

연구보고서

디젤엔진배출물 노출 근로자 특수건강진단 방법 개발 및 시범적용

강희태·김성경·김환철·송재석·오성수·정경숙

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “디젤엔진배출물 노출 근로자 특수건강진단 방법 개발 및 시범적용”의 최종 연구결과 보고서로 제출합니다.

2020년 11월

연구기관 : 연세대학교 원주산학협력단

연구기간 : 2020. 4. 29. ~ 2020. 11. 30.

연구책임자 : 강희태 (원주세브란스기독병원 직업환경의학과 교수)

공동연구원 : 김성경 (원주세브란스기독병원 직업환경의학과 교수)

공동연구원 : 김환철 (인하대학교병원 직업환경의학과 교수)

공동연구원 : 송재석 (가톨릭관동대학교 의학과 교수)

공동연구원 : 오성수 (원주세브란스기독병원 직업환경의학과 교수)

공동연구원 : 정경숙 (원주세브란스기독병원 직업환경의학과 교수)

연구보조원 : 김형두 (인하대학교병원 직업환경의학과 전공의)

연구보조원 : 서광현 (원주세브란스기독병원 직업환경의학과 전공의)

연구보조원 : 오현정 (원주세브란스기독병원 직업환경의학과 전공의)

연구보조원 : 임명섭 (원주세브란스기독병원 직업환경의학과 전공의)

연구보조원 : 장성욱 (인하대학교병원 직업환경의학과 전공의)

연구보조원 : 주현우 (인하대학교병원 직업환경의학과 전공의)

요 약 문

연구기간

2020년 4월 ~ 2020년 11월

핵심 단어

디젤엔진배출물, 특수건강진단, 건강영향

연구과제명

디젤엔진배출물 노출 근로자 특수건강진단 방법 개발 및 시범적용

1. 연구배경

○ 디젤엔진배출물의 국제암연구소(IARC)에서 폐암을 유발하는 물질(Group 1)로 지정이 되었으며, 최근 직업성 암으로 산업재해 보상이 이루어지고 있음에도 특수건강진단 항목에서는 누락되어 있다. 이에 디젤엔진배출물 노출군을 대상으로 하는 특수건강진단 기준을 마련할 필요가 있다.

2. 주요 연구내용

□ 연구결과

○ 디젤엔진배출물에는 운전종사자, 차량 정비 및 검사원, 생활폐기물 및 음식물쓰레기 수거업무 종사자, 터널 공사 작업자, 건설업 종사자, 열차 및 수상, 항공 운송업 종사자, 항만 종사자, 광부, 제조업 및 유통산업 등에서 지게차 등의 디젤엔진을 이용한 운반 작업자, 차량 통행이 많은 곳에서 종사하는 작업자 등의 다양한 노동자들이 노출되고 있다.

○ 디젤엔진배출물의 비발암성 건강영향으로는 눈, 비강, 인두의 점막 자극 증상, 두통, 구역, 사지 말단의 마비 및 따끔거림과 같은 비특이적인 신경계 증상, 기침, 가래, 호흡곤란 및 천식 악화와 같은 호흡기계 증상, 급성 관상동맥 증후군 유발 및 혈압 상승과 같은 심혈관계 증상이

있다.

○ 디젤엔진배출물의 발암성 건강영향으로는 폐암과 방광암이 있다, 폐암을 진단하기 위한 방법으로 LDCT 촬영을 고려할 수 있으나, 비용-편익 분석에서 비용-효과적이지 않았으며, 전문가 의견에서도 수행가능성이 낮다는 의견이 다수를 차지하였다.

□ 시사점

○ 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자들에게서 눈/비강/인두, 신경계, 호흡기계, 심혈관계, 비뇨기계를 표적장기로 하는 다양한 건강영향들이 보고되었다. 이에 디젤엔진배출물 노출 노동자들을 대상으로 하는 특수건강진단이 필요하다.

3. 연구 활용방안

□ 제 언

○ 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자는 작업환경측정결과를 바탕으로 선정하는 것을 제안한다. 다만, 아직 작업환경측정 방법 및 노출 기준, 노출 실태 등이 정해지지 않았으므로 선정 기준은 시범사업을 통해 노출 실태 파악과 함께 의견수렴을 통해서 결정할 것을 제안한다.

○ 특수건강진단 제1차 검사항목으로는 눈, 비강, 인두(점막자극증상 문진), 신경계(신경계 증상 문진, 신경증상에 유의하여 진찰), 호흡기계(청진, 흉부방사선(후전면), 폐활량검사), 심혈관계(복부둘레, 혈압, 공복혈당, 총콜레스테롤, 트리글리세라이드, HDL 콜레스테롤), 비뇨기계(요검사 10종, 소변세포병리검사)를 실시할 것을 제안한다.

○ 특수건강진단 제2차 검사항목으로는 호흡기계(흉부방사선(측면), 필요 시 흉부방사선(후전면), 작업 중 최대나일숨유량 연속측정, 비특이 기도과민검사, 흉부 전산화 단층촬영, 객담세포검사), 심혈관계(혈압, 공복혈당, 당화혈색소, 총콜레스테롤, 트리글리세라이드, HDL 콜레스테롤, LDL

콜레스테롤, 24시간 심전도, 24시간 혈압), 비뇨기계(필요 시 요검사 10종, 필요 시 소변세포병리검사, 비뇨기관 진료)를 실시할 것을 제안한다.

○ 특수건강진단 주기는 12개월마다 하되, 배치 후 첫 번째 특수건강진단 시기는 6개월 이내에 할 것을 제안한다.

□ 개선방안

○ 디젤엔진배출물 작업환경측정 시범사업을 통해 우리나라 디젤엔진배출물 노출실태를 파악한 후, 의견수렴을 통하여 특수건강진단 대상자 선정기준을 만들어 특수건강진단을 실시한다.

□ 활 용

○ 향후 디젤엔진배출물 노출근로자 특수건강진단을 실시하기 위한 기초적인 자료로 사용한다.

4. 연락처

- 연구책임자 : 연세대학교 원주세브란스기독병원 교수 강희태
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 직업건강연구실 이상길 부장
 - Tel: 052-703-0870
 - E-mail: twincokes@kosha.or.kr

차례

I. 서론	1
1. 연구목적 및 필요성	1
2. 연구목표	1
II. 연구방법	3
1. 연구내용	3
2. 연구방법	3
III. 연구결과	10
1. 디젤엔진배출물 노출군	10
2. 디젤엔진배출물의 건강영향	29
3. 디젤엔진배출물 건강영향에 대한 건강진단	69
4. 디젤엔진배출물 건강진단 비용-편익 분석(LDCT 중심)	89
5. 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범사업	128
6. 디젤엔진배출물 특수건강진단에 대한 전문가 자문	150
7. 디젤엔진배출물 특수건강진단(안)	188
IV. 결론	201
1. 요약	201

2. 제언	203
참고문헌	204
Abstract	212
부록	214
부록 1: 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범사업 설문지	214
부록 2: 디젤엔진배출물 특수건강진단 델파이 설문지	218
부록 3: 디젤엔진배출물 특수건강진단 실무지침(안)	223

표 차례

<표 II-1> 원주세브란스기독병원 시범사업 참여자 직종별 인원수	5
<표 II-2> 인하대학교 병원 시범사업 참여자 직종별 인원수	6
<표 II-3> 시범사업 표적장기 및 검사항목	7
<표 III-1> 디젤엔진배출물의 용량에 따른 건강영향	16
<표 III-2> 2020년 2월 현재 경유차 등록 현황	19
<표 III-3> 연도별 업종별 경유 사용량	20
<표 III-4> 산업별 디젤엔진배출물 노출 추정비	21
<표 III-5> 주요 디젤엔진배출물 노출업종의 노출 노동자 수 변화	23
<표 III-6> 디젤엔진배출물 노출수준에 따른 직종/업무	24
<표 III-7> 철도 노동자에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구	38
<표 III-8> 버스 차고지 노동자에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구	41
<표 III-9> 버스 운전사에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구	42
<표 III-10> 대형 수송차량 운전자 및 기타 운전자에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구	44
<표 III-11> 광부에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구	48
<표 III-12> 기타 직종에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구	51
<표 III-13> 폐암과 디젤엔진배출물 연구에 대한 메타분석	54
<표 III-14> 직종에 따른 디젤엔진배출물과 방광암의 코호트 연구	57
<표 III-15> 방광암과 디젤엔진배출물 연구에 대한 메타분석	67
<표 III-16> 폐암의 선별검사에 대한 NLST 이전 연구 결과	72

<표Ⅲ-17> 폐암 선별검사 결과	73
<표Ⅲ-18> 폐암 상태에 따라 선별검사와 관련된 가장 침습적인 진단과정 후 발생한 합병증	74
<표Ⅲ-19> 세 번의 선별검사에서 양성 결과의 진단적 추적 방법	75
<표Ⅲ-20> 선별검사에 따라 LDCT군과 흉부방사선촬영군에서 폐암의 병기와 조직학적 형태	76
<표Ⅲ-21> NLST 연구 결과	77
<표Ⅲ-22> Radiological Report of Pilot Study for the Korean Lung Cancer Screening(K-LUCAS) Project 결과 요약	80
<표Ⅲ-23> 국가암검진의 종류 및 검진주기와 연령기준	82
<표Ⅲ-24> IARC과 현행 특수건강진단에서 제시하고 있는 폐암 및 방광암 위험 인자	88
<표Ⅲ-25> 현행 특수건강진단에서 실시하고 있는 폐암 및 방광암 검사 방법	91
<표Ⅲ-26> 폐암 선별검사 모델에서 입력 변수	97
<표Ⅲ-27> 1993년부터 2013년까지 산업별 디젤엔진배출물 노출 노동자수	101
<표Ⅲ-28> 2013년 기준 산업별 디젤엔진배출물 노출 노동자수	105
<표Ⅲ-29> 2013년 기준 디젤엔진배출물 노출 산업에서 연령별 피보험자 현황	109
<표Ⅲ-30> 연령별 디젤엔진배출물 노출 인구 추정수	113
<표Ⅲ-31> 2013-2017년 우리나라 폐암의 병기별 발생 현황 및 5년 생존율	114
<표Ⅲ-32> 2006-2010 연령군별 병기별 5년 생존율	115
<표Ⅲ-33> 2017년 우리나라 남자 폐암 발생건수 및 발생률	116

〈표Ⅲ-34〉 DEE 노출군의 LDCT 검진군과 비검진군의 폐암 병기별 발생 건수	120
〈표Ⅲ-35〉 폐암의 병기별 생존율 및 발생률, 사망률	121
〈표Ⅲ-36〉 전이확률을 계산하기 위한 Markov process 확률 변수 표현방법	122
〈표Ⅲ-37〉 폐암의 병기별 질 가중치	123
〈표Ⅲ-38〉 폐암의 의료비용	125
〈표Ⅲ-39〉 폐암 위양성군의 추가검사 항목, 검사자 비율 및 합병증 발생 비율	127
〈표Ⅲ-40〉 연령군별 평균 연봉 및 경제활동 참여율	128
〈표Ⅲ-41〉 40세 이상 DEE 노출 근로자 수 추정	129
〈표Ⅲ-42〉 연령군별 검진군과 비검진군의 LYG 차이	130
〈표Ⅲ-43〉 연령군별 폐암 환자에서 검진군과 비검진군의 총 LYG 차이	130
〈표Ⅲ-44〉 폐암 검진 유무에 따른 QALY 추정	131
〈표Ⅲ-45〉 폐암 선별검사군과 비검진군의 비용 추계	132
〈표Ⅲ-46〉 폐암 건강진단 유무에 따른 LYG 및 QALY의 점증적 비용-효과비	133
〈표Ⅲ-47〉 시범사업 참여자 연령	136
〈표Ⅲ-48〉 현재 사업장에서 디젤엔진배출물 노출 경력 및 하루 평균 노출시간	137
〈표Ⅲ-49〉 과거 디젤엔진배출물 노출 경력 및 하루 평균 노출시간	139
〈표Ⅲ-50〉 현재 및 과거 디젤엔진배출물 흡산 노출 기간 및 하루 평균 노출시간	140
〈표Ⅲ-51〉 호소하는 증상 및 업무관련성 비율	141

<표 III-52> 흡연력	143
<표 III-53> 과거력	144
<표 III-54> 혈압, 체질량지수, 허리둘레	146
<표 III-55> 폐암 종양표지자 검사 결과	147
<표 III-56> 콜레스테롤 검사 결과	148
<표 III-57> 당뇨 검사 결과	149
<표 III-58> 소변 검사 결과	150
<표 III-59> 방광암 종양표지자 검사 결과	150
<표 III-60> 심전도 검사 결과	151
<표 III-61> 흉부방사선촬영 검사 결과	151
<표 III-62> LDCT 검사 결과	152
<표 III-63> 폐활량 검사 결과	153
<표 III-64> 항만하역작업 DEE 농도	155
<표 III-65> 환경미화원 DEE 농도	157
<표 III-66> 디젤엔진배출물 특수건강진단 검사항목의 타당성	159
<표 III-67> 디젤엔진배출물 특수건강진단 검사항목의 수행가능성	161
<표 III-68> 디젤엔진배출물 특수건강진단에서 LDCT 도입과 관련된 의견	168
<표 III-69> 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자와 관련된 의견	184
<표 III-70> 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자(안) 요약	201
<표 III-71> 산업안전보건법 시행규칙 별표 23: 특수건강진단의 시기 및 주기(제202조제1항 관련)	212
<표 III-72> 디젤엔진배출물 특수건강진단 검사항목(안)	213

그림 차례

[그림 III-1] 디젤엔진 조건에 따른 입자상 물질 배출에 대한 상대적 영향	11
[그림 III-2] Heavy-duty diesel engine에 대한 유럽연합의 디젤엔진 배기 입자 규제의 변화	12
[그림 III-3] Heavy-duty diesel engine에 대한 유럽연합의 디젤엔진 질소산화물, 일산화탄소, 총 탄화수소에 대한 규제 변화	13
[그림 III-4] 연도별 차량 모델에 따른 새시 동력계에서 3가지 다른 운행 cycles로 측정된 질소산화물과 입자상 물질의 배출량 변화추이 ...	14
[그림 III-5] 디젤엔진배출물에 노출되는 주요 직업군에서의 평균 원소 탄소 산화질소, 이산화질소 노출수준	25
[그림 III-6] 디젤엔진배출물 대리지표인 원소탄소와 폐암 사망 사이의 관계에 대한 log-linear regression model	55
[그림 III-7] Diesel Exhaust in Miners Study(DEMS)에서 지하 작업을 한 적이 있던 코호트에서 호흡성 원소 탄소 노출기준 관리에 따른 폐암 누적 발생에 대한 simulation	56
[그림 III-8] 방광암 환자-대조군 연구에서 디젤엔진배출물 고농도 노출에 대한 odds ratios	62
[그림 III-9] 방광암 환자-대조군 연구에서 철도노동자로서 디젤엔진배출물 노출에 대한 odds ratios	63
[그림 III-10] 방광암 환자-대조군 연구에서 대형 수송차량 운전자로서 디젤엔진배출물 노출에 대한 odds ratios	64

[그림 III-11] 방광암 환자-대조군 연구에서 버스 운전사로서 디젤엔진 배출물 노출에 대한 odds ratios	65
[그림 III-12] 방광암 환자-대조군 연구에서 택시 운전사로서 디젤엔진 배출물 노출에 대한 odds ratios	65
[그림 III-13] 방광암 환자-대조군 연구에서 자동차 정비공으로서 디젤엔진배출물 노출에 대한 odds ratios	66
[그림 III-14] 방광암 환자-대조군 연구에서 차고 작업자로서 디젤엔진 배출물 노출에 대한 odds ratios	67
[그림 III-15] NLST의 과정과 결과	71
[그림 III-16] 폐암으로 인한 누적 발생자수 및 사망자	78
[그림 III-17] 1999-2008년 울산시 성별 연령군별 폐암 발생률	116
[그림 III-18] 폐암의 자연 경과	117
[그림 III-19] 폐암 선별검사군의 경로 모형	118
[그림 III-20] 각 병기별 Markov Process 모형	119
[그림 III-21] 폐암의 관리 알고리즘	126

I. 서론

1. 연구목적 및 필요성

디젤엔진배출물은 국제암연구소(IARC)에서 폐암을 유발하는 물질(Group 1)로 분류되어 있으며, 방광암에 대해서도 제한적인 증거를 가진 물질로 분류되고 있다. 최근 지하철 노동자, 환경미화원, 건설기계 운전원 등 노출 위험 작업자에 대한 사회적 관심이 높아졌으며, 폐암에 대해서 산업재해를 신청하여 직업성 암으로 인정되는 경우가 종종 있음에도, 특수건강진단 항목 등에서는 누락되어 있어 건강보호를 위한 제도적 뒷받침이 부족한 실정이다.

2014년 박동욱 등의 연구에 따르면 국내 운수업, 건설업 등에서 443,421명(최소 275,331명~최대 572,883명)의 노동자가 디젤엔진배출물에 노출되고 있는 것으로 추정되어, 잠재적으로 디젤엔진배출물에 의해 건강장해가 발생할 수 있는 노동자 숫자가 다수 있는 것으로 나타났다.

따라서 디젤엔진배출물 노출군을 대상으로 특수건강진단 기준을 마련하고 시범사업 추진을 통해 제도개선 방안을 마련하고자 한다.

2. 연구목표

- 1) 디젤엔진배출물에 대한 특수건강진단 방안을 마련한다.
- 2) 특수건강진단 방안을 적용하여 시범적으로 특수건강진단을 실시한다.

후, 특수건강진단 실무지침안을 마련한다.

- 3) 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상 노동자를 검토한다.
- 4) 디젤엔진배출물 특수건강진단 실시에 따른 비용-편익 분석을 실시한다.
- 5) 디젤엔진배출물 특수건강진단 실시를 위한 산업안전보건법 등 관련제도 개정안을 제시한다.

II. 연구방법

1. 연구내용

이번 연구를 통하여 다음과 같은 내용들을 다루었다.

- 1) 디젤엔진배출물 노출군 검토
- 2) 디젤엔진배출물의 건강영향 검토
- 3) 디젤엔진배출물 건강영향에 대한 건강진단 방법 검토
- 4) 디젤엔진배출물 건강진단 비용-편익 분석
- 5) 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범사업
- 6) 디젤엔진배출물 특수건강진단 방안 및 실무지침안 제시

2. 연구방법

1) 문헌조사

디젤엔진배출물에 노출되는 집단, 디젤엔진배출물에 의한 건강영향 및 이에 대한 건강진단 방법 등을 검토하기 위해 문헌조사를 실시하였다. 국내외 문헌

검토를 통해 디젤엔진배출물의 구성성분, 주로 노출되는 노동자 집단, 노출 수준을 검토하였다. 디젤엔진배출물에 의한 건강영향은 발암성 건강영향과 비발암성 건강영향에 대해서 검토하였으며, 실험실 및 동물연구, 역학연구 결과를 검토하였다. 건강진단 방법은 biomarkers에 대한 검토와 함께 폐암 및 방광암 건강진단 방법에 대해서 검토하였다.

2) 디젤엔진배출물 건강진단 비용-편익 분석

비용-편익 분석은 저선량 흉부 CT를 통한 폐암 건강진단의 비용-편익을 분석하였다. 비용-편익 분석에서 비용은 직접의료비(건강검진비용과 폐암 치료비용 및 위양성군의 폐암 확진 비용), 직접 비의료비(진료를 위해 소요되는 교통비, 간병비, 시간비용), 기타비용(입원 및 외래 진료 중 근로활동을 하지 못함으로써 발생하는 생산성 손실 비용)으로 하였으며, 편익은 연장된 수명(Life-year gain, LYG)과 증가된 질보정생존년수(QALY)로 하였다.

3) 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범사업 실시

디젤엔진배출물에 노출되는 노동자들을 대상으로 하는 특수건강진단 방법을 개발하고 적용 가능성을 평가하기 위하여 시범사업을 실시하였다. 시범사업은 원주세브란스기독병원과 인하대학교병원 2개 기관의 직업환경의학과를 통하여 2020년 9월 7일 ~ 2020년 11월 4일의 기간 동안 실시하였다.

시범사업 대상은 '현재 사업장에서 디젤엔진배출물에 노출되는 남성 노동자'로 한정하였다. 실제 디젤엔진배출물에 노출되는 여성 노동자도 있으나, 현실에서는 노출되는 노동자의 상당수가 남성이어서 시범사업 대상자의 통일을 위해 남성으로 한정하였다.

시범사업 인원은 총 100명으로 하였으며, 원주세브란스기독병원 직업환경의

학과에서 45명, 인하대학교 병원 직업환경의학과에서 55명을 실시하였다. 실제 시범사업에 실시한 노동자들은 원주세브란스기독병원 직업환경의학과에서는 주로 소규모 사업장 노동자들을 섭외하였으며, 인하대학교병원 직업환경의학과에서는 비교적 규모가 있는 2개 사업장 노동자들을 섭외하였다.

원주세브란스기독병원 직업환경의학과에서 실시한 시범사업에 참여한 노동자들의 직종은 다음과 같다.

<표 II-1> 원주세브란스기독병원 시범사업 참여자 직종별 인원수

직종	비고	인원수(명)
자동차 검사 및 정비		13
화물차 운전	물건 납품, 택배 배송 등	12
중장비 운전	준설차, 굴삭기, 추레라, 덤프, 건설기계, 레미콘 믹스트럭 등	8
지게차 운전		4
기타 디젤 차량	버스, 골프장 코스관리용 차량 등	3
복합 노출	지게차, 트럭 운전	1
	화물차 운전, 디젤엔진 기계 수리	1
기타	하수관로 청소, 조사자(조사차량에 의한 노출)	2
	물류센터 경비실에 근무하면서 배송차량 통제	1
총계		45

인하대학교병원 직업환경의학과에서 실시한 시범사업에는 총 2개 사업장에서 참여하였다. 하나는 인천항 컨테이너 터미널에서 작업하는 사업장이었고, 다른 하나는 쓰레기 및 음식물쓰레기 수거 사업장이었다. 구체적으로는 다음과 같다.

<표 II-2> 인하대학교병원 시범사업 참여자 직종별 인원수

직종	비고	인원수(명)
OO물류	운전(트레일러, 추레라 야드트랙터), 항만하역 작업 등	25
OO위생공사	일반쓰레기수거, 음식물쓰레기수거, 쓰레기차 운전 등	30
총계		55

시범사업의 내용은 다음과 같았다. 두 기관 모두에서 공통적으로 시범사업 참여자가 병원에 방문하여 설문조사를 실시하고, 디젤엔진배출물 건강영향에 대한 표적장기별 임상검사를 실시하였으며, 검사결과는 우편을 통해 개별적으로 시범사업 참여자에게 통보하였다.

시범사업 설문조사는 평가일, 생년월일, 현재 디젤엔진배출물 노출에 관한 문항(사업자명, 직종, 종사 기간, 구체적 노출 상황, 하루 평균 노출시간), 과거 디젤엔진배출물 노출에 관한 문항(과거 디젤엔진배출물 노출 여부, 직종, 구체적 노출 상황, 시기, 종사기간, 하루 평균 노출시간), 디젤엔진배출물 노출 관련된 증상(표적장기별 증상 여부 및 디젤엔진배출물과의 관련성 등), 흡연 관련 문항(흡연 여부 및 흡연기간, 흡연량 등), 주요 과거력 등에 대해서 조사하였다(구체적인 설문조사 문항은 <부록> 참조).

건강영향에 대한 표적장기별 임상검사는 다음과 같았다.

<표 II-3> 시범사업 표적장기 및 검사항목

표적장기	건강영향	검사항목
눈, 비강, 인두	점막 자극 증상	점막자극 증상 문진
신경계	두통, 구역, 사지 말단의 마비 및 따끔거림	신경계 증상 문진, 신경증상에 유의하여 진찰
호흡기계	폐암	흉부방사선(후전면), 흉부방사선(측면), 저선량 흉부 CT, 종양표지자검사(squamous cell carcinoma antigen, CYFRA 21-1)
	기침, 가래, 호흡곤란 등 호흡기 증상, 천식 악화	청진, 폐활량검사
심혈관계	급성 관상동맥 증후군	심전도검사, 총콜레스테롤, HDL콜레스테롤, 트리글리세라이드, LDL 콜레스테롤, 공복혈당, 당화혈색소, 허리둘레
	혈압 상승	혈압 측정
비뇨기계	방광암	요검사 10종, 소변세포병리검사, 소변 이용한 방광암 항원 검사(NMP22 BladderChek 또는 NMP22)

추가적으로 인하대학교병원 시범사업 참여자들을 대상으로 연구진이 사업장을 방문하여 시범사업 참여자가 작업하는 동안 노출되는 디젤엔진배출물 수준을 간이측정장비(AM520)를 이용하여 직독식으로 $PM_{0.8}$ 을 측정하였다.

4) 디젤엔진배출물 특수건강진단에 대한 전문가 자문

(1) 전문가 자문 방법

디젤엔진배출물에 대한 특수건강진단에 대한 의견을 취합하고자 전문가 자문을 거쳤다. 전문가 자문을 위해서 총 2차례의 설문을 실시하는 델파이(Delphi)법을 이용하였다. 첫 번째 설문을 통해 전문가들의 1차적인 의견을 모아 취합하여, 정리된 결과를 전문가들에게 제시하여 참고할 수 있도록 한 상태에서 두 번째 설문을 실시하여 의견을 모으는 방법이다.

전문가들은 특수건강진단 경험이 있는 직업환경의학과 전문의들을 섭외하였다. 1차 설문에서는 총 28명에게 설문 작성을 요청하여 응답을 받았으며, 2차 설문에서도 총 28명에게 설문 작성을 요청하였으며 그 중 27명에게 응답을 받았다.

(2) 설문 내용

○ 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범항목 검사항목

- 시범사업에서 수행한 시범사업 검사항목들에 대해서 의학적 측면의 타당성과 특수건강진단기관에서의 수행가능성에 대해서 5점 척도로 평가하도록 하였다.

- 이외 검사항목에 대한 추가의견이 있는 경우 작성하도록 하였다.

○ 디젤엔진배출물 취급 작업자 1차 특수건강진단에서 LDCT 도입

- LDCT를 1차 특수건강진단에 도입하는 것의 필요성을 질문하였다.

- LDCT 촬영을 위한 디젤엔진배출물 최소노출 기간이 필요하다고 생각하는지, 필요하다면 노출 기간은 얼마로 했으면 좋겠는지 의견을 물었다.

- 디젤엔진배출물 이외에 다른 폐암 유발물질 취급 작업자에 대해서도 LDCT를 촬영하는 것이 필요하다고 생각하는지 물었다.

- 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자 중 현행 국가 암검진에서 LDCT 촬영 대상이 되는 사람의 경우 필수적으로 LDCT를 촬영하도록 하는 안에 대해

서 어떻게 생각하는지 물었다.

- LDCT를 촬영할 수 없는 특수건강진단기관이 상당수를 차지하는 상황에서, 이 문제를 어떻게 해결하면 좋을 것인지 의견을 물었다.

- 그 밖에 LDCT 도입과 관련된 의견을 자유롭게 제시하도록 하였다.

○ 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자

- 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자를 제한하는 것에 대한 의견을 물었다.

- 대상자 제한의 방법으로 작업환경측정 결과 일정 수준 이상인 노동자만 특수건강진단을 실시하는 안에 대해서 어떻게 생각하는지, 동의한다면 그 노출 수준은 어느 정도로 하는 것이 좋겠는지 의견을 물었으며, 동의하지 않으면 그 이유는 무엇인지 물었다.

○ 그 밖에 디젤엔진배출물 특수건강진단과 관련된 의견을 자유롭게 제시하도록 하였다.

III. 연구결과

1. 디젤엔진배출물 노출군

1) 디젤엔진배출물의 성분

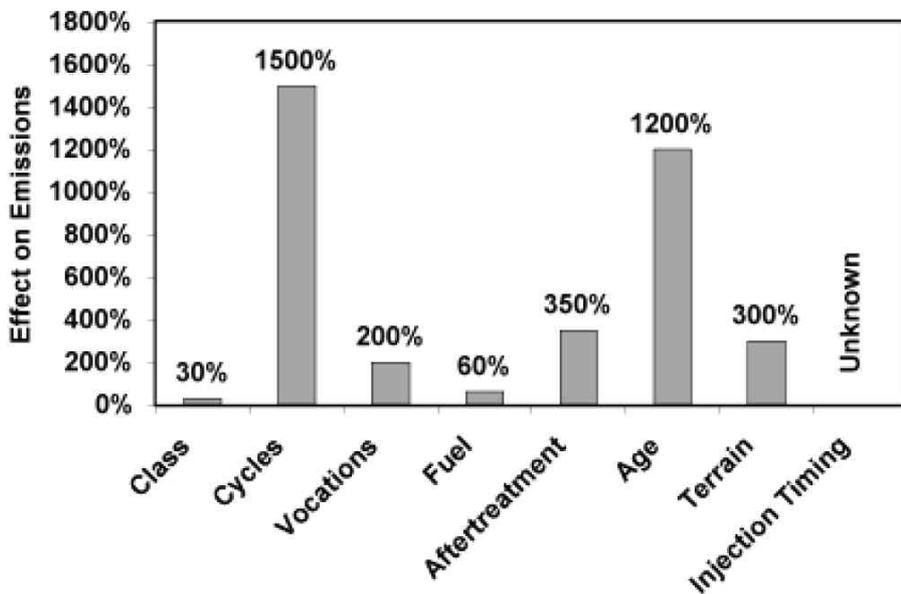
디젤엔진배출물은 가스상 물질과 입자상 물질의 혼합체이다. 디젤엔진배출물의 기체 성분은 질소, 이산화탄소, 산소, 수증기, 질소산화물(NO_x), 일산화탄소, 이산화황(SO₂), 유기화합물(organic compounds) 등이 있다. 디젤엔진배출물의 입자 성분은 원소 탄소(elemental carbon, EC), 유기화합물(organic compounds), 황산염(sulfate), 질산염(nitrates), 미량의 금속 및 기타 원소(trace amounts of metals and other elements) 등이 있다. 이 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 원소 탄소(EC)이다. 연소 과정 및 이후 산화 가스와의 광화학 반응에 의해 탄소의 표면이 화학적으로 활성화되고, 이로 인하여 산화-환원 반응(redox reactions)에 참여하면서 활성 산소(reactive oxygen species, ROS)를 형성하게 된다.

디젤엔진배출물의 배출정도와 구성성분은 다음의 다양한 요인에 의해서 좌우된다.

- 디젤엔진 요인: 디젤엔진의 유형, 연식, 작동되는 조건, 정비 상태 등
- 연료 요인: 연료, 윤활유, 첨가제의 구성성분 및 특성
- 배기 후처리 기술 요인: 디젤엔진 후처리 기술로 인하여 신기술 디젤엔진배출물의 구성성분은 기존 디젤엔진과는 다른 양상을 보인다. 후처리 기술로는 디젤배출 입자 필터, 산화 촉매(oxidation catalyst) 등이 있다. 후처리 기술

로 인하여 디젤배출 입자(diesel exhaust particles, DEP)는 90% 이상 감소하였으며, 입자 중 원소 탄소(elemental carbon)의 비율은 줄어든 반면 황산염(sulfate)의 비율은 늘어났다. 또한, 다환 방향족 탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs), 방향족(aromatics), 알데하이드(aldehydes)와 같은 유기화합물 배출은 매우 감소하였다.

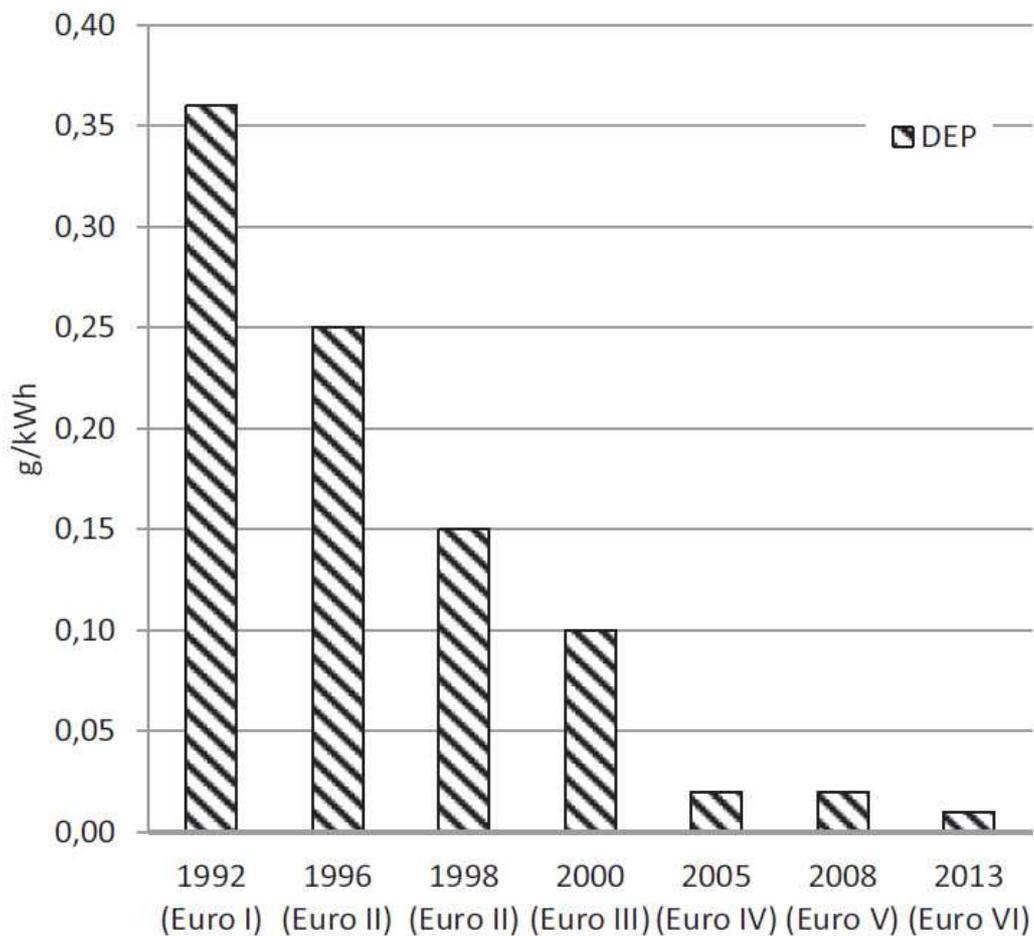
아래 그림은 디젤엔진의 조건에 따라 입자상 물질(particulate matter, PM) 배출에 영향을 미치는 정도를 표시한 것이다. 운행조건, 디젤엔진의 연식 등에 따라 디젤엔진배출물의 농도는 매우 큰 편차를 보인다.



Parameters measured are: class (vehicle class and weight), cycle (simulated driving cycle), vocations (application and driving activity), fuel (type of diesel fuel), aftertreatment (catalytic converter), age (level of technology), terrain (driving terrain) and injection timing.
 From Clark et al. (2002). Reprinted by permission of the publisher, Taylor & Francis Ltd, <http://www.tandf.co.uk/journals/>

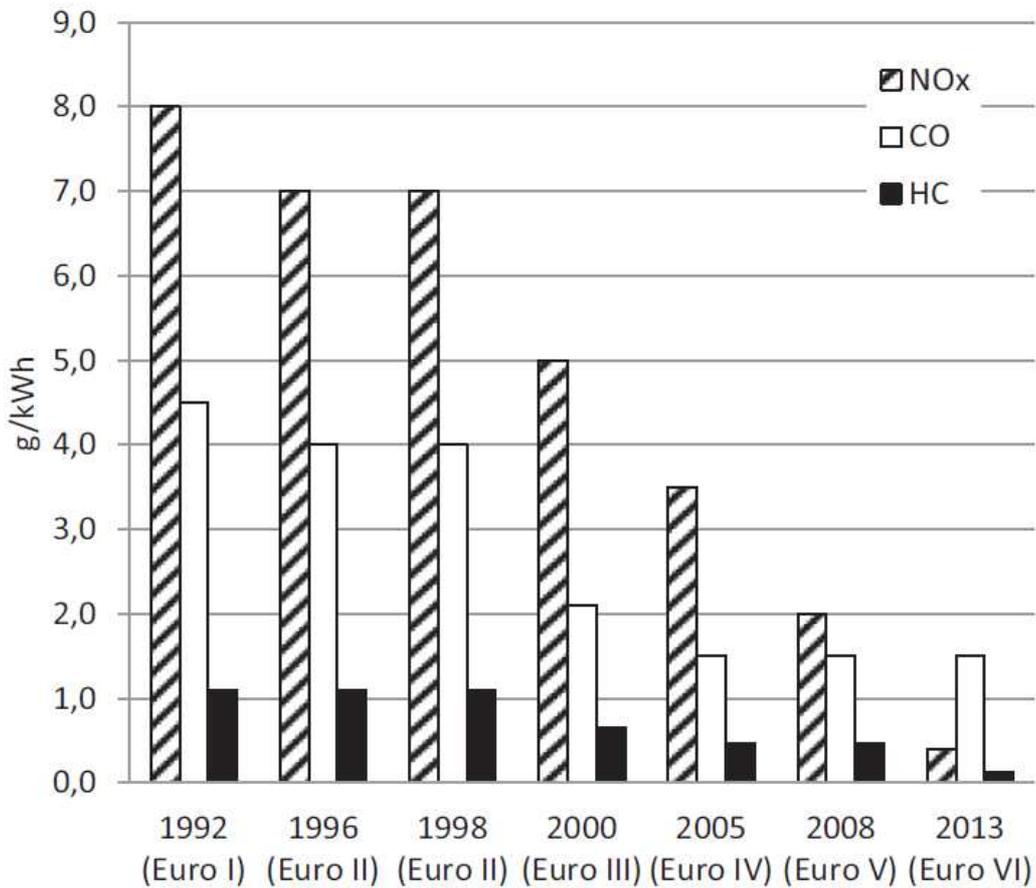
[그림 III-1] 디젤엔진 조건에 따른 입자상 물질(particulate matter) 배출에 대한 상대적 영향

실제로 유럽연합(EU)에서는 디젤엔진 배출 기준이 변하면서 디젤엔진배출물의 배출량 및 구성성분에 큰 변화가 있었다. 유럽연합은 1992년 일반 승용차 및 경트럭을 대상으로 Euro 1이 처음 시행한 이후 규제를 점차 강화하고 있다. 한국도 1994년부터 Euro 1을 적용한 이후 2000년 Euro 2, 2005년 Euro 3, 2008년 Euro 4, 2011년 Euro 5, 2015년 Euro 6을 적용하고 있다.



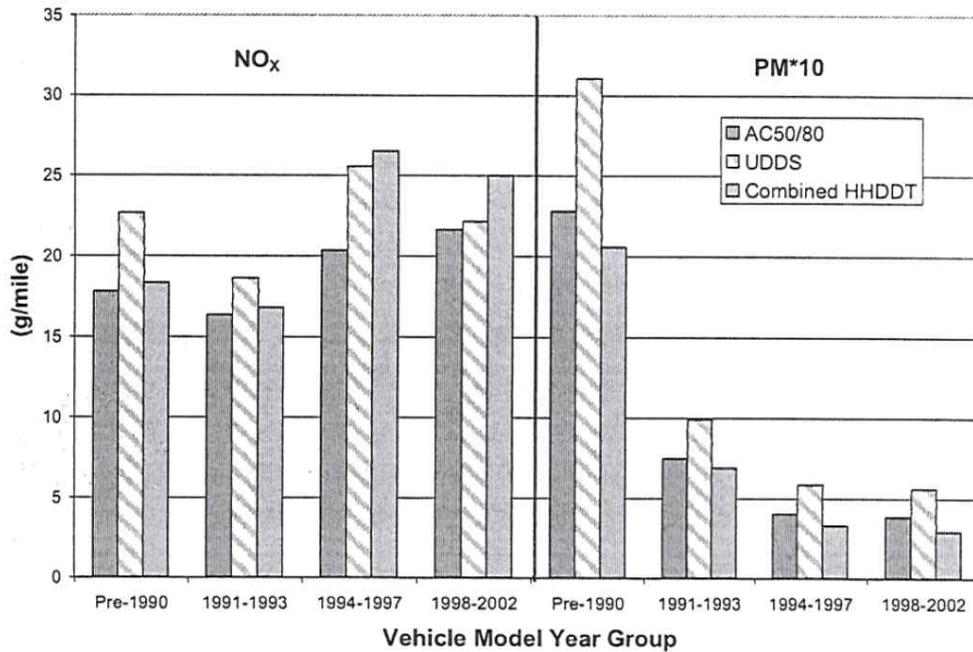
[그림 III-2] Heavy-duty diesel engine에 대한 유럽연합의 디젤엔진 배기 입자(diesel exhaust particles, DEP) 규제의 변화

버스와 로리(lorries)를 포함하는 디젤엔진을 heavy-duty diesel engine이라고 부른다. heavy-duty diesel engine에서 디젤엔진 배기 입자(Diesel exhaust particles, DEP)의 경우 Euro 1에서는 0.36 g/kWh 이하에서 Euro 6에서 0.01 g/kWh 이하로 1/36 수준으로 강화되었다.



[그림 III-3] Heavy-duty diesel engine에 대한 유럽연합의 디젤엔진 질소산화물(NOx), 일산화탄소(CO), 총 탄화수소(hydrocarbon, HC)에 대한 규제 변화

heavy-duty diesel engine에서 질소산화물(NOx)의 경우 Euro 1에서는 8.0 g/kWh 이하에서 Euro 6에서 0.4 g/kWh 이하로 1/20 수준으로 강화되었다. heavy-duty diesel engine에서 일산화탄소(CO)의 경우 Euro 1에서는 4.5 g/kWh 이하에서 Euro 6에서 1.5 g/kWh 이하로 1/3 수준으로 강화되었다. heavy-duty diesel engine에서 탄화수소(HC)의 경우 Euro 1에서는 1.1 g/kWh 이하에서 Euro 6에서 0.13 g/kWh 이하로 약 1/8 수준으로 강화되었다.



AC50/80, standard driving cycle; HHDDT, heavy heavy-duty diesel truck; NO_x, nitrogen oxides; PM, particulate matter; UDDS, urban dynamometer driving schedule
From Clark et al. (2006). Copyright © 2006 SAE International. Reprinted with permission.

[그림 III-4] 연도별 차량 모델에 따른 새시 동력계에서 3가지 다른 운행 cycles로 측정된 질소산화물(NOx)과 입자상 물질(particulate matter)의 배출량 변화추이

이로 인해 1990년 이전보다 2000년대 초반에 생산된 디젤엔진의 경우 디젤엔진배출물 중 특히 입자상 물질(particulate matter)이 급격하게 감소한 것으로 나타났다.

아래 정리된 디젤엔진배출물의 건강영향에 따르면 구형 디젤엔진의 경우 그 배출물에 의한 건강영향이 어느 정도 밝혀져 있고, 주로 DEP 농도에 따른 건강영향을 정리할 수 있다. 따라서 구형 디젤엔진의 경우는 노출기준 설정 시 DEP를 대리 측정지표로 설정할 수 있으며, 그 중 DEP의 약 75%를 차지하는 (USEPA, 2002) EC를 측정할 수 있다. 아래 결과에 따르면 NOAEL은 알 수 없으며 LOAEL의 최소치의 75%인 $75 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 을 넘지 않는 것이 필요하다. 여기에 폐암 등 발암성 성질을 고려하여 기준치가 설정되어야 할 것이다.

반면 신형 디젤엔진의 경우 건강영향이 거의 알려지지 않았다. 다만, rats에서 미국의 2007년 배출 기준인 4.2 ppm NO_2 ($12 \mu\text{g DEP}/\text{m}^3$)에 부합하는 디젤엔진배출물을 장기간 흡입하였을 때 경미한 기관지폐포 상피 증식 (bronchoalveolar epithelial hyperplasia), 경미한 섬유성 병변(fibrotic lesions), 경미한 점진적 폐기능 감소(progressive decrease in pulmonary function) 소견이 보였으며 (McDonald et al., 2015), 주로 NO_2 와 연관되어 있었다. 따라서 후처리가 되는 신형 디젤엔진의 경우 NO_2 가 좋은 측정지표가 될 수 있다.

<표 III-1> 디젤엔진배출물의 용량에 따른 건강영향(Adapted from Taxell and Santonen, 2016)

Endpoint and Type of Study	New Technology Diesel Engines	Older Technology Diesel Engines	
	With Exhaust After Treatment ^a	With Particle Filter/Trap	Without Exhaust After Treatment
Human inhalation studies (1-2h)			
Inflammatory changes in BAL/BW, increased airway resistance	No data identified	No data identified	LOAEL: 100 µg DEP/m ³ (0.2-0.4 ppm NO ₂)
Sensory irritation	No data identified	No data identified	LOAEL: 100-300 µg DEP/m ³ (0.2-1.3 ppm NO ₂)
Reduced response to vasodilators	No data identified	NOAEL: 3.4 ppm NO ₂ (7 µg DEP/m ³)	LOAEL: 250-350 µg DEP/m ³ (0.2-1.6 ppm NO ₂)
Increased ischemic burden	No data identified	No data identified	LOAEL: 300 µg DEP/m ³ (1.0 ppm NO ₂) ^b
Animal inhalation Studies			
Histopathological changes in lungs (104-130 week, rat)	NOAEL: 0.9 ppm NO ₂ (5 µg DEP/m ³); LOAEL: 4.2 ppm NO ₂ (12 µg DEP/m ³)	LOAEL: 1.1 ppm NO ₂ (10 µg DEP/m ³)	LOAEL: 210 µg DEP/m ³ (0.2 ppm NO ₂)
Mild decrease in pulmonary function (104-130week, rat)	NOAEL: 0.9 ppm NO ₂ (5 µg DEP/m ³); LOAEL: 4.2 ppm NO ₂ (12 µg DEP/m ³)	No data identified	NOAEL: 2,000 µg DEP/m ³ (1.5 ppm NO ₂) LOAEL: 3,500 µg DEP/m ³ (0.3 ppm NO ₂)

Lung tumors (104–130week, rat)	NOAEL: 4.2 ppm NO ₂ (12 µg DEP/m ³)	No lung tumors (original conc. 6,600 µg DEP/m ³ , no data on final exposure levels)	NOAEL: 800–1,000 µg DEP/m ³ (0.3 ppm NO ₂) LOAEL: 2,200 µg DEP/m ³ (0.3 ppm NO ₂) (approximately 1ppm NO ₂)
DNA damage in lungs	Negative (comet)	No data identified	Positive (induction of 8–OHdG, gpt, and lacI point mutations, DNA strand breaks and adducts)
Systemic genotoxicity	Negative (8–OHdG, micronuclei)	No data identified	Mostly negative
In vitro studies			
Genotoxicity	No data identified	Mutagenic to bacteria (limited data)	Mutagenic to bacteria and mammalian cells (DEP extracts)
<p><i>a</i> US 2007 compliant heavy-duty engine. <i>b</i> Stable coronary heart artery disease. BAL, bronchoalveolar lavage; BW, bronchial wash; DEP, diesel exhaust particles; 8–OHdG, 8–hydroxydeoxyguanosine; L/NOAEL, lowest/no observed adverse effect level.</p>			

2) 디젤엔진 작동 개요 및 이용 현황

디젤엔진은 실린더 내에서 압축되어 온도가 500℃ 이상 올라간 공기에 높은 압력으로 연료를 직분사하여 폭발을 유도하는 착화방식으로 작동한다. 연소 방식이 가솔린과는 다른 착화방식이므로 소음이 크고 진동이 심하다. 엔진의 바디는 고압에 견딜 수 있는 주철과 높은 압축비에 대응하는 스트로크를 사용하기 때문에 엔진 크기가 커서, 보통 버스, 트럭 등 큰 차와 선박 및 중장비에 주로 사용된다.

디젤엔진은 주로 자동차, 선박, 비행기 등의 운송수단, 광업이나 건설업 같은 분야의 중장비, 화력발전용 설비 등에 이용되고 있다. 또한, 디젤엔진은 일반 도로에서는 물론 거의 모든 제조업 작업장 내에서 원료 및 생산 제품의 운송, 이송, 운반 등의 목적으로 광범위하게 사용되고 있으며, 제조업 이외에도 거의 모든 산업 부문에서 디젤엔진이 장착된 수송용 차량이 직간접적으로 사용되고 있다.

노동자의 디젤엔진배출물 노출의 근원 중 상당수는 자동차로 알려져 있으며, 따라서 디젤 차량운행이 많은 특정 공정, 특정 직무, 특정 산업 노동자는 상시적이고 지속적으로 디젤 배출물질에 노출될 가능성이 있다. 우리나라에서 차종은 승용차, 승합차, 특수차, 화물차의 4가지로 구분되며, 통계에 따르면 승용차에서의 디젤 차량 비율은 2008년 19%에서 2013년 22%로 증가하였으나, 사업용 승용차의 경우 2008년 18%에서 2013년 14%로 감소하는 추세를 보인다. 2008년부터 2013년까지 전체 승합차의 디젤 차량 비율은 66%에서 72%로 증가했지만, 사업용 승합차의 경우 디젤 차량 비율이 81%에서 72%로 감소하였다. 우리나라의 2020년 현재 특수차의 경우 약 98%가 디젤 차량으로 나타나고 있다. 또한, 화물차의 경우 전체 화물차에서 디젤 차량 비율이 93.4%이었으나, 사업용 화물차의 디젤 차량 비율은 83.4%로 나타났다. 현재 차량 종별 디젤차의 비율이 승용차를 제외한 승합, 화물, 특수 차량에서 높음을 고려할 때, 해당 차

량의 직접 운전 및 유지보수/정비 등 관련 업종 노동자에서 디젤엔진배출물의 노출 가능성이 매우 클 수 있다.

<표 III-2> 2020년 2월 현재 경유차 등록 현황

종별	용도별	전체 차량 등록대수(대)	경유차 등록대수(대)	%
승용	비사업용	18,156,822	5,543,377	30.5
	사업용	1,081,008	276,224	25.6
	계	19,237,830	5,819,601	30.3
승합	비사업용	683,328	593,770	86.9
	사업용	125,050	92,510	74.0
	계	808,378	686,280	84.9
화물	비사업용	3,183,139	3,014,691	94.7
	사업용	417,540	348,392	83.4
	계	3,600,679	3,363,083	93.4
특수	비사업용	33,558	31,820	94.8
	사업용	62,946	62,780	99.7
	계	96,504	94,600	98.0
소계	비사업용	22,056,847	9,183,658	41.6
	사업용	1,686,544	779,906	46.2
	계	23,743,391	9,963,564	42.0

* 출처: 국토교통부 홈페이지 통계누리

산업통상자원부의 업종별 경유사용량을 통하여 업종 부문별 디젤엔진배출물에 대한 노출 수준을 유추할 수 있는데, 전체 업종 중 수송 부문에서의 사용량이 대다수를 차지하여, 수송 업무에 종사하는 노동자들의 디젤엔진배출물에 대한 노출 수준이 높을 것으로 보인다.

<표 III-3> 연도별 업종별 경유 사용량 (단위: toe)

년도	2015	2016	2017	2018
합계	1,307,064	2,034,132	1,513,108	1,438,703
산업(제조)	240,450	431,954	265,885	223,543
발전	2,503	364,212	9,274	38,238
건물	21,505	38,921	35,364	36,783
수송	1,042,605	1,199,045	1,202,585	1,140,138

* 출처: 산업통상자원부 홈페이지 통계누리

3) 디젤엔진배출물 노출 노동자 수 추정

2014년 박동욱 등은 우리나라 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자 수를 추정하기 위하여 EU 국가의 산업별 디젤엔진배출물 노출 추정치와 우리나라 해당 산업 노동자 수를 고려하여 노출 노동자 수를 추정하였다. 이 연구에서 산업별 노동자들의 평균 디젤엔진배출물 노출 비율은 약 6.14%(최소 4.69% ~ 최대 8.02%)로 나타났다.

전체 노동자 중 10% 이상 노출된다고 추정되는 산업은 총 8개 산업으로, 종사자 중 디젤엔진배출물에 노출될 것으로 추정되는 노동자 수 비율은 금속광업 52.6%, 기타광업 50%, 육상운송 30.0%, 해상운송 25.6%, 어업 21.4%, 원유 및 천연가스 생산 14.1% 등의 순으로 광업과 운송업 등에서 그 비율이 높았다.

<표 III-4> 산업별 디젤엔진배출물 노출 추정비

산업 부문	산업별 디젤엔진배출물 노출 추정비		
	평균	최소	최대
금속 광업	0.5263	0.5259	0.5271
기타 광업	0.5000	0.4999	0.5000
육상 운송	0.3003	0.2362	0.3003
해상 운송	0.2558	0.1903	0.2558
어업	0.2136	0.1410	0.2861
원유 및 천연가스 생산	0.1413	0.1321	0.1416
위생 및 유사 서비스업	0.1011	0.0077	0.1868
개인 및 가정봉사원 파견사업	0.1004	0.1003	0.1004
수도사업	0.0907	0.0889	0.0907
수송 연합 서비스업	0.0878	0.0817	0.0822
기타 비금속 광물 제품 제조업	0.0861	0.0082	0.1639
도자기 및 토기 제조업	0.0710	0.0048	0.1372
항공 운송	0.0708	0.0707	0.0878
음료 산업	0.0529	0.0100	0.0958
석유 정제업	0.0457	0.0455	0.0460
건설업	0.0438	0.0097	0.1043
임업 및 벌목	0.0392	0.0000	0.2594
석유의 기타 제품 제조	0.0343	0.0340	0.0364
비철 금속 산업	0.0335	0.0333	0.0350
나무 및 나무·코르크제품 제조업	0.0302	0.0136	0.0468
플라스틱 제품 제조업 (다른 업종으로 분류되지 않은)	0.0232	0.0002	0.0442
철강 산업	0.0198	0.0059	0.0336
석탄광업	0.0185	0.0185	0.0185
전기, 가스 및 증기	0.0181	0.0094	0.0271
고무제품 제조업	0.0165	0.0016	0.0433
통신	0.0137	0.0135	0.0137
금속 가공 제품 산업 (조립금속)	0.0134	0.0029	0.0239
산업 화학 물질의 제조업	0.0122	0.0031	0.0213
가죽 및 가죽제품 제조업	0.0105	0.0046	0.0164
종이 및 종이제품의 제조업	0.0096	0.0000	0.0109
농업 및 사냥	0.0092	0.0000	0.0988

도매 및 소매업과 레스토랑, 호텔	0.0090	0.0030	0.0150
식품 제조업	0.0080	0.0028	0.0158
기타 화학 제품 제조업	0.0079	0.0075	0.0794
의류 제조업, 신발 제외	0.0059	0.0030	0.0060
운송 장비 제조업	0.0056	0.0039	0.0073
섬유 제조업	0.0055	0.0055	0.0056
기타 제조업	0.0055	0.0055	0.0056
신발 제조업	0.0055	0.0045	0.0065
유리 및 유리제품 제조업	0.0049	0.0023	0.0049
공공 행정 및 국방	0.0048	0.0016	0.0079
전기를 제외한 기계 장치 제조업	0.0046	0.0033	0.0058
가구 및 비품의 제조업	0.0035	0.0035	0.0036
전기 기계, 장치, 기구의 제조업	0.0026	0.0023	0.0031
담배 제조업	0.0023	0.0000	0.0024
계기, 사진 및 광학 제조업	0.0018	0.0017	0.0019
인쇄, 출판 및 동종 산업	0.0017	0.0016	0.0017
의료, 치과, 보건 및 수의학 서비스	0.0009	0.0002	0.0017
교육서비스	0.0004	0.0004	0.0004
평균	0.0614	0.0469	0.0802

* 출처: 박동욱 등. 디젤 배출물 노출 산업 및 인구 추정 연구. 2014.

본 연구에 따르면, 1993년 기준으로 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자 수는 총 261,825명(최소 167,473명 ~ 최대 342,098명)이었으며, 노출 노동자 수가 가장 많은 산업은 육상운송으로 노동자 113,336명이 노출되는 것으로 추정되었다. 디젤엔진배출물 주요 노출업종의 연도별 추이를 살펴보면 다음과 같았다. 광업이나 어업의 노출 노동자 수는 감소하는 추세였으나, 육상운송과 위생 및 유사 서비스업의 경우에는 급격하게 증가하는 경향을 보였다.

<표 III-5> 주요 디젤엔진배출물 노출업종의 노출 노동자 수 변화

업종	1993년	1998년	2003년	2008년	2012년
육상운송	113,336	152,153	187,269	211,047	221,724
금속광업	1,324	157	75	117	232
기타광업	11,894	7,504	7,256	6,654	6,023
해상운송	3,972	3,957	3,778	5,199	4,825
어업	4,104	7,791	1,598	996	1,163
위생 및 유사서비스업	24,535	33,105	45,297	61,405	75,297
개인 및 가정봉사원 파견 사업	230	310	424	575	705
도매 및 소매업과 레스토랑, 호텔	20,529	20,388	22,907	22,958	25,025

* 출처: 박동욱 등. 디젤 배출물 노출 산업 및 인구 추정 연구. 2014.

위생 및 유사서비스업의 경우에는 상당수가 생활폐기물 및 음식물쓰레기 등의 수거 업무인 것으로 추정된다. 이외 도매 및 소매업과 레스토랑, 호텔 사업의 노출 노동자 수는 많으나, 어떤 작업에서 노출되는지 파악할 수 없다는 단점이 있다. 그러나 이들 서비스업종에서도 업종 내에서의 출장 등의 업무를 위한 디젤 차량 운행과 관련된 노동자 및 지하주차장 관리 등의 업무에서 디젤엔진배출물질에 노출될 가능성이 존재한다.

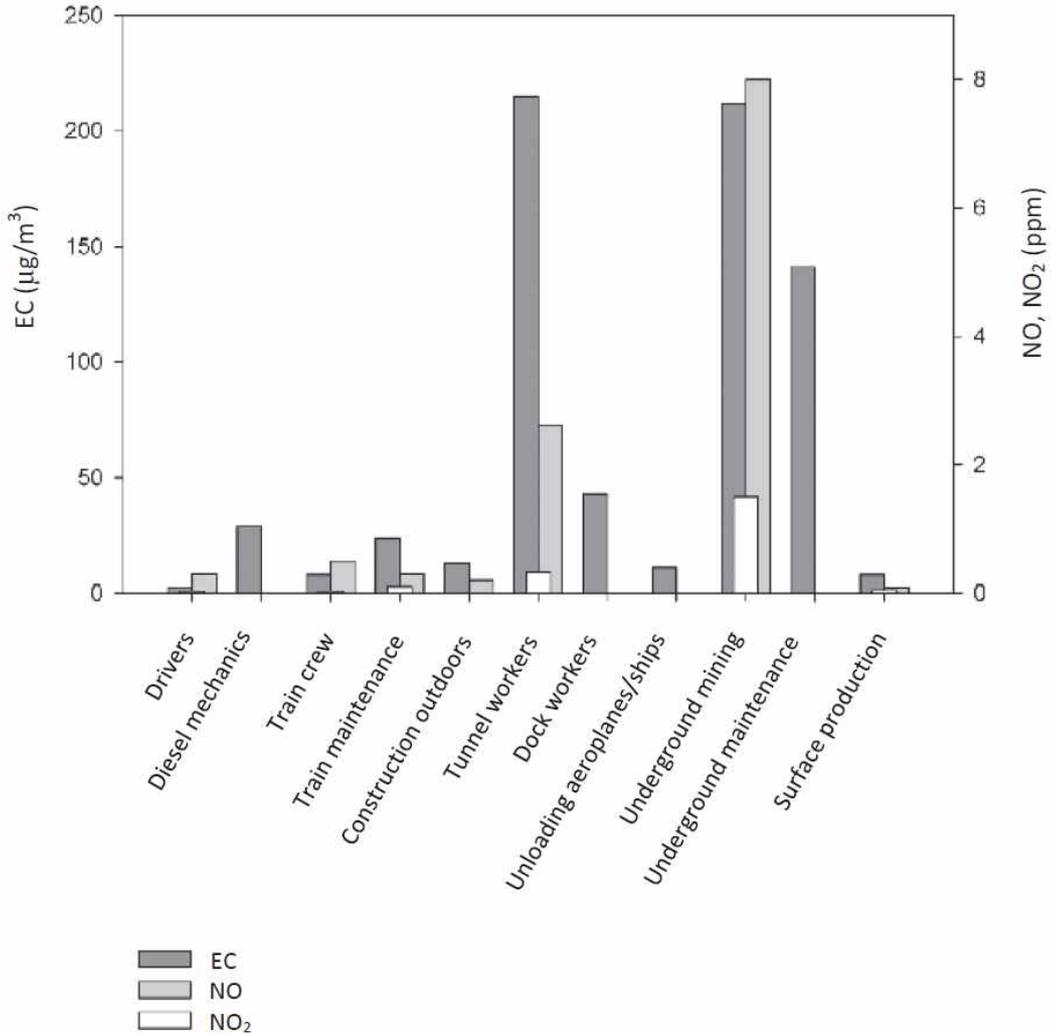
4) 디젤엔진배출물 노출군

Pronk 등(2009)이 디젤엔진배출물에 노출되는 직업군들을 대상으로 그 정도를 원소탄소(EC), 입사장 물질(particulate matter, PM), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO), 이산화질소(NO₂)를 이용하여 측정한 10,000여 개의 자료들을 검토

한 결과 대략 노출수준을 다음과 같이 구분하였다.

<표 III-6> 디젤엔진배출물 노출수준에 따른 직종/업무

노출 수준	원소 탄소(EC)	특징	직종/업무
상	27-658 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	중장비를 이용하는 지하 밀폐공간에서 작업하는 경우	지하에서 작업하는 광부/광산 유지보수, 터널에서 작업하는 건설 등
중	대개 <50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	보다 작은 장비들을 이용하면서 (반)밀폐된 지상 공간에서 작업하는 경우	정비 작업, 소방서 소방관 요원, 항만에서 운송 작업, 페리 내에서 물류를 싣고 내리는 작업 등
하	<25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	디젤엔진배출원에서 격리된 공간에서 작업	운전자, 열차 승무원 등
		지상 작업자	광산 지상 작업자, 주차 요원, 차량 검사, 설비 관리, 지상 건설 작업, 항공 관련 지상 근무자 등



Compiled by the Working Group
 EC, elemental carbon; NO, nitrogen oxide; NO₂, nitrogen dioxide

[그림 III-5] 디젤엔진배출물에 노출되는 주요 직업군에서의 평균 원소 탄소, 산화질소, 이산화질소 노출수준

(1) 직접노출군

가) 디젤 차량의 직접 운전과 관련된 노동자

지게차, 철도 기관차, 버스, 트럭, 건설 차량, 농장 차량과 같은 디젤 차량의 직접 운전과 관련된 노동자들이 있다. 트럭, 버스 및 택시 운전사에 대한 원소 탄소 노출 수준은 일반적으로 1-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다 (Davis 등, 2007). 소규모 연구에 따르면 교외 및 시골 고속도로에서 저녁에 운전하는 장거리 운전자와 비교하여 대도시에서 하루 동안 일한 지역 운전자의 원소 탄소 및 $\text{PM}_{2.5}$ 수준이 약 2배 높았다 (Garshick 등, 2002). 스웨덴 연구에서 디젤 구동 택시의 운전자는 버스 및 트럭 운전자의 노출 수준보다 현저히 낮은 노출 수준을 보였다 (Lewne 등, 2006). 디젤엔진배출물의 노출 수준과 트럭의 수명 사이에서 양의 상관관계가 있었으며, 이는 오래된 트럭 운전실의 경우 고무 실에서 디젤엔진배출물의 누출되어 유입되는 비율이 높기 때문이었다 (Davis 등, 2007).

나) 선박, 디젤 구동 중장비 및 발전기 등 사용과 관련된 노동자

광업, 철도, 건설, 유통, 농업 및 군대에서 디젤 구동 중장비, 기관차, 지게차, 선박, 트랙터 및 발전기 사용 및 정비와 직접 관련된 노동자들이 있다.

유지 보수 작업자, 지하 작업자, 창고 작업자 및 운반 및 인프라 유지 보수를 수행하는 작업자가 노출군으로 포함될 가능성이 있다. 이전 연구에 따르면 보고된 원소 탄소 수준은 지하 생산 노동자 (148 - 658 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 가장 높았고 지하 유지 보수 노동자 (53-144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 지상 노동자 (13-66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 나타났다.

현재 전형적인 화물 열차 승무원은 주요 운전실의 지휘자 및 엔지니어로 구성되며 때로는 현지 또는 야드 작업을 위한 노동자로 보완된다. 열차 승무원과 철도 차량 및 비철도 차량의 유지 보수 작업자에게 디젤엔진배출물에 대한 노출이 보고되었다 (Lukonen 등, 2002). 우리나라의 경우 2020년 현재 총 255대

의 한국철도공사 소속 디젤 전기기관차가 운행되고 있으며, 전기기관차 등으로 점차 대체 중이나 아직 운행 중인 디젤 전기기관차와 관련된 노동자들이 상당 수 있을 것으로 예상된다.

건설업종 종사자 중 원소 탄소 수준은 지상 건설보다 터널 건설에서 더 높았다. 미국에서 실시된 한 연구에 따르면 대형 고속도로 건설 프로젝트의 터널 건설 단계에서 폐쇄된 건설 현장과 폐쇄되지 않은 건설 현장의 원소 탄소 노출 수준은 각각 $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다 (Blute 등, 1999). 건설업 종사자 중 천장 및 타일작업, 콘크리트 타설, 콘크리트 마감 작업, 도랑/파이프 설치, 굴착 작업 노동자들 모두 디젤엔진배출물질의 영향을 받는다 (Woskie 등, 2002).

페리에서 화물을 선적 및 하역하기 위해 디젤엔진으로 연결된 예인선 및 컨테이너 트럭을 사용하는 노동자의 경우 평균 원소 탄소 노출 수준은 $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다 (Groves, 등, 2000). 해양 터미널에서의 크레인 작업자의 경우의 노출 수준은 $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다 (NIOSH, 2006).

(2) 간접노출군

가) 디젤엔진배출물이 축적될 수 있는 곳에 근무하는 노동자

직접 차량운행이나 장비 운전을 하지 않지만 창고, 자동차/버스 창고, 페리/선박, 차고, 차량 시험장, 소방서 등의 디젤엔진배출물이 축적될 수 있는 곳에 근무하는 노동자들이 있다.

또한 디젤로 동력을 공급받을 수 있는 예인선을 사용하는 항공사 수하물 스크리닝 작업자, 항공기 급유에 사용되는 장비 및 트럭 유지 보수와 관련된 기계공 등이 있다.

나) 서비스업종 노동자

교통경찰, 톨게이트 근무자, 항공사 및 공항의 지상 노동자, 차량 유지 보수

노동자, 운수회사/부두/화물선/건물지하/주유소 등의 주차보조원, 청소원, 건물 관리인 등 서비스업종 노동자 등이 있다. 보고된 원소 탄소 평균은 트럭 터미널, 버스 차고 및 독립 정비소의 정비공들의 경우 일반적으로 더 높았다 (20-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 주차, 청소 및 급유에 관련된 버스 서비스 노동자, 차량 테스트 스테이션의 노동자 및 부스 내부의 주차 관리원을 포함한 다른 노동자의 경우 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 노출 수준이 보고되었다.

(3) 기타

기타 다음과 같은 경우 등에서 디젤엔진배출물 노출 가능성을 검토할 수 있겠다.

- 밀폐된 공간이나 지하에서 디젤 장비를 다루는 경우
- 운전 시 창문을 열고 운행하는 노동자
- 디젤 동력 기계의 종류 (크레인) 발전기) 리프트) 집지 발동기), 디젤 출처로부터의 거리 및 기계의 수에 영향을 받는 노동자
- 디젤 엔진을 전기 또는 다른 유형의 엔진으로 교체하여 전환한 비율이 낮은 사업장의 노동자
- 디젤엔진배출물질이 많이 배출되는 노후 엔진을 사용하는 사업장의 노동자
- 엔진의 정기적인 유지 보수가 잘 되지 않은 곳에서 일하는 노동자
- 필터, 촉매 및 변환기와 같은 배기 처리 시스템 및 해당 유지 보수 프로그램이 미비한 사업장의 노동자
- 엔진을 실내에서 가동하는 비율이 높은 사업장의 노동자
- 차량의 본체 문제로 본체와 엔진룸 사이의 틈 등을 통하여 배기가스가 운전실 또는 승객 구역으로 누출되는 경우
- 사람이 작업해야 하는 구역과 배출이 발생하는 구역을 분리하지 않고 운

용하는 경우

○ 양압 환기, 배기 추출 장치, 일반 (회석) 환기 및 국소 환기가 적절히 제공되지 않는 경우

○ 디젤엔진배출물 및 적절한 제어 조치 사용에 대한 노동자 교육 및 훈련이 미비한 경우

○ 배기에 노출되는 작업 시간이 많은 경우

○ 호흡기 등의 개인 보호 장구의 사용이 적은 경우 등

2. 디젤엔진배출물의 건강영향

디젤엔진배출물은 다양한 가스상 혹은 입자상 물질의 복합체이다. 여기에는 이산화탄소, 일산화탄소, 황화합물, 질소화합물, 그리고 포름알데하이드와 벤젠 같은 휘발성 유기화합물들이 포함된다.

디젤엔진배출물에 대한 노출로 인한 건강 영향은 크게 비발암성 영향과 발암성 영향으로 나뉘볼 수 있다. 전자는 일시적인 생리적 증상으로부터 알레르기 반응의 급성 악화, 호흡기 증상 등에 이르기까지 다양할 수 있으며, 후자에는 폐암과 방광암에 대하여 입증되었다. 현재 국제암연구소 (International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 디젤엔진배출물을 인간에게 있어서 폐암을 일으키는 충분한 증거(sufficient evidence)가 있는 물질 및 방광암을 일으키는 제한적인 증거(limited evidence)가 있는 물질로 분류하였다.

1) 비발암성 건강 영향

(1) 동물 실험

가) 폐의 염증 반응

Diesel engine particles(DEP) 농도에 따라 다음과 같은 폐의 염증 반응 변화를 보였다 (Brightwell et al., 1986; Heinrich et al., 1995; Kato et al., 2000; Nikula et al., 1995).

- 210 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$: 경미한 폐포 중격 세포 과증식(mild alveolar septal cell hyperplasia)
- 750 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$: 섬유성 병변(fibrotic lesions)
- 2,200 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ 농도로 104-130주 노출시킨 후: 폐종양(lung tumors)

나) 죽상경화증의 악화(exacerbation of atherosclerosis)

감수성이 있는 동물 모델에 적용한 2개의 연구에서 200 또는 1,000 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ 의 농도로 디젤엔진배출물에 노출시켰을 경우 죽상경화증이 악화되는 소견을 보였다(Bai et al., 2011; Campen et al., 2010). 심장 기능의 변화도 관찰되었으나, 명확한 용량-반응 관계는 보이지 않았다(Carll et al., 2012; Lamb et al., 2012).

다) 알레르기 발생에 기여(adjuvant allergenic effect)

mice에서 170 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ (0.5 ppm NO_2) 또는 상응하는 농도의 입자가 없는 디젤엔진배출물에 8주 동안 노출되었을 때 ovalbumin에 의한 폐의 염증이 증가되는 소견을 보였다(Tanaka et al., 2013). 하지만 100 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ (2.2 ppm NO_2)에 12주 동안 노출시켰을 때는 같은 현상이 나타나지 않았다(Matsumoto et al., 2006).

라) 신경학적 영향(neurological effects)

암컷 mice에게 13주 동안 120 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ (0.5 ppm NO₂; 2.8 ppm CO) 농도의 디젤엔진배출물을 노출시켰을 때 Morris water maze test에서 학습 능력이 감소하는 소견을 보였다(Win-Shwe et al., 2012). rats에서 170 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ 농도로 노출시킨 경우 일정한 패턴이 없이, 뇌의 여러 부위에서 염증성 cytokines 농도가 증가하는 소견을 보였다(Gerlofs-Nijland et al., 2010; Levesque et al., 2011).

마) 생식 기능

자궁 안에서나 성체가 되었을 때 노출된 설치류의 정자 생산과 고환 형태에 영향을 주었다(Ono et al., 2007, 2008; Yoshida et al., 1999). 성체 mice에서 노출 정도가 증가할수록 일일 정자 생산이 감소하고, 정세관(seminiferous tubules)의 퇴행성 변화가 유도되는 소견을 보였으나, 300 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ 의 농도로 26-35주 동안 노출된 rats에서는 같은 반응이 나오지 않았다(Tsukue et al., 2001; Yoshida et al., 1999).

바) 발달상의 영향(Developmental effects)

몇몇 동물 연구(주로 1000 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ 의 고농도 노출 연구)에서 태아의 체중 감소, 운동 조정 능력의 손상(impaired motor coordination) 소견을 보였다(Ono et al., 2007; Yokota et al., 2013).

(2) 인간에서의 영향

가) 자극 증상 및 신경학적 증상

디젤엔진배출물 노출과 관련되어 인간에게 가장 잘 알려진 급성 비발암성 건강 영향은 눈, 목구멍 및 기관지 자극, 두통, 구역, 구토, 사지 말단의 마비 및 따끔거림과 같은 신경생리학적인 증상 등이 있다. 디젤엔진배출물의 악취에

대한 인식과 불쾌감에 대한 연구에서, 인간의 주관적 증상의 시간이 디젤엔진 배출물의 농도 증가와 반비례하며 그 심각성은 디젤엔진배출물의 농도 증가와 직접적으로 관련이 있다는 것을 보여주었다.

건강한 자원자들을 대상으로 100 μg DEP/ m^3 (0.2 ppm NO₂, 0.04 mg/ m^3 formaldehyde)의 디젤엔진배출물에 2시간 동안 노출시킨 결과, 불쾌한 냄새, 경미한 자극 증상(코, 목, 눈)을 보고하였다 (Mudway et al., 2004). 300 μg DEP/ m^3 (1.3 ppm NO₂, 0.4 mg/ m^3 formaldehyde)의 디젤엔진배출물에 노출시켰을 때는 코와 눈이 충혈(redness), 분비물(secretion), 부종(swelling)이 관찰되었다 (Wierzbicka et al., 2014).

다환 방향족 탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, PAH)는 디젤엔진 배출물 입자(diesel engine exhaust particle, DEP)에 부착되어 폐를 통해 중추 신경계로 빠르게 흡수될 수 있다. 동물연구에서 쥐의 뇌 조직에서 디젤엔진배출물이 도파민 뉴런을 감소시켰다는 것이 보고되면서 만성적인 디젤엔진배출물 노출과 파킨슨병 사이의 연관성을 알아보려는 연구가 활발히 있었다. 또한, 디젤엔진배출물 노출에 의한 뇌의 염증, 조직학적 변화가 알츠하이머 환자에서 보이는 것과 유사하다는 연구 보고도 있었다. 만성적인 디젤엔진배출물 노출은 어린이와 성인 모두에서 학습 능력, 조정 능력, 기억력, 판단력에 영향을 미친다는 보고도 있었으며, 직업적으로 고농도의 디젤엔진배출물에 노출된 노동자들에게서 반응 속도 저하, 기억력 감퇴, 수면장애, 균형 장애, 문제 해결력 저하 등 신경행동학적 장애를 시사하는 소견을 보고한 연구도 있었다.

나) 호흡기계 영향

건강한 자원자들에게서 100 μg DEP/ m^3 (0.2 - 0.4 ppm NO₂)의 농도에 노출되는 경우 기관지 세척액에서 호중구(neutrophils)와 염증성 사이토카인(inflammatory cytokines)이 증가하고, 기도 저항성(airway resistance)이 약간 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 급성 기도 염증성 반응이 나타나는 것을 의

미한다 (Behndig et al., 2006, 2011; Mudway et al., 2004; Stenfors et al., 2004).

디젤엔진배출물 단기 노출로 인해 폐 환기 기능이 급격하게 저하될 수 있는지, 그리고 이러한 호흡기 영향이 반복될 경우 만성적인 폐기능 장애를 초래할 수 있는지 알아보기 위하여 디젤엔진배출물에 노출된 작업자들을 대상으로 근무 시작과 종료 시 폐기능 차이를 알아보는 연구가 진행되었다. 광부, 버스 차고 노동자, 부두 노동자, 기관차 수리공 등의 연구에서 작업 교대 과정에서 호흡기 증상(기침, 가래, 호흡곤란)의 증가와 폐기능(FVC, FEV₁, PEF, FEF₂₅₋₇₅) 저하가 미미하고 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 보고되었다. 디젤 버스 차고 노동자들을 대상으로 한 연구에서 기침, 고된 호흡, 가슴 답답함, 천명 등의 보고가 증가했지만, 디젤엔진배출물 노출과 관련된 폐기능의 감소 소견은 없었다. 부두 노동자들에서 근무 교대 기간 동안 노출된 디젤엔진배출물에 의해 폐기능이 영향을 받은 것으로 보였지만, 노출 중단 후 수 일만에 정상화되었다. 탄광부에 대한 연구에서도 디젤엔진배출물에 노출된 노동자와 노출되지 않은 노동자 사이에 폐기능에 큰 차이가 없었다.

흡연자들은 작업 중 폐기능의 감소가 더 심하며 호흡기 증상을 더 심하게 나타내는 것으로 확인되었다. 폐기능의 감소보다는 호흡기 증상의 발현이 디젤엔진배출물 노출과 관련된 더 민감한 지표였다. 그러나 관련한 연구들에서 디젤엔진배출물 노출과 호흡기 증상 발현 간의 일관된 기전을 밝혀내진 못하였으며, 대부분 노출-반응 관계를 밝히는 것이었다.

디젤엔진배출물 노출의 만성적인 영향은 직업적으로 디젤엔진배출물에 노출된 노동자들(광부들, 철도 야적장 노동자, 항만 노동자 및 버스 차고 노동자)에 대한 역학 연구에서 평가되었다. 대부분의 역학 데이터 분석 결과, 디젤엔진배출물 노출과 관련해서, 만성 호흡기 질환의 초과 위험도가 없다고 제시하였다. 몇몇 연구에서 기침, 가래, 만성 기관지염 등과 같은 호흡기계 증상의 유병률이 높은 것으로 나타났으나 유의미한 폐기능 변화가 동반되지는 않았다.

디젤엔진배출물의 만성 노출로 인해 천식 발병 위험이 증가하였음을 보고한 연구도 있었다. Churg 등은 멕시코시티와 밴쿠버의 비흡연자의 폐 조직을 부검하여 비교하였는데, 멕시코시티 주민의 폐의 소기도는 폐쇄성 질환의 형태를 보이고 있었으며, 기도 내 점액에는 아주 미세한 입자들로 가득 차 있었다는 결과를 보고하였다. 또한 LA와 마이애미의 어린이를 대상으로 한 대규모 연구 결과, 디젤엔진배출물 농도가 높은 LA에 거주하는 어린이의 FEV₁ 수치가 현저하게 낮다고 보고되었다.

천식이 있는 사람에게서 300 μg DEP/ m^3 (0.2 - 1.2 ppm NO₂)의 디젤엔진배출물에 노출된 후 기도과민성이 증가(increased bronchial hyper-responsiveness)하고, FEV₁이 감소하는 것으로 나타났다 (Hussain et al., 2012; Nordenhall et al., 2001). 하지만 이런 영향이 100 μg DEP/ m^3 (0.4 ppm NO₂)의 디젤엔진배출물 노출에서는 나타나지 않았다 (Behndig et al., 2011; Riedl et al., 2012; Stenfors et al., 2004).

300 μg 의 DEP를 allergen 투여 전 혹은 동시에 코를 통해 주었을 때 감작(sensitization)과 알레르기 반응(allergic response)을 증가시킨다는 보고가 있는 반면 (Bastain et al., 2003; Diaz-Sanchez et al., 1997, 1999), 경도의 천식 증상이 있는 사람이 고양이 allergen과 함께 100 μg DEP/ m^3 (0.4 ppm NO₂)의 디젤엔진배출물을 흡입하였을 때 가래에서 면역학적 지표(immunological markers)에 유의미한 변화가 없다는 보고도 있다 (Riedl et al., 2012).

다) 심혈관계 영향

급성 관상동맥 증후군(Acute Coronary Syndrome, ACS) 및 혈전에 의한 영향(thrombotic effect)은 디젤엔진배출물 급성 노출과 연관이 있다고 보고되었다. 이러한 연관성을 설명하는 가능한 기전으로 디젤엔진배출물 노출로 인한 관상동맥 수축, 일시적 혈전 형성, 일산화탄소 노출 등이 제시되고 있으며, 대기 오염 물질에 장기간 노출된 1,816명의 폐경 여성을 대상으로 진행된 최근

연구에서는 오염 물질 중 디젤엔진배출물이 높은 비율을 차지하였으며 디젤엔진배출물 노출 수준과 비례하여 심혈관계 질환의 위험과 사망이 증가한 것으로 보고되었다. 또한, 65세 이상의 허혈성 심질환 기왕력이 있는 환자의 경우 디젤엔진배출물에 노출된 후 ACS의 위험이 상당히 증가하였다는 연구 결과도 존재하며, Peters 등은 교통수단으로부터의 디젤엔진배출물 고농도 노출 후 1시간 이내에 심근경색의 초기 증상이 나타났다고 보고한 연구도 존재하였다.

고혈압과 디젤엔진배출물 노출 사이의 연관성을 제시한 연구도 여럿 있었다. 고농도의 디젤엔진배출물 노출이 일시적인 혈압 상승을 초래할 수 있는데, 이 상승 정도는 디젤엔진배출물에 노출된 기간에 비례하는 것으로 알려져 있다. 디젤엔진배출물 노출에 의한 혈압 상승은 디젤엔진배출물이 심혈관계의 자율 조절 기능에 영향을 미치기 때문인 것으로 알려져 있다. 또한, 이런 일시적인 급격한 혈압 상승이, 디젤엔진배출물에 노출된 이후 허혈성 심질환 발생의 보조적인 역할을 할 수도 있다.

건강한 자원자에게 250 - 350 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ (0.2 - 0.9 ppm NO_2)의 디젤엔진배출물을 노출시켰을 때 혈관확장제(vasodilators)에 대한 반응이 감소되는 것을 보고하였다 (Barath et al., 2010; Lucking et al., 2011; Mills et al., 2011). 이런 반응의 감소는 입자가 없는 디젤엔진배출물(particle-free exhaust)을 사용한 경우에는 나타나지 않았다. 몇몇 연구에서는 상완 동맥 직경(brachial artery diameter)이 약간 감소하고 동맥의 경직도(arterial stiffness)가 일시적으로 증가하는 것으로 나타났다 (Lundback et al., 2009; Peretz et al., 2008; Tong et al., 2014). 안정형 관상동맥질환(stable coronary artery disease)이 있는 사람에게서 300 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ (1.0 ppm NO_2)의 디젤엔진배출물에 노출되는 동안 심전도상 ST분절의 하강(ST-segment depression)이 일어나고 허혈성 부담(ischemic burden)이 증가하는 것으로 나타났다 (Mills et al., 2007).

2) 유전 독성 및 발암성 건강 영향

IARC는 디젤엔진배출물을 인간에서 발암성이 충분한 Group 1로 결론을 내렸다. 즉, 폐암에서는 충분한 근거가 있고 방광암에서는 양의 관련성(제한적인 증거)이 있다고 결정하였다.

(1) 실험실 및 동물 연구

DEP에서 추출된 유기화합물(Organic extracts of DEP)의 경우 박테리아 세포에서 변이원성 반응(mutagenic responses)을 일관되게 일으켰다 (IARC, 1989, 2013). 변이원성은 주로 nitroarenes에 의한 것이었다 (Nakagawa et al., 1983; Rivedal et al., 2003; Salmeen et al., 1982; Tokiwa and Ohnishi, 1986). 포유류 세포에서는 sister chromatid exchanges, micronuclei, hypoxanthine phosphoribosyl transferase, thymidine kinase locus mutations, DNA strand breaks를 유도하는 것으로 나타났다 (IARC, 1989, 2013). 몇몇 연구에서는 디젤엔진배출물의 가스 또는 반휘발성(semivolatile) 성분에 노출된 후 박테리아 세포에서 변이원성 반응이 나타났다 (Bagley et al., 1993; IARC, 1989, 2013; Westerholm et al., 1991).

in vivo 실험에서 DEP와 DEP 추출물을 구강, 복강 내, 기관 내 주입한 후 유전독성 반응(genotoxic responses)이 일관되게 나타났다. 디젤엔진배출물을 흡입한 경우 설치류의 폐에서 DNA strand breaks, DNA adducts가 증가하고 산화성 DNA 손상(oxidative DNA damage)이 증가하였으며, rats와 mice의 폐에서 gpt와 lacI mutations가 증가하였다 (Dybdahl et al., 2004; Hashimoto et al., 2007; Iwai et al., 2000; Sato et al., 2000). 디젤엔진배출물을 흡입 노출한 후 전신적인 유전독성 반응을 보인 경우는 드물다. 골수와 말초혈액의 micronucleus, SCE, chromosomal aberration tests는 대부분 음성(negative)이었

다 (Morimoto et al., 1986; Ong et al., 1985; Pereira, 1982; Pereira et al., 1981; Mauderly et al., 1994). 혈청의 free 8-OH-dG로 측정하는 산화적 스트레스(oxidative stress)는 디젤엔진배출물에 1-7일 노출 후에 노출량이 많을수록 증가하였다. 디젤엔진배출물을 선택적 촉매 환원(selective catalytic reduction)으로 처리한 후에 노출시킨 경우에도 산화적 스트레스가 약간 증가하는 것으로 나타났다 (Tsukue et al., 2010).

일부 연구에서 rats에게 104-130주 동안 2,200 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ 이상의 농도로 디젤엔진배출물에 노출시킨 경우 폐종양 발생이 통계적으로 유의미하게 증가하는 결과를 보였으며, 이는 감소된 입자 제거 능력(reduced particle clearance) 및 연속된 염증성 반응(inflammatory cascade)과 연관되어 있다 (Brightwell et al., 1986; Heinrich et al., 1995; Nikula et al., 1995; Stinn et al., 2005). 하지만 다른 장기에서는 발암성을 시사하는 소견이 관찰되지 않았으며, 필터를 거쳐 입자를 제거한 디젤엔진배출물(particle-free DE)이나 800 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ 농도의 디젤엔진배출물에서는 발암성이 관찰되지 않았다. mice나 hamsters에서는 높은 농도의 입자상 디젤엔진배출물에 노출되는 경우라고 하더라도 발암성을 나타내는 소견을 보이지 않았다 (Brightwell et al., 1986; Heinrich et al., 1986, 1995).

(2) 역학 연구

가) 폐암

디젤엔진배출물과 폐암 사이의 관계에 대한 코호트 연구 결과는 다음과 같다. 철도 노동자, 버스 차고지 노동자, 버스 운전자, 대형 수송차량 운전자 및 기타 운전자, 광부, 중장비 운전자, 항만 노동자 등 디젤엔진배출물에 노출되는 주요 직종에 대해서 코호트 연구가 진행되었다.

<표 III-7> 철도 노동자에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구

Referen ce, 장소, 추적기간	연구 대상자 수	장기	노출 구분	Relative risk (95% CI)	공변량
Howe <i>et al.</i> (1983), Canada, 1965-77	43,826 퇴직 철도 노동자	기관, 기관 지, 폐		SMR	남성; 캐나다 사망 기록; 흡연 미보정
			모든 철도 노동자	1.06($P>0.05$)	
			Possibly exposed	1.20($P=0.013$)	
			Probably exposed	1.35($P<0.001$)	
				P for trend <0.001	
			Possibly exposed	1.21	
			Probably exposed	1.33	
	P for trend <0.001	석면 노출 노동자 제외			
Boffetta <i>et al.</i> (1988), American Society Cohort, 1982-84	461,981	폐	철도 노동자	1.59(0.94-2.69)	1982년에 40-79 세 남성; 연령과 흡연 보정
Garshick <i>et al.</i> (2004), 미국 철도노동 자	54,973	폐	1959년 열차 승무원인 경우; 비교대상: 사무직과 신호 관리자		1959년에 10-20 년의 근무력을 가 진 40-64세 백인 남성; 흡연에 대한 간접적 보정

			연령(세)	HR					
			40-44	1.49(1.30-1.70)					
			45-49	1.37(1.18-1.58)					
			50-54	1.39(1.18-1.64)					
			55-59	1.34(1.09-1.64)					
			60-64	0.99(0.75-1.30)					
코호트, 1959-96			열차 승무원 경력(년; 5-yr lag)						
			0-<5	1.41(1.24-1.61)					
			5-<10	1.39(1.23-1.56)					
			10-<15	1.51(1.35-1.68)					
			15-<20	1.33(1.19-1.49)					
			≥20	1.31(1.10-1.56)					
			any exposure(5-y r lag)	1.40(1.30-1.51)					
			Garshic k <i>et al.</i> (2004), 미국 철도노동 자 코호트, 1959-96	39,388		폐	열차 승무원 경력(년; 5-yr lag)		1959년에 10-20 년의 근무력을 가 진 40-59세 백인 남성; 계층값 대체 (imputation)를 통한 흡연 보정
							비노출	1.0	
							0-<5	1.31(1.12-1.51)	
							5-<10	1.23(1.08-1.39)	
							10-<15	1.23(1.10-1.38)	
15-<20	1.16(1.03-1.30)								
≥20	1.22(1.02-1.47)								
any exposure	1.22(1.12-1.32)								
흡연 미보정									
0-<5	1.44(1.25-1.67)								
5-<10	1.36(1.20-1.55)								
10-<15	1.36(1.22-1.52)								
15-<20	1.28(1.14-1.43)								
≥20	1.32(1.11-1.58)								
any exposure	1.35(1.24-1.46)								
Laden et al. (2006),	52,812	폐	열차 승무원 경력(년; 5-yr lag)		1959년에 10-20 년의 근무력을 가 진 40-64세 백인				

미국 철도노동자 코호트, 1959-96			1939-44년		남성
			채용		
			비노출	1.0	
			0-<10	1.19(1.00-1.41)	
			10-<15	1.28(1.11-1.41)	
			15-<20	1.37(1.21-1.55)	
			20-<25	1.37(1.21-1.54)	
			≥25	1.16(1.00-1.34)	
			1939-44년		
			채용		
			비노출	1.0	
			0-<10	1.15(0.77-1.70)	
			10-<15	1.49(1.11-1.99)	
			15-<20	1.89(1.48-2.40)	
20-<25	1.83(1.45-2.32)				
≥25	1.78(1.39-2.28)				
Guo <i>et al.</i> (2004a), 핀란드, 1971-95년 기록	1970년 핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성	폐	기관차 운전자(1970년 census에서 가장 오랫동안 했던 직업)	SIR 0.63(0.51-0.78)	핀란드 암등록 자료와 연동; 흡연에 대해서 간접적 보정

<표 Ⅲ-8> 버스 차고지 노동자에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구

Referen ce, 장소, 추적기 간	연구 대상자수	장 기	노출 구분	Relative risk (95% CI)	공변량
Gustavs son et al. (1990), 스웨덴 스톡홀 름, 사망(19 52-86), 발생(19 58-84)	695 (1945-70 년 버스 노동자)	폐	전체 코호트	SMR 1.22(0.71-1.96)	흡연 노출 정보 없 음; 석면 노출 평 가하였으며 폐암에 영향은 없음
			D i e s e l e x h a u s t score(intensit y*duration)	OR	
			0-10	1.00(referent)	control은 연령 (±2세)에 대해서 matching
			10-20	1.27(0.21-7.72)	
			20-30	1.56(0.34-7.16)	
	>30	2.63(0.74-9.42)			

<표 III-9> 버스 운전사에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구

Referen ce, 장소, 추적기간	연구 대상자 수	장기	노출 구분	Relative risk (95% CI)	공변량
Balaraj an & McDow all (1988), 영국 런던, 1950-84	3,392 전문직 운전자	폐	1939년 census 에서 버스 운전 사이면서 1950 년에 아직 살아 있는 사람	SMR 1.42($P>0.05$)	흡연 보정 안 함
Soll-Joh anning <i>et al.</i> (1998), 덴마크, 1943-92	15,249 명 남성, 958명 여성 버스 및 트램 운전자	폐	3개월 이상 고용		흡연율은 코펜하겐 과 비교하여 비슷 하거나 약간 높음
			덴마크 남성	1.6(1.5-1.8)	
			코펜하겐 남성	1.2(1.1-1.3)	
		여성	2.6(1.4-4.3)		
Soll-Joh anning <i>et al.</i> (2003), 덴마크, 1943-92	Nested case-c ontrol study(1 53 cases/2 55 control s)	폐	고용 기간(no lag)		출생연도와 생존 상태에 대해 1-4 controls를 matching; 배우자 로부터 흡연 정보 를 얻어서 보정
			<3개월	0.74(0.23-2.39)	
			3개월-<2년	1.0(referent)	
			2년-<10년	1.26(0.69-2.28)	
			10년-<20년	1.39(0.69-2.81)	
			≥20년	0.63(0.32-1.14)	
			고용 기간 (10-yr lag)		
			<3개월	0.50(0.14-1.81)	
			3개월-<2년	1.0(referent)	
			2년-<10년	1.03(0.54-1.95)	
10년-<20년	1.34(0.65-2.77)				
≥20년	0.54(0.28-1.03)				
Guo <i>et</i>	1970년	폐	버스 운전사	SIR	흡연에 대해 간접

<p><i>al.</i> (2004a), 핀란드, 1971-95 년 기록</p>	<p>핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성</p>		<p>(1 9 7 0 년 census에서 가 장 오랫동안 했 던 직업)</p>	<p>0.89(0.78-1.00)</p>	<p>적 보정</p>
<p>Peterso en <i>et</i> <i>al.</i> (2010), 덴마크, 1979-20 03</p>	<p>1978년 고용된 2,037명 남성 덴마크 버스 운전자</p>	<p>폐</p>	<p>버스 운전자 고용 기간 <15년 15-24년 ≥25년 10-yr lag <15년 15-24년 ≥25년</p>	<p>SIR 1.2(1.0-1.4) IRR 1.0 0.89(0.59-1.48) 0.95(0.55-1.63) IRR 1.0 0.9(0.5-1.4) 0.8(0.5-1.4)</p>	

<표 III-10> 대형 수송차량 운전자 및 기타 운전자에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구

Reference, 장소, 추적기간	연구 대상자수	장기	노출 구분	Relative risk (95% CI)	공변량
Boffetta <i>et al.</i> (1988), American Society Cohort, 1982-84	476,648	폐	대형 수송차량 운전자	1.24(0.93-1.66)	연령, 흡연 보정
			디젤 노출 1-15년	0.87(0.33-2.25)	
			디젤 노출 ≥16년	1.33(0.64-2.75)	
Balarajan & McDowall (1988), 영국 런던, 1950-84	3,392 전문직 운전자	폐	1939년 census에 있으면서 1950년에 아직 살아있는 사람	SMR	남성만; 흡연 미보정
			택시 운전자	0.86($P>0.05$)	
			대형 수송차량 운전자	1.59($P<0.05$)	
Gubérain <i>et al.</i> (1992), 스위스 제네바, 사망(1949-1986), 발생(1970-1986)	1946-61년에 면허를 가지고 있는 6,630명 운전자	폐	전문직 운전자, 15년 latency	SMR 1.50 (1.23-1.81) SIR 1.61(1.29-1.98)	
			Mortality(첫 노출로부터 시간)		
			0-14년	0.67	
			15-24년	1.18	
			25-34년	1.3	
			35-44년	1.35	
≥45년	2.59				

)				<i>P</i> for trend=0.02	
Hansen (1993), 덴마크, 1970-80	14,225	폐	대형 수송차량 운전자	SMR 1.60(1.26-2.00)	reference : 43,024명의 비숙련 노동자. 흡연율은 reference 와 유사
Järvholm & Silverman (2003), 스웨덴, 1995년 까지	6,364명 남성 대형 수송차량 운전자	폐	대형 수송차량 운전자	SMR 1.37(1.04-1.78) SIR 1.29(0.99-1.65)	reference : 110,984명의 목수와 전기공; 흡연, 진단 및 사망 시연령, calendar time
Guo <i>et al.</i> (2004a), 핀란드, 1971-95년 기록	1970년 핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성	폐	대형 수송차량 운전자 (1970년 census에서 가장 오랫동안 했던 직업)	SIR 1.13(1.04-1.22)	흡연에 대해 간접적 보정
Laden <i>et al.</i> (2007), 미국, 1985-2000	54,319명 (36,299명 조합 운전자 포함)	폐	모든 노동자 운전자 부두 하역장 노동자	SMR 1.04(0.97-1.12) 1.10(1.02-1.19) 1.10(0.94-1.30)	미국 남성과 비슷한 흡연율
Garshick <i>et al.</i> (2008), 미국, 1985-20	31,135명 조합 운전자	폐	장거리 운전자 Pick-up and delivery 운전자 부두 노동자	1년 증가시마다 HR(%) 변화 2.5(0.2-4.9) 3.6(1.2-6.1) 3.4(0.8-6.0)	연령 calendar year, 고용 기간, 1985년 연령, 인종, 지역 보정; 남성만; 흡연은 간

00			복합 작업(local drivers/부두 노동자)	4.0(1.5-6.6)	접적으로 보정
				1년 초과 근무시 HR	
			기계공 (mechanics)	0.95(0.66-1.38)	
			정비공(hostlers)	0.99(0.68-1.45)	
			사무원(clerks)	0.55(0.32-0.95)	
				20년 근무시 HR	
			장거리 운전자	1.65(1.04-2.62)	흡연 보정
				1.40(0.88-2.24)	
			Pick-up and delivery 운전자	2.04(1.28-3.25)	흡연 보정
				2.21(1.38-3.52)	
			부두 노동자	1.94(1.18-3.18)	흡연 보정
				2.02(1.23-3.33)	
복합 작업(local drivers/부두 노동자)	2.20(1.35-3.61)	흡연 보정			
	2.34(1.42-3.83)				
Birdsey <i>et al.</i> (2010), 미국, 1989-2004	156,241 명의 미국 대형 수송차량 소유주/운전자 협회	폐		SMR 1.00(0.92-1.09)	미국 인구집단 기대 사망; 94% 남성; 흡연 미보정
Garshick <i>et al.</i> (2012), 미국, 1985-2000	31,135명 조합 운전자	폐	누적 노출($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-mo}$)		연령 calendar year, 고용 기간, 연구 입적 시 연령, 인종, 지역 보정; 남성만
			No lag(기간 보정)		
			<530	reference	
			530-<1061	1.25(0.99-1.71)	
			1061-<2076	1.30(0.99-1.72)	
			≥ 2076	1.24(0.89-1.71)	
5-yr lag(기간 보정)					

		<371	reference
		371-<860	1.31(1.01-1.71)
		860-<1803	1.38(1.02-1.87)
		≥ 1803	1.48(1.05-2.10)
		10-yr lag(기간 보정)	
		<167	reference
		167-<596	1.17(0.88-1.57)
		596-<1436	1.26(0.90-1.78)
		≥ 1436	1.41(0.78-1.61)
		평균 노출, 5-yr lag($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		<3.6	reference
		3.6-<5.4	1.15(0.93-1.43)
		.5.4-<7.9	1.11(0.89-1.39)
		≥ 7.9	1.11(0.87-1.43)
		기간 보정	
		<3.6	reference
		3.6-<5.4	1.15(0.93-1.43)
		.5.4-<7.9	1.12(0.89-1.40)
		≥ 7.9	1.13(0.88-1.44)

<표 III-11> 광부에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구

Referen ce, 장소, 추적기간	연구 대상자 수	장기	노출 구분	Relative risk (95% CI)	공변량
Boffetta <i>et al.</i> (1988), Americ an Society Cohort, 1982-84	476,648	폐	광부	2.67(1.63-4.37)	연령, 흡연 보정
Guo <i>et al.</i> (2004a), 핀란드, 1971-95 년 기록	1970년 핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성	폐	SIR		흡연 간접 보정
			금속 광석 광부	3.26(2.28-4.51)	
			비금속 광석 광부	1.85(1.59-2.14)	
			기타 광부	1.73(1.35-2.19)	
Neumey er-Gro men <i>et al.</i> (2009), 구 동독, 1970-20 01	1969년 이후 고용된 광부	폐	SMR		연령, 흡연 보정; total carbon 측 정
			모든 노동자	0.73(0.57-0.93)	
			>4.9 (mg/ m ³)-yr	1.28(0.61-2.71)	
			Exposure quintiles (mg/m³)-yr		
			<1.29	1.0	
			1.29-<2.04	1.13(0.46-2.75)	
			2.04-<2.73	2.47(1.02-6.02)	
2.73-<3.90	1.50(0.56-4.04)				
≥3.90	2.28(0.87-5.97)				
					연령, 흡연, 추적 기간 보정; total carbon 측정

				<i>P</i> for trend=0.09	
Attfield <i>et al.</i> (2012), 미국, 광산에 따라 1997년 까지	1947-67년 8개 광산 12,315 명 비금속 광부	폐		SMR	라돈, 석면, 규소 노출은 낮음
			지하 작업 포함	1.21(1.01-1.45)	
			지상 작업만	1.33(1.06-1.66)	HR
			지하 작업 포함, 15-yr lag, 누적 EC($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-yr}$)		
			<108	1.0	
			108-<445	1.50(0.86-2.62)	
			445-<946	2.17(1.21-3.88)	
			≥ 946	2.21(1.19-4.09)	
			지상 작업만, 15-yr lag, 누적 EC($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-yr}$)		
			<0.70	1.00	
			0.70-<4.6	1.28(0.64-2.58)	
			4.6-<14	0.73(0.35-1.53)	
			≥ 14	1.00(0.44-2.28)	
			15-yr lag, 평균 EC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			<0.57	1.00	
			0.57-<0.91	1.71(0.82-3.58)	
0.91-<1.4	2.22(1.01-4.90)				
≥ 1.4	2.56(1.09-6.03)				
Silverman <i>et al.</i> (2012), 미국, 광산에 따라 1997년 까지	8개 광산 비금속 광부, nested case-control study, 1947-67, 198	폐	지하 작업 포함, no lag, 누적 EC($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-yr}$)	OR	흡연, 호흡기 질환 과거력, 고위험 직종 과거력 보정
			<81	1.00	
			81-<325	2.46(1.01-6.01)	
			325-<878	2.41(1.00-5.82)	
			≥ 878	5.10(1.88-13.87)	
				<i>P</i> for trend=0.004	
지상 작업만,	OR				

	cases/562 controls		no lag, 누적 EC($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-yr}$)	
			<0.6	1.00
			0.6-<0.9	3.98(0.69-23.02)
			0.9-<1.4	0.76(0.12-4.98)
			≥ 1.4	0.42(0.05-3.59)
				<i>P</i> for trend=0.117
			모든 작업자, no lag, 누적 EC($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-yr}$)	OR
			<3	1.00
			3-<72	0.74(0.12-4.98)
			72-<536	1.54(0.74-3.20)
			≥ 536	2.83(1.28-6.26)
				<i>P</i> for trend=0.001

<표 III-12> 기타 직종에서 디젤엔진배출물과 폐암의 코호트 연구

Referen ce, 장소, 추적기간	연구 대상자 수	장기	노출 구분	Relative risk (95% CI)	공변량
Wong et al. (1985), 미국, 1964-19 78	1년 이상 된 건설노 조 조합원 34,156 명	폐	중장비 운전자	SMR 0.99(0.88-1.10)	남성만
Boffetta et al. (1988), Americ an Society Cohort, 1982-84	476,648	폐	중장비 운전자	2.60(1.12-6.06)	연령, 흡연 보정
Järvhol m & Silverm an (2003), 스웨덴, 1995년 까지	스웨덴 건설 노동자 1971-9 2년; 14,364 명 중장비 운전자	폐	건설 중장비 운 전자	SMR 0.83(0.61-1.09) SIR 0.87(0.66-1.11)	reference : 110,984명의 목수 와 전기공; 흡연, 진단 및 사망 시 연령, calendar time
Guo et al. (2004a), 핀란드, 핀란드,	1970년 핀란드 노동 인구	폐	지게차 운전자 굴착기 운전자 도로 건설 장비	SIR 0.91(0.72-1.13) 1.12(0.88-1.40) 1.07(0.89-1.28)	흡연 간접적으로 보정

1971-95 년 기록	census 데이터; 667,121 남성		운전자	1.13(0.92-1.37)	
			건설장비 운전자		
Gustavs son et al. (1986), 스웨덴, 1961-80	6,071명 스웨덴 부두 노동자	폐	부두 노동자	SMR 1.32(1.05-1.66) SIR (1.36-2.07)	흡연 정보 없음
Emmeli n et al. (1993), 스웨덴, 1950-74	스웨덴 부두 노동자 코호트 nested case-c ontrol study: 50 cases/1 54 control s	폐	디젤 도입 후 근무 햇수		흡연과 노출 변수 보정; control은 부두와 출생일로 matching; 90% CI로 결과 제시
			low/nonsmoker	1.00	
			medium	1.8(0.5-6.6)	
			high	2.9(0.6-14.4)	
			연료 사용 지수		
			low/nonsmoker	1.00	
			medium	1.5(0.5-4.8)	
			high	2.9(0.7-11.5)	
			노출 시간		
			low/nonsmoker	1.00	
medium	2.7(0.6-11.3)				
high	2.9(1.3-34.9)				
Guo <i>et al.</i> (2004a), 핀란드, 1971-95 년 기록	1970년 핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성	폐	항만 노동자	SIR 1.32(1.16-1.50)	흡연 간접적으로 보정

Debra 등은 폐암과 디젤엔진배출물에 관한 환자-대조군 연구를 수행하였다. 미국에서 직업적 혼란변수(라돈, 실리카, 석면)는 노출은 낮으면서 디젤엔진배출물 노출은 높은 8개의 비금속 채광 시설을 선정하였다. 디젤장비 사용 시작(1947년~1967년)부터 적어도 1년 이상 작업한 노동자를 대상으로 1997년 12월 31일까지 추적하였다. 디젤엔진배출물 노출의 대리지표로 원소탄소 농도를 사용하였다. 최종적으로 198명의 환자군과 562명의 대조군을 분석한 결과 디젤엔진배출물의 노출이 증가할수록 폐암 위험이 증가하는 경향성을 보였다. 15년 전까지의 디젤엔진배출물 평균 노출강도가 가장 낮은 사분위에 비해 가장 높은 사분위($57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)에서 폐암 비차비는 2.28(95% CI: 1.07-4.87)로 유의하게 높았다. 또한, 15년 전까지의 누적노출량이 가장 높은 사분위($536 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -년 이상)에서 폐암 비차비는 2.83(95% CI: 1.28-6.26)으로 유의하게 높았으며 비차비의 증가 경향성도 유의하였다. 비흡연자만 따로 보았을 때도 15년 전까지의 누적노출량이 $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -년 미만인 노동자에 비해 $8\sim 304 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -년인 군에서 폐암 위험은 1.47배 (95% CI : 0.29-7.50), $304 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -년 이상인 군에서는 7.30배 (95% CI: 1.46-36.57) 증가하였다.

Michael 등은 미국 8개의 비금속 채광 시설에서 디젤장비 사용 시작(1947년~1967년)부터 적어도 1년 이상 작업한 노동자 12,315명을 대상으로 1997년 12월 31일까지 추적하여, 각종 원인별 표준화사망비(SMR)를 분석하였다. 그 결과, 모든 원인에 대한 SMR은 0.93 (95% CI: 0.89-0.97)인 반면에, 폐암에 대한 SMR은 1.26 (95% CI: 1.09-1.44)으로 가장 높았다.

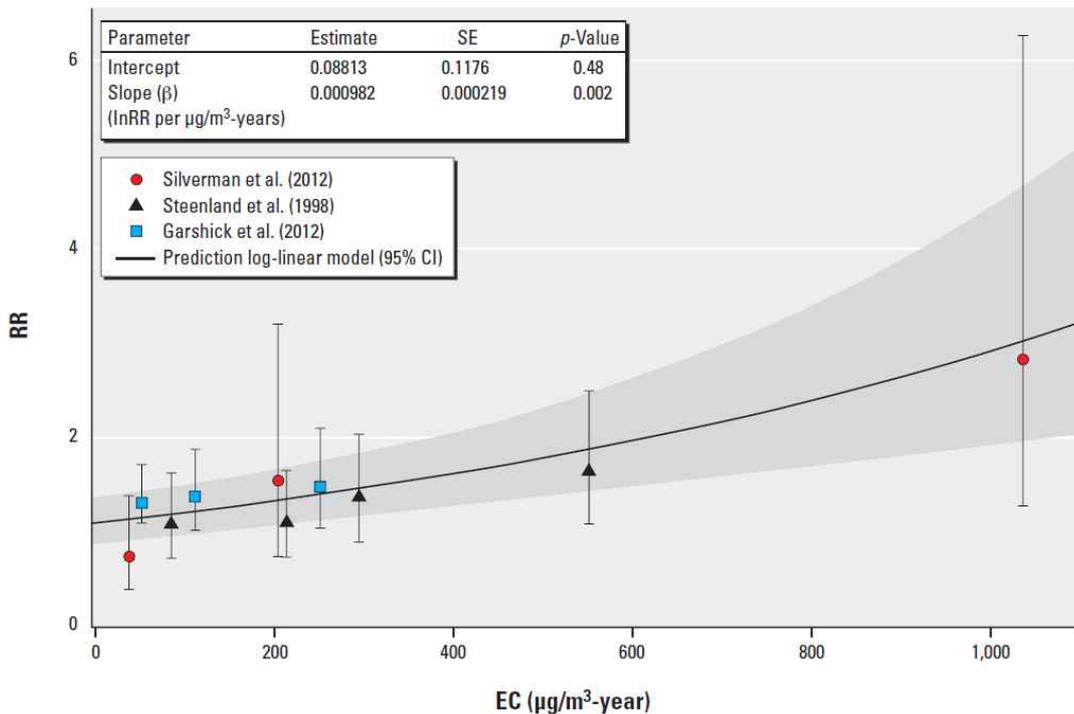
디젤엔진배출물과 폐암 사이의 관계에 대한 메타분석 결과는 다음과 같다.

<표 III-13> 폐암과 디젤엔진배출물 연구에 대한 메타분석

Reference	노출	No. of estimates	Relative risk(adjusted 95% CI)
Bhatia <i>et al.</i> (1998)	모든 연구	29	1.33(1.24-1.44)
	모든 노출되는 직업군	24	1.37(1.27-1.49)
	철도 노동자	6	1.44(1.30-1.60)
	장비 기사	3	1.11(0.89-1.38)
	대형 수송차량 운전자	10	1.49(1.36-1.65)
	버스 운전자	5	1.24(0.93-1.64)
	흡연에 대해 보정	16	1.35(1.20-1.52)
	흡연에 대해 미보정	13	1.33(1.20-1.47)
Lipsett & Campleman (1999)	모든 연구	39	1.33(1.21-1.46)
	철도 노동자	6	1.45(1.08-1.93)
	중장비 기사/항만 노동자	4	1.28(0.99-1.66)
	대형 수송차량 운전자	9	1.47(1.33-1.63)
	정비공/차고 노동자	6	1.35(1.03-1.78)
	운전 노동자/디젤엔진 운송 노동자	5/5	0.97(0.95-1.00)

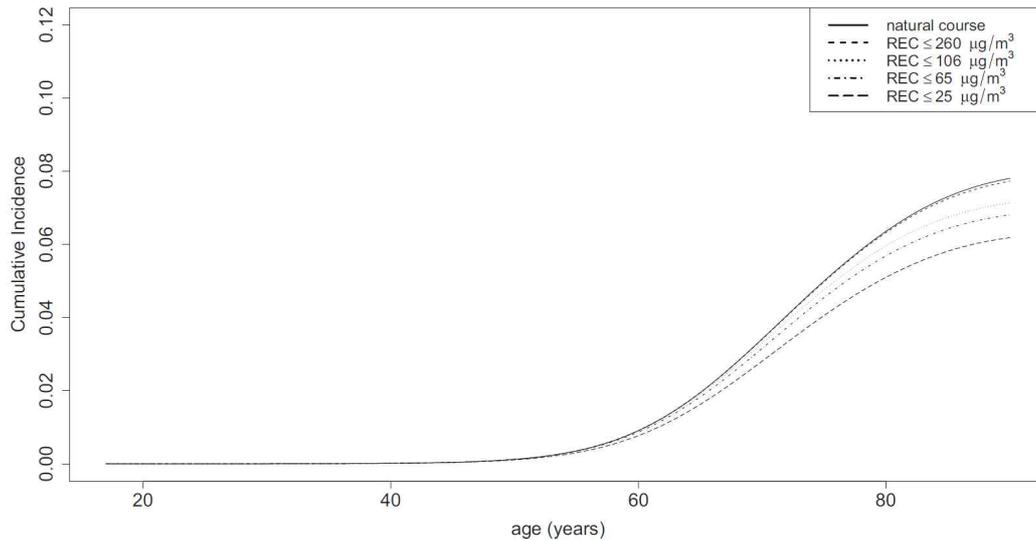
IARC에서 검토한 디젤엔진배출물이 폐암을 일으키는 것으로 알려진 기존 논문들의 경우 2가지 중요한 제한점이 있다. 첫 번째는 디젤엔진배출물 노출이 실제 노출 수준이 아닌 직종(job title)으로 대체되어 있다는 점이다. 이로 인해 비차별적 노출 오분류(nondifferential exposure misclassification)가 일어나, 연관성의 강도를 약화시켰을 수 있다. 두 번째는 디젤엔진배출물 노출에 의한 폐암의 영향이 비교적 낮아(relative risk가 대개 1.5 이하) 혼란변수(confounding) 특히 흡연의 영향에 의해 설명될 가능성이 있다는 점이다. 연구들의 약 절반 정도만 흡연이나 다른 혼란변수들에 대해서 통제를 한 상태이다.

디젤엔진배출물 노출에 따른 폐암 사망의 용량-반응을 평가한 3개의 역학 연구(Garshick et al., 2008; Silverman et al., 2012; Steenland et al., 1998)를 바탕으로 디젤엔진배출물과 폐암 사망 사이의 관계를 log-linear meta-regression model로 분석한 결과는 아래 그림과 같다 (Vermeulen et al., 2014).



[그림 III-6] 디젤엔진배출물 대리 지표인 원소탄소(EC)와 폐암 사망 사이의 관계에 대한 log-linear regression model

이 모델을 이용하여 20세부터 65세까지 45년 동안 각각 1, 10, 25 μg EC/ m^3 의 디젤엔진배출물에 직업적으로 노출되었을 때 80세에 도달하였을 때 10,000명 중 폐암으로 추가적으로 사망하는 사람의 숫자는 각각 17명, 200명, 689명이다. 이는 일반적으로 미국이나 유럽에서 받아들여지는 1/1,000인 직업적 허용 위험 수준, 1/100,000인 환경적 허용 위험 수준을 넘는다.



[그림 III-7] Diesel Exhaust in Miners Study(DEMS)에서 지하 작업을 한 적이 있던 코호트에서 호흡성 원소 탄소(REC) 노출기준 관리에 따른 폐암 누적 발생에 대한 simulation

Neophytou 등의 연구에 따르면 비금속 광물 광산 지하작업자에서 호흡성 원소 탄소(REC)에 대해 규제를 하지 않는 경우에 비해 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 규제하는 경우 폐암 발생이 20% 감소하는 것으로 나타났다. 직업적 허용 위험인 $1/1,000$ 수준을 달성하기 위해서는 REC를 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 유지해야 하지만 예전 기술의 디젤 엔진에 대해서는 달성하기 어려운 목표이다.

나) 방광암

한편, 디젤엔진배출물의 인체 내 대사물질인 PAH와 nitro-PAH(N-PAH)가 소변에 농축되고 이로 인해 방광 내 요로 상피에 영향을 미쳐 방광암을 발생시킬 수 있다는 보고가 있었다.

디젤엔진배출물과 폐암 사이의 관계에 대한 코호트 연구 결과는 다음과 같다.

<표 III-14> 직종에 따른 디젤엔진배출물과 방광암의 코호트 연구

Reference, 장소, 추적기간	연구 대상자수	장기	노출 구분	Relative risk (95% CI)	공변량
Howe <i>et al.</i> (1983), Canada, 1965-77	43,826 퇴직 철도 노동자	방광	모든 철도 노동자	SMR 1.03($P>0.05$)	남성; 캐나다 사망 기록; 흡연 미보정
Guo <i>et al.</i> (2004b), 핀란드, 1971-95년 기록	1970년 핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성	방광	기관차 운전자 (1970년 census에서 가장 오랫동안 했던 직업)	SIR 0.85(0.53-1.28)	핀란드 암등록 자료와 연동; 흡연에 대해서 간접적 보정
Balarajan & McDowall (1988), 영국 런던, 1950-84	3,392 전문직 운전자	방광	1939년 census에서 버스 운전자이며 1950년에 아직 살아 있는 사람	SMR 0.58($P>0.05$)	흡연 보정 안 함
Soll-Johanning <i>et al.</i> (1998), 덴마크, 1943-92	15,249명 남성 버스 및 트램 운전자	방광	3개월 이상 고용 덴마크 남성	1.4(1.2-1.6)	흡연율은 코펜하겐과 비교하여 비슷하거나 약간 높음
			코펜하겐 남성	1.1(0.9-1.3)	

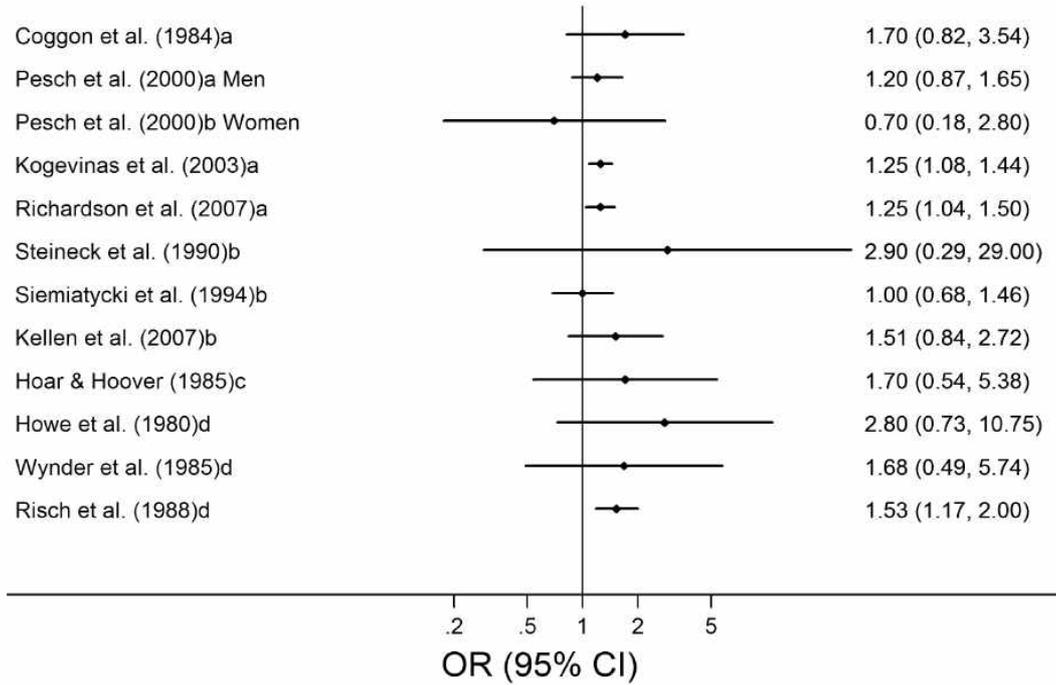
Soll-Johanning <i>et al.</i> (2003), 덴마크, 1943-92	버스 운전자, Nested case-control study(153 cases/255 controls)	방광	고용 기간(no lag)		출생연도와 생존 상태에 대해 1-4 controls를 matching; 배우자로부터 흡연 정보를 얻어서 보정
			<3개월	2.00(0.27-10.92)	
			3개월-<2년	1.0(referent)	
			2년-<10년	1.18(0.47-2.96)	
			10년-<20년	1.24(0.46-3.33)	
			≥20년	1.13(0.47-2.68)	
			고용 기간(10-yr lag)		
			<3개월	1.21(0.12-12.34)	
			3개월-<2년	1.0(referent)	
			2년-<10년	1.23(0.46-3.30)	
10년-<20년	1.61(0.57-4.55)				
≥20년	1.28(0.52-3.13)				
Guo <i>et al.</i> (2004b), 핀란드, 1971-95년 기록	1970년 핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성	방광	버스 운전자 (1970년 census에서 가장 오랫동안 했던 직업)	SIR 1.29(1.02-1.62)	흡연에 대해 간접적 보정
Peteresen <i>et al.</i> (2010), 덴마크, 1979-2003	1978년 고용된 2,037명 남성 덴마크 버스 운전자	방광	버스 운전자	SIR 1.6(1.2-2.0)	
			고용 기간	IRR	
			<15년	1.00	
			15-24년	1.11(0.60-2.03)	
			≥25년	1.31(0.55-1.63)	
			10-yr lag	IRR	
			<15년	1.0	
			15-24년	1.6(0.9-2.8)	
≥25년	1.4(0.7-2.6)				
Balarajan & McDowall (1988),	3,392 전문직 운전자	방광	1939년 census에 있으면서 1950년에 아직 살아있는 사람	SMR	남성만; 흡연 미보정
			택시 운전자	1.21($P>0.05$)	
			대형 수송차량	1.06($P>0.05$)	

영국 런던, 1950-84			운전자		
Gubéran <i>et al.</i> (1992), 스위스 제네바, 사망(1949-1986), 발생(1970-1986)	1946-61 년에 면허를 가지고 있는 6,630명 운전자	방 광	전문직 운전자, 15년 latency	SIR 1.25(0.74-1.99)	
Hansen (1993), 덴마크, 1970-80	14,225	비 뇨 기 계	대형 수송차량 운전자	SMR 0.98(0.49-1.75)	reference : 43,024명의 비숙 련 노동자. 흡연 율은 reference 와 유사
Guo <i>et al.</i> (2004b), 핀란드, 1971-95 년 기록	1970년 핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성	방 광	대형 수송차량 운전자(1970년 census에서 가 장 오랫동안 했 던 직업)	SIR 1.01(0.85-1.19)	흡연에 대해 간접 적 보정
Laden <i>et al.</i> (2007), 미국, 1985-2000	54,319명 (36,299 명 조합 운전자 포함)	방 광	모든 노동자	SMR 0.80(0.56-1.15)	미국 남성과 비슷 한 흡연율
Birdsey	156,241	방		SMR	미국 인구집단 기

<i>et al.</i> (2010), 미국, 1989-20 04	명의 미국 대형 수송차량 소유주/ 운전자 협회	광 및 다 른 비 노 기 계		0.93(0.62-1.34)	대 사망; 94% 남 성; 흡연 미보정
<i>Guo et al.</i> (2004b), 핀란드, 1971-95 년 기록	1970년 핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성	방 광	비금속 광석 광 부	SIR 1.16(0.73-1.76)	흡연 간접 보정
Neumeyer-Gromen <i>et al.</i> (2009), 구 동독, 1970-20 01	1969년 이후 고용된 광부	방 광	모든 노동자	SMR 0.80(0.40-1.60)	연령, 흡연 보정; total carbon 측 정
<i>Attfield et al.</i> (2012), 미국, 광산에 따라 1997년 까지	1947-67 년 8개 광산 12,315명 비금속 광부	방 광	지하 작업 포함	SMR 0.69(0.23-1.62)	라돈, 석면, 규소 노출은 낮음
			지상 작업만	1.68(0.72-3.30)	
<i>Wong et al.</i>	1년 이상 된	방 광	중장비 운전자	SMR 1.18(0.78-1.72)	남성만

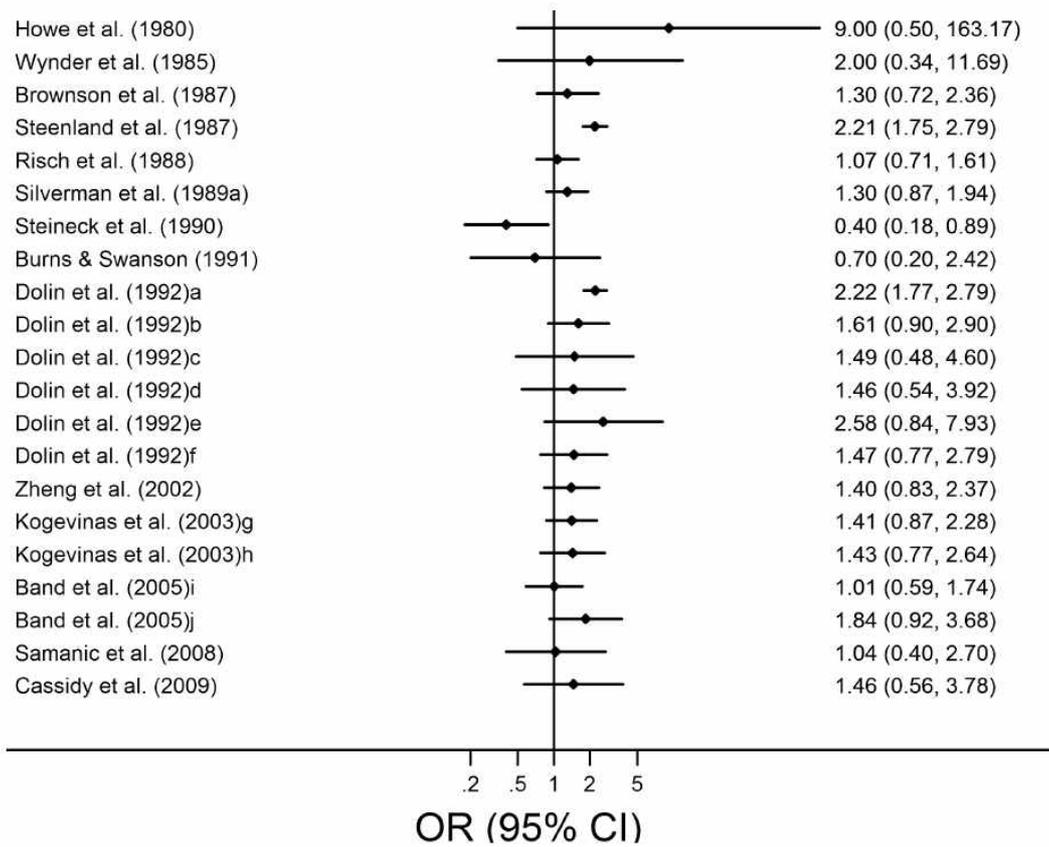
(1985), 미국, 1964-1978	건설노조 조합원 34,156명				
Guo <i>et al.</i> (2004b), 핀란드, 1971-95 년 기록	1970년 핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성	방 광		SIR	흡연 간접적으로 보정
			지게차 운전자	1.07(0.65-1.67)	
			굴착기 운전자	1.10(0.65-1.74)	
			도로건설장비 운 전자	1.04(0.66-1.57)	
			건설장비 운전자	0.93(0.56-1.46)	
Guo <i>et al.</i> (2004a), 핀란드, 1971-95 년 기록	1970년 핀란드 노동 인구 census 데이터; 667,121 남성	방 광	항만 노동자	SIR 0.95(0.65-1.35)	흡연 간접적으로 보정

디젤엔진배출물 노출에 따른 방광암의 환자-대조군 연구결과는 다음과 같다.



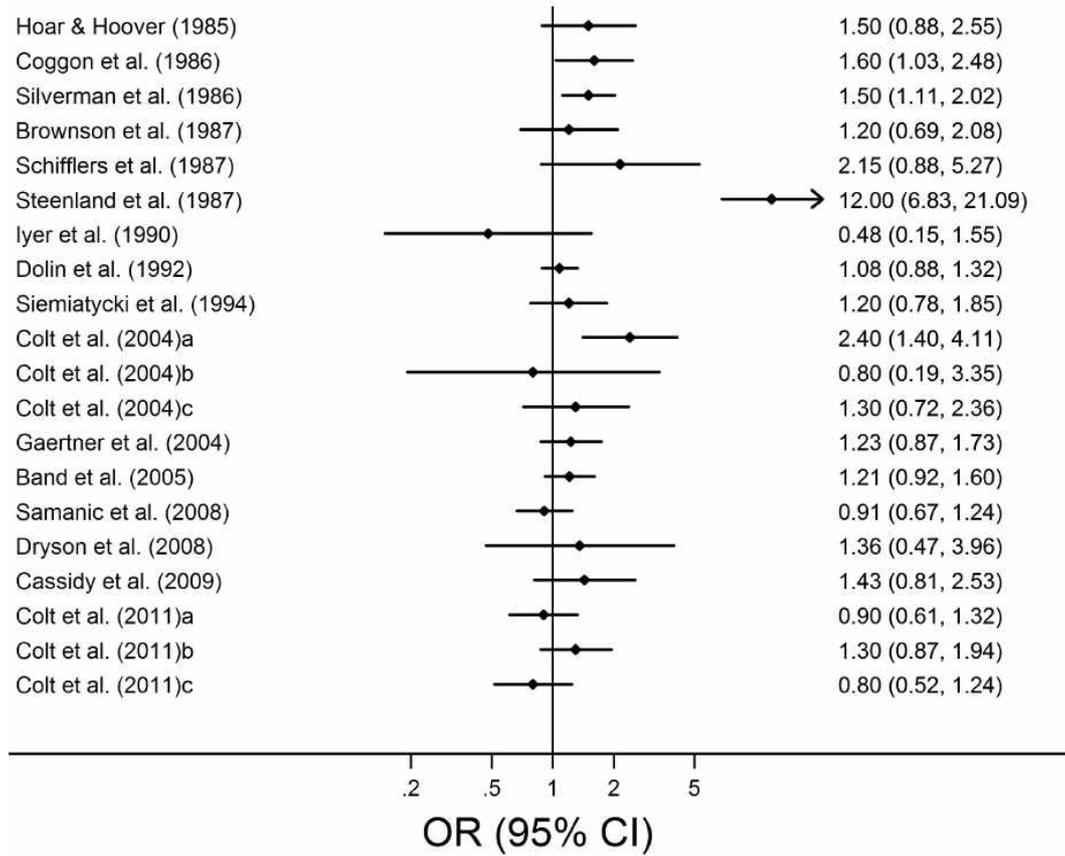
a Job-exposure matrix
 b Expert assessment
 c Proxy
 d Combined jobs
 CI, confidence interval; OR, odds ratio

[그림 III-8] 방광암 환자-대조군 연구에서 디젤엔진배출물 고농도 노출에 대한 odds ratios



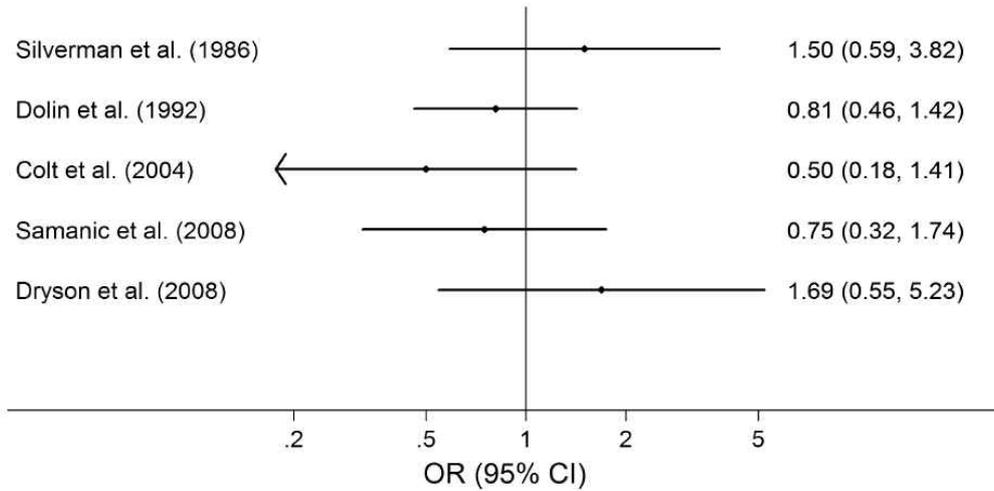
a Railroad industry
 b Engine driver
 c Shunter
 d Signalman
 e Guard
 f Lengthman
 g Driver
 h Brakeman
 i Railroad transport industry
 j Locomotive operation
 CI, confidence interval; OR, odds ratio

[그림 III-9] 방광암 환자-대조군 연구에서 철도노동자로서 디젤엔진배출물 노출에 대한 odds ratios



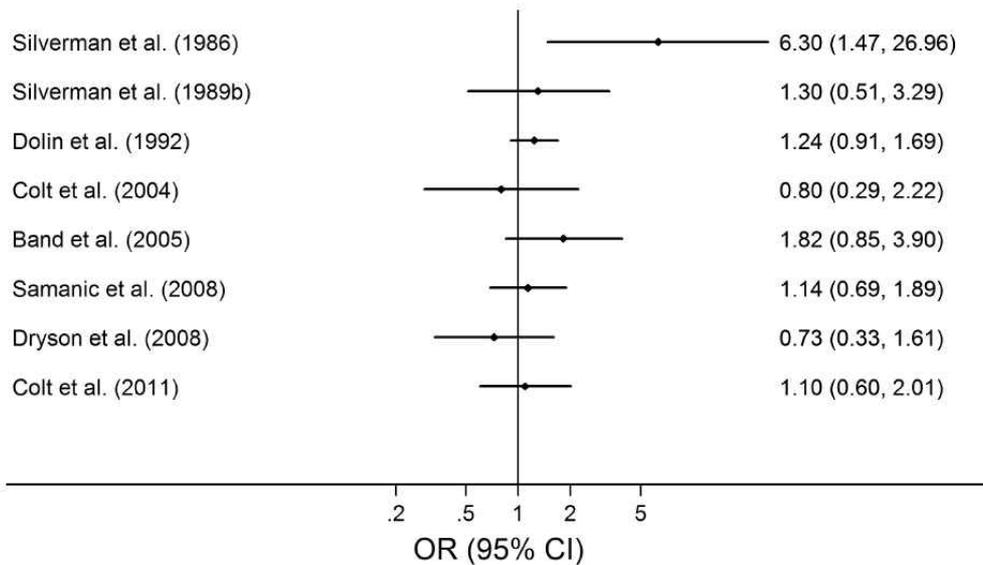
a Tractor trailer
 b Heavy goods vehicle
 c Light goods vehicle
 CI, confidence interval; OR, odds ratio

[그림 III-10] 방광암 환자-대조군 연구에서 대형 수송차량 운전자로서 디젤엔진배출물 노출에 대한 odds ratios



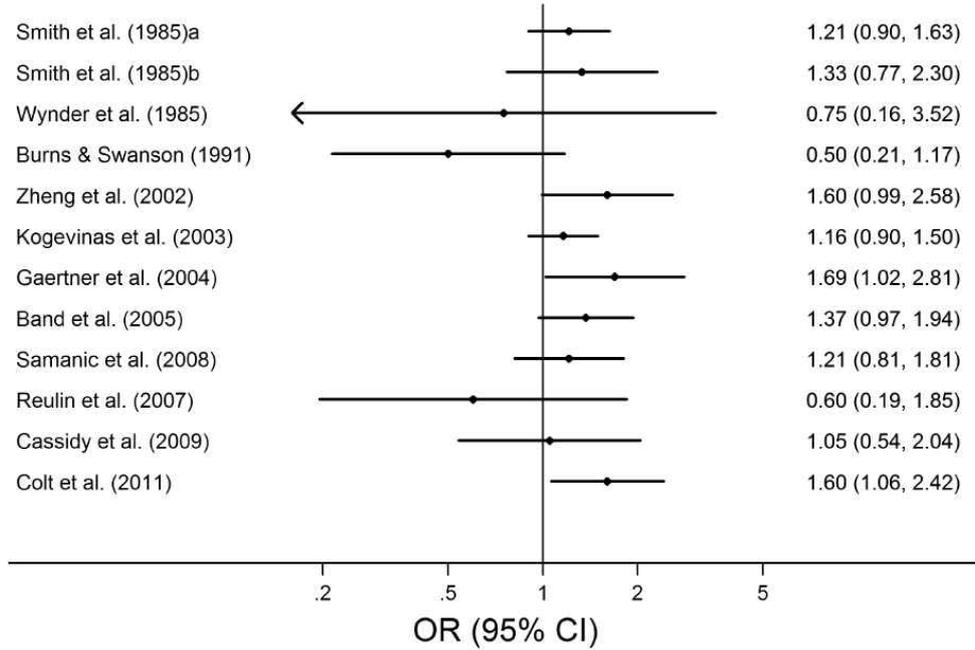
CI, confidence interval; OR, odds ratio

[그림 III-11] 방광암 환자-대조군 연구에서 버스 운전사로서 디젤엔진배출물 노출에 대한 odds ratios



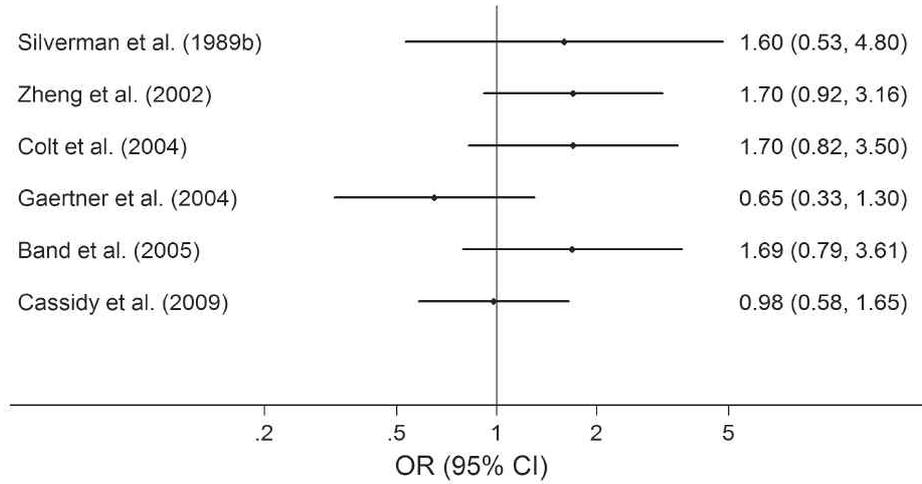
CI, confidence interval; OR, odds ratio

[그림 III-12] 방광암 환자-대조군 연구에서 택시 운전사로서 디젤엔진배출물 노출에 대한 odds ratios



a Smokers
 b Nonsmokers
 CI, confidence interval; OR, odds ratio

[그림 III-13] 방광암 환자-대조군 연구에서 자동차 정비공으로서 디젤엔진배출물 노출에 대한 odds ratios



CI, confidence interval; OR, odds ratio

[그림 III-14] 방광암 환자-대조군 연구에서 차고 작업자로서 디젤엔진배출물 노출에 대한 odds ratios

디젤엔진배출물과 방광암 사이의 관계에 대한 메타분석 결과는 다음과 같다.

<표 III-15> 방광암과 디젤엔진배출물 연구에 대한 메타분석

Reference	노출	No. of estimates	Relative risk(adjusted 95% CI)
Boffetta & Silverman (2001)	중장비 기사	5	1.37(1.05-1.81)
	대형 수송차량 운전자	15	1.17(1.06-1.29)
	버스 운전자	10	1.33(1.22-1.45)
	디젤에 대한 JEM	10	1.13(1.00-1.27)
	디젤엔진배출물에 노출	12	1.23(1.12-1.36)
	디젤엔진배출물에 고농도로 노출	12	1.44(1.18-1.76)
Manju et	대형 수송차량 운전자		

<i>al.</i> (2009)	전체	17	1.18(1.09-1.28)
	출판시기		
	1977-87		1.30(1.16-1.46)
	1998-2008		1.20(1.00-1.40)
	버스 운전자		
	전체	9	1.23(1.06-1.44)
	출판시기		
	1977-87		1.30(1.10-1.53)
	1998-2008		1.21(0.72-2.01)
	철도 노동자		
	전체	14	1.20(1.02-1.41)
	출판시기		
1977-87		1.33(0.98-1.54)	
1998-2008		1.25(0.96-1.61)	
다른 자동차 운전자	10	1.11(0.99-1.23)	
<i>Reulen et al.</i> (2008)	모든 연구		
	자동차, 택시, 밴 운전자	9	1.20(1.03-1.39)
	버스 운전자	8	1.29(1.08-1.53)
	대형 수송차량 운전자	15	1.18(1.06-1.33)
	자동차 운전자	32	1.11(1.06-1.17)
	흡연 보정		
	자동차, 택시, 밴 운전자		1.20(0.99-1.46)
	버스 운전자		0.96(0.65-1.42)
	대형 수송차량 운전자		1.18(1.06-1.31)
	자동차 운전자		1.11(1.04-1.18)
	흡연 미보정		
	자동차, 택시, 밴 운전자		1.27(0.83-1.93)
	버스 운전자		1.39(1.22-1.58)
	대형 수송차량 운전자		1.45(0.83-2.53)
자동차 운전자		1.14(1.02-1.27)	

표 24 방광암과 디젤엔진배출물의 코호트 및 환자-대조군 연구에 대한 메타분석

3. 디젤엔진배출물 건강영향에 대한 건강진단

1) 디젤엔진배출물 biomarkers

사람의 체액에서 이들 biomarkers를 측정하기 위해서는 복잡하고 매우 민감한 분석 방법이 필요하다.

(1) Protein and DNA adducts

Nielsen 등(1996)은 차고지 노동자들의 디젤엔진배출물 노출 수준을 평가하기 위해 GC-MS를 이용하여 혈색소의 hydroxyethylvaline adducts를 측정하였다.

Zwirner-Baier와 Neumann(1999)은 혈색소를 가수분해하여 액체 크로마토그래피 방법으로 몇 가지 nitro-PAH metabolites를 측정하였다.

(2) Urinary metabolites

1-Hydroxypyrene는 다른 연소 기관에서도 발생할 수 있으므로 비특이적인 biomarker이다.

1-nitropyrene을 immunoassays를 이용하여 디젤엔진배출물 노출에 대한 biomarker로 측정할 수 있으나, 다른 PAH metabolites와 cross-reactivity를 보일 수 있어서 HPLC with fluorescence 방법을 이용해 측정하는 것이 더 특이적이다.

2) 폐암 및 방광암 건강진단

(1) 폐암 건강진단

가) X선을 이용한 폐암 검진

1960년대부터 흉부 X선을 활용하여 검진을 시행하였으나, 모든 연구들에서 검진을 실시한 군이 검진을 실시하지 않은 군에 비하여 폐암 사망률이 낮아지지 않는다는 공통된 결과들을 보여주었다.

55~74세인 154,901명을 대상으로 4년 동안 매년 X선 촬영을 시행한 군과 일상적인 진료 행태를 취한 군을 13년간 추적 조사한 연구한 대규모 코호트 연구인 PLCO(the Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian) 연구에서도 폐암 발생률, 폐암 사망률, 전체 사망률에 차이가 없었다.

나) X선과 객담 암세포 검사를 추가한 폐암 검진

마찬가지로 대조군에 비해서 사망률을 낮추지 못하였다.

다) 저선량전산화단층촬영(Low-Dose Computed Tomography, LDCT)을 이용한 폐암 검진

1992년 ELCAP(Early Lung Cancer Action Project) 연구에서 폐암 진단율과 조기 폐암 발견율이 향상된다는 것을 보여주었다. 하지만 2000년대 초 시행된 DANTE, DLCST, MILD 등 다른 여러 연구에서는 폐암 사망률을 낮춘다는 것을 입증하지 못하였다. 다만, 이들 연구의 경우 연구 디자인에 있어 한계가 있었고, 대상자의 규모가 크지 않았던 것들이 문제점으로 지적되었다.

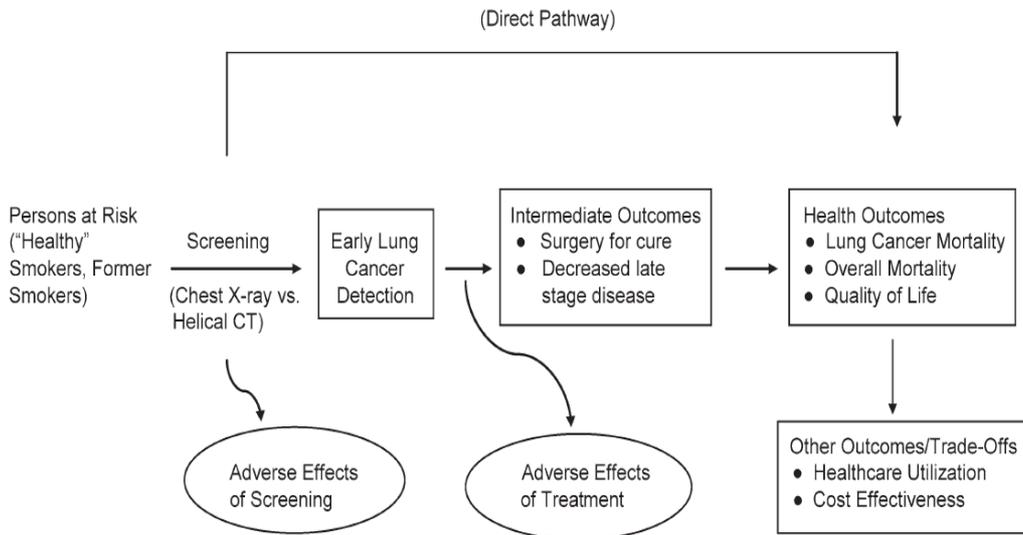
라) 미국 NLST 폐암 검진 연구 (NLST: National Lung Screening Trial)

○ 연구 설계 (NLST research team, 2011)

- 무작위 다기관 연구 (33개 기관 참여)

- 폐암의 선별검사를 위해 저선량 CT와 단순 흉부방사선 비교

- 대상 : 2002년에 55-74세 30갑년 이상의 흡연력이 있는 흡연자 혹은 담배를 끊고 15년이 지나지 않은 사람 53,454명



[그림 III-15] NLST(National lung screening trial)의 과정과 결과

<표 III-16> 폐암의 선별검사에 대한 NLST(National lung screening trial)이전 연구 결과

Study	Intervention	No. of Participants	No. of Lung Cancer Detected at First Screening (Prevalence)	No. of Lung Cancer Detected at First Screening	No. of Stage III and IV Cancer	Lung Cancer Mortality	5-year Survival(%)
Memorial Sloan-Kettering					173	NA	35
Experimental arm	Annual chest radiography, sputum cytology every 4 mo	4968	30	146	---	---	---
Control arm	Annual chest radiography	5072	23	155	---	--	---
Johns Hopkins					NA		NA
Experimental arm	Annual chest radiography, sputum cytology every 4 mo	5226	39	194	---	3.4/1000PY	---
Control arm	Annual chest radiography	5161	40	202	---	3.8/1000PY	---
Mayo Lung Project			91 in all				
Experimental arm	Chest radiography, sputum cytology every 4 mo	4618	---	206	123	4.4/1000PY	35
Control arm	Recommended annual chest radiography, sputum cytology	4593	---	160	119	3.9/1000PY	19
Czechoslovakian Rct			19 in all				NA
Experimental arm	Chest radiography and sputum cytology every 6 mo×3years, annually after year 3	3171	---	108	53	7.8%	---
Control arm	Chest radiography and sputum cytology annually after year 3	3174	---	82	46	6.8%	---

○ 연구방법 (NLST Research team b, 2011)

2002년 8월 ~ 2004년 4월까지 연구참여자에게 저선량 CT (26,722명) 혹은 단순 후전 흉부방사선 촬영 (26,732명)을 무작위로 할당하여 연속하여 3년간 검사하고 2009년 12월 31일까지 발생한 폐암에 대해 발생 건수와 사망건수를 분석하였다.

○ 연구 결과 (NLST Research team b, 2011; Aberle 등, 2013)

- 저선량 CT 선별검사군과 흉부방사선 촬영군의 폐암 선별검사 비교
- 연구대상자의 연령, 성, 인종, 흡연상태에 두 집단 간 차이는 없음
- LDCT촬영군의 3회 선별검사 참여율은 95%, 단순 흉부방사선 촬영군은 93%

<표 III-17> 폐암 선별검사 결과(NLST Research team b, 2011)

선별검사 사회차	저선량CT								단순 흉부방사선							
	전체 수		양성 결과		폐암이 의심되지 않지만 임상적으로 중요한 이상		정상 혹은 경미한 이상		전체 수		양성 결과		폐암이 의심되지 않지만 임상적으로 중요한 이상		정상 혹은 경미한 이상	
	N	N	%	N	%	N	%	N	N	N	%	N	%	N	%	
T0	26,309	7,191	27.3	2,695	10.2	16,423	62.4	26,035	2,387	9.2	785	3.0	22,863	87.8		
T1	24,715	6,901	27.9	1,519	6.1	16,295	65.9	24,089	1,482	6.2	429	1.8	22,178	92.1		
T2	24,102	4,054	16.8	1,408	5.8	18,640	77.3	23,346	1,174	5.0	361	1.5	21,811	93.4		

<표 III-18> 폐암 상태에 따라 선별검사와 관련된 가장 침습적인 진단과정 후 발생한 합병증

Complication	Lung Cancer Confirmed					Lung Cancer Not Confirmed				
	Thoracotomy, Thoracoscopy, or Mediastinoscopy	Bron- choscopy	Needle Biopsy	No Invasive Procedure	Total	Thoracotomy, Thoracoscopy, or Mediastinoscopy	Bron- choscopy	Needle Biopsy	No Invasive Procedure	Total
number(percent)										
Low-dose CT group										
Positive screening results for which diagnostic information was complete	509(100.0)	76(100.0)	33(100.0)	31(100.0)	649(100.0)	164(100.0)	227(100.0)	66(100.0)	16,596(100.0)	17,053(100.0)
No complication	344(67.6)	69(90.8)	26(78.8)	26(83.9)	465(71.6)	138(84.1)	216(95.2)	59(89.4)	16,579(99.9)	16,992(99.6)
At least one complication	165(32.4)	7(9.2)	7(21.2)	5(16.1)	184(28.4)	26(15.9)	11(4.8)	7(10.6)	17(0.1)	61(0.4)
Most severe complication classified as major	71(13.9)	2(2.6)	0	2(6.5)	75(11.6)	9(5.5)	2(0.9)	0	1(<0.1)	12(0.1)
Most severe complication classified as intermediate	81(15.9)	5(6.6)	7(21.1)	2(6.5)	95(14.6)	13(7.9)	9(4.0)	6(9.1)	16(0.1)	44(0.3)
Most severe complication classified as minor	13(2.6)	0	0	1(3.2)	14(2.2)	4(2.4)	0	1(1.5)	0	5(<0.1)
Death within 60 days after most invasive diagnostic procedure†	5(1.0)	4(5.3)	1(3.0)	0	10(1.5)	2(1.2)	4(1.8)	0	5(<0.1)	11(0.1)
Radiography group										
Positive screening results for which diagnostic information was complete	189(100.0)	46(100.0)	29(100.0)	15(100.0)	279(100.0)	45(100.0)	46(100.0)	24(100.0)	4,559(100.0)	4,674(100.0)
No complication	130(68.3)	42(91.3)	28(96.6)	14(93.3)	214(76.7)	38(84.4)	46(100.0)	23(95.8)	4,551(99.8)	4,658(99.7)
At least one complication	59(31.2)	4(8.7)	1(3.4)	1(6.7)	65(23.3)	7(15.6)	0	1(4.2)	8(0.2)	16(0.3)
Most severe complication classified as major	22(11.6)	1(2.2)	0	1(6.7)	24(8.6)	1(2.2)	0	0	3(0.1)	4(0.1)
Most severe complication classified as intermediate	32(16.9)	2(4.3)	1(3.4)	0	35(12.5)	6(13.3)	0	1(4.2)	2(<0.1)	9(0.2)
Most severe complication classified as minor	5(2.6)	1(2.2)	0	0	6(2.2)	0	0	0	3(0.1)	3(0.1)
Death within 60 days after most invasive diagnostic procedure†	4(2.1)	5(10.9)	1(3.4)	1(6.7)	11(3.9)	0	0	0	3(0.1)	3(0.1)

<표 III-19> 세 번의 선별검사에서 양성 결과의 진단적 추적 방법

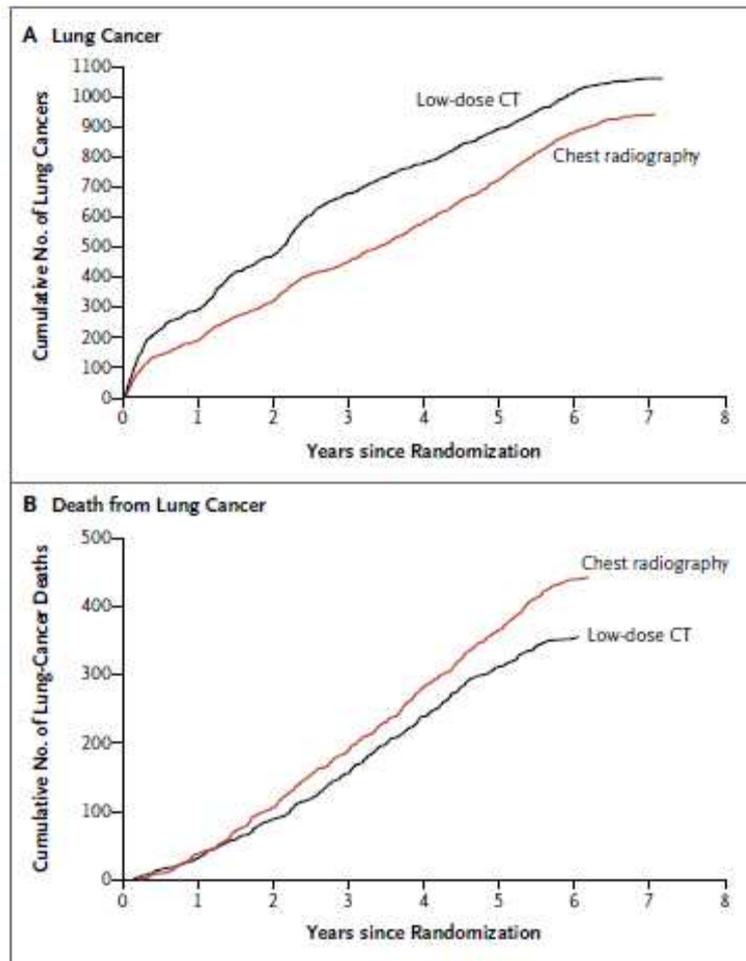
Variable	Low-Dose CT				Chest Radiography			
	T0	T1	T2	Total	T0	T1	T2	Total
	<i>number(percent)</i>							
Total positive tests	7191(100.0)	6901(100.0)	4054(100.0)	18,146(100.0)	2387(100.0)	1482(100.0)	1174(100.0)	5043(100.0)
Lung cancer confirmed	270(3.8)	168(2.4)	211(5.2)	649(3.6)	136(5.7)	65(4.4)	78(6.6)	279(5.5)
Lung cancer not confirmed	6921(96.2)	6733(97.6)	3843(94.8)	17,497(96.4)	2251(94.3)	1417(95.6)	1096(93.4)	4764(94.5)
Positive screening results with complete diagnostic follow-up information	7049(100.2)	6740(100.0)	3913(100.0)	17,702(100.0)	2348(100.0)	1456(100.0)	1149(100.0)	4953(100.0)
Any diagnostic follow-up	6369(90.4)	3866(57.4)	2522(64.5)	12,757(72.1)	2176(92.7)	1078(74.0)	957(83.3)	4211(85.0)
Clinical procedure	5089(72.2)	3190(47.3)	2151(55.0)	10,430(58.9)	1414(60.2)	723(49.7)	658(57.3)	2795(56.4)
Imaging examination	5717(81.1)	2520(37.4)	2009(51.3)	10,246(57.9)	2010(85.6)	968(66.5)	906(78.9)	3884(78.4)
Chest radiography	1284(18.2)	613(9.1)	650(16.6)	2,547(14.4)	867(36.9)	381(26.2)	365(31.8)	1613(32.6)
Chest CT	5153(73.1)	2046(30.4)	1608(41.1)	8,807(49.8)	1546(65.8)	745(51.2)	712(62.0)	3003(60.6)
FDG PET or FDG PET-CT	728(10.3)	350(5.2)	393(10.0)	1,471(8.3)	179(7.6)	105(7.2)	113(9.8)	397(8.0)
Percutaneous cytologic examination or biopsy	155(2.2)	74(1.1)	93(2.4)	322(1.8)	83(3.5)	37(2.5)	52(4.5)	172(3.5)
Transthoracic	120(1.7)	60(0.9)	74(1.9)	254(1.4)	67(2.9)	31(2.5)	43(3.7)	141(2.8)
Extrathoracic	39(0.6)	17(0.3)	24(0.6)	80(0.5)	20(0.9)	6(0.4)	13(1.1)	39(0.8)
Bronchoscopy	306(4.3)	178(2.6)	187(4.8)	671(3.8)	107(4.6)	56(3.8)	62(5.4)	225(4.5)
With neither biopsy nor cytologic testing	126(1.8)	95(1.4)	99(2.5)	320(1.8)	45(1.9)	19(1.3)	32(2.8)	96(1.9)
With biopsy or cytologic testing	194(2.8)	95(1.4)	102(2.6)	391(2.2)	74(3.2)	40(2.7)	36(3.1)	150(3.0)
Surgical procedure	297(4.2)	197(2.9)	219(5.6)	713(4.0)	121(5.2)	51(3.5)	67(5.8)	239(4.8)
Mediastinoscopy or mediastinotomy	60(0.9)	32(0.5)	25(0.6)	117(0.7)	22(0.9)	12(0.8)	21(1.8)	55(1.1)
Thoracoscopy	82(1.2)	56(0.8)	96(2.5)	234(1.3)	22(0.9)	11(0.8)	20(1.7)	53(1.1)
Thoracotomy	197(2.8)	148(2.2)	164(4.2)	509(2.9)	96(4.1)	44(3.0)	44(3.8)	184(3.7)
Other procedures	168(2.4)	96(1.4)	63(1.6)	327(1.8)	55(2.3)	33(2.3)	34(3.0)	122(2.5)

<표 III-20> 선별검사에 따라 LDCT군과 흉부방사선촬영군에서 폐암의 병기와 조직학적 형태

Stage and Histologic Type	Low-Dose CT				Chest Radiography			
	Positive Screening Test (N = 649)	Negative Screening Test (N = 44)	No Screening Test (N = 367)	Total (N = 1060)	Positive Screening Test (N = 279)	Negative Screening Test (N = 137)†	No Screening Test (N = 525)‡	Total (N = 941)
<i>number/total number (percent)</i>								
Stage								
IA	329/635(51.8)	5/44(11.4)	92/361(22.7)	416/1040(40.0)	90/275(32.7)	16/135(11.9)	90/519(17.36)	196/929(21.1)
IB	71/635(11.2)	2/44(4.5)	31/361(8.6)	104/1040(10.0)	41/275(14.9)	6/135(4.4)	46/519(8.9)	93/929(10.0)
IIA	26/635(4.1)	2/44(4.5)	7/361(1.9)	35/1040(3.4)	14/275(5.1)	2/135(1.5)	16/519(3.1)	32/929(3.4)
IIB	20/635(3.1)	3/44(6.8)	15/361(4.2)	38/1040(3.7)	11/275(4.0)	6/135(4.4)	25/519(4.8)	42/929(4.5)
IIIA	59/635(9.3)	3/44(6.8)	37/361(10.2)	99/1040(9.5)	35/275(12.7)	21/135(15.6)	53/519(10.2)	109/929(11.7)
IIIB	49/635(7.7)	15/44(34.1)	58/361(16.1)	122/1040(11.7)	27/275(9.8)	24/135(17.8)	71/519(13.7)	122/929(13.1)
IV	81/635(12.8)	14/44(31.8)	131/361(36.3)	226/1040(21.7)	57/275(20.7)	60/135(44.4)	218/519(42.0)	335/929(36.1)
Histologic type								
Bronchioloalveolar carcinoma	95/646(14.7)	1/44(2.3)	14/358(3.9)	110/1048(10.5)	13/276(4.7)	1/135(0.7)	21/520(4.0)	35/931(3.8)
Adenocarcinoma	258/635(39.9)	8/44(18.2)	114/358(31.8)	380/1048(36.3)	112/276(40.6)	37/135(27.4)	179/520(34.4)	328/931(35.2)
Squamous-cell carcinoma	136/635(21.1)	13/44(29.5)	94/358(26.3)	243/1048(23.2)	70/276(25.4)	24/135(17.8)	112/520(21.5)	206/931(22.1)
Large-cell carcinoma	28/635(4.3)	3/44(6.8)	10/358(2.8)	41/1048(3.9)	12/276(4.3)	10/135(7.4)	21/520(4.0)	43/931(46.6)
Nonsmall-cell carcinoma or other	75/635(11.6)	4/44(9.1)	52/358(14.5)	131/1048(12.5)	40/276(14.5)	30/135(22.2)	88/520(16.9)	158/931(17.0)
Small-cell carcinoma	49/635(7.6)	15/44(34.1)	73/358(20.4)	137/1048(13.1)	28/276(10.1)	32/135(23.7)	99/520(19.0)	159/931(17.1)
Carcinoid	5/635(0.8)	0	1/358(0.3)	6/1048(0.6)	1/276(0.4)	1/135(0.7)	0	2/931(0.2)

**<표 III-21> NLST 연구 결과
요약**

검사결과	저선량 CT		단순		기타
			흉부방사선		
양성률	24.2%		6.9%		
위양성률	96.4%		94.5%		
선별검사	2번째	3번째	2번째	3번째	
양성률	27.9		6.2	5.0	
민감도	94.4		59.6		
특이도	72.6		94.1		
양성예측률	2.4	5.2	4.4		
음성예측률	99.9		99.8		
폐암 발생 건수	1,060		941		
폐암 병기	N	%	N	%	
IA	416	40.0	196	21.1	
IB	104	10.0	93	10.0	
IIA	35	3.4	32	3.4	
IIB	38	3.7	42	4.5	
IIIA	99	9.5	109	11.7	
IIIB	122	11.7	122	13.1	
IV	226	21.7	335	36.1	
전체	1,040	100.0	929	100.0	
선별검사에 의한	649		279		
폐암 발생 건수					
폐암 병기	N	%	N	%	
IA	329	51.8	90	32.7	
IB	71	11.2	41	14.9	
IIA	26	4.1	14	5.1	
IIB	20	3.1	11	4.0	
IIIA	59	9.3	35	12.7	
IIIB	49	7.7	27	9.8	
IV	81	12.8	57	20.7	
전체	635	100.0	275	100.0	
폐암 발생률 (10만인년당)	645		572	1.13 (95% CI 1.03-1.23)	
폐암 사망률 (10만인년당)	247		309	저선량 CT검사군에서 폐암으로 인한 사망률이 20% 감소	
전체 사망자 수	1,877		2,000	저선량 CT 검사군에서 6.7% (95% CI 1.2-13.6) 감소, 폐암 사망률 차이 때문	



[그림 III-16] 폐암으로 인한 누적 발생자수 및 사망자

○ 결론

- LDCT 선별검사군에서 단순 흉부방사선 촬영군보다 폐암의 병기가 낮은 비율이 높게 나타나, 폐암의 조기발견에 더 민감한 결과를 보여주었다.
- LDCT 검사군에서 양성예측률은 단순 흉부방사선 촬영군보다 더 낮았다.
- NLST에서 폐암의 선별검사를 위한 저선량 CT촬영군이 단순 흉부방사선

촬영군보다 폐암 발생률의 증가(4.0% 대 3.6%, HR 1.13 (1.03-1.23)), 20.0%의 폐암 사망률의 감소(1.3% 대 1.6%, $p=0.004$), 6.7%의 전체 사망률의 감소(7.1% 대 7.6%, $p=0.02$) 소견을 보였다.

- 이는 LDCT를 이용한 폐암 조기 검진의 유용성을 처음 입증한 연구로 이를 바탕으로 우리나라, 중국에서 국가 폐암 검진 권고안을 제시하게 되었다.

마) 유럽의 NELSON 폐암 검진 연구 (NELSON trial)

네덜란드-벨기에에서 고위험군 (25년간 하루 15개비 이상 또는 30년간 하루 10개비 이상 흡연한 현재 흡연자 또는 금연 기간이 10년 이하인 과거 흡연자 중에서 50~74세의 네덜란드, 벨기에인들) 15,792명을 대상으로 LDCT를 5.5년간 4회 시행한 군과 검진을 시행하지 않은 두 군으로 무작위 배정하고 폐암 사망률을 장기간 추적 비교한 임상연구에서도 LDCT를 이용하여 검사를 시행한 경우 폐암 사망률이 의미 있게 감소되었다. 폐암 사망 비는 LDCT를 이용하여 검사를 시행한 경우 8년 시점에 남자 0.75(0.59-0.95), 여자 0.39(0.18-0.78), 9년 시점에 남자 0.76(0.60-0.95), 여자 0.47(0.25-0.84), 10년 시점에 남자 0.74(0.60-0.91), 여자 0.61(0.35-0.61)로 조사되었다.

일본과 유럽에서는 아직 폐암 권고안을 발표하지 않았으나 이 연구 결과가 발표되면서 논의가 되고 있는 상황이다.

바) 우리나라의 폐암 검진 시범 사업

우리나라에서 2016년 11월부터 2017년 3월까지 시행한 폐암 선별검사 시범사업(K-LUCAS) 결과에서 Lung-RADS 분류상 category 1은 57.1%, 2는 35.5%, 3은 3.9%, 4는 3.5%이며, category 3과 4를 양성으로 보았을 때 LDCT를 이용한 선별 검사에서 양성률은 7.4%로 나타났다.

**<표 III-22> Radiological Report of Pilot Study for the
Korean Lung Cancer Screening(K-LUCAS) Project 결과 요약**

Lung-RADS 분류	n(%)
1	146(57.1)
2	91(35.5)
3	10(3.9)
4	9(3.5)
A	8
B	1
X	0
Lung-RADS screening results	
음성(category 1 and 2)	237(92.6)
양성(category 3 and 4)	19(7.4)

2017년에서 2018년 사이에 고위험군 (만 55세부터 74세, 30갑년 이상의 흡연력이 있는 현재 흡연자 또는 금연 기간이 15년 이하인 과거 흡연자) 13,692명을 대상으로 LDCT를 시행하였다. 시범사업으로서 LDCT를 1회만 시행하고 1년마다 추적 검사를 하지는 않았다. 즉, 사망률 지표를 산출하지는 못하고, 여러 검진 지표들인 결절 양성률, 위양성률, 폐암 진단율, 폐암의 병기 분포 등을 평가하여 미국의 NLST와 검진 지표들이 유사하게 나오는지 비교하였다. 결과는 폐암 진단율 0.58% (발견된 폐 결절 중 악성 가능성으로 CT 추적 검사 중 이거나 조직검사가 예정된 경우들이 있어서 0.58%보다 높을 것으로 예상함), 폐암 환자 중 1-2기 분포는 68.4%였다. 결론적으로LDCT를 이용한 폐암 검진을 실시할 경우 폐암 특이 사망률이 의미 있게 감소할 것으로 예상하였다.

비용-효과 분석을 통해 생존년수당 점증적 비용 효과 증대비 (Incremental Cost-Effectiveness Ratio, ICER)를 조사하였으며, 그 결과 우리나라는 폐암 검진은 23,586 USD로 지불 의사 한계치 27,512 USD보다 낮은 수준으로 조사되어 비용-효과성이 검증되었다.

사) 현재 우리나라 국가 폐암 검진

2018년 11월 국가 암 관리 위원회에서 국가 암 검진으로 도입하기로 확정하여, 만 54세부터 74세이면서 30갑년 이상의 흡연력을 가진 현재 흡연자(2년 후부터는 금연이 15년이 경과하지 않은 과거 흡연자도 포함되도록 할 예정임)를 검진 대상으로 하여 LDCT를 2년 주기로 시행하기로 하였다.

국가 암검진은 암관리법 제11조에 의해 암의 치료율을 높이고 암으로 인한 사망률을 줄이기 위해 암을 조기에 발견하기 위해 시행하고 있다. 암검진사업의 대상자, 암의 종류, 검진주기 등은 암의 발생률, 생존율, 사망률 등 암 통계 및 치료에 관한 자료를 고려하여 보건복지부장관이 정하고 종류와 검진 주기는 아래 표와 같다.

<표 III-23> 국가암검진의 종류 및 검진주기와 연령기준

암의 종류	검진 주기	검사 항목	연령 기준 등
위 암	2년	(위장조영검사 혹은 위내시경검사) + 필요한 경우 조직검사	40세 이상의 남·여
간 암	6개월	혈청알파태아단백검사 + 간 초음파	40세 이상의 남·여 중 간암 발생 고위험군
대장 암	1년	분변잠혈검사, 분변잠혈검사 양성인 경우 대장이중조영검사 혹은 대장내시경검사 + 필요시 조직검사	50세 이상의 남·여
유방 암	2년	유방촬영	40세 이상의 여성
자궁경부 암	2년	자궁경부세포검사	30세 이상의 여성
폐 암	2년	저선량흉부 CT	만 54세 이상 만 74세 이하의 남·여 중 폐암 발생 고위험군

※ 비교: “간암 발생 고위험군”이란 간경변증, B형간염 항원 양성, C형간염 항체 양성, B형 또는 C형 간염 바이러스에 의한 만성 간질환 환자를 말한다. “폐암 발생 고위험군”이란 30갑년 이상의 흡연력을 가진 흡연자를 말한다.

철저한 질 관리가 중요하여 장비는 16열 이상의 CT검사 장비를 사용하고 3.0 mGy 이하의 방사선량으로, 1.5 mm 미만 절편 두께로 검사 시행해야 한다. 발견된 폐결절에 대한 관리는 Lung-RADS 기준을 따르기로 하였다. 판독은 관련 교육을 이수한 영상의학과 전문의 판독하기로 하였으며, 상담 의사는 관

련 교육을 이수한 의사가 결과 상담 및 금연 상담 제공하기로 하였다.

아) 종양표지자 검사의 활용

폐암의 종양표지자 검사방법으로는 혈액 내 CEA(Carcinoembryonic antigen), CYFRA 21-1(Cytokeratin 19 fragment 21-1), SCC-Ag(Squamous cell carcinoma antigen), NSE(Neuron specific enolase) 등이 있다.

CEA는 태아기 소화관 조직에서 생성되는 당단백의 일종으로, 출생 전 생장이 멈추기 때문에 건강한 성인에게는 혈액 내 낮은 농도로 검출되나, 대장암·폐암·유방암·위암·췌장암 등 일부 암 환자에서 증가할 수 있는 것으로 보고되었다. 그러나 흡연자나 간경화·COPD 등 일부 양성질환에서도 증가할 수 있는 것으로 알려져 있다.

CYFRA 21-1은 세포구조단백의 한 종류인 cytokeratin-19의 일부 조각으로, 여러 종류의 암세포에서 생성되어 혈액으로 분비되는 것으로 알려져 있으며, 특히 양성 폐질환 환자에서 증가가 적어 비교적 특이도가 높기 때문에 폐암의 감별 진단에 활용되기도 한다 (Nakamura et al., 2017).

한국인에서 폐암 진단을 위한 선별검사방법으로서의 CEA와 CYFRA 21-1의 유용성에 대하여 검토한 연구들이 몇몇 있었다 (Lee JH et al., 2015; Park et al., 2011; Song et al., 2015; 김진주 등, 2020). 상기 연구들에서 양성 폐질환자 및 정상군에 비해, 폐암환자에서 CEA 및 CYFRA 21-1의 농도가 통계적으로 유의하게 높았다. 하지만, 폐암 진단에 대한 CYFRA 21-1의 민감도는 70.4%, 특이도는 81.2%, 양성예측도는 49.6%, 음성예측도는 91.3%로 나타났으며, CYFRA 21-1과 CEA를 함께 사용한 경우, 전체 폐암종에 대한 민감도는 44.0~77.7%, 특이도는 76.0~87.0%, 양성예측도는 3.5~49.4%, 음성예측도는 94.5~99.6%의 결과를 보였다.

해의 연구결과에서도 마찬가지로, 폐암 진단에 대한 CYFRA 21-1의 민감도와 특이도를 각각 43%, 89%, CEA의 민감도와 특이도는 69%, 68%로 보고된

바 있었으며, 2015년 국내 폐암 검진 권고안에 따르면 CEA, SCC-Ag, CYFRA 21-1, NSE 등 여러 종류의 종양표지자에 대하여 조기 폐암에 대한 진단적 가치를 조사하였으나 어떠한 것도 조기 폐암 진단을 위한 충분한 진단적 민감도와 특이도를 충족시키지 못하였으며, 폐암 조기 선별검사로 사용하는 것을 권고하지 않는다고 밝힌 바 있다 (Okamura et al., 2013; 장승훈 등, 2015).

즉, 폐암의 생물학적 표지자로 거론되는 CEA, CYFRA 21-1, SCC-Ag, NSE 등은 현재 폐암 진단에 대한 민감도와 양성예측도가 현저히 낮아 폐암 선별검사의 목적으로 사용하기에는 합당하지 않은 것으로 보이며, 다만 특이도와 음성예측도는 민감도와 양성예측도에 비하여 높은 수준이므로 이미 진단된 폐암 환자의 경과 관찰 추적, 치료 효과 또는 예후 평가의 목적으로는 보조적으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

(2) 방광암 건강진단

혈뇨(hematuria) 검사가 스크리닝 방법으로 연구되어 왔으나, 특이도 (specificity)가 부족하다. 과거 방광경(cystoscopy) 검사와 요세포 검사(urine cytology)가 사용되었으나, 현재까지 의미 있는 결과를 보여 준 randomized trial 또는 환자-대조군 연구는 없다. 관찰연구를 통해서 보면, 일부 고위험군을 대상으로 한 연구에서 스크리닝이 이득이 있다는 것을 제시한 연구도 있었지만, 많은 혼란 변수와 lead-time bias와 length-time bias 때문에 제한된 유용성을 갖는다.

한 관찰연구에서 낮은 방광암 사망률을 보인 연구가 있었는데, 50세 이상 1,575명 중 16%에서 1년 동안의 반복 검사에서 혈뇨가 발견되었다. 이들을 대상으로 방광경을 실시했을 때 8%(21명)에서 방광암이 진단되었다 (전체 코호트에서는 1.3%). 이들 방광암 환자 중 11명은 low-grade, 9명은 high-grade, 1

명은 invasive 방광암이었다. 혈뇨를 보였던 사람 중 2명은 초기 방광경 검사에 서는 음성이었으나 나중에 방광암으로 진단되었다. 이들 21명에 대해서 14년 동안 추적 관찰을 했을 때 방광암으로 인한 사망률은 스크리닝 하지 않은 방광암 환자들에 비해서 낮았다. 하지만, 전체 사망률(overall mortality)은 의미 있게 낮지 않았다. 그 외의 다른 관찰연구들은 방광암의 조기 발견이 사망률에 있어서 이득이 있다는 것을 제시하지 못하였다.

고위험집단 즉, 발암물질에 노출되는 고위험직업군을 대상으로 한 연구 결과를 보면 요검사를 통해서 상대적으로 early stage의 방광암을 발견하였다. 그러나 이를 해석하는데 문제가 있는데 그 요인들로는 발암물질의 노출 수준을 평가하기가 어렵고, 시간에 따라 검사방법이 달라졌으며, randomized trial이 아니라는 것이다. 검사방법으로 urine cytology, biomarkers, cystoscopy 등이 고위험 직업군에 대한 스크리닝으로 사용되었다. Thériault 등의 연구에서 콜타르에 노출되는 고위험 알루미늄 공장노동자들을 대상으로 한 연구에서 5년 생존율에 있어서 증가 경향이 보였지만 통계학적인 의미는 없었다. Hemstreet 등의 연구에서 벤지딘에 노출되는 위험집단에 대해서 소변암표지자(urine biomarkers)로 DNA ploidy, bladder tumor-associated antigen p30, G-actin을 검사하여 방광암에 대한 추적 조사를 하였을 때 높은 발견을 보였다. 이는 암표지자를 통한 스크리닝의 가능성을 제시한 연구이다. Marsh 등의 연구에서 베타나프틸라민에 노출되는 노동자를 대상으로 dipstick urinalysis, cytology, biomarkers를 이용하여 스크리닝을 했을 때 1%에서 방광암이 발견되었다. Pesch 등의 연구에서 aromatic amine에 노출되는 1,322명의 노동자를 대상으로 urine dipstick with microscopy, cytology, NMP22, UroVysion fluorescence in situ hybridization(FISH)로 스크리닝을 했을 때 7년 동안 추적검사 한 결과 14명이 방광암 환자로 발견되고, 9명이 high-grade 암으로 발견되었다.

스크리닝 검사는 비용도 저렴하고 적용 가능해야하고 높은 sensitivity와 specificity를 가져야 하는데 특히 유병률이 낮은 방광암 같은 경우에는 specificity가 더욱 중요하다. 방광암에 스크리닝 방법으로는 urine hematuria, cytology, biomarkers가 있다. urine hematuria는 낮은 예측도(predictive value)를 가지며, urine cytology는 상대적으로 낮은 민감도(sensitivity)를 가지며, 병리학자의 판독이 필요하며, 비용이 비싸다. urine biomarker는 상대적으로 낮은 특이도(specificity)를 가지며, 비용이 비싸다.

방광암의 생물학적 표지자 검사방법으로는 여러 가지가 있으나, 미 FDA의 승인을 받은 검사방법으로는 소변 검체를 이용한 BTA(Bladder tumor antigen), NMP22(Nuclear matrix protein), FDP(Fibrin degradation products) 등이 있다.

BTA를 이용하는 검사방법으로는 BTA test, BTA stat, BTA TRAK assay가 있다. BTA test는 암세포가 방광 기저막에 부착되는 과정에서 암세포에서 분비된 단백질과 파괴된 방광기저막에서 나온 콜라겐IV, 라미닌, 프로테오글라이칸 등 분해산물의 복합물을 검출하는 방법으로 비교적 간단하고 비용이 적게 들며, 빠르고 쉽게 시행할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 요석이나 카테터 유치 등과 같은 양성 조건에서도 4~34%의 위양성 반응을 보인다는 단점이 있으며, 연구에 따라 72~95% 내외의 특이도, 40~83%의 민감도를 보여 기존의 요세포검사와 비교할 때 큰 이득이 없는 것으로 알려졌다 (이은식 등, 2003). BTA stat은 단세포균 항체를 이용한 면역크로마토그래피 방법으로 방광암 환자의 소변에서 분비되는 hCFHrp(human complement factor H-related protein)를 정성적으로 검출하는 방법으로 BTA test와 마찬가지로 간편하게 검사결과를 바로 알 수 있다는 장점이 있으며, 요세포 검사에 비해 상대적으로 민감도가 높은 것으로 보고된 바 있다 (이은식 등, 2003; Sarosdy et al., 1997). BTA TRAK assay는 단세포균 항체를 이용하여 효소면역측정법으로 hCFHrp를 정

량적으로 검출하는 방법이다. BTA test와 BTA stat은 간단한 검사로서 외래 진료실에서 수행할 수 있으나 BTA TRAK assay는 검사실에서 수행해야 한다는 단점이 있으나, 항원의 정량측정이 가능하기 때문에 정량적 변화를 임상적으로 이용할 수 있다는 장점이 있다 (이은식 등, 2003). 그러나 모든 BTA 관련 검사는 육안적 혈뇨를 보이는 경우나 방광암 외 비뇨기계 악성질환(신장암, 전립선암, 부신암, 신육종 등) 및 전립선 비대증이 있는 경우에서도 양성을 보여, 높은 위양성률이 문제점으로 지적되고 있으며, 이로 인해 방광암 진단을 위한 선별검사로서의 효용은 떨어질 것으로 보인다 (김두용 등, 2007).

NMP22는 소변 내 nuclear matrix protein NuMA(Nuclear Mitotic Apparatus Protein)를 정량적으로 검출하는 방법이다. 이는 세포핵 내부구조 골격의 한 부분을 이루는 물질로, 기관 특이성(organ specificity)이 있으며, 종양 특이성(cancer specificity)도 유방암·대장암·골암·방광암에서 잘 알려져 있다 (Carpinito et al., 1996; Zeitlin et al., 1987). 연구에 따르면 60%의 민감도, 69.8%의 특이도, 8.3%의 양성예측도, 97.5%의 음성예측도가 보고되었으며, 혈뇨가 관찰된 경우 특이도는 더 떨어지는 경향을 보였다. 95.6%의 특이도가 보고된 연구도 있었으나, 심한 혈뇨에 영향을 받아 방광암 진단의 선별검사 방법으로는 한계가 있음이 지적되기도 하였으며, 그보다는 방광암이 진단된 환자에서 방광암의 치료효과 평가 또는 병기를 추적하는데 유용하다고 거론된 바 있다 (이은식 등, 2003; 임춘화 등, 2007; Sharma et al., 1999; 김원태 등, 2009).

FDP는 소변 내 fibrin degradation factor를 단세포 항체를 이용하여 면역반응으로 측정하는 검사법이다. 방광암은 VEGFs(vascular endothelial growth factors)를 분비하여 혈관신생(neovascularization)을 하는데, VEGFs는 또한 소변 내 FDP의 농도를 올리는 역할을 하기도 한다. FDP 검사는 빠르고 간단하며, 표재성 및 침윤성 방광암에서 요세포 검사보다 월등한 민감도를 나타낸다고 보고되기도 하였다. 하지만 이는 요세포 검사 자체의 민감도가 워낙 낮기

때문에 상대적으로 높게 나타난 것이지, FDP의 민감도와 특이도 역시 BTA, NMP22와 비슷한 수준(민감도: 52~81%, 특이도: 75~91%)으로 보고된 바 있다 (이은식 등, 2003; Schmetter et al., 1997).

이상을 요약하자면 전반적으로 BTA, NMP22, FDP를 이용한 검사방법들은 요세포검사에 비해 낮은 특이도와 높은 위양성 반응률로 인해, 방광암의 선별 검사로는 부적합한 것으로 보인다. 단, 방광암으로 진단된 환자에서 추적검사 시 방광경 검사와 요세포검사에 더하여 보조적인 방법으로 사용한다면 재발여부에 대한 진단율을 상승시킬 수 있을 것으로 사료된다.

그 외 진단하기 위해 사용하는 영상학적 검사들과 cystoscopy는 추천되지 않는데 그 이유는 해로움이 있고, 비용이 비싸며 무증상자에서 유병률이 낮기 때문이다. cystoscopy는 방광암을 진단하는데 gold standard이지만, 침습적인 방법이고 리스크가 있으며, 비용이 비싸기 때문에 스크리닝으로 실제적으로 시행하기 어렵다. CT, MRI를 이용한 virtual cystoscopy 방법이 있을 수 있는데 방사선의 위험, 비용측면에서 보편적인 스크리닝으로 사용하기에는 한계가 있다.

결론적으로 일반 인구집단에서는 방광암에 대한 스크리닝은 추천되지 않는다 (USPSTF, American Academy of Family Physicians, NCI, ICUD-EAU, American Cancer Society). 고위험군(흡연력 또는 발암물질 노출 직업군)에 대해서도 스크리닝이 생존에 득이 된다는 근거는 없지만, 고위험군에 대해서 매년 urinalysis와 cytology는 비교적 간단한 과정이기 때문에 시행할 수 있다.

(3) 현행 폐암 및 방광암 관련 유해인자와 특수건강진단

- 가) 국제암연구소(IARC)과 특수건강진단에서 제시하는 폐암 및 방광암 관련 유해인자

<표 III-24> IARC과 현행 특수건강진단에서 제시하고 있는 폐암 및 방광암 위험 인자

	Carcinogenic agents with sufficient evidence in humans	Agents with limited evidence in humans	특수건강진단
Lung	Acheson process, occupational exposures associated with Aluminium production	Acid mists, strong inorganic	콜타르
	Arsenic and inorganic arsenic compounds	Art glass, glass containers and pressed ware (manufacture of)	클로로메틸메탈에테르
	Asbestos (all forms)	Benzene	bis-클로로메탈에테르(클로로에테르)
	Beryllium and beryllium compounds	Biomass fuel (primarily wood), indoor emissions from household combustion of	니켈과 그 화합물
	Bis(chloromethyl)ether; chloromethyl methyl ether (technical grade)	Bitumens, occupational exposure to oxidized bitumens and their emissions during roofing	비소 및 그 무기화합물
	Cadmium and cadmium compounds	Bitumens, occupational exposure to hard bitumens and their	카드뮴과 그 화합물
	Chromium(VI) compounds		크롬과 그 화합물
	Coal, indoor emissions from household combustion		크롬산아연
	Coal gasification		o-톨리딘과 그 염
			베릴륨

	<p>Coal-tar pitch</p> <p>Coke production</p> <p>Engine exhaust, diesel</p> <p>Hematite mining (underground) Iron and steel founding</p> <p>MOPP (vincristine-prednisone-nitrogen mustard-procarbazine mixture)</p> <p>Nickel compounds</p>	<p>emissions during mastic asphalt work</p> <p>Carbon electrode manufacture</p> <p>alpha-Chlorinated toluenes and benzoyl chloride (combined exposures)</p> <p>Cobalt metal with tungsten carbide</p> <p>Creosotes</p>	<p>크롬광</p> <p>휘발성 콜타르 피치(코크스 제조 또는 취급 업무)</p> <p>황화니켈</p> <p>벤조트리클로라이드</p> <p>광물성 분진</p> <p>석면분진</p>
Bladder	<p>Aluminium production</p> <p>4-Aminobiphenyl</p> <p>Arsenic and inorganic arsenic compounds</p> <p>Auramine production</p> <p>Benzidine</p> <p>Chlornaphazine</p> <p>Cyclophosphamide</p>	<p>4-Chloro-ortho-toluidine</p> <p>Coal-tar pitch</p> <p>Dry cleaning</p> <p>Engine exhaust, diesel</p> <p>Hairdressers and barbers, occupational exposure</p>	<p>베타-나프틸아민</p> <p>마젠타</p> <p>벤지딘과 그 염</p> <p>아우라민</p> <p>콜타르</p> <p>디클로로벤지딘과 그 염</p>

Magenta production		
2-Naphthylamine	2-Mercaptobenzothiazole	알파-나프틸아민과 그 염
Painting	Pioglitazone	
Rubber production industry	Printing processes	디아니시딘과 그 염
Schistosoma haematobium	Soot	휘발성 콜타르 피치(코크스 제조 또는 취급 업무)
Tobacco smoking	Tetrachloroethylene	
ortho-Toluidine	Textile manufacturing	
X-radiation, gamma-radiation		

나) 특수건강진단에서 1,2차 검사방법

<표 III-25> 현행 특수건강진단에서 실시하고 있는 폐암 및 방광암 검사방법

	1차	2차
폐암	청진 흉부방사선(후전면)	흉부방사선(측면) 흉부 전산화 단층촬영 객담세포검사
방광암	소변검사 10종, 소변세포병리검사(아침 첫 소변 채취)	단백뇨정량 크레아티닌 요소질소 비뇨기과 진료

4. 디젤엔진배출물 건강진단 비용-편익 분석(LDCT 중심)

1) 폐암 선별검사의 비용-효용 분석 문헌검토

(1) 위험도 분류에 따른 폐암 검진의 비용-효용 분석(Kumar 등, 2018)

가) 연구방법

- NLST 자료를 Multi-state prediction model을 이용하여 분석
- 폐암 검진을 받을 수 있는 현재 및 이전 흡연자를 대상으로 함.
- Multi-state prediction model을 통해 4가지 그룹(암 없이 생존 / 폐암 진단 및 생존 / 다른 이유로 사망 / 폐암으로 사망)의 위험도와 위험 요소의 영향에 대해 추정하였고 이를 토대로 개개인의 4가지 상태의 가능성을 계산하여 위험도를 산정
- 효과 : X-ray에 비해 LDCT를 이용한 선별검사로 얻을 수 있는 건강 결과를 개개인에서 측정함. 건강 결과는 수명과 quality-adjusted life expectancy를 포함함. 이러한 결과를 통해 quality-adjusted life years(QALYs)를 컴퓨터로 계산함.
- 비용: 비용에는 개인의 선별검사, 선별검사에서 양성으로 나온 이후의 진단과 치료에 드는 의료비, 나이를 보정한 기본 의료비를 포함함.
- 분석: 비용-효용 분석은 Chest X-ray와 비교한 LDCT의 효용을 incremental cost effectiveness ratios(ICER)을 통하여 구함. QALY와 비용의 할인율은 3%로 계산함.

나) 연구결과

- LDCT를 이용한 폐암 검진은 1만 인년당 1.2(low risk)에서 9.5(high risk)의 사망을 예방할 수 있음
- 위험도가 증가함에 따라 QALYs(Quality Adjusted Life Years)나 LYGs(Life Years Gained)가 증가하게 됨 (QALYs: 0.011~0.028, LYGs: 0.015~0.056)
- LDCT를 이용한 검진은 Chest X-ray와 비교했을 때 1년에 1,089 달러가 들며, 점증적 비용 효과비(Incremental cost-effectiveness ratio)로 보았을 때 37,000달러/LYG 혹은 60,000달러/QALY로 나타남
- 위험도 분류에 따르면 저위험군에서 점증적 비용 효과비가 75,000달러/QALY인 반면 고위험군에서 53,000달러/QALY임
- 모든 위험도에서 100,000달러/QALY의 기준을 넘지 않으므로 이 기준으로 따졌을 때 모든 환자들은 LDCT를 이용한 검진이 비용-효용적임.

(2) LDCT를 이용한 폐암 검진의 비용-효용에 대한 체계적 문헌고찰(Puggina 등, 2015)

가) 연구방법

- LDCT를 이용한 폐암 검진의 효용성에 대한 논란이 있어 체계적 문헌 고찰을 통한 비용-효용을 추정하기 위함
- MEDLINE, ISI Web of Science, Cochrane의 database에서 2015년 3월 31일까지의 문헌을 고찰
- (‘screening for lung cancer’ OR ‘lung cancer screening’) and (‘low-dose computed tomography’ OR ‘computed tomography’) and { (‘economic evaluation’ OR ‘health technology assessment’) OR (‘cost’ AND (‘effectiveness’ OR ‘benefit’ OR ‘utility’ OR ‘consequence’)) } 를 조건으로 문헌 검색

○ 문헌의 조건은 비용-효용 분석 논문이어야 하고, 폐암 고위험군을 대상으로 한 LDCT 검사와 이외 검사를 비교한 논문이어야 하며, 결과가 QALYs(Quality Adjusted Life Years)나 LYGs(Life Years Gained)로 나타나야 함.

나) 연구결과

○ 9개의 문헌 중 7개의 문헌에서 점증적 비용 효과비(Incremental cost-effectiveness ratio)가 100,000 달러 / QALY 미만임.

(3) 미국에서 폐암에 대한 CT 선별검사의 비용-효과(McMahon 등, 2011)

가) 연구방법

○ LCPM (Lung Cancer Policy Model)을 사용하여 미국에서 폐암의 CT 선별검사의 비용-효과 추정

○ 효과: 선별검사 프로그램 (CT의 민감도, 선별검사 빈도, 선별검사의 적격성)의 특징을 선별검사의 효과를 추정하는데 사용함.

○ 선별검사의 불이익: 수술 사망률, 추적검사 비용, 선별검사와 추적 CT검사로 인한 방사선 노출로 발생하는 폐암 발생위험

○ 비용

- 진단, 병기, 치료 비용을 의료보호(medicare) 비용으로 추정

- 진단검사 비용은 2006년 의료보호 청구비용으로 추정

- 환자별 월별 비용은 SEER-의료보호 연결 자료를 사용해서 진단 전, 초기(진단 후 30일~7개월), 연속기와 말기로 나누어 병기, 조직학적 소견(NSCLC, SCLC), 치료(수술, 방사선, 항암)로 층화하여 계산

- 환자 시간 비용: 진단, 치료, 2006년 미국 근로자의 연령별 평균 임금 적

용

- 간병인의 시간 비용: 환자 시간비용과 동일한 방법으로 계산

○ 삶의 질(QOL: quality of life): 성별 연령별 층화해서 비폐암 환자의 기본 QOL을 기준으로 EQ-5D같은 방법으로 측정함.

○ 분석 : QALY (Quality-adjusted life-years)와 비용의 할인율을 매년 3%로 계산. 점증적 비용-효과비 (Incremental cost-effectiveness ratio : 이후 ICER)는 2006년 미국 달러/QALY로 계산.

나) 연구결과

○ 20갑년 이상 흡연자로 선별검사를 받는 사람당 1회당 건강관리 비용은 1,778-3,637 달러이고 0.009-0.002 QALYs의 이득이 있음. (144,000 - 207,000 달러/QALY) 할인율이 없으면 7-16일의 이득이 있음. 1회 선별검사로 폐암에 의한 사망률이 선별검사를 안 받는 사람에 비해 5.02-7.52% 감소함.

○ 최소 20갑년 이상 사용자에게 대해 매년 선별검사를 하면 폐암에 의한 사망률이 10년에 17.98 - 25.16% 감소하고 비용은 126,000-169,000 달러/QALY. 추적 CT검사의 방사선량이 58mGy일 때 방사선 노출에 의한 폐암의 위험을 포함하면 사망률 감소가 더 적고 비용은 더 많아 133,000 - 203,000달러/QALY. 추적검사에서 방사선 노출이 없으면 121,000-160,000 달러/QALY, 방사선 노출이 있으면 127,000-160,000 달러/QALY, 선별검사를 40갑년 이상 흡연, 현재 흡연자 혹은 현재흡연자와 최근 금연자로 제한하면 110,000-166,000 달러/QALY

○ 50세에서 흡연 중단율이 3%이면 남자 149,000달러/QALY, 여자 137,000 달러/QALY. 6%까지 적용하면 남자는 73,000달러/QALY, 여자는 40,000달러/QALY, 중단율이 4%이면 남자 105,000달러/QALY, 여자 97,000달러/QALY.

(4) 폐암 선별검사의 비용-효용 (Villanti 등, 2013)

가) 연구방법

- 의료비용 및 선별검사 비용은 의료보호 지불비용으로 계산
- 2012년을 기준으로 최소 30갑년의 흡연력이 있는 50-64세의 현재 흡연자와 이전 흡연자의 50%를 대상자로 선정
 - 선별검사에 적합한 사람의 2/3가 현재흡연자이고 1/3이 이전 흡연자
 - 암치료비용은 Truven Marketscan이라는 대규모 치료비 지급 데이터베이스 자료 활용, 비용에는 모든 병원, 의원, 대체의학 및 약제비 포함
 - 치료비 계산을 위해 임상 병기를 IA, IB를 A, IIA, IIB & IIIA를 B, IIIB & IV를 C로 구분
 - A, B, C 병기는 SEER (Surveillance, Epidemiology, and End Results)의 A 국한(localized), B 국소(regional), C 원격 (distant) 분류에 해당함
 - 폐암 선별검사, 치료 및 금연 프로그램 비용 계산

<표 III-26> 폐암 선별검사 모델에서 입력 변수 (Villanti 등, 2013)

변수	민감도 분석	
비용	추정 기본 비용 (미국달러)	
폐암 선별검사		
LD CT	210	125%, 150%
진단 첫째 폐암치료		
A 병기	82,087	
B 병기	132,464	
C 병기	142,750	
생존 확률	%	
매년 추정 생존율		
남자, 현재흡연자	45.7	± 5%
남자, 과거흡연자	63.0	
남자, 비흡연자	68.0	
여자, 현재흡연자	64.6	
여자, 과거흡연자	69.6	
여자, 비흡연자	82.8	
폐암 생존율		
남자, A병기	90.4-96.6	
남자, B병기	71.8-89.9	
남자, C병기	26.3-73.7	
여자, A병기	92.1-97.4	
여자, B병기	71.8-89.9	
여자, C병기	27.4-76.0	
폐암 확률	%	
현재 상황		
A병기	17.4	
B병기	14.6	
C병기	68.0	
폐암 선별검사	뉴욕 ELCAP	NLST
A병기	79.3	63.0
B병기	16.2	16.5
C병기	4.5	20.5
질보정생존년수 (QALY)	효용 가중치	
일반인구집단에서 연령별 효용		
남자, 50-59세	0.819	± 10%
남자, 60-69세	0.803	± 10%
남자, 70-79세	0.770	± 10%
남자, 80-89세	0.742	± 10%
여자, 50-59세	0.788	± 10%
여자, 60-69세	0.784	± 10%
여자, 70-79세	0.748	± 10%
여자, 80-89세	0.700	± 10%
폐암 환자의 효용 가중치		
A병기	0.823	± 10%
B병기	0.772	± 10%
C병기	0.573	± 10%

ELCAP, Early Lung Cancer Action Project; NLST, National Lung Screening Trial; QALY, quality-adjusted life year

나) 연구결과

○ 선별 검사와 치료비용 : 1,800만 명의 고위험 집단에서 15년간 매년 반복적으로 LDCT 선별검사를 할 경우 비용-효용이 뉴욕 ELCAP (Early Lung Cancer Action Project) 병기 이동에 의하면 278억 달러, NLST병기 이동에 의해 341억 달러

○ QALY 당 절약되는 비용: ELCAP 기본 28,240 달러, NLST 47,115 달러

○ 고위험 군에서 폐암 선별검사를 위해 매년 LDCT를 촬영하는 것은 비용-효과가 매우 높음.

2) 폐암 선별검사 방법에 대한 각 국가의 권고

(1) 미국 USPSTF (2014)

○ 선별검사 대상 집단: 30갑년 이상의 흡연력이 있고, 현재 담배를 피거나 담배를 끊은 지 15년이 안 된 55-80세 무증상 성인

○ 권고: 매년 저선량 CT (computed tomography)로 매년 검사, 담배를 끊은 지 15년이 지난 사람에 대해서는 선별검사를 중단 (Grade B)

○ 위험도 평가: 나이, 전체 누적 흡연 노출량, 금연 이후 지난 기간이 폐암의 가장 중요한 위험인자. 다른 위험인자는 특정 직업적 노출, 라돈 노출, 가족력, 폐섬유화나 만성 폐쇄성 폐질환의 과거력이 포함됨.

○ 선별검사 방법: 저선량 CT가 고위험군에서 폐암을 찾기 위해 민감도가 높고 특이도가 수용가능한 수준이고, 폐암에 대해 현재 유일하게 권고되는 선별검사 방법임.

○ 치료: 비소세포암은 수술적 치료가 가능할 때는 수술적 치료와 방사선, 항암 치료를 함.

○ 이득과 위험의 균형: 폐암에 대한 선별검사로 저선량 CT촬영 시 나이,

누적 흡연 노출량, 금연 후 지난 기간에 따라 폐암의 위험이 높은 무증상자에게는 중등도의 이득이 있음.

(2) 호주 RACGP (2009)

- 폐암에 대한 선별검사로 흉부 CT는 민감도는 좋지만 특이도가 나쁨.
- 흡연자에서 한 개의 무작위 대조시험(Randomized controlled trial, RCT)에서 CT 검사에서 사망률이 20% 감소하는 것으로 나타남.
- 저선량 CT 선별검사는 폐암 위험이 큰 사람에서는 이득이 있지만, 선별검사의 잠재적 위험과 결과를 일반화하는데 대해 불확실성이 있음.
- 매회 선별검사서 개인에게 추적 검사의 필요성에 대해 약 20%의 긍정적 효과가 있지만 약 1%가 폐암이 발생함.
- 결론적으로 폐암의 선별검사법에 대한 RACGP의 평가는 결정하지 못함 (Indeterminate value).

(3) 한국의 폐암 검진 권고안 (2018)

- 30갑년 이상의 흡연력을 가진 55세-74세의 고위험군(금연 후 15년 이상인 과거흡연자는 제외)을 대상으로 매년 시행 (권고등급 B)
- 미국에서 시행한 양질의 근거를 가진 대규모 단일 무작위배정 비교임상 시험 결과, 30년 이상 흡연력을 가진 고위험군을 대상으로 저선량 흉부 CT를 이용한 폐암 검진은 단순 흉부 X선을 이용한 대조군과 비교 시 폐암특이사망률을 약 20%, 전체사망률을 약 7% 감소시킴
- 저선량 흉부 CT를 이용한 폐암검진은 발견된 결절을 양성으로 판정하는 기준에 따라 차이가 있지만, 양성률(비석회화 결절 발견율)이 20-53%로 높아 이차적 진단에 대한 부담이 있음. 검사 양성자(비석회화 결절 발견자) 중 일부

는 침습적 진단검사를 받는 중 합병증이 발생할 수 있음. 또한, 저선량 흉부 CT의 반복적인 촬영에 의한 방사선 피폭은 암을 유발할 수도 있음.

○ 검진으로 인한 손해보다는 이득이 중증도로 높다고 평가되므로 매년 LDCT를 이용한 폐암 선별검사를 시행할 것을 권고함.

3) 연령별 디젤엔진배출물 노출자 분포

한국에서 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자들의 정확한 규모를 파악하기 위한 실태조사는 이루어진 적이 없어, 그 숫자는 간접적인 자료들을 바탕으로 추정을 할 수밖에 없다. 한국에서 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자를 추정한 자료는 최상준 등(2016)의 연구이다. 추정을 위해 다음과 같은 과정을 거쳤다.

① 노출되는 노동자 숫자를 추정하기 위해 EU 15개국의 carcinogen exposure(CAREX) 시스템을 이용하였다. CAREX를 이용하여 디젤엔진배출물 노출 가능성이 있는 49개의 산업들을 선별하였고, 국제산업표준코드(International standard industrial code) 개정 2판에 따른 이들 산업 분류를 8차 및 9차 한국표준산업분류에 따라 2자리의 중분류 또는 3자리의 소분류로 변환하였다.

② 각 산업별 종사자수 정보는 통계청에서 실시하는 사업체 기초통계조사의 1993년부터 2013년까지의 자료를 이용하였다.

③ EU 15개국의 CAREX 시스템에서 각 산업별 디젤엔진배출물 노출 분율의 평균값에 산업별 종사자수를 곱하여 각 산업별 디젤엔진배출물 노출 추정치를 구하였다.

<표 III-27> 1993년부터 2013년까지 산업별 디젤엔진배출물 노출 노동자수

Industry	Industry code ¹⁾			Reference countries ²⁾	Primary prevalence rate ³⁾ , %	DEE exposure estimates by year					
	ISIC Rev.2	KSIC Rev.8	KSIC Rev.9			1993	1997	2001	2005	2009	2013
Land transport	711	60	49	FIN, USA	23.6	89,162	124,061	144,185	148,672	172,773	174,359
Personal and household services	95	92, 93, 95	95, 96	FIN	10.0	40,258	45,441	51,216	55,876	61,544	70,298
Construction	5	45, 46	41, 42	FIN, USA, FRA	4.4	28,661	42,407	27,692	34,153	39,174	45,555
Wholesale and retail trade and restaurants and hotels	6	50, 51, 52, 55	45, 46, 47, 55, 56	FIN, FRA	0.90	30,485	34,886	37,367	37,369	39,603	44,005
Sanity and similar services	92	90, 759	37, 38, 39, 742	FIN, USA, ITA	6.7	5,898	8,094	10,794	16,569	9,735	12,584
Services allied to transport	719	631, 632, 633	521, 752	FIN, USA	8.2	5,382	6,077	6,620	8,124	6,712	7,914
Other mining	29	12	07	FIN	50.0	11,894	9,427	6,887	6,661	6,581	6,096
Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment	381	28	251, 259	FIN, USA	1.3	3,289	3,295	3,602	4,366	4,804	5,606
Manufacture of other non-metallic mineral products	369	263, 269	233, 239	FIN, USA	8.6	8,261	7,419	6,001	5,279	5,032	5,299

Manufacture of plastic products not elsewhere classified	356	252	222	USA, FRA	2.3	2,416	2,374	3,257	4,000	4,074	4,948
Water transport	712	61	50	FIN, USA	19.1	3,389	3,030	3,181	3,030	4,446	3,678
Public administration and defence	91	76	84	FIN, ITA	0.48	2,417	2,800	2,524	2,570	3,143	3,075
Manufacture of transport equipment	384	34, 35	30, 31	FIN, USA	0.56	2,088	1,974	1,902	2,098	2,362	2,889
Iron and steel basic industries	371	271, 273	241, 243	FIN, USA	2.0	2,591	1,771	1,835	1,882	1,995	2,370
Food manufacturing	311-312	151, 152, 153, 154	10	FIN, USA, FRA	0.80	2,314	2,222	2,240	2,215	2,101	2,288
Manufacture of machinery except electrical	382	291, 292, 293, 300	263, 29	FIN, USA	0.46	1,510	1,369	1,605	1,668	1,626	1,980
Air transport	713	62	51	USA	7.1	2,127	455	970	1,037	1,234	1,939
Manufacture of electrical machinery apparatus, appliances and supplies	383	295, 31, 32	26, 28	FIN, USA	0.25	1,230	1,174	1,305	1,537	1,422	1,671
Forestry and logging	12	02	02	DEN, FRA	23.5	122	309	453	751	876	1,478
Water works and supply	42	41	36	USA	9.1	395	835	1,194	1,378	1,334	1,436
Communication	72	64	61	USA	1.4	1,028	1,229	2,019	1,892	1,353	1,337
Non-ferrous metal basic industries	372	272, 273	242, 243	USA	3.4	1,255	1,138	1,143	1,062	1,105	1,332
Agriculture and hunting	11	01	01	DEN, FRA	5.5	356	1,303	1,294	1,257	1,149	1,268
Manufacture of pottery, china and earthenware	361	262	232	FRA, ITA	7.1	2,899	1,959	1,657	1,305	1,140	1,184

Fishing	13	05	03	FRA, ITA	21.4	4,104	7,509	2,164	1,343	1,023	1,118
Manufacture of wood and wood and cork products, except furniture	331	20	16	FIN, USA	3.0	1,871	1,436	1,325	1,232	1,028	1,066
Electricity, gas and steam	41	40	35	USA, FRA	1.8	624	735	830	929	961	952
Manufacture of industrial chemicals	351	241, 244	201, 202, 203, 205	FIN, USA	1.2	1,117	1,027	945	854	769	932
Manufacture of other chemical products	352	242, 243, 294	204, 21, 252	USA	0.8	955	911	912	845	750	894
Beverage industries	313	155	11	FIN, USA	5.3	1,968	1,183	1,278	1,041	843	872
Manufacture of rubber products	355	251	221	FRA, ITA, NET	1.6	826	622	661	733	688	849
Manufacture of textiles	321	17	13	USA	0.6	2,237	1,508	1,480	1,050	772	833
Medical, dental, other health and veterinary services	933	85	86, 731	USA, ITA	0.1	234	309	385	487	624	768
Manufacture of paper and paper products	341	21	17	FIN, USA	1.0	777	709	702	657	615	708
Education services	921	80	85	FRA	0.04	282	347	437	519	591	649
Printing, publishing and allied industries	342	22	18, 58	USA	0.17	255	234	239	231	419	484
Petroleum refineries	353	232	192	USA	4.6	661	738	462	445	482	455
Manufacture of wearing apparel, except footwear	322	18	14	FIN, USA	0.29	979	609	563	434	418	418
Other manufacturing industries	39	369	33	USA	0.55	614	483	465	394	323	352
Manufacture of furniture and fixtures, except	332	361	32	USA	0.35	222	203	216	221	215	235

primarily of metal											
Metal ore mining	23	11	06	FIN	52.6	1,324	372	162	118	128	213
Manufacture of professional and scientific, and measuring and controlling equipment not elsewhere classified	385	33	27	USA	0.18	98	106	118	127	140	193
Manufacture of leather and products of leather, leather substitutes and fur, except footwear and wearing apparel	323	191, 192	151	FRA, ITA	1.1	374	282	253	167	128	181
Manufacture of footwear, except vulcanized or moulded rubber or plastic footwear	324	193	152	FRA, ITA	0.55	504	243	216	127	107	107
Manufacture of glass and glass products	362	261	231	FIN, USA	0.24	74	61	57	67	72	72
Coal mining	21	101	051	FRA	1.8	471	191	126	98	67	49
Manufacture of miscellaneous products of petroleum and coal	354	231	191	USA	3.4	10	4	2	0	28	33
Crude petroleum and natural gas production	22	102	052	USA	14.1	0	0	1	76	12	9
Tobacco manufactures	314	16	12	FIN, USA	0.12	8	6	3	4	3	2
Total DEE industries						270,014	324,873	334,947	356,947	386,522	417,034

1) ISIC; International Standard Industrial Classification, KSIC; Korea Standard Industry Code

2) DEN; Denmark, FIN; Finland, FRA; France, ITA; Italy, NET; Netherland, USA; The United States of America

3) Primary prevalence rate was presented as the mean value of reference countries

비용-편익 분석을 위해서는 연령별로 디젤엔진배출물 노출 노동자수를 산출해야 한다. 이를 위해 다음과 같은 과정을 거쳤다.

① 최상준 등(2016)의 연구에서 2013년 한국 디젤엔진배출물 노출 노동자 추정치를 이용하였다. 49개 산업분류 전체에서 총 417,034명이 노출되는 것으로 추정하였다.

<표 III-28> 2013년 기준 산업별 디젤엔진배출물 노출 노동자수

산업	산업분류 코드	비고	DEE 노출 인구수
Land transport	49	육상운송 및 파이프라인 운송업	174,359
Personal and household services	95,96	수리업, 기타개인서비스업	70,298
Construction	41, 42	종합건설업, 전문직별 공사업	45,555
Wholesale and retail trade and restaurants and hotels	45, 46, 47, 55, 56	자동차 및 부품판매업, 도매 및 상품중개업, 소매업; 자동차 제외, 숙박업, 음식점 및 주점업	44,005
Sanity and similar services	37, 38, 39, 742	하수, 폐수 및 분뇨 처리업, 폐기물 수집운반, 처리 및 원료재생업, 환경 정화 및 복원업, 건물·산업설비 청소 및 방제 서비스업	12,584
Services allied to transport	521, 752	보관 및 창고업, 여행사 및 기타 여행보조 서비스업	7,914
Other mining	07	비금속광물 광업;연료용 제외	6,096
Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment	251, 259	구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업, 기타 금속가공제품 제조업	5,606

Manufacture of other non-metallic mineral products	233, 239	시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품 제조업, 기타 비금속 광물제품 제조업	5,299
Manufacture of plastic products not elsewhere classified	222	플라스틱제품 제조업	4,948
Water transport	50	수상 운송업	3,678
Public administration and defence	84	공공행정, 국방 및 사회보장 행정	3,075
Manufacture of transport equipment	30, 31	자동차 및 트레일러 제조업, 기타 운송장비 제조업	2,889
Iron and steel basic industries	241, 243	1차 철강 제조업, 금속 주조업	2,370
Food manufacturing	10	식료품 제조업	2,288
Manufacture of machinery except electrical	263, 29	컴퓨터 및 주변장치 제조업, 기타 기계 및 장비 제조업	1,980
Air transport	51	항공 운송업	1,939
Manufacture of electrical machinery apparatus, appliances and supplies	26, 28	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 전기장비 제조업	1,671
Forestry and logging	02	임업	1,478
Water works and supply	36	수도사업	1,436
Communication	61	통신업	1,337
Non-ferrous metal basic industries	242, 243	1차 비철금속 제조업, 금속 주조업	1,332
Agriculture and hunting	01	농업	1,268
Manufacture of pottery, china and earthenware	232	도자기 및 기타 요업제품 제조업	1,184
Fishing	03	어업	1,118
Manufacture of wood and wood and cork products, except furniture	16	목재 및 나무제품 제조업;가구제외	1,066

Electricity, gas and steam	35	전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업	952
Manufacture of industrial chemicals	201, 202, 203, 205	기초화학물질 제조업, 비료 및 질소화합물 제조업, 합성고무 및 플라스틱 물질 제조업, 화학섬유 제조업	932
Manufacture of other chemical products	204, 21, 252	기타 화학제품 제조업, 의료용 물질 및 의약품 제조업, 무기 및 총포탄 제조업	894
Beverage industries	11	음료 제조업	872
Manufacture of rubber products	221	고무제품 제조업	849
Manufacture of textiles	13	섬유제품 제조업; 의복제외	833
Medical, dental, other health and veterinary services	86, 731	보건업, 수의업	768
Manufacture of paper and paper products	17	펄프, 종이 및 종이제품 제조업	708
Education services	85	교육 서비스업	649
Printing, publishing and allied industries	18, 58	인쇄 및 기록매체 복제업, 출판업	484
Petroleum refineries	192	석유 정제품 제조업	455
Manufacture of wearing apparel, except footwear	14	의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업	418
Other manufacturing industries	33	기타 제품 제조업	352
Manufacture of furniture and fixtures, except primarily of metal	32	가구 제조업	235
Metal ore mining	06	금속 광업	213
Manufacture of professional and scientific, and measuring	27	의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	193

and controlling equipment not elsewhere classified			
Manufacture of leather and products of leather, leather substitutes and fur, except footwear and wearing apparel	151	가죽, 가방 및 유사제품 제조업	181
Manufacture of footwear, except vulcanized or moulded rubber or plastic footwear	152	신발 및 신발부분품 제조업	107
Manufacture of glass and glass products	231	유리 및 유리제품 제조업	72
Coal mining	051	석탄 광업	49
Manufacture of miscellaneous products of petroleum and coal	191	코크스 및 연탄 제조업	33
Crude petroleum and natural gas production	052	원유 및 천연가스 채굴업	9
Tobacco manufactures	12	담배 제조업	2

② 해당 산업분류의 연령별 노동자수는 2013년 고용보험통계 중 피보험자현황을 이용하였다. 이 통계를 통하여 각 산업별로 5세 단위의 연령별로 피보험자수의 정보를 얻을 수 있었다.

<표 III-29> 2013년 기준 디젤엔진배출물 노출 산업에서 연령별 피보험자 현황

산업분류 코드	비고	18세 미만	18~20 세 미만	20~24 세 이하	25~29 세 이하	30~34 세 이하	35~39 세 이하	40~44 세 이하	45~49 세 이하	50~54 세 이하	55~59 세 이하	60~64 세 이하	65~69 세 이하
49	육상운송 및 파이프라인 운송업	30	344	2,220	6,798	15,731	24,465	46,497	57,451	71,345	63,179	30,415	12,178
95,96	수리업, 기타개인서비스업	179	2,181	10,970	19,056	28,705	27,657	30,171	22,182	19,698	15,003	7,783	3,147
41, 42	종합건설업, 전문직별 공사업	141	1,703	11,329	47,178	92,468	103,970	125,246	97,020	75,611	48,572	22,620	10,676
45, 46, 47, 55, 56	자동차 및 부품판매업, 도매 및 상품중개업, 소매업; 자동차 제외, 숙박업, 음식점 및 주점업	3,633	27,293	130,753	231,933	285,723	231,700	230,070	183,531	141,677	83,939	35,388	15,599
37, 38, 39, 742	하수, 폐수 및 분뇨 처리업, 폐기물 수집운반, 처리 및 원료재생업, 환경 정화 및 복원업, 건물·산업설비 청소 및 방제 서비스업	28	563	4,394	8,496	13,237	14,426	19,505	22,893	33,200	43,330	41,675	31,272
521, 752	보관 및 창고업, 여행사 및 기타 여행보조 서비스업	45	410	3,757	8,546	10,930	7,873	7,200	4,896	3,572	2,354	1,248	620
07	비금속광물 광업;연료용 제외	0	3	50	210	401	633	1,012	1,162	1,393	1,154	642	301
251, 259	구조용 금속제품, 탱크	205	2,041	8,808	24,096	41,990	38,325	41,942	40,039	37,516	22,794	9,421	3,259

	및 증기발생기 제조업, 기타 금속가공제품 제조업												
233, 239	시멘트, 석회, 플라스틱 및 그 제품 제조업, 기타 비금속 광물제품 제조업	18	130	889	3,136	5,866	6,549	7,929	7,847	7,412	5,656	2,653	1,166
222	플라스틱제품 제조업	119	1,283	5,312	14,021	22,140	20,822	22,929	23,114	18,610	9,207	3,503	1,390
50	수상 운송업	6	174	1,235	2,216	2,012	1,490	1,610	1,390	1,837	2,424	1,643	1,070
84	공공행정, 국방 및 사회보장 행정	14	831	7,062	18,127	25,280	26,371	35,376	34,114	34,561	28,031	16,283	8,675
30, 31	자동차 및 트레일러 제조업, 기타 운송장비 제조업	342	4,592	21,613	62,155	99,934	87,895	94,686	91,493	74,189	37,361	9,009	2,315
241, 243	1차 철강 제조업, 금속 주조업	28	274	3,152	11,343	16,710	12,378	13,503	16,012	14,840	10,244	3,003	984
10	식품 제조업	136	2,008	9,102	23,160	29,775	27,753	33,459	33,759	34,427	21,746	8,512	3,606
263, 29	컴퓨터 및 주변장치 제조업, 기타 기계 및 장비 제조업	444	4,605	16,987	49,220	80,099	64,782	61,916	52,709	44,415	23,106	8,809	3,236
51	항공 운송업	0	12	2,084	6,195	6,262	5,026	5,128	3,526	2,345	1,015	311	38
26, 28	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 전기장비 제조업	937	15,454	58,784	135,980	164,046	122,376	101,946	72,345	47,203	18,475	5,894	2,260
02	임업	5	22	278	691	814	820	1,053	1,165	1,384	1,422	1,276	959
36	수도사업	9	77	143	629	1,032	942	1,018	964	1,046	603	52	25
61	통신업	16	149	1,635	7,032	9,147	8,982	14,829	11,403	10,859	3,338	224	109
242, 243	1차 비철금속 제조업, 금속 주조업	20	263	1,221	3,773	6,140	5,417	5,936	6,157	6,307	4,347	2,000	866

01	농업	1	82	393	1,039	1,526	1,743	2,450	2,751	2,995	2,474	1,273	581
232	도자기 및 기타 요업제품 제조업	3	79	391	1,398	2,089	1,821	2,171	2,580	2,964	1,830	749	268
03	어업	7	40	101	211	412	538	1,016	1,450	1,802	1,504	878	461
16	목재 및 나무제품 제조업;가구제외	10	107	685	2,283	3,330	3,445	4,105	4,156	4,520	3,516	1,773	799
35	전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업	24	723	1,148	5,204	9,422	9,380	12,617	10,272	8,244	6,262	671	146
201, 202, 203, 205	기초화학물질 제조업, 비료 및 질소화합물 제조업, 합성고무 및 플라스틱 물질 제조업, 화학섬유 제조업	49	573	3,603	15,258	18,693	15,320	17,588	16,579	13,343	6,759	2,628	1,063
204, 21, 252	기타 화학제품 제조업, 의료용 물질 및 의약품 제조업, 무기 및 총포탄 제조업	85	1,455	8,640	28,114	35,189	26,438	21,184	16,384	12,316	6,319	2,285	1,149
11	음료 제조업	3	93	872	2,950	4,057	3,978	4,344	3,022	2,436	1,233	424	195
221	고무제품 제조업	20	178	1,391	5,175	7,662	6,216	7,453	7,298	6,273	3,440	1,088	362
13	섬유제품 제조업; 의복제외	53	571	2,784	6,186	9,698	11,617	18,199	20,285	19,757	11,668	4,822	1,876
86, 731	보건업, 수의업	110	2,598	75,548	121,520	115,217	82,384	74,010	55,694	37,614	24,948	12,023	5,726
17	펄프, 종이 및 종이제품 제조업	43	390	1,633	4,079	6,812	7,392	9,541	9,069	8,460	4,800	1,770	716
85	교육 서비스업	58	1,007	21,591	59,578	66,434	53,720	62,972	54,141	39,050	19,234	10,057	5,178
18, 58	인쇄 및 기록매체 복제업, 출판업	126	1,664	18,443	73,146	93,139	72,747	59,267	30,797	18,540	8,383	3,091	1,455
192	석유 정제품 제조업	1	27	390	1,912	2,270	1,546	3,262	3,282	1,655	825	158	41
14	의복, 의복액세서리 및	41	501	3,245	7,450	8,691	7,346	9,662	11,135	11,228	6,606	2,424	822

	모피제품 제조업												
33	기타 제품 제조업	32	396	2,498	5,387	8,175	7,423	8,717	7,773	6,380	3,689	1,495	626
32	가구 제조업	19	161	585	1,811	3,131	3,424	4,187	4,184	3,948	2,335	863	225
06	금속 광업	0	2	2	19	28	45	58	52	83	73	54	22
27	의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	100	1,233	5,048	14,593	20,058	15,228	13,953	9,861	6,031	2,690	1,059	495
151	가죽, 가방 및 유사제품 제조업	1	38	253	802	1,054	965	1,367	1,695	1,883	1,197	451	167
152	신발 및 신발부분품 제조업	3	47	423	1,239	1,430	1,246	1,716	2,013	2,522	1,877	754	197
231	유리 및 유리제품 제조업	25	272	1,128	4,045	6,115	4,482	4,546	3,418	2,918	1,353	556	227
051	석탄 광업	0	3	12	31	135	230	429	633	1,032	776	157	7
191	코크스 및 연탄 제조업	0	2	11	34	57	55	82	75	118	145	110	76
052	원유 및 천연가스 채굴업	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
12	담배 제조업	0	17	16	133	332	301	500	320	356	316	6	1

③ 417,034명의 디젤엔진배출물 노출자 중 각 산업이 차지하는 분율을 가중치로 하였다. 예를 들어 ‘육상운송 및 파이프라인 운송업’의 경우 디젤엔진배출물 노출자 숫자가 174,359명으로 총 노출자 중 41.81%를 차지하여, 가중치는 0.4181로 하였다. 단, ‘원유 및 천연가스 채굴업’의 경우 고용보험자료에서는 피보험자수가 0명으로 되어 있어, 이들 산업의 경우에는 ‘코크스 및 연탄 제조업’과 합산하여 가중치를 산출하였다.

④ 각 산업에서 해당 연령대가 차지하는 분율을 구한 후 이를 산업별 가중치와 곱해서 전체 디젤엔진배출물 노출자 중 해당 산업의 해당 연령이 차지하는 비율을 산출하였다. 이렇게 49개 산업별로 구해진 비율을 연령대를 기준으로 모두 합하여 디젤엔진배출물 노출자 중 각 연령대의 비율과 노출자수 추정치를 산출하였다. 그 결과는 다음과 같다.

<표 III-30> 연령별 디젤엔진배출물 노출 인구 추정수

	18세 미만	18~20세 미만	20~24세 이하	25~29세 이하	30~34세 이하	35~39세 이하	40~44세 이하	45~49세 이하	50~54세 이하	55~59세 이하	60~64세 이하	65~69세 이하	70세 이상	총계
연령별 DEE 노출 인구 비율(%)	0.05	0.56	3.01	6.71	10.55	11.14	14.84	14.60	15.47	12.64	6.33	2.81	1.31	100.00
연령별 DEE 노출 인구수	229	2,317	12,534	27,963	43,979	46,457	61,874	60,879	64,530	52,722	26,395	11,705	5,450	417,034

4) 우리나라 폐암 현황

국립암센터 국가암등록사업 연례보고서 2013년부터 2017년까지의 자료를 이용하여 2013년-2017년에 폐암으로 진단된 20세 이상의 성인의 SEER 진단 병기에 따른 5년 생존율을 성별, 연령군별로 계산하였다.

암의 발생 건수는 104,757건이었고, 남자가 73,018건 (69.7%), 여자가 31,739건 (30.3%)이었다. 진단 시 병기는 Localized 22,218건 (21.2%), Regional 27,544건 (26.3%), Distant 46,512건 (44.4%)이었고, 5년 생존율은 전체는 30.2% 이었고 병기가 진행될수록 낮아지는 것으로 나타났다. 성별로는 남자는 5년 생존율이 25.2%, 여자는 41.5% 이었다.

<표 III-31> 2013-2017년 우리나라 폐암의 병기별 발생 현황 및 5년 생존율

진단 시 병기	폐암 발생		발생건수		5년 생존율		
	N	%	남자	여자	남자	여자	전체
Localized	22,218	21.2	13,805	8,413	61.1	81.7	69.0
Regional	27,544	26.3	20,393	7,151	34.1	53.9	39.3
Distant	46,512	44.4	32,927	13,585	5.8	12.1	7.7
Unknown	8,483	8.1	5,893	2,590	18.3	31.5	22.4

정규원 등(2013)은 우리나라 국가 암발생 데이터베이스 자료를 이용하여 2006-2010년에 폐암으로 진단된 20세 이상의 성인의 생존율을 2011년 12월까지 추적하여 SEER 진단 병기에 따라 5년 생존율을 성별, 연령군별로 계산하였다.

진단 시 연령은 20-49세가 5,499건 (6.7%), 50-64세 23,163건 (28.3%), 65-74세 31,139건 (38.0%), 75세 이상이 22,141건 (27.0%)이었다.

<표 III-32> 2006-2010 연령군별 병기별 5년 생존율

진단 시 나이	Localized		Regional		Distant		Unknown		Total
	N	5YSR	N	5YSR	N	5YSR	N	5YSR	5YSR
20-49	1,066	76.6	1,228	48.0	2,666	8.9	599	30.7	32.3
50-64	4,444	64.4	6,551	37.3	9,640	6.8	2,528	25.6	28.4
65-74	5,794	41.4	8,296	24.0	12,432	3.8	4,617	15.1	17.8
≥75	3,729	20.5	4,854	12.4	8,487	2.6	5,077	8.8	9.1

N, 암발생 건수; 5YSR, 5-Year Survival Rate

암발생률, 암사망률을 계산하였다. 2017년 우리나라 남자 폐암의 조발생률은 10만 명당 72.9명이고, 여자는 32.5, 전체는 62.7명이고, 연령표준화 발생률은 남자 42.7명, 여자 15.8명, 전체 27.5명으로 전체 암 중 연령표준화 발생률 (282.8/10만 명)이 갑상선암 (44.5), 위암 (33.3), 유방암 (31.6), 대장암 (30.8) 다음으로 폐암이 높았다. 2018년 사망원인 중 암이 26.5%로 가장 높았고, 암 중에서는 폐암의 사망률이 조사사망률은 10만 명당 34.8명, 연령표준화 사망률은 19.6명으로 가장 높은 것으로 나타났다.

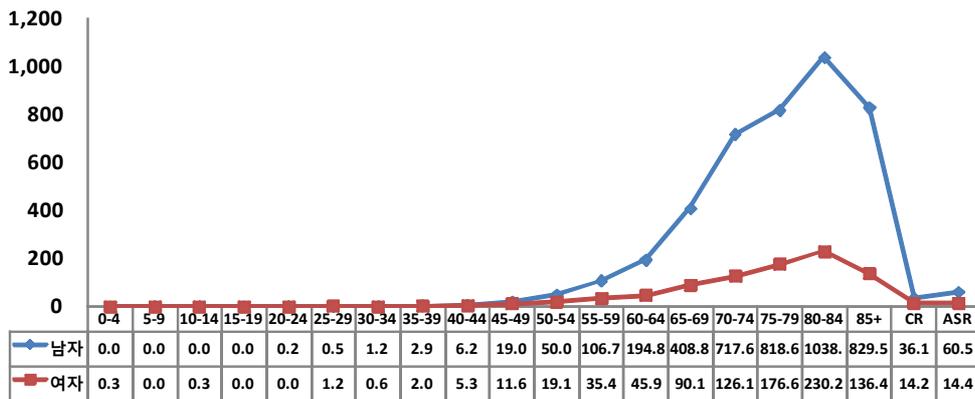
우리나라 남자 폐암 발생 건수 및 발생률은 아래 표와 같다.

<표 III-33> 2017년 우리나라 남자 폐암 발생건수 및 발생률

연령대	발생건수	주민등록연앙인구	10만 명당 암발생률
40대	507	4,376,817	11.6
50대	2,408	4,198,174	57.4
60대	5,525	2,648,477	208.6
70대 이상	10,104	1,909,592	529.1

우리나라 폐암의 연령군별 발생률에 대해 전국 자료는 국가암통계 발표자료에는 구체적인 수치는 없고 그래프만 있어, 1999-2008년 울산시 연령군별 암 발생통계를 보면, 남자의 경우 40세 이후부터 증가하기 시작하여 50세 이후에 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다.

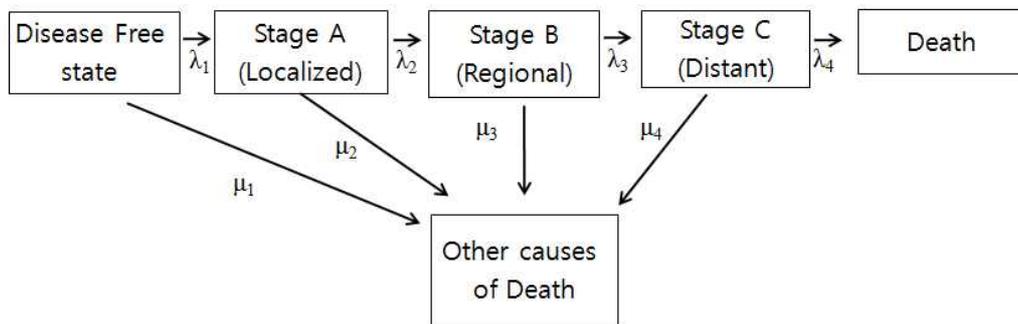
1999-2008년 울산 연령군별 폐암 발생률 (10만명당)



[그림 III-17] 1999-2008년 울산시 성별 연령군별 폐암 발생률 (CR:조발생률, ASR: 연령표준화 발생률)

5) 폐암 위험요인에 의한 비용-편익

폐암의 비용-편익 분석은 이애경 등(2006)의 제2형 당뇨 건강검진 중심으로 건강검진의 비용-효과분석과 동일한 방법으로 하였다. 폐암의 자연경과는 아래와 같다.

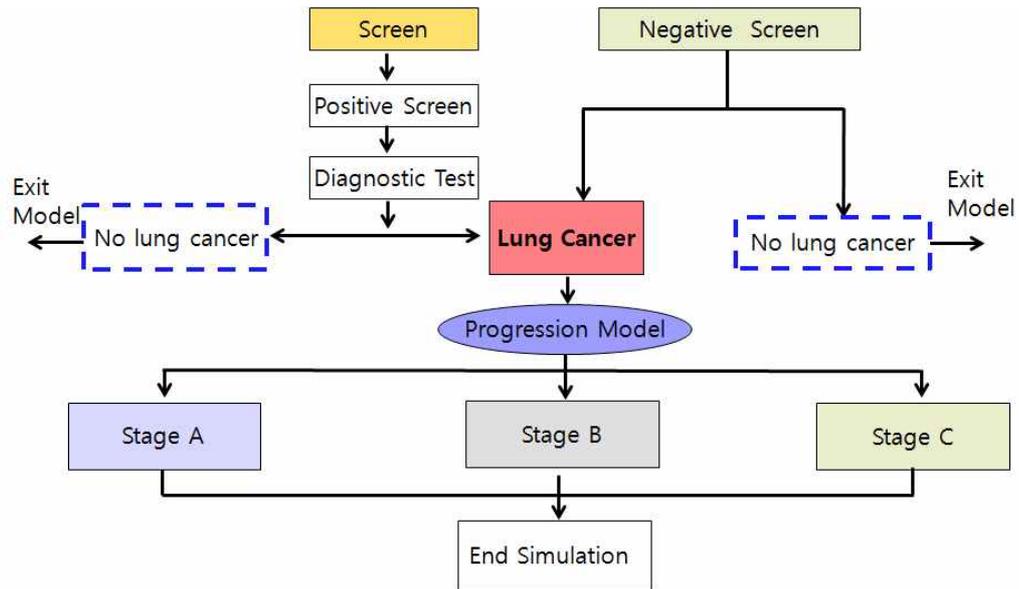


λ_i : 전단계에서 다음 단계로의 발생률

μ_i : 다른 원인으로 사망할 위험률

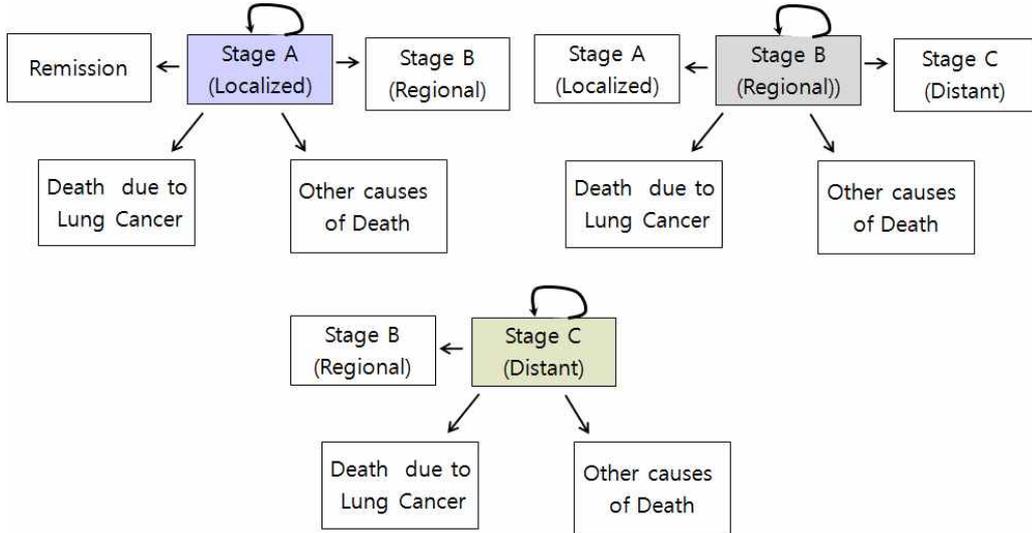
[그림 Ⅲ-18] 폐암의 자연 경과

비용-편익 분석을 위한 Markov Process 모형은 다음과 같이 만들었다.



[그림 III-19] 폐암 선별검사군의 경로 모형

각 병기별 Markov Process Model은 병기가 치료 후 전 단계와 다음 단계, 폐암에 의한 사망, 폐암이 아닌 다른 원인에 의한 사망이 가능한 것으로 가정하였고, 그 모형은 아래 그림과 같다.



[그림 III-20] 각 병기별 Markov Process 모형

(1) 모형 투입 요소 값

가) 발생률에 대한 가정 및 폐암 발견 당시 초기 분포 값

여러 연구결과들을 바탕으로 DEE 노출자의 암발생률이 일반인구 집단의 2배로 가정하고, NLST 연구결과를 바탕으로 LDCT 검사를 시행하는 군의 폐암 발생률이 LDCT 선별검사군과 흉부방사선 선별검사군에서 10만인년당 발생률 645명/10만인년, 572명/10만인년을 바탕으로 LDCT 검진군에 비해 비검진군의 발생률의 비를 1.13배로 하였다.

검진군과 비검진군에서 각 암기별 분포는 NLST결과와 우리나라 2015년 암등록통계 자료를 바탕으로 산정하여, 검진군과 비검진군의 1회 검진 시 폐암의 병기별 발생 건수를 추정하였고, 그 결과는 아래 표와 같다.

<표 III-34> DEE 노출군의 LDCT검진군과 비검진군의 폐암 병기별 발생 건수

폐암 병기		Stage A (Localized)	Stage B (Regional)	Stage C (Distant)	Total
검진군		39.6	23.8	36.6	100.0
비검진군		22.6	29.9	47.5	100.0
검진군	40대	13	8	12	32
	50대	60	36	56	152
	60대	71	43	66	180
	70대 이상	26	16	24	65
	전체	170	102	157	429
비검진군	40대	6	9	14	28
	50대	30	40	64	135
	60대	36	48	76	159
	70대 이상	13	17	27	58
	전체	86	113	180	380

폐암의 병기는 SEER (Surveillance, Epidemiology, and End Results) 병기를 말함

나) LDCT검사의 민감도와 특이도

LDCT 검사의 민감도와 특이도는 NLST의 연구결과값을 이용하였다. 민감도는 0.944, 특이도는 0.726을 사용하였다.

다) 사망률 및 전이 확률에 대한 가정

Markov Process 모형에 투입되는 각 병기별 사망확률은 정상인 경우는 2018년 우리나라 조사망률 10만 명당 582.5명을 적용하여 폐암의 조사망률 34.8을 제외하면 폐암 이외의 원인에 의한 조사망률은 547.7명이다. 각 병기별 사망위험은 Goldberg 등(2010)의 폐암 병기별 사망률과 생존율을 비교한 보험통계적 접근법을 이용한 결과를 사용하였다. SEER 병기별 사망위험은 병기 A (Localized)가 0.065, 병기 B (Regional)가 0.191, 병기 C (Distant)가 0.5이다.

전이확률에 대한 가정은 암발생 위험은 NLST의 결과에서 LDCT 선별검사군에서의 발생률을 선별검사군의 암발생률로 사용하였고, 흉부방사선 선별검사군을 비검진군의 암발생률로 사용하였다. 폐암의 병기별 생존율은 정규원 등(2013)에서 연령을 20-49세, 50-64세, 65-74세, 75세 이상으로 분리하였는데, 본 연구에서는 이를 각각 40-49세, 50-59세, 60-69세, 70세 이상에 적용시켰다.

SEER 병기별 전이확률은 정규원 등(2013)의 우리나라 병기별 암발생 분포와 NLST의 연구의 선별검사 결과 병기별 분포 결과를 사용하였다.

<표 III-35> 폐암의 병기별 생존율 및 발생률, 사망률

폐암 병기	A	B	C	전체
연령군병기별 5년 생존율 (정규원 등, 2011)				
40-49	76.6	48.0	8.9	
50-59	64.4	37.3	6.8	
60-69	41.4	24.0	3.8	
≥70	20.5	12.4	2.6	
남자 폐암 1년 생존율 (Villanti 등, 2013)				
	93.5	80.8	49.5	
비폐암 사망률(%) (NLST, 2011)				
	6.5	19.1	50	
폐암 제외 사망률(%) (통계청 사망자료)				0.548
폐암 사망률(%)		검진군		0.247
(NLST, 2011)		비검진군		0.309

폐암의 상태는 발생 후 5년이 되면 완치되거나 사망하는 것으로 종결되는 것으로 가정하여 전이확률은 5년을 기준 계산하였다. 폐암 상태에 대해 정상, A기, B기, C기, 폐암으로 인한 사망, 폐암 이외의 원인에 의한 사망에 대해 각 상태를 0, 1, 2, 3, 4, 5이라 두고, 처음 폐암의 i ($i=0,1,2,3$) 상태에서 k 년

후 상태의 확률 표현을 P_i^k 라 하면, Markov Process Model의 식은 다음과 같다.

$$P_i^{k+1} = \sum_{j=0}^3 p_{ij} P_j^k, \quad (k = 0, 1, 2, 3, 4, \& p_{02} = p_{03} = p_{13} = p_{20} = p_{30} = p_{31} = 0)$$

이 방정식에서 matrix $[p_{ij}]$ 의 각 p_{ij} 값이 i stage에서 j stage로 전이 확률이 된다.

<표 III-36> 전이확률을 계산하기 위한 Markov process 확률 변수 표현방법

	정상	stage A	Stage B	Stage C	사망	폐암 이외 원인으로 사망
상태변수 index	0	1	2	3	4	5
정상에서 전이	p_{00}	p_{01}	0	0	p_{04}	p_{05}
Stage A에서 전이	p_{10}	p_{11}	p_{12}	0	p_{14}	p_{15}
Stage B에서 전이	0	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}	p_{25}
Stage C에서 전이	0	0	p_{32}	p_{33}	p_{34}	p_{35}

(2) 효과의 추정

효과 추정 변수는 연장된 생존년수 (Life Year Gained: LYG)와 질보정생존년수 (Quality-Adjusted Life Tears: QALY)이다. 건강검진은 질병을 조기에 진단하여 관리할 수 있도록 함으로 그 효과가 평생에 걸쳐서 나타나기 때문에

이를 가장 잘 반영할 수 있는 변수가 LYG와 QALY이다. LYG와 QALY는 폐암 선별검사의 대상인 폐암 유발물질로 본 연구에서 diesel engine exhaust 노출자에 대한 Markov process 모형을 통해 시뮬레이션한 결과로부터 도출된다. 연장된 생존년수 LYG와 질보정생존년수 QALY의 산정방식은 다음과 같다.

○ LYG = 표준 기대여명과 Markov process 모형을 통해 산출된 결과를 고려한 연장된 생존년수

○ QALY = 각 건강상태에 대한 질 가중치 × 증재로 인하여 연장된 생존기간

SEER stage에서 질 가중치는 Sturza(2010)가 제시한 Localized 0.823, Regional 0.772, Distant 0.573을 사용하였다. Sturza(2010)가 제시한 효용 가중치는 PubMed, NHS economic evaluation database, 비용-효과 분석 등록체계를 찾아서 영어로 되어 있는 연구 중 이전에 발표하지 않은 폐암의 효용 값이 포함된 23개의 연구를 메타분석하여 얻은 결과이다.

<표 III-37> 폐암의 병기별 질 가중치

전이 상태	질 가중치
정상	1
Localized	0.823
Regional	0.772
Distant	0.573

(3) 비용의 추정

본 연구에서 폐암의 선별검사에 대한 경제성 평가에 포함되는 비용은 직접 의료비, 직접 비의료비, 기타비용이다. 직접 의료비는 질병치료와 직접적으로 관련된 비용으로 건강검진비와 각 병기별 치료비, 그리고 위양성군에서 발생하는 확진을 위해 추가적으로 소요되는 경비를 고려하였다. 직접 비의료비는 건강검진 및 병기 치료에 따라 필연적으로 따라오는 비용 중 의료비를 제외한 나머지 항목으로 교통비, 간병비, 건강검진과 외래 진료로 인해 발생하는 시간 비용을 고려하였다. 기타비용은 입원 및 외래 진료 중 근로활동을 하지 못함으로써 발생하는 생산성 손실분만을 고려하였다. 모든 비용은 2018년을 기준시점으로 산출하였고 건강검진 시점으로부터 Markov Process를 따라 대상인구가 사망할 때까지 혹은 평균 수명에 도달할 때까지 누적비용을 산출하였다.

가) 직접의료비

○ 폐암 건강검진 비용

폐암 건강검진 비용은 LDCT검사 비용으로 1인당 12만원으로 산정하였다.

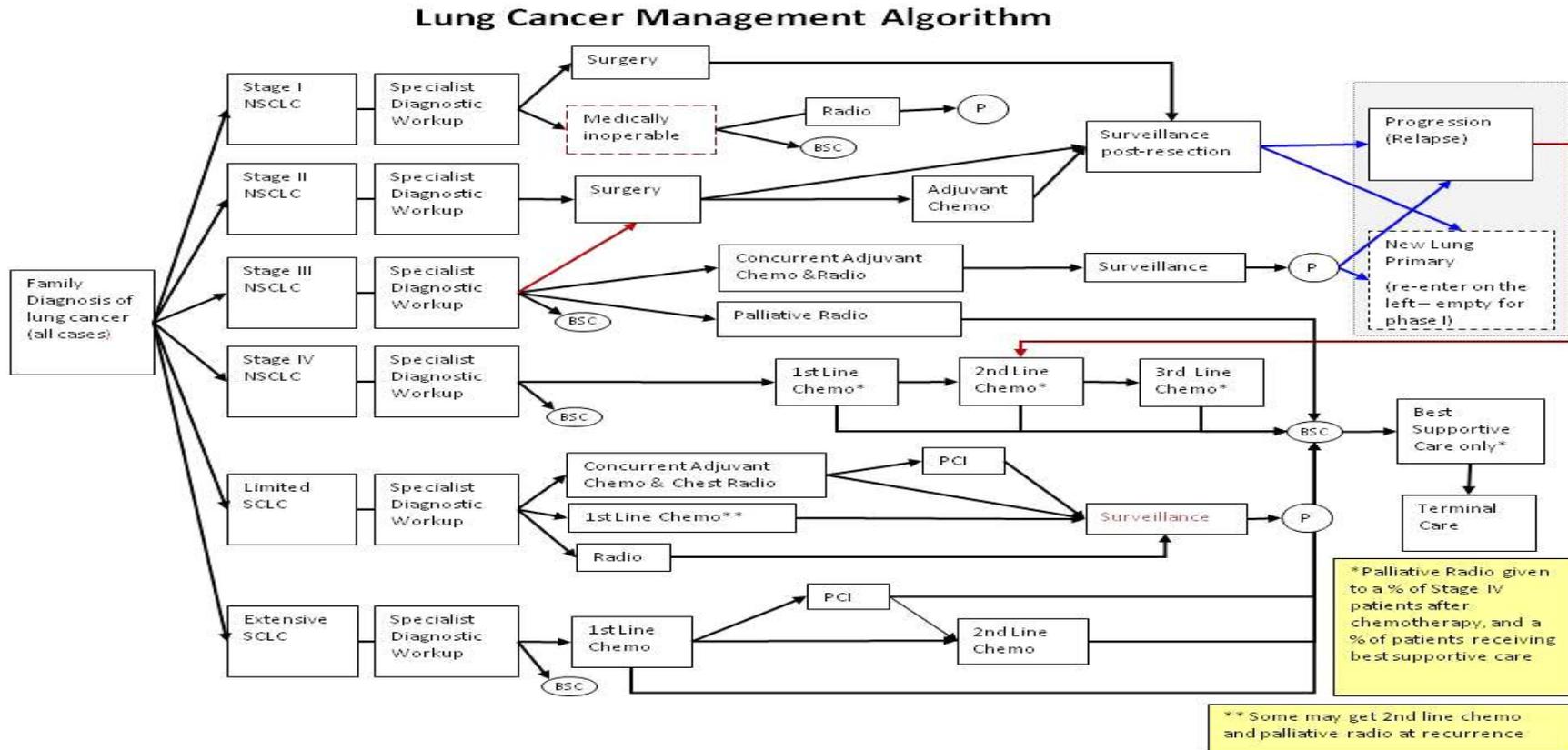
○ 폐암의 병기별 치료비용

폐암의 병기별 치료비용은 아래 캐나다 폐암 관리 알고리즘과 같이 상세하게 구분하여 암 발생자의 병기별 치료비용을 산정하여야 하지만, 자료접근과 수집의 한계로 문헌 고찰을 통해 얻은 자료를 바탕으로 하였다.

Villanti 등(2013)의 미국 병기별 치료비용을 LDCT의 우리나라 비용과 비교하고, Jeon 등(2019)의 우리나라의 2004년부터 2010년에 폐암으로 진단된 7,052명 중 6,131명을 대상으로 조사한 의료비를 참고로 하여 산정하였다.

<표 III-38> 폐암의 의료비용 (단위: US \$, 1\$=1,100원)

항목	Villanti 등(2013)	Jeon 등(2019)	추정 의료비
LDCT	210		109
진단 첫째 치료비			
전체		11,273	
Stage A	82,087		14,303
Stage B	132,464		23,081
Stage C	142,750		24,873
진단 둘째 해		14,608	
진단 셋째 해		16,573	
진단 넷째 해		18,045	
진단 첫 5년 치료비		19,054	



[그림 III-21] 폐암의 관리 알고리즘 (Evans 등)

○ 위양성군의 폐암 확진 비용

위양성군은 선별검사에서 폐암이 의심되어 폐암 확진을 위해 요양기관에 방문한 후 폐암 환자가 아닌 것으로 최종적으로 판명나게 되는 인구집단이다. 이들에 대해서 폐암 확진을 위해 요양기관에서 발생하는 검진비만이 추가적으로 발생한다고 가정하였다.

일반적으로 폐암을 확진하기 위해 조영증강 흉부 CT 촬영 및 필요한 경우 기관지내시경 및 조직검사를 수행하게 된다. 그 비율은 NLST 연구팀이 2011년 NEJM (New England Journal of Medicine)에 발표한 LDCT 선별검사 양성자 중 자료를 바탕으로 하였고 각 검사별 비용은 국민건강보험 보험수가를 기준으로 하였다.

<표 III-39> 폐암 위양성군의 추가검사 항목, 검사자 비율 및 합병증 발생 비율

검사항목	검사비용 (원)	추가검사자 비율(%)	합병증 발생 비율 (%)		
			사망	주요 합병증	중간수준 합병증
조영증강 흉부CT	236,188	97.3	0.0	0.0	0.1
기관지 내시경	115,338	1.3	1.8	0.9	4.0
흉강경검사	609,060	1.0	1.2	5.5	7.9
조직검사	24,288	0.4	0.0	0.0	9.1

나) 직접 비의료비

직접 비의료비용은 진료를 위해 방문에 소요되는 교통비, 간병비, 시간비용을 고려하였다.

○ 교통비

교통비는 건강검진을 받기 위해 실시하는 병원까지의 왕복 교통비용은 현재 산업안전보건공단에서 건강검진 시 제공하는 20,000원을 산정하였다.

○ 간병비

폐암이 발생할 경우 평균 60일 입원하는 것으로 가정하고, 간병인 일당을 현재 급여수준인 80,000원으로 하여 계산하였다.

○ 시간비용

건강검진, 외래 방문 시간으로 인해 발생하는 시간의 손실에 대한 추정은 연령별 소득자료를 이용하였으며 연령별 평균소득은 노동부 자료를 활용하였다. 또한 연령별 근로활동 참여율의 차이를 반영하기 위해 통계청의 경제활동 참가율 자료를 활용하였다. 건강검진 및 외래방문으로 인한 근로시간 손실분은 하루의 절반으로 가정하였다.

$$\text{시간비용 (1인당)} = \text{연령별 일평균 임금} \times \text{연령별 경제활동 참가율} \\ \times \text{연간 외래와 건강검진으로 인한 외래 방문회수}/2$$

<표 III-40> 연령군별 평균 연봉 및 경제활동 참여율

연령군	평균연봉 (만원)	경제활동 참여율 (%) (통계청 연령별 경제활동인구 통계, 2020/07)
40대	4,374	79.1
50대	4,080	77.0
60대	2,418	45.2

다) 기타비용

기타비용으로 고려된 생산성 손실비용은 폐암으로 인한 입원에 의한 생산성 손실비용은 폐암으로 산재요양 신청자의 평균 휴업급여로 하고, 사망에 의한 노동력 상실은 65세까지 근무하는 것으로 가정하고 위의 연령군별 평균 임금과 연령별 경제활동 참가율을 곱하여 계산하였다.

(4) 연구 결과

가) 디젤엔진배출물 노출자 분포

<표 III-41> 40세 이상 DEE 노출 근로자 수 추정

연령군	노출근로자수
40대	122,753
50대	117,252
60대	38,100
70대 이상	5,450
전체	283,555

나) 효과 추정 결과

○ 연장된 수명

현재 DEE 노출자가 대부분 남자이므로 모두 남자라고 가정하고 평균 수명은 84.4세로 하여 연장된 수명을 계산하였다. 건강진단 횟수는 첫 검진자의 완치와 사망 유무가 결정되는 5년을 기준으로 5회로 하여 연구 대상자의 연령이 평균수명인 84.4세에 도달하는 시점을 종결점으로 연장된 수명을 계산하였고 할인율은 5%를 적용하였다.

검진군에서 비검진군에 비해 연장된 수명은 총 514년이고, 전체 검진 인원 283,555명으로 계산하면 1인당 기대 생존 연수를 평균 0.0018년 연장하는 효과

가 있음을 보여주고 있다.

<표 III-42> 연령군별 검진군과 비검진군의 LYG (Life-year gain) 차이

연령	사망자 수		총 LYG		차이
	검진군	비검진군	검진군	비검진군	
40대	3,366	3,369	2,065,325	2,065,277	49
50대	3,364	3,378	1,764,112	1,763,901	211
60대	1,252	1,269	459,481	459,271	209
70세 이상	226	233	42,278	42,233	45
전체	8,194	8,255	4,331,196	4,330,682	514

폐암 건강검진에 따른 폐암 환자의 누적 생존 연수는 검진군에서 비검진군보다 총 3,731년 연장되었고, 1인당은 기대 생존 연수를 평균 1.77년 더 연장하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 III-43> 연령군별 폐암 환자에서 검진군과 비검진군의 총 LYG 차이 (단위: 년)

	암발생 건수		암 사망자 수		총 LYG		차이
	검진군	비검진군	검진군	비검진군	검진	비검진	
40대	159	141	40	45	2,060	1,687	373
50대	751	664	193	208	8,699	7,127	1,571
60대	885	783	227	244	8,304	6,825	1,479
70세이상	318	282	82	88	1,824	1,516	308
전체	2,113	1,870	542	585	20,887	17,156	3,731

○ 증가된 질보정생존년수(QALY) 추정

검진군과 비검진군의 총 QALY는 1,338년, 1인당 QALY은 0.005년 차이가 나고, 폐암 환자에서는 5,070년으로 1인당은 비검진군에 비해 검진군에서 2.1년 삶의 질이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

<표 III-44> 폐암 검진 유무에 따른 QALY 추정 (단위: 년)

		전체 검진대상 인구		폐암환자	
		총 QALY	1인당 QALY	총 QALY	1인당 QALY
검진군	40대	2,122,077	17.287	1,183	7.44
	50대	1,811,072	15.446	4,559	6.07
	60대	469,750	12.329	3,597	4.06
	70대 이상	42,478	7.794	565	1.78
	전체	4,445,376	15.677	9,904	4.69
비검진군	40대	2,121,657	17.284	390	2.77
	50대	1,809,997	15.437	1,913	2.88
	60대	469,672	12.327	2,041	2.61
	70대 이상	42,711	7.837	490	1.74
	전체	4,444,038	15.673	4,834	2.59
효과차이	40대	419	0.003	793	4.67
	50대	1,075	0.009	2,646	3.19
	60대	78	0.002	1,556	1.46
	70대 이상	-233	-0.043	75	0.04
	전체	1,338	0.005	5,070	2.10

다) 비용 추정 결과

건강검진군과 비검진군 간의 비용 추계 결과 검진군에서 전체 총 비용은 더 많이 드는 것으로 나타났고, 이는 암발생률 자체가 비검진군보다 1.13배 높아 발생하는 차이인 것으로 추정된다. 전체적으로 보면 1인당 비용은 검진군에서 비검진군보다 204만 원 더 많이 드는 것으로 나타났다.

<표 III-45> 폐암 선별검사군과 비검진군의 비용 추계 (단위: 만원)

	직접의료비			직접비의료비			총계	1인당 비용	
	폐암검진비	위양성군 폐암 확진비용	병기별 치료비	교통비	간병비	시간비용			기타비용
검진군									
40대	7,283,798	3,363,018	2,032,498	1,497,170	89,088	10,630,298	261,956,835	286,852,704	2,337
50대	6,952,292	3,209,957	9,606,091	1,429,030	421,052	9,224,877	195,025,510	225,868,809	1,926
60대	2,251,899	1,039,729	11,316,379	462,873	496,017	1,039,502	64,999,503	81,605,901	2,142
70대	319,483	147,509	4,072,145	65,669	178,489	0	18,741,224	23,524,519	4,316
전체	16,807,472	7,760,213	27,027,113	3,454,742	1,184,645	20,894,676	540,723,072	617,841,933	2,179
비검진군									
40대			1,948,261		1,544,171		261,334,754	264,827,186	2,157
50대			9,205,392		1,597,000		191,506,224	202,308,616	1,725
60대			10,844,832		752,592		60,101,339	71,698,763	1,882
70대			3,912,372		239,760		16,971,951	21,124,083	3,876
전체			25,910,858		4,133,523		529,985,583	560,029,964	1,975

라) 비용-효과비 추정 결과

경제성 평가 시 의미 있는 비교를 위해 한 대안이 다른 대안에 비해 추가적으로 산출해 내는 효과 또는 편익을 그에 따라 추가적으로 투입되는 비용과 비교해 검토해보는 과정으로 이를 점증적 분석이라고 한다. 이 과정에서 점증적 비용-효과비(Incremental Cost-Effectiveness Ratio: ICER)는 추가적인 한 단위를 얻기 위해 얼마만큼의 비용이 추가로 투입되는지 혹은 감소되는지를 비교한 후, 이 값이 +이면 가장 작은 대안부터 선택하고, -이면 절대값이 가장 큰 값부터 선호하게 된다.

본 연구에서 폐암건강진단을 실시할 경우 1년의 생명연장을 위해 1.55억 원의 비용이 소요되고, 1년을 건강하게 살기위해 4.32억 원의 비용이 드는 것으로 나타났다. 50대에서는 1년의 생명연장에 1억 5천만 원의 비용이 들고 1년을 건강하게 살기 위해 2억 2천만 원 정도의 비용이 드는 것으로 나타났다. LDCT 검사를 하는 것은 비용-효과적이지 않은 것으로 나타났다.

<표 III-46> 폐암 건강진단 유무에 따른 LYG 및 QALY의 점증적 비용-효과비

	총비용 (억원)	총 효과 (LYG, 년)	ICER (억원/ LYG)	효과 (QALY, 년)	ICER (억원/QALY)
40대	2,203	373	5.90	419	5.252
50대	2,356	1,571	1.50	1,075	2.192
60대	991	1,479	0.67	78	12.757
70세 이상	240	308	0.78	-233	-1.029
전체	5,782	3,731	1.55	1,338	4.320

마) 비용-편익 분석의 제한점 및 논의

이번 비용-편익 분석은 디젤엔진배출물 노출에 따른 폐암을 조기진단하기 위한 LDCT의 효용성을 중심으로 실시하였고, 다른 검사항목들의 비용-편익

분석은 실시하지 못하였다. 가장 큰 이유는 비용-편익 분석을 위해서 모형 투입 값들에 대한 정보가 있어야 하는데 폐암을 제외한 다른 건강장애의 경우 해당검사를 실시함으로써 얼마만큼의 효과가 유발될 것인지에 대한 기초정보가 부재하기 때문이다. 이에 이번 비용-편익 분석에서는 LDCT를 통해 폐암을 조기발견함으로써 연장된 수명 및 증가된 질보정생존년수(QALY)가 얼마나 되는지만을 살펴보았다. 이외 다른 검사항목들의 경우 기존 해당 표적장기에 대한 특수건강진단 항목들을 참고하여 제시하는 것으로 하였다.

또한 비용-편익 분석은 여러 가지를 가정하여 발생하는 다음과 같은 문제점들이 있다.

첫째, 연구대상자의 분포를 가정하였다. 우리나라 디젤엔진배출물 노출자의 연령군별, 노출별 상태를 알 수 없으므로 최상준 등(2016)이 추정한 2013년 산업별 디젤엔진배출물 노출자수 추정치를 이용하였으며, 연령군별 분포는 각 산업별 고용보험에 가입되어 있는 피보험자와 분포가 같은 것으로 추정하였다.

둘째, 비용-편익 분석을 위해 모형 투입 값으로 우리나라 자료가 부족하여 암발생률, 암생존율, 사망률에 대한 검진군과 비검진군의 차이 값을 NLST의 자료와 우리나라의 기존 자료를 혼합하여 사용하였다. NLST 암발생률은 고위험군을 대상으로 한 연구로 일반인구 집단에 비해 암 발생률이 10배 정도 크다. 하지만 건강관리수첩 발급 대상자의 폐암 유발 물질에 노출 수준이 일반인구 집단의 폐암 발생에 비해 2배로 가정하여 비용-효과가 낮은 것으로 나타난 것으로 보인다. 또한 연령군별 암발생률 자료를 활용하여야 하나 NLST연구가 55세 이상을 대상으로 한 연구로 연구대상자 전체에 대한 통계만 있고, 연령군별 발생률 자료가 없어 모든 연령군에 동일한 암발생률, 사망률을 적용하였다. 연령군별 생산성 손실비와 LYG가 차이가 많이 나기 때문에 연령군별 자료가 필요하다.

셋째, 폐암의 병기별 치료비용을 수술, 항암, 방사선치료에 따라 세분하여야 하나 구득할 수 있는 자료의 한계가 있어 병기별 자료가 없어 미국의 의료보호

비용을 바탕으로 한 연구에 일정비율을 곱해서 활용하였다. 이에 최근의 비용은 다를 수 있고, 건강보험 미적용 부분의 비용이 누락되어 병기별 치료비가 과소평가 되었을 가능성이 있고, 미국에 비해 우리나라는 병기별 치료비용의 차이가 크지 않아 조기발견에 의한 비용감소 효과가 거의 없었다.

넷째, 생산성 손실비용에서 70세 이상의 경우 노동력 상실에 대한 비용을 무시하여 70세 이상에서 비용이 과소평가되었을 가능성이 있다.

5. 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범사업

1) 설문 및 임상검사 결과

(1) 연령

<표 III-47> 시범사업 참여자 연령

연령대	N (%)
20-24 세	1 (1.0%)
25-29 세	0 (0.0%)
30-34 세	7 (7.0%)
35-39 세	8 (8.0%)
40-44 세	11 (11.0%)
45-49 세	24 (24.0%)
50-54 세	19 (19.0%)
55-59 세	26 (26.0%)
60-64 세	2 (2.0%)
65-69 세	1 (1.0%)
70-74 세	1 (1.0%)

본 연구대상자들의 평균 연령은 49.05세였으며, 최소 연령은 22세, 최고 연령은 73세였다. 연령대는 50대가 45명(45.0%)로 가장 많았고, 40대 35명(35.0%), 30대 15명(15.0%) 순이었다.

(2) 현재 디젤엔진배출물 노출 관련

<표 III-48> 현재 사업장에서 디젤엔진배출물 노출 경력 및 하루 평균 노출시간

현재 사업장 해당 직종 종사기간 (년)	
평균	7.91
표준편차	7.51
중앙값	5.62
최소값	0.17
최대값	40
3년 미만	20 (20.0%)
3년 이상 ~ 5년 미만	24 (24.0%)
5년 이상 ~ 10년 미만	29 (29.0%)
10년 이상 ~ 15년 미만	12 (12.0%)
15년 이상 ~ 20년 미만	7 (7.0%)
20년 이상	8 (8.0%)

현재 사업장 해당 직종 하루 평균 노출 시간 (시간)	
평균	6.46
표준편차	2.75
중앙값	7.00
최소값	0.67
최대값	14
2시간 미만	4 (4.0%)
2시간 이상 ~ 4시간 미만	11 (11.0%)
4시간 이상 ~ 6시간 미만	23 (23.0%)
6시간 이상 ~ 8시간 미만	17 (17.0%)
8시간 이상 ~ 10시간 미만	32 (32.0%)
10시간 이상 ~ 12시간 미만	9 (9.0%)
12시간 이상	3 (3.0%)
결측	1 (1.0%)

연구 대상자들의 현재 사업장 및 직종에 종사한 평균 기간은 7.91년이였다. 최소 종사기간은 2개월, 최장 종사기간은 40년이였으며, 5년 미만 근무가 44%, 5년 이상 근무가 56%였다.

하루 평균 디젤엔진배출물에 노출되는 시간은 6.46시간이며 최소 평균 노출 시간은 40분이였고, 최장 평균 노출 시간은 14시간이였다. 8시간 근무시간을 기준으로 보았을 때 절반인 4시간 이상 노출되는 사람이 84%로 대부분을 차지하였으며, 근무시간의 3/4인 6시간 이상 노출되는 사람도 61%로 참여자의 절반 이상을 차지하였다.

(3) 과거 디젤엔진배출물 노출 관련

<표 III-49> 과거 디젤엔진배출물 노출 경력 및 하루 평균 노출시간

과거 디젤엔진배출물 노출 직종 종사 여부	
없음	74 (74.0%)
있음	26 (26.0%)

과거 디젤엔진배출물 노출 기간 (년)	
평균	10.81
표준편차	9.75
중앙값	8.83
최소값	0.41
최대값	39.00
3년 미만	7 (28.0%)
3년 이상 ~ 5년 미만	1 (4.0%)
5년 이상 ~ 10년 미만	6 (24.0%)
10년 이상 ~ 15년 미만	5 (20.0%)
15년 이상 ~ 20년 미만	1 (4.0%)
20년 이상 ~	5 (20.0%)
결측	1 명

과거 디젤엔진배출물 하루 평균 노출 시간 (시간)	
평균	7.29
표준편차	3.02
중앙값	8.00
최소값	1.00
최대값	14.00
2시간 미만	2 (7.7%)
2시간 이상 ~ 4시간 미만	2 (7.7%)
4시간 이상 ~ 6시간 미만	3 (11.5%)
6시간 이상 ~ 8시간 미만	1 (3.8%)
8시간 이상 ~ 10시간 미만	13 (50.0%)
10시간 이상 ~ 12시간 미만	4 (15.4%)
12시간 이상	1 (3.8%)

연구 대상자들 중 74명(74.0%)은 현재 사업장 및 직종 외 과거에 디젤엔진 배출물에 직업적으로 노출된 적이 없다고 응답하였으며, 26명(26.0%)은 직업성

노출 과거력이 있다고 응답하였다. 디젤엔진배출물 직업성 노출 과거력이 있는 사람들의 평균 노출 기간 및 하루 노출 시간은 각각 10.81년(최소 5개월, 최장 39년), 7.29시간(최소 1시간, 최장 14시간)이었다.

(4) 현재 및 과거 디젤엔진배출물 노출 합산

<표 III-50> 현재 및 과거 디젤엔진배출물 합산 노출 기간 및 하루 평균 노출시간

현재 및 과거 디젤엔진배출물 합산 노출 기간 (년)	
평균	10.61
표준편차	9.14
중앙값	7.54
최소값	0.33
최대값	44.00
3년 미만	15 (15.0%)
3년 이상 ~ 5년 미만	19 (19.0%)
5년 이상 ~ 10년 미만	25 (25.0%)
10년 이상 ~ 15년 미만	16 (16.0%)
15년 이상 ~ 20년 미만	9 (9.0%)
20년 이상 ~	16 (16.0%)

현재 및 과거 디젤엔진배출물 하루 평균 노출 시간 (시간)	
평균	6.64
표준편차	2.82
중앙값	7.50
최소값	0.67
최대값	14

현재 및 과거 디젤엔진배출물 노출력을 모두 합산한 결과, 평균 합산 노출기간은 평균 10.61년(최소 4개월, 최장 44년)이었고, 평균 노출시간은 6.64시간이었다.

(5) 증상 문진표

<표 III-51> 호소하는 증상 및 업무관련성 비율

문항	응답 항목			업무 관련성 비율
	없다	약간 있다	심하다	
1. 눈이 시거나 눈물이 잘 난다	56	41	3	18.2 %
2. 눈이 충혈되거나 아프다	55	41	4	15.6 %
3. 코나 목이 따끔거리거나 답답하다	57	41	2	16.3 %
4. 머리가 아프다	61	37	2	7.7 %
5. 어지럽다	78	20	2	9.1 %
6. 토할 것 같은 느낌이 든다	86	13	1	7.1 %
7. 손끝이 저리거나 따끔거린다	70	27	3	10.0 %
8. 기억력 나빠졌거나 건망증 심해졌다	64	35	1	8.3 %
9. 불안하고 초조하다	89	10	1	9.1 %
10. 정신이 멍해지거나 술 취한 느낌	85	14	1	13.3 %
11. 정신을 집중하기 어렵다	77	22	1	4.3 %
12. 기침이 난다	64	33	3	16.7 %
13. 가래가 나온다	54	43	3	8.7 %
14. 숨이 차다	73	24	3	14.8 %
15. 가슴이 아프고 답답하다	83	14	3	11.8 %
16. 체중이 예전에 비해 현저히 줄었다	85	13	2	0.0 %
17. 소변에 피가 섞여 붉게 나온 적 있다	95	4	1	20.0 %

연구대상자들에게 안과증상, 신경계증상, 호흡기계증상, 심혈관계증상, 비뇨기계증상들 중, 디젤엔진배출물 노출로 인하여 유발될 가능성이 높은 증상들의 유무와 정도를 조사하였고, 그 결과 증상에 따라 5~46%의 유병률을 보였다.

가장 많은 증상을 호소하는 것은 '가래(46%)'가 나오는 호흡기 증상이었으며, 그 다음으로는 '눈이 충혈되고 아픔(45%)', '눈이 시거나 눈물이 잘 남(44%)', '코나 목이 따끔거리거나 답답함(43%)'과 같은 자극 증상들이었다. 그 밖에 '머리가 아픔(39%)', '기억력이 나빠졌거나 건망증이 심해짐(36%)', '손끝이 저리거나 따끔거림(30%)'과 같은 신경계증상 및 '기침(36%)'과 같은 호흡기증상도 호소하는 비율이 높은 편이었다.

본인들이 생각하기에 해당 증상들이 디젤엔진배출물 노출과 관련이 있는 것 같은지 여부를 조사하였고, 해당 증상이 디젤엔진배출물 노출과 관련이 있다고 응답한 비율은 0%에서 20% 사이로, 대체적으로 10% 내외에서 업무와 연관이 있다고 응답하였다. 특히 소변에 피가 섞여 나오는 증상(20.0%), 자극 증상(15.6~18.2%), 기침(16.7%) 및 숨이 참(14.8%)과 같은 호흡기 증상에서 업무 관련성이 있다고 생각하는 경우가 많은 편이었다.

(6) 흡연력

<표 III-52> 흡연력

흡연 상태	
비흡연	21 (21.0%)
과거 흡연	25 (25.0%)
현재 흡연	54 (54.0%)

과거 흡연자	
흡연력 (pack-year) 평균	16.44
표준편차	8.99
중앙값	12.75
금연기간(년) 평균	11.38
표준편차	8.10
중앙값	10.00

현재 흡연자	
흡연력 (pack-year) 평균	20.57
표준편차	14.90
중앙값	18.38

연구 대상자들의 54%(54명)는 현재 흡연자였고, 25%(25명)는 과거 흡연자, 21%(21명)는 비흡연자였다. 과거 흡연자들의 평균 흡연력은 16.44갑년이었으며, 현재 흡연자들의 평균 흡연력은 20.57갑년이였다.

(7) 과거력

<표 III-53> 과거력

눈, 피부, 비강 관련 표적장기 주요 과거력	
없음	93 (93.0%)
있음	7 (7.0%)
신경계 관련 표적장기 주요 과거력	
없음	99 (99.0%)
있음	1 (1.0%)
호흡기계 관련 표적장기 주요 과거력	
없음	91 (91.0%)
있음	9 (9.0%)
	기관지확장증 1
	폐결핵 6
	천식 1
	폐섬유화 1
심혈관계 관련 표적장기 주요 과거력	
없음	67 (67.0%)
있음	33 (33.0%)
	고혈압 24
	당뇨 15
	이상지질혈증 4
	통풍 1
비뇨기계 관련 표적장기 주요 과거력	
없음	96 (96.0%)
있음	4 (4.0%)
	방광암 1
	신증후군 1
	요로결석 1
	비뇨기계 염증 1

연구대상자들 중 7명(7.0%)이 눈, 피부, 비강과 관련한 주요 과거력이 있다고 응답하였으며, 구체적으로 응답한 과거력은 비염(2명), 편도선염(1명), 피부 알레르기(1명), 피부묘기증(1명)이었다. 신경계와 관련하여서는 1명(1.0%)이 과거력이 있다고 응답하였으나, 구체적인 질병명을 언급하지 않았다. 호흡기계

와 관련해서는 9명(9.0%)이 과거력이 있다고 응답하였으며, 폐결핵(6명), 기관지확장증(1명), 천식(1명), 폐섬유화(1명) 등이 있었다. 33명(33.0%)이 심혈관계 관련 과거력이 있다고 응답하였으며, 고혈압 24명, 당뇨 15명, 이상지질혈증 4명, 통풍 1명이 있었다(중복 응답 허용). 비뇨기계와 관련한 주요 과거력도 4명(4.0%)이 '있다'고 응답하였고, 방광암, 신증후군, 요로결석, 비뇨기계 염증이 각각 1명씩 있었다.

(8) 신체계측

<표 III-54> 혈압, 체질량지수, 허리둘레

혈압	
수축기 혈압 (mmHg) 평균	133.09
표준편차	11.23
중앙값	134.00
이완기혈압 (mmHg) 평균	83.49
표준편차	9.55
중앙값	83.00
정상	10 (10.0%)
고혈압 주의	46 (46.0%)
고혈압 의심 및 유질환자	44 (44.0%)

체질량지수	
평균 (kg/m ²)	26.28
표준편차	4.40
중앙값	25.88
정상 (<23 kg/m ²)	25 (25.0%)
비만 주의 (≥23 kg/m ² , <25 kg/m ²)	17 (17.0%)
비만 (≥25 kg/m ²)	58 (58.0%)

허리둘레	
평균 (cm)	86.83
표준편차	9.50
중앙값	86.00
정상 (90 cm 미만)	62 (68.1%)
복부비만 주의 (90 cm 이상)	29 (31.9%)
결측	9

대상자들의 평균 혈압은 133.09/83.49 mmHg이었다. 고혈압 과거력이 있다고 응답한 사람은 24명이었으며, 고혈압 과거력이 없음에도 고혈압이 의심(수축기 혈압 140 mmHg 이상 또는 이완기 혈압 90 mmHg 이상)되는 사람들은 20명이었다. 정상(수축기 혈압 120 mmHg 미만 및 이완기 혈압 80 mmHg 미만)으로 분류된 사람은 10명(10.0%), 고혈압 주의(수축기 혈압 120 mmHg 이

상~140 mmHg 미만 또는 이완기 혈압 80mmHg 이상~90 mmHg 미만)로 분류된 사람은 46명(46.0%)이었다.

대상자들의 평균 체질량지수는 26.28 kg/m² 이었고, 정상(BMI <23 kg/m²) 25명(25.0%), 비만 주의(BMI ≥23 kg/m², <25 kg/m²) 17명(17.0%), 비만(≥ 25 kg/m²) 58명(58.0%)이었다.

대상자들의 평균 허리둘레는 86.83 cm이었다. 허리둘레를 측정하지 못한 9명을 제외하고, 68.1%(62명)가 정상(복부둘레 <90 cm), 31.9%(29명)가 복부비만 주의(복부둘레 ≥90 cm) 군으로 분류되었다.

(9) 임상검사 결과

<표 III-55> 폐암 종양표지자 검사 결과

CYFRA 21-1	
평균 (ng/mL)	2.02
표준편차	1.02
중앙값	1.80
정상 (<3.3 ng/mL)	88 (88.0%)
주의 (≥3.3 ng/mL)	12 (12.0%)

SqCC Ag	
평균 (ng/mL)	0.98
표준편차	0.64
중앙값	0.89
정상 (<2.6 ng/mL)	99 (99.0%)
주의 (≥2.6 ng/mL)	1 (1.0%)

폐암에 대한 종양표지자인 CYFRA 21-1 및 SqCC Ag의 평균치는 각각 2.02 ng/mL, 0.98 ng/mL 이었다. 대상자들 중 12명(12.0%)이 CYFRA 21-1 수치 기준 주의, 1명(1.0%)이 SqCC Ag 수치 기준 주의의 수치를 보였다.

<표 III-56> 콜레스테롤 검사 결과

총콜레스테롤	
평균 (mg/dL)	187.66
표준편차	38.06
중앙값	183.00
정상 (<200 mg/dL)	66 (66.0%)
주의 (200-239 mg/dL)	24 (24.0%)
이상 (≥240 mg/dL)	10 (10.0%)

트리글리세라이드(중성지방)	
평균 (mg/dL)	193.02
표준편차	136.83
중앙값	153.50
정상 (<150 mg/dL)	48 (48.0%)
주의 (150-199 mg/dL)	19 (19.0%)
이상 (≥200 mg/dL)	33 (33.0%)

HDL-콜레스테롤	
평균 (mg/dL)	53.45
표준편차	12.95
중앙값	50.50
정상 (≥60 mg/dL)	31 (31.0%)
주의 (40-59 mg/dL)	56 (56.0%)
이상 (<40 mg/dL)	13 (13.0%)

LDL-콜레스테롤	
평균 (mg/dL)	117.44
표준편차	36.08
중앙값	116.00
정상 (<130 mg/dL)	62 (62.0%)
주의 (130-159 mg/dL)	23 (23.0%)
이상 (≥160 mg/dL)	15 (15.0%)

총 콜레스테롤 수치는 평균 187.66 mg/dL 이었으며, 66명(66.0%)이 정상(총 콜레스테롤 수치 <200 mg/dL), 24명(24.0%)이 이상지질혈증 주의(총 콜레스테롤 수치 200-239 mg/dL), 10명(10.0%)이 이상지질혈증 의심(총 콜레스테롤 ≥240 mg/dL)으로 분류되었다.

LDL-콜레스테롤 수치의 평균은 117.44 mg/dL이었고, 62명(62.0%)이 정상(LDL-콜레스테롤 <130 mg/dL), 23명(23.0%)이 이상지질혈증 주의(LDL-콜레스테롤 130-159 mg/dL), 15명(15.0%)이 이상지질혈증 의심(LDL-콜레스테롤 ≥160 mg/dL)으로 분류되었다.

트리글리세라이드(중성지방) 및 HDL-콜레스테롤 수치의 평균은 각각 193.02 mg/dL, 53.45 mg/dL 이었다.

<표 III-57> 당뇨 검사 결과

공복혈당	
평균 (mg/dL)	107.26
표준편차	30.13
중앙값	100.50
정상 (<100 mg/dL)	49 (49.0%)
당뇨 주의 (100-125 mg/dL)	39 (39.0%)
당뇨 의심 (≥126 mg/dL)	12 (12.0%)

당화혈색소(HbA1c)	
평균 (%)	5.89
표준편차	1.11
중앙값	5.60
정상 (<5.7 %)	56 (56.0%)
당뇨 주의 (5.7-6.4 %)	27 (27.0%)
당뇨 의심 (≥6.5 %)	17 (17.0%)

공복혈당 수치의 평균은 107.26 mg/dL 이었고, 공복혈당 기준으로 정상(공복혈당 <100 mg/dL) 49명(49.0%), 당뇨 주의(공복혈당 100-125 mg/dL) 39명(39.0%), 당뇨 의심(공복혈당 ≥126 mg/dL) 12명(12.0%)이었다.

당화혈색소(HbA1c) 수치의 평균은 5.89% 이었고, 당화혈색소 기준 정상(HbA1c <5.7%) 56명(56.0%), 당뇨 주의 (HbA1c 5.7-6.4%) 27명(27.0%), 당뇨 의심(HbA1c ≥6.5%) 17명(17.0%)이었다.

<표 III-58> 소변 검사 결과

요단백	
정상 (음성)	73 (73.0%)
주의 (약양성)	17 (17.0%)
이상 (+1 이상)	10 (10.0%)

요적혈구	
정상 (음성)	86 (86.0%)
주의 (약양성)	8 (8.0%)
이상 (+1 이상)	6 (6.0%)

소변세포병리검사	
정상 (음성)	97 (100.0%)
이상 (양성)	0 (0.0%)
검체부족	3

소변검사 결과 요단백이 검출되지 않은 사람은 73명(73.0%)이었고, 요단백 주의(요단백 약양성) 17명(17.0%), 요단백이 +1이상 검출된 사람은 10명(10.0%)이었다. 요적혈구가 검출되지 않은 사람은 86명(86.0%), 요적혈구 약양성 8명(8.0%), 요적혈구 +1이상 6명(6.0%)이었다.

소변세포병리검사 결과 97명(100.0%)이 정상 소견을 보였고, 비정형세포가 검출된 사람은 0명(0.0%)이었다. 3명은 검체가 부족하여 검사를 제대로 실시하지 못하였다.

<표 III-59> 방광암 종양표지자 검사 결과

NMP22	
음성	93 (97.9%)
양성	2 (2.1%)
미실시	5

소변 검체를 통한 방광암 종양표지자인 NMP22 검사 결과, 93명(97.9%)이 음성, 2명(2.1%)이 양성이었다.

<표 III-60> 심전도 검사 결과

심전도	
정상	84 (85.7%)
이상	14 (14.3%)
	좌심실비대 7
	동성 서맥 3
	심실세동 1
	RBBB 2
	경색(septal, inferior) 2
	우축편위 1
결측	2

심전도 결과 84명(85.7%)이 정상이었고, 14명(14.3%)이 이상이 있는 것으로 판독되었다. 심전도상 이상이 있는 경우, 좌심실비대 7건, 동성 서맥 3건, 심실세동 1건, 우각차단(RBBB) 2건, 경색(중벽, 하벽부 각 1건) 2건, 우축 편위 1건이었다. 대상자들 중 2명은 심전도 검사를 실시하지 못하였다.

<표 III-61> 흉부방사선촬영 검사 결과

흉부방사선촬영	
정상 (비활동성폐결핵 포함)	93 (93.0%)
이상	7 (7.0%)
	심비대 3
	폐섬유화 1
	간질성 폐질환 1
	내장역위 1
	피부결절 1

흉부방사선 촬영 결과 93명(93.0%)이 정상(비활동성폐결핵 포함)으로, 7명(7.0%)가 이상이 있는 것으로 판독되었다. 7명 중 심비대가 가장 많았고(3명), 이외 폐섬유화(1명), 간질성 폐질환(1명), 내장역위(1명), 피부결절(1명) 등의 소견이 있었다.

<표 III-62> LDCT 검사 결과

LDCT 촬영		
이상소견 없음		76 (76.0%)
양성결절		22 (22.0%)
경계선 결절		2 (2.0%)
폐암의심		0 (0.0%)
기타 폐결절 외 의미있는 소견	관상동맥석회화 (중등도 이상)	2
	폐기종 (중등도 이상)	0
	간질성 폐이상	3
	폐렴 및 활동성 폐결핵	0
	폐외 악성물	1
	대동맥류 (5.5cm 이상)	0
	다량의 흉수 또는 심낭 삼출	0
	기타	8
기타소견	공기낭종, 기포	7
	(세)기관지확장증	7
	지방간	6
	관상동맥 석회화	13
	갑상선 결절	1
	세분절 무기폐	10
	담낭담석	2
	간유리음영	3
	흉막하 수포	2
	신장 결석	1
	신장 낭종	1
	석회화(결절)	4
	부신우연종	1
	섬유화	2
	폐기종성 변화	1
	RI-ILD 의증	1
	비장비대 의증	1
	대동맥 판막 석회화	2
	석면관련폐질환	2
	간내 석회화	1
	기관 계실	1
	흉막비후	2
	심비대	1
	부신 결절형 비후	1
	간유리 결절	2
	우쇄골하동맥 이상주행	1
	피부결절	1
	비활동성 폐결핵	1

저선량 흉부 CT(LDCT) 촬영 결과 76명(76.0%)이 이상소견 없음, 22명(22.0%)이 양성결절, 2명(2.0%)이 경계성 결절로 판독되었으며, 폐암이 의심되는 경우는 0건(0.0%)이었다. 폐결절 외 의미 있는 소견으로는 관상동맥석회화 2건, 간질성 폐이상 3건, 폐외 악성물 1건 등이 있었다.

<표 III-63> 폐활량 검사 결과

폐활량 검사		
FEV1	평균 (%)	88.27
	표준편차	11.58
	중앙값	87
FVC	평균 (%)	88.89
	표준편차	12.30
	중앙값	88
FEV1/FVC	평균 (%)	77.90
	표준편차	5.86
	중앙값	78.5
정상		63 (68.5%)
폐쇄성 환기장애		11 (12.0%)
제한성 환기장애		17 (18.5%)
혼합성 환기장애		1 (1.1%)
미측정		8

폐활량 검사 결과 FEV1, FVC, FEV1/FVC의 평균치는 각각 88.27%, 88.89%, 77.90%였으며, 검사 결과에 따라 63명(68.5%)이 정상, 11명(12.0%)이 폐쇄성 환기장애, 17명(18.5%)이 제한성 환기장애, 1명(1.1%)이 혼합성 환기장애로 판정되었다. 폐활량 검사를 실시하지 못한 인원은 8명이었다.

2) 디젤엔진배출물 노출 수준 측정 결과

인하대학교병원 시범사업 참여자 55명을 대상으로 연구진이 사업장을 방문하여 연구 참여자가 작업하는 동안 노출되는 디젤엔진배출물 수준을 간이측정장비(AM520)를 이용하여 직독식으로 $PM_{0.8}$ 을 측정하였다.

동일 사업장에 대해서 ‘디젤엔진배출물 노출실태 및 작업환경관리 방안 연구’의 연구팀과 함께 측정을 하여 결과를 비교하고자 하였으나 사업장 섭외 등의 문제로 실시하지 못했다. 대신 ‘디젤엔진배출물 노출실태 및 작업환경관리 방안 연구’ 연구팀에게서 유사사업장의 측정결과를 제공받아서 시범사업을 통해 측정한 $PM_{0.8}$ 과 비교를 하였다.

(1) 항만하역작업장 측정결과 요약

항만하역작업에서 근무하는 25명에 대해 $PM_{0.8}$ 을 측정한 결과 중간값은 $18.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (최소값 $12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 최대값 $43.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다.

2020년 ‘디젤엔진배출물 노출실태 및 작업환경관리 방안 연구’ 연구팀에서 실시한 측정결과는 다음과 같았다. EC 농도의 경우 ND - $8.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위를 보였다. 가장 높은 농도를 보인 항만업의 야드 트랙터(YT) 운전원 4명에게서는 $3.0\text{-}8.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 분포를 확인할 수 있었다. YT 운전원의 EC 농도를 2003년까지 미국산업위생전문가협회(ACGIH)에서 노출기준으로 고시하였던 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 15-40% 수준이었다. 호흡성분진(RSP)은 ND- $0.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위를 보였고 NO_2 에 대한 측정 농도는 0.02-0.05 ppm 범위였다. NO_2 에 대한 우리나라 고용노동부의 노출기준 3 ppm 및 ACGIH 노출기준(0.2 ppm)보다는 매우 낮은 수준이었다.

<표 III-64> 항만하역작업 DEE (EC, RSP, NO₂) 농도

구분	산업/ 직업	EC (µg/m ³)			RSP (µg/m ³)			NO ₂ (ppm)		
		Detected samples /Total samples	Median	Range	Detected samples /Total samples	Median	Range	Detected samples /Total samples	Median	Range
	항만업 (전체)	10/12	2.0	ND-8.2	8/12	0.01	ND-0.20	12/12	0.029	0.015 -0.047
노출 군	GC	3/4	1.0	ND-2.0	2/4	0.01	ND-0.01	4/4	0.026	0.015 -0.029
	TC	3/4	2.0	ND-2.0	2/4	0.01	ND-0.01	4/4	0.025	0.019 -0.029
	YT	4/4	4.5	3-8.2	4/4	0.13	0.01-0.19	4/4	0.045	0.042 -0.047
대 조 군	실외	3/4	1.0	ND-2.0	3/4	0.17	ND-0.19	7/7	0.030	0.017 -0.045

ND: Not detected

크레인(갠트리 크레인(Gantry Crane, GC), 트랜스퍼 크레인(Transfer Crane, TC)), 그리고 야드 트랙터(Yard Tractor, YT)

(2) 환경미화원 측정결과 요약

환경미화원 30명에 대해 PM_{0.8}을 측정한 결과 중간값은 55.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (최소값 21.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 최대값 124.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다. 이는 항만하역작업자들보다 높은 노출 수준이었다.

2019년 ‘디젤엔진배출물 노출실태 및 작업환경관리 방안 연구’ 연구팀에서 실시한 측정결과는 다음과 같았다. 환경미화원의 EC 노출 농도가 가장 높은 역할은 선별원으로써 기하평균으로 11.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 가로 청소원들이 가장 낮은 노출 수준을 보이고 있었고 수거원들 중에서 운전원과 직접 수거원들의 노출 수준은 차이가 없었다. 선별원들은 실내에서 사용되는 대형 디젤차량의 배출물질 영향을 받은 결과이고 수거원들은 환경미화차량의 디젤 배출물질 영향을 받은 결과로 해석된다. 환경미화원의 역할에 따른 PM_{2.5} 노출 농도의 분포를 요약한 것이다. 표에서 알 수 있듯이, 폐기물 선별원들의 노출 농도가 기하평균 226.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로써 가장 높았다. 그 다음으로 수거원과 운전원이 각각 기하평균 122.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 100.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도에 노출되고 있었다. 환경미화원들의 역할별 이산화질소 노출 분포는 선별원 > 수거원 > 운전원 > 가로청소원 순서였다.

<표 III-65> 환경미화원 DEE (EC, PM2.5, NO₂) 농도

구분	산업/직업	EC (µg/m ³)			PM 2.5(µg/m ³)			NO ₂ (ppm)		
		Detected samples /Total samples	Median	Range	Detected samples /Total samples	Median	Range	Detected samples /Total samples	Median	Range
노출 군	환경미화원(전체)	87/87	1.9	0.69-15.46	86/87	105.6	ND-1109.7	85/85	0.05	0.00-0.16
	운전원	23/23	2.01	0.93-3.58	23/23	93.7	38.0-600.6	23/23	0.05	0.03-0.08
	수거원	34/34	2.01	0.86-3.55	34/34	124.6	41.6-410.5	33/33	0.05	0.00-0.16
	가로청소	20/20	0.96	0.69-1.83	19/20	65.7	ND-143.5	20/20	0.04	0.02-0.05
	선별원	10/10	13.97	4.24-15.46	10/10	206.5	86.3-1109.7	9/9	0.11	0.08-0.12
대조 군	실외	10/10	0.91	0.33-5.48	9/9	62.22	11.77-178.38	10/10	0.02	0.01-0.04

ND: Not detected

6. 디젤엔진배출물 특수건강진단에 대한 전문가 자문

1) 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범사업 검사항목

(1) 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범사업 검사항목의 타당성

5점 척도로 하여 1점은 '전혀 타당하지 않음', 5점은 '매우 타당함'으로 평가하도록 하였다.

2차례의 델파이 자문을 통한 디젤엔진배출물 특수건강진단에 도입하고자 하는 검사 항목의 타당성에 관한 자문 의견은 위 표와 같다. 대체로 기존 특수건강진단의 항목들인 증상 문진, 진찰, 흉부방사선 촬영, 저선량 흉부 CT 촬영, 폐활량검사, 심전도검사, 콜레스테롤 검사, 공복 혈당 및 당화혈색소 검사, 허리둘레 측정, 혈압 측정, 요검사 10종, 소변세포병리검사 안에 대하여는 대체로 타당하다는 의견이었으나, 폐암과 방광암에 대한 종양표지자 검사인 SqCC Ag, CYFRA 21-1, NMP22에 대하여는 대체로 부정적인 의견이었다. 특히 폐암 종양표지자인 SqCC Ag 및 CYFRA 21-1에 대하여는 중앙값, 1사분위값, 3분위값 값이 모두 1점으로 매우 부정적인 반응이었다.

<표 III-66> 디젤엔진배출물 특수건강진단 검사항목의 타당성

항목		중앙값	1사분위값	3사분위값
눈, 비강, 인두	눈, 비강, 인두 점막자극 증상 문진	5	4.5	5
	신경계	5	4	5
신경계	신경계 증상 문진	5	4	5
	신경증상에 유의하여 진찰	5	4	5
호흡기계	흉부방사선(후전면)	5	4	5
	저선량 흉부 CT (LDCT)	4	3.5	5
	종양표지자검사 (SqCC Ag)	1	1	1
	종양표지자검사 (CYFRA 21-1)	1	1	1
	흉부 청진	4	4	5
	폐활량 검사	5	4.5	5
심혈관계	심전도 검사	3	3	3.5
	총 콜레스테롤	4	3	4
	HDL 콜레스테롤	4	3	4
	트리글리세라이드	4	3	4
	LDL 콜레스테롤	4	3	4
	공복 혈당	4	3	4
	당화혈색소	3	3	4
	허리 둘레	3	2.5	4
	혈압 측정	4	3	5
비뇨기계	요검사 10종	4	3.5	5
	소변세포병리검사	4	3	4
	소변 방광암 항원 검사 (NMP22)	2	2	2

(2) 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범사업 검사항목의 수행가능성

5점 척도로 하여 1점은 '전혀 평가가 불가능함', 5점은 '매우 평가가 가능함'으로 평가하도록 하였다.

디젤엔진배출물 특수건강진단에 도입하고자 하는 검사 항목의 수행가능성에 관한 자문 의견은 위 표와 같다. 마찬가지로 기존 특수건강진단 항목들에 대하여는 대체로 수행가능하다는 의견이었으며, 현재 폐암 검진에 활용하고 있는 저선량 흉부 CT에 대하여는 중앙값 3점의 결과를 보였다. 전혀 타당하지 않다고 의견이 모였던 종양표지자 검사들에 대해서도 역시 중앙값 3점으로 어느 정도 평가가 가능하다는 의견이었다.

<표 III-67> 디젤엔진배출물 특수건강진단 검사항목의 수행가능성

항목		중앙값	1사분위값	3사분위값
눈, 비강, 인두	눈, 비강, 인두 점막자극 증상 문진	5	5	5
	신경계	5	5	5
신경계	신경계 증상 문진	5	5	5
	신경증상에 유의하여 진찰	5	5	5
호흡기계	흉부방사선(후전면)	5	5	5
	저선량 흉부 CT (LDCT)	3	2	3.5
	종양표지자검사 (SqCC Ag)	3	2.5	4
	종양표지자검사 (CYFRA 21-1)	3	2	4
	흉부 청진	5	5	5
	폐활량 검사	5	5	5
심혈관계	심전도 검사	5	5	5
	총 콜레스테롤	5	5	5
	HDL 콜레스테롤	5	5	5
	트리글리세라이드	5	5	5
	LDL 콜레스테롤	5	5	5
	공복 혈당	5	5	5
	당화혈색소	5	5	5
	허리 둘레	5	5	5
	혈압 측정	5	5	5
비뇨기계	요검사 10종	5	5	5
	소변세포병리검사	5	5	5
	소변 방광암 항원 검사 (NMP22)	3	2	3

(3) 검사항목에 대한 추가의견

검사항목과 관련해서 추가적으로 다음과 같은 의견들이 제시되었다.

1,2차 항목에 대한 구분이 없기 때문에 시범사업에 대한 기준으로 결정하였으며, 만일 실제 특수건강진단 검사항목이 된다면 변경될 부분이 있

음.(LDCT나 심전도 등)
당화혈색소, LDL 검사는 2차 항목으로 하는 것이 좋겠음 간단하게라도 1차 검사와 2차 검사를 나누는 것이 좋다고 생각합니다.
일단 특수검진의 기본 틀이기 때문입니다. 1차 검사와 2차 검사로 나누어 실시하는 이유에 대해서는 잘 아실 거라 생각합니다.
또한 1차 검사로 LDCT를 찍었는데 폐암의심 소견이 나왔다면 호흡기내과나 흉부외과로 가서 예약 잡고 기다리다 evaluation 하고, 결과가 나오면 다시 직업환경의학과에 와서 평가받는 것이 아니라 영상의학과와의 협조 하에 enhanced chest CT 촬영 및 Bx. 까지 특검 의사가 2차 검사에 대한 처방을 낼 수 있게 하는 것이 특검 판정, 업무관련성에 대한 판단을 좀 더 빠르고 효율적으로 할 수 있다고 봅니다.
저선량 폐CT 는 일정 근무기간 이상 노출을 고려하여 2차 검사로 실시할 필요 있음.
현행의 특수건강진단에서와 같이 유해인자의 취급유무와 표적장기만을 고려하고 노출(exposure)의 수준을 고려하지 않는 경우에 LDCT의 경우 방사선 노출의 위험과 검사를 통해서 얻을 수 있는 이익에 대한 면밀한 고려가 필요함. 특히 다수의 노동자들을 대상으로 하는 집단 스크리닝의 개념에서는 더욱 그러함.
향후 신경계 유증상자에 대하여 신경행동검사 등의 객관적인 도구 도입의 필요성도 제고할 수 있다고 생각합니다.
진단검사 항목에 근거가 불명확하여 저는 대부분 의학적 타당성이 부족하다고 판단하였습니다. 일부라도 검사를 용납하게 되면 유전자 검사도 검사항목으로 들어올 것 같은 우려가 됩니다. 검사항목에 대한 접근은 신중하게 접근하면 좋을 것 같습니다.
위양성의 문제가 있어 보입니다. 위양성의 경우, 관리가 어려운 경우가 많을 수 있고, 노동자들의 저항도 문제가 될 수 있습니다.
디젤연소물질이 심혈관계 질환과 COPD와 관련이 있다는 문헌적 근거는 있으나, 미치는 효과가 매우 적어서, 검진으로서 타당성이 낮은 것 같습니다.

<p>디젤연소물질이 방광암과 관련이 있다는 문헌적 근거는 있으나, 아직까지는 limited evidence이고, 요검사나 소변세포병리검사의 민감도가 충분하지 않은 것 같습니다.</p>
<p>실제로는 가스상 화합물에 의한 자극이나 폐질환 관련한 것을 제외하고는 의미를 부여하기는 힘들 것 같습니다.</p>
<p>폐암과 방광암에 대한 암표지자 검사는 스크리닝 검사로서의 효용성은 없는 것으로 판단합니다.</p> <p>고위험군에 대해서 LDCT의 도입은 필요할 것으로 판단합니다.</p>
<p>디젤엔진배출물 노출 근로자 선정 기준 및 대상범위의 가안이라도 제시해 주시길 바랍니다.</p> <p>높은 비용의 검사라도 합리적 근거에 따라 선정기준을 마련하고(노출수준이 높아 발암 가능성이 높으며, 실제로도 직업병암 발생 및 승인이 되었고, 앞으로도 실효적인 특검에 의해 발생 가능성이 많은 업종의 작업 종사자) 대략적인 대상범위(인원)가 비용대비 효과가 있을 것으로 판단되면 1차에서 지속적으로 수행해야 합니다.</p>
<p>근래 들어 발전회사에서의 사고도 있었는데, 다음과 같은 디젤 대형엔진에 대한 문진/검사도 있어야 할 거로 보입니다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 선박에 사용 중인 초대형 엔진에 의한 2) 도서, 벽지에 있는 디젤엔진 발전기에 의한 3) 이동식 발전설비에 의한(전량 수출품. 이거 만드는 사람들에 대한) 4) 소상공인들의 자가발전(경운기머리), 농업인들의 경운기, 양수기 <p>그리고 개인적으로 추가하고 싶은 구체적인 물질은 에틸렌글라이콜(차량 냉각수성분) - 구형 대형 디젤엔진에서는 냉각수 소실이 매우 많아서 이를 일주에 수회 보충하므로 저는 이것이 주요한 특검대상물질이라고 판단합니다. 다 문진이고 돈 드는 검사는 없으니 부담 없이 넣으시면 될 듯합니다.</p>
<p>일산화탄소 검사도 해 볼 수 있을 것 같습니다.</p>
<p>기타. 디젤엔진배출물 및 환경에 노출된 환경은 이산화질소, 일산화탄소,</p>

황화수소, 아황산가스 등 가스상 물질 외 벤젠, 크실렌, 포름알데하이드에 대한 노출도 가능한 것으로 추정됩니다. * 엔진기관이 큰 경우 소음도 유해인자로 볼 수 있을 듯합니다.

1. 특수검진의 대부분의 검사항목 중 과내에서 자체적으로 시행할 수 있는 검사항목은 시행이 용이하나 타과 검사실 소속의 검사항목의 경우는 전산 및 행정상의 어려움으로 지정은 되어 있으나 시행이 어렵습니다. 예를 들어 우리병원의 경우 흉부CT의 경우 검진수가가 비보험, 사업주의 승인, 검사오더 발생-->수납-->예약일 지정 등의 행정적인 문제점으로 시행 등이 용이하지 않습니다.

2. 1차 검사 항목의 2차 검진 시 반복 수행에 대해 행정적 문제가 없는지에 대한 검토도 필요합니다. 공단 청구 시에 원활하지 않는 점이 있습니다. 따라서 본 연구 물질에 대한 1차 검사결과에 대한 2차 검사 시 2차 항목 외에 1차 검사 항목 중 재검토가 필요한 항목의 경우 행정적으로 용이할 수 있도록 처음부터 2차에 선택 항목으로 추가할 수 있도록 검토할 필요가 있습니다.

3. 허리둘레의 경우 탈복상태에서 검진이 이루어지지 않는 경우가 많아 실제 현장에서 적용하는데 번거로움이 있습니다.

4. 호흡기계 중앙표지자 검사의 비용-효과대비 효용성이 낮을 것으로 판단됩니다.

5. 심혈관계 질환에 대한 검사항목 중 예방적인 차원에서의 위험인자에 대한 검사항목에는 동의하나 심전도와 같이 진단적 의미에서의 검사의 검진에서는 의미가 낮을 것으로 판단됩니다.

디젤엔진배출물의 잠재적 건강영향을 고려하여 검사항목을 설정하되, 수용성보다는 타당도를 우선적으로 고려할 필요가 있다고 생각합니다. 타당도가 낮지만 수용성이 높은 검사라는 것은 유해인자별/표적장기별 건강진단이라고 하는 특수건강진단 체계 및 원칙에 맞지 않는 것입니다.

2차 검사항목에서 필요시 실시하는 선택항목으로 구분하는 방법도 있겠으

나, 현실적으로 2차 선택 항목은 거의 실시하지 않을 것이라고 생각합니다. 꼭 필요한 검사항목만 1차에서 필수로 지정하고 그 이후는 필요하다면 진료의 개념으로 접근하는 것이 더 적절하다고 생각합니다.

지금까지의 경험상 근거가 높은 검사항목을 추가하는 것은 그나마 가능하지만, 한 번 설정한 검사항목을 빼는 것은 거의 불가능에 가깝다는 점을 고려할 필요가 있습니다.

시범사업으로서 현재의 특수건강진단의 틀 안에서 고민하면 노출력이나 노출수준, 1차, 2차 등의 체계를 그대로 가져가야 하고, 폐암이나 심혈관계 질환 등의 표적장기를 그대로 따라야합니다. 그러나 특수건강진단이라는 현재의 틀이 아닌 새로운 검진으로서 고민을 한다면, 1차는 기본적인 검사를 통하여 2차 대상자를 선정하는 과정으로 진행하고, 2차는 폐암이나 뇌심혈관계 질환을 진단하기 위한 방법으로 진행해야 할 것입니다. 비뇨기계는 실질적으로 비뇨기계 암을 세포병리검사로 찾기에 한계가 있어 보이며, 가장 확실한 표적장기부터 시작하는 것이 바람직할 것 같습니다. 폐암검진은 현재 건강보험 폐암검진의 폐암검진 대상을 직업력을 입력할 수 있도록 추가하는 방안도 함께 고민하면 좋겠습니다.

신경계 검진의 필요성은 있으나, 주로 호소하는 증상이 비특이적이라 문진만으로 신경계 질환을 조기 발견하기 어렵고, 간과되기 쉬워 실효성에 의문이 있습니다. 심혈관계질환의 경우에도 당뇨, 고혈압, 고지혈증은 생활습관, 개인적 소인, 교대근무 등 다른 요인에 의한 요인이 훨씬 높아 유의한 이상 소견이 있어도, 유해요인과의 연관성을 찾기 어려운 한계가 있습니다.

디젤연소물질 노출에 의한 폐암은 노출과 발병의 관계를 밝히기 매우 어렵기 때문에 1차 검진을 통한 LDCT촬영이 필요하다고 봅니다. 다만 검진 대상 근로자를 제한하여 선정할 때 타당성을 가지고 선정하는 것이 좋다고 생각합니다. 1차 검진을 결과를 통한 2차 검진 대상자 선정보다 이 과정이 더 중요할 것으로 생각합니다.

심혈관계 질환에 대해서는 제한적으로 실시하거나 검진에서 제외하는 것

<p>이 좋을 것 같습니다. 만약 심혈관계도 표적장기에 포함한다면, 검사별로 타당도를 검토하여 지정하는 과정이 필요할 듯합니다.</p>
<p>특수건강진단 시에 의사의 청진이나 신경계 진찰은 분명히 의미가 있지만 실제로 이루어지고 있는지, 가능한 여건인지요.</p> <p>의사의 재량권이 제한적인 상황에서 진단적 가치가 있는 고가의 검사를 어떻게 배치해야할 것인가에 대한 문제에 대해서 고민이 필요합니다.</p>
<p>심전도, 콜레스테롤 프로파일, 혈압, 혈당, 허리둘레 등의 심혈관계 검사항목의 경우 디젤연소물질의 급성심근경색에 대한 검사항목으로 사료됩니다. 급성심근경색의 질병적 특성을 고려할 때, 심전도 등의 검사로 스크리닝이 될 확률은 거의 없다고 판단됩니다. 따라서 디젤연소물질의 노출과 심전도 등의 검사결과의 인과관계를 밝히는 역할에는 제한이 있습니다. 다만, 수검자가 가지는 급성심근경색의 개인적 요인으로서 리스크 산정을 하는데 의의가 있다 할 수 있겠고, 그러한 경우 해당 검사에서 이상이 나온 사람은 고위험군으로 분류가능할 것으로 생각됩니다. 특수검진 판정은 C2 또는 D2로 줄 수 있겠습니다.</p>
<p>디젤연소물질이 심혈관계 질환과 COPD와 관련이 있다는 문헌적 근거는 있으나, 미치는 효과가 적고 long term adverse effect에 해당하기 때문에 검진으로서 타당성이 낮은 것 같습니다. 디젤연소물질이 방광암과 관련이 있다는 문헌적 근거는 있으나, 아직까지는 limited evidence이고, 요검사나 소변세포병리검사의 민감도가 충분하지 않아 검진으로써는 타당성이 낮다고 판단하였습니다.</p>
<p>기존에 비해 추가를 하려는 항목이 LDCT, 혈압, 허리둘레, 당뇨 등으로 보입니다.</p> <p>중양 항원 검사는 현재도 특이도가 낮기 때문에 실시를 하는 것은 권장하지는 않습니다.</p> <p>다만, 혈압, 당뇨, 허리둘레 등은 쉽게 할 수 있고, 의미를 둘 수도 있으니 1차 검사로 그러나 LDCT는 2차 검사로 두는 것이 나을 듯합니다.</p>

<p>디젤엔진의 헤드가스켓 사이로 미량의 냉각수가 엔진의 헤드로 유입되어 부동액의 성분인 에틸렌글리콜이 배기가스 중에 존재하게 됩니다. 한국의 직업환경이 뽀뽀하다는 인상을 주고 구색을 갖춘다는 의미로 이를 포함시키는 것이 타당해 보입니다.</p>
<p>1, 2차 검사 항목을 나누는 것이 필요해 보입니다.</p>
<p>항목 선정은 지식적인 측면에 해당에 됩니다. 과학적인 근거에 기반을 둔 것이라고 생각합니다. 그러나 실제 적용까지 검토하는 과정에서는 의학적인 근거 바탕도 중요하지만 행정적인 문제가 현재 큰 걸림돌이 되고 있습니다. 특수 검진 실시를 시행할 시에는 반드시 행정적으로 시행가능한 것인지에 대한 field에서의 가능성에 대한 검토까지 이루어 져야 할 것입니다.</p>
<p>암검진에 대한 논의를 별도로 하는 것이 좋겠습니다. 디젤엔진배출물 이외에 현행 특수건강진단 대상유해인자 중에 암 유발요인이 다수가 있는데 이러한 유해인자에 노출되는 경우 암검진의 효용성에 대한 논의가 부족한 상태입니다. 암에 대한 검진을 강화한다면 유해인자별 특성과 노출규모 등을 반영하여 우선순위도 고려해야 합니다. 디젤엔진배출물에 대한 검진항목 논의보다 앞서 고려할 부분이 있다는 생각입니다.</p> <p>디젤엔진배출물 노출로 인한 폐암을 확인하는 의미로서의 흉부방사선검사라면 타당성이 낮다는 생각으로 의견을 수정했습니다.</p>

2) 디젤엔진배출물 취급 작업자의 1차 특수건강진단에서 LDCT를 도입하는 것에 관한 의견

<표 III-68> 디젤엔진배출물 특수건강진단에서 LDCT 도입과 관련된 의견

항목	빈도	퍼센트(%)
디젤엔진배출물 취급 작업자 1차 특수건강진단에서 LDCT를 도입하는 것이 필요하다고 생각하십니까?	총 응답인원: 27명	
① 매우 필요하다	3	11.1%
② 필요한 편이다	9	33.3%
③ 불필요한 편이다	13	48.1%
④ 전혀 불필요하다	2	7.4%
LDCT 촬영을 위한 디젤엔진배출물 최소노출 기간이 필요하다고 생각하십니까?	총 응답인원:27명	
① 필요하지 않다. 디젤엔진배출물 특수검진 대상자는 노출기간에 관계없이 LDCT를 촬영해야 한다.	0	0.0%
② 필요하다.	27	100.0%
최소 노출 기간은 몇 년으로 하는 것이 좋겠습니까?	총 응답인원: 27명	
중앙값 (년)	10	
1사분위값 (년)	10	
3사분위값 (년)	10	
현행 특수건강진단에서는 폐암 유발물질을 취급하는 작업자에 대해서 1차에서는 ‘청진, 흉부방사선(후전면)’, 2차에서는 ‘흉부방사선(측면), 흉부 전산화 단층촬영, 객담세포검사’를 실시하고 있습니다. (디젤엔진배출물 특수건강진단 1차에서 LDCT를 도입한다는 전제 하에서) 다른 폐암 유발물질 취급	총 응답인원: 27명	

작업자에 대한 특수건강진단 1차에서 LDCT를 촬영하는 것이 필요하다고 생각하십니까?		
① 매우 필요하다	4	14.8%
② 필요한 편이다	15	55.6%
③ 불필요한 편이다	6	22.2%
④ 전혀 불필요하다	2	7.4%

국가암검진에서는 만 54세~74세 남녀 중 30갑년 이상의 흡연력을 가진 흡연자에 대해서 2년마다 LDCT 촬영을 할 수 있도록 하고 있습니다. 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자 중 국가폐암검진 대상자에 해당하는 경우 필수적으로 LDCT를 촬영하도록 하는 안에 대해서 동의하십니까?	총 응답인원: 27명	
① 매우 동의한다	12	44.4%
② 동의하는 편이다	9	33.3%
③ 동의하지 않는 편이다	6	22.2%
④ 전혀 동의하지 않는다	0	0.0%

이번 디젤엔진배출물 노출 근로자 특수건강진단 도입에서 1차 검사에 LDCT를 도입하는 건에 관하여 자문의견을 구하였다. 총 응답인원 27명 중 12명(44.4%)이 도입이 필요하다고 응답하였고, 15명(55.5%)이 필요하지 않다고 응답하였다.

단 만약 LDCT가 특수건강진단 1차 항목에 포함된다면, 디젤엔진배출물에 노출되는 모든 근로자가 아니라 최소 노출기간을 설정하고 해당 노출기간 이상으로 노출된 근로자들에 한해서 LDCT 촬영을 해야 한다는 것에서는 자문위원 전원이 동의한다는 의견을 보였다.

이에 최소 노출기간을 몇 년으로 설정하는 것이 좋겠느냐는 항목에서는 5명을 제외한 22명이 10년을 최소 노출기간으로 설정하는 것이 타당하겠다는 의견을 보였다. 기타 의견을 보인 5명 중 2명은 5년, 1명은 15년, 2명은 20년이 타당하겠다고 의견을 밝혔다.

또, 디젤엔진배출물 특수건강진단 1차 검사항목에 LDCT가 포함된다는 전제하에, 디젤엔진배출물 외 다른 폐암 유발 유해인자에 노출되는 근로자들에 대

해서도 LDCT 촬영을 도입하는 것이 필요하겠느냐는 문항에 대해서는 총 응답 인원 27명 중 19명(70.4%)이 필요하다고 응답하였다.

이외 디젤엔진배출물 노출 근로자가 국가 폐암검진 대상자에 해당할 경우 LDCT를 필수적으로 촬영해야 하는지 여부에 대한 응답 조사에서는 총 응답인원 27명 중 21명(77.7%)가 동의한다고 의견을 밝혔다.

디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자에 대해 LDCT를 도입하는 경우 촬영할 수 없는 특수건강진단기관이 상당수를 차지하는데, 이 문제를 해결할 수 있는 방안에 대한 의견들은 다음과 같았다.

특수건강진단기관을 항목별로 구분해야 합니다. 예를 들면, LDCT는 내원 검진을 기본으로 진행해야하고, 현행 출장중심의 특수건강진단을 장비를 갖춘 규모가 있는 병원급에서 구비해야 하는데, 그렇게 되면, 현재 광물성 분진부터 다양한 폐암유발물질에 대한 특수건강진단 체계에 대해서 함께 고민을 해야 할 것 같습니다. 발암성물질에 대한 2차 검진 등의 접근성을 고려할 때, 발암성이 있는 물질은 병원급 검진기관에서 암검진과 특수건강진단을 수행할 수 있도록 하는 것이 바람직해보입니다. 일반건강검진과 암검진이 분리되어 있듯이 특수건강진단도 CMR물질이나 특별관리물질에 대해서 다른 접근을 하는 것이 의학적인 관리에서 타당해보입니다. 현실적으로는 폐암, 비뇨기암에 대해서 적용이 가능할 것 같습니다.

폐암 조기진단을 위한 흉부촬영은 효과가 없는 검사방법으로, 장기적으로는 LDCT 도입이 필요한 상황이지만 현실적으로 LDCT 촬영이 가능한 기관은 많지 않음. 이에 현실적으로 다음과 같은 안들이 검토될 수 있음

- 1) 기존 폐암 유발물질에 대한 특수검진처럼 흉부촬영 등으로 대처
- 2) 국가폐암검진 대상자에 한해서만 LDCT를 타 의료기관에서 촬영하도록 하고, 특수건강진단 시에 해당 검사기록을 특수건강진단기관에 제출하도록 하는 방안

<p>3) 특수건강진단기관이 LDCT 촬영이 가능한 의료기관과 협약을 맺어 LDCT를 촬영하여 판독하게 하고, 이 결과를 협약을 맺은 특수건강진단기관이 확인할 수 있도록 하는 방안</p>
<p>현재 국가폐암검진 기관은 종합병원급 이상의 일반검진지정 기관으로 한정하여 지정되어 있습니다. 만약 특수건강진단 항목에 LDCT가 도입이 된다면, 그 항목에 대해서는 '디젤엔진배출물 특수건강진단 대상'에 대한 별도의 기관을 지정하여 검사를 수검할 수 있게 하는 방안이 고려될 수 있다. 그 외 LDCT 검사만 타기관에 의뢰하여 결과해석 및 판정을 특수건강진단 기관에서 하는 것도 고려해 볼 수 있다.</p>
<p>수탁검사로 다른 기관에서 촬영하고 적절한 수가를 책정해 주어야 한다고 생각합니다.</p>
<p>다른 특수건강진단 기관에서 촬영하는 것을 인정</p>
<p>국가폐암검진에 참여하고 있는 의료기관이 늘고 있다는 점을 생각해본다면, CT가 가능한 기관 중심으로 검진을 하다보면 수익모델이 잡히고 점차 많은 기관에서 참여가 가능할 것이라고 생각합니다. 특검기관에서 촬영이 불가하면 주변의 CT를 보유하고 있는 다른 의료기관에서라도 찍을 수 있게 하면 될 것 같습니다(항공신체검사에서 기관에 안과전문의가 없는 경우 외부 안과전문의에게 눈 관련 검사를 의뢰하듯이). 인구 1백만 명 당 CT 보유 대수는 OECD 평균을 상회하는 만큼 크게 어려운 일은 아닐 듯합니다.</p>
<p>LDCT를 도입한다면, 촬영 가능한 기관에서 수행.</p>
<p>촬영가능한 병원과 협약하여 진행하도록 함. 단, LDCT 에 대한 정도관리를 철저히 시행하여야 할 것임.</p>
<p>외부 기관에 의뢰하는 것이 필요할 것으로 사료됩니다. 의뢰가 가능한 기관의 장비 등의 기준을 제시하고 충족하면 인정하는 방향으로.</p>
<p>LDCT 검사에 한해서 개별 검진 허용</p>
<p>국가폐암검진기관 또는 LDCT 촬영이 가능한 특수검진기관으로 의뢰</p>
<p>LDCT에 대한 기본적인 질관리는 필요함</p>
<p>CT 촬영도 못 할 정도의 의료기관이면 특수건강진단을 하기에는 적합하</p>

<p>지 않은 의료기관이라고 판단된다. 특수건강진단 의료기관 질평가도 중요한 사안이기 때문에 의료적으로 필요하다고 판단되면 진행하면 더 좋을 것 같다.</p>
<p>유예기간을 두는 것이 필요한 것 같습니다.</p>
<p>디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자를 “만 54세 이상이면서, 10년 이상 노출자”와 같이 명확하게 제시하여, 대상자 숫자를 제한하는 것이 좋겠습니다.</p>
<p>1) 특수건강진단기관의 ‘직업성폐암검진’ 인증제도를 두고 관리, 2) 타병원에서 LDCT를 촬영한 결과로 특수건강진단기관에서 평가와 상담을 진행</p>
<p>대학병원 급 또는 LDCT를 촬영할 수 있는 곳으로 의뢰를 하는 것이 옳다고 봅니다.</p>
<p>질관리는 매우 중요한 부분이라 생각합니다.</p>
<p>국가폐암검진으로 인증된 기관(영상의학과 전문의, 적절한 CT기기(16채널 이상?), 선량기준충족 등)에서 실시되도록 해야 할 것입니다.</p>
<p>특수건강진단기관 중 CT가 없는 경우에는 의뢰해야 할 것입니다.</p>
<p>현재에도 생물학적 모니터링 대상 물질 중 해당 검진기관에서 분석이 불가능한 것들은 외부수탁 의뢰하여 결과를 받아 특검 결과에 첨부하여 주는 시스템이 있습니다.</p>
<p>LDCT가 불가능한 특검기관은 외부 가능한 의료기관과 협약 등을 통해 결과를 받아보고 관정에 반영하는 등의 방법이 있을 것 같습니다.</p>
<p>과거력이 밝혀진 30년 흡연자에게도 시행하는데 수많은 세월이 걸렸는데 (30여년?), 디젤엔진배출물의 노출 과거력이 불명확한 사람들을 대상으로 LDCT를 촬영한다? 과거력이 밝혀진 사람에 한해 직업환경의학과 의사가 권고하는 정도가 바람직하다고 봄.</p>
<p>CT 촬영의 경우 출장 검진이 불가하기 때문에 대부분의 기관에서 원내검진으로 이루어져야 합니다. 원내 검진의 경우 CT가 없는 기관이 얼마나 되는지 확인은 필요해 보입니다.</p>
<p>디젤엔진배출물 특수 건강 진단의 대상 인구가 많을 것 같지는 않아서 큰</p>

<p>문제는 없을 것 같습니다.</p>
<p>1차 검사에서 흉부사진 및 기타 가능한 검사를 필수로 하고 1차 검사결과 및 연령, 흡연력, 직업노출력을 고려하여 필요시 2차에서 선택적으로 LDCT를 활용할 수 있으면 좋겠습니다. (1차 필수 검사 제외). 1차 검사에서 흉부사진 등에서 폐암 혹은 종물(결절)이 의심되는 경우 어차피 HRCT 검사가 필요하므로 검사가 불가능한 기관은 타기관 진료를 의뢰하도록 하는 것이 어떨는지요.</p>
<p>LDCT가 가능한 의료기관에서 촬영 후 영상 및 판독결과 값을 받으면 된다고 생각합니다.</p>
<p>LDCT 검사는 검사가 가능한 기관에 의뢰한다.</p>
<p>이것은 LDCT검사항목만의 문제는 아닌 것 같습니다. 1차가 아닌 2차에서 시행하는 경우 이상소견에 대한 검사시행이므로</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 수가를 지불하는 사업주 입장에서는 급여 외래 오더로 진행하여 시행하는 것이 수가적으로 좋음 2. 병원전산과 검진 전산을 분리하여 사용하는 기관에서 예약, 수납, 시행에 있어 행정적인 문제 <p>위의 문제가 차지하는 부분이 매우 크기 때문에 이러한 행정적, 절차상의 문제를 논의하지 않고 항목만 개설하는 것은 의미가 없다고 생각합니다. 위의 행정적 문제에 대한 검토가 이루어진 뒤에는 2차 특수검진 항목 중 1차 검진기관에서 해당 항목을 검사할 수 없을 경우 지정 2차 기관에 검진이 연계하여 시스템적으로 이루어 질 수 있도록 갖추고 시행을 하여야 할 것입니다.</p>
<p>20년 이상 노출된 사람은 가능한 검사가 가능한 기관으로 의뢰한다.</p>
<p>암검진 지정 기관만 가능하도록</p>
<p>필수항목으로 지정된다면 특수건강진단기관이 LDCT를 도입하거나 사실상 문을 닫거나 하는 것 말고 다른 방법은 없는 것 같습니다. 인근 의료기관과 장비를 공유하거나 외부 (영상의학과) 의원 등에서 LDCT만 시행하는</p>

<p>방법은 현실적으로 불가능하고 작동하지 않을 것이라고 생각합니다.</p>
<p>현재 CT는 정도관리 항목이 없는데, 폐암 2차에 대한 별도 기관의 정도관리와 검사를 받도록 하는 것이 좋을 것 같습니다. 아니면 국가암검진의 폐암검진이 가능한 곳과 같은 조건이어도 되겠지만, 직업적인 특성을 고려하여 석면이나, 직업성 암에 대한 기본적인 지식이 없이 판정하지 않도록 교육과 제도적 장치가 필요할 것입니다.</p>
<p>적절한 수가를 보장해 주고 특수검진 기관이 아니라고 할지라도 정도관리에 통과한 기관을 외부 수탁기관으로 선정하여 촬영할 수 있게 해 주면 될 것 같습니다.</p>
<p>다른 특수건강진단 기관 혹은 국가폐암 검진기관에서 촬영 가능하도록 하게 한다.</p>
<p>LDCT를 찍을 수 있는 곳에서만 특수검진 실시.</p>
<p>일정한 조건을 갖춘 기관에 의뢰하는 것으로 하는 것이 적절</p>
<p>디젤엔진배출물 대상자의 수에 따라 달라질 수 있다고 봅니다. 또는 현실적으로 LDCT 촬영의 수행가능성이 떨어진다고 판단된다면 대상자의 수를 조절하는 것도 방법이 될 수 있습니다. 대상자 선정에 있어서 Evidence based guide도 물론 기본적으로는 만족시키는 방향으로 가되, 현실적인 측면에서 수행가능성도 고려하면서 시범사업을 진행시키고 향후 필요성이 증대된다면 비용 효과 분석을 통하여 대상자 수를 조절하는 방향으로 가는 것이 어떨까요.</p>
<p>우선은 LDCT 촬영이 가능한 특수검진기관 또는 국가폐암검진기관으로 의뢰. LDCT에 대한 기본적인 근로자 건강진단 맞춤형 질관리가 필요하므로 향후 일정기간 유예 후 특수검진기관으로만 의뢰할 수 있도록 개선. 특수건강진단기관은 정당한 투자를 실시.</p>
<p>직업환경연구원에서는 폐암의 업무상질병 인정 시, 명백한 폐암발암물질 노출 기간이 10년 이상일 경우를 유의한 노출로 보고 있습니다.</p>
<p>디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자는 디젤연소물질에 의한 발암위험이 높은 집단으로 한정하면, 대상자규모가 줄어들 것으로 예상됩니다. 대상자</p>

<p>규모가 줄어들면 특수건강진단기관의 수용한계에 대한 부담이 줄어들 것으로 예상됩니다.</p> <p>국가폐암검진인증기관에서 LDCT를 촬영한 결과를 사용할 수 있도록 하는 방안이 실행가능성이 높습니다.</p> <p>폐암검진에서 객담세포검사는 신뢰성이 낮아서 제외해야 합니다.</p>
<p>2차 검사로 실시를 해서 다른 특수검진기관에서 촬영을 하게 하는 것이 맞다고 생각합니다.</p>
<p>법 정해지면 해야겠으나, 즉각 시행한다면, 이는 형평성에 어긋난다고 판단한다.</p>
<p>질관리 부분은 중요하기 때문에 가능한 기관에서 시행하여야 하고, 가능하지 않다면 가능한 기관에 의뢰를 해야 합니다.</p>
<p>지금도 2차 검진에서 필요시 흉부CT검사를 시행하도록 하고 있으므로 1차 검사 후 필요시 2차 검사를 시행하면 좋을 듯합니다. 1차 검사에서 필수로 지정하면 처음에는 기관별로 저항이 심할 수 있고, 고가장비를 무분별하게 각 기관이 도입하려는 경향도 촉발 할 수 있으니, 타 의료기관과 협력하여 해결하도록 하는 것이 바람직해 보입니다.</p>
<p>특검으로 진행하는 LDCT가 screening으로 1차에서 진행하느냐 2차에서 진행하느냐에 따라 문제 해결방법에 차이가 있습니다. 1차 진행의 경우 기존 설문 응답자의 의견처럼 유해성이 높은 물질에 대한 검진 자체를 병원급에서 진행할 수 있도록 한정하여 진행하는 것을 고려해야 할 것입니다. 2차로 진행할 경우 외부기관에서 검사하여 결과를 첨부하는 기존의 시스템은 병원급의 경우 2차 진행이 검진 차원에서 비급여로 이루어지는 반면 의원급(자체 LDCT가 없어 외부와 협약을 통해 진행)의 경우 외부검사는 대부분이 급여로 진행이 되어 같은 검진임에도 불구하고 수가 차이가 많이 나서 오히려 사업주에게는 선호하는 방향을 제시하는 것이 될 수도 있습니다. 따라서 보유하고 있지 않는 검사들에 대한 의뢰 시 지불방법(노동부, 보건복지부 의료비 체계)에 대한 전반적인 체계 설립이 절실합니다.</p>
<p>LDCT가 가능한 의료기관에서 촬영 후 영상 및 판독결과 값을 받으면 된</p>

<p>다고 생각합니다.</p>
<p>암검진 지정 기관만 실시</p>
<p>필수항목으로 지정하게 되면 해결방법이 없습니다. LDCT를 도입하던지 아니면 디젤엔진배출물 검진을 받아야 하는 근로자가 있는 사업장 검진을 못하던지 둘 중 하나가 될 것입니다.</p> <p>LDCT 없으면 그 검사만 다른 기관에서 검사하도록 허용하면 될 것 같지만 이 방법은 작동하지 않을 것입니다. 어떤 사업장에 근로자가 수 십 명 또는 그 이상 있다고 할 때 그 중에 디젤엔진배출물에 대한 검진을 받는 사람은 소수(수 명 정도)일 것입니다. 그러면 사업장 입장에서는 LDCT가 가능한 기관에서 모든 근로자가 한꺼번에 검진을 받도록 하는 것이 행정소요가 적기 때문에 굳이 LDCT가 없는 기관에 의뢰할 이유가 없게 됩니다. 근로자 입장에서도 CT 검사를 받으러 다른 기관에 다녀오라고 하는 것은 수용성이 거의 없습니다.</p> <p>야간검진 도입 초반에 사업장 근로자 대상으로 일반검진만 하던 검진기관에서 발생한 문제입니다. 당시 문제는 직업환경의학 전문의-특수건강진단 기관 지정 문제였지만, 결과적으로는 같은 속성의 문제가 발생할 것입니다.</p> <p>디젤엔진배출물 특수검진 대상자의 규모가 작다면 불편의 총 크기는 작겠지만, 근로자와 사업장, 검진기관에서 발생하는 민원소요는 무시하기 어려울 정도가 될 것입니다.</p>

디젤엔진배출물 특수건강진단 1차 검사에서 LDCT 도입과 관련해서 그 밖에 다음과 같은 의견들이 제시되었다.

<p>특검 대상자에 대한 제한 필요: 디젤엔진배출물 노출 10년 or 고노출 or 고노출직종 등 누적노출량이 충분히 높다는 전제가 되는 대상으로 실시</p>
<p>방사선 노출도 고려해야 함. 주기를 2년 혹은 4년마다</p>
<p>배치전에서는 불필요, 1차에서는 흡연과 마찬가지로 노출량을 먼저 파악해서 위험도가 높은 노동자에게 검사를 진행하는 것이 필요할 것 같습니다. 불</p>

<p>필요한 방사선 노출이 집단적으로 오히려 폐암 위험을 증가시킬 수 있습니다. 따라서 우리나라는 현재 노출평가 없이 특수건강진단을 실시하고 있는데, 노출평가와 함께 특수건강진단이 이뤄지는 틀로 변화가 필요합니다.</p>
<p>디젤엔진배출물 노출 노동자에 대해서 LDCT를 촬영하게 되면 다른 폐암 유발 물질에 대해서도 LDCT 촬영을 하는 것이 형평성이 맞음</p> <p>LDCT를 보편화하려면 각 폐암유발 유해요인별로 비용-편익이 있는지 따져봐야 하며, 추가적인 방사선 노출, 위양성 결과에 따른 추가검사 및 이로 인해 발생하는 이차적인 문제들에 대해서도 충분히 고려해야 함</p>
<p>LDCT는 국가암검진 도입에도 논란이 있었으며, 그 효과에 의문이 제기되고 있다. 실제 LDCT가 폐암조기 발견과 폐암으로 인한 유의한 사망률 감소에 도움이 되었다는 연구는 2011년 미국 NLST 연구 뿐이며, 최근 연구에서는 폐암검진으로 인한 과도한 위양성 증가로 인한 환자의 피해 위험성이 대두되고 있다. 디젤엔진배출물에 노출되는 직군이 폐암의 위험이 높은 것은 사실이나, 노출집단에서의 위험의 크기가 크지 않고(RR 1.33), LDCT가 위양성이 높아 과진단되는 비율이 상당히 높은 검사로, 이로 인한 수검자의 피해 (위양성으로 인한 기관지 내시경 및 폐생검, 심리적인 불안 등) 위험이 높은 것을 고려할 때, 수검자에게 득보다는 실이 더 클 것으로 생각된다. 혹시 특수검진에 도입되더라도 이러한 피해가 최소화될 수 있도록, 무분별한 검사가 이루어지지 않도록, 특수검진 대상자 중에서도 LDCT 검사 대상을 제한할 필요가 있다(예시: 폐암의 잠복기를 고려하여 10년 이상 노출로 제한).</p>
<p>저선량 CT를 노출기간이 충족된 근로자만을 대상으로 할 때 정확한 노출기간이 조사될 수 있는지 여부가 중요하고, 노출되는 사람을 모두 촬영해 줄 경우 검진 대상자를 사측에서 누락할 수 있는 가능성도 있어 필수 업종 등에서 일정기준을 만족하는 근로자를 대상으로 정해 주는 것이 중요할 것 같습니다.</p>
<p>수검자에 따라 방사선 노출에 예민하신 경우 거부감이 있을 수 있고,</p>

LDCT의 경우 비교적 적은 방사선이기는 하나 방사선 노출에 따른 위험평 가도 되어야 한다고 생각합니다.
과잉 검진이라는 이야기가 나오지 않도록 철저한 문헌 고찰 및 시범사업 의 반복적인 시행을 통하여 inclusion criteria를 정한다면 문제없을 것 같습 니다.
디젤엔진배출물 노출자 전원에서 1차 검사로 LDCT 도입하는 것은 근거 없고, 불필요한 조치임. 다만, 10년 이상 노출이면서, 50세 이상 정도의 기준 으로 1차 도입은 검토할 수 있음. 또한 앞서 질문에 디젤엔진 배출물 특수건 진대상자이면서 국가암폐암검진 대상자에게 필수적으로 LDCT를 촬영한다는 의미는 국가폐암 검진 대상자는 필수가 아니라 할 수 있다고 설명하고 있어, 이를 강제한다는 의미로 질문하는 것인지 확인 필요함.
폐암 조기진단에 유용한 검사이므로 적극 도입해야 한다고 생각함.
현행의 특수건강진단에서와 같이 유해인자의 취급유무와 표적장기만을 고 려하고 노출(exposure)의 수준을 고려하지 않는 경우에 LDCT의 경우 방사 선 노출의 위험과 검사를 통해서 얻을 수 있는 이익에 대한 면밀한 고려가 필요함. 특히 다수의 노동자들을 대상으로 하는 집단 스크리닝의 개념에서는 더욱 그러함. 현행의 특수검진의 구조에서 비용부담이 큰 검사를 2차검진이 아니라 1차 검진에서 시행하는 것이 사업주들의 수용성을 높일 수는 있을 것이나, 방사선 노출로 인해 노동자들이 부가적으로 받게 되는 위험을 고려 하지 않을 수 없을 것 같음. 2차 항목으로 정하고 1차에서 직환의 문진을 통 해서 LDCT 촬영여부를 결정하고, 이러한 결정을 위해서 기본적인 가이드를 제공하는 것이 어떨까 생각이 듦.
고가의 검사를 2차로 내는 것에 대한 현실적인 부담이 있겠지만 이것을 극복하는 것 역시 중요한 과제일 것이라고 생각됨.
폐암이 국가암검진 시범사업을 거쳐 시행되고 있는 중입니다. 폐암의 다 양한 원인 중에는 흡연뿐만 아니라 직업적인 원인도 있습니다. 국가암검진 사업의 목적은 질병의 원인 자체가 아니라 질병을 관리하는 것에 있으므로,

<p>흡연 이외의 원인들도 고려되어야 한다고 생각합니다.</p>
<p>1차 도입은 의학적인 근거가 부족하며, 현실적인 문제가 발생하므로 2차 검사에서 전문의 판단 후에 시행</p>
<p>디젤엔진배출에 노출되는 노동자들은 상당수 많을 것 같다. 의학적으로 CT검사의 민감도와 특이도에 의문이 있고, 현재 흡연자에 대해서 LDCT를 찍고 있는데 중요한 것은 금연을 유도하는 것이 더 중요한데 사후관리가 잘 이루어지지 않고 있다. 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자도 동일한 일이 일어날 가능성이 크기 때문에 1차 검사에서 CT 촬영은 과잉진료라 생각된다.</p>
<p>LDCT는 상당히 높은 수준의 위양성을 보이므로, 조기검진에 대한 이득이 검진으로 인한 방사선노출과 위양성으로 인한 해보다 크다고 판단될 수 있는 수준을 근거로 누적노출수준과 검진대상자가 설정되어야 할 것 같습니다.</p>
<p>현재 1차 검사에서 LDCT 도입은 필요는 하지만 전체 특수건강진단 기관의 사정 등으로 무리가 되는 것 같습니다. 차라리 흉부 CT처럼 2차 검사로 하는 게 어떨지요?</p>
<p>시험사업을 통해서 도출된 과정부분과 결과부분, 사후관리부분에 대한 여러 문제들에 대해서 정리하여 전문가들이 토의를 해 보는 것이 필요합니다.</p>
<p>디젤엔진배출물 노출 근로자 선정 기준 및 대상범위를 합리적 근거로 제시하는 것이 매우 중요할 것 같습니다.</p>
<p>그런데 아래의 EC: '원소탄소(elemental carbon)'로 디젤엔진배출물 노출 대리지표를 기준으로 선정하는 것은 현실적, 비용적(40만여 명이 종사하는 업종 또는 작업별로 측정하여 구분해 내는 것) 어려움이 있을 것 같습니다.</p>
<p>현실적으로는 작업환경 측정기준을 마련하고 측정기준의 50%이 노출 사업장 근로자 등과 같이 보다 실효적인 방안을 마련해야 할 것 같습니다.</p>
<p>그리고 노출수준이 높아 발암 가능성이 높으며, 실제로도 직업성 폐암 발생 및 승인이 되었고, 앞으로도 실효적인 특검에 의해 발생 가능성이 많은 업종의 작업 종사자에 해당됨을 논문이나 사례보고, 연구보고서 등을 통해 설득력 있게 제시하는데 시간을 많이 들여야 할 것 같습니다. 또한 어렵겠지</p>

<p>만 가능하면 비용효과 분석도 의뢰하여 특수건강진단 1차 검사에서의 LDCT 검사가 비용대비 효과가 있음을 증명하여 제시해 주시길 바랍니다.</p>
<p>이 비싼 것을 굳이 찍으려고 하는 경우 노동자들 본인들이 반대하지 않을지 우려되네요.</p>
<p>우선 특수건강검진의 경우 매년 시행합니다. 스크리닝 목적으로 LDCT로 매년 f/u을 해야 하는 것이 방사선 노출 측면에서 타당한지 검토가 필요해보입니다.</p>
<p>1) 1차 필수항목에서는 흉부사진 등으로 대체하고, 2차 선택검사로 두는 것이 바람직합니다. 다른 폐암 유발 유해인자의 경우도 현실가능성 및 유용성 등을 고려한 결과라 생각되며 디젤엔진배출물도 폐암을 고려한 선정이라면 유사하다고 판단됩니다. 필수가 되면 기관의 검사 가능여부에 따라 근로자의 접근도가 떨어질 수 있어 애초에 특수검진을 기피하는 부작용도 있을 듯합니다.</p>
<p>2) 아니면 1차 검사에서 흉부사진 및 기타 가능한 검사를 필수로 하고 연령, 흡연력, 직업노출력을 고려하여 필요시 1차에서 선택적으로 LDCT를 시행하도록 하는 방안</p>
<p>노출 수준이라는 것이 '공기 중 노출농도'와 '노출기간'인데, 이 두 변수를 모두 고려하여 'LDCT가 필요한 최소노출기간'을 노출 노동자 개인별로 정하는 것은 어떨까 합니다. 흡연자의 30pack-year가 LDCT 검진의 기준이 되는 것처럼 일종의 dose-year를 구하고 검진여부를 결정하는 것을 의미합니다. 그리고 폐암 발생에는 연령과 흡연이 관련변수인데, 이 부분도 함께 고려하는 것은 어떨까 합니다.</p>
<p>1차에 도입하기 위해서는 고위험군을 선별해서 해야 한다. 예를 들면 중사 업종에 따라 고노출군은 5년 이상, 중 노출군은 7년 이상, 저 노출군은 10년 이상 등 기존 연구 결과를 기준으로 노출기간이나 노출량을 기준으로 고위험군에 대한 정의를 해야 한다.</p>
<p>디젤엔진배출물에 대한 검진자의 노출정도가 야외작업자, 노출력이 많지 않은 경우가 많다는 전제하에서는 1차 검진으로 실시하는 것은 합당하지 않</p>

<p>을 것으로 사료됩니다.</p>
<p>수첩 소지자 검진에도 1차에 도입이 필요함</p>
<p>특수건강진단에서 LDCT를 필수항목으로 지정하게 되면 예상보다 매우 큰 변화가 생길 수 있습니다. 모든 검진기관이 LDCT를 도입함으로써 큰 비용부담이 발생하게 되어 이를 보전하기 위한 무리한 검사시도가 이어질 수 있고, 반대로 LDCT가 특수건강진단기관의 문턱으로 작용해서 현재의 지역별 수급이 무너지거나 교란될 수 있습니다.</p> <p>야간작업 특수건강진단에서 보듯, 해당 검사를 실시할 수 없는 지역이 발생할 가능성이 높고, 그렇게 되면 또다시 일반검진기관이 LDCT가 필요한 항목에 대한 특수건강진단을 맡게 되는 악순환이 발생할 것이라고 생각합니다.</p> <p>현재의 기관 상황을 유지해야 한다는 뜻이라기보다는 LDCT 도입 이후의 변화에 대한 많은 고민이 필요하다는 의견으로 봐주시면 감사하겠습니다.</p>
<p>연령, 노출력 고려하여 도입</p>
<p>현행의 특수건강진단에서와 같이 유해인자의 취급유무와 표적장기만을 고려하고 노출(exposure)의 수준을 고려하지 않는 경우에 LDCT의 경우 방사선 노출의 위험과 검사를 통해서 얻을 수 있는 이익에 대한 면밀한 고려가 필요함. 특히 다수의 노동자들을 대상으로 하는 집단 스크리닝의 개념에서는 더욱 그러함.</p>
<p>현재 폐암의 다른 위험물질인 6가크롬, 니켈, 비소, 석면 등의 물질에 대해서도 1차 검사로 CT를 찍는 물질은 없습니다. 현실적으로 디젤엔진배출물의 1차 검사로 LDCT를 찍어야한다면 문헌적 근거로 우선고려를 할 수 있겠으나 근거가 부족한 실정입니다.</p>
<p>직업환경의학 전문의 판단으로 필요시 또는 일정 근거가 있는 기준에 따라 1차 검사 실시.</p>
<p>LDCT는 상당히 높은 수준의 위양성을 보이므로, 조기검진에 대한 이득이 검진으로 인한 방사선노출과 위양성으로 인한 해보다 크다고 판단될 수 있는 수준을 근거로 누적노출수준과 검진대상자가 설정되어야 할 것 같습니다.</p>

<p>1차 검사에서 LDCT를 도입하는 것은 다른 폐암과 관련된 유해인자들 때문에 옳지 않다고 판단이 됩니다.</p> <p>다만, 2차 검사로 해서 1차 검사에서 이상이 나올 경우나 의사의 판단 하에서 실시를 하는 것이 나올 듯합니다.</p>
<p>참고(*)전문의들의 반대가 심한데, 이를 소신을 가지고 추진하려면 유해물질과 검사처방의 분류를 다시 해야 할 것으로 보인다. 물질 분류 중 디젤엔진배출물과 같은 통합적인 명칭은 분류를 따로 해주시고, 검사도 LDCT같이 논란이 있거나 고가항목은 분류를 따로 해서 고가검사로 묶어 주시기 바랍니다.</p>
<p>LDCT에 대한 타당성 검토가 필요하고 수검자를 제한할 필요가 있습니다. 노출력 10년 이상 등으로 해서.</p>
<p>1) 노출 근로자를 특정하여 그 노출 정도를 작업환경측정으로 확인해서 제한적으로 직업력, 흡연력 인정되면 1차 검사에서 LDCT도입을 검토할 수는 있으나 아직까지는 준비가 미흡하고 검사의 신뢰도등을 고려할 때, 전면적 도입은 어려울 듯합니다. 유예기간. 국고사업(디딤돌사업)에서 시범사업으로 도입하는 방법 등 점진적 접근도 고려할 수 있으며 측정 혹은 대상자 선정의 매뉴얼을 같이 마련할 수 있다면 가능할 것으로 보입니다.</p>
<p>2차 선택검사로 직업환경의학 전문의의 전문적인 의견을 뒷받침하는 검사로 시행하여야 합니다.</p> <p>노출 수준이라는 것이 '공기 중 노출농도'와 '노출기간'인데, 이 두 변수를 모두 고려하여 'LDCT가 필요한 최소노출기간'을 노출 노동자 개인별로 정하는 것은 어떨까 합니다. 흡연자의 30pack-year가 LDCT 검진의 기준이 되는 것처럼 일종의 dose-year를 구하고 검진여부를 결정하는 것을 의미합니다. 그리고 폐암 발생에는 연령과 흡연이 관련변수인데, 이 부분도 함께 고려하는 것은 어떨까 합니다.</p>
<p>디젤엔진배출물로 한정하지 말고 폐암 유발물질로 알려진 특수건강진단 유해인자에 대하여 LDCT 검사를 도입할 것인지에 대한 논의가 먼저 필요합니다.</p>

도입한다면 어떤 유해인자에 우선순위를 둘 것인지 정하는 것이 필요합니다. 발암성에는 역치가 없다고는 하지만 발생에 관한 노출수준과 검진의 유용성이 있는 노출수준은 분명 다르기 때문에 유해인자의 특성과 더불어 노출수준에 대한 평가와 대상자 선정기준 마련이 필요합니다.

의학적으로 폐암의 원인이라는 점이 명백한 흡연에 대해서도 폐암 조기검진은 최근에서야 도입되었고, 유용성에 대해서는 여전히 논란이 있습니다. 또한, 국가폐암조기검진도 대상자 선정기준에 흡연력과 나이 제한이 있는 것을 고려하면 같은 방식으로 대상자를 선정해야 합니다. 비발암성 건강영향과는 다른 시각으로 접근하는 것이 필요합니다.

3) 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자

<표 III-69> 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자와 관련된 의견

항목	빈도	퍼센트(%)
디젤엔진배출물 특수건강진단에서 대상자를 제한해야 한다고 생각하십니까?	총 응답인원: 26명	
① 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자의 경우 제한없이 모두 특수건강진단을 실시해야 한다.	2	7.7%
② 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자 중 특정 조건을 만족하는 경우만 특수건강진단을 실시해야 한다.	24	92.3%
(현재 소음에 대한 특수건강진단처럼) 디젤엔진배출물 노출 노동자 중 작업환경측정 결과 일정 수준 이상인 노동자만 특수건강진단을 실시하는 안에 대해서 동의하십니까?	총 응답인원: 27명	
① 동의한다	23	85.2%
② 동의하지 않는다	4	14.8%
동의한다면 노출수준은 어느 정도로 하는 것이 적절하겠습니까?	총 응답인원: 23명	
① 20세부터 45년 동안 노출 시 80세에 폐암으로 추가적으로 사망하는 사람이 10,000명 중 17명인 수준($1 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$)	3	13.0%
② 20세부터 45년 동안 노출 시 80세에 폐암으로 추가적으로 사망하는 사람이 10,000명 중 200명인 수준($10 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$)	15	65.2%
③ 20세부터 45년 동안 노출 시 80세에 폐암으로 추가적으로 사망하는 사람이 10,000명 중 689명인 수준($25 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$)	1	4.3%
④ 자극 증상 등 급성 건강영향을 일으키는 LOEL 수준의 절반($37.5 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$)	3	13.0%
⑤ 자극 증상 등 급성 건강영향을 일으키는 LOEL 수준($75 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$)	1	4.3%

디젤엔진배출물 특수건강진단에서 대상자 제한여부에 대해서는 자문위원 27명 중 26명이 응답하였고, 이 중 92.3%에 해당하는 24명이 특정한 조건을 만족하는 디젤엔진배출물 노출 근로자에 대해서만 특수건강진단을 실시해야한다고 응답하였다.

또한, 현재 소음에 대한 특수건강진단 대상 근로자 선정에 관한 것처럼, 디젤엔진배출물 노출 근로자 중 작업환경측정 결과 일정 수준 이상 디젤엔진배출물이 측정되는 근로자의 경우 특수건강진단을 실시하는 안에 대해서는 총 응답 인원 27명 중 23명(85.2%)이 동의한다고 응답하였다.

이 경우 동의하는 23명 중 15명(65.2%)이 elemental carbon 기준 $10 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 을 기준으로 하는 것이 적절하겠다고 응답하였으며, 이외 $1 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ (3명, 13.0%), $37.5 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ (3명, 13.0%), $25 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ (1명, 4.3%), $75 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ (1명, 4.3%)이 뒤를 이었다.

작업환경측정 결과를 바탕으로 한 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자 선정에 동의하지 않는 경우 그 이유에 대해서 다음과 같은 의견들이 제시되었다.

작업환경측정결과에의 신뢰도 문제가 있습니다. 측정결과에 따라 특검유무가 달라지면, 측정결과를 바꿀 수 있으며, 작업환경측정결과가 노동자의 노출량을 대표하기 어려운 상황(업무량이나 환기상태, 작업시간 등)도 있기 때문에, 작업환경측정은 참고용이지, 이를 근거로 특검대상자를 정하는 것은 위험합니다. 현재 작업환경측정결과를 참고하지만, 특수건강진단 사전조사 단계에서 특검대상자와 항목이 확정됩니다. 추후에는 이 사전조사 과정을 더 강화하고, 특수건강진단 대상자와 검사를 정할 수 있어야합니다.

물리적 인자가 아닌 화학적 인자에 대해서는 노출수준의 여부와 상관없이 특수검진을 수행하는 상황에서 디젤엔진배출물에 대해서만 노출 수준을 요구하는 것은 문제임. 특수건강진단 전반에 걸쳐서 노출 수준의 문제를 고려하거나, 검진 대상 선정에 있어서 직환의 재량을 넓힌다거나 하는 논의 없이 디젤엔진배출물에 대해서만 별도의 기준을 제시하는 것은 제도의 일관성

과 안정성에 있어서 논란을 일으킬 여지가 있음.
어떤 지표로 할지 모르겠으나, 작업환경측정 결과값이 매우 낮은 것으로 판단합니다.
또한, 현재의 우리나라의 작업환경측정 결과값으로 노출 유/무 정도 또는 노출수준에 대하여 참고할 수는 있으나 기준으로 삼기에는 제한되고 불안한 요소들이 많다고 생각합니다.
소음의 경우 역치 값이 존재 하지만 디젤엔진배출물에 노출되는 근로자의 경우 역치 값이 있다고 보기 어렵다. 노출될 가능성이 있다면 특검을 실시하는 것이 바람직하다.
‘원소탄소(elemental carbon)’로 디젤엔진배출물 노출 대리지표로 소개한 물질은 작업환경측정기관에서 측정이 가능한지, 준비하는데 시간이 걸리지 않을지, 앞선 질문의 노출 수준에 대한 기준이 선정하기 어렵습니다. 쉽게 측정 가능하다면 최소 수준, 즉 일반 대기 평균 이상이면 위험요인에 노출되었다고 평가하고 특수검진 진행해야 하지 않을까 합니다.
아직 노출 측정 방법이 정해지지 않은 상태에서 노출수준 기준을 추가하기는 힘들 것으로 생각됨.
일단 디젤엔진배출물에 대한 특검 등의 조치를 취하는 것은 노출에 대한 관리의 필요성을 높이는 것이며, 최소한 실내작업 시에는 디젤엔진장비를 사용하지 않도록 개선을 유도할 수 있을 것임. 디젤엔진배출물에 대한 작업환경측정자체가 용이하지 않은 상황으로 노출수준을 기준으로 평가하기 어려움. 실외작업의 경우는 작업환경측정자체도 용이하지 않은 상황에서 노출평가를 통해서 기준을 삼기도 어려움. 실내작업의 경우에는 모든 노동자들을 대상으로 하고, 실외작업의 경우에는 직종을 정해서 대상이 되면 모두 특검에 포함되어야 함. 특수건강진단 전반에 걸쳐서 노출 수준의 문제를 고려하거나, 검진 대상 선정에 있어서 직환의 재량을 넓힌다거나 하는 논의 없이 디젤엔진배출물에 대해서만 별도의 기준을 제시하는 것은 제도의 일관성과 안정성에 있어서 논란을 일으킬 여지가 있음.
노출수준을 근거로 해야 한다는 것에는 동의하지만, 그 근거로써 작업환

<p>경측정자료로 하는 것에 반대한다는 의미이다. 당연히 고위험군을 선별해서 시행해야 한다. (고위험노출군, 연령, 근무기간 등 고려)</p>
<p>노출기준이 정해지지 않았고, 그 노출기준이 예방목적의 검진에서 타당한지 의문임. LDCT 촬영의 경우는 제한이 필요하지만, 특검은 폭 넓게 접근해야 함.</p>
<p>현재까지 소음 외 측정결과 노출수준을 기준으로 특검 대상자를 선정하는 경우는 거의 없는 이유와 동일합니다. 측정과정 및 결과의 신뢰도 문제와 노출수준과 건강영향과의 관계가 명확하지 않다면 이를 기준으로 대상자를 선정하는 것은 어렵습니다.</p>

4) 디젤엔진배출물 특수건강진단 관련 기타 의견

관련된 의견을 자유롭게 기술하도록 하였고, 다음과 같은 의견들이 제시되었다.

<p>시범사업을 통해 직업적으로 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자에서 LDCT 유용성(폐암 조기 발견을 등)에 대해 검증해보고 특수건강진단에 도입하는 것이 좋을 것 같습니다.</p>
<p>발암물질에 대해서는 반드시 특수건강진단을 통하여 질병예방과 노동자 건강보호가 필요합니다. 다만, 자동차 정비업종(현재 서비스업종)이나 영세한 작업장일수록 디젤연소배출물 노출의 위험이 높을 가능성이 있으며, 자영업자 등은 위험에 노출되어도 건강관리가 어려울 수 있어서, 비용지원 사업으로 출발하면 좋겠습니다. 흡연의 영향도 크기 때문에, 오히려 LDCT는 국가 폐암검진에서 노동자 노출도 함께 고려해서 기준을 정할 수 있어도 좋고, 그러기 위해서는 결국 현재의 특수건강진단 암검진구조가 국가암검진과 연계가 되는 것이 타당해보입니다.</p>

검진 후 사후관리 측면에서 디젤연소배출물의 저감에 대해서 보다 더 구체적인 관리방법이 필요할 것으로 판단됩니다. 예를 들면, 사후관리에 보호구 착용, 금연 뿐 아니라, 정비업종은 멀티호스 시스템이나, 차량의 환기와 관련된 현장개선에 대해서도 추가적인 제안이 있으면 좋겠습니다.

1 $\mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 농도가 매우 낮은 농도라서 달성하기가 쉽지 않지만 디젤엔진에 대한 규제가 점차 강화되는 추세에서 기존 디젤엔진 장치들이 대체되면 점차적으로 그 미만으로 유지할 수 있는 경우가 많아질 것으로 생각함

디젤엔진배출물은 복합물질이고, 디젤엔진의 상태 및 운행 조건 등에 따라서 그 성분의 비율이 다르게 배출되므로 단일 물질 측정으로 그 노출수준을 파악하기가 어려움. 측정 물질로 elemental carbon, black carbon, NO₂ 등이 고려될 수 있으나 각 측정 지표별로 장단점이 있으며, 한 가지만으로 모든 노출을 정확하게 반영할 수 없음. 그럼에도 현실적으로 기존 연구에서 가장 많이 거론이 된 elemental carbon을 기본으로 하여 특수건강진단 대상자를 선정하는 것이 가장 적합할 것으로 보이며, 작업환경측정에서 elemental carbon을 측정하지 않는 경우에는 elemental carbon 농도 노출 시 그에 준하는 black carbon이나 NO₂ 등의 농도를 기준으로 삼아 특수건강진단 대상자를 선정하는 것이 바람직할 것으로 생각함.

다만 작업환경측정결과를 바탕으로 대상자를 선정했을 때는 측정 시의 환경 등에 의해서 결과값이 많이 달라질 수 있을 것으로 보임. 이에 특수건강진단에서 누락되는 사람이 최소화될 수 있도록 비교적 낮은 농도인 1 $\mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 농도가 적합한 기준이라고 생각함.

디젤엔진배출물에 의한 직업성 암을 조기에 발견할 수 있는 스크리닝 검사의 기능으로서 특수건강진단이 매우 유용할 것으로 생각됩니다. 저선량 CT의 비용이 비교적 저렴해진 만큼 일정 수준의 노출에 해당하는 근로자들을 모두 스크리닝으로 검사했다면 좋겠습니다.

작업환경측정의 방식이나 JEM이 아직 확립되지 않았으므로 건물 내의 지하나 밀폐공간, 갱내, 터널 내 작업자 중 노출 기간이 긴 사람들을 대상으로

<p>수년간 선별적 시범사업을 시행하는 것이 좋다고 생각합니다.</p>
<p>작업환경 측정하여 EC 가 10ug/m³ 이상 측정되는 작업은 매우 적음. 과거 측정결과 등을 근거로 대표 직업군에 예시를 할 필요 있음</p>
<p>디젤엔진배출물에 대한 누적노출량에 대한 지속적인 평가가 가능하도록 시스템 마련이 필요할 것으로 생각됨.</p>
<p>질문에 대한 응답이 좀 애매한 부분이 있음. 디젤엔진배출물 특검은 현행의 체계처럼 노출되는 모든 노동자들을 대상으로 하고 폐암과 관련된 부분에 대해서는 2차 검진을 통해서 수검하는 경우가 적절한 것이 아닌가 싶음. 현재의 질문은 1차 검진에 LDCT를 넣는 것을 전제로 1차 검진 대상 선정에 노출의 수준을 고려하도록 하는 것으로 보임.</p> <p>또한 디젤엔진배출물이 현재 작업환경측정대상 물질이 아닌 상황에서 노출수준을 평가하는 방식에 대해서도 제안이 필요한 것이 아닌가 싶음.</p>
<p>디젤엔진배출물의 대부분은 미세입자로 이루어져 있는 만큼, 현재 이슈가 되고 있는 '미세먼지'와도 밀접한 관계가 있다고 알고 있습니다. 향후 직업병 뿐만 아니라 환경의학의 측면에서도 중요한 주제라고 생각합니다. 이에 대하여 선진국들이 주도하여 자동차의 배출가스 규제를 점진적으로 엄격하게 강화시키고 있습니다. 하지만 자동차가 아닌 용도로 사용되는 디젤엔진들의 배출가스 규제는 자동차에 비해 미약한 편으로 알고 있습니다. 따라서 전기자동차 등이 대중화 된다고 해도 내연기관들의 배출물질이 완전히 제거되지는 않을 것으로 생각합니다. 특히 직업적으로 노출되는 군들의 위험도는 여전히 높을 것으로 예상되므로, 특수건강진단의 필요성이 있다고 판단됩니다.</p>
<p>1) 디젤연소물질의 누적노출에 대한 최초의 정보가 확보되어야 하고, 매년 노출량이 업데이트가 되어야 합니다. JEM을 구축하는 것도 좋겠습니다. 이 결과에 따라 예를 들어, 10μg EC/m³.years 가 초과하거나, 초과할 것으로 예상할 수 있는 근거가 있다면, 검진대상자로 등록하는 것이 좋을 것 같습니다.</p>
<p>2) 디젤연소물질 뿐만 아니라 결정형유리규산에 노출되는 건설업 노동자</p>

들도 상당합니다. 따라서 현재 우리나라에서 호발하고 있는 직업성 폐암의 주요 발암물질을 함께 다루는 것이 효율적입니다.

3) 궁극적으로는 폐암발암물질의 노출대상자 규모를 감소시켜 폐암의 발생 규모를 줄이고, 조기발견으로 사망자를 줄이는 것이 검진의 목적이 될 것 같습니다. 이를 위해서 꼭 국가적인 직업성폐암 데이터관리체계를 만드는 것이 좋겠습니다. 검진의 효과를 평가해야 하고, 그 결과를 바탕으로 검진방식을 수정해나갈 필요가 있기 때문입니다.

4) 디젤연소물질에 대한 작업환경측정, 노출평가제도와 어떻게 연계할 것인지 고민되어야 할 것 같습니다. 디젤연소물질 측정을 원소탄소로 하는데, 원소탄소를 분석할 수 있는 기관이 부족하여, 직업군, 차량노후 정도를 간접 지표로 삼아 노출평가를 시행해야 할 수도 있을 것 같습니다. 이에 대한 연구진의 의견도 들어보고 싶네요.

대상자 선정은 전문가의 의견에 따라서 노출 직무와 노출기간(근무기간) 등에 의해서 선정되어야 한다고 판단합니다.(하루 중 노출직무를 몇 시간 하는지도 고려)

향후 화석연료의 퇴출이 본격화 되고, 디젤연료의 사용이 제한되고 금지되고 사라질 것으로 판단됩니다. 근로자들의 폐암발생을 줄이는 목적 외에 본 폐암 특수검진은 대체에너지로 유도하는데 기여할 것으로 판단되며, 완전 퇴출 전까지라도 디젤기관들의 강력한 배출저감장치 설치 유도를 할 수 있을 것입니다.

국가폐암검진과 마찬가지로 흡연 근로자들에게서 금연을 유도하는 노력 등 사후관리 부분에서도 적절한 가이드라인이 필요합니다.

현행 특수검진 대상 유기용제의 분류는 구성 성분물질에 의한 분류이고 이 개개의 물질에 대한 특수검진이 시행되는 것이다. 전세계에 수십만 종의 화학물질이 있으나 물질 기반한 방법으로 대한민국의 특수건강진단에 접목하여 그동안 수십 년간 근로자의 유해물질관리에 힘써왔다. 그런데, “디젤엔진배출물”이라는 용어는 여러 물질이 들어 있는 물질의 집합체적인 성격

<p>이 강하다. 현행 구성성분에 의한 대분류의 원칙에서 벗어난 것이며 전문의마다 이런 집합체를 찾아내어 특수검진을 실시한다면 국내 사업체는 특수검진 비용을 대느라 도산할 가능성이 많아질 것이다. 추가로, 본 설문지 작성한 팀에서 작성한 계획안에 부동액으로 사용되는 에틸렌글리콜이 빠져있는 것으로 보아 부동액을 디젤엔진배출물에 포함하는 것이 논란의 여지가 있거나, 혹은 디젤엔진연소에 의한 배출물로 잘못 이해하여 발생한 것으로 보인다. 만약 전자의 경우라면 국내의 석학들이 모여서 논의하는 것이 우선시 되어야 하는 것이 아닐까하는 생각이 든다. 만약 후자의 경우라면, 디젤엔진배기가스라는 말이 있는데 굳이 디젤엔진배출물이란 용어가 필요하지 않다는 반증이고 집어넣고자 시도하는 LDCT의 타당성에 대해 오랜 기간 고민해봐야 한다는 것을 의미한다고 판단한다.</p>
<p>디젤엔진배출물에 노출되는 근로자를 폭넓게 해석하고, 해당 근로자에 대한 정기적인 검진은 필요하다. 제조업 위주의 특수건강검진에서 나아가서 비제조업 근로자에 대한 특수건강검진 시행으로 전체 직장인의 건강을 보호해야 한다.</p>
<p>노출군에 대한 분류를 좀 더 자세하게 해서 폐암 건진 특수건강진단 대상자에 대한 분류를 해야 할 것 같습니다.</p>
<p>환경적 노출과 직업적 노출에 대해서 우선 정의를 하여 구분 후 직업적 노출에 대한 검진을 수행하는 것을 우선적으로 하여야 할 것으로 사료됩니다.</p>
<p>암진단 목적인 경우 연령대에 대한 고려가 필요함. 노출기간과 연령을 고려하여 LDCT 기준이 필요합니다.</p>
<p>새로운 유해인자에 대한 특수건강진단을 실시하는 것은 항상 어려운 시도라고 생각합니다. 현재는 디젤엔진배출물의 급성, 만성 건강영향이 비교적 잘 알려져 있지만, 노출되는 집단을 구분짓기 어렵다는 것이 현재 방식의 특수건강진단 도입에 있어 큰 어려움 중 하나일 것입니다.</p>
<p>만약 시범사업이 가능하다면 디젤엔진배출물 고노출 사업장을 정해서, 예</p>

를 들면 건설현장 중에서도 디젤엔진 중장비를 많이 사용하는 일부 현장, 터널작업, 기타 대형디젤엔진 장비나 차량을 사용하는 사업장 등을 선정해서 우선적으로 검진을 도입하되, 시범사업의 결과를 바탕으로 타당성과 수용성(대상자, 사업장, 검진기관)을 평가하여 확대여부를 정하는 것은 어떨까 합니다. 단, 버스나 트럭과 같은 교통수단은 간접적으로 노출되는 사람에 대한 판단이 어렵기 때문에 후순위로 하는 것이 좋겠다는 생각입니다.

디젤엔진배출물은 환경적으로 노출되는 일반인구가 매우 많고 직업적 노출도 간접노출이 흔하기 때문에 일정 수준 이상에 노출되는 근로자를 특수건강진단 대상자로 정하는 것이 반드시 필요하다고 생각합니다. 우리나라 연구에 따르면, 대기 중 EC 농도 1~3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 측정된다고 하며, ACGIH에서는 노출기준으로 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 제시하였다가 여러 가지 이유로 현재는 기준을 제시하지 않고 있지만, 당시 20 이라는 기준이 너무 낮다는 의견이 있었던 것으로 알고 있습니다. 물론 실제의 건강영향을 기반으로 검진을 하는 것이 중요하겠지만, 노출인구나 위험인구의 규모 등으로 고려한 현실적인 대상자 선정도 중요하다고 생각합니다.

중요한 발암물질이 특수건강진단으로 들어오는 것은 당연합니다. 다만, 작업환경의 변화 없이 검진만으로는 산재예방이 어렵습니다. 작업환경파트와 유기적으로 변화할 수 있도록 작업환경측정대상이 되어야 하고, 이 결과가 특검으로 들어와야 합니다. 다만, 작업환경측정을 하는 경우에 대한 기준이 임시/간헐적 작업 등은 빠지거나, 여러 가지 이유로 측정에서 이미 어느 정도 노출자들도 빠지기 때문에, 작업환경측정을 하는 경우는 특검을 하는 것이 타당해보입니다. 또 다시 측정결과로 다시 기준을 만든다면 대상자가 과소해질 가능성이 높습니다.

LDCT를 디젤엔진배출물 특수건강진단 항목으로 포함시키는 경우와 그렇지 않은 경우 특수건강진단 실시 기준이 달라져야 할 것으로 생각합니다. LDCT를 포함시키는 경우 실행가능성과 검진으로 인한 위해(위양성 등)을 고려하여 10년 이상 노출되며, 노출 수준이 상대적으로 높은 사람들로 제한

<p>해야 할 것으로 생각합니다. 만약 LDCT를 포함하지 않을 경우 1 μg EC/m^3 이상 노출되는 사람들을 대상으로 특수건강진단을 시행하여 건강장해를 모니터링하는 것이 좋을 듯합니다.</p>
<p>작업환경 측정만큼 믿을 수 없는 수치가 없습니다. 작업환경 측정결과를 가지고 검진대상자를 한정지은다면 스크리닝 검사로서의 특수검진의 가치가 훼손될 것입니다. 작업환경 측정이외의 업종과 경력 등의 직무노출 매트릭스 등으로 대상자를 선정하는 방법 등 여러 가지 대상자 선정의 타당한 방법들을 연구하는 것이 중요할 것 같습니다.</p>
<p>환경적 노출을 고려하여 노출기준을 정할 때 적절한 수치를 정하는 작업이 중요할 것으로 판단된다. 각 산업별 작업환경 측정 JEM 등을 종합적으로 고려하여야 한다고 판단된다.</p>
<p>예를 들어 “일정 수준 이상의 노출이 발생 가능한 업종, 직종에 대해 노출기간 10년 이상, 45세 이상에서 실시” 등과 같은 일정 조건 아래 1차 항목으로 LDCT 실시, 그 외 대상자에 대해서는 LDCT 제외하고 특검 실시.</p>
<p>디젤엔진배출물에 특검은 반드시 폐암을 대상으로 하는 것도 아니며, 특검대상으로 포함된다고 하는 것은 일터에서 해당 유해인자에 대한 관리의 수준을 높이거나 장비의 교체 등을 유도할 수 있으며, 특검을 받는 과정에서 당해 노동자들의 인식의 수준을 높이는 교육적 효과 역시 발생할 수 있을 것임.</p>
<p>디젤엔진배출물질은 국내 한 연구에 따르면 직업성 폐암의 원인 중 2.4% 정도를 차지하고 있습니다. LDCT의 흡연자에 대한 스크리닝 검사가 시행되고 있는 만큼, 직업성 폐암에 대한 LDCT도입은 반드시 필요하다고 생각합니다. 현행 시행되고 있는 일반촬영이 폐암 진단에 있어서 한계를 계속 지적 당해온 만큼 흡연자에 대한 LDCT도입과 발맞추어 직업성 폐암에 대한 LDCT도입은 디젤엔진배출물뿐만 아니라 다른 물질도 포함해서 필요성이 있다고 생각합니다. 디젤엔진배출물은 특히 일반인구노출이 큰 물질이므로 작업환경측정 대상 직업군을 처음에는 한정적으로 특수직군으로 설계하여</p>

(예를 들어, 터널작업, 밀폐공간 등) 시작하는 것도 방법이 될 수 있겠습니다.

노출 수준이 높은 근로자 집단부터 실시하고 향후 그 결과를 바탕으로 포함 범위를 점차 확대해 나가는 방향으로 접근.

1) 디젤연소물질의 누적노출에 대한 최초의 정보가 확보되어야 하고, 매년 노출량이 업데이트가 되어야 합니다. JEM을 구축하는 것도 좋겠습니다. 디젤연소물질 노출자에 대한 노출평가나 문진, 흉부방사선촬영, 폐기능검사는 매년 시행하되, LDCT를 촬영하는 연령과 누적노출기간을 별도로 정하는 방법이 좋겠습니다.(예시- $10\mu\text{g EC}/\text{m}^3\cdot\text{years}$ 가 초과하거나, 초과할 것으로 예상할 수 있는 근거가 있고, 54세 이상이면 매년 촬영)

2) 노동자 개인의 입장에서는 디젤연소물질 뿐만 아니라 흡연도 중요한 폐암의 발암요인입니다. 뿐만 아니라 결정형유리규산에 노출되는 건설업 노동자들의 수도 상당한데, 결정형 유리규산은 우리나라에서 직업성 폐암의 가장 중요한 발암물질입니다. 국가폐암검진체계와 연계하고 현재 특검대상인 폐암발암물질에 대한 폐암검진도 포괄적으로 적용하였을 때 제도적 실효성이 있을 것입니다.

3) 직업성폐암에 대한 검진은 2가지 목적이 있습니다. 첫 번째는 폐암발암물질의 노출대상자 규모를 감소시켜 폐암의 발생 규모를 줄이는 것입니다. 폐암발암물질 노출에 대한 노출평가와 검진은 폐암발암물질 노출을 감소시키라는 signal을 사업주에게 주는 것이기 때문에 점진적으로 감소해나갈 것입니다. 따라서 신뢰할 수 있는 노출평가체계가 만들어지는 것이 중요합니다. 두 번째는 조기발견으로 사망자를 줄이는 것이 검진의 목적이 될 것입니다. 이를 위해서는 현재의 국가암검진체계와 연계된 직업성폐암 데이터 관리체계가 만들어져야 합니다. 검진의 효과를 평가해야 하고, 그 결과를 바탕으로 검진방식을 수정해나갈 필요가 있기 때문입니다.

4) 디젤연소물질에 대한 작업환경측정, 노출평가제도와 어떻게 연계할 것인지 고민되어야 할 것 같습니다. 디젤연소물질 측정을 원소탄소로 하는데,

<p>원소탄소를 분석할 수 있는 기관이 부족하여, 직업군, 차량노후 정도를 간접 지표로 삼아 노출평가를 시행해야 할 수도 있을 것 같습니다. 특정한 고위험 직업군을 의무적으로 노출평가와 검진을 시행해야할 대상으로 지정해 나가고, 비가역적인 완전한 개선이 이루어진 경우라면 노출평가와 검진대상에서 제외시키는 구조를 가지면 좋겠습니다. 고위험직업군으로 지정되지 않았더라도, 직업성폐암의 보상자료나 역학조사 자료를 근거로 위험직종으로 확인되면 추가해 나가는 절차를 만드는 것도 고려해볼 수 있을 것입니다.</p>
<p>작업환경측정과 특수건강진단의 대략적인 기준을 맞출 필요가 있습니다.</p> <p>개인적으로는 노출수준은 최소화해야 하는 1 μg EC/m^3을 추천하지만, 현실적으로는 조금 더 높여도 된다고 생각합니다.</p>
<p>1차에 도입하기 위해서는 고위험군, 중등도 위험군(노출기간, 노출량 등 기준)등으로 선별하고, 매년 시행하는 것이 아니고 중등도 위험군은 4년 주기, 고위험군은 2년 주기 등의 주기를 가지고 실시할 수 있습니다.</p> <p>대상자 선정기준과 시행주기 등의 합리적인 기준으로 비용대비 효과가 있는 특점이 될 수 있음을 강조하길 바랍니다.</p>
<p>디젤엔진의 유형을 분류하고 어느 유형에 해당하는 디젤엔진배출물인가를 명시하시면 어떨지 생각해봅니다.</p>
<p>특수건강검진의 확대는 바람직합니다만, LDCT 관련해서는 조심스럽게 접근하는 것이 필요해 보입니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 콜레스테롤 검사의 경우는 굳이 해야 하나라는 의문이 있습니다. - 수검 대상의 경우 LDCT를 하지 않을 경우는 폭 넓게 대상을 확대할 필요가 있습니다. - LDCT를 진행한다면 1차 검사 보다는 2차 검사 항목으로 하는 것이 바람직해 보입니다. - LDCT를 매년 검사하는 것은 불필요해 보입니다. 4-5년 주기면 적당한 것 같습니다.
<p>해당 물질에 노출된 근로자들의 근무형태에 대한 자료가 우선시 되어야</p>

할 것입니다. 근무형태와 함께 노출물질은 명확히 규정할 수 있는지에 대한 검토도 있어야 합니다. 복합 물질로 구분이 될 경우 물질별 검진을 시행하는 현 형태로서는 검진의 검토 시작점에서의 과학적 인과성에 대해 명확한 근거를 제시하는 것이 중요할 것입니다.

우선 노출현황을 파악해야 할 것으로 보입니다. 현실적으로 작업환경측정이 이루어지지 않으면 노출되는 대상자를 파악하는 것이 매우 어렵습니다. 이것은 작업환경측정의 정확성이나 신뢰성과는 다른 측면이 있습니다. 특히 디젤엔진배출물은 대형 엔진 등과 같이 고정형 배출원도 있지만, 지게차나 각종 차량류에서도 발생하기 때문에 노출수준을 고려하지 않고 노출 여부로 대상자를 선정하게 되면 많은 혼란이 발생할 것입니다.

유럽 여러 나라에서는 노출기준을 $50\sim 100 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 로 하고 있는데 그 이유에 대해 살펴볼 필요가 있고, 비발암성 건강영향에 대해서는 노출기준 정도의 수준에서 정하거나 예방목적을 고려하여 이보다 약간 낮은 수준에서 정하는 것이 합리적이라고 생각합니다. 발암성에 대해서는 노출기간과 연령 등 다른 요인을 함께 고려하는 것이 필요한데, 이것은 디젤엔진배출물 뿐만 아니라 다른 유해인자에 대해서도 같은 접근을 할 것인지에 대하여 먼저 논의가 필요합니다.

7. 디젤엔진배출물 특수건강진단 (안)

디젤엔진배출물 특수건강진단 관련해서 다음과 같은 안을 검토할 것을 제시하고자 한다.

1) 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자(안)

디젤엔진배출물에 노출되는 노동자 모두에 대해서 특수건강진단을 하자는 의견(7.7%)보다는 특정 조건을 만족하는 경우에만 특수건강진단을 하자는 의견(92.3%)이 많았다. 대상자를 제한하지 말자는 의견은 특수건강진단의 경우 예방적인 목적이 중요하므로, 폭넓게 접근하는 것이 필요하며, 다른 화학적 인자처럼 작업환경측정을 하는 경우에는 특수건강진단 대상자로 포괄하는 것이 적절하다는 의견이 있었다.

특정 조건으로서 디젤엔진배출물 노출 노동자 중 작업환경측정 결과 일정 수준 이상인 노동자만 특수건강진단을 실시하는 안에 대해서 동의하는 의견(85.2%)이 동의하지 않는 의견(14.8%)보다 많았다. 동의하지 않는 경우에도 고위험군을 선별할 수 있는 별도의 방법이 필요하다는 것에 대해서는 동의한다는 의견이 있었다. 고위험군 선별을 위한 다른 방안으로 직무노출 매트릭스(Job-Exposure Matrix, JEM) 등의 방법을 개발하여서 선정하는 방식에 대한 의견들이 있었다.

다만 작업환경측정결과를 바탕으로 하는 경우 다음과 같은 문제점이 발생할 가능성이 제기되었다. 1) 근본적으로 다른 화학적 인자의 경우 노출수준 여부와 관계없이 노출여부에 따라서 특수건강진단 대상으로 선정되는데, 디젤엔진배출물만 특수하게 노출수준에 따라 대상자를 선정하는 것에 대한 문제가 제기

될 수 있다. 2) 작업환경측정 결과의 신뢰성 문제이다. 측정을 하는 날의 작업 상태가 일반적인 노출 수준을 담보할 수 있는지 등의 문제가 제기될 수 있다. 3) 작업환경측정 대상물질을 무엇으로 하느냐에 따라 다른 결과들이 제시될 수 있다는 문제점이다. 디젤엔진배출물 노출을 대리하는 지표로 원소 탄소, 이산화질소, 블랙 카본 등이 있는데 아직 이들 중 어떤 지표로 측정할 것인지 정해지지 않았고, 디젤엔진의 상태 및 가동 환경 등에 따라 지표별로 서로 다른 수준으로 노출될 수 있어 한 가지 지표로 디젤엔진배출물 노출수준을 정확하게 반영할 수 있다고 보기 어려운 문제점이 있다.

작업환경측정 결과에 따라 특수건강진단 대상자를 선정한다고 할 때 그 노출수준은 '20세부터 45년 동안 노출 시 80세에 폐암으로 추가적으로 사망하는 사람이 10,000명 중 200명인 수준'인 $10 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 이 적절하다는 의견이 절반 이상(65.2%)이었다. 다만, 작업환경측정 결과 $10 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 이상인 경우가 매우 적거나, 측정 환경에 따라 이하로 측정되어 누락되는 경우를 방지하기 위해서 $1 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 이상으로 하자는 의견도 일부 있었다(13.0%). 반대로 특수건강진단을 통한 폐암 조기발견이 어려운 이상 자극 증상 등 급성 건강영향을 중심으로 LOAEL 수준의 절반인 $35 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 이상으로 하자는 의견도 일부 있었다(13.0%).

제1차 검사에서 LDCT를 필수적으로 촬영할 것인가 여부에 따라서 대상자 선정기준을 달리 해야 한다는 의견도 있었다. 즉 LDCT가 제1차 검사에 필수 항목으로 들어간다면 상대적으로 고노출군으로 특수건강진단 대상자를 한정하는 것이 필요하지만, 그렇지 않은 경우에는 $1 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 이상 등 비교적 낮은 농도로 특수건강진단을 시행하는 것이 좋겠다는 의견도 상당수 있었다.

또한 디젤엔진배출물 누적노출 정보에 대한 시스템이 구축된다면 누적노출량을 바탕으로 특수건강진단 대상자를 선정하자는 의견도 있었다. 예를 들면 $10 \mu\text{g EC}/\text{m}^3 \cdot \text{years}$ 이상의 누적노출이 확인되는 경우 특수건강진단 대상자로 선정하는 방식이다. 만약 이런 시스템을 구축한다면 이는 디젤엔진배출물뿐만

아니라 다른 직업성 폐암 물질에 대해서도 함께 이루어져야 할 것이다.

다만 현재 작업환경측정 관련 어떤 항목으로 측정할 것인지, 노출기준은 어느 정도로 할 것인지 정해지지 않은 상태이다. 이에 현실적으로는 작업환경측정 노출기준을 마련하고 노출기준의 50% 이상인 노출 작업 노동자들을 특수건강진단 대상으로 선정하는 것도 고려할 수도 있다.

아직 작업환경측정 등이 확립되지 않은 상황에서 바로 특수건강진단을 실시하지 말고, 고농도 노출군으로 추정되는 노동자들 중 노출 기간이 긴 사람들을 대상으로 수 년 간 선별적으로 시범사업을 실시하면서 제도를 정립해나가자는 의견이 제시되었다. 우선 작업환경측정에 대한 시범사업이 실시가 되면 한국의 고농도 노출군들이 어떤 집단인지 대체적으로 파악할 수 있으며, 노출수준 및 위험인구의 규모 등을 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 이렇게 파악된 고농도 노출군들을 대상으로 특수건강진단을 시범적으로 실시함으로써 시범사업의 타당성과 수용성(대상자, 사업장, 특수건강진단기관), 시행가능성을 평가하여 확대 여부를 결정하는 것이 좋겠으며, 작업환경측정결과에 따른 노출수준에 따른 위험인구의 규모 등을 고려하여 현실적인 대상자 선정을 하는 것이 필요하겠다는 의견이 제시되었다.

디젤엔진배출물 특수건강진단의 대상이 될 업종/직종 관련해서 현재로서는 모두 나열할 수는 없다. 대상이 되는 업종/직종은 추후 시범사업 등을 통해서 지속적으로 파악해나가야 할 것이다. 다만, 지금까지의 연구결과 등을 바탕으로 하였을 때 다음과 같은 노동자들이 특수건강진단의 대상자 범위에 들어갈 수 있을 것으로 추정한다.

- 화물차, 대형 수송차량, 버스, 자동차 등의 운전종사자
- 차량 정비 및 검사원
- 생활폐기물, 음식물쓰레기 등의 수거업무 종사자
- 건설업 종사자 중 디젤엔진을 사용하는 경우
- 터널 공사 작업자

- 디젤엔진을 이용한 열차 승무원 및 열차 정비 업무
 - 수상 운송업 및 항공 운송업 종사자
 - 항만 종사자
 - 페리, 항만 및 항공 운반 및 선적, 하역 작업 종사자
 - 광부 및 광산 유지보수 작업자
 - 차량이 많이 통행하는 곳에서 근무하는 작업자(교통경찰, 주차 요원, 톨게이트 종사자, 도로변 청소업무 종사자 등)
 - 제조업 및 유통 산업 등에서 지게차 등의 디젤엔진을 이용한 운반 작업자
 - 기타 디젤엔진으로 구동되는 장비를 직접 작동하거나 수리하는 업무
 - 직접 디젤엔진을 운전하거나 구동하지는 않으나 해당 공간에서 디젤엔진을 사용하면서 환기가 원활하지 않아 디젤엔진배출물이 축적될 수 있는 곳에서 근무하는 경우
- 위 업종/직종 중 특히 지하공간이나 밀폐된 공간에서 작업하는 다음의 노동자들이 고위험군에 속할 것으로 추정한다.
- 터널 공사 작업자
 - 광부 및 광산 유지보수 작업자

<표 III-70> 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자(안) 요약

대상자를 제한할 것인가?	<ul style="list-style-type: none"> - 특정 조건을 만족하는 경우로 제한하자는 의견이 다수 - 소수 반대의견: 예방적 목적이 중요하므로 폭넓은 접근이 필요함. 다른 화학적 인자와 다른 방식으로 대상자를 선정하는 것의 문제점 있음.
↓	
작업환경측정결과를 바탕으로 대상자를 선정할 것인가?	<ul style="list-style-type: none"> - 동의하는 의견이 다수 - 반대의견: 작업환경측정 결과의 신뢰성 문제, 작업환경측정방법이 아직 명확하지 않은 상태임.
↓	
어느 수준으로 할 것인가?	<ul style="list-style-type: none"> - 20세부터 45년 동안 노출 시 80세에 폐암으로 추가적으로 사망하는 사람이 10,000명 중 200명인 수준인 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 다수 의견 - 하지만 이보다 낮은 농도 수준에서 기준을 정해야 한다는 의견도 상당수 있으며, 노출 기준치가 정해지면 기준치의 50% 수준으로 하자는 의견 등도 있음 - 아직 작업환경측정 방법이나 우리나라 디젤엔진 배출물 노출 수준 실태 파악이 명확하지 않은 상태에서 기준에 대해서는 다양한 의견과 고려사항이 존재하므로 시범사업을 통한 실태파악과 다양한 의견수렴이 필요함
다른 방안	<ul style="list-style-type: none"> - JEM을 이용한 고위험군 선별 방법 개발 - 누적노출량을 바탕으로 선정. 다만, 이 방법이 실현되기 위해서는 누적노출량 정보를 모으고 확인할 수 있는 시스템이 구축되어야 함(디젤엔진배출물뿐만 아니라 다른 직업성 폐암 물질에 대해서도 함께 이루어져야 함)

2) 디젤엔진배출물 특수건강진단 항목(안)

(1) 분류

산업안전보건법 시행규칙 별표 24 ‘특수건강진단·배치전건강진단·수시건강진단의 검사항목(제206조 관련)’에서 디젤엔진배출물은 복합물질로 ‘가. 화학적 인자’ 중 유기화합물, 금속류, 산 및 알칼리류, 가스 상태 물질류, 영 제88조에 따른 허가 대상 유해물질, 금속가공유: 미네랄 오일미스트(광물성 오일) 중 어디에도 속하지 않는다. 따라서 디젤엔진배출물은 화학적 인자 중 별도로 구분하여 명시하는 것이 필요하다.

(2) 표적장기별 검사항목 검토

가) 눈, 비강, 인두

전문가 의견을 종합하였을 때 눈, 비강, 인두의 점막 자극 증상을 문진하는 것은 타당하며(타당성 중앙값 5점), 수행가능하다(수행가능성 중앙값 5점).

나) 신경계

전문가 의견을 종합하였을 때 두통, 구역, 사지 말단의 따끔거림과 같은 신경계 증상 문진과 진찰을 하는 것은 타당하며(타당성 중앙값 5점), 수행가능하다(수행가능성 중앙값 5점). 디젤엔진배출물에 의한 신경계 증상은 두통, 구역, 사지 말단의 따끔거림과 같은 비특이적인 증상이다. 신경계 특수건강진단이 필요할 수는 있으나 실제 수행하면서 이런 비특이적인 문제들을 잘 포착할 수 있을 것인지, 포착한다고 하더라도 과연 업무와의 관련성을 확인하는 것이 가능할 것인지에 대한 문제제기가 일부 있었다.

다) 호흡기계

전문가 의견을 종합하였을 때 청진은 타당성은 어느 정도 있었으며(타당성 중앙값 4점), 수행가능하다(수행가능성 중앙값 5점).

전문가 의견을 종합하였을 때 흉부방사선(후전면)은 타당하며(타당성 중앙값 5점), 수행가능하다(수행가능성 중앙값 5점). 다만 제2차 검사에서 흉부방사선(측면)을 촬영하는 경우 제1차 검사를 실시한 지 시일이 지난 경우 의학적으로 흉부방사선(후전면) 촬영을 동시에 해야 정확한 판독이 가능한 경우가 대부분이다. 이에 제2차 검사에서 흉부방사선(후전면)을 동시에 촬영할 수 있도록 하는 것이 필요하겠다. 이는 디젤엔진배출물에 대한 특수건강진단 이외에 다른 호흡기계에 영향을 미치는 다른 특수건강진단 해당 유해인자에 대해서도 마찬가지이다. 그러나 흉부방사선(후전면) 재촬영이 필요하지 않은 일부의 경우를 위해 제2차 검사항목에서는 필수가 아닌 선택 항목으로 두는 것이 좋을 것으로 판단한다. 흉부방사선의 경우 의학적으로 폐암 조기검진을 위한 타당성은 없는 것으로 잘 알려져 있다. 다른 폐암 유발요인과 마찬가지로 흉부방사선 촬영만으로 폐암을 조기에 발견해서 관리하는 것은 어렵다. 그럼에도 디젤엔진배출물에 대한 특수건강진단을 실시함으로써 사업장에서 디젤엔진배출물 노출에 대해서 인지하고, 이를 저감하고 노출을 줄이려는 노력이 병행된다면 장기적으로 디젤엔진배출물에 의한 폐암 발병을 줄일 수 있다는 의미가 있기 때문에 흉부방사선 촬영을 통한 폐암 특수건강진단이라도 유지하는 것이 적절하다고 판단한다.

전문가 의견을 종합하였을 때 폐활량검사는 타당하며(타당성 중앙값 5점), 수행가능하다(수행가능성 중앙값 5점).

전문가 의견을 종합하였을 때 저선량 흉부 CT(LDCT) 검사는 타당성은 어느 정도 있었으나(타당성 중앙값 4점), 수행가능성은 부정적인 의견이 많았다(수행가능성 중앙값 3점). 1차 특수건강진단에서 LDCT를 도입하는 것이 필요한가에 대한 의견에서는 필요하다는 응답(44.4%)보다 필요하지 않다는 응답(55.6%)이 더 많았다. 만일 LDCT를 촬영한다고 해도 모든 응답자들이 LDCT

촬영을 위해서는 최소노출 기간이 필요하다고 생각하였으며, 최소 노출 기간은 10년이 적절하다고 응답하였다. 디젤엔진배출물 1차 특수건강진단에 LDCT가 도입된다는 전제 하에서 다른 폐암 유발물질 취급 작업자에 대해서도 1차 특수건강진단에 LDCT 도입이 필요하다는 의견(70.4%)이 필요하지 않다는 의견(29.6%)보다 많았다. 전체적으로 제1차 특수건강진단에서 LDCT 촬영에 부정적인 의견이 많았으나, 만 54세~74세 남녀 중 30갑년 이상의 흡연력을 가진 흡연자에 대해서 2년마다 국가암검진에서 LDCT를 촬영할 수 있도록 하고 있는데, 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자 중 국가폐암검진 대상자에 해당하는 경우에는 필수적으로 LDCT를 촬영하도록 하는 안에 대해서 동의하는 의견(77.8%)이 동의하지 않는 의견(22.2%)보다 많았다. 'LDCT는 국가암검진 도입에도 논란이 있었으며, 그 효과에 의문이 제기되고 있다. 실제 LDCT가 폐암조기 발견과 폐암으로 인한 유의한 사망률 감소에 도움이 되었다는 연구는 2011년 미국 NLST 연구 뿐이며, 최근 연구에서는 폐암검진으로 인한 과도한 위양성 증가로 인한 환자의 피해 위험성이 대두되고 있다. 디젤엔진배출물에 노출되는 직군이 폐암의 위험이 높은 것은 사실이나, 노출집단에서의 위험의 크기가 크지 않고(RR 1.33), LDCT가 위양성이 높아 과진단되는 비율이 상당히 높은 검사로, 이로 인한 수검자의 피해 (위양성으로 인한 기관지 내시경 및 폐생검, 심리적인 불안 등) 위험이 높은 것을 고려할 때, 수검자에게 득보다는 실이 더 클 것으로 생각된다'는 의견이 있었다. 비용-편익 분석에서도 디젤엔진배출물 노출 노동자 모두에게 LDCT를 촬영하는 것은 비용-효과적이지 않다는 결과가 도출되었다. 따라서 만일 LDCT를 촬영한다고 해도 고위험군에 한해서 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

다만 고위험군을 어떻게 정의할 것인가 하는 문제가 발생한다. 누적노출량을 고려해서 판단할 수 있겠으나 그렇다면 특수건강진단 관리 시스템에서 누적노출량이 전산 등을 통해서 관리할 수 있는 시스템이 필요하고, 특수건강진단 기관 및 사업장에서 이를 확인할 수 있어야 한다. 하지만 디젤엔진배출물만을 위

해서 이런 시스템을 갖추는 것은 현재로서는 어려움이 따를 것으로 판단된다. 다른 판단기준으로 현재의 작업환경측정 기준을 바탕으로 고농도 노출군에 대해서 LDCT를 촬영하는 방안이 있겠다. 우선적으로 작업환경측정을 실시하여 우리나라 디젤엔진배출물 노출군들의 노출실태를 파악한 후, 고노출군을 선정하여 시범사업을 실시하는 것이 필요하겠다. 참고적으로 Pronk 등(2009)에 따르면 중간정도의 노출군은 대개 원소 탄소 농도가 $50 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 으로 제시하고 있어, $50 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$ 이상을 고농도 노출군으로 정의할 수도 있겠다. 다만 이 경우에도 전문가 의견을 종합하였을 때 최소노출기간이 10년 이상이 되어야 하는데, 10년 이상의 노출기간을 확인하기 위해서는 특수건강진단에서 노출기간을 확인할 수 있는 시스템을 구축해야 가능할 것으로 판단한다.

고농도 노출군에 일정 기간 이상의 노출 기간을 만족한다고 하더라도 연령에 따른 폐암 발생 위험이 다르므로 연령에 대한 고려도 필요하다는 의견이 제시되었다. 참고적으로 국가 폐암검진에서는 만 54세 이상 74세 이하의 기준을 만족해야 폐암 검진 대상이 된다.

LDCT 방사선 노출로 인한 추가적인 암발생 위험에 대한 우려도 제기되었다. 하지만 이 문제는 그리 크지 않은 것으로 판단된다. Perisinakis 등(2018)의 연구에 따르면 55세부터 80세까지 매년 LDCT를 찍더라도 추가적인 암발생 위험은 남성은 0.13%, 여성은 0.30% 밖에 증가하지 않는다.

현재 국가 폐암건강검진과 연계할 수 있을 것인가? 국가 폐암건강검진에서 폐암 검진 대상을 선정할 때 흡연력뿐만 아니라 직업력까지 같이 입력할 수 있도록 하는 방안을 고려해보자는 의견이 있으나, 이는 어려울 것으로 판단한다. 우선 특수건강진단과 국가암검진은 제도적으로 분리되어 있으며, 직업력을 이유로 국가 암검진을 통해서 폐암 검진을 실시하게 되면 직업적인 원인에 의한 문제 즉 산업재해보상보험의 문제를 국민건강보험으로 전가하는 문제가 발생하며, 마지막으로 직업력에 의해 발생하는 폐암을 조기진단하기 위해 저선량 흉부 CT 등을 촬영하는 것이 효과가 어느 정도 있는지에 대해 흡연만큼 대규모

연구도 이루어지지 않았기 때문이다.

시스템과 관련된 문제로서 현재 일반건강검진과 암검진이 분리되어 있듯이 특수건강진단에서도 발암 물질의 경우 다른 접근이 필요하다는 의견도 제시되었다. 예를 들면 폐암의 경우 현행처럼 흉부방사선촬영만 하는 경우 조기진단이 어려운 것이 사실이며, 조기진단을 위해서는 LDCT 등을 촬영해야 하는데 이를 갖추지 못한 특수건강진단기관이 상당수 있는 것이 현실이다. 또한 현행대로 실시한다고 해도 제1차 검사인 흉부촬영에서 이상이 있는 경우 제2차 검사에서 확진을 위해 흉부 전산화 단층촬영을 실시해야 할 수 있는데, 이를 위한 장비나 인력 등이 갖추어지지 않은 건강진단기관이 많은 것이 현실이다. 이에 폐암 등 유발물질에 대한 특수건강진단은 일정 장비를 갖춘 병원급 기관에서만 실시할 수 있도록 하자는 의견이 있었다. 다만 이 경우 특수건강진단이 일정 장비와 인력을 갖춘 병원급 특수건강진단기관으로만 집중되는 문제점이 발생할 수 있으며, 경우에 따라서는 해당 장비를 갖추지 못한 특수건강진단기관만 있는 지역이 발생하면서 지역적으로 특수건강진단 실시에 어려움이 발생할 수 있을 가능성에 대해서도 고려해야 할 것으로 판단한다.

LDCT를 촬영하게 되는 경우 LDCT를 촬영할 장비를 갖추지 않은 특수건강진단기관의 경우 수탁검사를 통해 타기관에 의뢰해서 판독결과를 받아 판정을 특수건강진단기관에서 하는 방안에 대한 의견제시도 많았다. 특수건강진단에서 생물학적 모니터링 대상 물질 중 해당 특수건강진단기관에서 분석이 불가능한 항목들은 외부수탁으로 의뢰하여 결과를 받아 특수건강진단 결과에 첨부하여 주는 시스템이 현재 존재하고 있다. 다른 유사한 사례로서 항공신체검사의 경우 해당 기관에 안과 전문의가 없는 경우 외부 안과전문의에게 안과 관련 검사를 의뢰하여 검사를 받도록 하고, 결과를 받아 항공신체검사 담당 의사가 판정을 하는 시스템을 갖추고 있다. 디젤엔진배출물 특수건강진단에서도 이와 유사한 방식으로 LDCT를 외부기관에 의뢰할 수 있을 것으로 판단하며, 이는 LDCT가 도입된다고 하면 가장 현실적인 방안으로 보인다. 다만 일부 전문가

의 경우 이런 시스템을 도입한다고 해도 인근 의료기관에 LDCT를 의뢰하는 것이 현실적으로 불가능하고 작동하지 않을 가능성이 있다는 우려도 제시하였다.

LDCT 촬영을 하는 기관의 경우 정도관리를 철저히 시행하는 것이 필요하다는 의견이 많았다. 대체적으로 국가 폐암검진에서 제시하는 정도관리 기준을 따르면 되겠으나, 근로자 건강진단에 맞춤형으로 질관리가 따로 필요할 수 있겠다는 의견도 제시되었다.

LDCT를 촬영한다고 한다면 주기의 문제도 발생한다. 현재 국가폐암검진에서는 LDCT 촬영주기를 2년마다 하고 있다. 이를 감안하여 디젤엔진배출물 특수건강진단에 LDCT가 도입된다면 주기는 2년이나 그 이상으로 하는 것을 고려해볼 수 있겠다.

또한 특수건강진단에서 LDCT를 촬영한다고 하더라도 배치전건강진단에서는 LDCT를 제외하는 것이 좋겠다는 의견이 제시되었다.

LDCT를 촬영할 수 있는 특수건강진단기관에 한계가 있어 수행가능성이 떨어진다고 하면 대상자의 숫자를 조절하는 것이 좋겠다는 의견도 제시되었다. 즉, 초기에는 대상자 기준을 엄격하게 하여 시범사업을 실시하고, 향후 필요성이 증대된다면 특수건강진단기관들의 수행가능성을 판단하면서 점차 대상자 숫자를 늘리는 방향으로 진행할 수도 있겠다.

제1차 검사에서 LDCT 촬영 없이 현재의 폐암 유발물질 특수건강진단 시스템처럼 흉부촬영(후전면)을 촬영하는 것을 그대로 따랐을 때, 실질적으로 제2차 검사에서 흉부 전산화 단층 촬영과 같은 고가의 검사를 실시할 수 없는 경우가 대부분이라는 현실적 문제제기는 계속되었다.

장기적으로는 LDCT가 특수건강진단 시스템에 도입된다면 수익창출을 위해 특수건강진단기관들도 LDCT를 점차적으로 도입하는 방향으로 갈 것으로 보인다는 의견이 있었다. 다만 이 경우 LDCT 도입에 따른 시설, 장비, 인력 등의 비용부담을 보전하기 위해 무리하게 검사를 시도할 부작용 가능성도 고려해야

한다는 의견이 있다. 또한 제도적인 정착을 위한 유예기간을 일정 정도 두는 것이 필요하다는 의견도 있었다.

전문가 의견을 종합하였을 때 폐암 종양표지자 검사(SqCC Ag, CYFRA 21-1)는 타당성이 전혀 없었으며(타당성 중앙값 1점), 수행가능성도 부정적인 의견이 많았다(수행가능성 중앙값 3점). 종양표지자 검사의 가장 큰 문제는 위양성의 문제이다. 위양성으로 인해서 불필요한 비용이 지출될 뿐만 아니라 추가검사로 인한 방사선 노출 등의 문제도 발생하고, 해당 검사를 받는 노동자들의 불신과 저항도 문제가 될 것으로 판단된다.

라) 심혈관계

전문가 의견을 종합하였을 때 콜레스테롤 관련 검사(총콜레스테롤, HDL콜레스테롤, 트리글리세라이드, LDL콜레스테롤)는 어느 정도 타당하며(타당성 중앙값 4점), 수행가능하다(수행가능성 중앙값 5점).

현재 야간작업 특수건강진단에서 심혈관계 관련 LDL콜레스테롤은 제2차 검사항목으로 지정되어 있다. 이는 일반적으로 LDL콜레스테롤의 경우 트리글리세라이드가 400 mg/dl가 넘지 않는 경우 총콜레스테롤, HDL콜레스테롤, 트리글리세라이드를 이용해 계산할 수 있어서 제1차 특수건강진단에서 트리글리세라이드가 높은 일부만 제2차 특수건강진단으로 실시하는 것이 비용-효과적이기 때문이다. 이에 디젤엔진배출물 특수건강진단에서도 LDL 콜레스테롤은 제2차 검사항목으로 지정하는 것이 적절할 것으로 판단한다.

전문가 의견을 종합하였을 때 공복혈당 검사는 어느 정도 타당하며(타당성 중앙값 4점), 수행가능하다(수행가능성 중앙값 5점). 전문가 의견을 종합하였을 때 당화혈색소 검사는 수행가능하나(수행가능성 중앙값 5점), 타당성은 부정적인 의견이 많았다(타당성 중앙값 3점). 이는 당화혈색소 검사를 제1차 검사항목으로 실시하는 것에 대한 부정적인 의견으로 보이며, 당화혈색소 검사는 제1

차 검사에서 당뇨가 의심되는 경우에만 제2차 검사에서 실시하는 것이 적합할 것으로 판단한다.

전문가 의견을 종합하였을 때 복부둘레(허리둘레)는 수행가능하나(수행가능성 중앙값 5점), 타당성은 부정적인 의견이 많았다(타당성 중앙값 3점). 이는 복부둘레의 경우 대사증후군, 뇌심혈관질환 발병위험도 평가 등에 사용되는 지표나 현실적으로 특수건강진단에서 대사증후군이나 뇌심혈관질환 발병위험도를 종합적으로 판단하는 항목이 부재한 상태에서 복부둘레를 측정하는 것의 효용성이 떨어지는 것으로 보인다. 또 측정을 할 때 복부둘레를 측정하기 위해서는 상의 복부 부분을 탈의한 상태에서 측정해야 하는데 검사 시 이것이 여의치 않아 옷 위에서 측정하는 경우 정확성이 떨어지는 문제점 등이 있다. 특히 겨울철에는 의복이 두꺼운 경우가 많아 측정이 어려운 경우가 많다. 그럼에도 특수건강진단기관이나 특수건강진단 담당 의사에 따라서 복부둘레를 이용하여 판단하는 경우도 있고, 현재 야간작업 특수건강진단 제1차 검사항목에도 복부둘레 측정이 있어서 항목을 삭제하는 것에 반대하는 의견도 있을 것으로 판단한다. 이에 복부둘레는 제1차 검사항목에 그대로 두는 것이 적절할 것으로 판단한다.

전문가 의견을 종합하였을 때 혈압 검사는 어느 정도 타당하며(타당성 중앙값 4점), 수행가능하다(수행가능성 중앙값 5점).

전문가 의견을 종합하였을 때 심전도검사는 수행가능하나(수행가능성 중앙값 5점), 타당성은 부정적인 의견이 많았다(타당성 중앙값 3점). 디젤엔진배출물의 경우 심혈관계 문제는 급성 관상동맥 증후군이다. 이는 급성으로 발병하기 때문에 특수건강진단에서 심전도 등의 검사로 스크리닝하는 것은 쉽지 않을 것으로 판단된다. 이에 심전도 검사는 특수건강진단 항목으로 적절하지 않을 것으로 판단한다.

당뇨, 고혈압, 고지혈증은 생활습관, 개인적 소인, 교대근무 등 다른 요인에 의한 위험이 더 높아서 유의미한 이상 소견이 있어도 디젤엔진배출물과의 연관

성을 찾기가 어려운 한계가 있다. 야간작업 특수건강진단도 같은 이유로 판정 시 업무관련성을 따지지 않고, C1/C2, D1/D2와 같은 판정이 아니라 업무관련성을 따지지 않는 CN, DN으로 판정하고 있다. 디젤엔진배출물의 경우도 유사한 특성을 지니고 있으나, 디젤엔진배출물만 다른 화학적 인자와 구분하여 판정하는 시스템을 두는 것은 절차적으로 복잡하고, 디젤엔진배출물 고농도 노출 시와 같이 업무관련성을 배제하기 어려운 경우도 있을 것으로 판단되어 심혈관계에 대해서 현행 C1/C2, D1/D2로 판정하는 것이 적절할 것으로 판단한다.

마) 비뇨기계

전문가 의견을 종합하였을 때 요검사 10종은 어느 정도 타당하며(타당성 중앙값 4점), 수행가능하다(수행가능성 중앙값 5점).

전문가 의견을 종합하였을 때 소변세포병리검사는 어느 정도 타당하며(타당성 중앙값 4점), 수행가능하다(수행가능성 중앙값 5점).

전문가 의견을 종합하였을 때 소변 방광암 항원 검사(NMP22)는 타당성이 낮은 편이며(타당성 중앙값 2점), 수행가능성도 부정적인 의견이 많았다(수행가능성 중앙값 3점).

요검사나 소변세포병리검사로 방광암을 찾기에 한계가 있다는 지적이 있다. 다만, 현재로서는 방광암을 조기진단할 수 있는 적절한 방법이 없는 상태로 현재 방광암 유발물질에 대한 특수건강진단 틀을 따르는 것이 적절할 것으로 판단한다. 다만, 현재 방광암 유발물질에 대한 특수건강진단에서 단백뇨정량, 혈청 크레아티닌, 요소질소 검사가 있는데 이는 신장질환에 대한 검사항목으로 디젤엔진배출물 제2차 특수건강진단에 합당하지는 않다고 판단된다.

제1차 검사에서 요검사 및 소변세포병리검사에 이상소견이 있을 때 현재 제2차 검사에서는 비뇨기과진료 이외에는 방광암에 대한 특별한 검사를 수행할 수 없다. 현실적으로 소변세포병리검사에서 이상소견이 있을 경우에는 비뇨기과진료를 보는 것이 적절할 것으로 판단되나, 제1차 요검사에서 혈뇨 소견이

나온 경우에는 바로 비뇨기과진료를 보는 것이 부적절하거나 행정적으로 어려움이 따를 수 있다. 이에 제2차 검사에서 요검사를 반복하는 것이 필요할 수 있다. 또한 이 경우 제1차 검사에서는 소변세포병리검사가 음성이었으나, 제2차 검사에는 양성이 나올 수도 있으므로 소변세포병리검사를 반복할 필요성이 있을 수 있다.

이에 최종적으로 비뇨기계 제2차 검사로는 요검사, 소변세포병리검사, 비뇨기과진료(비뇨기과진료는 기존처럼 선택항목)으로 하는 것이 적절할 것으로 판단한다.

(3) 표적장기별 검사항목 최종(안)

최종적으로 다음과 같은 검사항목 안을 제시하고자 한다.

○ 산업안전보건법 시행규칙 별표 22 '특수건강진단 대상 유해인자(제201조 관련)'에서 '1. 화학적 인자' 중 '사. 디젤엔진배출물'로 따로 분류한다.

○ 특수건강진단 주기 관련 산업안전보건법 시행규칙 별표 23 '특수건강진단의 시기 및 주기(제202조제1항 관련)'에서 '구분 6'을 준용해서 실시한다.

<표 III-71> 산업안전보건법 시행규칙 별표 23: 특수건강진단의 시기 및 주기(제202조제1항 관련)

구분	대상 유해인자	시기 (배치 후 첫 번째 특수 건강진단)	주기
1	N,N-디메틸아세트아미드 디메틸포름아미드	1개월 이내	6개월
2	벤젠	2개월 이내	6개월
3	1,1,2,2-테트라클로로에탄 사염화탄소 아크릴로니트릴 염화비닐	3개월 이내	6개월
4	석면, 먼 분진	12개월 이내	12개월
5	광물성 분진 목재 분진 소음 및 충격소음	12개월 이내	24개월
6	제1호부터 제5호까지의 대상 유해인자 를 제외한 별표22의 모든 대상 유해인 자	6개월 이내	12개월

○ 산업안전보건법 시행규칙 별표 24 ‘특수건강진단·배치전건강진단·수시건강진단의 검사항목(제206조 관련)’에서 제1차 검사항목 및 제2차 검사항목은 다음과 같다.

<표 III-72> 디젤엔진배출물 특수건강진단 검사항목(안)

번호	유해인자	제1차 검사항목	제2차 검사항목
1	디젤엔진 배출물 (Diesel engine exhaust)	(1) 직업력 및 노출력 조사 (2) 주요 표적기관과 관련된 병력조사 (3) 임상검사 및 진찰 ① 눈·비강·인두: 점막자극 증상 문진 ② 신경계: 신경계 증상 문진, 신경증상에 유의하여 진찰 ③ 호흡기계: 청진, 흉부방사 선(후전면), 폐활량검사 ④ 심혈관계: 복부둘레, 혈압, 공복혈당, 총콜레스테롤, 트 리글리세라이드, HDL 콜레 스테롤 ⑤ 비뇨기계: 요검사 10종, 소 변세포병리검사	임상검사 및 진찰 ① 호흡기계: 흉부방사선(측 면), 흉부방사선(후전면): 선 택, 작업 중 최대나뉘유량 연속측정, 비특이 기도과민검 사, 흉부 전산화 단층촬영, 객담세포검사 ② 심혈관계: 혈압, 공복혈 당, 당화혈색소, 총콜레스테 롤, 트리글리세라이드, HDL 콜레스테롤, LDL콜레스테롤, 24시간 심전도, 24시간 혈압 ③ 비뇨기계: 요검사 10종: 선택, 소변세포병리검사: 선 택, 비뇨기과 진료

IV. 결론

1. 요약

디젤엔진배출물은 가스상 물질과 입자상 물질의 혼합체로서 배출정도와 구성성분은 다양한 요인에 의해서 변화한다. 최근 디젤엔진 배출 기준의 강화로 입자상 물질의 비율이 감소하는 등 그 구성성분비와 배출정도도 변하고 있다. 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자 중 지하에서 작업하는 광부나 광산 유지보수 작업자, 터널에서 작업하는 건설공 등이 비교적 높은 농도로 노출되는 것으로 알려져 있다. 이외에도 화물차, 대형 수송차량, 버스, 자동차 등의 운전종사자, 차량 정비 및 검사원, 생활폐기물, 음식물쓰레기 등의 수거업무 종사자, 건설업 종사자, 열차 및 수상 운송업, 항공 운송업 종사자, 항만 종사자, 제조업 등에서 지게차 등을 운전하는 작업자, 차량 통행이 많은 곳에서 근무하는 작업자 등이 디젤엔진배출물에 노출되는 것으로 알려져 있다.

디젤엔진배출물은 다양한 건강영향을 유발한다. 비발암성 영향으로는 눈·목·기관지 등의 자극 증상, 두통 및 구역 등과 같은 비특이적 신경계 증상, 기침·가래·호흡곤란 및 천식악화에 같은 호흡기계 영향, 급성 관상동맥 증후군 유발 및 혈압 상승과 같은 심혈관계 영향이 있다. 발암성 영향으로는 폐암과 방광암을 유발한다.

디젤엔진배출물에 대한 biomarkers는 특이성이 낮거나, 분석이 용이하지 않아 특수건강진단에서 실용적으로 사용하기 어려운 실정이다. 디젤엔진배출물을 취급하는 노동자 집단에서 폐암을 조기진단하기 위한 방법으로 LDCT 촬영을 고려할 수 있겠으나, 비용-편익 분석에서 비용-효과적이지 않았으며, 전문가 의견들도 대체적으로 수행가능성이 낮은 것으로 평가하고 있어 적용하기에 어려움이 있다. 폐암 및 방광암에 대한 종양표지자 검사들의 경우에는 암환자의 경

과 관찰 추적 등의 목적으로는 유용하나 조기진단을 위한 목적으로는 유용하지 않다. 실제 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자 100명을 대상으로 실시한 결과에서 LDCT를 통해 폐암이 의심되는 사례는 1명도 발견되지 않았으나, CYFRA 21-1을 이용한 검사에서는 참고치를 벗어난 경우가 12%를 차지하여, 위양성이 지나치게 많이 발생하였다. 방광암에서도 NMP22 검사에서 양성 소견이 95명 중 2명을 차지하여 마찬가지로 위양성에 의한 불필요한 검사 등을 유발한 위험이 크게 나타났다.

연구진은 디젤엔진배출물 노출 노동자들에 대한 특수건강진단을 다음과 같이 제안하였다.

디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자는 작업환경측정결과를 바탕으로 선정하는 것을 제안하였다. 다만, 아직 작업환경측정 방법 및 노출 기준, 노출 실태 등이 정해지지 않았으므로 선정 기준은 시범사업을 통해 노출 실태 파악과 함께 의견수렴을 통해서 결정하는 것이 필요하다.

특수건강진단 주기는 12개월마다 실시하며, 배치 후 첫 번째 특수건강진단 시기는 6개월 이내에 실시하는 것으로 한다.

특수건강진단 제1차 검사항목으로는 눈, 비강, 인두(점막자극증상 문진), 신경계(신경계 증상 문진, 신경증상에 유의하여 진찰), 호흡기계(청진, 흉부방사선(후전면), 폐활량검사), 심혈관계(복부둘레, 혈압, 공복혈당, 총콜레스테롤, 트리글리세라이드, HDL 콜레스테롤), 비뇨기계(요검사 10종, 소변세포병리검사)를 실시할 것을 제안하였다.

특수건강진단 제2차 검사항목으로는 호흡기계(흉부방사선(측면), 필요 시 흉부방사선(후전면), 작업 중 최대나일숨유량 연속측정, 비특이 기도과민검사, 흉부 전산화 단층촬영, 객담세포검사), 심혈관계(혈압, 공복혈당, 당화혈색소, 총콜레스테롤, 트리글리세라이드, HDL 콜레스테롤, LDL 콜레스테롤, 24시간 심전도, 24시간 혈압), 비뇨기계(필요 시 요검사 10종, 필요 시 소변세포병리검사, 비뇨기관 진료)를 실시할 것을 제안하였다.

2. 제언

디젤엔진배출물 특수건강진단(안)을 제시하면서 향후 다음과 같은 사항들을 검토할 것을 제안한다.

○ 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자는 작업환경측정결과를 바탕으로 선정할 것을 제안하였다. 하지만 아직 디젤엔진배출물의 작업환경측정 방법 및 노출기준이 정해지지 않은 상태이며, 우리나라 노동자들의 디젤엔진배출물 노출 실태도 명확하게 파악되지 않은 상태이다. 이에 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자를 선정하기 위한 작업환경측정 기준을 설정하기 위해서는 반드시 우리나라 디젤엔진배출물 노출 실태에 대한 파악이 선행되어야 한다. 따라서 시범사업 등을 통해 노출수준 등을 파악하고 이 자료를 바탕으로 전문가 의견을 수렴하여 대상자 선정기준을 설정하는 작업이 필요하다.

○ 디젤엔진배출물 노출량에 따른 고위험군을 선정하는데 가장 이상적인 방법 중 하나가 누적노출량을 바탕으로 선정하는 것이다. 이는 꼭 디젤엔진배출물에만 한정된 것이 아니라 발암성 물질을 포함한 다른 유해물질에도 공통적으로 적용되는 사항이다. 하지만 현재는 노동자 개인별로 누적노출량을 산출할 수 있는 시스템이 구축되어있지 않다. 향후 장기적으로 유해물질의 누적노출량을 산출할 수 있는 시스템을 국가적 차원에서 갖추는 것이 필요하다. 이런 시스템이 갖추어진다면 유해물질 노출관리, 특수건강진단 및 건강관리수첩 제도, 직업성 암 등 산업재해 보상, 역학 연구 등 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

○ 이번 특수건강진단(안)에서는 LDCT는 제외하는 것으로 결론을 내렸다. 그 이유는 LDCT가 폐암을 조기진단해서 수명을 연장시키고 질보정생존년수(QALY)를 증가시킴에도 그 비용이 과도하게 소요될 뿐만 아니라, 현실적으로 LDCT를 촬영할 수 없는 다수의 특수건강진단기관들이 있기 때문이다. 그럼에

도 국가암검진에서 실시하는 LDCT와 직업성 폐암 조기진단을 위한 특수건강진단을 연계할 수 있는 가능성에 대해서는 계속 가능성을 열어두고 탐색하는 작업이 필요하다.

참고문헌

- 고용보험 피보험자현황 통계. Available from: URL:
<https://www.ei.go.kr/ei/eih/st/retrieveAdOfferList.do>
- 국립암센터 국가암관리사업본부 암등록감시부. 국가암등록사업 연례 보고서
(2013년 암등록통계)
- 국립암센터 국가암관리사업본부 암등록감시부. 국가암등록사업 연례 보고서
(2014년 암등록통계)
- 국립암센터 국가암관리사업본부 암등록감시부. 국가암등록사업 연례 보고서
(2015년 암등록통계)
- 국립암센터 국가암관리사업본부 암등록감시부. 국가암등록사업 연례 보고서
(2016년 암등록통계)
- 국립암센터 국가암관리사업본부 암등록감시부. 국가암등록사업 연례 보고서
(2017년 암등록통계)
- 국토교통부 통계누리. Available from: URL:
<http://stat.molit.go.kr/portal/main/portalMain.do>
- 김두용, 김택상, 김한석 등. 방광암 진단에서 BTA Stat Test, NMP22
BladderCheck Test와 요세포검사의 비교. 대한비뇨기종양학회지.
2007;5(2):97-101.
- 김원재, 송형근, 변석수. 방광암의 진단, 병리 및 병기. 대한비뇨기종양학회지.
2005;3(1):12-22.
- 김원태, 주희정, 권용욱 등. 방광암의 진단에서 요세포검사, Nuclear Matrix
Protein 22 (NMP22), Fluorescence in Situ Hybridization (FISH)의 효용

- 성 비교. *Investigative and Clinical Urology*. 2009;50(1):6-11.
- 김정원 등. 근로자건강진단 원칙 및 진단항목 평가방법 개발. 안전보건공단 산업안전보건연구원. 2019
- 김진주, 안효준, 박용정. CYFRA 21-1, Carcinoembryonic Antigen 및 이들 조합의 폐암 진단 성능 평가. *대한진단검사의학회*. 2020;10(1):66-74.
- 대한민국통계청. Available from: URL: <http://kostat.go.kr/portal/korea/index.action>
- 대한직업환경의학회. *직업환경의학*. 서울. 계축문화사; 2014. 638 p.
- 박동욱 등. 디젤 배출물 노출 산업 및 인구 추정 연구. 산업안전보건연구원 2014.
- 배현주, 박정임. 디젤엔진 배출물질과 폐암발생 위험에 관한 고찰. *한국환경보건학회지*. 2012;38(4):277-90.
- 산업통상자원부. Available from: URL: https://www.motie.go.kr/motie/gov_info/gov_openinfo/gov_beforehandinfo/gov_beforehandinfo_05/gov_beforehandinfo05.jsp
- 이은식. 방광암의 새로운 진단방법. *대한비뇨기종양학회지*. 2003;1(4):351-6.
- 임춘화, 김지명, 손용학. 방광암의 선별에 있어서의 요중 NMP22 현장검사의 평가. *대한진단검사의학회지*. 2007;27(2):106-10.
- 장승훈, 신승수, 김혜영 등. 폐암 검진 권고안. *J Korean Med Assoc* 2015;58(4):291-301
- 정경숙, 안연순, 고동희 등. 건강관리수첩 발급대상 유해요인 확대에 관한 연구. 안전보건공단 산업안전보건연구원. 2014
- 질병관리본부 국가건강정보포털. *대한직업환경의학회* 저. Available from: URL:

http://health.cdc.go.kr/health/HealthInfoArea/HealthInfo/View.do?idx=14220&subIdx=4&searchCate=&searchType=&searchKey=&page=&sortType=&category_code=&dept=.

통계청 사회통계국 인구동향과. 2018년 사망원인통계.

통계청 통계데이터허브국 행정통계과. 2018년 임금근로일자리 소득(보수) 결과.

Anna Puggina, Athanasios Broumas, Walter Ricciardi et al. Cost-effectiveness of screening for lung cancer with low-dose computed tomography: a systematic literature review. *European Journal of Public Health* 2015;26(1):168-175

Block ML, Wu X, Pei Z et al. Nanometer size diesel exhaust particles are selectively toxic to dopaminergic neurons: the role of microglia, phagocytosis, and NADPH oxidase. *FASEB J.* 2004;18:1618-20.

Blute NA, Woskie SR, Greenspan CA. Exposure characterization for highway construction. Part I: Cut and cover and tunnel finish stages. *Appl Occup Environ Hyg.* 1999 Sep; 14(9):632-41.

Boffetta P, Silverman DT. A meta-analysis of bladder cancer and diesel exhaust exposure. *Epidemiology.* 2001;12(1):125-30.

Brook RD, Brook JR, Urch B et al. Inhalation of fine particulate air pollution and ozone causes acute arterial vasoconstriction in healthy adults. *Circulation.* 2002;105:1534-6.

Calderon-Garciduenas L, Reed W, Maronpot R et al. Brain inflammation and Alzheimer's-like pathology in individuals exposed to severe air pollution. *Toxicol Pathol.* 2004;32:650-8.

Canadian centre for occupational health and safety. OSH Answers Fact

- Sheets. Available from: URL:
https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/diesel_exhaust.html (Access date:2020.3.12.)
- Carpinito GA, Stadler WM, Briggman JV et al. Urinary nuclear matrix protein as a marker for transitional cell carcinoma of the urinary tract. *J Urol* 1996;156:1280-5.
- Choi S, Park D, Kim SW et al. Estimates of the Number of Workers Exposed to Diesel Engine Exhaust in South Korea from 1993 to 2013. *Saf Health Work*. 2016 Dec;7(4):372-380.
- Churg A, Brauer M, del Carmen Avila-Casado M et al. Chronic exposure to high levels of particulate air pollution and small airway remodeling. *Environ Health Perspect*. 2003;111:714-8.
- Davis ME, Smith TJ, Laden F et al. Driver exposure to combustion particles in the U.S. Trucking industry. *J Occup Environ Hyg*. 2007 Nov; 4(11):848-54.
- de Paula Santos U, Braga AL, Giorgi DM et al. Effects of air pollution on blood pressure and heart rate variability: a panel study of vehicular traffic controllers in the city of Sao Paulo, Brazil. *Eur Heart J*. 2005;26:193-200.
- Debra T. Silverman, Claudine M. Samanic, Jay H. Lubin et al. The Diesel Exhaust in Miners Study - A Nested Case Control Study of Lung Cancer and Diesel Exhaust. *J Natl Cancer Inst* 2012;104:1 -14
- Fernández MI, Brausi M, Clark PE et al. Epidemiology, prevention, screening, diagnosis, and evaluation: update of the ICUD-SIU joint consultation on bladder cancer. *World J Urol*. 2019;37(1):3. Epub 2018

Aug 13.

Groves J, Cain JR. A survey of exposure to diesel engine exhaust emissions in the workplace. *Ann Occup Hyg.* 2000 Sep; 44(6):435-47.

Hemstreet GP 3rd, Yin S, Ma Z et al. Biomarker risk assessment and bladder cancer detection in a cohort exposed to benzidine. *J Natl Cancer Inst.* 2001;93(6):427.

IARC. Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. 2011.

IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. 2014;105:9-699.

Ibald-Mulli A, Stieber J, Wichmann HE et al. Effects of air pollution on blood pressure: a population-based approach. *Am J Public Health.* 2001;91:571-7.

Ji Won Lee et al. Radiological Report of Pilot Study for the Korean Lung Cancer Screening(K-LUCAS) Project - Feasibility of Implementing Lung Imaging Reporting and Data System. *Korean J Radiol* 2018;19(4):803-808

Jung K-W, Won Y-J, Kong H-J et al. Survival of Korean adult cancer patients by stage at diagnosis, 2006-2010: National Cancer Registry Study. *Cancer Res Treat* 2013;45:162-71

Kilburn KH. Effects of diesel exhaust on neurobehavioral and pulmonary functions. *Arch Environ Health.* 2000;55:11-7.

- Koutros S, Kogevinas M, Friesen MC et al. Diesel exhaust and bladder cancer risk by pathologic stage and grade subtypes. *Environ Int.* 2020;135
- Krivoshto IN, Richards JR, Albertson TE et al. The toxicity of diesel exhaust: implications for primary care. *J Am Board Fam Med.* 2008;21(1):55-62.
- Lee JH, Chang JH. Diagnostic utility of serum and pleural fluid carcinoembryonic antigen, neuron-specific enolase, and cytokeratin 19 fragments in patients with effusions from primary lung cancer. *Chest* 2005;128:2298-303.
- Lewné M, Plato N, Gustavsson P. Exposure to particles, elemental carbon and nitrogen dioxide in workers exposed to motor exhaust. *Ann Occup Hyg.* 2007 Nov; 51(8):693-701.
- Lidija L, Villeneuve PJ, Parent ME et al. Bladder cancer and occupational exposure to diesel and gasoline engine emissions among Canadian men. *Cancer Med.* 2015;4(12):1948-62.
- Margai F, Henry N. A community-based assessment of learning disabilities using environmental and contextual risk factors. *Soc Sci Med.* 2003;56:1073-85.
- Marsh GM, Cassidy LD. The Drake Health Registry Study: findings from fifteen years of continuous bladder cancer screening. *Am J Ind Med.* 2003;43(2):142.
- Marsh GM, Leviton LC, Talbott EO et al. Chemical Workers' Health Registry Study: I. Notification and medical surveillance of a group of workers at high risk of developing bladder cancer. *Am J Ind Med.*

1991;19(3):291.

McMahon PM, Kong CY, Bouzan C et al. Cost-effectiveness of CT screening for lung cancer in the US. *J Thorac Oncol* 2011;6:1841 - 8.

Michael D. Attfield, Patricia L. Schleiff, Jay H. Lubin et al. The Diesel Exhaust in Miners Study: A Cohort Mortality Study With Emphasis on Lung Cancer. *J Natl Cancer Inst* 2012;104:1 - 15

Miller Ka, Siscovick DS, Sheppard L et al. Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *N Engl J Med*. 2007;356:447-58.

Mittleman MA. Air pollution, exercise, and cardiovascular risk. *N Engl J Med*. 2007;357:1147-9.

Nakamura H, Nishimura T. History, molecular features, and clinical importance of conventional serum biomarkers in lung cancer. *Surg Today*. 2017;47(9):1037-59.

National Lung Screening Trial Research Team. Reduced Lung-Cancer Mortality with Low-Dose Computed Tomographic Screening. *N Engl J Med* 2011;365:395-409

Neophytou AM, Picciotto S, Costello S et al. Occupational diesel exposure, duration of employment, and lung cancer: an application of the parametric g-formula. *Epidemiology*. 2016;27(1):21 - 28.

NIOSH. Joint pacific marine safety code committee San Francisco, California. NIOSH Health Hazard Evaluation report 2003-0246-3013. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health; 2006

Okamura K, Takayama K, Izumi M et al. Diagnostic value of CEA and

- CYFRA 21-1 tumor markers in primary lung cancer. *Lung Cancer*. 2013;80:45-9.
- Park Y, Kim Y, Lee JH et al. Usefulness of serum anti-p53 antibody assay for lung cancer diagnosis. *Arch Pathol Lab Med* 2011; 135:1570-5.
- Perisinakis K, Seimenis I, Tzedakis A et al. Radiation burden and associated cancer risk for a typical population to be screened for lung cancer with low-dose CT: A phantom study. *Eur Radiol*. 2018 Oct;28(10):4370-4378
- Pesch B, Nasterlack M, Eberle F et al. The role of haematuria in bladder cancer screening among men with former occupational exposure to aromatic amines. *BJU Int*. 2011 Aug;108(4):546-52. Epub 2011 Jan 11.
- Peters A, Dockery DW, Muller JE et al. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction. *Circulation*. 2001;103:2810-5.
- Peters A, von Klot S, Heier M et al. Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction. *N Engl J Med*. 2004;351:1721-30.
- Pronk A, Coble J, Stewart PA. Occupational exposure to diesel engine exhaust: a literature review. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2009;19(5):443 - 457.
- Sarosdy MF, Hudson MA, Ellis WJ et al. Improved detection of recurrent bladder cancer using the Bard BTA stat test. *Urology* 1997;50:349-53.
- Schmetter BS, Habicht KK, Lamm DL et al. A multicenter trial evaluation of the fibrin/fibrinogen degradation products test for detection and monitoring of bladder cancer. *J Urol* 1997;158:801-5
- Sharma S, Zippe CG, Pandrangi L et al. Exclusion criteria enhance the

- specificity and positive predictive value of NMP22 and BTA stat. *J Urol* 1999;162:53-7
- Sherwin RP, Richters V, Kraft P et al. Centriacinar region inflammatory disease in young individuals: a comparative study of Miami and Los Angeles residents. *Virchows Arch.* 2000;437:422-8.
- Silverman DT. Diesel Exhaust and Lung Cancer—Aftermath of Becoming an IARC Group 1 Carcinogen. *Am J Epidemiol.* 2018 Jun 1;187(6):1149-1152.
- Silverman DT, Hoover RN, Mason TJ et al. Motor exhaust-related occupations and bladder cancer. *Cancer Res.* 1986;46(4 Pt 2):2113-6.
- Song S, Yoo E-H, Cho H-J. Diagnostic utility of serum cytokeratin fragment 21-1 in patients with lung cancer. *Lab Med Online* 2015;5:143-8.
- Soo Min Jeon, Jin-Won Kwon, Sun Ha Choi et al. Economic burden of lung cancer - A retrospective cohort study in South Korea, 2002-2015. *PLoS ONE* 2019;14(2):e0212878
- Steiner S, Bisig C, Petri-Fink A et al. Diesel exhaust: current knowledge of adverse effects and underlying cellular mechanisms. *Arch Toxicol.* 2016 Jul;90(7):1541-53.
- Taxell P, Santonen T. Diesel Engine Exhaust: Basis for Occupational Exposure Limit Value. *Toxicol Sci.* 2017 Aug 1;158(2):243-251.
- The National Lung Screening Trial Research Team. Lung Cancer Incidence and Mortality with Extended Follow-up in the National Lung Screening Trial. *Journal of Thoracic Oncology* 2019; 14(10):1732-1742

- Thériault GP, Tremblay CG, Armstrong BG. Bladder cancer screening among primary aluminum production workers in Quebec. *J Occup Med.* 1990;32(9):869.
- U.S. Environmental Protection Agency. Health assessment document for diesel engine exhaust. 2002.
- Vaibhav Kumar et al. Risk-targeted lung cancer screening - A cost effectiveness analysis. *Ann Intern Med* 2018;168(3):161-169
- Vermeulen, R., Silverman, D. T., Garshick, E et al. Exposure-response estimates for diesel engine exhaust and lung cancer mortality based on data from three occupational cohorts. *Environ. Health Perspect.* 2014;122:172 - 177.
- Villanti AC, Jiang T, Abrams DB et al. A cost-utility analysis of lung cancer screening and the additional benefits of incorporating smoking cessation interventions. *Plos One* 2013;8:e71379
- Woskie SR, Kalil A, Bello D et al. Exposures to quartz, diesel, dust, and welding fumes during heavy and highway construction. *AIHA J (Fairfax, Va).* 2002 Jul-Aug; 63(4):447-57.
- Zanobetti A, Canner MJ, Stone PH et al. Ambient pollution and blood pressure in cardiac rehabilitation patients *Circulation.* 2004;110:2184-9.
- Zeitlin S, Parent A, Silverstein S et al. Pre-mRNA splicing and the nuclear matrix. *Mol Cell Biol* 1987;7:111-20.

Abstract

Development and pilot application of health examination methods for workers exposed to diesel engine exhaust

Objectives:

Although diesel engine exhaust is well known to cause lung cancer, it is not included in the workers' health examination. Accordingly, it is necessary to establish workers' health examination standards for the group exposed to diesel engine exhaust.

Methods:

We identified the exposure group and health effects of diesel engine exhaust through literature review. A cost-benefit analysis was conducted to confirm that LDCT is effective in diagnosing lung cancer by diesel engine exhaust. After reviewing the validity and applicability of each test item through a pilot project and expert consultation, a proposal for workers' health examination method for diesel engine exhaust was presented.

Results:

Health effects of diesel engine exhaust include irritation symptoms, non-specific neurological symptoms, respiratory effects, cardiovascular effects, lung cancer, and bladder cancer. Workers' health examination plan was presented to discover these health effects. But LDCT was excluded

from the test items because it was not cost-effective and its applicability was low.

Conclusions:

Based on this study, the Ministry of Employment and Labor is expected to start a new health examination for workers exposed to diesel engine exhaust.

Key words: diesel engine exhaust, workers' health examination, lung cancer, cost-benefit analysis

부록

부록 1: 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범사업 설문지

대상자 등록번호	
생년월일	
평가일	년 월 일

1. 현재 디젤엔진배출물 노출에 관한 문항

1-1. 현재 근무하시는 사업장명은 무엇입니까? _____

1-2. 현재 하시는 직종은 무엇입니까?(구체적으로 작성. <예> 광산 선산부, 항만 하역 작업, 지게차 운전, 음식물 쓰레기 수거 작업, 버스 정비, 버스 운전 등)

1-3. 현재 사업장에서 해당 직종에 종사한 기간은 얼마나 되셨습니까?

_____년 _____개월

1-4. 현재 하시는 작업에서 디젤엔진배출물에 어떻게 노출되십니까?(구체적으로 작성. <예> 버스를 정비할 때 엔진을 작동할 때 노출된다. 음식물 쓰레기 수거차 뒤에 매달려 가면서 노출된다 등)

1-5. 현재 하시는 작업에서 디젤엔진배출물에 노출되는 시간은 하루 평균 어느 정도 됩니까?

_____시간 _____분

2. 과거 디젤엔진배출물 노출에 관한 문항

2-1. 과거 직업 중 디젤엔진배출물에 노출되는 직종에 종사하신 적이 있습니까?

① 없다(☞3번 항목으로) ② 있다(☞2-2 문항으로)

2-2. 디젤엔진배출물에 노출된 직종, 노출되는 상황, 시기, 종사기간, 하루 평균 노출시간은 각각 어떻게 되십니까?(디젤엔진배출물에 노출된 직종 모두에 대해서 기술해주세요.)

직종	노출되는 상황	시기(가능하면 연월까지)	종사기간	하루 평균 노출시간
(예)버스운전	. 버스 운전하면서 도로에서 상시 노출 . 운전을 하면서 버스를 자가로 정비할 때 고농도로 노출	1993년 5월 ~ 1997년 7월	4년 2개월	10시간

3. 디젤엔진배출물 노출 관련된 증상

3-1. 최근 6개월 동안 다음과 같은 증상들을 겪으셨습니까? 있다면 증상은 어느 정도입니까? 해당 증상이 디젤엔진배출물 노출과 연관이 있다고 생각하십니까?(해당되는 경우에만 √ 표시해주세요.)

표적장기	증상	증상 정도			디젤엔진배출물과의 관련성 있음
		없다	약간 있다	심하다	
눈, 비강, 인두	눈이 시거나 눈물이 잘 난다				
	눈이 충혈되거나 아프다				
	코나 목이 따끔거리거나 답답하다				
신경계	머리가 아프다				
	어지럽다				
	토할 것 같은 느낌이 든다				
	손끝이 저리거나 따끔거린다				
	기억력이 나빠지거나 건망증이 심해졌다				
	불안하고 초조하다				
	정신이 멍해지거나 술 취한 느낌이 든다				
호흡기계	정신을 집중하기 어렵다				
	기침이 난다				
	가래가 나온다				
심혈관계	숨이 차다				
	가슴이 아프고 답답하다				
비뇨기계	체중이 예전에 비해 현저히 줄었다				
	소변에 피가 섞여 붉게 나온 적이 있다				

3-2. 이외 디젤엔진배출물에 의해서 유발되는 증상이 있다면 기술해주세요.

4. 흡연 관련 문항

4-1. 지금까지 평생 총 5갑(100개비) 이상의 담배를 피운 적이 있습니까?

① 아니오(☞ 설문 종료)

② 예, 지금은 끊었음(☞ 4-2번 항목으로)

③ 예, 현재도 흡연 중(☞ 4-3번 항목으로)

4-2. 과거에 흡연을 하였으나 현재는 끊으셨다면

금연 전까지 담배를 몇 년이나 피우셨습니까?	총 _____ 년
금연하시기 전 평균 하루 흡연량은 몇 개비였습니까?	_____ 개비
금연하신지 얼마나 되셨습니까?	_____ 년 _____ 개월

4-3. 현재도 흡연을 하신다면

몇 년째 담배를 피우시고 계십니까?	총 _____ 년
평균 하루 몇 개비를 피우십니까?	_____ 개비

5. 주요 과거력

표적장기	과거력
눈, 피부, 비강	<input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 있음 ()
신경계	<input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 있음 ()
호흡기계	<input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 폐암 <input type="checkbox"/> 폐결핵 <input type="checkbox"/> 기타 질환 ()
심혈관계	<input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 고혈압 <input type="checkbox"/> 당뇨 <input type="checkbox"/> 이상지질혈증 <input type="checkbox"/> 협심증 <input type="checkbox"/> 심근경색 <input type="checkbox"/> 기타 질환 ()
비뇨기계	<input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 방광암 <input type="checkbox"/> 기타 질환 ()

문진(이 부분은 의사가 작성하는 부분입니다)

--

부록 2: 디젤엔진배출물 특수건강진단 델파이 설문지

1. 디젤엔진배출물 특수건강진단 시범사업 검사항목

1-1. 각 검사항목의 타당성 및 평가 가능성에 대해서 1~5점의 5점 척도로 평가해주세요.

타당성 : 디젤엔진배출물 특수건강진단 시 의학적 측면의 타당성 (1점~5점 척도로 평정하여 주시되, '1점은 전혀 타당하지 않음', '5점은 매우 타당함' 임)
수행가능성 : 실제 디젤엔진배출물 특수건강진단 시 수행가능성(각 특수건강진단기관에서 수행할 수 있겠는지 여부) (1점~5점 척도로 평정하여 주시되, '1점은 전혀 평가가 가능하지 않음', '5점은 매우 평가가 가능함' 임)

표적장기	건강영향	검사항목	타당성	수행 가능성
눈, 비강, 인두	점막 자극 증상	점막자극 증상 문진	()	()
		비고: 기존 특수검진 항목임		
신경계	두통, 구역, 사지 말단의 따끔거림	신경계 증상 문진	()	()
		비고: 기존 특수검진 항목임		
		신경증상에 유의하여 진찰	()	()
호흡기계	폐암 (기존 메타분석 결과 디젤엔진배출물 노출 직종의 폐암 RR값은 1.33)	흉부방사선(후전면)	()	()
		비고: 기존 특수검진 항목임		
		저선량 흉부 CT(LDCT)	()	()
		비고: 기존 폐암 유발물질 취급자에서는 2차에서 흉부 전산화 단층촬영 실시		
종양표지자검사(squamous cell carcinoma antigen)	()	()		
		비고: 어떤 종류의 종양표지자도 조기 폐암 진단을 위한 충분한 민감도와 특이도를 충족시키지 못하였음(폐		

		암 검진 권고안, JKMA, 2015)			
		종양표지자검사(CYFRA 21-1)			
		비고: 어떤 종류의 종양표지자도 조기 폐암 진단을 위한 충분한 민감도와 특이도를 충족시키지 못하였음(폐암 검진 권고안, JKMA, 2015)	()	()	
	기침, 가래, 호흡곤란 등 호흡기 증상, 천식 악화	청진	()	()	
		비고: 기존 특수검진 항목임			
		폐활량검사	()	()	
		비고: 기존 특수검진 항목임			
	심혈관계	급성 관상동맥 증후군	심전도 검사	()	()
			비고: 기존 특수검진 항목임		
			총콜레스테롤	()	()
비고: 기존 특수검진 항목임					
HDL 콜레스테롤			()	()	
비고: 기존 특수검진 항목임					
트리글리세라이드			()	()	
비고: 기존 특수검진 항목임					
LDL 콜레스테롤			()	()	
비고: 기존 특수검진에서는 1차 검사 항목에 없음					
공복 혈당			()	()	
비고: 기존 특수검진에서는 야간작업 1차 검사항목에 있음					
당화혈색소		()	()		
비고: 기존 특수검진에서는 야간작업 2차 검사항목에 있음					
혈압 상승	허리둘레	()	()		
	비고: 기존 특수검진에서는 1차 검사 항목에 없음				
	혈압 측정	()	()		
	비고: 기존 특수검진에서는 야간작업 1차 검사항목에 있음				
비뇨기계	방광암	요검사 10종	()	()	
		비고: 기존 특수검진 항목임			
		소변세포병리검사	()	()	
		비고: 기존 특수검진 항목임			
	소변을 이용한 방광암 항원	()	()		

		검사(NMP22 BladderChek)		
		비고: 소변세포병리검사에 비해 비교 적 낮은 특이도와 높은 위양성		

1-2. 검사항목에 대한 추가 의견이 있으시면 자유롭게 기술해주세요.

2. 디젤엔진배출물 취급 작업자 1차 특수건강진단에서 LDCT를 도입하는 것에 대한 의견

2-1. 디젤엔진배출물 취급 작업자 1차 특수건강진단에서 LDCT를 도입하는 것이 필요하다고 생각하십니까?

- ① 매우 필요하다 ② 필요한 편이다 ③ 불필요한 편이다 ④ 전혀 불필요하다

2-2. LDCT 촬영을 위한 디젤엔진배출물 최소노출 기간이 필요하다고 생각하십니까?

- ① 필요하지 않다. 디젤엔진배출물 특수검진 대상자는 노출기간에 관계없이 LDCT를 촬영해야 한다. (☞ 2-3번으로)
 ② 필요하다. (☞ 2-2-1번으로)

2-2-1. 최소 노출 기간은 몇 년으로 하는 것이 좋겠습니까? _____ 년

2-3. 현행 특수건강진단에서는 폐암 유발물질을 취급하는 작업자에 대해서 1차에서는 ‘청진, 흉부방사선(후전면)’, 2차에서는 ‘흉부방사선(측면), 흉부 전산화 단층촬영, 객담세포검사’를 실시하고 있습니다. (디젤엔진배출물 특수건강진단 1차에서 LDCT를 도입한다는 전제 하에서) 다른 폐암 유발물질 취급 작업자에 대한 특수건강진단 1차에서 LDCT를 촬영하는 것이 필요하다고 생각하십니까?

- ① 매우 필요하다 ② 필요한 편이다 ③ 불필요한 편이다 ④ 전혀 불필요하다

2-4. 국가암검진에서는 만 54세~74세 남녀 중 30갑년 이상의 흡연력을 가진 흡연자에 대해서 2년마다 LDCT 촬영을 할 수 있도록 하고 있습니다. 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자 중 국가폐암검진 대상자에 해당하는 경우 필수적으로 LDCT를 촬영하도록 하는 안에 대해서 동의하십니까?

- ① 매우 동의한다 ② 동의하는 편이다
 ③ 동의하지 않는 편이다 ④ 전혀 동의하지 않는다

2-5. 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자에 대해 LDCT를 도입할 경우 LDCT를 촬영할 수 없는 특수건강진단기관이 상당수를 차지하게 됩니다. 이 문제에 대해서 어떻게 해결하는 것이 좋을지 의견을 자유롭게 기술해주세요.

2-6. 디젤엔진배출물 특수건강진단 1차 검사에서 LDCT 도입과 관련된 의견을 자유롭게 기술해주세요.

3. 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자

최상준 등(2016)의 연구에 따르면 2013년 기준으로 우리나라에서 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자는 417,034명으로 추정하였으나, 여러 제한점으로 인해서 현재 직업적으로 노출되는 정확한 숫자를 확인하기는 어려운 상황입니다.

디젤엔진배출물은 환경적으로 모든 사람들이 노출되고 있습니다. 직업적으로도 디젤엔진을 직접 운전하는 작업자뿐만 아니라 디젤엔진 주변에서 작업하는 경우에도 노출되게 됩니다. 이에 디젤엔진배출물 특수건강진단 대상자 선정에 대한 의견을 여쭙고자 합니다.

3-1. 디젤엔진배출물 특수건강진단에서 대상자를 제한해야 한다고 생각하십니까?

- ① 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자의 경우 제한없이 모두 특수건강진단을 실시해야 한다.
 ② 디젤엔진배출물에 노출되는 노동자 중 특정 조건을 만족하는 경우만 특수건강진단을 실시해야 한다.

3-2. (현재 소음에 대한 특수건강진단처럼) 디젤엔진배출물 노출 노동자 중 작업환경측정 결과 일정 수준 이상인 노동자만 특수건강진단을 실시하는 안에 대해서 동의하십니까?

- ① 동의한다 (☞3-2-1번으로)
- ② 동의하지 않는다 (☞3-2-2번으로)

3-2-1. 동의한다면 노출수준은 어느 정도로 하는 것이 적절하겠습니까?

- ① 20세부터 45년 동안 노출 시 80세에 폐암으로 추가적으로 사망하는 사람이 10,000명 중 17명인 수준($1 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$)
- ② 20세부터 45년 동안 노출 시 80세에 폐암으로 추가적으로 사망하는 사람이 10,000명 중 200명인 수준($10 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$)
- ③ 20세부터 45년 동안 노출 시 80세에 폐암으로 추가적으로 사망하는 사람이 10,000명 중 689명인 수준($25 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$)
- ④ 자극 증상 등 급성 건강영향을 일으키는 LOAEL 수준의 절반($37.5 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$)
- ⑤ 자극 증상 등 급성 건강영향을 일으키는 LOAEL 수준($75 \mu\text{g EC}/\text{m}^3$)

* EC: '원소탄소(elemental carbon)'로 디젤엔진배출물 노출 대리지표

3-2-2. 동의하지 않는다면 이유는 무엇입니까?

4. 기타 디젤엔진배출물 특수건강진단과 관련된 의견을 자유롭게 기술해주세요.

부록 3: 디젤엔진배출물 특수건강진단 실무지침(안)

디젤엔진배출물(Diesel Engine Exhaust)

<근로자건강진단 실무지침 제2권>

1. 건강진단주기

1-1. 기본 주기 및 대상자

디젤엔진배출물 작업환경측정 결과 일정 수준(향후 제정 필요) 이상의 농도에 노출되는 작업 부서 전체 근로자에 대한 특수건강진단 주기는 1년에 1회 이상으로 한다.

1-2. 집단적 주기단축 조건

다음의 어느 하나에 해당하는 경우 디젤엔진배출물에 노출되는 모든 근로자에 대하여 특수건강진단 기본주기를 다음 회에 한하여 1/2로 단축하여야 한다.

- (1) 당해 건강진단 직전의 작업환경 측정결과 디젤엔진배출물 농도가 노출기준(향후 제정 필요) 이상인 경우
- (2) 디젤엔진배출물에 의한 직업병유소견자가 발견된 경우
- (3) 건강진단 결과 디젤엔진배출물에 대한 특수건강진단 실시주기를 단축하여야 한다는 의사의 판정을 받은 근로자

1-3. 배치전 건강진단 후 첫 번째 특수건강진단

6개월 이내에 해당 근로자에 대하여 실시하되, 배치전 건강진단 실시 후 6개월 이내에 사업장의 특수건강진단이 실시될 예정이면 그것으로 대신할 수 있다.

2. 건강진단항목

2-1. 1차 검사항목

- (1) 직업력 및 노출력 조사
 - (2) 과거병력조사 : 주요 표적기관과 관련된 병력조사
 - (3) 자각증상조사 : 문진표 작성내용 확인 포함
 - (4) 임상진찰 및 검사 : 눈·비강·인두, 신경계, 호흡기계, 심혈관계, 비뇨기계에 유의하여 진찰
- ① 눈·비강·인두 : 점막자극증상 문진

- ② 신경계 : 신경계 증상 문진, 신경증상에 유의하여 진찰
- ③ 호흡기계 : 청진, 흉부방사선(후전면), 폐활량검사
- ④ 심혈관계 : 복부둘레, 혈압, 공복혈당, 총콜레스테롤, 트리글리세라이드, HDL 콜레스테롤
- ⑤ 비뇨기계 : 요검사 10종, 소변세포병리검사

2-2. 2차 검사항목

- ① 호흡기계 : 흉부방사선(측면), 흉부방사선(후전면)(단, 흉부방사선(후전면)은 특수건강진단 의사가 판단해서 필요한 경우만 선택적으로 촬영), 작업 중 최대나일숨유량 연속측정, 비특이 기도과민검사, 흉부 전산화 단층촬영, 객담세포검사
- ② 심혈관계 : 혈압(1차 검사에서 혈압 이상으로 2차 검사를 실시하는 경우), 공복혈당, 당화혈색소(1차 검사에서 공복혈당 이상으로 2차 검사를 실시하는 경우), 총콜레스테롤, 트리글리세라이드, HDL콜레스테롤, LDL콜레스테롤(1차 검사에서 콜레스테롤 관련 이상으로 2차 검사를 실시하는 경우), 24시간 심전도, 24시간 혈압
- ③ 비뇨기계: 요검사 10종, 소변세포병리검사(단, 요검사 10종과 소변세포병리검사는 특수건강진단 의사가 판단해서 필요한 경우만 선택적으로 실시), 비뇨기과 진료

3. 직업의학적 평가

3-1. 건강관리구분

※ C1판정기준

- (1) 임상검사결과 참고치를 벗어나거나, 임상진찰결과 눈·비강·인두, 신경계, 호흡기계, 심혈관계, 비뇨기계 등의 이상증후를 보이고
- (2) 작업장 기중농도, 노출기간, 취급방법 등을 고려할 때, 디젤엔진배출물에 의한 것으로 추정되며
- (3) D1에 해당되지 않고 관찰이 필요한 경우

※D1판정기준

- (1) 임상검사 또는 임상 진찰결과, 폐암 및 방광암, 눈·비강·인두장애, 신경장애, 호흡기장애, 심혈관장애, 비뇨기장애 등이 있고
- (2) 작업장 기중농도, 노출기간, 취급방법 등을 고려할 때, 디젤엔진배출물에 의한 것으로 추정되는 경우

3-2. 업무수행 적합 여부 평가

※ 업무수행 적합 여부 평가 시 고려해야 될 건강상태

- 폐암
- 방광암
- 눈·비강·인두 질환
- 신경계 질환
- 호흡기 질환
- 심혈관계 질환
- 비뇨기계 질환

3-3. 사후관리내용

※ 실무지침 1권 사후관리내용을 참조하여 실시한다.

4. 수시건강진단을 위한 참고사항

근로자가 호흡기계 등의 증상 및 증후를 보여, 사업주가 수시건강진단의 필요성에 대하여 자문을 요청한 경우 건강진단기관의 의사는 자문에 응하여야 하며, 수시건강진단의 필요성 여부에 대하여 사업주에게 자문결과서를 통보하여야 한다.

<근로자건강진단 실무지침 제3권>

1. 일반적 성질

디젤엔진배출물은 다양한 입자 성분과 가스 성분의 복합체이다. 입자 성분은 원소 탄소(Elemental carbon), 유기화합물(Organic compounds), 황산염(Sulfate), 질산염(Nitrates), 미량의 금속 및 기타 원소(Trace amounts of metals and other elements) 등으로 구성되어 있으며, 가스 성분은 질소, 이산화탄소, 산소, 수증기, 질소산화물(NOx), 일산화탄소, 이산화황(SO₂), 유기화합물(Organic compounds) 등으로 구성되어 있다.

디젤엔진배출물의 배출정도와 구성성분은 디젤엔진 요인(디젤엔진의 유형, 연식, 작용되는 조건, 정비 상태 등), 연료 요인(연료, 윤활유, 첨가제의 구성성분 및 특성), 배기 후처리 기술 요인(디젤배출 입자 필터, 산화 촉매(Oxidation catalyst) 등)에 의하여 그 배출정도와 구성성분이 변화하게 된다.

2. 발생원 및 용도

디젤엔진을 사용하면서 발생하게 된다. 디젤엔진은 실린더 내에서 공기를 고압으로 압축하여 온도를 올린 상태에서 연료를 분사하여 자발적으로 폭발을 유도하는 방식으로

작동한다. 디젤엔진은 주로 자동차, 선박, 비행기 등의 운송수단, 광업이나 건설업 같은 분야의 중장비, 화력발전용 설비 등에 이용될 뿐만 아니라 일반 도로에서는 물론 거의 모든 제조업 및 이외 산업의 작업장 내에서 원료 및 제품의 운송, 이송, 운반 등의 목적으로 광범위하게 사용되고 있다.

3. 주로 노출되는 공정

- 화물차, 대형 수송차량, 버스, 자동차 등의 운전종사자
- 차량 정비 및 검사원
- 생활폐기물, 음식물쓰레기 등의 수거업무 종사자
- 건설업 종사자 중 디젤엔진을 사용하는 경우
- 터널 공사 작업자
- 디젤엔진을 이용한 열차 승무원 및 열차 정비 업무
- 수상 운송업 및 항공 운송업 종사자
- 항만 종사자
- 페리, 항만 및 항공 운반 및 선적, 하역 작업 종사자
- 광부 및 광산 유지보수 작업자
- 차량이 많이 통행하는 곳에서 근무하는 작업자(교통경찰, 주차 요원, 톨게이트 종사자, 도로변 청소업무 종사자 등)
- 제조업 및 유통 산업 등에서 지게차 등의 디젤엔진을 이용한 운반 작업자
- 기타 디젤엔진으로 구동되는 장비를 직접 작동하거나 수리하는 업무
- 직접 디젤엔진을 운전하거나 구동하지는 않으나 해당 공간에서 디젤엔진을 사용하면서 환기가 원활하지 않아 디젤엔진배출물이 축적될 수 있는 곳에서 근무하는 경우

4. 생체작용

노출은 호흡기를 통해 이루어진다.

동물 실험 결과 폐의 염증반응을 일으키는 것이 관찰되었다. Diesel engine particle 농도에 따라 210 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ 에서는 경미한 폐포 중격 세포 과증식(mild alveolar septal cell hyperplasia), 750 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ 에서는 섬유성 병변(fibrotic lesions)을 일으켰다.

이외 동물 실험에서 죽상경화증이 악화되거나, 심장 기능의 변화가 관찰되는 등의 심혈관계 영향이 보고되기도 하였으며, 학습 능력의 감소나 뇌의 염증성 cytokines 농도가 증가하는 등의 신경학적 영향도 보고되었다.

DEP에서 추출된 유기화합물(Organic extracts of DEP)의 경우 박테리아 세포에서 변이원성 반응(mutagenic responses)을 일관되게 일으켰다 (IARC, 1989, 2013). 포유

류 세포에서는 sister chromatid exchanges, micronuclei, hypoxanthine phosphoribosyl transferase, thymidine kinase locus mutations, DNA strand breaks를 유도하는 것으로 나타났다 (IARC, 1989, 2013).

in vivo 실험에서 DEP와 DEP 추출물을 구강, 복강내, 기관내 주입한 후 유전독성 반응(genotoxic responses)이 일관되게 나타났다. 디젤엔진배출물을 흡입한 경우 설치류의 폐에서 DNA strand breaks, DNA adducts가 증가하고 산화성 DNA 손상(oxidative DNA damage)이 증가하였으며, rats와 mice의 폐에서 gpt와 lacI mutations가 증가하였다 (Dybdahl *et al.*, 2004; Hashimoto *et al.*, 2007; Iwai *et al.*, 2000; Sato *et al.*, 2000).

일부 연구에서 rats에게 104-130주 동안 2,200 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ 이상의 농도로 디젤엔진배출물에 노출시킨 경우 폐종양 발생이 통계적으로 유의미하게 증가하는 결과를 보였다.

5. 건강장해

(1) 비발암성 건강영향

- 눈, 코, 목, 기관지 등의 자극 증상이 유발된다. 건강한 자원자들을 대상으로 100 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ (0.2 ppm NO₂, 0.04 mg/m³ formaldehyde)의 디젤엔진배출물에 2시간 동안 노출시킨 결과, 불쾌한 냄새, 경미한 자극 증상(코, 목, 눈)을 보고하였다 (Mudway *et al.*, 2004). 300 $\mu\text{g DEP}/\text{m}^3$ (1.3 ppm NO₂, 0.4 mg/m³ formaldehyde)의 디젤엔진배출물에 노출시켰을 때는 코와 눈이 충혈(redness), 분비물(secretion), 부종(swelling)이 관찰되었다 (Wierzbicka *et al.*, 2014).

- 두통, 구역, 구토, 사지 말단의 마비 및 따끔거림과 같은 신경생리학적인 증상이 유발된다.

- 호흡기계 관련해서 기침, 가래, 호흡곤란, 가슴 답답함, 천명 등이 증가한다는 보고가 있으며, 건강한 자원자들을 대상으로 노출시켰을 때 급성 기도 염증성 반응이 나타났다. 천식이 있는 사람이 노출되는 경우 기도과민성이 증가한다는 보고도 있다.

- 디젤엔진배출물 노출 수준이 높아질수록 심혈관계 질환의 위험과 사망이 증가하며, 특히 65세 이상의 허혈성 심질환 기왕력이 있는 환자의 경우 디젤엔진배출물에 노출된 후 급성 관상동맥 증후군의 위험이 상당히 증가하였다는 보고도 있다. 고농도의 디젤엔진배출물에 노출되는 경우 일시적으로 혈압 상승을 초래할 수도 있으며, 혈관 확장제에 대한 반응도 감소한다.

(2) 발암성 건강영향

- 폐암을 일으키는 것으로 알려져 있다. 국제암연구소(IARC)에서는 폐암에 대해 충분한

증거(sufficient evidence)가 있다고 하여, Group 1으로 지정하였다. Bhatia 등 (1998) 및 Lipsett & Campleman(1999)이 진행한 메타분석에서 디젤엔진배출물에 노출되는 경우 폐암의 Relative risk는 1.33으로 보고하고 있다.

- 방광암이 증가한다는 증거도 상당수 있다. 국제암연구소(IARC)에서는 방광암에 대해 제한적 증거(limited evidence)가 있다고 보고하고 있다.

6. 노출기준

한국(고용노동부, 2020) TWA: -

미국(TLV; ACGIH, 2020) TWA: -

미국(PEL; OSHA, 2020) TWA: -

유럽연합(OEL, 2018) TWA: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (elemental carbon): 광업과 지하 터널 건설업은 2026년부터, 기타 업종은 2023년부터 적용

7. 참고문헌

Boffetta P, Silverman DT. A meta-analysis of bladder cancer and diesel exhaust exposure. *Epidemiology*. 2001;12(1):125-30.

Choi S, Park D, Kim SW et al. Estimates of the Number of Workers Exposed to Diesel Engine Exhaust in South Korea from 1993 to 2013. *Saf Health Work*. 2016 Dec;7(4):372-380.

IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. 2014;105:9-699.

Taxell P, Santonen T. Diesel Engine Exhaust: Basis for Occupational Exposure Limit Value. *Toxicol Sci*. 2017 Aug 1;158(2):243-251.

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 연세대학교 원주산학협력단

연구책임자 : 강희태 (원주세브란스기독병원, 임상조교수)

연 구 원 : 김성경 (원주세브란스기독병원, 임상조교수)

김환철 (인하대학교병원, 부교수)

송재석 (가톨릭관동대학교, 교수)

오성수 (원주세브란스기독병원, 부교수)

정경숙 (원주세브란스기독병원, 임상부교수)

연구상대역 : 이상길 (연구위원, 직업건강연구실)

〈〈연 구 기 간〉〉

2020. 4. 29 ~ 2020. 11. 30

본 연구는 산업안전보건연구원의 2020년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

디젤엔진배출물 노출 근로자 특수건강진단 방법 개발 및 시범적용

(2020-산업안전보건연구원-681)

발 행 일 : 2020년 11월 30일
발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 고재철
연 구 책 임 자 : 원주세브란스기독병원 강희태
발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원
주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400
전 화 : (052) 703-0870
팩 스 : (052) 703-0336
누 리 집 : <http://www.kosha.or.kr/oshri>
