

배합조건에 따른 경량 EPS 콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Properties of EPS Concrete according to the Variation of Mix Design

이 정 구* 정은혜* 강 철** 조성현*** 정갑철*** 김진만****
Lee, Jung Koo Jung, Eun Hye Gang, Cheol Cho, Sung Hyun Jeong, Gab Cheol Kim, Jin Man

ABSTRACT

The purpose of study is to develop for lightweight concrete panel which have high quality with insulation performance of sound. The use of lightweight concrete products has been increased at a recently high structures. Also, the gathering of nature aggregate is limited, so that lack of fine aggregate is appearing. Statistical analysis is practiced on the properties of EPS concrete according to the variation of mix design.

As a result saturated density is affected by amount of Bottom ash. Also compressive strength is affected by W/B ratio at the early age and amount of Bottom ash at the latter age.

1. 서 론

최근 건설 산업은 지역별 신도시 개발과 더불어 활성화가 되어 가고 있다. 그에 따라 1990년대까지 풍부한 천연골재로 인한 건설 자재 개발이 미흡하였으나, 2000년에 들어 천연 골재의 부족현상과 급격한 건설 공사의 확대, 건축물의 고층화와 대형화로 구조물의 구조적 문제점이 대두되면서 구조체의 자중 경감을 위한 경량 콘크리트에 대한 연구가 필요하게 되었다. 이러한 배경으로 국내에서는 경량콘크리트를 개발하기 위한 연구로 인공경량골재와 EPS 비드를 콘크리트의 용적 70% 이상으로 사용하여 콘크리트의 밀도를 낮추는 연구가 진행되고 있으나, 콘크리트의 밀도 저감에 한계가 있어 천연 골재의 대체재로 바텀애시를 사용하여 콘크리트의 밀도를 낮추는 연구가 일부 진행되고 있다. 석탄재인 바텀애시는 다공질의 골재로서 일반 골재에 비해 약 2배 정도 밀도가 낮은 것으로 나타나고 있어 콘크리트의 골재로 사용할 경우 콘크리트의 밀도를 낮추어 경량콘크리트의 골재로 활용이 가능할 것이다.

이에 본 연구에서는 바텀애시를 골재로 사용한 경량 EPS 콘크리트의 배합설계시 중요한 인자인 바텀애시량, 단위시멘트량, W/B가 경량EPS콘크리트의 물리적 특성에 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 이를 위해 실험계획법 중 직교배열법에 따라 실험을 실시한 후 분산분석과 F검정을 통하여 경량EPS콘크리트의 물리적 특성에 미치는 영향인자를 검출하고자 하였다.

* 정회원, 공주대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

** 정회원, 공주대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

*** 정회원, (주)에이스패널, 책임연구원

**** 정회원, (주)에이스패널, 연구소장

***** 정회원, 공주대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 실험 인자를 3인자, 실험 수준 3수준으로 실험계획법을 적용하였다.

측정항목으로는 굳지 않은 상태에서는 플로우, 공기량을, 경화상태에서는 밀도와 압축강도를 측정하였다. 표1, 2는 실험인자 및 수준별 배합표이다.

표1 $L_9(3^4)$ 직교배열법을 위한 인자 및 수준

Factors	levels		
Cement(A)(kg/m ³)	A ₀ =300	A ₁ =400	A ₂ =500
Bottom ash(B)(kg/m ³)	B ₀ =500	B ₁ =600	B ₂ =700
W/B(C)(%)	C ₀ =33	C ₁ =38	C ₂ =43

표 2 배합표

No.	W/B(%)	W(kg/m ³)	Unit weight(kg/m ³)			SP	MC	
			OPC	BA	EPS			
1	A ₀ B ₀ C ₀	33	5.775	10.50	7.00	0.426	0.8	0.05
2	A ₀ B ₁ C ₁	38	7.980	10.50	10.50	0.350	0.2	0.05
3	A ₀ B ₂ C ₂	43	10.535	10.50	14.00	0.267	0	0.05
4	A ₁ B ₀ C ₂	43	7.525	14.00	3.50	0.401	0.1	0.05
5	A ₁ B ₁ C ₀	33	6.930	14.00	7.00	0.381	0.2	0.05
6	A ₁ B ₂ C ₁	38	9.310	14.00	10.50	0.301	0.1	0.05
7	A ₂ B ₀ C ₁	38	6.650	17.50	0.00	0.428	0.2	0.05
8	A ₂ B ₁ C ₂	43	9.030	17.50	3.50	0.348	0	0.05
9	A ₂ B ₂ C ₀	33	8.085	17.50	7.00	0.336	0.2	0.05

2.2 사용재료

본 실험에서 사용된 재료의 특성을 표3에 나타내었다.

표3 사용재료

사용재료	특 성
시멘트	S사, 보통포틀랜드, 밀도(g/cm ³) : 3.15, 분말도(cm/g) : 3200±300
바텀애시	서천화력산 사용 (3mm 이하)
EPS	S사, 비중 : 0.02, 평균입경:2.9mm
S P 계	K사, 폴리카르본산계, 비중 : 1.10~1.2 mg/ℓ
증점제	s사, 메틸셀룰로오스계

2.3 실험방법

2.3.1 혼합방법

본 실험에서는 강제 팬 믹서를 이용하여 혼합하였다.

혼합 순서는 시멘트-바텀애시-물-EPS 순으로 하여 배합 후 압축성형 몰드인 $\varnothing 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 의 공시체를 제작하였다.

2.3.2 양생 방법 및 측정 항목

양생은 타설 후 5시간 기건 양생을 실시한 후 증기양생으로 최고 온도 50℃로 상승 3시간, 유지 5시간으로 실시하였다. 증기양생 후 24시간 뒤 탈형을 실시하였으며 탈형 후에는 수중에서 양생하였다.

측정 항목은 굳지 않은 정상에서는 플로우시험(KS F 2402)을, 경화 정상에서는 표건밀도(KS F 2459)를, 압축강도(KS F 2405)는 재령 7, 14, 28일로 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 분석방법

측정된 결과로 통계분석을 실시하여 가평균, 분산, 표준편차를 구하였으며, 분산분석표로 신뢰도 99%를 갖는 F-검정율을 통해 유의인자를 구하였다.

표4 실험결과

No.		Factor			Density	Flow	Air content	Com. strength(MPa)		
		Cement	Bottom ash	W/B				7 day	14 day	28 day
1	A ₀ B ₀ C ₀	300	500	33	0.68	164	10	4.0	5.0	4.5
2	A ₀ B ₁ C ₁	300	600	38	0.84	165	6	4.3	4.5	6.5
3	A ₀ B ₂ C ₂	300	700	43	1.01	178	9	4.2	4.9	6.8
4	A ₁ B ₀ C ₂	400	500	43	0.73	188	8.3	3.3	3.6	4.1
5	A ₁ B ₁ C ₀	400	600	33	0.81	188	7.5	6.7	7.5	8.6
6	A ₁ B ₂ C ₁	400	700	38	0.97	183	9	6.3	6.4	8.9
7	A ₂ B ₀ C ₁	500	500	38	0.70	190	11	4.2	4.6	5.4
8	A ₂ B ₁ C ₂	500	600	43	0.87	188	10	3.7	4.4	5.3
9	A ₂ B ₂ C ₀	500	700	33	0.94	180	7	7.8	8.5	10.4

3.2 표건 밀도

표5는 표건 밀도에 대한 분산분석 결과를 나타낸 것이다. F-검정을 실시한 결과, 바텀애시의 재령별 표건 밀도의 F₀ 값은 신뢰도 99%에서의 기각치 8.65보다 크게 나타나 표건 밀도에 유의한 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 그림1은 표건 밀도에 대한 재령별 모평균 추정치를 그래프로 나타낸 것이다. 단위시멘트량이 증가함에 따라 표건 밀도가 감소하는 것으로 나타났고, 바텀애시량이 증가함에 따라 밀도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, W/B의 변화에 따른 표건 밀도의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

표5 표건밀도 분산분석표

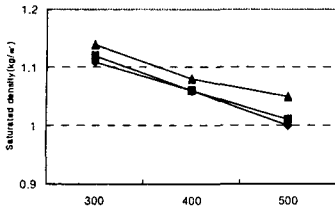
인자	자유도	7 일			14 일			28 일			F ₀ (0.05)	F ₀ (0.01)
		S	V	F ₀	S	V	F ₀	S	V	F ₀		
단위시멘트량	2	0.02	0.01	9.11	0.02	0.01	8.98	0.012	0.0057	4.65	4.46	8.65
바텀애시량	2	0.12	0.06	69.77	0.13	0.07	65.29	0.14	0.07	54.73	4.46	8.65
물바인더비	2	0.0001	0.0003	0.04	0.001	0.0005	0.47	0.0001	0.00005	0.03	4.46	8.65
Error	2	0.002	0.0008		0.002	0.001		0.0025	0.0012			
Total	8	0.16			0.15			0.15				

3.3 압축강도

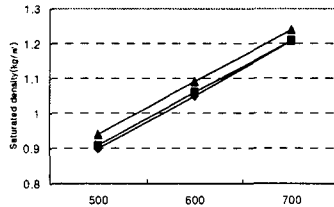
표6은 압축강도에 대한 분산분석 결과를 나타낸 것이다. F-검정을 실시한 결과, W/B가 초기 재령 7, 14일에서 F₀의 값이 신뢰도 99%에서의 기각치 보다 크게 나타나 초기재령에 유의한 영향을 끼치는 것으로 나타났고, 28일에서는 바텀애시량이 유의한 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 그림2는 압축강도에 대한 모평균 추정치를 나타낸 것이다 그림1.(a)에서 보는바와 같이 단위시멘트량이 300~400 kg/m³으로 증가시킴에 따라 강도가 증가하다가, 500kg/m³으로 증가했을 때에는 감소하는 경향을 보였다. 그림 1의 (b),(c)에서 보는 바와 같이 바텀애시의 양이 증가함에 따라 강도가 증가하고, W/B가 작을수록 강도가 증가하는 경향을 볼 수 있다.

표6 압축강도 분산분석표

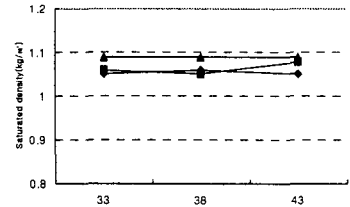
인자	자유도	7 일			14 일			28 일			F ₀ (0.05)	F ₀ (0.01)
		S	V	F ₀	S	V	F ₀	S	V	F ₀		
단위시멘트량	2	137.56	139.11	7.68	213.56	106.78	8.58	284.22	142.11	2.63	4.46	8.65
바텀애시량	2	2017.56	385.78	21.30	726.22	363.11	29.18	2442.89	1221.44	22.57	4.46	8.65
물바인더비	2	1179.56	444.11	24.52	1140.22	570.11	45.81	908.22	454.11	8.39	4.46	8.65
Error	2	27.56	18.11		24.89	12.44		108.22	54.11			
Total	8	3362.24			2104.89			3743.56				



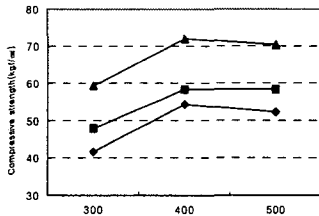
(a) 단위시멘트량(kg/m³)



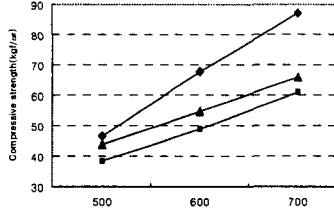
(b) 결합재량(kg/m³)
그림1 표건밀도



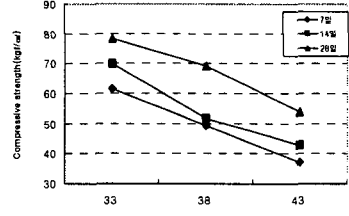
(c) W/B(%)



(a) 단위시멘트량(kg/m³)



(b) 결합재량(kg/m³)
그림2 압축강도



(c) W/B(%)

4. 결론

EPS콘크리트의 압축강도에 대한 특성을 검토하고자 실험계획법의 하나인 직교배열법에 따라 실험을 계획하고 분석을 한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 99% 신뢰도에서 실험계획법에 의한 통계적인 분석방법으로 표건 밀도와 압축강도에 영향을 주는 유의인자를 구분할 수 있었다.
- (2) 압축강도에서 나타난 결과는 W/B가 낮을수록 7, 14일 강도가 높게 나타나는 영향을 주었으며, 바텀애시의 대체율이 높을수록 28일 강도가 높게 나타나는 영향을 주었다. 시멘트양은 유의하지 못한 영향을 주었다.
- (3) 표건밀도에서 나타난 결과는 바텀애시의 양이 증가할수록 표건밀도가 증가하는 영향을 주었으며 물바인더비는 유의하지 못한 영향을 주는 것으로 나타났다. 단위시멘트량은 바텀애시량 만큼의 유의한 영향을 주지는 못하지만, 7, 14일 신뢰도 99%에서 영향을 미치는 것으로 나타났다.

감사의글

본 연구는 2006년 중기첨기기술혁신개발사업의 지원 하에 (주)에이스패널과 공주대학교 자원재활용소재 연구센터(RIC/NMR)가 공동으로 수행한 연구의 일부이며, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받은 것으로 관계 기관에 감사의 말씀을 올립니다.

참고 문헌

1. 박성현, 실험계획법, 민영사
2. 바텀 애시를 사용한 기포콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트 학회 논문집 2004. 제 16권 2호, pp.525~528
3. 국내 발전소별 바텀애시를 잔골재 대체재로서 사용한 모르터의 특성에 대한 실험적 연구 대한건축학회 학술발표논문집 2003. 제 23권 1호, pp203~205