

VES-LMC의 보수·보강 두께에 따른 RC보의 휨거동 특성

Flexural Behavior of RC Beam according to Thickness Repaired and Rehabilitated with VES-LMC

김 성 권 이 봉 학**
Kim, Seong-Kwon Lee, Bong-Hak

Abstract

The purpose of this study was to investigate the flexural, interfacial behavior, crack propagation, nonlinear behavior, effect repaired and rehabilitated with VES-LMC using RC beam with 4-point-loading test. The results were following:

The test result showed that the repair and rehabilitation effect increased as its depth increased, which was verified by the increase of flexural stiffness. More than 40% of stiffness was improved when the depth of repair was up to steel position. However, there was a little difference between 8cm and 12cm repaired beam. This means the repair depth must be considered. The interfacial behavior data showed that the repaired or rehabilitated beams had a little relative displacement. This means that two materials behave comparatively acting together. This suggested that interface treatment were one of the most important jobs in composite beams.

키워드 : VES-LMC, 보수, 보강, 계면 거동

Keywords : VES-LMC, repair, rehabilitation, interfacial behavior

1. 서론

1970년 대 이후 근대화 과정으로 도로정책을 그 선두에 내세워 전국 일일 생활권 진입을 서두르면서 상당량의 교량을 증설하여 2005년 말 기준으로 22,871개소로 총 연장 1,986,708m로 조사되었다. 그 중에서 철근 콘크리트 교량은 14,820개소로 거의 65%를 차지한다. 철근 콘크리트 교량의 경우 콘크리트는 내구성이 높은 구조재료이기 때문에 양호하게 시공된 콘크리트 교량은 시공 당시에 예상하지 못했던 상황에 노출되지 않으면 보수가 거의 필요없는 구조물이다. 그러나 양호하게 시공된 교량이라 하더라도 시간이 경과함에 따라 교통 환경

변화, 공용연수의 증가 등 여러 원인에 의하여 손상을 받게되고 구조적인 기능이 약화될 수 있기 때문에 적절한 보수 또는 보강이 필요하게 된다. 또한 교량의 건설비를 고려할 때 계획된 교량 수명동안 보수가 필요없게 시공하는 것보다는 일정 기간이 지나면 보수를 하도록 시공하는 것이 경제 적일 수 있다.

철근 콘크리트 교량의 보수·보강 공법에는 다양한 방법이 있으나 최근에 늘어 기존의 단면 보수공법을 대신할 진일보한 상판 보수·보강 공법으로 교면포장을 겸하여 상판의 내하력과 강성을 증가시키는 초속경 라텍스 개질 콘크리트(Very Early Strength Latex Modified Concrete ; 이하 VES-LMC)을 이용한 단면 보수공법이 새롭게 선보였다. VES-LMC는 초속경 시멘트에 라텍스를 첨가하여 개질한 콘크리트로 타설 후 3시간 후에

* 강원대학교 토목공학과 박사과정, 공학석사

** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

21MPa의 압축강도를 발현하므로 조기 교통개방이 가능하며, 라텍스 첨가로 인하여 콘크리트 내부에 연속적인 필름막이 형성되고 필름막은 미세균열 사이에서 다리 역할을 함으로서 미세균열의 진전을 억제한다. 이러한 라텍스의 거동으로 염분 및 수분의 침투에 대한 투수저항성이 증대되고 휨강도 및 부착강도가 증진되는 특징을 가지고 있다. 또한 VES-LMC는 모체 콘크리트와 유사한 시멘트계 보수·보강 재료로 유사한 거동을 보이므로 신·구 콘크리트의 내구성을 증진시킬 수 있다. 이러한 장점으로 인하여 VES-LMC를 이용한 보수·보강 공법은 기존의 공법에 비하여 장기적인 측면에서 교량의 수명을 연장시킬 수 있는 주요한 공법이라 판단되고 있다.

VES-LMC를 이용한 보수·보강 공법에 있어 기존의 연구들은 강도 발현특성, 부착특성 및 내구특성 등 재료적인 측면에 한정되어 있으며, VES-LMC로 보수·보강된 철근 콘크리트 보의 휨 거동 특성, 구조적인 해석에 관한 체계적인 연구가 미비한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 VES-LMC 덧씌워기 보강형태와 기설 교량의 열화된 콘크리트를 제거하고 VES-LMC를 이용하여 보수된 형태로 나누어 철근 콘크리트 보 시험체를 제작한 후 실내실험을 통하여 구조물의 휨 거동 특성 및 VES-LMC의 보수·보강 두께에 따른 효과를 확인하고자 하였다.

2. 실험

본 장에서는 철근 콘크리트 보에 VES-LMC로 보수·보강된 합성보의 정적실험을 통하여 보수·보강 두께에 따른 효과와 더불어 휨 특성, 파괴양상, 개면의 기동 특성을 파악하고자 하였다.

실험에 사용된 변수는 200×250×2400mm의 기존 보에 덧씌우기 두께를 40, 80, 120mm, 보수두께를 40, 80, 120mm로 하였으며, 인장철근은 D16으로 적용하였다.

2.1 실험재료

2.1.1 시멘트

초속경 시멘트는 국내 S사에서 생산되는 아원계 초속경 시멘트를 사용하였으며, OPC용 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 사용된 시멘트의 화학적 특성은 표 1과 같다.

2.1.2 골재

굵은 골재는 최대치수 25mm와 13mm인 레미콘용 채석을 사용하였으며, 잔골재는 천연 강모래를 사용하였다. 골재의 물리적 특성은 표 2와 같으며, 굵은 골재는 물로 세척한 후, 잔골재는 No.4체를 이용하여 체가름을 실시한 후 사용하였다.

2.1.3 라텍스

본 연구에 사용된 라텍스는 Styrene-Butadiene 라텍스로 우유빛 액상 물질로서 미국 D사의 라텍스를 사용하였다. 라텍스의 물리적인 특성 표 3과 같다.

2.1.4 소포제 및 지연제

국내 생산되는 소포제 중 실리콘 계열의 라텍스 첨가용 소포제로 D사의 L101A 제품으로 라텍스와 동일한 계열이며, 라텍스의 제조에도 사용되는 것을 선정하여 사용하였다. 표 4, 표 5는 각각 소포제 및 구연산 계열 지연제의 화학적 특성을 나타낸 것이다.

표 1 시멘트 종류에론 화학적 특성

Cement Type	Chemical Composition (%)						Blaine (cm ² /g)	Specific Gravity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
VES-C	10.2	16.7	1.3	50.8	1.4	15.5	5400	2.90
OPC	20.8	6.3	3.2	61.2	3.3	2.3	3200	3.15

표 2 골재의 물리적 특성

Type	Max. Size (mm)	Specific Gravity	Absorption	F.M
Fine Aggregate	< 5	2.6	0.71	2.98
Coarse Aggregate	13	2.7	0.97	6.3

표 3 라텍스의 물리적 특성

Solid Content (%)	pH	RVT Brookfield viscosity (mPa.s)	Surface tension (dynes/cm)	Particle size (mm)	Stabilizer	Minimum film forming temperature (℃)
43~46	9.5~11.0	40	30~35	180~210	anionic	<4

표 4 소포제의 화학적 특성

Specific Gravity	pH	Solid Content (%)	appearance
1.02	7.0	19	white

표 5 지연제의 화학적 특성

Series	Characteristic	Molecule	Molecule	Purity(%)	pH
Trisodium Citrate	White Crystalline	C ₆ H ₅ KN ₃ O ₇	258.07	99.0~100.5	Alkalinity

2.1.5 철근

사용된 철근은 압축 이형철근 D13, 인장 이형철근 D16을 사용하였으며, 전단보강을 위해 D10 U자형 스트립을 사용하였다. 사용된 철근의 역학적 특성에 관한 내용은 표 6에 나타내었다.

VES-LMC는 굵은 골재 최대치수가 13mm인 골재를 사용하여 초기 슬럼프가 21cm가 되도록 배합설계 하였다.

표 7는 시멘트 종류에 따른 배합설계를 나타낸 것이다.

2.2 배합설계

콘크리트 배합은 모체 콘크리트를 모사하기 위하여 보통 포트랜드 콘크리트(OPC)와 보수·보강에 사용된 VES-LMC로 구분하였다.

보통 포트랜드 콘크리트는 굵은 골재 최대치수가 25mm인 골재를 사용하여 28일 설계기준강도가 27MPa, 초기 슬럼프가 13cm가 되도록 배합설계 하였다.

2.3 시험체 제작

2.3.1 압축강도 및 휨강도 시험체 제작

모체 콘크리트에 사용된 보통 포트랜드 콘크리트와 덧씌우기 및 보수에 사용된 VES-LMC의 강도발현 특성을 측정하기 위하여 $\phi 100 \times 200$ mm의 원형 공시체를 각각 15개씩 제작하였으며, VES-LMC의 경우에는 휨강도를 측정하기 위하여 $100 \times 100 \times 460$ mm의 각주형 공시체를 제작하였다.

표 6 철근의 역학적 특성

Diameter	Yielding Strength(MPa)	Tensile Strength(MPa)	Ductility (%)
D13	40.1	56.8	24
D16	36.1	51.2	29.7
D19	36.3	53.2	27.6

표 7 시멘트 종류에 따른 배합설계

Class of Concrete	W/C (%)	S/a (%)	Gmax (mm)	Unit Weight(kg/m ³)					Slump (cm)	Air content (%)	Admixture (g/m ³)
				Water	Cement	Fine Agg.	Course Agg.	Latex			
OPC	43.7	45.7	25	180	412	756	920	-	13	4.5	2.47
VES - LMC	38.0	58.0	13	82	390	991	791	122	21±1	3.0	-

2.3.2 VES-LMC로 덧씌우기 된 RC보 제작

기준 시편은 총지간 2400mm, 순지간 2000mm으로 200×250mm의 단면에 압축철근과 인장철근으로 각각 D13, D16을 배근하였고, 전단파괴를 고려하여 U자형 D10 철근을 150mm 간격으로 배근하여 제작하였다.

인장철근의 변형률을 측정하기 위하여 2개의 철근 방수케이지를 철근 하부에 부착하여 타설시 케이지에 손상이 가지 않도록 설치하였다. OPC 타설은 레미콘을 이용하였으며, 붓 다짐기를 이용하여 다짐을 수행하였다. 타설시 대기 온도가 31℃인 현장에서 작업이 이루어져 초기 양생시 시험체의 손상을 방지하기 위하여 양생포를 덮고 충분한 물을 공급시켜 습윤양생을 실시하였다.

그림 1은 덧씌우기된 시험체와 시험체의 횡단면도로 압축철근 D13과 인장철근 D16을 배근하여 기준시편에 덧씌우기 두께를 40, 80, 120mm로 변화시켜 제작하였다.

2.3.3 VES-LMC로 보수된 RC보 제작

그림 2은 보수된 시험체와 시험체의 횡단면도로 노후 된 콘크리트를 제거한 후 보수한 형태로서 기준시편에 보수 두께 40, 80, 120mm로 변화시켜 제작하였다. 단면 및 양생조건은 덧씌우기 시험체와 동일조건으로 하였다.

그림 3에서부터 그림 4은 현장에서 RC보를 제작하는 과정을 보여주는 사진이다.

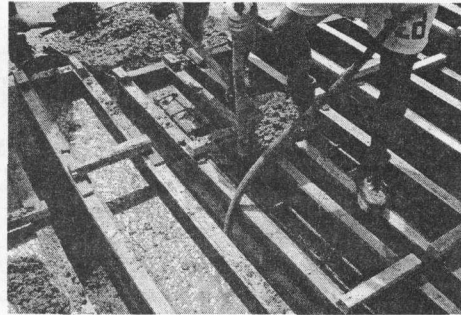


그림 3 콘크리트 타설 및 다짐

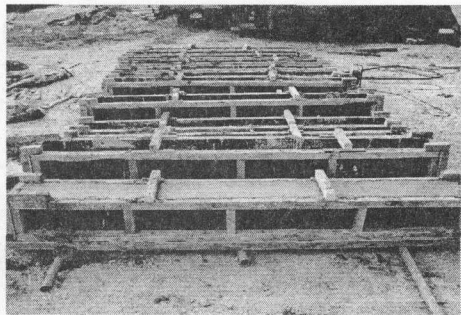


그림 4 양생

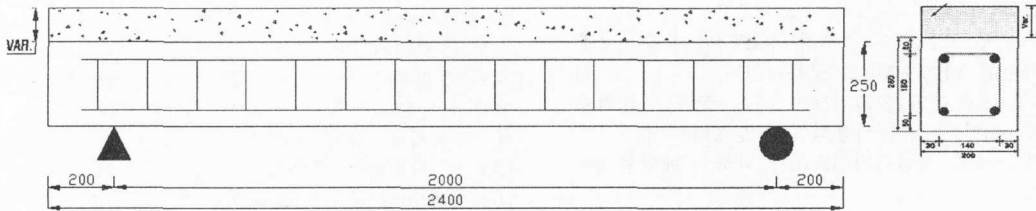


그림 1 덧씌우기된 시험체와 시험체의 횡단면도

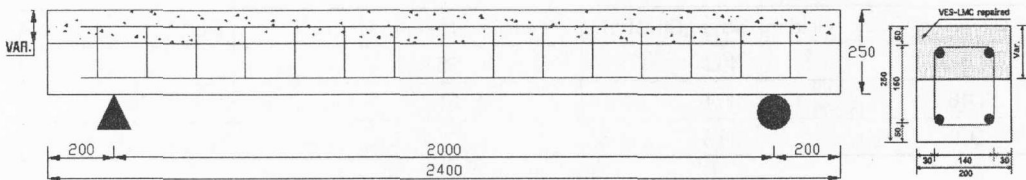


그림 2 보수된 시험체와 시험체의 횡단면도

2.4 실험

2.4.1 압축강도 및 휨강도 시험

강도 시험은 시멘트의 종류에 따라 다르게 수행하였다. 보통 포틀랜드 시멘트의 경우 7, 28일에 압축강도를, 초속경 시멘트의 경우 3시간에 보통

포틀랜드 시멘트의 7일 강도를 발현하므로 1, 7, 28일의 압축강도와 휨강도를 측정하였다.

2.4.2 VES-LMC로 덧씌우기 및 보수된 RC보 휨 시험

시험체의 휨에 대한 역학적 거동 특성을 파악하고자 처짐, 철근 및 콘크리트의 변형량을 측정하였다. 그림 5는 휨 시험의 모식도를 나타내는 것으로 시험체 중앙 하단에 50mm LVDT를 2개 설치하여 하중-처짐 데이터를 얻었고, 인장철근에 부착된 철근 게이지와 보 측면에 콘크리트 게이지를 설치하여 철근과 콘크리트의 변형량을 측정하였다.

덧씌우기 및 보수된 철근 콘크리트 보의 시험은 그림 6와 같이 200톤 용량의 UTM 시험기를 이용하였다. 하중 재하는 4점 재하로 하였으며, 하중의 증가에 따른 처짐, 콘크리트의 변형량을 측정하였다.

4.2 하중-처짐 특성

그림 7에서 그림 9는 휨 시험 시 하중증가에 따른 LVDT에서 측정된 처짐 값과 LOAD CELL에서 측정된 하중 값을 이용하여 도시한 모든 시험체의 하중-처짐 관계를 나타낸 것이고, 시험체의 명칭은 덧씌우기 및 보수 형식과 그 두께 그리고 사용재료에 의하여 다음과 같이 정의하였다.

덧씌우기 및 보수 - 사용된 인장철근 - 덧씌우기 및 보수 두께

ex) OB-D16-4 : D16 인장철근이 배근된 40mm 덧씌우기 시험체

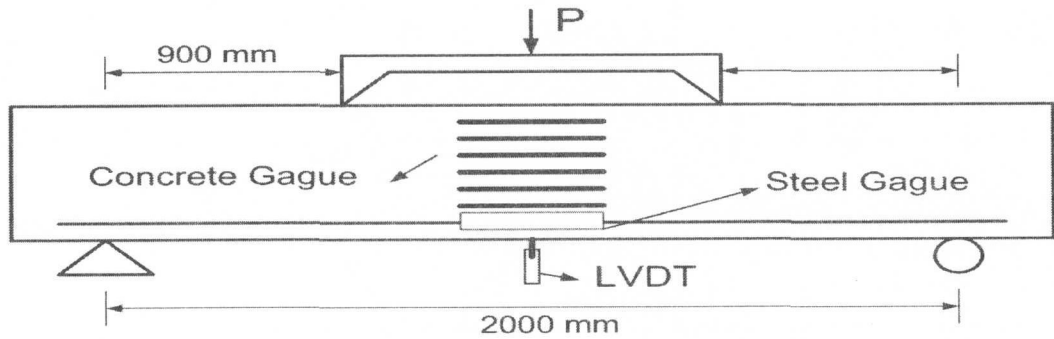


그림 5 4점 재하 휨 시험의 모식도

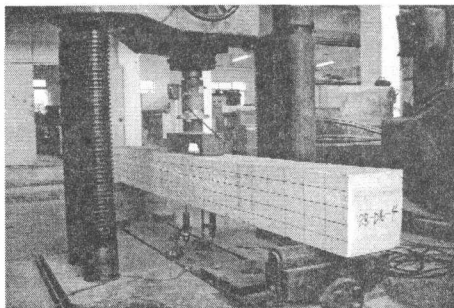


그림 6 휨 시험 전경

RB-D16-4 : D16 인장철근이 배근된 40mm 보수 시험체

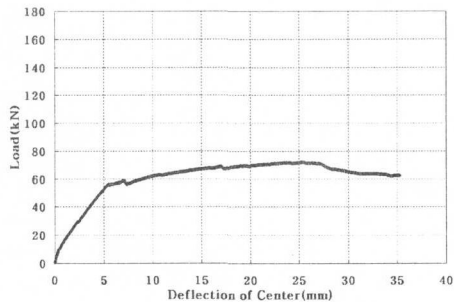


그림 7 기준 시험체의 하중-처짐 관계

4. 실험결과 및 고찰

4.1 압축강도 및 휨강도 시험 결과

압축강도 및 휨강도는 KS F 2405와 KS F 2408에 의거 최대 하중 200톤의 UTM을 이용하여 재령에 따라 측정하였다. 재령에 따른 OPC 및 VES-LMC의 강도발현 특성은 표 8에 나타내었다.

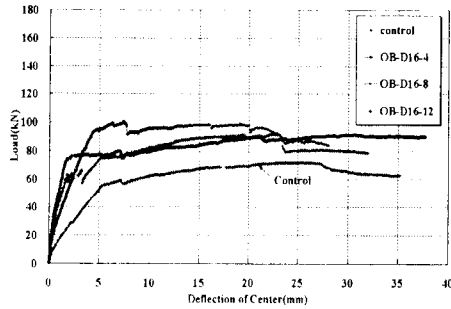


그림 8 덧씌우기 두께에 따른 하중-처짐 관계

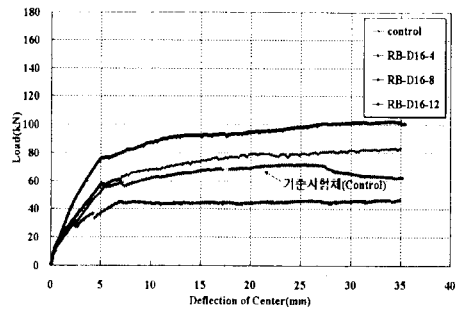


그림 9 보수 두께에 따른 하중-처짐 관계

표 8 OPC와 VES-LMC의 압축강도 및 휨강도

[단위 : MPa]

	1-day		7-day		28-day	
	No.	Ave.	No.	Ave.	No.	Ave.
Compressive Strength (OPC)			21	22	30	28
			22		27	
			24		26	
Compressive Strength (VES-LMC)	26	27	34	34	38	37
	27		35		36	
	27		34		37	
Flexural Strength (VES-LMC)	5	4.9	7.6	7.6	9	9.1
	5		7.8		9.4	
	4.7		7.6		9	

휨 보강 효과가 가장 좋은 시험체는 덧씌우기의 경우 OB-D16-8 시험체가 기준시험체 대비 성능 향상률이 151%로, 보수의 경우 RB-D16-12 시험체가 143%로 나타났다. 그러나 RB-D16-4 시험체의 경우 기준 시험체보다 보수효과가 떨어지는 경향을 보였으며, 이는 시험체 계면의 부착상태가 좋지 않아 정확한 결과를 얻지 못한 것으로 판단되고 OB-D16-4 시험체는 파괴시 처짐이 기준 시험체의 57%로 조기 파괴가 발생된다.

덧씌우기 및 보수두께에 따른 영향은 대체적으로 덧씌우기 및 보수 두께가 증가할수록 그 효과가 증가되는 것으로 나타났다. 그림 3.8과 그림 3.9에서 처짐 강성과 최대하중이 모두 증가되었다. 덧씌우기의 경우 OB-D16-12 시험체는 OB-D16-8 시험체에 비해 성능이 20%정도 증가하였지만, 최대 및 극한하중의 차이가 크게 나타나질 않으므로 상부 80mm만 덧씌우기 하여도 120mm 덧씌우기 한 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 보수의 경우 두께가 상부철근의 피복두께를 초과한 RB-D16-12 시험체가 다른 보수 시험체보다 30% 이상의 보수효과를 나타내는 것을 확인 할 수 있다.

일반적으로 덧씌우기 및 보수된 시험체의 경우 최대하중, 극한하중, 강성이 모두 증가하는 양상을 보여 힘에 대한 저항능력이 향상된 것을 확인 할 수 있었다. 시험체에 따른 항복 및 극한하중시 측 정된 처짐값을 표 9에 나타내었다.

4.3 중립축 변화

중립축 변화는 하중값과 시험체 측면에 부착된 콘크리트 게이지로부터 수집한 콘크리트 변형률 값을 이용하여 하중증가에 따른 시험체 깊이별 변형률 관계를 나타내는 그래프이다. 하단부 인장측 콘크리트는 낮은 하중에서 발생된 균열로 인하여 정확한 변형률 값을 얻지 못하였으므로, 데이터 분석시 선별하여 사용하였다.

기준 시험체의 경우 하중이 증가함에 따라 중립축 위치가 상부로 이동하면서 95~120mm 범위에서 나타나는 것을 확인할 수 있다.

덧씌우기 두께가 증가할수록 중립축 위치가 하부로 내려가는 결과를 보였으며, 모든 시험체가 1개의 중립축을 가지고 선형적으로 거동하는 양상을 보여 합성보가 비교적 일체화 거동한다.

표 9 시험체에 따른 하중-처짐 관계

Specimens	Overlay Repaired Depth(mm)	Yield Load (kN)	Deflection (mm)	Ultimate Load (kN)	Deflection (mm)	Relative Yield Load (%)
Control	0	58	6	70	35	기준
OB-D16-4	40	94	6	100	20	142
OB-D16-8	80	78	5	90	32	128
OB-D16-12	120	78	2.5	93	38	133
RB-D16-4	40	42	7	45	37	64
RB-D16-8	80	60	5	80	33	114
RB-D16-12	120	78	5	100	39	143

보수된 시험체의 하중에 따른 중립축 변화는 모든 시험체가 하나의 중립축으로 거동하며 하중이 증가함에 따라 중립축이 상부로 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 RB-D16-4 시험체의 경우 하중-처짐 관계에서도 확인하였듯이 계면에서의 파괴로 인하여 45kN 이후 규칙적인 양상을 확인할 수 없었다.

덧씌우기 및 보수 시험체에 따른 중립축의 범위는 표 10과 같다.

4.4 균열 진전 양상

기준 시험체와 비교하여 덧씌우기된 시험체는 두께에 따라 균열 발생 후 내력 증가양상이 다르게 나타났다. 덧씌우기 두께가 120mm이하의 경우 두께에 상관없이 최대하중의 0.38~0.5배 사이에서 초기균열이 발생하였으며, 그때의 처짐량도 비슷하게 나타났으며, OB-D16-12 시험체의 경우 최대하중의 0.78배까지 가력하여도 균열이 발생하지 않고 처짐량은 다른 시험체에 비해 매우 작게 발생한 것을 확인할 수 있다. 그러나 초기 균열 발생 이후에는 다른 시험체와 유사한 처짐을 보이면서 강성이 저하되는 것을 알 수 있다.

보수 시험체의 경우 보수두께가 증가할수록 초기균열이 최대하중의 0.5배 이상에서 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 두 재료로 이루어진 합성보가 일체로 거동하여 휨에 대한 저항능력이 향상된 것으로 판단된다.

시험체의 초기 균열 발생시 최대 및 초기하중 관계는 표 11에 나타내었다.

4.5 휨 강성 변화

각각의 시험체에 대한 모멘트-곡률 관계는 그림 10와 그림 11이다. 균열이 발생하기 전에는 전단면이 유효단면으로 작용하지만 균열 발생 이후에는 인장측 콘크리트가 무시되기 때문에 휨에 대한 강

성이 줄어들어 그림에서처럼 3단계로 명확하게 구분되어 거동하게 된다.

표 12는 각각의 시험체에 대한 단계별 모멘트 값을 계산한 것이다. 덧씌우기 시험체의 경우 기준 시험체에 비해 최대 300%이상의 효과를 볼 수 있었다. 덧씌우기 두께가 증가할수록 균열발생 전까지의 강성은 증가하지만 항복이후에는 기준시편과 유사한 양상을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

보수 시험체의 경우 보수 두께가 증가할수록 보수재료의 강도 특성상 기준 시험체보다 강성은 증가하였지만 균열 모멘트는 기준 시험체와 유사한 값을 보였으며, 최대 160%의 효과를 보이고 있다.

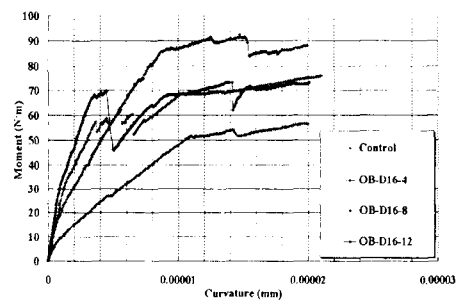


그림 10 덧씌우기된 시험체의 멘트-곡률 곡선

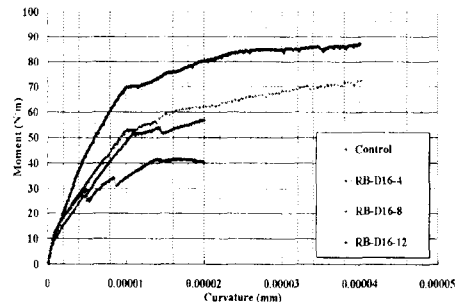


그림 11 보수된 시험체의 모멘트-곡률 곡선

표 10 시험체에 따른 중립축 범위

Specimens	Range of Natural Axis	Specimens	Range of Natural Axis
Control	95~120	RB-D16-4	120~140
OB-D16-4	110~130	RB-D16-8	120~130
OB-D16-8	150~160	RB-D16-12	135~140
OB-D16-12	170~185		

표 11 시험체에 따른 최대하중 및 초기하중의 관계

	Maximum Load (kN)	Initial Crack Load (kN)	Initial Crack Load /Maximum Load (kN)
Control	70.424	30	0.42
OB-D16-4	98.686	40	0.41
OB-D16-8	89.866	35	0.38
OB-D16-12	89.19	70	0.78
RB-D16-4	46.35	25	0.5
RB-D16-8	83.3	50	0.6
RB-D16-12	100.94	75	0.74

표 12 각각의 시험체에 대한 모멘트 분포

	M _{cr} (N·m)	M _y (N·m)	M _u (N·m)	Comparison (%)
Control	7.83	51.57	56.7	기준
OB-D16-4	15.3	85.5	90.3	195
OB-D16-8	34.47	68.4	75.87	440
OB-D16-12	31.5	68.13	73.77	402
RB-D16-4	14.4	41.4	47.4	183
RB-D16-8	13.4	52.83	72.63	170
RB-D16-12	20.43	69.93	87.03	260

4.6 연성지수

철근 콘크리트 보는 인장부의 콘크리트에 균열이 발생하고 인장철근이 먼저 항복하면서 처짐이 증가하고 압축부의 콘크리트 또한 변형률이 극한에 이르러 보의 파괴가 일어난다. 이러한 파괴는 철근이 항복한 후에도 연성을 가지고 늘어나기 때문에 서서히 일어나므로 파괴의 징후를 미리 알 수 있다.

휨 파괴 연성이란 구조물의 휨 능력의 큰 감소 없이 변형을 일으킬 수 있는 능력을 말한다. 휨 파괴 연성을 나타내는 지수로는 곡률 연성지수와 변위 연성지수가 있으며 연성지수는 일반적으로 보의 처짐과 곡률로 표현되어진다.

$$\text{변위 연성지수} = \mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

$$\text{곡률 연성지수} = \mu = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

여기서 μ = 부재의 연성지수

Δ = 부재의 처짐

ϕ = 부재의 곡률

u, y = 각각 극한일 때와 항복일 때

본 연구에서는 변위 연성지수를 이용하여 부재의 연성능력을 평가하였다. 일반적으로 연성지수가 3 이상일 경우 연성적으로 안전하다고 평가되어진다.

표 13에서와 같이 덧씌우기된 시험체의 경우 덧씌우기 두께가 증가할수록 연성지수가 4.39이상으로 나타났으며, 120mm 두께에서는 연성지수가 9.67로 연성능력이 뛰어난 것으로 평가되었다. 40mm, 80mm에서도 연성지수가 3이상의 값을 보여 연성적으로 안정적인 구조물이라 평가할 수 있다.

보수된 시험체의 경우 또한 보수두께가 증가할수록 연성능력이 증가하는 경향을 보이며, 모든 시험체가 5이상의 연성지수를 나타내 연성적으로 안정적인 구조물이라 평가할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 다음과 같은 결론은 얻을 수 있었다.

- (1) 하중-처짐 관계로부터 덧씌우기 및 보수 두께가 증가할수록 항복하중과 극한하중이 증가되는 것을 확인할 수 있으며,
- (2) 중립축 범위 분석 결과 덧씌우기 및 보수된 시험체 모두 하나의 중립축을 형성하였으며, 하중의 증가와 더불어 중립축이 상부로 이동하는 양상을 나타내 두 이질 재료가 비교적 일체화되어 거동하는 것으로 나타났다.
- (3) 덧씌우기된 시험체의 경우에는 시험체 모두 휨균열 파괴형태를 보였으며, 보수된 시험체의 경우에는 휨 파괴와 더불어 계면파괴 형태가 조합적으로 발생하였다.
- (4) 모멘트-곡률 관계로부터 덧씌우기 및 보수된 시험체 모두 휨 강성증진 효과를 확인할 수 있으며, 덧씌우기된 시험체의 경우 그 효과가 크게 나타났다.
- (5) 덧씌우기된 시험체의 경우 두께가 증가할수록 연성지수가 4.39이상으로 나타났으며, 보수된 시험체의 경우 또한 5.05이상으로 증가하는 경향을 보여, 모든 시험체가 4이상의 연성지수를 갖는 안정적인 구조임을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 김대호, "인장균열을 고려한 철근콘크리트 보의 비선형 거동에 대한 FEM해석", 경기대학교 대학원 석사학위 논문, 1998.
- [2] 김민주, "손상된 철근콘크리트 보의 탄소섬유시트 보강효과", 인천대학교 대학원 석사학위 논문, 1999.
- [3] 김성환, "LMC로 덧씌우기 보강된 철근 콘크리트 보의 비선형 휨 해석", 강원대학교 대학원 박사학위 논문, 2005.
- [4] 라효경, 김지은, "부착슬립을 고려한 철근 콘크리트 보의 재료비선형 해석", 대한토목학회 논문집, 제19권, 제 I-4호, pp525~537, 1999.
- [5] 민장식, 유순종, 유승룡, 임홍철, "철근 콘크리트 공학", 구미서관, 2005.
- [6] 심중성, 김규선, "보강재로 보강된 RC보의 계면응력 해석모델", 대한토목학회논문집, 제19권, 제 I-2호, pp.161~170, 1999.
- [7] 심중성, 김규선, 문도영, 문일환, "프리믹스형 보수재료로 보수된 RC보의 휨특성 연구" 대한토목학회논문집, 제21권, 제6-A호, pp.879~890, 2000.
- [8] 윤경구, 이주형, 김기원, 김대호, "현장적용 위한 라텍스 개질 콘크리트의 역학적 특성", 대한토목학회 학술발표회 논문집, Vol.1, pp.395~398, 2000.
- [9] 이남주, "라텍스 개질 콘크리트의 부착강도 특성", 강원대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.
- [10] 이승준, "징 모멘트를 받는 합성보의 비선형 해석", 단국대학교 대학원 석사학위 논문, 2000.
- [11] 이성호, 최판길, 최승식, 윤경구, "초속경 라텍스 개질 콘크리트의 초기수축", 한국 콘크리트 학회 가을 학술발표, pp269~272, 2004.

표 13 각각의 시험체에 대한 연성지수

Specimens	Overlay Depth (mm)	Ultimate Load (kN)	Deflection (mm)	Yield Load (kN)	Deflection (mm)	Ductility Index	
Control	-	71.834	25.555	57.134	6.385	4.00	
Overlay	OB-D16-4	40	98.686	20.4	94.374	4.645	4.39
	OB-D16-8	80	89.866	23.28	74.774	5.13	4.54
	OB-D16-12	120	89.18	21.225	75.75	2.195	9.67
Repaired	RB-D16-4	40	46.35	34.815	45.08	6.865	5.07
	RB-D16-8	80	83.3	34.9	57.52	5.14	6.79
	RB-D16-12	120	100.94	27.255	76.146	5.095	5.35

- [12] 이재훈, “철근콘크리트 휨 부재의 연성지수에 관한 해석적 연구”, *대한토목학회 논문집*, 제 14권, 제3호, pp391~402, 1994
- [13] 정원경, “초속경 시멘트를 이용한 라텍스 개질 콘크리트의 강도발현 및 투수특성”, *강원대학교 대학원 석사학위 논문*, 2001.
- [14] 최성용, 김기현, 홍창우, 윤경구, “교량바닥판 및 교면포장 보수용 초속경 라텍스 개질 콘크리트”, *대한토목학회 정기학술대회 논문집*, pp5117~5122, 2004
- [15] 한만엽, 김상중, “보강된 보의 균열특성과 손상상태의 상관관계”, *대한토목학회 논문집*, Vol.14, No6, pp805~812, 2001
- [16] Bass, R.A., Carrasquillo, R.L. and Jiras, J.O., “Interface Shear Capacity of Concrete Surfaces used in Strengthening Structure”, *Report on Research project*, Dept. of Civil Eng., Univ. of Texas at Austin, 1985
- [17] Hus, T.C., “Unified Theory of Reinforced Concrete”, *CRC*, 1992
- [18] James, M. Gere, “Mechanics of Materials”, *Brooks/Cole*, Fifth Edition.
- [19] Kent, Dudley Chales, and Park, Robert., “Flexural member with confined concrete”, *Proceeding, ASCE*, Vol. 97, ST7, pp.1969~1990., 1971
- [20] Maalej, M. and Bian, Y., “Interfacial Shear Stress Concentration in FRP-Strengthened Beams” *Composite Structures*, Vol.54, pp.417~426., 2001
- [21] Malek, A. M., Saadatmanesh, H. and Ehsani, M. R., “Prediction of Failure Load of R/C Beams Strengthened with FRP Plate Due to Stress Concentration at the Plate End,” *ACI Structural Journal*, Vol.95, No.1, January-February, pp.142~152, 1998
- [22] Roberts, T. M., “Approximate Analysis of Shear and Normal Stress Concentrations in the Adhesive Layer of Plated RC Beams,” *The Structural Engineer*, Vol.67, No.12, 20 June, pp.229~233, 1989
- [23] Yang, Z. J., Chen, J. F. and Proverbs, D., “Finite Element Modelling of Concrete Cover Separation Failure in FRP Plated RC Beams,” *Construction and Building Materials*, Vol.17, pp.3~13, 2003
- [24] Yang, Z. J., Chen, J. F. and Proverbs, D., “Finite Element Modelling of Concrete Cover Separation Failure in FRP Plated RC Beams,” *Construction and Building Materials*, Vol.17, pp.3~13, 2003