

ORIGINAL ARTICLE

## 구리원석광산에서의 Elemental Carbon (EC) 노출에 관한 사례연구

이수길<sup>1)</sup> · 김정희<sup>2)</sup> · 김성수\*

부산가톨릭대학교 환경행정학과, <sup>1)</sup>Work Health and Environment Pty Ltd., Australia, <sup>2)</sup>한서대학교 화학공학과

### A Case Study of Exposure to Elemental Carbon (EC) in an Underground Copper Ore Mine

Su-Gil Lee<sup>1)</sup>, Jung-Hee Kim<sup>2)</sup>, Seong-Soo Kim\*

*Department of Environmental Administration, Catholic University of Pusan, Busan 46252, Korea*

<sup>1)</sup>*Work Health and Environment Pty Ltd., SA5068, Australia*

<sup>2)</sup>*Department of Chemical Engineering, Hanseo University, Seosan 31962, Korea*

#### Abstract

Exposure to Diesel Particulate Matter (DPM) potentially causes adverse health effects (e.g. respiratory symptoms, lung cancer). Due to a lack of data on Elemental Carbon (EC) exposure levels in underground copper ore mining (unlike other underground mining industries such as non-metallic and coal mining), this case study aims to provide individual miners' EC exposure levels, and information on their work practices including use of personal protective equipment. EC measurement was carried out during different work activities (i.e. drilling, driving a loader, plant fitting, plant operation, driving a Specialized Mining Vehicle (SMV)) as per NIOSH Method 5040. The copper miners were working 10 h/day and 5 days/week. This study found that the most significant exposures to EC were reported from driving a loader (range 0.02-0.42 mg/m<sup>3</sup>). Even though there were control systems (i.e. water tanks and DPM filters) on the diesel vehicles, around 49.5% of the results were over the adjusted recommendable exposure limit (0.078 mg/m<sup>3</sup>). This was probably due to: (1) driver's frequently getting in and out of the diesel vehicles and opening the windows of the diesel vehicles, and (2) inappropriate maintenance of the diesel vehicles and the DPM control systems. The use of the P2 type respirator provided was less than 19.2%. However, there was no significant difference between the day shift results and the night shift results. In order to prevent or minimize exposure to EC in the copper ore mine, it is recommended that the miners are educated in the need to wear the appropriate respirator provided during their work shifts, and to maintain the diesel engine and emission control systems on a regular basis. Consideration should be given to a specific examination of the diesel vehicles' air-conditioning filters and the air ventilation system to control excessive airborne contaminants in the underground copper mine.

**Key words** : Elemental carbon, Copper ore mine, Diesel-powered equipment, Particulate matter

Received 23 May, 2017; Revised 28 August, 2017;

Accepted 29 August, 2017

\*Corresponding author: Seong-Soo Kim, Department of Environmental Administration, Catholic University of Pusan, Busan 46252, Korea  
Phone: +82-51-510-0620  
E-mail: sskim@cup.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

다양한 작업환경이나 생활환경 속에서 디젤엔진의 작동으로 인해 여러 오염물질들이 배출된다. 그 오염물질에는 입자상의 물질(예, Elemental Carbon; EC, Organic Carbon; OC, 중금속 입자 등)과 가스상의 물질(예, 황화성 가스, 질소성 가스, 일산화탄소, 이산화탄소, 알데하이드계, 휘발성 유기화합물 등)이 포함된다. 디젤엔진의 연소에서 발생하는 입자상 물질(Diesel Particulate Matter; DPM)의 크기는 일반적인 호흡기성 입자( $4\ \mu\text{m}$ 의 50% 절취점)보다 훨씬 작은  $1\ \mu\text{m}$ 이하로 정하고 있으며, DPM에 급성 혹은 만성적인 노출로 인해 다양한 건강상의 영향들(예, 호흡기성 염증, 폐질환, 직업성 천식, 심장질환, 눈과 코의 자극, 어지러움, 구토, 두통 등)이 나타내기도 한다(Sydbom et al., 2001; Morawska et al., 2005; Hart et al., 2009; Rissler et al., 2012). 1997년 호주의 석탄광산과 연관된 암 연구결과는 광산 작업자들에 대한 폐암발생 위험도가 높지 않다고 보고하였으나, 다른 여러 통계학적인 자료들과 연구보고서들에 따르면 폐암의 가능성을 무시할 수는 없다(Brown et al., 1997; MSHA, 2001; Bae and Park, 2012; Vermeulen et al., 2013). 특히 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer)는 디젤엔진의 연소에서 발생하는 물질을 Group 1인 ‘인체 암 발생물질(carcinogenic to humans)’로 지정하고 있다(IARC, 2012; MSHA, 2016). 그러나 이 결과는 일반인에게 적용되기보다는, 밀폐된 공간에서 장기적으로 노출가능성이 높은 광산의 작업자들과 지상에서의 디젤엔진 운전자들에게 초점을 두고 있다. 이러한 건강상의 영향 때문에 광산과 같이 밀폐된 장소에서는 작업장 터널 내의 환기가 중요할 뿐만 아니라, 보다 적극적인 방법으로 방진시스템을 설치하여 디젤엔진의 연소과정에서 발생하는 DPM을 제거하는 것이 중요할 것이다(Ambs and Hillman, 1992; MSHA, 2001; Davies, 2002).

디젤엔진에서 발생하는 DPM을 공기 중으로부터 따로 포집하여 공기 중의 농도를 측정하기는 쉽지가 않은데, 이는 그 입자상 물질이 동시에 생성되는 다른 입자상 물질(예, 호흡기성 분진, 오일입자, 중금속, 휘발성유기물질 등)과의 결합에 의한 간섭을 배제할 수

없기 때문이다(Kittelson, 1988; Cantrell et al., 1990; Birch and Cary, 1996; Verma, 1999; Noll et al., 2006; Noll et al., 2007). 그러나, 발생 가능한 입자들 간의 간섭을 최대한 줄이면서 디젤엔진에서 발생하는 입자상 물질(DPMs)을 측정할 수 있는 방법(NIOSH Method 5040-U.S, MDG-29-AUS)이 제시되었다. 이 방법은 호흡기성 입자 포집 장비인 cyclone sampling head를 이용해 공기 중에 부유된 DPM을 quartz filter (직경  $2\ \text{mm}\sim 37\ \text{mm}$ )에 흡착시켜 측정한다. 비록, 이 방법이 디젤엔진에서 발생하는 EC와 다른 입자상 물질(DPMs)과의 연관성에 대해 더 많은 연구가 필요하다고 지적하고 있지만(Noll et al., 2007; NIOSH, 2011), 현재 NIOSH Method 5040과 MDG-29의 방법으로 공기 중 디젤엔진에서 발생하는 DPM을 포집할 수 있는 상업용 DPM 샘플링 포집기(SKC 37 mm quartz filter, part No 225-317)가 주로 이용되고 있으며, 이 포집기는 Dorr-Oliver 사이클론 샘플러 위에 장착되어 같이 사용되고 있다.

광산 작업자들에서 디젤엔진으로부터의 EC노출측정값에 대한 연구는 주로 석탄광산에 집중되어있다. 그 이유는 석탄광산에서 발생하는 총 EC의 양은 석탄을 채취하고 운반하는 과정에서 발생하는 탄소입자들과 디젤엔진에서 발생하는 탄소입자들을 합한 양이므로, 석탄 채취과정에서 발생하는 탄소입자의 양을 배제하면 디젤엔진에서 발생한 순수한 EC를 측정할 수 있기 때문이다(Pratt et al., 1997; Joint Coal Board, 1999; Rogers and Davies, 2001; Cohen et al., 2002; Liukenen et al., 2002; NIOSH, 2003; Noll and Birch, 2004; DPI, 2008; Coble et al., 2010; Stewart et al., 2010). 따라서 다른 광산에서 EC의 노출측정자료에 대한 연구는 충분치 않은 실정이다. 이렇게 연구된 디젤엔진의 EC의 노출측정값은 광산 자체에서 탄소의 발생이 거의 없는 금속 및 비금속 광산에 그대로 적용하여 광산작업자들의 건강상의 위험가능성을 예측하고 예방하는데 활용되고 있다(Rogers and Davis, 2001; Van Niekerk et al., 2002). 하지만, 금속광산에서 EC노출측정값이 디젤엔진에 의한 EC양에만 영향을 받는다고 가정하더라도 작업자들에게 노출되는 EC양은 터널과 환기시스템의 구조 및 성능, 작업자들의 근무시간 및 작업조건 그리고 작업자 개인의 행동과

습관에 영향을 받는다. 그러므로 본 사례연구는 한 구리광산의 디젤엔진에서 발생하는 EC의 농도를 측정하고, 이를 통해 구리광산에서 근무하는 광부들의 EC에 노출되는 정도를 직접 측정하고, 아울러 지하터널 내에 광부들의 건강과 안전을 위한 안전시설과 그들의 작업행동 그리고 보호장구의 사용정도를 알아보고자 한다.

## 2. 연구 방법

본 사례연구에서 디젤엔진에서 배출되어 구리광산("C-mine", New South Wales, Australia)의 지하작업장에 부유하는 여러 종류의 입자 중에서 호흡기성 입자로 분류되는 입자상 물질(DPMs)을 포집할 수 있는 방법으로, NIOSH Method 5040을 이용하였다.

상업용 DPM 샘플링 포집기(SKC 37 mm quartz filter, part No 225-317)는 사용 전에 밀봉된 데시게이터 속에 24시간 보관하여 현장에서의 기후조건에 맞는 상태를 유지시켰다. 준비된 포집기를 Dorr-Oliver 샘플러와 결합하였고, 광산 내에서의 전자장비로 인한 폭발방지용 안전 공기 채취 펌프(SKC 224-PCMA4와 224-PCMA8)와 연결하여 1.7 L/min의 유속으로 공기를 흡입시켜 DPM을 석면필터 위에 포집하였다. 샘플러의 위치는 Fig. 1과 같이 작업자의 머리 중심으로부터 반경 30 cm 이내인 작업자의 옷깃에 부착하였다. 이 측정기간 동안 사용된 펌프도 보정된 공기유량계를 이용하여 DPM 포집 전·후에 그 유속을 유지 및 보정하였다. DPM의 포집이 끝난 후, 모든 포집기들은 금속상자 속에 수직으로 보관하여 격한 움직임이나 충격으로 인한 포집기의 전복으로 필터위에 포집된 DPM의 손실을 방지하였으며, 밀봉된 데시게이터 속에서 24시간이 지난 후 분석실험실로 보내어졌다. 분석방법은 NIOSH Method 5040에 따라 이루어졌다. 이때, 분석의 민감도 즉 분석한계치는 0.1 µg/filter (EC)이었다.

결과에 대한 통계적 분석은 Microsoft Excel program을 이용하여 계산하였고, 그 결과의 신뢰도는 평균값(GM : Geometric Mean)과 표준편차(STDEV : Standard Deviation)로 나타내었다. 또한, 각기 다른 작업시간대와 공정으로부터 측정된 다른 결과들을 한

그래프에서 서로 비교할 수 있도록 하기 위하여, 개별적인 측정값들의 빈도에 따라 백분율을 축적시키는 방법으로 누적백분율을 이용하여 그 측정된 값들을 비교하였다. 하지만 모든 개인정보와 그들의 측정결과들은 외부에 노출되지 않게 보안·유지되었다.

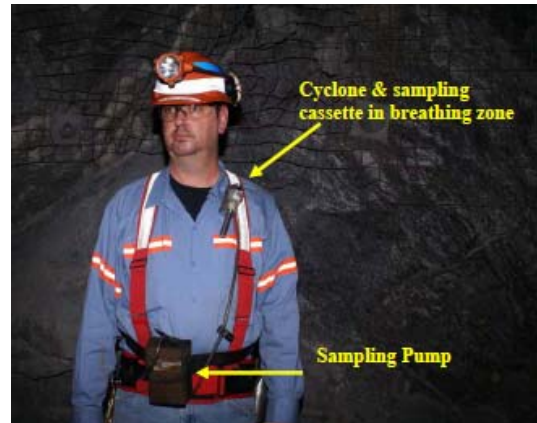


Fig. 1. Location of sampling head (Source: Nevada Mining Asso., 2008, Chapter 6, P2-4).

여기서 측정된 시간은 주간조(0630~1830 hrs)와 야간조(1830~0630 hrs) 둘로 나누어 이루어졌다. 이때, 광산 내 광부 및 운전자들의 작업시간은 보통 하루에 10시간, 일주일에 5일이었다. 그리고 측정대상은 디젤엔진이 사용된 다양한 작업공정 즉, drilling, general tasks (광산내의 다른 광부들과 작업자들을 돕는 역할), driving loader, plant fitter (디젤엔진장비의 정비), plant operator (디젤엔진장비의 조종, 관리 및 상태확인) 그리고 Specialized Mining Vehicle (SMV, 광부들의 운송수단)의 운전이 투입된 이들이 선정되었다. 이들 작업자들로부터 작업도중 호흡기보호장구의 사용여부를 조사하였으며, 측정이 끝난 후에는 각 운전자들에게 디젤엔진장비의 운전시 터널 내에서 평상시와 다른 작업환경이나 창문을 연 경험 여부도 아울러 조사하였다.

포집된 DPM 샘플들로부터 EC를 분석하고, 측정된 결과값들로부터 개개인에 대한 EC노출정도를 평가하기 위해 EC 허용노출기준치(Permissible Exposure Limit; PEL)를 이용 할 수 있는데, 미국(MSHA, 2008, 2016)에서는 전체 탄소량의 허용노출기준치를 0.35

mg/m<sup>3</sup>에서 0.16 mg/m<sup>3</sup>(약 0.12 mg/m<sup>3</sup> EC)로 낮추었으며, 호주의 MDG-29 (DPI, 2008)와 영국의 Health and Safety Laboratory (HSL, 2005)에서는 그 허용기준치를 0.1 mg/m<sup>3</sup>(EC)로 제시하고 있다. 이 허용노출기준치들은 하루에 8시간, 일주일에 40시간 동안의 노출시간 기준으로, 현재 우리 나라에서는 EC에 대한 작업장에서의 허용노출기준이나 제시된 한계치가 규정되어 있지 않기 때문에 본 사례연구에서는 EC의 측정치들을 호주의 노출허용범위와 비교하였다.

본 사례연구에서는 작업시간이 하루에 10시간, 일주일 50시간이므로 아래에 나타난 호주의 MDG-29에서 제시된 보정법을 이용하여 EC의 허용노출기준을 0.078 mg/m<sup>3</sup>로 보정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{보정된 노출허용기준} \\ & = \text{correction factor} \times 0.1 \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{correction factor} = P / (M \times W)$$

여기서, correction factor는 MDG-29에서 제시한 디젤연소물질의 장기간 노출로 인하여 호흡기성 질병이 발생할 수 있는 기준시간(P=170 hrs/month)과 본 연구대상인 현장의 작업기준에 따른 한 달의 노동시간(M×W)의 비가 된다(M=365 days/12 months, W=5×10 hrs/7 days).

### 3. 결과 및 고찰

본 연구는 구리원석광산에서 다양한 작업공정에 소속되어 일하고 있는 광부들과 디젤엔진장비 운전자들을 대상으로 디젤엔진으로부터 연소되어 발생하는 EC의 노출정도를 측정하였다. EC측정 방법은 NIOSH Method 5040에 따라 이루어졌고, 개개인들에 대한 EC측정은 주간조(0630~1830 hrs)와 야간조(1830~0630 hrs)로 나누어 이루어졌다. 측정기간 동안 터널 내의 작업환경은 여느 때와 다름없었다. 연소 시 발생하는 입자상 물질의 대기 유출을 최소화하기 위해, 디젤엔진 장비에 디젤산화촉매를 이용하는 구조방식 또는 디젤엔진용 필터가 장착되었다. 광산 터널내의 유해성 오염물질을 줄이기 위해 온도와 습도를 조절하

고, 광산입구로부터 공기를 주입하고 바닥으로부터 공기를 흡입하여 외부로 뽑아낼 수 있는 환기시스템을 설치하여 신선한 공기를 제공하고 있었다.

그러나, DPM의 호흡기관을 통한 인체 유입을 방지하거나 최대한으로 그 흡입량을 줄일 목적으로 drilling, general tasks, loader 운전, plant fitter, plant operator, SMV운전에 종사하는 작업자들에게 디젤엔진에 적합한 호흡기 개인보호장구들(예, Disposable 3M Cupped Particulate Respirator 8822, P2 Valved; 3M Half Face Respirator 7500 Series with 3M Particulate Filters 2128, GP2)이 지급되고 있었으나, 그들의 대부분은 작업실 내에 있을 때는 호흡기 개인보호장구를 착용하지 않았고 (주간조-15.6%, 야간조-19.2% 착용), 작업실에 설치된 에어컨에 의지하여 차량 실내의 입자상 물질을 통제하고 있었으나 차량 실내에는 많은 먼지가 있었음을 확인하였다. 특히, Table 1과 Table 2에서 알 수 있는 바와 같이, loader 운전자는 호흡기 보호장구를 전혀 착용하지 않았다. 디젤장비의 작업실 내에서 일하는 운전자들은 작업의 상태를 확인하기 위해 승·하차 횟수가 잦았으며, 다른 디젤장비의 운전자들과 주위 광부들과의 의사소통을 위해 창문을 빈번하게 여닫는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 측정기간 동안 주간조에서는 야간조보다 디젤장비의 정비와 보수에 더 많은 시간을 할애하고 있었으므로, 야간조가 주간조보다 많은 작업량을 소화하고 있었음을 확인 하였다. 작업량을 측정하는 동안 광산내의 작업환경은 여느 때와 별 다름이 없었다.

본 작업장에서는 모든 디젤엔진 연소 시 발생할 수 있는 EC를 포함한 유해성입자를 제어할 수 있는 장치와 Ambs and Hillman(1992)과 Davies(2002)에 의해 강조되었던 터널 내에 환기시스템이 설치되어 있었으나, 본 사례연구로부터 얻어진 전체시료의 절반가량(49.5%)이 작업시간의 보정에 따른 허용노출기준보다 높은 측정결과를 보여주었다. 이는 잠재적으로 광산내의 작업자들에 대한 EC노출을 간과할 수 없는 수준이며, 더욱이 대부분의 디젤엔진장비 운전자들이 호흡기 개인보호장구를 착용하지 않고 실내에 장착된 에어컨에 의지한다면 EC와 다른 유해성 입자들에 대한 노출의 심각성은 더욱 커질 것으로 보인다. 다른 광부들 돕는 일(general tasks)을 하는 광부들에게도

**Table 1.** Personal airborne elemental carbon exposure monitoring results during the day shift (0630 - 1830 hrs)

Work activities monitored	Number of samples (n=)	Statistics (GM±STDEV mg/m <sup>3</sup> )	Respirator use
General tasks	4	0.07 ± 0.03	25.0%
Drilling	5	0.05 ± 0.04	20.0%
Driving loader	9	0.11 ± 0.12	Nil
Plant fitter	3	0.05 ± 0.08	Nil
Plant operation	11	0.05 ± 0.06	18.2%
Driving SMV	13	0.08 ± 0.08	23.1%
Total	45	0.07 ± 0.08 (Range 0.004 ~ 0.38 mg/m <sup>3</sup> )	15.6%

Note: GM (Geometric Mean), STDEV (Standard Deviation)

호흡기 개인보호장구의 사용 역시 시급한 것으로 보인다.

Table 1은 주간 동안 채취된 총 45개의 샘플들로부터 각각의 작업형태에 따른 광산의 광부 및 운전자들에게서 얻어진 EC의 노출측정범위(minimum ~ maximum)의 통계적 결과값들을 나타내고 있다. 그 결과, loader 운전(0.02~0.38 mg/m<sup>3</sup>)과 SMV 운전(0.02~0.34 mg/m<sup>3</sup>)에 대한 측정결과들은 다른 작업공정(0.01~0.16 mg/m<sup>3</sup>)들 보다 훨씬 높은 노출 수치를 보여주고 있다. Table 2는 야간 동안 총 52개의 EC의 측정결과를 보여준다. 특히 drilling(0.03~0.22 mg/m<sup>3</sup>), loader 운전(0.08~0.42 mg/m<sup>3</sup>)과 SMV 운전(0.005~0.22 mg/m<sup>3</sup>)의 측정결과들은 다른 작업공정의 노출치(0.02~0.15 mg/m<sup>3</sup>)들 보다 훨씬 높았다. 물론 구리원석광산에서 측정된 EC의 노출에 관한 자료가 충분

히 보고되어 있지 않기 때문에, 본 연구의 측정결과를 다른 문헌과 비교하기 쉽지는 않으나, 다른 나라의 비금속 광산이나 석탄광산에서 측정된 EC의 측정결과들과 비교해보면, Joint Coal Board(1999), Coble et al.(2010), 및 Rogers and Davis(2001)에서 보고된 각각 0.01~0.37 mg/m<sup>3</sup>, 0.031~0.488 mg/m<sup>3</sup> 및 0.01~0.42 mg/m<sup>3</sup>의 측정범위가 본 연구에서 측정된 노출범위와 매우 유사하다는 것을 알 수 있다. Table 2에서 보는 바와 같이 야간조에서의 drilling과 loader 운전의 측정결과들이 주간조보다 약간 높은 측정값을 보여준다. Table 1과 Table 2에서 보여주듯이 야간의 drilling과 loader 운전의 결과가 주간보다 높은 이유는 부여된 작업의 양에 따라 늘어난 실질적인 작업시간과 설문조사로부터 알려진 다양한 운전자들의 작업행동, 즉 작업상황을 확인하고 다른 작업자들과의

**Table 2.** Personal airborne elemental carbon exposure monitoring results during the night shift (1830 - 0630 hrs)

Work activities monitored	Number of samples (n=)	Statistics (GM±STDEV mg/m <sup>3</sup> )	Respirator use
Drilling	9	0.09 ± 0.06	22.2%
Driving loader	8	0.13 ± 0.11	Nil
Plant fitter	6	0.02 ± 0.04	33.3%
Plant operation	15	0.03 ± 0.04	6.70%
Driving SMV	14	0.07 ± 0.05	35.7%
Total	52	0.05 ± 0.07 (Range 0.002 ~ 0.42 mg/m <sup>3</sup> )	19.2%

Note: GM (Geometric Mean), STDEV (Standard Deviation)

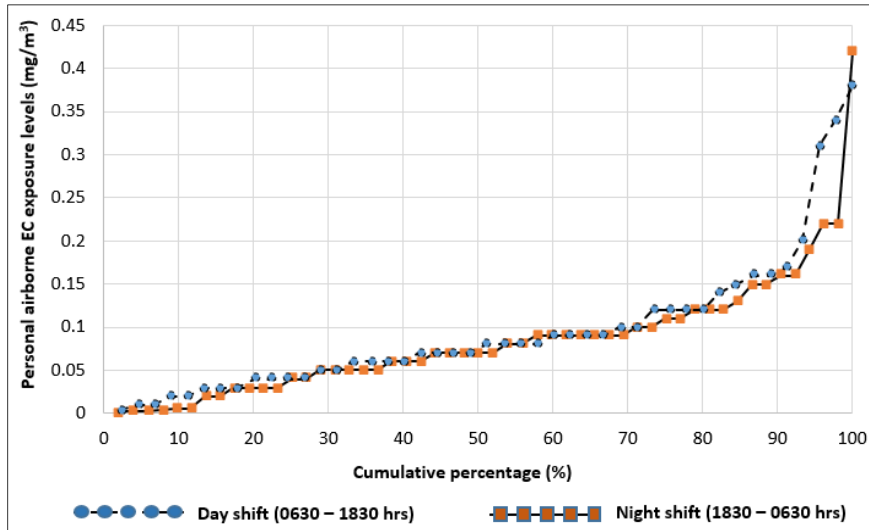


Fig. 2. Comparison of personal EC exposure levels measured from the two shifts (day and night).

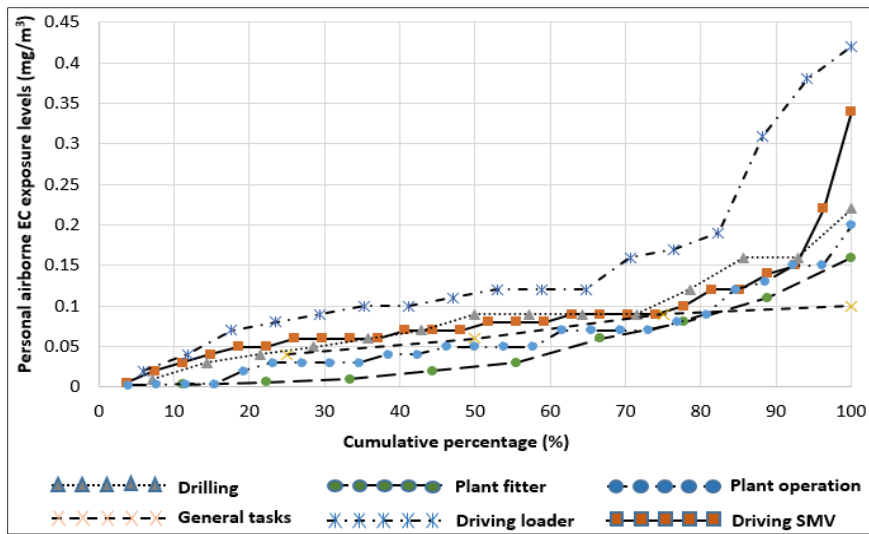


Fig. 3. Comparison of personal EC exposure levels measured from different operations during a whole day.

소통을 위한 잦은 승·하차와 창문을 여는 작업행동 그리고 부적절한 엔진장비에 대한 정비와 디젤엔진 입자상 물질을 저감하기 위한 장치의 관리에 기인하는 것으로 추정된다.

Fig. 2는 주간조와 야간조에서 측정된 EC의 측정치를 보여주고 있으나, 그 측정결과는 거의 유사한 경향을 보여주고 있음을 알 수 있다. 주간 동안 EC의 측정

된 노출범위는 0.004~0.38 mg/m<sup>3</sup>(GM±STDEV 0.07±0.08 mg/m<sup>3</sup>)이었다. 23개 시료(51%)는 보정법을 이용한 허용노출기준(0.078 mg/m<sup>3</sup>)보다 높은 측정 결과를 보여주었다. 야간 동안 그 노출범위는 0.002~0.42 mg/m<sup>3</sup>(GM±STDEV 0.05±0.07 mg/m<sup>3</sup>)로 나타났다. 25개의 시료(48%)는 허용노출기준보다 높은 측정 결과를 보여주었다. 비록 디젤엔진장비의 보수와

유지가 주간에 많이 이루어지므로 야간에 더 많은 작업량이 있었지만, 그 요소들이 측정결과에 큰 차이를 주지 않았음을 알 수 있었다.

Fig. 3에서는 주간과 야간으로부터 얻어진 측정결과로부터, 각기 다른 작업공정 간의 측정결과를 비교할 수 있는데, loader 운전(n=17, 0.02~0.42 mg/m<sup>3</sup>, GM±STDEV 0.12±0.11 mg/m<sup>3</sup>)의 측정결과가 다른 작업공정 보다 월등히 높음을 알 수 있다(drilling n=14, 0.01~0.22 mg/m<sup>3</sup>, GM±STDEV 0.07±0.06 mg/m<sup>3</sup>; general tasks n=4, 0.04~0.1 mg/m<sup>3</sup>, GM±STDEV 0.07±0.03 mg/m<sup>3</sup>; plant fitter n=9, 0.03~0.16 mg/m<sup>3</sup>, GM±STDEV 0.03±0.05 mg/m<sup>3</sup>; plant operation n=26, 0.002~0.2 mg/m<sup>3</sup>, GM±STDEV 0.04±0.05 mg/m<sup>3</sup>; driving SMV n=27, 0.005~0.34 mg/m<sup>3</sup>, GM±STDEV 0.07±0.07 mg/m<sup>3</sup>).

#### 4. 결론

지하 구리광산 내의 다양한 디젤엔진(loaders, SMVs)의 연소과정에서 발생된 EC에 대한 구리광산 근로자들의 노출 정도와 그들의 작업행동 및 EC에 대한 노출을 방지하기 위한 개인 보호장구의 사용방법을 조사하였다. 본 사례연구의 대상이 된 구리광산에서는 디젤엔진에서 발생하는 EC의 공기 중 누출을 방지하기 위해 디젤엔진 장비에 EC필터를 장착하였다. 그러나 EC의 누출을 예방하기 위한 디젤엔진 차량에 대한 정비 및 점검이 적절히 이루어지지 않았음을 알 수 있었다. 비록 광산 내에 적절한 환기시스템을 설치하여 신선한 공기를 외부로부터 유입하고, 광산 내의 광부들에 대한 EC 노출을 줄이려고 적절한 호흡기 보호장구가 지급되었음에도 불구하고 80% 이상의 광부들은 그 지급된 보호장구를 사용하지 않았음이 밝혀졌다. 특히 다른 작업자들을 돕거나 작업에 관련된 의사소통을 위하여 차량에서 내리거나 창문을 자주 열고 닫는 행위가 조사되어 EC의 노출에 대한 위험이 우려되었다. 본 연구기간 동안 디젤차량의 정비에 많은 시간을 할애했던 주간 동안의 EC노출범위(0.004~0.38 mg/m<sup>3</sup>)는 주간보다 더 작업량이 많은 야간 동안에 측정된 EC노출범위(0.002~0.42 mg/m<sup>3</sup>)보다 낮았다. Loader운전자들의 EC노출결과(0.02~0.42

mg/m<sup>3</sup>)가 다른 디젤엔진의 운전자들보다는 훨씬 높았음을 알 수 있었는데, 이는 다른 작업자들을 돕거나 작업에 관련된 의사소통을 위하여 차량에서 내리거나 창문을 자주 열고 닫는 부적절한 행위와 관련이 있었음을 알 수 있었다.

본 사례연구의 측정결과, 작업자들에 대한 작업행동 및 차량정비에 대한 조사결과를 통해서 다음의 몇몇 개선책들이 제시되었다. 디젤엔진의 연소에서 발생 가능한 EC를 포함한 여러 유해성 입자들의 발생을 줄이기 위하여, 디젤엔진장비를 철저히 유지 및 관리하고, 설치된 수조와 디젤엔진용 필터의 성능을 매 주마다 확인하며, 수조와 필터에 대한 청결유지와 상태 확인이 중요하다. 또한, 호흡기 개인보호장구의 저조한 사용을 개선하기 위하여, 이 광산에서 일하는 여러 광부들과 운전자들에게 디젤엔진의 연소에서 발생하는 유해성입자들이 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있음을 이해시키고, 호흡기 개인보호장구의 올바른 사용방법과 그 사용의 중요성을 일깨워 줄 수 있는 교육을 통하여, 이들이 호흡기 개인보호장구 사용의 중요성을 스스로 인지하여 EC와 다른 유해성 입자들에 대한 노출을 적극적으로 줄이도록 해야 할 것이다. 그리고, 디젤엔진장비를 운전하는 운전자들의 경우에는 작업의 특성으로 인해 작업과정 중에서 발생할 수 있는 잦은 승·하차와 창문을 여는 행동을 저지할 수 없지만, 이러한 운전자들에도 역시 스스로 호흡기 개인보호장구를 착용하여 EC에 대한 노출을 줄이도록 해야 할 것이다. 디젤엔진장비의 에어컨 필터를 자주 점검하고 교체하는 것도 잠재적인 EC의 노출을 막을 수 있는 방법이다. 마지막으로, 디젤엔진의 연소에서 발생하는 오염물질들과 작업과정에서 발생 가능한 호흡기성 입자들을 효율적으로 통제할 수 있도록 터널 내의 환기시스템의 성능 또한 재점검할 필요가 있다.

#### REFERENCES

- Ambs, J., Hillman, T., 1992, Disposable and re-usable diesel exhaust filters, US Bureau of Mines Information Circular No. IC9324, U.S.
- Bae, H., Parl, J., 2012, A Review on diesel engine exhaust and lung cancer risks, J. Environ. Health. Sci., 38, 277-290.

- Birch, M., Cary, R., 1996, Elemental carbon-based method for occupational monitoring of particulate diesel exhaust: Methodology and exposure issues, *Analyst*, 121, 1183-1190.
- Brown, A., Christie, D., Taylor, R., Seccombe, M., Coates, M., 1997, The occurrence of cancer in a cohort study of New South Wales coal miners, *Aust. NZ. J. Public Health*, 21, 29-32.
- Cantrell, B., Rubow, K., Pittsburgh, P., 1990, Mineral dust and diesel aerosol measurements in underground metal and nonmetal mines, U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Publication No 90-108, U.S.
- Coble, J., Stewart, P., Vermeulen, R., Yereb, D., Stanevich, R., Blair, A., Silverman, D., Attfield, M., 2010, The diesel exhaust in miners study: II. Exposure monitoring surveys and development of exposure groups, *Ann. Occup. Hyg.*, 54, 747-761.
- Cohen, H., Borak, J., Hall, T., Sirianni, G., Chemerynski, S., 2002, Exposure of miners to diesel exhaust particulates in underground nonmetal mines, *Am. Indust. Hygiene. Assoc. J.*, 63, 651-658.
- Davies, B., 2002, The efficiency of diesel exhaust filters used in underground coal mines, The AIOH 20th Annual Conference, Australian Institute of Occupational Hygienists (AIOH).
- DPI, 2008, Guideline for the management of diesel engine pollutants in underground environments - MDG 29, NSW Department of Primary Industries, URL: [www.dpi.nsw.gov.au/minerals/safety](http://www.dpi.nsw.gov.au/minerals/safety)
- Hart, J., Laden, F., Eisen, E., Smith, T., Garshick, E., 2009, Chronic obstructive pulmonary disease mortality in railroad workers, *Occupational and Environmental Medicine*, 66, 221-226.
- HSL, 2005, Controlling and monitoring exposure to diesel engine exhaust emissions in coal mines, HSL/2005/55, Health and Safety Laboratory, U.K.
- IARC, 2012, IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic, press release No 213, International Agency for Research on Cancer, URL: [http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_E.pdf)
- Joint Coal Board, 1999, Diesel particulate in coal mines - Questions and answers, question #7, 1<sup>st</sup> ed., The Joint Coal Board 1999, NSW, Australia.
- Morawska, L., Hofman, W., Hitchins-Loveday, J., Swanson, C., Mengersten, K., 2005, Experimental study of the deposition of combustion aerosol in the human respiratory tract, *J. Aerosol. Sci.*, 36, 939-957.
- MSHA, 2001, Diesel particulate matter exposure of underground metal and nonmetal miners; Final rule, Mine Safety and Health Administration, 30 CFR Part 57, U.S. Federal Bulletin 50.
- MSHA, 2008, Diesel particulate matter exposure of underground metal and nonmetal miners, Mine Safety and Health Administration, 30 CFR Part 57, U.S. Federal Register, 73(98).
- MSHA, 2016, Exposure of underground miners to diesel exhaust, Mine Safety and Health Administration, 30 CFR Part 57, 70, 72 and 75, U.S. Federal Register, 81(110).
- NIOSH, 2003, Diesel particulate matter (as elemental carbon), NIOSH manual of analytical methods 5040, fourth edition, National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH Publication 2003-154.
- NIOSH, 2011, Diesel aerosols and gases in underground mines: Guide to exposure assessment and control, RI 9687 Report of Investigations/2011, Dept. of Health and Human Services, DHHS (NIOSH) Publication 2012-101.
- Noll, J., Birch, M., 2004, Evaluation of SKC DPM cassettes for monitoring diesel particulate matter in coal mines, *J. Environ. Monit.*, 6, 973-978.
- Noll, J., Bugarski, A., Patts, L., Mischler, S., Mc Williams, L., 2007, Relationship between elemental carbon, total carbon, and diesel particulate matter in several underground metal/nonmetal mines, *Env. Sci. Tech.*, 41, 710-716.
- Noll, J., Mischler, S., Schnakenberg, G., Bugarski, A., 2006, Measuring diesel particulate matter in underground mines using sub microne elemental carbon as a surrogate, *Proceedings of the 11th U.S./north American Mine Ventilation Symposium*, Taylor and Francis Group, London, 105-110.
- Pratt, S., Grainger, A., Todd, J., Meena, G., Rogers, A., Davis, B., 1997, Evaluation and control of employee exposure to diesel particulate at several Australian coal mines, *Appl. Occup. Environ. Hygiene*, 12, 1032-1040.



- Rissler, J., Swietlicki, E., Bengtsson, A., Boman, C., Pagels, J., Sandström, T., Blomberg, A., Löndahl, J., 2012, Experimental determination of deposition of diesel exhaust particles in the human respiratory tract, *J. of Aerosol. Sci.*, 48, 18-33.
- Rogers, A., Davies, B., 2001, Diesel particulate (Soot) exposures and methods of control in some Australian underground metalliferous mines, Short Course Notes Presented at the AIOH 19th Annual Conference, Australian Institute of Occupational Hygienists (AIOH).
- Stewart, P., Coble, J., Vermeulen, R., Schleiff, P., Blair, A., Lubin, J., Attfield, M., Silverman, D., 2010, The diesel exhaust in miners study: I. Overview of the exposure assessment process, *Ann. Occup. Hyg.*, 54, 728-746.
- Sydbom, A., Blomberg, A., Parnia, S., Stenfors, N., Sandstrom, T., Dahlen, S., 2001, Health effects of diesel exhaust emissions, *European Respiratory Journal*, 17, 733-746.
- Van Niekerk, W., Simpson, D., Fourie, M., Mouton, G., 2002, Diesel particulate emissions in the South African mining industry, Safety in Mines Research Advisory Committee, SIM 020602.
- Verma, D., Shaw, L., Julian, J., Smolyne, K., Wood, C., Shaw, D., 1999, A Comparison of sampling and analytical methods for assessing occupational exposure to diesel exhaust in railroad work environment, *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 14, 701-714.
- Vermeulen, R., Silverman, D., Garshick, E., Vlaanderen, J., Portengen, L., Steenland, K., 2013, Exposure response estimates for diesel engine exhaust and lung cancer mortality based on data from three occupational cohorts, *Environmental Health Perspectives*, National Institute of Environmental Health Sciences.