

혼화재료가 공장제품용 시멘트 모르타르의 강도 및 동결융해 저항성에 미치는 영향

Influence of Admixtures on Strengths and Freezing and Thawing Resistance of Cement Mortar for Precast Products



한천구*

Han, Cheon-Goo



신병철**

Shin, Byung-Chuel



김기철***

Kim, Gi-Cheol



이상태****

Lee, Sang-Tae

ABSTRACT

It has been reported that few manufacturers of cement mortar for precast products use chemical and mineral admixture due to the absence of restrictions related to the application of admixture and the poor manufacturing facilities. Therefore, this paper is intended to contribute to the improvement of quality by investigating the properties of cement mortar for precast products using fly ash, blast furnace slag and AE water reducing agent. According to the test results, it was found that the cement mortar products using fly ash and AE water-reducing agent had better qualities than those of ordinary portland cement.

Keywords : admixture, ordinary portland cement, blast-furnace slag cement, fly ash, AE water-reducing agent

* 정회원, 청주대학교 건축공학과 교수, 공박

** 정회원, 중부대학교 조경학과 전임강사, 공박

*** 정회원, 청주대학교 산업과학연구소 연구원, 공박

**** 정회원, 청주대학교 조경학과 대학원, 박사과정

(주)선엔지니어링/종합건축사사무소 연구원

· 본 논문에 대한 토의를 2000년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2000년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

화력발전소에서 발생하는 플라이애시 및 제철소에서 발생하는 고로슬래그 등은 산업부산물로서 품질향상 및 경제성 측면에서 콘크리트용 혼화재로 적극 활용토록 하는 연구가 많이 있어 왔다.^(1~4) 또한, AE제는 콘크리트의 동결융해 작용에 대한 저항성을 향상시키는 혼화재로서, 콘크리트의 경우 공기량 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 발휘하기 위한 AE제량은 반드시 사용하도록 규정하고 있다.⁽⁵⁾

그러나, 벽돌, 블록 및 보차도용 인터로킹 블록 등 시멘트 모르타르 제품을 생산하는 공장의 경우는 빈배합의 된비빔 반죽을 강한 진동과 압축력으로 생산되는 제품 생산의 특수성 및 업체 영세성 등의 이유와 함께 KS규격에 반드시 AE제를 사용하도록 하는 규정도 없는 관계(공기량 시험도 불가능함)로 플라이애시 및 고로슬래그 등의 혼화재와 AE제 등 혼화재의 활용성 및 실용화에 관한 연구는 찾아보기 어렵다.

그러므로 본 연구에서는 플라이애시를 치환한 시멘트(이하 FAC라 칭함)와 고로슬래그 시멘트

(이하 BSC라 칭함)의 혼화재 변수 및 AE감수제 첨가량 변화에 대하여 동일한 조건의 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC라 칭함)와 비교 분석함으로써 콘크리트와 동일한 혼화재료 효과가 시멘트 모르타르 제품에도 발휘될수 있는지를 구명함으로써 궁극적으로는 시멘트 모르타르 제품의 품질향상에 기여코자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획과 배합에 관한 사항은 Table 1과 같다. 먼저, 시멘트는 OPC, BSC 1급(고로슬래그 분말 치환율 30%임) 및 FAC C종(플라이애시 치환율 30%)의 3종류에 대하여, 모르타르 배합비는 중량 배합비로 1:6과 1:8의 2개 수준으로 하며, W/C는 실무 진동제품 제작의 반죽 질기에 적당한 40% 및 50%로 계획하였다. 또한, AE감수제 첨가량은 보통 콘크리트인 경우를 고려하여 0%, 0.08%, 0.15%, 0.3%의

Table 1 Mix proportions

Cement	Mix proportion (C:S)	W/B (%)	AE/C (%)	Unit water (kg/m ³)	Unit volume(ℓ/m ³)				Unit weight(kg/m ³)			
					Cement	River sand	Crushed sand	Fly ash	Cement	River sand	Crushed sand	Fly ash
OPC	1:6	40	0 0.08 0.15 0.30	117	92	344	347	-	290	874	874	-
	1:8	50	0 0.08 0.15 0.30	113	72	356	359	-	227	904	904	-
BSC	1:6	40	0 0.08 0.15 0.30	116	96	343	345	-	302	871	871	-
	1:8	50	0 0.08 0.15 0.30	113	74	355	358	-	233	902	902	-
FAC	1:6	40	0 0.08 0.15 0.30	116	78	342	344	20	246	869	869	44
	1:8	50	0 0.08 0.15 0.30	112	61	354	357	16	192	899	899	35

4개 수준으로 실험을 계획하였다.

실험항목으로는 휨강도와 압축강도를 7일, 28일 및 91일 재령, 흡수율을 28일 재령, 동결융해 시험을 2주 수중양생 후 10사이클마다 동탄성계수와 질량변화율을 측정하도록 계획하였다.

2.2 사용 재료

본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내산 OPC와 BSC 1급을 사용하였고, 물리적 성질은 Table 2와 같다. 골재는 강모래와 부순모래를 1:1의 중량비율로 혼합하여 사용하였는데, 강모래는 충남 공주, 부순모래는 충북 환희 것으로, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

혼화재료로서 플라이애시는 보령화력산, AE감수제는 국내 D사제를 사용하였는데, 그 물리적 성질 및 화학성분은 Table 4 및 5와 같다.

2.3 실험 방법

본 실험의 모르타르 혼합은 KS L 5109 방법에 의하여 실시하였고, 비빔 완료후 일정량의 모르타르를 4×4×16cm 몰드에 넣고 실무조건을 고려하여 7초 동안 테이블 진동기로 다진 후 100kgf/cm²의 하중으로 가압하여 공기체를 제작하였으며, 양생은 20±3°C인 온도조건에서 수중양생 하였다.

경화상태에서의 흡수율은 KS F 4419, 휨강도 및 압축강도 시험은 KS F 2407 및 ASTM C 349의 방법으로 실시하였다. 또한, 동결융해 시험은 KS F 2456의 수중급속 동결융해시험에 준하여 실시하였다.

Table 2 Physical properties of cement

Cement	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min)		Compressive strength (kgf/cm ²)		
				Ini.	Fin.	3d.	7d.	28d.
OPC	3.15	3,564	0.06	241	460	226	303	396
BSC	3.03	3,900	0.01	300	460	170	270	420

Table 3 Physical properties of aggregate

Aggregate	Specific gravity	Fineness modulus	Percentage of voids	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Solid volume percentage	Passing percentage of No.200 sieve
River sand	2.54	2.68	38.6	2.61	1,559	57.4	1.86
Crushed sand	2.52	3.30	29.0	3.25	1,787	54.1	15.4

Table 4 Physical properties and chemical composition of fly ash

Physical properties			Chemical composition(%)					
Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Loss on ignition (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	MgO
2.2	3,218	5.9	60.4	24.7	4.6	3.2	0.2	0.8

Table 5 Physical properties of AE water-reducing agent

Main ingredient	Appearance	Specific gravity(20°C)	Normal dosage (C×(%))
Lignin	Brown liquid	1.02	0.15

3. 실험결과 및 분석

혼화재료에 따른 시멘트 모르타르 제품의 실험 결과는 Table 6과 같다.

3.1 강도 특성

Fig. 1은 AE감수제 첨가량에 따른 휨 및 압축강도를 시멘트 종류(혼화제), 배합비 및 재령별로 구분하여 비교한 것이다.

AE감수제량이 증가할수록 휨강도 및 압축강도는 다소 불규칙한 경향도 있기는 하지만, 공기량 증가에 기인하여(너무 된반죽으로 공기량 측정은 불가능하였지만 기존의 연구에 의거 증가하는 것으로 간주함) 약간 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 시멘트(혼화제) 종류별 시멘트 모르타르 제품의 휨강도 압축강도를 산점도로 비교한 것이다.

Table 6 Test results for strength, absorption, and freeze-thaw durability

Cement	Mix proportion (C:S)	W/C (%)	AE/C (%)	Flexural strength (kgf/cm ²)			Compressive strength (kgf/cm ²)			Absorption (% , 28d)	Relative dynamic modulus(%)			Change of weight(%)			
				7d.	28d.	91d.	7d.	28d.	91d.		10cy.	20cy.	30cy.	10cy.	20cy.	30cy.	
OPC	1:6	40	0	19	46	50	52	86	107	11.7	30	3	-	2.5	3.9	-	
			0.08	20	36	43	45	87	100	11.1	23	5	-	2.9	3.4	-	
			0.15	21	39	45	54	66	100	11.0	36	31	-	3.0	3.9	-	
			0.30	20	28	39	45	56	96	11.5	32	2	-	2.0	3.9	-	
	1:8	50	0	20	39	40	50	68	88	10.0	-	-	-	-	-	-	
			0.08	18	23	35	47	61	71	13.6	6	2	-	3.4	5.2	-	
BSC	1:6	40	0	18	34	52	50	89	108	11.8	39	16	9	2.8	3.7	4.8	
			0.08	20	24	44	36	75	105	9.7	35	25	22	1.5	2.1	4.0	
			0.15	20	27	45	43	60	107	10.7	53	40	13	2.1	3.2	3.8	
			0.30	18	29	40	38	70	90	11.2	42	32	10	2.0	2.9	3.7	
	1:8	50	0	16	27	38	32	55	88	12.9	1	-	-	4.0	-	-	
			0.08	14	22	35	27	56	80	12.5	6	3	-	1.9	3.5	-	
			0.15	12	24	36	29	60	74	11.1	30	9	-	1.8	4.8	-	
			0.30	16	23	30	31	56	75	9.8	19	12	-	1.5	4.0	-	
	FAC	1:6	40	0	20	49	58	53	90	115	10.8	21	13	-	2.1	3.1	-
				0.08	21	35	52	50	88	108	9.1	24	22	-	1.2	1.9	-
				0.15	22	40	53	52	93	110	8.3	40	24	15	0.6	1.7	2.5
				0.30	15	33	49	46	80	100	8.4	49	25	20	0.6	1.0	1.6
1:8		50	0	17	32	44	47	70	90	9.8	22	-	-	3.0	-	-	
			0.08	14	27	40	40	55	75	10.5	15	9	-	2.5	4.1	-	
			0.15	12	28	30	35	50	70	10.0	25	17	-	2.9	3.9	-	
			0.30	13	26	33	41	51	70	8.6	27	18	-	2.7	3.7	-	

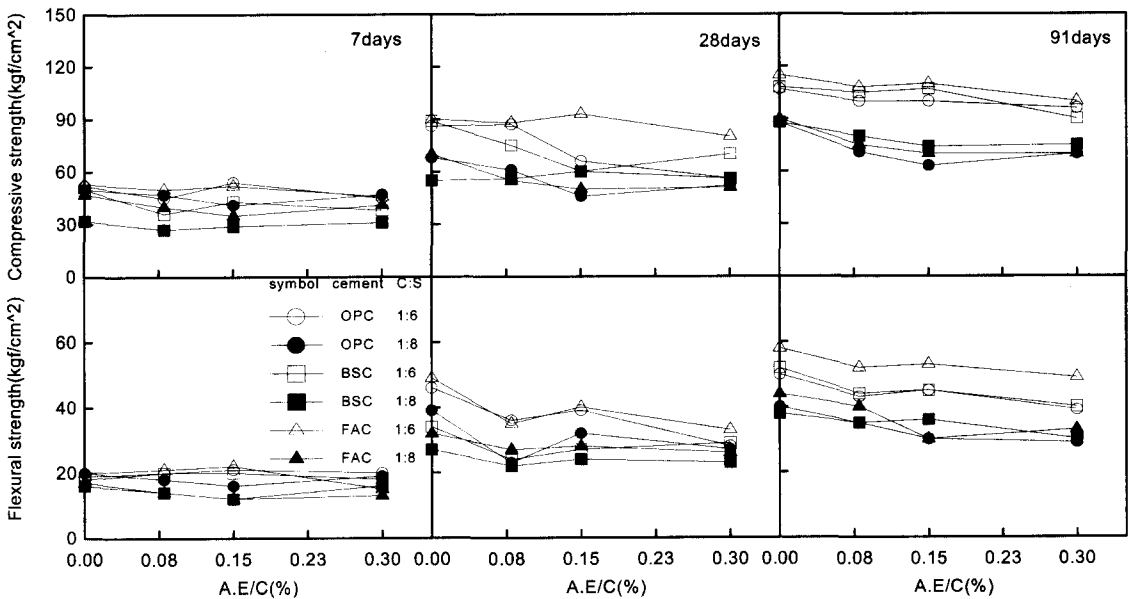


Fig. 1 Compressive and flexural strength versus A.E water-reducing agent content

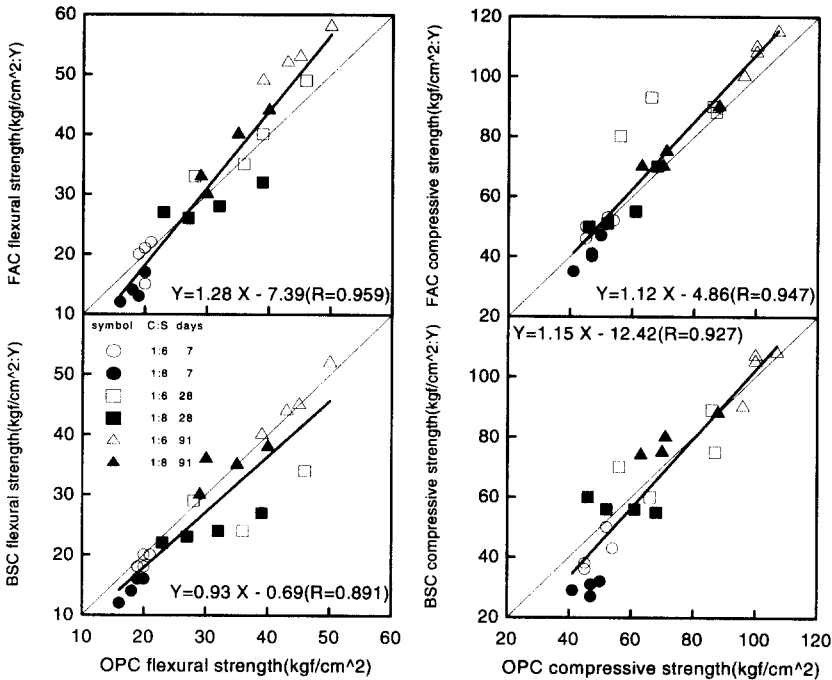


Fig. 2 Comparison of correlations of flexural and compressive strength between blended cement and OPC

먼저, 휨강도는 OPC와 비교할 때 BSC를 사용하면, 91일 재령에서 고로슬래그 분말의 잠재수경성 반응에 기인하여 큰 강도 값을 발휘한 경우도 있었으나, OPC가 전반적으로 큰 경향이었지만, FAC를 사용한 경우는 재령이 경과할수록 계속 증진되는 것으로 나타났는데, 특히 재령 28일 및 91일에서는 포졸란 반응에 기인하여 큰 강도증진을 나타내었다.

압축강도의 경우도 휨강도와 마찬가지로 BSC 및 FAC를 사용한 것이 초기에는 약간 저하하는 것으로 나타났으나, 장기 재령으로 갈수록 많이 회복되어 거의 동등한 결과 및 그 이상의 압축강도를 나타내었다.

Fig. 3은 Fig. 2를 다른 각도에서 분석한 것으로 BSC 및 FAC를 사용한 시멘트 모르타르 제품의 휨강도 및 압축강도를 OPC를 사용한 것에 대하여 백분율로 나타낸 것이다. 먼저, 휨강도는 BSC를 사용한 경우 재령 7일에서 1:6 배합은 5%, 1:8 배합은 17% 정도 작게 나타났고, 재령 28일은 그 보다 더 작은 22%와 20% 강도가 나타났으나, 재령 91일에서 1:6 배합은 2%, 1:8 배합은 3%의 강도 증진을 나타내고 있다.

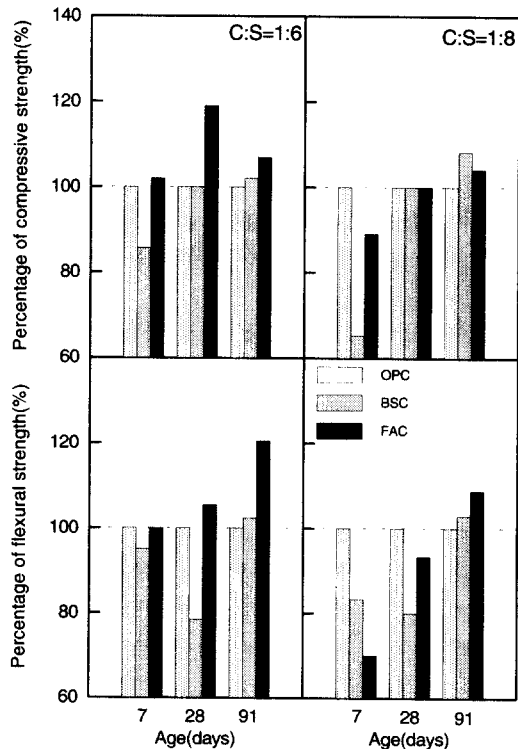


Fig. 3 Percentage of strength of BSC and FAC for OPC

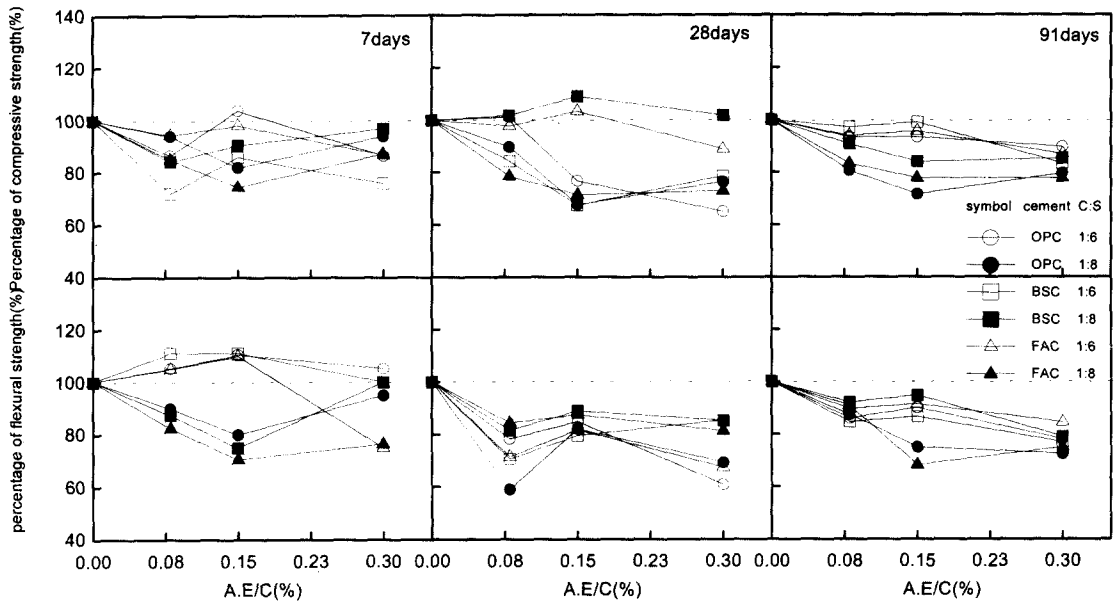


Fig. 4 Percentage of strength versus A.E water-reducing agent content

또한, FAC를 사용한 경우 1:6 배합은 7일 재령 이후 재령이 경과할수록 강도가 증진되어 재령 91일에서는 약 20%의 강도 증진을 나타내었고, 1:8 배합 역시 재령이 경과할수록 꾸준한 강도 증진이 나타났다.

압축강도의 경우도 휨강도와 마찬가지로 혼합 시멘트를 사용한 것이 재령이 경과할수록 잠재수 경성 및 포졸란 반응에 기인하여 강도가 증진되는 것으로 나타났다. 따라서, 시멘트 모르타르 제품 제작시 혼합시멘트 특히, FAC를 사용하면 경제적이며 양호한 장기 강도를 발휘하는 제품의 생산이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 4는 OPC, BSC 및 FAC를 사용한 경우의 AE 감수제를 첨가 하지 않은 것에 대한 AE 감수제 첨가량 변화에 따른 휨강도비 및 압축강도비를 나타낸 것이다. 먼저, 휨강도는 AE감수제 첨가량이 증가함에 따라 전반적으로 감소하는 것으로 나타났는데, 특히, 7일 재령보다는 28일 및 91일 재령에서 큰 폭으로 저하하는 것으로 나타났다. 압축강도의 경우도 휨강도와 마찬가지로 AE감수제 첨가량이 증가함에 따라 전반적으로 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 AE감수제 첨가에 따른 연행공기의 혼입으로 강도 저하를 유발시킨 것으로 분석된다.

3.2 흡수 특성

Fig. 5는 AE제 첨가량에 따른 흡수율을 시멘트 종류, 배합비별로 비교한 것이고, Fig. 6 및 7은 OPC와 BSC 및 FAC와의 흡수율을 비교한 것이다.

흡수율은 AE감수제 첨가량이 증가할수록 AE 감수제의 첨가에 의해 혼입된 연행공기가 모세관 공극으로 흡수되는 물을 차단시킴으로써 수분의

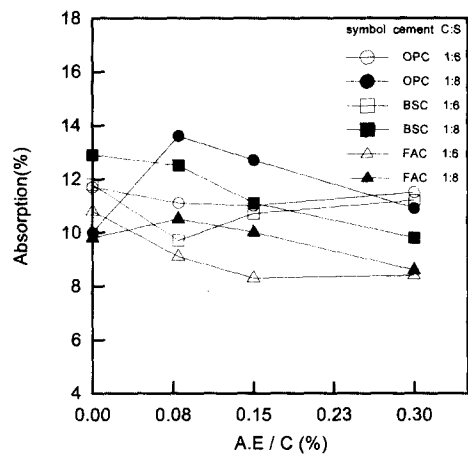


Fig. 5 Absorption versus A.E water-reducing agent content

침투가 억제되어 약간 감소하는 것으로 나타났고, 시멘트 종류별로는 OPC를 사용한 것이 전반적으로 크게 나타났는데, 이는 BSC 및 FAC의 비중이 OPC보다 작기 때문에 상대적으로 미분말이 증가하여 공극충전 효과, 포졸란반응 및 잠재수경성 반응에 기인한 조적의 치밀화에 의한 것으로 분석된다.

작어진 흡수율을 비율은 BSC를 사용한 경우 3%, FAC를 사용한 경우는 19%로 FAC를 사용한 것이 더욱 양호한 결과로 나타났다.

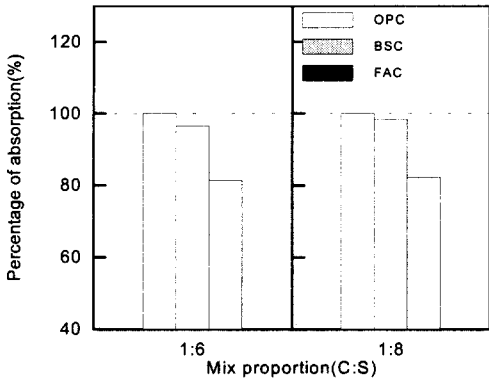


Fig. 7 Percentage of absorption of BSC and FAC for OPC

3.3 동결융해 저항성

Fig. 8은 동결융해 사이클 증가에 따른 상대 동탄성계수를 모르타르 배합비와 시멘트 종류 및 AE감수제 첨가량별로 구분하여 나타낸 것이다.

먼저, 시멘트 종류별로 동결융해 사이클이 증가할수록 상대 동탄성계수는 감소하였는데, 전반적으로 BSC를 사용한 경우가 내동결융해성이 우수한 것으로 나타났고, FAC를 사용한 경우는 플라야에서의 미연소탄분에 의한 AE제 흡착작용으로 공기량이 감소하여 동결융해 저항성이 작아진 것으로 나타났다.

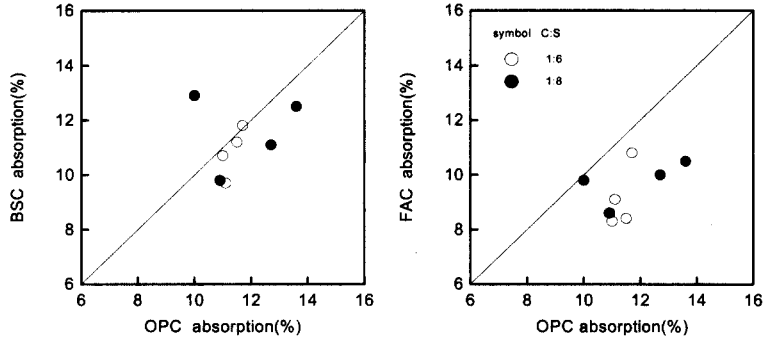


Fig. 6 Comparison of absorption blended cement for OPC

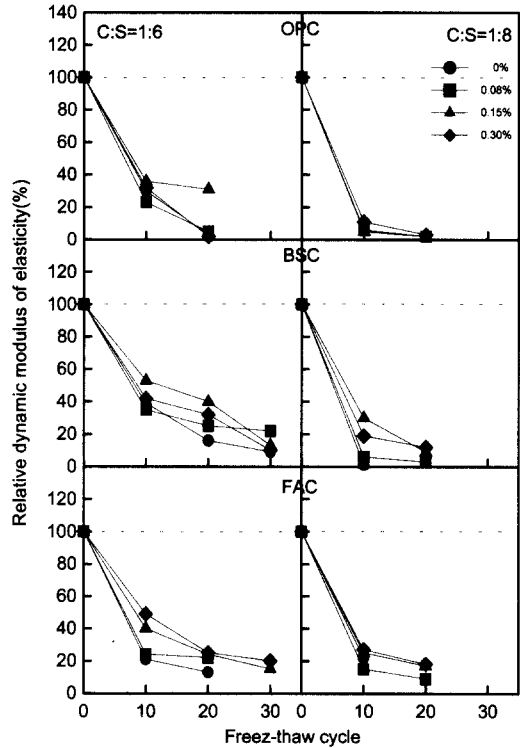


Fig. 8 Changes of relative dynamic modulus of elasticity versus number of freeze-thaw cycle

AE감수제 첨가량 변화에 따라서는 AE감수제의 첨가량이 0.15~0.3%일 때 미소하게나마 내동해성이 우수한 것으로 나타났는데, 이는 AE감수제에 의한 연행공기가 동결융해작용시의 팽창압을 완화시켜준 결과에서 기인한 것으로 분석된다. 또한, 모르타르 배합비별로는 기존의 연구와 같이 W/C가 큰 1:8 (W/C=50%)보다 W/C가 작은 1:6(W/C=40%)에서 내동해성이 우수하게

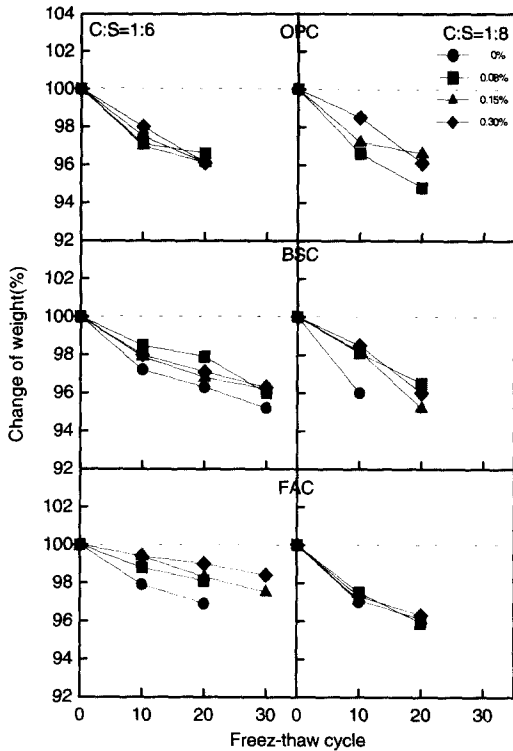


Fig. 9 Change of weight versus number of freeze-thaw cycle

나타났다.

Fig. 9는 Fig. 8과 동일한 요령으로 질량감소율을 나타낸 그래프이다.

동결융해작용에 따른 질량감소율은 FAC를 사용할 때 그 감소폭이 작게 나타났고, OPC의 감소폭이 크게 나타났다. AE감수제 첨가량이 증가할수록 또한, 모르타르 배합비는 1:6일 때가 동결융해 사이클이 증가함에 따라 질량 감소율의 폭이 작게 나타났다.

4. 결 론

제품용 시멘트 모르타르 제조에 있어 시멘트 종류(플라이애시 및 고로슬래그 분말) 및 AE제 사용량을 변화시켰을 때 강도, 흡수율과 동결융해 저항성을 실험적 구명한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 시멘트 모르타르 제품의 휨강도 및 압축강

도는 OPC를 사용할 때보다 BSC 및 FAC를 혼합시멘트로 사용한 경우가 7일 및 28일 재령에서는 약간 작게 나타났으나, 91일 재령에서는 오히려 증진되는 것으로 나타났다. 특히 FAC의 경우에서 더욱 우수해짐을 알 수 있었다.

2) 흡수율은 FAC를 사용한 경우가 가장 작게 나타났고, BSC, OPC의 순이었으며, AE감수제 첨가량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

3) 동결융해 저항성은 시멘트 종류별로는 BSC를 사용한 경우, 모르타르 배합비는 부배합인 경우, AE감수제 첨가량은 증가할수록 우수한 것으로 나타났다.

종합적으로 볼 때, 양호한 품질의 시멘트 모르타르 제품 제조는 AE감수제를 첨가하고, FAC를 사용하여 충분히 양생하면 기존의 OPC를 사용하여 생산했던 것보다 품질향상이 가능할 수 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김홍열, 채창우, 이세현, 양관섭 : 재생골재를 사용한 보차도용 인터로킹 블록의 제조와 성능구명에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제13권 제3호, 1997, pp.335~341.
2. 김홍열, 채창우, 이세현, 양관섭 : 재생골재를 사용한 시멘트 벽돌의 제조 및 성능평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제12권 제11호, 1996, pp.189~199.
3. 이찬식, 고성석, 이재용 : 플라이애시를 혼입한 콘크리트 블록의 강도 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 제14권 제2호, 1998, pp.331~339.
4. 유희범, 김기철, 윤기원, 이정희, 한천구 : 플라이애시 치환율 변화에 따른 준고유동 콘크리트의 특성, 한국콘크리트학회학술발표논문집, 제10권 제2호, 1998, pp.287~290.
5. 문한영, 서정우, 최재진, 김기형 : 콘크리트 혼화재료, 한국콘크리트학회, 1997.
6. 韓千求, 浜幸雄, 鎌田英治 : 自然環境下での乾燥の影響を考慮したコンクリートの耐凍害性實驗, 日本建築學會大會學術講演梗概集 A-1(材料·施工等), 1995.8.

요 약

시멘트 모르타르 제품은 빈배합의 된비빔 반죽을 강한 진동과 압축력에 의해 제조되는 특수성이 있으나 KS규격에 AE제 사용에 대한 규정이 없으므로 혼화재료의 활용 및 실용화에 관한 연구는 대단히 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 플라이애시를 치환한 시멘트와 고로슬래그 시멘트 혼화재 및 AE감수제 첨가량 변화에 대한 특성 변화를 동일한 조건의 보통 포틀랜드 시멘트와 비교 분석함으로써 시멘트 모르타르 제품의 품질향상에 기여코자 한다. 연구결과 시멘트 모르타르 제품 제조시 AE감수제를 첨가하고, 플라이애시를 사용하여 충분히 양생하면 기존의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 생산했던 것보다 품질이 향상된 제품의 제조가 가능함을 확인할 수 있었다.

(접수일자 : 1999. 9.15)