

석고 및 미분시멘트에 의한 고로슬래그 미분말 치환 시멘트 모르타르의 초기강도 향상에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on Early Compressive Strength Improvement of the Blast Furnace Slag Cement Mortar Using the Fine Particle Cement and Gypsum

(2009년 10월 7일 원고접수, 2009년 10월 15일 심사완료/ Received October 7, Accepted October 15, 2009)

한천구^{1)*} 노동현¹⁾

¹⁾청주대학교 건축공학과

¹⁾Cheon-Goo Han, ¹⁾Dong-Hyun No

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

Abstract

The purpose of the study was to examine basic property at the time of applying cast ('CS' below) and high fineness fine particle cement ('FC' below) as a stimulant to 20% substitution cement mortar of ground granulated blast-furnace slag ('BS' below) to settle a problem that early strength of BS mortar is lowered. The results were as follows. First of all, as a characteristic of fresh mortar, liquidity was reduced as much as BS substitution rate was increased. When substituting CS for BS 20%, it didn't have a large effect regardless of substitution rate. When substituting FC, it was reduced as much as substitution was increased. In the event of compressive strength, it was reduced as much as BS substitution was increased in early age. In age 28, it was somewhat increased by reflection of potential hydraulicity. With regard to improvement of early compressive/bending strength of BS 20% substitution mortar, when substituting CS, in early age, they were a little increased as much as addition rate was increased. When substituting FC, in early and 28 age, they were largely increased as much as substitution rate was increased. To settle a problem that early strength of BS 20% substitution mortar was lowered, CS substitution has a little effect and FC 25% substitution was similar to plain with only OPC. Therefore, when substituting FC 25%, it is expected that its quality will be improved.

키워드 : 고로슬래그 미분말, 미분시멘트, 초기강도

Key Word : Blast Furnace Slag, Fine Particle Cemet, Early Strength

1. 서론

최근 정부에서는 범지구적 기후변화 대응 노력에 동참하고 녹색성장을 통한 저탄소 사회 구현을 위해 저탄소 녹색성장을 향후 2020년까지 세계 7대, 2050년까지 세계 5대 녹색 강국 진입을 새로운 국가 비전으로 제시하고 있다.¹⁾

그런데, 시멘트 산업에서는 석회석(CaCO₃)과 점토를 소성하여 클링커를 제조하는 과정에서 탈탄산반응 및 연소

반응으로 시멘트 1 ton 제조에 약 0.7 ton 정도의 이산화탄소(CO₂)가 발생하고 있다.²⁾ 이러한 막대한 양의 이산화탄소 배출을 줄이기 위하여는 시멘트의 사용량을 줄이는 것이 필요한데, 보편적으로 많이 사용되고 있는 방법으로는 제철과정에서 발생하는 고로슬래그 미분말(이하 BS)이나 화력발전소에서 발생하는 플라이애시 등 산업부산물을 치환하는 배합적인 측면을 들 수 있다. 특히, 이중에서도 콘크리트의 장기강도 향상, 유동성 증진 및 내황산염 저항성 증진 등에 효과적인 BS는 최근 그 사용량이 점차 증가하고 있는 추세이다.

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

BS는 고석회 알루미늄실리케이트 유리질 때문에 강한 잠재수경성을 가지는데, 즉, 물을 주입한 직후에는 Ca^{2+} 가 용출하고, 그 표면에 투과성이 나쁜 부정형의 겔상의 박막을 형성하여, 이 막이 고로슬래그 미분말 입자로의 수분 침투 및 입자에서의 이온 용출을 억제하기 때문에 초기 수화가 늦어짐으로서 초기강도가 저하하는 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 BS치환 콘크리트의 초기강도 저하 문제를 해결하기 위하여 자극제로 석고(이하 CS)와 입도분급을 통한 고분말도의 미분시멘트(이하 FC)를 복합 치환하는 방법에 대하여 시멘트 모르타르 상태에서 그 가능성을 기초적으로 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 모르타르의 배합사항은 Table 2와 같다.

Table 1 Design of experiment

Factors considered			Items tested	
Mixture	C:S		1	1 : 3
	W/B(%)			50
	flow (mm)			160 ± 10
	base	BS(%)	3	0, 10, 20
	mixture*	CS(%)	3	0, 1, 2
		FC(%)	3	0, 25, 50
	curing temperature (°C)		2	5, 20
Experiment	fresh mortar		2	· flow · air content
	hardening mortar		2	· compressive strength (1, 3, 28 day) · bending strength (1, 3, 28 day)

* BS 20 % 조건에서만 적용함

먼저, 모르타르 배합비 1:3에 W/B 50%의 1수준에 대하여, BS의 치환율 0, 10, 20%의 3수준을 기본으로 치환하였다. 여기서, BS 치환율 20%에 한하여 CS 0, 1, 2% 3수준과 FC 0, 25, 50% 3수준을 복합 치환하는 9수준으로 실험 계획하였다. 이때, 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)만을 사용한 Plain 모르타르에 한하여 목표 플로 160±10 mm를 만족하도록 배합설계 한 다음, 나머지는 동일한 배합비율을 적용하였다. 양생온도는 저온조건인 5°C와 표준 양생

Table 2 Mixture proportions of mortar

C:S (%)	W/B (%)	BS (%)	CS (%)	FC (%)	W (kg/m ³)	Unit weight(kg/m ³)				
						C	FC	BS	CS	S
1 : 3	50	0	0	0	249	497	0	0	0	1492
						447	0	50	0	1490
		20	0	25	248	397	0	99	0	1488
					248	298	99	99	0	1488
			50	248	198	198	99	0	1488	
				0	248	392	0	99	5	1490
	2	25	248	294	98	99	5	1490		
			50	248	196	196	99	5	1490	
	50	249	249	194	194	99	10	10	1492	
										10

조건인 20°C의 2수준으로 실시하였다.

실험사항으로 굳지 않은 모르타르에서는 플로, 공기량을 측정하는 것으로 하였고, 경화 모르타르에서는 압축강도 및 휨강도를 측정하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로서 시멘트는 국내산 A사의 OPC를 사용하였고, FC는 시멘트 분쇄과정에서 발생하는 미립자 시멘트를 백필터로 집진하여 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

혼화제로서 BS는 국내 Y사산으로 KS F 2563의 2종에 속하는 것을, CS는 S사산 이수석고를 사용하였는데, 그 물리·화학적 성질은 Table 4 및 Table 5와 같고, 골재로서 잔골재는 충북 청원군 옥산산으로 강모래와 부순모래를 4 : 6의 비율로 혼합하여 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 6과 같다.

Table 3 Physical properties of OPC

Kinds	Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Setting (min)		Compressive (MPa)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
OPC	3.15	3 302	230	375	20.9	28.4	38.9
FC	3.15	6 953	180	279	35.6	42.5	48.6

Table 4 Chemical and physical properties of BS

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Ig. loss (%)	Flow ratio (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Cl (%)
2.88	7 138	0.33	95	5.63	1.11	0.004

Table 5 Physical properties of CS

Density (g/cm ³)	Color	Compressive (MPa)		Setting time (min)	
		Wet	Dry	White	Final
2.78	White	7	12	11	34

Table 6 Physical properties of aggregate

Kinds	Density (g/cm ³)	Fineness modulus	Percentage of water absorption (%)
River sand	2.65	2.86	2.63
Crushed sand	2.50	2.62	1.42

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르타르의 혼합은 Fig 1의 순서에 따라 모르타르 전용믹서를 사용하여 혼합하였다.

굳지않은 모르타르의 실험으로 플로는 KS L 5111에 의거 측정하였고, 공기량은 KS F 2409에 의거 측정하였으며, 경화 모르타르의 실험으로 압축강도 및 휨강도는 각각 KS L 5105 및 ASTM C 348에 의거 실시하였다.

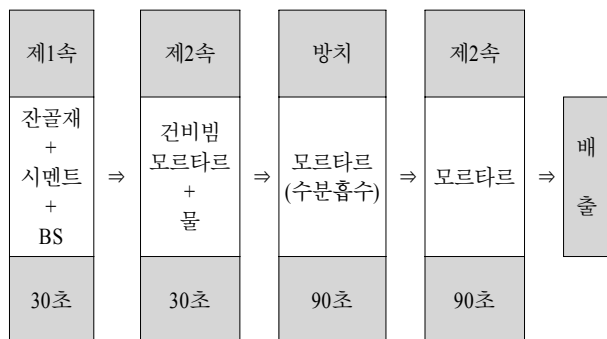


Fig 1 Flow of mixing process

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 모르타르의 특성

Table 7은 BS 치환 모르타르에 CS 및 FC 치환을 변화에 따른 플로 및 공기량을 나타낸 표이다.

Table 7 Characteristics of fresh mortar

W/B (%)	BS (%)	CS (%)	FC (%)	Flow (mm)	Air content (%)		
50	0	0	0	164	3.4		
	10	0	0	152	4.2		
	20	0	0	25	150	3.7	
			50	25	159	4.3	
	20	1	0	50	143	3.4	
			0	25	147	4.0	
			25	50	150	3.4	
			50	50	142	3.1	
	20	2	0	25	148	3.9	
			25	50	144	3.3	
					50	144	2.8

먼저, Plain 배합은 배합설계에 의해 목표 플로치를 만족하는 것으로 나타났고, BS는 치환율이 증가할수록 유동성이 저하하는 것으로 나타났다. 이는 BS의 높은 분말도로 인하여 분체량 및 비표면적의 증가에 기인한 것으로 분석된다. 또한, BS 20%에 CS를 치환한 경우는 치환율 변화에 따라 큰 영향이 없는 것으로 나타났으나, FC를 치환한 경우는 치환율이 증가 할수록 유동성은 Plain에 비해 13%까지 감소하였다. 이는 높은 분말도로 인하여 물과 접촉할 수 있는 비표면적이 넓어져 유동성에 기여하는 수분의 흡착량을 증가시켜 유동성이 저하하는 것으로 분석된다.

공기량은 BS 치환율이 증가할수록 미소하게 증가하였고, BS 20%에 CS를 치환한 경우는 공기량에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, FC를 치환한 경우는 FC 25%가 FC 0% 보다 높게 나타났으나, FC를 50%치환한 경우는 감소하는 것으로 나타났다.

3.2 경화 모르타르의 특성

3.2.1 압축강도

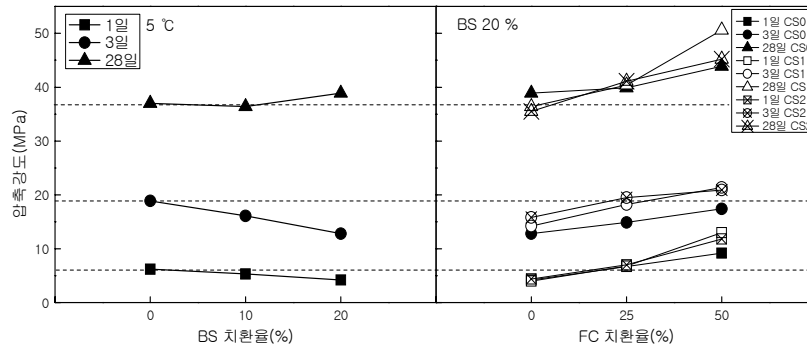


Fig 2. Compressive strength followed by changes of BS substitution rate and mixture (5 °C)

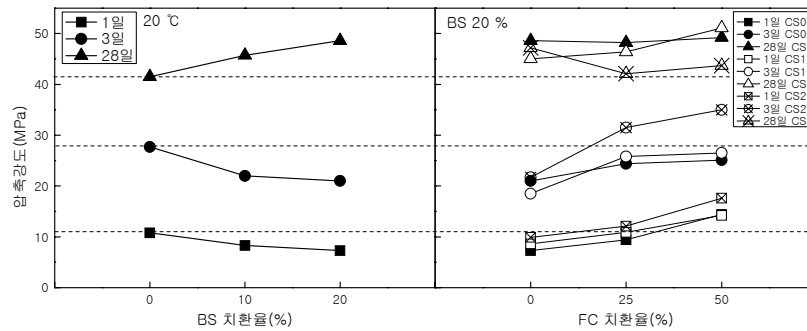


Fig 3. Compressive strength followed by changes of BS substitution rate and mixture (20 °C)

Fig 2~5는 양생온도 별 BS 치환율 변화와 BS 20 %에 CS 및 FC 복합 치환에 따른 압축강도를 2차원 및 3차원 그래프로 나타낸 것이다.

먼저 전체적으로 양생 온도에 따른 압축강도는, 당연한 결과겠지만, 5°C의 경우보다 20°C의 경우가 다소 높게 나타났다. 또한 각 양생 온도에 관계없이 BS의 치환율이 증가함에 따라 1일 및 3일 강도에서는 저하하는 것으로 나타났는데, 양생온도 5°C에서 BS 10%의 경우 초기재령에서의 강도가 약 20~23%정도 저하하였고, BS 20%의 경우 약 24~32%정도 저하하였다. 또한, 양생온도 20°C에서 BS를 10% 치환한 경우는 약 14~15% 저하하였고, BS를 20% 치환한 경우는 약 32~33% 저하하는 것으로 나타났다. 하지만, 재령 28일에서는 양생온도에 관계없이 강도가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 BS의 잠재수경성반응에 의하여 강도가 증진된 것으로 사료된다.

또한, BS 20%에 CS를 치환한 경우는 저온조건인 5°C

에서 치환율이 증가함에 따라 재령 1일의 강도 증진에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 3일에서는 미소하게 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 양생온도 20°C에서는 CS 치환율이 증가함에 따라 재령 1일에서도 미소하게 증가하는 경향을 나타냄으로서 전반적으로 강도 증진에 어느 정도 영향이 있지만 크지는 않은 것으로 나타났다. 또한, 양생 온도에 관계 없이 CS의 치환율이 증가함에 따라 재령 28일에서는 Plain 보다 다소 낮은 강도 값을 나타냈는데, 이는 초기재령에서 BS의 수화반응시 표면에 투과성이 나쁜 부정형의 겔상의 박막을 CS(CaCO_4)의 성분으로 인하여 파괴시킴으로써 잠재수경성반응을 수화 초기부터 촉진시킨 결과로 사료된다.

BS 20%에 FC를 치환한 경우는 치환율이 증가함에 따라 초기재령에서 Plain 보다 높은 강도를 발현하는 것으로 나타났고, 재령 28일에서도 Plain과 유사하거나 높은 강도를 나타내었다. 이는 FC를 치환한 경우 높은 시멘트 분말

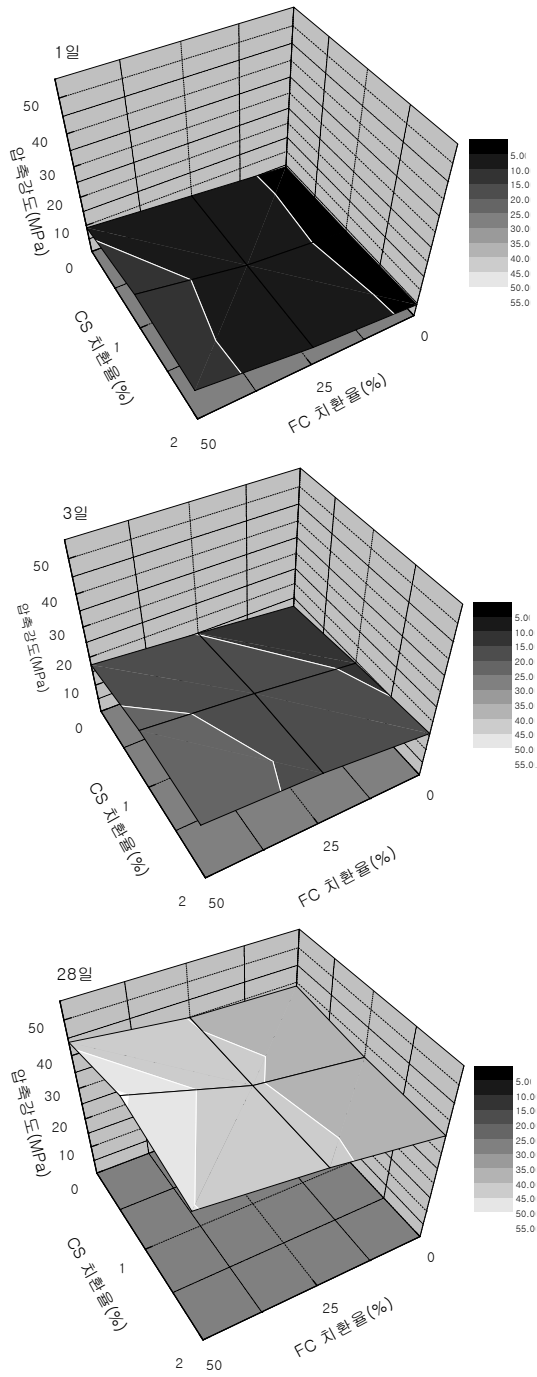


Fig 4. Compressive strength followed by changes of CS and FC substitution rate by each age (5 °C)

도로 인하여 초기의 수화반응이 촉진되고, 재령이 경과함에 따라 BS의 잠재수경성 반응이 더하여져 재령의 경과에 따라 Plain과 유사하거나 높은 강도를 나타낸 것으로 분석된다.

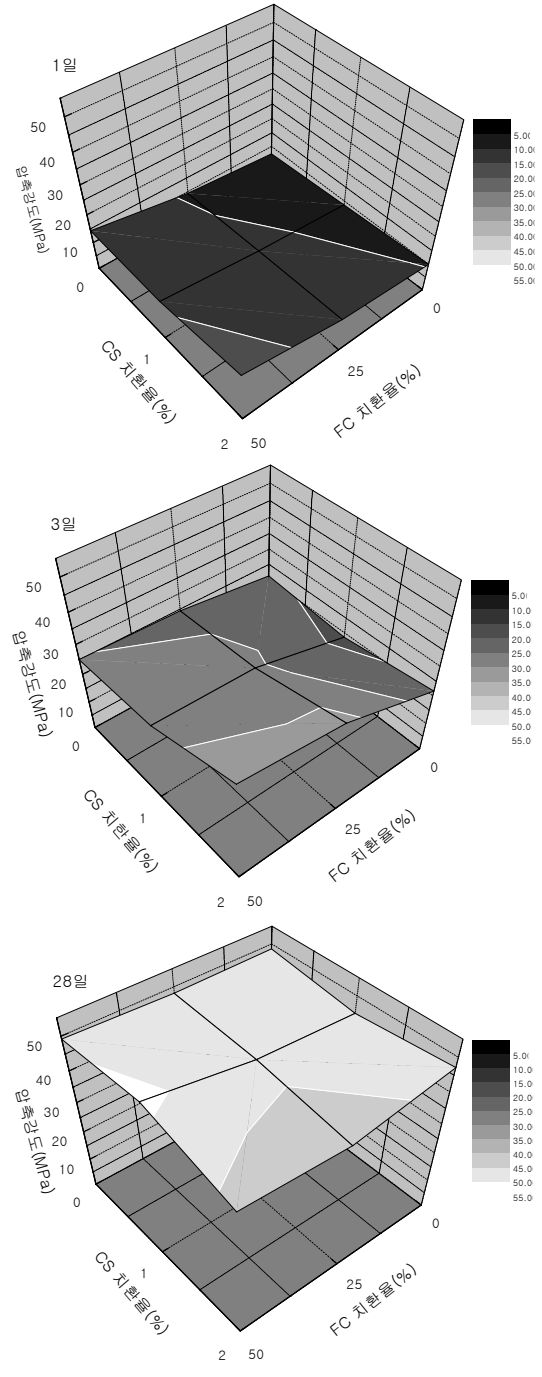


Fig 5. Compressive strength followed by changes of CS and FC substitution rate by each age (20 °C)

3.2.2 휨강도

Fig 6~9는 양생온도별 BS치환율 변화에 따른 휨강도와 BS 20%에 대하여 CS 및 FC 복합 치환에 따른 휨강도를 나타낸 그래프이다.

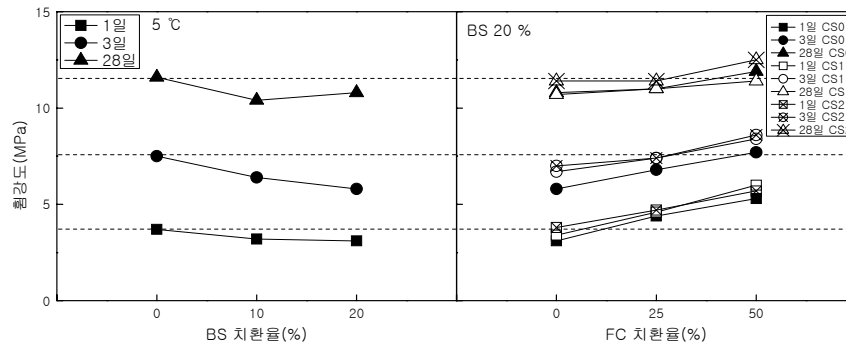


Fig 6. Flexural strength followed by changes of BS substitution rate and mixture (5 °C)

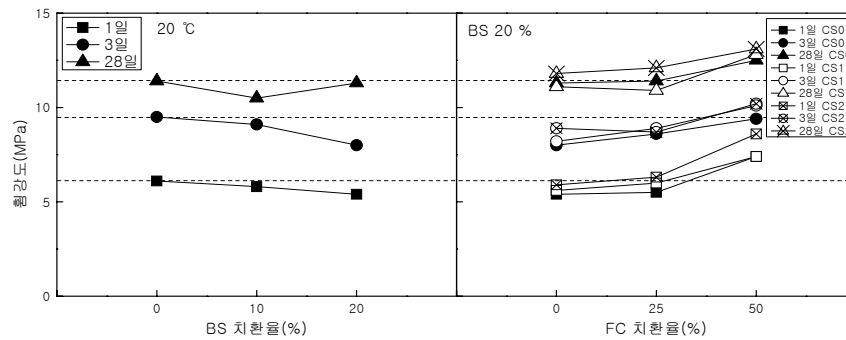


Fig 7. Flexural strength followed by changes of BS substitution rate and mixture (20 °C)

휨강도 결과 또한 압축강도 결과와 유사한 경향으로 나타났으나, 강도 저하의 차이는 압축강도보다 작게 나타났다. 일반적으로 휨강도는 섬유 등의 보강이 없는 조건에서는 압축강도와 유사한 추이를 보이는 것으로 알려져 있으며¹²⁾ 본 연구 결과에서도 유사하게 나타났다.

이상을 종합하여 볼 때, BS를 20% 치환한 모르타르의 1일 및 3일의 초기강도 저하문제를 해결하기 위하여는 CS의 활용은 효과가 적고, FC를 25%정도 치환하게 되면 가능할 수 있는 것으로 밝혀졌다.

4. 결론

본 연구에서는 BS치환 모르타르의 초기강도 저하 문제를 해결하고자 BS를 치환한 시멘트 모르타르에 대하여 양생온도 별 CS와 FC를 복합치환한 모르타르의 기초적 특성을 검토한 것으로, 본 연구의 범위내에서 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 모르타르의 특성으로 유동성은 BS 치환율이 증가할수록 감소하였고, BS 20%에 CS를 치환한 경우

는 치환율에 관계없이 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, FC를 치환한 경우는 치환율이 증가할수록 감소하였다.

2) 압축강도는 BS 치환율이 증가할수록 초기재령에서 강도가 저하하는 것으로 나타났고, 재령 28일에서는 잠재수경성 반응에 기인하여 약간 증가하는 것으로 나타났다.

3) BS 20% 치환 모르타르의 초기 압축 및 휨 강도향상에 대하여 CS를 치환한 경우는 치환율이 증가함에 따라 초기재령에서 미소하게 증가하는 것으로 나타났고, FC를 치환한 경우는 치환율이 증가할수록 초기 및 28일 재령에서 크게 증가하는 것으로 나타났다.

4) 종합적으로 BS 20% 치환 모르타르의 초기 강도 저하 문제의 해결로서 CS의 치환은 효과가 적고, FC 25%를 치환하여 사용하게 되면 Plain과 유사한 초기강도 값으로 나타나 양호한 품질의 향상을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

이와 같은 연구를 바탕으로 금후의 연구로는 콘크리트에 적용하여 실무활용 가능성까지를 검토하고자 한다.

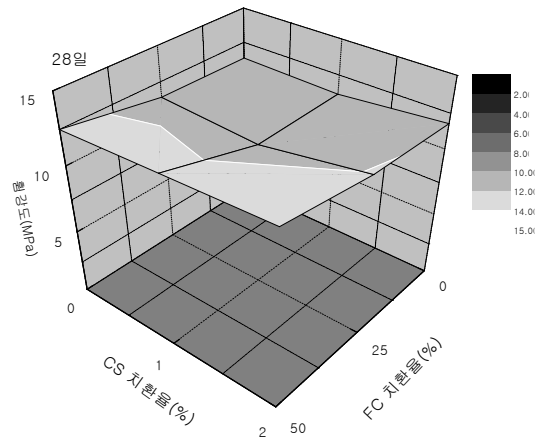
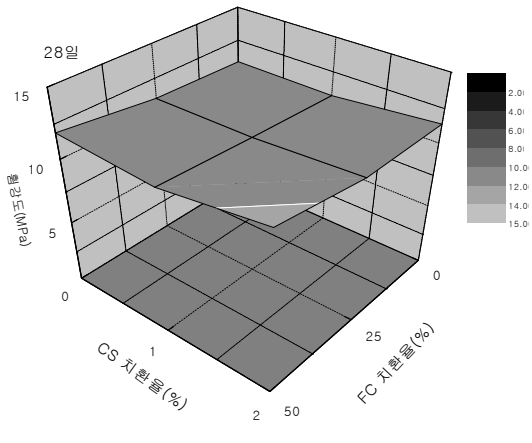
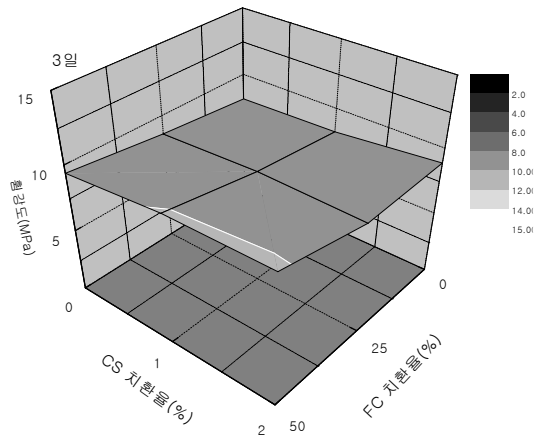
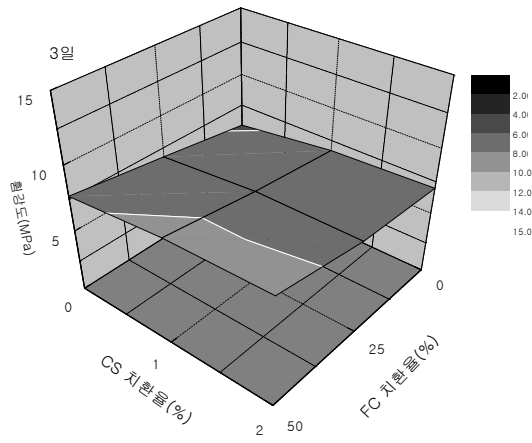
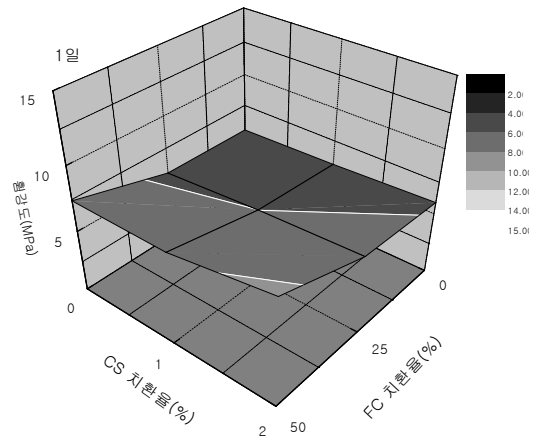
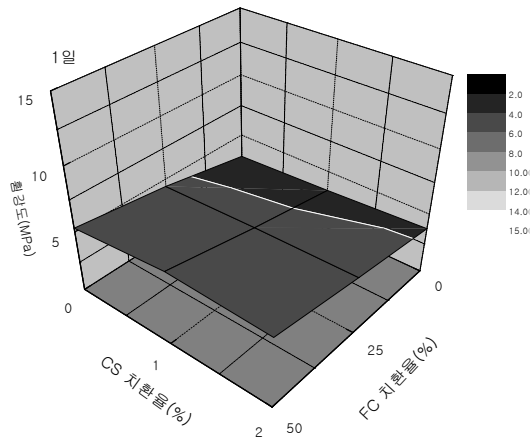


Fig 8. Flexural strength followed by changes of CS and FC substitution rate by each age (5 °C)

Fig 9. Flexural strength followed by changes of CS and FC substitution rate by each age (20 °C)

참고문헌

1. 대통령 직속 녹색성장 위원회, <http://www.greengrowth.go.kr/www/policy/strategy/strategy.cms>
2. 국립환경과학원, “환경부문 온실가스 배출량 inventory 작성 및 배출계수 개발”, 환경부, 2008

3. 김기훈, “미분시멘트 및 광물질 미분말을 사용한 콘크리트의 조기강도 발현 특성”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제27권, 제1호, PP. 531~534, 2007
4. 김무한, “고로슬래그미분말 대체율에 따른 고품질 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제23권, 제2호 PP. 367~

- 370, 2003
5. 김종백, “입도분급 시멘트 및 이를 사용한 시멘트 모르타르의 공학적 특성”, 대한건축학회논문집 구조계, 제23권, 제7호, PP. 111~118, 2007
 6. 김헌태, “고로슬래그 미분말을 사용한 고성능콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제26권, 제1호, PP. 425~428, 2006
 7. 임남기, “급냉고로슬래그 고미분말을 사용한 콘크리트의 물성에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 제21권, 제9호, PP. 113~120, 2005
 8. 황인태, “초기 고강도 고로슬래그 시멘트의 개발”, 대한건축학회 추계학술발표회 논문집, 제19권, 제2호, PP. 823~828, 1999
 9. 한민철, “적산온도방식의 콘크리트 강도증진해석에 의한 기온보정강도의 검토”, 대한건축학회논문집 구조계, 제15권, 제11호, PP. 71~78, 1999
 10. 한천구, “콘크리트의 초기 강도발현에 미치는 혼화재료의 영향”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제19권, 제9호, PP. 95~102, 2003
 11. 한천구, “고로슬래그 미분말을 다량 사용한 콘크리트의 초기품질 향상에 미치는 각종 혼화재료의 영향”, 한국콘크리트학회추계 학술발표회 논문집, 제28권, 제1호, PP. 733~736, 2008
 12. 양성철, “포정용 콘크리트의 강도 및 탄성계수 상관관계식”, 한국도로학회 논문집, 제9권, 제4호, PP. 205~213, 2007

석고 및 미분시멘트에 의한 고로슬래그 미분말 치환 시멘트 모르타르의 초기강도 향상에 관한 기초적 연구

본 연구에서는 고로슬래그 미분말(이하 BS)사용 모르타르의 초기강도가 저하하는 문제점을 해결하고자 BS 20%치환 시멘트 모르타르에 자극제로 석고(이하 CS)와 고분말도의 미분시멘트(이하 FC)를 치환 사용한 경우의 기초적 물성을 검토한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저, 굳지않은 모르타르의 특성으로 유동성은 BS 치환율이 증가할수록 감소하였고, BS 20%에 CS를 치환한 경우는 치환율에 관계없이 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났으며, FC를 치환한 경우는 치환율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 압축강도는 BS 치환율이 증가할수록 초기재령에서 강도가 저하하는 것으로 나타났고, 재령 28일에서는 잠재수경성 반응에 기인하여 약간 증가하는 것으로 나타났다. BS 20% 치환 모르타르의 초기 압축 및 휨 강도향상에 대하여 CS를 치환한 경우는 치환율이 증가함에 따라 초기재령에서 미소하게 증가하는 것으로 나타났고, FC를 치환한 경우는 치환율이 증가할수록 초기 및 28일 재령에서 강도가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 종합적으로 BS 20% 치환 모르타르의 초기 강도 저하 문제의 해결로서 CS의 치환은 효과가 적고, FC 25%를 치환하여 사용하게 되면 OPC만을 사용한 Plain과 유사한 것으로 나타나 양호한 품질의 향상을 기대할 수 있을 것으로 분석된다.