

산업부산물의 혼입에 따른 콘크리트 특성의 실험적 연구

An Experimental Study On the Properties blended with industrial by products Using Mineral Admixture

Dongbaek Kim^{a,*}, Kyeongbae Jun^{b,2}

^a Department of Civil Engineering, Hankyong National University, 327 Chungang-no Anseong-si, Kyonggi-do, 456-749, Republic of Korea

^b Department of Civil Engineering, Hankyong National University, 327 Chungang-no Anseong-si, Kyonggi-do, 456-749, Republic of Korea

ABSTRACT

Recently environmental pollution is serious and therefore, This study aims at reviewing individual mixing ratio and engineering characteristics of concrete due to mixture and mixing using fine powder and fly ash of blast furnace slag having effect on aspects of environmental preservation and resources recycling and performance increase of the concrete, and verifying possibility of application in the field. Test results are as follows: 1)As mixing quantity of the admixture has increased, performance of the slump has been improved, 2)As mixing quantity of the admixture has increased, there is a trend of delayed ending time, 3)As mixing quantity of admixture has increased, it has showed lower strength at short time age, however, as the age has elapsed and mixing quantity has increased, strength improvement has increased and the admixture has effect on the long term age. In this study, the characteristics and critical value of concrete contained blast furnace slag and fly ash are defined, and will be examined about the field applications.

KEYWORDS

environmental
pollu - tion
residual product
fly ash
slump
strength at short
term age
strength
improvement

최근 세계적으로 환경오염이 심각해짐에 따라 환경보호의 일환으로 자원 재활용과 관련하여 시멘트의 대체 재료로서 산업부산물에 대한 관심이 높아졌으며, 특히 최근 경제성, 치수 안정성 및 신뢰성이 우수한 고품질의 콘크리트 개발이 크게 요구되고 있는데 이를 증명하기 위한 실험을 수행한 결과는 다음과 같다. (1) 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬 같은 혼화재를 혼합하여 사용할 경우 유동성이 개선되고 수화열 감소하는 효과가 있다. (2) 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬 같은 혼화재의 량을 증가하면 장기강도 증진되고 건조수축이 감소한다, (3) 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬 같은 혼화재의 혼입량을 증가시키면 수밀성 및 내구성 향상 등에 효과가 있는 것으로 나타나고 있다. 본 연구에서는 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬의 각각의 치환율과 혼입에 따른 콘크리트의 공학적 특성 및 혼입량의 임계치를 추정하고 현장 적용가능성을 검증하는데 목적이 있다.

환경오염
산업부산물
플라이 애쉬
작업성
단기강도
강도증진

© 2014 Koea Society of Diaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-031-670-5143. Fax. 82-31-678-4674.
Email. dbkim@hknu.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Recieved Jun. 09, 2014
Revised Jun. 10, 2014
Accepted Jun. 27, 2014

1. 서론

최근 환경 보전적인 측면과 내구성 향상의 측면에서, 콘크리트 제조 시 고로슬래그 미분말과 플라이 애쉬를 사용한 콘크리트의 연구가 많이 수행되고 있다. 실리카 흙을 사용한 시멘트콘크리트 포장의 역학적, 물리적 평가의 연구에서 내염성이 우수하다고 확인되었고, 플라이애쉬 콘크리트의 내구성은, 플라이애쉬의 혼입율이 증가할수록 향상되는 것으로 보고하고 있으며[1], 플라이애쉬 또는 고로슬래그를 각각 다량으로 혼입한 콘크리트의 초기강도는 혼입율 및 분말도에 따른 성능 차이를 확인[[2]하였다.

국내외 연구 동향을 분석해 보면 배합설계를 통한 혼입율 변화와 추가적인 혼화제 및 혼화제를 혼입함으로써 콘크리트의 성능을 향상시키고자 함을 확인 (靑沼 외 3인, 2006, 三谷 裕二 외 4인, 2007)할 수 있었다. 그러나 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 단독혼입 또는 혼합혼입 할 때의 최적 혼입비율, 콘크리트의 성능 등에 대한 추가적인 자료가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 기존 연구결과를 참고(Gonen, T.and Yazicioglu, 2007)로 하여 콘크리트의 성능을 향상시킬 수 있는 혼입의 적정비율을 현장에 적용하기 위한 기초자료로 제시하고자 한다.

2. 고로슬래그 콘크리트의 특성

2.1 워커빌리티 및 공기량

고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트는 OPC 보다 워커빌리티가 좋아진다. 특히, 고로슬래그의 분말도가 크고, 혼입율이 클수록 양호해지는 경향이 있다. 또한, 고로슬래그의 분말도와 혼입율이 증가함에 따라 공기량은 증가하며, 혼화제의 종류 및 콘크리트 타설 시의 온도에 따라라도 변화되기 때문에 현장과 유사한 조건에서 실험을 하고 배합을 결정해야 한다.

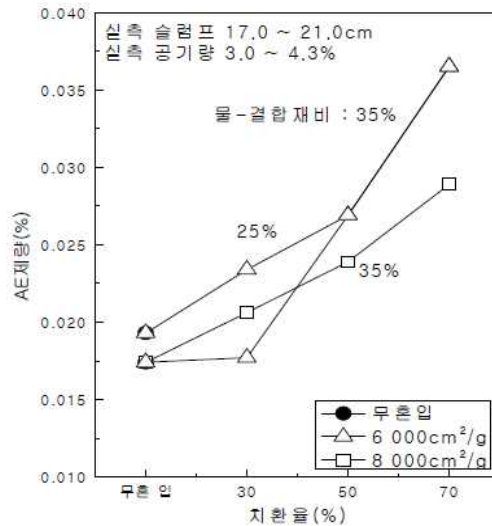


Fig. 1. Relationship between AE and slag

2.2 수화기구 및 단열온도 상승량

고로슬래그의 혼입율이 30%까지는 수화열의 저감효과가 작고, 재령 7일의 수화열은 분말도에 비례하여 커지지만 재령 28일에서는 분말도에 크게 영향을 받지 않으며, 콘크리트의 단열온도는 수화초기에는 혼입율의 증가에 따라 상승량이 작아지나, 장기에는 단열온도상승에 의하여 수화환경이 고온이 되므로 고로슬래그의 수화반응은 급속히 진행된다. 혼입율 50%까지는 단열온도 상승량이 증가하게 되며, 혼입율이 70%가 되면 단열온도 상승량이 작아진다. 시멘트의 수화열은 C3S와 C3A의 반응하는 초기수화단계에서 발생되며 콘크리트의 초기강도 발현과 용적변화에 중요한 영향을 미치는데, 수화속도와 온도상승 속도는 플라이애쉬를 혼입하면 감소시킬 수 있다.

또한, 분말도가 8000cm³/g인 것이 6000cm³/g인 것보다 단열온도 상승량이 작은 경향이 있는데, 분말도가 너무 커지면 고온에서 수화생성물 층이 클링커의 수화를 억제하기 때문이다. 고로슬래그는 물과 접하는 것만으로 수화반응을 개시할 수 없는 잠재 수경성 물질이다. 즉, 고로슬래그는 물과 접촉하게 되면 표면에 치밀한 불투수성 겔(Gel) 박막이 형성됨으로써 즉각적인 반응은 일어나지 못하지만, 알칼리(Ca(OH)₂, KOH, NaOH)나 황산염(CaSO₄)등의 자극을 받아서 박막이 파괴되고, 이온의 용출과 불용성의 물질이 석출되면서 경화되기 시작하는 잠재수경수화 기구를 이룬다. 장기적으로는 슬래그 질량의 약 10%에 해당하는 Ca(OH)₂과 결합하게 되므로, 약 25%의 Ca(OH)₂을 생성하는 포틀랜드시멘트는 고로슬래그 미분말을 시멘트의 75%까지 혼입하여도 그 전량을 활성화시킬 수 있다.

2.3 압축강도의 특성

분말도가 보통인(4,200cm³/g) 고로슬래그를 혼입한 콘크리트의 초기강도는 OPC에 비해 작으며, 이 경향은 혼입율이 클수록, 물시멘트비가 작아질수록 현저해진다. 고품질의 고로슬래그(분말도 5,200cm³/g)에서는 재령 7일의 활성도가 90% 이상이며, 혼입율 30~60%의 범위에서는 재령 7일의 콘크리트 강도가 포틀랜드시멘트의 강도를 상회하고 있고, 분말도가 클수록 재령 3일, 7일의 초기강도 및 28일 강도의 개선이 현저하게 나타난다. 활성도란 고로슬래그의 혼입율을 50%로 한 결합재의 모르타 강도와 보통포틀랜드시멘트의 모르타 강도에 대한 백분율 의미하며, 고로슬래그 미분말의 강도발현성을 평가하는 자료로 사용한다.

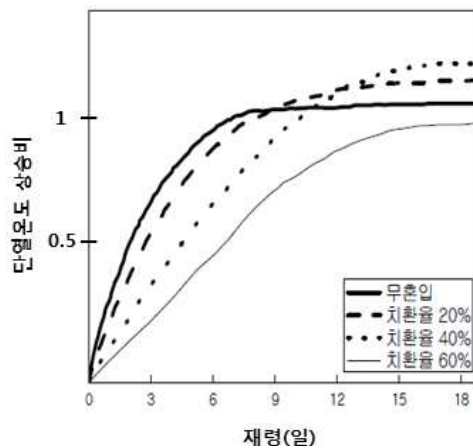


Fig 2 Concept of adiabatic temperature rising

3. 플라이애쉬 콘크리트의 특성

3.1 기본특성

플라이애쉬는 입자가 구형이므로 골재와의 접촉면에서 불베어링의 작용을 하여 펌프라인의 마찰을 감소시킴으로써 워커빌리티와 펌프빌리티를 증가시키고 재료의 분리를 막아준다.

플라이애쉬 미분말의 증가는 콘크리트 내부에서의 수분의 이동을 감소시켜 워커빌리티 확보에 필요한 소요의 수량을 줄임으로써 블리딩을 억제하고, 재료분리에 대한 저항성을 증가시킬 수 있다. 또, 플라이애쉬는 콘크리트의 응결시간을 다소 지연시키는데, 분말도와 화학조성에 기인하는 것으로 알려져 있다. 이는 플라이애쉬의 미연탄소함량이 높을수록 시멘트의 수화에서 생성된 Ca(OH)₂의 농도가 더욱 낮아져 C3S의 수화반응을 억제하기 때문이다.

3.2 압축강도특성

플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 재령에 따른 강도와 강도발현속도는 주로 플라이애쉬 혼입율의 영향을 받으며, 휨강도의 개선 효과가 있다는 보고가 있으나, 플라이애쉬 사용에 따른 압축강도와 인장강도 사이의 특별한 상관성은 존재하

지 않는다. 종류가 다른 시멘트의 일부를 Class F 플라이애쉬로 대체한 콘크리트의 재령에 따른 강도변화는 28일 이전의 강도가 OPC에 비해 낮은 것을 보여준다.

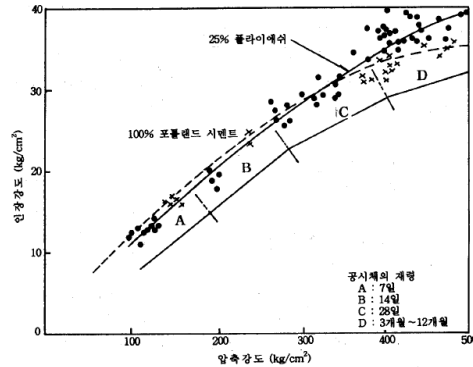


Fig3. Relationship for compressive and tension Strength of FA concrete

4. 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 실험 결과

4.1 슬럼프 및 공기량 결과

혼화재의 혼입율에 따른 유동특성을 검토하고자 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬 혼입율을 각각 다르게 하여 슬럼프 및 공기량 실험을 실시한 결과, 혼화재 종류 및 혼입율에 상관없이 목표 슬럼프와 공기량을 만족하는 것으로 나타났으며, 또한 혼화재를 혼입한 배합에서 유동성이 향상되는 것으로 확인할 수 있었다. 이는 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬의 불베어링효과와 같은 작용으로 성능이 향상된 것으로 사료된다.

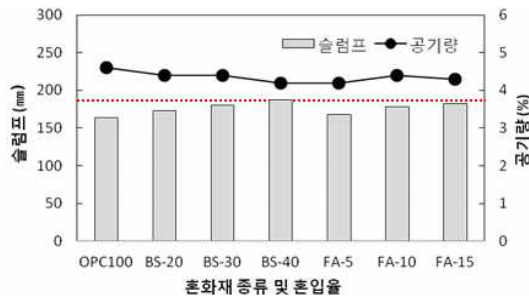


Fig. 4. Plastic character of additive type

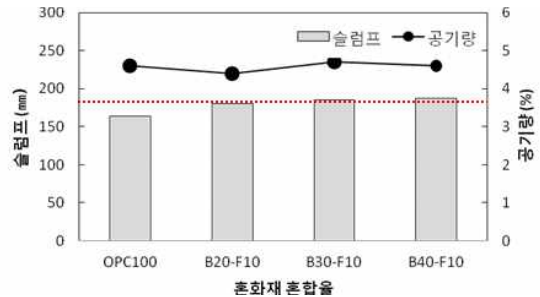


Fig. 5. Plastic character of additive mixing

혼화재를 혼입한 배합이 OPC만 사용한 배합보다 슬럼프가 증가하는 것으로 나타났으며, 고로슬래그 미분말의 혼입율이 높아질수록 그 성능은 향상되는 것으로 나타났는데, 플라이애쉬를 혼입한 실험도 비슷한 결과를 나타내었다. 또한 공기량에서도 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났으나, OPC만 사용한 배합보다 미소하지만 낮은 공기량 특성을 보였다. 이는 미연소탄의 AE제 흡착작용등 공기포가 소멸하는 현상으로 공기량이 미소하지만 낮아지는 경향을 나타낸 것으로 사료된다.

혼합혼입한 경우, 플라이애쉬의 혼입율을 고정하고 고로슬래그 미분말의 혼입율을 증가한 경우는 고로슬래그 미분말의 혼입율이 증가함에 슬럼프의 변화는 미소하지만 증가하는 것으로 나타났으며, 목표 슬럼프를 만족하는 것으로 나타났다.

4.2 응결경화 결과

혼화재의 혼입율에 따라 응결시간이 증가하는 경향을 나타냈으며, 고로슬래그 미분말보다 플라이애쉬 배합에서 미소하지만 그 경향이 크게 나타났으며, 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬의 혼입율이 증가할수록 응결시간이 지연되는 경향을

보였다. 이는 포졸란 반응과 잠재수경성 반응물질로 초기경화에서 응결시간 촉진에 기여하지 못한 것으로 사료되며, 보통 배합보다 시멘트량이 감소된 것이 응결시간에 영향을 준 것으로 사료된다.

Table 2 Setting time for test specimens

배합기호	초결(hr)	종결(hr)
OPC	7	8.5
BS-20	7.5	10
BS-30	8	11
BS-40	8.5	11
FA-5	8	11
FA-10	8	11.5
FA-15	8.5	11.5
B20-F10	8.5	11
B30-F10	8.5	11.5
B40-F10	9	11

4.3 혼입율과 강도

혼화재 혼입량이 증가함에 따라 초기재령의 압축강도가 낮게 나타났으며, 재령이 경과함에 재령 28일 이후 보통배합과 유사하거나 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 혼입율이 증가할수록 크게 나타났다.

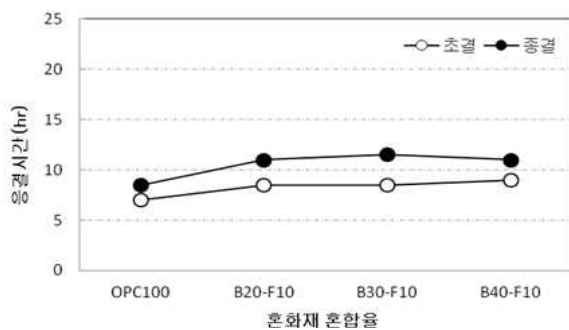


Fig. 7. Setting time character of mixing ratio

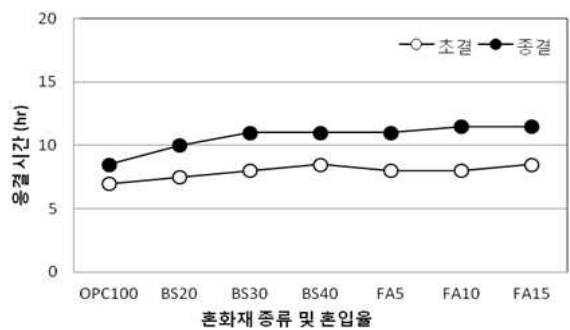


Fig. 6. Setting time character of additive type

혼화재를 혼합한 배합에서도 혼화재를 단독으로 사용한 배합과 큰 차이는 없으나, 증가폭이 약간 커지는 경향을 나타내었다. 혼화재의 혼입이 콘크리트 초기강도와 장기강도 발현에 큰 영향을 주는것을 확인할 수 있었고, 혼화재의 종류 및 혼입율에 상관없이 인장강도는 압축강도 결과 값의 약 10%정도의 범위를 나타냈다. 이는 기존 문헌 등 자료에 의한 결과와 비슷한 경향을 보였다. 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬 각각 혼입율이 증가할수록 미소하지만 감소하는 경향을 나타냈으며, 혼합사용 배합에서도 비슷한 특성을 나타내었다.

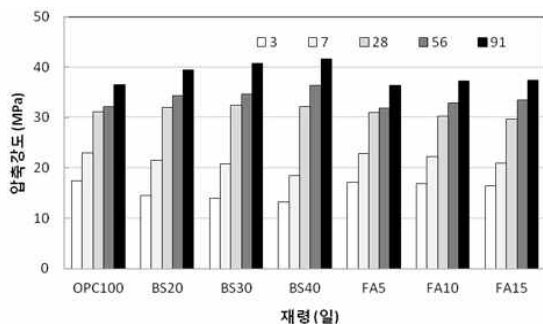


Fig. 8. Compressive Strength of mixing ratio

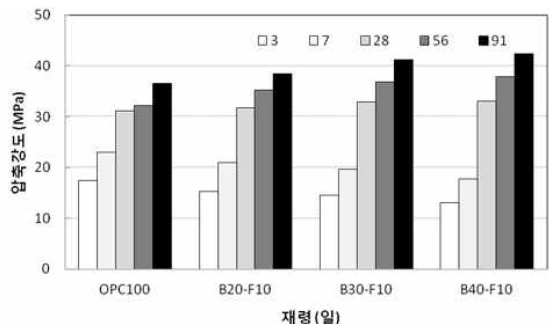


Fig. 9. Compressive Strength of additive type

Table 3. Relationship between Strength and mixing ratio

시험체	재령	압축강도(MPa)				
		3일	7일	28일	56일	91일
OPC		17.5	23.0	31.2	32.1	36.5
BS-20		14.5	21.5	32.0	34.3	39.4
BS-30		14.0	20.8	32.4	34.7	40.8
BS-40		13.2	18.4	32.1	36.4	41.6
FA-5		17.2	22.9	31.0	31.8	36.4
FA-10		16.8	22.2	30.3	32.9	37.3
FA-15		16.4	21.0	29.7	33.4	37.4
B20-F10		15.2	21.0	31.7	35.2	38.4
B30-F10		14.6	19.7	32.9	36.9	41.2
B40-F10		13.1	17.8	33.0	37.8	42.4

Table 4. Relationship between Strength and additive type

시험체	재령	재령 28일		압축인장 강도비
		압축강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	
OPC		31.2	3.01	10.37
BS-20		32.0	2.95	10.85
BS-30		32.4	3.05	10.62
BS-40		32.1	2.98	10.77
FA-5		31.0	2.99	10.37
FA-10		30.3	2.83	10.71
FA-15		29.7	2.98	9.97
B20-F10		31.7	2.90	10.93
B30-F10		32.9	3.05	10.79
B40-F10		33.0	3.12	10.58

4. 결론

고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 기초물성을 분석하고, 혼화제의 혼입량, 혼합사용에 따른 콘크리트의 성능을 분석한 연구결과는 다음과 같다.

(1) 유동성의 증가에는 BS가 FA보다 효율적이며, 초기발열의 저하에 대한 영향은 혼합혼입하면 좀 더 효율적이며, 장기간의 증진에는 BS를 혼입한 경우가 약간 더 효율적이며, 길이변화에 대해서는 FA가 효율적이다.

(2) 초기재령에 급격한 길이변화를 보였으며, 혼입비율이 많을수록 길이변화율이 증가한다. BS를 혼입한 경우가 FA를 혼입한 경우보다 길이변화율이 컸으며, FA를 단독혼입하거나 혼합혼입하는 경우 길이변화율이 작았다. 따라서 길이변화에 대해서는 FA가 효율적이다.

References

Cement and Concrete Terminology(2007), ACI Committe 116R, pp 29
 V.M.Malhotra, A.A. Ramezaniapour(1994), Fly Ash in Concrete, CANMET,
 Gonen, T.and Yazicioglu(2007), "The influence of mineral admixtures on the short and long-term performance of concrete", Building and Environment, vol. 42, No.8, pp. 3080~3085
 Ground Granulated Blast-Furnace Slag ad a cement Constituent in Concrete(2009), MANUAL OF CONCRETE PRACTICE, ACI 226. 1R-87, ACI 223R-95
 ASTM C 989-89, Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortar
 ACI Committee 206(2009) Ground granulated blast-furnace slag as cementation constituent in concrete. ACI Materials Journal. No.84-M34:327-42.
 Oner A, Akyuz S(2007). An experimental study on optimum usage of GGBS for the compressive strength of concrete. Cement and Concrete Composite. 29(6):505-14.
 青沼 外 3人(2006), 高爐スラグ微粉末および高爐セメントを用いた構造体コンクリートの強度發現性狀, 日本建築學會大會學術講演梗概集, (關東), pp 231~232
 三谷 裕二 外 4人(2007), 高爐スラグ微粉末を混合したエコセメントコンクリートの基本{性能}に關する實驗的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集 (九州), pp 441~442