# H형 복공판과 Channel형 복공판의 정적해석 및 피로거동에 관한 실험적 연구

김두환† · 이승수* · 박대열 · 이태수**
서울산업대학교 구조공학과 · *서울산업대학교 구조공학과 석사과정
**(주)스틸코리아

# An Experimental Study on the Static and Fatigue Behavior of H & Channel-Type Lining Board

**Abstract** : The objective of this paper is to investigate the lining board's capacity by using the static loading test and fatigue test. Specimens that constitute the H & Channel type lining board are adopted. The test is to inspect the possibility of retrofit and efficiency, which is required to upgrade the structure's capacity and to examine the effects of the improvements of specimen by using structural analysis, stress analysis, static loading test and fatigue test, respectively.
The accumulated test results of stress condition and deflection by bending will be used to analyze the relation between the cause of fatigue crack occurrence and the behavior of both structure system and the steel.
**Key Word** : lining board, static test, fatigue test, behavior of structure

## 1. 서 론

강재의 파괴는 극한강도를 초과한 하중에 의해서 일어날 뿐만 아니라 하중의 반복작용을 받으면 부재의 내력이 극한강도 또는 항복강도 이하인 경우에도 파괴되는 경우가 있다.[1] 실제 구조물의 파괴는 일반적으로 손상이 한순간에 발생하여 일어나는 것이 아니라. 손상이 점진적으로 누적되어 더 이상 하중을 견딜 수 없을 때 발생하게 된다. 구조물의 손상은 과대하중, 피로, 좌굴, 충격, 부식 등 여러 요인에 의해 발생하지만, 그 중에서 피로에 의한 손상[2)6)]이 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 알려져 있다.

현재 노면복공으로 사용되고 있는 복공판의 용도로는 일반적으로 지하공사(지하철, 지하차도 공사, 지하 상가등), 연약 지반 시설용, 교량공사용, 그리고 다층건물 토목공사용으로 여러 현장에서 쓰여지고 있다. 그러나 해마다 교통량과 대형차량의 혼입률의 증가로 말미암아 우수한 성능의 노면 복공판이 필연적으로 요구되어지고 있다.

† To whom correspondence should be addressed
kdh6504@snut.ac.kr

본 시험에서는 다수의 H형강을 나란하게 배열하여 과하중을 견딜 수 있도록 한 H형 복공판과 C형 복공판의 정적재하시험·피로시험을 통하여 휨에 의한 응력상태와 처짐의 데이터를 획득 축척하고, 피로균열[3]의 발생원인과 강재료 및 구조계의 거동의 상관성을 분석하고, 이로부터 구조체의 안전성을 평가 실시함으로써 구조물의 장기 계획수립 및 공용기간 중 안전성을 확보하여 유지관리에 효율성을 높이기 위함을 목적으로 한다.

## 2. 시험방법

### 2. 1 물리적 특성 및 제원

H형 복공판과 C형 복공판에 사용된 강재는 SS400 강재로 동일하며, Table 1은 강재의 화학성분 및 기계적 성질을 나타내고 있고, Table 2,3에는 복공판 제원을 나타내고 있다.

Table 1. The chemicl ingredient & mechanicl properties of steel

| 기호 Symbol | 화학성분 (%) | | | | | 기계적 성질 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | Si | Mn | P | S | 인장강도 (N/㎟) | 항복점 (N/㎟) | 연신율 (%) |
| SS 400 | - | - | - | 0.050 max | 0.050 max | 400-510 | 245min | 17min |

Table 2. Properties of H Type Lining Board

| 형상 Type | 치수 (mm) H×B | t1 | t2 | 복개면적 (㎡) | 개당무게 (kg/piece) | 단면적 (㎠) | 단면 2차모멘트 ($cm^4$) | 단면계수 (㎤) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | 190×197 | 5 | 7 | 2.0 | 330 | 195.7 | 14392.5 | 1515 |

Table 3. Properties of C Type Lining Board

| 형상 Type | 치수 (mm) W | L | H | 복개면적 (㎡) | 개당무게 (kg/piece) | 단면적 (㎠) | 단면 2차모멘트 ($cm^4$) | 단면계수 (㎤) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 750 | 1990 | 200 | 1.5 | 280 | 138.06 | 6,413 | 443 |

### 2. 2 하중재하 및 측정방법

#### 2.2.1 정적재하시험

100ton급 Actuator을 사용하여 복공판의 중앙부에 가력판을 사용하여 일점가력을 실시하였고, 변위제어로 하중이 감소할 때까지 가력하였으며, 이후에는 하중제어로 1tonf씩 재하하여 시험체의 변형 형상을 확인하였으며 재하속도는 2mm/min로 재하하였다.

#### 2.2.2 피로시험

피로시험[4]은 100ton용량(stroke : ±50)의 유압식 피로시험기를 사용하여 일정진폭 반복하중으로 실시하였으며, 파형은 sine파, 재하속도는 2Hz로 재하하였다.

피로하중의 반복횟수에 따른 시험체의 변형률, 변위, 시험체의 피로거동 및 균열진전 사항을 측정하기 위하여 Table 4.와 같이 일정 반복횟수에 대해서 피로시험기를 정지시킨 후 정적으로 최대하중까지 1ton씩 증가시키면서 육안, 변형게이지 및 변위측정기

에 의해 시험체의 반복횟수에 따른 하중-처짐, 하중-변형률 관계를 측정하였으며, 실험 후 파단된 시험체에 대하여 균열 발생점 및 파단형상을 관찰하였다.[5] 가력하중(DB-18)은 최대하중 11tonf, 최소하중 1tonf으로 하였으며, 응력비 0.1로 일정하게 하였다.

Table 4. Measurement No. "& Measured loading cycle

| 측정일련번호 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 반복횟수 | 1 | 10 | 1,000 | 5,000 | 10,000 | 20,000 | 40,000 | 60,000 |
| 측정일련번호 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 반복횟수 | 80,000 | 100,000 | 150,000 | 200,000 | 250,000 | 300,000 | 350,000 | 400,000 |
| 측정일련번호 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
| 반복횟수 | 450,000 | 500,000 | 600,000 | 700,000 | 800,000 | 900,000 | 1,000,000 | |

## 2. 3 측정

시험체의 중앙부 처짐을 측정하기 위하여 Fig.1 과 Fig.2와 같이 처짐을 측정하기 위하여 복공판 전체 길이의 중앙선 상의 중앙에 한 개, 중앙선의 외단에서 H형 복공판과 C형 복공판 각각 98.5mm, 70 mm 떨어진 곳에 한 개씩 총 3개를 설치하고 변형률 게이지는 응력이 크게 발생될 지점을 예상하여 부착하였다.

1) H형 복공판

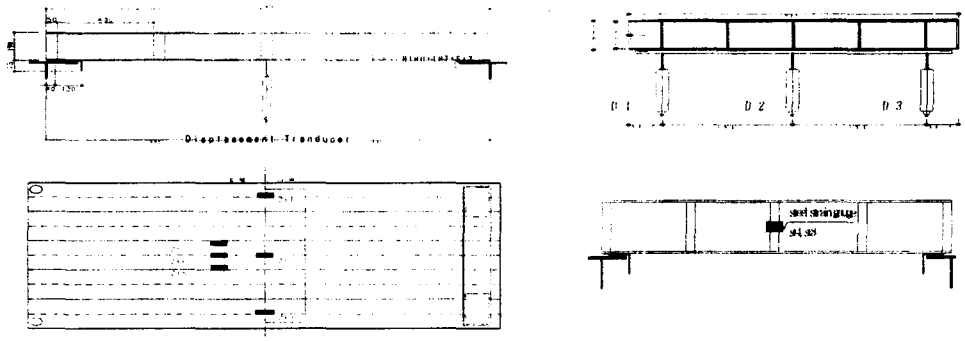


Fig. 1. Model of H Type Lining board with displacement transducer and strain gauge

2) C형 복공판

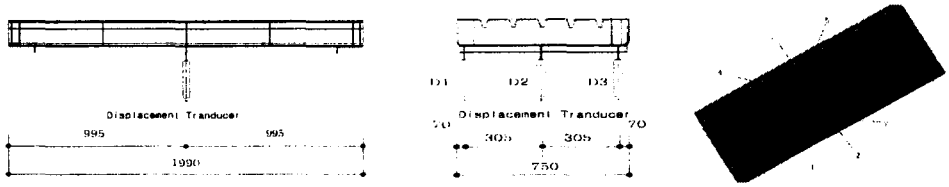


Fig.2. Model of C Type Lining board with displacement transducer and strain gauge

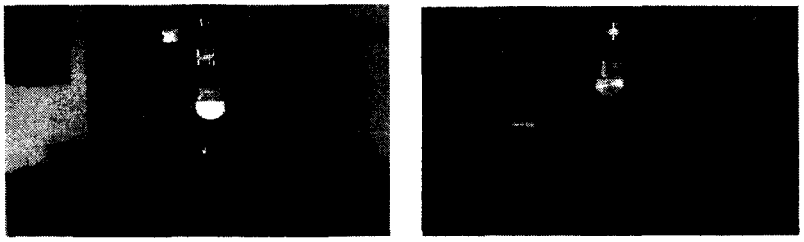

Fig. 3. Installation of H&C Type Lining board

Table. 5 Specimens.

| 시험체명 | 시험 변수 | 비 고 |
|---|---|---|
| HSL | 사용부재<br>단 면 | H형 복공판 정적재하시험 |
| CSL | | Channel형 복공판 정적재하시험 |
| HFL.1 | | H형 복공판 피로시험 1 |
| HFL.2 | | H형 복공판 피로시험 2 |
| CFL.1 | | Channel형 복공판 피로시험 1 |
| CFL.2 | | Channel형 복공판 피로시험 2 |

### 3.1 시험결과 및 고찰

#### 3.1.1 정적재하시험

정하중에 의한 H & C형 복공판의 하중-변위 선도는 Fig.4·5와 같고 이를 비교한 결과 H형 복공판의 최대하중은 94.05tonf이고, C형 복공판의 최대하중은 27.01tonf으로 측정되었고, H형 복공판은 C형 복공판에 비하여 단면계수가 상당히 크고 강성이 크므로 높은 내하력을 갖고 있음을 정적재하시험을 통해 확인할 수 있었다.

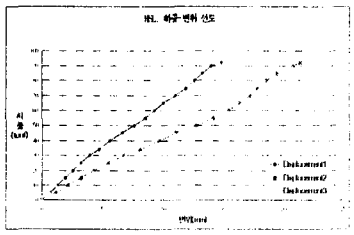

Fig. 4. Load-Displ. Diagram of H Lining board

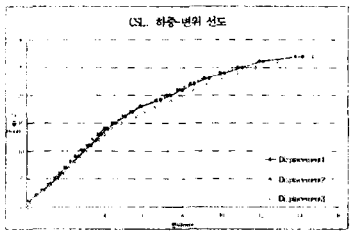

Fig. 5. Load-Displ. Diagram of C Lining board

Fig.4·5에 의하면 C형 복공판이 20tonf에서 항복됨을 알 수 있었고, 이를 기준으로 처짐을 비교·분석한 결과는 Table. 6과 같고 H형 복공판이 C형 복공판보다 1.85배 더 작은 변위가 발생되는 것으로 분석되었고, C형 복공판의 극한파괴강도 약 27.01tonf를 기준으로 하여 처짐을 비교·분석한 결과 약 2.67배로 증가되므로 하중이 증가 될 수록 C형 복공판은 H형 복공판에 비하여 강도가 훨씬 더 감소되어 짐을 알 수 있었다.

Table 6. Comparison H&C Type Lining board deflection (20tonf)

| 시험체명 | 최대처짐 (mm) | D1 (mm) | D2 중앙처짐 (mm) | D3 (mm) |
|---|---|---|---|---|
| HSL | 4.3 | 2.545 | 4.3 | 2.165 |
| CSL | 7.97 | 7.42 | 7.19 | 7.97 |

### 3.1.2 피로시험

C형 복공판 CHL.1은 초기균열 상태까지는 변위가 일정하게 진행되다가 용접부 파단 후 강성이 지속적으로 감소하여 변위가 급속히 진전됨을 알 수 있었다. 그러나 CHL.2는 초기부터 보강Rib가 파손되어 불안정 상태로 지속되는 것을 확인 할 수 있었다. 특히 C형 복공판의 경우 구조물의 기능 상실까지 지속될 수 있는 피로 반복횟수는 CHL.1의 경우에는 62,000회, CHL.2는 125,300회로 상당히 작은 횟수에서 파손이 발생되어 강성이 부족함을 알 수 있었다. H형 복공판 HFL.1·2 모두 1,000,000회까지 피로시험이 진행되는 동안 큰 변화없이 안정적으로 거동함을 알 수 있었다. H형 복공판에 비해 C형 복공판은 작은 피로횟수에서 이미 파괴가 발생되어 더 이상 측정이 곤란했기 때문이므로 C형 복공판은 H형 복공판에 비해 사용하중에 따른 내구력 감소로 사용성에 문제가 있음을 알 수 있었다. 반복횟수가 증가하면서 시험체의 변위 변화를 파악할 수 있는 반복횟수 N에 따른 하중-최대변위 관계는 Fig.6·7·8·9에 나타나 있다.

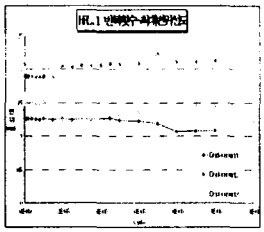

Fig. 6. cycle-Max. Displ. Diagram (HFL.1)

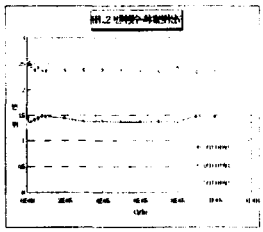

Fig. 7. cycle-Max. Displ. Diagram (HFL.2)

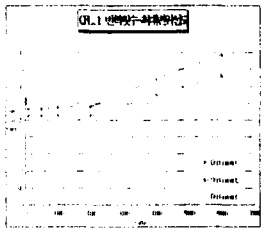

Fig. 8. cycle-Max. Displ. Diagram (CFL.1)

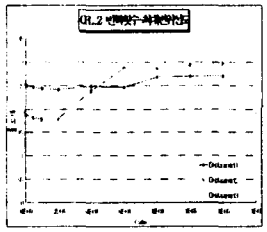

Fig. 9. cycle-Max. Displ. Diagram (CFL.2)

H형 복공판의 경우 반복횟수가 증가하면서 변형량이 상판과 web의 변형률은 아주 미세하게 증가 또는 초기 변형률을 유지하였고, 하부에서는 인장응력이 미세하게 증가하는 것으로 보여져 1,000,000회 까지 강성을 유지하였으며 향후 추가적인 재하에서도 안정적으로 거동을 할 수 있어 C형 복공판 보다 훨씬 높은 효용성을 갖고 있음을 알 수 있었다. 이에 비해 C형 복공판의 경우 반복횟수가 증가하면서 응력이 큰폭으로 증가하는 경향이 보이는데 이는 용접부의 접합이 단락되면서 구조체의 일체화가 되지 못하므로 강성이 부족하여 일어나는 것으로 판단되므로 C형 복공판에서 Spot 용접은 안전성에 문제를 야기시키는 요인으로 사료된다.

반복횟수가 증가하면서 시험체의 변형률 변화를 파악할 수 있는 반복횟수 N에 따른 하중-최대변형률 관계는 Fig.10·11·12·13에 나타나 있다.

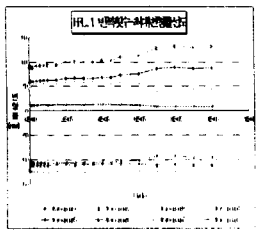

Fig. 10. cycle-Max. Strain Diagram (HFL1)

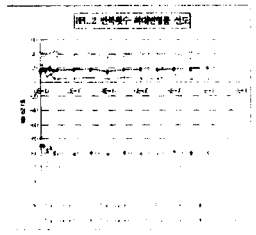

Fig. 11. cycle-Max. Strain Diagram (HFL2)

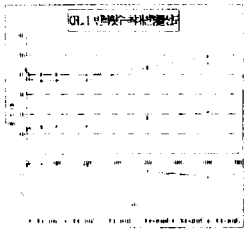

Fig. 12. cycle-Max. Strain Diagram (CFL1)

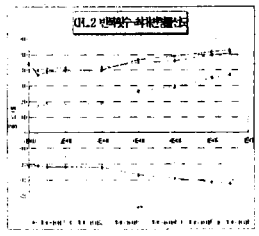

Fig. 13. cycle-Max. Strain Diagram (CFL2)

## 4. 결 론

H형 복공판과 C형 복공판의 내구력을 파악하기 위하여 정적재하 및 피로강도시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) H형 복공판은 C형 복공판에 비해 단면계수가 크고, 용접상태가 양호하므로 정적 극한하중의 3배이상의 값을 갖고 있어 충분한 내하력 및 높은 강성을 보유함을 알 수 있었다.

2)정적재하시험에서 C형 복공판은 Spot 용접으로 이루어져 하중이 증가되면서 용접부가 파손되고, 구조체로서의 기능이 상실되어 강도가 큰 폭으로 감소되므로 H형 복공판에 비해 내구성이 크게 부족하고 안전성이 결핍됨을 알 수 있었다.

3) 피로시험에서 H형 복공판은 백만회 이상의 반복하중에서 안정적으로 거동하는데 비해, C형 복공판은 최대 125,300회에서 피로파괴가 발생되므로 공용하중을 사용하는데 있어 내구수명의 확보에 문제점이 있음을 알 수 있었다.

## 참고문헌


1) 장동일, 정영화(1978) 강교량의 취성 및 피로파괴의 사례와 이에 대한 고려, 대한토목학회지, 대한토목학회, 제26권, 제2호, pp.34-44
2) 이용복, 김호경, 정진성 "피로해석의 기초" 청문각, 2001.
3) 경갑수, 김학수, 채원규 "강교의 피로" 건설도시,1998
4) Okura, I. Fatigue tests of monorail girgers, I ABSE, Structural Enginnering International, Vol.1, p111-120, 1991
5) Yen, B.T. and Mueller, J.A Fatigue tests of large-size welded plate girder, Welding Research Council, USA, Bull. No.118, January, 1966
6) H. O. Fuchs and R. I. Stephens(1980) Smart Materials and Structures Technologies, Technomic Publication, Pennsylvania, pp.1-19.