

구속강판과 팽창콘크리트를 이용한 기존 RC 교각의 내진 보강

Aseismic Retrofit of Concrete Piers with Restraining Steel Ring and Expansive Concrete

최 익 창^{*} 박 홍 용^{**} 연 준 희^{***} 김 연 수^{****}
Choi, Ik Chang Park, Hong Yong Yeon, Jun Hee Kim, Yeon Soo

ABSTRACT

A retrofit method "Steel Ring Confinement Retrofit" was proposed and discussed on the material and member characteristics through experiments. Steel Ring Confinement Retrofit consist of confining steel ring and expansive concrete. The steel ring is set on the footing, surrounding the base of the pier. By placing expansive concrete between the pier and steel ring, chemical prestress is introduced in the members. Chemical prestressed ring concrete enlarge the pier section and enhance both the strength and ductility of the pier. It was confirmed that Various Ring Confinement Retrofit improved the strength of the pier up to 30%~100% with experiments.

1. 서론

최근 국내에서도 지진 발생 빈도가 증가하고 있으며, 지진에 대해 안전지대가 아니라는 인식이 확대되고 있다. 국내에서도 1992년에 도로교의 표준시방서에 내진 설계가 도입되었으며, 그 이전에 건설된 교량에 대해서는 내진 설계가 도입되지 않았기 때문에 큰 지진이 발생할 경우에는 인명, 재산 피해 등이 매우 크리라 생각된다. 이러한 점에서 기존 교량에 대한 내진 보강은 절실히 요구된다. 기존 교각의 내진성을 향상시키기 위한 고연성화의 보강방법으로는 강판 보강공법이 있으나, 사각 단면의 교각에 대한 보강 효과가 거의 없는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 기존 교각의 내진 보강공법의 합리화를 목적으로 새로운 공법인 구속강판과 팽창재를 혼입한 콘크리트를 사용하여, 기존 교각과의 보강체와 일체화를 강화하고, 콘크리트의 팽창에 의한 구속 강판에 케미컬 프리스트레스를 도입하여 강도 증가 및 연성을 증진시킬 수 있는 보강 방법을 제시한다. 또한 RC 교각을 상정한 축소모형에 여러 형태의 보강방법을 적용하여, 반복실험을 통하여 내진 보강 효과에 대해서 검토한다.

* 정회원, 목포해양대학교 해양토목공학과 조교수
** 정회원, 명지대학교 SOC공학부 교수
*** 정회원, (주)대운종합건설기술단 기술실장
**** 정회원, (주)대운종합건설기술단 대표이사

2. 실험 개요

2.1 실험체 개요

실험체는 총 6개의 제작하였으며, 실험체의 일람표는 표 1에 나타나고 있으며, 각 실험체의 형상은 그림 1에 나타나고 있다. 기본 실험체(No.1)는 기존 교각을 상정한 기준 실험체이며, 단면은 35cm × 35cm이고, 기초부부터 교각의 높이는 180cm이며, 콘크리트 덮개는 5cm로 하였다. 축방향 철근은 D19 × 8개를 사용하였으며, 띠철근은 D10를 사용하였으며, 15cm 간격으로 배근하였다.

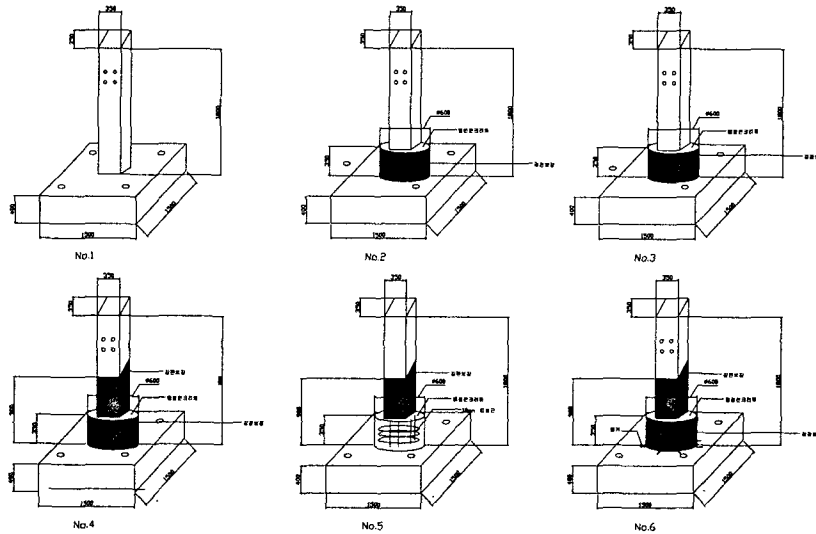


그림 1. 실험체의 형상

실험체 No.2는 기존 교각에 구속 강관을 보강하였으며, 기존 교각과 구속 강관 사이의 충전은 일반 콘크리트를 사용하였다. No.3 실험체는 No.2의 실험체와 동일하며, 충전재로 팽창재를 혼입한 콘크리트를 사용하여 케미컬 프리스트레스를 도입한 것이다.

No.4, No.5, No.6은 기존 교각에 강관을 부착하였으며, 기존 교각과 부착 강관 사이에는 에폭시를 주입하여 부착시켰다. No.4 실험체는 부착 강관과 구속 강관을 병용하여 보강하고 충전재로 팽창재를 혼입한 콘크리트를 사용하였다. No.5 실험체의 보강 방법은 부착 강관과 띠철근을 보강하여 원형으로 콘크리트의 덧치기를 한 형태이며, 콘크리트는 팽창재를 혼입한 콘크리트를 사용하여, 케미컬 프리스트레스를 도입하였다. No. 6 실험체는 No.4 실험체와 동일하며, 구속 강관을 기초부에 앵커로 고정하는 것이다.

표 1. 실험체의 일람표

실험체명	보강 방법
No.1	기준 실험체
No.2	구속강관 + 일반 콘크리트
No.3	구속강관 + 팽창 콘크리트
No.4	구속강관 + 부착강관 + 팽창 콘크리트
No.5	부착강관 + 팽창 콘크리트
No.6	구속강관 + 부착강관 + 앵커 + 팽창 콘크리트

2.2 사용 재료

표 2의 배합설계는 교각의 제작에 사용된 콘크리트이며, 레디믹스트 콘크리트를 이용하였다. 표 3은 기존 교각과 구속 강관 사이에 충전재로 사용된 콘크리트의 배합표를 나타내고 있으며, 팽창재 혼입율은 과거 수행한 실험 결과를 토대로 13%로 하였으며, 실험실에서 믹싱하여 타설하였다. 압축강도는

표 2. 일반콘크리트 배합설계

W/C (%)	Gmax (mm)	Air (%)	Slump (cm)	S/a (%)	단위량(kg/cm ³)			
					W	C	S	G
49.7	25	1.5	8±2	44.1	176	354	779	1002

표 3. 팽창콘크리트 배합설계

W/C (%)	팽창재 혼입율 (%)	Gmax (mm)	Air (%)	Slump (cm)	S/a (%)	단위량(kg/cm ³)				
						W	C	S	G	팽창재
35	0	25	1.5	8±2	37	179	515	627	1064	0
	13						448			67

레디믹스트 콘크리트 압축강도는 240kg/cm² 이고, 팽창재를 혼입한 콘크리트 530kg/cm²이며, No.2 시험체에 사용된 동일 배합에서 팽창재를 혼입하지 않은 콘크리트의 압축강도는 390kg/cm²이다.

시험체의 제작시 사용된 철근에 대한 인장 시험 결과 항복강도가 3410 kg/cm²였다. 부착 강판 및 구속 강판은 시중에서 판매되는 SS400 강판을 사용하였으며, 부착 강판은 접어 용접하였다. 부착 강판은 두께 3 mm이며, 높이는 90cm이다. 구속 강판은 내경이 60cm이고, 두께가 6mm이며, 높이는 35cm이다.

2.3 실험 방법

2.3.1 양생중의 변형을 측정

본 연구에서 일부 시험체(No. 3~No.6)는 기존 교각과 구속 강판 사이에 팽창재를 혼입한 콘크리트를 사용하여 케미컬 프리스트레스를 도입함으로써 기존 교각과 보강체의 일체화를 강화하였다. 팽창재를 혼입한 콘크리트에 의한 구속 강판에 도입되는 케미컬 프리스트레스를 정량적으로 평가하기 위하여 콘크리트에 매립 게이지를 3곳에 매설하여 팽창율을 측정하였으며, 구속 강판에 2축 게이지를 부착하여 팽창율을 측정하였다. 또한 No.5 시험체에 대해서는 보강한 띠 철근에 철근 게이지를 부착하여 팽창율을 측정하였다. 팽창율의 측정은 타설 후 1일(24시간) 후부터 4일간 측정하였으며, 콘크리트의 매립 게이지 위치에서 온도변화도 측정하였다.

2.3.2 재하 방법

그림 2는 재하 실험 장치를 나타내고 있으며, 재하실험은 50t Actuator를 이용하여 정부 반복하여 가력하였다. 재하방법은 기준 시험체(No.1)를 정적 재하하여 교각 기저부의 인장 철근이 항복할 때까지 가력하여, 가력점에서의 변위를 δy 로 정하여, 그 정배수 변위를 변위제어로 증가시켰으며, 각각에 대해 3회 반복 재하를 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 양생중의 콘크리트 및 구속 강판의 팽창율의 변화

3.1.1 팽창재를 혼입한 콘크리트의 팽창율의 변화

그림 3은 팽창재를 혼입한 콘크리트에 매설된 게이지에 의해 측정된 콘크리트의 팽창율의 일례(No.3)을 나타내고 있다. 팽창율의 시간의 경과에 따른 변화의 형태는 그림 3에 나타난 것처럼 측정 2일간은 팽창율의 변화가 심하고 그 후 2일간은 팽창율의 변화가 완만하다. 이러한 경향은 다른 실험체에서도 비슷하며, 팽창율은 4일째에 최고치를 보이고 있으며 그 값은 80~120 μ 를 보인다.

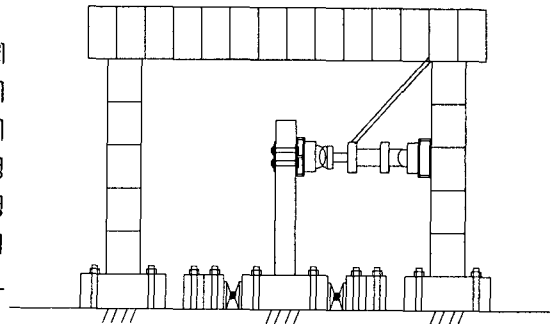


그림 2. 재하 실험 장치

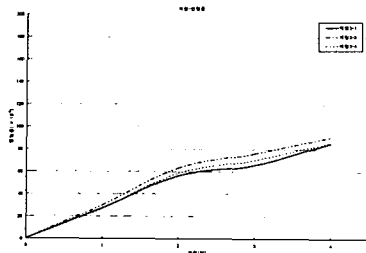


그림 3. 매립게이지의 재령-변형률(No.3)

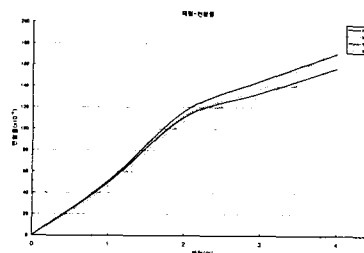


그림 4. 구속강관의 2축게이지 재령-변형률(No.3)

3.1.2 구속 강관의 팽창율의 변화

그림 4는 콘크리트 양생중에 시간 경과에 따른 구속 강관에 부착한 2축 게이지에 의한 변형율의 변화의 일례(No.3)를 나타내고 있다.

팽창량의 시간경과에 따른 팽창량의 변화의 경향은 콘크리트의 매립게이지에서 나타난 것처럼 처음 2일간의 변화는 급격하며, 후의 2일간은 변화정도가 완만하다. 또한, X축과 Y축의 팽창율의 변화도 거의 같은 경향을 나타내고 있다. X축에 대한 변형율의 최고치는 모든 시험체에서 4일 경과후에 일어났으며, 그 크기는 160~200 μ 의 값을 보이고 있다. 이 결과를 이용하여 일정한 내압을 받는 원통관의 탄성해에 의해 팽창압을 구하면, 3~4 kg/cm^2 정도이며, 이 구속 압력은 케미컬 프리스트레스로 작용하여 기존 교각과 보강체의 일체화를 강화시킬 것이며, 강도 및 연성 증진에 기여하리라 판단된다.

3.2 재하실험에 의한 보강 효과의 평가

3.2.1 구속 강관의 보강 효과

그림 5는 기본 실험체(No.1)의 하중-가력점의 변위 이력 곡선을 나타낸 것이며, 그림 6~10은 여러 형태의 보강 방법으로 보강한 실험체(No.2~No.6)에 대한 각각의 하중-가력점의 변위 이력 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼, 기준실험체에 비해 보강을 한 실험체는 강도 증가와 변형 능력의 향상을 나타내고 있다. 표 4에 나타난 것처럼 강도는 1.3~2배 정도의 증가를 보였다.

파괴 형태에서도 기준 실험체는 인장부 철근이 항복한 후에 철근의 좌굴에 의해서 기저부 콘크리트가 박리가 일어났으나, 보강 실험체에서는 인장 철근의 항복 후에 철근의 좌굴을 억제함으로써 급격한 내력 저하 등의 현상이 발생하지 않았다. 이것은 변형능력을 향상시켜 에너지 흡수 능력을 향상시킴을 의미한다.

표 4. 각 실험체의 극한 강도

	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		No.6	
최대하중 (kN)	80.3	-82.5	108.5	-108.1	111.7	-100.2	110.6	-108	107.5	-99	135.1	-153.9

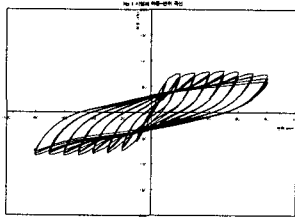


그림 5. No.1 시험체

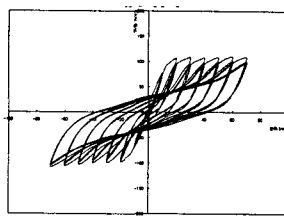


그림 6. No.2 시험체

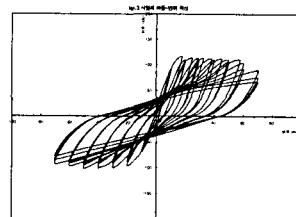


그림 7. No.3 시험체

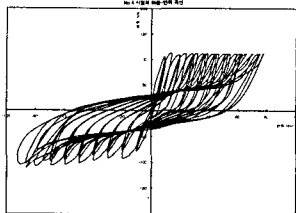


그림 8. No.4 시험체

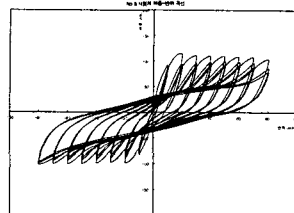


그림 9. No.5 시험체

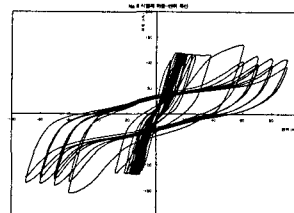


그림 10. No.6 시험체

3.2.2 충전재의 영향

기존 교각과 구속 강관 사이를 일반콘크리트로 충전한 실험체에서 양생이 종료된 후에 기존 교각과 충전 콘크리트 사이에 눈에 보일 정도의 틈이 보였다. 이에 반해 팽창재를 혼입한 콘크리트를 충전재로 사용한 실험체에서는 기존 교각과 충전콘크리트가 밀실하여 이러한 틈은 전혀 보이지 않았다. 이것은 일반 콘크리트에서 건조수축 등에 의한 수축에 기인한 것이며, 팽창재를 사용한 팽창콘크리트는 구속 강관에 의해 케미컬 프리스트레스가 도입되어 기존 교각과 보강체와의 일체화가 강화 되었음을 의미한다.

그림 11은 재하실험시 가력위치의 변형과 보강체의 수직변위(보강체의 들림)를 나타낸 것으로 두 실험체 모두에서 들림 현상이 발생하지만, 팽창 콘크리트를 충전재로 사용한 실험체(No.3)의 보강체의 들림이 일반 콘크리트로 충전한 실험체(No.2)에 비해 반정도 작음을 알 수 있다. 이것은 기존 교각과 보강체의 일체화에 기인하는 것이다. 또한, 일반 콘크리트를 충전한 실험체(No.2)에 비해 팽창 콘크리트를 사용한 실험체(No.3)가 강도에도 조금 큰 값을 보이고 있다.

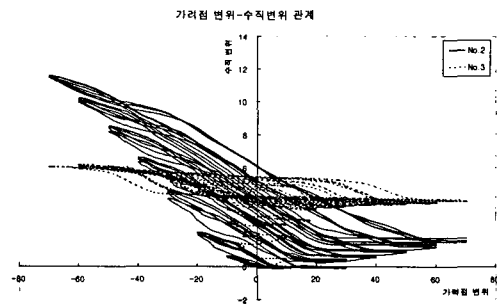


그림 11. 가력점 변위와 수직변위 관계

3.2.3 부착 강판과 구속 강관을 병용한 보강 효과

구속 강관만을 보강한 실험체(No.3)에 비해 부착 강판을 병용한 실험체(No.4)는 강도 증가는 미미

하나 인장 철근의 항복 후에도 강도 저하가 적으며, 변형 능력은 매우 향상됨을 알 수 있다(그림 7, 그림 8 참조). 이것은 파괴 형태에서도 알 수 있다. 즉, 구속 강관만을 보강한 실험체(No.3)에서는 보강체의 바로 위에서 휨 및 전단 균열이 발생하였으나, 부착 강판을 병용하여 보강한 실험체에서는 이 부분을 부착 강판이 보강하고 있기 때문에 이 부분이 건전한 상태로 유지되었다.

3.2.4 띠 철근에 의한 보강 효과

기본 실험체(No.1)에 비해 강도 및 변형 능력의 증가는 뚜렷하지만, 구속 강관만을 보강한 실험체(No.2, No.3)에 미미한 정도로 강도 및 변형 능력에서 작게 나타나고 있다.

3.2.5 구속 강관을 기초부에 앵커로 고정된 경우의 보강 효과

부착 강판과 구속 강관을 병용하고 구속 강관을 기초부에 앵커로 고정된 실험체(No.6)는 강도 및 변형 능력에서 다른 실험체에 비해 매우 우수함을 알 수 있다. 그림 10에 나타난 것처럼 하중-변위 이력 곡선에서 도중에 하중이 증가하는 것은, 본 실험에서는 실험체의 보강 작업시 앵커의 설치 장소에 기초부의 철근이 위치하여 가력 방향의 앵커의 매립 길이가 충분히 확보되지 않았기 때문에 재하 도중 가력 방향에 매립한 앵커가 뽑임으로 인해, 충분한 초기 강도가 안되었으며, 이후 그 주위의 앵커의 저항에 의해 강도가 증가한 것으로 판단된다. 이러한 점에서 앵커를 건설하게 설치한다면 더 큰 강도 증가 및 변형 능력이 향상되리라 생각된다.

4. 결론

본 연구의 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 기존 교각과 구속 강관 사이의 충전재로 사용한 팽창재를 혼입한 콘크리트에 의해 케미컬 프리스트레스가 도입되었으며, 본 연구의 실험체의 경우, $3\sim 4 \text{ kg/cm}^2$ 정도의 구속력을 받는다.
2. 본 연구에서 제안한 보강 방법에 의한 보강효과는 강도면에서 30%~100%의 증가와 변형능력도 매우 향상됨을 알 수 있다.
3. 충전재로 팽창 콘크리트를 사용한 실험체는 일반 콘크리트를 사용한 실험체에 비해 기존 교각과 보강체의 일체화가 강화되었음을 알 수 있다.

참고문헌

1. 도로교 설계기준, 건설교통부, 1996, 2000
2. 原田哲夫, 副田孝一 외, " 靜的破砕材の膨脹壓測定方法と膨脹壓の諸性質 ", 日本土木學會 論文集, No.478/V-21, PP.91-100, 1993
3. 박홍용, 김철영, 최익창, 배상욱, 류종현, "팽창재를 혼입한 철근콘크리트 슬래브의 휨 거동에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회논문집, 제12권, 4호, pp.31-39, 2000년8월
4. 박관식, 황선경, 한병찬, 성수용, 윤현도, 정수영, "지진하중을 받는 고강도 콘크리트 기둥의 휨강도와 연성", 한국콘크리트학회 2001년도 봄학술발표회 논문집, pp. 145-150