

폐콘크리트슬러지 대체율과 기포혼입률 변화에 따른 경량기포콘크리트의 특성

Properties of Lightweight Foamed Concrete According to the Replacement Ratio of Waste Concrete Sludge and Variation of Foam Ratio

이 정 구* **김 재 원*** **최 훈 국*** **강 철**** **이 도 현***** **김 진 만******
Lee, Jung Goo Kim, Jae Won Choi, Hun Gug Kang, Cheol Lee, Do Heun Kim, Jin Man

ABSTRACT

Recently, waste concrete emission has been increased by acceleration of urban development and the rapid growth of redevelopment projects, so recycling of waste concrete is actively progressed. But the usage is limited to a lower value added such as the roadbed material etc. To produce the high quality recycled aggregate, breaking and washing process is added to the existing process and inevitably increases the occurrence of particle, because old mortar is included in the recycled aggregate. Therefore, this study purpose is analysis the properties of lightweight foamed concrete made by waste concrete sludge which is the by-product from produce the recycled aggregate. In result, possibility of manufacture of lightweight foamed concrete which gives equal performance compared with ALC was detect(scope of density : 0.5~0.6, scope of compressive strength : 3.5~4.0MPa). And scope of porosity is as follow ; total porosity : 27~30%, open porosity : 1~5%

키 워 드 : 폐콘크리트슬러지, 순환골재, 경량기포콘크리트,
Keywords : Waste concrete sludge, Recycled aggregate, Lightweight Foamed concrete

1. 서 론

최근 신도시 개발계획 및 구도심의 재건축 및 재개발 공사가 증대됨에 따라 이에 따른 건설물량의 증가 및 해체과정에서 발생하는 건설폐기물의 배출량도 급격하게 증가하고 있는 추세이다. 건설공사 과정에서 발생하는 폐기물은 처리비용 증가와 자연 및 환경파괴 문제로 인해 이를 해결할 수 있는 방안들이 활발하게 거론되고 있다.

건설폐기물중 약 70% 이상을 차지하고 있는 폐콘크리트의 발생량은 2005년도에 2,000만톤을 넘어서고 있으나 적절한 재활용 방안을 찾지 못하고 단순히 노반재, 성토 다짐재 또는 최종으로 매립만 하고 있는 실정이다. 이러한 배경에서 많은 콘크리트 연구자들은 폐콘크리트를 콘크리트용 골재로서 사용하기 위한 노력을 기울여 왔으나, 폐콘크리트를 파쇄하여 제조한 순환골재는 일반 골재에 비해 흡수율이 높고, 밀도가 낮은 저품질의 이유로 그 용도가 제한적이었으나, 최근 고품질 순환골재에 대한 연구가 활발히 진행되어 품질의 고도화라는 측면에서 우수한 성과를 보이고 있다.

순환골재의 품질의 고도화는 반대급부로 순환골재 생산공정

부산물의 양을 높이게 된다. 저품질의 순환골재를 생산할 경우에는 원 투입량의 약 5-10% 정도에 상당하는 미분을 제외하고 나머지 전량을 저품질 순환골재로서 사용하는 것이 가능하였다. 하지만 고품질 순환골재를 만드는 과정에서는 고품질 순환골재의 회수율이 약 10% 수준으로 나머지 90%는 세립화된 저품질 순환골재 및 미분으로 발생되고 있는 실정이며, 이러한 미세립분과 저품질 순환골재는 토사와 골재를 혼합하여 부가가치가 낮은 성토용이나 기층재로 재활용 되고 있거나 매립되고 있는 상황이다¹⁾. 하지만 이런 미세립분에는 순환골재 생산시 파쇄와 마쇄공정을 거치면서 골재의 파쇄로 인한 실리카계 물질과 폐콘크리트 중 시멘트계 물질인 SiO₂ 및 Al₂O₃, CaO 성분이 함유되어 있어 칼슘질 재료와 혼합하여 수열합성반응을 유도하면 일반 양생 경화체에 비해 경량 및 강도 증진의 효과를 가진 경화체 제조가 가능하다.

따라서 본 연구는 습식공법으로 폐콘크리트를 순환골재로 생산할 때 발생하는 폐콘크리트 슬러지의 재활용에 관한 일련의 연구로서 다른 분체계 재료와 기포를 혼합하여 경량기포콘크리트 경화체를 개발하는데 있어 폐콘크리트 슬러지의 대체율과 기포혼입률 변화에 따른 경량기포콘크리트의 특성을 검토하여 기초적 자료로 활용하고자 하였다.

* 공주대학교 건축공학과 대학원, 석사과정, 정회원

** 공주대학교 건축공학과 대학원, 박사과정, 정회원

*** 대한주택공사 건설폐기물재활용 연구단 단장, 정회원

**** 공주대학교 건축공학과 부교수, 공학박사, 정회원

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1에 나타낸 바와 같다. 기포혼입률 변화에 따른 경량기포콘크리트의 특성 검토하기 위해 기포혼입률을 100~175%의 4수준으로 하였다. 폐콘크리트슬러지는 제조공정상 입도가 불균질하며 CaO 성분과 SiO₂의 함량이 다른 규산질 재료보다 작아 반응이 활발치 않은 것을 선행 실험결과에서 확인 하였다. 따라서 반응성 향상 및 기타 규산질 재료의 혼합-사용을 검토하기 위하여 우선적으로 고품위 규사분을 폐콘크리트슬러지와 1:1의 중량 대체하여 사용하였다. 실험 배합표는 표 2와 같다.

표 1. 실험계획

Factors	Levels	Testing items	
		Fresh	Hardened
Replacement ratio of Waste Concrete Sludge (Wt,%)	50	-Apparent density of slurry	-Oven dry density -Compressive strength
Addition foam ratio(Vol,%)	100, 125, 150, 175	-Flow	-Porosity -XRD

표 2. 배합설계

W/B (%)	Addition foam ratio(%)	Water content (%)	Unit weight(%)						
			OPC	WCS	Q	AC	CH	AG	SP
60%	100	37.5	26.2	15.2	15.2	2.6	1.3	2.1	0.1% of OPC+AC
	125								
	150								
	175								

OPC : Ordinary Portland Cement, WCS : Waste Concrete Sludge
Q : Quartz, AC : Alumina Cement
CH : Calcium Hydroxide, AG : Anhydrous Gypsum

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 분말도 3,200±300 cm²/g, 밀도 3.15g/cm³의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 폐콘크리트슬러지는 충남 천안의 건설폐기물 처리업체 G사의 것으로 밀도 2.5 g/cm³, 함수율 46%의 슬러지를 습식마쇄를 한 후 사용하였으며 입도분포는 그림 1과 같다. 규사분은 금평산 천연 규사분으로 분말도 3,600~3,700cm²/g, 밀도 2.65g/cm³를 사용했다. 혼화제는 K사의 밀도 1.2kg/m³의 나프탈렌계 고성능 감수제를 사용하였고, 기포제는 밀도 1.18kg/m³, 고형분량 37.1%, pH7.1의 H사의 동물성 단백질 기포제를 사용하였다. 사용재료의 화학적 성분은 표 3에 나타낸 바와 같다.

표 3. 사용재료의 화학조성

Compositions	Chemical composition(%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	lgloss	
OPC	21.4	6.3	2.9	61.4	2.7	0.9	0.13	2.2	1.7	
WCS	50.77	9.91	2.96	18.66	1.88	2.498	1.183	-	12.14	
Quartz	90.1	5.7	1.0	-	0.1	0.14	1.72	-	1.2	
AC	4.2	54.7	0.6	36.9	-	0.23	0.08	0.2	0.3	
CH	-	-	-	68.3	-	-	-	-	31.7	
AG	3.7	0.7	0.1	38.3	-	0.03	0.01	54.4	2.9	

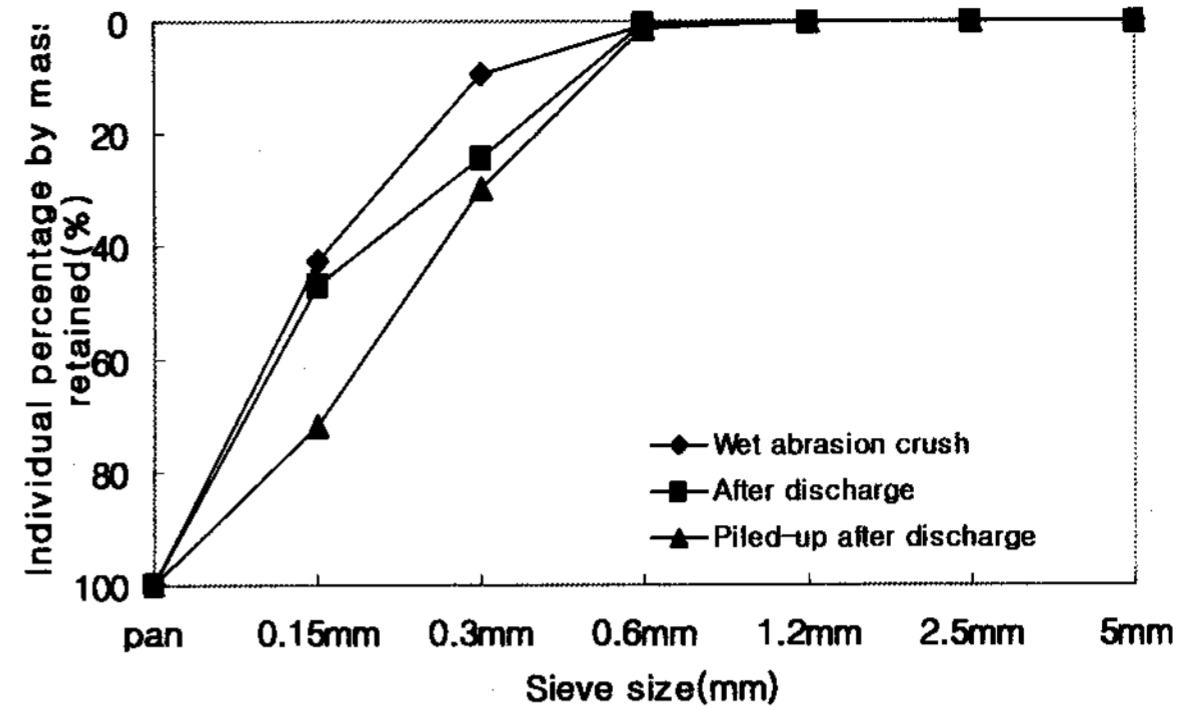


그림 1. 배출상태에 따른 폐콘크리트슬러지의 입도

2.3 실험방법

2.3.1 혼합방법

본 실험에 적용한 경량기포콘크리트의 제조 방법은 Pre-foaming 방법으로, 그 제조 방법은 그림 2와 같으며 사용된 믹서는 원통형의 믹서에 나선형 블레이드가 설치된 리본믹서를 사용하였다.

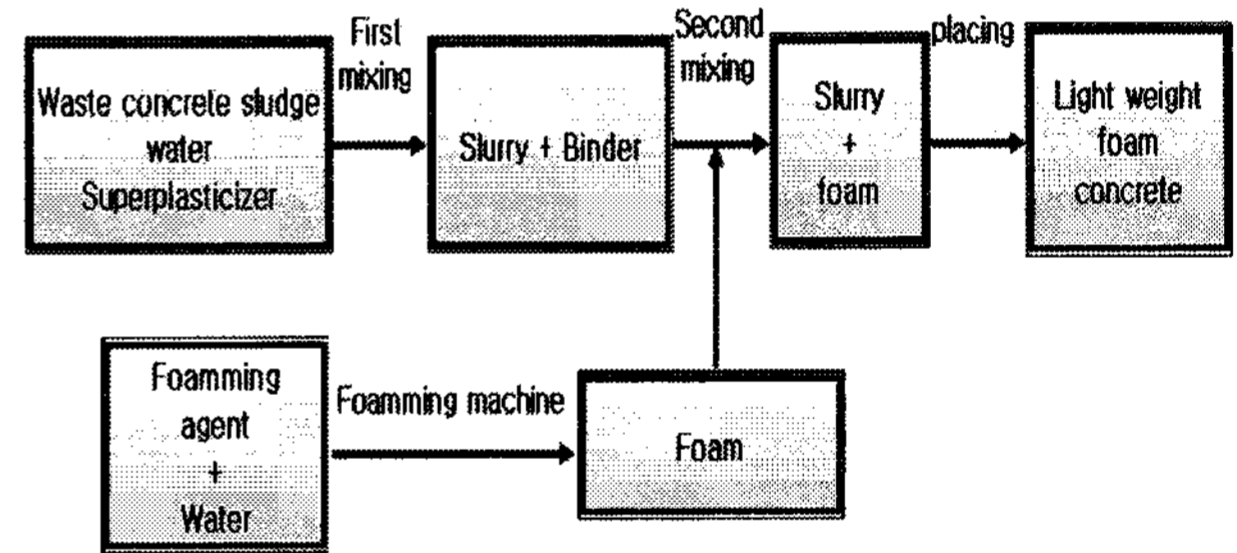


그림 2. 배합방법

2.3.2 양생방법

본 실험에서 적용한 양생방법은 그림 3에서와 같이 타설이 끝난 후 4시간의 기건 양생을 실시한 다음 증기양생 80°C에서 승온 3시간 유지3시간으로 증기양생을 실시한 후 10기압 180°C의 조건으로 승온 6시간 유지 8시간으로 오토클레이브 양생을 실시한 후 자연감압 냉각 시켰다.

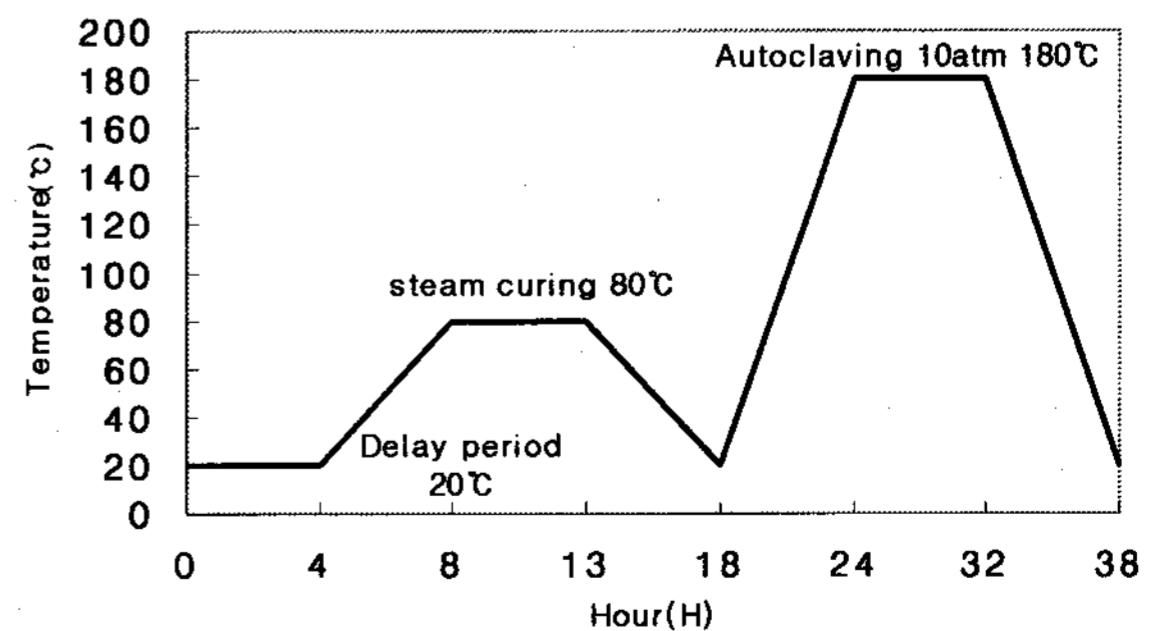


그림 3. 양생방법

2.3.3 측정항목

공극률은 충분히 포화시킨 시험체의 수중중량 W₁을 측정하

고 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 24시간 기건 후의 중량 W_2 를 측정 후, 24시간 절건 후의 절건중량 W_3 및 시험체의 체적 V 를 측정하여 아래 식 ①, ②에 따라 전공극률 및 연속공극률을 산출하였다.

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

$$\text{연속 공극률(\%)} = 1 - \frac{W_2 - W_1}{V} \times 100 \quad \text{----- ②}^{2)}$$

슬러지 밀도와 플로우는 KS F 4039에 준하여 실험하였고 압축강도 및 절건밀도는 KS F 2459에 따라 실시하였다. 또한 오토클레이브 후 생성된 수화물을 분석하기 위해 X-선 회절분석을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬러지 밀도와 플로우

그림 4는 기포혼입물 변화에 따른 슬러지 밀도와 플로우를 나타낸 것으로 슬러지 밀도는 0.84~0.91의 범위를, 플로우는 153~163mm의 범위를 나타내다. 또한, 기포혼입물 변화에 따른 차이는 크지 않았지만 기포혼입률이 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 기포혼입률이 증가하면 상대적으로 분체량이 감소하여, 독립적으로 분포되어있는 기포가 페이스트의 자중에 의한 흐름을 방해하기 때문이라고 추정된다.)

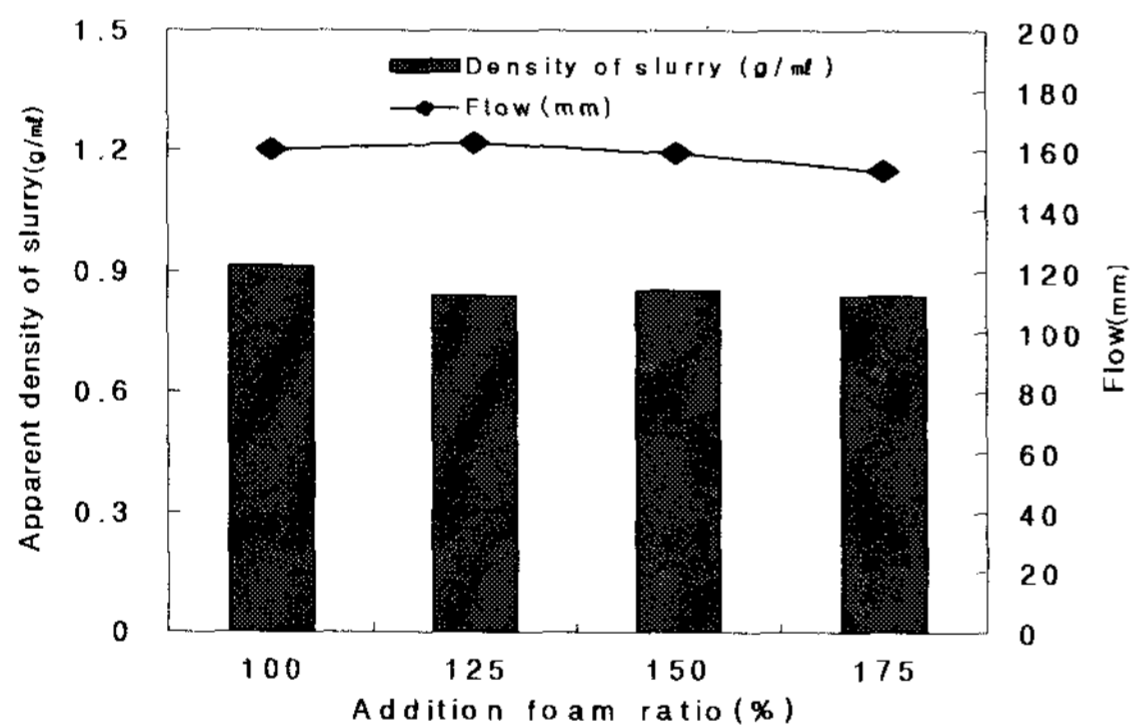


그림 4. 기포혼입물 변화에 따른 슬러지 밀도와 플로우

3.2 압축강도와 절건밀도

그림 5는 시험체의 압축강도와 절건밀도의 변화를 나타낸 것이다. 기포혼입률이 증가할수록 압축강도와 절건밀도는 다소 감소한 것으로 나타났다. 이는 기포혼입률의 증가로 인해 공시체 내부의 공극 증가로 인한 경화체의 밀도 및 강도특성을 좌우하는 경화 매트릭스의 용적감소에 의해 나타난 결과로 판단된다.

폐콘크리트 슬러지를 사용하여 제조한 경화체의 강도를 ALC와 비교했을 경우 0.5~0.6 밀도 범위에서 3.5~4 MPa로 유사한 강도특성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이는 폐콘크리트슬러지의 습식마쇄과정을 거치면서 폐콘크리트슬러지의 입자가 미립화 되어 반응성이 향상된 것으로 판단되며, 또 다른 이유로는 폐콘크리트슬러지 보다 높은 SiO_2 함유량 및 균질한 입도를 가진 규사분의 사용으로 수열합성 반응 시 반응성 향상으로 결정질 수화물이 다량 생성되어 압축강도가 증진된 것으

로 판단된다.

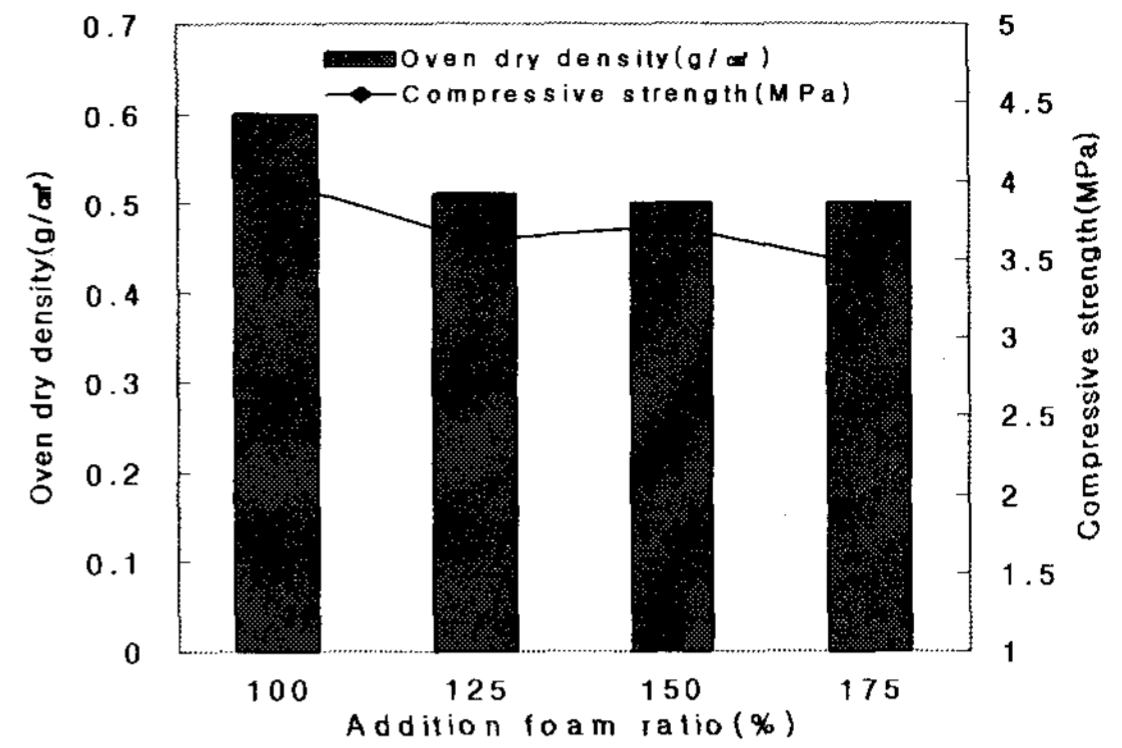


그림 5. 기포혼입물 변화에 따른 압축강도와 절건밀도

3.3 공극률

그림 6은 시험체의 공극률을 나타낸 것으로 폐콘크리트슬러지를 사용한 시험체의 전 공극률은 27~30%이고 연속 공극률은 1~5%로 나타났다. 연속공극률이 낮게 나타난 원인은 동물성기포제가 닫힌 공극을 형성하는 특성에 기인된 것으로 판단된다. 각 시험체의 공극 형태는 그림 7에 보여 지는 것 같이 닫힌 공극을 형성하였다.

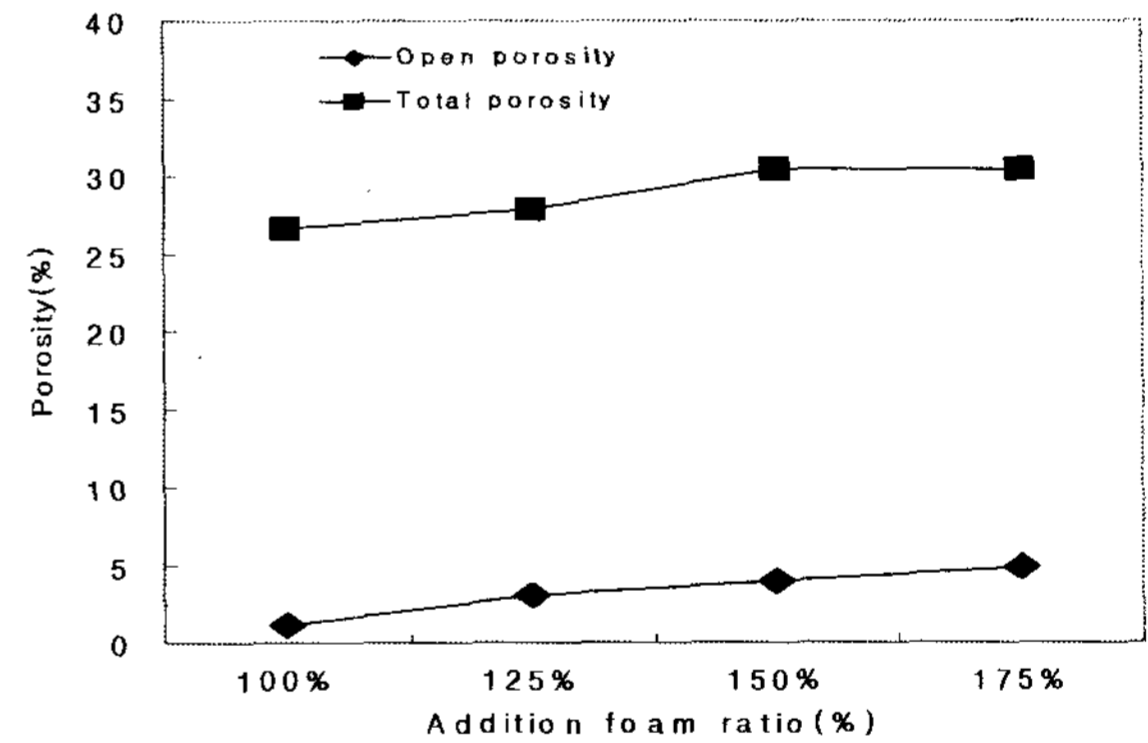


그림 6. 기포혼입물 변화에 따른 공극률

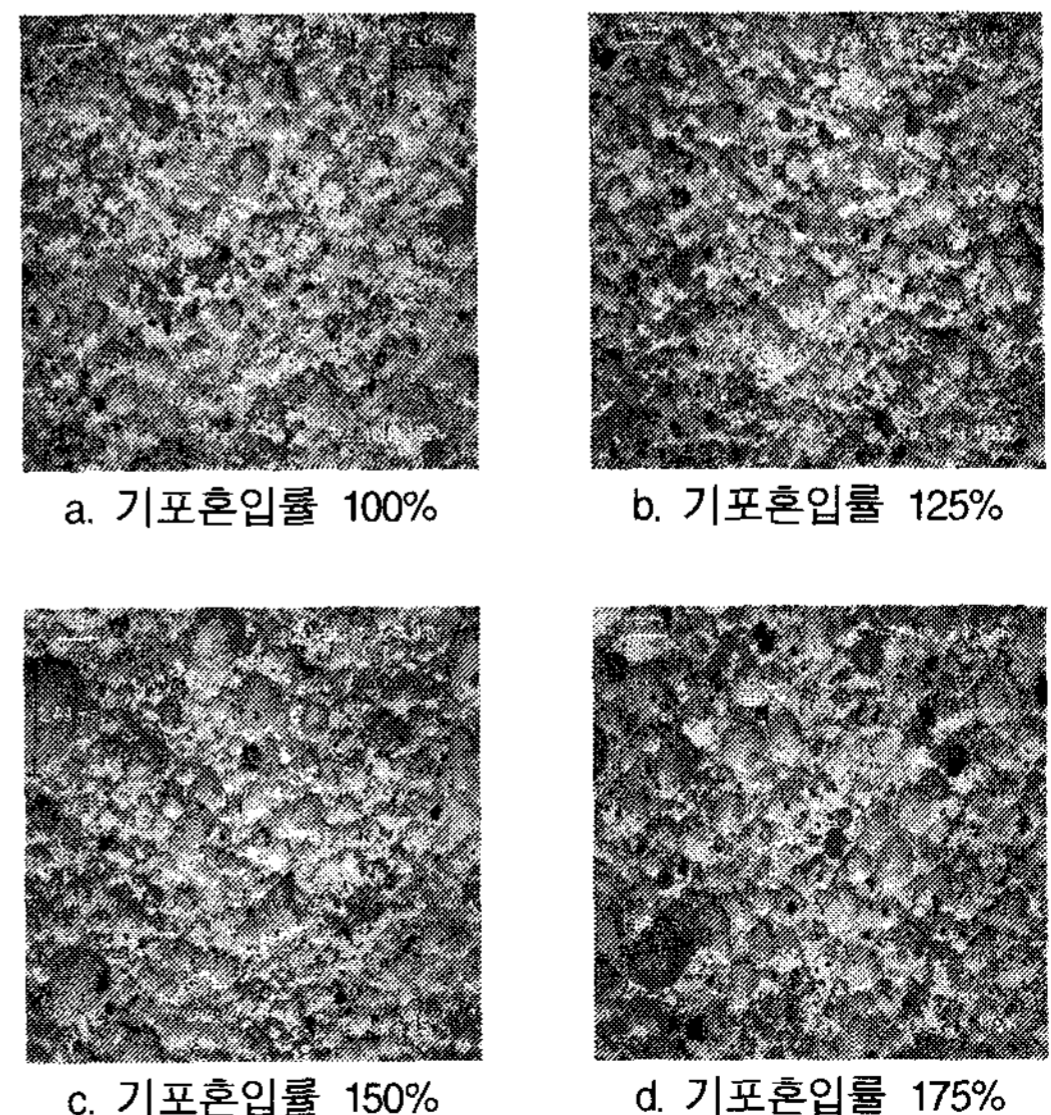


그림 7. 기포혼입물별 공극구조

3.4 XRD

오토클레이브 후의 경화체의 수화물 분석을 위해 XRD 분석을 실시하였다. 일반적으로 오토클레이브 양생 후에 생성되는 수화물은 온도조건에 따라 Tobermorite 그룹과 Xonotlite, Gyrolite 등이 있다. 본 연구의 결과에서는 180°C 양생 조건에서 생성되는 Tobermorite($5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$)가 그림 8에서 보는 바와 같이 비교적 잘 발달된 것으로 나타났으며, 부분적으로 미반응 Quartz 광물(muscovite, Feldspar, Kaolinite)과 폐콘크리트 중의 $Ca(OH)_2$ 가 탄산화된 $CaCO_3$ 로 추정되는 Calcite 광물이 존재하는 것으로 나타났다.

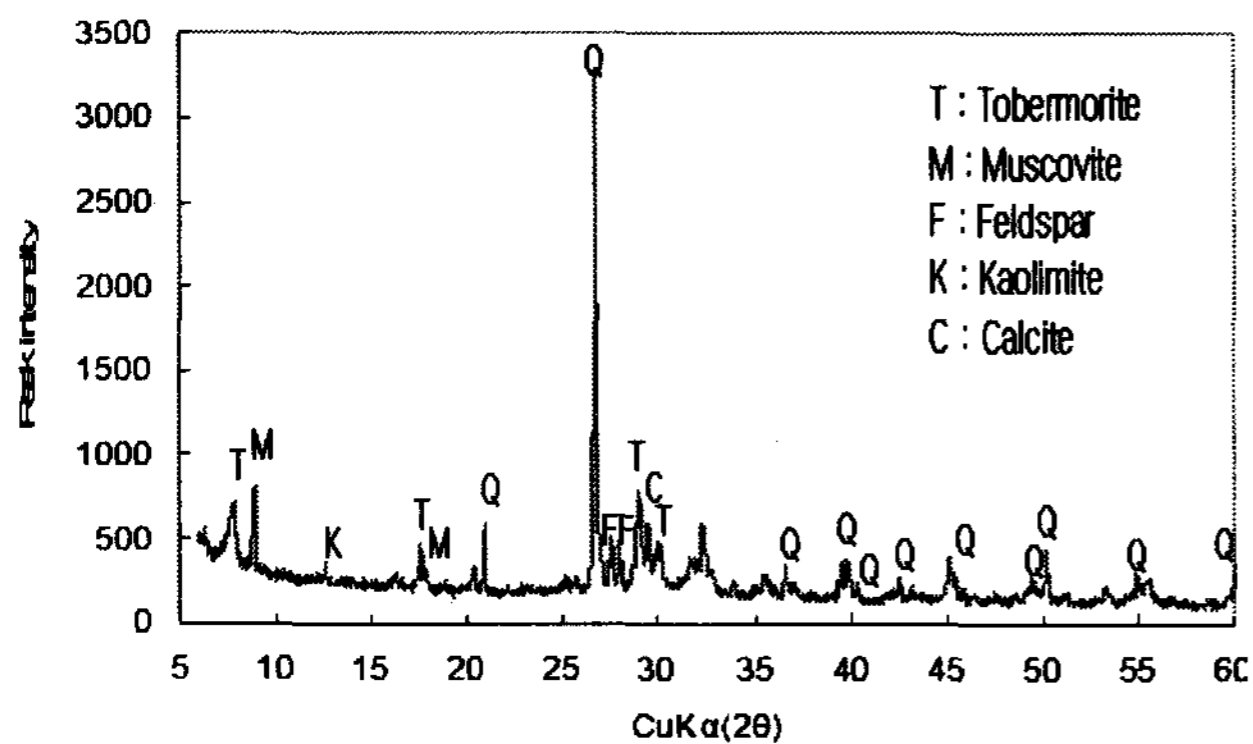


그림 8. XRD 분석

4. 결 론

폐콘크리트슬러지 대체율과 기포혼입률 변화에 따른 경량기포콘크리트의 특성에 대한 연구 결과 본 연구의 범위에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기포혼입률 변화에 따른 플로우와 슬러리 밀도는 각각 153~163mm, 0.84~0.91g/ml의 범위를 보였다.
- 2) 기포혼입률 변화에 따른 폐콘크리트슬러지를 사용한 경량기포콘크리트의 압축강도는 3.3~4MPa 이고, 절건밀도는 0.5~0.6g/cm³의 범위를 보였다.
- 3) 전 공극률은 27~30%이고 연속 공극률은 1~5%로 나타났다.
- 4) 시험체의 XRD 분석결과 수열합성반응 후에 생성되는 Tobermorite ($5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$) 수화물이 비교적 잘 형성된 것으로 나타났다.
- 5) 폐콘크리트슬러지만을 사용하였을 경우보다 규사분을 1:1 중량대체하여 사용한 경우 기존의 ALC블럭과 유사한 강도를 나타내어 추후 폐콘크리트슬러지를 사용하여 경량기포콘크리트의 제조 가능성을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 05첨단도시개발사업(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. 강 철, "바텀애시를 이용한 경량칸막이재 개발에 관한 실험적 연구", 공주대학교대학원 건축공학과 건축 재료시공 전공 석사학위 논문, 2006
2. 이도현, 전명훈, 고진수, "플라이애쉬를 혼입한 현장타설 경량기포콘크리트의 물리적 특성 및 품질관리", 한국콘크리트학회 논문집 제13권 1호, 2001
3. 정지용, "수열합성반응을 이용한 석분 슬러지의 재활용 기술에 관한 연구", 공주대학교대학원 건축공학과 건축 재료시공 전공 석사학위 논문, 2006
4. 2005년 건설핵심기술 연구개발사업 연차보고서, "폐콘크리트 미세립분을 활용한 전자재 개발 및 적용기술 개발", 공주대학교 CTRM 1차년도 보고서
5. 日本コンクリート工学, 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