

# 조기강도 콘크리트의 내구특성

## Durability Characteristics of High-Early-Strength Concrete

원종필\*      김현호\*\*      안태송\*\*\*  
Won, Jong Pil      Kim, Hyun Ho      Ahn, Tae Song

### ABSTRACT

The long-term durability characteristics of high-early-strength concrete were assessed. The effect of long-term durability characteristics of high-early-strength concrete were investigated. In experiment, two different types of fiber were adopted for improvement of durability. High-early-strength fiber reinforced concretes using regulated-set cements are compared with high-early-strength concrete without fiber. The durability performance of the laboratory-cured high-early-strength concrete specimens was determined by conducting an accelerated chloride permeability, abrasion resistance, freeze-thaw, surface deicer salt scaling and wet-dry repetition test. The results indicated that incorporation of fibers enhance durability performance.

### 1. 서론

아스팔트 포장에 비해 수명이 길고 유지관리비가 적게들며, 소성변형과 같은 포장에 치명적인 문제가 없다는 이유로 최근 우리나라에서 콘크리트 포장이 증가되고 있는 추세이다.<sup>(1)</sup> 그러나 콘크리트포장은 아스팔트포장과 비교하여 불 때 장기간의 교통차단으로 인한 차량의 지체로 경제적 손실을 초래할 수 있는 단점을 내포하고 있다. 이에 대한 보완책으로 국내에서는 초속경시멘트를 사용하여 콘크리트포장 보수를 실시하고 있으며 빠른시간 내(3시간)에 기준강도(35kgf/cm<sup>2</sup>)를 발현하여 교통을 개방하고 있다.<sup>(2)</sup> 이러한 조기교통개방에 사용되고 있는 초속경시멘트 콘크리트는 우수한 조기강도를 발현하나 타설초기에 높은 수화열로 인해 많은 미세균열을 발생시킬 수 있다.<sup>(4)</sup> 콘크리트 보강재료로서의 섬유는 이러한 콘크리트의 균열성장을 억제하고 투수성을 감소시켜 장기적인 측면에서 콘크리트의 내구성능을 증진시킬 수 있다.<sup>(3)</sup> 이에 본 연구에서는 현재 국내에서 사용되고 있는 초속경시멘트의 내구성능을 파악하고 내구성능 증진을 위해 콘크리트보강재료로서 섬유를 혼입하여 초속경시멘트를 사용한 일반 콘크리트와 섬유보강 콘크리트의 내구성능을 비교·평가하였다.

\*정회원, 건국대학교 농공학과 교수

\*\*정회원, 건국대학교 대학원

\*\*\*정회원, 한국도로공사 도로연구소 재료연구실실장

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 초속경시멘트

국내에서 생산되는 S사의 초속경시멘트를 사용하였으며 화학성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical properties of regulated-set cements and ordinary portland cement

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	L.O.I
RSC	12.305	14.362	1.407	0.029	46.020	1.657	0.458	0.166	0.127	0.149	3.927
OFC	21.807	4.935	2.600	0.055	63.029	2.989	0.905	0.156	0.060	0.321	0.774

#### 2.1.2 폴리프로필렌섬유/셀룰로오스섬유

폴리프로필렌섬유는 합성섬유로써 콘크리트의 인장강도의 향상 및 내구성을 증진시켜 널리 사용되고 있는 콘크리트보강섬유중 하나이다.<sup>(6)</sup> 본 연구에서 사용된 폴리프로필렌섬유는 국내 S사에서 생산되는 제품을 사용하였다. 셀룰로오스섬유는 배합시 분산성이 우수하고 콘크리트 성능향상에 기여할 수 있도록 특수 가공한 섬유이다. 특히 표면이 수산기로 되어 있어 콘크리트 내에서 우수한 부착성과 분산성을 보이며, 작은 유효직경을 가지고 있어 콘크리트를 밀실하게 만들어준다.<sup>(2)</sup> 본 연구에서 사용된 폴리프로필렌섬유와 셀룰로오스섬유의 특성은 Table 2와 같다.

Table 2. Properties of cellulose fiber and polypropylene fiber<sup>(2)</sup>

Property	Fiber Type	
	Cellulose Fiber	Polypropylene Fiber
Elastic Modulus(kgf/cm <sup>2</sup> )	61 × 10 <sup>4</sup>	3.5 × 10 <sup>4</sup>
Bond Strength(kgf/cm <sup>2</sup> )	15.3	4.1
Specific Gravity	1.5	0.9
Fiber Length(mm)	3.0	19
Effective Diameter(mm)	0.015	0.1
Length-to-diameter Ratio	200	190
Tensile Strength(kgf/cm <sup>2</sup> )	5100	6120
No. of Fibers per Gram	1,200,000	12000
Fiber Count(1/cm <sup>2</sup> )	1480*	0.6**

\* 1.3kg/m<sup>3</sup>

\*\*0.9kg/m<sup>3</sup>

#### 2.1.3 골재

굵은골재는 최대치수 25mm의 부순골재가 사용되었으며, 잔골재는 비중 2.61의 강사가 사용되었다. 본 연구에서 사용된 골재의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of fine and coarse aggregate

	Specific Gravity			Absorption(%)	F.M.
	Bulk	Bulk(SSD)	Apparent		
Fine Aggregate	2.59	2.61	2.63	0.67	2.99
Coarse Aggregate	2.80	2.62	2.83	0.35	-

## 2.2 배합설계

본 연구에서는 한국도로공사 시방기준에 따라 초속경시멘트를 사용한 조기교통개방강도인 3시간에 휨강도  $35\text{kgf/cm}^2$ 를 설계기준강도로하여 최적배합비를 도출하였다. 굳지않은 콘크리트의 슬럼프는 5~7cm, 공기량은 4~6%로 고정하였다. 폴리프로필렌섬유와 셀룰로오스섬유의 혼입량은 적정혼입률이라 알려진  $0.9\text{kg/m}^3$ 과  $1.3\text{kg/m}^3$ 을 각각 첨가시켰다.<sup>(3)</sup> 배합설계는 Table 4와 같다.

Table 4. Mixture proportion

w/c	s/a(%)	C ( $\text{kg/m}^3$ )	W ( $\text{kg/m}^3$ )	S ( $\text{kg/m}^3$ )	G ( $\text{kg/m}^3$ )	RA ( $\text{kg/m}^3$ )	AE ( $\text{kg/m}^3$ )	SP ( $\text{kg/m}^3$ )	Cellulose fiber( $\text{kg/m}^3$ )	Polypropylene fiber( $\text{kg/m}^3$ )
0.37	45	400	148	789	968	1.2	0.012	8.8	-	-
							-	12	1.3	-
							-	-	-	0.9

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 염화물투수시험

콘크리트 투수성시험은 ASTM C1202-94 와 AASHTO T 259에 준하여 실험을 실시하였다.  $\Phi 100 \times 50\text{mm}$ 의 공시체를 2개씩 제작하여 재령 3시간, 7일, 28일에 실험을 실시하였다. 실험은 2회 반복하였다.

### 2.3.2 마모저항성시험

마모저항성 시험은 ASTM C 944의 규정에 의거하여 수행하였다.  $\Phi 150 \times 60\text{mm}$ 의 공시체를 각재령별로 2개씩 제작하여 재령 3시간, 7일, 28일에 실험을 실시하였으며 2회 반복실험 했다.

### 2.3.3 동결융해저항성

동결융해저항성을 측정하기 위해서  $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 의 각주형 공시체를 제작하여 KS F 2456에 제시된 방법에 따라 수행하였다. 1 사이클을 4시간으로 하였으며, 기준 공시체를 제작하여 공시체 중심에서의 온도를  $4^\circ\text{C}$ 에서  $-18^\circ\text{C}$ 로 떨어뜨리는 동결작용과 다시  $4^\circ\text{C}$ 로 올리는 융해작용을 300회 반복하였다. 매 30 사이클에서 상대동탄성계수를 측정하였다.

### 2.3.4 표면박리저항성

우리나라에서 현재 동절기에 제설제로 제빙염을 사용하고 있어 본 연구에서는 포장콘크리트 표면의 동결융해에 의한 표면박리저항성을 측정하기 위해서 ASTM C 672의 실험방법에 따라 실시하였다.

### 2.3.5 건조-습윤반복시험

우리나라는 하절기에 건조와 습윤이 반복되는 기후특성을 가지고 있어 이로 인한 콘크리트포장의 강도에 미치는 영향을 평가하고자 건조-습윤 반복실험을 실시하였다. 본 실험은 현재 규정된 실험방법이 없어 28일간 습윤 양생한 공시체를 12시간동안  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 물속에서 포화시킨 후, 12시간동안  $60^\circ\text{C}$ 의 오븐에서 건조시키는 것을 1 사이클로하여 총 25사이클을 수행한 후, 공시체의 압축강도 및 휨강도를 측정하였다.<sup>(6)</sup>

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 염화물투수실험

초속경시멘트를 사용한 조기강도 콘크리트와 조기강도 섬유보강 콘크리트의 투수성에 대한 결과는 Fig. 1과 같다. 모두 재령 3시간에서는 높은 투수성을 보였으나 재령이 지날수록 투수성이 감소하였고 조기강도 섬유보강 콘크리트가 조기강도 콘크리트보다 투수성이 다소 낮게 나타났다. 이는 섬유가 조기강도 콘크리트의 초기 수화 열에 의해 발생할 수 있는 미소균열을 효과적으로 제어했기 때문이라 판단된다.

#### 3.2 마모저항성실험

초속경시멘트를 사용한 조기강도 콘크리트와 조기강도 섬유보강 콘크리트의 마모저항성에 대한 결과는 Fig. 2와 같다. 조기강도 콘크리트보다 조기강도 섬유보강 콘크리트가 마모저항성을 증진시켰다. 셀룰로오스섬유보강 콘크리트와 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트 모두 일반 콘크리트보다 최고 31%정도 마모저항성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 섬유가 콘크리트내에서 마모에 대한 마찰력을 감소시켰기 때문이라 판단된다.

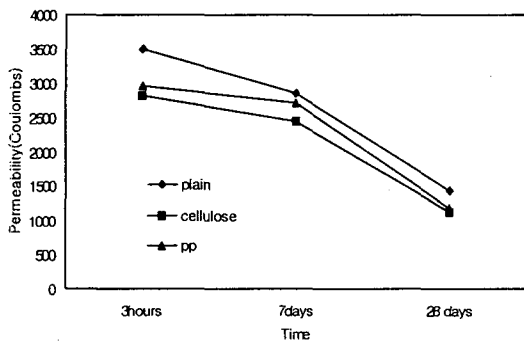


Fig. 1. Permeability

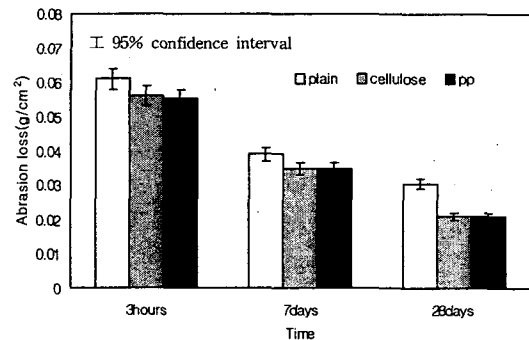


Fig. 2. Abrasion resistance

#### 3.3 동결융해저항성

Fig. 3은 초속경시멘트를 사용한 조기강도 콘크리트와 조기강도 섬유보강 콘크리트의 동결·융해에 대한 저항성을 나타낸 것이다. 조기강도 섬유보강 콘크리트는 조기강도 콘크리트와 비교하여 보았을 때 다소 높은 동결융해 저항성을 나타냈다.

#### 3.4 표면박리저항성

Fig. 4는 초속경시멘트를 사용한 조기강도 콘크리트와 조기강도 섬유보강 콘크리트의 표면박리저항성에 대한 육안판독결과를 합산하여 나타낸 것이다. 육안판독 결과, 조기강도 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트가 조기강도 콘크리트보다 표면박리저항성이 40%감소하였고 조기강도 셀룰로오스섬유보강 콘크리트는 10%증가하였다.

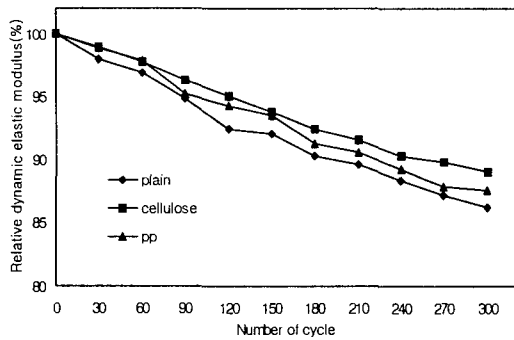


Fig. 3. Repeated freezing-thawing cycles

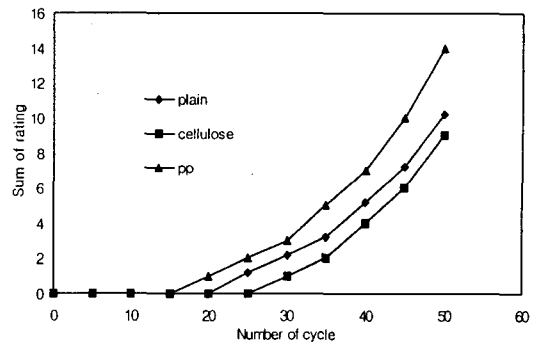


Fig. 4. Scaling resistance

### 3.5 건조-습윤반복실험

초속경시멘트를 사용한 조기강도 콘크리트와 섬유보강 콘크리트의 건조-습윤 반복실험에 대한 결과는 Fig. 5 와 Fig. 6에 나타내었다. 28일 양생 후 건조-습윤반복을 25사이클 시킨 공시체와 28일 양생 후 25사이클을 계속 습윤양생을 시킨 공시체(control)와 비교하여 볼 때 압축강도와 휨강도 모두 통계적으로 95%신뢰구간에서 유의 차가 없었다.

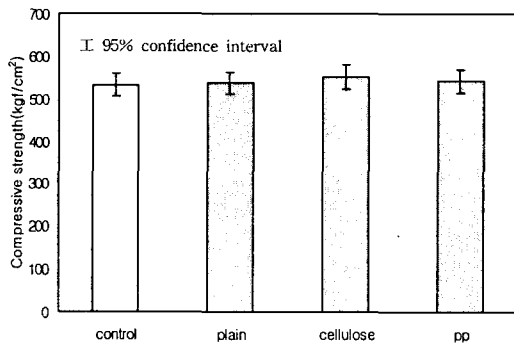


Fig. 5. Compressive strength after repeated wetting-drying cycles

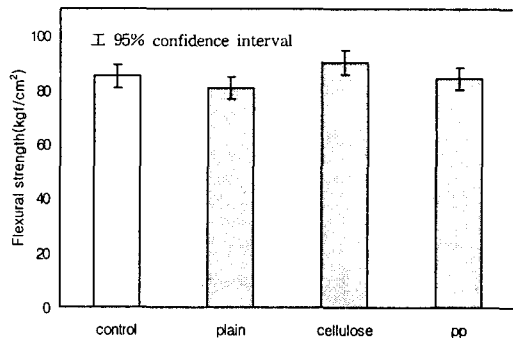


Fig. 6. Flexural strength after repeated wetting-drying cycles

### 4. 결 론

초속경시멘트를 사용한 조기강도 콘크리트와 조기강도 섬유보강 콘크리트의 내구성실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 염화물투수실험결과 초속경시멘트를 사용한 조기강도 콘크리트보다 조기강도 섬유보강 콘크리트가 투수성이 감소하는 경향을 보였다.
- (2) 마모저항성의 경우 조기강도 콘크리트보다 조기강도 섬유보강 콘크리트가 우수한 것으로 나타났다. 이는 섬유가 매트릭스내에서 마모에대한 마찰력을 감소시킴으로써 마모저항성이 증가되는 것으로 판단된다.

- (3) 동결융해실험결과 조기강도 섬유보강 콘크리트가 조기강도 콘크리트보다 동결융해 저항성에 있어서 다소 높게 나타났다.
- (4) 표면박리저항성의 경우 조기강도 셀룰로오스섬유보강 콘크리트는 표면박리저항성을 증가시키는 경향이 있었으나 조기강도 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트는 감소하는 경향이 나타났다.
- (5) 건조-습윤 반복실험을 실시한 결과 압축강도, 휨강도 모두 조기강도 콘크리트와 조기강도 섬유보강 콘크리트와 비교하여 보았을 때 95%신뢰구간에서 유의차가 없는 것으로 나타났다.
- (6) 이상의 결과로부터 조기교통개방을 위한 초속경시멘트의 사용에 있어서 섬유를 보강재료로 사용하면 내구성능을 증진시킬수 있을것으로 판단된다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 한국도로공사의 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분에게 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 서영찬; 국내 콘크리트포장 기술 현황 및 발전방향, 도로포장공학회지, 제 2권 3호, 2000. 9, pp.58-65.
2. 이병철외; 조기교통개방 콘크리트 포장공법에 대한 실험적 연구, 한국도로공사 연구보고서, 1996, pp.50-55.
3. 원종필외;콘크리트 초기 균열 제어를 위한 특수가공된 셀룰로오스섬유의 적용에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 제20권, 2000. 3, pp.311-319.
4. Parviz Soroushian and Siavosh Ravanbakhsh; High-Early-Strength Concrete: Mixture Proportioning with Processed Cellulose Fibers for Durability, ACI Materials Journal /September-October, 1999, pp.593-599.
5. D. Whiting, M. Nagi, and P.A. Okamoto; Early Strength Gain of Rapid Highway Repair Concrete, Concrete International, V.16, No.8, August, 1994, pp.28-35.
6. Shashidhara Marikunte and Parviz Soroushian; Statistical Evaluation of Long-Term Durability Characteristics of Cellulose Fiber Reinforced Cement Composites, ACI Materials Journal/November-December, 1994, pp607-616
7. Parviz Soroushian, Ataulah Khan and Jer-Wen Hsu; Mechanical Properties of Concrete Materials Rreinforced with Polypropylene or Polyethylene Fibers, ACI Material Journal, pp.535-540, 1992.