

작업장에서 사용 가능한 방독마스크 정화통 교체주기 프로그램의 개발(I) - 폐정화통을 이용한 파과시간 예측 실험

한돈희[†] · 이상영¹

인제대학교 보건안전공학과, ¹한국 3M 기술연구소

Development of exchange period program for chemical cartridge feasible in the work spot (1) - Experiment of estimated breakthrough time using discarded cartridges

Don-Hee Han[†] · Sang-Young Lee¹

*Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University,
¹3M Korea, Innovation Center*

Many researches for service-life of chemical cartridges of respirators have been performed in many countries. On the result of these researches a few softwares programs were eventually developed to be used. In spite of that, it is difficult to apply these researches and softwares practically in the work spot because of too many factors that influence on service-life of chemical cartridges. This study was the first of two conducted for the purpose of developing program for estimating exchange period or service-life of chemical cartridges available feasibly in the workplaces. Collecting plan of cartridges discarded after use is in principle that three cartridges from three workers at a time, three steps of 1/2 exchange time due to smelling, just routine exchange time and 1.2 to 1.3 expanded time of routine exchange, total nine cartridges are collected in the same job site. 33 cartridges for organic vapor were collected in paint spray process of ship yard and paint factory, and 6 cartridges for acid were collected in plating process. These cartridges were analysed the remaining breakthrough time in 3M Innovation Center. Challenge vapor and breakthrough concentration were complied with Korean regulation

for chemical cartridge respirators. Estimated breakthrough time was determined from previously used time plus breakthrough time for the remaining. Exchange period of cartridge would be the shortest time among three estimated breakthrough times. On the result breakthrough time for organic vapor was found to be relatively easily estimated, but that for acid aerosol or vapor was difficult to be confident. Even though this method was difficult to be precisely predicted exchange period of cartridge, it could be an alternative program practically available in the job site.

Key Words : chemical cartridge, service-life, breakthrough, respirator

접수일 : 2008년 7월 11일, 채택일 : 2008년 9월 18일

† 교신저자 : 한돈희 (경남 김해시 어방동 607 인제대학교 의생명공학대학 보건안전공학과,
Tel: 055-320-3285, E-mail: dhan@inje.ac.kr)

※ 본 연구는 한국산업안전공단 산업안전보건연구원의 2007년 위탁연구과제사업에 의하여 수행되었음.

I. 서론

방독마스크의 경우 작업장에서 부딪히는 가장 큰 문제는 정화통의 교체주기에 관한 것이다. 일반적으로 탄력성이 있는 고무나 실리콘의 면체는 탄력이 없어지는 시점(대략 4-6개월)에서 교체하면 되지만 자주 교체해야 하는 정화통은 파과가 일어나기 이전에 교체를 해야만 한다.

정화통의 수명과 교체주기는 작업장 산업위생담당자들 뿐만 아니라 호흡보호구 제조업자 및 산업위생연구자들에게도 늘 풀어야만 하는 그러나 매우 풀기 어려운 숙제이다. 이는 그만큼 정화통의 수명에 관여하는 인자들이 너무 많아 예측하기가 매우 어렵기 때문이다.

현장의 근로자의 입장에서는 자주 정화통을 교체하는 것이 건강상 좋겠으나 사용주의 입장에서는 자주 정화통을 교체한다는 것은 그만큼 경제적인 부담이 된다. 아무런 근거 없이 정화통을 자주 교체하라고 할 수도 없고 그렇다고 하여 너무 늦게 정화통을 교체하는 경우에는 파과에 의한 유해물질의 누설이 곧 근로자들의 건강을 해칠 수 있다. 따라서 현장에서 방독마스크의 정화통의 교체주기를 찾는 프로그램은 반드시 필요한 과제이다.

현실적으로 작업장에서 정화통을 교체하는 가장 간단한 방법은 방독마스크를 착용하고 작업도중에 특정 유해물질의 냄새를 맡으면 곧바로 교체하는 경우이다. 냄새서한도(odor threshold)가 노출기준보다 높은지 낮은지는 물질에 따라 다르기 때문에 냄새를 맡은 후 정화통을 교체하는 것이 올바른지는 더 정확한 검토가 필요하다. 그러나 일단 근로자가 특정 유해물질의 냄새를 맡은 다음부터는 계속해서 그 냄새를 견디면서 작업을 할 수 없기 때문에 산업위생담당자의 입장에서는 정화통을 교체해 주는 수밖에 없다. 따라서 일반적으로 냄새를 맡았을 때 정화통을 교체하는 현재의 방식을 그대로 이용하였을 때 실험적으로 정화통의 파과시간과 어떤 관계가 있는지를 밝힐 필요가 있다.

정화통의 파과주기에 관한 연구는 과거 수십 년 동안 수많은 연구자들에 의해 연구되어져 왔다(정해동과 백남원, 1996; 김덕기와 신창섭, 1996; 김기환 등, 1996; 박두용 등, 1999; Nelson과 Harder, 1974; Nelson과 Correia, 1976; Cohen et al., 1991; Yoon et al., 1991; Yoon et al., 1996; Tanaka et al., 2001). 이 연구들은 통제된 실험실에서 여러 가지 조건들은 변화시키면서 실시한 실험들로서 그 결과물들은 파과시간을 예측하기 위한 모델을 개발하는데 활용되어져 왔다. 이들 연구들을 토대로 정화통 서비스 수명에 관한 소프트웨어가 개발되어 사용되고 있는데 대표적인 소프트웨어가 NIOSH의 "BREAKTHROUGH(Single Vapor Version 3.1.2)"와 3M의 "3M Cartridge Service Life, Version 4.0"이다. 그러나 이것들 역시 정

화통의 파과에 관여하는 수많은 변수를 다 적용할 수는 없으며 더구나 통제된 실험실의 실험 결과를 가지고 만든 소프트웨어이기 때문에 작업현장에서 바로 적용하기에는 무리가 따른다는 단점을 안고 있어 실제 작업현장에서는 단지 참고 자료로 활용되고 있는 실정이다. 따라서 작업현장에서 마스크의 정화통 서비스 수명(파과시간)을 실질적으로 예측할 수 있는 실험방법이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 과거 정화통의 파과시간에 관한 대부분의 연구들이 통제된 실험실에서 실시하여 실제 작업현장에 적용하기가 쉽지 않았다는 점에 착안하여 사용 후 폐기된 폐정화통을 이용하여 실험적으로 정화통의 파과시간을 예측함으로써 실제 현장에서 정화통 교체주기로 활용할 수 있는 방법을 모색하고자 하였다.

II. 실험조건의 결정 및 설계

1. 실험물질(challenge) 및 농도

화학물질을 취급하는 작업장은 대부분 혼합물질의 형태로 발생하기 때문에 이것을 모두 고려한다면 파과시간의 결정 실험은 매우 복잡해질 수 있다. 혼합물질이 있을 때 파과가 빨리 일어나는 화학물질이 있다. 혼합물질로 존재할 때 아세톤은 다른 물질에 비해 활성탄의 흡착능력과 파과시간이 급격하게 떨어질 수 있다. 아세톤과 m-크실렌 두 복합 증기를 동시에 정화통에 노출시키면 파과시간이 짧은 아세톤의 파과특성에 의해서 정화통의 서비스 수명은 결정지어진다(Yoon et al, 1991; Yoon et al., 1996).

실제 작업장에서 발생하는 혼합물질에 대한 실험은 현실적으로 실행 불가능하기 때문에 단일물질을 실험물질로 사용하도록 설계하였다. 단일물질로는 현재 국내 검정규정 실험과 마찬가지로 유기용제에 대해서는 사염화탄소, 산 증기에 대해서는 아황산가스를 사용하였다. 실험 농도 역시 검정규정과 마찬가지로 사염화탄소와 산 각각 300 ppm을 실험농도로 사용하였으며 각각 5 ppm이 투과되는 시간을 파과시간으로 정하였다(노동부, 2004).

2. 단계별 폐정화통의 수거 계획

일차적으로 작업자가 사용하고 버린 즉시 폐정화통을 수거하여 실험에 사용하도록 설계하였다. 한 작업자에 대한 수거시간은 다음의 3단계를 원칙으로 하였다. 제1단계는 현재 작업자들 냄새가 나서 통상적으로 교체하는 교체시간의 1/2 시간, 제2단계는 통상적인 교체시간 그리고 제3단계는 현재

교체시간의 1.2~1.3시간으로 하였다(그림 1 참조).

3. 착용자별, 작업장별, 제조업체별 폐정화통 수거 계획

한 작업장에서 한 브랜드의 방독마스크 정화통에 대해서는 원칙적으로 작업자 3명에게서 3단계에 걸쳐 수거한다 (Table 1 참조). 예를 들어, 『a』라는 작업장에서 브랜드 『A』라는 정화통은 3명의 작업자에게서 3단계에 걸쳐 수거하기 때문에 3명 작업자 × 각 사람마다 3단계 = 정화통 9개를 수거한다. 작업장을 다양화할 필요가 있어서 조선, 페인트 제조 (플라스틱 도료, 선박용 도료) 그리고 도금 작업장 나누어 수거한다. 또 정화통 제조업체별로 나누고 정화통은 유기증기와 산·알칼리용으로 나눈다.

금번 연구에서는 유기증기의 경우에는 2개 작업장에서 6명의 작업자를 대상으로 3개 제조사 총 33개의 정화통을, 산 증기 혹은 에어로졸인 경우에는 1개 작업장에서 3명의 작업자를 대상으로 1개사 총 6개의 정화통을 수거하여 사용하였다.

4. 폐정화통의 운송 및 보관

폐정화통은 수거 즉시 파라필름으로 밀봉하여 유기증기의 탈착을 막았으며 드라이아이스를 넣은 아이스박스에 넣어 실험실로 운송한 후 냉장보관 하였다. 분석은 보관 후 적어도 3주 이내에 완료하였다.

5. 작업환경측정

연구대상 작업장의 작업환경을 측정하였다.

III. 실험방법

1. 파과실험 장치

파과실험은 한국쓰리엠의 기술연구소의 실험시설을 이용하였다. 이 실험 장치는 Fig. 2와 같다. 실험공기는 압축기에 의해 유입되고 유입된 공기는 습도를 조절할 수 있다. 이 공

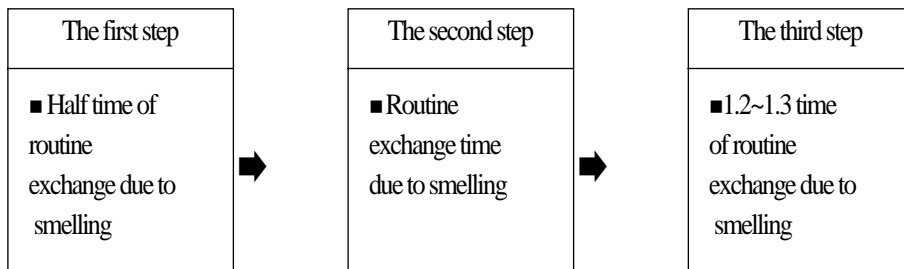


Fig. 1. Strategy of collecting time schedule for chemical cartridges of the same brand discarded after use

Table 1. Strategy of collecting discarded chemical cartridges by workplaces, exposure chemicals and cartridge brands

| Organic solvent (spray painting, touch painting, paint manufacture etc.) | | | | | Acid · Alkali (plating, electric plating) | | |
|---|-----------------|-------|-------|-------|--|--|-------|
| Workplace | Cartridge brand | | | | Workplace | Cartridge brand | |
| | A | B | C | D | | A | B |
| a | 3×3=9 | 3×3=9 | 3×3=9 | 3×3=9 | I | 3×3=9 | 3×3=9 |
| b | 3×3=9 | 3×3=9 | 3×3=9 | 3×3=9 | II | 3×3=9 | 3×3=9 |
| c | 3×3=9 | 3×3=9 | 3×3=9 | 3×3=9 | | ABCD : Chemical cartridges abc: Workplaces exposed to organic solvents II: Workplaces exposed to acid or alkali 3×3=9: Number of cartridges collected computing three workers multiplied by three step illustrated in Fig. 1. | |
| . | . | . | . | . | | | |
| . | . | . | . | . | | | |
| . | . | . | . | . | | | |

기에 실험물질인 사염화탄소나 아황산가스를 일정 수준으로 섞어 테스트 챔버에 보낸다. 테스트 챔버에는 정화통을 고정시켜서 실험화학물질이 통과하도록 하였으며 정화통의 통과 전후에서 농도를 분석하도록 하였다. 이 때 분석기기로는 MIRAN 1BX infrared detector를 사용하였다.

2. 파과실험 방법

시험 조건은 다음과 같다.

- 시험가스: 사염화탄소, 아황산가스
- 공기유량: 30 Lpm
- 상대습도: $50 \pm 5\%$
- 온도: $20 \pm 2^\circ\text{C}$
- 시험농도: 사염화탄소 300 ppm, 아황산가스 300 ppm
- 파과농도: 사염화탄소 5 ppm, 아황산가스 5 ppm

시린지에 물을 일정량 넣고 30분간 물이 배출되는 양을 무게로 재어 계산된 양과 일치되는지 확인하였다. 시린지에 실험가스를 넣고 공기와 계산하여 원하는 가스 농도를 만든 후 챔버 안으로 주입시켰다. Miran 1BX 가스 분석기로 챔버 내의 가스 농도를 측정하여 계산된 가스 농도와 일치하는지를 확인하였다. Miran 1BX의 신뢰성을 확보하기 위해 3M연구소에서는 3년에 한 번씩 기기를 분사(THEMRO Environmental Instruments, 미국)에 보내어 보정을 시키고 있으며 특히, 금번 연구에는 5ppm 사염화탄소 표준가스(주)유니온 가스를 이용하여 보정을 실시하였다. 분석된 결과는 10초 간격으로 기록지에 기록하였다.

3. 작업환경측정

유기용제에 대한 시료는 개인시료를 원칙으로 하였으며 산·알칼리에 대한 시료 채취는 지역시료를 하였다. 시료의 채취는 한국산업안전공단의 『작업환경측정·분석방법 지침』에 따라 실시하였다(한국산업안전공단, 2004). 유기용제는 고체포집법을 사용하였고 산은 액체포집법을 사용하였다. 분석기기는 Gas Chromatography(GL Sciences GC-353)와 UV-Visible Spectrophotometer(Hewlett Packard ISM 1-B)를 사용하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 예측파과시간과 교체주기의 결정

여러 개의 복합물질이 존재하는 작업장의 경우 어떤 물질을 실험물질로 할 것인지 정하기가 매우 어렵다. 그 이유는 각 물질들의 노출기준, 흡착 특성에 관여하는 환경조건, 파과시간 등이 다르고 또 파과농도를 노출기준 시점으로 할 것인지 또는 노출기준의 몇 배로 할 것인지의 문제가 뒤 따르기 때문이다. 실험실에서는 통제된 상태에서 2-3개의 복합물질을 가지고 실험하여 일정 모형을 만들 수 있으나 작업환경 측정결과 여러 가지 화학물질이 존재하는 작업장에서 특정 조건을 통제하기란 거의 불가능에 가깝다고 할 수 있다. 따라서 이 같은 이유와 현실적인 어려움 때문에 실험물질과 파과농도는 현재 우리나라 검정규정을 그대로 적용하기로 하였다(노동부, 2004).

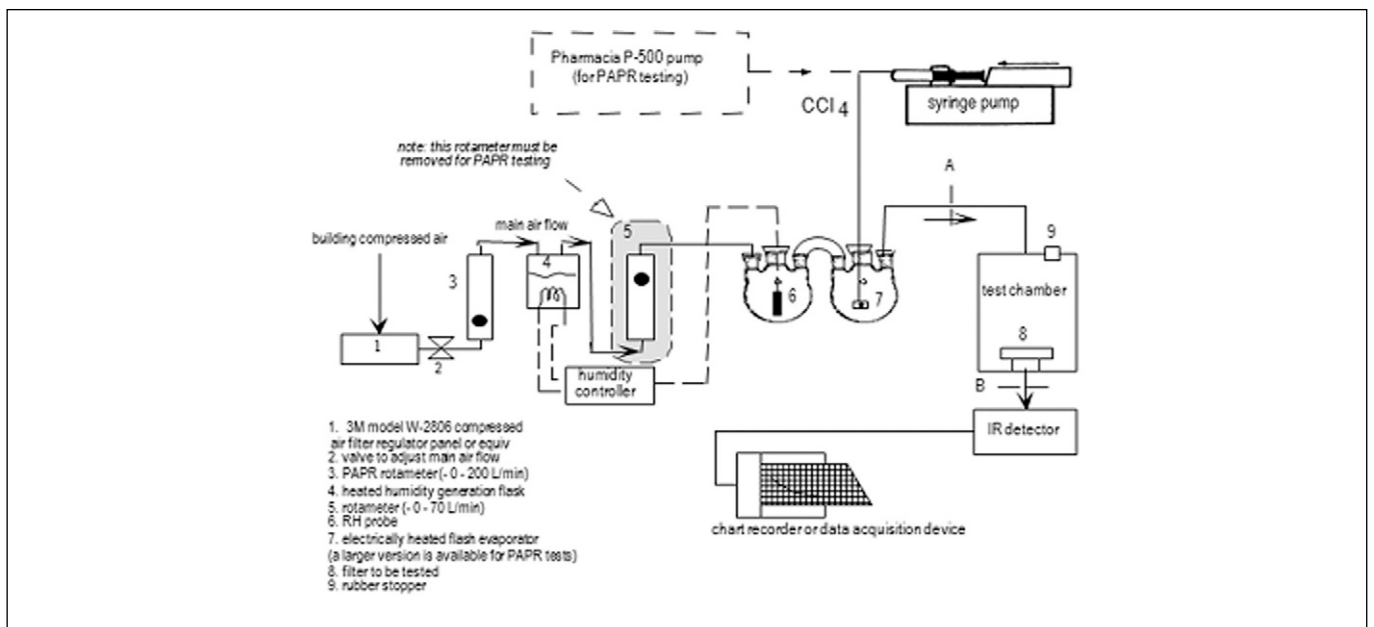


Fig. 2. Schematics of experimental system for breakthrough time of chemical cartridge in 3M Innovation Center

예측파과시간은 이미 착용자가 사용한 시간에 실험실에서 얻은 파과시간을 합하여 계산하였다. 한 작업자에게서 3 단계에 걸쳐 수거하기 때문에 3개의 정화통에서 총 3개의 값이 산출된다. 이 중에서 예측파과시간이 가장 짧은 것을 그 작업자의 정화통 교체주기로 결정하였다.

예측파과시간 = 기사용 시간 + 실험에서 얻은 파과시간
 · 기사용 시간 : 현장에서 정화통을 사용한 시간
 · 실험에서 얻은 파과시간 : 검정규정의 파과기준에 도달할 때까지의 시간
 교체주기 = 3개 예측파과시간 중 가장 시간이 짧은 것

예를 들어 작업자 A가 2시간, 4시간, 6시간 사용한 정화통의 실험조건에서의 파과시간이 각각 2시간, 1시간, 30분으로 나왔다면 예측파과시간은 각각 4시간, 5시간, 6시간 30분이

되므로 이 중에서 가장 짧은 시간인 4시간을 작업자 A의 정화통 교체주기가 되는 것이다. 이것은 비록 6시간 사용된 정화통이 실험조건에서 30분을 더 사용할 수는 있으나 현장 조건이 갑작스런 농도 및 온습도 변화, 작업자의 호흡속도 변화 등 변수가 존재하므로 안전을 고려하여 예측파과시간 중에서 가장 짧은 시간을 교체주기로 설정하였다. 실제 정화통의 서비스수명이 예측되는 시간의 50%를 안전계수(safety factor)로 적용할 것을 추천하고 있다(Rajhans와 Pathak, 2001).

2. 유기증기

- (1) 『a』조선
- ☒ 정화통 A

Table 2. Estimated breakthrough time for chemical cartridge A in the shipyard 『a』

| Worker | Wearing time (min.) | Breakthrough | | | Estimated breakthrough time (min.) |
|--------|---------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|
| | | Time started | Time finished | Total minute | |
| A | 30 | 13:17 | 17:17 | 240 | 270 |
| | 60 | 9:37 | 12:20 | 163 | 223 |
| | 150 | 9:18 | 9:24 | 6 | 156 |
| B | 30 | 13:12 | 17:32 | 260 | 290 |
| | 60 | 9:39 | 12:06 | 147 | 207 |
| | 150 | 13:43 | 13:48 | 5 | 155 |

* Grey cell means estimated exchange period of cartridge.

Table 3. Estimated breakthrough time for chemical cartridge B in the shipyard 『a』

| Worker | Wearing time (min.) | Breakthrough | | | Estimated breakthrough time (min.) |
|--------|---------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|
| | | Time started | Time finished | Total minute | |
| A | 30 | 9:33 | 13:27 | 224 | 254 |
| | 60 | 13:45 | 17:13 | 208 | 268 |
| | 150 | 8:56 | 9:11 | 15 | 165 |
| B | 30 | 12:18 | 15:49 | 211 | 241 |
| | 60 | 9:04 | 12:18 | 194 | 254 |
| | 150 | 14:44 | 16:55 | 131 | 251 |
| C | 30 | 12:25 | 16:15 | 240 | 270 |
| | 60 | 8:50 | 12:06 | 196 | 256 |
| | 150 | 8:36 | 10:08 | 92 | 242 |

* Grey cell means estimated exchange period of cartridge.

정화통 A에 대한 작업자 ㉠의 예측파괴시간은 Table 2와 Fig. 3과 같다. 1단계인 30분짜리는 270분, 2단계인 1시간짜리는 223분, 2시간 30분짜리는 156분으로 나타나 교체주기는 156분으로 결정한다. 작업자 ㉡의 예측파괴시간은 1단계인 30분짜리는 290분, 2단계인 1시간짜리는 203분, 2시간 30분짜리는 155분으로 나타나 교체주기는 155분으로 결정한다. 두 사람 모두 2,3단계에서 수거한 것일수록 파괴시간이 짧아졌다. 두 작업자의 교체주기는 동일하였다.

☒ 정화통 B

정화통 B에 대한 교체주기는 작업자 ㉠가 2시간 30분 사용

한 것이 165분, 작업자 ㉡가 30분 사용한 것이 241분, 작업자 ㉢가 2시간 30분 사용한 것이 242분으로 나타났다(Table 3 참조). 작업자 ㉡와 ㉢는 거의 동일한 값이다. 작업장의 농도 등 정화통 파괴와 관련한 여러 가지 요인들을 배제한 채 동일한 작업자 간 단순 비교하면 정화통 B는 정화통 A보다 작업자 ㉠는 10분, 작업자 ㉡는 86분 더 길 것으로 추정된다. 한편 각 작업자들에 대한 정화통 B의 파괴곡선은 정화통 A와 매우 유사한 관계로 지면에서 생략하였다.

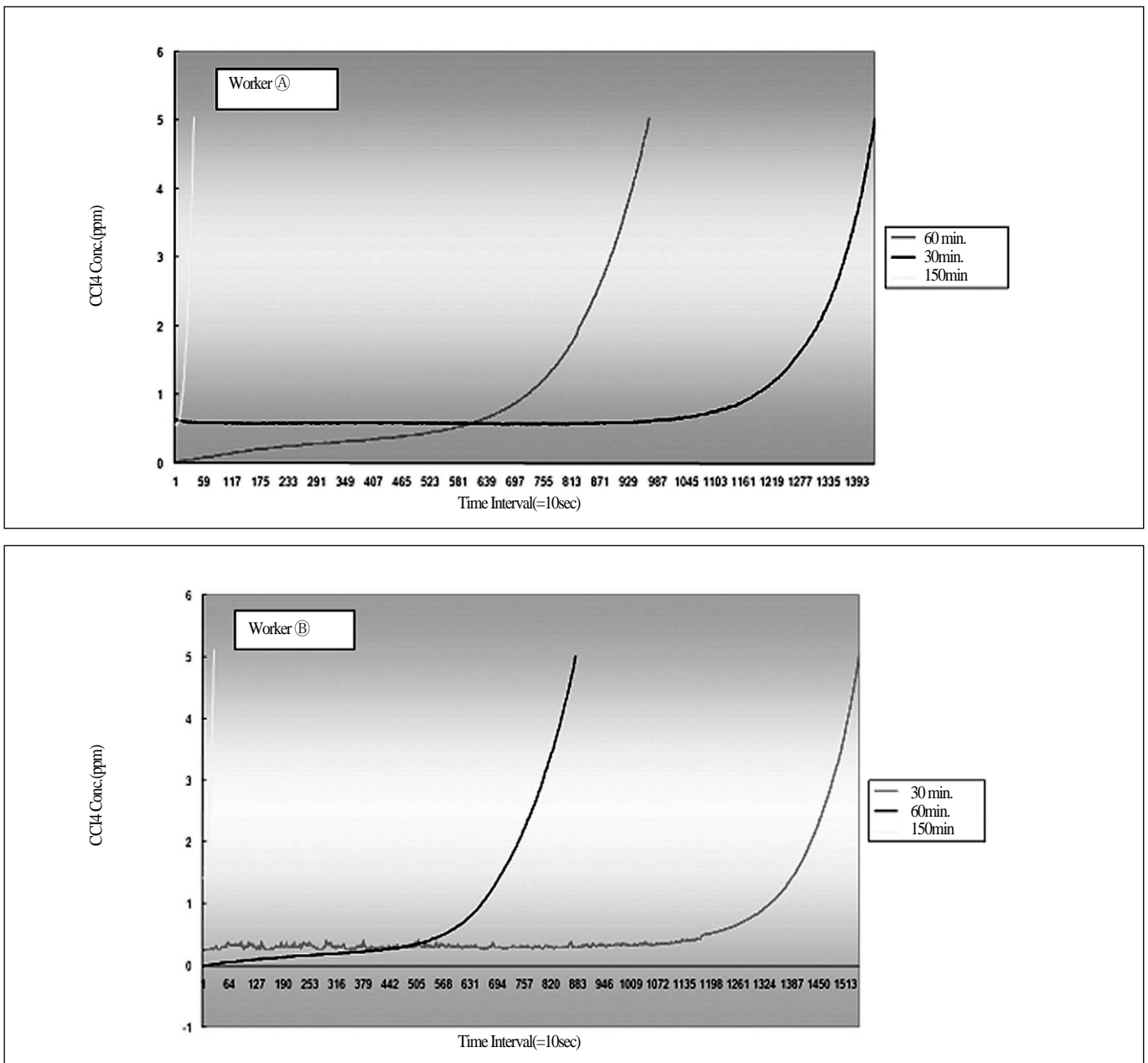


Fig. 3. Breakthrough curve of chemical cartridge A worned by workers ㉠, ㉡ in the shipyard 『a』

(2) 『b』 페인트

☒ 정화통 A

정화통 A에 대한 예측과과시간은 작업자 ㉔의 경우 3시간 짜리에서 437분, 작업자 ㉕의 경우 4시간 30분짜리에서 383분, 작업자 ㉖의 경우 3시간 30분짜리에서 461분으로 가장 짧게 나타나 교체주기로 정하였다. 3명 모두에게서 대체로 비슷한 값으로 나타났다(Table 4와 Fig. 4 참조).

작업자 ㉕의 경우 480분 착용한 정화통의 실험을 통한 과과시간은 94분이었고 예측과과시간은 574분이었다. 그러나 냄새가 난 후 2시간 뒤에 벗은 420분 착용한 정화통은 실험을 통한 과과시간은 71분이었고 예측과과시간은 491분으로 나

타났다. 이는 작업자가 착용시간에 관계없이 냄새가 나면 이미 소량이나마 파과가 시작되어 결국 짧은 시간이라도 정화통을 교체해야 한다는 것을 의미한다.

작업자 ㉖가 21시간 30분 사용한 것의 경우 과과시간이 매우 길게 나타난 것은 중간 중간 벗은 시간도 사용한 것으로 계산하여 넣었기 때문이다. 그러나 이 같은 경우 과과시간에 미치는 복잡한 요인들이 더 많이 개입할 것이므로 정확한 값을 산출하기 위해서는 앞으로 이와 같은 경우에는 처음부터 실험에서 제외시키는 것이 바람직할 것이다.

☒ 정화통 C

정화통 C에 대한 예측과과시간은 작업자 ㉔의 경우 3시간

Table 4. Estimated breakthrough time for chemical cartridge A in the paint factory 『b』

| Worker | Wearing time (min.) | Breakthrough | | | Estimated breakthrough time (min.) |
|--------|------------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|
| | | Time started | Time finished | Total minute | |
| ㉔ | 180 | 12:56 | 17:13 | 257 | 437 |
| | 480 | 11:55 | 15:59 | 244 | 724 |
| | 650 (2 hour after smelling) | 12:06 | 13:34 | 88 | 738 |
| ㉕ | 270 | 8:57 | 10:50 | 113 | 383 |
| | 480 | 14:35 | 16:09 | 94 | 574 |
| | 420 (2 hour after smelling) | 14:32 | 15:43 | 71 | 491 |
| ㉖ | 210 | 11:51 | 16:12 | 251 | 461 |
| | 360 | 12:08 | 16:25 | 256 | 616 |
| | 1290 (2 hour after smelling) | 14:09 | 14:28 | 19 | 1309 |

* Grey cell means estimated exchange period of cartridge.

Table 5. Estimated breakthrough time for chemical cartridge C in the paint factory 『b』

| Worker | Wearing time (min.) | Breakthrough | | | Estimated breakthrough time (min.) |
|--------|-------------------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|
| | | Time started | Time finished | Total minute | |
| ㉔ | 180 | 9:52 | 11:55 | 123 | 303 |
| | 351 (one hour after smelling) | 13:39 | 13:40 | 1 | 351 |
| | 360 | 8:47 | 8:50 | 3 | 363 |
| ㉕ | 210 | 9:47 | 12:44 | 177 | 387 |
| | 360 | 8:54 | 11:46 | 172 | 532 |
| | 810 (two hour after smelling) | 13:53 | 14:03 | 10 | 820 |
| ㉖ | 210 | 9:42 | 11:7 | 135 | 345 |
| | 420 | 10:58 | 12:04 | 66 | 486 |
| | 955 (two hour after smelling) | 13:38 | 13:49 | 1 | 960 |

* Grey cell means estimated exchange period of cartridge.

사용한 것이 303분, 작업자 ㉔의 경우는 3시간 30분 사용한 것이 397분, 작업자 ㉕의 경우도 3시간 30분 사용한 것이 345 분으로 가장 짧게 나타나 이것을 교체주기로 하였다(Table 5 와 Fig. 5 참조).

작업자 ㉔의 경우 351분 착용 후 실험에서 1분이 지나서 파

과가 일어난 것이나 360분 착용 후 3분이 지나서 파과 점에 도달한 것 그리고 작업자 ㉕의 경우 995분 착용 후 실험에서 1분 후에 파과 점에 도달 한 정화통은 실험절차 상 1분 혹은 3 분이 지나서 그래프가 나타난 것이지 사실은 이미 이전에 파과 점에 이른 것으로 판단된다. 따라서 앞으로 이런 정화통

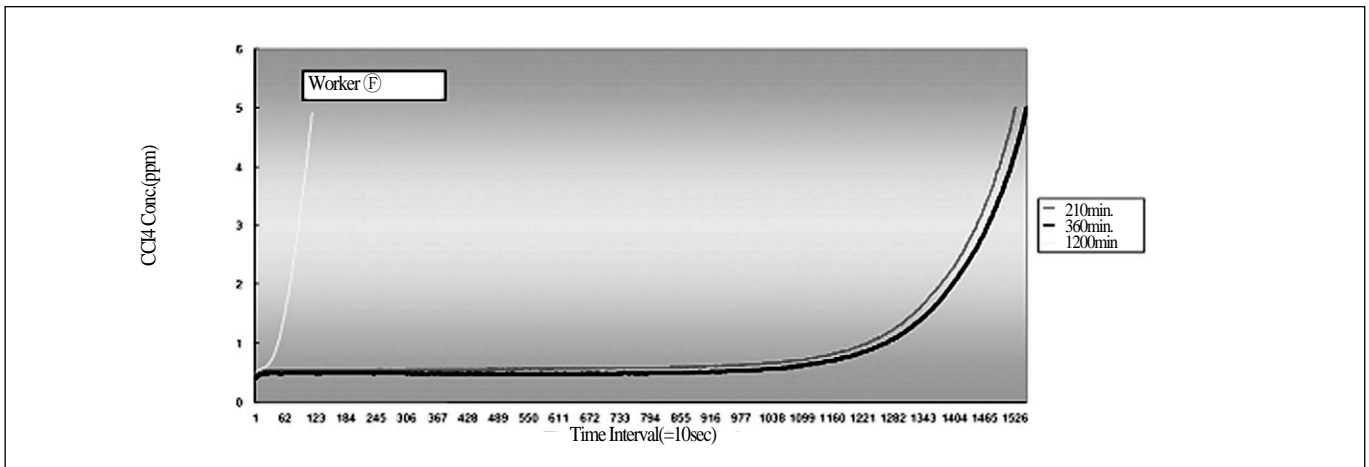
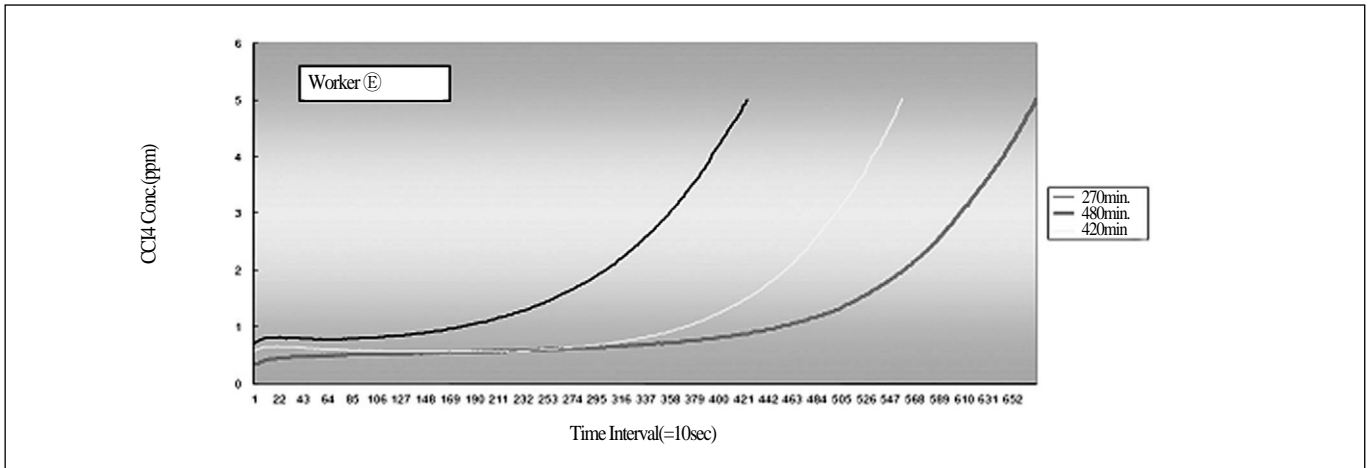
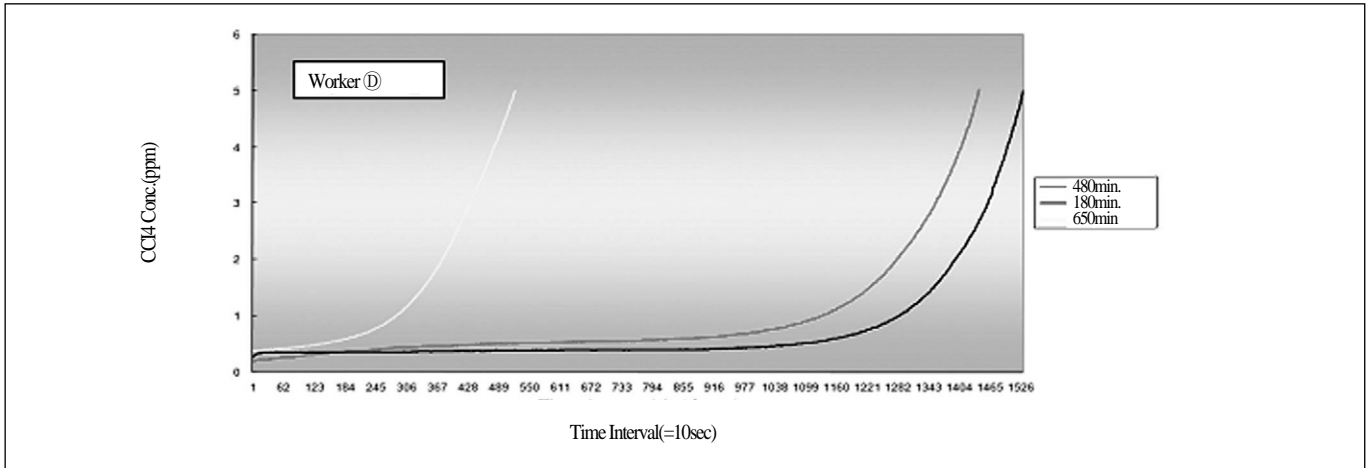


Fig. 4. Breakthrough curve of chemical cartridge A worn by workers ㉔, ㉕ and ㉖ in the paint factory 『b』

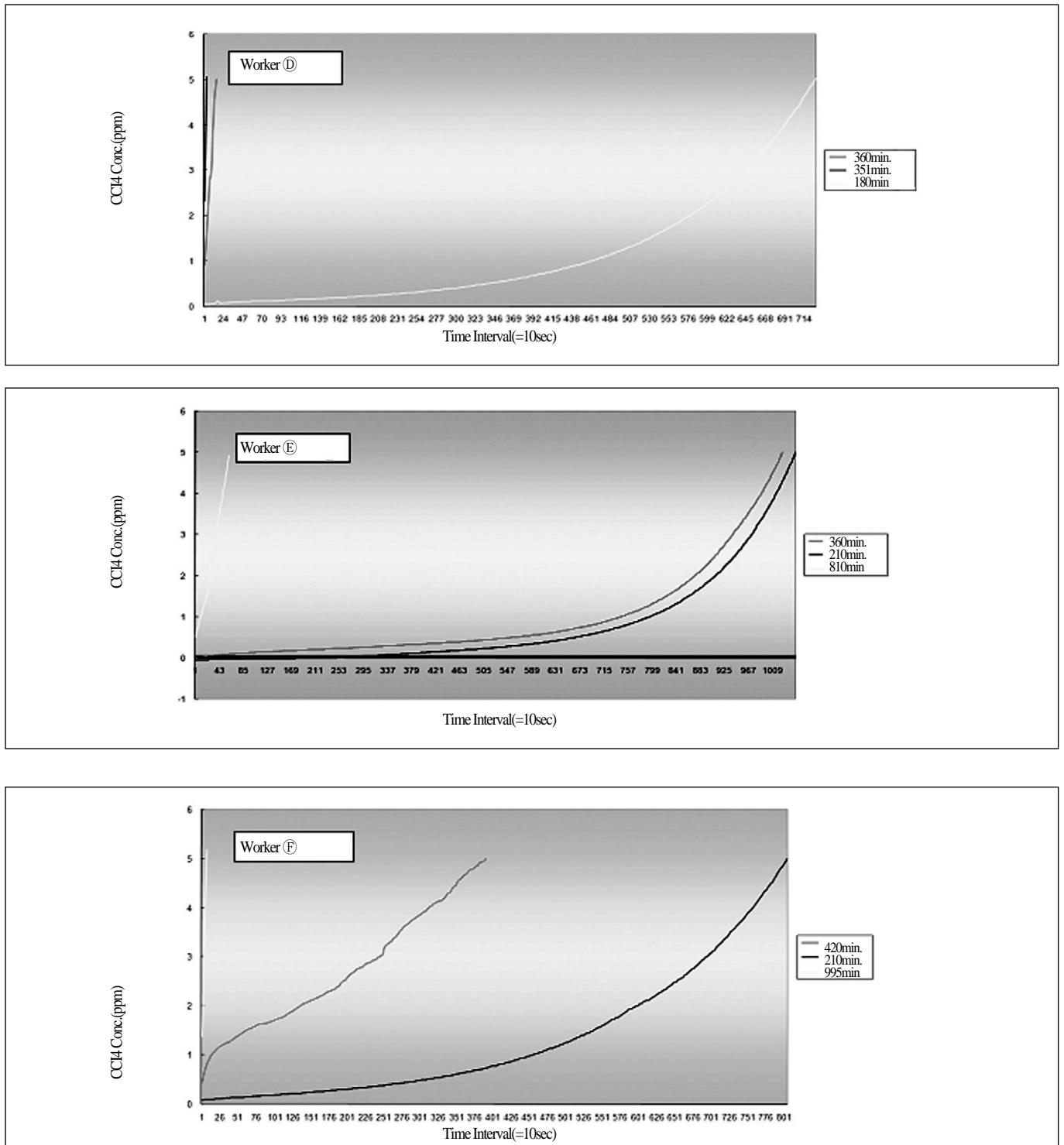


Fig. 5. Breakthrough curve of chemical cartridge C worn by workers ㉔, ㉕ and ㉖ in the paint factory 『b』

은 이미 이전에 파과가 일어난 것으로 판단되어 데이터에서 제외해야 할 것이다.

작업장 농도나 기타 정화통 파과와 관련한 요인들을 고려하지 않고 단순히 동일한 작업자끼리 단순 비교했을 때 정화통 A보다 정화통 C는 작업자 ㉔에게는 80분, 작업자 ㉕에게

는 40분, 작업자 ㉖에게는 116분 교체주기가 짧은 것으로 나타났다. 물론 작업장의 농도는 시시때때로 변하여 정화통 A를 착용하였을 때와 정화통 C를 착용하였을 때의 농도를 정확하게 비교할 수는 없을 것이다. 그러나 동일한 작업을 하는 작업장에서는 작업장의 농도가 동일하지는 않아도 반대

Table 6. Estimated breakthrough time for chemical cartridge D in the plating factory 『C』

| Worker | Wearing time (min.) | Breakthrough time (min.) | Estimated breakthrough time (min.) |
|--------|---------------------|--------------------------|------------------------------------|
| ㉔ | 780 | 77 | 857 |
| | 1440 | 79 | 1519 |
| | 2400 | 74 | 2474 |
| ㉕ | 780 | 75 | 855 |
| | 1440 | 56 | 1496 |
| | 4260 | 71 | 2471 |
| ㉖ | 780 | 71 | 851 |
| | 4500 | 75 | 151 |
| | 2400 | 65 | 2465 |

❖ Grey cell means estimated exchange period of cartridge.

로 급변하는 경우는 드물기 때문에 세 명의 작업자 모두에게서 정화통 C가 정화통 A보다 교체주기가 대략 1시간 내지 1시간 반 정도 짧다고 결론내릴 수 있다. 따라서 정화통을 구입할 때에는 객관적인 예측파과시간 결과와 가격을 비교하여 구입하는 것이 바람직할 것이다.

2. 산성가스

유기증기와 마찬가지로 작업현장에서 복합물질에 대한 파과실험을 어떤 물질로 할 것인지 그리고 그 농도는 얼마로 할 것인지를 결정하기에는 너무 많은 변수가 관여하기 때문에 현실적으로 매우 어려운 일이다. 따라서 현실적인 어려움 때문에 실험물질과 파과농도는 우리나라 검정규정을 그대로 적용하기로 하였다(노동부, 2004).

『C』 테크(도금작업장)에서 정화통 D

정화통 D에 대한 작업자 ㉔의 교체주기는 857분, 작업자 ㉕의 교체주기는 855분, 작업자 ㉖의 교체주기는 851분으로 나왔다(Table 6와 Fig. 6 참조). 그런데 실험에서의 파과시간은 거의 대동소이하다. 따라서 예측파과시간을 이용한 교체주기는 신뢰하기가 매우 어려워 보인다.

이상과 같이 실험실의 파과시간이 거의 동일하게 나타난 것은 다음과 같은 이유일 것이다. 우선 도금 공정에서 발생하는 오염물질의 형태는 대부분이 미스트(mist)이다. 금번 연구에서 검출된 오염물질은 가성소다, 인산, 질산, 황산, 염산인데 여기서 질산을 제외하고는 모두 미스트의 형태로 발생한다. 미스트에 대한 적합한 호흡용 보호구는 방독마스크가 아니고 방진마스크이다. 그러나 질산은 가스 형태로도 발생

하기 때문에 도금작업장에서는 방진방독겸용마스크를 착용해야 하고 이때 방독마스크의 정화통은 산·알칼리 제거용 정화통이다. 겸용마스크를 착용할 경우 미스트는 정화통 앞에 있는 프리필터(prefilter)에 여과되기 때문에 정화통에 이르는 산성 물질은 거의 적을 것이다. 더구나 작업환경 측정 결과 공기 중 산의 농도는 매우 적은 양으로 나타났다(본 논문에 제시하지 않았음). 이와 같이 매우 적은 양의 산성가스가 존재할 때 방진방독겸용 마스크의 정화통에 대한 실험을 통한 파과시간 예측은 사실상 불가능하다고 판단된다.

V. 결론

방독마스크의 정화통의 수명을 예측하기 위한 연구는 수십 년 동안 수많은 연구가 이루어져 왔고 지금도 많은 연구가 진행되고 있다. 과거 많은 연구 자료를 이용하여 간편하게 소프트웨어를 이용하여 정화통의 수명을 예측할 수 있는 프로그램도 개발되었다. 그러나 정화통의 수명에 관여하는 인자가 거의 무한대에 이르기 때문에 여전히 작업현장에서는 이 같은 프로그램은 참고자료일 뿐이다. 실제 작업현장에서는 작업자가 직접 문제의 정화통을 착용하고 파과시간을 예측할 수 있는 프로그램이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 필요성에 맞추어 실제 작업자가 현장에 착용하고 버린 폐정화통을 수거하여 남은 시간을 예측함으로써 정화통 교체주기를 추정하는 프로그램을 개발하고자 하였다. 통상적으로 작업자는 냄새가 나기 시작하면 새 정화통으로 교체하기 때문에 이 시점을 파과시간으로 보고

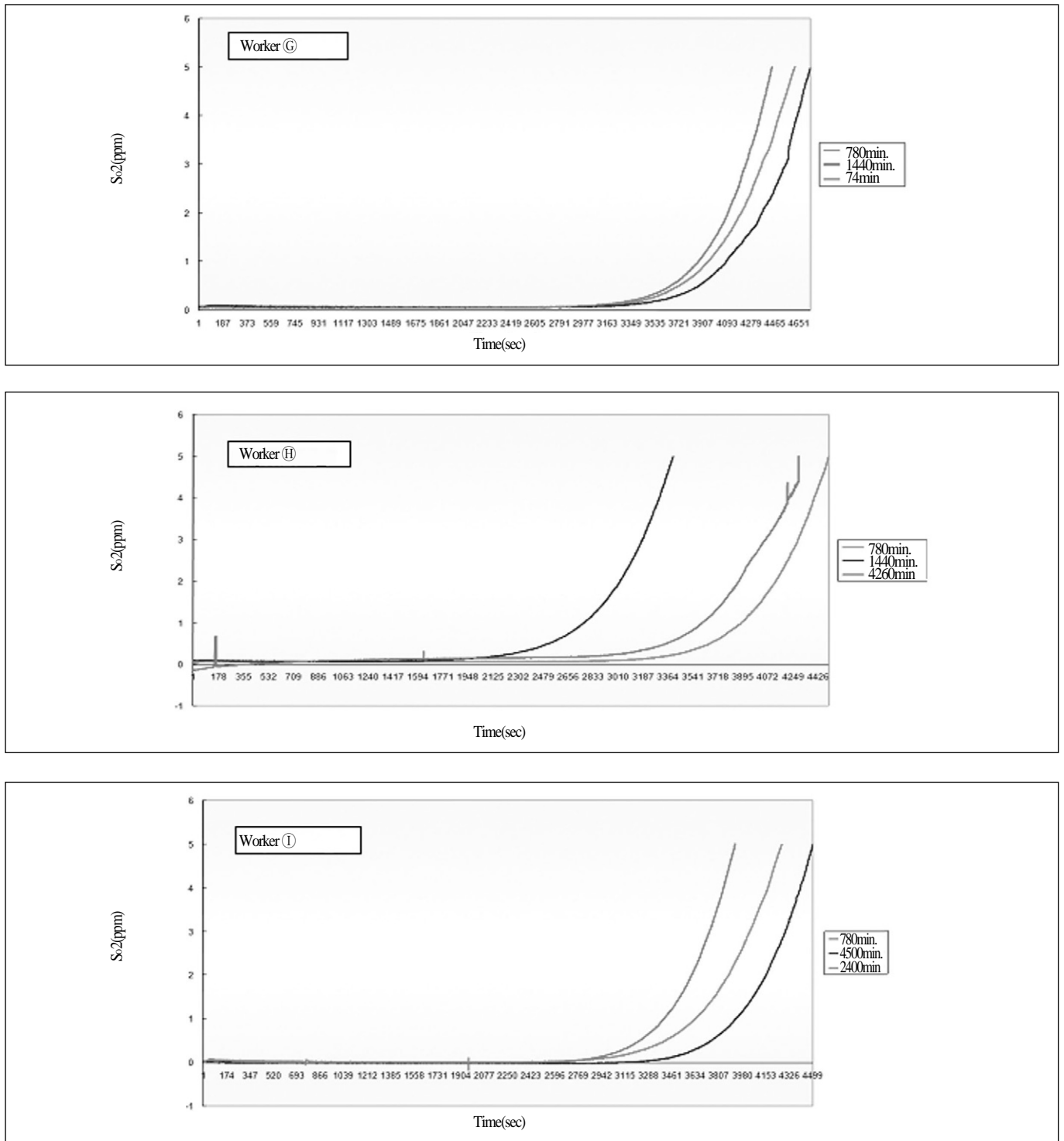


Fig. 6. Breakthrough curve of chemical cartridge D worn by workers G, H and I in the plating factory 'C'

이 시점과 이보다 1/2 짧은 시간, 이보다 1.2~1.3배 긴 시간의 3개 단계로 나누어서 정화통을 수거한 다음 각 정화통의 남은 과과시간을 실험을 통하여 분석하였다. 실험에서 얻은 과과시간과 이미 사용한 시간을 합하여 최종적으로 과과가 일어나는 것으로 예측하였다. 실험물질과 과과농도는 검정규정

과 동일하게 적용하였다. 3개의 예측과과시간 중 가장 짧은 것을 교체주기로 결정하였다. 이 방법은 정확한 데이터라고는 할 수 없으나 작업 현장에서 실질적으로 정화통 교체주기로 활용할 수 있다는 장점을 안고 있다. 유기증기에 대한 정화통의 예측은 실험을 통하여 잘 나타났으나 소량의 산 가스

가 존재하는 도금 작업장에서는 이 같은 예측프로그램이 무의미하였다.

Yoon, YH, JH Nelson, J Lara. Respirator cartridge service-life: Exposure to mixtures, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1996;57(9): 809-819

REFERENCES

- 김기환, 김덕기, 신창섭. 작업현장의 환경조건에 따른 방독마스크 정화통의 수명예측(II). 한국산업안전학회지 1996;11(4): 72-78
- 김덕기, 신창섭. 작업현장의 환경조건에 따른 방독마스크 정화통의 수명예측 -모사에 의한 정화통과 샘플관의 파괴시간-, 한국산업안전학회지 1996;11(2): 89-95
- 노동부. 보호구 성능검정 규정 (방독마스크). 노동부 고시 2004-49 (2004. 10. 21.). 노동부 2004.
- 박두용, 박지영, 윤충식. 가스 및 유기용제용 호흡용보호구의 정화통에 대한 수명예측방법의 정확도 및 타당성 검증연구. 한국산업위생학회지 1999;9(2): 19-31
- 정해동, 백남원. 복합유기용제에 노출된 호흡용보호구용 정화통의 파파에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1996;6(1): 55-66
- 한국산업안전공단. 작업 환경측정 · 분석방법 지침 [KOSHA CODE A-1-2004]. 한국산업안전공단 2004
- Cohen, HJ, SP Levine, RP Garrison. Development of a field method for determination the service lives of respirator cartridges - Part IV: Results of field validation trials. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1991 52(7): 263-270
- Nelson, GO and AN Correia. Respirator cartridge efficiency studies: VII - Summary and conclusions, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1976;37(9): 514-525
- Nelson, GO and CA Harder. Respirator cartridge efficiency studies: V - Effect of solvent vapor. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1974;35(7): 391-410
- Rajhans, GS and BP Pathak. Practical guide to respirator usage in industry, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, 2001
- Tanaka, S, Y Tsuda, S Kitamura, M Shimada, H Arito, Y Seki. A simple method for detecting breakthroughs in used chemical cartridges, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1991;62(2): 168-171
- Yoon, YH, JH Nelson, J Lara, C Kamel, D Fregeau. A theoretical interpretation of the service life of respirator cartridges for the binary acetone/m-xylene system, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1991;52(2): 65-74