

# CSA에 의한 콘크리트의 초기품질향상에 관한 연구

## A Study on the Early Quality Improvement of Concrete Incorporating CSA Admixture

배 장 춘\*  
Pei, Chang-Chun

이 건 철\*\*  
Lee, Gun-Cheol

박 재 명\*\*\*  
Park, Jae Myoung

이 세 현\*\*\*\*  
Lee, Se Hyoen

한 천 구\*\*\*\*\*  
Han, Cheon-Goo

### Abstract

This study shows the early quality improvement of concrete with calcium sulfa aluminat(CSA). For the properties of slump, plain concrete incorporating BS 35% and LSP 15% resulted in high fluidity compared with OPC without any admixture. As displacement ratio of CSA increased, the fluidity decreased. The fluidity also declined with setting time. Increase of incorporation ratio of CSA declined bleeding and accelerated setting time. Importantly, using more CSA helped to improve early compressive strength and decrease drying shrinkage. In term of water curing, drying shrinkage hardly ever occurred.

키 워 드 : CSA계 혼화재, 초기강도, 강도증진, 건조수축

Keywords : CSA Type Admixture, Early Strength, strength Development, Drying Shrinkage

## 1. 서 론

콘크리트용 혼화재는 콘크리트의 성능향상, 경제성 확보 등을 목적으로 사용되어지고 있다. 특히 최근에는 환경문제가 사회적 이슈로 대두되고 있는 현실에서, 혼화재의 사용은 환경부하 저감이라는 관점에서 큰 의미를 갖고 있다. 그러나 콘크리트용 혼화재는 각 종류에 따라 성능과 특성이 상이하지만, 대부분 수화열 저감, 장기강도 개선 및 내구성 향상을 가져올 수 있다고 알려져 있으나, 초기강도 저하 및 중성화속진 등에는 취약한 단점을 가지고 있다.

그러므로, 본 연구에서는 콘크리트용 혼화재로서 고로슬래그 미분말 및 석회석 미분말을 시멘트에 치환하여 사용할 경우 예상되어지는 초기강도 저하의 취약점을 개선할 목적으로, 초기강도 발현 및 강도증진에 효과가 예상되어지는 칼슘술포알루미늄에이트(이하 CSA)의 사용량을 변화시키므로써, 콘크리트의 품질향상에 대해 검토하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 먼저, 실험요인으로

\* 제주대학교 건축공학과 석사과정, 정희원

\*\* 제주대학교 산업과학연구소, 전임연구원 정희원, 공학박사

\*\*\* (주)한라콘크리트, 이사 정희원

\*\*\*\* 한국건설기술연구원, 수석연구원 정희원

\*\*\*\*\* 제주대 건축공학부 교수, 공학박사

W/B 35, 45%의 2수준에 대해, 시멘트에 대한 질량비로 고로슬래그 미분말 35%와 석회석 미분말 15%를 동시에 치환한 것을 플레인 배합으로 하여 CSA 혼화재 치환율을 0.5%, 1.0%, 1.5%의 총 10배치를 하였다. 이때 플레인은 목표 슬럼프치를  $180 \pm 25\text{mm}$ , 목표 공기량  $4.5 \pm 1.5\%$ 가 되도록 배합설계한 다음 실험변수별 동일한 배합변수를 적용하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 블리딩, 응결시간과 경화 콘크리트에서는 압축강도, 길이변화율을 측정하는 것으로 하였다.

### 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트이며, 그 물리적 성질은 표 2와 같다. 골재로써 잔골재는 충북 청원군 옥산산 강모래, 굵은골재는 충북 청원군 옥산산 25mm 부순 굵은 골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 혼화제로써 고성능감수제는 국내산 나프탈렌계, AE제는 국내산 고급 알콜계를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 4와 같다. 혼화재로서 고로슬래그, 석회석 미분말 및 CSA는 국내산을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 5와 같다.

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 그림 1의 순서로 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402의 규정에 의거 실시하였고, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였고,

표 1. 실험계획

배합요인							실험사항	
W/B (%)	목표슬럼프(mm)	공기량 (%)	OPC (%)	BS (%)	LSP (%)	CSA 치환율(%)	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
35 45	150±15	4.5±1.5	100	0	0	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 슬럼프 (0, 30, 60분)</li> <li>• 공기량 (0, 30, 60분)</li> <li>• 블리딩</li> <li>• 응결시간</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 압축강도</li> <li>• 길이변화</li> </ul>
						0		
						0.5		
						1.0		
			50	35	15	1.5		

응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  공시체를 KS F 2403 규정에 의거 제작하여 계획된 소정 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 측정하였고, 건조수축 길이변화율은 표준 및 수중양생으로 나누어 KS F 2424의 다이얼 게이지법으로 측정하였다.

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	3,483	0.15	208	351	20.4	29.4	38.7

표 3. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	조립률 (%)	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.51	2.90	0.46	1,490	0.30
굵은골재	2.63	7.04	0.58	1,532	0.40

표 4. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )
고성능감수제	나프탈렌계	액상	담갈색	1.21
AE제	고급 알콜계	액상	미황색	1.01

표 5. 혼화제의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	화학적분(%)			기타
			ig-loss	SO <sub>3</sub>	MgO	
고로 슬래그	2.89	4,650	ig-loss	SO <sub>3</sub>	MgO	염기도
			0.9	1.7	6.6	
석회석 미분말	2.70	3,629	CaCO <sub>3</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	습분(%)
			95.27	0.88	0.27	
CSA	2.75	3,415	-	-	-	-

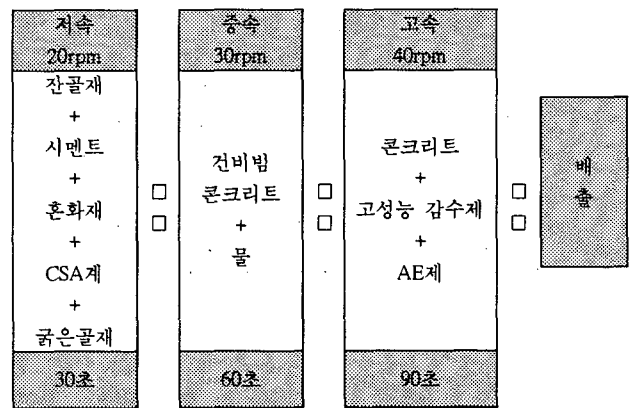


그림 1. 콘크리트의 혼합

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지 않은 콘크리트

##### 1) 슬럼프

그림 2는 CSA 치환율별 경시변화에 따른 콘크리트의 슬럼프치를 나타낸 것이다.

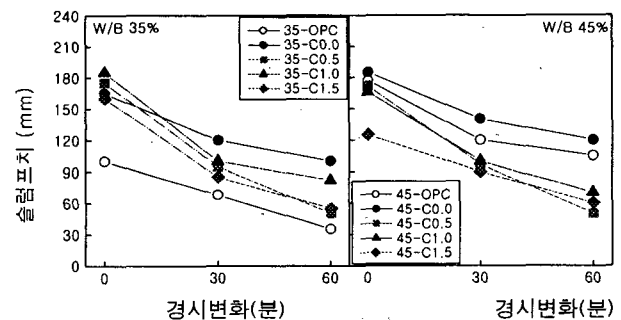


그림 2. CSA 치환율별 경시변화에 따른 슬럼프치

그림에 나타난 것과 같이 W/B 35, 45%의 경우 OPC에 비해 고로슬래그 미분말과 석회석 미분말을 치환한 플레인의 경우 그 유동성이 증가하여 슬럼프치가 크게 되는 것을 알 수 있다. CSA 치환율 증가에 따른 슬럼프치는 W/B 35%인 경우 큰 차이를 보이지 않는 반면, 경시변화에 따른 유동성 저하는 큰 것으로 나타났다. W/B 45%인 경우는 CSA 치환

율이 증가함에 따라 초기 슬럼프치 및 경시변화에 따른 슬럼프 로스가 큼을 알 수 있었다.

2) 공기량

그림 3은 CSA 치환율별 경시변화에 따른 공기량을 나타낸 것이다.

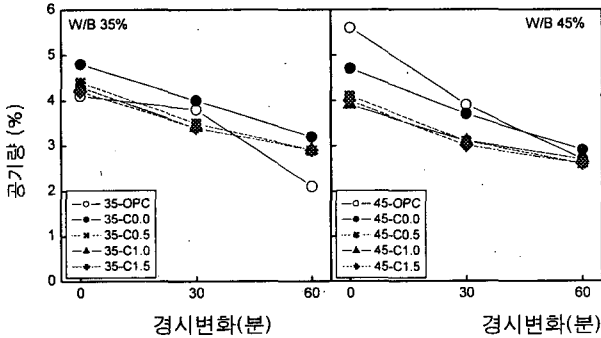


그림 3. CSA 치환율별 경시변화에 따른 공기량

공기량은 W/B 35%, 45%에서 모두 목표공기량을 만족하는 것으로 나타났으나, CSA 치환율 변화에 따른 비빔직후의 공기량은 W/B 35%인 경우는 OPC에 비교하여 증가하는 반면, W/B 45%에서는 감소하는 것으로 나타났다. CSA 치환율 변화에 따른 경시변화는 유사한 감소경향을 나타내었다.

3) 블리딩

그림 4는 CSA 치환율별 경과시간에 따른 블리딩량을 나타낸 것이다.

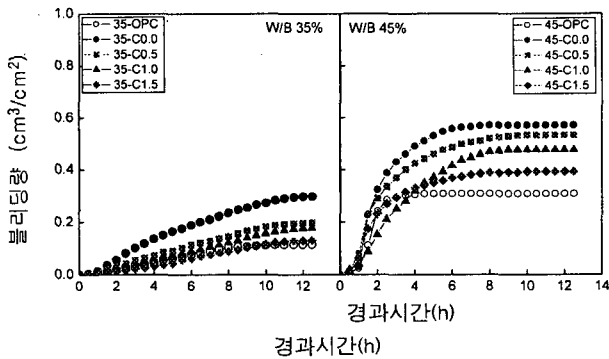


그림 4. CSA 치환율별 경과시간에 따른 블리딩량

그림과 같이 W/B 35, 45%의 경우 OPC에 비해 플레인은 블리딩량이 크게 증가하였으나 여기에 CSA 치환율이 증가함에 따라 블리딩량은 크게 저하하였는데, CSA 치환율 1.5%까지 증가시킴에 따라 OPC수준으로 접근하였다. 단, 본 실험에서 CSA 치환율 1%의 경우 블리딩량은 W/B 35% 및 45%인 플레인에 비해 각각 40%, 16%정도 저감하는 것으로 나타났다.

4) 응결특성

그림 5는 CSA 치환율별 경과시간에 따른 관입저항치를 나타낸 것이다.

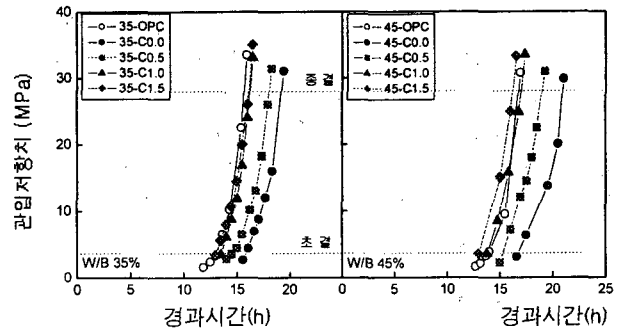


그림 5. CSA 치환율별 경과시간에 따른 관입저항

W/B 35, 45%의 경우 OPC에 비해 플레인은 응결시간이 크게 지연되는 것을 알 수 있었는데, CSA 치환율 증가에 따른 응결시간은 W/B 35%인 경우 플레인에 비하여 약 1.5~3.0시간정도 촉진되었고, W/B 45%인 경우에는 플레인에 비해 약 1.5~4.5시간정도 촉진되었다. 이는 CSA사용으로 인해 콘크리트 중에서 많은 에트링가이트가 생성되면서 수화반응이 활발해진 것에 기인한 것으로 분석된다.

3.2 경화 콘크리트

1) 압축강도

그림 6은 CSA 치환율별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, 표 6은 CSA에 의한 강도증진분석을 나타낸 것이다.

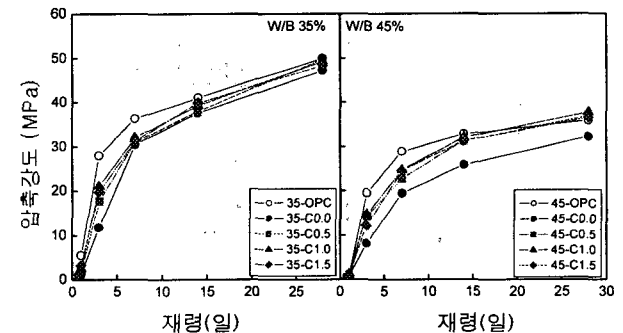


그림 6. CSA 치환율별 재령경과에 따른 압축강도

표 6. CSA에 의한 강도증진분석(%)

구분	0.75일	1일	3일	7일	14일	28일
W/B 35%	35-OPC	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	35-C0.0	26.9	22.3	42.2	84.0	91.6
	35-C0.5	33.6	30.4	63.2	85.4	92.7
	35-C1.0	68.1	45.1	75.2	88.2	95.6
	35-C1.5	87.4	57.7	70.7	86.2	97.1
W/B 45%	45-OPC	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	45-C0.0	70.2	62.0	42.0	67.2	78.9
	45-C0.5	70.2	77.8	73.6	78.9	95.3
	45-C1.0	57.9	105.6	75.2	85.7	97.6
	45-C1.5	78.9	79.6	62.7	85.1	95.4
평균	OPC	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	C0.0	48.6	42.2	42.1	75.6	85.3
	C0.5	51.9	54.1	68.4	82.2	94.0
	C1.0	63.0	75.4	75.2	86.9	96.6
	C1.5	83.2	68.7	66.7	85.7	96.3

그림 및 표에 나타난 것과 같이 플레인 배합은 OPC배합에 비해 초기재령에서의 압축강도가 크게 저하하는 것으로 나타났다. 이는, BS의 초기강도 저하에 관련하여 나타난 결과로 분석된다. 또한, CSA 치환율 증가에 따라서는 치환율이 증가할수록 OPC에 비해 압축강도가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 CSA 수화반응과정중 에트링가이트 생성과 이에 따른 공극충전효과 등으로 분석된다.

## 2) 건조수축 길이변화율

그림 7, 8은 CSA 치환율별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다.

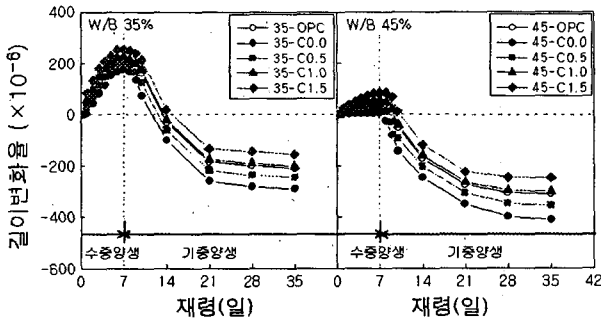


그림 7. CSA 치환율별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율(표준양생)

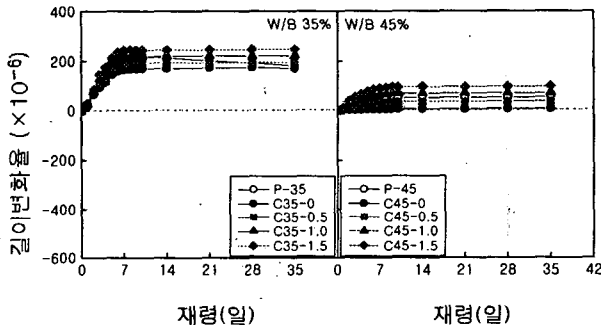


그림 8. CSA 치환율별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율(수중양생)

표준양생인 경우, OPC에 비해 플레인은 수중 양생기간에서 팽창이 감소되고 이후 건조과정에서 수축이 크게 일어남을 알 수 있다. CSA 치환율 증가에 따른 건조수축은 플레인에 비하여 CSA의 팽창보상으로 인하여 수중양생기간에 팽창이 증가되었고 기중양생기간에 건조수축이 감소되었다. 치환율 1%이상에서는 플레인과 비교하여 큰 저감효과를 나타내었는데, W/B 35% 및 W/B 45%에서 각각 33%, 26%정도 저감되었다.

반면, 수중양생 시험체의 경우, 초기의 습윤팽창 및 CSA의 팽창반응에 의해 시험체가 팽창하는 경향을 나타냈고, 7일 이후에도 재령경과에 따라 수축이 거의 발생하지 않는 경향을 보였다. W/B에 따라서는 W/B 35%의 경우, 45%에 비하여 결합재의 활성화에 의해 초기에 급속히 팽창하는 것으로 나타났는데, CSA 치환율이 증가함에 따라 팽창이 비례적으로 증가하는 경향을 보였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 CSA에 의한 콘크리트의 초기품질향상에 관한 물리적특성을 검토하였는데, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 슬럼프는 BS 35%와 LSP 15%를 치환한 플레인의 경우 OPC에 비해 유동성이 증가하는 것으로 나타났으나 CSA 치환율 증가 및 경시변화에 따라 유동성은 저하하였다. CSA 치환율 증가에 따른 블리딩량은 감소하는 것으로 나타났고, 응결시간은 촉진되었다.
- 2) 압축강도는 초기재령에서 플레인의 경우 OPC와 비교하여 크게 저하하는 것으로 나타났으나 CSA를 치환시켜줌으로써 초기강도 저하를 개선해 주는 것을 확인 할 수 있었다.
- 3) 건조수축 길이변화율은 표준양생 시험체인 경우 플레인은 OPC에 비교하여 크게 수축되었으나 CSA치환율이 증가할수록 건조수축이 감소하였고, 수중양생인 경우는 수축이 거의 발생하지 않았으며 CSA 치환율이 증가할수록 팽창이 증가하였다.

## 참 고 문 헌

1. 日本建築學會; 高炉スラグ微粉末を使用するコンクリートの調査設計-施工指針-同解説, pp. 35-52, 2001.7
2. 日本コンクリート工學協會 石灰石微粉末研究委員會 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム, pp. 1-36, 1998.5