

[붙임 1]

연 수 결 과 보 고 서

- 비의도적 나노입자 측정방법 및 노출평가 개발 -

2023. 12.



목 차

I. 연수개요	1
II. 수행사항 및 연수내용	2
III. 세부연수 내용	3
IV. 연수소감	24
V. 종합의견	24
VI. 수집자료 및 선물 수령	24
첨부 1. 공동연구 최종 보고서[Main 1]	25
첨부 2. 공동연구 최종 보고서[Main 2]	36
첨부 3. AIHce 2024 Professional Poster	53
첨부 4. 교육이수 수료증	57
첨부 5. 국제안전보건동향	60
첨부 6. 장기 국외 공동연구 계획서	67
첨부 7. NIOSH 연구기관 사례 검토	68
첨부 8. KOSHA 소개 및 NIOSH 경험 포스터	69
첨부 9. 호흡성입자 분리 절차서	72
첨부 10. Surgical smoke 논문 초안	73

연수결과 보고서

I. 연수개요

- 주제 : 비의도적 나노입자 측정방법 및 노출평가 개발
- 연구(파견) 기간 : 2022.12.12.(월) - 2023.12.11.(월)
- 공동연구 기관 : CDC/NIOSH/RHD/FSB*

* 미국 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC) /
미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and
Health, NIOSH) / (Respiratory Health Division, RHD) / (Field Study
Branch, FSB)

- 연구 수행자 : 산업안전보건연구원 직업환경연구실 전문직 3급 김성호

1) NIOSH 공동연구자

- Lee, Eun Gyung (Emily) (CDC/NIOSH/RHD/FSB)

2) 연구 주제

- (Main 1) 용사코팅 챔버 연구
- (Main 2) 합성 나노소재 가공 중 발생하는 입자특성 연구
 - Sub-1: 합성 나노소재 샌딩 실험
 - Sub-2: 합성 나노소재 환경영향 실험
 - Sub-3: 호흡성입자 분리 실험

II. 수행사항 및 연수내용

○ Main 1: 용사코팅 연구 [첨부 1]

- 연구 절차서 작성 및 실험 장비 구성
- 챔버 실험(아크-용사코팅, 저온-용사코팅 챔버)

○ Main 2: 합성 나노소재 가공 중 발생하는 입자특성 연구 [첨부2]

- Sub-1: 합성 나노소재 샌딩 실험
- Sub-2: 합성 나노소재 환경영향 실험
- Sub-3: 호흡성 입자 분리 실험

○ 그 밖에 수행사항

- 포스트 초록 Accepted (AIHce 2024) [첨부 3]
- 신규 직원 교육 이수 [첨부 4]
- 국내 공단(국제협력팀) 및 연구원 업무 협조 [첨부 5-7]
- Lesson Learned in Morgantown NIOSH 포스터 제작 [첨부 8]
- Respirable Dust Separation Procedures 작성 [첨부 9]
- Paper for Surgical Smoke Data (draft) [첨부 10]
- 회의 및 세미나 참석

Ⅲ. 세부연수 내용

□ 1개월차(2022.12.11.-2023.01.10.)

○ 미국 현지 도착(2022.12.11.)

○ 현지 정착(2022.12.16.금*)

- 미국 주소: 270 Orchard crossing, Morgantown, WV, 26505

* 호텔 숙박(5일) 후 입주

○ 제반 시설 구축(2022.12.16.-2023.1.10.)

- 은행 계좌 개설, 유틸리티(가스, 전기, 수도, 인터넷) 연결, 차량 구입
및 가구 등 전반적인 생활 제반 시설 구축

○ NIOSH 출근('22.12.16.) 및 향후 일정 협의

- [Main 1] 용사코팅 챔버 시험일정 협의 및 필요사항 확인(직독식장비 구성 등)

- [Main 2] 합성 나노소재 실험을 지원하기로 결정

○ 기타

- NIOSH 신분증 발급을 위한 신원조회 자료(e-QIP양식) 제출

- 지문 등록 후 신분증 및 주차증 발급

- 부서(FBS) 직원 소개 및 인사

□ 2개월차(2023.01.11.-2023.02.10.)

○ Main 1

- 용사코팅 연구 관련 문헌 고찰 및 챔버 실험 준비

○ Main 2

- 예비 실험 준비 (sanding paper type, grid size, hold weight 등 연구 조건 선택을 위한 예비 실험)

○ 관련 회의, 세미나 참석 실적

- 신규 직원 교육 프로그램 참석 및 수료증

- 1) CDC 보안 교육(CDC security awareness training)
- 2) 위험물 관리(Hazard communication)
- 3) 폐기물 처리(Hazardous chemical waste management)
- 4) 실험실 안전교육(Introduction to laboratory safety)
- 5) 호흡보호구 교육*(Respirator training for CDC laboratories)

* 미국 법에 따라 호흡보호구 착용을 요하는 작업의 경우, 호흡보호구 착용 등에 관한 교육, 적합도 실험(fit test), 의사 설문조사 결과 이상소견 없음을 확인 받아야 함

- 6) 안전교육 1, 2(Safety and survival skills training)
- RHD(Respiratory Health Division) 부서 monthly 회의 참석 (2/2/2023)
 - PPRB(Patholog and Physiology Research Branch) Seminar* 참석
 - 1) (Dr. Gary Casucclo) 소형 전기 모터에서 발생하는 초미세입자를 측정

2) (Dr. Antonios Tasoglou) PTR-MS를 활용한 공기 중 물질 측정

- (실험실 출입 권한*) 건강설문(NIOSH 요구사항) 후, 동물실험실(animal facility) 내부의 용사코팅 챔버실 출입증 획득하였고, 합성 나노소재 챔버실(#3310), 환경영향 챔버(#2407)에 관한 출입 권한 획득

* 안전교육 이수 후, 관련 랩실 부서장에게 직접 권한 부여 받음

□ 3개월차(2023.02.11.-2023.03.10.)

○ Main 1: 예비 실험

- 아크-용사코팅 작업 시, 용사된 소재가 짧은 시간에 고농도로 방출됨에 따라 측정기기별 가용 한 측정범위에서 측정하기 위해서 적합한 희석 배수를 결정해야 한다. 이에 따라 NIOSH 엔지니어팀*과 함께 실험함

* NIOSH의 경우, 엔지니어팀이 별도로 있어서 챔버 제작 등 연구에 참여함

- 처음 세팅한 희석배수는 20:1로 용사코팅 Gun에서 방출되는 용사된 소재를 직독식측정장비(이동식 CPC, portable condensation particle counter, TSI, USA)로 채취하기 위해 초기 샘플링 시간을 5초로 하였다. 그 결과, 측정 가용 범위를 초과하였고, 이에 따라 희석배수를 수정할 필요가 있다고 판단함

○ Main 2, sub-1

- [개요] BNNT(boron nitride nanotubes, 산화붕소 나노소재) 포함된 제품 가공 작업 시 발생하는 유해물질의 특성 연구를 위한 예비 실험 실시. 예비 실험에는 BNNT 0% 소재를 사용하였고, 2개의 GK 2.69,

IOM 측정기구와 직독식장비(SMPS, CPC, APS, QCM)을 사용하였고, 샌딩 벨트는 3종(AIOX, ZnAl, SiCa), 거칠기 정도(P100, 120, 180)에 따라 각각 실험함

- [목적] PVC 필터에 채취되는 분진의 적합한 양을 확인하기 위한 펌프 유량 설정, 전자현미경 분석을 위한 PC 필터에 채취되는 분진의 적합한 양 확인. 본 실험에 사용할 샌딩 벨트* 결정. 기타 본 실험에 필요한 사항을 실험함

* AIOX: P120, 180 / ZnAl: P100, 120, 180 / SiCa: P120

- [결과] 샌딩 벨트의 표면이 거칠수록 입자수농도는 증가함, ZnAl 소재 샌딩 벨트의 입자수농도가 가장 높았음, 측정 시간을 7분 30초로 설정한 경우, PVC에 채취되는 분진의 양이 적합하였고, PC의 경우, 1분 정도가 적합하였음. 그 밖에 시료를 누르는 홀더의 무게는 280 g으로 결정함
- [결론] 샌딩 벨트는 입자수농도가 가장 많이 발생한 ZnAl로 선택하였고, 거친 정도는 P100, 180을 사용하여, BNNT(0%, 1%, 2%, 4%)소재를 각각 4-6회 반복 실험하기로 함

○ Main 2, sub-2

- [개요] 나노소재가 포함된 자재를 환경조건(고온, 다습 조건)에 노출 시켜 변화를 확인하고, 노출된 소재를 가공(샌딩 작업)할 경우 발생하는 인자의 특성을 비교하고자 함
- [방법] 환경 실험은 3개월간(2016시간) 진행되므로 소재를 주기적으로 위치를 변화시켜야 하고, BNNT 소재의 표면의 색감이 비슷하여, 소재를 식별하는 방법을 고찰 중에 있음. 본 실험은 소재를 손상시키지 않

는 스티커를 사용하여, 소재 표면에 잘 붙어 있는지를 실험하기 위한 예비 실험(4시간, 1일, 2일, 각각 실험함)

- [결과 및 향후일정] 2일 경과 후, 스티커가 떨어지는 것을 확인하여, 스티커를 사용할 수 없을 것으로 확인하였고, 이에 대한 대안으로 모서리 부분에 홈을 만들어서 식별 코드로 표시하기로 함. 향후 실제 사용할 소재를 커팅한 후, 식별 코드를 부여한 후 실험을 실시하기로 결정함

○ 관련 회의, 세미나 등 수행 실적

- CDC Moving Forward Webinar (2/15): 향후 CDC의 방향성(코로나 19와 같은 신종 바이러스에 대한 대응 등)에 대한 웨비나
- Gap assessment of IH personal/area monitoring (2/15): 수준 높은 측정 결과를 위해서 측정 관련 내부 SOP를 개발 필요(유사 표준: ISO 17025)
- Project Idea Discussion Meeting (2/16): RHD 팀원이 모두 모여 올해의 연구 진행 성과를 논의하고, 향후 연구 아이템을 서로 공유
- What Emerging Technologies May Portend for Work, Workers, and Workplaces (2/17)
- HHE Protocol Meeting for Site Visit at Additive Manufacturing (2/28): 3월 금속 3D프린팅 사업장 방문 시 수행할 업무에 대해서 팀원들과 공유하고, 표면에서 채취한 시료(테이프 타입)를 바로 전자현미경(SEM-EDS)로 바로 분석하여, 벌크 시료와 비교할 예정
- RHD Dry Run (3/1): 향후 학회 등 발표하기 전에 연습 및 내용에 대한 피드백을 받는 회의

- RHD Monthly Meeting (3/2) 참석
- Bayesian methods with Carrie (3/3) 베이시안 통계 기법에 대한 자체 교육 참석
- Introduction to topic (indium-tin oxide)for Hobbs' JMP sessions (3/8): 인듐 주석 산화물에 대한 건강영향, 재해건수, 사례 등을 소개하였고, 작년에 국내에서 발생한 인듐 폐질환에 대해서 자료 소개
- HHE Finding NIOSH Literature and Resources, NIOSHTIC-2: NIOSH 및 연구 자료를 “NIOSHTIC-2” 사이트에서 검색하는 방법을 설명
- 콘크리트 소재 가공 연구 참관

[개요] 콘크리트 절단 시 발생하는 유해물질의 특성을 평가하기 위한 챔버 실험으로 반자동화 시스템으로 연구를 수행하여 보다 정확한 데이터를 얻을 수 있는 연구임. 펌프 시료 채취(GK2.69, IOM 등), 직독식장비(ELPI, APS 등)를 사용하여 평가함. 발생한 분진 중 호흡성 분진을 추출하여 독성 연구도 함께 진행했던 연구임

[시사점] 작업 시 발생하는 입자의 특성을 평가한 연구이며, 노출평가와 독성평가를 부서 간의 협업으로 진행하여 독성 영향까지 평가할 수 있는 좋은 연구로 사료되고, 향후 우리 연구원도 부서간의 협업을 통한다면 수준 높은 연구 결과를 창출 할 수 있을 것 생각됨

□ 4개월차(2023.03.11.-2023.04.10.)

○ Main 1: 희석배수 1, 2차 실험

- [배경] 용사 코팅 시, 짧은 시간에 고농도의 유해물질이 발생하는데, 이때 측정 장비에서 측정 가능한 농도 범위를 넘는지 확인할 필요가 있음
- [목적 및 방법] 용사코팅 발생 시간에 따른 희석배수 결정. 직독식장비 전, 후에 PVC 필터를 연결하여 각각 무게를 측정하여, 희석 배수 (100:1)에 따른 직독식장비의 측정 가능 여부를 확인함
- [결과] 용사 코팅 시간은 2초~10초, 측정시간은 22분으로 하였으며, 전/후단의 농도는 각각 130 mg/m³, 0.782 mg/m³으로 100:1 희석 배수로 측정되지 않았으나, CPC의 입자수농도 측정범위 내에서 농도가 형성되어 향후 추가 실험을 할 지 협의함

○ Main 2, sub-1

- [대상] 0%, 1% BNNT 소재를 ZnAl P100 샌딩 벨트로 실험하는 조건이며, 직독식장비(SMPS, CPC, APS, QCM), 펌프 측정(GK2.69, IOM, 카울 및 TDS 측정기구)을 통해서 입자의 농도, 형태 및 구성성분을 파악하고자 각 실험은 4-6회 반복하기로 함
- [결과] 4-6회 반복한 실험에 대한 질량 농도(GK2.69, IOM)의 변이계수 수준이 15~30%로 높았고, 입자수농도는 CPC 장비가 SMPS+APS 장비보다 1.4~1.8배 높았고, 각 실험별 변이계수는 15%이내로 양호함
- [토의] 각 실험별 질량 농도의 변이계수가 크고, CPC 농도가 15% 이내로 양호하다고는 하지만, 실험마다 피크값의 차이가 있으므로, 변이계수에 영향을 주는 요인을 분석해야 할 필요함

○ Main 2, sub-2

- [개요] 환경챔버에 빛과 물을 공급하여 햇별 환경(102분)과 강수 환경(18분)을 인위적으로 만들고, 이러한 사이클이 약 84일정도(약 3개월) 계속 반복됨
- [프로토콜]
 - 1) 실험-대조군의 소재별(0%, 1%, 4% BNNT)를 각각 커팅하였다(1개 10x5cm, 3개 5x5cm, 3개 1x3cm, 2개 2x2cm).
 - 2) 커팅 한 소재를 아래와 같이 모서리에 표시
 - 3) 각각의 무게를 칭량하고, 미리 계산된 배열에 따라 실험을 실시함(매 7일X 12 사이클)
 - 4) 각 사이클별 무게를 칭량하고, 특이사항을 기록함

○ 관련 회의, 세미나 등 수행 실적

- Branch Meeting (3/16) [긴급] Billerud Mill 종이 제작 회사에서 곰팡이균(blastomycosis)에 의한 직업병 의심 사례 발생에 따른 HHE 수행에 대한 긴급 논의됨
- Batesian methods with Carrie (3/17)
- CDC EIS (Epidemic intelligence service) Scientific Presentation Training (3.20~3.24.): 일주일 정도 역학조사 및 통계 관련 정보를 공유함
- Mid-year Review (3.30.): RHD에서 진행되는 모든 연구 과제에 대해서 중간 점검 및 평가하는 시기로 각 연구 담당자가 나와서 진행 사항

을 요약 설명하고 토의함

- 연구원 연구전문성 및 기능 강화 방안 마련을 위한 NIOSH 사례 제출 (3/15)

□ 5개월차(2023.04.11.-2023.05.10.)

○ Main 1

- 챔버 실험 절차서 작성 협의 및 실험실 고려해야 할 사항 토의
- 연구 특성상 짧은 시간에 고농도로 방출되는 나노입자를 사이즈별로 측정해야 하는데, TSI SMPS는 가장 짧은 데이터 로딩 Interval이 2분 15초로 다소 길기 때문에 용사코팅 연구에는 적합하지 않다고 연구진이 판단함. 이에 따라 DEKATI사의 ELPI*(Electrical Low Pressure Impactor)를 사용하기로 하여, 기기에 대한 작동원리 및 사용방법 등 운영의 전반적인 부분을 연구함

* ELPI는 6 nm~ 10 um의 입경 범위의 입자를 측정할 수 있으며, 1초 단위로 데이터를 로딩할 수 있는 장점을 가지고 있음

- Hand-held CPC 장비의 경우 최대 측정 농도가 100,000 pt/cm³이므로 용사코팅 예비 실험 시, 이 수준을 초과하였고, 향후 관련 회의를 통한 적당한 희석배수 선정이 필요하다고 판단함

○ Main 2, sub-1: 문헌 조사(검토한 문헌 수: 49개)

- BNNT 소재에 대한 독성 연구, 노출평가 연구, 독성 연구, 산업 분야 등 다양한 분야의 관련 문헌을 조사함
- 특히 독성(in vivo, in vitro) 연구가 많았던 반면, 노출평가 연구는 Kodali

V et al., 2022 리뷰 논문에서 간단하게 언급한 것 외에는 미비한 실정임

- Main 2, sub-1: 중간 결과 및 향후 방향 토의

1) [중간 결과] 0% BNNT & 1% BNNT 소재에 대한 4회 반복 실험이 종료된 시점에서 GK 2.69 & IOM 측정 필터(PVC)의 중량에 대한 CV(%)를 평가한 결과 편차가 발생함(15~45%, >45%).

2) [향후 방향] 실험의 편차를 줄이기 위한 추가 실험을 실시(5/1, 5/2) 하였고, GK 2.69과 IOM 측정기기만을 사용하였고, 실험 프로토콜은 동일하였다. 그 결과 발생률의 차이를 보였는데, 그 이유는 샌딩하기 위한 소재를 넣는 과정에서 오차가 발생한 것으로 보고, 향후 실험 시에는 이 부분을 동일한 힘으로 할 방법을 모색함

○ Main 2, sub-2

- 실험 33% 완료(4*/12회): 매 실험 후 소재의 중량이 다소 감소하는 추세를 보이고 있으며, 소재의 표면이 점차적으로 진하게 변함. 특히 4% BNNT 소재는 3회차 실험(4/21~4/19) 후 부터 표면에 구멍이 발생함

* 4/4~4/11(1회), 4/12~4/19(2회), 4/21~4/28(3회), 5/1~5/8(4회)

- 환경 챔버 연구 회의(5/9)

○ 관련 회의, 세미나 등 수행 실적

- HHE 설문지 검토(4/11): 현재 준비 중이 HHE(종이 공장의 곰팡이 관련 질병 조사)에 대한 설문조사 내용을 공유

- HHE 설문조사자 교육(4/17, 4/18): 설문조사지 작성이 완료되어 설문조사를 수행할 직원에 대한 교육에 참여

- RHD Dry Run(4/26): Evaluation the Coal Workers' Health

Surveillance Program이라는 주제로 Burton이 발표

- RHD Dry Run(5/3)

- 1) Modeling occupational exposures to diacetyl and 2,3-pentanedione from roasted whole bean and ground coffee (Rayn, AIHce 2023)
- 2) Selecting Appropriate Spirometry Reference Sex for Gender-Diverse People (Ethan, NIOSH Session)
- 3) Coal Workers' Health Surveillance Program Updates (Laura, WV Black Lung 2023)

- 최근 개발된 직독식장비(DRI) 설명회(5/3): UPAS (Ultrasonic Personal Air Sampler) Ver2로 PM2.5, 호흡성, 흉곽성 등 입자상 물질 측정이 가능하고, PID 센서 또는 CO2 센서 등을 부착하여 동시에 측정할 수 있음

- PPBR 세미나(5/10)

- 1) (발표자: Dr. William (kyle) Mandler) Pulmonary effects of 3D Printer emissions exposure: FDM 3D 프린터에서 발생하는 유해 물질에 대한 동물실험으로 사용한 필라멘트는 PC, ABS이며, 일부 실험에서 실험군이 비교군보다 통계적으로 유의한 건강영향이 나타남

- RHD Dry Run(5/10)

- 1) DISPARITIES IN WORK-RELATED RESPIRATORY DISEASE / Status of Race and Ethnicity Reporting in Occupational Respiratory Health (Foreman, ATS 2023)

□ 6개월차(2023.05.11.-2023.06.10.)

○ Main 1

- 챔버 실험 절차서 작성 및 향후 Purdue University 챔버 연구 일정 조율

○ Main 2, sub-1

- ZnAl P100 / 0%, 1%, 4% BNNT 소재 실험 완료
- ZnAl P180 / 진행 중(0% BNNT 실험 종료)

○ Main 2, sub-2

- 8/12회, 67% 진행률(7월 중 완료* 예정)
- 실험이 완료된 소재(10X5 cm)에 대한 샌딩 실험 예정
- 소재의 무게는 주기가 끝날 때 마다 조금씩 감소하고 있으며, 표면이 어두워졌다가 점점 밝아지는 경향을 보이고 있음

○ 관련 회의, 세미나 등 수행 실적

- 신임 Branch Chief 임명: Dr. Stella Hines
- Bimonthly branch meeting (5/18): Mid-year 업무(특히 최근 이슈가 된 HEE 등), 채용(새로운 branch chief Rachel 6월 근무), 교육, 예산 등 branch 관련 소식을 공유하고, 토의함
- CDCReady(위기대응방안) (5/22)
- Estimating chronic health effects following acute chemical exposures (presenter: Laurie Roszell) (5/24): 급성독성 물질의 노출이 만성 건강 영향을 일으키는데 이에 대한 가이드라인이 없음. 따

라서 모델링 기법(Toxidrome)을 활용하여 공기 중 노출 농도(급성독성 물질)에 대한 만성 건강 영향 가능성을 예측할 수 있음

- [Dry Run]

- 1) CHARACTERIZATION OF MICROBIAL SECONDARY METABOLITES IN FLOOR DUST OF 50 ELEMENTARY SCHOOLS IN THE U.S (Presenter: Ju-Hyeong Park), Conference: 2023 Healthy Building Europe (6/11)
- 2) Veterinarian COVID-19 vaccine uptake was widespread, but safety and efficacy concerns held some back: descriptive results from a survey of AVMA members' perceptions of COVID-19 (Presenter: Suzanne Tomasi), NORA HCSA Sector Council Meeting (6/22)
- 3) NIOSH research: Exposures, health effects, and controls of chemicals from cold-spray coating (Presenter: Emily Lee), 2023 CSAT (Cold Spray Action Team) (6/20)

□ 7개월차(2023.06.11.-2023.07.10.)

○ Main 1

- 현장 조사 (장소: Purdue Univ; 일정: 7/2-7/7, 7/16-7/28)

○ Main 2, sub-1

- ZnAl P180 / 1% BNNT 실험 3회 반복 실험 완료, CPC 장비의 Flow

check error 발생으로 자체 수리 실시(내부 청소, 튜빙 세척 등) 하였으나, 수리되지 않아서 TSI 제조사 수리 요청 (7/17 입고 예정)

○ **Main 2, sub-2**

- 10/12회, 83% 진행률
- 육안 검사 결과, 모든 재료의 무게 감소 등 이전 실험과 동일한 추의

○ 관련 회의, 세미나 등 수행 실적

- [교육 이수]

- 1) 2023 CDC Security Awareness Training (SAT) (6/7)
- 2) Scientific Integrity and Quality Training (SIQT) Full Initial (6/26)

- [HHE Debrief Meeting] (6/21)

- 1) Management request regarding concerns about potential exposure to metal powder at a metal additive manufacturing facility (Project Officer: Aleks Stefaniak) by HETA 2023-0034
- 2) Management request for a health hazard evaluation to investigate potential exposure to Blastomycoses due to an outbreak of blastomycosis among employees and contractors at a paper manufacturing facility (Project Officer: Marcia Stanton) by HETA 2023-0065

- [Dry Run]

- 1) Assessment of the Respiratory Health of Working US Coal Miners Since the 2014 Respirable Dust Rule (Presenter: Noemi Hall), Conference: Council of State and Territorial Epidemiologists annual conference (June 26th)

□ 8개월차(2023.07.11.-2023.08.10.)

○ Main 1

- 보조 연구자(Reggetz, Bailey Nicole)와 함께 연구 Method 작성

○ Main 2, sub-1

- 샌딩 벨트(ZnAl P100, 180)에 따른 BNNT (0%, 1%, 4%) 반복 실험 4회가 완료(7/10)되었고, 연구진 미팅(7/14)을 거쳐 추가 실험이 필요하다고 판단 함
- 샌딩 벨트(ZnAl P100, 180)에 따른 BNNT (0%, 1%, 4%) 추가 실험 2회 실시할 때, IOM, GK 2.69 능동식 시료채취기와 직독식 장비를 사용하여 실험을 완료(7/25)하였고, 관련 내부 미팅(7/26)을 거친 후, 향후 연구에 대한 미팅 예정

○ Main 2, sub-2

- 모든 실험이 종료(7/14)되었고, 이 중 인장강도 등 물리적 실험을 위해 WVU 대학으로 시료를 보낼 예정임
- 이 중 10 cm x 5 cm 소재는 샌딩 머신으로 실험 예정

○ 관련 회의, 세미나 등 수행 실적

- Comparison of the particle number concentrations and size distribution of surgical smoke emitted from surgical process with various surgery factors (AIHce 2024 Professional Poster section)
- [온라인 정기 교육]
 - 1) CDC Workplace Safety 2023 (formerly Safety Survival Skills)
 - 2) CDC Overview of Federal Records Management
 - 3) CDC 2023 Records Management Refresher - Employees / Affiliates
 - 4) 2023 Emergency Preparedness Training
- FSB Rotating Seminar Series in Occupational Respiratory Health (Branch Chief 주관으로 2주 마다 실시함); (Presenter: branch chief) Intro to Respiratory System Anatomy, Physiology, and Clinical Approach (8/2/2023)
- 기타 회의 및 강연
 - 1) (전문가 초청 강연) A Proposed New Strategy for Occupational Exposure Assessment (발표자: Dr. Gurumurthy Ramachandran)
 - 2) Branch Meeting (7/20) 새로 부임한 Branch Chief (Hines, Stella) 주관으로 회의 진행, 모든 직원 1:1 면담 요청

3) 2023 Observance of the Anniversary of the Enactment of the Americans with Disabilities Act (7/20)

□ 9개월차(2023.08.11.-2023.09.10.)

○ Main 1

- 현장에서 채취한 offline 시료 및 직독식장비 데이터 다운로드 및 장비 점검 및 유지관리
- 퍼듀 대학 요청사항: 챔버 배기구 HEPA필터 끝단에서 직독식장비로 측정 시 나노입자 발생 유무 검토 요청

○ Main 2, sub-1, 2

- 모든 챔버 실험 종료, 실험 데이터 정리 및 토의
- Weathered BNNT 소재(0%, 1%, 4%) 각 1종을 샌딩 머신으로 실험

○ 관련 회의, 세미나 등 수행 실적

- Project Idea Discussion Meeting (8/17/2023)
- DFSE Scientists' Seminar (Presenter: Leonid Turkevich, PhD) Numerical Simulations of Dust Generation and its Measurement
- FSB Rotating Seminar Series in Occupational Respiratory Health

- 1) (Presenter: Hines, Stella) Overview of Pulmonary Function Tests: Spirometry, Lung Volumes, Diffusion Capacity (8/16)
- 2) (Presenter: Hines, Stella) Overview of Pulmonary Function Tests: Impulse Oscillometry, Methacholine Challenges, Exhaled Nitric Oxide, and Exercise Tests (8/30)

□ 10개월차(2023.09.11.-2023.10.10.)

○ Main 1

- 현장 조사한 데이터 정리

○ Main 2, sub-1, 2

- 직독식장비 데이터 분석 및 토의
- GK2.69, IOM 측정시료(VOCs, Metal, 현미경) NIOSH 협력업체 송부

○ Main 2, sub-3 (호흡성입자 분리)

- 샌딩 작업 후 수집했던 각 BBNT 0%, 1%, 4% 잔여물을 유리비커에 담아서 보관하였다. 해당 벌크 시료를 호흡성 입자 분리 챔버를 활용하여 호흡성 입자만 분리시킨다. 분리된 해당 입자는 향후 독성 실험에 사용될 예정임
- Respirable Fraction Dust Separation Procedures 작성하여 향후 본 실험을 할 때 다른 연구자가 매뉴얼을 보고 본 챔버를 사용할 수 있도록 함

○ 관련 회의, 세미나 등 수행 실적

- FSB Rotating Seminar Series in Occupational Respiratory Health

1) (Presenter: Ju-Hyeong Park) Is exposure to more diverse indoor microbes beneficial to occupants' respiratory health? (9/13)

2) (Presenter: Kim Anderson) Nailing Down the Facts: Characterizing Occupational Exposures and Controls in Nail Salons (9/13)

- FSB Pipeline Orientation (10/10) FSB에서 진행되는 연구과제의 진행도를 확인 할 수 있도록 디자인함

○ Professional poster 제출(AIHce 2024 학회)

- 2016년부터 2018년 사이 Morgantown NIOSH에서 수술실 종사자를 대상으로 유해인자를 평가한 연구 데이터를 기반으로 AIHce 2024 학회 초록 작성

□ 11개월차(2023.10.11.-2023.11.10.)

○ Main 1, 2

- 국외 공동연구 최종보고서 작성 및 Main 1, 2 연구 데이터 분석 및 결과 보고 자료 작성

○ Main 2, sub-3

- 각 BNNTs 샌딩 후, Bulk 시료(0%, 1%, 4%)를 입자 분리 챔버에 넣은 후 가급적 많은 양의 호흡성 입자를 선택적으로 분리함. 향후 독성 연구에 사용 될 예정

○ 관련 회의, 세미나 등 수행 실적

- FSB Journal Club (10/11)
- RHD Dry Run
- 1) (presenter: Fechter-Leggett) Spirometry Reference Sex Choice: Considerations for Transgender and Gender-Diverse People (10/18)
- 2) (presenter: Suzanne) waste anesthesia gas project and general veterinary occupational safety and health issues (10/25)
- Project idea discussion meeting (10/19)
- FSB Rotating Seminar Series in Occupational Respiratory Health
- 1) (Presenter: Brie Blackley) Source controls for aerosol exposure mitigation in dental clinics (11/8)

□ 12개월차(2023.11.11.-2023.12.10.)

○ Main 1, 2

- 국외 공동연구 최종보고서 작성 및 Main 1, 2 연구 데이터 분석 및 결과 보고 자료 작성
- 미국 생활 및 NIOSH에서 수행했던 연구 성과를 발표하였고, 관련 내용을 포스터 2장으로 요약하여 제작하였다.

○ 관련 회의, 세미나 등 수행 실적

- Thankful potluck lunch and branch meeting (11/15)
- HHE Site Visit Meeting (HETA 2023-0149) machining of precision parts for aerospace industry (11/27)
- RHD Dry Run (presenter: Stella Hines) Overlooked and under appreciated: reusable respirators in healthcare & the user experience (11/29)
- FSB Rotating Seminar Series in Occupational Respiratory Health
1) (Presenter: Sungho Kim) Lesson Learned in Morgantown NIOSH (11/29)
- Lessons Learned poster 제작 및 비치 (12/5)

○ Surgical smoke paper 초안 작성 및 검토 (12/8)

IV. 연수소감

- 미국 NIOSH(모건타운)에서 연수하면서 다양한 연구 주제(젠더 연구, 센서 기술 등)를 접하게 되었고, 연구자(통계학, 보건학, 역학, 독성학, 엔지니어 등) 간의 상호보완적인 협업 관계를 경험할 수 있었음
- 향후 공동연구 활동이 지속되어 NIOSH의 실험 연구를 바탕으로 현장 적용 연구를 KOSHA에서 수행 할 수 있는 방안 마련이 필요함
- 지속적인 연구 교류를 통한 연구의 질을 상호보완적으로 향상시키고, 공동 연구를 바탕으로 논문 게재 필요하다고 생각함
- 연구에 대한 수준 높은 토론 문화, 상대 연구자 의견에 대한 존중 및 연구 윤리 수준을 경험하였고, 대외적 연구 성과 및 수준 높은 연구 논문은 이를 뒷받침하는 것 같음
- 다양한 인종과 문화. 그 속에서 서로 소통하며 살았고, 어려움이 있을 때마다 도전정신으로 극복했고, 가족간의 끈끈한 가족애를 경험함

V. 종합의견

- 연수를 통한 연구자로 성장 할 수 있는 발판을 마련하였고, 향후 연구에 접목하여 수준 높은 연구를 수행하겠음
- 現연수는 ‘KOSHA to NIOSH’만 수행되고 있지만, 향후 ‘NIOSH to KOSHA’ 프로그램이 생성되어 인력 교류 및 정보 교류가 필요해 보임

VI. 수집자료 및 선물 수령

- 없음

[첨부 1] 공동연구 최종 보고서

연구주제명 : 용사코팅(thermal spray coating) 챔버 실험 연구(Main 1)

* 본 연구는 23년부터 26년도까지 수행되는 연구로 용사코팅 작업 시 발생하는 나노 입자 및 유해물질을 평가하는 연구이며, 올해는 첫 해 연구로 연구 디자인 작성, 문헌 고찰 및 챔버에 대한 예비 조사가 수행되었다.

1. 서론

1.1. 배경

용사코팅(thermal spray coating)은 금속, 합금, 세라믹 및 플라스틱 등 다양한 기판에 다양한 원료를 공급하여 증착하여 표면을 처리하는 기술이다. 이 기술은 액체를 분사하거나 열에 의해 용융된 금속을 제품 표면에 분사하여 응고시킨다. 코팅 재료는 와이어나 분말 형태(순수 금속, 합금, 탄화물, 산화물, 세라믹 및 플라스틱)이다. 용사코팅 기술은 수십 년 동안 사용되어 왔지만 최근 기술의 발달로, 불꽃, 저온, 플라즈마 및 저닉 아크 스프레이 형태로 새로운 특성과 기능이 추가되고 있으며, 비교적 사용이 간단하고 경제적이기 때문에 자동차, 항공 우주 산업, 기계, 전자, 의료 조선업 및 인쇄업에서 많이 활용되고 있다. 이 방식을 활용하여 제품의 마모 방지, 수리, 복원, 단열/전도, 부식/내산화성, 봉합, 장식 및 자체 수리와 같이 다양한 용도로 활용되고 있다.

현재 용사코팅 시장은 성장 추세이며 2028년도에는 시장 점유율이 140억 달러 정도로 예상되고 있다. 미국에서는 2020년 근로자 동향 조사에서 해당 분야 종사자가 138,000명으로 조사되었으며, 그 수도 증가하고 있다고 전망하고 있다. 금속(크롬, 니켈, 코발트, 아연, 알루미늄 등)을 활용한 용사코팅은 에어로졸 분사시 나노입자가 발생하며, 작업자에 대한 건강 영향을 초래할 수 있을 것으로 보고 있다. 제조업 근로자의 만성 폐쇄성 폐질환(COPD, chronic obstructive pulmonary disease)에 대한 사망률이 증가하고 있으며, 알레르기성 천식 및 진폐증, 암, 피부 감각, 금속 흡혈 등에 의한 사망률도 함께 증가하고 있는 추세이다. 최근 2명의 용사코팅 조사자가 단기 노출로 인한 사망 사례가 보고되었다.

게다가 해당 작업시 포스겐, 산화질소, 이산화질소, 일산화탄소, 오존과 같은 유독 가스가 발생하여 폐부종, 두통, 졸음 등의 건강영향을 일으킬 수 있다.

1.2. 목적

용사코팅 사업은 급속도로 성장하고 있는 반면, 이에 대한 연구는 부족하여 100,000명 이상의 근로자를 보호하기 위해서는 관련 연구가 필요한 실정이다. 이에 연구팀은 만성 폐쇄성 폐질환, 천식 등 폐 손상과 작업시 발생 할 수 있는 금속 입자 및 가스 노출에 대한 관련성을 연구하고자 한다. 이 연구의 가장 중요한 목표는 용사코팅에 대한 노출평가 및 작업자의 호흡기 이상을 설명하고, 작업에 대한 공학적 대책을 수립하는 것이며, 일반적으로 사용되는 3가지 기술(전기 아크, 플라스마 기술, 저온 방식)에 대하여 평가하고자 한다. 따라서 연구의 목적은 통제된 실험실 환경에서 발생하는 물질의 농도 및 발생률을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상

이 연구는 두 방식의 용사코팅 방식을 대상으로 한 챔버 연구이다. 아크 방식 용사코팅 방식은 현재 모건타운 NIOSH에 위치해 있고, 저온 방식(cold spray)은 퍼듀 대학교(Purdue University)에 위치해 있다. 아크 방식 용사코팅 작업 시에 금속(Cr, Ni, Co, Zn, Al, Fe)이 포함된 와이어 소재를 사용할 때 발생하는 입자의 특성을 평가하기 위해서 아크 용사코팅 시스템(THERNACH INC)을 사용하였고, 저온 방식은 Al, Cu, Sn이 함유된 와이어 소재를 사용하여 평가 하였다[그림 1]. 아크 방식 용사 코팅은 현재 실험 챔버 셋업 중이며, 저온 방식이 있는 퍼듀 대학교에서 21번의 실험을 실시하였고, 실험 조건은 <표 1>과 같다.



[그림 1] (왼쪽) 아크 방식 용사코팅 시스템-모건타운 NIOSH, (오른쪽) 저온 방식 용사코팅 시스템-퍼듀대학교

<표 1> 저온 방식 용사코팅 시스템 테스트 조건

Run #	Powder Type	Substrate Type	Fast/ Slow	Nozzle Speed (mm/s)	Heat	Heat Temp (°C)	Voltage (W)
1	Al-I	ABS	Fast	50	Y	80	100
2	Al-I	ABS	Slow	25	Y	80	100
3	Al-S	ABS	Fast	50	Y	80	100
4	Al-S	ABS	Slow	25	Y	80	100
5	Cu-I	ABS	Fast	50	Y	80	100
6	Cu-I	ABS	Slow	25	N	30	50
7	Cu-I	Al	Slow	25	Y	80	100
8	Cu-S	ABS	Fast	50	Y	160	200
9	Cu-S	ABS	Slow	25	Y	80	100
10	Cu-S	Al	Fast	50	Y	160	200
11	Sn-S	ABS	Fast	50	Y	80	100
12	Cu-I	ABS	Fast	50	N	30	50
13	Cu-I	ABS	Slow	25	Y	80	100
14	Al-I	ABS	Slow	25	Y	80	100
15	Cu-I	Al	Fast	50	Y	160	200
16	Cu-I	Al	Slow	25	Y	160	200
17	Cu-S	Al	Slow	25	Y	160	200
18	Sn-S	ABS	Fast	50	Y	80	100
19	Sn-S	ABS	Slow	25	Y	80	100
20	Sn-S	Al	Fast	50	Y	80	100
21	Sn-S	Al	Slow	25	Y	80	100

2.2. 실험방법

2.2.1. 챔버 시스템

본 연구에서 입자의 특성을 평가하기 위해 아크-용사 실험챔버를 제작하였다[그림 2]. 챔버는 2개 부분으로 나뉘져 있는데, 용사코팅을 작업하는 부분과 발생된 입자를 측정하는 챔버로 구분된다. 입자의 특성을 평가하기 위해서 직독식장비와 능동식 시료채취기를 사용하였다. 입자의 특성을 평가하기 위해서 사용된 직독식장비는 CPC, NanoScan SMPS, OPS, DataRam, DISCmini, ELPI, DustTrak, 가스 및 증기류의 물질을 측정하기 위해서 Draeger X-am 5000을 사용하였다. 입자의 질량농도를 측정하기 위해서 능동식 시료채취기인 IOM(흡입성), GK 2.69(호흡성)에 PVC 여과지를 장착하여 측정 전과 후의 무게를 칭량하여 질량 농도를 계산하였고, PC 여과지를 장착하여 현미경 분석을 통한 입자의 모양, 구성 성분 등을 평가하였다<표 2>.

저온-용사코팅 챔버에 사용된 직독식장비는 CPC, OPS, SMPS, pDR, DP-Calc Micromanometer를 사용하였으며, 관련 세부 내용은 <표 2>와 같다. offline samplers는 GK2.69(PVC: 중량 분석, PC: 전자현미경 분석), TD(PC: 전자현미경 분석), 3단 카세트(MCE: 금속 분석), 3단 카세트에 accucap 부착된 샘플러(중량 분석), pDR(PVC: 중량 분석 및 금속 분석)이 사용되었고, 세부 내용은 <표 3>와 같다.

<표 2> 아크-용사방식의 시료채취 및 분석방법(계속)

Interests/Purpose	Sample Collection			Analytical method
	Sampler/Instrument	Flow rate	Sampling time	Analysis
Size-segregated	ELPI	10 L/min	60 ~120 sec	data analysis
Particle number and mass concentration	NanoScan SMPS	1.0 L/min - 0.75 (inlet) - 0.25 (sample)	60 ~120 sec	10 nm - 420 nm range - interval: 1 min
Particle number and mass concentration	OPS	1 L/min	60 ~120 sec	0.3 - 10 μ m range
Total particle number concentration	CPC	1.5 L/min	60 ~120 sec	0.01 μ m to >1.0 μ m
Nanoparticles - Morphology and chemical composition	IOM with polycarbonate filter	2.0 L/min	60 ~ 120 sec	SEM/TEM (at least 500 particles per filter)
	GK 2.69 with polycarbonate filter	4.2 L/min		
	Cowl with 2 TEM grids and polycarbonate filter	0.3 L/min		
VOCs/SVOCs generated from thermal degradation	Draeger X-am 5000	0.5 L/min	60 ~ 120 sec	data analysis

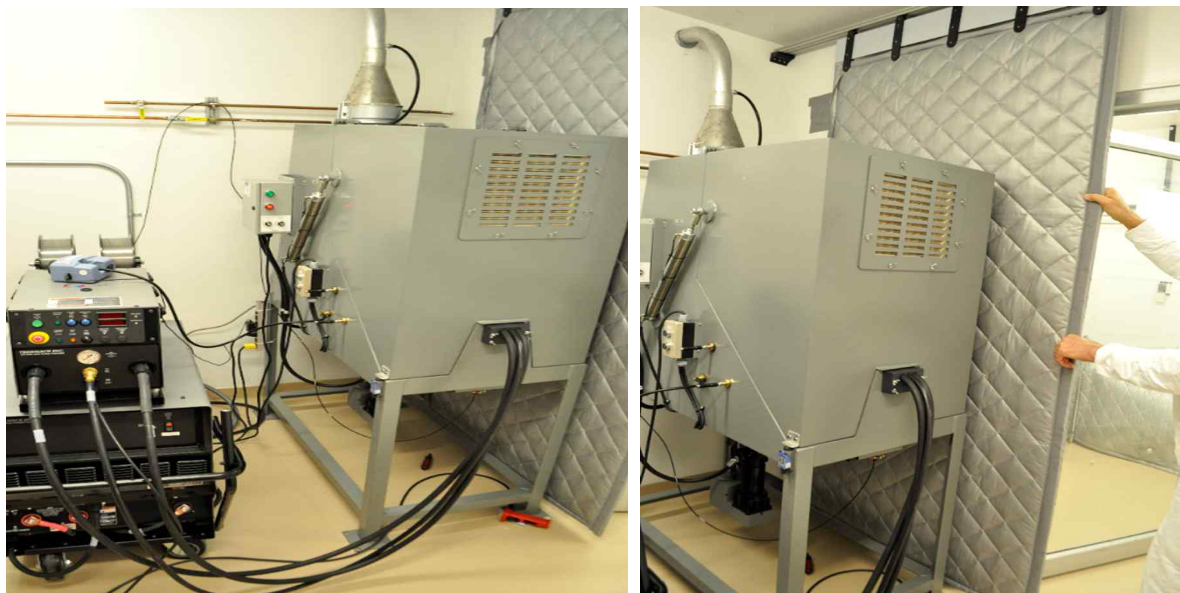
<표 2> 저온-용사방식의 시료채취 및 분석방법

Instrument	Model	Measurement	Flow Rate	Sampling Cycle Time	Detection Range	Detection Limit
CPC	3007	Total Particle Number Concentration (#/cm ³)	100 cm ³ /min (sample), 700 cm ³ /min (inlet/nominal)	1 sec	0.01 μ m to >1.0 μ m	100,000 #/ cm ³
OPS	3330	Particle Size Distribution by Number	1 lpm	1 sec	0.3 μ m to 10 μ m	3,000 particles/cm ³
SMPS	3910	Particle Size Distribution by Number	0.75 lpm (inlet), 0.25 lpm (sample)	1 min	10nm to 420 nm	1,000,000 particles/cm ³
pDR	pDR-1500	Respirable Mass Fraction	2.65 lpm	1 sec - 1 hr	1.0 μ m - 10 μ m	400 mg/m ³
DP-Calc Micromanometer	8710	Air Velocity	-	-	-	-

<표 3> 저온-용사방식 Offline 시료채취기의 세부 정보

Sampler	Equipment	Flow Rate	Pump ID	Filter Analysis
GK PVC	GK 2.69 Cyclone, 3-pc cassette	4.2 lpm	A	Gravimetric
GK PC	GK 2.69 Cyclone, 3-pc cassette	4.2 lpm	B	SEM
TD-PC (1 min.)	2-pc cassette	2 lpm	C	SEM
Solu-Sert	3-pc cassette	2 lpm	D	Metals
Accucap	3-pc cassette	2 lpm	E	Gravimetric
pDR PVC	pDR-1500	2.65 lpm	-	Gravimetric and Metals

연구자는 Section B에 있는 컴퓨터를 시스템을 활용하여 자동으로 아크-용사코팅 작업을 수행할 수 있도록 프로그램화 하였고, 연구자의 소음 노출을 감소하기 위해서 방음막을 Section A와 B 사이에 설치하였다[그림 3].



[그림 3] Section A/B 사이 방음막 설치

아크-용사코팅 작업은 단시간에 고농도로 용융된 금속이 방출되기 때문에 순간 (1~초5) 작업에 대한 입자 평가를 실시하였다[그림 4].



[그림 4] (왼쪽) 아크-용사 작업 전 사진, (중간) 작업 중 사진, (오른쪽) 작업 완료 후 사진

2.1.2. 용사코팅 평가 절차

본 연구에서 사용된 직독식장비, 시료채취 장비 및 매체는 <표 1>과 같다. 본 연구는 컴퓨터를 통해서 자동으로 작업을 수행하며, 절차는 다음과 같으며, 상기 과정을 각 재료마다 4회 반복하여 측정하고, 필요시 반복 회수를 추가한다.

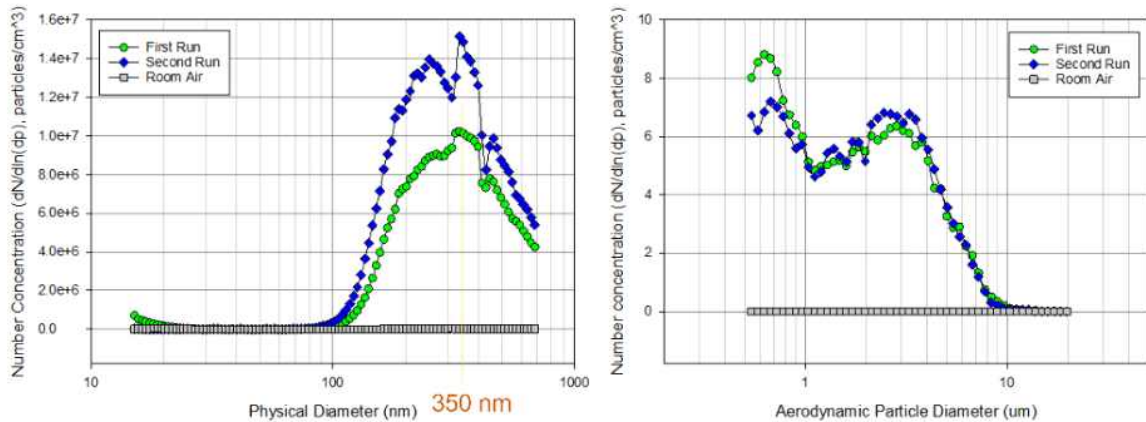
- ① 직독식장비(CPC, SMPS, OPS, ELPI 등)로 작업 전 배경농도 측정 (CPC 평균 농도가 400 #/cm³ 이하, 작업 시작)
- ② 용사코팅의 Gun을 통해서 1~5초간 작동
- ③ 부스 내에서 발생 된 유해물질은 튜브를 통해 챔버 내로 이동되며, 10초 정도 챔버 내에서 안정화 단계를 거침
- ④ 이 후, 직독식장비와 능동식 시료채취기구를 켜고, 60~120초 동안 챔버 내의 입자의 특성을 측정 함
- ⑤ 실험 후, 깨끗한 공기를 주입하여 부스 및 챔버 내의 오염원을 제거 함 (CPC 평균 농도가 400 #/cm³ 이하)

3. 연구결과 및 논의

3.1. 아크-용사방식의 입자크기별 분포

SMPS(scanning mobility particle sizer, TSI, USA) 데이터를 분석한 결과, 350 nm의 입자가 가장 많이 분포하는 것을 확인하였고, APS(aerodynamic particle sizer, TSI, USA) 데이터를 분석한 결과 1 μm 이하에서 가장 많은 분포를 보였다[그림 5]. Lutz-Michael Berger, 2015 연구에서는 직독식장비에서 측정된 입자의 크기는 100-500 μm 이며, 본 연구의 결과와 유사하였다.

SMPS and APS Results

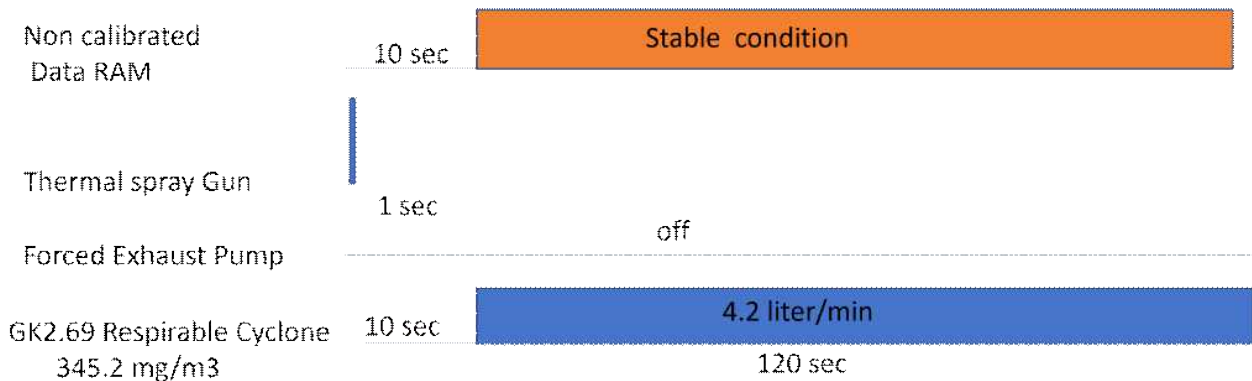


Test Condition: After one second thermal spray shot, forced exhaust air on for 10 sec and off. Data were then collected for 4 min

[그림 5] SMPS 및 APS 데이터를 본 입자 크기별 입자수농도($\#/\text{cm}^3$) 분포

3.2. GK 2.69 호흡성 입자 질량 농도 (mg/m^3)

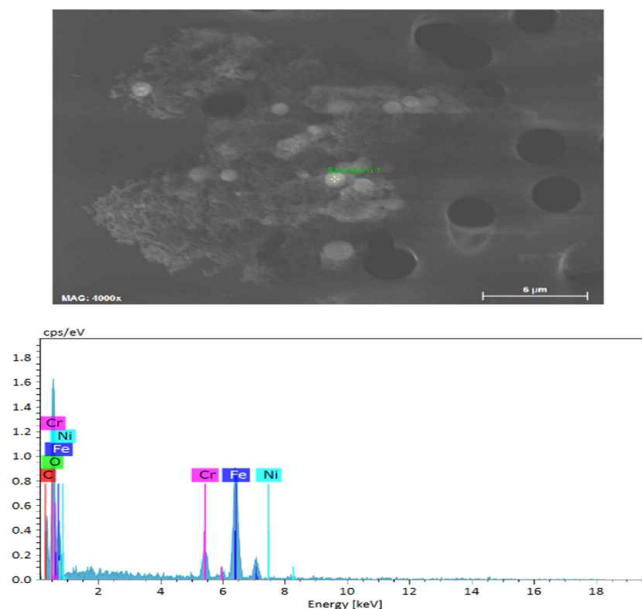
측정 프로토콜은 챔버 내의 공기의 농도를 Data RAM 직독식측정 장비를 활용해서 측정하여 배경농도를 확인한 후, 안정된 상태에서 10초간 Data RAM의 농도를 측정한다. 이 후 1초간 thermal spray gun을 작동한 후, PVC 여과지가 장착된 GK2.69 측정기구를 사용하여 4.2 L/min으로 120초간 측정하였다. 여과지의 전/후 무게를 측정하여 농도를 계산했더니, 질량 농도는 345.2 mg/m^3 로 계산되었다.



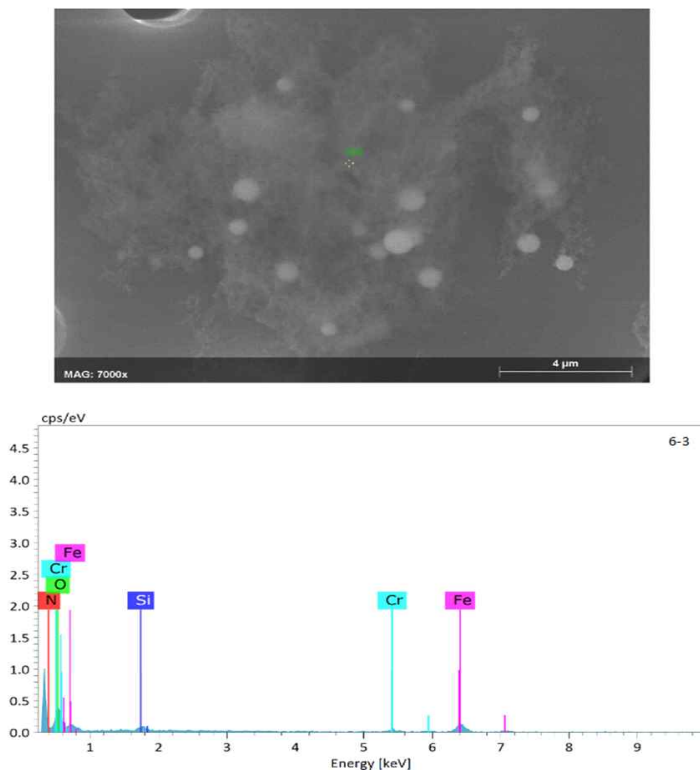
[그림 6] GK 2.69로 측정한 질량 농도

3.3. 입자의 형태 및 구성성분

현미경 분석을 통해서 입자의 크기 및 형태, 그리고 구성 성분을 확인하였다[그림 7, 8]. 입자의 형태는 구형이며, 입자는 Ni, Fe, Cr, C, O 등으로 구성되어 있었다. 입자가 spray gun에서 방출되면 나노 사이즈 입자의 경우, 반데르발스 힘이 작용하여 입자 간의 정전기적 끌어당기는 힘(agglomerate, aggregate)이 발생한다. [그림 7, 8]에서 볼 수 있듯이 입자 간의 서로 뭉침 현상이 있는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 7] 입자의 형태 및 구성성분



[그림 8] 입자의 형태 및 구성성분

3.4. 저온-용사방식의 결과

현재 데이터 수집 및 정리가 진행 중에 있으며, 향후 데이터가 정리되면 논문 게재 및 학술대회 발표를 통해서 연구 실적을 낼 예정이다.

4. 연구결론 및 향후 계획

본 연구는 아크-용사방식과 저온-용사방식 작업 중 발생하는 입자의 특성을 연구하는 것이다. 본 연구에서는 100 nm 이하의 나노입자 보다는 350 nm 입자 크기의 입자농도가 가장 큰 것을 확인 할 수 있었으며, 현미경 분석을 통해서 입자간의 뭉침 현상을 확인하였다. 본 연구를 바탕으로 지속 연구를 통한 세부적인 연구가 필요해 보인다. 또한 저온-용사방식 작업에 대한 데이터 분석이 진행 중에 있으며, 향후 데이터 분석에 참여할 기회가 있으면 논문 게재 및 학술발표 활동은 공동으로 수행할 예정이다.

[첨부 2] 공동연구 최종 보고서

연구주제명: Nano project: Comparative assessment of dust from machined polymer nanocomposites (Main 2)

1. 배경

최근 나노 합성소재를 제품에 주입하여 물리적 강성을 높이고, 열 안정성을 높이는 목적으로 나노 합성소재를 많이 사용하고 있다. 이에 따라 음식, 음료수 포장, 생물 의학적 도구, 화장품, 촉매제, 항공 산업 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 한편, 시중에 유통되고 있는 제품에 대한 독성 연구 결과, 폐에 대한 건강 영향, 용혈(hemolysis), 세포 독성 등 많은 연구가 수행되었다. 이에 반해 노출평가 연구는 부족한 실정이며, 근로자에 대한 잠재적인 위험요인을 평가하는 것이 중요하다. 따라서 이 연구의 목적은 BNNT(산화붕소 나노소재)를 포함한 에폭시 제품을 가공 할 때 발생하는 입자 특성을 평가하고, 환경영향을 평가하고, 호흡성 입자에 대한 독성 실험을 목적으로 하고 있다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상

BNNT가 포함된 에폭시 제품을 NRC Cananda사에서 제공 받았고, 실험에 0%, 1%, 4% BNNT 제품을 평가하였다. 모든 소재는 동일한 크기(9.9X9.9 cm)로 잘랐고, 두 종류의 샌딩 벨트(ZnAl P100, P180)를 사용하여 각 제품별 5-6회 반복하여 실험하였다. 그리고, 환경 챔버(SUNTEST XLS+ system)에 제품을 고온 조건과 습한 조건에서 2016시간 동안 노출한 후의 제품을 샌딩 작업하여 그 입자의 특성을 평가하고자 하였다[그림 3].

2.2. 샌딩 실험 절차

샌딩 시스템에 벨트를 장착하고, 실험할 제품을 상단에 부착한 후 280 g의 추로 누른다. 측정은 직독식장비(SMPS, QCM, CPC, APS)와 능동식 시료채취기

(GK2.69, IOM, TPS(thermophoretic sampler), 카울, GGPmini)로 하였다. GK2.69와 IOM 측정기구에 PVC(37 mm / 25 mm, 5 um pore size), PC(37 mm / 25 mm, 0.4 um pore size) 여과지를 각각 장착하여 측정한 후, PVC 여과지는 저울(10-5 g)을 이용하여 여과지 전과 후의 무게를 칭량하여 질량 농도를 구하였고, PC 여과지는 SEM을 통해서 입자의 크기, 형태 및 성분을 분석하였다. 샌딩 작업 전 5분간 배경농도를 직독식측정기구를 이용하여 측정하고, CPC 농도가 400 #/cm³ 이하일 경우에만 작업을 시작하였다. 샌딩 작업은 7분 30초 동안 진행되며, 샌딩 시스템을 작동과 동시에 모든 측정을 시작하였고, PC 여과지가 장착된 GK2.69, IOM, 카울 시료채취기는 1분 동안만 작동하고, TSP 시료채취기는 20초만 작동하였으며, 카울과 TSP 시료채취기는 번갈아 가면서 측정하였다[그림 1].



[그림 1] (왼쪽) 샌딩 머신 챔버 내부 사진, (오른쪽) 샌딩 작업 종료 후 사진

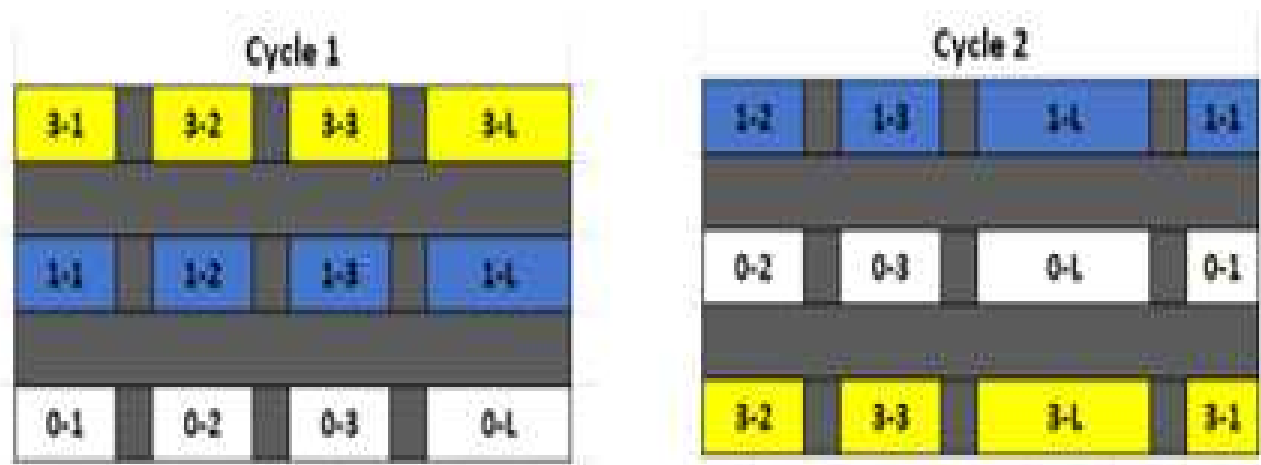
2.3. 환경영향 챔버 실험 절차

환경영향 챔버 실험[그림 2]은 고온 및 습한 환경에 노출된 제품을 가공 할 때 발생하는 입자의 특성을 비교하기 위해서 하는 실험으로 0%, 1%, 4% BNNT 제품을 각각 4가지 크기로 자르고(10 cm x 5 cm 1개, 5 cm x 5 cm 3개, 1 cm x 5 cm 3개, 2 cm X 2 cm 2개), 배열한 후 일주일 단위로 각각의 배열을 움직여 제품이 균일하게 노출 될 수 있는 환경을 만든다[그림 3]. 각 실험이 마칠 때

마다, 제품을 건조한 후 무게를 달고, 외관상의 변화를 기록한다. 그리고 대조군은 은박지에 싸서 햇볕이 노출되지 않은 실내에서 보관하였다.



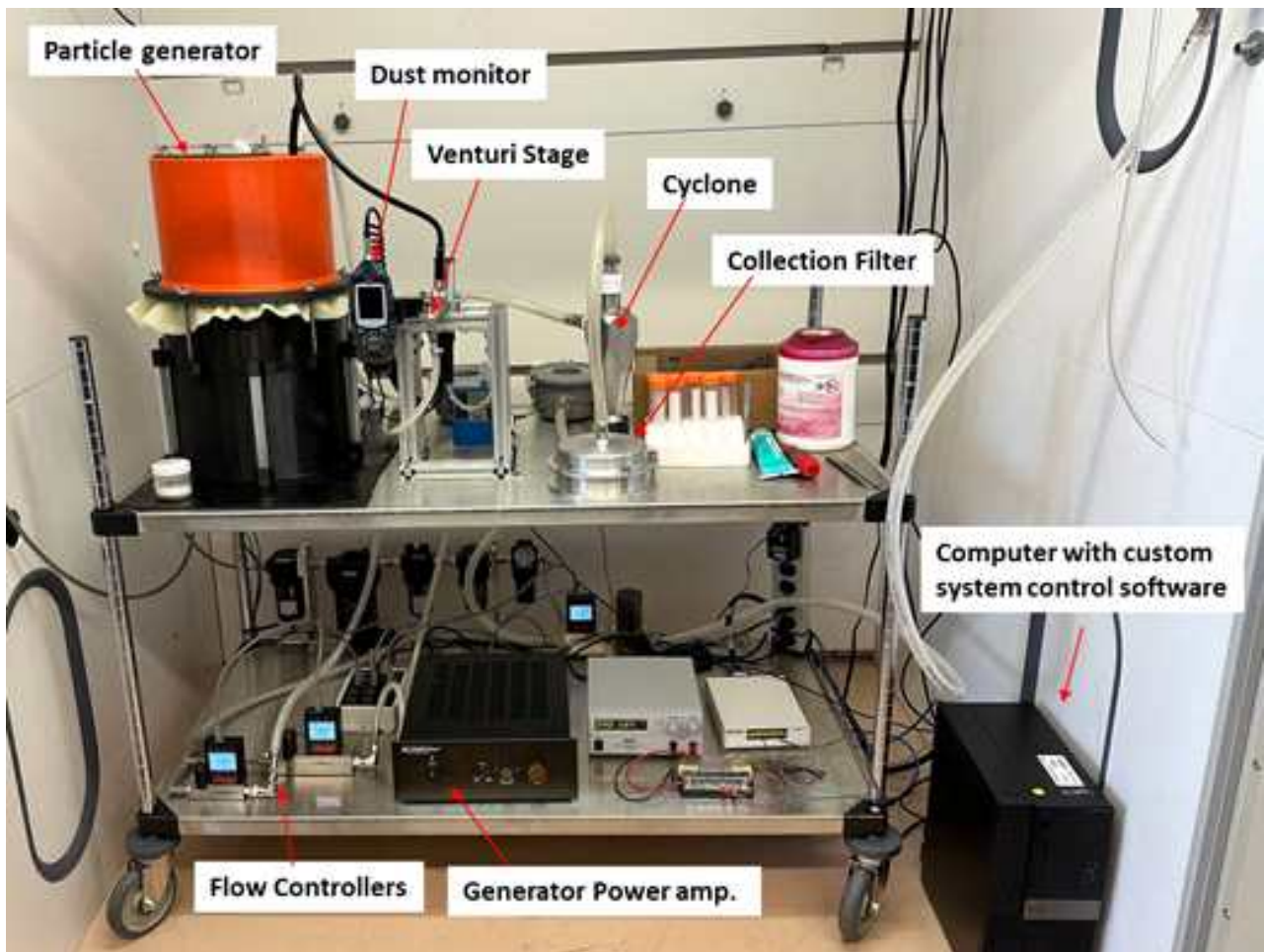
[그림 2] (왼쪽) 환경영향챔버 외부 사진, (오른쪽) 내부 사진



[그림 3] 각각의 배열로 일주일간 노출시켜 총 12주(2016시간) 노출(본 사진은 cycle 1, 2에 대한 배열 사진이며, 그 외에도 cycle 12까지 배열 사진이 존재 함)

2.4. 호흡성 입자 분리 실험

샌딩 작업이 종료되면 미리 깔아놓은 은박지에 모여진 BNNT 0%, 1%, 4% 잔여물을 유리병에 모았다. 샌딩 실험이 종료된 후 [그림 4]의 호흡성 입자 분리 챔버를 활용하여 호흡성 입자를 분리하였다. particle generator에 수집된 BNNT 0%, 1%, 4% 벌크 시료를 넣은 후, 진동을 발생시켜 튜브를 통해서 cyclone으로 시료를 이동시킨다. cyclone의 유량은 30 L/min으로 설정되어 있으며, cyclone을 나온 호흡성 입자는 collection filter에 모은 한 후 코니칼 튜브에 400 mg 정도 충분히 넣은 후, 독성 실험하는 부서로 이관하였다.



[그림 4] 호흡성 입자 분리 챔버



[그림 5] 호흡성 입자 분리 사진 (오른쪽 위) particle generator에 벌크 시료 넣음, (오른쪽 아래) generator 내부 사진, (왼쪽) collection filter에서 호흡성 입자 분리 사진

3. 연구결과(예비실험)

3.1. 예비실험

예비챔버 실험에서는 샌딩벨트 타입(AlO_x , ZnAl, SiCa) 및 크릿 사이즈(P100, P120, P180)를 평가하였다. 첫 번째로 합성 나노소재 BNNT(산화붕소 나노소재)를 트레이에 연결한 후 일정한 추로 소재를 누르는데, 260 g과 280 g의 추를 사용하였다. 결론적으로 두 추의 차이가 크게 없었기 때문에 본 실험에서는 280 g의 추를 사용하였다. 실험에 사용된 샌딩벨트 타입(그릿 사이즈)은 AlO_x (P120, P180), ZnAl (P100, P120, P180), SiCa (P120)이었으며, 누르는 무게는 280 g으로 하였다<표 1>.

실험 조건은 측정 시간은 7.5분으로 하였고, 사용한 BNNT 0%만을 사용하였고, 측정기기는 2개의 GK2.69과 IOM이며 장착한 여과지는 PC(현미경 분석)와 PVC

(중량 측정)를 사용하였다. 예비실험에서는 현미경 분석을 하지 않았다.

<표 1> 실험 조건에 따른 BNNT의 소모된 길이 및 무게

Test	Aluminum Oxide			Zirconia Alumina			SiCa
	#1	#2	#3	#6	#4	#5	#7
Sandpaper grit size	P120	P120	P180	P100	P120	P180	P120
Block height after sanding (cm)	1.8	1.7	1.2	3.9* (est. 2.9)	2.6	1.9	2.1
Block weight after sanding (Δg)	6.3	6.3	3.9	13.5	8.7	6.9	6.9
Holder weight (g)	260	280	280	280	280	280	280

* Not stop the belt operation at 7.5 min, but 10 min

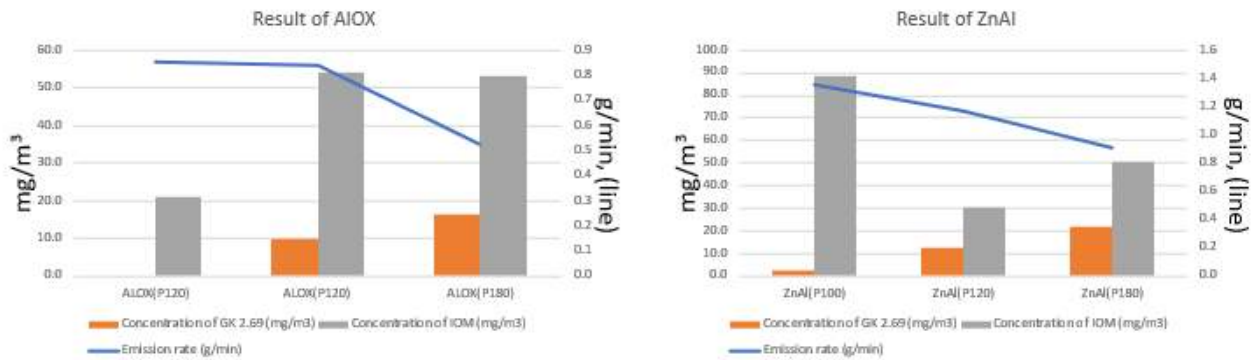
<표 2>에서 BNNT 0% 소재만 사용하여 샌딩 벨트 타입에 따른 발생률 및 질량 농도(GK2.69, IOM)를 분석하였다. AlOX, ZnAl 벨트 타입 모두 그릿 사이즈 (P120, P180)에 따라 발생률의 차이를 보였다. 반면, 그릿 사이즈가 증가할수록 GK2.96의 농도는 증가하는 경향을 보이고 있으나, IOM의 경우, 경향성이 보이지 않았다[그림 6].

<표 2> 샌딩 벨트 타입에 따른 발생률, GK2.69과 IOM의 질량 농도(mg/m³)

Test	Aluminum Oxide			Zirconia Alumina			SiCa
	#1	#2	#3	#6	#4	#5	#7
Sandpaper grit size	P120	P120	P180	P100	P120	P180	P120
Emission rate (g/min)	0.9	0.8	0.5	1.4	1.2	0.9	0.9
Cons of GK 2.69 (mg/m ³)	-	9.8	16.5	2.9	12.4	21.9	6.0
Cons of IOM (mg/m ³)	21.2	54.0	53.3	88.7	30.7	50.7	54.7

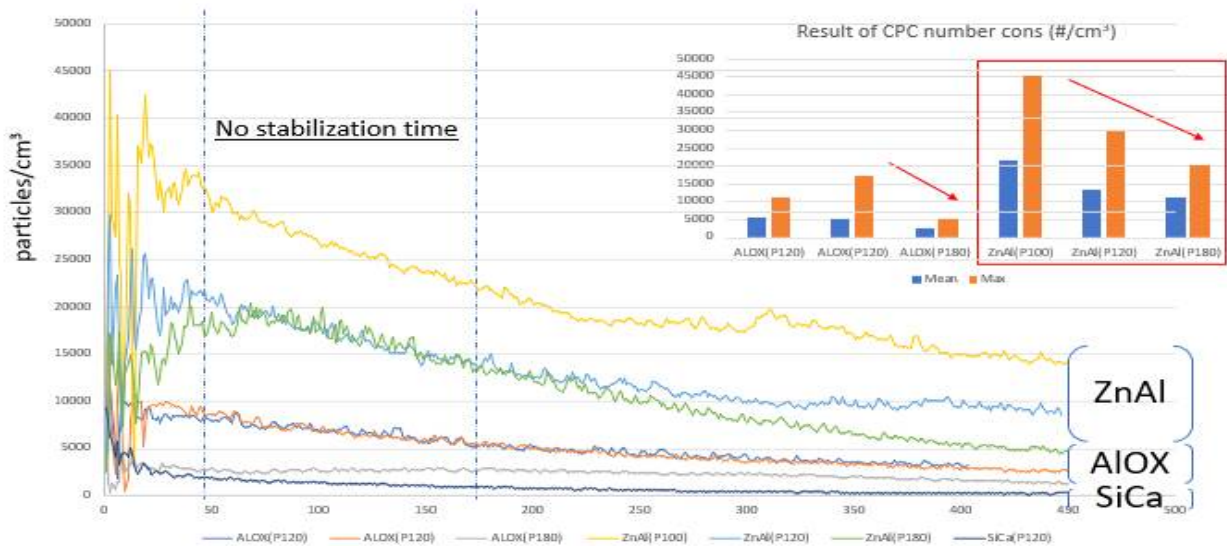
Result of AlOX

Result of ZnAl



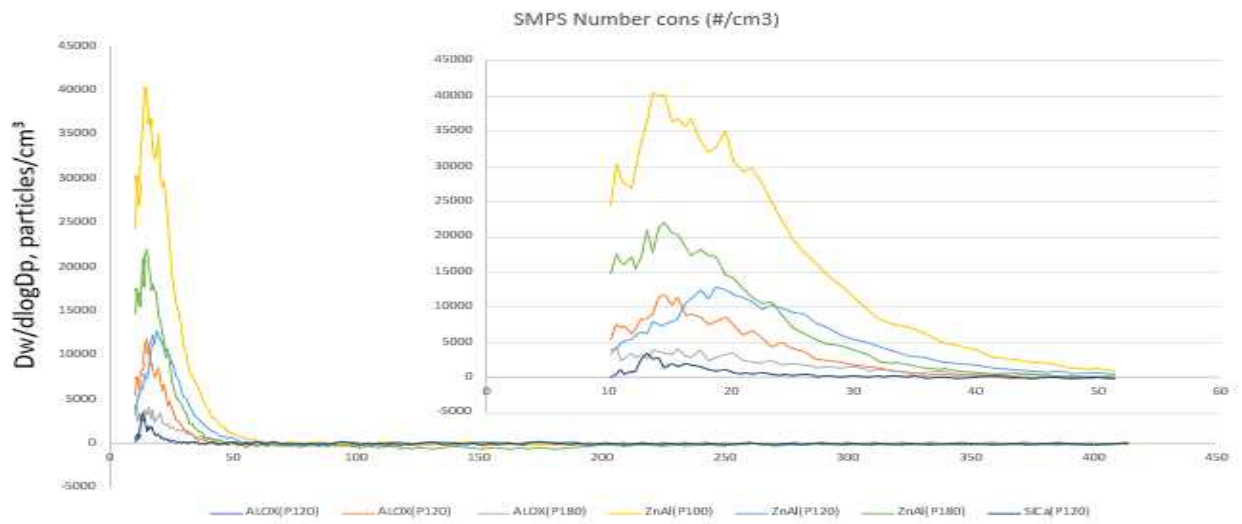
[그림 6] 샌딩 벨트 타입에 따른 발생률, GK2.69과 IOM의 질량 농도(mg/m^3)

[그림 7]에 따르면 그릿 사이즈가 증가할수록 입자수농도가 감소하였다. 그 이유는 그릿 사이즈가 증가할수록 샌딩 벨트의 거칠기가 줄어들기 때문이다. 세 종류의 샌딩 벨트 타입을 비교해 보면 ZnAl의 입자수농도가 가장 크게 나타났다. 예비 실험을 바탕으로 ZnAl를 본 실험에 사용하기로 결정하였고, 그릿 사이즈에 따른 입자수농도의 차이가 있는 P100와 P180를 본 실험에 사용하기로 결정하였다.

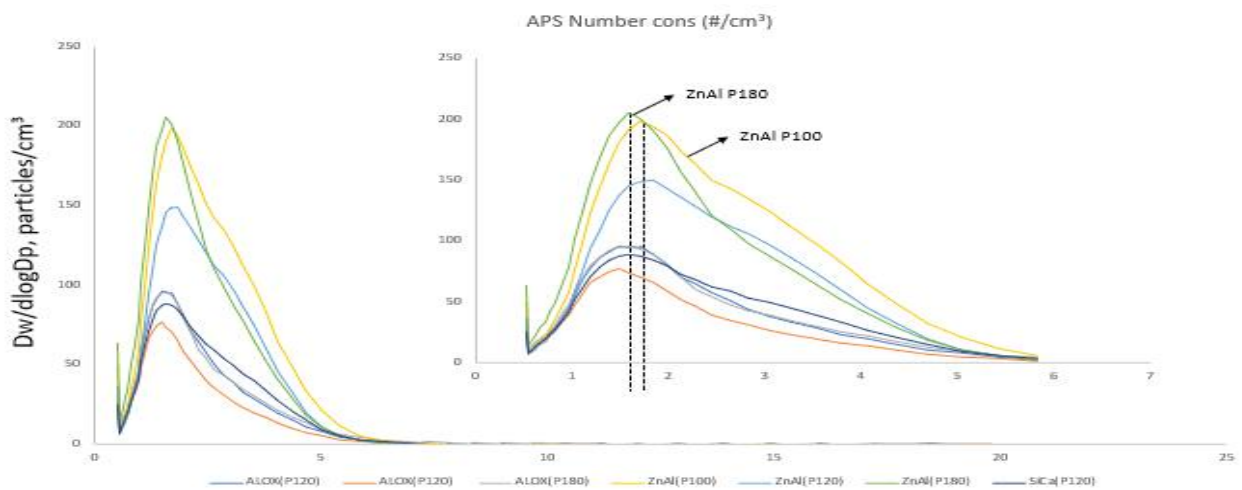


[그림 7] 샌딩 벨트 타입에 따른 CPC의 입자수농도 비교

[그림 8, 9]의 SMPS 데이터를 보면 10-20 nm의 입자수농도가 가장 높았고, APS 데이터를 보면 1-2 μm 의 입자수농도가 가장 높았다.

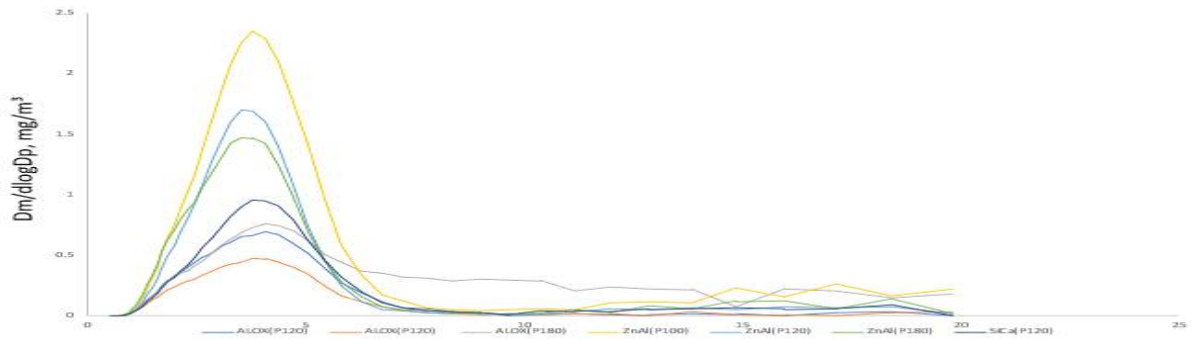


[그림 8] 샌딩 벨트 타입에 따른 SMPS의 입자 크기별 입자수농도

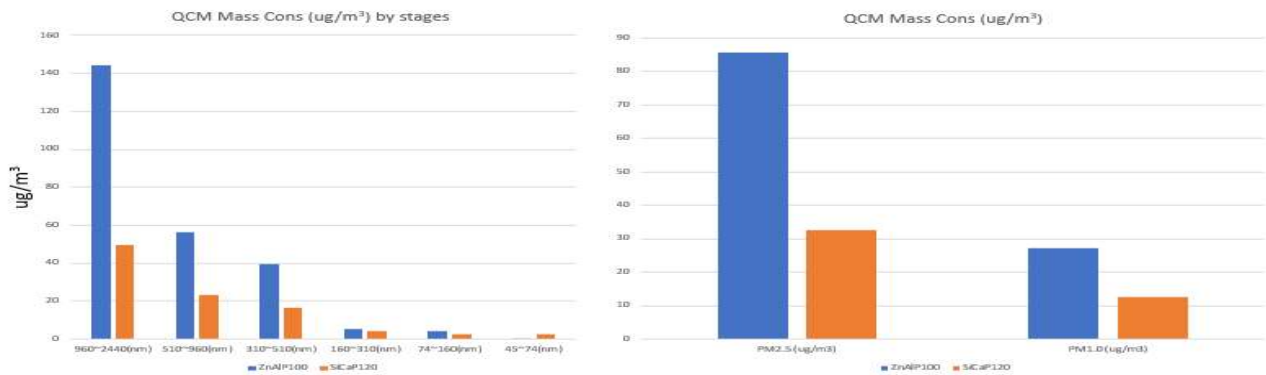


[그림 9] 샌딩 벨트 타입에 따른 APS의 입자 크기별 입자수농도

[그림 10]의 질량농도를 보면 3-5 μm 입자가 높게 나왔고, 이는 호흡성 입자 (50% cut-point)로 구성되어 있음을 알 수 있었다.



[그림 10] 샌딩 벨트 타입에 따른 APS의 입자 크기별 질량농도



[그림 11] 샌딩 벨트 타입에 따른 QCM의 입자 크기별 질량농도

3.2. 예비실험에 대한 결론

예비실험 결과를 바탕으로 샌딩 벨트 타입을 ZnAl로 선정하였고, 그릿 사이즈를 P100과 P180을 선정하였으며, 홀더의 무게는 280 g으로 결정하였고, BNNT 0%, 1%, 4% 소재를 샌딩하여 입자의 특성을 연구하기로 결정하였다.

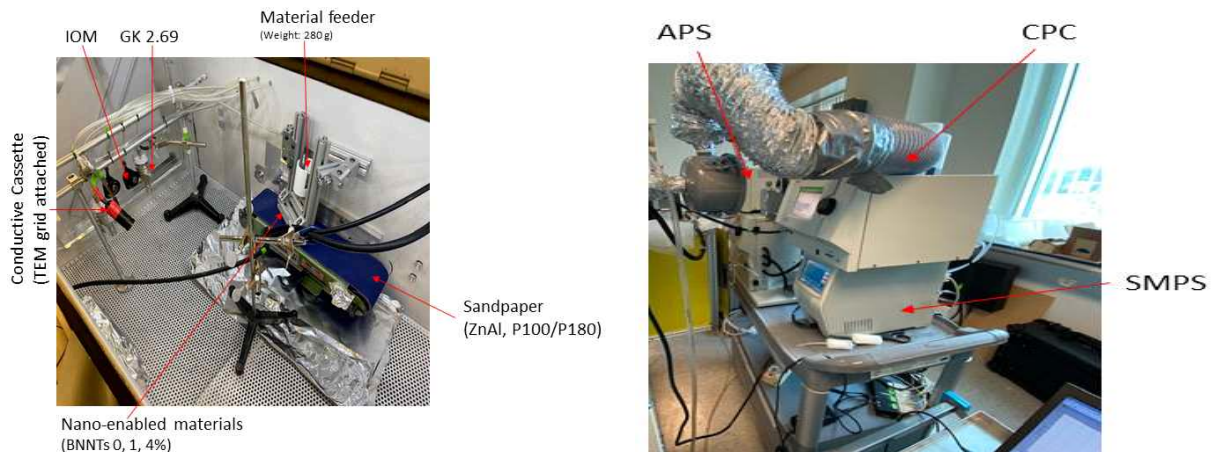
4. 연구결과(본 실험)

4.1. 합성 나노소재 샌딩 연구(Main 2, sub-1)

에폭시 소재에 BNNT(Boron Nitride Nano Tubes) 나노 소재를 합성한 소재를 샌딩 가공하는 작업에서 발생하는 입자의 특성을 연구하는데 목적이 있으며, [그림 12]는 입자를 발생하는 챔버의 사진이다. BNNT-에폭시 소재는 0%, 1%, 4%를 사용하여, ZnAl P100와 P180 샌딩 벨트 타입을 사용하였고, 홀더 무게는 280g을 사용하였다. 발생한 입자를 측정하기 위해서 offline 측정기기로는 GK2.69, IOM, TSPm TD, conductive cassette attached TEM grid를 사용하였고, 직독식 측정기기로는 CPC, SMPS, APS, MOUDI를 사용하였다[그림 13].

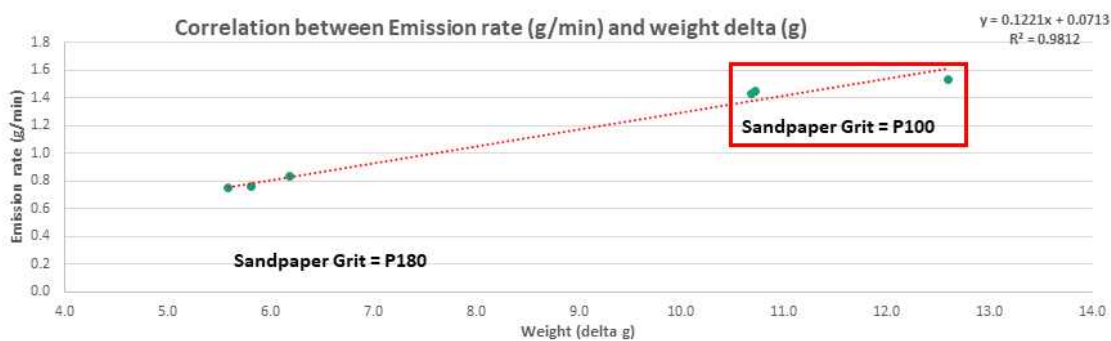


[그림 12] 샌딩 챔버의 외관 사진



[그림 13] (왼쪽) 챔버 내부 offline 측정기기 사진, (오른쪽) 직독식 측정기기 사진

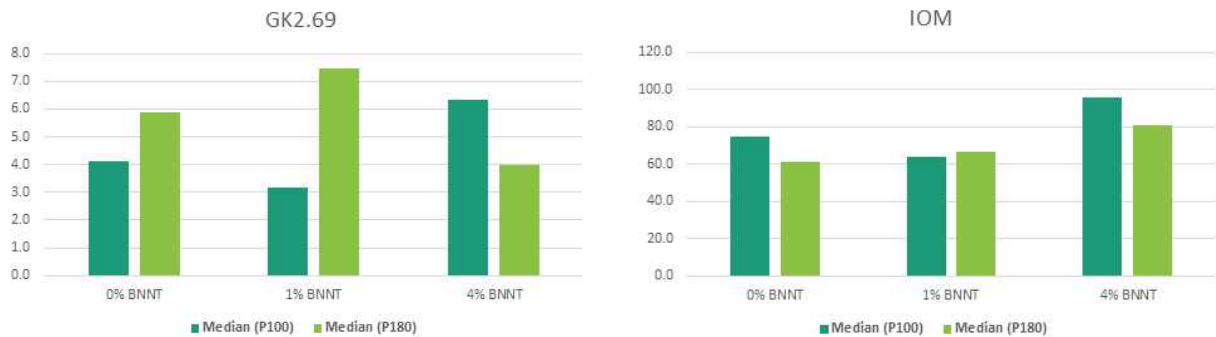
샌딩 벨트의 그릿 사이즈에 따라 발생률을 그래프로 그렸다[그림 14]. ZnAl P100의 발생률이 ZnAl P180의 발생률 보다 크게 나타났다. 그 이유는 P100의 표면 거칠기가 P180 보다 거칠기 때문에 동일한 샌딩 조건에서 더 많은 입자가 발생하는 것을 알 수 있었다. ZnAl P100의 경우, BNNT 0%, 1%, 4%로 올라갈수록 발생률은 증가한 반면, ZnAl P180의 경우, BNNT %가 증가할수록 발생률이 감소하는 경향을 보였다. 그리고, 두 타입의 샌딩 벨트 모두 BNNT 0%, 1%의 발생률은 4%에 비해 비슷한 경향을 보였다.



[그림 14] 샌딩 벨트의 그릿 사이즈에 따른 발생률 비교

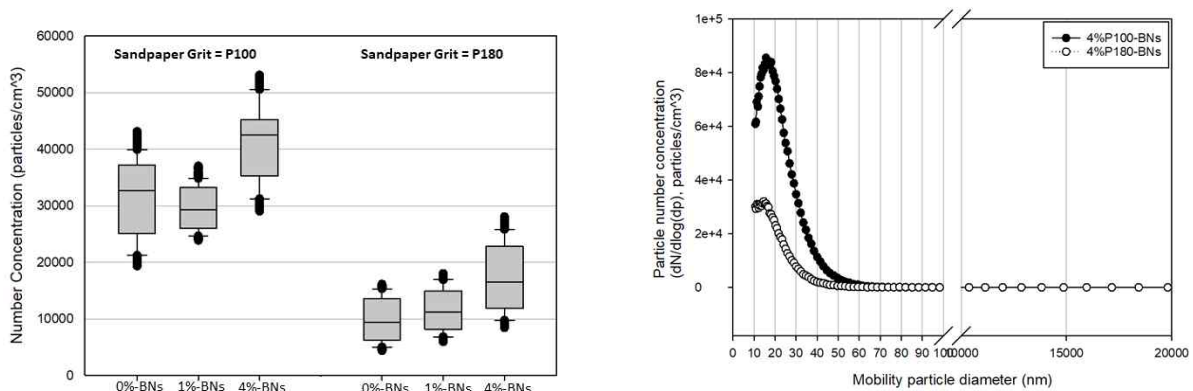
그릿 사이즈별 GK2.69과 IOM 측정기기의 중간값 농도를 비교한 결과 발생률과

비교했을 경우, 경향성을 보이지 않았다. 우리 연구진이 판단하기에는 에폭시 소재의 특성상 샌딩 작업 후 발생한 미립자는 급격한 뭉침 현상이 발생하게 되는데, 이로 인해서 입자의 크기가 커지게 되는데, 이로 인해서 각각의 실험의 편차가 발생하는 것으로 판단된다. 또한 발생률의 경우에 호흡성과 흡입성 입자 보다 큰 입자에 영향이 더 있을 것으로 사료된다. 향후 본 데이터에 대한 토론이 더 필요해 보인다[그림 15].



[그림 15] 샌딩 벨트의 그릿 사이즈에 따른 GK2.69과 IOM의 질량농도 중간값 비교

ZnAl P100의 CPC 입자수농도가 P180 보다 모두 높게 나타났으며, 0%, 1%의 중간값은 비슷하지만, 4%는 그에 반해 높은 경향을 보였다. SMPS와 APS 데이터에서 주입자의 입자 크기는 10-20 nm 수준이었으며, BNNT %별로 차이를 보이지 않았다[그림 16].



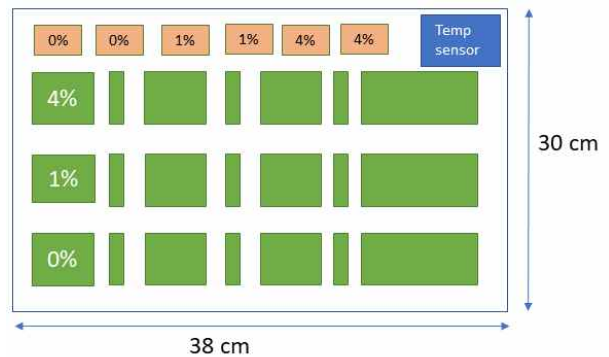
[그림 16] 샌딩 벨트의 타입에 따른 BNNT %별 농도 비교 (왼쪽) CPC 데이터, (오른쪽) SMPS, APS 데이터

4.2. 합성 나노소재 환경영향실험(Main 2, sub-2)

BNNT 0%, 1%, 4% 에폭시 소재를 환경 인자에 노출시킨 후 그 변화를 관찰하고, 그 입자 특성을 평가하는 실험이다. 실험 조건은 <표 3>과 같다. BNNT 소재를 동일하게 노출시키기 위해서 12번의 사이클로 시료를 배치하여 환경영향챔버에 넣은 후 실험 환경에 노출시켰다.

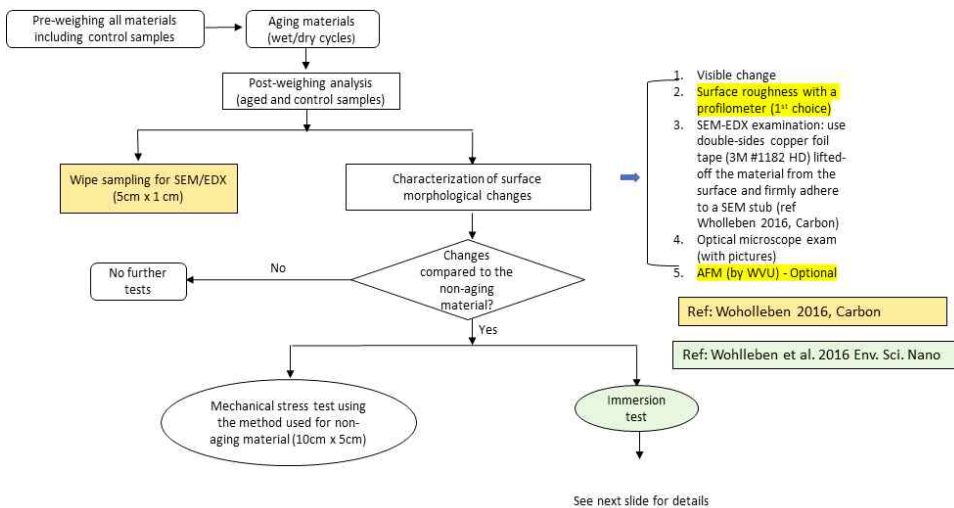
<표 3> 환경실험 세부조건(ISO 4892-2:2013)

항목	내용
UV Source	Xenon, 60 W/cm ² (300-400 nm)
Wet/dry cycles	18분 / 102분
UV Doses	145,290 MJ/m ²



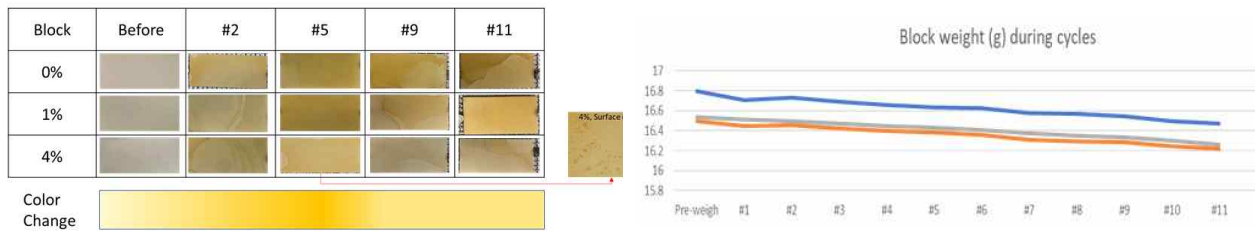
[그림 17] (왼쪽) 환경영향챔버 외부 사진, (오른쪽) BNNT 소재 배치도

환경영향실험 순서는 [그림 18]과 같다. 챔버에 넣기 전에 모든 BNNT 소재의 무게를 재고, 각각의 사이클이 끝날 때마다, 다시 한번 무게를 잰 후 각 사이클 별 특이사항을 기록하였다.



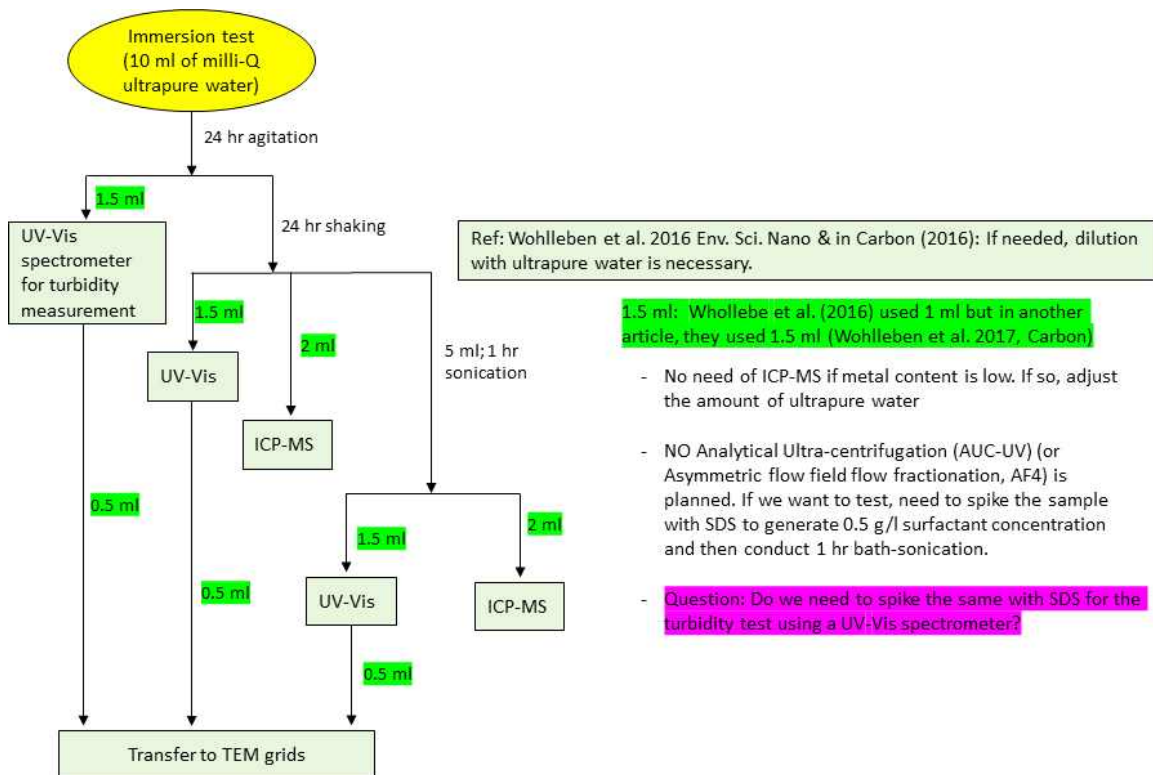
[그림 18] 환경영향실험 순서도

그 결과, BNNT 소재가 화이트에서 진한 노란색으로 변하다가 옅은 노란색으로 변하였고, 모든 소재의 무게가 감소하는 경향을 보였다.



[그림 19] (왼쪽) 사이클에 따른 BNNT 외관 변화, (오른쪽) BNNT 무게의 변화

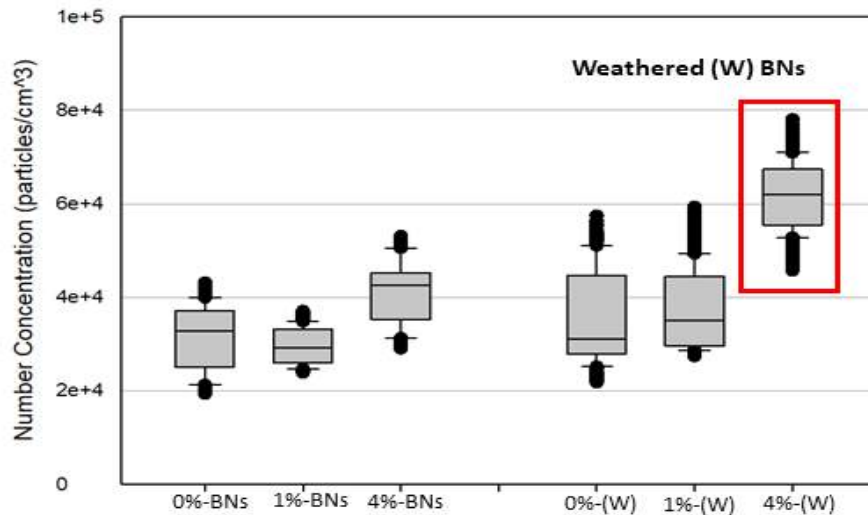
환경영향실험 후, 각 BNNT(0%, 1%, 4%) 에폭시 소재는 향후 immersion test 실시 할 예정이다[그림 20]. 그리고 가장 긴 조각(10 cm x 5 cm)은 샌딩 챔버에서 입자평가를 하기 위해서 사용되었다.



[그림 20] immersion test 프로토콜 도식도

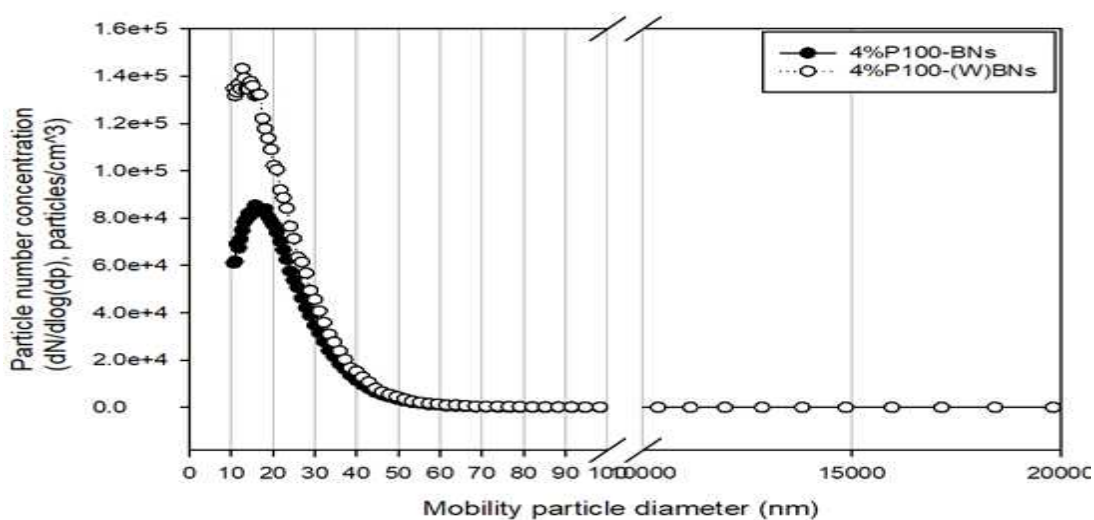
일반 BNNT 0%, 1%, 4% 에폭시 소재와 환경영향실험 된 BNNT 0%, 1%, 4% 에폭시 소재를 샌딩 챔버에서 실험 한 후 그 농도를 비교하였다. 발생률의 경우에는 환경영향실험 된 BNNT가 일반 BNNT 보다 발생률이 낮아졌고, CPC 데이터에

서는 BNNT 0%, 1%는 두 BNNT 간에 비슷한 중간값이 보였지만, 4%의 경우에는 환경영향실험 된 BNNT의 입자수농도가 증가하였음을 확인하였다[그림 21].



[그림 21] 두 BNNT 간의 입자수농도 비교 (CPC data)

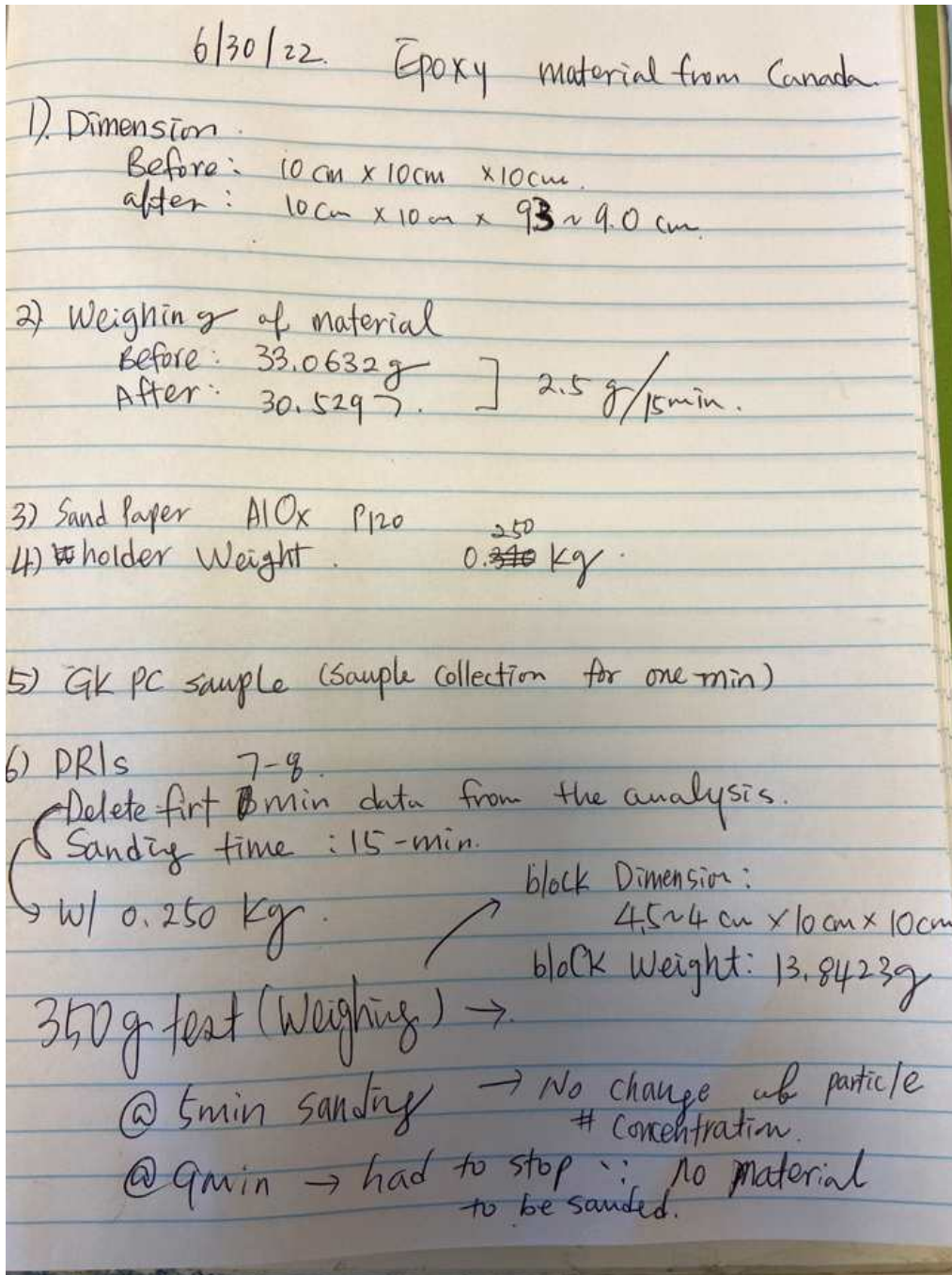
그리고, SMPS와 APS 데이터를 분석한 결과, 주입자의 크기 변화는 없었지만 (10-20 nm), 입자수농도는 환경영향실험 된 BNNT의 입자수농도가 크게 증가한 것을 확인할 수 있었다.



[그림 22] 두 BNNT 4% 간의 입자수농도 비교 (SMPS/APS data)

4.3. 합성 나노소재 호흡성 입자 추출(Main 2, sub-3)

샌딩 작업에서 모은 BNNT 잔여물을 호흡성 입자 분리 챔버로 분리한 후 독성 연구를 위하여 분리 된 시료를 제공하였다.



[그림 23] NIOSH 공동 연구 내용을 기록한 연구 노트 (2023년)

[첨부 3] 수술실 근로자에 대한 에어로졸 노출 평가

AIHce 2024 Professional Poster (accepted)

Occupational exposures to particles, volatile organic compounds, and other chemical compounds from surgical smoke

Sungho Kim¹, Taekhee Lee², Jhy-Charm Soo^{3§}, Sherri Friend³, Eun Gyung Lee⁴ [†]

¹Korea Occupational Safety and Health Agency, South Korea

²National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Pittsburgh Mining Research Division, 210 MS P05 Pittsburgh, PA 15236, USA

³NIOSH, Health Effects Laboratory Division, 1095 Willowdale Road, Morgantown, WV 26505, USA

⁴NIOSH, Respiratory Health Division, 1095 Willowdale Road, Morgantown, WV 26505, USA

[†]Author to whom correspondence should be addressed (Tel: 1-304-285-6041, email: dtq5@cdc.gov)

[§]Current address: Georgia Southern University, Hendricks Hall 2035, Statesboro, GA 30460, USA

Description

Surgical smoke, or surgical plume (SP), is a mixture of gaseous and particulate byproducts and generated from the use of a laser or electrocautery (EC) unit during surgical procedures. According to the Occupational Safety and Health Administration (OSHA), an estimated 500,000 healthcare workers are potentially exposed to surgical smoke. The known health effects include possible increase of the genotoxicity risk, transmission of infection, acute headaches, soreness of the throat, dermatitis, and respiratory diseases. There are at least 150 chemicals identified in SP, which some chemicals are either confirmed (e.g., benzene) or suspected (e.g., formaldehyde) human carcinogen. In addition, nanoparticles emitted from surgical tasks could reach the alveolar region and cause adverse respiratory health effects (e.g., pulmonary inflammation). This study was conducted to assess occupational exposures to particles, volatile organic compounds (VOCs), and non-VOCs from SP generated during surgical procedures. The findings indicate that smoke-evacuator pencil EC and EC with suction held by an assistant can substantially reduce healthcare workers' exposure to aerosolized particles from the EC use. Overall, all VOCs and non-VOCs detected during surgical procedures were considerably lower than the corresponding occupational exposure limits and no pattern between different suction systems was observed.

Objective

Tissue ablation using a laser or electrocautery (EC) generates surgical smoke, or

surgical plume (SP), consisting of gaseous and particulate byproducts. For the past two decades, concerns of the potential health effects (e.g., acute headaches, respiratory diseases) have been raised among healthcare workers who are exposed to SP. In 1996, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) recommended the use of smoke evacuators and combination of general and local exhaust ventilation (LEV) to mitigate healthcare workers' exposure to SP. Nevertheless, the use of smoke evacuators and LEV has not been widely accepted in hospital settings. In addition, there is a lack of information about healthcare workers' exposure to gases and particles from SP by surgery types and suction types. Limited exposure data suggests that recommending and implementing control measures to minimize SP exposure is challenging. Therefore, the objective of this study was to assess occupational exposures to particles, volatile organic compounds (VOCs), and non-VOCs from SP generated during surgical procedures.

Methods

Three surgery types—pediatric tonsillectomy and adenoidectomy (T&A), orthopedic surgery (OPS), and oncology surgery (OCS)—were considered in this study. The total number of surgeries was 64 cases—33 for T&A, 12 for OPS, and 19 for OCS. Body parts include shoulder, backbone, pelvic, and lumbar for OPS and breast and abdomen for OCS. The EC suction types were categorized to 1) smoke-evacuator pencil EC (SE); 2) EC with suction held by an assistant (SA); and 3) EC without smoke removal (NS). The number of surgery cases for SE, SA, and NS was 13, 8, and 12 cases, respectively, for T&A, 0, 10, and 2 cases, respectively, for OPS, and 4, 6, and 9 cases, respectively, for OCS. Surgery times varied depending on the types of surgery, ranging 0.3–0.7 hours for T&A, 0.4–4.5 hours for OPS, 0.2–7.7 hours for OCS. Similarly, EC times also varied, ranging 3–27 minutes for T&A, 1–8 minutes for OPS, and 9–44 minutes for OCS.

Personal exposure samples were collected with thermal desorption (TD) tubes to measure VOC concentrations from surgeons, residents, scrub nurses, and circulators. For area exposure measurements, five sampling media were used to collect VOCs and non-VOCs as follows: 1) soda lime sorbent tube for hydrogen cyanide (NIOSH method 6010), 2) XAD-2 (2-hydroxy-methyl piperidine) sorbent tube to detect acrolein (OSHA method 52), 3) 2,4-dinitrophenylhydrazine coated silica gel tube for formaldehyde and acetaldehyde (NIOSH method 2016), 4) polytetrafluoroethylene filter preloaded with XAD-2 to detect polynuclear aromatic hydrocarbons (NIOSH method 5506), and (5) TD tube to measure VOCs (EPAT-17).

Airborne particle concentrations were measured using several direct-reading instruments (DRIs). A condensation particle counter (CPC, model 3007, TSI Inc.) was used to measure total particle number concentrations with a measurable size range of 0.01–1.0 μm . Particle size distributions by number were measured using a scanning mobility particle sizer (SMPS, model 3034, TSI Inc.; size range 10–414 nm) and an aerodynamic particle sizer (APS, model 3321, TSI Inc.; size range 0.5–20 μm).

In addition, the airborne particles were collected with inhalable samplers (IOM, SKC Inc.) loaded with polycarbonate filters to characterize the morphology of particles and determine chemical components using a field emission scanning electron microscope with energy-dispersive X-ray spectrometry (FESEM model S4800; Hitachi High Technologies America).

During surgeries, EC was used intermittently and capturing particle number concentrations representing the EC use was very difficult even we recorded the EC time during surgeries. Thus, for the CPC data analysis, we selected the upper 5% of particle number concentrations for the relative comparison of concentrations among different surgery types and suction types. One way analysis of variance was implemented to compare particle number concentrations by surgery and suction types with a significance level of 0.05.

Results/conclusions

The total particle number concentration was the highest for NS (16,932 particles/cc), followed by SA (7,673 particles/cc) and SE (7,363 particles/cc), regardless of surgery types. Statistically significant differences were observed between SE/SA and NS (p -value < 0.05), while no difference was shown between SE and SA. These results indicate that the SE and SA would considerably reduce workers' exposure to aerosolized particles compared to the NS. By surgery types, the total particle number concentrations were 19,755 particles/cc, 7,780 particles/cc, and 5,481 particles/cc for OCS, T&A, and OPS, respectively. This observation can be explained by the time of EC use, which the average EC time was 18 minutes for OCS, 12 minutes for T&A, and 5 minutes for OPS.

The particle size distributions by number showed similar shapes for all suction types with slight changes of diameter showing peak concentration (either 86.6 nm or 115.5 nm). The peak number concentration for NS was considerably higher than that of SE and SA for all three surgery types, revealing higher total particle number concentration.

For VOCs, both personal and area exposure samples detected 24 chemicals (e.g., benzene, chloroform, xylene, styrene, toluene). The majority of samples showed concentrations between the limit of detection (LOD) and the limit of quantification (LOQ). For the chemicals having occupational exposure limits (OELs), all measured concentrations were considerably lower than the corresponding OELs. For the non-VOCs (i.e., HCN, formaldehyde, acetaldehyde, acrolein, anthracene, and chrysene), most samples showed concentrations less than LOD or between LOD and LOQ and all measurements were considerably lower than the lowest OEL of three agencies, OSHA, NIOSH and American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Overall, for both VOCs and non-VOCs, no pattern of exposures levels was observed across the suction types (i.e., SE, SA, and NS).

The electron microscope analyses revealed that the shape of particles emitted from surgical smoke was amorphous and most of them were carbon and oxygen with other elements including aluminum, nickel, chloride, iron, calcium, manganese, sulfur, copper, and chromium.

In conclusion, some VOCs and non-VOCs that are known to cause adverse health effects were detected from field surveys but the concentrations were considerably lower than the corresponding OELs. In addition, because of no exposure pattern across the suction types, it is difficult to conclude that these chemicals were byproducts generated from the surgical procedures using EC. On the other hand, the SE and SA showed substantially lower particle number concentrations compared to NS. The surgical masks

currently available would not protect healthcare workers because those are designed to protect patients. Thus, the findings of this study suggest using SE or SA to mitigate healthcare workers' exposure to airborne particles generated during surgical procedures.

Practical application – How will this help advance the science of IH/OH?

This is a field-based assessment of surgical smoke. We measured concentrations of aerosolized particles, VOCs and non-VOCs using various equipment and characterized particle morphology. The findings of this study will increase the awareness about occupational exposures to surgical smoke for the healthcare workers. Occupational professionals and other stakeholders (e.g., American college of Surgeons, American Surgical Association, American Society of Breast Surgeons) can encourage healthcare workers (especially, surgeons) to implement smoke-evacuator pencil electrocautery or cautery with suction held by an assistant to mitigate healthcare workers' exposure to particles generated during surgical procedures. Based on the findings of this study and other previous studies, communication tools (e.g., infographics, blog) can be developed and used for trainings for healthcare workers.

Accepted in AIHA Connect 2024 (below)



**Conference & Expo for
OEHS Professionals**

May 20-22
Columbus,
Ohio

Dear Sungho kim,

Congratulations! I am pleased to inform you that your professional poster submission *Occupational exposures to particles, volatile organic compounds, and other chemical compounds from surgical smoke* for AIHA Connect 2024, May 20-22, 2024, in Columbus, OH has been accepted.

[첨부 4] 교육이수 수료증 - 계속



[첨부 4] 교육이수 수료증 - 계속



[첨부 4] 교육이수 수료증



[첨부 5] 2월 국제안전보건동향 -계속

[붙임]

매월 국제 동향 보고 [2월]

미국 NIOSH 과전: 김성호 연구위원

추진 과제 1-3. 산업안전보건 법령·기준 정비(중대재해 감축 로드맵)

□ 배경

3년 전인 2020년 코로나19 확산으로 한국을 포함한 전 세계가 이 바이러스의 확산으로 큰 타격을 받았다. 2002년도에는 사스(37개국, 8096명 감염자 발생, 774명 사망), 2009년 신종인플루엔자(국내 약 75만명 확진자 발생, 270명 사망), 2015년도 메르스(28개국, 2430명 확진자 발생, 838명 사망), 우리 공산 현재 코로나19에 대한 대응 및 향후 예방할 가능성이 있는 바이러스 확산에 대한 사업장 및 근로자의 보건에 관한 가이드라인을 제시할 필요가 있으며, 사각 지대에 있는 근로자에 대한 방안 마련도 필요한 실정이다.

□ 미국 코로나19 대응 동향^{2,3)}

미국 OSHA 사이트의 'Archived OSHA Resources'에 따르면 코로나19에 대한 작업장에 대한 가이드라인은 제시하고 있으며, 지속적으로 감시해오고 있다. 그리고 부처(FDA, CDC) 간의 협의를 통한 가이드라인을 제시하고 있다. 코로나19 감염자에 대한 작업장 가이드라인, 근로자의 코로나19 노출위험, 회복한 근로자에 대한 직장 복귀 가이드라인을 제시하고 있었다. NIOSH 웹사이트에서는 구체적인 환기 방법, 소독 및 청소, 코로나19 감염에 따른 작업장 폐쇄(shutdown) 후 업무 재개 가이드라인 등 사업장과 근로자 중심으로 한 정보를 제공하고 있었다.

※ 관련 자료는 참고문헌 3, 4의 URL 링크 참조

□ 관련 연구 동향

Quigley et al.(2022) 코로나19 관련 연구에서는 보상 체계가 잘 작동하지 않고 있고, 농업인, 식물업 종사자들에 대한 병가 부족하다고 언급하고 있다⁴⁾. 의료계 종사자에 과업⁵⁾, 재감염 사례⁶⁾, 감염자 우송⁷⁾ 등 의료 근로자에 대한 연구가 많았다.

그리고 재택근무자에 대한 건강 영향⁸⁾, 포스트코로나⁹⁾ 근골격 영향 평가¹⁰⁾ 등에 대한 연구가 재택근무 근로자에 대한 건강 보호를 위해서 지속되고 있었다.

□ 시사점

- 국내 코로나19가 계속되는 시점에서 관련 근로자에 대한 구체적인 가이드라인 제공(재택근무 포함)이 필요하며, 유튜브 등 매체를 통한 홍보도 필요해 보인다.

- 본인 및 가족 구성원의 코로나19 발병에 따른 휴가, 보상 등 현행법을 파악하여 근로자의 근무 환경을 개선해야 할 필요성이 있으며, 특히 의료 종사 근로자(의사, 간호사 등)에 대한 고충 및 해결 방안에 대한 모색이 필요해 보인다.

[참고문헌]

1. 김의혁 교수, 21세기 바이러스 총망라, 분당서울대학교병원, 2020.
2. OSHA. COVID-19/ Archived OSHA Resources. 2022. [http://www.osha.gov/coronavirus/news-updates]
3. NIOSH. COVID-19 Information for the Workplace. 2022. [https://www.cdc.gov/niosh/emres/2019_ncov_default.html]
4. Quigley DD et al. Worker and employer experiences with COVID-19 and the California Workers' Compensation System: A review of the literature. *Am J Ind Med*. 2022;65(3):203-213.
5. Chan SSC. Health Care Worker Strikes and the Covid Pandemic. *N Engl J Med*. 2021;385(13):e43.
6. Bongiovanni. COVID-19 reinfection in a healthcare worker. *J Med Virol*. 2021;93(7):4058-4059.
7. Gordon CL et al. Staff to staff transmission as a driver of health care worker infections with COVID-19. *Infect Dis Health*. 2021;26(4):276-283.
8. Xiao et al. Impacts of Working from Home During COVID-19 Pandemic on Physical and Mental Well-Being of Office Workstation Users. *J Occup Environ Med*. 2021;63(3):181-190.
9. Fatmi et al. The future of telecommuting post COVID-19 pandemic. *Trans Res Interdiscip Perspect*. 2022.
10. Radulovic AH et al. Work from home and musculoskeletal pain in telecommunications workers during COVID-19 pandemic: a pilot study. *Arch Hig Rada Toksikol*. 2021;72(3):232-239.

※ 문헌 검색: PubMed, Google Scholar

[첨부 5] 3월 국제안전보건동향 - 계속

[보안]

국제 동향 보고 [3월]

미국 NIOSH 과장·김성호 연구위원

추진 과제 2-2. 건설·제조업: 스마트 기술·장비 중점 지원(중대재해 감축 로드맵)

□ 배경

환경부 2018년 화학물질 동향 보고서에 따르면 국내 화학물질의 사용량 및 그 수(16,160종)가 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있었다¹⁾. 기존의 작업환경 관리방법만으로 증가하는 유해물질을 효율적으로 관리하는 데는 한계가 있어 있다는 것을 인지하고 있다. 대안으로 센서 기술의 발달로 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}), 이산화탄소, 휘발성유기화합물(TOVCs), 소음 등의 유해인자를 실시간으로 감지할 수 있게 되었고, 공단 미래전문기술원에서도 센서 기술을 전자산업에 도입하기 위해 센서기술과 사물인터넷(IoT)을 접목시켜 작업장의 유해 물질의 누출을 상시 감시하는 방법을 모색해 오고 있다²⁾. 최근 미국을 포함한 전세계적으로 드론 활용 방안에 대한 연구를 지속하고 있다³⁾.

□ 드론 활용 동향⁴⁾

한 연구에 따르면 드론에 다양한 센서를 부착하여 PM, CO, CO₂, 알코올, 질소산화물, 오존, PID/FID 센서를 이용한 VOCs, 냄새 조사(odors investigations) 등을 측정하여 자연재해(화산, 산불 등)에 제한적으로 활용되고 있었고, 함께함으로써 현재 센서기술에 대한 정확도를 담보하지 못하고 배터리의 문제 등 있었다⁵⁾. 최근 한국기업은 역화수소 연료를 사용하여 약 13시간 연속비행 할 수 있는 드론을 선보였다⁶⁾. 건설 현장에서 추락을 방지하기 위해서도 드론을 활용한 연구가 있었는데, 90% 정확도를 보였다⁷⁾. 미국 NIOSH(국건학원)의 Division of Safety Research에서 드론에 관한 프로젝트가 진행 중에 있었다⁸⁾.

□ 시사점

- 북한 다양해지는 산업에 이해하고, 개발된 센서 기술을 산업 현장에 접목하여 근로자의 안전과 건강을 보호할 수 있는 연구가 향후에 수행되어야 함
- 다양한 분야의 인재 채용을 통해서 새로운 기술을 도입하여 기존의 방식에서 한 단계 발전된 관리 방법을 제안 할 수 있을 것으로 사료됨

[참고문헌]

1. Ha KC et al. Direct reading monitors and sensor technology for workplace monitoring. OSHRI. 2020.
2. Ham SH et al. Electronics industry chemical detection sensor set development. Future institute of Technology. 2020.
3. Han MI et al. Research on the development of modular sensor sets for workplace chemical detection. Future institute of Technology. 2021.
4. Moe. Press release for chemical substance distribution survey. 2018.
5. Joo J et al. Drone-assisted monitoring of atmospheric pollution-a comprehensive review. MDPI. 2022;14(18) (<http://doi.org/10.3390/su141811516>).
6. Shanti MZ et al. Real-time monitoring of work-at-height safety hazards in construction sites using drones and deep learning. J Safety Res. 2022;83:364-370.
7. NIOSH Site: ROBOTICS (www.dcd.gov/niosh/topics/robotics/research.html)
8. SK E&S. 보도자료, 2023.2.23 (<https://media.skens.com/43821>).

※ 문헌 검색: PubMed, Google Scholar

[첨부 5] 4월 국제안전보건동향 - 계속

국립안전보건연구원

국제 동향 보고 [4월]

미국 NIOSH 파견: 김성호 연구위원

추진 과제 2-2. 건설·제조업: 스마트 기술·장비 중점 지원(중대재해 감축 로드맵)

□ 배경

미국 NIOSH에서는 직독식장비 및 센서기술(Direct Reading and Sensor Technologies) 센터가 존재한다. 이 센터는 각 부서의 전문가에 의해 유기적으로 협력하는 조직이며, 별도의 장소가 마련되어 있지는 않고, NIOSH 본사내에서 센터를 운영하고 있다. 근로자의 건강과 안전한 환경을 확보하기 위해서 사용되는 직독식 장비의 올바른 선택과 사용에 대한 지침을 제공하고 있고, 측정 방법 및 장비의 개발, 현재 직독식 센터가 가지고 있는 한계점을 해결하기 위한 노력을 기울이고 있다¹⁾.

□ 센터 동향

현재 실시간 호흡성 입자 측정기기, 개인용 가스 측정기기에 대해서 연구를 집중하고 있지만, 다른 직독식 장비 방법에도 적용 할 수 있을 것으로 보고 있다. 또한 관련 장비의 개발, 올바른 센서의 채택에 대해서도 지속적으로 연구해 오고 있다. 몇몇 예로 광산 산업에서 노출될 수 있는 호흡성 입자에 대한 개인 노출 평가 측정기기²⁾, 헬멧 캠³⁾, EVADE 소프트웨어⁴⁾ 등을 개발하였다. 또한 에어로졸 측정기기⁵⁾, 실리카 에어로졸 측정기기⁶⁾, 직독식 표면 측정기기⁷⁾ 등이 개발되었다. 스마트폰 어플리케이션(소음 측정, 사다리 안전) 또한 개발하였다.



(a) 개인 면지 측정기기

(b) 헬멧 캠

(c) EVADE 소프트웨어

□ 시사점

- 보다 간편하고 정확하게 작업장에서 발생하는 유해 위험요인으로 부터 근로자를 보호하기 위한 필요한 기술로 사료됨
- 다양한 분야의 인재 채용을 통해서 새로운 기술을 도입하여 기존의 방식에서 한 단계 발전된 관리 방법을 제안 할 수 있을 것으로 사료됨

[참고문헌]

1. Direct Reading and Sensor Technologies | NIOSH | CDC
2. CDC - Mining Feature - CPDM Helps Miners Avoid Dust - NIOSH
3. CDC - Mining - Here Comes The Helmet-CAM - NIOSH
4. CDC - Mining - EVADE Software - NIOSH
5. Pramod Kulkarni et al. Development of portable aerosol mobility spectrometer for personal and mobile aerosol measurement. Aerosol Science and Technology. 50(11):1167-1179,2016
6. Shijun Wei et al. Measurement of crystalline silica aerosol using quantum cascade laser-based infrared spectroscopy. Scientific reports. 7,13860;2017
7. Lina Zheng et al. Analysis of Crystalline Silica Aerosol Using Portable Raman Spectrometry: Feasibility of Near Real-Time Measurement. Analytical chemistry. 90(10):6229-6239,2018
8. Jerome P Smith et al. Field evaluation of onsite near real-time monitors for surface contamination by 5-fluorouracil. Journal of oncology pharmacy practice. 25(5):2018

[참 문헌 검색: NIOSH web site]

[첨부 5] 5월 국제안전보건동향 - 계속

[붙임]

국제 동향 보고 [5월]

미국 NIOSH 파견: 김성호 연구위원

폐광미균(Blastomycosis)에 의해 발생한 NIOSH 직업병 조사

□ 경과보고

2023년 2월 28일 NIOSH에서는 미국 미시간 소재 채석공장에서 근무하는 근로자로부터 이례적인 감염 증상이 진단적으로 발병하여, 추가적인 조사를 실시함. 초동 조사 결과 15건으로 조사되었고, 증상은 올해 1~2월부터 발현되었다고 조사됨.

3/9: 15건

3/17: 35건 (확실 또는 가능성), 9건 (검사 중)

3/24: 14건 (확실), 39건 (가능성)

3/31: 19건 (확실), 62건 (가능성)

4/7: 19건 (확실), 74건 (가능성)

4/14: 21건 (확실), 97건 (가능성), 1명 (사망)

4/21: 104건 (확실 & 가능성), 이 중 13명은 임원 중, 1명 (사망)

의심 공황이 굵은 Blastomycosis이며 나무나 잎 또는 수분이 많은 흙에서 생존하는 것으로 밝혀졌음. 근로자는 호흡기를 통해 감염되었을 것으로 보이며, 사람 간 또는 동물에서 사람에게 전염되지는 않음. 최근 5년간 미시간 지역 전체에서 이러한 감염에 대한 보고는 매년 26건 정도로 많지 않은 수준임.

증상은 대부분의 사람은 노출 시 즉각적으로 아프지 않았고, 증상으로는 기침, 고열, 가슴 통증, 호흡 곤란, 식은땀, 피로, 체중 감소, 근육통, 관절 마름 등의 증상을 동반함. 보통 3주에서 3달 후에 발현됨.

초기 대응

- 환기 설비 점검 및 광범위한 청소
- 산업위생사의 조사의 협조
- N95 마스크 지급 및 착용
- NIOSH 조사의 협조

[참고문헌]

1. Direct Reading and Sensor Technologies | NIOSH | CDC
2. CDC - Mining Feature - CPDM Helps Miners Avoid Dust - NIOSH
3. CDC - Mining - Here Comes The Helmet-CAM - NIOSH
4. CDC - Mining - EVADE Software - NIOSH
5. Pramod Kulkarni et al. Development of portable aerosol mobility spectrometer for personal and mobile aerosol measurement. Aerosol Science and Technology. 50(11):1167-1179;2016
6. Shijun Wei et al. Measurement of crystalline silica aerosol using quantum cascade laser-based infrared spectroscopy. Scientific reports. 7;13860;2017
7. Lina Zheng et al. Analysis of Crystalline Silica Aerosol Using Portable Raman Spectrometry: Feasibility of Near Real-Time Measurement. Analytical chemistry. 90(10):6229-6239;2018
8. Jerome P Smith et al. Field evaluation of onsite near real-time monitors for surface contamination by 5-fluorouracil. Journal of oncology pharmacy practice. 25(5);2018

※ 문헌 검색: NIOSH web site

[첨부 5] 7월 국제안전보건동향 - 계속

[붙임]

국제 동향 보고 [7월호]

□ 배경

산업안전보건법으로 컴퓨터 단말기 조작 작업을 하는 근로자에 대한 건강장해 예방을 위해 보건조치를 하도록 하고 있으며(산업안전보건법 제39조), 근골격계부담작업을 11가지로 분류하고 있다(고용노동부고시 제2020-12호). 장시간 앉아서 근무하는 근로자에게 다양한 건강 영향(목과 허리 통증, 체중 증가, 당뇨병, 심혈관질환 등)이 발생한다는 연구가 있었다. 이를 보완하기 위한 방법으로 최근 직장에서는 서서 일하는 책상을 사용하는 근로자가 생겨나기 시작했다. 19년 12월 중국에서 최초로 발생한 코로나-19가 국내로 전파됨에 따라 출가 및 달전한해도 우리는 재택근무를 할 수 밖에 없는 상황이었고, 헬스장 및 사람이 모여 운동할 수 있는 곳은 모두 폐쇄되는 등 외부 활동이 거의 불가능했다. 이런 상황과 맞물려 Treadmill desk (트레이드밀 책상)에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이다.

□ 트레이드밀 책상의 장점

연구에 따르면, 트레이드밀 책상을 사용한 참가자가 대조군(의자에 앉아서 일, 서서 일하는 사람)에 비해 에너지 사용이 많았고, 체중 및 지방이 감소하였다. 그리고 정신적인 부분에서도 효과를 보였다. 정신적인 안정감들으로써 스트레스가 감소하였고, 근무에 대한 만족도가 상승하였고, 긍정적인 사고 등 업무의 효율이 증가한다는 연구 결과를 보였다. 그리고 창의성 및 생산성이 증가하고, 협력이 감소되는 장점도 나타났다.



□ 시사점

• 현재 트레이드밀 책상에 대한 연구가 부족한 실정이며, 향후 추가 연구가 필요한 실정임

• NIOSH에서는 최근 트레이드밀 책상을 도입하여 운영 중에 있으며, 사무실에 비치하여 누구든지 활용할 수 있도록 하고 있음(오른쪽 이미지 사진)

• 향후 코로나-19와 같은 전염병 발생 시, 관련 연구 성과를 활용하여 건강증진 방안을 제정할 수 있을 것으로 사료 됨



[참고문헌]

1. Jenna L. Scisco et al. "It's been a game changer": examining treadmill desk use when working from home. Occupational health science. Jan. 2023.
2. Diego Arguello et al. Impact of Sit-to-Stand and Treadmill Desks on Patterns of Daily Walking Physical Behaviors Among Overweight and Obese Seated Office Workers: Cluster Randomized Controlled Trial. Journal of medical internet research. 16.6.2023.

[첨부 5] 8월 국제안전보건동향 - 계속

[붙임] 국제 동향 보고서 (8월호)

고열작업장 건강장해 예방

□ 목적

작업 현장에서 발생 할 수 있는 고열에 의한 건강장해를 예방하기 위해서 관련 내용을 감독자 및 근로자에게 주지시키고, 예방전략에 따라 훈련하여 고열 건강장해 발생 시에 대응하기 위함

□ 고열 건강장해 예방을 위한 5가지 핵심요소

- 1) 관리자와 작업자 교육: 고열 건강장해 예방 전략을 포함한 건강장해 (조기)증상 발견 및 보고
- 2) 날씨 모니터링 및 작업장 상태 확인
- 3) 고열 위험성평가 실시: 일반 환경 및 작업장 고열 스트레스(HS, Heat Stress) 평가
 - 환경적 요인(온도, 습도, 공기 흐름, 및 복사열), 작업적 요인(극렬한 신체 운동, 의복), 신체적 요인(나이, 건강, 순화, 의학적 상태, 복용하고 있는 약)
- 4) 고열 스트레스 감소를 위한 전략: a) 근로자의 고열 노출 저감, b) 고열 순화 프로그램, c) 근로자에게 물, 그늘, 휴식 시간 제공, d) 신체 온도, 체중 등을 측정하여 건강증상 모니터링
- 5) 질병자 발생에 대한 의학적 대응

□ 고열 건강장해 예방 주요내용

- 1) 작업장의 온도: 35°C(최대 37.5°C)를 초과되지 않도록 관리하고, 37.3°C를 초과할 경우에는 휴식 기간을 조절해야 함 (* 작업장의 온도 기준은 국가별로 다르게 적용되어야 함)
- 2) 심박수 회복: 심박수가 110 bpm 이상 증가되면, 조금 쉬었다가 심박수를 재측정하고, 심박도가 떨어지지 않는다면, 작업장 환경 개선 또는 작업량을 조절해야 함
- 3) 체중 변화: 탈수로 인한 체중 변화가 있을 수 있음(± 113 g)
- 4) 소변 색깔: 탈수 정도를 확인할 수 있는 간접 척도 (부록 1)

□ 시사점

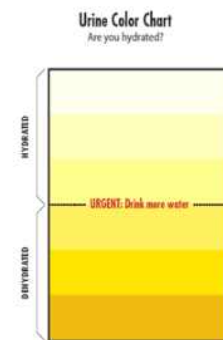
○ 고열 건강장해 예방에 관한 교육(관리자, 작업자)을 통해서 관리자가 주도적으로 작업장 관리 및 고열 건강장해 근로자에 대한 대응 방안을 마련할 수 있음

[참고문헌]

1. Heat-illness Prevention Plan - OSHA (<https://www.osha.gov/sites/default/files/2021-07/Model%20Heat%20Illness%20Prevention%20Plan.pdf>)

* 본 참고 문헌은 작업장에서 스스로 고열 건강장해 예방 정책을 수립하는데 도움을 줄 수 있는 가이드 자료임

[부록 1] 소변 색깔로 탈수 확인



Source: NIOSH Occupational Exposure to Heat and Hot Environments (2016)

[첨부 5] 9월 국제안전보건동향 - 계속

[붙임] 국제 동향 보고서 (9월호)

한랭(저온) 작업에 대한 건강장해 예방

□ 배경

이상기후 현상으로 인해 극심한 추위(한랭)가 지속되거나 심화되면서 교통, 농업 및 건설업에 종사하는 근로자가 영향을 받을 수 있으며¹, 한랭질환자 수도 증가 하고 있는 추세이다 (2014~2018년 통계).¹ 그리고, 기온 감소의 영향으로 사망자수 또한 증가한다는 보고도 있었다.¹ 사업주는 산업안전보건법 제39조(보건조치)에 따라 저온에 의한 건강장해를 예방해야하며, 출입의 금지(산업안전보건기준에 관한 규칙, 약칭: 안전보건규칙 제569조) 및 보호구를 지급(안전보건규칙 제572조)하도록 하고 있고, “한랭” 관련해서는 안전보건규칙 제 6장에 따라 건강장해를 예방하도록 하고 있다. 또한 고용노동부에서는 겨울철 한파로 인한 한랭질환을 예방하기 위한 가이드를 제공하고 있다.² 본 동향 보고서에서는 향후 관련 가이드 개정 시, 개선사항을 제언해 보았다.

□ 제언사항

- 현행 가이드(지침)은 기상청 한파특보 발표기준에 따라 등급(관심, 주의, 경고, 위험)을 분류하여 대응하고 있다. 사실, 각 작업장의 작업 특성에 따라 체감온도는 달라질 수 있다(예: 작업장의 풍속, 1.0 m/sec 미만 유지), 작업장의 풍속에 따라 한파 위험수준이 달라질 수 있기 때문에 체감온도에 따른 관리를 세분화 할 필요가 있다.

- 근로자에 대한 안전보건교육(법 제 29조) 실시할 때, 한랭(저온) 작업종사자를 대상으로 예방 기본수칙, 한랭질환별 증상 및 응급조치 등에 대한 교육을 할 수 있도록 독려해야 한다. 그리고 향후 한랭에 대한 노출기준 적용을 위해서 사업주가 자발적으로 체감온도 차트를 활용할 수 있는 방법을 교육할 필요가 있다.

□ 시사점

- 이상기후 대응(폭염/한파/미세먼지)에 대한 국민의 관심도가 증가하는 있기 상황에서 한랭에 대한 가이드(지침) 개정 및 향후 노출기준 제정에 대한 논의될 필요가 있다.

[참고문헌]

1. 김원술 등. 옥외작업자 건강보호 방안(2) - 한랭작업을 중심으로. 산업안전보건연구원. 보고서. 2018.
2. 겨울철 한파로 인한 한랭질환 예방가이드. 고용노동부. 2021.
3. NIOSH. Preventing Cold-related Illness, Injury, and Death among Workers. 2019.

[첨부 6] 장기 국외 공동연구 계획서

구 분	내 용
연구분야	· 작업환경 평가 기법 개발
목 적	· 신기술 사용으로 발생하는 다양한 유해인자 평가 기법을 개발하여 근로자의 건강장해를 예방하기 위함
대상기관	· 미국 국립산업안전보건연구원 (National Institute for Occupational Safety and Health, U.S.A.)
관련부서	· 현장평가부서(Field Study Branch, FSB)
연수(연구)기간	· 1년
세부계획	<ul style="list-style-type: none"> · (연구주제) 신기술* 개발에 따라 발생하는 유해인자**에 대한 특성 평가 및 측정방법 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 용사코팅(thermal spray coating), 나노입자 포함 소재 ** 나노입자, 휘발성유기화합물 등 · (연구내용) 사전 문헌 조사를 바탕으로 용사코팅 작업 등에서 발생하는 유해인자를 조사하고, 챔버 실험을 통해서 다양한 작업환경 평가 방법을 제안하고자 함 <ul style="list-style-type: none"> - 나노입자에 대한 특성(입자수농도, 형태, 입자크기 분포 등)을 다양한 방면으로 검토하고, 나노입자에 대한 독성 연구도 함께 진행 할 예정 · (활용방안) 신기술 적용에 따른 근로자 건강영향 가능성을 확인하는 기초 자료를 활용되고, 향후 정책 수립에 참고 자료로 활용될 수 있음
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> · 해외 선진기관의 작업환경 측정 방법을 습득하고, 향후 유사한 연구를 지속 수행할 수 있음 · 인적 네트워크를 형성하여 향후 지식·정보 교류를 통한 글로벌 인재로 해외 유관기관과 상호협력 가능

[첨부 7] 국외 산업안전보건 연구기관(NIOSH) 사례 검토

국외 산업안전보건 연구기관 사례

I. 해외 연구기관 인사체계

■ 연구직 직원의 직급체계 순서

- NIOSH의 경우, 모든 직원은 Researcher이며, 동등한 직급 체계에서 갓춤
- Division(실), Branch(부서)로 조직도를 분류하고 있으므로, Researcher 중에서 선임자(자격을 갖춘 자)는 실장, 부장으로 역할을 하지만, Researcher로 동등하게 연구에 참여함
- NIOSH는 정규직/계약직으로 직원이 구성되어 있으며, GS (general schedule) 1-15 구분되며, 각 GS 단계마다 1-10 단계 (호봉과 유사한 제도)로 분류됨
 - 계약직은 3분류로 contractor, associate fellowship (3년 마다 재계약), regular fellowship (연구 과제마다 단기 채용)
 - 석/박사에 따라 GS 체계가 다르며 박사는 석사 보다 높은 연봉을 받음

■ 연구직 직원에 대한 인센티브

- 매년 실장은 연말에 1회 직원을 평가(evaluation)하여, 인센티브를 부여(휴가, 금전(\$2,000 정도) 중 택 1 가능), 그 외에는 특별한 인센티브는 없음

■ 연구직 직원의 전보·전직 여부

- 해당 없음

II. 연구직 직원 역량강화 관련 제도

■ 연구직 직원 역량강화를 위한 프로그램 여부


- 직원 중 선발하여 대학원 과정을 지원해주는 프로그램으로 경쟁이 치열함

[첨부 8] 포스터 제작(계속)

KOSHA 소개 및 Lessons Learned in Morgantown NIOSH

NIOSH-KOSHA Collaboration in 2023

1. KOSHA (Korea Occupational Safety and Health Agency)




Ministry of Employment and Labor

Trust / Expertise
Safety & Health

KOSHA

- Six Metropolitan Offices
- Ten Regional Offices
- Fourteen Area Offices

Supports & Co-works



□ Vision and Mission

MISSION

Fostering a secure and productive work atmosphere that facilitates the well-being of employees and plays a pivotal role in advancing the national economy.

VISION

Becoming a top-notch institution specializing in providing industrial accident prevention services.


Core Values	Management Pillars
Safety and Health	Customer-Centered Value Management
Integrity and Custom Service and Expertise	Customer-Centered Value Management
Innovation	Customer-Centered Value Management
Talent-Centered Responsibility Management	Customer-Centered Value Management

Management Objectives



- Building a safe workplace security: Reduction of occupational deaths to 2,000 cases per 10,000 employees
- Expansion of KOSHA-ETS performance: Achieving a score of 100 in the ETS performance index
- Building safe and healthy working environment: A compliance number of 5,000
- Building a platform for preventing future industrial accidents

Strategic Objectives

- Creating a workplace that places public safety as a top priority
- Strengthening social responsibility based on fair value
- Creating a sustainable, safe, and healthy environment
- Driving future value through innovative expansion and comprehensive industrial safety measures






□ OSHRI (Occupational Safety and Health Research Institute)

Work Environment Research Bureau

The **OSHRI** contributes to reducing occupational accidents and improving the quality of workers' life through R&D on policies regarding occupational accident prevention, practical research to solve safety and health problems in industrial sites, and basic research to lay the foundation for future-oriented safety and health.



KOSHA Website OSHRI Website

Purpose To develop network with different countries and exchange knowledge





1 year (max)

Promoting productive workplaces through safety and health research



Scholar Program in KOSHA

Survey of demand (April)

↓

Topic selection (May)

↓

Recruitment of Applicants (June)

↓

Final Applicant Selection (July)

↓

Dispatch (Dec.)

Partnership Lists

International Organizations



The Americas



Asia & Oceania



Europe



Partnership Lists





[첨부 8] 포스터 제작(계속)

Lessons Learned in NIOSH in 2023

1. Nano Project: Comparative assessment of dust from machined polymer nanocomposites.

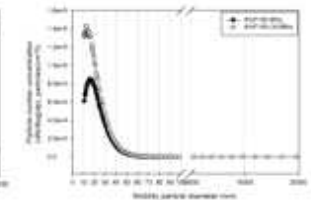
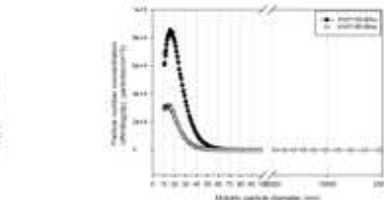
Laboratory Test To characterize particles generated during sanding of BNNT (Boron Nitride Nano Tubes)-Epoxy composites



Weathering Effect Test To characterize particles after simulating real-world scenarios of nanocomposite exposure to environmental factors.



Respirable Particle Selection To extract respirable fractions for toxicology studies



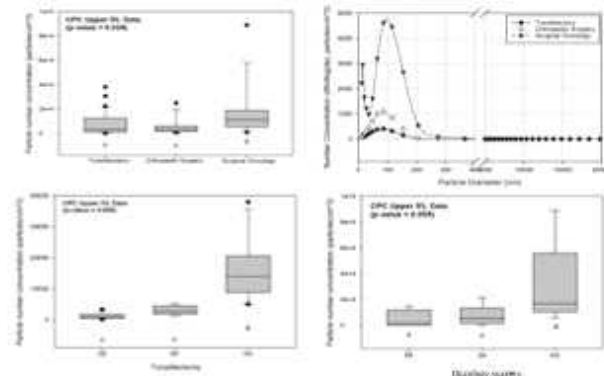
NIOSH Paper with KOSHA Staff



Characterization of aerosolized particles from nanocomposite composites during manipulation processes

2. Surgical Smoke Project

Purpose: To assess occupational exposures to particles, volatile organic compounds, and other chemical compounds from surgical smoke



SE: smoke-extractor (pen) EC, SA: EC with suction held by an assistant NS: EC without smoke removal

Papers published by NIOSH researchers



Poster accepted for AIHce 2024



Congratulations! I am pleased to inform you that your professional poster submission Occupational exposures to particles, volatile organic compounds, and other chemical compounds from surgical smoke for AIHce 2024, May 20-23, 2024, in Columbus, OH has been accepted.

NIOSH Sites' Tour (Cincinnati, Pittsburg)

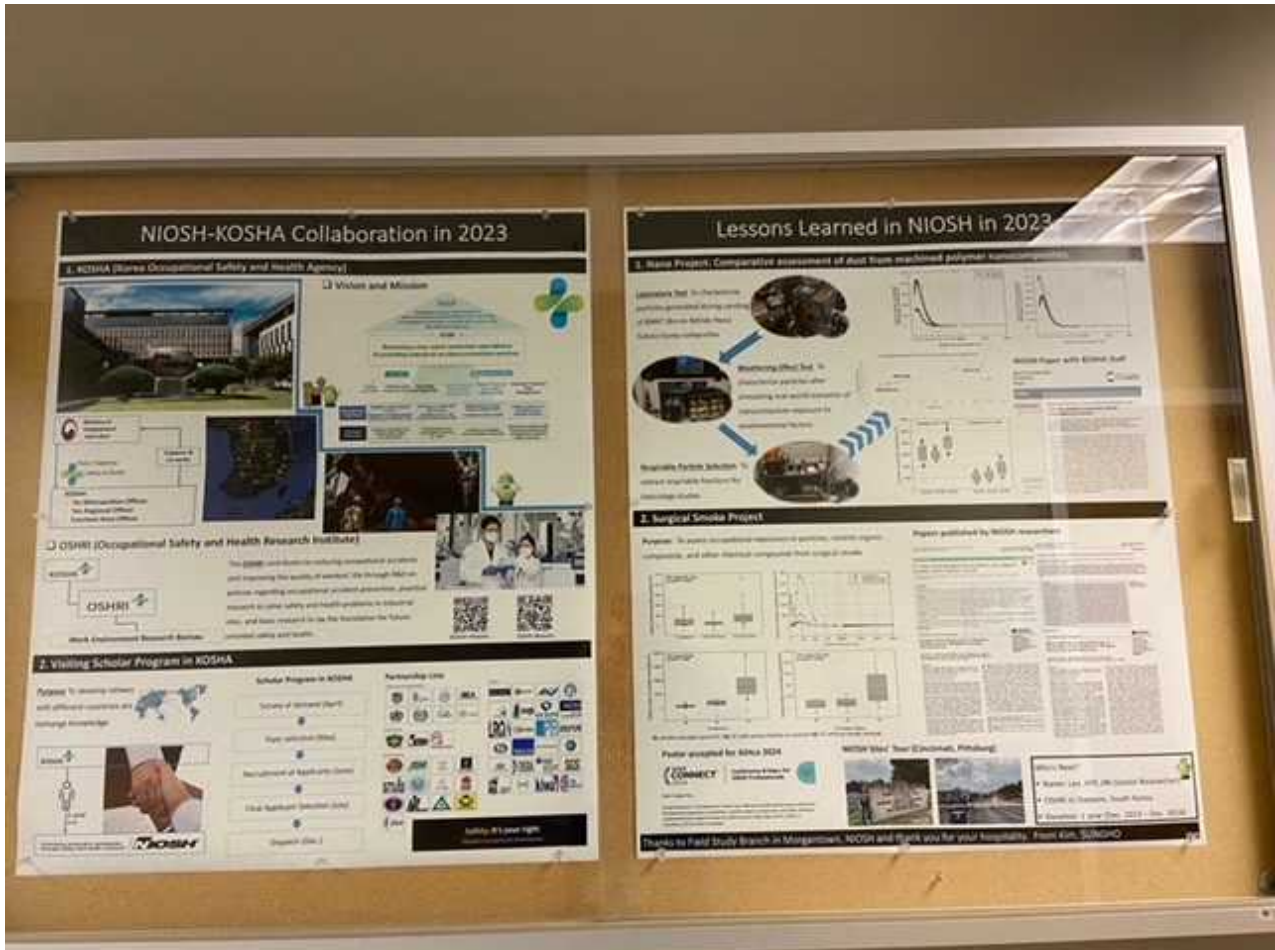


Who's Next?

- Name: Lee, HYE JIN (Senior Researcher)
- OSHRI in Daejeon, South Korea
- Duration: 1 year (Dec. 2023 – Dec. 2024)

Thanks to Field Study Branch in Morgantown, NIOSH and thank you for your hospitality. From Kim, SUNGHO

[첨부 8] 포스터 제작



[첨부 9] RespirableFraction Dust Separation Procedures

Respirable Fraction Dust Separation Procedures

After chamber study, we gathered BNNT (0%, 1%, 4%) bulk samples. For toxicology study with Todd, I implement to separate total bulk samples to respirable fraction particle samples.

1. Procedures for respirable fraction particle separation.
 - 1) Operation procedures of the particle separation chamber
 - a. Open the lid of a chamber, pour BNNT bulk sample into it, then close it tightly.
 - b. Place filter on the holder, and spin bolts upon on the upper surface with your hand while another hand should push on the surface of part.
 - c. Turn on the computer, then run DSS-V3 program.
 - d. Set up the experiment parameters as follow:
 - Acc-Gen Flow (in case of this, 18 LPM)
 - Venturi Main Flow (in case of this, 13 LPM)
 - * After setting the flow, the total flow rate is 30-32 LPM.
 - Acc Gen Amplitude (Volts) (in case of this, range from 1.5 to 2 V) for operating the vibration chamber.
 - Time setting (in case of this, 2-2.5 hours or more)
 - e. Before the click run button, check as follow:
 - Make sure cyclone top is on.
 - Make sure filter holder is closed.
 - Make sure air and vac. Valves are open.
 - f. Start to operate the chamber of respiration fraction particle separation.
 - 2) Respirable particle collection
 - a. Wait until the concentration level is safe to collect particles.
 - b. Remove top of cyclone carefully, then tap tubing connected to top of cyclone for more respirable particles collection.
 - Blow compressed air very slowly flow rate into the tubing towards filter.
 - c. Pre-weight conical tube and labeling on the surface of it.
 - d. Remove the top of a filter holder carefully.
 - Use a small spoon to slowly collect the particles from the edges of the holder and drip it onto the filter.
 - e. Use a small spoon with a collecting device to supper slowly collect particles upon the filter and put it into the conical tube.
 - f. Pose-weight of respirable particles.
 - g. After finishing the collection of it, then clean the parts of them.
 - 3) Repeat to collect the respirable particles from BNNT (0%, 1%, 4%) samples respectively until as much as I can keep it.

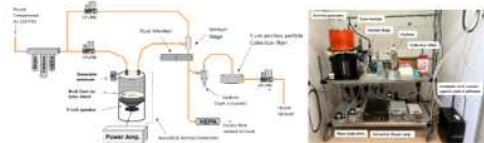
2. Cleaning procedures

1) Full cleaning (only change the materials)

- a. Disconnect the **collection filter part**. For disconnect one, you can spin bolts upon on the upper surface with your hand while another hand should push on the surface of part.
 - Used filter will be thrown away with a tweezer.
- b. Disconnect all **tubes** after the vibration chambers. Depending on the materials, some tubes will be changed, but normally able to clean.
- c. Disassemble the part of **cyclone**, a venturi stage, and a dust monitor.
 - When disconnecting on the upper part, be careful to open it not for being exposure to fine particles.
 - Inside of the cyclone and a dust monitor, use a vacuum cleaner for removing particles roughly.
 - For a venturi stage, use wrench to disconnect parts.
- d. Dissemble the **chamber** upon the acoustical aerosol generator.
 - Get rid of lid upon the surface.
 - Use the vacuum cleaner before disconnecting between a chamber and a generator.
- e. All of them will be washed with water and a detergent. After washing them, dry and wipe with tissue. For perfectly drying, use an air compressor.
- f. Assemble all of parts, after fully drying.
 - For preventing air leakage, use sealing tape (white one) on the venturi stage.
 - For easily reopen the lid and disconnect of parts, use grease with lid of chamber and parts on cyclone.

2) Partial cleaning (same materials)

- a. Disconnect between **cyclone** and tubing connected to upper part with hand carefully and back part of it using a proper wrench.
 - Use vacuum cleaner to suck out particles which put around of upper cyclone part and inside of it.
 - In that case, no need to clean it with water, only use a vacuum cleaner.
- b. Assemble all of parts.



[첨부 10] Surgical smoke paper (draft)

Occupational exposures to particles, volatile organic compounds, and other chemical compounds from surgical smoke

Sungho Kim¹, Taekhee Lee², Jhy-Charm Soo^{3§}, Sherri Friend³, Eun Gyung Lee⁴ [†]

¹ Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI), Work Environment Research Bureau, 400 Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan 44429, Republic of Korea

² National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Pittsburgh Mining Research Division, 210 MS P05 Pittsburgh, PA 15236, USA

³ NIOSH, Health Effects Laboratory Division, 1095 Willowdale Road, Morgantown, WV 26505, USA

⁴ NIOSH, Respiratory Health Division, 1095 Willowdale Road, Morgantown, WV 26505, USA

[†] Author to whom correspondence should be addressed (Tel: 1-304-285-6041, email: dtq5@cdc.gov)

[§]Current address: Georgia Southern University, Hendricks Hall 2035, Statesboro, GA 30460, USA

Introduction

According to the Occupational Safety and Health Administration (OSHA), an estimated 500,000 healthcare workers (surgeons, nurses, anesthesiologists, and technologists) are potentially exposed to surgical smoke, or surgical plume (SP) and every year about 20 million healthcare workers have used anesthesia for undergoing surgery¹. The risk of exposure to SP has been increased over the past 20 years². These days, electrocautery (EC) is widely used for cutting tissue and decreasing bleeding throughout small blood vessels^{3, 4}. Using EC can be reduced surgery cost, operation time, blood loss during surgery, and postoperative complications⁵. Due to the technique of high temperatures of EC to heat human tissue, surgical smoke which included in biological particulates by-products of tissue and mixture of chemical compounds is generated during surgery^{4, 6}. Most of mixed chemicals of SP consist of water vapor and burning by-products, 95%, 5% respectively^{7, 8}.

The potential health effects of people who are exposure to SP are pulmonary irritation, inflammation, transmission of infection, genotoxicity, respiratory symptoms (lump in the throat and sore throat), acute headaches, dermatitis, epiphora, cough, foul hair odor, nausea, drowsiness, dizziness, sneezing, and rhinitis⁹⁻¹⁴. According to the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) report of Health Hazard Evaluation (HHE) on SP, healthcare workers who are repeatedly exposure to SP have adverse effect^{15, 19} and mutagenicity of SP was emitted during reduction mammoplasty tasks²⁰. There was chronic inflammation of larynx and lungs^{13, 14}, risk of leukemia, congest pneumonia, bronchiolitis, and emphysema^{22, 23}, inflammation, breast cancer, and released melanoma cells²⁴⁻²⁷ in animal studies to exposure to SP. On the other hand, there was no evidence of airborne cancer²⁸, no transmission risk to human²², and no toxicological effects in surgical smoke²⁹.

Nanoparticles emitted from surgical tasks could reach the alveolar region and cause adverse respiratory health effects (e.g., pulmonary inflammation)^{30, 31}. In recent studies, particle size

distribution of SP was variety ranged from 9 to 160 nm depending on the surgery type and duration^{4, 32-35}. Particle number concentration of SP was 60,000 or over 106 particles/cm³ during surgeries^{36, 37}, 900-54,000 particles/cm³ ³³, 2-490,000 particles/cm³ ³⁷, 1,600-8,700 particles/cm³ ³⁵, 300-3900 particles/cm³ ⁴. The particle shapes were amorphous, which composited mostly water or steam from cellular fluid and some samples were not identified as a nano particle size^{7, 33, 35, 38}.

In some studies, acetaldehyde, ethanol³³ and isopropyl alcohol^{33, 39}, benzene, ethyl benzene, styrene, carbon disulfide, toluene⁴⁰ were relatively high concentration of emitted surgical smoke compared to other chemicals. In addition, several chemicals such as acrolein, acetonitrile, polyaromatic hydrocarbons (PAHs), hydrogen cyanide (HCN), xylene were detected in previous studies^{3, 7, 9, 41-46}. There are at least 150 chemicals identified in SP^{47, 48}, which some chemicals are either confirmed (e.g., acrolein, acetonitrile, benzene) or suspected (e.g., formaldehyde) human carcinogen^{3, 9, 44-46, 49, 50}, and confirmed animal (e.g., acetaldehyde)⁵⁰ with unknown relevance to humans. Even many chemicals of SP were detected during the surgery procedure, but none of them exceeded the corresponding occupational exposure limits (OELs)^{35, 40, 51}.

In 1996, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) recommended the use of smoke evacuators and combination of general and local exhaust ventilation (LEV) to mitigate healthcare workers' exposure to SP. Nevertheless, the use of smoke evacuators and LEV has not been widely accepted in hospital settings⁶⁴. Because of noise, surgery distraction, and ergonomic issues of smoke-evacuator pencil, healthcare workers maybe hesitate to use it during the surgical tasks⁵². For that reason, healthcare workers work with suction held by an assistant for removing surgical smoke included blood, and other debris from the surgery works. This is also not a complete solution, as it interferes with the view of surgeons and depending on the experience of the assistant may not be removed the surgical smoke well^{53, 54}.

Many researchers have done literature review for the surgical smoke studies^{3, 9, 44, 55}, but several studies of particulates and gases of SP were experimental or small size-study and did not fully assess the effect of smoke-evacuator pencil⁵⁵. The study defined the smoke-evacuator pencil was the most effective for removing aerosolized particles to healthcare workers, but there was not statistically difference among groups because of the small sample size⁵⁶. In addition, a few studies evaluated particle size distribution of surgical smoke³⁵. Operation room facility is not considered to set up the local exhaust ventilation (LEV). Furthermore, healthcare workers wear a surgical mask for undergoing surgery tasks²⁹. Surgical smoke control surveys shown that fewer OR facility did not have engineering controls for decreasing surgical smoke exposure to healthcare workers^{29, 57}. So, they have no protection from emitted surgical smokes. Based on the surgical smoke studies, we need to provide any guideline to healthcare workers.

This study was conducted to assess occupational exposures to particles, volatile organic compounds (VOCs), and non-VOCs from SP generated during surgical procedures. The purpose of this study was to characterize the particulates, VOCs, and non-VOCs from surgical

smoke during different types of surgeries and compare the effect of different type of suction methods.

Method

Surgical Smoke Generation during Different Types of Surgery

This study had been implemented from 2016 to 2018 and was approved by the Institutional Review Board in West Virginia University. Exposure assessment of SP was done during the three different types of surgery, pediatric tonsillectomy (TY), orthopedic surgery (OPS), and oncology surgery (OCS) in this study. As shown Table 1, the total number of surgeries was 65 cases — 33 for TY, 12 for OPS, and 20 for OCS. Body parts include shoulder, backbone, pelvic, and lumbar for OPS and breast and abdomen for OCS. The EC suction types were categorized to 1) smoke-evacuator pencil EC (SE); 2) EC with suction held by an assistant (SA); and 3) EC without smoke removal (NS). The number of surgery cases for SE, SA, and NS was 13, 8, and 12 cases, respectively, for TY, 0, 11, and 1 cases, respectively, for OPS, and 4, 9, and 7 cases, respectively, for OCS. Surgery times varied depending on the types of surgery, ranging 3-19 minutes for TY, 22-269 minutes for OPS, 14-461 minutes for OCS. Similarly, EC times also varied, ranging 2-12 minutes for TY, 1-40 minutes for OPS, and 9-46 minutes for OCS.

Exposure Sampling

Airborne particle concentrations were measured using several direct-reading instruments (DRIs). A condensation particle counter (CPC, model 3007, TSI Inc.) was used to measure total particle number concentrations with a measurable size range of 0.01-1.0 μm . Particle size distributions by number were measured using a scanning mobility particle sizer (SMPS, model 3034, TSI Inc.; size range 10-414 nm) and an aerodynamic particle sizer (APS, model 3321, TSI Inc.; size range 0.5-20 μm). Background concentration of collecting samples were measured in each operation room before and after surgery procedures. In case of one surgeon which was undergo several cases continuously, it is impossible to collect background concentration because between the cases healthcare workers did clean and prepare for the next surgery. Therefore, we measured background concentration prior to the first case daily. Some background concentration of airborne particles was error to collection data from DRISs, in that case we used the data from same surgeon and operation room. All data of particle number concentration and size distribution was corrected by background concentration of airborne particle. In addition, the airborne particles were collected with inhalable samplers (IOM, SKC Inc.) loaded with polycarbonate filters to characterize the morphology of particles and determine chemical components using a field emission scanning electron microscope with energy-dispersive X-ray spectrometry (FESEM model S4800; Hitachi High Technologies America).

Personal exposure samples were collected with thermal desorption (TD) tubes to measure VOC concentrations from surgeons, residents, scrub nurses, and circulators. For area exposure measurements, five sampling media were used to collect VOCs and non-VOCs as

follows: 1) soda lime sorbent tube for hydrogen cyanide (NIOSH method 6010), 2) XAD-2 (2-hydroxy-methyl piperidine) sorbent tube to detect acrolein (OSHA method 52), 3) 2,4-dinitrophenylhydrazine coated silica gel tube for formaldehyde and acetaldehyde (NIOSH method 2016), 4) polytetrafluoroethylene filter preloaded with XAD-2 to detect polynuclear aromatic hydrocarbons (NIOSH method 5506), and (5) TD tube to measure VOCs (EPA TO-17). Field blank samples were collected at the end of sampling and those samples were analyzed by the contract laboratory with NIOSH.

We stayed in the operation room at the same time and recorded information of surgery, cautery time, type of smoke evacuator, surgery part of body.

Statistical Analysis

Particle number concentration subtracted background concentration first, then One-way analysis of variance (ANOVA) test was performed to determine the effect of different types of surgery and smoke-evacuator by comparing airborne particle number concentrations measured by CPC. Followed by Tukey test was conducted for pairwise multiple comparisons using SAS software (SAS System Version 9.4; SAS Institute, Cary, North Carolina). During surgeries, EC was used intermittently and capturing particle number concentrations representing the EC use was very difficult even we recorded the EC time during surgeries. Thus, for the CPC data analysis, we selected the upper 5% of particle number concentrations for the relative comparison of concentrations among different surgery types and suction types. One way analysis of variance was implemented to compare particle number concentrations by surgery and suction types with a significance level of 0.05. In addition, for determining the relationship between particle number concentration and EC time, Pearson correlation coefficients were performed in this study. Boxplot, scatter plot, and multiple straight lines was performed by using Sigma Plot Software 14.0 (Systat Software Inc., USA).

Result

Sixty-five patients of surgery were set to the 3 different types of surgeries: 33 cases of tonsillectomy, 12 cases of orthopedic surgery, and 20 cases of surgical oncology. Table 1 summarized type of surgery, number of surgeons, cases, suction type, surgery time, EC time and EC setting conditions.

Aerosolized Particle Characterization by Types of Surgery and Pearson Correlation between Particle Number Concentration and Cautery Time

Aerosolized particle number concentration measured among different types of surgery during the surgical procedures as shown Table 2 and Figure 1. The upper 5% particle number concentration was the highest for surgical oncology (16,998 particles/cm³), followed by tonsillectomy (7,673 particles/cm³), and orthopedic surgery (8,877 particles/cm³) regardless of suction types. For upper 5% of particle number concentration, the concentration of surgical oncology was higher than TY and OCS ($P = 0.039$). According to the Tukey's multiple range

test for specific differences between pairs of means, statistically differences between the surgical oncology and 2 different surgeries, while no difference was shown between TY and OCS (Figure 1).

Particle size distribution measured by a scanning mobility particle sizer (SMPS) and an aerodynamic particle sizer (APS) is shown in Figure 2. The peak of particle number concentration was 86 nm among all types of surgery. In case of surgical oncology, there was second peak at the 15.4 nm, but 2 surgeries were not peak at this particle size range (Figure 2).

This observation can be explained by the time of EC use, which the average cautery time was 4 (2-12) minutes for TY, 9 (1-40) minutes for OCS, and 21 (9-46) minutes for OPS. Surgical time and cautery time in OCS was higher than other types of surgery. However, there is not statistically significant difference between particle number concentration and cautery time (Table 2); only OCS showed a moderate correlation (Pearson correlation coefficient = 0.312), while TY showed negative correlations and OPS showed no strong positive correlations.

Aerosolized Particle Characterization by Types of Suction

Aerosolized particle number concentration measured among different types of suction during the surgical procedures as shown Table 3, 4 and Figure 3, 4. The upper 5% particle number concentration was the highest for NS (TY: 15,967 particles/cm³, OCS: 30,859 particles/cm³) followed by SA (TY: 3,018 particles/cm³, OCS: 7,640 particles/cm³) and SE (TY: 1,231 particles/cm³, OCS: 4,509 particles/cm³). Upper 5% of particle number concentration of NS in tonsillectomy was higher than SE, SA in tonsillectomy ($P < 0.05$). According to the Tukey's multiple range test for specific differences between pairs of means, statistically differences between NS and 2 different groups (SE, SA), while no difference was shown between SE and SA in TY and OCS (Figure 3, 4).

Particle size distribution measured by a scanning mobility particle sizer (SMPS) and an aerodynamic particle sizer (APS) is shown in Figure 5. The peak number concentration for NS was considerably higher than SE and SA in TY. The peak number concentration for NS and SA was considerably higher than SE in OCS, for NS was the highest peak at 15.4 nm, but other doesn't (Figure 5). Figure 6 shown that maximum particle number concentration of each case by a CPC for SE was higher than that for SA and NS in TY and OCS ($P < 0.05$). These results indicate that the SE would considerably reduce workers' exposure to aerosolized particles, followed by SA.

Volatile Organic Compounds (VOCs) and Non-VOCs

VOCs and non-VOCs collected separately for personal and area exposure samples, but there was not a difference between both, so Table 5 showed concentration of VOCs and non-VOCs detected among types of surgery. 24 chemicals (e.g., benzene, chloroform, xylene, styrene, toluene) were detected for VOCs and 11 chemicals (e.g., HCN, formaldehyde, acetaldehyde,

acrolein, anthracene, and chrysene) were detected for non-VOCs among types of surgery, TY, OPS, and OCS (Table 5). Most samples showed concentrations less than LOD or between the limit of detection (LOD) and the limit of quantification (LOQ). For the chemicals having occupational exposure limits (OELs), all measurements were considerably lower than the lowest OEL of three agencies, OSHA, NIOSH, and American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Overall, for both VOCs and non-VOCs, no pattern of exposures levels was observed across the surgery types (TY, OPS, and OCS).

Discussion

This is a field-based assessment of surgical smoke. We measured concentrations of aerosolized particles, VOCs and non-VOCs using various equipment and characterized particle morphology. The findings of this study will increase the awareness about occupational exposures to surgical smoke for the healthcare workers. Occupational professionals and other stakeholders (e.g., American college of Surgeons, American Surgical Association, American Society of Breast Surgeons) can encourage healthcare workers (especially, surgeons) to implement smoke-evacuator pencil electrocautery or cautery with suction held by an assistant to mitigate healthcare workers' exposure to particles generated during surgical procedures. Based on the findings of this study and other previous studies, communication tools (e.g., infographics, blog) can be developed and used for trainings for healthcare workers.

According to the previous study, healthcare workers were exposure surgical smoke at very high particle number concentration among the surgical procedure (adhesiolysis, tumor removal, hemihepatectomy, mesh hernial repair, biliodigestive anastomosis, laparoscopic appendectomy). Average particle number concentration measured by CPC in regardless of suction types was varied from 74 to 12,200 particles/cm³ ³⁶. The average particle number concentration of surgical smoke of emitted from human tissues among SE, SA, NS was respectively 1600, 1900, and 8700 particles/cm³ measured by a condensation particle counter, CPC. The highest particle number concentration of NS was 510,000 particles/cm³ measured by CPC³⁵. In surgical procedure such as hip replacement surgery, nephrectomy, breast reduction surgery, abdominoplasty, transurethral urologic resection procedure, Average particle number concentration measured by a fast mobility particle sizer, FMPS in different types of surgical procedures was varied from 300 to 3,900 particles/cm³ where abdominoplasty (surgical oncology in our study) had the highest of the particle number concentration and hip replacement surgery (orthopedic surgery in our study) had the lowest⁴. This result of the particle number concentration was the same as our result of study. Average particle number concentration of surgical smoke which was emitted from fresh human breast tissues measured by the CPC ranged from 900 to 54,000 particles/cm³ in the real operating rooms³³. The type of surgical tasks is surgical oncology, compared to my study, that one was the highest of particle number concentration than other surgical procedures (tonsillectomy, orthopedic surgery). Our study investigated suction types and separated several groups as a smoke-evacuator pencil EC, EC with suction held by an assistant, and EC without a smoke removal. As a result of study, NS group was higher of particle number concentration than

other groups (SE, SA) in the tonsillectomy and surgical oncology. In case of orthopedic surgery, we were not able to do statistically difference in few numbers of samples.

Using the lamb muscle tissue, generated surgical smoke in the chamber, tested the respiratory protection and physical characterization of particles. As a result of this study, particle size distribution was between 60 to 150 nm³⁴. The average count median diameter of particle size distributions measured by a scanning mobility particle sizer (SMPS) was different among 45 nm for control with smoke-evacuator, 62 nm for wall suction unit, and 85 nm for without smoke-evacuator respectively³⁵. Domination mode of abdominoplasty and breast reduction was respectively 80.6 nm, 69.8 nm⁴. The average count median diameter of particle size distributions measured by a scanning mobility particle sizer (SMPS) in 6 different conditions ranged from 90-94 nm³³. In our study, surgical oncology included abdominoplasty and breast surgery and the mode of them was 86.6 nm. In our study, also the highest peak of particle number concentration was 86.6 nm in all surgery. In comparison of suction types at each type of surgery, only surgical oncology, the highest peak of particle number concentration was 15.4 nm, 86.6 nm was secondary peak. Previous study showed that the cautery time about 1 hour or less^{4, 58, 65}. In our study, the cautery time was less than 1 hour (ranging 2-12 minutes for tonsillectomy, 1-40 minutes for orthopedic surgery, and 9-46 minutes for surgical oncology). Cautery time and number concentration was no correlation in this study.

Based on the previous studies and our study, the particle number concentration of surgical oncology of surgical procedure was the highest and without a smoke removal the number concentration was higher than other surgeries (tonsillectomy, orthopedic surgery). There are not statistically significant different of particle number concentration between tonsillectomy and orthopedic surgery. However, depending on the experience of assistant held the smoke-evacuator, the particle number concentration was varied [00], when assistant held evacuator near by the surgeon, surgeon obstruct to see the surgical part during surgery. And also, a smoke-evacuator pencil of cost (\$30) compared to normal one (\$10). And also similar size of them⁵⁶. When healthcare workers exposure the surgical smoke, adverse health effect experienced on the many previous studies⁹⁻¹⁴. For reducing the risk of health effect, it should be a cost-efficient way to use a smoke-evacuator pencil.

Based on the previous and this study, during the surgical procedure, nano-sized particle was emitted from surgical smoke. Nano-sized particle exposure is unknown for the health effect. So, we need to reduce to be exposed to the surgical smoke for preventing health effect emitted from surgical tasks.

In the operation, not enough to fully reduce surgical smoke in the operation room. For protecting healthcare workers, respirators are necessary to were in the operation room during the surgical procedure. However, now surgical masks are not fully protecting nano size particulate. Therefore, instead of surgical masks, need to be respirators with more higher protection factor than surgical masks. Surgical masks are not able to filter effectively about certain particulate size (less than 5 μm)^{38, 59-62}. Based on the previous and our study, nano size particles (<100 nm) were emitted from surgical smoke we found. N95 mask can protect

from surgical smoke to healthcare workers and showed 200 times more higher protection factor compared to the surgical masks for 10 individual people study^{34, 63}.

Smoke evacuators and high-efficiency filtration masks/respirators can help to prevent the transmission of infectious agents⁵⁵.

Conclusion

This is a field-based assessment of surgical smoke. We measured concentrations of aerosolized particles, VOCs and non-VOCs using various equipment and characterized particle morphology. The findings of this study will increase the awareness about occupational exposures to surgical smoke for the healthcare workers. Occupational professionals and other stakeholders (e.g., American college of Surgeons, American Surgical Association, American Society of Breast Surgeons) can encourage healthcare workers (especially, surgeons) to implement smoke-evacuator pencil electrocautery or cautery with suction held by an assistant to mitigate healthcare workers' exposure to particles generated during surgical procedures. Based on the findings of this study and other previous studies, communication tools (e.g., infographics, blog) can be developed and used for trainings for healthcare workers. Some VOCs and non-VOCs that are known to cause adverse health effects were detected from field surveys, but the concentrations of all VOCs and non-VOCs detected during surgical procedures were considerably lower than the corresponding occupational exposure limits. The surgical masks currently available would not protect healthcare workers because those are designed to protect patients. Thus, the findings of this study suggest using SE or SA to mitigate healthcare workers' exposure to airborne particles generated during surgical procedures.

References

1. Occupational Safety and Health Administration: Laser/electrosurgery plume. Available at <http://www.osha.gov/SLTC/laserelectrosurgeryplume/index.html> (accessed October, 2012).
2. Fitzgerald, J. E. F., Malik, M., & Ahmed, I. (2012). A single-blind controlled study of electrocautery and ultrasonic scalpel smoke plumes in laparoscopic surgery. *Surgical Endoscopy*, 26(2), 337-342. <https://doi.org/10.1007/s00464-011-1872-1>.
3. Bigony, L. (2007). Risks Associated with Exposure to Surgical Smoke Plume: A Review of the Literature. *AORN Journal*, 86(6), 1013-1024. <https://doi.org/10.1016/j.aorn.2007.07.005>.
4. Ragde, S. F., Jørgensen, R. B., & Føreland, S. (2016). Characterisation of Exposure to Ultrafine Particles from Surgical Smoke by Use of a Fast Mobility Particle Sizer. *The Annals of Occupational Hygiene*, 60(7), 860-874. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mew033>.
5. Mitchell, R. B., Archer, S. M., Ishman, S. L., Rosenfeld, R. M., Coles, S., Finestone, S. A., Friedman, N. R., Giordano, T., Hildrew, D. M., Kim, T. W., Lloyd, R. M., Parikh, S. R., Shulman, S. T., Walner, D. L., Walsh, S. A., & Nnacheta, L. C. (2019). Clinical Practice Guideline: Tonsillectomy in Children (Update)—Executive Summary. *Otolaryngology-Head and*

- Neck Surgery, 160(2), 187-205. <https://doi.org/10.1177/0194599818807917>.
6. Alp, E., Bijl, D., Bleichrodt, R., Hansson, B., & Voss, A. (2006). Surgical smoke and infection control. *Journal of Hospital Infection*, 62(1), 1-5.
 7. González-Bayón, L., González-Moreno, S., & Ortega-Pérez, G. (2006). Safety considerations for operating room personnel during hyperthermic intraoperative intraperitoneal chemotherapy perfusion. *European Journal of Surgical Oncology (EJSO)*, 32(6), 619-624.
 8. Sanderson, C. (2012). Surgical smoke. *J Perioper Pract*, 22(4), 122-128. <https://doi.org/10.1177/175045891202200405>.
 9. Barrett, W. L., & Garber, S. M. (2003). Surgical smoke: a review of the literature. Is this just a lot of hot air? *Surg Endosc*, 17(6), 979-987. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-8584-5>.
 10. Navarro-Meza, M. C., González-Baltazar, R., Aldrete-Rodríguez, M. G., Carmona-Navarro, D. E., & López-Cardona, M. G. (2013). Respiratory symptoms caused by the use of electrocautery in physicians being trained in surgery in a Mexican hospital. *Revista peruana de medicina experimental y salud publica*, 30(1), 41-44.
 11. US Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration. Phenanthrene. 2006. https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_261000.html. Accessed July 30, 2019.
 12. İlce, A., Yuzden, G. E., & Yavuz van Giersbergen, M. (2017). The examination of problems experienced by nurses and doctors associated with exposure to surgical smoke and the necessary precautions. *Journal of clinical nursing*, 26(11-12), 1555-1561.
 13. Atar, Y., Salturk, Z., Kumral, T. L., Uyar, Y., Cakir, C., Sunnetci, G., & Berkiten, G. (2017). Effects of smoke generated by electrocautery on the larynx. *Journal of Voice*, 31(3), 380. e387-380. e389.
 14. Olson B.: "Memorandum, University of Minnesota." Available at <http://nascentsurgical.com/wpcontent/uploads/2015/06/U-of-M-report.pdf> (accessed December 2017).
 15. King B, McCullough J. Health hazard evaluation report HETA #2001-0066-3019. NIOSH. 2006;
 16. King B, McCullough J. Health hazard evaluation report HETA #2000-0402-3021. NIOSH. 2006;
 17. King B, McCullough J. Health hazard evaluation report HETA #2001-0030-3020. NIOSH. 2006;
 18. Moss EC, Bryant C, Stewart J, Whong WZ, Fleeger A, Gunter BJ. Health hazard evaluation report HETA 88-101-2008. NIOSH. 1990;
 19. Bryant CJ, Gorman R, Stewart J, Whong Z. Health hazard evaluation report HETA-85-126-1932. NIOSH. 1985;
 20. Gatti, J. E., Bryant, C. J., Noone, R. B., & Murphy, J. B. (1992). The mutagenicity of electrocautery smoke. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 89(5), 781-784.
 21. Wenig, B. L., Stenson, K. M., Wenig, B. M., & Tracey, D. (1993). Effects of plume produced by the Nd: YAG laser and electrocautery on the respiratory system. *Lasers in surgery and medicine*, 13(2), 242-245.

22. Baggish, M. S., & Elbakry, M. (1987). The effects of laser smoke on the lungs of rats. *American journal of obstetrics and gynecology*, 156(5), 1260-1265.
23. Dobrogowski, M., Wesolowski, W., Kucharska, M., Paduszyńska, K., Dworzyńska, A., Szymczak, W., Sapota, A., & Pomorski, L. (2015). Health risk to medical personnel of surgical smoke produced during laparoscopic surgery. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 28(5), 831-840.
24. Freitag, L., Chapman, G., Sielczak, M., Ahmed, A., & Russin, D. (1987). Laser smoke effect on the bronchial system. *Lasers in surgery and medicine*, 7(3), 283-288.
25. Shimi, S., & Cuschieri, A. (1998). Cytotoxicity of electro-surgical smoke produced in an anoxic environment. *The American journal of surgery*, 175(3), 240-241.
26. Ziegler, B. L., Thomas, C. A., Meier, T., Müller, R., Fliedner, T. M., & Weber, L. (1998). Generation of infectious retrovirus aerosol through medical laser irradiation. *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*, 22(1), 37-41.
27. Fletcher, J. N., Mew, D., & DesCôteaux, J.-G. (1999). Dissemination of melanoma cells within electrocautery plume. *The American journal of surgery*, 178(1), 57-59.
28. Nduka, C., Poland, N., Kennedy, M., Dye, J., & Darzi, A. (1998). Does the ultrasonically activated scalpel release viable airborne cancer cells? *Surgical Endoscopy*, 12, 1031-1034.
29. Steege, A. L., Boiano, J. M., & Sweeney, M. H. (2016). Secondhand smoke in the operating room? Precautionary practices lacking for surgical smoke. *American journal of industrial medicine*, 59(11), 1020-1031.
30. Daigle, C. C., Chalupa, D. C., Gibb, F. R., Morrow, P. E., Oberdörster, G., Utell, M. J., & Frampton, M. W. (2003). Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise. *Inhalation toxicology*, 15(6), 539-552.
31. Chalupa, D. C., Morrow, P. E., Oberdörster, G., Utell, M. J., & Frampton, M. W. (2004). Ultrafine particle deposition in subjects with asthma. *Environmental health perspectives*, 112(8), 879-882.
32. Eshleman, E. J., LeBlanc, M., Rokoff, L. B., Xu, Y., Hu, R., Lee, K., Chuang, G. S., Adamkiewicz, G., & Hart, J. E. (2017). Occupational exposures and determinants of ultrafine particle concentrations during laser hair removal procedures. *Environmental Health*, 16, 1-7.
33. Sisler, J. D., Shaffer, J., Soo, J.-C., LeBouf, R. F., Harper, M., Qian, Y., & Lee, T. (2018). In vitro toxicological evaluation of surgical smoke from human tissue. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 13, 1-11.
34. Elmashae, Y., Koehler, R. H., Yermakov, M., Reponen, T., & Grinshpun, S. A. (2018). Surgical smoke simulation study: physical characterization and respiratory protection. *Aerosol Science and Technology*, 52(1), 38-45.
35. Lee, T., Soo, J.-C., LeBouf, R. F., Burns, D., Schwegler-Berry, D., Kashon, M., Bowers, J., & Harper, M. (2018). Surgical smoke control with local exhaust ventilation: Experimental study. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 15(4), 341-350.
36. Brandon, H.J., and V.L Young: Physical characterization of electrosurgical smoke. 65th Annual Meeting of the American Society of Plastic and Reconstructive Surgeons (1996).

37. Bröske-Hohlfeld, I., Preissler, G., Jauch, K.-W., Pitz, M., Nowak, D., Peters, A., & Wichmann, H.-E. (2008). Surgical smoke and ultrafine particles. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 3, 1-6.
38. Kunachak, S., & Sobhon, P. (1998). The potential alveolar hazard of carbon dioxide laser-induced smoke. *Journal of the Medical Association of Thailand= Chotmaihet thangphaet*, 81(4), 278-282.
39. LeBouf, R. F., Stefaniak, A. B., & Virji, M. A. (2012). Validation of evacuated canisters for sampling volatile organic compounds in healthcare settings. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(3), 977-983.
40. Sagar, P., Meagher, A., Sobczak, S., & Wolff, B. (1996). Chemical composition and potential hazards of electrocautery smoke. *Journal of British Surgery*, 83(12), 1792-1792.
41. Al Sahaf, O., Vega-Carrascal, I., Cunningham, F., McGrath, J., & Bloomfield, F. (2007). Chemical composition of smoke produced by high-frequency electrosurgery. *Irish journal of medical science*, 176, 229-232.
42. Hill, D., O'Neill, J., Powell, R., & Oliver, D. (2012). Surgical smoke—a health hazard in the operating theatre: a study to quantify exposure and a survey of the use of smoke extractor systems in UK plastic surgery units. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery*, 65(7), 911-916.
43. Ortolano, G., Cervia, J., & Canonica, F. (2009). Surgical smoke: a concern for infection control practitioners. *Manag Infect Control*, 9(8), 48-54.
44. Pierce, J. S., Lacey, S. E., Lippert, J. F., Lopez, R., & Franke, J. E. (2011). Laser-generated air contaminants from medical laser applications: a state-of-the-science review of exposure characterization, health effects, and control. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 8(7), 447-466.
45. Pierce, J. S., Lacey, S. E., Lippert, J. F., Lopez, R., Franke, J. E., & Colvard, M. D. (2011). An assessment of the occupational hazards related to medical lasers. *Journal of occupational and environmental medicine*, 1302-1309.
46. Ulmer, B. C. (2008). The hazards of surgical smoke. *AORN Journal*, 87(4), 721-738.
47. Francke, W., Fleck, O., Mihalache, D.-L., & Woellmer, W. (1995). Identification of volatile compounds released from biological tissue during CO₂ laser treatment. *Laser Interaction with Hard and Soft Tissue II*.
48. Weber, L. W., & Spleiss, M. (1995). Estimation of risks by chemicals produced during laser pyrolysis of tissues. *Laser Interaction with Hard and Soft Tissue II*.
49. Ortolano, G.A., J.S. Cervia, and F.P. Canonica: Surgical smoke: A concern for infection control practitioners. *Manag. Infect. Control* 48-54 (2009).
50. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs). Cincinnati, OH, 2017.
51. LeBouf, R. F., Virji, M. A., Saito, R., Henneberger, P. K., Simcox, N., & Stefaniak, A. B. (2014). Exposure to volatile organic compounds in healthcare settings. *Occupational and environmental medicine*, 71(9), 642-650.
52. Watson, S.D.: Surgical smoke: What do we know. Available at

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:p93bu60TmkcJ:www.enfermeraspabellon.yesterilizacion.cl/trabajos/Surgical%2520Smoke%2520Plume.pdf±&cd=2&hl=ko&ct=clnk&gl=us> (accessed December, 2015).

53. Smith, J. P., Moss, C. E., Bryant, C. J., & Fleeger, A. K. (1989). Evaluation of a smoke evacuator used for laser surgery. *Lasers in surgery and medicine*, 9(3), 276-281.
54. Pillinger, S., et al. (2003). Randomized clinical trial of suction versus standard clearance of the diathermy plume. *Journal of British Surgery* 90(9): 1068-1071.
55. Beswick, A., & Evans, G. (2012). Evidence for exposure and harmful effects of diathermy plumes (surgical smoke). Buxton: Health & Safety Executive.
56. O'Brien, D. C., Lee, E. G., Soo, J.-C., Friend, S., Callaham, S., & Carr, M. M. (2020). Surgical team exposure to cautery smoke and its mitigation during tonsillectomy. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 163(3), 508-516.
57. Edwards, B. E., & Reiman, R. E. (2008). Results of a survey on current surgical smoke control practices. *AORN Journal*, 87(4), 739-749.
58. Brandon, H., & Young, V. (1997). Characterization and removal of electrosurgical smoke. *Surg Serv Manag*, 3(3), 14-16.
59. Biggins, J., & Renfree, S. (2002). The Hazards of Surgical Smoke Not to be Sniffed At! *British Journal of Perioperative Nursing (United Kingdom)*, 12(4), 136-143.
60. Chen, C.-C., & Willeke, K. (1992). Aerosol penetration through surgical masks. *American journal of infection control*, 20(4), 177-184.
61. Weber, A., Willeke, K., Marchlioni, R., Myojo, T., McKay, R., Donnelly, J., & Liebhaber, F. (1993). Aerosol penetration and leakage characteristics of masks used in the health care industry. *American journal of infection control*, 21(4), 167-173.
62. Kreyling, W. G., Semmler, M., & Möller, W. (2004). Dosimetry and toxicology of ultrafine particles. *Journal of Aerosol Medicine*, 17(2), 140-152.
63. Gao, S., Koehler, R. H., Yermakov, M., & Grinshpun, S. A. (2016). Performance of facepiece respirators and surgical masks against surgical smoke: simulated workplace protection factor study. *Annals of Occupational Hygiene*, 60(5), 608-618.
64. National Institute for Occupational Safety and Health: Control of Smoke from Laser/Electric Surgical Procedures. DHHS (NIOSH) Publication Number 96-128 (1996). Available at <https://www.cdc.gov/niosh/docs/hazardcontrol/hc11.html> (accessed April, 2017).
65. Lin, Y.-W., et al. (2010). "A novel inspection protocol to detect volatile compounds in breast surgery electrocautery smoke." *Journal of the Formosan Medical Association* 109(7): 511-516.

Tables

Table 1. Summary of number of surgeons, cases, the duration of surgery time, cautery time, and type of smoke evacuation among type of surgery.

Type of Surgery	Tonsillectomy (TY)	Orthopedic surgery (OPS)	Oncology surgery (OCS)
No. surgeons	1	3	5
No. of surgery (Cases)	10(33)	9(12)	15(20)
Surgery time (Mean), min	3-19(7)	22-269(105)	14-461(178)
Cautery time (Mean), min	2-12(4)	1-40(9)	9-46(21)
Surgery part of body (N)	Tonsil (33)	Neck, shoulder, pelvic, and lumber (12)	Abdomen (include liver, intestine), breast (20)
Type of smoke evacuation*	SE 13 SA 8 NS 12	- 11 1	4 9 7

Abbreviations: SE, smoke-evacuator pencil EC; SA, EC with suction held by an assistant; NS, EC without smoke removal; TY, tonsillectomy; OPS, orthopedic surgery; OCS, oncology surgery. No., number; N, number.

Table 2. Summary of particle number concentration (particles/cm³) measured by a condensation particle counter, CPC (total, upper 5% data) among types of surgery.

Types of surgery	No. of cases	Cautery time (Mean), min	Total particle number concentration, particles/cm ³		Pearson correlation coefficient ^b	P Value ^c	Upper 5% Particle number concentration, particles/cm ³		Pearson correlation coefficient ^b	P Value ^c
			Range ^a	Mean (SD)			Range ^a	Mean (SD)		
TY	30	2-12(4)	23-13,218	3,135(3549)	-0.344	0.170	97-38,004	7,424(9,416)	-0.321	0.039
OPS	12	1-40(9)	28-2,966	622(844)	0.130		493-24,849	4,877(6,605)	0.129	
OCS	16	9-46(21)	23-33,932	4,174(244)	0.312		692-88,900	16,998(21,967)	0.283	

Abbreviations: TY, tonsillectomy; OPS, orthopedic surgery; OCS, oncology surgery; SD, standard deviation.

^a It is an average particle number concentration of each case.

^b Correlation between particle number concentration and cautery time.

^c Comparison of particle number concentration among types of surgery.

Table 3. Summary of particle number total and upper 5% concentration (particles/cm³) measured by a CPC in TY.

Type of smoke evacuation	No. of cases	Tonsillectomy							
		Total concentration (particles/cm ³)				Upper 5% concentration (particles/cm ³)			
		Range ^a	Mean (SD)	p-value ^b	Pairwise comparison ^c	Range ^a	Mean (SD)	p-value ^b	Pairwise comparison ^c
SE	13	23-2,634	756(739)	0.000	A	97-3,368	1,231(924)	0.000	A
SA	8	125-3,498	1,488(1276)		A	1476-5,323	3,018(1,508)		A
NS	9	1,294-13,218	6,397(3534)		B	4,995-38,004	15,967(9,909)		B

Abbreviations: SE, smoke-evacuator pencil EC; SA, EC with suction held by an assistant; NS, EC without smoke removal; SD, standard deviation.

^a Range of particle number concentration of average particle number concentration in each case.

^b Statical difference of particle number concentration among types of smoke evacuation (SE, SA, and NS).

^c Identifying statistically difference between "A" and "B".

Table 4. Summary of particle number total and upper 5% concentration (particles/cm³) measured by a CPC in OCS

Type of smoke evacuation	No. of cases	Oncology surgery							
		Total concentration (particles/cm ³)				Upper 5% concentration (particles/cm ³)			
		Range ^a	Mean (SD)	p-value ^b	Pairwise comparison ^c	Range ^a	Mean (SD)	p-value ^b	Pairwise comparison ^c
SE	4	628(1,115)	0-2,294	0.199	A	4,509(7,165)	0-15,047	0.055	A
SA	9	1,752(1,524)	0-4,818 575-33,93		A	7,640(7,305)	0-21,681 5,636-88,90		A
NS	6	8,084(12,743)	2		A	30,859(31,493)	0		B

Abbreviations: SE, smoke-evacuator pencil EC; SA, EC with suction held by an assistant; NS, EC without smoke removal; SD, standard deviation.

^a Range of particle number concentration of average particle number concentration in each case.

^b Statical difference of particle number concentration among types of smoke evacuation (SE, SA, and NS).

^c Identifying statistically difference between "A" and "B".

Table 5. Average exposure concentration (ug/m³) of volatile organic compounds (VOCs) and other chemical compounds among types of surgery ^a

Substance	OEL, ug/m ³	Background Concentration			TY			OPS			OCS		
VOCs		Mean	SD	CV	Mean	SD	CV	Mean	SD	CV	Mean	SD	CV
1,2,3-Trichloropropane	125000	<LOD			<LOD			<LOD			0.2	-	
1,2,4-Trichlorobenzene	125000	<LOD			0.4	-		<LOD			<LOD		
1,2,4-Trimethylbenzene	125000	0.9	-		0.6	0.8	1.3	0.3	0.1	0.4	0.6	0.7	1.1
1,2-Dichloroethane	200000	<LOD			<LOD			<LOD			3.7	-	
1,3,5-Trimethylbenzene	4920	<LOD			0.3	0.3	0.9	0.1	0.0	0.0	0.3	0.3	1.3
1,3-Dichloropropane	5000	<LOD			<LOD			<LOD			<LOD		
1,4-Dichlorobenzene	450000	<LOD			1.6	-		<LOD			<LOD		
1-Propene	NL	<LOD			<LOD			27.7	-		<LOD		
Benzene	319	2.3	2.0	0.9	1.1	1.2	1.1	1.4	0.9	0.6	1.2	1.0	0.8
Carbon tetrachloride	62900	<LOD			0.6	0.5	0.8	0.3	0.1	0.4	0.3	0.1	0.4
Chloroform	^b	0.9	0.3	0.4	1.1	0.8	0.7	0.8	0.7	0.9	0.5	0.2	0.5
Ethylbenzene	435000	1.1	0.6	0.5	0.6	0.4	0.7	0.7	0.7	1.0	6.2	17.1	2.8
Isopropylbenzene	245000	<LOD			0.3	0.0	0.0	0.3	0.1	0.4	0.3	0.2	0.6
Methylene chloride	86750	<LOD			16.7	30.0	1.8	2.3	2.9	1.2	0.7	0.6	0.8
m-Xylene and p-Xylene	435000	1.9	0.8	0.4	1.8	2.0	1.1	1.2	0.6	0.5	19.7	64.8	3.3
Naphthalene	50000	<LOD			0.4	0.2	0.6	0.4	0.4	0.8	0.3	0.2	0.8
n-Propylbenzene	NL	<LOD			0.2	0.2	1.2	0.0	-		0.0	0.0	2.1
o-Xylene	435000	1.5	0.9	0.6	0.7	0.7	1.0	0.6	0.3	0.5	7.6	21.5	2.8
p-Isopropyltoluene	NL	2.1	-		0.6	0.3	0.4	0.4	0.2	0.6	0.4	0.2	0.5
Styrene	215000	2.3	-		0.4	0.1	0.3	0.5	0.4	0.8	0.6	0.9	1.5
Tetrachloroethene	678000	<LOD			0.4	0.4	1.1	0.3	0.1	0.2	0.5	0.5	1.0
Toluene	375000	781.5	1035.4	1.3	205.5	356.2	1.7	100.3	285.5	2.8	84.0	214.6	2.6
trans-1,2-Dichloroethene	790000	<LOD			<LOD			3.6	0.5	0.1	<LOD		
Xylenes, Total	435000	1.5	0.4	0.2	1.6	0.5	0.3	1.4	0.6	0.4	1.3	0.5	0.4
Non-VOCs											<LOD		
HCN	12100	14.5	-		7.4	6.2	0.8	8.2	7.7	0.9	10.31	7.472	0.7
Formaldehyde	19.7	5.7	5.5	1.0	5.8	4.022	0.7	150.34	508.846	3.4	84.09	355.489	4.2
Acetaldehyde	360000	9.1	9.054	1.0	14.27	11.786	0.8	78.39	193.435	2.5	19.54	23.512	1.2
Acrolein	250	5.7			5.7			10.25	8.012	0.8	8.66	3.62	0.4
Acenaphthene ^c	NL	1.7	0.051	0.0	1.55	0.275	0.2	2.74	2.757	1.0	1.96	1.677	0.9
Acenaphthylene ^c	NL	<LOD			1.22	0.998	0.8	0.74	0.4089	0.6	0.41	0.18	0.4
Anthracene	200	<LOD			<LOD			<LOD			0.04	-	
Benzo(b)fluoranthene ^c	NL	2.3	1.829	0.8	<LOD			1.94	-		2.42	-	
Benzo(e)pyrene ^c	NL	<LOD			<LOD			0.2	0.141	0.7	0.27	-	
Chrysene ^c	100	<LOD			<LOD			<LOD			<LOD		
Fluorene	NL	<LOD			<LOD			<LOD			4.33	6.052	1.4

Abbreviations: TY, tonsillectomy; OPS, orthopedic surgery; OCS, oncology surgery; SD, standard deviation; CV, limit of detection; NL, not listed; CV, coefficient of variation; OEL, occupational exposure limit.

^a CV not listed if substance was detected in only 1 sample.

^b No OEL for full-shift time-weighted average concentration present.

^c Polycyclic aromatic hydrocarbons chemicals.

Figures

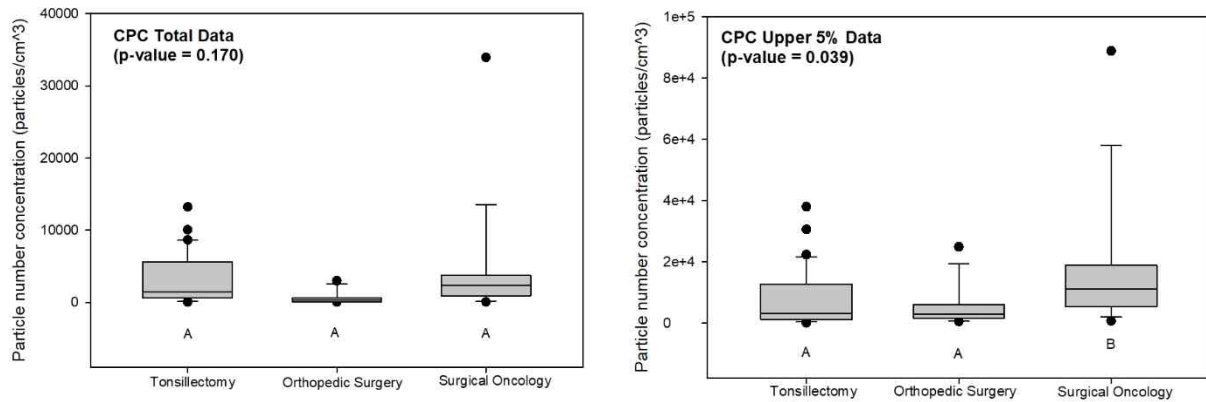


Figure 1. Particle number concentration (particles/cm³) of total and upper 5% data measured CPC among types of surgery (Letters indicate statistically significant differences below the boxplot).

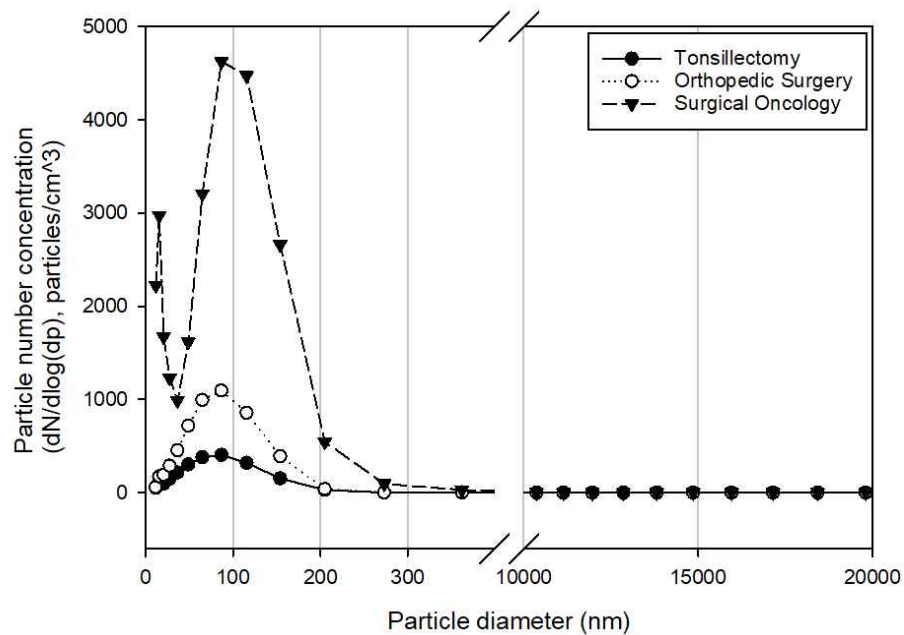


Figure 2. The average of particle size distribution measured by a scanning mobility particle sizer (SMPS) and an aerodynamic particle sizer (APS) by types of surgery (tonsillectomy, orthopedic surgery, and surgical oncology)

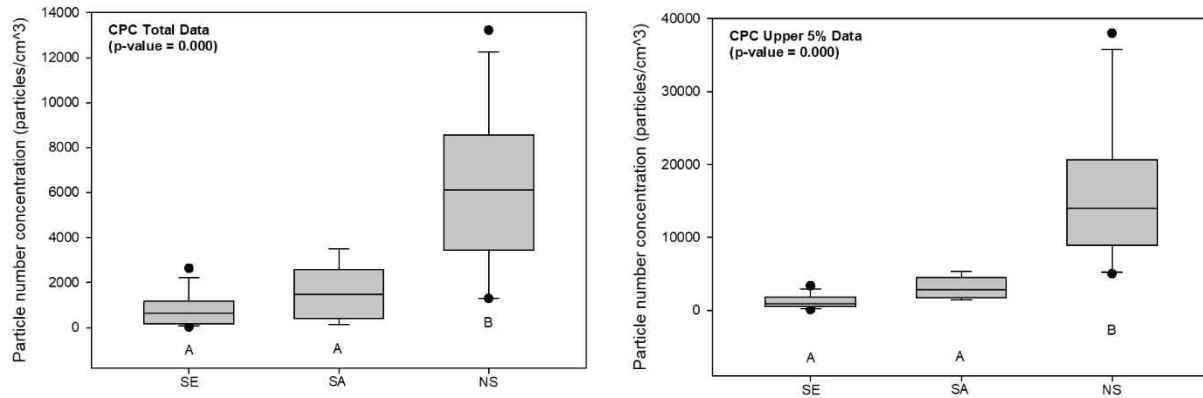


Figure 3. Particle number concentration (particles/cm³) of total and upper 5% data measured CPC in tonsillectomy (Letters indicate statistically significant differences below the boxplot). SE: smoke-evacuator pencil EC, SA: EC with suction held by an assistant, NS: EC without smoke removal

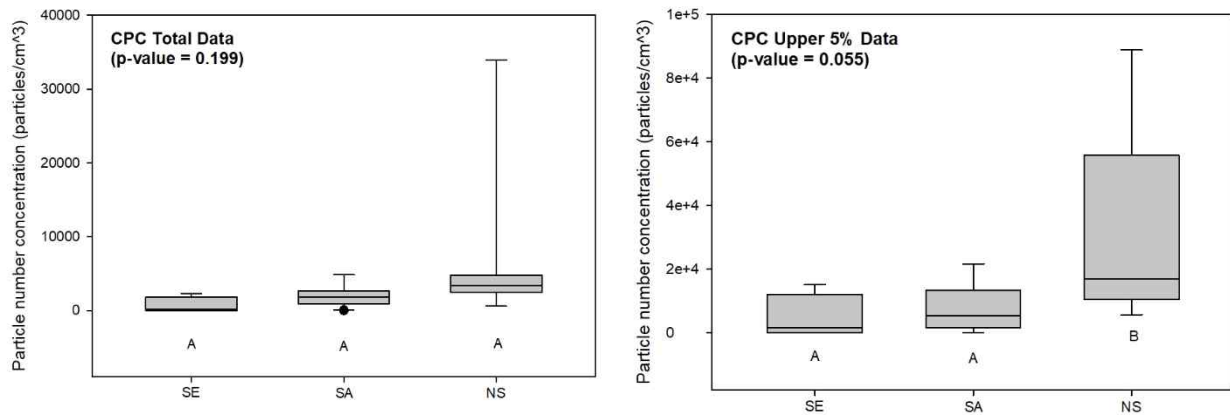


Figure 4. Particle number concentration (particles/cm³) of total and upper 5% data measured CPC in Oncology Surgery (Letters indicate statistically significant differences below the boxplot). SE: smoke-evacuator pencil EC, SA: EC with suction held by an assistant, NS: EC without smoke removal

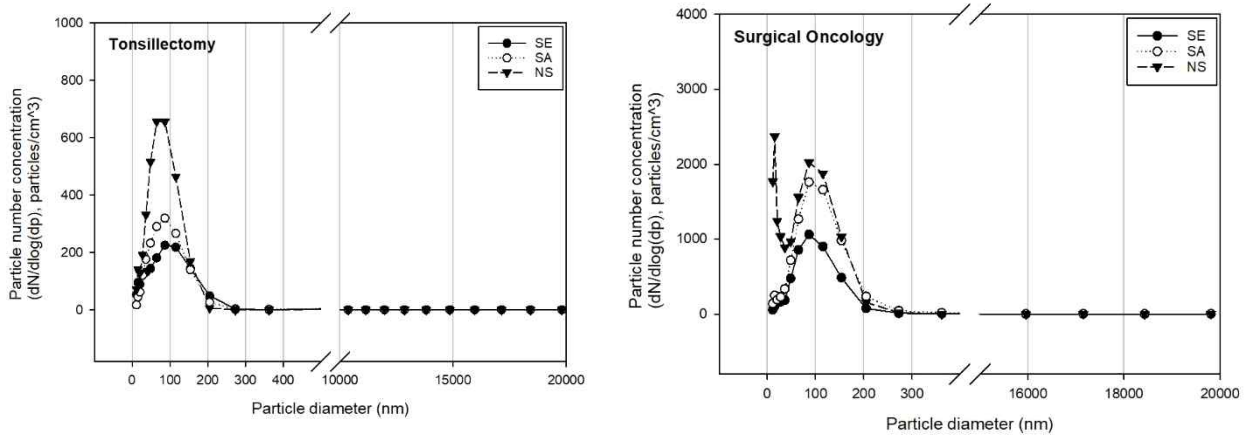


Figure 5. The average of particle size distribution measured by a scanning mobility particle sizer (SMPS) and an aerodynamic particle sizer (APS) by types of suction among types of surgery (tonsillectomy, surgical oncology) SE: smoke-evacuator pencil EC, SA: EC with suction held by an assistant, NS: EC without smoke removal.

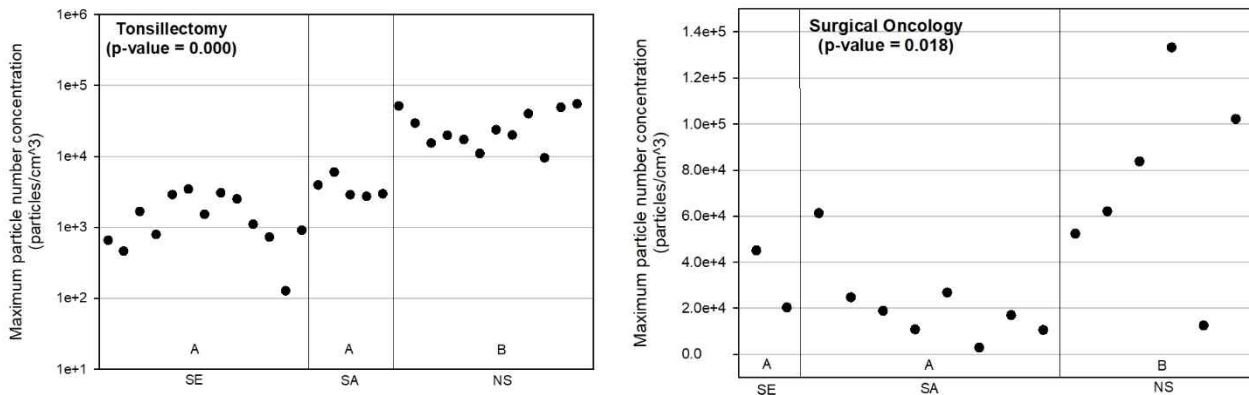


Figure 6. Maximum particle number concentration (particles/cm³) of each case by a CPC. Letters indicate statically differences. (SE: smoke-evacuator pencil EC, SA: EC with suction held by an assistant, NS: EC without smoke removal)