

커버플레이트를 이용한 다단계 온도프리스트레싱으로 보강된 합성보의 하중-저항성능 분석

Load-Carrying Capacity Evaluation of the Composite Beam Strengthened
by Multi-Stepwise Thermal Prestressing Method Using Cover-Plate

안 진 희*
Ahn, Jin-Hee

정 치 영**
Jung, Chi-young

최 규 태**
Choi, Kyu-Tae

김 상 호***
Kim, Sang-Hyo

Abstract

In this study, static loading tests and numerical analyses of the composite beam strengthened by multi-stepwise thermal prestressing method were carried out to evaluate the prestressing effect of the thermal prestressing prestress and the sectional effect of the installed cover-plate on the increase in the load-carrying capacity of composite beam. From this study, the strengthening method using multi-stepwise thermal prestressing method (TPSM) can be applied to reduce the deflection of the composite beam as well as to strengthening the composite beam by inducing the prestress in case of the occurrence in the large deflection by the insufficiency of the section properties of the composite beam. because of the expectation of the increase in the yield load and the sectional properties of the composite beam.

요 지

본 연구는 다단계 온도프리스트레싱 공법으로 보강된 합성보의 하중재하 실험 및 구조해석을 통하여 온도프리스트레싱 공법의 프리스트레스 도입효과와 단면증가효과를 평가하였다. 연구결과 온도프리스트레싱을 이용한 합성보의 보강공법은 온도프리스트레싱에 의한 프리스트레스 도입 뿐 아니라 커버플레이트의 설치에 의한 단면증가로 합성보의 처짐 또한 감소시킬 수 있으므로 합성보의 효율적인 보강공법으로 적용이 가능할 것이다.

Keywords : Load-carrying capacity, TPSM, Strengthening method, Static loading test

핵심 용어 : 하중저항성능, 온도프리스트레싱, 보강공법, 정적재하

* 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 BK21박사 후 연구원, 공학박사

** 학생회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부, 박사과정

*** 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부, 교수

E-mail : sanghyo@yonsei.ac.kr 02-2123-2804

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2009년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

현재 국내에 시공된 교량(철도교량 제외)은 2006년 말을 기준으로 총 24,397개로 30년 이상 경과된 교량은 1,616개, 20~30년 이상 경과된 교량은 3,244개, 10~20년 경과된 교량은 9,688개, 10년 미만 교량은 9,849개교이며, 2003~2006년까지 교량의 정기안전점검결과 보수·보강에 필요한 비용은 매년 약 2,900억원이었다^{1),2)}. 하지만 보수나 보강이 필요한 교량의 수는 Fig. 1과 같이 2018년 이후 약 5,000개소의 노후교량이 누적 발생되게 된다. 하지만 설계하중 및 공용수명에 따라 내하성능이 감소한 교량의 신설은 시공비용 및 공사기간과 같은 직접적인 문제뿐 아니라 시공당시와 비교하여 교통량이 증가된 경우, 교통체증 및 시공기간동안의 물류비 증가 등의 간접적인 문제를 유발할 수 있으므로, 적절한 보수보강공법을 이용하여 감소된 교량의 내하성능을 향상시키는 것이 교량의 신설보다 합리적인 대안이 될 수 있다.

현재 국내에서 사용되고 있는 교량의 주요 보강공법으로는 외부 강봉을 이용한 후인장공법, 강관이나 탄소섬유 등을 교량하부에 직접 부착하는 단면부착공법, 교각증설공법, 후인장공법과 단면부착공법의 장점을 이용한 온도프리스트레싱 보강공법 등이 있다³⁾. 외부 강봉을 이용한 교량의 보강공법은 프리스트레싱 도입으로 처짐 및 단면응력의 개선을 기대할 수 있으며 적용범위가 넓어 PSC 교량의 보강공법 등으로 적용되고 있으며, 강교량에 대한 적용성 또한 연구되고 있다⁴⁾. 강관부착공법은 교량하부에 덧

덧부재를 부착하여 교량의 단면특성을 개선하는 것으로 탄소섬유를 이용하거나 강관 등을 이용한 방법들이 적용 연구되고 있으며, 교각증설 공법은 기존 교각과 교각사이에 새로운 교각설치로 상부구조에 작용하는 응력을 감소시킨 형태이다. 이러한 보강공법 중 후인장 공법과 단면보강 공법의 장점을 동시에 얻을 수 있는 온도프리스트레싱 공법은 프리스트레싱 도입을 위하여 설치하는 커버플레이트의 변형을 가열 및 냉각을 이용하여 적용하고, 커버플레이트의 변형특성이 가열온도에 따라 변화되므로 단단계로 프리스트레싱 도입이 가능하다. 또한 본 공법은 정착하기 위하여 고강력 볼트를 이용하므로 기존 외부 강봉을 이용한 보강공법에서 발생할 수 있는 강봉 정착부 설계의 어려움 및 응력집중 문제를 감소시킬 수 있으며, 시공 또한 상대적으로 간단하다³⁾.

본 연구에서는 단단계 온도프리스트레싱 공법을 합성교의 보강공법으로 적용하였을 때 얻을 수 있는 보강성능을 프리스트레싱 도입력에 의한 효과와 단면보강에 따른 효과로 구분하여 분석하기 위하여 단단계 온도프리스트레싱으로 보강된 합성보를 제작하고 하중재하 실험을 통하여 하중저항성능을 평가하였으며, 구조해석을 통하여 단단계 온도프리스트레싱 효과를 분석하였다.

2. 보강실험의 개요

단단계 온도프리스트레싱 보강공법은 커버플레이트의 팽창과 수축력에 의하여 결정되므로 보강을 위하여 필요한 프리스트레싱력은 강재의 열 변형 특성에 따라 커버플레이트의 가열온도와 단면적에 비례하게 된다. 즉, 커버플레이트 단면적이나 가열온도 변화로 프리스트레싱 도입력의 변화를 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 단단계 온도프리스트레싱으로 보강된 합성보의 정적거동을 평가하기 위하여 무보강 합성보와 커버플레이트의 도입 온도는 동일하나 커버플레이트의 두께를 변화하여 프리스트레싱 도입력을 증가시킨 2본의 단단계 온도프리스트레싱된 합성보 시험체를 제작하였다. 대상 합성보 시험체는 Fig. 2에 나타난 것과 같이 길이 6,000mm,

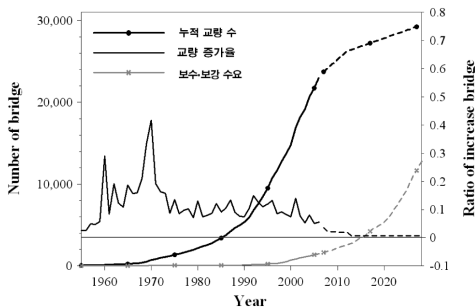


Fig. 1 국내교량 증가 및 보수보강 교량변화

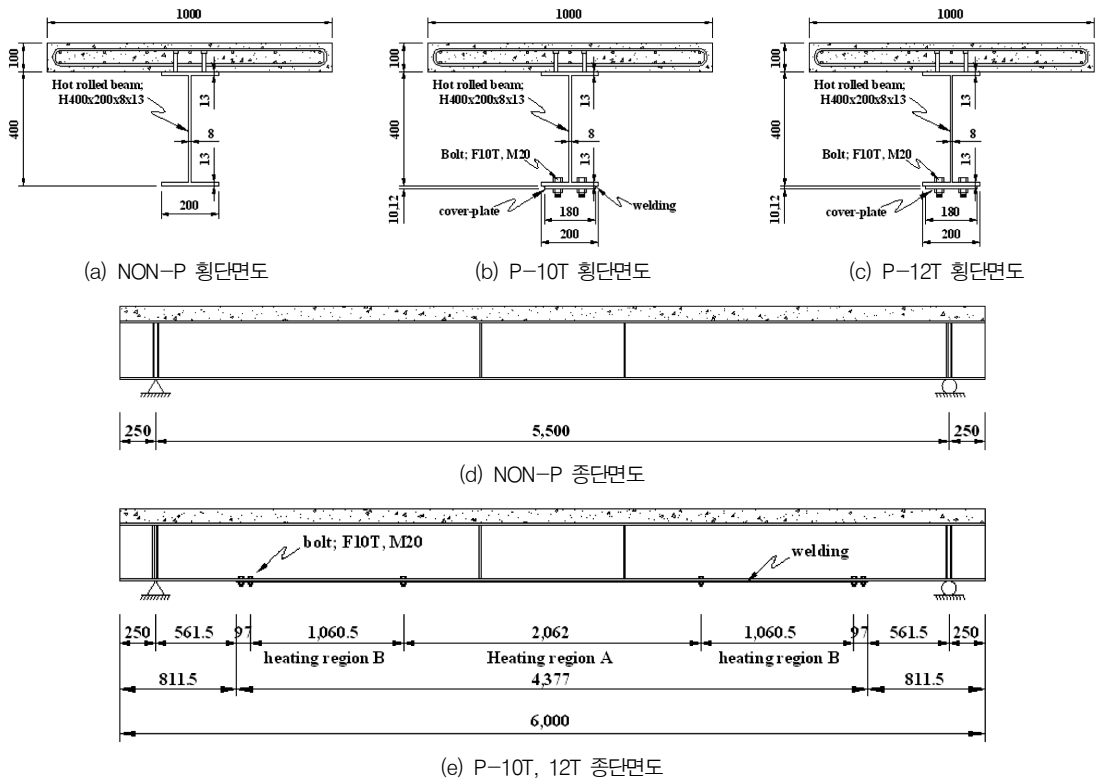


Fig. 2 시험체 단면상세

지점간 거리 5,500mm, 높이 500mm인 합성보로 SS400강종의 높이 400mm의 압연 H형강(H400×200×8×13)을 합성보의 강제보로 적용하였으며, 형강 상부에 설계압축강도가 27MPa인 폭 1,000mm, 높이 100mm의 콘크리트 슬래브를 설치하였다. 프리스트레싱을 도입하기 위하여 길이 4,377mm, 두께 10mm의 SM520 강종 커버플레이트와 길이 4,377mm, 두께 12mm의 SM570 강종의 커버플레이트를 사용하였으며, Fig. 2(e)에서 볼 수 있듯이 가열구간 A는 50℃, 가열구간 B는 30℃의 상대온도차가 발생하도록 다단계로 가열하였다. 프리스트레싱 도입을 위하여 사용된 커버플레이트는 프리스트레싱 도입시 인장부재로 작용하게 되므로 하중재하 상태를 고려하여 고장력 강재를 사용하였다. 다만 계 가열로 온도변형이 발생한 커버플레이트는 F10T M20의 고장력 볼트를 이용하여 합성보와 체결하였

Table 1 시험체의 단면 특성

	단면적 (mm ²)	단면2차 모멘트(mm ⁴)	Ct* / Grade	Ratio of CA ^{***} / HA ^{**}	강재량(kg) / 강재량증가
NON-P	108,192	54,3561,200	무보강	-	385.7
P-10T	109,992	54,3561,200	10mm/ SM520	0.22	470.5/ 0.832
P-12T	110,352	54,3561,200	12mm/ SM570	0.26	487.5/ 0.998

* Ct : Thickness of cover-plate

** HA : Area of steel beam

*** CA : Area of cover-plate

다. 보강효과 검토를 위하여 설치된 합성보의 강제 단면과 커버플레이트 단면비는 10mm 커버플레이트의 경우 0.22, 12mm 커버플레이트의 경우 0.26이며, 커버플레이트의 설치로 합성보 전체의 강재량은 각각 22, 26% 증가하였다. 합성보 설계시 강제 보와 콘크리트 슬래브의 연결은 스티드 전단연결재

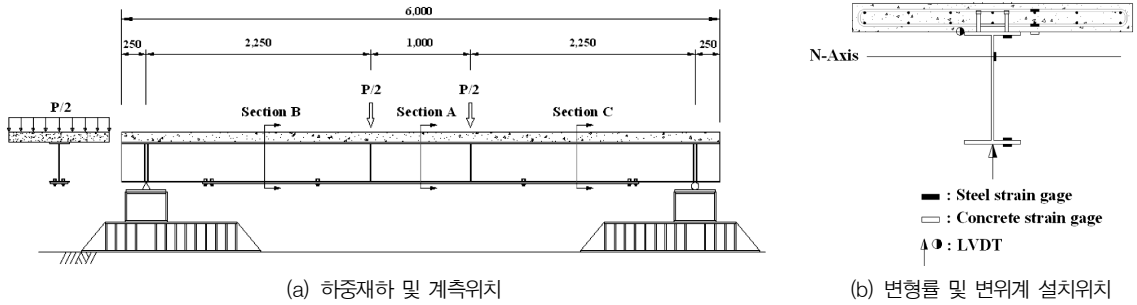


Fig. 3 실험체의 하중재하 및 계측방법

Table 2 재료시험 결과

	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	연신률(%)
SS400	253	476	24
SM520	381	595	23
SM570	476	681	23
	설계강도(MPa)	표준양생(MPa)	하중재하(MPa)
콘크리트 압축강도	27	28.3	29.3

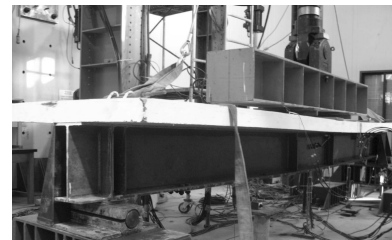
를 이용하였으며, 강재와 콘크리트가 완전합성으로 거동하도록 전단연결재를 배치하였다. Table 1은 본 연구에 사용된 합성보 시험체의 특성을 요약하여 나타낸 것이다.

본 연구를 위하여 제작된 합성보의 재료특성은 강재의 인장강도 실험 및 콘크리트의 압축강도 실험으로 결정되었다. SS400강종의 강재보는 허용응력이 140MPa이며, 공칭항복강도가 240MPa이며, 인장강도 실험결과 항복강도 253MPa, 인장강도 476MPa이었으며, SM520 커버플레이트의 경우 항복강도 381MPa, 인장강도 595MPa, SM570 커버플레이트의 경우는 항복강도 476MPa, 인장강도 681MPa를 가지는 것으로 나타났다. 콘크리트 슬래브는 표준 양생시 28.3MPa, 하중재하시 29.3MPa의 압축강도로 평가되었다. Table 2는 재료시험 결과이다.

온도프리스트레싱 공법은 강재보와 커버플레이트 간의 상대온도차에 따라 발생하는 수축력을 이용하므로 프리스트레싱 도입을 위하여 인덕션타입 가열판과 자동온도조절 장치를 이용하여 커버플레이트를 목표 상대온도차까지 가열을 한다. 그리고 고장력



(a) 프리스트레싱 도입모습



(b) 하중재하모습

Fig. 4 합성보의 프리스트레싱 및 하중재하

볼트를 이용하여 가열된 커버플레이트와 합성보의 하부플랜지를 연결, 커버플레이트가 완전히 냉각되어 프리스트레싱이 도입된 후 합성보에 대한 하중재하 시험을 실시하였다. 하중재하는 1,000kN용량의 Actuator를 이용하여 Fig. 3(a)와 같이 4점 휨하중이 합성보에 2mm/min의 변위하중으로 재하 되도록 하였다. 온도프리스트레싱 도입효과와 단면보강효과 그리고 프리스트레싱이 도입된 합성보의 거동을 평가하기 위하여 Fig. 3(b)과 같이 합성보 단면에 변형률계지(Strain gage)를 부착하였으며, 보중양부와 보 외측에 변위계(LVDT)를 설치하여 하중-처짐 관계를 확인하였다. Fig. 4는 프리스트레싱

도입 및 하중재하 모습을 나타낸 것으로 가열된 커버플레이트에서 강제보로의 열전달을 막기 위한 단열재와 인덕션 가열판을 확인할 수 있다.

3. 하중재하 실험 결과분석

온도프리스트레싱이 도입된 합성보는 하중증가에 따른 시험체의 변위발생으로 Actuator의 하중재하 접의 회전으로 극한하중에 도달할 때까지 하중을 재하하지 못하고, 합성보의 하부플랜지가 항복한 후 거더의 복부로 강제항복이 발생하고 콘크리트 슬래브의 압축파괴가 발생할 때까지 하중재하를 실시하였다. 하중재하 실험결과 나타난 처짐 및 변형률 변화를 통하여 합성보의 보강특성을 비교·평가하였다.

3.1 프리스트레싱 도입

강봉을 이용한 프리스트레싱 도입방법은 강봉 설치구간이 짧은 경우 정착부에서의 손실이 크게 발생할 수 있으므로, 프리스트레싱의 손실을 확인하고 이를 보완하기 위하여 여러 번 외부긴장재의 긴장작업이 필요한 경우가 있다. 하지만 온도프리스트레싱 공법인 경우 커버플레이트와 합성보의 체결시 발생

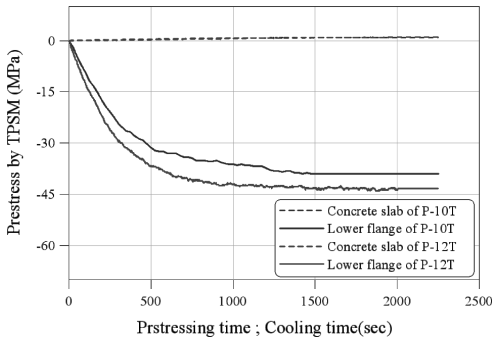


Fig. 5 커버플레이트 냉각에 따른 프리스트레스

Table 3 프리스트레스 도입후 변형률 및 처짐변화

	상부플랜지(μ)	하부플랜지(μ)	처짐(mm)
P-10T	32.57	-185.6	1.63
P-12T	36.44	-206.5	1.83

하는 대류, 전도와 같은 열전달 문제를 최소화한다면 짧은 구간에서도 프리스트레스의 손실을 줄일 수 있다. Fig. 5와 Table 3은 가열된 강판의 냉각에 의하여 합성보 단면에 도입된 프리스트레스 및 처짐을 냉각시간에 따라 나타낸 것이다.

3.2 하중-처짐 및 변형률 관계

커버플레이트를 이용하여 온도프리스트레싱을 도입한 합성보의 보강성능의 비교를 위하여 Fig. 6에 합성보 실험체 중앙 단면에서의 하부에서의 하중-처짐 변화곡선을 비교하여 나타내었다. Fig. 6에서 10mm와 12mm 커버플레이트를 이용하여 온도 프리스트레스가 도입된 합성보의 탄성구간 강성은 무보강 합성보의 강성보다 크며 항복하중 또한 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 무보강 합성보(NON-P)의 하중-처짐관계를 통한 강성 즉, 하중에 대한 합성보의 처짐비는 27.76kN/mm, 10mm 커버플레이트를 이용한 경우(P-10T)는 41.46kN/mm, 12mm 커버플레이트를 이용한 경우(P-12T)는 43.66kN/mm로 나타나 커버플레이트 보강에 따른 탄성구간에서의 강성증가는 각각 49, 57%로 나타났다. 또한 하부플랜지의 항복하중은 무보강 합성보(NON-P)의 경우 328.85kN, 10mm 커버플레이트로 보강한 합성보(P-10T)는 530.83kN, 12mm 커버플레이트로 보강한 합성보(P-12T)는 570.57kN으로 커버플레이트의 설치로 합성보의 강제량은 보강되지 않은 합성보보다 각각 22, 26% 증가하지만, 항복강도의 측면에서는 각각 56, 71%가 증가하였다. 강성변화 및 항복하중 특성은 Fig. 7의 중앙부 하부 플랜지의 변형률에서도 확인할 수 있다. Table 4는 강성 및 항복하중을 정리하여 나타낸 것이다.

Table 4 강성변화 및 항복하중 비

	Stiffness (kN/mm)	Stiffness ratio	Yield load (kN)	Yield load ratio
NON-P	27.76	1.00	328.85	1.00
P-10T	41.46	1.49	530.83	1.59
P-12T	43.66	1.57	570.57	1.71

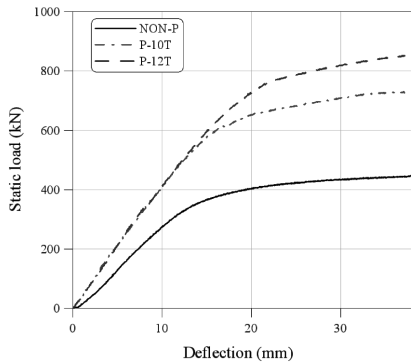


Fig. 6 하중-중앙부 처짐 관계곡선

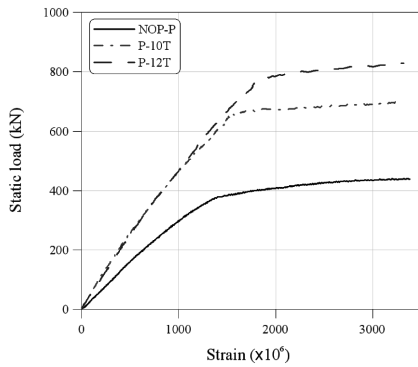


Fig. 7 하중-중앙부 변형을 관계곡선

3.3 단면변형을 및 처짐 분포특성

합성보의 프리스트레싱 도입 및 부착한 커버플레이트의 단면보강효과에 의해 합성보 단면에서의 변형률이 변화하게 된다. Fig. 8~10은 합성보 중앙부 단면에서의 하중-변형률 분포를 나타낸 것으로 모든 합성보에서는 전형적인 인장 압축 분포를 나타내고 있다. Fig. 8은 무보강 합성보의 단면응력분포로 하부플랜지의 인장변형에 의한 항복과 콘크리트 슬래브의 압축변형관계가 나타나고 있다. Fig. 9와 Fig. 10의 온도프리스트레싱이 도입된 합성보의 단면 변형률 분포는 무보강된 합성보의 단면변형률 분포와 비교하여 하부플랜지의 항복지연 효과와 커버플레이트의 부착으로 인한 단면특성(중립축 및 단면계수)의 변화를 확인할 수 있다. Fig. 11~13은 하중재하 단계에 따른 처짐 분포를 합성보 하부플랜

지의 항복까지 나타낸 것으로 프리스트레스 도입에 의한 편심하중에 의한 슛음과 커버플레이트의 단면 효과로 프리스트레스 도입 합성보의 처짐 분포 또한 동일 하중 상태의 무보강 합성보의 처짐보다 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

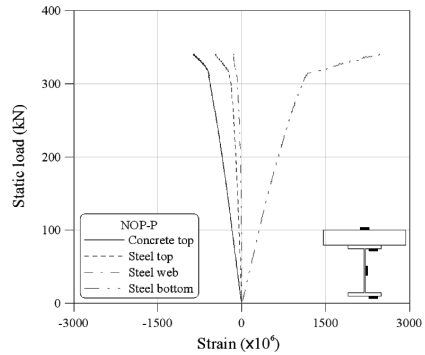


Fig. 8 하중-변형률 관계 단면A(NON-P)

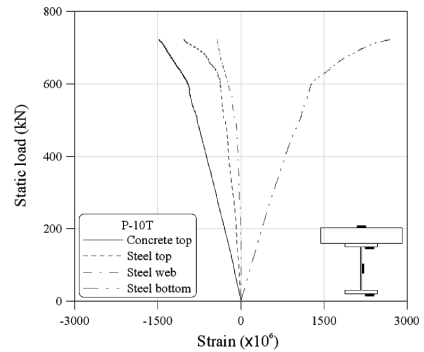


Fig. 9 하중-변형률 관계 단면A(P-10T)

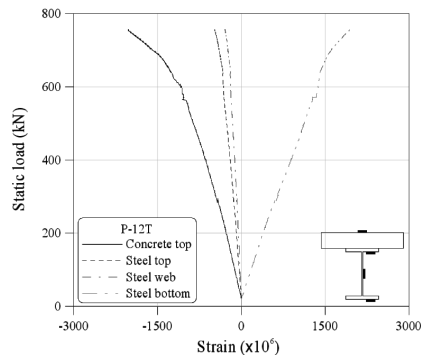


Fig. 10 하중-변형률 관계 단면A(P-12T)

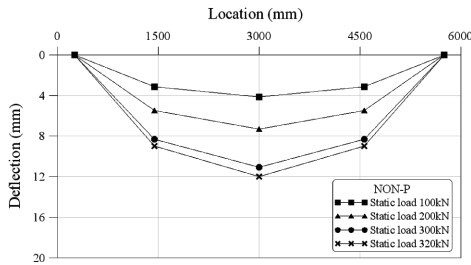


Fig. 11 하중단계별 처짐분포(NON-P)

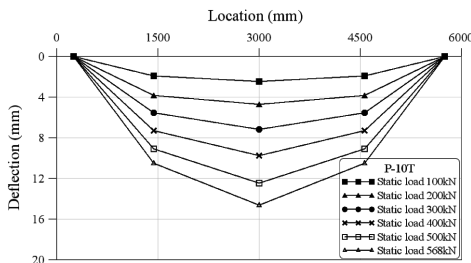


Fig. 12 하중단계별 처짐분포(P-10T)

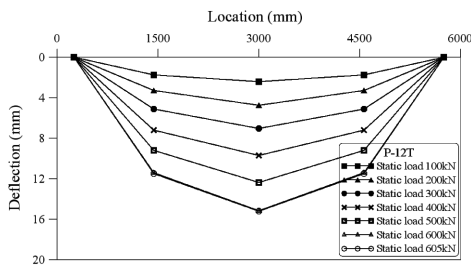


Fig. 13 하중단계별 처짐분포(P-12T)

4. 구조해석 및 극한하중관계

합성보 실험체의 보강효과를 실험결과와 비교하여 분석하기 위하여 본 연구에서는 범용구조해석 프로그램인 LUSAS 14.0을 이용하여 합성보를 Fig. 14와 같이 모형화 하였다. 합성보에서 슬래브는 솔리드요소(HX20)로, 강재보 및 커버플레이트는 셸요소(QSL8)를 이용하였으며 재료실험결과 나타난 재료특성을 모형에 적용하였다.

또한 커버플레이트를 이용한 합성보의 보강공법은 외부긴장재를 이용하여 프리스트레싱을 도입하는 공법과 비교하여 프리스트레싱 도입 측면 및 긴

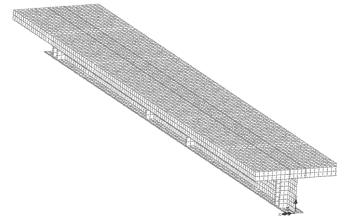


Fig. 14 합성보의 FE model

장재가 합성보의 단면과 함께 하중에 저항하는 측면에서 동일한 보강공법으로 긴장재의 종류 및 긴장방법만을 변형시킨 형태라고 할 수 있다. 따라서 외부 긴장재를 이용한 프리스트레싱 공법에 관한 연구에 따라 프리스트레싱이 도입된 합성보의 극한강도는 합성보 단면 및 설치된 외부긴장재의 단면에서의 소성저항모멘트에 의하여 결정된다. 그러므로 프리스트레싱 도입이 없는 합성보의 극한강도와 비교한다면, 프리스트레싱 도입을 위하여 설치한 긴장재가 소성저항모멘트를 증가시켜 극한강도가 증가하는 것으로 평가할 수 있다⁷⁾. 따라서 프리스트레싱 도입된 합성보 시험체의 보강효과 분석시 구조해석 모형과 합성단면의 소성저항모멘트에 따라 유도되는 소성저항 모멘트를 계산하여 이를 평가하였다.

4.1 구조해석 모형과의 비교

온도프리스트레싱이 도입된 합성보의 보강성능을 비교하기 위하여 합성보의 하중재하 실험결과를 구조해석 모형과 비교하였다. 선형모형(Linear analysis)은 재료비선형성을 고려하지 않은 모형이며, 비선형 완전합성 모델(Nonlinear analysis—full interaction) 모형은 콘크리트 슬래브와 강재보가 완전합성으로 경계면에서의 변형은 발생하지 않는 모형이다. 비선형 부분합성 모델(Nonlinear analysis—partial interaction) 모형은 Fig. 15와 같이 콘크리트 슬래브와 강재보 사이의 스티드 전단연결재가 경계면에서의 전단하중을 전달하도록 한 모형⁶⁾으로 전단연결재의 전단강성은 push-out 실험결과를 이용하였다⁵⁾.

Fig. 16~18은 구조해석 모형과 실험결과를 비교

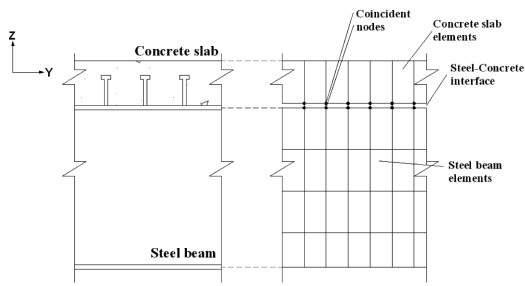


Fig. 15 부분합성 모형⁶⁾

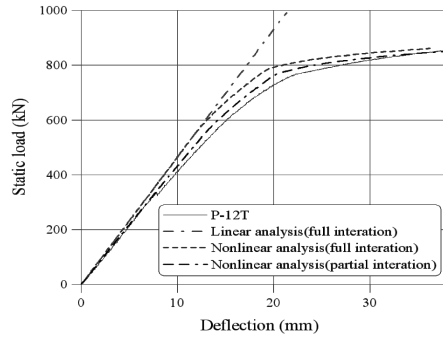


Fig. 18 하중-처짐 비교(P-12T)



Fig. 19 실험체 단부의 상대슬립(P-12T)

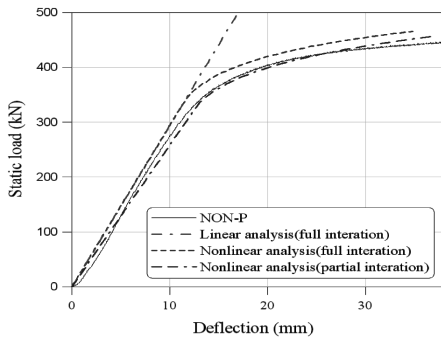


Fig. 16 하중-처짐 비교(NON-P)

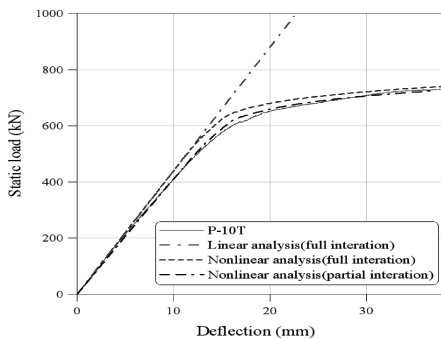


Fig. 17 하중-처짐 비교(P-10T)

하여 나타난 것으로 완전 합성모형의 경우 실험결과보다 큰 하중-처짐관계를 나타내고 있다. 그러나 경

계면에서의 상대슬립을 허용한 비선형 부분합성 모형인 경우 실험과 유사한 하중-처짐관계를 보여주고 있음을 확인할 수 있다. 이는 Fig. 19와 같이 휨 하중으로 경계면에서 발생한 전단하중에 의해 스티드 전단연결체의 변형에 따른 상대슬립으로 완전합성으로 설계된 합성보에서 부분결합거동이 나타남에 따른 것으로 판단된다. 따라서 프리스트레싱 도입된 합성보의 거동은 부분합성모형을 이용하여 분석하는 것이 합리적이므로 본 연구에서는 온도 프리스트레싱 도입효과와 단면효과를 분석하기 위하여 비선형 부분합성 모형을 이용하였다. 부분 합성보의 경우 해석시간의 문제를 고려하여 실험체의 절반만을 모형화 하였다.

4.2 프리스트레싱 효율분석

온도 프리스트레싱이 도입된 합성보의 보강성능 비교를 위해 부분합성 모형을 이용하여 온도프리스트레싱의 보강효율을 확인하였다. 이를 위하여 P-

Table 5 프리스트레스 도입 효율분석

	Non cover-plate	Cover-plate (0-0-0℃)	Cover-plate (30-50-30℃)	Cover-plate (60-100-60℃)	Cover-plate (90-150-90℃)
Yield load(kN)	332.85	554.51	625.91	682.58	732.98
Ratio of yield load	1.00	1.67	1.88	2.05	2.20
Ratio of prestress	-	0.00	0.24	0.36	0.45

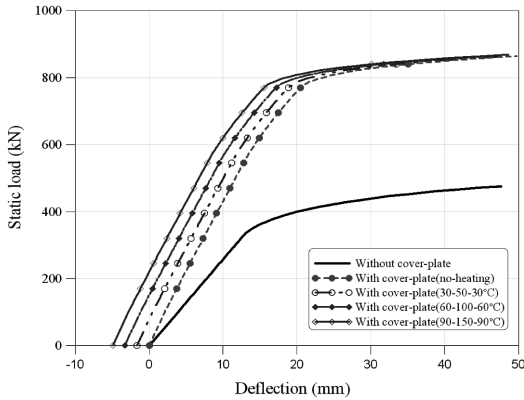


Fig. 20 하중-처짐 비교(NON-P)

12T 합성보 실험체를 대상으로 온도 분포 없이 단순히 커버플레이트의 부착효과만을 분석하기 위한 모형과 커버플레이트에 도입되는 온도분포를 변화시켜 도입 프리스트레싱 도입력을 조절한 모형을 이용하여 단면효과와 프리스트레스 도입효과를 구분하여 평가하였다. Fig. 20은 구조해석 결과 나타난 온도프리스트레싱이 도입된 합성보의 하중-변위관계를 나타낸 것으로 합성보 실험결과와 유사한 거동 특성을 확인할 수 있으며, 온도분포 도입에 관계없이 커버플레이트를 설치한 합성보는 동일한 수준의 극한 강도를 가지게 되는 것으로 나타났으며, 구조해석 결과를 Table 5에 정리하여 나타내었다. Fig. 20과 Table 5에서 무보강 합성보의 항복강도는 실험결과와 유사하게 332.85kN으로 나타났으며, 온도분포 없이 커버플레이트만을 설치한 경우는 554.51 kN, 온도분포가 도입된 합성보의 경우 도입온도 증가에 따라 625.91~732.98kN까지 증가하였다. 따라서 온도프리스트레싱 도입이 없는 경우의 커버플레이트의 효과는 66%의 항복강도를 증가시키는 것으로 나타났고, 온도프리스트레싱을 도입한 경우는

커버플레이트 단면효과와 함께 21.4, 38.5, 53.6%의 프리스트레스 도입효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 커버플레이트 부착 단면을 기준으로 24.4, 36.6, 44.6%의 프리스트레스 도입효과가 있는 것으로 분석되었다. Table 5에서 프리스트레스 효율은 무보강 합성보와 온도프리스트레싱이 도입된 합성보간의 항복 강도비를 커버플레이트 만을 부착한 합성보의 항복강도와 비교하여 계산한 것이다.

Fig. 20에 도입 프리스트레싱력의 증가에 따라 합성보의 항복강도는 증가하나 항복하중이후 합성보의 극한거동은 도입 프리스트레싱력에 관계없이 동일한 경향을 가지는 것으로 확인되었다. 이는 Fig. 21에 나타난 합성보 단면과 설치된 커버플레이트 단면에 의해 소성저항모멘트(중립축 위치)가 결정되므로 온도프리스트레싱이 도입된 합성보의 극한강도는 식 (1), (3)과 같이 나타낼 수 있다. 합성단면의 소성중립축이 콘크리트에 위치한 경우 식 (2)의 콘크리트 압축응력 작용단면의 깊이, 소성중립축, 합성단면과 커버플레이트의 단면응력관계를 이용하여 식 (1)의 극한강도를 유도할 수 있으며, 식 (4)의 소성중립축이 강재플랜지에 위치한 경우와 식 (5)의 복부에 위치한 경우는 인장응력 작용단면의 깊이, 소성중립축, 합성단면과 커버플레이트의 단면응력관계를 이용하여 식 (3)과 같은 커버플레이트로 프리스트레싱을 도입한 합성보의 극한강도를 유도할 수 있다. 따라서 프리스트레싱이 도입된 합성보의 극한강도는 프리스트레싱 도입력에 관계없이 결정되게 된다. 식 (1), (2), (3), (4), (5)에서 P_c 는 압축단면의 압축력, P_s 는 강재보의 인장단면의 인장력, P_p 는 커버플레이트의 인장력, P_{cs} 는 강재보 압축단면의 압축력, y_{cs-p} 는 커버플레이트 부착에 의하여 변화된 소성중립축과 압축력간 거리, y_{sz-p} 는

커버플레이트 부착에 의하여 변화된 소성중립축과 인장력간 거리, y_{tz-p} 는 커버플레이트 부착에 의하여 변화된 소성중립축과 커버플레이트의 인장력간 거리, y_{csz-p} 는 커버플레이트 부착에 의하여 변화된 소성중립축과 커버플레이트의 인장력간 거리(소성중립축 강재위치), b_c 는 슬래브의 유효폭, b_{fl} 은 플랜지의 폭, b_w 는 웹의 두께, A_s 는 강재보의 단면적, A_p 는 커버플레이트의 단면적, f_{yd} 는 강재보의 항복응력, f_{yd-p} 는 커버플레이트의 항복응력이다.

$$M_{u-p} = P_c \cdot y_{cz-p} + P_s \cdot y_{sz-p} + A_p f_{yd-p} \cdot y_{tz-p} \quad (1)$$

$$= P_c \cdot y_{cz-p} + P_s \cdot y_{sz-p} + P_p \cdot y_{tz-p}$$

$$c_p = \frac{A_s f_{yd} + A_p f_{yd-p}}{b_c f_{ck}} \quad (2)$$

$$M_{u-p} = P_c \cdot y_{cz-p} + P_{cs} \cdot y_{csz-p} + P_s \cdot y_{sz-p} + A_p f_{yd-p} \cdot y_{tz-p} \quad (3)$$

$$= P_c \cdot y_{cz-p} + P_{cs} \cdot y_{csz-p} + P_s \cdot y_{sz-p} + P_p \cdot y_{tz-p}$$

$$s_{f-p} = \frac{A_s f_{yd} + A_p f_{yd-p} - A_c f_{ck}}{2b_{f1} f_{yd}} \quad (4)$$

$$s_{w-p} = \frac{A_s f_{yd} + A_p f_{yd-p} - A_c f_{ck} - 2h_{f1} b_{f1} f_{yd}}{2b_w f_{yd}} \quad (5)$$

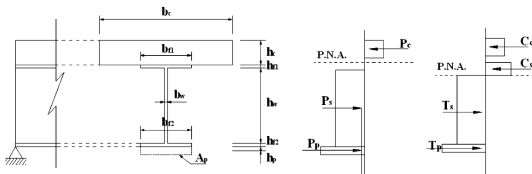


Fig. 21 소성저항 모멘트 계산을 위한 단면응력분포

6. 결론

본 연구는 다단계 온도프리스트레싱으로 보강된

합성보의 프리스트레싱 도입효과와 단면효과를 분석하기 위하여 하중재하 실험과 구조해석을 수행하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 커버플레이트를 이용하여 온도 프리스트레싱 도입된 합성보의 하중재하 실험결과 프리스트레싱 도입 및 커버플레이트의 단면보강 효과로 하부플랜지의 항복하중이 증가하고, 처짐은 감소하므로 본 보강공법을 통하여 사용하중상태에서 내하성능의 증가와 처짐의 감소를 기대할 수 있다.
- 2) 실험 및 구조해석결과 합성보에 대한 커버플레이트의 단면효과는 66.7%의 항복강도를 증가시키고, 프리스트레싱을 도입하기 위하여 커버플레이트의 가열온도를 증가할 경우 프리스트레싱 도입효과 중 단면효과의 비는 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 온도프리스트레싱 도입을 위하여 설치한 커버플레이트는 프리스트레싱 도입력 및 단면계수 증가로 항복하중을 증가시켜 합성보의 내하성능을 증가되며, 부착한 커버플레이트의 단면증가로 합성보의 극한강도 또한 증가되는 것으로 나타났다. 하지만 합성보의 극한강도는 프리스트레싱 도입력에 관계없이 커버플레이트의 단면특성에 따라 결정됨을 확인할 수 있다.

본 연구에서 수행한 온도프리스트레싱을 이용한 합성보의 보강공법은 프리스트레싱 도입과 더불어 커버플레이트가 단면을 보강하므로 처짐 및 합성보 단면응력의 개선에 효율적이다. 따라서 합성보 단면이 작아 사용하중에 의한 처짐이 큰 합성보의 내하성능개선을 위한 보강공법으로 적용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 (주)승화이엔씨, (주)유호산업개발의 연구비 지원 및 교육인적자원부 BK21사업의 일환인 연세대학교 사회환경시스템공학부 미래사회기반시설 산학연공동사업단의 지원을 받아 연구된 것으로 본 연구를 가능케 한 (주)승화이엔씨, (주)유호산업개발

및 교육인적자원부에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2006), 도로교량 및 터널현황.
2. 건설교통부 (2003), 전년대비 증감내역.
3. 안진희, 정치영, 김준환, 김상효, “다단계 온도프리스 트레싱 도입 강재보의 정적거동평가를 위한 실험적 연구”, 한국강구조학회논문집, 제20권, 제2호, 2008, pp. 247-258.
4. 최동호, 나호성, 이진호. “외부긴장재로 보강된 강합성보의 극한거동에 대한 실험적 연구”, 구조물진단학회지, 제12권, 제6호, 2008, pp. 63-70.
5. Ahn, J.-H., Kim, S.-H. and Jeong, Y.-J., “Fatigue experiment of stud welded on steel plate for a new bridge deck system”, Steel and composite structures, Vol. 7, NO. 5, 2007, pp. 391-404.
6. Queiroz F.D., Vellasco, P.C.G.S. and Nethercot, D.A., “Finite element modeling of composite beams with full and partial shear connection”, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 63, 2006, pp. 505-521.
7. Saadatmsnesh H., Albewcht P. and Ayyub B.M. “Analytical Study of Prestressed Composite Beams”, Journal of Structural Engineering, Vol. 115, No. 9, 1989, pp. 2364-2381.

(접수일자 : 2009년 3월 10일)

(심사완료일자 : 2009년 5월 6일)