

무늬 H형강 복공판의 구조 거동 특성

임경모¹ · 경갑수^{2*} · 전준창³

¹석사, 한국해양대학교, 토목환경공학과, ²한국해양대학교, 토목공학과 교수, 공학박사, ³㈜ CTC, 전무이사, 공학박사

Characteristics of Structural Behavior on Deck Plate Fabricated with Checkered H-beam

Lim, Kyung Mo¹, Kyung, Kab Soo^{2*}, Jeon, Jun Chang³

¹Master, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

²Professor, D.Eng., Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

³Executive Director, D. Eng., CTC Co., Ltd. Gunpo, 15807, Korea

Abstract - The deck plate is a structure installed around excavation sites during underground construction to ensure the safe passage of vehicles and pedestrians on the ground while securing underground space. However, when the deck plate is directly subjected to repetitive vehicle loads, there is an increased risk of structural damage and accidents. In this study, structural behavior was analyzed through structural analysis of deck plates made from checkered H-beams, with standard lengths of 2m and 3m, as well as a 4m-long checkered H-beam designed for longer spans. The safety and usability of the checkered H-beam deck plates were reviewed. As a result of the analysis, it was confirmed that the stress derived from theoretical analysis (single checkered H-beam) and overall system structural analysis for checkered H-beam deck plates with dimensions of 2 to 4 meters satisfied the allowable stress in all analysis cases, ensuring sufficient structural safety.

Keywords - Checkered H-beam deck plate, Vehicle driving direction, FE analysis, Maximum bending stress and deflection

1. 서론

복공판이란 일반적으로 지하구조물 공사를 원활하게 수행하기 위해서 지주보 위에 설치하여 지하공간을 확보함과 동시에 상부는 차량 및 보행자가 필요 시 원활하고도 안전하게 다닐 수 있도록 사용되는 가설구조물을 의미한다. 그러므로 복공판은 지하공사 시공 중에 지상면의 도로 또는 토지 상부의 원래 기능을 확보하기 위하여 사용되므로 일반적으로 지하공사(지하철, 지하차도 공사, 지하상가 등), 연약지반 시설용, 교량 공사용, 그리고 다층건물 토목 공사용으로 여러 현장에서 사용되고 있다. 또한, 건축물 지하공사 중에 크레인 등

의 중장비 작업 공간을 확보하기 위하여 설치하는 경우도 있다.

복공판이 반복적인 차량 운하중을 직접 지지하는 구조체로서 사용되는 경우, 복공판은 본체의 손상 및 파손 위험성이 높은 구조체가 될 수 있다. 그러므로 복공판은 가혹한 사용 환경조건 하에서 통행 차량, 차량 탑승자 및 보행자의 안전 및 승차감을 확보할 수 있는 구조 안전성 및 사용성 확보가 필수적으로 요구된다.

건설공사품질관리지침^[1]의 복공판 외관상태 및 성능에 대한 내용에서 시험방법은 공사시방서에 따르도록 하고 있으며, 시험빈도는 제품규격별 200개 마다(단, 200개 미만은 1회), 공급자마다, 설치 후 1년 이내 마다로 규정하고 있으며, 비고에 국가건설기준 코드의 설계하중 기준을 만족하도록 기술하고 있다. 또한, 이것과 연계하여 품질시험비 산출에는 외관상태 및 하중강도에 대한 시험비용이 책정되어 있다. 이 지침에 근거하여 서울특별시는 복공판에 대한 외관조사를 근간으로 품질관리를 하고 있다. 다만 성능에 대한 내용으로는 하중강도시험으로 정적 내하력 시험을 중심으로 미끄

Note.-Discussion open until June 30, 2025. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 10, 2024; revised on November 28, 2024; approved on November 29, 2024.

Copyright © 2024 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-51-410-4464 Fax. +82-51-410-4460

E-mail. kyungks@kmou.ac.kr

림시험을 추가적으로 시행하고 있다.

복공판에 관한 제작, 설치, 유지관리 및 재사용에 관한 국내 기준의 부재로 인하여 구조체 및 노면으로서의 기능을 갖추지 못한 일부 복공판 제품이 가설현장에 적용되고 있는 경우도 있는 것으로 보고되고 있으며, 이러한 원인 등에 의해 복공판 관련 사고가 발생되고 있다. 또한, 오수철의 연구^[2]에 품질관리에 어려움이 있는 재사용품의 사용비율이 평균 약 60 %라는 것도 복공판 관련 사고를 증가시키는 요인이 되고 있다. 복공판 관련 사고중 가장 빈번하게 발생하는 것은 복공판 단차에 의한 통행차량의 타이어 펑크 사고이며, 또한 미끄럼 저항성 부족에 의한 주행차량 미끄럼 사고, 복공판 설치 불량에 의한 이격부에 바퀴 끼임 사고 등이 있을 수 있다.

복공판은 구성재료에 따라 강재 복공판과 강합성 콘크리트 복공판으로 구분된다. 일반적으로 강재 복공판은 강합성 콘크리트 복공판에 비해 강도, 내구성, 품질관리 및 시공성(취급 용이성) 측면에서 유리하나, 제품에 따라 미끄럼 저항성이 낮고, 충격/마찰 등에 의한 소음이 크다는 단점이 있다. 그러나 강재 복공판의 일종인 무늬H형강 복공판은 2 mm 이상의 요철이 확보되면 주행속도 50 km/h에서 충분한 미끄럼 저항성을 갖는 것으로 보고되어 있다^[3].

최근 들어 교통량 및 대형차량의 혼입률 증가로 인해서보다 우수한 성능을 갖는 복공판 개발이 요구되고 있다. 특히 지하철공사나 노후 교량 등의 보수공사 현장에 사용되는 복공판은 소음 및 미끄럼 문제 그리고 안전사고 등의 요인이 되므로 구조안전성을 포함하여 사용성 및 피로 내구성 등의 향상이 필요하다.

또한 현재 규격 3 m의 강재 복공판 길이를 규격 4 m로 연장하여 장시간화 할 수 있다면 공사구간의 개구부가 넓어져서 충분한 작업 공간 확보 및 안전성 향상, 부설작업 저감에 의한 작업 효율 향상과 아울러 지지거더 감소에 따른 공사 전체에서의 강재 중량 절감을 통한 비용 감축이 가능하게 된다.

이 연구에서는 미끄럼 저항 및 용접 제작품질을 향상시킨 것으로 보고된 무늬H형강 복공판의 설계하중에 대한 해석적 구조 거동을 검토하여 무늬H형강 복공판에 대한 안전성 및 사용성을 확인하는 것과 함께, 규격 4 m로 장시간화된 무늬H형강 복공판(Type VI)도 연구

대상에 포함하였다. 총 6종류의 무늬H형강 복공판에 대한 구조거동 특성을 확인하기 위해 연구에서는 두 가지 해석방법을 적용하였다. 첫 번째 방법은 단일 무늬H형강을 프레임요소로 모형화하는 해석이며, 이 방법은 현재 복공판 구조검토 등에 일반적으로 적용되고 있다(이하 ‘이론적 해석’으로 표현). 두 번째 방법은 복공판 전체를 Shell 요소로 모형화하는 해석으로서 첫 번째 방법보다는 정밀한 결과를 도출할 수 있으나, 해석에 소요되는 시간이 많아지는 단점이 있다. 두 가지 해석의 해석조건 및 검토방법에 관한 내용은 관련 설계기준을 준용하였다.

2. 복공판 관련 기존 연구 및 설계기준

2.1 복공판 관련 기존 연구

이 연구와 관련된 복공판에 대한 기존 연구는 신형식 복공판의 구조거동 연구, 재사용 복공판의 부식 등으로 구분하여 정리할 수 있다.

김두환 등^[4]은 기존 channel형 복공판 및 신형식 복공판에 대한 정적재하시험과 유한요소해석을 통해 문제점을 도출하였다. 이 연구에서는 기존 channel형 복공판과 동일한 단면적을 갖고 조립과 시공이 간단한 새로운 복공판 모델을 제안하고, 구조적 성능을 실험적, 해석적으로 검증하였다. 새로운 복공판 모델에 대해 기존 channel형 복공판과 동일한 조건에서 유한요소해석을 실시하였을 때, 새로운 복공판은 기존 복공판의 72 % - 89 % 정도의 처짐이 발생하였고, 상·하부플랜지에서 64 % - 82 % 정도의 응력이 발생하는 것을 확인하였다. 그러나 이 연구는 현재 강성 등의 부족으로 H형강에 비하여 활용성이 적은 channel 단면을 대상으로 하고 있다.

이승수 등^[5]은 기존에 사용되고 있는 H형강 및 channel형 복공판에 대한 정적재하실험 및 구조해석을 통해 안전성, 사용성 및 파괴모드를 분석하고, H형강 복공판이 channel형에 비해 약 3배 이상의 강성을 갖는다고 평가하였다.

정영진^[6]은 가설물량을 감소시켜 공사비 절감 및 공기 단축을 도모하기 위해 장시간 경량 복공판의 필요성을 제기하였다. 프리스트레스를 도입한 장시간 경량 복

공판(L = 2,990 mm)에 대한 정적재하실험을 통해 사용 하중에 대한 처짐 및 응력을 평가하였다. 프리스트레싱 및 설계하중에 의한 휨응력은 129.9 MPa 및 119.0 MPa로서 허용응력 140 MPa 이내에 있으며, 처짐 발생량은 각각 4.0 mm 및 3.3 mm로서 허용처짐 7.3 mm 이하의 값을 나타내어, 프리스트레스 장시간 경량 복공판은 안전성 및 사용성이 확보됨으로써 현장 적용이 가능한 것으로 보고하였으나, 피로안전성 및 경제성 등에 대한 검토가 누락되어 있다.

김춘호 등^[7]은 기존 복공판의 단점 및 문제점을 해결하기 위해 복공판 내부에 U자 형태로 절곡된 리브 강판을 다수 배치한 복공판을 제안하고, 안전성 및 성능을 검증하기 위해 매개변수해석을 실시하였다. 연구결과, 기존 복공판 대비 단위면적당 강재량이 감소하여 경제성이 우수하고 복공판 면적이 넓어 시공성이 개선된다고 보고하였다. 또한, 김춘호 등^[8]은 해석적 연구를 통해 제안한 복공판을 실험체로 제작하고, 이에 대한 휨 파괴실험 및 구조해석을 통해 실무 적용성 연구를 수행하였다. 그러나 이 연구는 제작성 등에 어려움이 있는 U리브 강판을 사용하고 있으며 경제성 등의 분석이 결여되어 있다.

한편, 복공판의 재사용에 관한 연구가 여러 연구자들에 의해 수행되었으며, 주로 사용환경에 따른 부식에 주안점을 두었다. 김인태 등^[9]은 channel형 복공판의 내하력에 영향을 미치는 부식에 의한 손상을 대상으로 휨 재하실험 및 수치해석을 통해 잔존 내하성능을 확인하고, 부재 두께 감소와 잔존 내하성능의 상관관계를 분석하여 재사용성을 판별할 수 있는 지표를 제안하였다.

김영일^[10]은 지하철 공사현장 환경에서의 복공판 부식 속도 및 그에 따른 두께를 측정하고, 구조해석 및 휨 재하실험을 수행하였다. 이 연구를 통해 지하철 현장에 설치된 복공판의 평균 부식속도는 0.153 mm/year로 평가하였으며, 5년간의 부식을 고려한 구조해석결과로부터 휨응력은 허용응력에 근접하고 복공판을 재사용할 경우는 두께감소에 따른 보완대책 필요성을 제기하였다.

이상의 기존 연구 결과를 종합적으로 분석하면, 기존 및 신형식 복공판의 구조성능 검증 등에 대한 일부 연구 및 공용에 따른 부식평가 등은 수행되었으나, 현재 대부분의 강재 복공판을 차지하는 무늬H형강을 사용한 복공판에 대한 구조성능 및 상세한 구조안전성 검토

는 수행되지 않은 것으로 판단된다.

2.2 복공판 관련 설계기준 등의 관련 자료 조사

2.2.1 국내 설계기준 및 관련 자료 조사

복공판 설계는 기본적으로 허용응력설계법을 따르며, 관련 건설기준코드는 KDS 21 10 00(가시설물 설계 일반사항)^[11], KDS 21 45 00(가설교량 및 노면 복공 설계기준)^[12] 및 KDS 24 14 30(강교 설계기준(허용응력 설계법))^[13]이 있다.

관련 건설기준코드는 KDS 21 10 00(가시설물 설계 일반사항)^[11], KDS 21 45 00(가설교량 및 노면 복공 설계기준)^[12] 및 KDS 24 14 30(강교 설계기준(허용응력 설계법))^[13]이 있다.

복공판은 교량구조 또는 교량부재와 유사한 개념으로 설계되지만 복공판에 대한 설계차량하중은 DB하중으로 검토되어 왔는데, 교량 건설기준코드 KDS 24 12 21(교량 설계하중(한계상태설계법))^[14]에 규정된 KL-510과는 차축 배치 및 전체 중량 등에 있어서 차이가 있다. 그러나, 복공판은 크기의 제약에 의해 하나의 윤하중 또는 축하중에 의해 설계된다는 점을 감안하면 설계차량하중에 의한 활하중 효과는 동일하다. DB-24(1등교 기준)와 KL-510의 최대 윤하중 크기 및 횡방향 축간거리는 각각 96 kN과 1,800 mm로 동일하다.

설계기준 이외에 무늬H형강 복공판 제작 및 유지관리지침^[15] 및 복공판 설계편람^[16]이 있다. 주요 내용은 다음과 같다.

▶ 무늬H형강 복공판 제작 및 유지관리지침 (한국강구조학회, 2024)

이 지침은 ‘1. 일반사항’, ‘2. 재료’, ‘3. 규격’, ‘4. 제작’, ‘5. 유지관리’로 구성되어 있으며, 부록에 복공판 안전성 및 사용성 검토, 피로실험, 국부좌굴 검토 등의 내용이 제시되어 있다.

지침에 수록된 복공판은 2종류(Table 1 참조)의 5개의 무늬H형강을 맞댐용접(I형 맞댐 또는 부분개선 맞댐)에 의해 연결시켜 1개의 판으로 제작된다. Table 2에서 Type I은 개방형이며, Type II – Type VI는 복공판 길이방향 및 폭방향 단부를 강판($t = 6$ mm)으로 용접하여 제작된 폐쇄형이다(Fig. 1 참조). Type VI는 길이

Table 1. 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

Table 2. Specification of deck plate

Type	Dimension (mm)			Checked H-Beam	Total weight (kg)
	폭 (w)	길이 (l)	높이 (h)		
Type I	985	1,990	190	H-190 × 197 × 5 × 7	330
Type II	997	1,990	190	H-190 × 197 × 5 × 7	373
Type III	997	2,990	190	H-190 × 197 × 5 × 7	559
Type IV	1,002	1,990	192	H-192 × 198 × 6 × 8	419
Type V	1,002	2,990	192	H-192 × 198 × 6 × 8	628
Type VI	1,002	3,990	192	H-192 × 198 × 6 × 8	838

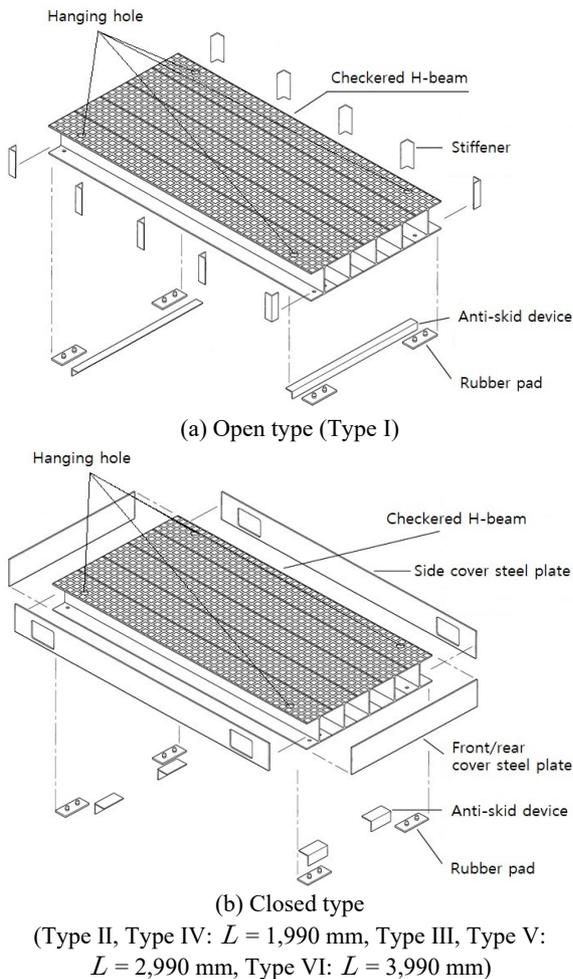
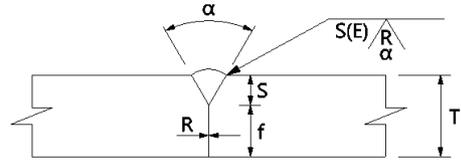


Fig. 1. Shape of deck plate



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 $\alpha = 60^\circ$	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	All	S
GMAW FCAW	6 min	R = 0 f = 3 min $\alpha = 60^\circ$	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	All	S
SAW	11 min	R = 0 f = 6 min $\alpha = 60^\circ$	+2, 0 ± 2 +10°, -5°	F	S

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

Fig. 2. Single V-groove weld : Butt joint (unit : mm)

3.99 m의 장지간 복공판으로 지침에 새로이 추가된 규격이다. 개방형인 Type I은 복공판 단부가 마감처리되지 않아 복공판 설치 오류(단차, 이격 등) 및 단부의 국부적 변형/손상 등에 의한 주행차량 타이어 펑크 등의 사고발생 가능성이 폐쇄형에 비해 다소 높을 것으로 판단된다.

또한 제작 일반사항에서는 복공판 내구성 향상을 위하여 강도로교 용접 및 도장요령^[17]에 제시되어 있는 용접상세를 기본으로 하여 무늬H형강의 부분맞대기 용접이음 상세를 Fig. 2와 같이 제시하고 있다.

▶ 복공판 설계편람(한국건축구조기술사회, 2017)

이 편람은 ‘제1장 복공판 개요’, ‘제2장 재료’, ‘제3장 복공판 설계’, ‘제4장 복공판 설계 예’, ‘제5장 복공판의 휨성능’의 5개의 장으로 구성되어 있다. 4장에서는 제정 당시 설계기준 등에 기초하여 Type A – Type E의 5 종류의 복공판(지침의 Type I – Type V에 해당)에 대해 허용응력설계법 및 하중저항계수설계법에 대한 설계 사례를 제시하고 있다.

KCS 21 10 00(가설공사 일반사항)^[18]의 1.6절 ‘자재 관리’에서는 가설공사용 자재(가설교량 부재 및 복공판 포함)의 산업표준화법/산업안전보건법에 따른 인증품 사용, 품질검사시험 및 재사용품에 대해 규정하고 있다. 그러나, 시공업체의 영세성 등으로 인해 가설구

조물의 중요성을 인식하지 못하여 구조계산서 및 도면 작성을 도외시하고, 그 동안의 경험에 의존하여 공사가 진행될 뿐만 아니라 가설구조물 공사 시 현장근로자는 안전성이 검증되지 않은 과소단면의 부재, 결합재료, 현장 보유 재료 등을 이용하여 시공함으로써 안전사고 및 재해 발생이 종종 보고되고 있다^[19].

특히, 복공판의 경우, 재사용 및 교체에 대한 명확한 판단기준이 제시되어 있지 않으며, 현장기술자의 육안 검사 및 일정 시기 후 교체하는 방법으로 복공판의 내구성을 유지하고 있어 단면결손, 탈락 등이 발생한 복공판을 별다른 조치없이 재사용하는 경우가 많다. 또한, 충분한 사용성 및 내구성을 확보하고 있는 복공판에 대해서도 잔존내하력과 상관없이 일정기간 경과 후 문제가 발생한 복공판과 같이 교체하는 사례가 있으므로 복공판의 재사용성을 평가할 수 있는 기준이 필요한 실정이다.

2.2.2 국외 설계기준 및 시방서 등 조사

가설교량 및 노면 복공에 관한 국외 설계기준 및 시방서^{[20]-[24]}를 조사하였으나, 국내와 같이 가설교량과 노면 복공을 별도의 항목으로 다루는 사례는 없을 뿐만 아니라 관련 규정도 선연적 수준에 그치는 것이 대부분이다.

조사된 설계기준/시방서 중 노면 복공에 대해 비교적 상세히 기술되어 있는 설계기준은 싱가포르의 Materials and Workmanship Specification for Civil and Structural Works^[18]이다. 이 설계기준의 8.5절 ‘Temporary Decking’의 내용은 복공판의 미끄럼 방지 및 유지관리에 주요점을 두고 있으며, 주요 내용은 다음과 같다.

- 고속국도와 일반국도의 경우, 복공판은 영국의 도로연구시험소 자료(Road note No.27)에 정의된 바와 같이 미끄럼 저항값(skid resistance value) 55를 초과하는 아스팔트 프리믹스 표면으로 설계한다.
- 다른 모든 도로에 사용되는 복공판의 경우, 복공판의 노출된 표면은 체크무늬 표면(2 mm를 초과하는 돌출 높이)과 미끄럼 방지 코팅이 되어야 한다. 미끄럼 방지 코팅은 영국 도로연구시험소 자료에 정의된 바와 같이 미끄럼 저항값 45를 초과하여야 한다.

3. 무늬H형강 복공판의 안전성 및 사용성 평가

3.1 개요

Table 2에 나타난 6종류의 무늬H형강 복공판의 안전성 및 사용성을 설계기준의 설계차량하중인 KL-510에 대해 검토하였다. 검토대상 무늬H형강 복공판의 용접 구조용 압연강재 강종은 SM 275 강재 및 SM 355 강재를 대상으로 하였다. 여기서 SM 355 강재는 복공판의 장시간화를 고려한 것이다. 한편, 가설현장에서 운용되는 공사용 작업차량은 가설현장 특성에 따라 종류 및 중량이 다양하고 유동적이므로 제외하였다.

무늬H형강 복공판에 대한 안전성 및 사용성 검토조건은 관련 설계기준 및 참고문헌을 참조하여 다음과 같이 정하였다^{[12]-[15]}.

- 설계차량하중 : KL-510
- 율하중, P : 96 kN
- 율하중 재하 시 접지폭 고려
- 충격계수, I : 0.3
- 하중부담계수, α : 0.4^{[3],[25]}
- 하중조합
 - D (고정하중)+ L (설계차량하중)
 - D (고정하중)+ L (설계차량하중)+ I (충격하중)
- 설계차량하중 재하방법
 - 복공판 길이방향과 설계차량하중 진행방향이 평행
 - 복공판 길이방향과 설계차량하중 진행방향이 직교
- 시간길이 : 복공판 전체길이 - 100 mm
- 무늬H형강 강종
 - SM275 ($F_b = 165$ MPa, $F_v = 95$ MPa)
 - SM355 ($F_b = 213$ MPa, $F_v = 142$ MPa)

복공판의 폭은 율하중 접지폭에 비해 넓기 때문에 복공판을 구성하는 개개의 무늬H형강이 부담하는 하중의 크기는 균일하지 않고 하중재하 위치에 따라 편차가 있다. 무늬H형강 복공판에 대한 일본의 정적 휨실험 결과^[23]에 의하면 복공판을 구성하는 1개의 무늬H형강이 부담하는 최대하중 크기는 율하중의 40 % 미만이므로 이 연구에서도 이를 고려하여 하중부담계수를 0.4로 적용하였다. 한편, 율하중 접지폭은 KDS 24 12 21(교량 설계하

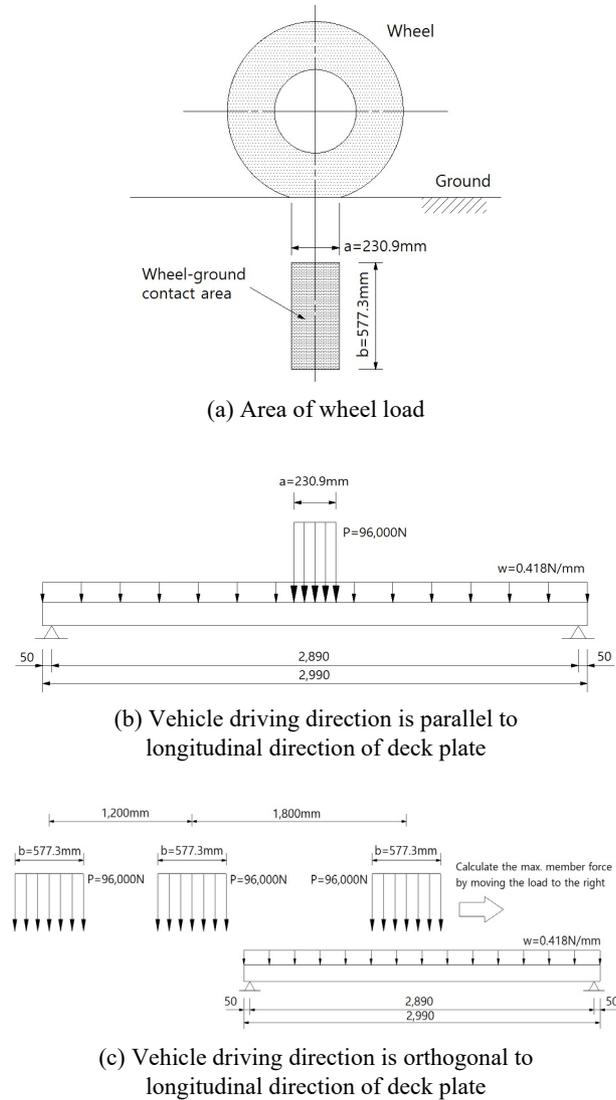


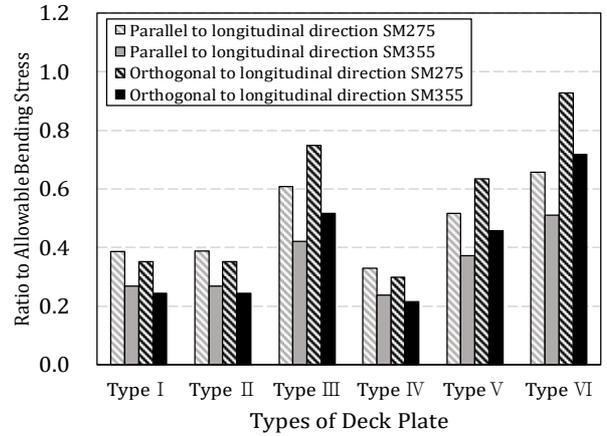
Fig. 3. Example of wheel loading

중(한계상태설계법)^[14]에 따라 230.9 mm × 577.3 mm로 산출하였다(Fig. 3(a) 참조).

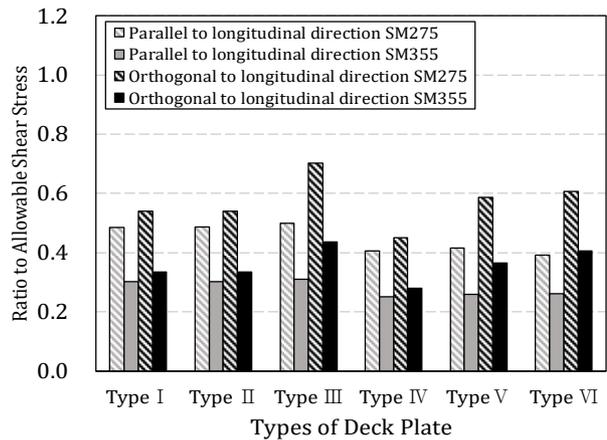
Fig. 3(b) 및 Fig. 3(c)에 규격 3 m 복공판에 대한 운하중 재하의 일례를 나타내었다. 복공판 길이방향과 설계 차량하중의 진행방향이 직교인 경우는 Fig. 3(c)에 나타난 바와 같이 설계차량하중의 횡방향 축간거리 및 점유폭을 고려하였다.

3.2 단일 무늬H형강에 대한 이론적 해석결과

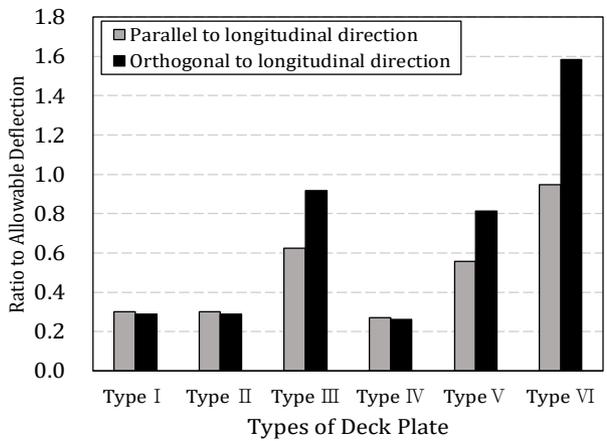
무늬H형강 복공판은 5개의 무늬H형강을 용접하여 제작되는데, 이에 대한 안전성 및 사용성은 검토의 편의성을 고려하여 단일 무늬H형강을 대상으로 하는 것



(a) Bending stress



(b) Shear stress



(c) Deflection

Fig. 4. Theoretical analysis results for single checkered H-beam

이 일반적이다. 이때 과도한 안전측 설계를 배제하기 위해 하중부담계수가 고려된다.

Fig. 4에 복공판 형식 및 사용강재별 단일 무늬H형강의 이론적 해석 결과를 나타내었다. 해석에서는 MIDAS Civil의 보요소 및 양단 힌지 지지조건을 사용하여 단일 무늬H형강에 윤하중의 40%(하중부담계수)를 적용하여 영향면 해석을 실시하였다. 해석 결과, 지간길이 1,990 mm, 2,990 mm, 3,990 mm의 복공판은 차량 진행 방향에 관계없이 설계하중에 의한 휨응력 및 전단응력은 Fig. 4(a) 및 Fig. 4(b)에 나타난 것과 같이 사용강재의 허용응력 이하로 모두 안전한 것으로 나타났다. 특히 SM355 강재의 장지간 복공판인 Type VI의 경우, SM275 강재에 비해 허용휨응력이 약 30% 증가하므로 복공판 길이방향에 직교하는 하중재하의 경우도 휨응력의 발생치/허용치의 비율이 약 0.93에서 0.72로 감소되어 안전성이 충분히 확보되는 것으로 나타났다.

SM275 강재의 복공판 Type III(지간길이 2,990 mm)의 경우, 최대 응력비는 약 75% 수준이나, 복공판을 재사용하는 경우는 허용응력 증가계수의 90%를 적용하므로 응력비가 약 85%까지 증가하게 된다. 또한 SM355의 장지간 복공판 Type VI의 경우도 최대응력비는 72% 수준이며, 재사용의 경우 80% 수준으로 모두 안전성을 만족한다. 그러나 가시설재로 분류되는 복공판은 사용환경조건 및 유지관리 등에 있어서 불확실성이 크므로 장지간의 규격 3m, 4m의 복공판에 대해서는 SM275 강재보다 허용휨응력이 약 30% 큰 SM355 강재를 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

Fig. 4(c)의 이론적 해석에 의한 처짐은 Type VI 복공판에서 복공판 길이방향과 설계차량하중 진행방향이 직교인 경우의 15.41 mm(기준치의 158%)를 제외하고는 KDS 21 45 00(가설교량 및 노면 복구 설계기준)^[11]의 복공판 허용처짐 규정인 L/400(이 규정은 복공판을 지지하는 지지거더의 처짐규정을 준용)을 모두 만족하고 있어 처짐에 대한 사용성을 확보하고 있다. Fig. 4(c)의 Type VI 복공판 처짐 값은 Fig. 3(c)에 나타난 재하 형식을 단일 무늬H형강에 대해 이론적으로 가장 불리한 조건에서 산정된 것이므로 현실적으로 발생 가능성은 매우 낮은 처짐으로 판단된다.

3.3 복공판 전체계 모델 해석결과

3.2절에서 MIDAS Civil을 사용하여 단일 무늬H형강에 윤하중의 40%(하중부담계수)를 적용하여 해석

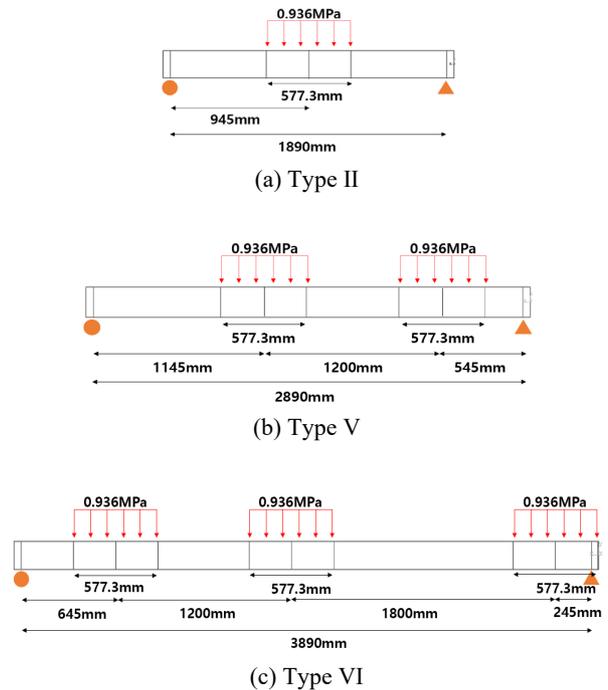


Fig. 5. Load conditions for absolute maximum moment by length of deck plate

한 결과와 전체 복공판에 절대최대모멘트를 발생시키는 하중이 재하되는 경우의 해석결과를 비교하고자 ABAQUS의 쉘요소 및 4점 힌지 지지조건을 사용하여 SM355 강재로 제작된 길이 1.99 m, 2.99 m, 3.99 m의 Type II, Type V, Type VI 복공판에 대해 전체계 모델에 대한 구조해석을 수행하였다.

전체계 모델 해석에 적용된 단면형태는 구조해석 모델링의 용이성 및 보수적인 결과를 도출하기 위하여 상·하부플랜지의 요철이 없는 일반적인 H형강으로 모델링하였으며, 단면형태의 차이에 기인하는 오차는 Shell 요소에 지원되는 중립면 모델링 옵션으로 조정하였다.

하중은 3.2절의 이론적 해석과 동일하게 설계차량하중 KL-510의 96 kN이며, 하중 접지면적(230.9 mm × 577.3 mm)에 충격계수 0.3을 고려하여 압력(Pressure)으로 입력하였다. 절대최대모멘트를 발생시키는 하중 조건은 차량 주행방향이 복공판 길이방향에 직교하는 경우이다. 3.2절의 영향면 해석을 통해 얻어진 복공판 길이별 하중재하 위치를 Fig. 5에 나타내었다.

Table 3에 복공판 길이에 따른 최대 휨응력을 나타내었으며, Fig. 6에 변형 양상의 일례를 나타내었다. 최대

Table 3. FEA results of absolute maximum response

Type	Passing by parallel direction (Side)			
	f_b (MPa)	f_b ratio	δ (mm)	δ ratio
Type II	66.46	1.00	1.31	1.00
Type V	75.86	1.14	3.02	2.31
Type VI	91.25	1.37	6.10	4.66
Type	Passing by orthogonal direction (Side)			
	f_b (MPa)	f_b ratio	δ (mm)	δ ratio
Type II	93.23	1.00	2.03	1.00
Type V	120.65	1.29	5.86	2.89
Type VI	150.23	1.61	12.03	5.93
Type	Passing by parallel direction (Center)			
	f_b (MPa)	f_b ratio	δ (mm)	δ ratio
Type II	51.05	1.00	1.08	1.00
Type V	62.28	1.22	2.51	2.32
Type VI	80.46	1.58	5.45	5.05
Type	Passing by orthogonal direction (Center)			
	f_b (MPa)	f_b ratio	δ (mm)	δ ratio
Type II	53.27	1.00	1.43	1.00
Type V	78.27	1.47	4.10	2.87
Type VI	115.24	2.16	9.58	6.70

※ The ratio is a value based on Type II as 1.

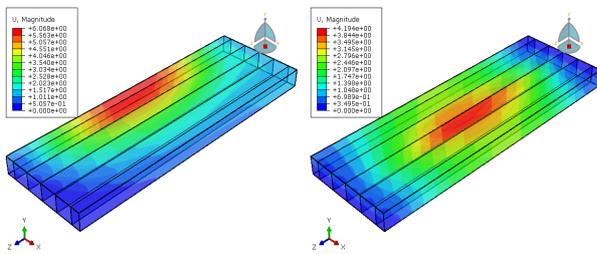
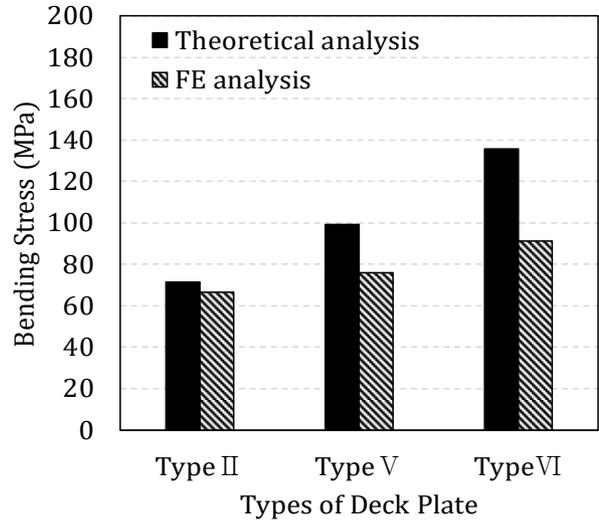


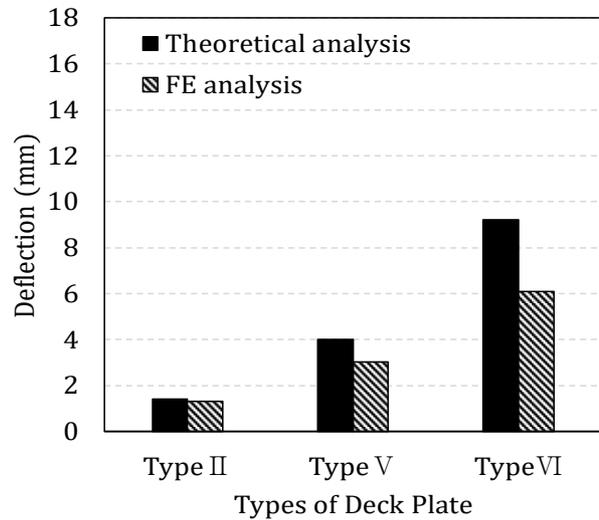
Fig. 6. Example of analysis result on Type V (when driving on one side/center in the orthogonal direction)

휨응력 해석 결과, 설계차량하중이 복공판의 길이방향에 평행하게 주행하는 경우보다 직교하여 주행하는 경우의 응력 및 처짐이 더 크게 나타났으며, 복공판 단부에 설계차량하중이 재하될 때 그 값이 가장 크게 나타났다. 또한 복공판 길이가 길어질수록 복공판에서 발생하는 응력 증가 효과가 크게 증가하였으나, 발생응력은 모두 허용휨응력 이하로 나타났다.

3.2절에 기술한 것과 같이 단일 무늬H형강으로 해석



(a) Bending stress

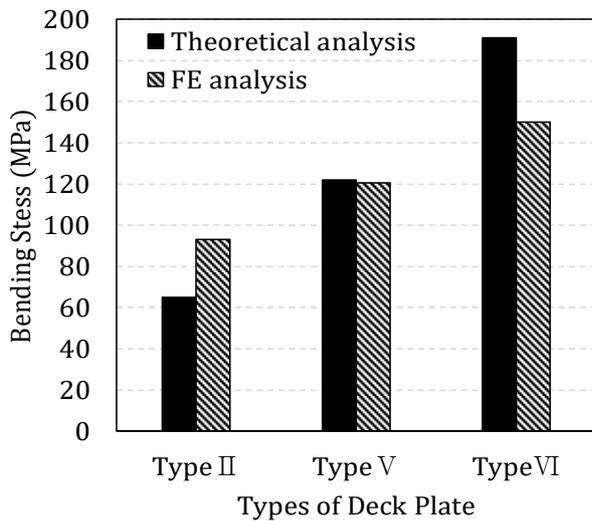


(b) Deflection

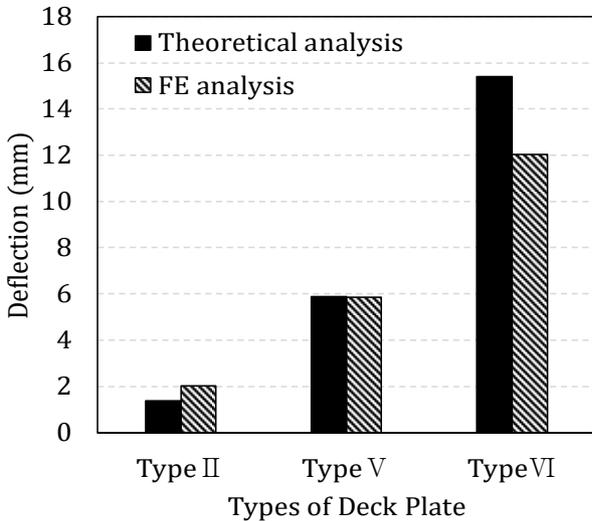
Fig. 7. Comparison of maximum stress and deflection (when driving in the parallel direction)

한 Type VI의 이론적 최대 처짐은 15.41 mm로 허용치인 $L/400 (= 9.73 \text{ mm})$ 를 초과하였으며, 전체계 모델 구조해석에서의 최대 처짐도 12.03 mm로 허용치 이상인 것으로 나타나 처짐 허용기준을 만족하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 이 값은 실제 공용 중에는 발생 가능성이 매우 낮은 이론상의 하중재하 조건에 대한 것이다.

Fig. 7 및 Fig. 8에 복공판 전체계 구조해석결과를 3.2절에서 기술한 이론적 해석결과와 비교하여 도시하였다. 복공판 전체를 모델링하는 전체계 구조해석이 단일 무늬H형강을 대상으로 하는 이론적 해석보다 정밀



(a) Bending stress



(b) Deflection

Fig. 8. Comparison of maximum stress and deflection (when driving in the orthogonal direction)

한 결과를 산출하는 방법이다.

설계차량하중의 주행 방향에 관계없이 Type II(Fig. 8 참조)의 직교방향 재하를 제외하고는 복공판의 지간이 길어질수록 이론적 해석 값이 전체계 구조해석 값보다 크게 나타났다. 이는 복공판의 지간이 길어질수록 이론적 해석에 의한 응답이 과대평가되는 경향 또는 지간이 짧아질수록 이론적 해석에 의한 응답이 과소평가되는 경향이 있다는 것을 의미하므로 복공판 지간길이에 무관하게 일률적으로 적용되고 있는 하중부담계수에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

무늬 H형강을 사용한 규격 2 m 및 3 m의 복공판 및 장지간화를 도모한 규격 4 m의 복공판에 대한 구조 거동 검토로부터 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 이 연구에서 대상으로 하는 규격 2 m - 4 m의 무늬 H형강 복공판에 대한 이론적 해석(단일 무늬 H형강) 및 전체계 구조해석에 의한 응력은 모든 해석경우에 있어서 허용응력을 만족하여 충분한 구조적 안전성을 가지고 있는 것을 확인하였다.
- (2) 규격 4 m의 Type VI를 제외한 모든 복공판(Type I - Type V)의 설계차량하중에 의한 처짐은 허용기준(= $L/400$)을 만족하여 사용성을 확보하고 있는 것을 확인하였다.
- (3) 규격 4 m인 Type VI는 일부 하중조건에서 허용기준 이상의 처짐이 발생하는 것으로 나타났다. 해석에 고려된 하중조건이 현실적으로 발생 가능성이 매우 낮다는 점, 사용환경이 단기간의 가설 현장이라는 점 및 우리나라만 복공판의 허용처짐을 규정하고 있다는 점을 감안하면 복공판에서 허용처짐 이상의 처짐이 발생하더라도 사용성에 큰 지장을 초래하지는 않을 것으로 판단된다.
- (4) 복공판의 지간길이가 증가할수록 동일한 해석경우에 대해 이론적 해석결과가 전체계 구조해석결과보다 대체로 과대평가하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 이는 복공판의 지간길이에 무관하게 0.4의 하중부담계수를 이론적 해석에 일률적으로 적용한 결과로 판단된다.

미끄럼저항이 우수하고 용접품질이 개선되어 사용빈도가 증가하고 있는 무늬 H형강 복공판의 안전성 및 사용성을 이 연구를 통해 확인하였다. 한편, 최근의 복공판 장지간화 추세, 이론적 해석에 의존하는 업계의 복공판 구조검토 관행 등을 고려하면 복공판의 지간길이에 따라 합리적으로 하중부담계수 적용이 가능하도록 하는 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌(References)

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2022) *Construction Work Quality Control Guidelines*, MOLIT Notice No. 2022-30, MOLIT (in Korean).
- [2] Oh, S.-C. (2008) *A Study on a Competitiveness Elevation Plan through Improvement of Quality of Lining Board*, Ph.D. Dissertation, Hoseo University (in Korean).
- [3] Nippon Steel Corporation (2019) Metrodeck, https://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/K015.pdf (in Japanese).
- [4] Kim, D.-H., and Kim, Y.-S. (2004) A Comparative Analysis of Existing Channel-Type Lining Board and New-Type Lining Board Models, *Journal of the Korean Society of Safety*, KOSOS, Vol.19, No.3, pp.78-83 (in Korean).
- [5] Lee, S.-S., and Kim, D.-H. (2005) An Experimental Study on the Structure Behavior of H & Channel-Type Lining Board, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol.9, No.1, pp.119-126 (in Korean).
- [6] Jeong, Y.J. (2012) *Experimental Study on the Prestressed Long Span & Lightweight Cover Deck Plate*, Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology (in Korean).
- [7] Kim, C.-H., Yi, S.-T., Kim, I.-S., and Sim, T.-M. (2015) Optimized Cross-section Suggestion of a New Concept Lining Board through Parametric Study, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol.19, No.2, pp.84-91 (in Korean).
- [8] Kim, C.-H., Yi, S.-T., and Kim, I.-S. (2015) Flexural Test and Structural Analysis to Develop a Lining Board of New-Concept, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol.19, No.4, pp.10-17 (in Korean).
- [9] Kim, I.-T., Kim, D.-W., Choi, H.-S., and Cheung, J.-H. (2009) A Preliminary Study on the Reused Channel-Type Lining Board with Corrosion-Damage, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol.13, No.4, pp.170-179 (in Korean).
- [10] Kim, Y.I. (2011) *A Study on the Corrosion Rate and Safety Assessment for Steel Deck Plates in the Subway Construction Seoul Korea*, Master's Thesis, University of Seoul (in Korean).
- [11] Korea Temporary Equipment Association (2022) *General Information on Temporary Facility Design*, KDS 21 10 00 : 2022, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- [12] 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).
- [13] Korean Institute of Bridge and Structural Engineers (2019) *Steel Bridge Design Specification (Allowable Stress Design)*, KDS 24 14 30 : 2019, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- [14] Korean Institute of Bridge and Structural Engineers, and Korea Railroad Research Institute (2021) *Bridge Design Load (Limit State Design)*, KDS 24 12 21 : 2021, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- [15] Korean Society of Steel Construction (2019) *Guideline of Fabrication and Maintenance of Deck Panels Fabricated with Checkered H-Beam* (in Korean).
- [16] Korean Structural Engineers Association (2017) *Design Manual of Deck Plate* (in Korean).
- [17] Cho, H.Y. et al. (1998) *Guideline of Welding and Painting on Steel Roadway Bridge*, 42000-58710-67-9719, Ministry of Construction & Transportation (in Korean).
- [18] Korea Temporary Equipment Association (2022) *General Information on Temporary Construction*, KCS 21 10 00 : 2022, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- [19] Kyung, K.-S., Lee, M., and Lim, M. (2022) Load Capacity of Deck Panels Fabricated with Checkered H-Beam Used in the Field, *Magazine of the Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.34, No.3, pp.41-45 (in Korean).
- [20] Land Transport Authority (2010) *Materials and Workmanship Specification for Civil and Structural Works*, LTA, Singapore.
- [21] Japan Road Association (1999) *Construction Guidelines of Temporary Structure*, JARA, Japan (in Japanese).
- [22] Japan Society of Civil Engineers (2010) *Planning and Construction of Temporary Structures*, JSCE, Japan (in Japanese).
- [23] American Association of State Highway and Transportation Officials (2017) *Guide Design Specifications for Bridge Temporary Works* (2nd Ed.), AASHTO, USA.

[24] British Standards Institution (2019) *Code of Practice for Temporary Works Procedures and the Permissible Stress Design of Falsework*, BS 9575:2019, BSI, UK.

[25] GECOSS Corporation (n.d.) GECOSS Deck, <https://www.gecoss.co.jp> (in Japanese).

요 약: 복공판은 지하공사 시 굴착현장 주변에 설치하여 지상의 차량 및 보행자의 안전한 통행을 확보함과 동시에 지하공간을 확보하는 구조물이다. 그러나 복공판이 반복적인 차량 하중을 직접적으로 받게 될 경우, 구조적 손상 및 사고 위험이 커지는 문제점이 있다. 이 연구에서는 무늬 H형강으로 제작된 규격 2 m 및 3 m의 복공판 및 장시간화를 도모한 규격 4 m의 복공판에 대한 구조해석을 통해 구조거동을 분석하고 무늬 H형강 복공판의 안전성과 사용성을 검토하였다. 해석결과, 규격 2 m - 4 m의 무늬 H형강 복공판에 대한 이론적 해석(단일 무늬 H형강) 및 전체계 구조해석에 의한 응력은 모든 해석경우에 있어서 허용응력을 만족하여 충분한 구조적 안전성을 가지고 있는 것을 확인하였다.

핵심용어: 무늬 H형강 복공판, 차량재하방법, 유한요소해석, 최대 휨응력 및 처짐
