

I 형강 격자 상판에 대한 실험적 연구

Experimental study for Concrete-filled I-beam Grid Slab

박 창 규* 석 윤 호** 김 철 환*** 김 용 곤**** 정 영 수*****
Park, Chang Gyu Suk, Yoon Ho Kim, Chul Hwan Kim, Yong Gon Chung, Young Soo

ABSTRACT

Recently, there are increasing much concerns about repair and rehabilitation works for aged Concrete Structures which had been constructed on around the 1970's for rapid economic growth in Korea. In particular, it is believed that there are many aged concrete slabs for Highway bridges in these days. Thus new construction method of concrete slabs are strongly needed to minimize the traffic congestion during the repair works

The objective of this research is to develop the new constructional method of concrete slab in bridge structure, which can contribute to minimize the traffic congestion to be occurred during the repair and rehabilitation works of aged concrete slab, and can also assure the reliable quality through the minimization of in-situ works at the site. I-beams with punch holes will be manufactured in accordance with the specification in the factory, and will be preassembled into the panel. After erecting the preassembled panels in the site, concrete will be poured into the slab panel.

This research is to investigate physical properties of I-Beam with punch holes itself, and then to investigate structural properties of assembled I-Beam panels through static and fatigue test, of which result can be utilized for the development of the new constructional method for concrete slab in bridge structure.

1. 서 론

사회 간접자본 시설 중에 주요 구조물중의 하나인 교량은 구조설계의 오류와 시공결합, 공용 기간동안 환경조건의 변화에 따른 열화현상, 부분별한 초과하중 등의 여러 가지 요인에 의해 성능이 저하되고 구조물의 수명이 단축되며 안정성이 저하되게 된다 또한 최근 교량상의 통과하중의 증대 및 교통량 폭증으로 공용중의 상판교량은 가혹한 하중하에서 국부파괴가 발생하여 이에 대한 유지보수 비용의 증가와 교통통제로 인한 물류비용의 폭증, 국민생활의 불편 등 사용상에 중대한 문제를 야기시키고 있다.

이는 상판의 보수나 교체 등을 증대시켜 보다 신속하고 부분교체로 교통통제를 완화할 수 있으며, 또한 품질에

* 정회원, 중앙대학교 대학원 지구환경시스템공학과 석사과정

** 정회원, 중앙대학교 대학원 토목공학과 석사

*** 정회원, (주)현대건설 기술연구소 구조부 과장

**** 정회원, 환경대 이공학부 안전공학과 교수

***** 정회원, 중앙대학교 건설대학 교수

신뢰성이 있는 상관개발이 필요하게 되었다. 이러한 실정에서 현재 거론되고 있는 형식이 강·콘크리트 합성상판으로 주철근을 대신하여 I형강을 사용하고 배력근으로써 기존 철근을 사용하는 이른바, I형강 합성바닥판의 실험 및 해석에 필요한 적절한 연구가 필요하게 되었다.

한편, 주철근 대용의 I형강의 경우 국산품이 없는 실정이므로 본 연구에서는 일본에서의 I형강을 모델로 I형강을 국내실정에 맞게 설계하고, 시험편을 정적 및 피로시험을 수행한 후 각종 실험결과를 분석하여, 설계 및 시공 설계서의 제시로 I형강의 국산화와 I형강 합성바닥판에 관한 국내의 도로교 표준시방서에 새로운 규정의 도입 및 국내교량에서의 적극적인 활용방안을 모색하고자한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구는 I형강 합성바닥판의 실험 및 해석을 위하여 참고문헌을 통한 사전조사를 실시하여 다음의 몇가지 사항을 고려하여, 본 연구에 적합한 I형강 단면치수와 Web 내부의 Punch hole형상, 배력근 용접위치 등을 결정하였는데, 문헌에 조사된 I형강의 구조적 특성으로는 I형강 피로균열의 발생점은 웹 모멘트와 전단력의 조합하중이 작용하는 Punch hole 우각부이고, 배력철근 용접부위가 피로균열에 취약하며, 배력철근을 형강 하측부에 용접하면 Punch hole이 응력집중이 큰 위치와 일치하기 때문에 배력근을 형강 측면부로부터 용접하는 것이 피로수명 향상에 유리하다는 점이다.

따라서, 본 연구는 I-170 형강 모델을 선정하여 정적성능 및 피로성능을 실험하였고, 이에 따라 정적성능 비교에서는 I형강의 제원, 형강내부의 편칭형상에 따른 하중-변형을, 하중-처짐, 파괴현상 등을 분석하였으며 피로성능 비교실험에서는 용접위치(하단부/측면부), 재하횟수-변위, 재하횟수-변형을 관계를 비교하여 피로조건에 대한 형강내부 편칭단면에 따르는 상대적 성능비교를 하고자 하였다.

또한, 위의 주부재 실험 결과를 토대로 적합한 I형강을 선택하고 슬래브를 제작하여 기존 RC 슬래브와의 정적성능을 비교하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 강재

주부재 강재의 재질은 일반 구조용 강재 SS400으로 정하였으나, 본 실험에서는 제작상 용접이 불가피하여 허용응력과 항복응력이 동일한 SWS400으로 정하였으며, 철근은 SD30을 사용하였다.

2.2.2 콘크리트

본 연구에서 사용된 콘크리트 배합 및 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 로 제작된 공시체의 28일 압축강도는 다음과 같다.

표 1 시험체 배합설계표

Max. size of Coarse Agg. (mm)	slump (cm)	W/C	Fine Coarse Agg. Ratio (%)	Unit Weight (kgf/cm^3)				Compressive Strength (kgf/cm^2)
				Water	Cement	Fine Agg.	Coarse Agg.	
25	8	54	44.1	178	330	698	1268	287

2.3 실험방법

본 연구는 I형강에 대한 정적·피로시험과 RC 및 I형강 슬래브에 대한 정적시험으로 수행되었으며, 시험체가 더 이상 외력에 저항하지 못할 때까지 재하하는 것으로 하였다. 특히, I형강에 피로시험의 경우 재하속도 2.5Hz로 정적시험에서 구한 항복하중의 75%에서 10%범위의 응력범위에서 시험체 파단시까지 실시하였다.

2.3.1 I형강(1열) 정적 재하시험

I형강 정적 재하시험의 시험체는 모두 3종류이며, I형강 Punch의 Punch hole형상에 따라 반원형과 삼각형 모양의 I-170SC 시험체와 I-170ST 시험체, 그리고 I형강 높이 150mm인 I-150ST 시험체이다. 다음 표 2는 정적 재하시험체의 구조제원을 나타내고 있다.

표 2 I형강 1열 시험체 구조제원 (단위: mm)

시험체명	I형강의 길이	I형강 높이	하부 플랜지폭	상부 플랜지폭	Punch hole 형상
I-170SC	2,400	170	44	22	반원형
I-170ST	2,400	170	44	22	삼각형
I-150ST	2,400	150	53	35	우각부없는삼각형

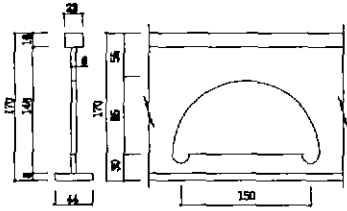


그림 1 I-170SC 단면도

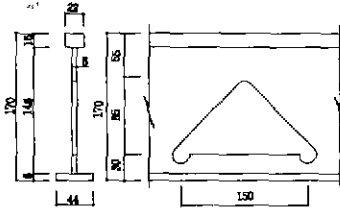


그림 2 I-170ST 단면도

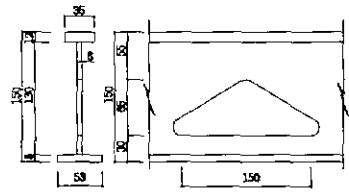


그림 3 I-150ST 단면도

본 실험은 단순지지된 길이 2,400mm(지간거리2,200mm)의 시험체 중앙에 선하중(Line load)형태로 재하속도 25kg/sec로 3.0tf까지는 하중제어(Force control)로 재하하고, 3.0tf부터 파괴시까지 변위제어(Displacement control)로 재하하였다.

2.3.2 I-170형강(2열) 시험체의 피로시험

피로시험체는 I-170FD와 I-170FM의 2종류로서 I-170FD는 I-170SC 형강 2열에 상, 하측에 배력근을 용접, 설치하였으며 특히, 중앙으로부터 좌측은 아래 부분으로부터 우각부에 용접을 하였고 우측은 횡 방향으로부터 용접을 하였다. 이는 I형강 피로시험에서 배력근 용접위치에 따르는 피로성능 비교를 목적으로 제작하였다.

또한, I-170FM 시험체는 I형강 웨브의 Punch hole 형상에 따른 피로성능을 비교하기 위하여 중앙에서 좌측으로는 삼각형 형상을 제작하였고, 우측은 반원형 형상을 가공하여 대칭위치로 2열을 배열한 후에 상, 하측 플랜지에 배력철판을 용접하여 Punch hole 우각부로 전달되는 용접영향을 배제하였다.

정적 재하시험과 마찬가지로 단순 지지된 경간거리2,200mm의 피로시험체 중앙에 선하중(Line load)으로 재하하였다. 재하하중 최대값(P_{max})은 항복하중(P_y)의 75%인 5.5tf으로 결정하였고, 최소값(P_{min})은 항복하중(P_y)의 10%인 0.6tf으로 설정하였고, 재하속도는 2.5Hz에서 시험체 파단시까지 반복 재하하였다.

2.3.3 RC 및 I형강 SLAB에 대한 정적시험

본 실험체는 주철근 D19 간격 15cm인 RC 슬래브와 I형강 실험결과에 따라 I-170SC를 주부재로하여 C.T.C 15cm인 I형강 슬래브를 제작하였다. 본 실험은 단순지지된 경간거리 2,200mm x 폭 2,100mm의 시험체로 RC SLAB의 두께는 250mm이고 I형강 슬래브의 두께는 220mm이다. 하중은 슬래브의 중앙에 차량하중 타이어 면적인 200mm x 500mm로 30.0tf까지는 하중제어로 그 이후 파괴시까지 변위제어로 재하하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 I형강(1열) 정적실험

I-형강 단체실험은 본 연구에서 계획한 부재(I-170SC)와 일본 I-형강과 유사한 부재(I-150)과의 정적성능을 비교하고, 또한 Punch hole의 형상에 따른 I-형강 성능을 평가하는데 그 목적이 있다.

실험체는 부재의 연결을 위해 Fillet 용접으로 인하여 미소하나마 변형이 발생하여 예상한 결과에 다소 미치지지는 못하였으나 본 연구에 필요한 충분한 Data를 얻는데는 성공하였다.

실험수행결과 시험체는 항복시까지는 휨거동을 한 후 파괴는 제작변형과 편심하중으로 인한 Lateral Buckling으로 파괴되었다. 따라서 항복하중은 강성이 다소 큰 I-170시험체가 높았으나, 높이가 낮은 I-150 부재의 파괴하중이 크게 나타났다.

또한, 항복위치는 하부플랜지가 아닌 Punch hole 하단의 우각부 위치에서 항복하였다. 그리고 I-170SC 와 I-170ST의 hole 형상에 따른 결과는 단면 Loss가 적은 I-170ST 부재의 항복하중이 다소 크게 나타났다.

표 3 I형강(1열) 정적실험 결과

구 분	시험체	I-170 SC	I-170 ST	I-150 ST
항복하중		3.0 tf	3.5 tf	2.8 tf
파괴하중		3.7 tf	5.4 tf	5.2 tf
변위		7.7 mm	8.7 mm	70 mm

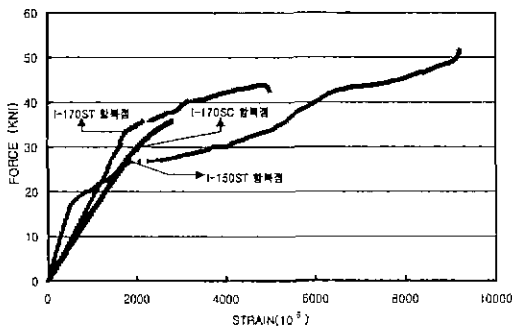


그림 4 P-ε 그래프

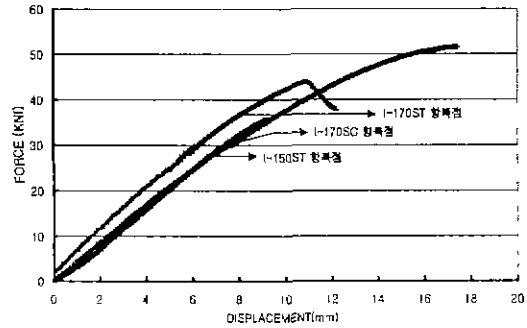


그림 5 P-δ 그래프

3.2 피로실험

3.2.1 I-170 FM(혼합형 Punch hole I형강 시험체)

본 실험은 Punch hole 형상(삼각형, 반원형)의 피로 성능을 파악하기 위하여 수행되었다. 시험체는 실험오차를 줄이기 위하여 부재를 2열로 대칭을 이루어 시험하였다.

실험초기에는 양부재에서 정적실험과 동일하게 Punch hole형상으로 인하여 단면 Loss가 큰 반원형에서 변형률이 다소 크게 나타났다. 탄성영역에서 삼각형 단면이 꾸준히 변형률이 유지되다가 32만회 근처에서 급격히 비탄성 거동을 보이며 항복한 것에 반하여 반원형 단면의 경우 탄성영역에서 꾸준한 증가 추세를 보이고 있다. 그림3에서 보는 바와 같이 삼각형 단면의 경우 비탄성구간이 짧은 것에 대조적으로 반원형 단면의 경우 탄성영역에서 높은 변형률에도 불구하고 상당히 긴 비탄성구간을 갖는 특징을 나타내고 있다. 피로횟수가 누적됨에 따라 반원형 Hole보다 삼각형 Hole의 변형률이 크게 증가하여, 삼각형 hole에서 먼저 항복을 하였고 균열도 먼저 발생하였다. Section "A"에서 나타난 변형률의 저하는 국부좌굴의 영향 및 지점 변위의 영향으로 판단되어 진다. 따라서 피로 성능은 구조적으로

유리한 반원형의 성능이 우수한 것으로 나타났고, 삼각형 Hole 하단부에서 발생한 균열이 그 위치의 Low-플랜지로 전파되어 Low-플랜지 파단으로 부재가 파괴되어 실험을 종료하였다.

3.2.2 I-170FD(반원형 Punch hole I형강 시험체)

본 실험은 하부베력근을 Punch hole에 고정을 시키기 위해 점용접을 한 위치(hole하부, hole측면)에 따른 피로성능을 파악하기 위하여 수행되었다.

하부용접 위치에서는 용접으로 인한 Gage 부착공간확보가 어려워 용접위치 측면에 Gage를 부착하여, 측면 용접부와의 정확한 변형률값은 비교할 수 없었다. 따라서, 측면용접의 경우 균열은 변형률값과 육안관측으로 파악하였고, 하부용접의 경우에는 용접으로 인한 Punch hole 우각부를 육안으로는 초기균열을 관측이 불가능하며 변형률값으로 추정하였다.

실험결과 양부재가 동일하게 하부측에 용접한 부분에서 균열이 발생하였는데, 이는 휨모멘트와 전단용력이 조합하중으로 작용하는 곳에 용접으로 인한 응력집중이 발생하여 균열이 발생 되었음을 의미하며, 상대적으로 조합응력이 집중되는 곳을 피해 측면에 용접한 부재에서는 피로수명에서 유리함을 확인하게 되었다. 또한, 하부용접 위치에서 발생한 균열이 그 위치의 하부플랜지로 전파되어 하부플랜지 파단으로 부재가 파괴되어 실험을 종료하였다.

표 4 I-170FM 시험체 균열발생 및 파괴 횟수

형 태	항복시 재하횟수	균열발생시 재하횟수	파괴시 재하횟수
삼 각 형	32만	34만	47만
반 원 형	42만	43만	

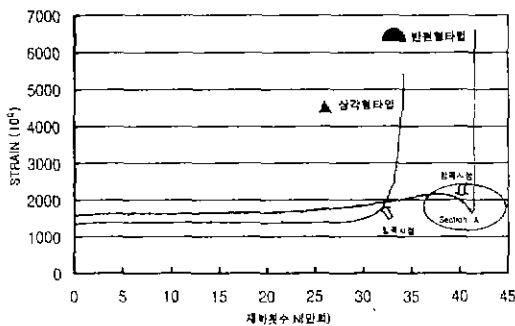


그림 6 I-170FM의 변형률 곡선

표 5 I-170FD 시험체 균열발생 및 파괴 횟수

용접위치	항복시 재하횟수	균열발생시 재하횟수	파괴시 재하횟수
측 면	17만	19만	
하 부		16만	25.5만

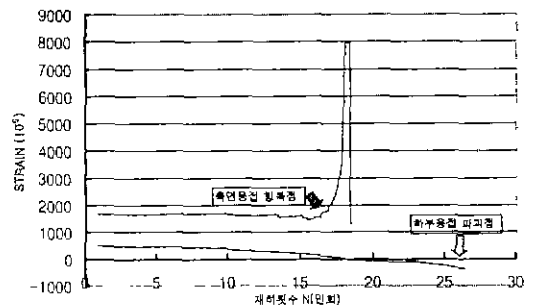


그림 7 I-170FD의 변형률 곡선

3.3 단순 슬래브 정적실험

본 실험은 교량상판에서 일반적으로 쓰이는 RC 슬래브와 그 와 유사한 항복강도를 갖도록 설계한 I형강 SLAB의 정적성능을 비교하고, I형강 슬래브의 파괴mode를 파악하는데 그 목적이 있다.

I형강 슬래브는 I형강 정적실험과 마찬가지로 항복위치는 하부플랜지가 아닌 Punch hole 하단의 우각부 위치에서 먼저 항복하였으며 장비 Capability 한계인 100 ton 까지 재하 하였으나 파괴되지 않았다. 그러나, 본 연구에 필요한 충분한 data를 얻을 수 있었으므로 실험을 종료하였다

표 6 RC SLAB와 I형강 SLAB의 정적실험 결과

시험체	구 분	항복하중	파괴하중	변위(항복시)
RC 슬래브		40.0 tf	63.7 tf	5.88 mm
I형강 슬래브		49.0 tf	-	5.16 mm

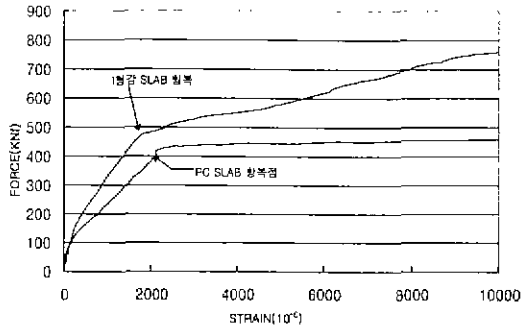


그림 8 P-ε 그래프

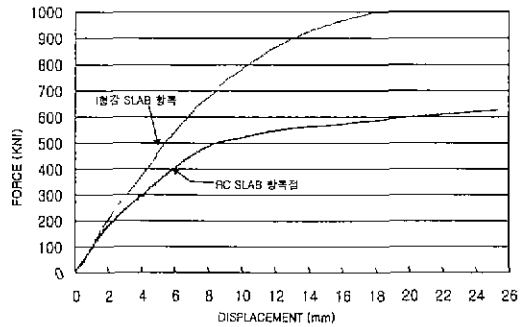


그림 9 P-δ 그래프

4. 결 론

본 실험의 결과로 미루어 볼 때, I-170SC가 I-170ST보다 정적 강도는 다소 떨어지나 피로강도가 우수하여, I-170SC로 설계한 I형강 슬래브의 정적강도가 RC 슬래브 정적강도보다 두께가 3cm 작음에도 불구하고 더 높은 것을 보면 슬래브의 사하중 감소효과를 기대할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 현대건설 기술연구소 (과제명 : 교량구조물 상판 가설공법에 관한 연구, 1999) 지원 및 1998년 중앙대학교 연구기자재 구입지원 프로그램에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. "도로교 표준시방서" 건설교통부, 1996
2. "I 形鋼格子床版 (Concrete-filled I-beam Grid Slab)" 鋼橋と基礎 98-7 pp.45 ~ 51
3. "I 形鋼格子床版의 疲勞耐久性에 關す 研究 (疲勞試驗計劃) 構造係大 세" 資料 1996.6.3
(Study on fatigue durability of grating-slab)
4. "I 形鋼格子床版의 少化疲勞耐久性에 關す 研究 構造係大 세" 資料 1996.1.29
(Deterioration Mechamsm and Fatigue Durability of grating-slab)
5. "マキノ吊橋의 오프'소크'레이'소크" 鋼橋と基礎 98-1 pp.31 ~ 34
(The Open Grating of the Mackinac Straits Bridge)
6. "I 形鋼格子床版設計資料" 建設消土木研究所 資料 第308号 1967.4.



사진1 I형강 (1열) 정적실험

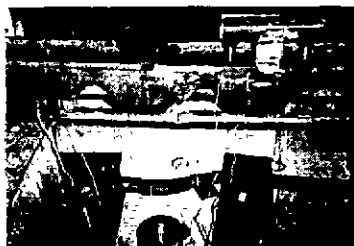


사진2 I-170FM 피로실험

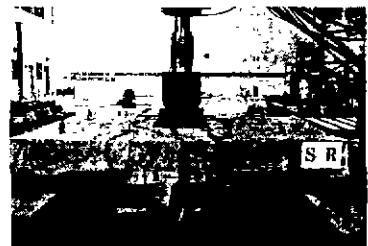


사진3 SLAB 정적실험