

폐콘크리트 미분말 대체율 변화와 입도 변화에 따른 경량기포콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Properties of Lightweight Foamed Concrete According to the Replacement Ratio and Particle Size of Waste Concrete Powder

이 대 근* 한 상 일* 박 호 진* 강 철** 강 기 응*** 김 진 만****
 Lee, Dae Geun Han, Sang Il Park, Hyo Jin Kang, Cheol Kang, Ki Woong Kim, Jin Man

Abstract

The recycling of waste concrete is increasing for the environment protection and the shortage of aggregate according to the large scale construction project in Korea. The more manufacturing high quality recycled aggregate is produced, the more waste concrete powder generated from the manufacture process of recycled aggregate, and the consideration about the recycling of waste concrete powder is need. Waste concrete powder was used for the partial replacement of silica powder, which is a main raw material for the manufacture of autoclave foamed concrete. According to the results of research, the slurry density, flow, compressive strength mainly depend on the replacement ratio of particle size and waste concrete powder. At the SEM analysis, the more high-waste concrete powder was the less there are generated tobermorite. But we conclude that it is possible to replace WCP as silica source in the manufacture of the lightweight foamed concrete.

키 워 드 : 폐콘크리트 미분말, 경량기포콘크리트, 수열반응, 토버모라이트
 Keywords : Waste concrete powder, Lightweight Foamed concrete, Hydrothermal reaction, Tobermorite

1. 서 론

최근 경제발전과 더불어 대단위 국토건설사업, 도로건설사업 및 주택건설사업 등이 시행됨에 따라 건설물량의 증가와 함께 해체과정에서 발생하는 건설폐기물의 배출량도 급격하게 증가하고 있는 추세이다.

환경부 통계연감에 따르면 2007년도 폐기물 구성비는 생활폐기물 15.0%, 사업장배출 시설계폐기물 34.0%, 건설폐기물 51.0%로 건설폐기물이 가장 큰 구성비율을 차지하고 있다¹⁾. 또한 건설폐기물은 해마다 발생량이 증가하여 2001년 이후 6년간 약 620%가 증가하였으며 2010년 에는 연간 약 1억만톤이 발생할 것으로 예상된다.

순환골재의 품질 고도화는 반대급부로 순환골재 생산 공정에서 부산물의 양을 높이게 된다. 저품질의 순환골재를 생산할 경우에는 원투입량의 약 5~10% 정도에 상당하는 미분말을 제외하고 나머지 전량을 저품질 순환골재로서 사용하는 것이 가능하였다. 하지만 고품질 순환골재를 만드는 과정에서는 고품질 순환골재의 회수율

이 약 10% 수준으로 나머지 90%는 세립화된 저품질 순환골재 및 미분말로 발생되고 있는 실정이며, 이러한 미분말과 저품질 순환골재는 토사와 골재를 혼합하여 부가가치가 낮은 성토용이나 기층재로 재활용 되고 있거나, 매립되고 있는 상황이다²⁾. 하지만 이런 미분말은 순환골재 생산에서 파쇄와 마쇄공정을 거치면서 실리카계 SiO₂ 성분과 폐콘크리트 중 시멘트계 물질인 Al₂O₃, CaO 성분이 함유되어 있어 칼슘질 재료와 혼합하여 수열합성반응을 유도하면 일반 경화체에 비해 경량 및 강도 증진의 효과를 가진 경화체 제조가 가능하다.

따라서 본 연구는 이것에 착안하여 건식공법을 통해 폐콘크리트를 순환골재로 생산할 때 발생하는 폐콘크리트 미분말(Waste Concrete Powder 이하 WCP로 칭함)의 재활용에 관한 일련의 연구로서 WCP을 다른 분체계 재료와 혼합하여 경량기포콘크리트를 개발하는데 있어 WCP 대체율 변화 및 입도변화에 따른 경량기포콘크리트의 특성을 검토하여 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

* 공주대학교 건축학과 대학원, 석사과정, 정회원
 ** 공주대학교 건축학과 대학원, 박사과정, 정회원
 *** 토지주택공사 건설폐기물재활용연구단, 연구원, 정회원
 **** 공주대학교 건축학과 교수, 공학박사, 정회원

본 연구를 위한 시험체 제작은 Autoclave 양생을 거쳐 생성되는 대표적수화물인 Tobermorite는 180° C 10기압³⁾⁴⁾에서 생성되며, 고온고압양생을 거친 경화체는 경량화, 강도확보, 내열성 및 치수안정성 등이 우수하다. 또한 Autoclave 양생을 통한 시험체의 C/S 몰비는 Tobermorite형성이 가능한 비율이 0.8~1.0으로써⁵⁾ 기준문헌을 참고하여 0.92로 선정하였다.

실험계획은 표 1에 나타난 바와 같다. WCP 대체율 변화 및 입도 변화에 따른 경량기포콘크리트의 특성을 검토하기 위해 W/B ratio는 선행연구를 통해 도출된 50%, Foam ratio는 100%, WCP 대체율은 0%, 50%, 100%의 3수준으로 mole ratio로 대체하였으며, 입도 변화는 75 μ m under, 150 μ m under의 2수준으로 하였다. 배합설계는 표 2와 같다.

표 1 실험계획

Factors	Levels	Testing items	
		Fresh	Hardened
Particle size	150 μ m under 75 μ m under	-Slurry density -Flow	-Dry density -Compressive strength -SEM -XRD
Replacement ratio of Waste Concrete Powder (Wt,%)	0 50 100		

표 2 배합설계

W/B (%)	C/S mole ratio	Foam ratio (Vol,%)	Replacement ratio of WCP(Vol,%)	Unit weight(kg/m ³)						
				W	OPC	WCP	Q	AC	CH	A
50	0.85	100	Plain-0	2824	2887	0	2103	289	139	231
			150-50	2831	2444	1050	1610	244	117	196
			150-100	2832	1995	2101	1112	200	96	160
			75-50	2831	2444	1050	1610	244	117	196
			75-100	2832	1995	2101	1112	200	96	160

W : Water content OPC : Ordinary Portland Cement
WCP : Waste Concrete Powder Q : Quartz, AC : Alumina Cement
CH : Calcium Hydroxide A : Anhydrite

*150-50

→50 = 50% Replacement ratio of WCP
→150 = 150 μ m under Particle size

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 분말도 3,200 \pm 300 cm²/g, 밀도 3.15g/cm³의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 폐콘크리트 미분말은 충남 논산의 건설폐기물 처리업체 D사의 것으로 밀도 2.5g/cm³, 함수율 10%의 WCP을 절대건조 한 후 75 μ m under, 150 μ m under를 사용하였다. 규사분은 금평산 천연 규사분으로 분말도 3,600~3,700cm²/g, 밀도 2.65g/cm³를 사용했다. 혼화제는 K사의 밀도 1.2g/cm³의 나프탈렌계 고성능

감수제를 사용하였고, 기포제는 밀도 1.18g/cm³, 고형분량 37.1%, pH7.1의 H사의 동물성 단백질 기포제를 사용하였다. 사용재료의 화학조성은 표 3에 나타난 바와 같다.

표 3. 사용재료의 화학조성

Compositions	Chemical composition(%)								
	CaO	SiO ²	Al ₂ O ³	MgO	SO ³	Fe ₂ O ³	K ₂ O	P ₂ O ⁵	lg,loss
Binders									
OPC	63.0	20.2	4.3	4.0	3.4	3.2	1.1	0.2	0.8
WCP (75 μ m under)	29.8	51.3	10.2	2.2	1.5	4.1	2.6	0.2	1.8
WCP (150 μ m under)	29.8	45.5	11.9	1.9	1.4	4.2	3.0	0.2	2.3
Quartz	2.0	92.9	2.8	0.3	0.4	0.8	0.5	0.2	0.3
AC	38.3	4.6	51.9	0.5	0.1	1.1	0.5	0.1	3.2
CH	90.2	1.6	0.7	5.1	0.8	1.4	0.2	0.0	0.0
A	38.2	2.7	0.3	0.0	58.1	0.2	0.0	0.5	0.6

2.3 실험방법

2.3.1 혼합방법

본 실험에 적용한 경량기포콘크리트의 제조 방법 Pre-foaming 방법으로 그림. 1과 같으며, 그 제조 방법은 1차로 아스팔트 혼합믹서에서 슬러리 상태로 혼합 후 2차로 기포혼입과 함께 원통형의 나선형 블레이드가 설치된 리본믹서를 사용하였다.

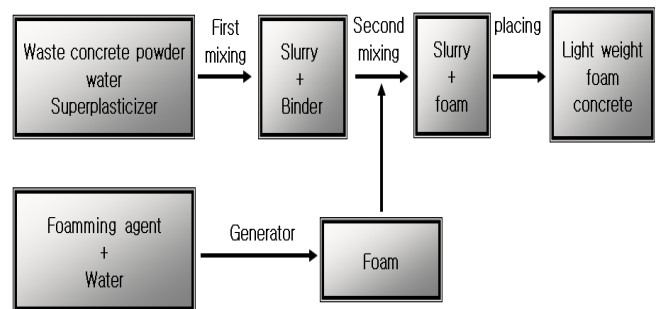


그림. 1 배합방법

2.3.2 양생방법

본 실험에서 적용한 양생방법은 그림. 2에서와 같이 타설 종료 후 4시간의 기건양생을 실시한 다음 증기양생 80°C에서 승온 4시간 유지 5시간으로 증기양생을 실시한 후 10atm 180°C의 조건으로 승온 4시간 유지 5시간으로 Autoclave 양생을 실시하여 자연감압 및 냉각 시켰다.

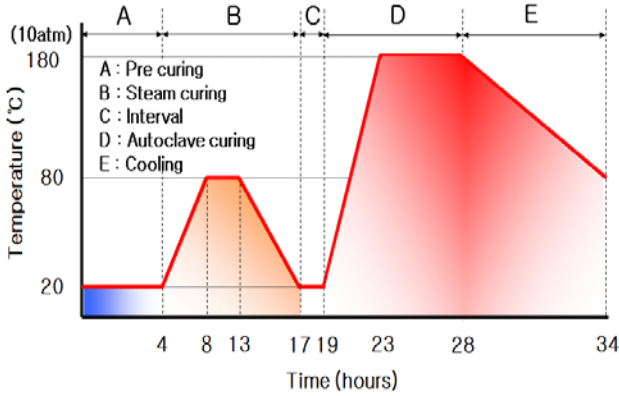


그림. 2 양생방법

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬러리밀도 및 플로우

그림. 3은 WCP 대체율 및 입도 변화에 따른 슬러리밀도와 플로우를 나타낸 것으로 슬러리밀도는 0.82~0.89g/cm³의 범위를, 플로우는 190~225mm의 범위를 나타냈다. 그리고 WCP 대체율 및 입도 변화에 따른 슬러리밀도의 차이는 매우 작게 나타나고 있는 반면 플로우는 입도변화에 따라 유동성이 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 상대적으로 작은 입도를 가진 75 μ m under의 미분말의 비표면적이 높아져 배합수의 흡수작용으로 유동성 저하에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

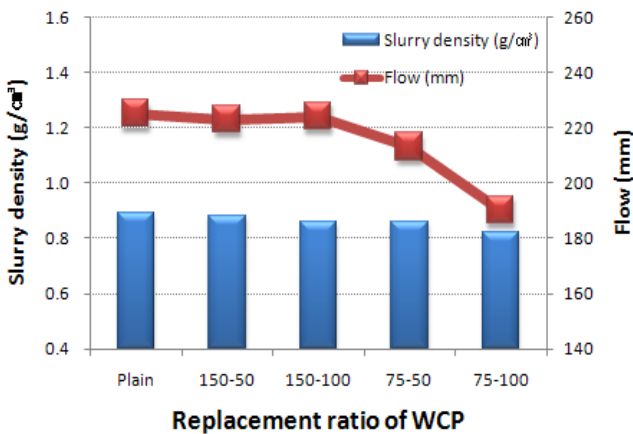


그림. 3 페콘크리트 미분말 대체율 변화 및 입도변화에 따른 슬러리밀도와 플로우

3.2 절건밀도 및 압축강도

그림. 4는 WCP 대체율 변화 및 입도 변화에 따른 시험체의 절건밀도와 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 절건밀도는 0.55~0.66g/cm³, 압축강도는 3.94~6.38 MPa의 범위를 나타냈다. WCP 대체율 증가와 입도변화에 따른 절건밀도의 차이가 매우 작

아 변화가 없는 것으로 판단된다.

그리고 WCP 대체율의 증가와 입도변화에 따른 압축강도는 감소하는 경향을 나타냈다. 그 원인은 WCP에 비해 균질한 품질을 가진 구사분의 사용이 감소함에 따라 수열합성 반응 시 반응성 저하로 결정질 수화물의 생성에 영향을 미친 것으로 판단된다.

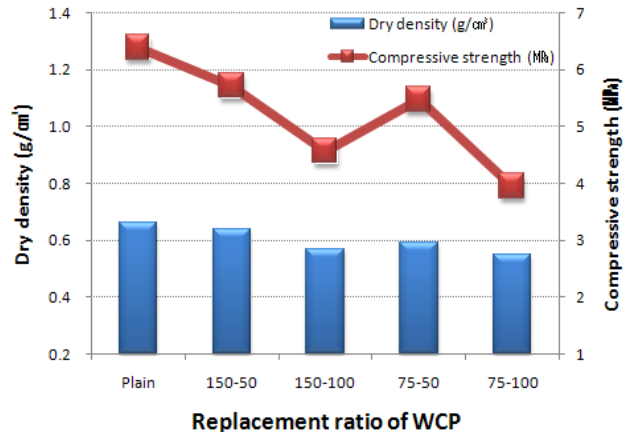


그림. 4 페콘크리트 미분말 대체율 변화 및 입도변화에 따른 절건밀도와 압축강도

3.3 XRD

오토클레이브양생 이후 경화체의 수화물 분석을 위해 XRD를 실시하였다. 일반적으로 Autoclave 양생 이후 생성되는 수화물은 온도조건에 따라 Tobermorite 그룹과 Xonotlite, Gyrolite 등이 있다.

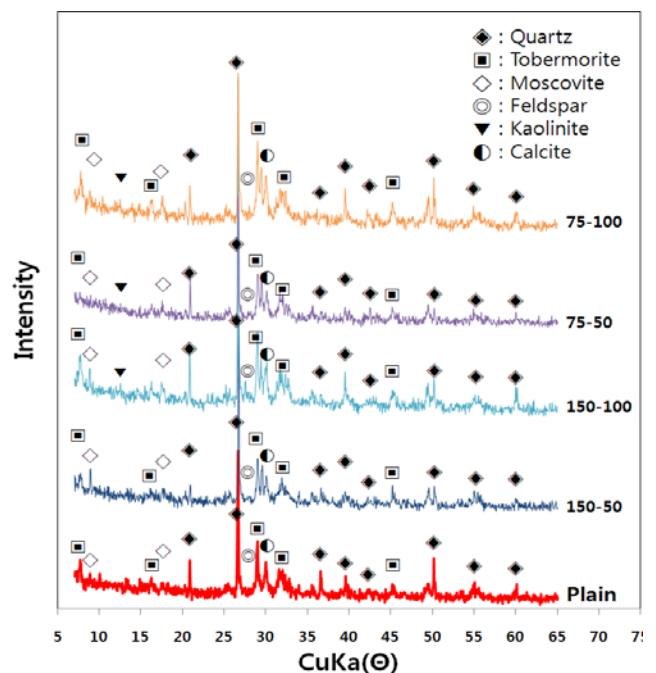


그림. 5 페콘크리트 미분말 대체율 변화 및 입도변화에 따른 XRD

본 연구의 결과에서는 180℃ 10atm의 양생 조건에서 생성되는 Tobermorite($5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$)가 그림. 5에서 보는 바와 같이 형성된 것으로 나타났으며, 부분적으로 미반응 Quartz 광물 (muscovite, Feldspar, Kaolinite)과 페콘크리트 중의 Portlandite ($Ca(OH)_2$)가 탄산화된 $CaCO_3$ 로 추정되는 Calcite 광물이 존재하는 것으로 나타났다.

3.4 SEM

그림. 6~10은 WCP 대체율 및 입도변화에 따른 경화체의 수화 생성물의 미세구조 및 형상을 파악하기 위하여 주사현미경을 이용하였다. WCP 대체율 증가 및 입도변화에 따라 판상형 Tobermorite의 형성이 저감되는 것으로 보여지며, 그 원인으로는 WCP 대체율 증가에 따라 균질한 규사미분 보다 반응성이 저하하여 Tobermorite의 형성에 영향을 미친 것으로 판단된다.

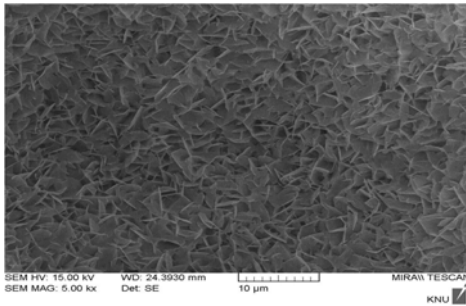


그림. 6 Plain

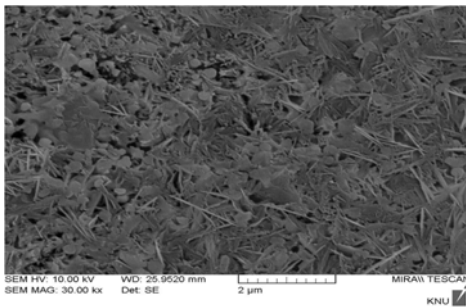


그림. 7 150 μ m-50%

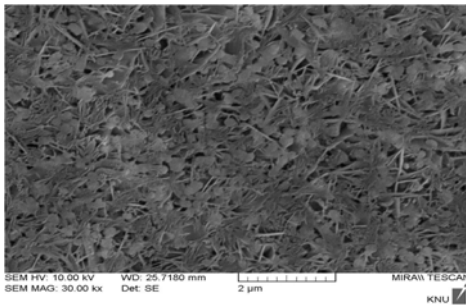


그림. 8 150 μ m-100%

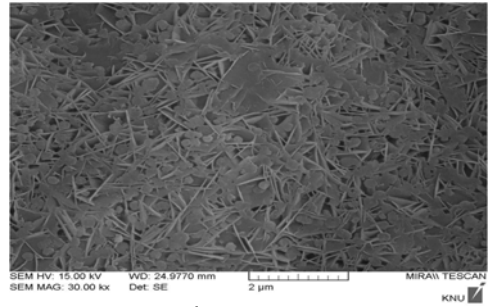


그림. 9 75 μ m-50%

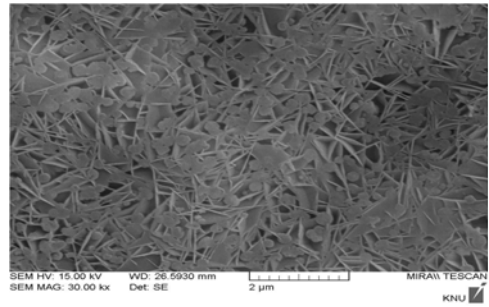


그림. 10 75 μ m-100%

4. 결 론

1. WCP 대체율 증가 및 입도변화에 따른 슬러리밀도는 매우 작은 변화를 보였으며 플로우는 감소하는 경향을 나타냈다.
2. WCP 대체율 증가 및 입도변화에 따라 절건밀도의 차이는 작게 나타났으며 압축강도는 저하하는 경향을 나타냈다.
3. 시험체의 XRD 분석결과 수열합성반응 이후에 생성되는 Tobermorite($5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$)의 존재가 확인되었으며, SEM을 이용하여 미세구조 및 형상을 확인한 결과 대체율 및 입도변화에 따라 Tobermorite의 형상이 변화하는 것으로 판단된다.
4. 경량기포콘크리트의 주원료인 규사분을 대체하여 WCP를 사용한 결과 상대적으로 압축강도 등이 감소하는 경향을 나타내지만 일부 대체하여 수열합성 원료로의 사용 가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 지원 하에(과제번호 05 건설핵심D07) 공주대학교 자원재활용신소재지역혁신센터 (RIC/NMR)가 공동으로 수행한 연구의 일부이며, 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임. 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)에 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 2005년 건설핵심기술 연구개발사업 연차보고서, 페콘크리트 미세립분을 활용한 건자재 개발 및 적용기술 개발 공주대학교 CTRM 1차년도 보고서
2. 환경부, 2007 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 2008,
3. H.F.W.Taylor, The Chemistry of cements, Department of Chemistry, University of Aberdeen, Scotland, pp.168~227, 1964
4. H.F.W.Taylor, The Chemistry of cements, Department of Chemistry, University of Aberdeen, Scotland, pp.181~191, 1964
5. N. Hara, Cement and Concrete Res , Vol.10, pp.667, 1980