

U-플랜지 트러스 복합보를 사용한 근린생활시설의 경제성 분석

Economic Analysis of Neighborhood Facility using the U-flanged Truss Hybrid Beam

오 명 호*
Oh, Myoung Ho

박 성 진**
Park, Sung Jin

김 영 호***
Kim, Young Ho

Abstract

In this study, In order to apply the U-flanged truss hybrid beam to the actual construction site, the structural design of the basic module of the middle and low-rise neighborhood living facilities was performed according to the Korea Design Standard, and the construction cost and construction period were compared with the traditional reinforced concrete structure system. As a result of analyzing the construction cost for the basic module, if the U-flanged truss hybrid beam and D-Deck slab system are used, the construction cost can be reduced by 86% compared to the traditional reinforced concrete structure system. In addition, as a result of analyzing the construction period for a floor area of 1,000m², using the U-flanged truss hybrid beam and D-Deck slab system can save 2.0days in construction period compared to the traditional reinforced concrete structure system. Therefore, the U-flange truss hybrid beam can secure sufficient economic feasibility compared to the existing reinforced concrete method in terms of cost reduction and shortening of construction period.

Keywords : U-flanged Truss Hybrid Beam, Construction Cost, Construction Period, D-Deck Slab System

1. 서론

건축물에서 일반적으로 사용되는 철근 콘크리트 보 또는 열간압연 H형강을 이용한 철골 보가 바닥구조시스템의 구조 성능, 시공성, 경제성을 향상시키기 위해 합성 구조 시스템으로 변화하고 있다. 수평부재인 보의 구조적 성능을 효율적으로 향상시켜 장스팬과 층고 절감이 가능하도록 하거나 공기 단축과 시공성 개선을 통하여 공사비를 절감하려는 연구가 지속적으로 수행되고 있으며, 건설현장에도 활발히 적용되고 있다¹⁾.

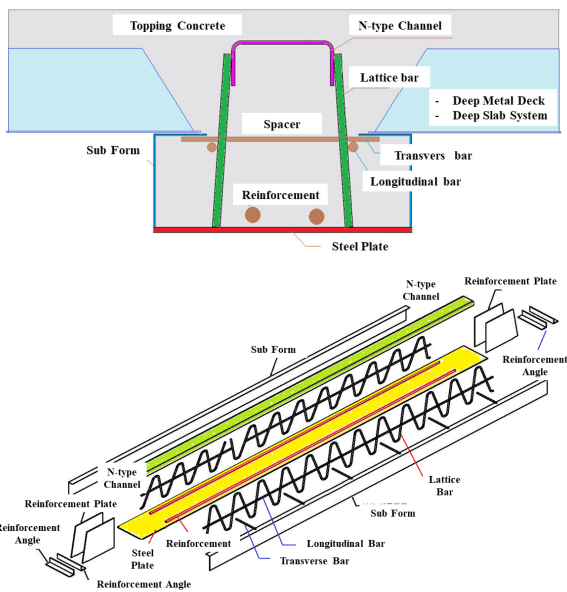
슬래브 단변 방향의 경간이 6~8m이고 장변 방향의 경간이 12~15m인 바닥 모듈 시스템의 효율적인 시공을 위해서 기존의 H형강 합성보, 매립형 H형강 합성보, 층이 깊은 딥 데크(Deep deck, 200mm 이상의 깊이를 갖는 데크) 등을 적용할 경우 강재보의 상부 플랜지에 데크를 설치하게 되므로 층고가 지나치게 증가한다. 이를 방지하기 위해서 철선 일체형 트러스 데크의 적용을 고려할 수 있으나, 이 경우에는 적정 경간이 4m 이내이므로 작은 보의 추가적인 설치가 필요하다. 또한 딥 데크와 노출형 U형 합성보를 적용하면 합성보의 강재량 증가로 인해 경제성에 문제가 발생한다²⁾.

이러한 최근의 추세에 맞는 상업시설이나 중·저층 규모의 철근 콘크리트 건축물 등에서 추가적인 층고의 증가 없이 강도와 강성이 확보되면서 현장 설치 조립 등과 같은 노무비를 획기적으로 절감할 수 있는 슬립 플로어 시스템 개념의 새로운 복합보 개발이 필요하다³⁾.

기 수행된 연구에서 상부에 U형상을 가진 플랜지와 강판 두께 8mm 이상으로 된 하부 강판을 일정한 패턴

* 정희원, 국립목포대학교 건축공학과 교수
Member, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Mokpo National University
** 정희원, 국립목포대학교 건축공학과 조교수
Member, Assistant Professor, Dept. of Architectural Engineering, Mokpo National University
*** 정희원, 교신저자, 국립목포대학교 건축공학과 조교수
Member, Corresponding Author, Assistant Professor, Dept. of Architectural Engineering, Mokpo National University

으로 절곡한 측면 래티스를 이용하여 상부 U형상 플랜지의 좌우측에 하부 강판과 서로 용접 접합한 U-플랜지 트러스 보 및 U-플랜지 트러스 복합보를 개발하여 구조적 우수성을 검증하였다¹⁾²⁾³⁾⁴⁾. 또한 U-플랜지 트러스 보 및 U-플랜지 트러스 복합보의 취약 지점인 단부를 수직 강판을 이용하여 보강한 상세를 개발하여 시공단계 및 사용단계에서의 구조적 효과에 대해 실험적으로 검증하였다³⁾⁴⁾.



〈Fig. 1〉 U-flanged Truss Hybrid beam³⁾⁴⁾

U-플랜지 트러스 복합보를 실제 건설 현장에 적용하기 위해서는 타 구조 시스템과의 물량 및 경제성 분석을 통해 구조적 효율성을 검토할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 중·저층 규모의 근린생활시설의 기본 모듈(8m×12m)에 대해 구조 설계를 현행 국내기준에 따라 수행하고, 철근 콘크리트 시스템과 공사비 및 공기 비교 분석을 수행하여 U-플랜지 트러스 복합보의 우수성을 검증하고자 한다.

2. 설계 대상 건물

2.1 기본 모듈 선정

최근 완공된 광주전남혁신도시(나주)의 근린생활시설 4곳의 구조 계산서를 입수하여 구조시스템, 기본 모듈, 주요 부재의 크기 등을 분석하여 〈Table 1〉에 나타내었다. 〈Table 1〉에서 보는 바와 같이, 근린생활시설의 규모는 6층 이내이고, 철근 콘크리트 구조를 사용하고 기본 모듈은 8.4m×13.5m를 가장 많이 사용하고 있다.

이러한 기본적인 사항을 바탕으로 하여 본 연구에서는 광주에 위치한 근린생활시설로 층수는 4층이고, 기본 모듈을 8.0m×12m로 선정하였고, U-플랜지 트러스 복합보 구조시스템과 철근 콘크리트 구조시스템과의 비교를 수행하였다. 비교 대상 구조시스템의 주요 내용은 다음과 같으며, 대안별 구조 모델을 〈Fig. 2〉에 나타내었다.

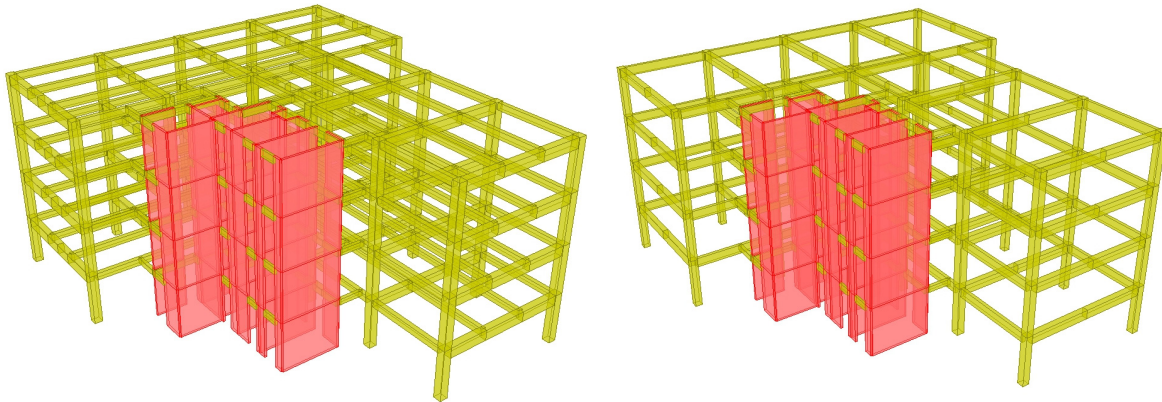
- ① ALT 1 : R.C. 전단벽 + R.C 보 + R.C. 슬래브
- ② ALT 2 : R.C. 전단벽 + U-플랜지 트러스 복합보 + D-데크 슬래브

U-플랜지 트러스 복합보와 같이 사용된 D-데크 슬래브는 단위 폭(600mm)내 두 개의 골이 존재하는 콘크리트 거푸집(폼)용 데크 플레이트로 상부 및 하부 철근이 철선으로 일체화된 철선트러스를 포함한 슬래브 시스템이다.

ALT 1에서 일반 철근콘크리트 슬래브를 사용하여 작은 보를 2개 사용하지만, ALT 2에서는 이러한 작은 보를 삭제하고 U-플랜지 트러스 복합보와 장스팬이 가능한 D-데크 슬래브를 사용한 것이 가장 큰 차이점이다. 구조해석 및 설계에 사용된 콘크리트 강도(f_{ck})는 24MPa, 철근 강도는 D13 이하에서는 SD500($f_y = 500\text{MPa}$: SHD로 표기), D16 이상에서는 SD600($f_y = 600\text{MPa}$: UHD로 표기)를 사용하였다.

〈Table 1〉 Basic Module of Existing Neighborhood Facilities

Building Name	Location	Story	Structure Type	Basic Module	Beam Size
DO Plaza	Naju	3F/B1	R.C	8.4m×13m	450mm×800mm
FO D&H	Naju	4F/B1	R.C	8.4m×15m	500mm×900mm
KO Plaza	Naju	5F/B1	R.C	8.4m×13.5m	500mm×900mm
DO Square Garden	Naju	6F	R.C	8.4m×13.5m	500mm×900mm



(a) Structural Model of ALT 1

(b) Structural Model of ALT 2

〈Fig. 2〉 Structural Model

〈Table 2〉 Design Load of ALT 1 and ALT 2

(a) ALT 1

Load	Roof		2F~3F	
	Type	Load(kN/m ²)	Type	Load(kN/m ²)
Dead Load(D.L.)	Plain Concrete(t=100mm)	2.30	Finishing(t=100mm)	1.00
	Concrete Slab(t=150mm)	3.60	Concrete Slab(t=150mm)	3.60
	Ceiling	0.30	Ceiling	0.30
	Sum	6.20	Sum	4.90
Live Load(L.L.)	-	3.00	-	4.00
Service Load (1.0D.L.+1.0L.L.)		9.20	8.90	
Design Load (1.2D.L.+1.6L.L.)		12.24	12.28	

(b) ALT 2

Load	Roof		2F~3F	
	Type	Load(kN/m ²)	Type	Load(kN/m ²)
Dead Load(D.L.)	Plain Concrete(t=100mm)	2.30	Finishing(t=50mm)	1.00
	Topping Concrete(t=110mm)	2.64	Slab Self Weight	2.64
	Joist Self Weight	1.92	Joist Self Weight	1.92
	Deck Self Weight	0.20	Deck Self Weight	0.20
	Ceiling	0.30	Ceiling	0.30
	Sum	7.36	Sum	6.06
Live Load(L.L.)	-	3.00	-	4.00
Service Load (1.0D.L.+1.0L.L.)		10.36	10.06	
Design Load (1.2D.L.+1.6L.L.)		13.63	13.67	

2.2 설계하중

2.2.1 중력하중

기본 모델에 대해서 분석 대상 구조시스템별로 설계하중을 〈Table 2〉에 나타내었다. ALT 1의 지붕층 설계하중은 12.24kN/m²이고, 2층 이상 근린생활시설의 설계하중은 12.28kN/m²이다. 또한 ALT 2의 지붕층 설계하중은 13.63kN/m²이고, 2층 이상 근린생활시설의 설계하

중은 13.67kN/m²로 ALT 1에 비해 다소 크게 산정되었다.

또한 공통으로 적용되는 설계하중으로 엘리베이터 홀에는 고정하중을 4.90kN/m², 활하중을 5.00kN/m²으로 하였고, 화장실에는 고정하중을 6.20kN/m², 활하중을 2.00kN/m²으로 하였다. 또한 계단참과 계단의 설계하중은 각각 13.52kN/m², 16.67kN/m²으로 산정하였다.

2.2.2 풍하중

비교 대상 건물에 적용되는 설계풍하중은 건축구조기 준설계하중(KDS 41 10 15 : 2019)⁵⁾에 따라 식(1)~(2) 를 이용하여 적용하였으며, 설계풍하중을 산정하기 위한 기본 자료는 <Table 3>에 나타내었다.

<Table 3> Parameter for Design Wind Load

Parameter	Value
Location	Gwangju City
Basic Wind Speed	26m/s
Terrain Category	B
Important Factor(I_w)	0.95(II)
K_z	0.81 / $0.45z^{0.22}$

$$W_D = p_F A \quad (1)$$

$$p_F = G_D \times q_H \times (C_{pe1} - C_{pe2}) \quad (2)$$

여기서, W_D : 주골조설계용 풍방향 풍하중(N), p_F : 주골조설계용 설계풍압(N/m²), A : 지상높이 z 에서 풍 향에 수직한 면에 투영된 건축물의 유효수압면적(m²), q_H : 기준높이 H 에 대한 설계속도압(N/m²), G_D : 풍 방향가스트영향계수, C_{pe1} : 풍상벽의 외압계수, C_{pe2} : 풍하벽의 외압계수

2.2.3 지진하중

설계지진하중은 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00 : 2019)⁶⁾에 의해 산정하였으며, 설계지진하중을 산정하 기 위한 기본적인 내용은 <Table 4>에 나타내었다. 지진 력저항시스템은 건물 골조 시스템(철근콘크리트 보통전 단벽)을 사용하였으며, 반응수정계수(R)는 5.0, 시스템초 과강도계수(Ω_o)는 2.5, 변위증폭계수(C_d)는 4.5이다.

<Table 5> Results of Eigenvalue Analysis

	ALT 1			ALT 2		
	1 st Mode	2 nd Mode	3 rd Mode	1 st Mode	2 nd Mode	3 rd Mode
Natural Period (sec)	0.6651	0.4121	0.2676	0.6777	0.4163	0.2692
Mode Shape	ROTN-Z	TRAN-Y	TRAN-X	ROTN-Z	TRAN-Y	TRAN-X

<Table 4> Parameter for Design Earthquake Load

Parameter	Value
Seismic Zone(Z)	Gwangju City(0.11g)
Effective Ground Acceleration(S)	0.176g
Ground Type	S_4
Important Factor(I_E)	II(1.0)
S_{DS}	0.4247
S_{D1}	0.1922
Seismic Design Category	C

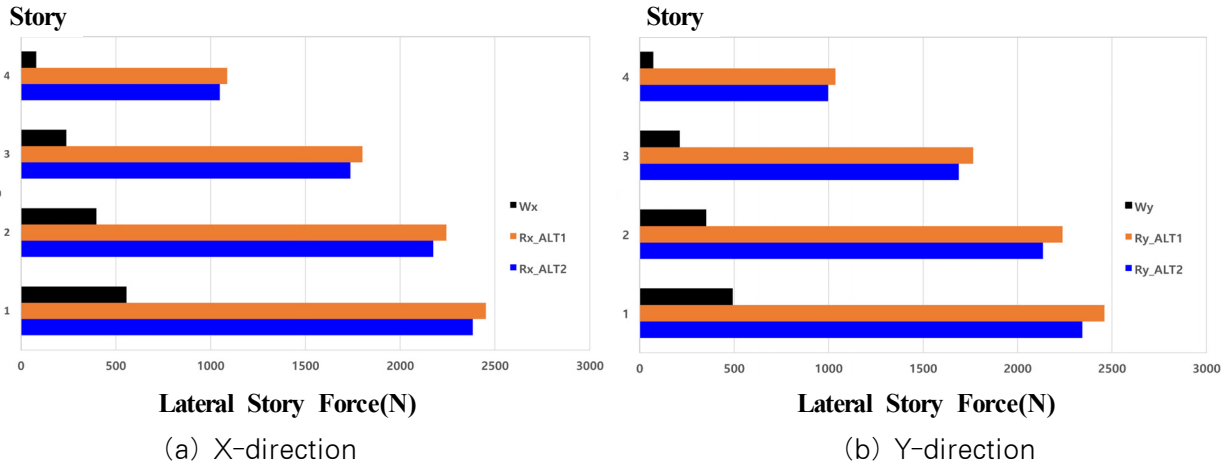
3. 구조 설계 및 경제성 분석

3.1 구조 해석 결과

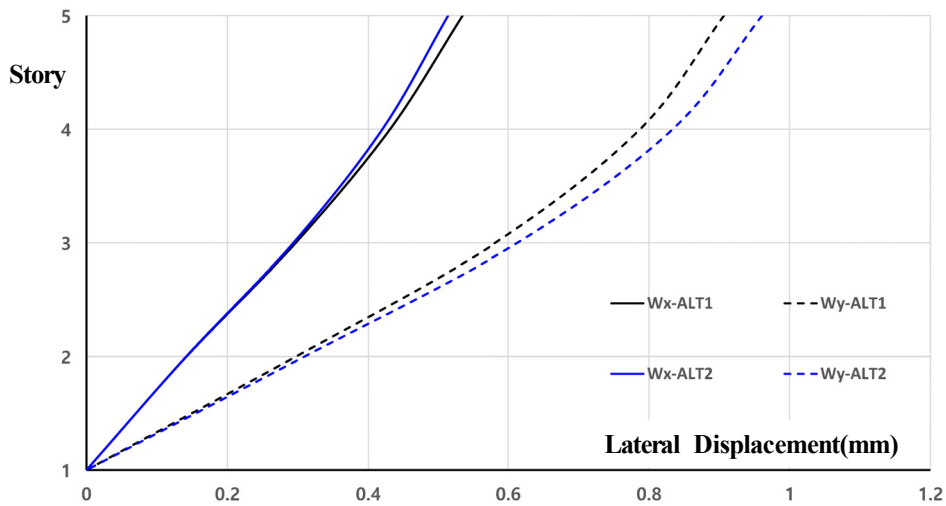
구조 해석은 일반적으로 실무에서 사용하고 있는 구 조해석프로그램(MIDAS)을 사용하여 수행하였다. 구조 해석프로그램에 사용된 구조 모델링을 구조시스템별로 <Fig. 2>에 나타내었고, <Table 5>에 고유치 해석 결과 를 나타내었다. 고유치 해석 결과, ALT 2가 ALT 1에 비해 주기가 다소 증가하지만 설계에 큰 영향을 미치는 범위는 아닌 것으로 판단된다. 또한 편심 코어로 인하여 1차 모드에서 비틀림이 발생하는 것으로 평가되었다.

<Fig. 3>에 구조 시스템별 풍하중 및 지진하중에 의 한 층전단력을 나타내었다. 저층 구조물이므로 지진하중 에 비해 풍하중이 작게 산정되었고, 지진하중의 경우 ALT 1, ALT 2는 거의 동일한 수준으로 평가되었다.

풍하중에 의한 최상층 변위 검토 결과를 <Fig. 4>에 나타내었다. ALT 1 및 ALT 2 모두 허용 변위 36mm를 만족하는 것으로 검토되었다. 또한 지진하중에 의한 층 간변위비 검토 결과, ALT 1에서는 최대 0.0016, ALT 2 에서는 최대 0.0014로 설계되어 허용층간변위비 0.02에 만족하게 설계되었다.



〈Fig. 3〉 Lateral Story Force of ALT 1 and ALT 2



〈Fig. 4〉 Lateral Displacement of ALT 1 and ALT 2

3.2 구조 설계 결과

ALT 1과 ALT 2에 대한 구조설계결과를 〈Table 5〉에 정리하여 나타내었다. ALT 1은 일반적인 철근콘크리트 슬래브, 철근 콘크리트 보 및 철근 콘크리트 기둥으로 설계하였으며, ALT 2는 D-Deck 슬래브, U-플랜지 트러스 복합보로 설계하였다.

D-Deck는 기존의 평평한 데크플레이트와 달리, 데크를 골형으로 접어 단면의 강성을 높인 것으로 양쪽으로 데크로 볼록 튀어나오고 그 사이에 역삼각형의 래티스 거더를 설치하는 형태이다. 강성이 높아지기 때문에 자연히 데크의 처짐과 변형을 방지할 수 있고, 데크를 지지하는 보의 수를 줄일 수 있다. 일반적으로 데크가 하

부의 보의 지지 없이 4m 길이까지 설치가 가능하다면, D-Deck는 6~8m 까지도 중간 지지대 없이 설치가능하다⁷⁾.

모든 합성부재의 설계는 국내건축구조기준에 맞추어 제작업체와 공동으로 설계하여 실제 현장에 사용가능한 부재 크기로 결정하였다. 〈Fig. 5〉에 구조설계된 U-플랜지 트러스 합성보와 D-Deck 슬래브 시스템의 단면을 나타내었다.

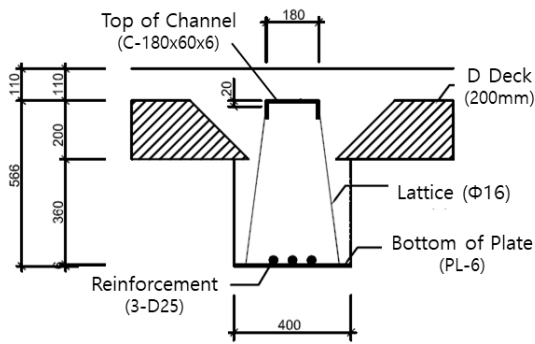
<Table 5> Results of Structural Design

(a) ALT 1

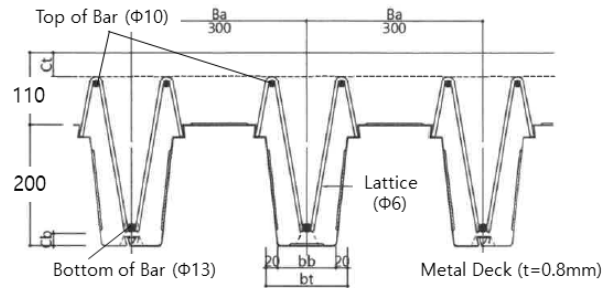
R.C. Slab		R.C. Girder(G1)			R.C Girder(G2)			
Thk.(mm).		150	Size	600x900		Size	400x600	
Reinf.	Short Span	HD10@300	Ext. End	Top	14-UHD19	Ext. End	Top	5-UHD19
				Bottom	5-UHD1		Bottom	4-UHD19
				Stirrup	HD13@125		Stirrup	HD10@125
	Long Span	HD10@300	Center	Top	5-UHD19	Center	Top	4-UHD19
				Bottom	10-UHD19		Bottom	4-UHD19
				Stirrup	HD13@125		Stirrup	HD10@250

(b) ALT 2

D-Deck Slab		UT Beam(G1)		UT Beam(G2)		
Thk.(mm)		310	Size	400x676	Size	300x526
DDS1	D Deck	t=8	Bottom	PL-400x6	Bottom	PL-300x6
	topping	110	Top	C-180x60x6	Top	C-180x60x4
	Rib(h)	200	Reinf.	3-UHD25	Reinf.	2-UHD25
Top bar	SHD10@150		Lattice	HD16@400	Lattice	HD16@400
Bottom bar	SHD13@300					



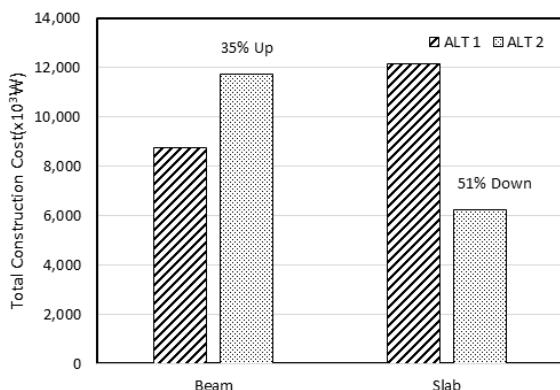
(a) U-flanged Hybrid Truss Beam



(b) D-Deck Slab

<Fig. 5> Section of Composite Member

3.3 공사비 및 공기 분석 결과



<Fig. 6> Comparison of Total Construction Cost

기본 모듈(8.0mx12m)에 대한 공사비 내역을 제작업체와 공동으로 분석하여 <Table 6>에 나타내었다. <Table 6>에서 보는 바와 같이, 기본 모듈에 대한 ALT 1의 공사비는 20,873,168원이며 ALT 2의 공사비는 17,996,012원으로 ALT 2의 공사비가 ALT 1의 공사비의 약 86%로 합성 부재를 사용하면 총 공사비가 절감되는 것으로 분석되었다.

주요 부재별 공사비 비교를 <Fig. 6>에 나타내었다. <Fig. 6>에서 나타낸 바와 같이 보에서의 총 공사비는 ALT 2의 경우, ALT 1에 비해 약 35% 상승하지만, 슬래브에서의 공사비는 ALT 2의 공사비가 ALT 1에 비해 약 51% 절감하는 효과를 나타내었다. 이는 주로 ALT 2에서는 작은 보를 생략하고 장스팬이 가능한 합성 슬래

<Table. 7> Construction Period of ALT 1 and ALT 2

(a) Construction Period of ALT 1

Reinforced Concrete Slab (Two Way Slab + Girder/Beam System)	Working day (Applied Slab Area 1,000㎡)								Remarks (6.5Days)	
	1	2	3	4	5	6	7	8		
① From Carry-in & Lifting (Slab, Girder)	■									0.5Day
② Install Supports & Form with Girder/Beam	■	■								1.0Day
③ Install Supports & Form with Slab		■	■	■	■					2.5Days
④ Manufacturing & Fabricate of Reinforcement				■	■	■				1.5Days
⑤ Placing of Concrete						■				0.5Day
⑥ Removal Form panels & Supports							■	■		1.0Day

(b) Construction Period of ALT 2

DDS1 (One Way D Deck Slab + UT System)	Working day (Applied Slab Area 1,000㎡)								Remarks (4.5Days)	
	1	2	3	4	5	6	7	8		
① Carry-in & Lifting for Deck/Girder	■									0.5Day
② Install Deck Plate & Girder	■	■	■							2.5Days
③ Manufacturing & Fabricate of Reinforcement				■	■					1.0Day
④ Placing of Concrete					■					0.5Day

브를 사용한 결과로 판단된다.

또한 ALT 1과 ALT 2의 공정 효과를 분석하고자 기본 모듈을 대상으로 동일 1개 층 바닥판 면적 1,000㎡ 적용하여 공정 순서로 작업일수를 산출하여 <Table. 7>에 나타내었다. ALT 1은 작은 보가 있는 평면 계획이며 바닥판의 철근 가공 및 조립 설치하는 전통적 공법이고, ALT 2는 공장 제작하여 현장 설치하는 공법이다. 여기서 슬래브용 배력근이나 보강근의 철근 설치 시간은 동일한 조건으로 산출하였다.

<Table. 7>에서 ALT 1과 ALT 2의 공사기간을 비교하면, ALT 1의 경우 6.5일이 소요되지만, ALT 2의 경우 장스팬 골형 D-Deck 슬래브의 경우는 고정하중과 작업하중을 허용 처짐 20mm이하로 만족하는 무동바리 조건으로 적용할 수 있기에 작은 보가 불필요하게 되어 4.5일이 소요되는 것으로 분석되었다. 따라서 ALT 2(U-플랜지 트러스 복합보 + D-Deck 슬래브) 공법은 전통적인 현장타설공법과 비교하여 작은 보의 삭제와 1-way 슬래브 D-Deck 설치로 인한 공기 절감 효과로 인하여 2.0일 절감이 가능한 것으로 분석되었다. U-플랜지 트러스 복합보는 공사비 절감과 공기단축효과 측면에서 기존의 철근콘크리트 공법과 비교할 때 충분한 경제성을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 기본 모듈에 대해서 합성보의 직접 공사비를 바탕으로 경제성을 분석하였다. 그러나 U-플랜지 트러스 합성보를 실제 현장에 적용하기 위해서는 보-기둥 접합부 및 합성보와 합성 슬래브의 접합 등 다양한 실험 연구가 추가로 진행되어야 하며 실증 연구를 통해 직접공사비 뿐만 아니라 간접공사비를 포함한 전체적인 합성구조의 경제성을 분석하는 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 U-플랜지 트러스 복합보를 실제 건설 현장에 적용하기 위해서 중·저층 근린생활시설의 기본 모듈에 대해 구조 설계를 현행 국내기준에 따라 수행하고 전통적인 철근콘크리트 구조시스템과 공사비 및 공사기간 비교를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기본 모듈에 대해 공사비를 분석한 결과, U-플랜지 트러스 복합보와 D-Deck 슬래브 시스템을 사용하면, 전통적인 철근콘크리트 구조시스템에 비해 공사비가 86%로 절감할 수 있다. 이는 U-플랜지 트러스 복합보를 사용하면 작은 보를 생략하고 장스팬이 가능한 합성

슬래브를 사용할 수 있기 때문에 판단된다.

(2) 바닥면적 1,000m²에 대하여 공사기간을 분석한 결과, U-플랜지 트러스 복합보와 D-Deck 슬래브 시스템을 사용하면 전통적인 철근콘크리트 구조시스템에 비해 공기가 2.0일 절감이 가능하다.

(3) U-플랜지 트러스 복합보는 공사비 절감과 공기단축효과 측면에서 기존의 철근콘크리트 공법과 비교할 때 충분한 경제성을 확보할 수 있다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No.2020R1F1A1048488).

References

1. Oh, M.H., Kim, Y.H., Kang, J.Y. and Kim, M.H. "Experimental Study on the Structural Capacity of the U-Flanged Truss Steel Beam", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.18, No.4, pp.113-121, 2018.
2. Oh, M.H., Kim, Y.H., and Kim, M.H. "Experimental Study on the Flexural Capacity of the U-Flanged Truss Hybrid Beam", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.18, No.4, pp.123-130, 2018.
3. Kim, Y.H., Park, S.J., and Oh, M.H. "Experimental Study on the Shear Capacity of the U-Flanged Truss Hybrid Beam with Reinforced End Zone", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.21, No.1, pp.71-78, 2021
4. Oh, M.H., Park, S.J., and Kim, Y.H. "Experimental Study on the Flexural Capacity of the U-Flanged Truss Hybrid Beam according to Reinforcement Amounts", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.21, No.2, pp.33-40, 2021
5. MOLIT, "Korea Design Standard(KDS 41 10 : 2019)", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019
6. MOLIT, "Korea Design Standard(KDS 41 17 10 : 2019)", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019
7. Heo, I.W., Han, S.J., Choi, S.H., Kim, K.S. and Kim, S.B. "Experimental Study on Structural Behavior of Double Ribbed Deep-Deck Plate under Construction Loads", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.23, No.7, pp.49-57, 2019

- Received : August 11, 2021
- Revised : August 24, 2021
- Accepted : August 24, 2021