

알루미늄슬래그가 혼입된 팽창성 균열저감제가 공동주택용 바닥 모르타르의 공학적 특성에 미치는 영향

Effects of Crack Reducing Agent Mixed with Aluminum Slag on the Engineering Properties of Floor Mortar for Apartment House

한상윤^{1*} · 한민철²

Sang-Yoon Han^{1*} · Min-Cheol Han²

(Received October 13, 2017 / Revised October 25, 2017 / Accepted November 9, 2017)

This study is to develop high quality floor mortar which can be applied in construction sites using EXFG(Expansive admixture Flue Gas desulfurization gypsum). First, as the substitution rate of ALS(Aluminum Slag) increased, the flow is increased proportionally. EXFG showed a tendency to decrease with increasing substitution rate. Also, in the case of the setting time of 5% of ALS replacement rate, the setting time of Plain compared to EXFG was decreased by 5~20%. The compressive strength increased with the ALS replacement ratio at 0%, 5% and the EXFG replacement ratio at 1%. The strength was increased when the ALS replacement ratio was more than 10%. In the case of ALS replacement rate of 0% and 5%, drying shrinkage compared to plain was decreased by about 10~25% regardless of EXFG replacement rate.

키워드 : 고로슬래그미분말, 모르타르, 건조수축, 탈황석고

Keywords : Blast furnace slag, Mortar, Drying shrinkage, Flue gas desulfurization gypsum

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

국내 공동주택의 난방시스템은 바닥난방을 기본으로 하고 있으며, 이때 복사열의 효율을 극대화 하고, 방열, 축열 및 마감을 위해 대부분의 공동주택 현장에서는 바닥 전체를 모르타르로 타설한다. 일반적으로 시공되는 바닥모르타르는 대형 운반차량(BCT ; Bulk Cement Trailer)을 이용하여, 건조시킨 모래와 시멘트를 일정 비율로 사전교반 시킨 견비믹 모르타르를 현장으로 반입하여, 기계화 장비인 벌크 시스템과 고압 압송장비를 통해 각 세대로 압송 및 타설되는 방식이다. 이는 국외의 경우 각종 미장재 시공에서 보편화된 시공방법으로 사용되고 있으며, 국내에서도 십여년 전부터 도입되어 널리 사용되고 있다.

그러나, 종전의 바닥모르타르는 배합수량 조절에 있어 작업자

가 반죽질기를 육안으로 확인하면서 조절하는 경우가 대부분이고, 재료가 가지는 특성을 무시한 채 작업자 임의로 물성을 조절 하는 등 많은 문제점들이 발생하고 있는 실정이다. 또한, Ko et al.(2006)의 실제 건설사 하자보수 처리 현황을 보면 바닥모르타르의 균열, 침하 및 파손 등에 대한 문제가 심각한 상황임을 알 수 있다.

이에 국내 건설사, 연구자 및 학계 등에서는 모르타르의 품질 개선, 기능유지, 시공성 및 경제성 등을 충족시키기 위한 다양한 연구를 진행한바 있고, 그 일환으로 화학 혼화제, 섬유보강, 메탈라스 시공, 레미콘을 이용한 타설 공법 등 다양한 방법 등을 검토하였는데, 이러한 방법들은 균열억제, 시공성 저하 및 팽창 변형을 조절함에 있어 한계가 있다.

한편, Han et al.(2016)은 경량기포콘크리트의 침하 및 균열저감을 목적으로 산업부산물로 발생하는 고로슬래그미분말(이하

* Corresponding author E-mail: sangyoon850@hyosung.com

¹(주)효성 건설PU (Hyosung Corporation, Construction PU, Seoul, 06714, Korea)

²청주대학교 건축공학과 (Department of Architectural Engineering, Cheong-Ju University, Cheong-Ju, 298, Korea)

Table 1. Quality standard of mortar(KS L 5220)

Contents		Floor mortar
Compressive strength(MPa)	7days	-
	28days	15 more
Conservative(Wt%)		65 more
Air content(Vol%)		27 under
Fine aggregate content(Wt%)(0.15 mm)		78 under
Fine aggregate maximum size(mm)	95(Wt%) Passing	5.60
	100(Wt%) Passing	6.70

BS) 및 탈황석고(이하 FGD)와 알루미늄 생산공장에서 발생하는 폐기물을 분쇄한 알루미늄슬래그(이하 ALS)를 조합한 팽창재(이하 EXFG)를 활용할 경우 수화반응 활성화 및 수소가스발생에 의한 팽창으로 경량기포콘크리트의 강도증진, 유동성 개선 및 수축 저감에 대한 효과를 확인한바 있는데, 이를 활용 시 전술한 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

따라서, 본 연구에서는 공동주택용 바닥모르타르의 강도개선, 품질확보 및 균열저감을 목적으로 FGD에 대한 ALS의 최적 치환율을 도출하고 이를 조합한 EXFG를 활용하여 BS가 다량 치환된 바닥용 모르타르의 공학적 특성을 분석하여, 실제 현장 적용이 가능한 고품질의 바닥모르타르를 개발하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구는 바닥 모르타르의 시공성 개선 및 균열저감을 목적으로 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)에 대한 BS의 배합비를 선정하고, FGD에 대한 ALS의 치환율 변화와 이를 이용한 EXFG 치환에 따른 모르타르의 기초 물성 및 공학적 특성을 검토한다. 또한, 실제 현장 적용을 위하여 현재 공동주택 현장에서 일반적으로 사용하고 있는 A사의 품질기준(KS L 5220)을 참고하였는데, 특히, 모르타르 압축강도의 경우 불필요하게 높은 강도값으로 인해 실무 및 구조적 성능 등에 부합하지 않아 국내 LH공사 시방서에 명시되어 있는 기준을 만족하게 연구범위를 한정한다(Table 1). 한편, 바닥모르타르의 W/B 및 결합재 치환 비율 등은 사전 예비실험을 통해 선정하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 2와 같고, 배합사항은 Table 3과 같다.

Table 2. Experiment plan

Factors		Levels
Mixture	W/B(%)	65
	B : S	1 : 3
	Flow(mm)	225±25
	Binder(%)	OPC : BS=35 : 65
	ALS(%) ¹⁾	0, 5, 10, 15, 20, 25
	EXFG(%)	0, 1, 2, 3, 4
Experiment	Fresh mortar	· Flow · Unit volume weight · Setting time · Bleeding
	Hardened mortar	· Compressive strength (3, 7, 28days) · Drying shrinkage (1, 2, 3~180days)

¹⁾Substitution ALS to FGD

Table 3. Mixing proportions

Type	ALS (%)	EXFG (%)	W/B (%)	B:S	Unit volume weight(kg/m ³)					
					W	BS	OPC	S	EXFG	
Plain	-	-	65	1 : 3	307	307	165	1	417	-
						301	164			4.7
						295	162			9.4
						289	160			14.1
EXFG	0	1	65	1 : 3	307	301	164	1	417	4.7
		2				295	162			9.4
		3				289	160			14.1
		4				283	158			18.8
	5	1	65	1 : 3	307	301	164	1	417	4.7
		2				295	162			9.4
		3				289	160			14.1
		4				283	158			18.8
	10	1	65	1 : 3	307	301	164	1	417	4.7
		2				295	162			9.4
		3				289	160			14.1
		4				283	158			18.8
15	1	65	1 : 3	307	301	164	1	417	4.7	
	2				295	162			9.4	
	3				289	160			14.1	
	4				283	158			18.8	
20	1	65	1 : 3	307	301	164	1	417	4.7	
	2				295	162			9.4	
	3				289	160			14.1	
	4				283	158			18.8	
25	1	65	1 : 3	307	301	164	1	417	4.7	
	2				295	162			9.4	
	3				289	160			14.1	
	4				283	158			18.8	

먼저, W/B 65% 1수준에 대하여 목표 플로치는 현장 시공성을 고려하여 225±25mm, 결합재는 35(OPC) : 65(BS) 2성분계 배합으로 계획하였으며, 균열방지 및 강도개선을 위한 EXFG의 제조는 FGD에 ALS를 0, 5, 10, 15, 20, 25% 총 6수준을 치환 하는 것으로 계획하였다. 이때 EXFG의 치환율은 총 결합재량에 대한 질량비로 0, 1, 2, 3, 4% 총 5수준을 치환 사용하는 것으로 계획하였다.

한편, 현재 시중에서 사용중인 건비빔 모르타르의 경우 시멘트와 모래가 사전 결합되어 납품되기 때문에, 실험전 기존 제품의 씻기 시험 등을 통해 모래와 시멘트 비율을 참고하여 실험을 진행하였다.

실험사항으로는 굳지않은 모르타르에서 플로치, 단위용적질량, 응결시간 및 블리딩을 측정하고, 경화모르타르에서는 소정의 재령에서 압축강도와 건조수축 길이변화율을 측정하는 것으로 계획하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 OPC는 국내 A사 제품을 사용하였고, BS는 국내 B사 3종을 사용하였으며, 그 물리·화학적 성질은 Table 4

Table 4. Physical properties of OPC

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

Table 5. Physical and chemical properties of BS

Density(g/cm ³)	Blaine(cm ² /g)	L.O.I(%)	Moisture content(%)	Chemical composition(%)						
				Cl	SO ₃	MgO	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
2.90	4 254	1.91	0.23	0.002	1.95	5.26	34.2	42.5	0.55	15.79

Table 6. Physical and chemical properties of EXFG

Type	Density(g/cm ³)	pH	Chemical compositions(%)					
			CaO	SO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
0	2.70	12.14	60.9	24.7	6.43	3.10	1.44	1.12
5	2.70	12.16	50.7	22.2	5.94	13.94	1.44	2.66
10	2.71	12.17	44.7	20.7	6.12	19.84	1.44	3.34
15	2.72	12.18	41.5	19.3	6.14	23.79	1.45	3.67
20	2.72	12.17	38.6	17.8	6.01	27.71	1.46	4.22
25	2.74	12.10	32.9	16.6	6.19	33.13	1.49	5.02

Table 7. Physical properties of fine aggregate

Density(g/cm ³)	Absorption(%)	Fineness modulus	0.08mm permeability(%)
2.53	1.00	3.08	4.90

및 5와 같다. 또한, FGD에 대한 ALS의 치환율 변화에 따른 EXFG의 물리·화학적 성질은 Table 6과 같다.

한편, 본 실험에 사용한 잔골재로 강모래는 충남 공주산을 사용하였고, 그 물리적 성질은 Table 7과 같다.

2.3 실험방법

모르타르 혼합은 KS L 5109에 의거, 전동식 혼합 믹서를 사용하여 Fig. 1과 같이 혼합하여 제조하였다.

굳지않은 모르타르의 실험으로 플로치, 단위용적질량, 응결시간 및 블리딩은 모두 KS에 의거하여 실험을 실시하였으며, 특히,

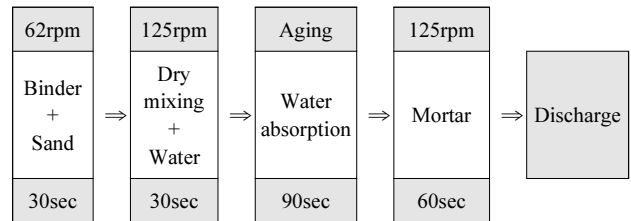


Fig. 1. Mixing sequence

블리딩의 경우 500cc 메스실린더에 시료를 200mm 채운후 3시간 동안 1시간 간격으로 발생된 블리딩량을 측정하였다. 양생은 탈형된 공시체를 20±2°C 실내에서 계획된 재령기간 동안 봉합양생하였다.

경화 모르타르 실험으로 압축강도는 KS F 2326, 건조수축길이 변화율은 KS F 2424에 의거하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 모르타르의 특성

3.1.1 플로

Fig. 2는 ALS 및 EXFG 치환율 변화에 따른 굳지않은 모르타르의 플로치를 나타낸 그래프이다.

먼저, ALS의 치환율이 증가할수록 플로치도 비례하게 증가하는 것으로 나타났으며, 이를 이용한 EXFG의 경우 반대로 치환율이 증가할수록 유동성은 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 즉, ALS 0%, 5%, 10%가 치환된 EXFG를 4% 치환할 경우 목표치인 225±25mm를 만족시키지 못하는 것으로 나타났으며, 이를 제외한 모든 배합에서는 목표치를 만족하는 것으로 나타났다.

전반적으로 EXFG의 치환율이 증가 할수록 유동성을 증가시키는 혼화제인 BS의 사용량이 감소됨에 따라 플로치는 감소한 것으로 사료된다. 한편, ALS의 경우 치환율이 증가 할수록 플로치도 증가하는 경향을 나타냈는데, 이는 ALS의 주요 성분인 알루미늄 성분이 시멘트 모르타르의 알칼리와 반응하여 수소가스를 발생시킴으로써 기포의 볼베어링 작용에 의해 플로치가 증가하는 것으로 판단된다.

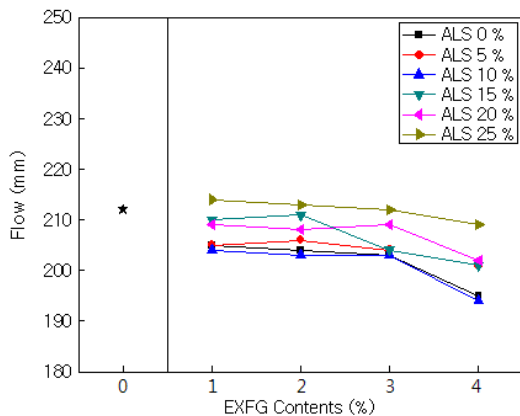


Fig. 2. Flow with ALS and EXFG contents

3.1.2 단위용적질량 및 블리딩

Fig. 3은 ALS 및 EXFG 치환율 변화에 따른 단위용적 질량을 나타낸 것이다. 전반적으로 EXFG의 치환율이 증가할수록 단위용적질량은 미미하게 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 EXFG의 치환율이 증가함에 따라 상대적으로 밀도가 높은 OPC와 BS의 양이 감소함에 기인된 것으로 판단된다.

또한, 전술한 바와 같이 EXFG의 치환율이 증가할수록 유동성은 감소하였는데, 이때 발생된 공극 역시 단위용적질량에 영향을 준 것으로 판단된다.

Fig. 4는 ALS 및 EXFG 치환율 변화에 따른 블리딩률을 나타낸 그래프이다. EXFG 치환율이 증가할수록 다소 오차는 존재하지만, 전반적으로 블리딩은 증가하는 것으로 나타났는데, EXFG 치환율에 관계없이 Plain에 비해 약 2~7% 이상 증가하는 것으로 나타났다. 이는 배합수와 즉시 반응하는 OPC와 달리 잠재수경성 반응물 질인 BS의 경우 배합수와 즉시 반응하지 않기 때문에 Plain에 비해

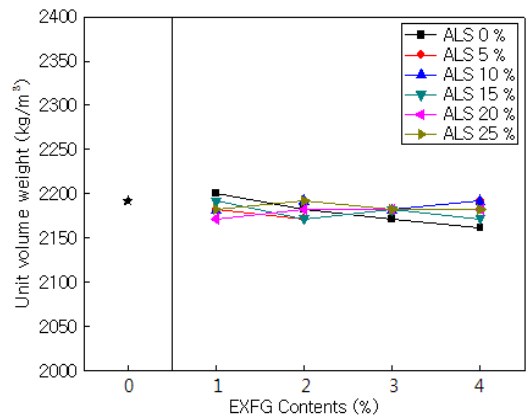


Fig. 3. Unit volume weight with ALS and EXFG contents

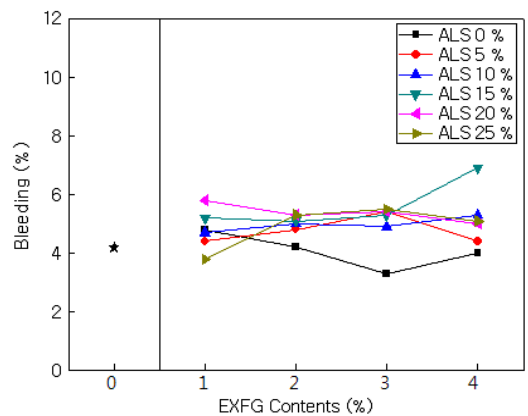


Fig. 4. Bleeding with ALS and EXFG contents

비교적 높은 블리딩률을 나타낸 것으로 사료된다.

3.1.3 응결시간

Fig. 5는 ALS 및 EXFG 치환율 변화에 따른 응결시간을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 ALS 치환율이 0%, 5%인 배합을 제외한 전 배합에서 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다. 한편, ALS 치

환율이 5%인 배합에서는 EXFG의 치환율에 관계없이 Plain에 비해 응결시간이 약 5~20% 이상 단축되는 것으로 나타났다. 이는 적정량의 ALS를 치환할 경우 EXFG의 조성 성분인 Al_2O_3 에 의해 모르타르 내부에 칼슘알루미네이트가 생성되면서 급결 작용에 의해 응결시간이 단축된 것으로 판단된다. 반면, ALS 치환율이 10% 이상일 경우에는 오히려 수화반응이 저해됨에 따라 응결이 다소

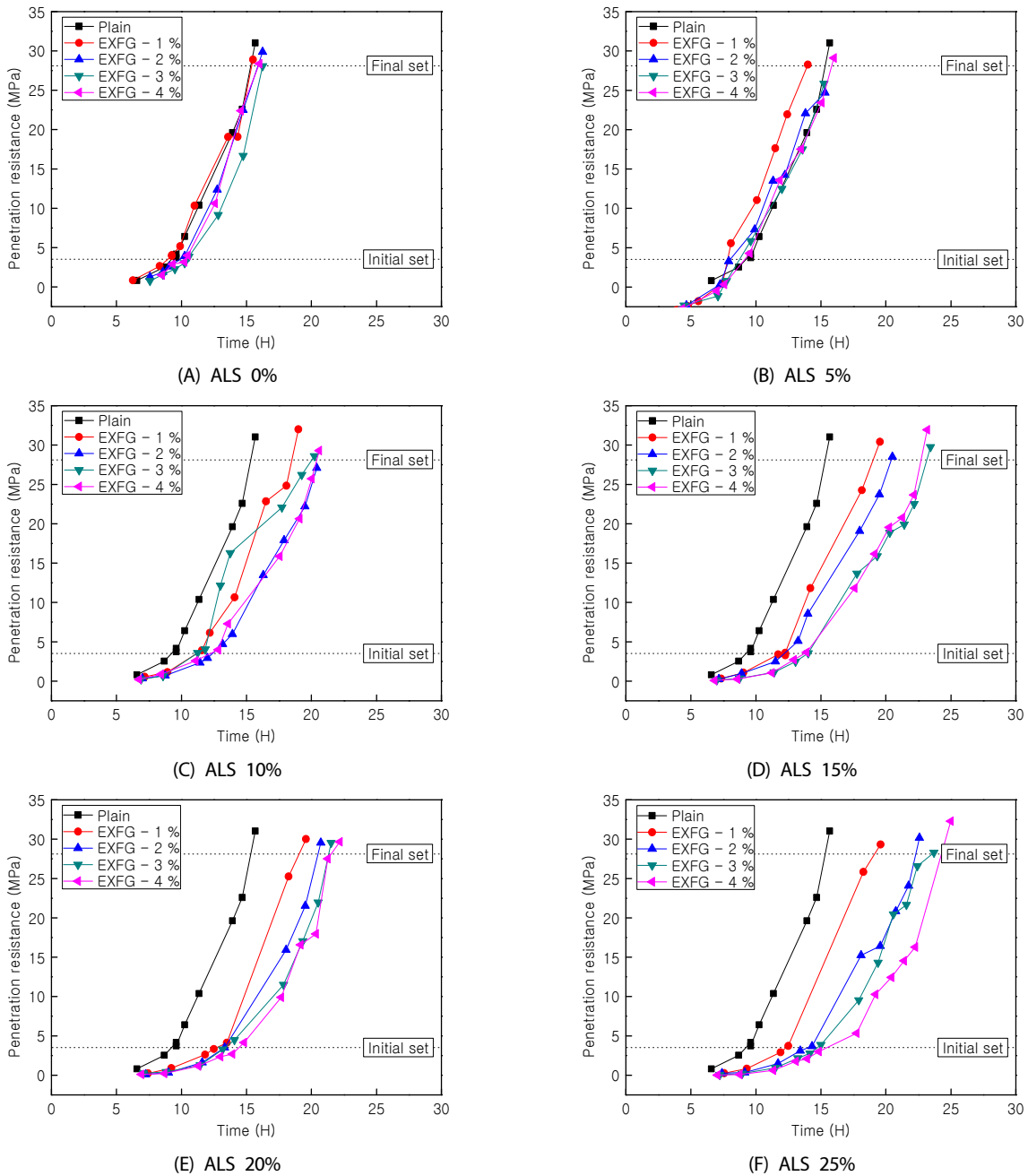


Fig. 5. Setting time with ALS and EXFG contents

지연되는 것으로 사료된다.

한편, 바닥모르타르의 경우 최종 마감 작업을 위해 타설 후 2차 평탄화 작업을 실시하는데, 이때 모르타르의 유동성 및 경화시간은 후속공정을 위해 매우 중요한 시공 요소중 하나이다. 따라서, 바닥모르타르의 유동성 및 응결시간 등을 고려 할 때 전체 결합재에 대한 EXFG의 최적 치환율은 약 1% 이내가 적정할 것으로 판단되며, 이때 FGDE에 대한 ALS의 치환율은 5% 수준이 적정할 것으로 판단된다.

3.2 경화 모르타르의 특성

3.2.1 압축강도

Fig. 6은 ALS 및 EXFG 치환율 변화에 따른 경화 모르타르의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.

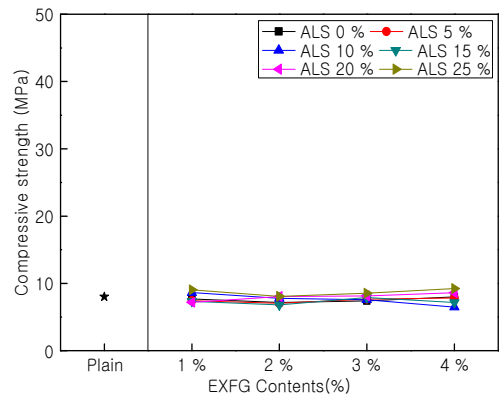
먼저, 초기재령인 3일, 7일의 경우 Plain과 유사한 압축강도를 나타내었으며, ALS 및 EXFG 치환율 변화에 따른 차이는 미미한 것으로 나타났다. 즉, Plain의 경우 재령 3일, 7일에서 각각 8MPa, 12.4MPa를 나타냈는데, 초기재령에서 재령일별 강도 증가율은 크지 않은 것으로 나타났다. 한편, ALS 및 EXFG 치환율에 관계없이 재령 3일 압축강도는 평균 8MPa 수준을 나타냈는데, 향후 실무에서 후속공정 진행시 자재 운반, 적재 및 통행 등에 문제가 없을 것으로 판단된다.

재령 28일에서는 Plain의 압축강도는 22.6MPa로써 목표치인 15MPa를 상회하는 것으로 나타났으며, 전반적으로 ALS 및 EXFG 치환율에 관계없이 모든 배합에서 목표치를 만족시키는 것으로 나타났다. 한편, ALS 치환율 0%, 5%에서 EXFG 치환율이 1% 이내일 때 ALS가 적정량 반응하여 칼슘알루미늄네이트를 생성함으로써 시멘트 모르타르의 내부 공극을 밀실하게 채워 압축강도가 증가한 반면, ALS 치환율이 10% 이상일 경우에는 시멘트 모르타르의 알칼리와 과다 반응으로 인한 수소가스 발생으로 모르타르 내부 공극에 의해 오히려 강도는 저하 되는 것으로 나타났다. 한편, 장기재령의 경우 BS의 잠재수경성 반응에 의해 모든 배합에서 압축강도는 더욱 커질 것으로 사료된다.

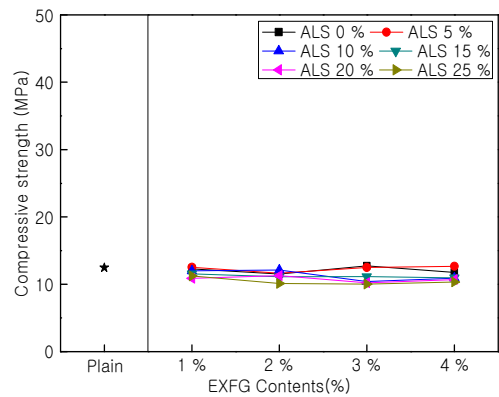
상기 결과를 강도발현 측면에서 고찰하면 ALS를 5% 혼입하여 제조한 EXFG를 전체 결합재에 1% 이내 치환 사용할 때 모르타르의 강도발현에 효과가 있을 것으로 판단된다.

3.2.2 건조수축 길이변화율

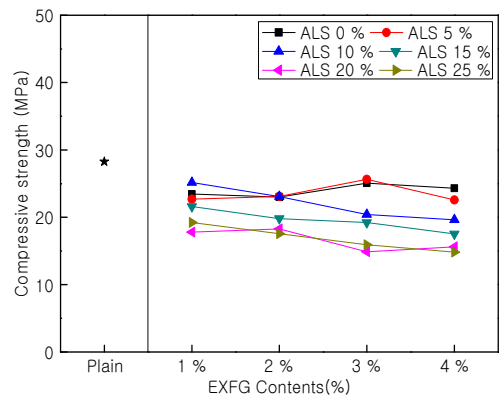
Fig. 7은 ALS 및 EXFG 치환율 변화에 따른 경화모르타르의 재령 180일까지 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다.



(A) 3 days



(B) 7 days



(C) 28 days

Fig. 6. Compressive strength with ALS and EXFG contents

전반적으로 ALS 및 EXFG 치환율에 관계없이 유사한 건조수축 길이변화율을 나타냈다.

먼저, ALS 치환에 따른 특성으로 ALS 치환율 0%, 5%에서는 EXFG 치환율에 관계없이 Plain 대비 건조수축 길이변화율이 약 10~25% 이상 감소하는 것으로 나타났다. 이는 ALS에 포함되어 있는 알루미나 성분이 시멘트의 알칼리와 금속이온화 경향의 화학

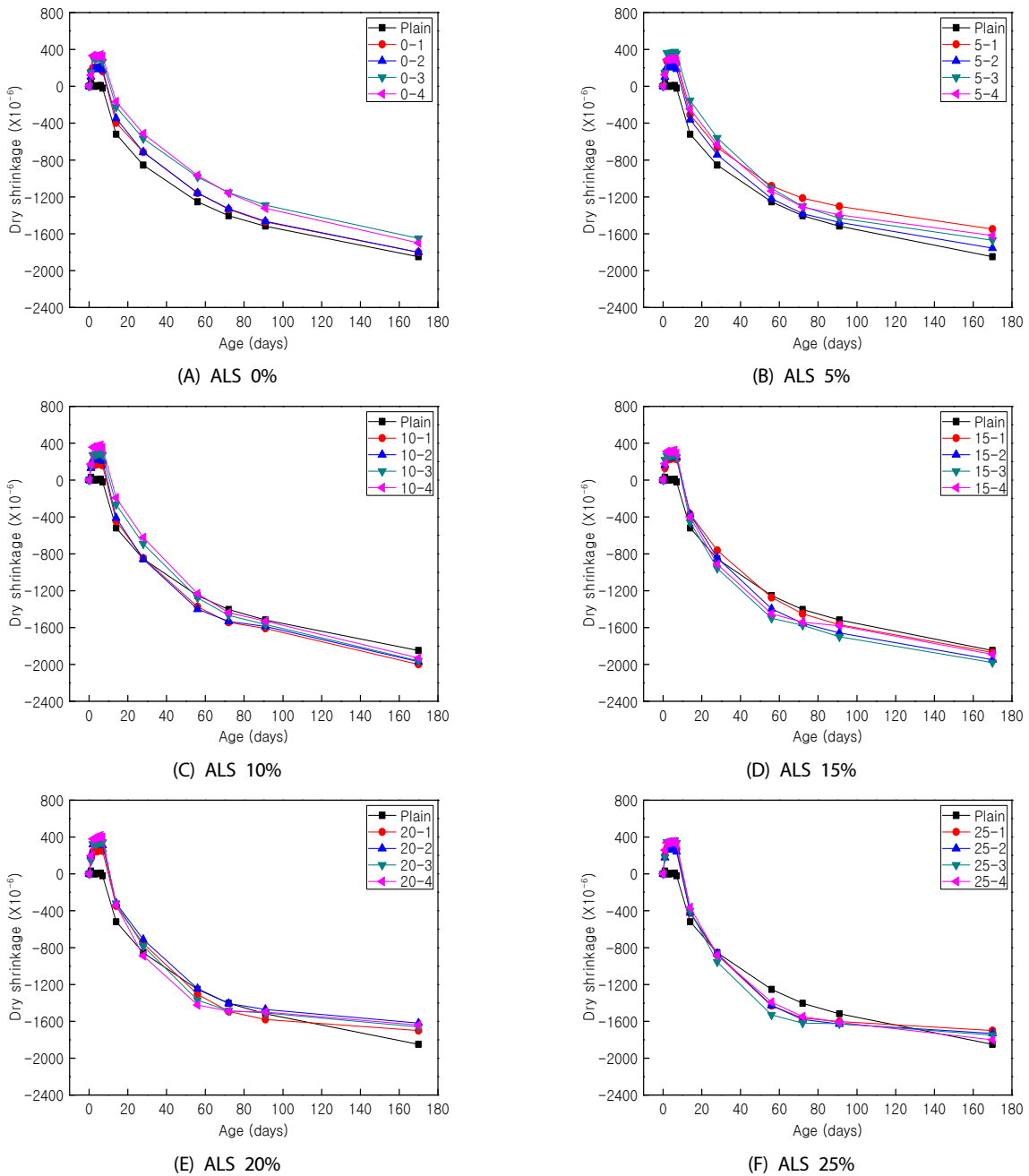


Fig. 7. Drying shrinkage with ALS and EXFG contents

반응으로 수소가스에 의한 팽창을 유발시키고, EXFG의 주성분중 하나인 FGD 역시 콘크리트 내부에서 팽창반응을 일으킴에 따라 건조수축이 저감된 것으로 판단된다.

반면에 상기 이외의 배합에서는 오히려 Plain 대비 건조수축이 증가하는 경향을 나타냈는데, 즉, ALS 치환율이 10% 이상일 경우 Plain과 유사하거나 약 5~10% 이상 건조수축이 증가하는 것으로

나타났는데, 이는 모르타르의 압축강도 저하 원인으로 언급한 바와 같이 과도한 수소가스 발생에 의해 모르타르 내부 조직이 치밀하게 충전되지 못함에 따라 강도를 포함한 모르타르의 탄성적 특성이 저하되어 건조수축이 증가한 것으로 사료된다.

따라서, FGD에 대한 ALS 치환율은 5% 이내, 이를 이용한 EXFG는 1%를 치환 사용할 때 모르타르의 건조수축에 의한 균열

및 침하 방지에 효과가 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 공동주택 바닥모르타르의 강도개선, 품질확보 및 균열저감을 목적으로 FGD와 ALS를 조합한 EXFG를 활용하여 BS가 다량 치환된 모르타르의 공학적 특성을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 굳지않은 모르타르의 특성으로 ALS의 치환율이 증가할수록 플로치도 비례하게 증가하는 것으로 나타났으며, 이를 이용한 EXFG의 경우 반대로 치환율이 증가할수록 유동성은 다소 감소하였다. 한편, EXFG의 치환율이 증가할수록 단위용적질량은 다소 감소하였고, 블리딩은 증가되는 경향을 나타냈다.
2. 응결시간은 ALS 치환율 5%에서 EXFG의 치환율에 관계없이 Plain에 비해 약 5~20% 이상 단축되었는데, 바닥모르타르의 유동성 및 응결시간 등을 고려 할 때 EXFG의 최적 치환율은 약 1% 이내가 적정할 것으로 판단되며, 이때 FGD에 대한 ALS의 치환율은 5% 수준으로 사료된다.
3. 압축강도는 ALS 및 EXFG 치환율 변화에 따라 큰 차이가 없으나, ALS 치환율 0%, 5%에서 EXFG 치환율이 1% 이내일 때 전반적으로 압축강도가 Plain에 비해 증가하였으며, ALS 치환율이 10% 이상일 경우에는 오히려 강도가 저하되었다.
4. 건조수축 길이변화율의 경우 ALS 치환율 0%, 5%에서는 EXFG 치환율에 관계없이 알루미나 성분 및 FGD등에 의한 팽창으로 Plain 대비 약 10~25% 이상 감소하는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합하면, 본 연구 범위에서 공동주택용 바닥모르타르의 강도개선, 균열 및 침하 저감을 위해 FGD에 ALS를 5%

치환시킨 EXFG를 전체 결합재에 1% 치환하여 사용할 경우 바닥모르타르의 품질 향상 및 시공성 개선에 기여할 것으로 판단된다. 또한, 상기에서 도출된 결과를 토대로 향후 현장 Mock-up test를 진행하여 유효성능 분석 및 치환율에 대한 적정성을 추가 검토할 예정이다.

References

Han, C.G. (2016). Quality of high volume blast furnace slag mortar depending on desulfurization gypsum treating methods and fine aggregate type, Journal of the Korea Recycled Construction Resources Institute, **4(2)**, 157-164 [in Korean].

Kim, D.H. (2015). Studies on the effect of the floor mortar crack reduction using powder based on lime as industrial by product, Journal of the Korea Concrete Institute, **26(2)**, 459-461 [in Korean].

Kim, M.S. (2015). Performance characteristics of mortar with high volume scm depending on combinations of fa and bs, Journal of the Korea Concrete Institute, **16(1)**, 126-127 [in Korean].

Ko, D.S. (2006). Analytic study of defect occurrence properties and repair cost in apartment building, Journal of the Architectural Institute of Korea, **8(1)**, 75-82 [in Korean].

Lee, K.H. (2015). Reduction of floor impact sound and research subjects, Journal of the Korea institute of Building construction, **15(4)**, 383-391 [in Korean].

알루미늄슬래그가 혼입된 팽창성 균열저감제가 공동주택용 바닥 모르타르의 공학적 특성에 미치는 영향

본 연구에서는 EXFG를 활용하여 실제 현장 적용이 가능한 고품질의 바닥모르타르를 개발하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저, ALS의 치환율이 증가할수록 플로치도 비례하게 증가하는 것으로 나타났으며, 이를 이용한 EXFG의 경우 반대로 치환율이 증가할수록 유동성은 감소하는 경향을 나타냈다. 또한, 응결시간의 경우 ALS 치환율이 5%인 배합에서는 EXFG의 치환율에 관계없이 Plain 대비 응결시간이 약 5~20% 이상 단축되는 것으로 나타났다. 압축강도의 경우 ALS 치환율 0%, 5%에서 EXFG 치환율이 1% 이내일 때 전반적으로 강도는 증가하였으며, ALS 치환율이 10% 이상일 경우에는 오히려 강도가 저하 되는 것으로 나타났다. 건조수축길이변화율의 경우 ALS 치환율 0%, 5%에서는 EXFG 치환율에 관계없이 Plain 대비 건조수축길이변화율이 약 10~25% 이상 감소하는 것으로 나타났다.