건축방재

래티스 절단부의 위치에 따른 철선일체형 데크플레이트의 성능평가 Performance Evaluation for Steel Wire-Integrated Deck Plate according to Location of Lattice End

김성배* · 강민정** · 황보찬** · 김상섭***

Kim, Sung Bae*, Kang, Min Joung**, Hwangbo, Chan**, and Kim, Sang Seup***

Abstract

Recently, for the decreased work term and the convenience of construction work, the steel wire-integrated deck plate has been widely used in practice. Generally, in steel wire-integrated deck plate, lattice end is welded with upper deformed bar, therefore, only galvanized sheet iron bears the shear force without the vertical bar. But the galvanized sheet iron isn't strong enough, so the lattice end is shifted onto the top of the steel beam. Therefore, tests have been conducted on 24 specimens with several experiment variables to evaluate the structural safety of the proposed deck plate system during the construction step. The test results show that the lattice end on the steel beam effectively deals with the shear force.

Key words : Steel Wire-Integrated Deck Plate, Lattice End, Vertical Bar, Galvanized Sheet Iron, Shear Force

요 지

철선일체형 데크플레이트는 시공의 편의성 및 공기단축으로 건설현장에서 널리 사용되고 있다. 일반적으로 데크플레이트는 단부측 래티스 절단부가 상부철선과 용접되어 있어서 직봉 등이 설치되어 있지 않으면, 전단력을 아연도 강판만이 부담하는 구조이다. 그러나 아연도 강판은 전단력을 감당할 수 있을 만큼 강한 부재가 아니라고 판단되어, 전단력을 아연도 강판과 래티스 철선이 동시에 부담하도록 하기위해 래티스 절단부를 강재보 상부에 위치하도록 개선하였다. 이에 본 연구에서는 래티스 절단부의 위치, 데크플레이트의 종류, 전단연결재의 설치 유·무 등을 변수로 24개의 실험체를 제작하여 시공 중 철선일체형 데크플레이트의 구조적 안전성을 평가하였다. 그 결과 래티스 절단부가 강재보 상부에 위치하는 것이 단부의 전단력을 보다 효과적으로 감당하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 철선일체형 데크플레이트, 래티스 절단부, 직봉, 아연도강판, 전단력

1. 서 론

최근 고층건물의 바닥 구조시스템은 인건비 상승과 공기단축을 목적으로 철선일체형 데크플레이트의 사용이 보편화되고 있다. 철선일체형 데크플레이트는 하부강판이 콘크리트 타설시 거푸집 역할을 하므로 서포트가 불필요하여 시공성이 향상된다. 또한 콘크리트가 경화한 후에는 철선일체형 데크플레이트의 철선트러스가 슬래브의 주인장재 역할을 하게 된다. 따라서 시공단계의 데크플레이트는 타설 콘크리트 자중과 작업하중을 안전하게 지탱하고, 콘크리트 경화 후에는 합성슬래

브의 한 요소로서 철근의 역할을 대신해야 하므로 콘크리트와의 부착력을 적절하게 확보하여야 한다. 그러므로 철선일체형 데크플레이트는 콘크리트 타설 시와 콘크리트의 양생 이전에 발생하는 시공하중을 아연도 강판을 포함한 철선일체형 데크플레이트가 지지하여야 하며, 콘크리트가 양생된 이후의 모든 하중은 아연도 강판을 제외한 상부철선, 하부철선, 래티스 철선 및 콘크리트로 구성된 일반 철근콘크리트 슬래브가 지지한다(Kim *et al.*, 2011, Kim *et al.*, 2012, Lee 2007, Lee 2010, Yang *et al.*, 2004, Oh *et al.*, 2008).

철선일체형 데크플레이트는 강재보에 거치하는 과정에서

*정회원. (주)더나은구조엔지니어링 소장(E-mail: withksb@hanmail.net)
Member. Manager, The Naeun Structural Engineering

**정회원. 한국기술교육대학교 건축공학부 석사과정
Member. Master Course, School of Architectural Engineering, Korea University of Technology and Education

***교신저자. 정회원. 한국기술교육대학교 건축공학부 교수(Tel: +82-41-560-1330, Fax: +82-41-560-1224, E-mail: kimss@kut.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, School of Architectural Engineering, Korea University of Technology and Education

단부 래티스 철선이 하부철선에 고정되어 강재보에 거치되어야 안정적으로 하중이 전달된다. 그러나 제작의 편의성으로 래티스 철선이 강재보 상부에 거치되지 않는 상태로 현장에 적용되는 경우가 발생되고 있다.

철선일체형 데크플레이트의 단부 래티스 철선과 상부철선이 직봉에 용접으로 고정되지 않으면 모든 전단력을 아연도강판이 부담하게 되나, 아연도강판은 전단력을 부담할 수 있을 만큼 강한 부재가 아니므로 구조적으로 불안정하게 된다. 이에 본 연구에서는 철선일체형 데크플레이트의 단부 래티스 철선의 절단위치, 전단연결재의 영향 등을 실험으로 검증하였다.

2. 실험계획

본 연구는 래티스 절단부의 위치에 따른 철선일체형 데크플레이트의 구조성능평가를 위한 것으로, 데크플레이트의 종류, 래티스 절단부의 위치, 직봉 및 신형상 전단연결재의 설치 유·무 등을 변수로 실험하였다. 또한 최대하중, 데크플레이트의 처짐, 래티스 절단부의 위치에 의한 단부조건 등을 분석하고 시공단계에서의 현장 적용에 따른 구조안전성을 검토하였다. 실험체는 현장 시공조건과 동일한 방법으로 설치되었으며, 현장의 시공하중을 최대한 재현하여 가력하기 위해 실험 보조 장치를 제작하여 실험하였다.

2.1 실험체 개요

실험체 개요는 Fig. 1, Table 1과 같다. 실험변수는 래티스 절단부의 위치, 트러스 거더의 높이(120 mm, 160 mm), 데크플레이트의 종류(철선일체형 데크플레이트, 중공강판 데크플

TG120 - D - N - FM

FM : 래티스의 절단부가 강재보 상부에 위치하지 않음
FE : 래티스의 절단부가 강재보 상부에 위치함
N : 연결재 없음
V : 직봉 (이형철근)
S : 신형상 전단연결재 (강판)
D : 철선일체형 데크플레이트
O : 중공강판 데크플레이트
TG120 : 트러스 거더의 높이 120mm
TG160 : 트러스 거더의 높이 160mm

Fig. 1. Symbol of the Test Specimens.

레이트), 직봉 및 신형상 전단연결재의 설치 유·무 등을 변수로 하였으며, 실험체는 총 24개이다.

Fig. 2(a)는 래티스 철선의 절단부가 상부철선에 위치하는 경우이며, Fig. 2(b)는 래티스 철선의 절단부가 강재보 상부에 위치하는 경우이다.

Fig. 3은 중공강판 데크플레이트의 형상이다. 중공강판 데

(a) Lattice End at the Upper Deformed Bar

(b) Lattice End on the Steel Beam

Fig. 2. Location of the Lattice End.

Fig. 3. Shape of the Void Deck Plate.

Table 1. Name of the Test Specimens

Type		Height 120 mm			Height 160 mm		
		N	V	S	N	V	S
FM	D	TG120-D-N-FM	TG120-D-V-FM	TG120-D-S-FM	TG160-D-N-FM	TG160-D-V-FM	TG160-D-S-FM
	O	TG120-O-N-FM	TG120-O-V-FM	TG120-O-S-FM	TG160-O-N-FM	TG160-O-V-FM	TG160-O-S-FM
FE	D	TG120-D-N-FE	TG120-D-V-FE	TG120-D-S-FE	TG160-D-N-FE	TG160-D-V-FE	TG160-D-S-FE
	O	TG120-O-N-FE	TG120-O-V-FE	TG120-O-S-FE	TG160-O-N-FE	TG160-O-V-FE	TG160-O-S-FE

Fig. 4. Details of the New-Type Shear Connector.

크플레이트는 콘크리트 슬래브의 자중저감을 위하여 철선트러스 사이의 공간에 TG120 시리즈의 경우 높이 100 mm, TG160 시리즈의 경우 높이 150 mm의 중공부를 두께 0.5 mm 강판을 사용하여 오메가 모양으로 제작하여 설치하였다. 중공강판은 별도의 고정 장치 없이 데크플레이트 래티스 하부에 끼워서 고정하였다.

Fig. 4는 신형상 전단연결재의 형상이다. 신형상 전단연결재는 9 mm의 강판으로 제작하였고, 상부수직받침판은 중앙부 절개 후 반대방향으로 벌려서 V자 형을 이루게 하여 트러스의 상부철선과 용접이 용이하도록 하였다. 또한 강재보 플랜지와 60° 정도 경사지게 설치하여 아연도강판과 중첩되지 않게 하였으며, 강재보 플랜지와 용접을 통해 전단연결재의 기능을 수행하도록 제작하였다(Kim *et al.*, 2014).

실험체 트러스의 높이는 120 mm, 160 mm이며, 상부철선은 $\phi 13$, 하부철선은 2- $\phi 10$ 이다. 래티스 철선은 $\phi 5$ 이며, 중공강판과 아연도강판의 두께는 0.5 mm이다. 실험체 크기는 750 mm×4,000 mm이며, 순경간은 3,900 mm이다.

2.2 가력 및 측정방법

실험은 최대용량이 2,000 kN인 만능시험기(UTM)로 가력하였으며, 가력은 분당 2 mm로 변위 제어하였다. Fig. 5는 실험체 가력상황과 변위계의 설치위치이다. 단부에 지점을 만들고 데크플레이트를 양쪽에 각각 50 mm 걸쳐놓고 등분포하중

Fig. 5. Setting Devices for Loading and Displacement Measurement.

과 비슷하게 작용하도록 4점 가력하여 실험하였다. 변위계는 실험체의 중앙부 및 중앙의 좌우 400 mm, 좌우 단부에서 750 mm 간격으로 총 5개를 설치하여 변위를 측정하였다.

2.3 시공하중 및 허용처짐 산정

시공 시 처짐 검토는 데크플레이트 및 콘크리트 슬래브의 자중 등 고정하중 이외에 작업하중이 포함된다. 고정하중은 데크플레이트 0.25 kN/m², 콘크리트 23.0 kN/m³, 시공 시 작업하중은 충격하중을 포함하여 1.5 kN/m²을 적용하였다. 이때 중공강판을 적용한 데크플레이트 슬래브의 고정하중은 TG120 시리즈의 경우 26.1%, TG160 시리즈의 경우 27.0% 감소한다(Kim *et al.*, 2011).

시공 시 데크플레이트의 허용처짐은 $L/180$ (L =순경간+결침 길이, 결침길이는 좌우 50 mm) 또는 20 mm 중에서 작은 값으로 한다(Structural Steel Design). Table 2는 철선일체형 데크플레이트 실험체에 작용하는 시공하중 및 허용처짐이다.

3. 실험결과 및 파괴양상

3.1 소재시험결과

실험체에 사용된 강재는 KS D 3552(철선)에 적합한 선재로서 $\phi 13$, $\phi 10$, $\phi 5$ 의 철선과 0.5mm의 아연도강판으로 구성되어 있다. 철선에 대한 인장시험은 KS B 0801(금속재료 인장시험편)에 따라 제작하였으며, KS B 0802(금속재료 인장시험방법)에 의해 철선에 대한 항복강도 및 인장강도, 연신율

Table 2. Determination of Construction Load and Permitted Deflection

Test Specimens	Construction Load(kN)				Permitted Deflection (mm)
	Deck Plate Weight	Concrete Weight	Working load	Total	
TG120 - D Series	0.73	10.09	4.39	15.21	20.00
TG120 - O Series	0.73	7.46	4.39	12.58	20.00
TG160 - D Series	0.73	13.46	4.39	18.58	20.00
TG160 - O Series	0.73	9.82	4.39	14.94	20.00

Table 3. The Result of Tensile Strength Test

Type	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Location
D13	510	557.7	20.1	top bar
D10	553	595.3	10.0	bottom bar
$\phi 5$	539	607.3	16.4	lattice
0.5 mm	304	440	25.0	deck plate

등을 측정하였다. 인장시험결과는 Table 3과 같다.

KS D 3552에 의한 철선의 항복강도는 440 MPa이상, 인장강도는 540 MPa이상이며, 연신율은 8%이상이므로 본 연구에 사용된 철선은 KS규격을 모두 만족하고 있는 것으로 나타났다.

0.5 mm의 아연도강판은 SGH340(KS D 3506)이며, 한국화학시험연구원의 시험성적서를 기초로 항복강도 304 MPa, 인장강도 440 MPa, 연신율 25%를 적용하였다.

3.2 하중-변위 관계

철선일체형 데크플레이트의 구조성능을 평가하기 위해 24

Fig. 6. Load-Displacement Relationship of the Test Specimen.

개의 데크플레이트를 제작하여 실험을 하였으며, Fig. 6은 각 실험체의 하중-변위관계이다. Fig. 6에서 시공하중은 종축에 실선으로, 허용치짐은 횡축에 점선으로 나타내었다.

실험결과 래티스 절단부가 강재보 상부에 위치한 FE 시리즈 실험체는 래티스 절단부가 상부철선에 위치한 FM 시리즈 실험체보다 최대내력과 강성이 상당히 크게 나타났다. 특히 전단연결재를 설치하지 않은 데크플레이트에서 FE 시리즈 실험체와 FM 시리즈 실험체의 최대내력 및 강성의 차이가 더욱 크게 나타났다. 또한 대부분의 실험체가 시공하중 시 허용치짐을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

3.3 전단연결재가 없는 실험체

전단연결재가 없는 철선일체형 데크플레이트 중 트러스의 높이가 120 mm인 실험체의 경우 최대하중은 래티스 절단부가 강재보 상부에 위치한 FE 시리즈 실험체가 래티스 절단부가 상부철선에 위치한 FM 시리즈 실험체보다 약 8% 크게 나타났으며, 트러스의 높이가 160 mm인 실험체의 경우 약 35.7% 증가하였다. 또한 강성도 FE 시리즈 실험체가 FM 시리즈 실험체에 비해 상당히 큰 것으로 나타났다.

Fig. 7(a)와 같이 래티스 절단부가 상부철선에 위치한 TG120-D-N-FM 실험체는 단부에서 아연도 강판이 하중을 감당하지 못하고 하부철선이 강재보에 닿으면서 전단력을 부

담하는 것으로 나타났다. 이것은 상부철선, 하부철선 및 래티스 철선이 트러스의 상·하현재와 경사재로 작용하여, 래티스 절단부가 상부철선에 위치한 경우 하중이 철선트러스로 전달되지 않으므로 초기에 아연도 강판만이 전단력을 부담하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 7(b)와 같이 래티스 절단부가 강재보 상부에 위치한 TG120-D-N-FE 실험체는 단부에서 래티스 철선이 강재보 위에 얹히면서 상부철선, 하부철선 및 래티스 철선으로 구성된 트러스가 전단력을 부담하여 초기 아연도 강판의 처짐을 방지하고 효과적으로 외력에 저항하는 것으로 나타났다.

3.4 직봉을 설치한 실험체

직봉을 설치한 데크플레이트의 경우 FM 시리즈 실험체와 FE 시리즈 실험체의 최대하중과 강성이 큰 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 래티스 절단부가 강재보 상부에 위치한 FM 시리즈 실험체의 경우 상부철선, 하부철선 및 래티스 철선이 트러스로서 역할을 하지 않고, 모든 전단력을 직봉이 부담하는 형태이다. 만약 상부철선과 직봉의 용접부가 탈락한다면, 초기에 모든 전단력을 아연도 강판이 부담하기 때문에 사고를 야기할 수 있다. 그러나 FE 시리즈 실험체는 전단력을 직봉과 철선트러스가 분담하여 효과적으로 저항하기 때문에 초기 아연도 강판의 처짐을 방지하며, 더욱 안정적인 것으로 나타났다.

TG160-D-V-FE 실험체의 경우, Fig. 8과 같이 실험초기에 하부철선과 래티스의 용접부가 파괴되어 트러스 거더로 원활하게 응력 분담이 되지 않아서 초기에 단부 래티스 철선이 좌굴되고 외력에 저항하지 못하여 최대하중이 다소 낮게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 용접부의 탈락이 없었다고 가정한다면, 전단연결재가 없는 TG160-D-N-FE 실험체와 비교하였을 때 동등 이상의 내력을 발휘할 것으로 판단된다.

3.5 신형상 전단연결재를 설치한 실험체

신형상 전단연결재를 설치한 데크플레이트의 경우 FM 시리즈 실험체와 FE 시리즈 실험체의 강성이 비슷하게 나타났

(a) FM Series

(b) FE Series

Fig. 7. Failure Shape of the Test Specimens.

Fig. 8. Falling Off of the Welding Point.

(a) FM Series

(b) FE Series

Fig. 9. Shape of the Test Specimens.

다. 이것은 래티스 절단부의 위치에 따른 것이 아니고, 신형상 전단연결재의 설치가 테크플레이트의 파괴양상에 변화를 준 것으로 판단된다.

Figs. 9(a) and (b)에서 FM 시리즈 실험체와 FE 시리즈 실험체의 단부형상이 상이하다. FM 시리즈 실험체는 Fig. 9(a)와 같이 래티스 절단부가 상부철선에 용접되고, 래티스 철선과 신형상 전단연결재가 서로 교차하는 형태로 용접되어있다. 따라서 FM 시리즈 실험체의 경우 단부 철선트러스의 상현재인 상부철선에 신형상 전단연결재가 연결된 상태이다. 그러므로 상부철선, 하부철선 및 래티스 철선이 트러스로서 역할을 하지 않고, 모든 전단력을 신형상 전단연결재가 부담하는 형태이다.

FE 시리즈 실험체는 Fig. 9(b)와 같이 상 · 하현재로 구성된 안정적인 철선트러스에 부가적으로 신형상 전단연결재가 연결되어 있다. 그러므로 FE 시리즈 실험체의 경우 신형상 전단연결재가 철선트러스에 작용하는 축방향력을 분담하는 효과를 가지므로, 작용하중에 대해 상대적으로 안정적인 거동을 한 것으로 판단된다.

TG160-D-S-FE, TG160-O-S-FE 실험체의 경우, 실험초기에 하부철선과 래티스의 용접부가 탈락되어 철선트러스로서 거동하지 못해 충분한 내력을 발휘하지 못한 것으로 판단된다.

3.6 각 실험체의 파괴양상 분석

실험체의 파괴양상은 Figs. 10(a) and (b)와 같이 크게 단부

(a) Buckling of the Lattice Wire on the End

(b) Buckling of the Upper Deformed Bar in the Center

Fig. 10. Failure Mode of the Test Specimens.

래티스 철선의 좌굴과 중앙부 상부철선의 좌굴로 분류된다. 총 24개 실험체에 대한 파괴양상을 분석한 결과 TG120 시리즈 중 전단연결재가 없고 래티스 절단부가 상부철선에 위치한 FM 시리즈 실험체만 단부 래티스 철선의 좌굴로 파괴되

Table 4. Experimental Results of FM Series

Test Specimens	Failure Mode	End Shear (kN)	Bending Moment (kN·m)	Effective Buckling Length(mm)
TG120-D-N-FM	A	7.52	8.64	-
TG120-O-N-FM	A	7.94	9.13	-
TG120-D-V-FM	X	7.70	8.86	-
TG120-O-V-FM	B	8.96	10.30	252.3
TG120-D-S-FM	B	8.31	9.55	270.1
TG120-O-S-FM	B	10.42	11.98	220.3
TG160-D-N-FM	A	7.33	8.43	-
TG160-O-N-FM	A	7.01	8.06	-
TG160-D-V-FM	A	9.71	11.16	-
TG160-O-V-FM	A	8.79	10.10	-
TG160-D-S-FM	A	9.86	11.33	-
TG160-O-S-FM	A	9.85	11.33	-
Average		8.62	9.91	

Table 5. Experimental Results of FE Series

Test Specimens	Failure Mode	End Shear (kN)	Bending Moment (kN·m)	Effective Buckling Length(mm)
TG120-D-N-FE	B	8.47	9.73	266.7
TG120-O-N-FE	B	8.26	9.49	268.0
TG120-D-V-FE	B	8.32	9.56	269.9
TG120-O-V-FE	B	9.34	10.74	243.8
TG120-D-S-FE	B	8.49	9.76	266.1
TG120-O-S-FE	B	9.23	10.61	246.3
TG160-D-N-FE	A	10.55	12.13	-
TG160-O-N-FE	A	8.92	10.26	-
TG160-D-V-FE	X	7.64	8.78	-
TG160-O-V-FE	A	10.04	11.55	-
TG160-D-S-FE	X	8.23	9.46	-
TG160-O-S-FE	X	9.00	10.34	-
Average		9.07	10.43	

Failure Mode A: Buckling of End Lattice

Failure Mode B: Buckling of Upper Bar

X: Welding Faulty (no count)

있고 나머지는 전부 중앙부 상부철선의 압축에 의한 좌굴로 파괴되었다. 그러나 TG160 시리즈는 모두 단부 래티스 철선의 좌굴로 파괴되었다. Tables 4 and 5는 실험결과를 정리하여 나타낸 것이며, 상·하부 철선과 래티스 철선의 용접부가 불량인 4개의 실험체는 평가에서 제외하였다.

4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 상부철선의 휨좌굴강도에 따른 유효좌굴길이 고찰

철선트러스의 상현재에 해당하는 상부철선에는 압축력이 작용하고, 하현재인 하부철선에는 인장력이 작용한다. 그러므로 상부철선에 압축력에 의한 좌굴이 발생하여 상부철선의 좌굴이 철선일체형 데크플레이트의 파괴를 좌우할 것으로 판단되어 유효좌굴길이를 산정하였다. 상부철선은 래티스에 의해 200 mm 간격으로 구속되어 있으나, Fig. 10(b)와 같이 파괴모드를 보면 좌굴길이가 래티스 간격보다 큰 것으로 확인되었다. 따라서 유효좌굴길이계수(K)가 양단힌지($K=1$)보다 큰 것으로 판단되며, 이러한 원인은 래티스 직경이 상부철선에 비해 작아서 충분히 구속하지 못했기 때문으로 판단된다.

Eqs. (1) and (2)는 중앙부 상부철선이 좌굴된 실험체를 대상으로 실험결과로부터 상부철선의 유효좌굴길이(KL)를 산정하는데 사용된 식이다. 실험을 통해 얻은 휨모멘트와 상부철선의 단면적, 압축축과 인장축 간의 거리 등을 대입하여 실험체에 작용하는 휨좌굴강도 F_{cr} 을 계산하고, 역으로 추정하여 유효좌굴길이(KL)를 산정하였다.

$$\frac{KL}{r} \geq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ 인 경우 } F_{cr} = 0.877F_e \quad (1)$$

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ 인 경우 } F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y \quad (2)$$

$\frac{KL}{r}$: 세장비

E : 탄성계수(MPa)

F_y : 항복강도(MPa)

F_{cr} : 휨좌굴강도(MPa)

F_e : 탄성좌굴강도(MPa), $F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$

Tables 4 and 5에 중앙부 상부철선의 좌굴에 의해 파괴된 실험체의 유효좌굴길이를 나타내었다. FE 시리즈 실험체와 FM 시리즈 실험체의 유효좌굴길이는 비슷한 것으로 나타났다. 또한 중공강판을 설치한 O 시리즈의 유효좌굴길이가 중공강판을 설치하지 않은 D 시리즈의 유효좌굴길이보다 약 9.0% 작은 것으로 나타났다. 이는 중공강판 데크플레이트의 경우 중공강판에 의해 상부철선이 부담하는 압축력이 작아지기 때문인 것으로 판단된다.

4.2 래티스 절단부 위치와 전단연결재의 관계에 대한 고찰

Fig. 11과 같이 각 실험체를 전단연결재가 없는 N 시리즈, 직봉을 설치한 V 시리즈, 신형상 전단연결재를 설치한 S 시리즈로 나누어 래티스 절단부의 위치에 대해 최대하중을 비교하였다. N 시리즈의 경우 래티스 절단부가 강재보 상부에 위치한 FE 시리즈 실험체가 래티스 절단부가 상부철선에 위치한 FM 시리즈 실험체보다 약 21.5%, V 시리즈의 경우 약 9.3% 큰 것으로 나타났다. 그러나 S 시리즈의 경우 FE 시리즈 실험체가 FM 시리즈 실험체보다 약 5.4% 작은 것으로 나타났다. 그러므로 신형상 전단연결재를 설치한 경우 래티스 절단부의 위치에 크게 영향을 받지 않으며, 이러한 결과는 실험에서 나타날 수 있는 오차로 판단된다.

FM 시리즈 실험체는 일반적인 철선일체형 데크플레이트이며, 래티스 절단부가 상부철선과 용접되어 있어서 직봉 및 신형상 전단연결재 등이 설치되지 않으면 초기에 단부 전단력을 아연도 강판이 부담하고, 아연도 강판의 좌굴과 함께 하부철선이 지점에 닿으면서 전단력에 저항하는 파괴양상을 갖는다.

래티스 절단부가 강재보 상부에 위치하고 전단연결재가 없는 N-FE 시리즈와 래티스 절단부가 상부철선에 위치하고 직봉을 설치한 V-FM 시리즈를 비교하여 보면, V-FM 시리즈가 N-FE 시리즈에 비해 최대하중이 약 1.1% 크다. 이는 매우 근소한 차이로, 래티스 절단부가 상부철선에 위치하는 경우 구조적으로 불안정한 상태이나 직봉이 설치되면 부가적으로 시

Fig. 11. Maximum Load of the Test Specimens.

공하중에 대한 전단력에 저항하며 안전성을 확보할 수 있다는 것을 나타낸다. 또한 래티스 절단부를 강재보 상부에 위치시킬 경우 연결재가 없는 실험체도 연결재가 있는 실험체와 비슷한 내력, 강성 등을 발휘하나, 데크플레이트의 탈락 및 낙하를 방지하기 위해서 연결재를 설치해야만 한다. 특히 신형상 전단연결재는 강재보 상부플랜지와 용접에 용이한 형상을 가지고 있으며, 상부철선과의 용접이 직봉보다 더 안정적이라고 판단된다.

4.3 중공강판의 효과에 대한 고찰

Fig. 6과 같이 대부분의 실험체가 시공하중 시 허용처짐을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 그러므로 경간이 3,900 mm인 철선일체형 데크플레이트의 경우, 치울림(camber) 또는 등바리 설치가 필요하다고 판단되며, $L/200$ 로 치울림을 하면 처짐조건을 만족시킬 수 있는 것으로 나타났다. 중공강판의 효과에 대하여 검증하기 위해 허용처짐(20 mm)에 치울림

Table 6. Experimental Results of D and O Series

Test Specimens (D Series)	Ratio	Test Specimens (O Series)	Ratio
TG120-D-N-FM	0.63	TG120-O-N-FM	0.88
TG120-D-N-FE	1.00	TG120-O-N-FE	1.26
TG120-D-V-FM	X-1	TG120-O-V-FM	1.32
TG120-D-V-FE	1.03	TG120-O-V-FE	1.46
TG120-D-S-FM	0.90	TG120-O-S-FM	1.48
TG120-D-S-FE	1.06	TG120-O-S-FE	1.45
TG160-D-N-FM	X-2	TG160-O-N-FM	X-2
TG160-D-N-FE	1.54	TG160-O-N-FE	1.43
TG160-D-V-FM	1.47	TG160-O-V-FM	1.78
TG160-D-V-FE	X-1	TG160-O-V-FE	2.10
TG160-D-S-FM	1.33	TG160-O-S-FM	2.24
TG160-D-S-FE	X-1	TG160-O-S-FE	X-1
Average	1.12	Average	1.54

Ratio: Permitted Deflection/Deflection of Construction Load

X-1 : Welding Faulty (no count)

X-2 : When the maximum load is smaller than the construction load (no count)

(20 mm)를 더하여 처짐을 평가하였다.

Table 6은 각 실험체의 중공강판 설치 유·무 대하여 처짐제한(40 mm)과 시공하중 시 처짐에 대한 비를 나타낸 것으로, 1.0 이상이면 안전하다고 판단된다. Table 6에서 처짐 비는 중공강판을 설치한 O 시리즈 실험체가 중공강판을 설치하지 않은 D 시리즈 실험체에 비해 약 27.3% 큰 것으로 나타났으며, 이것은 중공강판 데크플레이트의 경우, 중공강판을 설치함으로써 중공체 부피만큼 타설 콘크리트양이 절감되어 자중이 작아지기 때문으로 판단된다.

D 시리즈 실험체와 O 시리즈 실험체 모두 평균이 1.0 이상이지만, D 시리즈 중 래티스 절단부가 상부철선에 위치한 실험체는 대부분 처짐 비가 1보다 작거나 최대하중이 시공하중에 미치지 못하는 등 불안한 양상을 보였다. 그러나 O 시리즈 실험체의 경우, 전단연결재가 없고 래티스 절단부가 상부철선에 위치한 TG120-O-N-FM을 제외하고 모두 안전한 것으로 나타났다.

4.4 트러스 높이의 영향에 대한 고찰

철선일체형 데크플레이트의 트러스 높이에 따른 최대휨모멘트의 분포는 Fig. 12와 같다. FM 시리즈에서 최대휨모멘트는 평균적으로 트러스의 높이가 160 mm인 실험체가 트러스의 높이가 120 mm인 실험체보다 약 1.5% 큰 것으로 나타났고, FE 시리즈의 경우 약 13.3% 큰 것으로 나타났다. 이론적으로 트러스의 높이가 증가하면 상·하부 철선간의 거리가 길어지므로 우력모멘트가 증가한다. 그러나 본 연구에서 실험한 데크플레이트의 경우 래티스의 직경이 5 mm로 상·하부 철선

Fig. 12. Bending Moment of the Test Specimens.

을 확실하게 지지하지 못하여 우력모멘트에 의해 휨모멘트가 증가하지 않은 것으로 판단된다.

FM 시리즈는 트러스의 높이가 증가했을 때 대부분의 실험체에서 휨모멘트가 비례적으로 증가하지 않았으나, FE 시리즈는 트러스의 높이와 비례하여 실험체의 휨모멘트가 상승하였다. 이러한 결과는 FM 시리즈의 경우 래티스 단부가 상부 철선에 있으므로 철선트러스가 트러스작용을 하지 못하였기 때문으로 판단된다. 그러나 FE 시리즈는 래티스의 절단부가 강재보 상부에 거치되면서 안정적인 철선트러스의 거동을 확보하게 되는 것으로 확인되었다. 그러므로 트러스의 높이가 큰 TG160 시리즈의 경우, 래티스 철선이 강재보 상부에 거치되도록 제작되어야 하며, 래티스 철선이 좌굴되지 않도록 직경을 증가시킬 필요가 있다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 시공하중으로 발생하는 철선일체형 데크플레이트의 안전성을 평가하기 위해 래티스 절단부의 위치와 직봉 및 신형상 전단연결재의 설치 유·무 등의 영향을 실험을 통해 검토하였다. 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 래티스 절단부가 강재보 상부에 위치한 FE 시리즈 실험체가 래티스 절단부가 상부철선에 위치한 FM 시리즈 실험체에 비해 최대내력 및 강성이 상당히 우수한 것으로 나타났다. 이는 래티스 절단부가 강재보 상부에 위치하면, 전단력을 아연도 강판과 철선트러스가 분담하여 효

과적으로 저항하기 때문으로 판단된다.

- 2) 철선트러스의 경우 상부철선은 래티스에 의해 200 mm 간격으로 구속되어 있으나, 실험결과에 따른 유효좌굴길이는 래티스 간격보다 큰 것으로 확인되었다. 이는 래티스 직경이 상부철선에 비해 작아서 충분히 구속하지 못했기 때문으로 판단된다.
- 3) 래티스 절단부가 상부철선에 위치하는 경우 직봉 및 신형상 전단연결재가 설치되면 래티스 절단부가 강재보 상부에 위치하는 데크플레이트와 비교하여 최대하중에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 직봉 및 신형상 전단연결재가 시공하중에 대한 전단력에 저항하며 안전성을 확보할 수 있기 때문으로 판단된다.
- 4) 신형상 전단연결재를 설치한 경우 최대내력 및 강성이 래티스 절단부의 위치에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 또한 신형상 전단연결재의 형상적인 특징으로 인해 상부철선과의 용접부가 탈락할 위험이 거의 없으므로 철선일체형 데크플레이트에 신형상 전단연결재를 적용하는 것이 직봉을 적용하는 것보다 효과적이라고 판단된다.
- 5) 트러스의 높이가 큰 TG160 시리즈의 경우, 래티스의 직경이 작아 상·하부 철선을 확실하게 지지하지 못하여 우력모멘트에 의해 휨모멘트가 증가하지 않았다. 그러므로 래티스 철선이 강재보 상부에 거치되도록 제작하여야 하며, 래티스 철선이 좌굴되지 않도록 직경을 증가시켜 구조적 안전성을 향상시킬 필요가 있다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학연협력 첫걸음기술개발사업(C0146916)의 연구수행으로 인한 결과물임.

References

- Kim, S.B, Hwangbo, C, Lee, T.G, Cho, H.S., and Kim, S.S. (2014) The Shear Strength Evaluation of the New Shear Connector by Push-out Test, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 1, pp. 1-10.
- Kim, S.B, Kang, M.J, Hwangbo, C., and Kim, S.S. (2014) Performance Evaluation for Steel Wire-Integrated Deck Plate with New-Type Shear Connector, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 3, pp. 51-61.
- Kim, S.B, Park, D.S., and Kim, S.S. (2011) A Study on the Development of New-shaped Shear Connector with Vertical Bars of Deck Plate, *Architectural Institute of Korea*, Vol. 27, No. 8, pp. 47-54.
- Kim, S.B, Park, D.S., and Seo, D.G. (2011) A Study on the Ways to Use Vertical Bars of Deck Plate as Shear Connectors, *Proceedings of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 27, No. 4,

- pp. 87-96.
- Kim, S.S, Park, D.S., and Boo, Y.S. (2012) Flexural Capacity and CO₂ Reduction Evaluation for Composite Beam with Weight Reducing Steel Wire-Integrated Void Deck Plate slab, *Journal of Korea Society of Steel Construction*, Vol. 24, No. 3, pp. 313-323.
- Kim, S.S. and Ryu, D.S. (2011) An Experimental Study on the Vibration and Fire Resistance of Steel Void Deck Plate Slab for Omega-steel plate, *Journal of Korea Society of Steel Construction*, Vol. 23, No. 6, pp. 705-713.
- Kim, S.S, Ryu, D.S., and Boo, Y.S. (2012) Structural Performance Evaluation on Flexural and Shear Capacity for Weight Reducing Steel Wire-Integrated Void Deck Plate Slab, *Journal of Korea Society of Steel Construction*, Vol. 24, No. 4, pp. 411-422.
- Lee, Y.J. (2010) Test research of Structural Safety for Steel Wire-Integrated Deck Plate System, Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 14, No. 6, pp. 220-228.
- Lee, S.K. and Lee, Y.J. (2007) An Evaluation of Structural Safety for Steel Wire-Integrated Deck Plate System, *Proceedings of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 23, No. 11, pp. 43-50.
- Oh, S.H, Kim, Y.J. and Yoon, M.H. (2008) Test on the Structural Performance of the TOX Deck plate - Evaluation of Structural Safety during Construction Stage, *Journal of Korea Society of Steel Construction*, Vol. 20, No. 6, pp. 701-709.
- Yang, K.H, Kim, D.J, Lee, E.T., and Chung, H.S. (2004) Evaluation of Effective Moment of Inertia and Allowable Span-Depth Ratio for Controlling Deflection in Composite Slabs Reinforced with Steel Decking, Architectural Institute of Korea, Vol. 20, No. 5, pp. 19-26.
- Structural Steel Design, Korean Society of Steel Construction.

Received ■ June 25, 2014

Revised ■ June 27, 2014

Accepted ■ August 27, 2014