

염해환경에 노출된 매스콘크리트의 시공

Application of Mass Concrete Exposed to Marine Environment

김 동 석* 박 상 준* 신 흥 철** 유 재 강**
Kim, Dong Seok Park, Sang Joon Shin, Hong Chol Yoo, Jae Kang

ABSTRACT

This study was performed to investigate the effect of ternary blended cement concrete mixed with slag cement and fly ash on the compressive strength, the resistance to chloride ion penetration and reduction of hydration heat. Each performance of ternary blended cement concrete compared with binary blended cement concrete and ordinary portland cement concrete. As a result, it was concluded that ternary blended cement concrete is suitable to mass concrete under marine environment.

1. 서론

매스콘크리트에는 타설된 후에 시멘트의 수화열에 기인하여 온도응력이 발생하게 되며, 이 온도응력이 콘크리트의 인장강도를 초과하게 되면 온도균열이 발생하게 된다. 그런데, 이러한 매스콘크리트 구조물이 염해에 의한 피해가 우려되는 해양환경에 노출되게 되면, 온도균열의 제어와 함께 내염성능의 확보도 중요한 배합설계 인자로 고려해야 한다. 그러나, 매스콘크리트의 온도균열에 대한 일반적인 대책으로서 사용되는 플라이애시는 수화열의 저감에는 효과적이지만, 내염성능을 대표하는 염화물 확산계수의 저감에 미치는 영향은 고로슬래그 미분말에 비해서 상대적으로 적은 것으로 나타났다.¹⁾ 한편, 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 적당한 비율로 혼합제조한 시멘트는 보통포틀랜드시멘트에 비해 수화발열량이 낮고, 우수한 유동성을 갖고 있으며, 해양구조물에 요구되는 콘크리트의 내해수성 측면에서도 매우 우수한 것으로 알려지고 있다.²⁻³⁾

따라서, 본 연구에서는 수화열 저감 및 내염성능을 확보할 수 있는 저발열형 내염콘크리트를 현장적용하기 위한 목적으로, 보통포틀랜드시멘트 대신에 고로시멘트를 사용하고 플라이애시를 치환하는 삼성분계의 개념을 도입하여 배합설계를 실시한 후, 수화발열 특성 및 염화물 확산계수를 검토하여 최적 배합을 선정하고, 수화열 해석을 통해 온도균열 발생가능성을 평가하였다. 또한, 이를 바탕으로 저발열형 내염콘크리트를 매트기초에 현장적용하고, 그 품질관리결과를 정리하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

* 정희원, (주)대우건설 기술연구소 선임연구원

** 정희원, (주)대우건설 기술연구소 전임연구원

본 실험에 사용된 보통포틀랜드시멘트는 비중 3.15, 분말도 3,150cm²/g이며, 고로시멘트는 비중 3.05, 분말도 3,020cm²/g이고, 플라이애시는 삼천포산(F급)으로서 비중 2.24, 분말도 3,556cm²/g이었다. 잔골재는 조립을 3.65인 부순모래와 조립을 1.68인 강사를 5:5로 혼합하여, 비중 2.60, 조립을 2.68인 혼합모래를 사용하였으며, 굵은골재는 비중 2.63, 조립을 6.80인 쇄석을 굵은골재로 사용하였다. 혼화제는 단위시멘트의 양을 최소로 하기 위해서 E사의 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용하였다.

2.2 콘크리트의 배합

실험에 사용된 콘크리트의 배합은 표 1에 나타낸 바와 같다. 콘크리트 규격은 25-30-15로서, 염해의 우려가 없는 부산지역 현장의 매트기초에 적용된 저발열콘크리트 배합(OPC+FA25)을 근거로, 여러 번의 배합실험을 통해 굳지 않은 콘크리트의 규격을 만족하는 고로시멘트를 사용한 배합(SLC+FA25)과 비교기준으로서 보통포틀랜드시멘트만을 사용한 배합(OPC)을 선정하였다.

2.3 실험방법

압축강도는 ø10×20cm 원주형 시험체를 대상으로 UTM을 사용하여 각 재령에서 측정하였고, 시멘트 종류 및 플라이애시의 사용유무에 따른 수화발열 특성을 파악하고, 수화열 해석을 위한 입력자료 확보를 위해 각 배합에 대해 단열온도상승 시험을 수행하였다.

표 1 콘크리트의 배합

기호	W/B (%)	S/a (%)	단위중량 (kg/m ³)					
			W	OPC	SLC	FA	S	G
OPC	39.0	45.6	158	405	-	-	813	981
OPC+FA25		44.5	158	304	-	101	778	982
SLC+FA25		44.0	158	-	304	101	766	986

염소이온 확산시험 셀의 제작은 소요의 재령까지 표준양생한 ø10×20cm 원주형 공시체의 일정부위를 커터기를 사용하여 두께 50mm로 커팅한 후, 수분의 증발을 방지하기 위하여 랩으로 원주면을 보호하였다. 염소이온 확산시험은 Tang & Nilsson이 제안한 전기촉진시험방법⁴⁾을 참조하여 0.3M의 NaOH 수용액을 양극으로, 3% NaCl 수용액을 음극으로 하여 30V의 전압을 가하였을 때 0.2Ω의 저항에 걸리는 전류와 확산셀 내부의 온도를 8시간 동안 측정하였다.

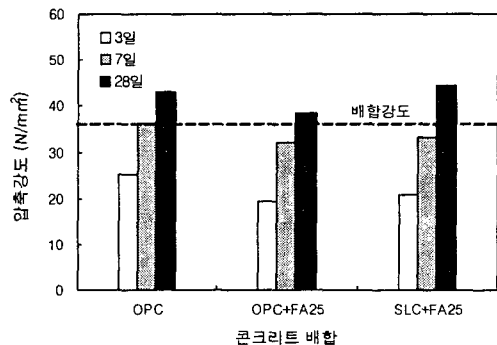
염소이온의 침투깊이는 시험이 종료한 후 시험편을 할렬하여 0.1N AgNO₃를 분무하였을 때 변색되는 부위를 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다. 측정된 결과를 바탕으로 식 1을 이용하여 염화물 확산계수를 산출하였다.

$$D = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - a\sqrt{x_d}}{t} \tag{식 1}$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도 발현성상

각 배합의 압축강도 발현성상은 그림 1에 나타낸 바와 같이, 모든 배합은 재령 28일에서 설계기준강도에 1.2배 한 배합강도를 만족하고 있으며, 재령 7일까지는 OPC 배합이 가장 높은 강도발현을 보이고 있다. 그에 비해 OPC+FA25 배합은 재령 28일까지도 상대적으로 낮은 강도발현을 나타내고 있다. 한편, SLC+FA25 배합은 재령 7일 이후에도 높은 강도발현을 보이며 재령 28일에서 OPC 배합과 동등이상의 강도를 발현하고 있어, 고로시멘트를 사용한 삼성분계형



배합은 재령 28일에서 플라이애시 치환에 따른 강도 저감을 보상할 수 있는 것으로 나타났다.

3.2 단열온도상승 시험

단열온도상승 시험결과는 그림 2와 같고, 단열온도 상승식은 초기의 발열상태를 실구조물과 근사하게 평가하는 식 2를 사용하였다.

$$Q(t) = K(1 - e^{-\alpha t^\beta}) \quad \text{식 2}$$

단열상승 특성은 OPC 배합의 경우, $K=47.7^\circ\text{C}$, $\alpha=1.59$, $\beta=3.6$ 으로 나타난 반면, OPC+FA25 배합은 $K=44.9^\circ\text{C}$, $\alpha=0.51$, $\beta=3.9$ 이고, SLC+FA25 배합은 $K=43.5^\circ\text{C}$, $\alpha=0.07$, $\beta=2.0$ 인 것으로 나타나, SLC+FA25의 배합의 경우가 최고상승온도(K) 및 상승속도 저감 등 수화발열특성 제어에 가장 유리한 것으로 나타났다.

3.3 염화물 확산계수

그림 3은 재령별 염화물 확산계수 추정결과를 콘크리트 배합별로 나타낸 것이다. 재령 28일에서 SLC+FA25 배합의 확산계수는 OPC 배합에 비해 0.14배로 낮아 내염성능이 가장 우수한 것으로 나타난 반면, OPC+FA25 배합은 1.2배의 높은 확산계수를 나타내 FA의 경우에는 내염성능개선에 유효하지 못한 것을 알 수 있었다.

이상의 연구결과를 종합하여, 염해가 우려되는 주상복합 현장의 매트기초에는 내염성능 확보 및 수화열 저감을 위해 삼성분계형 배합인 SLC+FA25 배합을 선정하고, 온도균열 발생가능성을 검토하기 위해 수화열해석을 수행하여 현장에 적용하는 것으로 하였다.

4. 수화열 해석 및 현장적용

4.1 수화열 해석

저발열형 내염콘크리트의 적용구조물은 당사에서 부산에 신축 중인 주상복합건물의 매트기초(두께 2.2m)이다. 타설 예정시기가 1월말에서 2월초로 동절기에 해당하므로, 양생막을 설치하고 열풍기를 가동하는 것으로 시공계획이 수립되었다. 따라서, 양생막 내 대기온도변화에 따른 온도균열발생가능성을 검토하기 위해 온도응력해석 상용프로그램인 MIDAS/GENw을 이용하여 수화열 해석을 수행하였다.

그림 4 및 그림 5는 양생막 내 대기온도를 15°C 로 가정한 경우, 주요절점의 온도이력과 온도균열지수를

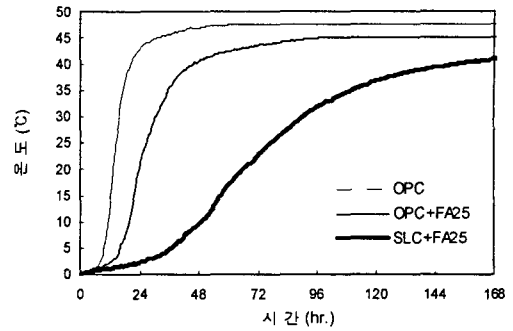


그림 2 단열온도상승 시험결과

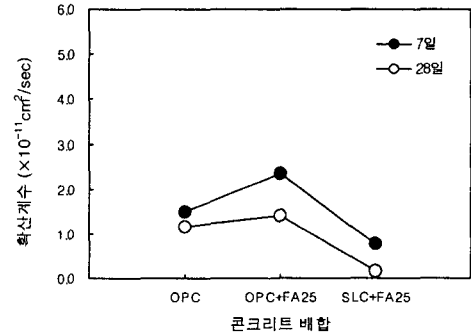


그림 3 염화물 확산계수

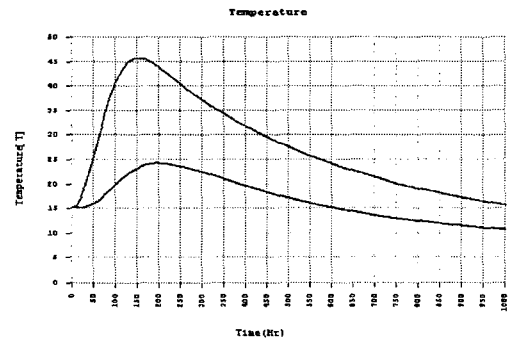


그림 4 중앙부와 표면부의 온도이력곡선

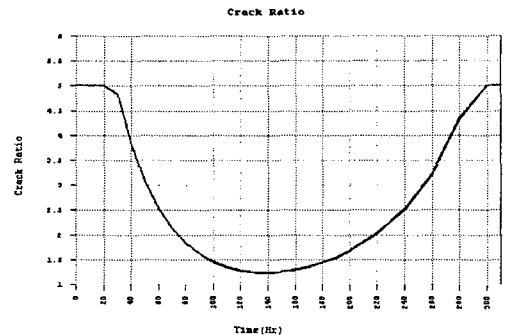


그림 5 주요절점의 온도균열지수

나타낸 것이다. 전반적으로 매트기초의 표면부가 급격히 냉각하는 반면, 매트기초의 두께 방향 중앙부는 콘크리트 타설 후, 150시간에 최고 47.2℃ 정도까지 상승하고, 표면부와 중앙부의 온도차는 22℃ 정도로 해석되었다. 또한, 표면 모서리부분에서 온도균열지수(130~150시간)는 1.25 정도로 해석되어 균열발생확률이 약 20%정도로써 균열 발생을 제한할 수 있는 것으로 평가되었다.

4.2 현장적용결과

매스콘크리트의 총타설량은 3,000m³로서, 사용재료에 따른 품질편차를 최소화하기 위해 2개의 배치 플랜트를 보유하고 있는 1개 레미콘사에서 공급하였다. 현장타설시 굳지 않은 성상은 대체로 양호하였으며, 재령 28일의 압축강도는 36.9~45.8MPa의 범위로서 배합강도 이상을 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

그림 6은 콘크리트 타설 후 10일간의 수화열 계측결과이며, 양생막 내 가열양생은 약 6일까지 실시하였다. 중심부 최고온도는 타설 후 약 100시간 정도에서 53.8℃로 나타났으며, 최고온도 이후에는 비교적 서서히 감소되고 있지만, 표면부와외의 온도차는 15℃ 이내인 것으로 나타나고 있어 균열발생 확률은 낮은 것으로 판단되었다.

거푸집 제거 후 균열에 대한 외관조사결과, 몇 개소에 소성균열로 추정되는 균열이 있었으나 온도균열에 의한 균열은 발견되지 않아, 삼성분계형 배합은 염해가 예상되는 매스구조물에 있어 온도균열 저감대책으로 매우 유용한 것으로 판단되었다.

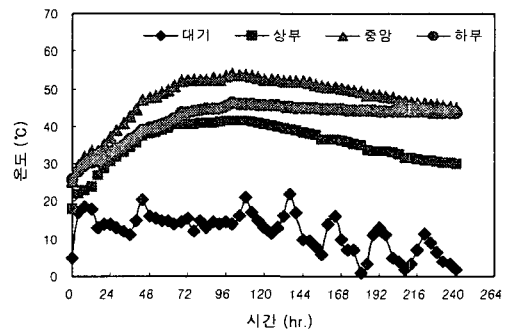


그림 6 수화열 현장계측결과

4. 결론

본 연구에서는 염해가 우려되는 주상복합 현장의 매트기초에 내염성능의 확보 및 수화열 저감이 가능한 저발열형 내염콘크리트를 적용하기 위해, 고로시멘트와 플라이애시를 사용한 삼성분계 개념의 저발열형 내염콘크리트를 배합설계하고 성공적으로 현장에 적용하였다. 고로시멘트와 플라이애시를 사용하는 저발열형 내염콘크리트는 일반적인 저발열콘크리트와 유사하여 낮은 초기강도발현성상을 갖지만, 재령 28일에서는 동등이상의 압축강도를 발현하였으며, 염화물 확산계수 저감에도 효과적이어서 내염성능이 우수한 것으로 나타났다. 또한, 저발열콘크리트에 비해 최고상승온도 및 상승속도 저감 등 수화발열특성 제어에 유리한 것으로 나타나, 향후 저발열형 내염콘크리트는 염해가 예상되는 매트기초에 있어 내염성능 확보 및 온도균열 저감대책으로 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김영진, 김동석, 유재강, “콘크리트의 염화물 침투저항성에 미치는 무기질 혼화제 종류의 영향”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표대회 논문집, pp.802~805, 2004.
2. 이창수, 설진성, 윤인석, 박종혁, “플라이애시와 고로슬래그 미분말의 복합사용한 콘크리트의 내구성능 향상 효과”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집, pp.23~26, 2002.
3. 송용순, 노재호, 강석화, “혼합형 저발열 시멘트를 사용한 콘크리트의 초유동성 및 내해수성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회지, 제10권 6호, pp.281~289, 1998.12.
4. L.Tang and L.-O.Nilsson, Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field, ACI Materials Journal, Jan.-Feb., 1992, pp.49~53.