

전자산업 청정실의 작업환경 및 유해물질농도 평가

정은교¹ · 박현희¹ · 신정아¹ · 장재길²

¹한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, ²한국산업안전보건공단 산업안전보건교육원

Assessment of hazardous substances and workenvironment for cleanrooms of microelectronic industry

Eun-Kyo Chung¹ · Hyun-Hee Park¹ · Jung-Ah Shin¹ · Jae-Kil Jang²

¹Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA, ²Industrial Safety Training Institute

High-tech microelectronics industry is known as one of the most chemical-intensive industries. In Korea, Microelectronics industry occupied 38% of export and 16% of working employees work in microelectronics industry. But, chemical information and health hazards of high-tech microelectronics manufacturing are poorly understood because of rapid development and its penchant for secrecy. We need to investigate on chemical use and exposure control.

We Site-visits to 6 high-tech microelectronics manufacturing company which have cleanroom work using over 1,000kg organic solvents (5 semi-conductor chips and its related parts company, 1 liquid crystal display (LCD)). We reviewed their data on chemical use and ventilation system, and measured TVOCs (Total Volatile Organic Compounds) and carbon dioxide concentration.

All cleanroom air passed through hepa filters to achieve low particle levels and only 1 cleanroom uses carbon filters to minimize the organic solvents exposures

In TVOC screening test, Cleanroom for semi-conductor chips and its related parts company with laminar down flow system (e.g. class 1~100) showed nondetectable level of TVOCs concentration, but Cleanroom for liquid crystal display (LCD) with conventional flow system (e.g. class 1,000~10,000)

showed 327 ppm as TVOCs.

Acetone concentration in cleanroom for Jig cleaning, LC Injection, Sealing processes were 18.488ppm (n=14), 49.762 ppm (n=15), 8.656 ppm (n=14) as arithmetic mean. Acetone concentration in cleanroom for LCD inspection process was 40ppm (n=55) as geometric mean, where the range was 7.8~128.7ppm and weakly correlated with ventilation rate efficiency($r=0.44$, $p<0.05$).

To control organic solvents in cleanrooms, chemical and carbon filters should be installed with hepa filters. Even though their volatile organic compounds concentration was not exceed to occupational exposure limits, considering of entrance limited cleanroom environment, long-term period exposure effects and adverse health effects of cleanroom worker need further research.

Key Words: Cleanroom, Microelectronics, Ventilation system, ACH, Filter, Aceton, Isopropyl Alcohol

접수일: 2009년 5월 11일, 채택일: 2009년 7월 23일

† 교신저자: 정은교(인천광역시 부평구 구산동 34-6 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원,
Tel: 032-510-0803, Fax: 032-518-0864, E-mail: junggek@kosha.net)

I. 서론

일반적으로 먼지 한 톨 침입하지 못하도록 철저히 관리되는 첨단 전자산업(high-technology electronics)의 청정실(Cleanroom)은 새하얀 방진복을 입고 일하는 작업자들로 대부분의 사람들에게 무공해 청정산업으로 알려져 있지만 다양한 독성 화학물질의 사용(금속류, 유기 화합물, 산류, 염기류 그리고 독성 가스 등)과 방사선 노출, 인간공학적 문제와 같은 스트레스 등 많은 유해인자를 보유하고 있다(중앙노동재해방지협회, 1990). 청정실이란 실내공기 중 먼지, 미립자를 최소로 유지시키고, 실내의 압력, 습도, 온도, 기류의 분포와 속도 등을 일정범위 내로 제어하기 위해 만들어진 특수한 공간을 말한다. 이 때 청정도는 일정량의 공기 중에 포함된 먼지나 오염의 정도를 말하는데 일반적으로 1 μ m의 체적공기에 포함된 먼지의 수로 표시하고 청정실의 청정도를 구별하기 위해 청정등급(class)을 사용한다.

최근 많은 역학조사 연구에 따르면, 첨단전자산업의 청정실에서 작업하는 근로자들 사이에 자연 유산을 증가 및 직업성 암의 발생에 대한 경고를 알리고 있지만, 아직 확실히 규명되지 않는 실정이며, 이러한 안전보건 문제에 대한 충분한 연구 및 해결방법이 제시되지 못한 채 유럽 및 미국 등 선진국에서 개도국으로 기술이 이전되고 있다(Joseph LaDou, 1994).

국내 전자산업은 한국표준산업분류 전체 산업 취업자의 약 16%(2005년)가 종사하는 제조업에 해당되며, 연평균 23.2%의 고속성장을 지속하여 우리나라 총 수출의 38.0%를 차지하는 주력산업이다. 특히 반도체, 액정표시장치(LCD 등) 등을 제조하는 국내의 첨단 전자산업은 고속성장을 지속하며 우리나라 총 수출의 주력산업으로 자리매김하고 있다. 그러나, 급변하는 기술력 변화에 따른 안전보건진단 및 작업환경측정의 어려움과 기업비밀을 이유로 공개를 꺼리고 있어 이러한 첨단 전자산업에서 어떤 종류의 유해 화학물질이 얼마나 사용되고 있는지, 청정실 내 환기시스템 운영이 적절히 이루어지고 있는지에 대해서는 정확하게 파악하지 못하고 있다. 더욱이, 현재 첨단 전자산업 내 청정실을 보유하고 있는 사업장의 현황에 대해서도 파악이 되어있지 않은 실정이다.

청정실의 환기시스템은 대부분의 설비가 생산성 위주로 설계, 구성되어 있으며 환기장치 역시 불량감소를 위한 미세 분진이나 불순물 제거를 주 목적으로 집중 설치되어 있다. 외부 공기를 고도의 정제과정을 거친 후 실내로 유입시킨 후 재순환시킴으로서 청정실 내에서 화학물질 취급 시 청정실로 오염물질이 확산되면 쉽게 배출되지 않을 뿐 아니라 발생하는 다양한 유해물질을 완벽히 제거하지 않으면 내부의 근

로자가 장·단시간에 걸쳐 모두 흡입, 노출되는 단점이 존재한다. 대부분 특수 공조시스템을 통해 외부공기를 공급하고 있지만 내부의 유해물질은 국소배기장치를 통해 제거하고 있으며 여기에 에어컨, 집진설비 등 별도로 추가 설치한 곳도 많아 실내의 적절한 공기조화 및 공기 질 관리가 매우 까다롭다.

따라서, 본 연구의 목적은 지금까지 국내에서 거의 조사가 이루어지지 않은 첨단 전자산업의 청정실 내에서 근로자에게 흔히 노출되고 있는 아세톤 등 유해화학물질의 발생 수준 및 환기시스템의 운영방식을 조사하여 청정실내 작업 근로자의 유해인자로부터 건강을 보호하기 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

첨단 전자산업의 국내 현황과 실태를 파악한 후, 청정실 내에서 유기화합물을 1,000 kg 이상 취급하는 사업장 6개소(전자제품제조업 3개소, 전자부품제조업 3개소) 8개 청정실을 대상으로 실시하였다. 대상 사업장의 청정실 내 환기시스템 운영실태를 파악하였고 작업근로자의 유해물질 노출실태 파악을 위해 이산화탄소(CO₂), 휘발성유기화합물(Volatile organic compounds, TVOCs)와 가장 많이 사용하고 있는 유기용제인 아세톤 및 이소프로필알콜 농도를 측정하였다.

2. 연구방법

1) 청정실의 운영실태 조사

대상사업장의 업종 및 공정별 유해요인 확인 및 청정실의 체적, 등급(Class), 기류방식, 공조 시스템 종류, 공기공급방식, 필터종류, 설계된 공기 교환횟수(ACH) 등을 조사하였다. 또한, 청정실내 작업자들이 생성하는 CO₂ 농도로 인한 노출 농도를 확인하고 이를 적정수준으로 유지하기 위해 필요 환기량에 따라 공기교환이 어떻게 이루어지고 있는지를 확인하기 위해 CO₂ 농도를 측정하였다. CO₂ 농도 측정 장비는 비분산 적외선방식의 실시간 측정기(TSI model 8762, USA)로 0 ~ 5,000 ppm 측정범위와 1ppm의 분해능(정확도: $\pm 3\%$ at 25 °C)을 가진 장비이다. 측정기기는 측정 전 99.999%의 질소를 제로가스(0ppm)로 사용하여 영점 보정을 하고 Span 가스(이산화탄소 1,301 ppm)를 사용하여 스펜보정을 실시하였다.

TVOCs 농도 측정은 청정실 내 유기화합물 취급 작업 중 청정실 밖으로 배기되지 못하고 작업장으로 확산되는 유기화

합물이 존재하는 지에 대한 확인 및 만일 확산되고 있다면 그 노출농도 수준이 어느 정도인지를 알아보기 위해 측정을 실시하였다. 총 유기화합물 측정 장비는 Photo-Ionization Detector(Model PGM-7240, USA)를 이용하였고 측정 전 VOC Zeroing Tube를 이용하여 영점 보정을 하고 Span gas 10,000 ppb(10 ppm) Isobutylene을 이용하여 스펠보정 실시 후 사용하였다.

2) 아세톤 및 이소프로필알콜 농도 측정

아세톤 및 이소프로필알콜에 대한 정밀노출평가는 TVOC 농도가 높았고 유기화합물을 취급하는 JIG 세척, 액정주입, 봉지제거, 최종외관검사 공정을 대상으로 취급화합물인 아세톤과 이소프로필알콜에 대한 작업 근로자 노출평가를 실시하였다. JIG 세척, 액정주입, 봉지제거공정은 작업자가 상시작업을 실시하지 않고 기기를 이용한 작업을 실시하므로 지역시료를 채취하였고, 최종완성공정은 수작업을 실시하므로 개인시료 채취를 실시하였다. 측정은 동일 장소에 대해 5회 측정을 실시하여 평균을 비교하고, 한 지점별 3개의 채취기를 동시 가동하여 측정결과에 따른 변이를 관찰하였다. 시료채취는 미국국립산업안전보건연구원(NIOSH)의 Manual of analytical methods(NMAM) #1300 Ketones 1(아세톤) 및 #1400 Alcohols 1(이소프로필알콜)에 근거하여 개인 및 지역 시료채취시 Low flow air sampler (Gilliam, U.S.A.)를 사용하였으며 유속을 0.08 l pm으로 6시간 이상 측정하였다. 시료채취 매체는 coconut shell charcoal tube(100mg/50mg, SKC, U.S.A.)를 사용하였다. 시료분석은 세계적으로 공인되고 있는 미국국립산업안전보건연구원(NIOSH)의 Manual of analytical methods(NMAM) #1300 Ketones 1 및 #1400 Alcohols 1에 근거하여 charcoal을 1ml 1% 2-butanol/CS₂로 탈착한 후 Gas chromatography(FID)를 이용하여 분석하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 청정실의 환기시스템 운영실태

청정실을 보유하고 있는 사업장의 8개 청정실에 대한 환기시스템 운영실태는 <Table 1>과 같다. 청정실의 기류방식은 수직층류가 3개소, 비층류가 5개소이었고 수평층류는 없었다.

실태조사 사업장의 청정실의 구조는 크게 수직층류 형식과 천장 일부에서 벽면 일부로 배기되는 비층류 형식으로 나누어졌는데 반도체 및 반도체 Fabrication의 핵심부품인 포토 마스크(Photomask)를 생산하는 공정과 실리콘웨이퍼 포장공정에서는 고 청정도를 유지하는 Class 10 이하의 청정실로 수직층류방식을 취하고 있었다. 휴대폰 액정을 생산하는 전체 공정은 Class 1,000을 유지하는 비층류 형태의 청정실을 운영하고 있었는데 액정을 주입하는 공정에서는 Class 100을 유지하기 위해 청정실 내에 공조시설 MI(Mini environment)시스템을 추가로 운영하고 있었다. 수직층류 청정실의 경우는 청정실 내 급기구에 소형 팬이 부착되어있는 FFU(Fan Filter Unit) 형태의 청정실을 운영하여 기류의 균일성과 일양성을 유지하고 있었다.

모든 청정실 보유 사업장에서 제공받은 자료에 따르면 입자상 물질의 제어를 위해 HEPA 필터를 채택하여 사용하고 있었으며 청정실 내 공기는 70% 이상 재순환하여 사용하고 있었다. 실리콘 웨이퍼를 생산하는 한 사업장을 제외하고는 청정실 내에서 사용하는 다양한 종류의 화학물질은 일반적으로 오염물질을 취급하는 기기 내부의 배기시설을 통해 국소 배기를 실시한다는 이유로 별도의 화학(Chemical) 및 카본 필터(Carbon filter)를 사용하고 있지 않았다. 또, 기기를 이용한 화학물질 취급 작업이 아닌 수작업공정을 보유하고 있는 휴대폰 액정을 생산하는 공정 및 반도체 테이프 제조공정의 경우에서도 별도의 국소배기시설을 갖추지 않고 있거나 부적

Table 1. Ventilation type of cleanrooms

Clean rooms	Product	Process	Class	Ventilation type	Filter type	ACH
A	Silicon wafer	Crystal growing	10,000	Conventional	Hepa	45~50
B		Etching	10,000	Conventional	Hepa	45~50
C		Cleaning, packing	10 ~ 1	Down flow	Ulpa, carbon	300
D	Photomask	Mask	1	Down flow	Hepa	300
E	Semi-conductor	Fab	1	Down flow	Hepa	250
F	Liquid crystal display	Inspection	100	Conventional	Hepa	60
G	Solder ball	Atomizing	10,000	Conventional	Hepa	25
H	Semi-conductor film	Tape coating	40,000	Conventional	Hepa	20

절한 국소배기장치의 설치로 인해 오염물질이 청정실 내로 확산되고 있었으며 청정실 내 전체공기 재순환 시스템에서 오염물질 제어를 위한 Carbon 필터를 갖추지 않아 제거되지 않은 오염물질이 다시 재순환되는 현상이 발생하고 있었다.

2. 청정실의 유해물질 농도 분포

1) 업종별 TVOCs 및 CO₂ 농도

각 청정실에서 취급하는 화학물질은 <Table 2>와 같으며 TVOCs 및 CO₂ 농도 측정 결과는 <Table 3>과 같다. 전자제품 제조업에서 TVOCs 평균농도는 7.8 ppm, 최대농도는 327 ppm 이었고 전자부품제조업에서는 TVOCs 평균농도는 18.0 ppm, 최대농도는 327 ppm 이었다. 또한, CO₂ 농도범위는 전자제품 제조업에서 450~850 ppm, 전자부품제조업에서 447~925 ppm 으로 나타났다. 이를 수직층류 청정실과 수평층류 청정실로 나누어 살펴보면 수직층류 청정실에서는 TVOCs가 전혀 검출되지 않았으나 비층류방식의 청정실에서는 각 청정실 별 최대농도가 최대 327 ppm, 25 ppm, 316 ppm이었다.(period)

2) 공정별 아세톤 및 이소프로필알콜 농도

JIG 세척, 액정주입, 봉지제거 작업은 대부분 기기 내에서

작업이 이루어지는 자동작업으로 근로자의 노출량이 많지 않았다. <Table 3>과 같이, 아세톤 및 이소프로필알콜의 노출 농도는 각각 29.15 ± 2.20 ppm, 3.45 ± 2.40 ppm이며, 노동부 노출기준(고시 제 2007-25호)에 따라 8시간 시간가중평균농도(TWA)를 적용할 때, 노출기준(아세톤 500 ppm, 이소프로필알콜 200ppm)을 초과하는 장소는 없었다. 다만, JIG세척의 경우 하루 2번 세척할 JIG를 기기에 주입하는 작업과 세척이 끝난 JIG를 반출하는 작업이 수작업으로 이루어지며 액정주입 작업의 경우는 액정주입기의 롤러를 하루 3~4회 아세톤과 이소프로필알콜로 세척하는 작업에서 노출이 이루어지고 있었고 최종완성공정은 유기화합물의 사용이 가장 많고 모든 작업이 수작업으로 근로자 노출이 지속적이었다.

Mitran 등 (1997)의 연구에 따르면, 세척작업에 종사하면서 416 ~ 890 ppm 농도의 아세톤에 평균 14년 노출된 루마니아 근로자 71명을 대상으로 조사한 결과, 정서적 장애, 기억력과 수면 장애, 및 두통과 같은 신경독성과 근골격계 통증과 관절염 같은 증상이 모두 대조군 보다 더 높게 나타났으며, 또한, 눈과 상기도 및 피부에 대한 자극 증상과 식욕부진, 나쁜 입맛, 복통 등도 대조군에 비해 높게 나타났다고 보고하였다.

또한, Ruth (1986)는 아세톤 증기가 자극성을 나타내는 농

Table 2. Chemical use in cleanrooms

Clean rooms	Process	Chemicals
A	Crystal growing	-
B	Etching	Hydrogen Fluoride, Acetic acid, Nitric acid, Phosphoric acid
C	Cleaning, Packing	Ethylene diamine, Potassium hydroxide, Calcium hydroxide, Hydrogen peroxide, Iso Propyl Alcohol
D	Mask	Perchloric acids, Chromic acids, Iso Propyl Alcohol, Sulfuric acids, Hydrogen peroxide
E	Fab	Iso Propyl Alcohol, Phosphoric acid, Sulfuric acids, Hydrogen peroxide, Ethylene Glycol, Phosphine, Arsine, Chloride, n-Butyl acetate
F	Liquid crystal cell	Iso Propyl Alcohol, Acetone
G	Solder ball atomizing	Methylene chloride, Acetone
H	Tape coating	Methyl Ethyl Ketone, Toluene, Hexane

Table 3. Descriptive statistics on samples with TVOCs and CO₂ monitored in cleanrooms

Business type	No. of cleanrooms	N	TVOC Conc. (ppm)		CO ₂ Conc. (ppm)	
			A.M.	Range	A.M.	Range
Electronic products	5	60	7.8	0~327.0	695.3	450~850
Electronic parts	3	36	18.0	0~316.0	635.5	447~925
Total	8	96	11.2	0~327.0	675.4	447~925

※ N(Number of samples), A.M.(Arithmetic Mean)

도는 199 ppm이라고 하였고 Mutsushita 등(1969)은 100 ppm의 아세톤에 5.25시간동안 노출된 지원자들의 코, 인후, 및 기관지에 대한 자극을 호소하였다고 보고하였다. 또한 250 혹은 500 ppm의 아세톤에 노출된 성인남성에서 250 ppm은 불쾌한

냄새와 점막자극의 정도가 500 ppm에 비해서 경미하다고 하였다.

이소프로필알콜은 무색의 액체로 피부에 반복 노출시 가려움증, 발진, 그리고 건조해 트는 현상이 있다. 기관지 점막에 대한 이소프로필알콜의 독성은 농도 400 ppm에서 기관지 점막안에 있는 점막섬모시스템에 급성 영향을 일으키지만 2주 지나면 회복되는 것으로 보고되었고, 농도가 5,500 ppm에서는 2주내에 회복되지 않는 것으로 나타났다. 이소프로필알콜은 400 ppm의 농도에서 목, 코, 눈의 약한 자극을 유발하므로 경고성 특징을 가지고 있다(Lewis, 1996). 반복적이고 지속적인 접촉은 피부의 탈지작용으로 인한 피부염을 야기시킬 수 있으며(Turner et al., 2004) 이소프로필알콜로 코팅된 카펫 위에서 맨발로 일하던 성인여성에서 급성 축삭형 다발성 신경병증이 발병한 사례가 보고되었다(Rajabally & Mortimer, 2004).

3) 측정회차별 평균농도 비교

청정실 F의 각 공정의 유사 노출군에 대해 5회 측정 및 평가한 결과, 아세톤 및 이소프로필알콜의 노출농도는 차이가 없었으며 청정실이라는 특이한 상황 때문인지 농도분포가

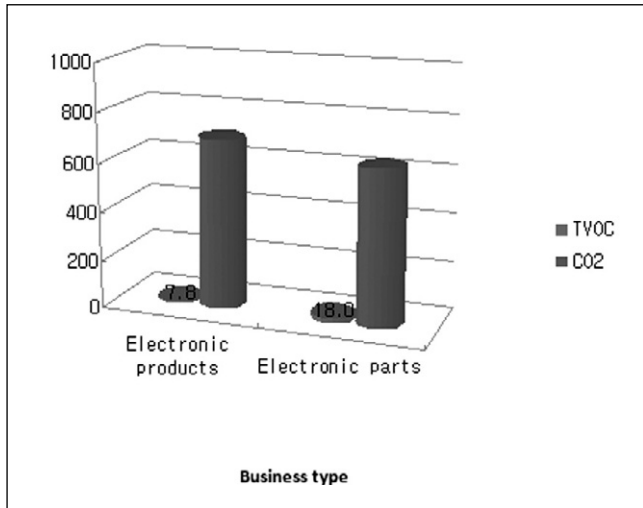


Fig 1. Distribution of personal exposure to TVOCs and CO₂ in cleanrooms

Table 4. Results of acetone and isopropyl alcohol monitored by process in date in cleanroom F

Process	N	Aceton Conc. (ppm)		Isopropyl Alcohol Conc. (ppm)	
		G.M. ± G.S.D.	Range	G.M. ± G.S.D.	Range
JIG cleaning	14	17.57 ± 1.40	10.13~29.18	2.44 ± 1.32	3.32~1.54
Liquid crystal Injection	15	47.76 ± 1.36	21.93~71.91	19.87 ± 1.65	6.56~39.0
Paper bag removing	14	8.18 ± 1.43	4.34~12.18	3.72 ± 1.98	1.40~11.98
Final packing	55	40.06 ± 1.91	7.80~128.67	2.29 ± 1.49	0.42~6.10
Total	98	29.15 ± 2.20	4.34~128.67	3.45 ± 2.40	0.42~39.00

※ N(Number of samples), G.M.(Geometric Mean), G.S.D.(Geometric Standard Deviation)

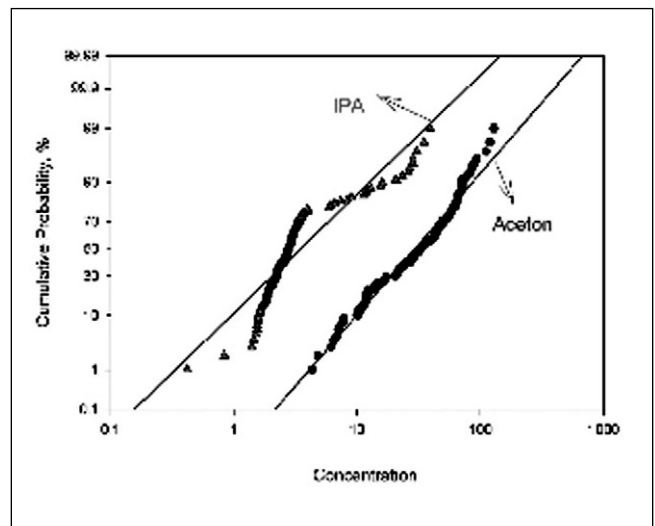
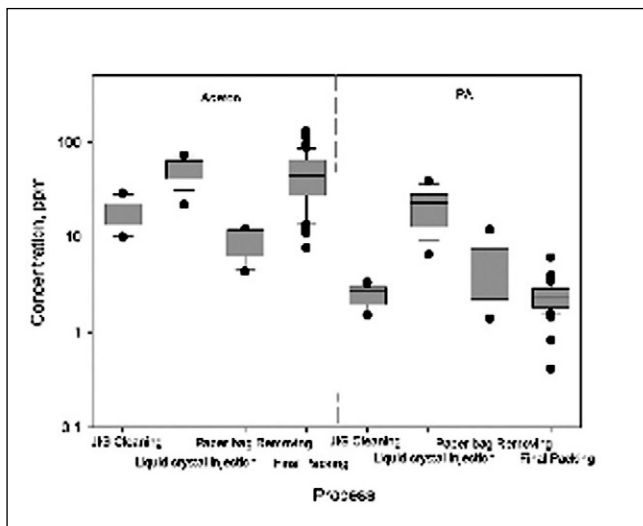


Fig 2. Distribution of personal exposure to acetone and isopropyl alcohol in cleanroom F

IV. 결 론

지역시료인 경우는 정규분포를 보였고 개인시료에서는 대수정규분포하는 것으로 나타났다(Shapiro & Wilk test). 그러나 전체 시료수를 가지고 평가했을 때에는 대수정규분포를 하는 것으로 나타났다(p<0.05).

이는 청정실이라는 밀폐된 공간내에서 작업방법이나 하루하루 작업물량의 차이가 크지 않기 때문에 기인된 것으로 판단된다<Table 5>.

전자산업의 청정실을 대상으로 조사한 작업환경실태 및 유해화학물질의 노출농도를 평가하여 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

업종별 청정실의 TVOCs 및 CO₂ 평균농도는 전자제품제조업에서 각각 7.8 ppm, 695.3 ppm이었고 전자부품제조업에서는 각각 18.0 ppm, 635.5 ppm 이었다. 유사 노출군에 대해 5회 반복측정한 결과에서 아세톤 및 이소프로필알콜의 기하평균농도 및 기하표준편차는 각각 29.15 ± 2.20 ppm, 3.45 ± 2.40

Table 5. Results of acetone and isopropyl alcohol monitored by process and difference in time in cleanroom F

Process	Sampling Day	N	Aceton Conc. (ppm)			IPA Conc. (ppm)		
			A.M.	S.D.	CV(%)	A.M.	S.D.	CV(%)
JIG cleaning	1	3	20.0	3.5	17.3	2.9	0.1	2.3
	2	3	23.6	4.9	20.6	3.2	0.1	4.7
	3	3	15.2	1.5	9.8	2.2	0.1	3.1
	4	3	10.9	1.2	10.7	1.6	0.1	2.7
	5	2	24.8	3.8	15.4	2.7	0.2	8.7
	subtotal	14	18.5	6.0	32.2	2.5	0.6	25.3
Liquid crystal injection	1	3	40.5	16.1	39.7	14.4	7.2	49.7
	2	3	41.0	3.1	7.6	11.9	0.8	7.1
	3	3	70.3	2.5	3.6	26.6	3.0	11.2
	4	3	47.6	7.8	16.5	29.1	5.0	17.2
	5	3	49.4	12.8	25.9	28.3	11.9	42.2
	subtotal	15	49.8	14.1	28.2	22.1	9.5	43.2
Paper bag removing	1	3	12.1	0.1	1.0	5.0	3.5	70.3
	2	3	11.4	0.9	7.9	7.2	1.2	17.1
	3	3	7.4	0.3	3.6	2.7	0.8	28.2
	4	2	4.6	0.3	7.3	1.5	0.1	5.8
	5	3	6.3	0.2	3.7	2.7	0.4	13.4
	subtotal	14	8.7	2.9	33.7	4.6	3.3	71.1
Final packing	1	7	64.3	2.1	66.6	2.3	0.5	23.3
	2	9	49.2	1.8	44.9	2.8	1.3	45.5
	3	17	48.8	1.8	46.5	2.9	0.8	25.7
	4	12	36.2	1.9	62.8	2.1	0.3	16.2
	5	10	49.1	2.1	68.5	1.9	0.9	46.0
	subtotal	55	48.1	28.1	58.3	2.5	0.9	36.0
Total	98	38.5	27.1	70.3	5.8	8.0	138.5	

※ N(Number of samples), A.M.(Arithmetic Mean), S.D.(Standard Deviation), CV(coefficient of variation)

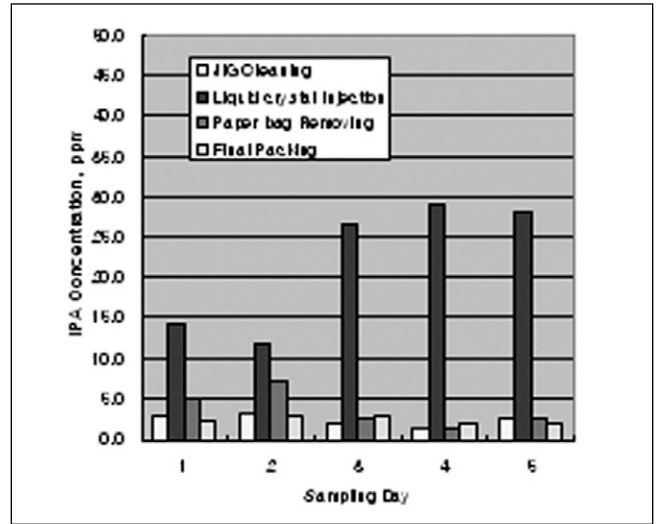
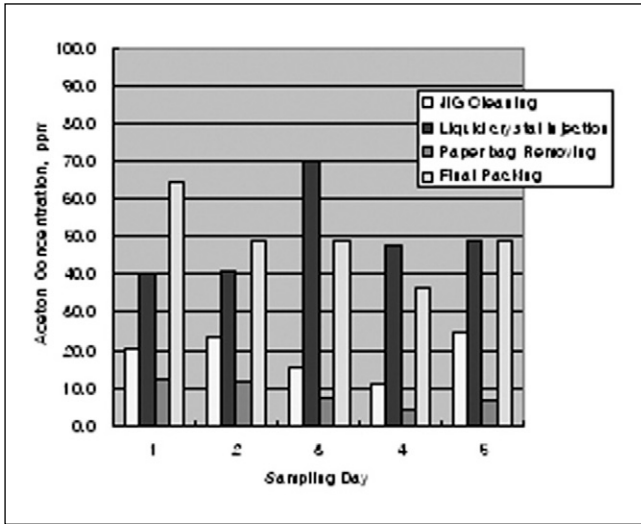


Fig 3. Distribution of personal exposure to acetone and isopropyl alcohol monitored by process and difference in date from cleanroom F

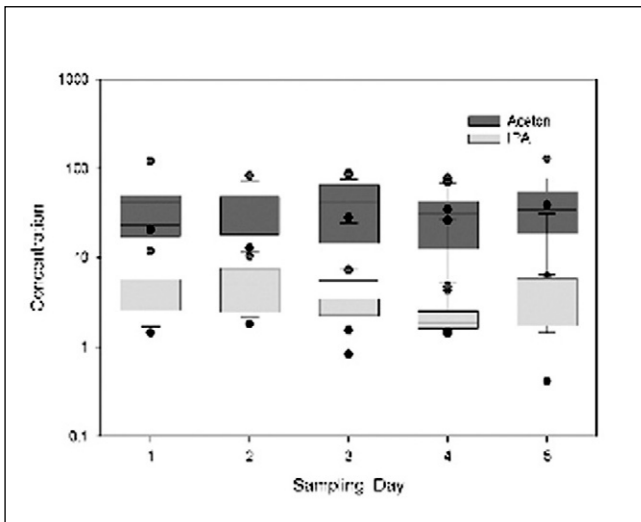


Fig 4. Comparison of personal exposure to acetone and isopropyl alcohol monitored with difference in date from cleanroom F

ppm으로 노출기준에 훨씬 못 미치는 수준이었다. 청정도를 유지하기 위해 청정실의 80% 이상이 환기시스템에 HEPA 필터를 장착하여 분진 등을 제어하고 있었으며 청정실 내 공기는 70% 이상 재순환하여 사용하고 있었다. 청정도를 유지하기 위해 모든 청정실이 환기시스템에 각종 필터를 장착하여 분진 등을 제어하고 있었으나 청정실 내에서 사용하는 유기화합물을 제어하기 위해 카본필터를 사용하는 곳은 단 한 곳 뿐이었다. 청정실 내에서 사용하는 다양한 종류의 화학물질을 제어하기 위해서는 반드시 HEPA 필터 외에 추가로 화학(Chemical) 및 카본 필터(Carbon filter)를 사용하여야

한다. 청정실의 경우는 방독마스크를 착용하지 못하고 출입이 통제된 공간에서 8시간을 보내야 하므로 향후 저농도 장기간 노출에 따른 건강영향에 대한 연구가 추가로 필요하다고 판단되었다. 동일한 측정위치에서의 회차별 변이는 평균 44.11% (범위 : 6.57 ~ 108.26 %)이었으며 변이계수(CV, %)는 20%로 나타나 회차별 농도값의 변화는 크지 않았다.($p < 0.05$).

REFERENCES

정은교, 박현희 등. 작업장 최적환기효율 유지방안 연구. 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 연구보고서. 한국산업안전공단. 2007.

김종열 등 역. 클린룸환경의 계획과 설계. 일본공기청정협회. Ohmsha&태훈출판사. 2005.

정지연 등. 업무용 빌딩 소재 사무실의 실내환기 평가. 한국산업위생학회지 2008;18(2):115-121.

(주)신성이엔지. 클린룸 · 바이오 클린룸. 도서출판 한미, 2005.

공기청정기술. 국내 공기청정산업 현황 및 기술개발 현황. 제 11편, 제 1호. 1998.

한국생활환경학회지. 산업용 클린룸의 환경조건. 한국생활환경학회지, 제 8권, 제 2호. pp 159~165. 2001.

김무환 등. 공기조화 및 냉동, 피어슨 에듀케이션 코리아, 2002.

김교두 역. 공기조화 · 위생공학편람 ; 공기조화편, 도서출판 금탑, 1983.

- 강동목. 화학물질 노출기준 제·개정 연구 및 산업보건편람 작성(IPA). 노동부. 2005.
- 노동부. 화학물질 및 물리적인자 노출기준(고시 제2008-26호). 노동부. 2008.
- 노동부. 전국제조업체작업환경실태조사(2004). 노동부. 2005.
- 정지연 등. 사무실 공기질 평가 및 관리기준 개발(I,II). 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 연구보고서. 한국산업안전공단. 2004.
- 한국산업안전공단 산업안전보건연구원(2004). 유해물질별 작업환경측정방법, KOSHA Code A-1-2004. 한국산업안전공단.
- Joseph LaDou(1994). "Health Issues in the Global Semiconductor Industry". Annals Academy of Medicine, Vol. 23, No. 5.
- HSE. Cancer among current and former workers at National Semiconductor. Greenock. 2001.
- Watterson(2003). Health and Safety Executive Inspection of U.K. Semiconductor Manufactures. Int Occup Environ Health, Vol 9, pp. 392 ~ 395.
- ACGIH. Industrial Ventilation- A Manual of Recommended Practice, 25th ed. Ohio:ACGIH.; 2002.
- National Institute of Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Method. 4th ed., NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1994.
- ACGIH. Hazard assessment and control technology in semiconductor manufacturing. LEWIS PUBLISHERS, INC. 25th ed. Ohio, Oct. 20-22, 1987.
- Michael E. Williams, David G. Baldwin, Paul C. Manz, Semiconductor industrial hygiene handbook. monitoring, ventilation, equipment and ergonomics., Noyes Publications. 1995.
- Y. K. Chuah, C-H. Tsai, S. C. Hu, Simultaneous control of particle contamination and VOC pollution under different operating conditions of a mini-environment that contains a coating process, Electronics Research and Service Organization, Industrial Technology Research Institute, Chutung, Taiwan, 1999.
- Lewis Scarpace, Michel Williams, David Baldwin, James Stewart, Results of Industrial hygiene sampling in semiconductor manufacturing operations, LEWIS PUBLISHERS, ACGIH, 1987.
- Hallock MF, Hammond SK, Hines CJ, Woskie SR, Schenker MB. Patterns of chemical use and exposure control in the Semiconductor Health Study. Am J Ind Med. 1995;28(6):681-97.