

산업부산물을 활용한 조기강도 촉진제 기술 개발을 위한 연구

Study on the Development of Accelerator for Early Strength of Concrete using Industrial by-product

(Received January 17, 2013/ Revised February 4, 2013 / Accepted February 4, 2013)

이지환^{1)*}, 이진우¹⁾, 이재삼¹⁾, 이강진²⁾

(주)렉스콘, 기술연구소¹⁾, 영진글로벌 주식회사, 기술연구소²⁾

Ji-Hwan Lee¹⁾, Jin-Woo Lee¹⁾, Jae-Sam Lee¹⁾, Kang-Jin Lee²⁾

¹⁾30-37, 262Beongil, Namdongdaero, Namdong-Gu, Incheon 405-849, Korea

²⁾976-15 Maesan-ri, Sinpyeong-myeon, Dangjin-gun, Chungcheongnam-do 343-814, Korea

Abstract

In this study utilize industry product for OPC(ordinary portland cement) and BFS(blast furnace slag) mixing concrete early age compressive strength elevation and executed study for high strength binder.

Association ratio of industry product for high strength binder manufacture is Titanogypsum (4) : Limestone (3) : Waterworks Sludge by ratio of (3) as it is proper move.

high strength binder mixing rate appeared that (7~9) % are proper via preliminary test.

Could confirm that display high compressive strength incidence rate in early age than plain harmony according as mix high strength binder mixing concrete compressive strength high strength binder.

Also, high strength binder generality that give function than high strength binder used in existing displayed more excellent intensity, and compressive strength displayed result that multiply single breadth according as high strength binder substitute that give function increases.

키워드 : 초기재령 압축강도, 산업부산물, 경제성, 촉진제

Keywords : *Early Compressive Strength, Industrial Byproduct, Economic, Accelerator*

1. 연구의 목적

최근 초고층 건축물 및 대규모 건축물의 건설공사가 활발하게 진행되고 있는 가운데 합리적이고 경제적인 공사 관리의 중요성이 부각되고 있다. 특히 콘크리트의 조기강도 발현은 각 현장의 공사기간 뿐만 아니라, 경제적인 거푸집의 활용측면에서도 중요한 요인이 되고 있다.

일반적으로 건설현장에서는 중간공정의 공사기간이 거푸집 해체에 관한 규정에 제한되어 약 6Day 사이클로 시공이 행해지고 있으나, 콘크리트의 조기강도 개선을 통해 4~5Day 사이클로 시공이 행해질 수 있다면, 공사기간 단축을 통한, 경제적인 이익까지 얻을 수 있을 것이다. 이를

위해서는 콘크리트의 조기강도 발현이 무엇보다 중요한데, 조강콘크리트의 경우 기본적으로 시멘트의 수화속도에 의존하고 있는 결과로서, 콘크리트의 조기강도 발현을 위해서는 단위시멘트량을 증가시키는 방법, 조강형 분체 및 혼화제를 사용하는 방안 등이 있으나, 이에 따른 설계강도의 과다 설계 및 원재료의 고단가에 의한 경제성이 결여되는 문제점이 발생함으로 일반적으로 채택되지 않고 있다.¹⁾

한편, 콘크리트의 고품질화 및 고성능화를 달성하기 위하여 콘크리트용 혼화재료의 활용성이 증대되고 있는 가운데, 경제성이 우수한 고로슬래그 미분말(이하 BFS) 사용이 급격히 증가하고 있는 추세이다.²⁾ 그러나 BFS 혼입 콘크리트의 경우 초기재령 압축강도(재령 1, 3일)는 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)만을 사용한 콘크리트의 압축강도에 비해 낮고, 특히 저온 환경하에서 강도발현이 부족하여 거푸집 탈형시기가 지연됨으로 인해 철근콘크리트 구

* Corresponding author

E-mail: jihwan.lee@doosan.com

조체 공사에 있어 공기지연 등의 문제점이 발생하게 됨에 따라 BFS를 적극적으로 활용하기 어려운 실정이다.³⁾

따라서, 본 연구는 산업부산물인 티탄석고, 정수오니를 활용하여 경제성을 만족하면서 OPC 및 BFS 혼입 콘크리트의 초기재령 압축강도(재령 1, 3일)를 향상시킬 수 있는 조강형 분체(High Strength Binder 이하 HSB) 개발의 일환으로서, HSB 개발을 위해 HSB의 제조 방법에 따른 특성을 실험적으로 검토 및 평가함으로써, 산업부산물을 활용한 HSB 개발의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. HSB 개발의 원리

2.1 HSB 개발을 위한 원천소재

HSB 개발을 위한 원천소재로는 산업부산물인 티탄석고, 정수오니 및 시멘트 주원료인 석회석을 사용하였다. 석회석의 경우 클링커를 생산하는데 있어서 가장 큰 비율을 차지하는 재료로서, 산화칼슘(CaO)이 주성분이며 이외에 실리카(SiO₂), 알루미늄(Al₂O₃), 산화철(Fe₂O₃)의 4성분으로 구성되어 있다.

이와 같은 4성분이 소성반응을 거쳐 알라이트(alite), 벨라이트(belite), 알루미늄에이트(Aluminate), 페라이트(Ferrite) 등의 4가지 클링커 광물을 생성하게 되는데, 이를 바탕으로 사용되는 원료의 적절한 화학조성의 배합을 통하여 클링커 자극제로서 석회가 사용 될 수 있다는 점을 착안하여 일부 소량을 치환함으로써 촉진제로서의 역할을 할 것으로 판단되어 사용 되었으며, 그 밖에 촉진제로서의 역할을 할 산업부산물은 아래와 같다.

2.1.1 티탄석고

국내의 대표적인 배연탈황석고는 화력발전소에서 화석 연료(석탄, 기름)의 연소 시 발생되어지는 대기오염의 원인이 되는 아황산가스(SO₂)를 제거하기 위하여 흡수제인 분말 석회석(CaCO₃)을 반응시키면 부산물로 석고가 생산되게 된다. 이렇게 생산된 석고는 일부 시멘트 회사 및 2차제품의 필러 첨가제로 사용하고 있으나, 본 연구에서 사용한 티탄석고의 경우 황의 산성을 석회로 중화시키는 화학반응 공정에서 발생하는 부산물로 화학식은 CaSO₄·2H₂O이다. 티탄석고는 다량의 CaO(39.2 %)와 SO₃(54.3 %)를 함유하고 있으며, 건조 후 물과 접촉 시 강한 발열반응을 나타낸다. 또한 석회석과 혼합시 소성 전 PH 6 에서 소성 후 PH 14로 변화하게 되는데, 이는 BFS의 알칼리 촉진제

역할 및 OPC 촉진제 역할을 담당하게 된다.⁴⁾ Table 1은 티탄석고의 화학 성분을 나타낸 것이다.

Table 1 Chemical compositions of titanogypsum

Chemical composition(%)									Total
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	
2.1	0.7	1.0	39.2	0.5	54.3	0.1	1.7	0.0	99.7

2.1.2 정수오니

정수오니는 탁질과 수산화알루미늄이 주성분인데 원수에 따라서 유기물을 (20~30)% 함유하는 경우도 있다. 정수오니는 98% 이상의 함유율이 있어 처리·처분이 곤란하며, 특히 수산화알루미늄의 플록을 함유하는 정수오니는 탈수·농축이 곤란하기 때문에 어떤 양 이상의 정수오니는 황산처리를 하여 수산화알루미늄을 황산알루미늄으로 회수하고, 아울러 탈수성을 향상시킨다. 처리된 정수오니는 각종 연구를 통해 건축 재료나 도로건설의 재료로 이용되고 있으나, 아직은 그 연구가 미흡하여 활용되지 못하고 매립 등의 방법으로 처리되고 있는 실정이다.

침전된 정수오니의 화학성분으로는 시멘트의 제조광물과 같은 대량의 SiO₂(46.6%)와 Al₂O₃(39.7%), 소량의 Fe₂O₃(5.4%)를 함유하고 있어, 산업부산물의 활용성과 시멘트의 첨가제품으로서의 활용 가능성이 우수하다고 판단된다. Table. 2는 정수오니의 화학 성분을 나타낸다.

Table 2 Chemical compositions of Waterworks Sludge

Chemical composition(%)									Total
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	
46.6	39.7	5.4	1.0	1.6	0.6	2.2	0.6	1.0	98.7

2.2 HSB 개발의 착안점

포틀랜드 시멘트를 만드는 방법은 석회(CaCO₃, 탄산칼슘)가 63% 정도를 차지하고, 미세한 점토 규사(모래)에 많이 들어있는 실리카(SiO₂)가 23%, 알루미늄(Al₂O₃)가 6% 정도이다. 또한 산화철(Fe₂O₃) 소량, 무수황산(SO₃) 극소량 산화마그네슘(MgO) 극소량의 성분들을 섞어서 굽는데, 석회석 가루와 점토 가루(점토 속에 실리카와 알루미늄이 들어 있음)를 혼합하고 산화철, 무수황산, 산화마그네슘 가루를 조금씩 첨가하여 석회석의 이산화탄소가 날아가는 825°C 보다 훨씬 높은 온도인 (1 400~1 500)°C 정도의 온

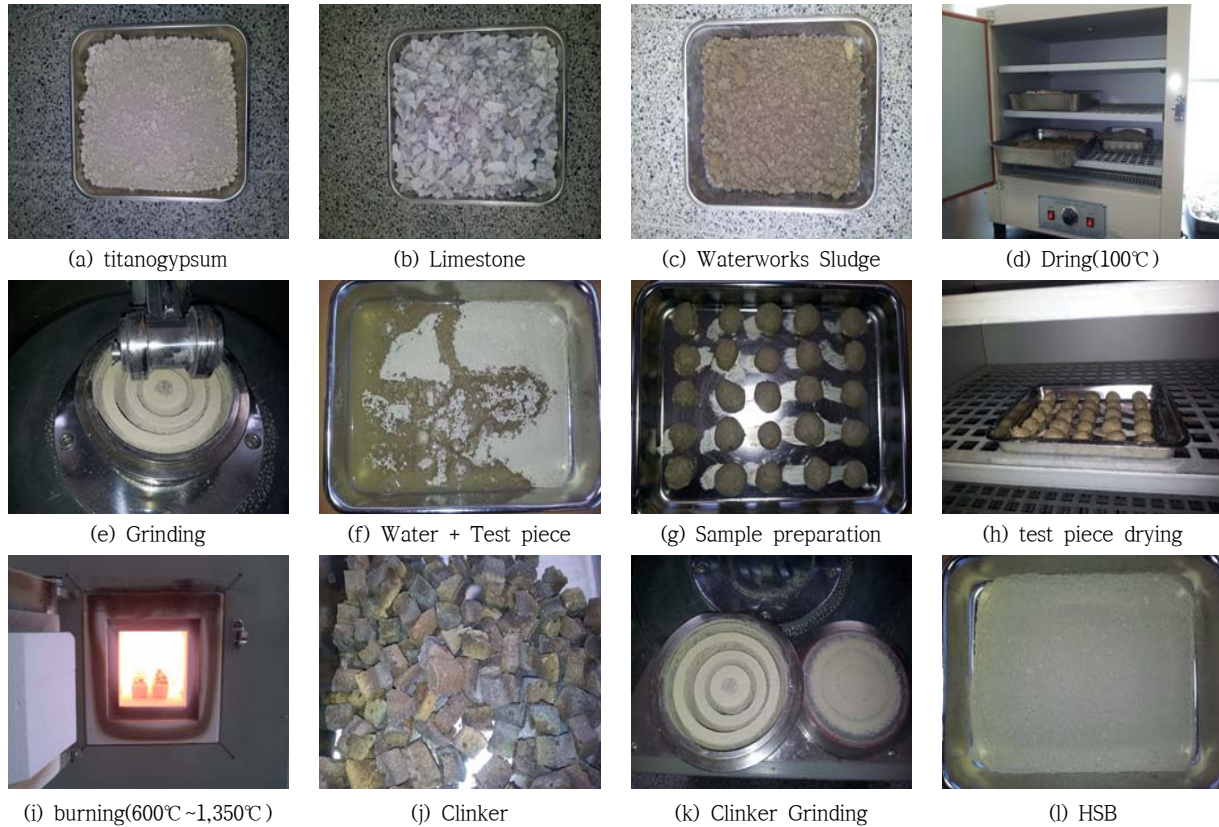


Fig. 1 The manufacturing process of powder for early strength for concrete

도에서 도자기 굽는 것처럼 충분히 구우면 일부 성분들이 녹아서 그 가루들이 뭉쳐지면서 클링커라고 하는 새로운 광물질 덩어리들로 소성된다.⁶⁾ 소성이란 구워서 새로운 형태를 만드는 것을 말한다. 이렇게 만들어진 클링커는 규산삼석회($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), 규산이석회($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), 알루미늄산삼석회($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) 및 알루미늄아 철산사석회($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)와 같은 혼합물질들이 주성분을 이루게 된다. 기존의 재료들이 열에 녹아 합쳐져서 새롭게 ‘일정한 화학적인 비율로 결합된 고체 혼합 결정물인 고용체’ 들을 만들어낸 것이다. 이에 착안점을 두어 2.1 절에서 나타낸 바와 같이 OPC 및 BFS의 반응을 동시에 촉진시켜 콘크리트의 초기 재령 압축강도 향상에 영향을 줄 것으로 예상되는 티탄석고, 정수오니, 석회석을 적정 비율로 조합 및 혼합하여 환모양으로 만들어 제조하고, 그 후, 전기로에 간이 소성을 시행한 후 환으로 만들어진 시료를 분쇄하는 방식을 통해 HSB를 제조하였다.

Fig. 1은 HSB의 제조과정을 나타낸 것이다.

2.3 원천소재의 소성 후 화학 조성 변화

2.3.1 티탄석고

Table 3은 티탄석고를 전기로에서 소성하기 전과 후의 화학성분을 비교한 것으로서, 시멘트 및 고로슬래그미분말의 초기 수화 반응에 필요한 SiO_2 와 Al_2O_3 , CaO 의 성분이 소성전과 비교하였을 때 증가하였다. 또한 SO_3 의 성분이 51.23%에서 54.31%로 증가 하였는데, 이는 고로슬래그를 자극하기 위해 사용되는 촉진제의 성분으로 이용된다.⁵⁾ 따라서 이러한 티탄석고를 이용함으로써 OPC의 자극제와 BFS의 초기자극제의 역할을 수행 할 것으로 예상되어 원천소재(HSB) 개발을 위한 시료로 선정하였다.

Table 3 Calcination before and after the chemical composition of titanogypsum

Item	Chemical composition(%)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	TiO_2	P_2O_5
Calcination before	1.49	0.54	0.80	35.83	0.44	51.23	0.09	0.10	0.019
Calcination after	2.13	0.73	1.02	39.15	0.47	54.31	0.13	0.10	0.015

2.3.2 정수오니

Table 4는 정수오니를 전기로에서 소성하기 전과 후를

비교한 표이다. 정수오니의 화학조성은 소성전과 후의 성분비교를 통하여 SiO₂와 Al₂O₃가 증가하였음을 알 수 있다. OPC의 초기강도 증진에 기여하는 Al₂O₃의 성분이 27.34%에서 39.69%로 증가하여, 소성전과 비교하였을 때 티탄석고의 증가율보다 더 큰 폭으로 증가하였다. 하지만 BFS의 반응을 촉진하기 위한 성분인 SO₃는 오히려 감소하는 경향을 보였다. 따라서 정수오니와 티탄석고를 함께 배합 할 경우 초기강도 증진효과 뿐만 아니라 BFS 자극을 위한 촉진제로 작용효과가 클 것으로 판단된다.

Table 4 Calcination before and after the chemical composition of Waterworks Sludge

Item	Chemical composition(%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
Calcination before	34.97	27.34	4.44	0.79	1.14	1.07	1.77	0.55	0.203
Calcination after	46.63	39.69	5.39	1.03	1.61	0.63	2.18	0.81	0.039

2.3.3 원천소재 혼입 비율에 따른 화학성분

Table 5는 원천소재의 혼입 비율에 따른 소성 후 화학성분을 나타낸 것으로서, 초기강도 발현에 영향을 미치는 Al₂O₃와 장기강도에 영향을 미치는 SiO₂, CaO 및 BFS 자극제 역할을 수행하는 SO₃의 함량이 혼입비율 4:3:3배합에서 가장 많이 함유되어 있는 것으로 나타났으며, 4:3:3으로 배합한 자극제의 첨가를 통해 SO₃성분 증가로 에트린자이트 생성 후 강도증진효과가 크게 나타날 것으로 사료된다. 또한 C₃S의 수화를 촉진시킴으로 초기강도 역시 상승할 것으로 예상되며, Al₂O₃ 상승을 통해 자극제 제조 시 소성과정에서 C₁₂A₇ 생성물이 초기강도 상승에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 소성과정에서 생성된 CaO는 물과 접촉시 Ca(OH)₂의 신속한 생성을 통해 PH 상승에 따른 수화촉진으로 초기강도가 상승될 것으로 판단되어짐에 따라 이를 기초로 원천소재의 기본배합을 티탄석고(4) : 석

회석(3) : 정수오니(3) 비율로 선정하였다.

Fig 2~4는 단일 소성시료와 혼합 소성시료의 XRD분석 결과로서, 티탄석고는 전형적인 무수석고 성분인 Anhydrite(CaSO₄) 성분으로 나타났으며, 정수오니에서는 SiO₂와 Al₂O₃의 화합물인 Mullite(Al₆Si₂O₁₃)의 성분으로 나타났고, 혼합 소성시료 비율(4:3:3)에서는 Calcium Iron Oxide(CaFeO₃), Calcium Sulfate(CaSO₄), Ca₂SiO₄(larnite), Ca(OH)₂의 성분으로 나타났다.

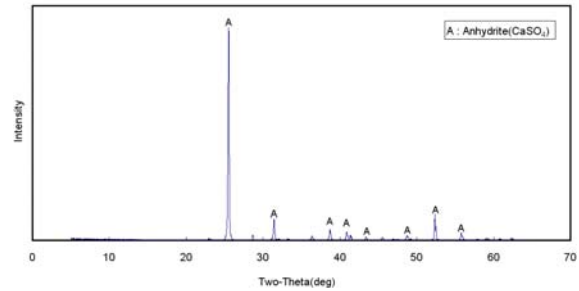


Fig. 2 XRD analysis of titanogypsum

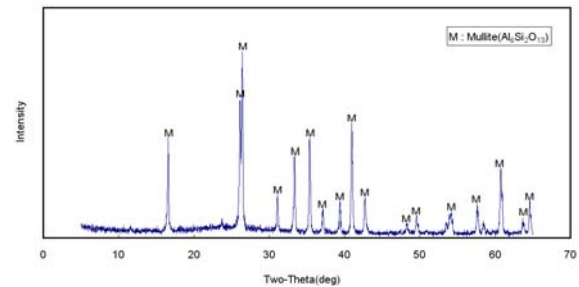


Fig. 3 XRD analysis of Waterworks Sludge

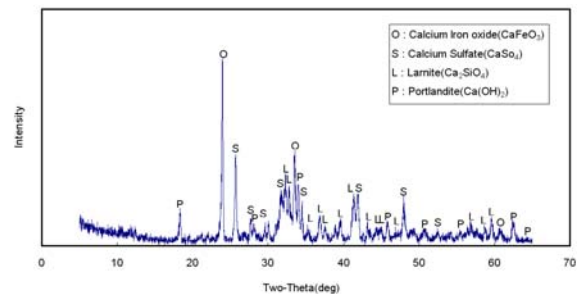


Fig. 4 XRD analysis of mixed samples(4:3:3)

Table 5 Chemical composition after calcination by mixing ratio of raw material

Item	Mixing ratio of samples(%)			Chemical compositions(%)					
	titanogypsum	Limestone	Waterworks Sludge	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
1	33.3	33.3	33.3	8.0	7.2	2.4	51.7	3.7	23.2
2	47.1	31.4	21.5	11.2	8.2	2.7	40.6	2.7	32.6
3	50.0	25.0	25.0	12.2	10.4	2.0	40.4	2.0	30.5
4	25.0	50.0	25.0	11.7	10.0	3.3	54.2	3.3	16.4
5	40.0	30.0	30.0	12.9	11.8	2.4	44.6	1.2	24.8

3. 실험결과 및 고찰

3.1 HSB 종류별 페이스트의 수화생성물 관찰

3.1.1 실험요인 및 수준

HSB의 특성을 평가하기 위하여 페이스트 경화체의 수화생성물 관찰을 실시하기 위한 HSB 종류 및 시험 항목은 Table 6에 나타낸 바와 같다.

Table 6 Experiment plan

Item	Condition
HSB Type	■ GHSB (generality) ■ FHSB (functionality)
Measurement	SEM

즉, HSB의 종류는 앞서 2장에서 설명한 일반형 HSB(이하 GHSB)와 기능성 HSB(이하 FHSB) 2가지로 설정하였다. 여기서, 기능성 HSB란, 일반형의 경우 기초 실험을 실시한 결과 유동성 및 점성이 우수한 특성을 가진 것으로 나타났으나, 재료의 분쇄과정 중 이질적인 재료의 혼합과정에서 분말이 응집되는 현상이 발생하여 균질하게 혼합이 되지 않는 것으로 나타났다. 이에 따라 분쇄를 실험에 있어 분쇄효율을 높여 줌으로서 균질한 혼합이 이루어지고, 더불어 분쇄도를 높임으로서 초기재령 압축강도 향상 및 생산성을 향상시킨 기능성 분체를 말한다.

3.1.2 사용재료

Table 7은 본 연구에 사용된 재료의 물리·화학적 성질을 나타낸 것으로서, HSB 혼입 페이스트의 SEM 관측용 시험체 제작에 필요한 사용재료의 선정을 위해 원재료의

Table 7 Physical and chemical properties of used materials

Used materials	Physical properties		Chemical properties									
	Density(g/cm ³)	Fineness(cm ² /g)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
OPC	3.15	3 470	-	5.01	3.19	61.97	2.94	2.24	0.89	0.12	0.10	0.03
GHSB	2.85	6 630	21.40	5.18	3.07	60.43	2.74	3.68	0.83	0.11	0.20	0.01
FHSB	2.86	7 730	21.45	5.29	3.09	60.43	2.76	3.63	0.81	0.12	0.20	0.02

기초물성평가를 실시한 후 예비시험을 거쳐 초기재령 압축강도 발현에 적절한 혼입율로 판단되는 HSB 7 %를 OPC에 각각 치환하였다.

3.1.3 실험배합

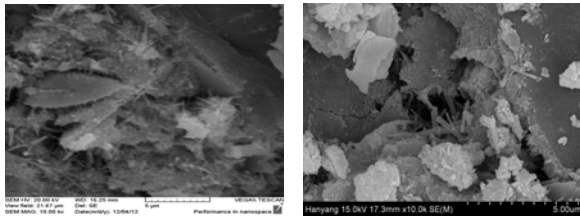
Table 8은 HSB 혼입 페이스트 시험체를 제작하기 위한 배합표를 나타낸 것이다.

Table 8 Mixture proportion of paste

Type	W/B (%)	Unit weight(g)			
		W	C	GHSB	FHSB
Plain	50	500	1 000	-	-
GHSB			930	70	-
FHSB			-	-	70

3.1.4 SEM 측정 결과

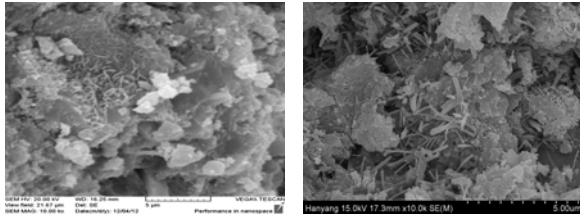
Fig 5는 각각의 조건에 따른 시멘트 페이스트 경화체의 재령 1, 3일 SEM 관측 사진을 나타낸 것으로서, 모든 배합에서 에트린자이트로 판단되는 다량의 침상수화물과 판상의 수산화칼슘 및 초기수화물이 관찰되었다. 그러나 Plain 배합의 경우 수산화칼슘량이나 급결 현상의 에트린자이트 형성이 더디게 진행되는 것을 확인 할 수 있었으며, 그에 따라 시험체 내에 공극이 다량 분포되어 있는 것을 확인 할 수 있는 반면, HSB 배합의 경우 HSB 혼입을 통한 자극으로 인해 수화반응이 촉진되어 재령 1일에 에트린자이트와 석고의 결합으로 저항산염형의 수화물인 모노설페이트의 형성을 확인할 수 있었으며, 수산화칼슘 등의 수화생성물 형성이 활발하게 진행되어 밀실한 형태를 이루고 있는 것을 확인 할 수 있었다.



(a) Age(one day)

(b) Age(three days)

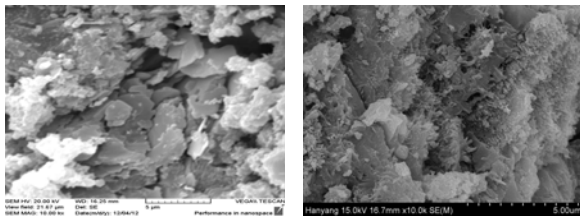
A. OPC



(a) Age(one day)

(b) Age(three days)

B. GHSB



(a) Age(one day)

(b) Age(three days)

C. FHSB

Fig 5 Results of the SEM measurement($\times 10\ 000$)

3.2 HSB 혼입 콘크리트의 특성

3.2.1 실험요인 및 수준

HSB 혼입 콘크리트의 유동특성 및 초기재령 압축강도 발현 특성을 평가하기 위한 실험요인 및 수준은 Table 9 에 나타낸 바와 같다.

즉, HSB 종류는 일반형과 기능성 2수준으로 설정하였으며, HSB의 치환율은 7%, 9% 2수준으로 설정하여 실험을 실시하였다.

시험 항목 및 시험방법의 경우 유동특성을 평가하기 위해 굳지않은 콘크리트 성상에서 슬럼프 시험(KS F 2402) 및 공기량 시험(KS F 2421)을 실시하였으며, 재령별 압축강도 측정을 위한 공시체를 제작(KS F 2403)한 후 압축강도(KS F 2405) 측정을 실시하였다.

한편, Table 10은 HSB 혼입 콘크리트의 목표성능을 나타낸 것이다.

Table 9 Experiment plan

Type	HSB replacement ratio(%)	Measurement
Plain	0	■ Slump ■ Air
GHSB	7	
FHSB	7	■ Compressive strength - 1, 3, 7, 14, 28(d)
	9	

Table 10 Performance object of concrete

Division	Target performance
Slump(mm)	150 \pm 25
Air content(%)	4.5 \pm 1.5

3.2.2 실험배합

Table 11은 HSB 혼입 콘크리트의 초기재령 압축강도를 평가하기 위한 콘크리트 배합을 나타낸 것이다.

Table 11 Mixture proportion of concrete

Type	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)						
			W	C	HSB		S	G	AD
					G	F			
Plain	49.4	48.0	168	350	-	-	866	949	2.31
GHSB				316.2	23.8	-			
FHSB				7%	316.2	-			
	9%	309.4	-	30.6					

3.2.3 실험결과

(1) 슬럼프 및 공기량

Table 12 및 Fig 6은 슬럼프 및 공기량 실험결과를 나타낸 것이다.

Table 12 Slump and Air content test result

Type	Slump(mm)	Air content(%)
Plain	150	4.8
GHSB	160	4.5
FHSB	7%	4.8
	9%	4.5

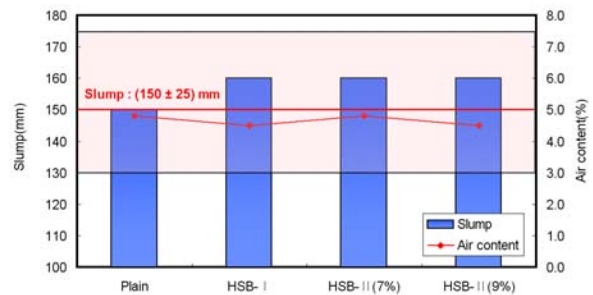


Fig. 6 Slump and Air content test result

슬럼프의 경우 목표 값인 (150±25) mm의 범위에 모두 만족하는 것으로 나타났으며, HSB 혼입에 따라 슬럼프 값이 소폭 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 공기량 역시 목표 값인 (4.5±1.5) % 범위에 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 그 차이가 크지 않아 공기량에 따른 굳지않은 콘크리트의 물성에 대한 영향성은 없는 것으로 판단된다.

(2) 압축강도 측정결과

Table 13 및 Fig 7은 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로, HSB를 혼입함에 따라 Plain 배합에 비해 압축강도 발현율이 재령 1일에서 약 (21~55)% 상승하는 결과를 나타내었으며, 재령 3일에서는 GHSB의 경우 소폭 저하하는 현상을 나타내었지만, FHSB의 경우 Plain과 동등 이상의 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다. 또한 장기 재령에서도 모든 배합에서 Plain 이상의 압축강도 발현율을 나타내어 HSB 혼입 콘크리트의 우수한 성능을 확인 할 수 있었다. 이는 HSB가 C₃S의 수화를 촉진시킴으로 인해 강도 증진효과가 크게 나타난 것으로 판단된다. 특히 초기재령에서 Al₂O₃ 상승을 통해 HSB 제조 시 소성과정에서 발생한 C₁₂A₇ 생성물 및 소성과정에서 생성된 CaO가 물과 접촉하면서 Ca(OH)₂의 신속한 생성으로 pH 상승에 따른 수화촉진으로 초기강도가 상승된 것으로 사료된다.

또한, GHSB에 비해 FHSB를 혼입한 배합이 재령 1일에서 약 26%, 재령 3일에서 약 12% 정도 높은 압축강도 발현율을 나타내었으며, FHSB 치환율이 증가함에 따라 압축강도가 소폭 상승하는 결과를 나타내었다. 이는 GHSB에서 발생하는 분말 응집 현상에 의해 균질한 혼합이 어려운 문제점을 해결함으로써 콘크리트 내부에 HSB를 고르게 분산시켜줌과 동시에 분말도를 높여 줌에 따른 반응성 향상 및 공극충진 효과에 기인한 것으로 판단된다.

Table 13 Compressive strength measurement result

Type	Compressive strength(MPa)				
	1 D	3 D	7 D	14 D	28 D
Plain	7.8	20.3	24.5	28.1	30.8
GHSB	9.5	18.5	23.8	27.5	31.0
FHSB	7 %	12.0	20.7	25.2	30.5
	9 %	12.1	21.1	25.5	30.7

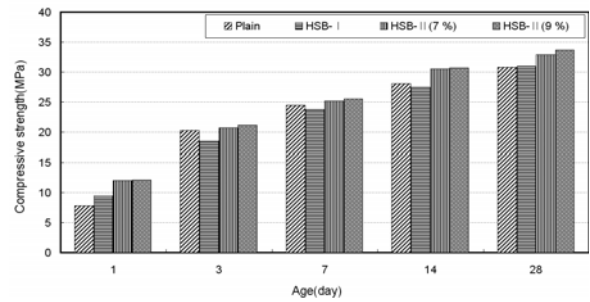


Fig. 7 Compressive strength measurement result

3.3 HSB 및 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 특성

3.3.1 실험요인 및 수준

HSB 및 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 유동특성 및 초기강도 발현 특성을 평가하기 위한 실험요인 및 수준은 Table 14에 나타난 바와 같다.

Table 14 Experiment plan

Type	HSB replacement ratio(%)	BFS replacement ratio(%)	Measurement
Plain	0	0	<ul style="list-style-type: none"> ■ Slump ■ Air ■ Compressive strength - 1, 3, 7(d)
GHSB	5	30	
	7		
	9		
FHSB	5		
	7		
	9		

Table 15 Performance object of concrete

Division	Target performance
Slump(mm)	210 ± 25
Air content(%)	4.5 ± 1.5

HSB는 일반형과 기능성 2가지 조건으로 설정하였으며, 치환율은 5%, 7%, 9% 3수준으로 설정하여 실험을 실시하였고, BFS의 경우 HSB와 BFS의 합이 30%가 되도록 치환을 실시하였다.

시험항목은 슬럼프, 공기량, 재령 초기 압축강도(1, 3, 7 (일)) 측정을 실시하였으며, Table 15는 HSB 및 BFS 혼입 콘크리트의 목표성능을 나타낸 것이다.

3.3.2 실험배합

Table 16은 HSB 및 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 초기재령 압축강도를 평가하기 위한 콘크리트 배합을 나타낸 것이다.

Table 16 Mixture proportion of concrete

Type	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)								
			W	C	BFS		S	G	AD		
					G	F					
Plain				354	-	-	-				
GHSB	5 %	49.4	48.9	175	88.50	17.50	-	858	907	2.37	
	7 %				81.42	24.58	-				
	9 %				74.34	31.66	-				
FHSB	5 %				88.50	-	17.50				
	7 %				81.42	-	24.58				
	9 %				74.34	-	31.66				

3.3.3 실험결과

(1) 슬럼프 및 공기량

Table 17 및 Fig 8은 슬럼프 및 공기량 시험결과를 나타낸 것이다.

Table 17 Slump and Air content test result

Type	Slump(mm)	Air content(%)
Plain	190	5.6
GHSB	5 %	210
	7 %	210
	9 %	200
FHSB	5 %	210
	7 %	210
	9 %	200

OPC만을 사용한 Plain을 기준으로 목표 슬럼프 값인 (210±25) mm를 만족하기 위한 혼화제 첨가량의 경우 약 0.66 %의 혼화제가 투입되는 것으로 나타났다.

그에 따라 HSB 및 혼합시멘트를 사용한 콘크리트 배합에서도 동일 수량과 동일 혼화제량을 첨가하여 슬럼프 값을 확인한 결과 (200~210)mm의 범위를 나타내어 Plain과 큰 차이는 나타나지 않았으나, Plain에 비해 소폭 증가하는 경향을 나타내었다.

공기량의 경우 Plain은 5.6%를 나타내었고, SBFS 배합의 경우 (3.5~5.0)%의 범위를 나타내었다.

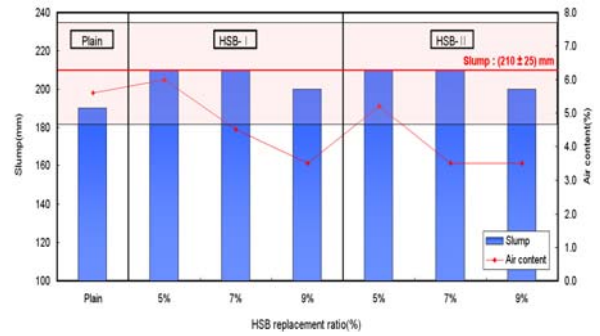


Fig. 8 Slump and Air content test result

(1) 압축강도 측정결과

Table 18 및 Fig 9~10은 HSB 및 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 초기재령 압축강도 발현성능을 알아보기 위하여, 압축강도를 측정한 결과를 나타낸 것으로서, HSB 종류에 관계없이 HSB 치환율 9%에서 Plain 배합 이상의 초기강도를 발현하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급한 시멘트 축진 원인과 더불어 SO₃ 성분증가로 인한 BFS의 축진이 이루어짐에 따라 초기재령 압축강도가 증가한 것으로 사료된다.

Table 18 Compressive strength measurement result

Type	Compressive strength(MPa)		
	1 D	3 D	7 D
Plain	6.3	12.0	17.3
GHSB	5 %	4.5	9.2
	7 %	5.7	12.4
	9 %	6.4	12.2
FHSB	5 %	5.8	11.2
	7 %	6.1	11.6
	9 %	6.5	12.5

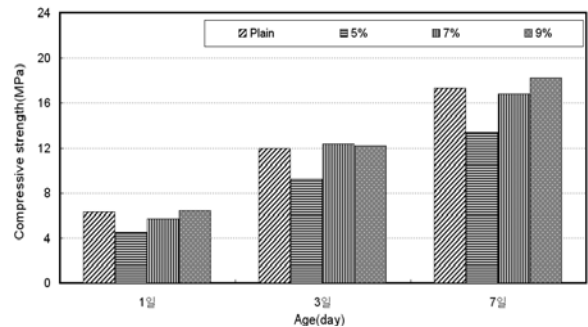


Fig. 9 The compressive strength measurement result of the GHSB

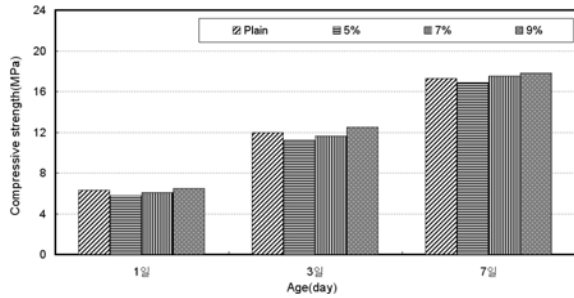


Fig. 10 The compressive strength measurement result of the FHSB

또한, HSB 종류에 따른 영향을 알아본 결과, GHSB에 비해 FHSB가 재령 1일에는 더욱 우수한 조기강도 발현성을 나타내었으며, 재령 3, 7일에는 HSB 종류에 따른 영향이 뚜렷하게 나타나지 않았다.

4. 결론

산업부산물물을 활용한 콘크리트의 조기강도 촉진제(HSB) 기술개발을 위한 기초 연구를 진행한 결과 본 연구의 범위내에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) HSB 혼입 시멘트 페이스트 경화체의 SEM 관측을 실시한 결과, HSB 혼입을 통한 자극으로 인해 수화반응이 촉진되어 수화생성물이 다량 분포한 것으로 나타나 HSB가 시멘트의 수화반응을 촉진 하는 것을 확인할 수 있었다.

2) HSB 혼입 콘크리트의 경우 HSB 혼입에 따라 슬럼프 값이 소폭 증가하는 경향을 나타내었으며, 압축강도 측정 결과 HSB를 혼입함에 따라 Plain 배합에 비해 초기재령에서 높은 압축강도 발현율을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

3) GHSB에 비해 FHSB 배합이 더욱 우수한 강도를 나타내었으며, FHSB 치환율이 증가함에 따라 압축강도는 소폭 상승하는 결과를 나타내었다.

4) HSB 및 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 경우 촉진제 종류에 관계없이 촉진제 치환율 9%에서 Plain 배합 이상의 조기강도를 발현하는 것으로 나타났다. 또한, 촉진제 종류에 따른 영향을 알아본 결과, GHSB에 비해 FHSB가 재령 1일에는 더욱 우수한 조기강도 발현성능을 나타내었으며, 재령 3, 7일에는 촉진제 종류에 따른 영향은 뚜렷하게 나타나지 않았다.

본 연구결과를 종합해 볼 때 HSB는 콘크리트의 수화반응을 촉진시키고, 콘크리트에 혼입시 조기강도 발현을 촉진시키는 것으로 나타나 촉진제로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 고강도 영역에서의 검토, 혼화재료의 사용 비율에 대한 검토와 HSB 사용 콘크리트의 내구성 검토 등이 추가적으로 이루어져 반영되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업(과제번호 : 11 첨단도시C06)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이상수, 송하영, 이지환, “사용재료 및 양생조건에 따른 콘크리트의 조기강도발현 특성에 관한 실험적 연구” 한국콘크리트학회 논문집, 2008, Vol. 20 No. 6
2. 송진규, 양근혁, 김진우, 김병조, “고로슬래그와 나트륨계열 활성화제를 이용한 무시멘트 모르타르의 특성”, 대한건축학회 학회지, 2010, pp. 61~68
3. 이상수, “알칼리 자극제를 사용한 무시멘트계 친환경 무기복합체의 유동특성 및 강도특성 연구”, 대한건축학회 학회지, 2010, pp. 67~74
4. 배장춘, 이진철, 박재명, 이세현, 한천구, “CSA에 의한 콘크리트의 초기품질향상에 관한 연구”, 한국건축시공학회 춘계학술기술논문발표대회 논문집, 2005, pp. 25~28
5. 한국콘크리트학회, “최신콘크리트공학”, 2011
6. 문한영, 신동구, “고로슬래그 모르타르의 초기 강도에 대한 알칼리자극제의 영향”, 한국구조물진단학회 학회지, 2005, pp. 120~128

산업부산물을 활용한 조기강도 촉진제 기술 개발을 위한 연구

본 연구에서는 OPC 및 BFS 혼입 콘크리트의 초기재령 압축강도 향상을 위해 산업부산물인 티탄석고, 정수오니를 활용하여 경제성을 만족하면서 콘크리트의 조기강도(재령 1, 3일)를 향상시킬 수 있는 촉진제(이하 HSB) 개발을 위한 기초적 연구를 실시하였다. 조강형 분체의 제조를 위한 산업부산물의 조합 비율은 기초 실험 및 성분분석을 통해 티탄석고(4) : 석회석(3) : 정수오니(3)의 비율로 조합을 확정하였으며, HSB의 혼입률은 사전시험을 거쳐 (7~9) %가 적정한 것으로 나타났다. 페이스트 경화체의 SEM 촬영 결과 HSB 혼입을 통한 자극으로 인해 수화반응이 촉진되어 수화생성물이 다량 분포한 것을 SEM 측정을 통해 확인 할 수 있었으며, HSB 혼입 콘크리트 압축강도 측정결과 HSB를 혼입함에 따라 Plain 배합에 비해 초기재령에서 높은 압축강도 발현율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한 GHSB에 비해 FHSB 배합이 더욱 우수한 강도를 나타내었으며, FHSB 치환율이 증가함에 따라 압축강도는 소폭 상승하는 결과를 나타내었다.

한편, HSB 및 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 경우 촉진제 종류에 관계없이 촉진제 치환율 9 %에서 Plain 배합 이상의 조기강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 촉진제 종류에 따른 영향을 알아본 결과, GHSB에 비해 FHSB가 재령 1, 3일에는 더욱 우수한 조기강도 발현성능을 나타내었다.