

멜라민계 혼화제를 이용한 고유동 콘크리트 배합에 관한 연구

Study on Mix Proportion of Self-Compacting Concrete Utilizing Melaminic Acid Based Admixture

노재명^{*} 김수만^{**} 이평석^{***} 권기주^{****} 나환선^{*****} 오병철^{*}
Noh, Jea Myoung Kim Soo Man Lee, Pyung Suk Kwon, Ki Joo Nah, Hwan Seon Oh, Byoung Cheol

ABSTRACT

In order to obtain improved concrete mix proportion on nuclear power plant structures, the properties of normal concrete is compared with self-compacting concrete. In addition, various mixes of self-compacting concrete utilizing melaminic acid based admixture is mutually compared and estimated.

Because existing normal concrete mixes might occur high temperature in concrete structure, A new multi-component concrete, which declines hydration heat, is demanded.

Therefore, in this study, the possibility of manufacturing self-compacting concrete is verified and what influences melaminic acid and various powders have on the properties of self-compacting concrete are investigated.

1. 서론

본 논문에서는 원전 콘크리트 구조물에 적용되는 압축강도 5500psi (380kgf/cm²)에 대한 개량된 배합을 도출하는 것을 목적으로, 원전구조물에 사용이 결정된 1종 시멘트에 플라이애시 20%를 대체 사용하는 콘크리트의 일반배합과 고유동성 콘크리트 배합을 각각 선정하여 그 물성을 확인하였다.

1종 시멘트에 플라이애시 20%를 사용하는 배합비율은 매스콘크리트 구조물에서 과다 수화열 발생이 예상되므로, 수화열 발생을 억제할 수 있는 3성분계 또는 4성분계로 콘크리트 일반배합과 멜라민계 혼화제를 사용한 고유동 콘크리트 배합의 비교분석이 요구되었다.

따라서, 이러한 무기질계 미분말을 다량 사용한 다성분계 시멘트를 원자력 발전소 콘크리트 구조물에 적용하여 콘크리트 내구성능 개선 및 다짐이 필요없는 고유동 콘크리트의 제조 가능성을 검토하고, 일반 콘크리트와 대비하여 콘크리트의 물성이 어떻게 다른가에 대한 연구를 위해 본 연구가 수행되었다.

* 정회원, 한국전력공사 전력연구원 일반연구원

** 정회원, 수원대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, (주) 코센 부사장

**** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

***** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 사용재료

1종시멘트에 플라이애시를 20% 치환한 일반 배합과 멜라민계 혼화제를 사용한 고유동 콘크리트 제조에는 플라이애시를 20%, 슬래그미분말을 40% 치환하였고, 골재는 페이스트와 부착성이 좋은 쇄석을 사용하였다. 본 실험에 사용한 재료는 표 1과 같다

표 1. 사용재료

구분	TYPE	산지	비중
시멘트	1종	H사	3.15
플라이애시	-	C사	2.30
고로슬래그미분말	블레인 6000	C사	2.93
모래	강사	J사 레미콘	2.57
19mm 자갈	쇄석	C사 아스콘	2.76
혼화제	일반	라그린계	A사
	고유동	멜라민계	B사
공기연행제	일반	빈솔계	A사
	고유동	-	B사

2.2 실험 내용 및 방법

각 배합 별 검토항목은 굳지 않은 콘크리트에 대해서 경화 전에는 유동성, 응결, 불리딩, 공기량, 그리고 슬럼프 경시변화 등을 확인하였으며, 특히, 고유동 콘크리트에 대해서는 유동성 및 충전성 등의 확인을 위해 슬럼프 플로우, Box 충전성 시험, O형 깔때기 시험 등을 수행하였다.

2.3 일반 콘크리트와 고유동 콘크리트 배합

일반 콘크리트의 배합조건은 리그닌계 일반감수제를 사용하는 배합으로 하고, 슬럼프는 10±0.5cm, 공기량은 4.5±1.5%를 기본으로 하였으며, 단위수량 및 잔골재율 조정을 통해 배합조건을 만족하는 배합을 선정하였다. 고유동 콘크리트 배합시의 기본 조건은 표 2와 같다. 표 2. 고유동 콘크리트 배합의 기본조건
고유동 콘크리트의 배합조건은 폴리카르본산계 고성능감수제를 사용하였고, 단위수량 및 잔골재율 조정을 통해 배합조건을 만족하는 배합을 선정하였다. 배합조건은 일반배합과 동일하나 건비빔 시간을 60초로 본비빔 시간을 180초로 하여 재료의 배합이 원활하도록 하였다. 실험에서 수행한 배합은 표 3과 같다.

구분	조건
slump flow	55cm 이상
공기량	4.5±1.5 %
O형 깔때기 유하시험	15±5 초
Box충전성 시험	높이차 5cm 이하
배합강도	6,900 psi

표 3. 배합조건과 유동성 및 충전성 시험결과

구분	W/C (%)	s/a (%)	Vg (ℓ)	Vp/Vg	단위재료량(kg/m ³)								slump flow (cm)	O형 깔때기 유하시험 (sec)	Box 충전 높이차 (cm)	비고
					W	C	S	G	F.A	Slag	AD	증점제				
1-1	39.4	41.3	-	-	185	376	692	984	94	0	4.7	0.0235	-	-	-	공기량 2.1%
1-2	39.4	41.3	-	-	185	376	692	984	94	0	4.7	0.047	-	-	-	공기량 5.7%
1-3	39.4	41.3	-	-	185	376	692	984	94	0	2.82	0.047	-	-	-	공기량 5.0%
1-4	39.4	41.3	-	-	185	376	692	984	94	0	2.82	0.0329	-	-	-	공기량 5.8%
2-1-1	37.0	48.2	305	1.182	185	200	784	841	100	200	12.0	0.25	66.0	21.0	2.0	
2-1-2	37.0	49.2	299	1.206	185	200	799	825	100	200	12.0	0.25	66.0	19.1	2.0	
2-1-3	37.0	51.3	287	1.257	185	200	831	791	100	200	12.0	0.25	65.0	16.3	0.0	
2-2	36.0	51.3	284	1.285	190	200	824	785	100	200	12.0	0.256	66.5	15.0	0.0	표면수 2.0%
2-3-1	36.0	51.3	284	1.285	190	200	824	785	100	200	13.0	0.256	67.5	13.3	0.0	
2-3-2	36.0	51.3	284	1.285	190	200	824	785	100	200	14.0	0.256	69.0	11.4	0.0	
2-4	36.0	51.3	284	1.285	190	200	824	785	100	200	12.0	0.256	65.0	20.6	0.8	표면수 3.7%

3 시험결과 및 고찰

No.1-1 배합은 콘크리트 배합시험 결과 슬럼프는 10.0cm이고, 공기량은 2.1%이었다. 플라이애시의 사용으로 AE제가 시멘트 표면에 흡착되어 공기연행이 제대로 되지 않은 것으로 판단된다.

No.1-2 배합은 No.1-1 배합에서 저하된 공기연행량을 맞추기 위해 AE제량을 2배로 사용하고 슬럼프 조절을 위해 일반 혼화제를 사용하였다. 실험결과, 슬럼프는 15cm이었으며 공기량은 5.7%로 나타났으며, 공기량 확보로 작업성이 아주 양호한 상태이며 슬럼프가 기준치보다 우수하게 나타났다.

No. 1-3의 배합은 앞 배합에서 양호한 슬럼프를 얻었으므로 본 배합은 AD를 줄여가며 실험을 수행하였다. 실험결과, 슬럼프는 9.5cm이었으며 공기량은 5.0%로 나타났다.

No. 1-4의 배합은 공기량의 파다를 조정하기 위하여 실시하였으며, 공기연행제를 감소시켜 소요의 공기량과 슬럼프 10.5cm를 얻을 수 있었다.

No. 2-1 배합은 잔골재율을 변화시켜 콘크리트 특성변화를 검토하였다. 시험결과, 멜라민계를 사용한 배합은 굵은 골재의 사용량이 증가함에 따라 마찰력이 상승하여 유하시험이 불리한 것으로 나타났다.(그림 2) 전체적으로 멜라민계는 점성은 강하고 재료분리 저항성도 상당히 높아져 안정한 배합조건을 갖추고 있으나 작업성이 떨어지는 단점을 가지고 있는 것으로 나타났다. 따라서 압축강도 및 재료분리에 영향을 주지 않는 범위 내에서 단위수량을 상승시켜 좀 더 부드럽고 작업성이 원활한 배합을 도출시켜야 할 것으로 판단된다. 잔골재율은 51.3%가 적절한 것으로 판단된다.

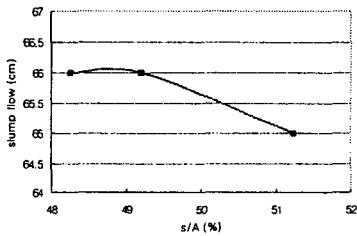


그림 1. s/a의 변화에 따른
Slump flow

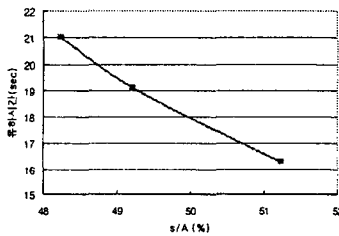


그림 2. s/a의 변화에 따른
O형 깔대기 유하시간

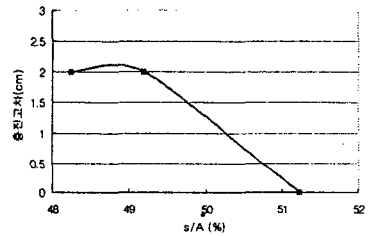


그림 3. s/a의 변화에 따른
Box 충전고차

No. 2-2 배합은 No. 2-1-3 배합을 기준으로 하여 단위수량을 증가시켜 작업성이 원활한 배합을 검토하였다. 시험결과, 단위수량은 185kg/m³보다 5kg/m³ 상승시킨 배합으로 유동성이 보다 우수한 배합의 결과를 도출시킬 수 있었다. 여전히 점성은 강했지만 압축강도를 고려해야 하기 때문에 단위수량을 상승시켜 작업성을 개선하기보다는 혼화제 사용량을 2.4%에서 2.8%로 변화시켜가며 콘크리트 물성 변화를 검토하였다.

No. 2-3 배합은 No. 2-2 배합을 기본으로 혼화제 사용량을 증가시켜 작업성을 향상시키고 혼화제 사용량에 따른 물성변화를 검토하였다. 시험결과, 전반적으로 재료분리가 없는 양호한 배합이었다. 멜라민계 혼화제 사용시에 사용량 변화에도 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 3개의 실험 중 요구되는 성능을 모두 만족하고 혼화제 사용량이 가장 작은 No. 2-2 배합이 가장 적절한 배합으로 사료된다. 이때 굵은 골재는 표면수를 일정하게 하고 잔골재는 함수율을 다르게 하여 표면수가 일정하지 않은 배합의 특성을 알아보았다.

No. 2-4 배합은 앞의 No. 2-2 배합을 토대로 잔골재의 표면수만 다르게 하여 표면수의 차이에 대한 고유동 콘크리트의 물성변화를 검토하였다. 시험결과, 표면수가 낮은 배합은 양호한 작업성을 보이는 반면 표면수가 높은 배합은 작업성이 떨어지는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 즉, 배합에 사용한 전체 단위수량이 같아도 표면수가 높은 재료를 사용하면 상대적으로 유하시험 시간은 길어지고 작업성은 떨어진다.

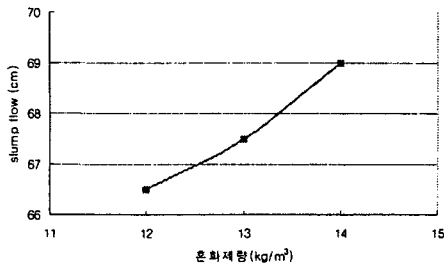


그림 4. 혼화제량에 따른 slump flow

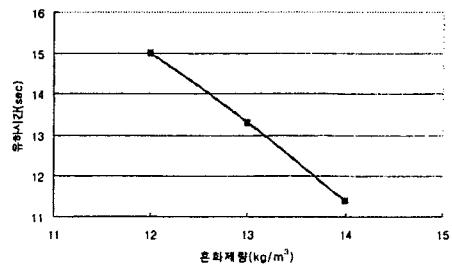


그림 5. 혼화제량에 따른 O형 깔대기 유하시간

어지는 경향을 보이며 이와 같은 현상은 또한 매우 뚜렷하게 나타나고 있다. 본 실험에서는 잔골재의 표면수를 2.5% 이하로 관리하는 것이 소요의 성능에 크게 벗어나지 않는 범위라고 판단되며 최대한 표면수가 낮은 상태에서 제조하는 것이 소요의 성능에 적합하다고 판단된다.

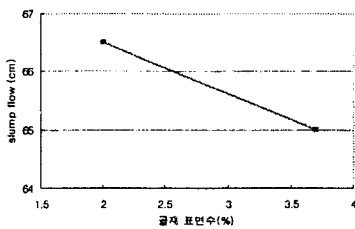


그림 6. 잔골재 표면수 변화에 따른 Slump flow

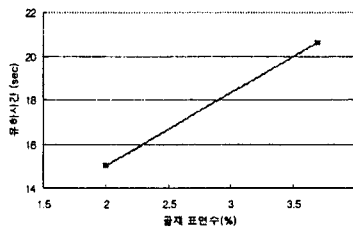


그림 7. 잔골재 표면수 변화에 따른 O형 깔대기 유하시간

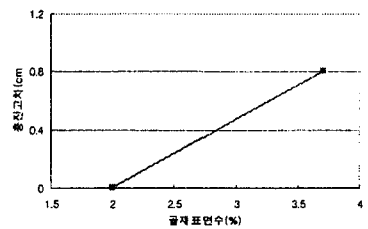


그림 8. 잔골재 표면수 변화에 따른 Box 충전고차

4. 결론

원전 콘크리트에 적용을 목적으로 멜라민계 혼화제를 사용한 고유동 콘크리트의 최적 배합을 도출하기 위한 실험결과를 종합하면 다음과 같다.

- (1) 멜라민계는 점성은 강하고 이에 재료분리 저항성도 상당히 높아져 안정한 배합조건을 갖추고 있으나 작업성이 떨어지는 단점을 가지고 있는 것으로 나타났다.
- (2) 단위수량을 증가시키면 작업성이 원활하고 유동성이 우수한 배합을 얻을 수 있고 점성도 강하지만 압축강도를 고려한다면 단위수량을 상승시켜 작업성을 개선하기보다는 혼화제 사용량을 증가시키는 것이 우수한 물성을 얻을 수 있을 것으로 판단한다.
- (3) 혼화제량이 적으면서도 충분한 고유동성을 가진 No. 2-2 배합이 실제 시공에 적절한 배합이라 판단되며, 향후 본 시험에서 결정된 시험배합으로 시공성과 충전성을 고려한 현장 Mock-up 시험을 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 전력산업 연구개발사업의 지원 하에 이루어진 것으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국전력공사 전력연구원 '원전콘크리트 구조물의 시공성 및 내구성 향상을 위한 다성분계 시멘트 콘크리트 개발' 중간보고서, 2003 .7.
2. ASTM C 260 'Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete'
3. ASTM C 490 'Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete'