

라텍스개질콘크리트로 보수·보강된 RC 보의 휨 거동에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Flexural Behavior Effect of RC Beam Repaired and Strengthened by Latex Modified Concrete

김성환* · 윤경구** · 김용곤***

Kim, Seong-Hwan · Yun, Kyong-Ku · Kim, Yong-Gon

Abstract

Latex modified concrete (LMC) is a successful polymer-portland cement concretes, which have been developed and used for many years, in overlaying bridge decks and resurfacing industrial floors. The excellent bond strength to substrate, easy application and high resistance to impact, abrasion, wear, aggressive chemicals and freeze-thaw deterioration have made this material used widely. The objective of this study was to determine experimentally the load-deflection response and ultimate strength of reinforced RC beams. The cracking patterns and the mode of failure were observed. Because of excellent bond strength and repairing effects, the RC beams repaired by LMC at compression or tension zone showed over 100% recovery from damaged structures. The RC beams overlaid by LMC showed significant improvement at load carrying capacity as overlay thickness increases. However, the beams repaired of tension zone without shear stirrups almost showed no strengthen effect, and indicated an interfacial failures. The interfacial behavior was estimated by numerical method adopting the concept of shear flow.

Keywords : flexural behavior, ductility index, repair materials, LMC

요 지

본 연구의 목적은 LMC로 덧씌우기 또는 보수된 형태의 RC 보의 정적 거동 특성을 파악하는데 있다. 따라서, LMC로 덧씌우기 및 보수된 RC 보를 상대습도 60%, 온도 20°C의 조건에서 양생을 실시하여 제작하였으며, 제작된 시험체를 4점 휨 실험을 수행하여 균열양상, 파괴거동 및 극한강도 등의 거동을 고찰하였다. 실험결과 전단철근이 보강된 보수형태의 RC보의 경우 100%이상의 내하력을 회복하여 보수 효과가 뛰어난 것을 알 수 있었고, LMC로 압축부에 덧씌우기 된 시험체의 경우 덧씌우기 두께가 증가함에 따라 내하력이 크게 증진되었다. 그러나, 전단철근이 보강되지 않은 보수형태의 시험체와 인장부 덧씌우기된 시험체는 부착계면 파괴양상을 보여주어 보수 및 보강 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 부착계면의 거동특성을 파악하기 위하여 전단흐름 개념을 도입하여 LMC로 압축 덧씌우기된 시험체를 대상으로 하중증가에 따른 전단흐름량을 계산하여 부착계면 특성을 수치적으로 나타내었다.

핵심용어 : 휨 거동, 연성지수, 보수 재료, 라텍스개질콘크리트(LMC)

1. 서 론

최근에 구조적 결함이 발생한 철근 콘크리트 구조물의 내하력을 증가시키기 위하여 강판이나 탄소섬유 시트 등을 부착하여 손상된 구조물의 내하력을 증대 시키는 보수·보강 방법이 많이 활용되고 있으며, 이러한 보강제로 부착된 콘크리트 구조물의 거동에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다 (Arduini, et al. 1997, Hutchinson and Rahimi, Jones, et al. 1988). 그러나 섬유나 강판으로 보강된 보에 있어서 보

강재가 인장축의 인장력을 철근과 함께 부담하여 보강제로서의 역할을 충분히 하고 있지만, 실제 적용 시에는 연성을 확보하여 안전성을 고려하여야 하는 문제점을 가지고 있다 (Dat Duthinh Moica Stranes 2001).

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 인장력, 부착력, 휨강도에 우수한 특성을 나타내고 보통 포틀랜드 시멘트와 재료 특성이 유사한 라텍스개질 콘크리트를 철근 콘크리트 보의 휨 부재에 적용하여 구조체로서의 휨거동 특성과 역학적 특성에 대하여 평가 고찰하고 라텍스개질 철근 콘크리트의 적

*정회원 · 교신저자 · (주)동명기술공단 차장 · 공학박사 (E-mail : kimseonghwan@dmecc.co.kr)

**정회원 · 강원대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 (E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)

***정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정

용 가능성에 대해 알아보고자 하였다.

2. 실험

2.1 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 기 개발되어 현장에서 적용되고 있는 라텍스 혼입물 15%의 LMC와 보통포틀랜드 시멘트 콘크리트 로 구분하여 배합설계를 하였다. 보통 콘크리트는 콘크리트 교량 상판을 모사하기 위하여 28일 설계강도 27 MPa을 목표로 굵은 골재 최대 치수 25 mm의 레미콘용 쇄석을 사용하여 배합설계 되었고, 라텍스개질 콘크리트(Latex Modified Concrete; 이하 LMC)는 작업성 기준을 목표로 초기배출 슬럼프가 21 cm가 되도록 굵은 골재 최대 치수 13 mm를 사용하여 배합설계 되었다. 이상과 같은 배합내용은 현재 사용되고 있는 LMC의 배합규정을 참고한 것으로 자세한 내용은 Table 1과 같다.

2.1.1 LMC로 보수된 시험체

Table 2에서와 같이 보수 시험체는 총 12개를 제작하였다. 압축측 LMC 보수 및 전단 보강보를 3개, 압축측 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 보수두께를 변수로 하여 힘에 의해 최대내력에 도달하도록 제작하였다.

보수 시험체는 Fig. 2(a)와 같이 150×250 mm의 단면에 LMC를 보수하는 형태이다. Fig. 1과 같이 순지간 1700 mm, 총지간 2100 mm의 단순 철근콘크리트 보 시험체이며, 사용철근은 SD30의 D6, D10, D16을 사용하였다. 시험체의 전단파괴형상을 관찰하기 위하여 U자형 수직 전단철근을 D6 철근을 이용하여 100 mm 간격으로 배근한 전단보강과 보강하지 않은 단순보를 제작하였다. LMC 보수는 보 높

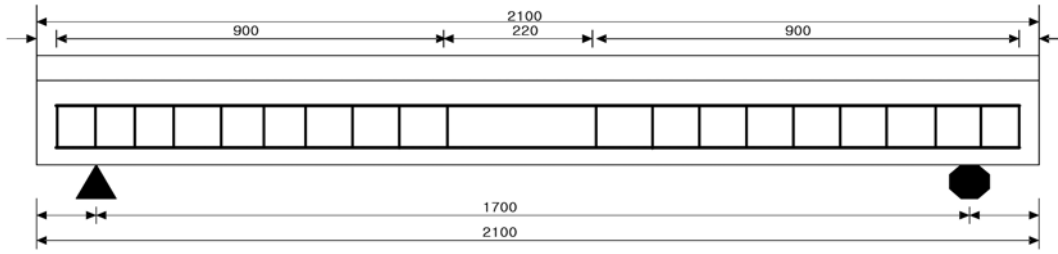
Table 1. Mix Proportions of Concretes

| Class of Concrete | W/C (%) | S/a (%) | Gmax (mm) | Mix proportion(kg/m ³) | | | | | Slump (cm) | Air content (%) | Admixture (g/m ³) |
|-------------------|---------|---------|-----------|------------------------------------|--------|-----------|-------------|-------|------------|-----------------|-------------------------------|
| | | | | Water | Cement | Fine Agg. | Course Agg. | Latex | | | |
| OPC | 45 | 40 | 25 | 160 | 350 | 696 | 1087 | - | 8 | 4.5 | 350 |
| LMC | 33 | 58 | 13 | 67 | 400 | 930 | 716 | 125 | 21±1 | 4 | - |

Table 2. Specimen Details

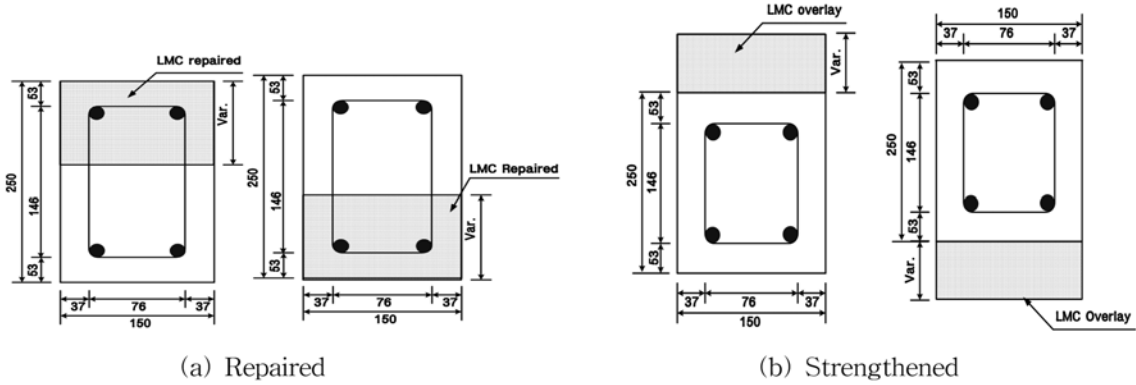
| Specimen | | Beam Height (H:mm) | LMC (d:mm) | LMC (h-d:mm) | Stirrup | Tension Steel | Compression Steel |
|--------------|-----------|--------------------|------------|--------------|---------|---------------|-------------------|
| Repaired | R-CNT-P | 250 | 0 | - | D6 | D16 | D10 |
| | Rs-T-3 | | 30 | - | D6 | D16 | D10 |
| | Rs-T-8 | | 80 | - | D6 | D16 | D10 |
| | Ru-T-8 | | 80 | - | - | D16 | - |
| | Rs-T-12.5 | | 125 | - | D6 | D16 | D10 |
| | Ru-T-12.5 | | 125 | - | - | D16 | - |
| | R-CNT-L | | - | 0 | D6 | D16 | D10 |
| | Rs-B-3 | | - | 30 | D6 | D16 | D10 |
| | Rs-B-8 | | - | 80 | D6 | D16 | D10 |
| | Ru-B-8 | | - | 80 | - | D16 | - |
| | Rs-B-12.5 | | - | 125 | D6 | D16 | D10 |
| | Ru-B-12.5 | | - | 125 | - | D16 | - |
| Strengthened | 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 |

*Note; L : 라텍스 콘크리트 P : 보통 포틀랜드 콘크리트 s : 스티럽 보강 CNT : 표준시험체 u : 스티럽 무보강
T : 단면 상부 B : 단면하부 숫자 : 보강두께(cm) R : 보수 시험체 O : 덧씌우기 보강 시험체
예) O-CNT-P : 덧씌우기 형태의 보통 콘크리트 표준 시험체
Rs-T-3 : 상부 3 cm 보수된 시험체 Os-T-5 : 상부 5 cm 덧씌우기 보강된 시험체



< 정 면 도 >

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



(a) Repaired

(b) Strengthened

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

250 mm 단면을 기준으로 상면, 하면으로 두께를 변화하여 보수하였다. 콘크리트를 타설할 때 인장철근에 부착되어 있는 스트레인 게이지가 손상되지 않도록 주의를 기울이며, 다짐봉(temper)과 진동기로 충분한 다짐을 하였다. 모든 시험체는 습윤양생을 위하여 시험체에 양생포를 덮고 충분한 물을 공급하였다.

2.1.2 LMC로 덧씌우기 보강된 시험체

덧씌우기 보강된 시험체는 Fig. 2(b)와 같은 150×250 mm의 기준보에 추가적인 덧씌우기 높이 변화를 변수로 하여 압축부 보강 3개 및 인장부 보강 3개의 시험체와 표준 시험체인 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

2.2 보수·보강된 철근콘크리트 보의 휨 실험

휨 거동 특성을 알아보기 위하여 각 시험체 별 처짐, 인장철근의 변형량, 콘크리트의 변형량을 측정하여 비교 분석하였다. 하중-처짐관계를 살펴보기 위하여 Fig. 3과 같이 지간중앙 하단부의 LVDT 2기를 설치하였으며, 인장철근 중앙점에 변형게이지를 부착하여 철근 변형량을 측정하였다.

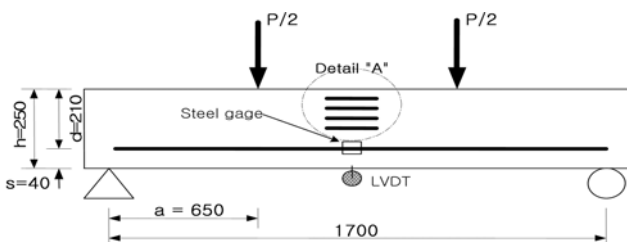


Fig. 3 Test Set-up and Measurement System (unit : mm)

LMC로 덧씌우기 보강된 철근콘크리트 보의 정적 휨 파괴 시험은 재령 28일에 있어 200톤 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 3.1로 하였다. 이때, 하중은 4.9 kN 씩 증가하여 하중단계에 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 압축강도 발현 특성

LMC와 보통 콘크리트의 압축강도 특성을 알아보기 위하여

Table 3. Compressive Strength of OPC & LMC

| Types of Concrete | | Compressive Strength(MPa) | Average (MPa) |
|-------------------|-----|---------------------------|---------------|
| Repaired | OPC | 29.82 | 29.67 |
| | | 29.04 | |
| | | 30.02 | |
| | LMC | 33.16 | 32.51 |
| | | 32.18 | |
| | | 32.18 | |
| Strengthened | OPC | 33.06 | 33.55 |
| | | 33.84 | |
| | | 33.75 | |
| | LMC | 38.95 | 39.40 |
| | | 40.22 | |
| | | 39.04 | |

여 보 제작 시 각 배치별 샘플링 하여 $\phi 10$ cm \times 20 cm 크기의 표준 공시체를 각각 3개씩, 총 12개 제작하였으며, 콘크리트 보와 동일한 조건하에서 양생하여 만능재료 시험기를 이용하여 압축강도 실험을 실시하였다. 그 실험결과는 Table 3에 나타내었다. 실험 결과를 살펴보면 LMC의 압축강도가 라텍스를 혼입하지 않은 OPC에 비해 크게 측정되었다. 이러한 압축강도 증가는 라텍스 혼입에 의한 영향보다는 물-시멘트 비의 감소로 인한 것으로 판단된다.

3.2 하중-처짐 특성

3.2.1 LMC로 보수된 시험체

Fig. 4는 압축부에 보수된 시험체와 표준시험체의 하중-처짐 관계를 나타낸 그래프이다.

압축부 보수된 시험체와 표준시험체는 유사한항복강도 및 극한 강도 값을 나타내었으며, 모든 시험체가 통상적인 항복 후 휨 파괴되는 양상을 나타내었다.

LMC와 보통콘크리트로 제작된 두 표준시험체의 하중-처짐 경향이 유사한 결과를 보인 원인은 동일 철근 및 동일 단면의 시험체이면서 콘크리트의 압축강도 또한 LMC와 보통 콘크리트의 압축강도가 약 3 MPa 정도 차이 밖에 나지 않은 이유로 판단된다.

전단 보강되고 LMC로 압축부가 3 cm, 8 cm, 12.5 cm 보수된 시험체의 하중-처짐 관계는 보수된 세 시험체 모두 동일한 거동을 보여줌으로써 보수두께에 대한 유효한 결과

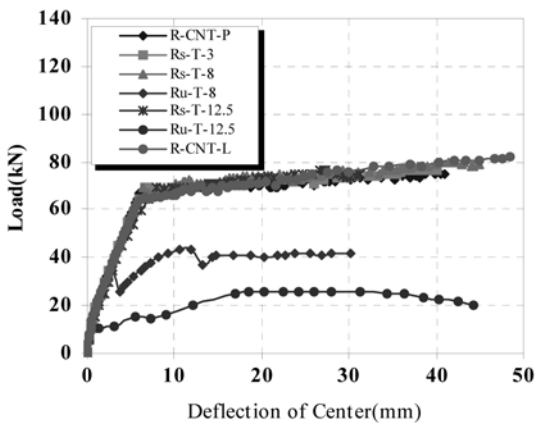


Fig. 4 Load-Deflection Relationships of Repaired Beam Specimen at Compression Zone

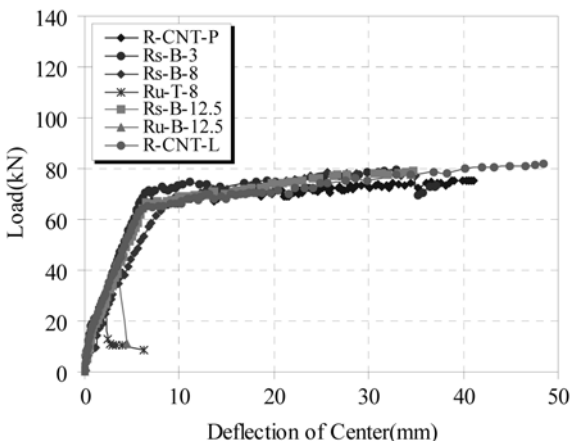


Fig. 5 Load-Deflection Relationships of Repaired Beam Specimen at Tension Zone

를 보여주지 못하였으나, 세 시험체 모두 표준시험체와 동일한 거동을 보여줌으로써 내력이 회복하는 결과를 보여주었다. 따라서, 전단 보강되고 LMC로 압축부가 보수된 경우 보수효과가 있음을 명확히 확인할 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 발생된 것으로 판단된다.

인장부에 LMC로 보수된 시험체의 하중-처짐관계 그래프를 Fig. 5에 나타내었다. 전단보강 되고 LMC로 인장부가 보수된 경우 LMC로 압축부 보수된 시험체와 유사한 경향을 보여 주어 내력이 회복되는 결과를 보여주었다. 따라서, 인장부에 보수된 경우 또한 보수효과가 있음을 확인할 수 있었다.

전단보강 되지 않고 LMC로 인장부 보수된 시험체의 경우 휨 파괴 보다는 전단파괴에 지배받는 것으로 나타내었다.

3.3.2 LMC로 덧씌우기 보강된 시험체

Fig. 6에 OPC로 만들어진 표준시험체(O-CNT-P) 및 LMC로 20 mm, 50 mm, 80 mm 압축부 덧씌우기 보강된 시험체의 하중-처짐 관계의 나타내었다. 표준시험체의 경우 항복하중은 98.1kN, 극한하중은 112.8 kN을 나타내었으며, 파괴형태는 전형적인 휨 파괴형태를 보여주었다.

20 mm 덧씌우기 보강된 시험체의 경우 103 kN의 항복 하중과 137.3 kN의 극한하중을 나타내었으며, 50 mm 덧씌

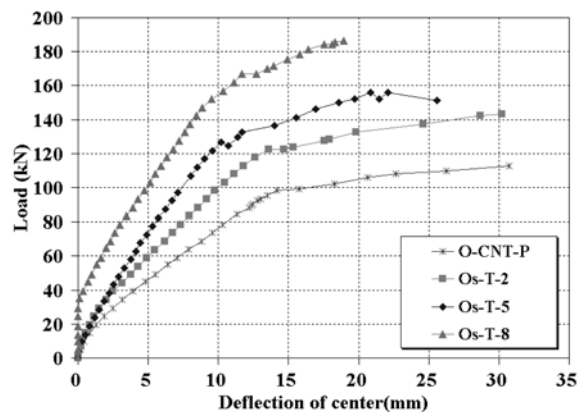


Fig. 6 Load-Deflection Relationships of Strengthened Beam Specimen at Compression Zone

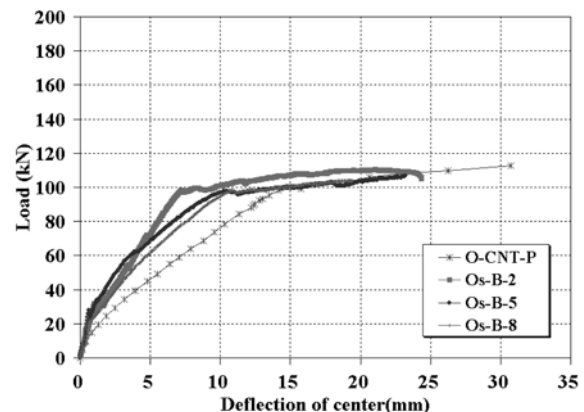


Fig. 7 Load-Deflection Relationships of Strengthened Beam Specimen at Tension Zone

우기 보강된 시험체의 경우 항복하중 및 극한하중이 각각 122.3 kN과 166.8 kN, 80 mm 덧씌우기 보강된 시험체는 각각 157.9 kN, 192.0 kN을 나타내었다. 따라서, 압축부 덧씌우기 보강 두께가 증가함에 따라 하중재하 능력이 증가 되는 현상이 뚜렷하게 나타났다.

표준시험체와 20 mm, 50 mm, 80 mm로 인장부 덧씌우기 보강된 시험체의 하중-처짐 관계 그래프를 Fig. 7에 나타내었다. 이들 시험체의 하중-처짐 관계를 살펴본 결과 항복 하중은 96.8~98.1 kN의 값을 보였고, 극한 하중은 104~105.9 kN의 값을 보여주어 표준시험체와 유사한 거동을 보여주었다. 인장부 덧씌우기 두께가 증가할수록 항복하중 및 극한하중 재하 능력이 조금씩 떨어지는 경향을 보여주었으나, 그 차이는 미소하였다. 또한 인장부 덧씌우기 보강두께가 증가할수록 연성능력이 떨어지는 경향을 보여주었다. 따라서, LMC로 인장부에 덧씌우기 보강할 경우 보강효과는 없는 것으로 나타났다.

3.3 균열 진전 및 파괴거동

Fig. 8은 시험체의 균열 진전현상을 나타낸 것이다.

Fig. 8(a)와 (g)는 표준 시험체(R-CNT-P, R-CNT-L)의 균

열형상을 나타낸 것으로 전형적인 휨 파괴를 보였다.

전단철근이 보강되고 LMC가 압축부에 보수된 시험체(b), 시험체(c), 시험체(e)를 표준시험체(a)와 비교하였을 때 초기 표준시험체(a)의 균열 형상과 동일한 휨 균열 진전형상을 보였으나, 68.6 kN에서 부착면에서 수평방향으로의 균열이 발생함과 동시에 박리현상이 진행되어 결국에는 휨 파괴와 계면부착 파괴의 조합된 파괴형태가 나타났다. LMC로 압축보수된 경우, 전단철근이 보강되지 않은 시험체를 나타내는 Fig. 8(c), (d), (e), (f)를 각각 비교하였을 때 휨 균열 진전 후 신·구 부착면을 따라 수평방향의 균열이 발생하여 파괴되는 현상을 보였다. 이것은 전단 철근이 보강되지 않았을 경우 단순지점 위에 놓인 철근콘크리트 보에서 중립축 아래 콘크리트 요소에 발생하는 수평전단응력이 전단파괴를 지배하는 것으로 나타났다.

인장부에 LMC로 보수된 시험체(h), 시험체(i) 부착면의 수평방향으로 균열이 평균 65.4 kN에서 발생되어 휨 파괴와 박리 파괴의 조합된 파괴형태를 보였다. 전단철근이 보강되고 LMC로 인장보수된 경우, 압축보수된 경우와 유사한 균열 양상을 보였으나, 압축부 보수 시험체보다 낮은 하중하에서 부착 경계부 균열이 발생하였다. 전단철근이 보강되지 않

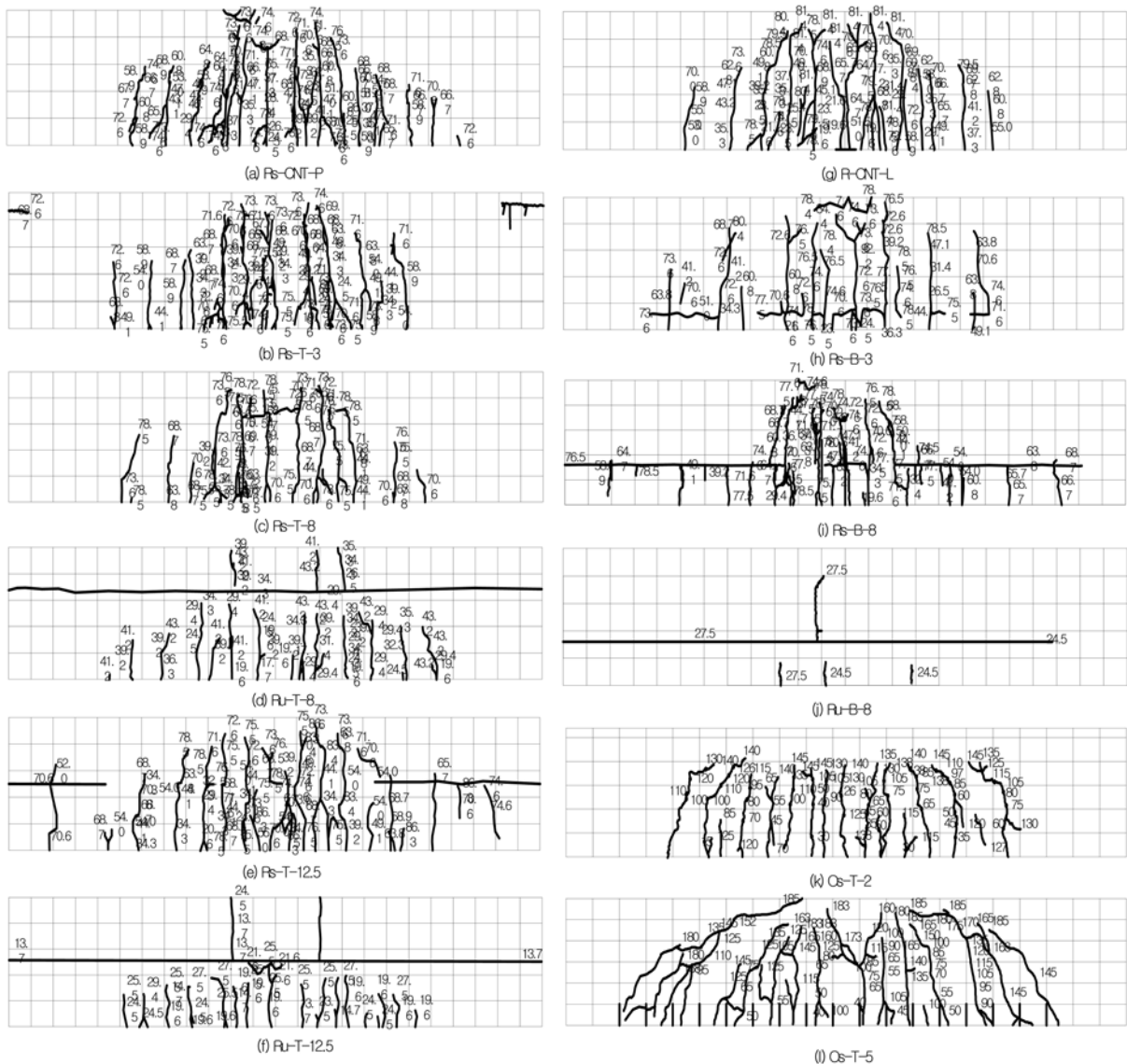


Fig. 8 Crack Pattern

은 인장부 보수시험체의 경우 경계면에서의 부착 파괴 영향이 더 크게 작용하여 수평방향의 균열이 확연히 나타났다. 따라서 전단철근이 전단력의 보강재 역할뿐 만 아니라 수평방향의 전단 연결재의 역할을 동시에 수행하고 있는 것으로 판단된다.

시험체(k), 시험체(l) 시험체는 LMC로 압축부 덧씌우기 보강된 시험체의 균열 진전 형상을 나타낸 그림으로써, 두 시험체 모두 휨 균열 파괴 형태를 나타내었다.

3.4 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.

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (1)$$

$$\mu_{\theta} = \frac{\theta_u}{\theta_y} \quad (2)$$

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta_y} \quad (3)$$

여기서,

μ : 부재의 연성지수

ϕ : 부재의 곡률

θ : 부재의 처짐각

Δ : 부재의 처짐

u : 극한상태

y : 항복상태

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.

3.4.1 LMC로 보수된 시험체

전단철근이 보강되고 LMC로 압축부 보수된 시험체의 경우 연성지수가 3.89이상을 나타내었으며, 특히, 80 mm 이하의 보수두께를 가질 경우 6이상의 연성지수를 나타내어 연성적으로 안전한구조물로 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 4.에 나타내었다.

Table 4. Ductility Index of Repaired Specimens

| Specimens | Repaired Depth (mm) | Ultimate Load (kN) | Deflection (mm) | Yield Load (kN) | Deflection (mm) | Ductility Index |
|-----------|---------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| R-CNT-P | - | 75.4 | 40.27 | 64.4 | 5.93 | 6.79 |
| 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 |

Table 5. Ductility Index of Reinforced Specimens

| Specimens | Reinforced Depth (mm) | Ultimate Load (kN) | Deflection (mm) | Yield Load (kN) | Deflection (mm) | Ductility Index |
|-----------|-----------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 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 |

3.4.2 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 전단연결제에 의한 부착 경계부 보강이 필요할 것으로 판단된다.

LMC로 덧씌우기 보강된 시험체의 연성지수를 Table 5에 나타내었다.

3.5 부착면 거동

덧씌우기 된 보의 거동은 부착면의 부착정도에 따라 그 거동이 달라지게 된다. 따라서 본 연구에서는 부착면 거동을 파악하기 위하여 전단흐름 개념을 도입하였다. 전단 흐름량을 측정하기 위하여 보 중앙 부착경계사이를 두고 LMC 하부(덧씌우기 하부)와 OPC 상부(기존보 상부)에 변형률 게이지를 부착하여 하중 변화에 따른 변형률과 보 단면 위치에서의 변형률을 측정하였다.

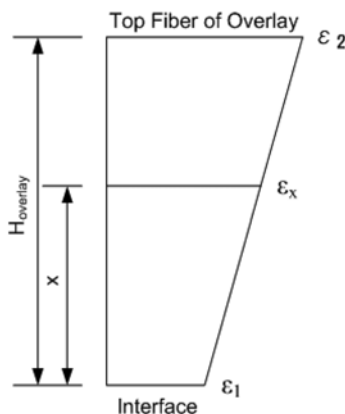
측정된 변형률을 이용하여 각 하중별로 전단흐름-슬립변형률 관계를 도출하였다. 전단 흐름 계산과정은 다음과 같다.

- ① 덧씌우기된 보의 부착계면으로부터 최상단까지 1 mm 씩 거리를 분할한다.
- ② 실험에 의해 측정된 덧씌우기 상부 및 하부의 2개의 변형률을 이용하여, 두 변형률 사이의 선형적으로 변한다는 가정 하에 분할 된 각 위치의 변형률을 아래와 같이 계산한다.
- ③ 계산된 변형률은 아래와 같은 Kent에 의해 제안된 응력-변형률 관계식을 이용하여 응력값을 산정하였다 (Kent 1971).

$$f_c = f'_c \left[2 \frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \quad \epsilon_x \leq \epsilon_0$$

$$f_c = f'_c [1 - 100(\epsilon_c - \epsilon_0)] \quad \epsilon_0 < \epsilon_x \leq \epsilon_{ct}$$

$$\epsilon_x = \frac{H_{overlay}}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} x + \epsilon_1$$



여기서, $H_{overlay}$ 는 부착면에서 보의 최상단까지의 거리, ϵ_1 , ϵ_2 는 실험에 의해 측정된 변형률

- ④ 산정된 각 위치의 응력값을 적분하여 덧씌우기 콘크리트에 작용하는 작용력을 계산하였다.

$$F_c = b \times \int_0^{H_{overlay}} \left[\left(\frac{f_i + f_{i+1}}{2} \right) \right] dx$$

여기서, F_c 는 덧씌우기 부분에 작용하는 작용력, b 는 보의 폭, Δh 는 분할 간격을 나타내고 있다.

- ⑤ 전단 흐름 값을 계산한 것으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f = \frac{F_c}{L/2}$$

여기서, f 는 전단 흐름, F_c 는 덧씌우기 부분에 작용하는 작용력, L 은 보의 지간을 나타낸다.

- ⑥ 상대 변형률을 나타낸 것으로써, 실험에 의해 측정된 값을 적용한다.

Table 6은 Os-T-5와 Os-T-8의 전단흐름-슬립변형률관계를 나타낸 표이다. Os-T-2의 경우 덧씌우기 두께가 작아 상부에 작용하는 작용력을 계산하지 못하였다. 따라서, 아래 두 경우에서의 전단흐름-슬립변형률관계를 구하여 나타내었다.

Os-T-5와 Os-T-8의 전단흐름-슬립변형률관계를 비교해 본

Table 6. Shear Flow-Slip Strain Relationship

| Os-T-5 | | | Os-T-8 | | |
|-----------|--------------------|-------------|-----------|--------------------|-------------|
| Load (kN) | Shear Flow (kN/mm) | Slip (e-06) | Load (kN) | Shear Flow (kN/mm) | Slip (e-06) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19.6 | 0.2 | 4.76 | 19.6 | 36.5 | 4.82 |
| 39.2 | 59.6 | 21.03 | 39.2 | 68.7 | 20.25 |
| 58.9 | 139.3 | 44.06 | 58.9 | 117.5 | 41.45 |
| 78.5 | 184.3 | 63.22 | 78.5 | 163.1 | 62.64 |
| 98.1 | 223.6 | 79.48 | 98.1 | 213.0 | 88.66 |
| 117.7 | 258.9 | 94.77 | 117.7 | 254.1 | 110.81 |
| 137.3 | 287.6 | 108.12 | 137.3 | 294.2 | 135.83 |
| 157.9 | 327.7 | 142.53 | 157.9 | 335.5 | 156.99 |
| 181.5 | 329.8 | 274.58 | 186.4 | 428.2 | 377.52 |

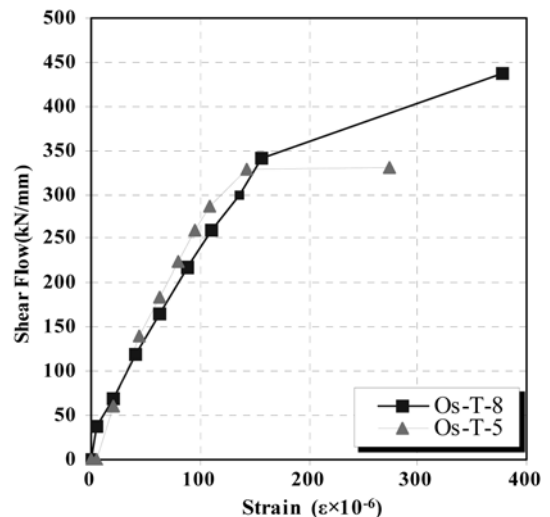


Fig. 9 Shear Flow-Slip Strain Relationship

결과 전단흐름이 각각 327.7 kN/mm와 335.5 kN/mm 이후에 급격한 슬립 변형률의 증가 현상을 통해 부착파괴가 유발되고 있음을 파악할 수 있다.

두 시험체 모두 전단흐름-슬립변형률의 경향은 Fig. 9에 나타낸 것과 같이 Bi-linear 형태의 거동을 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 LMC로 보수 및 덧씌우기 보강된 철근콘크리트 보의 보수·보강효과를 확인하고, 프로그램 개발 및 유한요소해석을 위한 기초자료를 마련하기 위하여 휨 실험을 실시하였다. 실험의 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전단철근이 배근되고 압축부 및 인장부에 LMC로 보수된 시험체의 경우 보수두께 변화에 따른 영향은 없는 것으로 나타났으나, 모든 시험체가 표준시험체와 동일한 거동을 보여줌에 내하력이 100% 회복되는 결과를 보여주었고, 연성능력 또한 2.71이상의 연성지수를 나타내어 연성적으로 안전한 구조로 판명 되었다.
2. 전단철근이 보강되지 않고 압축부 및 인장부에 LMC로 보수된 시험체의 경우 전단철근이 보강된 보의 극한하중보다 1/3~1/2 크기의 낮은 하중에서 전단파괴 되어 보수 효과가 없는 것으로 나타났으며, 연성지수 또한 1이하로 나타나 연성적으로 안전하지 못한 구조로 판명되었다.
3. 압축부에 LMC로 덧씌우기 보강된 시험체의 경우 압축부 덧씌우기 보강 두께가 증가함에 따라 하중재하 능력이 증가되는 현상이 뚜렷하게 나타났으며, 3이상의 연성지수를 나타냄으로써 연성적으로 안정한 구조로 나타났다. 이와 같은 결과는 LMC의 우수한 부착성능에 기인 된 것으로 판단된다.
4. 인장부에 LMC로 덧씌우기 보강된 시험체의 경우 덧씌우

기 두께에 따른 보강효과는 없는 것으로 나타났다.

5. 전단철근이 보강되고 LMC로 보수된 시험체의 경우 대부분 휨 파괴와 박리파괴의 조합된 파괴형태가 보였으며, 전단보강이 없는 보수 시험체의 경우 취성파괴인 전단파괴와 부착면 박리파괴의 조합된 파괴형태를 보여주었으며, LMC로 압축부 덧씌우기 보강된 시험체의 경우 모두 휨 균열 파괴형태를 나타내었다.
6. LMC로 덧씌우기된 보에서 부착면의 부착거동을 전단흐름-슬립변형률 관계로 도출함으로써 이 자료는 향후 수치 해석 등의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

Arduini, M., Tommaso, A.D., and Nanni, A. (1997) *Brittle Failure in FRP Plate and Sheet Bonded Beams*, ACI Structural Journal, pp. 363-370.

Hutchinson, A.R. and Rahimi, H. (1993) *Behaviour of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded Fiber Reinforced Plastics*, Proceedings of Fifth International Conference on Structural Faults and Repair, Vol. 3, pp. 221-228.

Jones, R., Swamy, R.N., and Charif, A. (1988) *Plate Separation and Anchorage of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy-Bonded Steel Plates*, The Structural Engineer, Vol. 66, No. 5, Mar. pp. 85-94.

Dat Duthinh Monica Starnes (2001) *Strength and Ductility of Concrete Beams Reinforced with Carbon FRP and Steel*, NISTIR 6830, Vol. 4, pp. 16-30.

American Concrete Institute committee 318 (1983) *Building code Requirements for Reinforced Concrete*, ACI 318-83, Detroit.

Kent, Dudley Chales, and Park, Robert. (1971) *Flexural member with confined concrete*, Proceeding, ASCE, Vol. 97, ST7, pp. 1969-1990.

(접수일: 2007.9.7/심사일: 2007.11.14/심사완료일: 2009.7.27)