

경량 콘크리트 제품에 플라이애쉬를 치환한 배합특성에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on the Mixing Properties Substitute for Fly-Ash by Lightweight Concrete Products

공민호* 김영진* 김민석* 이무성** 김우재*** 정상진****
Gong, Min Ho Kim, Yyoung Jin Kim, Min Suk Lee, Mu Seong Kim, Woo Jae Jung, Sang Jin

ABSTRACT

This study was to operate a fitting production specific of concrete product for proper mixing discovery.

Testing method was to operate slump, air content, compressive strength test.

The standard was water-cement ratio 50% and weight substitution 0%, 10%, 20% by Fly-ash and using Silica-fume and HPMC(Hydroxy propyl methyl cellulos) by additive.

The result of this study showed when add Fly-ash to Silica-Fume is better than HPMC.

1. 서론

현대 건축물이 고층화, 거대화, 심층화가 되어짐에 따라 구조물의 중량 증가로 인한 자재 및 비용의 증가라는 결과를 초래하고 있다. 이에 콘크리트 제품을 경량화하여 건물 자체의 자중을 감소시켜 자원절약 및 비용절감의 효과와 플라이애쉬를 치환하여 사용하므로 자원의 재활용에도 큰 효과를 기대할 수 있다.

기존 연구에서는 현장적용을 위한 경량콘크리트의 물성 연구가 대부분이며, 본 연구의 압출성형 제품을 제조하기 위한 기존 연구는 그다지 많지 않다.

따라서 본 연구에서는 압출성형 방식으로 생산되는 콘크리트 제품의 특성에 적합한 배합을 도출하기 위한 기초 연구로써, 플라이애쉬, 실리카 흙, HPMC를 첨가하여 경량 골재를 사용한 콘크리트에 대한 물성을 실험실 실험으로 검토한 것이다.

* 정회원, 단국대 대학원 석사과정

** 정회원, (주)네오이엔비 연구소장

*** 정회원, 인천전문대학 겸임교수

**** 정회원, 단국대 건축대학 교수

2. 실험재료 및 계획

2.1 사용재료

2.1.1. 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 KS L 5201에 규정된 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 물리적 성질은 각각 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종류	비중	분말도(cm ³ /g)	용결시간(H)		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
보통	3.15	3,400	4	6	198	272	389

2.1.2. 잔골재

본 실험에 사용한 잔골재는 북한강산으로 최대크기를 5mm이하로 입도를 조정 후 사용하였으며, 물리적 성질은 표 2 과 같다.

표 2. 잔골재의 물리적 성질

생산지	최대치수(mm)	표건비중	흡수율(%)	단위 용적중량(kg/cm ³)	실적율(%)	조립율(%)
북한강산	5.0	2.59	0.98	1,590	61.2	2.87

2.1.3. 경량골재

본 실험에서 사용한 경량골재는 스페인산을 사용하였으며, 물리적인 성질은 표 3 와 같다.

표 3. 경량골재의 물리적 성질

조립율 (F · M)	단위 용적 중량 (kg/cm ³)	비중	흡수율 (%)
5.7	598	0.6	7.68

2.1.4. 플라이애쉬

본 실험에서 사용한 플라이애쉬는 보령산 플라이애쉬를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 4 와 같다.

표 4. 플라이애쉬의 물리적 성질

구분	강열감량(%)	단위수량비(%)	분말도(cm ³ /g)	비 중	SiO ₂ (%)	압축강도비(%)	습분(%)
보령산	3.75	100	3,200	2.11	59.7	95	0.11
KS	5이하	102이하	2,400이상	1.95이상	45이상	60이상	1이하

2.1.5 실리카 흙

본 실험에서 사용한 실리카 흙은 캐나다산을 사용하였으며, 물리적 성질은 비중 2.14, 비표면적 22,000cm²/g으로 나타났다. 입자의 크기는 대략 0.1~0.2μm의 범위로 나타났다. 화학적 조성은 표 5 과 같다.

표 6. 실리카 흙의 화학적 조성

성분	강영감량	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
구성비율(%)	1.0	93	1.0	2.1	1.9	1.0

2.1.6 HPMC

본 실험에서 사용한 HPMC는 셀룰로스 에테르계로서 국내 S정밀화학에서 생산하는 Mecellose (HPMC) PMC-30U를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 6 과 같다.

표 7. 증점제의 물리적 성질

구분	주성분	점도	외형
HPMC PMC30-U	Hydroxy propyl methyl cellulose	31,900	백색 미분말

2.2 시험방법

2.2.1 슬럼프 및 공기량 시험

슬럼프 시험은 굳지 않은 콘크리트의 KS F 2402에 따라 시험하였으며, 공기량 시험방법은 굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법(공기실 압력 방법)(KS F 2421)에 따라 시험을 실시하였다.

2.2.2 압축강도 시험

압축강도 시험은 콘크리트의 압축강도 시험방법(KS F 2405)에 준하여 시험을 실시하였다.

2.3 배합계획

2.3.1 인자

표 7. 실험인자표

인자	W/C	FLY-ASH	증점제	
			실리카흙	HPMC
수준	50 %	0 %	5 %	50 g/m ³
		10 %	10 %	100 g/m ³
		20 %	20 %	200 g/m ³
수준수	1	3	4	4

2.3.2 배합

표 8. 실험 배합표

분류 코드	W/B(%)	S/a(%)	단위수량	중량 배합 (kg)					
				C	S	G	FA	SF	HPMC
FA00-00	50	45	180	360	799	226	0	0	0
FA10-00				324	793	224	36	0	0
FA10-SF05				306	789	224	36	18	0
FA10-SF10				288	786	223	36	36	0
FA10-SF20				252	780	221	36	72	0
FA10-HP01				324	793	224	36	0	0.05
FA10-HP02				324	793	224	36	0	0.1
FA10-HP03				324	793	224	36	0	0.2
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-SF20				216	774	219	72	72	0
FA20-HP01				288	786	223	72	0	0.05
FA20-HP02				288	786	223	72	0	0.1
FA20-HP03				288	786	223	72	0	0.2

2.3.3 시험체 제작 및 양생

압축강도 시험용 공시체는 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법(KS F 2403)에 준하여 제작하였으며, 각 배합별 재령 1, 3, 7, 14, 28일 각각 3개의 공시체를 제작하여 온도 20±2℃에서 24시간 양생 후 캡핑을 하고 탈형 후 20±2℃의 항온수조에서 수중양생을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프

슬럼프 목표치는 0cm이며, 측정결과 0~3.5cm로 나타났으며 플라이애쉬 0%, 10%, 20% 치환시 0cm, 1cm, 3cm로 치환율이 증가할수록 슬럼프가 증가하는 경향을 나타내었으며, 플라이애쉬 10% 치환시 실리카 흙의 치환율이 적을수록 슬럼프가 증가했으며, HPMC의 역시 첨가량이 적을수록 슬럼프가 증가했다. 플라이애쉬 20% 치환시 동일한 경향을 나타내었으며, 실리카 흙의 치환율이 적을수록 슬럼프가 증가했고, HPMC의 첨가량이 적을수록 슬럼프가 증가했다. 이는 증점제의 수분 흡수로 인해 슬럼프가 저하되는 것으로 판단된다.

3.2 공기량

공기량 목표치는 2±1%이며, 다공질의 경량골재이므로 골재 수정계수를 측정 후 겉보기 공기량의 값에서 골재 수정계수의 차이를 공기량으로 측정하였으며 측정결과 0~7.6%로 나타났으며 대부분 목표치를 만족하였으나, 플라이애쉬 10% 치환시 HPMC 첨가량이 증가할수록 높은 공기량을 나타내고 있는데, 이는 증점제의 수분 흡수로 인해 충분한 수화반응이 이루어지지 않아 페이스트와 골재사이의 미세공극의 증가로 공기량 증가 및 압축강도 저하의 결과를 나타내고 있는 것으로 사료된다. 플라이애쉬 20% 치환시 HPMC의 첨가량이 적을수록 슬럼프

프가 증가했다. 이는 배합에서 미분말의 증가로 인해 공기량이 저하되는 것으로 사료된다. 플라이애쉬 치환시 실리카 흙의 치환에는 큰 변화가 없었다.

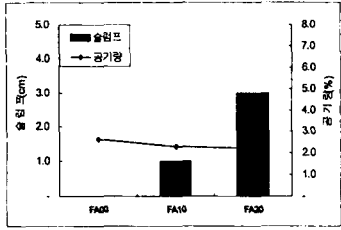


그림 1. 플라이애쉬 치환율에 따른 슬럼프 및 공기량

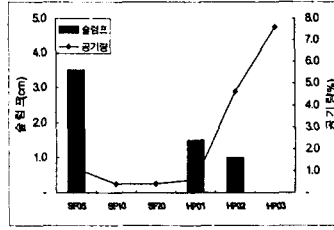


그림 2. 플라이애쉬 10% 치환시 슬럼프 및 공기량

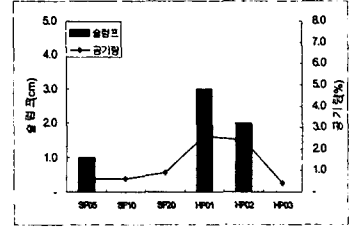


그림 3. 플라이애쉬 20% 치환시 슬럼프 및 공기량

3.3 압축강도 실험

경량콘크리트 제품의 경우 1일 양생 후 탈형을 해야하므로 초기강도가 중요하여 1, 3, 7, 14, 28일의 압축강도를 측정하였다. 공시체의 파괴형상은 골재와 페이스트의 분리가 아닌 경량골재의 파괴로 인한 성상을 보였다.

1일 강도는 60.6~123.9kgf/cm²의 분포를 나타내었고 28일의 경우 204.9~295.7kgf/cm²를 나타내고 있다. 플라이애쉬 20% 치환에서 실리카 흙 10% 치환시 다른 배합에 비해 압축강도가 높게 나타내고 있다. 이는 플라이애쉬 및 실리카 흙의 치환율이 특정 범위를 넘어가면 강도에는 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

배합별 강도 특성을 보면 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 강도가 낮아지는 경향을 보이며, 플라이애쉬 10% 치환시 실리카 흙의 치환율이 적을수록 압축강도는 증가했으며 HPMC 역시 첨가량이 적을수록 압축강도가 증가했다. 플라이애쉬 20% 치환시 실리카 흙 5%, 20% 치환시 매우 낮은 압축강도를 나타냈으며, 10% 치환시 가장 높은 강도를 나타냈다. 1, 3, 7일 강도는 치환율이 적을수록 14, 28일 강도에서는 치환율이 많을수록 압축강도가 증가했으며 HPMC 역시 첨가량이 적을수록 압축강도가 증가했다.

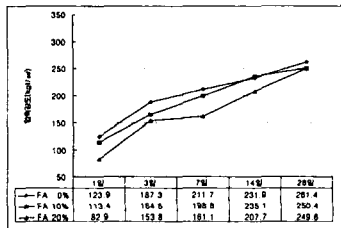


그림 4. 플라이애쉬 치환에 따른 압축강도

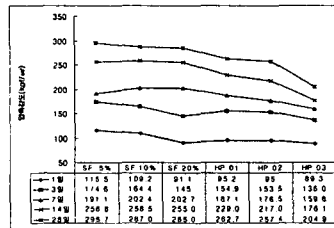


그림 5. 플라이애쉬 10% 치환시 증점제별 압축강도

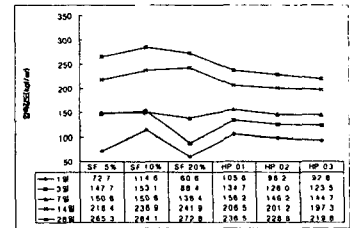


그림 6. 플라이애쉬 20% 치환시 증점제별 압축강도

4. 결론

경량골재를 사용한 콘크리트의 물성에 관한 실험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 슬럼프는 0~3.5cm로 나타났으며 플라이애쉬의 치환율의 증가에 비례하여 슬럼프 값도 증가하였다. 증점제의 첨가량이 증가할수록 슬럼프는 감소하는 결과로 증점제의 사용으로 슬럼프의 감소를 유도할 수 있으며, 실리카 흙의 경우 시멘트 중량의 20% 치환 이상시 수량부족으로 골재와 페이스트가 분리되는 재료 분리 현상이 나타났으며, HPMC 역시 200g/m³ 이상에서 재료 분리 현상이 나타났다.

2) 공기량은 0~7.6%를 나타냈으며, 플라이애쉬의 치환율의 증가에 반비례하여 공기량이 감소하였다. 미립분의 플라이애쉬와 실리카 흙이 다공질의 경량골재의 공극을 감소시켜 공기량의 값이 전반적으로 적게 나타났다. 플라이애쉬 치환시 실리카 흙의 치환에는 큰 변화가 없으나,

플라이애쉬 10% 치환시 실리카 흙의 치환율이 적을수록 공기량이 증가했으며, HPMC 역시 첨가량이 적을수록 공기량이 증가했다. 플라이애쉬 20% 치환시 HPMC 증가에 따라 공기량이 감소하는 경향을 나타내고 있다.

3) 경량골재를 사용한 콘크리트의 경우는 모든 배합이 보통콘크리트의 2.30t/m³~2.35t/m³보다 가벼운 1.54t/m³~1.57t/m³의 단위중량을 나타냈다.

4) 재령 28일 압축강도의 경우 플라이애쉬 치환량이 증가할수록, HPMC의 첨가량이 증가할수록 압축강도는 저하되는 경향을 나타냈으며, 플라이애쉬 20% 치환시와 실리카 흙 10% 치환시 1일 압축강도에서 다른 배합에 비해 158%, 189%의 압축강도 증가를 나타내었으며, 28일 압축강도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 실리카 흙 첨가시 초기강도(1, 7, 14일)는 기준 배합보다 낮지만 28일 강도에서는 실리카 흙 첨가시 기준 배합보다 강도가 상회하는 것으로 나타났으며 이는 미분말인 실리카 흙이 미세한 공극을 감소시켜 시멘트 경화체의 공극을 보다 치밀하게 하여 강도의 증진에 기여한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 (주)네오이엔비에서 주관 수행하고 있는 2001년 차세대 핵심 환경 기술개발 사업의 연구비 지원으로 수행되고 있으며, 이에 환경부, (주)네오이엔비 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 대한주택공사, “플라이애쉬 사용에 따른 콘크리트 품질변화에 관한 실험적 연구”, 대한주택공사 1999년.
2. 차춘수 외, “국내 플라이애쉬의 품질특성에 관한 연구”, 쌍용양회 1998년.
3. 김무한 외, “콘크리트용 혼화재료로서 실리카 흙의 품질에 대한 조사”, 1991년.
4. 한국콘크리트학회 編, 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997년.
5. 日本建築學會, フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針(案), 1999년
6. 木村正彦 外, “フライアッシュを使用するコンクリートの諸性能”, 콘크리트 工學年次論文集 vol.23, NO1. 2001.
7. 福留和人 外, “フライアッシュを多量に用いた硬化体の基本特性”, 콘크리트 工學年次論文報告集, vol.20, NO. 2. 2001.