

무소음무진동 보보강공법 개발에 관한 연구(2)

Development of Retrofit Method for Beam Using Steel Plate Reinforced by Fiber Sheet (2)

김 우 재* 최 종 문*
Kim, Woo Jae Choi, jong moon

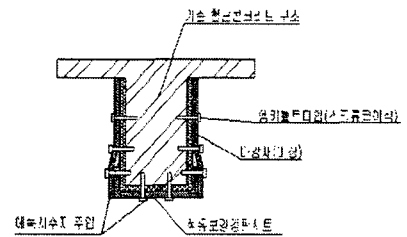
Abstract

The purpose of this study was the Development of Retrofit Method for Beam Using Steel Plate Reinforced by Fiber Sheet. 1. Additional reinforcements are not needed in the joining area of slab and beam web. 2. Beam using carbon fiber reinforced plastic displays low effects in shearing effect. 3. Beams reinforced steel plate by epoxy effect the capacities of strength. But the capacities of strength are rapidly reduced when adhesive surface be omitted. Thus details are needed in this case. 4. Retrofit method for beam using steel plate reinforced by fiber sheet with epoxy rosin improves the capacities of strength and the initial stiffness, shows a large transformation since the maximum load likewise may be excellent to the shearing reinforcement.

1. 서론

본 논문과 관련하여 2004년 가을 콘크리트학회 학술발표대회 발표에서는 “무소음 무진동 보보강공법 개발에 관한 연구(1)”로 보강소재에 대한 실험 및 전단부착시험을 실시하여 보강공법에 대한 기초적인 성능시험을 실시하였다. 본 논문에서는 상기 연구에서 도출된 연구결과를 활용하여 실물 크기의 부재에 적용하여 보 휨 시험을 실시하여 특수 목적의 기계실 및 클린룸 등과 같은 공간의 보강공법을 개발하기 위한 연구이다.

(그림 1 참고)



<그림 1> 공법개발 개념도

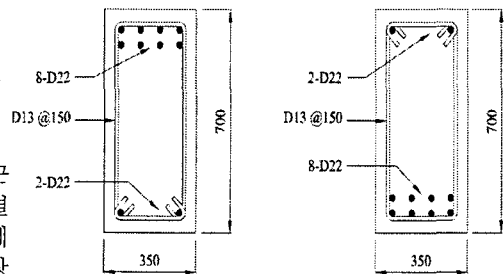
2. 보 휨 시험

2.1 시험체 계획

시험체의 단면 크기는 700X350mm, 보 스패를 6m, 콘크리트 압축강도(f_{ck})를 210kgf/cm^2 , 철근의 항복강도(f_y)를 3000kgf/cm^2 으로 실험 계획하였다. 단부와 중앙부의 철근 배근도는 그림2와 같다.

2.2 시험체 제작 재료

보 실험에 앞서서 콘크리트 공시체의 강도측정 및 철근의 인장 시험을 수행하였다. 콘크리트 공시체의 시험 결과 28일 강도가 255kgf/cm^2 으로 조사되었다. 본 연구에 적용된 탄소섬유시트는 밀도 200gf/m^2 을 사용하였다. 인장 강도는 $35,500\text{kgf/cm}^2$ 을 나타내었으며 기타 다른 물성치



<그림 2> 시험체 배근도

* 정회원, 포스코건설기술연구소

는 아래와 같다.

표2 시험체계획

NO	보강법	접착법	간격
1	무보강	-	
2	강판보강	에폭시	
3	탄소섬유보강	에폭시	
4	강판+탄소섬유보강	에폭시	
5	강판+탄소섬유보강	에폭시+앵커	앵커 간격 조절
6	강판+탄소섬유보강	에폭시+앵커	
7	강판+탄소섬유보강	에폭시+앵커	
8	강판+탄소섬유보강	에폭시+앵커	
9	강판+탄소섬유보강	에폭시+앵커	

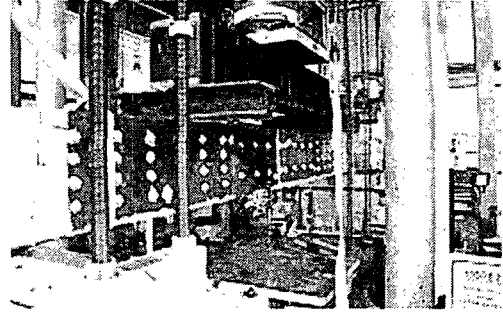


그림 3 시험체 세팅 전경

한편 부착에 사용된 에폭시수지는 섬유시트 보강공법용 수지이다. 탄소섬유보강 강판을 사용한 보강공법은 에폭시 수지를 주입하므로 강도와 함께 낮은 점도를 요구한다. 실험에 적용된 탄소섬유 및 에폭시 수지의 물성치는 아래 표 3,4와 같다.

2.3 시험방법

보 휨실험은 1000ton U.T.M.에서 실시하였으며 그림 3과 같이 보 실험체의 세팅도 및 변위계 위치를 나타내고 있다. 지지점은 콘크리트 실험체 제작시에 철판을 삽입하여 가력시 발생할 수 있는 압괴현상을 사전에 방지하였으며, 가력점은 실제 건물과 동일한 조건을 구현하기 위하여 등분포 하중이 작용할때와 가장 근접한 BMD, SFD를 나타내는 지점을 찾아서 2점 가력하였다. 그 가력지점은 6m스팬의 1/4되는 지점인 1.5m되는 구간 그리고 가력 스패는 3m로 설정하였다. 한편 변위계는 중앙부에 LVDT 두개를 설치하여서 중앙처짐을 구하였고 가력 지점아래에 LVDT를 설치하여 지점의 처짐을 체크하였다. 보 중앙부 상단에 압축면의 변형률을 측정하기 위하여 3개의 콘크리트 게이지를 부착하였다. 또한 중앙부, 지점의 하단부 옆면에 각각 인장 스트레인 게이지를 부착하였다.

표 3 탄소섬유의 물성치

섬유중량 (gt/m2)	섬유비중 (gf/m3)	시트치수 (Wcm x Lc)	
200	1.82	100x50	
인장강도 (kgf/cm폭)	인장탄성률 (kgf/cm폭)	파단변형률 (%)	두께 (cm)
390	25,850	1.5	0.11

표 4 에폭시 수지 물성치

압축강도 (kgf/cm2)	휨강도 (kgf/cm2)	인장강도 (kgf/cm2))
1634	1171	801.1
인장전단 접착강도 (kgf/cm2)	점도(CP)	
	주제	경화제
100.0	1100	37

3. 보보강 시험결과

NO	보강법	접착법	앵커간격	항복하중 (tonf)	항복변위 (mm)	최대하중 (tonf)	비고
1	무보강	-	-	26.71	12.91	38.78	미장 無
2	강판보강	에폭시	-	83.54	16.02	83.54	
3	탄소섬유보강	에폭시	-	34.18	13.88	47.19	
4	강판+탄소섬유보강	에폭시	-	98.12	21.71	98.12	
5	강판+탄소섬유보강	에폭시+앵커	96	63.06	11.23	94.86	
6	강판+탄소섬유보강	에폭시+앵커	132	91.75	18.22	100.43	미장 有
7	강판+탄소섬유보강	에폭시+앵커	196	94.46	17.25	102.94	
8	강판+탄소섬유보강	에폭시+앵커	96	87.27	15.21	102.12	
9	강판+탄소섬유보강	에폭시+앵커	196	92.22	15.99	106.2	

보강을 하지 않은 경우와 강판을 에폭시로 부착하여 보강한 실험체의 경우 강판을 보강한 보는 강판과 콘크리트와의 접착성능이 감소하기 전까지 최대하중을 나타내며 항복하중이 곧 최대하중이 된다. 강판보강한 경우의 항복하중은 83.54tonf으로 무보강 항복하중보다 무려 313%의 증가를 보였다. 최대

하중으로 평가하더라도 230%의 증가를 가져왔다. 하지만 강판보강은 그 접착부분이 떨어지면 내력이 급격하게 떨어져서 변형능력면에서는 불리한 면을 보이고 있다. (그림 4 참고) 보강을 하지 않은 경우와 탄소섬유부착강판을 에폭시로 보강한 실험체의 경우 탄소섬유부착강판을 보강한 보는 탄소섬유부착강판과 콘크리트와의 접착성능이 감소하기 전까지 최대하중을 나타내며 항복하중이 곧 최대하중이 된다. 탄소섬유부착강판을 보강한 경우의 항복하중은 98.12tonf으로 무보강 항복하중보다 무려 367%의 증가를 보였다. 최대하중으로 평가하더라도 253%의 증가를 가져왔다. 하지만 강판보강은 그 접착부분이 떨어지면 내력이 급격하게 떨어져서 변형능력면에서는 불리한 면을 보이고 있다.(그림 5 참고)

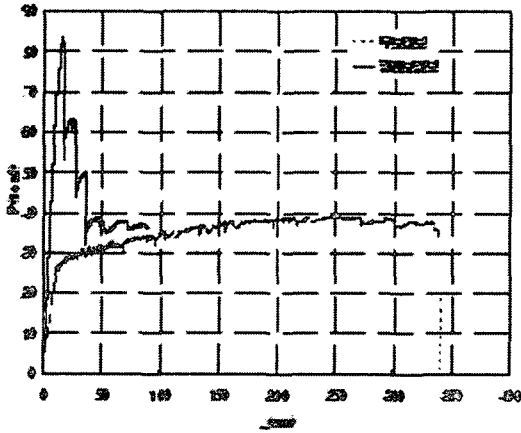


그림 4 단순보중에서 무보강 및 강판보강 실험체의 P-Δ곡선

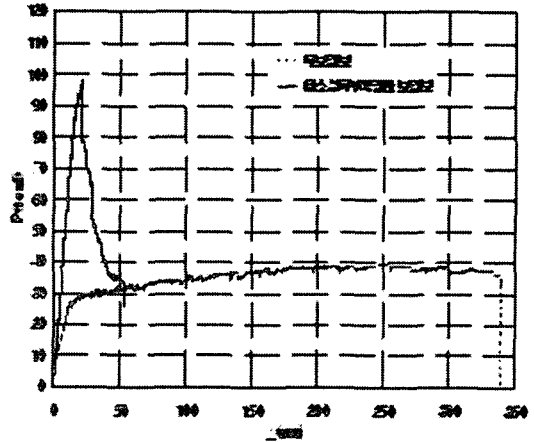


그림 5 무보강 와 탄소섬유부착강판보강 실험체의 P-Δ곡선

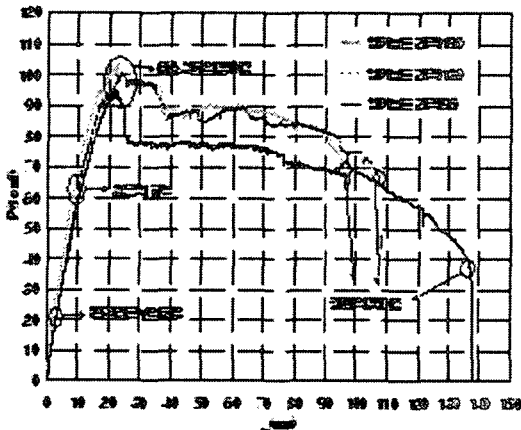


그림 6 탄소섬유부착강판을 에폭시와 앵커볼트로 체결한 실험체중에서 앵커볼트 간격에 의한 비교 P-Δ곡선

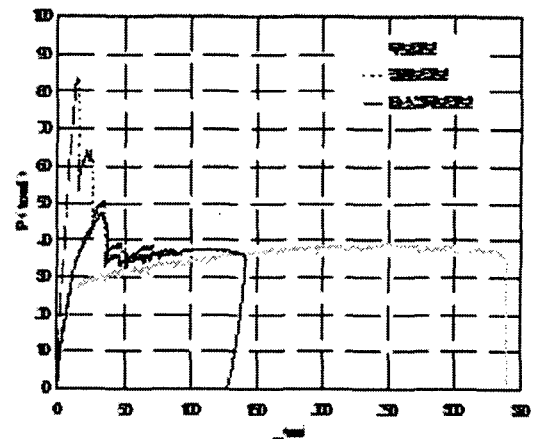


그림 7 무보강 실험체와 탄소섬유부착강판을 에폭시와 앵커볼트로 체결한 P-Δ곡선

앵커볼트간의 간격에 의해 실험체에 미치는 영향을 파악할수 있는 시험의 경우 앵커개수가 많아지면 탄소섬유가 파단된뒤 안정적인 이력거동을 나타낸다. 또한 강성 및 항복하중 최대하중까지 증가하는 경향이 있지만 앵커볼트를 132개 체결한 실험체와 196개를 체결한 실험체의 차이는 거의 없는것으로 보인다. 이는 앵커볼트가 어느 한계 이상 체결하면 그 만큼 비례해서 효과도 증가하지는 않음을 보여 준다. 하지만 앵커볼트를 통해서 휨 뿐만 아니라 전단 보강에도 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

(그림 6 참고) 보강을 하지 않은 보와 강판을 에폭시로 보강한 보와 탄소섬유로 보강한 보와의 비교한 시험의 경우 그림 7에서처럼 강판보강이나 탄소섬유를 보강하면 항복하중과 강성이 증가하였다. 하지만 그래프에서처럼 강판보강이 탄소섬유보강보다 내력향상이나 강성의 증가면에서 더 유리한 것으로 나왔다. 탄소섬유보강보는 무보강보에 비하여 항복하중은 28%증가하였으며 최대하중은 22%증가하는 반면 강판보강은 무보강에 비하여 항복하중은 312%증가하였으며 최대하중은 항복하중과 동일하여 312%의 증가를 보였다. 무보강보와 탄소섬유부착강판을 에폭시로 보강한 보와 탄소섬유부착강판을 에폭시와 앵커볼트로 보강한 보의 실험결과는 그림 8에 나타내었다. 탄소섬유부착강판을 에폭시로만 보강하던 에폭시와 앵커볼트 동시에 체결하던 강성이나 내력의 증가면에서는 확실한 효과가 있다. 하지만 에폭시로만 부착 하였을때는 탄소섬유가 파단되고 접착부분에서 결속이 생기고 나면 내력이 급격히 감소하는 반면에 앵커를 동시에 보강하면 내력이 조금 감소하고 나서도 일정범위에서 안정적인 흐름을 보여주고 있다.

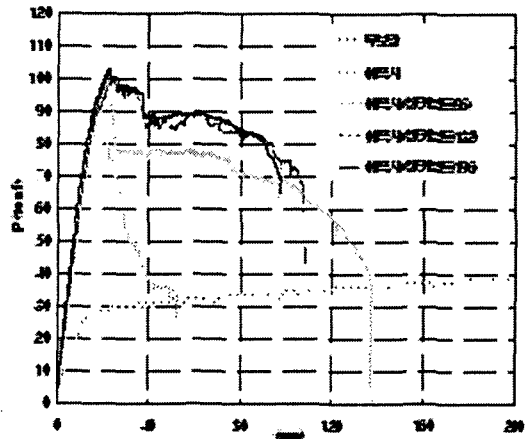


그림 8 무보강, 에폭시, 앵커볼트 간격별로 체결한 P-Δ곡선

4. 결론

노후화된 특수건축물(기계실, 클린룸 등) 리모델링공사시 적용 가능한 보수보강공법을 개발하기위한 기초연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존의 부재에 보강을 하지 않은 무보강 실험체는 내력 및 초기강성이 상대적으로 매우 낮게 나타났으며, 조기에 전단균열이 발생하였으나, 급격한 내력의 저하없이 충분한 소성변형 능력을 보였다. 그러나, 탄소섬유만으로 보강한 경우에는 내력에 대한 보강효과는 어느 정도 볼 수 있었으나, 변형이 크지 않은 영역에서 가력점 근처에서 섬유가 파단되어 급격한 내력저하를 보였으며, 변형능력은 크게 감소하였다. 그리고, 탄소섬유만으로 보강하는 경우에는 전단보강 효과는 휨보강 효과에 비해 적은 것으로 나타났다.

2. 기존 콘크리트보를 2mm강판으로 에폭시 수지로 접착 보강한 경우, 강판보강에 의한 내력상승 효과는 우수한 것으로 나타났다. 그러나, 전단 인장시험에서와 마찬가지로 강판과 에폭시 수지의 부착성이 작아 강판이 국부좌굴을 발생하고 난 후에 강판이 접착계로부터 탈락하는 현상을 나타내어 기대했던 변형능력은 크게 발휘하지 못하였다. 따라서, 강판 보강하는 경우에는 에폭시 수지와 강판의 탈락을 막기 위한 상세가 필요한 것으로 판단된다.

3. 섬유부착 강판을 이용하여 에폭시 수지로 접착한 후 앵커볼트를 타설하여 보강한 경우에는 내력 및 초기강성이 대폭 향상되었으며, 최대하중에 도달한 후에 탄소섬유가 파단하더라도 강판의 구속효과 및 강판의 변형능력 등에 의해 급격한 내력의 저하없이 큰 변형능력을 나타내었다. 이러한 현상은 슬래브를 설치한 경우에도 비슷한 경향을 나타내고 있었으며, 향후 보보강 공법으로 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 섬유부착 강판을 이용하여 에폭시 수지로 접착한 후 앵커볼트를 타설하여 보강한 실험체에서는 앵커볼트 간격을 작게하여 볼트수를 늘릴수록 내력상승 효과는 크게 변하지 않았으나, 탄소섬유가 파단된 후의 내력저하는 적게 나타났다. 따라서, 전단인장 시험 결과에서도 알 수 있듯이 앵커간격이 작아지면 콘크리트가 저항할 수 있는 면적이 작아져 내력상승 효과는 크게 기대할 수 없으나, 탄소섬유가 파단된 후에도 콘크리트 파괴를 구속하는 효과를 발휘하여 최대하중 이후의 급격한 내력저하를 방지하기 위해서는 유효한 수단으로 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김우재 외, "무소음 무진동 보보강공법 개발에 관한 연구(1)", 콘크리트학회 가을 학술발표대회, 2004