

# LMC로 덧씌우기된 철근콘크리트 보의 휨 거동

## Flexural Behavior of RC Beam Strengthened by LMC Overlay

김성환\* · 최성용\*\* · 김경진\*\*\* · 윤경구\*\*\*\*

Kim, Seong Hwan · Chi, Sung Yung · Kim, Kyeong Jin · Yun, Kyong Ku

### 1. 서 론

손상된 콘크리트 상판의 주된 보강 방법에는 강판접착공법, 보강섬유 접착공법, 프리스트레싱 공법, 단면 증설공법, 단면증설공법과 유사한 공법인 세로보 증설공법등이 있으며, 이들 증설공법이나 세로보 증설공법은 상판의 단면내력을 회복시키고, 신·구 콘크리트의 접합이 확실하게 되면 보강에 가장 효과적인 방법이다(박구준, 2000). 그런데, 최근 기존의 단면 증설공법을 대신할 진일보한 상판보강공법으로 교면포장을 겸하여 상판두께를 키워 상판의 내하력과 강성을 증가시키는 LMC(Latex Modified Concrete ; 윤경구, 2000) 단면 증설공법이 새로이 선보였다. LMC는 포틀랜드시멘트 콘크리트에 라텍스를 첨가해서 만든 라텍스 개질 콘크리트다. 라텍스는 콘크리트 내에서 연속적인 필름 막을 형성하여 미세균열 사이에서 다리역할을 함으로써 미세균열의 전파를 억제한다. 이러한 라텍스의 거동으로 염분 및 수분의 침투에 대한 투수저항성이 증대되고 휨강도 및 부착강도가 증대되는 강도특성을 가지게 되며, 보통 콘크리트와 유사한 건조수축 또는 팽창현상을 보임으로써 체적변화의 안전성을 지니게 되어 신·구 콘크리트의 내구성이 증진된다. 이러한 장점으로 인하여 LMC 공법적용은 기존의 보강공법에 비하여 장기적인 측면에서 교량의 수명을 연장시킬 수 있는 최선의 방법으로 판단된다(윤경구, 2001, 2002). LMC 단면증설 공법은 기존의 콘크리트 상판과 보강된 LMC 사이의 부착성능에 따라 부착계면 파괴 즉, 취성파괴를 일으킬 위험이 있어서 부착계면 파괴의 방지를 위한 부착계면 거동 예측이 필히 요구된다. 그러나, 기존에 발표된 LMC 관련 연구들은 강도 특성, 내구특성 및 부착특성 등 재료에 관한 것에 머물렀고, LMC로 덧씌우기 보강된 RC 보의 휨 거동 특성 및 부착파괴 예측을 위한 부착계면 거동 특성 등의 구조거동에 관한 체계적인 연구가 뒤따르지 못하였다.

따라서, 본 연구에서는 신설교량에 실시한 LMC 덧씌우기 보강형태와 기설 교량의 손상된 콘크리트를 제거하고 실시한 LMC 보수형태로 나누어 철근콘크리트 보 시험체를 제작하여 실험을 실시함으로써, 구조물의 휨 거동 특성 및 LMC의 보수·보강효과 및 부착계면 거동 특성을 확인하고자 하였다.

### 2. LMC로 덧씌우기 보강된 RC보의 휨 실험

#### 2.1 시험체 제작

시험체 제작은 Table 1에서와 같이 보수 시험체와 덧씌우기 보강 시험체를 총 20개를 제작하였다. 보수 시험체는 Fig.2(a)에 나타난 것과 같이 압축축 LMC 보수 및 전단 보강보를 3개, 압축축 LMC 보수 및 전단 무보강보를 2개 제작하였으며, 인장부 보수 또한 동일 조건으로 각 5개를 제작하여, LMC의 보수효과를 비교하기 위하여 표준시험체인 보통 포틀랜드 콘크리트 보(R-CNT-P)와 LMC 보(R-CNT-L)를 각각 한 개씩 제작하였다. 모두 12개의 동일 크기의 보를 LMC 보강두께를 변수로하여 휨에 의해 최대내력에 도달하도록 제작하였다. 덧씌우기 보강된 시험체는 Fig.2(b)와 같은 150×250 mm의 기준보에 추가적인 덧씌우기 높이 변화

\* 정희원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과 공학박사 · 공학석사 · ksh0304@korea.com

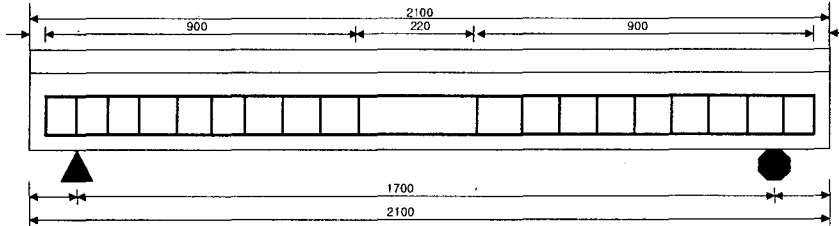
\*\* 정희원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 · 공학석사

\*\*\* 정희원 · 충주대학교 공과대학 토목공학과 부교수 · 공학박사 · kkjman@chungju.ac.kr

\*\*\*\* 정희원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과 부교수 · 공학박사 · kkyun@kangwon.ac.kr

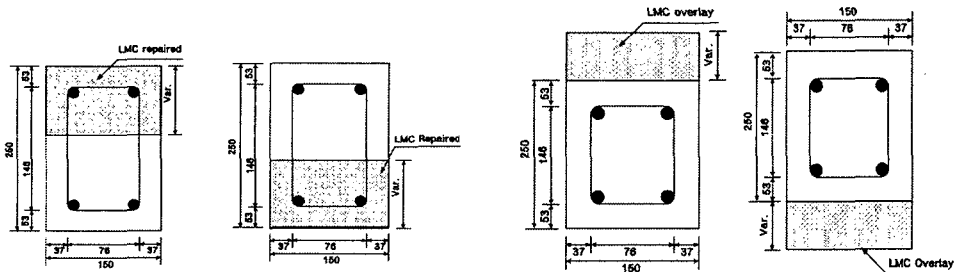


를 변수로 하여 압축부 보강 3개 및 인장부 보강 3개의 시험체와 표준시험체인 보통 포틀랜드 콘크리트 보(O-CNT-P), LMC 보(O-CNT-L)를 각각 제작하였다. 이때 철근은 SD40의 H10, H13, H16을 사용하였으며, 그 외 순지간, 총지간, 거푸집제작, 양생 조건은 보수 시험체와 동일하게 하였다.



< 정 면 도 >

Fig.1 Dimension of Beam Specimen (unit : mm)



(a) Repaired

(b) Overlaid

Fig.2 Section Properties of Beam Specimen (unit : mm)

Table 1 Specimen Details

Specimen		Beam Height (H:mm)	LMC (d:mm)	LMC (h-d:mm)	Stirrup	Tension Steel	Compression Steel
Repaired	R-CNT-P	250	0	-	H6	H16	H10
	Rs-T-3		30	-	H6	H16	H10
	Rs-T-8		80	-	H6	H16	H10
	Ru-T-8		80	-	-	H16	-
	Rs-T-12.5		125	-	H6	H16	H10
	Ru-T-12.5		125	-	-	H16	-
	R-CNT-L		-	0	H6	H16	H10
	Rs-B-3		-	30	H6	H16	H10
	Rs-B-8		-	80	H6	H16	H10
	Ru-B-8		-	80	-	H16	-
	Rs-B-12.5		-	125	H6	H16	H10
	Ru-B-12.5		-	125	-	H16	-
Overlaid	O-CNT-P	250	-	-	H10	H16	H13
	O-CNT-L	250	-	-	H10	H16	H13
	Os-T-2	270	20	-	H10	H16	H13
	Os-T-5	300	50	-	H10	H16	H13
	Os-T-8	330	80	-	H10	H16	H13
	Os-B-2	270	-	20	H10	H16	H13
	Os-B-5	300	-	50	H10	H16	H13
	Os-B-8	330	-	80	H10	H16	H13

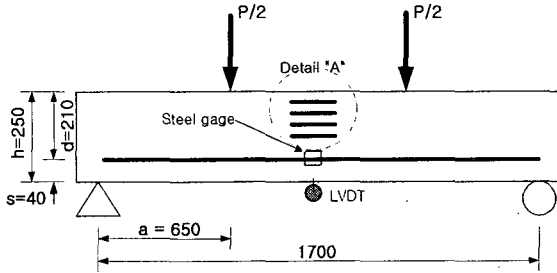


Fig.3 Test Set-up and Measurement System  
(unit : mm)

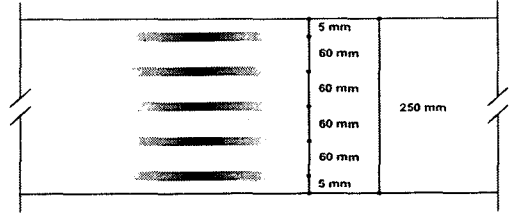


Fig.4 Concrete Strain Gauge(Detail A)

## 2.2 LMC로 보수·보강된 철근콘크리트 보의 휨 실험

휨 거동 특성을 알아보기 위하여 각 시험체 별 처짐, 인장철근의 변형량, 콘크리트의 변형량을 측정하여 비교 분석 하였다. 하중-처짐관계를 살펴보기 위하여 Fig.3과 같이 지간중앙 하단부의 LVDT 2기를 설치하였으며, 인장철근 중앙점에 변형게이지를 부착하여 철근 변형량을 측정하였다. 콘크리트의 변형량을 측정하기 위하여 Fig.4와 같이 보 지간 중앙부에는 콘크리트 게이지를 설치하였다.

LMC로 덧씌우기 보강된 철근콘크리트 보의 정적 휨 파괴 시험은 시험체 재령 28일에 200 톤 용량의 UTM시험기를 사용하여 측정하였다. 하중 재하는 4점 재하를 하였으며, 수직에 가까운 전단균열을 방지하기 위하여 전단 지간 비( $a/d$ , shear span to depth ratio)를 3.4로 하였다. 이때, 하중은 5 kN 씩 증가하여 하중 단계에 따른 처짐, 인장 철근의 변형률, 콘크리트의 변형률을 측정하였다. 또한 하중이 증가함에 따라 균열발생 여부를 관찰하기 위하여, 초기 균열발생 하중과 균열진전의 형상을 각 하중단계별로 측정 기록하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 하중-처짐 특성

#### 1) LMC로 보수된 시험체

R-CNT-P 표준시험체의 하중-처짐 관계 그래프를 Fig.5에 나타내었으며, 66.1kN의 항복강도와 78.39 kN의 극한 강도 값을 나타내었다. 이 시험체는 통상적인 항복 후 휨 파괴되는 양상을 나타내었다.

또한 표준시험체(R-CNT-L)의 하중-처짐 관계는 R-CNT-P 시험체와 유사한 항복 강도와 극한강도의 결과를 나타내었으며, 파괴형상 또한 휨 파괴 형태를 나타내었다. 콘크리트의 압축강도 시험에서 LMC의 압축강도는 보통 콘크리트의 압축강도보다 약 3MPa 정도 크게 측정되었으나, 이 영향은 거의 미소함을 알 수 있었다.

Fig.5는 전단 보강되고 LMC로 압축부가 보수된 시험체의 하중-처짐 관계의 그래프를 나타낸 것이다. 이 시험체들의 경우 항복하중과 극한하중은 표준시험체(R-CNT-P)의 경우 보다 약간 크게 측정되었으나, 그 차이는 미소하였다. 따라서, 이들 시험체의 경우 표준 시험체와 동일한 하중-처짐관계를 보여줌으로써, 전단 보강되고 LMC로 압축부가 보수된 경우 보강효과가 있음을 명확히 알 수 있었다.

전단 철근이 보강되지 않은 시험체의 경우 전단철근이 보강된 보의 극한하중의 약 1/3 ~ 1/2 크기의 낮은 값을 나타내었으며, 이와 같은 원인은 전단력의 영향이 증가하여 휨 파괴에 이르기 전에 먼저 전단 파괴가 발생하여, 전단 보강된 경우보다 낮은 극한하중 값을 나타낸 것으로 판단된다.

전단보강되고 인장부에 LMC로 보수된 시험체의 하중-처짐관계 그래프를 Fig.6에 나타내었다. 이 경우 LMC로 압축부가 보수된 경우와 유사한 경향을 보여 주었다. 따라서, 인장부에 보수된 경우 압축부 보수된 경우와 유사한 보강효과를 나타내었다.

전단보강 되지 않고 LMC로 인장부 보수된 시험체의 경우 항복하중 이후 취성파괴의 경향을 나타내었다.

LMC로 보수된 철근콘크리트 보의 보수효과는 신·구 콘크리트 부착면에서의 부착능력과 전단보강 유무에 따라 좌우됨을 알 수 있었으며, LMC 보수 두께에 따른 영향은 미소한 것을 알 수 있었다.

## 2) LMC로 덧씌우기 보강된 시험체

Fig.7에 OPC로 만들어진 표준시험체(O-CNT-P)의 하중-처짐 관계를 나타내었다. 항복하중은 98.1 kN, 극한하중은 112.8kN을 나타내었으며, 파괴형태는 전형적인 휨 파괴형태를 보여주었다.

또한, LMC로 20mm, 50mm, 80mm 압축부 덧씌우기된 시험체의 하중-처짐 관계의 나타내었다. 20mm 덧씌우기 보강된 시험체의 경우 103kN의 항복하중과 137.3kN의 극한하중을 나타내었으며, 50mm 덧씌우기 보강된 시험체의 경우 항복하중 및 극한하중이 각각 122.3kN과 166.8kN, 80mm 덧씌우기 보강된 시험체는 각각 157.9kN, 192.0kN을 나타내었다. 따라서, 압축부 덧씌우기 두께가 증가함에 따라 하중재하 능력이 증가되는 현상이 뚜렷하게 나타났다.

압축부 덧씌우기와 동일한 두께인 20mm, 50mm, 80mm로 인장부 덧씌우기 보강된 시험체의 하중-처짐 관계 그래프를 Fig.8에 나타내었다. 이들 시험체의 하중-처짐 관계를 살펴본 결과 항복 하중은 96.8~98.1kN의 값을 보였고, 극한 하중은 104~105.9kN의 값을 보여주었다.

인장부 덧씌우기 두께가 증가할수록 항복하중 및 극한하중 재하 능력이 조금씩 떨어지는 경향을 보여주었으나, 그 차이는 미소하였다. 또한 인장부 덧씌우기 두께가 증가할수록 연성능력이 떨어지는 경향을 보여주었다.

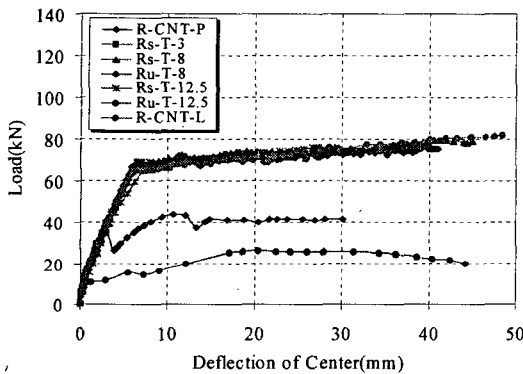


Fig.5 Load-Deflection Relationships of Repaired Beam Specimen With Shear Rebar

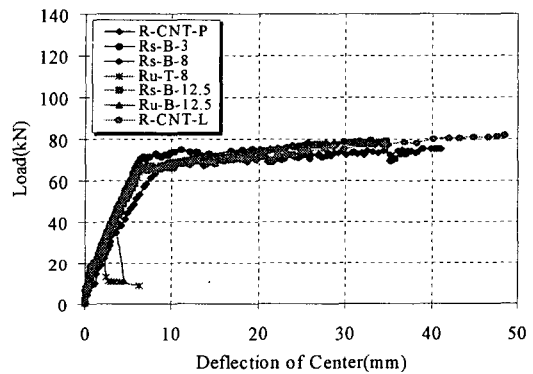


Fig.6 Load-Deflection Relationships of Repaired Beam Specimen Without Shear Rebar

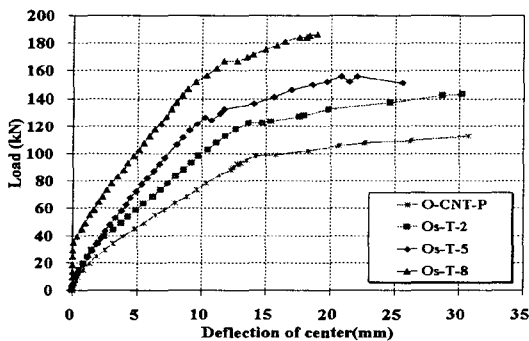


Fig.7 Load-Deflection Relationships of Overlayed Beam Specimen Without Shear Rebar

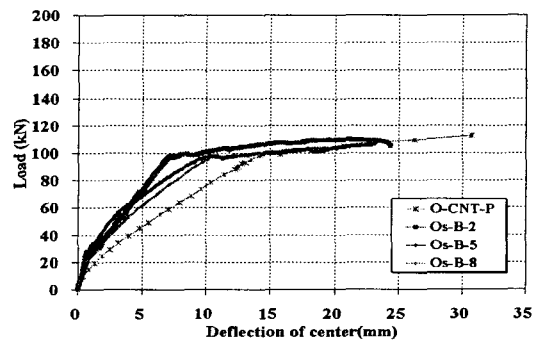


Fig.8 Load-Deflection Relationships of Overlayed Beam Specimen Without Shear Rebar



### 3.2 연성지수

철근콘크리트 구조는 극한하중에서 연성파괴가 일어나도록 하는 것이 안정적 측면에서 중요한 설계개념의 하나이며, 단면이 충분한 소성변형능력을 가지고 있을 때에는 한계상태 설계 개념을 도입하여 소성해석이나 모멘트 재분배를 수행하여 경제적인 단면의 설계가 가능하다. 따라서 휨 연성지수는 설계된 철근콘크리트 구조물의 휨 거동을 예측하는데 사용될 뿐만 아니라 모멘트 재분배의 가능성 판단에도 이용된다. 연성을 측정하기 위한 방법으로 연성지수(Ductility Index) 또는 연성계수(Ductility Factor)가 사용되며, 곡률(Curvature), 회전(Rotation), 처짐(Deflection)의 비로 아래 식과 같이 정의 한다.

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}, \mu_\theta = \frac{\theta_u}{\theta_y}, \mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

여기서,  $\mu$  : 부재의 연성지수,  $\phi$  : 부재의 곡률,  $\theta$  : 부재의 처짐각,  $\Delta$  : 부재의 처짐, 아래첨자  $u$  : 극한상태, 아래첨자  $y$  : 항복상태이다.

본 연구에서는 시험체가 항복할 때의 처짐과 극한하중에 도달할 때의 처짐의 비로 표현되는 연성지수를 사용하여 부재의 연성능력을 평가하였다. 보통 연성지수가 3이상 일 경우 연성적으로 안전하다고 평가된다.

#### 1) LMC로 보수된 시험체

전단철근이 보강되고 LMC로 압축부 보수된 시험체의 경우 연성지수가 3.89이상을 나타내었으며, 특히, 80mm 이하의 보수두께를 가질 경우 6이상의 연성지수를 나타내어 연성능력이 뛰어난 구조물로 평가되었다.

전단철근이 보강되고 인장부 보수된 Rs-B-3, Rs-B-8, Rs-B-12.5 시험체의 연성지수를 살펴본 결과 각각 4.85, 2.71, 5.29를 나타내었다. Rs-B-8 시험체의 경우 3 이하의 연성지수를 나타내었으나, 나머지 시험체의 경우 4.85 이상의 결과를 나타내어 전단 보강되고 LMC로 인장부 보수된 시험체의 경우도 연성적으로 안전한 구조임을 알 수 있었다.

전단철근이 보강되지 않은 보수 시험체는 1 이하의 연성지수를 나타내어 연성적으로 안전하지 못한 구조로 판명되었다. LMC로 보수된 시험체의 연성지수를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Ductility Index of Repaired Specimens

Specimens		Reinforced Depth(mm)	Ultimate Load (kN)	Deflection (mm)	Yield Load (kN)	Deflection (mm)	Ductility Index
Repaired	Rs-T-3	30	76.8	39.72	69.0	6.53	6.08
	Rs-T-8	80	79.8	41.34	69.0	6.49	6.37
	Ru-T-8	80	41.5	23.71	34.9	6.09	3.89
	Rs-T-12.5	125	76.1	27.07	69.0	7.97	3.4
	Ru-T-12.5	125	26.1	20.37	-	-	-
	Rs-B-3	30	79.4	32.9	71.2	6.78	4.85
	Rs-B-8	80	78.8	25.65	68.6	9.47	2.71
	Ru-B-8	80	28.1	-	28.1	1.99	1
	Rs-B-12.5	125	79.1	34.65	66.6	6.55	5.29
Ru-B-12.5	125	43.5	-	43.5	3.38	1	
Overlayed	Os-T-2	20	137.3	20.21	103.3	4.94	4.09
	Os-T-5	50	166.8	14.64	122.3	3.56	4.11
	Os-T-8	80	192.0	20.7	157.9	4.435	4.66
	Os-B-2	20	105.9	24.34	98.1	7.715	3.15
	Os-B-5	50	106.6	23.21	97.4	10.61	2.19
Os-B-8	80	104.0	19.42	96.8	11.63	1.67	



2) LMC로 덧씌우기된 시험체

LMC로 압축부 덧씌우기 보강된 시험체의 경우 덧씌우기 두께가 증가할수록 연성능력이 증가하는 경향을 보여주었으며, 모든 시험체가 4이상의 연성지수를 나타내어 연성적으로 안정한 구조임을 알 수 있었다.

LMC로 인장부 덧씌우기 보강된 시험체는 덧씌우기 두께가 증가할수록 연성능력이 떨어지는 경향을 나타내었다. 또한 Os-B-2 시험체를 제외한 시험체에서 3이하의 연성지수 결과를 나타내었다.

압축부에 LMC로 보수 되거나 덧씌우기 보강된 경우 연성적으로 안정한 구조로 판단되며, 인장부에 보수 보강된 경우 연단 연결체에 의한 부착 경계부 보강이 필요할 것으로 판단된다.

LMC로 덧씌우기 보강된 시험체의 연성지수를 Table 2에 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 LMC로 보수 및 덧씌우기 보강된 철근콘크리트 보의 보수·보강효과를 확인하고자 휨 실험을 실시하였으며, 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 보수 시험체 ; 전단철근 보강되고 LMC로 압축 및 인장 보수된 경우 100%이상의 내하력을 회복하는 것으로 나타났으며, 전단철근 보강되지 않은 경우 거의 보수 효과가 없는 것으로 나타났다.

덧씌우기 보강 시험체 ; LMC로 압축부 덧씌우기 보강된 시험체의 경우 덧씌우기 두께가 증가함에 따라 내하력이 증진되는 결과를 보여주었으며, 인장부 덧씌우기 보강효과는 거의 없는 것으로 나타났다.

2) 보수 시험체 ; 전단철근 보강되고 LMC로 압축부 보수된 시험체의 경우 1개의 중립축이 존재하여 두 이질 재료가 일체 거동하는 것을 알 수 있었으며, 전단철근 보강되고 인장부 보수된 시험체의 경우 하부의 변형률 양상이 복잡한 모양을 보여 주었으나, 전단철근의 영향으로 신·구 콘크리트가 일체거동하는 경향을 보여주었다.

덧씌우기 보강 시험체 ; 압축부 덧씌우기 보강된 시험체에서는 부착경계부의 슬립변형률을 확인 할 수 있었으며, 이와 같은 부착 경계부의 슬립은 부착 경계부의 파괴와 덧씌우기 보강된 철근콘크리트 보의 휨 거동에 영향을 줄 것으로 판단된다.

3) 보수 시험체 ; 전단철근이 보강되고 LMC로 압축부 및 인장부 보수된 시험체의 경우 연성지수가 2.71이상을 나타내어 연성적으로 안정한 구조물로 평가되었으며, 전단철근이 보강되지 않은 보수 시험체는 1 이하의 연성지수를 나타내어 연성적으로 안전하지 못한 구조로 판명되었다.

덧씌우기 보강 시험체 ; LMC로 압축부 덧씌우기 보강된 시험체의 경우 덧씌우기 두께가 증가할수록 연성능력이 증가하는 경향을 보여주었으며, 모든 시험체가 4이상의 연성지수를 나타내어 연성적으로 안정한 구조임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 박구준(2000), "시설물 유지 관리 보수·보강 해석".
2. 윤경구, 김경진, 이남주, 장홍균, 심도식 (2000), "라텍스 개질 콘크리트의 부착강도특성", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, Vol.22, No.2,
3. 윤경구, 이주형, 김기현, 김대호 (2000), "현장적용을 위한 라텍스 개질 콘크리트의 역학적 특성", 대한토목학회 학술발표회 논문집, Vol.1, pp.395-398.
4. 윤경구, 장홍균, 김성환, 권혁 (2001), "유한요소 해석과 실험 검증을 통한 콘크리트 직접인발 시험방법 제안", 한국도로포장공학회 학술발표회 논문집, pp.41-49.
5. 윤경구, 장홍균, 홍창우, 정원경, 이봉학 (2002), "교면 덧씌우기 콘크리트의 부착강도 평가 방법 제안", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, Vol.14, No.1, pp.349-354.
6. ACI COMMITTEE 503 (1992), "Guide for the selection and use of Structural Adhesives with Concrete", ACI Materials Journal, Vol.89, Issue:1.