

# 이층 포설 콘크리트 포장의 국내 적용을 위한 강섬유 보강 콘크리트 기초 물성평가

## Estimation of The Basic Properties of Two-Lift Concrete Pavement to Apply Korea Condition

원 홍 상 Won, Hong Sang  
류 성 우 Ryu, Sung Woo  
홍 중 용 Hong Jong Yong  
조 윤 호 Cho, Yoon HO

비회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail : kupcl@hanmail.net)  
정희원 · 중앙대학교 건설환경공학과 박사과정 · 교신저자 (E-mail : htsw@naver.com)  
비회원 · 명지대학교 토목환경공학과 정교수 (E-mail : hypark@mju.ac.kr)  
정희원 · 중앙대학교 건설환경공학과 정교수 (E-mail : yhcho@cau.ac.kr)

### ABSTRACT

This study had a focus on investigating technical validity of Two-Lift Concrete Pavements which had never been constructed in Korea in order to solve the problem of existing concrete pavements. This study found out the application of Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC) which was one of new techniques. Also, optimal steel fiber contents and pavement thickness were determined. This study also measured compressive strengths, flexural strengths, toughness indexes, tensile strengths and fatigue strengths to estimate the performance of SFRC of according to results of laboratory experiments, slumps and air contents of concrete specimens the standards satisfied and compressive strengths to open traffic. At bending tests, Toughness Index of SFRC increased but flexural strength didn't increase as compared with non-steel fiber concretes. And, energy absorption of SFRC was very good and SFRC showed improvement in freezing and thawing resistances. To complete this research, we will evaluate the application methods and performance of SFRC at field section.

### KEYWORDS

two-lift concrete pavement, steel fiber reinforced concrete pavement (SFRC), performance, toughness index, freezing and thawing resistance

### 요지

본 연구에서는 콘크리트 포장의 균열, 스펙링 등의 파손문제를 해결하기 위해 국내 시공사례가 없는 이층 포설 공법의 도입 및 기술·경제적 타당성을 검토하고자 하였다. 본 포장공법중 하나인 강섬유 보강 콘크리트(SFRC, Steel Fiber Reinforced Concrete)의 포장 배합 적용성이 검토되었다. 강섬유 함량과 포장 높이가 산정되었으며, 강섬유 보강 콘크리트의 물성 평가를 위해 압축강도, 휨강도, 휨인성 지수, 인장강도, 피로강도를 측정하였다. 슬럼프와 공기량은 대부분이 시방 기준을 만족하였으며, 28일 강도도 교통개방을 할 수준 정도로 발현되었다. 휨강도 실험 결과, 강섬유 보강 콘크리트가 무보강 콘크리트에 비해 휨인성은 증가하였지만 휨강도는 증가하지 않았다. 에너지 흡수능력, 피로 저항성 및 동결 융해저항성은 강섬유 보강 콘크리트가 무보강 콘크리트에 비해 향상되었다. 향후, 시험시공을 통해 강섬유 보강 콘크리트의 현장 적용성 및 공용성을 평가할 것이다.

### 핵심용어

이층 콘크리트 포장, 강섬유 보강 콘크리트, 공용성, 휨인성 지수, 동결융해저항성

## 1. 서론

국내 경제의 지속적인 성장과 더불어 다양한 분야에서 눈부신 발전을 이루어왔다. 이러한 산업화의 결과로 차량 대수

도 꾸준히 증가하고, 도로 연장도 매년 증가하고 있다. 1980년대 들어서는 교통량이 많은 고속도로 및 일부국도에서 아스팔트 포장에 비해 비교적 긴 사용수명을 갖고 있는 콘크리

트 포장에 건설되기 시작하였다. 하지만 경제성장으로 차량이 폭발적으로 증가하고 국가산업의 발달로 인한 수송물량 증가는 중하중 교통량을 양산하였다. 이로 인해 설계시 고려하지 못했던 콘크리트 포장의 구조적인 파손이 발생하고 잦은 유지보수를 시행하여 국가 예산 낭비를 초래하고 있다(한국도로공사, 2004).

이와 같은 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 기존 콘크리트 포장의 구조적인 문제점을 해결하고 장기공용성을 확보하기 위한 방안으로 유럽이나 미국 등 선진국에서 널리 쓰이고 있는 이층 포설 콘크리트 포장 공법을 국내에 적용하기 위한 연구를 진행하였다. 국내에 적합한 이층포설 콘크리트 포장을 건설하기 위한 핵심이 재료를 개발하는 것이며 본 연구에서는 강섬유보강 콘크리트(SFRC, Steel Fiber Reinforced Concrete)에 초점을 맞춰 연구를 진행하였다.

## 2. 강섬유보강 콘크리트의 특성

강섬유는 일반적으로 그림 1과 같이 길이가 25~60mm, 직경이 0.3~0.8mm, 형상비(L/D)가 50~100 정도의 것이 이용되고, 재질은 탄소강 또는 스테인레스강으로 제조된다. 기본적인 형상, 치수 및 품질 특성은 제조방법에 따라 크게 영향을 받는다. 길이 30mm 이하의 강섬유는 현장타설용 및 스킨트용 강섬유보강 콘크리트에 모두 사용할 수 있으나 강섬유의 길이가 길수록 보강효과가 커지기 때문에 일반적으로 30mm 이상을 사용한다(건설교통부, 1997, 박홍용, 2002).

일반적으로 위험단면에서의 균열이 발생하면, 그 주변의 응력이 증가함에 따라 균열폭도 증가하게 된다. 이때 균열을 가로지르는 강섬유는 뽑힘 작용(Pull-Out)에 의한 저항으로 콘크리트의 연화현상(softening)과 항복강도 후 응력에 대하여 저항함으로써 구조적 안정성을 확보할 수 있다. 또한 강섬유는 피로 저항 수명을 증가시키고 인장에서 뿐만 아니라 압축에서도 균열의 진행을 제어하고 콘크리트를 구속하는 역할을 한다. 따라서 이들 재료를 콘크리트 포장에 포설하면 피로 균열 저항성 증가에 따른 균열의 방지, 균열의 확대 방지 및 급속한 파손을 막을 수 있을 것으로 기대된다(한국도로공사 도로연구소, 2001).

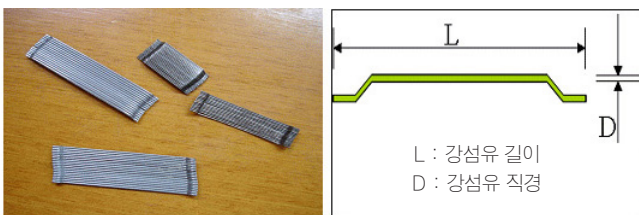


그림 1. 강섬유 형상

## 3. 강섬유보강 콘크리트의 물성 평가

강섬유 함량 및 이층포설 높이를 실험변수로 설정하여 실험을 실시하였다. 강섬유 함량은 문헌 조사를 통해 0%, 0.25%, 0.35%, 0.5% 4가지 조건으로 설정하였으며, 직사각형 단면의 휨 공시체 이층포설 높이는 그림 2와 같이 5가지 경우에 대하여 고려하였다. 실험에 적용한 강섬유는 국내 H사에서 생산한 양단갈고리형(Double Hooked-End Type)이며 강섬유의 인장강도는  $f_u=920$  MPa이고, 탄성계수는  $E_s$  200 GPa이다. 시멘트는 비중이 3.14인 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 비중이 2.70이고 조립률이 2.72인 강모래를 사용하였다. 굵은 골재는 비중이 2.65인 25mm를 사용하였다. 콘크리트의 배합설계는 도로공사에서 2002년에 제시한 포장 콘크리트 배합을 기준으로 하였으며, 표 1과 같다. 시험체는 강섬유 함량에 따라 각각 압축 공시체 6개씩, 휨 공시체 12개씩을 제작하였다. 콘크리트 배합은 강섬유의 혼입량에 관계없이 동일하게 하였다.

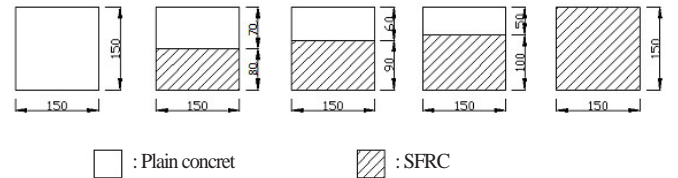


그림 2. 빔 공시체 단면의 종류

표 1. 배합설계

종별	설계기준 강도 (MPa)	$G_{max}$ (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m³)					비고
							W	C	S	G	AE감수제	
포장	$f_{tk}=4.5$	32	4~6	4~6	45	38	147	326	692	1122	0.963	기계 타설
			8		44	40	161	365	700	1078	1.095	인력 포설

### 3.1. 기초 시험

기초 실험으로 슬럼프, 공기량 및 압축강도를 측정하였다. 각각 KS F 2402 '포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험 방법', KS F 2421 '굳지않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법' 및 KS F 2405 '콘크리트의 압축강도 시험방법'에 준하여 실험을 실시하였다(한국공업규격, 1997, 한국공업규격, 1995). 일반적으로 강섬유보강 콘크리트의 슬럼프 값은 강섬유 함량이 증가할수록 점차 감소하는 경향을 보인다. 그 이유는 강섬유 표면에 시멘트 페이스트가 부착함으로써 콘크리트의 유동에 필요한 시멘트 페이스트 양이 감소하고, 강섬유가 유동성을 억제하기 때문이다. 강섬유보강 콘크리트의 공기량은 강섬유의 함량이 증가함에 따라 공기량은 점차 증가하는 경향을 보인다. 이는 강섬유 혼입에

따른 공극이 증가하고 갇힌 공기가 많아지기 때문이다.

표 2는 강섬유 함량에 따른 슬럼프 및 공기량 변화에 대한 실험 결과를 나타낸 것이다. 공기량은 모든 조건에서 기준치 (4~6%)를 만족하였다. 슬럼프의 경우에는 강섬유 함량이 0, 0.25%일 경우 배합표에 제시된 기준인 4~6cm를 만족하였으나, 함량이 0.5%일 경우 슬럼프가 약 2cm 정도였다. 추가적으로 강섬유 함량 0.25%와 0.5% 사이에서 함량을 0.05%씩 증대시켜 슬럼프 시험을 실시하였고, 함량이 0.35%인 경우 제시된 슬럼프 기준을 만족하는 최대 강섬유 함량으로 나타났다.

그림 3은 강섬유 함량에 따른 평균 압축강도를 나타내었다. 강섬유보강 콘크리트의 경우 무보강 콘크리트와 비교했을 때 압축강도가 다소 저하되는 경향을 보이는데 이는 워커빌리티의 저하로 인해 밀실한 콘크리트의 제조가 곤란하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 모든 공시체가 교통개방을 위한 강도를 충분히 발휘하는 것으로 나타났다.

표 2. 강섬유 함량에 따른 슬럼프 및 공기량의 변화

강섬유 함량 (vol %)	슬럼프 (cm)	공기량(vol %)
0.00	5.5	4.2
0.25	5.1	4.3
0.35	4.2	4.1
0.50	1.7	4.5

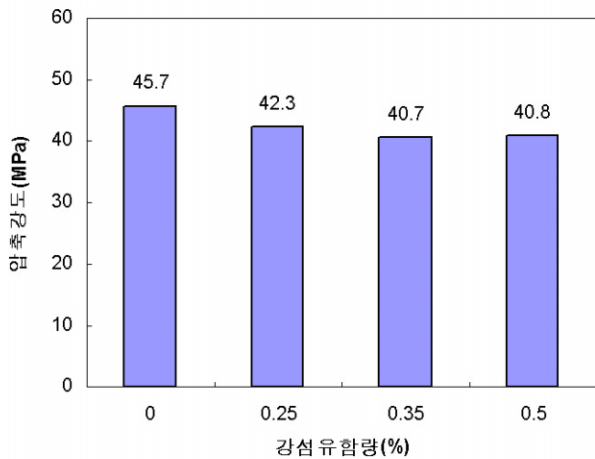


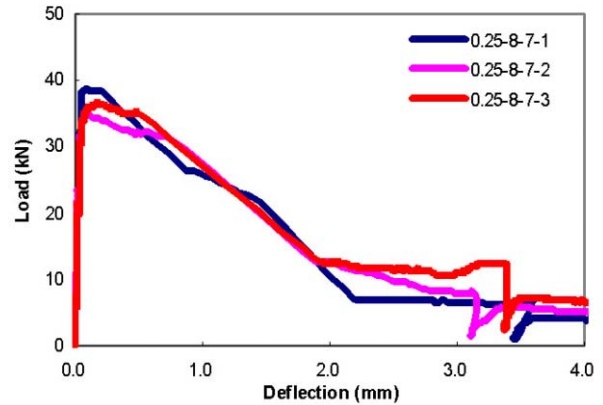
그림 3. 강섬유 함량에 따른 평균 압축강도

### 3.2. 휨강도 및 휨인성 실험

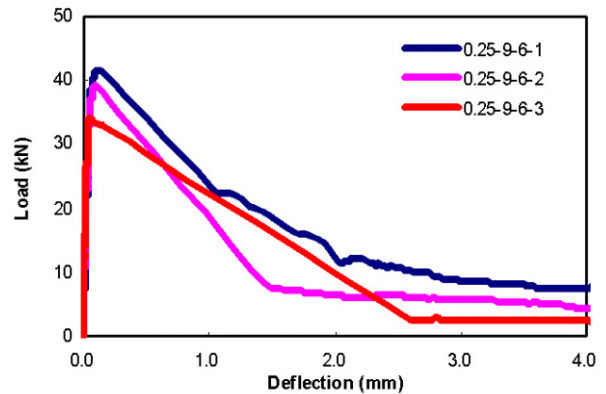
본 실험에서는 강섬유보강 콘크리트 시험체의 중앙점 처짐량 및 파괴하중을 측정하기 위하여 KS F 2408 “콘크리트의 휨강도 시험 방법”에 따라 4점 휨시험을 실시하였다(한국공업규격, 1995). 시험체의 처짐량은 Yoke 방식에 의해 시험체의 중앙에 설치된 2개의 LVDT(변위측정기)를 사용하여 측정했다. 측정된 중앙점 처짐을 이용하여 하중-처짐 곡선을

작성하고, 강섬유보강 콘크리트의 인성을 검토하였다.

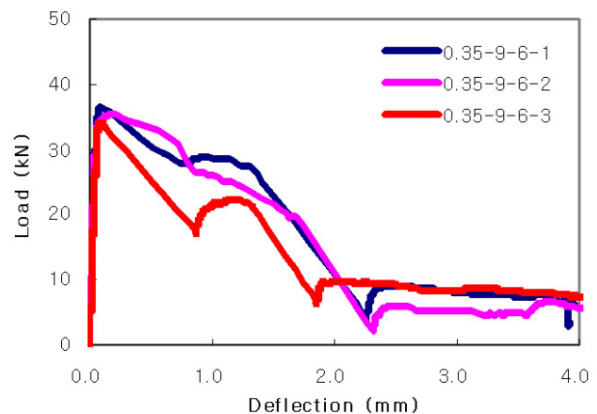
첫 번째로 모든 시험체의 하중-처짐간의 시험 결과는 그림 4와 같다. 시편의 기호표시는 강섬유 혼입율-강섬유보강 콘크리트 높이-일반 콘크리트 높이로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 강섬유로 인해 휨 인성이 증가하였음이 뚜렷이 보인다.



(a) 0.25-8-7 하중-처짐 곡선



(b) 0.25-9-6 하중-처짐 곡선



(c) 0.35-9-6 하중-처짐 곡선

그림 4. 강섬유 혼입량 및 단면에 따른 하중-처짐 곡선

두 번째로 휨 시험체를 이용하여 강섬유 함량과 높이비에 따른 평균 휨강도를 구하였으며 그림 5와 같다. 강섬유보강

콘크리트가 무보강 콘크리트에 비해서 함량 0.5%일 경우 휨강도가 최대 40%까지 증가하는 것으로 나타났으며, 강섬유 함량이 0.25%에서 0.5%로 증가할 경우 휨강도는 약 10% 증가하였다. 그림 5에서 강섬유보강 콘크리트 부분의 높이가 증가하더라도 휨강도의 증가는 일어나지 않은 것을 알 수 있었다. 즉, 일정 강섬유 함량 및 두께 이상이 되면 그 효과가 크지 않는 것으로 시험결과 나타났다. 따라서 경제적인 면을 고려하여 8-7 단면을 사용하더라도 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.

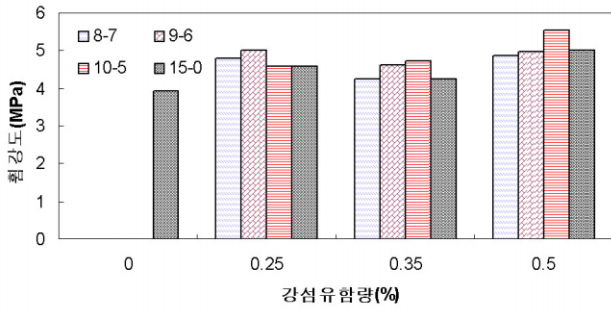


그림 5. 높이 비 및 강섬유 함량에 따른 평균 휨강도

세 번째로 휨인성 지수(Toughness Index : JSCE 규정)를 평가하였다. 휨인성 지수란 그림 6과 같이 주어진 변위까지 흡수된 에너지를 최초의 균열이 발생되는 변위까지 흡수된 에너지로 나눈 값으로 정의되며 실험 방법은 ASTM C 1018에 명시되어 있다(ASTM C 1018-84, 1984). 휨인성 지수는  $I_5, I_{10}, I_{20}$ 가 있으며 이는 각각 최초 균열 발생 시의 변위량( $\delta$ )에 대해 3배( $3\delta$ ), 5.5배( $5.5\delta$ ), 10.5배( $10.5\delta$ ) 변위가 발생하는 지점에서의 인성지수이다. 최초균열이 발생하는 변위를  $\delta$ 라고 하고, 이때의 에너지를  $E$ 라고 하면  $I_5, I_{10}, I_{20}$ 이 갖는 지점의 면적은  $5E, 10E, 20E$ 가 된다. 이때의 변위는  $3\delta, 5.5\delta, 10.5\delta$ 가 되며,  $I_5, I_{10}, I_{20}$ 은  $E$ 면적의 각각 5, 10, 20배가 된다.

휨인성 지수(Toughness Index)의 계산방법은 아래의 식(1)과 같다.

$$I_5 = \frac{OACD \text{의 면적}}{OAB \text{의 면적}}, I_{10} = \frac{OAEF \text{의 면적}}{OAB \text{의 면적}}, I_{20} = \frac{OAGH \text{의 면적}}{OAB \text{의 면적}} \quad (1)$$

이 식을 이용해 휨인성지수를 산출한 결과는 그림 7과 같다. 전체적으로 강섬유 함량이 늘어날수록 휨인성이 커지는 것을 알 수 있다. 또한 강섬유 함량에 관계없이 8-7 단면의 휨인성지수가 가장 컸으며, 9-6 단면이 가장 낮게 평가되었다. 이는 재료 및 구조적인 영향으로 판단되며 적정 단면 조합 선정이 중요함을 알 수 있다.

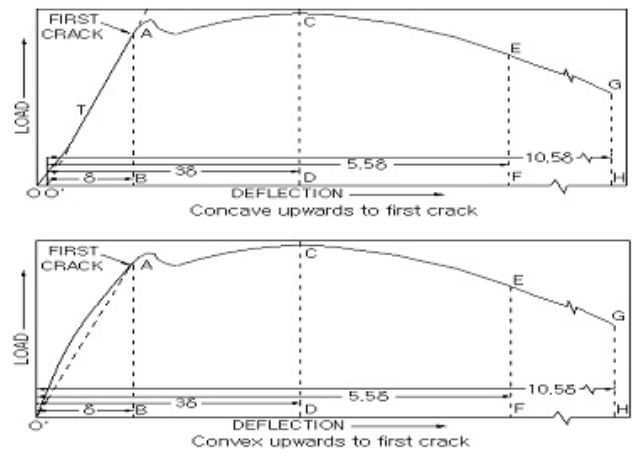
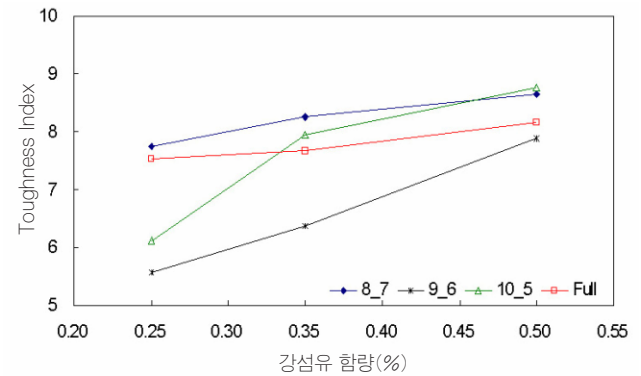
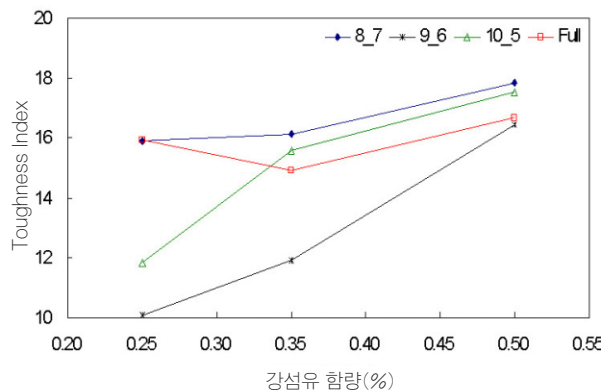


그림 6. 휨인성지수 산출 개념도(ASTM, ACI)



(a)  $I_{10}$



(b)  $I_{20}$

그림 7. 강섬유 함량 및 단면에 따른 휨 인성지수

다음으로 균열 후 인장강도를 평가하였다. 균열 후 등가 휨인장강도는 일반 콘크리트에서 볼 수 없는 강섬유보강 콘크리트의 큰 특징이다. 균열 후 인장강도를 구하기 위한 여러 가지 방법 중 German Concrete Association(DBV)가 제시하고 있는 방법을 실험에 적용하였으며, 그림 8, 식(2), 식(3)과 같이 평가하였다(ACI COMMITTEE 544, 1988).

그림 8에서 변위가  $L/4000$  과  $L/200+L/2000$ 에서의 하중값을 이용하여 하중-변형 곡선이 이루는 면적을 산출하고, 식(2)를 이용하여  $equ F_3$ 을 계산한다. 구해진 하중값을 식



(3)에 대입하여 휨 인장강도를 구할 수 있다. DBV 식에서는 반드시 재료 실험을 실시하여 처짐이  $(\delta_1 + L/200 + L/2000)$  이 될 때까지 측정해야 한다. 실험결과, 단면별, 강섬유 함량 별 균열 후 인장강도 평균값이 그림 9와 같다. 그림에서도 알 수 있듯이 강섬유의 함량이 증가할수록 균열 후 인장강도가 증가하는 경향이 뚜렷하다. 하지만 강섬유를 포함한 층의 높이에 따른 균열 후 인장강도는 큰 차이가 없었다. 강섬유보강 콘크리트는 휨 인성을 향상시키며 이러한 장점이 콘크리트에 강섬유를 사용하는 주된 이유이다. 일반적으로 보통 콘크리트에 비하여 강섬유보강 콘크리트의 휨 인장강도 증가는 압축강도나 쪼갬 인장강도의 증가보다 크며, 이는 강섬유 함량과 형상비가 주요 변수로 작용하기 때문이다. 위 실험결과에서도 강섬유의 함량이 많을수록 휨 인장강도, 휨 인성지수, 균열 후 인장강도가 증가함을 알 수 있다.

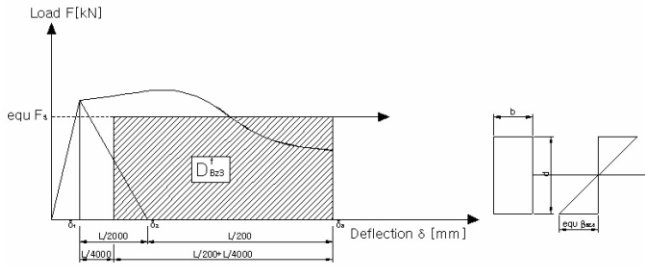


그림 8. 독일 콘크리트 협회(DBV)의 인장강도 산출 방법

$$\text{equ } F_3 = \frac{D_{BZ3}^f}{L/200 + L/4000} \quad (2)$$

$$\text{equ } \beta_{BZ3} = \frac{\text{equ } F_3 \times L}{bd^2} \quad (3)$$

여기서,  $\text{equ } \beta_{BZ3}$  = 등가 휨 인장강도

$\text{equ } F_3$  = 평균 하중값

$D_{BZ3}^f$  = 강섬유가 부담하는 에너지

$L$  = 공시체 길이

$b$  = 공시체 단면 폭,  $d$  = 공시체 단면 높이

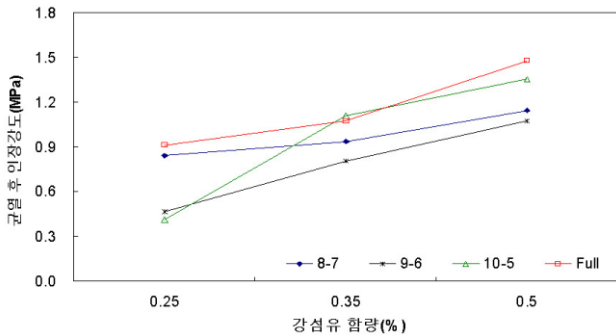


그림 9. 강섬유 함량에 따른 균열 후 인장강도(DBV)

### 3.3. 원형패널 실험

최근 ASTM에 등록된 원형패널을 이용하여 에너지 흡수율 실험과 피로시험을 수행하여 그 공학적 특성을 파악하였다 (Tuan Ngo).

에너지 흡수율 실험은 RTA(The Roads and Traffic Authority)에서 제시하고 있는 실험방법에 따라서 패널의 중심부에 집중하중을 재하하여 중심부에서의 처짐을 구하고 파괴시의 최대하중과 하중-처짐 곡선으로부터 흡수에너지를 구한다. 원형패널의 규격은 지름 800mm, 두께 75mm이며 실험 방법은 3점에서 지지되고 있는 시편의 중앙에 지름이 100mm이고 재하 점의 곡률반경이 100mm인 재하판을 이용하여 하중을 재하한다. 원형패널 중앙부의 최대 처짐을 1초 단위로 측정하여 하중-처짐 곡선을 얻는다. 이때의 하중-처짐 곡선으로 흡수에너지를 구하여 강섬유보강 콘크리트의 성능을 평가한다. 최대 처짐은 40mm까지 얻어야 하며, 재하속도는 10mm/min이다. 원형 패널에 대한 시험 결과는 총에너지 흡수량으로 판단하며 이는 재하시험을 통해 하중-변곡선 아래 면적이 되며 아래 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$T_E = \int_{\delta_0}^{\delta_{40}} P \cdot \delta \, d\delta \quad (4)$$

여기서,  $T_E$  : 총 에너지 량(최대 처짐 40mm까지의 에너지 량)

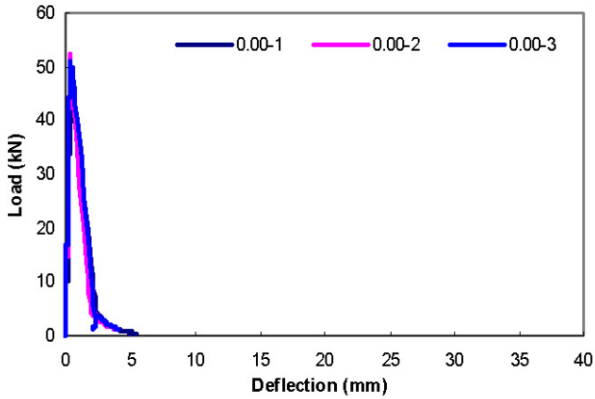
$P$  : 최대 처짐 40mm까지 가해진 하중

$\delta_{40}$  : 최대 처짐 40mm까지 하중에 의하여 생긴 시편의 처짐

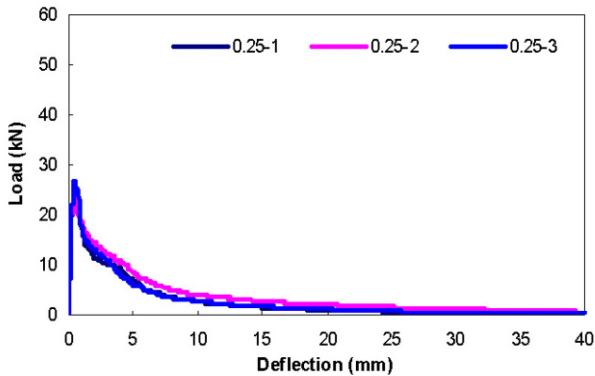
그림 10은 무보강 원형 패널과 강섬유가 0.25% 함유된 원형 패널의 정적재하 실험을 통해 얻은 하중-처짐 곡선이다. 그림에서와 같이 최대하중의 값과 최대 하중 이후 그래프의 양상에 차이가 있음을 알 수 있다. 무보강 콘크리트 원형패널은 최대하중에 이른 후 급격한 파괴를 보였으며, 0.25%의 강섬유가 함유된 패널의 경우에는 파괴 양상이 무보강 패널의 경우 보다 완만한 것을 확인 할 수 있다. 무보강 콘크리트 원형패널의 경우 RTA에서 규정하고 있는 중앙점 최대 처짐량인 40mm의 1/16~1/10 정도인 2.5mm~4mm에서 시험체가 완전 파단되어 에너지 흡수 능력은 거의 없다고 할 수 있다. 반면에 강섬유 함량이 0.25%인 경우 최대 40mm의 처짐이 발생하는 동안 완전 파단된 시험체는 없었다. 이를 정리한 것이 표 3의 좌측과 같다.

한편, 피로강도는 S-N곡선(응력-피로 수명곡선)으로 나타냈는데 세로축은 응력 매개변수로써, 가로축은 파괴에 이르기까지의 반복 횟수로써 대수 눈금으로 나타낸다. 이 S-N 선도가 하중반복횟수 N축과 평행한 점근선을 가지게 되면, 이에 대응하는 응력값을 피로한도라고 한다. 대부분의 금속

들은 이러한 피로한도를 가지지만, 콘크리트와 같은 취성재료는 피로파괴의 역학적 거동이 복잡하게 진행되기 때문에 금속과 달리 미리 정한 반복횟수에 대한 피로강도를 사용한다. 원형패널을 이용한 피로실험은 원형패널의 정적실험 시 이용한 장비를 사용하며 200만회 기준 피로강도를 측정하였다.



(a) 강섬유 함량-0.00%



(b) 강섬유 함량-0.25%

그림 10. 원형패널의 하중-처짐 곡선

표 3. 원형 패널의 에너지 흡수율 및 피로강도 비교

	정적 재하 실험		피로 실험		
	평균하중(kN)	평균에너지 흡수량(J)	응력수준(%)	하중범위(kN)	반복재하횟수(N)
무보강	50.25	파괴	40	2.01~20.10	2,000,000
			50	2.51~25.13	2,000,000
			60	3.02~30.15	33,250
0.25%	26.14	126.31	50	2.65~13.24	2,000,000
			60	2.65~15.89	825,010
			70	2.65~18.54	3,926
0.35%	31.095	152.561	50	3.11~15.55	2,000,000
			60	3.11~18.66	1,745,150
			70	3.11~21.77	13,700

실험에서는 경제성과 압축강도 결과를 고려하여 단면 8-7(강섬유 보강콘크리트 : 일반콘크리트)을 실험 대상으로 선정하였다. 강섬유 함량은 0.5%의 경우, 콘크리트포장에 사

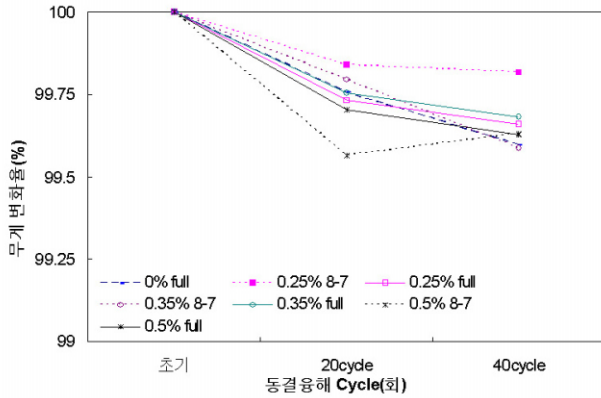
용된다는 것을 감안할 때 경제적인 측면에서 실제 적용이 힘들기 때문에 0%, 0.25%, 0.35% 세 조건에 대해 실시하였다. 원형패널 피로실험은 시험체를 정적 재하시험 후 얻어진 최대하중을 가지고 무보강 콘크리트 패널의 경우 최대하중의 40%, 50%, 60% 수준으로 실험을 실시하였고, 강섬유 보강 콘크리트 패널의 경우 50%, 60%, 70% 수준으로 실험을 실시하였다. 응력비( $R = f_{min}/f_{max}$ )는 0.1, 즉 최소하중은 최대하중의 10%로, 하중의 반복 속도는 2Hz를 기준으로 하였으며, 하중의 반복파형은 정현파(sin파)로 하였다.

표 3의 우측은 무보강, 0.25%, 0.35% 3가지 경우의 피로 실험을 실시한 결과이다. 무보강 콘크리트는 하중수준이 50%까지는 피로한계 기준치인 반복횟수 200만회에 도달하였으나 응력수준이 60%인 경우 반복횟수 33,250회에 시험체가 완전 파단되었다. 이로 미루어 볼 때 무보강 콘크리트의 경우 피로강도는 정적 최대 강도의 약 50%수준이라고 판단된다. 하지만 응력수준이 50%까지는 0.25%, 0.35% 모두 피로한계인 반복횟수 200만회에 도달하였다. 따라서 0.25% 및 0.35% 보강 콘크리트의 경우 피로강도 역시 무보강 콘크리트 일 때와 마찬가지로 정적 최대 강도의 약 50% 수준에서 피로한계에 도달하였다고 판단된다. 각 시험체의 피로수명을 비교해 보면 무보강일 때나 강섬유를 0.25%, 0.35%로 보강하여 이층포설한 원형패널의 피로강도가 정적최대강도의 50%에서 재하 반복횟수 200만회에 도달하여 피로한계에 다다른 것에는 차이가 없다. 하지만 표 3에 나타나듯이 정적 최대강도의 60%일 때의 피로 수명을 살펴보면 같은 응력 수준의 실험에서 강섬유가 있을 때 확연히 다른 결과가 나타났다. 특히, 강섬유가 0.35% 함유된 콘크리트로 이층포설된 원형패널의 경우 피로한계 200만회에 가까운 정도인 것을 확인할 수 있다. 70%의 응력 수준일 때 0.25% 함유된 원형패널보다 0.35% 함유된 원형 패널이 피로저항성이 높은 것을 알 수 있다. 이 결과를 통해 강섬유 보강은 콘크리트의 피로 저항성을 증진시키며, 강섬유의 함유량이 늘어날수록 증가폭이 더 큰 것을 확인하였다.

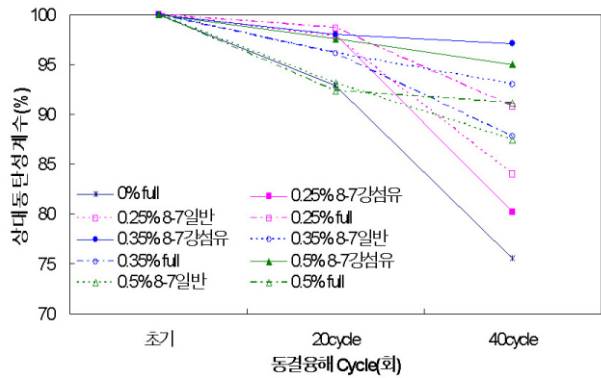
### 3.4. 동결융해저항 시험

강섬유 보강 콘크리트의 내구성을 살펴보기 위하여 동결융해저항성 시험을 하였으며 40회까지 진행된 결과는 그림 11과 같다. 전체적으로 무게변화율을 보면 모든 시편에 대해 매우 적음을 알 수 있다. 이는 현재까지 동결융해에 의한 무게 손실율은 매우 작다는 것을 의미한다. 동탄성계수 측정에 있어 시편이 이층으로 제작이 되어 층간의 재료 특성이 다르므로 이층포설이 된 시편의 경우에는 각 시편의 아래위에 각각 한 번씩 동탄성계수를 구하였다. 결과에서 알 수 있듯이 동결융해 40회에서 0.35%의 높이 8~7cm 강섬유를 혼입한 공

시체가 우수한 결과가 나타났다.



(a) 무게 변화율



(b) 동탄성계수 변화율

그림 11. 동결융해 시험결과

#### 4. 결론

다양한 실내실험을 통하여 이층포설 콘크리트 포장에 강섬유보강 콘크리트를 적용할 경우의 그 특성을 파악할 수 있는 실내실험과 그 결과에 대해 알아보았다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 기초 물성 실험 결과, 슬럼프는 0.50%를 제외하고는 기준을 만족하였으며 공기량 시험결과, 모든 조건에서 그 기준을 만족하였다. 압축강도 실험 결과 0%, 0.25%, 0.35%, 0.5% 등의 강섬유 함량에 따른 압축강도에 대한 영향은 크게 관계가 없었고 모든 공시체가 교통 개방을 할 수 있는 수준의 강도를 나타냈다.
- 휨강도 실험 결과, 모든 시험체의 하중-처짐 곡선에서 보듯이 강섬유로 인해 휨 인성이 증가함을 알 수 있다. 이층포설에서 강섬유보강 콘크리트 부분의 높이가 증가하더라도 휨강도의 증가는 일어나지 않으므로 8-7 단면을 사용하는 것이 효율적이다. 또한 휨강도와 휨인성 지수, 균열 후 인장강도 등은 강섬유 혼입율이 클수록 증가

하는 경향을 보이지만 차이가 뚜렷하지 않으므로 경제성을 고려하여 0.35%의 강섬유 혼입율을 이층 포설용 콘크리트 재료에 적용하도록 한다.

- 원형패널을 이용한 에너지 흡수율 결과, 섬유보강 콘크리트는 무보강 콘크리트에 비해 에너지 흡수능력이 뛰어났다. 0.25% 강섬유보강 콘크리트는 126.31, 0.35% 강섬유보강 콘크리트는 156.561 의 에너지를 흡수한 것으로 나타났다. 피로시험 결과에서는 강섬유 보강 콘크리트가 피로 저항성이 더 높은 것을 확인하였으며 응력 수준 60%에서 0.25% 강섬유 보강 시편은 825,010회(200만회 기준), 0.35% 강섬유 보강 시편은 1,745,150회(200만회 기준)로 나타났다.
- 이층포설 단면에 대한 동결융해실험을 수행하여 현재 40 cycle을 수행한 결과, 무보강 콘크리트에 비해 강섬유보강 콘크리트의 동탄성 계수 변화율이 낮은 것으로 나타났다. 또한 강섬유 0.35%를 보강하고 높이 8~7cm인 경우의 공시체가 상대동탄성계수 변화가 가장 낮은 것을 확인하였다.

향후, 강섬유 보강 콘크리트 포장의 배합에 대한 추가 보완 실험을 실시하고 현장시험시공을 진행하여 국내 이층포설 현장의 재료로써의 적용가능과 그 공용성을 평가할 것이다.

#### 참고 문헌

건설교통부, “에너지 절약형 고품능 섬유보강 콘크리트의 개발 및 2 설계·시공 지침안 작성에 관한 연구”, 건설교통부, pp.30~34, 1997

박홍용, 박규영, “강섬유보강 콘크리트의 전단강도에 관한 실험적 연구”, 명지대학교, pp.6~11, 2002

한국공업규격, “굳지 않은 콘크리트의 시료 채취 방법”, KS F 2401, 1997

한국공업규격, “콘크리트의 압축강도 시험 방법”, KS F 2405, 1997

한국공업규격, “굳지 않은 콘크리트의 단위 용적 중량 및 공기량 시험방법”, KS F 2409, 1995

한국공업규격, “콘크리트의 휨강도 시험방법(단순보의 3등분점 하중법)”, KS F 2408, 1995

한국도로공사, “2004년 고속도로 업무통계”

한국도로공사 도로연구소, “강섬유보강 콘크리트의 성능향상 및 품질기준 정립”(Ⅱ), 한국도로공사, pp.26~37, 2001

ACI COMMITTEE 544, “Design Consideration for Steel Fiber Reinforced Concrete : Workability, Behavior under Long-Term Loading, and Air-Void Characteristics”, ACI, Vol. 85, No.3, pp.189~196, 1988

ASTM C 1018-84, “Standard Test Method for Flexural Toughness and First - Crack Strength of Fiber - Reinforced Concrete (using Beam with Third Point Loading)”, ASTM C 1018-84, pp.656~661, 1984

D. Tuan Ngo , Department of Civil and Environmental Engineering, The  
University of Melbourne, Parkville, Victoria 3052, Australia  
*"Punching shear resistance of high strength Concrete slabs"*

접 수 일 : 2009. 10. 15  
심 사 일 : 2009. 10. 15  
심사완료일 : 2009. 11. 13