

작업장에서 사용 가능한 방독마스크 정화통 교체주기 프로그램의 개발(II) - 냄새 서한도(odor threshold)를 이용하는 방법

한돈희[†] · 강민선 · 이광용¹

인제대학교 보건안전공학과, ¹한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Development of feasible program of exchange period for chemical cartridge in the workplace (II) - Method of using odor threshold

Don-Hee Han[†] · Min-Sun Kang · Gwang Yong Yi¹

*Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University,
¹Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA*

The greatest concern of vapor/gas respirators is when to exchange chemical cartridges, but it is very difficult to estimate the breakthrough time of them in the workplace spot due to so many factors influencing on breakthrough. There needs to study on estimating cartridge exchange period available practically in the spot, even if it is not precise. In the previous study, authors suggested the method on estimating service-life of chemical cartridges using cartridges discarded after use. This followed study was to estimate exchange period for chemical cartridges using comparison of concentrations between Korean Occupational Exposure Limits (KOELs) and odor thresholds of chemicals. Chemicals were divided into four groups, I, II, III and IV groups. Group I chemicals are relatively safe if cartridges are just or slightly delayed exchanged when smelling since odor thresholds were less than 0.5 times KOELs. Odor threshold of Group II chemicals are 0.5~2.0 times KOELs and

potentially hazardous if cartridges are exchanged when smelling. Those chemicals should be conducted program on estimating service-life of cartridges, which was just previously published (J Kor Soc Occup Environ Hyg 2008;18(3) 204-215). Group III chemicals (odor thresholds are more than 2.0 times KOELs) and Group IV chemicals (odorless or no data for smelling) must be performed the above mentioned program before cartridges. Even if this method on cartridge exchange using odor threshold is practically widely used in the workplace spot in the present, program on estimating service-life of cartridges is recommended for all chemicals to reduce potentially hazards.

Key Words: Odor threshold, service-life of cartridge, breakthrough, vapor/gas respirator

I. 서 론

방독마스크 정화통의 교체주기에 관한 문제는 작업장 근로자들은 물론, 산업위생담당자 및 제조업체 종사자들에게

초미(焦眉)의 관심사이다. 만약 정해진 교체시기를 놓쳐 과과가 일어나면 과도한 양의 유해물질이 근로자들에게 노출되어 건강상 유해할 것이다. 반대로 너무 지나치게 빠른 교체는 사용주에게 정화통 구입에 과도한 비용을 지출하게 되

※ 본 연구는 한국산업안전공단 산업안전보건연구원의 2007년 위탁연구과제사업에 의하여 수행되었음.

접수일: 2009년 3월 19일, 채택일: 2009년 6월 2일

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

어 많은 불만을 갖게 된다. 따라서 근로자들의 건강을 보호하면서 사용주에게는 최저의 비용을 사용하도록 정화통의 교체주기를 정확하게 예측하는 것은 매우 중요한 문제이다.

그래서 이에 대한 연구는 수십 년 동안 이루어져 왔고(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) 이를 토대로 최근에는 정화통의 수명에 영향을 미치는 몇 가지 인자들을 기입하면 개략적인 정화통 수명을 예측할 수 있는 프로그램이 개발되어 사용되고 있다. 대표적인 소프트웨어가 NIOSH의 "BREAKTHROUGH(Single Vapor Version 3.1.2)"와 3M의 "3M Cartridge Service Life, Version 4.0"이다. 그러나 이것들은 통제된 실험실의 실험 결과를 가지고 만든 소프트웨어이기 때문에 작업현장에서 바로 적용하기에는 많은 제한점을 지니고 있어 이를 활용할 때에는 단지 참고자료로만 활용하는 것이 바람직하며 또 실제 소프트웨어를 개발한 주체에서도 이를 권장하고 있다.

그러므로 작업 현장에서 실제 활용 가능한 방독마스크의 교체주기에 관한 프로그램이 필요하게 되었다. 이의 첫 번째 시도는 사용 후 폐기된 폐정화통을 이용하여 실험적으로 정화통의 파과시간을 예측함으로써 실제 현장에서 정화통 교체주기를 예측하는 프로그램이다. 이 연구는 이미 발표된 바와 같이 사용한 정화통을 수거하여 남은 파과시간을 실험을 통하여 산출하는 방식으로 상당히 과학적이지만 시간, 실험 시설 및 인력 등 많은 노력이 필요하다(한돈희와 이상영, 2008). 두 번째 방법은 이미 작업 현장에서 가장 많이 활용되고 있는 방식으로 냄새서한도(odor threshold)를 이용하는 방식이다. 이 방법은 현재 작업현장의 산업위생담당자가 가장 많이 활용하고 있음에도 불구하고 정확한 자료가 부족하여 자신들의 활용방법에 대해 많은 의구심을 가지고 있으며 근로자들의 건강에 정말 어느 정도 영향을 주는지 불안해하고 있다.

따라서 본 연구는 작업 현장에서 방독마스크 정화통 교체주기에 대해 현재 활용하고 있는 냄새 서한도 방법에 대한 정확한 정보를 제공하고 이를 활용할 수 없는 경우 대처하는 방법을 제시하는데 그 목적을 두고 있다.

II. 정화통 교체시기 실태

근로자가 화학물질의 냄새나 맛을 감지하였을 때 정화통을 교체하는 것은 가장 현실적이며 실제 가장 많이 활용하고 있는 방법이다. 일단 냄새가 나기 시작하면 노출기준치 초과 여부와 관계없이 작업자는 견딜 수 없기 때문에 정화통을

교체할 수밖에 없다. 2007년에 465명을 대상으로 정화통을 언제 교체하는지를 설문조사한 결과 89.1%인 416명이 냄새가 나는 즉시 교체한다고 하였다(한국산업안전공단, 2008). 통제된 실험실이 아닌 작업 현장에서 교체 주기를 산출하기란 쉽지 않고 현실적으로 호흡용보호구 안에서 화학물질의 냄새가 나는데 보호구를 착용한 채 계속해서 작업을 할 수는 없는 일이다. 또 담당자의 입장에서는 냄새가 나는데도 무리하게 착용시간을 연장하여 착용하게 한 후 혹시나 질식하는 근로자가 생겼을 경우에는 커다란 문제에 직면하게 되기 때문에 냄새가 나면 무조건 정화통을 교체할 것을 원하고 있다.

III. 냄새 서한도(Odor threshold)

냄새 서한도란 평균적인 사람에 의해 공기 중의 냄새를 맡을 수 있는 가장 낮은 농도로 정의된다(AIHA, 1997). 냄새 서한도는 정확한 값을 가질 수는 없다. 모든 감각인식기능 중에서 냄새를 감지하고 측정하는 능력은 변수가 많고 파악하기 어렵다. 동일한 화학물질을 갖고 수행한 연구 간에도 최대 수만 배의 차이가 있는 경우도 있다. 이 같이 차이가 많이 나는 이유는 연구 설계, 발생원의 차이 그리고 인간 후각의 반응이 광범위하기 때문이다. 일부 사람들은 어떤 냄새를 수십억 분의 몇 정도(0.1 ppb 수준)에서 맡을 수 있는 반면 일부 사람들은 이보다 수천 배 높은 농도에서조차 맡을 수 없다.

산업위생 전문가들은 냄새 서한도를 신뢰할 수 있는 감지기로는 생각하지 않는다. 인간 후각이 광범위한 것에 덧붙여 일부 매우 강력한 독성을 가지고 있는 화학물질은 냄새가 없는 반면 황화수소와 같은 일부 화학물질은 높은 농도에서는 후각 기능을 마비시켜 냄새를 맡지 못하게 하기도 한다. 일부 화학물질은 아주 안전한 농도 수준에서 감지할 수 있으나 그들이 발산하는 냄새 때문에 이들은 부당한 대우를 받거나 일반 사람들이 이물질에 대해 많은 불평을 토로한다.

그럼에도 불구하고 냄새 서한도는 어떤 상황에서 개략적 이나마 경고 사인을 보내고 위험성을 알리게 된다. 과거의 경험을 보면 무슨 냄새가 난다는 것을 무시하였을 때 실제 유해물질이 존재하는 경우도 많았다.

건강상 문제가 되지 않는 낮은 농도에서 냄새를 감지할 수 있는 화학물질인 경우에는 그다지 문제가 되지 않는다. 방독마스크를 착용하고 작업하는 근로자는 이 냄새를 맡으면서 계속적으로 작업할 수는 없기 때문에 정화통을 교체할 수밖에 없다. 그러나 독성을 가지고 있는 화학물질이 냄새가 없거나 냄새를 감지하였을 경우에 이미 노출기준보다 훨씬 많은 양을 흡입하게 되는 화학물질에 대해서는 근로자의 안

전과 건강을 보장하기가 매우 어렵게 된다. 한 예로써 취사 가스에 프로판가스를 들 수 있다. 처음 새어 나올 때는 냄새가 나지 않기 때문에 냄새를 맡았을 때에는 상당량의 가스가 새어 나와 폭발한다거나 사람이 질식사하여 사망에 이르게 된다. 이 같은 문제를 해결하기 위해서 매우 낮은 냄새 서한도를 가지고 있는 적은 양의 메캅탄류(mercaptans: 황을 포함한 화합물)를 프로판 가스에 첨가하기도 한다. 이 같은 가스의 첨가는 가스의 누설을 즉각 감지하게 하여 위험을 사전에 대처하게 함으로 사고를 막을 수 있게 한다.

IV. 연구방법

처음 냄새를 맡고 곧바로 정화통을 교체했을 때 당시의 농도가 노출기준보다 훨씬 낮은 농도라면 착용자는 크게 문제가 되지 않을 것이다. 그러나 반대로 냄새를 맡고 정화통을 교체할 당시의 농도가 노출기준을 훨씬 초과했다면 착용자는 이미 상당량의 화학물질에 노출되었을 것이다. 또 노출기준과 냄새 서한도가 서로 겹치는 중간 단계인 경우도 있을 수 있다. 이러한 논리를 이용하여 노출기준과 냄새 서한도를 비교하여 4개 그룹으로 분류하였다. 그러나 이러한 분류에도 불구하고 냄새 서한도에 대한 연구결과가 없거나 아예 냄새가 나지 않는 물질에 대해서는 이 같은 분류가 의미가 없기 때문에 이에 대한 정화통 교체주기에 대한 방법을 도식을 통하여 제시하였다.

V. 연구결과 및 고찰

1. 노출기준과 냄새서한도에 의한 화학물질의 분류

1) 냄새가 나면 정화통을 갈아 주어도 문제가 되지 않는 물질(제Ⅰ그룹)

냄새 서한도가 노출기준의 0.5배 이하로서 냄새를 맡고 정화통을 교체하면 객관적으로 근로자에게 크게 문제가 되지 않는 즉, 정화통만 즉시 교체하면 노출기준 이하로 화학물질을 흡입하는 경우의 물질들이다. 표 1은 이들 물질들 중 보통 작업장에서 많이 노출되는 물질들만을 정리한 것이다. 여기에 수록되지 않은 물질들은 한국산업안전보건연구원 홈페이지에서 얻을 수 있다(한국산업안전보건연구원, 2009). 예를 들어, 크실렌 냄새를 맡았을 때 노출기준의 1/5 수준이고 톨루엔 냄새 맡았을 때 노출기준의 1/10수준이다. 물론 사람마다 후각기관의 감지 능력이 달라 감지 능력의 범위가 광범위하고 표 1에 나와 있는 값들이 지금까지 연구된 냄새 서한

도들의 기하평균임을 감안하면 결코 정량적인 평가를 해서는 안 된다. 그러나 일반적으로 후각에 문제가 없는 근로자가 냄새를 맡는다고 가정할 때 정량적인 값이 아니라도 냄새를 처음 감지한 농도에서 건강상 크게 문제가 되지 않는 물질들이라고 할 수 있다.

매우 다행스럽게도 짙한 회색으로 표시된 화학물질들은 도장, 페인트 제조에서 조금이라도 검출되는 화학물질들이다. n-부틸알코올, 메틸아세테이트, 에틸벤젠, 에틸아세테이트, 이소아밀아세테이트, 이소프로필알코올(IPA), 크실렌(오르토,메타,파라 이성체), 톨루엔, 트리메틸벤젠, 헥손(MIBK), 2-부타논(MEK) 이상 11가지 물질은 페인트와 도장 작업장에서 가장 많이 나오는 물질이다(한국산업안전공단, 2008). 이외에도 다행스럽게도 옅은 회색으로 표시된 이소부틸알코올, 이소부틸아세테이트, 초산부틸, 아세톤, 에탄올의 5가지 물질은 유기용제로 도료와 신나에서 자주 검출되는 물질들이다(한돈희와 이진현, 2007).

표 1에 표시된 냄새 서한도는 지금까지 밝혀진 냄새 서한도의 기하평균값을 나타낸 것이다. 사람마다 냄새 서한도가 달라서 표 1에서 제시한 것보다 높은 훨씬 높은 농도에서 냄새를 맡는 사람들이 있을 것이다. 그러나 보통의 근로자들이 이 표에서 제시한 농도에서 냄새를 맡는다고 보았을 때 이상에서 제시한 화학물질들은 냄새를 맡는 즉시 정화통을 갈아 준다면 노출기준보다 낮은 농도에 노출되기 때문에 근로자들의 건강에 크게 문제는 안 될 것이다. 특정 물질에 대해 냄새를 잘 맡지 못하는 사람이 있을 수 있으니 이러한 사람들에게 대해서는 특별 관리가 필요할 것이다. 예를 들어, 동료들은 그 물질의 냄새를 잘 맡는데 자신은 그 물질에 대해 냄새를 감지 못하는 경우에는 동료가 정화통을 교체하는 시점에 맞추어 자신도 정화통을 갈아 주는 방식을 취해야 할 것이다.

결론적으로 표 1에 표시된 물질이 배출되는 작업장에서는 냄새가 나면 그 즉시 정화통을 갈아주는 것이 가장 좋은 정화통 교체 방법이라고 할 수 있다.

2) 냄새가 나서 정화통을 갈아 주면 건강상 위험할 수 있는 물질(제Ⅱ그룹)

표 2는 냄새 서한도가 노출기준의 0.5-2.0배로서 냄새를 맡으면 건강상 위험 가능성이 있는 물질 중 주요 물질들을 정리한 것이다. 도장 및 페인트 제조 작업장에서 가장 많이 검출되는 물질들 TCE와 PCE 두 가지이다.

다행스럽게도 표 2에 표시된 물질들은 유기용제로 그다지 많은 사용하는 물질들은 아니다. 이들 물질이 발생하는 작업장에서는 어떻게 하는 것이 가장 바람직할까? 이들 물질들이 발생하는 작업장에서는 냄새만 의존하여 정화통을 교체해서는 안 될 것이다. 물론 냄새가 나면 곧바로 정화통을 갈

Table 1. Substances that are odor threshold $0.5 \times \text{KOEL}$(Korean Occupational Exposure Limit), indicating that absence of odor suggests safe concentration (Group I)(Only main substances described)

Name of chemicals		Formula	KOEL (2007) TWA (ppm)	TLV (2007) TWA (ppm)	Odor threshold ¹⁾ (ppm)	IDLH ²⁾ (1995)
Korean	English					
1,3-부타디엔	1,3-Butadiene	$\text{CH}_2\text{CHCHCH}_2$	2	2	0.45	2000(LEL)
2-부타논(MEK)	2-Butanone	$\text{CH}_3\text{COC}_2\text{H}_5$	200	-	16	3000
n-부틸아크릴레이트	n-Butyl acrylate	$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_2$	10	2	0.003	-
n-부틸알코올	n-Butyl alcohol(1-Butanol)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	C 50	20	1.2	1400
n-초산 부틸	n-Butyl acetate	$\text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	150	150	0.31	1700
n-프로필 알콜	n-propyl alcohol	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	200	100	5.3	800
n-헥산	n-Hexane	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	50	50	21.9	1100(LEL)
o-디클로로벤젠	o-Dichlorobenzene	$\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	25	25	0.70	200
o-클로로톨루엔	o-Chlorotoluene	$\text{C}_6\text{H}_4\text{CH}_3\text{Cl}$	50	50	0.219	-
p-디클로로벤젠	p-Dichlorobenzene	$\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	10	10	0.12	150
가솔린	Gasoline	-	300	300	0.3	-
나프탈렌	Naphthalene	C_{10}H_8	10	10	0.038	250
니트로벤젠	Nitrobenzene	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	1	1	0.37	200
디메틸아민	Dimethyl amine	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	5	5	0.081	500
디에틸 케톤	Diethyl ketone	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COC}_2\text{H}_5$	200	200	9.3	-
디에틸아민	Diethylamine	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}$	5	5	0.053	200
디클로로에틸에테르	Dichloroethylether	$(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{O}$	5	5	0.049	100
디페닐(비페닐)	Diphenyl(biphenyl)	$\text{C}_{12}\text{H}_{10}$	0.2	0.2	0.0093	47.6
메틸 아크릴레이트	Methyl acrylate	$\text{CH}_2\text{CHCOOCH}_3$	2	2	0.263	250
메틸 메타크릴레이트	Methyl methacrylate	$\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	50	50	0.049	1000
메틸아세테이트	Methyl acetate	$\text{CH}_3\text{COOCH}_3$	200	200	6.17	3100(LEL)
무수초산	Acetic anhydride	$(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$	C 5	5	0.14	200
부탄	Butane	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	800	1000	204	-
부틸알코올(제2)	sec-Butyl alcohol(2-Butanol)	$\text{CH}_3\text{CHOHCH}_2\text{CH}_3$	100	100	3.2	2000
불화수소	Hydrogen fluoride, as F	HF	C 3	0.5	0.036	30
시안화수소	Hydrogen cyanide	HCN	C 4.7	C 4.7	0.603	50
시클로헥사논	Cyclohexanone	$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}$	25	20	3.5	700
시클로헥사놀	Cyclohexanol	$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{OH}$	50	50	0.16	400
아세톤	Acetone	CH_3COCH_3	500	500	62	2,500(LEL)
아세트알데히드	Acetaldehyde	CH_3CHO	50	C25	0.067	2000
에탄올	Ethanol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	1,000	1000	180	-
에틸 부틸케톤	Ethyl butyl ketone	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COC}_4\text{H}_9$	50	50	0.1~10	1000
에틸 아크릴레이트	Ethyl acrylate	$\text{CH}_2\text{CHCOOC}_2\text{H}_5$	5	5	0.00024	300
에틸 벤젠	Ethyl benzene	$\text{C}_2\text{H}_5\text{C}_6\text{H}_5$	100	100	2.3	800(LEL)
에틸아세테이트	Ethyl acetate	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$	400	400	18	2000(LEL)

염소	Chlorine	Cl ₂	0.5	0.5	0.080	10
이산화질소	Nitrogen dioxide	NO ₂ /N ₂ O ₄	3	3	0.186	20
이소부틸알코올	Isobutyl alcohol	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ OH	50	-	3.6	1600
이소부틸아세테이트	Isobutyl acetate	CH ₃ COOCH ₂ CH(CH ₃) ₂	150	150	1.1	1300(LEL)
이소아밀아세테이트	Isoamyl acetate	CH ₃ COOCH ₂ CH ₂ CH(CH ₃) ₂	50	-	0.22	1000
이소프로필 아세테이트	Isopropyl acetate	CH ₃ COOCH(CH ₃) ₂	100	100	4.1	1800
이소프로필알콜	Isopropyl alcohol	CH ₃ CHOHCH ₃	200	-	43	2000(LEL)
이황화탄소	Carbon disulfide	CS ₂	10	1	0.096	500
질산	Nitric acid	HNO ₃	2	2	0.267	25
초산	Acetic acid	CH ₃ COOH	10	10	0.074	50
크레졸	Cresol	CH ₃ C ₆ H ₄ OH	5	5	0.00005-0.0079	250
크실렌 (오르토, 메타, 파라 이성체)	Xylene (o,m,p-isomers)	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	100	100	20	900
클로로벤젠	Chlorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	10	10	1.3	1000
톨루엔	Toluene	C ₆ H ₅ CH ₃	50	20	1.6	500
트리메틸 벤젠	Trimethyl benzene	(CH ₃) ₃ C ₆ H ₃	25	25	2.4	-
페놀	Phenol	C ₆ H ₅ OH	5	5	0.060	250
포스핀	Phosphine	PH ₃	0.3	0.3	0.14	50
피리딘	Pyridine	C ₅ H ₅ N	2	1	0.66	1000
헥손(MIBK)	Hexone	CH ₃ COCH ₂ CH(CH ₃) ₂	50	-	0.88	500
황화수소	Hydrogen sulfide	H ₂ S	10	10	0.0094	100

¹⁾Odor thresholds are primarily geometric means in air by AIHA in 1997. If data was not in AIHA, data of 3M Respirator Section Guide (2004) was secondarily cited. If data was not in both, odor threshold was considered no data.

²⁾IDLH data were revised by NIOSH in 1995.

아주어야 함은 물론이다. 그리고 가장 중요한 것은 앞서 발표한 연구에서처럼 사용하고 버린 폐정화통을 수거하여 정화통의 서비스 수명예측 프로그램을 수행하는 것이다(한돈희와 이상영, 2008). 모든 사람이 다 수행할 필요는 없고 동일한 작업에서 동일한 신체조건과 작업강도를 가진 근로자의 정화통 교체시간에 맞추어 자신의 정화통을 교체하는 것이다.

3) 냄새가 나서 정화통을 갈아 주면 건강상 매우 위험한 물질(제III그룹)

여기에 해당하는 물질들은 우선적으로 독성이 강하여 노출기준이 낮은 것들이다. 이미 냄새를 맡았을 때에는 노출기준을 몇 십 배에서 몇 백 배 초과한 경우도 있다. 예를 들어, 사염화탄소는 냄새를 맡았다면 이미 노출기준을 50배 초과한 것이고 산화에틸렌은 냄새를 맡는 즉시 노출기준을 420 배나 초과한 것이다. 따라서 이들 물질들이 발생하는 작업장에서 정화통을 교체하는 방법은 절대로 냄새에 의존해서는 안 된다. 이들 물질들이 발생하는 작업장에서는 정교한 정화

통 서비스 수명 예측 프로그램을 실시하여 정화통의 수명을 예측한 후에 사용해야 할 것이다.

4) 냄새가 없거나 냄새 서한도 자료가 없는 물질(제IV그룹)

이들 물질들에 대해서는 냄새에 의존할 수 있는 물질들이 아니다. 따라서 앞서 언급한 이미 냄새를 맡았을 때 심각한 건강상 문제를 야기할 수 있는 물질과 동일한 방법을 취해야 할 것이다. 즉, 정화통에 대한 정확한 서비스 수명예측 프로그램을 실시한 다음 정화통을 교체해야 할 것이다. 물론 이들 물질들에 대해서는 호흡보호구를 착용하기 전부터 위험 물질로 분류하고 작업현장이 아닌 통제된 실험실에서 정화통의 과과실험이 우선 이루어져야 할 것이다.

2. 정화통 서비스 수명예측 프로그램의 개발

통제된 실험실이 아닌 작업현장에서 정화통의 서비스 수명 즉, 과과시간을 정확하게 알 수는 없다. 그것은 작업장의

Table 2. Substances that are odor threshold 0.5 ~ 2×KOEL, indicating possible hazard if smelling (Group II) (Only main substances described)

Name of chemicals		Formula	KOEL (2007) TWA (ppm)	TLV (2007) TWA (ppm)	Odor threshold ¹⁾ (ppm)	IDLH ²⁾ (1995)
Korean	English					
1,2,4-트리클로로벤젠	1,2,4-Trichloro benzene	C ₆ H ₃ Cl ₃	C 5	C 5	2.91	-
2-에톡시에탄올	2-Ethoxyethanol	C ₅ H ₉ OCH ₂ CH ₂ OH	5	5	2.7	500
메탄올	Methanol	CH ₃ OH	200	200	160	-
메틸 아민	Methyl amine	CH ₃ NH ₂	5	5	4.7	100
불소	Fluorine	F ₂	0.1	1	0.13	25
브로모포름	Bromoform	CHBr ₃	0.5	0.5	0.447	850
브롬	Bromine	Br ₂	0.1	0.1	0.066	3
브롬화 수소	Hydrogen bromide	HBr	C 2	C 2	1.99	30
브롬화 에틸	Ethyl bromide	C ₂ H ₅ Br	5	5	3.09	2000
아닐린과 아닐린 동족체	Aniline & homologues	C ₆ H ₅ NH ₂	2	2	2.4	100
아크릴로니트릴	Acrylonitrile	CH ₂ CHCN	2	2	1.6	85
암모니아	Ammonia	NH ₃	25	25	17	300
에틸렌 글리콜(증기 및 미스트)	Ethylene glycol(vapor and mist)	CH ₂ OHCH ₂ OH	C 50	C 100mg/m ³	60.3mg/m ³	-
염화수소	Hydrogen chloride	HCl	1	C 2 Heavy work (0.05) Moderate work		50
오존	Ozon	O ₃	0.08	(0.08) Light work (0.10) H,M, or L workloads (≤2h) 0.20	0.051	5
이산화황(아황산가스)	Sulfur dioxide	SO ₂	2	2	2.7	100
클로로아세트 알데히드	Chloroacetaldehyde	ClCH ₂ CHO	C 1	C 1	0.917	45
트리클로로에틸렌	Trichloroethylene	CCl ₂ CHCl	50	10	82	1000
퍼클로로메틸 메캡탄	Perchloromethyl mercaptan	CCl ₃ SCI	0.1	0.1	0.097	10
퍼클로로에틸렌	Perchloroethylene	CCl ₂ CCl ₂	25	-	47	-
포름알데히드	Formaldehyde	HCHO	0.5	C0.3	0.87	20
헵탄	Heptane	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₃	400	400	230	750

Table 3. Substances that are odor threshold > 2×KOEL, indicating significant hazard if smelling (Group III) (Only main substances described)

Name of chemicals		Formula	KOEL (2007) TWA (ppm)	TLV (2007) TWA (ppm)	Odor threshold ¹⁾ (ppm)	IDLH ²⁾ (1995)
Korean	English					
1,1-디메틸히드라진	1,1-Dimethyl hydrazine	(CH ₃) ₂ NNH ₂	0.01	0.01	9.2	15
1,1-디클로로에탄	1,1-Dichloroethane	CH ₃ CHCl ₂	100	100	255	3000
1,2-디클로로에탄	1,2-Dichloro ethane	ClCHCHCl	10	-	26	-
m-톨루이딘	m-Toluidine	CH ₃ C ₆ H ₄ NH ₂	2	2	0.46~5.9	-
n-메틸 아닐린	n-Methyl aniline	C ₆ H ₅ NHCH ₃	0.5	0.5	1.74	-
o-톨루이딘	o-Toluidine	CH ₃ C ₆ H ₄ NH ₂	2	2	0.025~6.6	50
개미산	Formic acid	HCOOH	5	5	28.2	30
니켈 카르보닐	Nickel carbonyl, as Ni	Ni(CO) ₄	0.001	0.05	0.5~3.0	2
디메틸아세트아미드	Dimethyl acetamide	CH ₃ CON(CH ₃) ₂	10	10	47.9	300
디메틸포름아미드	Dimethylformamide	HCON(CH ₃) ₂	10	10	100	500
디클로로메탄	Dichloromethane	CH ₂ Cl ₂	50	50	160	-
디프로필렌 글리콜메틸 에테르	Dipropylene glycol methyl ether	CH ₂ CH(OCH ₃)CH ₂ OCH ₂ CH(OH)CH ₃	100	-	1000	600
메틸 이소시아네이트	Methyl isocyanate	CH ₃ NCO	0.02	0.02	2.1	3
메틸 하이드라진	Methyl hydrazine	CH ₃ NHNH ₂	0.01	0.01	1.71	20
메틸시클로헥사놀	Methyl cyclohexanol	C ₇ H ₁₄ O	50	50	490	500
무수 말레인	Maleic anhydride	(CHCO) ₂ O	0.1	0.1	0.318	10mg/m ³
벤젠	Benzene	C ₆ H ₆	1	0.5	61	500
부틸알코올(제3)	tert-Butyl alcohol	(CH ₃) ₃ COH	100	100	960	1600
사염화탄소	Carbon tetrachloride	CCl ₄	5	5	252	200
산화에틸렌	Ethylene oxide	(CH ₂) ₂ O	1	1	420	800
시아노젠	Cyanogen	(CN) ₂	10	10	231	-
시클로헥산	Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	200	100	780	1300(LEL)
아르신(삼수소화 비소)	Arsine	AsH ₃	0.05	0.005	<1.0	3
아크로레인	Acrolein	CH ₂ CHCHO	0.1	0.1	1.8	2
알릴 알콜	Allyl alcohol	CH ₂ CHCH ₂ OH	0.5	0.5	1.7	20
염화 시아노젠	Cyanogen chloride	CClN	0.3	0.3	-	-
이소프로필 글리시딜에테르	Isopropyl glycidyl ether (IGE)	C ₆ H ₁₂ O ₂	50	50	297	400
일산화탄소	Carbon monoxide	CO	30	25	100000	1200
클로로포름	Chloroform	CHCl ₃	10	10	192	500
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	Toluene-2,4-diisocyanate(TDI)	CH ₃ C ₆ H ₃ (NCO) ₂	0.005	0.005	2.14	2.5
포스젠	Phosgene	COCl ₂	0.1	0.1	0.55	2
하이드라진	Hydrazine	(NH ₂) ₂	0.05	0.01	3.7	50
헥사메틸렌디이소시아네이트	HexamethyleneDiisocyanate	C ₁₅ H ₂₂ N ₂ O ₂	0.005	0.005	0.01	-
헥사클로로시클로펜타디엔	Hexachlorocyclopentadiene	C ₅ Cl ₆	0.01	0.01	0.03	-

Table 4. Substances that are odorless or not yet data (Group IV)(Only main substances described)

Name of chemicals		Formula	노출기준 (2007) TWA (ppm)	TLV (2007) TWA (ppm)	냄새주 ¹⁾ 서한도 (ppm)	IDLH ^{주2)} (1995 개정)
Korean	English					
1,1,2-트리클로로에탄	1,1,2-Trichloroethane	CHCl ₂ CH ₂ Cl	10	10	-	100
1,1-디클로로에틸렌	1,1-Dichloroethylene	CH ₂ CCl ₂	5	-	-	-
1-브로모프로판	1-Bromopropane	CH ₃ CH ₂ CH ₂ Br	25	10	-	-
2-브로모프로판	2-Bromopropane	(CH ₃) ₂ CHBr	1	-	-	-
2-클로로에탄올	2-Chloroethanol	CH ₂ ClCH ₂ OH	C 1	-	-	-
2-하이드록시 프로필 아크릴레이트	2-Hydroxypropyl acrylate	CH ₂ CHCOOCH ₂ CHOHCH ₃	0.5	0.5	-	-
bis-(클로로메틸)에테르	bis-(Chloromethyl)ether	O(CH ₂ Cl) ₂	0.001	0.001	-	-
o-메틸시클로헥사논	o-Methylcyclohexanone	C ₇ H ₁₂ O	50	50	-	600
o-부틸페놀(제2)	o-sec-Butylphenol	C ₂ H ₅ (CH ₃)CHC ₆ H ₄ OH	5	5	-	-
o-클로로스티렌	o-Chlorostyrene	C ₈ H ₇ Cl	50	50	-	-
p-니트로클로로벤젠	p-Nitrochlorobenzene	ClC ₆ H ₄ NO ₂	0.1	0.1	-	100mg/m ³
과산화수소	Hydrogen peroxide	H ₂ O ₂	1	1	-	75
니트로 글리세린	Nitroglycerin(NG)	CH ₂ NO ₂ CHNO ₂ CH ₂ NO ₂	0.05	0.05	-	75
니트로글리콜	Nitroglycol	(CH ₂ ONO ₂) ₂	0.2	0.2	-	-
디니트로벤젠(모든 이성체)	Dinitrobenzene(all isomers)	C ₆ H ₄ (NO ₂) ₂	0.15	0.15	-	50mg/m ³
디메틸 설페이트	Dimethyl sulfate	(CH ₃) ₂ SO ₄	0.1	0.1	-	7
디메틸벤젠 (오르토, 메타, 파라-이성체)	Dimethylbenzene(o,m,p-somers)	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	100	-	-	-
디에틸 에테르	Diethyl ether	C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅	400	-	-	-
디클로르보스	Dichlorvos	(CH ₃ O) ₂ POOCHCCl ₂ /C ₄ H ₇ Cl ₂ O ₄ P	0.01	0.1mg/m ³	-	100
메틸 아세틸렌	Methyl acetylene	C ₃ H ₄	1,000	1000	-	1700(LEL)
메틸 이소프로필 케톤	Methyl isopropyl ketone	(CH ₃) ₂ CHCOCH ₃	200	200	-	-
메틸실리케이트	Methyl silicate	(CH ₃ O) ₄ Si	1	1	-	-
브로모클로로메탄	Bromochloromethane	CH ₂ BrCl	200	-	-	-
브롬화 메틸	Methyl bromide	CH ₃ Br	1	1	-	250
브롬화 비닐	Vinyl bromide	C ₂ H ₃ Br	5	0.5	-	-
사브롬화 탄소	Carbon tetrabromide	CBr ₄	0.1	0.1	-	-
삼불화염소	Chlorine trifluoride	ClF ₃	C 0.1	C 0.1	-	20
삼불화질소	Nitrogen trifluoride	NF ₃	10	10	-	1000
실레인	Silane	SiH ₄	5	-	-	-
에틸렌 글리콜메틸에테르 아세테이트	Ethylene glycol methyl ether acetate	CH ₃ COOCH ₂ CH ₂ OCH ₃	5	-	-	-

요오드	Iodine	I ₂	C 0.1	C 0.1	2
이소포론 디이소시아네이트	Isophorone diisocyanate	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O ₂	0.005	0.005	-
이염화아세틸렌	Acetylene dichloride	CHClCHCl	200	200	-
일산화질소	Nitric monoxide	NO	25	-	-
클로로에틸렌	Chloroethylene	CH ₂ CHCl	1	-	-
클로로펜타플루오로에탄	Chloropentafluoro ethane	ClCF ₂ CF ₃	1,000	1000	-
터페닐	Terphenyls	C ₁₈ H ₁₄	C 0.5	C 5	500mg/m ³
톨루엔-2,6-디이소시아네이트	Toluene-2,6-diisocyanate (TDI)	CH ₃ C ₆ H ₃ (NCO) ₂	0.005	0.005	-
티이피피	TEPP	(C ₂ H ₅) ₄ P ₂ O ₇	0.004	-	5mg/m ³
페닐 글리시딜 에테르	Phenyl glycidyl ether(PGE)	C ₆ H ₅ OCH ₂ CHOCH ₂	1	0.1	100
헥사클로로부타디엔	Hexachlorobutadiene	CCl ₂ CClCClCCl ₂	0.02	0.02	-
헥사플루오로아세톤	Hexafluoroacetone	F ₃ CCOCF ₃	0.1	0.1	-

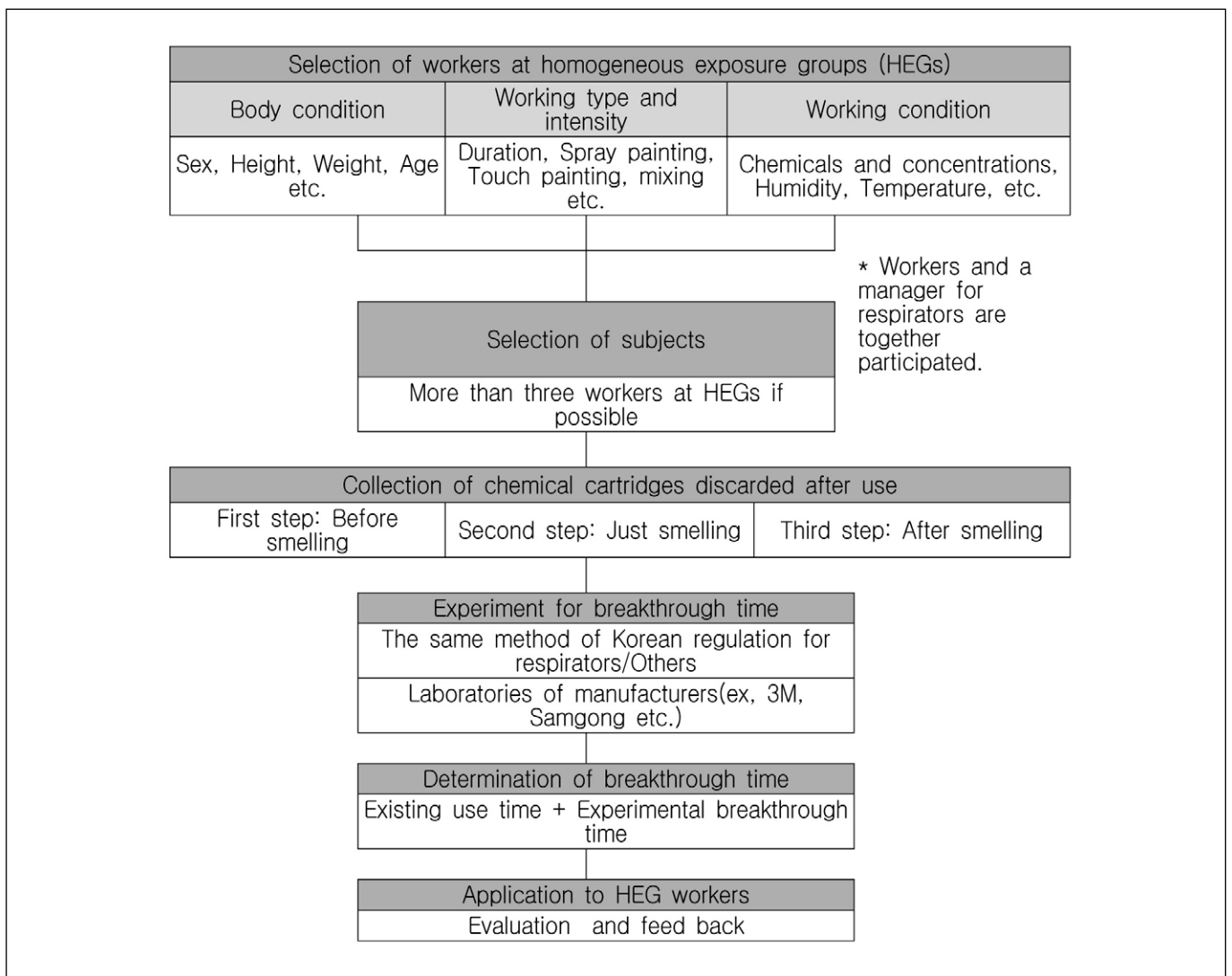


Fig. 1. Program on estimating service-life of chemical cartridges (PESLC) for Group I and Group II substances.

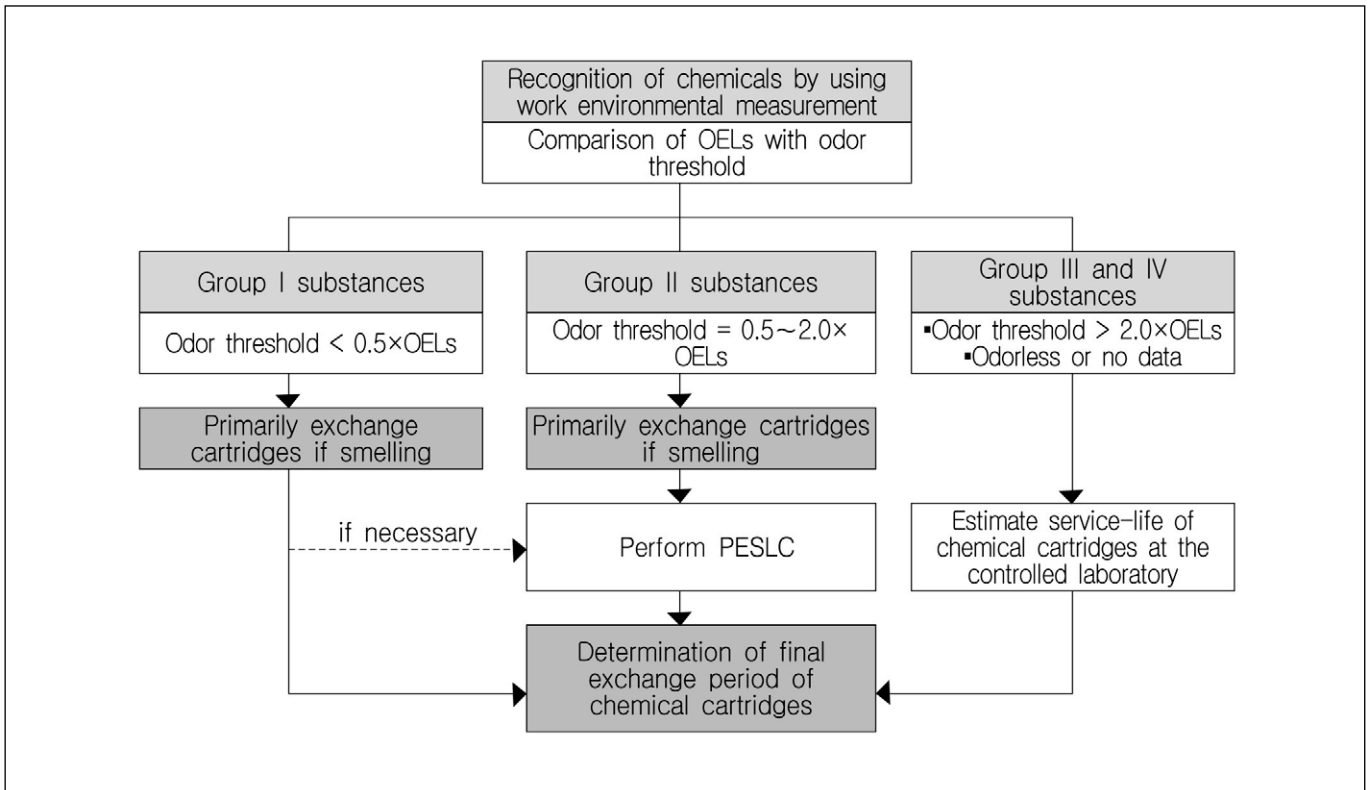


Fig. 2. Feasible program on exchange period for chemical cartridge in the workplace

오염물질의 종류와 농도가 매 상황마다 다르고 작업환경도 시시때때로 다르며 작업하는 사람의 신체조건(폐활량, 호흡률 등)과 작업강도가 다르기 때문이다. 또 큰 문제 중의 하나는 작업장이 개별물질로 존재하는 것이 아니고 대부분이 복합물질로 존재하고 실제 실험실에서는 이러한 복합물질들을 만들어서 실험할 수가 없기 때문이다. 그러나 정확한 서비스 수명을 알 수는 없어도 현실적으로 어느 정도 예측이 가능한 방법을 모색할 수는 있을 것이다. 그림 1은 작업 현장에서 응용 가능한 정화통 서비스 수명예측 프로그램을 도식화 한 것으로 이에 대한 자세한 내용은 이미 발표한 바와 같다(한돈희와 이상영, 2008).

3. 작업 현장에서 효과적인 정화통 교체주기 방법

노출기준과 냄새서한도를 비교하고 정화통 서비스 수명예측 프로그램을 이용하여 작업현장에서 정화통을 교체주기를 알 수 있는 현실적인 방법은 다음과 같다. 그림 2는 이 방법을 그림으로 나타낸 것이다.

① 작업현장에서 발생하는 오염물질에 대해 작업환경을 측정하고 이 물질들의 냄새서한도와 노출기준과 비교한다.

② 제I그룹 물질: 이 물질들에 대해서는 냄새가 나는 즉시 정화통을 교체하면 노출기준보다 훨씬 낮은 농도에서 교체

하는 것이기 때문에 근로자에게 크게 문제가 되지 않는다. 이 같은 물질들은 대부분이 독성이 그다지 크지 않은 물질들이다. 이 물질들에 대해서는 냄새가 나는 즉시 교체하는 것으로 정화통 교체주기를 맞추면 된다. 그러나 후각이 근로자들마다 다르기 때문에 보다 정확한 교체주기를 알기 위해서는 필요시 『정화통 서비스 수명예측 프로그램』을 수행하여 확인하는 것이 바람직하다.

② 제II그룹 물질: 이 물질들은 냄새를 처음 맡았을 때 정화통을 교체하면 위험할 수도 있는 물질들이다. 이 물질들에 대해서는 냄새나는 즉시 정화통을 교체해야하며 반드시 『정화통 서비스 수명예측 프로그램』을 수행하여 정화통의 실질적인 수명을 찾아야 한다.

③ 제III과 제IV그룹 물질: 대부분이 독성이 강한 물질들이 여기에 속한다. 즉, 냄새를 맡았을 때는 이미 노출기준의 2배가 넘었거나 냄새가 없거나 아직까지 냄새 서한도에 대한 자료가 없어서 냄새와 노출기준과의 관계가 명확하지 않은 것들이다. 이들 물질들은 냄새를 맡았을 때 매우 위험할 수 있기 때문에 정화통 교체주기를 알기 위해서는 우선적으로 통제된 실험실에서 정화통 교체시기를 정확히 알고 교체주기를 결정해야 한다.

VI. 결론

작업 현장에서 실질적으로 활용 가능한 정화통 교체주기 방법을 제시하였다. 앞서 발표한 연구에서는 사용 후 버려진 폐정화통을 수거하여 실험실에서 그 파괴시간을 예측하는 방법이였다(한돈희와 이상영, 2007). 금번 연구에서는 냄새서한도와 노출기준을 비교하여 4개의 그룹으로 나누어 실제 현재 가장 많이 사용하고 있는 냄새에 의존하는 방법이 어떠한가에 대한 고찰을 하였다. 제 1그룹물질은 냄새를 노출기준 이하에서 맡을 수 있기 때문에 냄새가 나는 즉시 혹은 약간 뒤에 정화통을 교체하여도 건강상 크게 문제가 되지 않는 물질들이다. 제2그룹은 이럴 경우 건강상 문제가 될 수 있는 물질이기 때문에 정화통 서비스 수명예측 프로그램을 활용할 필요가 있다. 제3,4그룹은 반드시 정화통 서비스 수명예측 프로그램을 실시한 후 정화통을 교체해야만 한다.

마지막으로 냄새서한도와 노출기준을 이용한 화학물질을 분류한 것과 더불어 이전에 발표한 정화통 서비스 수명예측 프로그램을 이용하여 작업 현장에서 실제 활용 가능한 방독마스크의 정화통 교체주기 방법을 그림을 이용하여 제시하였다. 냄새의 감지는 결코 정량적이지 않기 때문에 냄새 하나만을 가지고 지금 얼마만큼의 화학물질에 노출되었는지 알 수 없다. 그러므로 정확한 정화통 주기를 알기 위해서는 냄새에만 의존하지 말고 작업장마다 작업환경을 측정하고 이 작업장에서 정화통의 대략적인 수명주기를 알 수 있는 정화통 서비스 수명예측 프로그램을 실시할 것을 권한다.

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 파괴 시간-. 한국산업안전학회지 1996;11(2): 89-95

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 파과에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1996;6(1): 55-66

한국산업안전공단. 화학물질 노출에 의한 보호구 사용 실태 조사 및 관리방안 연구(보건분야연구자료 연구원 2008-1-2) 2008: 108-109

한국산업안전보건연구원. 2009년 2월 10일 접속, http://oshri.kosha.or.kr/information/info_data

한돈희, 이상영. 작업장에서 사용 가능한 방독마스크 정화통 교체주기 프로그램의 개발(I)-폐정화통을 이용한 파과시간 예측 실험. 한국산업위생학회지 2008;18(3): 204-215

한돈희, 이진현. 최신산업위생관리. 신광문화사 2007: 546-547

American Industrial Hygiene Association (AIHA). Respiratory Protection Committee: Respiratory Protection -A manual and guideline-, 3rd ed., AIHA Press, Fairfax, VA 22031, 2001

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

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