

대구경 볼트와 와이어텐션을 이용한 슬래브 보강공법에 관한 실험적 연구

An Experimental Study of Reinforced Concrete Slab Strengthened with Large Diameter bolts and Wire Tensioning.

○ 서 동 기* 노 현 섭* 김 상 모** 이 창 남*** 김 상 섭****
Seo, Dong-Gee Noh, Hyun-Sup Kim, Sang-Mo Lee, Chang-Nam Kim, Sang-Seup

Abstract

As time goes up, structural capacity of members decreases in reinforced concrete structures. The deterioration of the capacity is mainly due to the poor construction, corrosion of steel bars and the neutralization of concrete due to environmental pollution, etc. This deterioration is unavoidable, thus it is necessary to develop the method for repair and retrofit of structures in order to ensure structural safety of members.

The purpose of this paper is to investigate the load-deflection, ultimate strength, failure mode, and energy absorption capacity of reinforced concrete slabs subject to load experimentally for several variables and grasp the problem of concrete slabs strengthened with large diameter bolts and wire tensioning. And propose foundational research data for strengthening reinforced concrete slabs. The test result shows that the capacity of anchorage is controlled by bearing capacity of concrete under the anchorage or punching shear around the anchorage. And the gap between bolts and core hole must be filled to prevent slip and rotation of anchorage.

키워드 : 슬래브, 보수, 보강, 와이어텐션, 대구경볼트

Keywords : Slab, Repair, Retrofit, Wire Tensioning, Large Diameter bolts

1. 서론

철근콘크리트 구조물이 시공 상의 결함, 철근의 부식, 콘크리트의 노후화 등 여러 요인으로 인해 강도가 저하되거나, 증축 또는 설계변경을 하려면 내력증대가 필요하다. 이러한 경우 적절한 보수·보강대책을 세워야 한다.

지금까지 콘크리트 구조물의 보수·보강은 단면증설법과 강판접착법이 많이 이용되어 왔다. 그러나 이런 보강 방법은 건물의 중량이 증대되고, 작업을 위한 공간 확보와 이용 공간 제한, 내구성, 공기, 숙련공의 부족 등 많은 문제점을 안고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 탄소섬유시트와 같은 복합신소재를 이용한 보강이 개발되었으나 기존 콘크리트와의 일체성과 화재 시 에폭시 발화에 따른 유독가스 배출 등의 문제점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 와이어텐션공법으로 슬래브를 보강할 경우 와이어의 정착구로서 슬래브를 관통하는 대구경볼트의 사용가능성을 제시하고 효율적인 보강상세를 도출하는 데 목적이 있다.

2. 실험

2.1 실험 계획

본 연구는 대구경볼트를 이용한 와이어텐션 보강 시 볼트 축 부분의 휨 및 콘크리트 각 부분의 파괴양상을 검토하고, 와이어에 도입된 긴장력에 따른 응력 분포 등을 파악하여 적절한 보강상세를 제안하고자 한다.

표 1은 실험체 기호와 주요변수이다. EF-180-25를 기준 실험체로 총 7개의 실험체를 제작하였다.

표 1. 실험체 일람표

NO	실험체명	코어 직경	내부 충전	대구경볼트 정착판크기	와셔크기 (두께)	비고
1	EF-180-25	50	Epoxy	180×240	180 (25)	기준 실험체
2	EF-240-25	50	Epoxy	180×240	240 (25)	와셔크기 변경
3	EF-180-10	50	Epoxy	180×240	180 (10)	와셔두께 변경
4	MF-180-25	100	Mortar	180×240	180 (25)	모르터 충전
5	NF-180-25	50	×	180×240	180 (25)	비충전
6	WH-180-25	50	Epoxy	240×180	180 (25)	정착판 방향 변경
7	NF-120-10		×	180×240	120 (10)	소형 와셔

실험체명 설명 EF(MF, WH, NF) - 000 - 00
 와셔크기 와셔두께
WH : Wide Head EF : Epoxy Filled
MF : Mortar Filled NF : Not Filled

* 정희원, (주) 센구조 연구소, 연구 개발팀
** 정희원, (주) 센구조 연구소, 부장, 구조기술사
*** 정희원, (주) 센구조 연구소, 대표이사, 구조기술사
**** 정희원, 한국기술교육대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

2.2 재료시험

시험체 제작을 위한 콘크리트는 설계강도 210kgf/cm² 레미콘을 사용하였으며, 표 2는 콘크리트 압축강도 시험결과 및 배합비 결과이고, 표 3은 와이어와 대구경 볼트 및 와셔의 인장강도에 관한 재료시험 결과이다.

모르터와 에폭시는 코어에 삽입된 볼트 축부분과 콘크리트 사이 공극 충전용으로 기성제품을 사용하였고, 강도 시험은 하지 않았다.

표 2. 압축강도 시험결과와 배합비

설계강도 (kgf/cm ²)	28일 압축강도 (kgf/cm ²)	물시멘트비 (%)	콘크리트 배합량(kg/cm ³)			
			결합재	물	잔골재	굵은골재
210	208	55.6	320	178	872	940

표 3. 와이어 및 와셔의 시험결과

구분	항복강도 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	연신율 (%)	비고
강연선	1766.3	1939.3	9.1	SWPC 7B 15.2mm
대구경볼트 및 와셔	393	679	27.0	SM45C

※ 0.2% 영구연신율에 대한 항복하중

2.3 시험체 제작

그림 1은 시험체의 배근도이다. 슬래브는 HD10 @200 이고, 두께 15cm에 대해 보강하는 것으로 가정하였으며 휨 파괴를 방지하기 위해 휨 인장 측에 HD16@100간격으로 배근하였다. 와이어 긴장을 위한 단부는 지압파괴를 방지하기 위해 슬래브 두께를 증가시키고 철근을 배근하였다.

그림 2, 3은 대구경볼트의 충전방법이다. 그림 2는 28일 양생된 시험체를 각 시험변수에 따라 $\phi 50$ 의 코어를 천공한 후 대구경볼트를 삽입하고 에폭시를 충전하여 볼트 축 및 정착판과 콘크리트 지압 면 사이에 공극 없이 충분히 하중이 전달되도록 하였다. 그림 3은 보강하고자 하는 슬래브의 콘크리트 강도가 약할 경우 $\phi 50$ 의 대구경볼트를 이용하면서 기존 콘크리트의 지압면적을 확대하는 방안으로 기존 콘크리트 슬래브에 $\phi 100$ 코어를 천공하여 고강도 모르터를 충전한 상세이다. 에폭시 및 모르터는 1주일간 양생하였다.

2.4 시험방법

그림 4는 시험체 설치 및 게이지 부착위치이다. 그림 4(a)는 충전된 에폭시 및 모르터가 양생된 이후 정착판에 와이어를 설치하여 오일 잭을 이용하여 가력하였다. 그림 4(b)는 시험체에 부착된 변위계 및 변형률 게이지의 위치이다. 변위는 슬래브의 회전각과 정착판의 미끄러움을 측정하였고, 오일 잭 변위로 최대 변위를 측정하였다. 변형률 게이지는 볼트 축 전면부와 슬래브 뒷면 등에 부착하여 응력 분포를 확인하였다. 가력은 최대하중이후 최대내력의 70% 이하로 저하되거나 파단으로 더 이상의 가력이 어려울 때까지 계속 하였다.

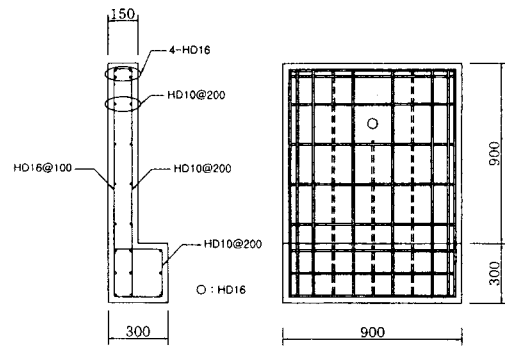


그림 1. 시험체 철근배근

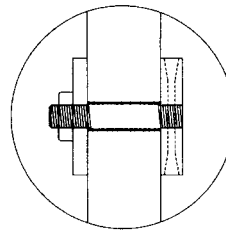


그림 2. 에폭시 충전

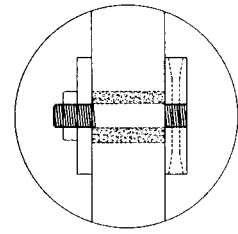
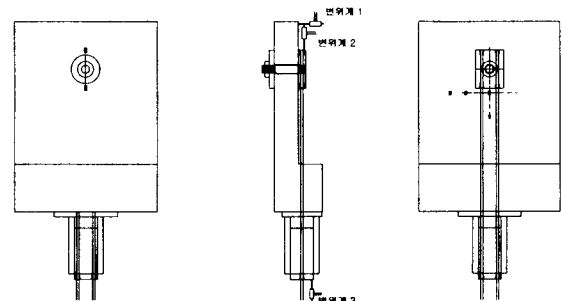


그림 3. 모르터 충전



(a) (b)
그림 4. 시험체 설치 및 게이지 부착위치

3. 시험결과

3.1 시험내력 및 하중-변위 곡선

표 4는 시험결과에 의한 각 시험체의 항복내력, 최대내력과 각 시점에서의 변위, 에너지이다. EF-240-25 시험체는 가력 도중 와이어가 파단하여 시험이 중단되어 표 4에 화살표(↑)로 나타내었다.

그림 5는 항복내력의 산정방법이다. 에너지 평가는 변위 하중 곡선에서 최대하중에 대한 면적으로 정의하여 평가하였다. 그림 6은 각 시험체의 하중 변위곡선이다. 대구경 볼트와 와셔의 크기, 와셔의 두께 및 정착방법 등에 따라 강성과 내력, 변형능력, 에너지의 차이를 확인할

수 있다.

표 4. 실험결과 최대내력 및 항복내력

실험체명	항복내력 (tf)	항복변위 (mm)	최대내력 (tf)	최대변위 (mm)	항복내력/최대내력 (%)	에너지 (tf·mm)
EF-180-25	39.14	37.0	44.43	46.8	88.1	1152
EF-240-25	33.60 ↑	24.0	43.68 ↑	36.4	76.9	901
EF-180-10	34.36	24.4	43.36	34.4	79.2	795
MF-180-25	32.64	23.2	39.68	29.2	82.3	625
NF-180-25	34.46	31.0	41.60	43.0	82.8	916
WH-180-25	33.49	26.2	39.44	35.4	84.9	785
NF-120-10	32.25	24.8	35.74	29.2	90.2	524

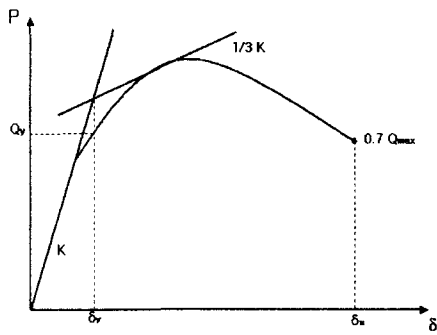


그림 5. 항복내력 산정

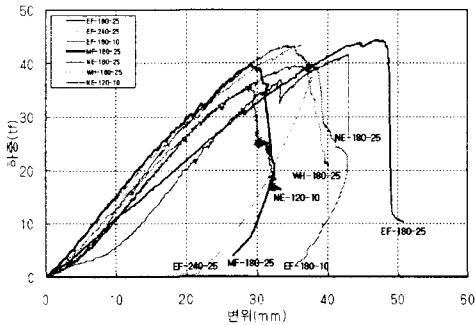


그림 6 실험체의 하중-변위 곡선

3.2 실험체의 파괴양상

그림 7은 기준실험체인 EF-180-25 실험체의 파괴양상을 보여주는 그림이다. 인장 초기에 볼트축 앞부분의 지압에 의해 정착판의 미끄러짐이 발생하기 시작하고 미끄러짐 양이 증가 하면서 정착판 이나 뒷부분 와셔 하부에서 지압 파괴가 발생하였다 [그림 7(b),(c)]. 정착판 전면은 지속되는 하중으로 외부 편심모멘트에 의한 슬래브의 펀칭 파괴가 나타났다. 그림 7(d)는 실험 종료 후 정착판을 제거했을 때 볼트 축 앞부분의 지압파괴 형태를 보여주고 있다. 각 실험체의 파괴진행양상은 기준 실험체와 유사하여 초기 미끄러짐 발생 후 정착판 및 와셔의 지압파괴, 슬래브의 펀칭파괴로 이어진다.

각 실험체의 파괴형태 및 특징은 표 5와 같다.

표 5. 실험결과 최종파괴 형태 및 특징

실험체명	최종파괴 형태 및 특징
EF-180-25	대구경볼트 축부, 정착판 앞부분 및 와셔 뒷부분 지압파괴 진행 후 정착판 전면의 펀칭파괴로 종료
EF-240-25	대구경볼트 축부 지압파괴 발생 후 가력부분의 와이어 파단으로 종료. 와셔와 정착판하부 지압파괴 발생하지 않음
EF-180-10	대구경볼트 축부와 정착판 하부의 지압파괴. 와셔의 휨변형 발생.
MF-180-25	대구경볼트 축부 보강 모르터 지압파괴. 보강모르터 전면 콘크리트 균열발생
NF-180-25	가력초기 정착판의 미끄러짐 발생 후 내력상승, 정착판 회전으로 와이어의 하중집중, 와이어 파단으로 실험 종료.
WH-180-25	정착판 전면부의 지압파괴
NF-120-10	와셔크기 부족으로 와셔부분의 지압파괴 발생

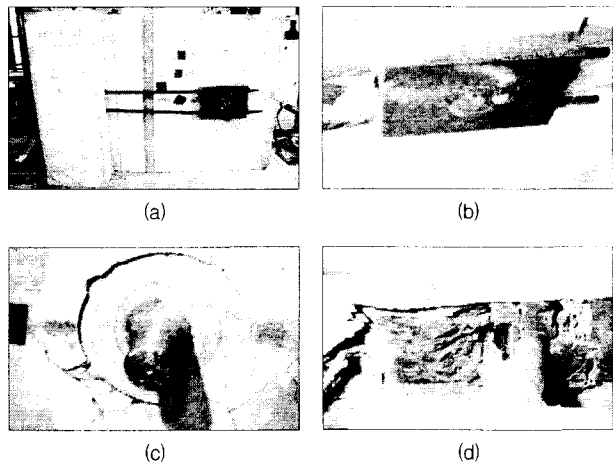


그림 7 실험체의 파괴양상

4. 고찰

4.1 충전방법의 영향

그림 8은 와셔 크기가 동일한 경우 충전방법의 영향에 의한 하중 변위곡선이다. 코어 천공 부분과 대구경볼트 축사이의 충전방법은 공극을 에폭시로 충전한 경우(EF)와 고강도 모르터(MF), 비충전(NF)을 적용하였다.

충전방법에 의한 내력의 차이는 크지 않으나 변형능력은 차이가 있다. 또한 충전하지 않은 실험체는 가력 초기에 공극의 영향으로 초기 미끄러짐이 발생한 후 에폭시를 채운 실험체와 유사한 성능을 나타내었다. 그러나, 정착판의 초기 회전으로 한쪽 와이어에 긴장력이 집중되는 경우가 발생하였다.

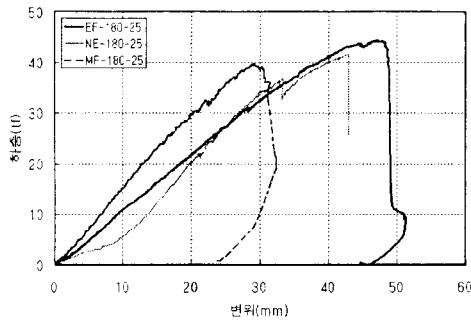


그림 8. 충전 방법에 따른 하중-변위 곡선

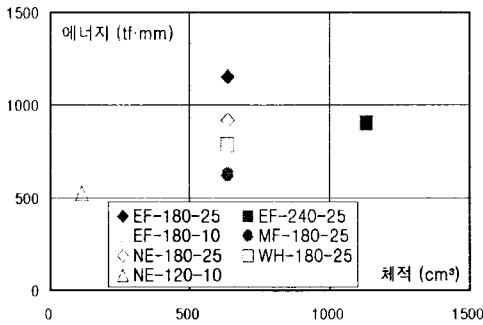


그림 9. 와서의 크기와 에너지 관계

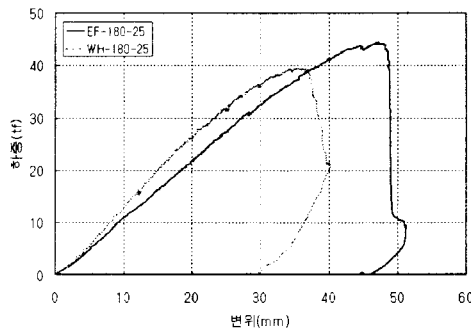


그림 10. 정착판 방향에 따른 하중-변위 곡선

4.2 와서크기와 두께의 영향

와서 크기와 두께가 상이한 EF-180-25, EF-180-10, EF-240-25의 시험체에 대해 표 4와 그림 6에서 비교하였다. 각 시험체간의 최대내력은 큰 차이가 없으나 최대내력 시 변형량은 다소 차이를 보인다.

그림 9는 와서 크기와 에너지의 관계이다. 횡축은 와서 크기를 체적으로 산출한 것이고, 종축은 각 시험체의 에너지이다. 각 시험체에 따라 다소 편차가 있으나 와서의 체적이 증가할수록 에너지가 상승하고 있다. 그러므로 적정한 와서 크기와 두께의 확보가 필요하다.

4.3 정착판 방향의 영향

그림 10은 정착판 방향에 의한 하중 변위곡선이다. 정착판의 방향을 폭 방향으로 변경하면 길이방향에 비해

내력은 다소 저하하나, 최대내력시 변형량은 큰 차이를 보인다. 이것은 정착판을 와이어 인장방향과 직교하는 방향으로 배치하였을 경우 가력 초기에 정착판에 도입되는 모멘트에 저항하는 모멘트 팔 길이가 짧아 정착판 아래 콘크리트에서 일찍 지압내력에 도달하고 정착판에 회전 이 발생하여 미끄럼이 적기 때문으로 판단된다.

5. 결론

대구경 볼트와 와이어 텐션을 이용하여 보강한 슬래브 실험 결과는 다음과 같다.

1. 정착판 내부의 충전 유무가 내력 및 변형능력에 큰 차이는 보이지 않으나 정착판 내부를 채우지 않으면 초기에 과도한 슬립이 발생하거나 정착판의 회전 등으로 균등한 하중이 도입되지 않을 수 있으므로 에폭시 또는 고강도 모르타르 채우는 것이 바람직하다.
2. 정착판(150×240)과 와서 크기(φ180)가 동일할 경우, 와서 두께에 따른 초기 강성 및 최대내력은 큰 차이를 보이지 않는다.
3. 대구경 볼트와 와이어 텐션을 적용한 슬래브 보강방법의 내력은 정착판 하부 콘크리트의 지압력과 정착판 주변 콘크리트의 뚫림전단에 지배되므로 정착판 및 와서는 적절한 크기 및 판 두께의 확보가 필요하다.

본 실험은 대구경볼트를 사용한 와이어텐션 슬래브 보강공법에 대해 검토하였다. 대구경볼트가 보강공법에 적용가능한지를 파악하고 지압내력의 영향을 분석하여 효율적인 보강상세를 개발하고자 하였다. 또한 정확한 지압내력 평가 및 실제 슬래브에 적용되었을 때의 영향을 평가하기 위해서는 철근배근, 슬래브의 연속성, 실험 규모 등을 실제상황에 맞게 설정하여 보강 공사 시 와이어의 긴장력을 결정할 수 있는 추가실험이 필요하다.

참고문헌

1. 김우, 김행준, 이성문, "유리섬유 보강패널로 보강된 철근 콘크리트 슬래브의 구조거동에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표대회 논문집, 2000
2. 박홍용, "FRP 보강 철근콘크리트 슬래브의 휨 거동", 한국콘크리트학회, 12권 3호, 2000. 6
3. 안상호, "경량패널에 탄소섬유쉬트가 접착된 복합패널로 보강한 RC슬래브의 휨 거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 논문집, Vol. 18, No. 4, 2002. 4
4. M.T. El-Mihilmy, J.W. Tedesco, "Analysis of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Laminates", Journal of Structural Engineering V.126, No.6, 2000.6, pp684-691