

외기 오존 농도에 따른 반도체 작업환경 및 사무실에서의 오존 농도 변화 연구

이지은 · 정명구 · 최광민*

삼성전자 건강연구소

A Study of Ozone Variations in a Semiconductor Fabrication Facility and Office Related to the Ozone Concentration in the Outdoor Air

Ji-Eun Lee · Myung-Koo Jung · Kwang-Min Choi*

Samsung Health Research Institute, Samsung Electronics Co. Ltd.

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study was to evaluate the ozone exposure levels and the variations in ozone concentration in a semiconductor fabrication facility and office in relation to the ozone concentration in the outdoor air.

Methods: This study was performed in an office, semiconductor fabrication facility(such as etching, diffusion, diffusion plenum), and outdoors from June to August, 2015. Measurements were taken six times at the same places using an active sampler(pumped) and real-time equipment. Ozone monitoring by the active sampler method and analysis were carried out by OSHA Method ID-214. Real-time measurement was carried out by ozone measuring equipment using a non-dispersive ultraviolet absorption method.

Results: Ozone concentrations in the semiconductor fabrication facility and office were 0.7~7.1 ppb in area samples and 0.72~4.07 ppb in real-time measurement, which were 0.88~8.88% of the occupational exposure limit. The concentration of ozone generated by a laser printer in the office was less than 2 ppb. There was not a significant difference between ozone concentrations before and after using the laser printer. The indoor/outdoor concentration ratio(I/O ratio) in the semiconductor fabrication facility and office was 0.05 and 0.06, respectively.

Conclusions: All the samples contained ozone levels lower than the occupational exposure limit and it was confirmed that the concentration of outdoor ozone had no significant effect on indoor ozone concentration.

Key words: area sampling, office, ozone, real time monitoring, semiconductor

I. 서 론

국내에서 1990년대 초부터 대도시나 공업지역을 중심으로 나타나기 시작한 고농도 오존 문제는 빠르게 대기 환경문제로 부각되고 있다(Park, 2010). 특히 급격히 늘어난 자동차 수와 생활수준 향상으로 대기 오염 심화 및 대기 온도가 증가됨에 따라 오존 생성

에 유리한 조건을 형성함으로써 오존의 연평균 농도는 2014년까지 매년 지속적으로 증가하고 있는 추세이다(Jo et al., 2000; Sin et al., 2000; Kim et al., 2002; Oh&Kim, 2002; Jo et al., 2011; An et al., 2015; MOE, 2015).

오존은 희미한 푸른색을 띄고 있는 기체로서 2 ppb 이하에서는 독특하고 상쾌한 향이 나지만 더 높

*Corresponding author: Kwang Min Choi, Tel: +82-31-209-1206, E-mail: k.m.choi@samsung.com

Samsung Health Research Institute(SHRI), 95, Samsung 2-Ro, Giheung-Gu, Yongin-Si, Gyeonggi-Do, 446-811, Korea

Received: April 7, 2016, Revised: June 22, 2016, Accepted: June 24, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

은 농도에서는 매우 자극적인 냄새가 난다(ACGIH, 2015). 또한 3개의 산소원자로 구성되어 있으며, 다른 물질과 결합하려는 성질이 있어 반응성이 높고 불안정하여 생성된 지 오래되지 않아 즉시 분해되는 특징을 갖고 있다(MOE, 2002; Chung et al., 2012).

일반적으로 오존의 90%는 지상으로부터 약 10~50 km 사이에 위치한 성층권 내에 밀집하여 오존층을 형성하고 있으며, 태양으로 방출되는 유해한 자외선을 흡수하여 생물을 보호하는 보호막 역할을 하고 있다. 그러나 대류권 지표 대기(지표에서 약 10 km)에 존재하는 나머지 10%의 오존은 대기 오염에 의해 생성되어 식물뿐만 아니라 인간의 건강에 해로운 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Mudway & Kelly, 2000; MOE, 2002; Eom et al., 2015).

오존의 노출 경로는 주로 호흡기에 의한 흡입과 눈 및 피부 등의 접촉에 의해 이루어지며(Kwon et al., 2012), 오존에 노출 되었을 경우 심장병, 기관지염, 폐기종, 천식 악화, 폐용량 감소 및 호흡곤란을 경험할 수 있다(NIER, 1995). 또한 반복적으로 노출 되면 폐에 비가역적 손상이 초래될 수 있으며, 낮은 농도라 할지라도 가슴통증, 기침, 메스꺼움, 인후 자극, 충혈과 같은 다양한 건강문제를 야기시킨다(Choi et al., 2003; Kim & Lim, 2003). 대기 중 오존 농도가 250 ppb일 경우 천식이 발생하기도 하고, 100~1000 ppb의 농도에서는 순환기의 점막액에 염증을 유발시켜 폐기능을 손상시키는 것으로 보고되었으며(Dix, 1981), 서울시 오존 농도 변화와 천식 발작 횟수에 대한 연구에서도 통계적으로 유의한 양의 상관관계가 있다고 보고되어있다(KEI, 1998).

이러한 오존의 유해성으로 인하여 환경부에서는 오존의 대기 환경 기준을 낮추고, 오존 예보제 및 경보제 등을 운영하여 오존에 의한 영향을 줄이고자 노력하고 있으며, 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 등 제도를 활용하여 관리하고 있다. 또한 노동부에서도 오존 사용 및 발생 사업장 대상으로 작업환경측정을 실시하는 등의 관리가 이루어지며, 사무실 공기관리 지침을 통하여 실내의 오존에 대한 노출을 지속적으로 관리하고 있다.

일반적으로 대기권에 존재하는 오존의 농도는 계절과 지리적 요인에 따라 차이는 있지만 대략 20~40 ppb정도이며(Yap & Chung, 1977; Chung & Chung,

1991; Mudway & Kelly, 2000; Tian, 2015), 이러한 오존은 굴뚝 등과 같은 배출원에서 배출되는 것보다는 기온, 강수량, 오염물질 확산 정도, 대기안정도 등의 기상 요인과 휘발성 유기화합물질(VOC)과 질소산화물(NOx)로부터 복잡한 광화학 반응으로 공기 중에서 2차적으로 생성된다(Haagen-Smit et al., 1953; Tian, 2015).

작업장에서의 오존 발생은 전기 용접, 정수 및 공기 정화에서 사용하는 오존 발생장치 및 고압 전기 장비 주변에서 주로 발생된다(Chae et al., 2007). 실내에서의 오존은 창문 등을 통해 실내로 유입되는 경우와 실내에서 사용되는 사무기기 또는 살균기기 등에서 발생하는 경우로 나눌 수 있으며, 특히 복사기, 레이저 프린터, FAX 등과 같은 높은 전압의 전기를 사용하는 사무용 기구에서 환기 부족 시 고농도의 오존에 노출 가능성이 크기 때문에 이에 따른 위험성에 대하여 국내외 연구가 많이 진행되고 있다(Lee et al., 2001; Shin & Hwang, 2003; Kagi et al., 2007; Valuntaite and Girgzdiene, 2007; Seo et al., 2011; Singh et al., 2014; Lai D et al., 2015). 그러나 대부분의 연구는 다중이용시설 및 인쇄 사업장을 대상으로 이루어졌으며, 사무실을 대상으로 수행된 연구는 부족한 실정이다.

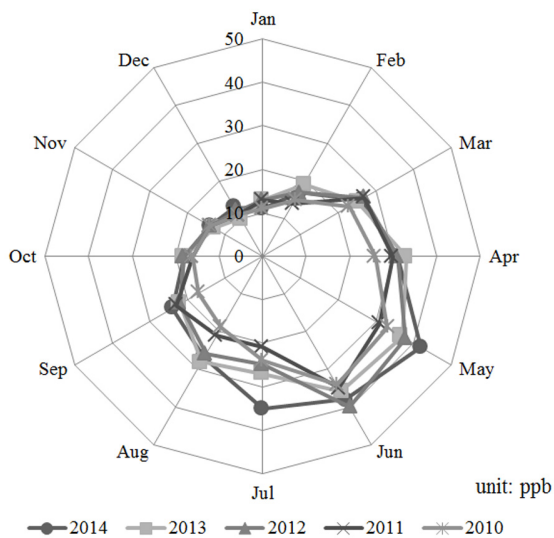
한편, 반도체 제조 사업장의 경우 확산(Diffusion, DIFF) 및 화학기상증착(Chemical Vapor Deposition, CVD) 공정 등에서 오존이 갖고 있는 강한 산화력으로 짧은 시간에 반응을 일으킬 수 있다는 장점이 있어 반도체 제조 공정에 사용하고 있으나 이에 대한 실태 조사 및 노출평가에 대한 연구도 미흡한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 반도체 사업장의 작업환경 및 사무실에서 오존 농도 수준을 평가하고 외기 오존 농도에 따른 반도체 사업장의 작업환경 및 사무실에서의 오존 농도 변화를 확인함으로써 작업환경 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

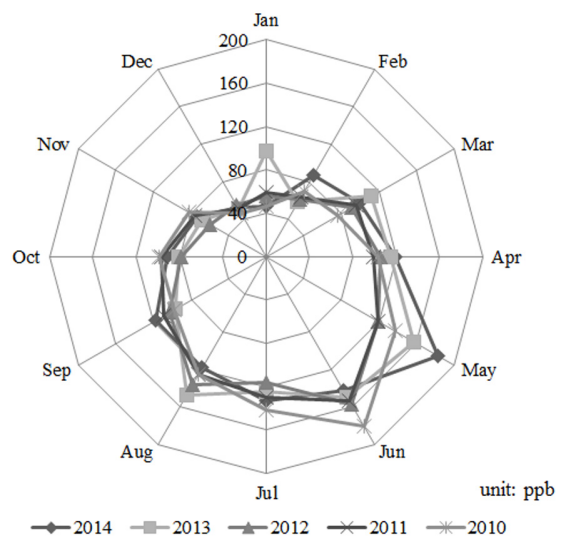
II. 연구 내용 및 방법

1. 연구기간 선정

측정 시기를 선정하기 위해 한국환경공단에서 에어코리아(Air Korea)에서 제공하는 자료를 활용하였으



(a) The monthly average ozone concentration of Gyeonggi-Do('10-'14)



(b) The monthly maximum ozone concentration of Gyeonggi-Do('10-'14)

Figure 1. The monthly average and maximum ozone concentration of Gyeonggi-Do(5 years)

며, 이를 통하여 외기 오존의 농도가 높은 시기를 선정 하였다. 본 연구가 이루어지는 경기 지역을 중심으로 2010년에서 2014년까지의 5년간 월별 최고 및 평균 농도를 이용하여 월별 추이를 Figure 1과 같이 나타내었다.

최고 및 평균 오존 농도는 계절적으로 겨울철에 비해 여름철에 높게 나타났으며, 특히 여름철인 5~8월 사이에 가장 높은 것으로 확인되어, 본 연구에서는 측정시기를 6~8월로 선정하였다. 측정 시간을 선정하기 위하여 5년간 경기 지역의 시간 별 평균 오존 농도 자료를 이용하여 하루 동안의 농도 변화를

확인하였다(Figure 2). 하루 중 오존의 농도가 높게 나타나는 시간은 10~17시로 나타났으며, 그 사이에 측정을 실시하였다.

2. 연구 대상 및 장소

본 연구는 경기도 기흥에 위치하고 있는 시스템 LSI(Large Scale Integrated Circuit) 제품을 생산하는 200 mm 반도체 웨이퍼 제조 사업장(Fabrication, Fab)과 사무동 건물 내 사무실 및 옥외를 대상으로 총 5곳에서 측정을 실시하였다. 먼저 반도체 Fab에서는 오존 발생 장치를 사용하는 DIFF 공정의 ALD(Atomic Layer Deposition) 설비 근처 1곳과 오존 발생 장치가 위치한 DIFF Plenum 1곳, 오존 발생 장치를 사용하지 않는 식각(Etching, ETCH) 공정 1곳을 대상으로 하였으며, 사무실은 일반적으로 업무가 이루어지는 사무 공간 1곳으로 선정하였다(Figure 3). 별도로 사무실 내에서도 오존의 발생원이라 알려진 레이저 프린터(CLP-775ND, Samsung, China, 2011) 근처에서도 측정을 실시하였으며, 프린터 작동 시 발생하는 오존의 농도를 확인하기 위하여 Figure 4와 같이 프린터의 통풍구, 프린터 상단, 인쇄된 종이 나오는 곳에서 각각 실시간으로 측정하였다. 측정 시 인쇄되는 면은 전체를 검정색으로 하여 1회 인쇄 시 20부로 인쇄 될

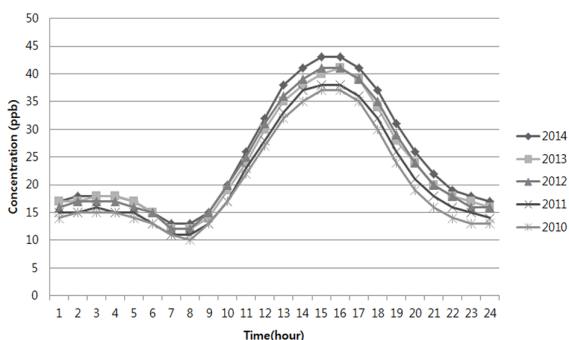


Figure 2. The hourly average ozone concentration of Gyeonggi (2010-2014)



Figure 3. Locations of the sampling site

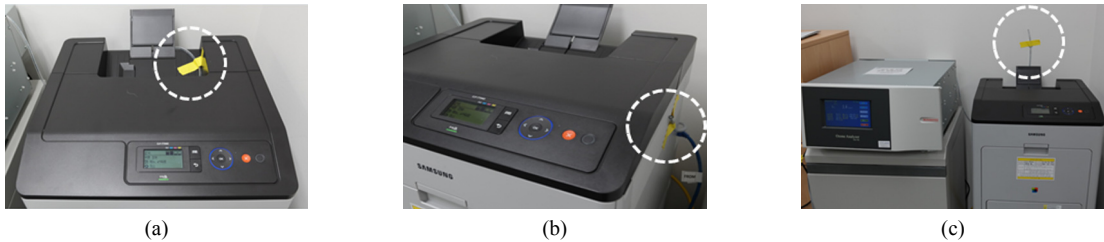


Figure 4. Site of the sampling points on a laser printer

수 있도록 테스트 과정을 표준화하였다.

마지막으로 옥외 측정의 경우 사무동 건물 5층 높이(약 20 m)에서 외기의 오존 농도를 측정하였다. 측정이 이루어지는 공간인 클린룸의 경우, 공기의 흐름은 Top down 방식의 층류 또는 부분적 난류이며, 이때 공기의 순환 유량은 0.32~0.48 m/s으로, Fresh air의 비율은 약 8~10%, 공기교환 횟수는 60~80 회/hr로 유지되고 있다(Choi et al., 2015). 또한 사무실의 경우 년 중 대부분 밀폐된 상태에서 근무가 이루어지고 있어 자연환기 보다는 기계적 환기로, 외기 댐퍼 가동률은 주간에 약 30%이며, 외기량은 514.8 m³/min로 관리되고 있다.

3. 시료 채취 및 분석 방법

1) 지역 시료

오존의 농도를 평가하기 위하여 미국산업안전보건청(Occupational Safety & Health Administration, OSHA)에서 제시하고 있는 방법인 Method ID-214 및 사무실 공기관리 지침(2015-43호)에 준하여 시료 채취 및 분석을 실시하였다. 시료채취는 Nitrite(NO₂⁻)가 코팅된 37 mm, pore size 1.0 μm의 유리섬유여과지(Impregnated Glass Fiber Filters, IGFFs, SKC, USA)를 폴리스티렌 재질의 3단 카세트에 장착하여 사용하였으며(OSHA, 2003), 분당 0.2~0.3 L의 유량

으로 하루 6시간 이상 지역시료로 채취하였다. 측정 위치는 반도체 Fab(ETCH, DIFF, DIFF Plenum)에서는 각각의 설비 옆 1 m이내, 바닥에서부터 약 125 cm 되는 지점에서, 사무실에서는 사무 근로자가 앉아서 작업 시 호흡기 영역 높이(약 125 cm)에서, 옥외 측정은 사무동 건물 5층 높이(약 20 m)인 실내에서 창문 밖으로 시료채취 튜브를 빼내어 약 50 cm 떨어진 지점에서 측정을 실시하였다. 또한 측정 시료는 총 60개로, 5곳의 측정 지점에서 각 측정 장소 당 2개의 펌프로 측정날짜를 달리하여 6회 측정 하였다. 그리고 실시간 측정 결과와 비교하기 위해 일별(2개 시료) 평균을 구하여 데이터를 처리하였다. 시료채취용 펌프는 시료채취 전과 후에 거품 유량 보정기를 사용하여 유량을 보정하였다.

분석은 시료가 채취된 IGFFs를 Tube에 옮긴 후 초순수 5 mL를 넣어 필터가 모두 잠기도록 하여 뚜껑을 닫고 약 15분 동안 가끔씩 흔들어 용출 시켰다. 용출이 완료된 시료는 Syringe Prefilters(MillexGV 4 mm, Millipore, USA)를 이용하여 먼지나 불순물을 제거하여 바이알에 담아 이온크로마토그래피(ICS-5000, DIONEX, USA)로 분석하였다. 분석 조건은 Table 1과 같다.

본 측정 및 분석 방법은 오존을 분석한 것이 아니라, NO₂⁻가 도포된 유리섬유여과지가 공기 중 오존과

Table 1. Operating conditions of Ion chromatography

Variables	Conditions
Injection volume	100 μ l
Column	AG19 Guard column + AS19 Analytical column
Eluent	Potassium hydroxide : 10 mM(0~10 min)→10~45 mM(10~25 min)
Eluent source	EGC KOH cartridge
Flow rate	1 mL/min
Temperature	30℃
Suppressor	Anion electrolytically regenerated suppressor(AERS 500, 4 mm)
Suppressor mode	Auto suppression recycle
Detector	Conductivity detector

만나게 되면 생성되는 Nitrate(NO_3^-)을 분석하는 방법이기 때문에 분석이 완료된 NO_3^- 의 농도를 전환계수($\text{O}_3/\text{NO}_3^- = 0.7742$)를 이용하여 오존의 농도를 구하였다(OSHA, 2003).

2) 실시간 오존 측정

공기 중에 존재하는 오존의 농도를 실시간으로 측정하기 위하여 검교정(2015.03)이 완료된 실시간 오존 측정 장비(Ozone Analyzer, OA-781, Kimoto, Japan)를 사용하였다. 시료채취 위치는 지역시료채취와 동일하도록 측정 장비의 시료 주입구에 Tygon Tube를 연결하고 바닥 면으로부터 약 125 cm의 높이에 위치하였으며, 유량은 약 0.7 cc/min으로 지역시료 채취 시간 및 위치를 동일하도록 하여 총 30개의 시료를 측정하였다.

오존 측정 장비의 측정 방법은 비분산자외선법(Non-dispersive ultraviolet absorption method)으로 오존이 자외선에 대한 특정한 흡수스펙트럼을 갖는 성질을 이용하여 흡수량 변화를 측정하고 농도를 구하는 방법이며, 5분마다 측정 장비에 기록된 데이터를 활용하였다. 본 측정 방법은 JIS B 7957의 기준으로 ISO 13964를 기초로 한 254 nm 파장을 이용한 측정법으로 환경부의 측정방법인 자외선 광도법과 거의 동일한 측정 방법이다.

3) 자료 수집

측정기간 동안의 일반대기의 오존 농도 자료는

Air Korea(www.airkorea.or.kr)를 통하여 측정이 이루어지는 장소와 근접한 수원시 영통구 측정소(도시대기 측정망)를 기준으로 제공되는 시간 별 오존 농도를 수집하여 측정 결과와 비교하였다(일시적으로 측정 자료가 없는 경우 측정 장소와 인접한 동탄구 측정소 자료를 활용하였다).

III. 연구결과 및 고찰

1. 외기, 반도체 Fab 및 사무실 내 오존의 노출 수준

Figure 5는 외기, ETCH, DIFF, DIFF Plenum 및 사무실에서 실시간 측정 및 지역시료로 측정한 평균 오존 농도를 비교하여 나타낸 것이다.

오존의 작업환경 노출기준(Occupational Exposure Limits-Time Weighted Average, OEL-TWA)과 사무실 오염물질 관리 기준(Indoor Air Quality Guideline)에서 규정하고 있는 노출기준은 각각 80 ppb, 60 ppb(MoEL, 2013; MoEL, 2015)로, 측정 장소에서 측정된 모든 시료 중 노출 기준 및 사무실 오염물질 관리 기준을 초과한 시료는 없는 것으로 확인되었다. 또한 측정된 시료는 노출기준(OEL-TWA)의 각각 0.90~5.09%(real time sample), 0.88~8.88%(area sample)이었다.

측정 장소 별 평균 농도는 지역시료의 경우 ETCH와 사무실에서 각각 3.53 ± 1.74 ppb, 3.52 ± 2.83 ppb이었으며, DIFF, DIFF Plenum순으로 나타났다. 실시간 측정의 경우에는 사무실, ETCH, DIFF Plenum, DIFF순으로 각각 3.01 ± 0.66 ppb, 2.14 ± 1.11 ppb, 1.35 ± 0.39 ppb, 1.07 ± 0.31 ppb로 나타났으며, 측정 방법에 관계없이 대부분의 장소에서는 유사한 수준으로 확인되었다.

반도체 Fab과 사무실의 오존 농도를 비교하면, 반도체 Fab(ETCH, DIFF, DIFF plenum)내 오존의 농도는 0.38~5.89 ppb이었으며, 사무실 농도는 0.70~7.10 ppb이었다. 반도체 Fab의 농도는 사무실에 비해 상대적으로 낮은 농도를 유지하는 것으로 나타났으며, 이는 반도체 공정 특성상 일정 규격에 맞도록 유지, 관리되어야하는 공간으로 외기 조화기에서 1차적으로 오존을 제거 하는 O_3 chemical filter를 거쳐 들어오기 때문에 낮게 유지되는 것으로 판단된다.

또한 반도체 Fab 중에서도 DIFF 및 DIFF plenum

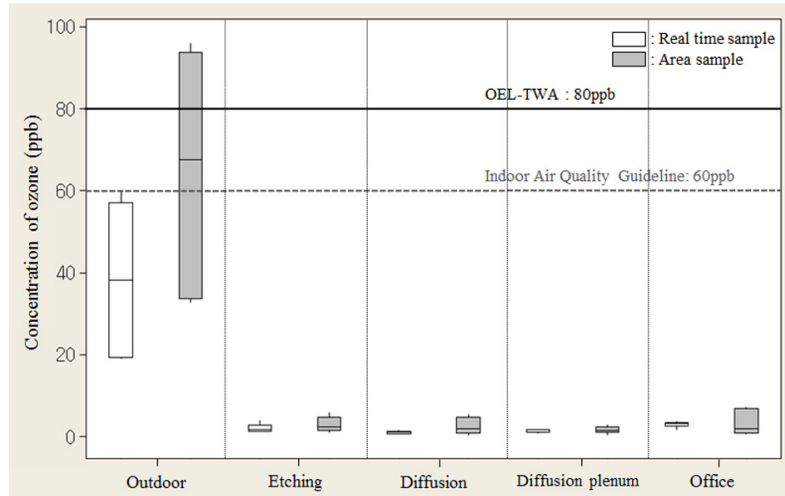


Figure 5. The distributions of ozone concentration in the outdoor, fab and office

의 오존 농도는 ETCH 공정에 비해 상대적으로 낮은 것으로 확인되었다. 이러한 이유는 DIFF 공정에서 Fab내 공기 중 존재하는 오존의 농도가 높을 경우 오존의 강한 산화력으로 인하여 제품의 불량 발생 할 수 있기 때문이다. 그렇기 때문에 외기 조화기에서 1차적으로 오존이 제거된 공기를 내부에서 순환되는 공기와 혼합된 후, O₃ chemical filter를 거쳐 2차적으로 제거되어 클린룸으로 유입된다. 유입된 공기는 DIFF 설비단에서 존재하는 O₃ chemical filter를 거치면서 3차적으로 제거됨으로써 외부 오존의 농도가 높더라도 이와 상관없이 5 ppb이하로 일정하게 유지 및 관리하고 있다(Choi et al., 2015).

오존이 발생하는 다른 사업장에 대한 연구에 따르면 먹는 샘물을 살균 처리하는 11곳의 사업장에서는 오존의 평균 농도는 53±74 ppb이었고(MoEL, 2005), 수도권 지역의 학교 주변에서 복사를 하는 4곳의 사업장의 경우 오존의 농도는 10~3700 ppb로 나타났다(Shin & Hwang, 2003). 또한 필름 제조 사업장의 권취 공정에서는 12~91 ppb로 조사되었고(Chae et al., 2007), 전자부품 사업장 중 터치 스크린 생산 공정에서 오존의 농도는 45 ppb로 보고하였다(Kwon et al., 2012). 본 연구에서의 반도체 사업장의 Fab의 오존 수준은 0.38~5.89 ppb로 다른 산업에 비해 낮은 수준인 것으로 나타났다.

한편, 실내에서 노출되는 오존의 농도와 관련하여 Park(2002)는 서울의 교통량이 빈번한 20층 이상의

초고층 건물의 실내에서 49 ppb(동계), 25 ppb(하계)라 보고하고 있으며, Hong et al.(2008)는 업무 시설에서 오존의 농도는 10.76±14.10 ppb으로 평가하여, 본 연구에서 조사된 사무공간에서의 농도 수준이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

실시간 측정과 지역 시료 결과를 비교하면, 실시간 측정의 경우 오존의 농도는 1.89±1.01 ppb, 지역 시료의 경우 2.88±1.95 ppb로 조사되었고, 실시간 측정에 비해 지역시료가 높게 평가 되었으며, 5곳의 장소 모두 동일한 경향이 나타났다.

또한 측정 방법에 관계없이 각각의 장소에서 6회씩 측정된 모든 시료는 일반대기의 오존 농도에 비하여 실내의 농도가 1.33%~22.61%로 현저히 낮은 수준으로 조사되었다.

2. 사무실 내 레이저 프린터 주변 오존 농도

사무실 내 레이저 프린터 주변의 오존 농도를 측정한 결과, 프린터의 통풍구(Figure 4(b)) 및 프린터 상단(Figure 4(c))에서 측정하였을 때 오존의 농도 변화는 나타나지 않았다. 반면 Figure 4(a)와 같이 인쇄된 종이가 나오는 지점에서 측정한 경우 오존의 농도는 인쇄 시작 시점부터 인쇄가 완료된 이후까지(인쇄가 시작되는 시점에서부터 1분~2분 이내) 서서히 농도가 증가되었으며, 일정 시간이 경과된 후 농도가 감소하는 추세를 보였다(Figure 6). 2회 반복 실험 결과 오존의 농도 변화는 유사한 형태를 나타냈

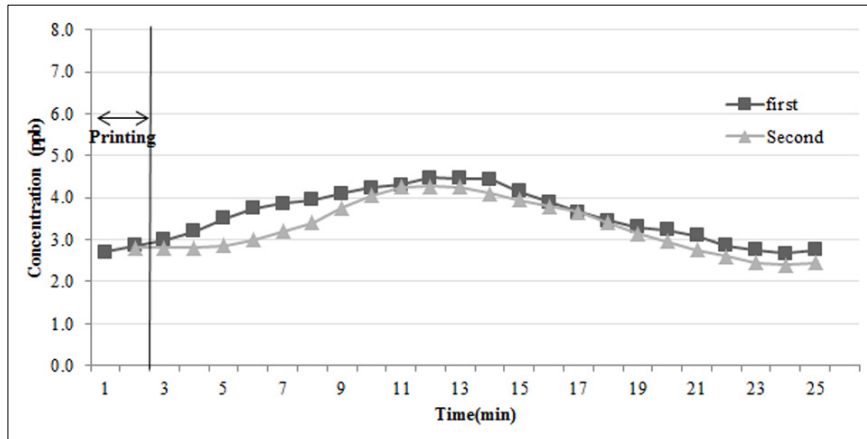


Figure 6. Time variation of ozone concentration for laser printer

으며, 이때 오존의 발생량은 배경 농도를 차감하였을 때 2 ppb 이내로 프린터를 사용 할 때와 사용하지 않을 때의 오존의 농도 차이는 거의 없는 것으로 확인되었다. Kagi et al.(2007) 및 Seo et al.(2011)의 연구에서는 실내에서 레이저 프린트 사용 시 오존 발생 농도는 각각 1.5~6 ppb, 0.1~2.6 ppb로 발생된다고 보고 하였으며, 본 연구와 유사한 수준으로 나타났다. 또한 Shin & Hwang(2003)은 디지털 복사기 사용 시 오존의 농도는 같은 시간대의 실외 오존 농도보다 오히려 낮았으며, 이러한 이유는 과거 97~98년 이전에 출시된 레이저프린터와 복사기는 당시 오존 농도 기준(0.1 ppm)을 훨씬 초과한 것으로 나타났으나 그 이후 오존 발생이 거의 없는 레이저 프린터와 디지털 복사기 사용으로 실내 오존의 영향이 거의 없기 때문이라고 보고하고 있다. 본 연구에서 사용된 레이저 프린터 또한 오존 방출량이 0.1 ppm 이하로 규정된 제품이었으며, 현재 제조되는 레이저 프린트 중 환경마크의 오존 발생 기준은 0.01 ppm로 제한하는 등 오존에 대한 규정에 의해 과거보다 노출될 우려는 적어진 것으로 판단된다.

3. 외기 오존농도가 실내에 미치는 영향

실내 및 실외 오염원을 구분하는데 있어 사용되는 지표로 실내의 농도비(Indoor/Outdoor ratio, I/O ratio)가 이용되며, I/O ratio가 높을수록 실내에서 더 많이 발생하는 물질임을 알 수 있으며, 1에 가까울수록 실내에 오염원이 없거나, 실외 영향을 받는 것을 의미

한다(Ilgen et al., 2001; Cho et al., 2011).

본 연구에서는 외기 오존 농도가 실내의 오존 농도에 영향을 미치는지를 확인하기 위하여 반도체 사업장의 Fab 및 사무실과 외기의 농도비를 비교하였다(Table 2). Fab의 경우 I/O ratio가 0.05이었고 사무실의 경우 0.06로, 1보다 매우 작아 실내 오염원이 존재하지 않으며, 실외 영향도 거의 없는 것으로 판단된다.

실외의 농도에 비해 실내 농도가 현저히 낮은 이유는 반도체 Fab으로 공급되는 외기는 외기조화기, 내부 순환장치 내 오존을 제거하는 필터를 통과하기 때문이며, 실제로 공정에서는 오존 제거 효율이 약 85%이상 유지 할 수 있도록 관리되고 있다. 본 연구에서도 실제적으로 94.8%이상 효율을 나타내고 있는 것으로 조사되었으며, 사무실의 경우도 냉방 공조가 이루어지고 창문이 닫혀 있는 밀폐된 공간으로 인하여 외기 오존 농도에 따른 뚜렷한 변화를 나타내고 있지 않은 것으로 보인다. 사무실의 공기질 실태조사 결과 연구 보고서(KOSHA, 2005)에 따르면, 8~9월 사이에 총 30개의 사무실에서 조사된 오존의 평균 농도는 3.5 ± 2.5 ppb, 실외의 농도는 5.9 ± 1.3 ppb으로 I/O ratio는 0.6 이었다고 보고하고 있으며, 본 연구에서 조사된 사무실 내 농도 및 I/O ratio에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 한편, I/O ratio는 사무실에 비해 Fab에서 편차가 더 크게 나타났으며, 이는 사무실과 Fab에서 시료 개수의 차이(사무실: 12건, Fab: 36건)와 지역에서 측정 된 시료의 편차가 ppb 수준의

Table 2. The concentration and indoor/outdoor ratio of ozone

Sampling location	Date	Temperature and Humidity		Ozone concentration(ppb)			Indoor/Outdoor ratio(I/O)	
		Indoor	Outdoor	Indoor		Outdoor (Air Korea)		
		Temp(°C) /RH(%)	Temp(°C) /RH(%)	Area sample*	Realtime sample†			
		Mean	Mean	Mean	Mean(range)	Mean(range)	Area	Realtime
ETCH	06/24	24.2/40	25.1/64	4.26	4.07(2.00-6.60)	80.00(42-100)	0.05	0.05
	07/02	23.6/41	22.7/74	2.28	2.72(0.30-4.50)	63.43(53-71)	0.04	0.04
	08/05	23.4/42	28.8/75	2	1.43(ND-2.90)	49.29(27-69)	0.04	0.03
	08/06	23.4/41	29.1/73	5.89	2.10(0.10-5.60)	44.00(9-66)	0.13	0.05
	08/20	24.3/40	25.9/81	1.78	1.38(0.40-3.10)	42.71(15-60)	0.04	0.03
	08/28	23.9/40	24.1/83	4.97	1.14(0.30-2.70)	35.43(8-54)	0.14	0.03
	Mean±SD	-	-	3.53±1.74	2.14±1.11	52.48±16.40	-	-
DIFF	06/25	23.0/43	23.5/72	0.83	1.16(0.60-1.60)	46.86(30-70)	0.02	0.02
	07/07	22.9/43	24.1/63	1.57	1.52(0.90-2.00)	36.14(6-51)	0.04	0.04
	07/08	22.9/43	22.6/81	1.97	1.27(0.70-1.80)	33.71(31-36)	0.06	0.04
	08/11	22.9/43	26.2/81	5.33	0.72(0.10-1.30)	23.57(10-37)	0.23	0.03
	08/12	23.0/43	27.4/73	4.61	0.99(0.30-1.60)	56.14(22-79)	0.08	0.02
	08/26	22.9/43	21.9/70	2.14	0.76(0.10-1.20)	22.57(15-31)	0.09	0.03
	Mean±SD	-	-	2.74±1.80	1.07±0.31	36.50±13.13	-	-
DIFF plenum	06/30	23.0/43	24.4/74	1.19	2.00(0.40-2.50)	59.71(28-73)	0.02	0.03
	07/01	23.1/42	23.4/73	2.36	1.58(1.10-2.10)	49.00(37-57)	0.05	0.03
	07/16	23.6/41	25.0/67	0.76	1.20(0.50-1.70)	28.14(21-34)	0.03	0.04
	08/18	23.9/41	27.8/64	2.78	1.33(0.50-1.90)	43.43(20-61)	0.06	0.03
	08/19	23.9/40	26.9/73	1.83	0.92(0.50-1.50)	45.57(25-47)	0.04	0.02
	08/27	22.5/42	23.1/73	1.37	1.07(0.40-4.60)	54.86(37-68)	0.02	0.02
	Mean±SD	-	-	1.72±0.76	1.35±0.39	46.79±10.93	-	-
Office	06/26	24.2/56	21.5/77	1.03	3.12(2.30-4.20)	35.43(25-46)	0.03	0.09
	06/29	24.4/56	25.0/69	3.3	3.58(3.00-4.50)	63.14(33-80)	0.05	0.06
	07/03	24.9/54	22.7/69	0.7	2.86(1.80-3.60)	52.71(39-56)	0.01	0.05
	07/14	25.2/60	25.2/82	6.86	3.19(2.30-4.00)	68.43(45-89)	0.10	0.05
	08/07	25.5/59	30.1/71	7.1	3.54(1.60-5.20)	75.86(19-133)	0.09	0.05
	08/21	23.5/60	24.8/88	2.13	1.77(1.00-2.60)	27.43(6-47)	0.08	0.06
	Mean±SD	-	-	3.52±2.83	3.01±0.66	53.83±19.09	-	-
Outdoor	06/23	26.3/51	24.0/68	93.83	59.90(24.80-92.90)	57.14(24-94)	-	-
	07/15	27.4/55	27.5/67	95.81	56.98(29.30-66.90)	61.00(32-74)	-	-
	07/23	26.7/62	26.2/91	33.7	19.23(6.20-35.80)	25.00(9-38)	-	-
	08/10	27.0/64	26.0/83	79.76	33.79(0.40-68.60)	33.86(6-70)	-	-
	08/17	27.6/51	26.3/73	67.68	44.88(16.80-53.70)	47.71(21-67)	-	-
	08/24	26.6/60	26.1/73	59.44	40.42(11.00-50.30)	42.33(21-52)	-	-
	Mean±SD	-	-	71.70±23.43	42.53±15.10	44.51±13.71	-	-

* Limit of detection: 0.0045 µg/sample

† Limit of detection: 0.01 ppb

극저농도이기 때문에 발생하는 오차의 영향 때문이라고 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 반도체 사업장의 작업환경 및 사무실에서 오존 농도 수준과 외기 오존 농도에 따른 실내 작업환경에 대한 오존 변화를 평가하여, 다음과 같은 결과를 확인하였다.

1) 반도체 Fab 및 사무실에서 측정된 오존의 농도는 지역시료의 경우 0.7~7.1 ppb이었으며, 실시간 측정의 경우 0.72~4.07 ppb으로, 모든 시료는 노출 기준(OEL-TWA), 사무실 오염물질 관리 기준 및 일반 대기의 오존 농도에 비하여 낮은 수준으로 평가되었다.

2) 사무실 내 레이저 프린터로부터 발생하는 오존 발생량은 2 ppb 이내로 사용 할 때와 사용하지 않을 때의 오존의 농도 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

3) 반도체 공정의 Fab 및 사무실과 외기의 농도비(I/O ratio)를 비교한 결과 Fab의 경우 0.05로, 사무실의 경우 0.06으로 나타나 외기에 의한 영향은 거의 없는 것으로 확인하였다.

본 연구는 표본 수가 부족하여 실외와 실내의 오존 농도에 관한 상관성을 확인하는데 있어 제한점을 가지고 있으며, 사무실 및 반도체 사업장의 작업환경 관리를 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

References

- ACGIH Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices with 7th Edition Documentation., 2015
- An HJ, Han JH, Lee MH, Kang EH. The Long-term variations of Ozone and Nitrogen Oxides in Suwon city during 1991~2012. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 2015; 31(4):378-384
- Chae YM, kim HJ, Roh SC. Pulmonary Function Changes of Ozone Exposed Workers in a Film Manufacturion Company. *Korean J Occup Environ Med*, 2007; 19(3):251-222
- Cho EJ, Kwak J, Kim Mk. A Study on Distribution characteristics and Improvement of Indoor Air Quality in Socially Disadvantaged Class. The Annual Report of Busan Metropolitan city Institute of Health & environment, 2011;20(1):122-137
- Choi JW, Park JH, Kim IY, Kwak YP. A Study on the Regulation and Means of Compliance for Ozone Concentration in the Cabin. *Journal of Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 2003; 11(2): 79-92
- Choi KM, Lee JE, Cho KY, Kim KS, Cho SH. Clean Room Structure, Air Conditioning and Contamination Control Systems in the Semiconductor Fabrication Process. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 2015; 25(2):202-210
- Chung OY, Jeong SG, Kim JH, Kim SM. Consideration of Ozone Removal and Control in Built Environment by Building Materials. *Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering*, 2012; 24(6): 467-475
- Chung YS, Chung JS. On Surface Ozone Observed in the Seoul Metropolitan Area during 1989 and 1990. *J.KAPRA*, 1991; 7(3): 169~179
- Dix HM. Environmental pollution. John Wiley & Sons Inc., New York, 1981; Chapter 6:65
- Eom SH, Lee CG, Lee WK. An Analysis of Relation Between Climate and Air Pollution in Incheon. *Journal of Information Technology and Architecture*, 2015; 12(2): 271-276
- Haagen-Smit A.J, Bradley C.E., Fox M.M. Ozone Formation in Photochemical Oxidation of Organic Substances. *Ind Eng Chem*, 1953; 45(9): 2086-2089
- Hong SC, Jou HM, Cho RJ, Lee CW, Jung YT, Son BS. A Study of Indoor Air Quality of Public Facilities in Chung-Nam Area. *J.of ESE*, 2008; 23(2): 35-45
- Ilgen E., Karfich N., Levsen K., Angerer J., Schneider P. et al. Aromatic Hydrocarbons in the Atmospheric Environment: part I . Indoor Versus Outdoor Sources, the Influence of Traffic. *Atmospheric environment*, 2001; 35(7): 1235-1252
- Jo SY, Choi SH, Im JY. A Study of Concentrations of Ozone in Gwangyang Area. *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, 2011; 8(3):199-210
- Jo Wk, Yoon IH, Nam CW. Analysis of Air Pollution in Two Major Korea Cities: trends, seasonal variations, daily 1-hour maximum versus other hour-based concentrations, and standard exceedances, *Environmental Pollution*, 2000; 11-18
- Kagi N, Fujii S, Horiba Y, Namiki N, Ohtani Y et al. Indoor Air Quality for Chemical and Ultrafine Particle Contaminants from Printers. *Building and Environment*, 2007; 42(5): 1949-1954
- Kim JH, Lim JW. Cluster Analysis with Air pollutants and Meteorological Factors in Seoul. *Journal of Korean Data & Information Science Society*, 2003; 14(4): 773-787

- Kim MY, Choi YJ, Kim KH. The Exceedance Patterns of O3 Air Quality Standards from 31 Monitoring Stations in Seoul. *Jour. Korean Earth Science Society*, 2002;23(8): 683-696
- Korea Environment Institute(KEI). 1998. RE-18. Available from: URL:http://webbook.me.go.kr/DLi-File/F000/150/15108_9028.pdf
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). 2005. Available from: URL: https://www.google.co.kr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwie_u-034rLAhUHoJQKHRbJDqIQFggfMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.kosha.or.kr%2Fcms%2Fgenerate%2FFileDownload.jsp%3Fcontent_id%3D192391%26category_id%3D%26version%3D1.0%26file_name%3D408203_1.1_attachFile3_1.pdf&usq=AFQjCNHo_MLEn-h_hDvXHkMa2fdFx8OvQA&bvm=bv.114733917,d.dGo&cad=rja
- Kwon YJ, Woo KH, Kim JS, Yoon SY, Song IU et al. Seven cases of Respiratory symptoms Caused by Acute Ozone Exposure from an Electronics Company. *Korean J Occup Environ Med*. 2012;24(4):449-459
- Lai D, Karava P, Chen Q. Study of Outdoor Ozone Penetration into Buildings through Ventilation and Infiltration. *Building and Environment*, 2015; 93:112-118
- Lee S.C, Lam S, Fai HK. Characterization of VOCs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber. *Building and Environment*. 2001;26(7):837-842
- Ministry of employment and Labor(MoEL). 2005. Available from: URL: http://www.google.co.kr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwilsuf6wYzLAhWBESQKHTUrBgwQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.moel.go.kr%2Fdownload2.jsp%3Ftype%3D%2Fdownload2%2F_20060327130340702.pdf%26file%3D59_%25BF%25C0%25C1%25B8_%25BA%25B8%25B0%25ED%25BC%25AD.pdf&usq=AFQjCNHgHL-bnCLaUh7Xaq_9Sev2y5w3eA
- Ministry of employment and Labor(MoEL). Exposure Limits for Chemical Substances and Physical Agents(MoEL Public Notice NO. 2013-38); 2013
- Ministry of employment and Labor(MoEL). Guideline For Office Air Quality (MoEL Public Notice NO. 2015-43); 2015
- Ministry of Environment (MOE). Annual Report of Ambient Air Quality in Korea, 2014. 2015
- Ministry of Environment (MOE). http://webbook.me.go.kr/DLi-File/F000/056/5617_40848.pdf, 2002
- Mudway IS, Kelly FJ. Ozone and the lung: a sensitive issue. *Molecular Aspects of Medicine*, 2000; 21(1-2):1-48
- National Institute of Environmental Research (NIER). Effects of ozone on the human body. 1995; 35
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Sampling & Analytical Method, ID-214. 2003
- Oh IB, Kim YK. Surface Ozone in The Major Cities of Korea : Trends, Diurnal and Seasonal Variations, and Horizontal Distributions. *J. KOSAE*, 2002; 18(4):253-264
- Park JH. Temporal Trends and Spatial Comparisons of Ozone Concentrations in Jinju. *Journal of Environmental Sciences*, 2010; 19(6):761~769
- Park MJ. A Study on the Evaluation of Indoor Air Environment in Super High-Rise Dwelling House. *Journal of the KIIS*, 2002;17(4):119-125
- Seo SC, Cho YM, Kim MN, Lee SG, Kim HJ et al. Characterization of Airborne Pollutants Emitted from a Laser printer. *J. Korean Soc, Indoor Environ*, 2011; 8(4):251-262
- Shin ES, Hwang KC. A Study on the Indoor Air Pollution Quality of Specific Types of Industry to Use Office Equipments. *Bulletin of Dongnam Health College*, 2003; 21(2): 477-486
- Sin DC, Park SE, Kim HJ, Kim HH. The measurement of O3 by passive sampler in indoor air of the residences. *J. Korean Soc.Atmos.Envion*, 2000; 2(11):441-442
- Singh BP, Kunar A, Singh D, Punia M, Kumar K, Jain VK. An Assessment of Ozone Levels, UV Radiation and their Occupational Health Hazard Estimation during Photocopying operation. *Journal of hazardous materials*. 2014; 275:55-62
- Tian X, Yi Z, Jin T, Wang X. Indoor Ozone pollution and the Purification Technologies. *ICIEA*, 2015; 487- 490
- Valuntaite V, Girgzdiene R. Investigation of ozone emission and dispersion from photocopying machines. *Journal of environmental engineering and landscape management*, 2007; 15(2): 61-67
- Yap D and Chung YS. Relationship of ozone to meteorological conditions in southern ontario. *Preprints 70th Annual meeting air pollution control assoc, Toronto*, 1977; 4(16): 77-20