

초지연제를 이용한 매스콘크리트의 수화열 조절에 관한 연구

A Study on the Control of Hydration Heat of Mass Concrete Using Super Retarding Agent

유 동 수* 심 보 길* 윤 치 환** 한 민 철*** 한 천 구****
Yoo, Dong-Soo Sim, Bo-Kil Yoon, Chi-Whan Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

ABSTRACT

Mass concrete is placed considering placing lifts in order to reduce thermal cracks by hydration heat. But they results in cold joint between placing lifts, which bring about the loss of strength, water tightness and undesirable appearance. Therefore, in this paper, mechanical and hydration heat of mass concrete using super retarding agent developed through previous study are investigated in order to reduce the hydration heat and place it without place lift. According to test results, placing lifts combined with normal concrete and concrete containing super retarding agent have positive effects on reducing hydration heat. Especially, the crack index by thermal stress of the concrete containing super retarding agent less than a quarter, compared to that of plain concrete without placing lifts, and less than a half, compared to that of plain concrete with placing lifts.

1. 서 론

매스 콘크리트는 타설 후 내부 수화열로 인한 열응력 즉 온도응력의 영향을 받아 구조체에 균열이 발생 할 수 있다. 따라서 이에 대한 대응책으로는 콘크리트의 단위시멘트량을 저감 혹은, 콘크리트 부어넣기 온도를 낮추거나, 상·하부를 분리 타설하는 등 다양한 방법이 존재한다. 그런데, 이 중 분리타설의 경우는 수화열 조절에 확실한 방법이지는 않지만 타설 구획간 콜드조인트의 발생으로 부착강도 및 수밀성 저하와 미관의 저해 등 장기적으로 구조체 내구 성능을 열화시키는 요인이 된다.

그러므로, 본 연구에서는 기존 연구에서 개발된 초지연제를 이용하여 수화발열 시간을 조정 함으로써 콘크리트를 분리 타설하지 않고도 수화열을 조정하여 구조체의 일체화 등으로 매스 콘크리트의 품질 향상에 대한 방안을 마련하고자 일반콘크리트 및 초지연제를 혼입한 콘크리트의 타설 방법에 따른 수화열 특성 등을 비교 분석 하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

- * 정희원, 청주대학교 대학원, 석사과정
- ** 정희원, 청주대학교 대학원, 박사과정
- *** 정희원, 청주대학교 산업과학 연구소, 전임 연구원
- **** 정희원, 청주대학교 건축공학부, 교수

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 먼저, 실험요인으로 W/C는 40%의 1수준으로 하였고, 목표 슬럼프는 15 ± 1 cm, 목표 공기량은 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 플레인 배합을 결정하였다. 여기에 개발된 초지연제의 혼입률을 0 및 0.2%의 2수준으로 하여 콘크리트 타설방법을 A~D 4수준으로 하여 실험 계획하였다. 실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 재령 28일의 코어 압축 및 인장부착 강도 및 수화열을 측정하는 것으로 하였다. 단, 강도의 측정 시기는 초지연제의 혼입률에 따른 응결시간이 큰 차이를 보이므로, 각각 종결시점을 기준으로 재령경과에 따라 측정하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로 시멘트는 국내산 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 골재로서 잔골재 및 굵은골재는 충북 청원군 옥산산 강모래와 부순 굵은골재 사용하였으며, 초지연제는 기존 연구를 통하여 개발된 초지연제로써 국내 J사에서 시판되는 백설탕과 증점제 및 AE제를 1:1:0.005로 혼합하여 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 표 3~5와 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였으며, 모의부재는 매스 콘크리트로 가정하여 건축공사 표준시방서와 콘크리트 표준시방서에 표기된 부재단면의 최소치수 80cm에 근거하여 $80 \times 80 \times 80$ cm로 제작한 후 표 1의 타설 방법에 따라 A는 플레인 콘크리트 일체 타설, B는 플레인 콘크리트 2회 분리타설(1회 타설 3일 후 2회 타설), C는 하부에 초지연제

표 1 실험계획

실험요인		실험수준		
	W/C(%)	1	40	
	목표슬럼프(cm)	1	15 ± 1	
	초지연제혼입률(%)	2	0(플레인) 0.2	
모의부재	크기(cm)	1	$80 \times 80 \times 80$	
	타설방법	4	A	일체 타설, 플레인
			B	분리 타설, 플레인
			C	일체타설, 상부-플레인, 하부-0.2%
			D	일체타설, 상부-0.2%, 하부-플레인
실험사항	굳지않은 콘크리트	3	슬럼프, 공기량, 응결시간	
	경화 콘크리트	2	<ul style="list-style-type: none"> 코어강도(압축, 인장부착) 수화열 측정 	

표 2 배합사항

W/C (%)	S/A (%)	AE 감수제 (%)	초지연제 혼입률 (C×%)	단위량 (kg/m ³)	용적배합 (l/m ³)		
					C	S	G
40	44	0.45	0	185	147	274	349
			0.2		147	274	349

표 3 시멘트의 물리적 성질

비 중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,303	0.08	226	409	231	308	410

표 4 골재의 물리적 성질

골재종류	비 중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	입형판정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.60	1.94	1,598	61.0	2.06
굵은골재	2.66	0.84	1,531	56.5	-

표 5 혼화제의 물리적 성질

혼화제종류	주 성분	색상 및 형태	비 중 (20℃)	표준사용량 (C×%)
초지연제	Sucrose, Poly ethylene oxide, Sodium lauryl sulfate	흰색, 액상	1.2	0.05~0.2
AE감수제	나프탈렌 설폰산 포르말린 축합물	암갈색, 액상	1.15	0.1~1.5

0.2%를 혼입한 콘크리트 및 상부에 플레인 콘크리트로 일체타설, D는 C의 역순으로 타설하였다. 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법으로 측정하였다. 수화열의 측정은 그림 1 처럼 모의부재의 수평 4개소, 수직 5개소로 하여 총 20개소에 열전대를 매입하여 10분 간격으로 측정하였다.

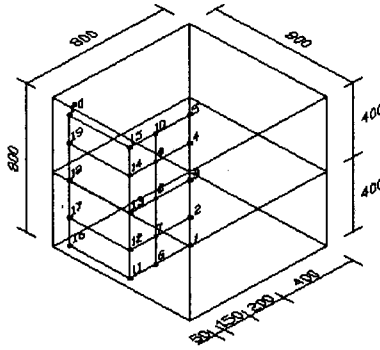


그림 1 모의부재 열전대 매입도

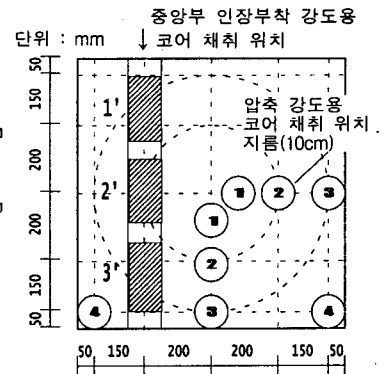


그림 2 코어 채취도

경화 콘크리트의 코어 압축 및 인장 부착 강도는 채령 28일에서 그림 2에 표시된 위치에 따라 코어를 채취하여 KS F 2422에 따라 관리 한 다음 강도 시험 KS F 2405 및 KS F 2423의 규정에 의거 실시하였다.



사진 1 모의부재 타설



사진 2 코어채취

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

3.1.1 슬럼프 및 공기량

그림 3은 초지연제 혼입률 변화에 따른 슬럼프 및 공기량을 나타낸 것이다. 초지연제 0.2%를 혼입한 콘크리트는 플레인 콘크리트와 비교하여 슬럼프는 약간 증가하고, 공기량은 다소 저하하는 것으로 나타났으나, 품질 상 오차 범위로 큰 차이는 없을 것으로 사료된다.

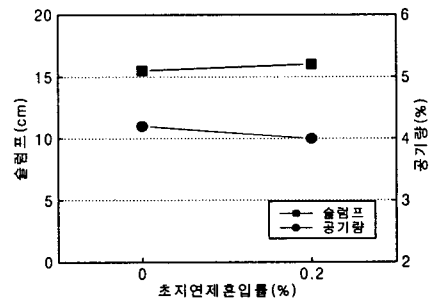


그림 3 초지연제 혼입률에 따른 슬럼프 및 공기량

3.1.2 응결시간

그림 4는 초지연제 혼입률별 시간경과에 따른 관입저항치를 나타낸 것이다. 먼저, 플레인 콘크리트의 응결시간은 초결 5.5시간, 종결 11시간으로 나타난 반면, 개발된 초지연제 0.2%를 혼입한 콘크리트의 응결시간은 초결이 3.5일, 종결이 6.5일로 응결이 크게 지연되었는데, 이는 개발된 초지연제의 주성분인 백설탕 중 수산기(-OH)가 시멘트 입자의 표면이나 극초기 수화반응물에 흡착하여 물과 접촉을 일시적으로 차단시켜 수화반응을 장시간 지연시킨 것으로 사료된다.

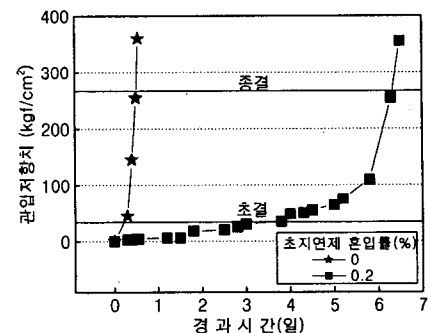


그림 4 초지연제 혼입률 변화에 따른 응결시간

3.2 경화 콘크리트 특성

3.2.1 코어 압축강도 특성

그림 5는 모의부재의 타설방법에 따른 코어위치별 상, 하부 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 코어 위치별 코어 압축강도는 전반적으로 중심부(1)가 최외부(4)보다 다소 작게 나타났는데, 이는 중심부의 높은 수화열에 의한 수화반응 저하, 내부응력 등의 영향으로 저하된 것으로 분석된다. 또한, 타설방법에 따른 상, 하부 코어 압축강도는 A는 플레인 콘크리트 일체 타설의 경우 상, 하부 큰 차이 없이 나타난 반면, B의 경우는 상부와 하부가 유사한 강도로 하부가 상부보다 다소 크게 나타났다. 이는 상부 종결 후 재령 28일의 코어 압축강도이므로 하부는 이미 재령 28일 이후가 되어 하부의 강도가 다소

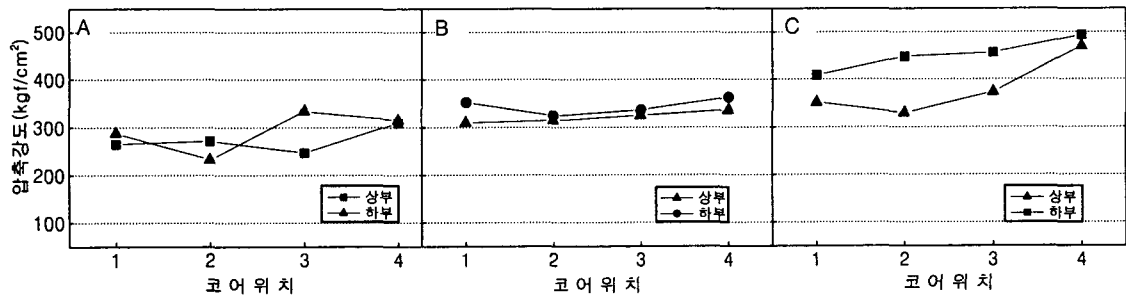


그림 5 시험체 위치별 코어 압축강도

크게 나타난 것으로 사료된다. C의 코어 압축강도는 상부 보다 하부에 초지연체를 혼입한 경우가 크게 나타났는데, 이는 초지연체를 혼입한 콘크리트가 응결이 지연됨에 따라 내부는 더욱 밀실한 수화생성물이 생성되어 내부조직이 치밀하게 되는 것에 기인한 것으로 사료된다. 단, D의 경우는 재령 28일이 경과하여도 콘크리트의 응결지연으로 종결이 오지 않아 코어 채취가 불가능하였다. 이는 하부에 타설된 플레인 콘크리트의 불리딩 수와 함께 상부타설부 초지연체가 상층부로 이동하여 초지연체의 고밀도 응집 현상을 일으키어 나타난 결과로 분석된다.

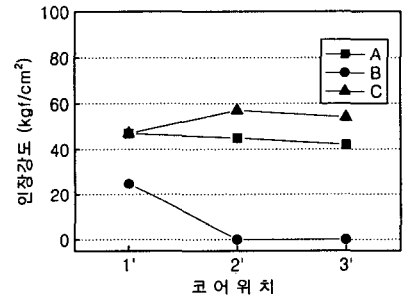


그림 6 시험체 위치별 코어 인장부착강도

그림 6은 모의부재의 타설방법에 따른 이어 붓기 위치의 코어 인장 부착강도를 나타낸 것이다. 먼저, A는 보통 콘크리트의 일체 타설로서, 전반적으로 비슷한 경향을 나타냈다. B는 보통 콘크리트의 분리타설로써 타설 구회간의 콜드조인트의 영향으로 낮은 인장 부착강도를 나타내었으며, 특히, 2'와 3'의 경우는 시험체의 인장부착 시험을 하기 위해 고정하는 중에 접착면이 파단되어 강도를 낼수 없었다. C의 경우는 접착면의 인장부착강도가 가장 높게 나타났는데, 이는 하부 초지연체를 혼입한 콘크리트의 경화지연으로 인해 상부 보통 콘크리트와의 접착면에 콜드조인트가 생겨나지 않아 일체화 된 것에 기인하는 것으로 사료된다.

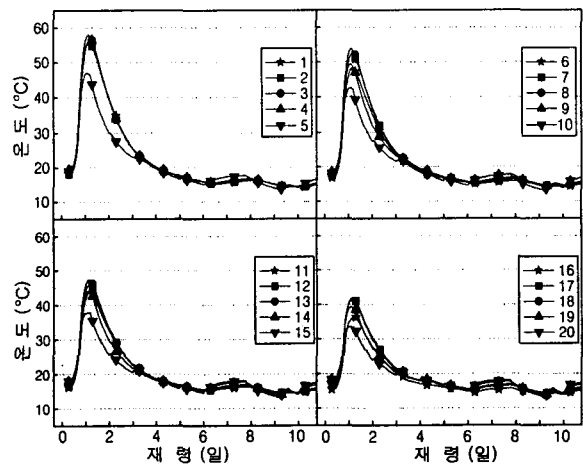


그림 7 모의부재 온도 이력(A)

3.2.2 온도이력의 특성

그림 7은 플레인 콘크리트를 일체타설한 모의부재의 재령에 따른 온도 이력을 나타낸 것이다. 먼저, 수화열의 최고온도는 콘크리트 타설 후 1일(24시간)에 도달하였고, 이후 서서히 저하하여 3.5일 후 상온과 일치하였다. 또한, 온도 이력에서 상승 및 하강 곡선의 폭이 좁으며, 기울기가 급한 것으로 미루어 초기 구속 응력에 의한 온도균열과 후기 구속 응력에 의한 온도균열 발생 확률이 매우 큰 것으로 분석된다.

그림 8은 플레인 콘크리트를 2회 분리 타설한 경우 모의부재의 재령에 따른 온도 이력을 나타낸 것이다. 플레인 콘크리트의 2회 분리 타설은 현재 일부 매스 콘크리트 시공 시 사용되는 방안으로써 A와 비교하여 9°C 정도 수화열을 저감 시키는 것으로 나타났지만, 내외부의 온도차 및 온도이력곡선의 기울기는 크게 나타났고, 후기 2회 타설한 콘크리트의 수화열 또한 1회 타설의 경우와 같이 유사한 경향으로 나타났다.

그림 9는 상부 플레인 콘크리트 및 하부 초지연제 0.2% 혼입한 콘크리트를 동시에 타설한 모의부재의 재령에 따른 온도 이력을 나타낸 것이다. 초기 플레인 콘크리트의 수화열에 의한 온도곡선 기울기는 급하지만, A의 일반 콘크리트 일체타설의 경우와 비교하여 최고점 온도를 20°C 이상 낮추고 중심부와 외측면과의 기온 차는 약 10°C 정도 낮게 나타났다. 또한, 후기 초지연제를 혼입한 콘크리트의 수화곡선은 완만한 기울기를 보이고 장시간에 걸쳐 분포되는 것으로 미루어 구속 응력에 의한 균열을 저감할 수 있는 것으로 분석되었다.

그림 10은 상부 초지연제 0.2% 혼입한 콘크리트 및 하부 플레인 콘크리트를 병용한 경우 모의부재의 재령에 따른 온도 이력을 나타낸 것이다. 초기 하부 플레인 콘크리트의 온도이력은 모의부재 C와 유사하게 나타났지만, 상부 초지연제를 혼입한 콘크리트의 수화열에 의한 온도이력은 나타나지 않았다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 하부에 타설된 플레인 콘크리트

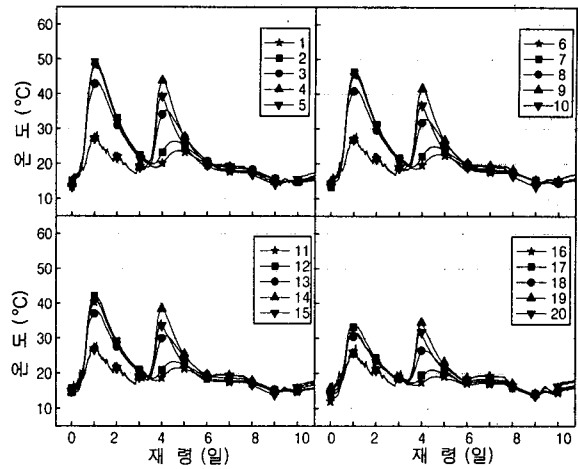


그림 8 모의부재 온도이력(B)

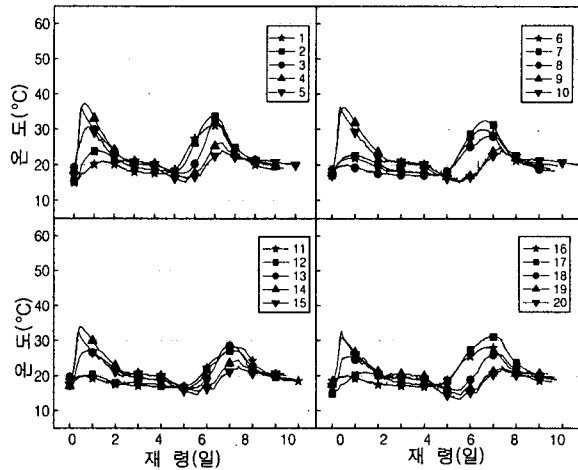


그림 9 모의부재 온도이력(C)

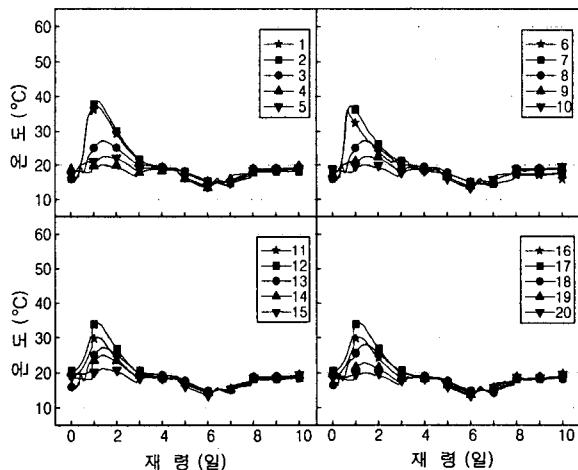


그림 10 모의부재 온도이력(D)

의 블리딩 수와 함께 초지연제가 상승하여 상부 초지연제를 혼입한 콘크리트 내부에 고밀도로 집적되어 수화반응의 억제와 함께 장시간 응결을 지연시킨 것에 기인된 것으로 분석된다.

표 6 온도균열지수

타설 방법	내부최고온도(°C)	표면온도(°C)	온도균열지수
A	58.1	33.8	0.617
B	49.1	30.4	0.8
C	37.4	25	1.2

표 6은 콘크리트 타설방법에 따른 모의부재의 내, 외부 온도 및 온도균열지수를 나타낸 것이고, 그림 11은 발생확률을 나타낸 것이다. 온도균열지수는 건축구조물인 경우 내부구속이 지배적인 경우로 산정하여 식 1과 같이 구하였는데, 내외부 온도차가 가장 큰 A, B, C 순으로 온도균열지수가 작게 나타났다. 또한, 균열발생확률은 A의 경우 90%, B의 경우 60%, C의 경우 20% 정도로 A의 보통 콘크리트를 일체타설한 경우가 제일 크게 나타났고, C의 초지연제 혼입 콘크리트와 일반 콘크리트를 병용한 경우가 균열발생확률이 제일 적은 것으로 나타났다.

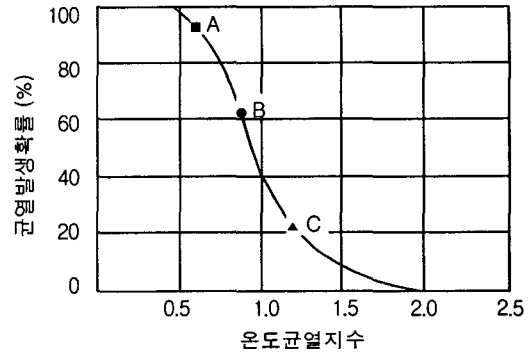


그림 11 온도균열지수와 발생확률

$$\text{온도 균열지수 (내부구속이 지배적일 경우)} = 15/\Delta T_i \dots\dots\dots (1)$$

ΔT_i : 내부최고온도시의 내외온도차

그러므로 초지연제를 혼입하여 수화열 시간을 조정하는 방법은 콘크리트의 온도 응력을 감소시켜 온도 균열을 크게 저감시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

개발된 초지연제를 매스 콘크리트의 수화열 조정에 적용한 경우 구조체 콘크리트의 코어 압축강도, 코어 인장부착강도 특성 및 온도 이력에 대하여 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 모의 부재의 코어 압축강도는 전반적으로 중심부가 최외부 보다 다소 작게 나타났는데, 이는 중심부 수화열 영향으로 저하된 것으로 분석되고, 특히, C의 코어 압축강도는 상부 보다 하부에 초지연제를 혼입한 경우가 크게 나타났는데, 이는 초지연제를 혼입한 콘크리트가 응결이 지연됨에 따라 내부는 더욱 밀실한 수화물이 생성됨에 기인한 것으로 사료된다.
- 2) 모의부재의 코어 인장부착강도는 C, A, B 순으로 나타났는데, A는 전반적으로 비슷한 경향을 나타냈다. B는 낮은 인장부착강도를 나타내어 시험체를 고정하는 중에 파단되었고, C는 하부의 초지연제를 혼입한 콘크리트의 응결지연으로 인하여 상부와의 접착면에 콜드조인트가 발생하지 않은 것에 기인하여 A의 경우보다도 높은 강도를 나타냈다.
- 3) 온도이력은 플레인 콘크리트 일체타설 중심부의 최고온도가 가장 높고 외측면과의 차이도 큰 것으로 나타났고, 플레인 콘크리트의 분리타설은 중심부의 최고온도를 조금 저감하였다. 또한, 초지연제를 혼입한 콘크리트를 하부에 플레인 콘크리트를 상부에 타설한 일체타설의 경우는 수화열을 대폭적으로 저감 할 수 있어 매우 유리하였으나, 단 이를 반대로 한 경우는 블리딩 현상에 의한 초지연제 이행 집적현상으로 상부측 콘크리트가 28일 경과 후 수화발열이 나타나지 않았고, 아울러 압축강도도 발현되지 않았다.
- 4) 온도 균열지수는 초지연제를 혼입한 콘크리트를 일반 콘크리트와 병용하였을 경우 일반콘크리트 일체 타설의 1/4, 일반콘크리트 분리타설의 1/2정도의 온도 균열 발생 확률을 나타내었다.