

외부 후 긴장 공법을 이용한 강합성보의 보강에 관한 연구

A Study on the Reinforcement of Steel Composite Beam Using the External Post-Tensioning Method

박 용 굴¹⁾ · 박 영 훈²⁾ · 이 승 용³⁾

Park, Yong-Gul · Park, Young-Hoon · Lee, Seung-Yong

요 약 : 외부 후 긴장 공법은 설계에 수반되는 구조해석이 비교적 명확하여 강교량 구조물뿐만 아니라 건축구조물 등 그 적용 범위가 매우 넓은 보강방법이다. 본 연구에서는 후 긴장 공법에 있어서 긴장력 도입 과정의 강합성보의 거동을 연구하기 위하여 긴장력 증가에 따른 긴장재, 경간 중앙부 하부 플랜지, 정착단 주형 하부 플랜지의 도입 변형율과 긴장재 절곡 각도에 따른 도입 전단력 및 압축력을 실험 및 해석적으로 분석하였다. 또한, 긴장력 도입 후 정적 휨 재하 실험을 수행하여 긴장력 도입 정도에 따른 휨 보강 정도를 분석하였으며, 절곡 각도의 변화에 따른 전단보강 및 휨보강 양상을 연구하였다. 그 결과 외부 후 긴장력 도입에 따른 휨 보강 효과가 매우 높은 것으로 분석되었으며, 긴장재의 절곡 배치에 의해서는 추가적으로 전단보강 효과까지 나타났다.

ABSTRACT : In strengthening structure, the external post-tensioning method which secure clearness in the structure analysis process is adopted to bridges as well as architecture structure. In this study, to investigate the behavior of composite beam in the process of post-tensioning, the amount of prestress force loss, the amount of prestressed compression stress at the lower flange and the behavior of lower flange connected with anchorage are analyzed by comparing the results of finite element analysis with the measured results of installed strain gauges. After finishing the post-tensioning, the strengthening effect of external post-tensioning method is analyzed by static loading test. It is also investigated that the strengthening effect of shear section in the harped external post-tensioning specimens.

핵 심 용 어 : 외부 후 긴장 공법, 휨보강, 전단보강, 긴장력, 절곡강선

KEYWORDS : external post-tensioning method, bending reinforcement, shear reinforcement, prestressing force, harped tendon

1) 정회원, 서울산업대학교 구조공학과 교수
2) 정회원, 부천대학 토목과 전임강사
3) 정회원, 부천대학 토목과 전임강사

본 논문에 대한 토의를 2001년 4월 30일까지 학회로 보내
주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

기존의 교량 구조물의 내하력 저하는 공용기간 증대, 과적차량, 환경적 요인등에 의한 구조물 자체의 손상에 의하여 이루어질 뿐만 아니라, 교통하중 증량화에 따른 설계하중 상승에 의해서도 상대적으로 내하력 저하가 발생하게 된다.

그 결과, 현재 국내의 공용중인 전체 교량에서 약 70% 이상의 교량이 2등급 이하의 내하력을 확보하고 있는 것으로 나타나고 있으며¹⁾, 설계하중이상의 지속적인 차량하중에 의한 손상의 가중으로 교량 구조물의 공용 가능 기간이 급속도로 감소하고 있어, 이에 대한 합리적인 대책이 요구되어 지고 있는 실정이다.

이러한 상황에서 대두될 수 있는 교량의 신설은 그 효과가 확실할 뿐만 아니라 향후 교량 구조물의 유지관리 차원에서 매우 용이한 방법으로 고려될 수 있으나, 교량 건설에 소요되는 직접비용과 함께 시공기간중의 우회도로의 건설에 따른 교통 이용자의 시간과 연료소비 같은 간접비용등 막대한 재원이 필요하게 되어 아주 신중하게 검토되고 있다.

한편, 기존 교량에 보강이 합리적으로 적용될 경우, 매우 효율적인 비용으로 필요 내하력을 확보할 수 있어 경제적인 면에서 매우 높은 잇점을 가지고 있다. 현재 국내에서 사용되고 있는 강교량의 보강방법으로서는 강판덧댐, 탄소 및 유리섬유 부착공법, 교각 증설 공법, 후긴장을 이용하는 공법등이 있다

강판덧댐 및 탄소 및 유리섬유 부착공법은 실제 시공에 있어서 기존의 구조물과의 일체거동 여부가 문제가 될 수 있으며, 교각증설 공법에 있어서는 추가적으로 발생하는 부모멘트부의 처리가 용이하지 않으나, 후긴장 보강 공법은 설계에 수반되는 구조해석이 비교적 명확하여 교량 구조물 뿐만 아니라 건축구조물 등 그 적용 범위가 매우 넓은 보강방법으로서 보다 더 많은 연구가 필요할 실정이다²⁻³⁾.

따라서, 본 연구에서는 후긴장 보강공법 적용에 따른 합성보의 거동과 보강 효과를 연구하기 위하여 긴장력 도입 과정에 따른 긴장재, 주형 중앙부 하부 플랜지, 정착단 하부 플랜지의 거동을 측정하여 3차원 유한요소 해석 결과와 비교 분석하였으며, 긴장력 도입 후 정적 재하 휨 실험을 실시하여 긴장력 도입 정도에 따른 합성보의 보강 효과 정도를 연구하였다. 또한, 강선을 절곡 배치한 시험체를 이용하여 강선의 절곡 배치에 따른 전단 보강 정도를 분석하였다.

2. 외부 후긴장력 결정 및 실험 방법

2.1 외부 후긴장력 결정

본 연구에서는 그림 1과 같이 시험체 지간에 따른 유효폭을 갖는 합성보 시험편에 2개의 강선을 이용한 후긴장 보강을 하여 4점 휨 실험을 실시하였으며, 단면의 제원은 표 1, 사용된 PS 강연선의 제원 및 물리적 성질은 표 2에 정리하였다.

표 1. 재료의 물리적 성질

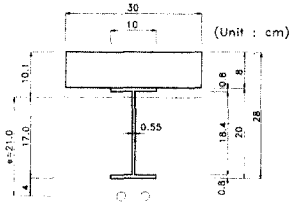
구분	A (cm ²)	I (cm ⁴)	E (kg/cm ²)	단위중량 (ton/m ³)	허용응력 (kg/cm ²)
슬래브	240	1,280	2.51×10 ⁵	2.5	112
형강	27.16	1,761	2.1×10 ⁵	7.85	1,400
합성단면	55.88	4,601			

표 2. PS 강연선의 제원 및 물리적 성질

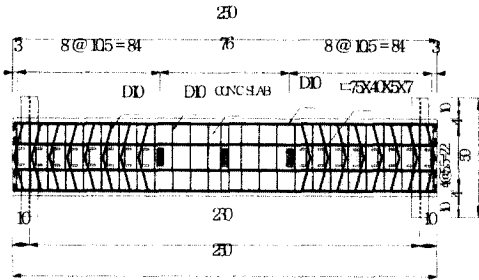
공칭단면적 (mm ²)	인장하중 (ton)	0.2%영구연신율에 대한 하중(ton)	윌랙세이션 값(%)	
			N	L
138.7	26.6이상	22.6이상	8.0이하	2.5이하

한편, 본 실험의 직선보강 시험체에 있어서의 긴장력을 결정하기 위하여 그림 2와 같이 범용프로그램인 LUSAS를 이용하여 3차원 유한요소해석을 실시하였다.

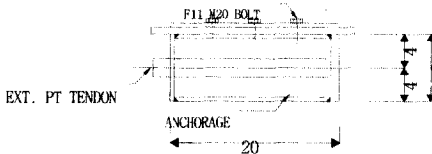
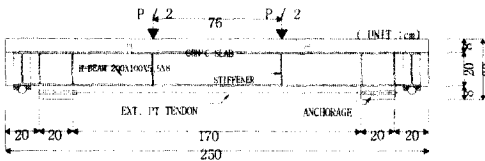
그림 2의 시험체에 대한 유한요소해석 모델에서 상부 슬래브는 솔리드(solid) 요소를 사용하였으며, 강주형은 셸(shell) 요소를 사용하였다. 또한, 슬래브와 주형, 주형과 정착단을 LUSAS에



(a) 단면도



(b) 배근도



(c) 측면도 및 정착단

그림 1. 합성보 및 실험체 단면 제원

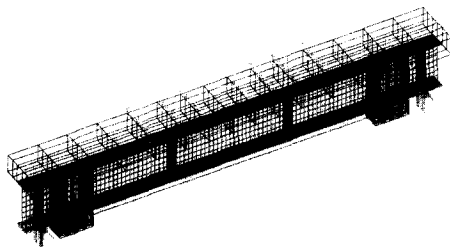


그림 2. 유한요소해석 모델링

서 지원되는 Tied Mesh 기능을 이용하여 연결하였으며, 실제 시험체에서의 정착단과 주형의 하부 플랜지는 일체가 아닌 고장력 볼트만에 의해서만 강결되어 있는 점을 고려하여 정착단과 정착단 주형 하부 플랜지의 볼트 구멍 주위의 일정 면적으로 강결시켰다.

해석결과, 도입 긴장력 9.6ton에서 상부 슬래브의 휨인장응력이 콘크리트 파괴계수(modulus of rupture)에 도달하는 것으로 분석되었으며, 30ton까지 긴장한 예비 실험에서는 약 9.6ton ~ 11.5ton 정도의 도입 긴장력에서 콘크리트 슬래브 상단에 균열이 발생하는 것으로 나타났다.

한편, 국내에서 실제 외부 후긴장 공법의 적용에 의해 2등급(DB-18)에서 1등급으로(DB-24) 내하력이 상승된 강합성 교량의 보강효과를 분석하면, 외부 후 긴장에 의해 주형 하부 플랜지에 최종적으로 도입된 압축응력은 293 kg/cm^2 로서, 실제 강부재 항복응력(1400 kg/cm^2)의 약 21% 정도의 압축응력 도입으로 2등급의 수준의 교량이 1등급 수준의 교량으로 보강되었다.⁴⁾

따라서, 본 연구에서는 유한요소해석 결과 및 예비 긴장 실험결과에 따른 콘크리트 파괴거동, 실제 교량에 적용된 보강 효과, 긴장 장치의 긴장력 지시 게이지의 단위(Bar)를 고려하여 표 3과 같이 적정 긴장력을 해석상으로 주형 하부 플랜지에 351.2 kg/cm^2 정도의 압축응력이 도입되는 3.84ton으로 선정하였으며, 도입 긴장력 변화에 따른 강합성보의 거동 및 보강효과의 변화를 조사하기 위하여 긴장력 6.73ton, 9.61ton, 13.45on의 긴장력을 도입하여 실험을 수행하였다.

표 3. 시험체의 분류

시험체 NO.	긴장방법	도입 긴장력(ton)	비고
1	직선보강	30.7	예비 실험 시험체
2	직선보강	3.84	
3		6.73	
4		9.61	절곡각도 0°
5		13.45	
6		9.61	절곡각도 2.5°
7	절곡보강	9.61	절곡각도 5.0°

또한, 강선의 절곡 배치에 따른 전단보강효과를 분석하기 위하여 제작된 시험편에서 적용 가능한 절곡각도인 2.5 °와 5 °로 강선을 절곡 배치하여 도입 긴장력을 9.61ton으로 하였다.

2.2 실험방법

외부 후 긴장력의 도입은 사진 1과 같이 Centre hole Jack(ZPE-23FJ) 2대를 동시에 사용하여 각각의 강연선에 대한 긴장력의 차이를 최소화하였으며, 도입 긴장력의 크기 조절은 Jack에 연결된 Hydraulic Pump의 가압조절장치를 이용하여 단계별로 실시하였다.

한편, 본 연구의 시험체의 강성은 공용중인 교량의 강성보다는 매우 낮아 실제 실험에 있어서 적용 가능한 긴장력 또한 공용중인 교량 보강시 고려될 수 있는 긴장력 보다는 극히 적다.

따라서, 실제 실험에서는 정착단계에서 필연적

으로 발생하는 썩기의 활동만에 의해서도 도입된 긴장력은 모두 손실되어 보강효과를 전혀 고려할 수 없게 되어, 본 실험에서는 긴장재를 직접 정착단에 정착을 시키지 않고 Centre hole Jack(ZPE-23FJ) 2대로 필요 긴장력을 도입한 후, Hydraulic Pump를 잠근 상태로 4점 정적 휨 실험을 실시하였으며, 그에 따라 긴장력의 즉시 손실을 고려하지 않았다. 설치된 변형을 게이지 및 처짐기 부착위치를 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서 긴장력 도입 및 하중증가에 따른 발생 휨 변형을 및 전단 변형율을 측정하기 위하여 경간 중앙부(단면 A-A) 및 전단부(상세 C-C)에 변형을 게이지를 설치하였으며, 실제 도입되는 긴장력의 손실량을 측정하기 위하여 직접 강선에 변형을 게이지를 부착하였다. 한편, 긴장력 도입 및 정적 휨 실험에 따른 정착부의 주형 하부 플랜지의 거동(게이지 번호 18, 19) 또한 측정하였다.

3. 외부 후긴장 도입 과정의 강합성보의 거동 분석

본 절에서는 강합성보의 외부 후 긴장력 도입 과정에 있어 일차적으로 긴장력을 부담하는 긴장재의 인장 거동, 주형 중앙부 하부 플랜지의 도입 압축력 정도 및 양상, 정착단 주형 하부 플랜지의 응력 집중 여부등을 측정된 거동 변화와 그림 2의 유한요소 모델을 이용한 선형 해석치를 이용하여 비교 분석하였으며, 도입 긴장력에 따른 강선의 측정 변형율과 식 (1)에 의한 계산 변형율을 그림 4에 나타내었다.

$$\epsilon_{ca} = \frac{P}{A_p \cdot E_p} \quad (1)$$

식(1)에서 ϵ_{ca} 는 계산변형율, P는 Hydraulic Pump의 도입 긴장력, A_p 는 강선의 단면적, E_p 는 강선의 탄성계수이다.

사진 1. 외부 후긴장 도입 전경

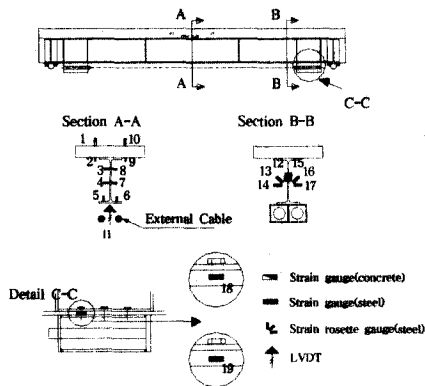


그림 3. 변형을 게이지 및 처짐기 부착 위치도

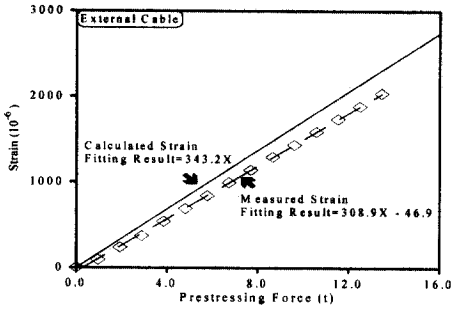


그림 4. 긴장력 도입에 따른 긴장재의 측정 변형률과 해석 변형률의 비교

그림 4를 살펴보면, 측정 인장 변형률이 계산 변형률보다 적게 나타나고 있어 긴장력 도입 과정에서 어느 정도 손실이 발생하고 있는 것으로 분석되었다. 또한, 이러한 손실량은 도입 긴장력의 증가와 비례하여 긴장력 13.45 ton에서는 측정 인장 변형률이 계산 인장 변형률 보다 약 12% 정도 적게 발생하고 있는 것으로 나타났다.

이와 같은 긴장력 손실의 원인으로는 가압장치의 기계적 오차와 Centre hole Jack과 강선 사이에 발생하는 미소한 미끄러짐 등에 의한 것으로 본 연구에서는 분석된다.

한편, 도입 긴장력 증가에 따른 정착단 주형 하부 플랜지의 발생 압축 변형률을 유한요소 해석 결과, 식(2)를 이용하는 일반적인 설계 방법에 의한 결과를 상호 비교하여 그림 5에 나타내었다.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} + \frac{M}{I} y \quad (2)$$

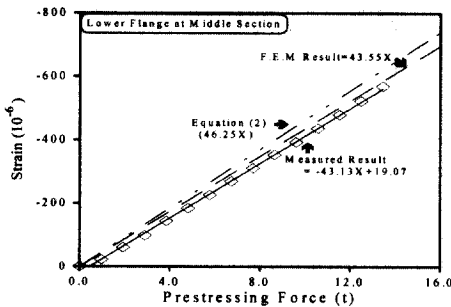


그림 5. 긴장력 변화에 따른 도입 압축 변형률

식(2)에서 σ_b 는 도입 긴장력에 의해 주형 하부 플랜지에 도입되는 압축응력이며, P는 Hydraulic Pump의 도입 긴장력, A와 I는 시험체의 합성 단면적 및 이차모멘트, M은 긴장력에 의해 경간 중앙부에 도입되는 모멘트, y는 중립축에서 하부플랜지 까지의 거리이다.

그림 5의 실험결과를 살펴보면, 긴장력 증가에 따라 도입되는 최대 압축 변형률은 증가하고 있으며, 설계 방법에 의한 계산 압축 변형률이 유한요소 해석 결과보다 다소 높게 나타나고 있다.

그림 3의 단면 A-A에 설치된 처짐기를 이용하여 긴장력 도입 과정에서의 솟음량을 측정하였으며 그 결과를 그림 6에 유한 요소 해석 결과와 비교하여 나타내었다.

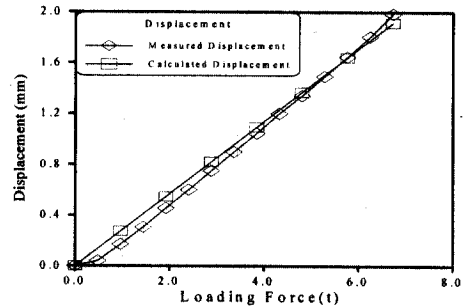


그림 6. 긴장력 증가에 따른 측정 솟음량 및 해석 솟음량

그림 6에서는 측정 솟음량과 해석 솟음량이 거의 일치하는 것으로 나타났다. 한편, 외부 후긴장에 있어서 일차적으로 높은 긴장력을 받는 부분은 정착단으로서 정착단과 고장력 볼트로 연결된 주형 하부플랜지는 볼트구멍에 의한 단면적 감소와 추가적인 외력에 의해 높은 볼트구멍 주변에 국부 응력이 발생하는 것으로 기존의 문헌에서도 분석하고 있다²⁾.

따라서, 본 연구에서는 긴장력 도입에 따른 정착단 주형 하부플랜지의 거동을 분석하기 위하여 그림 4와 같이 볼트구멍으로 인한 단면 감소로 높은 집중응력의 발생이 예상되는 부분에 변형률 게이지를 설치하여 측정하였다.

한편, 그림 2의 유한요소 해석모델을 이용하여 긴장력 증가에 따른 정착단 주형 하부플랜지의 교축방향 응력을 분석하였으며, 그 결과를 그림 7에 나타내었다.

그림 7. 정착단 주형 하부플랜지 해석 결과(긴장력:9.6t)

그림 7의 해석 결과와 그림 4의 정착단 주형 하부 플랜지의 측정 응력을 비교하여 그림 8에 나타내었다.

그림 8를 살펴보면, 본 연구의 해석 결과와 측정된 결과가 거의 일치하고 있으며, 동일 교축방

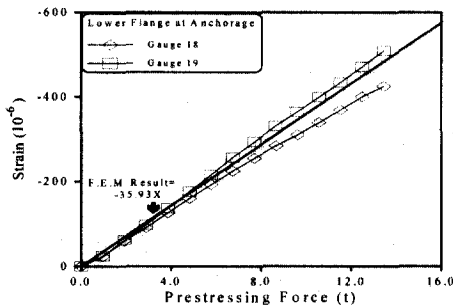


그림 8. 정착단 주형 하부플랜지 측정 및 해석 거동 비교

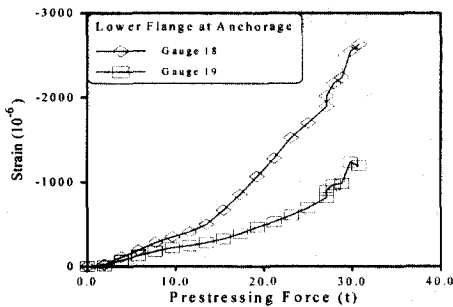


그림 9. 정착단 주형 하부 플랜지 측정 거동

향 위치임에도 긴장력의 증가에 따라 변형을 게이지 18번과 19번의 측정 변형율의 차이가 증가하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이러한 거동은 30.7ton 까지 긴장력을 도입한 예비실험에서 확연히 나타났으며, 그 결과를 그림 9에 나타내었다.

그림 9에서 Centre hole Jack(ZPE-23FJ) 2대를 동시에 사용하여 각각의 강연선에 대한 긴장력의 차이를 최소화하였음에도 긴장력의 증가에 따라 정착단 주형 하부 플랜지의 발생 변형율의 차이는 증가하여 본 연구에서 적정 긴장력으로 고려된 3.84ton에서는 약 50%의 발생 변형율의 차이가 나타났으며, 이러한 현상은 볼트구멍 과대 공동에 의한 정착단의 불균형한 미끄러짐에 의한 결과로 분석된다. 따라서, 실제 시공에 있어서 이러한 거동을 고려하여야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 절곡 각도가 있는 긴장재의 긴장력 도입 과정에서의 강합성보의 거동을 분석하였다. 절곡 외부 후긴장은 그림 10에서와 같이 부전단력의 발생에 의해 외부 직선 후긴장에서 고려되는 휨 보강뿐만 아니라 전단 보강도 추가적으로 이루어지게 된다. 표 3의 시험체 4, 6, 7번의 에 의해 나타난 절곡 긴장 각도에 따른 전단보강 효과를 그림 11에서 분석하였다.

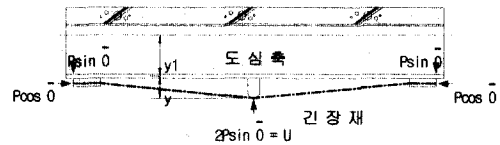


그림 10. 절곡긴장에 따른 등가하중

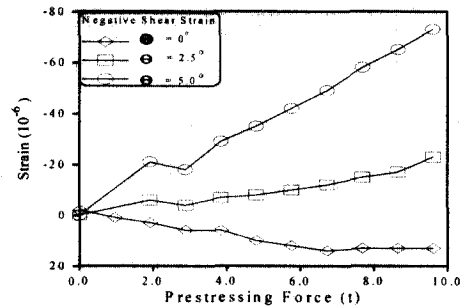


그림 11. 절곡각도에 따른 도입 전단력

그림 11의 긴장재 직선보강의 경우를 살펴보면, 긴장력 도입과정에서 강합성의 전단 내하력을 감소시키는 전단력이 발생하는 것으로 분석되었으나, 긴장재의 절곡 각도 증가에 의해서는 전단부 내하력을 상승시켜주는 부 전단력이 높게 도입되는 것으로 나타났다. 한편, 절곡 각도의 증가에 따른 주형 하부 플랜지의 휨 보강 효과를 분석하였으며, 그 결과를 그림 12에 정리하였다.

그림 12에서 절곡각도 증가에 따른 수평 긴장력 감소의 영향보다 편심거리 증가에 의한 효과가 더욱 높아 휨 보강 효과가 약 60~80% 정도 증가하는 것으로 분석되었다.

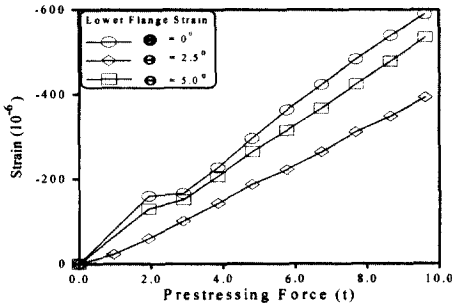


그림 12. 절곡 각도에 따른 휨 보강 효과 비교

4. 외부하중에 대한 직선 외부 후긴장 보강효과 분석

본 절에서는 직선 긴장력 도입후 정적 4점 휨 실험에 의하여 보강효과와 도입 긴장력 크기에 따른 거동 양상을 분석하였다.

4.1 긴장재 거동 분석

각각의 도입 긴장력(3.84ton, 6.73ton, 9.61 ton, 13.45ton)에서 그림 1(b)와 같은 4점 휨 실험의 하중 증가에 따른 긴장재의 거동을 긴장재에 부착된 변형을 게이지를 이용하여 측정하였으며, 그 결과를 그림 13에 정리하였다.

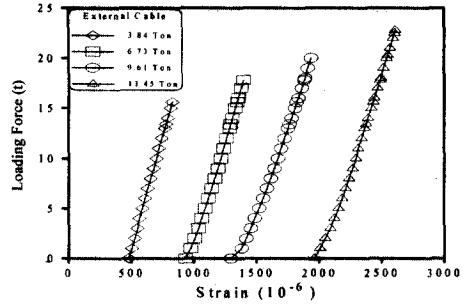


그림 13. 하중 증가에 따른 긴장재의 거동

그림 13을 살펴보면, 도입 긴장력의 증가(3.84~13.45ton)에 따라 초기 인장 변형율의 크기가 상승하고 있어, 정적 휨 실험의 동일 하중하에서 도입 긴장력이 높을수록 발생 인장 변형율이 상대적으로 크게 나타나고 있다.

한편, 각각의 도입 긴장력에서 하중증가에 따른 인장 변형율 증가양상을 분석하기 위하여 초기 인장 변형율을 고려하지 않고 선형 상태만을 고려한 긴장재의 해석 변형율과 함께 그림 14에 나타내었다.

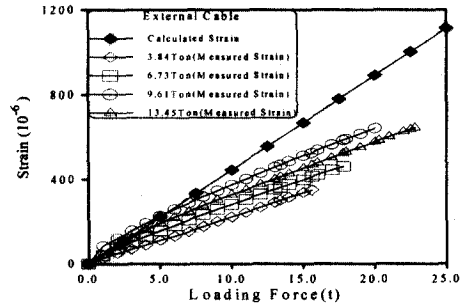


그림 14. 초기 변형율을 고려하지 않은 긴장재 변형율

그림 14의 긴장재의 측정 인장 변형율의 증가 기울기를 살펴보면, 도입 긴장력의 크기에 따른 일정한 관계를 나타내고 있지 않으며, 선형 해석치와 비교해볼 경우, 낮은 하중에서는 해석치와 실험치가 하중증가에 따라 거의 비슷한 증가 기울기를 나타내고 있으나, 높은 하중에서는 Centre hole Jack과 강선 사이에 발생하는 미소

한 미끄러짐등에 의해 측정 인장 변형율의 증가 정도가 해석 인장 변형율의 증가 기울기 보다 적은 것으로 분석되고 있다.

4.2 주형 중앙부 하부 플랜지 거동 분석

도입 긴장력 및 정적 휨 재하 실험에 따른 지간 중앙부 하부 플랜지의 발생 변형율을 분석하였으며, 측정 변형율을 그림 15에 나타내었다.

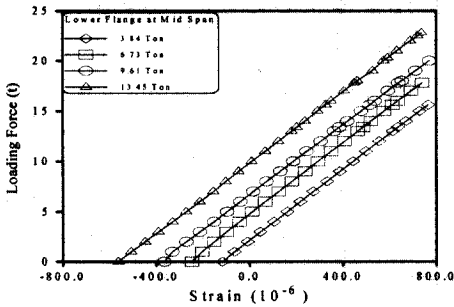


그림 15. 하중 증가에 따른 경간 중앙부 하부 플랜지의 거동

그림 15에서 내하력 상승에 필요한 초기 압축 변형율은 도입 긴장력의 증가에 따라 상승하고 있으며, 외부하중에 의해 발생하는 인장 변형율에 의해 상쇄되어 정적 휨 실험의 동일 하중하에서 도입 긴장력 증가에 따른 발생 인장 변형율이 낮게 나타나고 있거나 오히려 압축 변형율이 발생하고 있어 확실한 보강 효과가 나타나고 있다.

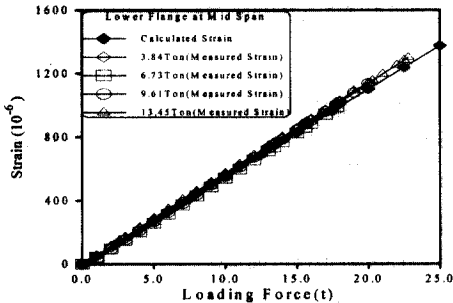


그림 16. 초기 변형율을 고려하지 않은 하부플랜지의 변형율

도입 긴장력에 따른 경간 중앙부 하부 플랜지의 발생 변형율 양상을 분석하기 위하여 그림 14와 같이 초기 도입 압축 변형율을 고려하지 않고 선형 해석 변형율과 함께 그림 16에 정리하였다.

그림 16을 살펴보면, 도입 긴장력에 관계없이 외부하중에 따른 발생 변형율은 거의 동일한 크기로 선형으로 증가하고 있어, 시험체 전체 강성에 있어서 매우 미소한 슬래브 강성의 손상을 고려하지 않은 선형 해석 변형율과도 거의 일치하는 것으로 분석되었다.

4.3 정착단 주형 하부플랜지의 거동 분석

전술한 바와 같이 정착단의 주형 하부 플랜지는 볼트 구멍에 의한 부분적 응력집중 및 정착단과 주형 하부 플랜지의 볼트 연결에 의한 복합적인 역한 거동에 외부 후 긴장 공법에 있어 많은 연구가 필요한 부분이다⁵⁾.

본 연구에서는 이러한 정착단 주형 하부 플랜지의 변형율을 하중 증가에 따라 측정하였으며 그 결과를 그림 17에 나타내었다.

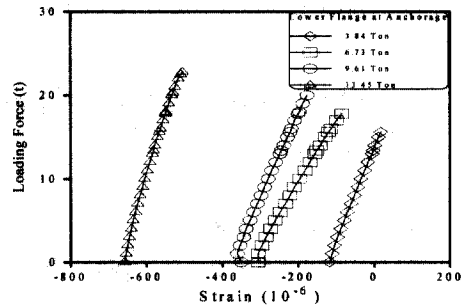


그림 17. 하중 증가에 따른 정착단 주형 하부 플랜지의 거동

그림 17에서 내하력 상승에 필요한 초기 압축 변형율은 긴장재 및 주형 중앙부 하부 플랜지와 같이 도입 긴장력의 증가에 따라 크게 나타나고 있으며, 하중증가에 따른 정착단 주형 하부 플랜지의 거동을 분석하기 위하여 초기 압축 변형율을 고려하지 않고 선형 해석 변형율과 함께 그림 18에 분석하였다.

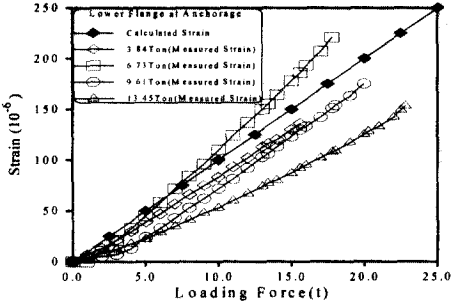


그림 18. 정착단 주형 하부 플랜지 변형율

그림 18에서 그림 14의 긴장재와 같이 도입 긴장력 크기에 따른 일정한 변형율 증가 양상의 관계가 나타나지 않고 있으며, 측정 변형율의 증가 기울기는 시편에 따라 다소 차이가 발생하는 것으로 나타나고 있다.

5. 외부하중에 대한 절곡 외부 후긴장 보강효과 분석

본 절에서는 표 3의 시험체 4, 6, 7번을 이용하여 긴장재의 절곡각도 변화에 따른 보강효과 변화 양상을 정적 재하 실험에 따른 전단부, 경간 중앙부의 주형 하부 플랜지의 거동 분석을 통하여 연구하였다.

5.1 전단부의 거동 분석

정적 재하 실험에 있어서 절곡각도에 따른 전단부의 측정 거동을 그림 19에 나타내었다.

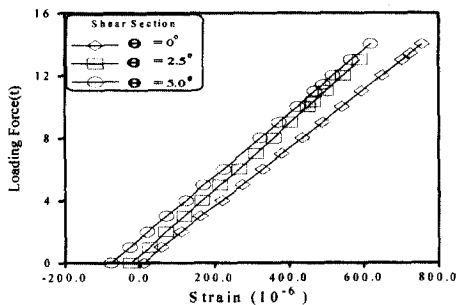


그림 19. 절곡각도에 따른 전단부 거동

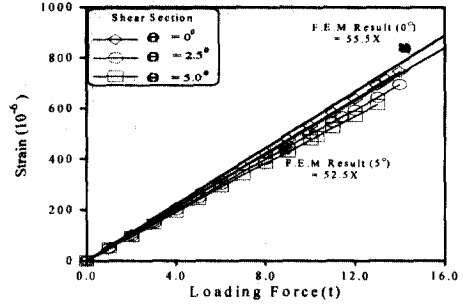


그림 20. 절곡각도에 따른 전단부의 정적 재하 실험 거동

그림 19를 살펴보면, 절곡각도 증가에 따라 전단부에 도입된 부 전단 변형율이 증가하고 있어, 정적 재하 실험의 동일하중에서 발생 전단 변형율이 절곡각도의 증가에 따라 감소하여, 긴장재의 절곡 배치에 따른 전단부 보강 효과가 나타났다.

절곡 각도에 따른 전단부의 정적 재하 실험의 거동을 분석하기 위하여 긴장력에 의한 초기 도입 부 전단 변형율을 무시하여 그림 20에 절곡각도 0°와 5°의 선형 해석치와 비교하였다.

그림 20에서 긴장재의 절곡각도에 따른 전단부의 거동은 분석되지 않고 있으며, 실험 결과가 해석치와 거의 일치하는 것으로 분석되었다.

5.2 주형 하부 플랜지의 거동 분석

절곡각도에 따른 주형하부 플랜지의 측정 거동을 그림 21에 나타내었다.

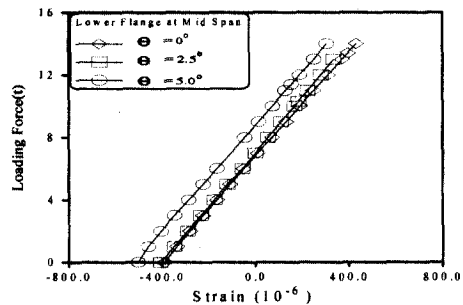


그림 21. 절곡 각도에 따른 주형 하부 플랜지의 거동

그림 13에서 분석된 것과 같이 그림 21에서 절곡각도 증가에 따라 하부 플랜지에 도입되는 초기 압축 변형율이 증가하고 있어, 긴장재 절곡각도 증가에 따른 휨보강 상승 효과가 나타났다.

긴장재 절곡각도에 따른 경간 중앙부 하부 플랜지의 거동을 초기 도입 압축 변형율을 무시하여 그림 22에 나타내었다.

절곡각도에 따른 정적 재하 실험 결과를 나타낸 그림 22를 살펴보면, 절곡각도에 관계없이 거의 동일한 크기로 하중의 증가에 따라 선형적으로 변형율이 증가하고 있으며, 해석치와도 어느정도 일치한 결과를 보여주고 있다.

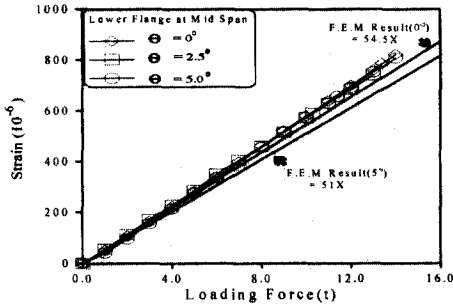


그림 22. 절곡각도에 따른 주형 하부 플랜지의 거동

6. 결론

본 연구에서는 강합성교의 보강공법중 하나인 후 긴장 공법의 적용에 있어서, 외부 후 긴장력 도입 과정 및 정적 재하 실험에서의 합성보의 거동과 보강효과를 분석하였으며, 그 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 외부 후긴장 공법의 긴장력 도입 과정에서 기계적인 오차에 의해서 실제 강선에 도입되는 긴장력이 낮아 질 수 있는 것이 실험적으로 나타났으며, 높은 긴장력 도입시 정착단의 불균형적인 미끄러짐 현상등에 의해 정착단의 하부플랜지의 동일 교축방향 위치에서도 편향된 거동이 발생하는 것으로 나타나고 있어, 시

공시에는 이와 같은 문제를 효과적으로 고려하여야 할 것으로 사료된다.

- (2) 도입 긴장력의 증가에 따른 주형 하부 플랜지의 초기 압축 변형율의 상승에 의하여 뚜렷한 보강 효과가 분석되었으며, 긴장재의 절곡각도의 증가에 따라 전단부 보강 효과의 증대와 함께 편심 거리 증가에 의한 휨 보강 효과도 상승하는 것으로 분석되었다.
- (3) 정적 재하 실험에 있어서 동일 하중의 발생 변형율은 도입 압축 변형율이 높을수록 낮아지는 것으로 분석되어 긴장력 증가에 따른 보강 효과의 상승이 나타났으며, 시험체 주요부위의 거동은 도입 초기 변형율을 제외하고는 긴장력 변화에 따른 영향이 나타나지 않았다.

참고 문헌

- (1) 건설교통부, "전국교량현황조사", 1999.
- (2) 송재필, "후긴장을 이용한 단순 합성 격자형교의 보강 방법에 관한 연구", 중앙대학교 석사학위논문, 1996.
- (3) 최혁주, "외부 후긴장으로 보강한 합성보에 대한 실험적 연구", 중앙대학교 석사학위논문, 1998.
- (4) 건설교통부 "문막교 보강 공사에 따른 보강효과 및 내하력 조사 보고서", 1996.
- (5) Hamid Saadatmanesh, Pedro Albrecht "Experimental Study of Prestressed Composite Beams", ASCE, Vol. 115, No. 9, 1989, pp. 2348~2363.
- (6) M. S. Troitsky, D. Sc, "Prestressed Steel Bridge Theory and Design", VNR, 1990.
- (7) Edward G. Nawy, "Prestressed Concrete", PRENTICE HALL, 1995.
- (8) J.Y. Richard Yen, Yiching Lin, M.T. Lai, "Composite Beams Subjected to Static and Fatigue Loads", ASCE, Vol. 123, No. 6, 1995, pp. 765~771.

(접수일자 : 2000년 8월 9일)