온도프리스트레싱 공법을 이용한 콘크리트교량의 보수보강에 관한 연구

A study on Strengthening and Rehabilitation of Concrete girder bridge using Multi-Stepwise Thermal Prestressing Method

김상효* 안진희** 김준환** 이상용***
Kim, Sang-Hyo Ahn, Jin-Hee Kim, Jun-Hwan Lee, Sang-Yong

ABSTRACT

The needs for strengthening and rehabilitation of the concrete bridges are a growing concern in many countries and has been emphasized in various researches and papers. Traditional external post-tensioning method using either steel bars or tendons is commonly used as a strengthening method. However, the method has some disadvantages such as stress concentration at the anchorages. Multi-stepwise thermal prestressing method is a newly proposed method for strengthening and rehabilitation of concrete girder bridges. Founded on a simple concept of thermal expansion and contraction of steel, the method is a hybrid method of external post-tensioning and steel plate bonding, combining the merits of two methods. In this paper, basic concepts on strengthening and rehabilitation of concrete girder are presented and an illustrative experiment is introduced.

1. 서론

현재 국내에서 주로 사용하고 있는 콘크리트 교량의 보수·보강공법으로는 강판이나 탄소섬유 등을 거더의 하부에 부착하는 단면보강공법과 외부강봉을 이용하여 교량에 프리스트레싱을 도입하는 후인장공법 등이 있다. 강판이나 탄소섬유 등을 거더에 부착하여 거더의 휨강도 및 전단강도를 증가시키는 단면보강공법은 단순히 단면만을 증대시킨 것이며, 외부강봉 등을 이용한 후인장 공법은 적용범위가 넓고, 교량의 극한 및 항복에 대한 강성을 증가시키므로 휨 보강 효과가 뛰어나지만, 거더와 프리스트레싱 도입을 위한 정착부에 응력집중으로 인한 균열 발생과 정착장치 설치시 내부철근과 긴장재의 손상이 발생할 수 있다.

* 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수
** 정회원, 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정
*** 정회원, 휘선건설(주) 대표이사

따라서 본 연구에서는 단면보강공법의 단면증가 효과와 후긴장 공법의 프리스트레싱 효과를 접목한 보강공법으로 다단계 온도 프리스트레싱 보강기법을 개발하고자 한다. 온도프리스트레싱을 이용한 콘크리트 교량의 보강공법은 일시적으로 가열한 강판을 보강이 필요한 거더하부에 부착하여 강판의 냉각으로 도입되는 수축력을 거더의 보강에 필요한 프리스트레싱력으로 이용한 공법으로, 프리스트레싱 강판을 거더하부에 강결시켜 부착하므로써 강판부착공법의 단면증가 효과와 후인장공법의 프리스트레싱 도입효과를 동시에 얻을 수 있다. 또한 강판의 도입 온도를 보강효과에 따라 단계별로 조절하므로써 효율적인 프리스트레싱 보강효과를 얻을 수 있으며, 정착부의 응력집중 문제도 감소시킬 수 있다.

본 연구에서는 온도프리스트레싱을 이용한 콘크리트 교량의 보강공법 개발을 위하여 온도프리스트레싱에 의하여 콘크리트 거더에 도입되는 응력도입 이론해와 콘크리트 모형시편을 이용한 콘크리트 거더의 온도프리스트레싱 보강효과를 검토하였다.

2. 온도프리스트레싱 공법을 이용한 콘크리트 교량의 보강공법

2.1 온도프리스트레싱 보강공법

온도프리스트레싱 공법을 이용한 콘크리트 교량의 보강공법은 에너지효율이 뛰어난 전기가열판을 이용하여 보강이 필요한 프리스트레싱 도입정도에 따라 보강강판을 단계별 가열한 후, 콘크리트 하부에 매입한 고정부 앵커에 보강강판을 강결하여 보강강판의 가열을 중지한 후 발생하는 보강강판의 수축력을 콘크리트 교량의 보강에 필요한 프리스트레싱력으로 도입하는 공법이다. 그림 1은 온도프리스트레싱 보강공법을 시공단계별로 간단히 나타낸 것이며, 그림 2는 온도프리스트레싱에 의한 콘크리트 교량의 보강효과이다.

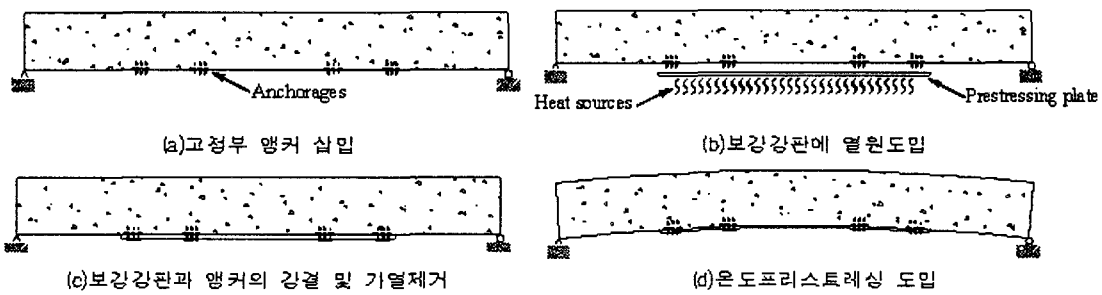


그림 1. 보강강판을 이용한 다단계 온도프리스트레싱 보강공법

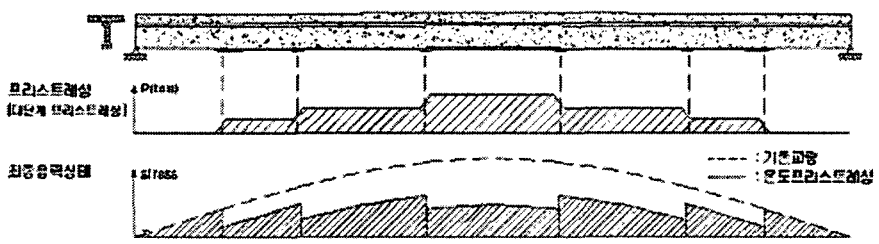


그림 2. 온도프리스트레싱 보강공법에 의한 보강효과

2.2 온도프리스트레싱에 의한 응력도입 이론해

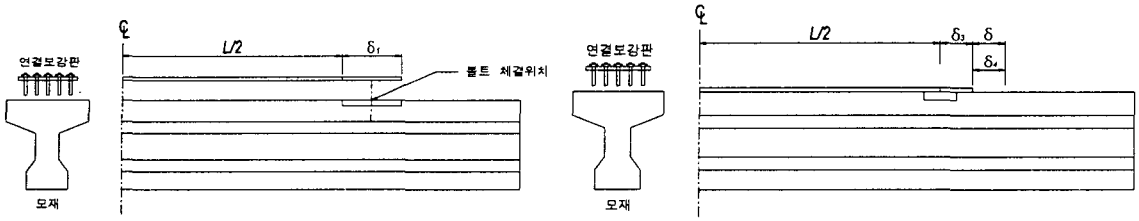
온도프리스트레싱에 의한 응력도입 이론해는 그림 3. (a)의 프리스트레싱 도입을 위한 보강온도를 적용하여 δ_1 만큼 자유팽창시킨 보강강판과 그림 3. (b)의 보강온도에 도달한후 가열을 중지하고 보강강판을 고정을 시켜 자유팽창된 보강강판을 구속시켜 보강강판이 δ의 최종 변위가 발생한 경우에 대하여 평형방정식과 적합방정식 그리고 변위관계식을 이용하여 계산하였다. 보강강판의 가열에 따른 변형량 δ_1과 보강강판의 구속에 따른 변형량 δ_3, δ_4은 식(1), 식(2), 식(3)과 같이 나타나며, 적합방정식(4) 및 변위관계식에 따라 보강강판의 도입축력은 식(5)와 같다. 따라서 보강강판에 도입되는 응력 σ_s 및 콘크리트 보에 도입되는 응력 σ_b은 식(6) 및 식(7)과 같이 구할 수 있다.

여기서 T_{TPSM}은 보강강판의 도입온도, P_{TPSM}은 온도도입에 의하여 발생하는 수축력이며, E_s는 강판의 탄성계수, E_c는 콘크리트의 탄성계수, A는 보강강판의 단면적, A_b, I_b는 콘크리트보의 단면적 및 단면 2차모멘트이다.

$$\delta_1 = \alpha\,(T_{TPSM} - T_\infty)\frac{L}{2} \quad (1) \qquad \delta_3 = \frac{P_{TPSM}L}{2E_sA} \quad (2) \qquad \delta_4 = \frac{P_{TPSM}L}{2E_cA_b} + \frac{P_{TPSM}eL}{2E_cI_b}y \quad (3)$$

$$\delta = \delta_1 - \delta_3 = \delta_2 + \delta_4 \quad (4) \qquad P = \frac{\alpha\,(T_{TPSM} - T_\infty)\,E_cE_sA\,A_bI_b}{E_cA_bI_b + E_sA\,I_b + E_sA\,A_bey} \quad (5)$$

$$\sigma_s = \frac{P}{A} \quad (6) \qquad \sigma_b = \frac{P}{A_b} \pm \frac{Pe}{I_b}y \quad (7)$$



(a) 프리스트레싱 보강강판의 가열을 통한 자유팽창 (b) 프리스트레싱 보강강판의 구속을 통한 최종응력 도입상태

그림 3. 온도프리스트레싱 보강공법의 응력도입 이론해

3. 온도프리스트레싱 보강공법 모형실험

보강공법 모형실험은 이론적으로 확인된 온도프리스트레싱 응력도입 효과를 실험적으로 검증하고자 그림 4와 같은 PSC거더 상부모형 시편을 제작하였으며, 보강강판에는 80℃와 40℃의 다단계 온도를 도입하였다. 또한 모형실험을 통하여 도입되는 온도프리스트레싱력을 범용유한요소해석 프로그램인 LUSAS v13.5을 통하여 비교하였다. 모형실험에 적용된 보강강판은 SM490을 사용하였으며, 콘크리트의 강도는 350kgf/cm^{2}이다. 그림 5는 인덕션가열판을 이용한 보강강판의 가열모습이며, 그림 6은 모형시편의 유한요소해석 결과이다.

PSC거더 모형시편에 도입되는 온도프리스트레싱 응력은 그림 7과 같이 나타났다. 모형시편의 상부에서는 보강강판의 냉각으로 압축응력이 도입되고, 하부에서는 인장응력이 도입되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 모형시편에 도입되는 상하부의 응력이 유한요소해석 결과와 일치하고 있다.

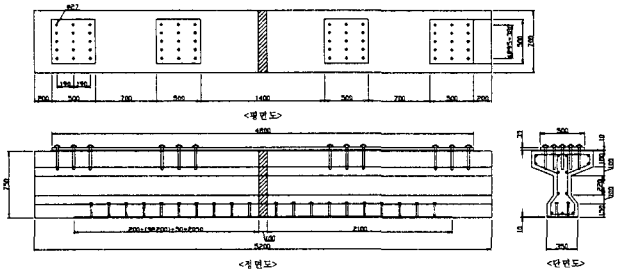


그림 4. 온도프리스트레싱 보강공법 모형실험 시편

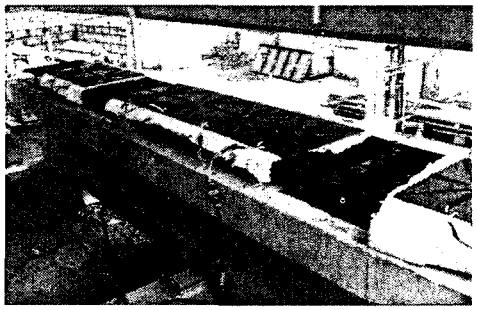


그림 5. 온도프리스트레싱 보강공법의 가열

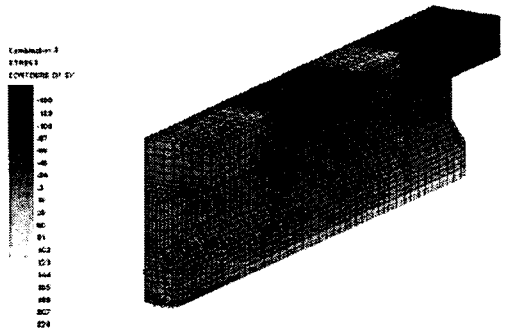


그림 6. 보강공법 모형시편의 유한요소 해석결과

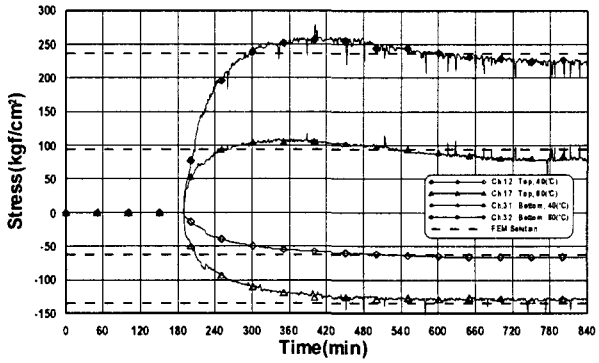


그림 7. 모형시편 실험을 통한 온도프리스트레싱 도입응력

4. 결론

본 연구는 온도프리스트레싱을 이용한 콘크리트 교량의 보수·보강공법 개발을 위하여 콘크리트 거더에 도입되는 온도프리스트레싱 응력과 모형시편 실험을 통하여 콘크리트 거더의 온도프리스트레싱 도입효과를 검토하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 온도프리스트레싱을 이용한 보수·보강공법은 기존의 단면보강 및 후인장공법의 특징을 접목한 새로운 보강공법으로 콘크리트 교량의 보수·보강에 적용이 가능하다.
2. 모형실험 결과 온도프리스트레싱력에 의해 콘크리트 보의 상연과 하연에 각각 압축응력과 인장응력이 도입됨을 확인되며, 유한요소해석 결과와 비교하여 온도프리스트레싱력의 정량적인 예측이 가능하므로 개발된 온도프리스트레싱 보강공법의 실효성이 검증된 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부, 도로교설계기준, 2005.
2. 김상효, 김준환, 장영재(2001) 시공단계를 고려한 연속 강거더의 온도 프리스트레싱에 관한 연구, 한국강구조학회 학술발표회 논문집, 한국강구조학회, pp. 17~24.