

조기교통개방 콘크리트의 강도특성

Mechanical Properties of High-Early-Strength Concrete for Early Traffic Opening

원 종 필* · 김 현 호** · 안 태 송***

Won, Jong-Pil · Kim, Hyun-Ho · Ahn, Tae-Song

Abstract

This study was performed to enhance mechanical properties of high-early-strength concrete using regulated-set cement for early traffic opening with various mixtures. Restraint of moisture and thermal movements of concrete pavement in actual field conditions, by external or internal restraining factors, generates tensile stresses which introduce microcracks and thus reduce the mechanical properties of concrete. Fiber reinforcement of concrete is an effective approach to the control of microcrack and crack development under tensile stresses. Three different types of regulated-set cement which recently have been used in Korea and two different types of fiber were adopted. Fibers were added and their mixtures are compared with plain high-early-strength concrete mixture. From the test results, fiber reinforced concrete was increased mechanical properties of high-early-strength concrete using regulated-set cement than the plain concrete.

Keywords : *Early traffic opening, Fiber reinforced concrete, High-early-strength-concrete, Microcrack, Regulated-set cement*

요 지

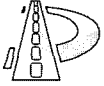
본 연구는 초속경시멘트를 사용한 조기교통개방 콘크리트의 역학적 특성을 향상시키기 위하여 수행되었다. 실제로 포장콘크리트의 현장조건하에서는 외부적 또는 내부적인 요소에 의해 콘크리트의 수분과 열에 의한 수축을 구속함으로써 인장응력이 발생되며 이러한 인장응력은 균열을 발생시켜 콘크리트의 역학적 성능을 감소시킨다. 이러한 인장응력에 의한 균열을 제어하는 데 있어서 초속경시멘트 콘크리트내에 섬유를 사용하면 효과적이다. 국내에서 많이 사용되고 있는 3종류의 초속경시멘트를 사용하였고, 2종류의 섬유를 혼입하여 섬유보강 콘크리트와 일반콘크리트를 비교하였다. 시험결과 초속경시멘트를 사용한 섬유보강 콘크리트가 일반 콘크리트보다 우수한 역학적 특성을 나타냈다.

핵심용어 : 조기교통개방, 섬유보강콘크리트, 조기강도콘크리트, 미소균열, 초속경시멘트

* 정희원 · 건국대학교 농공학과 조교수

** 건국대학교 대학원 석사과정

*** 한국도로공사 도로연구소 재료연구실실장

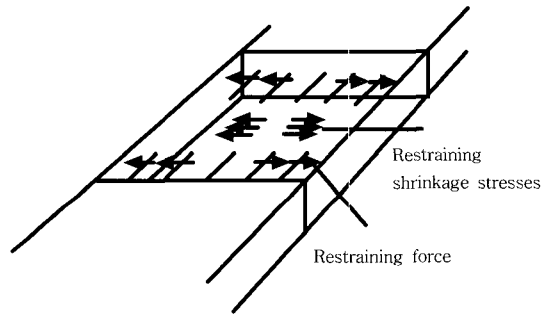


1. 서 론

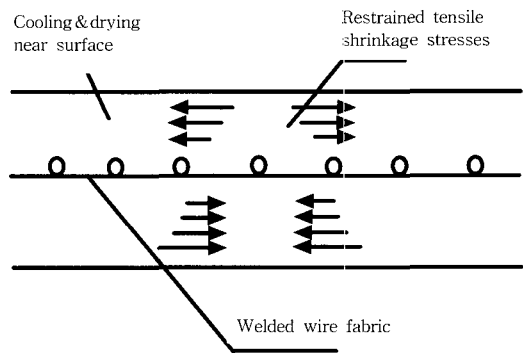
우리나라는 도로건설을 시작한 이래 주로 아스팔트포장에 의해 도로건설이 이루어져 왔다. 그러나 산업이 점차 발전하여 주요 수송수단인 차량의 대형화, 중량화됨에 따라 포장수명이 급격히 단축되었다(이성희 1999). 따라서 80년대 이후로 콘크리트포장에 대한 관심이 증폭되어 콘크리트 포장 시공이 확대되고 있는 추세이다(이병철 등 1996, 이성희 1999). 국내 콘크리트 포장의 적용은 88고속도로가 시발점이 되어 중부고속도로에서 활성화 단계에 접어들어 대부분의 고속도로가 콘크리트포장을 실시하고 있다. 또한 앞으로 2004년까지 신설되는 1,700km 대부분의 신설 고속도로가 콘크리트 포장으로 시공될 계획이다(이성희 1999). 유럽의 경우 30년 이상 공용성을 가진 콘크리트포장을 설계하고 있는 반면, 20년 공용을 목표로하는 우리나라 실정을 감안하여 볼 때 현재 우리나라 콘크리트포장의 노후화가 진행됨에 따른 유지·관리차원에서 상시보수와 긴급공사가 요구되어지고 있는 추세이다(이병철 등 1996, 이성희 1999). 콘크리트포장 보수는 일반 콘크리트 구조물과 달리 교통의 원활한 흐름을 위하여 보수 후 빠른 시간 내에 교통을 개방하기 위하여 타설후 조기에 높은 강도를 발현해야 한다. 현재 대부분의 조기개방 콘크리트 포장에 초속경시멘트가 사용되고 있으나, 조기강도 발현을 위한 상대적으로 높은 수화열의 발생으로 콘크리트포장 내에서 열과 수분의 이동이 증가한다(Soroushian et al. 1999). 실제현장 조건하에서 열과 수분의 이동은 콘크리트 포장의 수축을 발생시키고 이와 같은 수축은 콘크리트 슬래브의 응력을 전달시키기 위해 설치된 다웰바 등 외부적인 환경요인(그림 1(a))과 콘크리트 내에 존재하는 수분과 열로 인한 내부적인 환경요인(그림 1(b))에 의하여 구속됨으로써 콘크리트 포장에 인장응력을 발생시

키고, 이로 인하여 미소 균열이 발생한다(Langlois et al. 1994, Soroushian 1999). 콘크리트포장에 있어서 균열의 발생은 투수성의 증가로 인한 다양한 형태의 파괴를 발생시킴으로써 역학적 특성을 감소시켜 콘크리트포장의 공용연수를 감소시킨다.

본 연구는 국내 조기교통개방 콘크리트포장에 사용되고 있는 화학조성이 다른 3종류의 초속경시멘트 콘크리트의 역학적 특성을 비교·평가하였고 초속경시멘트 콘크리트의 역학적 특성을 증대시킬 수 있는 방안을 제시하는 것을 목표로 하였다.



(a) External restraining effect of dowel bars



(b) Internal restraining effects of moisture and temperature gradients

그림 1. External and internal restraint stresses in full-depth patches

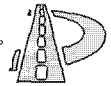


표 1. Chemical properties of regulated-set cements

(Unit: %)

Type of cement	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	L.O.I
A	11.223	17.830	1.368	0.024	45.273	1.069	0.507	0.372	0.136	0.847	4.786
B	12.305	14.362	1.407	0.029	46.020	1.657	0.458	0.166	0.127	0.149	3.927
C	15.331	8.799	1.939	0.027	53.596	0.689	0.978	0.237	0.071	0.395	1.686
OPC*	21.807	4.935	2.600	0.055	63.029	2.989	0.905	0.156	0.060	0.321	0.774

* Type I ordinary portland cement

2. 재료 및 배합설계

2.1. 초속경시멘트

국내에서 생산되는 화학조성이 다른 3종류의 초속경시멘트를 사용하였으며 화학성분은 표 1과 같다.

2.2. 콘크리트 보강섬유

폴리프로필렌섬유는 비중이 낮은 것이 단점이 라고 할 수 있으나, 콘크리트의 인장강도의 향상 및 내구성능을 증진시켜 널리 사용되고 있는 콘크리트보강섬유중 하나이다(Soroushian 1992, 원종필 2000). 본 연구에서 사용된 폴리프로필렌섬유는 국내 S사에서 생산되는 제품을 사용하였다.

셀룰로오스섬유는 배합시 분산성이 우수하고

표 2. Properties of cellulose fiber and polypropylene fiber(원종필 등 2000)

Property	Fiber type	
	Cellulose fiber	Polypropylene fiber
Elastic modulus(kgf/cm ²)	61×104	3.5×104
Bond strength(kgf/cm ²)	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 ²)	5100	6120
No. of fibers per gram	1,200,000	12000
Fiber count(1/cm ²)	1480*	0.6**

* 1.3kg/m³

**0.9kg/m³

콘크리트 성능향상에 기여할 수 있도록 특수 가공한 섬유이다. 특히 표면이 수산기로 되어있어 콘크리트 내에서 우수한 부착성과 분산성을 보이며, 많은 단위체적당 섬유수와 작은 유효직경을 가지고 있어 콘크리트를 밀실하게 만들어준다(원종필 등 2000). 본 연구에서 사용된 폴리프로필렌 섬유와 셀룰로오스섬유의 특성은 표 2와 같다.

2.3. 골재

굵은골재는 최대치수 25mm의 부순골재가 사용되었으며, 잔골재는 비중 2.61의 강모래가 사용되었다. 본 연구에서 사용된 잔골재와 굵은골재의 물리적 특성은 표 3과 같다.

표 3. Physical properties of fine and coarse aggregate

Type of 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	-

2.4. 배합설계

본 연구에서는 한국도로공사 시방기준에 따라 초속경시멘트를 사용한 조기교통개방강도인 3시간에 휨강도 35kgf/cm²를 설계기준강도로하여 최적배합비를 도출하였다. 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 5~7cm, 공기량은 4~6%로 고정하였다.

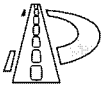


표 4. Mixture proportions

(kg/m³)

Type of cement	w/c	s/a(%)	C	W	S	G	RA	AE	SP	Cellulose Fiber	Polypropylene Fiber
A	0.39	39	380	148.2	702	1100	1.14	0.0114	-	-	-
								-	3.8	1.3	-
B	0.37	45	400	148	789	968	1.2	0.012	8.8	-	-
								-	12	1.3	-
C	0.30	40	500	150	677	1020	0	-	3	-	-
								-	6	1.3	-
										-	0.9

폴리프로필렌섬유와 셀룰로오스섬유의 혼입량은 적정혼입률이라 알려진 0.9kg/m³과 1.3kg/m³을 각각 첨가시켰다(Soroushian et al. 1992, 원종필 등 2000). 목표 슬럼프치를 맞추기 위해서 많은 양의 고유동화제를 첨가하였으며, 섬유보강 콘크리트에서는 섬유 혼입에 따른 공기량의 증가로 인해 공기연행제를 첨가하지 않았다. 배합설계는 표 4와 같다.

3. 시험방법

3.1 압축강도

압축강도 특성을 알아보기 위하여 KS F 2405에 따라 시험을 실시하였다. $\phi 100 \times 200$ mm의 실린더 공시체를 제작하여 재령 3시간, 1일, 7일, 14일, 28일에 각각 3개씩 압축강도를 측정하였다. 공시체는 23±2°C, 50%의 양생실에서 1일 양생 후 23±2°C의 항온조건으로 수중양생을 실시하였다. 시험은 2번 반복하였다.

3.2 휨강도

휨강도는 일본콘크리트학회에서 규정한 Method of Tests for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete의 시험방법에 준하여 실시하였다(JCI SF-4 1983). 150×150×550mm의 공시체를 재령별로 2개씩 제작하

여 3시간, 1일, 7일, 14일, 28일에 시험을 실시하였다. 하중속도는 0.4mm/min으로 하였고 시험은 2회 반복하였다.

3.3 충격저항성시험

섬유를 사용하는 중요 목적 중 하나는 충격에 대한 저항력이다. S. Mindess 등은 강섬유 및 합성섬유보강 콘크리트와 비교용 시험체를 제작하여 충격저항성 시험을 하였다. 시험결과 섬유를 사용한 시험체가 비교용 시험체보다 많은 충격에너지 흡수하여 높은 충격저항성을 보여주었다(이병철 등 1996a).

본 연구에서 충격저항성 시험은 미국콘크리트학회에서 규정한 Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete 내의 충격저항성 시험방법 중 Drop-weight test 방법에 의해, $\phi 150 \times 60$ mm의 공시체에 중량 4.54kg의 강체를 450mm 높이에서 자유낙하시켜 실시하였다(ACI Committee 544 1989). 시험은 재령 7일과 28일에 초기균열 및 완전파괴되었을 때의 타격횟수를 측정하였다. 공시체는 각 재령에서 2개씩 제작하여 23±2°C, 50%의 양생실에서 1일 양생 후 23±2°C의 항온조건으로 수중양생을 실시하였으며, 시험은 2회 반복 실시하였다. 그림 2는 충격저항성 시험장치를 보여준다.

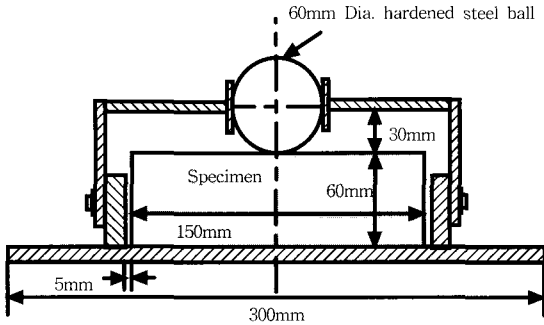
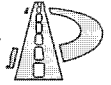


그림 2. Impact test set-up

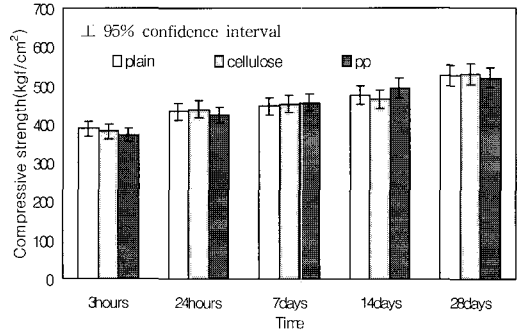
4. 결과 및 고찰

4.1 압축강도

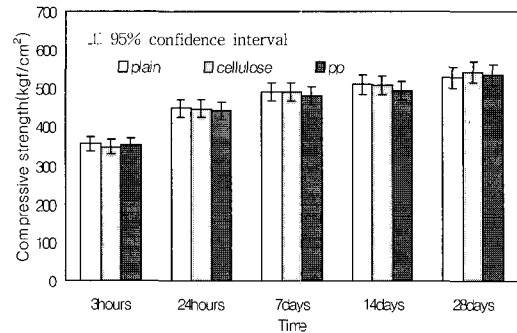
3종류의 초속경시멘트를 사용한 일반콘크리트와 섬유보강콘크리트의 압축강도는 그림 3과 같다. Type A, B, C 초속경시멘트 모두 각 재령에서의 압축강도는 초속경시멘트를 사용한 일반 콘크리트와 섬유보강콘크리트가 통계적으로 볼 때 95% 신뢰구간에서 유의차가 없었다. Type A와 Type B 초속경시멘트의 압축강도는 각 재령에서 유사하게 발현되었다. Type C 초속경시멘트의 경우는 초기에 응결시간이 Type A, B 초속경시멘트보다 다소 늦어 초기에는 낮은 압축강도를 나타냈으나 재령이 지날수록 낮은 물-시멘트비와 높은 단위시멘트로 인해 다른 두 종류의 초속경시멘트보다 높은 강도를 나타내었다. 이는 표 1의 초속경시멘트의 화학성분에서 볼 수 있듯이 Type A와 Type B 초속경시멘트가 상대적으로 Type C 초속경시멘트보다 더 많은 Al_2O_3 성분함량으로 인해 수화반응이 빠른 시멘트 화합물인 알루미늄이트(C_3A)의 생성이 용이하기 때문으로 판단된다.

4.2 휨강도

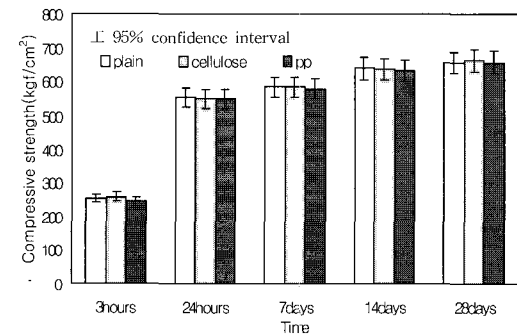
3종류의 초속경시멘트를 사용한 일반 콘크리트와 섬유보강콘크리트의 휨강도는 그림 4와 같다.



(a) Type A cement



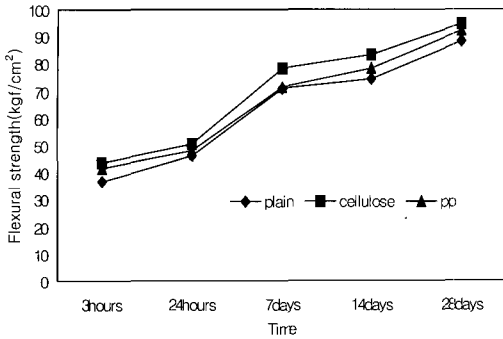
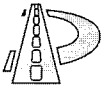
(b) Type B cement



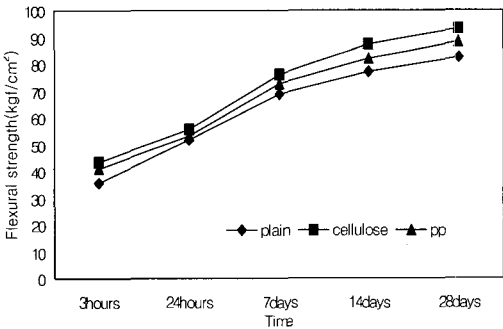
(c) Type C cement

그림 3. Compressive Strength

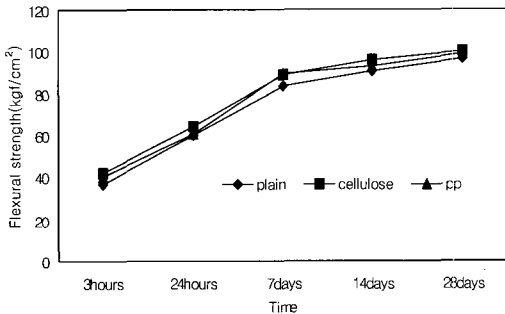
Type A 초속경시멘트의 경우 일반 콘크리트보다 셀룰로오스섬유보강 콘크리트가 19%, 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트가 13%까지 휨강도를 증진



(a) Type A cement

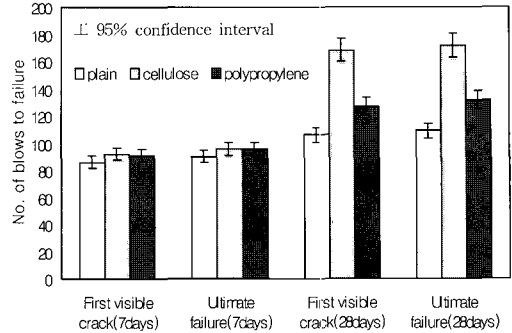


(b) Type B Cement

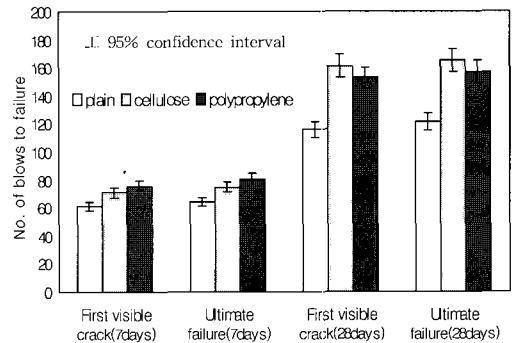


(c) Type C cement

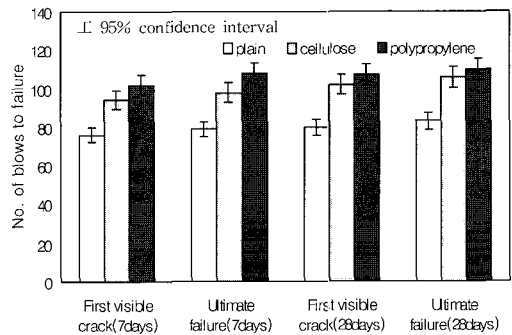
그림 4. Flexural Strength



(a) Type A cement



(b) Type B cement

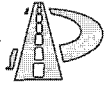


(c) Type C cement

그림 5. Impact resistance

시켰다. Type B 초속경시멘트의 경우 일반 콘크리트보다 셀룰로오스섬유보강 콘크리트가 21%, 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트가 15%까지 휨강도를 증진시켰으며 Type C 초속경시멘트는 일반

콘크리트보다 셀룰로오스섬유보강 콘크리트가 14%, 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트가 9%까지 휨강도를 증진시켰다. Type A, B, C 초속경시멘트 모두 일반 콘크리트보다 섬유보강 콘크리트의 휨강



도가 증진한 것은 시멘트 매트릭스 내에서 섬유
의 가교작용(bridging)으로 인한 것으로 판단된다.
또한 셀룰로오스섬유가 폴리프로필렌섬유에 비해
우수한 효과를 나타낸 것은 셀룰로오스섬유는 폴
리프로필렌섬유와 비교하여 볼 때, 재료의 표면이
수산기로 되어 있는 친수성 섬유로서 매트릭스와
의 부착력을 증진시키고 단위체적당 섬유수가 많
아 휨강도의 증진이 더 큰 것으로 사료된다.

4.3 충격저항성

3종류의 초속경시멘트를 사용한 일반 콘크리트
와 섬유보강 콘크리트의 재령 7일 및 28일에서의
충격저항성은 그림 5와 같다. 충격저항성에 있어
서 Type A 초속경시멘트의 경우 재령 7일에서는
3가지 배합이 비슷한 경향을 나타내었다. 재령 28
일에서는 일반 콘크리트가 타격 109회만에 완전
파괴가 일어났고 셀룰로오스섬유보강 콘크리트가
타격 172회, 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트가 타
격 132회만에 완전파괴가 일어났다. Type B, C
초속경시멘트 모두 재령 7일에서 셀룰로오스섬유
보강 콘크리트와 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트
가 다소 높게 나타났다. 28일에서는 Type B, C
초속경시멘트의 경우 각각 일반 콘크리트가 121회,
83회, 셀룰로오스섬유보강 콘크리트가 165회, 106
회 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트가 타격 106회,
110회에서 완전파괴를 보였다. 이는 매트릭스내에
서 섬유가 충격에 대한 저항 및 충격에너지를 흡
수하였기 때문이라 사료된다.

5. 결론

국내에서 생산되는 화학성분이 다른 3종류의
초속경시멘트를 사용한 일반 콘크리트와 섬유보
강 콘크리트의 역학적 특성인 압축강도, 휨강도,
충격저항성 시험을 실시한 결과, 다음과 같은 결
론을 얻을 수 있었다.

(1) Type A, B, C 초속경시멘트를 사용한 일
반콘크리트와 섬유보강 콘크리트의 압축강도를
비교하여 보았을 때 통계적으로 95% 신뢰구간에
서 유의차가 없었다. Type C 초속경시멘트의 경
우 응결시간의 지연으로 3시간 압축강도는 Type
A 초속경시멘트보다 52%, Type B 초속경시멘트
보다 40% 낮았지만 재령 28일에서는 Type A, B
초속경시멘트보다 각각 20%, 19% 높게 나타났
다.

(2) 휨강도의 경우 일반적으로 초속경시멘트를
사용한 섬유보강 콘크리트가 일반 콘크리트보다
Type A, B, C 초속경시멘트 모두 증가하는 경향
을 보였다. 특히 셀룰로오스섬유보강 콘크리트가
최고 21%까지 휨강도를 증진시켰으며, 폴리프로
필섬유보강 콘크리트는 최고 15%까지 휨강도의
증진을 보여주었다.

(3) 충격저항성 시험결과 Type A, B, C 초속
경시멘트 모두 섬유보강 콘크리트가 일반 콘크리
트보다 충격저항성이 증가하였다. 셀룰로오스섬유
보강 콘크리트가 일반 콘크리트와 비교하여 최고
58%까지 충격저항성을 증진시켰으며, 폴리프로필
렌섬유보강 콘크리트는 최고 30%까지 충격저항
성을 증진시켰다.

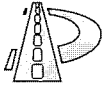
(4) 이상의 결과로 긴급도로 보수용으로 사용
되고 있는 초속경시멘트 콘크리트에 섬유를 보강
재료로 사용하면 역학적 성능을 향상시킬 수 있
을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사의 연구비 지원으로 이루어
졌으며, 이에 관계자 여러분에게 감사드립니다.

6. 참고문헌

1. 원종필, 박찬기(2000) "콘크리트 초기 균열 제어를 위
한 특수 가공된 셀룰로오스섬유의 적용에 관한 연



- 구” . 대한토목학회논문집, 3월, 제20권, pp.311-319.
2. 이병철 등(1996). “조기교통개방 콘크리트의 포장공법에 대한 실험적 연구” 실용화 연구보고서, 도로연실용96-1, 한국도로공사 도로연구소.
3. 이병철 등(1996a). “합성섬유 콘크리트에 대한 실험적 연구” 실용화 연구보고서, 도로연실용96-2, 한국도로공사 도로연구소.
4. 이성희(1999). “도로포장 설계 · 시공기술의 현황과 전망” . 한국도로포장공학회지, 제1권 1호, pp.31-35.
5. ACI Committee 544(1989). “*Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete*”
6. JCI SF-4(1983). “*Method of Tests for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete*”
7. M.Langlois, M.Pigeon, B.Bissonnette, and D.Allard(1994). “Durability of Pavement Repairs: A Field Experiment” , *Concrete International*, V.16, No.8, August, pp.39-43.
8. Parviz Soroushian and Siavosh Ravanbakhsh(1999). “High-Early-Strength Concrete: Mixture Proportioning with Processed Cellulose Fibers for Durability” , *ACI Materials Journal* / September-October, pp.593-599.
9. Parviz Soroushian, Atallah Khan and Jer Wen Hsu(1992). “Mechanical Properties of Concrete Materials Rreinforced with Polypropylene or Polyethylene Fibers” , *ACI Material Journal*, pp.535-540.

(접수: 2001. 2. 27)