

# 횡방향 구속이 교각의 겹침이음에 미치는 영향에 대한 고찰

## Circumferential Confinement Effect on Lap-Spliced Reinforcements of Circular Bridge Pier

최영민\*      황윤국\*\*      권태규\*\*\*      박경훈\*\*\*  
Choi, Young Min   Hwang, Yoon Kook   Kwon, Tae Gyu   Park, Kyung Hoon

### ABSTRACT

The bridge columns with lap-splice reinforcements in earthquake suffered a brittle bond-slip failure due to deterioration of the lap-spliced longitudinal reinforcements without developing its flexural capacity or ductility. In this case, such a brittle failure can be controlled by the seismic retrofit using FRP wrapping. The retrofitted columns using FRP wrapping showed significant improvement in seismic performance due to FRP's confinement effect. This paper presents the circumferential confinement effect of existing circular bridge pier strengthened with FRP wrapping for poor lap-splice details. The effects on the confinement of FRP wrapping, such as gap lengths between footing and FRP, fiber orientations, and thicknesses of FRP, were investigated by quasi-static experiments.

### 1. 서론

지진발생시 형상비(교각높이/교각지름)가 3이상인 일체형 철근을 사용한 원형교각은 일반적으로 교각과 기초의 연결부에서 휨파괴가 발생하지만, 겹침이음을 둔 교각은 작은 반복하중으로도 피복콘크리트의 파괴를 유발하고 이로 인해 겹침이음부의 부착응력 손실이 발생하여 급격한 부착파괴로 인한 취성파괴가 발생한다. 본 연구에서는 겹침이음이 있는 큰 형상비의 기존 원형교각에서 교각하단의 기초와의 연결부 근처에서 부착파괴에 의한 취성파괴를 방지하기 위해 FRP(Fiber Reinforced Polymer) 포장(wrapping)을 이용하여 피복콘크리트의 구속력을 제공, 콘크리트의 파손, 탈락을 방지하여 일반적인 휨파괴를 유도할 수 있는 보강공법을 고찰하고자 한다. 이와 같은 FRP 보강공법의 내진성능 개선효과 및 다양한 FRP 보강내용(포장두께, 섬유배향각, FRP 포장과 기초 사이의 이격거리 등)에 따른 FRP 포장이 겹침이음 주철근의 거동에 미치는 효과를 확인하기 위하여 실규모 크기의 대형 교각에 대해 의사정적(Quasi-static)실험을 수행하였다. 다시 말해, FRP 포장이 주는 피복콘크리트의 구속효과가 겹침이음 주철근에 미치는 영향을 고찰하였다. 실험결과를 통해 살펴보면 FRP 포장공법에 의한 구속효과는 겹침이음 철근이 단일 철근의 거동과 거의 유사한 거동을 수행하도록 하는 매우 고무적인 현상을 확인할 수 있다.

\*정회원, 한양대학교 토목환경공학과 BK21 연구교수  
\*\*정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원  
\*\*\*정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

## 2. 실험 개요

철근콘크리트로 제작된 교각 실험체는 형상비가 5.83으로서 실제 공용중인 국도상의 비내진 교량의 원형교각을 대상으로 하여 총 6개를 실물크기 그대로 실험실에서 제작하였다. 실험체의 구조상세와 포장의 개요는 각각 그림 1과 표 1에 나타내었다. 그림에서와 같이 수평으로 가력하는 방향에 대해 전면(F)과 후면(B)의 겹침이음 주철근에 대해 상하 중심부에 수직방향으로 변형률계이지를 부착하였다. 대상이 고려한 교량의 실제 하중효과를 최대한 반영할 수 있도록 상부구조의 하중으로 계산된 155ton을 실험내내 수직으로 재하하였으며, 동시에 횡방향의 지진하중을 고려하는 수평하중을 재하하는 의사정적 실험을 수행하였다.

표 1. 실험체의 포장개요

실험체 번호	보강철근 형태	FRP 포장내용 (포장높이 : 120cm)		
		두께	배향각	기초와 이격거리
1	일체형	무보강		
2	겹침이음	무보강		
4	겹침이음	10mm	5°	23cm
5	겹침이음	8mm	5°	3cm
6	겹침이음	10mm	10°	3cm
7	겹침이음	6mm	5°	3cm

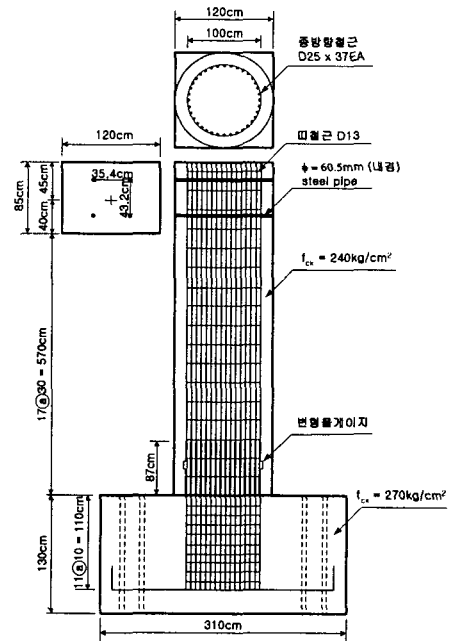


그림 1. 실험체의 설계상세

## 3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 고려하는 FRP 포장에 의한 내진보강공법의 효과를 검토하기 위해 수평하중-수평변위 곡선을 정리하여 그림 2에 나타내었다. 실험결과로부터 무보강 겹침이음이 있는 2번 교각은 피복콘크리트의 항복하중 이후 급격한 취성파괴를 보이는 반면, 일체형 철근으로 배근된 1번 교각에서는 항복하중 이후 일정한 연성을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 또한 비록 겹침이음이 있는 교각이라 할지라도 FRP 포장으로 보강하면 4, 5, 6, 7번 교각은 무보강 일체형에 비해서도 상당한 변형에너지를 나타내는 효율적인 방법임을 알 수가 있다.

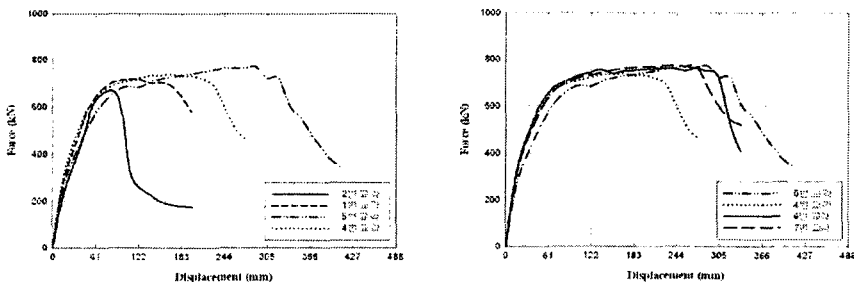


그림 2. 무보강 및 FRP 포장보강 실험체의 하중-변위 곡선

### 3.1 무보강 일체형 및 겹침이음이 있는 교각

무보강의 일체형 교각(1번 실험체)과 무보강 겹침이음이 있는 교각(2번 실험체)에 대한 실험결과를 하중-변형률 이력곡선으로 나타내면 그림 3~그림 6과 같다. 최종파괴형상은 일체형의 경우 주철근의 좌굴로 인한 피복콘크리트의 심한 탈락현상이 발생하였으나, 겹침이음의 경우 주철근의 슬립(slip)과 파괴가 발생하였으며 주철근의 좌굴이 거의 없어 피복콘크리트의 탈락은 심하지 않았다. 따라서, 일체형인 경우 주철근의 변형률이 1800  $\mu\epsilon$  이상까지 증가한 후 항복했음을 알 수 있었으나 겹침이음이 있는 교각은 부착파괴로 인하여 900  $\mu\epsilon$  이후 급격히 감소하였다. 또한 일체형인 경우 주철근의 좌굴로 인해 변형률이 비교적 산만하게 거동하고 있음을 확인할 수 있다.

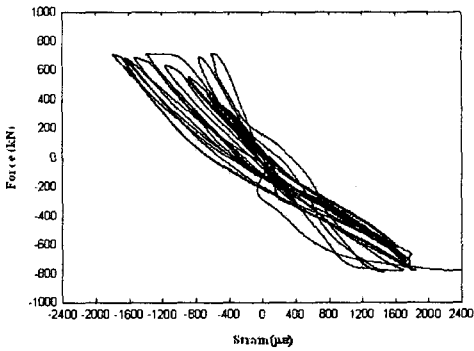


그림 3. 1번 실험체의 하중-변형률 이력곡선(B)

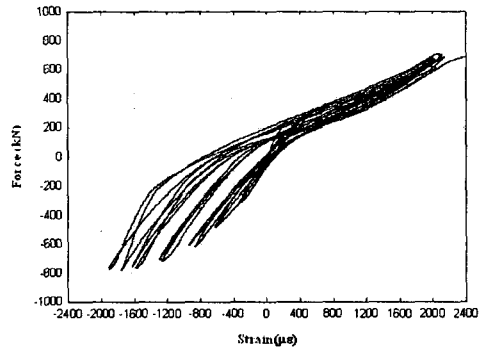


그림 4. 1번 실험체의 하중-변형률 이력곡선(F)

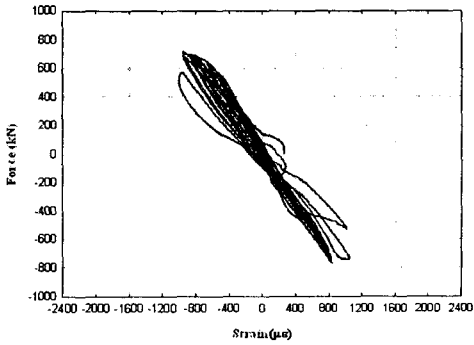


그림 5. 2번 실험체의 하중-변형률 이력곡선(B)

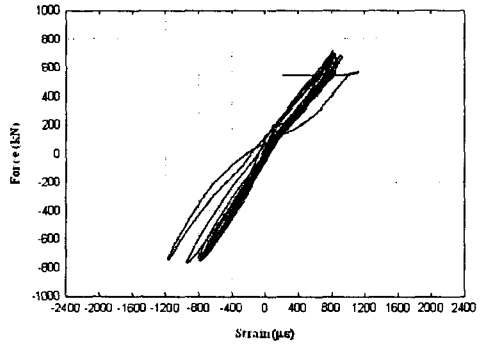


그림 6. 2번 실험체의 하중-변형률 이력곡선(F)

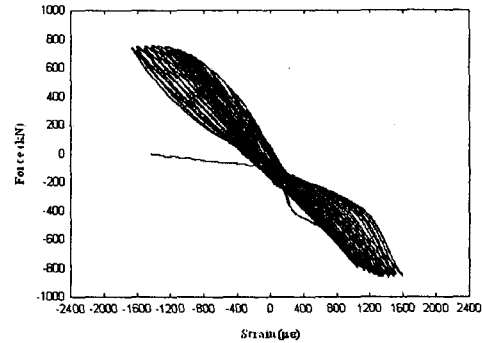


그림 7. 4번 실험체의 하중-변형률 이력곡선(B)

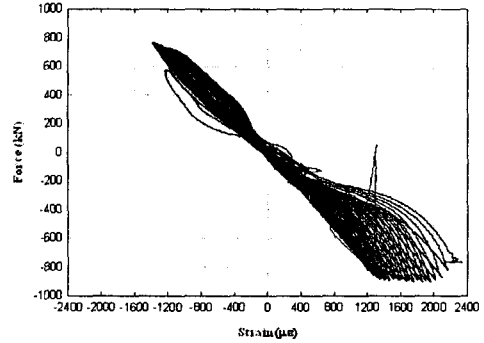


그림 8. 5번 실험체의 하중-변형률 이력곡선(B)

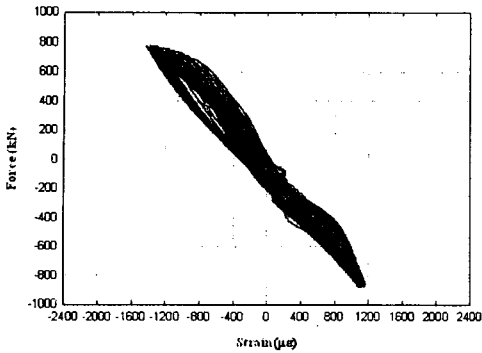


그림 9. 6번 실험체의 하중-변형률 이력곡선(B)

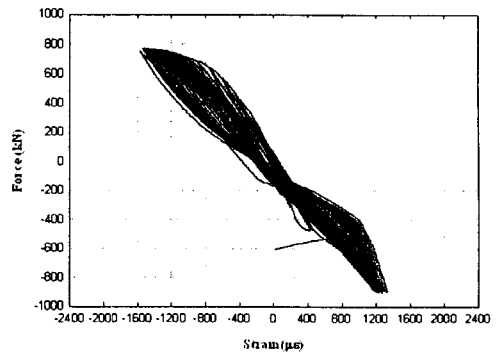


그림 10. 7번 실험체의 하중-변형률 이력곡선(B)

### 3.2 무보강과 보강 교각

무보강의 일체형 교각(그림 3)과 보강된 겹침이음 교각(그림 7~그림 10)에 대한 실험결과로부터 일체형 교각의  $1800 \mu\epsilon$ 에 비해 보강된 겹침이음 교각이 약간 부족한  $1400 \sim 1600 \mu\epsilon$ 을 보이고 있으나 무보강 겹침이음 교각(그림 5)의  $900 \mu\epsilon$ 에 비해 상당한 변형율을 부담할 수 있는 효과를 확보할 수 있음을 알 수가 있다. 또한 변형율의 변화도 무보강 일체형 교각에 비해 보다 일방적인 거동을 보이는 것을 확인할 수 있다. FRP 보강으로 슬립에 의한 급격한 취성파괴에서 휨파괴로 파괴형태가 변화됨을 알 수 있었다.

### 3.3 FRP 포장의 내용에 따른 고찰

기초와 FRP 포장 사이의 이격거리를 달리하였을 경우 최종 파괴형상은 4번 실험체(그림 7)에서 교각의 하단 피복콘크리트에 압축파괴가 발생하지만 5번 실험체(그림 8)에서는 기초 콘크리트가 파괴되었는데 이때 겹침이음 철근의 응력의 변동이 보다 심함을 알 수가 있었다. 섬유배향각에 대한 영향을 알아보기 위해 5번 실험체( $5^\circ$ , 그림 8)와 6번 실험체( $10^\circ$ , 그림 9)의 결과를 비교하였다. 실험결과, 6번 실험체의 변형률은 5번 실험체에 비하여 다소 작게 나타났다. 이는 FRP 포장의 각도가 작은 5번 실험체의 경우 비록 포장두께가 작음에도 불구하고 섬유가 6번 실험체에 비해 보다 수평으로 배치되어 구속력이 더 크게 발휘되는 것으로 사료된다. FRP 포장두께에 따른 횡방향 변형률에 대해 살펴보기 위하여 7번 실험체(6mm, 그림 10)와 5번 실험체(8mm, 그림 8)에 대해 비교하면, FRP 포장두께에 따라 겹침이음 주철근의 변형률이 증감하였다. 이는 FRP로 인한 구속력이 증가할수록 휨파괴거동에 근접하므로 주철근이 더 많은 변형을 통하여 에너지를 흡수하는 것으로 사료된다.

## 4. 결론

무보강 겹침이음의 급격한 부차파괴 현상은 FRP 보강으로 인하여 휨파괴 현상으로 전이되며 따라서 주철근의 변형율이 증가하고 있으며 이는 포장의 내용에 따라 약간씩 차이가 있다. 따라서 FRP 포장보강시 적절한 포장의 고려가 필요함을 알 수가 있다.

### 참고문헌

1. Priestley, M. J. N., Seible, F., Gilbert, A. Hegemier, and Donato, Innamorato, "SEISMIC RETROFIT OF RC COLUMNS WITH CONTINUOUS CARBON FIBER JACKETS," Journal of Composites for Construction, Vol.1, No.2, 1997, pp.52-62.
2. 권태규, "원형교각의 휨성능 개선을 위한 FRP 활용에 관한 연구", 석사학위논문, 홍익대학교, 2002.