

연구보고서

# 지하철 근로자 직무별 보건관리 가이드 마련 연구

박동욱 · 최상준 · 곽현석 · 박주현 · 이윤근 · 하권철 · 고동희



# 제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “지하철 근로자 직무별 보건관리 가이드 마련 연구”의 연구결과 최종보고서로 제출합니다.

2019년 10월

연구기관 : 한국방송통신대 산학협력단

연구기간 : 2019.04.22.~2019.10.31

연구책임자 : 박동욱(한국방송통신대 환경보건학과 교수)

공동연구원 : 최상준(대구가톨릭대학교 산업보건학과 교수)

박주현(동국대학교 통계학과 부교수)

곽현석(근로복지공단 직업환경연구소 책임연구원)

이윤근(노동환경건강연구소 소장)

하권철(창원대학교 보건의과학과 교수)

고동희(가톨릭관동대학교 국제성모병원 부교수)

김소연(한국방송통신대 연구조교)

# 요 약 문

## 연구기간

2019년 04월 ~ 2019년 10월

## 핵심 단어

라돈, 디젤연소배출물, 미세먼지, 전자파,  
특수건강진단, 작업환경측정

## 연구과제명

지하철 근로자 직무별 보건관리 가이드마련 연구

## 1. 연구배경

### 1) 연구 필요성

지하철 근로자는 다양한 크기의 먼지, 라돈, 디젤 연소 배출 물질 (diesel engine exhaust emissions, DEEE), 바이오에어로졸 등 호흡기 질병 위험을 일으킬 수 있는 유해인자에 노출되고 있음. 이들 유해인자에 대한 노출 및 질병 감시를 위한 보건관리 가이드가 필요함.

## 2. 주요연구내용

### 1) 지하철 먼지 보건관리 가이드

먼지 발생의 근원적 제거를 위한 아래와 같은 공학적 대책이 필요함. 첫째, 먼지 발생원을 근원적으로 제거하거나(사용하지 않은) 공기 중 발생을 억제할 수 있는 공학적 대책을 취해야 함. 지하철 환경에서 먼지 발생 근원은 지하철에서 디젤차량 운행, 지하철 레일 마모먼지, 외부 환경에서 유입되는 대기오염 먼지 등임. 이들에 대한 근원적 차단 혹은 저감을 위한 대책을 마련해야함. 특히 지하철에서 디젤 차량의 단

계적 사용 금지는 적극적으로 고려하기 바람. 둘째, 외부에서 지하철로 유입되는 공기의 질(quality)을 관리하고 내부에서 발생하는 먼지를 적정하게 대기로 배출하여 공기 중 농도를 낮춰야 함. 외부에서 지하철로 유입되는 공기는 먼지 오염수준을 낮출 수 있도록 적정한 유입구 및 공기 청정기 설치 등의 대책을 마련해야 함. 셋째, 객차나 디젤 차량의 운전석 밀폐 및 필터링된 환기시스템 적용이 필요함. 객차의 승무원들은 오랜 시간동안 지하 공간에서 작업을 해야 하므로 객차의 운전석은 최대한 밀폐를 시키되 외부에서 유입되는 공기를 정화시키는 환기장치를 설치해야 함. 모든 지하철 근로자를 역사별로 일하는 장소와 직무 내용에 따라 먼지 노출특성이 비슷한 그룹을 묶어(Job exposure group, JEM) 분류하고 각 직무그룹별로 먼지 노출특성(노출시간/노출빈도 중심)을 정성적으로 기록해야 함.

지하철 환경에서 흉곽성(PM10), 호흡성, PM2.5 농도를 정기적으로 측정해야 할 것으로 판단함. 측정 방법, 빈도(횟수/연) 등은 관련 법, 노출 수준 등을 고려하여 임의로 정할 수 있음. 법적인 측정 항목이 아닌 경우에는 JEM 특성을 평가할 수 있는 자료를 확보하기 위해 직무 그룹별 노출 평가 전략을 기획해서 노출 분포를 확인할 필요가 있음.

## 2) 지하철 라돈 등 방사성물질 보건관리 가이드

펌프장 공간(탱크)을 덮는 밀폐식 국소 배기장치를 설치하여 외부로 배기해야 함. 24시간 가동해야 함. 배기 덕트는 시민들이 노출되지 않은 공간으로 설치해야 함. 만약 펌프장에서 공기 중 라돈 농도가 100 Bq/m<sup>3</sup>이하로 측정되면 설치하지 않아도 됨. 외부에서 펌프장 공간으로 신선한 공기를 공급하는 환기장치를 설치해야 함. 일정 주기로 국소 배기장치의 배기 등 효율을 점검하고 그 결과를 기록해야 함. 펌프장 주변, 역사, 승무칸 등을 대상으로 공기 중 라돈 농도를 정기적으로 모니터링하고, 그 결과에 근거하여 적정한 공학적/행정적 조치를 취하고 그

결과를 보관. 라돈 노출 위험이 있는 근로자 그룹을 대상으로 적절한 특수 건강검진을 실시하고 그 결과를 보관. 라돈 발생을 억제하고 라돈 노출로부터 근로자 건강위험을 예방하기 위해 정기적인 근로자 보건 교육 제공.

### 3) 지하철 전자파 보건관리 가이드

국외 사전예방위주의 노출기준과 역학연구를 통한 암과의 관련성이 나타나는 노출수준을 고려할 때 만성건강영향을 예방하기 위한 전자파 관리기준을 세울 것을 권고함. 전자파 노출을 최소화하기 위해서는 발생원에서 머무는 시간을 줄이고, 가능한 먼 거리를 유지하며, 발생원을 가능한 밀폐하여 노출을 차폐 시키는 ‘시간-거리-차폐’ 원칙을 준수해야 함.

### 4) 지하철 작업환경측정 보건관리 가이드

공기 중 라돈, 디젤배출물 등을 정기적으로 측정할 것을 제안함. 공기 중 라돈은 경제적으로 이용할 수 있는 방법으로 예비 검사 목적으로 “라돈 아이플러스(Model: RD200M, FTLab, Korea)의 사용을 권장함. 이 장비로 일반 환경보다 높은(보통 50-60 Bq/m<sup>3</sup>) 수준 이상 검출된 장소를 대상으로 라돈 발생 억제 조치를 취할 것을 제안함.

공기 중 디젤연소배출물을 모두 정량할 수 있는 측정방법은 물론 노출기준도 아직 없음. 공기 중 디젤연소배출물의 농도를 대변할 수 있는 대리인자(surrogate)로 블랙카본(black carbon), 원소탄소(elemental carbon, EC), 질소산화물이 추천되고 있음. 블랙카본과 EC 측정은 측정 및 분석기기 비용, 분석기술 등을 고려할 때 상시적으로 이용하는데 한계가 있음. 이들은 아직 노출기준도 없음. 질소산화물은 경제적/기술적으로 측정이 가능하며, 특히 산화촉매방식의 매연저감장치가 부착된 차량의 디젤연소배출물의 대리인자로 적합한 것으로 알려져 있음.

### 5) 지하철 특수건강진단 보건관리 가이드

보건관리자는 공정 및 직무별 노출 변동이 반영될 수 있도록 유해물질 데이터베이스를 구축하고 정기적인 업데이트 시행함. 실제 노출되는 물질에 대해 특수건강진단이 시행될 수 있도록 대상 유해물질의 종류를 압축하여 선정 필요함. 특수건강진단기관은 호흡기 발암물질인 미세먼지, 디젤 연소 배출물, 라돈 등에 대한 아래와 같은 질병감시를 철저히 해야 함. 저용량 CT 검사는 지하에서 근무하는 역무, 승무, 기술본부 작업자가 주로 해당됨. 또한 50세 이상 20년 이상 흡연 경력이 있으며 위험 요인(라돈, 디젤 연소 배출물 배출물질, 미세먼지)에 노출, 이전 암의 과거력, 만성폐쇄성폐질환 등 기존 폐질환, 폐암의 가족력 등이 있는 경우 1년에 1회 저용량 CT 검사 권고함. 만약 위험 요인(라돈, 디젤 연소 배출물, 미세먼지)에 노출이 없을 시 국가폐암검진 기준에 따라 만 54~74세이며 30갑년 이상 흡연력이 있는 경우 2년마다 저용량 CT 검사 시행. 단, 불필요한 저용량 CT 검사로 피폭량이 증가하여 폐암 발생 위험이 높아질 수 있음. 정기적 흉부 X-선 검사는 조기 암 발견이 어려워, 폐암 사망률을 유의하게 낮추지는 못함. 반면 흉부 X-선 검사는 저용량 CT에 비해 방사선 피폭량이 매우 적고, 비용이 저렴하다는 장점이 있음. 저용량 CT 검사 대상이 아닌 경우는 정기적인 흉부 X-선 검사 시행.

### 3. 제언 및 제한점

#### 1) 지하철 회사

라돈, 바이오에어로졸, 디젤 연소 배출물을 중심으로 정량적 혹은 정성적 노출평가와 질병 영향 감시 체계를 갖추어야 함. 무엇보다 터널 등 지하철 정비용 디젤 차량을 전기차량으로 교체하거나 디젤 연소 배출물을 효과적으로 제거할 수 있는 차량으로 교체해야 함

#### 2) 고용노동부

지하철 작업환경의 특성을 고려할 때 현행 작업환경측정제도 틀로는 적절한 보건관리를 하기 곤란함. 따라서 다음과 같이 작업환경측정제도 개선을 제안함

노사 및 전문가가 지하철 작업환경의 특성을 고려하여 법적 측정대상 유해인자 외에도 다양한 유해인자를 찾아 평가할 수 있도록 하고, 현행 백화점식 작업환경측정을 지양하고 위험도가 높은 유해인자에 집중할 수 있도록 제도개선이 필요하고 이를 위한 시범사업의 추진할 것을 제안함. 지하철 환경에서 발생하는 라돈, 디젤 연소 배출물, 바이오에어로졸 등과 같이 정량적 측정만으로는 노출평가의 한계가 분명한 유해요인을 대상으로 정성적 노출평가 기록 등의 산업보건활동을 작업환경측정 제도에 포함시키는 방안을 연구할 필요가 있음.

본 연구에서 일부 지하철 승무칸 및 객차에서 환경기준과 근로자 기준을 초과한 사례가 나타난 바 전국 지하철을 대상으로 하는 주요 장소별 라돈 발생 특성 및 대책마련 연구가 필요함.

#### 다) 안전보건공단

본 연구에서 개발한 가이드 5종을 KOSHA 가이드로 활용 가능한지 검토.

#### 4. 연락처

- 연구책임자 : 한국방송통신대학교 환경보건학과 교수 박동욱
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 직업환경연구실 박정근

■ ☎ 052) 7030. 0882

■ E-mail : jkpark@kosha.or.kr



## 〈 차 례 〉

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| <b>I. 서론</b>                  | <b>1</b>  |
| 1. 연구배경                       | 1         |
| 2. 연구목적                       | 1         |
| 3. 연구필요성                      | 3         |
| <b>II. 연구방법</b>               | <b>11</b> |
| 1. 연구범위                       | 11        |
| 2. 연구 대상                      | 12        |
| 3. 연구방법                       | 12        |
| 4. 연구추진방법                     | 14        |
| <b>III. 연구 결과</b>             | <b>16</b> |
| 1. 지하철 먼지 보건관리 가이드            | 16        |
| 2. 지하철 라돈 등 방사성물질 보건관리 가이드    | 28        |
| 3. 지하철 전자파(극저주파 자기장) 보건관리 가이드 | 38        |
| 4. 지하철 작업환경 측정 보건관리 가이드       | 45        |
| 5. 지하철 특수건강진단 보건관리 가이드        | 53        |
| 6. 제한점                        | 58        |
| 7. 제언                         | 59        |
| <b>참고문헌</b>                   | <b>63</b> |

|             |    |
|-------------|----|
| 영문요약문 ..... | 76 |
|-------------|----|

|          |    |
|----------|----|
| 부록 ..... | 78 |
|----------|----|

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 1. 현행 특수건강진단의 절차 및 방법 .....        | 78  |
| 2. 보건관리 시스템(거버넌스)의 문제점과 개선방향 ..... | 88  |
| 3. 지하철 관리의 해외사례 .....              | 106 |

## 〈 그림 차례 〉

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| [그림 1-1] 본 연구 주요 연구목적과 내용 .....                                                          | 3   |
| [그림 2-1] 지하철 근로자 직무별 보건관리 가이드 개발 추진 과정 .....                                             | 15  |
| [그림 3-1] 홍콩 지하철 외부 전경 .....                                                              | 20  |
| [그림 3-2] 홍콩 지하철 외부 전경 .....                                                              | 20  |
| [그림 3-3] 서울 지하철 7호선 승무원 시간별 공기 중 라돈과 토론이<br>각각 600 Bq/m <sup>3</sup> 을 넘는 시간대가 관찰됨 ..... | 29  |
| [그림 3-4] 서울 일부 지하철역에서 측정된 공기 중 라돈 결과 종합.<br>.....                                        | 30  |
| [그림 3-5] 지하철 펌프장에 적정한 밀폐식 국소 배기장치 .....                                                  | 32  |
| [그림 3-6] 지하철 펌프장 외부 공기 공급 시설 설치(배기된 양 이상<br>공급 필요) .....                                 | 33  |
| [그림 3-7] 펌프장 밀폐식 국소 배기장치의 자체 검사 .....                                                    | 34  |
| [그림 3-8] 한국철도공사 4호선 구간의 전원 방식(AC:교류, DC:직류)에<br>따른 운전실 내부 전자파 측정결과 비교 .....              | 39  |
| [그림 3-9] 한국철도공사 4호선 교류구간 운전 중 전자파 발생 패턴<br>.....                                         | 40  |
| [그림 3-10] 공기 중 라돈 측정 알고리즘) .....                                                         | 50  |
| [그림5-1] 서울교통공사의 안전보건 조직 체계 .....                                                         | 91  |
| [그림5-2] ‘서울시지하철최적근무위원회’의 권고 사항 .....                                                     | 103 |
| [그림5-3] 홍콩 역사에서 실시간 PAEC 측정 데이터 그래프 .....                                                | 115 |

## 〈 표 차 례 〉

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 〈표 1-1〉 전국 지하철 주요 시설 현황 특성(박동욱 등, 2018) .....         | 5   |
| 〈표 1-2〉 지하철 환경에서 발생하는 먼지와 디젤연소배출물 주요 근원<br>별 특성 ..... | 8   |
| 〈표 3-1〉 지하철 디젤차량 사용 기간별 구분(하이브리드 18대 포함)<br>.....     | 18  |
| 〈표 3-2〉 노출 직무 특성을 구분하는 사례 .....                       | 22  |
| 〈표 3-3〉 산업안전보건법에 의한 근로자 직무 대상 먼지 측정 제안<br>.....       | 23  |
| 〈표 3-4〉 호흡보호구 등급과 사용 장소 .....                         | 26  |
| 〈표 3-5〉 공기 중 라돈 측정결과 기록 양식(안) .....                   | 36  |
| 〈표 3-6〉 지하철 근로자 직무별 라돈 노출 위험 및 조치 요약 .....            | 37  |
| 〈표 3-7〉 전자파 기준 비교 .....                               | 41  |
| 〈표 3-8〉 만성건강영향 예방을 위한 전자파 관리기준 .....                  | 43  |
| 〈표 3-9〉 라돈, 디젤연소배출물, 바이오에어로솔 정성적 평가 기록 예<br>.....     | 48  |
| 〈표5-1〉 지하철 관련 공공기관의 안전보건 조직 현황 .....                  | 90  |
| 〈표5-2〉 서울교통공사의 조직 체계에 따른 보건분야 업무영역 구분<br>.....        | 91  |
| 〈표5-3〉 서울 교통공사 보건관리를 위한 시설 현황 .....                   | 92  |
| 〈표5-4〉 서울교통공사 노동조합 안전보건관리 조직 현황 .....                 | 94  |
| 〈표5-5〉 홍콩 실내공기질 목표 .....                              | 111 |
| 〈표5-6〉 직무별 라돈 폭로량 .....                               | 114 |

# I. 서론

## 1. 연구 배경

지하철 근로자는 다양한 크기의 먼지, 라돈, 디젤 연소 배출물(diesel engine exhaust emissions, DEEE), 바이오에어로졸 등 호흡기 질병을 일으킬 수 있는 유해인자에 노출되고 있음.(박동욱 등, 2018) 지하철 근로자의 건강을 보호하기 위해서는 지하철 근로자의 직업병 예방을 위한 유해인자 측정 전략, 유해인자 노출과 질병 감시 등이 필요함.

이를 위해 지하철 안전보건 전문가와 근로자가 직접 활용할 수 있는 보건관리 매뉴얼 또는 가이드가 필요함. 여기에 들어가야 할 내용은 구체적으로 지하철 근로자 직무별로 발생하는 유해인자 노출평가 방법(작업환경측정), 주요 위험인자(라돈, 디젤 연소 배출 물질을 포함한 먼지, 바이오에어로졸, 전자파 등) 노출 억제 방안 그리고 질병 감시 전략(특수 건강검진)에 대한 것임.

## 2. 연구목적

- 지하철 근로자의 직무는 크게 역무원, 승무원, 기술직으로 분류할 수 있음. 이들은 직무 특성, 소속된 지역과 지하철역의 물리적 환경 및 주변 환경에 따라 유해인자 노출 특성은 다양함.
- 2018년에 본 연구진이 미세먼지, 라돈, 디젤 연소 배출물에 대한 노출 실태 연구를 수행하고, 여러 후속 조치를 제안하였음.

○ 이번 지하철 근로자 직업병 예방을 위한 보건관리 가이드 개발은 이 2018년 연구 결과와 다른 나라 지하철 관리 사례, 문헌 등을 참조하여 개발하였음.

○ 본 연구에서는 지하철 근로자가 노출되는 주요 유해인자로 발생할 수 있는 질병을 예방하기 위한 절차와 방법 등을 표준화해서 보건관리 가이드를 개발하였음. 구체적인 목적은 아래와 같음.

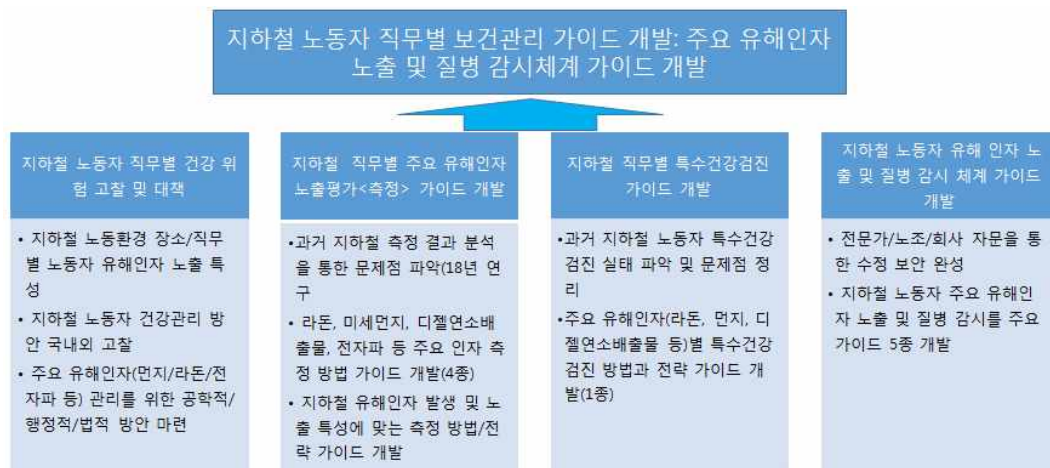
첫째, 국내외 지하철 근로자 보건관리를 위한 법적/행정적/공학적 방안 고찰, 해외 지하철 관리 사례 검토, 우리나라의 지하철 운행 특성과 비슷한 사례를 참고하여 가이드 근거로 정리함.

둘째, 2018년 연구 결과를 중심으로 국내 지하철 근로자의 직무 특성을 고찰하고 직무 특성별 주요 건강위험 인자를 파악하며 이들의 노출을 줄일 수 있는 방법 등을 고찰하여 보건관리 가이드 개발에 활용.

셋째, 지하철 근로자가 노출되는 주요 유해인자인 먼지, 라돈 그리고 전자파 노출을 줄일 수 있는 공학적, 행정적 방안을 포함한 보건관리 가이드 개발.

넷째, 지하철 근로자의 직무별 주요 유해인자 노출평가전략(작업환경측정)을 가이드로 개발.

마지막으로, 지하철 근로자의 직무별 근로자 특수 건강검진 주요 전략 개발. 지하철 근로자 질병을 감시할 수 있는 특수 건강검진 방향(또는 질병감시 전략)을 담은 가이드 개발.



**[그림 1-1] 본 연구 주요 연구목적과 내용**

### 3. 연구필요성

- 지하철 근로자가 노출되는 먼지, 라돈, 디젤연소배출물질, 바이오에어로솔 등에 대한 측정, 노출평가, 질병감시전략 미흡함. 지하철 안전보건전문가와 근로자가 직접 활용할 수 있는 보건관리 매뉴얼 또는 지침(가이드)이 필요함.
- 지하철 근로자의 표준작업지침과 함께 유해인자 노출을 억제하고 질병을 예방하기 위한 보건관리방안 개발이 필요함. 구체적으로 지하철 근로자 직무별로 발생하는 유해인자 노출평가(작업환경측정), 주요 위험인자(라돈과 디젤연소배출물 등) 노출 억제 방안 그리고 질병 감시전략(특수건강진단) 개발이

필요함.

### 1) 지하철 시설, 운행, 환경 측면

○ 지하철 운행 환경과 지하철 근로자의 직무 특성 등에 근거하면 폐암 등 각종 호흡기 질환, 근 골격계 질환, 심리적 질환 등에 노출되고 있음. 전국 6개 도시 총 34개 노선 총 841개 역을 운영하기 위해 매우 많은 근로자가 다양한 직무의 노동을 수행하고 있음.

○ 가장 오래된 지하철은 서울 1호선으로 1974년에 운행이 시작되었음. 지하철 환경은 운행시기, 지하역수, 운행 노선 특성, 지하 심도, 터널 환기 등 다양한 위험요인들을 발생시키고 있음. 주요 위험 환경요인을 열거하면 다음과 같음. (<표 1-1> 참조)

- 지하철 시설은 노후화가 가속화되고 있음
- 외국과 달리 우리나라 지하철은 지하깊이(심도)가 깊음. 서울 1-4호선 평균 심도는 15 미터, 5-8호선 20미터로 외국에 비해 깊음. 지하 깊숙한 곳까지 지하철이 운행되고 있고 발생된 오염물질은 쉽게 제거되지 않은 상태임
- 지역별, 역별 환기시설 성능 및 효과 수준이 다르고 시설마다 노후화 진행이 다름. 이에 대한 실태조사도 종합적으로 이뤄진 적이 없음
- 터널 벽체, 바닥 및 승강장 등에 미세먼지 장기 축적. 시설 노후와 심도 등과 연관됨
- 공기질 관리법 제정 이전 건설 및 개통으로 공기 질 관리에 대한 설계가 미흡했었고 1호선 74년 개통 당시 실내 공기 질 기준이 없는 상태에서 건설되어 역사 공기질 관리와 설비가 부족함(5-8호선 : 96년 개통)



**<표 1-1> 전국 지하철 주요 시설 현황 특성(박동욱 등, 2018)**

| 구분 |                  | 개통년도                  | 연장(영업)           | 지하역수<br>(총 역수) | 평균깊이<br>(R.L기준) | 최대 심도 역        |
|----|------------------|-----------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 서울 | 1호선              | 1974년                 | 7.8km            | 10역(10역)       | 10.9m           | 서울역<br>12.95m  |
|    | 2호선              | 1984년                 | 60.2km<br>(지선포함) | 37역(50역)       | 14.4m           | 이대역<br>28.41m  |
|    | 3호선              | 1985년                 | 38.2km           | 32역(34역)       | 17.7m           | 오금역<br>35.33m  |
|    | 4호선              | 1985년                 | 31.7km           | 21역(26역)       | 16.8m           | 남태령역<br>37.21m |
|    | 5호선              | 1996년                 | 52.3km           | 51역            | 23.5m           | 신금호역<br>44m    |
|    | 6호선              | 2001년                 | 35.1km           | 38역            | 22.5m           | 버티고개역<br>43m   |
|    | 7호선<br>(연장구간 포함) | 2000년                 | 57.1km           | 48역(51역)       | 22.0m           | 송실대역 47m       |
|    | 8호선              | 1999년                 | 17.7km           | 17역            | 19.8m           | 산성역 56m        |
| 인천 | 1호선              | 1999년<br>~2009년       | 86.452km         | 27역(29역)       | 18.49m          | 부평역<br>31.26m  |
|    | 2호선              | 2016년                 | 68.247km         | 21역(27역)       | 22.57m          | 인천가좌<br>30.31m |
| 대구 | 1호선              | 1997년                 | 32,307m          | 32(32)         | 16m             | 교대역(24m)       |
|    | 2호선              | 2005년                 | 29,640m          | 28(29)         | 23m             | 이곡역(33m)       |
|    | 3호선              | 2015년                 | 23,950m          | 지상(30)         | 지상              | 지상             |
| 부산 | 1호선              | 1985년<br>(노포~범<br>내골) | 16.2             | 10역(17역)       | 11.46m          | 범어사역<br>14.27m |
|    |                  | 1987년<br>(범일~중<br>앙)  | 5.4              | 6역(6역)         | 12.22m          | 좌천역<br>12.99m  |

| 구분 |     | 개통년도                  | 연장(영업) | 지하역수<br>(총 역수) | 평균 깊이<br>(R.L기준) | 최대 심도 역        |
|----|-----|-----------------------|--------|----------------|------------------|----------------|
|    |     | 1990년<br>(남포~서대신)     | 4.5    | 5역(5역)         | 15.32m           | 서대신역<br>24.3m  |
|    |     | 1994년<br>(대티~신평)      | 6.4    | 5역(6역)         | 15.61m           | 대티역<br>26.14m  |
|    |     | 2017년<br>(동매~다대포해수욕장) | 7.98   | 6역(6역)         | 19.54m           | 낮개역<br>25.31m  |
|    | 2호선 | 1999년<br>(호포~서면)      | 21.7   | 19역(21역)       | 16.81m           | 동의대역<br>23.99m |
|    |     | 2001년<br>(전포~금련산)     | 7.7    | 9역(9역)         | 19.35m           | 지계골역<br>23.86m |
|    |     | 2002년<br>(광안~장산)      | 9.5    | 9역(9역)         | 15.75m           | 광안역<br>24.61m  |
|    |     | 2008년<br>(증산~양산)      | 7.2    | 0역(4역)         | 지상역              | 지상역            |
|    | 3호선 | 2005년<br>(대저~수영)      | 18.1   | 13역(17역)       | 27.2m            | 만덕역<br>64.25m  |
|    | 4호선 | 2011년<br>(미남~안평)      | 12.0   | 10역(14역)       | 18.93m           | 동래역<br>25.72m  |

## 2) 지하철 환경 및 직무 특성에 따른 주요 위험인자 측면

- 지하철 근로자가 노출될 수 있는 주요 건강위험인자로 라돈, 미세먼지, 디젤연소배출물의 공기 중 발생 특성을 정리했음. (<표 1-2> 참조)

○ 라돈은 자연환경에서 발생함. 지하 심도가 깊을수록 라돈 발생 가능성은 높음.(곽현석 등, 2016) 특히 터널 정비, 집수정 정비 등을 담당하는 근로자의 라돈 노출이 높을 수 있음. 지하 환경에서 일하는 모든 근로자는 라돈에 노출될 수 있음. 근로자 건강보호를 위한 산업안전보건법에서 작업환경측정항목에 들어 있지 않아 지하철 노출평가에서 누락되어 있음. 라돈은 지하철 근로자는 물론 일반 시민도 노출될 수 있음. 현재 우리나라는 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에 의해 지하역사의 승강장과 환승통로 등을 중심으로 라돈 농도를 측정하도록 되어 있음.(환경부, 실내공기질 관리법, 2018) 그러나 지하 터널 구간에 대한 측정은 실시되지 않고 있으며 국내 연구도 매우 부족한 실정임. 특히 최근에는 지하 터널 구간을 점검하는 기술직 근로자가 폐암으로 직업병을 인정받은 사례가 있어 지하철 근로자들에 대한 라돈 노출 위험성의 평가와 관리 방안 마련이 시급함. (근로복지공단, 2012-2013)

○ 지하철 환경에서 발생하는 먼지는 다양한 물리적 화학적 특성을 가짐. 호흡성 입자 보다 작은 것이 대부분일 것으로 판단됨. 지하철 환경에서 발생하는 먼지의 근원은 레일 마모, 지하철 환경관리를 위해 사용하는 디젤 차량, 지하철 철도 모래나 자갈 그리고 외부 대기환경 등임.(Heo et. 2009) 지하철 환경에서 노출될 수 있는 먼지는 대부분 입자크기가 작고 화학적 특성도 다양함. 레일 먼지는 철 등 각종 금속이 포함되어 있을 수 있음. 근로자 건강보호를 위한 산업안전보건법에서 미세먼지는 작업환경측정항목에 들어 있지 않아 그간 지하철 환경에서는 측정이나 노출수준이 평가된 적이 없음.

○ 디젤연소배출물 발생의 주요 근원은 지하철 터널 등 정비를 수행하기 위한 디젤차량임.(Fruin et. 2004) 매일 터널 구간 정비, 청소 작업할 때 디젤차량에서 배출되는 연소물임. 지하에서 새벽에 이루어지는 작업이기 때문에 배출된

디젤연소배출물은 지하에 머물기 쉬움. 스크린 도어, 지하 심도 등의 환경으로 배출된 디젤연소배출물이 누적되어 일정 수준 지하에 머물러 있음. 추가로 외부 환경 도로에서 유입되는 자동차 배출물도 지하에 머물게 됨. 근로자는 물론 지하철을 이용하는 일반 시민이 지하 환경에 누적된 디젤연소배출물에 끊임없이 노출됨. 디젤연소배출물질은 근로자 건강보호를 위한 산업안전보건법에서 작업환경측정항목에 들어 있지 않음(박동욱 등, 2018). 그 동안 노출평가된 적이 없음.(<표1-2> 참조)

**<표 1-2> 지하철 환경에서 발생하는 먼지와 디젤연소배출물 주요 근원별 특성**

| 발생<br>근원/요인            | 발생 환경        | 주요 입자 크기           | 화학적<br>특성        | 지하철에서<br>작업환경측<br>정 |
|------------------------|--------------|--------------------|------------------|---------------------|
| 레일 마모                  | 지하철          | <호흡성 먼지            | 철 등 금속<br>포함     | No                  |
| 디젤 정비<br>차량            | 지하철/외부<br>환경 | <초 미세먼지<br>(PM2.5) | 복합 화학물<br>질/카본 등 | No                  |
| 지하철 교<br>량 자갈 등        | 지하철          | <흡입성               | 결정형 유리<br>규산     | No                  |
| 외부 대기<br>환 경 에 서<br>유입 | 외부 환경        | <흡입성<br><미세먼지      | 화학물질 등           | No                  |

### 3) 지하철 근로자 직업병 등 질병 발생 측면

○ 지하철 근로자들이 겪고 있는 질병은 호흡기 질환, 심혈관계질환, 근골격

계질환, PTSD 등 다양함. 공식적인 통계는 보고된 바 없지만 서울 지역 지하철 근로자가 가장 많이 걸린 질병은 폐암 등 호흡기 질환으로 의심됨. 총 19건이며 호흡기 질환을 일으키는 주요 유해인자는 위에서 살펴본 미세먼지, 라돈, 디젤연소배출물 등의 노출과 직접적인 연관이 있을 것으로 판단됨.

- 지하철 시설, 건축이 노후화되고 근로자들이 노출기간(근무기간)이 늘어나면서 근로자들의 질병은 다양하고 발병자도 늘어날 것으로 짐작됨. 특히 질병 잠재기와 지하철 운행기간 등을 감안하면 각종 형태의 암 발생 근로자는 증가할 것으로 추정됨.

#### 4) 지하철 환경 위험인자 관련 연구 측면

- 국내 지하철 환경에서 건강 유해인자를 대상으로 이루어진 연구는 주로 먼지, 라돈 등임. 2018년 본 연구진이 “지하철 근로자 미세먼지, 라돈, 디젤연소배출물 노출 평가 및 관리방안 마련” 연구를 수행했음.(박동욱 등, 2018) 서울 및 기타 지하철 역사를 중심으로 근로자들이 주로 노출되는 미세 먼지, 라돈, 디젤 연소 배출물 발생 및 노출 수준을 평가하고 근로자와 시민의 건강보호를 위해 이들 유해인자를 관리할 수 있는 행정적, 공학적 대책을 가이드에 포함할 가치가 있음.

- 그 동안 지하철 환경을 대상으로 수행한 연구들은 대부분 일부 지역 및 지하철역을 대상으로 특정 유해인자에 대한 측정, 평가 등이었음(노영만 등, 2007; 조영민 등, 2005; 조영민 등, 2010)이 연구결과를 고찰하고 정리해서 실제 근로자의 건강보호를 위한 유해인자 측정 전략, 질병 감시 전략, 각종 표준지침 개발 등에 활용하였음.

- 지하철 회사는 지하철에서 발생하는 주요 유해인자에 대한 측정, 노출 및 질병감시 경험 및 전략이 미흡함. 지하철 근로자의 직무별 건강영향을 예방할 수 있는 보건관리방안이 없음.
- 지하철 근로자의 건강보호를 위한 보건관리가이드(표준 관리 지침)를 개발하는 조치가 필요함. 가장 좋은 방법은 그 간의 연구결과를 참조하고 회사의 특성에 근거하여 회사가 자체적으로 실정에 맞도록 개정해서 사용할 수 있음.
- 정부 주도의 지하철 근로자의 건강보호를 위한 표준 관리 지침을 개발하고 이를 회사가 회사의 특성에 따라 수정 보완해서 자체 지하철 근로자 보건관리 가이드로 활용하는 것이 바람직함.

## II. 연구방법

### 1. 연구범위

- 본 연구범위는 연구기간, 연구비용 등의 한계에 따라 지하철 근로자의 유해인자 노출을 줄이고 질병을 감시하고 예방할 수 있는 내용으로 한정하였음. 여기에는 유해인자에 대한 측정(작업환경측정), 노출평가, 특수건강진단 등이 포함됨.
- 본 연구에서 달성한 주요 연구내용은 아래와 같음.
  - 홍콩전문가와 세미나를 통해서 우리나라의 지하철 운행 특성을 비교하고 참고 가능한 방안을 가이드에 포함시킴.
  - 지하철 운행 환경, 근로자의 직무특성을 고찰(박동욱 등, 2018)
  - 지하철 환경과 직무특성별 주요 건강위험인자의 노출특성 등을 정량적, 정성적으로 정리
  - 지하철 환경과 근로자의 직무특성별로 발생하는 주요 건강위험인자(라돈/미세먼지/전자파 등)에 적정한 측정 및 노출평가(작업환경측정) 전략 제언
  - 지하철 환경 및 근로자의 직무별 표준 작업환경관리 및 유해인자 노출평가 및 관리 방안 제언. 지하철 근로자 직무환경에 맞는 적정한 작업환경측정 전략(또는 유해인자 노출감시 전략)을 개발
  - 지하철 근로자의 직무별 근로자 질병을 감시할 수 있는 특수건강진단 방

향(또는 질병감시 전략)을 제안

## 2. 연구 대상

### ○ 본 연구 주요 대상

- 해외 지하철 근로자 건강관리 방안 마련을 위한 대상: 홍콩전문가 초청/문헌 고찰 등 적절한 방법으로 활용함
- 국내외 지하철 환경 및 근로자를 대상으로 유해인자 노출 및 보건 관리와 관련된 문헌 고찰
- 지하철 근로자 보건관리를 위한 전략 수립 후 초안 검토: 회사/노동조합/전문가. 구체적인 노출평가 대상 지역과 근로자 결정은 문헌과 자료 분석결과
- 필요한 경우 유해인자(라돈, 먼지 등)를 측정하기 위한 지하철 역을 노동조합과 회사의 의견을 통해 선정함. 전국 지하철을 대상으로 여건이 가능한 지역과 호선, 역등을 선정하였음.
- 서울 일부를 제외한 지역에서 라돈측정 도움을 받지 못함. 일부지역 객차에서 라돈을 측정하여 활용하였음.

○ 연구대상 직무는 역무, 승무, 기술 등임. 각 직무별로 측정대상 유해인자, 측정전략, 건강검진 등을 고찰함

## 3. 연구방법



### 1) 관련 문헌 검색 및 정리

- 한국학술정보(Korean Studies Information Service System; <http://kiss.kstudy.com.libproxy.snu.ac.kr/>) 를 통해 지하철 혹은 지하철역사 등의 공간을 대상으로 라돈, 미세먼지, 디젤연소배출물질에 대한 문헌을 검색하였음. 검색된 문헌만을 연구대상으로 하였음.
- 검색 키워드는 지하철 or 지하 역사 or 도시철도 + 미세먼지로 함. 검색 키워드를 통해 필터링 된 문헌들 중에서 Peer Reviewed Paper를 중심으로 검토 대상 문헌들을 선정하였음.

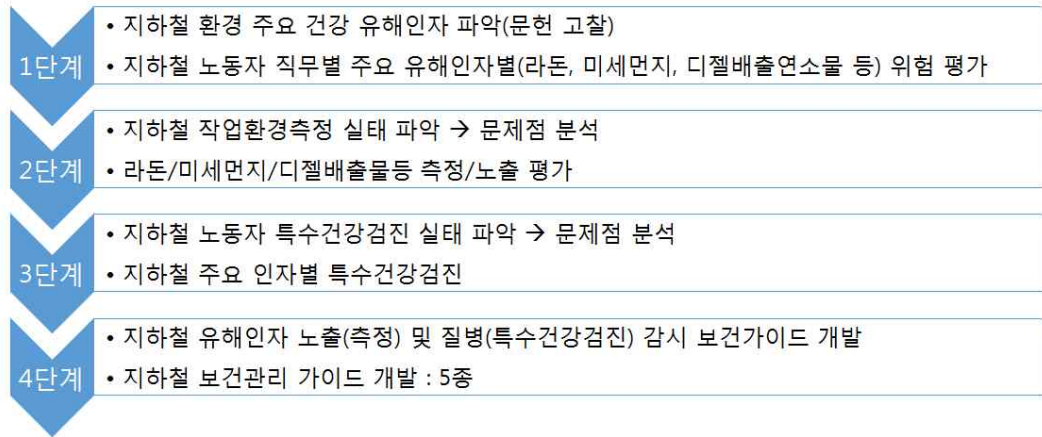
### 2) 지하철 근로자 직무 특성에 적절한 보건관리 가이드 개발

- 본 연구에서 개발한 지하철 근로자 건강관리를 위한 가이드는 총 5종으로, 1) 라돈 등 방사성물질, 2) 먼지(디젤 연소 배출 물질, 바이오에어로졸 포함), 3) 전자파, 4) 작업환경측정 전략, 5) 특수 건강검진 전략임.
- 본 연구에서 개발한 지하철 근로자 보건관리 가이드는 지하철에서 발생하는 주요 유해인자에 대한 노출을 평가하는 방법과 이에 근거한 특수 건강검진 전략을 제안하는 표준 가이드임.
- 지하철 근로자 보건관리 가이드는 1) 2018년 본 연구진이 수행한 연구(“지하철 근로자 미세먼지, 라돈, 디젤 연소 배출물질노출 평가 및 관리 방안 마련”)에서 얻은 주요 결과, 2) 국내외 문헌 검색, 3) 홍콩 등 해외 지하철 사례 고찰, 4) 국내 지하철 안전보건조직 실태 등을 검토해서 주요 내용을 근거로

개발했음.

#### 4. 연구추진방법

- 본 연구의 궁극적 목표는 지하철 근로자의 직무별 보건관리 가이드를 개발하는 것임. 여기에는 주요 유해인자(미세먼지, 라돈, 디젤 연소 배출물등)에 대한 노출 억제, 적절한 측정 그리고 질병 감시 방법과 전략을 포함하였음. 주요 연구 내용을 4단계로 추진해서 본 연구 목적을 달성하였음.
- 1단계: 국내외 문헌, 해외 사례 고찰, 과거 산업보건활동(작업환경측정, 특수 건강검진) 등을 고찰하여 개선 방안을 가이드에 담음.
- 2단계: 지역별, 호선별 근로자가 담당하는 직무 등을 분석하여 직무별로 발생하는 주요 건강 유해인자에 대한 인식, 측정, 평가, 질병 감시 등의 보건관리 가이드 초안을 개발하였음.
- 3단계: 지하철 근로자 보건관리 가이드 초안을 전문가 자문, 회사 협의, 노동조합 협의 등을 거쳐 보완하였음.
- 4단계: 지하철 근로자 직무별 유해인자 노출 및 질병 감시전략을 포함한 최종보건관리 가이드 개발하고 활용방안을 제안하였음.



**[그림 2-1] 지하철 근로자 직무별 보건관리 가이드 개발 추진 과정**

### III. 연구 결과

#### 1. 지하철 먼지 보건관리 가이드

##### 1) 필요성

- 지하철작업환경에서 먼지에 노출되는 작업자의 건강보호를 위해서 필요한 사항을 제시하기 위한 가이드 필요
- 지하철 환경에서 발생하는 라돈, 토론, 디젤 연소 배출물, 바이오에어로졸, 먼지 등 폐암을 포함한 기관지염, 천식, 폐기종 등 호흡기질환을 일으킬 수 있는 유해인자임
- 2016년 말까지 전국 지하철 근로자가 호흡기 관련 직업병으로 인정받은 사례는 총 21건(원발성 폐암 18명, 천식 1명, 특발성 폐섬유증 1명, 만성 호흡부전 1명)으로, 부산 지역 1명(천식)을 제외하고 모두 서울교통공사(구 서울메트로) 소속 근로자였음.(KCOMWEL, 2017)
- 지하철 환경에서 발생하는 먼지를 적절하게 관리하지 않았을 때 역사와 승무원 근로자는 물론 지하철 이용 일반 시민에게도 영향을 미칠 수 있음.
- 호흡기에 건강상 악 영향을 미치는 먼지 등의 발생을 억제하여 먼지 노출을 줄이는 가이드가 필요함

##### 2) 목적

- 산업안전보건법에 따라 분진 등의 유해인자에 의한 건강장해를 예방하기 위한 조치사항(제24조)을 노사가 쉽게 이행 할 수 있도록 지하철 작업장 먼지 보건관리 가이드를 개발
- 먼지 발생 억제 등 공학적 행정적 관리(control)와 먼지 측정 및 평가 등 노출 억제를 위한 가이드(지침) 개발

### 3) 주요 내용

#### (1) 공학적 대책

- 먼지 발생이 근원적 제거 : 작업환경 중 먼지 발생을 억제하고 줄이기 위한 공학적 및 행정적 대책은 5단계로 나눌 수 있음. 각 단계는 개별적이고 독립적인 대책이 아니고 서로 연계되어야 함.
- 1단계: 먼지 발생원을 근원적으로 제거하거나(사용하지 않은) 공기 중 발생을 억제할 수 있는 공학적 대책을 취해야 함. 지하철 환경에서 먼지 발생 근원은 지하철에서 디젤차량 운행, 지하철 레일 마모먼지, 외부 환경에서 유입되는 대기오염 먼지 등임.(Maykut. 2003) 이들에 대한 근원적 차단 혹은 저감을 위한 대책임. 특히 지하철에서 디젤 차량의 단계적 사용 금지는 적극적으로 고려할 수 있는 대책임. 디젤연소배출물은 폐암을 유발할 수 있으며, 크기가 매우 작아 지하철과 같은 반 밀폐 공간에서 발생하면 장기간 머무르면서 승강장, 객차, 승무원실 등 모든 곳으로 확산되기 때문임.(Hoek et. 2002)

지하철 환경에서 디젤 차량 사용의 단계적 금지(20년 이상 노후 차량의 비 디젤 차량 변경 --> 불가 시 신형 디젤엔진차량으로 변경 --> DPF 등 디젤저감장치 필수 설치 등)는 지하철 먼지 관리에서 매우 중요함. 자세한 내용은 “디젤연소배출물 관리 가이드”를 참조하기 바람.

- 본 연구에서 지하철 거의 모든 지역에서 디젤차량을 터널 정비 목적으로 사용하고 있는 것을 확인하였음. 디젤차량(하이브리드 포함)의 지역별 분포를 보면 대부분 10년 이상 사용하였음(<표 3-1> 참조). 서울 교통 공사는 20년 이상 디젤 차량이 46%(총 84대 중 39대)를 차지하고 있음.

**<표 3-1> 지하철 디젤차량 사용 기간별 구분(하이브리드 18대 포함)**

| 구분            | 10년 이하 | 10년 - 20년 | 20년 이상 | 총 계 |
|---------------|--------|-----------|--------|-----|
| 공항공철도(주)      | 4      | 7         | 0      | 11  |
| 광주도시철도공사      | 1      | 5         | 0      | 6   |
| 대구도시철도공사      | 0      | 21        | 3      | 24  |
| 대전광역시도시철도공사   | 0      | 9         | 0      | 9   |
| 대전도시철도공사      | 0      | 4         | 0      | 4   |
| 부산교통공사        | 14     | 41        | 3      | 58  |
| 서울교통공사        | 6      | 39        | 39     | 84  |
| 서울시메트로 9호선(주) | 8      | 0         | 0      | 8   |
| 인천교통공사        | 2      | 4         | 0      | 6   |
| 총계            | 35     | 130       | 45     | 210 |

- 2단계: 전체 환기대책으로 외부에서 지하철로 유입되는 공기의 질 (quality)를 관리하고 내부에서 발생하는 먼지를 적정하게 대기로 배출하여 공

기 중 농도를 낮춰야 함. 바깥 외부에서 지하철로 유입되는 공기는 먼지 오염 수준을 낮출 수 있도록 적절한 유입구 및 공기 청정기 설치 등의 대책을 마련해야 함.

- 지하철 환기는 매우 복잡함. 역 설치 시기, 깊이 등에 따라 전체 환기의 형태와 방법은 지역/역마다 다를 수 있음. 역별 지하철 환기 성능에 대한 기록과 점검이 필요함. 특히 역사별 공기 유입구 및 배기구의 위치정보를 포함한 환기시설의 계통도 작성이 필요하며, 최소 년 1회 이상 유입되는 공기질에 영향을 미칠 수 있는 유입구 주변과 환기시설에 대한 점검과 성능에 대한 기록 관리가 필요함.
- 홍콩은 외부에서 역으로 공기를 공급할 때 지상에서 일정 높이(자동차 배기 가스 유입을 최소화 할 수 있는 지점 고려)에서 공급함([그림3-1],[그림3-2] 참조). 우리나라처럼 지표면에서 외부 공기를 공급하게 되면 차량에서 배출하는 물질들이 바로 지하철 환경으로 유입될 가능성이 높아서 개선이 시급함.



[그림 3-1] 홍콩 지하철 외부 전경(화살표: 외부 공기 공급 타워/빌딩 표시)



[그림 3-2] 홍콩 지하철 외부 전경(박스: 외부 공기 공급 타워/빌딩 표시)



- 3단계: 객차나 디젤차량의 운전석 밀폐 및 필터링된 환기시스템 적용이 필요함. 객차의 승무원들은 오랜 시간동안 지하 공간에서 작업을 해야 하므로 지하 공간에서 발생하거나 외부에서 유입되는 미세먼지 등에 장기가 노출되어야 함. 따라서 객차의 운전석은 최대한 밀폐를 시키고 외부에서 유입되는 공기를 필터링 시켜서 환기시킬수 있는 설비를 도입해야 함. 디젤차량 역시 비디젤차량으로의 전환될 동안은 운전석의 밀폐 및 필터링된 환기시스템을 적용해서 디젤 배출물질 및 미세먼지의 노출 가능성을 최소화 해야 함.
- 4단계: 지하공간에서 작업을 수행해야 하는 경우에는 특급 마스크를 착용토록 해야 함. 지하공간에서 발생되거나 외부에서 유입되는 먼지는 초미세먼지 미세먼지(PM2.5)에 해당하는 사이즈의 분진이 상당 부분을 차지하고 있을 뿐만 아니라 중금속이나 디젤배출물에서 유래하는 유독한 성분들(예; PAHs, 황산입자 등)이 포함되어 있음. 따라서 미세먼지 노출을 예방할 수 있는 1급 분진 마스크 성능 이상의 마스크 즉, 유해성분이 함유된 미세먼지 노출을 예방할 수 있도록 제작된 특급마스크를 지급하고 착용할 수 있도록 해야 함. 만약 특급 마스크를 착용하고 작업을 해야 할 경우 마스크를 착용하지 않을 때와 비교해 호흡저항이 커질 수 있기 때문에 업무량의 조절 및 배분도 고려해야 함.
- 5단계: 외부 공기를 유입시키는 환기시설 외에 역사 내에 별도로 설치된 팬/에어컨 시설 등은 세균 및 곰팡이 등이 증식하여 쉽게 오염돼 근로자뿐만 아니라 일반시민들의 건강을 위협할 수 있음. 자체 설비 PM 계획에 이들의 필터청소 및 교체, 시설 점검 및 크리닝을 포함시킬 것을 적극 권장함. 특히 장마철 및 폭우 피해 이후에 세균 및 곰팡이 증식을 막기 위한 역사 내 특별 점검이 필요함.

## (2) 행정적 대책을 통한 미세먼지의 관리

- 먼지 노출 직무 특성 기록 관리 : 모든 지하철 근로자를 역사별로 일하는 장소와 직무 내용에 따라 유사한 그룹을 묶어(Job exposure group, JEM) 분류하고 각 직무그룹별로 먼지 노출특성(노출시간/노출빈도 중심)을 정성적으로 기록함. 아래 표<표3-2> 는 디젤연소배출물과 먼지 노출 직무 특성을 구분하는 사례임. 여기에 바이오에어로솔 노출특성을 추가할 수 있음.

&lt;표 3-2&gt; 노출 직무 특성을 구분하는 사례

| 지역/역사 | 직무그룹 | 디젤연소배출물질*    |              | 먼지**         |              |
|-------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|       |      | 노출 시간<br>/1일 | 노출 빈도<br>/1일 | 노출 시간<br>/1일 | 노출 빈도<br>/1일 |
| A 역사  | 승무원  |              |              |              |              |
|       | 역무원  |              |              |              |              |

\* 디젤배출연소물질: 디젤 차량 등 운행 시간 및 빈도

\*\* 바이오에어로솔 등 다른 유해인자 노출상황. 노출 시간은 일/주간/월 등으로 바꿀 수 있음.

○ 각 JEM별로 정량적인 노출수준 평가가(측정이) 필요한 경우 일정 주기별(년 1회, 년 2회 등) 채취와 분석을 통해 공기 중 농도를 기록함(아래 항 참조). 유해인자의 발생 상황을 시간, 작업장소, 작업내용 등에 따라 달라 질 수 있음

## (3) 작업환경 측정 및 평가(정량적 평가)

## 가) 총괄

- 지하철 환경에서 발생하는 먼지는 주로 호흡성먼지 크기 이하인 것으로 추정됨. 지하철 환경에서 사용하는 디젤 차량 배출물, 레일 마모먼지, 대기 외부에서 유입되는 자동차 매연 등이 지하철 먼지를 대부분 차지함. 과거 작업 환경측정에서 흡입성 등 총 먼지의 농도는 매우 낮음.
- 지하철 환경에서 정기적으로 평가해야 할 먼지는 황광성(PM10), 호흡성, PM2.5 농도라고 판단됨.
- 공기 중 먼지 측정 장소는 역사/승강장/객차와 근로자가 일하는 장소임. 역사/승강장/객차는 환경부의 실내 공기질 관리법에 따른 지하철 이용 일반 시민들의 노출을 평가하기 위한 장소임. 산업안전보건법에 의한 측정 대상 장소는 근로자가 일하는 곳이고 먼지 노출 평가 대상 직무 그룹은 승무, 역무, 기술직, 기타 시설 정비 직무로 판단됨.
- 측정 방법, 빈도(횟수/연) 등은 관련 법, 노출 수준 등을 고려하여 임의로 정할 수 있음. 법적인 측정 항목이 아닌 경우에는 JEM 특성을 평가할 수 있는 자료를 확보하기 위해 직무 그룹별 노출 평가 전략을 기획해서 노출 분포를 확인할 필요가 있음. (<표3-3> 참조)

**<표 3-3> 산업안전보건법에 의한 근로자 직무 대상 먼지 측정 제안**

| 먼지 농도 구분    | 정량적 측정        | 대상                     | 이유/참고           |
|-------------|---------------|------------------------|-----------------|
| 총 먼지/흡입성 먼지 | 산업안전보건법 측정 대상 | - 지하철 기계 정비(바이오에어로솔 등) | - 상기도 호흡기 질환 예방 |

| 먼지 농도 구분           | 정량적 측정                                  | 대상                                              | 이유/참고                                              |
|--------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 미세 먼지<br>(PM10) 1) | 실 내 공 기 질<br>관리법 실태<br>조사 대상            | - 역무 등<br>- 출입통로<br>- 대합실<br>- 승강장 및 환<br>동통로 등 | 폐포 등 호흡기<br>질환 예방                                  |
| 호흡성 먼지 2)          | 산업안전보건<br>법 측정 대상                       | - 역무<br>- 승무<br>- 기술(디젤차<br>량 사용자 등             | 폐포 등 하기도<br>호흡기 질환 예방                              |
| 미 세 먼 지<br>(PM2.5) | 실 내 공 기 질<br>관리법 실태<br>조사 대상            | - 출입통로<br>- 대합실<br>- 승강장 및 환<br>동통로 등           | 폐포 등 하기도<br>호흡기 질환 예방                              |
| 디젤배출연소물            | 권고 또는 측<br>정대상 검토<br>(대 리 인 자 :<br>NO2) | - 기술 (디젤<br>차량사용자)                              | 호흡기 질환 예<br>방, 세계보건기구<br>산하 국제암연구<br>소 인간발암성물<br>질 |

<sup>1)</sup> 실내공기질 관리법: 지하역사(출입통로, 대합실, 승강장 및 환승통로와 이에 딸린 시설)가 저용대상(제 3조) 이며 실내공기질 실태조사를 실시하여야함 함(2020년 4월 3일), 유지기준(시행규칙 제 3조) 미세먼지(PM10) : 100 ug/m<sup>3</sup> 미세먼지(PM2.5) : 50 ug/m<sup>3</sup>

<sup>2)</sup> 먼지의 노출기준은 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(고용노동부 고시 제2018-62호, 2018)에 따라 적용되며, 기타분진(산화규소결정체 1%이하) 10mg/m<sup>3</sup>, 용접 흄 및 분진 5mg/m<sup>3</sup> 등 먼지의 성분에 따라 노출기준을 제안하고 있음.

#### 나) 총 먼지/흡입성 먼지

- 산업안전보건법에 따라 일부 근로자 직무 그룹을 대상으로 정기적인 정량적 측정이 필요함. 그러나 지하철에서 발생하는 먼지크기가 대부분 호흡성 먼지 크기 이하이고 총 먼지 노출기준을 초과할 가능성이 거의 없으므로 헛수고를 조정하는 전략적 측정 전략이 필요함
- 상기도 호흡기에 침착해서 호흡기 질환을 초래할 수 있는 먼지 크기가 발생하는 직무는 일부 지하철 정비 대상 직무임. 주로 바이오에어로솔 등으로 판단됨. 이를 대상으로 총 먼지를 측정하고 추가로 곰팡이, 박테리아 등을 정량하는 전략이 필요함.
- 지하철 객차, 지하철 시설 정비 근로자 그룹은 세균/곰팡이/이들의 독소 등 바이오 에어로솔에 노출될 수 있음. 지하철역사 근무자도 노출될 수 있음.

#### 다) 호흡성먼지

- 역무, 승무, 기술직 직무 그룹을 대상으로 정기적으로 측정해야 함. 디젤 배출연소물질 등 미세먼지에 노출되는 주요 근로자 그룹은 디젤 차량 운전자, 터널 정비 근로자 그룹임. 역사 환기가 적절하지 않을 경우 지하철 근로자 모두 낮은 미세먼지 농도에 장기간 노출될 수 있음.
- 측정 대상 근로자 그룹은 지하철 객차 팬 및 지하철 기반 시설(에스컬레이터 등) 등에서는 세균/곰팡이 등 미생물이 증식하여 오염될 수 있음. 또한 지하철 환경은 기본적으로 생물학적으로 오염될 수 있음.

- 광업 등 제조업에 적용하는 유리규산( $\text{SiO}_2$ ) 함량에 근거한 호흡성 먼지 농도 노출기준을 지하철 환경 및 근로자 직무에 그대로 적용하는 것은 타당하지 않음. 지하철 환경에서 발생하는 호흡성 먼지에 대한 노출기준은 아직 없음. 지하철 자체 관리기준을 설정하는 것이 필요할 것으로 판단됨

#### 라) PM2.5

- 미세먼지 또는 초 미세먼지에 직접 노출되는 주요 직무 그룹은 디젤 차량을 사용하여 지하철 터널을 정비하는 근로자 그룹임. 간접적인 노출 직무 그룹은 승무원과 역무원임. 이들은 디젤배출연소물, 차량 마모먼지, 외부에서 유입되는 미세 먼지 등에 간접적으로 노출됨. 비록 디젤배출연소물은 산업안전보건법상 노출기준이 설정되어 있지 않고, 현실적으로 국내에서 분석하기 어려운 점이 있으나, 디젤차량을 사용하여 지하터널을 정비하는 근로자들은 PM2.5 측정과 함께 디젤배출연소물 측정을 고려할 필요가 있음.
- 먼지에 민감한 작업자의 건강 상태 집중 관리 : 먼지 농도와 작업자의 건강상태 점검 확인, 민감군에 대해서는 작업량을 줄이고, 휴식시간을 추가적으로 갖도록 조치함.
- 호흡기 보호 프로그램: <표 3-4>와 같이 호흡기 유해인자와 사용 장소 등의 특성을 파악하여 검정된 적격 호흡보호구를 선정한 후 올바른 착용과 관리 및 호흡보호구의 한계점 등에 관한 보호구 착용교육을 최소 년 1회 정기적으로 실시함. 또한 올바른 착용여부를 상시 점검함. 향후 호흡기보호 프로그램 관련, 착용 전 폐기능 검사나 호흡보호구 밀착테스트 등의 세부 프로

그럼들이 법제화되면 그 내용을 추가 실시함.

**<표 3-4> 호흡보호구 등급과 사용 장소**

| 보호구 등급                 | 사용 장소                                                                   | 사용 작업장 예                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 특 급 (고 효 율<br>HEPA 필터) | 석면취급 장소<br>혹은 베릴륨<br>등과 같이 독<br>성이 강한 물<br>질들을 함유한<br>분진 등이 발<br>생하는 장소 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2급 및 1급 방진마스크 사용가능 작업장소 포함</li> <li>- 납, 비소, 카드뮴, 석면 등 입자상 물질이 발생하는 장소</li> <li>- 용접, 제약공정, 합금성형, 가공작업 등</li> <li>- 연구소, 발전소 등 고위험성 분진 발생 작업장 등</li> </ul>                      |
| 방진1급                   | 금속 흙 등 열<br>적/기계적 분<br>진 발생 장소                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2급 방진마스크 사용가능 작업장소 포함</li> <li>- 그라인딩, 샌딩, 페인팅, 청소, 절단 작업 등</li> <li>- 용접, 주물, 단조, 주조, 제련, 제상 등 금속 가공 작업 등</li> <li>- 광물, 석탄, 철광석, 밀가루, 금속, 목재, 꽃가루 등 입자상물질 발생 작업장 등</li> </ul> |
| 방진2급                   | 모든 제조업의<br>분진이 발생하<br>는 장소                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원료취급, 장비의 점검 및 수리, 청소 등</li> <li>- 광물, 석탄, 철광석, 밀가루, 금속,</li> </ul>                                                                                                             |

| 보호구 등급 | 사용 장소 | 사용 작업장 예                 |
|--------|-------|--------------------------|
|        |       | 목재, 꽃가루 등 입자상물질 발생 작업장 등 |

- 건강 상태 이상자에 대한 작업 전환 또는 작업 중단 조치 : 작업 중 호흡 곤란 등의 건강 이상 증상을 느끼는 작업자에 대해서는 정해진 휴식시간과 관계없이 스스로 작업을 중단하고 쉴 수 있도록 하고, 의상의 진료를 받을 수 있도록 함.

### 3) 활용

- 지하철 작업환경 관리 방법으로 활용.
- 전국 지역별/지하철 역사별 공기 중 먼지, 라돈, 디젤연소배출물, 바이오에어로솔 결과 비교 및 개선점 파악.
- 지하철 근로자 대상 공기 중 라돈, 디젤연소배출물, 바이오에어로솔 노출 감시 자료로 활용
- 지하철 근로자 특수건강진단 항목 등 질병 감시자료로 활용.
- 지하철 공기 중 먼지, 라돈, 디젤연소배출물, 바이오에어로솔 표준 관리 지침 개발.
- KOSHA 가이드로 개발

### 4) 기대효과

- 근로자의 안전과 건강을 유지·증진시키고,

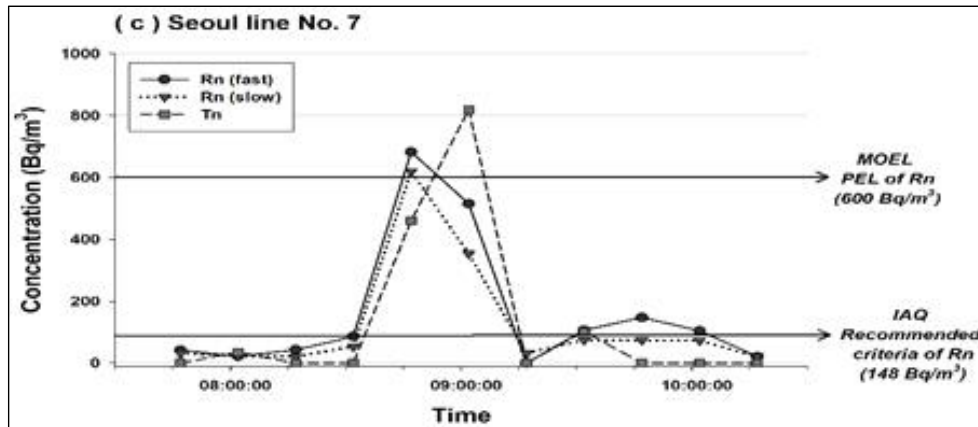


- 폐암을 포함한 다양한 호흡기 질환 예방
- 지하철 이용 시민 건강보호 대책 수립

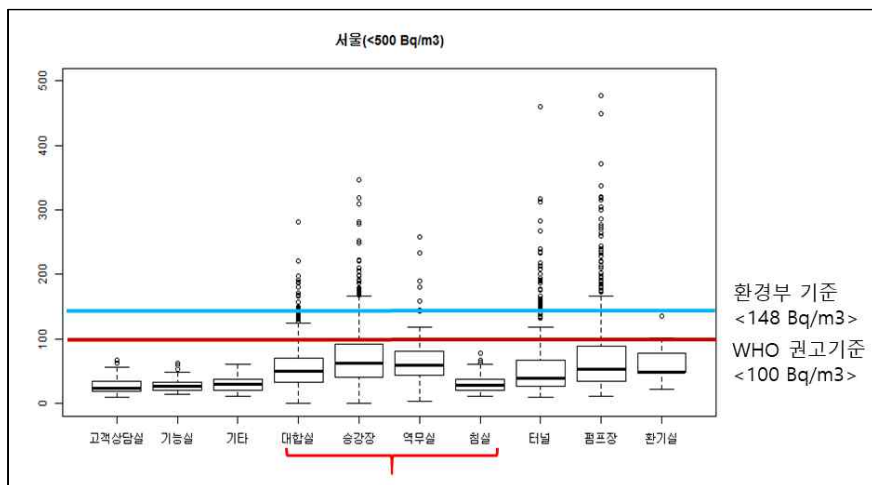
## 2. 지하철 라돈 등 방사성물질 보건관리 가이드

### 1) 필요성

- 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)는 라돈을 확실한 폐암 유발물질로 규정함. 피부, 뇌, 신장, 혈액 등 다른 조직에도 암을 일으킬 수 있다고 주장하는 연구들이 있음.(NRC, 1999) 라돈은 특별하게 관리해야 하는 위험인자임.
- 지하철 내 대부분의 펌프장(집수정)에서는 라돈과 토론 등 방사성 물질이 발생하는 것으로 알려져 있음. 지하철 건축물 등에서도 라돈과 토론이 발생할 수 있음.
- 지하철에서 일하는 승무원, 역무원, 기술직 근로자는 물론 지하철을 이용하는 일반 시민들도 라돈에 노출될 가능성이 높음. 국내 지하철에 대한 연구에서 공기 중 라돈 농도가 WHO 기준인 100 Bq/m<sup>3</sup>을 초과한 지하철역이 많은 것으로 보고됨. 일부 승무원이 공기 중 라돈 농도 600 Bq/m<sup>3</sup> 이상으로 노출되는 시간대도 있음(그림 3-3, 3-4 참조).



[그림 3-3] 서울 지하철 7호선 승무원 시간별 공기 중 라돈과 토론이 각각 600 Bq/m<sup>3</sup>을 넘는 시간대가 관찰됨(WHO 기준 100 Bq/m<sup>3</sup>, 환경부 기준 148 Bq/m<sup>3</sup>, 노동부 직업적 기준 600 Bq/m<sup>3</sup>)



[그림 3-4] 서울 일부 지하철역에서 측정한 공기 중 라돈 결과 종합. WHO, 환경부 기준을 초과하는 장소들이 보고되었음.

## 2) 목적

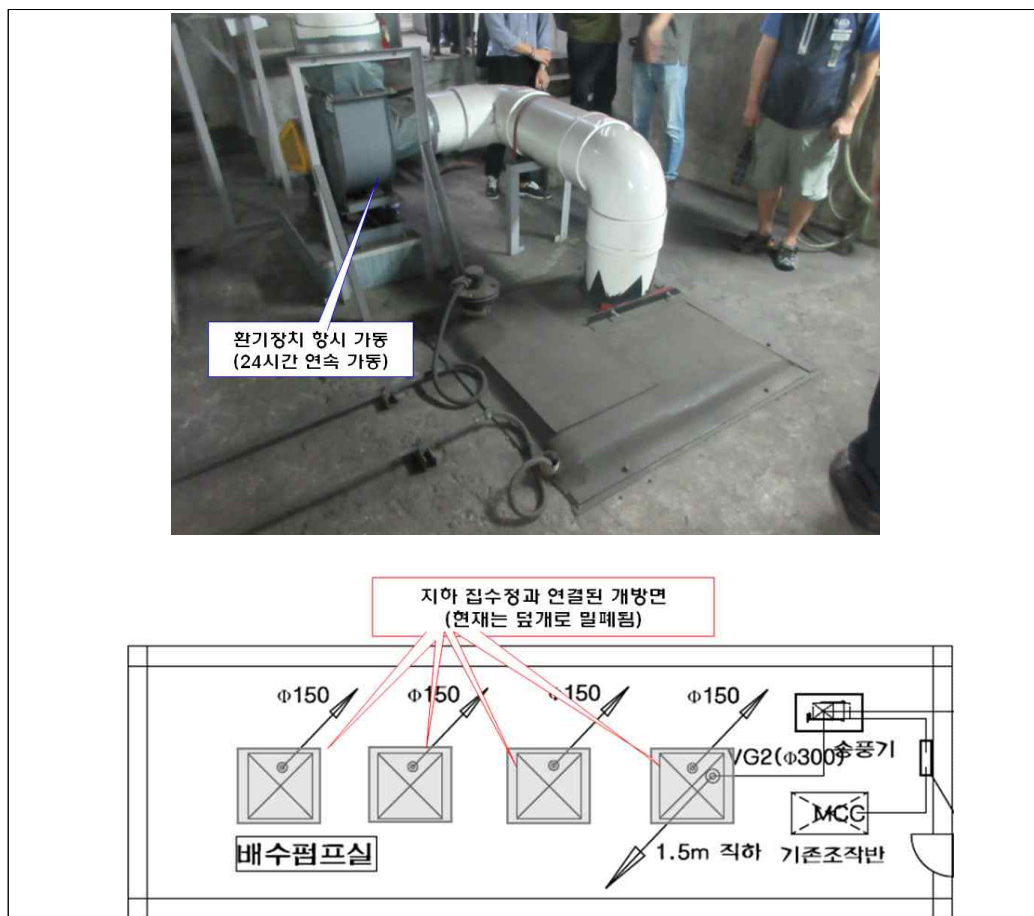
- 지하철 라돈 발생원인 펌프장에서 공기 중 라돈 발생을 근원적으로 차단/억제하기 위한 공학적, 행정적 대책 표준 가이드(지침) 제공.
- 지하철 환경(공간 경로)에서 라돈 노출을 줄일 수 있는 공학적, 행정적 대책 표준 가이드 제공.
- 지하철 근로자 개인별 라돈 노출을 줄이기 위한 작업 방법 등 표준 가이드 제공.
- 지하철 근로자와 지하철 이용 시민의 라돈 노출을 최소화하기 위한 대책 표준 가이드 제공.

## 3) 공학적 대책

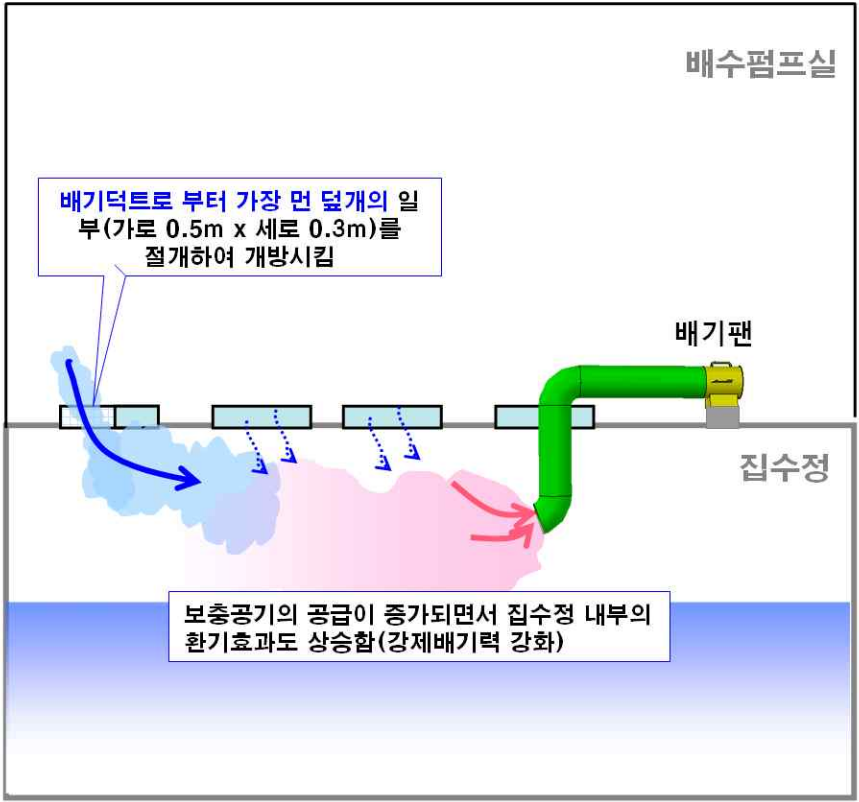
- 펌프장 공간(탱크)을 덮는 밀폐식 국소 배기장치를 설치하여 외부로 배기해야 함. 가능하면 캐노피 등 외부식 국소 배기장치 설치하는 것이 좋음. 배기 덕트는 시민들이 노출되지 않은 공간으로 설치해야 함. 만약 펌프장에서 공기 중 라돈 농도가  $100 \text{ Bq/m}^3$  이하로 측정되면 설치하지 않아도 됨.
- 외부에서 펌프장 공간으로 신선한 공기를 공급하는 환기장치를 설치해야 함. 만약 펌프장 공간에 창 등 외부에서 공기가 유입될 수 있는 공간(구멍)이 있으면 공기 공급 장치를 생략해도 됨. 안전보건공단 가이드(KOSHA Guide H-127-2013) 참조
- 국소 배기장치와 외부 공기 공급장치는 24시간 가동해야 함. 다만, 24시간 국소배기장치를 가동한다고 하더라도 불시단전 또는 국소배기장치 이상이 발

생활 경우에는 농도가 높아질 수 있으므로 주기적인 점검이 필요함. 아래 측정결과는 24시간 국소배기장치를 가동하는 일부 펌프장의 결과로서, 특정시간대에 200 Bq/m<sup>3</sup>를 초과하는 라돈농도가 검출된 예를 보여줌.

- 일정 주기로 국소 배기장치의 배기 등 효율을 점검하고 그 결과를 기록해야 함. 간편한 방법으로 발연관(smoke tester)을 이용하여 공기가 후드 안으로 빨려 들어가는지를 점검하고 그 기록을 보관하는 방법이 있음



[그림 3-5] 지하철 펌프장에 적절한 밀폐식 국소 배기장치



[그림 3-5] 지하철 펌프장 외부 공기 공급 시설 설치(배기된 양 이상 공급 필요)



**[그림 3-6] 펌프장 밀폐식 국소 배기장치의 자체 검사**

#### 4) 행정적 대책

- 펌프장 주변, 역사, 승무칸 등을 대상으로 공기 중 라돈 농도를 정기적으로 모니터링하고, 그 결과에 근거하여 적절한 공학적/행정적 조치를 취하고 그 결과를 보관.
- 라돈 노출 위험이 있는 근로자 그룹을 대상으로 적절한 특수 건강검진을 실시하고 그 결과를 보관.
- 라돈 발생을 억제하고 라돈 노출로부터 근로자 건강위험을 예방하기 위해 정기적인 근로자 보건 교육 제공.
- 시민들이 이용하는 주요 역사(환승역 등)에 실시간 라돈 측정망 설치.

<참고: 공기 중 라돈 모니터링 방법>

- 공기 중 라돈을 측정하는 기구는 여러 가지임. 지하철 환경에서 실시간 공기 중 라돈 측정 기구로는 라돈아이를 추천함. 구입 비용이 저렴하고(30여만 원), 시간별로 공기 중 라돈의 수준을 스크린(screen)하고 모니터링할 수 있음. 공기 중 토론 농도까지 포함하여 나타냄. 지역별로 구입해서 수시로 공기 중 라돈을 모니터링하여 작업환경 측정 결과로 보관함.
- 공기 중 라돈 농도가 일정 수준 이상 높게 관찰되고 보다 자세한 공기 중 라돈 수준을 분석하고자 할 경우 정밀한 측정기기로 추가 모니터링이 가능함. 정밀측정이 필요할 경우 라드 7이나 SARAD를 이용할 수 있으나 직접 구매할 필요는 없음.
- 1개월 이상 누적된 공기 중 라돈 수준을 알고자 할 경우 “알파트랙” 재료를 추천함. 1회용으로 비용도 저렴하고(개당 16,500원 정도) 작동 방법도 간단함. 그러나 누적된 수준으로 시간별 농도를 알 수 없다는 단점이 있음.

<참고: 라돈 노출 근로자 특수 건강검진>

- 먼저, 라돈에 유의미하게 노출될 가능성이 있는 지하철 근로자를 직무별로 분류해야 함. 이들을 대상으로 라돈에 의한 질병위험을 감시하도록 하는 것이 필요함. 라돈에 의한 질병을 사전에 예방하고 감시하기 위한 행정적 조치임.
- 직무별, 장소별 라돈 노출 가능성이 있는 근로자 그룹은 특수 건강검진을 할 때 라돈 영향 표적조직에 대한 문진 및 검진 항목 등을 개발하는 것을 권장함.

&lt;표 3-5&gt; 공기 중 라돈 측정결과 기록 양식(안)

| 측정월/일<br>/시간 | 지역(역 이름) <sup>1)</sup> | 직무 <sup>2)</sup> | 장소 <sup>3)</sup> | 공기 중 라돈 수준<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) <sup>4)</sup> |    |    | 비고 <sup>5)</sup> |
|--------------|------------------------|------------------|------------------|--------------------------------------------------|----|----|------------------|
|              |                        |                  |                  | 개수                                               | 평균 | 범위 |                  |
|              |                        |                  |                  |                                                  |    |    |                  |
|              |                        |                  |                  |                                                  |    |    |                  |

1) 지역 : 역 이름

2) 직무 : 역무, 승무, 기술 등 노출 가능성이 있는 직무

3) 장소 : 펌프장, 승무칸, 역무실, 승강장 등 구체적으로 측정된 위치

4) 공기 중 라돈 수준 : 측정 현황을 나타냄

5) 비고 : 특별한 사항 기록

## 5) 직무별 근로자 개인 보호 대책

- 펌프장 정비, 터널 정비 근로자 그룹(기술직)은 작업할 때 고성능 방진 (HEPA 필터 장착) 마스크 착용.
- 라돈 발생이 높은 것으로 의심되는 공간에서 작업하는 승무원과 역무원도 고성능 방진 마스크 착용. 라돈 노출 감시에서 평가하는 높은 노출 의심 근로자 그룹에 해당됨.
- 지하철 근로자 모두 폐 등 호흡기 관련 질병에 대한 주기적인 특수 건강검진을 받고 그 결과 개인별, 전체 통합 감시.



**<표 3-6> 지하철 근로자 직무별 라돈 노출 위험 및 조치 요약**

| 근로자 직무<br>그룹       | 라돈 노출<br>위험(상대적) | 공학적/행정적 조치                                         | 특수건강진단                     |
|--------------------|------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|
| 승무원                | 중간 이상            | - 승무칸 환기 철저<br>- 1회/년 이상 측정                        | 폐암 등 호흡<br>기 질환 주기<br>적 검진 |
| 역무원                | 보통               | - 역사 등 환기 철<br>저                                   | 폐암 등 호흡<br>기 질환 주기<br>적 검진 |
| 기술직(펌프장,<br>터널 정비) | 높음               | - HEPA필터 착용<br>- 주변 국소/전체<br>환기 조치<br>- 1회/년 이상 측정 | 폐암 등 호흡<br>기 질환 주기<br>적 검진 |

#### 6) 활용

- 라돈 건강보호 조치 기록 보관
- 라돈 건강보호를 위한 근로자 교육 자료
- 전국 지역별/지하철 역사별 라돈 건강보호 결과 비교 및 개선점 파악
- 라돈 건강보호를 위한 노출 및 건강영향 감시 지속적 개선 자료로 활용

#### 7) 기대효과

- 지하철 라돈 표준 관리 지침 개발.
- KOSHA 가이드로 활용.

- 근로자 폐암을 포함한 호흡기 질환 예방.
- 지하철 이용 시민 건강보호 대책 수립.

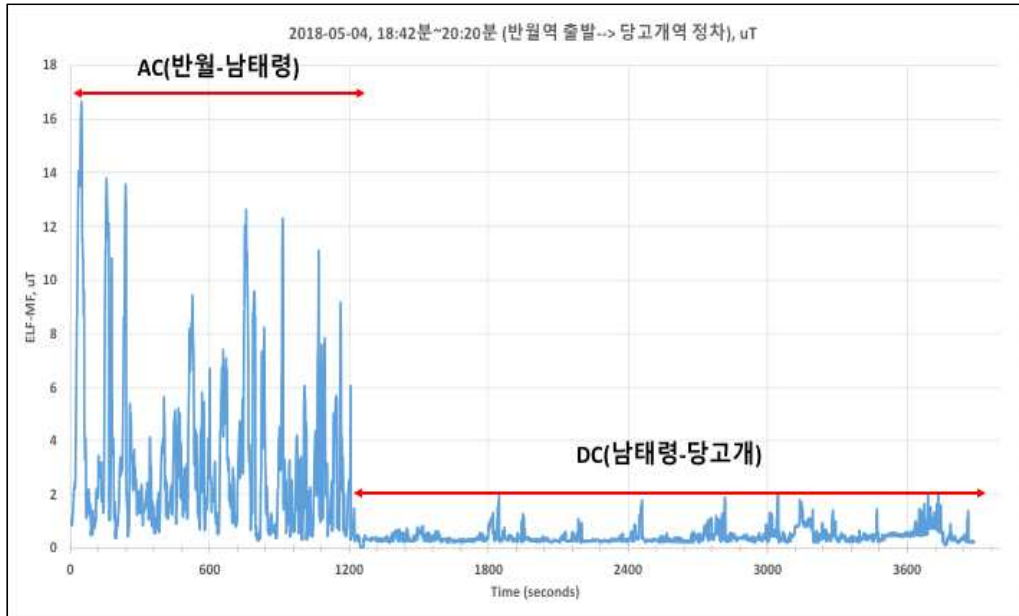
### 3. 지하철 전자파(극저주파 자기장) 보건관리 가이드

#### 1) 필요성

- 전자파(극저주파 자기장)<sup>1)</sup>는 국제암연구소(IARC)에서 2002년 소아백혈병을 유발 할 가능성이 있는 유해인자(possibly carcinogenic to humans)로 규정함.
- 성인에 대한 암 발생 가능성에 대해서는 명확한 결론을 내리지 못하고 있으나, 뇌종양, 유방암, 혈액관련 암에 대한 영향이 있다는 연구보고가 증가하면서, 세계보건기구(WHO)에서는 사전예방주의(precautionary principle)에 따라 노출을 최소화 할 것을 권고하고 있음.
- 극저주파 자기장(이하 전자파)은 상용 전원(60 Hz)을 사용하는 곳에서는 어디에서나 발생가능하며, 전기를 동력원으로 사용하는 지하철 작업환경 중에서도 발생 가능함.
- 특히 교류(AC) 전원을 이용하여 운행되는 구간에서는 직류(DC) 구간보다 지하철 운행 중 운전실 내부에서 노출 가능한 전자파 수준이 높음.

---

1) 전자파(electromagnetic wave)는 전기장과 자기장에 의해 형성되는 다양한 주파수 범위의 전자기파를 모두 의미하지만 이 가이드에서는 극저주파(extremely low frequency: 30~3,000 Hz) 영역의 자기장(magnetic field)을 의미함.



**[그림 3-7] 한국철도공사 4호선 구간의 전원 방식(AC:교류, DC:직류)에 따른 운전실 내부 전자파 측정결과 비교**

- 교류구간에서 지하철 운행 상태(정차, 가속, 운행, 제동)에 따른 전자파 발생 패턴도 다양하며, 특히 전류 공급량이 증가하는 가속 상태에서 전자파 발생이 가장 높은 특성이 있음.



[그림 3-8] 한국철도공사 4호선 교류구간 운전 중 전자파 발생 패턴

## 2)목적

- 지하철 근로자의 전자파 노출을 줄이기 위한 작업 방법 등 가이드 제공
- 지하철 이용 시민들의 전자파 노출을 최소화하기 위한 가이드 제공

## 3) 전자파 노출기준과 평가방법

- 전자파에 대한 노출기준은 국제 비전리방사선보호위원회(ICNIRP)에서 제정한 가이드가 가장 일반적으로 활용되고 있으며, 우리나라에서도 과학기술정보통신부고시 제2019-4호, ‘전자파인체보호기준’이 제정 고시되어 있음.

- 전자파인체보호기준에서는 일반인과 직업인을 분류하여 기준이 제시되어 있으며, 60 Hz 극저주파 자기장에 대한 일반인에 대한 전자파강도기준은 83.3  $\mu$ T(마이크로 테슬라)이고, 직업인에 대한 전자파강도기준은 5배 높은 416.7  $\mu$ T임.
- 이 전자파인체보호기준을 평가하기 위해서는 시간평균 측정값을 이용하지 않고 노출 가능한 범위 중 발생원으로부터 가장 가깝게 접근 가능한 지점에서 가장 높게 측정되는 최댓값과 비교하여 평가하도록 고시되어 있음.
- 그러나 ICNIRP 기준과 이에 근거한 국내 전자파인체보호기준은 전자파에 의한 만성 건강영향(예: 암)을 예방하기 위한 기준이 아니고 급성 건강영향(예: 중추신경계의 급성적인 변화)을 예방하기 위한 기준임.
- 전자파에 의한 성인 암 발생 가능성에 대해 명확한 결론은 없지만, 관련 연구결과의 보고가 증가함에 따라 국가별 사전 예방주의 원칙에 따라 만성 건강영향을 예방하기 위한 기준을 다음과 같이 제시하고 있음.

**<표 3-7> 전자파 기준 비교**

| 국가/기관   | 자기장 기준( $\mu$ T)* | 설 명                                                                                |
|---------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ICNIRP† | 200               | ICNIRP Guideline(1998) : 100 $\mu$ T<br>ICNIRP Guideline(2010)은 기존에 비해 2배 더 상향조정됨. |
| ACGIH‡  | 1,000             | 직업적 노출 기준(최고노출기준, ceiling), 인공심장 박동기 착용자 환경: 100 $\mu$ T                           |
| 대한민국    | 83.3              | 전자파 인체보호기준에 관한 고시[과학기술정보통신부 제2019-4호]<br>우리나라의 상용전기는 60 Hz이므로 이를 기준으로 계산된 자기장 기준.  |

| 국가/기관 | 자기장<br>기준( $\mu$<br>T)* | 설 명                                                                                                                                                                            |
|-------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 독일    | 100                     | 유럽의 다른 나라들과 마찬가지로 유럽연합 권고기준을 준용하고 있음.                                                                                                                                          |
| 스위스   | 1                       | 유치원, 초등학교, 병원 등 민감시설을 신설하는 경우                                                                                                                                                  |
| 이탈리아  | 3                       | 송전선, 변전소 등과 인접한 위치에 새로운 집, 운동장 혹은 학교를 건축할 경우<br>기존 유원지, 아파트, 학교, 그리고 하루 4시간 이상 체류하는 곳의 경우 10 $\mu$ T 적용.                                                                       |
| 벨기에   | 10                      | 일반 국민들이 접근할 수 있는 집과 건물 내부에서의 기준                                                                                                                                                |
| 슬로베니아 | 10                      | 집, 학교, 유치원, 병원, 요양원, 운동장, 공원, 공공건물 등에 인접한 지역에 전기시설을 새로이 혹은 개량해서 지을 경우                                                                                                          |
| 폴란드   | 75                      | 집, 병원, 학교, 그리고 유치원 등에 적용                                                                                                                                                       |
| 스웨덴   | -                       | 관련 법률은 없음.<br>사전예방의 원칙을 적용하도록 하고 있음. 현재 상황에서는 배경수준에 비해 자기장 강도가 현저히 높은 곳에 대해서는 노출수준을 줄일 수 있다면 합리적인 비용으로 그것을 줄일 수 있도록 함. 새로운 건축물에 대해서는 그것을 디자인하고 건설할 당시에 노출을 줄일 수 있는 방안이 고려되도록 함 |
| 네델란드  | -                       | 관련 법률은 없음.<br>지방정부에 대한 권고사항. 송전선 인근에 0.4 $\mu$ T의 자기장 강도가 넘는 곳에는 어린이들이 오랫동안 체류하는 시설을 신축하지 못하도록 함.                                                                              |
| 덴마크   | -                       | 관련 법률은 없음.<br>신축하는 집과 어린이 관련시설이 송전선에 근접하지 않도록 혹은 그 반대의 상황이 벌어지지 않도록 함. 현실적인 기준으로는 전기 공급회사와 지방정부간에 0.4 $\mu$ T가 넘지 않도록 합의 함.                                                    |
| 러시아   | 10                      | 서구 국가들에서는 전자파에 의한 건강영향이라고 여기지 않은 생물학적인 영향을 예방하기 위해서 설정함.                                                                                                                       |
| 미국    | -                       | 연방정부 수준에서의 법은 없음. 일부 주(Florida,                                                                                                                                                |

| 국가/기관 | 자기장<br>기준( $\mu$<br>T)* | 설 명                                                                                                                                                                            |
|-------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                         | Minnesota, Montana, New Jersey, New York, Oregon)에서 기준을 갖고 있으며 일부에서는 잠정적인 회피 정책을 갖고 있음(Colorado, Connecticut, Hawaii, Maryland, Ohio; 합리적인 비용 내에서 일반인구의 노출을 줄이기 위한 정책을 실행하는 것) |

\*: regulation 으로서 효력을 갖는 기준을 언급함.

†: ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection;  
국제비전리방사선방호위원회)

‡: ACGIH(American Conference for Governmental Industrial Hygienists Association;  
미국정부산업위생전문가협회)

- 국외 사전예방위주의 노출기준과 역학연구를 통한 암과의 관련성이 나타나는 노출수준을 고려할 때 만성건강영향을 예방하기 위한 전자파 관리기준을 다음과 같이 노출그룹별로 제안함.

**<표 3-8> 만성건강영향 예방을 위한 전자파 관리기준**

| 노출그룹 | 8시간 평균 개인<br>노출수준(X), $\mu$ T | 관리방향                                                             |
|------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1    | $X > 1$                       | 개인노출 특성 평가 후 고 노출 원인에 대한 개선 추진 및 개선 후 효과 평가 / 노출대상 근로자에 대한 교육 실시 |
| 2    | $0.4 < X \leq 1$              |                                                                  |
| 3    | $0.2 < X \leq 0.4$            | 노출대상 근로자에 대한 교육 실시                                               |
| 4    | $X \leq 0.2$                  | 현장의 변화 상황을 주기적으로 모니터링                                            |

#### 4) 전자파 노출 보건관리를 위한 기본 원칙

- 전자파 노출을 최소화하기 위해서는 발생원에서 머무는 시간을 줄이고, 가능한 먼 거리를 유지하며, 발생원을 가능한 밀폐하여 노출을 차폐 시키는 ‘시

간-거리-차폐' 원칙을 준수해야 함.

- 노출시간을 줄이기 위해서는 지하철 작업환경 중 근로자 및 시민들이 오랫동안 머무는 공간 주변에 가능한 변압기, 전선, 전기 사용 장치 등이 설치되지 않도록 설계되어야 하고, 전자파 발생원에 대한 정보를 쉽게 알 수 있도록 표시해야 함.
- 전자파 발생 거리로부터 근무자들이 멀리 떨어지도록 하기 위해서는 근무장소 내의 전자파 발생 수준 및 노출을 줄일 수 있는 직무, 공학적 방안을 숙지할 수 있도록 교육을 실시해야 하고, 전자파가 상대적으로 높게 발생하는 지점 근처에는 발생 수준에 따라 주의(Caution)/위험(Danger) 등의 안전보건표지(스티커)를 부착하여 근무자가 가능한 접근하지 않도록 주지시켜야 함.
- <표3-8>의 노출그룹별 관리를 실행하기 위해서 직무그룹별로 전자파 노출분포를 확인할 수 있는 노출 평가 전략을 기획하고 실행할 필요가 있음. 이를 통해 노출 그룹별 관리안을 실행할 수 있음. 이렇게 확보된 자료는 JEM과 연계시킬 수 있어 장기적인 관리 전략을 수립하는 데에도 활용할 수 있음.
- 전자파 중 자기장은 차폐가 잘 되지 않는 것으로 알려져 있어 차폐를 통한 저감대책은 매우 어려움. 그러나 최근 기술의 발달로 자기장 차단 테이프를 이용한 전선 주변의 자기장 세기를 차폐하거나, 전자기 패드를 활용한 차폐보호복 활용 등 최대한 가능하고 적합한 차폐 기술을 적용하려고 노력할 필요가 있음. 예를 들어, 가장 문제가 되는 공간은 객차의 운전석임. 승무원들의 하루 작업 시간 동안 계속해서 높은 수준의 전자파에 노출될 수밖에 없기 때문임. 따라서 시장에 소개되는 전자파 차단 소재를 이용해 객차 내 전자파 노출 수준을 줄일 수 있는 설비 변경을 시도하고 가장 효과적이고 현실적인 방



안을 마련할 필요가 있음(즉, 전자파 노출 저감 실현을 위한 pilot study 필요).

#### 5) 기대효과

- 지하철 환경 중 전자파 표준 관리 지침 개발
- KOSHA 가이드로 활용
- 지하철 이용 시민 및 근로자의 전자파로 인한 건강장해 예방

### 4. 지하철 작업환경 측정 보건관리 가이드

#### 1) 필요성

- 지하철 근로자 직무 환경에서 발생하는 주요 건강 유해인자는 라돈, 디젤배출연소물, 금속 등 미세먼지, 바이오에어로솔, 근골격계 부담작업, 사회 심리적 요인 등 다양함.
- 지하철 건강 유해인자 발생 및 노출 특성은 역사 특성, 직무 환경, 직무여건 등에 따라 달라짐.
- 지하철 근로자 질병 예방을 위한 건강 위험인자에 대한 측정 및 평가가 제대로 이루어지지 않고 있음.
- 폐암 등 호흡기 질환 직업병이 늘고 있어 호흡기에 건강영향을 미치는 유해요인에 대한 노출평가 강화 필요함.

## 2) 목적

- 라돈, 디젤연소배출물 등 미세먼지에 대한 작업환경측정(노출평가) 전략 가이드(지침) 제공.
- 라돈, 디젤연소배출물 등 미세먼지에 대한 정량적 측정 및 분석 방법 가이드 제공.

## 3) 주요 건강 유해인자 발생 특성 및 노출 직무 그룹

### (1) 공기 중 라돈

- 지하철 환경에서 라돈 발생의 근원은 펌프장(집수정)임(라돈 지침 참조). 라돈 주요 노출대상 근로자 그룹은 펌프장 정비, 펌프장 물을 사용해서 지하철을 정비하는 근로자임.
- 펌프장 라돈이 근원에서 적정하게 관리되지 않을 때 역사와 승무원 근로자 그룹은 물론 지하철 이용 시민에게도 영향을 미칠 수 있음.
- 공기 중 라돈 측정 장소는 펌프장/역사/승강장/승무칸 등임. 측정 빈도(횟수/연)는 장소에 따라 임의로 정할 수 있음. 라돈 발생 근원인 펌프장은 수시로 공기 중 발생을 점검해야 함. 추가로 작업자 침실의 경우 대부분 지하에 위치하고 있으므로 지하에 위치한 침실에 대해서는 라돈 평가가 필요함. 결과에 따라 위치 변경이나 환기량 조절 등을 검토해야 함.

## (2) 공기 중 디젤연소배출물 등 먼지

- 지하철 미세먼지 근원은 디젤차량 사용, 레일 마찰, 외부에서 유입 등임. 지하철에서 디젤연료를 사용한다면 공기 중 디젤연소배출물을 측정하는 것이 필요함. 디젤배출연소물질에 직접 노출되는 근로자 그룹은 디젤 차량 운전자, 터널 정비 근로자 그룹임.(Keeler et. 1990)
- 디젤배출연소물질에 직접 노출되는 근로자 그룹은 디젤 차량 운전자, 터널 정비 근로자 그룹임. 역사 환기가 적절하지 않을 경우 지하철 근로자 모두 미세먼지에 장기간 낮은 농도에 노출될 수 있음.

## (3) 공기 중 바이오에어로솔(bio-aerosol)

- 지하철 객차 팬 및 지하철 기반 시설(에스컬레이터 등) 등 내부에 세균/곰팡이 등이 오염될 수 있음. 또한 지하철 환경은 기본적으로 미생물 등이 증식할 수 있음.
- 지하철 객차, 지하철 시설 정비 근로자 그룹은 세균/곰팡이/이들의 독소 등 바이오에어로솔에 노출될 수 있음. 지하역사 근무자도 노출될 수 있음.

## 4) 주요 인자별 노출평가 방법

## (1) 정성적 기록(평가)

- 지역별 지하철 모든 근로자를 역사별 근로자가 일하는 장소와 직무별로 묶어(Job exposure group, JEM) 분류하고 각 그룹별 근로자의 유해인자 노출특성을 기록. 유해인자별 노출특성(노출시간/노출빈도 중심)을 기록함.(〈표3-9〉참조)

**<표 3-9> 라돈, 디젤연소배출물, 바이오에어로솔 정성적 평가 기록 예**

| 지역/역사 | 직무그룹 | 라돈*           |             | 디젤연소배출물질*   |             | 바이오에어로솔*    |             |
|-------|------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|       |      | 노출시간/<br>하루** | 노출빈도<br>/하루 | 노출시간/<br>하루 | 노출빈도<br>/하루 | 노출시간/<br>하루 | 노출빈도<br>/하루 |
| A 역사  | 승무원  |               |             |             |             |             |             |
|       | 역무원  |               |             |             |             |             |             |

\* 라돈/디젤배출연소물질/바이오에어로솔 외 다른 유해인자도 나열하고 노출특성을 기록할 수 있음.

\*\* 시간을 노출상황에 따라 일/주간/월 등으로 바꿀 수 있음.

- 각 JEM별로 정량적인 측정이 필요한 경우 일정 주기별(년 1회, 년 2회 등) 채취와 분석을 통해 공기 중 농도를 기록함. (〈표 3-9〉 참조)

## (2) 정량적 측정

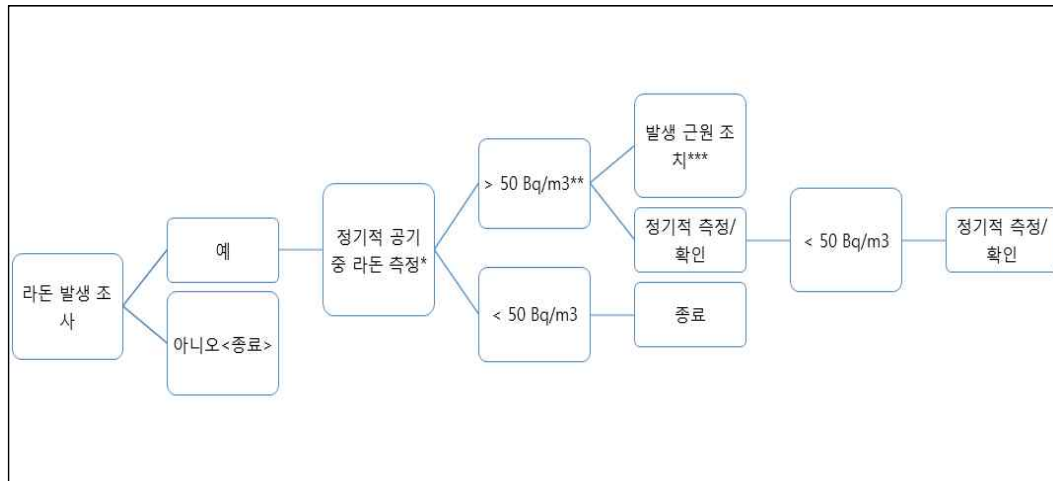
## 가) 공기 중 라돈

- 지하철 역사별 라돈 발생 근원 및 여부를 먼저 파악해야 함. 펌프장과 주요

건축물에서 발생을 확인할 필요가 있음. 확인된 라돈 발생 근원에 밀폐식 국소배기장치를 설치하고 철저히 배기하여야 함. 이후 정기적으로 공기 중 라돈을 정량적으로 측정함.

○ 공기 중 라돈을 정량적으로 측정하는 방법은 다양함. 지하철에서 경제적으로 이용할 수 있는 방법으로 예비 검사 목적으로 “라돈 아이플러스(Model: RD200M, FTLab, Korea)의 사용을 권장함. 이 장비로 일반 환경보다 높은(보통 50-60 Bq/m<sup>3</sup>) 수준 이상 검출된 장소를 대상으로 라돈 발생 억제 조치를 취할 것을 제안함.

○ 일정 주기별로 Rad7(미국), Radon & Thoron detector (Model: EQF-3220, SARAD GmbH, Germany) 등을 사용하여 시간별 공기 중 라돈을 정량적으로 모니터링하여 구체적인 발생특성을 파악하고 이에 따른 조치도 고려할 수 있음.



**[그림 3-9] 공기 중 라돈 측정 알고리즘(\* : 라돈 아이 플러스 등 유사한 장비 활용, \*\* : 예비조사 수준의 농도로 간주. 일반 환경보다 높게 발생하는 수준임, \*\*\* : 발생 근원에 대한 조치가 필요함. 국소배기장치/외부 공기 공급 시설 점검)**

#### 나) 공기 중 디젤연소배출물

- 지하철에서 터널 정비 등을 위해서 디젤차량을 사용한다면 디젤연소배출물에 대한 노출을 평가해야 함. 디젤 차량을 사용하지 않을 경우 외부 대기에서 유입될 수 있으나 따로 디젤연소배출물 노출을 평가할 필요는 없다고 생각함
- 공기 중 디젤연소배출물을 모두 정량할 수 있는 측정방법은 물론 노출기준

도 아직 없음. 공기 중 디젤연소배출물의 농도를 대변할 수 있는 대리인자(surrogate)로 블랙카본(black carbon), 원소탄소(elemental carbon, EC), 질소산화물이 추천되고 있음. 블랙카본과 EC 측정은 측정 및 분석기기 비용, 분석기술 등을 고려할 때 상시적으로 이용하는데 한계가 있음. 이들은 아직 노출기준도 없음. 다만, 대부분의 기존 역학조사 결과들이 원소탄소의 농도에 기반하고 있어 작업상황별로 디젤연소배출물질에 대한 평가 기록이 없는 상황이라면 상시적인 측정은 아니더라도 원소탄소 노출에 대한 평가를 통해 노출수준에 대한 기록을 갖고 있는 것은 필요함. 원소탄소 측정 및 분석은 한국산업안전공단의 디젤입자상물질(원소탄소분석)에 대한 작업환경측정·분석 기술지침(KOSHA Guide A - 161 - 2016)를 참고하도록 함.

○ 질소산화물은 경제적/기술적으로 측정이 가능하며, 특히 산화촉매방식의 매연저감장치가 부착된 차량의 디젤연소배출물의 대리인자로 적합한 것으로 알려져 있음. 공기 중 질소산화물 측정은 미국산업안전보건청 측정 및 분석방법(OSHA Sampling and 6700Analytical Method ID-182)<sup>2)</sup>을 이용할 수 있고 측정의 편의를 위해서는 확산 샘플러(passive sampler)를 이용할 수 있어 채취와 분석이 까다롭지 않음. 무엇보다 질소산화물의 노출은 호흡기질환을 보호하기 위한 미국산업위생전문가협회의 권고기준(0.2 ppm)에 근거하여 평가할 수 있는 장점이 있음.

○ 공기 중 질소산화물은 디젤차량 사용이 없더라도 자동차 배기가스로 오염된 외부 공기의 지하철 유입과 근로자 노출 수준을 주기적으로 평가하는데도 적정함.

다) 공기 중 세균, 곰팡이 등

2) <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id182/id182.pdf>

- 공기 중 미생물의 경우 실내공기질관리법의 실내공기질공정시험기준(환경부, 2018년 12월 개정)에 따라 공기 중 총부유세균(No. ES 02701.1c)과 부유곰팡이(No. ES 02702.1a)를 충돌법(impaction)으로 측정할 수 있음.
- 공기 중 일반 세균은 TSA(Tryptic Soy Agar) 배지, 그람음성 세균은 MAC(MacConkey Agar) 배지, 곰팡이는 항생제인 클로람페니콜(chloramphenicol)을 처리한 MEA(Malt Extract Agar) 배지를 충돌시료채취기(Agar/Multiple hole impactor)와 진공 펌프에 연결하여 시료 채취함.
- 공기 중 미생물의 농도는 공기의 단위 체적 당 집락 형성 단위(CFU, Colony Forming Unit)인 CFU/m<sup>3</sup>로 나타냄. 총부유세균 800CFU/m<sup>3</sup>(유지기준<sup>3)</sup>), 부유곰팡이 500CFU/m<sup>3</sup>(권고기준<sup>4</sup>)를 지하철 객차/시설 정비 및 역사 근무자의 질병 예방을 위한 자체 평가 기준으로 활용할 필요가 있음.
- 미생물이 발생시키는 엔도톡신이나 mVOC(미생물성휘발성유기화합물) 등의 독소의 경우도 그 종류에 따라 측정 분석할 수 있으며, 해당 미생물이나 독소 발견 시 그에 따른 적절한 대책을 세워야 함.

## 5) 활용

- 지하철 작업환경측정 방법으로 활용.

---

3) 실내공기질 관리법 시행규칙 [별표 2] 실내공기질 유지기준 중 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설, 어린이집 대상 총부유세균에 대한 유지기준, 2018.  
 4) 실내공기질 관리법 시행규칙 [별표 3] 실내공기질 권고기준 중 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설, 어린이집 대상 곰팡이에 대한 권고기준, 2018.



- 전국 지역별/지하철 역사별 공기 중 라돈, 디젤연소배출물, 바이오에어로솔 결과 비교 및 개선점 파악.
- 지하철 근로자 공기 중 라돈, 디젤연소배출물, 바이오에어로솔 노출 감시 자료로 활용
- 지하철 근로자 특수건강진단 항목 등 질병 감시자료로 활용.

#### 6) 기대효과

- 지하철 공기 중 라돈, 디젤연소배출물, 바이오에어로솔 표준 관리 지침 개발.
- KOSHA 가이드로 활용.
- 근로자 폐암을 포함한 호흡기 질환 예방.
- 지하철 이용 시민 건강보호 대책 수립.

### 5. 지하철 특수건강진단 보건관리 가이드

#### 1) 필요성

- 지하철 근로자는 작업 중 화학물질, 분진, 디젤 연소 배출 물, 라돈, 전자파, 소음, 야간 교대근무 등 다양한 유해 요인에 노출됨
- 지하 근무 중 노출되는 미세먼지, 디젤 연소 배출 물, 라돈은 국제암연구소(IARC)에 의해 폐암을 유발하는 확실한 발암물질로 지정됨
- 유해 요인 노출에 의한 건강 장애 예방을 위해 특수건강진단이 매년 실시되고 있으나, 여러 건강진단 기관에서 분산 시행되고 있어 일관적인 가이드

설정이 필요함

## 2) 목적

- 지하철 근로자의 건강 장애를 줄이기 위해 보건관리자를 위한 특수건강진단 시행 관련 가이드 제공
- 지하철 근로자의 건강 장애를 줄이기 위해 특수건강진단기관을 위한 특수 건강진단 수행 관련 가이드 제공

## 3) 특수건강진단 보건 가이드 주요 내용

### (1) 보건관리자

- 공정 및 직무별 노출 변동이 반영될 수 있도록 유해 물질 데이터베이스를 구축하고 정기적인 업데이트 시행
- 실제 노출되는 물질에 대해 특수건강진단이 시행될 수 있도록 대상 유해 물질의 종류를 압축하여 선정 필요 (※ 현재 개인당 유해 인자가 최대 30여 개에 이름)
- 이를 위해 공정과 노출되는 유해 물질을 고려하여 유사 노출군 선정 필요
- 특수건강진단 기관 사전조사 시에는 되도록 건강진단을 직접 수행하는 직업환경의학전문의와 산업위생기사가 방문 조사를 할 수 있도록 요청

### (2) 특수건강진단 기관

가) 호흡기 발암물질 : 미세먼지, 디젤 연소 배출 물, 라돈

(가) 저용량 CT 검사

- 호흡기 영향은 주로 폐암이므로 이에 유의하여 특수건강진단 시행
- 지하에서 근무하는 역무, 승무, 기술본부 작업자가 주로 해당
- 50세 이상이고 20년 이상 흡연 경력이 있으며 위험 요인(라돈, 디젤 연소 배출 물, 미세먼지)에 노출, 이전 암의 과거력, 만성폐쇄성폐질환 등 기존 폐 질환, 폐암의 가족력 등이 있는 경우에는 1년에 1회 저용량 CT 검사 권 고.(Wood 2018; Jaklitsch 2012)
- 위험 요인(라돈, 디젤 연소 배출 물, 미세먼지)에 노출이 없을 시 국가폐암 검진 기준에 따라 만 54~74세이며 30갑년 이상 흡연력이 있는 경우 2년마다 저용량 CT 검사 시행
- 단, 불필요한 저용량 CT 검사로 피폭량이 증가하여 폐암 발생 위험이 높아 질 수 있음

#### (나) 흉부 X-선 검사

- 정기적 흉부 X-선 검사는 조기 암 발견이 어려워, 폐암 사망률을 유의하게 낮추지는 못함 (Kanne, 2014)
- 반면 흉부 X-선 검사는 저용량 CT에 비해 방사선 피폭량이 매우 적고, 비용이 저렴하다는 장점이 있음 (Gossner, 2014)

- 따라서 저용량 CT 검사 대상이 아닌 경우는 정기적인 흉부 X-선 검사 시행

(다) 기타

- 정기적인 객담 세포진 검사가 폐암 특이 사망률을 낮춘다는 근거는 없음
- 흉부 X-선 + 객담 세포진 검사가 폐암 특이 사망률을 낮춘다는 근거는 없음
- CEA, SCC-Ag, Cyfra 21-1, NSE 등 암 표지자 검사도 선별검사로 권고되지 않음
- 기술본부 작업자의 경우 디젤차량 운전 또는 인근에서 작업하는지 여부 문진
- 흡연자의 경우 폐암 예방을 위해 금연 권고

나) 분진의 암 발생 외 호흡기 영향

- 지하 선로 연마, 보수 작업 등에 의해 분진이 발생함
- 분진의 호흡기 영향은 주로 폐기능 저하이므로 이에 유의하여 특수건강진단 시행

- 석면 노출 여부와 관련하여 문진하며, 석면 특수건강진단 대상자는 석면폐증, 폐암, 악성중피종에 유의하여 특수건강진단 시행
- 흡연자의 경우 폐기능 저하의 예방을 위해 금연 권고

#### 다) 소음

- 소음 노출자는 청력저하 발생에 유의하여 특수건강진단 시행
- 기술본부 작업자가 주요 대상이며, 장기간 근무한 기관사에서도 청력저하 발생 유의

#### 라) 야간 교대 근무

- 야간 교대 근무자는 뇌심혈관계질환, 수면장애, 소화기질환, 유방암(여성)에 유의하여 특수건강진단 시행
- 뇌심혈관계질환의 위험을 높이는 흡연, 음주, 비만, 운동 부족, 비정상적 식습관 등 생활습관 개선 권고

#### 마) 화학물질

- 화학물질 노출에 의한 피부 증상에 유의하여 문진

#### 바) 특수건강진단 비대상 유해 요인

- 차량본부, 기술본부 근무자는 어깨, 허리 등 근골격계질환 증상에 유의하여 문진

- 역무 등 대민 업무를 수행하는 근무자는 직무스트레스에 유의하여 문진
- 전력선 인근에서 전자파 (극저주파, 라디오파) 노출이 발생하므로 이에 유의하여 문진

#### 4) 지하철 근무자 건강관리를 위한 제안

##### (1) 지하철 근무자 만성 건강영향 평가를 위한 방안

- 만성 건강영향으로는 폐암이 대표적이며, 폐암 발생 위험 증가를 보기위해서는 코호트를 구축하고 관리하는 것이 필요함

##### (2) 지하철 근무자 노출 평가 데이터베이스 구축

- 코호트를 이용하여 질환 발생 위험을 평가하기 위해서는 유해물질 노출 데이터베이스 구축이 필요함
- 유사노출군을 이용하여 직무별로 노출되는 물질에 관한 정보 시스템 (직무 노출매트릭스, Job Exposure Matrix) 구축
- 이를 특수건강진단 대상 유해요인 선정 및 건강 영향 감시에 활용

## 6. 제한점

- 본 연구에서 개발한 보건관리 가이드는 지하철 회사 보건관리자 등 산업보건, 환경, 안전 전문가가 활용할 수 있는 기술 지침 수준으로 개발하였음. 활

용할 때 고려해야 할 제한점이 있음.

- 첫째, 모든 조직과 상황에 그대로 적용할 수 있는 표준은 아님. 경영진의 관심, 안전보건 조직 구성, 지하철 환경의 특성 등에 따라 수정, 보완, 삭제 등이 필요할 수 있음.
- 둘째, 가이드의 일부 내용을 이해하기 위해서는 추가 문헌 고찰 등이 필요할 수 있음.
- 셋째, 지하철 근로자들의 다양한 직무에 그대로 적용할 수 없음. 예를 들어 기술직은 여러 직종을 포함하므로 터널 정비 직무에 맞춘 라돈, 미세먼지 가이드를 모두 그대로 적용하는 데 한계가 있음. 기계, 설비 등의 다른 기술직종, 청소 등의 다른 직무에 적용할 때는 유해인자 노출 및 작업 특성에 따라 가이드를 수정할 필요가 있음.
- 마지막으로 기술, 역무, 승무 외 지하철 직무나 직종에 종사하는 근로자에는 본 연구의 가이드를 그대로 적용할 수 없음. 단, 미세먼지, 라돈, 전자파 노출이 유의미할 경우에는 적용할 수 있음.
- 결론적으로 본 연구에서 개발한 가이드는 지하철 환경, 직무 등의 조사에 따라 발생하는 주요 건강 유해인자 특성을 파악하고 해당 가이드를 활용하는 데 문제는 없음.

## 7. 제언

○ 지하철 환경 핵심 유해인자는 라돈, 바이오에어로졸, 디젤 연소 배출 물을 포함한 미세먼지 등임. 이는 문헌 고찰, 발생 수준 자체 연구 조사로 얻은 결론임. 이들 유해인자는 산업안전보건법 작업환경측정제도에서 측정 항목으로 규정하지 않는 물질들임. 이 때문에 지하철은 이들 물질에 대해서 과거 정기적인 작업환경측정을 하지 않았음. 총 먼지, 호흡성 먼지, 금속, 소음 등 상대적으로 위험도가 낮은 유해요인들 측정에 집중하고 있으나 모두 노출기준 10% 미만임. 아래와 같이 기관별 개선 사항을 제안함.

### 1) 지하철 회사

첫째, 라돈, 바이오에어로졸, 디젤 연소 배출물을 중심으로 정량적 혹은 정성적 노출평가를 즉시 수행해야 함. 시민은 물론 지하철 근로자에게 폐암 등 호흡기 질병을 초래할 수 있는 주요 인자이기 때문임. 방법, 전략 등은 가이드에 제시되어 있음.

둘째, 라돈, 디젤 연소 배출 물을 포함한 미세먼지 등에 대한 질병 영향 감시 체계를 갖추어야 함.

셋째, 터널 등 지하철 정비용 디젤 차량을 전기차량으로 교체하거나 디젤 연소 배출 물을 효과적으로 제거할 수 있는 차량으로 교체할 것. 지금 사용하고 있는 디젤 차량은 대부분 10년 이상 된 것으로 디젤 연소 배출물발생이 매우 높아 지하철 환경을 오염시키고 있음. 디젤 차량별로 단기/중기별로 교체 계획을 수립하여야 함.

○ 넷째, 본 연구에서 제안 한 보건관리 가이드가 실제 작업 현장에서 작동되기 위해서는 실행 주체인 안전보건 관리시스템 개선이 필요함. ‘공공기관의



안전관리에 관한 지침'에 근거한 조직체계, 인력, 운영 규정, 노사 협력, 거버넌스 조직 등 전반적인 관리시스템 진단과 개선이 선행되어야 함(자세한 내용은 VI 부록의 2절 참고).

## 2) 고용노동부

첫째, 지하철 작업환경의 특성을 고려할 때 현행 작업환경측정제도 틀로는 적절한 보건관리를 하기 곤란함. 따라서 다음과 같이 작업환경측정제도 개선을 제안함

- 노사 및 전문가가 지하철 작업환경의 특성을 고려하여 법적 측정대상 유해인자 외에도 다양한 유해인자를 찾아 평가할 수 있도록 하고, 현행 백화점식 작업환경측정을 지양하고 위험도가 높은 유해인자에 집중할 수 있도록 제도 개선이 필요하고 이를 위한 시범사업의 추진(유해성·노출수준 등을 고려하여 위험도가 낮은 유해인자는 측정빈도를 줄이고, 위험도가 높은 유해인자는 측정빈도를 늘리는 등 작업환경측정의 효율성·자율성 제고)

- 지하철 환경에서 발생하는 라돈, 디젤 연소 배출물, 바이오에어로졸 등과 같이 정량적 측정만으로는 노출평가의 한계가 분명한 유해요인을 대상으로 정성적 노출평가 기록 등의 산업보건활동을 작업환경측정 제도에 포함시키는 방안을 연구할 필요가 있음. 구체적인 내용은

- 직무, 공정, 발생 특성 등을 기록하고 정성적으로 노출을 평가하는 방법과 전략 시범 실시

- 유해인자 발생 특성, 노출수준 및 빈도 등을 고려한 정성적 노출평가

- 발생 수준에 따른 측정 주기 조절 등

둘째, 전국 지하철 디젤 차량 교체를 위한 행정적 지원 방안 마련. 본 연구에서 조사한 지하철 사용 현황(디젤 차량 수, 사용 기간 등)을 고려하여 근원적 미세먼지 발생 억제를 위한 기술 및 행정적 지원 대책 방안을 수립. 사례로 서울시 및 환경부와 부처 간 협의를 통해 미세먼지 억제 대책

에 적극적 참여가 필요함.

셋째, 지하나 실내 작업환경에서 디젤 차량 사용 제한을 골자로 하는 정책 마련. 광산, 지하 건설 공사, 실내 등에서 지게차 등 디젤 차량 사용 제한을 지침 또는 고시로 제정하는 방안임.

넷째, 본 연구에서 일부 지하철 승무칸 및 객차에서 환경기준과 근로자 기준을 초과한 사례가 나타난 바 전국 지하철을 대상으로 하는 주요 장소별 라돈 발생 특성 및 대책마련 연구가 필요함.

### 3) 안전보건공단

○ 본 연구에서 개발한 가이드 5종을 KOSHA 가이드로 활용 가능한지 검토.

## 참고문헌

곽현석 등. 지하철 지하역사 근로자의 라돈 누적노출량 추정, 근로복지공단 직업성폐질환연구소. 2016

근로복지공단. 직업성폐질환연구소 업무관련성 전문조사 관련 환경측정자료. 2012-2013.

노영만, 박화미, 이철민 등. 서울시 지하철 객차내에서의 미세먼지 농도 평가. 한국산업위생학회지 2007;17(1);13-20

박동욱 등. 지하철 근로자 미세먼지, 라돈, 디젤연소배출물 노출 평가 및 관리방안 마련, 산업보건연구원. 2018

서울특별시보건환경연구원. 지하역사 라돈측정자료. 1999~2004.

서울특별시도시철도공사 다중이용시설등의실내공기질관리법 의거역사 환경측정자료. 2005~2015. (<http://www.smrt.co.kr/>)

임상혁. 지하철 터널 내 라돈 노출 실태 및 관리 방안 연구. 산업 안전보건연구원;2007(30-31쪽).

환경부. 실내공기질 관리법 시행규칙 [별표 3] 실내공기질 권고기준 중 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설, 어린이집 대상 곰팡이에 대한 권고기준. 2018.

환경부. 실내공기질 관리법 시행규칙 [별표 2] 실내공기질 유지기준 중 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설, 어린이집 대상 총부유세균에 대한 유지기준. 2018.

조영민 등. 수도권 지하철 지하역사의 실내공기질 연구, 한국철도학회지. 2005;1(6):36-41

조영민, 권순박, 박덕신 등, 지하철 역사의 공기질 개선방안 연구, 한국철도학회지, 2010;1(2),117-2,121

유재혁: 서울시 일부 지하철역사 역무원의 직종에 따른 라돈의 연간 생체실효선량. 가톨릭대학교 대학원; 2006(5-8쪽).

임상혁, 최상준, 이윤근 등. 지하철 터널 내 라돈노출 실태 및 관리방안 연구. 산업안전보건연구원; 2007(51-53쪽).

장승훈, 신승수, 김혜영, 임현우, 김재우, 박인규, 김영환, 이계영, 이경수, 이종목 et al: 폐암 검진 권고안. 대한의사협회지 2015, 58(4):291-301.

전재식, 윤종철, 이호찬, 엄석원, 채영주: 스크린도어 설치 후 서울지하철역 라돈 농도의 변화 특성. 한국대기환경학회지 2012, 28(1):59-67.

환경부: 대기 중 디젤 배출물질의 인체노출 및 건강영향 감시방안 마련. 2015-01(TRKO201700007755).

Allen GA, Lawrence J, Koutrakis P. Field validation of a semi-continuous method for aerosol black carbon (aethalometer) and temporal patterns of summertime hourly black carbon measurements in southwestern PA. Atmospheric Environment 1999;33(5):817-823.

Andrew Gray H, Cass GR. Source contributions to atmospheric fine carbon particle concentrations. *Atmospheric Environment* 1998;32(22):3805-3825.

Attfield MD, Schleiff PL, Lubin JH, Blair A, Stewart PA, Vermeulen R, Coble JB, Silverman DT. The Diesel Exhaust in Miners study: a cohort mortality study with emphasis on lung cancer. *Journal of the National Cancer Institute* 2012;104(11):869-883.

Babu P, Verma S, Chatterjee A, Sharma SK, Mandal T. Chemical characterization of fine atmospheric particles for water-soluble ions and carbonaceous species over a tropical urban atmosphere in lower Indo-Gangetic Plain. *Aerosol and Air Quality Research* 2019;19:129-147.

Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, 3rd, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, Holguin F, Hong Y, Luepker RV, Mittleman MA et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121(21):2331-2378.

Cesaroni G, Badaloni C, Gariazzo C, Stafoggia M, Sozzi R, Davoli M, Forastiere F. Long-term exposure to urban air pollution and mortality in a cohort of more than a million adults in Rome. *Environ Health Perspect* 2013;121(3):324-331.

Cheng Y, Lee S, Ho KF, Wang Y, Cao J, Chow J, Watson J. Black carbon measurement in a coastal area of South China. *Journal of Geophysical Research* 2006;111:D12310.

Choi S, Park J-H, Kim S-Y, Kwak H, Kim D, Lee K-H, Park D-U. Characteristics of PM(2.5) and Black Carbon Exposure Among Subway Workers. *International journal of environmental research and public health* 2019;16(16):2901.

Darby SC, Whitley E, Howe GR, Hutchings SJ, Kusiak RA, Lubin JH, Morrison HI, Tirmarche M, Tomasek L, Radford EP et al. Radon and cancers other than lung cancer in underground miners. a collaborative analysis of 11 studies. *J Natl Cancer Inst* 1995;87(5):378-384.

Fruin S, Winer A, Rodes C. Black carbon concentrations in California vehicles and estimation of in-vehicle diesel exhaust particulate matter exposures. Atmospheric Environment 2004;38:4123-4133.

Gaga EO, Ari A, Dogeroglu T, Cakirca EE, Machin NE. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in an industrialized city, Kocaeli, Turkey. study of seasonal variations, influence of meteorological parameters and health risk estimation. J Environ Monit 2012;14(8):2219-2229.

Group HKIAQM. Guidance Notes for the Management of Indoor Air Quality in Offices and Public Places. Printing Department; 1999.

Huang H, Ho KF, Lee SC, Tsang PK, Ho SSH, Zou CW, Zou SC, Cao JJ, Xu HM. Characteristics of carbonaceous aerosol in PM<sub>2.5</sub>: Pearl Delta River Region, China. Atmospheric Research 2012;104-105:227-236.



Jaklitsch MT, Jacobson FL, Austin JH, Field JK, Jett JR, Keshavjee S, MacMahon H, Mulshine JL, Munden RF, Salgia R et al. The American Association for Thoracic Surgery guidelines for lung cancer screening using low-dose computed tomography scans for lung cancer survivors and other high-risk groups. J Thorac Cardiovasc Surg 2012;144(1):33-38.

Kanne JP. Screening for lung cancer: what have we learned? AJR Am J Roentgenol 2014;202(3):530-535.

Keeler GJ, Japar SM, Brachaczek WW, Gorse RA, Norbeck JM, Pierson WR. The sources of aerosol elemental carbon at Allegheny Mountain. Atmospheric Environment Part A General Topics 1990;24(11):2795-2805.

Kerminen V-M, Mäkelä TE, Ojanen CH, Hillamo RE, Vilhunen JK, Rantanen L, Havers N, von Bohlen A, Klockow D. Characterization of the Particulate Phase in the Exhaust from a Diesel Car. Environmental Science & Technology 1997;31(7):1883-1889.

Lam WK, Tsin TW, Ng TP. Radon hazard from caisson and tunnel construction in Hong Kong. Ann Occup Hyg 1988;32(3):317-323.

LaRosa LE, Buckley TJ, Wallace LA. Real-time indoor and outdoor measurements of black carbon in an occupied house: an examination of sources. J Air Waste Manag Assoc 2002;52(1):41-49.

Lim H-J, Turpin B, Edgerton E, Hering S, Allen G, Maring H, Solomon P. Semicontinuous aerosol carbon measurements: Comparison of Atlanta Supersite measurements. Journal of Geophysical Research 2003;108(○7):8419.

Lipsett MJ, Ostro BD, Reynolds P, Goldberg D, Hertz A, Jerrett M, Smith DF, Garcia C, Chang ET, Bernstein L. Long-term exposure to air pollution and cardiorespiratory disease in the California teachers study cohort. Am J Respir Crit Care Med 2011;184(7):828-835.

Lloyd AC, Cackette TA: Diesel engines. environmental impact and control. J Air Waste Manag Assoc 2001;51(6):809-847.

Lowenthal DH, Zielinska B, Chow JC, Watson JG, Gautam M, Ferguson DH, Neuroth GR, Stevens KD. Characterization of heavy-duty diesel vehicle emissions. Atmospheric Environment 1994;28(4):731-743.

Lubin JH, Tomasek L, Edling C, Hornung RW, Howe G, Kunz E, Kusiak RA, Morrison HI, Radford EP, Samet JM et al. Estimating lung cancer mortality from residential radon using data for low exposures of miners. Radiat Res 1997;147(2):126-134.

Maykut NN, Lewtas J, Kim E, Larson TV. Source Apportionment of PM<sub>2.5</sub> at an Urban IMPROVE Site in Seattle, Washington. Environmental Science & Technology 2003;37(22):5135-5142.

McDonald J, Zielinska B, Sagebiel J, McDaniel M.

Characterization of Fine Particle Material in Ambient Air and Personal Samples from an Underground Mine. *Aerosol Science & Technology* 2002;36:1033-1044.

Moosmüller H, Arnott WP, Rogers CF, Bowen JL, Gillies JA, Pierson WR, Collins JF, Durbin TD, Norbeck JM. Time-Resolved Characterization of Diesel Particulate Emissions. 2. Instruments for Elemental and Organic Carbon Measurements. *Environmental Science & Technology* 2001; 35(10):1935-1942.

NAP. Health Effects of Exposure to Radon. In. Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI. Washington (DC): National Academies Press (US)

Newman NC, Ryan P, Lemasters G, Levin L, Bernstein D, Hershey GKK, Lockey JE, Villareal M, Reponen T, Grinshpun S et al. Traffic-related air pollution exposure in the first year of life and behavioral scores at 7 years of age. *Environ Health Perspect* 2013;121(6):731-736.

Nikanjam M. Development of the First CARB Certified California Alternative Diesel Fuel. In. SAE International; 1993.

Ostro B, World Health Organization O, Environmental Health T. Outdoor air pollution : assessing the environmental burden of disease at national and local levels / Bart Ostro. In. Geneva: World Health Organization; 2004. p.227-228

Pakkanen T, Kerminen V-M, Ojanen C, Hillamo R, Aarnio P, Koskentalo T. Atmospheric black carbon in Helsinki. Atmospheric Environment 2013;34:1497-1506.

Perez N, Pey J, Cusack M, Reche C, Querol X, Alastuey A, Viana M. Variability of Particle Number, Black Carbon, and PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>1</sub> Levels and Speciation: Influence of Road Traffic Emissions on Urban Air Quality. Aerosol Science and Technology 2010;44:487-499.

Ruellan S, Cachier H. Characterisation of fresh particulate vehicular exhausts near a Paris high flow road. Atmospheric

Environment 2001;35:453-468.

U.S. EPA health assessment for diesel engine exhaust: a review. Inhal Toxicol.;2007. p.229-239.

Samet JM, Eradze GR: Radon and lung cancer risk. taking stock at the millenium. Environ Health Perspect 2000;108 4(4):635-641.

Tarek M. Belal ESMM, Mohsen M. Osman. Investigating Diesel Engine Performance and Emissions Using CFD. Energy and Power Engineering 1988;5(2).

Wood DE, Kazerooni EA, Baum SL, Eapen GA, Ettinger DS, Hou L, Jackman DM, Klippenstein D, Kumar R, Lackner RP et al. Lung Cancer Screening, Version 3.2018, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. J Natl Compr Canc Netw 2018;16(4):412-441.

Yu P, Young E, Wong K. A survey of radon properties in underground railway stations in Hong Kong. Journal of

Radiological Protection. 1999;16:37.

## Abstract

### Title

Development of guidelines for protecting underground subway workers from major hazardous agents.

### Background

Hazardous agents generated in the underground subway to which workers are commonly exposed include radon, dust (including diesel engine exhaust emissions), extremely low-frequency magnetic fields (ELF-MF), and bio-aerosols. No subway company has ever assessed these agents. There is a need to recognize, measure, and assess the levels of these agents in order to protect subway workers.

### Objectives

The purpose of this study is to develop guidelines for protecting workers from major hazardous agents generated in the underground subway work environment.

### Methods

Guidelines were developed based on a literature review, consulting with experts from Hong Kong, and the results of research conducted by this research team.

### Results

This study developed a total of five guidelines that can be used to protect



underground subway workers: 1> A guideline to control the generation of airborne radon and thoron; 2> A guideline to minimize exposure to ELF-MF; 3> A guideline to minimize exposure to dust, including diesel engine exhaust emissions; 4> An assessment strategy for dust, including diesel engine exhaust emissions, bio-aerosols, and radon; and 5> A strategy for special physical examinations.

## Conclusions

These guidelines provide a minimal standard that should be used to assess hazardous agents generated in the underground subway environment. Occupational health professionals should review these guidelines and revise them for application to subway situations considering the type of work, level of ventilation, level of occupational health governance, work environment, and more.

**Key words:** Subway environment, radon, diesel engine exhaust emissions, extremely low-frequency magnetic fields

## 부록

### 1. 현행 특수건강진단의 절차 및 방법

#### (1) 특수건강진단의 대상자 및 유해요인 선정

- 보건관리자는 취급 과정과 생산 공정과정에서 노출될 수 있는 유해인자를 파악하여, 근로자 개인별로 해당 부서/공정, 단위작업, 특수건강진단 유해 인자를 명시한 명단을 작성해 특수건강진단기관에 제공
- 현재 (2019년) 수행되는 직무별 특수건강진단 대상 유해요인은 <참고 1> 참조

#### (2) 특수건강진단 사전조사 관련 자료 제출

- 보건관리자는 특수건강진단기관이 특수건강진단 대상자 명단의 적절성 확인을 위해 최근 작업환경측정 결과보고서, 특수건강진단 사후관리 자료, 사업장의 물질안전보건자료, 인사 기록자료(근무 배치표 및 근무 시간 등)를 요청할 경우 자료를 제공함.

#### (3) 특수건강진단 사전조사의 작업현장 방문조사 (walk-through

survey)

- 작업현장 방문조사의 목적은 특수건강진단 대상자 선정이 적절한지 확인하고, 근로자들의 건강상태와 업무의 관련성을 판단하는데 필요한 기초정보를 확보하는 것이며, 이를 위해 직업환경의학전문의, 산업위생관리 산업기사가 작업현장 방문조사 시행

#### (4) 특수건강진단의 실시 및 사후관리

- 개인표 및 문진표 작성, 건강진단실시, 2차 검사 실시, 검사결과 통보, 질병 유소견자에 대한 건강 상담 및 사후관리 이루어짐

〈참고 1〉 직무에 따른 현재 서울교통공사 특수건강진단 유해인자 (2019년 기준)

(1) 본사

| 순<br>번 | 해당업무     | 소속(세부파트)        | 유해인자               |
|--------|----------|-----------------|--------------------|
| 1      | 야간작업     | 전직급 전직렬 야간작업자   | 야간작업               |
| 2      | 소사원시사업단  | 역무              | 광물성분진              |
|        |          | 기술관리소           | 광물성분진, 망간, 산화철, 소음 |
| 3      | 기술전자     | 도시철도연구원(천왕차량)   | 시클로헥산, 주석, 아세트, 구리 |
| 4      | 석면       | 석면누적관리대상        | 석면                 |
| 5      | 석면, 야간작업 | 야간작업자, 석면누적관리대상 | 석면, 야간작업           |

(2) 고객센터서비스본부

| 순<br>번 | 해당업무     | 소속(세부파트)      | 유해인자     |
|--------|----------|---------------|----------|
| 1      | 야간작업     | 전직급 전직렬 야간작업자 | 야간작업     |
| 2      | 야간작업, 석면 | 석면누적관리대상      | 야간작업, 석면 |

(3) 차량본부

| 순<br>번 | 해당업무 | 소속(세부파트)               | 유해인자                                                                                                                                                                                |
|--------|------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | 검수팀  | 검수팀(교대근무)              | 야간작업, 광물성분진, 구리, 니켈, 디클로로메탄, 망간, 메틸알콜, 메틸에틸케톤, 산화철, 스티렌, 시클로헥산, 아연, 아세톤, 알루미늄, 에틸벤젠, 이소프로필알콜, 주석, 진동, 크실렌, 크롬, 톨루엔, 헥산, 헵탄, 2-부톡시에탄올, 1,2-디클로로에틸렌, 노말부틸알코올, 에틸렌글리콜, 코발트, 오일미스트(29종) |
| 2      |      | 검수팀(통상근무자)             | 광물성분진, 구리, 니켈, 디클로로메탄, 망간, 메틸알콜, 메틸에틸케톤, 산화철, 스티렌, 시클로헥산, 아연, 아세톤, 알루미늄, 에틸벤젠, 이소프로필알콜, 주석, 진동, 크실렌, 크롬, 톨루엔, 헥산, 헵탄, 2-부톡시에탄올, 1,2-디클로로에틸렌, 노말부틸알코올, 에틸렌글리콜, 코발트, 오일미스트(28종)       |
| 4      |      | 검수팀 기공반(1~4호선만 해당, 용접) | 야간작업, 광물성분진, 구리, 니켈, 망간, 메틸알콜, 메틸에틸케톤, 산화철, 아연, 시클로헥산, 아세톤, 알루미늄, 용접흄, 이소프로필알콜, 자외선, 적외선, 주석,                                                                                       |

| 순<br>번 | 해당업무 | 소속(세부파트)                 | 유해인자                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------|------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |      |                          | 진동,크실렌,크롬,톨루엔,헵탄,<br>에틸렌글리콜,코발트,오일미스<br>트(25종)                                                                                                                                                                                                              |
| 5      | 정비팀  | 정비팀(기계 제외)               | 광물성분진,구리,니켈,다이소<br>부틸케톤,디클로로메탄,망간,<br>메틸알콜,메틸에틸케톤,메틸이<br>소부틸케톤,아연,산화철, 스토<br>다트솔벤트,스틸렌,시클로헥<br>산,아세톤,알루미늄,에틸벤젠,<br>이소부틸알콜,이소프로필알콜,<br>자외선,적외선,주석,진동,<br>초산2-메톡시에틸,크실렌,크<br>롬,톨루엔,헥산,헵탄,2-부톡시<br>에탄올,1,2-디클로로에틸렌,노<br>말부틸알코올, 에틸렌글리콜,<br>코발트, 오 일 미 스트 (35종) |
| 7      |      | 정비팀 기계(용접)               | 광물성분진,구리,니켈,망간,산<br>화철,시클로헥산,아세톤,알루<br>미늄,용접흠,자외선,적외선,진<br>동,톨루엔,크롬,크실렌, 1,2-디<br>클로로에틸렌,에틸렌글리콜,코<br>발트,오일미스트(19종)                                                                                                                                          |
| 6      |      | 군자차량사업소탐상반<br>신정차량사업소탐상반 | 광물성분진,구리,니켈,다이소<br>부틸케톤,디클로로메탄,망간,                                                                                                                                                                                                                          |

| 순<br>번 | 해당업무 | 소속(세부파트)                               | 유해인자                                                                                                                                                                                                                 |
|--------|------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |      | 지축차량사업소대차4반,부<br>품5 반,차체제동,<br>전기(TM1) | 메틸알콜,메틸에틸케톤,메틸이<br>소부틸케톤,아연,산화철, 스토<br>다트솔벤트,스틸렌,시클로헥<br>산,아세톤,알루미늄,에틸벤젠,<br>이소부틸알콜,이소프로필알콜,<br>자외선,적외선,주석,진동, 초산<br>2-메톡시에틸,크실렌,크롬,톨<br>루엔,헥산,헵탄,2-부톡시에탄<br>올,1,2-디클로로에틸렌,노말부<br>틸알코올, 에틸렌글리콜,코발<br>트,오일미스트,소음(36종) |
| 8      | 환경   | 폐수처리장(5~8호선만 해<br>당)                   | 알루미늄                                                                                                                                                                                                                 |

※ 석면특검 대상자: 1~4호선 2015년이전 입사자(3급이상제외), 지축차량사업  
소 근무자(사무실근무자 및 3급이상제외) 전체

※ 야간 특검 대상자: 3급 부장 교대 근무자

#### (4) 승무본부

| 순<br>번 | 해당업무 | 소속(세부파트)     | 유해인자 |
|--------|------|--------------|------|
| 1      | 야간작업 | 전직급 전직렬 야간작업 | 야간작업 |

|   |              |                         |          |
|---|--------------|-------------------------|----------|
|   |              | 자_기관사, 차장, 청경(대<br>립별관) |          |
| 2 | 석면           | 석면누적관리대상                | 석면       |
| 3 | 석면, 야간<br>작업 | 야간작업자, 석면누적관리<br>대상     | 석면, 야간작업 |

## (5) 기술본부

| 순<br>번 | 해당업무         | 소속(세부파트)          | 유해인자                                                                                                                                       |
|--------|--------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | 야간작업         | 전직급 전직렬 야간작업<br>자 |                                                                                                                                            |
| 2      | 전기1사업소       |                   | 광물성분진, 산화철, 망간, 크롬,<br>구리, 주석, 톨루엔, 메틸에틸케<br>톤, 시클로헥산, 알루미늄, 석면<br>(석면대상자)                                                                 |
| 3      | 전기2사업소       |                   | 광물성분진, 산화철, 망간, 크롬,<br>구리, 주석, 스티렌, 메틸렌비스<br>페닐이소시아네이트, 1,3-부타<br>디엔, 톨루엔, 시클로헥산, 2-부<br>톡시에탄올, 크실렌, 헵탄, 이소<br>프로필알콜, 아세톤, 알루미늄,<br>메틸에틸케톤 |
| 4      | 정보통신1사<br>업소 |                   | 광물성분진, 산화철, 망간, 크롬,<br>구리, 주석, 톨루엔, 아세톤, 시클<br>로헥산, 2-부톡시에탄올, 납, 석                                                                         |



| 순<br>번 | 해당업무         | 소속(세부파트)     | 유해인자                                                                                                                                      |
|--------|--------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |              |              | 면(석면대상자)                                                                                                                                  |
| 5      | 정보통신2사<br>업소 |              | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석,톨루엔,헥산,시클로<br>헥산,이소프로필알콜,아세톤,<br>헵탄                                                                             |
| 6      | 궤도1사업소       |              | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석,헵탄,에틸벤젠,톨루<br>엔,헥산,시클로헥산,2-부톡시<br>에탄올,크실렌,헵탄,이소프로<br>필알콜,아세톤,<br>스토타드솔벤트                                        |
| 7      | 궤도2사업소       | 궤도안전반(18명)   | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석,진동,소음                                                                                                           |
| 8      | 신호1사업소       |              | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석,톨루엔,2-부톡시에<br>탄올,크실렌,헵탄,아세톤,노말<br>부틸알콜,알루미늄,석면(석면<br>대상자)                                                       |
| 9      | 신호2사업소       | 고덕, 도봉, 건대입구 | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석,에틸벤젠,메틸렌비<br>스페닐이소시아네이트,메틸이<br>소부틸케톤,톨루엔,시클로헥<br>사논,헥산,<br>시클로헥산,2-부톡시에탄올,<br>크실렌,헵탄,이소프로필알콜,<br>아세톤,노말부틸알콜,알루미 |

| 순<br>번 | 해당업무   | 소속(세부파트)  | 유해인자                                                                                                                                           |
|--------|--------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |        |           | 흙,납                                                                                                                                            |
|        |        | 기타        | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석,에틸벤젠,메틸렌비<br>스페닐이소시아네이트,메틸이<br>소부틸케톤,톨루엔,시클로헥<br>사논,헥산,<br>시클로헥산,2-부톡시에탄올,<br>크실렌,헵탄,이소프로필알콜,<br>아세톤,노말부틸알콜,알루미<br>늄 |
| 10     | 기계1사업소 |           | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석,스토다드솔벤트,석<br>면(석면대상자)                                                                                                |
| 11     | 기계2사업소 |           | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석                                                                                                                      |
| 12     | 전자1사업소 | 시설물유지보수   | 광물성분진,구리,주석,석면(석<br>면대상자)                                                                                                                      |
|        |        | 전자관제      | 야간작업                                                                                                                                           |
| 13     | 전자2사업소 | 중정비,관리소   | 광물성분진,구리,주석,알루미<br>늄,헥산,시클로헥산,아세톤                                                                                                              |
| 14     | 토목1사업소 | 공사감독및 관리소 | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석,석면(석면대상자)                                                                                                            |
|        |        | 토목개량파트    | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석,크실렌,톨루엔,스티<br>렌,2-에톡시에탄올,디에틸렌<br>트리아민,석면(석면대상자)                                                                      |
| 15     | 토목2사업소 |           | 광물성분진,산화철,망간,크롬,                                                                                                                               |

| 순<br>번 | 해당업무          | 소속(세부파트) | 유해인자                                                                                                                   |
|--------|---------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |               |          | 구리,주석,에틸벤젠,톨루엔,크<br>실렌,메틸이소부틸케톤,말레<br>산언하이드라이드,시클로헥<br>산,헥산,<br>시클로헥사논,2-부톡시에탄<br>올,알루미늄,이소프로필알콜,<br>아세톤,메틸알콜          |
| 16     | 건축1사업소        |          | 광물성분진,산화철,망간,니켈,<br>크롬,용접흙,자외선,적외선,스<br>티렌,톨루엔,페놀,헥산,시클로<br>헥산,2-부톡시에탄올,크실렌,<br>알루미늄,메틸알콜,<br>아세톤,소음,석면(석면대상자)         |
| 17     | 건축2사업소        |          | 광물성분진,산화철,망간,니켈,<br>크롬,용접흙,자외선,적외선,아<br>세톤                                                                             |
| 18     | 승강기관리<br>단    |          | 광물성분진,석면(석면대상자)                                                                                                        |
| 19     | 승강장안전<br>문관리단 |          | 광물성분진,산화철,망간,크롬,<br>구리,주석,메틸렌비스페닐이<br>소시아네이트,톨루엔,시클로<br>헥산,2-부톡시에탄올,크실렌,<br>헵탄,메틸알콜,<br>이소프로필알콜,아세톤,알루<br>미늄,석면(석면대상자) |
| 20     | 장비관리단         |          | 광물성분진,산화철,망간,크롬,                                                                                                       |

| 순<br>번 | 해당업무 | 소속(세부파트) | 유해인자                                                  |
|--------|------|----------|-------------------------------------------------------|
|        |      |          | 구리,주석,톨루엔,헥산,2-부톡<br>시에탄올,헵탄,아세톤,메틸에<br>틸케톤,석면(석면대상자) |

## 2. 보건관리 시스템(거버넌스)의 문제점과 개선방향

### 1) 배경

- 보건관리자들을 위한 보건관리 지침이 실제 작업 현장에서 작동되기 위해서는 이를 실행하는 조직체계에 문제가 있어서는 안된다. 조직체계, 인력, 관련 규정, 노사간 협력 등이 잘 이루어져야만 관련 지침들의 실효성을 높일 수 있기 때문이다.
- 이를 위해 현재의 지하철 관련 교통공사의 안전보건 시스템의 현황과 문제점을 분석하고, 이를 바탕으로 개선방안을 제안하였다.

### 2) 안전보건 조직 현황

- 국내 지하철 운행과 관련된 주요 공공기관(8개 기관)과 노동조합을 대상으로 안전보건관리 조직과 업무 현황을 살펴봤으며, 이 중 조직이 가장 큰 서울교통공사에 대해서는 세부적인 조직과 직무 현황을 분석하였다.

## (1) 공사(사측) 조직 현황

### 가) 조직체계

- 8개 공사 모두 본사에 안전보건 업무를 총괄하는 조직을 가지고 있다. 다만 공사별로 총괄조직의 위상과 조직 편제에는 다소 차이가 있다. 회사 규모가 큰 한국철도공사와 서울교통공사는 사업본부 형태로 좀 더 상위 단위로 편제되어 있다. 반면, 조직이 상대적으로 작은 나머지 회사에서는 실(室)이나 처(處)의 단위로 되어 있다.
- 조직의 직재는 5개 회사(철도공사, 인천, 대전, 광주, 공항철도)는 사장 직속으로 두고 있으며, 3곳(서울, 부산, 대구)은 사장 직속이 아닌 일반 행정 조직과 수평적 조직 형태를 가지고 있다. 이와 같이 사장 직속 체계 여부는 조직의 권한과 업무의 통합 능력 차원에서 매우 중요한 문제로 살펴볼 필요가 있다(자세한 내용은 문제점 부분에서 언급).

**<표5-1> 지하철 관련 공공기관의 안전보건 조직 현황**

| 구분       | 부서명    |             | 사장<br>직속체계 |
|----------|--------|-------------|------------|
| 한국철도공사   | 안전혁신본부 | 안전계획처       | ○          |
| 서울교통공사   | 안전관리본부 | 보건환경처 산업안전팀 | ×          |
| 부산교통공사   | 안전관리실  | 산업보건팀       | ×          |
| 대구도시철도공사 | 안전관리처  | 안전보건계획팀     | ×          |
| 인천교통공사   | 안전관리실  | 산업안전보건팀     | ○          |
| 대전도시철도공사 | 안전감사실  | 안전관리팀       | ○          |
| 광주도시철도공사 | 안전관리실  | -           | ○          |
| 공항철도     | 안전실    | 산업환경팀       | ○          |

○ 지하철 관련 안전보건 조직([그림5-1] 참고)은 일반 사업장에서 볼 수 없는 매우 독특한 구조를 가지고 있다. 대부분이 본사 → 사업본부 → 현업부서(사업소)와 같이 3단계의 단계적 하위 구조를 가지고 있다. 예를 들어 서울교통공사의 경우 본사에는 안전관리본부(보건환경처 산업안전팀)가 있고, 각 사업본부에는 보건관리자가 배치되어 있으며(조직은 아니며, 업무를 전담하는 담당자가 있을 뿐임), 현장 부서인 현업부서에는 업무담당자가 배치되어 다른 업무와 겸임하는 인력구조이다.



**[그림5-1] 서울교통공사의 안전보건 조직 체계**

- 이와 같은 단계적 조직체계는 나머지 7개 공사도 마찬가지이다. 이는 지하철 업무가 차량의 유지보수를 담당하는 ‘차량사업’, 차량을 운행하는 ‘승무사업’, 지하철 시설을 유지 보수하는 ‘기술사업’, 그리고 승객과 관련된 ‘역무 사업’ 분야가 수평적으로 나누어진 조직 특성을 반영한 것으로 보인다.

#### 나) 인력 및 업무현황

- 조직 단위별 업무 내용을 보면 본사는 주로 법적인 행정 업무를 담당하며, 이를 수행하는 전문 인력은 배치되어 있지 않다. 반면 사업본부는 주로 현장

과 관련된 산업보건 관리 업무를 수행하며, 이를 담당하는 보건관리자(간호사)를 배치하거나 외부 전문기관에 보건관리 대행을 위탁하고 있다(대부분이 외부 보건관리전문기관에 대행하는 위탁형태로 운영). 마지막 단계인 현업부서에는 업무 담당자 혹은 안전관리자가 배치되어 다른 업무와 겸임하는 형태로 운영하고 있다(<표 5-2> 참고).

- 이와 같은 조직 체계는 조직간 소통과 협력 체계만 잘 이루어진다면 현장 중심의 매우 효율적인 조직일 수 있다. 그러나 만약 소통, 협력, 통합 등이 제대로 이루어지지 않는다면 조직 간 책임 문제로 인해 매우 수동적인 업무만 채기게 되는 한계가 있다.

**<표5-2> 서울교통공사의 조직 체계에 따른 보건분야 업무영역 구분**

| 조직 체계      | 본사                                                                                                                                                             | 사업본부                                                                                                                                                                                             | 사업소(현업부서)                                                           |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 업 무 영<br>역 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 근골격계 유해 요인조사</li> <li>▪ 건강진단 및 증진사업</li> <li>▪ 정신건강</li> <li>▪ 재해 통계</li> <li>▪ 재해보상</li> <li>▪ 보건관리 대행 사업</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 작업환경 측정</li> <li>▪ 보호구 관리</li> <li>▪ 화학물질 관리 (MSDS)</li> <li>▪ 작업자 교육</li> <li>▪ 건강관리실 운영</li> <li>▪ 운동치료실(차량기지) 운영</li> <li>▪ 작업장 순회 등 현장관리</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 사업본부에서 지시된 행정업무</li> </ul> |
| 전 문 인<br>력 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 없음</li> </ul>                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 보건관리자(간호사 17명)</li> </ul>                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 없음</li> </ul>              |



| 조직 체계 | 본사                                                                | 사업본부 | 사업소(현업부서)                                                               |
|-------|-------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------|
|       | <ul style="list-style-type: none"> <li>업무담당자가 전임으로 배치됨</li> </ul> |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>업무담당자가 타 업무와 겸임으로 수행)</li> </ul> |

#### 다) 시설현황

- 대부분의 공사에서는 보건관리실(혹은 의무실)을 두고 있다. 기본적인 약제와 건강 체크를 위한 장비(혈압계, 혈당체크, 비만도 체크 등)를 갖추고 있으며, 휴식을 위한 의료용 침대를 배치하고 있다.
- 서울 교통공사는 이 외에 노사 합의에 의해 근골격계질환 예방 및 조기 치료를 위한 운동치료실을 특정 사업소(차량관리사업소)에 갖추고 있으며, 전문 운동치료사가 상주하면서 근무 중 치료 등을 서비스로 제공하고 있다. 또한 일종의 거버넌스 조직인 노.사.민 협의체계에 의해 제안된 ‘마음건강센터’와 전문 인력을 두고 정신건강 관련 상담과 의학적 관리를 제공하고 있다.

**<표5-3> 서울 교통공사 보건관리를 위한 시설 현황**

| 구분    | 보건관리실                 | 운동치료실      | 마음건강센터          |
|-------|-----------------------|------------|-----------------|
| 주요 업무 | 유질환자 관리<br>법적 보건관리 업무 | 근골격계질환자 관리 | 정신건강 관련 상담 및 관리 |
| 시설    | 17개소                  | 차량기지 7개소   | 1개소             |

|          |         |          |                  |
|----------|---------|----------|------------------|
| 현황       |         |          |                  |
| 전문<br>인력 | 간호사 17명 | 운동치료사 5명 | 전문의1명,<br>임상심리6명 |

○ 특히, 마음건강센터는 다른 공사에는 없는 특화된 보건관리 영역이다. 이 센터는 지하철 운영기관 최초로 만들어진 시설로 2013년부터 시작된 직원 심리 상담과 치료를 위한 ‘힐링센터’를 확대 개편하여 직원들의 정신건강 관리를 지원해주는 조직이다.

○ 이 센터에는 전문의 1인과 임상 심리 상담사 수도 6명이 근무하며, 정신과 전문 의와 임상 심리, 직무 스트레스, 외상 후 스트레스 장애(PTSD, Post Traumatic Stress Disorder), 직장 내 괴롭힘, 기타 감정노동 문제 등을 상담하고 있으며 임직원 가족을 위한 상담 프로그램도 제공 중이다.

## (2) 노동조합

○ 노동조합의 안전보건 조직 체계를 보면 중앙에 노동안전국장(혹은 부장)과 명예산업안전감독관이 있으며, 일종의 지부 조직인 사업본무에 별도의 노동안전부장과 명예산업안전감독관을 두고 있다. 이와 같은 조직 형태는 여타의 공사 노동조합도 마찬가지이다.

**<표5-4> 서울교통공사 노동조합 안전보건관리 조직 현황**

| 구분   | 조직                 | 인원          | 근무형태 | 비고                           |
|------|--------------------|-------------|------|------------------------------|
| 중앙   | 노동안전국장             | 1명          | 상근   |                              |
|      | 노동안전부장             | 1명          | 비상근  |                              |
|      | 명예산업안전감독관          | 2명          | 비상근  |                              |
| 사업본부 | 노동안전부장             | 2명*4개<br>본부 | 비상근  | 1~4호선, 5~8호선 각각 1명(승무본부는 1명) |
|      | 명예산업안전감독관          | 2명*4개<br>본부 | 비상근  |                              |
|      | 근골격계질환 예방 실행<br>위원 | 본부별<br>2~3명 | 비상근  |                              |

○ 비상근 간부들은 공식적인 노동안전 활동에 대해서는 비교적 자유롭게 인정받고 있다. 예를 들면 작업환경 측정이나 기타 근골격계 유해요인 조사 등이 있을 때는 요청되는 현장 활동시간이 보장된다.

○ 특이한 점은 서울교통공사의 경우 노사 합의에 의해 노동안전 분야 간부 외에 현장 활동 조직으로 근골격계질환 예방을 위한 실행위원을 각 본부별로 2-3명씩 선임하고 있다. 이들은 작업근골격계질환 예방을 위한 작업자 면담과 현장의 애로 사항을 수집하는 역할을 하고 있다.

### (3) 문제점 및 개선방향

가) 조직의 권한과 독립성 문제 ⇒ 독립적인 사장 직속 체계로 편제하고 직급을 부기관장 수준으로 하여 책임을 부여(공공기관 안

전관리 지침 기준)

- 안전보건 조직이 일반 행정조직과 수평적으로 편재되면 항상 예산 배정의 우선순위에서 밀릴 수밖에 없다. 아직도 우리나라 상당수의 경영자들은 안전 보건에 투자하는 비용을 손실비용이라고 인식하고 있기 때문이다.
- 이러한 문제를 해결하기 위해서는 일반 행정 조직과는 별개로 사장의 직속 기구로 편재되어 권한과 독립성이 보장되어야 한다.
- 현재 철도공사, 인천, 대전, 광주, 공항철도공사는 사장 직속으로 조직이 편재되어 있지만 서울, 부산, 대구 교통공사는 사장 직속이 아닌 일반 행정 조직과 동일한 조직 형태를 가지고 있어 향후 개선이 필요한 부분이다.
- 한편, 2019년 3월에 제정된 ‘공공기관의 안전관리에 관한 지침(기획재정부)’ 제10조(안전관리책임자 및 전담조직)를 보면 다음과 같이 규정되어 있다.

**제10조(안전관리 책임자 및 전담조직)** ① 안전관리 중점기관은 임원(임원에 상당하는 자를 포함한다) 중 한명을 안전관리의 책임자로 지정하여야 한다.

② 안전관리 중점기관은 안전 관련 업무를 총괄하는 전담조직을 기관장 또는 부기관장(부기관장이 없는 경우 이에 상당하는 자를 포함한다) 직속으로 설치하여 운영하여야 한다.

- 지하철 관련 모든 공공기관은 모두 ‘안전관리 중점기관’에 해당되기 때문에

반드시 개선이 필요한 부분이다.

나) 업무영역의 독립성 문제 ⇒ 보건관리 업무 조직의 독립성 보장

○ 현재 대부분 공공기관의 보건관리 업무는 환경(공기질 관리 및 환경망 측정 등) 관련 업무 혹은 안전 업무(승객 및 작업자 안전업무)와 혼재된 조직체계를 가지고 있다.

○ 이와 같은 조직 체계에서는 보건업무가 항상 우선순위에서 밀릴 수밖에 없다, 왜냐하면 현재의 안전보건 분야의 평가지표는 대부분이 사고 건수 중심으로 되어있고, 보건 분야의 업무 성과는 당장에 나타나지 않기 때문에 대부분이 시급성이 없다고 생각하기 때문이다.

○ 따라서 보건관리 업무가 현재의 혼재된 조직체계에서 독립된 업무영역을 담당할 수 있도록 최소한 팀 단위의 조직 편제가 이루어져야 한다.

다) 전문성과 인력 부족 문제 ⇒ 산업보건 분야 전문인력 확보 ⇒ 본사 및 본부 조직체계에 배치

○ 산업보건 전문인력을 보면 보건관리자로 선임된 간호사가 대부분으로 유해물질을 포함한 작업환경 관리를 전문적으로 수행할 수 있는 ‘산업위생 영역’의 전문 인력은 전무한 실정이다.

○ 또한 본사의 안전보건 조직 인력은 대부분이 전문 인력이 아닌 일반 행정 업무를 담당하는 인력이 업무를 맡고 있어 전문성에 한계가 있다. 보건관리 영역은 작업환경 측정, 환기, 작업환경 개선, 건강관리 등 상당 부분의 전문성을 필요로 하고 있다. 따라서 관련 분야의 전문인력이 확보된 후 이들이 실제 업무를 담당할 수 있도록 해야 한다.

○ ‘공공기관의 안전관리에 관한 지침(기획재정부)’ 제7조(인력확충)와 제8조(전문성 강화)를 보면 인력확충과 전문성 강화를 위해 노력하도록 규정하고 있으며, 이들을 근무 평정 및 성과 평가 시 우대하도록 권고하고 있다.

**제7조(인력확충)** 공공기관은 기관의 규모, 업종 및 안전 위험요소 등을 종합적으로 고려하여 해당 기관에 필요한 안전 관련 인력을 확보하고 적재적소에 배치하기 위해 노력하여야 한다.

라) 업무의 통합, 소통, 책임 문제 ⇒ 사업본부 간 소통과 협력을 위한 업무 총괄 기능 강화

○ 조직현황에서 언급했듯이 지하철 업무는 ‘차량사업’, ‘승무사업’, ‘기술사업’, ‘역무 사업’ 분야가 매우 독립적으로 수행되고 있다. 이와 같은 조직 특성 상 안전보건 업무도 각각의 사업 분야에서 독립적으로 이루어지고 있으며, 일부 법적인 업무(건강진단, 근골 유해요인 조사 등)만을 본사 조직에서 담당하고 있다.

○ 따라서 본부간의 상호 협력에 의해 결정되어야 할 문제가 발생하면 서로 간의 업무영역을 다투는 과정에서 의사 결정이 안 되거나 일정이 지연되는 문제가 발생한다.

○ 예를 들어 역무실에 근무하는 작업자들의 라돈가스 노출 문제 해결을 위해서는 반드시 환기시설을 개선해야 한다. 그러나 실제 작업은 기술본부에서 진행해야하기 때문에 서로 협조가 이루어지지 않으면 개선이 지연되거나 불가능할 수 있다. 이와 같은 상황에서는 본사가 개입하여 예산지원과 업무 지시 등이 신속하게 이루어져야만 개선이 진행될 수 있다. 그러나 현재의 조직 체계에서는 서로 자기 일이 아니라고 생각으로 그 일에 개입되기를 꺼려하고 있는 실정이다.

○ 새로운 업무규정(안전보건 규정)을 통해 통합과 조정, 그리고 업무 책임 등에 대한 실제적인 규정이 마련되어야 한다.

    마) 업무의 연속성 문제 ⇒ 전문분야에 대해서는 업무순환 원칙을 예외적으로 적용

○ 거의 모든 공무원이나 기타 공공 조직에서는 일정한 주기(최대 3년 주기)로 부서 순환을 원칙으로 하고 있다. 그러나 안전보건 분야는 전문성을 요하는 부분이 많기 때문에 수 년 간의 업무 경력이 쌓여야만 예측 가능한 예방적 업무를 수행할 수 있다.

○ 그러나 현재처럼 2~3년 주기로 담당자가 바뀌게 되면 산업안전보건법에 근거한 법적인 행정 업무만을 수행할 수밖에 없다. 공공기관의 안전보건 조직에 전문가가 없는 근본적 원인이다. 이러한 문제를 극복하기 위해 일반 사기업에서는 안전보건 분야는 거의 인사이동 없이 십 수 년 이상 전담하고 있어 상당수가 전문역량을 인정받고 있다.

○ 따라서 일정기간 동안 인사이동 없이 담당업무를 수행할 수 있도록 제한기간을 둘 필요가 있으며, ‘공공기관의 안전관리에 관한 지침’에서도 이를 권고하고 있다.

제8조(전문성 강화) ① 공공기관은 안전 관련 분야 전공자 또는 경력자를 채용하거나, 전보 제한 기간을 설정하는 등 안전 분야 근로자의 전문성을 높이기 위해 노력하여야 한다.

② 공공기관은 소속 임직원의 안전 관련 근무경력, 전문성, 성과 등을 근무평정, 성과평가 등에서 우대할 수 있다.

바) 건강관리 중심의 보건관리 업무 문제 ⇒ 작업환경 관리 등 현장관리 영역으로 전환

○ 현재 모든 지하철 공공기관은 보건관리실(혹은 의무실)을 두고 간호사를 채용하고 있다. 이들 대부분의 업무는 직원 건강진단 및 증진 사업, 유질환자 관리 등 건강관리 업무가 주된 업무로 전문성의 한계로 인해 현장 순회를 통한 작업환경 관리 업무는 소홀할 수밖에 없다.



○ 과거에 비해 의료체계가 발전되었고, 개인의 의료시설 접근성이 좋아진 현재 시점에서는 바람직하지 않은 관리 모델이다. 보건관지자의 업무 영역이 현장의 작업 환경과 관련된 현장 활동에 집중되어야 하며 이를 위해서는 관련 전문가(산업위생 분야 등)의 인력 확보가 필요하다.

사) 협력업체와의 협의체 운영 문제 ⇒ 갑과 을의 관계가 아닌 실질적 업무 협의를 진행

○ 지하철 공공기관의 협력업체는 대부분이 시설관리(특히, 건물 청소 등)와 시설 공사 관련 업무이다. 또한 이들 협력 업체가 담당하는 업무는 상당 부분이 안전보건의 취약성을 가지고 있지만 협력 업체에 전문적인 업무를 담당할 수 인력은 전무한 상태이다.

○ 이러한 문제를 해결하기 위해 정부 지침에 의해 ‘안전근로협의체’를 운영하도록 되어 있으나 대부분이 업무지시 형태를 벗어나지 못하고 있다. 실제로 체감되는 문제가 무엇인지 귀담아 듣고 이에 필요한 전문적인 지원과 이를 개선할 수 있는 예산 지원 문제 등을 도급계약 단계에 반영되도록 하는 제도적 개선이 필요하다.

**제12조(안전근로협의체)** 안전관리 중점기관이 「산업안전보건법」에 따라 산업안전보건위원회를 설치·운영하여야 하는 경우에는 사업장 안전에 관한 중요 사항을 협의하기 위해 원·하청 노사 등이 참여하는 안전근로협의체를 별도로 구성·운영하여야 한다.

아) 전문가 활용을 위한 거버넌스 조직 문제 --> 시민대표  
및 외부 전문가가 참여하는 거버넌스 조직 운영

- ‘공공기관의 안전관리에 관한 지침’을 보면 공공기관은 외부 전문가가 참여하는 ‘안전경영위원회’를 구성운영하도록 하고 있다. 이 조직은 현재 산업안전보건법에서 규정한 산업안전보건위원회와는 다른 별개의 조직으로 일종의 거버넌스 역할을 수행하기 위한 조직이다.

|                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>제11조(안전경영위원회)</b> 안전관리 중점기관은 안전에 관한 사항을 심의하기 위해 <u>근로자, 전문가 등이 참여하는 안전경영위원회</u>를 구성·운영하여야 한다.</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- 서울시에서는 지난 2012년 기관사 자살사고 이후 ‘서울시지하철최적근무위원회’를 구성하여 한시적으로 운영한 바 있다. 이 위원회에는 시민단체 및 외부 전문가 등이 참여하였으며, 활동의 결과로 10가지의 필수적인 개선사항을 서울시에 권고하였다.

### 최적위의 필수제안 10가지

#### 단기적으로 실행되어야 할 개선사항

정신보건 단계별 프로그램 도입  
2인 승무 시범실시  
근무평가 및 승진기준 TF의 구성  
원칙에 입각한 교대제 (예 4조 2교대제 포함)의 실시  
열악한 작업환경 개선 (모터카, 실내공기질)

#### 중장기적으로 실행되어야 할 개선사항

사무소 추가배치를 통한 교번제 실시  
지하철 근무환경을 고려한 안전보건관리 프로그램  
상급자 조직문화 개선교육 프로그램

#### 서울시에 권고하는 지하철 운영방침의 개선사항

최적근무관점의 공기업 운영방향 및 경영평가기준 수립  
공기업 종사자 건강과 서울시민 건강의 관점에서 심야연장근무 단계적 축소

### [그림5-2] ‘서울시지하철최적근무위원회’ 의 권고 사항

- 위원회 활동의 결과로 권고된 10가지 제안 사항은 몇 가지 제안(2인 승무제, 교대제 개선, 심야 연장근무 등) 사항을 제외하고는 상당 부분이 받아들여져 개선이 완료되었거나 현재 개선이 진행되고 있다. 타 공공기관에서도 이와 같은 거버넌스 조직을 벤치마킹할 필요가 있다. ([그림5-2] 참고)

자) 노동조합의 참여적 기능 강화 --> 노동조합 담당자의 활동시간 보장과 전문교육 지원

- 안전보건 분야에서 근로자의 참여적 기능은 아무리 강조해도 지나치지 않

는다. 독일, 스웨덴, 덴마크, 오스트리아, 프랑스 등 대부분의 유럽연합 국가에서는 사업장에 근로자 안전위원을 두어 이들로 하여금 사업주의 안전·보건활동을 모니터하고 있다. 또한 필요한 경우 감독기관에 조사를 요청할 수 있고 감독관의 조사에 참여할 수 있도록 하는 등 근로자의 안전·보건활동에 대한 참여를 제도화하고 있다. 뿐만 아니라 국제노동기구(ILO)에서도 오래 전부터 근로자 참여를 권고하고 있다(권고 1644호, 1981).

○ 예를 들어 독일에서는 산재보험법 제22조에 의하여 기계·금속업 산재보험 조합에 가입한 사업주는 기본적으로 상시 종업원 20인에서 1인의 안전위촉자를 임명하여 이들이 직접 작업 현장을 점검하고 안전보건문제에 대한 의사결정 과정에 참여할 수 있도록 법적으로 보장하고 있다.

○ 현재 이러한 부분에서 가장 잘되고 있는 기관이 서울 교통공사 노동조합이다. 노동조합 노안부장은 십 수 년 이상 안전보건 업무를 담당하면서 많은 경험과 전문지식을 가지고 있으며, 현재 노사가 수행하는 대부분의 안전보건 업무에 관여하면서 상당한 효과를 거두고 있다.

○ 타 기관에서도 근로자 참여를 위한 공사 측의 근무 협조 및 교육 지원 등이 실질적으로 이루어져 한다. 이를 위해서는 관련되는 지원 내용을 노사가 합의하고 그 결과가 안전보건관리 규정에 명시되어야 한다.

차) 위험성 예지에 대한 응급대응능력 강화 ⇒ 이를 위한 ‘safety call’ 제도와 ‘작업중지 요청제 도입’

- 현행 산업안전보건법에는 위험한 상황에 대해 작업중지를 요청할 수 있는 제도가 있다. 그러나 애매한 해당조건과 이행 후 인사상 혹은 민.형사상 불이익 문제로 거의 실효성을 거두지 못하고 있다.
- 이러한 한계점을 극복하기 위해서는 평소 작업 중에 확인된 문제점에 대해 언제든지 신고하고 고 개선을 요구할 수 있는 ‘safety call’ 제도를 도입할 필요가 있다. 이 제도는 접수된 모든 상황에 대해 즉각적인 피드백이 되어야 만 제도의 실효성을 높일 수 있다
- 나아가 급박한 위험 상황이 발생했을 때는 즉시 작업 중지를 요청할 수 있도록 작업중지 요청제가 시행되어야 한다. 이 제도는 ‘공공기관의 안전관리에 관한 지침’ 에도 보장되어 있는 제도이다.

**제17조(작업중지 요청제)** ① 공공기관은 안전관리 대상 사업·시설에 대하여 근로자가 위험상황을 인지하였을 때 근로자가 발주자 또는 원청에게 직접 일시 작업중지를 요청할 수 있는 제도를 운영하여야 한다.

② 공공기관은 근로자가 작업중지를 요청한 경우 안전 및 보건에 관하여 필요한 조치를 하여야 하며, 요청 내용과 조치 결과를 기록하고 보존하여야 한다.

③ 공공기관은 근로자가 위험상황이 있다고 믿을 만한 합리적인 이유가 있을 때에는 작업중지를 요청한 근로자나 근로자가 소속된 수급인에게 불리한 처우를 하여서는 아니 된다.

### 3. 지하철 관리의 해외사례 - 홍콩중심으로-

#### 1) 해외 지하철 개요

- 지하철은 지하철도(地下鐵道. subway, underground railway, tube, metro)의 약칭으로 도시의 지상 교통난 해소와 도시 내에서 고속 교통을 위하여 도시 내부나 도시 근교에 지하를 뚫어 만든 궤도 위에서 운행하는 철도라고 할 수 있다.
- 지하철의 고속성·대량수송성·안정성·정시성·도시미관·저공해성의 특징은 세계의 많은 도시에서 지하철을 건설하여 도시의 복잡성(물동량 증가와 도시의 급격한 팽창)과 교통 혼잡의 문제점을 해결하면서 주요 교통수단으로 활용하는 이유가 되었다.
- 세계 최초의 지하철 노선은 1863년에 영국 템즈강가에서 약 6km 구간에 개통되었다. 이후 헝가리 부다페스트(1896), 영국 글래스고(1896), 오스트리아 빈(1898), 프랑스 파리(1900), 미국 보스턴(1901) 등 많은 도시에서 지하철이 개통되었으며, 아시아에서는 일본 도쿄(1927)에서 개통되었다. 우리나라는 수도권 교통난 해소 및 대도시 교통수단 체계 조정을 통해 1974년 8월 15일 서울역에서 청량리 구간이며, 세계에서 22번째로 지어졌다.

- 본 연구에서는 홍콩지하철 사례는 산업보건 전문가를 초청하여 유해인자 관리 현황과 법적인 내용을 살펴보았으며, 일본 등 지하철은 문헌 및 자료 검색 등을 통해서 정리하였다

## 2) 홍콩 지하철(MTR)

홍콩 산업보건 전문가를 초청하여 연구진과 함께 홍콩 Metro System의 산업보건 위험성을 주제로 세미나 형태의 발표 및 토의를 하였으며, 그 요약은 다음과 같다.

### (1) 세미나 개최

- 개최일시 : 2019년 7월 1일 10:00~13:00
- 참석자 : 홍콩 지하철 전문가 2명, 연구진 8명
- 초청 주제발표 :
  - Occupational Health Risk of Metro System - from construction to operation, Sung-Tat Yip(Radiation Protection Officer, The Chinese University of Hong Kong)
  - Occupational Health Risk of Metro System - Radon Exposure, Tai-Wa Tsin(Consultant, Winco & Associates Limited)

### (2) 발표 및 토의 요약

#### 가) 홍콩과 홍콩 지하철

## ○ 홍콩

홍콩특별행정구(特別行政區, Hong Kong Special Administrative Region, HKSAR)는 홍콩섬과 주룽(구룡)반도, 신제(新界), 및 그 밖의 230개의 부속도서로 구성되어 있다. 1842년 영국이 청과의 난징조약에 따라 홍콩을 점령했고 청일전쟁 이후인 1898년 영국은 또다시 청 정부를 압박하여 신제(新界)를 추가로 99년간 조차하였으며 1997년 6월 30일에 조약이 만료되며 중국에 반환되었으며, 특별행정구 형태로 유지되고 있다.

## ○ 홍콩 지하철

○ 홍콩의 도시 철도는 일반철도(Rail), 지하철, 경전철(Light Rail, LR), 트램(Tram) 등으로 구분할 수 있다. 이 중 홍콩 지하철은 'Mass Transit Railway'이며, 줄여서 MTR이라고 통칭하며, 중국어로는 항철(港鐵)이라고 한다. 지하철 체계는 2017년 현재 총 11개의 노선으로 이루어졌으며, 홍콩 도심교통망 중 가장 중추적인 역할을 담당하고 있다.

○ 홍콩철로유한공사(MTR Corporation Limited, MTRC Limited/香港鐵路有限公司)가 지하철을 운영하며, 홍콩 정부가 단독 주주인 공기업이지만 현재는 민영화를 추진하면서(2000년에 홍콩 주식시장에 상장), 민간자본도 지분을 가질 수 있게 되었지만 아직까지 홍콩 정부가 지분 전체의 약 75%를 가지고 있어 사실상 공기업이라고 할 수 있다.

○ MTR 노선은 홍콩섬 시가지나 구룡 시가지에서는 모두 지하에 건설되어 있으며, 역사 상부에는 역사의 입지에 따라 업무·상업·주거시설(상가시설이 가미된 고밀도 주거시설) 등이 복합적으로 개발되어 있다. 2015년 기준 근로자 수는 총 17,626명(남성 13,925명, 여성 3,701명)이다.

- 운영 시작: 1979년 9월 30일

- 소유주: 홍콩특별행정구정부



- 역 수: 93개(경철로 68개)
- 노선 수: 13개(2개 라인은 개발 중에 있음, 경철로 11개)
- 총 거리: 175km(경전철 36.2km)

○ MTR 관제센터 : 청의(淸依)역에 위치한 관제센터(OCC)는 MTR내 운행선의 모든 열차이동을 감시/통제하며, 전력공급과 환경시스템의 통제 및 감시, 장애고장 및 지연처리, 궤도상의 유지보수 협력, 각종 정보 알림, 외부 수송관리자 협력 등의 업무를 수행하는 종합관제실이다. 센터에서 근무하고 있는 직원은 수석 통제자 1명을 비롯한 10명(라인 교통 통제자 2명, 커뮤니케이션 통제자 2명, 운용통제 엔지니어 1명, 전력시스템 통제자 3명, 환경시스템 통제자 2명)이 1일 3교대 체제로 24시간 동안 업무를 수행하고 있다. 특히 환경시스템 통제자의 주요 업무는 정거장의 온도 및 습도 등 실내환경 제어, 터널 내 화재 발생 시 자동환기장치 제어 등의 역할을 수행한다.

#### 나) 홍콩에서 MTR 및 실내공기질 관련 법규

- CAP 556 MTR Ordinance, MTR 이사회에서 관할 운영하며, 공중 및 직원의 안전 관련 사항도 포함된다.
- 건설과 관련 안전보건법규 : F&IUO(Factories and Industrial Undertakings Ordinance) CAP 59(OEL CoP), F&IUR 59A - S16(medical examination for underground workers), S33(ventilation), Construction Site Safety Regulations, CAP 59 I - S42

○ 가동 및 운영 관련 안전보건법규 : F&IUR, CAP59A; OSHR, CAP509A (Labour Department), Safety of Railway CAP556 (Transport & housing Bureau & Transport Department)

○ Guidance Notes(GN) for the Management of Indoor Air Quality in Offices and Public Places(2019) - HKSAR<sup>5)</sup>의 Environmental Protection Department(EPD)에서 관할

○

- GN은 실내공기질 문제를 예방하고 문제가 발생하는 즉시 해결할 수 있도록 배경 정보와 실질적 지침을 제공하는 것이 주요 목적이다.
- 실내공기질에 영향을 줄 수 있는 다양한 유해인자의 발생원, 관리방법 및 다음과 같은 실내공기질 목표치(IAQ Objectives for Office Buildings and Public Places)들을 제시하고 있다.

---

5) Guidance Notes for the Management of Indoor Air Quality in Offices and Public Places, EDP, 2019.

&lt;표5-5&gt; 홍콩 실내공기질 목표

| Parameter                                               | Unit               | 8-hour average |          | 비 고                   |
|---------------------------------------------------------|--------------------|----------------|----------|-----------------------|
|                                                         |                    | Excellence     | Good     |                       |
| Radon(Rn)                                               | Bq/m <sup>3</sup>  | < 150          | < 200    | 홍콩에서는<br>RAD7으로<br>측정 |
| Respirable Suspended<br>Particulates(PM <sub>10</sub> ) | μg/m <sup>3</sup>  | < 20           | < 180    |                       |
| Room Temperature                                        | ℃                  | 20 ~ <<br>25.5 | < 25.5   |                       |
| Relative Humidity                                       | %                  | 40 ~ < 70      | < 70     |                       |
| Air movement                                            | m/s                | < 0.2          | < 0.3    |                       |
| Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> )                       | ppm                | < 800          | < 1,000  |                       |
| Carbon Monoxide<br>(CO)                                 | μg/m <sup>3</sup>  | < 2,000        | < 10,000 |                       |
|                                                         | ppm                | < 1.7          | < 8.7    |                       |
| Nitrogen Dioxide<br>(NO <sub>2</sub> )                  | μg/m <sup>3</sup>  | < 40           | < 150    |                       |
|                                                         | ppb                | < 21           | < 80     |                       |
| Ozone (O <sub>3</sub> )                                 | μg/m <sup>3</sup>  | < 50           | < 120    |                       |
|                                                         | ppb                | < 25           | < 61     |                       |
| Formaldehyde<br>(HCHO)                                  | μg/m <sup>3</sup>  | < 30           | < 100    |                       |
|                                                         | ppb                | < 24           | < 81     |                       |
| Total Volatile<br>Organic Compounds<br>(TVOC)           | μg/m <sup>3</sup>  | < 200          | < 600    |                       |
|                                                         | ppb                | < 87           | < 261    |                       |
| Airborne Bacteria                                       | CFU/m <sup>3</sup> | < 500          | < 1,000  |                       |

○ PN 2/03(Practice Note for Managing Air Quality in Air-conditioned Public Transport Facilities - Railways) - HKSAR의 Environmental Protection Department(EPD)에서 관할

- PN은 홍콩 내에서 지역 철도 회사가 운영하는 냉난방이 갖춰진 시설을 대상으로 실내공기질을 관리하는 전문가들을 위한 지침으로 제공된다.
- 지침으로 제시하고 있는 것은 이산화탄소 농도로 수준 1(건강에는 문제가 없는 쾌적한 철도 시설의 양호한 공기질을 나타냄)과 수준 2(건강에는 문제가 없는 철도 시설의 공기질을 나타냄)로 나누어 제안하고 있으며, 상세하게 측정 주기, 시료채취 방법 등을 제시하고 있다.

| Parameter      | Air Quality Guidelines (Hourly average) |                                    |
|----------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
|                | Level 1                                 | Level 2                            |
| Carbon dioxide | 2,500ppm (4,500mg/m <sup>3</sup> )      | 3,500ppm (6,300mg/m <sup>3</sup> ) |

- 온열조건이 실내공기질의 인식에 영향을 주므로 온도(20~28℃)와 상대습도(40~70%)에 대한 권고 범위는 부록에서 정하고 있다.

다) 주요 건강 유해인자와 노출 수준

○ 지하철의 주요 건강유해인자 : 분진(e.g. silica), 소음, 라돈, 용접흄(Welding fume), 고열(특히 여름철), 인간공학적 인자 등

○ 분진

- 승차칸의 PM<sub>2.5</sub> 노출 수준 : 24.1 ~ 49.8μg/m<sup>3</sup> (실외 4.4 ~ 17.4μg

/m<sup>3</sup>)(Hai-Long Zheng et. 2017)

- 가장 높은 수준 : 167 ~ 255 $\mu$ g/m<sup>3</sup>(East rail line의 Beacon hill 터널 2.3km 구간)

※ IAQ 기준은 PM<sub>10</sub>을 기준으로 20 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 이하는 Excellent, 100 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 이하는 Good, WHO의 공기질 기준 PM<sub>10</sub> 50 $\mu$ g/m<sup>3</sup>; PM<sub>2.5</sub> 25 $\mu$ g/m<sup>3</sup>

○ 라돈과 그 딸 핵종(Radon and radon daughters)

- 터널을 뚫는 과정 : RDA 200 Radon Detector로 측정한 결과 72 ~ 4,920Bq/m<sup>3</sup> 수준이었으며, 근로자 노출수준은 3 ~ 930mWM(working level months) 수준이었음. 수로 건설 과정에서는 최대 30,000Bq/m<sup>3</sup> 이상, 환기 비가동시 10,000Bq/m<sup>3</sup> 이상, 대부분 1,000Bq/m<sup>3</sup> 이하 수준(폭파, 지하수, 환기 가동 중단 과정에서 높은 수준의 방사능에 노출).(WK. 1988)

- 지하철역 플랫폼

- 2017년 LAM 등의 연구<sup>3)</sup> : < 190 Bq/m<sup>3</sup>, F: 0.4, 역무원 노출 수준 < 20mWL
- 1996년 YU 등의 연구 : 29.6~63.5(평균 42)Bq/m<sup>3</sup>, F: 0.16~0.44 (평균 0.25), 역무원 폭로 수준 1.4 ~ 6.7(평균 3)mWL, 홍콩에서 자연 방사선 폭로로 인한 총폭로량은 연 2.7mSv이며, 다음의 표에서 나타냈듯이 야간 정비 작업자의 경우 지하철에서 라돈 폭로가 차지하는 비중이 16.4%에 이르러 의미가 있음을 알 수 있

음.(KN Yu, 1996)

**<표5-6> 직무별 라돈 폭로량**

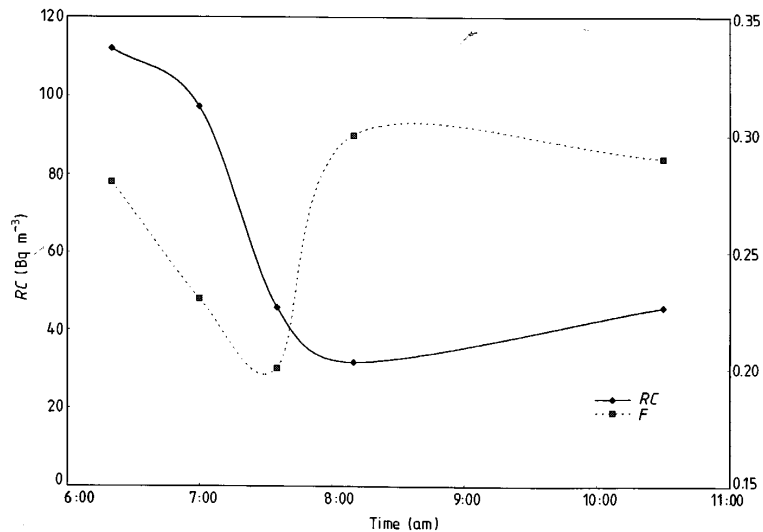
| Category                      | H(mSv/yr) | Percentage of total dose (%) |
|-------------------------------|-----------|------------------------------|
| Employee                      | 0.172     | 6.4                          |
| Commuter                      | 0.014     | 0.5                          |
| Night time maintenance worker | 0.443     | 16.4                         |

※ 국제 지침(ICRP publication 65, 1993) : 연 권고기준 4.8 WLM(working level months), 등가의 공기 중 농도 400 mWL, Reference level 500 - 1,500Bq/m<sup>3</sup>

※ 국제 지침(ICRP publication 126, 2014) : 연 20mSv 이하, 국가 참고치로 100 ~ 300Bq/m<sup>3</sup> 권고(300Bq/m<sup>3</sup> - 연간 유효선량으로는 직장 4mSv와 가정 14mSv에 해당)

● 지하철 역(YU 등의 연구)

- 역사(Admiralty station에서 조사)에서 라돈 농도(RC)와 potential alpha energy concentration(PAEC, F)의 시간대별 변화 추이 : 라돈의 경우 최고 120Bq/m<sup>3</sup>에 도달했다가 6시경 첫 번째 열차 운행 후 에어컨에 의한 환기와 객차에 의한 피스톤 환기 효과 영향으로 약 30Bq/m<sup>3</sup> 수준으로 급격하게 감소함. F(PAEC) 값의 경우도 최고 0.3정도에서 7:30분경 0.2로 낮아지다가 도로의 교통량 증가와 승객의 증가로 다시 증가하게 된다.



**[그림5-3] 홍콩 역사에서 실시간 PAEC 측정 데이터 그래프**

(3) 터널 공사 근로자에게서 발생된 직업병 현황

- 진폐증 : 2000년부터 2013년까지 Metro System에서는 총 21명(연 평균 1.5건 발생 - 홍콩 전체적으로는 연 평균 약 74명 발생, 2013년 이후로는 발생하지 않음), 기타 터널 공사에서는 9명이 발생하였음.
- 석면 관련 질환은 현재까지 발견되지 않았음.

### 3) 일본의 지하철 6)

6) 김태구, 일본의 지하철 관리현황, available from URL:  
<http://cfile233.uf.daum.net/attach/2079410D4A9BAF8C424CCB>

- 일본의 지하철은 도쿄도, 오사카, 나고야, 후쿠오카 등 11개의 도시에서 운영하고 있으며, 그 조직과 규모가 우리나라에 비해 아주 방대하다. 우리나라와 같이 지하철공사에서 운영하는 국철의 성격을 띤 노선도 있는 반면 개인 소유의 사철(私鐵)도 있어 그 노선의 중복도 많고 같은 구간이라도 운임이 다르다. 일본의 지하철은 하루 평균 수송인력이 약 1,300만명에 달해 전체 인구의 약 10%정도를 수송하고 있다. 또한 도쿄도의 지하철은 현재 13개 노선 164개의 역을 운영하고 있고, 노선의 길이가 177.2km, 보유차량수 2,455, 수송인원수는 2,053,404,000명으로 1일 평균 5,625,000명으로 서울과 비교하면 약 두 배에 달한다.
- 이런 방대한 규모임에도 불구하고 1995년 옴진리교 독가스 살포사건과 같이 테러성 사고 외에는 큰 사고 없이 관리되고 있는 것이 일본의 지하철이다. 그러나 일본의 지하철에서 사고가 없었던 것은 아니다. 1968년 동경 지하철 히비야선에서 화재 사고가 일어나 11명이 부상을 당하는 사고가 있었고, 1972년 후쿠이(福井)현 호리쿠(北陸) 본선의 심야침대열차가 터널을 지나던 중 식당차에서 화재가 발생해 30명이 사망하는 사고가 발생했다.
- 이 사고의 교훈에서 運輸省(현 국토교통성)에서는 1975년 철도영업법의 법령을 개정, 지하철의 환기시설기능과 피난통로에 대해 「엄격한 기준」을 적용하게 되었다. 환기는 적어도 1분에 1평방미터당 1입방미터를 배출할 수 있는 배연장치를 갖추어야 하며, 피난통로는 적어도 2개 이상을 확보하는 것을 최저기준으로 한 것이다. 사고를 100% 미연에 방지할 수는 없지만 이런 사고의 교훈에서 법령을 정비하고 적용하여 확인함으로 그 이후 큰 화재나 인명 피해가 없이 관리되고 있는 것이 일본의 지하철이라고 할 수 있다.



○ 일본의 지하철과 역에서 지금까지 안전하게 화재사고를 방지할 수 있었던 이유를 위험 관리의 측면에서 살펴보면, 첫째, 차량과 차량내부의 재질을 불에 타지 않는 불연재질로 교체하여 사용했기 때문이다. 후쿠이현의 사고직후 일본정부는 전동차의 시트, 단열재, 방음재 등 내외장재를 차량의 경우는 알루미늄, 좌석은 난연성섬유, 바닥은 난연성 수지불연성 재료로 교체하였고, 특히 좌석과 바닥의 시트는 알코올 0.5cc를 묻혀 연소시켜도 발화하지 않도록 하였다. 둘째, 완성된 차량은 외관시험, 기능시험, 절연시험, 강수량이 시간당 150mm 이상이라고 가정 시 차내의 누수를 시험하는 강수시험, 비가곡선의 통과시험 후 전차가 안전하게 운행될 수 있는가를 시험하는 한계시험까지 철저한 검사를 통하여 안전운행을 추구하고 있다. 셋째, 강력한 법을 배경으로 한 제도적인 장치를 통하여 근원적인 안전을 확보하는 체계를 갖추고 있다고 할 수 있다.

#### 4) 결론

○ 본 연구에서는 지하철의 건강 유해인자 관리를 중심으로 해외 도시의 지하철 관리 사례를 알아보고자 하였다. 홍콩 지하철의 경우는 산업보건 전문가를 초청하여 유해인자 관리 방안과 법적인 사항 등을 비교적 상세하게 살펴볼 수 있었다. 특히, 지하철에서 발생하는 먼지나 라돈 등의 유해인자 발생특성, 관리를 위한 법적 기준과 시설, 그리고 무엇보다 환기시설 중 급기의 방법은 우리 지하철 시설에도 시사하는 바가 있었다.

○ 그러나 일본을 포함한 다른 나라의 경우 지하철의 다양한 운영 행태(국철, 사철 등), 지역적 특성 및 환경, 도시 규모 등에 따라 매우 다양한 관리 방법

이 존재하고, 인터넷 자료의 부족 등으로 인하여 지하철 관련 자료를 확보하는 데는 많은 어려움이 있었다. 외국 지하철 자료를 활용한 지하철 개선 관리 방안은 추후에 좀 더 깊은 연구가 필요하다고 할 수 있다.

## 〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 한국방송통신대학교 산학협력단

연구책임자 : 박동욱(교수, 한국방송통신대 환경보건학과)

공동연구원 : 최상준(교수, 대구가톨릭대학교 산업보건학과)

박주현(부교수, 동국대학교 통계학과)

곽현석(책임연구원, 근로복지공단 직업환경연구소)

이윤근(소장, 노동환경건강연구소)

하권철(교수, 창원대학교 보건의과학과)

고동희(부교수, 가톨릭관동대학교 국제성모병원)

연구보조원 : 김소연(연구조교, 한국방송통신대 환경보건학과)

연구상대역 : 박정근(선임연구위원, 직업환경연구실)

## 〈〈연 구 기 간〉〉

2019.04. ~ 2019.10.

본 연구는 산업안전보건연구원의 2019년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

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

**산업안전보건연구원장**

## **지하철 근로자 직무별 가이드 마련 연구**

(2019-연구원-1424)

---

발 행 일 : 2019년 10월 31일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 고 재 철

연구책임자 : 한국방송통신대학교 교수 박 동 옥

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : (052) 7030-882

F A X : (052) 7030-337

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

---