

횡방향 구속응력에 의한 자켓팅-콘크리트 공시편 거동

Behavior of concrete cylinders confined by jacketing with lateral confining stress

조 성 철* 최 은 수** 정 영 수*** 조 백 순**** 최 지 호*****
Cho, Sung Chul Choi, Eunsoo Chung, Young-Soo Cho, Baik-Soon Choi, Ji-ho

ABSTRACT

The confined concrete subjected multi-axial stresses have been known as the strength of concrete increases significantly. Many researchers have studied in confining effect of concrete, and now are studying in many fields. Lap splices were located in the plastic hinge region of most bridge piers that were constructed before the adoption of the seismic design provision of Korea Highway Design Specification on 1992. But sudden brittle failure of lap splices may occur under loading. This study introduces a new method to retrofit RC bridge columns with lap splice which do not have enough ductility during an earthquake. The new method use mechanical external pressure and steel plates around RC columns. The jacketing built following the new method shows good results of increasing the compressive strength and ductility of concrete cylinders. The thicker steel jacket shows larger compressive strength, however, the ductility at failure depends on the welding quality of steel jackets. In this study, The effect of the new method is verified through comparing the results of the compressive tests and analysis results.

요약

국내에는 내진설계가 적용되어지지 않고 설계 시공된 교량과 교각이 상당수 존재하며 지진 발생 시 취약한 소성원지구간에서 충분한 횡구속 없이 주철근 겹침 이음을 가지고 있는 교각들이 다수 존재하고 있는 실정이다. 내진 성능향상을 위한 국내 많은 보강방법들이 연구되고 있는 추세이며 보다 효과적인 콘크리트 보강기법을 개발하기 위하여 횡방향 구속응력을 도입한 자켓팅 보강공법을 제시하였다. 자켓팅-콘크리트 공시편 압축 실험에서 강도 및 연성도에 영향을 주는 주요 요인 콘크리트 은 압축강도, 보강량 및 보강재의 강도 등이다. 본 연구에서는 실시된 실험결과를 바탕으로 콘크리트 비선형 재료를 사용한 해석적 연구를 추가로 실시하여 실험에서 나타난 결과 값과 비교하고 실험 변수와 보강효과에 영향을 미치는 추가적인 변수를 추정하였다. 또한 선행 연구에서 제시된 횡방향 구속응력을 사용한 자켓팅 보강공법의 적용성을 높이기 위한 방법들은 어떤 것들이 있는지에 대하여 서술 하였다.

*정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

**정회원, 홍익대학교 토목공학과 조교수

***정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

****정회원, 인제대학교 토목공학과 조교수

*****정회원, 인제대학교 토목공학과 석사과정

1. 서 론

최근 토목 구조물의 기술 발달과 함께 구조물의 품질과 기능향상을 위한 연구가 많이 진행되고 있으며 필요성 또한 늘어나고 있는 추세이다. 국내의 경우 내진설계가 반영되지 않은 교량이 상당수 존재하고 있으며 지진발생시 구조적 안전성을 확보하기 어렵다. 이와 관련하여 국내에는 CFT 및 탄소섬유시트(CFS)를 사용한 내진성능을 검증한 바 있다¹⁾. 충전 강교각에 대한 연구는 이미 80-90년대에 많이 수행되었다²⁻⁴⁾. 내부 충전재인 콘크리트가 외부 강관의 내부방향 좌굴을 방지하고 좌굴하중을 증가 시키고 외부 강관은 내부 콘크리트를 구속하여 내부 콘크리트가 삼축 응력 하에 있게 하여 강도를 증가시키는 작용을 한다. 따라서 강교각이나 RC교각에 비해 우수한 연성도를 보이게 된다⁵⁾. 이러한 공법들은 교량 신설시 가능한 공법으로 기존 교각의 내진 성능향상을 위한 보강효과로 활용되기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 효과적인 콘크리트 보강기법의 개발을 위해 횡방향 구속응력을 도입한 자켓팅 보강기법을 개발하고 개발기법의 효과를 검증하기 위하여 실험을 수행하였고 이를 바탕으로 보강효과에 영향을 미치는 주요 인자를 추정하였다.

2. 실험

표 1 시험체 종류

2.1. 시험체 제작 및 실험

실시한 실험에 대한 시험체 종류를 표 1에 나타내었다. A타입 실험에서, 분리된 180° 강관과 측면용접 보강재를 콘크리트 시편에 접착제를 부착하고 강관에 압력을 가한다. 클램프를 사용하여 횡방향 구속응력을 도입하고 용접을 실시한다. 용접이 완료된 후 히팅 자켓을 이용하여 표면을 가열하고 폴리우레탄 필름을 용해시켜 접착을 완료한다. 폴리우레탄 필름이 없는 시험체의 경우는 가열과정을 생략한다. 그림 2에 B타입 시험체를 나타내었다. 이전 제작과 유사한 방법으로 콘크리트 시편에 360° 형태의 강관을 부착하고 압력을 가하여 용접을 실시한다. 용접이 완료된 이후 덧댐 판을 측면용접이음부에 추가적으로 용접하여 구속효과를 높인다. B타입의 4번 시험체의 1.0mm 두께를 사용한 보강시편은 용접된 첫 번째 이음부와 반대되는 방향으로 두 번째 강관의 용접 이음부를 위치시킨다. 횡방향 구속응력에 의한 보강효과를 검증하기 위하여 하중가력시 시편의 콘크리트의 수직 및 수평 변형률, 강제표면의 수직 및 수평 변형률을 측정하였다. LVDT를 설치하기위해 실험체 상하부에 가력판을 설치하였고 중앙부에 익스텐소미터를 설치하여 수직변위를 수집하였다. 보강시편은 강제표면에 게이지를 부착하여 수직 및 수평 변형율을 측정하였다.

타입	번호	보강방법	콘크리트강도(f_{ck})	보강관형태
A (1차)	1	무보강	21MPa 28MPa 35MPa	180° 2EA + 용접보강재
	2	1.0mm강관+폴리우레탄필름		
	3	1.0mm강관		
	4	1.5mm강관+폴리우레탄필름		
	5	1.5mm강관		
B (2차)	1	무보강	28MPa	360° 1EA + 덧댐용접
	2	1.0mm강관		
	3	1.5mm강관		
	4-1	1.0mm강관+1.0mm강관		
	4-2	1.0mm강관+(점용접)+1.0mm강관		
	4-3	1.0mm강관+(선용접)+1.0mm강관		

열하고 폴리우레탄 필름을 용해시켜 접착을 완료한다. 폴리우레탄 필름이 없는 시험체의 경우는 가열과정을 생략한다. 그림 2에 B타입 시험체를 나타내었다. 이전 제작과 유사한 방법으로 콘크리트 시편에 360° 형태의 강관을 부착하고 압력을 가하여 용접을 실시한다. 용접이 완료된 이후 덧댐 판을 측면용접이음부에 추가적으로 용접하여 구속효과를 높인다. B타입의 4번 시험체의 1.0mm 두께를 사용한 보강시편은 용접된 첫 번째 이음부와 반대되는 방향으로 두 번째 강관의 용접 이음부를 위치시킨다. 횡방향 구속응력에 의한 보강효과를 검증하기 위하여 하중가력시 시편의 콘크리트의 수직 및 수평 변형률, 강제표면의 수직 및 수평 변형률을 측정하였다. LVDT를 설치하기위해 실험체 상하부에 가력판을 설치하였고 중앙부에 익스텐소미터를 설치하여 수직변위를 수집하였다. 보강시편은 강제표면에 게이지를 부착하여 수직 및 수평 변형율을 측정하였다.

2.3 실험 결과

실험의 보강 종류에 따른 시험체의 압축강도와 극한 변형률을 그림 1과 2에 나타내었다. 콘크리트 시편의 압축강도가 증가함에 따라 보강시험체의 압축강도는 증가하지만 보강효율은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 압축강도가 낮을수록 높은 보강효과를 거둘 수 있으며, 강도감소를 보이는 교각에 사용될 경우 높은 보강효과를 가지는 것으로 예상된다. 2차실험에서도 보강재량 증가에 의한 강도증진 현상이 유사하게 관찰되었다. 4번 시험체는 1mm강관 두 겹을 사용한 것으로써 2mm강관 1개를 사용하여도 유사한 결과를 얻을 수 있다(그림 3 참조). 시편제작시에 강관 부착후 클램프 등을 사용하여 횡방향 수평응력을 가할 때 보강관의 두께가 얇을수록 작업이 용이하고 동일한 구속응력효과를 얻을 수 있다. 실제 교각 등에 시공이 이루어질 경우 시공상 제약이 없는 범위에서 되도록 얇은 보강판을 겹쳐서 사용하는 것이 보다 효과적일 것이다.

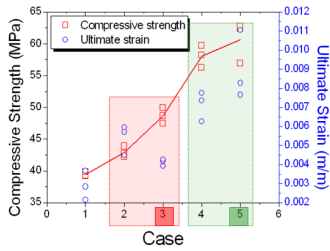


그림 1 1차실험의 압축강도 및 극한변형률(28MPa)

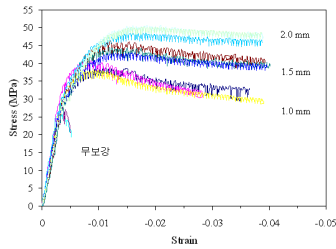


그림 2 2차실험 시험체의 응력-변형률 선도

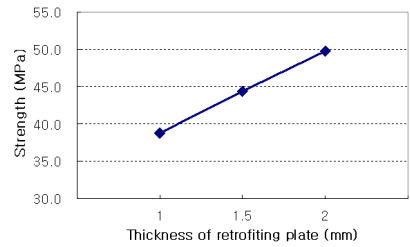


그림 3 2차 실험에서의 보강두께와 압축 강도 상관관계

2.5 시편파괴

파괴양상을 그림 4에 나타내었다. 폴리우레탄 필름이 부착면에서 이탈되어진 것을 확인하였다. 1차실험의 필름을 사용하지 않은것과 사용한 시험체 모두 강재의 측면 용접부에서 용접파괴가 발생하였다. 보강판의 두께 1.0mm, 1.5mm로서 용접시에 취약부가 발생한 것으로 생각되며 시험체의 강도 및 연성도 증진을 위하여 덧댐 용접 등에 의한 용접부의 강도확보가 중요하다. 덧댐용접을 실시한 2차실험은 모든 종류에 관계없이 보강시편의 연성도가 매우 우수한 것으로 나타났다. 실험에서는 수직 처짐이 변위계의 측정 한계치까지 나타났다. 보강시편체는 측정될 수 있는 최대변형률을 보였으며, 연성도 증가는 무보강 시편과 비교하여 최소 10배 이상 증가하는 것으로 나타났다.



(a) 1차 실험 시편



(b) 2차 실험 시편

그림 4 시편의 파괴양상

4. 해석

콘크리트 재료비선형-soft 요소를 사용하여 모델화 하였다. 공시체의 상단과 하단은 수평방향으로의 변위를 구속시켜 가력관을 사용한 가력을 모사 하였으며 하부는 수직방향 까지 구속시켜 실험에서의 하부 지점효과를 나타내었다. 하중 가력은 실험과 동일한 방법으로 상부 변위에 의한 하중을 발생시켜 공시체의 하단부에 생성되는 반력에 기반을 두고 응력-변형률 곡선을 얻고 콘크리트 압축강도, 강재의 항복응력, 강재의 두께와 콘크리트와 강재의 gap변화에 따른분석을 실시하였다.

30MPa의 콘크리트 시편에 $f_y=350\text{MPa}$ 의 강관을 두께별로 보강한 해석 결과를 그림 5에 나타내었다. 보강량이 증가할수록 압축강도와 파단변형률이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 보강량이 증가할수록 초기 탄성계수가 보강량에 비례하여 증가 하는 것을 알 수 있다. 특히, 4.0mm 강관보강의 경우 무보강 시편이 최대강도를 발휘하는 변형률 0.002에 근접할 때 까지 선형적으로 증가하며 파단시의 변형률과 강도 모두 증가한다. 30MPa의 콘크리트 시편에 두께 1mm 항복강도 250MPa부터 450MPa까지 50MPa씩 증가에 따른 응력-변형률 선도를 그림 6에 나타내었다. 보강 강관의 두께를 일정한 가운데 항복응력만을 증가 할 경우 그림 6에 나타난바와 같이 응력-변형률 선도에서 초기 탄성계수는 일정하다. 이는 탄성계수의 증가요인이 보강 두께가 주요한 요인으로 생각할 수 있다. 강관 두께증가에 따른 응력-변형률을 나타낸 그림 5와 항복강도 증가에 따른 응력-변형률을 나타낸 그림 6을 비교 하였을 때 강도증진과 파단 변형률 증가에서 보강 강관의 항복강도를 증가시키는 것 보다 보강 두께를 늘리는 것이 유리 할 것으로 판단된다. 또한 콘크리트의 압축강도가 낮을수록 보강효과도 증가하며 콘크리트와 강관사이의 0.2mm이상의 gap이 존재할경우 보강효과를 발휘하기 어렵다(그림 7-8참조).

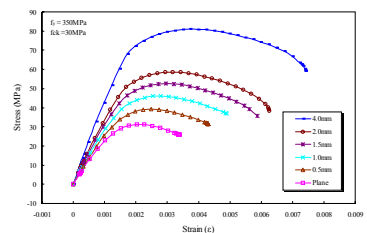


그림 5 강관 두께증가에 의한 응력-변형률선도

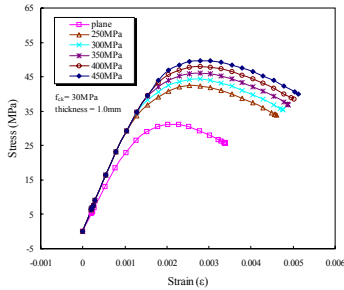


그림 6 강판의 항복강도 증가에 의한 응력-변형률선도

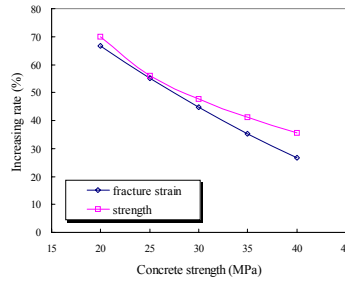


그림 7 콘크리트 압축강도에 따른 파단변형률 증가율

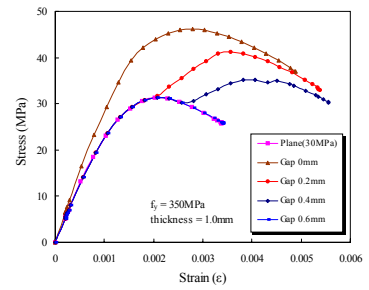


그림 8 gap변화에 의한 응력-변형률선도

5. 결론

실험에서 횡방향 구속응력을 도입한 강판보강은 콘크리트 시편의 강도 및 연성도 증진에 매우 효과적이다. 또한 보강량이 증가하면 콘크리트의 강도증진효과가 나타났고 보강 효과는 보강재량에 비례하여 증가하였다. 접착제 사용시 콘크리트 압축강도 증가에 저해되는 요인이 발생하므로 강판과 콘크리트 표면을 완전하게 밀착할 수 있는 기법이 요구된다. 또한 표면에 균일하게 작용할 수 있는 접착제 사용이 바람직하다. 동일한 보강량 사용시 콘크리트의 압축강도가 낮을수록 보강효과가 우수한 것으로 나타났다. 용접부의 보강이 이루어지면 연성도 증가 효과가 더욱 커질 것으로 기대되며 2차 실험에서는 덧댐 용접과 함께 보강판의 모형을 180에서 360로 제작하여 용접 이음부를 최소화함으로써 연성도 증가효과가 높아졌고 파단에 의한 파괴는 관찰되지 않았다. 실험을 바탕으로 추정된 보강성능의 주요인자로 보강재량, 강도, gap 그리고 콘크리트강도들 들 수 있으며 해석 결과 또한 일치되는 것으로 나타났다. 보강재량이 증가함에 따라 초기탄성계수가 증가와 함께 강도 및 연성도가 증가됨을 알 수 있다. 실험에서 gap에 의한 강도발현 저하현상이 관찰되었고 해석 또한 유사한 경향을 보인다. 본 연구에서 제시된 보강기법을 강도 저하현상을 보이는 RC 교각에 적용할 경우 강한 횡구속 압력에 의한 자켓 밀착이 이루어져야하며 1겹보강 보다는 작업이 가능한 범위내에서 여러겹으로 이루어 지는 것이 효과적인 시공이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초과학연구사업(No. R0120060001004802006)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 한국과학재단에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Furlong and Richard, W., "Strength of steel-encased concrete beam columns," Proceedings, ASCE, Vol. 93, ST.5, 1967, pp. 113-124.
2. Nakanishi, K., Kitada, T., et al, "Experimental study on ultimate strength and ductility of concrete filled steel columns under strong earthquake," Journal of Constructional Steel Research, No. 51, 1999, pp.297-319.
3. Usami, T. and Ge, H. B., "Cyclic behavior of thin-walled steel structures-Numerical analysis," Thin-Walled Structures, No. 32, 1998, pp. 41-80.
4. 권영봉외, "콘크리트 충전 합성 기둥의 거동에 관한 실험적 연구", 대한토목학회, 2000, pp.107-114.
5. Kitada, T., "Ultimate strength and ductility of state of art concrete-filled steel bridge piers in Japan", Engineering structures, No. 20, 1997, pp. 347-354.