

혼화재료를 이용한 경량콘크리트 2차 제품의 제작을 위한 기초적 물성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Basic Properties of Lightweight Concrete Secondary Products by Admixture

김 영 진^{*} 공 민 호^{*} 김 광 기^{**} 강 태 경^{**} 임 남 기^{***} 정 상 진^{****}
Kim, Young Jin Gong, Min Ho Kim, Kwang Ki Kang, Tae Kyoung Lim, Nam Gi Jung, Sang Jin

ABSTRACT

The propose of this study is to discover concrete secondary products for proper mixing by lightweight concrete.

The standard of water ratio 50% and weight substitution 0%, 10%, 20% by Fly-ash. When produce manufactures, there use for maintain its form weight substitution and addition among the viscosity agent each Silica-fume and Hydroxy propyl methyl cellulose. Testing method was to operate slump, air content, compressive strength test, rapid freezing and thawing test. The result of this study is appeared when substitution Fly-ash generally it had better use Silica-fume.

1. 서론

최근의 급속한 경제 성장과 건설 기술의 발달은 콘크리트 구조물의 고층화와 대형화를 가능하게 하였다. 그러나 콘크리트는 강도에 비해 비중이 크기 때문에 구조물의 자중이 크다는 결함이 있다.

이러한 콘크리트의 결함을 보완하기 위해 제조되는 경량 콘크리트는 자중 감소의 직접적인 효과와 단열·방음 등의 간접적인 효과가 있으며, 천연골재의 고갈에 따른 골재 부족 현상의 해결 및 자원의 재활용을 통한 환경오염을 감소시키는 효과도 있다.

현재 경량 콘크리트에 관한 국내의 기존 연구는 현장적용을 위한 기초 물성 연구가 대부분이며, 경량 골재 콘크리트를 이용한 2차 제품 제작에 관한 연구는 그다지 많지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구는 경량 콘크리트 제품의 제작과 특성에 적합한 배합을 도출하기 위한 기초 연구로써, 플라이애쉬, 실리카흄, 증점제를 혼화재료로 치환 및 첨가하여 인공경량골재를 이용한 경량 콘크리트의 기초 물성을 실험하였다. 이러한 실험결과를 분석·검토하여 압출 성형 경량 콘크리트 2차제품 제작에 대한 기초적 자료를 도출하고자 한다.

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정
** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정
*** 정회원, 동명 정보대학교 건축공학과 교수
**** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

2. 실험 계획

2.1. 사용 재료

2.1.1. 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201에 규정된 국내 S사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.2. 골재

본 실험에 사용한 잔골재는 표준비중 2.59의 인천산 세척사료, 최대크기를 5mm 이하로 입도 조정하여 사용하였고, 경량 골재는 스페인산을 사용하였으며, 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 경량골재의 물리적 성질

조립율	단위 용적 중량 (kg/m ³)	비 중	흡수율 (%)
5.7	598	0.6	7.68

2.1.3. 혼화재료

본 실험에서 사용한 플라이애쉬는 비중 2.11, 분말도 3,200cm²/g인 보령산 플라이애쉬를 사용하였으며, 실리카흄은 입자의 크기는 약 0.1~0.2 μ m이고, 비중 2.14, 비표면적 220,000cm²/g인 캐나다산을 사용하였다. 그리고 증점제는 셀룰로스 에테르계로서 국내 S정밀화학에서 생산하는 점도 31,000cps의 백색미분말을 사용하였다.

2.2. 시험 방법

2.2.1. 슬럼프 및 공기량 시험

슬럼프 시험은 KS F 2402에 따라 시험하였고, 공기량 시험은 KS F 2421에 따라 실시하였다.

2.2.2. 압축강도 및 인장강도

압축강도 및 인장강도 시험은 KS F 2405, KS F 2423에 따라 시험을 실시하였으며, 각 배합별로 크기 ϕ 10×20cm의 원주형 공시체를 재령 1일, 7일, 28일, 91일 각각 3개씩 제작하여 탁상식 바이브레타로 진동 다짐을 하였다.

2.2.3. 동결융해 시험

본 연구에서는 KS F 2456, ASTM-C-666에 의거하여 공기중 급속동결 수중 급속융해 시험법을 사용하였으며, 공시체는 10×7.5×40 cm의 크기로 제작하여 재령 14일에 시험을 시작하였다. 이때 동결융해시험 시작 전에 초기 동탄성계수를 측정하고 동결융해시험을 반복하여 30사이클 간격으로 동탄성계수를 측정하였으며, 콘크리트의 동탄성계수의 측정은 KS F 2437에 의거하여 실시하였다. 300사이클이 되면 시험을 완료하는데, 그 전에 상대동탄성계수가 60%이하가 되면 시험을 완료하였다. 시험에서 공시체의 온도는 동결시 -18℃, 융해시 +4℃가 되게 하였고, 동결융해 1사이클 소요시간은 약 3시간으로 관리하였다.

콘크리트의 동결융해에 대한 내구성지수(DF)는 다음 식으로 계산한다.

$$DF = \frac{C \times N}{M} (\%)$$

여기서, DF : 내구성 지수

C : N사이클에서의 상대 동탄성계수

N : 동결 융해 시험을 마친 사이클 수

M : 동결 융해 시험 목표 사이클 수

2.2.4. 배합

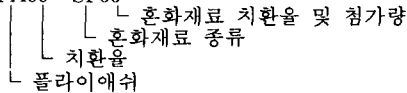
본 연구는 혼화재료를 사용한 경량골재콘크리트 패널 제작을 위한 기초실험으로, 콘크리트 배합은 표 4와 같이 물결합재비 50%, 잔골재율 45%, 단위수량은 180kg/m³으로 하여 플라이애쉬 치환율을 0%, 10%, 20%로 변화시켰다. 플라이애쉬의 각 치환율마다 실리카흄은 0%, 5%, 10%, 15%로 치환율을 변화시켰고, 증점제는 0g, 100g, 150g으로 첨가량을 변화시켜 실험하였다.

표 2 실험 배합표

시험체 구분	W/B (%)	S/a (%)	단위수량 (kg/m ³)	중량 배합 (kg/m ³)					
				C	S	G	FA	SF	HP
FA00-00	50	45	180	360	799	226	0	0	0
FA10-00				324	793	224	36	0	0
FA10-SF05				306	790	224	36	18	0
FA10-SF10				288	786	223	36	36	0
FA10-SF15				270	783	222	36	54	0
FA10-HP10				324	793	224	36	0	0.1
FA10-HP15				324	793	224	36	0	0.15
FA20-00				288	786	223	72	0	0
FA20-SF05				270	783	222	72	18	0
FA20-SF10				252	780	221	72	36	0
FA20-SF15				234	777	220	72	54	0
FA20-HP10				288	786	223	72	0	0.1
FA20-HP15				288	786	223	72	0	0.15

C : 시멘트, FA : 플라이애쉬, SF : 실리카흄, G : 경량골재, S : 잔골재, HP : 증점제

EX) FA00 -SF00



3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 슬럼프

슬럼프 실험 결과, 본 실험의 목표 슬럼프인 0~1cm의 목표값을 만족하였으며, FA10-HP10의 경우에서 1cm로 가장 높은 값을 나타내었다. 플라이애쉬와 실리카흄의 치환율이 낮을수록 슬럼프는 높게 나타났다으며, 증점제의 경우도 첨가량이 낮을수록 슬럼프는 증가하는 것으로 나타났다. 이는 실리카흄과 증점제가 자유수의 이동을 억제하여 슬럼프가 저하되는 것으로 판단된다.

3.2. 공기량

공기량 측정 결과 1.5~4.8% 범위였으며, FA20-SF15의 경우에서 1.5%로 가장 낮게 측정되었고, FA00-00이 4.8%로 가장 높게 측정되었다. 플라이애쉬의 치환율에 따른 공기량은 치환율 0%는 4.8%, 10%는 4.6%, 20%에서는 4.2%로 치환율이 높아질수록 공기량은 감소하였으며, 플라이애쉬 치환율 10%, 20% 모두 실리카흄의 치환율이 증가할수록 공기량은 감소하였는데, 이는 플라이애쉬의 미연탄소분에 의한 작용과 실리카흄의 마이크로 필러 효과에 의한 것으로 판단된다. 그러나 증점제 첨가시 공기량은 FA10-HP10이 4.3%, FA10-HP15는 4.6%, FA20-HP10은 2.5%, FA20-HP15는 3.0%로 플라

이애쉬 치환율 10%, 20% 모두의 경우에서 증점제의 첨가량이 증가할수록 공기량은 증가하였다. 이는 증점제 자체의 발포성과 소수성에 의한 계면 활성 작용으로 인해 공기량이 증가된 것으로 사료된다.

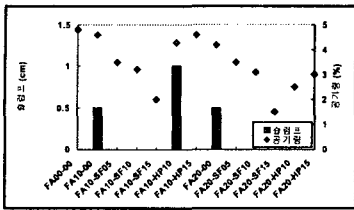


그림 3 배합별 슬럼프 및 공기량

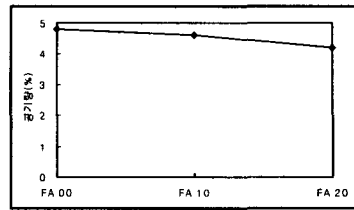


그림 4 플라이애쉬 치환율별 공기량

3.3. 압축강도 시험

압축강도 시험결과, 28일 강도를 기준으로 FA10-SF10이 299kgf/cm²로 가장 높은 값으로 측정되었고, FA20-HP15가 223kgf/cm²로 가장 낮게 나타났다. 그림 3은 플라이애쉬 치환율에 따른 압축강도를 나타낸 것으로, 재령 초기에는 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 압축강도는 낮아지는 경향을 나타내었는데, 이는 플라이애쉬를 혼입하면 초기 수화열을 억제하여 수화반응이 늦게 일어나 초기 강도에는 불리하나, 장기 재령에는 포졸란반응이 활성화되어 강도 증진 효과가 나타난 것으로 사료된다. 그림 4는 플라이애쉬 10% 치환시 압축강도를 나타낸 것으로, 플라이애쉬 10%에는 실리카흄 치환율이 증가함에 따라 FA10-00에 비해 초기 재령에는 압축강도가 저하하는 경향을 보였으나, 재령 7일 이후부터 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 실리카흄 혼입시 포졸란반응이 수화 초기에 발생하여 재령 7일부터 강도 증진효과가 발생한 것으로 판단된다. 증점제 첨가의 경우, 첨가량이 증가할수록 FA10-00에 비해 강도는 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 증점제의 첨가량이 증가할수록 공기량이 증가되어 압축강도가 저하된 것으로 판단된다. 플라이애쉬 20%의 경우에는 그림 5와 같이 실리카흄의 치환율이 증가할수록 재령 28일부터 압축강도가 증가하는 것으로 나타났고, 증점제는 플라이애쉬 10%의 경우와 같이 첨가량이 증가할수록 압축강도는 저하하였다. 그러나 플라이애쉬 10%, 20% 치환의 경우 모두 실리카흄 치환율이 증가할수록 강도가 증가하는 경향을 보이지만, 실리카흄 치환율 15%에서는 오히려 강도가 감소하는 것으로 나타나 실리카흄의 적정 치환율은 15% 이하, 5~10%가 적합한 것으로 사료된다. 또한 본 실험은 콘크리트 2차 제품의 제작을 위한 것으로 초기강도의 발현이 중요하기 때문에 플라이애쉬 치환율은 10% 치환이 적합한 것으로 판단된다.

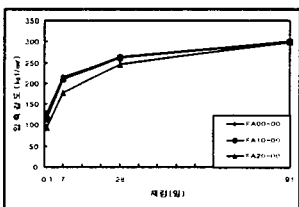


그림 5 플라이애쉬 치환율에 따른 압축강도

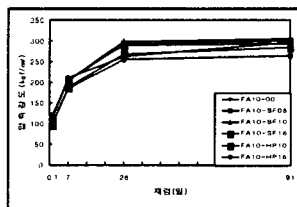


그림 6 플라이애쉬 10% 치환시 압축강도

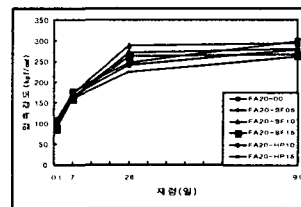


그림 7 플라이애쉬 20% 치환시 압축강도

3.4. 인장강도 시험

인장강도 실험 결과, 인장강도는 압축강도의 경우와 거의 유사한 발현성상 및 경향을 나타내었다. 28 일 인장강도는 FA10-SF10이 27kgf/cm²로 가장 높았고, 21kgf/cm²로 측정된 FA20-HP15가 가장 낮게 나타났다. 그림 6은 플라이애쉬 치환율에 따른 인장강도를 나타낸 것으로, 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 재령 초기에는 인장강도는 낮아지는 경향을 나타내었다. 그림 7, 그림 8은 각각 플라이애쉬 치환율 10%와 20%의 인장강도를 나타낸 것으로, 플라이애쉬 치환율 0%와 20% 경우 모두 실리카흙 치환율이 증가함에 따라 FA10-00에 비해 초기 재령에는 인장강도가 저하하는 경향을 보였으나, 재령 7일부터 인장강도가 증가하는 것으로 나타났다. 증점제를 첨가한 경우에는 첨가량이 증가할수록 FA10-00에 비해 강도는 감소하였는데, 증점제의 첨가량이 증가할수록 공기량이 증가되어 인장강도가 저하된 것으로 판단된다.

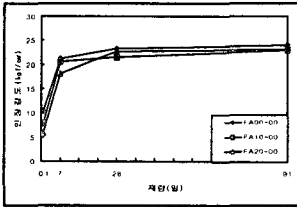


그림 8 플라이애쉬 치환율에 따른 인장강도

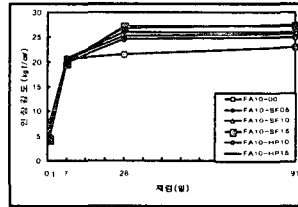


그림 9 플라이애쉬 10% 치환시 인장강도

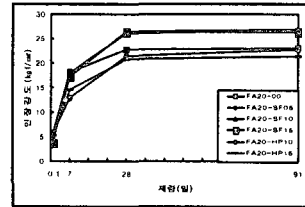


그림 10 플라이애쉬 20% 치환시 인장강도

3.5. 동결융해 시험

플라이애쉬, 실리카흙, 증점제의 사용이 경량콘크리트의 내구성에 미치는 영향을 파악하기 위한 동결융해 실험 결과는 표 3 및 그림 9~11과 같다. 플라이애쉬 치환율에 따른 상대동탄성계수는 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 상대동탄성계수는 낮아졌는데, 이는 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 공기량이 저하되어 동결융해 저항성에 불리하며, 또한 수화반응이 늦게 일어나 강도가 초기에 발휘되지 못하여 내동해성이 감소된 것으로 판단된다. 플라이애쉬를 10%와 20% 치환한 시험체에서 실리카흙의 치환율과 증점제의 첨가량에 따른 상대동탄성계수를 조사한 결과, 플라이애쉬 치환율 10%, 20% 모두의 경우에서 실리카흙 치환율이 증가할수록 내구성 지수는 감소하였는데, 이는 실리카흙의 마이크로 필러 효과에 의해 공기량이 감소되었기 때문으로 판단된다. 또한 증점제의 경우는 첨가량이 증가할수록 동결융해 저항성은 증가하였으며, 이는 증점제 자체의 발포성에 의해 공기량이 증가하였기 때문으로 사료된다. 그리고 플라이애쉬와 증점제의 경우 치환율 및 첨가량이 증가할수록 압축강도와 동결융해 저항성 모두 감소하였으나, 실리카흙의 경우에는 치환율이 증가할수록 압축강도는 증가하였으나 내동해성은 감소하였다. 따라서 본 실험에서 경량골재 콘크리트의 동결융해 저항성은 압축강도보다는 공기량에 더욱 크게 영향을 받는 것으로 사료되며, 실리카흙은 강도증진에는 효과적이거나 내구성에는 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

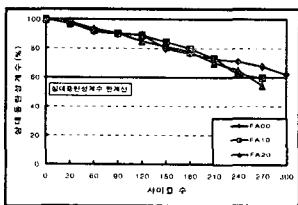


그림 11 플라이애쉬 치환율에 따른 상대동탄성계수

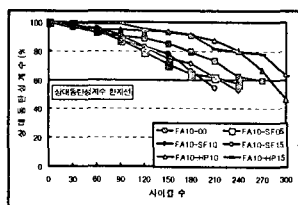


그림 12 플라이애쉬 10% 치환시 상대동탄성계수

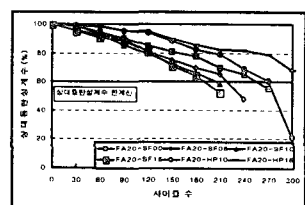


그림 13 플라이애쉬 20% 치환시 상대동탄성계수

표 3 실험 결과

구 분	공기량 (%)	σ_{28} (kgf/cm ²)	F.C (Finish Cycle)	내구성지수 (%)
FA00-00	4.8	262	300	62
FA10-00	4.6	262	265	53
FA10-SF05	3.5	293	221	44
FA10-SF10	3.2	299	217	43
FA10-SF15	2.0	290	196	39
FA10-HP10	4.3	268	271	56
FA10-HP15	4.6	255	300	63
FA20-00	4.2	246	256	51
FA20-SF05	3.5	271	219	44
FA20-SF10	3.1	289	204	41
FA20-SF15	1.5	262	190	38
FA20-HP10	2.5	242	271	54
FA20-HP15	3.0	260	300	68

4. 결론

경량콘크리트 2차제품의 제작을 위한 기초연구의 일환으로, 혼화재료의 사용을 통한 다양한 배합에 따른 기초물성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 슬럼프 실험 결과, 목표 슬럼프인 0~1cm를 만족하는 것으로 나타났으며, 이는 압출 성형 방식의 공장 제작에 적합한 것으로 판단된다.
- 2) 공기량 실험 결과, 공기량은 1.5~4.8%의 범위로 측정되었으며, 플라이애쉬와 실리카흄의 치환율이 증가함에 따라 공기량이 감소하였고, 증점제는 첨가량이 증가할수록 공기량도 증가하였다. 공기량은 압축강도와 내구성에 많은 영향을 미치므로 적정 공기량에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.
- 3) 압축강도 및 인장강도 시험 결과, 플라이애쉬와 증점제는 치환율 및 첨가량이 높아질수록 강도는 감소하였다. 실리카흄은 치환율이 증가할수록 강도도 증가하였으나, 치환율 15%에서는 강도가 감소하였다. 따라서 실리카흄의 적정 치환율은 5~10%가 적합한 것으로 판단된다.
- 4) 동결융해 시험 결과, 플라이애쉬와 실리카흄은 치환율이 증가할수록 공기량이 감소되어 내구성이 저하되었고, HPMC는 첨가량이 많아질수록 공기량이 증가되어 동결융해 저항성이 증가하였다.

따라서 압출 성형 방식에 의한 경량 콘크리트 2차 제품 제작을 위한 적정 배합은 플라이애쉬 치환율은 10%, 실리카흄 치환율은 5~10%가 적합한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 정상진 외, 건축재료학, 보성각, 1999.
2. 한국콘크리트학회 編, 최신콘크리트공학. 한국콘크리트학회, 2001.
3. 한국콘크리트학회編, 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997.
4. 대한주택공사, 플라이애쉬 사용에 따른 콘크리트 품질변화에 관한 실험적 연구, 대한주택공사, 1999.
5. 日本建築學會, フライアッシュを使用するユンクリートの調査設計・施工指針(案), 1999.