
소방청사 디젤 배기가스 인체유해성 및 배출설비 효과성 분석



소방청
(국립소방연구원)

III 목 차 III

1장. 디젤 배기가스의 보건학적 유해성	1
1. 디젤 배기가스의 구성 물질 및 특성	2
2. 디젤 배기가스와 암과의 상관관계	4
3. 디젤 배기가스의 인체유해성 평가	9
4. 디젤 배기가스의 노출 관리 기준	14
2장. 배기가스 배출설비 현황 및 효과성 분석	17
1. 배출설비 관련 규정	17
2. 국내 소방청사 배출설비 설치 현황	20
3. 배출설비 운용 실태 조사	23
4. 배출설비 효과성 분석	30
5. 해외 소방청사의 차고지 환기 기준	49
6. 결론 및 개선 관련 제언	51
3장. 디젤 배기가스 집진설비	56
4장. 참고 문헌	61

1장. 디젤 배기가스의 보건학적 유해성

- 소방대원은 화재현장에서 벤젠, 포름알데히드, 일산화탄소뿐만 아니라 매일 근무 중 차고지 내에서 시행하는 차량 및 장비 점검 과정에서 1등급 발암물질에 상시 노출되며, 이때 노출되는 물질들은 인체에 폐암과 방광암의 발생률을 증가시키는 주된 원인으로 밝혀진 디젤 배기가스와 1,3-부타디엔, PAHs 등의 독성물질이 포함되어 있다.
- 2019년 부산 MBC는 기획 & 연속보도로 발암물질에 무방비로 노출된 부산 지역 소방안전센터에 관한 보도를 총 8회(2019.1.17.~3.14)에 걸쳐 보도하였다. 본 보도를 통해 부산 수영구 망미119안전센터에서 근무했던 소방관 중 5명이 폐암, 혈관육종암, 혈액암으로 암 투병 중에 있으며, 이 중 3명이 사망한 이유에 대해 소방청사 내에서 디젤 배기가스 등 다양한 1급 발암물질에 대한 장기간 노출을 주요 원인으로 지목하였다. 실제 차고지 내 공기질 분석에서 휘발성 유기화합물(VOCs)이 기준치를 3배 이상 초과하여 검출되었다.



Figure 1. 소방관 암 발병 관련 부산 MBC 보도 장면

1. 디젤 배기가스의 구성 물질 및 특성

- 디젤엔진 배기가스는 디젤엔진 배기관에서 연료의 연소과정을 통해 외부로 배출되는 모든 배기물질을 말하며 가스, 증기, 에어로졸 및 입자물질의 복합 혼합물로 구성되어 있다(Grek Michalak, 2004; HSE guidance, 2012) 디젤 배기가스는 완전연소 시 물과 이산화탄소만을 생성하지만 불완전연소 시 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 알콜류, 알데히드, 케톤류, 탄화수소류(hydrocarbons), 다핵방향족 탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 등을 생성한다(Sydbom A. *et al*, 2001).
- 디젤엔진은 가솔린 엔진에 비해 일산화탄소는 보다 적게 생성하지만, 이산화질소나 알데히드와 같은 물질은 더 많이 생성한다(Sydbom A. *et al*, 2001). 특히 건강에 위협적인 검댕(soot)과 같은 입자성 물질을 다량 생성한다. 무연 가솔린을 사용하는 경우보다 20배 이상의 입자성 물질을 생성하며, 촉매 전환장치를 장착한 경우보다 100배 더 많이 발생시킨다.

Table 1. 디젤 배기가스의 주요 구성 물질 및 성상

Ref: Kear *et al*, 2004

배출물질	물질 성상		생물학적 영향
	증기	입자	
일산화탄소	×		산소 전달 차단
이산화탄소	×		-
질소산화물	×		호흡기계 자극 및 오존 전구체
황산화물	×	×	호흡기계 자극
원소탄소		×	폐포까지 침투
탄화수소류			호흡기계 자극 및 오존 전구체
알칸류 ≤ C18	×		호흡기계 자극 및 오존 전구체
알켄류 ≤ C4	×		호흡기계 자극 및 오존 전구체
알데히드류	×		발암물질
탄화수소류(C14-C35)	×	×	
monocyclic 탄화수소	×	×	발암물질
다환 방향족 탄화수소	×	×	발암물질
니트로 다환방향족 탄화수소	×	×	강력한 발암물질

- 디젤 배기가스 물질의 배출량과 구성 비율은 엔진 유형(일반, 터보 또는 인젝터 방식), 연식, 연료 펌프 세팅, 엔진 부하량, 엔진 온도, 엔진의 유지관리 수준, 사용 연료의 품질, 후처리 기술 적용 여부 등 물리적 특성들에 따라 달라진다(Kear *et al.*, 2004; McDonald *et al.*, 2011). 가스상 물질 중 일산화탄소, 이산화탄소, 질소화합물, 증기의 배출량은 전체 배기가스 질량의 99%를 차지한다.
- 원소탄소, 유기화합물, 황 화합물, 질소 및 금속류들로 구성된 디젤 배기가스 입자물질(diesel exhaust particulates, DEP)은 주로 검댕(soot)으로 부른다. 온도 1,000~2,800 K, 압력 50~100 atm 조건에서 수 ms 사이에 생성되며, 국부적으로 공기가 과부족한 경우 발생한다(Piia Taxell *et al.*, 2016).
- 디젤 배기가스 입자물질은 축적과정(accumulation mode)과 핵형성과정(nucleation mode)을 통해 형성된다. 축적과정(중량기준)은 엔진 실린더 내부에서 탄소성 입자물질의 응집에 의해 형성되며, 0.03~0.5 μm 범위의 크기를 가진다. 핵 형성과정(수량기준)은 원소탄소의 표면에 금속 산화물과 유기화합물의 흡수에 의해 형성되며, 0.003~0.03 μm 범위의 크기를 가진다. 디젤엔진에서 배출되는 입자물질은 인체 유해성 측면에서 중량비율은 미미하나 입자수량 면에서는 대부분을 차지하고 있는 50 nm 이하의 입자물질은 호흡기계통에 흡착비율이 높아 인체 위해도가 훨씬 큰 것으로 알려져 있다.
- 연소에 의한 화학반응으로 생성된 직경 20~30 nm의 입자 수백 개가 뭉쳐진 형태인 초기 입자는 연료분자가 열분해에 의해 탈수 반응을 일으켜 soot 전단계의 미립자핵을 생성하며 직경이 2 nm 이하의 초미립자이다(Kear *et al.*, 2004). 입자는 표면성장, 응집, 엉김, 합체 등의 과정을 통해 soot로 성장한다. 탄화수소 디젤 배기가스 입자 물질은 축적과정과 핵형성과정을 통해 형성된다. 대부분의 입자에서 40% 정도의 SOF(soluble organic fraction)가 흡착된 구조를 가진다.

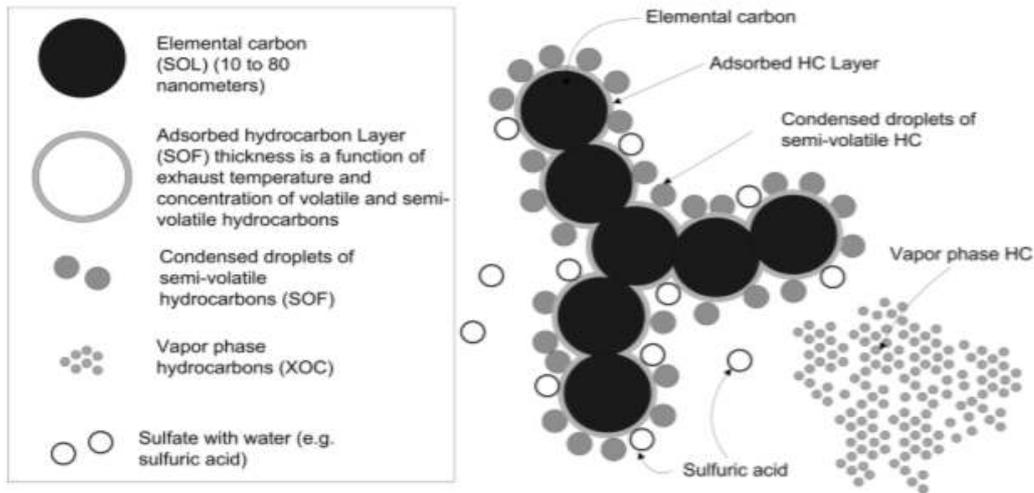


Figure 2. diesel exhaust particles 모식도 Ref: Kear *et al*, 2004

- 육안으로 확인이 가능한 배기가스는 주로 세 가지 유형의 연소과정에서 생성된다. 1) 엔진이 낡았거나 정비 불량인 경우 부분적으로 연소된 연료에 의해 푸른색 연기(석유와 연료의 불완전연소)가 발생하며, 2) 연료를 운반하는 시스템의 결함이나 엔진이 최고 속도에 가깝게 작동될 경우 엔진 내부의 기계적인 결함이 있다면 검은 연기(검댕, 오일 및 연료 불완전연소)를 발생하며, 3) 엔진에 열이 오르지 않은 상태에서 작동시키면 흰 연기(물방울과 연료의 미연소)가 발생한다.

2. 디젤 배기가스와 암과의 상관관계

- 디젤 배기가스에서 배출되는 탄소성분 중 특히 다핵방향족 탄화수소류(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)는 미량으로도 암을 유발할 수 있는 돌연변이 유발성 발암물질로 약 500여종의 PAHs 화합물이 존재하는 것으로 알려져 있다(Kear, 2004). 불완전 연소 또는 고압 조건에서 발생하는 대표적인 유기화합물질들로 탄소와 수소만으로 구성된 3개 이상의 벤젠고리를 가지고 있다. 염료, 플라스틱, 살충제, 아스팔트 피치 등에 존재한다. 연소과정에서는 주로 16~18종의 PAHs가 생성되며 대부분은 입자상으로 존재하지만 벤젠고리가 3개 이하의 주로 가스 형태로, 4개 이상은 고체 형태로 존재한다.

- PAHs의 인체 급성 독성은 낮으나, 폐, 피부, 고환암 등 다양한 암과 관련되어 있다. 생체대사 교란, 발암성, 생식 독소, 직접적인 DNA와의 결합을 통한 돌연변이를 유발한다. 미국 환경보호국(U.S. Environmental Protection Agency, EPA, 2002)은 1976년에 35~50여 종의 PAHs 물질들 중 인체 유해성 평가를 통해 총 16종의 PAH 물질을 발암성 물질로 분류하였다. 특히 benzo(a)pyrene, benzo(a)anthracene, benzo(a)fluoranthene, indeno(1,2,3,-c,d)pyrene은 U.S. Department of Health and Human Services(HHS), International Agency for Research on Cancer(IARC), 그리고 U.S. Environmental Protection Agency(EPA)에서 모두 발암성 물질로 분류되어 있다. 미국 NIOSH 직업적 노출량 한계 기준(REL-TWA)-단기 노출 한계량(short term exposure limit, STEL)은 5 mg/m³ (1일 10시간 근무 기준)과 10 mg/m³ (1주 40시간 근무 기준)으로 규정하고 있다.



Figure 3. US EPA 16 priority pollutants of PAH compounds

Table 3. 주요 기관별 PAHs 물질의 발암성 분류 기준

기관	PAH 물질명	분류 기준
U.S. Department of Health and Human Services(HHS)	<ul style="list-style-type: none"> ● benzo(a)anthracene ● benzo(b)fluoranthene ● benzo(a)pyrene ● benzo(a,h)anthracene ● indeno(1,2,3,-c,d)pyrene 	동물 대상 발암성물질
International Agency for Research on Cancer(IARC)	<ul style="list-style-type: none"> ● benzo(a)anthracene ● benzo(a)pyrene 	인체 암유발물질(group 1)
	<ul style="list-style-type: none"> ● benzo(a)fluoranthene ● benzo(k)fluoranthene ● indeno(1,2,3,-c,d)pyrene 	인체 암유발 가능물질 (group 2B)
	<ul style="list-style-type: none"> ● anthracene ● benzo(g,h,i)perylene ● benzo(e)pyrene ● chrysene ● fluoranthene ● fluorene ● phenanthrene ● pyrene 	Not classifiable as to their carcinogenicity to humans
U.S. Environmental Protection Agency(EPA)	<ul style="list-style-type: none"> ● benzo(a)anthracene ● benzo(a)pyrene ● benzo(b)fluoranthene ● benzo(k)fluoranthene ● chrysene ● dibenz(a,h)anthracene ● indeno(1,2,3,-c,d)pyrene 	인체 암유발 가능물질
	<ul style="list-style-type: none"> ● acenaphthylene ● anthracene ● benzo(g,h,i)perylene ● fluoranthene ● fluorene ● phenanthrene ● pyrene 	Not classifiable as to human carcinogenicity

○ 소방대원은 근무 기간을 통해 다양하고 높은 농도의 유해물질에 끊임없이 노출되고 있다. 수많은 유해물질 중 몇몇 종류는 다양한 연구를 통해 인체 유해성에 대한 평가를 받고 있다. 일산화탄소와 같은 대표적인 유해물질은 간단하고 정확한 측정 기구들의 발전으로 인해 다양한 근무 환경에서의 노출 관련 연구들이 OSHA와 같은 기관을 통해 다수 진행되었다. 그러나 디젤 배기가스는 다양한 물질의 복합체이기 때문에 표준화된 측정 방법이나 신뢰할 만한 평가 방법이 없어 근무 환경에서의 노출 연구는 어려움을 겪고 있다. 현재까지 이와 관련된 연구들은 개별 물질들에 대한 노출 연구만이 진행되고 있다.

- 디젤 배기가스에 대한 인체 유해성은 2013년 OSHA 보고서인 “hazard alert for diesel exhaust/diesel particulate matter” 를 통해 고농도의 디젤 배기가스와 디젤 입자 물질의 단기간 노출에 의해 두통, 졸음, 눈, 코, 목의 강한 자극 등을 유발할 수 있음을 확인하였다. 그리고 장기간의 노출에 의해 심장질환, 심혈관계 질환, 호흡기계 질환 그리고 폐암의 발생 위험성이 증가함을 확인하였다.

Table 4. 디젤엔진 배기가스의 발암성 관련 분류 기준 변화

연도	기관	분류 기준
1988	IARC	Diesel exhaust as probably carcinogenic to human(group 2A)
2000	NTP	Diesel particulate matter “reasonably anticipated to be a human carcinogen”
2003	EPA	Diesel exhaust “ likely to be a carcinogenic to humans”
2012. 3	US NCI/ NIOSH	Occupational exposure to such emission in underground miners, which showed an increased risk of death from lung cancer in exposed workers
2012. 6	IARC	Diesel engine exhaust carcinogenic to humans(Group 1)

- NIOSH 그룹은 1950년부터 2009년까지 60년간 거의 30,000명에 가까운 소방관을 대상으로 암 발생(특히 폐암) 및 치사률에 대한 전반적인 규명 연구들을 수행하였다. 이 연구들을 통해 소방기관은 디젤 배기가스 등 개인 건강 위험 요인들에 대한 예방 및 보호 프로그램에 관심을 기울이지 않았다는 것을 확인하였다. 디젤 배기가스에 대한 인체 유해성은 2012년 6월 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소에서 디젤 배기가스의 발암물질 등급을 group 2A에서 group 1으로 상향 조정하였으며, OSHA는 디젤 배기가스는 호흡을 통해 흡수되고 장기간 노출 시 폐암 및 심혈관, 호흡기 질환 등의 발생 위험성이 높다고 경고하였다.

- 디젤 배기가스 노출에 의한 폐암 위험성의 증가는 인체 유해성에서 가장 중요한 부분으로 돌연변이 유발성, 급성 및 만성 영향성 등이 조사되었다. Garshick 등(2008)의 폐암에 대한 역학적 연구를 통해 생물학적 기전은 밝혀지지 않았지만 크게 세 가지의 발생 가능한 기전을 확인하였다.
 - 1) 입자 물질 표면에 흡수된 발암성 물질들에 의한 암 유발 가능성
 - 2) 디젤 배기가스에서 입자 이외에도 염증반응을 유발하는 물질들에 의한 폐 DNA의 산화 가능성
 - 3) 입자 물질이 발암 유발성을 가질 가능성

- 1955년에 수행된 동물 실험에서 디젤 배기가스의 가스상 물질에만 노출된 쥐는 암이 유발하지 않았고, 디젤 배기가스의 입자상 물질(특히 nitro-PAH)에 노출된 경우 Ames mutagenicity assay에서 90%가 발암성을 보인다는 것을 확인함에 따라 입자 물질에 의한 암 유발 가능성이 강하게 제기되었다. 최근 전자현미경을 이용한 연구에서 입자핵에 흡수되는 고분자 유기물질은 약 18,000여 종에 이른다고 추정하고 있다.

- PAHs 중 pyrene은 뇨(urine)의 대사과정에서 1-hydroxypyrene으로 대사되며, PAH 노출의 지표물질이다(ATSDR, 2012). 인체 내로 흡수된 PAH는 림프를 통해 인체 내로 흡수되고 혈관을 통해 전신으로 퍼진다. PAH에 의한 독성은 활성대사물질(reactive metabolites)의 생성으로, 원래 PAH보다 더 강한 독성을 가진다. 특히 중간 대사물질인 diol epoxides는 DNA와 직접 결합하여 정상 세포의 복제과정에서 돌연변이를 유발하고 이는 세포 분화 및 성장 조절에 까지 영향을 미친다. PAH의 bay 구조는 DNA와 결합 시 중요한 부위로 알려져 있다. 이는 담배에 존재하는 benzo(a)pyrene diol epoxide adduct가 폐 상피세포(epithelial cell)의 p53 유전자의 일부 구아닌 염기(guanine base)에 결합하는 것으로 알려져 있고 흡연에 의한 폐암 유발 기작과 동일한 것으로 생각된다.

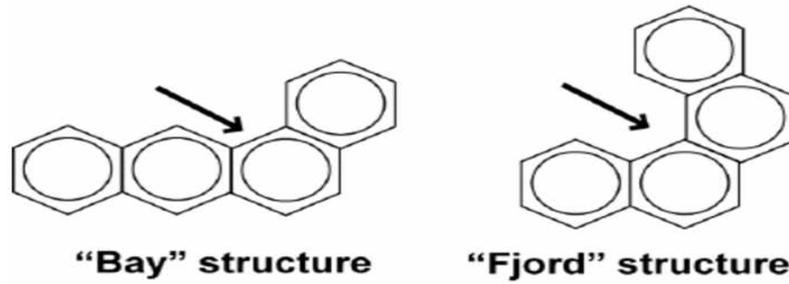


Figure 4. Bay and Fjord regions in two PAH conformations.

Ref: ASTDR, 2012

3. 디젤 배기가스의 인체 유해성 평가

- 디젤 배기가스에서 배출되는 soot particle의 크기가 5 μm 미만인 경우 폐포(alveoli)까지 도달하며 축적된다(Sydbom A. *et al.*, 2001). 5 μm 이상의 soot particle은 상기도(proximal airway)까지 도달하고 점액 섬모 청소 작용에 의해 제거된다. 입자 크기에 따른 폐 축적 비율은 평균 직경 2.5 μm 입자인 경우 83% 정도가 폐에 축적되고 직경 11.5 μm 입자는 31% 만 축적된다. 폐포에 축적된 초미세입자는 혈관을 통해 전신으로 퍼질 경우 암 유발 가능성을 증가시키고 자가면역의 이상을 초래하며, 혈액 응고 능력을 변화시켜 심장 질환을 유발할 수 있다
- 디젤 입자 물질에 의한 만성적인 디젤 배기가스 노출은 면역학적 알러지 반응을 유발하고, 이때 부작용으로 염증반응을 유발한다(ATSDR, 2012). 기도, 폐, 심혈관, 뇌 등 다양한 기관에서 염증을 유발하고 천식, 호흡기, 심혈관계 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다. 그리고 폐렴과 같은 감염병에 대한 저항성도 감소하는 것으로 알려져 있다. 이러한 호흡기 자극과 알러지 반응은 숨 가쁨, 가슴 통증, 천명(wheezing), 기침 등의 증상을 나타낸다.

- 디젤 배기가스의 인체 유해성에 의한 특정 질환으로는
 - 폐암(lung cancer)
 - 천식(asthma)
 - 만성 폐쇄성 질환(chronic obstructive lung disease, COPD)
 - 뇌졸중(stroke)
 - 허혈성심장질환(ischemic heart disease)
 - 급성 호흡기 감염(acute respiratory infection)
 - 치매(dementia, probable)
 - 2형 당뇨병(type 2 diabetes, probable) 등이 있다.

Table 5. Proven and probable causally related health effects

	Effect proven		Effect probable	
	Short term exposure	Long term exposure	Short term exposure	Long term exposure
PM10/PM2.5 (Dutch Health Council, 2018) (HEI, 2018)	- Cardiovascular effects - Respiratory effects - Acute Mortality (Cardiovascular) - All cause mortality	- All-cause mortality - Lung cancer	Respiratory effects	
Ozone (HEI, 2018), (Dutch Health Council, 2018)	Respiratory effects (including acute respiratory mortality)	COPD	- All-cause mortality - Cardiovascular effects	- Respiratory effects - Incidence of asthma in children
NO₂ (EPA, 2016), (COMEAP, 2015)	Respiratory effects		- Cardiovascular effects - Acute mortality	- Incidence of asthma in children
NMVOCs		Cancer		
PAHs (WHO Europe, 2015)		Cancer		

Table 6. 디젤 배기가스 주요 물질별 특성 및 인체 유해성

물질명	특성 및 인체 유해성
<p>일산화탄소 (CO)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 일반적 특성: 공기보다 약간 낮은 밀도를 가지는 무색, 무취, 무미의 가스상 물질 ● 배출원: 탄소원의 불완전연소, 디젤 배기가스, 소각로, 흡연 등 ● 주요 인체 독성 <ul style="list-style-type: none"> - 흡입에 의해 주로 유입되며, 폐포와 모세관 막을 통해 빠르게 확산됨. 태반막 통과 가능 - 혈액 내 일산화탄소의 약 80~90%는 헴(Heme)과 가역적으로 결합(산소보다 200~500배 친화력 높음) - 카르복시헤모글로빈(CO₂Hb)은 혈액의 산소운반 능력을 감소시켜 인지력, 운동능력, 청력 저하 유발 - 장기간 반복 흡입 시 심장, 혈액계에 영향 미침(폭로농도 50~250ppm) ● 발암성: 자료없음
<p>이산화탄소 (CO₂)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 일반적 특성: 무색, 무취, 약산성을 지닌 비중이 큰 비독성 가스 물질 ● 발생원: 탄소나 그 화합물이 완전연소하거나, 생물이 호흡 또는 발효 시 생성 ● 주요 인체 독성 <ul style="list-style-type: none"> - 인체 독성은 없으나 혈액 내 용존 이산화탄소가 폐에서 제거되지 않아 88% 이상에서는 사망 가능 ● 발암성: 자료없음
<p>이산화질소 (NO₂)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 일반적 특성: 갈색의 강산성 물질로 악취를 내는 자극성 가스 물질 ● 발생원: 자동차 가속 및 고온연소 시 다량 발생, 폭약, 비료, 필름 제조, 금속의 부식 시 발생 ● 주요 인체 독성 <ul style="list-style-type: none"> - 눈과 코를 강하게 자극하며, 폐 충혈, 폐쇄성 기관지염, 폐렴 등을 유발하며 사망의 원인이 되기도 함 - 기도에서 질산으로 변해 폐 세포에 손상 유발, 단백질 산화, 지질 과산화, 세포막 손상, 포식세포와 면역 기능 약화시켜 감염에 대한 저항 감소시킴 - 기존에 천식을 앓고 있거나 폐 질환을 가진 사람은 노출에 더욱 위험해 질 수 있음 ● 발암성: 자료없음

물질명	주요 특성 및 인체 유해성																								
<p style="text-align: center;">오존 (O₃)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 일반적 특성: 비릿한 냄새가 나는 강산화성 가스 물질 ● 발생원: 휘발성 유기화합물과 산화질소의 비율에 의존하여 햇빛과의 반응을 통해 대기 중에 형성됨 ● 주요 인체 독성 <ul style="list-style-type: none"> - 단기 노출 시 호흡기 이상, 폐 기능 감소, 기도반응과 기도 염증 증가 - 눈과 접촉 시 눈자극 유발함(2ppm, 4hr, 토끼) - 기관지염, 심장질환, 폐기종 및 천식을 악화시킴 - 장기간 반복 흡입 시 심장, 혈액계에 영향 미치고, 천식환자나 호흡기 질환자, 어린이, 노약자에게 더 많은 영향미침 ● 발암성: 자료없음 																								
<p style="text-align: center;">포름알데히드 (HCHO)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 일반적 특성: 상온에서는 자극적인 냄새가 강한 무색의 기체 물질 ● 발생원: 자동차 배기가스, 수지, 아교, 단열재, 판지, 합판, 직물 등의 제품, 흡연, 난방, 조리 시 발생 ● 주요 인체 독성 <ul style="list-style-type: none"> - 흡입 시 코와 목의 자극으로 농도에 따라 눈물, 재채기, 기침, 메스꺼움, 호흡곤란, 사망까지 동반됨 - 가스상은 반응성이 높아 호흡기와 위장관에 매우 빠르게 흡수됨 - 장기간 노출 시 신경계에 영향을 미치며, 동물에게서 코 상피의 과형성, 편평상피 변질형성 등이 보고됨 ● 발암성: 편평상피세포 암종 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>규정</th> <th>분류</th> <th>규정</th> <th>분류</th> <th>규정</th> <th>분류</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>산업안전보건법</td> <td>발암성</td> <td>노동부고시</td> <td>1A</td> <td>IARC</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>ACGIH</td> <td>A2</td> <td>NTP</td> <td>R</td> <td>EU CLP</td> <td>Carc. 2</td> </tr> <tr> <td>EPA</td> <td colspan="5">B1(유력한 인체 발암물질)</td> </tr> </tbody> </table>	규정	분류	규정	분류	규정	분류	산업안전보건법	발암성	노동부고시	1A	IARC	1	ACGIH	A2	NTP	R	EU CLP	Carc. 2	EPA	B1(유력한 인체 발암물질)				
규정	분류	규정	분류	규정	분류																				
산업안전보건법	발암성	노동부고시	1A	IARC	1																				
ACGIH	A2	NTP	R	EU CLP	Carc. 2																				
EPA	B1(유력한 인체 발암물질)																								
<p style="text-align: center;">벤젠 (C₆H₆)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 일반적 특성: 무색의 액체로 화학적으로 매우 안정한 물질 ● 발생원: 자동차 배기가스, 석유 저장, 운송과정에서의 증발, 방향족화합물 생산의 주원료, 오일과 석유에 약 5% 함유 ● 주요 인체 독성 <ul style="list-style-type: none"> - 토끼, 마우스, 랫트의 골수세포에 염색체변이 증가 - 백혈구 감소증에 의한 뼈 및 골수조직의 위축 발생 - 적혈구, 백혈구, 혈소판 감소, 재생불량성 빈혈 유발 ● 발암성: 백혈병, 림프암, 혈액암 발생률 증가 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>규정</th> <th>분류</th> <th>규정</th> <th>분류</th> <th>규정</th> <th>분류</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>산업안전보건법</td> <td>발암성</td> <td>노동부고시</td> <td>1A</td> <td>IARC</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>ACGIH</td> <td>A1</td> <td>NTP</td> <td>K</td> <td>EU CLP</td> <td>Carc. 1A</td> </tr> <tr> <td>EPA</td> <td colspan="5">A(확인된 인체 발암물질)</td> </tr> </tbody> </table>	규정	분류	규정	분류	규정	분류	산업안전보건법	발암성	노동부고시	1A	IARC	1	ACGIH	A1	NTP	K	EU CLP	Carc. 1A	EPA	A(확인된 인체 발암물질)				
규정	분류	규정	분류	규정	분류																				
산업안전보건법	발암성	노동부고시	1A	IARC	1																				
ACGIH	A1	NTP	K	EU CLP	Carc. 1A																				
EPA	A(확인된 인체 발암물질)																								

물질명	주요 특성 및 인체 유해성																								
<p>톨루엔 (C₆H₅CH₃)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 일반적 특성: 투명하고 독특한 시너 냄새가 나는 방향족 탄화수소 물질 ● 발생원: 페인트, 살충제, 아교 등의 용제로 사용되며, 자동차 연료 구성물질 ● 주요 인체 독성 <ul style="list-style-type: none"> - 단기노출 시 중추신경계를 자극하여 구토, 피로감, 졸음, 현기증, 정신착란, 보행이상 등 유발 - 장기노출 시 혈뇨증, 단백뇨, 떨림, 구토 유발 - 시야 협착, 안진, 난청 수반하는 두통, 운동실조, 기억상실 등 만성적 중추신경 장애 및 뇌 위축 유발 ● 발암성: <table border="1" data-bbox="480 808 1331 981" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>규정</th> <th>분류</th> <th>규정</th> <th>분류</th> <th>규정</th> <th>분류</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>산업안전보건법</td> <td>-</td> <td>노동부고시</td> <td>-</td> <td>IARC</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>ACGIH</td> <td>A4</td> <td>NTP</td> <td>-</td> <td>EU CLP</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>EPA</td> <td colspan="5">D(인체 발암물질로 분류 할 수 없음)</td> </tr> </tbody> </table> 	규정	분류	규정	분류	규정	분류	산업안전보건법	-	노동부고시	-	IARC	3	ACGIH	A4	NTP	-	EU CLP	-	EPA	D(인체 발암물질로 분류 할 수 없음)				
규정	분류	규정	분류	규정	분류																				
산업안전보건법	-	노동부고시	-	IARC	3																				
ACGIH	A4	NTP	-	EU CLP	-																				
EPA	D(인체 발암물질로 분류 할 수 없음)																								
<p>자일렌 (C₈H₁₀)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 일반적 특성: 달콤한 냄새가 나고 가연성이 매우 높은 무색의 액체 물질 ● 발생원: 원유, 콜타르, 산불, 자동차 엔진, 수지, 락카, 고무접착제, 농약살포제, 유기합성제 사용 시 발생 ● 주요 인체 독성 <ul style="list-style-type: none"> - 단기노출 시 신경자극, 경미한 흡입 위해도, 화학적 진폐증, 열, 오심, 두통, 기억력 저하, 의욕상실 등 유발 - 장기 노출 시 피부염, 각막 훼손 등 유발 - 눈과 코에 자극을 주며, 갈증, 만성두통, 흥부통, 뇌파 이상, 호흡 곤란, 발열, 백혈구수 감소, 불쾌감, 폐 기능 저하, 노동 능력 저하, 신체장애 및 정신장애 유발함 ● 발암성: <table border="1" data-bbox="480 1565 1331 1738" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>규정</th> <th>분류</th> <th>규정</th> <th>분류</th> <th>규정</th> <th>분류</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>산업안전보건법</td> <td>-</td> <td>노동부고시</td> <td>-</td> <td>IARC</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>ACGIH</td> <td>A4</td> <td>NTP</td> <td>-</td> <td>EU CLP</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>EPA</td> <td colspan="5">-</td> </tr> </tbody> </table> 	규정	분류	규정	분류	규정	분류	산업안전보건법	-	노동부고시	-	IARC	3	ACGIH	A4	NTP	-	EU CLP	-	EPA	-				
규정	분류	규정	분류	규정	분류																				
산업안전보건법	-	노동부고시	-	IARC	3																				
ACGIH	A4	NTP	-	EU CLP	-																				
EPA	-																								
<p>이산화황 (SO₂)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 일반적 특성: 색깔이 없으며 자극적인 냄새가 나는 유독성 기체 물질 ● 발생원: 공업적으로 황을 태우거나 황을 포함한 금속 화합물을 가열할 때 발생 ● 주요 인체 독성 																								

<ul style="list-style-type: none"> - 고농도 노출 시 가역성의 결막염이나 각막 표면 화상 유발 - 동물실험에서 기도점막 자극성, 기도저항 증가, 기도섬모 소실 유발 - 사람에게 흡입노출 시 기도 저항 증가 등 호흡기능 저하, 고농도 시 폐수종 유발 <p>● 발암성:</p>	규정	분류	규정	분류	규정	분류
	산업안전보건법	-	노동부고시	2	IARC	2B
	ACGIH	A4	NTP	-	EU CLP	-
	EPA	-				

※ NTP: National toxicology program,

4. 디젤 배기가스의 노출 관리 기준

- 디젤 배기가스에 대한 위험성 평가는 유해물질 노출에 대한 건강 위험 평가와 위험을 관리하기 위한 조치를 취하는데 필요한 과정으로, 작업의 빈도, 작업의 내용을 정기적으로 평가하고 검토해야 한다. 위험성 평가의 목적은 유해물질의 제어 수준, 잠재적인 노출 수준 등을 결정하여 예방하는데 있다. 특히 청색 또는 검은색 배기가스가 발생하는 장소는 더욱 관리를 엄격히 해야 한다.

Table 7. 디젤엔진 배기가스 노출 수준 평가

낮음	중간	높음
작업장 내 육안으로 확인되는 연무는 없음	작업장 내 가끔 희색, 청색 또는 검은 배기가스가 나타남	작업장 내 지속적으로 희색, 청색 또는 검은 연기가 나타남
육안으로 확인되는 검댕은 없음	검댕이 특정 지역에서 보임	배출원 부근에서 특별히 많은 검댕이 보임
자극성이 없음	자극성이 일부 있음	노출된 근로자는 모두 자극을 호소함
이산화탄소 노출수준이 8시간 기준 TWA 1000ppm 보다 낮을 경우	이산화탄소 노출수준이 8시간 기준 TWA 1000ppm 정도	이산화탄소 노출수준이 8시간 기준 TWA 1000ppm 이상
통제가 가능할 수 있음	통제의 적절성을 체크해야 함	통제 전략이 필요함

- PAHs를 포함한 발암물질은 그 농도가 아무리 낮더라도 일단 생물학적으로 발현이 되면 치명적인 암으로 발전하기 때문에 무시할 수 없다. 특히 소방대원은 화재현장에서뿐만 아니라 청사 내에서도 끊임없이 유해물질에 노출되고 있기 때문에 시간 경과에 따라 위험성이 더욱 커질 수 있다.
- 산업보건 분야에서 유해물질 노출 기준의 50%를 조치기준(action limit, AL)이라고 하며, 측정치가 이 조치기준을 초과하면 노출관리를 위한 어떠한 조치를 취해야 하는 기준이다. 일반적으로 조치기준을 초과하면 2주간 연속으로 환경 내 오염도 측정을 시행하여 환경 측정치가 노출 기준의 50%를 초과하지 않도록 확인해야 한다.

Table 8. 디젤 배기가스 주요 물질의 노출 기준

Substance	Regulatory limits			Recommended limits	
	OSHA PEL		Cal/OSHA PEL	NIOSH REL	ACGIH
	ppm	mg/m ³	8-hour TWA (ST)STEL (C)Ceiling	up to 10-hour TWA (ST)STEL (C)Ceiling	8-hour TWA (ST)STEL (C)Ceiling
아크롤레인	0.1	0.25	(C)0.1ppm	0.1 ppm (ST) 3 ppm	(C) 0.1 ppm
벤젠	-		1 ppm (ST) 5 ppm	0.1 ppm (ST) 1 ppm	0.5 ppm (ST) 2.5 ppm
원소탄소	-			-	20 µg/m ³
카본 블랙		3.5	3.5 mg/m ³	3.5 mg/m ³	3 mg/m ³ (IHL)
이산화탄소	5000	9000	5000 ppm (ST) 30,000 ppm	5000 ppm (ST) 30,000 ppm	5000 ppm (ST) 30,000 ppm
일산화탄소	50	55	25 ppm (C) 200 ppm	35 ppm (C) 200 ppm	25 ppm
이산화질소	(C)5	(C)9	(ST) 1 ppm	(ST) 1 ppm	0.2 ppm
이산화황	5	13	2 ppm (ST) 5 ppm	2 ppm (ST) 5 ppm	(ST) 0.25 ppm
포름알데히드			0.75 ppm (ST) 2 ppm	0.016 ppm (C) 0.1 ppm	0.1 ppm (ST) 0.3 ppm
오존	0.1	0.2	0.1 ppm (ST) 0.3 ppm	(C) 0.1 ppm	0.05-0.2 ppm
자일렌	100	435	100 ppm (ST) 150 ppm (C) 300 ppm	100 ppm (ST) 150 ppm	100 ppm (ST) 150 ppm

※ **Cal/OSHA**; California Division of Occupational Safety and health, **NIOSH**; National institute for occupational safety and health, **OSHA**; occupational safety and health administration, **TWA**; Time-weighted average, **PEL**; permissible exposure limits, **REL**; Recommended exposure limits, **ST**; short-term exposure limits, **C**; ceiling limit, **IHL**; inhalable

Table 9. 국가별 디젤 배기가스 물질별 노출 기준(miners)

	입자물질		원소탄소	총 탄소	이산화질소	일산화탄소
	(μg/m ³)		(μg/m ³)	(μg/m ³)	ppm	ppm
Austria	100, 300 (underground mining)	400,1200 (STEL, 15-min TWA)	-	-	-	-
Sweden	-	-	-	-	1	20
Switzerland	-	-	100	-	-	-
US(MSHA)	-	-	-	160	-	-

※ **MSHA**; Mine safety and health administration

2장. 디젤 배기가스 배출설비

1. 배출설비 관련 규정

- 디젤 배기가스 배출설비는 소방차량에서 배출되는 배기가스를 포집하여 덕트 등을 통해 이송하고 공기정화장치로 정화하여 깨끗해진 공기를 송풍기를 통해 외부로 배출하는 설비 시스템을 말한다. 배기가스 배출설비의 설치 목적은 소방청사 내 실내공기질의 적절한 유지, 관리를 통해 소방대원이 유해물질에 노출되지 않도록 하는 것이다.
- 국내에서 소방청사의 설계기준에 대한 법적 기준은 별도로 마련되어 있지 않으며, 일부 지방자치단체에서 자체적으로 소방청사에 대한 건축 기준 또는 설계기준이 제정되어있는 상황이다. 서울특별시는 2010년 공공건축물 책정 기준을 위한 가이드라인 제정 시 소방청사에 대한 공사비 책정 기준을 마련하였으나, 청사 내 2차 오염 방지를 위한 시설이나 설비 기준, 차고지 오염물질 배출설비 등에 대한 기준은 설정하지 않았다.
- 2013년 경기소방본부는 소방청사 표준설계 가이드라인을 제정하면서 소방 환경 개선을 위해 소방건축물에 적용 가능한 시설 기준과 디자인 방향을 포함한 소방건축물 표준설계 가이드라인을 수립하였다. 이 가이드라인에서는 소방건축물에 대한 설계계획 기준과 디자인의 기본적 개념을 제시하고 있다는 것이 장점이다. 특히 차고지에서 디젤 배기가스를 효과적으로 제거하기 위해 “배기가스 재순환장치(Exhaust gas purge system)”의 설치를 권장하고 있다.

◆ 경기도 소방청사 표준설계 가이드라인 중

① 차고

- 신축 시설 계획 시 차고에 대한 면적산정 및 배치기준을 최우선으로 고려하고 이후 업무시설과 부속시설의 배치를 순차적으로 고려한다.
- 차고 내에서 차량의 점검과 세차를 위한 장비 등의 배치를 통해 소방차량 및 장비 점검 시 발생하는 **매연 및 유해가스를 건축물 외부로 여과 배출하는 배기가스 재순환장치의 설치를 권장한다.**

- 미국, 유럽 등 선진국은 소방서 차고지 내 매연배출장치 설치를 의무화하고 있다. 특히 미국은 NFPA Life Safety Code 101을 근거로 하여 소방청사 설계 시 소방관의 보건안전 측면에서 모든 오염물질의 노출로부터 소방관을 보호하기 위해 장비와 차량에서 배출되는 유해물질들을 제거하기 위한 배출설비를 설치해야 한다고 명시하고 있다. 또한 소방청사 설계 시 고려해야 할 부분 중 하나의 구성요소로 포함 시키고 있다.
- 국내에서 작업장 내 발생 유해물질의 배출설비에 대한 기술 지침은 2014년 11월 한국산업안전보건공단에서 제정한 「국소배기장치 구입 및 사용 시 안전보건 기술 지침(KOSHA guide G-115-2014)」이 개정되었다. 지침에 따르면 국소배기장치(local exhaust ventilation)는 “작업장 내 발생한 유해물질이 근로자에게 노출되기 전에 포집, 제거, 배출하는 장치로서 후드, 덕트, 공기정화장치, 송풍기, 배기구로 구성된 것”으로 정의하였고 설치 시 아래 내용을 우선적으로 고려토록 명시하였다. 주차장 및 정비소, 버스 차고지, 철도의 수리 및 철도 터널, 도로 통행 요금소 및 소방서 등에 대해 적용된다.

◆ 일반적인 국소배기장치 설치 원칙

- ① 국소배기장치는 반드시 후드→덕트→공기정화장치→송풍기→배기구의 순서대로 설치되어야 한다.
- ② 국소배기장치는 작동이 잘되기 위해서는 보충용 공기를 공급하여 작업장 안을 양압으로 유지시켜야 한다.
- ③ 공정에 지장을 받지 않는 한 후드는 유해물질 배출원에 가능한 한 가깝게 설치한다.
- ④ 처리조에서 공기보다 무거운 유해물질이 배출된다고 하더라도 후드의 위치는 바닥이 아닌 오염원의 상방 혹은 측방이어야 한다.
- ⑤ 덕트는 사각형관이 아닌 원형관이어야 한다.

○ 본 지침서는 작업장 내에서 발생한 유해물질을 효과적으로 외부로 배출하기 위해 필요한 후드의 형태, 유해물질별 덕트 내 필요반응 속도 및 주관과 분기관의 적절한 연결 방법, 공기정화장치 및 송풍기 설치 요건, 배기구 설치와 재유입 방지, 국소배기장치의 점검, 성능 평가 및 안전검사 방법 등의 내용을 포함하고 있다. 그리고 49종의 유해물질에 대해서는 건강장해 예방을 위하여 반드시 국소배기장치를 한정하여 적용하여야 한다고 명시하였다. 디젤 배기가스라는 명칭은 적시하지 않았으나, 디젤 배기가스의 주요 유해물질에 해당하는 벤젠, 이황화탄소, 포름알데히드, 스티렌, 톨루엔, 황화수소 등이 포함되어 있다.

○ 2016년 6월 한국산업안전보건공단은 「디젤입자상물질에 대한 작업환경측정·분석 기술 지침(KOSHA GUIDE A-161-2016)」을 통해 디젤입자상물질(원소탄소분석)에 대한 측정 및 분석을 수행할 때 정확도 및 정밀도를 유지하기 위해 필요한 제반 사항에 대한 사항들을 규정하였다. 이 지침에는 연료의 연소, 엔진 작동, 유지 및 보수 작업 시에 발생하고 디젤 연료 자동차, 중장비 등의 배기가스에 존재하는 디젤입자상 물질 분석에 필요한 시료 채취, 시료 전처리, 보정 및 정도관리, 표준 시료 분석법, 그리고 정량법 등이

포함되어 있다. 따라서 소방청사 내에서 디젤 배기가스에 의한 인체 유해성 평가 및 차고지 내 디젤 유래 물질의 정량 분석 등을 수행 시 원소탄소(elemental carbon)의 측정을 수행해야 함을 명시하고 있다.

2. 국내 소방청사 배출설비 설치 현황

- 소방서 내 차고지의 유해물질 발생원은 주로 소방차량의 배기가스에 기인하므로 이를 효과적이고 신속하게 제거하기 위한 배출시설이 반드시 설치되어야 한다. 국내 1,055개 119안전센터 중 171개소 (16.2%)가 설치되었고, 4개 본부는 아직 미설치 상태다.

Table 10. 국내 배기가스 배출설비 설치 현황

계 (개소)	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	세종	경기	경기도	강원	충북	경북	제주	창원
1,055	117	58	48	52	24	26	25	8	124	57	71	42	97	23	25
171	4	30	25	28	7	6	8	8	11	5	13	2	19	3	2
비율%	3.4	51.7	52.1	53.8	29.2	23.1	32.0	100.0	8.9	8.8	18.3	4.8	19.6	13.0	8.0

※ 미설치 : 충남(78개소), 전북(51개소), 전남(60개소), 경남(69개소)

- 현재 국내 소방청사에 설치된 디젤 배기가스 배출설비는 크게 4가지로 송풍기식(blower), 덕트 흡입방식, 흡입호스 방식(배기구 착탈식), 그리고 바닥매립 승강흡입방식이 있다. 국내 소방청사의 차고지 형태는 소방서 및 직할센터의 경우 약 10~20대 정도의 소방차량을 보유하고 있으며, 1열이나 2열 주차 방식으로 운영하고 있다. 소규모의 안전센터는 펌프차, 구급차, 물탱크차, 생활안전차, 구급차 등 대부분 3~4대의 소방차량을 보유하고 있어 1열 주차 방식으로 운영하고 있는 곳이 많다.
- 송풍기 방식은 차고지의 후면이나 천장에 송풍기(blower)를 설치하여 내부 공기를 외부로 강제 배출하는 가장 단순한 방식이다. 1열 주차 방식의 소규모 안전센터의 경우는 차고지 후면에 설치된 송풍기만으로도 배기가스 제거에 일부 효과가 있다. 그러나 송풍기를 통해 외부로

불어내는 공기가 차고지 밖까지 완전히 배출되지 못하기 때문에 효과적인 제거방식으로 보기는 어렵다. 또한 외기의 영향을 쉽게 받는다. 설치 비용이 대당 약 50~100만원 수준으로 저렴하고 설치가 쉽다. 송풍기의 용량에 따라 다소 차이가 나지만 작동 시 차고지 내 오염물질이 희석되고 외부로 즉시 빠져나가므로 소방대원이 효과가 있다고 느낄 수 있다. 기존 청사의 임시 방안으로 활용은 가능하나 지속적인 운용은 사실상 어려운 방식이다.

- **덕트 흡입방식**은 차고지의 후면 외벽과 천장면에 배기가스를 직접 흡입할 수 있는 팬 덕트(fan duct)를 설치하여 내부 오염물질을 외부로 배출하는 방식이다. 설비 방식이 단순하고 유지 관리가 쉽다는 장점이 있다. 배관이 벽면이나 천장에 설치되어 공간 활용성이 좋으나 배기가스 배출에 필요한 환기량이 많기 때문에 송풍기 용량이 크고 이로 인해 진동 및 소음이 발생하는 단점이 있다.



천장형 덕트

바닥 및 천장 일체형 덕트

Figure 5. 국내 덕트흡입형 배출설비

- **바닥매립 승강흡입방식**은 주차장 바닥에 흡입구를 매립 설치하여 배출하는 방식으로, 차고지 내로 차량이 들어오면 센서에 의해 자동적으로 흡입구가 올라와서 열리는 방식이다. 이 방식은 흡입구가 주차장 바닥에 매립되기 때문에 소방대원이 활동하기에 가장 편하고 공간적인 제약을 받지 않아 차고지가 협소한 경우 운용이 가능하다. 그러나 기존 건물에 설치 시 콘크리트 바닥 굴착공사가 필요하므로 바닥 굴착 및 바닥 절개에 따른 구조 안정성에 문제가

발생할 수 있는 소방청사는 설치가 불가능하다. 대안으로 바닥에 돌출되는 형태로 설치가 가능하나 소방대원의 보행 시 걸림 등 안전사고의 위험성이 존재한다.



바닥 매립형

바닥 돌출형

Figure 6. 바닥매립 자동승강흡입방식 배출설비

- **흡입호스 방식(배기구 착탈식)**은 유연성이 있는 긴 흡입호스를 배기구에 직접 부착하여 외부로 배출하는 방식이다. 배기가스를 가장 효과적으로 배출할 수 있다는 장점으로 인해 미국과 일본 등 선진국에서는 이 방식을 기본으로 채택하고 있다. 배출을 위한 배기호스가 바닥까지 내려와 있기 때문에 주차 차량 간 거리가 좁은 안전센터의 경우 장비 점검 시 대원의 통행에 불편함을 줄 수 있다. 이를 개선하기 위해 일본에서는 배기 호스를 천장에 회전식 롤러 형태로 만들어 사용 시에만 호스가 내려오는 방식을 채택하고 있다. 이 방식도 차량이 차고지 내에 있는 동안 배기 호스가 천장에서 바닥까지 내려와 있어 장소가 협소한 경우 동일한 불편함을 발생하지만 일단 차량이 출동하고 나면 자동으로 배기 호스가 올라가기 때문에 공간적 활용이 좋고 사용하지 않는 경우 배기 호스로 인한 불편함은 최소화할 수 있다.



레일식 배기장치(미국)

천장 롤러식 배기장치(일본)

Figure 7. 해외 소방청사의 배기가스 배출장치

3. 배출설비 운용 실태 조사

가) 현장 방문

- 디젤 배기가스 배출설비에 대한 운용 실태를 조사하기 위해 4개 본부 15개 안전센터를 직접 방문하여 현장 조사 및 인터뷰를 실시하였다. 송풍기식을 제외한 3종(덕트흡입식, 흡입호스방식, 바닥매립 승강흡입방식)을 운용 중인 직할센터 및 119안전센터를 방문하여 장비 담당자 및 구매 담당, 보건계 직원, 현장대원 등과 인터뷰 방식으로 진행하였다.

Table 11. 배출설비 운용 실태 조사 일정

	장소	방문일시	방문소방서(센터)	비고
1	세종소방본부	7. 2.	■ 아름(바닥매립식)	
2	부산소방재난본부	7. 3.~7. 4.	■ 구포(바닥매립식) ■ 온천, 대연, 산성, 연산(덕트흡입식) ■ 당감(흡입호스식)	
3	강원도소방본부	7. 8.	■ 춘천소양(바닥매립식) ■ 홍천양덕원, 원주우산(흡입호스식)	
4	대구소방본부	9. 4.	■ 이현, 수성, 화원, 죽전, 본리(바닥매립식)	

나) 배출설비별 운용 현황

- 현재 디젤 배기가스를 배출하기 위한 설비를 보유하고 운용 중인 소방청사는 전국 1,055개 119안전센터 중 171개소(16.2%)로 아직 많은 소방청사가 미설치 상태이다. 따라서 대부분의 소방청사는 바람이나 외기의 유입으로 유해물질을 희석, 환기시키는 자연 환기 방식에 의존하고 있다. 신축청사를 제외한 대부분의 소방청사는 차고지의 앞면만이 개방되어 있고 뒷면은 사무실, 창고 등으로 막혀있는 구조가 많다. 다행히 통로 역할을 하는 문이 설치되어 있어도 외부 민원인의 출입을 막기 위해 닫혀있는 경우가 많아 차고지 내 유해물질을 빠르고 효과적으로 제거하기는 쉽지 않다. 자연 환기는 외부 날씨와 공기 흐름에 크게 좌우되기 때문에 바람 방향이 차고지 내부로 불어온다면 인접한 사무실이나 복도로 유해물질이 유입될 가능성이 크다.
- 따라서 현재 대부분의 소방청사 구조에서는 원활한 유해물질의 배기가 어려운 상황이므로 기계식 강제 환기설비를 반드시 설치해야 한다. 위에서 언급한 국내 디젤엔진 배기가스 노출 근로자의 보건관리 지침에는 작업자의 배기가스 노출을 최소화하기 위해 배기관 배기 추출 시스템을 설치할 것을 권고하고 있으며, 작업장 내에 공회전하는 여러 차량이 있는 경우에는 적절한 자연 공기 교환에 의해 제어될 수 있는 것보다 더 많은 양의 배기가스가 발생하므로 배기 추출 시스템에 연결된 흡기관을 차량 배기관에 부착하여 외부로 배출하는 시스템을 이용하는 것이 가장 효과적이라고 권고하였다. 미국, 캐나다, 일본 등 선진국에서는 직접 차량 배기관에 부착하여 외부로 배출하는 배기 시스템을 전 소방청사에 설치, 운용하고 있다.

	바닥매립 승강방식	흡입호스방식	덕트 흡입방식
흡입부			
천장 흡입관			
흡입구			
송풍기			

Figure 8. 디젤배기가스 배출방식별 설치 모습

- 그러나 국내 소방청사에서 운용 중인 배기 시스템은 정확한 유해 물질 배출원 분석, 배기공학적 최적화 시뮬레이션, 설비별 배출 효과성 평가 등 충분한 과학적 고려없이 예산 등 몇 가지 제한적인 요인에 의해 설치가 이루어져 왔다. 특히 국내 「자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙(국토교통부령 제164호)」에 의해 배기구 열림 방향이 우측으로는 불가능하고 좌측 30도 이내로 규정되어 측면으로의 배기관 구조 변경이 어려운 이유로 인해 배출설비 선택의 한계점을 가지고 있었다. 그러나 강원도소방본부는 구조 변경 문제를 유관 기관에 의뢰한 결과, 문제가 없다는 답변을 받아

구조 변경 후 사용 중이어서 향후 구조 변경과 관련한 정확한 법적 해석이 필요해 보인다. 또한 관리 측면에서 설치 후 파손이나 고장에 대한 A/S 부분에서 교체까지 수주에서 수개월이 소요되는 등 사후 관리에 대한 문제점도 다수 발생하고 있었다.



Figure 9. 강원도 소방본부에서 구조 변경하여 사용 중인 배기관 모습

다) 배출설비 운용상 문제점

- 배기가스 배출설비를 직접 운용 중인 소방대원을 대상으로 인터뷰 방식을 통해 설치, 운용, a/s 등 다양한 과정에서의 장·단점들에 대한 다양한 의견을 수집하였다. 의견 중 소음, 진동 발생에 의한 대민 민원 발생, a/s 등 사후 관리 문제, 청소 등 관리상 문제, 집진설비 미설치 등이 가장 많은 비중을 차지하였다.
- 소방청사에서 보유 중인 차량에서 발생한 디젤 배기가스를 효과적으로 배출하기 위해서는 배기량에 따른 필요 환기량을 반드시 고려해야 한다. 박 두용 등(2014)의 연구 보고에 의하면 배기가스 유량은 차량의 상태나 종류에 따라 약간의 차이가 있으나 이를 고려할 경우 배기량 1000 cc 당 평균 0.35 m³/min 수준이라고 보고하였다. 대부분의 안전센터는 펌프차(6,600 cc) 1대, 물탱크차(6,600 cc) 1대, 구급차 또는 생활안전차(3,500 cc) 1대 등 약 3대를 기본으로 보유하고 있다고 가정한다면, 각각의 배기가스 유량은 약 2.25, 2.25, 1.2 m³/min로 소형의 송풍기로도 충분히 배출이 가능하다고 예측하였다.

Table 12. 배기가스 배출방식별 필요환기량

구분	필요 환기량
차량배기구 직접 착탈식 배기시스템	공회전 시 차량 배기량 1000cc 당 0.35 m ³ /min
바닥 매립형 배기시스템	공회전 시: 67.2 m ³ /min 차량 가속 시 : 134.4 m ³ /min
송풍기에 의한 환기시스템	기준 없음
급배기를 통한 전체 환기시스템	디젤차량 1마력당 2.9 m ³ /min

* reference : 박두용 등. 소방방재청 연구보고서(2014)

- 또한 전체 환기 시에는 오염된 공기 전체를 바꿔줘야 하므로 환기량이 급격히 늘어난다. 미국 정부산업위생전문가협회(ACGIH)에서 제시한 전체 환기를 위해 필요한 환기량은 디젤차 마력당 100 ft/min(환산 시 2.9 m³/min)으로, 디젤 차량의 마력이 300마력으로 가정한다면 차량 1대당 약 9,000 m³/min의 환기량이 필요하며, 이는 국소배기시스템의 환기량 대비 약 4,000배 많은 양이다. 따라서 일단 배기가스가 차고지 내로 배출되어 공기 중으로 확산되면 전체 환기를 필요로 하며, 국소배기시스템에 비해 많은 양의 환기량이 필요하다. 이는 효율이 낮고 비용이 많이 든다는 것이며, 환기에 필요한 송풍기의 용량이 충분히 커져야 한다는 의미이다. 실제로 소방청사에 설치된 송풍기의 용량은 전체 환기 방식일 경우 최소 7.5마력에서 최대 15마력 범위였고, 국소배기방식은 2~3마력 내외였다.



전체환기용 송풍기(좌:7.5마력, 우:10마력)

국소배기용 송풍기(2마력)

Figure 10. 배기가스 배출용 송풍기

- 배출설비의 운용상 문제점 중 소음과 진동은 주로 송풍기로부터 발생한다. 송풍기의 용량이 커지면 커질수록 소음과 진동이 증가한다. 실제로 부산의 한 안전센터는 송풍기를 작동하면 건물 전체가 흔들릴 정도로 진동이 심하였고, 이로 인해 끊임없는 민원이 발생하여 자주 운용하지 못하고 방치하고 있었다. 최근에 설치된 송풍기는 진동 방지를 위한 충격 완충장치를 설치하거나 바닥 보강, 진동 확산 방지를 위한 소음 방지름 등 진동 발생을 줄이려 다양한 방법을 시도하고 있었으나 도심지에 위치하는 소방청사의 경우 진동 발생은 일정 부분 불가피하였다.



Figure 11. 진동 충격 방지용 장치(좌) 및 소음 방지름(우)

- 배출설비의 운용상 문제점 중 또 다른 하나는 유지·보수 문제이다. A 업체는 최근 전국적으로 배출설비 공사 건수가 지속 증가하고 있는 업체로 독자적인 방식의 배출설비를 개발하여 이에 대한 국내 특허를 보유하고 있었다. B업체는 해외에서 배출설비를 그대로 수입하여 조립, 설치하는 업체이다. 두 업체 모두 중소기업 수준으로 아직은 규모가 크지 않으나, 향후 소방청사 배출설비의 수리 및 정기적 관리를 위한 소방 전문 A/S팀 구성 등 사후 관리 부문에 대한 강화가 필요하다.
- 유지·보수 문제를 해결하기 위해서는 발주 단계에서 빠른 유지보수를 위한 기한을 추가하여 설치 업체에게 책임있는 관리가 가능하도록 해야 한다.

Table 13. 배출설비별 특성 및 장·단점

	바닥매립 승강방식	흡입호스방식	덕트 흡입방식
			
설치 예산	약 2~3000만원(면당) (신축시 약 2,100만원, 기존시 약 2,600만원 내외)	약 2~3000만원(면당)	약 3~500만원(면당)
연결 방식	배기구 킬딩식 후드 (약 30~40cm 이격) 천장: 덕트식 환풍기	배기관천장: 덕트식 환풍기 직접 착탈식	직접 연결 불가 간접 배기방식
작동 방식	진출입 시 센서(바퀴 고임판)에 의한 자동 및 수동 작동	진출입 시 감지센서에 의한 자동 및 수동 작동 출차 시 자동 이탈	수동 및 자동 작동 가능
장점	<ul style="list-style-type: none"> ① 바닥매립으로 차량 및 직원 이동에 간섭 無 ② 배기가스 배출효과 높음 ③ 자동방식으로 별도 조작 불필요 ④ 차량 구조 변경 불필요 ⑤ 차량간 거리가 협소한 장소에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> ① 배기가스 배출효과 높음 ② 자동방식으로 별도 조작 불필요 ③ 적은 용량의 송풍기 사용으로 진동 낮음 ④ 전력 소비량 낮음 ⑤ 차량 진출입 시 간단한 탈부착 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ① 설치 방식 단순 ② 공간 활용도 높음
단점	<ul style="list-style-type: none"> ① 소음 및 진동 발생으로 운용상 문제 발생 ② 바닥 피트작업을 위한 굴착공사 필요 ③ 기존청사 시공 시 구조체 철거 등 안전 문제 발생 ④ 차량 변경 시 흡입관 좌우 위치 조정 또는 흡·배기 구간 이격 발생 ⑤ 바닥 피트 내부 이물질 유입 및 전기장치 누전 가능성 有 	<ul style="list-style-type: none"> ① 차량 배기구 연장 등 구조변경 필요 ② 차량 간 거리 협소한 경우 이동 시 간섭 ③ 부품 교환 및 수리 등 A/S 처리에 장시간 소요 ④ 배출구가 옆벽면에 설치 시 민원 발생 가능성 有 ⑤ 내구성이 약함 	<ul style="list-style-type: none"> ① 배기가스 배출 효과 낮음 ② 소음 및 진동 발생으로 운용상 문제 발생

- 「국소배기장치 구입 및 사용 시 안전보건 기술 지침」에 따라 국소배기장치 설치 시 반드시 덕트의 끝단 부위에 공기정화장치(또는 집진장치)를 설치해야 한다. 차고지 내에서 발생한 유해물질을 외부로 배출할 경우 소방서 주변의 환경에 유해물질이 확산되지 않도록 해야 한다. 그러나 대다수의 소방청사에 설치된 배기가스 배출설비에는 이러한 공기정화장치가 설치되지 않았다. 본 연구에서 직접 방문한 4개 본부 15개 소방청사에는 공기정화장치를 설치한 곳은 한 곳도 없었다. 대부분 설치 계획 수립 시 예산 문제로 이 부분을 고려치 않은 경우가 많았다.
- 강원소방본부 소속 한 소방서는 외부 배출구에서 배출되는 배기가스가 인접한 건물로 유입됨에 따라 배출구 위치를 변경해 달라는 민원이 지속 제기되고 있었다. 이 문제는 유해물질의 대기 확산과 관련하여 지속적인 국민 민원의 발생 소지가 있으므로 반드시 현황 분석 및 적합한 집진설비 방식 선정, 예산 확보 등 지속적인 관심을 통해 해결해야 할 과제로 예상된다.



Figure 12. 배기가스 외부배출 관련 민원이 제기되고 있는 소방서 모습

4. 배출설비 효과성 분석

가) 설비 유형별 대상 소방서 선정

- 현재 설치 운영 중인 디젤 배기가스 배출설비 유형별로 4개 본부 15개 안전센터를 직접 방문하여 현장 조사를 실시하였다. 배기가스 배출설비의 효과성 분석을 위한 실험대상은 차고지 면적, 주차면수, 차량 보유수, 차량 연령 및 종류, 배출설비 설치연도 등 다양한 요인들을 고려하여 가장 유사한 조건의 소방청사(안전센터) 3곳을 선정하였다.

Table 14. 배출설비 효과성 분석 대상 선정 일정

	장소	방문일시	방문소방서(센터)	비고
1	세종소방본부	7. 2.	■ 아름(바닥매립식)	
2	부산소방재난본부	7. 3.~7. 4.	■ 구포(바닥매립식) ■ 온천, 대연, 산성, 연산(덕트흡입식) ■ 당감(흡입호스식)	
3	강원도소방본부	7. 8.	■ 춘천소양(바닥매립식) ■ 홍천양덕원, 원주우산(흡입호스식)	
4	대구소방본부	9. 4.	■ 이현, 수성, 화원, 죽전, 본리(바닥매립식)	

- 실험대상 소방청사 선정 시 직할센터(현장대응단)를 제외한 119안전센터 규모를 실험대상으로 제한하였다. 전국 119안전센터의 평균 규모와 차량 보유대수를 감안하여 차고지 내 주차면수 4면, 차고지 면적 170~200 m² 범위 내에서 대상 센터를 선정하였다. 소방차를 제외한 다른 오염물질 유발원이 없거나 최소화하기 위해 건물 사용기간이 10년 이상된 센터는 제외하였다. 배출설비의 배출 효과성 측정을 위해 차고지 내부 구조가 차고지 정면 주출입구와 후면이 막혀있는 구조를 가진 안전센터를 기준으로 선정하였다. 그리고 배출설비 운용 기간이 설치 후 2~3년 정도 경과한 곳으로 선정하였다.

Table 15. 실험대상 센터 현황 및 차량 정보

	광주 K소방서	강원 H소방서	대구 S소방서
센터 외관			
차고지 면적 (m ²)	176	190	170
차고지 크기 (L×W×H, m)	15.8×12.0×6.3	15.3×13.0×5.4	15.0×14.0×5.6
주차면수	4면	4면	4면
보유차량	4대	4대	4대
차량 정보 (배기량, 연식)	-펌프차(6,299cc, 18) -펌프차(5,899cc, 14) -생활구조(2,797cc, 16) -구급차(2,497cc, 16)	-물탱크(9,960cc, 10) -펌프차(5,899cc, 10) -펌프차(6,299cc, 18) -구급차(2,497cc, 16)	-물탱크(6,728cc, 18) -물탱크(6,299cc, 17) -펌프차(6,299cc, 17) -구급차(2,497cc, 18)
배출방식	덕트흡입방식	흡입호스방식	바닥매립 자동승강흡입방식
설치연도	2017	2018	2017
설치 모습			

나) 측정 항목 및 방법

- 배기가스 배출설비의 효과성 분석을 위한 측정 항목은 환경부와 고용노동부의 실내 오염물질 관리기준에 의거하여 총 6종[미세먼지 (PM₁₀, 2.5), 휘발성유기화합물(VOCs), 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 포름알데히드(HCHO), 이산화질소(NO₂)]에 대하여 분석을 실시하였다. 시료는 채취 후 분석 시까지 냉장 보관하였고, 항목별 농도 분석은 산업공해 연구소(주)에 의뢰하여 분석하였다.

Table 16. 분석 항목별 관리 기준

측정 항목	환경부 [†]	고용노동부 [‡]
미세먼지(PM10)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
미세먼지(PM2.5)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
일산화탄소(CO)	10 ppm 이하	10 ppm 이하
이산화탄소(CO ₂)	1,000 ppm 이하	1,000 ppm 이하
포름알데히드(HCHO)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하(0.1 ppm)
*휘발성유기화합물(VOCs)	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
*이산화질소(NO ₂)	0.05 ppm이하	0.05 ppm이하

* : 환경부 권고 기준
† : 환경부 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법 시행규칙
‡ : 고용노동부 산업안전보건법 제21조 7항 「사무실 공기관리 지침」

- 유해물질에 대한 측정방법은 한국산업안전보건공단 작업환경 측정 분석 기술지침 및 표준 방법을 준용하여 실시하였다. 시료 채취 지점은 실내 공기질 공정시험 기준의 실내공기 오염물질 시료 채취 및 평가방법에 따라 시료 채취지점의 중앙점에서 바닥면으로부터 1.2m 높이, 모든 벽면으로부터 1m 이상 떨어진 장소에서 채취하였다. 또한 차고지 내부의 정확한 측정 위치 선정을 위해 연기 발생기 (Smoke generator, FT-100, Antari Co., USA)를 사용하여 자연 환기구나 기계 환기설비에 의한 공기 유동경로 및 기류 발생원 주변에 위치하지 않도록 하였다.
- 차고지 내 유해물질 측정은 디젤 배기가스의 배출물질 특성을 고려하여 총 3곳(바닥 2곳, 상부 1곳)을 측정하였다. 공기 포집 시간에는 에어펌프의 유량을 조정하여 10분간 포집하였다. 측정 장비는 정도관리를 통과한 장비를 대상으로 지점별 측정치에 대해 실험 분석 전에 보정을 하여 사용하였다. 차고지와 연결된 공간(사무실, 창고, 복도 등)의 유해물질 잔류량 분석은 실험 전과 후 2회 측정하였다.

Table 17. 측정 장비 및 방법

측정항목	측정방법	측정장비	측정범위	제조사	모델명	측정 시간
미세먼지 (PM10/PM2.5)	광산란법		0~1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Met One Instruments	831	직독식
일산화탄소	전기화학식 센서법		0.0~750ppm	GRAYWOLF	IQ-610extra	직독식
이산화탄소			0~10,000ppm			
이산화질소			0.00~30ppm			
포름알데히드	2,4 DNP 카트리지/HPLC법		0.2~1.5 L/min	SIBATA	MP-Σ100H	포집식
휘발성 유기화합물	고체흡착관 GC-FID법		0.05~0.5 L/min	SIBATA	MP-Σ30K NII	포집식

다) 본 실험의 제한 사항

- 소방청사 내에 존재하는 유해물질은 주로 디젤 배기가스 유래 배출물과 화재 현장활동 과정에서 발생하는 유해물질, 세척제 등 다양한 배출원이 존재한다. 원소탄소는 1차 연소과정에서만 발생하는 물질로 디젤연료의 고온 열분해 과정에서 발생하는 물질이다. 따라서 디젤 배기가스 유래 물질에 대한 연구를 수행할 시 디젤 배기가스의 대리 지표인 원소탄소를 기본적으로 측정하여야 한다. 그러나 국내 여건 상 원소탄소를 측정할 수 있는 공신력있는 측정기관이 전무하며, 측정 결과치에 대한 신뢰도가 낮다. 따라서 이를 보완하기 위해 디젤 배기가스 유래물질 중 포름알데히드, 휘발성 유기물질, 미세먼지, 일산화탄소, 이산화질소 등 추가 물질의 분석을 통해 효과를 평가하고자 하였다. 따라서 측정 결과의 해석에 대해 참고치로만 활용이 가능하다.

라) 세부 실험 조건

- 효과성 분석을 위한 실험 조건은 크게 네 가지로, 실험 전, 차량 점검+배출설비 미작동, 차량 점검+배출설비 작동, 차량 점검 종료 후 자연배기 조건으로 실시하였다. 차량 점검은 일반적인 장비 점검 소요 시간을 고려하여 20분으로 설정하였고, 실제 점검 과정과 유사한 조건으로 공회전 및 간헐적인 가속을 유지하였다. 측정 전 30분~1시간 전에 충분히 환기를 시킨 후 측정하였고, 실험 과정에서 대원의 출입을 통제하여 외부 유해물질의 유입을 최소화하였다.

◆ 세부 실험 조건

① 실험 전 조건

- 차고지 내부 및 연결된 공간에 대해 오염도 측정
- 충분히 환기 후 모든 연결구를 차단하고 측정 실시

② 차량점검 + 배출설비 미작동 조건

- 외부로 부터의 유해물질 유입 차단을 위해 차고지와 연결된 모든 통로 (전면, 후면, 측면) 및 창문 차단
- 전체 차량의 시동을 켜 후, 20분간 차량 점검 실시
- 차량 점검 시작 직후부터 종료시까지 분석 항목별 잔류량 측정

③ 차량점검 + 배출설비 작동 조건

- 차고지와 연결된 모든 통로 (전면, 후면, 측면) 및 창문 차단
- 전체 차량의 시동을 켜 후, 20분간 차량 점검 실시
- 차량 점검 시작과 동시에 배연설비를 가동하고 경과 시간별 잔류량 측정

④ 차량점검 종료 후 자연 배기(주출입문 개방) 조건

- 차고지와 연결된 모든 통로 (전면, 후면, 측면) 및 창문 차단
- 전체 차량의 시동을 켜 후, 20분간 차량 점검 실시
- 점검 종료 후 모든 차량의 시동을 끈 후 전면부 출입문 개방
- 전면부 개방 후 경과 시간별 잔류량 측정

마) 실험 일자 및 환경 조건

- 실험은 2019년 9월 9일부터 9월 18일까지 약 2주간 실시하였다. 각 안전센터별 실험은 조건별로 1회 씩 수행하였으며, 일부 실험 조건에 대해서는 결과의 유의성 확보를 위해 추가로 시행하였다.

실험과정에서 화재 출동 등 실험 조건에 변경이 발생한 경우에도 충분한 환기 후 재실험을 수행하였다.

Table 18. 실험 일자 및 기본 환경 조건

	광주 K소방서	강원 H소방서	대구 S소방서
일자	9.9~10(2일간)	9.16~17(2일간)	9.17~18(2일간)
온도	섭씨 29~30도	섭씨 26~28도	섭씨 24~28도
습도	67%	39%	53%
풍향	남 14km/h	북동 8km/h	북서 10km/h
날씨	구름많음	맑음	맑음

바) 실험 결과

- 실험 전 차고지 내 유해물질 농도를 측정한 결과에서 강원 H소방서와 대구 S소방서는 차고지 내 VOCs 농도가 각각 376~636(평균 512) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 612~803(평균 688) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준치 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였다 [Table 19, 20, 21]. 강원 H소방서는 대도심지에서 떨어진 외곽지역에 위치하고 있으나 차고지 내에 유류를 포함한 보관 창고가 위치해 있었다. 대구 S소방서는 도심 주거지역에 위치하고 도로와 인접한 조건이었으며, 차고지 내에 공기 충전소와 공기통을 다량 적재하고 있어 VOCs 발생원으로 작용한 것으로 예상된다[Figure 13].



대구 S소방서

강원 H소방서

Figure 13. 차고지내 창고 모습

	광주 K소방서	강원 H소방서	대구 S소방서
사무실 오염도 측정			
창고 오염도 측정			
복도 오염도 측정			
차고지 오염도 측정			

Figure 14. 소방청사 내 활동영역별 유해물질 잔류량 측정

- 20분간의 차량 점검을 진행한 후 차고지 내 오염물질의 농도를 측정한 결과, 모든 소방서에서 미세먼지와 NO₂ 항목을 제외한 나머지 측정 유해물질은 기준치를 초과하였다[Table 19, 20, 21]. 광주 K소방서의 경우 TVOC 2,930 µg/m³(기준 대비 5.86배), CO₂ 3,857 ppm(3.86배), 포름알데히드 192.5 µg/m³(1.92배), CO 13.5 ppm(1.35배)으로 측정되었다. 강원 H소방서는 TVOC 4,641 µg/m³(기준 대

비 9.28배), CO₂ 4,499 ppm(4.5배), 포름알데히드 343.8 µg/m³(3.4배), CO 20.5 ppm(2.1배)으로 측정되었다. 이 중 TVOC는 기준대비 거의 10배에 가깝게 초과하였다. 대구 S소방서는 TVOC 2188.8 µg/m³(기준 대비 4.4배), CO₂ 3749.7 ppm(3.7배), 포름알데히드 897.6 µg/m³(9.0배), CO 17.3 ppm(1.7배)으로 측정되었다. 이 중 포름알데히드가 기준치 대비 가장 높은 농도로 측정되었다. 본 실험에서 실험대상 소방서의 보유 차종과 사용연수 등 기본 조건이 일치하지 않은 상황이므로, 차량 점검 후 유해물질 농도는 그대로 해석하기에는 무리가 있으며, 차량 점검 시 노출기준을 초과하는 다량의 유해물질이 차고지 내부에 잔류하므로 신속한 제거와 대원이 유해물질에 노출되지 않도록 주의가 필요하다.

- 차량 점검 시작과 동시에 배출설비를 작동하여 배출설비의 배출 효과를 비교 측정한 실험에서, 전체적으로 **흡입호스식 > 바닥매립 승강흡입식 > 덕트흡입식** 순으로 제거 효과가 높은 것으로 나타났다[Table 22]. 흡입호스식은 CO, CO₂, TVOC, PM에 대한 제거율이 다른 방식에 비해 높았다. 특히 CO의 제거율이 99.51 %로 바닥매립 승강흡입식(97.69 %), 덕트흡입식(93.33 %)보다 높았다. 직독식 측정기를 사용하여 CO와 CO₂를 대상으로 시간대별 농도 변화를 분석한 결과, 흡입호스식의 경우 차고지내 잔류량이 가장 낮은 수준을 유지하였다[Figure 15, 16]. 바닥매립 승강흡입식은 배기구와 흡입구의 이격 차이로 인해 외부로 배출되지 못하고 차고지내로의 누출이 일부 발생하는 것으로 나타났으며, CO₂는 거의 노출 기준치에 근접하는 수준으로 누출되었다. 덕트흡입식의 CO와 CO₂ 농도 변화는 차량 점검 과정에서 급격히 상승하여 기준치를 수 배 이상 초과하였고, 시동 점검 종료 후 서서히 감소하여 외부로의 배출 효과가 높지 않았다.

Table 19. 덕트흡입식 매연가스 배출효과 분석 결과

측정조건	측정위치		측정결과								
			PM10	PM2.5	TVOC	CO ₂	HCHO	CO	NO ₂	온도	습도
			μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	ppm	μg/m ³	ppm	ppm	°C	%
점검 전	차고지 A		79.2	37.5	45.9	429	26.1	0.7	0.020	25.7	74.7
	차고지 B		82.4	38.2	211.4	478	33.3	0.7	0.020	25.9	74.4
	흡입관 부근		90.3	39.2	197.8	389	22.2	0.4	0.020	26.8	80.9
차량점검 + 배출설비 미작동	차고지 A	20분	54.8	40.3	2,808.6	3,952	211.4	12.8	0.030	30.4	65.4
	차고지 B	20분	56.8	43.5	2,858.7	3,988	192.1	13.1	0.030	30.3	66.8
	흡입관부근	20분	54.7	44.2	3,122.6	3,631	174.1	14.5	0.030	31.2	69.1
차량점검 + 배출설비 작동	차고지 A	0분	56.0	39.4	1,883.1	3,085	256.6	8.3	0.030	28.8	74.6
		30분	59.5	33.5	752.6	1,316	93.9	4.0	0.030	28.8	66.3
		60분	55.4	32.0	359.3	633	32.2	0.7	0.030	28.4	66.2
	차고지 B	0분	86.4	59.6	1,947.5	1,905	164.3	4.9	0.030	28.2	72.8
		30분	54.6	33.3	1,031.4	1,189	70.9	3.2	0.030	28.6	67.0
		60분	58.2	31.9	423.4	700	25.6	0.9	0.020	28.5	66.6
	흡입관부근	0분	53.6	36.3	1,222.2	2,185	129.9	7.7	0.030	29.4	77.7
		30분	55.8	36.5	1,125.1	1,377	79.7	5.3	0.020	29.0	73.5
		60분	51.8	33.1	766.2	570	43.3	1.2	0.020	28.5	73.1
차량점검 후 자연배기	차고지 A	15분	63.5	33.7	545.0	519	24.4	1.1	0.030	29.5	60.8
		30분	58.7	31.1	655.3	479	29.0	0.3	0.030	28.9	61.0
	차고지 B	15분	65.5	34.7	961.4	530	21.0	0.9	0.030	29.2	62.8
		30분	70.8	35.0	525.7	504	11.3	0.4	0.030	29.0	62.6
	흡입관부근	15분	63.1	36.8	516.4	472	35.9	1.3	0.030	29.7	67.4
		30분	63.5	36.1	326.2	422	15.5	0.4	0.020	29.5	66.9

Table 20. 흡입호스식 매연가스 배출효과 분석 결과

측정조건	측정위치		측정결과									
			PM10	PM2.5	TVOC	CO ₂	HCHO	CO	NO ₂	온도	습도	
			µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm	µg/m ³	ppm	ppm	°C	%	
점검 전	차고지 A		21.6	5.2	636.8	404	12.0	0.2	0.020	26.4	41.9	
	차고지 B		21.8	4.9	524.5	399	6.6	0.2	0.020	26.2	42.1	
	흡입관 부근		22.7	5.4	376.2	413	10.5	0.2	0.020	25.9	42.8	
차량점검 + 배출설비 미작동	차고지 A	20분	74.8	35.5	3,178.2	4,240	324.9	18.8	0.020	31.1	43.9	
	차고지 B	20분	58.6	38.7	3,849.0	4,272	299.5	19.0	0.020	31.4	42.2	
	흡입관부근	20분	78.4	33.8	6,894.4	4,985	406.9	23.7	0.030	30.5	44.1	
차량점검 + 배출설비 작동	차고지 A	0분	27.7	7.8	223.2	455	23.6	0.1	0.020	27.9	40.2	
		30분	29.0	8.5	595.8	635	23.4	0.1	0.020	28.7	41.4	
		60분	20.5	6.1	338.8	540	34.4	0.1	0.020	32.1	35.5	
	차고지 B	0분	26.5	7.2	176.0	426	26.1	0.1	0.020	27.7	39.7	
		30분	29.9	9.2	773.0	723	25.6	0.2	0.020	28.5	42.6	
		60분	25.9	5.7	934.4	540	28.4	0.1	0.030	31.7	36.1	
	흡입관부근	0분	33.7	10.2	338.6	645	14.6	2.3	0.020	25.8	45.7	
		30분	25.3	7.5	607.9	469	27.7	1.9	0.020	26.1	42.1	
		60분	24.1	6.8	821.8	502	22.2	0.1	0.020	26.5	46.3	
	외기 배출구		32.5	10.6	2,181.5	3,683	222.1	18.3	0.030	25.3	53.4	
	차량점검 후 자연배기	차고지 A	15분	63.5	33.7	545.0	519	24.4	1.1	0.030	29.5	60.8
		차고지 B	15분	65.5	34.7	961.4	530	21.0	0.9	0.030	29.2	62.8
흡입관부근		15분	63.1	36.8	516.4	472	35.9	1.3	0.030	29.7	67.4	

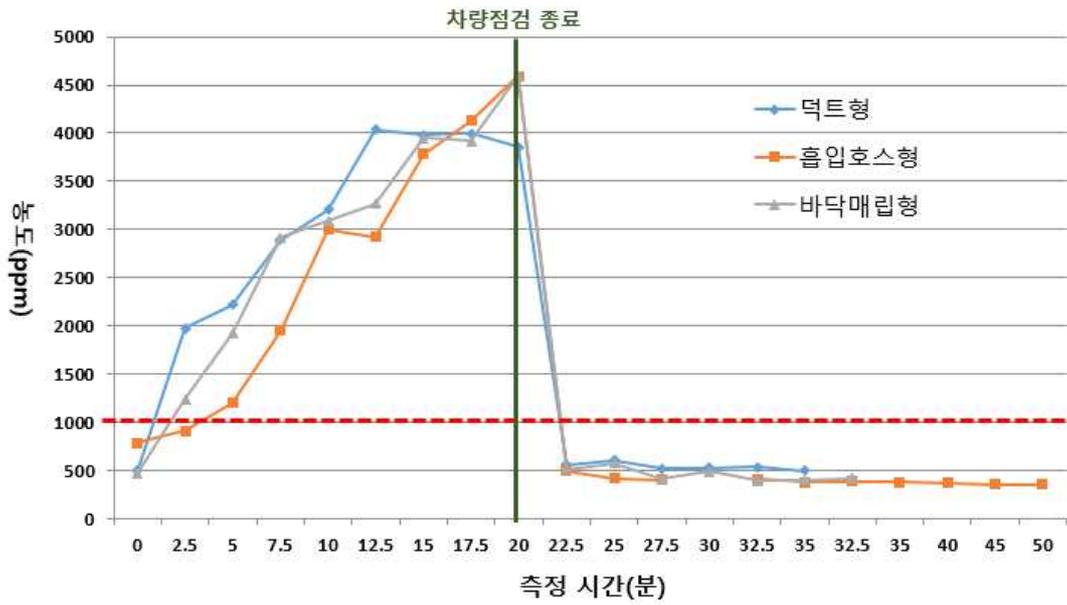
Table 21. 바닥매립 승강흡입방식 매연가스 배출효과 분석 결과

측정조건	측정위치		측정결과									
			PM10	PM2.5	TVOC	CO ₂	HCHO	CO	NO ₂	온도	습도	
			µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm	µg/m ³	ppm	ppm	°C	%	
점검 전	차고지 A		86.9	41.0	648.8	423	22.4	0.1	0.020	22.9	66.8	
	차고지 B		94.7	43.1	612.5	365	15.5	0.1	0.020	22.3	67.5	
	흡입관 부근		77.9	32.8	803.5	521	27.9	0.2	0.020	23.6	71.3	
차량점검 + 배출설비 미작동	차고지 A	20분	33.0	19.8	2,040.7	3,844	244.0	11.0	0.020	28.9	55.3	
	차고지 B	20분	31.2	17.5	1,836.5	3,132	413.6	19.3	0.020	27.0	56.7	
	흡입관부근		20분	38.2	20.5	2,689.1	4,273	2,035.1	21.6	0.020	27.8	60.1
차량점검 + 배출설비 작동	차고지 A	0분	64.9	31.0	792.2	1,339	40.3	1.0	0.020	25.5	58.2	
		30분	50.9	22.5	971.5	1,068	43.4	2.2	0.030	27.7	57.4	
		60분	63.2	20.6	1,169.0	577	29.2	0.2	0.020	28.2	58.5	
	차고지 B	0분	79.3	32.2	779.6	533	39.7	0.1	0.020	25.1	58.1	
		30분	52.5	23.1	455.1	955	67.5	2.5	0.030	26.2	58.9	
		60분	43.2	20.1	495.9	544	24.0	0.2	0.020	26.5	61.7	
	흡입관부근	0분	54.8	23.5	1,095.4	2,605	80.4	5.3	0.020	24.8	60.1	
		30분	53.1	22.2	591.9	1,447	79.7	2.9	0.020	25.5	61.3	
		60분	51.9	21.4	802.2	590	28.1	0.7	0.020	26.2	57.5	
	외기 배출구			36.1	20.1	349.5	1,487	111.6	3.7	0.030	24.8	59.2
	차량점검 후 자연배기	차고지 A	15분	28.6	15.1	152.6	428	36.1	0.4	0.020	27.7	53.4
		차고지 B	15분	26.4	13.2	130.5	601	42.3	1.8	0.020	25.5	57.1
흡입관부근		15분	35.7	17.8	710.6	549	79.2	1.3	0.020	25.1	58.2	

Table 22. 배기가스 배출설비별 전후 잔류량 비교

분석 물질	노출 기준	덕트흡입식				호스흡입식				바닥매립 승강흡입식			
		점검전	차량 점검후	설비 작동후	제거율	점검전	차량 점검후	설비 작동후	제거율	점검전	차량 점검후	설비 작동후	제거율
		-	20분	60분	%	-	20분	60분	%	-	20분	60분	%
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	84.0	55.4	55.1	0.54 ↓	22.0	70.6	23.5	66.71 ↓	86.5	34.1	52.8	54.84 ↑
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	38.3	42.7	32.3	24.36 ↓	5.2	36.0	6.2	82.78 ↓	39.0	19.3	20.7	7.25 ↑
TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	151.7	2930.0	516.3	82.38 ↓	512.5	4640.5	698.3	84.95 ↓	688.3	2188.8	822.4	62.43 ↓
HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	27.2	192.5	33.7	82.49 ↓	9.7	343.8	28.3	91.77 ↓	21.9	897.6	27.1	96.98 ↓
CO₂ (ppm)	1,000 ppm 이하	432.0	3857.0	634.3	83.55 ↓	405.3	4499.0	527.3	88.28 ↓	436.3	3749.7	570.3	84.79 ↓
CO (ppm)	10 ppm 이하	0.6	13.5	0.9	93.33 ↓	0.2	20.5	0.1	99.51 ↓	0.1	17.3	0.4	97.69 ↓
NO₂ (ppm)	0.05 ppm이하	0.02	0.03	0.02	33.33 ↓	0.02	0.02	0.02	0.00 ↓	0.02	0.02	0.02	0.00 ↓

(1)



(2)

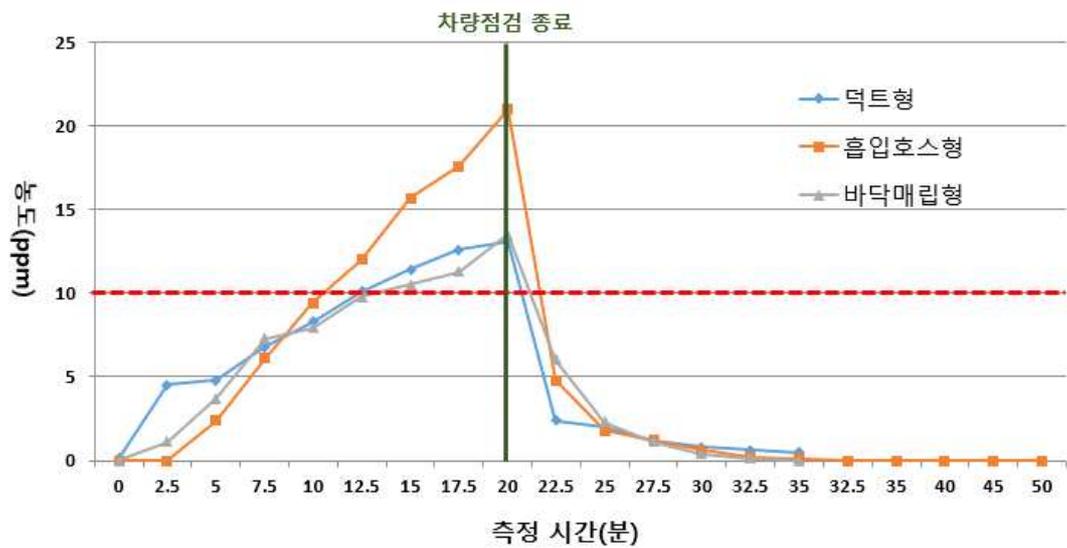
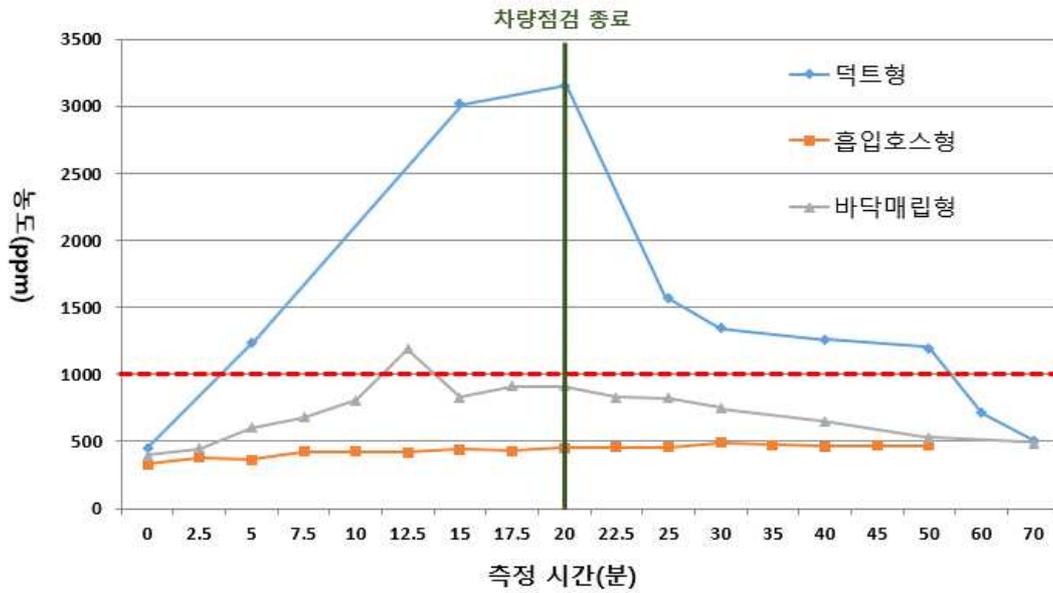


Figure 15. 차량점검 및 자연배기에 의한 CO₂(1)와 CO(2)의 농도 변화

(1)



(2)

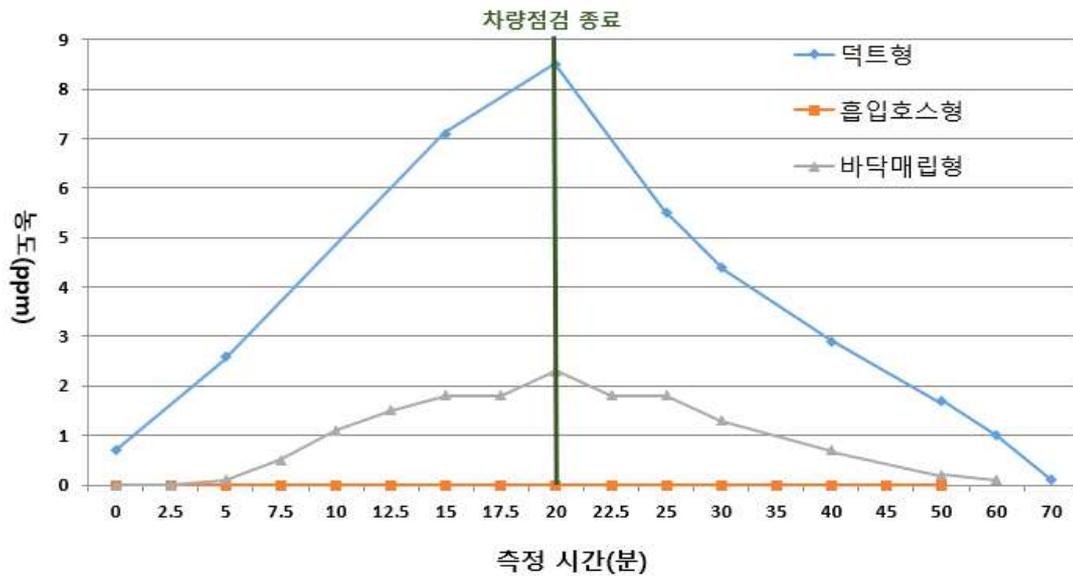


Figure 16. 배출설비 유형별 CO₂(1)와 CO(2)의 농도 변화.

- 차량 점검 종료 후 정면 차고문을 개방하여 자연 배기한 경우, 2~3분 경과 후 측정 대상 물질의 농도가 기준치 이하로 빠르게 감소하였고, 15~30분 경과 후 점검 전과 비슷한 수준으로 감소하였다[Figure 17]. 그러나 TVOC 등 일부 물질은 차고문 개방에 의한 희석보다 내부 또는 외부로부터의 유입으로 인해 오히려 농도가 상승하거나 비슷한 수준을 유지하였다. 정면 차고문을 개방 후 2~3분 내로 빠르게 내부 잔류물질이 확산되므로 차고지 내 공기 흐름을 보다 빠르게 움직이도록 할 필요가 있다. 이를 위해서는 기존의 정면 차고문 외에 후면에도 개방형 차고문을 추가로 설치할 필요가 있다. 옆벽에 환기용 창을 다수 설치하여 내부 공기의 흐름을 개선해 준다면 유해물질의 내부 잔류 시간을 대폭 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 TVOC 등 일부 유해물질의 내부 잔류량이 높기 때문에 이를 제거하기 위한 추가 장비의 활용이 필요하다.
- 2018년 서울특별시소방학교 소방과학연구센터에서 수행한 “소방청사 매연배출저감장치 설치 효과성 평가 연구”는 서울시 소재 안전센터와 현장대응단을 대상으로 실내공기 6개 항목과 원소탄소(elemental carbon)를 매연배출장치 가동 전과 가동 후 차이를 측정하여 소방청사 내부 공기질 개선에 효과가 있는지를 평가한 연구이다. 위 연구에서는 천장덕트형 수동흡입식 장비에 대해서만 평가하였다.
- 위 2018년 연구와 본 연구의 실험 조건간의 차이점은 원소탄소의 측정 여부와 실험 대상 차고지의 조건이 상이했다. 2018년 연구에서는 소방차량으로부터 발생하는 유해물질의 농도를 측정하기 위해 디젤 배출물질의 노출지표 중 대표적 물질인 원소탄소를 측정하여 비교분석하였다. 본 연구에서는 국내에 측정 가능한 분석 업체나 기관이 부재하여 측정하지 못하였다(위 연구에서는 미국에 분석 의뢰함). 본 연구에서는 디젤 배기가스 배출설비 유형별 효과를 비교 분석하기 위해 소방청사 규모, 차고지 면적, 차량 대수 등 실험 조건을 유사한 조건으로 선정하여 다른 변수 요인에 의한

영향을 배제하려고 하였다. 위 2018년 연구에서는 동일 유형의 설비에 대한 효과성 분석을 위해 차고지 면적(704 m³와 189 m³), 차량 보유대수(16대, 5대) 등을 달리하여 비교 분석하였다. 따라서 위 2018년 연구와 본 연구 간의 연구 목적, 실험 조건에서 차이점을 가지고 있다.

- 위 2018년 연구 결과에서 일산화탄소를 제외한 나머지 5개 항목 모두 매연배출저감장치를 가동하지 않은 경우 정상범위를 벗어났고, 1개 센터는 총휘발성 유기화합물이 장치를 가동하여도 정상범위를 크게 벗어나는 것을 확인하였다. 본 연구에서도 동일 항목에 대해 가동 전보다 가동 후가 높게 나타나 디젤 배출물 이외의 다른 배출원이 존재할 것으로 추정되었다.

Table 23. 매연배출저감장치 작동 전·후 실내공기질 측정 결과

측정항목	기준	영등포대응단		동대문휘경센터	
		가동 전	가동 후	가동 전	가동 후
PM10	150 µg/m ³ 이하	92.9	67.2	168.0	56.5
PM2.5	50 µg/m ³ 이하	52.0	25.0	137.0	37.0
TVOC	500 µg/m ³ 이하	1,443.5	297.2	928.8	894.6
CO₂	1,000 ppm 이하	1,406.0	449.0	526.0	435.0
CO	10 ppm 이하	7.3	0.2	0.8	0.2
HCHO	100 µg/m ³ 이하	197.5	8.6	34.0	6.5
EC	20 µg/m ³ 이하†	31.85	2.92	41.69	0

† 미국 ACGIH 노출 기준

- 매연배출저감장치 작동전·후의 원소탄소 측정 결과에서 작동 전 31.85 µg/m³와 41.69 µg/m³에서 2.18 µg/m³과 0 µg/m³으로 각각 측정되어 디젤배출물의 배출이 현저하게 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 매연배출저감장치를 운영하는 경우 차고지 내 실내 공기질과 디젤배출물 모두 정상범위 수준에서 유지되는 것을 확인하였다.

- 소방청사 내 유해물질의 빠른 제거를 위한 가장 효과적인 방법은 자연 배기와 기계적 배기 방식을 함께 사용하는 것이다. 효과적인 차고지 내부의 공기 순환을 위해 외벽에 창문과 air vent를 설치하여 전체적으로 아래에서 위로의 공기 흐름이 생기도록 천정에 환기구를 만들어주는 것이 필요하다.

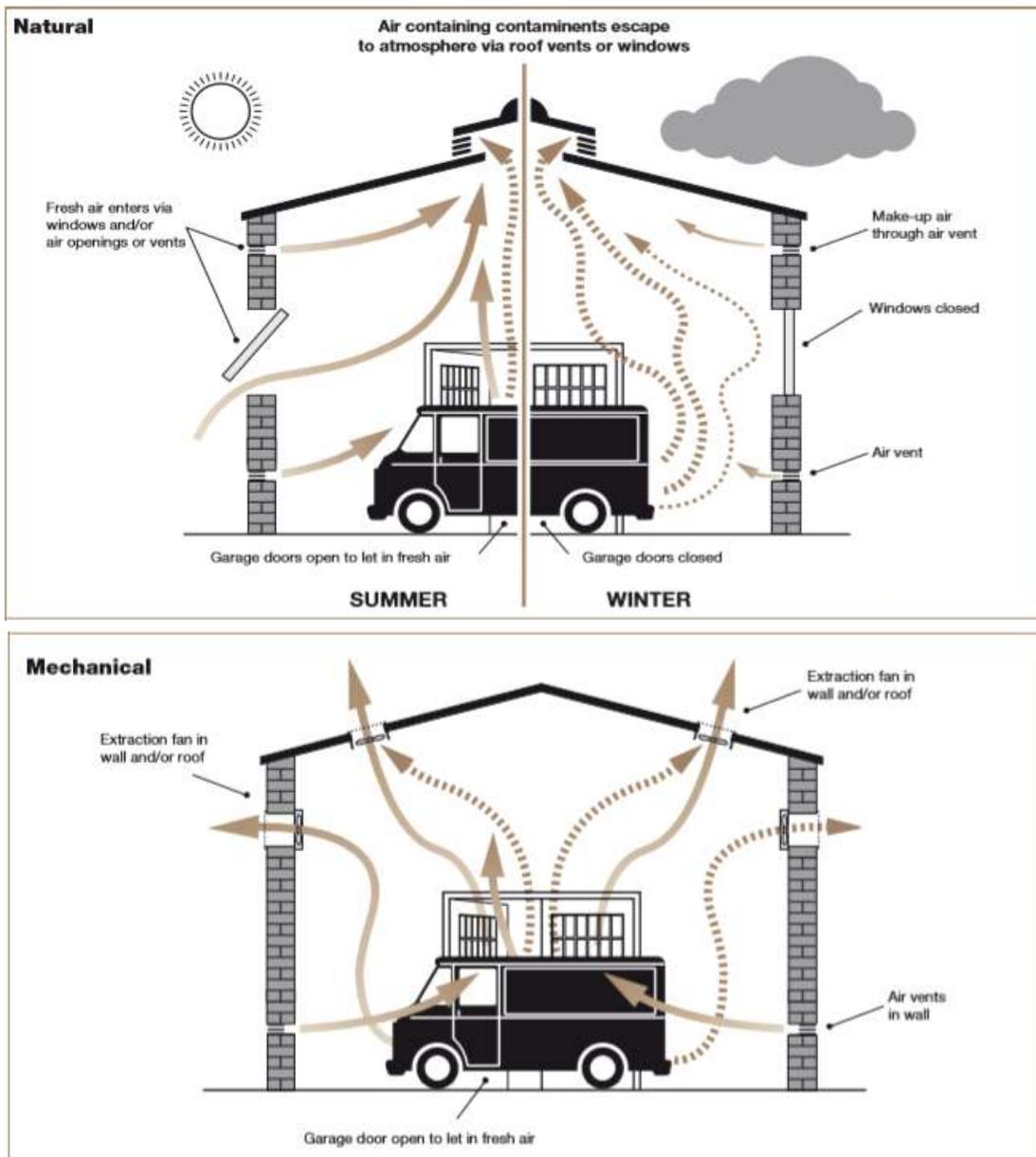


Figure 17. 효과적인 자연배기(위)와 기계배기(아래) 모식도

- 그러나 이러한 자연배기만으로는 유해물질을 완전히 제거하기 어려우므로 차고 외벽과 천정부에 강제 배기를 위한 환풍기를 설치하여 보다 빠르게 제거할 필요가 있다. 특히 일부 지역은 동절기에 장비 보호와 동결을 막기 위해 차고문을 내린 상태에서 장비 점검을 수행하는 경우가 있으므로 더욱 내부 공기의 배출을 위한 환기 시설을 추가로 설치할 필요가 있다.
- 미국 FEMA에서 발간한 「Safety and health consideration for the design of fire and emergency medical services stations(2018)」은 신규 소방청사 설치 시 소방대원 유해물질 노출 저감 및 관리를 위해 차고지 주출입문을 앞과 뒤에 모두 설치하도록 권고하고 있다 [Figure 18]. 본 실험 결과에서도 주출입문의 개방 시 내부 유해물질 잔류량을 빠르게 제거할 수 있음을 확인하였기에, 향후 신규 소방청사의 차고지 설계 시 주출입문 추가에 대해 고려가 필요하다고 생각된다. 또한 오염물질의 2차 노출을 막기 위해 국내 소방청사에도 유해물질 농도가 가장 낮은 사무실, 대기실 등의 green zone(청정구역), 차고, 개인보호장비 보관실 등 유해물질의 농도가 가장 높은 구역인 red zone(hot zone), green zone과 red zone의 중간 완충지역인 yellow zone(transition zone)의 개념을 도입하여 활동영역을 구획화 할 필요가 있다[Figure 19].

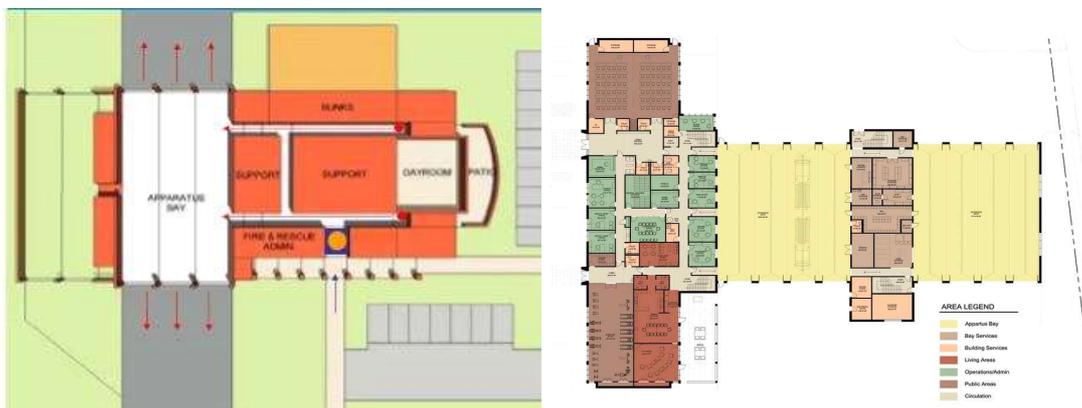


Figure 18. 해외 소방청사 차고문 관련 권고

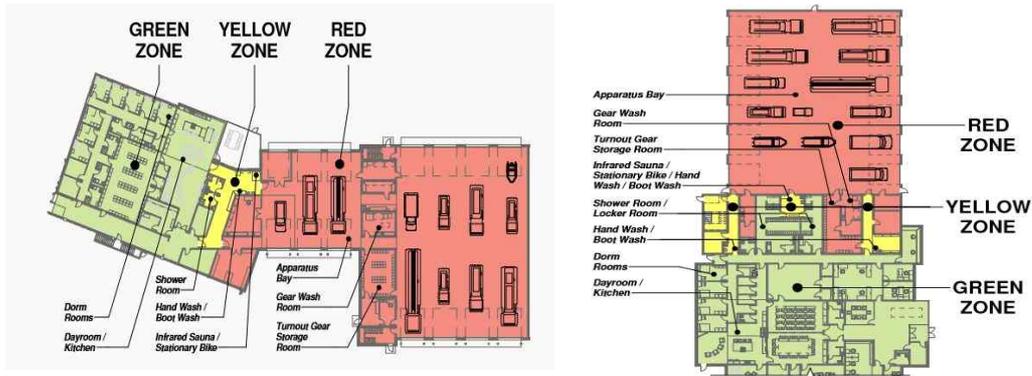


Figure 19. 해외 소방청사의 유해물질 노출 방지를 위한 구획화 개념

5. 해외 소방청사의 차고지 환기 기준

가. 미국 메사추세츠주 노동안전보건국 권고 기준

◆ 미국 메사추세츠주 노동안전보건국 권고 기준

소방서는 자체 평가를 수행하도록 권장하고 있으며, 평가에 건물 설계 및 건축, 차량 엔진 형식, 차고지와 소방관 숙소의 공기 이동 통로, 환기 및 공기 오염 물질의 실제 농도 등을 고려해야 한다.

[일반적 권고사항]

1) 엔진은 항상 제대로 유지하고 조정되어야 한다.

배기가스 제어 시스템 등이 제대로 작동되어야 하며, 입자와 가스 배출량이 높다면 엔진 검사를 받아야 한다.

2) 차고지 안에서는 엔진을 가속시키지 않도록 한다. 소방서 내에서는 가능한 1분 이상 공회전하지 않도록 하며, 1분 이상 공회전 할 경우 외부 공기압축기로 불어내도록 한다.

3) 자동차 배기구는 사무실 쪽 출입구나 다른 구역으로 통하는 계단쪽으로 확산되지 않도록 해야 한다. 차량 위치를 바꾸지 못하는 경우는 배기구 위치를 조정해야 한다.

4) 연료를 사용하는 엔진의 사용과 테스트는 건물 내부가 아닌 외부에서 시행해야 한다.

- 5) 소방청사 내부에 배기가스와 연기의 정체를 방지하기 위해 사용 공간의 적절한 환기 수단을 마련해야 한다. 차량 배기구와 직접 흡입호스를 부착하여 배출하는 방식이 배기가스 제거에 가장 효과적인 방법이다.
- 6) 소방청사 내 어느 구역이든 배기가스와 흠이 누적되지 않도록 사용 공간은 적절한 환기가 이루어지도록 해야 한다. 소방대원 숙소와 사무실 등은 배기가스가 유입되지 않도록 틈새를 잘 막아야 하며, 차량 가동 시 즉시 셔터문을 열어 충분히 환기시키도록 하여 배기가스 노출을 최소화해야 한다.
- 7) 격리(구획화)는 배기가스의 이동을 제어하는 또 하나의 방법이다. 공기는 온도차, 기압차로 인하여 차고지와 인접한 사무실과 대원 숙소 등으로 확산하므로 자동개폐문, 차단벽 등 공간적인 분리(구획)를 하거나 이동 통로의 틈새를 봉쇄할 필요가 있다. 밀폐 여부와 자동닫힘장치 등은 매년 정상 작동 여부를 검사하고 필요한 경우 수리해야 한다.
- 8) 장비실을 밀폐하면 장비실 자체는 물론 다른 구역까지 환기에 문제가 발생할 수 있으므로, 구역별로 문제가 있는지 확인해야 한다. 자연환기에 문제가 생기면 기계적인 강제 환기를 실시해야 한다.
- 9) 배기 및 밀폐 이외에 차량 및 장비실에 여과장치를 부착하여 엔진 배기가스를 줄이는 방법을 고려한다. 차고지와 장비실에 배기 필터와 집진장치를 설치하여 효과적으로 입자물질의 배출을 최소화해야 한다.

나. 미국 뉴저지주 소방청사 매연관리 권고 기준

◆ 미국 뉴저지주 소방청 청사 매연관리 권고 기준

소방서는 각각의 소방서를 자체 평가해야 한다. 다음과 같은 점을 확인하기 위해 공학적 개선 요소가 도입되어야 한다.

[일반적 권고사항]

- 1) 디젤 배기가스가 사무실 공간으로 유입되지 않도록 사무실은 양압을 유지하도록 한다.
- 2) 소방차량 배기가스를 제어하기 위해 환기 시스템을 설치해야 한다. 국소배기시스템은 발생원으로부터 오염물을 직접 제거하므로 훨씬 유용하다.
- 3) 디젤엔진에서 방출되는 입자를 걸러내기 위해 차량에 부착하는 고효율 필터 시스템 사용을 권고한다.
- 4) 디젤 장치의 배기가스 배출을 줄이기 위해 디젤 첨가제를 추가하거나, 인젝터 변경, 배출가스 배출이 낮은 엔진을 선택한다.

다. 일본 요코하마시 소방청사 차고지 매연관리 기준

◆ 일본 요코하마시 안전관리국 청사건설기준

(8편) 차고지

재해활동에서 가장 중요한 소방차량을 비롯한 각종 장비와 기자재를 보관하는 곳으로 다음 조건을 충족해야 한다.

- 1) 재난출동을 안전하고 쉽게 할 수 있도록 전면도로와 주차장 사이의 충분한 공간을 마련해야 한다.
- 2) 주차장 높이는 바닥에서 5미터 이상 확보한다.
- 3) 주차장 내에서는 보안이나 먼지 내한성을 고려하여 폐쇄용 셔터나 문을 설치한다. 그러나 이들은 출동 시 쉽게 개방할 수 있어야 한다.
- 4) 소방차량과 내벽면 사이에는 유효폭 2미터 정도의 출동 공간을 확보하여야 한다.
- 5) 인근의 화재에 대응하기 위해 바닥을 이용하여 100 입방미터의 방화수조를 설치한다. 또한 취수구는 시운전관과 라운드 식으로 소방차가 쉽게 접근 가능하도록 하고 앞뒷면에 표지판 기둥을 설치한다.
- 6) 방화복 등은 55명분을 보관할 수 있도록 한다.
- 7) 배기가스를 쉽고 효율적으로 배출할 수 있는 구조 또는 장치를 설치하도록 한다.

6. 결론 및 개선 관련 제언

- 디젤 배기가스 배출설비는 소방차량에서 배출되는 배기가스를 포집하여 덕트 등을 통해 이송하고 공기정화장치로 정화하여 깨끗해진 공기를 송풍기를 통해 외부로 배출하는 설비 시스템이다. 배기가스 배출설비의 설치 목적은 소방청사 내 실내공기질의 적절한 유지, 관리를 통해 소방대원이 유해물질에 노출되지 않도록 하는 것이다. 따라서 향후 막대한 예산을 투입하여 전국 소방서에 배기가스 배출설비가 설치될 예정이다. 그러나 배출설비에 대한 사전 연구가 전무하고 설치방식의 선정 및 설비에 대한 적절한 평가가 이루어지지 않고 있어 다양한 운영상 문제점들이 발생하고 있다. 이를 위해 다양한 형태의 배기가스 배출설비를 공신력있는 연구기관을 통해 충분한 평가를 수행해야 하며, 이를 통해 공정성을 확보하고 적절한 예산이 투입될 수 있도록 할 필요가 있다.

- 디젤 배기가스 배출설비의 효과성 분석 결과, 덕트흡입방식은 차고지 내 오염물질을 적절히 배출하기에는 시스템 상 많은 문제점을 발생할 가능성이 높았다. 설치 시 가격적인 메리트를 가지고 있으나, 설치 후 운영상의 문제점이 많아 적절한 운영을 위한 대책이 필요하다. 바닥매립 승강흡입방식과 흡입호스방식은 디젤 배기가스 제거에 우수한 효과를 가지고 있었다. 그러나 운영과정에서 발생 가능한 여러 문제점을 보완, 개선한다면 유해물질 제거 효과를 더 높일 수 있을 것으로 예상된다.
- 배기가스 배출설비를 직접 운용 중인 소방대원을 대상으로 수행한 인터뷰에서 가장 많은 비중을 차지하는 운영상 문제점은 소음과 진동 발생에 의한 관리 문제다. 많은 수의 소방서에서는 진동으로 인해 설치 후 거의 사용치 못하고 방치하고 있거나 하루 중 짧은 시간동안만 작동하는 등 운용상의 문제점을 가지고 있었다. 소음과 진동은 주로 송풍기로부터 발생하며, 송풍기의 용량이 커지면 커질수록 소음과 진동 역시 증가한다. 진동 방지를 위한 충격 완충장치를 설치하거나 바닥 보강, 진동 확산 방지를 위한 소음 방지턱 등 진동 발생을 줄이려 다양한 방법을 시도하고 있었으나 대도심지에 위치하는 소방청사의 경우 진동 발생은 불가피하였다.
- 진동은 디젤 배기가스를 효과적으로 배출하기 위해 외부에 설치된 송풍기로부터 발생하며, 요구되는 필요 환기량 차이에 따라 정도가 달라진다. 소방차량 마력당 100 ft³/min(환산 시 2.9 m³/min) 기준을 적용 시, 흡입호스방식은 약 0.35 m³/min, 바닥매립 승강흡입방식 등 전체 환기방식은 약 67.2~134.4 m³/min 수준으로, 흡입호스방식의 필요 환기량 대비 약 4,000배 많다. 이는 효율이 낮고 비용이 많이 들고 전체 환기에 필요한 송풍기의 용량이 충분히 커져야 한다는 의미이며, 소음과 진동 문제가 발생할 가능성이 높다.
- 바닥매립 승강흡입방식은 주차장 바닥에 흡입관을 매립하므로 소방

대원의 활동과 공간적 제약을 받지 않아 차고지가 협소한 소방청사는 이 방식의 설치를 고려해볼 만하다. 그러나 기존 건물에 설치 시 콘크리트 바닥 굴착공사가 필요하므로 바닥 굴착 및 바닥 절개에 따른 구조 안정성에 문제가 발생할 수 있다. 또한 차량의 배기가스 배출관이 차량별로 상이하기 때문에 차량 변경 시마다 흡입관 위치 변경이 필요하다. 그리고 배기가스 배출관과 흡입관 간의 거리를 최대한 줄일 수 있도록 흡입 방식을 개선할 필요가 있다. 이는 적절한 흡입을 위해 필요한 송풍량이 거리의 제곱에 비례하기 때문에 거리가 조금만 멀어져도 막대한 에너지 손실이 발생한다. 따라서 흡입관 간 거리를 최소화할 수 있도록 흡입호스방식의 흡입관 형태를 적용한 개선 방식을 고려할 필요가 있다.

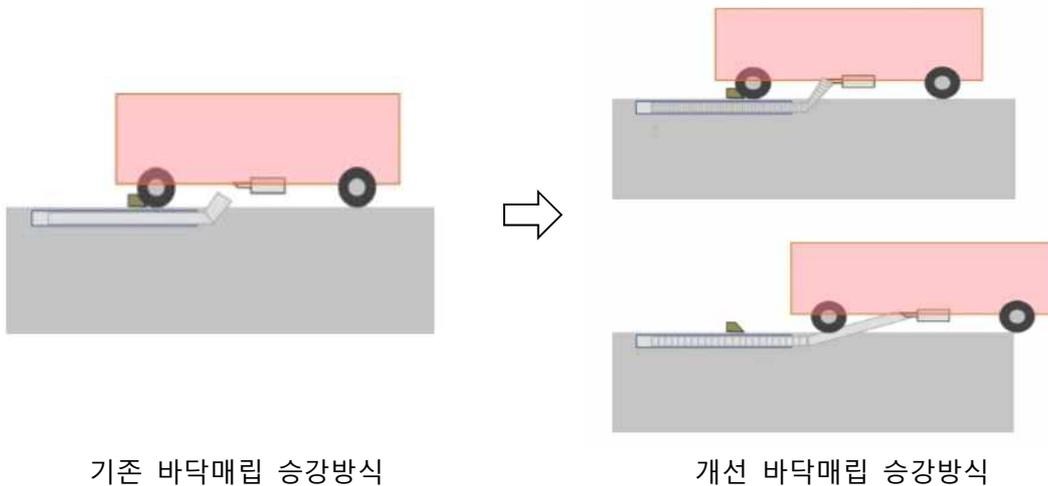


Figure 20. 바닥매립 승강흡입방식의 개선방안

- 흡입호스 방식은 유연성이 있는 긴 흡입호스를 배기구에 직접 부착하여 외부로 배출하는 방식으로, 가장 효과적으로 배출할 수 있다는 장점으로 인해 미국과 일본 등 선진국에서는 이 방식을 기본으로 채택하고 있다. 흡기 호스가 바닥까지 내려와 있어 차량 간 거리가 좁은 소방청사에서는 통행에 불편함을 줄 수 있으나, 롤러 형태의 일본 방식을 활용한다면 공간적 활용 및 불편함을 최소화할 수 있다. 또한 국내 「자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙(국토교통부령 제164호)」에 대한 구조 변경 문제를 유관기관과 협의하여 정확한 법적 해석 및 적용을 해결할 필요가 있다.

- 흡입호스방식의 배기가스 배출설비를 운용중인 일부 소방서는 소방차량의 배기가스 배출구를 스테인리스 파이프를 이용하여 왼쪽 면으로 연장하여 배출설비의 탈착관과 연결하여 사용 중이었다. 그러나 스테인리스 말단과 탈착관이 완전히 결합되지 않은 상태로 운영 중인 곳이 많았다. 외국 장비를 그대로 수입해서 국내 차량에 적용하다 보니 규격이 서로 맞지 않아 운용과정에서 일부 배기가스가 차고지 내부로 누출되고 있었다.



Figure 21. 배기관과 탈착관 모습, a) 미국, b) 국내

- 또 다른 배출설비 운용상 문제점은 유지·보수 문제로, 장비 고장 시 빠른 처리가 어려워 수리 기간 동안 소방대원은 유해물질에 노출되게 된다. 따라서 설치 업체와의 계약 발주 단계에서부터 핵심사항(기능, 유지 보수 기한 등)을 사양서에 포함시켜 설치 업체에게 책임감있는 관리가 가능하도록 하는 것이 필요하다.
- 따라서 신규로 배기가스 배출설비를 설치할 경우, 설치할 소방청사의 구조 및 면적, 건물 안전성, 가용 예산 및 사후 관리 등 다양한 조건을 내·외부 전문가 및 공신력있는 기관과의 협력을 통해 충분히 고려하여 선정해야 한다.

- 본 연구를 통해 디젤 배기가스 배출설비를 신규(또는 기존 설비 대체) 설치, 운영, 관리를 위해 필요한 제반 사항에 대해서는 **향후 소방청 훈령(소방청사 부지시설 설치기준)에 포함시킬 필요가 있다.** 이를 위해서는 우선 본 연구의 부족한 부분에 대해 추가적인 연구를 공신력있는 기관에 위탁하여 추진할 필요가 있으며, 배출설비 관련 **내·외부 전문가(산업환기, 산업위생, 건축공학, 기계공학 등)로 구성된 위원회를 구성하여 기술 자문 및 설치 기준 관련 법령 개정을 위한 의견 수렴 과정을 추진할 필요가 있다.**
- 박 두용 등(2014)은 위와 관련하여 “소방공무원 보건안전 및 복지 기본법 “ 내에 소방청사의 유해가스 배출을 위한 환기시설 및 관리에 관한 사항을 추가하도록 하여 환기시설 기준에 대한 강제규정을 신설할 필요성을 피력하였다. 또한 소방청사 내 유해요인에 대한 **환경 측정 항목을 추가하여 차고지 등에 대한 유해요인을 주기적으로 측정하도록 하는 것이 바람직하다고 권고하였다.**
- 해외 가이드라인 벤치마킹 및 국내 여건에 맞는 표준 가이드라인 개발 시 배출설비 관련 기준을 추가할 필요가 있다. 또한 설치 후 적절한 관리 및 운영을 위해 **본부단위로 관리 담당자를 지정하고, 해외기관 연수 등 교육 프로그램 운영을 통해 배출설비 운영 전문가를 양성하여 지속적인 관리가 이루어질 수 있도록 해야 한다.**
- 마지막으로 디젤 배기가스 배출설비는 향후 막대한 국가 예산을 투입하여 전국 소방청사의 설치 비율을 확대해 나갈 예정이다. 그러나 배출설비 효과성 분석 연구, 소방청사 내 공기질 향상 연구, 디젤 배기가스 등 발생원의 특성 분석, 인체 유해성 연구 등 사전 준비 과정이 미비한 상황에서 진행되어 왔다. 따라서 **기존의 설치 설비에 대한 운영상 문제점 분석, 적절한 배출설비 방식 선정 기준 마련, 운영 가이드라인 제작 등 효율적인 운영과 예산의 적절한 사용 및 재설치·추가 설치 등 예산낭비를 줄이기 위한 중·장기 마스터 플랜을 수립하여 점진적인 추진이 필요하다고** 생각된다.

3장. 디젤 배기가스 집진설비

- 최근 미세먼지 대책에 대한 사회적 관심이 높아지면서 국내·외에서 미세먼지 발생원인 분석과 범정부 차원에서의 미세먼지 저감 대책을 발표하고 있다. 최근 이슈화되고 있는 지하철 환풍구 문제에서 그 심각성을 확인할 수 있다. 인구 밀집 지역을 관통하는 지하철 터널의 강제배출 환기구를 통해 배출되는 미세먼지량을 측정한 결과, 평균 $290 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (최대 $635 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 최소 $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 배출되었다. 이는 환기구 1개당 1년간 251 kg의 미세먼지를 배출하는 수준이다. 이 이슈로 지하철 터널 환기구에서 미세먼지를 거르는 장치 없이 도심 속으로 외부로 배출하여 국민들이 미세먼지에 무방비로 노출되고 있다는 것을 지적하며 지하철 환기구에 대한 미세먼지 저감 대책 마련을 촉구하였다.
- 디젤 배기가스는 입자물질, 가스, 수분 등 다양한 성상의 복합체이고 발생 물질 종류가 수 천 종에 이른다. 따라서 모든 유해물질을 제거하는 것은 기술측면이나, 비용측면, 유지 관리 측면에서 득보다는 실이 많다. 외부로 배출하였을 때 대기오염을 발생시키거나 인체에 유해하거나 민원 발생의 소지가 있는 물질들을 대상으로 우선 제거하는 것이 가장 효율적이라고 생각된다. 따라서 본 보고서에서는 디젤 배기가스 배출물질 중 외부로 배출 시 가장 문제시 될 수 있는 물질인 미세먼지(PM)에 대해 소방청사 배기가스 배출설비에 적용 가능한 장비 및 운용 기술에 대해 언급하고자 한다.
- 집진기는 산업 작업 공간 내에서 발생하는 각종 오염물질과 유해물질을 회수, 제거하는 설비를 지칭하는 것으로, 대기오염 방지와 작업장 환경 개선을 통한 근로자의 건강 보호를 위한 설비이다. 2015년부터 화학물질의 등록 및 평가에 관한 법률, 화학물질관리법, 온실가스배출권거래제, 환경오염시설통합관리법, 환경오염피해구

제법, 자원순환촉진법 등 6대 신규 환경규제가 시행됨에 따라 유해 물질 배출 현장에서의 집진기 설치를 의무화하고 있다.

Table 24. 디젤 입자물질 제거 유형별 특성

방법	중력	관성력	습식세정	여과	정전기
원리	중력에 의한 자연침강	관성력과 원심력에 의한 분리	액체분사 후 응집작용을 통해 포집	다양한 입경의 필터 이용	정전기적 특성 이용
집진 입경 (μm)	50~1,000	3~100	0.1~100	0.1~20	0.05~20
집진효율 (%)	40~60	50~90	80~95	90~99	80~99.5
압력손실 (mmH ₂ O)	10~15	50~150	50~300	100~200	50~150
처리가스속도 (m/sec)	1~2	7~15	15~90	0.3~0.5	1~4
설비/운전비용	소/소	소/소	중/대	중/중	대/중소
장점	<ul style="list-style-type: none"> ■ 설계/유지 간단 ■ 온도 무관 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 구조 및 취급 용이 ■ 큰 입자 집진율 높음 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 가스/먼지 동시 제거 ■ 고온/유독 가스 제거 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 제거효율 우수 ■ 미립자간 집진 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미세입자 포집 가능 ■ 압력손실 적음 ■ 건/습식 동시 적용
단점	<ul style="list-style-type: none"> ■ 넓은 설치 면적 ■ 낮은 효율 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 압력손실 큼 ■ 미립자 제거 효율 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 부식/침식 ■ 폐수처리 비용 부담 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 폭발/점착/가연성 분진 처리 곤란 ■ 고 유지비 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 설치 면적/비용 큼 ■ 부하 변동 불안정성

- 공기 속에 존재하는 입자물질을 제거하는 필터법(여과)은 주로 물질의 제거를 위한 가장 일반적인 방식이다. 필터방식은 필터 섬유의 종류, 형태, 집진기내 필터 배치 방식, 연소가스 유입 방식 등에 따라 다양하다. 집진 효율이 높고 다양한 압력저항의 조건에서 운용 가능하며, 운용 비용이 저렴하다. 빠른 유속을 구현할 수 없어 대형 연소 시설에는 부적합하다. 기계적인 방법의 필터 방식은 공기필터를 사용하여 입자물질을 제거하는 방식으로 충돌, 부착의 원리를 이용한다. 전기적 필터방식은 정전기적 힘에 의한

입자물질 제거방식으로 정전기 필터 및 전기공기정화기에 사용되는 방식이다. 흡착(adsorption)은 흡착력이 강한 다공성 물질을 이용하여 제거하는 방식으로 활성탄(activated carbon)이나 제올라이트(zeolite) 등이 주로 사용된다. 화학적 침전은 산화력이 강한 물질을 이용하여 제거하는 방식으로 주로 오존(O₃)을 사용하며, 박테리아를 이용하여 제거하는 방식도 있다.

- 스크러버 방식은 오염물질을 습식공정으로 제거하는 방식으로 1 μm 이상 입자에 대해 제거가 가능하다. 미세먼지와 가스상 물질을 동시 제거 가능하며, 가연성, 폭발성 먼지의 안정적인 처리가 가능하다.
- 집진기는 여과포를 사용하여 입자물질을 분리하는 백 필터식 집진기와 전기장치를 통해 분진을 분리시키는 전기식 집진기로 구분된다. 백 필터 집진 방식은 오염물질이 발생하는 장소에 후드를 설치하여 분진이 포함된 공기를 빨아들여 이를 여과포에 통과시켜 분진을 포집하는 방식이며, 전기 집진식은 직류고전압에 의한 코로나 방전에 의해 입자를 대전시켜 전계에 의한 정전방식을 이용하여 집진하는 방식이다. 1단형은 방전부와 집진부를 일체로 한 방식으로 코트렐 방식이라 불리며, 2단형은 방전부와 집진부가 별도로 되어있고 유해가스 발생성분이 적은 산업용 및 공기정화용으로 주로 사용된다. 주로 직류 고전압 DC 10~12 KV 와 DC 5~12 KV를 사용한다.
- 해외 소방청사에서는 오염물질 제거를 위해 3~4단계의 제거 과정을 가진 필터를 사용하여 차고지 내 분진 등의 오염물질을 제거한다. 디젤 배기가스는 직접 착탈식을 사용하여 외부로 배출하는 방식을 주로 채택하고 있으며, 이를 보완하기 위한 방식으로 차고지 천장 부근에 공기 순환식 필터를 설치하여 차량 이외의 배출원로부터 발생하는 유해물질을 제거하는 방법이다. 차고지 내에서의 소방활동에 영향을 주지 않는 것이 특징이다. 필터의 구성은 주로 3~4종의 필터를 조합하여 사용한다. 일반적인 공기 정화를 위해

사용하는 HEPA 필터(99.97% 이상), ASHRAE(0.5 μm 이상, 95% 이상) 필터, 중요 VOCs 물질 제거를 위한 활성탄(activated carbon) 필터를 사용한다.



Figure 22. 소방청사 차고지내 입자물질 및 VOC 제거 필터

- 기존 배기가스 배출설비에 설치하기 위한 집진설비는 해외의 적용 사례 및 제품군 분석을 통해 기존 집진방식보다 낮은 설치 비용과 충분한 유해물질 제거 기능을 가진 간단한 필터 방식으로 가능할 것으로 예상된다. 기존 설치된 배출장치에 별도로 디젤 배기가스 성분을 모두 제거할 수 있는 설비를 추가로 설치할 경우, 외부로 배출되는 공기질의 향상은 가능하지만, 설치 및 운영 비용, 송풍기 배출 능력 저하 등 다양한 부분을 고려 시 득보다는 실이

많을 것으로 예상된다. 송풍기의 흡입력에 최소한의 영향을 주면서 충분한 집진 역할을 수행 할 수 있는 3중 필터(전필터-HEPA 필터-다공성 필터) 시스템을 송풍기 바로 전 단계에 설치하여 운영한다면 좋은 결과를 기대할 수 있다.



Figure 23. 3중 필터 방식의 유해물질 제거 시스템

- 또한 디젤 배기가스 외에 추가로 발생하는 유해물질 제거를 위해 기존 배기가스 배출설비와는 별도로 차고 내에 이동식이나 간이 집진설비를 설치하여 차량을 운행하지 않는 평상시에도 운영하도록 하는 좋다.

4장. 참고 문헌

- 1) 박 두용 등. 소방청사에서의 유해인자 2차 노출 차단을 위한 시설 및 소방장비 관리기준 개발 연구 최종 보고서. 소방방재청, 2013.
- 2) 전 정석. 소방청사 내 2차(화학적) 노출 연구; 소방청사 실내공기질 측정을 중심으로, 서울특별시소방학교 소방과학연구센터, 2016.
- 3) 한국산업안전보건공단. 사업장에서 디젤엔진 배기가스 노출 근로자의 보건관리 지침, KOSHA Guide H-169-2015, 2015.
- 4) 함 승헌, 김 수진. 소방청사 내 매연배출저감장치 설치 효과성 평가, 가천대학교 의과대학 직업환경의학과, 2018.
- 5) 자동차안전연구원. 배기가스 실내유입 기준마련 기초연구 최종보고서. 2012.
- 6) ACGIH, Threshold Limit Values (TLVs) (ACGIH 2019).
- 7) ATSDR. Case studies in environmental medicine toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs). 2012
- 8) Cal/EPA, Proposed identification of diesel exhaust as a toxic air contaminant, 1998.
- 9) California Division of Occupational Safety and Health (Cal/OSHA) Permissible Exposure Limits (PELs) from Table AC-1 last viewed October 2, 2019, viewable at http://www.dir.ca.gov/title8/5155table_ac1.html.
- 10) EPA, Health Assment document for diesel emissions. 2002, National Center for Environmental Assment-Washington Office, Office of research and development U.S. Environmental protection Agency EPA/600/8-90/057F available from National Technical Information Service, Springfield, VA; PB2002-107661.
- 11) FEMA, Safety and health considerations for the design of fire and emergency medical services stations. U.S. Fire Administration, 2018.
- 12) Garchick E, Laden F, Hart JE, Rosner B, David ME, Eisen EA, Smith TJ. Lung cancer and vehicle exhaust in trucking industry workers. *Environ Health Perspect* 2008;116:p1327-1332.

- 13) Greg Michalak, Diesel emissions in fire stations, 2004.
- 14) Health and safety executive, Control of diesel engine exhaust emissions in the workplace, third edition, 2012.
- 15) IARC. IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic, 12 June 2012.
- 16) IARC. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: diesel and gasoline engine exhaust and some nitroarenes. 2013: 105.
- 17) James J. Schauer. Evaluation of elemental carbon as a marker for diesel particulate matter, *Journal of Exposure analysis and environmental epidemiology*, 13;p443-453, 2003.
- 18) Kear T and Niemeier D. Diesel particulate matter: risk management strategies for the transportation planning process, Urban transport X, 2004.
- 19) McDonald JD, Campen MJ, Harrod KS, Seagrave JC, Seilkop SK, and Mauderly JL. Engine-operating load influences diesel exhaust composition and cardiopulmonary and immune response. *Environ. Health Persp.* 119,1136-1141, 2011.
- 20) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Recommended Exposure Limits (RELs) from the NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards (<https://www.cdc.gov/niosh/npg>)
- 21) NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health, Kelly J, Sheehy J. Health hazard evaluation report HETA 92-0384 Kettering fire department, Kettering, Ohio. 193AD Nov.
- 22) Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Permissible Exposure Limits (PELS) from 29 CFR 1910.1000 Z-1 Table [58 FR 35340, June 30, 1993; 58 FR 40191, July 27, 1993, as amended at 61 FR 56831, Nov. 4, 1996; 62 FR 1600, Jan 10,1997; 62 FR 42018, Aug. 4,1997; 71 FR 10373, Feb. 28, 2006; 71 FR 16673, Apr. 3, 2006; 71 FR 36008, June 23, 2006.].
- 23) Taxell P and Santonen T. The nordic expert group for criteria documentation of health risks from chemicals and the dutch expert

- committee on occupational safety; 149. Diesel engine exhaust, *Arbete och Halsa*(work and health) scientific serial, 49(6), 2016.
- 24) Taxell P and Santonen T. Diesel engine exhaust: Basic for occupational exposure limit value, *Toxicological Sciences*, 158(2);p243-251, 2017.
- 25) Sydbom A., Blomberg A., Parnia S., Stenfors N., Sandstom T., Dahlen S-E. Health effects of diesel exhaust emissions, *European Respiratory*, 17;p733-746, 2001.