

# 굵은입자 시멘트와 광물질 혼화재를 조합 사용하는 콘크리트의 기초적 특성

## A Fundamental Properties of the Concrete Using Coarse Particle Cement and Mineral Admixture

(2010년 2월 21일 원고접수, 2010년 3월 12일 심사완료/ Received February 21, Accepted March 12, 2010)

한친구<sup>1)\*</sup> 장덕배<sup>2)</sup>

<sup>1)2)</sup>청주대학교 건축공학과

1)Cheon-Goo Han, 2)Duk-Bae Jang

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

### Abstract

This research intends to analyze the basic characteristics of cements(hereinafter "CC") with affordable price and particle distribution effective as hydration heat face which are discharged at the outlet of smashing process of ordinary portland cement(hereinafter "OPC") manufacturing process such as fluidity, rigidity, temporary insulation temperature increase amount etc to review the potential of developing "CC" to 3 ingredients low heat cement that substitutes fly ash and blast furnace slag(hereinafter "BS").

As a result of experiment, fluidity tended to decrease with increase in CC substitution rate, and increase with increase in FA+BS substitution rate. Air amount tended to slightly decrease with increase in CC substitution rate, and decrease with increase in FA+BS substitution rate. Condensation characteristics were such that condensation time was delayed with increase in CC and FA+BS substitution rate. As for the temperature rising amount by temporary insulation, peak temperature decreased with increase in CC substitution rate and increase in FA+BS substitution rate in general, and thereafter, temperature tended to decrease slowly. Compressive strength decreased with increase in CC and FA+BS substitution rate, and as aging goes on, long term strength was equivalent to plain or higher. By and large, when FA+BS was substituted to CC, fluidity and air amount tended to decrease, but hydration heat face showed good reduction effects, suggesting possibility of development to 3 ingredients low heat cement.

**키워드 :** 광물질 혼화재, 플라이애시, 고로슬래그 미분말, 조분 시멘트, 저발열 시멘트

**Keywords :** Mineral Admixture, Fly Ash, Blast Furnace Slag, Coarse Particle Cement, Low Heat Cement

## 1. 서 론

최근, 국내외적으로 도심부의 건축물들은 경쟁이라도 하듯이 초고층화 하는 추세를 보이고 있다.

그런데 이와같은 초고층 건축물을 구조적으로 가능하게 하기 위해서는 고강도 콘크리트와 연관한 배합설계, 펌프

압송, 폭발방지, 자기수축저감 등의 특수한 기술개발이 우선적으로 필요하지만, 기초, 기둥, 보, 벽체 등에 두꺼운 매스콘크리트도 필수적임에 따라 기존의 방법 보다 추가적인 수화열 저감대책도 중요한 사항으로 받아들여지고 있다. 즉, 특별히 두께가 두껍게 되는 기초 매트와 매스콘크리트인 경우로 가정할 때, 수화열 저감대책으로는 전통적으로 플라이애시(이하 FA)나 고로슬래그 미분말(이하 BS) 등 광물질 혼화재를 보통 포틀랜드시멘트에 다량 치환하는 것<sup>1)2)3)</sup>이 주류를 이루어 왔으나 중요한 것은 수화

Corresponding author  
E-mail : cghan@cju.ac.kr

발열물질의 근원인 시멘트에서 저발열화를 추구하는 것도 중요한 방향이 될 수 있다. 시멘트에서의 저발열화로는 KS L 5201(포틀랜드시멘트)의 제2종 중용열 시멘트나 제4종 저열 포틀랜드시멘트를 활용하면 효과적으로 가능할 수 있으나, 현실적으로 이와 같은 시멘트는 고가로 판매되고 있으므로 실무에 적용하기에는 어려움이 있어왔다.

그러므로 본 연구에서는 보통 포틀랜드시멘트(이하 OPC) 제조과정의 분쇄과정 중 밀출구에서 배출되는 비교적 가격이 저렴하면서, 수화열 면에서도 효과적일 것으로 예상되는 입자분포를 갖는 시멘트(이하 CC)를 대상으로 FA와 BS를 복합 치환하는 3성분계 저발열시멘트로의 개발 가능성을 검토하기 위하여 유동성, 강도, 간이단열온도 상승량 등 기초적인 특성에 대하여 실험적으로 검토하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 재료적 측면과 배합적 측면을 고려하기 위하여 Table 1과 같이 실시하였고, 배합사항은 Table 2와 같다.

즉, 실험요인으로는 W/B 50%의 1수준에 대하여 Plain 배합의 경우 OPC를 단독 사용한 것으로 하고, 실험변수로는 OPC에 대하여 시멘트 제조 공정 중 분쇄 라인에서 채취한 CC를 25, 50, 75% 3수준으로 치환하며, 혼화제로 FA와 BS를 시멘트(OPC+CC)에 대하여 0, 10+20, 10+40, 20+20, 20+40%의 5수준으로 치환하여 총 16배치를 실험계획 하였다. 이때 Plain 콘크리트는 목표 슬럼프 120±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공

Table 1 Design of experiment

| Factors considered |                                | Items tested |   |
|--------------------|--------------------------------|--------------|---|
| Mixture            | W/B(%)                         | 1            | 50  |
|                    | Slump(mm)                      |              | 120±25  |
|                    | Air content(%)                 |              | 4.5±1.5   |
|                    | Plain(%)                       |              | 100(OPC)  |
|                    | Replacement ratio of CC (%)    | 3            | 25, 50, 75  |
| Experiment         | Replacement ratio of FA+BS (%) | 5            | 0, 10+20, 10+40, 20+20, 20+40   |
|                    | Fresh concrete                 | 4            | •Slump •Air<br>•Unit weight•Setting time  |
| Experiment         | Hardening concrete             | 2            | •Adiabatic temperature rise<br>•Compressive strength<br>(1, 2, 3, 7, 28, 91, 180 day) |

기량, 단위용적질량 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 간이 단열에 의한 온도 상승량, 압축 강도를 측정하도록 하였다.

### 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 A사의 OPC를 사용하였고, CC는 A사의 OPC 제조 공정중 시멘트 분쇄기인 tube mill 출구(Fig 1 참조)에서 발생하는 상대적으로 입자가 굵은 시멘트를 사용하였는데, 시멘트의 화학 성분 및 물리적 성질은 Table 3 및 4와 같이 나타나 CC가 KS의 OPC 규격을 만족한 것을 알 수 있다. 입도곡선은 Fig. 2와 같다.

혼화제로 FA는 국내산 K사의 제품을 사용하였고,

Table 2 Mixture proportions of concrete

| W/B (%) | W (kg/m <sup>3</sup> ) | S/a (%) | AE/C (%) | SP/C (%) | Sign    | CC Replacement ratio (%) | FA+BS Replacement ratio (%) | Unit volume( l /m <sup>3</sup> ) |    |    |    |     |     |
|---------|------------------------|---------|----------|----------|---------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----|----|----|-----|-----|
|         |                        |         |          |          |         |                          |                             | OPC                              | CC | FA | BS | S   | G   |
| 50      | 182                    | 47      | 0.012    | 0.65     | Plain   | 0                        | 0                           | 116                              | 0  | 0  | 0  | 309 | 348 |
|         |                        |         |          |          | C25F0B0 | 25                       | 0                           | 87                               | 30 | 0  | 0  | 309 | 347 |
|         |                        |         |          |          | C25F1B2 |                          | 10+20                       | 61                               | 21 | 17 | 25 | 305 | 344 |
|         |                        |         |          |          | C25F1B4 |                          | 10+40                       | 43                               | 15 | 17 | 50 | 305 | 343 |
|         |                        |         |          |          | C25F2B2 |                          | 20+20                       | 52                               | 18 | 33 | 25 | 303 | 342 |
|         |                        |         |          |          | C25F2B4 |                          | 20+40                       | 35                               | 12 | 33 | 50 | 302 | 341 |
|         |                        |         |          |          | C50F0B0 | 50                       | 0                           | 58                               | 60 | 0  | 0  | 308 | 347 |
|         |                        |         |          |          | C50F1B2 |                          | 10+20                       | 40                               | 42 | 17 | 25 | 305 | 344 |
|         |                        |         |          |          | C50F1B4 |                          | 10+40                       | 29                               | 30 | 17 | 50 | 304 | 343 |
|         |                        |         |          |          | C50F2B2 |                          | 20+20                       | 35                               | 36 | 33 | 25 | 303 | 342 |
|         |                        |         |          |          | C50F2B4 |                          | 20+40                       | 23                               | 24 | 33 | 50 | 302 | 341 |
|         |                        |         |          |          | C75F0B0 | 75                       | 0                           | 29                               | 90 | 0  | 0  | 308 | 347 |
|         |                        |         |          |          | C75F1B2 |                          | 10+20                       | 20                               | 63 | 17 | 25 | 305 | 344 |
|         |                        |         |          |          | C75F1B4 |                          | 10+40                       | 14                               | 45 | 17 | 50 | 304 | 343 |
|         |                        |         |          |          | C75F2B2 |                          | 20+20                       | 17                               | 54 | 33 | 25 | 303 | 341 |
|         |                        |         |          |          | C75F2B4 |                          | 20+40                       | 12                               | 36 | 33 | 50 | 302 | 340 |

BS는 국내산 P사의 제품을 사용 하였는데, 각각의 물리·화학적 성질은 Table 5 및 6과 같다.

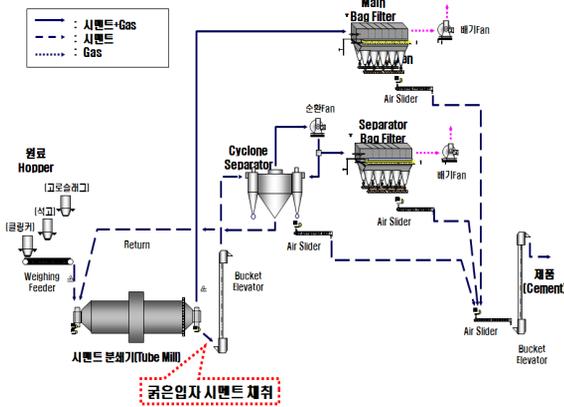


Fig. 1 Production process of portland cement

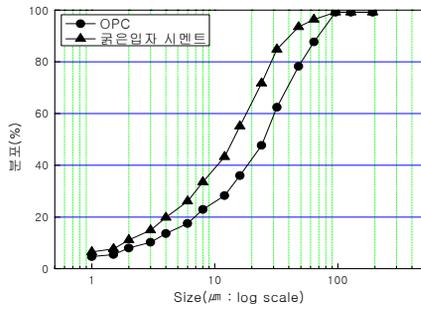


Fig. 2 Grain size curve of cement

Table 3 Chemical and physical properties of OPC

| Kinds | LOI  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O |
|-------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|------------------|
| OPC   | 0.35 | 21.88            | 5.02                           | 3.66                           | 64.18 | 2.01 | 1.83            | 0.92             |
| CC    | 0.18 | 22.18            | 5.17                           | 3.82                           | 64.44 | 2.05 | 1.14            | 0.87             |

Table 4 Physical properties of OPC

| Kinds | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Blaine (cm <sup>2</sup> /g) | Setting(min) |       | Compressive(MPa) |       |        |
|-------|------------------------------|-----------------------------|--------------|-------|------------------|-------|--------|
|       |                              |                             | Initial      | Final | 3days            | 7days | 28days |
| OPC   | 3.15                         | 3 144                       | 230          | 375   | 20.9             | 28.4  | 38.9   |
| CC    | 3.13                         | 1 908                       | 242          | 393   | 9.8              | 17.1  | 26.3   |

Table 5 Chemical and physical properties of FA

| Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Blaine (cm <sup>2</sup> /g) | Ig. loss (%) | SiO <sub>2</sub> (%) | Flow ratio (%) |
|------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------|----------------|
| 2.20                         | 4 012                       | 2.5          | 52.4                 | 97             |

Table 6 Chemical and physical properties of BS

| Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Blaine (cm <sup>2</sup> /g) | Ig. loss (%) | MgO (%) | SO <sub>3</sub> (%) | Cl (%) |
|------------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------------------|--------|
| 2.90                         | 4 254                       | 0.23         | 5.26    | 1.95                | 0.002  |

한편, 골재로써 잔골재는 국내산 B사의 부순 잔골재와 천연 잔골재를 50 : 50으로 혼합한 혼합 잔골재를 사용하였고, 굵은 골재는 충북 옥산산 부순 굵은 골재를 사용하였다. SP제는 국내 E사의 나프탈렌계를 사용하였고, AE제는 국내 E사의 음이온계를 사용하였는데, 각 물리적 성질은 Table 7 및 8과 같다.

Table 7 Physical properties of aggregate

| Kinds        | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Fineness modulus | Percentage of water absorption (%) | Unit weight (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|------------------------------|------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| River sand   | 2.58                         | 2.21             | 0.46                               | 1 518                            |
| Crushed sand | 2.58                         | 3.26             | 0.46                               | 1 684                            |
| Coarse agg.  | 2.62                         | 6.48             | 0.58                               | 1 564                            |

Table 8 Physical properties of admixture

| Kinds            | Ingredient  | Form   | Color      | Density (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------|-------------|--------|------------|------------------------------|
| Superplasticizer | Naphthalene | Liquid | Dark brown | 1.05                         |
| AE agent         | Anion       | Liquid | white      | 1.04                         |

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 2축 믹서를 사용하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정, 공기량과 단위용적질량은 KS F

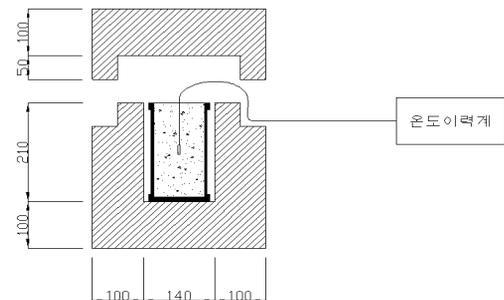
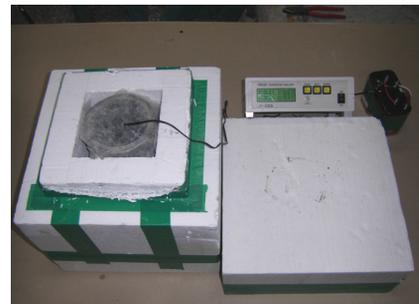


Fig. 3 Adiabatic temperature rise



Pic. 1 Device of adiabatic temperature rise

2421 및 2409의 규정, 응결시간은 KS F2436의 관입저항침에 의한 콘크리트의 응결시간 시험방법에 따라 실시하였다.

경화콘크리트의 실험으로 콘크리트의 간이 단열에 의한 온도 상승량 시험은 Fig. 3과 Pic. 1과 같은 직접시험법으로 각 배합조건에 따라 제조한  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  콘크리트 공시체에 열전대를 시험체 중앙에 매설한 후 두께 100mm의 단열재로 6면을 밀봉한 입방 시험 장치에 넣어 온도 이력계에 의해 7일간의 온도변화를 1시간 간격으로 측정하였다. 압축강도는 KS F 2403 규정에 의거하여  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  공시체를 제작하여 표준온도조건에서 계획된 재령까지 양생한 후 1000 kN UTM을 이용하여 KS F 2405에 의거 압축강도를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

##### 3.1.1 유동성 및 공기량

Fig. 4 및 5는 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 그래프이다.

먼저 OPC를 100% 사용한 Plain 배합의 콘크리트인 경우는 배합설계에 의하여 목표 슬럼프를 만족하는 것으로 나타났다. 단, CC의 경우는 치환율이 증가함에 따라 유동성이 저하하는 경향을 보였는데, 이는 CC의 낮은 분말도로 인하여 물과 접촉하는 면적이 작아 잉여수가 많아지게 되고, 이로 인하여 점성이 부족하여 유동성이 저하한 것으로 사료된다. 또한, FA 및 BS의 치환율이 증가함에 따라 유동성이 증가하는 경향을 나타냈는데, 이는 FA의 경우 FA의 둥근 입형을 가진 입자의 불베어링 작용에 의한 것으로 사료 되고, BS의 경우는 표면 성상이 시멘트 입자의 표면에 비해서 치밀하고 매끈함으로써 페이스트와 골재계면의 마찰이 작아짐에 따른 것<sup>11)</sup>으로 사료된다.

공기량은 Plain의 경우 배합설계에 의하여 목표 공기량을 만족하였지만, CC의 경우는 치환율이 증가함에 따라 미소하게 감소하였다. 또한, CC와 FA+BS를 복합치환한 경우에는 FA+BS의 치환율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나, CC 75%에서의 F1B2 및 F1B4는 높은 값을 나타냈는데, 이는 CC의 치환율 증가로 인하여 입자 사이의 공극이 증가하여 나타난 결과로 사료된다. 또한, 공기량의 감소는 FA 중 미연소탄분의 AE제 흡착작용에 의한 것으로 사료되고, BS의 경우는 높은 분말도로 인하여 콘크리트의 미세한 공극을 충전하여 나타난 결과로 사료된다.

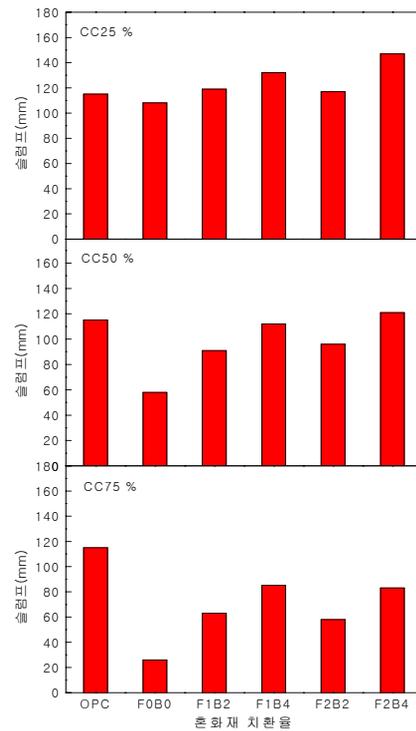


Fig. 4 Flow followed by changes of CC substitution rate and mixture

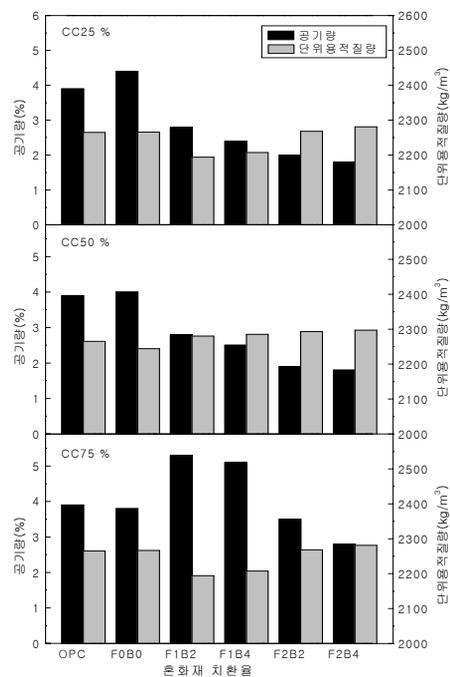


Fig. 5 Air content and Unit weight followed by changes of CC substitution rate and mixture

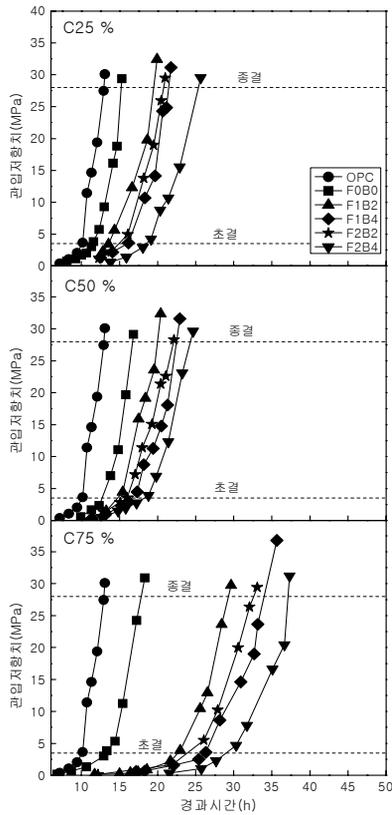


Fig. 6 Curve of penetrated resistance–setting time

따라서 FA+BS의 치환율이 증가할수록 소요의 공기량을 확보하기 위한 AE제의 사용량은 증가시켜 주어야 할 것으로 판단된다.

### 3.1.2 응결시간

Fig. 6은 경과시간에 따른 관입저항치를 나타낸 것이고, Fig. 7은 CC의 치환율 변화에 따른 초결 및 종결시간을 나타낸 것이다.

전반적으로 CC 및 FA+BS의 치환율이 증가함에 따라 응결은 비례적으로 지연되었는데, Plain의 경우는 초결이 약 10시간, 종결이 약 13시간으로 나타났다. 이에 비하여 CC를 25% 치환한 경우에는 초결이 약 11시간, 종결이 약 15시간으로 나타났고, CC를 50% 치환한 경우에는 초결이 약 12시간, 종결이 약 16시간으로 나타났으며, CC를 75% 치환한 경우에는 초결이 약 13시간, 종결이 약 17시간으로 나타나 CC 치환율이 증가함에 따라 초결 및 종결시간은 약 1시간씩 느려지는 것을 알 수 있었다. 또한 당연한 결과로 CC에 FA+BS가 치환됨에 따라 응결 시간은 지연되

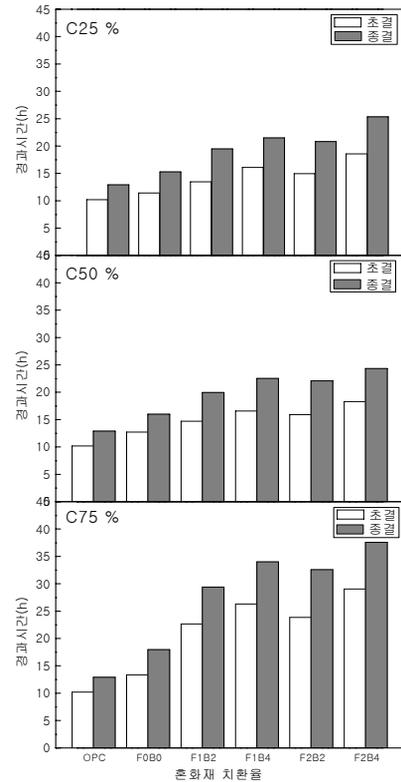


Fig. 7 Setting time followed by changes of CC substitution rate and mixture

었는데 CC 75%에 FA 20%+BS 40%일 때 초결이 약 29시간, 종결이 약 37시간으로 가장 느린 것으로 나타났다.

이는 CC의 낮은 분말도로 인하여 시멘트의 비표면적이 상대적으로 줄어들어 응결이 느려진 것으로 사료되며, FA+BS의 경우에는 FA와 BS의 치환에 의하여 시멘트의 절대량이 줄어들어 나타난 결과로 사료된다.

## 3.2 경화 콘크리트의 특성

### 3.2.1 간이단열에 의한 온도 상승량

Fig. 8은 CC 및 FA+BS 치환율 별 경과시간에 따른 간이 단열에 의한 온도 상승량을 나타낸 그래프이다.

전반적으로 CC 및 FA+BS의 치환율이 증가할수록 피크 온도는 감소하였고, CC 치환율 별 F0B0 > F1B2 > F2B2 > F1B4 > F2B4 순으로 높게 나타났다. 또한 CC 및 FA+BS의 치환율이 증가할수록 온도곡선의 형태가 뾰족한 예각의 형태에서 둔각의 형태로 형성되었다. 피크온도 이후 완만

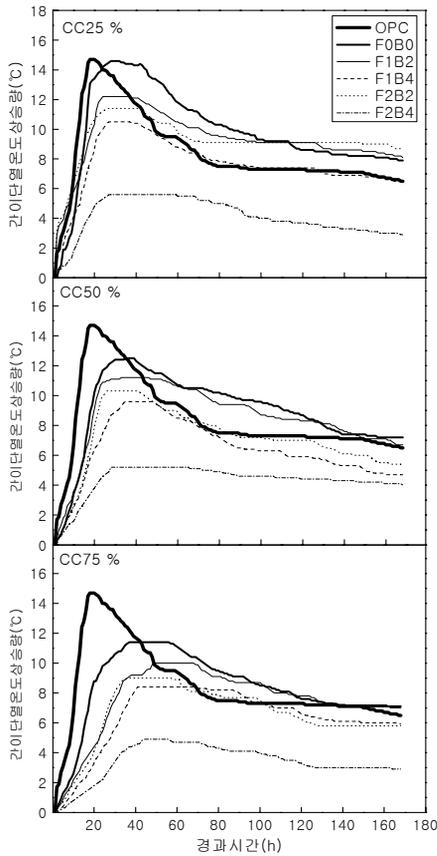


Fig. 8 adiabatic temperature rise followed by curing time

한 온도 저하는 CC의 낮은 분말도로 인하여 내부의 미수화 시멘트가 지속적으로 수화반응을 진행하여 나타난 결과로 사료된다.

Fig. 9는 CC 치환을 별 FA+BS의 치환을 변화에 따른 피크온도 및 피크온도 도달시간을 나타낸 그래프이다.

피크온도는 CC 및 FA+BS의 치환율이 증가할수록 비례적으로 낮아지는 것으로 나타났는데, CC를 단독으로 25%를 치환한 경우는 Plain에 비해 약 0.1°C, 50%를 치환한 경우는 약 2.2°C, 75%를 치환한 경우는 약 3.3°C의 온도 저하를 나타냈다. 또한, CC 25%에 FA+BS를 치환한 경우는 최대 약 9.1°C, CC 50%에 FA+BS를 치환한 경우는 최대 약 9.5°C, CC 75%에 FA+BS를 치환한 경우는 최대 약 9.8°C의 온도 저하를 나타냈다.

피크온도 도달시간의 경우 Plain은 18시간으로 나타났는데, CC를 단독으로 25% 치환한 경우는 Plain에 비해 약 11시간, 50%를 치환한 경우는 18시간, 75%를 치환한 경우는 20시간으로 나타나 CC 치환율이 증가할수록 수화반응이 느리게 진행되었음을 알 수 있었다. 이는 CC의 치

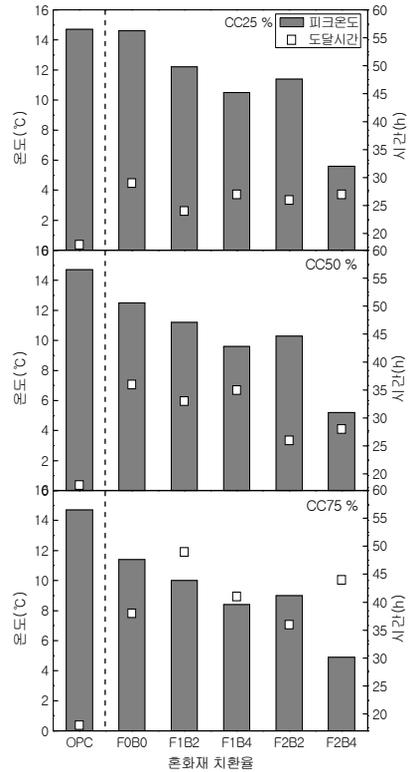


Fig. 9 Peak temperature and Arrivals time followed by changes of CC substitution rate and mixture

환율이 증가함에 따라 시멘트의 분말도가 저하되어 초기 수화반응이 비례적으로 지연되거나 활성화 되지 못한 결과로 사료되며, FA 및 BS가 치환됨에 따라 초기수화반응 속도가 저하된 것으로 사료된다.

따라서, 수화열을 저감하기 위해서는 CC를 단독으로 치환하는 것보다 FA+BS를 복합하여 치환하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

### 3.2.2 압축강도

Fig. 10은 CC 및 FA+BS의 치환을 별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이고, Fig. 11은 CC 치환을 별 혼화재의 치환을 변화에 따른 압축강도 발현율을 나타낸 그래프이다.

전반적으로 CC 및 FA+BS 치환율이 증가할수록 초기 강도는 낮게 나타났고, 재령이 경과함에 따라 Plain과의 강도차이는 줄어드는 것으로 나타났다. 또한, Plain에 비해 재령 1일에서의 강도 발현율은 CC25%의 경우 12~56%, CC50%의 경우 8~41%, CC75%의 경우 0~29%로 낮은

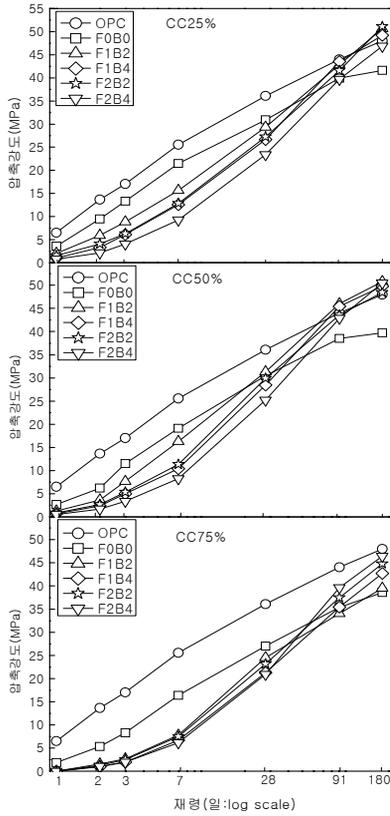


Fig. 10 Compressive strength followed by curing time

강도 발현율을 나타냈지만, 재령 180일에서는 CC25%의 경우 86~106%, CC50%의 경우 82~105%, CC75%의 경우 80~96%로 나타나 장기강도가 현저히 증가하는 것을 알 수 있었다.

이는 CC 및 FA+BS 치환율의 증가에 의하여 초기의 수화반응 속도가 지연되어 초기강도는 낮으나 재령이 경과함에 따라 미수화 시멘트의 지속적인 수화반응과 FA의 포졸란 반응 및 BS의 잠재수경성 반응에 의해 강도가 증진된 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)제조과정의 분쇄과정 중 밀출구에서 배출되는 비교적 가격이 저렴하면서, 수화열면으로도 효과일 것으로 예상되는 입자분포를 갖는 시멘트(이하 CC)를 대상으로 플라이애시(이하 FA)와 고로슬래그 미분말(이하 BS)를 복합치환하는 3성분계 저발열 시멘트로의 개발 가능성을 검토하기 위하여 유동성,

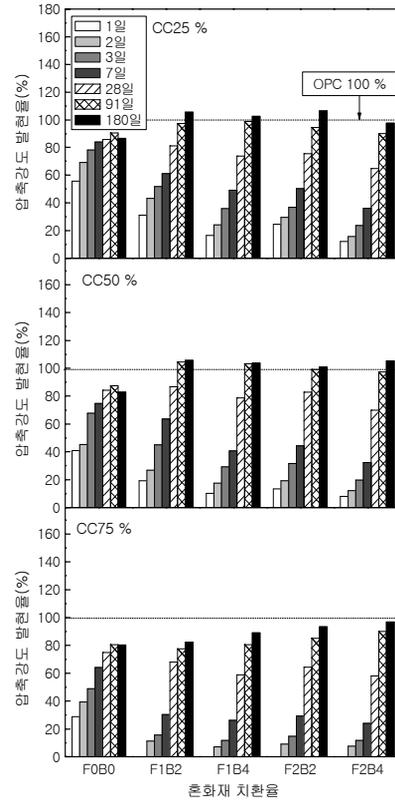


Fig. 11 Compressive strength development followed by changes of CC substitution rate and mixture

강도, 간이단열온도 상승량 등 기초적인 특성에 대하여 분석하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 유동성의 경우는 CC 치환율이 증가함에 따라 저하하는 경향을 나타냈고, FA 및 BS의 치환율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈다.
- 2) 공기량은 Plain의 경우 배합설계에 의하여 목표 공기량을 만족하였지만, CC의 경우는 치환율이 증가함에 따라 미소하게 감소하였다. 또한, FA+BS를 치환한 경우에는 FA+BS의 치환율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.
- 3) 응결시간은 CC 및 FA+BS의 치환율이 증가함에 따라 응결은 비례적으로 지연되었는데, Plain에 비하여 CC를 25% 치환한 경우에는 초결이 약 11시간, 종결이 약 15시간으로 나타났고, CC를 50% 치환한 경우에는 초결이 약 12시간, 종결이 약 16시간으로 나타났으며, CC를 75% 치환한 경우에는 초결이 약 13시간, 종결이 약 17시간으로 나타나 CC 치환율이 증가함에 따라 초결 및 종결시간은

약 1시간씩 느려지는 것을 알 수 있었다.

4) 간이단열에 의한 온도상승량은 CC 및 FA+BS의 치환율이 증가할수록 피크온도는 감소하였고, CC 치환율 별 F0B0 > F1B2 > F2B2 > F1B4 > F2B4 순으로 높게 나타났다. 피크온도는 CC 및 FA+BS의 치환율이 증가할수록 비례적으로 낮아지는 것으로 나타났다. 피크온도 도달시간의 경우 Plain은 18시간으로 나타났는데, CC를 단독으로 25% 치환한 경우는 Plain에 비해 약 11시간, 50%를 치환한 경우는 18시간, 75%를 치환한 경우는 20시간으로 나타나 CC 치환율이 증가할수록 수화반응이 느리게 진행되었다.

5) 압축강도는 CC 및 FA+BS 치환율이 증가할수록 초기 강도는 낮게 나타났고, 재령이 경과함에 따라 Plain과의 강도차이는 줄어드는 것으로 나타났다. 압축 강도 발현율은 재령 초기에 낮은 강도 발현율을 나타냈지만, 재령 180일에서는 강도가 현저히 증가하는 것을 알 수 있었다.

종합적으로 CC에 FA+BS를 치환하였을 때 유동성 및 공기량은 저하하는 경향을 나타냈으나, 수화열과 강도 발현 면에서 양호한 효과를 나타내 3성분계 저발열 시멘트로의 개발이 가능할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 이상수 ; 매스기초에 적용되는 콘크리트의 수화열 해석을 통한 온도균열 제어 방안, 레미콘, 제91호, PP. 37~40, 2007

2. 송용순 ; 혼합형 저발열 시멘트의 특성과 콘크리트 기초 물성에 관한 연구, 콘크리트학회 논문집, 제1권5호, PP. 177~187, 1998

3. 백민수, 이영도, 정상진 ; 플라이애시를 다량 치환한 콘크리트의 수화열 및 강도특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), 제19권9호, PP.87~95, 2003

4. 김종백, "입도분급 시멘트 및 이를 사용한 시멘트 모르타르의 공학적 특성", 대한건축학회논문집 구조계, 제23권,제7호, PP. 111~118, 2007

5. 한천구, 한민철, 장덕배, 노상균 ; 입도분급에 의한 굵은 입자 시멘트 치환율 변화에 따른 콘크리트의 기초적 특성, 대한건축학회 논문집(구조계), 제25권 제5호, PP. 137~145, 2009

6. 日本セメント協會 ; セメント・コンクリート化學と應用, 1994

7. 산업도서(주) ; 시멘트 기술총론, 1980

8. 윤재환 ; 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트, 세진사, 1993

9. 장복기, 정창주, 이종호, 임용무 ; 시멘트 재료화학, 전남대 출판부, 1998

### 굵은입자 시멘트와 광물질 혼화재를 조합 사용하는 콘크리트의 기초적 특성

본 연구에서는 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)제조과정의 분쇄공정 중 밀출구에서 배출되는 비교적 가격이 저렴하면서, 수화열면으로도 효과일 것으로 예상되는 입자분포를 갖는 시멘트(이하 CC)를 대상으로 플라이애시(이하 FA)와 고로슬래그 미분말(이하 BS)를 복합치환하는 3성분계 저발열 시멘트로의 개발 가능성을 검토하기 위하여 유동성, 강도, 간이단열온도 상승량 등 기초적인 특성에 대하여 분석하고자 한다.

실험결과로 유동성은 CC의 치환율이 증가함에 따라 저하하는 경향을 보였고, FA+BS의 치환율이 늘어남에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 공기량은 CC의 치환율이 증가함에 따라 미소하게 감소하는 경향을 나타냈고, FA+BS의 치환율이 증가함에 따라 감소하였다. 응결특성으로 CC 및 FA+BS의 치환율이 증가 할수록 응결 시간은 지연되었다. 간이 단열에 의한 온도 상승량은 전반적으로 CC 치환율이 증가할수록, FA+BS의 치환율이 증가할수록 피크온도는 감소하였고, 이후 온도저하가 완만해 지는 경향을 나타냈다. 압축강도는 CC 및 FA+BS 치환율이 증가할수록 저하하였는데, 재령이 경과함에 따라 장기강도는 Plain과 동등하거나 동등 이상의 강도를 발현 하였다. 종합적으로 CC에 FA+BS를 치환하였을 때 유동성 및 공기량은 저하하는 경향을 나타냈으나, 수화열 면에서 양호한 저감효과를 보여 3성분계 저발열 시멘트로의 개발이 가능할 것으로 사료된다.