

# 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 인터로킹 블록의 특성에 관한 연구

## A Study on the Properties of Inter-Locking Block with the Variation of Replacement of Fly Ash

신 병 철 <sup>*</sup>	이 상 태 <sup>**</sup>	김 기 철 <sup>***</sup>
Shin, Byung Chuel	Lee, Sang Tae	Kim, Gi Cheol
김 진 선 <sup>****</sup>	권 상 준 <sup>****</sup>	한 천 구 <sup>****</sup>
Kim, Jin Seon	Kwon, Sang Zoon	Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

In this paper, the properties of inter-locking block using fly ash are investigated. The experimental parameters are the replacement ratio of fly ash, the amount of AE water-reducing agent and mixing proportion of mortar. According to the experimental results, the improvement of quality in the side of strength, absorption ratio and freeze-thaw resistance for manufacturing inter-locking block and the curtailment of cost can be achieved in case of 15% of fly ash and 0.3% of AE water-reducing agent are mixed into mortar mixture of 1:6(C:S).

### 1. 서론

최근, 인터로킹 블록을 제조할 때에는 품질향상 및 경제성 성취의 목적으로 플라이애쉬등 혼화재를 시멘트에 일부 치환하여 사용하는 방안이 검토되고 있다.

그러나 보차도용 인터로킹 블록에 대한 규정으로써 KS F 4419에는 「혼화재료는 AE제, 기타의 혼화재료를 사용할 경우에는 제품에 해로운 영향을 미치지 않는 것이어야 한다」라고 명시되어 있어 혼화재료의 사용을 권장하지 않는 암시로 받아들여지고 있고, 또한 실무 현장에서도 이에 대한 사용이 활성화되지 않고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 플라이애쉬를 인터로킹 블록 제조시 적극 활용하여 품질향상 및 원가절감을 기대하고, 또한 내동해성 향상과 관련한 AE감수제 첨가량 및 실용조건을 고려한 모르타 배합비를 변화시켜 실험용 인터로킹 블록 공시체를 제작한 후 제반특성을 비교·분석하므로써 인터로킹 블록 제조 실무에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

\* 정회원, 중부대 조경학과 전임강사, 공학박사

\*\* 정회원, 청주대 산업대학원 건설공학과 석사과정

\*\*\* 정회원, 청주대 대학원 건축공학과 박사과정

\*\*\*\* 청주대 조경학과 교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 청주대 건축공학과 교수, 공학박사

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획과 배합사항은 표 1과 같다. 먼저, 모르터 배합비는 중량배합비(C:S)로 1:6과 1:8의 2개 수준으로 하고, 물결합재비(W/B)는 각 모르터 배합의 반죽질기에 적당한 40%와 50%로 계획한다. 또한, 플라이애쉬 치환율은 0, 15, 30%의 3개 수준, AE감수제 첨가량은 0, 0.08, 0.15, 0.30%의 4개 수준으로 실험계획한다.

실험사항으로 휨강도와 압축강도는 7, 28 및 91일 재령, 흡수율은 28일 재령에서 측정한다. 또한, 동결융해 시험은 2주 수중양생 후 10사이클마다 동탄성계수와 질량변화율을 측정한다.

Table 1. Mix Design and Experimental Result

Mix Ratio (C:S)	W/B (%)	Air Content (%)	FA/C (%)	AE/C (%)	Unit Water (kg/m <sup>3</sup> )	Absolute Volume( l /m <sup>3</sup> )				Flexural Strength (kg/cm <sup>2</sup> )			Compressive Strength (kg/cm <sup>2</sup> )			Absorption (%)																	
						Cement	River Sand	Crushed Sand	Fly Ash	7d	28d	91d	7d	28d	91d																		
1:6	40	10	0	0	117	92	344	347	0	23	46	50	60	86	107	11.7																	
																	0.08	117	92	344	347	0	25	36	43	50	87	100	11.1				
																	0.15	117	92	344	347	0	24	39	45	56	80	100	11.0				
																	0.30	117	92	344	347	0	20	35	39	50	75	96	11.5				
																	15	0	116	78	342	344	20	20	49	58	53	90	115	10.8			
																		0.08	116	78	342	344	20	21	35	52	50	88	108	9.1			
																		0.15	116	78	342	344	20	22	40	53	52	93	110	8.3			
																	30	0.30	116	78	342	344	20	15	33	49	46	80	100	8.4			
																		0	115	64	340	342	39	17	43	55	50	83	100	9.9			
																		0.08	115	64	340	342	39	17	36	45	40	80	95	7.3			
																	1:8	50	10	0	0	113	72	356	359	0	20	30	40	50	68	88	10.0
0.15	113	72	356	359	0	16	27	30	41	46	63	12.7																					
0.30	113	72	356	359	0	19	27	29	47	52	70	10.9																					
15	0	112	61	354	357	16	17	32	44	47	70	90	9.8																				
	0.08	112	61	354	357	16	14	27	40	40	55	75	10.5																				
	0.15	112	61	354	357	16	12	28	30	35	50	70	10.0																				
30	0.30	112	61	354	357	16	13	26	33	41	51	70	8.6																				
	0	111	50	353	355	31	13	30	40	37	60	82	9.6																				
	0.08	111	50	353	355	31	12	27	36	38	54	68	8.8																				
30	0.15	111	50	353	355	31	10	25	30	29	40	63	9.0																				
	0.30	111	50	353	355	31	12	24	30	28	50	60	7.5																				

### 2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하고, 물리적 성질은 표 2와 같다.

Table 2. Physical Properties of Cement

Specific Gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Soundness (%)	Setting Time(mim)		Compressive Strength (kg/cm <sup>2</sup> )		
			Ini.	Fin.	3d	7d	28d
3.15	3,564	0.06	241	460	226	303	396

골재는 강모래와 석분을 1:1의 중량비율로 혼합하여 사용하는데, 강모래는 공주산을 사용하고, 석분은 충북 환희산으로써 13mm 이하를 사용한다. 골재의 물리적 성질은 표 3과 같다. 또한, 혼화재료으로써 플라이애쉬는 분급정제된 보령화력산을 사용하고, AE감수제는 국내 D사제를 사용하는데, 그 물리적 성질 및 화학성분은 표 4 및 5와 같다.

Table 3. Physical Properties of Aggregate

Kinds	Specific Gravity	Fineness Modulus	Voids Volume (%)	Absorption (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )	Solid Volume Percentage of Shape Variation (%)	Amount of Material Finer than 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

Specific Gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Loss on ignition(%)	Chemical Components(%)					
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	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

### 2.3 실험방법

본 실험의 모르터 혼합은 KS L 5109 방법에 의하여 실시하고, 비빔 완료후 일정량의 모르터를 주문 제작한 성형몰드에 넣고 7초동안 테이블 진동기로 다진 후 100 kg/cm<sup>2</sup>의 하중으로 가압하여 공시체(4×4×16cm)를 제작한다. 양생은 20±3°C인 온도조건에서 수중양생한다.

경화상태의 실험으로 흡수율은 KS F 4419의 인터로킹 블록 흡수율 시험방법, 휨강도 및 압축강도 시험은 KS F 2407 및 ASTM C 349의 표준적인 방법으로 실시한다. 또한, 동결융해 시험은 KS F 2456의 수중 급속 동결융해 시험에 준하여 실시한다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 강도특성

그림 1 및 2는 플라이애쉬를 치환하지 않은 것을 100으로 하였을 때 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 휨강도비와 압축강도비를 모르터 배합비와 재령 및 AE 감수제 첨가량 별로 구분하여 나타낸 것이다. 먼저, 휨강도

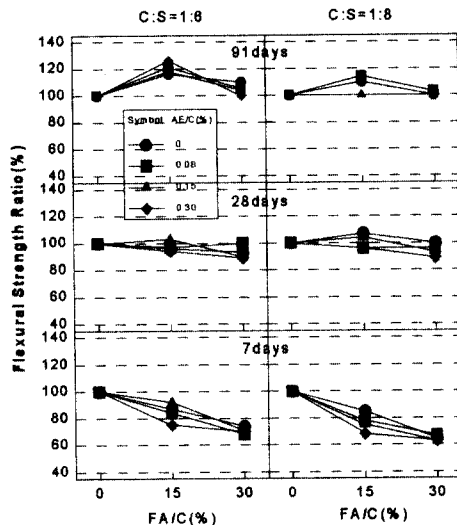


Fig. 1 Flexural Strength Ratio with the Variation of the Replacement of Fly Ash

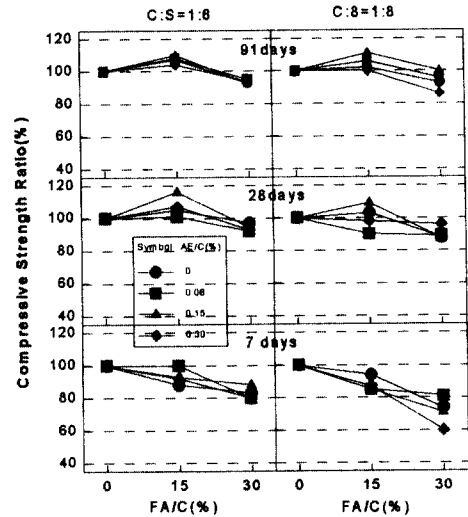


Fig. 2 Compressive Strength Ratio with the Variation of the Replacement of Fly Ash

는 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 7일 재령에서는 크게 저하하고 있으나, 28일 재령에서는 강도가 상당히 회복되어 플라이애쉬 치환율 변화에 따라 약간의 불규칙한 경향은 있으나, 전반적으로 플라이애쉬를 치환하지 않은 경우에 상응하는 결과로 나타났다. 또한, 91일 재령에서는 모르터 배합비 1:8이고 AE감수제 첨가량 0.15%에서 플라이애쉬 치환율 변화에 따라 동일한 강도를 나타낸 결과도 보였으나, 전반적으로 28일 재령보다도 강도는 더욱 증진되어 플라이애쉬 치환율 15%에서 치환하지 않은 경우보다 확연히 큰 강도를 나타내고 있는데, 이는 포졸란 반응에 의한 강도 증진 효과로 분석된다.

압축강도도 전반적으로 휨강도와 유사한 경향으로 나타났고, 28 및 91일 재령에서 플라이애쉬 치환율 15%일 때 치환하지 않은 경우보다 강도가 크게 나타난 것을 알 수 있다. 또한, 모르터 배합비 별로는 휨강도와 압축강도 모두 1:8보다는 1:6에서 큰 강도값을 나타냈으며, 강도 발현 성상은 유사한 경향으로 나타났다.

그림 3은 그림 1과 2를 다른 각도에서 분석한 것으로서 AE감수제 첨가량과 모르터 배합비별 평균으로 분석하여 휨강도비와 압축강도비를 나타낸 것이다.

그림 1과 2의 분석에서와 마찬가지로 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 플라이애쉬를 치환하지 않은 것에 비해 7일 재령에서의 휨강도와 압축강도는 크게 저하하는 것으로 나타났다. 그러나 28일 재령에서는 FA/C 15%일 때 휨강도는 0.5%, 압축강도는 4% 크게 나타났고, FA/C 30%일 때는 각각 6%와 8% 작게 나타났다. 또한, 91일 재령에서는 포졸란 반응에 의해 강도가 상당히 증진되어 FA/C 15%일 때 휨강도와 압축강도는 각각 15%와 6% 더 크게 나타났고, FA/C 30%에서는 휨강도는 3% 크게 압축강도는 6% 작게 나타났다. 이러한 3개월 이내의 휨강도와 압축강도의 결과로 FA/C 15%에서 강도가 가장 우수한 것으로 나타나 인터로킹 블록 제조시

플라이애쉬를 15% 치환 사용할 때 적정 범위가 되는 것으로 사료된다.

그림 4 및 5는 AE 감수제 첨가량 변화에 따른 휨강도비와 압축강도비를 모르터 배합비와 재령 및 플라이애쉬 치환율별로 구분하여 나타낸 것이다.

AE감수제 첨가량 변화에 따른 휨강도 및 압축강도는 다소 불규칙한 결과도 나

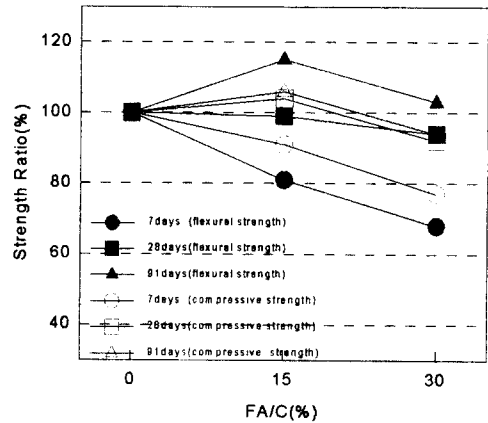


Fig.3 Strength Ratio with the Variation of the Replacement of Fly Ash

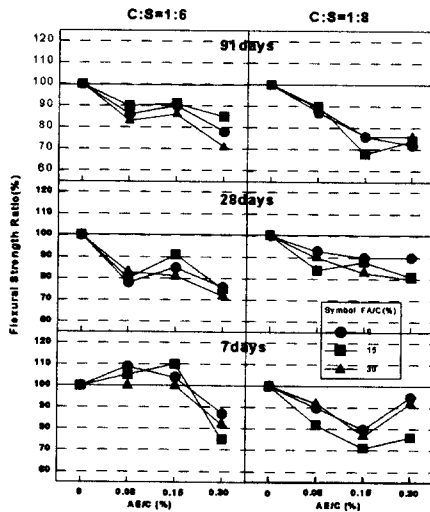


Fig. 4 Flexural Strength Ratio With the Variation of amount of AE water-reducing agent

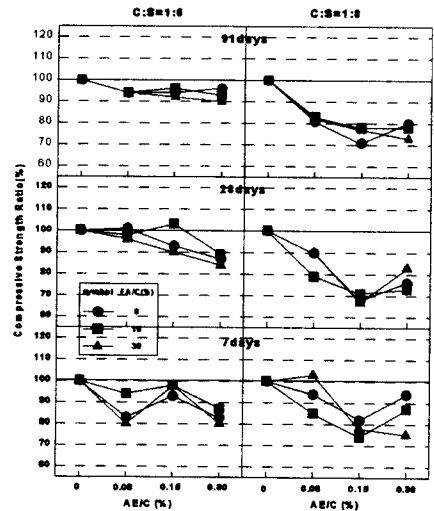


Fig. 5 Compressive Strength Ratio with the Variation of the amount of AE water-reducing agent

타났으나, 전반적으로 AE감수제 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향으로 나타났다. 모르터 배합비별로는 1:8보다 1:6의 배합에서 양호한 결과로 나타났고, 재령별로는 재령이 경과할수록 AE감수제 첨가량 증가에 따른 강도의 감소폭이 작게 나타났다.

### 3.2 흡수특성

그림 6은 플라이애쉬를 치환하지 않은 것을 100으로 하였을 때 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 흡수율비를 모르터 배합비와 AE감수제 첨가량별로 구분하여 나타낸 것이다.

전반적으로 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 흡수율은 작게 나타나고 있는데, 이는 플라이애쉬의 공극 충전효과 및 포졸란 반응으로 생성된 수화물이 경화체 내의 모세관 공극을 막아 물의 이동을 억제함으로써 침투성이 감소한 결과로 분석된다. 모르터 배합비별로는 1:6의 경우가 1:8보다 플라이애쉬 치환율 증가에 따라 감소의 폭이 크게 나타나 우수한 결과로 나타났다.

그림 7은 AE감수제를 첨가하지 않은 것을 100으로 하였을 때 AE감수제 첨가량 변화에 따른 흡수율비를 모르터 배합비와 플라이애쉬 치환율별로 구분하여 나타낸 것이다.

모르터 배합비 1:8의 경우 플라이애쉬 치환율이 작을 때 AE감수제의 첨가량이 증가할수록 흡수율이 증가하는 결과도 나타났으나, 전반적으로 AE감수제 첨가량이 증가할수록 흡수율은 감소하는데, 이는 AE감수제의 첨가에 의해 구형상으로 독립된 연행공기가 존재함에 따라 모세관 공극으로 침투하는 수분을 차단시킨 것에 기인한 결과로 분석된다.

### 3.3 동결융해 저항성

그림 8은 동결융해 사이클 증가에 따른 상대 동탄성계수를 모르터 배합비와 플라이애쉬 치환율 및 AE감수제 첨가량별로 구분하여 나타낸 것이다. 먼저, 플라이애쉬 치환율별로 볼 때 플라이애쉬를 치환 사용한 경우가 동결융해 사이클 증가에 따른 상대 동탄성계수비가 크게 나타나고 있어 기존 이론과는 반대로 내동해성이 우수함을 알 수 있는데, 이는 플라이애쉬의 치환 사용에 따른 모르터의 조직이 연속입도 분포로써 치환하지 않은 경우보다 더욱 견고해진 것에 의한 결과로 분석된다.

AE감수제 첨가량 변화에 따라서는 AE감수제의 첨가량이 증가할수록 내동해성이 우수하게 나타났는데, 이는 AE감수제의 첨가에 의해 혼입된 연행공기가 동결시의 팽창압을 완화시켜준 결과로 분석된다. 또한, 모르터 배합비별로는 1:8(W/C=50%)보다 1:6(W/C=40%)에서 내동해성이 우수하게 나타났다.

그림 9는 그림 8과 동일한 요령으로 질량변화율을 나타낸 것이다.

그림 8의 분석에서와 마찬가지로 플라이애쉬를 치환하여 사용하고, AE감수제 첨가량이 많을수록 또

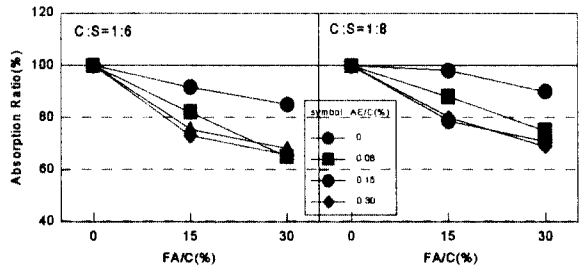


Fig. 6 Absorption Ratio with the Variation of the Replacement of Fly Ash

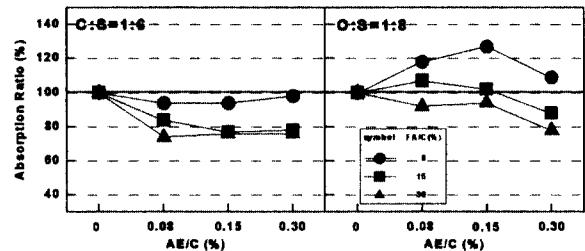


Fig. 7 Absorption Ratio with the Variation of the amount of AE water-reducing agent

한, 모르터 배합비는 1:6일 때가 동결융해 사이클이 증가함에 따라 질량 감소의 폭이 작게 나타났다.

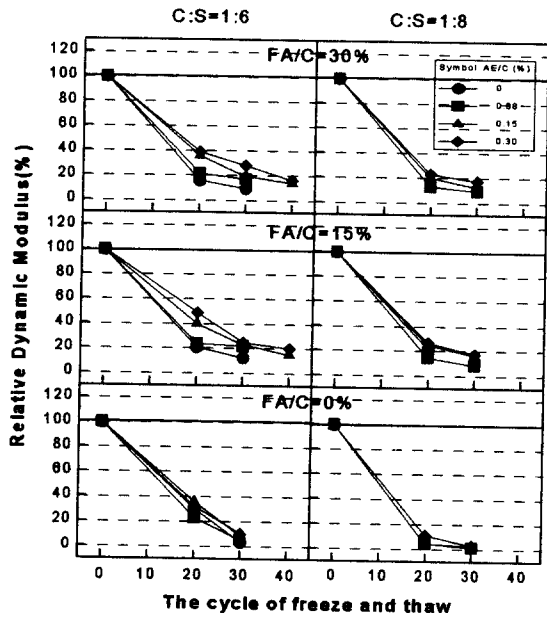


Fig. 8 Relative Dynamic Modulus with the Variation of the Cycle of Freeze and Thaw

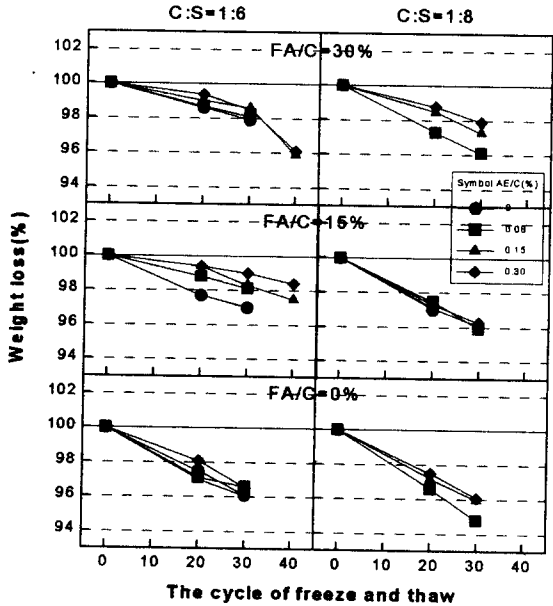


Fig. 9 Weight Loss with the Variation of the Cycle of Freeze and Thaw

#### 4. 결론

플라이애쉬 치환율과 AE감수제 첨가량 및 모르터 배합비를 변화시켜 제작한 인터로킹 블록 공시체의 제반특성을 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 휨강도와 압축강도는 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 플라이애쉬를 치환하지 않은 것에 비해 7일 재령에서는 크게 저하하는 것으로 나타났으나, 28일 재령에서는 비슷한 수준으로 나타났고, 91일 재령에서는 플라이애쉬 치환율 15%일 때 휨강도와 압축강도는 포졸란 반응에 기인하여 각각 15%와 6% 더 크게 나타났다. 또한, 휨강도와 압축강도는 AE감수제 첨가량이 증가할수록 저하하는 것으로 나타났다.
- 2) 흡수율은 플라이애쉬 치환율과 AE감수제 첨가량이 증가하고 모르터 배합비가 부배합(W/C가 작을수록)으로 될수록 감소하는 우수한 결과를 나타냈다.
- 3) 동결융해 저항성은 플라이애쉬 치환율과 AE감수제 첨가량이 증가하고 모르터 배합비가 부배합으로 될수록 양호한 결과로 나타났다.
- 4) 종합적으로 인터로킹 블록 제조에 플라이애쉬를 15% 치환하고, AE감수제를 0.30% 첨가하면 기존에 생산되는 것보다 더 경제적이고 향상된 품질의 제품이 제조될 수 있는 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 이상태, 이대주, 신병철, 김진선, 권상준, 한천구 : 고로슬래그 시멘트를 사용한 인터로킹 블록의 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 9권 2호, 1997, pp. 203-206.