

고강도용 콘크리트의 온도상승 억제를 위한 고로슬래그 미분말의 효과

The Effect of Ground Granulated Blast-Furnace Slag on the Control
of Temperature Rising in High Strength Concrete



문한영*

Moon, Han-Young



최연왕**

Choi, Yun-Wang

ABSTRACT

Generally, in order to maintain high strength in concrete, it needs high cement content and low water-cement ratio. makes internal temperature rising after concrete placing inevitably, and happens temperature stress that makes initial cracks of concrete structure.

Therefore, to control the thermal stress of high-strength concrete, we made 3 types of the fineness of ground granulated blast-furnace slag and 4 steps replacement, and then measured an amount of temperature rising and elapsed time of maximum temperature and strength of concrete. Also we considered the test results of heat evolution amount and heat evolution of cement paste made with 5 steps replacement by GGBF slag.

As result of this study, in case of the 50% of replacement and the 6,000cm²/g of fineness, we obtained satisfactory results that not only the controlled effect of temperature rising but strength at early ages.

Keywords : ground granulated blast-furnace slag, high-strength concrete, controlled effect of temperature rising, thermal stress

* 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정희원, 세명대학교 토목공학과 조교수

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 1999년 12월 호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

근년에 와서 건설공사 현장의 잦은 부실공사로 인하여 귀중한 재산과 인명 피해를 초래하는 대형사고가 종종 발생하고 있어 콘크리트 구조물에 대한 신뢰성 및 내구성에 대한 우려의 목소리가 높아지고 있다. 더구나 최근 콘크리트 구조물이 대형화, 고강도화함에 따라 대형콘크리트 구조물의 시공시 시멘트 수화열에 의한 콘크리트의 온도상승 등으로 인하여 온도응력에 의한 균열이 발생하게 되므로써 콘크리트의 온도상승에 따른 균열 억제방안 및 콘크리트 구조물의 신뢰성을 확보를 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^(1~4)

대부분이며^(10,11) 고강도용 콘크리트에 있어 고로슬래그미분말의 활용에 따른 콘크리트의 온도상승억제에 대한 연구는 드문 것 같다.

본 연구에서는 고강도용 콘크리트의 온도상승을 억제하기 위한 연구의 일환으로 고로슬래그미분말의 분말도를 Blaine의 비표면적으로 4,500, 6,000 및 8,000cm²/g의 3종류로 변화시키고 각각에 대한 혼합물을 4단계로 변화시켜 제조한 고강도용 콘크리트의 수화발열특성 및 온도상승량과 최고온도 도달시간에 대하여 단일온도 측정과 간이단열온도 측정결과로서 비교 고찰하였다.

Table 1 Chemical compositions and physical properties of OPC and SG

| Items Types | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO ₃ (%) | Ig.loss (%) | Specific gravity | Blaine (cm ² /g) |
|----------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|
| OPC | 21.9 | 6.5 | 2.8 | 60.1 | 3.3 | 2.1 | 2.5 | 3.15 | 3,112 |
| SG | 32.3 | 14.8 | 0.4 | 44.1 | 5.5 | 1.0 | 1.1 | 2.91 | 4,500 |
| SG | 32.2 | 14.6 | 0.4 | 44.0 | 5.6 | 1.1 | 1.2 | 2.92 | 6,000 |
| SG | 32.3 | 14.6 | 0.4 | 44.2 | 5.5 | 1.0 | 1.1 | 2.90 | 8,000 |

주지하는 바와 같이 콘크리트는 시멘트의 수화반응으로 인하여 응결 경화과정에서 수화열에 의한 큰 온도상승을 초래하여 콘크리트 부재의 크기와 위치에 따라 온도응력이 크게 변화하는 특성이 있다. 특히 매스콘크리트와 같이 단면이 큰 부재에서는 열의 확산 지연과 축적으로 인한 콘크리트의 내부온도의 상승 및 단위시멘트량이 크고, 물-시멘트비가 매우 낮기 때문에 수화열에 의한 내부온도상승은 피할 수 없다. 이와 같은 콘크리트 중의 상승온도는 열팽창 또는 열수축으로 인한 체적변화를 일으켜 온도응력이 발생하게 되어 콘크리트 구조물에 초기 균열을 야기시킨다.⁽⁵⁾

이러한 문제점을 해결하기 위한 한 방안으로 고로슬래그미분말을 콘크리트의 혼화재로서 활용하고자 하는 연구가 세계 각국에서 진행되고 있으나 단위결합재량 250~350kg/m³의 매스콘크리트에 대한 내용^(6~9) 및 플라이애쉬를 결합재로 사용한 연구성과가

2. 실험 개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 고로슬래그미분말 : 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)와 광양제철소에서 발생되는 고로슬래그를 미분쇄하여 얻은 회백색의 고로슬래그미분말(이하 슬래그미분말 또는 SG로 약함)의 화학성분 및 물리적 성질을 Table 1로 정리하였다.

(2) 골재 : 한강산 강모래와 강자갈을 사용했으며, 물리적 성질은 Table 2와 같다.

(3) 고성능감수제 : 나프탈린 설프산 포르말린 고축합물이 주성분이며, 상온에서 비중 1.2±0.01, pH 9±1인 액상 용액을 사용하였다.

2.2 실험기구 및 실험방법

(1) 수화열 측정시험 : 슬래그미분말 혼합 페이스

Table 2 Physical properties of aggregates

| Items Types | G _{max} (mm) | Specific gravity | Absorption (%) | F.M. | Organic impurities | Unit weight (kg/m ³) | Percentage of solids (%) |
|------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Fine aggregate | - | 2.62 | 1.50 | 2.50 | good | 1,620 | 61.8 |
| Coarse aggregate | 19 | 2.68 | 0.90 | 7.20 | - | 1,734 | 64.7 |

Table 3 Mix proportions of concrete

| Blaine of SG (cm ² /g) | G _{max} (mm) | Slump (cm) | W/(C+SG) (%) | s/a (%) | SG/(C+SG) (%) | Unit weight (kg/m ³) | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------|-----------------|------------|------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|------|
| | | | | | | W | C | SG | S | G |
| - | 19 | 18±1 | 25 | 40 | 0 | 150 | 600 | 0 | 670 | 1028 |
| 4,500 | " | " | " | " | 30 | 150 | 420 | 180 | 663 | 1017 |
| " | " | " | " | " | 50 | 150 | 300 | 300 | 658 | 1009 |
| " | " | " | " | " | 70 | 150 | 180 | 420 | 653 | 1002 |
| 6,000 | 19 | 18±1 | 25 | 40 | 30 | 150 | 420 | 180 | 663 | 1017 |
| " | " | " | " | " | 50 | 150 | 300 | 300 | 658 | 1009 |
| " | " | " | " | " | 70 | 150 | 180 | 420 | 653 | 1002 |
| 8,000 | 19 | 18±1 | 25 | 40 | 30 | 150 | 420 | 180 | 663 | 1017 |
| " | " | " | " | " | 50 | 150 | 300 | 300 | 658 | 1009 |
| " | " | " | " | " | 70 | 150 | 180 | 420 | 653 | 1002 |

트를 전도형열량계(conduction calorimeter)를 사용하여 실내온도 23°C에서 72시간 동안 수화열을 측정하였다. 이때 시멘트 페이스트의 물-결합재비는 35 및 50%로 정하였다.

(2) 콘크리트의 단열온도 측정시험 : 독일 Technik사의 단열열량계(adiabatic calorimeter)를 사용하여 콘크리트의 온도를 5일 동안 측정하였다.

콘크리트의 물-결합재비 25%, 슬래그미분말 혼합물 50%, 분말도 3종류로 변화시켰다.

(3) 콘크리트의 간이단열온도 측정시험 : 단열효과가 좋은 25×25×25cm의 스티로폴 용기속에 콘크리트를 타설한 다음 중심부 및 대각선 방향의 2지점에 K형 열전대(thermocouple)을 묻고 열손실을 방지하기 위하여 스티로폴의 접합부는 실리콘으로 밀폐시킨 콘크리트의 내부온도를 경과시간별로 측정하였다.

(4) 강도시험 : Ø10×20cm 원주형 공시체를 제조한 후 20±1°C 수중에서 표준양생하여 재령 3, 7, 28 및 91일 압축강도를 KS F 2405에 따라 측정하였으

며, 활렬인장강도 및 탄성계수는 각각 재령 28일에 KS F 2423 및 KS F 2438에 따라 측정하였다.

(5) 콘크리트 믹서 : 용량 50ℓ, 80rpm의 강제식 믹서를 사용하였다.

2.3 콘크리트의 배합

고강도용 콘크리트의 경과시간별 온도변화 및 강도를 측정하기 위하여 슬래그미분말의 분말도 4,500, 6,000 및 8,000cm²/g의 3종류에 대하여 단위결합재량 600kg/m³, 물-결합재비 25%, 슬래그미분말의 혼합물 0, 30, 50 및 70%의 4단계로 변화시킨 10배합은 Table 3과 같다.

3. 실험 결과

3.1 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트의 단열 및 간이단열온도

Table 4 Results of adiabatic temperature of high strength concrete (unit : °C)

| Blaine of SG (cm ² /g) | SG/(C+SG) (%) | Elapsed time (hours) | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 0 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 30 | 36 | 48 | 72 | 96 | 120 |
| - | 0 | 18 (100) | 23 (128) | 28 (156) | 35 (194) | 42 (233) | 58 (322) | 66 (367) | 73 (406) | 80 (444) | 84 (467) | 84 (467) | 84 (467) | 84 (467) |
| 4,500 | 50 | 20 (100) | 21 (105) | 21 (105) | 24 (120) | 31 (155) | 42 (210) | 58 (290) | 64 (320) | 66 (330) | 69 (345) | 69 (345) | 69 (345) | 69 (345) |
| 6,000 | 50 | 18 (100) | 20 (111) | 21 (117) | 21 (117) | 25 (139) | 45 (250) | 57 (317) | 66 (367) | 72 (400) | 75 (417) | 75 (417) | 75 (417) | 75 (417) |
| 8,000 | 50 | 16 (100) | 21 (131) | 22 (138) | 24 (150) | 38 (238) | 52 (325) | 64 (400) | 71 (444) | 74 (462) | 78 (486) | 78 (486) | 78 (486) | 78 (486) |

() 은 믹싱직후 콘크리트 온도 100에 대한 온도상승 백분율 (%)

Table 5 Results of compressive and splitting tensile strength and elastic modulus of high strength concrete

| Blaine of SG (cm ² /g) | SG/(C+SG) (%) | Compressive strength (kg/cm ²) | | | | Splitting tensile strength (kg/cm ²) | Elastic modulus (×10 ⁵ kg/cm ²) |
|--------------------------------------|------------------|---|-------|--------|--------|--|--|
| | | 3days | 7days | 28days | 91days | | |
| - | 0 | 412 | 531 | 718 | 834 | 55.4 | 4.4 |
| 4,500 | 30 | 238 | 457 | 645 | 840 | 50.7 | 3.9 |
| | 50 | 155 | 314 | 532 | 835 | 47.5 | 3.7 |
| | 70 | 81 | 256 | 456 | 778 | 40.0 | 3.5 |
| 6,000 | 30 | 362 | 556 | 763 | 847 | 57.7 | 4.5 |
| | 50 | 340 | 494 | 742 | 803 | 62.3 | 4.5 |
| | 70 | 202 | 473 | 727 | 840 | 54.2 | 4.3 |
| 8,000 | 30 | 349 | 462 | 662 | 828 | 55.4 | 4.6 |
| | 50 | 302 | 494 | 700 | 780 | 50.6 | 4.4 |
| | 70 | 438 | 573 | 720 | 796 | 51.4 | 4.2 |

물-결합재비 25%, 슬래그미분말 혼합률 50%로 정한 고강도용 콘크리트를 믹싱 후 4시간 간격으로 5일 동안 단열온도를 측정하여 정리한 것이 Table 4 이다.

슬래그미분말을 혼합하지 않은 고강도용 콘크리트 (이하 고강도용 콘크리트로 약함)의 5일 동안의 단열 온도 상승량이 66℃로서 믹싱직후에 대한 온도상승율이 약 4.7배인데 비하여, 슬래그미분말의 분말도 4,500cm²/g, 혼합률 50%인 고강도용 콘크리트는 단열온도 상승량이 49℃로서 믹싱직후에 대한 온도상승율이 약 3.5배 정도로서 17℃의 큰 온도저감 효과가 있었다.

이번에는 Table 3의 콘크리트 10배함으로 간이단열온도를 측정된 결과를 슬래그미분말의 분말도 4,500, 6,000 및 8,000cm²/g의 3종류로 정리한 것이 Fig. 1, 2 및 3이다.

이들 그림에서 슬래그미분말의 혼합률이 클수록 분말도에 상관없이 간이단열온도 상승량이 감소됨을 알 수 있었다.

3.2 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트의 강도

Table 3의 콘크리트 배합으로 제조한 고강도용 콘크리트의 압축강도, 활렬인장강도 및 탄성계수를 측정하여 정리한 것이 Table 5로서 활렬인장강도와 탄성계수는 재령 28일에 측정된 값을 나타내었다.

슬래그미분말 혼합 고강도용 콘크리트의 경우 슬

래그미분말의 혼합률, 분말도 및 재령에 따라 압축강도 값이 크게 상이한 특성을 나타내었으며, 슬래그분말의 분말도 8,000cm²/g을 혼합한 콘크리트를 제외하고는 재령 3일 압축강도가 고강도콘크리트보다 작았으나, 재령 28일 압축강도는 오히려 커지는 경향을 나타내었다.

한편 활렬인장강도 및 탄성계수는 슬래그미분말의 분말도 4,500cm²/g을 혼합한 고강도용 콘크리트를 제외하고는 고강도용 콘크리트와 거의 비슷한 값을 알 수 있었다.

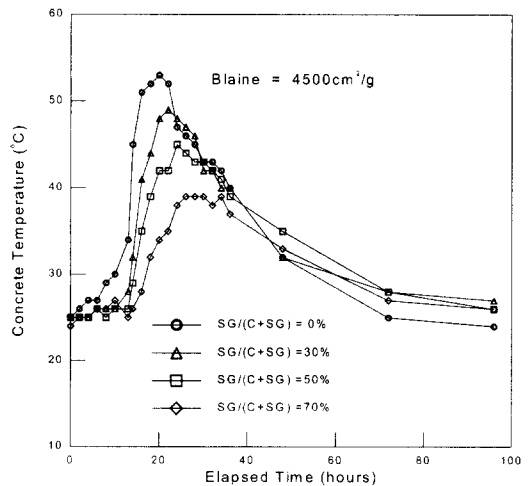


Fig.1 Semi adiabatic temperature of high strength concrete with different SG replacement.(Blaine : 4,500cm²/g)

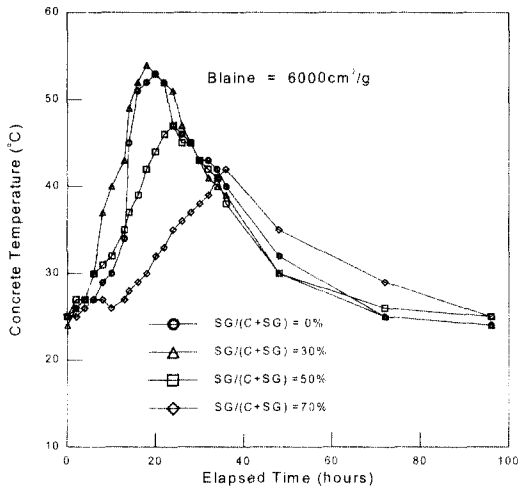


Fig.2 Semi adiabatic temperature of high strength concrete with different SG replacement (Blaine : 6000cm²/g)

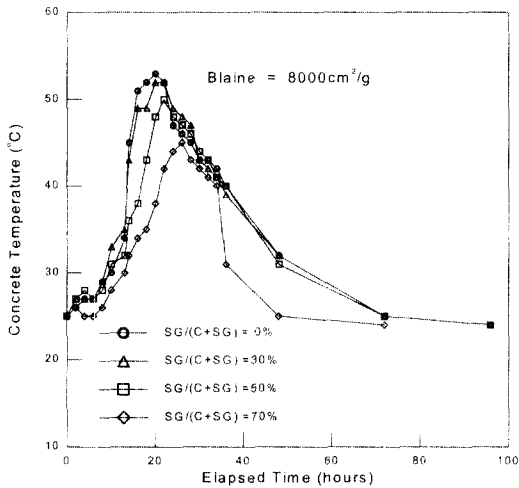


Fig.3 Semi adiabatic temperature of high strength concrete with different SG replacement (Blaine : 8000cm²/g)

4. 실험결과에 대한 고찰

4.1 슬래그미분말을 혼합한 페이스트의 발열특성

보통포틀랜드시멘트에 분말도 4,500cm²/g인 슬래그미분말을 20, 40, 60 및 80% 혼합한 페이스트의 수화발열량 및 수화발열속도를 경과시간 1시간 및 72시간으로 각각 정리한 것이 Fig.4 및 5이다.

일반적으로 시멘트의 수화반응은 시멘트의 조성 광물, 물-시멘트비, 시멘트의 분말도 및 온도 등에 크게 영향을 받으며 수화 생성물은 경과 시간에 따라 매우 복잡한 형태로 나타난다.⁽¹²⁾

슬래그미분말을 혼합한 페이스트의 1시간까지의 수화발열량과 수화발열속도를 나타낸 것이 Fig.4로서 슬래그미분말의 혼합률이 증가할수록 수화발열량은 비례적으로 감소하며, 수화발열 최고속도에 도달하는 시간은 비슷하나 수화발열속도는 감소하고 있음을 알 수 있으며, 슬래그의 수화반응은 활발히 진행되지 않음을 알 수 있다. 이러한 원인은 시멘트에 물을 첨가한 직후 물에 용해된 석고가 클링커 광물 중 가장 활성이 큰 C₃A와 반응하여 생성된 에트린가이트의 생성열과 C₃S의 표면용해열에 의하여 나타나기 때문이며, 또한 상대적으로 시멘트량이 감소됨에 따라 C₃S와 C₃A량이 작아져 수화발열량과 수화발열속도가 감소된다고 생각된다.

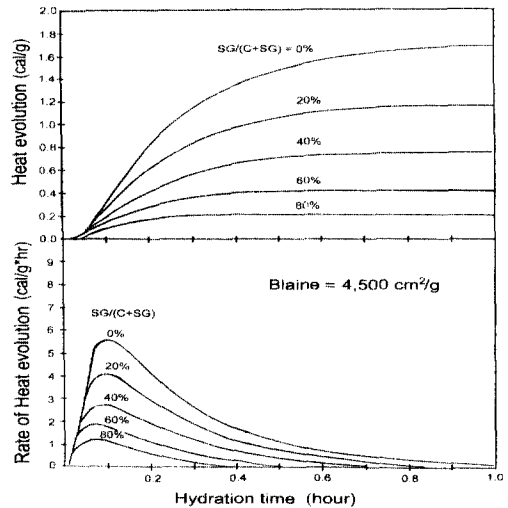


Fig.4 Heat evolution curves of paste with and without SG (1 hour, W/(C+SG)=50%)

한편 Fig.5는 72시간 동안의 수화발열량과 수화발열속도를 정리한 것으로서 시멘트 페이스트의 경우 최대 수화발열량이 23cal/g 정도였으나, 슬래그미분말을 혼합한 페이스트의 경우 슬래그미분말의 혼합률이 증가함에 따라 비례하여 발열량은 작아졌으며, 혼

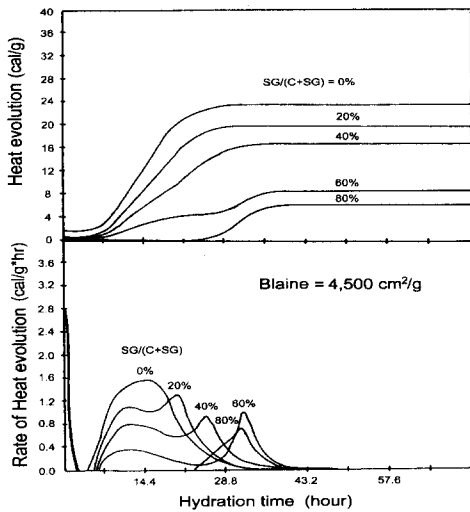


Fig.5 Heat evolution curves of paste with and without SG (72 hours, W/(C+SG)=50%)

한편 Fig.5는 72시간 동안의 수화발열량과 수화발열속도를 정리한 것으로서 시멘트 페이스트의 경우 최대 수화발열량이 23cal/g 정도였으나, 슬래그미분말을 혼합한 페이스트의 경우 슬래그미분말의 혼합률이 증가함에 따라 비례하여 발열량은 작아졌으며, 혼합률 80%인 페이스트는 5cal/g 정도로 크게 감소됨을 알 수 있다.

일반적인 시멘트의 수화는 1시간 이전의 첫번째 피크 후 에트링가이트 및 불용성의 칼슘실리케이트 수화물(C-S-H)이 시멘트 입자표면을 둘러 쌓게 됨으로써 수화반응을 억제하는 잠복기에 접어들게 되며, 잠복기 동안 수산화칼슘이 과포화 상태가 됨에 따라 Ca^{2+} 농도가 최고치가 되어 칼슘실리케이트 수화물막이 내부의 침투압에 의해 팽창, 파괴되어 수화가 다시 활발해져 두번째 피크가 된다고 한다.⁽¹²⁾ 그러나 슬래그미분말을 혼합한 페이스트는 두번째 피크 이후 시멘트만을 사용한 페이스트와 달리 세번째 피크가 나타나고 있으며, 이러한 현상은 석고를 첨가한 경우의 加藤 등의 연구⁽¹³⁾와 유사한 발열특성이지만 석고의 영향보다는 슬래그의 잠재수경성에 의한 반응특성으로 생각된다.

이러한 수화발열 특성 중에는 시멘트의 수화반응에서 생성된 $Ca(OH)_2$ 가 슬래그의 수화반응에도 일부 소모됨으로 슬래그미분말의 혼합률이 증가할수록 수화발열량이 작아지기 때문으로 생각된다.

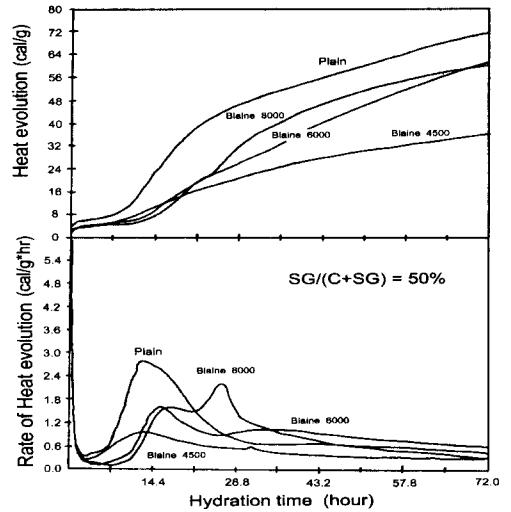


Fig.6 Heat evolution curves of cement paste with and without SG (72 hours, W/(C+SG)=35%, SG/(C+SG)=50%)

이번에는 물-결합재비를 대폭 낮추고, 슬래그미분말의 분말도 4,500, 6,000 및 8,000 cm^2/g 3종류로 변화시킨 페이스트의 수화발열량과 수화발열속도를 정리한 것이 Fig.6이다.

이 그림에서 슬래그미분말의 분말도가 클수록 수화발열량이 커지는 경향을 나타내었으나, 슬래그미분말을 사용하지 않은 페이스트보다 수화발열량이 작음을 알 수 있다.

한편 수화발열속도는 분말도 8,000 cm^2/g 의 슬래그미분말을 혼합한 경우 세번째 피크에서 수화발열 최고속도에 도달하게 되며 슬래그미분말을 사용하지 않은 페이스트보다 최고 수화발열속도에 도달하는데 2배 정도 지연되고 있음을 알 수 있다. 슬래그미분말의 분말도가 커짐에 따라 수화발열량이 증가하는 이유는 비표면적이 클수록 $Ca(OH)_2$ 와 같은 알칼리 자극제의 접촉이 쉽게 이루어져 슬래그의 잠재수경성 반응이 활성화되었기 때문으로 생각된다.

4.2 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트의 온도 억제효과

고강도용 콘크리트는 일반적으로 물-결합재비가 낮고 단위시멘트량이 크기 때문에 시멘트 수화열에 의한 콘크리트의 내부온도가 상승되어 초기에 높은 온도이력을 받게 되어 구속응력에 의한 균열이 발생

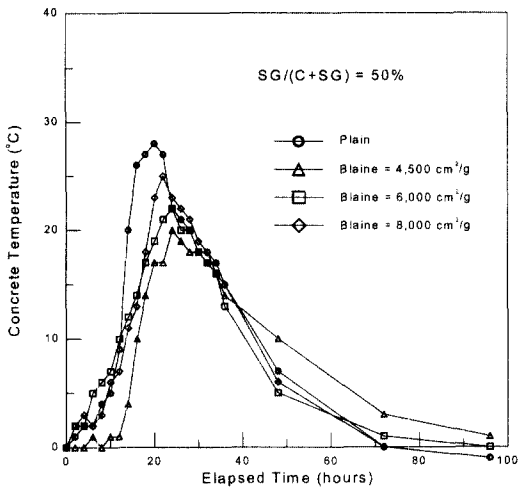


Fig.7 Semi-adiabatic temperature rise of high strength concrete with different fineness of SG (SG/(C+SG)=50%)

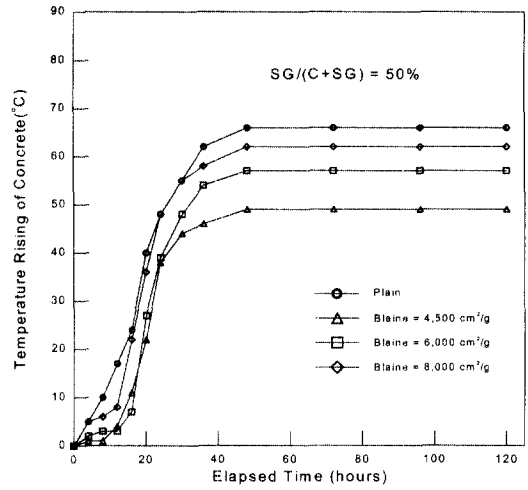


Fig.8 Adiabatic temperature rise of high strength concrete with different fineness of SG (SG/(C+SG)=50%)

될 수 있으나 초기재령에서 강도발현은 양호하다.

그래서 고강도용 콘크리트의 온도상승량을 저감시킬 목적으로 슬래그미분말의 혼합률을 50%로 정하고, 분말도를 3종류로 변화시켜 제조한 콘크리트의 간이단열온도 및 단열온도 상승량을 경과시간별로 각각 측정하여 정리한 것이 Fig.7 및 8이다.

Fig.7은 현장에서 콘크리트 구조물의 온도상승을 간이적으로 측정하는 경우를 감안하여 간이 단열온도 장치를 사용하여 Table 3의 배합표에 의해 제조한 콘크리트의 믹싱후 96시간까지의 온도상승량만으로 정리한 그림이다.

이 그림에서 분말도를 달리한 슬래그미분말 혼합 고강도용 콘크리트는 고강도용 콘크리트와 비교해서 최고온도 상승량이 약 8°C정도 적을 뿐만 아니라 최고온도 도달시간도 약간 지연되고 있음을 알 수 있다.

특히 분말도 4,500cm²/g인 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트는 고강도용 콘크리트에 비해 약 29% 정도의 온도가 저감되는 효과를 얻었으며, 믹싱후 최고온도 도달시간은 약 24시간 정도이며, 대기온도로 복귀하는 시간이 약 3일 정도 소요되었다. 그러나 슬래그미분말의 분말도가 클수록 온도상승 억제 효과는 감소됨을 알 수 있다.

이번에는 단열열량계를 사용하여 120시간까지 단열온도상승량 측정 결과를 정리한 것이 Fig.8이다. 이 그림에서 Fig.7의 간이단열온도 측정결과와는 달리 약 44시간 정도에서 최고온도에 도달하였을 뿐만

아니라 최고온도상승량도 2배 이상 크게 나타났으나, 슬래그의 분말도가 증가함에 따라 최고온도가 상승하였으며, 분말도 4,500cm²/g인 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트는 최고온도 상승량이 약 17°C 정도 저감되는 큰 차이를 나타내었다.

이번에는 슬래그미분말의 혼합률을 50%로 고정하고 분말도 4,500, 6,000 및 8,000cm²/g 3종류 콘크리트에 대한 단열온도 측정결과와 간이단열온도 측정결과를 비교한 것이 Fig. 9, 10 및 11이다.

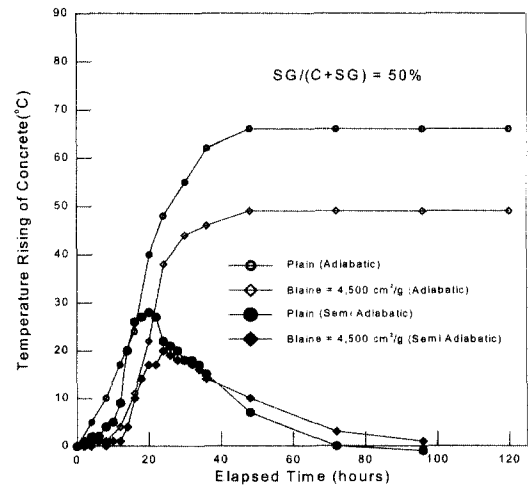


Fig.9 Adiabatic temperature and semi adiabatic temperature of high strength concrete (Blaine : 4,500cm²/g)

Table 6 Results of compressive strength ratio of high strength concrete containing SG (%)

| Age (days) | Compressive strength ratio (%) | | | | | | | | | |
|------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|
| | OPC | SG/(C+SG)=30% | | | SG/(C+SG)=50% | | | SG/(C+SG)=70% | | |
| | | Blaine of SG (cm ² /g) | | | Blaine of SG (cm ² /g) | | | Blaine of SG (cm ² /g) | | |
| | | 4,500 | 6,000 | 8,000 | 4,500 | 6,000 | 8,000 | 4,500 | 6,000 | 8,000 |
| 3 | 57 | 33 | 50 | 49 | 22 | 47 | 42 | 11 | 28 | 61 |
| 7 | 74 | 64 | 77 | 64 | 44 | 69 | 69 | 36 | 66 | 80 |
| 28 | 100 | 90 | 106 | 92 | 78 | 98 | 98 | 64 | 101 | 100 |
| 91 | 116 | 117 | 118 | 115 | 116 | 109 | 109 | 108 | 117 | 111 |

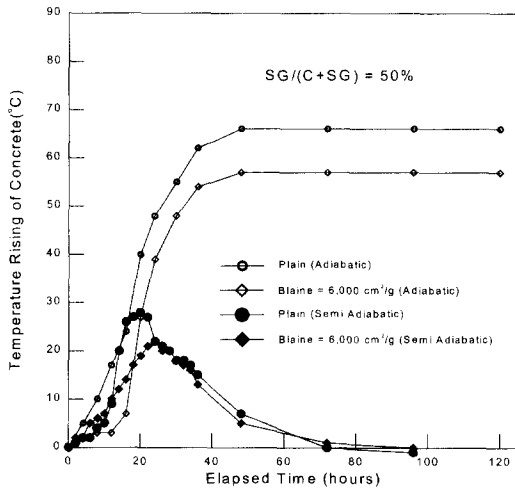


Fig.10 Adiabatic temperature and semi adiabatic temperature of high strength concrete (Blaine : 6,000cm²/g)

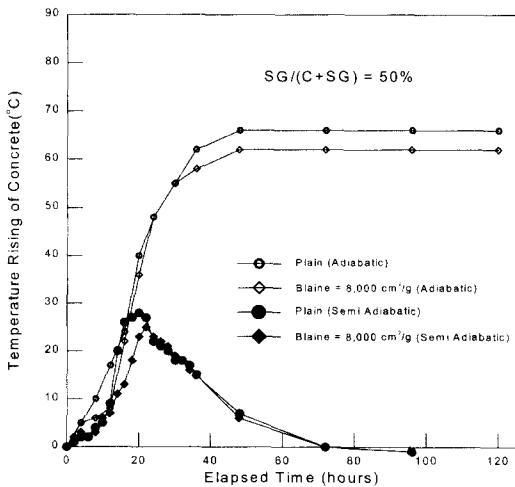


Fig.11 Adiabatic temperature and semi adiabatic temperature of high strength concrete (Blaine : 8,000cm²/g)

이들 그림에서 알수 있듯이 경과시간 20~24시간 정도에서 간이단열온도 상승량의 최고값이 나타나는데 비하여 단열온도 상승량의 최고값은 대체로 44시간 정도에서 나타나므로 최고온도 상승량에 도달하는 시간이 약 2배 정도로 큰 차이가 있었다.

본 실험에 사용된 간이단열온도 측정장치는 단열온도 측정장치와 비교해 볼 때 열손실이 큰 장치임을 알 수 있다.

그러나 대부분 콘크리트 구조물이 외기에 노출되는 환경에서 건설되므로 현장콘크리트 구조물의 경우 수화열에 의한 콘크리트 내부의 온도 상승량도 부분적으로 손실되는 것을 피할 수 없다. 그래서 간이단열온도 측정시험에 의한 결과를 현장 콘크리트 구조물의 온도측정관리 및 평가에 유용하게 응용할 수 있는 기법의 개발이 요망된다.

이상으로 콘크리트의 간이단열온도 및 단열온도 측정결과와 페이스트의 수화열 시험결과를 종합해 볼 때, 보통포틀랜드시멘트만을 사용한 페이스트의 수화발열량 및 수화발열속도는 슬래그미분말을 혼합한 페이스트보다 슬래그미분말의 분말도가 클수록 혼합물이 작을수록 수화발열량이 크게 나타났다.

한편 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트의 온도 상승량은 고강도용 콘크리트보다 월등히 작았으며, 슬래그미분말을 혼합한 페이스트의 수화발열량과도 매우 유사한 결과임을 알 수 있다.

4.3 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트의 강도 특성

슬래그미분말의 혼합률 및 분말도의 변화에 따른 고강도용 콘크리트의 재령별 압축강도 및 재령 28일의 인장강도와 탄성계수를 측정된 결과가 Table 5로 서, 슬래그미분말을 혼합하지 않은 고강도용 콘크리

트의 재령 28일의 압축강도 100에 대한 각 콘크리트 별 및 재령별 강도비를 환산한 것이 Table 6이다.

이 표에서 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트의 초기재령 3, 7일의 압축강도는 고강도용 콘크리트에 비해 혼합률이 클수록, 분말도가 작을수록 작았으나, 재령 28일 및 91일에서는 분말도 4,500cm²/g인 슬래그미분말을 혼합한 콘크리트를 제외하고는 고강도용 콘크리트의 압축강도와 거의 비슷한 정도임을 알 수 있다.

그래서 슬래그미분말을 혼합하지 않은 고강도용 콘크리트의 온도상승량 100에 대한 슬래그미분말 혼합 고강도용 콘크리트의 온도상승량의 저감비와 재령 3일 및 28일의 고강도용 콘크리트의 각각 압축강도 100에 대한 슬래그미분말 혼합 콘크리트의 압축강도비로 정리한 것이 Fig.12이다.

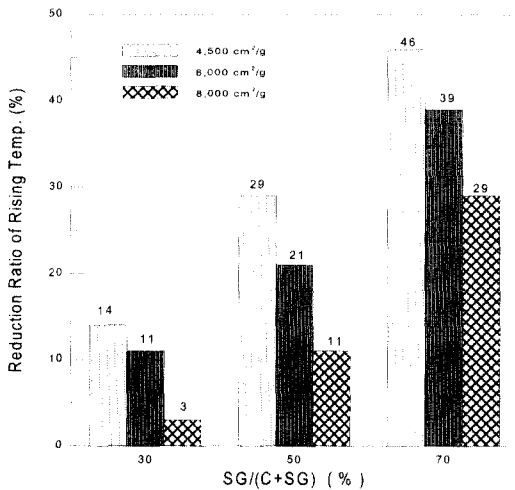


Fig.12 Relationship between different fineness of SG and temperature reduction ratio and compressive strength ratio of high strength concrete

이 그림에서 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트의 온도 저감효과는 슬래그미분말의 분말도가 작을수록 혼합률이 클수록 큰 저감효과를 얻었으나, 분말도가 4,500cm²/g 인 경우 재령 3일에서 강도발현이 현저하게 낮아 초기재령에서 고강도를 요구하는 콘크리트로서는 부적합하다고 생각되었다.

반면에 슬래그미분말의 분말도 8,000cm²/g, 혼합률 70% 혼합한 고강도용 콘크리트의 경우 초기강도는 가장 크게 나타났으나, 온도상승량의 저감비는 분말도 4,500cm²/g 및 6,000cm²/g 보다 크게 떨어지는 결과를 나타내었다.

이상의 실험결과를 종합해 볼 때 슬래그미분말을

혼합한 고강도용 콘크리트의 초기강도발현과 온도상승량의 저감비를 고려해 볼 때 분말도 6,000cm²/g, 혼합률 50~70% 범위의 슬래그미분말을 사용한 고강도용 콘크리트가 가장 유용할 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있겠다.

(1) 슬래그미분말을 혼합한 페이스트의 발열특성은 수화반응에서 생성된 Ca(OH)₂가 슬래그의 수화반응에도 일부 소모되므로 슬래그미분말의 혼합률이 증가할수록 수화발열량이 작아지며, 두번째 피크 이후 시멘트만을 사용한 페이스트와 달리 세번째 피크를 나타내었다. 이러한 현상은 식고를 첨가한 경우와 유사한 발열특성이지만 식고의 영향보다는 슬래그의 잠재수경성에 의한 반응특성으로 생각된다

(2) 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트의 단열온도 상승량은 분말도가 클수록 증가하였으나, 분말도 8,000cm²/g을 혼합한 콘크리트는 고강도용 콘크리트보다 단열온도 상승량을 저감시켰다.

한편 슬래그미분말의 혼합률이 증가 할수록 온도 상승 저감효과는 비례적으로 크며, 분말도 4,500cm²/g, 혼합률 70%인 경우 고강도용 콘크리트보다 46%정도의 큰 온도저감 효과를 얻었으며, 최고 온도 도달시간도 지연됨을 알 수 있었다.

(3) 분말도 4,500cm²/g인 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트의 경우 온도저감효과는 컸으나, 초기강도 발현이 매우 낮았으며, 분말도 8,000cm²/g을 혼합한 경우 초기강도는 매우 컸으나, 온도상승량의 저감비는 분말도 4,500cm²/g 및 6,000cm²/g 보다 크게 떨어졌다. 그러므로 슬래그미분말을 혼합한 고강도용 콘크리트의 초기강도와 온도상승 억제효과를 고려할 때 분말도 6,000cm²/g, 혼합률 50~70% 범위가 가장 적절할 것으로 사료된다

참 고 문 헌

1. 丸島紀夫, “高強度コンクリートの水和熱により溫度上昇がセメントの 水和と強度發現に及ぼす影響”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 14, No. 1, 1992.

- pp. 457-462.
2. 檀 康弘, 近田孝夫, "超低發熱形セメントを用いたマスコンクリートの溫度履歴", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 13, No. 1, 1991, pp. 807-812.
 3. 정철현 외, "매스콘크리트의 온도분포에 영향을 주는 주요변수에 관한 연구", 콘크리트 학회지, 제 6권, 5호, 1994, pp.203-212.
 4. ACI Manual of Concrete Practice, "Mass Concrete.", Cracking for Mass Concrete, 207.2R-207.2R, 1992.
 5. 日本콘크리트工學協會, マスコンクリートの溫度應力研究委員會報告書, 1985.
 6. Coole, M. J., "Heat Release Characteristics of Concrete Containing Ground Granulated Blast-furnace Slag in Simulated Large Pours", Magazine of Concrete Research, Vol. 40, No. 144, 1988, pp. 152-158.
 7. 沼田普一, "高爐スラグ微粉末コンクリートの水和熱と諸特性", 日本土木學會論文集, 1987. 3, pp. 43-50.
 8. 渡 宏, "斷熱溫度上昇下における高爐スラグ高微粉末を用いたコンクリートの強度と細孔構造", 콘크리트工學年次論文報告集, vol. 17, No. 1, 1995, pp. 1049-1054.
 9. 阪本好史, "高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの發熱特性", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 9, No.1, 1987, pp. 99-104.
 10. Tomas, M.D.A., Mukherjee, P.K., Santo, J.A., and Everitt, M.F., "Effect of Fly Ash Composition on Thermal Cracking in Concrete", Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, ACI SP-153, 1995, pp.81-98.
 11. Kanazawa, K., "Properties of Low-Heat Generating Concrete Containing Large Volumes of Blast-Furnace Slag and Fly Ash", Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, ACI SP-132, 1992, pp.97-117.
 12. Neville, A. M., Properties of Concrete, Longman, London, 1995, pp.12-17
 13. 加藤和巳, 泥木 省一郎, 深谷 泰文, "高爐セメントの斷熱溫度上昇に及ぼすせっこうの影響", セメント・コンクリート論文集, 1989, 3, pp.72-77.

요 약

콘크리트가 고강도를 확보하기 위해서는 일반적으로 큰 단위시멘트량 및 낮은 물-시멘트비를 유지해야 하므로 콘크리트 타설 후 내부온도 상승은 필연적이며, 구조물의 위치와 온도용력차에 의하여 콘크리트 구조물에 균열이 발생하게 된다.

그러므로 고강도용 콘크리트의 온도상승 억제대책의 한 방안으로 고로슬래그미분말 3종류와 혼합물 4단계로 변화시킨 콘크리트를 제조하여 온도상승량과 최고온도 도달시간 및 강도를 측정하였으며, 고로슬래그미분말을 5단계로 혼합한 페이스트의 수화발열량 및 수화속도를 측정 한 값에 대하여 고찰하였다.

본 연구결과 고로슬래그미분말의 분말도 6,000cm²/g, 혼합물 50% 정도인 고강도용 콘크리트가 온도상승 억제 효과 뿐만 아니라 조기재령에서의 강도도 비교적 잘 만족하였다.

(접수일자 : 1998.4.16)