

# 폐콘크리트 미분을 사용한 경량기포콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Properties of Light-Weight Foamed Concrete Using the Waste Concrete Powder

최 훈 국\*      김 재 원      서 정 필      이 정 구      강 철      김 진 만  
 Choi, Hun Gug      Kim, Jae Won      Seo, Jung Pil      Lee, Jung Goo      Kang, Cheol      Kim, Jin Man

### ABSTRACT

The recycling program about waste concrete is being progressed to national research. But research on waste concrete powder which is occurred in control process of concrete powder is not enough. Waste concrete powder includes in  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , and  $CaO$  so that the create of tobermorite is possible through Hydrothermal Syntesis Reaction. Tobermorite have an advantage of high strength, sulphuric acid resistance and the lower drying shrinkage.

Accordingly, this study investigate in properties of light-weight foamed concrete made with waste concrete powder.

As a results, light-weight foamed concrete made with waste concrete powder is the higher than stone powder sludge of density and porosity, and the lower compressive strength. Therefore, it is thought that light-weight foamed concrete using waste concrete powder is possible.

키 워 드 : 폐콘크리트 미분, 재활용, 경량기포콘크리트,  
 Keywords : Waste concrete powder, Recycling, Light-weight Foamed concrete

## 1. 서 론

건설폐기물의 약 70%를 차지하고 있는 폐콘크리트에 관한 재활용 방안은 국가적 연구과제로 활발히 진행되고 있다. 국내의 향후 건설폐기물의 발생량 예측에 의하면 2005년도에 14,953천톤의 폐콘크리트가 발생되었고, 2020년도에는 이보다 6.8배가 많은 101,293천톤의 폐콘크리트가 발생할 것으로 예상하고 있다. 이에 환경부와 건설교통부에서는 1999년 7월에 발표된 '자원의 절약과 재활용 지침'을 통해 건설폐기물 중 폐콘크리트의 재활용 목표율을 2000~2001년에는 70%, 2002년 이후부터는 75%로 할 것을 규정하고 개정 고시함으로써 건축물의 철거로 발생되는 폐콘크리트의 재활용을 촉진하고 있으며, 폐콘크리트를 순환골재 및 순환골재 콘크리트로 재활용 하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 국내의 폐콘크리트 재활용은 아직 초기단계이며, 주로 도로공사의 성토재료나 매립지의 복토재료로만 활용하고 있는 실정이다.

폐콘크리트를 순환골재로 생산하기위한 처리과정에서 다량의 폐콘크리트 미세립분 및 슬러지가 발생하고 있으나, 이에 대한 연구가 미흡하여 대부분을 매립에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 폐콘크리트 미분의 화학성분을 살펴보면 주성분이

$SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$  성분으로 구성되어 있어 고온·고압의 수열 합성반응 시 안정된 Tobermorite 수화물의 제조가 가능하다. 이러한 Tobermorite 수화물의 특징은 조직이 치밀하여 높은 강도를 얻을 수 있고 건조수축이 적고, 내황산성의 향상 등의 장점을 가지고 있다.

이에 본 연구는 폐콘크리트 미분의 재활용 가능성 검토에 관한 연구로서, 폐콘크리트 미분을 사용한 경량기포콘크리트를 제조하여 폐콘크리트 미분의 활용 가능성을 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구는 폐콘크리트의 처리과정 중에 발생하는 폐콘크리트 미분과 부순 골재 생산 시 발생하는 석분슬러지를 사용한 경량기포콘크리트를 제작하여, 특성을 검토하여 폐콘크리트 미분의 적용가능성을 알아보기 위한 것으로, 실험계획은 Table 1과 같다. 실험요인은 사용재료와 알루미늄 파우더이며, 알루미늄 파우더의 양은 경화체의 공극률을 결정하는 요인으로 ALC에 사용되는 양과 동일하게 분체의 0.10, 0.15% 두 수준으로 실험을 실시하였다. 측정항목으로는 절전밀도, 압축강도, 공극률, SEM 촬영을 실시하였다.

실험배합은 Table 2와 같으며, 폐콘크리트 미분과 석분슬러

\* 공주대학교 건축공학과 대학원, 석사과정, 정회원  
 \*\* 공주대학교 건축공학과 대학원, 박사과정, 정회원  
 \*\*\* 공주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

지의 C/S 몰비를 각각 0.90, 0.50으로 설정하였다. 페콘크리트 미분은 CaO 성분이 CaCO<sub>3</sub>로 존재하여 수화반응 시 일부만 반응을 하기 때문에 몰비를 높게 설정하였으며, 석분슬러지는 화학조성 중 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 Al<sub>3</sub><sup>+</sup>가 Si ion과 치환 가능하며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 존재 시 Al을 함유한 CSH가 생성되어 Tobermorite의 결정화가 촉진되기 때문에 상대적으로 페콘크리트 미분보다 많은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 함유하는 석분슬러지의 몰비를 페콘크리트 미분보다 낮게 설정하였다.

표 1. 실험계획

Factors	Levels	Testing items
Using material	• Waste concrete power(WCP) • Stone power sludge(SPS)	• Density • Compressive strength • Porosity
Al Power (AP)	0.1%, 0.15%	• SEM

표 2. 실험배합표

ID	C/S mole ratio	W/B (%)	Weight ratio(%)			AP (%)
			Calcareous	Siliceous	Gypsum	
WCP-1	0.90	60	26.0	69.0	5	0.10
WCP-2						0.15
SPS-1	0.50		23.8	71.2		0.10
SPS-2						0.15

\* AP는 Binder를 기준으로 첨가

## 2.2 사용재료

페콘크리트 미분을 사용한 경량기포콘크리트를 제조하기 위하여 시멘트는 밀도 3.15g/cm<sup>3</sup>, 분말도 3200cm<sup>2</sup>/g의 S사 보통 포틀랜드시멘트를 사용하고, 페콘크리트 미분은 밀도 2.24g/cm<sup>3</sup>, 입도 28μm의 국내 G사에서 생산되는 것을 사용하였으며, 석분슬러지는 밀도 2.63g/cm<sup>3</sup>, 입도 7.49μm의 국내 S사에서 생산되는 것을 사용하였다. 알루미늄 파우더는 일본에서 수입한 Y제품을 사용하였다. 사용재료의 물리·화학적 특성은 Table 3, 4와 같다.

표 3. SPS와 WCP의 화학적 구성

Type	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig. loss
WCP	51.34	10.78	3.21	16.42	1.17	0.52	0.86	2.53	12.48
SPS	67.87	15.31	5.91	0.31	2.24	0.13	0.88	3.25	3.19

표 4. Al power의 물리적 특성

Type	Density(g/cm <sup>3</sup> )	Boiling point(°C)	Melting point(°C)
Al Power	2.7	2,450	660

## 2.3 시험체 제작, 양생, 측정방법

### 2.3.1 시험체 제작방법

본 실험의 시험체 제작방법은 Fig. 1와 같다. 우선 페콘크리트 미분 및 석분슬러지를 물과 함께 아스팔트 믹서에 투입하여 충분히 슬러리화 하였다. 그 다음 나머지 분체를 투입하여 2mins 동안 믹싱을 실시하고 알루미늄 파우더를 첨가하여 1min 동안 믹싱을 실시하였다. 알루미늄 파우더는 발수성을 띄고 있어 믹싱 시 혼합이 잘 이루어지지 않으므로 미리 물과 섞

어 수용액을 만들어 첨가하였다. 믹싱 후 0.01 m<sup>3</sup>의 스티로폼 몰드에 투입하여 발포 시켰다.

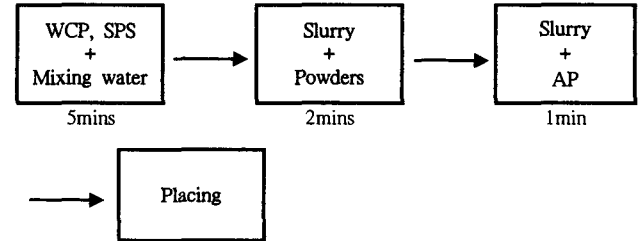


그림 1. 믹싱 방법

### 2.3.2 양생방법

제조된 시험체의 발포가 완료된 후 4시간동안 50°C에서 증기양생을 실시한 뒤 스티로폼 몰드를 탈형 하여 Autoclave를 이용하여 1시간동안 0.5기압으로 감압한 후 Fig. 2와 같이 승온 시간 40°C/hour, 180°C에서 4시간 유지 하였다. 양생 이후는 Autoclave 내에서 자연 감압 냉각 하였다.

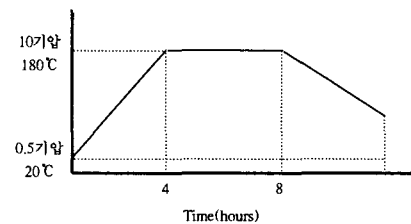


그림 2. 오토클레이브 양생 조건

### 2.3.3 시험방법

KS F 4914 「경량기포콘크리트패널」에 준하여 공시체를 100×100×100mm의 크기로 제조하여 밀도와 압축강도를 측정하였으며, 공극률은 일본콘크리트공학협회 에코콘크리트 연구위원회의 「포러스 콘크리트의 제조·물성·시험방법」을 이용하여 충분히 포화시킨 시험체의 수중중량 W1을 측정하고 20±2°C로 24시간 기건 후의 중량 W2를 측정한 후, 24시간 절건 후의 절건중량 W3 및 시험체의 체적 V를 측정하여 아래 식에 따라 전공극률 및 연속공극률을 산출하였다.

$$\text{전 공극률(\%)} = 1 - \frac{W_3 - W_1}{V} \times 100$$

$$\text{연속 공극률(\%)} = 1 - \frac{W_2 - W_1}{V} \times 100$$

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 밀도

Fig. 3은 시험체의 밀도변화를 나타낸 것으로, 알루미늄 파우더를 0.10% 첨가하였을 때 페콘크리트 미분과 석분슬러지를 사용한 시험체의 밀도는 0.49, 0.65g/cm<sup>3</sup>이며, 알루미늄 파우더를 0.15% 첨가하였을 때의 밀도는 0.61, 0.66g/cm<sup>3</sup>로 페콘크리트

미분을 사용한 시험체가 석분슬러지를 사용한 시험체보다 밀도가 낮게 나타났다. 이는 페콘크리트 미분과 석분슬러지의 밀도가 2.24, 2.63g/cm<sup>3</sup>로 페콘크리트 미분의 밀도가 석분슬러지보다 낮기 때문인 것으로 사료된다.

알루미늄 파우더의 양에 따른 밀도는 알루미늄 파우더의 양이 증가할수록 증가하였다. 이는 알루미늄 파우더의 양이 증가할수록 발포량이 증가하여 밀도가 감소되어야 하지만, 발포 후 경화되기 이전에 슬러리의 자중에 의한 침하가 발생하여 공극이 손실되기 때문인 것으로 판단되며, 발포량에 관한 세부적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

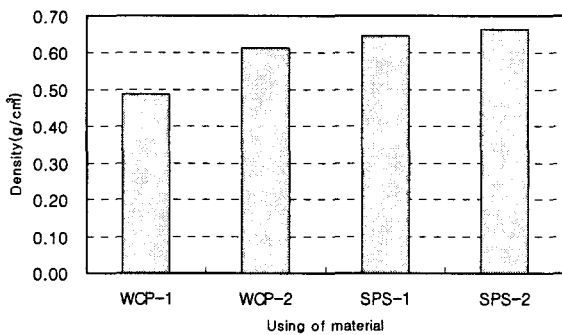


그림 3. 사용재료와 AP양에 따른 절건 밀도

### 3.2 압축강도

Fig. 4는 시험체의 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 알루미늄 파우더를 0.10% 첨가하였을 때 페콘크리트 미분과 석분슬러지를 사용한 시험체의 압축강도는 2.2, 4.2MPa이며, 알루미늄 파우더를 0.15% 첨가하였을 때의 압축강도는 2.3, 4.1MPa로 페콘크리트 미분을 사용한 시험체가 석분슬러지를 사용한 시험체의 압축강도에 약 50%정도 낮게 나타났다. 이는 페콘크리트 미분의 입도가 석분슬러지에 비해 높기 때문에 반응성이 떨어져 강도발현이 저하된 것으로 사료된다.

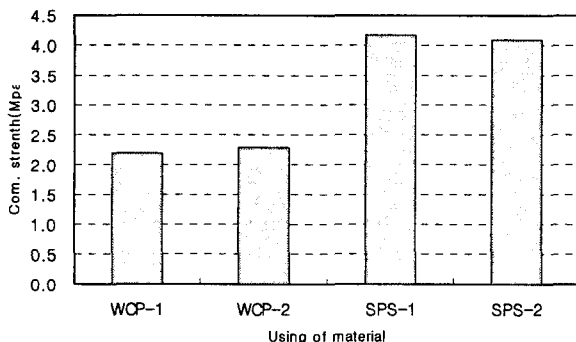


그림 4. 사용재료와 AP양에 따른 압축강도

### 3.3 공극률

Fig. 5는 시험체의 공극률을 나타낸 것으로 페콘크리트 미분을 사용한 시험체의 전 공극률은 51.2, 52.2%이고 연속 공극률은 13.2, 2.3%로 나타났으며, 석분슬러지를 사용한 시험체의 전 공극률은 48.0, 46.9%이고 연속 공극률은 4.1, 1.7%로 나타났다.

전 공극률과 연속 공극률 모두 페콘크리트 미분으로 만든 시험체에서 높게 나타났다. 이는 페콘크리트 미분의 밀도가 석분슬러지보다 낮기 때문에 슬러리의 자중이 낮아 발포된 후 석분슬러지보다 적게 침하하여 전 공극률이 높게 나온 것으로 사료된다.

모든 시험체에서 연속 공극률은 전 공극률에 비해 낮게 나타났다. 이러한 원인은 알루미늄 파우더의 반응에 의해 발생하는 기포가 연속된 공극이 아닌 닫힌 공극을 형성하기 때문인 것으로 사료된다.

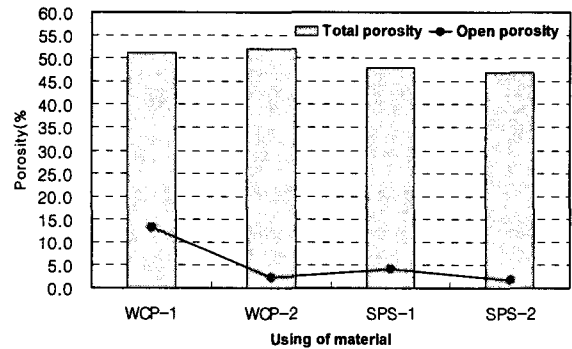


그림 5. 사용재료와 AP양에 따른 전공극률과 연속공극률

### 3.4 SEM

Picture 1, 2는 페콘크리트 미분과 석분슬러지를 이용한 시험체의 SEM 사진이다. SEM 촬영 결과 페콘크리트 미분과 석분슬러지를 사용한 시험체 모두 판상형의 Tobermorite가 생성되는 것을 알 수 있다.

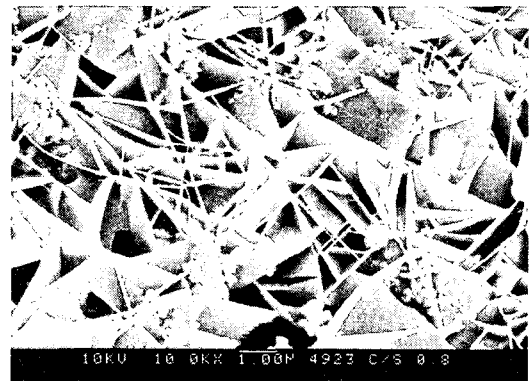


사진 1. WCP로 제조한 경량기포콘크리트의 SEM

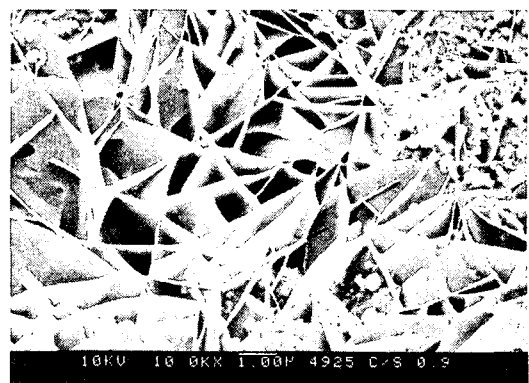


사진 1. SPS로 제조한 경량기포콘크리트의 SEM

## 4. 결 론

페콘크리트 미분을 사용한 경량기포콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구의 결과 다음과 같은 결론은 얻었다.

- 1) 경량기포콘크리트의 밀도는 석분슬러지보다 페콘크리트 미분으로 제조한 경량기포콘크리트가 더 낮은 것으로 나타났다. 이는 페콘크리트 미분의 밀도가 석분슬러지보다 낮기 때문인 것으로 사료된다.
- 2) 페콘크리트 미분과 석분슬러지로 제조한 경량기포콘크리트의 압축강도는 페콘크리트 미분으로 제조한 경량기포콘크리트가 석분슬러지로 제조한 것보다 약 50% 낮게 측정되었다.
- 3) 전 공극률과 연속 공극률 모두 페콘크리트 미분으로 만든 시험체에서 높게 나타났다. 이는 페콘크리트 미분의 밀도가 낮기 때문에 발포가 더 활발히 이루어지고 이에 따라 침하의 정도가 감소하여 전 공극률이 높게 나온 것으로 사료된다.
- 4) SEM 촬영 결과, 페콘크리트 미분과 석분슬러지를 사용한 시험체 모두 판상형의 Tobermorite가 생성되었다.
- 5) 페콘크리트 미분을 사용하여 제조한 경량기포콘크리트의 특성을 검토한 결과, 규사 및 석분슬러지를 사용한 시험체보다 물성은 떨어지는 것으로 나타났으나, 경량기포콘크리트로의 적용가능성은 충분히 있는 것으로 판단되며, 물성을 증가시키기 위하여 페콘크리트 미분의 대체율에 따른 실험이 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 05건설핵심기술연구개발사업(과제번호 : 05건설핵심D02)의 지원 하에 대한주택공사와 공주대학교 자원재활용소재 연구센터(RIC/NMR)가 공동으로 수행한 연구의 일부이며, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받는 것으로 관계 기관에 감사의 말씀을 올립니다.

## 참 고 문 헌

1. Takeshi Mitsuda, Gypsum & Lime, No. 214, 1988, pp. 9~14
2. 김진만, 이세현, 윤현도, 페콘크리트의 재활용, 한국 콘크리트학회 지 제 15권 2호, 2003, pp. 14~20
3. 비정제 석탄회를 이용한 소음저감재 개발, 산업자원부, 2005, pp. 159~162, 171~172
4. 김성원, 페콘크리트 미분말을 이용한 재생시멘트의 개발, 동아대학교 대학원 석사학위논문, 2003
5. 정지용, 수열합성반응을 이용한 석분 슬러지의 재활용 기술에 관한 연구, 공주대학교 대학원 석사학위논문, 2006
6. 선정수, 김하석, 광은구, 전명훈, 김봉주, 김진만, 재생미분말을 사용한 콘크리트 제품개발에 대한 기초적 연구, 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 논문집 :Vol. 6 No. 1, 2006, pp. 19~22
7. 日本コンクリート工學,ポラスコンクリートの製造・物性・試験方法. Vol.36. No.3. 1998, pp. 52~62

# 시공관리

1. 現場 自律 品質安全管理 시스템 構築 ..... 81

2. 건설공사의 성능계약 도입방안에 관한 연구..... 89

3. RFID 기술을 이용한 철골공사 자재관리 사례분석 및 개선방안제시..... 93

4. 건설현장에서 RFID 기술의 적용성에 관한 연구..... 97

5. 지하공사 사례를 기반으로 한 터파기 공법 선정프로세스 분석 ..... 101

6. 건설로봇도입에 대한 국내건설업자들의 인식에 관한 연구..... 105

7. 크레인 관련 중대재해사례를 통한 재해 유형 및 원인 분석..... 109

8. 해체공사의 수행실태 및 공동주택 분별해체 시험시공 ..... 113

9. 4D 시스템 기반의 건축시공 시뮬레이션 개발 방향  
- 공정 프로세스 중심으로 - ..... 119

