

Mass Concrete의 수화열 저감을 위한 Fly-ash 사용 Mock-up Test 및 현장적용 시험

이 승 한

〈계명대학교토목공학과 교수〉

윤 용 호

〈태양레미콘 기술관리 이사〉

정 용 욱

〈계명대학교 토목공학과 박사수료〉

1. 서 론	3.1 모의부재 시험
2. 실험개요	3.2 현장적용 시험
2.1 모의부재 시험	3.3 모의부재시험과현장적용 시험과의비교
2.2 현장적용 시험	
3. 시험결과 및 고찰	4. 결 론

1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 대형화 및 고강도화에 따라 콘크리트 구조물이 대단면화되는 매스콘크리트의 시공이 자주 일어나고 있다.

매스콘크리트에서는 시멘트의 수화반응열에 의해 온도상승이 크게 일어나고, 대기온과 평형을 이루기 위해 온도하강이 나타난다. 이와 같은 온도상승 및 하강은 콘크리트의 체적 팽창과 수축거동을 유발시키며 이 거동이 내외부 요인에 의해 구속될 경우 인장응력이 발

생¹⁾하게 된다. 수화열에 의해 발생하는 콘크리트의 내외부 온도 차이에 의한 인장응력이 특정 재령에서의 콘크리트 인장강도보다 클 경우 온도응력에 의한 균열이 발생²⁾하게 되며, 이러한 균열은 구조물의 사용성 및 내구성에 중대한 영향을 미치고 있다.

1970년까지지만 해도 온도균열은 주로 콘크리트 댐 또는 부재치수가 큰 콘크리트 구조물에서만 발생하는 것으로 생각되어져 왔지만, 최근에는 사용재료나 시공조건 등에 따라 비교적 치수가 작은 구조물에서도 유해한 균열

이 생기는 사례가 적지 않게 발생하고 있다. 따라서 매스콘크리트와 같이 단면이 큰 구조물의 설계 및 시공시에는 온도응력의 크기 및 균열발생 유무를 정확히 밝혀 이에 따른 적절한 시공대책을 세우는 것이 중요하다.

이와 같이 매스콘크리트의 온도균열을 저감시키기 위하여 최근 재료적인 접근과 시공적인 접근을 통하여 수화열을 저감시키는 방법³⁾이 실시되고 있다.

재료적인 접근 방법으로는 저발열 결합재료의 사용⁴⁾과 Pre-cooling 방법을 들 수 있다. 또한, 시공적인 접근 방법으로는 Post-cooling을 들 수 있으며, 그 대표적인 방법이 Pipe-cooling방법⁵⁾이 있다.

그 밖의 균열제어 방법으로는 팽창콘크리트의 사용에 의한 균열방지방법 또는 균열제어 철근의 배치에 의한 방법 등이 있는데, 팽창콘크리트의 사용은 메카니즘과 효과가 불명확하고 철근배치에 따른 경제성을 고려하여 저발열 결합재료의 사용이 널리 사용⁶⁾되고 있다.

이 중 결합재료로서 플라이애쉬의 사용은 수화열저감 뿐만 아니라 워커빌리티, 수밀성 증진 및 장기강도를 향상시켜 매스콘크리트의 수화열 저감재료로서 널리 사용되고 있는 방법⁷⁾ 중 하나이다.

따라서 본 연구에서는 플라이애쉬를 사용한

지하철 박스구조물 상부슬래브 두께 2.0m인 매스콘크리트의 수화열 저감 방안을 검토하였다.

또한 매스콘크리트의 실제 적용시 품질관리를 위하여 현장모의부재시험(Mock-up Test)으로 1m×1m×1m 및 2m×2m×2m 크기의 부재를 제작하여 플라이애쉬 치환율에 따른 단열온도상승시험과 내외부 콘크리트 변형량 및 실제 구조물에 적용시 수화열과 온도응력을 검토함으로써 콘크리트의 소요품질을 확보하고자 하였다.

2. 실험개요

2.1 모의부재 시험

2.1.1 사용재료

(1) 시멘트 및 혼화재

실험에 사용한 시멘트는 H사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애쉬는 하동산으로 분말도 약 4100cm²/g을 사용하였다. 이들의 물리·화학적 성질을 [표 1]에 나타내었다.

(2) 골재

잔골재는 경북 성주 낙동강산 천연사를 사용하였으며, 굵은골재는 경북 성주산 부순돌을 사용하였다. 이들의 물리적 성질을 [표 2]

[표 1] 시멘트 및 혼화재료의 물리·화학적성질

구분	분말도 (cm ² /g)	비중	습분	단위 수량비(%)	강열감량 (lg.loss)	화 학 성 분						
						SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O
시멘트	3464	3.15	-	-	1.72	21.84	5.68	3.28	61.92	2.20	2.19	0.88
플라이애쉬	4106	2.29	0.2	99	2.40	56.4	21.1	5.49	3.12	1.02	-	2.44

[표 2] 골재의 물리적 성질

종류	비중	흡수율 (%)	조립율	단위용적	실질율 (%)	안정성 (%)	점토 덩어리(%)	0.08mm체 통과량(%)	염화물 (%)
잔골재	2.57	1.23	2.82	1624	-	3.7	0.30	1.40	0.001
굵은골재	2.64	1.02	7.06	1553	59.5	3.8	0.10	0.40	-

에 나타내었다.

(3) 혼화제

본 실험에서는 혼화제로서 AE고성능감수제를 사용하였으며, 사용혼화제의 특성은 [표 3]과 같다.

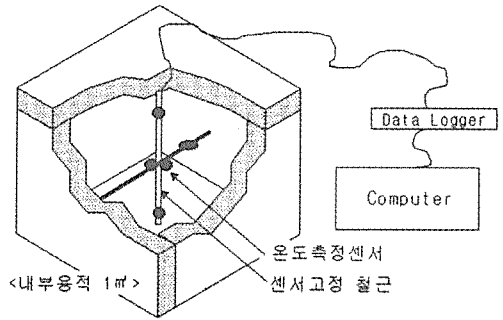
2.1.2 콘크리트 배합

본 실험에서는 W/C를 48.3%, S/a 44.3%로 고정하고 플라이애쉬를 0, 10, 20, 30, 40% 치환하였다. 또한, 슬럼프는 $12 \pm 2.5\text{cm}$, 공기량은 $4.5 \pm 5\%$ 로 고정하였다. 이들 배합표는 [표 4]와 같다.

2.1.3 수화열 측정

수화열 측정은 타설 후 30분 간격으로 10일간 측정하였으며, [그림 1]과 같이 내부용적 1 m^3 에 대해서는 온도센서를 실험체 중앙에 2개, 상, 하, 측면 및 대기에 각 1점씩 모두 6점의 센서를 설치하였다. 상, 하면 및 측면부는 표면과 10cm 거리를 두고 중앙부의 연장선상에 설치하였다.

또한, 내부용적 8 m^3 실험체에는 중앙부 2개



[그림 1] 수화열 센서 측정위치

소 상부, 상중부, 중하부, 하부, 측면 및 중앙과 측면사이 및 대기에 각 1점씩 모두 9점의 온도센서를 설치하였다. 또한, 변형률 게이지를 중앙부와 표면에 설치하였다.

2.2 현장적용 시험

지하철 박스구조물 상부슬래브 두께 2.0m의 매스콘크리트를 대상으로 플라이애쉬 10% 치환하여 수화열을 측정하였다.

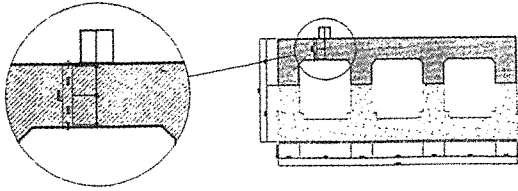
수화열 측정 온도센서는 표면에서 -0.1m, -1.0m, -1.9m에 설치하였으며, 일일 2회(오전, 오후 각 1회) 7일간 측정하였다. 다음 [그

[표 3] 사용혼화제의 물리·화학적특성

구분	형태	색상	주성분	pH	비 중
AE고성능감수제	액상	암갈색	나프탈렌계	8.5 ± 1.5	1.208

[표 4] 플라이애쉬 적용 수화열 Mock-up Test 배합표

시리즈	배합	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프의 범위 (cm)	공기량의 범위 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단 위 량(kg/m³)					
							W	B		S	G	Ad
								C	FA			
I	C100FA0	25	12 ± 2.5	4.5 ± 1.5	48.3	44.3	173	358	0	819	979	C×0.5%
II	C90FA10							322	36			
III	C80FA20							286	72			
IV	C70FA30							251	107			
V	C60FA40							215	143			



[그림 2] 수화열 측정 위치



[사진 1] 현장콘크리트 타설 전경

림 2)는 상부슬래브 수화열 측정 위치를 나타내었다. 다음 [사진 1]은 플라이애쉬를 10% 치환한 상부슬래브 콘크리트 타설 전경을 나타낸 것이다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 모의부재 시험(Mock-up Test)

본 시험은 지하철 박스구조물 상부에 시공된 매스콘크리트를 대상으로 현장 모의부재시험을 실시한 것이다. 시험항목으로는 수화열, 변형률 및 재령별 압축강도를 측정하였으며 플라이애쉬를 적용한 수화열 Mock-up Test 결과 및 분석은 다음과 같다.

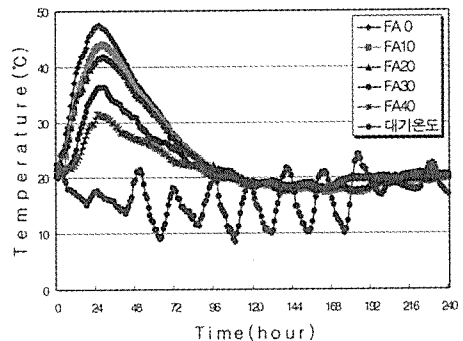
3.1.1 수화열

다음 [그림 3]은 1m×1m×1m 모의부재의 중앙부에서 플라이애쉬 치환율별 수화발열 특성을 나타낸 것이다.

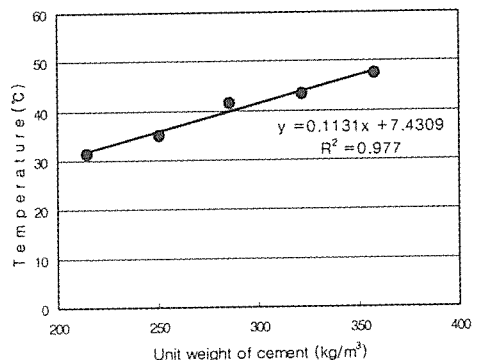
[그림 3]에서 약 28시간에서 최고온도를 나타내었으며, 최고온도 상승량은 각각 48℃(FA0%), 44℃(FA10%), 41℃(FA20%), 36℃(FA30%), 32℃(FA40%)로 나타났다.

이와 같이 플라이애쉬 치환율 10% 증가시마다 최고온도상승량을 약 4℃씩 감소하고 있으며, 40%치환시 최고온도가 32℃로 무치환시 최고온도 48℃와 비교해 약 16℃의 온도상승량을 저감시켰다.

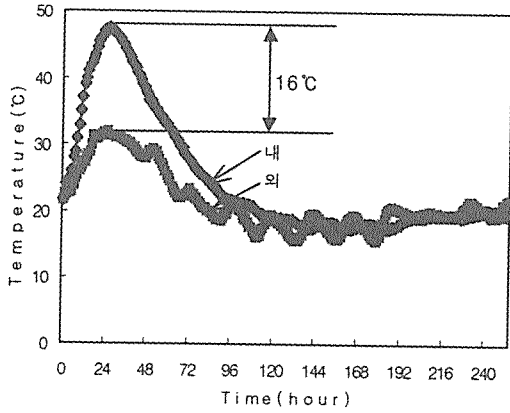
다음 [그림 4]는 플라이애쉬 치환량을 제외한 순수단위시멘트량으로 환산하였을 때 단위시멘트량에 따른 최고온도상승량을 나타낸 것



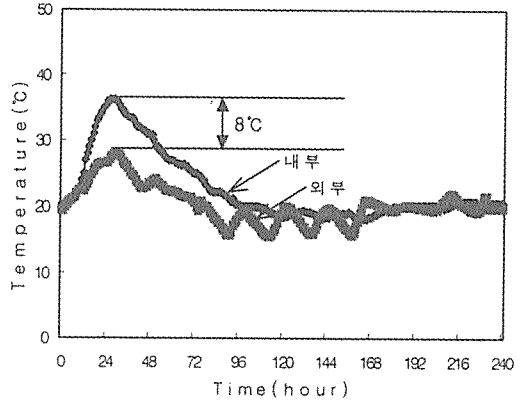
[그림 3] 플라이애쉬 치환율별 중앙부 수화발열 특성



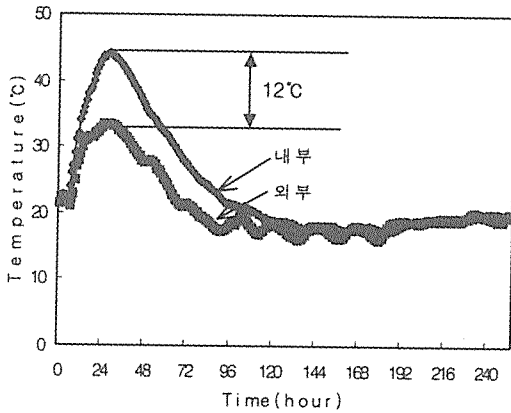
[그림 4] 단위시멘트량에 따른 최고온도 상승량



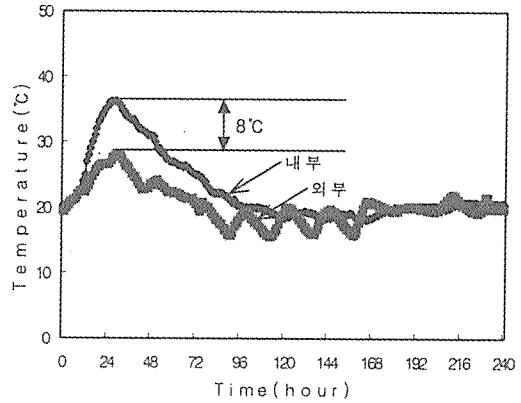
(a) 콘크리트의 내·외부 온도차 (FA 0%)



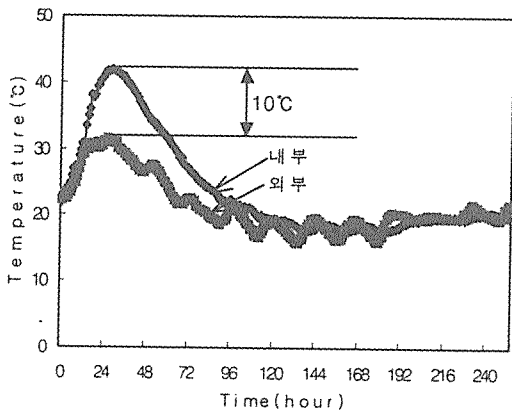
(d) 콘크리트의 내·외부 온도차 (FA 30%)



(b) 콘크리트의 내·외부 온도차 (FA 10%)



(e) 콘크리트의 내·외부 온도차 (FA 40%)



(c) 콘크리트의 내·외부 온도차 (FA 20%)

(그림 5) 플라이애쉬 치환율별 콘크리트 내·외부 온도차(1m×1m×1m)

이다.

이 그림에서 단위시멘트량이 증가할수록 최고온도상승량은 증가하고 있는 것으로 나타났으며, 단위시멘트량 약 10kg/m³ 증가할 때 마다 최고온도 상승량을 약 1°C씩 증가시키고 있는 것을 볼 수 있다.

이와 같이 [그림 3]과 [그림 4]에서 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 최고온도상승량이 감소하는 것은 플라이애쉬를 결합재의 일부로

사용시 단위시멘트량의 감소에 따른 온도상승 억제효과로 볼 수 있다.

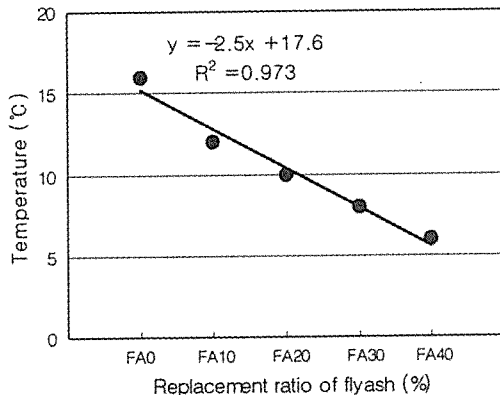
다음 [그림 5]의 (a)~(e)는 1m×1m×1m 모의 부재에서 일반콘크리트와 플라이애쉬 치환량에 따른 내·외부 온도상승량을 나타낸 것이다.

[그림 5]에서 (a)는 플라이애쉬 0%, (b)는 10%, (c)는 20%, (d)는 30%, (e)는 플라이애쉬 40%치환시 콘크리트의 내·외부 온도차를 나타낸 것이다.

이 그림에서 콘크리트 내·외부 온도차는 플라이애쉬 무치환시 16℃, 10%치환에서 12℃, 20%치환시 10℃, 30%에서 8℃, 40%에서 6℃로 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 감소하고 있다.

이 온도차가 콘크리트의 온도균열을 발생시키는 원인으로 가능한 한 작도록 해야한다. 일반적으로 콘크리트의 내·외부 온도차가 20℃ 이상이면 수화열에 의한 구조물의 온도균열이 발생할 확률이 높다⁸⁾고 알려져 있다. 고속철도 건설공단의 공사시방서에 따르면 콘크리트 내·외부의 온도차를 20℃ 이하로 관리하도록 명시되어 있다.

모의 부재 1m×1m×1m의 경우 플라이애쉬 치환시 내외부온도차 범위를 6℃~12℃를



[그림 6] 플라이애쉬 치환율별 콘크리트 내·외부 온도차

나타내었다. 반면, 플라이애쉬 무치환시 내외부 온도차가 16℃로 나타나 일반적인 콘크리트 내외부 온도차 규정 20℃를 초과하지 않고 있지만 거의 비슷한 범위에 들어 콘크리트의 품질관리가 요구될 것으로 사료된다.

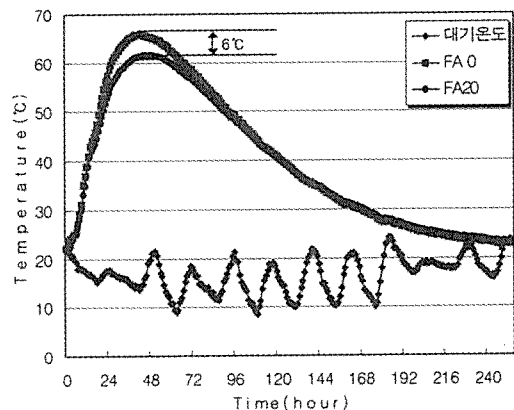
다음 [그림 6]에 [그림 5]을 바탕으로 한 플라이애쉬 치환율별 내·외부 온도차를 나타내었다.

이 그림은 플라이애쉬 10%치환시 마다 콘크리트의 내외부온도차를 약 2.5℃씩 감소시키고 있음을 나타내고 있다. 또한 플라이애쉬 무치환시 내·외부 온도차가 16℃로 비교적 높은 값을 나타내었지만, 수화열에 의한 구조물의 온도균열을 일으킬 수 있는 콘크리트 내외부온도차의 범위는 20℃이상으로 볼 때 비교적 단면이 작은 모의부재 1m×1m×1m에서는 내외부온도차가 크게 나타나지는 않았다.

다음 [그림 7]은 2m×2m×2m 모의부재에서 플라이애쉬 0% 및 20%치환시 중앙부 수화발열 특성을 나타낸 것이다.

이 그림에서 중앙부 최고온도는 타설 후 약 48시간에 나타났으며, 플라이애쉬 무치환시 67℃, 20%치환시 61℃로 나타났다.

플라이애쉬를 무치환한 일반콘크리트의 경

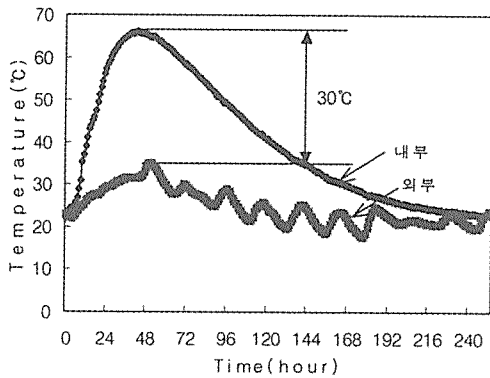


[그림 7] 플라이애쉬 치환율별 중앙부 수화발열 특성 (2m×2m×2m)

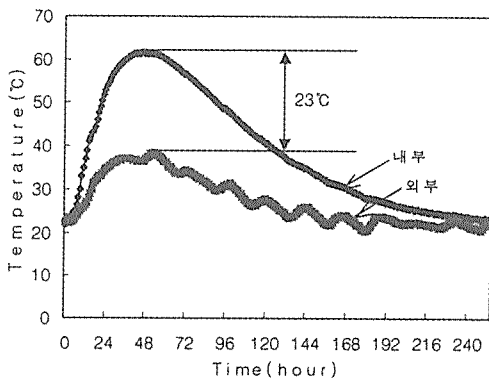
우 최고온도가 67℃로 한국고속철도 건설공단의 공사시방서에서 제시하는 최고온도 65℃를 초과하고 있다. 따라서, 일반콘크리트의 경우 강도에 영향을 주지 않는 범위에서 시멘트의 양을 줄이거나, 내부 최고온도를 저감시키기 위해서는 혼화재료로써 플라이애쉬의 혼입비율을 높이거나, Pre-cooling을 통한 재료의 온도저감과 같은 방안을 강구하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

다음 [그림 8]은 2m×2m×2m 모의부재에서 플라이애쉬 0% 및 20% 치환시 콘크리트 내외부 온도차를 나타낸 것이다.

이 그림에서 (a)는 플라이애쉬 무치환시



(a) 콘크리트 내외부 온도차 (FA 0%)



(b) 콘크리트 내외부 온도차 (FA 20%)

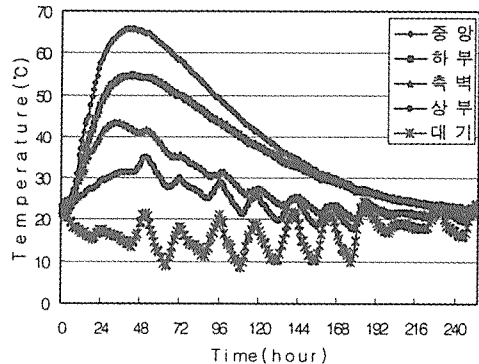
[그림 8] 플라이애쉬 치환율별 콘크리트 내외부 온도차 (2m×2m×2m)

콘크리트 내외부 온도차는 30℃로 나타났으며, (b)는 플라이애쉬를 20%치환한 것으로 내외부 온도차가 23℃로 일반적인 수화열에 의한 구조물의 온도균열을 발생시키는 내외부 온도차 20℃를 만족하지는 못하나 약 7℃ 저감시켰다.

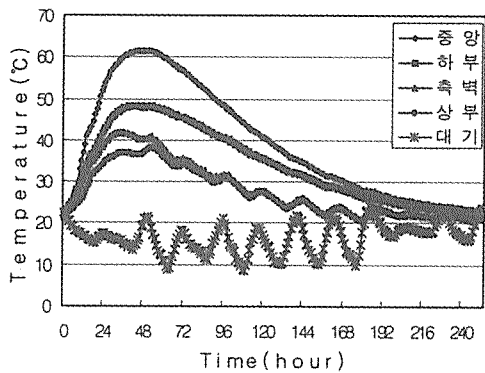
반면 플라이애쉬 무치환시에는 내외부 온도차가 30℃로 20℃를 크게 초과하고 있어 보다 세밀한 콘크리트의 품질관리가 요구된다.

[그림 9]는 2m×2m×2m의 부재에 플라이애쉬 0% 및 20%치환시 측정 위치별 수화발열량을 나타내었다.

이 그림에서 측정위치별 최고온도상승량은



(a) FA 0%

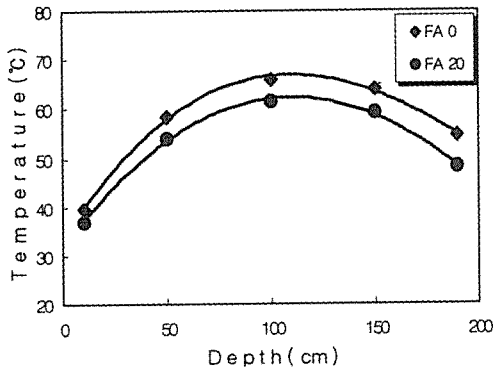


(b) FA 20%

[그림 9] 측정위치별 수화발열 특성 (2m×2m×2m)

중앙, 하부, 측벽, 상부 순으로 나타났으며, 플라이애쉬 20%치환시 무치환시와 비교해 중앙, 하부, 측벽, 상부의 온도차가 감소하였다.

다음 [그림 10]은 측정깊이별 최고온도상승량을 나타낸 것으로 플라이애쉬 치환율에 관계없이 중앙부 100cm 깊이에서 최고온도상승량을 나타내었다.



[그림 10] 측정깊이별 최고온도상승량

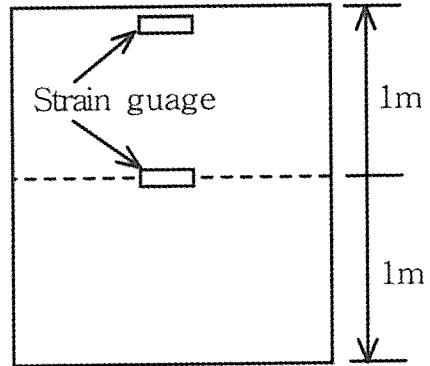
또한 플라이애쉬 20%치환시 깊이 50cm, 100cm, 150cm, 190cm에서 플라이애쉬 무치환시에 비해 약 6°C정도 낮게 나타났다.

3.1.2 변형률

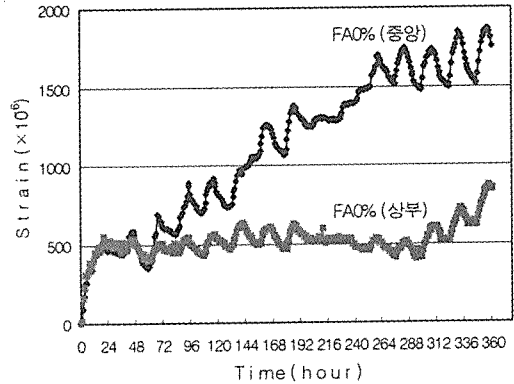
초기경화시 실험체의 표면부와 중앙부 변형률의 경시변화를 검토하기 위하여 콘크리트 변형률계이지를 설치하였다. 다음 [그림 11]에 매입형 콘크리트 변형률계이지 설치위치를 나타내었다.

콘크리트 변형률 측정시 주의해야 할 점은 타설후 곧바로 초기치를 설정하지 않고, 콘크리트의 경화가 일어나기 시작한 시점을 초기치로 설정⁹⁾하여 변형률을 측정하여야 한다.

본 연구에서는 타설후 6시간 후를 초기치로 설정하였다. 다음 [그림 12]에 플라이애쉬 무치환시 콘크리트 중앙부 및 상부의 변형률을 나타내었다.



[그림 11] 변형률계이지 설치 위치



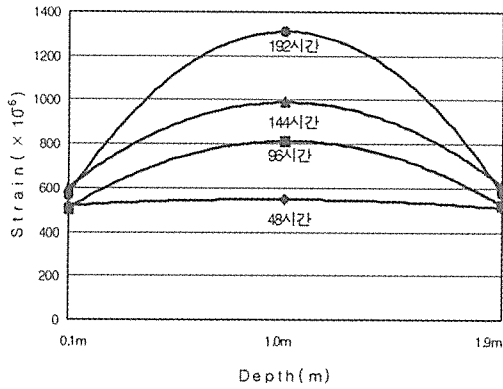
[그림 12] 재령별 콘크리트의 변형률

일반적으로 콘크리트 내부의 온도상승량이 표면부의 온도상승보다 크기 때문에 내부가 압축을 받게되어 압축응력이 발생하게 된다. 이 압축응력이 크지게 되면 상대적으로 변형률도 증가¹⁰⁾하게된다.

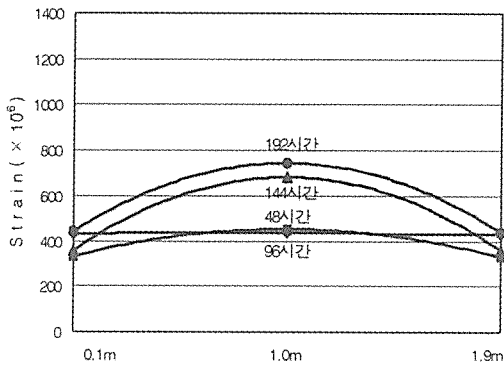
이 그림에서도 플라이애쉬 치환에 관계없이 콘크리트의 중앙부에서 높은 변형률을 나타내었다.

다음 [그림 13]은 플라이애쉬 치환율 0%, 20%에서 측정깊이에 따른 시간별 변형률량을 나타낸 것이다.

이 그림에서 측정깊이에 따른 변형률은 상부에서 중앙부까지는 증가하고, 중앙부에서



(a) FA 0%

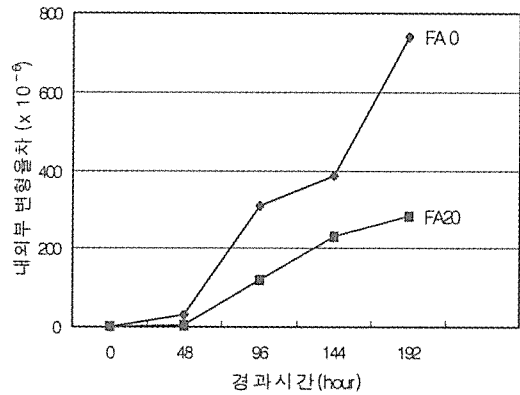


(b) FA 20%

(그림 13) 측정깊이에 따른 시간별 변형률

하부까지는 감소하는 경향을 나타내었다.

이것은 중앙부의 온도상승량이 상부 및 하부의 온도상승량보다 크기 때문에 측정깊이 1m에서 가장 높은 변형률을 보이고 있는 것으로 사료된다. 또한 플라이애쉬 무치환시 192시간에서 중앙부 변형률이 약 1300×10^{-6} 을 나타내고 있는 반면, 플라이애쉬 20%치환시 약 750×10^{-6} 정도의 변형률을 보이고 있다. 플라이애쉬 20%치환시 중앙부와 상부의 변형률차가 약 $700 \mu\text{m}$ 정도 감소하였다. 이것은 플라이애쉬는 포졸란 재료로서 그 자체로는 수경성은 없으며, 실리카 성분이 석회와 시멘트의 수화생성물인 수산화칼슘과 반응하여 불용성



(그림 14) 플라이애쉬 치환률별 콘크리트 내외부 변형률차

화합물을 생성하여 경화¹¹⁾하는 성질을 가지고 있으므로 반응속도는 시멘트와 비교해 상당히 늦고 수화발열량도 작다. 따라서 플라이애쉬 치환시 변형률 감소원인은 온도상승량 감소에 따른 상대적 응력의 감소에 기인한 것으로 사료된다.

이와 같이 플라이애쉬 치환은 중앙부와 상부의 변형률 차를 감소시킴으로써 구조물의 균열감소에 효과가 있을 것으로 사료된다.

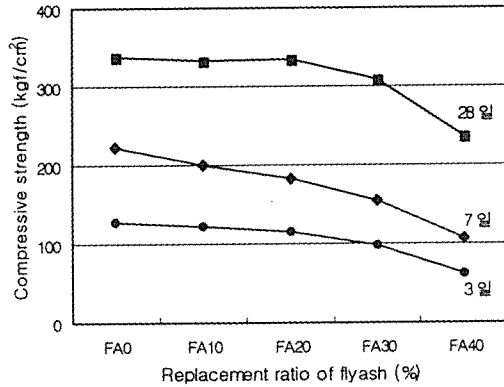
다음 [그림 14]는 플라이애쉬 치환율 0%, 20%에서 콘크리트 내외부 변형률차를 나타낸 것이다.

이 그림에서 시간이 경과할수록 내외부 변형률차가 증가하고 있으며, 플라이애쉬 20% 치환시 플라이애쉬 무치환시와 비교해 내외부 변형률차가 약 절반정도로 작게 나타났다. 이러한 내외부변형률차의 감소는 콘크리트의 균열을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

3.1.3 압축강도

플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 재령에 따른 강도와 강도발현 속도는 주로 플라이애쉬 치환율에 영향을 받는다.

본 실험에서는 플라이애쉬 치환율을 0, 10, 20, 30, 40%로 변화시켜 이들 치환율에 따른



[그림 15] 플라이애쉬 치환율에 따른 재령별 압축강도

압축강도 특성을 검토하였다.

[그림 15]에 플라이애쉬 치환율에 따른 재령별 압축강도를 나타내었다.

[그림 15]에서 플라이애쉬는 치환율이 증가할수록 7일까지의 초기강도는 비례적으로 감소하지만 이후 28일에서는 플라이애쉬 20% 치환시 압축강도 336kgf/cm²로 무치환시 338kgf/cm²과 거의 비슷한 강도를 나타내고 있다. 그러나 재령 28일에서 플라이애쉬 40%치환시 240kgf/cm²로 급격한 강도감소현상을 보여 무치환에 비해 약 100 kgf/cm²정도 강도가 작게 나타나 28일 압축강도에 영향을 미치지 않고 사용할 수 있는 플라이애쉬 치환은 20%까지로 볼 수 있다. 그러나 플라이애쉬 30%치환시도 28일 압축강도 309kgf/cm²로 설계기준 강도 240kgf/cm²을 크게 상회하고 있어 보다 적극적인 수화열 저감을 위해서는 30%까지 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

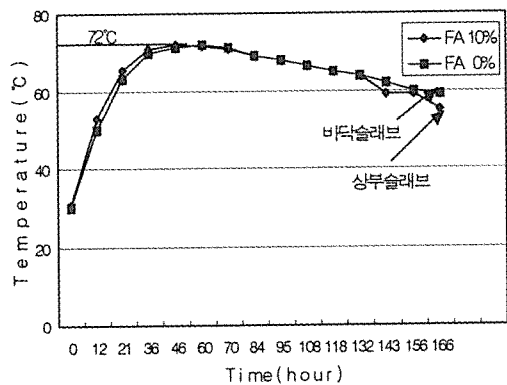
3.2 현장실험

다음 [표 5]에 현장에서 타설된 플라이애쉬 10%치환과 플라이애쉬를 치환하지 않은 일반 콘크리트의 수화열 측정값을 나타내었다.

위 표에서 수화열 최고온도는 플라이애쉬

[표 5] 수화열 측정결과

위치	설치 부위 구조물두께	설치부위	측정결과 (최고온도)	
			상부	중양
바닥슬래브 (FA0)	2.1m	표면에서 -0.1m,-1.15m	49℃	72℃
상부슬래브 (FA10)	2.0m	표면에서 -0.1m,-1.0m	51℃	72℃



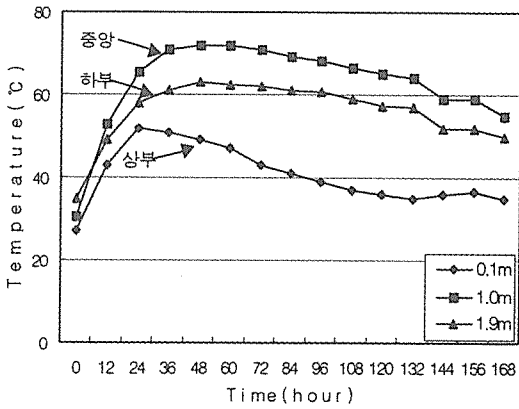
[그림 16] 플라이애쉬 치환율별 수화발열 특성

치환시와 일반콘크리트 모두 72℃로 비슷한 결과를 나타내고 있다. 이 표를 바탕으로 [그림 16]에 플라이애쉬 0%, 10%치환시의 수화발열 특성을 나타내었다.

[그림 16]에서 최고온도는 타설 후 약 46~70시간에 나타났으며 최고온도 발현 후 약 24시간 동안 유지하고 있다. 또한 최고온도는 플라이애쉬 무치환시 약 46시간에서 72℃, 10%치환시 약 60시간에서 72℃로 비슷하게 나타났다. 이와 같이 플라이애쉬 10%치환시 최고온도 발현시간을 약 12시간 정도 늦추었으나 최고온도는 플라이애쉬 무치환시와 같게 나타났다.

[그림 17]에 측정깊이 0.1m, 1.0m, 1.9m에서 분선개착 상부슬래브 수화발열량을 나타내었다.

이 그림에서 최고온도상승량은 중앙

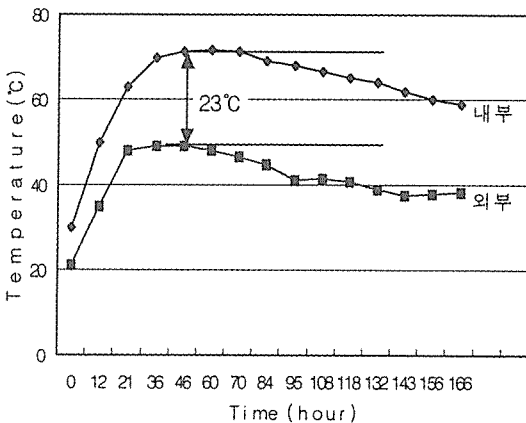


(그림 17) 상부슬래브 부위별 수화발열량

(1.0m), 하부(1.9m), 상부(0.1m) 순으로 나타났다.

다음 [그림 18]의 (a)는 플라이애쉬 0%, (b)는 플라이애쉬 10%치환시 콘크리트의 내·외부 온도차를 나타낸 것이다.

[그림 18]에서 콘크리트 내외부 온도차는 플라이애쉬 10%치환시 내외부 온도차가 20℃, 무치환시 23℃로 콘크리트 내외부 온도차 기준 20℃와 거의 비슷한 범위를 보이고 있어 현장 콘크리트의 품질관리가 요구된다.

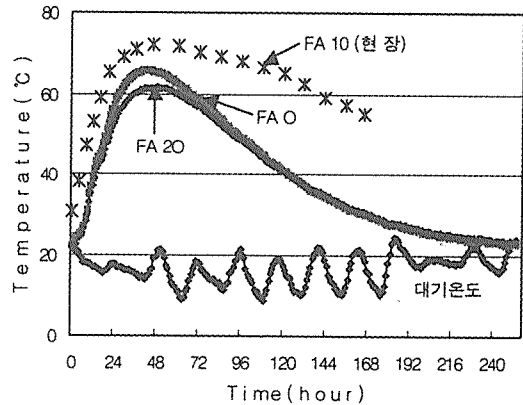


(a) 일반콘크리트(FA 0%)

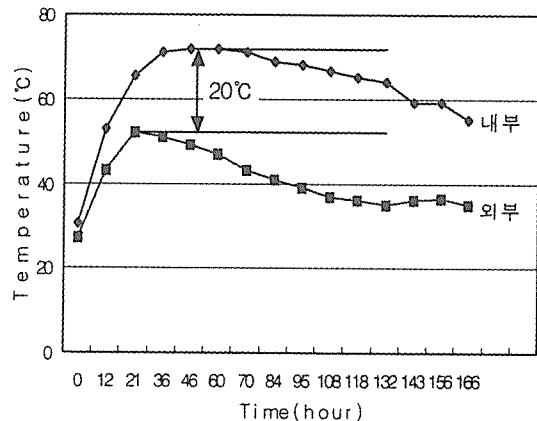
3.3 모의부재시험과 현장적용시험과의 비교

다음 [그림 19]는 플라이애쉬 10%치환 현장 적용시 수화열측정 값과 2m×2m×2m 모의부재 시험의 플라이애쉬 0%, 20% 치환과의 비교 데이터를 나타낸 것이다.

이 그림에서 플라이애쉬 10%치환 현장콘크리트가 모의부재 시험의 플라이애쉬 무치환(FA0) 및 플라이애쉬 10%치환(FA10)보다 수화발열량이 크게 나타났다. 이것은 외기와



(그림 19) 플라이애쉬 치환율에 따른 수화발열 특성



(b) 플라이애쉬 10%치환(FA10%)

(그림 18) 플라이애쉬 치환율별 콘크리트 내외부 온도차

접하는 면의 차이에 의한 것으로 현장적용이상, 하면이 외기에 접하여 냉각되는데 비하여 모의부재 시험에서는 6면이 외기에 접하여 냉각되는데 기인한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 플라이애쉬를 사용하여 콘크리트의 수화발열을 감소시켜 매스콘크리트 적용에 기초자료를 제공하고자 한 연구로 실험 결과에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 최고온도는 2m공시체 모의부재 시험에서 플라이애쉬 무치환시 67℃, 20%치환시 61℃로 나타났으며, 벽두께 2m인 현장시험에서는 무치환시 및 10%치환시 모두 72℃로 나타나 현장적용시 이에 대한 품질관리가 필요하다.

2. 플라이애쉬 치환율 10%증가는 최고온도 상승량은 1m 공시체 4℃, 2m 공시체에서 3℃씩 감소시킨다.

3. 단위시멘트량 360kg/m³일 경우 벽두께 2m에서는 콘크리트의 내외부온도차 20℃이하를 만족시키는 플라이애쉬 치환량은 30%정도이다.

4. 28일 압축강도에 영향을 미치지 않고 사용할 수 있는 플라이애쉬 치환량은 20%정도이며, 매스콘크리트에서는 56일과 91일 장기강도를 검토한 후에 설계기준강도를 만족하는 범위내에서 플라이애쉬 치환량을 증가시켜 사용할 수 있을것으로 사료된다.

5. 플라이애쉬는 치환율이 증가함에 따라 상대적인 단위시멘트량의 감소로 인하여 수화발열량을 비례적으로 감소시켰으며, 단위시멘트량 10kg/m³ 감소 때마다 최고온도 상승량을 약 1℃씩 저감시키는 것으로 나타났다.

6. 단위시멘트량은 매스콘크리트의 수화발

열에 미치는 중대 요인으로 배합설정시 배합강도를 낮추어 단위시멘트량을 줄일 필요가 있으며, 플라이애쉬 등의 혼화재 사용과 고성능감수제 등의 혼화제 사용으로 단위수량 및 단위시멘트량을 저감시킬 필요가 있다.

7. 2m 공시체 모의부재 시험에서 플라이애쉬 20%치환은 무치환시와 비교해 콘크리트 내외부의 온도변형을 대폭 감소시켜 온도균열 제어에 효과적이다.

참고문헌

- 1) 강석화 외 4인 ; 매스콘크리트 구조물의 온도응력평가에 관한 연구, 콘크리트학회논문집, 1995년 4월
- 2) Concrete Practice of Manual ACI 207.2R-73, Effect of Restraint, Volume Change, Reinforcement on Cracking of Massive Concrete, ACI Committee 207
- 3) 한국콘크리트학회 ; 매스콘크리트의 온도균열 제어대책, 콘크리트학회지 제9권 3호 1997년 6월
- 4) 송용순 외 3인 ; 혼합형 저발열 시멘트의 특성과 콘크리트 기초물성에 관한 연구, 콘크리트학회지 제10권 5호 1998년 10월, pp 177~187.
- 5) 대림산업(주) 기술연구소 ; 파이프쿨링을 고려한 매스콘크리트의 수화열 해석 연구, 1995년 2월
- 6) 이승한, 윤용호 ; 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 수화발열 특성에 관한 연구, 계명대학교 산업기술연구소 논문보고집 제22집, 1999. 6, pp 355~361.
- 7) 김영진 외 2인 ; 플라이애쉬 혼입 저발열 콘크리트를 이용한 철근 콘크리트 구조물의 균열 제어, 콘크리트학회지 제12권 제2호 2000년 3월, pp 41~47.
- 8) 日本コンクリート工學協會 ; マスコンクリート

のひびわれ制御指針, 昭和61年 3月

- 9) 林村克彦, 小野定; マスコンクリート構造物の
温度ひびわれ發生の平價方法に關する研究, 土
木學會論文集, No. 378/V-6, 1987年 2月, pp
61~70.
- 10) 이종대, 김진근; 크리프를 고려한 매스콘크
리트의 수화열에 대한 온도응력 해석, 대한토

목학회논문집 제14권 제4호 1994년 7월, pp
771~781.

- 11) V. M. Malhotra; Fiyash, Silica Fume,
Slag, and Natural Pozzolans in
Concrete, Proceedings Fifth
International Conference Milwaukee,
Wisconsin, USA, 1995, Volume 2/ SP-153.

