

시멘트 제조 · 취급사업장에서 발생하는 공기 중 분진의 노출평가

배혜정¹ · 성은창 · 피영규^{2*}

¹대구한의대학교 산업보건연구소, ²대구한의대학교 보건학부

Exposure Assessment of Airborne Dusts in the Cement Manufacturing and Handling Industries

Hye Jeong Bae¹ · Eun Chang Sung · Young Gyu Phee^{2*}

¹Institute for Industrial Health, Daegu Haany University

²Faculty of Health Science, Daegu Haany University

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study was to evaluate concentrations in airborne total and respirable dusts in the cement manufacturing and handling industries.

Methods: Fifty-three total dust and 42 respirable dust samples were collected from 24 work places. Total dust samples were collected using a three-stage cassette. Respirable dust samples were collected using a cyclone equipped with a 37 mm, 5 μ m pore size PVC filter.

Results: The geometric means of the dust concentrations were 0.10 mg/m³ and 0.08 mg/m³ in total dust and respirable dust, respectively. The Korean Occupational Exposure Limit(10 mg/m³) was not exceeded, but the rate of exceeding the American Conference of Governmental Industrial Hygienist(ACGIH) Threshold Limit Value(1 mg/m³) was 16.7%.

Conclusion: When measuring the level of dust at cement manufacturers, the airborne concentration of respirable dust should be evaluated. In order to protect the health of workers exposed to cement dust, it is necessary to actively consider strengthening the Korean Occupational Exposure Limit.

Key words: cement, respirable dust, total dust

I. 서 론

시멘트는 직경이 0.05에서 5 μ m에 이르는 회색의 미세한 분말로, 산화칼슘(CaO)과 규산(SiO₂)이 주성분이며 그 외 산산화 알루미늄(Al₂O₃), 산산화철(Fe₂O₃) 및 산화마그네슘(MgO)등으로 구성되어 있다(ILO, 1972). 미세한 입자크기의 시멘트분진에 노출 될 경우 호흡기 질환을 유발할 수 있는 중요한 원인으로, 그 구성 성분에 따라 자극, 감작, 진폐 유발(pneumoconiotic) 특성에 기인하는 것으로 알려져 있다(Meo, 2004).

시멘트 분진 노출 근로자들은 만성 비염, 후두염,

가래 등의 상기도 증상을 나타내며(Maciejewska & Bielichowska-Cybula, 1991), 특히 가장 문제가 되는 진폐증은 전세계적으로 1950년대부터 시작하여(Tarnopol'skaia et al., 1951; Doerr 1952; Farini & Canitano, 1958), 최근까지 시멘트 분진으로 인한 사례가 보고되어 있다(Meo, 2003). 진폐증 뿐만 아니라 흉막비후, 간질성 폐질환, 만성기관지염도 유발되며, 이탈리아의 시멘트공장 근로자들에서 25%의 흉막비후 유병률이 보고되었으며(Scanesetti et al., 1975), 사우디아라비아에서도 12%의 간질성 폐질환 유병률과 2%의 흉막비후 유병률을 보고된 바 있다(Meo, 2003).

*Corresponding author: Young Gyu Phee, Tel: 053-819-1590, Fax: 053-819-1209, E-mail: yphee@dhu.ac.kr
Faculty of Health Science, Daegu Haany University. 1 Hannydae-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 712-715
Received: December 3, 2017, Revised: December 20, 2017, Accepted: December 23, 2017

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.

우리나라는 2015년 발생한 직업병자 중 약 57.5% 정도가 진폐증으로 보고되었으며, 2015년 직업병으로 인한 사망자 현황 중 전체의 약 83% 정도가 진폐증으로 인하여 사망한 것으로 알려져 있다(MoEL, 2016). 시멘트분진과 관련한 비직업적 진폐증 사례는 시멘트 공장 및 밀접해 있던 지역의 직업적 노출이 전혀 없었던 지역주민들에게서 2010년 3건이 발병된 사례가 있었다(Leem et al., 2010).

이에 따라 현재 우리나라는 화학물질 및 물리적인자의 노출기준에 포틀랜드시멘트를 총분진 10 mg/m³으로 관리하고 있다(MoEL, 2016). 외국의 경우 미국 산업위생전문가 협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH)에서는 결정형 유리규산 함유량이 1% 이하의 석면이 함유되지 않은 포틀랜드시멘트에 대하여 노출기준(Threshold Limit Values)을 호흡성분진 1 mg/m³으로 제시하고 있으며(ACGIH, 2015), 일본은 일본산업보건학회(Japan Society of Occupational Health, JSOH)의 직업적 권고노출기준(Recommendation Occupational Exposure Limits, ROEL)에서 총분진 4 mg/m³, 호흡성분진 1 mg/m³(JSOH, 2016)으로 권고하고 있다.

외국의 경우 시멘트분진에 관한 건강 유해성(Meo, 2004), 시멘트 공장 주변지역 영향평가(Yang et al., 2003; Sabah, 2006), 시멘트로 인한 건강장해(Zeleke et al., 2010; Zeleke et al., 2011) 등 다양한 연구가 수행되어 왔다. 그러나 국내의 경우 시멘트 분진에 대한 노출수준에 대한 연구는 주로 지역주민 영향평가(Yoo, 2009; Leem et al., 2010; Cha, 2010) 중심으로 진행되어져 왔으며, 시멘트 분진에 직접적으로 노출되는 근로자를 대상으로 수행된 연구는 상당히 드문 실정이다.

따라서 본 연구는 시멘트를 제조 및 취급하는 사업장에서 발생하는 총분진, 호흡성분진에 대한 공기 중 노출수준을 확인하고, 채취한 물질시료 내 화학구조 등을 평가하여 향후 동종 업종 근로자의 건강보호와 적절한 관리방안을 마련하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 2014년 4월부터 2015년 6월까지 시멘트

제조사업장 3개소 및 취급사업장 24개소를 대상으로 공기 중 총분진, 호흡성분진 농도와 물질시료 내 원소성분 및 결정형구조 등을 파악하였다. 공정은 투입·채취, 혼합·조쇄·선별, 성형·가공, 운반·출하·완료로 크게 4가지로 분류하였으며, 측정지점에 따라 옥내·옥외로 구분하였다. 또한 시료채취 일을 기준으로 계절별로 구분하여 계절에 따른 농도특성도 파악하였다. 사업장 규모는 20인 미만 사업장이 15개소, 20인 이상 100 미만 사업장 6개소, 100인 이상 사업장은 3개소이며, 원재료 및 시멘트 월 취급사용량은 500톤 미만이 7개소, 500톤 이상 5000톤 미만이 10개소, 5000톤 이상 7개소로 나타났다.

2. 연구방법

1) 공기 중 총분진의 채취

총분진은 미국 국립직업안전보건연구원(National Institute of Occupational Safety & Health, NIOSH)의 0500 공정시험법을 활용하여 공극 5 μ m을 가지는 37 mm PVC 여과지(Poly Vinyl Chloride, SKC, USA)를 37 mm 3단 카세트 및 여과지패드에 장착하여 사용하였다. 여과지가 장착된 카세트를 개인시료 채취용 고유량 펌프(GilAir-3RC, Gilian, USA)에 연결하여 작업공정에서 근로자의 작업 위치로부터 최대한 가까운 지점을 선정 후 1~2 l/min의 유량으로 측정하였다. 측정 전·후에는 건식유량보정계(Defender 510, BIOS, USA)로 유량을 확인하여 평균값을 활용하였다(NIOSH, 1994).

2) 공기 중 호흡성분진의 채취

호흡성분진은 NIOSH 0600 공정시험법에 따라 진행하였으며, nylon cyclone과 aluminium cyclone을 이용하여, 2 piece cassette에 칭량한 PVC 여과지(직경 37 mm, 공극 5 μ m)를 장착하였다. 고유량 펌프(GilAir-3RC, Gilian, USA)에 사이클론을 연결한 후 작업공정에서 근로자의 작업 위치로부터 최대한 가까운 지점을 선정하여 nylon cyclone은 1.7 l/min, aluminium cyclone 2.5 l/min의 유량으로 측정하였다. 측정 전·후에는 건식유량보정계(Defender 510, BIOS, USA)로 유량을 확인하였다(NIOSH, 1998).

3) 시료의 분석

(1) 분진의 중량 분석

총분진 및 호흡성분진이 채취된 여과지의 중량은 시

료 채취 전 · 후 dry keeper(OH-3S, AS ONE, Japan)에서 24시간 이상 항습 시킨 후 정확도 0.01 mg의 전자저울(CPA225D, Sartorius, Germany)을 이용하여 3회 칭량한 후 평균값을 사용하였다.

(2) 물질시료의 분석

① 원소 성분별 함유량

물질시료(bulk sample) 분말 표면의 미세구조와 원소성분을 파악하기 위하여 초 고분해능 전계방출형 주사현미경(Ultra High Resolution Field Emission Scanning Electron Microscope, UHR-FE-SEM, Model S-4800, Hitach, Japan)을 사용하였으며, 시료로부터 발생한 2차 전자 및 X-ray를 검출하여 정성 · 정량분석하였다.

② 화학적 구성 성분

물질시료 분말에 대한 화학적 구성성분을 파악하기 위하여 X-선 형광분광기(Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer, WD-XRF, Model PW2400, Philips, Netherland)를 이용하였다. 균질화를 위해 시료와 di-lithium tetraborate($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$)를 1:5의 비율로 혼합하여 백금(Pt_2O_2)이 5% 함유된 도가니에 넣은 후 1,100℃에 6분간 녹인 후 유리편(Glass bead)을 제작하여 분석하였다. 분석 시 측정강도를 얻기 위한 X-선 발생기의 전압과 전류는 각각 4 kW, 60 kV, 170mA이었고, 분석 범위는 4Be~92U로 설정하였다.

4) 자료의 분석

조사된 자료들은 MS Excel에 입력하였고, 통계분석은 SPSS(Version 23.0K, USA) 프로그램을 사용하였다. 공기 중 총분진 및 호흡성분진 농도는 Sapiro-Wilk의 정규성 검정결과 대수정규 분포를 보여 기하평균과 기하표준편차로 제시하였고 결과의 이해를 위하여 산술평균과 표준편차도 결과에 수록하였다. 업종형태 및 측정위치에 따른 분진의 농도비교는 Mann Whitney U-test를 사용하였고, 공정 및 계절에 따른 분진의 농도는 Kruskal-Wallis test를 이용하였다.

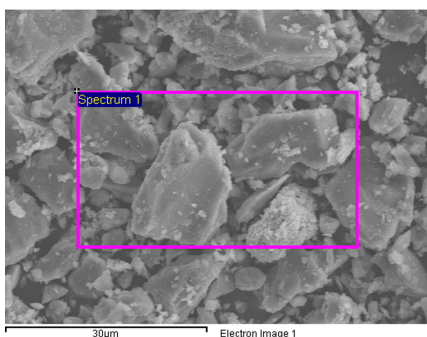
III. 연구결과

1. 물질시료의 성분분석

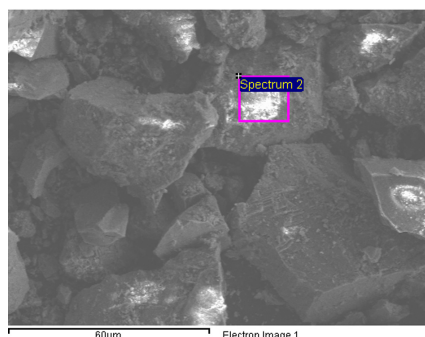
1) 원소 성분 및 함유량

시멘트 · 콘크리트 물질시료의 미세구조와 원소성분을 파악하기 위하여 UHR-FE-SEM으로 분석한 결과 시멘트 물질시료는 입자의 대부분이 5 μm 이하로 불규칙한 형태가 관찰되었으며(Figure 1a), 콘크리트 물질시료는 평균입경 60 μm 수준으로 불규칙하고 각이 많은 형태를 보이고 있었다(Figure 1b).

시멘트 물질시료의 원소 비율은 산소(O)가 60.8%로 가장 높았고, 칼슘(Ca, 19.9%), 탄소(C, 6.4%), 규소(Si, 4.5%), 마그네슘(Mg, 3.9%), 철(Fe, 1.9%), 알루미늄(Al, 1.8%), 황(S, 0.5%), 칼륨(K, 0.4%) 순으로 나타났다(Table 1).



(a) Cement bulk



(b) Concrete bulk

Figure 1. Shape of bulk sample analyzed by UHR-FE-SEM

Table 1. Atomic percents of element in cement bulk sample analyzed by UHR-FE-SEM

| Element | O | Ca | C | Si | Mg | Fe | Al | S | K |
|--------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Component Rate (%) | 60.77 | 19.88 | 6.38 | 4.50 | 3.87 | 1.90 | 1.84 | 0.51 | 0.35 |

Table 2. Atomic percents of element in concrete bulk sample analyzed by UHR-FE-SEM

| Element | O | Si | C | Al | Na | K | Ca |
|--------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| Component Rate (%) | 63.81 | 14.29 | 11.53 | 5.08 | 3.80 | 1.32 | 0.17 |

Table 3. Chemical compositions of cement bulk sample analyzed by XRF

| Element | CaO | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | SO ₃ | MgO | K ₂ O | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | MnO |
|--------------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------|------------------|------------------|-------------------------------|------|
| Component Rate (%) | 65.66 | 16.98 | 5.42 | 3.82 | 3.27 | 2.79 | 0.98 | 0.39 | 0.28 | 0.23 |

Table 4. Chemical compositions of concrete bulk sample analyzed by XRF

| Element | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Fe ₂ O ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | MgO | TiO ₂ | SO ₃ | P ₂ O ₅ |
|--------------------|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------|------|------------------|-----------------|-------------------------------|
| Component Rate (%) | 61.22 | 13.93 | 6.85 | 6.32 | 4.43 | 3.20 | 2.08 | 0.66 | 0.54 | 0.26 |

콘크리트 물질시료의 원소 비율은 산소(O)가 63.8%로 가장 높게 나타났으며, 규소(Si, 14.3%), 탄소(C, 11.5%), 알루미늄(Al, 5.1%), 나트륨(Na, 3.8%), 칼륨(K, 1.3%), 칼슘(Ca, 0.2%) 순 이었다(Table 2).

이었으며, 시멘트 취급사업장의 기하평균 농도는 0.085 mg/m³로 시멘트 제조사업장의 총분진 농도가 시멘트 취급사업장에 비해 높았으나 그 차이가 통계적으로 유의하지 않았다(Table 5).

2) 화학적 구성 성분

시멘트 물질시료의 화학적 구성성분을 XRF로 분석한 결과 CaO이 약 65.7% 정도를 차지하고 있었고, SiO₂, Fe₂O₃ 순 등으로 검출되었다(Table 3).

콘크리트 물질시료는 SiO₂가 약 61.2%로 가장 높았고, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃ 순 등으로 검출되었다(Table 4).

2) 시멘트 제조 및 취급사업장의 호흡성분진의 농도

시멘트 제조 및 취급사업장에서 채취한 호흡성분진 시료 수는 총 42개로 제조사업장의 호흡성분진 기하평균 농도는 0.362 mg/m³, 시멘트 취급사업장의 기하평균 농도는 0.054 mg/m³로 시멘트 제조사업장의 농도가 취급사업장에 비해 통계적으로 유의하게 높은 수준으로 나타났다(p<0.05). ACGIH의 TLV(1 mg/m³) 초과율은 평균 16.67%이었고, 업종별로는 시멘트 제조사업장에서 33.33%, 시멘트 취급사업장이 12.12%로 나타났다(Table 6).

2. 시멘트 제조 및 취급사업장의 공기 중 분진 농도

1) 시멘트 제조 및 취급사업장의 총분진의 농도

시멘트 제조사업장의 기하평균 농도는 0.207 mg/m³

Table 5. Total dust concentrations by industrial classification

(Unit : mg/m³)

| Industrial classification | N* | GM**(GSD [†]) | Mean±SD [‡] | Min | Max | p-value |
|---------------------------|----|-------------------------|----------------------|--------|-------|---------|
| Cement production | 14 | 0.207(7.042) | 0.646±0.701 | 0.014 | 1.935 | 0.226 |
| Cement handling | 39 | 0.085(3.765) | 0.268±0.605 | 0.012 | 3.092 | |
| Total | 53 | 0.108(4.698) | 0.368±0.647 | 0.0112 | 3.092 | |

* N : Number of samples

[†] GSD : Geometric Standard Deviation

**GM : Geometric Mean

[‡] Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

Table 6. Respirable dust concentrations by industrial classification

(Unit : mg/m³)

| Industrial classification | N | GM(GSD) | Mean±SD | Min | Max | ER* | p-value |
|---------------------------|----|--------------|-------------|-------|-------|-------|---------|
| Cement production | 9 | 0.362(7.166) | 0.908±0.907 | 0.010 | 2.950 | 33.33 | 0.028 |
| Cement handling | 33 | 0.054(4.650) | 0.264±0.619 | 0.010 | 2.500 | 12.12 | |
| Total | 42 | 0.082(6.015) | 0.402±0.729 | 0.010 | 2.950 | 16.67 | |

*Exceed Rate(%) : (Number of samples over ACGIH TLV / Number of samples) × 100

Table 7. Total dust and Respirable dust concentrations by sampling location(Unit : mg/m³)

| Location | Total dust | | | | | Respirable dust | | | | |
|----------|------------|--------------|-------------|-------|-------|-----------------|--------------|-------------|-------|-------|
| | N | GM(GSD) | Mean±S.D. | Min | Max | N | GM(GSD) | Mean±S.D. | Min | Max |
| Indoor | 35 | 0.121(5.214) | 0.401±0.599 | 0.012 | 1.984 | 26 | 0.102(7.070) | 0.514±0.837 | 0.010 | 2.950 |
| Outdoor | 18 | 0.086(3.806) | 0.303±0.746 | 0.012 | 3.092 | 16 | 0.057(4.401) | 0.220±0.477 | 0.010 | 1.740 |

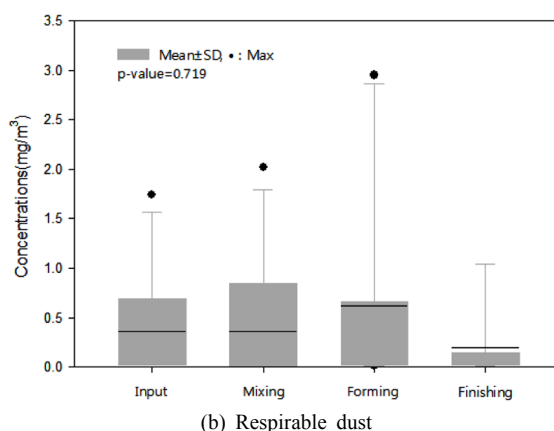
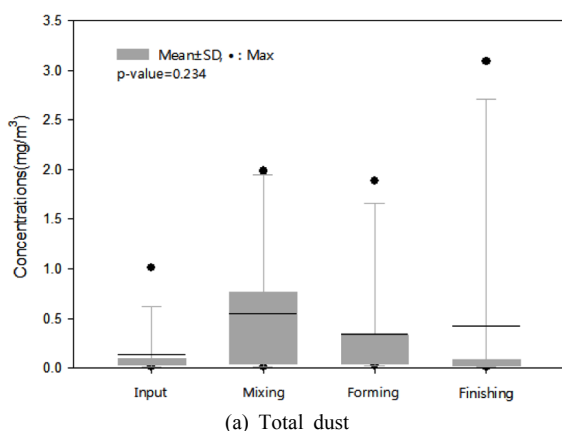
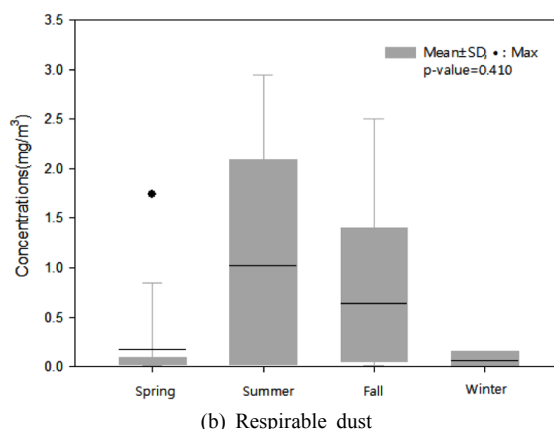
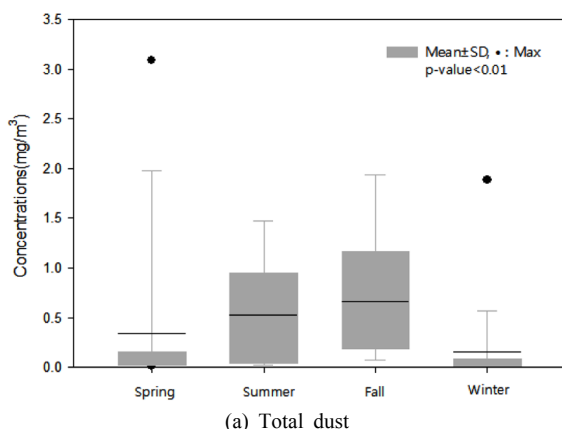
3) 시멘트 제조 및 취급사업장의 측정위치별 분진의 농도

시멘트 제조 및 취급사업장의 옥내에서 발생한 총분진의 기하평균 농도는 0.121 mg/m³(최소 0.012 mg/m³, 최대 1.984 mg/m³)이었고, 옥외의 농도는 0.086 mg/m³(최소 0.012 mg/m³에서 최대 3.092 mg/m³)이었다. 호흡성분진의 기하평균 농도는 옥내 0.1022 mg/m³, 옥외 0.0568 mg/m³으로 나타났다. 시멘트 제조 및 취급사업장에서 채취한 총분진과 호흡성분진의 농도

모두 옥내가 높게 나타났으나 통계적 유의성은 없었다(Table 7).

4) 시멘트 제조 및 취급사업장의 공정별 분진의 농도

시멘트 제조 및 취급사업장에서 발생한 공정별 총분진의 농도는 혼합·조쇄·선별 공정이 기하평균 0.1862 mg/m³으로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 성형·가공 공정 > 운반·출하·완료 공정 > 투입·채취 공정순으로 나타났다(Figure 2a). 호흡성분진의

**Figure 2.** Dust concentrations by process**Figure 3.** Dust concentrations by season

농도는 성형·가공 공정이 기하평균 0.1304 mg/m^3 으로 가장 높았고, 투입·채취 공정(0.0795 mg/m^3), 혼합·조쇄·선별 공정(0.0657 mg/m^3), 운반·출하·완료 공정(0.0581 mg/m^3) 순으로 나타났으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Figure 2b).

5) 시멘트 제조 및 취급사업장의 계절별 분진의 농도

Figure 3a는 시멘트 제조 및 취급사업장의 계절변화에 따른 총분진의 기하평균 농도는 가을이 0.4057 mg/m^3 로 다른 계절에 비해 통계적으로 유의하게 높은 수준을 보였으며($p < 0.01$), Fig. 3b는 호흡성분진의 기하평균 농도로 여름 > 가을 > 겨울 > 봄 순으로 나타났으나, 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다.

IV. 고 찰

본 연구는 시멘트 제조 및 취급사업장에 종사하는 근로자를 대상으로 공기 중 총분진, 호흡성분진에 대한 노출평가를 수행하고, 그 결과에 따른 적절한 관리방안을 제시하고자 하는 것이 주된 목적이다. 그 결과 시멘트 제조사업장의 총분진의 기하평균 농도는 0.21 mg/m^3 으로, KOSHA(2007)의 연구결과 시멘트 제조사업장의 총분진 농도 0.83 mg/m^3 , 0.72 mg/m^3 에 비해 낮은 수준을 보였다. 이는 특정 공정에서의 2개의 지점만 선정하여 수행된 결과로 시료 수에 의한 차이에 의한 것으로 판단된다. 외국의 경우 Noto et al.(2016)이 수행한 연구결과 터키 시멘트공장에서 발생한 총분진의 기하평균 농도는 2.1 mg/m^3 으로 나타났으며, Mwaiselage et al.(2006)이 수행한 탄자니아에서의 총분진 기하평균 농도는 13.2 mg/m^3 로 우리나라보다 상당히 높은 수준으로 나타났다. 이는 국가간 작업환경에 대한 관리수준의 차이와 산업안전보건에 대한 법적 규제에 따른 차이인 것으로 판단된다. 시멘트 취급사업장의 총분진의 기하평균 농도는 0.09 mg/m^3 이었고, Sung et al. (2015)은 0.20 mg/m^3 , Jang et al.(2004)은 3.22 mg/m^3 으로 본 연구보다 높은 수준으로 보고하였는데 이는 건설현장에서 발생하는 분진의 특성을 파악하였고 건설현장의 특성상 순간적으로 비산되는 분진의 과도한 노출특성에 의한 차이로 추정된다.

시멘트 제조사업장 및 취급사업장의 호흡성분진의

경우 제조사업장의 기하평균이 0.36 mg/m^3 으로 시멘트 취급사업장의 기하평균 0.05 mg/m^3 에 비해 높게 나타났다. 이 차이 역시 통계적으로 유의하게 높은 수준이었다. 이는 시멘트 제조사업장에서 사용되는 원재료량이 취급사업장에 비해 상대적으로 많아 발생하는 분진의 농도도 높게 나타난 것으로 추측된다. 선행연구결과 시멘트 제조사업장에서 발생하는 호흡성분진의 경우 Noto et al.(2016)은 0.40 mg/m^3 , KOSHA(2007)은 0.26 mg/m^3 , 0.36 mg/m^3 으로 본 연구결과와 유사한 수준으로 발표하였다. 시멘트 취급사업장에서 발생하는 호흡성분진은 국내의 경우 Kim et al.(1999)이 콘크리트 사업장에서 발생한 호흡성분진의 농도를 0.25 mg/m^3 로 발표하였고, Kim et al.(2002)은 콘크리트 사업장 0.25 mg/m^3 , 벽돌사업장 0.77 mg/m^3 으로 보고하였다. 또한 외국의 경우 Meijer et al.(2001)이 수행한 콘크리트 사업장의 호흡성분진 농도 0.77 mg/m^3 으로 보고하여 본 연구결과보다 높은 수준을 보였다. 그러나 Bae et al. (2013)의 연구결과에 의하면 콘크리트 취급사업장 호흡성분진의 기하평균 농도를 0.09 mg/m^3 으로 보고하여 본 연구와 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 현재의 작업은 자동 및 반자동으로 수행되고 있어 분진의 농도가 과거에 비해 낮게 평가된 것으로 추측된다.

공정별 총분진의 기하평균 농도는 혼합·조쇄·선별 공정이 가장 높았고, 성형·가공 공정, 운반·출하·완료 공정, 투입·채취 공정 순으로 나타났으며 그 범위는 $0.07 \sim 0.19 \text{ mg/m}^3$ 이었다. 호흡성분진의 경우 성형·가공 공정이 가장 높았고, 투입·채취 공정, 혼합·조쇄·선별 공정, 운반·출하·완료 공정 순으로 나타났으며 그 범위는 $0.06 \sim 0.13 \text{ mg/m}^3$ 이었다. 시멘트 취급사업장의 호흡성분진의 경우 콘크리트 사업장을 대상으로 한 Bae et al.(2013)의 $0.05 \sim 0.19 \text{ mg/m}^3$ 와는 유사한 수준이었으며, 광물성분진 노출사업장 중 시멘트 및 석재가공업을 대상으로 한 Jeong et al.(2017)의 $0.05 \sim 0.15 \text{ mg/m}^3$ 와도 유사한 수준이었다.

현재 포틀랜드시멘트에 대한 직업적 노출기준의 경우 ACGIH에서는 2007년 폐기능 저하와 직업성천식, 호흡기계 증상을 예방하기 위하여 결정형유리규산의 함유량이 1%이하이고 석면이 함유되지 않은 포틀랜드시멘트에 대하여 호흡성분진에 대한 TLV를

10 mg/m³에서 1 mg/m³으로 강화하고 이 기준을 지속적으로 유지하고 있으며(ACGIH, 2015), 독일의 경우에는 흡입성분진 5 mg/m³으로 제시하고 있다(NIOSH 2015). NIOSH의 경우 직업적 노출기준(Recommended Exposure Limits, RELs)을 총분진 10 mg/m³, 호흡성분진 5 mg/m³으로(NIOSH 2015), 일본은 포틀랜드시멘트에 대하여 총분진 4 mg/m³, 호흡성분진 1 mg/m³으로 입자크기별로 분류하여 제시하고 있다(JSOH, 2016).

본 연구결과 총분진의 경우 노출기준을 초과하는 농도는 나타나지 않았으나, 호흡성분진의 경우 ACGIH TLV 1 mg/m³을 적용하였을 때 평균 16.7%의 초과율을 보였다. 또한 고분해능 전계방출형 주사현미경으로 입자 크기를 분석한 결과 시멘트 제조사업장의 물질시료는 대부분 5 µm 이하로 많이 구성되어 있다는 점을 고려할 경우 ACGIH와 같이 현재 우리나라의 시멘트 노출기준을 총분진 10 mg/m³에서 호흡성분진 1 mg/m³으로 신설하는 것이 타당하다. 그리고 노출기준에 대한 단서조건으로 석면이 포함되지 않고 결정형 규산이 1% 미만인 경우도 추가해야 할 것이다. 측정방법도 현행 총분진으로의 측정보다는 호흡성분진으로 측정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 시멘트 제조사업장에서 발생하는 분진의 경우 총분진, 호흡성분진 모두 취급사업장에서 발생하는 분진의 농도보다 높게 평가되어, 시멘트 제조사업장의 경우 비산되는 분진에 대한 노출저감을 위해 다양한 노력이 필요하다.

본 연구는 시멘트 제조 및 취급사업장의 연구 대상 사업장 수의 한계로 전체를 대표하기에는 다소 무리가 있으며 다양한 공정에서 노출평가가 이루어지지 않았다. 또한 시멘트 외의 시멘트에서 발생하는 발암물질인 결정형 유리규산 및 6가크롬 등의 다양한 유해인자에 대한 추가적인 조사연구가 필요할 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 2014년 4월부터 2015년 6월까지 시멘트 제조 및 취급하는 사업장을 대상으로 공기 중 총분진, 호흡성분진 농도와 채취한 물질시료 내 원소성분 및 화학구조 등을 확인하였다. 공기 중 총분진은 시멘트 제조사업장의 기하평균 농도는 0.207 mg/m³, 시멘트 취급사업장은 0.085 mg/m³이었다. 측정위치에

따른 농도는 옥내가 높았고, 공정별로는 혼합·조쇄·선별 공정이 높게 나타났으며, 계절별로는 가을이 높은 수준을 보였다. 호흡성분진의 경우 시멘트 제조사업장의 기하평균 농도가 0.362 mg/m³으로 시멘트 취급사업장 0.054 mg/m³에 비해 높은 수준으로 평가되었다. 직업적 노출기준 ACGIH의 TLV(1 mg/m³)를 적용할 경우 평균 16.7%의 초과율을 보였으며, 측정 위치에 따른 호흡성분진 농도는 옥내지역이 옥외지역보다 높게 나타났다. 공정별로는 성형·가공 공정이 높았고, 계절별로는 여름이 높게 나타났다.

UHR-FE-SEM으로 입자 크기를 분석한 결과 시멘트 제조사업장의 물질시료는 대부분 5 µm 이하가 많이 분포하고 있었고, 현행 산업안전보건법에 따른 총분진의 경우 노출기준 초과가 발생되지 않았으나, 호흡성분진의 경우 초과율이 16.7%로 나타났다. 따라서 종사 근로자의 폐기능 저하, 천식 등 호흡기계 질환의 예방과 시멘트공장 인근 지역주민을 보호하기 위해서는 현재 우리나라의 시멘트 노출기준을 총분진 10 mg/m³에서 미국 및 일본과 같이 포틀랜드시멘트로 신설하고, 그 수준을 호흡성분진 1 mg/m³로 설정하는 것이 타당하다.

References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 2015 threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. ACGIH, 2015. p. 39
- Bae HJ, Jung JH, Phee YG. Analysis of quartz concentrations by FTIR-DOF and FTIR-Transfer method in concrete manufacturing industries. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2013;23(2):75-83
- Cha KT. Relationship between Cement Dusts and Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Rural Population, Department of Medicine. Graduate school of Yonsei University. Seoul; Yonsei University Press. 2010. p. 4-7
- Doerr W. Pneumoconiosis caused by cement dust. Virchows Arch 1952;322:397-427
- Farini C, Canitano P. Malignant pneumoconiosis caused by inhalation of cement dust. G Ital Della Tuberc, 1958; 12:355-360
- Hilde P. Noto, Karl-Christian Nordby, Wijnand Eduard. Relationships between Personal Measurements of 'Total' Dust, Respirable, Thoracic, and Inhalable

- Aerosol Fractions in the Cement Production Industry. *Ann Occup Hyg* 2016;60(4):453-466
- ILO. Encyclopedia of Occupational Health. Geneva, 1972. p. 3-12
- Jang BK, Lee JH, Park JA, Chio YN, Lee IJ. Assessment of airborne dust emission in the working processes among the construction Industry. *Soonchunhyang J Nat Sci* 2004;10(2):193-199
- Japan Society for Occupational Health. Recommendation of Occupational Exposure Limits(2016-2017). *J Occup Health* 2016;58:489-518
- Julius Mwaiselage Æ Bente Moen Æ Magne Bråtveit. Acute respiratory health effects among cement factory workers. *Int Arch Occup Environ Health* 2006;79:49-56
- Jeong GS, Bae HJ, Nam MR, Jung JH, Phee YG. Comparisons of Airborne Quartz Concentration Mineral Dust Exposure Industries. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2017;27(3):163-169
- Kim HW, Phee YG, Roh YM, Won JI. Analysis of quartz contents by XRD and FTIR in respirable dust from various manufacturing industries Part 2-Ceramics, stone, concrete, glass and briquets, etc. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 1999;9(1):99-111
- Kim HJ, Phee YG, Roh YM, Kim HW. Study on the field application of FTIR-direct on filter method for the analysis of quartz in respirable samples. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2002;12(2):73-78
- Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA). Development plan for occupational exposure limit for dust, 2007. p. 21-24
- Leem JH, Cho JH, Lee EC, Kim JH, Lee DH, Lee SJ, Lee JY, Kim HC. Clusters of pneumoconiosis among residents near cement factories. *Korean J Occup Environ Med* 2010;22:140-145
- Maciejewska A, Bielichowska-Cybula G. Biological effect of cement dust. *Med* 1991;Pr(42):281-290
- Meo SA. Chest radiological findings in Pakistani cement mill workers. *Saudi Med J* 2003;24:287-290
- Meo SA. Health hazards of cement dust. *Saudi Med J* 2004;25:1153-1159
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). 2015 Industrial accident. Ministry of Employment and Labor. 2016. p. 24
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents (MoEL Public Notice No. 2016-8).; 2016a. p. 27
- Meiger E, Kromhout H, Heederik D. Respiratory effects of exposure to low levels of concrete dust containing crystalline silica. *Am J Ind Med* 2001;40(2):133-140
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Particulates not otherwise regulated, total 0500, In manual of analytical methods, 4th ed, NIOSH, 1994. p. 1-4
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Particulates not otherwise regulated, respirable 0600, In manual of analytical methods, 4th ed, NIOSH, 1998. p. 1-3
- National Institute for Occupational Safety and Health. Centers for Disease Control and Prevention. CDC twenty four seven. saving lives, protecting people, portland cement, July 22, 2015. p. 7-9
- Sabah A. Abdul-Wahab. Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities. *Ecological Modelling* 2006;195:338-348
- Scansetti G, Coscia GC, Pisani W, Rubino GF. Cement, asbestos, and cement-asbestos pneumoconioses. *Arch Environ Health* 1975;30:272-275
- Sung EC, Bae HJ, Jung JH, Phee YG. Exposure Assessment of Airborne Quartz from Earthwork Sites. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2015;25(4):584-590
- Tarnopol'skaia MM, Osetinskii TG, Zaidenverg RA, Krinichnyi PN. On the problem of pneumoconiosis in inhalation of cement dust. *Gig Sanit* 1951;1:26-29
- Yang CY, Chang CC, Tsai hS, Chuang HY, Ho CK, Wu TN, Sung FC. Preterm delivery among people living around Portland cement plants, *Environ Research* 2003;92:64-68
- Yoo DG. Urinary chromium of resident who lived near by porcelain cement factory. Graduate School of Kwandong University, 2009. p. 12-17
- Zeleeke ZK, Moen BE, Bratveit B. Cementdust exposure and acute lung function: A cross shift study. *BMC Pulmonary Medicine*, 10:19 <http://www.biomedcentral.com/1471-2466/10/19>, 2010
- Zeleeke ZK, Moen BE, Bråtveit M. Lung function reduction and chronic respiratory symptoms among workers in the cement industry: a follow up study. *BMC Pulmonary Medicine*, 11:50, <http://www.biomedcentral.com/1471-2466/11/50>, 2011