능성

1,4-디옥산을 취급 사업장은 1,4-디옥산이 노출 될 수 있는 공정을 자동화 또는 밀폐 시키고 국소배기설비를 갖추고 있어 개정되는 노출기준 수준이하로 유지가 가능하다. 현재 한국산업공단을 통해 사업장의 작업환경개선 비용 및 기술적인 지원을 하고 있으므로 조사되지 않은 해당 사업장에서 높은 수준의 노출이 발생하더라도 개선비용의 충당이 가능하다고 예상되므로 실현 가능하다고 판단된다.

다. 노출기준 제·개정외 대체수단 존재 및 기존규제와의 중복 여부

(1) 기존규제로 대체가능 여부

기존 규제 수준인 TWA 25ppm에서도 1,4-디옥산 취급 사업장의 노출농도는 낮은 수준이었지만 1,4-디옥산이 인간에 대한 미치는 영향으로는 50ppm 이상에서는 눈과 호흡기관을 자극하며 만성노출시 간과 신장에 중대한 손상을 준다는 결과 지속적으로 보고되고 있고 1,4-디옥산이 무채색에 달콤한 액체로 휘발성이 강한 물질임을 감안하여 강화된 TWA 20ppm으로 규제할 때 사업장의 개선을 장려하여 산업안전보건법의 궁극적인 목적인 근로자의 건강장해 사전에 예방할 수 있다.

(2) 규제 외 다른 방법으로 목적달성 여부

1,4-디옥산의 노출기준은 1,4-디옥산을 직접 취급하거나 노출되는 근로자들의 건강을 근본적으로 예방하기 위해서 사용 자체를 규제하는 것이지만 사용 규제 시 해당 사업자에 커다란 영향이 있을 것이다.

따라서 작업환경개선 여부 및 작업환경측정 결과의 평가 기준으로 사용하는 노출기준을 강화하여 작업환경을 개선시키는 방법 이외에는 다른 방법이 없다.

(3) 유사한 기존규제와 중복 여부

1,4-디옥산에 노출되는 근로자들을 대상으로 작업환경측정결과에 대한 평가 기준으로 활용되고 해당 작업환경을 개선토록 활용하고 있는 기준으로 유사한 기존 규제는 없다.

(4) 규제의 확대 재생산 가능성

1,4-디옥산에 노출되는 근로자들과 해당 공정에 대해서만 활용하는 규제로 확대 재생산의 가능성은 없다.

라. 노출기준 제·개정 규제의 비용과 편익의 비교분석

(1) 규제의 비용분석

가) 직접비용

- 작업환경 개선비용

노출기준을 개정하는 경우 사업장이 노출기준을 초과한 사업장 없으므로 작업환경개선을 위한 투자비용이 소요되지 않는다. 산출근거는 2003년도 산업안전공단의 영세사업장 작업환경시설개선 자금 융자비용 사업장당 평균 43,000,000원으로 설정하였다.

▶ 작업환경개선비용: 43,000,000원/사업장 × 0개 사업장 = 0원

- 작업환경측정비용

관리대상유해물질로 규정되어 있지 않아 지금까지 작업환경측정이 이루어지지 않았다. 따라서 추가 작업환경측정비용을 산출하였다. 산출 근거는 본 연구조사 대상 7개 사업장에서 평균 5명의 개인시료를 채취하였다. 시료 1개당 작업환경 측정 및 분석비용을 61,800원 으로 계산하였다.

▶ 작업환경측정비용: 7개 사업장 × 5명/사업장 × 61,800원 = 2,163,000원

- 기타 직접비용

기타 직접 비용으로 국소배기시설 점검 비용, 보호구 지급 비용, 보건교육 실시 비용 및 특수건강진단 실시 비용 있으나 현재 산업안전보건법에 준하여 실행하고 있는 사항으로 투자비용이 없다.

따라서 개정 규정에 따른 규제의 총 비용은 2,163,000원이다.

나) 간접비용

직접비용의 시행에 따른 간접비용 기타 직접 비용으로 국소배기시설 점검 비용, 보호구 지급 비용, 보건교육 실시 비용 및 특수건강진단 실시 비용 있으나 현재 산업안전보건법에 준하여 실행하고 있는 사항으로 투자비용이 없다.

(2) 규제의 편익분석

노출기준 강화에 따른 편익은 직업병 발생으로 인한 손실비용을 추정하였으며 직접손실은 산업재해보험 보상급여(요양급여, 휴업급여, 장해보상 등 총 급여비용)로 한정하였으며 업무상 질환자를 물질별로 분류하지 않고 중금속, 유기용제, 특정화학물 등으로 분류하고 있어 1,4-디옥산에 대한 직업병 발생 건수를 파악 할 수 없다. 따라서 유기용제 특수건강진단 결과 D1, C1으로 판정 받은 근로자는 직업병으로 악화될 가능성이 있는 잠재 위험 군으로 이에 대한 직업병 예방을 통해 편익이 발생하므로 직접 편익으로 계산하였다.

▶ 2003년도 산업재해 분석에서 산재 1인당 직접손실비용은 32,000,000원, 간접손실비용은 128,000,000원으로 산업재해 발생시 1인당 총 160,000,000원의 손실비용이 발생한다.

▶ 직업병 발생 가능율은 2004년 산업안전공단에서 연구한 규제영향분석 자료에서 제시한유기용제의 직업성질환 최소 발생률 0.0587%와 최대 발생률 1.973%에 대한 평균 1.02%로 계산하였다.

- 직접편익 비용 산출

현재 조사된 1,4-디옥산 취급 근로자의 직업병 발생 가능율을 추정하면

$$35명 \times 0.0102 = 0.357명$$

산재발생시 1인당 직접손실비용 32,000,000원 $\times$ 0.357명으로 11,424,000원의 비용 편익이 발생함

- 간접편익 비용 산출

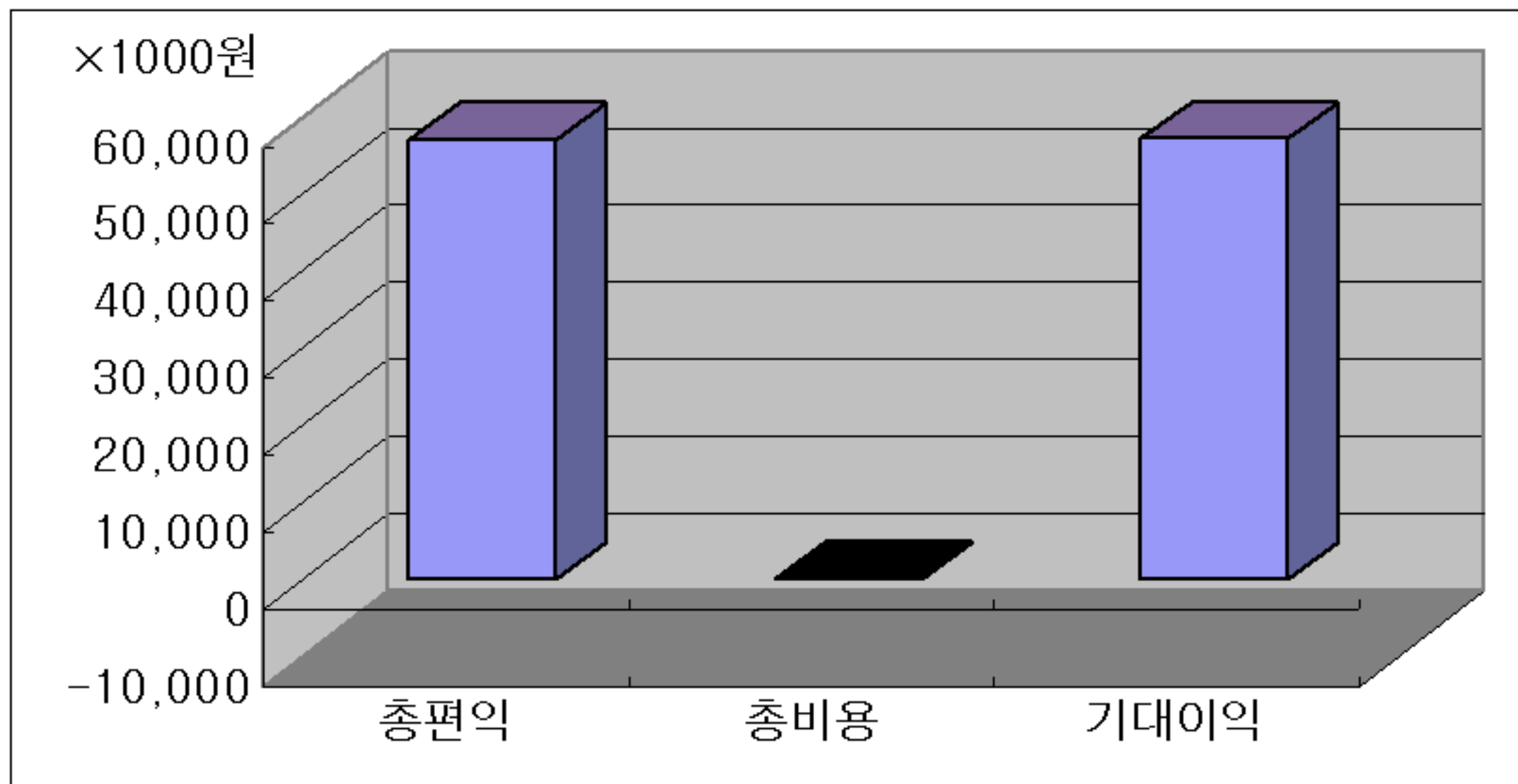
산재발생시 1인당 간접손실비용 128,000,000원 $\times$ 0.357명으로 45,696,000원의 비용 편익이 발생함

▶ 총편익 비용 = 직접편익비용 + 간접편익비용

$$57,120,000원 = 11,424,000원 + 45,696,000원$$

(3) 비용 · 편익의 비교 및 검토

노출기준 강화에 대한 비용 · 편익 비교결과 기대되는 이익이 57,120,000원으로 노출기준 강화시키는 것을 더 큰 이익이 발생된다(그림 3-136).



[그림 3-136]비용 편익 비교

현재 한국산업안전공단에서 “CLEAN사업장조성사업”을 진행하고 있으며 무상지원이 3000만원 화학업종의 경우 4000만원까지 무상으로 지원이 가능하다.

결론적으로 작업환경개선 비용을 국가에서 부상지원 받는다면 총비용은 작업환경측정 비용부분으로 309,000원이 소요되며 이에 대한 비용·편익을 비교하면 기대 이익이 57,429,000원으로 비용-편익적이라고 할 수 있다.

마. 노출기준 제·개정 규제의 경쟁 제한적 요소 포함 여부

(1) 시장경쟁 제한요소 포함 여부

작업장에서의 유해요인에 대한 작업환경개선을 위한 기준과 작업환경측정 결과의 평가기준으로 사용하는 노출기준을 강화하는 것은 근로자의 건강을 보호하는데 기여함으로써 기본적인 인권의 보호라는 차원에서 의미가 있다.

(2) 기업활동 저해요소 포함 여부

노출기준 강화로 인한 작업환경이 쾌적하게 조성된다면 근로자들의 직업병 발생에 대한 불안감 해소, 기업에 대한 애사심 증대 등으로 생산력을 증가시

키는 요인으로 작용할 수 있다.

바. 노출기준 제·개정 규제내용의 객관성·명료성

(1) 규제기준, 절차의 명확성

본 연구는 미국을 포함한 선진국(일본, 영국, 독일, 프랑스, 유럽연합 등)의 1,4-디옥산에 대한 노출기준 설정 배경 및 근거를 연구하였으며 국내에서 1,4-디옥산을 취급하는 사업장에서 근로자들의 노출 실태 파악 및 작업환경상태에 대한 조사를 통하여 경제적, 기술적 영건을 고려하여 설정하였다.

1,4-디옥산 노출기준 개정에 대한 관계 전문가, 노·사 대표 등이 참석한 공청회를 거쳐 의견을 수렴한 기준이다.

노출기준 개정은 노동부 관련 고시를 개정해야 하는 것으로 향후 정부에서 고시 개정 절차에 따라 명확히 추진 하고자 한다.

(2) 규제의 법적근거 및 존속기한의 타당성 여부

산업안전보건법에서 유해인자의 관리 및 작업환경측정의 근거 법규가 존속하는 한 지속적으로 필요하므로 존속 기간의 설정은 부적절하다.

9. 취급근로자 건강장해 예방조치

일반적인 건강장해 예방조치 사항은 한국산업안전공단 KOSH CODE H-12-2005 유기화합물 취급관리지침을 참고하였으며 연구대상 사업장 및 국내 노출 사업장 특성에 맞는 1,4-디옥산 예방조치를 기술하였다.

가. 유해공정별 작업환경관리요령

(1) 국소배기장치의 설치 및 관리

작업특성상 유기화합물 증기의 발산원을 밀폐하는 설비를 설치하기가 곤란한 경우에는 작업 특성에 적합한 형식의 성능을 갖춘 국소배기장치를 설치하고 관리한다.

가) 국소배기장치의 설치

유기화합물 취급 업무를 행하는 작업장에 국소배기장치를 설치하는 경우에는 다음에 적합한 구조로 한다.

- 국소배기장치의 후드는 작업 방법, 유기화합물 증기의 발산 상태 및 유기화합물 증기의 비중 등을 고려하여 유기화합물 증기를 흡인하기에 적당한 형식과 크기로 선택한다.

① 후드는 유기화합물 증기가 발생하는 발산원마다 설치한다.

② 후드의 형식은 포위식 또는 부스식 후드를 설치하는 것을 원칙으로 한다.

③ 포위식 또는 부스식 후드를 설치하기가 곤란한 경우에는 외부식 또는 레시바식 후드를 설치하되 유기화합물 증기가 발생하는 발산원에서 가장 가까운 위치에 설치한다.

- 국소배기장치의 덕트 길이는 가능한 한 짧게 하고 굴곡부의 수를 적게 하여 압력손실을 최소화한다.

- 국소배기장치는 후드, 덕트, 공기정화장치, 배풍기, 배기구의 순으로 설치하는 것을 원칙으로 하며, 흡인된 유기화합물의 증기에 의하여 폭발할 우려

또는 배풍기의 날개가 부식될 우려가 없는 경우에는 배풍기를 공기 정화장치의 앞에 설치할 수 있다.

- 국소배기장치의 배기구 는 직접 외부로 향하도록 한다.
- 공기정화장치를 설치하지 아니한 국소배기장치의 배기구 높이는 옥상 또는 옥상 난간 상부로부터 건물 높이의 0.5배 이상으로 하여 배출된 유해물질이 당해 작업장으로 재 유입되거나 인근의 다른 작업장으로 확산되지 않는 구조로 한다.
- 국소배기장치에 공기정화장치를 설치하는 경우에는 고체흡착 방식, 연소 방식 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 공기정화장치를 설치한다.
- 유기화합물 취급 업무를 행하는 작업장에 설치된 국소배기장치의 성능은 다음 표 3-63에서 정하는 제어풍속 이상이 되도록 한다.

<표 3-63> 유기화합물 취급 업무 관련 국소배기장치 후드의 제어풍속

물질의상태	후드형식	제어풍속(m/s)
가스상	포위식 포위형	0.4
	외부식 측방흡인형	0.5
	외부식 하방흡인형	0.5
	외부식 상방흡인형	1.0

1. 물질의 상태에서 “가스상”이라함은 유기화합물이 후드로 흡인될 때의 상태가 가스 또는 증기인 경우를 말한다.

2. 이 표에서 제어풍속이란 국소배기장치의 모든 후드를 개방한 상태에서 측정한 제어풍속을 말한다.

3. 이 표에서의 제어풍속은 후드형식에 대하여 각각 다음에 정한 위치에서 풍속을 말한다.

(가) 포위식 후드에서는 후드 개구면에서의 풍속

(나) 외부식 후드에서는 당해 후드에 의하여 유기화합물을 흡인하고자 하는 범위 내에서 당해 후드 개구면으로부터 가장 먼 작업위치의 풍속

나) 국소배기장치의 정상 가동

유기화합물을 취급하는 작업장에 설치된 국소배기장치를 가동하는 경우에는 다음 사항을 준수한다.

- 국소배기장치는 설치 목적에 알맞도록 가동하고 작업 중에 작업자가 임의로 가동을 중지시킬 수 없는 구조로 한다.
- 국소배기장치가 정상 가동이 되지 않는 경우에는 작업자가 이상 상태를 즉시 인지할 수 있도록 경보장치 등을 설치한다.
- 유기화합물 등의 증기가 발산되어 근로자가 급성중독의 위험이 있거나 화재·폭발의 위험이 있는 경우에는 작업을 중단하거나 제한할 수 있도록 하고 관련시설, 장비 등의 가동이 자동적으로 중단되도록 한다.
- 작업이 종료된 이후에도 작업장 내에 유기화합물 증기가 발산되는 제품 등이 있는 경우에는 유해요인이 제거될 때까지 국소배기장치를 계속 가동한

다.

- 당해 국소배기장치의 가동 여부를 수시 확인하고 필요할 때는 가동일지 등을 기록, 보관한다.

다) 국소배기장치의 관리

국소배기장치를 설치한 후 처음 사용하거나 분해하여 개조 또는 수리한 후 처음 사용할 경우에는 다음 사항을 점검하고 이상을 발견하면 즉시 청소, 보수하는 등 필요한 조치를 하여 항상 성능이 유지되도록 한다.

- 덕트 및 배풍기의 분진 퇴적 상태
- 덕트 접속부의 이완 유무
- 흡기 및 배기 능력의 적정성
- 기타 국소배기장치의 성능 유지를 위해 필요한 사항

라) 국소배기장치 성능이 저하될 때 대책 수립

국소배기장치의 정상 가동을 위하여 다음 표 3-64와 같이 후드의 흡인 능력을 조사하고 성능이 저하되는 경우 적절한 대책을 수립한다.

<표 3-64> 국소배기장치의 성능 저하 원인 및 대책

구 분	대 책
규정된 송풍기 회전수 부족	벨트의 장력조정, 전기배선 점검 및 보수
송풍기 풍량 부족	후드 개구 면적, 흡인 거리, 방해 기류, 반송속도 재평가
댐퍼 조정 불량	댐퍼의 점검 및 보수
덕트의 마모로 외부 공기 유입	접속부분 누출 유무 점검 및 보수
보충공기 부족	보충용 급기시스템 설치 또는 외기의 유입이 용이한 구조로 변경

(2) 1,4-디옥산 노출 사업장의 국소배기장치의 설치

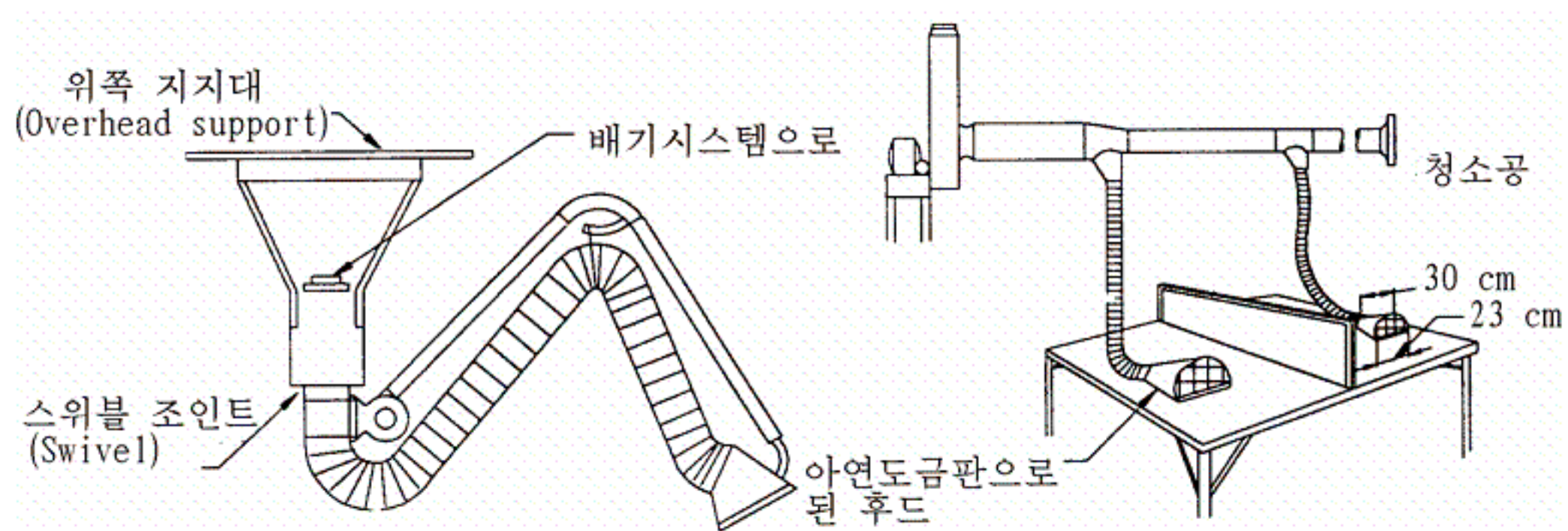
본 연구에서 조사한 사업장의 1,4-디옥산 취급 시 노출양상은 주로 특정 작업이 이루어 질 때 고농도로 노출되고 있다. 예를 들면 1,4-디옥산을 저장기로 이송하는 작업, 1,4-디옥산 회수작업, 슬러지 제거 작업, 원료투입 및 반응기 세척 작업 등이다. 이러한 작업에 대한 적절한 국소배기장치를 설치하면 지금 노출수준보다 낮은 노출기준 이하로 관리가 가능하다고 생각된다.

가) 이송, 회수, 슬러지 제거 작업

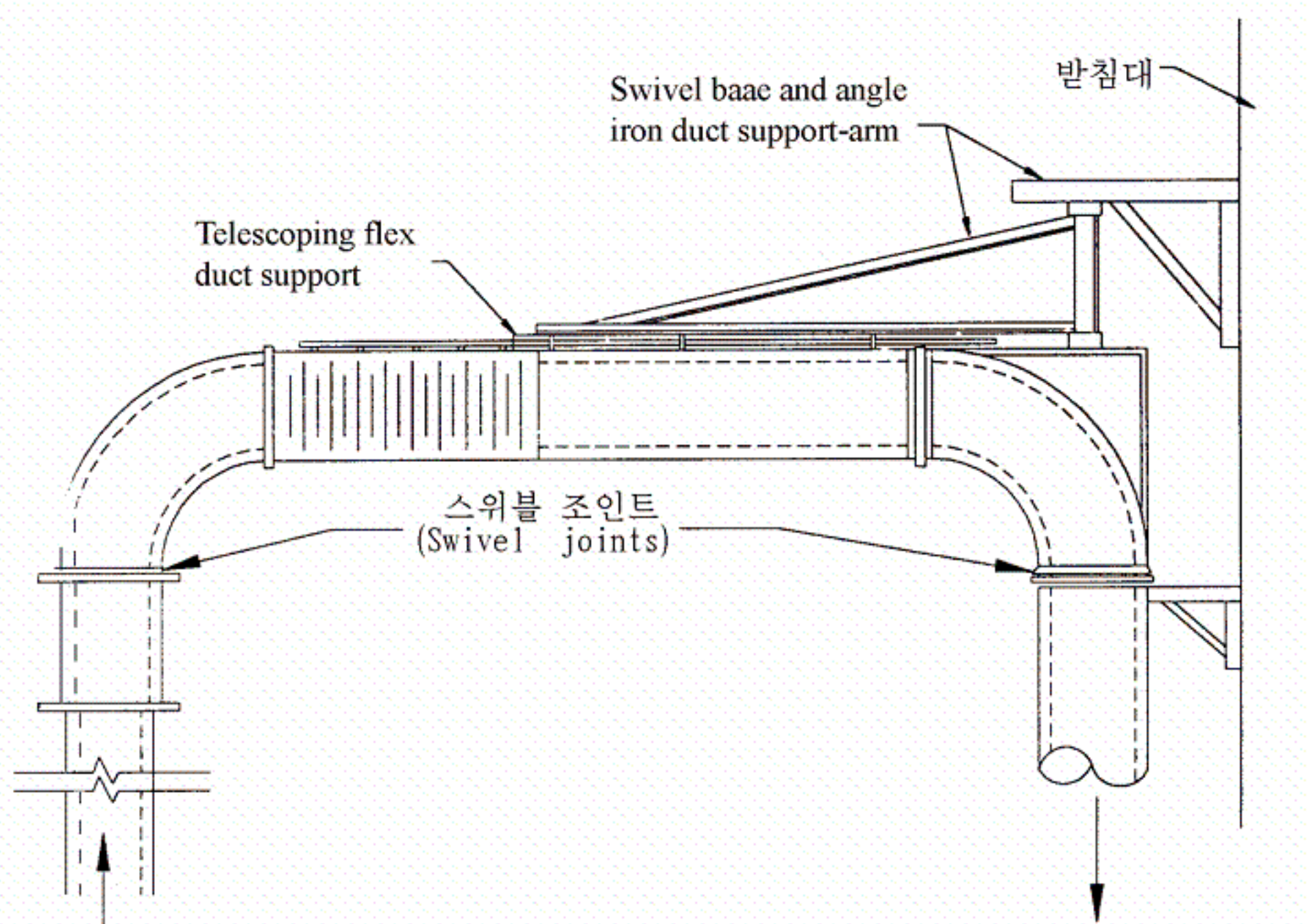
다음 그림과 같이 1,4-디옥산을 저장기에 이송시 원료 뚜껑을 열고 이송작업을 하는 동안 노출될 수 있으며 슬러리 작업이나 회수 작업시 상부에 설치된 후드가 간격이 멀고 오히려 더 많이 노출 될 상황이 발생한다. 작업이 8시간 내내 연속적으로 이루어지는 작업이 아니므로 후드를 이동 배기 후드(moveable exhaust hood)를 설치하여 작업시 발생원 가까이에 설치하여 제거하는 것이 효과적이다.



[그림 3-137] 이동 가능한 후드



플렉시블 후드 사용예
(FLEXIBLE EXHAUST CONNECTIONS)

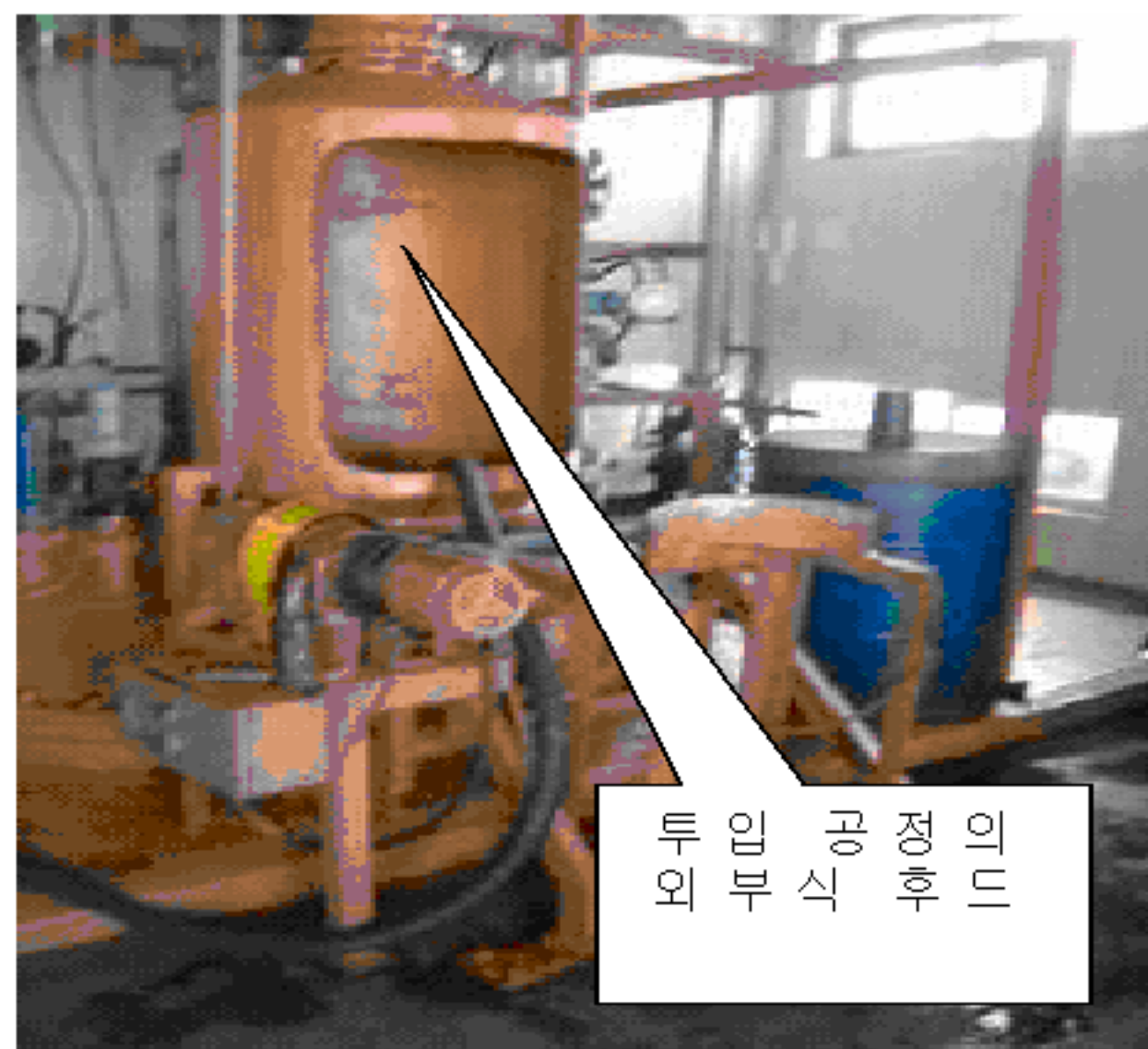


[그림 3-138] 이동배기 후드

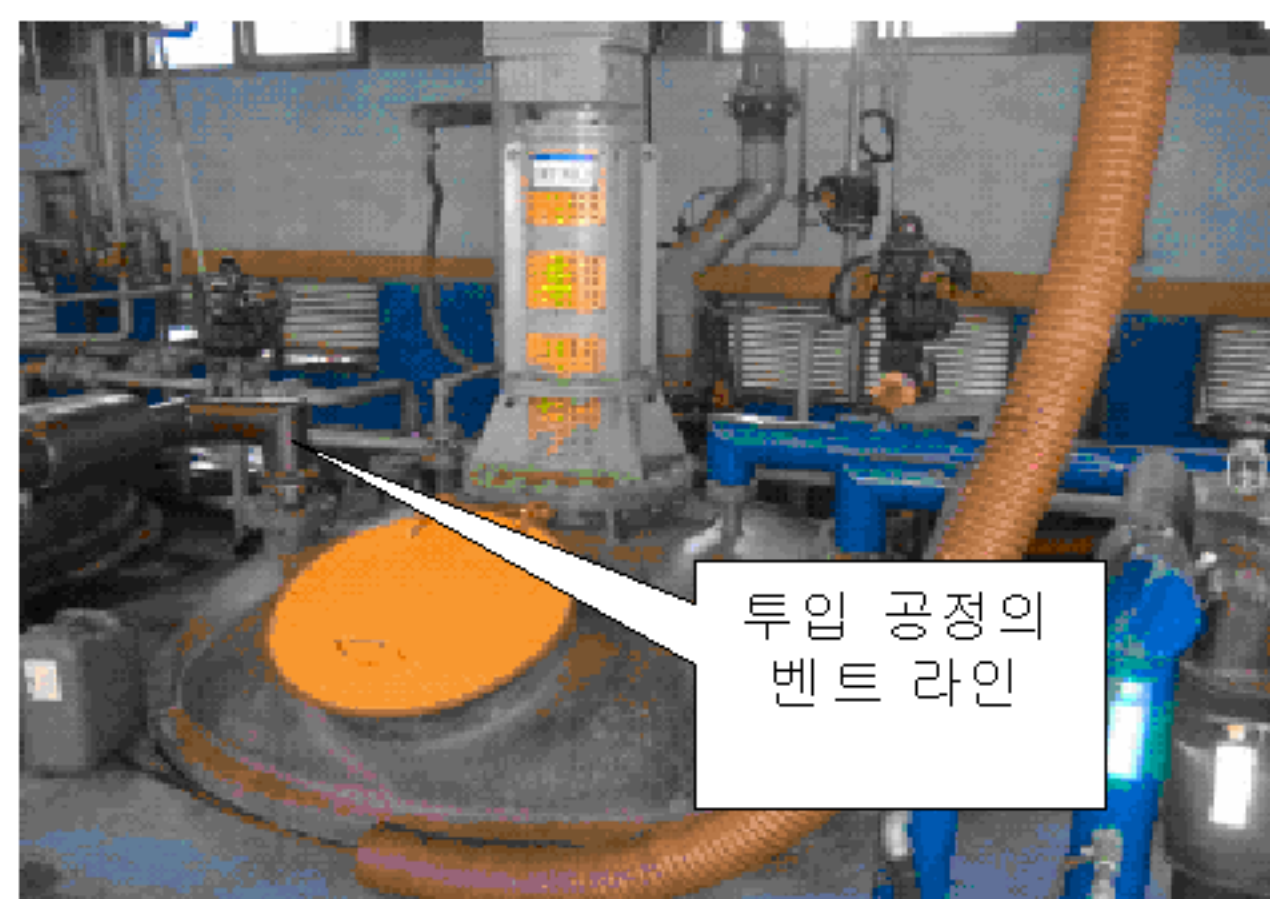
출처: 창원대학교 산업화기연구실, <http://vsds.x-y.net/main.htm>

나) 원료투입 작업

광학렌즈 원료제조공정과 계면활성제 제조 공정에서 원료투입 공정이 1,4-디옥산이 가장 많이 노출되는 공정으로 투입구 주변에 외부식 후드를 설치하거나 반응기에 벤트라인을 설치하여 투입시 가동할 경우 근로자들의 노출을 최소화 할 수 있다. 본 조사 시 사진 촬영이 불가능한 관계로 타 공정의 예를 첨부 하였다(그림 3-139)(그림 3-140).



[그림 3-139] 투입공정의 외부식 후드



[그림 3-140] 투입공정의 벤트라인

나. 취급 안전조치

(1) 유해물질의 대체 사용

- 유기화합물을 사용하는 경우 가능한 한 현재 취급하고 있는 물질보다 유해성이 적은 물질로 대체한다.
- 물질을 대체하는 경우에는 물질안전보건자료(MSDS)등의 자료를 면밀히 조사·검토하여 가능한 한 저독성 또는 무독성 물질로 선정한다.

(2) 작업공정의 적정 배치

작업장 내에 유기화합물 취급 업무가 이루어지는 작업공정을 배치시키는 경우에는 다음과 같은 조치를 취한다.

- 해당 공정이 분산 배치되지 않도록 하고 가능하면 타 작업장과 격리시킨다.
- 해당 공정을 가능한 한 자동화한다.
- 관련 기계, 기구 등을 배치할 때는 가능한 한 밀폐시키거나 국소배기장치 등을 설치하여 근로자에게 유기화합물에 의한 노출을 최소한으로 줄이도록 한다.

(3) 유기화합물 증기 발산원의 밀폐 등 조치

유기화합물 취급 업무를 행하는 작업장에는 다음과 같이 유기화합물의 증기 발산원을 밀폐하는 설비를 설치한다.

- 작업상 필요한 개구부를 제외하고는 완전히 밀폐시킨다.
- 유기화합물의 보관장소 등 밀폐된 작업장소에서는 내부의 공기가 밖으로 나오지 않도록 한다.
- 작업특성상 밀폐실 내부의 공기가 밖으로 나오지 않도록 하는 것이 곤란한 경우 또는 개구부 등을 통하여 유기화합물 증기가 누출되는 경우에는 해당 부위에 국소배기장치를 설치하여 가능한 한 유기화합물의 발산을 최소화한다.

다. 취급근로자 노출방지조치

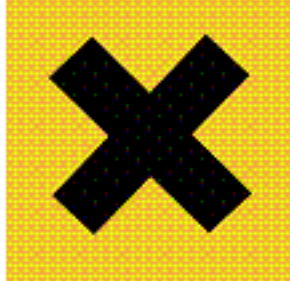
1,4-디옥산 취급 업무를 행하는 근로자는 1,4-디옥산에 의한 직업병을 예방하기 위하여 다음 사항을 준수한다.

- 1,4-디옥산 취급 작업장 내에서는 흡연을 하거나 음식물을 먹지 않는다.
- 1,4-디옥산 취급 작업을 실시한 후 식사를 하는 경우에는 손이나 얼굴을 깨끗이 씻고, 별도의 방에서 식사한다.
- 작업을 종료한 경우에는 샤워시설 등을 이용하여 손, 얼굴 등을 씻거나 목욕한다.
- 오염된 피부를 세척하는 경우에는 1,4-디옥산의 사용을 금하고 피부에 영향을 주지 않는 세척 크림 등을 사용한다.
- 퇴근할 때에는 작업복을 벗고 평상복으로 갈아입는다.
- 1,4-디옥산 취급 작업장 내에는 음료수 등 음식물을 비치하지 않아야 한다.
- 1,4-디옥산 취급 업무를 행하는 작업장에는 근로자가 이용할 수 있는 휴게시설을 설치하되 1,4-디옥산을 취급하는 장소와 격리된 장소에 설치한다.
- 1,4-디옥산 취급 업무를 행하는 작업장에는 세면, 목욕, 세탁, 건조 및 탈의시설 등을 설치하고 옷장, 보호구 보관함 등 필요한 용품과 용구를 비치한다.

라. 취급시 주의사항

1,4-디옥산은 산업안전보건기준의 제 11장에 의한 관리대상물질이며 고인화성물질, 유해물질, 자극성물질로 분류되어 있다(표 3-65). 위험물안전관리법에서는 제 4류 1석유류로 되어 있다. 독일 BGV A 8에 따른 1,4-디옥산의 위험물 표시는 표 3-66과 같다.

<표 3-65> 산업안전보건기준에 의한 1,4-디옥산의 위험물 표시

	고인화성물질		유해물질 자극성물질

<표 3-66> 독일 BGV A 8에 따른 1,4-디옥산의 위험물 표시

위험성표시		금지표시	
	F Highly flammable		No fire, open flame and smoking
	Xn Harmful		No admittance for unauthorized persons
경고표시		지시표시	
	Use safety goggles		Wear safety gloves
	Wear safety gloves		Use safety goggles

(2) 1,4-디옥산의 유럽공동체의 위험문구

R11 : 인화성이 강한

R19 : 폭발성 산화물 형성

R36/37 : 눈과 호흡기계통을 자극

R40 : 역행할 수 없는 효과의 위험성

R66 : 반복노출시 피부의 건조

S2 : 어린이들의 손이 닿지 않는 곳에 보관

S16 : 점화원이 없는 곳에 보관-금연

S36/37 : 적절한 보호의와 장갑을 착용한다

S46 : 만약 삼켰다면 즉시 의사의 조치를 받는다 그리고 이것을 용기 또는 라벨에 표시한다

(3) 인화성물질 제조·취급 안전조치

인화성 물질은 대기압하에서 인화점이 65℃ 이하인 가연성 액체로서 착화선이 되어 상온에서 용이하게 연소하는 물질로 많은 종류의 물질이 있다. 인화점이 낮은 물질은 상온이하에서도 불티나 불꽃 등에 의해 인화되며 인화점이 높은 물질도 인화점이상으로 가열시키면 같은 위험성이 생긴다.

예를 들면 보통 상태에서는 불을 접근시켜도 인화하지 않지만 가열하여 인화점 이상의 온도에 도달하면 인화되므로 항상 인화점과 액체온도를 비교하여 인화점 보다 낮은 온도에서 취급함으로써 위험성이 수반되지 않도록 각별히 주의깊게 취급되어야 한다.

또한 에틸알콜과 같이 인화점이 13℃로 상온부근인 물질은 겨울철에는 인화하기 어렵지만 조금 더워진 방에서는 인화의 위험성이 있다는 것을 명심하여야 함은 물론 여름철에는 액체온도가 에틸알콜의 인화점을 초과하므로 인화의 위험성은 상시 있다고 말할 수 있다. 따라서 인화점이 상온 부근인 물질은 특히 액체온도와 기체온도에 유의하는 것이 매우 중요하다.

인화성 물질로부터 발생하는 증기는 대부분 공기보다 무겁고 공기와 혼합되면 사소한 점화원으로도 격렬한 폭발을 일으킬 수 있는 위험성이 있다. 또한 인화성 물질에 속하는 많은 액체류는 물보다 가볍고 물에 용해되기 어려우며 물위에 뜨고 넓게 확산하므로 하수구 등 예상치 못한 낮은 장소로 흘러가서 사소한 착화원에 의해 인화되어 대형사고가 일어날 수 있는 위험성이 항상 존재한다.

인화성 물질을 관리할 때에는 이와 같은 물질의 성상, 위험성 등을 충분히 고려하여야 하며 또한 인화점 이하로 보관하여 관리할 것과 가열을 피하도록 할 것, 액체나 증기의 누출을 방지할 것과 이외에도 정전기, 화기 등의 점화원 대책, 인화시의 긴급조치 등에 대하여 사전준비를 하는 것도 중요하다.

가) 인화성물질 제조·취급 안전작업수칙

- 인화성물질은 화기 등에 의해 인화될 위험이 매우 크므로 화기관리에 만전을 기한다.
- 인화성 물질의 위험성은 인화점 온도가 낮을수록 증가하므로 고온물질 및 점화원을 제거하고 작업한다.
- 인화성 물질은 비중이 작아 물위에 떠 있고, 가연성증기는 낮은 곳으로 흘러 점화원에 의해 인화되는 수가 많으므로 저지대의 점화원 관리에 특히 유의한다.
- 정전기 불꽃에 의해서 인화될 위험이 있으므로 작업장의 기계기구 등에 제전접지를 하고, 작업장 내 습도를 가급적 높여준다.
- 액체상태의 인화성 물질은 유동성이 좋으므로 화재시의 화재 확산방지에 대한 대비를 한다.

나) 인화성물질 제조·취급 안전작업방법

- 누출방지를 위해 밀폐용기를 사용 저장한다.
- 저장실에서 작업장소까지 배관을 이용한 이송방법을 이용한다.
- 누출시 액체가 바닥이나 피트 등으로 확산되지 않도록 경사 또는 바닥의 둘레에 높이 15cm 이상의 턱을 설치한다.
- 바닥은 콘크리트 기타 불침유 재료로 하고, 턱이 있는 쪽이 낮게 경사지게 한다.
- 주위에 있는 착화원(빛, 열표면, 복사열...)을 제거한다.
- 작업시 항상 열선과 이격거리를 유지한다.
- 인화성 액체가 있는 곳에서 용단·용접·스파크 발생 작업을 금한다.
- 인화성 액체가 폭발·화재를 야기시킬 수 있는 농도로 존재하거나 존재할 우려가 있는 곳에서 사용되는 모든 전기기계기구는 방폭구조로 된 것을 사용하고, 공구는 점화원으로 작용할 수 없는 재질의 방폭공구를 사용한다.
- 저장용기 내부에 인화성 물질을 다른 종류의 물질로 교체할 경우에는 잔존되어 있는 내부 인화성 증기를 안전한 가스(질소등)로 치환하고 새로운 물질을 저장한다.
- 배관을 통하여 물질을 송급할 때는 규정속도를 준수한다.

○저장용기는 제전접지를 하고, 배관 이음부에는 본딩을 한다.

1,4-디옥산은 피부를 통해 흡수될 수 있으므로 1,4-디옥산이 닿은 부위는 어느 부위라도 비누나 물로 씻어야 한다.

1,4-디옥산에 오염된 옷과 신발은 즉시 벗고 폐기하고 지급되는 의류와 신발은 안전하게 1,4-디옥산을 방어할 수 있어야 한다. 오염된 의류를 세탁하는 사람에게도 1,4-디옥산이 피부를 통해 흡수된다는 사실은 주지 시켜야 한다.

1,4-디옥산을 취급하는 근로자는 식사 전, 흡연 또는 화장실 이용시 철저하게 손과 팔을 비누와 물로 씻어야 한다.

마. 응급조치요령

1,4-디옥산으로 인한 긴급사고가 발생하였을 경우 다음과 같은 응급조치를 취한다.

- 1,4-디옥산이 눈에 접촉된 경우에는 즉시 많은 양의 물로 최소 15분동안 씻어내고 의사의 진단을 받는다.

- 1,4-디옥산 취급 특별 장소 등에서 긴급사고가 발생한 때에는 급히 뛰어들어가는 것을 금지하고 지체없이 구조요청을 하여야 하며 구조자는 필히 자급식 공기호흡기를 착용한 후 정확한 방법으로 구조작업을 한다.

- 환자는 즉시 통풍이 잘되는 평탄한 곳에 옮긴 후 머리를 낮추고 옆으로 눕히거나 엎드려 눕힌 후 환자의 옷을 헐겁게 풀어주고 입안에 구토물이 있는지의 유무를 확인하여 구토물이 있을 경우에는 제거하는 등 응급조치를 한다.

- 호흡이 정지된 환자는 구조대가 오거나 의사가 볼 때까지 지체없이 인공호흡을 실시한다.

- 어두운 곳에서 사고가 발생한 경우에는 성냥 등의 화기사용을 금지하고 방폭 전등을 이용한다.

1,4-디옥산을 엮지르거나 누출되었을 경우 주변 청소가 완전히 끝날때 까지 보호장비나 보호의를 착용하지 않은 근로자는 오염지역에 접근하지 못하도록 하며 다음 단계에 따라 조치를 취한다.

- 누출된 물질을 만지지 않는다. 만약 위험성이 없이 가능하다면 누출을 막

는다.

- 안전관리자에게 통보한다.
- 모든 열과 점화원을 제거한다.
- 폭발을 방지하기 위해 오염원을 환기 시킨다.
- 누출 물질이 발화되지 않았으면 증기를 감소하기 위해 물을 뿌린다.
- 소량으로 엮혔을 경우 질석(vermiculite), 모래 또는 비가연성 물질을 사용하여 제거하고 처리 전 까지 용기에 수거한다.
- 다량으로 누출시에는 추후의 처리를 위해 제방을 쌓는다.

바. 유해물질 저장·보관방법

1,4-디옥산은 전용의 저장창고 또는 구획된 장소에 보관하고 그 저장장소에는 다음 시설을 설치한다.

- 관계 근로자 외의 출입을 금지시키는 설비
- 1,4-디옥산 증기를 옥외로 배출시키는 설비
- 1,4-디옥산을 넣은 불박이장, 선반 등은 쓰러지거나 용기가 낙하되지 않도록 고정한다.

1,4-디옥산은 누출 또는 발산되지 않도록 마개가 있는 견고한 용기를 사용하며 용기를 개방하여 사용하는 경우에는 개방 부위의 면적을 최소화할 수 있는 용기를 사용한다.

1,4-디옥산을 넣은 용기가 온도 상승에 따라 팽창하여 외부로 누출되지 않도록 용기 용량의 2.5% 이상에 해당하는 공간을 유지하여 밀폐한다.

1,4-디옥산은 식품,약품 등과 혼동할 수 있는 용기에 보관하지 않는다.

1,4-디옥산은 과산화물, 산화성 물질 등과 같이 화학반응을 할 때 화재·폭발을 일으키는 물질과 일절 접촉되지 않도록 보관한다.

1,4-디옥산은 직사광선이 닿지 않는 통풍이 좋고 서늘한 장소에 저장한다.

1,4-디옥산 증기는 낮은 장소에 체류하는 경향이 크므로 지하실, 펌트 등에 저장하는 것을 피한다.

유기화합물의 저장 장소에서 통풍이 불충분한 경우에는 배기구 등을 설치하여 증기가 체류되지 않도록 하며 배기구는 바닥에 가까운 장소에 설치한다.

1,4-디옥산을 저장하는 장소에는 화기를 사용하지 않는다.

1,4-디옥산을 저장하는 장소에는 관계자 외의 출입금지 및 인화성 물질 반입 금지등의 경고 표지를 게시한다.

1,4-디옥산을 넣었던 빈 용기는 밀폐하거나 옥외의 일정한 장소에 보관한다.

1,4-디옥산이 들어 있던 밀폐된 빈 용기를 절단하거나 구멍을 낼 경우에는 마찰열이나 불꽃에 의하여 폭발할 수 있으므로 용기 내부의 물질을 완전히 비운 후 개방된 상태에서 작업한다.

1,4-디옥산이 들어 있던 밀폐된 빈 용기는 폭발성 혼합가스가 발생할 수 있으므로 고온의 장소에 보관하지 않는다.

1,4-디옥산이 묻은 휴지나 헝겊은 밀폐된 용기에 넣어 일정한 장소에 보관하고 자주 비우도록 한다.

○ 인화성 액체의 저장탱크

대단한 인화성이 강한 액체의 저장탱크에서는 탱크내의 공기를 불활성 가스로 치환하여 산소농도를 어떤 한계값 이하로 낮추면 확실하게 가스폭발을 방지할 수 있다. 현재 액화산화 에틸렌의 충전용기에는 질소가 충전되어 있고, 카바이드 저장창고내의공기는 질소로 치환하며 또는 벤젠 등의 인화성 액체 저장탱크의 공기를 질소로 치환하고 있다. 치환에 사용하는 불활성 가스로는 공장내에 공기분리장치가 설비되어 있는 곳에서는 질소를 사용하고 또한 탄산가스를 얻기 쉬운 공장에서는 탄산가스를 사용하지만 이러한 편의가 없는 공장에서는 연소배기가스를 사용하는 것이 좋다. 이러한 배기가스는 계산된 양의 공기를 사용하여 중유나 석탄가스 등을 버너로 연소시켜 생성된 연소가스를 분사수로 냉각하여 수분을 제거한 후 사용한다. 연료의 종류에 따라 일정하지 않지만 대체로 탄산가스 10~16%를 포함하는 질소가스로 구성되어 있다.

인화성 액체의 저장탱크는 저장장소에 따라서 지하탱크, 옥내탱크 그리고 지상탱크로 나뉘어진다. 이중에서 가장 안전한 것은 지하탱크이다.

○ 지하탱크

지하탱크는 인화성 액체의 저장탱크중의 가장 안전한 탱크로서 수평원통형

의 판제 탱크를 지하에 묻는 것이며 그 용량은 대체로 100kl이하이다. 지하탱크는 상부에 적어도 60cm 두께의 흙으로 덮고 건물의 기초로부터 1.5m 이상, 다른 탱크로부터 0.6m 이상 이격되어야 한다. 지하수 또는 홍수 때문에 탱크가 부상하지 않도록 콘크리트바닥에 고정해 두어야 한다.

- 옥내탱크

옥내탱크는 방호문이 있는 실내에 설치하고 탱크주위에 콘크리트 또는 벽돌담을 설치하고 탱크의 윗부분에는 30cm까지 모래로 묻는 것이 좋다. 액체의 입구관과 통기관은 옥외로 배관해 둔다.

- 지상탱크

탱크를 지상에 설치할 때에는 화재 발생시 복사열에 의하여 인접한 탱크에 화재가 옮겨가지 않도록 탱크내용물의 종류 및 용량에 따라 정해진 안전거리를 유지해야 한다. 인화성 물질을 저장할 때는 탱크에 균열이 생기거나 인화성 액체의 누출에 의하여 화재가 발생하기 쉬우며 확대의 가능성도 높다. 이러한 이유로 탱크의 지상배치는 누출된 인화성 액체가 공장이나 주택가 쪽으로 흘러내려가지 않도록 경사진부지를 선정해서는 안된다. 그러나 누출한 인화성 액체가 소화하기 편리한 장소로 모이게 되는 부지는 좋다. 탱크를 평지에 만들 때는 그 주위의 탱크의 내용물을 수용할 수 있을 만한 용량을 가지는 방유제 (Dike)를 설치한다. 방유제의 높이는 최고 1.8m 이하로 하며 탱크에 근접하여 너무 높이 격벽을 설치하는 것은 가연성 증기가 체류하게 되어 위험이 따른다. 일반적으로 인화성 물질의 지상 저장탱크의 종류에는 수직탱크의 형태인 원추형 지붕탱크와 유동형 지붕탱크 그리고 수평탱크가 있다.

- 원추형 지붕탱크

수직탱크에는 원추형이 지붕을 갖는 Cone Roof Tank가 보통이며 용량은 10~20,000kl정도이다. 탱크내 작업시 환기를 위하여 탱크의 지붕과 측벽에 2개의 맨호홀을 설치하는 것이 좋다.

- 유동형 지붕탱크

액면의 상하에 따라 액면에 떠서 이동하는 형편 지붕을 갖는 Floating Roof Tank가 있는데 외부 유동형과 내부 유동형의 두 종류가 있다. 이 탱크의 특징은 증발에 의한 액체의 손실을 방지함과 동시에 액면위의 공간에 폭발성 위험

가스를 형성할 위험이 적으므로 화재예방상 우수한 구조이다. 용량은 일반적으로 3,000~10,000kl로 설치되고 있다.

- 수평탱크

수평탱크에는 내화성이 강한 콘크리트로 만든 받침대를 설치해야만 한다. 그 이유는 화재시 철골만으로 제작된 받침대는 열에 의하여 쉽게 연화가 되고 이로 인하여 탱크가 낙화되어 더 큰 화재를 발생시킬 가능성이 높다.

사. 개인보호구

1,4-디옥산 취급 특별 장소, 작업환경 개선이 불충분한 장소 또는 임시작업 장소에서 1,4-디옥산을 취급하는 근로자는 건강장해 예방을 위하여 호흡용 보호구 또는 피부 보호구를 작업공정에 적합하도록 선택하여 착용한다.

(1) 호흡용 보호구

1,4-디옥산 증기를 제거하기 위한 호흡용 보호구는 방독마스크와 공기공급식 마스크로 대별되며 보호구의 종류별 취급 요령은 다음과 같다.

가) 방독마스크

① 방독마스크를 사용하기 전에 근로자가 이를 착용하고 작업할 때 심폐기능의 저하가 일어나지 않는지 의학적 테스트를 받도록 한다.

② 방독마스크의 착용은 작업장 내의 공기 중 산소 농도가 18% 이상인 장소에서만 착용한다.

③ 작업장 내의 유해가스의 농도나 1,4-디옥산 증기의 농도가 불명확한 경우 또는 산소결핍 장소 등 위험한 장소에서는 함부로 방독마스크를 착용하지 않는다.

④ 착용할 때 공기가 누출되는지 점검한다.

⑤ 1,4-디옥산 증기를 제거하기에 적합한 정화통(흡착제)인가 사전에 확인한다.

⑥ 사용설명서에 기록된 사용시간을 충분히 인지한다.

⑦ 방독마스크를 착용하고 작업하는 중에 가스의 취기가 느껴지면 즉시 정

화통을 교체할 수 있도록 준비한다.

⑧ 습도가 높은 작업 장소에서 방독마스크를 착용할 때에는 가스 흡수능력이 급격히 저하되므로 이를 고려한다.

⑨ 방독마스크는 한국산업안전공단 등 공인기관에서 검정한 합격품을 사용한다.

⑩ 사용후 면체 내부를 깨끗이 청소하고 청결한 장소에 보관한다.

⑪ 흡기변, 배기변, 안면 밀착부위에 공기가 새는 경우에는 신제품으로 교환한다.

⑫ 사용시간을 기록하고 그 사용시간이 다음 식으로 계산하여 유효시간이 넘었을 경우에는 정화통을 교체한다.

$$\text{유효가스} = \frac{\text{표준유효가스} \times \text{시험용가스농도}}{\text{마스크착용장소의유해물질농도}}$$

⑬ 마스크는 작업자 수와 동수 이상으로 준비하여 보관한다.

나) 공기공급식 마스크

① 공기공급식 마스크는 신선한 공기를 호스를 통하여 공급하는 송기마스크와 휴대용 공기통 또는 산소통이 장착된 자급식 공기호흡기가 있다. 자급식 공기 호흡기는 중대재해가 발생하였을 때 구출작업 등 긴급용으로 사용하고 1,4-디옥산 업무를 행하는 근로자는 통상적으로 송기마스크를 사용한다.

② 송기마스크는 호스를 통하여 공기를 공급하기 때문에 행동범위가 제한되므로 일정한 장소에서 작업하는 경우에 적합하다. 또한 신선한 공기를 외부로부터 공급해 주므로 작업장의 산소농도가 18% 이하이거나 1,4-디옥산 증기농도가 매우 높은 장소에도 사용이 가능하다.

③ 송기마스크를 사용할 때에는 다음 사항을 유의하도록 한다.

- 충분한 공기를 공급하여 호흡에 지장이 없도록 한다.
- 신선한 공기가 공급되도록 전동 송풍기는 안전한 장소에 설치한다.
- 전동 송풍기의 전원스위치 또는 콘센트에는 “송기마스크 운전중”이라는 경고 표시를 하여 관계자 외에 조작을 하지 않도록 주의한다.
- 전동기는 과열되지 않도록 한다.

- 호스의 길이를 충분하게 확보하고 굴곡이나 절단 등에 유의한다.
- 송기마스크는 사용한 후 마른 헝겊으로 닦거나 깨끗한 물로 씻은 후 그늘에서 말리도록 한다.
- 재질이 고무인 부분은 특히 기름이나 1,4-디옥산에 약하므로 가솔린이나 신나로 닦아서는 안된다.
- 송기마스크는 필요시 바로 꺼내어 사용할 수 있는 장소에 보관한다.
- 송기마스크의 보관 장소는 직사광선이 비치지 않는 건조한 곳으로 섭씨 40도 이하인 곳이어야 한다.
- 송기마스크는 일상점검 외에도 3개월에 한번씩 정기적으로 점검하고 노화된 부분은 교환한다.
- 마스크는 작업자 수와 동수 이상으로 준비하여보관한다.

다) 호흡용 보호구 선정

- NIOSH에서 1,4-디옥산의 농도가 20ppm까지는 다음 보호구를 권고하고 있다.

- (APF = 25) 공기공급식 호흡기(에어라인, 연속흐름식)
- (APF = 25) 공기정화식(전동식)
- (APF = 50) 공기정화식(비전동식), 전면형
- (APF = 50) SCBA(전면형)
- (APF = 50) 공기공급식(전면형)

- 응급상황이나 농도를 모르거나 IDLH 상태일때

- (APF = 10,000) SCBA(전면형, 압력식)
- 대피 시
- (APF = 50) 공기정화식(전면형)

※ APF(Assigned Protection Factor, 할당보호계수)(표 3-67)

일반적인 PF(보호계수) 개념의 특별한 적용으로써 적절히 밀착이 이루어진 호흡기 보호구를 훈련된 일련의 착용자들이 작업장에서 착용하였을 때 기대되는 최소 보호정도치를 말한다. 예를 들어, APF가 100인 보호구를 착용하고 작업자에 들어가면 착용자는 외부 유해물질로부터 적어도 100배 만큼의 보호를 받을 수 있다는 의미이다. 일반적으로 NIOSH와 미국의 ANSI(Z88.2-1992)에서 정하고 있다. 기대되는 공기중의 농도를 노출기준으로 나눈 값을 위해비라고 하는데 어떤 호흡기 보호구를 선정할 때는 위해비보다 APF가 큰 것을 선택해야 한다(그림 3-141 ~그림 3-145).

$APF \geq \text{공기중 농도/노출기준(HR, 위해비)}$

<표 3-67> 호흡기 보호구의 보호할당계수

호흡기 보호구의 종류	NIOSH	ANSI
공기정화식(비전동식)		
안면부 여과식 또는 1/4형	5	10
반면형	10	10
전면형(분진, 미스트, 흙용)	10	100
전면형(그외 다른 media)	50	100
공기정화식(전동식)		
반면형	50	50
전면형	50	1,000
느슨형	25	25
후드 또는 헬멧	25	1000
에어라인		
반면형 마스크		
· 폐력식	10	10
· 연속흐름식	50	50
· 압력식	1,000	50
전면형 마스크		
· 폐력식	50	100
· 연속흐름식	50	1000
· 압력식	2,000	1,000
느슨형 마스크	25	25
후드 또는 헬멧	25	1,000
SCBA		
폐력식	50	100
압력식	10,000	10,000

※ IDLH(Immediately Dangerous Level to Health, 생명 또는 건강에 즉각적인 위험을 초래하는 농도)

1970년 중반 NIOSH와 OSHA가 공동으로 호흡기 보호구를 선정하는 데 사용하기 위하여 제정한 것으로 초기에는 398개의 화학물질에 대한 기준농도를 제정하였으나 현재는 새로이 250개의 화학물질에 대한 IDLH가 추가 제정되었다.

IDLH를 제정하는 데 있어서 IDLH 이하의 농도에서는 30분 동안 노출되어도 비가역적인 건강장해를 일으키지 않는 농도를 기준으로 하였고, 그 이상의 농도에 노출될 때에는 보호성능이 매우 좋은 호흡기 보호구를 착용하도록 하였다.

IDLH를 정한 목적은 호흡기 보호구에 결함이 생겼을 경우, 예를 들면 호흡기 흡수관에 오염물질이 들어간 경우나, 송풍식 호흡기 보호구에 공기가 통하지 않는 경우에 피신하기 어렵게 되거나 비가역적인 건강장해를 일으키는 일이 없도록 즉시 피신하게 하기 위함이다. 피신을 방해하는 요인으로 눈과 호흡기의 심한 자극작용, 그밖에 지남력 상실과 협동운동장해 등을 생각할 수 있다. 대부분의 경우, 특정 작업장에서 밖으로 빠져 나오는데 30분이 걸리는 경우는 별로 없지만 안전을 도모하는 듯에서 IDLH값은 30분동안 노출되었을 때에 나타나는 작용으로 한 것이다. 1,4-디옥산의 IDLH는 20,000ppm이다.



[그림 3-141] 반면형 마스크



[그림 3-142] 전면형 마스크





[그림 3-143] 각종 정화통



[그림 3-144] 공기공급식 에어라인 마스크



[그림 3-145] 공기통식 에어라인 마스크

라) 작업장 호흡기 보호 프로그램

① 프로그램의 책임

- 사용주의 책임

○ 노출위험성의 평가 : 사용주는 작업장에서 작업자에게 노출될 수 있는 모든 위험성을 평가해 주어야 한다. 정기적인 작업환경측정을 통하여 유해물질의 작업장 농도를 TWA 및 ceiling값으로 측정하고 기록으로 남겨두어야 한다. 샘플링은 개인시료 샘플이 우선되어야 한다.

○ 사용 전 밀착도 검사 : 비록 현재 법적인 규정은 없지만 밀착도 검사는 착용자의 건강을 위해서는 반드시 필요한 조치이다. QNFT 우선되어야 하지만 이것이 어려우면 적어도 QLFT만이라도 실시해야한다.

○ 보호구에 대한 검사 : 자주 호흡기 보호구를 검사해야 한다. 사실 호흡기를 보호하기 위해서는 보호구를 착용하는 것보다 좋은 방법은 없다. 정기적인 검사는 다음 사항이 필요하다,

- 적절한 보호구를 선택하였는가?
- 적합하게 착용은 하고 있는가?

- 착용자에 대한 컨설팅 : 편안함 정도, 호흡저항 정도, 피로도, 시계의 제한여부, 의사소통 제한여부, 움직임에 불편함여부, 작업수행 제한여부, 착용에 대한 수요여부 이 외에도 보호구의 검사, 보관, 관리 등이 포함되어야 한다.

- 착용자의 책임

보호구를 착용하는 각 개인도 다음의 책임이 있다.

- 매번 착용할 때마다 밀착도 체크(fit check)를 실시해야 한다.
- 지시대로 착용해야 한다.
- 보호구가 손상되지 않도록 잘 관리해야 한다.
- 착용하고도 유해물질로부터 보호가 안 된다고 생각되면 즉각 그 장소를 탈출해야한다.
- 보호구가 제대로 작동하지 않으면 담당자에게 즉각 보고해야한다.

② 프로그램의 구성요소

- 행정

적절한 보호구를 작업자들에게 제공하는 것은 단순한 일이지만 중요한 것은 부적절한 보호구는 착용자의 건강을 해치거나 심지어 죽음에 이르게 할 수 있다는 점에서 가볍게 다룰 문제가 결코 아니다. 그래서 호흡기 보호 프로그램은 호흡기 보호구에 대한 훈련을 받고 작업환경의 위험성을 정확히 판단할 수 있는 사람이 담당해야 한다. 전체적인 프로그램의 담당자는 한 사람이 맞는 것이 좋으며 보건관리자인 산업위생기사나 산업의사, 안전관리자인 안전기사가 적절하다.

한 사이즈가 모든 작업자의 얼굴에 맞을 수 없기 때문에 가능하면 여러 브랜드의 여러 사이즈를 구매해야 하며 또 착용자의 착용감과 수용여부를 고려해야 한다. 단지 가격 하나만 고려하여 구매하는 것은 바람직하지 않다.

- 구성요소

- 프로그램의 문서화 : 위험요소, 훈련프로그램, 세척·검사·보관 등 관리, 구매관련내용, 화재 등 응급상황, medical surveillance 등을 문서 파일로 만든다.

- Medical surveillance : 보호구 착용자는 반드시 의사로부터 보호구 착용 시 건강상 문제가 없는지 검사를 받아야 한다. 검사는 신체적, 심리적 검사가

병행되어야 하며 보호구 착용으로 생리적 변화가 있는지도 검사해야 한다.

▶ 호흡기 질환의 병력 : 천식, 폐기종, 만성 폐질환은 보호구 착용시 위험

▶ 직업력 : 석면, 규소, 먼분진, 베릴륨 등 노출여부, 과거 직업, 정상작업시 건강문제, 과거 보호구 착용으로 생긴 건강문제

▶ 기타 정보: 밀실공포증 같은 심리적 건강문제, 신체적 결함이나 비정상, 약물복용 여부, 고열작업시 심박동 증가 정도

▶ 감독자, 착용자에 대한 훈련 : 훈련 프로그램에는 여러가지 사항이 포함 되어야 하지만 가장 중요한 것은 호흡기 보호구를 착용해야 하는 필요성과 이유를 가능하면 많이 설명하는 방향으로 훈련되어야 한다. 이것은 착용자로 하여금 보호구를 적절하게 착용하고 관리하려는 동기를 유발하게 하기 위함이다. 보호구를 착용하면 호흡저항이 생기고 불편하기 때문에 작업자가 기피하려는 것은 당연하며 이를 극복하고 보호구 착용을 수용하려면 많은 시간과 노력이 필요하다.

▶ 밀착도 검사 : 현재 우리나라 법에는 규정되어 있지 않으나 착용자의 건강을 위해서는 반드시 필요하다. 우선적으로 QNFT를 권하지만 고가 측정기기와 훈련이 필요하다. 이것이 어려우면 현장접근이 용이하고 가격이 저렴하며 측정이 간단한 QLFT라도 반드시 실시해야한다.

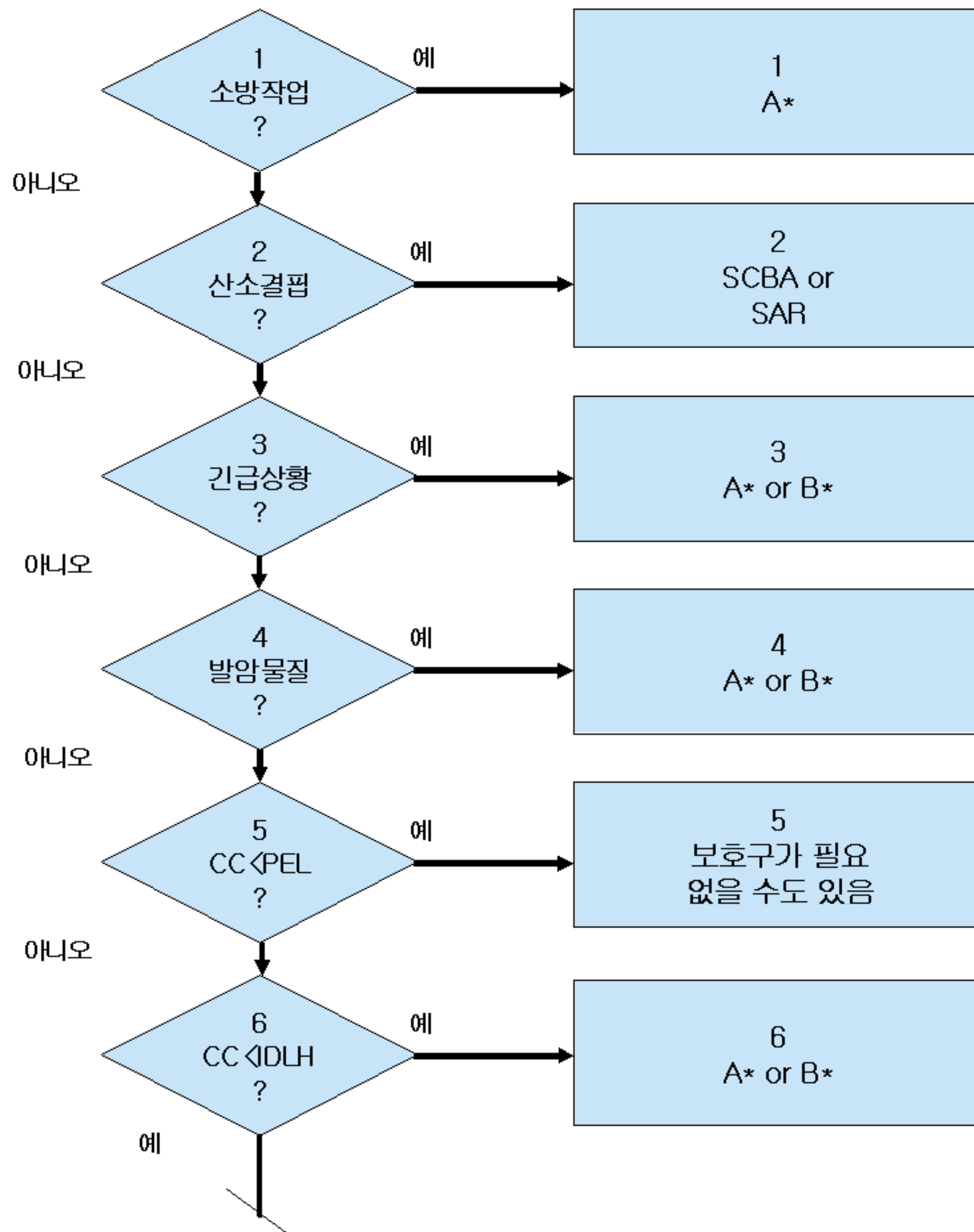
▶ 검사, 보관, 취급방법 : 보호구에 대한 검사방법, 세척방법, 보관 방법 등 관리방법이 구체적으로 실시되어야한다.

개인보호구 사용시 점검해야 할 사항을 표 3-68 호흡기 보호구를 선정하는 방법은 그림 3-146부터 그림 3-147로 제시하였다..

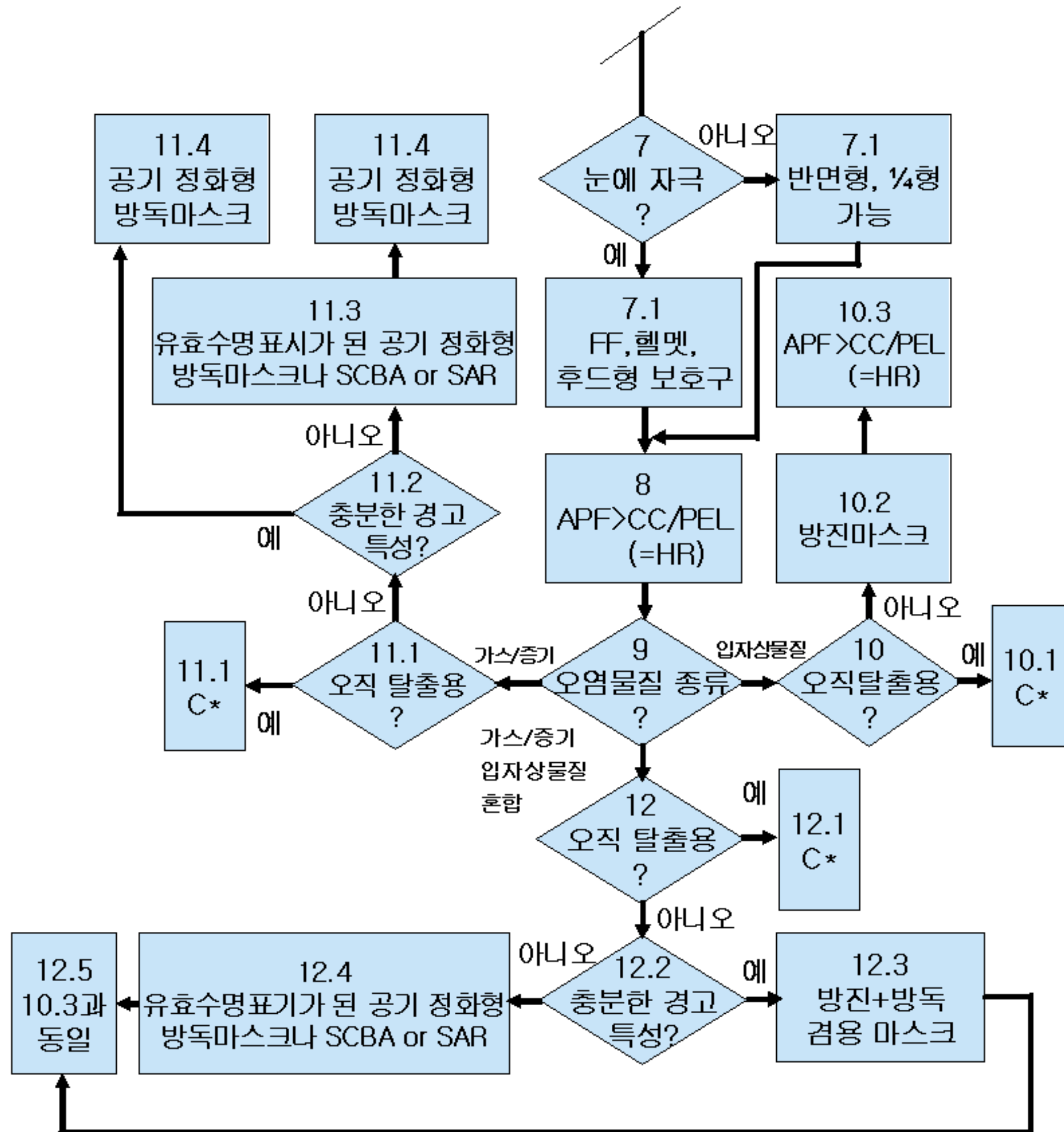
<표 3-68> 개인보호구 점검표 (계속)

점검내용	예	아니오
당신이 맡은 업무에서 필요한 개인보호구중 어떤 것이 정 부규격에 합격한 것인지 알고 있습니까?		
당신의 사업장에서 규정 및 개인보호구의 올바른 사용방법 에 대한 실습교육을 알고 있습니까?		
특수한 업무 분야에서 개인보호구 사용기준 및 규칙을 알 고 있습니까?		
개인보호구 프로그램에 대하여 경영진이 관심을 갖고 참가 합니까?		
개인보호구 규정 및 사용절차에 대하여 근로자 또는 안전 보건위원회, 대표자들이 재조사 및 검토를 하였습니까?		
개인보호구 착용 필요성에 대하여 근로자 또는 안전보건위 원회, 대표자들이 재조사 및 검토를 하였습니까?		
개인보호구 착용 필요성에 대하여 근로자, 안전보건위원회 대표자가 잘 알고 있습니까?		
화학물질을 사용하여 작업할 때 MSDS(화학물질유해성분 표시공개제조)및 표시라벨, 어떠한 개인보호구가 필요한지 알고 있습니까?		
작업에 알맞는 개인보호구 사용 및 올바른 사용방법에 대 하여 교육받았습니까?		
개인보호구 사용법에 관한 토론에 참여하였습니까?		
적정한 수의 개인보호구를 선택하여 확보하고 있습니까?		
근로자가 사용하기에 편리하도록 만들어져 있습니까?		

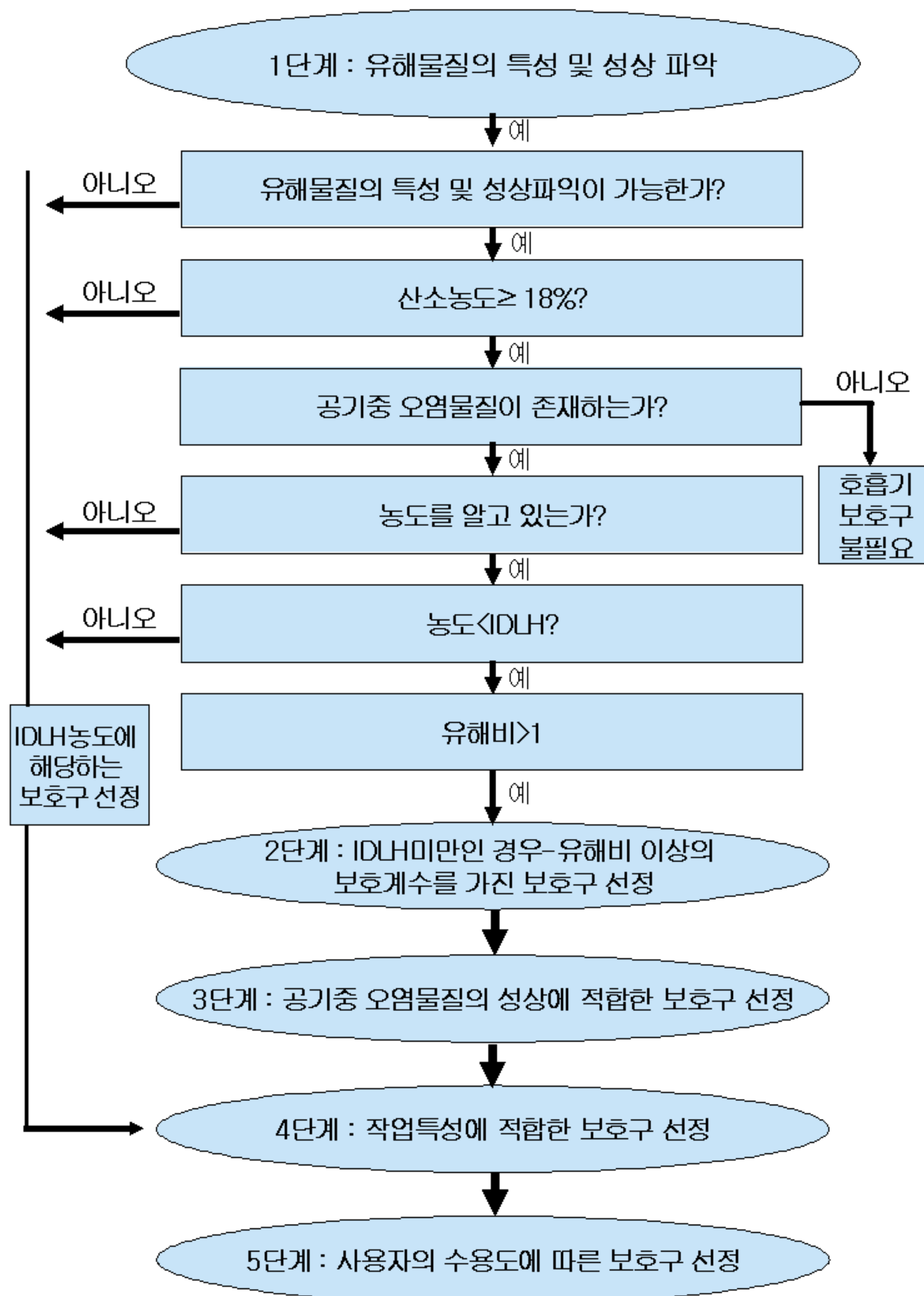
귀하가 지금 사용하고 있는 보호구는 합격된 제품입니까?		
귀하가 지금 사용하고 있는 보호구를 착용하였을때 잘 맞습니까?		
개인보호구가 효능을 잘 발휘하고 있는지에 대한 검사에 대한 교육을 받았습니까?		
사용후 보관 및 청소를 잘하고 있습니까?		
사용을 권장하기 위한 상품을 받은적이 있습니까?		
사용기간이 완료되거나 닳은 설비를 재교부 받기 위해 반환한 적이 있습니까?		
정기적으로 개인보호구를 유지관리합니까?		
개인보호구 프로그램 기록 사용법이 있습니까?		
매년 개인보호구 사용과 선택 필요성을 재평가 하기 위한 재검토 프로그램이 있습니까?		



[그림 3-146] NIOSH의 호흡기 보호구 선정방법(계속)



[그림 3-146] NIOSH의 호흡기 보호구 선정방법(계속)



[그림 3-147] 우리나라 호흡기 보호구의 사용지침 흐름도

마) 피부 보호구 등

- ① 근로자는 1,4-디옥산이 피부에 접촉되지 않도록 보호의·보호장갑 및 보호 장화를 착용한다.
- ② 피부 보호구는 다음 사항을 고려하여 불침투성 재료로 선정한다.
 - 네오프렌 재질은 오일류와 지방족 탄화수소 등에는 성능이 양호하지만 방향족 탄화수소, 할로젠족 탄화수소, 케톤류 등에는 성능이 불량하다.
 - 자연고무 재질은 1,4-디옥산 업무에 보호구로 사용하기에는 부적절하다.
 - 폴리비닐알콜 재질은 방향족 탄화수소나 염화 탄화수소 등에는 성능이 양호하지만 물, 아세톤 등에는 성능이 불량하다.
- ③ 작업특성상 근로자가 피부 보호구의 착용이 곤란한 경우에는 피부 보호 용 도포제를 사용하고 작업한다.
- ④ 작업특성상 1,4-디옥산이 흩날리거나 튀어 눈에 직접 접촉될 우려가 있는 경우에는 보안경을 착용하고 작업한다.

차. 기타

(1) 작업관리

가) 작업계획 수립 및 표준작업관리지침 작성

1,4-디옥산 취급 업무 작업계획을 수립할 때 1,4-디옥산에 의한 유해·위험성 여부를 우선적으로 고려하고, 1,4-디옥산 증기가 발생하는 작업공정에 대하여는 다음 내용을 포함하는 표준작업관리지침을 마련하여 근로자가 이에 따라 작업하도록 한다.

- ① 1,4-디옥산 증기 발생 억제 조치에 관한 사항
- ② 해당 시설 및 설비 등에 설치된 국소배기장치의 적절한 가동과 비정상적으로 가동할 때 조치요령 등에 관한 사항
- ③ 보호구의 착용 시기, 착용 요령 및 관리 방법
- ④ 1,4-디옥산 누출시의 조치 사항
- ⑤ 기타 1,4-디옥산 증기에 대한 근로자 노출 방지 대책 등

나) 교육

- 채용할 때와 작업내용 변경할 때 교육

사업주는 근로자를 채용할 경우 8시간 이상, 작업내용을 변경할 경우 다음에서 정하는 내용이 포함된 교육을 2시간 이상 실시한다.

- ① 산업안전보건법령에 관한 사항
- ② 설비, 기계 및 기구의 작업안전 점검에 대한 사항
- ③ 기계, 기구의 위험성과 안전 작업방법에 관한 사항
- ④ 근로자 건강증진 및 산업간호에 관한 사항
- ⑤ 물질안전보건자료에 관한 사항
- ⑥ 기타 안전보건관리에 필요한 사항

- 특별교육

1,4-디옥산을 취급하는 근로자에게는 작업배치전 다음 내용이 포함된 특별 안전보건교육을 16시간 이상 실시한다.

① 당해 작업장에서 사용하는 화학물질에 대한 물질안전보건자료에 관한 사항

② 당해 작업장에서 제조 또는 사용되는 1,4-디옥산의 물리·화학적 특성

③ 1,4-디옥산에 의한 중독과 건강장해 예방대책

④ 직업병 예방을 위해 취해진 현재 조치 사항 및 유지, 관리 요령

⑤ 공정별 표준작업 요령

⑥ 국소배기장치 및 안전설비에 관한 사항

⑦ 보호구의 사용법 및 관리방법

⑧ 응급처치방법

⑨ 기타 안전·보건상의 조치 등

- 교육내용의 숙지 및 이행

1,4-디옥산을 취급하는 근로자는 특별 안전보건 교육 내용을 충분히 숙지하고 이를 성실히 이행한다.

다) 명칭 등의 게시

1,4-디옥산 취급 업무를 행하는 작업장에는 그 1,4-디옥산의 명칭, 인체에 미치는 영향, 취급상 주의사항, 착용하여야 할 보호구, 응급조치 및 긴급 방재 요령이 포함된 게시물을 다음에 적합하도록 작성하여 근로자가 보기 쉬운 장소에 게시한다.

① 게시물의 재질은 쉽게 파손되지 않는 것으로 한다.

② 게시내용과 글씨는 물 등에 의해 쉽게 훼손되지 않는 것으로 한다.

③ 당해 작업자가 쉽게 알아 볼 수 있는 위치에 게시하고 구획된 작업실인 경우에는 각 실마다 게시한다.

라) 물질안전보건자료의 작성 비치 및 경고 표지 부착

① 당해 작업장에서 사용하는 1,4-디옥산을 포함한 모든 유해물질에 대하여 물질안전보건자료를 작성하여 취급 근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 비치하고 필요한 경우 공정관리요령을 게시한다.

② 작업자는 게시 또는 비치되어 있는 물질안전보건자료의 내용을 충분히 숙지하여 취급하는 화학물질에 관한 정보를 알고 작업에 임하여야 하며, 취급상의 주의사항등 물질안전보건자료에 규정된 내용에 따라 취급한다.

③ 1,4-디옥산 취급 업무를 행하는 근로자의 안전·보건을 위하여 1,4-디옥산이 담겨 있는 용기나 포장에는 경고 표지를 부착한다.

※ 경고표지를 위한 대상화학물질은 물리적 위험물질과 건강장해물질 그리고 환경유해 물질 등 크게 3가지로 분류한다.

첫째, 물리적 위험물질에는 폭발성물질, 산화성물질, 극산화성물질, 고인화성물질, 인화성물질, 금수성물질 등 6가지로 세분하고 있다.

둘째, 건강장해물질에는 고독성물질, 독성물질, 유해물질, 부식성물질, 자극성물질, 과민성물질, 발암성물질, 변이원성물질, 생식독성물질 등 9가지로 세분하고 있다.

셋째, 환경유해물질이다.

아. 건강관리

(1) 건강진단 주기

1,4-디옥산에 대한 건강진단은 일반적인 유기용제의 건강진단 내용에 준하여 실시한다.

- 기본주기 및 대상자

톨루엔에 노출되는 근로자에 대한 정기건강진단 주기를 1년에 1회로 한다.

- 집단적으로 주기를 단축시키는 조건

다음의 어느 하나에 해당하는 경우에는 정기건강진단 주기를 1년에 2회 이상 할 수 있도록 한다.

① 1년 이내 작업환경 측정에서 1,4-디옥산의 농도가 TWA의 1/2을 넘는 경우

② 특수건강진단결과 1,4-디옥산에 대한 D1 판정자가 발견되거나 또는 직업병자가 발생한 경우

③ 건강진단상 C1 판정자수가 현저히 증가했을 때

- 배치전 건강진단후 첫 번째 건강진단 : 6개월 이내에 근로자 개별적으로 실시하되, 배치전 건강진단 실시후 6개월 이내에 사업장의 집단 정기건강진단이 실시될 예정이면 그것으로 대신할 수 있다.

(2) 배치전 건강진단

필수항목

- 작업경력조사
- 과거력 조사 : 피부질환의 과거병력
- 자각증상 조사 : 유기용제 문진표를 이용하여 조사
- 임상진찰 : 신경과적 진찰 및 피부과적 진찰에 유의
- 임상검사 : 혈구용적치, 혈색소량, ALT, AST, 단백뇨, 요잠혈 검사
- 선택항목 (현병력 및 과거력에서 의심이 되는 경우)
 - 신기능검사 : 혈뇨(요침사 현미경검사), 크레아티닌, BUN

- 간기능검사 : 콜레스테롤, 총단백/알부민, 총 빌리루빈, AP, GGT, LDH
- 혈액검사 : 적혈구수, 백혈구수, 혈소판 수, 백혈구 diff. count.
- 심전도검사
- 산업의학적 평가 (업무적합성평가만 실시)

(3) 정기건강진단

① 필수항목

- 작업경력조사
- 과거력 조사 : 피부질환, 요증 대사산물의 과거검사결과
- 자각증상 조사 : 눈의 자극증상, 피부자극 증상(갈라짐, 발진), 심계항진, 중추신경계 증상(쇠약, 두통, 피로, 어지러움증, 기억장애)
- 임상진찰 : 신경과적 진찰 및 피부과적 진찰에 유의
- 임상검사 : 혈구용적치, 혈색소량, ALT, AST, 단백뇨, 요잠혈 검사

② 선택항목 (현병력 및 과거력에서 의심이 되는 경우)

- 신기능검사 : 혈뇨(요침사 현미경검사), 크레아티닌, BUN
- 간기능검사 : 콜레스테롤, 총단백/알부민, 총 빌리루빈, AP, GGT, LDH
- 혈액검사 : 혈소판 수, 백혈구 diff. count. 혈액도말검사
- 심전도 검사

(4) 산업의학적 평가

① 건강구분

② 업무적합성 평가

· ‘일정한 조건’ 이란 환경개선, 개인보호구착용, 건강진단의 주기를 앞당기는 경우 등을 말한다.

- 업무수행 적합 여부 평가시 고려해야 될 건강상태

(개인의 건강상태 및 노출정도에 따라 둘째, 셋째, 넷째의 세가지 범주중 어느 하나로 판정)

- 중추신경계장해 · 만성 간질환 · 만성 신부전 · 만성 피부질환

③ 사후관리

- 건강관리 조치내용은 중복하여 선택할 수 있다.
- 추적검사는 건강진단기관의 의사가 지시한 검사항목에 대하여 지시한 시기에 실시하여야 한다.
- 직업병 확진의뢰안내는 근로자 건강진단을 통하여 발견된 직업병유소견자 중 직업병확진이 필요하다고 판단되는 경우에는 특수건강진단기관이 당해 근로자에 대한 산재요양신청서를 작성해 주어 당해 근로자가 근로복지공단 해당 지사에 요양신청토록 한다.
- 배치 전 건강진단에서는 업무수행 적합 여부 평가만을 실시한다.

(5) 수시건강진단을 위한 참고사항

근로자가 직업관련성을 의심하는 간기능 이상, 피부 및 점막 자극, 신장기능 이상, 폐기능 이상, 신경계 이상, 심혈관계 이상의 증상 및 증후를 호소하는 경우에 있어서 보건관리자·산업보건직(사업장내 의사), 또는 건강진단기관의사가 필요하다고 판단하는 경우, (2) 기타 산업안전보건위원회, 노동사무소, 노사위원회의 요청이 있는 경우 등에는 주기단축의 개념과는 달리 수시건강진단의 형태로 실시할 수 있다.

<표 3-69> 건강구분

코드	건강구분
A	건강한 자 또는 경미한 이상소견이 있는 자
C1	질병으로 진전될 우려가 있어 계속관찰이 필요하나 명확하게 C ₂ 로 분류할 수 없는 자(요관찰자) ※ 판정기준 : (1) 1,4-디옥산에 노출된 것이 인정되며, (2) 간기능, 신기능, 심장기능, 중추신경계 기능에 이상 소견이 있으나, (3) D1에 해당되지 않고 관찰이 필요한 경우 중, (4) 명백히 C ₂ 는 아니라고 판단될 때.
C2	일반질병으로 진전될 우려가 있어 계속관찰이 필요한자 (요관찰자)
D1	직업병이 의심되어 건강관리가 필요한 자 (요관리자) ※ 판정기준 : (1) 작업장 기중농도, 노출시간, 취급여부 1,4-디옥산에 노출된 것으로 평가되고, (2) 동 물질에 의한 것으로 추정되는 간질환, 피부질환, 호흡기계 질환, 심장질환, 중추신경계 질환, 신장질환, 안질환 등이 있고, (3) 비직업성 원인의 가능성이 적은 경우.
D2	일반질병이 있어 건강관리가 필요한 자 (요관리자)

<표 3-71> 업무수행 적합여부 평가기준

업 무 수 행 적 합 여 부 평 가 기 준	
-	건강관리상 현재의 조건하에서 작업이 가능한 경우
-	일정한 조건(환경개선, 개인보호구착용, 건강진단의 주기를 앞당기는 경우 등)하에서 현재의 작업이 가능한 경우
-	건강장해가 우려되어 한시적으로 현재의 작업을 할 수 없는 경우(건강상 또는 근로조건 상의 문제를 해결한 후 작업복귀 가능)
-	건강장해의 악화 혹은 영구적인 장해의 발생이 우려되어 현재의 작업을 해서는 안되는 경우

<표 3-70> 사후관리내용

번호	건강관리 조치내용	참고사항
0	필요없음	
1	건강상담	상담내용기술
2	보호구착용	보호구의 점검 또는 교체 등 보호구관리를 포함한다
3	추적검사	건강관리구분 C ₁ 또는 D ₁ 해당자에 대해서 의사의 판단하에 추적검사 실시
4	근무중 치료	
5	근로시간단축	또는 연장근무 제한
6	작업전환	
7	근로금지 및 제한	치료완결후 의사지시로 복귀
8	직업병확진의회 안내 (건강진단기관이 안내한다)	건강관리구분 D ₁ 해당자중 직업병확진이 필요한 경우, 특수건강진단기관 의사가 산재요양신청서를 대신 작성
9	기타	

(6) 근로자의 자각증상에 따른 조치

근로자는 오심, 피로감, 두통, 현기증, 불면증, 정신불안정, 식욕부진, 구역, 도취감 등의 자각증상을 인지한 경우에는 안전보건관계자 또는 사업주에게 즉시 통보한다.

근로자로부터 통보를 받은 안전보건관계자는 이를 즉시 사업주에게 통보한다. 보고를 접한 사업주는 즉시 다음의 조치를 취한다.

- 자각증상의 원인조사
- 작업환경상의 문제점 파악
- 당해 근로자의 작업방법 점검
- 파악된 문제에 따른 조치 및 필요시 해당 근로자에 대한 건강진단 조치 등

(7) 근로자의 자각증상에 따른 조치

사업주는 근로자의 신체기능 저하를 예방하고 건강을 적극적으로 유지·증진시키기 위하여 다음과 같은 내용의 건강증진 운동을 자율적으로 추진한다.

- 건강상담실 운영
- 탁구대 등의 간이 운동시설 설치
- 건강교육 실시
- 건강유지·증진운동 프로그램의 제공
- 기타 건강유지·증진을 위해 필요한 지도 및 시설의 설치

(8) 근로자의 건강증진

근로자는 건강에 관한 자기 책임을 자각하여 스스로 건강한 생활습관을 확립하고 사업주가 시행하는 건강증진 운동에 적극적으로 참여한다.

근로자의 건강을 유지·증진하기 위하여 요구되는 건강교육과 이의 추진을 위한 관리 체제 및 업무의 내용은 다음과 같다.

- 건강측정 : 각 개인의 건강상태를 정확히 파악하기 위해 의사의 지시에 따라 생활 상황조사의 의학적 검사, 운동기능검사 등 건강측정을 행한다.
- 운동지도 : 건강특정 결과에 따라 의사가 개개인에 대하여 정한 운동의

종류, 운동의 강도, 운동시간, 운동 빈도, 등의 프로그램에 의거 전문가의 지도를 받아 행한다.

- 정신건강관리 : 건강측정결과에 따라 정신 건강관리가 필요하다고 판단되는 경우 또는 생활상황 조사 시 본인이 희망하는 경우에 의사의 지시에 따라 행한다.

- 영양지도 : 건강측정결과 식 생활에 문제가 있다고 인정되는 근로자는 영양사나 의사의 지시에 따라 실시한다.

- 보건지도 : 근무형태나 생활습관이 잘못되어 발생하는 건강상의 문제를 해결하기 위하여 건강측정 결과에 의거 의사가 작성한 내용에 따라 수면, 흡연, 음주, 구강보건 등 보건지도를 실시한다.

근로자의 안전과 건강보호를 위한 산업안전보건법이 1981년 제정 공포된 후 이 법에 의거한 작업환경관리와 건강관리가 실시되고 있으나 산업현장의 근로자와 사업주는 물론 사업장내 보건관리자, 산업보건기관의 전문요원은 이 법을 수행하는데 여러 가지 어려운 점이 많이 있다. 그러므로 근로자들이 자율적으로 자신의 건강을 보호하고 또 관리자 또한 제대로 된 정보로 능률적인 교육을 실시할 수 있도록 보건자료를 제시하는 것도 건강증진의 일환이라 할 수 있다.

사업장에서 실시하는 근로자 건강검진으로 선별해 낼 수 있는 질환이면서 유병율이 높으며 또 교육을 통해 건강의 호전을 기대할 수 있는 점 등을 고려하면 고혈압, 고지혈증, 간장질환, 당뇨, 빈혈 등의 질환이 있다.

자) 피부노출 관리

역사적으로 볼 때 피부노출 보다는 공기노출에 더 많은 관심이 있었다. 사실 많은 사례에서 공기노출의 가능성이 가장 큰 문제가 되어 왔다. 그러나 피부노출이 중요한 문제가 되는 경우도 많이 있다. 이에 대한 좋은 예가 페놀이 다. 페놀의 주요 노출경로는 피부접촉과 흡수이다. 어떤 화학물질은 호흡과 피부흡수 모두가 노출의 주요 경로가 된다. 표3-72은 유기용제에 따른 피부를 통한 흡수량과 호흡을 통한 흡수량을 비교한 표이다. 많은 유기화합물질들은 피부 흡수경로가 호흡을 통한 흡수경로보다 노출관리에 관심을 가져야 한다.

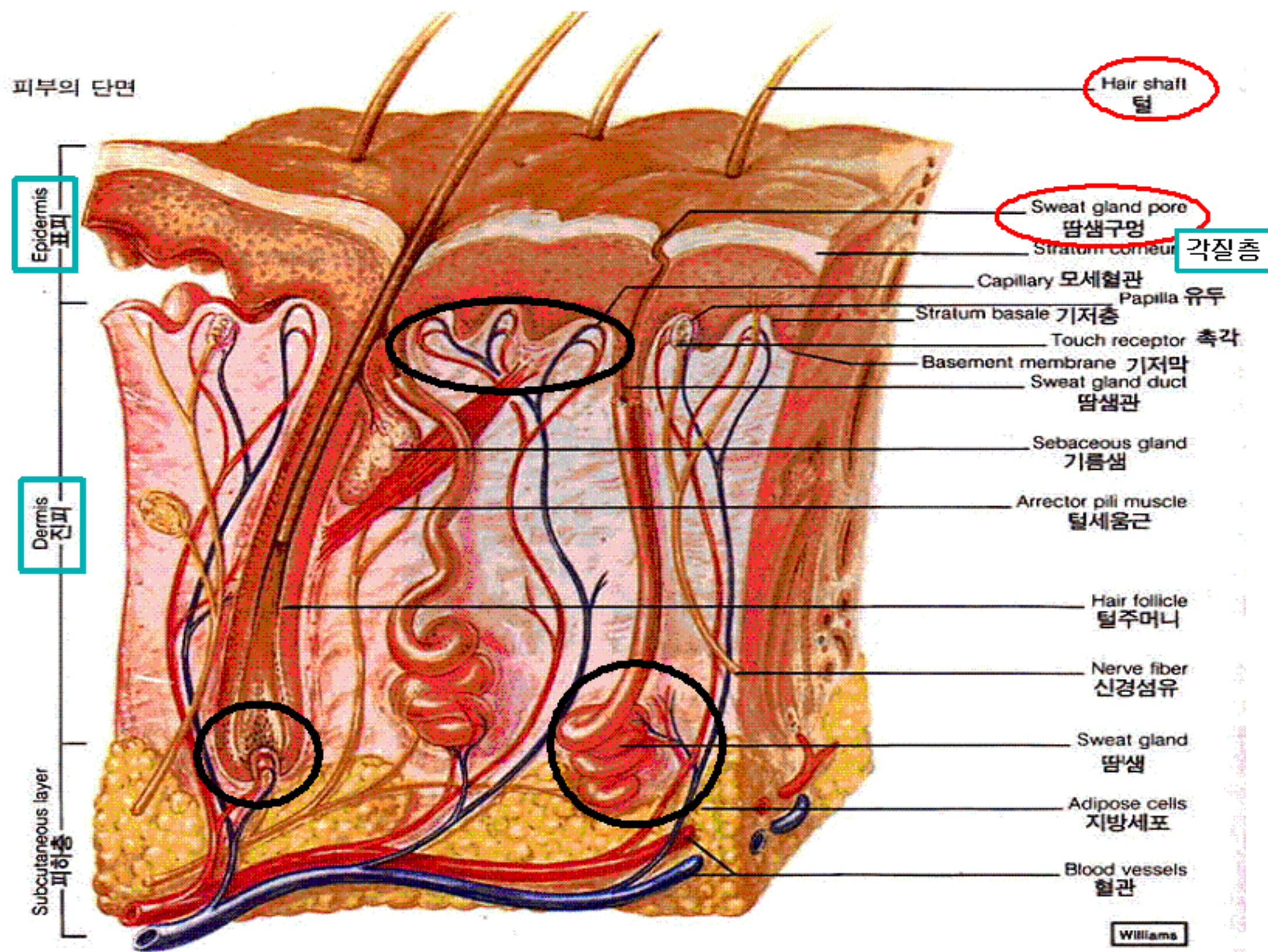
<표 3-72> 유기용제에 따른 피부흡수량과 호흡을 통한 흡수량 비교

유기용제	피부를 통한 흡수량 ^A (mg)	호흡을 통한 흡수량 ^B (mg)	피부 경고 주석 유무 ^C (ACGIH)
Tetrachloroethylene	32.0	804	
1,1,1-Trichloroethane	49.3	456	
Carbon tetrachloride	66.7	72	+
1,1,2,2-Tetrachloroethane	82.6	17	+
1,1,2-Trichloroethane	140	108	+
Trichloromethane	313	120	
1,2-Dichloroethane	380	96	
1,1-Dichloroethane	877	420	
Trichloroethylene	62	648	

^A 피부를 통한 흡수량은 양손을 10분간 접촉시켰을 때 흡수된 양

^B 8시간 동안 TLV-TWA 수준으로 노출되었을 때 호흡으로 흡수된 양

^C ACGIH에서 권고된 피부경고 주석



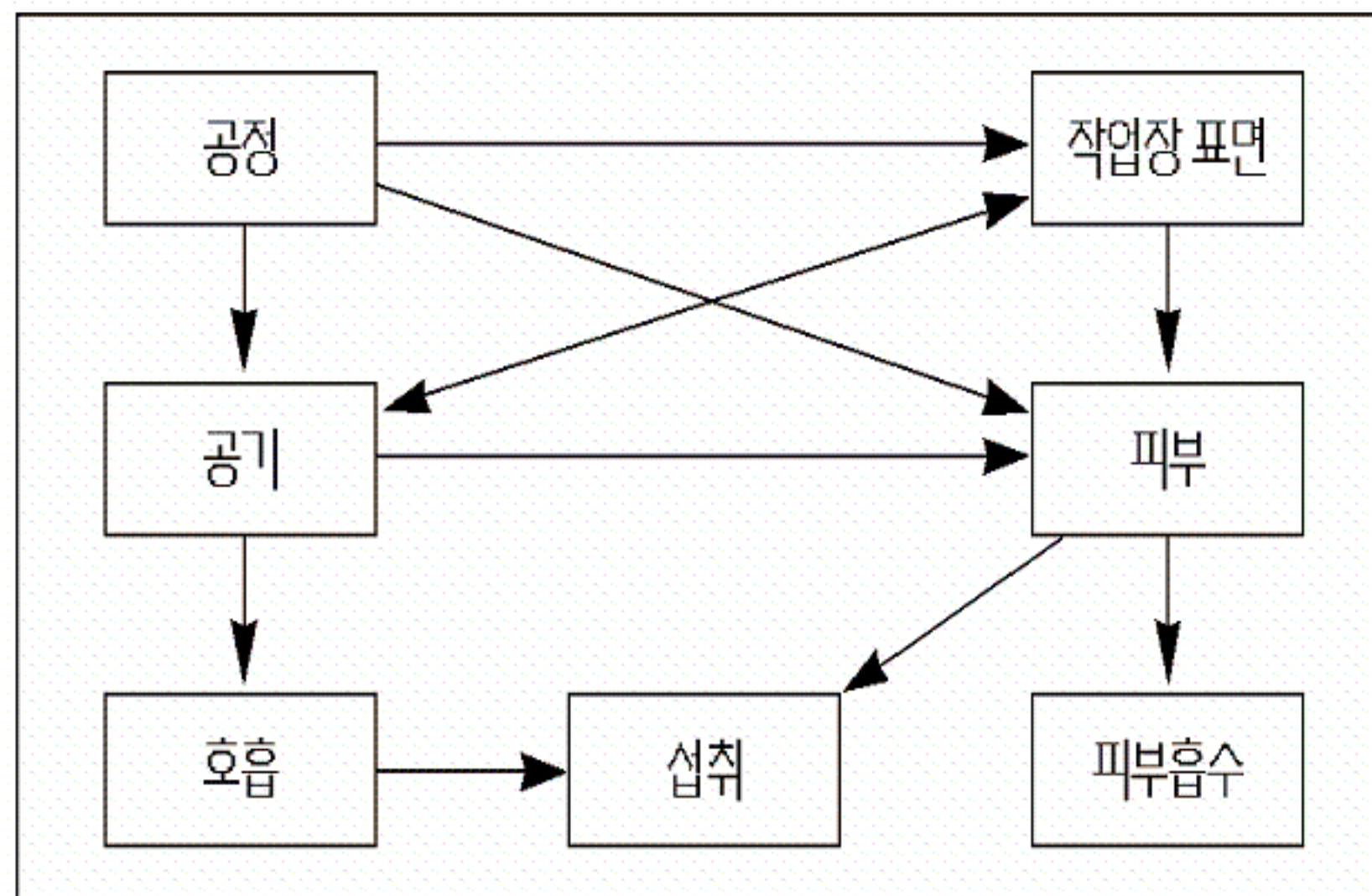
[그림 3-148] 피부 단면도

피부노출의 중요성을 ACGIH, AIHA 그리고 노출기준의 출판을 책임지고 있는 기타 여러 기관에 의하여 인식되었으며 피부를 통하여 흡수될 수 있는 화합물에 대해서는 “피부(skin)”라는 표기법으로 표시하고 있다.

오염물질이 피부에 직접 접촉하거나 오염된 도구, 작업장 표면 그리고 개인용 보호장비에 의하여 간접적으로 접촉할 수 있는 업무나 작업을 수행하는 곳에서는 화학물질에 의한 피부노출평가를 수행해야 한다. 물론 피부접촉 하나로 건강 위험성의 발생을 설명하는데 충분하지는 않다. 그 화학물질의 독성학과 물리화학적 성질에 대한 정보를 충분히 수집하여 검토하면 피부접촉에 의한 건강의 위해성 여부를 빠르게 판별할 수 있다. 또한 환경요인의 독성학적 정보와 그 물질의 물리적 성질(pH) 및 화학적 성질(지용성), 그리고 피부 흡수

성 등을 알게 되면 영향 받게 될 표적장기를 파악하는데 도움을 줄 수 있다.

피부접촉은 휘발성이 낮은 고분자 화합물의 주요 노출경로이다. 화학물질의 피부 흡수를 증가시키는 요인 중의 하나는 그 화합물의 지용성의 크기다. 즉 물보다 기름에 잘 용해되는 화합물질이 피부를 쉽게 통과하는 경향이 있다. 그림 3-149는 물질특성에 따른 노출경로 모델이다.



- 휘발성이 높은 물질의 노출경로: 흡입
- 휘발성이 낮은 물질의 노출경로: 피부나 섭취

[그림 3-149] 노출경로모델

가) 외부 및 내부 표적장기

피부노출평가를 수행하다보면, 피부가 표적장기인 화학물질과 피부를 통하여 흡수되어 내부장기가 표적장기로 나타나는 화학물질을 구별할 수 있게 된다. 물론 피부와 내부장기에 다 영향을 주는 화학물질도 있다.

피부는 산류, 알칼리류, 그리고 피부와 눈에 자극효과와 부식효과를 줄 수 있는 기타 화학물질들의 주요한 표적장기이다. 어떤 물질은 피부가 주요 표적장기이지만 산류나 알칼리류 보다 독성이 낮은 경우도 있다. 에폭시수지가 이런 경우에 해당된다. 이 물질이 피부에 반복적으로 노출되면 피부 감작성과 피부염을 발생하게 된다.

피부가 주요 표적장기일 때 일상적으로 혹은 우연한 피부노출에 대한 관리가 될 수 있는 업무와 작업내용을 확인해야 한다. 피부 감작물질을 사용하는 경우 직접 노출뿐만 아니라 오염된 작업장 표면, 도구, 그리고 개인 보호장비 등에 의한 사소한 피부노출에 대해서도 신중하게 관리대책을 세워야 한다. 노출정도를 판단할 때 건강의 위해성을 나타내는 기준과 비교하여 수용, 불수용, 불확실성 등으로 분류한다. 또한 피부접촉이 중요한 노출경로인 경우와 표적장기가 내부 장기인 경우 모두 동일한 접근방법을 선택하여 노출을 관리해야 한다. 호흡이 중요한 노출경로인 경우 노출을 평가할 때도 유용한 방법이다. 작업환경관리에서 생물학적 모니터링이나 피부노출평가를 사용할 수 있다.

나) 생물학적 모니터링

생물학적 모니터링은 피부흡수가 주요 노출경로인 경우 매우 효과적인 노출평가방법이다. 아닐린의 노출을 평가하기 위하여 뇨중 p-아미노페놀을 측정하는 것이 좋은 예이다. 생물학적 모니터링에 대한 정보는 ACGIH에서 발간한 “Topics in Biological Monitoring”을 참고하는 것이 바람직하다.

공기모니터링에서의 불확실성이 생체모니터링에서는 크게 문제되지 않는다. 예를 들면, 대부분의 생체지표들은 오랜 시간 동안의 노출에 대한 영향을 모두 반영하기 때문에, 노출농도가 매일매일 변하여 발생하는 불확실성이 생체모니터링에서는 거의 문제가 되지 않는다. 유사노출그룹에서 측정한 공기모니터링 자료의 추론으로 인한 불확실도 생물학적 모니터링에서는 문제가 되지 않는다. 이것은 일반적으로 오염물질에 노출되고 있는 모든 근로자들에게서 생체시료를 채취하기 때문이다. 생물학적 모니터링은 작업내용 차이에 따라 나타나는 노출평가의 문제점인 작업자간의 노출변이를 줄일 수도 있다.

그러나 생체모니터링이 자주 사용되지 않고 있다. 화학물질의 노출을 생물학적으로 평가할 때는 인증된 생체모니터링 방법과 노출기준(예 ; ACGIH의 BEI)이 이용되어야 한다. 그러나 아직 ACGIH와 기타 기관에서 설정한 생물학적 노출지수(BEI)값과 이와 유사한 기준들의 제시가 매우 미흡하다. 또한 생체모니터링에서 사용되는 시료가 개별적이고 침습적이기 때문에 산업장의 노출평가로 사용하는데 많은 한계에 부딪치고 있다.

다) 피부노출평가

피부노출평가는 피부접촉이 주요 노출경로이고 주요 표적장기가 내부장기인 경우에 적용할 수 있는 하나의 접근방법이다. 피부노출평가를 수행하기 전에 알아두어야 할 사항은 표적장기가 외부(피부)와 내부 모두가 될 수 있다는 점이다. 예를 들면, 불화수소산은 피부를 부식시키고, 동시에 피부로 흡수되어 내부장기를 손상시킨다. 또한 콜타르피치가 피부에 노출되면 상피세포에 흡수되어 일시적인 광감작현상을 일으키고 피부로 흡수되어 방광암 발생의 위험성을 증가시킨다. 따라서 표적장기가 외부와 내부 동시에 있을 때 피부노출을 평가하고 관리하는 방법들을 통합하여 사용할 필요가 있다.

일반적으로 노출에 대한 허용여부의 결정을 노출한계 또는 기준에 의존하고 있다. 그러나 화학물질에 대한 거의 모든 노출기준은 근로자들의 호흡위치에 대한 공기 중 농도로 설정되어 있다. 피부노출기준은 아직 개발단계에 있다. 피부노출기준은 다음 사항들에 기초를 두어야 한다. 첫째, 작업장 표면 오염수준, 둘째, 피부나 의복의 오염수준, 셋째, 노출 또는 내부용량에 대한 생물학적 측정치 등이다.

피부노출기준이 없는 경우 피부접촉을 감소시킬 수 있는 추가적인 관리방법의 필요성을 결정하기 위하여 공기 중 농도단위로 표현된 노출기준을 피부노출에 적합한 단위로 전환할 수 있다. 비록 근로자들이 호흡하는 공기량은 활동의 종류에 따라 달라지지만, 일반적으로 근로자들은 하루에 10m^3 의 공기를 호흡한다. 그러므로 다음 공식을 이용하여 공기 중 오염농도(mg/m^3)를 하루동안 체내에 흡입된 총량(mg/day)으로 전환할 수 있다.

따라서 피부 노출량을 mg/day 로 추정하여 동일한 방법으로 전환된 기준치와 비교할 수 있다.

하루 피부흡수 노출기준(mg/day) = 직업적 노출기준(mg/m^3) × 호흡량($10\text{m}^3/\text{day}$)

이러한 접근방법은 전신독성을 일으키는 화합물질에서만 효과적이다. 이것은 염산과 같이 일차적인 영향이 국소 조직에서 나타나는 화학물질인 경우에는 적절하지 않다. 이런 경우에는 피부노출기준을 다른 방법에 의하여 결정해야 하는데, 일반적으로 하루 동안 피부 표면적당 허용량으로 나타내고 있다. 작업환경관리에서는 이런 종류의 물질들에 대한 피부접촉을 억제해야한다. 적절한 피부관리 프로그램을 작업장 관리감독에 포함시킴으로 인하여 직업성 피부질환의 발생을 최소

화할 수 있다.

일반적으로 피부 접촉량은 환경오염물질에 노출될 수 있는 피부의 표면적(cm^2)과 노출되고 있는 동안에 피부로 이동되는 양($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{event}$)을 가지고 계산한다. 실제로 작업 활동이 진행되는 동안에 피부로 이동되는 오염물질의 양을 계산하는 것은 불가능하다. 따라서 피부로 이동하는 양은 장갑과 같은 대용품을 사용하여 작업이 끝난 후에 계산하게 된다. 이 양은 피부로 이동하고, 피부에서 탈락되고, 피부로 흡수되는 현상 등에 의하여 영향을 받는다. 피부표면적, 피부로 이동되는 오염물질의 양, 그리고 하루에 발생하는 노출 건수 등을 곱해주면 하루당 피부 접촉량의 추정치가 결정된다. 피부로 흡수된 오염물질의 용량(추정치)은 하루동안 피부에 노출될 수 있는 피부 접촉량이 된다. 아래의 방정식은 하루에 피부노출로 인하여 피부에 흡수된 오염물질의 용량(mg/day)을 추정하는 공식이다.

$$DA=(S)(Q)(FQ)(ABS)(WF)$$

DA ; 피부 흡수용량(mg/day)

S ; 노출될 수 있는 피부면적(cm^2)

Q ; 노출 건수당 피부에 침적양($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{event}$)

FQ ; 하루당 노출 건수

ABS ; 노출동안의 피부접촉량 중에서 피부에 흡수된 용량 비율

WF ; 혼합물 중에 그 오염물질의 비율

일단 피부 흡수용량이 추정되면, mg/day 로 단위전환을 시킨 직업적 노출기준과 쉽게 비교할 수 있게 된다.

환경 오염물질이 노출되면 노출이 진행되는 동안 피부에 흡수되는 경우가 있고, 어떤 것은 노출이 끝난 후에 흡수되며, 흡수가 되지 못하고 제거되는 경우도 있다. 따라서 피부흡수는 합리적인 시간(보통 4시간)동안에 피부를 통하여 흡수된 오염물질량에 대해서만 사용하고 있다. 이것은 4시간 후에도 피부에 남아있는 오염물질은 흡수되지 않고 제거될 것으로 간주하는 것이다.

노출 가능성이 있는 피부의 면적을 계산하기 위하여 근로자들이 수행하고 있는 작업활동과 업무, 그리고 작업활동을 하는 동안에 노출될 수 있는 피부의 위치와 횟수 등에 대한 정보를 수집할 필요가 있다. 신체 각 부위별 표면적에 대하여 몇

몇 연구자들이 어른과 아이들을 각각 측정하여, 피부표면적에 대한 통계적 기술자(記述子)를 개발하였다. 표 3-73은 피부용량을 예측하는데 있어서 기본값으로 미국환경청(EPA)에서 사용하고 있는 신체 부위별 피부표면적 측정치이다. 피부의 흡수율은 신체의 부위에 따라 차이가 있음을 기억해야 한다.

<표 3-73> 신체부위별 피부 면적

신체부위	남자		여자	
	평균 cm ²	범위(최소~최대) cm ² *	평균 cm ²	범위(최소~최대) cm ² *
머리	1180	900~1610	1100	953~1270
몸통	5690	3060~8930	5420	4370~8670
팔(전체)	2280	1090~2920	2100	1930~2350
팔 상부	1430	1220~1560	-	-
앞 팔	1140	945~1360	-	-
손	840	596~1130	746	639~824
다리	6360	2830~8680	4880	4230~5850
허벅지	1980	1280~4030	2580	2580~3600
다리 하부	2070	930~2960	1940	1650~2290
발	1120	611~1560	975	834~1150
총	19,400	16,600~22,800	16,900	14,500~20,900 ¹⁴

* : 5%에서 95% 범위

출처 : EPA

피부노출용량을 예측하기 위하여 침적방법을 사용할 때에는 하루당 노출 건수를 해석하는데 주의해야 한다. 피부 침적에 대한 대부분의 자료는 단일 노출이 발생하였을 경우에 수집된 것들이다. 피부에 침적된 오염물질의 양과 시간이 경과함에 따라 흡수되는 오염물질의 양 사이의 관계는 아직 알려지지 않고 있다. 다만, 피부가 보유할 수 있는 오염물질의 양은 처음에는 선형관계로 증가하지만 피부가 오염물질을 보유할 수 있는 점착능력이 한계에 부딪치면 비선형관계로 증가하게 될 것이고 결국에는 부착과 이탈이 평형점에 도달할 것이라고 보는 것이 합리적이다.

일반적으로 자료들은 개인보호구를 착용하지 않은 근로자들의 노출량을 나타내고 있는데, 시료채취는 대부분 피부노출의 대용물인 장갑 등을 사용하고 있어서 실제 피부 노출량과는 오차가 있는 추정치이다. 더구나 피부에 보유된 오염물질의 양은 근로자의 활동에 의하여 크게 달라질 수 있다. 일반적으로 손이 오염물질에 가장 많이 노출되지만, 신체의 다른 부위도 유의한 수준으로 노출되고 있다고 많은 보고에서 밝히고 있다. 피부노출의 대용물로 손을 사용하게 되면 노출이 과대평가된다는 사실이 이론과 실험에 의하여 확인되었다.

작업장과 관련된 피부노출평가와 관련하여 이용할 수 있는 자료의 양과 정보가 부족하기 때문에 추정치를 개발하기 위해서는 전제조건이 필요하다. 공통적인 전제조건은 첫째, 흡수패드로 측정된 오염물질의 양과 그것을 부착한 신체의 특정 부위에 침착량과 동일하다. 둘째, 흡수패드 또는 장갑 등의 보유율은 피부와 동일하다 등이다. 또한 노출평가에서는 조사자들이 사용하는 다양한 측정방법과 농약 뿐만 아니라 다양한 작업장에서 행해지는 오염물질의 혼합과 운반 방법 등으로 인한 영향을 고려해야 한다.

노출된 피부의 면적과 피부에 이동된 환경오염물질의 양을 추정하면서, 동시에 노출시간과 그 피부의 침투성질을 고려해야 한다. 일반적으로 피부침투에 대해서는 밝혀진 것이 거의 없다. 피부침투성질을 모르는 화학물질이 있다고 생각해 보자. 이런 경우 지금까지는 화학물질이 피부에 순간적으로 접촉하여 흡수가 전혀 되지 않은 경우(흡수시간이 제로(0))와 흡수가 완전히 일어난 경우만 고려하였다. 물론 이렇게 하면 노출이 엄청나게 과대평가된다. 그러나 적절한 자료가 없기 때문에 이것을 유일한 방법으로 선택해야 한다.

비록 화학물질에 대한 표면오염 기준이 설정되어 있지 않아도 작업장 표면, 장비, 보호의 내부, 작업이 활동이 없는 장소 등에서 표면시료를 채취하는 것은 매우 유용하다.

참고적으로 표 3-74는 현재까지 연구된 피부흡수율에 관한 정보이다.

<표 3-74> 신체부위별 피부 면적, 유기용제의 피부흡수율에 관한 정보

유기용제	피부흡수율 (mg/hr/cm ²)	종	참고문헌
Aniline	0.2-0.7	Human	Piotrowski, 1957
Carbon Disulfide	9.7	Human	Baranowska, 1967
Benzene	0.4	Human	Hanke, 1961 ⁽¹⁰⁾
Benzene	0.24	Human	Maibach, 1981
Benzene	0.229	Mouse	Tsuruta , 1986
Toluene	14-23	Human	Dutkiewicz, 1968
Toluene	0.0442	Mouse	Tsuruta , 1986
Styrene	9-15	Human	Dutkiewicz, 1968
Styrene	0.060	Human	Berode, 1985
m-Xylene	0.12	Human	Engstrom, 1977
m-Xylene	0.147	Human	Lauwerys, 1978
m-Xylene	0.127	Human	Riihimaki, 1979
m-Xylene	0.0182	Mouse	Tsuruta , 1986
Methanol	11.5	Human	Dutkiewicz, 1980
Methanol	9.6	Mouse	Tsuruta , 1988

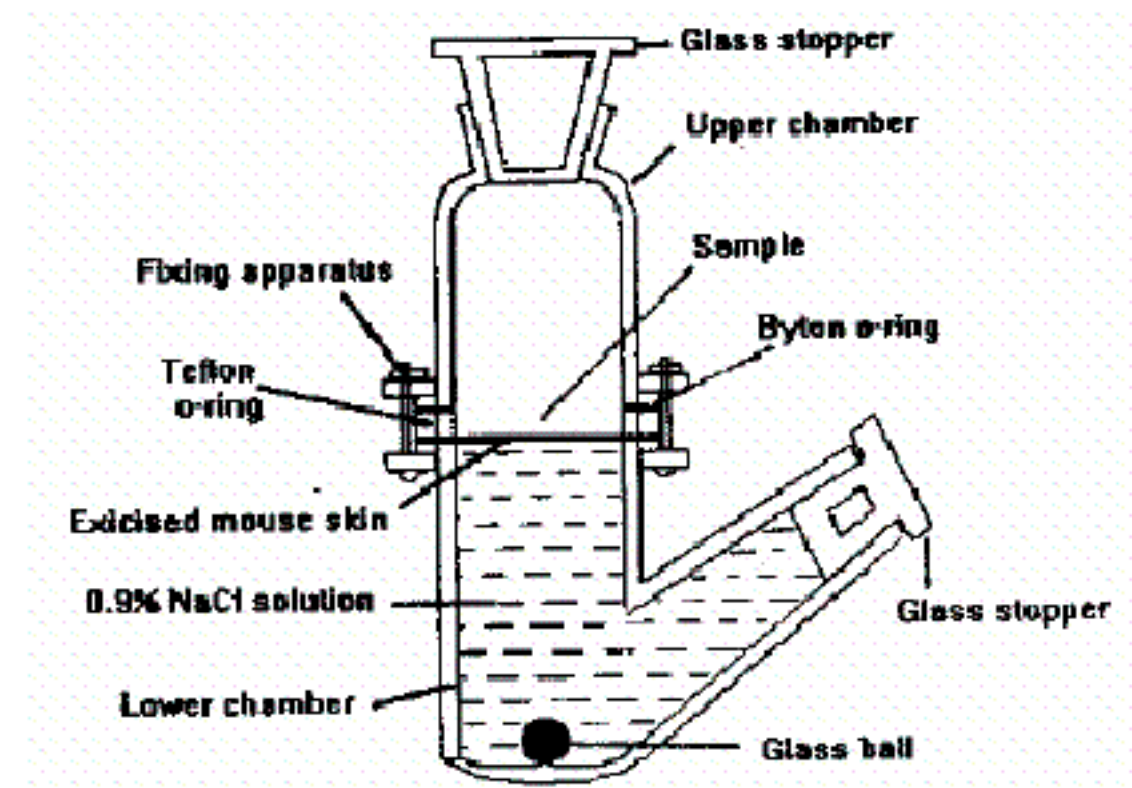
참고적으로 <표 3-75> 은 현재까지 연구된 피부흡수 계수에 관한 정보이다.

<표 3-75> 유기용제의 피부흡수계수에 관한 정보

유기용제	피부흡수 계수 (cm/hr)	종	참고문헌
Styrene	1.22	Human	Wieczorek, 1985
Dibromomethane	1.12	Rat	McDougal, 1985
Bromochloromethane	0.79	Rat	McDougal, 1985
Dichloromethane	0.28	Rat	McDougal, 1985
Toluene	1.24	Nude mouse	Tsuruta, 1989
Tetrachloroethylene	1.00	Nude mouse	Tsuruta, 1989
Benzene	0.60	Nude mouse	Tsuruta, 1989
1,1,1-Trichloroethane	0.01 *	Human	Riihimaki, 1978
Styrene	0.369 *	Human	Riihimaki, 1978
Xylene	0.27 *	Human	Riihimaki, 1978
Toluene	0.187 *	Human	Riihimaki, 1978
Perchloroethylene	0.188*	Human	Riihimaki, 1978
Vinyl chloride	6.37×10^{-6} *	Monkey	Hefner, 1975

* Values calculated by author

(그림 3-150)은 피부흡수 실험을 유리 확산 셀(glass diffusion cell)로 실시하는 그림이다.



[그림 3-150] 유리 확산셀(glass diffusion cell)을 이용한 피부흡수 실험

라) 피부노출 모니터링

피부에 침적된 오염물질의 양은 활동에 의하여 달라진다는 것은 잘 알려져 있다. 그러나 피부에 입자들이 부착되는데 영향을 주는 요인과 액체가 피부를 통하여 흡수되는 기전에 대해서는 알려진 것은 거의 없다. 피부노출의 정량화는 다양한 방법에 의하여 시도되었고, 이와 관련된 많은 연구가 보고되었다. 피부노출과 발생원을 측정하는 방법은 많이 있다. 여기에는 흡수패드와 형광 시료채취, 장갑과 손세정 시료채취, 표면시료채취 그리고 기타 기술 등을 소개하면서 많이 사용되고 있는 몇 개의 방법들에 대하여 설명하겠다.

표면 시료채취(wipe sampling)는 표면에 오염된 양을 추정할 때에 가장 많이 사용하고 있는 방법이다. 표면시료채취에서 얻은 자료를 해석하는 것이 어렵기 때문에 시료채취의 표준화가 매우 중요하다. 때때로 젖은 솜 거즈 패드를 표준화된 오염지역의 시료를 채취하기 위하여 사용하고 있으며, 표면을 닦는 횟수는 아직 표준화되지 않았다. 시료채취 기구가 일정한 압력으로 닦아지도록 동일한 힘으로 닦아야 한다. Fenske는 표면시료채취 후 피부전환계수를 이용하여 피부에 침착될 수 있는 양을 추정하는 것이라고 말했다.

흡수패드와 형광 시료채취는 피부노출평가에 가장 많이 사용되고 있는 방법

이다. 이것은 부착 거즈패드, 처리된 헝겊, 알파-셀룰로오스 패드 등을 의복이나 피부의 여러 위치에 부착하여 피부에 침착된 오염물질을 포집한다. 피부 노출량은 흡수패드의 단위면적에 침착된 오염물질의 양과 그 흡수패드가 대표하는 피부의 표면적을 곱하여 추정량을 계산할 수 있다. 이때 흡수패드에 침착된 오염물질은 균일하게 분포되었고, 그 흡수패드에 침착된 오염물질이 피부표면에 침착된 오염물질을 대표한다는 조건이 전제되어 있다. 이러한 방법은 비휘발성 오염물질과 증기압이 매우 낮은 물질을 채취할 때 일반적으로 많이 사용된다.

활성탄이 충전된 헝겊은 휘발성물질을 평가하기 위하여 시료 채취하는데 사용한다. 흡수패드를 이용하는 경우 장점과 단점이 있다. 그러므로 그 결과를 해석할 때에 주의해야 한다. 중요한 불확실성의 하나는 흡수패드에 의해 포집된 오염물질의 양을 피부표면의 침착된 오염물질로 외삽하는 것과 관련된 것이다. 이런 이유 때문에 전신노출평가방법은 흡수패드로 의복을 만들어서 기존 흡수패드의 한계를 극복하고자 노력하고 있다. 또한 시료를 채취한 흡수패드를 수집하고 운반하는 것은 실험과정에서 매우 중요하다. 이 과정에서 흡수패드가 부주의에 의하여 오염물질이 첨가되거나 손실되지 않도록 세심한 주의가 필요하다.

장갑과 손세척 시료채취는 손피부 노출을 평가하는데 많이 사용되는 방법이다. 이 방법에서 얻은 자료도 역시 해석하기가 매우 어렵다. 흡수장갑을 사용하면 그 일부를 채취하여 분석에 사용한다. 손을 세정하는 경우는 다양한 분석방법을 이용할 수 있는 적절한 세정을 사용한다. 농약의 노출을 평가하기 위해 표준 손세정 방법을 사용하였을 경우, 손에서의 제거효율과 관련된 불확실성 때문에 실제 노출량과는 차이가 많다고 보고되어 왔다. 다른 연구자에 의하면 유기용매를 사용하여 자루를 세척하는 작업에서도 동일한 문제점이 있음을 제기하면서, 위험에 처할 수도 있음을 보고하였다. 손에서 오염물질의 제거효율이 피부에 침착된 화학물질, 노출에서 세척까지의 시간간격, 세정용액의 종류 등에 따라 크게 달라지므로 손 세정과정의 표준화는 매우 중요하다.

마) 피부노출평가의 사례

공장에서 물 공급라인의 유지보수를 책임 맡고 있는 근로자들 사이에서 피

부질환이 발생하는지를 조사하는 용역을 계약하였다. 기초자료와 정보를 통하여 손에 타진통(打診痛, 저림증상)을 호소하는 근로자들이 몇 명 있었다는 것을 발견하였다. 이것의 초기 증상은 피부가 건조해지고 박리현상이 나타나는 것이다. 그들은 틈새를 봉하기 위하여 아크릴아미드 화합물을 사용하고 있었다. 그러나 이 작업을 할 경우 장갑을 착용하도록 규정되어 있기 때문에, 이 물질이 피부에 노출될 가능성은 매우 적었다.

아크릴아미드에 대한 ACGIH TLV-TWA(0.03 mg/m^3)는 노출의 초과여부를 판단하는 노출기준을 선택하였다. 그리고 작업이 진행되는 동안 피부접촉에 의하여 이물질이 노출되는 것으로 생각하였다. 아크릴아미드는 ACGIH에서 동물 발암물질로 규정되었으며, 사람에게 발암이 의심되는 물질로 확인되고 있다. TLV는 공기중 시료채취방법에 의해서는 모든 노출량을 정확히 정량화할 수 없으므로 피부흡수를 고려해야 하며, 또한 피부흡수를 완화시킬 수 있는 보호대책이 필요하다고 권고하고 있다. 아크릴아미드의 피부노출기준은 없으며, ACGIH도 생물학적 노출지수(BEI)를 제정하지 않았다.

아래의 방법에 의하여 총 신체용량이 0.3 mg/day 를 얻었다.

노출기준(0.03mg/m^3) $\times$ 일일 호흡량($10\text{m}^3/\text{day}$) = 0.3mg/day 총 신체용량

이용할 수 있는 피부 모니터링자료는 거의 없으므로 아래 방정식을 이용하여 피부용량을 나타내는 스크리닝수준 추정치(피부흡수용량)를 계산하였다. 평가 대상의 특정작업은 분말로 되어 있는 아크릴아미드와 다른 물질을 혼합하는 작업, 손으로 컵에 혼합된 액체를 소량 채취하여 아크릴아미드 겔의 농도를 평가하는 작업, 그라우팅 장비를 조립하는 작업, 물 공급라인의 틈새를 봉하는 작업 등이다. 방정식은 아래와 같다.

$$DA = S \cdot Q \cdot FQ \cdot ABS \cdot WF$$

DA ; 피부 흡수용량(mg/day)

S ; 노출될 수 있는 피부면적(cm^2)

Q ; 노출 건수당 피부에 침착된 량($\text{mg/cm}^2 \cdot \text{event}$)

FQ ; 하루당 노출 건수

ABS ; 노출동안에 피부 접촉량 중에서 피부에 흡수된 용량 비율

WF ; 혼합물 중에 그 오염물질의 비율

위 공식을 이용하여 계산된 각 작업의 추정 피부흡수용량이 <표 3-76>과 같다.

<표 3-76>작업활동에 따른 피부흡수용량 계산 결과표

작업활동	S (cm ²)	Q (mg/cm ²)	WF (무게%)	FQ (건수/day)	ABS (%)	DA (mg/day)
아크릴아미드를 혼합탱크에 부음	840 (두손)	0.06-2.1	1	1	0.25	13-440
밀도측정 (수작업)	420 (한손)	0.002-2.4	0.05	1	0.25	0.01-13
장비조립	420 (한손)	0.002-2.4	0.05	1	0.25	0.01-13
그라우팅 작업	840 (두손)	<0.3-2.1	0.05	2	0.25	3-44

아크릴아미드의 피부침투는 약 25%로 사용하고 있는데, 이것은 몇몇 연구자들이 실험연구를 통하여 얻은 결과이다. mg/day로 단위전환된 노출기준과 비교하였을 때 스크리닝수준 추정치(피부흡수용량)가 노출기준을 초과하는 것으로 확인되었다. 물론 스크리닝수준 추정치는 참값보다 과대평가된 것이다.

따라서 즉시 장갑의 사용방법, 작업장의 정리정돈, 기존 작업장 방지대책 등을 개선하여 피부노출을 감소시킬 수 있도록 조치를 취해야 한다. 또한 작업장 조치와 보호장비가 효과를 거두고 있는지 확인하기 위하여 피부노출 모니터링을 실시하였다. 분말로 되어 있는 아크릴아미드는 액체형태로 바꾸어서 호흡기를 통한 노출의 가능성을 감소시켰다.

이러한 관리대책이 수행하면서 측정된 피부 노출량은 17~90 mg/day이었고, 아크릴아미드를 혼합하는 탱크의 표면은 6.2~2.34 mg/100 cm²이었다. 노출의

주요 출처는 오염된 작업장 표면, 장비, 공구 등이었다. mg/day로 나타낸 노출 기준과 비교하였을 때 노출이 효과적으로 억제된 것으로 나타났다. 측정된 피부 노출량은 0.004~0.02 mg/day까지 감소하였다. 그러나 피부노출을 더 이상 감소시킬 수는 없었다. 따라서 피부노출을 감소시킬 수 있는 다른 방법, 즉 아크릴아미드의 치환 등과 같은 방법을 찾아야 한다.

참고문헌

[Argus et al., 1965](#). M.F. Argus, J.C. Arcos and C. Hoch-Ligeti, Studies on the carcinogenic activity of protein-denaturing agents: hepatocarcinogenicity of dioxane. J. Natl. Cancer Inst.35 (1965), pp. 949 - 958.

[Argus et al., 1973](#). M.F. Argus, R.S. Sohal, G.M. Bryant, C. Hoch-Ligeti and J.C. Arcos, Dose - response and ultrastructural alterations in dioxane carcinogenesis. Eur. J. Cancer9 (1973), pp. 237 - 243.

[Buffler et al., 1978](#). P.A. Buffler, S.M. Wood, L. Suarez and D.J. Kilian, Mortality follow-up of workers exposed to 1,4-dioxane. J. Occup. Med.20 4 (1978), pp. 255 - 259.

[Kitchin and Brown, 1990](#). K.T. Kitchin and J.L. Brown, Is 1,4-dioxane a genotoxic carcinogen?. Cancer Lett.53 1 (1990), pp. 67 - 71.

[Krewski et al., 1994](#). D. Krewski, J.R. Withey, L. Ku and M.E. Andersen, Applications of physiologic pharmacokinetic modeling in carcinogenic risk assessment. Environ. Health Perspect.102 Suppl. 11 (1994), pp. 37 - 50.

[Morita, 1994](#). T. Morita, No clastogenicity of 1,4-dioxane as examined in the mouse peripheral blood micronucleus test. MMS Commun.2 (1994), pp. 7 - 8.

Munoz and Barnett, 2002. E.R. Munoz and B.M. Barnett, The rodent carcinogens 1,4-dioxane and thiourea induce meiotic non-disjunction in *Drosophila melanogaster* females. *Mutat. Res.*517 (2002), pp. 231 - 238.

Reitz et al., 1990. R.H. Reitz, P.S. McCroskey, C.N. Park, M.E. Andersen and M.L. Gargas, Development of a physiologically based pharmacokinetic model for risk assessment with 1,4-dioxane. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*105 1 (1990), pp. 37 - 54.

USEPA, 1988. USEPA, 1988. Recommendations for and Documentation of Biological Values for Use in Risk Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. PB88-179874. February

Woo et al., 1977. Y.T. Woo, J.C. Arcos, M.F. Argus, G.W. Griffen and K. Nishiyama, Structural identification of p-dioxane-2-one as the major urinary metabolite of p-dioxane. *Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Toxicol.*299 (1977), pp. 283 - 287.

Woo et al., 1978. Y.T. Woo, M.F. Argus and J.C. Arcos, Effect of mixed function oxidase modifiers on metabolism and toxicity of the oncogen dioxane. *Cancer Res.*38 (1978), pp. 1621 - 1625.

29 CFR 1910.1000; U.S. National Archives and Records Administration's Electronic Code of Federal Regulations. Available from: <http://www.gpoaccess.gov/ecfr> as of June 1, 2005

A.F. McFee, M.G. Abbott, D.K. Gulati and M.D. Shelby, Results of mouse bone marrow micronucleus studies on 1,4-dioxane, *Mutat. Res.* 322 (1994), pp. 145 - 148.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists TLVs and BEIs. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH, 2005, p. 27

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 6th ed. Cincinnati: 1996. pp512-515

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. 5th ed. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1986., p. 217

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Documentation of Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices for 2001. Cincinnati, OH. 2001., p. 1-3

American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Topics in Biological Monitoring. Cincinnati, Ohio: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1996.

Anonymous: 'Worker Dermal Exposure to Trichloroacetone-Laboratory Final Report." [Data submitted to U.S. Environmental Protection Agency for the Premanufacture Notification Program.] Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency/Office of Pollution Prevention and Toxics, 1996.

Arena, J. M. Poisoning: Toxicology, Symptoms, Treatments. Fourth Edition. Springfield, Illinois: Charles C. Thomas, Publisher, 1979., p. 87

Argus MF et al; Eur J Cancer 9: 237-43 (1973) as cited in USEPA; Chemical Hazard Information Profile: 1,4-Dioxane (Draft) p.8 (1979)

Argus, M.F.; Arcos, J.C.; Hoch-Ligeti, C.: Studies on the Carcinogenic Activity of Protein-Denaturing Agents - Hepatocarcinogenicity of dioxane. J. Natl. Cancer Inst. 35:949-958 (1965).

Argus, M.F.; Sohal, R.S.; Bryant, G.M.; et al.: Dose Response and Ultrastructural Alterations in Dioxane Carcinogenesis. Influence of Methylcholanthrene on Acute Toxicity. Eur. J. Cancer 9:237-243 (1973).

Ashby and Tennant, 1988. J. Ashby and R.W. Tennant, Chemical structure, Salmonella mutagenicity and extent of carcinogenicity as indicators of genotoxic carcinogens among 222 chemicals tested in rodents by the U.S. NCI/NTP Mutat. Res.204 (1988), pp. 17 - 115.

Ashby, 1994. J. Ashby, Series: current issues in mutagenesis and

carcinogenesis, No. 45—The genotoxicity of 1,4-dioxane. *Mutat. Res.*322 2 (1994), pp. 141 - 150.

Association of American Railroads/Bureau of Explosives; Emergency Handling of Hazardous Materials in Surface Transportation. Association of American Railroads. Pueblo, CO. 2002., p. 366

Barber, H.: Haemorrhagic Nephritis and Necrosis of the Liver from Dioxane Poisoning. *Guy's Hosp. Repts.*84:267-280 (1934).

Bingham, E.; Cohrssen, B.; Powell, C.H.; *Patty's Toxicology Volumes 1-9* 5th ed. John Wiley & Sons. New York, N.Y. (2001)., p. V8 p.1313

Bioassay of 1,4-Dioxane for Possible Carcinogenicity (1978) Technical Rpt Series No. 80 DHEW Pub No. (NIH) 78-1330, U.S. Department of Health Education and Welfare, National Cancer Institute, Bethesda, MD 20014

Braun and Young, 1977. W.H. Braun and J.D. Young, Identification of β -hydroxyethoxyacetic acid as the major metabolite of 1,4-dioxane in the rat. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*39 (1977), pp. 33 - 38.

Braun, W.H.: Rapid Method for Simultaneous Determination of 1,4-Dioxane and Its Major Metabolite, β -Hydroxyethoxyacetic Acid, Concentrations in Plasma and Urine. *J. Chromatogr.* 133:263-266 (1977).

Bretherick, L. Handbook of Reactive Chemical Hazards. 4th ed. Boston, MA: Butterworth-Heinemann Ltd., 1990, p. 17, 469

Brooke L; Center for Lake Superior Environ.Stud., Univ.of Wisconsin-Superior, Superior, WI: 24 (1987). Available from the ECOTOX database on 1,4-Dioxane (123-91-1) at: http://www.epa.gov/cgi-bin/ecotox_quick_search as of July 20, 2005.

Buffler, P.A.; Wood, S.M.; Suarez, L.; Kilian, D.J.: Mortality Follow-up Among Workers Exposed to 1,4-Dioxane in the Chemical Industry. Unpublished report submitted to NIOSH (December 17, 1976); cited by NIOSH in reference 36.

Bull et al., 1986. R.J. Bull, M. Robinson and R.D. Laurie, Association of carcinoma yield with early papilloma development in SENCAR mice. Environ. Health Perspect.68 (1986), pp. 11 - 17.

C. Hoch-Ligeti, M.F. Argus and J.C. Arcos, Induction of carcinomas in the nasal cavity of rats by dioxane, Br. J. Cancer 24 (1970), pp. 165 - 167.

Chemicals Data Compilation. Washington, D.C.: Taylor and Francis, 1989., p.

Chemicals Inspection and Testing Institute. Japan Chemical Industry Ecology - Toxicology and Information Center. ISBN 4-89074-101-1 (1992)

Chien JCW et al; Acid-Catalyzed Degradation of Poly (2-Butyl-1,3,6-Trioxocane) Report No. TR-13 p.33 (1986)

Cited By in Scopus [Hartung, 1989](#). R. Hartung, Health and Environmental Effects Assessment for 1, 4-Dioxane. , Gelman Sciences, Inc., Ann Arbor, MI (1989).

Clayton, G. D. and F. E. Clayton (eds.). Patty's Industrial Hygiene and Toxicology: Volume 2A, 2B, 2C: Toxicology. 3rd ed. New York: John Wiley Sons, 1981-1982., p. 3951, 3956, 3947

Colormetric Laboratories, Inc.: "Implementation of a Dermal Exposure Protection Program." Des Plaines, Ill.: Colormetric Laboratories, Inc., 1995. [Brochure.]

Daubert TE, Danner RP; Physical and Thermodynamic Properties of Pure Chemicals Data Compilation Washington, DC: Taylor and Francis (1989)

DCE/NCI; Monograph On Human Exposure To Chemicals In The Workplace: 1,4-Dioxane p.2-3 (1985)

De Rosa CT, Wilbur S, Holler J, Richter P, Stevens YW (1996) Health evaluation of 1,4-dioxane. Toxicol Ind Health 12:1 - 43

DeCock, J., D. Heedrik, H. Kromhout, and J.S.M. Boleij: Strategy for

Assigning a "Skin Notation": A Comment. Ann. Occup. Hyg. 40:611-614. (1996).

DeNavasquez, S.: Experimental Tubular Necrosis of the Kidneys Accompanied by Liver Changes Due to dioxane Poisoning. J. Hyg. 35:540-548 (1935).

Dernehl, C.U.: Written communication to NIOSH (1976); cited by NIOSH in reference 36.

DeRosa et al., 1996. C.T. DeRosa, S. Wilbur, J. Holler, P. Richter and Y. Stevens, Health evaluation of 1,4-dioxane. Toxicol. Ind. Health 12 1 (1996), pp. 1 - 43.

DHEW/NCI; Bioassay of 1,4-Dioxane for Possible Carcinogenicity p.vii Technical Report Series No. 80 (1978) NIH Pub. 78-1330

DM, Jackh R, Butterworth BE (1991) Examination of potential mechanisms of carcinogenicity of 1,4-dioxane in rat nasal epithelial cells and hepatocytes. Arch Toxicol 65:1 - 9

Doull, J., C.D. Klaassen, and M. D. Amdur (eds.). Casarett and Doull's Toxicology. 2nd ed. New York: Macmillan Publishing Co., 1980., p. 485

DOW Chemical Corp.; Summaries of Environmental Data on Phenol,

1,4-Dioxane, and Acrylonitrile (9/21/89); EPA Doc. No. FYI-OTS-1089-0719;
Fiche No. OTS00000719

E.T. Mirkova, Activity of the rodent carcinogen 1,4-dioxane in the mouse bone marrow micronucleus assay, *Mutat. Res.* 322 (1994), pp. 142 - 144.

European Chemicals Bureau; IUCLID Dataset, 1,4-Dioxane (123-91-1) (2000 CD-ROM edition). Available from the database query page: <http://ecb.jrc.it/esis/esis.php> as of June 30, 2005.

Experimental Inhalation of Vapor Mixtures by Rats with Notes Upon the Relationship Between Single Dose Inhalation and Single Dose Oral Data. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 20:364-369 (1959).

Fairley, A.; Linton, E.C.; Ford-Moore, A.H.: The Toxicity to Animals of 1,4-Dioxane. *J. Hyg.* 34:486-501 (1934).

Fenske, R.A., and C. Lu: Determination of Handwash Removal Efficiency: Incomplete Removal of the Pesticide Chlorpyrifos from Skin by Standard Handwash Techniques. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 55(5):425-432 (1994).

Fenske, R.A., and J.J. van Hemmen: Occupational Skin Exposure to Chemical Substances: Setting Limits. *Ann. Occup. Hyg.* 38(4):333-336(1994).

Fenske, R.A.: Dermal Exposure Assessment Techniques. *Ann. Occup. Hyg.*

37(6):687-706 (1993).

Fielding M et al; Formulation of Preliminary Assessment of Halogenated Organic Compounds in Man and Environmental Media. USEPA-560/13-79-006 (1979)

Fire Protection Guide to Hazardous Materials. 13 ed. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2002., p. 49-69

Fiserova-Bergerova, V., J.T. Pierce, and P.O. Droz: Dermal Absorption Potential of Industrial Chemicals: Criteria for Skin Notation. Am. J. Ind. Medicine 17:617-635 (1990).

Flick, E.W. Industrial Solvents Handbook. 3rd ed. Park Ridge, NJ: Noyes Publications, 1985., p. 399

Fuh CB, Lai M, Tsai HY, Chang CM. Impurity analysis of 1,4-dioxane in nonionic surfactants and cosmetics using headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. J Chromatogr A. 2005 Apr 15;1071(1-2):141-5.

Galloway et al., 1987. S.M. Galloway, M.J. Armstrong, C. Reuben, S. Coleman, B. Brown, C. Cannon, A.D. Bloom, F. Nakamura, M. Ahmed, S. Duk, J. Rimpo, B.H. Margolin, M.A. Resnick, B. Anderson and E. Zeiger,

Chromosome aberrations and sister chromatid exchanges in Chinese hamster ovary cells: evaluation of 108 chemicals. *Environ. Mol. Mutag.* 10 Suppl. 10 (1987), pp. 1 - 175.

Giavini, E.; Vismara, C.; Broccia, M.L.: Teratogenesis Study of dioxane in Rats. *Toxicol. Lett.* 26:85-88 (1985).

Gingell, R.; et al.: Glycol Ethers and Other Selected Glycol Derivatives. In: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 4th ed., Vol. II, Part D, Toxicology, pp. 2821-2830. G.D. Clayton and F.E. Clayton, Eds. John Wiley and Sons, Inc., NY (1994).

Goldsworthy et al., 1991. T.L. Goldsworthy, T.M. Monticello, K.T. Morgan, E. Bermudez, D.M. Wilson, R. Jäckh and B.E. Butterworth, Examination of potential mechanisms of carcinogenicity of 1,4-dioxane in rat nasal epithelial cells and hepatocytes. *Arch. Toxicol.* 65 1 (1991), pp. 1 - 9.

Goldsworthy TL, Monticello TM, Morgan KT, Bermudez E, Wilson J. *Chromatogr A.* 2005 Apr 15;1071(1-2):141-5.

Goldsworthy, T.L.; Monticello, T.M.; Morgan, K.T.; et al.: Examination of Potential Mechanisms of Carcinogenicity of 1,4-Dioxane in Rat Nasal Epithelial Cells and Hepatocytes. *Arch. Toxicol.* 65:1-9 (1991).

Gosselin, R.E., R.P. Smith, H.C. Hodge. *Clinical Toxicology of Commercial*

Products. 5th ed. Baltimore: Williams and Wilkins, 1984., p. II-408

Gross, E.: Toxicology and Hygiene of Industrial Solvents. Springer, Berlin (1938).

H. Tinwell and J. Ashby, Activity of 1,4-dioxane in mouse bone marrow micronucleus assays, *Mutat. Res.* 322 (1994), pp. 148 - 150.

Hamilton, A., and H. L. Hardy. Industrial Toxicology. 3rd ed. Acton, Mass.: Publishing Sciences Group, Inc., 1974., p. 302

Hansch, C., Leo, A., D. Hoekman. Exploring QSAR - Hydrophobic, Electronic, and Steric Constants. Washington, DC: American Chemical Society., 1995., p. 8

Haseman and Hailey, 1997. J.K. Haseman and J.R. Hailey, An update of the National Toxicology Program database on nasal carcinogens. *Mutat. Res.* 380 (1997), pp. 3 - 11.

Haworth et al., 1983. S. Haworth, T. Lawlor, K. Mortelmans, W. Speck and E. Zeiger, Salmonella mutagenicity test results for 250 chemicals. *Environ. Mutag. Suppl.* 1 (1983), pp. 3 - 142.

Health and Welfare Canada, U.S. Environmental Protection Agency, and National Agricultural Chemicals Association: "Pesticide Handler's Exposure

Database (PHED, Version 1.1 update)." February 1992.

Hellman, T.M.; Small, F.H.: Characterization of the Odor Properties of 101 Petrochemicals Using Sensory Methods. J. Air Pollut. Control Assoc. 24:979-982 (1974).

Hoch-Ligeti and Argus, 1970. Hoch-Ligeti, C., Argus, M.F., 1970. Effect of carcinogens on the lungs of guinea pigs. In: Nettesheim, P., Hanna Jr., M.G., Deatherage Jr., J.W. (Eds.), Morphology of Experimental Respiratory Carcinogenesis. Publication No. CONF-700401, pp. 267 - 279. Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, VA

Hoch-Ligeti et al., 1970. C. Hoch-Ligeti, M.F. Argus and J.C. Arcos, Induction of carcinomas in the nasal cavity of rats by dioxane. Br. J. Cancer 24 (1970), pp. 164 - 167.

Hoch-Ligeti, C.; Argus, M.F.: Effect of Carcinogens on the Lung of Guinea Pigs. In: Morphology of Experimental Respiratory Carcinogens, pp. 267-269. P. Nettesheim, M.G. Hanna, Jr., and J.W. Deatherage, Jr., Eds. U.S. Atomic Energy Commission Pub. No. CONF700401. U.S. National Technical Information Service, Springfield, VA (1970).

Hoch-Ligeti, C.; Argus, M.F.; Arcos, J.E.: Induction of Carcinomas in the Nasal Cavity of Rats by dioxane. Br. J. Cancer 24:164-167 (1970).

HSDB 1,4-Dioxane, Hazardous Substances Data Base, National Library of Medicine, 2004.

IARC 1,4-Dioxane, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Man 71 (1999) 589 - 602.

IARC, 1999. IARC, 1999. 1,4-Dioxane. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum. 71(Pt. 2), 589 - 602

IARC. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man. Geneva: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 1972

IARC. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man. Geneva: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 1972-PRESENT. (Multivolume work)., p. 71 599 (1999)

IATA. Dangerous Goods Regulations. 45 th Ed. Montreal, Canada and Geneva, Switzerland. International Air Transport Association. Dangerous Goods Regulations, 2004., p. 163

Identification of p-Dioxane-2-one as the Major Urinary Metabolite. Biochem. Pharmacol. 26:1535-1538 (1977).

IMDG; International Maritime Dangerous Goods Code; International Maritime

Organization p.3217 (1998)

Institute for Health and Consumer Protection, ECB; EU Risk Assessment Final Report: 1,4-Dioxane EUR 19833 EN p.11 (2002). Available from: http://ecb.jrc.it/DOCUMENTS/Existing-Chemicals/RISK_ASSESSMENT/REPORT/dioxanereport038.pdf as of July 5, 2005.

International Labour Office. Encyclopedia of Occupational Health and Safety. Volumes I and II. New York: McGraw-Hill Book Co., 1971., p. 391

J. Ashby and R.W. Tennant, Definitive relationships among chemical structure, carcinogenicity and mutagenicity for 301 chemicals tested by the U.S. NTP, *Mutat. Res.* 257 (1991), pp. 229 - 306.

K.T. Kitchin and J.L. Brown, Is 1,4-dioxane a genotoxic carcinogen?, *Cancer Lett.* 53 (1990), pp. 67 - 71.

Keenan et al., 1991. R.E. Keenan, D.J. Paustenbach, R.J. Wenning and A.J. Parsons, Pathology reevaluation of the Kociba et al. (1978) bioassay of 2,3,7,8-TCDD: implications for risk assessment. *J. Toxicol. Environ. Health* 34 (1991), pp. 279 - 296.

King et al., 1973. M.E. King, A.M. Shefner and R.R. Bates, Carcinogenesis bioassay of chlorinated dibenzodioxins and related chemicals. *Environ. Health Perspect.* 5 (1973), pp. 163 - 170.

Kissel, J.C., K.Y. Richter, and R.A. Fenske: Field Measurement of Dermal Soil Loading Attributable to Various Activities: Implications for Exposure Assessment. *Risk Analysis* 16(1): 115-125 (1996).

Ko IY, Park SS, Song BJ, Patten C, Tan Y, Ha YC, Yang CS, Gelboin HV (1987) Monoclonal antibodies to ethanol-induced rat liver cytochrome P-450 that metabolizes aniline and nitrosamines. *Cancer Res* 47:3101 - 3109

Kociba et al., 1974. R.J. Kociba, S.B. McCollister, C. Park, T.R. Torkelson and P.J. Gehring, 1,4-Dioxane. I. Results of a 2-year ingestion study in rats. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 30 (1974), pp. 275 - 286.

Kociba et al., 1975. Kociba, R.J., Torkelson, T.R., Young, J.D., Gehring, P.J., 1975. 1,4-Dioxane: correlation of the results of chronic ingestion and inhalation studies with its dose-dependent fate in rat. In: *Proceedings of the 6th Annual Conference on Environmental Toxicology*. October 21 - 23, Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, pp. 345 - 354

Kociba, R.J.; McCollister, S.B.; Park, C.; et al.: 1,4-dioxane - I. Results of a 2-Year Ingestion Study in Rats. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 30:275-286 (1974).

Kociba, R.J.; Torkelson, T.R.; Young, J.D.; Gehring, P.J.: 1,4-Dioxane: Correlation of the Results of Chronic Ingestion and Inhalation Studies with Its Dose- Dependent Fate in Rats. Paper No. 19. In: *Proceedings of the 6th Annual Conference on Environmental Toxicology*, pp. 345-354.

AMRL-TR-75-125. Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, OH (October 1975).

Konasewich D et al; Status Report on Organic and Heavy Metal Contaminants in the Lakes Erie, Michigan, Huron and Superior Basins. Great Lakes Water Quality Board (1978)

Kramer et al., 1978. Kramer C.G., Ott, M.G., Fulkerson, J.E., Hicks, N., Imbus, H.R., 1978. Health of workers exposed to 1,1,1-trichloroethane: a matched-pair study. Arch. Environ. Health November/December, 331 - 342

Lane, R.W.; Riddle, B.L.; Borzelleca, J.F.: Effects of 1,2-Dichloroethane and 1,1,1-Trichloroethane in Drinking Water on Reproduction and Development in Mice. Toxicol. Appl. Pharmacol. 63:409-421 (1982).

Lansink, C.K.M., M.S.C. Beelen, J. Marquart, and J.J. van Hemmen: Skin Exposure to Calcium Carbonate in the Paint Industry. Preliminary Modeling of Skin Exposure Levels to Powders Based on Field Data (TNO Report V 96.064). Rijswijk, The Netherlands: TNO Nutrition and Food Research Institute, 1996.

Laug, E.P.; Calvery, H.O.; Morris, H.J.; Woodard, G.: The Toxicology of Some Glycols and Derivatives. J. Ind. Hyg. Toxicol. 21:173-201 (1939)

Leung and Paustenbach, 1990. H. Leung and D.J. Paustenbach, Cancer risk

assessment for dioxane based upon a physiologically based pharmacokinetic approach. *Toxicol. Lett.* 51:2 (1990), pp. 147 - 162.

Lewis, R.J. *Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials*. 9th ed. Volumes 1-3. New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1996., p. 1396

Lewis, R.J. *Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials*. 10th ed. Volumes 1-3 New York, NY: John Wiley & Sons Inc., 1999., p. 1509

Lewis, R.J. Sr.; *Hawley's Condensed Chemical Dictionary* 14th Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY 2001., p. 406

Lide, D.R., G.W.A. Milne (eds.). *Handbook of Data on Organic Compounds*. Volume I. 3rd ed. CRC Press, Inc. Boca Raton ,FL. 1994., p. V3: 2495

Lundberg et al., 1987. I. Lundberg, J. Hogberg, T. Kronevi and B. Holmberg, Three industrial solvents investigated for tumor promoting activity in the rat liver. *Cancer Lett.* 36 (1987), pp. 29 - 33.

Lyman WJ et al; *Handbook of Chemical Property Estimation Methods*. McGraw-Hill NY p 9-64 (1982)

Lyman WJ et al; *Handbook of Chemical Property Estimation Methods*. Washington, DC: Amer Chem Soc pp. 7-4, 7-5, 4-9, 15-1 to 15-29 (1990)

M.F. Argus, J.C. Arcos and C. Hoch-Ligeti, Studies on the carcinogenic activity of protein denaturing agents: hepatocarcinogenicity of dioxane, J. Natl. Cancer Inst. 35 (1965).

M.F. Argus, R.S. Sohal, G.M. Bryant, C. Hoch-Ligeti and J.C. Arcos, Dose-response and ultrastructural alteration in dioxane carcinogenesis: influence of methylchloanthrene on acute toxicity, Eur. J. Cancer 9 (1973), pp. 237 - 243.

Mackison, F. W., R. S. Stricoff, and L. J. Partridge, Jr. (eds.). NIOSH/OSHA - Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards. DHHS(NIOSH) Publication No. 81-123 (3 VOLS) New Commercial Organic Compounds - VI. Dioxane Public Health Rep. 45:2023-2032 (1980).

Mackison, F. W., R. S. Stricoff, and L. J. Partridge, Jr. (eds.). NIOSH/OSHA - Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards. DHHS(NIOSH) Publication No. 81-123 (3 VOLS). Washington, DC: U.S. Government Printing Office, Jan. 1981., p. 1-5

Maronpot et al., 1986. R.R. Maronpot, C.A. Montgomery, Jr., G.A. Boorman and E.E. McConnell, National Toxicology Program nomenclature for hepatoproliferative lesions of rats. Toxicol. Pathol. 14 2 (1986), pp. 263 - 273.

Marquart, J.H.: Jan. 20, 1997. [Personal correspondence to Cathy Fehrenbacher, AIHA Exposure Assessment Strategies Committee.

Marzulli et al., 1981. F.N. Marzulli, D.M. Anjo and H.I. Maibach, In vivo skin penetration studies of 2,4,-toluenediamine, 2,4-diaminoanisole, 2-nitro-p-phenylenediamine, p-dioxane, and N-nitrosodiethanolamine in cosmetics. Food Cosmet. Toxicol.19 (1981), pp. 743 - 747.

McArthur, B.: Dermal Measurement and Wipe Sampling Methods: A Review. Appl. Occup. Environ. Hyg. 7(9):599-606 (1992).

McFee et al., 1994. A.F. McFee, M.G. Abbott, D.K. Gulati and M.D. Shelby, Results of mouse bone marrow micronucleus studies on 1,4-dioxane. Mutat. Res.322 2 (1994), pp. 145 - 148.

Merck & Co., Inc.: 1,4-Dioxane. In: The Merck Index,12th edition on CD-ROM, Version 12.1. S. Budavari, M. O'Neil, A. Smith, et al., Eds. Chapman & Hall, New York (1996).

Mirkova, 1994. E.T. Mirkova, Activity of the rodent carcinogen 1,4-dioxane in the mouse bone marrow micronucleus assay. Mutat. Res.322 2 (1994), pp. 142 - 144.

Miyagawa et al., 1999. M. Miyagawa, T. Shirotori, M. Tsuchitani and K. Yoshikawa, Repeat-assessment of 1,4-dioxane in a rat-hepatocyte replicative DNA synthesis (RDS) test: evidence for stimulus of hepatocyte proliferation. Exp. Toxicol. Pathol.51 (1999), pp. 555 - 558.

Montesano, R., H. Bartsch, E.Boyland, G. Della Porta, L. Fishbein, R. A. Griesemer, A.B. Swan, L. Tomatis, and W. Davis (eds.). Handling Chemical Carcinogens in the Laboratory: Problems of Safety. IARC Scientific Publications No. 33. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 1979., p. 8-13

Moore et al., 1994. J.A. Moore, J.F. Hardisty, D.A. Banas and M.A. Smith, A comparison of liver tumor diagnoses from seven PCB studies in rats. Reg. Toxicol. Pharmacol.20 (1994), pp. 362 - 370.

Morita and Hayashi, 1998. T. Morita and M. Hayashi, 1,4-Dioxane is not mutagenic in five in vitro assays and mouse peripheral blood micronucleus assay, but is in mouse liver micronucleus assay. Environ. Mol. Mutag.32 3 (1998), pp. 269 - 280.

Nannelli A, De Rubertis A, Longo V, Gervasi PG. Effects of dioxane on cytochrome P450 enzymes in liver, kidney, lung and nasal mucosa of rat. Arch Toxicol. 2004 Feb;79(2):74-82.

National Environmental Methods Index; Analytical, Test and Sampling Methods. Available from http://web2.er.usgs.gov/nemi/analyte_search.jsp on 1,4-Dioxane (123-91-1) as of June 1, 2005

National Research Council. Prudent Practices for Handling Hazardous Chemicals in Laboratories. Washington, DC: National Academy Press, 1981., p.

NCI cancer bioassay of 1,4-dioxane for possible carcinogenicity, National Cancer Institute, 1978.

NCI, 1978. NCI, 1978. Bioassay of 1,4-Dioxane for Possible Carcinogenicity. National Cancer Institute. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. DHEW Publication No. 78-1330

NCI, 1985. NCI, 1985. Monograph on Human Exposure to Chemicals in the Workplace: 1,4-Dioxane. National Cancer Institute. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Prepared by Center for Chemical Hazard Assessment, Syracuse Research Corporation for Division of Cancer Etiology, National Cancer Institute, Contract NO1-CP-26002-03, p. 6-11

Nelson, N.: Solvent Toxicity with Particular Reference to Certain Octyl Alcohols and dioxanes. Med. Bull. 11:226-238 (1951).

Ness, S.A.: Surface and Dermal Monitoring for Toxic Exposures. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

Netherlands, 1999. Netherlands, 1999. Risk Assessment: 1, 4-Dioxane. Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) and the National Institute of Public Health and the Environment (RIVM). Chemical Substances Bureau, Ministry of Housing, Spatial Planning and the

Environment (VROM), Netherlands, Final Version, 5 November, EINECS-No.: 204-661-8

Neumann et al., 1997. H.G. Neumann, H.W. Thielmann, J.G. Filser, H.P. Gelbke, H. Griem, H. Kappus, K.H. Norpoth, U. Reuter, S. Vamvakas, P. Wardenbach and H.E. Wichmann, Proposed changes in the classification of carcinogenic chemicals in the work area. *Reg. Toxicol. Pharmacol.* 26 (1997), pp. 288 - 295.

NICNAS, 1998. NICNAS, 1998. 1, 4-Dioxane, Priority Existing Chemical No. Full Public Report. National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme. Commonwealth of Australia. June 1998

NIOSH. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards & Other Databases CD-ROM. Department of Health & Human Services, Centers for Disease Prevention & Control. National Institute for Occupational Safety & Health. DHHS (NIOSH) Publication No. 2004-103 (2003), p.

NIOSH. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. DHHS (NIOSH) Publication No. 97-140. Washington, D.C. U.S. Government Printing Office, 1997., p. 363

NIOSH; International Safety Cards. 1,4-Dioxane. 123-91-1. Available at <http://www.cdc.gov/niosh/ipcs/nicstart.html> as of July 1, 2005.

O'Neil MJ, ed; Merck Index, 13th ed, Whitehouse Station, NJ Merck & Co.
p 581 (2001)

O'Neil, M.J. (ed.). The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals,
Drugs, and Biologicals. 13th Edition, Whitehouse Station, NJ: Merck and Co.,
Inc., 2001., p. 581

Packham, C.L.: Skin Care at Work - A Manual for the Prevention of
Occupational Skin Disease, 2nd Rev. Ed. Evesham, United Kingdom: Skin
Care Services, 1994.

Pawar and Mungikar, 1976. S.S. Pawar and A.M. Mungikar,
Dioxane-induced changes in mouse liver microsomal mixed function oxidase
시스템. Bull. Environ. Contam. Toxicol.15 16 (1976), pp. 762 - 767.

Peele, R.E.: Written communication to NIOSH (1977); cited by NIOSH in
reference 36.

Pfleger, K., H. Maurer and A. Weber. Mass Spectral and GC Data of
Drugs, Poisons and their Metabolites. Parts I and II. Mass Spectra Indexes.
Weinheim, Federal Republic of Germany. 1985., p. 100

Pozzani, U.C.; Weil, C.S.; Carpenter, C.P.: The Toxicological Basis of
Threshold Limit Values. 5. The Experimental Inhalation of Vapor Mixtures by
Rats with Notes Upon the Relationship Between Single Dose Inhalation and

Single Dose Oral Data. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 20:364-369 (1959).

R.J. Kociba, S.B. McCollister, C. Park, T.R. Torkelson and P.J. Gehring, 1,4-Dioxane. I. Results of a 2-year ingestion study in rats, Toxicol. Appl. Pharmacol. 30 (1974), pp. 275 - 286.

Ramsey. J., J. Young, and S. Gorzinski: "Acrylamide: Toxicodynamics in Rats." 1984. [Unpublished Dow Chemical Company Report.] In Assessment of Health Risks from Exposure to Acrylamide. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency/Office of Toxic Substances, 1990.

Reitz, R.H.; McCroskey, P.S.; Park, C.N.; et al.: Development of a Physiologically Based Pharmacokinetic Model for Risk Assessment with 1,4-Dioxane. Toxicol. Appl. Pharmacol. 105:37-54 (1990).

Riddick, J.A., W.B. Bunger, Sakano T.K. Techniques of Chemistry 4th ed., Volume II. Organic Solvents. New York, NY: John Wiley and Sons., 1985., p.

Roy SK, Thilagar AK, Eastmond DA.. Chromosome breakage is primarily responsible for the micronuclei induced by 1,4-dioxane in the bone marrow and liver of young CD-1 mice. Mutat Res. 2005 Sep 5;586(1):28-37.

Rumack BH POISINDEX(R) Information system Micromedex, Inc., Englewood, CO, 2006; CCIS Volume 127, edition expires Feb, 2006. Hall AH & Rumack BH (Eds): TOMES(R) Information system Micromedex, Inc.,

Englewood, CO, 2006; CCIS Volume 127, edition expires Feb, 2006., p.

Schrenk, H.H.; Yant, W.P.: Toxicity of dioxane. J. Ind. Hyg. Toxicol. 18:448-460 (1936).

Schwetz, B.A.; Leong, B.K.J.; Gehring, P.J.: The Effect of Maternally Inhaled Trichloroethylene, Perchloroethylene, Methyl Chloroform and Methylene Chloride on Embryonal and Fetal Development in Mice and Rats. Toxicol. Appl. Pharmacol. 32:84-96 (1975).

Sheftel, V.O.; Indirect Food Additives and Polymers. Migration and Response to Certain Industrial Solvent Vapors. J. Ind. Hyg. Toxicol. 28:262-266 (1946).

Sheftel, V.O.; Indirect Food Additives and Polymers. Migration and Toxicology. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 2000., p. 717

Sittig, M. Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens, 1985. 2nd ed. Park Ridge, NJ: Noyes Data Corporation, 1985., p. 382

Smyth, Jr., H.F.: Improved Communication - Hygienic Standards for Daily Inhalation. Am. Ind. Hyg. Assoc. Q. 17:129-185 (1956).

SRI. 2005 Directory of Chemical Producers -United States of America. Menlo Park, CA: SRI International, p. 566 (2005)

Stott et al., 1981. W.T. Stott, J.F. Quast and P.G. Watanabe, Differentiation of the mechanisms of oncogenicity of 1,4-dioxane and 1,3-hexachlorobutadiene in the rat. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 60 2 (1981), pp. 287 - 300.

Stott, W.T.; Quast, J.F.; Watanabe, P.G.: Differentiation of the Mechanisms of Oncogenicity of 1,4-Dioxane and 1,3-Hexachlorobutadiene in the Rat. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 60:287-300 (1981).

Sullivan, J.B., Krieger G.R. (eds). *Clinical Environmental Health and Toxic Exposures*. Second edition. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, Pennsylvania 1999., p. 1196

Sullivan, J.B., Krieger G.R. (eds). *Clinical Environmental Health and Toxic Exposures*. Second edition. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, Pennsylvania 1999., p. 1197

T. Morita and M. Hayashi, 1,4-Dioxane is not mutagenic in five in vitro assays and mouse peripheral blood micronucleus assay, but is in mouse liver micronucleus assay, *Environ. Mol. Mutagen.* 32 (1998), pp. 269 - 280.

T.L. Goldsworthy, T.M. Monticello, K.T. Morgan, E. Bermudez, D.M. Wilson, R. Jackh and B.E. Butterworth, Examination of potential mechanisms of carcinogenicity of 1,4-dioxane in rat nasal epithelial cells and hepatocytes, *Arch. Toxicol.* 65 (1991), pp. 1 - 9.

T.R. Torkelson, B.K. Leong, R.J. Kociba and W.A. Richter, 1,4-Dioxane. II. Results of a 2-year inhalation study in rats, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 30 (1974), pp. 287 - 298.

Theiss, A.M.; Tress, E.; Fleig, I.: Industrial-Medical Investigation Results in the Case of Workers Exposed to dioxane. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed.* 11:35-46 (1976); cited by NIOSH in reference 36.

Thiess et al., 1976. A.M. Thiess, E. Tress and I. Fleig, Arbeitsmedizinische Untersuchungsergebnisse von Dioxan-exponierten Mitarbeitern. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Präventivmedizin* ASP 2/76 (1976), pp. 36 - 46.

Tinwell and Ashby, 1994. H. Tinwell and J. Ashby, Activity of 1,4-dioxane in mouse bone marrow micronucleus assays. *Mutat. Res.* 322 (1994), pp. 148 - 150.

Torkelson et al., 1974. T.R. Torkelson, B.K.J. Leong, R.J. Kociba, W.A. Richter and P.J. Gehring, 1,4-Dioxane. II. Results of a 2-year inhalation study in rats. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 30 (1974), pp. 287 - 298.

Torkelson, T.R.; Leong, B.K.J.; Kociba, R.J.; et al.: 1,4-Dioxane - II. Results of a 2-Year Inhalation Study in Rats. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 30:287-298 (1974).

Two-year toxicological and carcinogenesis studies of 1,4-dioxane in F344

ratts and BDF1 mice. Drinking studies. In: Proceedings on the Second Asia-Pacific Symposium on Environmental and Occupational Health, Environmental and Occupational Chemical Hazards (2), Kobe University, pp. 193 - 198

U.S. Department of Health, Education Welfare, Public Health Service. Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety Health. NIOSH Manual of Analytical Methods. 2nd ed. Volumes 1-7. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1977-present., p. V1 127-1

U.S. Department of Labor/Occupational Safety and Health Administration's Index of Sampling and Analytical Methods. Available from: <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/toc.html> on 1,4-Dioxane (123-91-1) as of June 1, 2005

U.S. Department of Transportation. 2000 Emergency Response Guidebook. RSPA P 5800.8 Edition. Washington, D.C: U.S. Government Printing Office, 2000,p. G-127

U.S. Environmental Protection Agency's Integrated Risk Information 시스템 (IRIS) on 1,4-dioxane (123-91-1) Available from: <http://www.epa.gov/ngispgm3/iris> on the Substance File List as of March 15, 2000

U.S. Environmental Protection Agency: Dermal Exposure Assessment:

Principles and Applications (EPA/600/8-9-91). Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency/Office of Research and Development, 1992.

U.S. Environmental Protection Agency: Development of Statistical Distributions or Ranges of Standard Factors Used in Exposure Assessments (EPA 600/8-85/010). Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency/Office of Health and Environmental Assessments, 1985.

U.S. Environmental Protection Agency: Exposure and Release Estimations for Filter Press and Tray Dryer Operations Based on Pilot Plant Data (EPA 600/R-92/039). Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency/Risk Reduction Engineering Laboratory, 1992.

U.S. Environmental Protection Agency: Exposure Assessment for Retention of Chemical Liquids on Hands by Versar, Inc. (Contract No. 68-01-6271). Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency/Exposure Evaluation Division, 1992.

U.S. Environmental Protection Agency: Exposure Factors Handbook (EPA 600/8-89-043). Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency/Office of Health and Environmental Assessments, Exposure Assessment Group, 1989.

U.S. Environmental Protection Agency: Occupational Dermal Exposure Assessment - A Review of Methodologies and Field Data. Final Report (Contract No. 68-D2-0157, WA No. 2-50). Washington, D.C.: U.S.

Environmental Protection Agency/Office of Pollution Prevention and Toxics, 1996.

U.S. National Cancer Institute: Bioassay of 1,4- Dioxane for Possible Carcinogenicity (CAS No. 123-91-1). NCI-CG-TR-80. U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, U.S. National Institutes of Health, Bethesda, MD (1978).

U.S. National Institute for Occupational Safety and Health/Occupational Safety and Health Administration: Occupational Health Guideline for dioxane (September 1978). In: Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards. F.W. Mackison, R.S. Stricoff, L.J. Partridge, Jr., Eds. DHHS (NIOSH) Pub. No. 81- 123; NTIS Pub. No. PB-83-154-609. U.S. National Technical Information Service, Springfield, VA (1981).

U.S. National Institute for Occupational Safety and Health: Criteria for a Recommended Standard -Occupational Exposure to Dioxane. 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).

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 6th ed. Vol 1: Federal Republic of Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. 2003 to Present, p. V10 545 (2003)

United Nations. Treatment and Disposal Methods for Waste Chemicals (IRPTC File). Data Profile Series No. 5. Geneva, Switzerland: United Nations Environmental Programme, Dec. 1985., p. 164

US EPA; Non-confidential Production Volume Information Submitted by Companies for Chemicals Under the 1986-2002 Inventory Update Rule (IUR). 1,4-Dioxane (123-91-1). Available at <http://www.epa.gov/oppt/iur/iur02/search03.htm> as of July 28, 2005.

USEPA, 1990. USEPA, 1990. IRIS Summary for 1, 4-Dioxane. U.S. Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information 시스템, Last Revised September, 1990. Available from: <http://www.epa.gov/iris/subst/0326.htm>

USEPA, 1994. USEPA, 1994. Methods for Derivation of Inhalation Reference Concentrations and Application of Inhalation Dosimetry. Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA/600/8-90/006F. October

USEPA, 1999. USEPA, 1999. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. Review Draft. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. NCEA-F-0644. July

USEPA/Office of Water; Federal-State Toxicology and Risk Analysis Committee (FSTRAC). Summary of State and Federal Drinking Water

Standards and Guidelines (11/93), p.

USEPA; Chemical Hazard Information Profile: 1,4-Dioxane (Draft) p.1 (1979)

USEPA; Engineering Handbook for Hazardous Waste Incineration p.3-13
(1981) EPA 68-03-3025

USEPA; Phase I Risk Assessment of 1,4-Dioxane p.2 (1981) EPA Contract
No. 68-01-6030

USITC; Synthetic Organic Chemicals United States Production and Sales,
1982 United States International Trade Commission 1422 (1983)

VanRooij, J.G.M., J.G.C. de Roos, M.M. Bodelier-Bade, and F.J. Jongeneelen:
Absorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons through the Human Skin:
Aromatic Hydrocarbons through the Human Skin: Differences Between
Anatomical Sites and Individuals. J. Toxicol. Environ. Health 38:355-368
(1993).

Verschueren, K. Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals.
Volumes 1-2. 4th ed. John Wiley & Sons. New York, NY. 2001, p. 985

W.T. Stott, J.F. Quast and P.G. Watanabe, Differentiation of the
mechanisms of oncogenicity of 1,4-dioxane and 1,3-hexachlorobutadiene in the
rat, Toxicol. Appl. Pharmacol. 60 (1981), pp. 287 - 300.

WHO; Environ Health Criteria 71: 1-4,Dioxane p.592 (1999)

Willhite et al., 1997. Willhite, C.C., Spirtas, R., Weisburger, E.K., 1997. Integrating epidemiologic, pharmacokinetic, and pharmacodynamic data to determine human health risk: The case of trichloroethylene and 1,4-dioxane. American Water Works Association, In: Proceedings of the 1997 Annual Conference, Water Research, vol. C, pp. 205 - 218. June 15 - 19

Woo, Y.T.; Arcos, J.C.; Argus, M.F.: Metabolism in vivo of dioxane:

Woo, Y.T.; Argus, M.F.; Arcos, J.C.: Tissue and Subcellular Distribution of [Hydrogen 3-labeled]-Dioxane in the Rat and Apparent Lack of Microsome-Catalyzed Covalent Binding in the Target Tissue. Life Sci. 21:1447-1456 (1977).

Yamazaki et al., 1994. Yamazaki, K., Ohno, H., Asakura, M., Narumi, A., Ohbayashi, H., Fujita, H., Ohnishi, M., Katagiri, T., Senoh, H., Yamanouchi, K., Nakayama, E., Yamamoto, S., Noguchi, T., Nagano, K., Enomoto, M., Sakabe, H., 1994.

Yant, W.P.; Schrenk, H.H.; Waite, C.P.; Patty, F.A.: Acute Response of Guinea Pigs to Vapors of Some New Commercial Organic Compounds - VI.dioxane. Public Health Rep. 45:2023-2032 (1930).

Yoon et al., 1985. J.S Yoon, J.M. Mason, R. Valencia, R.C. Woodruff and S.

Zimmering, Chemical mutagenesis testing in Drosophila, Part IV, Results of 45 coded compounds tested for the National Toxicology Program. Environ. Mutagen.7 (1985), pp. 349 - 367.

Young et al., 1976. J.D. Young, W.H. Braun, P.J. Gehring, B.S. Horvath and R.L. Daniel, 1,4-Dioxane and beta-hydroxyethoxyacetic acid excretion in urine of humans exposed to dioxane vapors. Toxicol. Appl. Pharmacol.38 12 (1976), pp. 643 - 646.

Young et al., 1977. J.D. Young, W.H. Braun, L.W. Rampy, M.B. Chenoweth and G.E. Blau, Pharmacokinetics of 1,4-dioxane in humans. J. Toxicol. Environ. Health3 (1977), pp. 507 - 520.

Young et al., 1978. J.D. Young, W.H. Braun and P.J. Gehring, The dose-dependent fate of 1,4-dioxane in rats. J. Toxicol. Environ. Health4 (1978), pp. 709 - 726.

Young JD et al; J Toxicol Environ Health 3 (3) : 507-20 (1977) as cited in USEPA; Phase I Risk Assessment of 1,4-Dioxane p.31 (1981) EPA Contract No. 68-01-6030

Young JD, Braun WH, Gehring PJ (1978) The dose-dependent fate of 1,4-dioxane in rats. J Environ Pathol Toxicol 2:263 - 282

Young, J.D.; Braun, W.H.; Rampy, L.W.; et al.: Pharmacokinetics of

1,4-Dioxane in Humans. J. Toxicol. Environ. Health 3:507-520 (1977).

Zimmerman, F.K.; Mayer, V.W.; Scheel, I.; et al.: Acetone, Methyl Ethyl Ketone, Ethyl Acetate, Acetonitrile, and Other Polar Aprotic Solvents Are Strong Inducers of Aneuploidy in *Saccharomyces cerevisiae*. Mutat. Res. 149:339-351 (1985).