

블리딩저감형 AE감수제를 사용한 콘크리트의 공학적 특성

Engineering Properties of Bleeding Reduction of Concrete Using AE Water Reducing Agent for the Type of Bleeding Reduction

한 천 구* 황 인 성** 이 승 훈*** 김 규 동****
 Han, Cheon-Goo Hwang, Yin-Seong Lee, Seung Hoon Kim, Gyu-Dong

Abstract

This study is intended to investigate the properties of bleeding reduction of concrete using AE water reducing agent for the type of bleeding reduction with the replacement admixture. According to the results, when the adding ratio of AE water reducing agent for the type of bleeding reduction increases, a range of normal fluidity and aimed air content are satisfied, setting time is faster than that of normal AE water reducing agent. And bleeding amount decreases, bleeding speed is highest between 60 and 90 min, and sinking depth increases drastically in 60 min. When AE water reducing agent for the type of bleeding reduction is added, compressive strength shows a slight variation by air content, but there is not a large influence by addition of AE water reducing agent for the type of bleeding reduction. Synthetically, it proves that AE water reducing agent for the type of bleeding reduction satisfies aimed air content in the range of normal slump and can reduce only bleeding without quality variation of compressive strength.

키워드 : 혼화재, 블리딩저감형 AE감수제, 블리딩량, 소성수축

Keywords : Admixture, AE Water Reducing Agent for the Type of Bleeding Reduction, Bleeding Capacity, Plastic shrinkage

1. 서 론

시공중인 콘크리트는 유동성 확보와 함께 재료분리가 거의 없는 균일한 품질이 요구되고, 타설 후에는 양호한 강도발현과 함께 초기수축으로 인한 균열 등 품질결함이 발생하지 않도록 세심한 관리가 요구된다.

그러나, 콘크리트는 비중과 입경이 서로 다른 재료로 구성되어 있어 시공과정에서 분리하기 쉬운 경향이 있는데, 블리딩이란 시공과정 중 발생하는 재료분리의 일종으로 거푸집에 부어넣은 콘크리트에서 물의 분리에 의해 내부의 잉여수가 콘크리트 상면으로 떠올라 모이는 현상을 말한다.¹⁾²⁾³⁾ 그런데, 이와같은 블리딩은 콘크리트량 부족, 수밀성 저하 등과 함께 침하 및 소성수축균열 등을 동반하게 되어 구조체 콘크리트의 품질저하를 초래하게 되므로, 효과적인 블리딩 저감대책이 요구되고 있다.

이에 본 연구팀에서는 선행연구에서 콘크리트용 블리딩 저감제를 개발한바 있으나⁴⁾, 이는 레미콘 출하시 현장에서 후 첨가하는 방식으로 다소 불편함이 제기됨에 따라 콘크리트 제조시 블리딩을 효과적으로 저감할 수 있는 블리딩저감형 AE감수제를 재차 개발하였다.⁵⁾

그러므로, 본 연구에서는 개발된 블리딩저감형 AE감수제의 실무 활용성을 검토하기 위하여 혼화재 종류 및 치환율 변화조건에서 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 기초적 물성, 블리딩 저감 특성 등 제반 공학적 특성을 검토함으로써, 실무 콘크리트의 블리딩 저감을 위한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 실험요인으로 W/B는 45% 1수준에 대하여 혼화재를 치환하지 않은 무치환과 혼화재로 플라이애쉬 10%(이하 FA 10), 20%(이하 FA 20)와 고로슬래그 미분말 20%(이하 BS 20)를 치환한 4수준에 대하여 일반 AE감수제를 사용한 플레인과 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률을 0.5, 1.0, 1.5%로 변화시킨 4수준의 총 16배치를 실험계획 하였다.

이때, 혼화재 치환별 플레인은 목표 슬럼프 18±2.5cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 한 후 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따라 동일하게 적용하였다.

굳지않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

* 정희원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사
 ** 정희원, 청주대 산업과학연구소 전임연구원, 공학박사
 *** 정희원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원
 **** 정희원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 전임연구원

표 1. 실험계획

실험요인		실험인자	
배합 사항	W/B(%)	1	45
	목표 슬럼프(cm)	1	18±2.5
	목표 공기량(%)	1	4.5±1.5
	혼화제의 조합 및 치환율(%)	4	· 무치환 · FA 10 · FA 20 · BS 20
실험 사항	블리딩저감형 AE감수제(%)	4	· 0(플레인) · 0.5 · 1.0 · 1.5
	굳지않은 콘크리트	6	· 슬럼프 · 슬럼프플로우 · 공기량 · 단위용적중량 · 블리딩 · 침하량
실험 사항	경 화 콘크리트	2	· 소성수축균열 · 압축강도 (3, 7, 28, 91일)

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 골재로 잔골재는 인천 중구 항동산 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 경기도 광주산 25mm 부순 굵은골재를 사용하였는데, 시멘트 및 골재의 물리적 성질은 표 3 및 4와 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,265	0.15	210	300	22.0	28.9	38.9

표 4. 골재의 물리적 성질

구 분	밀도	조립률	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.58	2.89	1.12	1,614	1.15
굵은골재	2.62	6.75	0.69	1,563	0.1

표 5. 플라이애쉬의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	강열감량 (%)	압축 강도비 (%)	SiO ₂	습분 (%)	단위 수량비 (%)
2.22	3,850	4.2	92	67.5	0.2	100

표 6. 고로슬래그 미분말의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	화학적 성분			
		MgO	SO ₃	강열감량(%)	염화물이온(%)
2.91	4,463	5.90	2.78	0.05	0.001

또한, 혼화제는 일반적으로 사용하는 분급 정제된 보령 화력산 플라이애쉬와 포항제철에서 생산되는 고로슬래그 미분말을 사용하였고, 혼화제로 일반 AE감수제는 국내산 D사의 나프탈렌계를 사용하였으며, 블리딩저감형 AE감수제는 선행

표 2. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	단위 수량 (kg/m ³)	S/a (%)	혼화제 (%/C)	AE 감수제 (%/C)	BRA* (%/C)	절대용적배합 (ℓ/m ³)					중량배합 (kg/m ³)																
						시멘트	FA	BS	잔골재	굵은골재	시멘트	FA	BS	잔골재	굵은골재	AE 감수제	BRA*										
45	165	45	무치환	0.40	플레인	116	0	0	303	371	367	0	0	782	971	1.47	0										
				0	0.5											1.84											
					1.0											3.67											
					1.5											5.51											
				0.35	플레인											116	17	0	296	361	330	37	0	763	947	1.28	0
				0	0.5																					1.84	
				1.0	3.67																						
				1.5	5.51																						
			0.30	플레인	117	33	0	288	352	293	73	0	744	923	1.10											0	
			0	0.5											1.84												
				1.0											3.67												
				1.5											5.51												
0.35	플레인	116	0	25											292	357	293	0	73	753	934	1.28	0				
0	0.5																					1.84					
	1.0				3.67																						
	1.5				5.51																						

표 7. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	비중 (20℃)
AE감수제	나프탈렌계	액체	암갈색	1.18
블리딩저감형 AE감수제	멜라민계 유동화제 + MC 증점제	액상	연갈색	1.11

연구에서 MC 증점제 및 멜라민 유동화제의 적정 혼입비율로 개발된 것을 사용하였는데, 각 혼화재료의 물리적 성질은 표 5~7과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였고, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였다.



사진 1. 블리딩수 측정 모습

블리딩 시험은 KS F 2414에 의거 사진 1과 같이 블리딩수를 측정 후 다음식에 의거 블리딩량 및 블리딩 속도를 구한 후 블리딩을 평가하였다.

$$B_c = \frac{W_b}{A} \text{ (cm}^3\text{/cm}^2\text{)}$$

$$B_v = \frac{Q}{A} \text{ (cm/min)}$$

여기서, B_c : 블리딩량

B_v : 블리딩 속도

W_b : 블리딩수의 체적(cm^3)

Q : 블리딩수의 단위시간당 침출량($\text{cm}^3\text{/min}$)

A : 콘크리트의 단면적(cm^2)

침하량은 사진 2와 같이 기둥부재로 가정된 $20 \times 20 \times 40\text{cm}$ 의 모의부재를 제작하여 콘크리트를 부어넣고 상부면을 마감

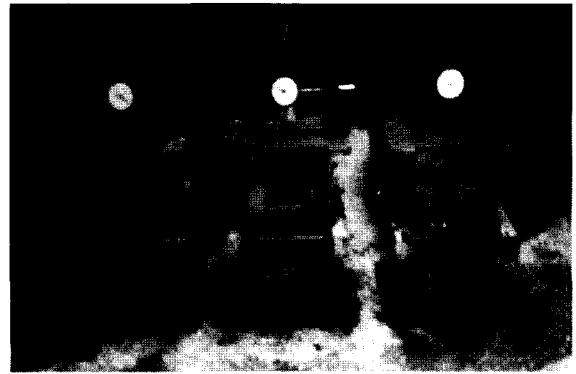


사진 2. 침하량 측정

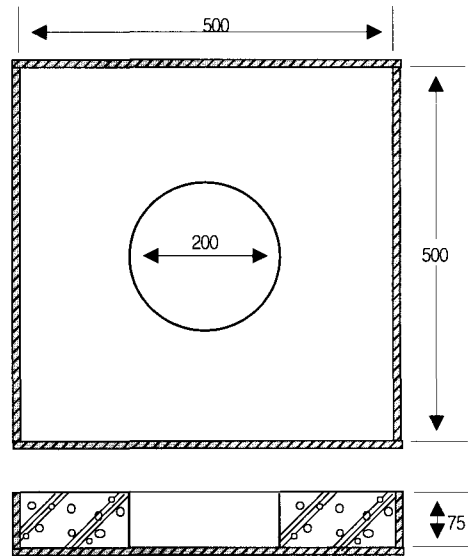


그림 1. 소성수축균열 측정을 위한 모의부재 개요도

한 후 $7.5 \times 7.5 \times 0.1\text{cm}$ (비중 1.0)인 수밀한 판재를 중앙부에 올려놓고 다이얼게이지를 이용하여 측정하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 소성수축균열은 그림 1과 같이 슬래브로 가정된 $500 \times 500 \times 75\text{mm}$ 의 모의부재 중앙에 콘크리트의 수축을 구속하기 위해서 $\phi 200\text{mm}$ 의 강제링을 설치하고, 콘크리트를 부어넣은 후 온도 $20 \pm 3^\circ\text{C}$, 상대습도 60%인 항온항습실에서 콘크리트 표면에 $4 \sim 4.6\text{m/s}$ 의 바람을 작용시키면서 24시간 방치한 후 표면에 발생한 균열길이 및 폭을 측정 후 균열길이 \times 균열폭으로 균열면적을 구하였다.6) 압축강도는 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 공시체를 KS F 2403 규정에 의거 제작 후 KS F 2405 규정에 의거 계획된 재령에 따라 100Ton U.T.M을 사용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 2는 혼화제 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것이다.

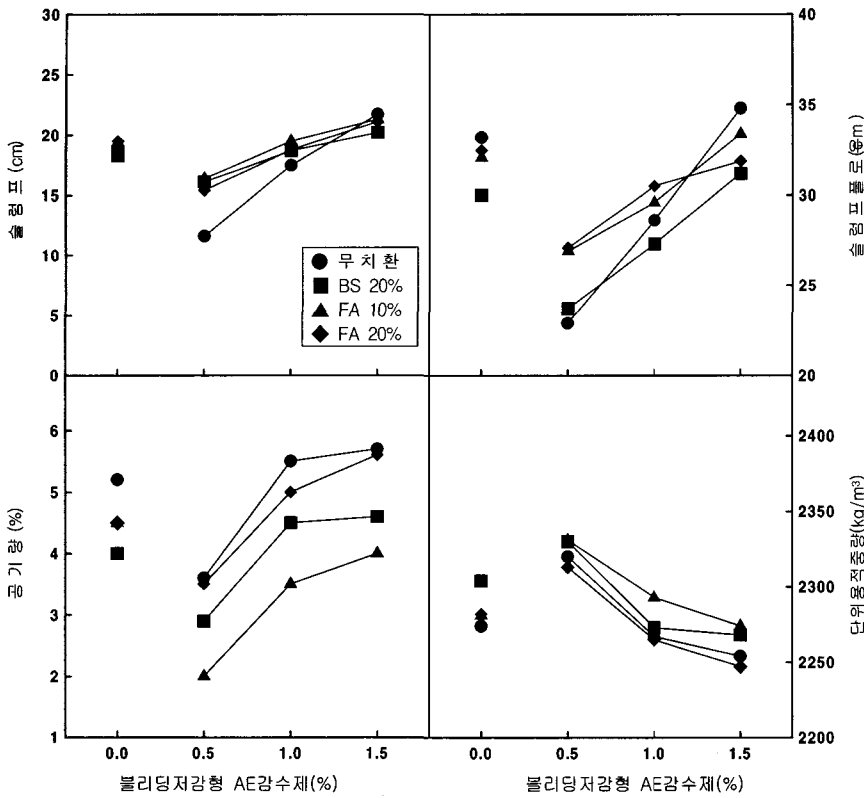


그림 2. 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량

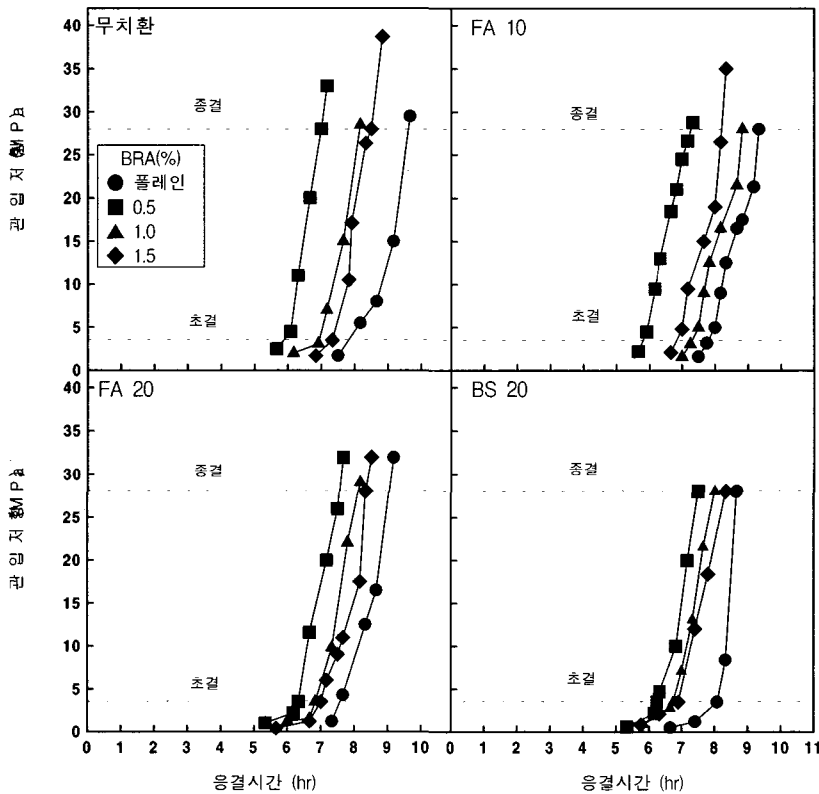


그림 3. 혼화재 치환 및 블리딩저감형 AE감수제 혼입률별 응결시간에 따른 관입저항치

먼저, 혼화재 치환별 일반 AE감수제를 사용한 플레인은 목표 슬럼프 $18 \pm 2.5\text{cm}$ 및 목표 공기량 $4.5 \pm 1.5\%$ 의 범위를 만족하였다.

혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 슬럼프 및 슬럼프플로우는 혼입률 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났는데, 특히 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 1.0%에서 플레인과 유사하였고, 혼입률 1.0%를 전후해서 슬럼프 10~21cm의 범용적인 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 증가에 따른 공기량은 MC 증점제의 발포성 공기생성에 기인하여 증가하는 것으로 나타났다. 단, FA를 치환한 경우는 FA 혼입률이 증가할수록 공기량이 감소하는 것으로 나타나, MC 증점제에 의한 발포성 공기포도 FA의 의해 흡착되어 공기량이 감소하는 것으로 판단된다.

따라서, 블리딩저감형 AE감수제는 FA를 치환하여 사용하는 경우 별도의 AE제 첨가 등 공기량 확보를 위한 대책 마련이 필요한 것으로 사료된다.

한편, 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 단위용적중량은 공기량이 증가하면 감소하는 반대의 경향으로 나타났다.

그림 3은 혼화재 치환 및 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률별 응결시간으로 경과시간에 따른 프록터 관입저항치를 나타낸 것이다.

먼저, 혼화재 치환에 따른 응결시간은 일반 AE감수제를 사용한 플레인인 경우 혼화재 치환에 따라 다소 빠르게 나타났는데, 이는 혼화재 치환의 경우 유동성이 증가하여 배합상 동일 유동성을 확보하기 위한 AE감수제의 첨가량이 적은 것에 기인된 결과로 사료된다. 또한, 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 응결시간은 블리딩저감형 AE감수제에 포함되어 있는 유동화제 첨가량의 증가 등에 의해 지연되는 것으로 나타났으나, 전반적으로는 일반 AE감수제를 사용한 경우 보다 응결시간이 빠르게 나타남을 알 수 있었다.

3.2 블리딩 특성

그림 4는 블리딩저감형 AE감수제를 혼입하지 않은 플레인을 대상으로 혼화재 치환별 경과시간에 따른 블리딩량 및

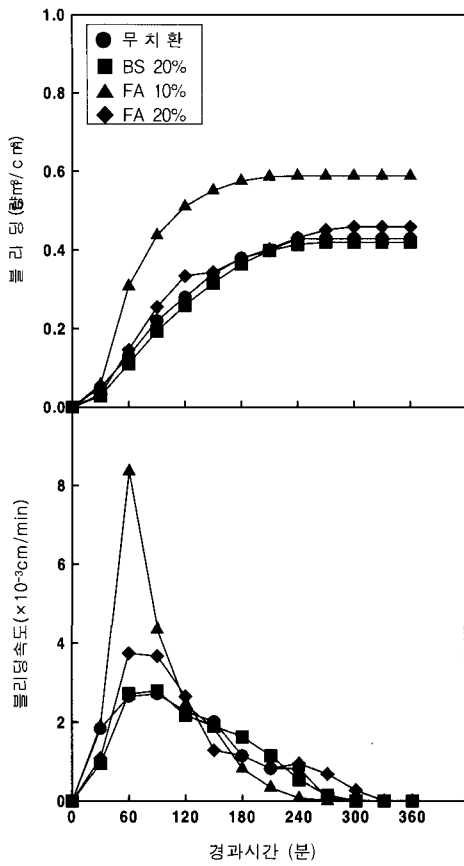


그림 4. 혼화재 치환별 경과시간에 따른 블리딩량 및 블리딩 속도

속도를 나타낸 것이고, 그림 5는 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 블리딩량 및 속도를 나타낸 것이다.

먼저, 혼화재 치환별 경과시간에 따른 블리딩량은 FA 20, BS 20, FA 10, 무치환 순으로 크게 나타났고, 특히 FA 20은 초기에 급격하게 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 혼화재 치환에 따른 단위시멘트량의 감소와 공기량 감소에 의해 블리딩량이 증가한 것으로 사료된다. 또한, 혼화재 치환별 블리딩 속도는 블리딩량과 유사한 경향으로 나타났고, 콘크리트 타설 후 60분을 전후해서 최고속도를 이루었다.

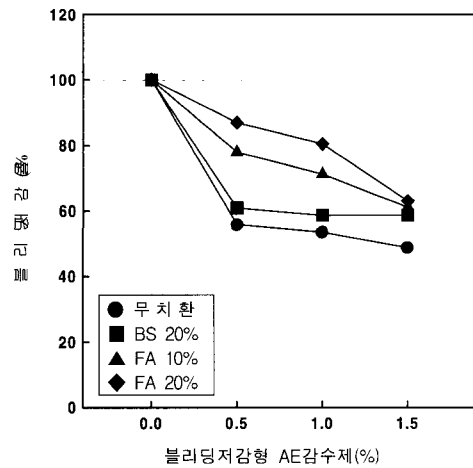


그림 6. 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 변화에 따른 블리딩 저감율

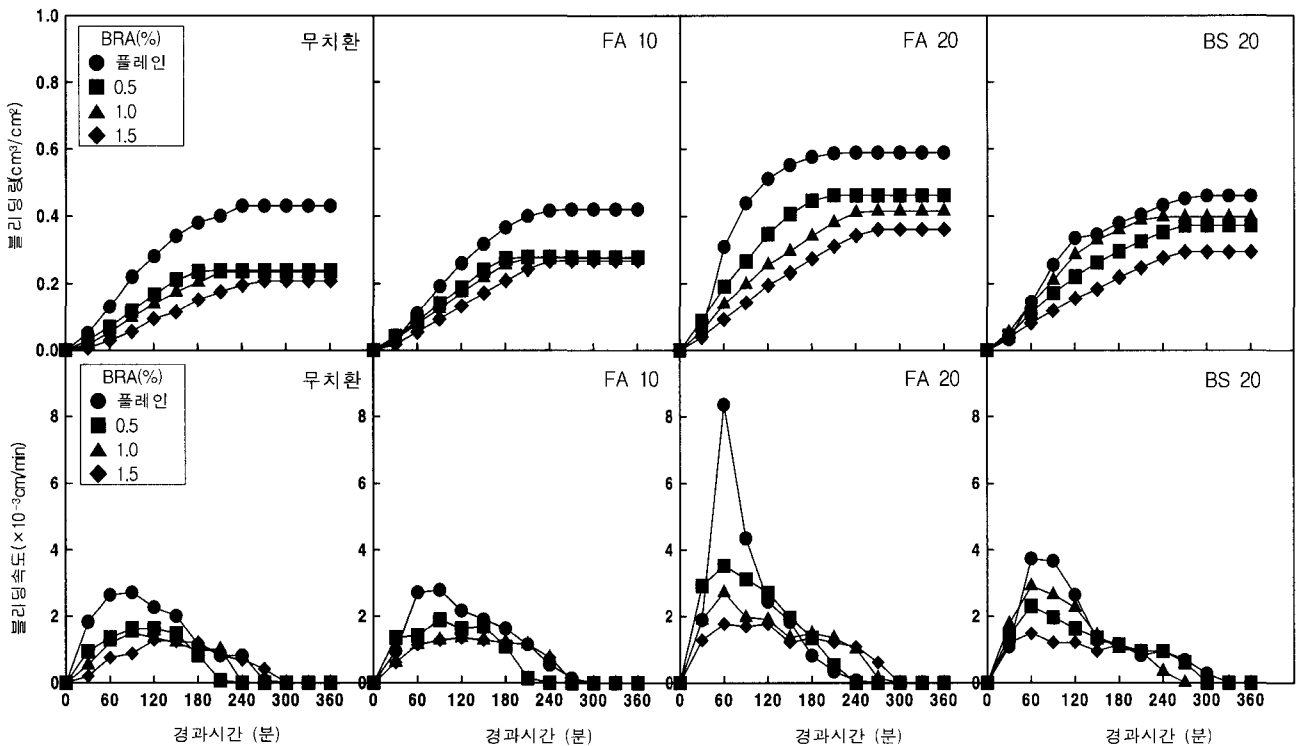


그림 5. 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 변화에 따른 블리딩량 및 블리딩 속도

혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 블리딩량은 혼입률이 증가할수록 점성제에 의한 점성증가로 감소하는 것으로 나타났고, 블리딩 속도는 전반적으로 블리딩량과 유사한 경향으로 콘크리트 타설후 60~90분 사이에서 최고속도를 나타내었으며, 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률이 증가할수록 블리딩 속도가 완만해지는 것을 알 수 있었다.

그림 6은 혼화재 치환별 플레인을 100으로 보고, 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 최종 블리딩량에 대한 블리딩 저감율을 나타낸 것이다.

혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 변화에 따른 블리딩 저감율은 무치환의 경우 45% 전후, FA 10인 경우 40% 전후로 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 증가에 관계없이 유사한 감소율을 나타내었고, FA 20은 20~40%, BS 20인 경우는 15~35%로 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 증가에 따라 비례적인 블리딩의 저감효과를 나타내었다.

그림 7은 혼화재 치환별 경과시간에 따른 침하량을 나타낸 것이고, 그림 8은 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 변화에 따른 침하량을 나타낸 것이다.

먼저, 혼화재 치환에 따른 침하량은 무치환, FA, BS 순으로 크게 나타났으나, 전체적인 침하량이 2mm 내외로 큰 차이가 아닌 것으로 분석된다.

또한, 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 침하량은 무치환의 경우 혼입률이 증가할수록 작아지는 경향이나, FA 10 및 20%와 BS 20%를 치환한 경우는 혼입률의 증가에 따라 블리딩이 감소한 반면 침하량은 오히

려 증가하는 경향이었는데, 이는 FA 및 BS의 경우 비중이 작고, 유동성의 증가하는 등 복합적인 원인에 의한 것으로 추후 이에 대한 심도있는 검토가 요망된다.

한편, 침하량은 전반적으로 콘크리트를 타설한 후 초기 60분 사이에 급격히 발생하고, 이후 완만한 경향으로 나타났는데, 실무 콘크리트 시공에 있어 침하균열 방지를 위해서는 콘크리트를 부어넣은 후 60분 경과 후 표면 마무리 작업을 실시하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

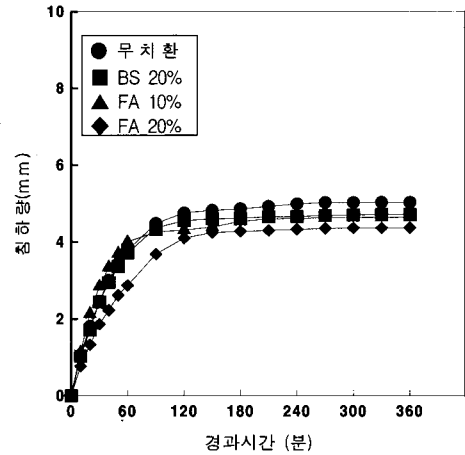


그림 7. 혼화재 치환별 경과시간에 따른 침하량

3.3 경화 콘크리트의 특성

그림 9는 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 변화에 따른 소성수축 균열면적을 나타낸 것이다.

먼저, 혼화재 치환에 따른 소성수축 균열면적은 무치환인 경우 균열면적이 발생하지 않았는데, 이는 블리딩수에 의한 표면박리 현상으로 균열면적을 측정할 수 없었고, 혼화재 치환에 따라서는 FA 10, FA 20, BS 20순으로 균열이 적게 발생하였다. 또한, 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 증가에 따라서는 무치환 및 FA로 치환한 경우 혼입률이 증가할수록 점성증가에 의한 블리딩량이 증발수량보다 상대적으로 적게 발생하여 소성수축에 의한 균열면적이 크게 증가하는 것으로 나타났고, BS로 치환한 경우는 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 증가에 따라 균열면적이 증가하였으나, 전체적으로는 무치환보다 적게 발생하였다.

따라서, 소성수축균열은 BS로 치환한 경우 블리딩 저감에 따라 감소하는 경향이나, FA로 치환한 경우는 블리딩 저감에 따라 오히려 증가하기 때문에 이에 대한 적절한 대책이 필요할 것으로 사료된다.

그림 10은 혼화재 치환에 따른 재령별 압축강도, 그림 11은 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 압축강도를 로그스케일로 나타낸 것이다.

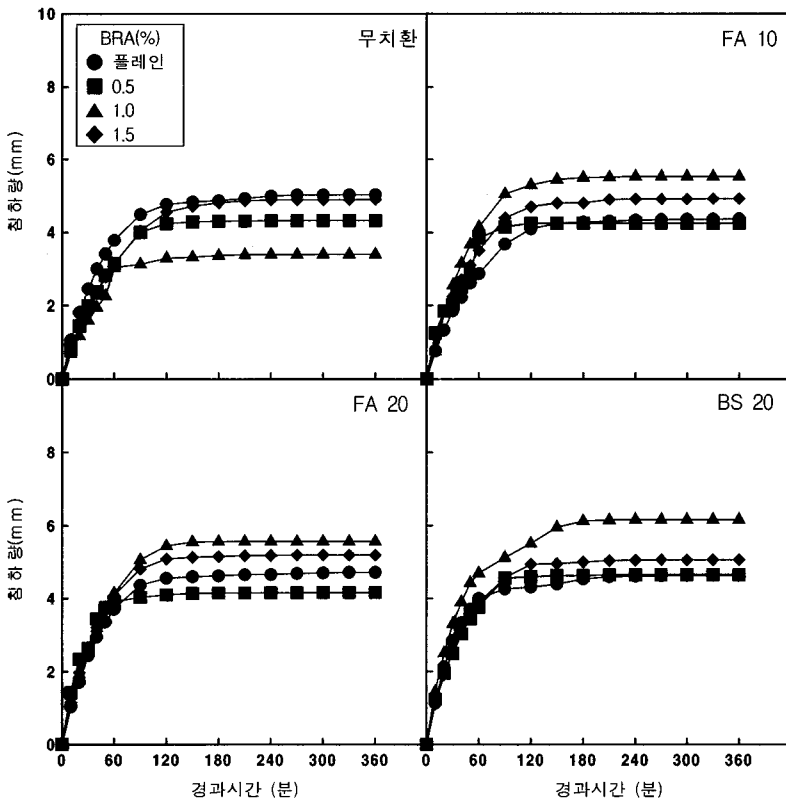


그림 8. 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 변화에 따른 침하량

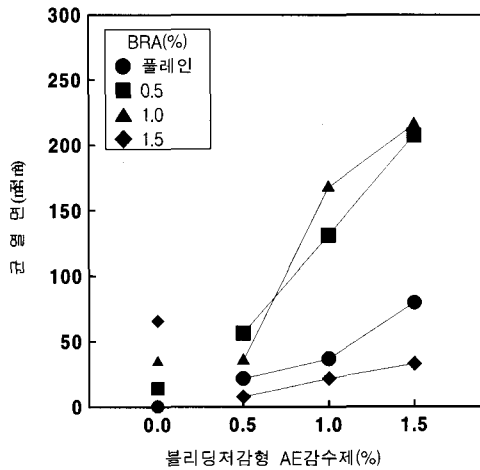


그림 9. 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 변화에 따른 소성수축 균열면적

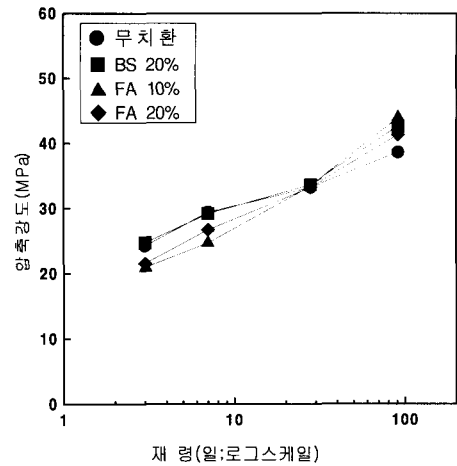


그림 10. 혼화재 치환별 재령경과에 따른 압축강도

혼화재 치환에 따른 압축강도는 재령이 경과할수록 증가하였고, 재령 28일까지는 무치환이 혼화재 치환 보다 크게 나타났으나, 재령 91일에서는 혼화재 치환이 FA 및 BS의 포조란 반응 및 잠재수경성 반응에 의해 무치환보다 증진되어 나타났다.

또한, 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 변화에 따른 압축강도는 플레인과 비교하여 다소 증감의 차이는 있으나 큰 차이는 없는 것으로 나타나, 블리딩저감형 AE감수제가 압축강도의 품질변화에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제를 사용한 콘크리트의 기초적 성상 및 블리딩 저감 등 공학적 특성을 검토한 것으로, 그 실험결과를 종합하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 증가에 따른 유동성은 증가하였고, 공기량은 목표 공기량의 범위를 만족하였으며, 응결시간은 일반 AE감수제보다 빠르게 나타났다.
- 2) 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 증가에 따른 블리딩량은 플레인과 비교하여 무치환의 경우 50%, FA 10은 30%, FA 20은 20~40%, BS 20은 15~35%의 저감 효과가 있는 것으로 나타났고, 블리딩 속도는 블리딩량과 유사한 경향으로 나타났으며, 초기 60~90분 사이에 최고속도를 이루었다.
- 3) 블리딩저감형 AE감수제의 혼입률 증가에 따른 침하량은 초기 60분 사이에 급격히 발생하였고, 소성수축균열은 BS로 치환한 경우 블리딩 저감에 따라 감소하는 경향이하나, FA로 치환한 경우는 블리딩 저감에 따라 오히려 증가하기 때문에 이에 대한 적절한 대책이 필요할 것으로 사료된다.
- 4) 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 변화에 따른 압축강도는 공기량의 변동에 따라 다소의 증감이 있을 뿐, 압축강도의 품질변화에 미치는 영향은 없는 것으로 분석된다.

참고 문헌

1. 한천구, 황인성; 잔골재 및 혼화재료 요인이 콘크리트의 블리딩에 미치는 영향, 대한건축학회논문집,

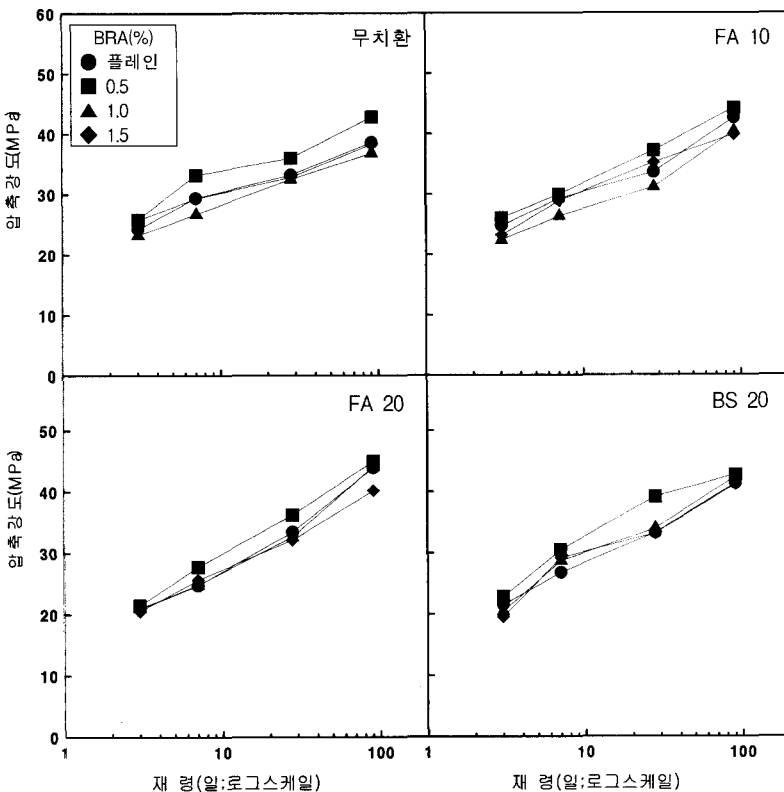


그림 11. 혼화재 치환별 블리딩저감형 AE감수제 혼입률 변화에 따른 압축강도

- 제18권 6호, pp. 93~100, 2002. 6
2. 한천구, 황인성, 이승훈, 김규동 ; 시멘트 및 골재의 입도분포 변화에 따른 블리딩 특성, 대한건축학회논문집, 제19권 12호, pp. 131~138, 2003. 12
 3. 한천구, 황인성 ; 배합 및 시공요인이 콘크리트의 블리딩에 미치는 영향, 대한건축학회논문집, 제19권 2호, pp.107~114 , 2003. 2
 4. 한천구, 황인성, 신동인 ; 콘크리트용 블리딩저감제의 개발 및 실용성 검토, 콘크리트학회논문집, 제15권 2호, pp. 217~224, 2003. 4
 5. 황인성, 정덕우, 김규동, 이승훈, 한천구 ; 블리딩저감형 AE감수제의 개발 및 실용성 검토, 대한건축학회 추계학술발표논문집, 제23권 제2호, pp. 375~378, 2003. 10
 6. 백상현, 오병환 ; 폴리프로필렌 합성섬유 보강콘크리트의 역학적 특성 및 건조수축 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술발표대회 논문집, 제8권 1호, pp. 146~152, 1996. 5
 7. 한국콘크리트학회 ; 최신콘크리트공학, 기문당, 1997
 8. 한천구 ; 콘크리트 특성과 배합설계, 기문당, 1998
 9. 岩崎訓明 ; コンクリートの特性, 共立出版, 1977
 10. 佐佐弥人, 小野博宣, 渡辺健治, 深見信規 ; コンクリートのプリ-ジ-ング測定法に関する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1999.