

강섬유보강 VES-LMC의 휨인성 특성

Toughness Property of Steel-Fiber Reinforced VES-LMC

정범석* 최판길** 김현석*** 김용곤**** 윤경구*****
 Jeong, Beom-Seok Choi, Pan-Gil Kim, Hyun-Seok Kim, Young-Gon Yun, Kyong-Ku

1. 서론

초속경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC)는 현재 교면포장 보수 및 콘크리트 포장 줄눈보수에 널리 적용되고 있다. VES-LMC는 모체콘크리트와의 부착성이 우수하고 장기내구성이 우수한 동시에 콘크리트 타설 후 3~4시간 이내에 교통개방을 가능하게 하는 보수재료이다. 따라서 재료특성상 보수공사에는 적용성이 우수하나 보강이 요구되는 구조물 보강공사에는 적용상의 한계가 있다.

본 논문에서는 VES-LMC에 강섬유를 혼입하여 휨에 대한 저항능력을 증대시켜 보강 효과를 발휘할 수 있도록 하고자 하였다. 본 논문에 적용된 강섬유는 기존 연구결과를 분석한 결과 변형형의 강섬유가 분산성이 가장 우수한 것으로 조사되어 변형형의 $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ 강섬유를 사용하였다.

강섬유 첨가로 인한 휨인성 증대효과를 확인하기 위하여 강섬유 VES-LMC의 기초물성을 평가하고, 강섬유 혼입률 변화에 따른 휨인성 실험을 수행하였다.

2. 실험개요 및 방법

2.1 개요

강섬유 VES-LMC 배합은 현재 교면포장 보수에 사용되고 있는 VES-LMC에 상기에 언급된 강섬유가 첨가된 배합으로 강섬유는 단순 첨가의 개념으로 투입하였다.

실험에 사용된 굵은 골재는 최대치수 19mm의 쇠석골재를 물로 세척하여 사용하였고, 잔골재는 천연강모래를 5mm 체로 쳐서 사용하였다. 강섬유는 변형형의 직경 0.5mm 길이 30mm 형상으로 인장강도가 1,190MPa이고 비중이 7.85인 제품을 사용하였다.

실험 변수는 시멘트 중량대비 강섬유 혼입률을 0%, 5%, 10%, 15%, 및 20%로 선정하였다. 표 1은 본 실험에 적용된 콘크리트 배합표를 나타낸다.

표 1. 콘크리트 배합표

Variables	Steel Fiber		w/c (%)	s/a (%)	C (kg)	W (kg)	Latex (kg)	S (kg)	G (kg)	R (%)	A.A (%)
	Add(kg)	V_f (%)									
VES-LMC SF0%	0	0	38	55	360	76.7	112.5	918.6	769.2	0.3	0.6
VES-LMC SF5%	18	0.23	38	55	360	76.7	112.5	918.6	769.2	0.3	0.6
VES-LMC SF10%	36	0.46	38	55	360	76.7	112.5	918.6	769.2	0.3	0.6
VES-LMC SF15%	54	0.69	38	55	360	76.7	112.5	918.6	769.2	0.3	0.6
VES-LMC SF20%	72	0.92	38	55	360	76.7	112.5	918.6	769.2	0.3	0.6

* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : jbsknight@naver.com)
 ** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : pangil@kangwon.ac.kr)
 *** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : glower1@nate.com)
 **** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : dse21@chollian.net)
 ***** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수(E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)

2.2 실험방법

2.1.1 휨인성 실험방법

시편은 100×460mm를 사용 하였고, 지간 길이는 300mm로 하였으며, 시험체는 콘크리트를 몰드에 채웠을 때의 옆면을 상하면으로 하여 지간의 3등분점 재하를 하였다. 재하 속도는 0.2mm/min으로 중앙 상부의 순수 처짐이 3mm에 도달할 때까지 시험을 진행 하였다. 중앙의 순수 처짐을 확인하기 위해 실험 툴을 시편 상부에 그림 1과 같이 거치시키고 양쪽 중앙부에 LVDT를 거치시켰으며, 시편 하단에도 LVDT를 거치시켜 중앙 상부의 처짐, 중앙 하부의 처짐의 관계를 확인하고자 하였다. 본 실험에 사용되어진 장비는 INSTRON 8516(100kN)을 사용하여 시험을 진행 하였다.

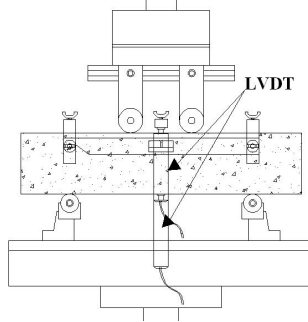


그림 1. 휨인성 시험 전경

2.1.2 휨인성 실험 분석방법

(1) ASTM 규정

혼입하는 강섬유의 길이에 따른 시험편의 사이즈(Size)를 결정하고, 1차 균열이 발생할 때까지의 탄성 에너지와 강섬유를 혼입함으로써 증가된 소성에너지의 비를 산출한다. 그리고 인성지수를 이용하여 일정 구간까지의 잔류강도 계수를 산정하여 전체적인 품질을 평가한다.

ASTM규정에 의한 시험 조건은 다음과 같다.

- 성형틀에 타설한 후 saw cutting한 beam
- 규격은 100×100×350 (b×h×L, mm)
- 시험 재령은 28일
- 3등분점 재하법 사용
- 변위속도는 : 0.1mm/min
- 중앙점 순수처짐 변위 측정

(2) 한국(한국도로공사) 및 일본 JSCE 규정

한국도로공사는 강섬유보강 쇼크리트의 품질관리 규정에 일본의 JSCE-SF4에 의거한 등가휨강도(f_e) 및 인성계수(R_e) 개념을 참고하여 적용하고 있다. 등가휨강도(f_e)는 강섬유보강 쇼크리트의 휨인성과 관계되는 값으로 최대하중에 도달한 후 일정한 변위까지의 휨인성 계수로서 평균 강도의 개념을 가진다. 한국도로공사의 강섬유보강 쇼크리트의 품질평가 규정에서는 설계휨강도 4.4MPa 및 인성계수 68%의 조건을 각각 만족할 것을 요구하고 있다

한국(한국도로공사) 및 일본 JSCE 규정에 의한 시험 조건은 다음과 같다.

- 시험편의 지간 길이(30cm또는45cm)
- 재하점의 처짐이 1/150이 되기까지의 하중-처짐 측정
- 변위속도 : 분당 지간의 1/1500~3000의 범위로 한다.
- 3등분점 재하법 사용
- 중앙점 순수처짐변위 측정

3. 실험결과

3.1 압축강도 실험결과

그림 2는 강섬유 혼입률 변화에 따른 압축강도발현 특성을 나타내는 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이

강섬유의 혼입이 압축강도 저하의 원인이기는 하지만 그 크기가 매우 작고, 모든 변수에서 목표로 하는 재령 3시간 압축강도가 21MPa이상 발현된 것으로 나타났다.

3.2 휨인성 실험결과

그림 3은 시편 중앙 상단부의 처짐을 LVDT로 측정하여 도식화한 하중-변위 그래프를 나타내고, 그림 4는 시편 중앙 하단부의 처짐과 하중의 관계를 도식화한 그래프를 나타낸다.

그림 5는 INSTRON 자체의 Actuator의 변위-하중 그래프로써, 그림 3 및 4의 중앙 상단과, 중앙 하단의 변위에 비해 상대적으로 과대평가되었음을 알 수 있다. 이는 하중재하 점과 지점에서 시험편의 압축에 의한 처짐이 함께 반영되었기 때문인 것으로 사료된다. 중앙 상단의 경우 최대 처짐 값이 0.1mm선에서 최대 하중 및 초기 균열이 발생한 것을 알 수 있고(그림 3), 중앙 하단의 경우 시험편 압축으로 인한 변형과 하중재하 점의 압축으로 인한 변형이 누적되어 변위가 증가되었음을 알 수 있다(그림 4).

그림 6은 ASTM 분석 방법으로 분석한 강섬유 혼입률 20% 변수에 대한 분석결과를 나타낸다. 초기 균열 발생시의 변위를 기준으로 하여 최대 3배, 5.5배, 10.5배, 15.5배의 처짐에 대응하는 면적을 산출하여 휨인성 등급을 판정하였다. 그림 7은 JSCE(현 도로공사)의 분석 방법으로 1/150에 대응하는 변위까지의 면적을 산출하여 휨인성 등급을 판정한 그래프이다.

표 2는 ASTM과 ITA의 등급 기준에 의해 등급을 분류한 것이다. 등급이 I에서 IV로 높아질수록 휨인성 능력이 향상됨을 의미한다. 표 3은 JSCE 방법에 의해 평가한 결과로, 현 도로공사에서는 등가휨강도 4.4MPa과 인성지수 68%이상을 권장하고 있는데, 본 실험 결과는 강섬유 혼입률 10%, 15%, 및 20% 변수에서 모두 상기의 조건을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 최적 강섬유 혼입률은 10%가 타당할 것으로 사료된다.

전체적으로 휨인성 특성을 평가하는데 있어서 강섬유의 혼입률이 증가 할수록 초기균열(최대하중) 이후에 지지할 수 있는 하중의 값이 향상된 것을 확인할 수 있다. 또한 초기 균열 이후 순간적 과단에 의해 변위가 급변하는 크기는 섬유 혼입률이 증가할수록 작아지는 것으로 나타났다.

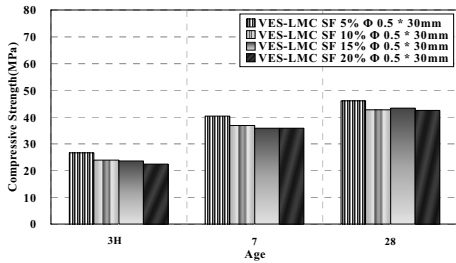


그림 2. SF VES-LMC의 재령별 압축강도

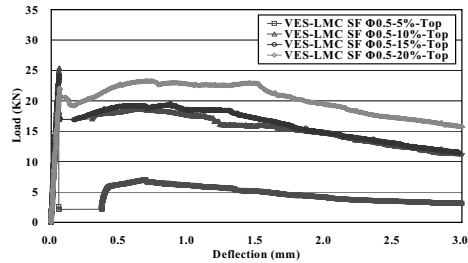


그림 3. SF $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ Top

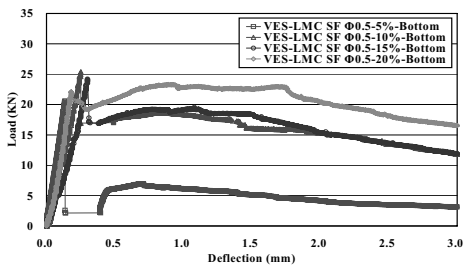


그림 4. SF $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ Bottom

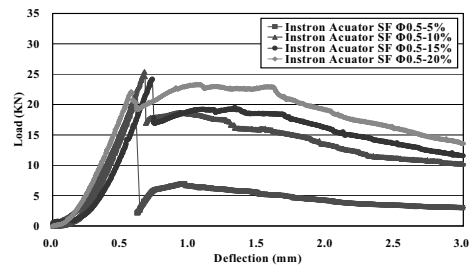


그림 5. SF $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ Actuator

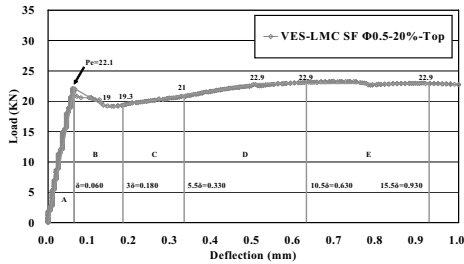


그림 6. ASTM에 의한 휨인성 분석 그래프

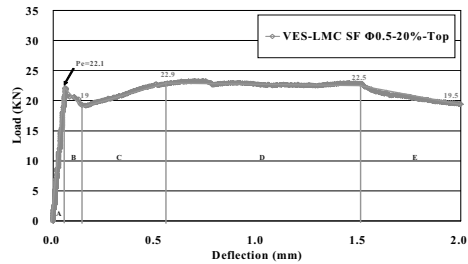


그림 7. JSCE에 의한 휨인성 분석 그래프

표 2. ASTM 및 ITA 휨인성 평가

구분	최대하중 및 변위		인성지수				잔류강도계수			ASTM Class	ITA Class
	P_e (KN)	δ (mm)	I_5	I_{10}	I_{20}	I_{30}	$R_{5,10}$	$R_{10,20}$	$R_{10,30}$		
SF 5%	20.59	0.055	1.45	2.01	4.10	7.31	11.17	20.97	26.51	I	I
SF 10%	25.41	0.06	3.68	7.07	14.23	21.39	67.85	71.63	71.63	II	III
SF 15%	24.19	0.06	3.94	7.64	15.40	23.33	74.00	77.53	78.45	II	III
SF 20%	22.10	0.06	4.63	9.19	19.30	29.67	91.18	101.10	102.36	III	IV

표 3. JSCE 휨인성 평가

구분	휨강도		등가 휨강도	인성 계수
	P_{II} (KN)	σ_i (MPa)	f_e (MPa)	
SF 5%	20.59	6.18	1.50	24.21
SF 10%	25.41	7.62	5.07	68.53
SF 15%	24.19	7.26	5.34	73.54
SF 20%	22.10	6.63	6.44	97.20

4. 결론

- (1) VES-LMC에 강섬유를 혼입한 결과 압축강도에는 변함이 없고, 강섬유의 혼입률이 증가할수록 초기균열 이후 하중지지 능력이 향상되는 것으로 나타났다.
- (2) 휨인성 시험은 시험편 자체의 처짐(순수 처짐-LVDT 시험편 거치)을 평가할 수 있는 방법으로 수행되어야 하며, 외부(LVDT 외부거치)에서 처짐을 측정하는 방법은 왜곡된 결과를 도출할 수 있으므로 배제되어야 한다.
- (3) 강섬유를 혼입을 통해 항복 후 하중에 저항하는 능력이 향상됨을 확인하였고, 단위시멘트량 대비 강섬유 혼입률 10% ($V_f = 0.46$) 변수가 한국도로공사 기준을 만족하는 동시에 경제성을 고려한 최적 혼입률인 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 강섬유 보강 콘크리트의 휨인성 시험 방법, KS F 2566, 한국표준협회 2000
2. 합성 섬유 콘크리트의 휨인성 검토, 한국도로공사 도로교통연구원 보고서 2008
3. 김재동, 김덕영 / 터널과 지하공간, 한국암반공학회 Vol. 10, 2000, PP. 196~210 / 강섬유 보강 슛크리트의 휨인성 평가 방법 연구
4. Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading), ASTM C 1018-97, 2004
5. Shotcrete for rock support-guidelines and recommendation, International Tunnelling Association, 1990
6. European Specification for Sprayed concrete - Guidelines-, EFNARC, 1999
7. Method of tests for Flexural strength and Flexural toughness of steel fiber reinforced concrete, JSCE, 1985