Journal of Korean Society of Steel Construction
Vol.37, No.5, pp.261-269, October, 2025

ISSN(print) 1226-363X ISSN(online) 2287-4054
DOI https://doi.org/10.7781/kjoss.2025.37.5.261

무늬H형강 복공판의 피로 거동 특성

경갑수[1*] · 이수동[2] · 이승용[3] · 이명재[4] · 전준창[5]

[1]교수, 한국해양대학교, 토목공학과, [2]석사과정, 한국해양대학교, 토목공학과, [3]교수, 한국교통대학교, 토목공학과,
[4]명예교수, 중앙대학교, 건축공학과, [5]공학박사, ㈜ CTC, 전무이사

Characteristics of Fatigue Behavior on Deck Plate Fabricated with Checkered H-Beam

Kyung, KabSoo[1*], Lee, Su Dong[2], Lee, Seung Yong[3], Lee, Myung Jae[4], Jeon, Jun Chang[5]

[1]Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea
[2]Master Course, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea
[3]Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea National Univ. of Transpotation, Chungju-si, 27469, Korea
[4]Emeritus Professor, Dept. of Architectural Engineering, Chungang University, Seoul, 06974, Korea
[5]Executive Director, D. Eng., CTC Co., Ltd., Gunpo, 15807, Korea

Abstract – Through fatigue tests on checkered H-beam deck plates with nominal spans of 2 m, 3 m, and 4 m long-span specimen incorporating improved partial-penetration weld details, it was confirmed that these deck plates consistently satisfy the 2-million-cycle fatigue strength criterion. This holds true for the design truck wheel load across all steel types, service durations, and loading configurations. Notably, the 4 m Type VI deck plate, specifically with its corresponding weld joint details, met the B′ fatigue category. These findings collectively validate the fatigue safety and serviceability of the tested deck plates. Furthermore, the partial-penetration weld details proposed in the Korean Society of Steel Construction guidelines were also found to satisfy the B′ fatigue category, and field load test on the checkered H-beam deck plates indicated that an impact factor of 0.4 is appropriate.

Keywords – In-filled composite beam, Flexural strength, Shear strength, U-shaped steel section, Lipped channel

1. 서 론

복공판이란 일반적으로 지하구조물 공사를 원활하게 수행하기 위해서 주형보 위에 설치하여 지하 작업공간을 확보함과 동시에 상부는 차량 및 보행자가 필요시 원활하고도 안전하게 다닐 수 있도록 사용되는 가설재이다. 복공판은 지하공사 시공 중에 지상면의 도로 또는 토지 상부의 원래 기능을 확보하기 위하여 사용되므로 일반적으로 지하공사(지하철, 지하차도, 지하상가 등), 연약지반 공사, 그리고 다층건물 토목 공사 등 여러 현장에서 사용되고 있다. 또한 교량 공사 등을 위한 가설교량의 노면을 형성하기 위한 목적으로 복공판이 적용되고 있다.

복공판은 대부분 장기간 동안 반복적인 차량 윤하중을 직접 지지하는 구조체로서 사용되므로 무늬H형강으로 제작된 강재 복공판의 용접부는 반복하중 작용에 의한 피로 손상 위험성이 높다. 최근 작업 효율성 및 경제성 측면에서 강재 복공판이 장지간화 되어감에 따라 활하중에 의한 용접부의 응력범위가 증가하므로 피로에 대한 안전성은 더 중요한 평가요소가 되었다. 강재 복공판의 피로 문제 중요성을 고려하여 2024년 9월 개정된 KCS 21 45 10(노면 복공)[1]에서는 단일 차로 일평균 트럭교통량이 2,500대 이상이고, 사용기간이 1년 이상인 경우에 의무적으로 피로실험에 의한 피로성능을 확인하도록 하고 있다.

차량하중의 동하중 효과, 즉 충격계수는 일반적으로

Note.-Discussion open until April 30, 2026. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on July 8, 2025; revised on July 25, 2025; approved on August 19, 2025.

*Corresponding author.
Tel. +82-51-410-4464 Fax. +82-51-410-4460
E-mail. Kyungks@kmou.ac.kr

지간길이, 차량-구조체 상호작용, 차량 주행속도, 노면조도, 단차 등의 함수이며, 피로현상에 직접적으로 영향을 미친다. 특히 무늬H형강 복공판은 표면에 노면조도와 같은 역할을 하는 요철(2 mm 이상)이 형성되어 있어 표면이 매끄러운 일반 강재 복공판 및 강합성 콘크리트 복공판에 비해 차량하중의 동하중 효과가 증가할 개연성이 크다. KDS 21 45 00(가설교량 및 노면복공설계기준)[2]은 복공판 형식에 무관하게 0.3의 충격계수를 일률적으로 적용하도록 규정하고 있으므로 무늬H형강 복공판의 충격계수에 대해서도 검토가 필요하다.

이 연구에서는 강재 복공판의 장지간화 추세를 고려하여 지간길이 2–4m의 무늬H형강 복공판에 대한 피로실험을 통하여 피로거동 특성을 검토하고자 한다. 피로실험에서는 복공판의 길이, 응력범위, 형강 종류, 재사용 여부 및 윤하중의 재하방향 등을 고려하였다. 또한 앞서 언급한 바와 같이 무늬H형강 복공판의 동하중 효과를 검토하기 위해 가설교량에 설치된 무늬H형강 복공판을 대상으로 현장재하실험을 실시하고, 현장재하실험을 통해 얻어진 결과를 피로실험에 반영하였다.

2. 복공판 피로 관련 기존 연구 및 설계기준

Kwon *et al.*[3]과 Baik *et al.*[4]은 기존 channel형 강재 복공판 제품의 문제점을 보완하기 위해 H형강으로 제작된 강합성 콘크리트 복공판을 제안하였다. Kwon *et al.*은 정적재하실험 및 피로실험을 실시하였는데, 하중반복횟수 100만회에 대한 피로실험결과에 의하면 특별한 변형 없이 콘크리트 표면의 국부적인 파괴만 관찰되었다고 보고하였다. Baik *et al.*은 정적재하실험을 통해 설계하중 및 극한하중에서의 구조적 성능을 검증하였다. 그러나 이들 연구 모두 channel형 강재 복공판과 강합성 콘크리트 복공판을 대상으로 상대 비교하고 있다는 한계점이 있다.

Oya *et al.*[5]은 열프리스트레싱을 도입한 지간길이 4m의 신형 복공판의 개발에 따른 구조성능 및 피로성능을 확인하였다. Oya *et al.*의 피로실험 결과를 Fig. 1에 나타내었다. Specimen 1 및 2에서 재하판 아래 하부 플랜지의 길이방향 용접부 2개소에서 피로균열이 발생하였다. 이 용접부는 길이방향 맞댐이음의 형태이므로 일본 도로교시방서[6] 피로상세 D등급(200만회 피로허

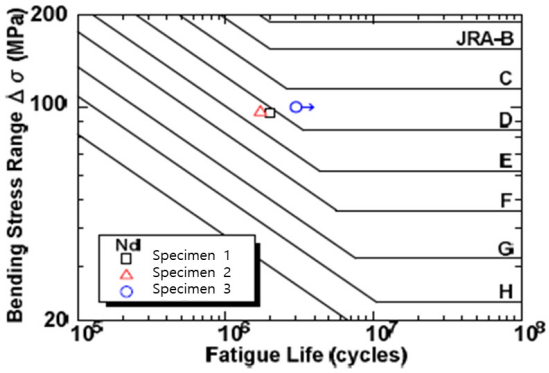


Fig. 1. Result of fatigue test (Oya *et al.*)

용응력범위 100 MPa: 국내 설계기준 피로등급 B′)에 해당한다. 피로균열 발생원인은 용접 시종점부의 용접이음부의 급격한 단면 변화부에 의한 응력집중이었다. Specimen 3에 대해서는 높은 응력이 발생하는 경간 중앙 부근 용접 시종점부의 용접이음부 등의 용접부에 급격한 단면 변화가 없도록 다듬질하였으며, 이에 따라 용접부에 대한 피로등급을 만족하는 것을 확인하였다.

Lim *et al.*[7]의 연구에서는 복공판의 장지간화를 위한 연구의 일환으로 피로하중을 받는 장지간 복공판의 단면형상 및 하중 재하조건 차이에 따른 구조성능 및 사용성을 검토하였다. 200만회 피로실험 후 실험체의 처짐과 응력에 대한 안전율은 각각 1.22–1.45 및 1.55–1.56의 범위에 분포하고 있는 것으로 보고하고 있다.

이상의 기존 연구 결과를 종합적으로 분석하면, 기존 및 신형식 복공판의 구조성능 검증 및 피로실험에 대한 일부 연구 등은 수행되었으나, 현재 대부분의 강재 복공판을 차지하는 무늬H형강을 사용한 복공판에 대한 피로안전성 검토는 거의 수행되지 않은 것으로 판단된다.

한국강구조학회의 무늬H형강 복공판 제작과 유지관리에 관한 지침[8]에서는 무늬H형강 플랜지를 V-개선하고 그루브용접을 하도록 하고 있다. 이러한 용접이음 상세를 고려하면 KDS 14 31 20(강구조 피로 및 파단 설계기준(하중저항계수설계법))[9]의 피로이음상세로는 이음상세 3.2.3.1의 B′범주(일정진폭피로한계값 ΔF_{th} 82.7 MPa, 364만회, 용접선 길이방향 응력범위) 또는 5.3의 C범주(일정진폭피로한계값 ΔF_{th} 69 MPa, 439만회, 용접선 길이 직각방향 응력범위)에 해당되는 것으로 판단된다.

3. 복공판 현장재하실험

2018년 KDS 21 45 00 가설교량 및 노면복공설계기준[10]에서는 충격계수를 0.4로 규정하고 있으나, 2022년에 0.3을 사용하도록 개정되어 현재에 이르고 있다. 그러나 일본에서는 복공판에 차륜하중이 직접적으로 재하된다는 점을 고려하여 현재까지 0.4[11],[12]를 적용하고 있다. 따라서 이 절에서는 피로실험에 적용할 응력범위를 합리적으로 결정하기 위해 가설교량에 설치된 무늬H형강 복공판을 대상으로 현장재하실험을 실시하였다. 실험대상은 단차 및 본체 변형이 없는 복공판을 선정하여 외적인 충격 영향을 배제하였다. 실험대상 복공판은 지간길이 2 m인 Type II[8](1,990×997×190, L×W×H)의 무늬H형강 복공판이다.

Fig. 2에 나타낸 제원의 재하차량(총 중량 260 kN)을 이용한 정적재하실험 및 동적주행실험을 통해 복공판 하부플랜지에서 발생하는 변형률을 측정하였다. 정적재하실험은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 복공판 하부플랜지에 부착한 변형률 게이지 직상에 두 번째 차륜 중앙이 놓이도록 하였다. 동적주행실험은 정적재하실험의 하중재하위치를 차륜이 통과하도록 하였으며, 주행속도는 현장여건을 고려하여 10 km/h, 20 km/h 및 30 km/h로 하였다. 모든 실험은 2회씩 반복하여 실시하였으며, 반복실험을 통해 얻어진 2개의 측정결과 중 최댓값을 사용하여 충격계수를 산정하였다.

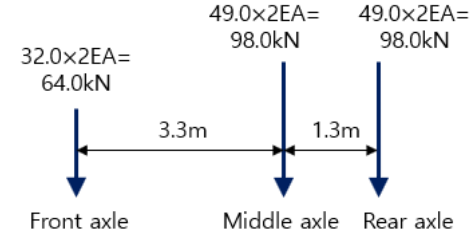


Fig. 2. Dimensions of test truck

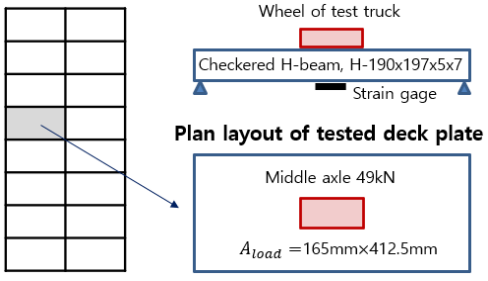
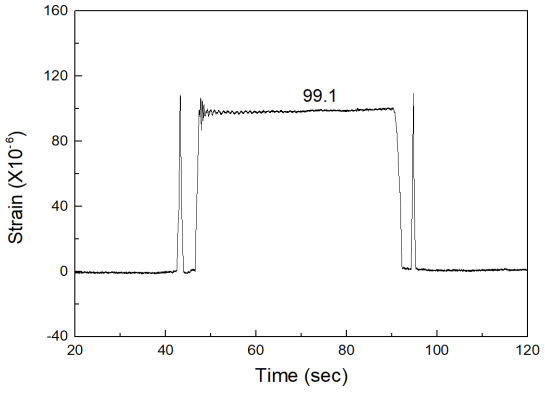
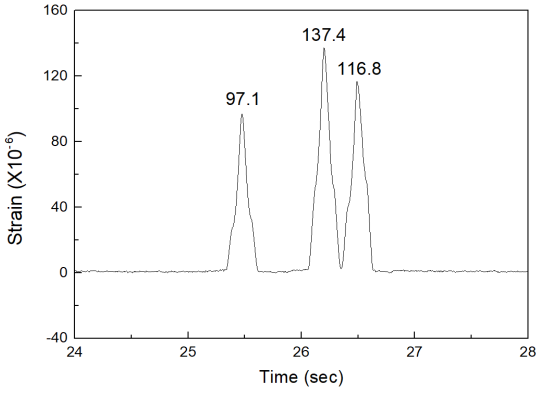


Fig. 3. Static load case for deck plate (checkered H-beam)

Fig. 4에 현장재하실험결과를 나타내었으며, 이로부터 얻어진 주행속도별 충격계수는 Table 1과 같다. 현장재하실험결과에 의하면 최대충격계수는 주행속도 20 km/h에서 0.39이다. 단차 등의 영향이 배제된 상태에서 현행 설계기준[2]에서 적용하고 있는 충격계수인 0.3을 초과하므로 현행 설계기준은 복공판의 충격계수를 과소평가하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 이 연구에서는 피로실험에 적용할 충격계수를 현장재하실험결과 및 2018년 KDS 21 45 00 가설교량 및 노면복공설계기준[10]을 반영하여 0.4로 결정하였다.



(a) Static test



(b) Dynamic test (V=20 km/h)

Fig. 4. Results of static and dynamic test for deck plate

Table 1. Impact factors obtained by field load test

Items	Static test	Dynamic test		
		10km/h	20km/h	30km/h
Strain (×10^{-6})	99.1	115.6	137.4	120.7
Impact factor	-	0.17	0.39	0.22

4. 복공판 피로실험

4.1 피로실험 개요

Table 2 및 Table 3에 각각 실험체 제작에 사용된 단일 (무늬)H형강 및 (무늬)H형강 복공판의 제원을 나타내었다.

일본의 동경제철 자료[13]에 의하면 H-192×198×6×8 (일본 규격: 196×197×6×8, 플랜지 외측 모서리 4개소 개선 깊이 2mm 갖고 있음)의 무늬H형강의 S_x는 요철부가 3.86×10^5mm^3, 일반부가 3.34×10^5mm^{3}이며, 이들 단면특성을 가중평균치로 나타내면 무늬H형강의 S_x는 3.48×10^5mm^{3}이다. Table 2에 나타낸 국내H-192×198×6×8 무늬H형강의 S_x인 3.53×10^5mm^{3}과는 아주 작은 차이만 나타내고 있다. 이와 같이 요철부 및 일반부의 단면위치에 따른 단면계수의 차이는 실험결과에 반영되어 나타난다.

Table 4에 실험체 개요, Fig. 5에 복공판의 일반적인 형상을 나타내었다. 복공판 피로실험은 지간길이에 따른 피로안전성을 중요 변수로 하여 실험체 분류를 무늬H형강 복공판 제작 및 유지관리지침(이하 지침으로 표기)[8]에 제시된 무늬H형강 복공판의 TypeII를 Sp. 1, TypeV를 Sp. 2, TypeVI를 Sp. 3, 일반 H형강 복공판의 신규 형식을 Sp. 4로 하였다. Sp. 3 및 Sp. 4는 복공판 장지간화에 따른 거동특성을 분석하기 위한 실험체이다. 복공판의 단부 막음을 위하여 모든 실험체의 복공판 측면 및 길이방향 전·후면에는 6 mm 또는 4 mm(Sp. 1) 두께의 강판을 사용하였다.

실험체에 다양한 강재를 적용한 것은 용접부 피로강도는 강재 모재의 강도에 영향을 받지 않는 것에 기초하여 다양한 하중조건 하에서의 사용성 및 안전성 검토를 위한 것이다. 또한 복공판 재사용을 고려하여 14개월 사용된 복공판을 Sp. 2로 하였다.

실험체 가력판은 Table 4에 나타낸 것과 같이 복공판에 재하되는 다양한 차량에 따른 재하형식 및 적용사례

Table 2. Section property of checkered H-beam

$H\times B\times t_1\times t_2$	A (mm^2)	I_x (mm^4)	S_x (mm^3)
H-190×197×5×7	4.160×10^3	2.998×10^7	3.120×10^5
H-192×198×6×8	4.750×10^3	3.427×10^7	3.530×10^5
H-200×200×8×12*	6.53×10^3	4.720×10^7	1.600×10^6

*: H-beam

Table 3. Specification of deck plate

Specimen Id.	Dimension (mm)			Checkered H-beam	Total weight (kgf)
	w	l	h		
Sp.1	997	1,990	190	H-190×197×5×7	373
Sp.2	1,002	2,990	192	H-192×198×6×8	628
Sp.3	1,002	3,990	192	H-192×198×6×8	838
Sp.4	1,012	3,990	200	H-200×200×8×12*	1,044

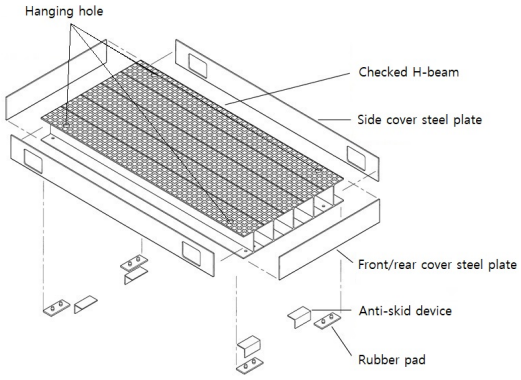


Fig. 5. Shape of deck plate
(Sp.1 : L=1,990 mm, Sp.2 : L=2,990 mm,
Sp. 3, Sp. 4 : L=3,990 mm)

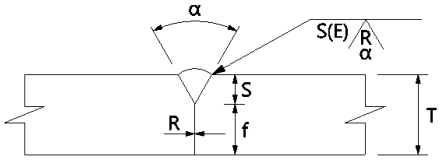
Table 4. Specimen overview

Sp. Id.	Deck plate & H-beam	Standard length	Steel grade	Whether to use	Load range (Spec. of the load plate)	Impact factor (i)	Loading type
Sp. 1	Type II (190×197×5×7)	2m	SM355	New	134.4kN (200×500)	0.4	Deck plate
Sp. 2	Type V (192×198×6×8)	3m	SM355	Reused	134.4kN (200×500)	0.4	Deck plate
Sp. 3	Type VI (192×198×6×8)	4m	SHP275W	New	135.0kN (270×680)	0.4	Temporary bridge
Sp. 4	H-beam (200×200×8×12)	4m	SM275	New	200.0kN (270×680)	0.4	Deck plate

를 고려하였다. Sp. 1 및 Sp. 2는 압력 하중 1.34 MPa, Sp. 4는 압력하중 1.09 MPa이며, 가력판 단변을 복공판 길이방향으로 위치시켰다. Sp. 1, Sp. 2 및 Sp. 4에 대한 재하는 지침[8]에서 기술하고 있는 바와 같이 복공판 장변을 차량진행방향으로 설치하는 것을 기본으로 하는 일반의 복공판 설계 및 사용환경을 고려한 것이다. Sp. 3은 압력하중 0.74 MPa이며, 가설교량에서의 복공판 배치를 고려하여 가력판 장변을 복공판 길이방향으로 위치시켰다. 이상의 압력하중은 기존 연구[14]의 정적설계

Table 5. Loading conditions, span length and allowable deflection for each specimen

Specimen Id.	Load (kN)			Stress range (MPa)	Span length (mm)	δ_a, L/400 (mm)
	Min.	Max.	Range			
Sp. 1	10.0	144.4	134.4	69	1,890	4.73
Sp. 2				84	2,890	7.23
Sp. 3	15.0	150.0	135.0	110	3,760	9.40
Sp. 4	34.0	234.0	200.0	90	3.690	9.23

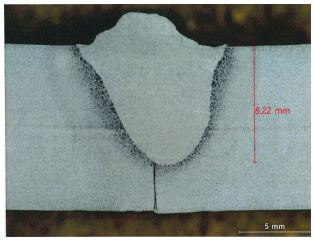


Welding process	Base metal thickness (T)	Groove preparation		Allowed welding position	Weld size
		R.O. R.F. G.A.	Tolerances		
SMAW	6 min	R = 0 f=1 min α = 60°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	All	S
GMAW FCAW	6 min	R = 0 f=3 min α = 60°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	All	S
SAW	11 min	R = 0 f=6 min α = 60°	+2, 0 ±2 +10°, -5°	F	S

R.O.: Root Opening, R.F.: Root Face, G.A.: Groove Angle

(a) Single V-groove weld: butt joint (unit: mm)

(b) Partial penetration groove welding (Sp. 3)



(c) Welded joint macro section (Sp. 3)

Fig. 6. Guideline of welding detail and its application

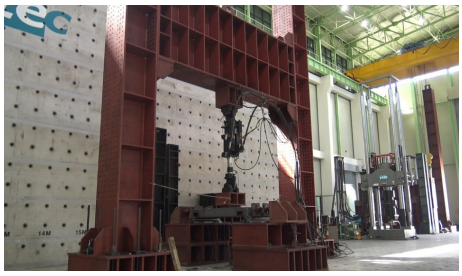
시의 압력하중 0.936 MPa과 비교하여 1.43–0.79의 범위에 있다.

Table 5에 피로실험에서의 실험체별 재하 하중 및 지간을 나타내었다. 재하 하중은 설계기준의 축하중(96 kN)에 KDS 21 45 00:2018[10]의 충격계수(0.4), 공용기간, 단면 특성 등의 내용을 고려하였다. 여기서의 하중범위 및 응력범위는 설계축하중에 대한 피로안전성 확인(Sp. 1, Sp. 2, Sp. 3) 및 용접이음상세에 대한 피로안전성(Sp. 3)을 고려하여 결정하였다.

Fig. 6에 지침[8]의 용접부 용접상세 및 이에 따라 제작된 Sp. 3의 용접부 형상과 매크로 단면의 일례를 나타내었다. Sp. 3의 용접부는 지침[8]에 따라 플랜지 외측 단부에 개선깊이 3 mm(요철 돌출부 높이 미포함)의 일면 V-개선 그루브 용접이 적용되었다. Fig. 6에 나타낸 것과 같이 무늬H형강의 요철 높이(2 mm 이상) 및 일면 V-개선 그루브 용접의 2–3 mm의 용입량을 고려하면, 용입깊이 8.22 mm는 충분한 용입깊이인 것을 알 수 있다. 일반적으로 피로균열이 미용착부, 용입불량 등의 용접 취약부에서 발생하는 것을 고려하면 이러한 용접상세는 피로성능 확보에 적절한 것으로 판단된다. 복공판 피로실험은 실험체 중앙부를 유압 액추에이터(actuator)로 반복하중을 가하는 방식으로 수행하였다. 실험에서는 Table 4 및 Table 5와 같이 설계기준의 하중특성 및 실험설비, 실제 교통 하에서의 다양한 재하조건 등을 반영하였다.

Fig. 7에 피로실험 전경의 일례를 Sp. 1 및 Sp. 3에 대해 나타내었다. Fig. 8에 대표적으로 Sp. 1에 대한 센서 부착위치를 나타내었다. Fig. 8에 나타낸 바와 같이 실험체 Sp. 1–Sp. 4는 5개의 무늬H형강 하부플랜지 중앙인 L/2 위치에 용접 길이방향으로 변형률게이지(Sensor No.: S1–S5)를 부착하였다. 실험체 Sp. 1에 대해서는 상부플랜지 용접 길이방향의 직각으로 변형률게이지(Sensor No.: S6, S7)도 부착하였다. 또한 처짐측정을 위하여 지간 중앙 하부플랜지에 LVDT를 설치하였다. 변형률게이지 및 LVDT는 요철부를 피해 일반부에 부착하였다.

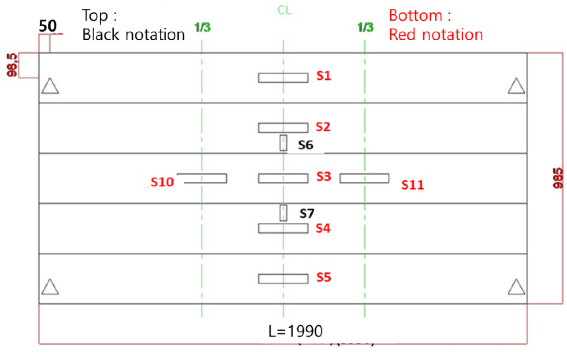
피로실험에서 반복하중 주기는 실험체의 처짐량 등을 고려하여 Sp. 1과 Sp. 2는 4Hz, Sp. 3과 Sp. 4는 1–1.25 Hz로 하였다. 또한 피로실험 실시 전 및 1만회, 10만회, 50만회, 100만회, 150만회, 200만회에서 정적하



(a) Sp. 1

(b) Sp. 3

Fig. 7. Example of a fatigue test setup



Sp.1 (unit: mm)

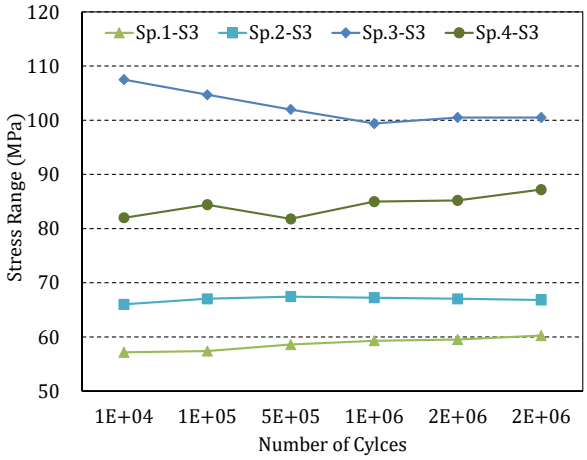
Fig. 8. Location of sensor attachment for Sp. 1

중을 재하하여 실험체 거동을 조사하였다.

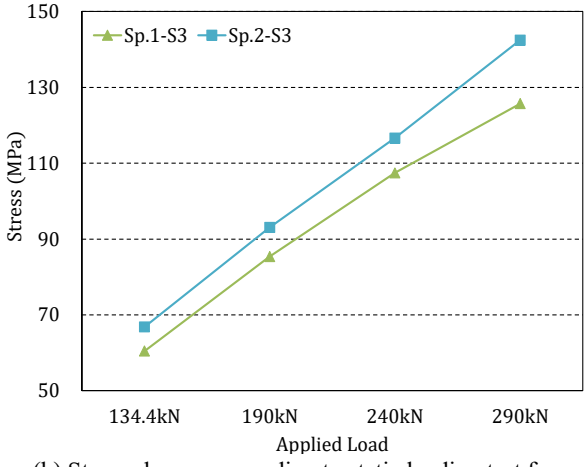
5. 복공판 피로실험 결과 및 고찰

5.1 피로실험에 기초한 피로안전성 평가

Fig. 9에 피로실험 및 피로실험 종료 후의 정적재하실험 결과를 나타내었다. Fig. 9(a)에 나타낸 것과 같이 하중반복횟수가 증가하여도 응력이 가장 크게 발생하는 실험체 중앙에서 측정된 S3의 응력범위는 지간길이가 증가하면 약간의 편차는 있으나, 하중재하 방향에 관계 없이 응력변동이 크지 않은 것으로 나타나서 센서 부착 위치에서의 균열 발생은 없는 것으로 판단하였다.



(a) Changes in stress range due to the number of cycles in fatigue test for each specimen



(b) Stress changes according to static loading test for each specimen

Fig. 9. Results of fatigue and static loading tests

또한 Fig. 9(b)에 나타낸 피로실험 종료 후에 실시한 Sp. 1 및 Sp. 2에 대한 정적재하실험의 값도 설계트럭하중에 충격계수(0.4)를 고려한 정적하중 이상에서도 허용응력 이하의 충분한 안전성을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

Sp. 1에서 용접 길이방향의 직각으로 설치된 S7의 최대변형률은 51μ로 최대응력은 약 10.1 MPa로 조사되었다. 따라서 복공판의 최대응력은 복공판 길이방향의 수직응력이 지배적이므로 Sp. 2, Sp. 3 및 Sp. 4의 실험체에 대해서는 복공판 길이방향 변형률을 평가대상으로 하였다.

4개의 피로실험체 모두 설계윤하중에 충격계수를 고려한 피로하중에 대해 200만회 재하까지 피로균열은

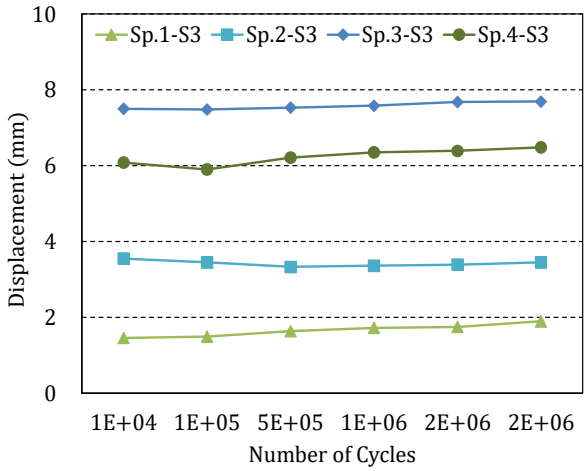


Fig. 10. Deflection changes according to the number of cycles for each specimen in fatigue test

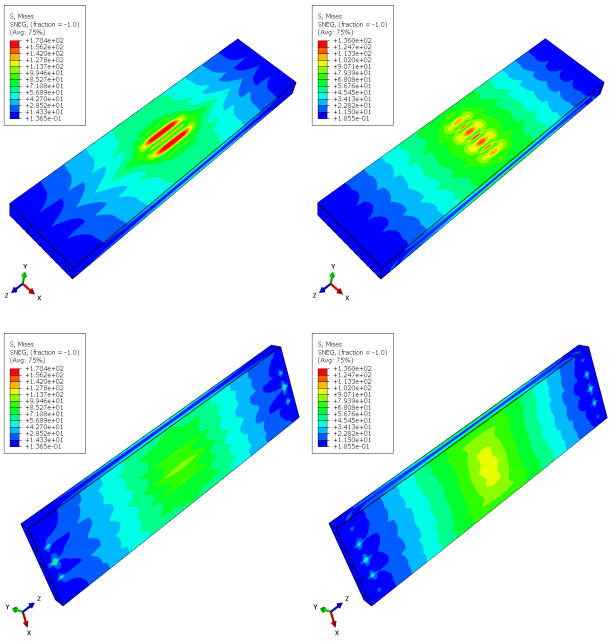
발생하지 않았다. 특히 Fig. 9(a)에 나타낸 것과 같이 200만회에 대한 일정진폭 피로허용응력범위인 101 MPa보다 응력범위가 크게 발생하는 Sp. 3에서도 무늬H형강의 길이방향 용접부에서 피로균열은 발생하지 않아 해당 용접이음상세에 대한 피로안전성을 확인하였다. 이로부터 이 연구에서의 2 m, 3 m 및 4 m의 모든 복공판 실험체는 강재 종류, 공용기간 및 재하형식에 관계 없이 설계트럭 윤하중에 대해 피로강도 또는 용접부 피로성능을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 10에 피로실험을 통해 얻어진 각 실험체별 반복횟수에 따른 처짐변화를 나타내었다. 모든 실험체에서 하중반복횟수에 따른 처짐의 변동은 거의 나타나지 않았으며, Table 5에 나타낸 허용처짐기준을 만족하므로 사용성을 확보하고 있다.

한편 4절에서 기술한 것과 같이 현재 국내 강재 복공판의 H형강 용접이음상세에는 I형 맞댐 또는 부분개선 맞댐이 적용되고 있으므로 KDS 14 31 20(강구조 피로 및 파단 설계기준)[9]의 용접이음상세와는 약간의 차이가 있다. 또한 복공판에 적용된 용접이음상세에 대한 응력범주 및 충격을 반영한 발생응력이 일정진폭피로한계값에 근접하거나 초과할 수 있으므로 반드시 적용 용접이음상세에 대해 피로실험에 기초한 피로안전성 검증이 필요할 것으로 판단된다.

5.2 구조해석에 기초한 피로실험 평가

피로실험결과와 비교 및 실험의 타당성을 검증하기 위하여 구조해석을 실시하였다. 각 실험체별 하중재하시의 처짐과 응력을 검토하기 위해 범용유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 구조해석을 수행하였다.



(a) Sp.3 (upper and lower flange)　　(b) Sp.4 (upper and lower flange)

Fig. 11. Von-mises stress contour of FEM result on Sp. 3 and Sp. 4

구조해석에서는 무늬H형강 요철의 모델링을 생략하였고, 두께-길이 비가 상대적으로 크기 때문에 Shell 요소를 사용하였다. 모든 부분은 복공판의 중립면을 기준으로 모델링하였으며, 응력은 두께방향 기준 최하 단면점(Section point 5)에서의 응력을 추출하였다. 해석결과의 평가는 Fig. 8에 나타낸 실험에서의 센서 부착 위치인 무늬H형강 하부플랜지 중앙인 L/2 위치를 대상으로 하였다.

Fig. 11에 복공판의 구조해석 결과 중 Sp. 3 및 Sp. 4를 대상으로 Table 5의 하중 범위 재하시의 Von-mises 응력을 상부플랜지(그림 상부) 및 하부플랜지(그림 하부)에 대해 나타내었다. Fig. 12에 각 실험의 최대하중 재하시의 센서 위치(S1~S5)에서의 정적 구조해석 결과를 나타내었다. Fig. 11 및 Fig. 12로부터 가력판 방향이 복공판 장변으로 놓인 Sp. 3가 Sp. 1, Sp. 2 및 Sp. 4와 비교하여 복공판 길이방향 재하영역 집중이 크게 나타나 복공판 폭방향 응력분포 변화가 피크값을 갖는 형태

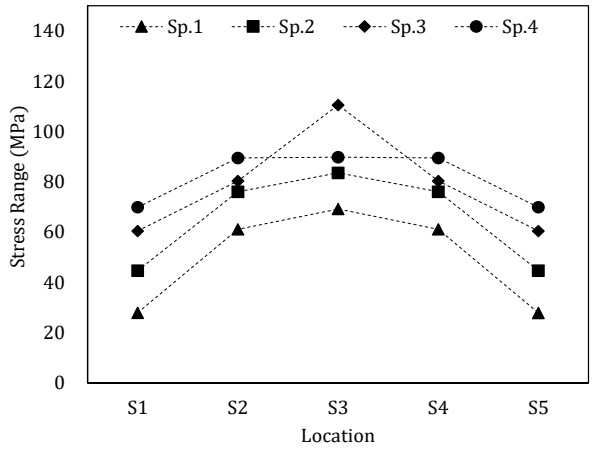


Fig. 12. Stress range on each location of FEM analysis result

Table 6. Stress ranges and deflection obtained from fatigue tests with 2 million cycles and structural analysis

Sp.	Stress range of each location in specimen (MPa)										Displ. in center of Sp. (mm)	
	S1		S2		S3		S4		S5			
	Ex.	An.	Ex.	An.	Ex.	An.	Ex.	An.	Ex.	An.	Ex.	An.
1	26	28	52	61	60	69	46	61	23	28	1.89	1.24
2	34	45	63	76	67	84	48	76	38	45	3.45	2.85
3	74	60	90	80	103	110	88	80	74	60	7.51	5.74
4	69	70	82	89	87	90	90	89	76	70	6.48	4.89

* Ex.: Experiment, An.: Analysis, Displ.: Displacement

로 중앙 변형률이 가장 크게 나타났다. 또한 일반 H형강을 적용한 Sp. 4의 경우, 돌기부 등의 단면변화가 없어 하중재하판 아래의 응력변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

Table 6에 200만회 피로실험결과 및 구조해석에서 얻어진 응력범위 및 처짐을 나타내었다. 실험결과와 해석결과는 측정 위치에 따라 약간 차이가 있으나, Fig. 12에 나타낸 응력분포 경향과 전체적으로 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

구조해석과 실험값에 차이가 발생하는 주요 요인으로는 4.1절에서 기술한 것과 같이 요철부와 일반부의 단면계수의 차이(15 %), 제조과정에서의 (–)공차, 구조해석과 실제 복공판의 거동 차이, 200만회 종료 후의 계측에서의 변동오차 등에 의한 것으로 판단된다.

6. 결 론

2 m 및 3 m의 무늬H형강 복공판 및 장경간화를 도모한 4 m의 (무늬)H형강 복공판에 대한 피로실험 및 구조해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 규격 2 m, 3 m 및 장경간화를 도모한 규격 4 m의 부분개선 용접상세를 갖는 무늬 H형강 복공판 피로실험을 통하여 강재 종류, 공용기간 및 재하 형식에 관계 없이 무늬 H형강 복공판은 설계트럭 윤하중, 그리고 규격 4m의 Type VI 복공판에 대해서는 해당용접이음상세인 B′범주에 대해 200만회 피로강도를 만족하고 있다. 이들로부터 실험 대상 복공판의 피로안전성 및 사용성을 확인하였다. 향후 측면 재하에 따른 피로강도 및 안전성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

(2) 강구조학회 지침에서 제안하고 있는 부분용입 용접상세는 피로범주 B′등급을 만족하는 것을 확인하였다.

(3) 피로실험 후 실시된 정적 내력 실험으로부터 2 m의 (무늬)H형강 복공판은 설계차량 윤하중 이상의 내하력 및 사용성을 갖는 것으로 나타났다.

(4) 현장재하실험을 통해 확인된 무늬H형강 복공판의 동하중 효과는 현행 설계기준의 충격계수 0.3을 상회하므로 이에 대한 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌(References)

[1] Korea Temporary Equipment Association. (2024) *Deck Plate of Road Surface*, KCS 21 45 10 : 2024, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).

[2] Korea Temporary Equipment Association. (2024) *Construction Specification on Temporary Bridge and Deck Plate of Road Surface,* KDS 21 45 00 : 2024 Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).

[3] Kwon, B.J., Park, D.U., and Kim, Y.S. (2005) A Study on the Development of New SRC Lining Board, *Journal of Construction Engineering and Management*, KJCEM Vol.6, No.4. pp.172−180 (in Korean).

[4] Paik, S.W., and Kim, Y.G. (2012) A Study on the Bearing Capacity of Steel Composite Concrete Lining Board, *Journal of the Korean Society of Safety*, KOSOS, Vol.27, No.6, pp.122−126 (in Korean).

[5] Oya, K., Hujimoto. T., Kobayashi, K., Inoue, Y., and Sakano, M. (2007) Longer Span of Deck Plate by Prestressing of Steel Plate, *Steel Structure Annual Paper Report*, Vol.15, pp.377−384 (in Japanese).

[6] Japan Road Association. (2023) *Standard Specification for Highway Bridge*, JARA (in Japanese).

[7] Lim, D.H., Kim, K.T., Lee, S.Y. and Lim, M.T. (2024) A Study on the Structural Safety of Long Span H-Beam Deck Panels Subjected to Fatigue Load, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, KOSACS, Vol.15, No.3, pp.25−32 (in Korean).

[8] Korean Society of Steel Construction. (2024) *Guideline of Fabrication and Maintenance of Deck Panels Fabricated with Checkered H-Beam*, Kimoonsa (in Korean).

[9] Korean Society of Steel Construction. (2024) *Fatigue and Fracture Design Criteria for Steel Structures(Load and Resistance Factor Design)* KDS 14 31 20 : 2024, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).

[10] Korea Temporary Equipment Association. (2018) *Construction Specification on Temporary Bridge and Deck Plate of Road Surface*, KDS 21 45 00 : 2018, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).

[11] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Kinki Regional Development Bureau. (2012), *Design Handbook (draft), Part 1: General, Chapter 2: Temporary Structures* (in Japanese).

[12] Nippon Steel Corporation. (2025) https://www.nipponsteel.com/product /list-construction (in Japanese).

[13] Toikyo Steel. (2025) https://www.tokyosteel.co.jp/products/building/checkerdbeam/ (in Japanese).

[14] Lim, K.M., Kyung, K.-S., and Jeon, J.-C. (2024) Characteristics of Structural Behavior on Deck Plate Fabricated with Checkered H-beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC Vol.36, No.6, pp.411−421 (in Korean).

요 약 : 규격 2 m, 3 m 및 장경간화를 도모한 규격 4 m의 부분개선 용접상세를 갖는 무늬 H형강 복공판 피로실험을 통하여 강재 종류, 공용기간 및 재하 형식에 관계 없이 무늬 H형강 복공판은 설계트럭 윤하중, 그리고 규격 4 m의 Type Ⅵ 복공판에 대해서는 해당용접 이음상세인 B′범주에 대해 200만회 피로강도를 만족하고 있다. 이들로부터 실험 대상 복공판의 피로안전성 및 사용성을 확인하였다. 또한 강구조학회 지침에서 제안하고 있는 부분용입 용접상세는 피로범주 B′등급을 만족하며, 무늬 H형강 복공판에 대한 현장재하실험을 통해 복공판 충격계수는 0.4로 설정하는 것이 적절한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 무늬H형강 복공판, 피로실험, 피로안전성, 유한요소해석, 충격계수