

LMC로 보강된 철근콘크리트 보의 파괴거동

Fracture Behavior of Reinforced Concrete Beams Repaired by Latex-Modified Concrete

김성환* 정원경* 김기현* 김동호** 윤경구***
Kim, Sung Hwan Jeong, Won Kyong Kim, Ki Hun Kim, Dong Ho Yun, Kyong Ku

Abstract

Latex modification of concrete provides the material with higher flexural strength. This increase in flexural strength can attribute to the crack-arresting action of polymer in concrete, and also to the bonding they provide between the matrix and aggregates. This experimental study presents the fracture behavior of 12 flexural reinforced concrete beams repaired or strengthened by latex-modified concrete with the main experimental variables such as overlay thickness, strength thickness, and shear reinforcement. The results are as follow:

All beam specimens having shear reinforcement were failed by delamination rupture at concrete interface at about 80% of ultimate loading after flexural cracking. All specimens overlaid and strengthened by latex-modified concrete (LMC) showed higher ultimate flexural strength than OPC control specimen, but lower than LMC control specimen. This increase in flexural strength could attribute to the high bonding they provide between the matrix and aggregates. All specimens except two shear unreinforced showed quite similar and consistent displacement behavior. The effect of overlay and strength thickness on the load-displacement relationship were a small at this study.

Keywords : flexural behavior, ductility index, repair materials

1. 서 론

최근에 구조적 결함이 발생한 철근 콘크리트 구조물의 내하력을 증가시키기 위하여 강판이나 탄소섬유시트, 유리섬유시트, 유리섬유판 등을 부착하여 손상된 구조물의 내하력을 증대 시키는 보수·보강 방법이 많이 활용되고 있으며, 이러한 보강재로 부착된 콘크리트 구조물의 거동에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다[1,2,3]. 그러나 섬유시트나 강판으로 보강된 보에 있어서 보강재가 인장축의 인장력을 철근과 함께 부담하여 보강재로서의 역할을 충분히 하고 있지만, 실제 적용 시에는 연성을 확보하여 안전성을 고려하여야만 하는 문제점을 가지고 있다[4].

* 정회원, 강원대학교 토목공학과 박사과정

** 정회원, 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 연구원

*** 정회원, 강원대학교 토목공학과 조교수

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 휨과피 거동과 역학적 특성에 대하여 고찰하고 라텍스개질 철근 콘크리트의 적용 가능성에 대해 알아보고자 하였다.

2. 실험

2.1 콘크리트 배합 및 실험체 제작

콘크리트 배합은 기 개발되어 현장에서 적용되고 있는 라텍스 혼입률 15%의 LMC와 보통포틀랜드 시멘트 콘크리트로 구분하여 배합설계를 하였다. 보통 콘크리트는 콘크리트 교량 상판을 모사하기 위하여 28일 설계강도 270kgf/cm^2 을 목표로 배합설계 되었고, LMC는 작업성 기준을 목표로 초기배출 슬럼프가 21cm가 되도록 배합설계 되었다. 이상과 같은 배합내용은 현재 사용되고 있는 LMC의 배합규정을 참고한 것으로 자세한 내용은 Table 1과 같다.

시험체는 순수 보통콘크리트 보와 LMC 보를 각각 한개 씩 제작하였고, 압축측 LMC 보강 및 전단 보강보를 3개, 압축측 LMC 보강 및 전단 무보강보를 2개를 제작하였으며, 인장부 보강 또한 동일 조건으로 각 5개씩을 제작하여, 모두 12개의 동일 크기의 보를 LMC 보강두께를 변화시켜 휨에 의해 최대내력에 도달하도록 설계하여 제작하였다. 본 연구에서 제작한 시험체는 Figure 1과 같다.

Table 1 Mix Proportions of Concrete

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	19	67	400	930	716	125	21±1	4	-

Table 2 Specimen Details

Specimen	LMC Overlay (d : cm)	LMC Overlay (h-d:cm)	Stirrup	Tension Steel	Compression Steel
Os-R	0	-	D6	D16	D10
Ls-T-3	3	-	D6	D16	D10
Ls-T-8	8	-	D6	D16	D10
Lu-T-8	8	-	-	D16	-
Ls-T-12.5	12.5	-	D6	D16	D10
Lu-T-12.5	12.5	-	-	D16	-
Ls-R	-	0	D6	D16	D10
Ls-B-3	-	3	D6	D16	D10
Ls-B-8	-	8	D6	D16	D10
Lu-B-8	-	8	-	D16	-
Ls-B-12.5	-	12.5	D6	D16	D10
Lu-B-12.5	-	12.5	-	D16	-

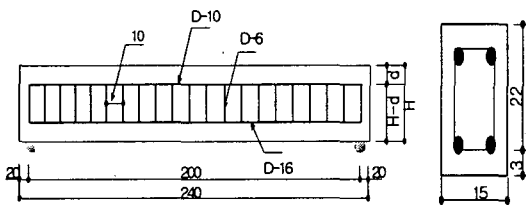


Figure 1 Detail of R.C. Beam Specimen (unit : cm)

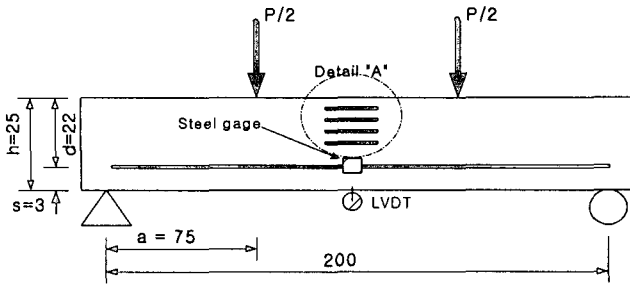


Figure 2 Test Set-up for 4 Point-loading (unit : cm)

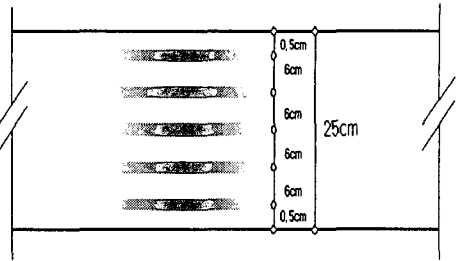


Figure 3 Concrete Strain Gauge (Detail A)

2.2 실험 방법

라텍스로 보강된 철근콘크리트 보의 정적 휨 파괴 시험은 Figure 2와 같이 재령 28일에 있어 100 tonf 용량의 UTM시험기를 사용하여 측정하였다. 하중 재하는 4점 재하를 하였으며, 연직에 가까운 전단균열을 방지하기 위하여 전단 지간 비(a/d , shear span to depth ratio)를 3.4로 하였다. 휨 거동 특성을 알아보기 위하여 Figure 2와 같이 지간중앙 하단부의 LVDT로부터 처짐을 측정하였다. Figure 3은 인장철근 중앙점에 변형게이지를 부착하여 0.5tonf 씩 증가되는 하중단계에 따라 철근 변형량을 측정하였으며, 보 지간 중앙부에는 콘크리트 게이지를 설치하여 변형률을 측정하였다. 또한 하중이 증가함에 따라 균열발생여부를 관찰하기 위하여, 초기 균열발생 하중과 균열진전의 형상을 각 하중단계별로 측정, 기록하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험 결과

라텍스개질 콘크리트와 보통 포틀랜드 콘크리트의 압축강도 특성을 파악하기 위하여 각각의 실험 변수에 대하여 공시체 3개를 실험하였으며, 평균값은 OPC의 경우 302.5kgf/cm^2 , LMC의 경우 302.5kgf/cm^2 을 나타내었다. LMC로 보강된 보에 대한 휨 실험결과는 Table 3과 같다. 전단보강된 모든 시험체는 휨 균열의 발생 후 극한하중의 약 80%에서 신·구 콘크리트 경계면의 초기 박리가 발생하기 시작하여 파괴에 이르렀다. LMC로 보강된 모든 시험체는 표준시험체의 극한강도 7.69 보다 높은 극한강도 값을 나타내었으며, 순수 LMC 보의 극한강도 값인 8.36보다는 적은 극한강도 값을 나타내었다. 일반 콘크리트 보다 고강도인 LMC로 보강되었을 때 큰 내하력을 나타낸다는 것은 신·구 콘크리트가 완전부착 되었다는 의미이다.

3.2 하중-처짐, 하중-철근변형률 관계

Figure 4는 LMC로 압축부가 보강된 시험체의 하중-처짐 관계를 나타내는 그림으로서 전단보강되어진 시험체의 경우 극한 하중은 표준 시험체의 극한하중 7.69tonf 보다 높은 값을 보여 LMC로 압축부가 보강되었을 경우 보강효과가 있음을 보여주었다. 그러나 전단보강하지 않은 시험체의 경우 전단보강된 극한하중의 약 1/3 ~ 1/2 크기의 낮은 값을 나타내었다. Figure 5는 LMC로 압축부가 보강된 시험체의 하중-철근변형률관계 그림을 나타낸 것이다. 이 그림 또한 Figure 4에서 보여진 것과 같은 경향을 나타내었다.

인장부에 LMC로 보강된 시험체의 하중-처짐관계 그림을 Figure 6에 나타내었다. 전단보강된 경

우 LMC로 압축부가 보강된 경우와 유사한 경향을 보였으나, 전단보강 하지 않은 시험체의 경우 항복 하중이후 취성파괴의 경향을 나타내었다. 따라서 이러한 보강효과는 신·구 콘크리트의 부착면에서의 부착능력에 좌우됨을 알 수 있었으며, LMC 보강 두께에 따른 영향이 미소한 것을 알 수 있었다.

전단보강하지 않은 경우, 전단력의 영향이 증가하여 휨 파괴에 이르기 전에 먼저 전단 파괴가 발생하여, 전단보강된 경우보다 극한하중이 낮은 값을 나타내었다. LMC로 압축부와 인장부가 보강된 경우를 비교하였을 때, 전자의 경우 철근이 항복한 이후 상당시간 안 변위가 발생되고 난후 파괴가 발생하는 현상을 볼 수 있었으며, 후자의 경우 철근이 항복한 후 급격한 파괴가 이루어 졌다. 이는 LMC가 압축부에 보강된 경우가 인장부에 보강된 경우보다 연성능력이 더 뛰어난 것을 알 수 있었다.

Table 3 Test Results of Specimens

Specimens	load at Initial Crack (tonf)	Yield Load (tonf)	Ultimate Load(tonf)	초기박리하중 (tonf)	Deflection at Maximum load(mm)	Maximum Deflection (mm)
Os-R	2.50	-	7.69	-	-	-
Ls-T-3	2.30	7.03	7.83	7.00	39.72	40.30
Ls-T-8	2.60	7.03	8.13	7.40	41.34	45.04
Lu-T-8	1.86	3.56	4.23	3.00	23.71	30.13
Ls-T-12.5	2.10	7.03	7.76	5.50	27.07	31.19
Lu-T-12.5	1.00	-	2.66	1.40	20.37	44.25
Ls-R	2.00	-	8.36	-	-	-
Ls-B-3	2.20	7.26	8.09	7.20	32.90	37.15
Ls-B-8	2.10	6.99	8.03	6.50	25.65	34.95
Lu-B-8	2.50	2.86	2.86	2.50	1.99	6.28
Ls-B-12.5	2.40	6.79	8.06	6.30	34.65	34.49
Lu-B-12.5	1.90	4.43	4.43	4.50	3.38	4.51

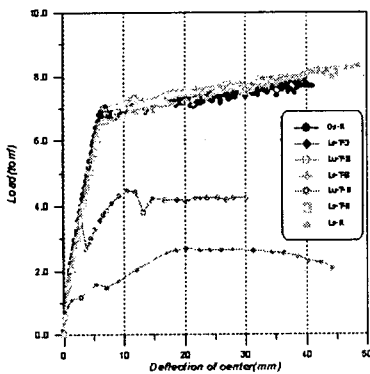


Figure 4 압축부가 보강된 시험체의 하중-처짐 그림

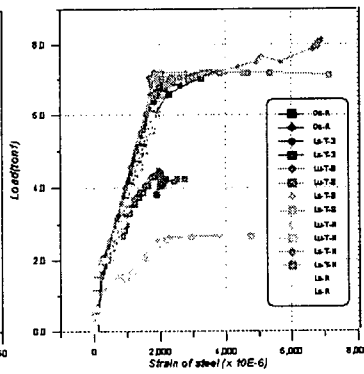


Figure 5 압축부가 보강된 시험체의 하중-철근변형률 그림

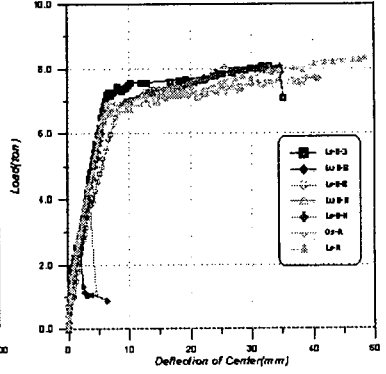


Figure 6 인장부가 보강된 시험체의 하중-처짐 그림

3.3 균열진전 및 파괴거동

Figure 7은 시험체의 균열 진전현상을 나타낸 것이다. 시험체(a)와 시험체(g)는 전형적인 휨 파괴를 보였으며, 전단철근이 보강되고 LMC가 압축부에 보강된 시험체(b), 시험체(c), 시험체

체(e)를 표준시험체(a)와 비교하였을 때 초기 표준시험체(a)의 균열 형상과 동일한 휨 균열형상을 보이는 균열이 되며, 그 후 수평방향으로의 균열이 약 7 tonf에서 발생, 박리현상이 진행되어 결국에는 휨 파괴와 박리 파괴의 조합된 파괴형태가 나타났다. 인장부에 보강된 시험체(h), 시험체(i), 시험체(k) 또한 수평방향으로의 균열이 평균 6.67tonf에서 발생되어 휨 파괴와 박리 파괴의 조합된 파괴형태를 보였다.

LMC가 압축보강인 경우, 전단철근의 유무에 따라 시험체(c)와 시험체(d), 시험체(e)와 시험체(f)를 각각 비교하였을 때 전단 무보강 시험체의 파괴형상을 전단파괴로 예상한 것과 달리, 초기 휨 균열이 진전되다가 신-구 부착면을 따라 수평방향의 균열이 발생하여 파괴되는 현상을 보였다. LMC가 인장보강인 경우, 전자의 압축보강인 경우와 동일한 현상을 보였다. 전단철근이 보강되지 않은 시험체의 경우, 경계면에서의 부착 파괴 영향이 더 크게 작용하여 수평방향의 균열이 확연히 나타났다. 따라서 전단철근이 전단력의 보강재 역할 뿐만 아니라 수평방향의 전단 연결재의 역할도 하는 것으로 판단되어 진다.

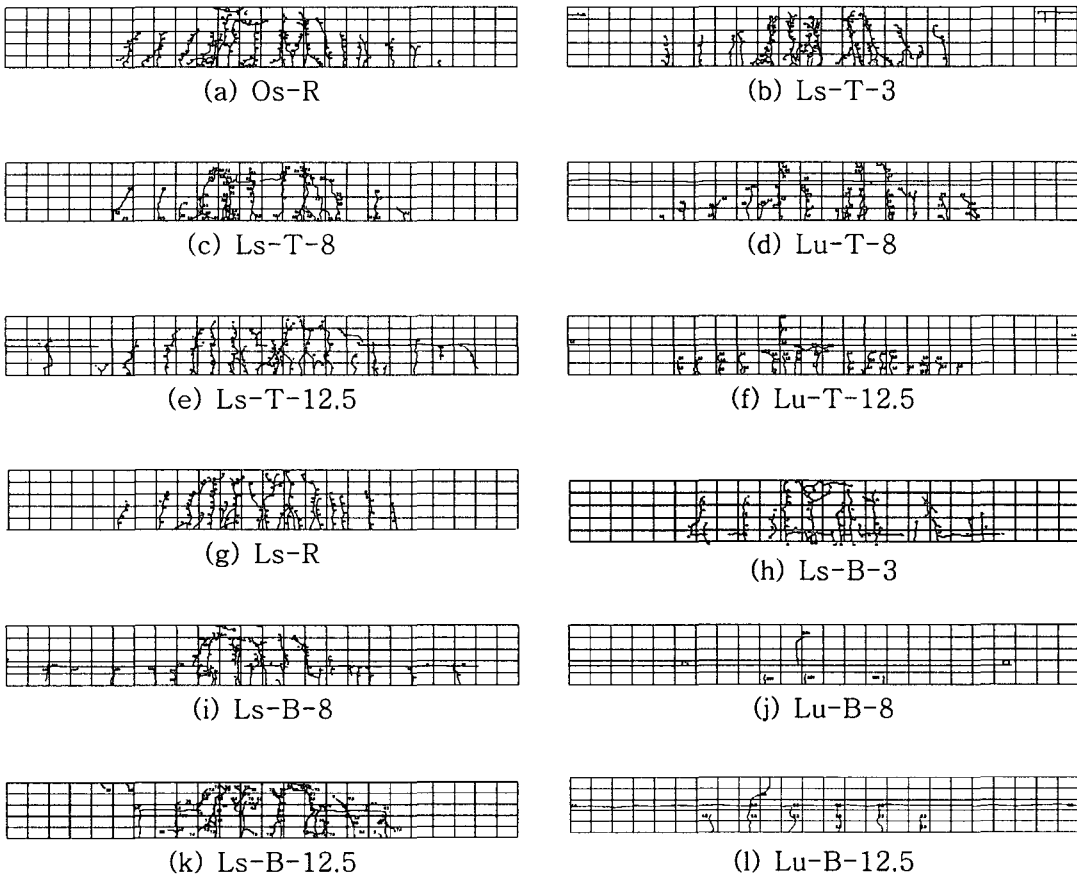


Figure 7 Crack Propagation

4. 결 론

본 연구에서는 LMC로 보강된 철근 콘크리트 보에 대한 구조 내력을 평가하기 위하여 휨 실험을 실시하였다. 실험의 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) LMC로 보강된 시험체의 극한 하중은 표준 시험체의 100~105.7%로 보수·보강효과가 상당히 좋은 것으로 판단되었다.
- 2) LMC로 보강된 시험체의 파괴양상 및 중립축의 변화가 표준 시험체의 것과 거의 유사한 거동을 보여주었다. 이것은 보강된 재료와 기존재료가 완전 부착되어 일체로 거동하는 것을 나타내는 것이다.
- 3) 두 가지 이질재료로 구성된 철근콘크리트 보에서는 재료의 강도보다는 재료 사이의 계면에 대한 부착성능에 따라 구조물의 성능을 좌우하게 된다. 그러므로 재료 계면의 부착에 대한 연구가 활발히 진행되어야 한다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단지정 강원대학교 부설 “석재복합신소재제품연구센터” 지원에 의해 이루어진 것입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Arduini, M., Tommaso, A.D., Nanni, A., "Brittle Failure in FRP Plate and Sheet Bonded Beams", ACI Structural Journal, July-aug. 1997, pp. 363-370.
2. Hutchinson, A. R. and Rahimi, H., "Behaviour of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded Fiber Reinforced Plastics", Proceedings of Fifth International Conference on Structural Faults and Repair, Vol.3, 1993, pp.221-228.
3. Jones, R., Swamy, R. N., Charif, A., "Plate Separation and Anchorage of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy-Bonded Steel Plates", The Structural Engineer, Vol.66, No.5, Mar. 1988, pp.85-94..
4. Dat Duthinh Monica Starnes, "Strength and Ductility of Concrete Beams Reinforced with Carbon FRP and Steel", 2001.