

슬래그부산물을 자극제로 활용한 고효성 고로슬래그 미분말 모르타르의 압축강도 발현 특성

Properties of Compressive Strength of Mortar Based on High-activated Blast Furnace Slag using the Slag by-product as an Activator

이 보 경 김 규 용* 구 경 모 신 경 수

Lee, Bo-Kyeong Kim, Gyu-Yong* Koo, Kyung-Mo Shin, Kyoung-Su

Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-764, Korea

Abstract

Recently, many efforts related to the utilization of industrial by-products have been made to reduce carbon dioxide emissions in the construction industry. Of these various efforts, concrete incorporating ground granulated blast furnace slag (BFS) provides many advantages compared to conventional concrete, such as high long-term compressive strength, improved durability and economic benefits because of its latent hydraulic property, and low compressive strength at early curing age. This paper investigates the compressive strength of high-activated ground granulated blast furnace slag blended mortar with slag by-product S type(SBP-S). The results of the experiment revealed that incorporating high-activated ground granulated blast furnace slag would affect the compressive strength of mortar. It was found that increasing the Blaine fineness and replacement ratio of slag by-product S type shows high compressive strength of mortar at early curing age because of its high SiO₂ and CaO contents in the slag. It is confirmed that an increase of curing age does not affect the compressive strength of mortar made with slag by-product S type at a high curing temperature. Moreover, it is possible to develop and design concrete manufactured with high-activated ground granulated blast furnace slag as binder considering the acceleration curing conditions and mix proportions.

Keywords : high-activated ground granulated blast furnace slag, slag by-product, compressive strength

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 건설산업에 있어서 탄산가스 저감을 위한 많은 노력이 수행되고 있으며 이에 대한 일환으로 고로슬래그 미분말(ground granulated blast furnace slag, BFS) 및 플

라이에시(fly ash, FA) 등의 산업부산물을 다량 활용하고자 하는 기술개발을 위한 연구가 이루어지고 있다[1,2].

또한, KS F 4009 「레디믹스트 콘크리트」에서는 플라이에시와 실리카흄(silica fume, SF)과 함께 고로슬래그 미분말의 규격을 설정하여, 레디믹스트 콘크리트에 다양한 혼화재료 활용에 대해 명시해 두고 있다.

고로슬래그 미분말의 경우 잠재수경성에 기인하여 장기 강도는 우수하나 초기강도가 낮기 때문에 많은 양을 대체 하는데 한계가 있다. 그러나 고로슬래그 미분말을 고효성으로 제조한다면 낮은 초기강도를 보완할 수 있으며 보통 포틀랜드시멘트 대체율을 증대시킬 수 있기 때문에 건설산업에서의 탄산가스 저감 도모도 가능할 것으로 사료된다.

Received : September 23, 2013

Revision received : October 29, 2013

Accepted : December 3, 2013

* Corresponding author : Kim, Gyu-Yong

[Tel: 82-42-821-5623, E-mail : gyuyongkim@cnu.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

본 연구에서는 일반적으로 활용되고 있는 고로슬래그 미분말에 비해 활성도가 우수한 고로슬래그 미분말의 제조 가능성을 검토하고자 철강공정에서 발생하는 슬래그 부산물(slag by-product, SBP)을 활용함으로써 고효율성 고로슬래그 미분말을 시험 제조 후 고효율성 고로슬래그 미분말의 모르타르 압축강도 강도발현 특성을 검토하였다. 또한, 고효율성 고로슬래그 미분말 단독으로도 경화가 가능한 특징을 고려해서 2차 콘크리트 제품용 결합재로서 활용 가능성을 검토하고자 배합조건에 따른 콘크리트 제조 및 압축강도 발현특성을 검토하였다.

1.2 연구의 절차

Figure 1은 슬래그부산물을 자극제로 활용한 고효율성 고로슬래그 미분말 모르타르의 압축강도 발현특성에 관한 연구의 과정을 나타낸 것이다. 일반적으로 고로슬래그 미분말은 제조공정에서 석고(gypsum, CS)를 적당한 비율로 혼입하여 만들어진다. 본 연구에 사용된 고로슬래그 미분말은 석고를 첨가하지 않은 순수한 고로슬래그 미분말 형태인 [BFS]100에 무수석고를 5% 혼입한 일반적인 고로슬래그 미분말 형태로서 [BFS]95+CS5을 기본 결합재로 구성했다.

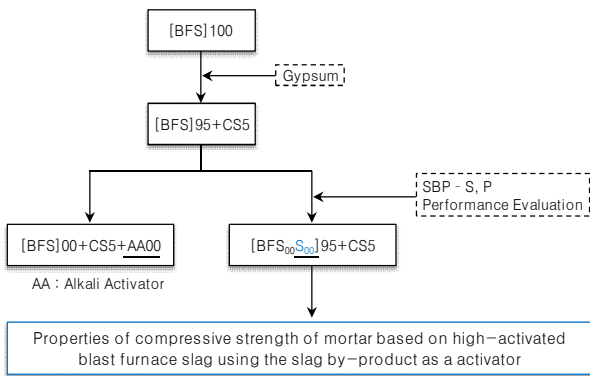


Figure 1. Process of the research

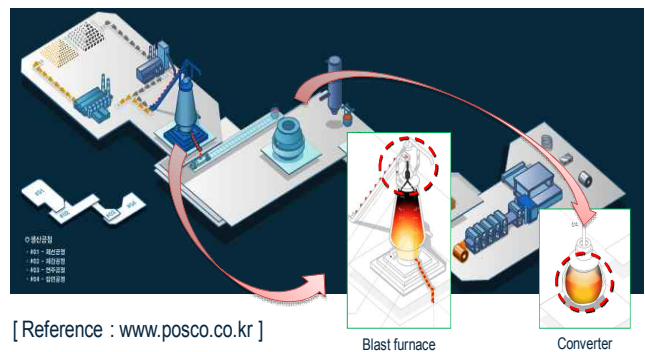
기존 연구에서는 [BFS]95+CS5에 알칼리 활성화제(alkali activator, AA)를 첨가한 [BFS]00+CS5+AA00의 결합재 구성으로 연구에 접근한 반면, 본 연구에서는 슬래그부산물이 고로슬래그 미분말과 공통적으로 철강제조과정 중에 발생하는 산업부산물이므로 화학조성이 보통포틀랜드시멘트와 유사한 점에 착안하여 이들 상호간에 반응성이 우수할 것으로 판단하였으며 이를 바탕으로

[BFS₀₀S/P₀₀]95+CS5의 결합재 구성으로 연구에 접근하였다.

2. 슬래그부산물의 기초성능 검토

2.1 슬래그부산물의 발생과정 및 수화 메커니즘

Figure 2는 철강공정 중 일괄제철공정을 나타낸 것이다. 본 연구에서 고효율성 고로슬래그 미분말을 제조하기 위해 고로슬래그 미분말의 자극제로 활용한 슬래그부산물은 철강공정 중 유해성분인 황(S), 인(P) 등을 쇳물에서 제거하기 위하여 별도의 예비처리 공정을 통해 발생하는 산업부산물이다. 이러한 슬래그부산물은 생성과정에 따라 S type, P type으로 분류된다. 슬래그부산물 S type은 제선공정에서 거친 쇳물 속에 함유되어 있는 황을 제거하기 위해 생석회 투입 후 황과 생석회의 반응에 의해 얻어지는 것으로, 발생이후 파쇄(Crushing), 자착(magnetic separation), 분쇄(milling)과정을 거쳐 미분말화 된 부산물이며 국내 발생량은 연간 약 30~40만 톤으로 추정되고 있다. 슬래그부산물 P-type은 철강공정 중 소결공정(철강원료로 철광석을 가공 및 소결하여 철광석의 품질을 일정하게 유지하는 공정) 중 발생하는 황을 제거하는 공정에서 분말형태로 발생하는 부산물이다.



[Reference : www.posco.co.kr]

Figure 2. Process of generation of slag by-product

일반적으로 고로슬래그 시멘트 콘크리트에서 고로슬래그 미분말은 포틀랜드시멘트의 C-S-H 수화물과 2차 반응생성물인 Ca(OH)₂의 자극에 의해 경화한다. 이와 같은 수화진행 메커니즘으로 인해 고로슬래그 미분말은 포틀랜드시멘트의 수화반응의 진행속도에 비해 지연되게 되고 경화체의 초기강도 지연을 가져오는 원인이 된다.

이러한 결과로 인해 고로슬래그 미분말의 수화반응을 촉진시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 고로슬래그 미분말의 수화반응을 촉진시키기 위해서는 알칼리나 황산염 등의 자극조건이 필수적이다[3].

Kim et al.[4]은 나트륨계열 알칼리 활성화제(alkali activator, AA)를 자극제로 활용하여 고로슬래그 미분말을 활용한 모르타르의 압축강도 발현 특성에 대한 연구를 진행하였으나 나트륨계열 알칼리 활성화제는 고가이므로 경제성 측면에서 불리하다. 또한, 높은 알칼리성 때문에 반응성 골재와 함께 사용될 경우 불안정한 광물성분으로 인해 알칼리-실리카 반응을 유발할 수 있으며, 급격한 반응성으로 인해 유동성 제어가 어려운 단점이 있다.

한편, 2차 반응생성물인 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 생성속도를 빠르게 하거나 인위적으로 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 투입한다면 고로슬래그 미분말의 경화속도를 빠르게 할 수 있다. 본 연구에서 고효율 고로슬래그 미분말을 제조하기 위해 활용한 슬래그부산물 중 S type은 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, SiO_2 , CaSO_4 등의 성분으로 구성되어 있다. 수화반응이 진행되면 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 Ca^{2+} , 2OH^- 로 해리되며 2OH^- 는 고로슬래그 미분말의 부동태 피막을 파괴한 후 내부의 Ca^{2+} , Si^{2+} , Al^{3+} 이온의 용출을 가속화하여 C-S-H 및 C-A-H 수화물의 생성을 촉진한다. 또한, CaSO_4 는 Ca^{2+} , SO_4^{2-} 로 서서히 해리되며 Ca^{2+} 는 다시 고로슬래그 미분말의 Si^{2+} , Al^{3+} 이온의 용출을 가속화하여 C-S-H 및 C-A-H 수화물의 생성을 촉진한다. SO_4^{2-} 는 에트링가이트(ettringite, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) 수화체 생성을 통해 장기강도 발현에 영향을 미친다.

2.2 슬래그부산물 종류에 따른 압축강도 검토

Table 1은 슬래그부산물의 종류에 따른 압축강도 검토를 위한 실험계획을 나타낸 것으로 고효율 고로슬래그 미분말 결합재 구성 비율을 고로슬래그 미분말 70%, 슬래그부산물은 S, P type을 각각 30%로 설정하였다.

Figure 3은 슬래그부산물 종류에 따른 모르타르의 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 슬래그부산물 S type을 사용한 모르타르의 압축강도는 일반적인 고로슬래그 미분말을 사용한 모르타르에 비해 본 실험 범위의 모든 재령에서 압축강도가 향상되었으며 특히 슬래그부산물 P type을 사용한 모르타르에 비해 재령 3일의 압축강도가 크게 향상되었다. 이는 Table 2에 나타난 바와 같이 슬래그부산물 S, P type의 SiO_2 , CaO 의 함유량 차이 때문인

것으로 판단된다.

Table 1. Experimental plan according to the type of SBP

| Specimens | W/B (%) | B:S | Binder (wt.%) | | | |
|--|---------|-----|-------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| | | | BFS ¹⁾ | SBP | | CS ⁴⁾ |
| | | | | SBP-S ²⁾ | SBP-P ³⁾ | |
| [BFS ₇₀ S ₃₀]95+CS5 | | | 66.5 | 28.5 | - | 5.0 |
| [BFS ₇₀ P ₃₀]95+CS5 | 50 | 1:3 | 66.5 | - | 28.5 | 5.0 |
| [BFS]95+CS5 | | | 95.0 | - | - | 5.0 |

- 1) BFS : ground granulated blast furnace slag
- 2) SBP-S : slag by-product S type
- 3) SBP-P : slag by-product P type
- 4) CS : gypsum

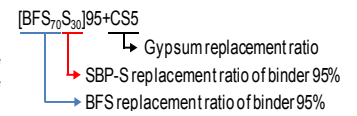


Table 2. Physical · chemical properties of SBP

| Materials | Density (g/cm ³) | Blaine (cm ² /g) | Chemical composition (%) | | | | | | |
|-----------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|-----------------|
| | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | SO ₃ |
| SBP-S | 2.83 | 2,000 | 15.35 | 1.21 | 2.40 | 69.71 | 1.52 | 0.10 | 4.20 |
| SBP-P | 2.20 | 5,000 | 3.52 | 1.13 | 1.13 | 37.42 | 2.47 | 25.96 | 22.78 |

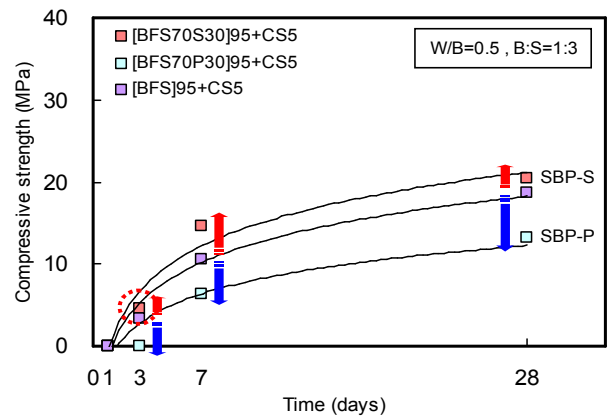


Figure 3. Compressive strength of the mortar according to the type of SBP

이에 따라 슬래그부산물 S type이 P type 보다 고로슬래그 미분말을 사용한 결합재와 더 우수한 반응성을 나타내는 것으로 판단되며 본 실험에서는 슬래그부산물 S type을 사용하여 실험을 진행하였다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

Table 3, 4는 슬래그부산물을 자극제로 활용한 고효율성 고로슬래그 미분말 모르타르의 압축강도 발현 특성을 검토하기 위한 실험계획 및 모르타르 배합을 나타낸 것이다.

Table 3. Experimental plan

| Series | Experimental variables | Experimental level |
|--------|--------------------------------------|--|
| I | Blaine of SBP-S (cm ² /g) | 2,000 , 4,000 |
| | Replacement ratio of SBP-S (%) | [BFS ₀₀ S ₀₀]95+CS5 └ 30, 20, 10 |
| | Curing conditions | Standard High-temperature |
| II | High-temperature period (days) | 1, 3, 7, 28 |
| III | W/B (%) | 50, 40, 30, 20 |
| | Curing conditions | High-temperature |

※ Test item : Compressive strength

Table 4. Mortar mix

| Series | Specimens | W/B (%) | B:S | Binder (wt.%) | | |
|--------|--|---------|-----|---------------|-------|-----|
| | | | | BFS | SBP-S | CS |
| I | [BFS ₇₀ S ₃₀]95+CS5 | 50 | 1:3 | 66.5 | 28.5 | 5.0 |
| | [BFS ₈₀ S ₂₀]95+CS5 | | | 76.0 | 19.0 | |
| | [BFS ₉₀ S ₁₀]95+CS5 | | | 85.5 | 9.5 | |
| | [BFS]95+CS5 | | | 95.0 | - | |
| II | [BFS ₇₀ S ₃₀]95+CS5 | 50 | 1:3 | 66.5 | 28.5 | 5.0 |
| | | 50 | | | | |
| III | [BFS ₇₀ S ₃₀]95+CS5 | 40 | 1:3 | 66.5 | 28.5 | 5.0 |
| | | 30 | | | | |
| | | 20 | | | | |

Series I에서는 슬래그부산물 S type의 분말도 및 치환율, 양생조건을 변수로 설정하였다. 슬래그부산물 S type의 분말도는 2,000, 4,000 cm²/g을 사용하였으며 치환율은 슬래그 결합재의 10, 20, 30%로 설정하였다. 또한, KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험 방법」에 준하여 W/B는 50%, B:S는 1:3으로 설정하였다. 비교분으로 일반적인 고로슬래그 미분말 형태인 [BFS]95+CS5를 설정하였다.

Series II에서는 Series I의 실험결과를 바탕으로 최적 배합을 선정한 후 1, 3, 7, 28일 동안의 고온양생 기간을 변수로 설정하여 고로슬래그 미분말의 양생온도 조건에 대한 영향을 검토하였다. Series III에서는 Series II의 실험결과를 바탕으로 1일 고온양생 기간에 따른 물-결합재비(W/B)를 변수로 설정하였다.

3.2 사용재료

Table 5, 6은 사용재료의 물리·화학적 성질을 나타낸 것이다. 본 실험에서 사용된 고로슬래그 미분말은 KS F 2563 「콘크리트용 고로슬래그 미분말」의 3종의 규정을 만족시키면서 석고가 포함되지 않은 순수한 고로슬래그 미분말을 사용하였으며 밀도는 2.91 g/cm³, 분말도는 4,500 cm²/g이다. 슬래그부산물 S type의 밀도는 분말도 2,000 cm²/g의 경우 2.83 g/cm³, 4,000 cm²/g의 경우 2.91 g/cm³이며 화학성분 중 CaO 성분을 다량 함유하고 있는 특징이 있다. 석고는 무수석고를 사용하였으며 밀도는 2.90 g/cm³, 분말도는 3,550 cm²/g이다. 잔골재는 KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험 방법」에 준하여 ISO 표준사를 사용하였으며 밀도는 2.50 g/cm³이며 흡수율은 1%이다.

Table 5. Physical properties of materials

| Materials | Physical properties |
|-----------|--|
| BFS | Density : 2.91 g/cm ³ , Blaine : 4,500 cm ² /g |
| SBP-S | Density : 2.83 g/cm ³ , Blaine : 2,000 cm ² /g |
| | Density : 2.91 g/cm ³ , Blaine : 4,000 cm ² /g |
| CS | Density : 2.90 g/cm ³ , Blaine : 3,550 cm ² /g |
| S | ISO standard sand, Density : 2.50 g/cm ³ , Water absorption : 1% |

Table 6. Chemical properties of materials

| Materials | Chemical composition (%) | | | | | | | |
|-----------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|-----------------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | SO ₃ |
| BFS | 32.75 | 15.61 | 0.50 | 43.51 | 4.41 | 0.25 | 0.49 | 0.04 |
| SBP-S | 15.35 | 1.21 | 2.40 | 69.71 | 1.52 | 0.10 | - | 4.20 |
| CS | 0.73 | 0.17 | 0.16 | 41.57 | - | 0.02 | 0.03 | 55.50 |

3.3 실험방법

비빔은 모르타르용 믹서를 사용하여 KS L 5109 「수경성 시멘트 페이스트 및 모르타르의 기계적 혼합 방법」에 준하여 실시하였다. 믹서 용기에 물을 붓고 결합재를 투입하여 저속으로 믹서를 30초 동안 작동 시킨 후 30초에 걸쳐 잔골재를 지속적으로 고르게 넣은 뒤 고속으로 30초 동안 혼합하였다. 그 후, 90초 동안 믹서를 멈추고 고무 스크레이퍼로 용기의 바닥과 벽에 부착된 모든 모르타르를 떼어내어 용기의 중간으로 모은 후에 고속으로 60초 동안 혼합하였다. 또한, 압축강도 평가용 공시체는 KS L

5105 「수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법」에 준하여 40×40×160 mm의 공시체를 각 재령별로 3개씩 제작하였으며, 제작된 공시체는 모르타르용 다짐 진동기(vibrating table)를 사용하여 기계다짐을 실시하였다. 각 Series별 양생조건은 Figure 4에 고온양생에 대한 온도이력분포는 Figure 5에 나타내었다. 고온양생의 경우 전치시간 4시간, 상승온도시간 3시간, 최고온도 유지시간 5, 29, 149, 653시간, 하강온도시간 4시간으로 설정하였다. 압축강도 측정은 KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험 방법」에 준하여 실시하였다. 시험체는 표면건조상태가 되도록 물기를 닦고 이물질을 제거한 후에 모르타르용 전용 지그를 이용하여 측정하였으며 측정 장치는 2000kN 용량의 U.T.M(Universal Testing Machine)을 사용하였다.

| Series | Sign | Curing conditions (days) |
|--------|------|--------------------------|
| I | S | 1~28 |
| | H1 | 1 2~28 |
| II | S | 1~28 |
| | H1 | 1 2~28 |
| | H3 | 1~3 4~28 |
| | H7 | 1~7 8~28 |
| | H28 | 1~28 |
| III | H1 | 1 2~28 |

■ High-temperature curing(60℃) ■ Standard curing(20℃)

Figure 4. Curing conditions of the specimens

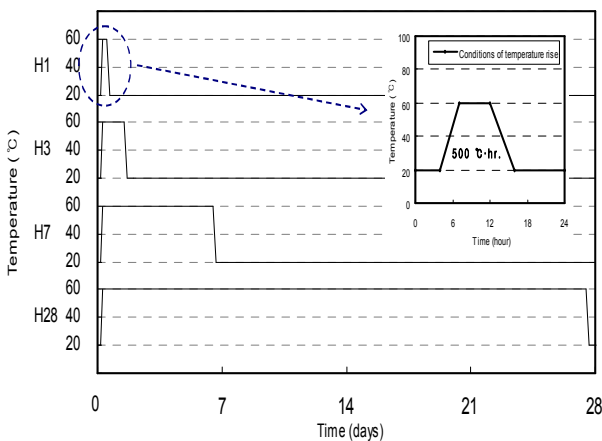
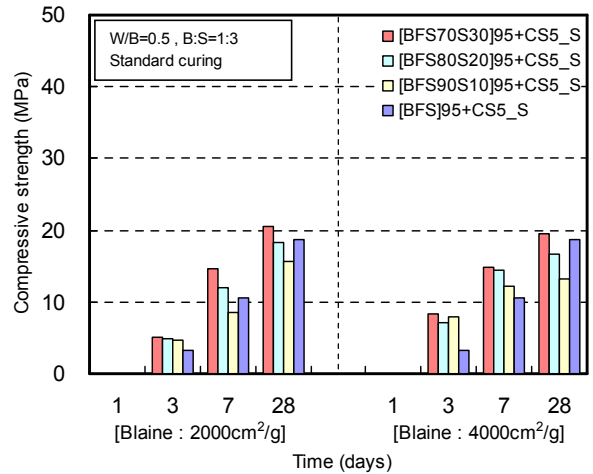


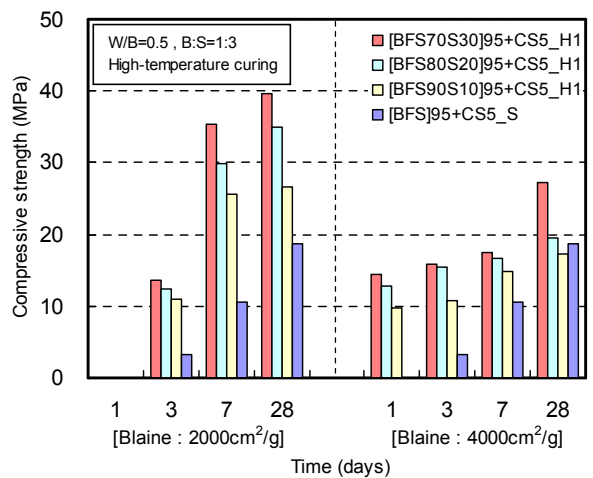
Figure 5. Conditions of temperature rise in the high-temperature curing

4. 실험결과 및 고찰

4.1 슬래그부산물 S type의 분말도 및 치환율에 따른 양생조건별 압축강도 측정결과



(a) Standard curing

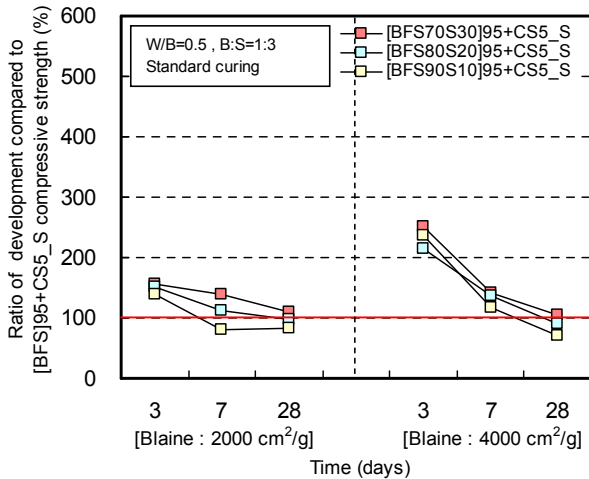


(b) High-temperature curing

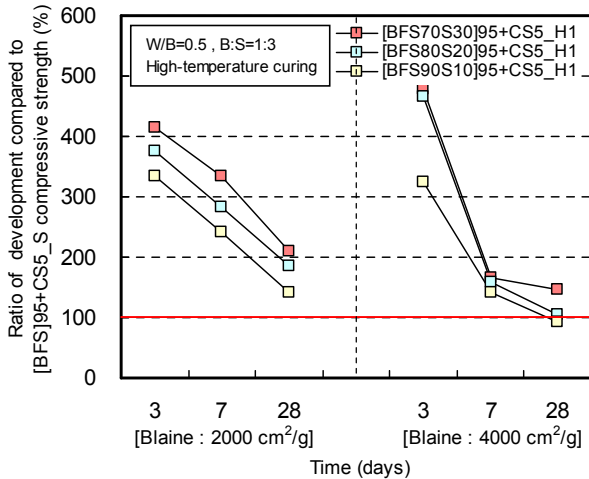
Figure 6. Compressive strength of the mortar according to Blaine fineness and replacement ratio of SBP-S

Figure 6은 슬래그부산물 S type의 분말도 및 치환율에 따른 양생조건별 모르타르의 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 표준양생 조건에서는 슬래그부산물 S type 분말도 4,000 cm²/g을 결합재로 사용한 시험체가 2,000 cm²/g 보다 재령 3일의 압축강도가 향상되었으며 재령 28일에는 다소 낮은 압축강도를 나타내었다. 고온양생 조건에서는 재령 1일에서 슬래그부산물 S type의 분말도

4,000 cm²/g을 사용한 결합재의 압축강도가 9.72~14.35 MPa로 측정되어 압축강도 발현 상승을 확인하였다. 그러나 재령 28일에는 슬래그부산물 S type의 분말도 2,000 cm²/g을 결합재로 사용한 시험체의 압축강도가 26.63~39.57 MPa로 측정되어 압축강도 발현 상승이 가장 큰 것으로 나타났다.



(a) Standard curing



(b) High-temperature curing

Figure 7. Ratio of compressive strength compared to [BFS]95+CS5_S

전체적으로 슬래그부산물 S type의 치환율이 증가할수록 압축강도가 큰 경향을 확인하였으며 이러한 결과를 바탕으로 슬래그부산물 S type의 분말도 4,000 cm²/g을 사용한 결합재가 분말도 2,000 cm²/g 보다 표준양생 조건에서는 재령초기의 압축강도 발현이 우수하나 재령이 지

남에 따라 압축강도가 큰 차이를 보이지 않았다. 고온양생 조건에서는 재령초기 압축강도 발현이 우수하나 재령 28일에는 상대적으로 압축강도가 낮아지는 경향을 보였다.

Figure 7은 표준양생 조건에서의 [BFS]95+CS5 시험체 대비 압축강도 발현율을 나타낸 것이다. 표준양생 조건에서는 슬래그부산물 S type의 분말도 4,000 cm²/g을 사용한 결합재가 재령 3일에 가장 큰 압축강도 발현율을 나타냈다. 고온양생 조건에서는 전체적으로 압축강도 발현율이 상승하였으나 표준양생 조건과 동일하게 슬래그부산물 S type의 분말도 4,000 cm²/g을 사용한 결합재가 재령 3일에 가장 큰 압축강도 발현율을 나타내었다. 또한, 양생조건에 관계없이 슬래그부산물 S type의 치환율이 증가할수록 압축강도 발현율이 큰 경향을 확인하였다.

이를 통해 본 실험수준에서는 슬래그부산물 S type의 분말도 4,000 cm²/g을 사용한 [BFS₇₀S₃₀]95+CS5 시험체가 가장 우수한 압축강도 발현율을 나타내었다.

4.2 고온양생 기간에 따른 압축강도 측정결과

Figure 7은 슬래그부산물 S type의 분말도 4,000 cm²/g을 사용한 [BFS₇₀S₃₀]95+CS5 시험체의 고온양생 기간에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 고온양생 기간이 늘어날수록 압축강도가 향상되었으며 재령 28일 압축강도는 27.23~28.53 MPa 으로 측정되어 고온양생 기간이 늘어나더라도 재령 28일의 압축강도는 큰 차이가 없는 것을 확인했다.

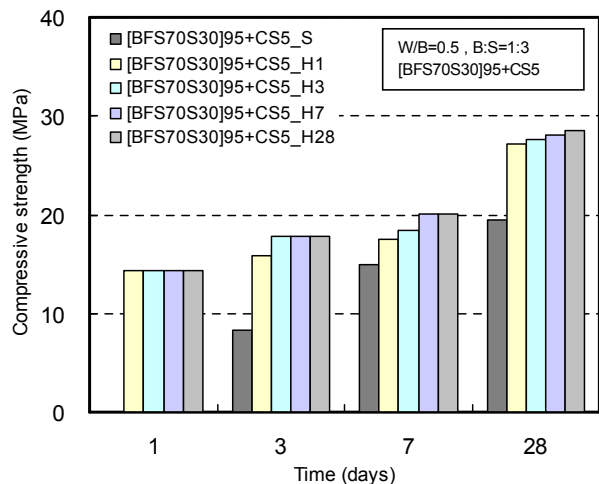


Figure 7. Compressive strength of the mortar according to high-temperature period

Figure 8은 고온양생 기간에 따른 배합별 재령 28일 압축강도 대비 재령 1, 3, 7, 28일의 압축강도 발현율을 나타낸 것이다. 고온양생을 실시한 경우 모든 수준에서 재령 1일의 압축강도 발현율이 50.30~52.70%로 측정되어 재령 3, 7, 28일의 압축강도 발현율 보다 큰 경향을 나타내었다. 따라서 고온양생 기간이 길어지더라도 압축강도 발현율에는 큰 영향을 미치지 않으며 1일 고온양생 만으로도 소정의 압축강도 발현에 문제가 없는 것으로 판단된다.

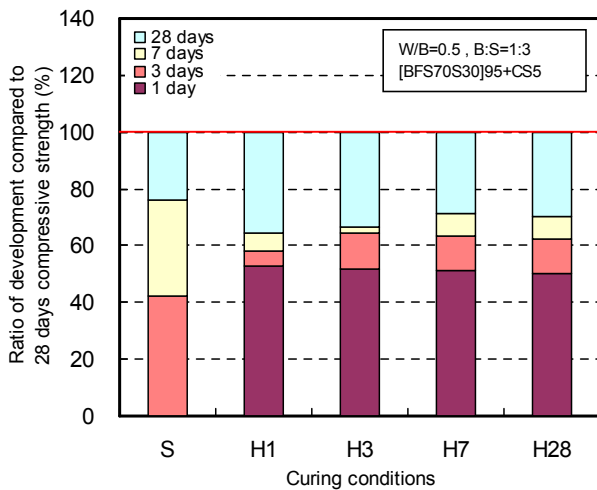


Figure 8. Ratio of compressive strength of specimens compared to 28 days according to high-temperature period

4.3 물-결합재비(W/B)에 따른 압축강도 측정결과

슬래그부산물 S type을 자극제로 활용한 고효성 고로슬래그 미분말은 단독으로도 경화가 가능하지만 소요의 강도를 얻기 위해서는 1일 고온양생이 필수적인 것으로 판단된다. 이러한 특징으로 인해 고효성 고로슬래그 미분말을 콘크리트 2차 제품용 결합재로서 활용 가능성을 검토하고자 배합조건에 따른 압축강도 발현 특성을 검토하였다.

Figure 9는 Series I, II의 결과를 바탕으로 1일 고온양생 한 [BFS₇₀S₃₀]95+CS5 배합의 물-결합재비(W/B)에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 물-결합재비(W/B) 30, 20%의 재령 28일 압축강도는 각각 43.16, 59.68 MPa로 측정되었으며 물-결합재비(W/B)가 낮아질수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 콘크리트 2차 제품은 출하 시에 소요 강도를

얻을 수 있도록 500°C · hr.(양생온도×양생시간)를 표준으로 양생하여야 하며 또한, 물/결합재비(W/B)는 35%이하로 규정하고 있기 때문에 이를 고려하면 슬래그부산물을 자극제로 활용한 고효성 고로슬래그 미분말을 콘크리트 2차 제품용 결합재로서 활용 가능할 것으로 사료된다.

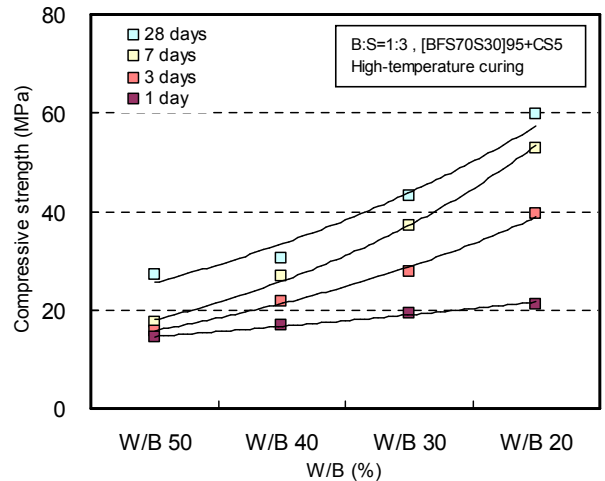


Figure 9. Compressive strength of the mortar according to W/B of [BFS₇₀S₃₀]95+CS5_H1

5. 결 론

본 연구에서는, 슬래그부산물 S type을 자극제로 활용하여 고효성 고로슬래그 미분말 모르타르를 제조 후에 시험변수에 따른 압축강도 발현 특성을 분석 하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 슬래그부산물 S type은 화학조성이 보통포틀랜드시멘트와 유사하고 SiO₂와 CaO의 함유량이 높기 때문에 고로슬래그 미분말과의 수화반응이 촉진된 것으로 판단된다.
- 2) 슬래그부산물 S type의 치환율 및 분말도가 증가함에 따라 고온양생 조건에서 재령초기 압축강도가 향상되었다. 이에 따라 고로슬래그 미분말과 슬래그부산물의 반응 상관성이 향상된 것으로 판단되며, 슬래그부산물 S type의 화학성분에 기인해 고로슬래그 미분말의 수화반응이 촉진된 것으로 사료된다.
- 3) 슬래그부산물 S type을 자극제로 활용한 고효성 고로슬래그 미분말 모르타르 결합재의 경우 고온양생 기간이 길어지더라도 압축강도 발현율은 큰 차이를

보이지 않고 1일 고온양생 만으로도 압축강도 발현율이 크게 상승하기 때문에 재령초기의 양생온도 조건이 고효성 고로슬래그 미분말 결합재의 압축강도 발현에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

- 4) 양생 및 배합 조건을 고려할 경우 고효성 고로슬래그 미분말 결합재가 단독으로도 경화가 가능하기 때문에 콘크리트 2차 제품용 결합재로서 활용 가능할 것으로 사료된다.

요 약

건설산업에서는 탄산가스 저감을 위해 산업부산물을 다량 활용하는 기술개발을 위한 연구가 이루어지고 있다. 산업부산물 중 특히 고로슬래그 미분말은 잠재수경성에 기인하여 장기강도는 우수하나 초기강도가 낮기 때문에 많은 양을 대체하는데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 철강공정 중 용선예비처리 공정에서 발생하는 슬래그부산물을 활용하여 고효성 고로슬래그 미분말을 시험 제조 후 고효성 고로슬래그 미분말의 모르타르 압축강도 강도 발현 특성을 검토하였다. 또한, 고효성 고로슬래그 미분말 단독으로도 경화가 가능한 특징을 고려해서 2차 콘크리트 제품용 결합재로서 활용 가능성을 검토하고자 배합 조건에 따른 콘크리트 제조 및 압축강도 발현특성을 검토하였다. 실험변수로서 슬래그부산물의 분말도, 치환율, 양생조건 및 W/B를 설정하였다. 그 결과 슬래그부산물을 자극제로 활용한 고효성 고로슬래그 미분말 모르타르의 압축강도 향상을 확인하였으며 고효성 고로슬래그 미분말이 단독으로도 경화가 가능하기 때문에 양생 및 배합조건을 고려하면 고효성 고로슬래그 미분말을 콘크리트 2차 제품용 결합재로서 활용 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 고효성 고로슬래그 미분말, 슬래그부산물, 압축강도

Acknowledgement

This research was financially supported by the Ministry of Education, Science Technology (MEST) and National Research Foundation of Korea (NRF)

through the Human Resource Training Project for Regional Innovation (2012H1B8A2025606).

References

1. Ferraris CF, Olla KH, Hill R, The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete, *Cement and Concrete Research*, 2001 Feb;31(2):245-55.
2. Chan WWJ, Wu CML, Durability of concrete with high cement replacement, *Cement and Concrete Research*, 2000 Jun;30(6):865-79.
3. Shi C, Day R, A calorimetric study of early hydration of alkali-slag cements, *Cement and Concrete Research*, 1995 Aug;25(6):1333-46.
4. Kim GW, Kim BJ, Yang KH, Song JK, Strength development of blended sodium alkali-activated ground granulated blast-furnace slag (GGBS) mortar, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2012 Apr;24(2):137-45.