

고로슬래그 미분말과 순환잔골재를 사용하는 친환경 모르타르에 탈황석고 및 시멘트에 의한 품질향상

Improving Quality of Eco-Mortar Incorporating Blast Furnace Slag and Recycled Aggregate Depending on Replacement Gypsum and Cement

백 병 훈¹ 한 천 구^{2*}
Baek, Byung Hoon¹ Han, Cheon-Goo^{2*}

Department of Architectural Engineering, Semyung University, Sinwoul-Dong, Jecheon-City, 390-711, Korea ¹
Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Cheongwon-Gu, Cheongju-City, 360-764, Korea ²

Abstract

As a solution of both environmental issue of reducing carbon dioxide emission and sustainable issue of exhausting natural resources, in concrete industry, many research on recycling various by-products or industrial wastes as the concrete materials has been conducted. The aim of this research is feasibility analysis of additional reaction with ordinary Portland cement and flue gas desulfurization gypsum based on the blast furnace slag and recycled fine aggregate based mortar to achieve the normal strength range. Consequently, in the case of mortar replaced 10% FGD and 30% OPC for BS, 80% of plain OPC mortar's compressive strength was achieved. Furthermore, when the water-to-binder ratio is decreased to keep the practically similar level of flow, it is expected to be achieve the equivalent compressive strength to plain OPC mortar.

Keywords : desulfurized gypsum, eco mortar, recycled aggregate, blast furnace slag

1. 서 론

최근, 콘크리트 산업에서는 CO₂ 배출량 감소등 환경문제와 함께 부존자원의 고갈대책도 중요한 문제점으로 제기되어, 이를 동시에 해결하기 위하여 각종 산업부산물이나 산업폐기물을 콘크리트용 자원으로 재이용하는 방법이 연구되고 있다. 그런데, 순환골재 생산 시 발생하는 순환 잔골재(이하 RFA)의 경우는 천연 골재에 비해 골재 표면에 부착되어 있는 다량의 시멘트 모르타르에 의한 강한 알칼리성과 낮은 밀도, 큰 흡수율등 저품질문제로 실무 적용에는 많은 제한이 따르고 있는 실정이다[1]. 또한, 제

철소에서 발생하는 산업부산물인 고로슬래그 미분말(이하 BS)의 경우는 콘크리트용 혼화재로서 수화열 저감, 장기 강도 증진, 수밀성 증대 등의 효과를 가지고 있지만, 초기 강도 저하, 탄산화 촉진등의 문제점이 있는데, 특히 최근에는 발생량증대로 다량사용도 고민하고 있다[2,3].

이와 관련하여 선행 연구에서는 BS와 RFA를 사용하는 무 시멘트 상태에서 알칼리 액티베이션(Alkali activation)화 시키는 새로운 메커니즘으로 강도 발현성을 확인한 바 있다. 그러나, 이 경우는 8MPa정도의 저강도영역에만 한정 되고 있음에, 추가적인 연구로 알칼리 자극 이외에도 황산염 자극으로 강도를 향상시킬 수 있음이 보고되고 있다[4]. 따라서 경제성을 고려하여 산업부산물인 탈황 석고(이하 FGD) 와 또한 최소한의 강도보증을 위한 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)를 어느정도 보충한다면 일반 강도 영역까지의 강도증진도 가능할 수 있을 것으로 추측된다[4].

Received : January 5, 2015

Revision received : February 16, 2015

Accepted : March 23, 2015

* Corresponding author : Han, Cheon-Goo

[Tel: 82-43-229-8480, E-mail: cghan@cju.ac.kr]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

그러므로, 본 연구는 BS와 RFA혼합 모르타르를 기반으로 하여 BS의 잠재 수경성 반응을 FGD와 OPC의 자극 반응으로 추가 활성화시킴으로써 일반 강도 영역까지의 모르타르 활용성을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다. 즉, 모르타르 배합비는 바인더 (B)와 RFA의 비를 1 : 3으로 하고 물 결합재비(W/B)가 50%인 1 수준을 플레인으로 하였다. 실험변수로 FGD는 BS에 대한 치환율로 0, 10, 20%의 3수준을 계획하고, OPC는 결합재에 대한 치환율로 0, 10, 20, 30, 50, 75%의 6수준을 실험계획 하였다. 단, 플레인은 OPC 100%의 경우로 천연잔골재(NFA)와 RFA로 하여 2수준에 대하여만 적용하는 것으로 하였다.

Table 1. Experimental plan

Items	Variables		
Mixture	B ¹⁾ : S	1	1 : 3
	W/B(%)	1	50
	Aggregate	1	RFA
	FGD's replacement ratio for BS(%)	3	0, 10, 20
	OPC's replacement ratio for Binder composition(%)	7	Plain ²⁾ , 0, 10, 20, 30, 50, 75
Fresh mortar	2	Flow, Setting time	
Test items	Hardened mortar	2	Compressive strength (3, 7, 28, 91 days)
			Flexural strength (3, 28days)

1) B: binder (BS + FGD : Flue Gas Desulfurizer)
 2) Plain: OPC(Ordinary Portland Cement) + NFA/ OPC + RFA

Table 2. Mixture proportions of the mortar

B:S	Replacement ratio of FGD(%)	Replacement ratio of OPC(%)	Unit weight (kg/m ³)						
			OPC	BS	FGD	W	NFA	RFA	
0	0	100*	498	0	0	249	1	509	0
	0	100*	471	0	0	236	0	1	427
	0	0	465	0	0	233	0	1	408
	10	47	419	0	0	233	0	1	410
	20	93	373	0	0	233	0	1	412
	30	140	327	0	0	233	0	1	414
	50	234	234	0	0	234	0	1	418
1:3	75	352	117	0	0	235	0	1	423
	0	0	418	46	0	232	0	1	408
	10	47	373	46	0	233	0	1	410
	20	93	326	46	0	233	0	1	412
	30	140	280	46	0	233	0	1	414
	50	234	187	46	0	234	0	1	418
	75	352	70	46	0	235	0	1	423
20	0	0	372	93	0	232	0	1	408
	10	47	326	93	0	233	0	1	410
	20	93	280	93	0	233	0	1	412
	30	140	233	93	0	233	0	1	414
	50	234	140	93	0	234	0	1	418
	75	352	24	93	0	235	0	1	423

* Plain: OPC 100%and NFA, RFA of used

실험사항으로는 굳지 않은 모르타르에서 플로치 및 응결시간, 경화 모르타르에서 압축강도 및 휨강도를 측정하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

사용재료로서 OPC는 KS L 5201의 국내산 1종을, BS는 국내산 KS F 2563의 3종을 사용하였고, FGD는 국내산 산업부산물인 배연 탈황석고를 사용하였는데, 그 물리·화학적 성질은 Table 3과 같다. 골재로 NFA는 충북 W사산, RFA는 습식방식으로 제조된 이천 D사산을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 3. Physical and chemical properties of binders' used

Type	Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Chemical component(%)					
			CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Al ₂ O ₃
OPC	3.15	3 144	63.4	22.0	3.44	2.13	1.96	5.27
BS	2.90	4 254	42.5	34.2	0.41	5.26	1.95	13.2
FGD	2.85	5 000	62.0	2.75	0.65	1.51	25.5	0.47

Table 4. Physical properties of aggregates

Type	Density (g/cm ³)	F.M.	Water absorption ratio (%)	Passing 0.08mm sieve size(%)
NFA	2.56	2.86	2.63	2.87
RFA	2.38	2.76	4.08	2.40

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저 모르타르의 제조는 KS L 5105에 따른 Figure 1의 방법에 따라 실시하였다. 또한 굳지않은 모르타르의 플로, 응결시간은 KS F 2402, KS L 2763, 경화 모르타르의 압축강도 및 휨강도는 KS L 5105, KS F 2408규정에 의거 표준적인 방법으로 실시하였다.

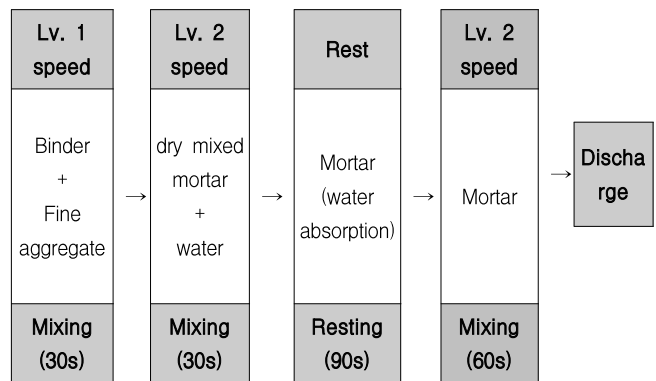


Figure 1. Mortar mixture

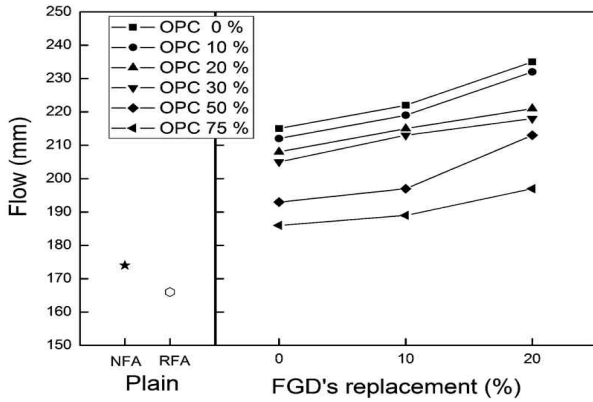


Figure 2. Flow with FGD replacement

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 모르타르의 특성

3.1.1 플로

본 연구의 실험결과 중 굳지 않은 모르타르의 특성에 관한 분석으로 Figure 2는 OPC치환율별 FGD치환율 변화에 따른 플로값을 나타낸 것이다. 먼저, 플로치는 FGD치환율이 증가할수록 석고의 매끄러운 입자특성 및 Table 3과 같은 높은 분말도의 점성증진 작용에 의해 Kim and Ham[5]의 석고를 혼합한 알칼리 활성화 슬래그 모르타르의 특성 연구와 유사하게 유동성이 증가한 것으로 분석된다. 단 OPC의 치환율 증가에 따라서는 오히려 저하하는 것을 알 수 있었다.

플레인의 경우 OPC 100% 치환시 RFA를 사용한 경우는 NFA를 사용한 경우보다 더 낮은 플로치로 나타났는데, 이는 NFA보다 RFA가 골재의 입형 불량, 흡수율 증가 등 불리한 골재특성에 기인하여 10mm 전후로 작게 나타났다[6].

3.1.2 응결시간

Figure 3, 4, 5는 FGD 및 OPC치환율별 경과시간에 따른 관입저항치로 초결 및 종결시간을 나타낸 그래프이다. 먼저, FGD 및 OPC 치환율이 증가함에 따라 응결시간이 빨라지

는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 RFA를 사용한 경우, 높은 pH치 및 FGD, OPC의 자극에 의한 영향으로 BS의 반응속도가 촉진되어 응결시간이 많이 단축된 것으로 판단된다[4].

특히 FGD 10~20%, OPC 75% 치환시에는 응결시간이 Plain 인 OPC 100%와 NFA/RFA를 사용한 수준보다 응결시간이 더 단축되는 것으로 나타났다.

3.2 경화 모르타르의 특성

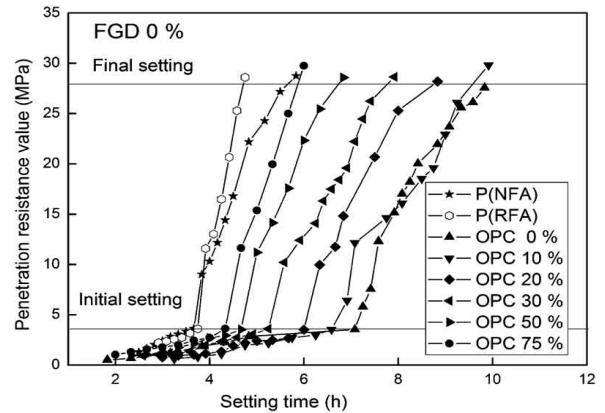


Figure 3. Penetration resistance value with OPC replacement

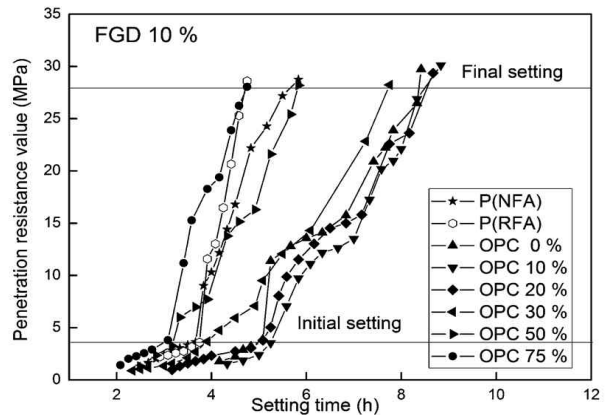


Figure 4. Penetration resistance value with OPC replacement

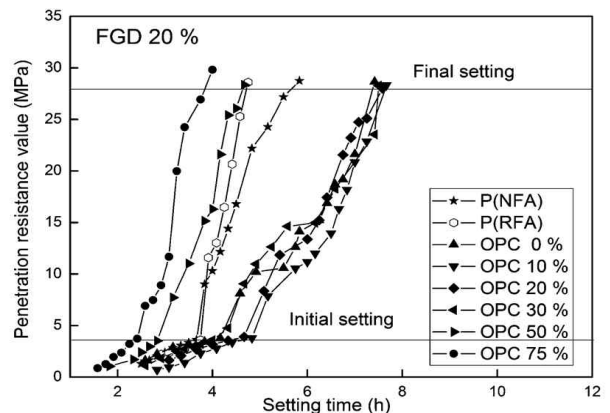


Figure 5. Penetration resistance value with OPC replacement

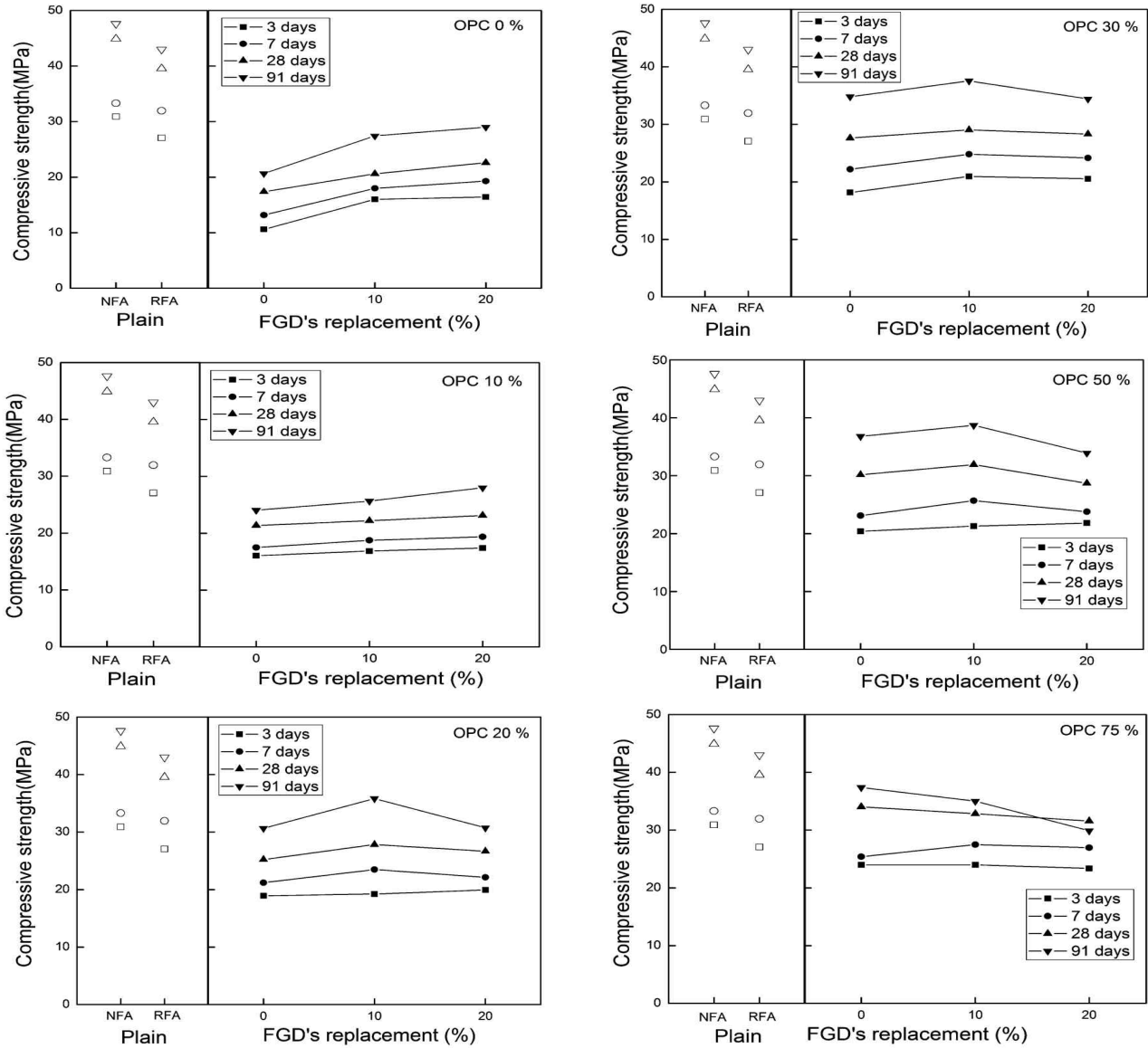


Figure 6. Compressive strength with FGD replacement

3.2.1 압축강도

경화 모르타르의 특성분석으로 Figure 6은 OPC 치환율 및 재령별 FGD치환율을 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 먼저, 전반적으로 초기재령에서는 FGD치환율이 증가함에 따라 압축강도 발현이 높게 나타났다. 또한, OPC 치환율이 증가함에 따라 강도는 증가하였지만, FGD가 치환됨에 따라 특히 후기강도는 저하하는 경향이 나타났다. 즉, FGD 0%인 경우 BS는 석고의 영향을 받지 않고 순환잔골재의 알칼리와 OPC 수화생성물인 강알칼리 성분을 바탕으로 BS의 잠재수경성을 활성화 시켜 강도가

증가하였지만, Plain인 OPC 100%와 NFA/RFA를 사용한 경우에 비해서는 16~42% 저하하는 것을 알 수 있었다.

FGD 치환율의 경우는 OPC 0~10%치환시 FGD치환율이 증가할수록 증가지만 OPC 20%부터 50% 치환시는 FGD를 10%치환할 때가 가장 높은 강도를 나타내었으며 OPC 75% 치환한 경우는 FGD치환율 증가에 따라 감소하는 경향이였다.

또한, OPC 치환율이 0~10% 경우 FGD 치환율이 증가할수록 압축강도는 크게 증가되었지만, OPC 20% 이상 치환 사용한 경우 FGD치환율에 따라 후기강도는 점점 저하

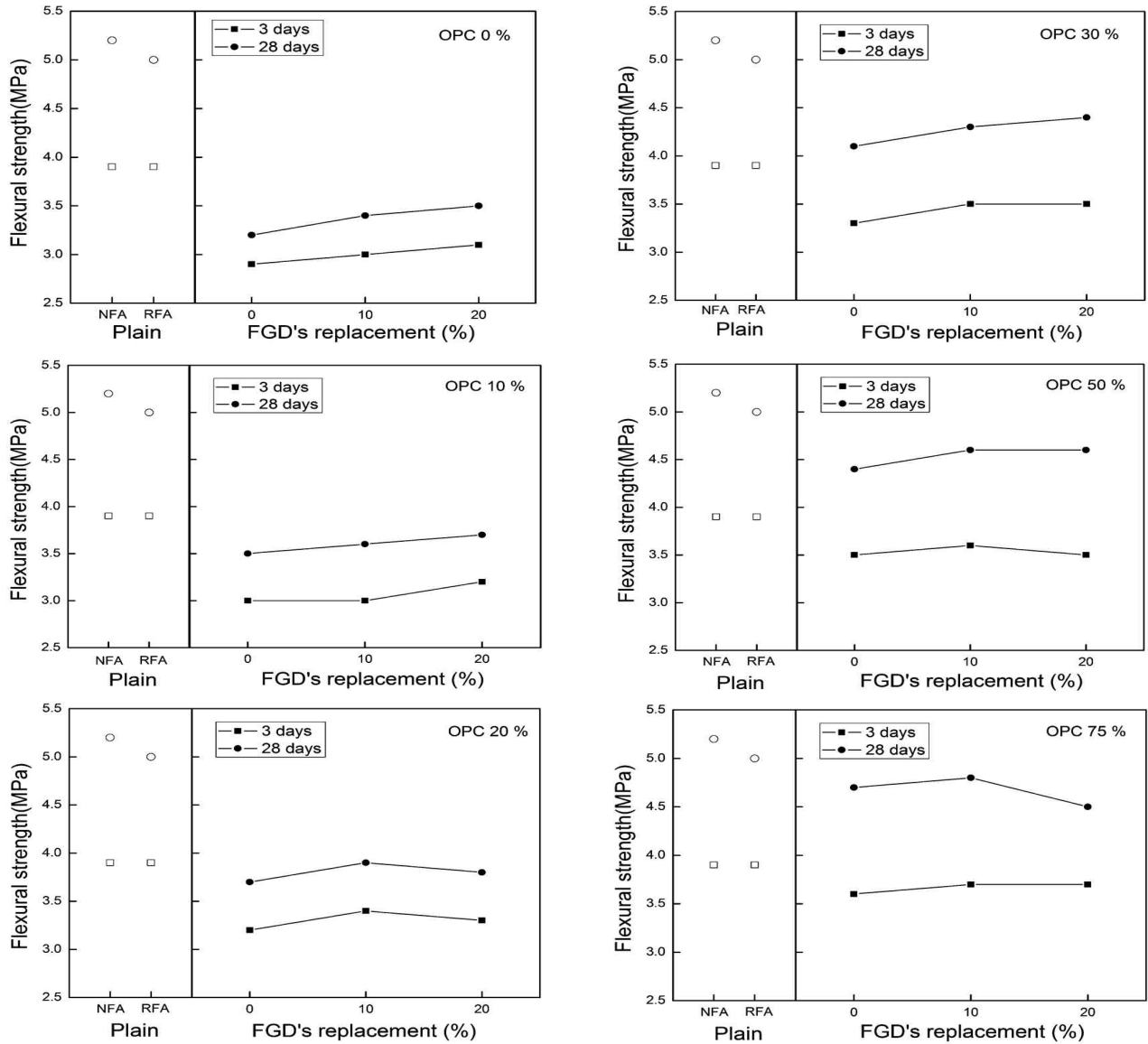


Figure 7. Flexural strength with FGD replacement

하는 것을 알 수 있었다, 이는 RFA에 포함된 알칼리 성분이 용출되어 자극제가 되었으며, FGD의 화학성분 중에 높은 함유량인 CaSO_4 가 액상으로 공존하면서 황산염의 추가자극 역할 및 유효한 범위에서 에트링가이트 수화물이 다량 생성됨으로써 압축강도가 최대한 발휘되었지만 FGD이 치환율이 증가되고 후기재령으로 될수록 지나친 에트링가이트 생성은 조직 불안정을 유도하여 압축강도가 저하한 것으로[6,7,8,9] 분석된다. 결과적으로 Plain보다 약간 강도는 낮지만 안정성과 경제성까지도 고려하면 FGD 10%, OPC 30% 치환시 가장 유효한 조합으로 플레

인의 80%전후이긴 하지만 일반강도영역에는 도달할 수 있는 것으로 분석된다.

그리고 Plain의 경우는 RFA보다 NFA의 강도가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 NFA보다 RFA가 골재제조과정 중 페콘크리트나 모르타르분 등 각종 이물질이 다량 함유되어 Table 4와 같이 밀도가 작고 흡수율이 크게 나타나는 등 품질의 열악함에 기인하여[2] 압축강도가 저하된 것으로 사료된다.

3.2.2 휨강도

Figure 7은 압축강도와 동일요령으로 OPC치환율 및 재령별 FGD치환율 변화에 따른 휨강도를 나타낸 것이다. 휨강도도 압축강도와 마찬가지로 FGD 및 OPC치환율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었지만, 28일 재령 FGD 20%에 OPC 75% 치환율에 있어서는 강도발현성이 저하하는 것으로 나타났다. 이는 초기재령에서 석고와 C₃A반응으로 생성된 에트링가이트에 의한 강도 증진 및 RFA의 알칼리와 석고의 황산염 복합작용으로 BS의 잠재 수경성을 최대한 발현하여 강도가 더 증가한 것으로 분석된다. 단, FGD의 치환율을 20%까지 증가시킨 경우 후기 재령에서는 최적치환범위를 초과하여 생성된 에트링가이트가 모르타르의 조직을 팽창 약화시킴에 기인하여 휨강도가 저하된 것으로 사료된다[4,5].

4. 결 론

산업부산물인 BS에 골재로 NFA 대신 알칼리 자극을 부가한 RFA를 사용하는 친환경 모르타르에 황산염자극제로 BS에 대하여 FGD 및 추가적인 알칼리자극제로 결합재에 OPC의 치환율을 변화시켜 일반강도 영역까지 사용성이 확대될 수 있는지의 활용성을 검토하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 유동성 측면에서 실험변수로 고려한 FGD의 치환율이 증가할수록 플로치는 증가하였고, OPC 치환율이 증가함에 따라서는 감소하는 것으로 나타났다. 또한 OPC 100%사용 플레인의 경우에서 RFA를 사용한 경우는 NFA를 사용한 경우보다 골재특성에 기인하여 더 낮은 것으로 나타났다.
- 2) 응결시간은 FGD 치환율 및 OPC 치환율 증가에 따라 점점 촉진되는 것으로 나타났는데, 특히 FGD 20%, OPC 75% 치환시에는 초결과 종결시간이 플레인인 OPC 100%를 사용한 경우보다 단축되는 결과를 나타내었다.
- 3) 압축강도와 휨강도 모두 초기재령에서는 FGD치환율이 증가함에 따라 높게 나타났다. 또한, OPC 치환율이 증가함에 따라 강도는 증가하였지만, FGD가 20%정도 치환됨에 따라 후기재령일수록 강도는 저하하는 경향이 나타났다.

이상을 종합하여 볼 때, BS에 RFA를 사용하는 친환경 모르타르의 경우 FGD 10%, OPC 30%를 치환하면 OPC 100%를 사용한 플레인의 80%정도인 보통강도정도가 발휘되었다. 그러나 실용적인 측면에서는 BS + RFA인 친환경 모르타르의 유동성이 플레인보다 크게 발휘됨에 이를 동일하게 유지하며 물-결합재비를 낮춰 주게 된다면 더욱 플레인 강도영역에 근접할 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

최근, 콘크리트 산업에서는 CO₂ 배출량감소등 환경문제와 함께 부존자원의 고갈대책도 중요한 문제점으로 제기되어, 이를 동시에 해결하기 위하여 각종 산업부산물이나 산업폐기물을 콘크리트용 자원으로 재이용하는 방법이 연구되고 있다. 본 연구는 고로슬래그 미분말(BS)과 순환잔골재(RFA) 혼합 모르타르를 기반으로 하여 BS의 잠재 수경성 반응을 탈황석고(FGD)와 보통포틀랜드 시멘트(OPC)의 자극반응으로 추가 활성화시킴으로써 일반 강도 영역까지의 모르타르 활용성을 검토하고자 하였다. 결과적으로, BS에 FGD 10%, OPC 30%를 치환하고 RFA를 사용할 경우 OPC만을 사용하는 플레인 모르타르의 80% 정도인 보통강도모르타르가 발휘되었지만 실용적인 측면에서 유동성적으로 플로치를 동일하게 유지하는 물-결합재를 낮춰 주게 된다면 더욱 플레인 강도영역에 근접할 수 있을 것으로 사료된다.

키워드 : 탈황석고, 친환경 모르타르, 순환잔골재, 고로슬래그 미분말

Acknowledgement

This work was financially supported by Semyung University in 2014.

References

1. Kim DG. Development of Zero-Cement Brick using Blast Furnace Slag Powder, Recycled Fine Aggregates and Functional Fine Particle [Dissertation]. [Cheongju (Korea)]: Cheongju University; 2012. 177 p.

-
2. Park KT, Effect of Mix Proportions on the Properties of Blast Furnace Slag Mortar Using the Recycled Fine Aggregates, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, 2010 May;2(1):47–50.
 3. Shim JW, A Study on the Strength Property of Recycled Fine Aggregate (Wet Type) Mortar with Blast Furnace Slag, Korea institute for Structural Maintenance Inspection, 2006 Oct;1(5):153–9.
 4. Baek BH, Han CG, Effect of Calcium Sulfate Dihydrate (Gypsum) on the Fundamental Properties of Slag-based Mortar, The Korea Institute of Building Construction, 2014 Jun;144(3):252–8.
 5. Kim TW, Hahm HG, Mechanical Properties of the Alkali-Activated Slag Mortar with Gypsum, Korea institute for Structural Maintenance Inspection, 2012 May;16(3):109–16.
 6. Son SH, Development of Zero-Cement Mortar Using Reactivity of Recycled Fine Aggregates and Mineral Admixtures [Dissertation], [Cheongju (Korea)]: Cheongju University; 2012, 165 p.
 7. Moon GD, Kim JH, Cho YK, Effect of Anhydrite on the Mechanical and Durability Properties of High Volume Slag Concrete, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, 2014 Sep;2(3):239–46.
 8. Han CG, Kim JB, Development of Admixture for PHC Pile Concrete Using Anhydrite and Blast Furnace Slag Powder, Architectural Institute of Korea, 2012 Aug;27(8):123–30.
 9. Park HE, Jun YB, Jeong YU, Oh JE, Hydration of non-cement CaO-activated slag with various gypsum contents, Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2013 Oct 16–18; Gangwon, Korea, Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2013, p. 301–2.