

3성분계 시멘트에서 FA 및 BS의 최적혼합비율 도출에 관한 연구

A Study on Optimum Proportion of FA and BS for Ternary Cement

한천구¹ · 박성배^{2*}Cheon-Goo Han¹ · Sung-Bae Park^{2*}

(Received May 20, 2016 / Revised June 8, 2016 / Accepted June 8, 2016)

The aim of research is inducing the optimum proportion of fly ash(FA) and blast furnace slag(BS) for ternary cement. In this research, hence, the fundamental properties of mortar mixtures were evaluated depending on various proportion of FA and BS. The results of the experiment, within the scope of the study, obtained the following conclusions. Flow of the mixtures was increased with addition of binary supplementary cementitious material(SCM), and especially, portion of FA. The air content of the mixtures was increased with addition of binary SCMs, while it was decreased with increased FA content. In the case of unit mass, increased value was obtained due to the increased air content within 25 to 45% of binary SCM content, while it was increased within 65 to 100% of binary SCM up to only 20% of FA content and decreased more than 20% of FA because of the low density of FA. The setting time of the mixtures was delayed with addition of binary SCM and FA. In the case of compressive strength, at 91-day age, the highest value was obtained with 25 and 45% of binary SCM with the proportion of FA to BS of 40 to 60. Therefore, based on the compressive strength, it is considered that the binary SCM content of 25 and 45% with the proportion of FA to BS of 2 : 3 is the most favorable conditions in this research scope.

키워드 : 3성분계 시멘트, 플라이애시, 고로슬래그 미분말, 혼합비율**Keywords** : Ternary blended cement, Fly ash, Blast furnace slag powder, Mixing ratio

1. 서론

최근 지구온난화 등 환경문제가 심각해짐에 따라 전 세계적으로는 이에 대한 대책을 마련하고 있다. 우리나라의 경우도 이와 같은 환경대책의 일환으로 정부에서는 저탄소 녹색성장을 정책기조로 수립하여 적극 추진하고 있다(Han 2009). 특히 건설 산업에서는 이산화탄소 배출량을 저감하기 위해 콘크리트나 모르타르 배합 시 산업부산물인 플라이애시(이하 FA), 고로슬래그 미분말(이하 BS), 메타카올린, 실리카 폼 등의 광물질 혼화재를 다량 치환하여 사용하고 있는 상황이다(Choi & Jeon 2015).

그러나 실무에서 가장 많이 활용되는 FA와 BS의 혼화재들 간에는 적정 혼합비율을 준수하여 활용하는 경우 유동성 향상, 수화열 저감, 장기강도 증진, 경제성 향상 및 친환경성에 기여 등의 장점이

있는 반면(Baek et al. 2015) 그렇지 않은 경우에는 응결지연, 강도 및 내구성 저하 등 단점이 존재함에도 불구하고, 실무의 일부 현장에서는 단지 시멘트 사용량을 줄이는 목적, 즉 원가절감 측면만 고려하여 오남용이 우려되고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 광물질 혼화재의 치환율을 달리하는 3성분계 시멘트에서 FA와 BS간의 다양한 혼합비율에 따른 시멘트 모르타르의 품질특성을 분석함으로써 3성분계 시멘트에서 FA와 BS간의 최적혼합비율을 도출하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 Table 1 및 2와 같다. 즉,

* Corresponding author E-mail: formpark64@samoocm.com

¹청주대학교 건축공학과, 교수 (Department of Architectural Engineering, Cheong-ju University, Professor, Cheongju, 28503, Korea)²청주대학교 건축공학과, 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Cheong-ju University, Doctor's course, Cheongju, 28503, Korea)

Table 1. Experimental plan

Factors		Levels	
Mixture	B : S ¹⁾	1	· 1 : 3
	W/B(% ²⁾)		· 45
	Target flow(mm)		· 120±10
Mixture	Admixture replacement(% ³⁾)	5	· 0 ⁴⁾ , 25, 45, 65, 100
	Admixture proportion(%)		FA ⁵⁾
		0	100
		20	80
		40	60
		60	40
	80	20	
100	0		
Experiment	Fresh mortar	4	· Flow · Air content · Unit mass · Setting time
	Hardened mortar		1

¹⁾Binder : Sand

²⁾Water/Binder

³⁾{(FA+BS)/OPC}×100

⁴⁾Plain

⁵⁾Fly ash

⁶⁾Blast furnace slag powder

실험요인으로 모르타르 배합비(B : S)는 1 : 3에 물결합재비(W/B)는 혼화재를 치환하지 않은 Plain의 플로 값이 120±10mm를 만족하는 45% 1수준으로 계획하였다. 배합사항으로 결합재에 대한 혼화재(FA+BS)의 치환율은 KS L 5210(고로슬래그 시멘트)의 1종, 2종, 3종 및 극단적인 상황까지를 고려하여 0, 25, 45, 65, 100%의 5수준으로 하였고, 혼화재 비율은 FA : BS를 0 : 100부터 100 : 0까지 6수준으로 총 25배치를 실험계획 하였다. 이때, AE제 사용량은 Plain의 공기량 4.5±1.5%에 만족하도록 배합설계한 후 모든 실험 변수에 동일하게 적용하는 것으로 하였다.

실험사항으로는 굳지않은 모르타르에서는 플로, 공기량, 단위 용적질량 및 응결시간, 경화 모르타르에서는 재령별 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료는 모두 실무 건설공사에서 활용하고 있는 일반적인 것을 사용하였다. 먼저 OPC는 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 혼화재로 플라이애시는 국내 A사의 2종, 고로슬래그 미분말은 국내 S사의 3종을 사용하였는데, 그 물리·화학적 특성은 Table 3~5와 같다.

본 실험에 사용한 잔골재는 충청권에서 생산되는 부순 잔골재로, 그 물리적 성질은 Table 6과 같다.

Table 2. Mixture proportions of Mortar

Series			W/B (%)	W ¹⁾ (kg/m ³)	Mass for unit volume of mortar(kg/m ³)				
Type	FA	BS			OPC ²⁾	FA	BS	S	AE ³⁾
0	0	0	45	233	518	0	0	1,553	0.155
25	0	100		232	387	0	129	1,547	0.155
	20	80		231	386	26	103	1,543	0.154
	40	60		231	385	51	77	1,540	0.154
	60	40		230	384	77	51	1,535	0.153
	80	20		230	383	102	26	1,532	0.153
45	100	0		229	382	127	0	1,529	0.153
	0	100		232	283	0	232	1,543	0.154
	20	80		230	282	46	184	1,535	0.154
	40	60		229	280	92	138	1,529	0.153
	60	40		228	279	137	91	1,522	0.152
65	80	20		227	278	182	46	1,515	0.152
	100	0		226	277	226	0	1,509	0.151
	0	100		231	180	0	333	1,539	0.154
	20	80		229	178	66	265	1,528	0.153
	40	60		228	177	132	197	1,519	0.152
100	60	40		226	176	196	131	1,509	0.151
	80	20		225	175	260	65	1,500	0.150
	100	0		224	174	323	0	1,491	0.149
	0	100		229	0	0	510	1,529	0.153
	20	80		227	0	101	404	1,515	0.151
100	40	60		225	0	200	300	1,501	0.150
	60	40		223	0	297	198	1,487	0.149
	80	20		221	0	393	98	1,473	0.147
	100	0		219	0	486	0	1,459	0.146

¹⁾Water

²⁾Ordinary portland cement

³⁾Air-entraining

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min.)		Compressive strength(MPa)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3,390	0.05	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 4. Physical and chemical properties of FA

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I ¹⁾ (%)	SiO ₂ (%)	Moisture content(%)
2.27	3,850	2.50	51.3	0.10

¹⁾Loss on ignition

Table 5. Physical and chemical properties of BS

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Chemical components(%)				
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
2.89	4,520	1.50	34.2	14.6	0.32	42.3	6.4

Table 6. Physical properties of crushed fine aggregate

Density (g/cm ³)	Solid volume(%)	Passing ratio of 0.08mm sieve(%)	Fineness modulus
2.62	56.9	0.30	2.92

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저 모르타르의 혼합은 Fig. 1의 순서와 시간으로 모르타르 므시를 사용하여 진행하였다. 굳지않은 모르타르의 특성 실험으로 플로 값은 KS L 5111, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409, 응결시간은 KS F 2763에 의거하여 측정하였고, 경화 모르타르의 실험으로 압축강도는 KS L 5105에 의거 측정하였다.

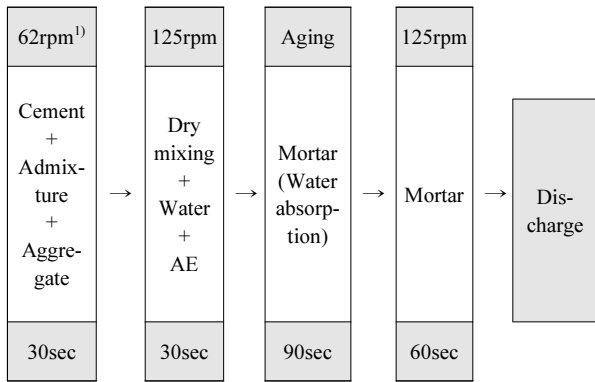


Fig. 1. Mixing of mortar

¹⁾Revolutions per minute

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 모르타르의 특성

굳지않은 모르타르의 특성으로 Fig. 2~4는 혼화재 치환율 별 FA 및 BS의 혼합비율 변화에 따른 플로, 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

먼저 플로 값의 경우 혼화재 치환율 및 FA의 혼합비율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 FA의 둥근 입형이 시멘트 모르타르 내에서의 볼베어링과 같은 작용으로 유동성이 증가한 것으로 판단된다(Jeon et al, 2009).

공기량의 경우는 전반적으로 혼화재 치환율 및 FA의 혼합비율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 FA 중의 미연 탄소분에 의한 AE제 흡착작용에 기인한 것으로 판단된다(Han 2009;

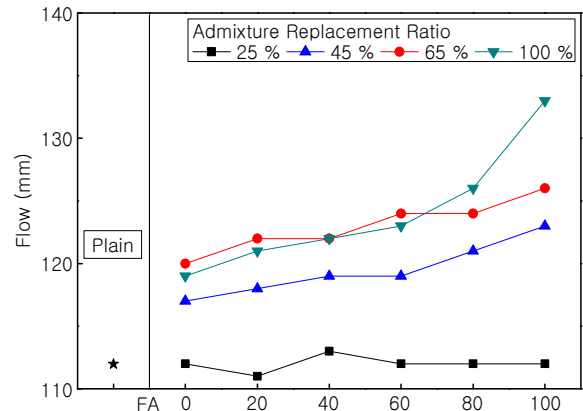


Fig. 2. Flow in accordance with the admixture replacement ratio

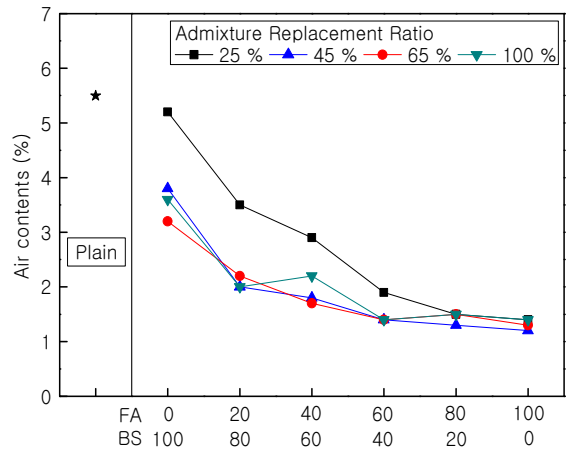


Fig. 3. Air content in accordance with the admixture replacement ratio

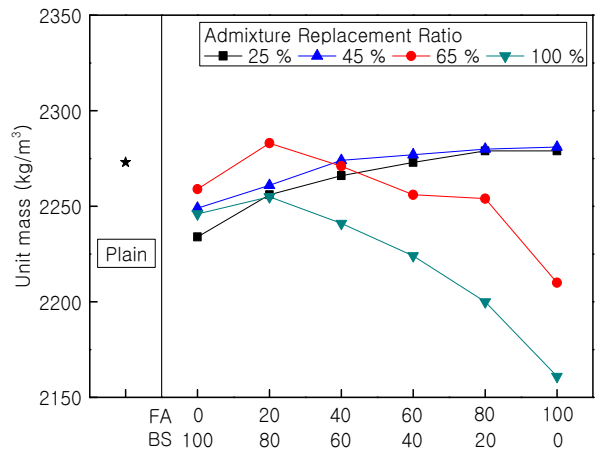


Fig. 4. Unit mass in accordance with the admixture replacement ratio

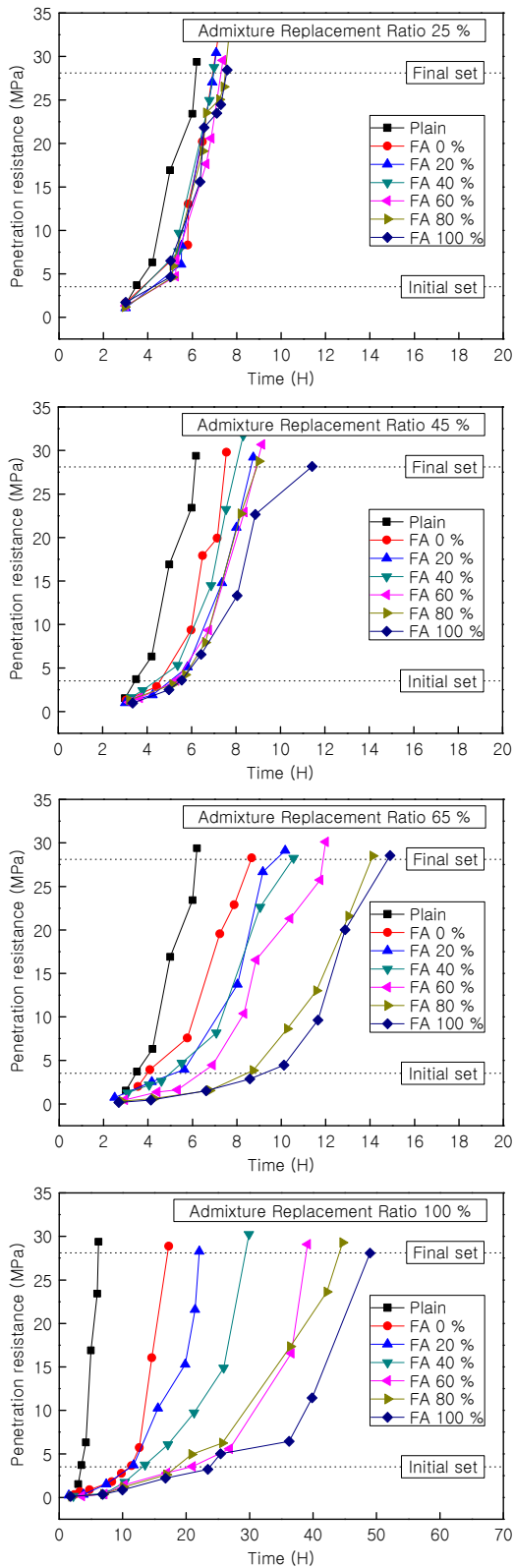


Fig. 5. Penetration resistance in accordance with the time

Jeon et al, 2009).

단위용적질량은 일반적으로 공기량에 반비례하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 혼화재 치환율 25% 및 45%에서는 공기량에 반비례하는 경향을 나타내었지만, 혼화재 치환율 65% 및 100%에서는 FA 치환율 20%까지는 증가하였지만 그 이상에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 FA의 혼합비율이 증가할수록 FA 자체의 밀도가 BS보다 작아서 감소한 것으로 분석된다.

Fig. 5는 혼화재 치환율과 FA 및 BS의 혼합비율 별 관입저항치의 경시변화와 초결 및 종결 시간을 나타낸 것이다. 먼저 Plain에 비해 혼화재 치환율 및 FA의 혼합비율이 증가함에 따라 초결 및 종결시간이 지연되는 것을 알 수 있었다. 이는 혼화재 치환율 및 FA의 혼합비율이 증가할수록 OPC의 양이 감소함에 따라 나타나는 현상이고, 또한 BS보다 FA의 반응성이 작아 FA 치환율이 증가할수록 응결시간이 지연된 것으로 판단된다(Song et al, 2015).

3.2 경화 모르타르의 특성

경화 모르타르의 특성으로 Fig. 6 및 7은 혼화재 치환율 및 재령 별 FA 및 BS의 혼합비율 변화에 따른 경화 모르타르의 압축강도 및 압축강도비를 나타낸 것이다.

먼저 압축강도의 경우는 전반적으로 혼화재 치환율 및 FA의 혼합비율이 증가할수록 특히, 초기 재령일수록 크게 감소하는 것으로 나타났다. 세부적으로 혼화재 치환율 25% 및 45%에서는 FA : BS의 비율이 40 : 60, 즉 2 : 3일 때 가장 우수한 압축강도를 나타낸 반면 혼화재 치환율 65% 및 100%에서는 FA : BS의 비율이 0 : 100일 때 즉, BS만을 사용할 때 가장 우수한 압축강도를 나타내었다. 이중 후자의 경우는 Song et al. (2015)에 의하면 FA : BS의 비율이 25 : 75에서 가장 우수한 것으로 보고되고 있으나, 본 연구에서는 BS의 혼합비율이 높을수록 크게 나타나고 있다. 이는 최근 BS 생산 공정에서 BS의 초기 반응성을 높이기 위하여 석고를 넣어 제조하는 경우가 보고되고 있는데, 이 석고가 황산염 자극으로 BS의 잠재수경성 반응을 일으킴으로서 BS의 혼합비율이 높을수록 강도가 비교적 크게 발현된 것으로 판단된다. 특히 재령 91일의 경우 혼화재 치환율 25% 및 45%에서 FA : BS의 비율이 20 : 80, 40 : 60인 배합은 Plain값을 상회하는 압축강도를 나타내고 있는데, 이중 제일 높은 강도를 발휘하고 아울러 저렴한 FA의 혼합비율이 큰 40 : 60이 최적 배합이 됨을 알 수 있다.

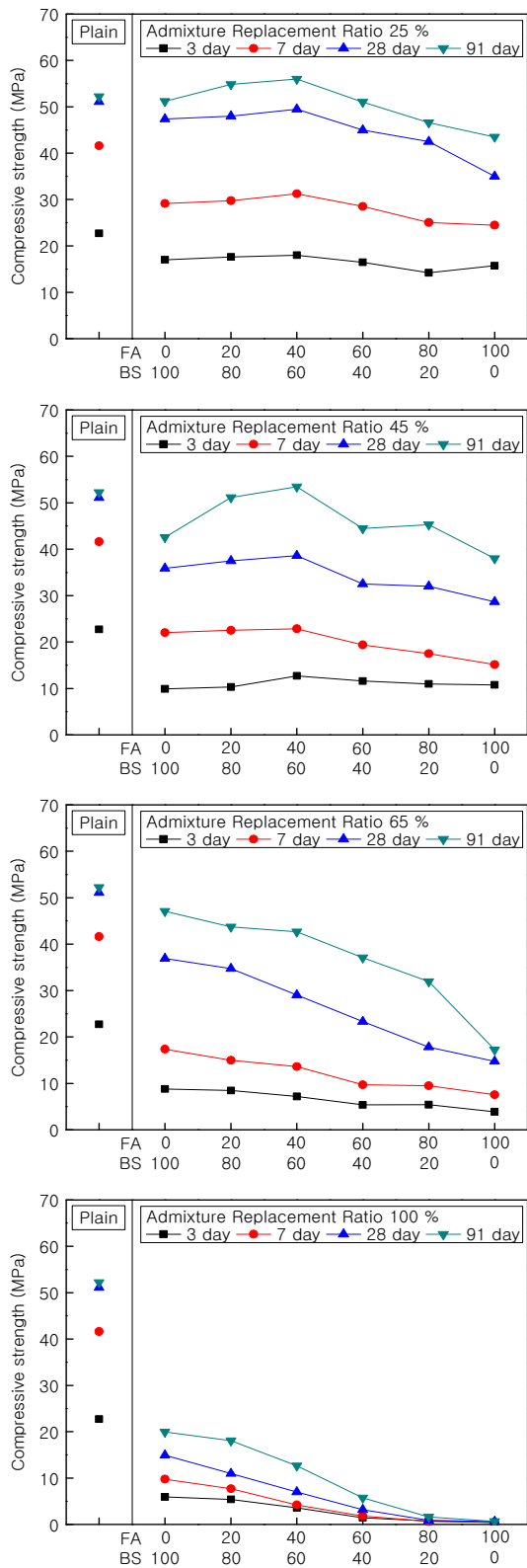


Fig. 6. Compressive strength in accordance with the admixture replacement ratio

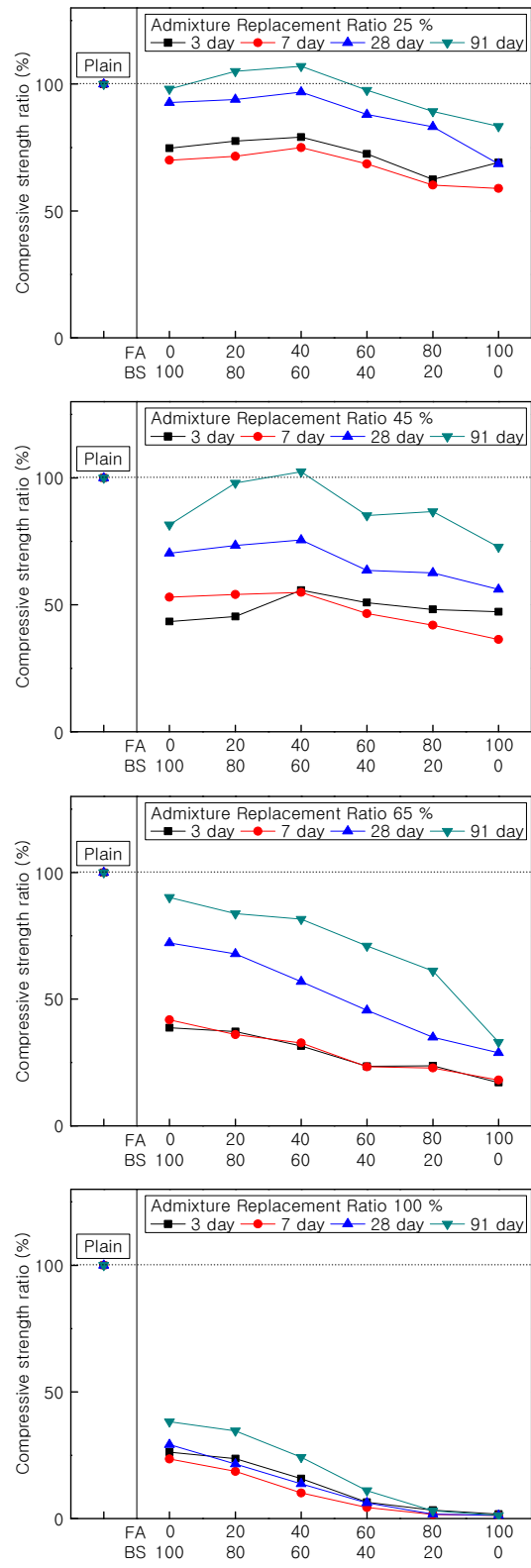


Fig. 7. Compressive strength ratio in accordance with the admixture replacement ratio

4. 결론

본 연구는 혼화재 치환율 0, 25, 45, 65 및 100%에서 FA와 BS의 혼합비율을 0 : 100~100 : 0으로 폭 넓게 변화시켜, 이에 따른 모르타르의 기초적 특성을 분석함으로써 3성분계 시멘트에서 최적인 FA와 BS의 혼합비율을 도출하고자 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 플로는 혼화재 치환율 및 FA의 혼합비율이 증가함에 따라 FA의 둥근 입형이 시멘트 모르타르 내에서의 볼베어링 작용을 수행함에 기인하여 증가하였다.
2. 공기량은 혼화재 치환율 및 FA의 혼합비율이 증가할수록 FA중 미연소탄분의 AE제 흡착작용에 기인하여 감소하는 경향을 나타내었다.
3. 단위용적질량은 혼화재 치환율 25% 및 45%에서는 공기량에 반비례하는 경향을 나타내었지만, 혼화재 치환율 65% 및 100%에서는 공기량의 영향보다 FA와 BS의 밀도 차이에 의해 FA의 혼합비율이 증가할수록 저하하는 경향이였다.
4. 응결시간은 혼화재 치환율 및 FA의 혼합비율이 증가할수록 단위 시멘트량 감소에 기인하여 지연되는 경향을 나타내었다.
5. 압축강도는 혼화재 치환율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났는데 단, 혼화재 치환율 25% 및 45%에서는 FA : BS의 비율이 40 : 60, 즉 2 : 3일 때 가장 우수한 것으로 나타났고 혼화재 치환율 65% 및 100%에서는 100 : 0 즉 BS만을 사용할 때 가장 우수하였다.

이상을 종합하면 유동성, 공기량 및 압축강도 등을 고려할 때 3성분계 시멘트는 혼화재 치환율 25% 및 45%에서 FA : BS의 비율을 2 : 3으로 결정하는 것이 본 연구 범위 내에서는 최적의 혼합비율이 됨을 알 수 있었다.

References

Beak, C.W., Kim, H.S., Choi, S.W., Jo, H.T., Ryu, D.H. (2015). Durability assessment of high strength concrete with high volume mineral admixture, Journal of the Korea Concrete Institute, **27(6)**, 641–649 [in Korean].

Choi, S.J., Jeon, Y.S. (2015). The fluidity and hardened properties of eco-friendly low cement concrete with 3types of binders, Journal of the Architectural Institute of Korea, **31(11)**, 63–70 [in Korean].

Han, M.C. (2009). Effect of mineral admixture types on the engineering properties and the drying shrinkage of the concrete, Journal of the Korea Institute of Building Construction, **9(5)**, 121–127 [in Korean].

Jeon, K.N., Lee, J.A., Choi, S.Y., Baek, D.H., Han, M.C., Han, C.G. (2009). "Improving quality of fly ash replace concrete by second-class blast furnace slag powder and gypsum," Proceeding of the Korea Institute of Building Construction, **9(1)**, 97–100 [in Korean].

Song, Y.L., Zhao, Y., Min, K.C., Han, D.Y., Han, M.C., Han, C.G. (2015). "Hydration reactivity between blast furnace slag and fly ash," Proceeding of Korea Concrete Institute, **27(1)**, 451–452 [in Korean].

3성분계 시멘트에서 FA 및 BS의 최적혼합비율 도출에 관한 연구

본 연구는 3성분계 시멘트에서 FA와 BS의 최적혼합비율을 도출하기 위한 것이다. 즉, 혼화재 치환율 별 FA 및 BS의 다양한 혼합비율에 따른 모르타르의 기초적 특성을 파악하고자 하였다. 실험결과, 본 연구의 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다. 플로의 경우는 혼화재 치환율 및 FA의 혼합비율이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 공기량은 혼화재 치환율이 증가하고 FA의 혼합비율이 증가할수록 감소하였다. 단위용적질량은 혼화재 치환율 25% 및 45%에서는 공기량이 감소할수록 증가하는 것으로 나타났지만, 65% 및 100%에서는 FA 치환율 20%까지는 증가하였지만 그 이상에서는 FA의 저밀도 영향으로 감소하였다. 응결시간은 혼화재 치환율 및 FA의 혼합비율이 증가함에 따라 지연되는 것으로 나타났다. 압축강도의 경우는 재령 91일에 혼화재 치환율 25% 및 45%에서 FA : BS의 비율이 40 : 60인 배합에서 가장 우수한 강도 값을 나타내었다. 따라서 압축강도적인 측면을 종합적으로 고려할 때 혼화재 치환율 25% 및 45%인 경우에서 FA : BS의 비율 2 : 3인 경우가 본 연구의 범위 내에서는 최적의 혼합비율인 것으로 판명되었다.