

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

유해물질 산업보건 편람

□ 1,4-디옥산

(1,4-Dioxane)

2005. 12

연 구 기 관 연 세 대 학 교

연구책임자 김치년



목 차

1. 물질의 특성	1
2. 취급현황	6
3. 동물에 있어서의 영향	20
4. 인체영향	26
5. 각국의 노출기준 요약 및 해설	28
6. 취급근로자 건강장해예방 지침	38

표 차례

〈표 2-1〉 우리나라 1,4-디옥산의 연간 수출, 수입 현황 (\$천달러)	7
〈표 2-2〉 우리나라의 1,4-디옥산 수출입 국가 현황(톤)	8
〈표 2-3〉 1,4-디옥산의 취급사업장 및 연간 사용량	9
〈표 3-1〉 1,4-디옥산 투여에 따른 간 마이크로솜의 monooxygenase 활성화도	21
〈표 5-1〉 우리나라와 외국의 1,4-디옥산의 노출기준	30
〈표 6-1〉 국소배기장치의 성능 저하 원인 및 대책	41
〈표 6-2〉 산업안전보건기준에 의한 1,4-디옥산의 위험물 표시	43
〈표 6-3〉 독일 BGV A 8에 따른 1,4-디옥산의 위험물 표시	43
〈표 6-4〉 유기용제에 따른 피부흡수량과 호흡을 통한 흡수량 비교	46

그림 차례

[그림 2-1] 우리나라의 1,4-디옥산의 연간 수출, 수입량 추이	7
[그림 2-2] A사 <반월공장, 전주공장>의 공정도	10
[그림 2-3] 1,4-디옥산 및 여러 가지 화학물질을 투입한 후 반응기에서 반응정도를 확인 Check하는 작업자	11
[그림 2-4] B사의 제조공정도	12
[그림 2-5] 원료를 주입하는 작업자	13
[그림 2-6] C사의 공정도	14
[그림 2-7] 수동계량투입하기 위해 계량 작업을 하려는 작업자	15
[그림 2-8] D사 제조 공정도	16
[그림 2-9] E사의 공정도	18
[그림 2-10] F사의 제조공정도	19
[그림3-1] 1,4-디옥산 투여에 따른 간 마이크로솜의 Testosterone hydroxylase 활성화도	22

[그림 3-2] 1,4-디옥산의 대사과정 (Nannelli 등, 2004)	25
--	----

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) 물질번호

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

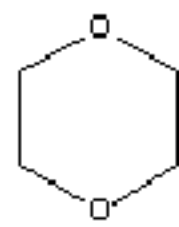
(1) 분자량

88.10

(2) 분자식

C₄H₈O₂

(3) 구조식



(4) 비중 (물=1)

1.0329 (20 ℃)

- (5) 녹는점
11.8℃
- (6) 끓는점
101.1 ℃ (760 mmHg)
- (7) 증기압
29 mmHg (20 ℃)
- (8) 증기밀도(공기=1)
3.0
- (9) 수소이온지수 (pH)
없음
- (7) 용해도
100%
- (8) 분배계수
없음
- (9) 증발률 (초산부틸=1)
2.7
- (10) 냄새의 서한도
5.6ppm

(11) 점도

1.2 cP (25 ℃)

(12) 휘발성

100%

(13) 용매 가용성

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

(14) 25℃, 1기압에서의 변환계수

1ppm = 6.0mg/m³, 1mg/m³ = 0.17ppm

다. 화학적 성상

(1) 인화점

12.22 ℃(밀폐상태), 18.33 ℃(개방상태)

(2) 자연발화점

180 ℃

(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.

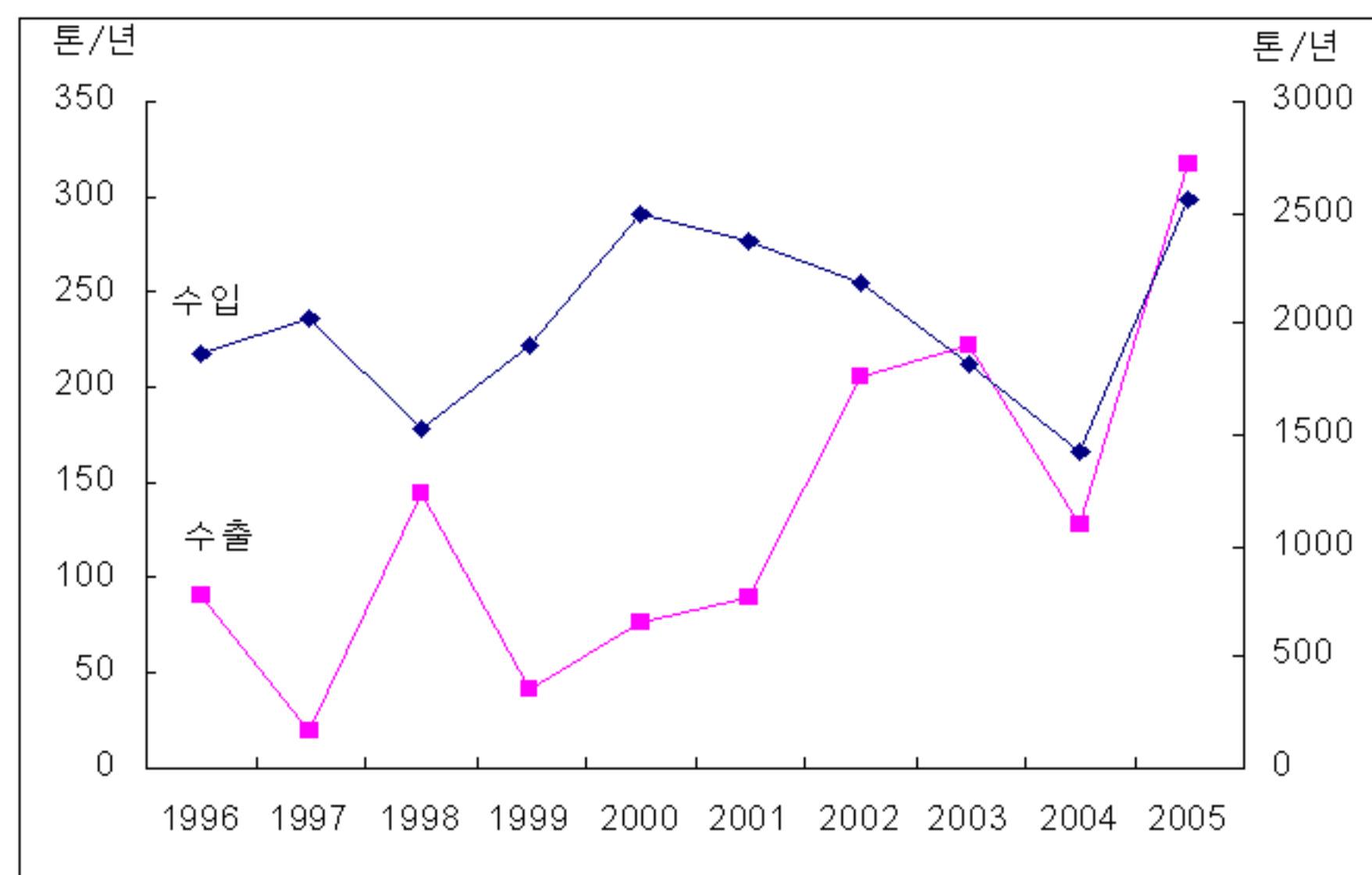
1,4-디옥산을 생산하는 공정은 국내에는 없었으며 제조업에서 원료 또는 실험용으로 사용하는 것으로 조사되었다. 전량을 수입에 의존하고 있는 1,4-디옥산은 일본의 오사카유기화학, 토호화학과 미국의 Ferro grant 등에서 생산한 제품이 수입되고 있다.

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 2-1은 1995년부터 2005년 10월까지의 1,4-디옥산의 연간 수출, 수입량 자료이다. 수출보다는 수입량이 많으며 2004년도에 수·출입 양이 감소하였다가 2005년도에 증가 하였다(그림 2-1).

<표 2-1> 우리나라 1,4-디옥산의 연간 수출, 수입 현황 (\$천달러)

년도	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 2-1] 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 2-2).

<표 2-2> 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

1,4-디옥산 취급 연구대상사업장은 총 6개의 사업장으로 3개의 사업장은 화합물 및 화학제품 제조업, 1개의 사업장은 광섬유 및 광학요소 제조업, 2개의 사업장은 의료용 약제품 제조업으로 조사하였다.

연구대상 사업장의 1,4-디옥산의 사용량은 아래 표 2-3과 같다.

<표 2-3> 1,4-디옥산의 취급사업장 및 연간 사용량

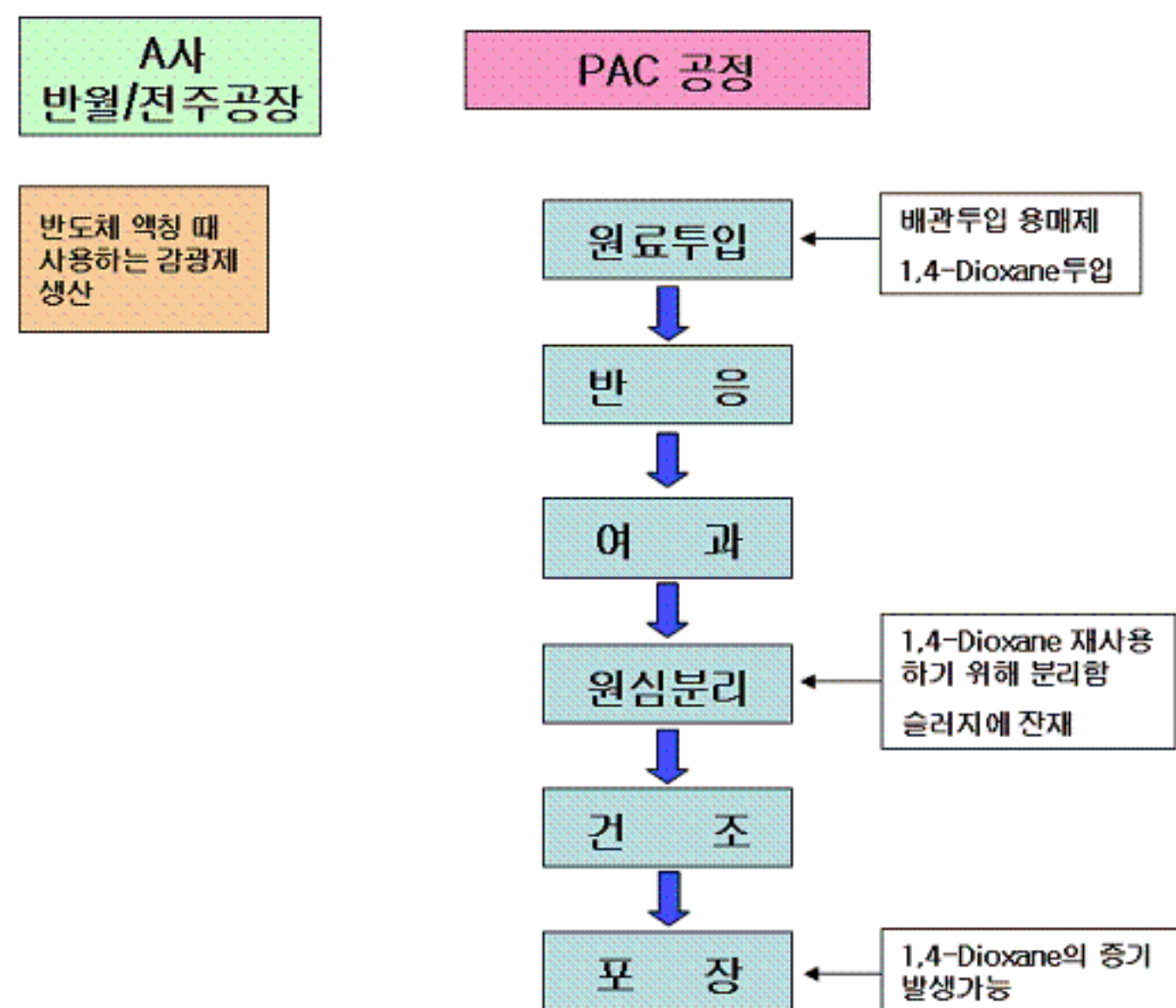
사업장	한국표준산업에 의한 업종분류	주생산품	취급용도	연간 사용량 (kg/year)
A	기록용 매체 및 관련화학제품 제조업	감광제	부원료	36,000
B	그 외 기타 분류 안된 화학 제품 제조업	화학약품	주원료	2,000
C	일반용 도료 및 관련제품 제조업	페인트	부원료	24,000
D	광섬유 및 광학요소 제조업	렌즈	코팅제	60
E	의학용 약제품 제조업	항생제	부원료	25,000
F	의약품 화합물 및 항생물질 제조업	항생제	실험용	1

(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.

A사의 공정도는 그림 2-2와 같다.



[그림 2-2] 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 2-3). 원심분리공정에서는 1,4-디옥산을 재사용하기 위해서 분리하는 공정으로 반응이 끝난 물질에서 분리해내는 것이다. 이과정에서 슬러지가 발생하고 슬러지 제거 작업시에 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.

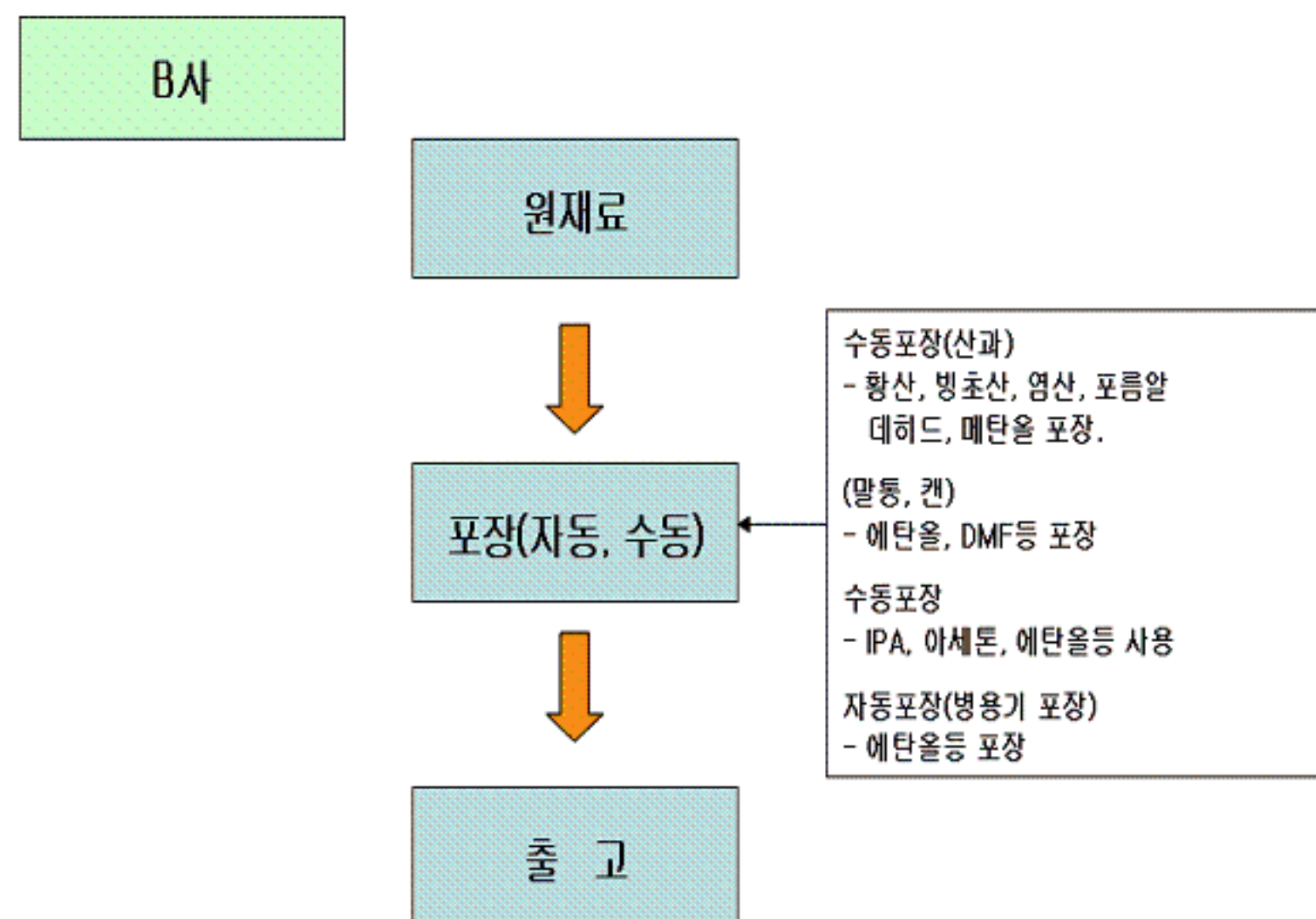


[그림 2-3] 1,4-디옥산 및 여러 가지 화학물질을 투입한 후 반응기에서 반응정도를 확인 Check하는 작업자

나) B사

B사는 그 외 기타 분류 안된 화학제품 제조업으로 자체로 합성해서 생산하는 화학약품은 없으며 ton단위의 대용량의 원료를 외국에서 수입하여 단순히 작은 병 또는 작은 말통 등에 나누어 담아서 판매하는 사업장이다. 소분하는 작업 중에 노출이 발생한다. 소분하는 그림 2-5은 병 포장작업을 하기 전 단계로서 녹색의 드럼통에 소분할 원료를 저장시킨 뒤에 병 포장작업을 시작하는 사진이다.

B사의 공정도는 그림 2-4과 같다.



[그림 2-4] B사의 제조공정도

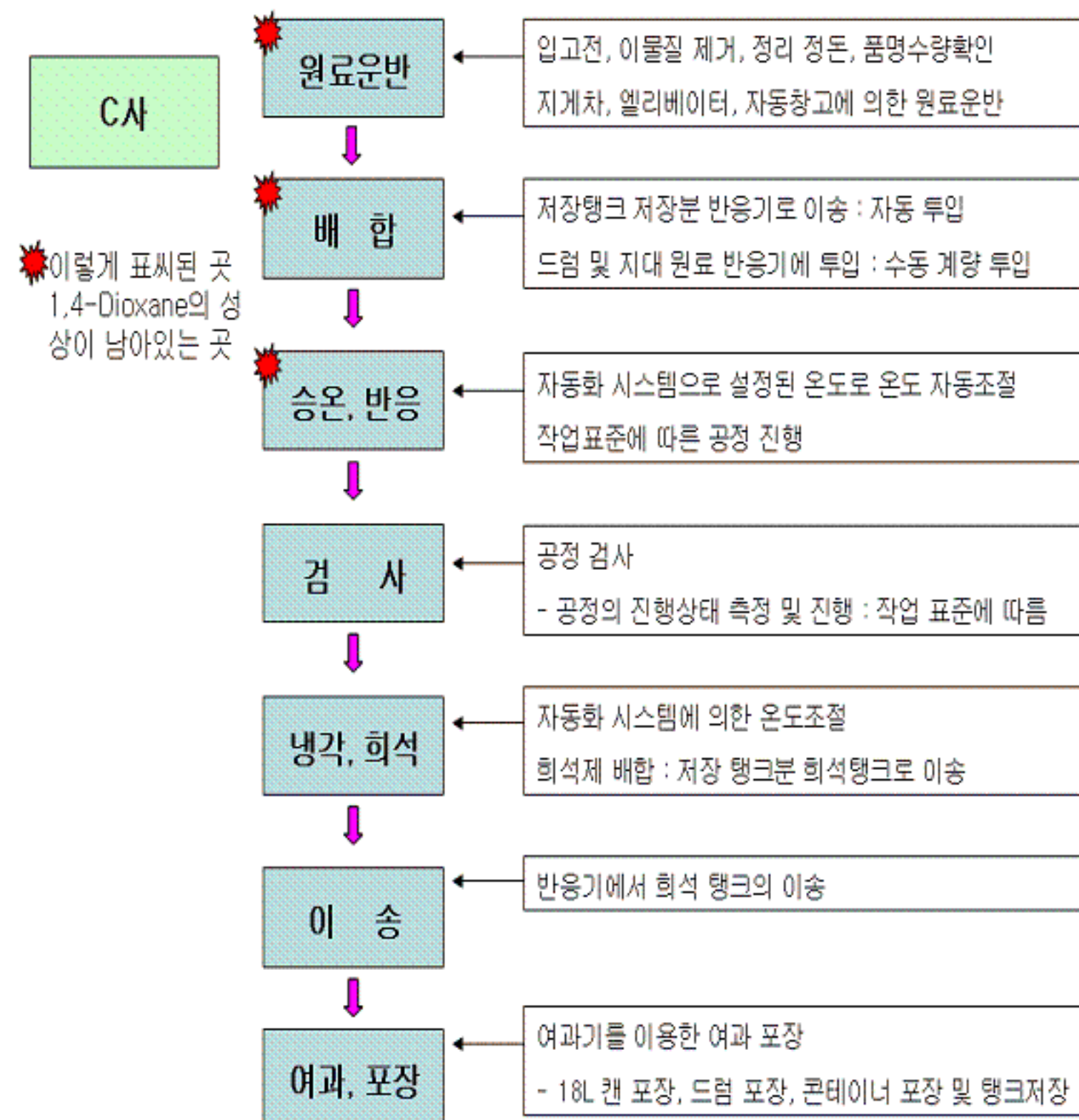


[그림 2-5] 원료를 주입하는 작업자

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.

C사의 공정도는 그림 2-6과 같다.



[그림 2-6] C사의 공정도

원료운반 단계 시에 입고 전 이물질 제거, 정리 정돈, 품명 수량 확인 및 지게차, 엘리베이터, 자동창고에 의한 방법 등으로 원료를 운반하게 된다. 배합단계 시에는 저장탱크 저장분 반응기로 이송하게 되며 이 때원료는 자동투입하게 된다. 드럼 및 지대 원료 반응기에 투입 시에는 수동 계량 투입하게 된다(그림 2-7). 이 때 유해물질에 노출되게 된다. 검사단계에서 공정검사를 하게 되며, 이 때 공정 진행상태 측정 및 진행을 작업 표준에 따라서 공정검사를 하게 된다. 냉각, 회석 단계에서는 자동화 시스템의 의한 온도조절하며, 회석제 배합은 저장 탱크로부터 회석탱크로 이송된다. C사에서 가장 1,4-디옥산에 노출될 위험 있는 공정은 원료운반 단계부터 배합, 승온, 반응까지 1,4-디옥산에 노출될 위험이 있다.

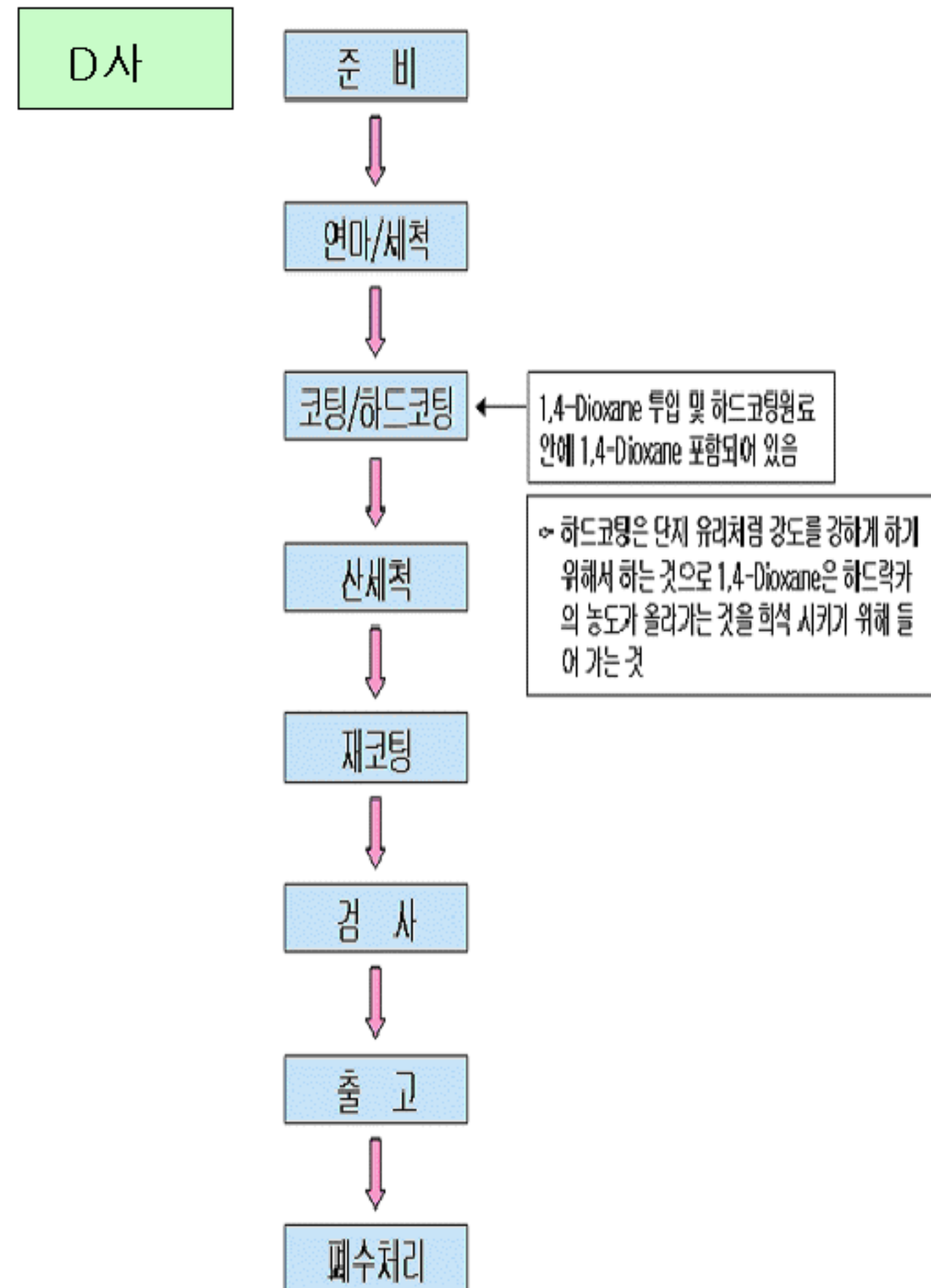


[그림 2-7] 수동계량투입하기 위해 계량 작업을 하려는 작업자

라) D사

D사는 안경, 사진기 및 기타 광학기기 제조업으로 안경테 및 조립된 안경, 피복되지 않은 광섬유 및 광섬유케이블, 기타재료의 광학요소, 사진기, 영화촬영기, 광학현미경 및 기타 광학 기기 등 광학용 기기를 제조한다.

D사의 공정도는 그림 2-8과 같다.



[그림 2-8] D사 제조 공정도

D사는 안경, 사진기 및 기타 광학기기 제조업으로서 1,4-디옥산

의 노출될 만한 공정은 코팅/하드코팅 공정밖에 없다. 특히 하드코팅부분에서 1,4-디옥산에 노출된다.

하드코팅 작업을 하는 이유는 플라스틱 렌즈의 경화도가 떨어지기 때문에 경도를 유리처럼 강하게 하기 위해서 하드코팅을 하게 되는 것이다. 하드코팅을 할 때 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 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.

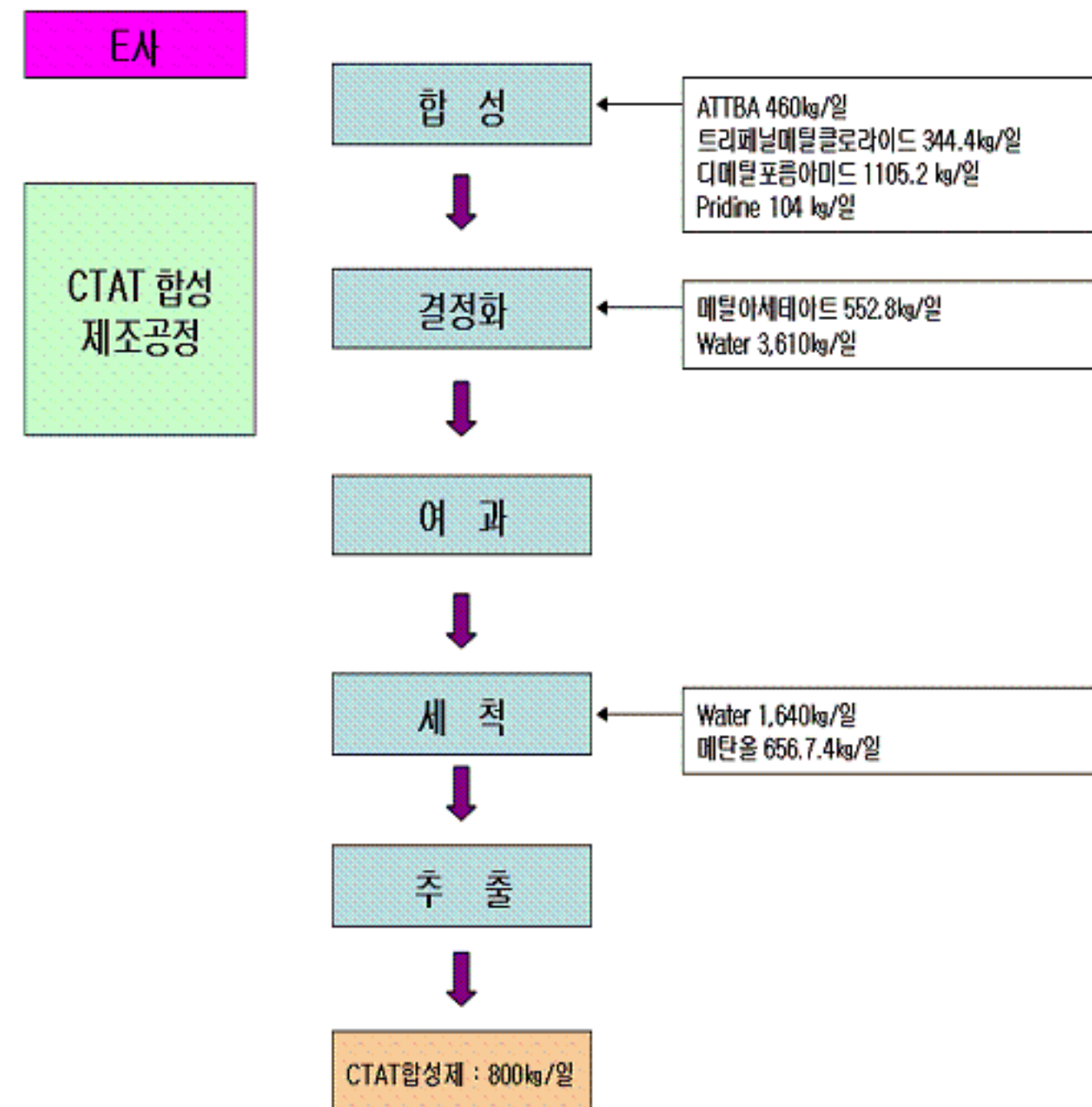
하드코팅 작업자는 총 3명이며, 이 중에 하드코팅 룸 안에서 작업하는 작업자는 2명이다. 하드코팅 룸 안에서 작업하는 시간은 한번 작업 시(待) 1시간정도이며, 하드코팅 룸 안에서 작업하는 작업자는 한번 작업할 때 1명씩 들어가서 1시간 정도를 작업을 하게 되며, 작업자의 작업 스타일은 작업자가 교대로 하드코팅 룸 안에서 작업을 하게 된다. 하드코팅 룸 밖에 작업자는 연마 작업에 들어가는 렌즈 및 하드코팅 작업이 끝난 렌즈를 세척기에 넣고 세척을 함으로서 하드코팅 공정은 마무리가 된다.

마) E사

E사는 의약품 화합물 및 향생물 제조업이며, 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 합성과 원료상태의 향생의약품질을 생산한다.

E사는 의약품 향생제 원료인 TATT를 생산하기 위하여 1,4-디옥산을 사용한다

E사의 공정도는 그림 2-9와 같다.

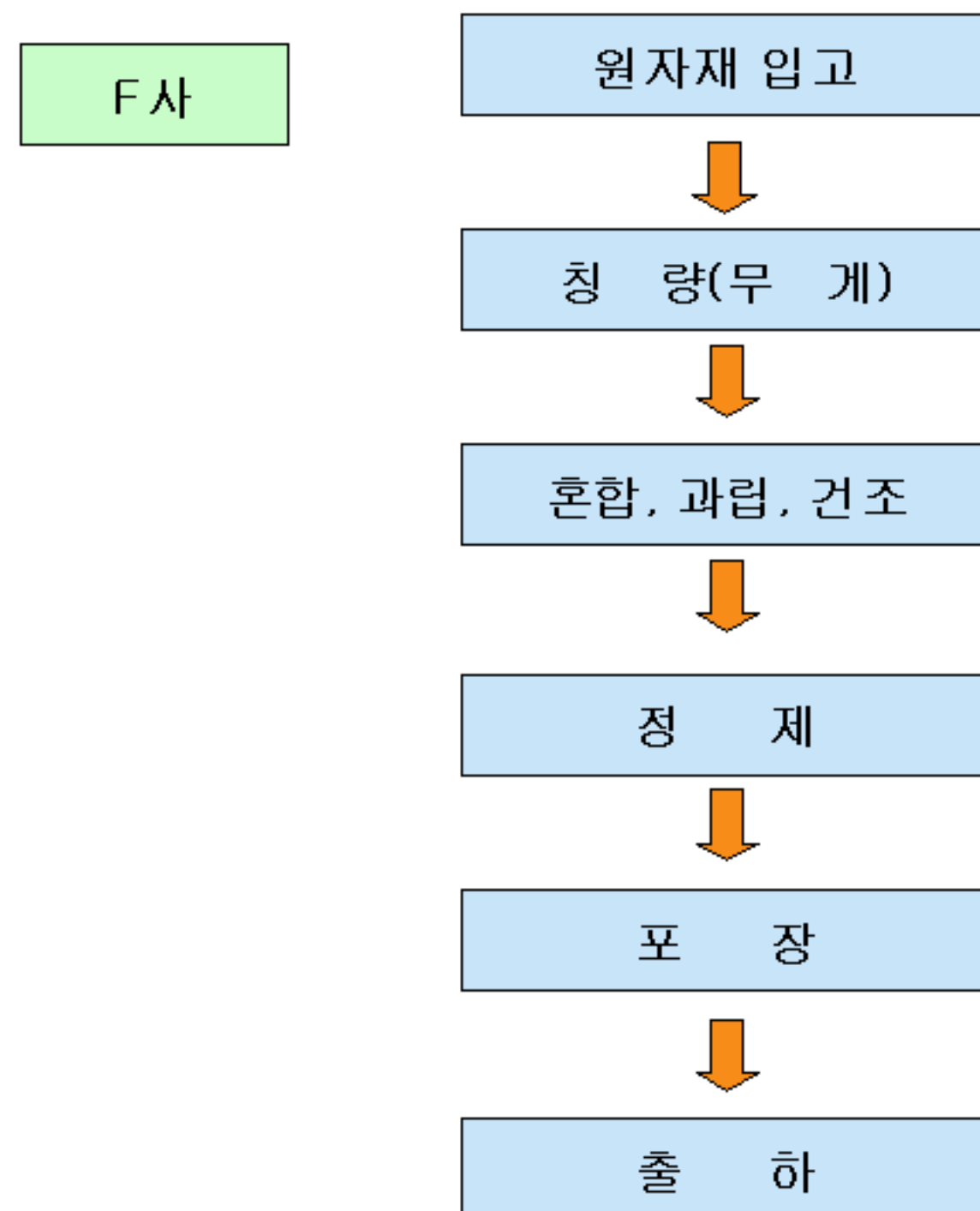


[그림 2-9] E사의 공정도

바) F사

F사는 의약품 화합물 및 향생물 제조업이며, 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 향생의약품물질을 생산한다.

F사의 제조 공정에서는 1,4-디옥산을 사용하지 않는 완제품을 실험실에서 시험할때 분석시약으로 1,4-디옥산을 사용한다(그림 2-10).



[그림 2-10] F사의 제조공정도

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/kg 이라고 밝혔으며 동물들의 사망 원인은 급성신부전과 급성간부전 때문이라고 보고했다.

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 삽입법으로 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.

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.

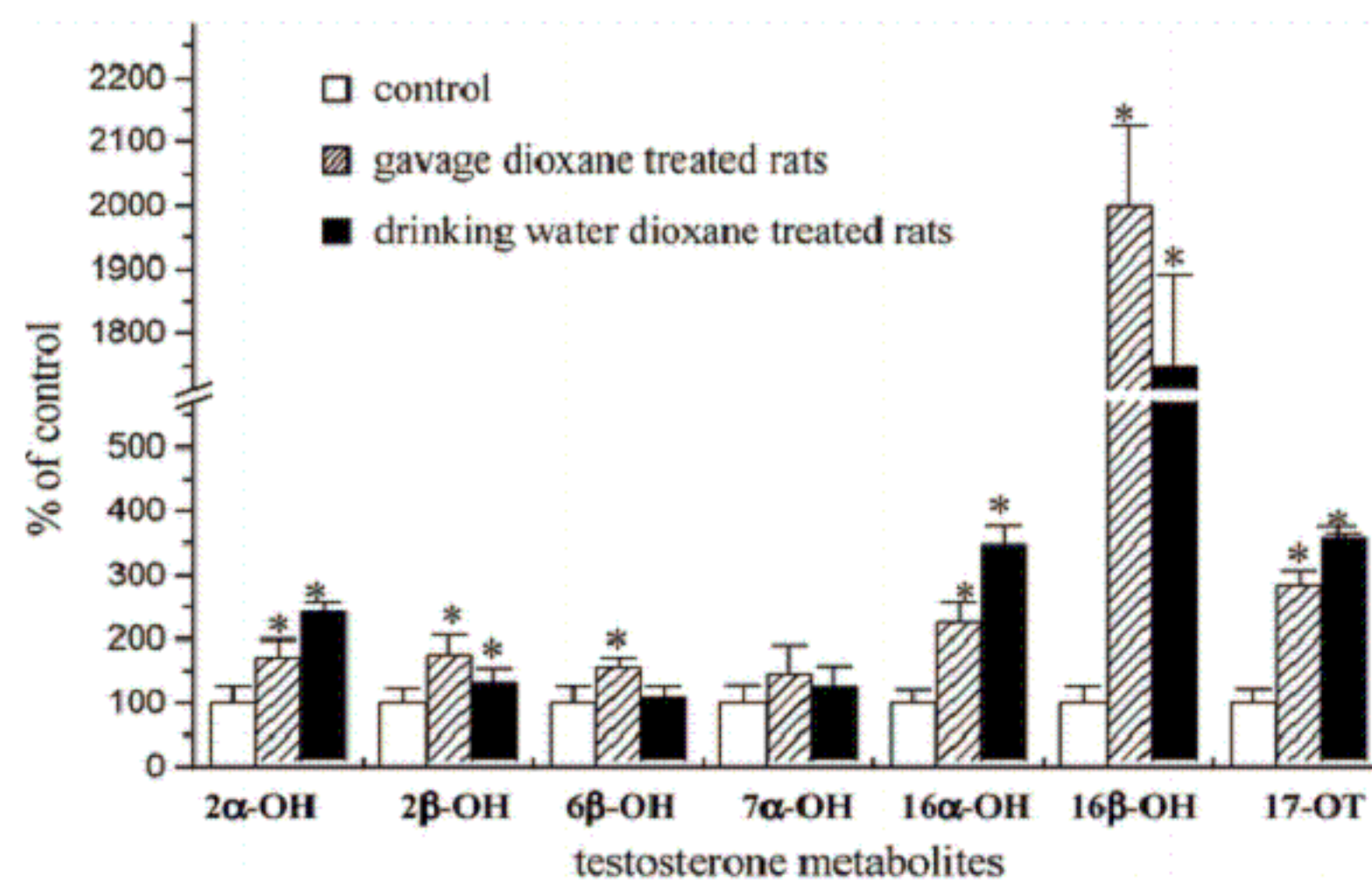
Smyth는 800ppm의 토끼에게 30일 동안 반복적으로 1,4-디옥산 증기를 흡입시킨 결과 치명적인 신장 독성이 나타났다고 보고했다. Gross는 1350ppm을 45일간 하루 8시간씩 고양이, 토끼, 기니안 피그에 노출 시켰다. 한 고양이는 병이 생겨죽었다. 다른 모든 동물들은 임상적으로 의미있는 신장 독성과 간 독성이 있다는 것을 보여주었다. 고양이, 생쥐, 토끼, 기니안 피그에 2700ppm 1,4-디옥산을 34일 동안 하루 8시간씩 흡입시켰을 때, 대부분의 동물이 죽었다. 호흡기계 자극, 간독성과 신장 독성에 의한 쇠약, 혼수 등이 죽기전의 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 3-1> 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



[그림3-1] 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 음용수에 혼합하여 섭취시킨 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 기인 안 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.

수컷쥐와 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 수컷 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.

라. 생식독성

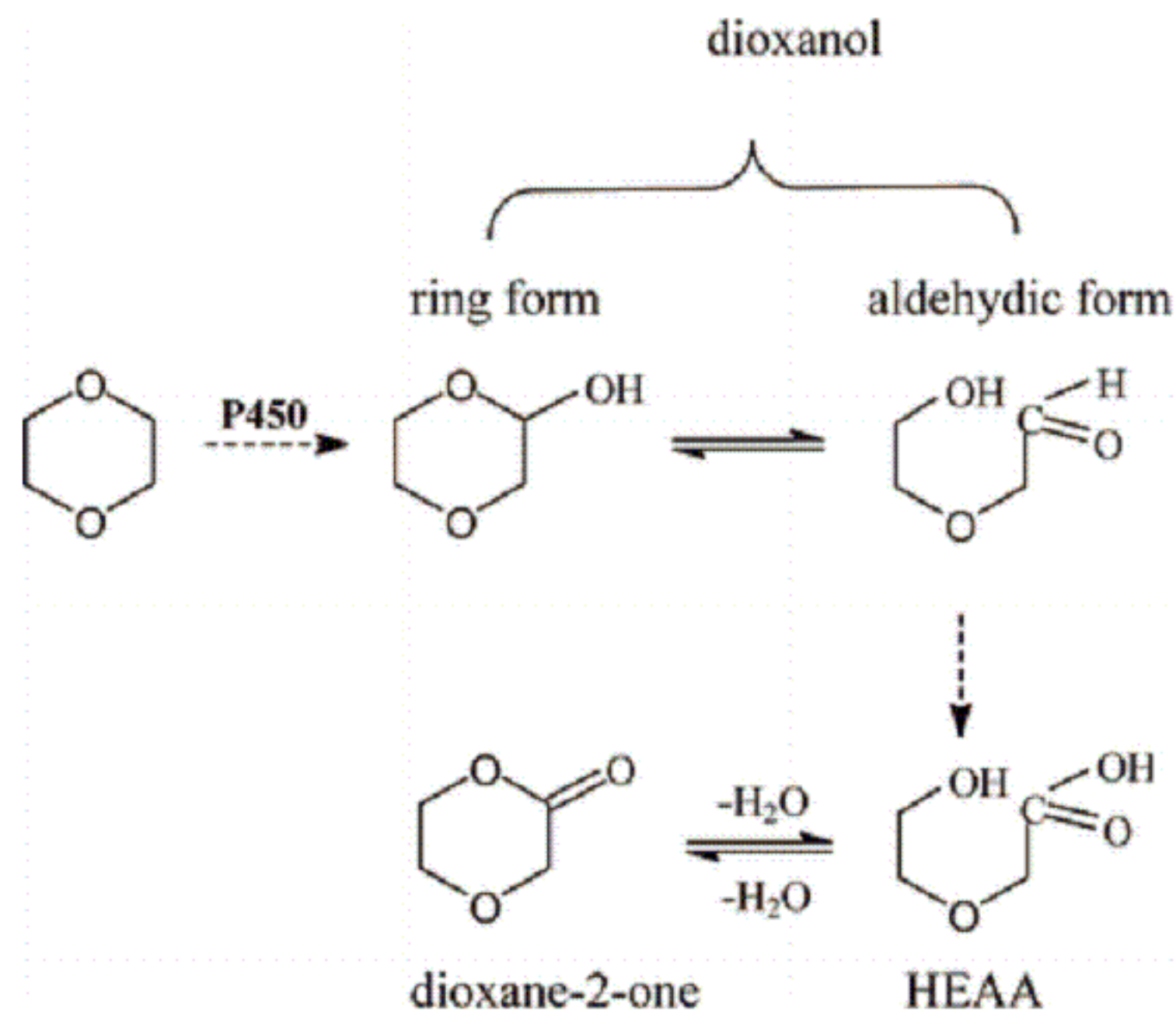
임신중인 쥐에게 6일에서 15일 동안 1,4-디옥산을 1ml/kg/day으로 경구투여한 결과 어떠한 기형적 증거나 다른 배아독성의 징후가 나타나지 않았다. 태아독성의 태아 체중 감소는 최고농도에서 모체 체중 증가가 약간 줄어든 결과에 의해 나타났다. 2세대에 걸친 3% 1,4-디옥산을 포함한 1,1,1-trichloroethane 연구를 한 Lane은 흰쥐와 생쥐에게 30mg/kg의 1,4-디옥산이 함유된 음용수를 먹인군에서 생식에 대한 독성의 증거를 찾을 수 없었다고 보고했다(ACGIH, 2005).

마. 유전독성, 변이원성

1,4-디옥산은 salmonella typhimurium tester strain에서 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).

바. 기타

1,4-디옥산의 대사과정은 그림 3-1과 같다.



[그림 3-2] 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 독성은 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 흰쥐에게 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 나타났으며 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 공기 중에 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, 피부 흡수의 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, 23.6ppm이었다. 새는곳이나 통풍구주변에서는 46 ppm이었지만 이들 공장에서의 17년에서 50년동안 1,4-디옥산을 취급한 몇몇 근로자의 사망을 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).

나. 단기노출시 인체 유해성

급성노출되면 출혈성 신염과 중심성 간 괴저로 사망하고 200 ppm이상의 농도에서 안구돌출, 코와 목 자극증상을 일으킨다는 보고가 있다.

다. 장기노출시 인체 유해성

인간에서 흡입노출 후 장기간의 신경학적 영향은 알려진 바 없다.
인간에서 흡입노출 후 발생학적 독성에 대한 연구 결과는 알려진 바 없다.

라. 인체 표적장기독성

1,4-디옥산은 눈, 점막 및 피부를 자극하고 장기간 노출하면 간과 신에 독작용을 나타낸다.

마. 인체 발암성

인체에 대한 발암성은 자료가 불충분하여 IARC에서는 2B, ACGIH에서는 A3, EPA에서는 B2, 독일에서는 그룹4로 분류되어 있고 국내에서는 발암물질로 분류되어 있지 않다.

바. 사람에 대한 국내외 재해 사례

사람에 대한 1,4-디옥산에 대한 국내외 재해 사례는 보고된 사항이 없다.

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 허가대상물질로 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(표 5-1).

<표 5-1> 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		
Quebec - 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 제공하고 자 하였다. 이런 목표를 성취하기 위한 하나의 방법이 보건과 안전 기준을 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, 시험, 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.

(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 전문가(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 동물실험연구로부터 가장 유용한 정보에 기초하여 정해진다. 그 중에서 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 위해 물질과 관련하여 알려진, 그리고 이용 가능한 모든 의학, 생물학, 공학, 화학, 산업과 그 외 다른 정보를 평가한다.

NIOSH criteria documents에는 권고기준, NOAELs, LOAELs의 근거를 공식적으로 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 사회 경제적 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, γ -GTP의 상승이 확인되었다. 단, γ -GTP 상승에는 음주역(알코올 환산 80g/일 또는 그이상)이 있었

다. 이공장의 1,4-디옥산 농도는 Drum판으로의 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 물모트(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 기준 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 감사회를 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 최신평가에 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 몇가지 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, 피부흡수주의표시(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(500종이상)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. 취급근로자 건강장해 예방조치

일반적인 건강장해 예방조치 사항은 한국산업안전공단 KOSH CODE H-12-2005 유기화합물 취급관리지침을 참고하였으며 연구 대상 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 흡입하기에 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, 흡입된 유기화합물의 증기에 의하여 폭발할 우려 또는 배풍기의 날개가 부식될 우려가 없는 경우에는 배풍기를 공기 정화장치의 앞에 설치할 수 있다.

- 국소배기장치의 배기구는 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 다

른 작업장으로 확산되지 않는 구조로 한다.

- 국소배기장치에 공기정화장치를 설치하는 경우에는 고체흡착 방식, 연소 방식 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 공기정화장치를 설치한다.

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 경고장치 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 가동한다.

- 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 6-1와 같이 후드의 흡인 능력을 조사하고 성능이 저하되는 경우 적절한 대책을 수립한다.

<표 6-1> 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 외기 의유입이 용이한 구조로 변경

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 유기화

합물의 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) 우리나라와 외국의 1,4-디옥산의 위험표시문구

1,4-디옥산은 산업안전보건기준의 제 11장에 의한 관리대상물질이며 고인화성물질, 유해물질, 자극성물질로 분류되어 있다(표 6-2).

위험물안전관리법에서는 제 4류 1석유류로 되어 있다. 독일 BGV A 8에 따른 1,4-디옥산의 위험물 표시는 표 6-3과 같다.

<표 6-2>산업안전보건기준에 의한 1,4-디옥산의 위험물 표시

	고인화성물질		유해물질 자극성물질
---	--------	---	---------------

<표 6-3> 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

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

(2) 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 점화원대책, 인화시의 긴급조치 등에 대하여 사전준비를 하는 것도 중요하다.

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 뛰어 들어가는 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 옆드려 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 옆지르거나 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 막는다.

- 안전관리자에게 통보한다.

- 모든 열과 점화원을 제거한다.

- 폭발을 방지하기 위해 오염원을 환기 시킨다.

- 누출 물질이 발화되지 않았으면 증기를 감소하기위해 물을 뿌린다.

- 소량으로 옆질렀을 경우 질석(vermiculite), 모래 또는 비가연성 물질을 사용하여 제거하고 처리 전 까지 용기에 수거한다.

- 다량으로 누출시에는 추후의 처리를 위해 제방을 쌓는다.

바. 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 페놀이다. 페놀의 주요 노출경로는 피부접촉과 흡수이다. 어떤 화학물질은 호흡과 피부흡수 모두가 노출의 주요 경로가 된다. 표6-4는 유기용제에 따른 피부를 통한 흡수량과 호흡을 통한 흡수량을 비교한 표이다. 많은 유기화합물질들은 피부흡수경로가 호흡을 통한 흡수경로보다 노출관리에 관심을 가져야 한다.

<표 6-4> 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

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 흡수성 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.

(1) 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 감각성과 피부염을 발생하게 된다.

피부가 주요 표적장기일 때 일상적으로 혹은 우연한 피부노출에 대한 관리가 될 수 있는 업무와 작업내용을 확인해야 한다. 피부감작물질을 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.

(2) 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 생체 모니터링에서는 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.

(3) 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 10m³의 공기를 호흡한다. 그러므로 다음 공식을 이용하여 공기 중 오염농도(mg/m³)를 하루동안 체내에 흡입된 총량(mg/day)으로 전환할 수 있다.

따라서 피부 노출량을 mg/day로 추정하여 동일한 방법으로 전환된 기준치와 비교할 수 있다.

하루 피부흡수 노출기준(mg/day)=직업적 노출기준(mg/m³)×호흡량(10m³/day)

이러한 접근방법은 전신독성을 일으키는 화학물질에서만 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 최소화할 수 있다.

일반적으로 피부 접촉량은 환경오염물질에 노출될 수 있는 피부의 표면적(cm²)과 노출되고 있는 동안에 피부로 이동되는 양(mg/cm²/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 결정된

다. 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(cm²)

Q ; 노출 건수당 피부에 침적양(mg/cm² · event)

FQ ; 하루당 노출 건수

ABS ; 노출동안의 피부접촉량 중에서 피부에 흡수된 용량

비율

WF ; 혼합물 중에 그 오염물질의 비율

일단 피부 흡수용량이 추정되면, mg/day로 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 몇몇 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.

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 접착능력이 한계에 부딪치면 비

선형관계로 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 전체조건이 필요하다. 공통적인 전체조건은 첫째, 흡수패드로 측정된 오염물질의 양과 그것을 부착한 신체의 특정부위에 침착량과 동일하다. 둘째, 흡수패드 또는 장갑 등의 보유율은 피부와 동일하다 등이다. 또한 노출평가에서는 조사자들이 사용하는 다양한 측정방법과 농약뿐만 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.

(4) 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 시도되

었고, 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 방법이다. 이것은 부착 거즈패드, 처리된 형광, 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 침적된 오염물질은 균일하게 분포되었고, 그 흡수패드에 침적된 오염물질이 피부표면에 침적된 오염물질을 대표한다는 조건이 전제되어 있다. 이러한 방법은 휘발성 오염물질과 증기압이 매우 낮은 물질을 채취할 때 일반적으로 많이 사용된다.

활성탄이 충전된 형광은 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 침적된 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.