

# 산업폐수 슬러지를 이용한 경량골재 개발에 관한 연구

고영민 · 이내우<sup>†</sup> · 최재욱<sup>\*</sup> · 우희철<sup>\*</sup> · 신학기<sup>\*\*</sup>

부경대학교 대학원 · <sup>\*</sup>부경대학교 공과대학 · <sup>\*\*</sup>경남정보대학 공업화학과  
(2002. 1. 9. 접수 / 2002. 3. 14. 채택)

## A Study on Development of Lightweight Aggregate Using Industrial Wastewater Sludge

Young-Min Ko · Nae-Woo Lee<sup>†</sup> · Jae-Wook Choi<sup>\*</sup> · Hee-Chul Woo<sup>\*</sup> · Hack-Gi Shin<sup>\*\*</sup>

Graduate School, Pukyong National University · <sup>\*</sup>College of Engineering, Pukyong National University

<sup>\*\*</sup>Department of Industrial Chemistry, Kyungnam College of Information & Technology

(Received January 9, 2002 / Accepted March 14, 2002)

**Abstract :** Among the disposal techniques of inorganic wastewater sludges from industries, most of sludges were dealt with burying underground inefficiently. But we have tried to recycle the resources that exhausted inorganic sludges were properly blended to certain ratios to make lightweight aggregate, that means manufacturing of it can be possible through blending of various components, drying, sintering, cooling and crushing to certain sizes that are needed by consumers. As disposal method of inorganic wastewater sludge is changed to environmentally fratematic method, this method could be very useful to make lightweight aggregates for decoration of building and the other so many purposes of those usages. That could be economically useful due to expected income for burying costs of ordinary disposal method from industries and sales income after manufacturing it. The second important profit is saving foreign currency from purchasing self-developed lightweight aggregate instead of importing expensive foreign product. This product will be also very impressive to user because of the fratematic lightweight to be composed of apatite structure that is important part of human body.

**Key Words :** inorganic wastewater sludge, lightweight aggregate, sintering, apatite, fratematic

### 1. 서 론

산업현장에서 발생되는 폐수에는 여러 가지 종류가 있고, 그 중에서 브라운관 및 반도체, 반도체웨이퍼, LCD(Liquid Cristal Display)를 생산하는 회사에서는 규소원소 등으로 구성된 물질들을 불산, 질산, 인산과 같은 산으로 표면을 수회 세정하면 산의 농도가 약해진다. 이렇게 세정능력을 상실한 세정액은 폐수처리장으로 보내어져 소석회와 알루미늄염 혹은 철염 등을 사용하여 폐수를 처리한 후에 물과 슬러지로 분리시킨다. 여기서 발생한 슬러지는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  등이 다량으로 함유되어 있으며, 이것을 건조하여 매립함으로써 환경오염의 원인이

되고 있을 뿐만 아니라 기업에서는 과도한 매립경비를 지불해야 하는 실정이다.<sup>1,2)</sup> 그러나 천연 점토와 브라운관 공장 등에서 배출되는 여러 가지의 슬러지를 혼합하여 각각 1000°C에서 소결한 후의 조성을 비교하면 약간의 차이가 있기는 하지만  $\text{SiO}_2$  함량은 비슷하다. 이와 같은 슬러지에 부족한 성분을 첨가하여 1100°C 이상의 고온으로 소성하면 경량골재의 제조가 가능하고 이것을 고온으로 가열하여 가공하면 인체중의 치아와 뼈를 구성하는 아파타이트구조의 결정이 석출되어 재활용할 수도 있을 뿐만 아니라 이러한 구조로 된 환경친화적인 경량골재가 제조된다는 것을 알 수 있다.<sup>3-5)</sup> 이러한 경량골재는 건축물의 고층화와 교량건설, 고속도로 건설사업 등에 활용 가능성이 높아져 경량화를 위한 연구가 요구되어 왔다. 이에 따라 C. Jana 등<sup>6)</sup>은 팽창하지 않는 점토에  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  등을 가하는 실험

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
nwlee@pknu.ac.kr

으로 팽창시키는데 필요한 화학성분의 범위를 정하였고, M. Kinoshita 등<sup>7)</sup>은 원료의 소성과 특성을 고려한 골재로서의 화학적 조성에 대하여 연구하였다. 국내에서는 경량골재시장이 제대로 형성되어 있지 않고, 대부분 발포시멘트로 사용되고 있으나 물성이 우수하지 못하므로 다양하게 사용되지 못하고 있다. 그리고 연료비와 인건비가 비싼 현재의 실정에서는 광물자원으로 경량골재의 제조가 거의 불가능하므로 이에 대한 대체원료의 개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구는 산업폐기물로서 배출되고 있는 무기성 슬러지의 처리방법이 현재의 비효율적인 매립 방법에서 자원을 재활용하는 환경친화적인 방법으로 전환시킴으로써, 각 기업체에서 독립적으로 배출되는 슬러지를 수집하여 동시에 처리하는 것이 가능하고, 사용목적에 따른 수입량을 대체시킴으로써 외화절약 및 자원관리에 기여할 수 있는 경량골재를 개발하고자 한다.

## 2. 경량골재의 특성과 제조

### 2.1. 경량골재의 특성

경량골재는 콘크리트나 시멘트에 혼합하여 사용하는 것이 대부분이므로 첫째로 가벼워야 하며, 둘째로 가격이 저렴하여야 하며, 셋째로 안정한 결정 형태로 존재하여야 할 뿐만 아니라 시공후에 용출되는 성분이 없어야 한다. 현재 한국산업규격에 표시된 골재의 규격은 잔골재가 5mm 이하이고 굵은 골재는 5~25mm이다. 그리고 용적중량은 1120kg/m<sup>3</sup>이며 구조용 경량골재의 용도로 사용되고 있으며 콘크리트 경량화의 기능을 가지고 있다. 현재 일본에서 시판되고 있는 인공경량 골재는 입경이 5mm 이하, 비중 1.25 전후이고, 입경 5mm 이상의 골재는 비중이 1.7 전후이다. Table 1은 우리나라에서 사용되고 있는 골재의 경량화재료의 종류와 사용량을 나타내고 있다. 현재의 경량골재의 사용량은 그렇게 많지 않으나 질이 좋지 않은 발포시멘트의 사용량이 모두 경량골재로 대체되어야 할 부분이다. 그러나 남부지방에서 발생하는 슬러지로도 500월/톤의 경량골재의 제조가 가능하다. Table 2에서 비교된 바와 같이 경량골재는 화산석, 발포시멘트, 잡석에 비해 많은 장점을 가지고 있음을 나타내고 있다. 즉 생산가격이 저렴하고 비중이 낮고 강도와 경도가 크다. 그리고 경량골재의 제조공정이 간단하며 채색성과 경량성도 우수하다. 그러나 산업폐기물로 경량

Table 1. Expected consumption amounts and costs of lightweight products(based on 2000)

종류	항목	사용량 (톤/월)	단가 (천원/톤)	총액 (억원/월)	비고
	화산석	6,000	65	39	수입
	발포시멘트	2,000	36	7	국내
	경량골재	500	36	0.2	수입 또는 조잡품

Table 2. Comparison of features on lightweight products

종류	장 점	단 점
화 산 석	비중이 작다. 강도, 경도가 크다. 스톤의 채색성, 경량화 우수	가격이 비싸다. 스톤 제조과정 복잡 (분쇄 공정)
발포 시멘트	비중이 작다. 저렴한 가격	강도, 경도 약함 스톤의 채색성 저하
잡 석	저렴한 가격 강도, 경도가 크다. 스톤의 채색성 우수	비중이 크다. (1.3~1.5) 스톤의 제조과정 복잡 (분쇄 공정)
경량 골재	저렴한 가격 비중이 작다. (1.2~1.6) 강도, 경도가 크다. 스톤 제조공정이 간단하다. 스톤의 채색성, 경량화 우수	재활용 제품에 대한 인식 제고

골재를 제조할 경우 많은 사람들이 폐수슬러지의 재활용제품이라는 것에 대한 인식이 좋지 못할 가능성이 있다.

### 2.2. 산업폐수 슬러지의 생성

경량골재를 제조하는데 활용가능한 산업폐수를 발생시키는 제조업에서 실리콘, LCD, 반도체를 생산하는 전자부품공장에서는 Si, SiO<sub>2</sub>로 된 기판을 HF로 1차 세척을 하는데 이 세척과정에서 HF를 조금씩 투여하여 HF와 Si를 반응시키고 중화시키면 고불산 슬러지가 생성된다. 다음에 질산, 인산, HF 등으로 2차적인 세척을 하면 아파타이트구조에 필요한 성분을 갖는 슬러지가 발생한다.

브라운관 유리를 제조하는 업체에서는 두 가지 공정을 사용하여 슬러지를 얻는데 첫 번째 공정으로 HF가 포함되지 않는 특수 혼산을 사용하여 세정, 폐수, 중화, 응집을 시킴으로써 슬러지를 얻고 두 번째 공정에서는 HF가 소량 함유된 혼산을 사용하여 슬러지를 얻는다.

도자기 제조업체에서는 유약 시유, 유약 슬러지,

**Table 3.** Classification of sources for industrial wastewater sludges

업체의 종류	발생 공정
실리콘/LCD/반도체 (전자부품)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· HF로 Si, SiO<sub>2</sub> 기판 세척</li> <li>· HF, Si → pH=11 → pH8 → pH7 → 고불산 슬러지 (매립)</li> <li>· 질산, 인산, 플루오르산으로 기판 2차 세척</li> <li>· H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, HF → pH=7 → 응집 → 슬러지 (아파타이트구조)</li> </ul>
브라운관 유리	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 특수혼산(HF 불포함) → 세정 → 폐수 → 중화 → 응집 → 슬러지</li> <li>· 혼산(HF 소량포함) → 세정 → 폐수 → 중화 → 응집 → 슬러지</li> </ul>
도자기류	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유약시유 → 유약슬러지 → 필터프레스 → cake (장석성분)</li> </ul>
철강	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 산폐액 → pH=7 (Fe(OH)<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>) → 슬러지</li> </ul>
제지	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자연성성분(45%), CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> <li>· 폐수 → 중화 → 응집 → 슬러지</li> </ul>

필터프레스를 통해 장석 성분의 물질을 얻고, 철강 제조업체에서는 산폐액을 가지고 중화를 시킬 경우 슬러지가 발생된다.

제지공장에서 배출되는 폐수는 연소 후 발생한 Ash 성분, CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 중화, 응집을 통해 슬러지를 얻는다. 위의 공정을 통해 발생하는 산업폐수용 슬러지를 이용하여 경량골재의 제조가 가능하다. 여러 가지의 무기성 산업폐수발생원과 처리 방법을 Table 3에 요약하였다.

### 2.3. 경량골재의 제조

우리나라의 남부지방에서 배출되는 무기성 슬러지는 SiO<sub>2</sub>를 많이 함유하고 있으며, 이것을 1100°C 이상의 고온에서 소성하면 아파타이트 결정을 생성하는 원료들이 되며 발포성을 가지고 경량화를 부여할 수 있으며, 특히 전자부품업체에서 무기성 슬러지를 많이 배출되는 것으로 나타났다. 이와같이 각종 사업장에서 발생하는 무기성 슬러지를 이용한 경량골재의 제조는 우선 경량골재의 제조에 필요한 성분으로 원료를 혼합하고 로터리 킬른(rotary kiln)에서 1050~1100°C로 소성된 경량골재를 냉각하여 분쇄하고, 체분리를 행함으로써 현장에서 필요한 크기로 생산한다. 공정관리 및 생산성을 향상시키기 위해서는 완전 연소를 위한 적정 공기량의 계산과 송풍기 설치로 연료를 절감할 수 있도록 하고, 로터리 킬른에서 고온으로 배출되는 경량골재를 냉각시켜 분쇄 및 체분리가 가능하도록 하기 위한 수송식 냉각기를 설치하며 슬러지의 성분과 열적 특성이

비슷한 원료를 같은 장소에 보관함으로써 원료투입 및 이송거리를 감소시킨다. 또 원료마다 내화도가 다르므로 소성온도 1050~1100°C 범위의 내화도를 갖는 조합비율을 만들고 일정한 소성온도를 유지하게 함으로서 생산성을 향상시킨다.

## 3. 실험 방법

### 3.1. 경량골재의 실험실적 제조

본 연구의 대상 사업장은 주로 영남지방으로서 구미, 창원의 L전자, O전자, D통신 등에서 배출하는 무기성 슬러지를 이용하였으며, 연구에 사용된 슬러지는 기판이나 브라운관의 세척시에 발생하는 물질을 산과 알칼리로 중화시킴으로써 경량골재에 필요한 슬러지가 제조된다. 실험에서는 여러 가지의 슬러지 시료를 직접 혼합 조제하여 고로(Electric Muffle Furnace : Kukje science, HY-80005)에서 1100°C로 승온시켜 2시간동안 충분히 소성시키고 냉각시켰다. 슬러지 시료의 제조방법은 점토, 유약, 철강, 제지성분 중에서 하나씩의 혼합량을 변화시켜 가면서 실험하였다.

### 3.2. 분석방법

슬러지를 고온에서 소성시켜 제조된 경량골재의 성분분석에 사용된 장치는 XRF(X-ray Fluorescence : Philips PW, X'UNIQUE II)를 사용하였으며, 경량골재의 원소분석을 위하여 실험실에서 조제한 시료 A, B를 위의 고로로 1100°C에서 제조하였다.

생성된 입자의 결정구조에 대한 특성을 분석하기 위해서 XRD(X-ray Diffraction : Philips X'pert-MPD)를 사용하였다. 실험조건으로는 40kV, 30mA에서 Glass cell위에 촉매를 균일하게 다져서 측정하였으며, 각종 산업용폐수 슬러지를 1100°C에서 2시간동안 소성하여 XRD를 이용하여 확인하였다. 또한 제조된 경량골재에 대한 형상을 파악하기 위하여 SEM(Scanning Electron Microscopy : Hitachi S-2400)을 이용하였으며, SEM측정용 시료는 시료접시위에 테이프를 고정시킨 후 골드 코팅과정을 거쳐 배울 15K에서 입자의 현상을 관찰하였다.

## 4. 결과 및 분석

### 4.1. 업체별 슬러지의 성분분석

각 업체에서 배출되는 슬러지를 1100°C에서 소성

Table 4. Comparison of industrial wastewater sludge components

원료 성분	전자부품			브라운관유리		철강		제지	도자기류	성분의 역할
	업체 (1)	업체 (2)	업체 (3)	업체 (1)	업체 (2)	업체 (1)	업체 (2)			
SiO <sub>2</sub>	2.3	2.4	4.7	46.8	45.2	1.0	3.6	8.4	장석	· 경량골재의 몸체역할 · 유리질형성, 흡수율감소
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8	-	8.2	21.3	14.4	0.3	0.2	4.2		
CaO	60.2	46.4	45.3	3.2	2.9	10.6	34.5	25.6		· 환경친화성 apatite 구조형성 · F, Cl을 결정구조내에 고정
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	32.2	37.5	35.8	-	-	1.5	-	1.5		· 용제
Na <sub>2</sub> O	-	-	0.8	-	-	0.2	2.6	0.3		· CaO와 중금속을 Ferrite화 · 고온에서 발포형성
K <sub>2</sub> O	-	-	-	2.8	3.1	-	-	-		· 용제보조제
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	12.0	1.8	15.9	13.7	60.7	50.8	1.9		
MgO	3.6	-	0.6	2.0	4.1	0.6	0.9	9.4		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	8.2	-		
ZnO	-	-	-	-	-	3.8	-	-		
BaO	-	-	-	7.7	-	-	-	-		
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	3.6	-	-	-		
CeO <sub>2</sub>	-	2.6	-	-	-	-	-	-		
가연성 물질	-	-	-	-	-	-	-	45.0		· Ash로 기공형성
배출량 (톤/월)	400	2,400	3,000	1,500	1,000	800	1,000	20,000	300	

한 다음 XRF로 슬러지 성분을 분석한 결과를 Table 4에 요약하여 정리하였다. 각종의 배출 슬러지에는 경량골재를 제조하기 위한 주성분인 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O 등이 다량 함유되어 있는 것으로 밝혀졌다. 그러나 각 업체에서 발생하는 슬러지는 그 구성성분에서 조금씩 차이를 나타내고 있다. 전자부품업체에서 발생하는 슬러지에는 환경친화성 apatite 구조형성에 필요한 CaO와 용제의 역할을 하는 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 다량 함유되어 있고 경량골재의 몸체역할을 하는 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 미량이 함유되어 있으며 용제보조제로 사용되는 K<sub>2</sub>O는 함유되어 있지 않았다. 브라운관유리를 제조하는 업체의 슬러지는 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 다량 함유되어 있고 CaO와 K<sub>2</sub>O는 미량 포함되어 있으며 인산과 질산은 포함되어 있지 않았다. 또한 철강제조업체의 슬러지는 CaO와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 대부분이었고 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O는 미량이 포함되어 있었다. 제지업체의 슬러지는 가연성물질과 CaO가

대부분이었고 나머지 성분은 미량이었다.

#### 4.2. 경량골재의 실험실적 제조

실험실에서 제조하는 경량골재에 대한 원료의 조합비율에 따른 특성을 Table 5에 비교하여 나타내었다. 이 결과에서 이상적인 조성을 갖고 아파타이트 결정형태를 나타내는 조성범위는 아주 제한적이었다. 바람직한 비율로 배합시킨 슬러지를 고온에서 용융하여 아파타이트구조의 골재를 제조하였으며 경량골재의 발포와 경량화를 유도하는 원료를 점토와 배합하여 1000~1100°C로 소성시킨다. 여러 가지의 조건에서 제조된 경량골재들의 비중, 흡수율, 용출 성분 등을 측정하여 비중 1.2~1.4, 흡수율 5% 이하로 하고 원료의 조합비율, 소성온도, 소성시간 등을 설정한다. 이 실험은 1100°C로 승온시켜 3시간동안 행해졌고 충분한 시간동안 냉각이 행해졌다. 먼저 점토가 미포함된 경우에는 건조강도가 약하고 흡수

Table 5. Comparison of mixing ratios for manufacturing lightweight aggregate from various sludges

	조 성	비중	흡수율	첨가성분 차이	비 고
1	유약 : 전자 : 유라 : 철강 : 제지 : A = 10 : 39 : 30 : 10 : 10 : 1	1.3	10%	점토 미포함	건조강도 약함. 흡수율 큼(Apatite 결정).
2	유약 : 전자 : 유리 : 철강 : 제지 : Al = 10 : 29 : 40 : 10 : 10 : 1	1.4	5%		건조강도 약함
3	유약 : 전자 : 유리 : 철강 : 제지 : Al = 20 : 29 : 30 : 10 : 10 : 1	1.6	0%		유리화
4	점토 : 전자 : 유리 : 철강 : 제지 : Al = 10 : 39 : 30 : 10 : 10 : 1	1.3	12%	유약 미포함	소결 미반응 (용제부족). 흡수율이 큼.
5	점토 : 전자 : 유리 : 철강 : 제지 : Al = 10 : 29 : 40 : 10 : 10 : 1	1.4	8%		소결 미반응(용제 부족).
6	점토 : 유약 : 전자 : 유리 : 철강 : 제지 : Al = 10 : 10 : 29 : 30 : 10 : 10 : 1	1.4	3%	이상적 조성	Apatite 결정
7	점토 : 유약 : 전자 : 유리 : 철강 : 제지 : Al = 10 : 10 : 39 : 20 : 10 : 10 : 1	1.4	3%		
8	점토 : 유약 : 전자 : 유리 : 철강 : 제지 : Al = 10 : 10 : 19 : 40 : 10 : 10 : 1	1.5	4%		
9	점토 : 유약 : 전자 : 유리 : 제지 : Al = 10 : 10 : 29 : 30 : 20 : 1	1.5	8%	철강 미포함	흡수율이 큼(CaO). 적색
10	점토 : 유약 : 전자 : 유리 : 철강 : Al = 10 : 10 : 29 : 30 : 20 : 1	1.7	5%	제지 미포함	철강중의 Fe로 인하여 비중이 큼. 자성(검정)

율이 크며 유리화되는 특징을 보였다. 그리고 유약이 미포함된 경우에는 용제부족으로 소결 미반응되었으며 흡수율도 크다. 철강이 미포함된 경우는 제지중의 CaO로 인해 흡수율이 크고 적색을 띠었으며 제지가 미포함된 경우에는 철강중에 Fe로 인하여 비중이 크다. 이상적인 조성을 가지는 apatite 구조에서 전자제품회사와 유리제조회사의 조성비율이 차이가 나는 원인은 실험실에서 인위적으로 조성비율을 만들고 실험해서 흡수율과 비중이 낮은 것을 구하기 때문이었다.

### 4.3. XRF 분석결과

적정한 조성범위에서 만들어진 경량골재의 성분 분석을 XRF로 실시한 결과를 Table 6에 나타내었다. 실험실에서 제조된 Sample A와 Sample B를 1100°C에서 XRF로 원소분석한 결과 SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, F순으로 많았다. 그러므로 경량골재 제조에 필요한 Ca와 P가 다량 포함되어 있고, 이것은 아파타이트 구성성분이기 때문에 환경친화적인 경량골재를 제조할 수 있다는 것을 의미한다.

각 원료를 적당한 공정혼합비율로 혼합한 다음 성형, 건조, 소성, 분쇄의 공정을 통하여 경량골재를 제조하였다. Fig. 1은 고로에서 케상으로 제조된 경량골재를 크기별로 3mm 이하, 3~7mm, 7~10mm로 분쇄하여 제품화를 할 수 있게 한 것으로서 구매자의 요구에 따라 적당한 크기로 제조할 수 있음을 나

Table 6. XRF analysis results of manufactured lightweight aggregate in laboratory (1100°C)

Component	Sample A (wt%)	Sample B (wt%)
SiO <sub>2</sub>	32.2119	30.3043
CaO	25.3969	26.0094
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.8585	13.2958
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8.8883	9.5877
F	8.8959	8.9837
MgO	2.5982	2.5574
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.7631	2.5199
ZrO <sub>2</sub>	1.7196	1.4407
ZnO	1.3868	1.3613
K <sub>2</sub> O	1.2001	1.1057
Na <sub>2</sub> O	-	1.0410
BaO	0.5150	0.4295
SO <sub>3</sub>	0.2427	0.3127
TiO <sub>2</sub>	0.2682	0.2932
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1863	0.2020
PbO	0.2301	0.1841
CeO <sub>2</sub>	0.1571	0.1791
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1496	0.0535
MnO	0.0678	0.0467
NiO	0.0867	0.0384
SrO	0.0283	0.0303
CuO	0.0413	0.0236
SnO <sub>2</sub>	0.1077	-

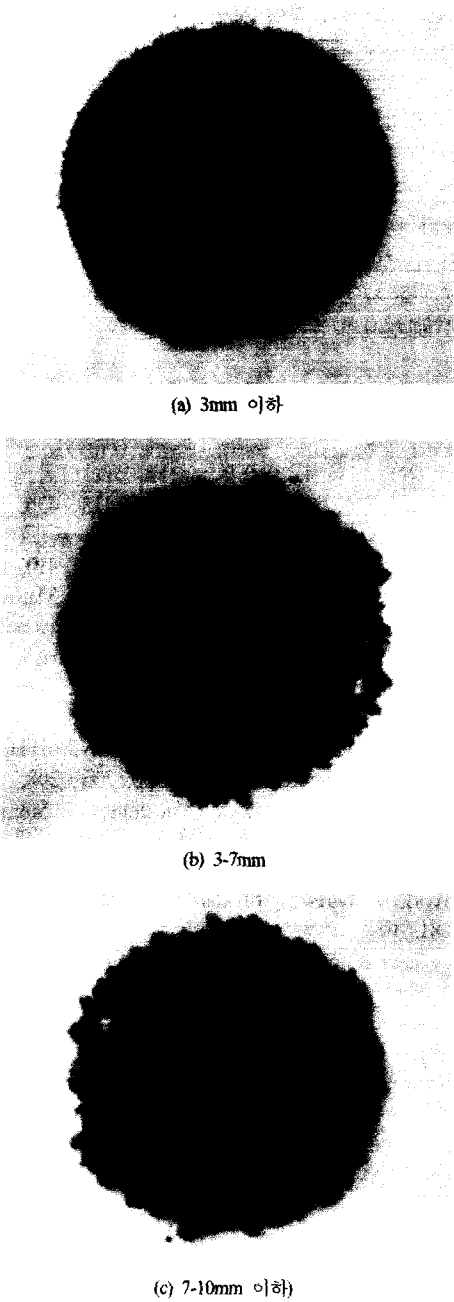


Fig. 1. The pictures of manufactured lightweight aggregates  
타내고 있다.

**4.4. XRD(X-ray Diffraction) 분석결과**

Fig. 2는 두종류의 업체에서 배출된 슬러지로 제조된 경량골재를 XRD를 이용하여 분석한 결과이

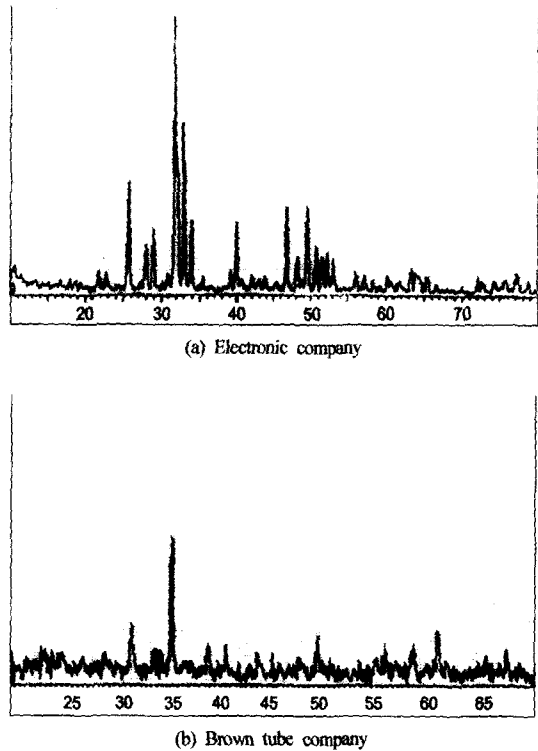
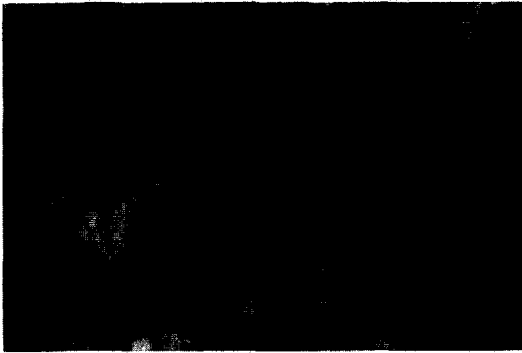


Fig. 2. X-ray diffraction result after sintering sludge for 2 hours at 1000°C

다. 이것은 JCPDS-Card File NO:26-1010에 의해 아파타이트( $10CaO \cdot 3P_2O_5 \cdot H_2O$ )와 유사한 구조를 가진다는 것을 알 수 있었다. 그러나 Fig. 2(a)는 XRD실험을 통해 아파타이트 구조와 유사한 피크치를 가지고 있고, Fig. 2(b)는 아파타이트구조와 약간 차이가 있는데 그 이유는 브라운관 유리를 세척할 때  $H_3PO_4$ 와  $HNO_3$ 로 2차 세척을 하지 않았기 때문이다.

**4.5. SEM(Scanning Electron Microscopy) 측정결과**

실험실에서 제조된 Sample A를 소결한 경량골재를 SEM으로 촬영한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)는 700°C 이하에서 소성된 경량골재로서 불완전하게 소결한 경량골재이고 Fig. 3(b)는 1100°C에서 소성한 것으로 완전하게 소성된 경량골재이다. 즉 불완전하게 소성한 경량골재는 비중이 높고 강도와 경도가 낮을 뿐만 아니라 채색성도 좋지 못하다. 따라서 무기성 슬러지를 이용하여 경량골재를 제조하기 위한 적절한 소성온도는 1100°C 이상이어야 한다는 것을 알 수 있다.



(a) at 700°C



(b) at 1100°C

Fig. 3. SEM result of lightweight aggregate sintered at high temperature

### 5. 결론

산업현장에서 발생하는 여러 가지의 무기성 폐수 슬러지를 활용하여 적당한 혼합비율(wt%)로 성형, 건조, 소성을 거쳐 경량골재를 제조할 때 기대되는 효과는 다음과 같다.

1) 여러 가지의 무기성 슬러지를 기존의 매립화 방법에서 폐자원을 재활용함으로써 인조석(스톤) 및 대형구조물의 경량화를 위한 경량골재로, 비중 1.2

~1.4인 환경친화적인 사업전환이 가능하다.

2) 생산에 필요한 원료 슬러지의 처리비용수입과 제품생산후의 판매수입에 의한 수익으로 경제성이 있는 사업으로 활성화 될 것으로 예측된다.

3) 경량화의 목적에 사용하는 화산석수입에 의존하는 경량골재를 수입대체시킴으로써 많은 외화절감효과를 발생시킨다.

4) 인체에 친화적인 아파타이트 구조를 갖는 경량골재를 제조함으로써 슬러지 재활용에 대한 거부감을 해소시킬 수 있다.

### 참고문헌

- 1) 오영재, 정형진, 장감용, 수산화 아파타이트의 물성 및 제조, *요업기술*, 10(5), pp. 428~436, 1995.
- 2) T. Suzuki and M. Miyake, *Ceramics*, 新しい水環境浄化用イオン交換体, 27(5), pp. 406~410, 1992.
- 3) Suguru Suzuki, Toshifumi Fuzita, Toru Maruyama & Minoru Takahashi. Cation-Exchange Characteristics of Sintered Hydroxyapatite in the Strongly Acidic Region, *J. of Am. Ceramic Science*, 76(6), pp. 1638~1640, 1994.
- 4) G. Willman, *Material Properties of Hydroxylapatite Ceramics*, *Interceramic*, 42(4), pp. 206~208, 1993.
- 5) H. Hayashi, H. Kanai, Y. Matsumura, S. Sugiyama & J. B. Moffat, *Oxidation Processes on Stoichiometric and Nonstoichiometric Hydroxyapatites*, 3rd World Congress on Oxidation Catalysis, pp. 673~681, 1997.
- 6) C. Jana & W. Holand, *Formation and Properties of a New Apatite-Containing Glass Ceramic*, *Silicate Industries*, pp. 215~218, 1991.
- 7) Makio Kinoshita, Mayumi Kimura, Mamoru Aizawa, Kiyoshi Itatani & Akira Kishioka, *Fabrication of Porous-Apatite Ceramics from Fibrous Carbonate-Containing Hydroxyapatite*, *Inorganic Materials*, 1(253), pp. 9~13, 1994.