

H형 복공판과 Channel형 복공판의 피로거동에 관한 실험적 연구

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

이 승 수* 김 두 환**
Lee, Seung-Soo Kim, Doo-Hwan

Abstract

The objective of this paper is to investigate the H & Channel type lining board's capacity by using the fatigue test. The accumulated test result will be used to analyze the relation between the cause of crack occurrence and the behavior of structure. H type lining boards was comfortable behaved in over one million recycled. loading test.

In case of channel type lining board specimens occurred the fatigue fracture in about one hundred thousand recycled loading test, and then could not secured endurance life that used servicing load.

요 지

본 연구에서는 피로시험을 통해 H형 및 Channel형 복공판의 성능을 검토하였다. 이 시험을 통하여 균열의 발생원인과 구조체의 거동의 상관성을 분석하였다. H형 복공판은 백만회 이상의 반복하중에서도 안정적으로 거동하였다.

Channel형 복공판의 경우 시험체 모두 대략 십만회에서 피로파괴가 발생하여 공용하중을 사용하는데 있어 내구 수명의 확보에 문제점이 있음을 알 수 있었다.

Keywords : Fatigue Test, H & Channel Type Lining Board, Fatigue Fracture, Recycled Loading

핵심 용어 : 피로시험, H형 및 채널형 복공판, 피로파괴, 반복하중

* 정회원, 인본건설 구조부

** 정회원, 서울산업대학교 구조공학과 교수

E-mail: lss0205@nate.com, 011-9831-5608

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2006년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

강재의 파괴는 극한강도를 초과한 하중에 의해서 일어난 뿐만 아니라 하중의 반복작용을 받으면 부재의 내력이 극한강도 또는 항복강도 이하인 경우에도 파괴되는 경우가 있다. 강재가 정하중이 아니라 지속적인 동적하중을 받는다면 정하중 조건에서 받을 수 있는 하중보다 훨씬 더 작은 하중에서 부재의 파괴가 올수 있다. 이 경우 강재의 종류 또는 형상이 일정하면 어느 응력수준에 대하여 거의 일정한 반복횟수에서 파단하는 것으로 알려져 있다.

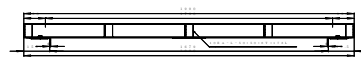
실제 구조물의 파괴는 일반적으로 손상이 한 순간에 발생하여 일어나는 것이 아니라 손상이 점진적으로 누적되어 더 이상 하중을 견딜 수 없을 때 발생하게 된다. 구조물의 손상은 과대하중, 피로, 좌굴, 충격, 부식 등 여러 요인에 의해 발생하지만, 그 중에서 피로에 의한 손상이 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾

현재 노면복공으로 사용되고 있는 Channel형 복공판은 지하철 건설과 같은 지하 시설 공사시 도로면을 복개하기 위하여 사용되며, 공사차량이나 화물차량 등 과하중의 차량 통행 시 반복되는 과하중과 도심지의 혼잡한 도로 상황을 견디지 못하여 피로에 의해 파괴되는 문제점이 발생하고 있다. 본 시험에서는 다수의 H형강을 나란하게 배열하여 과하중을 견딜 수 있도록 한 복공판을 기존의 Channel형 복공판과 비교시험을 통하여 휨에 의한 응력상태와 처짐의 데이터를 획득 축적하고, 피로균열의 발생원인과 구조체의 거동의 상관성을 분석하고, 이로부터 구조체의 안전성을 평가함으로써 구조물의 유지관리에 효율성을 높이기 위함을 목적으로 한다.

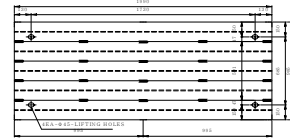
2. 시험계획 및 방법

2.1 시험내용 및 범위

본 시험에서 사용된 시험체는 Fig. 1, Fig. 2 같이 H형 복공판과 Channel형 복공판으로 구성되며, 각각 피로시험을 실시하여 구조체의 성능저하 및 설계기준



(a) Front View

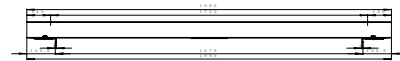


(b) Plane View



(c) Side View

Fig. 1 Dimension & Figuration of H-Type Lining Board

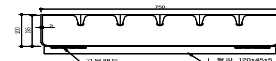


(a) Front View



(b) Surface View

(c) Inside View



(d) Side View

Fig 2 Dimension & Figuration of C-Type Lining Board

의 상향조정에 필요한 성능 개선의 가능성 및 효율성을 검증하기 위한 시험으로 기존의 복공판에 대한 개선방향을 검토하였고, H형강을 사용한 새로운 형태의 복공판의 성능을 검토하였다.

피로시험에서는 반복하중의 재하는 백만회를 기준으로 각 단계별로 재하 하고, 반복횟수에 따른 측정일련 번호에 대해서 피로시험기를 정지시킨 후 정적재하시험을 통해 시험체의 거동 변화를 분석하였다.

2.2 재료의 물리적 특성

H형 복공판과 Channel형 복공판에 사용된 강재는 SS400 강재로 동일하며, 시험체에 사용된 강재의 화학성분 및 기계적 성질은 Table 1과 같고, 각각의 복공판 제원 및 재료의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.3 하중재하 및 측정방법

피로시험은 Instron사의 100ton용량(stroke : ±50mm)의 유압식 피로시험기를 사용하여 일정진폭 반복하중으로 실시하였으며, 파형은 sine파, 재하속도

는 2Hz로 재하하였다. 피로하중의 반복횟수에 따른 시험체의 변형률, 변위 그리고 시험체의 피로거동 및 균열진전사항을 측정하기 위하여 Table 3와 같이 일정 반복횟수에 대해서 피로시험기를 정지시킨 후 정적으로 최대하중까지 1ton씩 증가시키면서 육안, 변형게이지 및 변위측정기에 의해 시험체의 반복횟수에 따른 하중-처짐, 하중-변형률 관계를 측정하였으며, 실험 후 파단된 시험체에 대하여 균열 발생점 및 파단형상을 관찰하였다.^{(2),(3)}

가력하중은 DB-18 하중에 대하여 복공판 한본에 가장 불리하게 하중을 태우기 위해 트럭의 뒷바퀴가 복공판 중앙에 재하되었을 때를 가정하고, 표준트럭하중을 산출하였으며⁽⁴⁾, 이때 충격계수 $i=0.4$ 를 적용하고, 최대하중은 11tonf, 최소하중은 1tonf으로 응력비는 0.1로 일정하게 하였다. 시험체의 파괴는 처짐이 제어시키기 어려울 정도로 급속히 진전될 때와 육안으로 확인시 시험체의 균열길이가 시험체의 2/3점 까지

Table 1 The chemical ingredient & mechanical properties of steel

기호 Symbol	화학적 성분 (%)					기계적 성질		
	C	Si	Mn	P	S	인장강도 (N/mm ²)	항복점 (N/mm ²)	연신율 (%)
SS 400	-	-	-	0.050max	0.050max	400-510	245min	17min

Table 2 Properties of H & C-Type Lining Board & Mechanical properties

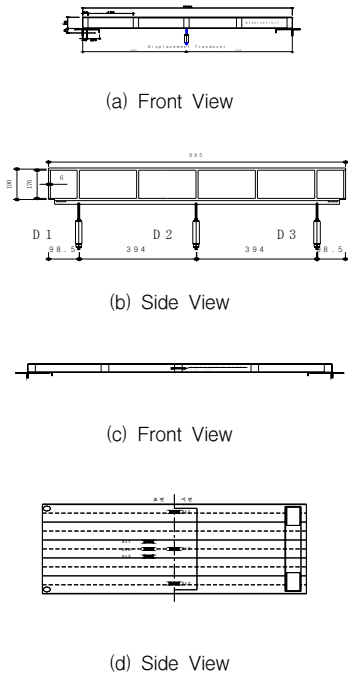
형 상	치 수(mm)			복개 면적 (m ²)	개당 무게 (kg/piece)	단면적 (cm ²)	단면계수 (cm ⁴)	허용응력 (kgf/cm ²)
	W	L	H					
H-TYPE	985	1990	200	2.0	330	195.7	1,515	1,400
C-TYPE	750	1990	200	1.5	280	138.06	443	1,400

Table 3 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	

진행되었을 때 시험체가 파괴된 것으로 간주하였으며, 피로시험에서 하중 재하를 위하여 사용된 가력관은 종방향길이 23.67cm, 횡방향길이 59.14cm의 크기를 사용하였다.

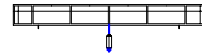
시험체의 중앙부 처짐을 측정하기 위하여 Fig. 3, Fig. 4와 같이 100mm 용량의 변위계를 외단에는 50mm 용량의 변위계를 설치하였다. 중앙부 처짐을



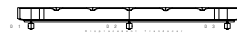
(e) Installation of H-Type Lining board

Fig. 3 Model of H-Type Lining Board with displacement transducer and strain gauge

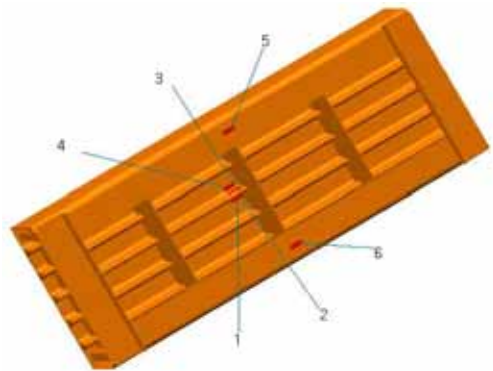
측정하기 위하여 복공판 전체 길이의 중앙선상의 중앙에 한 개, 중앙선의 외단에서 H형 복공판과 Channel형 복공판 각각 98.5mm, 70mm 떨어진 곳에 한 개씩 총 3개를 설치하고 변형을 계이저는 응력이 크게 발생될 지점을 예상해 부착하였다.



(a) Front View



(b) Side View



(c) The location of strain gauge total figuration



(d) Installation of C-Type Lining Board

Fig. 4 Model of C-Type Lining Board with displacement transducer and strain gauge

3. 분석 및 고찰

3.1 반복횟수에 따른 하중-중량 최대 변위 관계

반복횟수가 증가하면서 시험체의 중앙 변위변화를 파악할 수 있는 반복횟수 N에 따른 하중-최대변위 관계는 Fig. 5~6과 같고, Table 4에서 피로 시험체 종류에 따른 최대·최소변위의 차를 나타내었다.

Fig. 5, Fig. 6에서 보면 HFL1·2 시험체는 반복횟수가 증가하면서도 초기 균열 상태 이후 시험체의 최대변위는 매우 미소하게 나타나고 있어 백만회의 반복횟수 동안 H형 복공판 시험체 모두 안정적으로 거동하는 것으로 나타났다.

CFL1·2 시험체의 경우는 HFL시험체와는 달리 반복횟수가 증가하면서 외단의 Channel-beam과 중

앙 횡리브의 용접부위의 파단 이후에 강성의 지속적인 감소로 인하여 중앙 변위가 크게 증가하는 경향을 나타내어 이는 사용성에 약간의 문제가 있음을 알 수 있었다. 또한 파괴시 반복횟수에 근접할 때 기능 상실로 인한 내구력 감소로 중앙최대 변위가 큰 폭으로 증가하는 것을 알 수 있었다.

백만회의 피로시험동안 시험체 HFL1의 중앙 및 외측 변위의 폭은 평균 0.275mm이고, HFL2의 경우 0.174mm로 고찰되어 작은 변위폭에서 안정적으로 시험체가 거동을 한 것으로 나타났으며, 시험체 CFL1과 CFL2에서는 각각 1.375mm, 2.687mm으로 분석이 되어, HFL1·2 시험체에 비해서 큰 변위 차를 보여주었다. 또한 CFL1·2 시험체의 최대 변위는 초기 값 및 파괴 시 나타난 값을 고찰해 볼 때 HFL1·2 시험체 보다 상대적으로 큰 값으로 나타났다.

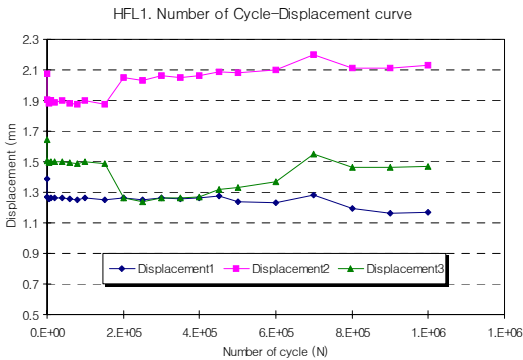


Fig. 5 Displacement versus Number of Load Cycle H-Type Lining Board(HFL1 · HFL2)

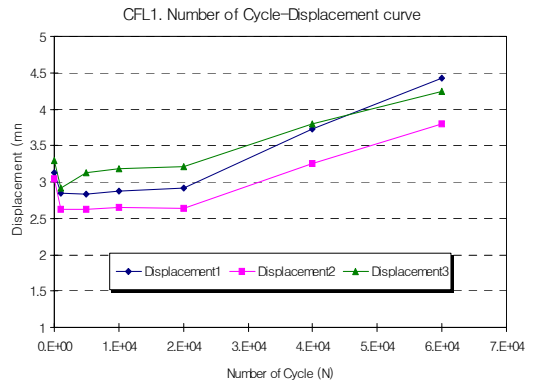


Fig. 6 Displacement versus Number of Load Cycle C-Type Lining Board(CFL1 · CFL2)

Table 4 HFL · CFL Maximum-Minimum displacement of specimens

시험체 종류	구 분	위치	최대변위 mm	최소변위 mm	변위범위
H형 복공판	HFL1	D1	1.385	1.162	0.223
		D2	2.077	1.875	0.202
		D3	1.645	1.243	0.402
	HFL2	D1	1.585	1.392	0.193
		D2	2.632	2.343	0.289
		D3	1.374	1.332	0.041
Channel형 복공판	CFL1	D1	4.425	2.851	1.574
		D2	3.843	2.623	1.220
		D3	4.246	2.915	1.331
	CFL2	D1	5.795	3.132	2.663
		D2	5.794	3.173	2.621
		D3	5.694	2.915	2.779

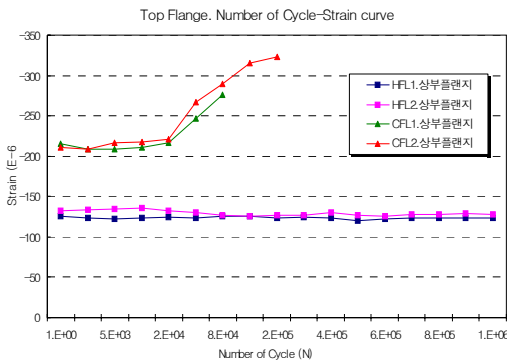
3.2 반복횟수에 따른 하중-최대변형률 관계

반복횟수의 경과에 따른 변형률의 범위를 측정하기 위해 HFL1, HFL2 및 CFL1, CFL2 시험체에 대해 부착한 Strain Gauge로부터 일정 반복횟수에 따른 변형률을 측정한 결과를 Fig. 7에 나타내었으며, 이를 정리하면 Table 5와 같다.

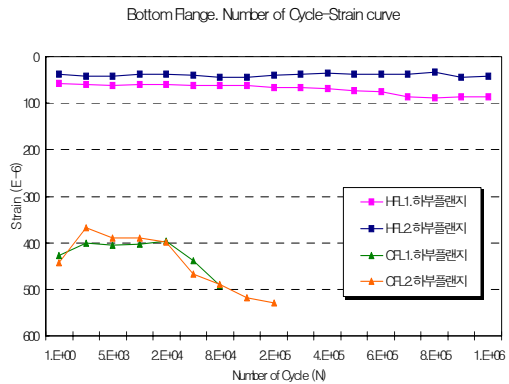
Table 5와 Fig. 7에서 살펴보면, 반복하중의 누적에 따른 변형률의 변화는 HFL1 · 2 시험체의 경우 반

복횟수 백만회동안 큰 변동없이 일정한 값을 유지하는 하는 것으로 나타났다.

CFL1 · 2 시험체의 경우 시험체 모두 반복횟수 10,000회 이후 급격하게 상부플랜지와 하부플랜지 모두 큰폭으로 변형률이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 CFL1 · 2 시험체 모두 반복하중이 가해짐에 따라 횡리브의 용접부위와 외측부위의 용접 파단으로 인한 구조체가 일체화 되지 않고 부분적으로 분리되어 변형률이 크게 증가하는 것으로 사료된다.



(a) Upper flange



(b) Lower flange

Fig. 7 Strain versus Number of Load Cycle(HFL · CFL)

Table 5. HFL · CFL Maximum-Minimum displacement of specimens

시험체 종류	구 분	위 치	최소응력 (kg/cm^2)	최대응력 (kg/cm^2)	응력 범위
H형 복공판	HFL1	상부플랜지	-264.38	-252.37	12.01
		하부플랜지	124.21	183.20	58.99
	HFL2	상부플랜지	-283.94	-264.22	19.72
		하부플랜지	69.01	90.69	21.68
Channel형 복공판	CFL1	상부플랜지	-580.52	-438.52	142
		하부플랜지	897.16	1031.25	134.09
	CFL2	상부플랜지	-678.88	-437.74	241.14
		하부플랜지	928.72	1112.09	183.37

3.3 피로수명

HFL, CFL의 시험체에 대하여 일정진폭 하중하에서 피로시험을 실시한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6을 비교한 결과 Channel형 복공판은 62,000~125,300회 정도의 적은 반복하중하에서 파단되어 구조체로서 기능이 상실되는 문제점이 제시되었고, H형 복공판은 백만회 이상의 반복하중에서 충분한 내구성을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

3.4 피로파단 위치

CFL1·CFL2 시험체의 피로시험 후 파단된 시험체의 일례와 균열발생위치 및 파단양상은 Fig. 8에 나타내었다.

균열의 발생은 Fig. 8 (a) (b)에서 보이듯이 전단

Table 6 The result of Fatigue Test

시험체명	재하하중	파단횟수	비 고
HFL1	11.0/1.0	> 1,000,000	파단안됨
HFL2		> 1,000,000	파단안됨
CFL1		62,000	
CFL2		125,300	

력이 크게 발생하는 지점부위에서 시작이 되어 진전하는 것으로 확인할 수 있었으며, 반복횟수가 증가함에 따라 횡리브와 외측 Channel-beam의 용접부위 파단 이후에 내하력의 지속적인 감소로 인해 시험체의 변위 및 응력이 커짐에 따라 지점부위부터 초기균열이 발생하여 하부플랜지로 균열이 진전하는 양상을 본 시험을 통해서 확인할 수 있었다.

또한, Fig. 8 (c)에서 보이듯이 용접결함으로 구성된 상부의 ㄷ형강과 하부의 L형강이 반복하중에 의해서 상부와 하부가 분리되어 구조체가 완전히 다른 거동을 함으로서 구조체로서의 기능을 상실하여 내구성과 안전성에 문제가 있음을 보여주었다.

강재의 피로 균열은 응력 집중부, 용접 결함부, 잘못된 연결 상세부 및 표면 변화부에서 작용하는 반복하중이 증가되면서 공용초기에 균열이 발생하는 경우도 있는데, 본 시험을 통해서 Channel형 복공판의 경우 피로 시험체 CFL1·2 모두 Channel-beam과 횡리브를 연결하는 용접부위에 응력이 집중되면서 초기 균열이 발생한 것으로 사료된다.

따라서, Channel형 복공판의 경우 휨모멘트가 크게 작용하는 인장부위와 전단력이 크게 작용하는 지점부위 근처의 균열을 방지하기 위해서는 공용전에 피로 안전성 여부를 면밀히 검토할 필요성이 있는 것으로 판단된다.



(a) Side View



(b) Side View



(c) Front View

Fig. 8 The location of crack occurrence of C-Type Lining Board (CFL)

4. 결 론

본 연구에서는 현재 노면 복구판으로 사용하고 있는 H형 및 Channel형 복구판에 대한 피로시험을 수행하여 안전성과 사용성을 규명한 바 Channel형 복구판의 경우 동일하중에서의 피로시험을 통해서 H형 복구판에 비해 약 8배정도의 작은 반복하중에서 시험체의 파괴가 일어나, Channel형 복구판이 2.5배 작은 단면계수를 가지고 있다 하더라도 공용하중을 사용하는데 있어 내구수명의 확보에 문제점이 있음을 알 수 있었다.

또한, Channel형 복구판의 경우 반복횟수가 증가함에 따라 변위 및 변형률이 급격히 증가하는 요인은 여러 종류의 형강을 Spot 용접으로 처리하여 구조체로서 일체화 시키지 않음에 따라 용접길이 및 용접면적의 부족으로 인한 기능성 부족으로 파단이 발생된 것으로 추정되는데 따라 Channel-beam과 횡리브의 용접부위의 보완이 필요함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 장동일, 정영화(1978) 강교량의 취성 및 피로파괴의 사례와 이에 대한 고려, 대한토목학회지, 대한 토목학회, 제26권, 제2호, pp.34-44.
2. Okura, I. Fatigue tests of monorail girders, I A-BSE, Structural Engineering International, Vol.1, p111-120, 1991.
3. Yen, B.T. and Mueller, J.A Fatigue tests of large size welded plate girder, Welding Research Council, USA, Bull. No.118, January, 1966.
4. 도로교 설계기준·해설, 대한토목학회, 2003.

(접수일자 : 2004년 3월 22일)