



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

생활화학제품의 분사조건에 따른
입자농도 비교 연구

연세대학교 보건대학원
산업환경보건학과 환경보건전공
변 균 석

생활화학제품의 분사조건에 따른
입자농도 비교 연구

지도 신 동 천 교수

이 논문을 보건학석사 학위 논문으로 제출함

2020년 7월 일

연세대학교 보건대학원
산업환경보건학과 환경보건전공
변 균 석

변균석의 보건학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원 신 동 천 

심사위원 임 영 옥 

심사위원 양 지 연 

연세대학교 보건대학원

2020년 7월 일

감사의 말씀

회사를 다니면서 환경보건학의 중요성을 깨닫고 설렘과 꿈을 안고 학교에 다닌 것이 어제 같은데 어느새 3년이 흘렀습니다.

3년이란 시간 동안 많은 것들을 배워가며 본 논문이 나오기까지 감사한 분들이 너무나도 많습니다. 우선, 환경 보건학을 배울 수 있도록 길을 열어주신 신동천 교수님과 바쁘신 와중에도 논문이 나올 수 있도록 조언을 아끼지 않으신 임영욱 교수님 그리고 세부적인 내용에 대해 세심한 지도를 해주신 양지연 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

세 분의 교수님 제자로서 지난 3년간 배운 시간은 너무나도 값지고 소중한 시간이었습니다. 교수님의 가르침을 늘 가슴속에 새기며 환경 보건 분야에서 빛과 소금 같은 존재가 되도록 노력하겠습니다.

그리고 논문 학기를 진행하는 과정에서 늘 도움 주셨던 정창우 소령님, 정경준 선생님, 조교 유지현 선생님께도 감사드립니다.

직장에 다니며 논문을 쓴다는 것 자체가 쉽지 않은 일인데 이해해 주시고 전격적인 지원을 해주신 존경하는 이광순 처장님 그리고 최봉인 부장님께도 진심으로 감사드립니다.

그리고 논문으로 깊은 고민에 빠져있을 때 용기를 주시고 시작할 수 있도록 도와주신 최성진 차장님, 이동훈 과장님께도 큰 감사를 표합니다. 또한, 논문으로 업무에 지장이 생길 때마다 옆에서 늘 도와주신 장혜인 과장님, 그리고 홍선진 대리님이 있었기에 논문이 나올 수 있었다고 생각합니다. 제 일을 자기 일처럼 같이 걱정해주고 함께했던 우리 부서

이규리 대리님, 조한수 대리님, 이상협 대리님, 전도인 대리님, 우영제 주임 그리고 막내 정여은 주임까지 그 모든 분이 있었기에 긴 시간을 지나올 수 있었다고 생각합니다.

항상 저를 믿고 지지해주시는 사랑하는 부모님께도 감사드립니다. 바쁘다는 핑계로 자주 찾아뵙지 못해 죄송한 마음입니다. 베풀며 살라는 부모님의 가르침대로 이 배움으로 한 발짝 더 나아가 더 베풀 수 있는 사람이 되기 위해서 노력하겠습니다.

학위의 시작을 고민하던 순간부터 졸업의 순간까지 곁에서 응원해 준 소중한 연인이자 평생 함께 걸어갈 이에게 이에게 진심으로 감사함을 전합니다. 늘 미안하고 고맙고 또 사랑합니다.

이외에도 여기에 미처 적지 못한 수많은 분께도 감사의 인사를 전합니다. 많은 분께서 계셨기에 오늘날의 제가 있었고, 저 또한 많은 분께 힘이 될 수 있는 존재가 될 수 있도록 더욱 성장하겠습니다.

마지막으로 저에게 지혜와 명철을 주신 하나님 아버지께 감사드립니다.

2020년 7월
변 균 석 사립

차 례

국 문 요 약	i
I. 서 론	1
1. 연구의 필요성	1
II. 연구 방법	4
1. 연구내용	4
2. 연구방법	5
2.1. 연구대상 선정	5
2.2. 제품 분사에 대한 표준화	6
2.2.1. 노출환경(Environment)	6
2.2.2. 사용량(Mass)	8
2.2.3. 입자크기(Size)와 측정(Measurement)	10
2.3. 실험 설계	13
3. 분사된 입자의 노출량 비교	16
III. 연구 결과	21
1. 측정결과	21
1.1. 시험물질 사용량	21
1.2. 환경모니터링	22

1.3. 질량 농도 측정결과	22
1.4. 수 농도 측정결과	28
1.5. 노출시간 추정결과	32
2. 분사된 입자의 노출평가	36
IV. 고찰	40
V. 결론	43
참 고 문 헌	45
영 문 초 록	47

표 차 례

표 1. 에어로졸 크기별 공기 중 부유량	2
표 2. 섬유용 트리거 탈취제 노출계수	8
표 3. 국립환경과학원 노출계수와 본 실험설계 비교	9
표 4. OPC 측정 채널	11
표 5. 분사형 제품의 노출량 계산식	17
표 6. 흡입 노출량평가 시나리오	20
표 7. 제품 사용량 측정결과	21
표 8. 위치별 질량 및 수 농도 최대값	24
표 9. 노출 시간 및 입경에 따른 질량 농도 비율	25
표 10. 노출 시간 및 입경에 따른 수 농도 비율	29
표 11. 부유비율과 환기율에 의한 감소량으로 추정된 노출시간	33
표 12. 노출시간에 따른 공간 내 농도(C_a)	37
표 13. 질량 및 수 농도에 의한 흡입 노출량평가(D_{inh})	38

그림 차례

그림 1. 연구의 틀	4
그림 2. 흡입독성 챔버(VIEW-S48R) 및 환경제어 모니터링 시스템	7
그림 3. OPC (11-D, Grimm)	10
그림 4. PM기준 및 EN 481 Mass fractions 비교	12
그림 5. 한국인인체지수조사 자료	14
그림 6. 사용 형태와 노출 환경을 고려한 실험설계	15
그림 7. 노출 시간에 따른 질량 농도 변화	26
그림 8. 노출 시간에 따른 질량 농도 변화(31개 채널)	27
그림 9. 노출 시간에 따른 수 농도 변화	30
그림 10. 노출 시간에 따른 수 농도 변화(31개 채널)	31
그림 11. 질량 농도에 대한 입경별 부유비율 비교	34
그림 12. 수 농도에 대한 입경별 부유비율 비교	35
그림 13. 질량 농도에 따른 흡입노출량(D_{inh} -Mass)	39
그림 14. 수 농도에 따른 흡입노출량(D_{inh} -Count)	39

국 문 요 약

생활화학제품의 분사조건에 따른 입자농도 비교 연구

우리는 생활 속에서 다양한 생활화학제품을 사용하고 있다. 지난 2019년 1월 1일 ‘생활화학제품 및 살생물제 안전관리법’이 시행된 이후, 우리가 생활 속에서 사용하는 생활화학제품에 대한 안전관리 기준이 더욱 강화되었다.

생활화학제품 중 분사형 제품은 화학물질의 증기압과 무관하게 작은 입자로 분사시켜 화학물질의 흡입 가능성을 높인다. 따라서, 분사형 제품에 대한 각별한 관리가 필요하다. 본 연구에서는 생활생활화학제품 중 사용경험이 가장 많은 제품인 섬유탈취제를 대상으로 선정하였다. 그리고 사용방법에 따른 흡입 노출량을 질량 농도와 수 농도로 측정하고 비교하였다.

섬유 탈취제 중 국내 판매량 등을 고려해 1개 제품을 선택하였고 분사 조건은 제품 사용법에 명시된 방법 등 3가지를 고려하여 분사거리를 조절했다. 그리고 위상차에 따른 노출량 확인을 위해 Up, Cen, Low로 3개 높이를 두어 총 9개 지점에서 30분간 OPC(Optical particle counter)를 이용하여 분사된 입자의 질량농도와 수 농도를 측정하였다.

표준화된 시험법이 없어 노출환경을 항온·항습이 유지되고 모니터링이 가능한 Clean room내의 3m³ 밀폐형 챔버에서 수행하여 외부 환경의 영향을 최소화 하고, 국립환경과학원의 생활화학제품 노출계수를 활용해 제품 사용량을 표준화 하여 시험하였다.

측정 결과는 입경 크기(Particle size, 이하 PS)에 따라 1, 2.5, 10 μ m을 기준으로 PS1(>1 μ m), PS2.5(1 μ m<x<2.5 μ m), PS10(2.5 μ m<x<10 μ m)으로 분류하여 질량 및 수 농도로 흡입노출량을 평가하였다.

질량 농도에 대한 흡입 노출량 평가(D_{inh}-Mass)는 30-Cen지점 PS2.5에서 5.50×10^{-4} mg/kg-day로 가장 높았고, 60-Low지점 PS1에서 4.90×10^{-7} mg

/kg-day로 가장 낮았다.

수 농도에 대한 흡입 노출량 평가(D_{inh} -Count)는 100-Low지점 PS1에서 3,980 Particles/kg-day로 가장 높았고, 60-Low지점 PS10에서 4 Particles/kg-day로 가장 낮았다.

입자 크기와 측정 위치에 따른 2가지 흡입 노출량 평가 결과가 상이하였다.

수 농도는 입자가 작을수록 높지만 단위 질량이 작아 질량 농도는 상대적으로 작게 측정되기 때문이라고 판단된다.

현재 노출평가 방식에서 공기 중 노출 질량이 작더라도 높은 수 농도를 유지하는 제품은 우리에게 큰 피해를 줄 수 있다. 따라서, 흡입노출량 평가에서 수 농도를 함께 평가하는 방안이 마련되어야 할 것이다.

본 연구에서는 1종의 생활화학제품만을 대상으로 밀폐형 챔버의 제한된 공간에서 실험을 수행하였기 때문에, 환기율 조건, 공간 체적 등의 실험 조건에 따른 제한점을 갖고 있었다.

향후 생활화학제품의 분사형태(스프레이, 트리거)와 용매(물과 유기용제)에 대한 표준화된 질량 농도와 수 농도 비교 연구를 통해, 제품 노출에 의한 수 농도 위해성평가 도입방안을 지속적으로 연구할 필요가 있다.

핵심어: 수 농도, 입자크기, 질량 농도, 흡입 노출량평가

I. 서론

1. 연구의 필요성

지난 2011년부터 가습기 살균제사고로 사망자 1,551명, 피해 신청자 6,789명 ('20.6. 기준, 가습기살균제 피해지원 종합포털)이 발생하는 등 우리사회는 큰 아픔을 겪고 있다. 사고 재발 방지를 위해 정부에서는 '화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률'과 '생활화학제품 및 살생물제 안전관리법'등을 시행하여 'No data No Market' 이라는 대전제 하에 화학물질 유해성정보 확보에 많은 노력이 투입되고 있다. 소비자들은 가습기 살균제사고로 '화학물질 공포증(Chemophobia)' 현상이 심화되어 생활화학제품 사용을 거부하거나 제품 성분을 하나하나 확인하며 사용하는 소비자가 늘어나고 있는 실정이다.

게다가 2016년 국내에 유통 중인 섬유탈취제 일부에 가습기살균제 사고 원인물질인 Didecyl dimethylammonium chloride(DDAC)가 포함되어 있음이 밝혀져 많은 논란이 되었다. 섬유탈취제는 3,000명을 대상으로 생활화학용품 사용빈도에 대한 설문 결과, 섬유탈취제는 약 85.7%가 사용 경험이 있어 생활 속 노출빈도가 높은 제품(국립환경과학원, 생활화학용품 함유 유해화학물질 노출평가 기반구축(Ⅲ), 2016)이라 그 파장은 더욱 클 수밖에 없었다.

그리고 2019년 12월 중국 우한에서 시작된 COVID-19는 아직 치료제가 개발되지 않아 커져가는 막연한 불안감은 무분별한 살생물제의 사용을 유발하고 살균제품의 품귀현상까지 나타났다. 특히 차아염소산수와 같은 기존 살균제품을 외출 후 사용하는 섬유탈취 기능으로 광고함으로써 섬유탈취제는 제품의 종류가 더욱 다양해지고 있다(살생물제 정보 시스템, 2020).

살균제, 소독제 등 생활화학제품의 사용량이 증가할수록 인체의 노출 경로 중 흡입 노출에 주목해야 한다. 그 이유는 흡입 노출경로는 타 경로에 비해 화학물질이 별다른 장벽없이 체내에 직접 노출되어 직접적인 피해가 발생되고, 화학 물질

농도 이외에도 부유입자 입경(Particle Size, 이하 PS)에 따라 독성에 의한 피해가 달라지기 때문이다(ICRP, 1994).

흡입노출에서 입경에 따라 독성이 달라지는 이유는 첫 번째로, 입자크기에 따라 호흡기 내 침착 위치가 달라진다. $10\mu\text{m}$ 이상의 물질은 대부분 코에서 걸러지며, $10\mu\text{m}$ 이하의 에어로졸은 호흡기를 통해 이동이 가능해진다. 그리고 그 크기가 $2.5\mu\text{m}$ 보다 작은 에어로졸의 경우 폐포에 침착이 가능하고, 물질의 특성에 따라 염증 반응을 일으켜 폐섬유화증과 같은 심각한 질병을 야기하기도 한다(ICRP, 1994).

두 번째로 입자크기가 작아질수록 공기 중 부유시간이 증가함으로써 흡입 노출량에 영향을 주기 때문이다. 입자크기가 작을수록 공기 중 부유시간이 길어져 노출량에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

선행연구에서도 분사형 제품에서 생성된 에어로졸 입자들이 환기율이 0회/h인 조건에서 입자크기에 따라 부유량과 부유시간에 차이를 나타냈다(Park et al, 2018.).

표 1. 에어로졸 크기별 공기 중 부유량 (Park et al., 2018)

Exposure time(min)	Particle number concentration(particles/cm ³)		
	≤100 nm	100-1,000nm	1,000-10,000nm
10	$8.9 \times 10^4 \pm 1.6 \times 10^4$	$6.0 \times 10^3 \pm 6.7 \times 10^2$	54.0 ± 1.8
30	$6.9 \times 10^4 \pm 1.7 \times 10^4$	$4.0 \times 10^3 \pm 2.3 \times 10^2$	22.3 ± 0.4
120	$2.6 \times 10^4 \pm 5.6 \times 10^3$	$2.8 \times 10^3 \pm 5.0 \times 10^2$	6.2 ± 0.1

한편 우리가 사용하는 생활화학제품은 겔, 액상, 에어로졸, 파우더 등 다양한 제품 제형으로 만들어진다. 이 중 스프레이나 트리거형과 같은 에어로졸이 발생하는 제품은 화학물질의 흡입노출에 직접적인 영향을 주게 된다.

분사형 제품은 화학물질의 입경을 흡입 가능한 $10\mu\text{m}$ 이하로 공기 중에 분사함

으로써 비휘발성 물질도 흡입가능성을 높여 화학물질의 증기압과는 무관하게 흡입 노출을 초래할 수 있다. 우리가 잘 알고 있는 가습기 살균제 원인물질 CMIT와 MIT도 증기압이 0.408 ~ 2.39 Pa (at 25°C) 수준으로 매우 낮지만, 가습기에 넣어 분사를 통해 흡입 가능해짐으로써, 폐섬유화를 일으키고 많은 사상자가 발생했다.

또한 생활화학제품의 안전기준을 자세히 살펴보면, 탈취제 중 DDAC의 안전 기준은 실내 공간용의 경우 0.01% 이하, 물체(의류, 신발 등)용은 0.18%, 자동차용은 0.0015%로 사용 공간 및 용도에 따라 그 기준을 달리하고 있다. 즉, 이러한 안전기준은 동일한 물질도 제품 사용장소의 특성과 사용 방법에 따른 노출 시간 등에 근거하고 있음을 알 수 있다. 즉, 동일한 제품이더라도 사용자의 사용방법 및 장소에 따라 노출량이 달라질 수 있음을 의미한다.

이번 연구에서는 일반인 약 85.7%가 사용 경험이 있는 생활 속 노출빈도가 높은 생활화학제품(국립환경과학원, 2016) 섬유탈취제를 통해 생활화학제품의 분사 조건에 따른 흡입노출량을 파악하고, 질량 농도와 수 농도에 대한 흡입 노출량을 비교함으로써 평가방법에 대해 고찰하고자 한다.

따라서 이번 연구에서는 다음과 같은 세부목적을 갖는다.

첫째, 섬유탈취제 제품의 사용형태와 상대적 높이 등 분사조건에 따라 발생하는 입자크기별 수 농도와 질량 농도를 측정하여 비교 및 평가한다.

둘째, 실험결과를 바탕으로 질량 농도와 수 농도에 대한 흡입노출량 평가를 각각 수행하고 결과에 대해 고찰한다.

II. 연구방법

1. 연구내용

본 연구는 생활화학제품 중 사용빈도가 가장 높은 섬유탈취제를 대상으로 사용방법에 따른 흡입노출량을 질량 및 수 농도로 평가하고 고찰하고자 한다.

따라서, 제품 사용방법 및 제형을 고려하여 흡입노출 가능한 트리거형태의 섬유탈취제 제품을 밀폐된 챔버에서 제품 사용방법 시나리오를 몇 가지 가정하여 분사한 후, OPC(Optical particle counter)를 이용해 분사된 입자크기별 수 농도, 질량 농도 등을 파악하여 흡입 노출량을 평가하였다.

본 연구의 틀은 다음과 같다.

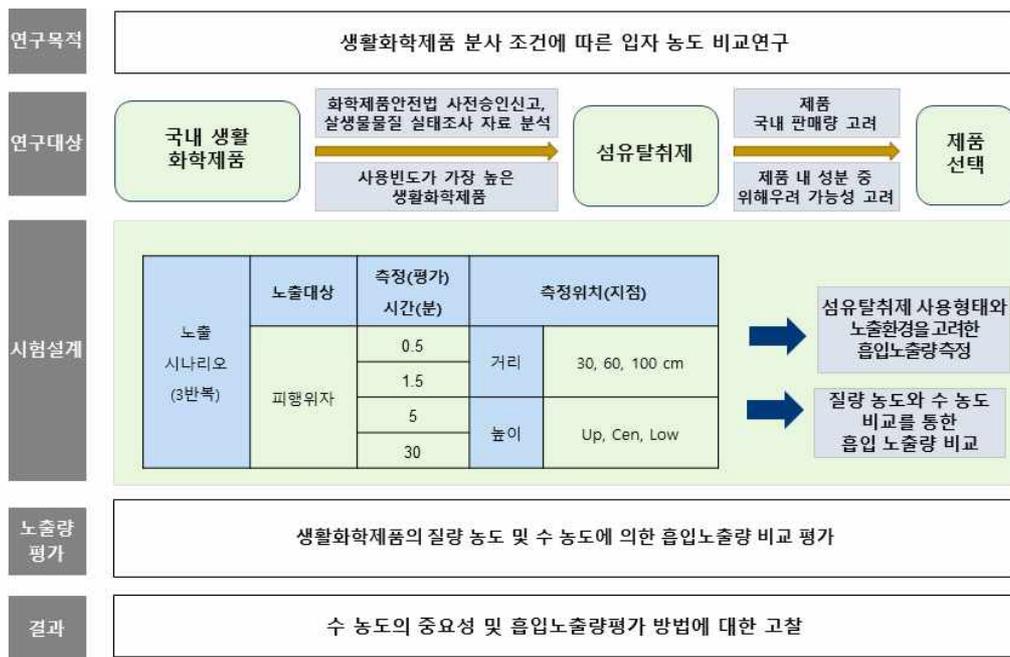


그림 1. 연구의 틀.

2. 연구방법

2.1. 연구대상 선정

우선 국내 유통 중인 생활화학제품 중 섬유탈취제의 주요 성분을 조사하였다. ‘생활화학제품 및 살생물제의 안전관리에 관한 법률’시행에 따라 2019년 6월 30일 까지 기업에서 신고한 승인유예대상 기존살생물물질 신고현황 및 2019년 살생물물질 실태조사(환경부, 2019) 결과 등을 사용하였다.

신고된 제품 약 2,700여개 중 제품의 효과·효능이 향균, 탈취 기능이 있는 제품을 우선 분류하고, 방역 용도나 전문가 사용을 필요로 하는 제품이 아닌 일반 소비자가 사용가능한 제품만을 선별하였다. 그리고 제품의 제형과 실제 제품의 용법 등을 확인하여 섬유탈취제로 사용 가능한 제품들의 주요 성분을 조사하였다.

섬유탈취제의 경우에는 모두 물을 용매로 사용하였으며, 제품 제형은 신발 탈취 스프레이를 제외하고는 모두 트리거형 분사제품이었다.

향균 기능을 하는 살생물물질로는 Ethanol, Silver, 각종 천연 Oil류, 염소계열(이산화염소, 차아염소산수), Didecyl Dimethyl Ammonium Chloride(DDAC) 등이 사용되었다. 비교적 살균력과 독성이 낮은 것으로 알려진 Oil류는 영유아용 소독 및 탈취 제품에 주로 사용되고 있었다. 한편 차아염소산수, 이산화염소 등 염소계열의 소독제도 섬유 탈취 및 향균을 겸한 제품으로 유통되고 있었다(살생물제 정보시스템, 2020).

이번 연구에서는 섬유탈취제의 사용방법에 따른 흡입노출량 비교를 위해, 판매량이 가장 많은 제품에 의한 실제 노출이 가장 많을 것이라고 가정하였다.

제품 선택을 위해 국내 포털 섬유탈취제 판매 1위이자, 살생물제품 승인 유예대상 중 섬유탈취제 유통량이 최대인 제품 1종을 선정하여 실험에 사용하였다.

2.2. 제품 분사에 대한 표준화

생활화학제품의 사용량 비교연구에 대한 표준화된 실험방법은 별도로 만들어져 있지 않아, 선행연구(Park et al, 2018)와 다양한 국가 데이터를 참고하여 실험을 설계하였다.

본 연구에서는 생활화학제품 중 분사형 제품의 노출량 비교 실험의 표준화를 위해 노출환경(Environment), 사용량(Mass), 입자크기(Size)와 측정(Measurement) 방법을 고려해 실험을 설계하였다.

2.2.1. 노출 환경(Environment)

트리거 제품 분사실험에서는 실제 제품이 사용되는 모든 환경을 반영할 수 없다. aerosol의 특성상 습도에 영향을 받고, 환기조건과 온도 등에 따라서 그 결과는 매우 달라지기 때문에 환기율, 온습도 등에 대한 통제가 필요했다.

본 연구는 클린룸 기준 Class 10,000의 GLP 동물실험실에 설치된 3m³ (W2450 x D1430 x H2360mm)의 체적을 갖는 흡입독성 챔버(우정바이오, VIEW-S48R)에서 수행하여 주변 환경으로부터의 영향을 최소화하였다. 챔버 내부의 일정한 환경을 유지하기 위해서 온도 22±2℃, 상대습도 50±10%, 산소 19~21%를 일정하게 유지할 수 있는 자동제어 시스템과 환경 모니터링 시스템을 갖추어 실험하였다. 압력 및 유량 제어를 통해 챔버 내부의 환기횟수를 0~15회까지 제어할 수 있으며, KSB 6755 기밀성 시험을 인증받은 밀폐형 챔버에서 실험하였다. 환기 조건을 둘 경우, 환기구의 위치에 따라 입자의 움직임에 영향을 주기 때문에, 환기율이 0회/h인 최악의 노출시나리오를 가정해 실험을 수행하였다.



그림 2. 흡입독성 챔버(VIEW-S48R) 및 환경제어 모니터링 시스템.

챔버에는 HEPA 필터를 장착하여 Clean air만 유입되며 제품을 분사하기 전 환기횟수 15회를 적용하여 size별 particle count가 100 particles/L 미만인 경우, 환기율(Air Change per Hour)을 0으로 변경하고 인공적인 air flow가 발생되지 않는 조건에서 제품을 분사 후 입자의 분포를 측정했다.

챔버 내부에서 위치별 입자를 포집하기 위해, SUS tube를 챔버 옆면에 삽입할 수 있도록 챔버를 설계했으며, SUS tube를 삽입하여도 밀폐가 유지될 수 있도록 홀더를 제작하였다. 챔버 내부의 환기율과 내부압력도 실시간으로 측정하였다.

2.2.2. 사용량(Mass)

트리거 제품 분사실험에서는 사용자의 다양한 사용패턴을 반영해야 한다. 사용자에게 따라 사용 습관, 분사 시간 등이 다르고, 사용자의 연령과 성별에 따라 약력 차이가 있어 사용량에 큰 차이를 보이게 된다. 사용량의 표준화를 위해서는 국립환경과학원의 생활화학제품 노출계수를 만드는 과정을 응용하였다.

지난 2016 국립환경과학원에서는 생활화학제품의 위해성평가를 위한 노출계수 마련을 위해서 3,000여명을 대상으로 설문조사 결과와 일부 실험값을 바탕으로 생활화학제품 노출계수를 마련하였다[표 2].

특히, 사용량 표준화를 위해 10회 분사 전후 무게 차이(g)를 분사에 소요된 시간(sec)으로 나누어 사용량(g/sec)을 산출하였다.

표 2. 섬유용 트리거 탈취제 노출계수(국립환경과학원, 2016)

노출계수		산술평균± 표준편차	백분위수			
			5th	50th	75th	95th
의류/섬유용 트리거형 탈취제	사용횟수 (회/일)	0.45 ± 0.76	0.01	0.17	0.43	2.00
	사용시간 (분/회)	1.29 ± 1.68	0.05	0.50	1.50	5.00
	분사시간 (초/회)	2.61 ± 2.26	0.57	1.71	2.85	5.70
	사용량 (g/sec)	0.83 ± 0.61	0.25	0.54	1.26	1.79
	분사횟수 (회/회)	4.59 ± 3.97	1.00	3.00	5.00	10.00

본 연구에서는 사용량 표준화를 위해 위 노출계수와 사용량 표준화방법을 응용하였다.

노출계수의 분사횟수 4.59±3.97회를 고려해 5회 분사하여 실험을 수행하였고,

분사시간은 실측하여 사용량 계산에 적용하였다.

사용량(g/sec) 산정을 위해 5회 분사한 제품 사용 전·후 무게차이를 정량 한계가 10^{-6} mg인 저울을 사용해 측정하였다.

표 3. 국립환경과학원 노출계수와 본 실험설계 비교

노출계수 \ 구 분	국립환경과학원(2016)	실험설계
분사횟수 (회/1번 사용)	4.59 ± 3.97	5
분사시간(초/회)	2.61 ± 2.26	분사시간을 실측하여 사용량 계산에 사용
사용량(g/sec)	$\frac{\text{무게 차(사용전-후)}(\text{g})}{10\text{회 분사시 소요된 시간}(\text{sec})}$	$\frac{\text{무게 차(사용전-후)}(\text{g})}{5\text{회 분사시 소요된 시간}(\text{sec})}$

2.2.3. 입자크기(Size)와 측정(Measurement)

트리거형 제품은 분사노즐의 종류에 따라 입자크기와 공간 내 분포에 영향을 준다. 분사 노즐의 특징을 알기 위해 특허청(<http://kpat.kipris.or.kr>)에서 생활화학 제품용 트리거를 조사했다. 하지만, 생활화학제품용 소형 분무장치의 외형 등은 확인할 수 있었지만, 세부 제원은 특허사항으로 공개된 정보만으로는 분사노즐에 대한 세부 제원 비교는 불가능했다. 본 연구에서는 생활화학제품 중 국내 유통량 1위인 트리거형 섬유탈취제를 연구대상으로 선정함으로써, 제품 노즐에 대한 노출빈도가 최대인 것으로 가정 하였다. 또한, 제품 간 오차를 줄이기 위해 각기 다른 곳에서 구입한 동일한 제품 5개를 난수 입력을 통해 무작위로 선정해 분사하였다.

그리고 챔버 내부에 분사된 입자의 수 농도, 질량 농도 등을 실시간으로 파악하기 위해서 air sampling이 아닌, 광산란법에 의해 실시간 측정이 가능하고, 수 농도 측정에 EPA 형식 승인을 얻은 Optical Particle Counter(11-D, Grimm)장비를 사용하였다. OPC(Optical Particle Counter)는 0.1 ~100,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위의 질량 농도를 측정할 수 있으며 측정 가능한 입경은 31개 채널을 통해 0.25~35 μm 로 범위의 입자를 포집하며, 최대 3,000,000 Particles/L 범위의 수 농도도 측정할 수 있었다.



그림 3. OPC (11-D, Grimm).

섬유탈취제의 경우 제품 사용 시 노출 시간이 비교적 짧아 초기 노출을 원활히 관찰하기 위해 OPC 통계적 측정 시간을 6초 단위로 설정해 총 30분 동안 분사 후 입자의 수 농도와 질량 농도를 측정하였다. 질량에 따른 입자의 질량과 수 농도의 특성 비교를 위해 31개 채널(질량 농도는 32개 채널)을 Particle Size(이하 PS) 1, 2.5, 10 μm 을 기준으로 PS1($>1\mu\text{m}$), PS2.5($1\mu\text{m}<x<2.5\mu\text{m}$), PS10($2.5\mu\text{m}<x<10\mu\text{m}$)으로 구분하였다[표 4].

표 4. OPC 측정 채널

(단위 : μm)

구분	입경범위	측정 채널
PS1	$x < 1\mu\text{m}$	(0.225)*, 0.265, 0.29, 0.325, 0.375, 0.425, 0.475, 0.54, 0.615, 0.675, 0.75, 0.9
PS2.5	$1\mu\text{m} < x < 2.5\mu\text{m}$	1.15, 1.45, 1.8, 2.25
PS10	$2.5\mu\text{m} < x < 10\mu\text{m}$	2.75, 3.25, 4.5, 5.75, 7, 8, 9.25

* 질량 농도 추가 측정채널

측정장비인 OPC는 질량 농도를 측정할 수 있으며, 1.2 L/min의 유속으로 47mm PTFE필터를 사용하여 질량분포(mass distribution)에 의한 에어로졸의 질량 농도를 측정하였다. Grimm사에서 제공하는 OPC 전용소프트웨어 model 1.178은 환경 측정시 주로 사용하는 mass fractions (PM10, 2.5, 1)과 IAQ(Indoor Air Quality)측정을 위한 European guideline EN 481 (EU comitee, 1993)에 근거를 둔 mass fractions(Inhalable, Thoracic, alveolic) 데이터를 제공했다. 두 mass fraction의 차이는 [그림 4]와 같이, 각 fraction의 구성 aerodynamic diameter에 차이를 보였으며, 본 실험에서는 수 농도와 질량 농도의 비교를 위해 32개 채널에서 측정된 입경별 mass fraction 데이터를 사용하였다.

Aerodynamic diameter [μm]	Inhalable [%]	Thoracic [%]	Respirable (alveolic) [%]	PM-10 [%]	PM-2,5 [%]
0,0	100	100	100	100	100
1,0	97,1	97,1	97,1	100	99,5
2,0	94,3	94,3	91,4	94,2	85,5
2,5					48,0
3,0	91,7	91,7	73,9	92,2	6,7
4,0	89,3	89,0	50,0	89,3	0
5,0	87,0	85,4	30,0	85,7	-
6,0	84,9	80,5	16,8	81,2	-
7,0	82,9	74,2	9,0	75,9	-
8,0	80,9	66,6	4,8	69,7	-
9,0	79,1	58,3	2,5	62,8	-
10,0	77,4	50,0	1,3	55,1	-
11,0	75,8	42,1	0,7	46,5	-
12,0	74,3	34,9	0,4	37,1	-
13,0	72,9	28,6	0,2	26,9	-
14,0	71,6	23,2	0,2	15,9	-
15,0	70,3	18,7	0,1	4,1	-
16,0	69,1	15,0	0	0	-
18,0	67,0	9,5	-	-	-
20,0	65,1	5,9	-	-	-
25,0	61,2	1,8	-	-	-
30,0	58,3	0,6	-	-	-
35,0	56,1	0,1	-	-	-
40,0	54,5	0,1	-	-	-
50,0	52,5	0	-	-	-
60,0	51,4	-	-	-	-
80,0	50,4	-	-	-	-
100,0	50,1	-	-	-	-

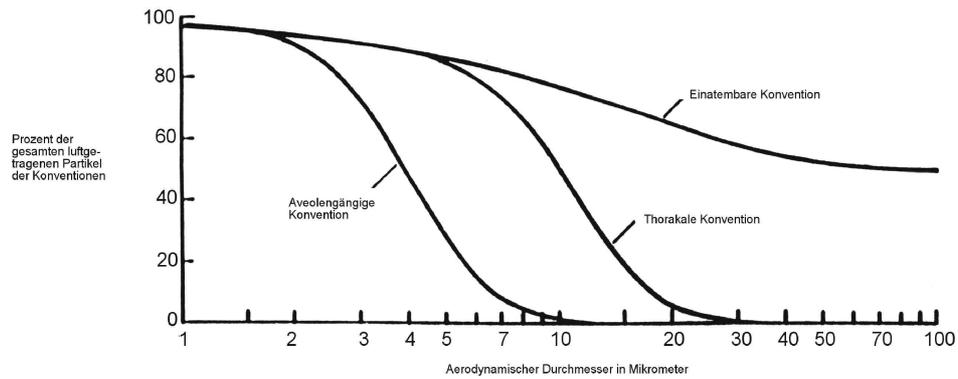


그림 4. PM기준 및 EN 481 Mass fractions 비교 (Grimm, 2012).

2.3. 실험설계

본 연구는 섬유탈취제의 사용형태와 노출환경을 고려한 흡입 노출량을 수 농도와 질량 농도로 비교하는 연구이다.

제품 사용방법에 따른 분사점과의 거리와 상대적인 높이에 따라 흡입 노출 시나리오를 다음과 같이 가정하여 실험하였다.

우선, 섬유탈취제의 제품사용 형태를 고려하여 측정거리를 30, 60, 100cm로 설정하였다.

첫 번째로, 30cm는 제품에 명기된 제품 사용법을 따랐다. 제품에서 20~30cm 이내의 거리를 두고 제품을 사용하도록 명시되어 있어, 30cm를 제품 사용법에 따른 측정거리로 두었다.

두 번째로, 60cm는 의류를 직접 들고 제품을 사용할 경우를 가정하였다. 의류를 직접 들고 섬유탈취제를 사용할 경우의 거리는 국가기술표준원에서 측정한 한국인인체지수(2015) 결과를 인용하였다. 한국인인체지수조사 7차(2015)에서 16~69세 남녀 6,420명을 표본으로 조사된 벽면 앞으로 뻗은 주먹수평길이(68.3±4.3cm)[그림5 상단]와 벽면어깨수평길이(8.7±2.2cm)[그림5 하단]의 차이(59.6±2.1cm)를 참고하여 60cm를 의류를 직접 들고 분사하는 측정거리로 두었다.

세 번째로, 100cm는 섬유탈취제를 타인에게 뿌릴 경우를 가정하였다. 20~50대 직장인 30명을 대상으로 조사한 결과 타인에게 섬유 탈취제를 분사해 본 경험은 약 80%였으며, 사용거리는 100cm가 70%로 가장 많았다. 이 조사 자료를 참고하여 100cm를 타인에게 분사에 대한 측정 거리로 두었다.

095. 벽면앞으로 뻗은주먹수평길이 Grip Reach: forward	
정의	벽면으로부터 앞으로 뻗은 손에 쥐는 막대 축까지의 수평거리
자세	인체측정학적 선자세를 취한다.
측정도구	수직자, 지름 2cm의 막대
측정방법	측정자는 피측정자의 옆에 서서 피측정자의 엉덩이와 등을 벽면에 밀착시키고 오른팔을 수평으로 곧게 뻗게 하여 벽면에서 막대의 축까지의 수평거리를 측정한다.



097. 벽면어깨수평길이 Wall-Acromion Distance	
정의	벽면에서 어깨점까지의 수평거리
자세	인체측정학적 선자세를 취한다.
측정도구	수직자
측정방법	측정자는 피측정자의 옆에 서서 피측정자의 엉덩이와 등을 벽면에 밀착 시킨후 양팔이 바닥 면과 수평이 되도록 곧게 펴게 하여 벽면에서 어깨점까지의 수평 거리를 측정한다.

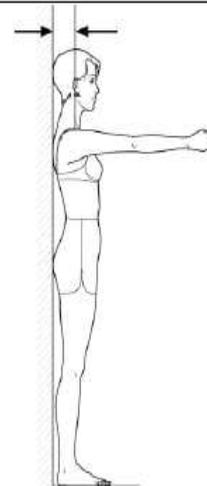


그림 5. 한국인인체지수조사 자료 (국가기술표준원, 2015).

그리고, 섬유탈취제가 뿌려진 노출환경에 머무는 사람과 분사점과의 상대적 높이를 고려해 ± 30 cm(상,중,하)로 두어 총 9개 지점에서 30분동안 3 반복하여 측정하였다. 그리고 챔버 외부에서 챔버 내 입자 Sampling 시 발생하는 유속 및 SUS Tube에 의한 영향을 최소화하기 위해 1회 분사 시 1지점 측정으로 실험하였다.

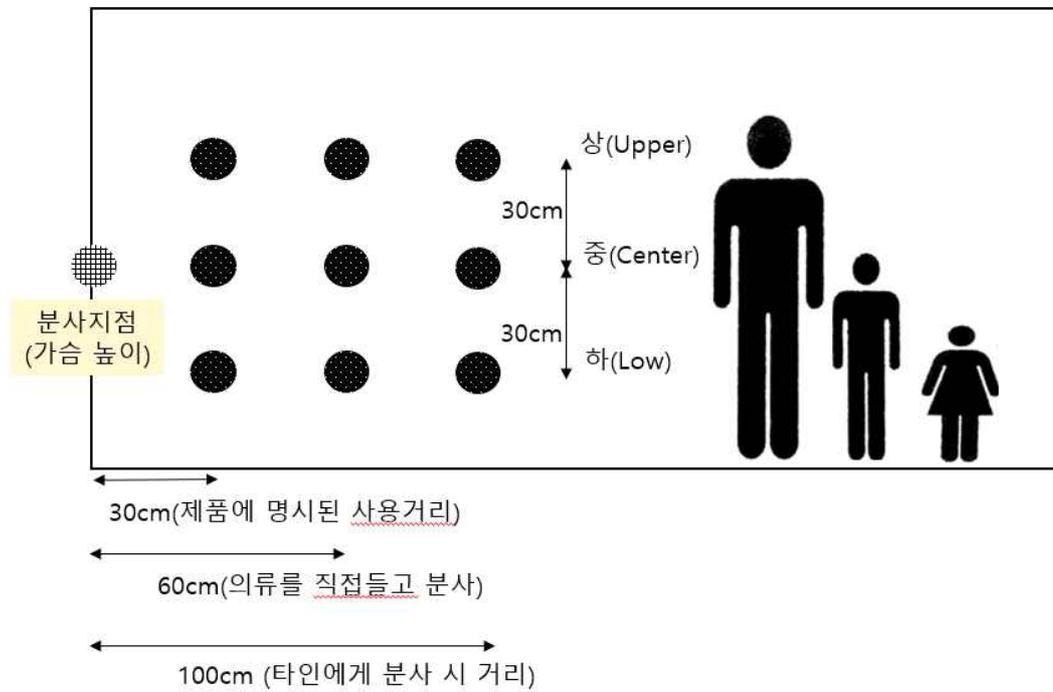


그림 6. 사용 형태와 노출환경을 고려한 실험설계.

3. 분사된 입자의 노출량 비교

생활화학제품 위해성평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정(환경과학원, 2018)에서 분사형 제품의 경우 초기 노출평가와 상세 노출평가로 나누어 평가하고 있다. 초기 평가에서는 제품 분사량 중 성분비가 전부 흡입될 수 있다는 최악의 노출을 가정하여 보수적으로 평가하고 있다. 상세평가에서는 환기율, 노출 시간 등 제품의 사용 환경을 일부 반영하고, 제품의 성분비, 부유비율 등을 반영함으로써 제품의 특성을 노출 알고리즘에 일부 적용하고 있다.

하지만, 입자크기나 점도, 밀도에 따라 상이한 부유비율을 상수로 사용함에 따라, 제품의 특성을 반영하지 못하는 한계점을 갖고 있다. 또한, 용매의 물리화학적 특성, 습도, 온도와 같은 노출환경도 반영되지 않아 흡입노출량 추정치의 오차가 커지는 단점도 있다.

본 실험에서는 측정을 통해 질량과 입자 수의 노출 농도(C_{inh})를 각각 구하고, 흡입노출량(D_{inh}) 평가를 비교하기 위해, 국립환경과학원에서 고시한 '생활화학제품 위해성평가 대상 및 방법 등에 관한 규정(2018)'의 계산식과 일반 노출계수(별표 6), 제품 노출계수(별표 7)를 일부 활용하였다.

국립환경과학원에 고시된 분사형 탈취제 제품의 노출 계산식은 다음과 같다.

[표 5] 분사형 제품의 노출량 계산식(국립환경과학원 고시 제2018-70호, 2018)

시나리오	노출알고리즘	
공기 중 분사 (예: 스프레이 탈취제)	초기	$C_a = \frac{A_p \times W_f}{V}$
	상세	$C_a = \frac{A_p \times W_f \times F_{air}}{V \times N} \times [1 - \exp(-N \times t)] / t$
노출 농도 (노출량)	노출농도 $C_{Inh} (mg/m^3) = C_a \times t \times n / 24$	
	노출량 $D_{Inh} (mg/kg-d) = C_a \times IR \times t \times n / BW$	
노출계수	C _a : 공기중농도 (mg/m ³)	A _p : 제품 분사량(mg) A _e : 제품 방출량(mg)
	W _f : 제품 중 성분비(-)	V: 공간 체적(m ³)
	N: 환기율(회/h)	F _{air} : 부유비율 (-)
	IR: 호흡률(m ³ /h)	n: 사용빈도(회/day)
	t: 노출시간(h/회)	BW: 체중(kg)
	tr: 제품 방출시간(h)	F: 공기중 방출비율(-)

챔버 내에서 측정된 공기중농도($C_{\text{챔버}}$)는 노출 공간의 실제 체적에 한참 부족한 3m^3 의 공간($V_{\text{챔버}}$)에서 측정된 값으로, 노출 공간 차이를 고려해야 했다. 노출 공간을 고려한 계산식은 고시된 계산식[표 5]을 다음과 같이 변형하여 공기중농도(C_a)를 구하였다.

$$C_a = \frac{C_{\text{챔버}} \times V_{\text{챔버}}}{V \times N} \times [1 - \exp(-N \times t)] / t$$

공기중농도의 단위는 질량 농도는 mg/m^3 으로, 수 농도는 $\text{Particles}/\text{m}^3$ 로 계산하였고 흡입 노출량(D_{inh}) 계산을 위한 노출계수는 국립환경과학원 고시 제2018-70호 별표 6 일반 노출계수를 사용하였다.

성인 체중은 성인의 평균 체중 64.2kg 을 입력하였고 공간 체적은 생활공간별 부피 중 방(침실)의 30.3m^3 을 적용하였다. 생활공간별 환기율은 제품 사용 공간을 한정지을 수 없어 공간이 별도로 지정되지 않을 때의 계수인 0.6 회/h을 사용하였다.

그리고 사용빈도(n)는 국립환경과학원 고시 제 2018-70호의 별표 7 제품 노출계수를 참고하여 0.45 회/day를 적용하였다. 한편, 부유비율(F_{air})은 국립환경과학원 고시 제 2017-70호 별표7에서는 상수로 적용되어 있었다. 하지만, 입경에 따라 질량과 부유비율은 상이한 것을 고려해, 1분 단위 수 농도 최대값에 대한 시간별 누적 수 농도 비율로 정의하였다. 측정 시간 30분에 대하여 수 농도를 활용해 다음과 같이 계산하였으며 최대값은 1이었다.

$$F_{\text{air}} = \frac{\text{1분당 누적 수농도}(\text{Particles}/\text{m}^3)}{\text{1분간 최대 수농도}(\text{Particles}/\text{m}^3)}$$

노출시간(t)은 입자크기(Particle Size)에 따라, 부유시간이 달랐던 선행 연구(Park et al, 2018)를 고려하여 입자별 부유시간을 노출시간으로 가정하였다. 불특정 공간에 대한 환기율 0.6회/h은 환기 1회에 총 100분이 소요되는데, 1분당 1%씩 자연적으로 부유비율이 감소하여 환기가 1회 일어나면 부유비율이 0이 되는 것으로 가정하였다.

실험은 환기율이 0회/h의 시나리오에서 수행되었으므로, 부유비율이 그리는 그래프가 음의 기울기를 갖고 환기율 0.6회/h에 의한 부유비율 감소 직선식($y=-x+100$) 점점까지를 만나는 지점까지를 노출시간(t)으로 보았다. 즉, 확산에 의해 Fair가 최대값 1을 나타낸 이후 감소하는 시점에 직선식과 만나는 지점을 노출시간으로 보았다. 다만, 부유비율 그래프가 측정 종료시점까지 변동이 있더라도, 종료 시점에 70% 이상 부유되는 경우에는 70% 이상 부유된 것으로 보고 측정시간인 30분을 노출시간으로 보았다. 그 이외에는 직선식 하단에 부유비율 그래프가 놓일 경우 해당 시간을 부유시간이자 노출시간($t=h/\text{회}$)으로 가정하였다.

그리고 호흡률(IR)은 한국 노출계수 핸드북(환경부, 2007)에 명시된 한국 성인 호흡률 14.3 m³/day을 시간 단위로 변환하여 사용하였다.

최종적으로 흡입 노출량은 질량 농도에 의한 평가($D_{inh}\text{-Mass}$)와 수 농도에 의한 평가($D_{inh}\text{-Count}$)를 비교하였다[표 6].

표 6. 흡입 노출량평가 시나리오

노출량 평가 알고리즘	D_{inh} -Mass	D_{inh} -Count	Reference
$C_{\text{챔버}}$: 챔버내 공기 중 농도	노출 시간(t)에 따른 측정 누계치	노출 시간(t)에 따른 측정 누계치	측정값
C_a : 공기중농도	측정 질량 농도로 계산 (mg/m^3)	측정 수 농도로 계산 ($\text{Particles}/\text{m}^3$)	국립환경과학원, 2018 활용
BW : 체중(kg)	64.2 kg		국립환경과학원, 2018
V : 공간 체적	30.3 m^3		
N : 환기율(회/h)	0.6		
t : 노출시간(h/회)	입자크기에 따른 부유비율과 환기율에 따른 감소식으로 추정		
n : 사용빈도(회/day)	0.45회/day		
IR : 호흡률(m^3/h)	14.3 $\text{m}^3/\text{day} = 0.60 \text{ m}^3/\text{h}$		
노출량(D_{inh})	단위 : $\text{mg}/\text{kg}\text{-day}$	단위 : $\text{Particles}/\text{kg}\text{-day}$	-

Ⅲ. 연구결과

1. 측정 결과

1.1. 시험물질 사용량

시험물질 사용량 정확한 사용량 측정을 위해, 항온항습이 유지되고, 정반이 설치된 측정실에 설치된 10^{-6} mg까지 측정 가능한 저울을 사용하여 사용 전 후의 무게차를 구하였다. 분사 시에는 Time watch를 이용해 분사시간을 10^{-2} 초까지 측정하여 사용량(g/sec)로 측정한 결과는 다음과 같다.

표 7. 제품 사용량 측정결과

높이 \ 거리		30cm	60cm	100cm
Up	무게차(mg)	5200.37±74.50	5013.73±69.98	5045.50±50.50
	시간(sec)	5.74±0.18	5.38±0.17	5.41±0.26
	사용량(g/sec)	0.91±0.02	0.93±0.02	0.94±0.05
Center	무게차(mg)	5032.63±52.66	5006.97±58.36	5075.90±88.86
	시간(sec)	5.22±0.15	5.60±0.18	5.57±0.22
	사용량(g/sec)	0.96±0.02	0.90±0.02	0.91±0.04
Low	무게차(mg)	5069.87±155.27	5126.83±204.23	4955.60±151.86
	시간(sec)	5.34±0.29	5.68±0.24	5.53±0.22
	사용량(g/sec)	0.95±0.03	0.90±0.01	0.90±0.03

총 27회 분사에 대한 제품 사용량은 0.92 ± 0.04 g/sec로 나타났으며, 통계프로그램 IBM SPSS(Ver.20)을 사용하여 계산하였다. 정규성은 Shapiro wilk normality test를 통해 확인했으며, 등분산은 Levene test를 통해 확인한 후, 등분산이 확인되어 일원배치분산분석(ANOVA test)와 사후검정 Dunnett test를 적용하여 분석하였다. 27개 지점은 모두 p value>0.05를 얻어 통계적으로 위치에 따른 사용량에는 차이가 없었다.

1.2. 환경모니터링

시험이 수행되는 동안 챔버 내부의 온도, 습도, 산소 농도를 매 1분 단위로 측정하였다. 챔버 내부 온도는 $20.99 \pm 0.97^\circ\text{C}$ 로 유지되었고, 상대습도는 $53.33 \pm 8.61\%$ 를 유지하였다. 또한, 산소 농도는 $20.53 \pm 0.18\%$ 를 유지하였고, 챔버 내부 환기율은 0 회/h를 유지하였다.

1.3. 질량 농도 측정 결과

본 연구는 섬유탈취제의 사용형태와 노출환경을 고려한 흡입 노출량을 수 농도와 질량 농도로 비교하는 연구로 흡입 노출량평가를 수행하기 위해 질량 농도측정 OPC로 측정했다. OPC는 1.2 L/min의 유속으로 47mm PTFE 필터를 사용하여 샘플링된 입자를 질량분포(mass distribution)에 의한 에어로졸의 질량 농도로 환산했다.

입자크기별 농도를 비교하기 위해 0.5, 1.5, 5분 그리고 30분 동안 32개 입경별 채널에서 누적된 질량 농도를 수 농도와 마찬가지로 PS1($>1\mu\text{m}$), PS2.5($1\mu\text{m} < x < 2.5\mu\text{m}$), PS10($2.5\mu\text{m} < x < 10\mu\text{m}$)으로 범주화하여 비교하였다.

측정시간 30분동안 위치별 측정된 질량 농도는 [그림7]과 같이 측정 시간동안 모두 PS10이 PS2.5와 PS1에 비해 높으며, 측정 0.3분에 60-Low지점 PS10에서 $240.43\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 관측 중 최대값을 나타냈다. 그리고 측정 종료

시점에는 PS1, PS2.5, PS10은 1~25.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 질량 농도를 나타냈다.

수 농도와 마찬가지로 분사 거리와 무관하게 Low 지점은 사용시간 50분 위수(0.5분) 이내에 PS1, PS2.5, PS10 모두 순간 최대 질량 농도에 도달하였다[표 8]. 그리고 100-Up에서도 0.5분 이내에 PS1, PS2.5, PS10이 질량 농도 최대값을 나타냈다.

1.45~3.45 μm 의 입자들이 9개 지점 노출시간 동안 질량 농도에서 가장 큰 비중을 차지했고, 수 농도가 가장 높은 1 μm 이하의 입자들은 질량 농도에서 차지하는 비중이 매우 낮았다[그림8].

사용시간 50, 75, 95분위 수인 0.5, 1.5, 5분 그리고 측정 시간 30분 동안 1~10 μm 범위의 입자 총 질량에 대한 해당 비율은 1.78~5.06%, PS2.5는 18.39~44.92%, PS10은 51.73~79.50%로 나타났다.[표 9].

표 8. 위치별 질량 및 수 농도 최대값

높이	거리 구분	30cm			60cm			100cm		
		PS1	PS2.5	PS10	PS1	PS2.5	PS10	PS1	PS2.5	PS10
Up	최대 질량농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2.71	27.09	90.44	1.63	18.82	68.04	3.34	51.27	81.53
	노출시간(분)	7.8	4.5	4.6	7.0	7.7	3.8	0.3	0.3	0.4
	최대 수 농도 (Particle/ m^3)	1.47×10^7	6.34×10^6	2.30×10^6	8.98×10^6	4.34×10^6	1.79×10^6	2.43×10^7	1.04×10^7	2.17×10^6
	노출시간(분)	5.9	4.5	4.6	4.0	7.4	3.9	0.3	0.3	0.3
Cen	최대 질량농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.31	33.63	53.61	1.70	16.71	76.35	1.85	17.61	72.12
	노출시간(분)	0.4	0.4	2.8	10.3	8.8	6.8	8.1	4.3	4.4
	최대 수 농도 (Particle/ m^3)	1.59×10^7	8.30×10^6	1.32×10^6	9.48×10^6	3.92×10^6	1.88×10^6	1.02×10^7	4.58×10^6	1.75×10^6
	노출시간(분)	0.4	0.4	8.3	7.2	8.8	6.8	4.3	8.3	4.4
Low	최대 질량농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.67	44.21	135.89	16.28	216.96	240.43	2.50	18.93	136.67
	노출시간(분)	0.4	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	3.2	0.4
	최대 수 농도 (Particle/ m^3)	2.27×10^7	1.08×10^7	3.75×10^6	9.17×10^7	4.96×10^7	9.57×10^6	1.38×10^7	5.88×10^6	3.11×10^6
	노출시간(분)	0.4	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4

표 9. 노출 시간 및 입경에 따른 질량 농도 비율

(단위 : %)

구분	위치	30-up	30-Cen	30-Low	60-up	60-Cen	60-Low	100-up	100-Cen	100-Low	평균값	표준편차
	시간 (분)											
PS1	0.5	4.00	4.29	2.15	1.89	1.42	3.18	2.24	3.80	1.86	2.76	1.07
	1.5	3.49	3.06	2.23	2.35	1.70	2.59	2.09	2.29	2.25	2.45	0.54
	5	2.00	2.57	2.44	1.55	1.23	2.61	2.33	2.27	2.72	2.19	0.51
	30	3.06	3.14	3.26	2.88	2.88	3.23	3.02	3.06	3.73	3.14	0.26
PS2.5	0.5	33.83	38.48	28.43	18.46	7.00	42.08	31.53	30.20	15.35	27.26	11.44
	1.5	28.04	31.48	25.36	25.83	16.73	31.78	26.93	21.31	20.81	25.36	5.00
	5	20.26	26.75	25.90	18.93	12.62	28.39	22.99	22.43	25.59	22.65	4.86
	30	27.35	29.92	29.80	28.56	25.60	30.12	26.95	27.53	32.65	28.72	2.13
PS10	0.5	62.17	57.23	69.41	79.65	91.58	54.74	66.23	66.00	82.80	69.98	12.30
	1.5	68.47	65.46	72.41	71.82	81.57	65.64	70.98	76.39	76.93	72.19	5.38
	5	77.74	70.69	71.66	79.52	86.15	69.00	74.68	75.30	71.69	75.16	5.35
	30	69.59	66.94	66.94	68.56	71.51	66.65	70.03	69.41	63.62	68.14	2.36

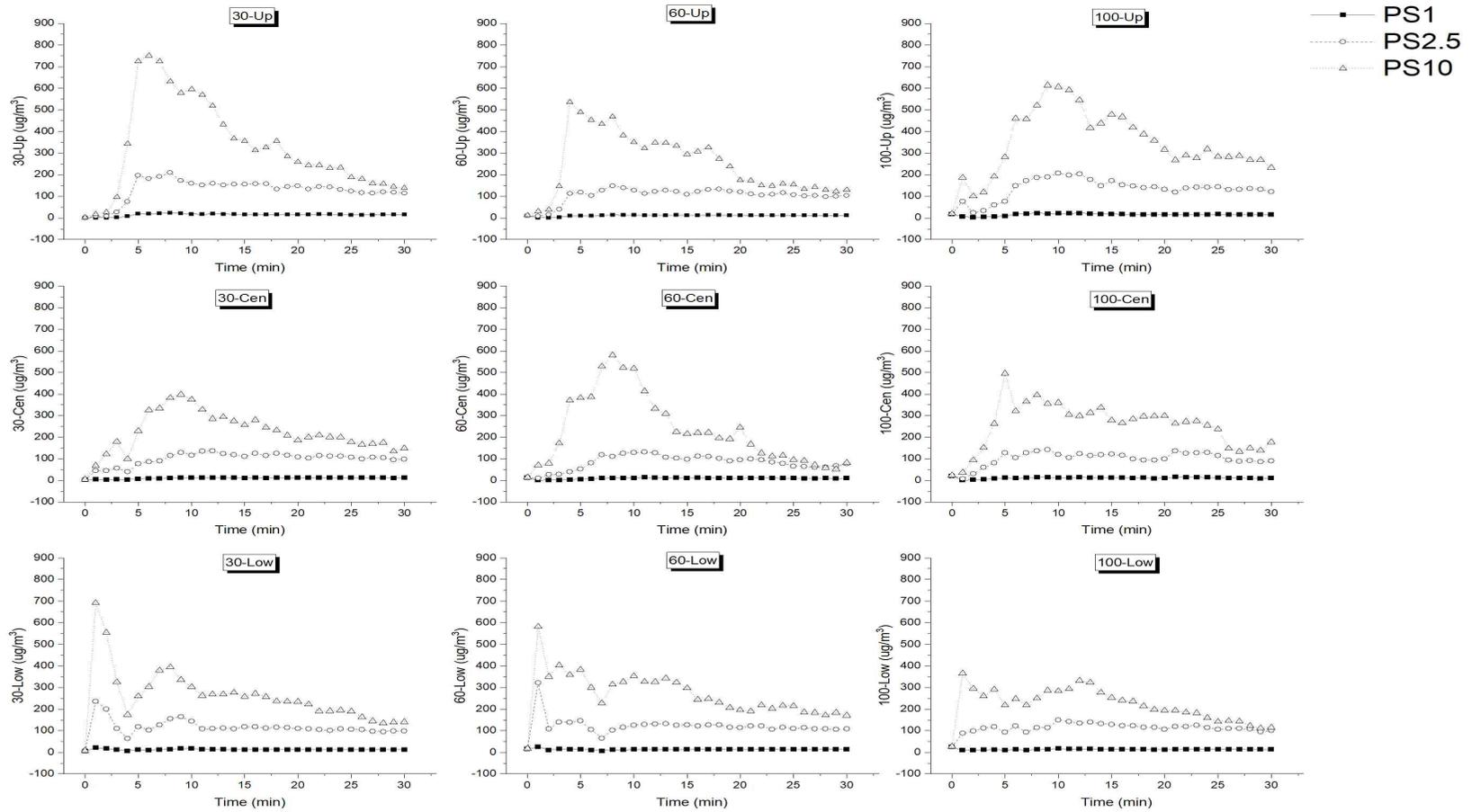


그림 7. 노출 시간에 따른 질량 농도 변화.

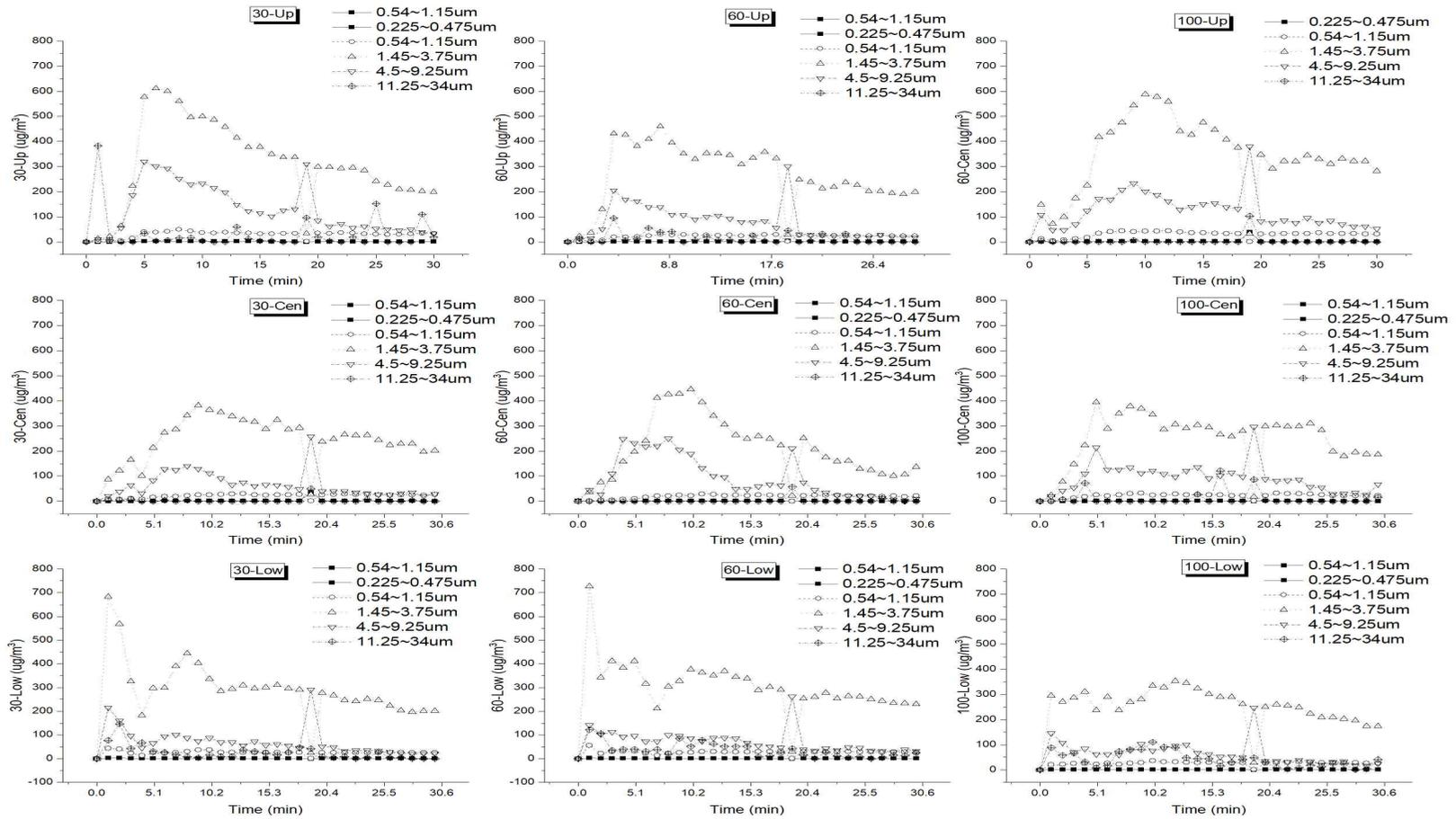


그림 8. 노출 시간에 따른 질량 농도 변화(31개 채널).

1.4. 수 농도 측정결과

수 농도도 질량 농도와 마찬가지로 입자크기별 농도를 비교하기 위해 0.5, 1.5, 5분 그리고 30분 동안 31 입경별 채널에서 누적된 질량 농도를 수 농도와 마찬가지로 PS1($>1\mu\text{m}$), PS2.5($1\mu\text{m} < x < 2.5\mu\text{m}$), PS10($2.5\mu\text{m} < x < 10\mu\text{m}$)으로 범주화하여 비교하였다.

30-Low, 60-Low, 100-Up 지점은 사용시간 50분위수(0.5분) 이내에 PS1, PS2.5, PS10 모두 순간 최대 수 농도에 도달하였다[표 8].

측정시간 30분 동안 수 농도 변화는 [그림 9]과 같이 입자가 작은 PS1이 PS2.5, PS10보다 모든 구간에서 높은 수 농도를 보였고, 측정 0.3분에 60-Low 지점 PS1에서 9.17×10^7 particles/ m^3 로 관측 중 최대값을 나타냈다. 그리고 측정 종료 시점에는 $3.90 \times 10^5 \sim 7.13 \times 10^6$ particles/ m^3 사이의 수 농도를 나타냈다.

$10\mu\text{m}$ 이상의 입자들은 분사 시, 대부분 Low 높이에서 1.00×10^5 particles/ $\text{m}^3 \cdot \text{min}$ 이하로 관찰됐다. 입자크기가 작을수록 1분 당 관측된 수 농도는 상대적으로 컸으며 $1\mu\text{m}$ 이하 입자 수 농도는 분사 후 10분 동안 수 농도가 비슷한 양상을 보이거나, $0.54 \sim 1.15\mu\text{m}$ 크기의 입자가 $0.265 \sim 0.475\mu\text{m}$ 보다 오랫동안 부유하는 것이 9개 측정지점에서 공통적으로 나타났다[그림 10].

사용시간 50, 75, 95분위 수인 0.5, 1.5, 5분 그리고 측정 시간 30분 동안 1~ $10\mu\text{m}$ 범위의 총 입자 수에 대한 해당 비율은 PS1은 62.18~65.22%, PS2.5는 26.95~30.06%, PS10은 7.76~9.69%로 나타났다[표 10].

표 10. 노출 시간 및 입경에 따른 수 농도 비율

(단위 : %)

구분	위치 시간 (분)	30-up	30-Cen	30-Low	60-up	60-Cen	60-Low	100-up	100-Cen	100-Low	평균값	표준편차
PS1	0.5	69.55	62.64	61.57	66.03	67.39	60.68	64.97	72.56	61.59	65.22	4.06
	1.5	68.30	62.11	60.89	63.54	61.76	60.73	64.63	67.59	61.78	63.48	2.82
	5	63.05	61.44	61.39	61.58	63.48	60.64	63.98	63.34	61.84	62.31	1.17
	30	62.40	60.77	62.67	60.83	62.88	61.41	62.84	63.55	62.24	62.18	0.97
PS2.5	0.5	27.08	32.04	29.31	24.37	20.65	32.69	27.77	21.95	26.72	26.95	4.13
	1.5	26.37	30.57	29.46	27.75	27.47	30.99	27.47	24.30	28.68	28.12	2.09
	5	27.34	30.02	29.34	26.18	24.28	30.46	27.13	27.61	29.65	28.00	2.03
	30	29.99	31.38	29.62	30.79	29.10	30.70	29.16	28.77	31.05	30.06	0.95
PS10	0.5	3.37	5.32	9.12	9.60	11.96	6.63	7.26	5.49	11.69	7.83	2.96
	1.5	5.33	7.33	9.65	8.71	10.77	8.28	7.91	8.11	9.55	8.40	1.56
	5	9.60	8.55	9.27	12.24	12.24	8.90	8.88	9.05	8.51	9.69	1.48
	30	7.61	7.85	7.71	8.38	8.02	7.89	8.00	7.67	6.71	7.76	0.46

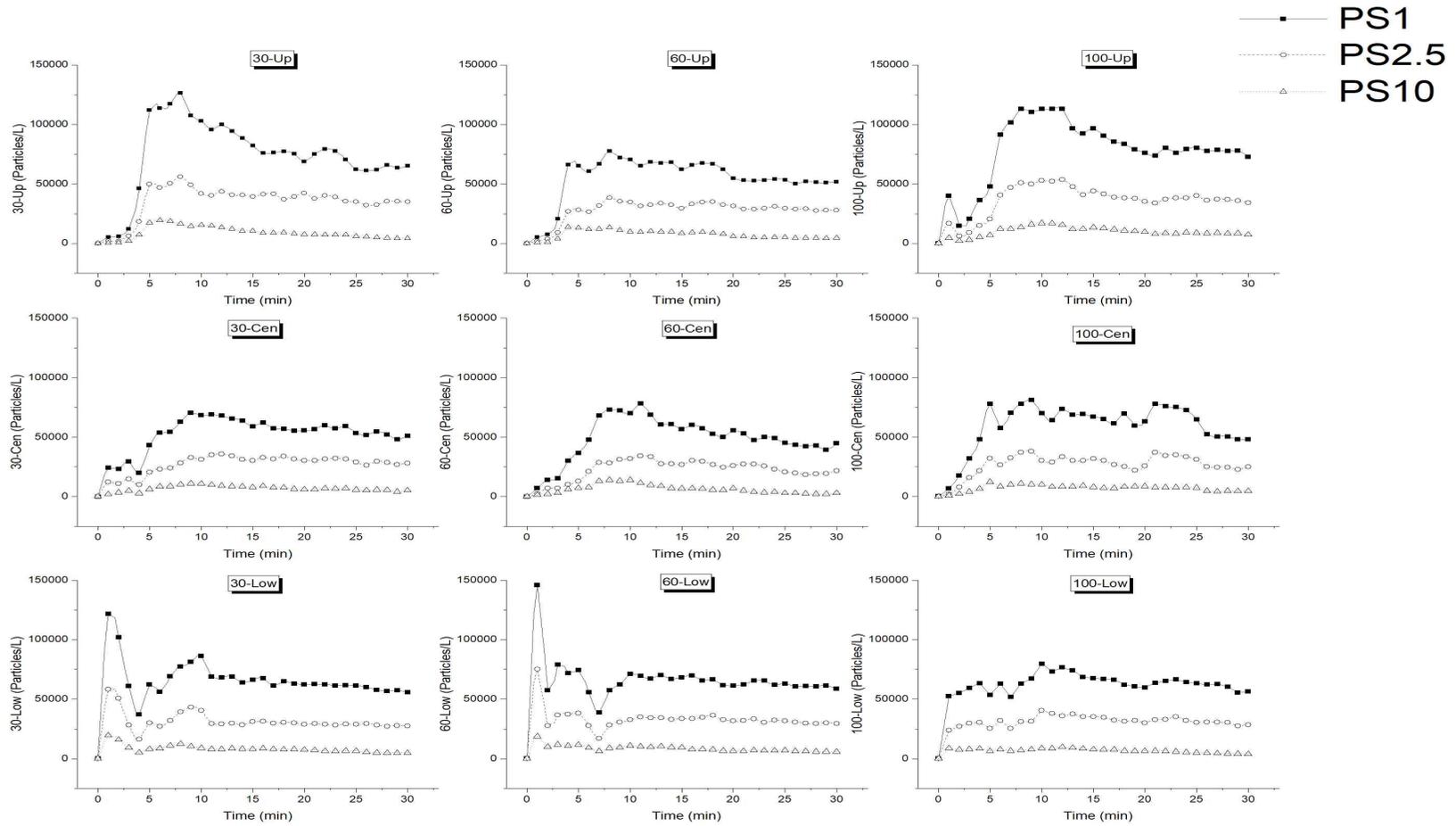


그림 9. 노출 시간에 따른 수 농도 변화.

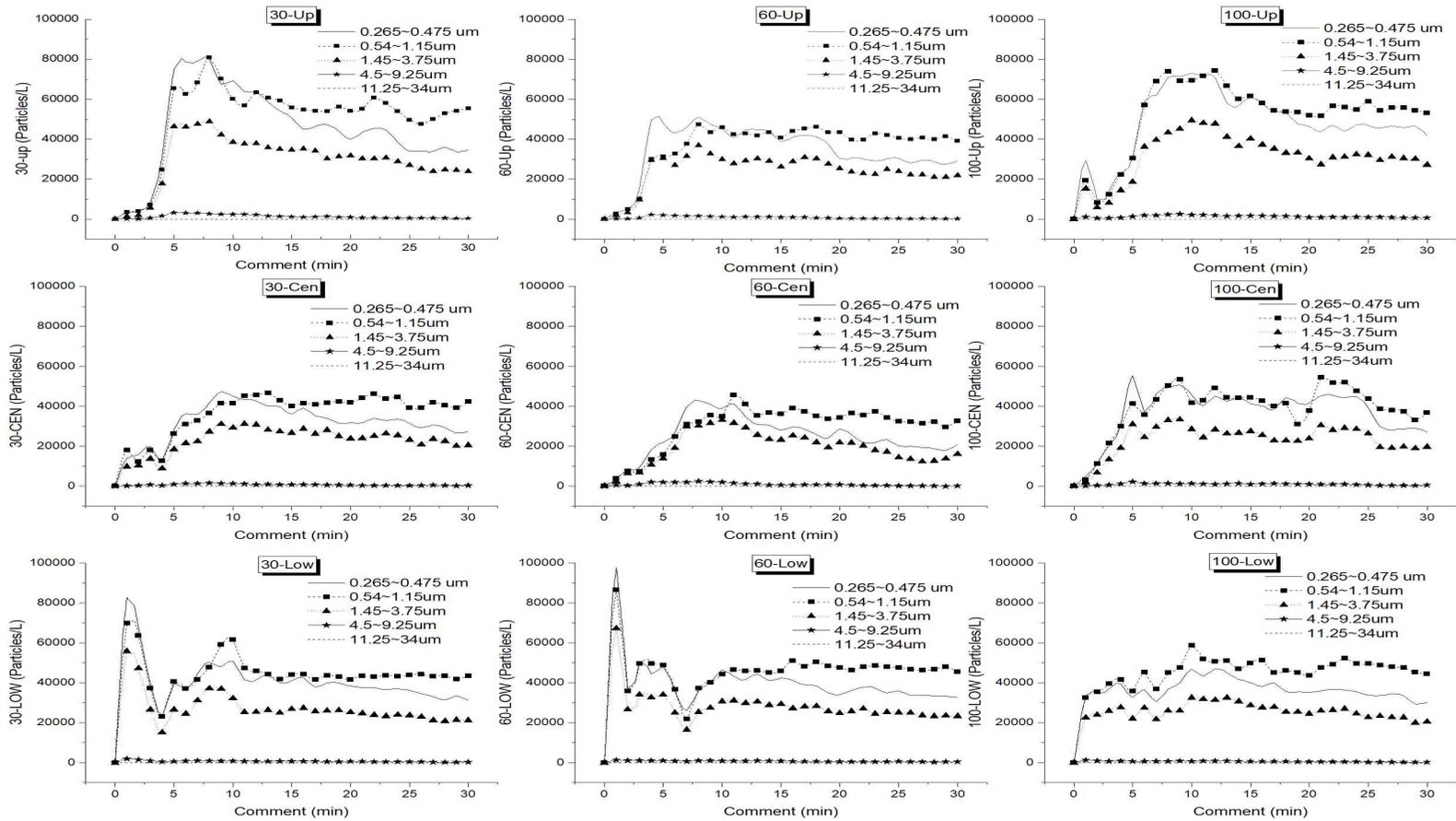


그림 10. 노출 시간에 따른 수 농도 변화(31개 채널).

1.5. 노출시간 추정결과

노출시간은 부유비율이 그리는 그래프가 음의 기울기를 갖고 환기율 0.6회/h에 의한 부유비율 감소 직선식($y=-x+100$) 접점까지를 만나는 지점까지를 노출시간(t)으로 보았다. 즉, 확산에 의해 부유비율이 최대값 1을 나타낸 이후 감소하는 시점에 직선식과 만나는 지점을 노출시간으로 보았다. 다만, 부유비율 그래프가 측정 종료시점까지 변동이 있더라도, 종료 시점에 70% 이상 부유되는 경우에는 70% 이상 부유된 것으로 보고 최대 30분을 노출시간으로 보았다. 그 이외에는 직선식 하단에 부유비율 그래프가 놓일 경우 해당 시간을 부유시간이자 노출시간($t=h/\text{회}$)으로 가정하였다.

질량 농도에 대한 부유비율과 환기율에 따른 [그림 11]과 같이 나타났고, 수 농도에 대한 부유비율 변화는 [그림12]와 같이 나타났다.

부유비율의 경우 분사거리 보다는 높이에 따른 차이를 보였다. 또한 입자가 큰 PS10이 PS1, PS2.5보다 빠르게 부유비율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

부유비율과 환기율 직선식으로 추정된 노출시간은 [표11]과 같았으며, 측정 종료 시점인 30분에 70% 이상 부유된 경우는 질량 농도 중 30-Cen지점의 PS1과 PS2.5, 60-Up지점 PS1, 60-Cen지점 PS1, 100-Up지점 PS1, 100-Low지점 PS1이 있었다.

또한 수농도는 30-Cen지점 PS1과 PS2.5 그리고 100-Low지점 PS1과 PS2.5에서 측정 종료 시점인30분에 70% 이상 부유되었다.

표 11. 부유비율과 환기율에 의한 감소량으로 추정된 노출시간

(단위 : 분)

높이 / 구분		거리			30cm			60cm			100cm		
		PS1	PS2.5	PS10	PS1	PS2.5	PS10	PS1	PS2.5	PS10			
Up	질량 농도	9	9	8	30	21	5	30	13	13			
	수 농도	9	9	8	11	11	9	13	14	13			
Cen	질량 농도	30	30	11	30	13	9	26	11	6			
	수 농도	30	30	11	13	13	11	10	10	6			
Low	질량 농도	2	2	2	2	2	2	30	16	2			
	수 농도	2	2	2	2	2	2	30	30	15			

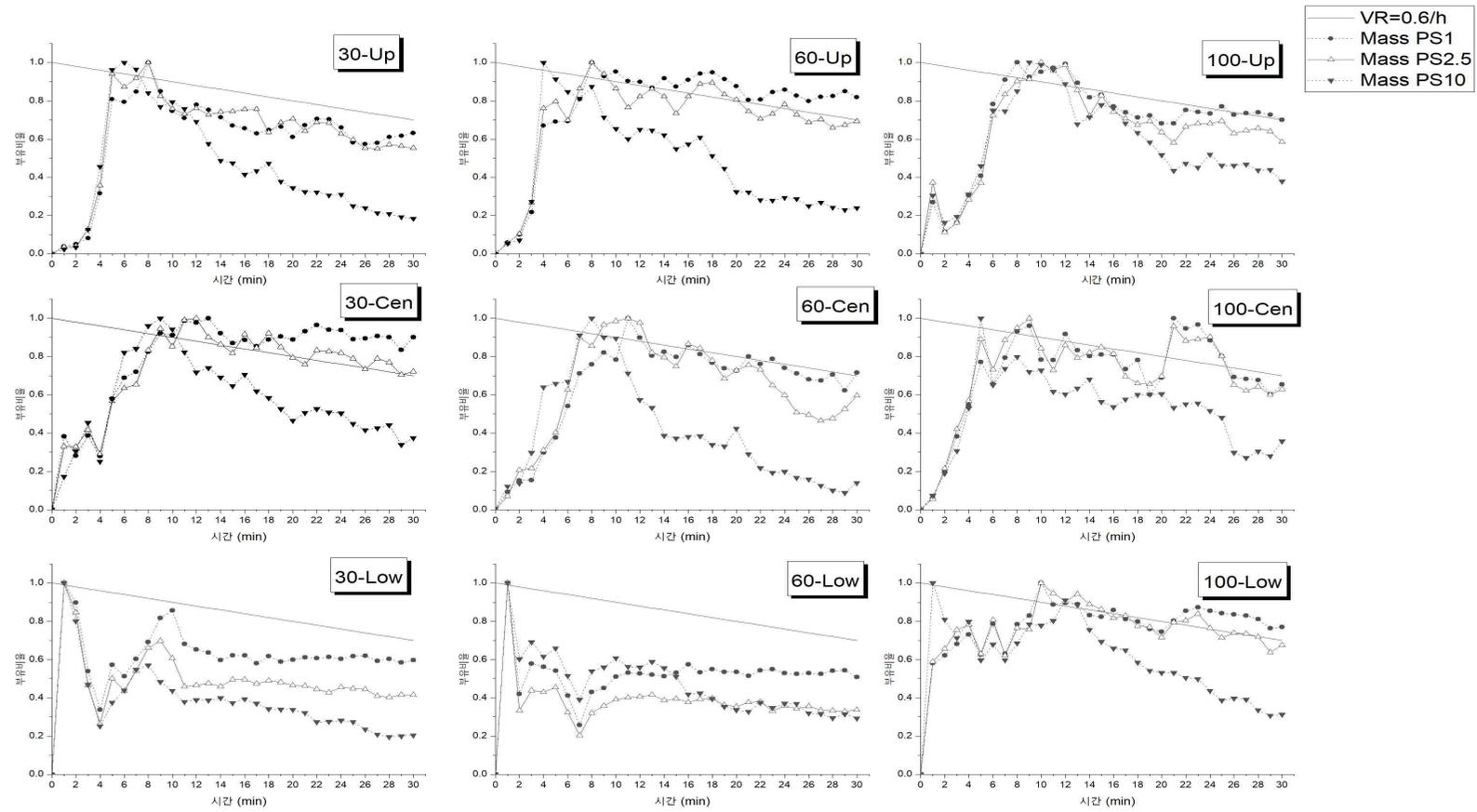


그림 11. 질량 농도에 대한 입경별 부유비율 비교.

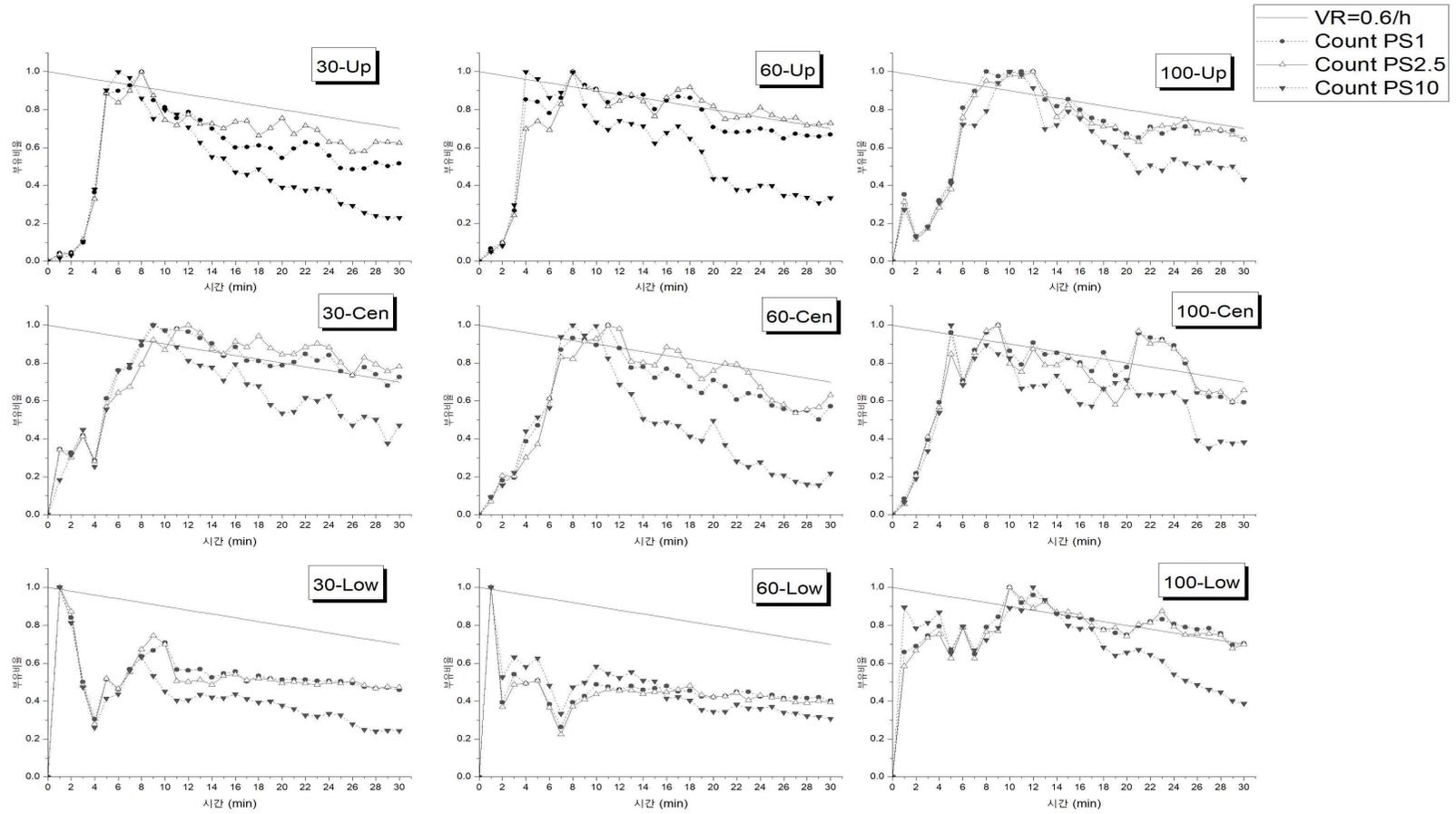


그림 12. 수 농도에 대한 입경별 부유비율 비교

2. 분사된 입자의 노출평가

이번 연구에서는 분사형 제품의 흡입노출량평가를 측정 위치와 입자크기 차이에 따른 부유시간을 고려해 질량 농도 및 수 농도로 노출량 평가를 수행하였다. 부유시간에 따른 노출 시간[표11]에 따른 누적된 9개 지점의 PS1, PS2.5, PS10 챔버 내 공기 중 농도($C_{\text{챔버}}$)를 먼저 구하였다. 그리고 챔버 내 공기 중 누적 질량 농도와 수 농도($C_{\text{챔버}}$)에 챔버 체적을 고려한 공기중 농도(C_a)는 [표12]과 같았으며, [표 6]의 노출 시나리오로 흡입 노출량 평가를 수행한 결과는 다음과 같았다[표13].

노출시간에 따른 공간 내 질량 농도(C_a -Mass)는 100-Up지점 PS10에서 $4.73 \times 10^{-1} \text{ mg/m}^3$ 로 가장 높았고, 60-Low지점 PS1에서 $3.52 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^3$ 로 가장 낮았다.

노출시간에 따른 공간 내 수 농도(C_a -Count)는 100-Low지점 PS1에서 $1.63 \times 10^8 \text{ Particles/m}^3$ 로 가장 높았고, 60-Low지점 PS10에서 $2.80 \times 10^6 \text{ Particles/m}^3$ 로 가장 낮았다.

질량 농도에 대한 흡입 노출량 평가(D_{inh} -Mass)는 30-Cen지점 PS2.5에서 $5.50 \times 10^{-4} \text{ mg/kg-day}$ 로 가장 높았고, 60-Low지점 PS1에서 $4.90 \times 10^{-7} \text{ mg/kg-day}$ 로 가장 낮았다. 두 지점에 대한 흡입 노출량의 차이는 약 1,120배 차이를 보였다[그림13].

수 농도에 대한 흡입 노출량 평가(D_{inh} -Count)는 100-Low지점 PS1에서 3,980 Particles/kg-day로 가장 높았고, 60-Low지점 PS10에서 4 Particles/kg-day로 가장 낮았다. 두 지점에 대한 흡입 노출량의 차이는 약 1,001배 차이를 보였다[그림14].

표 12. 노출시간에 따른 공간 내 농도(C_a)

시간	구분 위치	C _a -Mass (mg/m ³)			C _a - Count (Particles/m ³)		
		PS1	PS2.5	PS10	PS1	PS2.5	PS10
0.5분	30-Up	1.08×10^{-2}	1.02×10^{-1}	3.16×10^{-1}	6.13×10^7	2.67×10^7	7.83×10^6
	60-Up	2.78×10^{-2}	2.03×10^{-1}	1.17×10^{-1}	5.43×10^7	2.52×10^7	7.76×10^6
	100-Up	3.95×10^{-2}	1.63×10^{-1}	4.73×10^{-1}	9.40×10^7	4.66×10^7	1.28×10^7
	30-CEN	2.76×10^{-2}	2.63×10^{-1}	2.66×10^{-1}	1.37×10^8	7.09×10^7	7.36×10^6
	60-CEN	2.46×10^{-2}	1.01×10^{-1}	2.93×10^{-1}	5.96×10^7	2.57×10^7	7.72×10^6
	100-CEN	2.65×10^{-2}	9.82×10^{-2}	1.31×10^{-1}	5.09×10^7	2.31×10^7	3.32×10^6
	30-Low	3.80×10^{-3}	4.26×10^{-2}	1.22×10^{-1}	2.19×10^7	1.07×10^7	3.48×10^6
	60-Low	3.52×10^{-3}	4.20×10^{-2}	9.13×10^{-2}	1.99×10^7	1.01×10^7	2.80×10^6
	100-Low	3.40×10^{-2}	1.74×10^{-1}	6.46×10^{-2}	1.63×10^8	8.13×10^7	1.11×10^7

표 13. 질량 및 수 농도에 의한 흡입 노출량평가(D_{inh})

구분 위치	D _{inh} -Mass (mg/kg-day)			D _{inh} -Count (Particles/kg-day)		
	PS1	PS2.5	PS10	PS1	PS2.5	PS10
30-Up	6.79×10^{-6}	6.36×10^{-5}	1.76×10^{-4}	406	177	46
60-Up	5.81×10^{-5}	2.96×10^{-4}	4.06×10^{-5}	443	206	51
100-Up	8.25×10^{-5}	1.47×10^{-4}	4.28×10^{-4}	916	492	125
30-CEN	5.76×10^{-5}	5.50×10^{-4}	2.04×10^{-4}	3,354	1,732	60
60-CEN	5.13×10^{-5}	9.16×10^{-5}	1.84×10^{-4}	581	250	63
100-CEN	4.81×10^{-5}	7.52×10^{-5}	5.46×10^{-5}	376	170	14
30-Low	5.29×10^{-7}	5.93×10^{-6}	1.70×10^{-5}	31	15	5
60-Low	4.90×10^{-7}	5.84×10^{-6}	1.27×10^{-5}	28	14	4
100-Low	7.09×10^{-5}	1.94×10^{-4}	9.00×10^{-6}	3,980	1,985	126

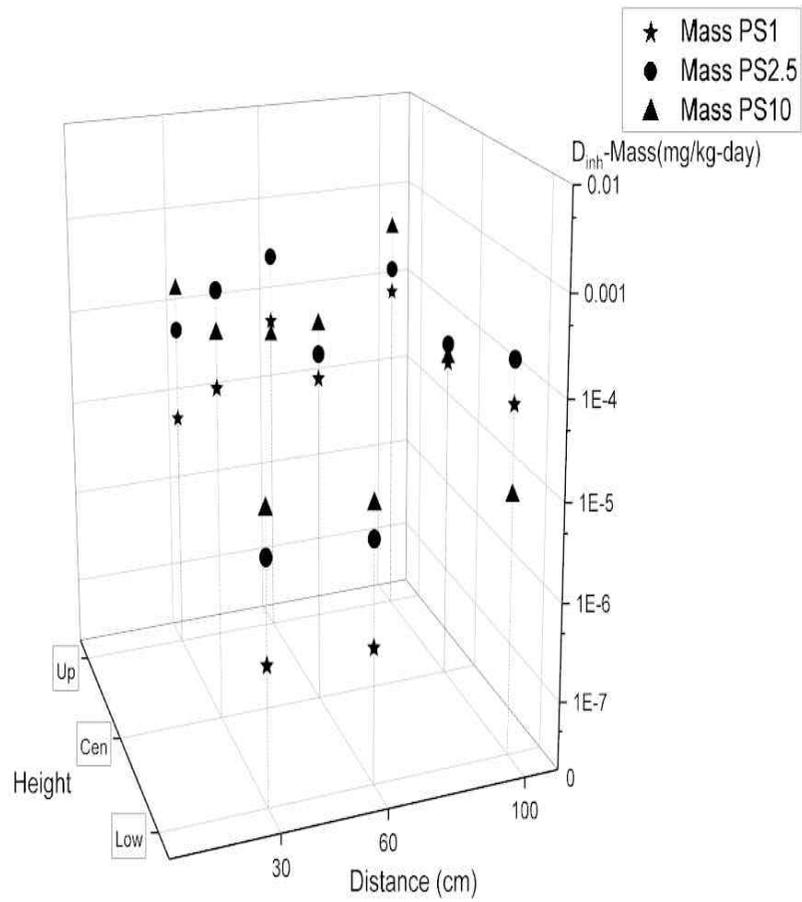


그림 13. 질량 농도에 따른 흡입노출량(D_{inh} -Mass).

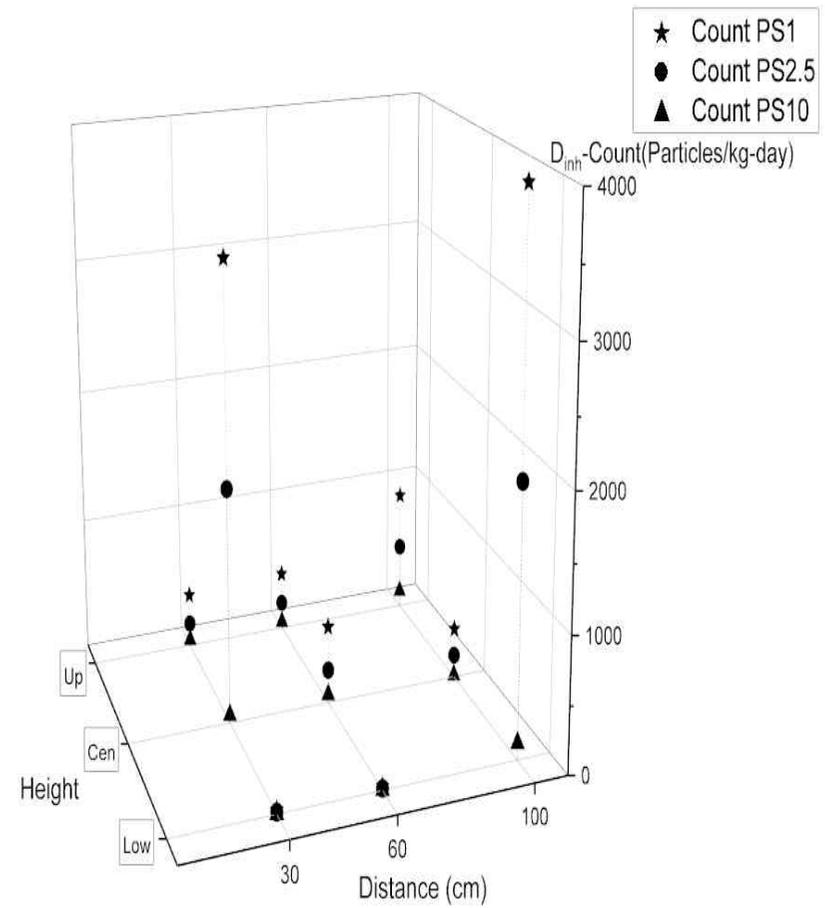


그림 14. 수 농도에 따른 흡입노출량(D_{inh} -Count).

IV. 고찰

본 연구는 생활화학제품 중 사용빈도가 가장 높은 섬유탈취제를 대상으로 분사 조건에 따른 흡입 노출량을 질량 농도와 수 농도로 비교하는 실험이었다.

본 실험에서는 입자크기와 측정 위치에 따른 질량 농도와 수 농도에 대한 흡입 노출량 평가 결과는 서로 상이했다.

질량 농도는 PS10, PS2.5, PS1 순서로 농도가 높았다. 챔버 내에서 6초 마다 측정된 30분 동안 1~10 μ m 범위의 입자 총 질량에 대한 해당 비율은 PS1은 2.19~3.14%, PS2.5는 22.65~28.72%, PS10은 68.14~75.16%로 나타났다.

수 농도는 PS1, PS2.5, PS10 순서로 농도가 높았다. 챔버 내에서 6초 마다 측정된 30분 동안 1~10 μ m 범위의 총 입자 수에 대한 해당 비율은 PS1은 62.18~65.22%, PS2.5는 26.95~30.06%, PS10은 7.76~9.69%로 나타났다.

흡입에 의해 폐까지 도달 가능한 것으로 알려진 2.5 μ m 이하의 입자는 1~10 μ m 총 입자 질량 중 20.50~48.27%를 차지했지만, 수 농도 기준으로는 89.05~97.25%로 관찰된 입자 대부분을 차지하였다. 입자 수는 많지만 단위 질량이 작아 질량 농도에 기여하는 바가 작은 입자들이었다.

측정위치와 입자크기(PS1, PS2.5, PS10)에 따른 총 27개의 흡입노출량을 질량과 수 농도로 비교했을 때, 수 농도 흡입 노출량(D_{inh}-Count)이 가장 높았던 100-Low지점 PS1은 27개 지점에 대한 질량 농도 흡입 노출량(D_{inh}-Mass) 순위에서는 12위를 보였다.

PS2.5는 두 노출량평가에 의한 차이가 0~9개 순위 차이를 보였지만, 입자크기가 PS1, PS10에서는 0~14개 순위 차이를 나타냈다.

이러한 결과는 질량 농도를 기반으로 평가되는 현재의 흡입노출량 평가방식으로는 실제 폐에 도달되는 입자에 대한 실효성 있는 평가가 부족하며, 동시에 수 농도에 대한 평가도 함께 진행되어야 함을 확인할 수 있었다.

현재 고시된 물체에 분사하는 트리거 제품의 경우 0.6~2%로 고정된 부유비율만으로는 입자 크기에 따른 수 농도와 부유비율 등을 설명하기에는 부족한 것으로 판단된다.

본 실험에서 분류한 PS1, PS2.5, PS10이 각기 다른 물질이었다면, 질량 농도 값에 따라 PS10은 노출시간 동안 흡입노출량이 큰 물질이지만, PS1은 질량 농도가 PS10보다 작아서 위해성이 낮은 것으로 평가될 소지가 있다. 하지만, 입자가 $1\mu\text{m}$ 이하인 PS1은 PS10보다 흡입 시 폐와 기도 깊숙한 곳에 침착할 수 있고, 수 농도가 가장 높은 물질인 PS1은 많은 염증반응을 유발했을 것이다.

나노 물질에 대한 연구 중, 두 가지 크기(25nm vs 250nm)의 이산화티타늄을 Rat에 노출시켰을 때 Dose-Response 관계에서는 입자가 작은 경우 더 큰 염증반응을 보이며 나노 입자 등과 같이 작은 입자는 질량이 아닌 표면적 노출량에 의해 피해 정도가 결정된다는(Oberdoster, G., 2000) 연구결과 등은 기존 질량 농도에 의한 흡입노출량평가의 한계점을 드러내고 있다.

또한, 보통 실내 공기질이나 미세먼지에서 말하는 부유성 입자들의 경우 $10\mu\text{m}$ 이하의 입자들이 흡입 가능한 것으로 보고 있다. 하지만, 분사형 제품에 의한 액상 에어로졸의 경우, 미세먼지에 비해 밀도가 높아 입경이 큰 입자는 분사 시 바닥에 많은 양이 떨어져, 30-Low, 60-Low 지점에서 0.5분 이내에 질량 및 수 농도 최대값이 나타났다. 또한 $4.5\mu\text{m}$ 크기 이상의 입자는 분사 즉시 바닥에 떨어져 수 농도가 낮아 흡입에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 1종의 생활화학제품만을 대상으로 밀폐형 챔버의 제한된

공간에서 실험을 수행하였기 때문에, 환기율 조건, 공간 체적 등의 실험 조건에 따른 제한점을 갖고 있었다.

향후 생활화학제품의 분사형태(스프레이, 트리거)와 용매(물과 유기용제)에 따른 표준화된 질량 농도와 수 농도 비교 연구를 통해, 제품 노출에 의한 수 농도 위해성평가 도입방안을 지속적으로 연구할 필요가 있다.

V. 결 론

본 연구는 생활화학제품 중 사용빈도가 가장 높은 섬유탈취제를 대상으로 분사 조건에 따른 흡입 노출량을 질량 농도와 수 농도로 비교 평가했다. 분사 조건은 제품 사용법에 명시된 사용법 등을 고려해 분사거리를 30, 60, 100cm로 두었고 분사점과 상대적 높이를 고려해 ± 30 cm로 Up, Center, Low로 총 9개 지점에서 30분간 OPC로 분사된 제품의 질량 농도와 수 농도를 측정하였다.

측정 결과는 Particle Size(이하 PS) 1, 2.5, $10\mu\text{m}$ 을 기준으로 PS1($>1\mu\text{m}$), PS2.5($1\mu\text{m} < x < 2.5\mu\text{m}$), PS10($2.5\mu\text{m} < x < 10\mu\text{m}$)으로 구분하여 질량 및 수 농도에 대한 흡입노출량을 비교·평가하였고, 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 트리거형 섬유탈취제 분사 시, 질량 농도에 의한 흡입 노출량과 수 농도에 의한 흡입 노출량은 서로 다른 경향을 보였다.

흡입에 의해 폐까지 도달 가능한 것으로 알려진 $2.5\mu\text{m}$ 이하의 입자는 $1\sim 10\mu\text{m}$ 총 입자 질량 중 20.50~48.27%를 차지하였고, 수 농도 기준으로는 89.05~97.25%를 차지하였다.

질량 농도는 입자크기별 단위질량과 함께 입자 수가 질량에 영향을 미치지만, 수 농도에 의한 흡입 노출량의 경우 입자 수 이외에는 영향을 줄 수 있는 요소가 없어, 서로 상이한 결과를 나타냈다.

둘째, 액상 에어로졸의 경우 부유성 미세먼지와는 달리 약 $4.5\mu\text{m}$ 이상의 입자는 밀도가 커 부유시간이 매우 짧아 흡입노출량에는 큰 영향을 주지 못했다. 즉, 질량 측면에서는 많은 비중을 차지하는 입자들은 부유비율이 떨어져 흡입가능성이 낮지만, 입경이 작은 물질들은 부유시간이 길어 흡입가능성이 높은 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 따라서, 체내 면역반응은 질량보다 노출된 입자 수에 따라 macro phage에 의한 면역반응과 염증반응이 일어나므로, 기존의 공기 중 노출량(mg/m³)에 의한 흡입노출량 평가방식에 수 농도에 대한 평가를 보완할 필요가 있다고 판단된다.

이번 연구를 통해 공기 중에 오랜 시간 부유하지만 노출 질량에 큰 영향을 주지 않는 입경이 작은 입자들이 흡입노출 가능성이 더욱 큰 것을 확인할 수 있었고, 수 농도에 대한 흡입 노출량평가가 필요함을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 1가지 생활화학제품에 대해 밀폐형 챔버의 제한된 공간에서 실험을 수행하였기 때문에, 환기율 조건, 공간 체적 등의 실험 조건에 따른 제한점을 갖고 있었다.

향후 생활화학제품의 분사형태(스프레이, 트리거)와 용매(물과 유기용제)에 따른 표준화된 질량 농도와 수 농도 비교 연구를 통해, 제품 노출에 의한 수 농도 위해성평가 도입방안을 지속적으로 연구할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 국립환경과학원, 생활화학제품 위해성평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정 (고시 제2018-70호), 2018.
- 국립환경과학원, 생활화학용품 함유 유해화학물질 노출평가 기반구축(Ⅲ), 2016.
- 국립환경과학원, 화평법 이행을 위한 소비자 노출 예측모형(ConsExpo) 매뉴얼, 2016.
- 박지훈 외 1명, 흡입 노출 모델 알고리즘의 구성과 시나리오 노출량 비교, 2019.
- 통계청, 한국인인체치수조사 통계정보 보고서, 2016.
- 환경부, 가습기살균제 피해지원 종합포털(<https://www.healthrelief.or.kr>)
- 환경부, 살생물물질 실태조사, 2019.
- 환경부, 살생물제 정보시스템(<http://kstat.ezsurvey.kr>), 2020.
- 환경부, 안전확인대상생활화학제품 지정 및 안전·표시기준 (환경부고시 제 2019-45호), 2019.
- 환경부, 한국노출계수핸드북, 2007.
- ECHA(European Chemicals Agency). Guidance on information requirements and chemical safety assessment - Part E: Risk characterization. European Chemicals Agency, Helsinki: Finland; 2008. p. 1-75
- European Committee for Standardization, WORKPLACE ATMOSPHERES - SIZE FRACTION DEFINITIONS FOR MEASUREMENT OF AIRBORNE PARTICLES, 1993
- Grimm, Portable Laser aerosolspectrometer and Dust monitor model 1.108/1.109 manual, 2012.
- ICRP(International Commission on Radiological protection), Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection Vol.24:1-300, 1994
- Kim Et al, Effects of Didecyldimethylammonium Chloride(DDAC) on

- Sprague-Dawley Rats after 13 Weeks of Inhalation Exposure, 2017.
- Oberdoster G., 2000, Toxicology of ultrafine particles: in vivo studies. Phil Trans Roy Soc London Series A, 358:2719-40.
- Ohnuma et al. Didecyldimethylammonium chloride induces pulmonary inflammation and fibrosis in mice, 2009
- Ohnuma et al. Didecyldimethylammonium chloride induces pulmonary fibrosis in association with TGF- β signaling in mice, 2013
- Park et al. Spatial-temporal Dispersion of Aerosolized Nanoparticles During the Use of Consumer Spray Products and Estimates of Inhalation Exposure, 2017.
- Park et al. Comparison of modeled estimates of inhalation exposure to aerosols during use of consumer spray products, 2018.
- RIVM Report 320104004/2005. Bilthoven: The Netherlands; 2005. p. 1-72
- RIVM(National Institute for Public Health and the Environment in Netherlands). The ConsExpo spray model - Modelling and experimental validation of the inhalation exposure of consumers to aerosols from spray cans and trigger sprays. RIVM Report 320104005. Bilthoven: The Netherlands; 2009.p.1-70
- RIVM(National Institute for Public Health and the Environment in Netherlands). Comparing the BAMA indoor air and ConsExpo inhalation models. RIVM Letter Report 320104009
- US EPA. Reregistration Eligibility Decision for Aliphatic Alkyl Quaternaries(DDAC), 2006.

= ABSTRACT =

A Comparative Study on Particle Concentration according to the spraying Conditions of household chemical products

Kyun Suk Byeon
Graduate School of
Public Health
Yonsei University

(Directed by Professor Shin, Dong Chun, M.D., Ph.D)

We use a variety of household chemical products in our daily lives. Since the enactment of the "Act on chemical consumer products and biocides(also called K-BPR)", on January 1, 2019, safety control standards for household products used in our daily lives have been further strengthened.

In this study, the fabric deodorizer, which has the most experience in use among household chemical products, was selected.

In addition, the mass concentration and the number concentration were compared and evaluated according to the method of use.

Fabric deodorizers were selected based on the domestic sales volume and the spraying conditions were selected in consideration of three methods, including how to use the product. Also, the relative height of the spraying point was set as ± 30 cm and measurements were taken at total of 9 points(3 for each Up, Center and Low) for 30 minutes using OPC(Optical Particle Co

unter).

In order to standardize the spraying of the products, the exposure environment was carried out in a 3m³ sealed chamber in a clean room where constant temperature and constant humidity are maintained and monitored. The experiment was carried out by standardizing the use amount using the exposure coefficients of household chemical products set by National Institute of Environment Research.

The results of measurement were classified into PS1(>1 μ m), PS2.5(1 μ m<x<2.5 μ m), PS10(2.5 μ m<x<10 μ m) according to the Particle Size(PS). Then, inhalation exposures for mass and number concentration were compared and evaluated.

The inhalation exposure assessment for mass concentration(D_{inh}-Mass) was the highest(5.50 × 10⁻⁴ mg/kg-day) at 30-Cen point and PS2.5, and the lowest(4.90 × 10⁻⁷ mg/kg-day) at 60-Low point and PS1.

The inhalation exposure assessment for number concentration (D_{inh}-Count) was the highest(3,980 Particles/kg-day) at 100-Low point and PS1, and the lowest(4 Particles/kg-day) at 60-Low point and PS10. The results inhalation exposure by mass and number concentration differed at the same location.

These results indicated that mass concentration and number concentration differed in the assessment of inhalation exposure. It is judged that the smaller the particles, the higher the concentration, but the smaller the unit mass, the smaller the mass concentration.

Even if the exposure mass in the air is small in the current exposure assessment method, products that maintain high water concentrations can cause us great damage. Therefore, measures should be taken to assess the water concentration together in the inhalation exposure assessment.

In this study, only one type of living chemical product was tested in a c

onfined space of a sealed chamber, so it had limitations under experimental conditions such as ventilation rate conditions and space volume.

Through a comparative study of standardized mass concentration and number concentration for spraying (spray, trigger) and solvent (water and organic solvents) of household chemical products in the future, it is necessary to continuously study the introduction method of number concentration risk assessment due to product exposure.

Keywords: number concentration, particle size, mass concentration,
Inhalation exposure assessment