

# 물결합재비 변화에 따른 액상형 조강제를 사용한 콘크리트의 기초적 특성

## Fundamental Properties of Concrete Using Liquid Type High Early Strength Agent with Water to Binder Ratio

노 상 균\*      오 상 백\*\*      이 건 철\*\*\*\*      이 문 환\*\*\*      한 민 철\*\*\*\*\*      한 천 구\*\*\*\*\*  
Noh, Sang-Kyun      Oh, Sang-Baek      Lee, Gun-Cheol      Lee, Mun-Hwan      Han, Min-Cheol      Han, Cheon-Goo

### Abstract

This study is to discuss the effect of the liquid type high early strength agent considering early strength, developing strength, and economics of the concrete using admixtures. The powder type high early strength agent does not helpful because the field application is not available such as the problem of mixing process and rack of economics. To make up these subjects, the plain mixture contains the standard type AE water reducing agent, and the types of the agents are the standard type AE water reducing agent(P), liquid type high early strength agent(AD), poly carboxylate high early strength type AE water reducing agent(E1), and naphthalene + melamine high early strength type AE water reducing agent(E2). As the Contents of the agents, E1 and E2 is two types each cases, and P is one type to satisfy the target fluidity and air content, AD is three types as 0.5, 1.0, and 1.5%. In the case that AD is mixed, the fluidity is decreased, but air content is increased. For increasing strength of the early age, using OPC is more effective than FA and BS for increasing the early strength of the concrete, and if the air content is secure as plain, the effect of the developing strength can be increased because the air content is increased about 2% in the case that AD is used.

키 워 드 : 액상형조강제, 물결합재비, 수화반응, 압축강도

Keywords : Liquid Type High Early Strength Agent, Water to Binder Ratio, Hydration Reaction, Compressive Strength

## 1. 서 론

콘크리트의 초기강도는 건축시공 현장의 공기를 좌우하는 거푸집 탈형시기와 관련이 있는데, 특히 한중시공 시에는 콘크리트의 품질을 좌우하는 결정적인 요소로도 작용한다.

콘크리트의 초기강도를 증진하기 위한 방법으로는 물리적인 방법과 화학적인 방법으로 나눌 수 있다. 즉, 물리적인 방법은 시멘트의 분말도를 증가시킴으로서 비표면적을 증가시켜 수화반응을 촉진시키는 것이고, 화학적인 방법은 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>과 같은 조강제를 투입하여 강도를 개선하는 방법과, 콘크리트의 초기 수화물질인 에트링가이트의 생성을 유도하는 방법이 있다.

이와 관련하여 본 연구팀에서는 분말타입의 조강제를 이용한 에트링가이트의 생성을 유도하는 방법으로 응결축진 및 조기강도를 발현시키는 방법에 대하여 검토한 바 있으나, 이 공법의 경우 조강제가 분체형이므로 레미콘 현장에서 이용할 경우에 투입과정에서의 문제점이 발생할 수 있다. 또한, 다량 사

용으로 인한 비경제성 등 현장적용에 있어 실용성이 부족하므로, 현장적용 측면에서 보다 실용성이 있는 액상형 조강제의 필요성이 제기 되었다.

그러므로 본 연구에서는 OPC를 단독사용한 경우와 혼화재료로 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 혼합사용한 경우에 있어, 물결합재비 변화에 따른 액상형 조강제를 사용한 콘크리트의 기초적 특성에 대하여 일반 조강형 AE 감수제를 사용한 것과 비교·검토하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

먼저, 실험요인으로 W/B 30, 40, 50% 3수준 대하여 보통포틀랜드시멘트 100% 사용한 배합(이하 OPC), 보통포틀랜드시멘트(70%), 고로슬래그 미분말(20%), 플라이애시(10%)를 동시에 사용한 배합(이하 OBF) 2수준에 AE 감수제 표준형을 혼입한 것을 각각의 플레인 배합으로 설정하였다. 혼화제 종류로는 AE 감수제 표준형(이하 P), 액상형 조강제(이하 AD), 일반 조강형 AE 감수제로 폴리칼본산계(이하 E1), 나프탈렌계+리그

\* 청주대학교 대학원 석사과정, 정회원

\*\* 청주대학교 산업경영대학원 석사과정, 정회원

\*\*\* 한국건설기술연구원 연구원, 공학박사, 정회원

\*\*\*\* 한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사, 정회원

\*\*\*\*\* 청주대학교 건축공학과 전임강사, 공학박사, 정회원

\*\*\*\*\* 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

표 1. 실험계획

배합사항					측정사항	
W/B (%)	목표유동성 (mm)	목표공기량 (%)	결합재 종류	혼화제 종류 및 혼입율	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
30	슬럼프 플로우 600±100	3.0±1.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>OPC</li> <li>OPC+BS+FA (70:20:10)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AE 감수제 표준형(Plain) (목표를 만족하는 범위의 혼입율)</li> <li>액상형 조강제(AD)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Plain + AD(0.5%)</li> <li>Plain + AD(1.0%)</li> <li>Plain + AD(1.5%)</li> </ul> </li> <li>일반 조강형 AE 감수제1(E1) (폴리칼본산계, Plain 혼입율)</li> <li>일반 조강형 AE 감수제2(E2) (나프탈렌계+리그린계, Plain 혼입율)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>슬럼프 (경시변화 0, 30, 60분)</li> <li>슬럼프 플로우 (경시변화 0, 30, 60분)</li> <li>공기량 (경시변화 0, 30, 60분)</li> <li>단위용적질량 (경시변화 0, 30, 60분)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>압축강도 (1, 3, 7, 28, 91일)</li> </ul>
40 50	슬럼프 180±10	4.5±1.5				

계(이하 E2) 2종류 등 총 4수준으로 변화시키고, 혼화제 혼입률로 AE 감수제 표준형은 목표 유동성 및 공기량을 만족하는 범위의 1수준, 액상형 조강제는 0.5, 1.0, 1.5% 3수준, 일반 조강형 AE 감수제는 Plain 혼입율로 2수준으로 하여 총 36배치를 실험계획 하였다.

이때, 배합사항으로 플레인 콘크리트는 W/B 30%인 경우 목표 슬럼프 플로우 600±100mm, 목표 공기량 3.0±1.0%를 만족하도록 배합설계하고, W/B 40, 50%인 경우 목표 슬럼프 180±10mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 한 다음 배합변수별 동일한 배합조건을 적용하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트는 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 단위용적질량을 측정하였고, 경화 콘크리트는 압축강도를 측정하였다.

## 2.2 사용재료

본 연구에 사용한 재료로서 시멘트는 국내산 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 2와 같다. 골재로서 잔골재는 부순 잔골재와 천연 잔골재의 50:50 혼합모래, 굵은골재는 20mm 부순 굵은골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 혼화제와 혼화제로는 모두 국내산을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 4~6과 같다.

## 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421에 의거 측정하였고, 경화콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 시험방법에 의거 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

#### 3.1.1 유동성

그림 1은 액상형 조강제 혼입율 변화에 따른 슬럼프를 나타

낸 것이고, 그림 2는 액상형 조강제 혼입율 변화에 따른 슬럼프 플로우를 나타낸 것이다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,302	0.15	208	351	20.4	29.4	38.7

표 3. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	조립률	단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.61	2.70	1,645	1.2
굵은골재	2.66	6.56	1,532	0.3

표 4. 고로슬래그 미분말의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	염기도	화학성분(%)		
			MgO	SO <sub>3</sub>	Cl
2.90	4,300	1.89	5.79	2.10	0.004

표 5. 폴리아에쉬의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	SiO <sub>2</sub> (%)	습분 (%)	강열감량 (%)
2.22	3,272	52.29	0.03	3.82

표 6. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )
고성능감수제	폴리칼본산계	액상	담갈색	1.21
AE제	고급 알콜계	액상	미황색	1.01
액상형조강제	Modified alkai sulphate계	액상	반투명 연회색	1.25
조강형 AE감수제1	폴리칼본산계	액상	담갈색	1.35
조강형 AE감수제2	나프탈렌계+리그린계	액상	암갈색	1.42

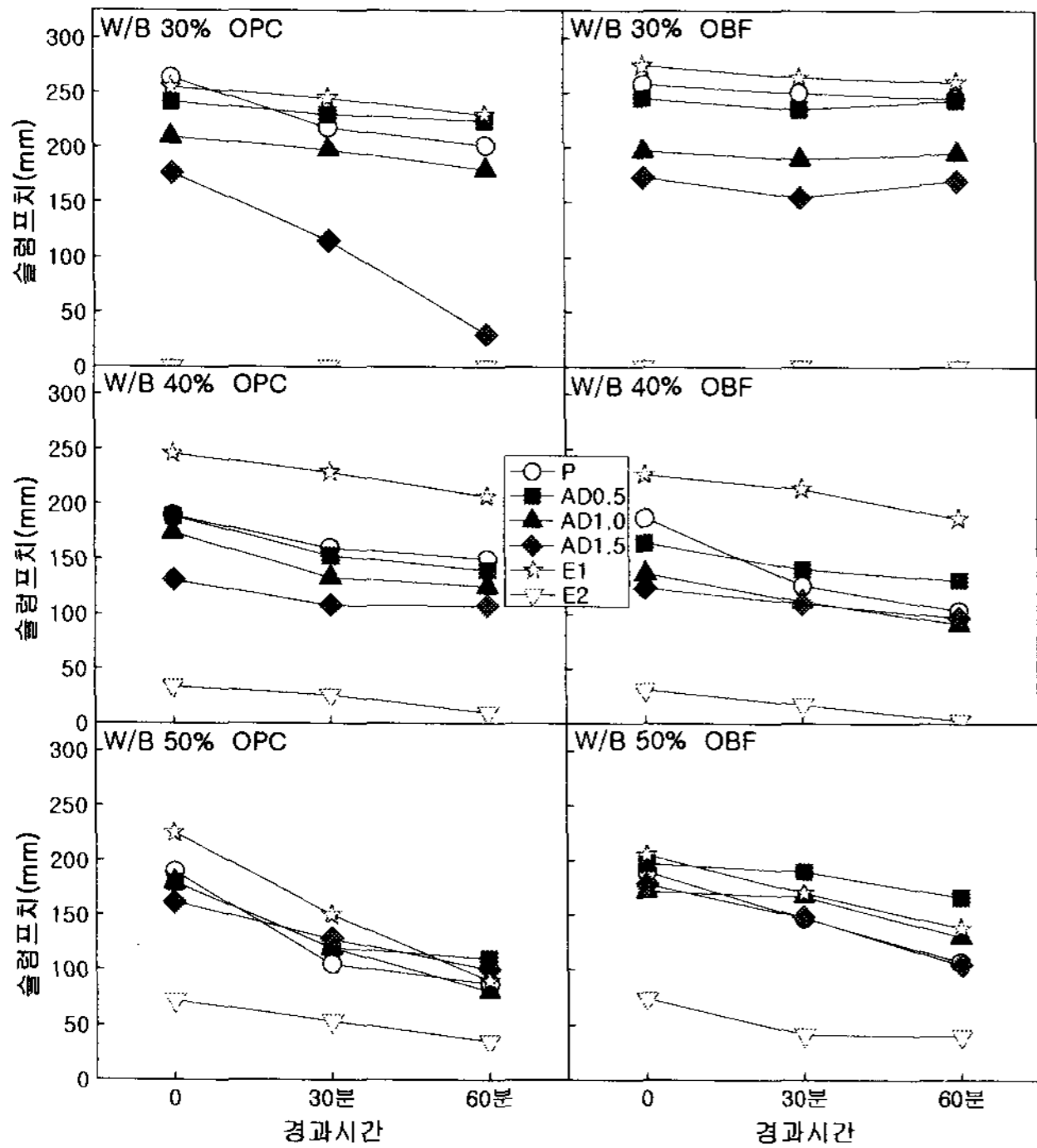


그림 1. 액상형 조강제 혼입을 변화에 따른 슬럼프

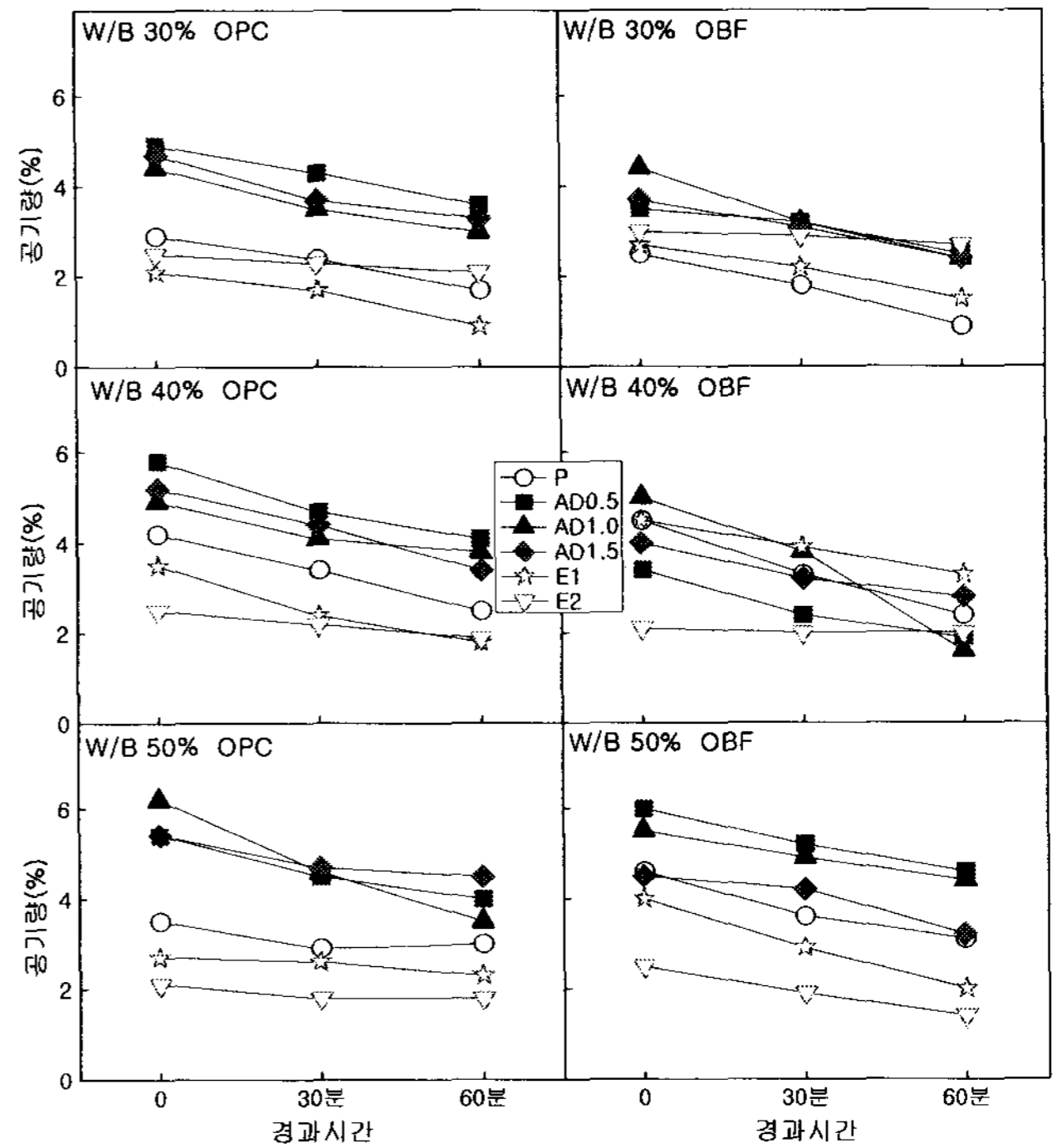


그림 3. 액상형 조강제 혼입을 변화에 따른 공기량

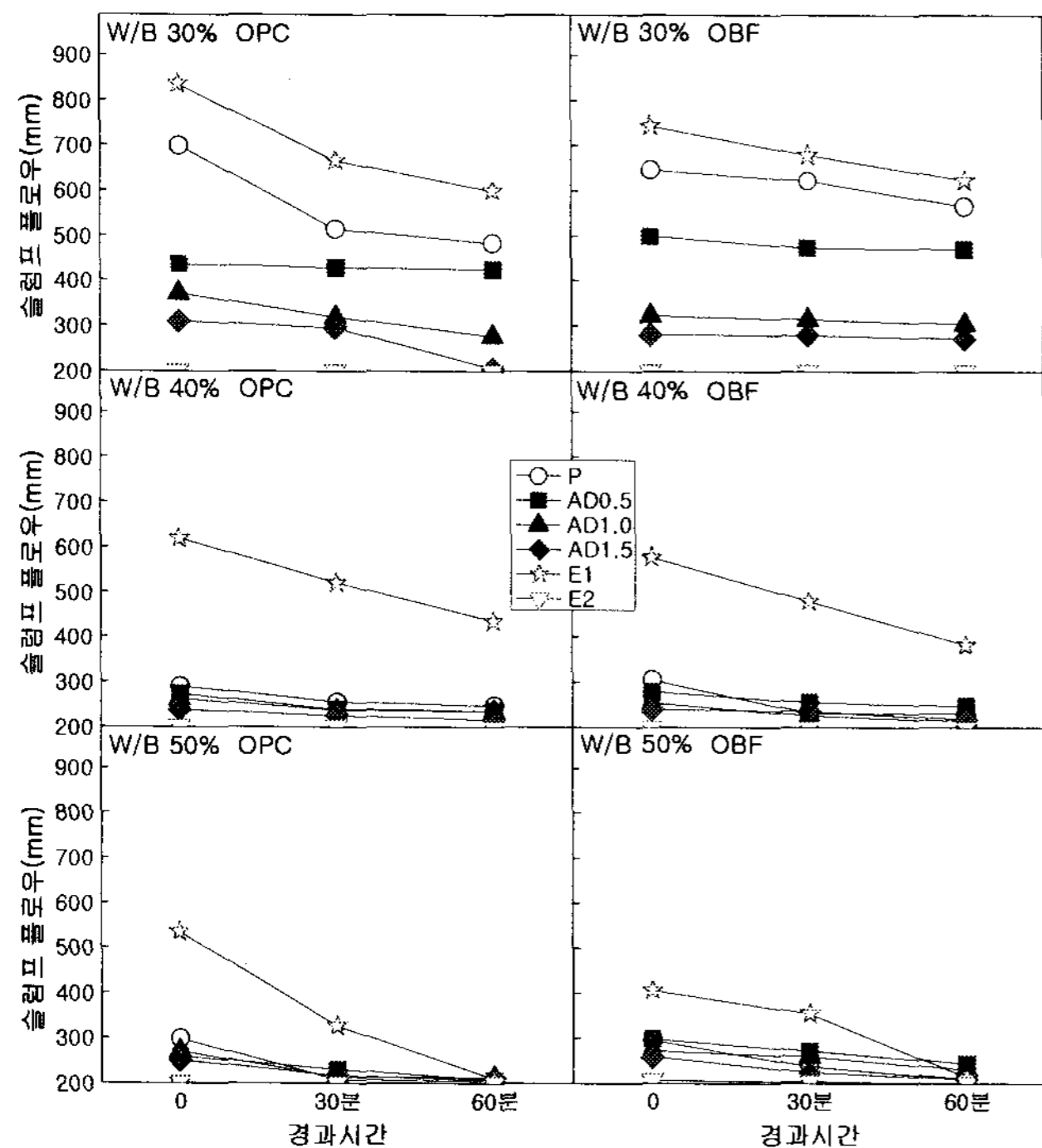


그림 2. 액상형 조강제 혼입을 변화에 따른 슬럼프 플로우

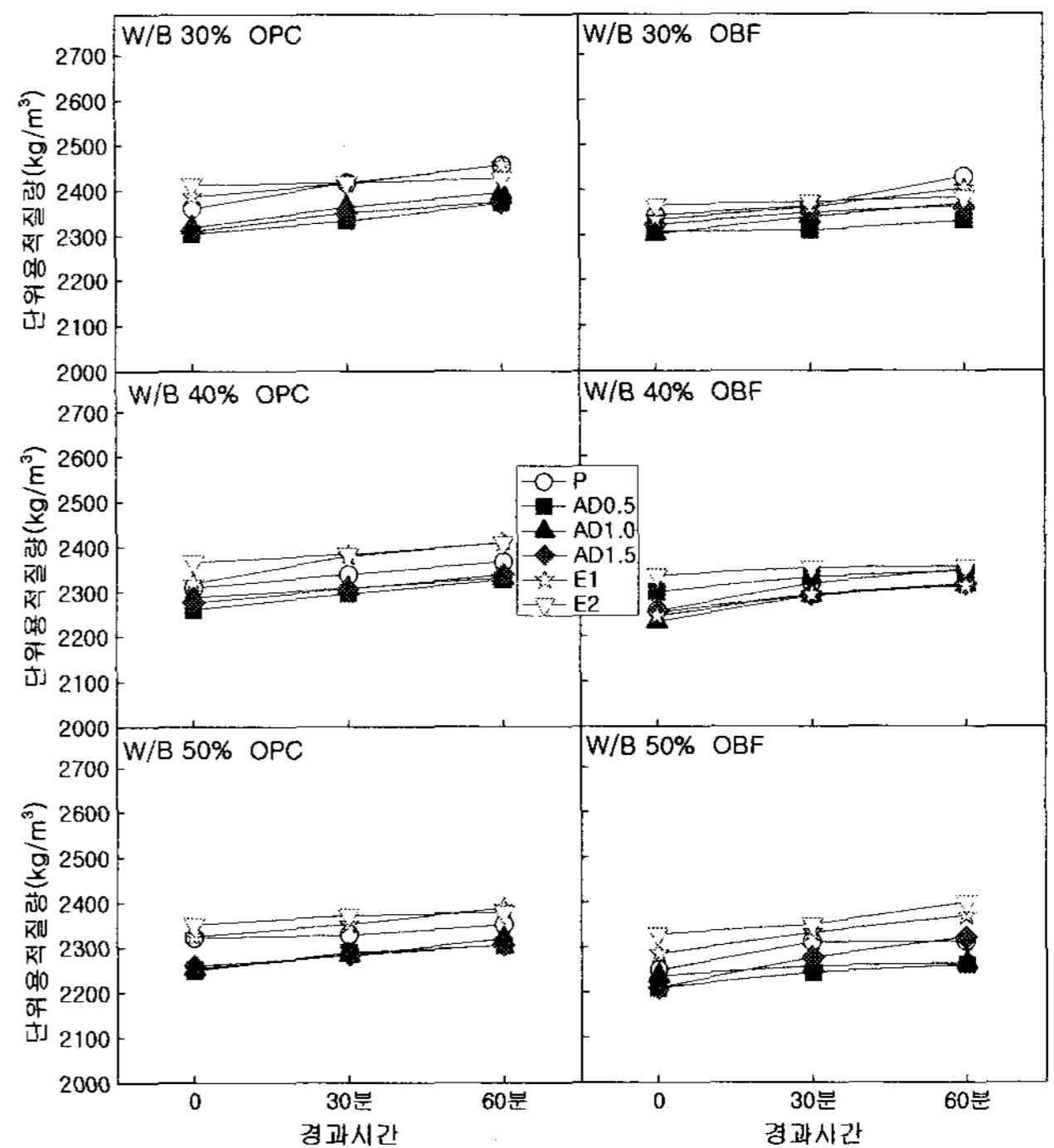


그림 4. 액상형 조강제 혼입을 변화에 따른 단위용적질량

먼저, 플레인 배합은 배합설계로 인하여 목표 슬럼프 및 목표 슬럼프 플로우를 만족하는 것으로 나타났다. 전반적인 유동성 경향은 폴리카본산계 일반 조강제 AE 감수제를 사용한 E1의 경우 유동성이 가장 크게 나타났으며, P, AD0.5, AD1.0, AD1.5 및 E2의 순이었다.

또한, AD형 액상형 조강제의 혼입율이 증가할수록 유동성은 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 혼입율이 증가할수록 에트린 가이트의 생성이 촉진되어 유동성이 저하한 것으로 사료된다.

한편, E2의 경우는 W/B 30%에서 슬럼프콘의 형상을 그대로 유지하여 슬럼프 및 슬럼프 플로우의 측정이 불가능하였다.

혼화재를 치환한 OBF의 경우가 혼화재를 치환하지 않은 OPC 경우보다 유동성이 약간 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 혼화재의 치환에 따른 입자 형상의 개량에 의한 효과로 판단된다.

한편, 시간경과에 따른 유동성 변화는 OBF의 경우가 OPC의 경우보다 유동성이 크게 나타났는데, 이는 플라이애시 및 고로

슬래그 미분말 첨가에 따른 경화지연이 유동성에 영향을 주었기 때문에 판단되며, 액상형 조강제의 혼입에 따른 유동성의 변동은 시간이 경과해도 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

### 3.1.2 공기량 및 단위용적질량

그림 3은 액상형 조강제 혼입을 변화에 따른 공기량을 나타낸 것이고, 그림 4는 액상형 조강제 혼입을 변화에 따른 단위용적질량을 나타낸 것이다.

먼저, 플레인 배합은 배합설계로 인하여 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났다. 전반적으로 AD형 액상형 조강제를 혼입한 경우 공기량은 AD형 액상형 조강제를 혼입하지 않은 여타의 경우보다 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 차후에 경화콘크리트의 강도에 영향을 미칠 것으로 판단됨에 따라 AE제의 사용량을 줄여주는 방안이 요구된다.

한편, 단위용적질량은 공기량과 반대의 경향을 나타냈다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 5와 그림 6은 W/B의 역수인 B/W 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

OPC의 경우 B/W 3.3(W/B 30%)이 B/W 2.5(W/B 40%) 및 B/W 2(W/B 50%)와 비교하였을 때 재령 3일까지의 강도는 급격히 증가하였지만, 7일 이후에는 B/W에 따른 강도비가 일정한 경향을 나타내었다. OBF의 경우는 재령 3일까지는 B/W에 따른 강도비가 일정한 경향을 나타내었으나, B/W 3.3이 B/W 2.5 및 B/W 2와 비교하였을 때 재령 7일 및 28일에서 급격히 증가하였다. 이는 B/W 3.3에서 조강제가 OPC의 경우는 1일과 3일에서 조강성능을 발휘하고 OBF의 경우는 재령 7일과 28일에서 조강성능을 발휘하는 것에 기인한 결과로 사료된다.

한편, B/W에 따른 조강형 혼화제의 종류별 압축강도는 AD형 액상형조강제를 혼입하였을 때 B/W 3.3의 경우 재령 3일까지는 압축강도가 플레인 보다 높았으나 재령 7일 이후부터는 플레인 보다 강도가 저하하였다. 그러나 B/W 2 및 B/W 2.5의 경우 초기 1일 재령에서는 플레인과 비교하여 큰 차이가 없었으나, 재령 3일부터 재령 7일까지 강도가 플레인 보다 높고, 재령 28일에서 플레인 보다 강도가 저하하는 것으로 나타났다. 이는 AD형 액상형 조강제가 고강도 영역(B/W 3.3)에서는 초기재령에서 큰 조강성능을 발휘한 반면, 저강도 영역(B/W 2 및 B/W 2.5)에서는 초기재령에서의 조강성능이 작은 것에 기인된 것으로 사료된다.

따라서 AD형 액상형 조강제의 초기강도 발현성능은 단위시멘트량과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 또한, OBF의 경우 재령경과별 B/W에 따른 압축강도는 AD형 액상형 조강제를 혼입하였을 때 초기재령에서의 큰 조강성능은 발휘되지 못하였으나, 모든 B/W에서 재령 28일까지의 강도는 플레인 보다 동등이상을 나타내었다.

한편, AD형 액상형 조강제를 혼입한 경우 공기량이 플레인에 비해 약 2%정도 증가하였는데, 공기량이 1% 증가함에 따라 압축강도는 4~6%가 저하하는 것을 감안하면 플레인과 공기량이 동일할 경우 강도증진의 효과는 그래프에서 보여 지는 것보다 클 것으로 판단된다.

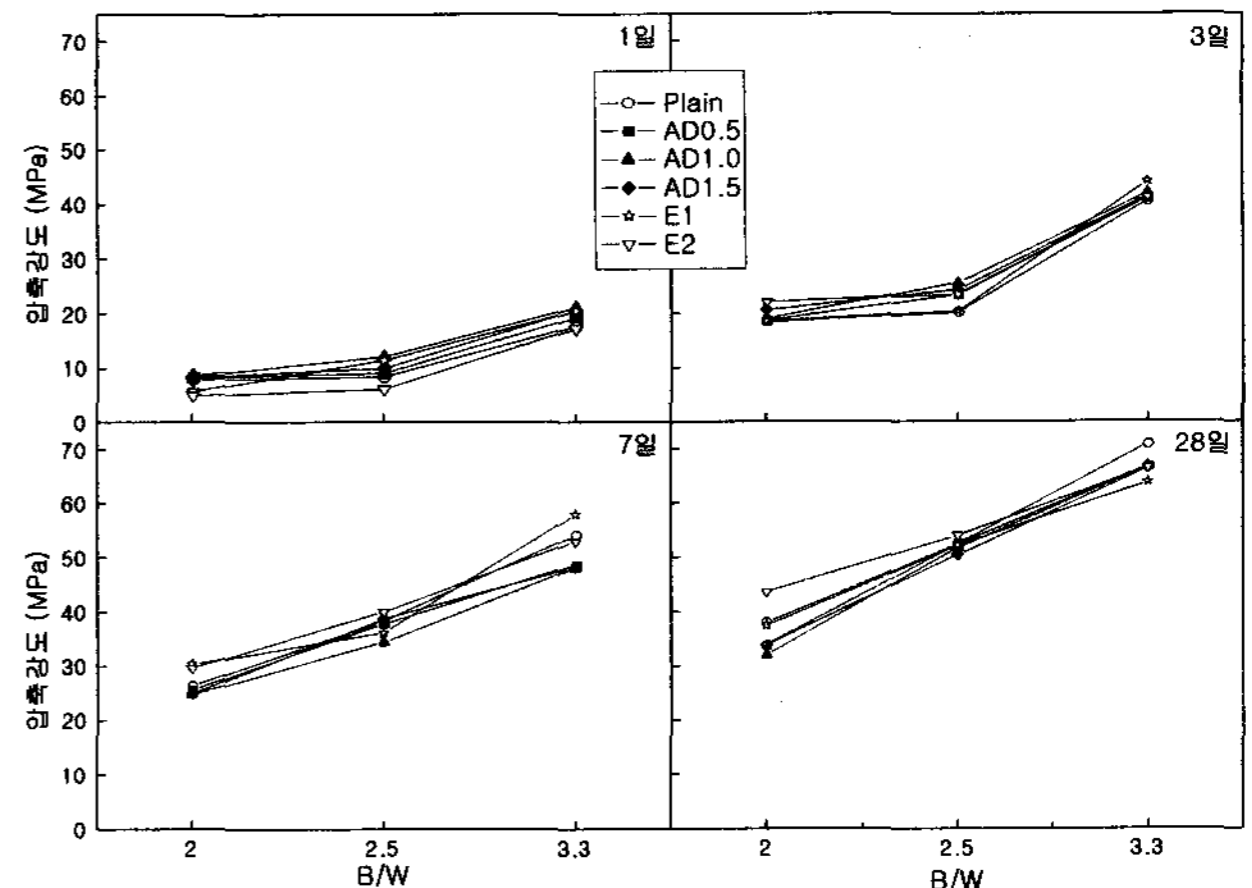


그림 5. B/W 변화에 따른 압축강도(OPC)

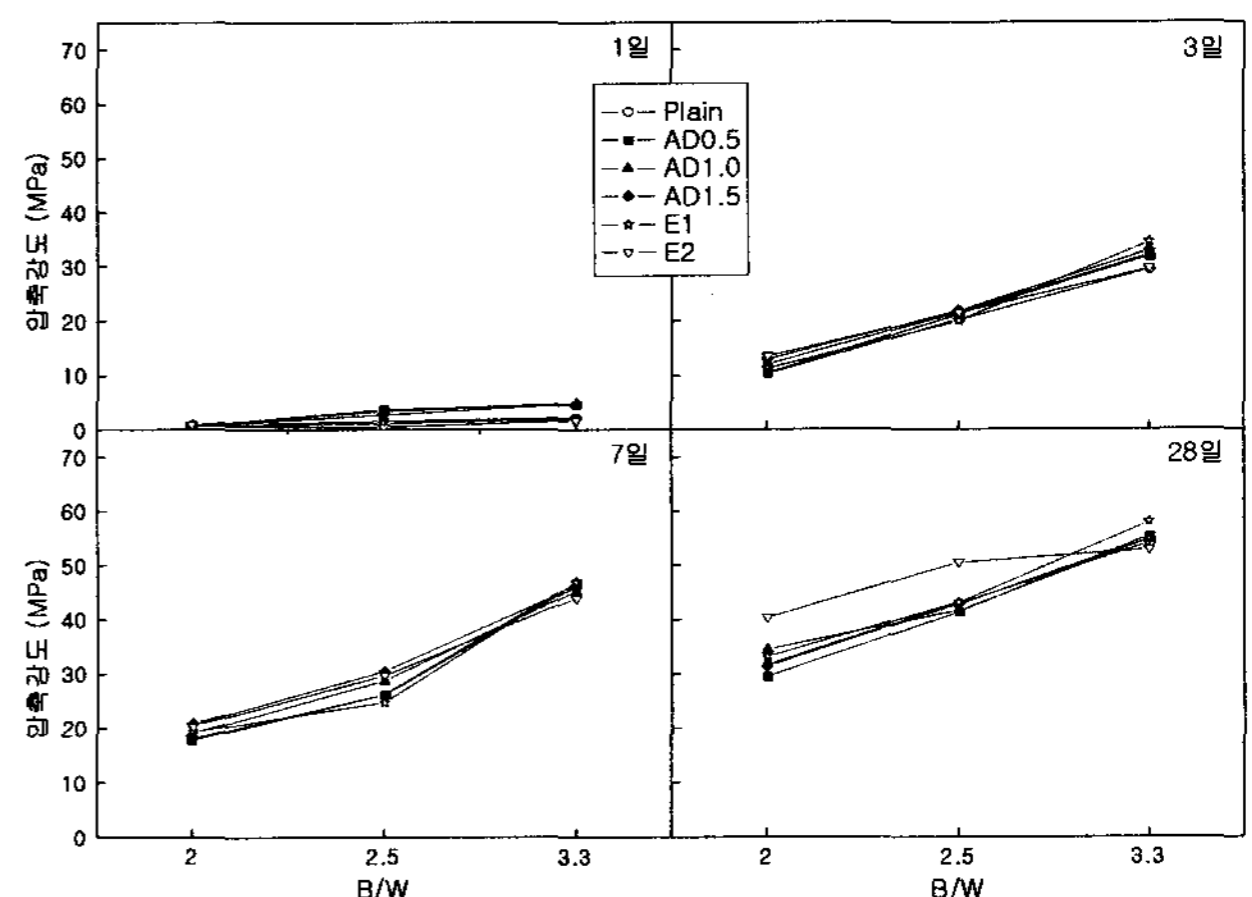


그림 6. B/W 변화에 따른 압축강도(OBF)

## 4. 결론

본 연구에서는 물결합재비 변화에 따른 다양한 액상형 조강제를 사용한 콘크리트의 기초적 특성을 검토하였는데, 그 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 유동성은 전반적으로 E1의 경우 유동성이 가장 크게 나타났으며, P, AD0.5, AD1.0, AD1.5 및 E2의 순이었다. 또한, AD형 액상형 조강제의 혼입율이 증가할수록 유동성은 저하하였으며, OBF는 유동성이 OPC와 동등하거나 약간 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 공기량은 AD형 액상형 조강제를 혼입한 경우 약 2%정도 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 경화콘크리트의 강도에 큰 영향을 미치므로 AE제의 사용량을 줄여주는 방안이 요구되었다.
- 3) 경화콘크리트의 특성으로, AD형 액상형 조강제 혼입에 따른 초기강도 증진효과는 OPC에서 더 크게 작용했으며, W/B가 작을수록 크게 나타났다. 또한, AD형 액상형 조강제를 혼입한 경우 공기량이 플레인에 비해 약간 증가하였는데, 플레인과 공기량이 동일할 경우는 강도증진 효과가 보다 클 것으로 판단된다.