

시공성 향상을 위한 고유동 콘크리트 배합모델 개발에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Mix Design Model of High Performance Concrete for Workability Improvement

손 유 신* 윤 영 수** 송 영 철*** 우 상 균****
Sohn, Yu Shin Yoon, Young Soo Song, Young Chul Woo, Sang Kyun

ABSTRACT

Recently, great efforts and investment have been made in order to achieve economical production by applying new methods like minimization of man-power into construction field. Therefore in this study, we have been focused on the development and practical using of high flowing concrete with fly ash, superplasticizer and viscosity agent, also we find out the optimum mix proportions to accomplish good quality high flowing concrete. The results of this study show that high flowing concrete with the ratio of fly ash replacement of 20%, viscosity agent of $300\text{g}/\text{m}^3$ and superplasticizer 2.0%(C×%) in W/B of 35, 45% has better performance than the high flowing concrete without fly ash replacement.

1. 서 론

고유동 콘크리트는 타설시 작업자의 숙련도와 구조물의 형상 및 배근상태에 영향을 받지 않고 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성을 가져 다짐이 필요없는 콘크리트를 의미한다. 이러한 고유동 콘크리트는 종래의 보통 콘크리트에 비해 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성이 우수하여 건설현장에서 노동력의 절감과 고품질의 콘크리트를 제조할 수 있는 기술로 주목받고 있다. 이러한 고유동 콘크리트의 유동성, 재료분리 저항성, 간극통과성과 같은 컨시스턴스를 개선하기 위해서는 단위수량, 혼화재, 고성능 감수제 및 증점제 첨가량 등 다양한 변수의 첨가량을 결정해야한다. 본 연구에서는 고유동 콘크리트의 현장실용화를 위해 컨시스턴스가 확보되는 범위에서 충분한 압축강도를 발현할 수 있도록 콘크리트의 재료 변수를 설정하여, 변수별 유동특성 및 공학적 특성을 실험 - 실증적으로 검토하여 고유동 콘크리트 배합설계 모델을 제시하고자 한다.

* 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 대학원

** 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 교수

*** 강회원, 한국전력공사 전력연구원 수석연구원

**** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 일반연구원

2. 실험개요

2.1 실험계획

본 연구에서는 고유동 콘크리트의 요구성능을 만족시킬 수 있도록 다양한 배합변수를 설정, 배합 변수들의 최적첨가량을 결정하여 최적 배합비를 도출하고 도출된 최적배합비의 내구성능 향상 정도를 확인한다. 본 연구의 배합표 및 실험사항은 표 1에 나타내었다.

표 1 배합표 및 실험사항

W/B (%)	단위수량 (kg/m ³)	FA/C (%)	혼화제 (%)	단위중량 (kg/m ³)				실험사항			
				C	FA	G	S	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트		
35	175	0	S.P	500	0	853	758	· 유동성 : 슬럼프플로우 시험 · 골재분리 : 굵은골재씻기 시험 · 충전성 : 박스 충전성 시험 · 간극통과성 : V로드 시험 · 내구성 : 단열온도상승 시험	압축강도시험 재령 7, 28, 56, 91일		
		10		450	50	843	748				
		20	400	100	833	739					
		30	350	150	822	730					
45	185	0	V.A	411	0	929	731				
		10		370	41	724	920				
		20	329	82	911	717					
		30	288	123	902	710					

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내 D사에서 생산되는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 시멘트의 비중은 3.15이다.

2.2.2 골재

골재는 강모래 및 강자갈을 사용하였으며 굵은골재 최대치수는 25mm이고, 잔골재의 비중은 2.52, 굵은골재의 비중은 2.62 이다.

2.2.3 혼화재료

플라이애쉬는 삼천포에서 생산된 제품으로써, 한국공업규격(KS L 5405)에 적합한 것이며, 그 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 플라이애쉬의 물리적 성질

구분	강열감량(%)	단위수량비(%)	분말도(cm ² /g)	비중	SiO ₂ (%)	습분(%)
KS규준	5이하	102이하	2,400이상	1.95이상	45이상	1이하
플라이애쉬	3.58	101	3,964	2.13	55	0.18

유동화제 및 증점제는 국내 A사의 제품으로 그 물리·화학적 성질은 표 3, 표 4와 같다.

표 3 유동화제의 물리·화학적 성질

구분	색상	성상	비중	고형분	염소이온 농도
유동화제	노란 투명	액상	1.2 -1.3	39±2%	0.005% 이하

표 4 증점제의 물리적 성질

구분	외관	점도	주성분
증점제	백색분말	25,000 - 55,000	Hydroxy propyl methyl cellulose

3. 실험방법

3.1 콘크리트 배합

원재료를 전량 투입하고 20초간 건비빔 → 단위수량과 S.P제를 동시에 투입하여 혼합하는 방법으로 Batcher Plant와 동일한 조건을 만들어 주기 위하여 적용하였다.

3.2 유동성 시험

균지않은 상태의 유동성 평가로서 슬럼프 플로우 시험은 KS F 2402 규정에 의거 실시하였다. 슬럼프 플로우의 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균값을 슬럼프 플로우치로 한다.

3.3 굵은골재 씻기 시험

슬럼프 플로우 시험이 완료된 시료에 대하여 지름 20cm의 원으로 시료를 분리하여 20cm이내의 시료와 이외의 시료를 채취한 다음 각 시료의 중량을 측정하고, No. 4체로 씻기 시험을 실시하여 굵은골재를 채취한 다음, 표면건조포화상태로 만들어 중량을 측정한다. 측정된 골재 중량으로부터 내외측의 굵은골재 분포율을 산출하고, 이때 20cm이내의 굵은골재 분포율에 대한 외측의 굵은골재 분포율의 비율을 재료분리 저항율로 하였다.

$$\text{굵은골재 분포율 (\%)} = \frac{B}{A} \times 100$$

$$\text{재료분리 저항율 (\%)} = \frac{D}{C} \times 100$$

여기서, A : 20cm 이내 및 이외의 시료중량

B : 20cm 이내 및 이외의 표면건조포화상태의 굵은 골재 중량

C : 20cm 이내의 굵은골재 분포율

D : 20cm 이외의 굵은골재 분포율

3.4 충전성 시험

충전성 시험은 BOX 충전시험장치를 이용하여 한쪽에 시료를 가득 채우고, A와 B실 사이의 막을 제거한 다음 콘크리트의 움직임이 완전히 멈춰진 후의 높이 차를 충전고로 하였다.

3.5 깔대기 유하시험

깔대기 유하시험은 고성능 콘크리트의 유동성, 간극통과성을 평가하는 시험법으로, 하부를 막고 깔대기내에 콘크리트를 채운후 하부 개구부를 열고 이때부터 콘크리트가 모두 하부로 유출되는 시간을 측정하여 점도를 평가하는 것이다.

3.6 압축강도 시험

압축강도 시험은 KS F 2405에 따라 수행하였다.

3.7 단열온도상승 시험

콘크리트의 수화열로 인한 내부의 온도 상승량을 파악하기 위하여 콘크리트의 단열온도 상승 시험을 수행하는데, 실험을 위한 장비는 MARUI & Co., LTD의 단열온도 상승 시험기(Concrete Calorimeter)를 사용하였다. 결과 측정은 타설 직후 30분 간격으로 약 11일 정도 측정하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 굳지않은 콘크리트의 특성

W/B 35%의 경우, 슬럼프 플로우는 플라이애쉬 치환율과 S.P제의 첨가량이 증가함에 따라 증가하였고 재료분리 저항율은 FA 20%에서 S.P제의 첨가율에 관계없이 저항성이 우수하였다. 또한 충전성 시험에서 V롯드의 경우 모든 조합에서 목표성능을 만족하였으나, 박스 충전성 시험의 경우 FA 30%에서 박스 하단에 골재의 집중으로 충전고를 만족하지 못했다.

W/B 45%의 경우, 슬럼프 플로우는 플라이애쉬 치환율 20%에서 가장 큰 값을 보였으며 증점제의 첨가량이 증가할수록 슬럼프 플로우는 감소함을 알 수 있다. 재료분리 저항율 시험에서는 증점제의 사용으로 모든 조합에서 목표 저항성능을 만족하고 있으나 증점제를 사용하지 않은 배합의 경우 FA 치환율이 증가하면 골재분리 현상이 발생하였다. 또한 충전성을 평가하기 위한 V롯드와 박스충전성 시험에서의 경우 증점제가 첨가된 경우 모두 목표 성능을 만족하였다. 실험결과는 표 5에 나타내었다.

표 5 굳지않은 콘크리트 시험결과

W/B	FA 치환율 (%)	혼화제 첨가량 (%)	슬럼프플로우 (cm)	재료분리 저항률 (%)	박스충전 (cm)	V롯드 상대유하시간
0.35	0	S.P 2.5%	62.5	94	10.3	1.18
		S.P 1.5%	58.2	92	9.3	0.98
	10	S.P 2.5%	61	91	4.8	1.4
		S.P 1.5%	59	97	6.9	1.14
	20	S.P 2.5%	68.25	100	6.1	0.96
		S.P 1.5%	62.3	102	7.2	1.04
	30	S.P 2.5%	71.5	83	28.5	1.28
		S.P 1.5%	66.5	88	10.3	1.22
0.45	0	V.A 0%	57	87	12.5	2.71
		V.A 0.2%	50	98	17.5	1.52
		V.A 0.4%	48	104	11.3	1.05
	10	V.A 0%	62	94	10.3	0.87
		V.A 0.2%	54	91	12.2	1.25
		V.A 0.4%	50	92	18.2	0.58
	20	V.A 0%	67	82	12.9	0.36
		V.A 0.2%	56	95	9.6	1.0
		V.A 0.4%	49	102	10.4	0.80
	30	V.A 0%	63	80	21.3	2.99
		V.A 0.2%	54	94	11.8	1.69
		V.A 0.4%	45	98	10.3	0.80

4.2 경화 콘크리트의 특성

압축강도 실험결과 W/B 35%, 45% 모두 재령 7일에서 FA 0%의 경우 다른 배합들과 비교하여 대략 1.3배정도 큰 값을 보였으나 재령의 증가에 따라 강도가 회복되어 재령 28일의 경우 대략 1.1배 정도가 되었다. 따라서 장기재령의 경우를 예측해보면 강도는 모든 배합에서 요구성능을 만족할 것으로 판단된다 또한 증점제의 첨가량의 증가는 압축강도의 저하를 유발함을 알 수 있다.

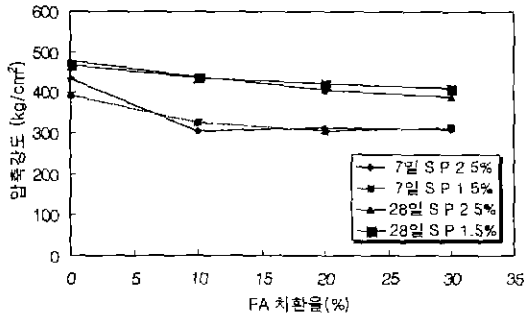


그림 1. W/B 0.35 압축강도

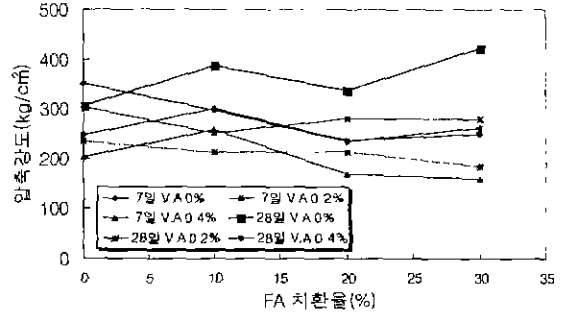


그림 2. W/B 0.45 압축강도

4.3 최적배합비 도출 및 내구성 실험결과

굳지 않은 콘크리트의 특성과 경화된 콘크리트 특성 결과를 분석해 보면 최적 FA 치환율은 20%로 판단되며 이에 따른 혼화제의 첨가량을 회귀분석을 통해 결정하면 S.P제의 경우 2.0%, 증점제는 300g/m³으로 결정된다. 도출된 최적배합비가 표 6에 나타나 있다.

표 6 최적배합비

W/B (%)	단위량 (kg/m ³)					
	시멘트	플라이애쉬	물	굵은 골재	잔골재	혼화제
35	400	100	175	833	739	S.P 833ml/m ³
45	329	82	185	911	717	V.A 300g/m ³

최적배합비의 내구성 평가를 위해 FA 치환율이 0%인 배합과의 단열온도 상승시험 실시하였는데 실험결과는 표 7과 같다.

일반적으로 단열온도 상승시험에서는 중요한 요소(factor)인 최대 단열온도 상승값과 반응속도를 비교하게 되는데 W/B 0.35 배합의 경우, 최적배합비에 의한 최대 단열온도 상승값이 기존배합의 최대 단열온도 상승값의 95.6% 정도가 되었고 반응속도는 82%정도가 되어 온도응력에 의한 균열발생 가능성이 낮음이 입증되었다. W/B 0.45 배합의 경우는 최적배합비에 의한 최대 단열온도 상승값이 기존 배합의 최대 단열온도 상승값의 101%로 거의 차이가 없었고 반응속도는 74%정도가 되어 최대 단열온도 상승값에서는 좋은 효과를 기대할 수 없었지만 반응속도가 현저하게 낮으므로 온도응력에 의한 균열발생 가능성이 낮을 것으로 판단된다. 따라서 단편적이긴 하지만 최적배합비 도출로 제작된 고유동 콘크리트의 내구성능은 FA 0%의 경우 보다 성능면에서 향상되었음을 알 수 있다.

표 7 단열온도 상승시험 결과

W/B (%)	FA 치환율	최대단열온도 상승값 (°C)	반응속도 (°C hr)
35	0	68.93222	1.14654
	20	66.42773	0.912632
45	0	58.65797	1.07644
	20	59.50891	0.814139

5. 결 론

배합설계 모델 제사를 위한 W/B 35%, 45%에 따른 플라이애쉬 치환율 및 혼화제 사용량은 표 6에 나타냈으며 이에 따른 콘크리트의 성능평가 결론은 다음과 같다.

- 1) W/B 35%의 경우 플라이애쉬 치환율 20%, S.P제 2%에서 목표성능을 만족하고 있으며 슬럼프 플로우 $60 \pm 5\text{cm}$ 이상의 높은 유동성을 확보한 상태에서 플라이애쉬 치환율의 증가는 각종 유동특성에 영향을 주며 목표 성능을 확보하기 위해서는 S.P제의 사용량에 대한 주의가 필요하다.
- 2) W/B 45%에서 증점제가 첨가되지 않은 배합의 경우 골재분리 현상이 발생하므로 증점제의 첨가량 결정은 중요하며 회귀분석에 의한 최적 첨가량은 플라이애쉬 치환율 20%, 증점제 첨가량 300g/m^3 에서 목표 성능을 만족하고 있다.
- 3) 모든 배합에서 압축강도는 목표강도를 만족하고 있지만 플라이애쉬의 사용은 초기재령의 압축강도 저하를 유발하며 증점제의 과다 첨가는 전반적인 압축강도의 저하를 유발한다.
- 4) 본 연구에서 도출된 최적배합은 반응속도의 저하로 수화열에 의한 균열발생 가능성이 다소 줄어들어 내구성 측면에서의 향상이 기대된다.

감사의 글

이 논문은 기초전력공학공동연구소의 1999년도 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 실험에 사용된 플라이애쉬 및 실험장비를 제공해 주신 (주) 동양시멘트 강석화 박사님과 혼화제를 제공해주신 화진정밀(구 아텍스코리아) 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Shindo, Matsuoka, et al.; The effect of materials quality on properties of super workable concrete. Proceedings of the JCI. Vol. 14, No. 1, 1992.
2. Ikeda, Nishimoto, Yamauchi and Ishikawa; Experimental study of vibration free concrete, Report of the faculty of science and engineering, Vol. 22, No. 2, 1994.
3. Febrillet, Yamauchi and Ishikawa; Experimental study on fly ash flowable concrete, 49th conference of JSCE Sept 1994
4. Berry, E.E., and Malhotra, V.M.; Fly Ash for Use in Concrete - A Critical Review, Journal of ACI, Vol. 77, No 2, pp 59-73, March-April 1980.
5. Nicolas J Carino, James R. Clifton; High Performance Concrete ; Research Needs to Enhance its Use, Concrete International, pp. 70-76, 1991.
6. A. M Neville; Properties of Concrete, 3rd Edition, Pitman, pp. 170-198, 1981
7. Norihuro Miura, Ryuichi Chikamatsu, Shigeyuki Sogo. A Study on Quality Evaluation on High Performance Concrete Works, Proceeding of JCI Symposium on Super Flowable Concrete, pp. 9-16, 1993. 5
8. 삼성물산(주) 건설부문 종합기술연구소, 증점제를 이용한 다짐불요 콘크리트의 실용화에 관한 연구, 1997. 8.
9. 건설교통부; 초유동 콘크리트의 개발 및 실용화 연구, 1995. 10.
10. 강석화, 박칠림; 일본에서의 초유동 콘크리트의 실용화동향, 한국콘크리트학회, 콘크리트학회지, 제 5권 2호, 1993
11. 변근주, 고성능 콘크리트의 연구 동향 및 전망, 한국콘크리트학회, 콘크리트학회지, 제 6권 1호, pp. 2-9, 1994.
12. 김화중, 일본에 있어서 초유동 콘크리트의 연구 및 장래 전망, 한국재단, 학연산연구교류회, 세135회, pp 1~17, 1994
13. 한천규의 4인, 증점제를 이용한 다짐불요 콘크리트의 실용화에 관한 연구, 대한토목학회, 학술발표논문집, 제17권, 제1호, 1997.4
14. 김화중, 정계동; 고성능 콘크리트의 개념 및 배합설계, 한국콘크리트학회, 콘크리트 학회지, 제7권 제5호, 1995.
15. 김진근, 한상훈, 박연동, 노재호, 초유동 콘크리트의 재료특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회, 학술발표회논문집, 제7권 제2호, pp 55~62, 1995