

# 무수축 고강도 콘크리트의 특성 및 현장적용

## Properties and Field Application of Non-shrinkage High Strength Concrete

조 일 호\* · 성 찬 용\*\*  
Cho, Il Ho · Sung, Chan Yong

### Abstract

The purpose of this research is to investigate properties and field application of non-shrinkage high strength concrete containing expansive additive.

Before the field applications, several basic laboratory test are performed to evaluate the characteristics of air content, workability and strength of the concrete using calcium sulfa aluminate(CSA) expansive additive.

As a result, high strength concrete using CSA expansive additive show similar workability and compressive strength to that of normal concrete, and the optimum replacement ratio of them is obtained by 10% CSA expansive additive.

Accordingly, it can be concluded that the use of CSA expansive additive is effective to prevent shrinkage crack and to achieve volume stability of concrete structure.

### I. 서 론

콘크리트에 사용되는 혼화재료의 발달로 콘크리트의 경제성에 따른 고내구성화가 비교적 용이하게 됨으로써, 콘크리트 구조물도 대형화, 다양화, 고급화되어 특수한 용도로서의 사용이 늘어나고 있다. 일반적으로 콘크리트는 건조수축과 경화시에 발생하는 수화열에 의해서 내부응력이 발생하고 그것이 인장강도를 상회하는 시점에서 경화체 표면에 미세한 균열을 발생시켜 누수문제라든지, 탄산화와 염분의 침투에 기인한 철근부식 등의 원인이 됨은 물론 구조물의 미관상도 좋지 않다.

특히, 교량구조물의 안정성과 내구성을 증진하기 위하여 설계, 재료, 시공면에 있어 균열을 제어하기 위한 많은 연구가 행하여 지고 있으나 아직 근본적인 해결책은 마련하지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구는 시멘트 경화체의 본질적인 결점 중의 하나인 수축을 방지하기 위하여 개발된 CSA(calcium sulfa aluminate)계 팽창재를 혼화제로 사용한 콘크리트의 특성을 구명함과 아울러, 고강도 범위에서 보통 포틀랜드 시멘트에 CSA계 팽창재를 혼입한 콘크리트를 교량 구조물 중 부대 시설공의 하나인 레일 타입의 신축이음 장치에 타설한 실제 구조물의 적용 결과를 조사분석하였다.

\*충남대학교 대학원

\*\*충남대학교 농과대학

키워드 : 무수축 고강도 콘크리트, 팽창재, 압축강도, 길이 변화율

II. 재료 및 방법

은 Table 2와 같다.

1. 사용재료

가. 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트로서 이의 화학조성 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

나. 혼화제

본 실험에 사용한 혼화제는 나프탈렌계 표준형 고성능감수제와 소정의 공기량을 확보하기 위하여 빈줄레진계 공기연행제를 사용하였으며, 그 물성

다. 골재

본 실험에 사용한 굵은 골재 및 잔골재는 레미콘 생산에 사용되는 것으로 물리적 성질은 Table 3과 같다.

라. 팽창제

본 실험에 사용한 팽창제는 석회, 석고, 보오크 사이트를 주성분으로 하는 소성 화합물을 적당한 입도분포가 되도록 분쇄한 것으로 KS F 2562에 맞는 수축보상용 제품을 사용하였으며, 그 품질은 Table 4와 같다.

Table 1. Chemical compositions and physical properties of portland cement

Chemical compositions									Specific gravity	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig. loss		
20.67	3.18	5.23	62.52	3.52	2.32	0.05	1.01	1.50	3.15	3,522

Table 2. Properties of chemical admixtures

Kinds	Item	Ingredient	Specific gravity (20°C)	Solid content (%)	pH	Appearance
	Superplasticizer	Naphthalene sulfonate	1.21	38.0	7.5	Dark brown liquid
	Air entraining agent	Vinsol resin	1.07	43.0	-	Dark brown liquid

Table 3. Physical properties of aggregates

Kinds	Item	Specific gravity	Fineness modulus	Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
	Coarse aggregate	2.60	6.69	0.35	1,550
	Fine aggregate	2.58	2.60	1.20	1,470

Table 4. Chemical compositions and physical properties of expansive additive

Chemical compositions (%)								Specific gravity	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	f-CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig. Loss		
3.06	0.52	13.78	51.67	16.00	0.55	28.84	1.58	2.90	2,660

Table 5. Factors and levels of experiment

Experimental factors	W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	CSA (%)	SP (%)	AE (%)	Target slump (cm)
Experimental levels	27.9	40.6~42.1	175~191	502~685	608~626	839~919	0~20	0.5~2.0	0.094~0.103	15±2.5

## 2. 배합선정 시험

본 연구의 실험요인 및 수준은 Table 5와 같고, 길이변화율 측정용 공시체를 제작하기 위한 콘크리트 배합은 용적배합으로 하였으며, 배합설계 결과는 Table 6과 같다. 무수축 고강도 콘크리트 배합으로 시험비비를 실시하여 호칭강도 600kgf/cm<sup>2</sup>을 목표로 배합설계를 하였으며, 물-시멘트비는 27.9%의 1개 수준으로 하고, 팽창재 혼입율은 0%, 10%, 15%, 20%의 4종류로 하였으며, 목표슬럼프는 15±2.5cm, 목표공기량은 4.5±1.5%가 발휘되도록 단위수량, 잔골재율, SP제 첨가량을 결정한 다음 이를 전 배합에 동일하게 적용하도록 하였다.

Table 6. Mix design of concrete containing expansive additive

G <sub>max</sub> (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit material content (kg/m <sup>3</sup> )						
			W	C	S	G	CSA	SP	AE
20	27.9	41.36	183	656	619	882	0	3.936	0.98
				590	618	880	66		
				558	616	878	98		
				525	616	876	131		

\* W : water, C : cement, S : sand, G : gravel, CSA : calcium sulfa aluminat, SP : superplasticizer, AE : air entrained agent

## 3. 시험방법

### 가. 슬럼프시험

슬럼프 시험은 보통 시멘트 콘크리트 및 팽창재 혼입율에 따른 무수축 콘크리트를 중심으로 KS F 2402에 의해 슬럼프 값을 측정하였다.

### 나. 공기량시험

굳지 않은 콘크리트의 공기량은 KS F 2421에 의해 측정하였다.

### 다. 압축강도시험

CSA계 팽창재의 최적 혼입율을 결정하기 위한 압축강도 시험은 KS F 2405에 따라 각 재령별로 측정하였다.

### 라. 길이변화율

길이변화 측정용으로 10×10×40cm의 JIS 몰드 공시체를 사용하였으며, 응결되기 전에 현미경 콤프레이터 방법에 의한 표선용 젓빛유리를 공시체의 표면에 부착하였다. 제작한 공시체는 온도 20±3°C, 상대습도 60±5%의 양생실에서 24시간 기건양생 후 탈형을 하였다.

탈형 후 KS F 2424의 모르타 및 콘크리트의 길이변화 시험방법 중 현미경 콤프레이터 방법에 의해 기준길이 및 무게를 측정하고, 수중양생(23±1°C)과 수중양생 4일후 기건양생(20±3°C, 상대습도 60±5%) 및 기건양생의 3가지 방법으로 각각 양생을 실시하였다. 공시체의 길이변화율은 탈형 직후 재령 7일까지는 24시간 간격, 재령 14일까지는 2일 간격으로 측정을 하고 그 이후에는 7일 간격으로 측정하였다.

## Ⅲ. 결과 및 고찰

무수축 고강도 콘크리트에 대한 실험결과를 나타내면 Table 7과 같다.

Table 7. Test results of concrete containing expansive additive

Expansive additive content (%)	Slump (cm)	Air content (%)	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	
			7 days	28 days
0	17.5	3.6	434	615
10	17	4.3	453	672
15	13	5.0	442	648
20	8	6.2	402	598

1. 팽창재 혼입률에 따른 슬럼프 및 공기량

Table 7에서 보는 바와 같이, 팽창재 혼입을 변화에 따른 무수축 고강도 콘크리트의 슬럼프는 팽창재 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 팽창재를 20% 첨가한 경우는 보통 콘크리트보다 50% 정도 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 팽창성분인 에트링 가이트의 생성을 유발할 목적으로 함유된 CaSO<sub>4</sub> 성분의 증가로 인하여 슬럼프가 저하한 것으로 생각되며, 동일 슬럼프를 유지하기 위해서는 단위수량을 늘려야 할 것으로 생각된다.

그리고 공기량은 팽창재 혼입율이 증가할수록 증가하여<sup>4)</sup> 팽창재를 20% 첨가한 경우는 보통 콘크리트보다 70% 이상 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 팽창재의 제품 사용상 용도에 맞게 첨가한 AE제 성분의 함유에 기인한 것으로 사료된다.

2. 팽창재 혼입률과 압축강도의 관계

Table 7에서 보듯이, 재령 7일과 28일에서의 압축강도는 팽창재의 혼입률에 따라 증가하다가 혼입량 10% 이상부터 감소하는 경향을 보였는데, 이는 팽창재가 응결 이후 팽창성 수화물을 생성시켜 콘크리트 내부에 응력을 발생시킴으로써 높은 팽창압으로 인한 미세균열(결합)이 증가되어 강도 저하를 동반했다고 사료된다.<sup>5)</sup>

즉, 팽창재가 과량 혼입되면 유동성 및 강도가 저하되고 공기량은 증가하는 것으로 나타나 유동성 및 강도 특성이 양호하면서 수축보상효과가 나

타나는 적정혼입률이 존재하는 것으로 분석되며, 적정 혼입률 첨가시 팽창성 발현으로 공극 부분에서 치밀한 구조의 형성으로 인하여 비교적 안정된 강도가 발현되는 것으로 생각된다.<sup>6)</sup>

3. 무수축 고강도 콘크리트의 길이변화

Fig. 1은 보통 콘크리트와 무수축 고강도 콘크리트의 팽창재 혼입률에 따른 길이변화율을 나타낸 것이다.

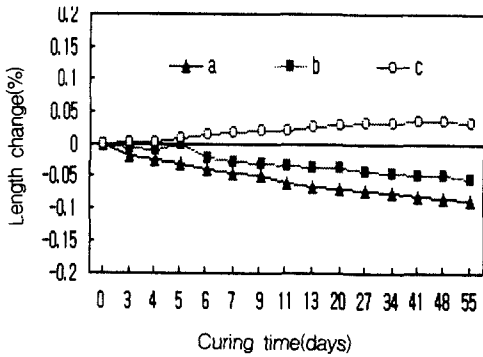
여기서 알 수 있듯이, 보통 콘크리트의 경우 건조조건에서 양생시킨 공시체 (a)와 수중양생 후 건조조건에서 양생시킨 공시체 (b)는 재령의 증가와 함께 수축하는 것으로 나타났고, 초기부터 수중양생을 실시한 공시체 (c)는 재령의 증가와 함께 지속적인 팽창이 생기는 것으로 나타났다.

한편, 무수축 고강도 콘크리트는 기건양생을 실시한 공시체 (a)는 팽창재 혼입률이 증가할수록 초기 재령에서는 팽창하다가 재령이 증가할수록 수축하는 경향을 보였으며, 수중양생 후 기건양생을 실시한 공시체 (b)도 공시체 (a)와 유사한 경향을 나타냈다.

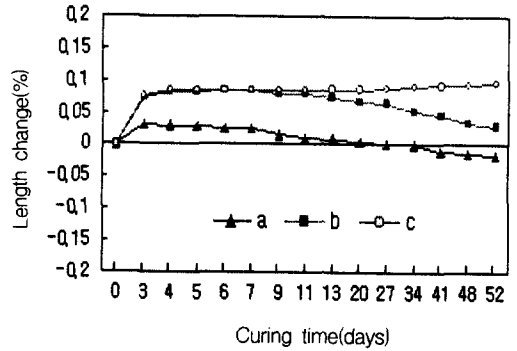
그리고 전체 양생기간 동안 수중양생을 실시한 공시체 (c)는 양생초기부터 측정일 55일까지 계속적으로 팽창이 이루어지고 있음을 보이고 있는데, 이로써 본 실험에 사용된 팽창재는 외부로부터 수분이 지속적으로 공급되어 진다면 재령의 증가와 함께 지속적인 팽창 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

특히, 팽창재 20%를 첨가한 경우의 공시체 (c)는 10%를 첨가한 경우보다 재령 28일에서 0.244%의 팽창량이 증가되는 것으로 나타나고 있는데, 이런 경우에는 과도한 팽창압의 발생으로 인하여 콘크리트 조직의 파괴를 초래하므로 현장에 적용하기에는 부적절할 것으로 판단된다.

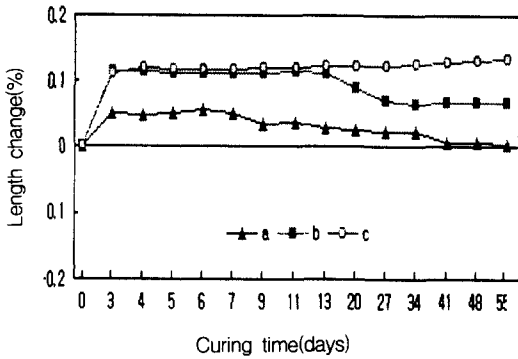
한편, 팽창재 혼입률이 15% 이상일 경우에는 탈형 직후부터 건조조건에 놓인 공시체 (a)의 장기적인 수축량과 상쇄되는 정도의 팽창량을 초기에 확보하고 있음을 알 수 있으나, 이런 경우에는



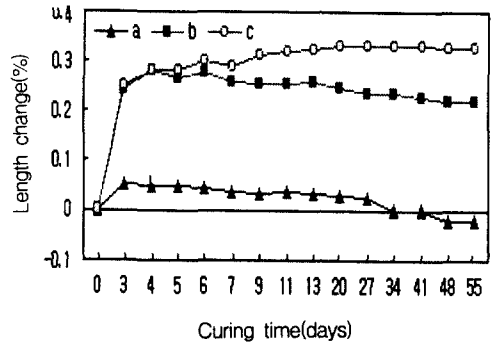
(1) Non-expansive additive



(2) Expansive additive content of 10%



(3) Expansive additive content of 15%



(4) Expansive additive content of 20%

Curing condition : a (in room), b (4 days in water → in room), c (in water)

Fig. 1. Relations between length change and curing age

초기에 불충분한 양생조건으로 인하여 미반응 팽창재가 다량 경화체 내에 존재하게 되어 이후에 적절한 양생조건하에 놓이게 되면 미반응 팽창재가 서서히 반응을 일으킴으로서 경화체의 파괴를 초래할 위험성이 있으므로 적어도 최대팽창의 80%가 얻어지는 시점까지는 충분한 양생을 해야 할 필요성이 있다.<sup>1,2)</sup>

또한, 수중양생을 실시한 공시체 (c)는 재령 7일 이전에 대부분의 팽창반응이 진행된 것으로 보아 필요한 최소한의 초기 수중양생 기간은 4~5일 정도인 것으로 나타났다.

#### 4. 현장타설 및 결과

##### 가. 현장타설 조건

현장 교량건설공사 콘크리트 품질규격은 20-600-15의 무수축 고강도 콘크리트로서 콘크리트용 팽창재는 실내에서 팽창재 사용량에 따른 압축강도 및 길이변화율 시험을 거쳐 보통콘크리트의 시멘트량에 대하여 10%를 중량비로 치환 첨가하였다.

무수축 고강도 콘크리트가 타설된 현장은 D건설에서 시공하는 설계강도가 600kgf/cm<sup>2</sup>인 5경간 연속 steel box 합성형 교량이다.

타설 대상의 콘크리트 구조물은 화물차량의 통행이 빈번하여 무수축성이 요구되며 균열발생이

없어야 물동량을 원활히 처리할 수 있는 교량의 steel box 부분에 타설하였으며, 이의 평면도와 타설전경은 Fig. 2 및 Photo 1과 같다.

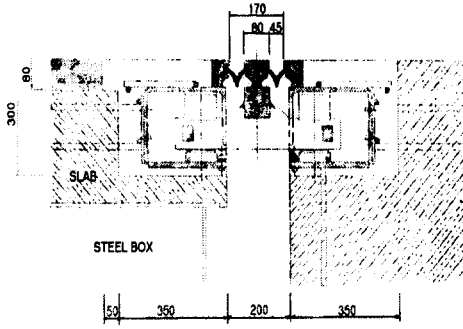


Fig. 2. Section of bridge

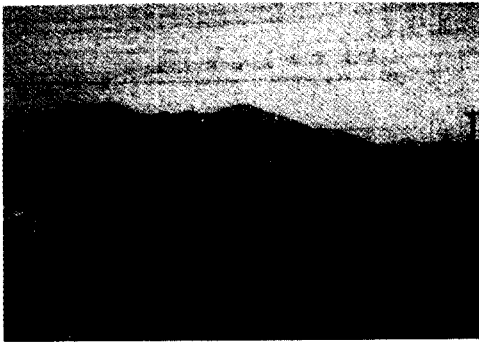


Photo 1. Photograph of spot view

나. 무수축 고강도 콘크리트 제조 및 현장 타설  
 무수축 고강도 콘크리트 제조는 팽창재를 B/P 내의 혼합믹서에 투입하고 혼합시간은 35초로 하였으며, 제조직후는 레미콘 트럭 믹서 안의 콘크리트 상태를 육안관찰로 슬럼프를 확인하였고, 현장 도착 후에는 슬럼프, 공기량, 염화물량, 온도 등을 체크하였으며 현장에서 압축강도, 길이변화 공시체를 제작하였다. 콘크리트 타설은 피스톤식 펌프카를 이용하였으며 교량의 수축이음부분은 초기침하를 고려하여 배차간격을 30분~1시간 30분으로 2단 타설을 실시하였다. 재령 5일까지는 시공한 콘크리트 표면을 양생포로 덮고 살수양생으

로 습윤상태를 충분히 유지하도록 하였다. 현장에서 제작한 길이변화 및 압축강도 공시체는 현장방치하여 현장조건과 동일하게 유지하였다. 타설시기는 1999년 5월 말로서 레미콘은 교량건설공사 현장에서 레미콘 트럭으로 약 20분 거리에 위치한 T사에서 제조되었다.

다. 결과분석

Table 8에서 보듯이 T사의 B/P에서 제조된 레미콘은 시공사의 설계품질규준을 만족하였고 현장도착 후 슬럼프 손실은  $\pm 2.5\text{cm}$  내외로 거의 없었으며, 공기량도 규준치( $4.5 \pm 1.5\%$ )내에 적합하여 충분한 품질과 작업성을 유지하였다.

Table 8. Batch plant and site

Item	Batch plant		Site		Target
	Data number	Average	Data number	Average	
Slump (cm)	8	16.5	8	15	$15 \pm 2.5\text{cm}$
Air (%)	8	4.7	8	4.3	$4.5 \pm 1.5\%$
Temp. (°C)	8	27	8	27	-

Fig. 3에서도 현장조건과 동일하게 양생한 공시체의 길이변화 시험결과 자유수축률은 0.01% 내외로 CSA 팽창재의 사용에 따른 효과가 있음을 알 수 있다.

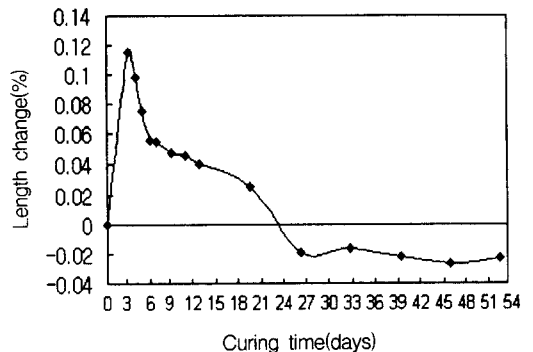


Fig. 3. Length change of non-shrinkage high strength concrete

#### IV. 결 론

본 실험을 통하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 무수축 고강도 콘크리트의 슬럼프는 팽창재 혼입률이 증가함에 따라 감소하였고, 공기량은 증가하였다.

2. 무수축 고강도 콘크리트의 압축강도는 팽창재 혼입률 10%에서 가장 큰 값을 나타냈으며, 10% 이상 초과시에는 팽창재 혼입률 증가에 따라 강도가 저하되었다.

3. 보통 콘크리트의 길이변화율은 수중양생한 경우 최고 0.036%까지 팽창하였으나, 기건양생 및 수중양생 후 기건양생을 실시한 경우는 재령의 증가와 함께 계속적인 수축이 일어나는 것으로 나타났다.

4. 무수축 고강도 콘크리트의 길이변화율은 기건양생 및 수중양생 후 기건양생을 실시한 경우는 재령의 증가와 함께 팽창하다가 수축하는 경향을 보였으나, 수중양생을 실시한 경우는 재령의 증가와 함께 계속 팽창하는 경향을 보였으며, 팽창재 혼입률 20% 첨가시 최고 0.33%의 팽창이 일어나는 것으로 나타났다.

5. 현장적용결과 CSA계 팽창재를 사용한 무수축 고강도 콘크리트는 양호한 작업성과 물성을 가지는 것으로 나타남에 따라, CSA계 팽창재를 혼입하여 제조된 무수축 고강도 콘크리트는 교량 구조물의 신축이음장치 등 무수축을 요하는 구조물에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. 성찬용, 조일호, 서대석, 민정기, 1999, 산업부 산물을 혼화제로 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구, 한국농공학회지, 41(6), pp. 75~81.
2. 河野俊夫, 1975, 生コン工場における特殊コンクリートづくり方(膨脹コンクリート), セメント・コンクリート, No. 343, pp. 124~126.
3. 中村虎一, 磯具純 外, 1978, CSA係膨脹材混和によるコンクリートの乾燥収縮防止効果, セメント技術年報, Vol. 32, pp. 180~182.
4. 日本建築學會, 1982, 膨脹材ち使用するコンクリートの調合設計・施工指針案・同解説.
5. 山田順治, 1983, セメント・コンクリートの知識.
6. 友澤史紀, 1988, 新コンクリート用混和材料-技術と市場, pp. 124~128.