

폴리카보산계 혼화제를 이용한 고유동 콘크리트 배합에 관한 연구

Study on Mix Proportion of Self-Compacting Concrete Utilizing Polycarboxylic Acid based Admixture

노재명* 권기주** 나환선*** 정원섭**** 오병철*
Noh, Jea Myoung Kwon, Ki Joo Nah, Hwan Seon Joung, Won Seoup Oh, Byung Cheol

ABSTRACT

While member sections of concrete structures of nuclear power plant are big, water-cement ratio is small. Consequently, the huge amount of heat generation and high viscosity could be occurred. These might reduce constructibility of nuclear power plant.

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 polycarboxylic acid based admixture is mutually compared and estimated.

1. 서론

원자력 발전소의 콘크리트 구조물은 부재단면이 일반구조물에 비해 큰 반면 물-시멘트비가 낮아 수화 발열량이 높고 콘크리트의 점성이 높아 시공성을 저하 시킬 우려가 있다. 과도한 매입철물과 철근 밀집 지역의 복잡한 배근 부위의 콘크리트의 품질 향상을 위해 다량의 무기질계 미분말(플라이애시, 슬래그 미분말, 석회석 미분말 등)을 시멘트의 대체재로 사용하여 시멘트를 근본적으로 개질하여 수화열을 감소시키고자 콘크리트 구조물의 내구성능 향상을 목표로 현재 실험연구가 진행중에 있다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

폴리카보산계 혼화제를 사용한 고유동 콘크리트 제조에는 1종시멘트에 플라이애시를 20%, 슬래그미분말을 40% 치환하였고, 골재는 시멘트 페이스트와 부착성능이 좋은 쇄석을 사용하였다. 본 실험에 사용한 재료는 표 1과 같다.

* 정회원, 한국전력공사 전력연구원 일반연구원

** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

*** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

**** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임보연구원

2.2 실험 내용 및 방법

본 실험에서는 원전 콘크리트 구조물에 적용되고 있는 1종 시멘트에 플라이애시 20%를 사용하는 배합설계보다는 매스콘 콘크리트 구조물에서 수화열 제어효과가 뛰어나고, 폴리카본산계 혼화제를 포함한 3 성분계 또는 4 성분계로 고유동성을 나타내는 다양한 배합을 선정하여, 각각 그 물성을 확인하였다. 각 배합 별 검토항목으로 유동성 및 충전성 등의 확인을 위해 슬럼프 플로우, Box 충전성 시험, O형 깔때기 시험 등을 수행하였다.

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	폴리카본산계	B사	-

2.3 고유동 콘크리트 배합

본 실험의 고유동 콘크리트 배합시의 기본 조건은 표 2와 같다. 콘크리트의 배합조건은 폴리카본산계 고성능 감수제를 사용하였고, 단위수량 및 잔골재를 조절을 통해 배합조건을 만족하는 배합을 선정하였다. 배합조건은 일반배합과 동일하나 견비빔 시간을 60초로 본비빔 시간을 180초로 하여 재료의 배합이 원활하도록 하였다. 실험에서 수행한 배합은 표 3과 같다.

표 2. 고유동 콘크리트 배합의 기본조건

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

3. 실험결과 및 고찰

각각의 배합에 대해 슬럼프 플로우, O형 깔때기 유하시험, Box 충전시험을 실시한 결과는 표 3과 같다. ASTM() 기준에 따라의, 그라우트 유하시험 측정은 시험 전 유하시험 장치를 물로 적신 후, 표면이 마르기 전에 실험을 하였다.

No. 1 배합에서는 S/A를 조절하여 V_g (굵은 골재의 체적)를 낮춰서 V_p/V_g (페이스트와 굵은 골재의 체적비)를 높이고 유동성과 점성의 변화를 확인하기 위하여 기본시험을 실시하였다. V_p/V_g 의 변화에 따른 O형 깔때기 유하시간은 그림 1과 같다. No. 1-1 배합은 소량의 재료분리가 발생하였다. 소량이라도 물이 첨가되면 완전한 재료분리가 일어날 수 있어 현장적용은 불가능한 배합이라 판단된다. No. 1-2 배합은 No. 1-1 배합보다 점성이 증가하였고 재료분리 현상도 줄어들었다. No. 1-3 배합은 No. 2-2 배합보다 점성이 증가해서 증점제를 사용한 배합과 거의 유사한 점성이 보인다. 이는 잔골재 양이 상대적으로 늘어나서 점성이 커졌기 때문이며 재료분리가 전혀 없고 분리에 대한 저항성도 높다. 전반적으로 시멘트 페이스트에 대한 골재 용적이 작을수록 골재의 마찰이 상대적으로 줄어들어 유하속도 및 충전성 실험은 아주 양호하게 나타나며 점성의 증대로 인해 재료분리의 저항성을 갖게 된다. 따라서 현재 배합 중에서 작업성 및 유동성, 재료분리저항성을 갖춘 No. 1-3 배합이 가장 우수한 배합으로 판단된다.

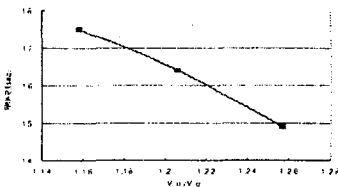


그림 1. V_p/V_g 의 변화에 따른 O형 깔때기 유하시간

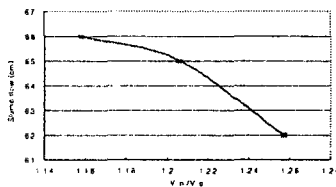


그림 2. V_p/V_g 의 변화에 따른 Slump flow

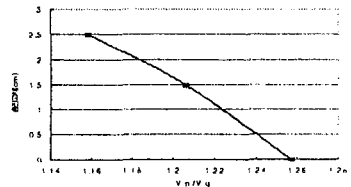


그림 3. V_p/V_g 의 변화에 따른 Box 충전고차

표 3 각각의 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	37.0	47.2	311	1.158	185	200	768	858	100	200	5.0	-	66.0	17.5	2.5		
1-2	37.0	49.2	299	1.206	185	200	799	825	100	200	5.0	-	65.0	16.4	1.5		
1-3	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	5.0	-	62.0	14.9	0.0		
2-1	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	5.0	-	65.0	10.5	0.0	낮은표면수	
2-2	0분	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	5.0	-	66.0	12.5	0.0	경시변화용
	30분													59.0	26.0	미측정	
	60분													30.0	47.0	32.0	
3-1 B사	0분	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	5.0	-	66.0	12.5	0.0	
	30분													59.0	26.0	미측정	
	60분													30.0	47.0	32.0	
3-2 C사	0분	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	5.0	-	65.0	15.4	0.5	
	30분													55.0	34.0	8.0	
	60분													33.5	61.2	29.0	
4-1	0분	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	7.25	0.135	65.0	15.8	0.8	
	60분													65.0	20.0	0.8	
	120분													58.0	미측정	미측정	
5-1	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	7.25	-	65.0	15.8	0.8		
5-2	37.0	48.2	305	1.182	185	200	784	841	100	200	7.25	-	65.0	22.0	15.0		
5-3	37.0	47.2	311	1.158	185	200	768	858	100	200	7.25	0.135	67.0	46.0	33.0		
6-1	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	7.25	0.135	65.0	15.8	0.8		
6-2	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	7.25	0.270	63.0	25.4	1.2		
7-1	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	7.25	0.135	66.0	16.24	0.8	기존	
7-2	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	7.00	0.135	65.0	15.86	0.0	변경	
8-1 (B사)	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	7.25	0.135	66.0	20.4	0.0	공기량:4.1%	
8-2 (C사)	37.0	51.2	287	1.257	185	200	831	791	100	200	7.00	0.135	65.0	16.10	0.0	공기량:3.7%	

No. 2-1 배합은 No. 1-3 배합을 기준으로 고유동 콘크리트의 단점 중의 하나인 현장에서 소량의 가수로 인한 재료분리 현상을 방지하기 위해 표면수를 의도적으로 줄인 후, 9kg/m³만큼 가수시켜 재료분리에 대한 저항성을 알아보았다. 가수 후 유하속도가 4초 정도 빨라졌다. 추가적인 가수가 발생되지 않는다면 재료분리는 일어나지 않을 것이고 사용 가능한 콘크리트이다.

No. 3 배합은 No. 2 배합에서 혼화제만 B사와 C사제품으로 바꾸어 실험한 후, 각 물성의 경시변화를 검토하였다. 경시변화의 측정을 위해서는 팬에 배출시켜 정치시켰다가 측정 시간이 되면 재비빔후 측정하였다. 시험결과, 슬럼프 로스는 그림 2와 같이 제조회사와 관계없이 상당히 심한 것으로 나타났으며, 이러한 문제점의 개선을 위하여 혼화제를 조금 변화시켜 재시험을 실시하였다. 유하시간과 충전고차의 경시변화를 그림으로 나타내면 그림 5, 그림 6과 같다.

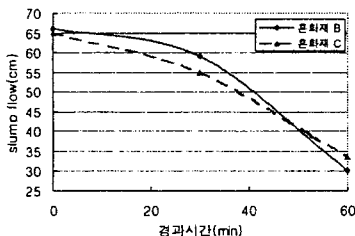


그림 4. 시간경과에 따른 slump flow

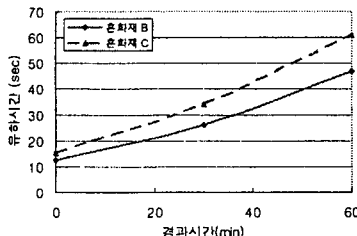


그림 5. 시간경과에 따른 유하시간

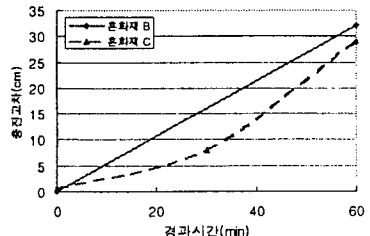


그림 6. 시간경과에 따른 충전고차

No. 4 배합에서는 슬럼프 로스를 줄이기 위해서 증점제를 사용하였다. 각 물성은 모든 조건을 만족시키는 것으로 나타났다. 또한 시간이 경과함에 따라 매우 양호한 상태를 보이고 있는데, 이는 증점제의 특성상 물과 접촉하여 약 10분까지 점성이 증가하다가 그 후 거의 일정한 점성이 유지되기 때문으로 판단된다. 하지만 유하시간은 조금 줄어드는 경향을 보이고 있고 반면 충전높이차는 매우 양호하므로 현장타설시 양호한 작업성을 확보할 수 있을 것이라 판단된다. 120분에서 유하시험과 Box 충전성 실험을 실시하지 않은 이유는 여러번의 실험으로 인해 몰탈의 손실량이 많다고 판단하였기 때문이다.

No. 5 배합에서는 잔골재율을 변화시켜 콘크리트 특성변화를 검토하였다. 시험결과, 잔골재율의 변화에 따른 실험결과는 증점제를 미첨가한 실험과 유사한 결과를 보이고 있는 것으로 나타났으며, 시멘트 페이스트 및 모르타르의 용적이 굵은골재의 용적보다 커질수록 유동성이 향상되고 충전성도 양호하게 나타났으며, 점성의 증가로 인해 재료분리 저항성도 높아졌다.

No. 6 배합에서는 증점제 사용량에 따른 콘크리트의 특성을 검토하였다. 시험결과, 증점제 사용량을 2배로 사용한 콘크리트의 경우 점성이 상당히 높아 유동성에 영향을 미쳐 슬럼프 플로우 및 유하시간이 소요의 기준을 만족하지 못하는 결과를 나타내고 작업성도 떨어지는 것으로 나타났다. 또한, 재료분리에 대한 저항성은 높아 졌지만 No. 6-1과 같은 유동성을 갖기 위해 배합수정을 한다면 재료분리 저항성은 조금 떨어지는 경향을 나타낼 것으로 사료된다.

No. 7 배합에서는 혼화제 양을 조절하면서 콘크리트 물성을 검토하였다. 시험결과, 혼화제의 성능을 조금 개선시킨 것을 사용한 결과 기존보다 사용량이 줄어들어 경제성이 있으며 콘크리트가 좀 더 우수한 유동성을 보이며 재료분리에 대한 저항성도 높아지는 것으로 나타났다.

No. 8 배합에서는 B사 혼화제를 D사 혼화제로 바꾸어 혼화제의 성능을 검토하였다. 시험결과, 두 회사 제품 모두 전반적인 상태는 비슷하며 재료분리는 없고 유동성이 우수하여 작업성도 양호한 것으로 나타났다.

4. 결론

플리카본산계 혼화제를 사용한 고유동 콘크리트의 물성실험을 종합하면, V_p/V_g (페이스트와 굵은 골재의 체적비)를 높이면 O형 깔대기 유하시간이 줄어들고, 잔골재량이 굵은 골재량 보다 커질수록 유동성이 향상되고 충전성도 양호하게 나타났으며, 점성의 증가로 인해 재료분리 저항성도 높아졌다.

- (1) 혼화제량을 $5\text{kg}/\text{cm}^3$ 를 사용한 유동화 콘크리트 배합(No. 1부터 No. 3까지의 배합) 중 No. 3-1과 No. 3-2 배합이 유동성과 충전성 측면에서 양호한 결과를 보여주었다.
 - (2) 혼화제량을 $7\text{kg}/\text{cm}^3$ 이상 사용한 배합(No. 4부터 No. 8까지의 배합) 중 No. 4-1, No. 5-1 No. 6-1 등이 유동성 면에서는 모두 좋은 결과를 보이고 있다.
 - (3) 레미콘을 사용하는 시공 현장의 상황을 고려하면 경시변화에 따른 slump flow의 변화가 적은 No. 4-1 배합을 실제 시공에 적용할 수 있을 것이다.
- 향후 No. 4-1 배합의 시공성과 충전성을 고려한 심도 있는 실험을 진행할 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'