

AE 감수제 과다첨가가 콘크리트의 물리적 특성에 미치는 영향

Influence of Over-Added AE Water Reducing Agent on Physical Properties of the Concrete

한 천 구* Han, Cheon-Goo 한 민 철** Han, Min-Cheol 이 동 규*** Lee, Dong-Gyu

Abstract

This study is to investigate the influence of the over-added chemical agents, such as water reducing agent(WRA) and AE water reducing agent(AEWRA), on the physical properties of concrete to estimate the degree of damage due to over-added chemical agents. For the fresh concrete, slump and slump flow increased with the increase of WRA and AEWRA as expected. Material segregation phenomenon was observed with the over dosage of lignin based AEWRA about 4 times larger than recommended dosage. The over dosage of AE water reducing agent about 4 times larger than recommended dosage resulted in an increase of air contents remarkably. The set retardation occurred greatly with the increase of AEWRA and WRA, For the properties of the hardened concrete corresponding to the over dosage of AEWRA, it is found that compressive strength of over added AEWRA and WRA concrete are much smaller than those of base and recommended dosage concrete proportionally due to associated increasing air content.

키 워 드 : AE 감수제, 감수제, 재료분리, 응결지연

Keywords : AE water reducing agent, Water reducing agent, Segregation, Set retardation

1. 서 론

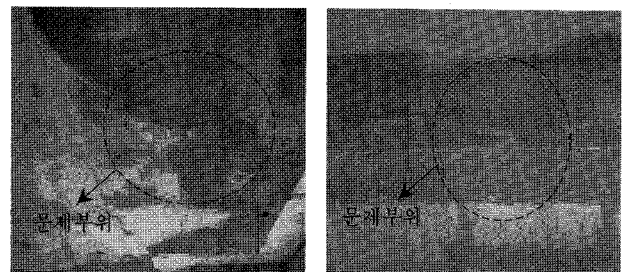
최근 들어 콘크리트의 고강도화, 고성능화 및 다기능화 추세에 따라 종래의 구성 재료인 시멘트, 물, 모래 및 자갈만으로는 요구에 부합하는 성능의 콘크리트를 제조하는데 한계에 봉착해 있는 실정이다.

이러한 이유 때문에 콘크리트의 요구 성능을 만족하기 위한 화학 및 광물질 혼화제의 사용은 실무현장에서 피할 수 없는 추세로서 이들을 적정량 사용함에 따라 유동성 향상, 공기량 확보, 강도향상 및 내구성 증대 등 종래의 전통적 콘크리트용 재료로 얻기 힘든 효과를 발휘할 수 있게 되었다.¹⁾²⁾³⁾

그런데, 이러한 화학혼화제중 실무에서 가장 빈번하게 사용되는 것으로는 AE제, 감수제, AE 감수제를 들 수 있는데, 이중 AE제는 계면 활성제의 일종으로써 콘크리트의 제조 시에 첨가하게 되면 미세한 기포가 콘크리트 내부에 골고루 발생되어 동결융해저항성 등의 내구성 개선 및 수밀성 증대 등의 효과가 있다. 또한, 감수제는 공기를 연행하지 않고 시멘트 입자에 대한 습윤, 분산 작용에 의해 콘크리트의 워커빌리티를 향상시켜 소정의 컨시스턴시 및 강도를 얻는데 필요한 단위수량 및 단위 시멘트 량을 감소시켜주는데, 일반적으로 시중의 레미콘 사에서 가장 많이 사용되고 있는 것은 AE제와 감수제를 혼합한 것

으로 표준형의 AE 감수제를 들 수 있다.⁴⁾

KS F 4009(레디믹스트 콘크리트)의 품질 기준에서는 보통 콘크리트의 경우 $4.5 \pm 1.5\%$, 경량 콘크리트의 경우 $5.0 \pm 1.5\%$ 로 공기량이 규정이 되어 있으므로 일반 레미콘 회사에서는 거의 의무적으로 AE 감수제를 투입하고 있는 실정이다.



a) 슬래브 하부 b) 보 하부

사진 1. 혼화제 과다첨가 사례

그러나 이러한 혼화제를 투입하는 과정에서 기계의 오작동, 계량오차 및 감수제의 품질변동 등으로 과다 첨가사고가 발생할 수 있고, 사진 1에서와 같이 일부현장에서는 실제로 발생한 예도 있다. 이 경우 시공성의 불량은 물론 응결지연, 강도 및 내구성의 저하 등 콘크리트의 품질을 저해하고 심할 경우 구조물의 붕괴를 유발시킬 수 있는 위험성도 제기된다.⁵⁾

그러므로 본 연구에서는 혼화제 중 실무에서 가장 많이 사용되고 있는 리그닌 및 나프탈렌계의 AE 감수제와 AE제를 혼합하지 않은 감수제를 토대로 이들의 과다 첨가가 콘크리트의

* 정희원, 청주대학교 건축공학과 교수
 ** 정희원, 청주대학교 건축공학과 전임강사
 *** 정희원, 청주대학교 건축공학과 석사과정

물리적 특성에 미치는 영향을 실험적으로 분석하고, 나아가 실무에서의 감수제 계열의 혼화제 과다 첨가에 따른 사고가 발생할 경우 피해 정도를 미리 예측하고, 대책 수립에 참고자료로서 제시하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

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

표 2. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B (%)	1	50
	목표슬럼프 (mm)	1	120±25
	목표공기량 (%)	1	4.5±1.5
	혼화제(%)	1	FA 10
	혼화제	종류	3
첨가율 (%)		7	0, 1a, 2a, 3a, 4a, 7a, 10a (a = 표준사용량으로 0.5%/C)
실험사항	굳지않은 콘크리트	5	•슬럼프 •공기량 •슬럼프 플로우 •단위용적질량 •응결시간
	경화 콘크리트	1	•압축강도 (1, 3, 7, 28, 91일) •인장강도 (28일)

* 리그닌계 감수제 표준사용량은 목표 공기량 관제로 리그닌계 AE감수제의 표준사용량을 적용함

표 3. 콘크리트 배합사항

실험수준	W/B (%)	단위수량 (kg/m³)	S/a (%)	질량배합(kg/m³)					
				C	FA	S	G	감수제	AE제
플레인	50	185	47.7	328	36	801	920	-	-
AL-1	50	185	47.7	328	36	801	920	1.85	0.008
AL-2								3.70	0.016
AL-3								5.55	0.024
AL-4								7.40	0.032
AL-7								12.95	0.056
AL-10	18.50	0.080							
L-1	50	185	47.7	328	36	801	920	1.85	0.008
L-2								3.70	
L-3								5.55	
L-4								7.40	
L-7								12.95	
L-10	18.50								
AN-1	50	185	47.7	328	36	801	920	1.85	0.028
AN-2								3.70	0.056
AN-3								5.55	0.084
AN-4								7.40	0.112
AN-7								12.95	0.196
AN-10	18.50	0.280							

먼저, 배합사항으로는 일반 강도 콘크리트 수준인 W/B 50%의 1수준에 대하여 혼화제 종류를 3가지로 선택하였는데, 실무에서 가장 많이 사용되는 리그닌계 AE 감수제 표준형(이하 AL), 리그닌계 감수제(이하 L)와 나프탈렌계 AE 감수제를 선택하였다.

AE 감수제 사용량의 경우는 목표 슬럼프와 공기량을 만족하는 리그닌계와 나프탈렌계의 표준사용량을 기본배합(a)으로 결정한 후, 여기에 이들 혼화제의 첨가량을 표준사용량의 배수로 증가시켜 0, 1a, 2a, 3a, 4a, 7a, 10a의 7수준으로 변화시켜 총 18배치를 실험 계획하였다.

실험사항으로는 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프 및 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적질량, 응결시간을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도와 인장강도를 측정하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에서 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재는 충남 연기군 조치원산의 부순 잔골재와 충북 청원군 옥산산 강모래를 6:4의 비율로 혼합한 혼합잔골재를 사용하였으며, 굵은 골재는 충북 옥산산 20mm 부순 굵은 골재를 사용하였다. 그 물리적 성질은 표 4-5와 같다.

표 4. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,483	0.15	208	351	20.4	29.4	38.7

표 5. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m³)	0.08mm제 통과량 (%)	
						잔골재
	부순모래	2.6	3.26	0.46	1,684	0.32
굵은골재	2.61	6.55	0.58	1,564	0.40	

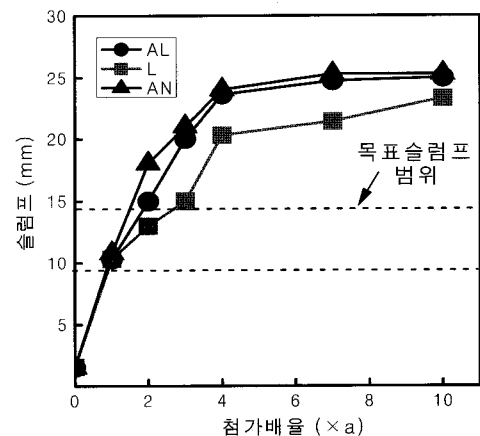


그림 1. 첨가배율에 따른 슬럼프

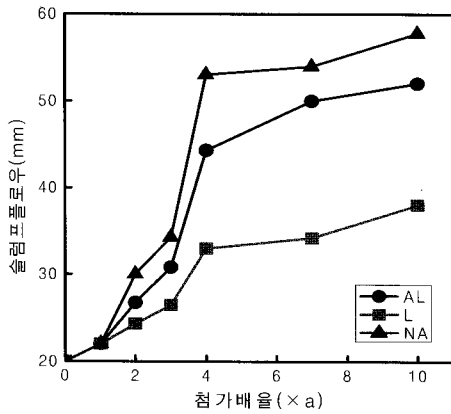


그림 2. 첨가배율에 따른 슬럼프플로우

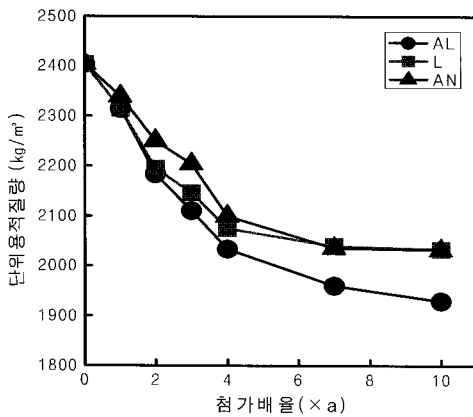


그림 3. 첨가배율에 따른 단위용적질량

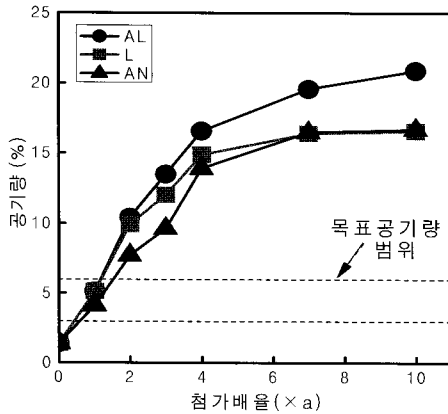


그림 4. 첨가배율에 따른 공기량

표 6. 플라이 애시의 물리 및 화학적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	강열감량 (%)	습분 (%)	SiO₂ (%)
2.21	3,368	4.0	0.1	51.3

표 7. 혼화제의 물리 및 화학적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm³)
AE 감수제 I	리그닌계	액상	암갈색	1.04
AE 감수제 II	나프탈렌계	액상	암갈색	1.05
감수제	리그닌계	액상	암갈색	1.04

또한, 사용된 혼화재료의 물리 및 화학적 성질은 표 6~7과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594, 단위용적질량과 공기량은 KS F 2409, 응결시간은 KS F 2436 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로, 압축강도와 인장강도는 종결이후의 재령경과에 따라 KS F 2405, 2423 규정에 의거 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1~2는 혼화제 종류 및 첨가배율에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우치를 나타낸 것이다.

먼저 혼화제를 무첨가한 플레인 콘크리트의 슬럼프치는 20mm내외로 나타났으며, 여기에 AE 감수제 및 감수제를 표준 사용량을 첨가한 경우 모두 목표 슬럼프치를 만족시키는 것으로 나타났다. 이는 혼화제의 첨가에 따른 감수제의 분산작용과 AE제에 의한 볼베어링 작용으로 슬럼프 및 슬럼프플로우치가 증가하는 것으로 판단되며, 그 증가량은 표준 첨가량의 4배까지는 급격히 증가하다가 그 이상에서는 완만한 증가 경향을 나타내었다. 이는 AE 감수제 및 감수제를 표준사용량의 4배 이상 첨가시 재료분리현상 때문으로 판단된다.

AE 감수제 종류별로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났고, 감수제만을 사용한 경우는 AE 감수제를 사용한 경우보다 전반적으로 슬럼프가 저하하는 것으로 나타났다.

종합적으로 AE 감수제의 사용량에 따라 슬럼프치가 증가하였는데, 표준 사용량의 2배 사용시 약 40~50mm정도 슬럼프가 증가함을 알 수 있었다.

그림 3~4는 혼화제 종류 및 첨가배율에 따른 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

혼화제를 무첨가한 플레인 콘크리트의 공기량은 1.4%로 매우 적게 나타났으며, 혼화제를 표준 사용량 첨가시 혼화제 종류에 관계없이 목표 공기량을 만족하였다. 한편, 혼화제 첨가배율의 증가에 따른 공기량의 경우 혼화제 첨가배율이 2배와 4배 사이에서 급격하게 증가하였으며, AL은 표준사용량의 2배 이상, AN은 4배 이상 첨가될 경우 공기량 시험기의 범위인 10%를 넘어서 공기량 측정을 할 수 없었다. 이에 공기량은 질량방법에 의해 산출하였다. 한편 L의 경우에도 사용량이 표준 사용량의 3배 이상 초과 시에는 공기량이 10%를 초과하여 감수제만으로도 공기량에 큰 영향을 끼친다는 것을 확인할 수 있었다.

혼화제 종류별로는 나프탈렌계 AE 감수제가 리그닌계보다 공기량의 증가량이 적었는데, 이는 나프탈렌계 성분이 일정부분 소포 작용을 하기 때문으로 사료된다.

한편, 혼화제 종류에 관계없이 모두 4배 첨가 시까지는 공기량이 급격히 증가하다가 그 이상에서는 완만하게 증가 경향을 보이는데, 이는 슬럼프 및 슬럼프 플로우와 마찬가지로 콘크리트의 재료분리가 발생하였기 때문으로 판단된다

혼화제 종류 및 첨가배율에 따른 단위용적질량은 공기량의 영향으로 첨가율 4배까지는 급속한 감소경향을 보이다가 그 이상 첨가할 경우 비교적 완만한 감소경향을 나타내었는데 혼화제의 종류에 따라서는 AL를 첨가하였을 경우 L 및 AN에 비해 단위용적질량의 저하가 큰 것으로 나타났다.

그림 5는 혼화제의 첨가배율별 경과시간에 따른 관입저항치를 나타낸 것이며, 그림 6은 실험수준에 따른 초결 및 종결시간을 나타낸 것이다.

기준에 알려진 바와 같이 리그닌계 혼화제의 첨가배율 증가에 따른 응결시간은 크게 늦어지는 것으로 나타났으며, 나프탈렌계를 사용한 경우에도 정도의 차이는 있지만 응결지연이 발생하였다.⁶⁾⁷⁾

혼화제를 첨가하지 않은 베이스 콘크리트는 초결이 8시간, 종결이 12시간이 소요되었으며, 혼화제의 첨가율 변화에 따라서는 혼화제를 표준사용량 사용한 경우 AL, L, AN 모두 초결은 12시간전후, 종결은 16시간전후로 대략 베이스 콘크리트에 비해 2시간내외로 지연되는 것으로 나타났다. 하지만 혼화제를 표준사용량의 2배 첨가할 경우 AL, L, AN 모두 응결시간이 비약적으로 증가하여 2배 가량의 응결지연이 발생하였으며, 3배 첨가시 AL과 L의 경우 초결은 10일 전후에, 종결은 18일 전후, AN의 경우는 초결이 45시간 전후, 종결이 80시간 전후에 나타

났다. 이는 AE 감수제 및 감수제 사용량이 급격히 증가할 경우 이들 혼화제의 유기화합물이 시멘트 입자표면에 흡착되어 시멘트 입자와 물의 접촉을 방해하여 수화반응을 지연시키기 때문으로 사료된다.⁷⁾

특히, 혼화제를 표준사용량의 4배 첨가시 AL과 L은 60여일이 지나서야 초결이 진행되었고, 종결은 85일이 지나서야 진행되었다. AN의 경우는 18일 전후에 초결이 진행되었으며 28일 전후에 종결이 완료되어 리그닌계 AE 감수제 성분이 나프탈렌계보다 응결이 더 많이 지연되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 나프탈렌계가 리그닌계보다 공기량의 증가가 비교적 적기 때문으로 사료된다.

한편, 혼화제의 첨가배율 7배와 10배는 300일이 지난 현재도 관입저항치가 3MPa미만으로 초결이 진행되지 않고 있는 것으로 조사되었다.

굳지않은 콘크리트의 결과로 미루어볼 때, 혼화제 종류에 관계없이 표준사용량의 2배만 첨가되어도 굳지않은 콘크리트의 재료분리발생, 공기량 과다증가 및 응결시간 대폭 지연등 품질이 크게 저하되므로 실무에서는 각별한 주의가 필요할 것으로 사료된다.

3.2 경화콘크리트의 특성

그림 7은 혼화제별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이며, 그림 8은 혼화제별 재령경과에 따른 압축강도비를 나타낸 것이고, 그림 9는 혼화제 첨가배율별 압축강도를 나타낸 것이다. 또한, 사진 2는 300일 경과된 혼화제 첨가비율 10배의 압

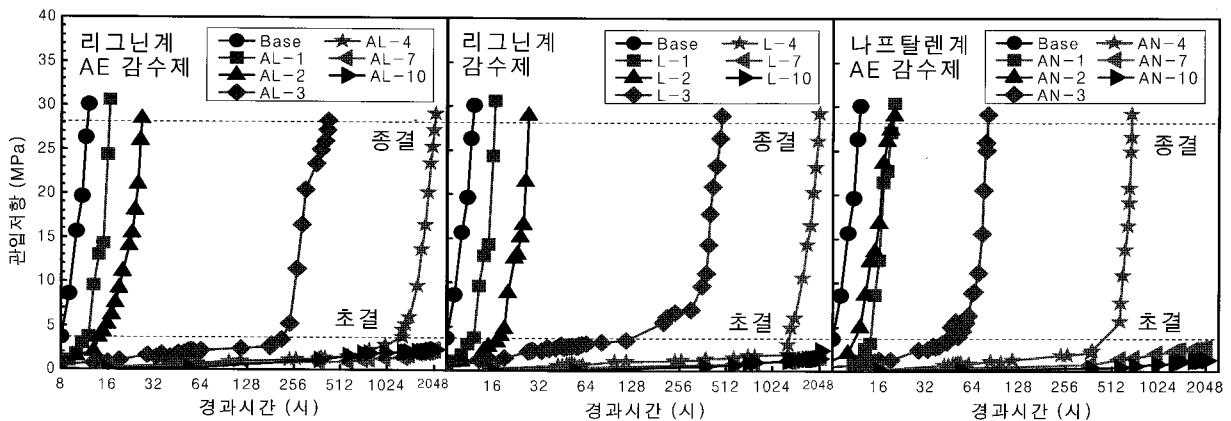


그림 5. 첨가배율별 경과시간에 따른 관입저항치

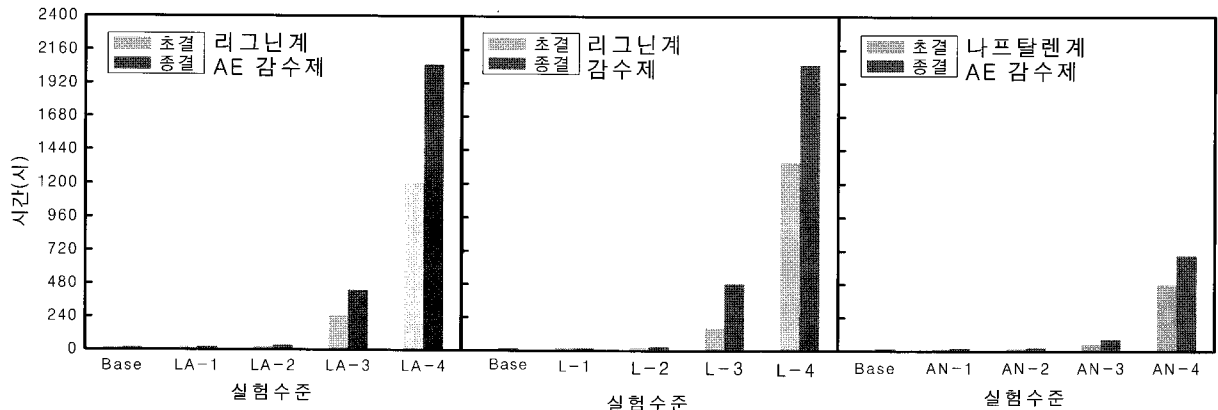


그림 6. 실험수준에 따른 초결 및 종결시간

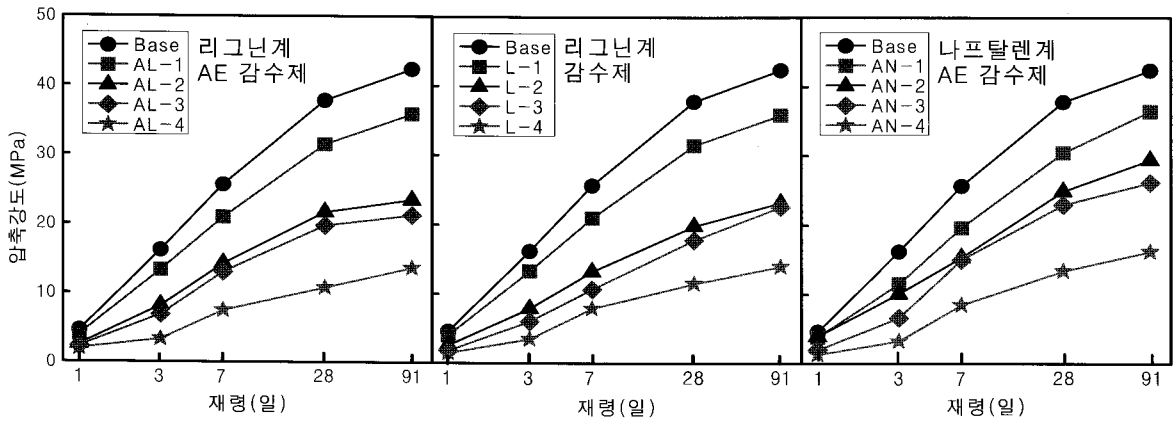


그림 7. 혼화제별 재령경과에 따른 압축강도

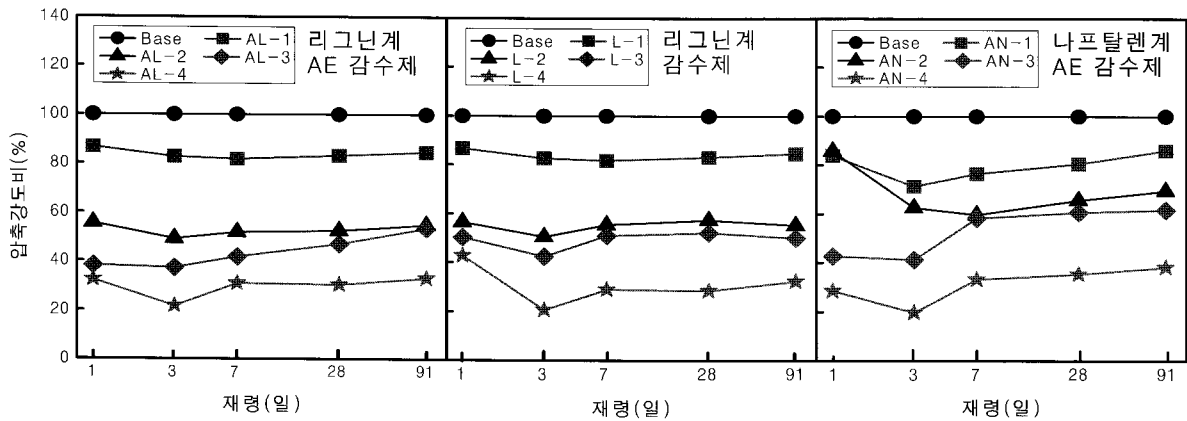


그림 8. 혼화제별 재령경과에 따른 압축강도비

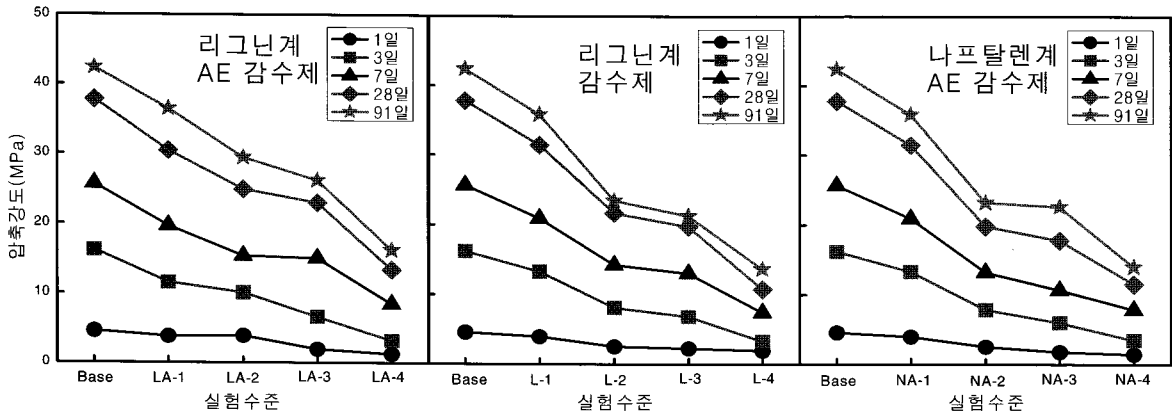


그림 9. 혼화제별 첨가량에 따른 압축강도비

축강도용 공시체의 모습을 나타낸 것이다.

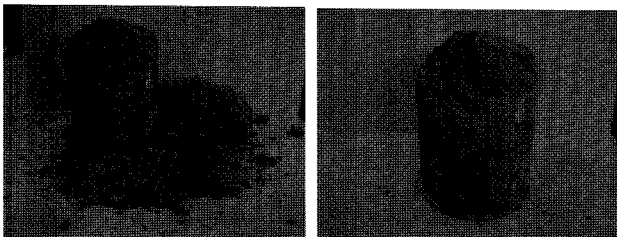


사진 2. AE 감수제 10배 첨가된 압축강도용 공시체(300일)

강도측정은 응결지연으로 인해 종결이후 12시간 경과시점을 1일 강도로 환산하여 측정하였다. 압축강도는 모든 수준에서 재령이 경과할수록 증가하는 것으로 나타났으나, 혼화제의 첨

가배율 증가에 따라서 강도증진비율은 비례적으로 감소하는 것으로 나타났다.

표준량의 혼화제를 첨가한 콘크리트의 강도에 대한 첨가량을 증가시킨 콘크리트의 강도비는 종결이후 재령 3일에서 혼화제를 첨가하지 않은 베이스 콘크리트의 압축강도의 경우 약 20%정도 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 베이스 콘크리트의 공기량감소 때문으로 사료되며, 혼화제의 첨가율 변화에 따라서는 첨가율 2배에서 AL, L, AN은 각각 41, 39, 12%의 감소폭을 나타냈고, 첨가율 3배에서는 각각 55, 49, 42%의 감소폭이 나타났으며, 첨가율 4배에서는 각각 72, 71, 72%로 크게 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 재령 28일 압축강도도 베이스 콘크리트는 표준사용량 배합에 비해 20%정도 증가하였으며, AL, L, AN의 순으로 강도가 저하하였고, 재령 91일 압축강도

도 3일과 28일 강도와 유사한 경향을 나타내었다. 궁극적으로 이러한 혼화제 첨가율 증가에 따른 압축강도 저하는 공기량의 증가 및 응결 지연에 의한 것으로 판단된다.

그림 9는 혼화제의 첨가배율별 28일 인장강도를 나타낸 것이다.

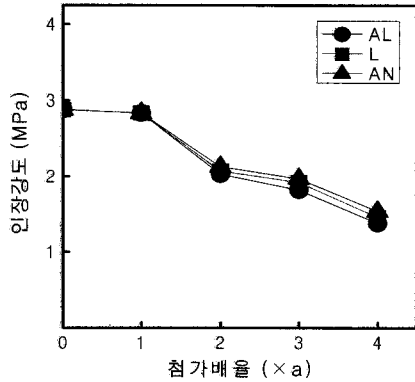


그림 9. 혼화제의 첨가배율별 28일 인장강도

인장강도는 압축강도와 유사한 경향으로 나타났는데, AL1과 AN1은 베이스 콘크리트와 유사한 강도를 나타내고 있으며, 표준량의 2배 첨가 시 약 30%의 강도저하가 발생하다가, 혼화제 첨가배율 3배와 4배에서는 강도저하가 더디게 나타났는데, 이는 혼화제가 2배 이상 첨가될 경우 공기량이 급격히 증가한 이후 완만한 증가 경향을 보인 것에 기인한 것으로 사료되며, 응결지연 또한 강도감소에 한 요인으로 작용한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 AE 감수제 및 감수제의 과다 첨가가 콘크리트의 물리적 특성에 미치는 영향을 분석한 것으로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) AE 감수제 및 감수제 첨가량이 표준 사용량보다 증가할수록 슬럼프와 슬럼프 플로우치가 비례적으로 증가되는 경향이 나타났으며, 4배 이상에서는 AL, L 및 AN 모두 과도한 공기량 및 감수제의 분산성에 기인한 재료분리 현상이 나타났다.
- 2) AE 감수제 및 감수제 첨가배율의 증가에 따른 공기량은 표준사용량의 2배에서 4배 사이에 급격하게 증가하였으며, AL과 L은 표준사용량의 2배 이상, AN은 4배 이상 첨가될 경우 공기량 시험기의 범위를 넘어서 측정이 불가능하였다.
- 3) AE 감수제 및 감수제를 표준사용량의 2배 첨가할 경우 AL, L, AN 모두 2배 가량의 응결지연이 발생하였으며, 3배 첨가시 AL과 L의 경우 초결은 10일 전후에, 종결은 18일 전후, AN의 경우는 초결이 45시간 전후, 종결이 80시간 전후에 나타나는 등 첨가배율 증가에 따라 급격한 응결지연현상을 확인하였고, 혼화제를 4배 첨가 시 AL과

L은 60여일이 지나서야 초결이 진행되었고, 종결은 85일 이후에 진행되었다. AN의 경우는 18일 전후에 초결이 진행되었으며 28일 전후에 종결이 완료되었다.

- 4) AE 감수제 및 감수제 표준사용 콘크리트의 압축강도에 대한 초기재령 3일에서 Base 콘크리트의 압축강도는 약 20%정도 증가하는 것으로 나타났으며, 혼화제의 첨가율 변화에 따라서는 첨가율 2배에서 AL, L, AN은 각각 41, 39, 12%의 감소폭을 나타냈고, 첨가율 3배에서는 각각 55, 49, 42%의 감소폭이 나타났으며, 첨가율 4배에서는 AL, L는 종결이 진행되지 않아 측정불가였고, AN은 72%로 크게 감소하는 것으로 나타났다.

이상의 결과와 같이 AE 감수제 및 감수제는 표준사용량의 2배만 첨가되어도 재료분리, 공기량 대폭증가 및 심각한 응결지연이 발생할 뿐만 아니라, 경화 콘크리트의 품질이 크게 저하되므로 실무에서는 각별한 관찰과 주의가 필요하며, 굳지않은 콘크리트의 물성이 급변하기 때문에 육안상으로도 어느 정도의 식별이 가능해서 이러한 사항이 의심될 경우 즉각적인 타설 중단 및 회수 등의 조치가 뒤따르는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 김경환, 철근콘크리트교실 - 콘크리트용 화학혼화제(Cheical Admixture for Concrete), 콘크리트학회지 제14권 3호, 한국콘크리트학회, pp. 120~128, 2002. 05
2. 김정호, 윤재환, AE제와 감수제, 한국콘크리트학회지 제8권 2호, 1996. 04
3. 대한건축학회, 건축학전서 - 건축재료, 제7권, 기문당, pp. 84~91, 2006.03.
4. 한국콘크리트학회, 콘크리트 혼화재료, 한국콘크리트학회, 2001. 12
5. ACI committee 212, Chemical Admixture for Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, 1994
6. Sidney Mindess, J.Francis Young, David Darwin, Concrete, Second Edition, Prentice Hall, 2003
7. 笠井芳夫·小林正凡 编著, “セメント・コンクリート用混和材料”, 技術書院, 1993