

## 폴리머 시멘트 모르타용 골재로서 금속광산 폐광미의 활용 연구

민경원\* · 이필호\*\* · 진호일\* · 연규석\*\*\*

### A Study on Utilization of Metal-Mine Tailings for Polymer Cement Mortars

Kyoung-Won Min\*, Phil Ho Lee\*\*, Ho-Il Chin\* and Kyu-Seok Yeon\*\*\*

**ABSTRACT** : The tailings stocked at two tailing piles in Sangdong area have raised collapse hazards and various environmental problems. A trial for effective utilization of tailings as fine aggregates for polymer concrete has been performed along with mineralogical and physical characterization of tailings. The tailings from the Sangdong mine, mainly composed of quartz, orthoclase, amphiboles and muscovite, are alkaline and tailings at the new tailing pile (New Tailings) are generally finer in grain size than those at the old tailing pile (Old Tailings). In case of using New Tailings as fine aggregates, cement mortar with equivalent amounts of tailings and sands shows the highest compressive strength. Cement mortars containing tailings show lower values of compressive strength, splitting tensile strength and flexural strength than those not-containing tailings. Mixture of polymers such as SBR and EVA in cement mortars raises strengths of cement mortars effectively, which shows potential possibility to utilize the tailings in Sangdong area as fine aggregates for polymer concretes.

## 서 론

국내의 광산산업은 1980년대 중반에 들어서면서 부존 지하자원의 고갈과 점진적인 작업환경의 악화 및 노동임금의 상승, 값싼 외국 지하자원의 수입 등으로 점차 침체되기 시작하여, 80년대 후반부터는 휴·폐광되는 광산의 수가 급격히 증가하였다. 따라서 그 동안 광산 주변에 적치해 두었던 많은 양의 폐석과 폐재는 관리상의 소홀로 인해 자연경관을 저해시킬 뿐만 아니라 적치장의 붕괴로 인한 재해 및 여러 가지 환경오염 문제를 야기시키는 주요한 관심의 대상으로 부각되기 시작하였다. 특히 금속광산의 경우에는 폐석 이외에 광석의 처리과정에서 많은 양의 광미가 발생되기 때문에 환경적인 측면에 있어서도 이

들의 효과적인 처리와 재활용을 위한 방안의 모색이 중요한 과제가 되고 있다.

강원도 영월군 상동읍에 위치하고 있는 대한중석 상동광업소는 광산 조업기간 동안 발생한 방대한 양의 광미를 적치장에 쌓아 두고 있어, 강우로 인한 범람과 적치장의 붕괴로 인한 재해 및 생활 환경적인 문제 (예, 주변경관의 저해 및 먼지의 비산 등)를 야기하고 있기 때문에 장기적인 처리방안의 모색이 시급한 실정이라 할 수 있다. 일본의 경우에는 이러한 광산 및 산업폐기물을 건설자재로 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되어, 현재 각종 산업폐기물이 보도블록, 경계블록 등의 건설자재로서 유용하게 이용되고 있는 실정이다 (Ohama, 1981; Ohama *et al.*, 1984; Ohama and Shiroshida, 1985; Ohama *et al.*, 1994; Chandra and Ohama, 1994). 최근 국내에서도 폐광된 대표적 금속광산인 대한중석 상동광업소 주변에 적치되어 있는 폐광미를 이용하여 시멘트 콘크리트의 특성을 시험한 연구가 시도되었다 (최연왕, 정문영, 1998).

이 연구의 목적은 상동광업소 적치장에 야적된 광미의 특성을 파악하고, 폐광미를 고기능성 폴리머 시멘트 모르타나 콘크리트용 골재로서 활용하기 위한 가능성을 검토

\* 강원대학교 자원공학과 (Department of Resources Engineering, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea), E-mail: kwmin@cc.kangwon.ac.kr

\*\* 강원대학교 화학과 (Department of Chemistry, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea)

\*\*\* 강원대학교 농공학과 (Department of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea)

하는데 있다.

## 주변지질 및 광산개요

행정구역상 강원도 영월군 상동읍 구래리에 위치한 상동광산 주변의 지질은 선캠브리아기의 흑운모편암을 기저로 하여 캠브리아기의 장산규암층과 묘봉슬레이트층, 풍촌석회암층, 세송세일층, 화절석회암층, 오오도비스기의 동점규암층, 두무골층, 막골석회암층이 분포하며 이를 백악기 후기의 잠두 상동화강암과 시대미상의 산성암맥 및 염기성암맥이 관입하고 있다. 상동광산은 캠브리아기 양덕통 상부의 묘봉슬레이트층에 협재된 석회암의 최상위층이 대보 지각운동과 백악기의 중석광화작용에 의해 광화된 점철교대광상 (스카른광상)으로서 회중석 광체가 수평연장 15 km, 수직연장 1.6 km 이상되는 대규모의 광산으로, 주요 광석광물로는 회중석 ( $\text{CaWO}_4$ )과 휘수연석 ( $\text{MoS}_2$ ), 자연창연 (Bi), 휘창연석 ( $\text{Bi}_2\text{S}_3$ ), 철망간중석  $\{(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4\}$  등이고 주요 맥석광물은 석영과 휘석, 각섬석, 석류석, 백운모, 녹니석, 녹염석 등이다. 상동광산은 1916년에 개광하여 1993년 4월 휴광할 때까지 약 77년간 개발되었으며, 현재 선광처리 후의 광미를 쌓아 놓은 2곳의 광미적치장이 있는데, 구광미적치장은 1981년 7월까지 산출된 광미를 모아둔 곳으로 적치량은 약 4백만톤에 달하며, 신광미적치장은 1993년 4월까지 산출된 광미를 쌓아둔 적치장으로서 그 양은 약 8백만톤에 이른다 (Table 1). 따라서 이후 부터는 편의상 구광미적치장에 쌓여 있는 광미를 구광미 (old tailing), 신광미적치장에 있는 광미를 신광미 (new tailing)로 서술하고자 한다.

## 광미의 일반 특성

### pH 및 작열감량 (L.O.I.)

이 연구에 있어서 pH는 Rump와 Krist (1988)가 제시

한 방법에 의해 -10 mesh 입도의 광미시료 10 g과 25 ml의 2차 증류수를 섞어 1시간 동안 혼탕시킨 후 30분간 방치한 다음 측정하였다. 구광미 및 신광미의 pH는 각각 7.71~8.13 (평균 7.89), 7.65~8.28 (평균 7.96)로 모두 알칼리성인 특징을 보이는데 (Fig. 1), 이는 회중석 광체가 석회암과 관련되어 있을 뿐만 아니라, 부유선광 과정에서 사용된 부선제에 의한 영향으로 판단된다 (정창근, 1974; 이동휘, 1983).

또한 작열감량 (L.O.I.)은 -200 mesh의 광미시료 3 g을 105°C에서 약 24시간 건조시킨 후의 무게와 이를 다시 전기로에서 950°C로 약 1시간 가열시킨 후, 데시케이터에서 냉각시킨 시료의 무게를 측정하여 이들간의 무게 감량차이로 구하였다. 상동광산의 광미에 대한 작열감량은 구광미가 신광미보다 약간 더 높은 평균값 (구광미 4.86 wt.%; 신광미 4.23 wt.%)을 보이고는 있으나, 대체로 거의 비슷한 함량범위를 나타내고 있다 (Fig. 1).

### 입 도

연구지역의 광미에 대한 입도분석은 각각의 광미시료 50 g을 가지고 체분석을 통해 실시하여 각 입도구간의 무게 백분율로 구하였다. 구광미에는 65~100 mesh (0.21~0.149 mm) 크기의 입자가 가장 많으며 (28.2 wt.%), 신광미는 150~200 mesh (0.105~0.074 mm)의 입도가 가장 많은 비율 (24.5 wt.%)을 나타내고, 100 mesh (0.149 mm) 보다 큰 입자의 광미가 차지하는 비율이 구광미에서는 61.5%인 반면에, 신광미에서는 38.04%에 불과해, 대체로 신광미가 구광미보다 더 미립으로 나타났다 (Fig. 2). 또한 신광미적치장의 경우 배수구가 있는 광미둑으로부터 광미가 유입되었던 방향쪽으로 갈수록 미립의 광미 함량 비율이 점차 증가하는 경향을 보여 주었다.

### 광물조성

상동광산 광미적치장에 쌓여 있는 광미에 대한 X-선

Table 1. Description of tailing piles in the Sangdong area (KIGAM, 1997).

| Classification      | Old Tailing Pile                                | New Tailing Pile                                     |
|---------------------|---|--|
| Location            | Kangwon-do Yeongweol-gun Sangdong-eup Naeduk-ri | Kangwon-do Yeongweol-gun Sangdong-eup Cheonpyeong-ri |
| Construction period | 1974. 5~1974.10                                 | 1980. 7~1982. 8                                      |
| Area                | 89,000 m <sup>2</sup>                           | 315,510 m <sup>2</sup>                               |
| Capacity            | 1,700,000 m <sup>3</sup>                        | 6,075,000m <sup>3</sup>                              |
| Height of piles     | 40 m  | 98 m   |
| Closing time        | 1981. 7   | 1993. 4  |

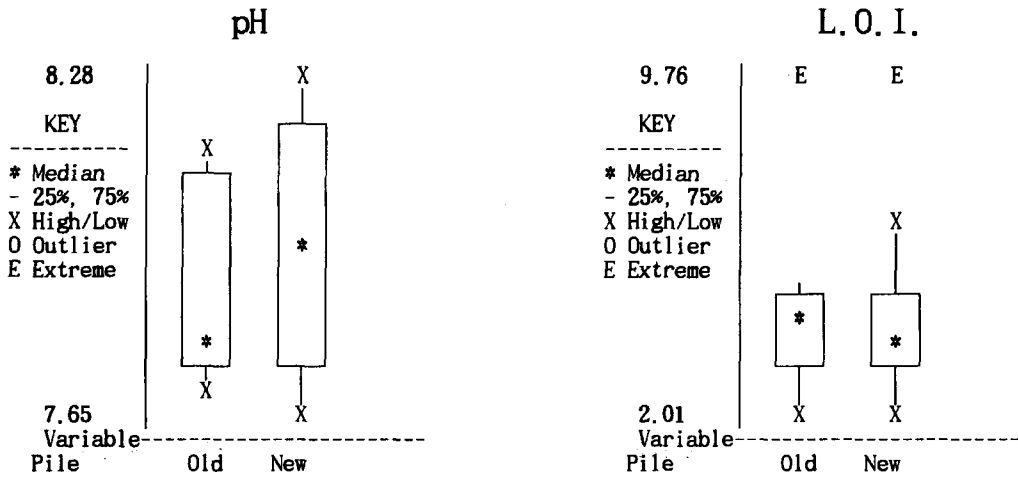


Fig. 1. Boxplots of pH and L.O.I.(loss on ignition) in tailings from Sangdong area (Old : old tailing, New : new tailing).

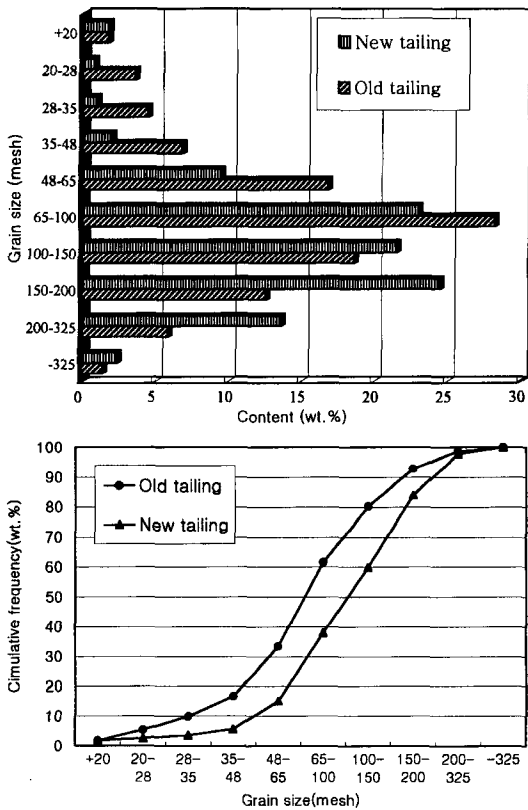


Fig. 2. Average grain size and cumulative frequency distribution of tailings in Sangdong area.

회절분석 (XRD) 결과에 의하면, 광미는 주로 석영과 정장석, 각섬석, 백운모 등으로 이루어져 있으며, 부분적으로 사장석과 회중석, 형석, 황철석 등을 함유하고

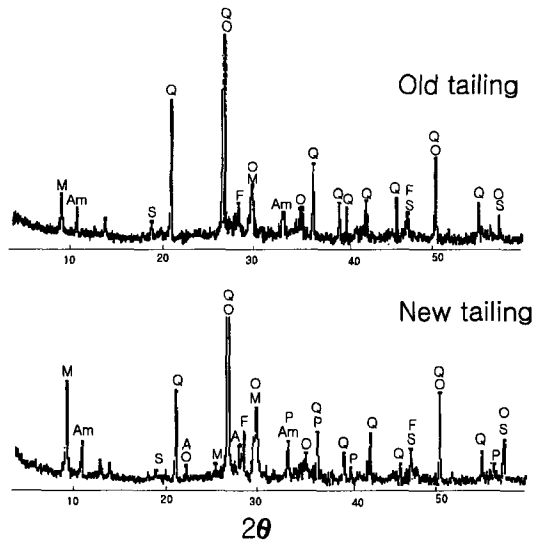


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of tailings in Sangdong area (Q; quartz, O; orthoclase, M; muscovite, Am; amphibole, A; anorthite, S; scheelite, F; fluorite, P; pyrite).

있다 (Fig. 3).

### 폴리머 시멘트 모르타 제작 및 시험

#### 사용재료

#### 시멘트

이 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201 (포틀랜드 시멘트)에 규정된 1종 보통 포틀랜드 시멘트로서, 국내 H사에서 제조한 제품이며, 그 화학성분은 Table 2와 같다.

**Table 2.** Chemical components of ordinary portland cement. (unit : wt.%)

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------------------|
| 21.09            | 4.84                           | 63.85 | 3.32 | 3.09            | 1.13             | 0.29              | 2.39                           |

**골재 (광미)**

이 연구에서 사용한 광미의 비중은 2.94, 흡수율은 0.33%이고, 입도의 분포는 Fig. 2와 같다.

**시멘트 혼화용 폴리머**

SBR (Styrene-Butadiene Rubber) 라텍스와 EVA (Ethylene-Vinyl Acetate) 파우더를 시멘트 중량의 10%를 사용하였으며, SBR 라텍스는 국내 H사에서 제조한 것이고, EVA 파우더는 일본 E사에서 제조한 것으로 세골재가 포함된 Pre-Mix 형태이다. 이 실험에 사용된 시멘트 혼화용 폴리머의 일반적인 성질은 Table 3, 4와 같다.

**Table 3.** Properties of SBR latex.

| Type   | Specific gravity (20°C) | pH | Viscosity (25°C, cp) | Total solid (%) | Appearance |
|--------|-------------------------|----|----------------------|-----------------|------------|
| liquid | 1.0                     | 8  | 15                   | 45              | milk-white |

**Table 4.** Properties of EVA powder.

| Type   | Specific gravity (20°C) | pH (10% water dispersion, 20°C) | Average particle size (μm) | Appearance |
|--------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------|
| Powder | 0.45                    | 8                               | 45                         | white      |

**Table 5.** Measured compressive strength of cement mortars with various new tailing/sand ratios for sand at age of 28 days.

| Type of Mortar | Cement : Sand (by Weight) | Sand : Tailing (by Weight) | Water-Cement Ratio (%) | Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> ) |       |
|----------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|--|-------|
|                |                           |                            |                        | Measured                                   | Mean  |
| 1              | 1:3                       | 0:1                        | 67.5                   | 154.8                                      | 150.7 |
|                |                           |                            |                        | 148.2                                      |       |
|                |                           |                            |                        | 149.1                                      |       |
| 2              | 1:3                       | 1:1                        | 67.5                   | 182.8                                      | 174.4 |
|                |                           |                            |                        | 166.0                                      |       |
|                |                           |                            |                        | 174.3                                      |       |
| 3              | 1:3                       | 1:4                        | 67.5                   | 165.8                                      | 162.0 |
|                |                           |                            |                        | 162.3                                      |       |
|                |                           |                            |                        | 157.9                                      |       |

**시험방법****시험체 제작**

KS F 2476 (실험실에서 폴리머 시멘트 모르터를 만드는 방법)에 규정된 방법에 의해 Table 5에 나타난 배합비로 플로우 값이 170±5가 되도록 물-시멘트비를 조정하여 모르터를 배합하였다. 공시체의 컷수는 압축 및 압연인장 강도용 공시체는  $\Phi 7.5 \times 15$  cm, 휨강도는 6×6×24 cm로 성형하였으며, 온도 25°C, 상대습도 50~60%인 실험실 내에서 28일간 기건양생 하였다. 다짐에는 원주형 공시체의 경우 3층, 각주형 시험체의 경우 2층으로 나누어 다짐봉으로 25회씩 다짐한 후 테이블 바이브레이터 (3,000 vpm)로 충분히 다졌다.

**강도시험방법**

강도시험은 압축, 압연인장 및 휨강도를 측정하였으며, KS F 2405, KS F 2407 및 KS F 2403에 준하여 실시하였다.

**시험결과 및 고찰**

콘크리트의 역학적 특성을 나타내는 항목에는 여러 가지가 있으나 그 중에서 대표적인 것이 압축, 휨, 압연인장 강도라 할 수 있다. Table 5는 신광미와 모래의 적절한 배합을 결정하기 위해 광미:모래의 비율을 3종류로 변화시켜 제작한 시멘트 모르터의 압축강도를 측정된 결과를 나타내었다. 실험결과를 살펴보면, 물-시멘트 비가 일정할 때 광미의 첨가량이 증가하면 시멘트 모르터의 압축강도는 감소하는 경향이 있으며, 광미:모래의 배합비율을 1:

**Table 6.** Mechanical properties of cement mortars manufactured by using tailing without admixture additives at age of 28 days. (unit : kg/cm<sup>2</sup>)

| Type of mortar | Compressive strength |       | Splitting tensile strength |      | Flexural strength |      |
|----------------|----------------------|-------|----------------------------|------|-------------------|------|
|                | Measured             | Mean  | Measured                   | Mean | Measured          | Mean |
| Plain          | 274.2                | 264.4 | 30.0                       | 27.5 | 50.1              | 51.2 |
|                | 255.9                |       | 24.1                       |      | 50.9              |      |
|                | 263.1                |       | 28.4                       |      | 52.6              |      |
| Old tailing    | 216.5                | 218.5 | 19.5                       | 19.0 | 47.1              | 46.5 |
|                | 228.7                |       | 17.8                       |      | 46.4              |      |
|                | 210.3                |       | 19.6                       |      | 46.0              |      |
| New tailing    | 182.8                | 174.4 | 12.6                       | 13.3 | 33.3              | 33.8 |
|                | 166.0                |       | 13.2                       |      | 32.4              |      |
|                | 174.3                |       | 14.0                       |      | 35.7              |      |

**Table 7.** Mechanical properties of PCC manufactured by using tailing and admixture additives at age of 28 days. (unit : kg/cm<sup>2</sup>)

| Type of mortar | Compressive strength |       | Splitting tensile strength |      | Flexural strength |      |      |
|----------------|----------------------|-------|----------------------------|------|-------------------|------|------|
|                | Measured             | Mean  | Measured                   | Mean | Measured          | Mean |      |
| Old tailing    | SBR                  | 270.8 | 260.5                      | 33.6 | 76.5              | 75.6 |      |
|                |                      |       | 274.1                      |      | 33.5              |      | 70.9 |
|                |                      |       | 277.7                      |      | 34.1              |      | 79.4 |
|                | EVA                  | 241.7 | 234.2                      | 20.1 | 18.5              | 52.9 |      |
|                |                      |       | 243.0                      |      | 20.4              |      | 53.0 |
|                |                      |       | 247.9                      |      | 21.4              |      | 53.8 |
| New tailing    | SBR                  | 256.8 | 252.2                      | 30.7 | 74.9              | 72.3 |      |
|                |                      |       | 251.8                      |      | 32.0              |      | 70.4 |
|                |                      |       | 266.3                      |      | 32.4              |      | 71.6 |
|                | EVA                  | 195.0 | 194.0                      | 14.7 | 13.0              | 35.9 |      |
|                |                      |       | 196.6                      |      | 15.3              |      | 36.3 |
|                |                      |       | 194.5                      |      | 15.8              |      | 37.1 |

1로 했을 때 가장 높은 압축강도를 나타내었다. 그러나 모래를 전혀 사용하지 않고 광미만을 첨가한 경우의 시멘트 모르타 압축강도는 광미 : 모래의 배합비율이 1 : 1인 경우와 비교할 때 약 14% 정도의 강도 감소를 보였으며, 광미 : 모래의 배합비율을 4 : 1로 했을 경우보다는 약 7% 정도의 강도 감소를 나타내었다. 따라서 이상에서의 결과를 고려해 볼 때 광미와 모래의 가장 이상적인 배합비율은 1 : 1로 판단된다.

Table 6은 앞의 실험에 의해서 구해진 광미 : 모래=1 : 1의 배합비로 구광미와 신광미로 배합된 시멘트 모르타 강도 특성을 비교한 결과를 나타낸 것이다. 구광미를 골재로 사용한 시멘트 모르타의 압축, 활렬인장 및 휨강도는 각각 218.5, 19.0, 46.5 kg/cm<sup>2</sup>인데 비해 신광미의 경우는 174.4, 13.3, 33.8 kg/cm<sup>2</sup>로서 구광미의 경우가 보다 더 높은 강도값을 보였다. 그러나 구광미와 신광미로 배합된 시멘트 모르타 강도는 모두 모래만을 사용하여 배합된 시멘트 모르타에 비해 작은 값을 나타내었는데, 이는

광미가 많은 양의 미분말과 불순물을 포함하고 있어서 고정된 물-시멘트 비로는 결합재와의 수화반응을 충분히 일으키지 못하였기 때문으로 판단된다.

Table 7에는 광미를 골재로 사용하고 내구성을 증가시키기 위해 폴리머를 혼입한 폴리머 시멘트 모르타의 강도 특성을 나타낸 것이다. 구광미를 사용한 경우가 신광미에 비해 우수한 강도를 보였으며, 구광미의 압축강도 시험결과를 보면 시멘트 모르타가 264.4 kg/cm<sup>2</sup>인데 비해서 SBR 혼입 폴리머 시멘트 모르타는 270.8 kg/cm<sup>2</sup>, EVA의 경우는 241.7 kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났으며, 휨강도의 경우에는 시멘트 모르타가 51.2 kg/cm<sup>2</sup>인데 비해 SBR 혼입 폴리머 시멘트 모르타가 75.6 kg/cm<sup>2</sup>, EVA의 경우는 52.9 kg/cm<sup>2</sup>로 나타났다 (Table 6, 7). 또한 압렬인장강도는 시멘트 모르타가 27.5 kg/cm<sup>2</sup>인데 비해서 SBR 혼입 폴리머 시멘트 모르타가 33.6 kg/cm<sup>2</sup>, EVA의 경우는 20.1 kg/cm<sup>2</sup>로 SBR 혼입 폴리머 시멘트 모르타가 EVA 혼입 폴리머 시멘트 모르타에 비해 강도별로 15~40%의 높은

강도를 나타내었다 (Table 6, 7). 이러한 결과에서 볼 때 광미를 골재로 사용한 시멘트 모르타의 경우 보통 시멘트 모르타에 비해 약간의 강도저하를 보이기는 하지만 SBR 및 EVA 등의 폴리머를 혼화제로 사용한다면 산업폐기물의 재활용이라는 관점에서 충분한 내구성을 지닌 폴리머 시멘트 모르타의 개발이 가능하다고 생각된다.

## 결 론

1. 구광미적치장에 쌓여 있는 광미 (구광미)의 pH는 7.71~8.13 (평균 7.89), 신광미적치장의 광미 (신광미)는 7.65~8.28 (평균 7.96)을 보여, 상동광산의 광미는 모두 알칼리성을 나타내었다.

2. 상동광산의 구광미는 100 mesh (0.149 mm) 보다 큰 입자가 전체의 61.5%를 차지하고 있는 반면에, 신광미는 100 mesh 보다 큰 입자가 전체의 38.04%에 불과해, 대체로 신광미가 구광미보다 더 미립인 것으로 나타났다.

3. 상동광산의 광미는 X-선 회절분석 결과, 주로 석영과 정장석, 각섬석, 백운모 등의 광물로 이루어져 있으며, 부분적으로 사장석과 회중석, 형석, 황철석 등을 함유하고 있다.

4. 광미의 양에 따른 시멘트 모르타의 최적 배합비를 결정하기 위해 신광미를 사용하여 원주형 공시체를 제작한 후 압축강도를 측정 한 결과, 광미 : 모래를 1 : 1로 사용한 경우가 가장 높은 압축강도 (174.4 kg/cm<sup>2</sup>)를 나타내었다.

5. 최적의 배합비를 이용하여 시멘트 모르타의 압축강도 (구광미: 218.5 kg/cm<sup>2</sup>, 신광미: 174.4 kg/cm<sup>2</sup>)와 휨강도 (구광미: 46.5kg/cm<sup>2</sup>, 신광미: 33.8 kg/cm<sup>2</sup>)를 구해 본 결과 강도는 일반 시멘트 모르타 (압축강도: 264.4 kg/cm<sup>2</sup>, 휨강도: 51.2 kg/cm<sup>2</sup>)보다 감소하였다.

6. 폴리머 시멘트 모르타 제작시 구광미를 사용한 경우가 신광미에 비해 우수한 강도를 보였으며, 구광미의 압축강도 시험결과를 보면 시멘트 모르타가 264.4 kg/cm<sup>2</sup>인데 비해서 SBR 혼입 폴리머 시멘트 모르타는 270.8kg/cm<sup>2</sup>, EVA의 경우는 241.7 kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났으며, 휨강도의 경우에는 시멘트 모르타가 51.2 kg/cm<sup>2</sup>인데 비해서 SBR 혼입 폴리머 시멘트 모르타가 75.6 kg/cm<sup>2</sup>, EVA의 경우는 52.9 kg/cm<sup>2</sup>로 나타났다. 또한 압열인장강도는 시멘트 모르타가 27.5 kg/cm<sup>2</sup>인데 비해서 SBR 혼입 폴리머 시멘트

모르타가 33.6 kg/cm<sup>2</sup>, EVA의 경우는 20.1 kg/cm<sup>2</sup>로 SBR 혼입 폴리머 시멘트 모르타가 EVA 혼입 폴리머 시멘트 모르타에 비해 강도별로 15~40%의 높은 강도를 나타내었다.

7. 결론적으로 광미를 골재로 사용한 시멘트 모르타의 경우 보통 시멘트 모르타에 비해 약간의 강도저하를 보이지만 SBR 및 EVA등의 폴리머를 혼화제로 사용한다면 산업폐기물의 재활용이라는 관점에서 충분한 내구성을 지닌 폴리머 시멘트 모르타의 개발이 가능하다고 생각된다.

## 사 사

이 연구는 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 이동휘 (1983) 금은광의 침출 및 침전기술. 대한광산학회지, 20권, p. 266-271.
- 정창근 (1974) 상동광산 광미 DAM 건설과 폐수처리의 현황. 대한광산학회지, 11권, p. 211-213.
- 최연왕, 정문영 (1998) 중석광 폐광미를 활용한 콘크리트의 특성에 관한 연구. 한국자원공학회지, 35권, p. 90-95.
- 한국자원연구소 (1997) 상동광산 광미적치장 안정성 검토 및 유지관리 대책 방안 연구. 대한중석(주), 308p.
- Chandra, S. and Ohama, Y. (1994) Polymers in Concrete. CRC Press, Inc., 204p.
- Ohama, Y. (1981) Adhesion Durability of Polymer-modified Mortars through Ten-Year Outdoor Exposure. Proceedings of the 3rd ICPC, Koriyama, Japan, p. 209-221.
- Ohama, Y., Demure, K. and Kim, W.K. (1994) Properties of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powders. Proceedings of the 1st East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Chuncheon, Korea, p. 81-90.
- Ohama, Y., Moriawaki, T. and Shiroshida, K. (1984) Weatherability of Polymer-Modified Mortars through Ten-Year Outdoor Exposure. Proceedings of the 3rd ICPC, Koriyama, Japan, p. 67-71.
- Ohama, Y. and Shiroshida, K. (1985) Properties of Polymer-Modified Mortars Using Powdered Emulsions. Polymer Concrete Uses, Materials and Properties, p. 313-322.
- Rump, H.H. and Krist, H. (1988) Laboratory manual for examination of water, waste water, and soil. VCH Verlagsgesellschaft, 190p.