

다성분계 고유동 콘크리트의 현장적용성 연구

Practical Experimental Study on Multi-component Self-Compacting Concrete

노재명* 권기주** 나환선*** 정원섭****
Noh, Jea Myoung Kwon, Ki Joo Nah, Hwan Seon Jung, Won Seoup

ABSTRACT

In this study, it was founded to make the optimal mixture for producing concrete which is self-compacting, yet, and generates low heat of hydration by using flyash, blast furnace slags and limestone powders as binders in addition to cement while using super-plasticizers and viscosity agents as admixture agents. The structural behaviors of the concrete produced with the selected mixture were compared with those of the concrete currently using for construction of nuclear power plants. The study shows that the blended high fluidity concrete including limestone is better in workability and durability than the concrete currently in use for nuclear power plants.

1. 서론

원자력발전소(원전)의 콘크리트 구조물은 철근이 조밀하여 콘크리트 치기 및 다지기가 원활하지 못한 부재요소가 많이 있다. 또한 방사능 차폐기능 때문에 벽체나 슬래브의 두께가 일반구조물에 비해 매우 두꺼운 매스콘크리트로 건설된다. 그러나 현재 건설중인 원전 콘크리트는 시멘트와 플라이애시를 결합재로 사용하여 슬럼프 10±0.5cm 정도인 일반콘크리트와 유사한 콘크리트를 사용하고 있다. 따라서 원전 콘크리트의 시공성을 보다 더 향상시키고 수화열을 저감시킬 수 있는 방안이 강구되어야 할 실정이다.

한편, 일반 콘크리트 분야에서는 고로슬래그, 플라이애시 등의 광물질 미분말과 고성능 감수제 및 증점제 등의 혼화제를 사용하여 콘크리트의 물성을 향상시키는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이에 본 연구에서는 시공성과 내구성 향상을 목적으로 배합 제조한 다성분계 고유동 콘크리트의 원전 콘크리트 구조물에 적용성을 현장실험을 통해 평가하였다.

2. 실험

2.1 실험재료 및 배합비

2.1.1 구성재료

본 실험에서는 결합재로 시멘트 이외에 플라이애시, 고로슬래그 및 석회석 미분말을 사용하였으며 이들의 주요 물리·화학적 성질은 Table 1에 수록된 바와 같다. 또한 잔골재는 강모래를 사용하였고 굵은골재는 부순돌로 최대치수 19 mm를 사용하였다. 실험에 사용한 각종 혼화제의 물리·화학적 특성은 Table 2에 수록된 바와 같다.

Table 1 결합재의 주요 물리·화학적 성질

종 류	비 중	분말도(cm/g)	비 고
시멘트 (1종 PC)	3.15	3,720	-
플라이 애시	2.30	3,210	분급
고로 슬래그 미분말	2.93	6,000	분쇄/분급
석회석 미분말	2.71	5,370	분쇄/분급

* 정희원, 한국전력공사 전력연구원 일반연구원

** 정희원, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

*** 정희원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

**** 정희원, 한국전력공사 전력연구원 선임보연구원

2.1.2 배합비

현재 원전에서 주요 구조물용으로 사용중인 콘크리트(재령 91일의 설계기준강도 385 kgf/cm²)의 배합비는 Table 3에 수록된 SHF 배합에 따른 것이다.

본 연구에서는 시공성과 내구성이 향상된 콘크리트 제조를 위해 폴리카본산계 고성능 감수제와 증점제를 사용한 다성분계 고유동 콘크리트인 MHS의 배합을 도출하였다. 그러나 이 MHS 콘크리트는 필요

한 유동성은 확보되었으나 수화열 저감엔 큰 효과를 얻지 못해 고로슬래그의 25%를 석회석 미분말로 대체한 MHL 배합을 최종배합으로 선정하였다. 이러한 MHS와 MHL 배합도 Table 3에 수록되어 있다.

Table 2 혼화제의 물리·화학적 특성

종류	비중	pH	색상	고형분 (%)	점도 (cps)	습도 (%)
고성능 감수제 (폴리카본산계)	1.07	5.25	암갈색	25.5	-	-
증점제	-	-	백색	-	7,900	8.0
A/E 제	1.03	-	백색	-	-	-
일반감수제 (리그닌계)	1.15	7.9	암갈색	34.1	-	-

Table 3 콘크리트 배합비

콘크리트 종류	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kgf/m ³)							
			W	B	C	F/A	S/P	L/P	SP제	증점제
SHF (기존원전)	39.4	43	185	470	376	94	-	-	2.82	-
MHS (다성분,고유동)	37	53	185	500	200	100	200	-	6.50	0.25
MHL (MHS+석회석)	37	53	185	500	200	100	150	50	5.65	0.25

여기서, F/A : Flyash, S/P : Slag, L/P : Lime Stone

3. 현장 배합의 선정

3.1 수화열 시험

수화열 시험은 보유 실험장비의 특성을 고려하여 JIS R 5203에 따라 단열상승온도와 반응속도를 측정하였다. 측정된 단열 수화열 온도를 배합결합재 별로 Fig. 1에 수록하였다.

이 그림에서 보는 것과 같이 측정 시작 후 6시간까지는 모두 비슷한 변화를 보이다가 약 15시간 경과 후부터는 다성분계인 MHS 및 MHL은 온도가 크게 상승하지 않는 반면 SHF는 크게 상승하기 시작하여 측정후 약 40시간이 경과된 시점에는 두 종류 사이의 단열온도 차이는 25℃ 이상이 난다.

다성분계인 MHS와 MHL은 측정 시작 후 약 30시간 경과시부터 단열온도가 상승하기 시작한다. 60시간 정도가 경과되면 석회석이 혼합되지 않은 SHF와 MHS의 단열온도는 비슷하게 되지만 MHL은 그 이후에도 다른 두 경우보다는 낮은 단열 온도를 유지하고 있다.

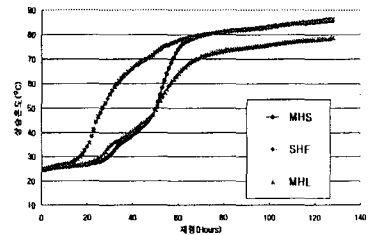


Fig. 1 혼화재별 단열 수화온도 변화

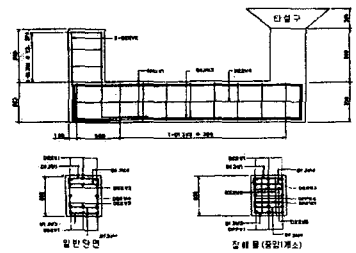


Fig. 2 현장 시험용 모의부재 (1)

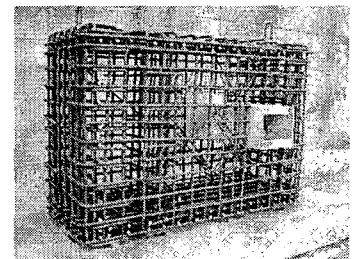


Fig.3 현장 시험용 모의부재 (2)

4. 현장시험체 적용성 시험

4.1. 유동성, 간격통과성, 재료분리저항성

실험실에서 배합기준을 만족하는 고유동 콘크리트, MHL이 실제 건설현장에서 대용량의 배치플랜트로 생산할 때도 모든 기준을 만족시키는가를 확인하기 위해 현장 모의부재 타설시험을 실시하였다.

Fig. 2 및 Fig. 3에서 보인 두 종류의 모의부재를 제작하여 유동성, 간격통과성 및 재료분리저항성 등을 확인하였다.

4.2 시험체 수화열 계측

원전 콘크리트 구조물의 특성을 고려하여 실험실에서 단열 수화열 시험을 통해 선정된 MHL배합의 실구조물에서의 수화열 발생을 알아보기 위해 수화열 계측을 실시하였다. 수화열 계측 센서의 위치는 Fig. 4와 같다.

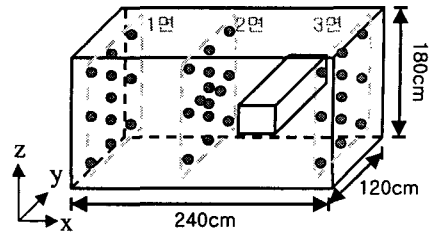


Fig. 4 수화열 계측 위치

4.3 시험체 코어 물성

고유동 콘크리트의 실구조물에서의 재료분리현상을 간접적으로 알아보기 위해 현장시험체의 재령 28일과 91일시 부위별로 코어를 절취하여 코어시편의 비중과 강도를 측정하였다. 코어의 강도는 KS F 2422에 따라 측정되었다. Fig. 5의 시험체에서는 각 재령에서 타설부위와 충전부위에서 각각 3개의 시편을 절취하였고, Fig. 6 시험체에서도 각 재령에서 상부, 중부, 하부 각 3개씩의 시편을 절취하였다.

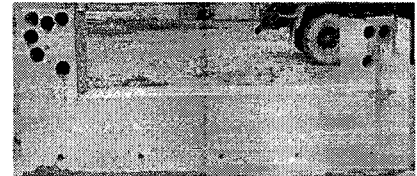


Fig. 5 코어링후 현장시험체 1

4.4 실험결과 및 평가

모의부재(1)의 타설구를 통해 유입된 콘크리트는 바닥면에 설치된 3개의 장애물을 통과하여 반대방향으로 흘러가면서 투입구 쪽의 타설 높이보다는 조금 낮은 높이를 유지하면서 점차 상승하였다. 투입구 쪽의 콘크리트가 부재 상한선까지 충전되었을 때 반대편 수직 벽면의 콘크리트도 거의 상한선까지 차올라왔다. 이때 투입구와 반대편 쪽에서 채취한 시료를 세척하여 분석한 결과 재료분리가 일어나지 않았음을 확인할 수 있었다. 이로써 본 유동화 콘크리트의 유동성, 충전성 및 재료분리저항성은 기준을 만족하는 것으로 확인되었다.

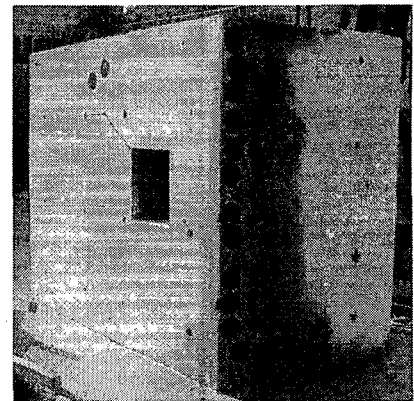


Fig. 6 코어링후 현장시험체 2

중앙 단면에서의 각 부위 온도분포는 Fig. 7과 같고, 각 방향으로의 온도차는 Fig. 8에 나타난 바와 같다. 벽체 두께 120cm의 원전 콘크리트 구조물을 고려하면 실구조물에서의 온도차를 대표하는 Fig. 8의 y방향 온도차가 중요한 요소이다. y방향의 온도차는 최고 11℃를 보이고 있다. 이로써 실제 원전건설시 수화열에 의한 온도 균열이 발생하지 않을 것으로 판단된다.

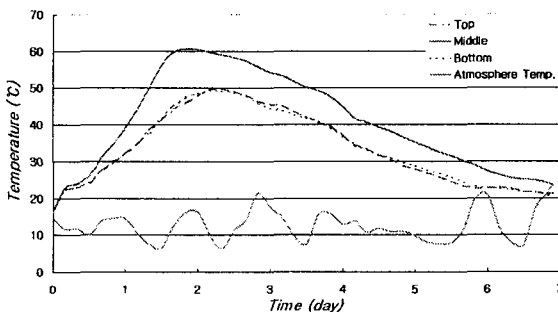


Fig. 7 중앙단면에서의 상, 중, 하부 온도

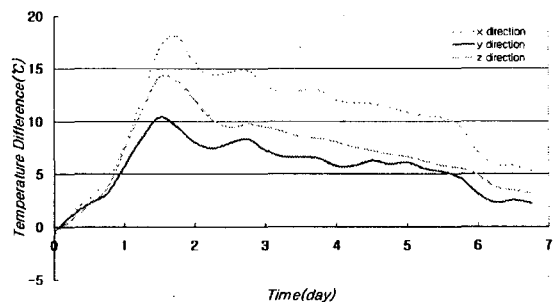


Fig. 8 중앙에서 각 방향으로의 온도차

타설시 재료분리 현상이 일어나지 않음을 확인하였으나, 재령 28일과 91일에서 코어 시편의 비중-강도 관계를 통하여 재료분리 현상과 실구조물에서의 강도를 알아보았다. 시험체 1의 타설부와 충전부를 비교해보면 강도는 차이가 나지 않았지만 충전부의 비중이 조금 높은 것으로 나타났다. 또한 시험체 2의 상 중 하부를 비교해 보면 비중보다 강도의 차이가 약간 나타났다. 각 부위의 코어가 완전 균질하지 않고 소량의 차이가 나는 이러한 경향은 타설, 충전시 약간의 재료분리가 일어남을 알 수 있으나, 이는 일반 콘크리트라 하더라도 일어날 수 있는 것으로 판단되며 강도는 현재 원전에 사용하는 일반 콘크리트의 강도 385 kgf/cm^2 (재령 91일 기준)보다 모두 높은 값을 나타내었다.

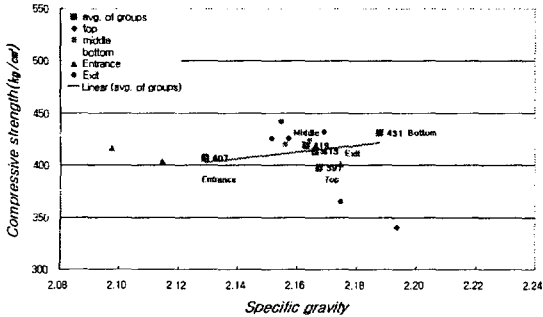


Fig. 9 코어의 비중 강도 관계 (재령 28일)

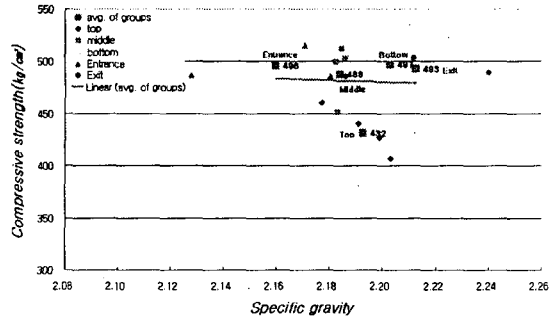


Fig. 10 코어의 비중 강도 관계 (재령 91일)

5. 결론

석회석이 함유된 다성분계 고유동 콘크리트를 원자력발전소 구조물로의 적용성을 실험을 통해 비교 분석한 결과 충전성, 재료분리 저항성 등의 시공성이 우수하였고, 수화열의 발생으로 인한 온도차, 콘크리트의 강도 등이 상당히 개선되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 개선된 결과를 항목별로 나열하면 다음과 같다.

- 1) 배합기준을 만족시키는 석회석 미분말을 포함한 다성분계 고유동 콘크리트의 실 구조물에서의 비중-강도 분포를 통해 현장 적용성도 양호함을 확인하였다.
- 2) 재령 28일 이후의 고유동 콘크리트 코어시편의 압축강도는 현재 원전 건설용으로 사용중인 콘크리트의 강도보다 매우 높았다.
- 3) 다성분계 고유동 콘크리트 모르타르의 단열수화온도는 일반콘크리트 모르타르의 단열수화온도에 비해 초기에는 매우 낮았지만 50시간 경과 후에는 비슷한 양상을 나타내고 있었다. 다만 이때에도 석회석을 함유한 고유동 콘크리트 모르타르의 단열수화온도가 상대적으로 낮게 나타났다.
- 4) 모의실험체에서 발생한 수화열로 인한 온도차는 실제 구조물에서 수화열로 인한 온도 균열을 야기할 만큼 큰 차이를 보이지 않았다.

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.