

조분(粗粉) 시멘트와 플라이애시를 복합 치환한 매트 기초 매스콘크리트의 현장적용

Field Application on Mass Concrete of Combined Coarse Particle Cement and Fly-Ash in Mat Foundation

한 천 구 장 덕 배 이충섭*

Han, Cheon-Goo Jang, Duk-Bae Lee, Chung-Sub*

Division of Architectural Engineering Cheongju University, Cheongju, 360-764, Korea

Abstract

This study carried out a Mock-up test to apply Low-heat Cement (CF) that is adjusted to a fineness of $3,000 \pm 20$ cm²/g by substituting Coarse particle Cement (CC) and fly ash with ordinary Portland Cement (OPC), then applied it on-site. The result of the test is as follows. The Mock-up test showed that the amount of admixture in CF increased SP agent and AE agent slightly more compared to OPC, while temperature history showed that the highest temperature of CF was around 6~10°C lower than that of OPC. Compressive strength in CF was low compared to that of OPC, but the strength width became narrow at the age of 28 days, which is not considered to be significant. In on-site application, slump, air content and chloride content all satisfied the target values, while the temperature history showed that the highest temperature in the center by each cast was about 34°C in the first cast, 42°C in the second cast, and 39°C in the third cast. Compressive strength of specimen for strut management showed low value compared to standard curing, but its strength was reduced at the age of 28 days.

Keywords : Mass concrete, Coarse particle cement, Fly ash, Adiabatic temperature rise, Low heat cement

1. 서 론

매스콘크리트를 시공함에 있어 수화열은 균열에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요인이다. 따라서, 수화열을 줄이기 위한 가장 효과적인 방법은 중용열 포틀랜드 시멘트 또는 저열 포틀랜드 시멘트와 같은 저발열 시멘트를 사용하는 것이 된다.[1]

그러나, 우리나라의 경우 이와 같은 저발열형 시멘트를 이용하는 방법은 가격이 고가인 이유로 일선 현장에서는 거의 채택되지 않고, 값싼 플라이애시나 고로슬래그미분말

등의 혼화재만을 치환하여 수화열을 줄이고 있는 실정이다. 그런데, 이렇게 혼화재만을 다량 치환하여 수화열을 저감하게 되면 중성화 등 내구성 품질에 악영향을 미쳐 구조물의 성능을 저해하는 요소로 작용할 수 있으므로 저발열형 시멘트와 유사한 특성을 가지지만, 가격적으로 저렴할 수 있는 조분(粗粉)시멘트(CC)를 사용하면서 혼화재를 복합 치환함으로써 성능저하를 최소화 하며, 수화열을 줄일 수 있는 새로운 공법의 개발이 가능할 수 있을 것[2,3,4]으로 추측된다.

이에 본 연구팀에서는 보통포틀랜드 시멘트(OPC)의 분말도를 낮추어 시멘트 입자의 크기를 굵게 하므로써 물과 접촉할 수 있는 표면적을 작게 하여 수화반응시 급격히 발생하는 수화열을 저감하는 공법에 대하여 연구 한바 있는데, 특히, OPC에 CC와 함께 플라이애시(FA)를 복합 치환했을 때 양호한 수화열 저감 효과를 확인할 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 이를 실용화 하기 위한 목적으로 OPC에 CC와 함께 FA를 복합 치환하여 분말도를 약 3 000

Received : March 3, 2010

Revision received : April 22, 2010

Accepted : April 29, 2010

* Corresponding author :

[Tel:82-43-229-8480, E-mail : worm1103@nate.com]

©2010 The Korea Institute of Building Construction, All right reserved.

± 200 cm³/g으로 조정된 시멘트를 이용하여 Mock-up test 을 진행한 후 이를 실무 현장에 적용하도록 한다.

2. 적용 공법의 개요 및 기존의 연구

2.1 적용 공법의 개요

현재 시멘트 공장에서는 산업 기술의 발달과 더불어 성능이 우수한 제품을 생산하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 결과로 최근에는 과거에 비하여 일정한 품질을 유지하면서 분말도가 높은 고분말화 된 OPC(약 3 100 ~ 3 600 cm³/g)를 주로 생산하고 있다.[5,6]

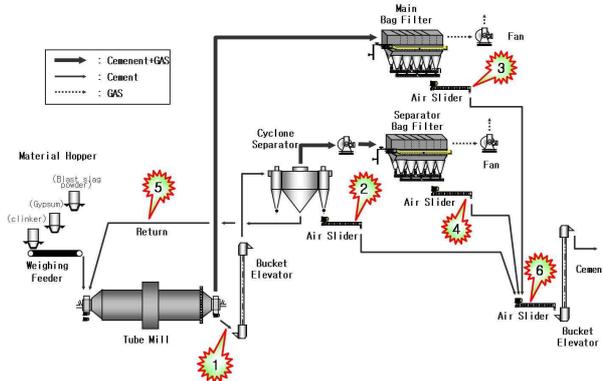


Figure 1. Pulverizing process of portland cement

그런데, 매스콘크리트와 같이 수화열 저감이 필요한 경우는 이들 입자 분포보다 굵은 입자 분포를 갖는 CC의 제조가 필요하게 되는데, 수요가 일정하게 예측되지 않는 CC를 생산하기 위하여 기존의 OPC 생산을 중지하고 OPC를 덜 분쇄하여 CC를 생산하거란 현재의 시멘트 생산 체계상으로는 매우 어려운 일이 된다. 따라서 본 연구에서는 OPC 제조과정 중 분쇄공정에서 Figure 1의 ① 혹은 ⑤에서 CC를 채취한 다음, 이를 OPC에 일정 비율 혼합하는 방식으로 이를 해결 하고자 하였다.

2.2 기존 연구

기존 연구에서는 CC와 FA를 OPC에 단독으로 치환한 연구와 복합하여 치환하는 연구를 진행한바 있다.

즉, Figure 2는 OPC에 CC를 단독으로 치환한 경우, OPC에 FA를 단독으로 치환한 경우 및 OPC에 CC 및 FA를 복합하여 치환한 경우의 간이적인 단열온도 측정방법에 의한 온도상승량을 3차원 그래프로 나타낸 그래프이다.

즉, CC를 OPC에 단독으로 치환한 경우 피크온도는 CC 치환율이 30 %까지 증가하면 OPC에 비하여 2.3 °C 저하하

는 것으로 나타났고, FA를 OPC에 단독으로 치환한 경우의 피크온도는 FA 치환율이 30 %까지 증가하면 OPC에 비해 5.1 °C 낮아졌다. 이 결과 CC의 경우는 더 큰 온도 저감 효과를 위한 방안의 모색이 필요하였고, FA의 경우는 다량 치환에 따른 초기강도저하, 중성화 등의 문제가 여전히 해결해야 만하는 과제로 남아 있다.

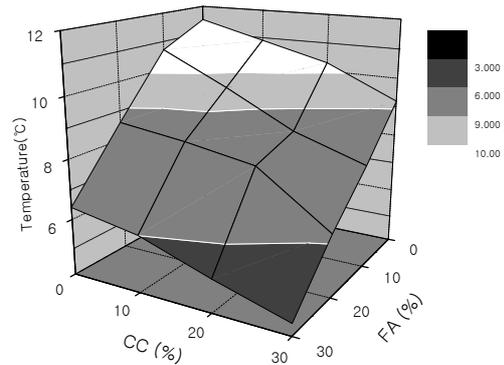


Figure 2. Amount of rising temperature corresponding to replacing ratio of CC and FA (W/C : 50 %)

이에 CC와 FA를 복합하여 온도 저감 효과를 향상시키고, FA의 양을 최소화하기 위한 연구를 실시한 결과, CC 10 % + FA 10 %를 사용한 경우는 온도 상승량이 9.6 °C를 나타낸 반면, CC 20 % + FA 10 %를 사용한 경우는 8.4 °C를 나타내 약 1.2 °C의 온도 저감 효과를 확인 할 수 있었다. 이는 같은 양의 FA를 치환할 때 CC를 복합하여 치환해 줌으로써 FA를 더 치환한 효과를 발휘한다는 것을 알 수 있었다.

이를 바탕으로 그다지 매트 두께가 두껍지 않은 매스 콘크리트의 실무현장에 적용하기 위하여 아래 3장과 같이 Mock -up test를 실시하였다.

3. Mock-up Test

3.1 Mock-up Test의 실험 계획

앞장과 같은 기존의 연구에서 얻어진 결과를 토대로 실무적용에 앞서 Mock-up test를 실시하였는데, Mock-up test의 실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다.

Table 1. Experimental Design

| Class | Factor | Items | |
|----------------|------------------------|--|--|
| Propo rtion | W/B (%) | 48 | |
| | Target slump (mm) | 150±25 | |
| | Target air content (%) | 4.5±1.5 | |
| | variable (%) | <ul style="list-style-type: none"> • OPC 100 % (Plain) • OPC 70 % + CC 20 % + FA 10 % | |
| Fresh concrete | 3 | <ul style="list-style-type: none"> • Slump • Air content • Unit volume weight | |
| Experi ment | Harden concrete | 2 | <ul style="list-style-type: none"> • Temperature history • Compressive strength - Standard (1, 3, 7, 14, 28 Days) - Field (1, 3, 7, 14, 28 Days) - Core(7, 14, 28 Days) |

Table 2. Proportion

| Item | W/B (%) | W (kg/m ³) | S/a (%) | AE/C (%) | SP/C (%) | Volume Proportion (ℓ/m ³) | | | | |
|-------|---------|------------------------|---------|----------|----------|---------------------------------------|----|----|-----|-----|
| | | | | | | OPC | CC | FA | S | G |
| Plain | 48 | 178 | 46 | 0.012 | 0.35 | 113 | 0 | 0 | 305 | 359 |
| CF | | | | 0.02 | 0.37 | 79 | 21 | 16 | 304 | 357 |

먼저, 실험요인으로 W/B는 실무 현장에서 일반적으로 쓰이고 있는 호칭강도 24 MPa 배합을 참조하여 48 %로 정하였고, 시험 구조체는 OPC를 단독으로 사용한 콘크리트 타설 부재와 OPC 70 % + CC 20 % + FA 10 % (이하 CF)를 타설한 부재의 2수준으로 실험계획하였다.

이때 각 구조체의 목표 슬럼프는 150±25 mm로 하였고, 목표 공기량은 4.5±1.5 %를 만족하도록 배합설계 하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량 및 단위용적질량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 각 구조체 별 수화열온도를 측정 하였으며, 압축강도를 표준양생 공시체, 구조체 관리용 공시체 및 코어로 나누어 계획된 재령에서 측정하였다.

3.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 A사의 OPC를 사용하였고, CC는 A사의 OPC 분쇄 공정 중 Cyclone Separator에서 분쇄밀로 역송(Figure 1 참조)되는 ⑤라인

시멘트를 포집하여 사용하였으며, 시멘트의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

⑤라인의 CC는 ①라인의 CC에 비하여 분말도가 낮아 혼합 후 동일한 분말도를 확보하기 위하여 필요한 CC의 양이 적으며, 더욱 낮은 분말도를 얻기 위하여 효과적이다. 이에 본 연구에서는 기존 연구를 기초로 ⑤라인의 CC를 이용하여 OPC에 CC와 FA를 혼합한 분체의 분말도가 약 3 000 ± 200 cm²/g의 상태를 확보하였다.

혼화제로 FA는 국내산 K사의 제품을 사용하였고, 물리·화학적 성질은 Table 4와 같다.

한편 골재로써 잔골재는 국내산 B사의 부순 잔골재와 천연잔골재를 6 : 4로 혼합한 혼합 잔골재를 사용하였고, 굵은 골재는 부순 굵은 골재를 사용하였으며, SP제는 국내 E사의 폴리칼본산계, AE제는 국내 E사의 음이온계를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 Table 5 및 6과 같다.

Table 3. Physical properties of cement

| Type | Density (g/cm ³) | Blain (cm ² /g) | Soundness (%) | Setting Time (min) | | Compressive Strength (MPa) | | |
|------|------------------------------|----------------------------|---------------|--------------------|-------|----------------------------|--------|---------|
| | | | | Initial | Final | 3 Days | 7 Days | 28 Days |
| OPC | 3.15 | 3 144 | 0.18 | 230 | 375 | 20.9 | 28.4 | 38.9 |
| CC | 3.42 | 1 087 | - | 325 | 547 | 5.7 | 11.7 | 19.7 |

Table 4. Physical and chemical properties of FA

| Density (g/cm ³) | Blain (cm ² /g) | L.O.I (%) | Humidity (%) | SiO ₂ (%) | Activity (%) | Flow Ratio (%) |
|------------------------------|----------------------------|-----------|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| 2.20 | 4 081 | 3.4 | 0.1 | 54.1 | 97 | 101 |

Table 5. Physical Properties of aggregate

| Class | Density (g/cm ³) | FM | Absorption ratio (%) | Unit volume weight (kg/m ³) | Passing amount of 0.08 mm(%) |
|--------------------------|------------------------------|------|----------------------|---|------------------------------|
| River sand | 2.58 | 2.21 | 0.46 | 1 518 | 0.30 |
| Crushed sand | 2.58 | 3.26 | 0.46 | 1 684 | 0.32 |
| Crushed coarse aggregate | 2.62 | 6.48 | 0.58 | 1 564 | 0.40 |

Table 6. Physical properties of admixture

| Class | Main ingredients | Form | Color | Density (g/cm ³) |
|----------------------|------------------|--------|--------------|------------------------------|
| Superplasticizer | Polycarboxylate | Liquid | Light yellow | 1.05 |
| Air entraining agent | Negative ion | Liquid | Pale yellow | 1.04 |

3.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 2축 믹서를 사용하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였고, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2403 규정에 의거 표준양생 공시체 및 구조체 관리용 공시체를 제작하였고, 아울러 코어 공시체를 Mock-up 시험체에서 채취하여 계획된 재령에서 KS F 2405규정에 의거 압축강도를 측정하였다.

한편 Mock-up test을 위한 모의 부재는 Figure 3 및 4와 같이 800 mm × 800 mm × 800 mm의 정방형 시험체를 2개 제작하여 OPC와 CF를 각각 타설하는 것으로 하였는데, 매스 기초의 연속체를 상징하여 부재의 2면은 단열재를 부착하였다. 구조체의 양생은 이중 버블시트를 이용한 단열보온 양생을 7일간 실시하였다.

콘크리트의 수화온도 측정은 각각의 구조체 내부에 Figure 5 및 6과 같이 매설한 후 데이터 로거에 의해 5일간의 온도 변화를 1시간 간격으로 측정하였다.

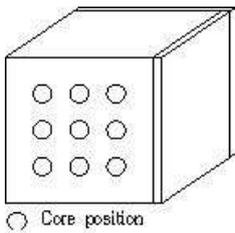


Figure 3. Structure



Figure 4. Form

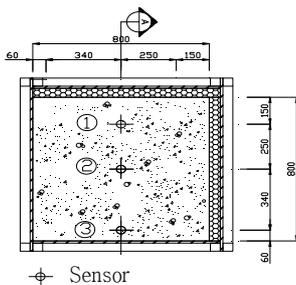


Figure 5. Location of temperature sensor (Plan)

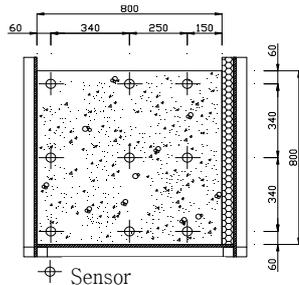


Figure 6. Location of temperature sensor (Section)

3.4 Mock-up Test 실험 결과

3.4.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

Table 7은 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이다.

Table 7. Test result of fresh concrete

| Class | Slump (mm) | Air content (%) | Unit volume weight (kg/m ³) |
|-------|------------|-----------------|---|
| OPC | 160 | 5.2 | 2 245 |
| CC | 140 | 3.7 | 2 265 |

본 연구에서는 목표 슬럼프 및 공기량을 만족하도록 배합 설계 한 것으로 모두 목표치를 만족하였다.

단, Table 2의 배합표를 토대로 목표 슬럼프 및 공기량을 만족하기 위한 SP제량 및 AE제 사용량은 Plain에 비하여 CF일때 약간 많게 소요되는 것을 알 수 있었다. 이는 CC의 입자가 굵어 분체량이 저하하게 되고, 이로 인하여 충분한 점성을 유지하지 못해 유동성이 저하하는 것으로 추측되며, 또한 공기량은 FA의 미연소 탄분에 의한 AE제 흡착작용에 기인하여 감소한 것으로 판단된다.

3.4.2 경화 콘크리트의 특성

1) 온도 이력

Figure 7 및 8은 구조체 각 부위 별 경과시간에 따른 온도 이력을 나타낸 것이다.

전체적으로 CF가 Plain 보다 낮은 온도 이력을 나타냈다. 또한 각각의 부위에서 Plain과 CF와의 온도차를 보면, 연속체로 상징하여 온도 이력을 측정된 ①위치(Figure 4 참조)의 중앙부에서는 약 8 ℃정도의 차이를 보였고, ②위치의 중앙부에서는 약 10 ℃, ③위치의 중앙부에서는 약 6 ℃정도의 차이를 보여 비교적 큰 온도 저감 효과를 확인할 수 있었다. 이는 Plain에 비하여 입자가 굵은 CC로 인하여 초기의 수화 반응 속도가 상대적으로 느리게 되어 수화열이 저감된 것 및 FA를 치환함에 따라 OPC의 절대량이 감소하여 수화열이 저감된 복합작용에서 기인한 것으로 사료된다.

Figure 9 및 10은 각각의 구조체 ②위치의 단면상 상부, 중앙부 및 하부의 온도분포에 대하여 오리진 프로그램을 이용하여 등온선으로 나타난 그래프이다.

등온선의 간격은, Plain 콘크리트 부재가 CF 콘크리트 부재보다 좁은 것을 알 수 있었다. 또한 CF에서는 최고 온도 및 높은 영역의 온도가 OPC에 비하여 낮고, 넓게 분포하는 것으로 나타나 CF를 사용할 경우에는 수화열에 의한 균열 발생 확률을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

2) 압축강도

Figure 11~13은 표준양생, 구조체 관리용 및 코어 공시체의 압축강도를 나타낸 그래프이고, Figure 14는 CF와 Plain과의 압축강도를 비교하기 위하여 산점도로 나타낸 그래프이다.

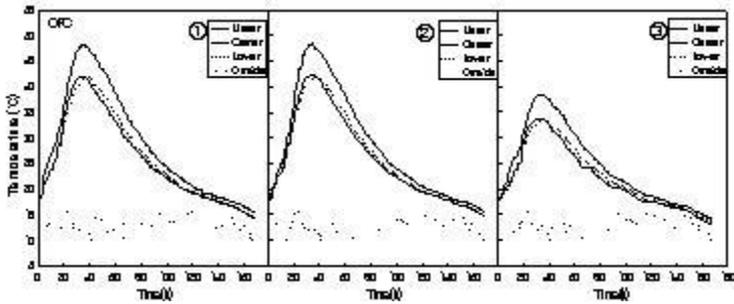


Figure 7. Temperature history (OPC)

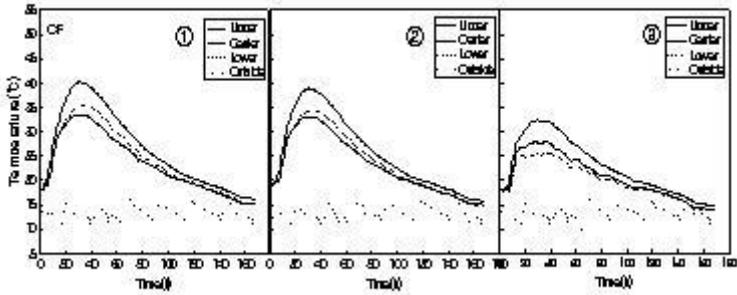


Figure 8. Temperature history (CF)

전체적으로 CF가 Plain 보다 낮은 강도 값을 나타내고 있으나 28일에서는 강도 차가 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이는 CF의 경우 초기 수화반응은 Plain에 비하여 상대적으로 느리지만, 미수화 된 시멘트 입자의 지속적인 수화반응 및 FA의 포졸란 반응에 기인하여 재령이 경과할수록 압축강도 발현이 높아지는 것으로 분석된다.

Figure 15 및 16은 표준양생 공시체와 구조체 관리용 공시체 및 코어 공시체의 압축강도를 비교하기 위하여 산점도로 나타낸 그래프이다.

각 압축강도 간의 관계는 표준양생 공시체의 압축강도가 구조체 관리용보다 크고, 표준 양생용 공시체의 압축강도는 코어 공시체 보다 크게 나타남을 알 수 있었는데, 이는 구조체 관리용 공시체의 경우 낮은 외기온의 영향으로 사료되고, 코어 공시체의 경우는 코어 채취 시의 진동 등으로 인하여 낮게 나타난 결과로 분석된다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, CF를 이용하여 현장에 적용함에 있어서는 특별한 문제점은 없을 것으로 사료되어 실구조체 현장 적용을 실시하도록 하였다.

4. 현장 적용

4.1 적용 현장의 개요

본 공법을 적용한 대상 현장은 청주시 상당구 내덕2동에

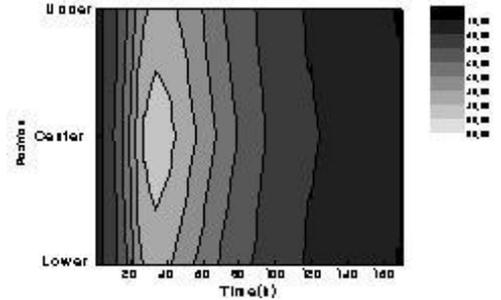


Figure 9. Temperature at of Concrete using OPC

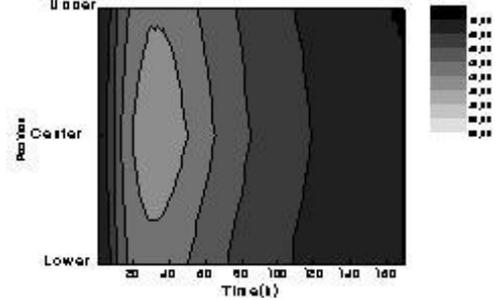


Figure 10. Temperature at of Concrete using CF

위치한 교육시설로 공사개요는 Table 8과 같고, 조감도는 Figure 17과 같다.

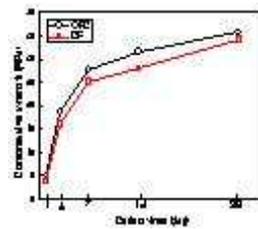


Figure 11. Compressive strength of standard specimen

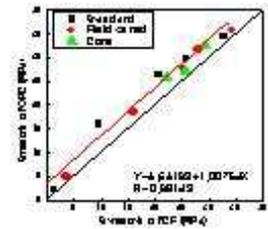


Figure 14. Comparison of OPC and CF compressive strength

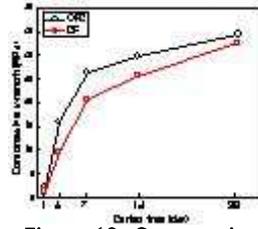


Figure 12. Compressive strength of field cured specimen

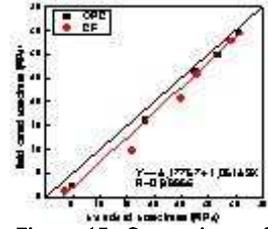


Figure 15. Comparison of standard and field cured specimen compressive strength

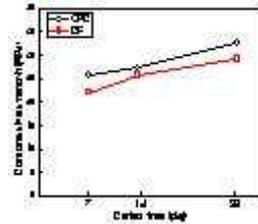


Figure 13. core compressive strength

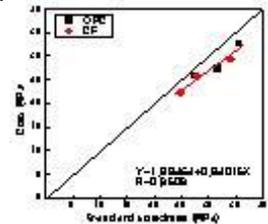


Figure 16. Comparison of standard and core compressive strength

Table 8. Construction outline

| Class | Item |
|-------------|--|
| Name | Construction field for education facility of ○○ University |
| Location | Neaduck 2 dong, Sangdanggu, Cheongju |
| Structure | Reinforced concrete |
| Scale | Underground 1 floor and 5 floors |
| Application | mat foundation (Depth : 950 mm) |



Figure 17. Bird's-eye view

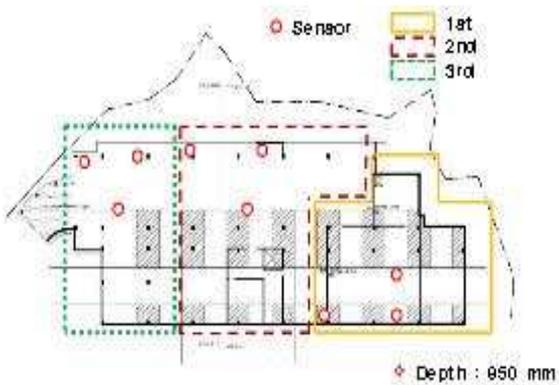


Figure 18. Plan of underground mat foundation

4.2 현장 적용 실험계획

본 현장적용은 지하 매트 기초의 수화열 저감을 목적으로 OPC에 CC와 FA를 치환(이하 CF)한 콘크리트를 적용하는 것으로 하였는데, 실구조체 적용 및 실험계획은 Table 9와 같다.

Table 9. Experimental design and field application

| Class | Factor | Item |
|------------|------------------------|---|
| Proportion | Specification | 25-24-120 |
| | W/B(%) | 46.2 |
| | Target slump (mm) | 120±25 |
| | Target air content (%) | 4.5±1.5 |
| | OPC+CC+FA (%) | 1 • 70 + 20 + 10* |
| Experiment | Fresh concrete | 3 • Slump • Air content • Chloride content |
| | Hardened concrete | 2 • Temperature hystoty • Compressive strength - Standard (1, 3, 7, 14, 28 Days) - Field (1, 3, 7, 14, 28 Days) |

* CF

이때, 타설하는 레미콘의 호칭강도는 24 MPa이고, 목표 슬럼프는 120±25, 목표 공기량 4.5±1.5를 만족하는 것으로 하였다. 슬럼프의 경우는 Mock-up test의 150±25 보다 낮게 설정하였는데, 이는 단위시멘트량을 낮추어 수화열을 줄이기 위함으로 타설 전 배합시험을 통하여 결정하였다.

굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험 사항은 Table 9와 같고, 배합사항은 Table 10과 같다.

Table 10. Proportion

| Specification | W/B (%) | W (kg/m³) | S/a (%) | Admixture/C (%) | Weight proportion (kg/m³) | | |
|---------------|---------|-----------|---------|-----------------|---------------------------|-----|-----|
| | | | | | CF | S | G |
| 25-24-120 | 46.2 | 160 | 47 | 2.42 | 346 | 843 | 981 |

4.3 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 A 사의 OPC를 사용하였고, CC는 A 사의 OPC 분쇄 공정 중 Figure 1의 ⑤라인에서 채취한 CC를 이용하였다.

또한 본 실험에 사용한 시멘트의 OPC, CC, FA의 결합재를 미리 섞은 프리믹스된 저발열형 시멘트를 레미콘사로 운반하여 KS 규준에 만족하는 콘크리트를 제조하였다.

이외의 재료는 레미콘사에서 사용되는 일반적인 재료를 사용하였다.

Table 11. Physical properties of cement

| Item | Humidity (%) | Density (g/cm ³) | Flow/time(min) | | Blaine (cm ² /g) | 44 μ m remains (%) |
|----------|--------------|------------------------------|----------------|-----|-----------------------------|------------------------|
| | | | 0 | 40 | | |
| KS (1st) | - | - | - | - | 2 800 ↑ | - |
| CF | 0.02 | 3.06 | 216 | 247 | 3 134 | 27.7 |

Table 12. Chemical properties of cement

| Item | Ingredients (%) | | | | | | | |
|----------|-----------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-----------------|------------------|
| | LOI | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O |
| KS (1st) | 3.0 ↓ | - | - | - | - | 5.0 ↓ | 3.8 ↓ | - |
| CF | 0.89 | 24.71 | 7.09 | 4.08 | 58.08 | 2.04 | 1.90 | 1.05 |

4.3 실험방법 및 타설방법

굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험은 위 3.3의 실험 방법과 동일하게 진행하였다.

한편 타설은 3차레에 걸쳐 진행하였는데, 온도 측정을 위한 열전대는 타설 부위별 중심부, 면 및 모서리의 상, 중, 하부 3부분에 매설하여 7일간 1시간 간격으로 측정 하였고, 타설을 실시한 계절은 겨울철이므로 표면부와의 온도차를 최대한 줄이기 위하여 양생은 보온 효과가 우수한 이중버블시트 단일 보온양생을 실시하였다.



Figure 19. Construction field



Figure 20. Temperature logger



Figure 21. Placement



Figure 22. Double layered bubble sheets

매스 콘크리트 타설방법은 돌려치기 방법이 아닌 타설부위를 순차적으로 메워가는 일체타설 방법으로 하였다. 이는 돌려치기 시공 시 먼저 타설한 콘크리트와 나중에 타설한 콘크리트간의 시간차에 의한 균열 발생 요인을 최대한 없애고자 함이었다.

4.4 현장 적용 결과

4.4.1 굳지않은 콘크리트의 특성

Figure 23~25는 굳지않은 콘크리트의 특성을 나타낸 그래프이다.

굳지않은 콘크리트는 레미콘사에서 KS 규준에 의거하여 출하한 제품으로 슬럼프, 공기량 및 염화물량 모두 목표치를 만족하였다.

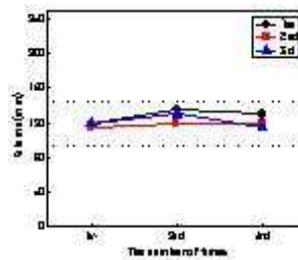


Figure 23. Slump

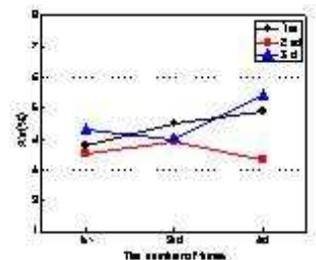


Figure 24. Air content

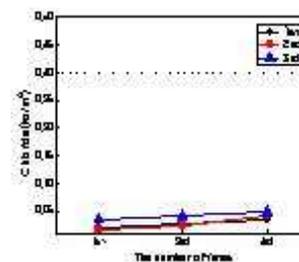


Figure 25. Chloride content

4.4.2 경화 콘크리트의 특성

1) 온도 이력

Figure 26~28은 각 타설 시기 별 타설한 콘크리트의 부위별 경과시간에 따른 온도 이력을 나타낸 그래프이다.

먼저, 전체적으로 수화 온도는 중앙, 면, 모서리 순으로 높게 나타났고, 각 매설 위치에 따라서는 중심부, 하부, 상부의 순으로 높게 나타났다.

각 타설에 따른 중심부의 최고온도는 1차타설의 경우 약 34 °C, 2차 타설의 경우 약 42 °C, 3차 타설의 경우 약 39 °C 이었다.

이중버블시트에 의한 단일보온양생도 콘크리트의 수화열 온도에는 영향을 미치고 있는 것으로 나타났는데, 상부와

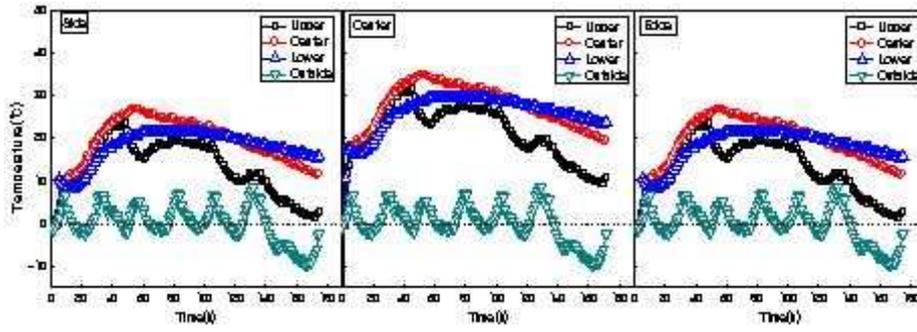


Figure 26. Temperature history corresponding to times (1st)

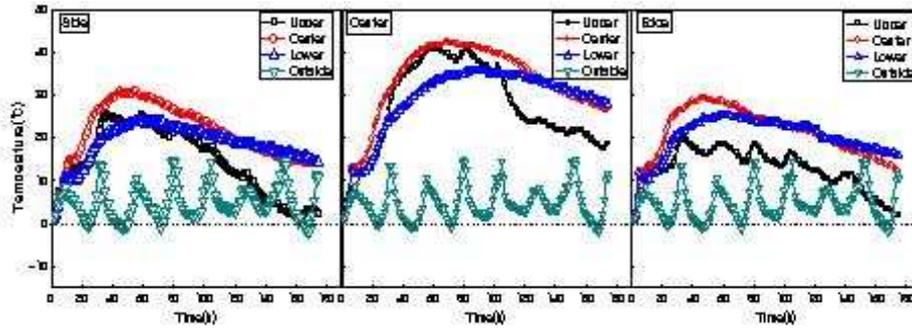


Figure 27. Temperature history corresponding to times (2nd)

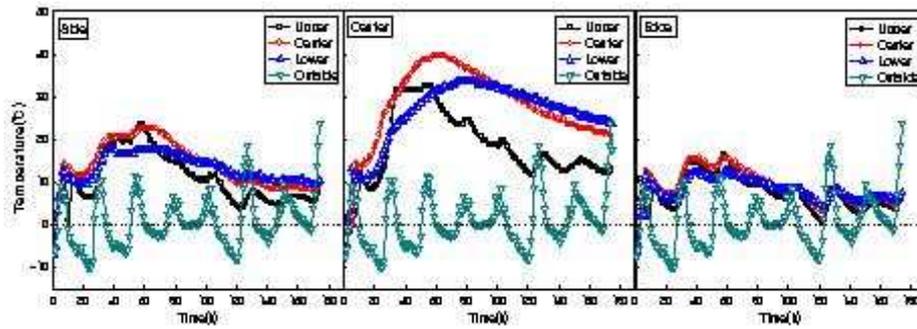


Figure 28. Temperature history corresponding to times (3rd)

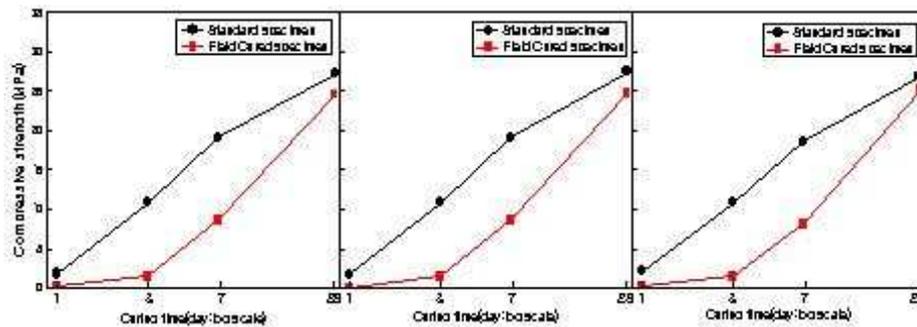


Figure 29. Compressive strength corresponding to curing days

중앙부와의 온도 이력은 이중버블시트를 제거하기 전까지는 온도차가 약 5 °C이하인 반면, 제거 후에는 외기에 직접적으로 노출되어 온도차가 약 12 °C이상으로 나타났다. 특히, 단열양생기간 중 온도차가 적은 것은 콘크리트 수화시 발생하는 열이 상부로 이동하게 되고 이동된 열은 이중버블시트에 의하여 대기로의 방출이 차단되어 나타난 결과로 사료된다. 종합적으로 기초 매트 콘크리트 상부에서는 수화열에 의한 균열 여부를 관찰한 결과 전혀 균열이 발견되지 않았음을 확인할 수 있었다.

2) 압축강도

Figure 29는 각 타설 시기별 타설한 콘크리트의 공시체 종류 별 재령에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

전체적으로 구조체 관리용 공시체가 표준양생 공시체 보다 낮은 강도 값을 나타내고 있으나 재령 28일에서는 강도차가 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이는 구조체 관리용 공시체의 경우 낮은 외기온의 영향과 CC 치환에 따른 낮은 분말도 및 FA의 치환에 따른 시멘트 절대량의 감소에 기인하여 수화반응이 느리게 나타난 것으로 사료되고, 재령이 경과할수록 미수화 된 시멘트 입자의 지속적인 수화반응과 FA의 포졸란 반응에 의하여 재령 28일에는 압축강도가 표준양생에 근접하게 발현되는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 OPC에 CC와 FA를 치환하여 분말도를 약 $3\,000 \pm 200 \text{ cm}^2/\text{g}$ 으로 조정한 CF 시멘트로 그다지 두껍지 않은 기초 매트·매스 콘크리트로 가정 Mock-up test를 진행한 후 이를 현장에 적용하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) Mock-up test에서 배합 설계한 CF 콘크리트의 혼화제 사용량은 굵은 입자에 의한 점성 저하 및 FA의 AE제 흡착작용에 기인하여 OPC에 비하여 SP제 및 AE제의 사용량이 다소 증가되었다.
- 2) CF의 온도 이력은 CC의 굵은 입자 및 FA의 시멘트량 저감에 기인하여 OPC에 비하여 약 6~10 °C정도 낮은 값을 나타내었다.
- 3) 압축강도는 CF가 OPC에 비하여 낮은 강도 값을 나타냈으나, 재령 28일에서는 강도의 폭이 좁혀지는 것으로 나타났다. 또한 표준양생 공시체와 구조체 관리용 및 코어 공시체의 압축강도 관계는 표준양생 공시체가 가장 크고, 구조체 관리용과 코어 공시체는 유사한 경향 이었다.

4) CF 콘크리트를 크게 두껍지 않은 매트 기초 매스 콘크리트에 현장 적용한 결과 슬럼프, 공기량 및 염화물량은 모두 목표치를 만족하였고, 온도 이력 결과는 각 타설에 따른 중심부의 최고온도가 1차타설 약 34 °C, 2차 타설 약 42 °C, 3차 타설 약 39 °C로 양호한 결과를 나타내었는데, 타설 콘크리트 전면에서 수화열에 의한 균열은 전혀 발견되지 않았다.

5) 압축강도에서는 구조체 관리용 공시체가 표준양생 보다 낮은 강도 값을 나타내고 있었으나 재령 28일에서는 강도 차가 크기 않은 것을 알 수 있었다.

이상을 종합할 때 OPC에 CC와 FA를 치환하여 분말도를 약 $3\,000 \pm 200 \text{ cm}^2/\text{g}$ 으로 조정한 CF 시멘트를 매스콘크리트 시공에 활용할 경우 수화열에 의한 균열 제어에 매우 효과적임을 알 수 있었다.

요 약

매스콘크리트를 시공함에 있어 수화열은 균열에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요인이다. 그러나, 우리나라의 경우 이와 같은 저발열형 시멘트를 이용하는 방법은 거의 채택되지 않고, 값싼 플라이애시나 고로슬래그미분말 등의 혼화제만을 치환하여 수화열을 줄이고 있는 실정이다. 그런데, 이렇게 혼화제만을 다량 치환하게 되면 내구성 품질에 악영향을 미쳐 구조물의 성능을 저해하는 요소로 작용할 수 있으므로 조분(粗粉)시멘트(CC)를 사용하면서 혼화제를 복합 치환함으로써 성능저하를 최소화 하며, 수화열을 줄일 수 있는 새로운 공법의 개발이 가능할 수 있을 것으로 추측된다. 이에 본 연구에서는 OPC에 CC와 함께 FA를 복합 치환하여 분말도를 약 $3\,000 \pm 200 \text{ cm}^2/\text{g}$ 으로 조정한 시멘트를 실용화 할 목적으로 Mock-up test를 진행한 후 이를 실무 현장에 적용하도록 한다.

키워드 : 매스 콘크리트, 조분(粗粉)시멘트, 플라이애시, 단열온도상승량, 저발열 시멘트

References

1. Architectural institute of Japan. Engineering of mass concrete. 2001
2. Kim JB. A study on the performance evaluation of tailored portland cement based on the control of particle size. [Master dissertation].Cheongju: Cheongju university;2006

3. No SK. Fundamental properties of concrete with incorporating ratio of coarse particle cement.[Master dissertation].Cheongju: Cheongju university;2008
4. Han CG, Han MC, Kim JB. Engineering properties of the particle classifying cement and the mortar using the particle classifying cement. Journal of the Architectural institute of Korea. 2007;23(7):111-118
5. Han CG. business of Han CG for remicon engineers 100. Construction media. 2006
6. Korea concrete institute. New concrete engineering, Kimoondang. 2005