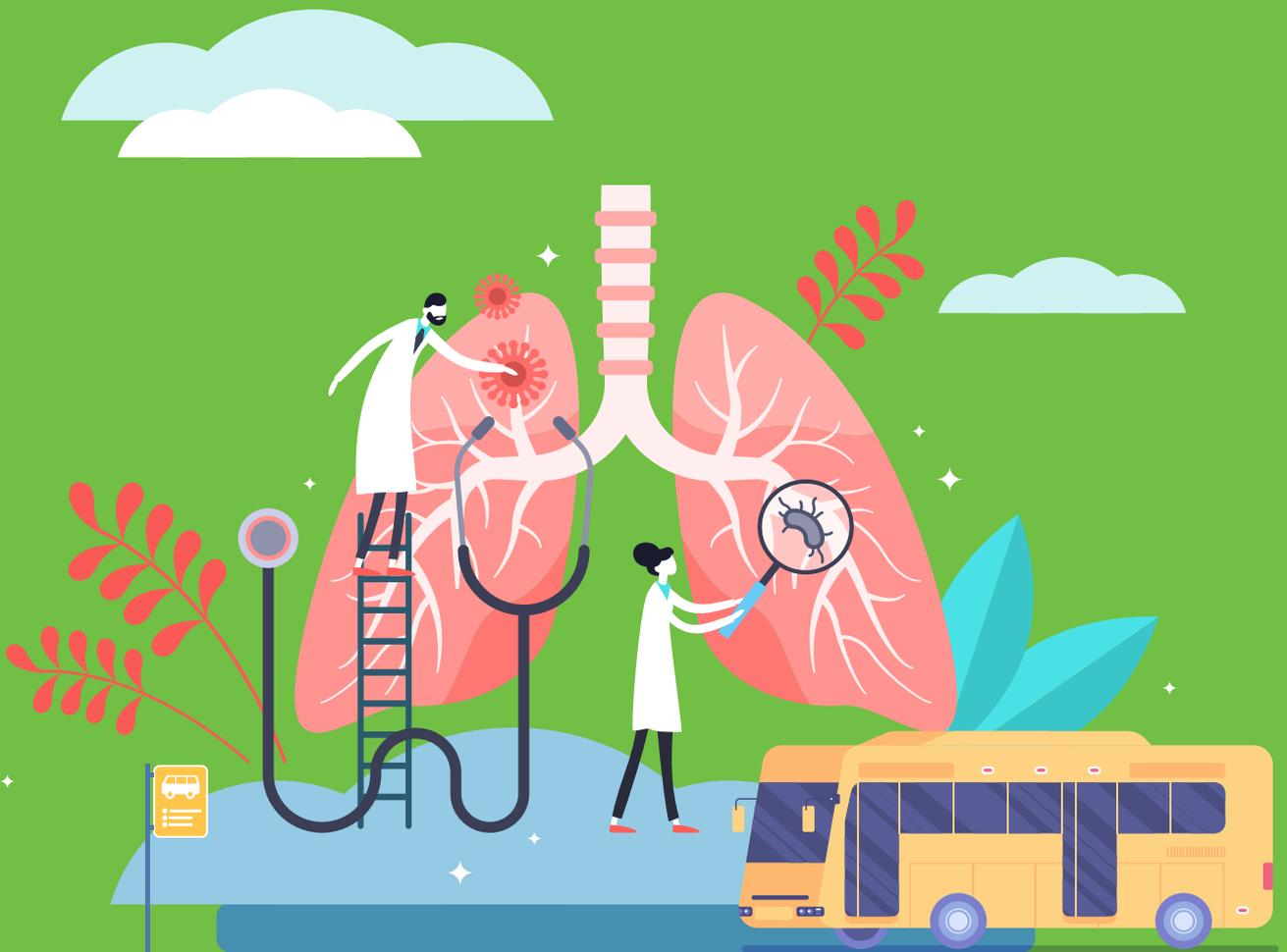


버스운전원과 폐암





서론

시내노선버스 운전을 20년간 해온 50대 버스운전원이 폐암 1기 진단을 받았다. 버스운전원에게 발생한 폐암은 업무관련성이 있을까?

버스운전원이란 노선버스, 관광버스, 비영업용 버스를 운전하는 사람을 말한다. 버스운전원은 승객을 수송하기 위해 운행계획표에 따라 버스를 운전한다. 육체적 작업 강도는 가벼운 작업으로 보고 있다.

버스운전원의 직무는 <표 1>과 같다. 운수회사, 기업체 등에서 일반승객이나 사원 등을 수송하기 위해 정해진 운행계획표를 확인한다. 안전 운행을 위해 차량의 엔진오일, 냉각수 등을 점검하고 승객의 편의를 돕기 위해 냉난방, 조명 등을 조절한 뒤 정해진 노선을 따라 버스를 운전한다. 승객의 요금을 확인하거나 정산해주기도 한다. 운행이 끝나면 운행시간, 특이사항이나 사고사항 등에 대하여 운행일지를 작성한다.

<표 1> 버스운전원의 직무

차량점검	차량운전	차량입고
<ul style="list-style-type: none"> - 회차지에서 차량 받기 - 운행일지 받기 - 환전기 및 요금함 배치 - 차량 점검 - 차량 내부 청소 - 차량 출발지로 이동 	<ul style="list-style-type: none"> - 운행시간과 노선, 수송 운행표에 따라 목적지까지 버스를 운전 - 출입문을 여닫고 정류장에 정차하여 승객의 탑승, 하차 	<ul style="list-style-type: none"> - 종점으로 차량 반환 - 환전기 및 요금함 회수 - 운행일지 작성 및 반환 - 차량 내부 청소 - 차량 주차



김수근

의학박사
직업환경의학 전문의

버스운전원은 장시간 운전 및 전신 진동 등으로 인한 근골격계 질환, 야간·교대 근무 등으로 인한 건강문제, 교통사고와 같은 돌발 상황, 승객과 갈등이나 폭력, 직무스트레스 등의 다양한 유해·위험요인에 노출되고 있다. 버스운전원이 일반적으로 노출되는 유해위험요인은 <표 2>와 같다.

<표 2> 버스운전원이 노출되는 유해위험요인

작업환경요인	작업조건요인	건강요인	사고요인
<ul style="list-style-type: none"> - 미세먼지 - 건조한 환경 - 진동 	<ul style="list-style-type: none"> - 장시간 동일한 작업 자세 - 장시간 근로 - 야간근로 - 승객폭력 	<ul style="list-style-type: none"> - 하지정맥류 - 호흡기질환 - 피로 - 직무스트레스 등으로 인한 정신질환 	<ul style="list-style-type: none"> - 교통사고 - 넘어짐 - 부딪힘 등

버스 안에서 환기가 제대로 이루어지지 않으면 밀폐된 공간 내 이산화탄소가 증가하고, 정류장에서 앞문을 여는 경우 앞 버스의 배기가스가 바로 유입된다. 또한 도로에 차가 매우 많고 정체가 계속되면 도로상에서는 차량들의 배기가스로 공기오염이 심각해지고, 버스운전원은 대기오염에 노출된다.

이러한 상황에서 버스운전원의 폐암 유발인자의 노출여부를 확인하고, 그로 인한 폐암 발병에 대하여 살펴보았다.

폐암의 업무상 질병 인정기준

「산업재해보상보험법」 시행령 제34조제3항 관련 <별표 3>의 업무상 질병에 대한 구체적인 인정기준에서 폐암의 인정기준은 다음과 같다.

- ① 가. 석면에 노출되어 발생한 폐암
- ② 나. 석면폐증과 동반된 폐암
- ③ 마. 니켈 화합물에 노출되어 발생한 폐암
- ④ 바. 콜타르 찌꺼기(coal tar pitch, 10년 이상 노출된 경우에 해당한다)에 노출되어 발생한 폐암
- ⑤ 바. 라돈-222 또는 그 붕괴물질(지하 등 환기가 잘 되지 않는 장소에서 노출된 경우에 해당한다)에 노출되어 발생한 폐암

- ⑥ 바. 카드뮴 또는 그 화합물에 노출되어 발생한 폐암
- ⑦ 바. 베릴륨 또는 그 화합물에 노출되어 발생한 폐암
- ⑧ 바. 6가 크롬 또는 그 화합물에 노출되어 발생한 폐암
- ⑨ 바. 결정형 유리규산에 노출되어 발생한 폐암
- ⑩ 사. 검댕에 노출되어 발생한 폐암
- ⑪ 자. 비소 또는 그 무기화합물에 노출되어 발생한 폐암
- ⑫ 차. 스프레이나 이와 유사한 형태의 도장 업무에 종사하여 발생한 폐암
- ⑬ 버. 엑스(X)선 또는 감마(γ)선 등의 전리방사선에 노출되어 발생한 폐암

이상의 인정기준에서 제시하고 있는 폐암 유발인자에 버스운전원이 노출될 가능성은 낮다. 그러나 버스는 디젤엔진을 이용하므로 2012년에 국제암연구기구(IARC)에서 1군 발암물질로 분류¹⁾한 디젤엔진 배출물질(Diesel engine exhaust, DEE)에 노출될 가능성이 있다.

또한 국내에서는 2012년 이후부터 이미 다수의 폐암환자가 디젤엔진 배출물질에 노출된 것이 확인되어 업무상 질병으로 인정한 사례가 있다.²⁾

디젤엔진 배출물질(DEE)의 발암성

디젤엔진 배출물질은 디젤 연료를 연소시켜 생성된다. 여기에는 사람들에게 해로울 수 있는 화학 물질이 들어 있다. 숨을 들이 쉬면 이러한 화학 물질은 장기적인 건강 문제를 일으킬 위험을 증가시킨다. 이것에는 폐암 및 방광암이 포함될 수 있다.

2012년 6월 국제암연구기구(International Agency for Research on Cancer; IARC)에서는 디젤엔진 배출물질의 노출과 폐암과 관련하여 발암등급을 Group 2A(가능성이 농후한 발암물질)에서 Group 1(인체발암물질)로 지정하였다. 이러한 평가의 근거가 된 논문은 미국국립암연구소(National Cancer Institute, NCI)에서 미국 광산 근로자의 호흡성 원소탄소(Elemental Carbon)에 대한 과거 노출평가를 실시한 결과 폐암과 유의한 연관성을 발견한 연구에서이다.

디젤엔진 배출물질은 디젤 연료를 연소시켜 생성된다. 여기에는 사람들에게 해로울 수 있는 화학 물질이 들어 있다.



1. 디젤엔진 배출물질의 구성성분

디젤엔진 배출물질은 가스, 증기, 액체 에어로졸 및 입자 물질의 복잡한 혼합물이다. 이러한 물질들은 연소에 의한 생성물이다. <표 3>은 디젤엔진 배출물의 주요 화학 성분을 나열한 표이다.

<표 3> 디젤엔진 배기가스 배출의 주요 화학 성분

· 탄소 (carbon)	· 알코올 (Alcohol)
· 물 (H ₂ O)	· 알데히드 (Aldehyde)
· 일산화탄소 (CO)	· 케톤 (Ketone)
· 이산화탄소 (CO ₂)	· 탄화수소 계열 (Hydrocarbons)
· 질소 산화물 (NOx)	· 다환방향족탄화수소 (PAHs)
· 황 산화물(SOx)	

디젤연료는 탄화수소 혼합물로 이루어져 이론적으로 완전 연소 시 연소생성물은 이산화탄소(CO₂)와 물(H₂O), 엔진 흡입공기(N₂, O₂ 등)가 되겠지만, 실제로는 연료의 불완전연소, 고온고압에서의 혼합물의 반응, 윤활유와 윤활유 첨가제의 연소, 그리고 연료첨가제와 연료 중에 들어있는 유황성분의 연소 등으로 미량일지라도 인체에 유해한 입자상 물질(Particulate Matter, PM) 등의 디젤엔진 배출물질(pollutant emission)을 포함하고 있다. 배기가스의 성상은 연료, 엔진의 형태, 사용 기간, 유지·보수 상태, 배기가스 조절 장치의 유무와 사용형태 등에 따라 달라지며³⁾, 배기가스 조절 장치가 없거나 제한적인 구형의 디젤엔진 배출물질에는 더 많은 양의 입자상 물질(diesel particulate matter, DPM)이 포함되어 있다.⁴⁾

이것은 가스 형태(gas phase)와 입자 형태(particle phase)로 되어 있다. 가스 형태로는 일산화탄소(CO), 질소 산화물(NO_x)과 벤젠이나 포름알데하이드 같은 휘발성 유기물질들이 포함되어 있다. 입자 형태로는 유기탄소, 재, 황화물 및 금속 등이 포함되어 있다. 다환방향족탄화수소(Polynuclear Aromatic Hydrocarbon, PAH)와 니트로아렌(nitroarenes)은 가스 및 입자 두 가지 형태 모두 포함되어 있다.

2. 발생원과 노출

디젤엔진은 자동차, 선박, 비행기 등의 운송수단, 광업이나 건설업 같은 분야의 중장비, 화력발전 등에 이용된다. 디젤엔진 배출물은 건설 현장에서 유지 보수 작업 시에도 나타나며, 고정 전력원(발전기)에서도 발생된다. 디젤엔진

디젤엔진 배출물질은 디젤 엔진을 사용하는 수많은 차량, 장비 등에서 배출된다.



배출물질은 디젤 엔진을 사용하는 수많은 차량, 장비 등에서 배출된다.

작업장에서 디젤엔진 배출물질의 주요 노출원은 디젤 연료를 사용하는 지게차 및 대형 차량 등(덤프트럭, 버스, 기차, 대형운반차, 트랙터 등)이 있다. 2004년 Bond 외 여러 연구진이 모여 연구한 결과에 의하면 인체에 영향을 미칠 수 있는 원소탄소(EC)의 배출원을 말하자면, 도로의 운송수단이 45%, 비도로의 운송수단(기차, 선박 등)에서 44%로 추정하고 있다.⁵⁾ 이 결과는 운송수단이 유해 물질을 함유한 배기가스의 주 배출원이 된다는 것을 보여주는 것이다.

디젤엔진 배출물질에 많이 노출되는 직업군이나 업종은 광산, 전문버스운전원, 트럭 운전원, 택시 운전원, 환경미화원, 톨게이트 부스 근무자, 철도 및 디젤 차량 운전원 및 정비원, 소방대 구조원, 교통경찰, 선박하역 종사자, 디젤차량 소유 자영업자 등 수도 없이 많다.

많은 수의 인구가 작업 환경이나 일반 대기 중에서 디젤엔진 배출물질에 매일 노출되고 있는 것이 현실이다. 디젤엔진을 사용하고 있는 여러 운송수단의 배기가스에 노출될 수밖에 없기 때문이다.

직업적으로 디젤엔진 배출물질에 노출되는 인구집단은 일반 인구보다 상당히 높은 수준으로 노출될 수 있다. 직업적 노출의 범위는 철도근로자(39~191 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 소방관(4~748 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 대중교통 근로자와 공항 근로자(7~98 $\mu\text{g}/$

많은 수의 인구가
작업 환경이나
일반 대기 중에서
디젤엔진 배출물질에
매일 노출되고
있는 것이 현실이다.
디젤엔진을
사용하고 있는
여러 운송수단의
배기가스에 노출될
수밖에 없기
때문이다.

m³), 기계를 다루거나 선착장에서 일하는 사람(5~61 µg/m³), 트럭운전원(2~7 µg/m³) 등이 보고되었다.⁶⁾ 미국 EPA의 연구에 따르면 직업과 관련하여 디젤 입자상 물질(DPM)에 노출되는 수준은 일반 환경노출에 비하여 약 5배 정도인 것으로 추정되는데, 직업적 노출 범위의 하한 값은 환경노출 범위의 상한 값과 일부 겹칠 수도 있다. 일반적인 대기환경에서 디젤엔진 배출물질의 노출수준은 미국 환경보호청(US Environmental Protection Agency, US EPA)의 평가에서 미국 일반 대기환경 중 DPM 농도는 중간값 1.53 µg/m³, 평균 농도 2.06 µg/m³, 95% 상한 값이 5.34 µg/m³인 것으로 추정되었다.⁷⁾

미국광업안전보건청(MSHA)에서 디젤엔진 배출물질의 노출기준을 총탄소(Total Carbon, TC=EC+OC) 기준 160 µg/m³로 설정하고 있고, 1995년 ACGIH는 TC를 기준으로 0.15 mg/m³의 TLV를 제안했으나, 추가적인 역학 연구와 디젤 입자상 물질의 독성에 대한 자료를 검토한 결과, 1999년 제안된 TLV를 0.05 mg/m³로 낮추었다. 제안된 TLV는 2001년에 지표물질을 EC로 하여 0.02 mg/m³로 낮추었지만 개정된 기준은 건강 위험의 재평가를 기반으로 한 것이 아니라 EC가 노출에 대한 신뢰성 있는 지표이지만 DPM 중 EC가 적은 부분을 구성한다는 지식을 근거로 하였고, 2003년에는 제안된 TLV가 철회되었다.

그러나 EC의 직업적 노출 및 폐암에 대한 다양한 개별 연구들을 기초로 하여 캘리포니아 주에서는 디젤매연의 EC로서의 직업적 노출기준을 0.020 mg/m³로 권고했다. 현재 국가적으로 디젤매연의 직업적 노출기준을 가지고 있는 나라는 호주와 스위스로 EC로서 100 µg/m³이다.⁸⁾

국내에서 수행된 시내버스운전원에 대한 디젤엔진 배출물질(EC와 OC)의 노출 평가결과는 <표 4>와 같았다.



<표 4> 국내 버스운전원의 원소탄소(EC)와 유기탄소(OC)의 노출수준

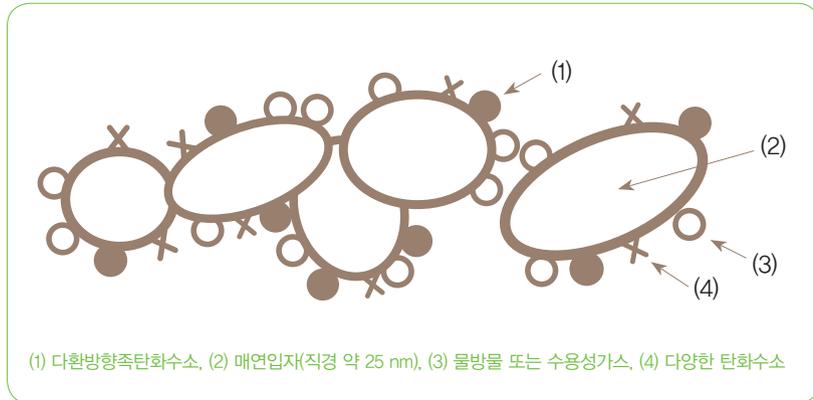
단위 : µg/m³

구분	시료수	산술평균	표준편차	기하평균	기하표준편차	범위
시내버스 운송업	54(EC)	2.45	1.29	2.14	1.73	0.29~6.52
	54(OC)	26.04	4.20	25.71	1.18	16.5~35.8
시내버스 운전원	54(EC)	2.45	1.29	2.14	1.73	0.29~6.52
	54(OC)	26.04	4.20	25.71	1.18	16.5~35.8
차종별 버스	67(EC)	2.27	1.24	1.99	1.72	0.29~6.52
	67(OC)	23.53	7.75	20.22	2.21	0.00~35.80

3. 발암성

디젤엔진 배출물질은 배출되는 검댕 입자에 발암 물질인 PAHs(다환방향족 탄화수소)가 흡착된 형태이다. <그림 1>의 미립자는 쉽게 호흡기로 흡입되고 직업적인 노출이 될 경우 폐암의 위험이 증가될 수 있다.

<그림 1> 디젤 배기가스 내의 검댕에 흡착된 다환 방향족탄화수소(PAHs)의 모식도⁹⁾



동물실험 결과 DPM에 의한 염증반응과 이후 콜라겐과 활성산소종 형성과 같은 일련의 과정을 거쳐 폐암발생에 기여하는 것으로 관찰되었다.¹⁰⁾ 디젤엔진 배출물질 전체에 노출되었을 경우 흰쥐(rat)의 폐에서 발병률이 증가하였으며, 디젤엔진 배출물질을 기관 내로 주입하였을 경우 흰쥐의 폐에서 발병률이 증가하고, 생쥐(mice)의 경우도 입자를 주사로 주입한 부위에 육종이 발생하였다. 단, 가스형태의 배기가스물질들은 두 종 모두에서 호흡기 종양의 발생률은 증가시키지 않았다.

그동안 디젤엔진 배출물질은 다양한 DNA 손상을 유발시킬 수 있다는 보고들이 있었고 디젤엔진 배출물질에 노출된 사람의 유전자에서도 이러한 유전독성을 나타내는 생물학적 지표들이 보고되었다.

수 년 동안 디젤엔진 배출물질에 반복적으로 노출되면 폐암의 위험이 높아질 수 있다. 영국산업안전보건청(HSE)은 2005년에 디젤엔진 배출물질로 인한 암 발생 초기 사망자가 200명이 넘는 것으로 추정하였다.¹¹⁾

디젤엔진 배출물질에는 알려진 발암성 물질인 그을음 미립자에 흡착되는 PAHs가 포함되어 있다. 이 미립자는 호흡기로 쉽게 흡입되며 폐암의 위험을 증가시킬 수 있다.

수 년 동안 디젤엔진 배출물질에 반복적으로 노출되면 폐암의 위험이 높아질 수 있다. 영국 산업안전보건청(HSE)은 2005년에 디젤엔진 배출물질로 인한 암 발생 초기 사망자가 200명이 넘는 것으로 추정하였다.



2012년 6월 WHO 국제암연구기구(IARC)는 디젤엔진 배출물질의 발암성에 대해 암을 일으키는 확실한 물질(carcinogenic to human) 그룹인 Group 1로 재분류하였다. 1988년 IARC에서 디젤엔진 배출물질을 Group 2A로 지정한 이후, 디젤엔진 배출물질 노출과 관련하여 여러 요인에 의한 작업자의 역학 연구가 진행되어 왔고, 미국국립암연구소(NIOSH)에서 2012년 3월 지하광부들에게 나타난 배기가스 노출과 폐암에 의한 사망률 증가에 대한 연구 결과를 발표함에 따라 이에 대한 문제가 재강조된 것이다.¹²⁻¹³⁾

Attfield 등¹⁴⁾은 미국 8개 비금속 광산에서 DEE에 노출된 12,315명의 근로자를 대상으로 후향적 코호트 연구를 하였다. 광부들에 대한 역학연구는 이전의 역학 연구에 비해 대규모이고, 추적기간이 장기간이며, DEE 노출수준이 높으며, 흡연과 기타 작업장 노출 등을 통제했다는 장점이 있다. 폐암 발생 위험은 표준화 사망비(Standardized mortality ratios, SMR)로 평가하였다. DEE 노출량은 호흡성 원소탄소(respirable elemental carbon, REC)의 과거누적노출 추정치를 적용하였다. 이외에도 광산에서 유리규산, 석면, 라돈, PAH, 호흡성 먼지 등에 대한 정량적, 정성적 노출을 근무 장소에 따라 추정하였다. 폐암에 대한 SMR은 1.26(95%CI=1.0~1.44)이었다. 또한, 15년간의 REC누적 노출량을 분석한 결과, 폐암사망과 관련하여 0~20 ug/m³-y에 노출된 작업자에 대한 640~1,280 ug/m³-y에 노출된 작업자의 위험비(Hazard Ratios; HRs)는

Attfield 등은 미국 8개 비금속 광산에서 DEE에 노출된 12,315명의 근로자를 대상으로 후향적 코호트 연구를 하였다.



5.01이었다. 이러한 연구결과는 디젤엔진 배출물질 노출과 폐암 사망률의 증가와 연관이 있다는 것을 증명하는 것이다.

또한 Silverman 등¹⁵⁾의 연구에서는 디젤엔진 배출물질에 대한 노출-반응 관계를 밝히기 위하여 디젤엔진 배출물질의 노출을 폐암의 사망률과 관계하여 정량적 관계로 나타내었다. 8개의 비금속 채광시설에서 12,315명을 대상으로 환자-대조군연구를 수행하였는데, 이 12,315명 중에는 폐암으로 사망한 198명(환자군)과 대조군 562명을 선정하여, 흡연과 기타 혼란변수를 통제하였을 때 DEE노출과 폐암 사망위험의 관계를 분석하였다.

연구결과 누적적으로 호흡성 원소탄소(REC)에 노출되면 폐암 사망 위험은 유의하게 증가하였다. 특히 REC 1,005 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-y}$ 이상 고농도에 노출될 경우 폐암 위험은 낮은 농도에 노출되는 근로자에 비해 약 3배 높았다.

담배를 피우지 않은 사람들 중에서 REC에 15년 동안 누적적으로 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-y}$ 이하, 8~304 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-y}$, 304 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-y}$ 이상 노출되는 경우 흡연 및 가능한 혼란변수를 보정하였을 때 교차비(OR)는 각각 1.0(reference), 1.47(95% CI=0.29~0.75), 7.3(95%CI=1.46~36.57)으로 REC 농도가 높아질수록 폐암의 위험도는 증가하였다. 이러한 결과는 디젤엔진 배출물질 노출이 폐암의 원인이 될 수 있다는 것을 증명하는 것이다.

이상의 광부 코호트 연구¹⁶⁾와 이 광부 코호트 내 환자 대조군 연구¹⁷⁾가 디젤엔진 배기가스를 Group 1로 분류하는 데 결정적 역할을 한다. 흡연에 대한 보

REC 1,005 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-y}$
이상 고농도에
노출될 경우 폐암
위험은 낮은 농도에
노출되는 근로자에
비해 약 3배 높았다.

정을 하여 분석한 결과에서 두 연구 모두 탄소에 대한 노출을 정량화하여 디젤 엔진 배출물질의 노출로 보았을 때 노출이 증가할수록 폐암의 유병률도 증가하는 경향을 보였다. 특히 이런 경향은 코호트 내 환자 대조군 연구에서 더욱 두드러졌는데 누적 혹은 평균 노출량이 가장 높은 군에서는 약 2~3배의 증가를 나타내었다.

비록 광부들이 노출되는 다른 요인들, 즉 교란요인이 있긴 하지만 이 연구는 디젤엔진 배출물질과 폐암과의 관계에 대해서 일정부분 가장 강력한 증거들을 제공한다. 이와 아울러 디젤엔진 배출물질에 노출될 수 있는 철도 근로자들에서 거의 노출되지 않는 군에 비하여 폐암 유병률이 약 40% 증가한다는 연구¹⁸⁾도 디젤엔진 배출물질의 발암성 평가에 중요한 자료가 되었으며, 간접적인 흡연에 대한 보정을 통해 흡연이 이 증가량에 대해 거의 영향을 주지 않는다는 사실도 밝혀졌다. 최근에는 서로 다른 철로의 디젤화 과거력 및 개인의 근무력 등을 기준으로 노출의 영향을 확대 평가하여 노출이 오래될수록 70~80%까지 위험성이 증가한다고 보고하였다.¹⁹⁾

미국에서 시행된 화물자동차운송업에 대한 대규모 코호트 연구²⁰⁾도 디젤엔진 배출물질에 노출된 운전자 및 항구 근로자에서 폐암의 유병률이 약 15~40% 증가한다고 보고하였다. 이 연구에 따르면 흡연을 보정한 후 근무를 오래 할수록 폐암의 위험성도 증가하는 데 대략 20년의 근무력을 기점으로 두 배로 상승하였다. 이 연구는 이후 확장되어 탄소에 대한 노출을 기준으로 동시 분석 및 노출의 재구성이 이루어졌으며, 평균 노출량은 관계가 없었으나 누적 노출량이 높을수록 폐암의 위험성이 증가하는 경향을 보였다. 이런 경향은 근무력에 대한 보정후 더욱 확연하게 나타났다.²¹⁾

작업장에서 디젤엔진 배출물질로 인한 폐암 발생에 관한 연구결과들을 메타 분석한 결과 상대위험도는 1.35 또는 1.47이었다.²²⁻²³⁾

Brown 등²⁴⁾은 DEE의 직업적 노출에 의해 발생하는 폐암은 영국에서 발생하는 폐암의 1.8%이며, DEE는 석면과 결정형 유리규산 다음으로 직업성 폐암에의 기여도가 큰 유해인자라고 보고하였다.

Brown 등은 DEE는 석면과 결정형 유리규산 다음으로 직업성 폐암에의 기여도가 큰 유해인자라고 보고하였다.

버스운전원의 디젤엔진 배출물질 노출과 폐암 발생

Balarajan과 McDowall²⁵⁾은 National Health Service Central Register를

사용하여 1950년 1월에 1939년 인구 조사에 따라 런던에서 전문 면허를 소지하고 전문 운전원로 고용되었던 3,392명의 남성을 확인했으며, 1950년 1월 1일부터 1984년 말까지 일반 인구와 사망률을 비교하였다. 버스운전원들 중에서 18명이 폐암으로 사망하여 표준화 사망률(SMR)은 1.42(95%CI= 0.84~2.24)로 증가하였으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

Soll-Johanning 등²⁶⁾은 코펜하겐에서 1900~1994년에 종사한 18,174명의 버스운전원과 전차 직원(tramway employees)에 대한 후향적 코호트 연구를 수행하였다. 코펜하겐에서는 최초의 디젤 구동 버스가 1936년에 도입되었지만 2차 세계 대전 중에는 모든 버스에 휘발유가 공급되었다. 디젤 구동 버스는 그 후 점차 휘발유 구동 모델로 대체했으며 1960년대에는 트램(tram)으로 대체하였다. 1943년 이후 발생한 암을 확인하기 위해 덴마크 암 등록소 및 국가 사망 지수와 연계하여 암 환자 비율을 덴마크 일반 인구와 비교하였다. 3개월 이상 고용된 남성 근로자 중 표준화 발생률은 1.6(95%CI=1.5~1.8; 473건)이었다. 여성의 경우 폐암의 표준화 발생률은 2.6(95%CI=1.5~4.3; 15건)이었다. 남녀 모두 처음 고용된 이후 더 장기간 동안 종사하였을 경우 폐암의 위험성이 관찰되었다.

Soll-Johanning 등²⁷⁾은 1900~1994에 덴마크 코펜하겐에서 버스운전원과 전차 직원 18,174명의 코호트 중 153명의 폐암환자를 환자군으로 하고, 606명의 대조군을 선정하여 환자-대조군 연구를 하였다. 분석 결과 근무기간이 증가할수록 폐암 발생의 위험이 감소하였고(OR=0.97, 95%CI=0.96~0.99), 20년 이상 근무한 버스운전원의 폐암 발생 위험이 감소하는 것으로 나타나 기존 연구결과와 상반된 결과를 보였다.

Guo 등²⁸⁾은 코호트 연구에서 휘발유와 디젤엔진 배출물질에 노출된 남성 버스운전원의 폐암 위험에 대하여 보고하였다. 표준화 발생률은 크게 증가하지 않았다 (SIR=0.89, 95%CI=0.78~1.00; 253건).

Petersen 등²⁹⁾은 1978년에 2,037명의 덴마크 도시 남성 버스운전원의 코호트를 25년간(1979~2003년)의 추적하여 암 발병 위험을 연구하였다. 1978년 덴마크의 3대 도시의 공공 버스운전원은 직업력, 버스 노선 및 흡연 습관에 관한 정보를 수집하는 설문지를 받았다. 2003년까지 암 발생 사례에 대한 정보는 Danish Cancer Registry에 연결하여 구하였다. 이 연구에서 폐암의 표준화 발생률은 1.2(95%CI=1.0~1.4; 100건)이었다. 폐암에 대한 표준화 발생률은 15년 이상의 고용 기간을 가진 버스운전원(SIR=1.3, 95%CI=1.0~1.8)에서도 약

남녀 모두 처음
고용된 이후
더 장기간 동안
종사하였을 경우
폐암의 위험성이
관찰되었다.



간 증가했다. 15~24년 및 25년 이상 고용된 운전원과 15년 미만 동안 고용된 운전원을 비교한 결과, 폐암의 상대위험도는 각각 0.9 및 1.0이었다.

11개의 인구기반 환자-대조군연구를 통합 분석한 것으로 노출기간 및 누적 노출량 모두에서 디젤엔진 배출물질 노출과 폐암 발생 간에 양의 상관관계를 보였다.³⁰⁾

결론

디젤엔진(Diesel Engine)은 승용차, 버스, 대형화물차, 기차, 선박 등의 교통 및 운송수단, 광산업, 건설업의 중장비 등 다양한 업종에서 사용되는 동력원으로, 매우 많은 사업장에서 사용하기 때문에 근로자의 디젤엔진 배출물질의 노출은 매우 흔한 일이다.

디젤 연료의 연소로 생성된 가스와 미립자의 복잡한 혼합물인 디젤엔진 배출물질은 수십 년에 걸친 증거를 기반으로 2012년 국제암연구기구(IARC)에 의해 인체에 암발병 위험도를 높이는 충분한 근거가 있는 물질(Carcinogen to humans, Group1)로 분류되었다.³¹⁾ 디젤엔진 배기가스의 발암성 평가에 가장 많은 영향을 준 연구들은 비금속광산, 철도, 화물자동차 운송업 근로자들을 대상으로 직업적 노출에 대해 조사한 것들이다.³²⁾ 반면에 버스운전원을 대상으로 한 연구결과는 이들의 연구결과와 일치하는 경향을 보여 주지는 않았다.

디젤엔진 배출물질은 수십 년에 걸친 증거를 기반으로 2012년 국제암연구기구(IARC)에 의해 인체에 암발병 위험도를 높이는 충분한 근거가 있는 물질로 분류되었다.



인체의 발암성이 충분한 Group 1 물질로 디젤엔진 배출물질이 인정되어 향후 폐암에 걸린 근로자들의 업무관련성 평가에서 업무상 질병으로 결정할 가능성이 높아졌다. 국내에서 2012년 이전에 직업성 폐암으로 판단되어 산재승인을 받은 [사례 53]를 분석하여 발표된 최근 연구논문³³⁾에서 버스운전자 등 디젤엔진 연소물질과 관련된 [사례 7]에 있었으나 대부분 단순 디젤엔진 연소물질에 노출된 경우가 아니고 브레이크 라이닝 교체작업에서 석면 노출이 있었거나 기타작업 중 기준에 알려진 다른 폐암 발암물질의 노출이 병행된 경우들이었다. 따라서 현재까지는 디젤엔진 배기가스 단독 노출에 대해 직업성 폐암을 인정해준 사례는 없었다. 더욱이 직업적 노출이 아닌 일반인의 디젤엔진 배기가스 노출과 관련하여 폐암 발생을 인정해준 사례는 더욱 없었다.³⁴⁾ 그러나 IARC에서 발암물질로 분류된 후 디젤매연에 의한 직업병으로 산재요양급여를 신청하는 경우도 2012년 이후 증가하는 추세이다.

이러한 영향으로 버스운전원이 다른 직업군에 비하여 상대적으로 낮은 디젤엔진 배출물질에 노출되고, 역학적 연구결과도 다른 결과를 보여 주고 있다. 하지만 인간의 폐암 발병에 충분한 근거를 가진 디젤엔진 배출물질에 노출되며, 일반 인구집단에 비하여 높게 노출되는 점 등은 버스운전원에게 발병한 폐암을 업무상 질병으로 판정하는 근거로 활용될 것이다. 🐦

디젤매연에 의한
직업병으로
산재요양급여를
신청하는 경우도
2012년 이후
증가하는 추세이다.

1. IARC. Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 105,2013
2. 배혜정. "디젤차량 배기가스 노출로 폐암" 순천 환경미화원 2명 산재 승인지난해 11월에도 순천 환경미화원 폐암 사망 ... 옥외노동자 안전대책 시급. 매일노동뉴스. 2018.11.13.
<https://www.labortoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=154978>
3. Wichmann, HE. Diesel Exhaust Particles, Inhal Toxicol. 2007;19 Suppl 1:241-4. Review.
4. Ahlvik, P., 2002. Environmental and health impacts from modern cars. A comparison between two petrol and two diesel cars with varying emission control technology. A report for the Swedish National Road Administration, Vehicle Standards Division, Borlange, Sweden, Ecotraffic R&D3 AB, Vagverket, Publikation.
5. Tami C. Bond, David G. Streets, Kristen F. Yarber, Sibyl M. Nelson, Jung-Hun Woo, Zbigniew Klimont (2004). A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 109(D14) : D14203.
6. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Health assessment document for diesel engine exhaust, Washington, DC; National Technical Information Service; 2002.
7. U.S. Environmental Protection Agency. Nationalscale air toxic assessment for 1999: Estimated emissions, concentrations and risk, Washington DC; 2006.
8. 신정아, 곽현석, 김부옥, 차원석. 디젤매연 노출 노동자의 산업·직무·노출 수준 분석에 관한 연구. 근로복지공단 직업성폐질환연구소,2018년 12월 18일
9. HSE. HSG 187 Control of diesel engine exhaust emissions in the workplace, 2012
10. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Health assessment document for diesel engine exhaust, Washington, DC; National Technical Information Service; 2002.
11. HSE. HSG 187 Control of diesel engine exhaust emissions in the workplace, 2012
12. Michael D. Attfield, Patricia L. Schleiff, Jay H. Lubin, Aaron Blair, Patricia A. Stewart, Roel Vermeulen, Joseph B. Coble, Debra T. Silverman. (2012). The Diesel Exhaust in Miners Study: A Cohort Mortality Study with Emphasis on Lung Cancer. Journal of the National Cancer Institute, 104(11):869-883.
13. Debra T. Silverman, Claudine M. Samanic, Jay H. Lubin, Aaron E. Blair, Patricia A. Stewart, Roel Vermeulen, Joseph B. Coble, Nathaniel Rothman, Patricia L. Schleiff, William D. Travis, Regina G. Ziegler, Sholom Wacholder, Michael D. (2012). AttfieldThe Diesel Exhaust in Miners Study: A Nested Case - Control Study of Lung Cancer and Diesel Exhaust. Journal of the National Cancer Institute, 104(11):855-868.
14. Attfield MD, Schleiff PL, Lubin JH, Blair A, Stewart PA, Vermeulen R, et al. The Diesel Exhaust in Miners study: a cohort mortality study with emphasis on lung cancer. J Natl Cancer Inst. 2012; 104(11): 869-883.
15. Debra T. Silverman, Claudine M. Samanic, Jay H. Lubin, Aaron E. Blair, Patricia A. Stewart, Roel Vermeulen, Joseph B. Coble, Nathaniel Rothman, Patricia L. Schleiff, William D. Travis, Regina G. Ziegler, Sholom Wacholder, Michael D. (2012). Attfield The Diesel Exhaust in Miners Study: A Nested Case -Control Study of Lung Cancer and Diesel Exhaust. Journal of the National Cancer Institute, 104(11):855-868.
16. Attfield MD, Schleiff, PL, Lubin JH, Blair A, Stewart PA, Vermeulen R,Coble JB, Silverman DT. (2012). The diesel exhaust in miners study a cohort mortality study with emphasis on lung cancer. J Natl Cancer Inst 104: 1-15.
17. Silverman DT, Samanic, CM, Lubin JH, Blair AE, Stewart PA, Vermeulen R, Coble JB, Rothman N, Schleiff PL, Travis WD, Ziegler RG, Wacholder S, Attfield MD. (2012). The Diesel Exhaust in Miners Study: A nested case-control study of lung cancer and diesel exhaust. J Natl Cancer Inst 104: 1-14.
18. Garshick E, Laden F, Hart JE, et al. Lung cancer in railroad workers exposed to diesel exhaust. Environ Health Perspect. 2004;112(15):1539-1543.

19. Laden F, Hart JE, Eschenroeder A, Smith TJ, Garshick E. Historical estimation of diesel exhaust exposure in a cohort study of U.S. railroad workers and lung cancer. *Cancer Causes Control*. 2006;17(7):911-919.
20. Steenland K, Silverman D, Zaebs D. Exposure to diesel exhaust in the trucking industry and possible relationships with lung cancer. *Am J Ind Med*. 1992;21(6):887-890.
21. Garshick E, Laden F, Hart JE, et al. Lung cancer and vehicle exhaust in trucking industry workers. *Environ Health Perspect*. 2008;116(10):1327-1332.
22. Bhatia R, Lopipero P, Smith A. Diesel exhaust exposure and lung cancer. *Epidemiology* 1998; 9(1): 84-91.
23. Lipsett M, Campleman S. Occupational exposure to diesel exhaust and lung cancer: a meta-analysis. *Am J Public Health* 1999; 80(7): 1009-1017.
24. Brown T, Darnton A, Fortunato L, Rushton L. Occupational cancer in Britain, 2012; 107(S1):S56.
25. Balarajan R, McDowall ME. Professional drivers in London: a mortality study. *Br J Ind Med*, 1988;45:483-486.
26. Soll-Johanning H, Bach E, Olsen JH, Tüchsen F. Cancer incidence in urban bus drivers and tramway employees: a retrospective cohort study. *Occup Environ Med*. 1998;55:594-598. [PMC free article]
27. Soll-Johanning H, Bach E, Jensen SS. Lung and bladder cancer among Danish urban bus drivers and tramway employees: a nested case-control study. *Occup Med (Lond)*. 2003; 53(1): 25-33.
28. Guo J, Kauppinen T, Kyyrönen P, et al. Occupational exposure to diesel and gasoline engine exhausts and risk of lung cancer among Finnish workers. *Am J Ind Med*. 2004;45:483-490.
29. Petersen A, Hansen J, Olsen JH, Netterstrøm B. Cancer morbidity among Danish male urban bus drivers: A historical cohort study. *Am J Ind Med*. 2010;53:757-761.
30. Olsson AC, Gustavsson P, Kromhout H, (2011). Exposure to diesel motor exhaust and lung cancer risk in a pooled analysis from case-control studies in Europe and Canada. *Am J Respir Crit Care Med* 183:941-948.
31. Benbrahim-Tallaa L, Baan RA, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, et al. Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes. 2012; 13 (7): 663-664.
32. Kim J, Peters CE, Arrandale VH, Labreche F, Ge CB, McLeod CB, et al. Burden of lung cancer attributable to occupational diesel engine exhaust exposure in Canada. *Occup Environ Med*. 2018;75:617-622.
33. Lm JW, Park SY, Choi BS. Characteristics of Occupational Lung Cancer from 1999 to 2005. *The Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2010;22(3):230-239.
34. 채창호. 디젤엔진 배기가스에 대한 IARC Monograph Review. *안전보건 연구동향* 2013년 신년호, 36-41