

테이블형 다단 드롭 시스템을 이용한 저소음 보-슬래브 거푸집의 구성부재 성능 및 현장적용에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Performance and Field Application of Low Noise Beam-slab Formwork using Table Type Multi-stage Drop System

류 화 성¹

정 우 진²

김 득 모¹

송 성 용³

신 상 현^{1*}

Ryu, Hwa-Sung¹ Jeong, Woo-Jin² Kim, Deuck-Mo¹ Song, Seong-Yong³ Shin, Sang-Heon^{1*}

Hanyang Experiment and Consulting, 55, Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do 15588, South Korea ¹

Sunwoo Consulting and Solution, 1355, Seohaean-ro, Siheung-si, Gyeonggi-do 14959, South Korea ²

Yoonsong Engineering, 267, Simin-daero, Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do 14054, South Korea ³

Abstract

In concrete construction work, formwork is an important process that accounts for 10% of the total construction cost. Recent buildings are becoming bigger and higher. In order to maximize the efficiency and safety of this formwork, the system of formworking has been systematized. However, the human accidents and the noise complaints arise from dismantling processes frequently occur. In order to solve these problems, most of them are dependent on foreign technology, but they do not take into consideration the conditions of domestic construction site. In this study, we developed a table type multi-drop system form for a slab and beam which can improve the process, safety and reduction of disassembly noise, and evaluated the physical properties of the main members which are used in the system. The results of this study show that there is sufficient strength to be used as a slab and a laying material for both a yoke beam and a supporting post. The noise level is improved compared to existing method.

Keywords : reinforced concrete structures, slab formwork, reducing noise, drop system

1. 서 론

건설 공사에 있어, 거푸집공사는 전체공정의 약 25%, 전체공사비의 약 10%를 차지하는 중요한 공정이다[1]. 특히, 건축물의 대형화, 고층화에 따라 거푸집공사의 고효율과 안전성을 위하여 거푸집공정의 시스템화가 이루어지고 있으나, 대부분 해외기술에 의존하여 국내 건설현장 여건을 고려하지 않는 관계로 외면되어 기존 거푸집 공법을 답습하고

있는 실정이다. 또한, 현재 공동주택 공사에 많이 사용되는 Al-Form은 기존의 합판을 대체하여 높은 전용횡수 및 시공성 등을 이유로 많은 현장에서 사용되고 있다. 그러나 알루미늄이라는 재질상의 특징으로 소음이 크게 발생하는 문제와 슬래브 거푸집 해체시 안전성의 문제가 제기되고 있어 개선방법에 의한 소음발생 저감 및 안전성 향상이 필요하다. 최근 수년간 공사장 소음민원은 우리나라에서 발생하는 전체 소음민원 중 가장 큰 비율을 차지하고 있으며, 도심지의 공동주택 공사의 경우 특히 슬래브 거푸집 해체 시 발생하는 소음이 주요민원사례로 나타나고 있다[2,3].

또한 거푸집 공사에 있어서 소음뿐만 아니라 기본적으로 공사 기간 단축 및 간편한 시공방법으로 인건비를 절감하고, 저소음 및 층고가 높은 슬래브 시공이 가능하고 현장 작업여건을 개선하여 안전성 및 시공성을 증진시키는 경제적인 거

Received : April 25, 2017

Revision received : June 8, 2017

Accepted : July 25, 2017

* Corresponding author : Shin, Sang-Heon

[Tel: 82-31-400-3752, E-mail: ssh8065@hanyang.ac.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

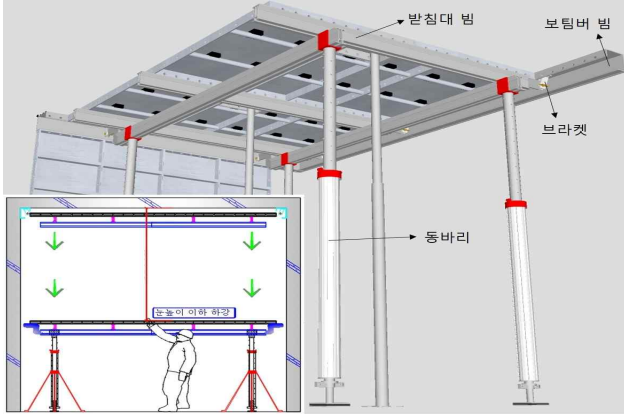


Figure 1. Table type multi-drop system form (DS system)

푸집 공법의 개발이 절실히 요구되고 있다[4].

이에 본 연구에서는 공정개선, 안전성 향상 및 해체소음 저감을 위하여 개발된 슬래브, 보 전용 테이블형 다단 드롭 시스템 거푸집(Figure 1)의 성능을 검증하기 위하여 시스템 내에 사용되는 주요 부재인 받침대 빔, 보 팀버 빔, 브라켓, 동바리의 물성을 평가, 타당성을 검토하고, 이 시스템의 현장 적용을 위한 해체공정에서의 소음 및 콘크리트 타설시 처짐량을 평가하였다.

2. 기존기술 고찰

2.1 기존기술 분석 개요

본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 재래식 거푸집 공법 및 소음저감형 거푸집 시스템인 A공법, B공법, S공법의 특징 및 장단점을 분석하고, 본 연구의 DS 거푸집 시스템으로 시공 가능한 층고 4200mm 현장에서의 사용 여부를 확인하였다. Figure 2는 각 공법의 모식도를 나타낸 것이다.

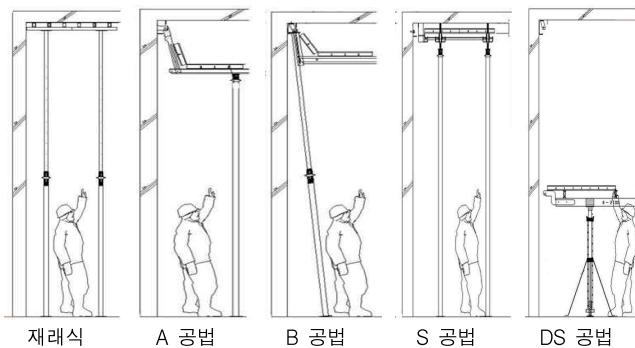


Figure 2. Comparison of formwork methods

Table 1. Characteristics of construction method (Panel system)

Characteristics	Install	Installation by 3~4 People
	Smoothness	Occurrence of flexing
	Perpendicularity	Occurrence of vertical badness
Structure	Structure	Unsafty (panels depend on nails)
	Continuous noise	Continuous noise due to on-site machining
Noise occurrence	Noise due to handiwork	
Dismantling	Panel damage	Impossible of reuse
	Workability	Difficult to work due to material handling and on-site processing
	Safety	Safety is unfavorable, especially safety accident caused by high-level work
Construction quality	Variations in construction quality depending on operator	
Economics	High portion of personnel expenses	
High Floor Construction	Construction is possible at 4,200 mm height, safety problem occurs.	

2.2 기존 재래공법 및 소음저감형 거푸집 시스템 현황

2.2.1 재래식 공법

재래식 거푸집 공법은 국내 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 공법으로 합판과 각재 등을 조합하여 벽체와 슬래브를 분리 타설하는 시공방식으로 현장상황에 따라 가변적으로 적용할 수 있다는 장점이 있지만, 안전성, 시공품질 등에서의 불리함이 있는 공법이다.

2.2.2 A 공법

이 기술은 Aluminum Panel form이 2단계에 걸쳐 낙하할 수 있도록 턴바 브라켓과 슬라이드 레일로 구성된 Drop형 Beam을 사용하고, Drop형 Beam의 효율적인 낙하가 가능하도록 나사형의 높낮이 조절기구로 구성된 동바리를 활용하는 공동주택 슬래브 및 계단 거푸집 공법으로서 2단 낙하 하여 작업자가 안전대를 필요없이 손쉽게 해체가 가능하도록 한 공법이다.

Table 2. Characteristics of construction method (A system)

Characteristics	Install	Installation by 1~2 People
	Smoothness	Great
	Perpendicularity	Vertical deformation occurs because there is no span adjustment function.
Structure	Structure	Safety (installation of beam under deck panel)
	Continuous noise	Occurs in primary down
Noise generation	Noise reduction using 600mm drop system (some noise is generated)	
Dismantling	Panel damage	Less damage to deck panel due to 600mm drop system using 2-stage drop head
	Workability	Adding a process due to a 2-stage drop
	Safety	Safety (removal of yoke beam after panel disassembly)
Support	3-step dismantling requires additional process	
Construction quality	Great	
Economics	Added production cost and material cost	
High Floor Construction	Not applicable at 4,200mm height	

2.2.3 B 공법

B 공법은 슬라이드 레일로 구성되어 1단 낙하가 가능한 drop형 멩에 빔을 직접 연결하여 급강하를 방지함으로써 가설재의 훼손 및 소음을 줄일 수 있으며 거푸집의 전용율을 높일 수 있고 다단 드롭형 서포트를 활용한 1~2인 설치 및 해체 슬래브 거푸집 공법이다.

2.2.4 S 공법

알루미늄과 합판을 원재료로 하여 벽체와 슬래브를 분리타 설하는 시공방식이다. 빔과 드롭헤드로 구성되어 있으며, 해체 시 60mm정도의 하강이 이루어지나 작업자의 손 높이에서 작업이 이루어지는 것이 불가능하여 작업자가 비계를 사용해야 한다. 또한 규격화된 Form만을 사용하여 벽체 인접부 등에서는 규격 Form을 사용하지 못하는 문제가 발생한다.

Table 3. Characteristics of construction method (B system)

Characteristics	Install	Installation by 1~2 People
	Smoothness	Great
Structure	Perpendicularity	Great
	Structure	Safety (installation of beam under deck panel)
Continuous noise		No loud noises
Noise generation	Low noise (directly connected with one - drop yoke beam to prevent noise by preventing sudden drop)	
	Panel damage	Reduced deck panel damage by preventing direct drop by directly connecting a drop type yoke beam
Dismantling	Workability	Quick and simple (dismantable by 1~2 people)
	Safety	Safety (removal of yoke beam after panel disassembly)
Support	Shorten construction period by beforehandness dismantling	
	Construction quality	Great
Economics	No need for production cost by using existing support	
High Floor Construction	Not applicable at 4,200 mm height	

Table 4. Characteristics of construction method (S system)

Characteristics	Install	Installation by 3~4 People
	Smoothness	Occurrence of flexing
Structure	Perpendicularity	Great
	Structure	Safety (installation of beam under deck panel)
Continuous noise		Occurs in primary down
Noise generation	Noise reduction using 60mm drop system (some noise is generated)	
	Panel damage	Less damage to deck panel due to 60mm drop system
Dismantling	Workability	Separate demounting requires additional process operations
	Safety	Safety (removal of yoke beam after panel disassembly)
Construction quality	A step occurs where the exclusive panel meets the other panel	
Economics	Dedicated deck panels are expensive and other panel production costs are added.	
High Floor Construction	Not applicable at 4200mm height	

Table 5. Characteristics of construction method (DS system)

Characteristics	Install	Installation by 1~2 People
	Smoothness	Great
Structure	Perpendicularity	Great
	Structure	Safety (installation of beam under deck panel)
Continuous noise		No loud noises
Noise generation	After first 100mm drop, it prevents sudden dropping by multi-step drop to minimize noise (50mm multi-step down)	
	50mm multi-step down by using down support, down to eye level to prevent free fall, thus no damage to panel.	
Dismantling	Workability	Quick and simple (dismantable by 1~2 people)
	Safety	Safety (removal of beams after panel disassembly)
Support	Shorten construction period by beforehandness dismantling	
	Construction quality	Great
Economics	There is no additional input, no incident costs due to no-accident construction.	
High Floor Construction	Applicable at a depth of 4,200 mm	

2.2.5 DS 공법

본 연구의 DS 공법은 다단 드롭형 서포트와 멩에, 장선으로 구성된 테이블방식으로 이루어진 다단 드롭 다운 서포트를 이용하여 50mm씩 다단 드롭함으로 급강하(자유낙하)를 방지함으로써 가설재의 파손 및 소음을 줄이고 자체 전용율을 극대화한 1~2인 설치 및 해체가 가능한 테이블 방식으로 이루어진 슬래브 거푸집 공법이다. 특히 층고가 높은 철근콘크리트 구조물에 서도 시공성과 안전성을 확보할 수 있는 공법이다.

3. 구조안전성 검토 및 구성부재 실험

3.1 받침대 빔의 구조안전성 검토 및 휨 실험

3.1.1 구조안전성 검토

받침대 빔의 구조안전성 검토를 위하여 고정하중, 작업하중, 설계하중 및 분담하중을 Table 6과 같이 설정하였으며, 지점거리 1650mm 에서의 구조안전성을 검토하였다.

Table 6. Load setting for reviewing the usability of a prop beam

Items	Load	Remarks
Fixed load	504 kg/m ²	Slab thickness (210mm)
	40 kg/m ²	Alform thickness (4mm)
Working load	250 kg/m ²	
Design load	794 kg/m ²	Fixed load + Working load
Shared load	952.8 kg/m	Design load * Sharing width (1200mm)

Table 7. Material property of a prop beam (Aluminum 6061-T6)

Modulus of elasticity (kg/mm ²)	Tension		Comp.	Shear	
	Ultimate strength	Yield strength	Yield strength	Ultimate strength	Yield strength
	F _{tu} (kg/mm ²)	F _{ty} (kg/mm ²)	F _{cy} (kg/mm ²)	F _{su} (kg/mm ²)	F _{sy} (kg/mm ²)
7,110	26.75	24.64	24.64	16.90	14.08

Table 8. Section properties of a prop beam

Items		Value
Cross section	A(mm ²)	1,918
Geometrical moment of inertia (x axis)	I _x (mm ⁴)	2,853,200
Geometrical moment of inertia (y axis)	I _y (mm ⁴)	387,400
Section modulus (top)	Z _{x,top} (mm ³)	54,550
Section modulus (bottom)	Z _{x,bot} (mm ³)	49,450
Radius of gyration of area (x axis)	i _x (mm)	38.6
Radius of gyration of area (y axis)	i _y (mm)	14.2
Modulus of elasticity	E(kg/mm ²)	7.03E+03

3.1.2 휨 실험

본 연구의 테이블형 다단 드롭 시스템을 이루는 주요소인 받침대 빔의 하중 저항성을 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 받침대 빔의 제원을 Table 7, 8에 나타내었다.

실험조건은 지간 2,200mm에서 2점 가력이 되도록 수직 하중을 가력 하였다. 실험체 설치상황은 Figure 3과 같으며, 에츄에이터를 이용하여 부재에 하중을 가력 하였으며, 부재에 작용하는 하중은 데이터로거를 설치하여 계측하였다.



Figure 3. The flexural test of a prop beam

3.2 보팀버 빔의 구조안전성 검토 및 휨 실험

3.2.1 구조안전성 검토

보팀버 빔의 구조안전성 검토를 위하여 고정하중, 작업하

Table 9. Load setting for reviewing the usability of a timber beam

Items	Load	Remarks
Fixed load	1,680 kg/m ²	Beam section (500×700mm)
	40 kg/m ²	Alform thickness (4 mm)
Working load	350 kg/m ²	
Design load	2,070 kg/m ²	Fixed load + Working load
Shared load	5.175 kg/cm	Design load * Sharing width (25 mm)

중, 설계하중 및 분담하중을 Table 9와 같이 설정하였으며, 지점거리 800mm에서의 구조안전성을 검토하였다.

3.2.2 휨 실험

본 연구개발의 테이블형 다단 드롭 시스템을 이루는 주요소인 보팀버 빔의 제원을 Table 10에 나타내었다. 또한, 실험조건은 3.1의 받침대 빔 휨 실험과 동일하며, Figure 4와 같이 실험을 실시하였다.

Table 10. Section properties of a beam timber

Items		Value
Cross section	A(mm ²)	2,321
Geometrical moment of inertia (x axis)	I _x (mm ⁴)	1,213,900
Geometrical moment of inertia (y axis)	I _y (mm ⁴)	-
Section modulus (top)	Z _{x,top} (mm ³)	25,660
Section modulus (bottom)	Z _{x,bot} (mm ³)	37,120
Radius of gyration of area (x axis)	i _x (mm)	22.9
Radius of gyration of area (y axis)	i _y (mm)	-
Modulus of elasticity	E(kg/mm ²)	7.03E+03



Figure 4. The flexural test of a timber beam



Figure 5. Flexural test of a bracket

3.3 브라켓 휨 실험

본 실험은 연구개발 기술의 구성요소로 사용되는 알루미늄 브라켓의 최대 휨 하중 저항성능을 평가하기 위하여 KS F 8006과 KS D 3530을 준용하여 실험방법을 설계, 수행하였다. 하중 가력지점은 실험체 단부에서 100mm 이격지점이며, 변위계는 실험체 단부에서 30mm 이격지점에 설치하였다. 실험전경은 Figure 5와 같다.

3.4 동바리 구조안전성 검토 및 압축 실험

3.4.1 구조안전성 검토

동바리의 구조안전성 검토를 위하여 알루미늄 기둥가설재 기준 (ASTM 6061-T6) 및 The Specification for Aluminum Structures(The Aluminum Association), 가설재표준시방서 (국토교통부 2006), Guide to Formwork for Concrete(ACI 347-04)을 참고하였으며, 고정하중, 작업하중, 설계하중을 Table 11과 같이 설정하여 구조안전성을 검토하였다.

Table 11. Load setting for reviewing the usability of a post

Items	Load	Remarks
Fixed load	360 kg/m ²	Slab thickness (150 mm)
	40 kg/m ²	Alform thickness (4 mm)
Working load	250 kg/m ²	-
Design load	650 kg/m ²	Fixed load + Working load

3.4.2 휨 실험

본 실험은 개발 대상 기술의 구성요소로 사용되는 알루미늄 동바리를 실험길이 3810mm로 하여 실험기에 설치하고 받이 판 및 바닥판의 중심을 실험기 상하 가압판의 중심에 일치시키고 평누름에 의한 압축하중 재하 실험을 실시하였다. 동바리의 제원은 Table 12, 13, 실험전경은 Figure 6과 같다.

Table 12. Section properties of a beam timber

Items		Value
Cross section	A(mm ²)	2,321
Geometrical moment of inertia (x axis)	Ix(mm ⁴)	1,213,900
Geometrical moment of inertia (y axis)	Iy(mm ⁴)	-
Section modulus (top)	Zx,top(mm ³)	25,660
Section modulus (bottom)	Zx,bot(mm ³)	37,120
Radius of gyration of area (x axis)	ix(mm)	22.9
Radius of gyration of area (y axis)	iy(mm)	-
Modulus of elasticity	E(kg/mm ²)	7.03E+03

Table 13. Section properties of a beam timber

Items		Value
Cross section	A(mm ²)	1,804.06
Geometrical moment of inertia (x axis)	Ix(mm ⁴)	1,566,848
Geometrical moment of inertia (y axis)	Iy(mm ⁴)	1,560,197
Section modulus (top)	Zx,top(mm ³)	339,880
Section modulus (bottom)	Zx,bot(mm ³)	325,072
Radius of gyration of area (x axis)	ix(mm)	29.47
Radius of gyration of area (y axis)	iy(mm)	29.41
Modulus of elasticity	E(kg/mm ²)	7.03E+03



Figure 6. Compression test of a supporting post

3.5 해체소음 현장계측 실험

본 연구개발 기술의 소음저감 성능을 파악하기 위하여 설계 현장에서 테이블 폼 거푸집을 해체 하는 동안에 발생하는 소음을 Table 14의 Sound level Meter(NA-27), PDA multi-function analyzer 장비를 이용하여 현장계측 실험을 실시하였다. 소음측정 실험 전경은 Figure 7, 8과 같다.

Table 14. The specification of noise measurement equipments

Equipment name	Purpose	Test method
Sound Level Meter (Na-27)	3/1 Octave band Real-time analysis	-Measurement time : 10min×3rd time -Measurement value : Leq, Lmax, Lmin 3/1 Octave band
PDA analyzer + microphone	Real-time measurement and data acquisition	-Measurement time : 2min×7th time -Measurement value : Time history



Figure 7. Evaluation of disassembly noise



Figure 8. Evaluate the noise of complaints level

3.6 타설 중 슬래브/보 처짐 실험

본 연구의 테이블 폼 보와 슬래브 거푸집의 타설 중 콘크리트의 타설하중 및 작업하중에 대한 검증실험을 하기 위하여 Figure 9와 같이 슬래브 및 보 거푸집 하단 명에 부분에 Table 15의 LVDT(변위계)를 설치하여 콘크리트 타설 중에 거푸집의 처짐에 대하여 현장 실험 및 Mock-up 실험을 실시하였다.

측정위치는 스패이 가장 긴 부분을 선택하여 동바리로 지지한 명에(빔) 중앙부 각 두 곳의 변위를 측정하여 평균값으로 타설 하중 및 작업하중에 대한 테이블 폼 보와 슬래브 거푸집의 타설 중 처짐 저항성을 평가하였다.

Table 15. The specification of test equipments

Equipment name	Purpose	Test method
Data logger	Real-time measurement and data acquisition	-Measurement time : 60min -Measurement value : μm
LVDT	Real-time measurement	-Measurement time : 60min -Measurement value : μm



Figure 9. Evaluate the noise of complaints level

4. 실험결과 및 분석

4.1 받침대 빔 힘 실험

4.1.1 받침대 빔의 이론치에 따른 구조안전성 검토

설정된 조건하에서 받침대 빔의 힘 모멘트 및 수직응력은 식 (1), (2)와 같으며, 이에 따른 휨응력은 식 (3)과 같다. 알루미늄 강재의 휨응력은 식 (4)와 같으므로 받침대 빔의 힘에 관한 구조안전성 검토는 식 (5)와 같이 적절한 것으로 확인되었다.

$$M_s = \frac{w \times l^2}{8} = \frac{9.528 \times 165^2}{8} = 324,250 kg \cdot mm \quad \text{--- (1)}$$

$$V_s = \frac{w \times l}{2} = \frac{9.528 \times 165}{2} = 786 kgf \quad \text{----- (2)}$$

$$f_{bt} = \frac{M}{z_t} = \frac{32425}{49.5} = 6.55 kg/mm^2 \quad \text{----- (3)}$$

$$F_{bt} = 21 ksi = 14.76 kg/mm^2 \quad \text{----- (4)}$$

$$\frac{f_{bt}}{F_{bt}} = \frac{6.55}{14.76} = 0.444 \quad \text{----- (5)}$$

또한, 설정된 조건하에서 받침대 빔의 압축 성능에 관하여 검토한 결과, 압축응력은 식 (6)과 같으며, 알루미늄 강재의 압축응력 식 (7)과의 비교에 따라 받침대 빔의 압축에 관한 구조안전성 검토, 식 (8)과 같이 적절한 것으로 확인되었다.

$$f_{bt} = \frac{M}{z_t} = \frac{32425}{54.6} = 5.94 \text{ kg/mm}^2 \text{----- (6)}$$

$$F_b = 21 \text{ ksi} = 14.76 \text{ kg/mm}^2 \text{----- (7)}$$

$$\frac{f_b}{F_b} = \frac{5.94}{14.76} = 0.402 \text{----- (8)}$$

설정된 조건하에서 받침대 빔의 전단 성능에 관하여 검토한 결과, 전단 응력은 식 (9)와 같으며, 알루미늄 강재의 전단 응력 식 (10)과의 비교에 따라 받침대 빔의 전단에 관한 구조 안전성 검토, 식 (11)과 같이 적절한 것으로 확인되었다.

$$f_3 = \frac{V}{A_3} = \frac{786}{19.2} = 0.41 \text{ kg/mm}^2 \text{----- (9)}$$

$$F_3 = 12 \text{ ksi} = 8.44 \text{ kg/mm}^2 \text{----- (10)}$$

$$\frac{f_3}{F_3} = \frac{0.41}{8.44} = 0.049 \text{----- (11)}$$

설정된 조건하에서 받침대 빔의 처짐량을 검토한 결과, 식 (12)와 같이 허용 처짐량 범위 내의 처짐을 갖는 것으로 확인되었다.

$$\begin{aligned} \delta_{\text{단순지지}} &= \frac{5 \times w \times L_n^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 9.528 \times 165^4}{384 \times 703066 \times 285.32} \text{---- (12)} \\ &= 4.6 \text{ mm} < \delta_{\text{allow}} = 6.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.1.2 받침대 빔의 휨 실험 결과

받침대 빔 각 실험편에 대한 실험결과를 Table 16에 나타내었다. 실험결과와 평균은 최대 및 최소값을 뺀 나머지 값의 평균으로 파괴하중은 40.69kN이고, Figure 10의 하중-변위 그래프에 따라 P-S곡선법에 의해 얻어진 허용하중의 평균값은 19.09kN이다.

Table 16. Failure load and allowable load according to test results

Specimen number	1	2	Average
Failure load (kN)	41.93	39.45	40.69
Allowable load (kN)	19.67	18.50	19.09

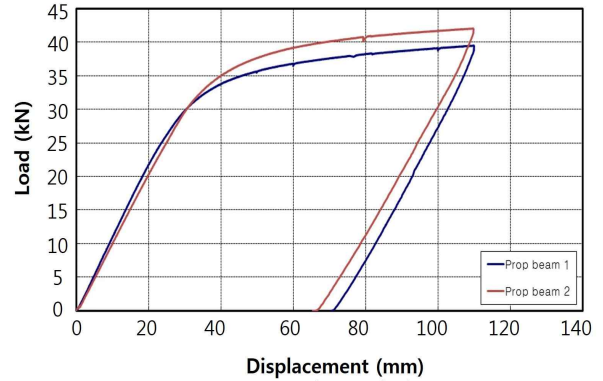


Figure 10. Load-displacement curve of a prop beam

받침대 빔의 휨 실험 결과에 따른 구조안전성을 검토한 결과, 알루미늄 받침대 빔의 이론적 허용하중은 식 (13)과 같으며, 실험을 통한 허용하중은 식 (14)와 같으므로 받침대 빔은 보, 슬래브 타설용 가설재로 사용하기에 충분한 내력을 가지고 있으며, 받침대의 허용스팬을 결정하는 주요인자는 구조안전성을 결정하는 처짐이며, 슬래브 두께 210mm에서 기준을 충족하는 허용스팬은 176cm 이며 충분한 내력을 확보하고 있는 것으로 확인되었다. 또한 받침대의 내력검토에서 얻은 허용하중은 1825kg이며, 실험을 통해 얻은 허용하중은 1909kg로서 4.6%의 차이가 있어 잘 일치하고 있다고 판단된다.

$$P_a = \frac{2 \times f_b \times Z}{L} = \frac{2 \times 1476.51 \times 49.45}{80} = 1825.3 \text{ kg} \text{---- (13)}$$

여기서 알루미늄 허용휨강도(f_b) = 14.76kg/mm²,

$$\text{받침대빔 단면계수}(Z) = 49450 \text{ mm}^3$$

$$\text{받침대빔 허용하중}(P_a) = 19.09 \text{ kN} = 1909 \text{ kg} \text{----- (14)}$$

3.2 보팀버 빔 휨 실험

3.2.1 보팀버 빔의 이론치에 따른 구조안전성 검토

설정된 조건하에서 보팀버 빔의 휨 모멘트 및 수직응력은

식 (15), (16)과 같으며, 이에 따른 휨응력은 식 (17)과 같다. 알루미늄 강재의 휨응력은 식 (18)로 받침대 빔의 휨에 관한 구조안전성 검토는 식 (19)와 같이 적절한 것으로 확인되었다.

$$M_s = \frac{w \times l^2}{8} = \frac{5.175 \times 80^2}{8} = 41400 \text{kg}\cdot\text{mm} \text{-----} (15)$$

$$V_s = \frac{w \times l}{2} = \frac{5.175 \times 80}{2} = 207 \text{kgf} \text{-----} (16)$$

$$f_{bt} = \frac{M}{z_t} = \frac{4140}{37.12} = 1.12 \text{kg/mm}^2 \text{-----} (17)$$

$$F_{bt} = 21 \text{ksi} = 14.76 \text{kg/mm}^2 \text{-----} (18)$$

$$\frac{f_{bt}}{F_{bt}} = \frac{1.12}{14.76} = 0.076 \text{-----} (19)$$

또한, 설정된 조건하에서 받침대 빔의 압축 성능에 관하여 검토한 결과, 압축응력은 식 (20)과 같으며, 허용 압축응력 식 (21)과의 비교에 따라 받침대 빔의 압축에 관한 구조안전성 검토, 식 (22)와 같이 적절한 것으로 확인되었다.

$$f_{bt} = \frac{M}{z_t} = \frac{4140}{25.66} = 1.61 \text{kg/mm}^2 \text{-----} (20)$$

$$F_b = 19 \text{ksi} = 13.50 \text{kg/mm}^2 \text{-----} (21)$$

$$\frac{f_b}{F_b} = \frac{1.61}{13.50} = 0.12 \text{-----} (22)$$

설정된 조건하에서 받침대 빔의 전단 성능에 관하여 검토한 결과, 전단 응력은 식 (23)과 같으며, 허용 전단응력 식 (24)와의 비교에 따라 받침대 빔의 전단에 관한 구조안전성 검토, 식 (25)와 같이 적절한 것으로 확인되었다.

$$f_s = \frac{V}{A_s} = \frac{207}{23.2} = 0.09 \text{kg/mm}^2 \text{-----} (23)$$

$$F_3 = 12 \text{ksi} = 8.44 \text{kg/mm}^2 \text{-----} (24)$$

$$\frac{f_s}{F_s} = \frac{0.09}{8.44} = 0.011 \text{-----} (25)$$

설정된 조건하에서 받침대 빔의 처짐량을 검토한 결과, Eq 26과 같이 허용 처짐량 범위 내의 처짐을 갖는 것으로 확인되었다..

$$\delta_{\text{단순지지}} = \frac{5 \times w \times L_n^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 5.175 \times 80^4}{384 \times 703066 \times 121.39} \text{-----} (26)$$

$$= 0.3 \text{mm} < \delta_{\text{allow}} = 6.0 \text{mm}$$

3.2.2 보팀버 빔의 휨 실험 결과

보팀버 빔 각 실험편에 대한 실험결과를 Table 17에 나타내었다. 실험결과와 평균은 최대 및 최소값을 뺀 나머지 값의 평균으로 파괴하중은 27.68kN이고, Figure 11의 하중-변위 그래프에 따라 P-S곡선법에 의해 얻어진 허용하중의 평균값은 12.98kN이다.

Table 17. Failure load and allowable load according to test results

Specimen number	1	2	Average
Failure load (kN)	28.28	27.07	27.68
Allowable load (kN)	13.26	12.70	12.98

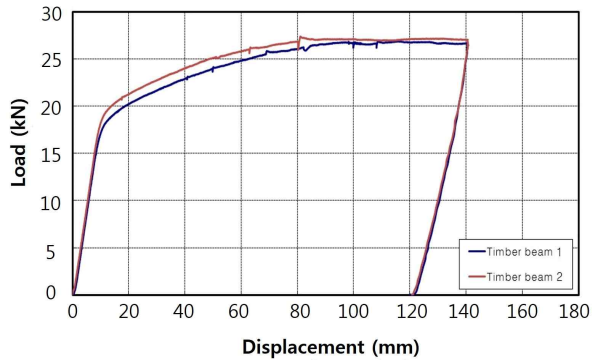


Figure 11. Load-displacement curve of a timber beam

보팀버 빔의 휨 실험 결과에 따른 구조안전성을 검토한 결과, 알루미늄 보팀버 빔의 이론적 허용하중은 식 (27)과 같으며, 실험을 통한 허용하중은 식 (28)과 같으므로 보팀버 빔은 보, 슬래브 타설용 가설재로 사용하기에 충분한 내력을 가지고 있으며, 보팀버의 허용스팬을 결정하는 주요인자는

구조안전성을 결정하는 치짐이며, 보 두께 700mm에서 기준을 충족하는 허용스팬은 1660mm 이며 충분한 내력을 확보하고 있는 것으로 확인되었다. 또한 받침대의 내력검토에서 얻은 허용하중은 1370kg이며, 실험을 통해 얻은 허용하중은 1298kg로서 5.5%의 차이가 있어 가력을 고려하여 잘 일치하고 있다고 판단된다.

$$P_a = \frac{2 \times f_b \times Z}{80} = \frac{2 \times 1476.51 \times 37.12}{80} = 1370.2kg \quad (27)$$

여기서 알루미늄 허용휨강도(f_b) = 14.76kg/mm²,
보팀버림 단면계수(Z) = 16700mm³

$$6mm \text{ 치짐시 작용하중}(P_s) = 3.51 kN = 351 kg \quad (28)$$

3.3 브라켓 휨 실험

브라켓 각 실험편에 대한 실험결과를 Table 18에 나타내었다. 실험결과와의 평균은 최대 및 최소값을 뺀 나머지 값의 평균으로 파괴하중은 2.70kN이고, 최대하중 시 변위는 17.8mm Figure 12는 브라켓 휨 실험의 하중-변위 그래프를 나타낸 것이다.

Table 18. Maximum load and displacement according to test results

Specimen number	1	2	Average
Maximum load (kN)	2.8	2.6	2.70
Displacement of Load(Max) (mm)	13.7	22.0	17.8

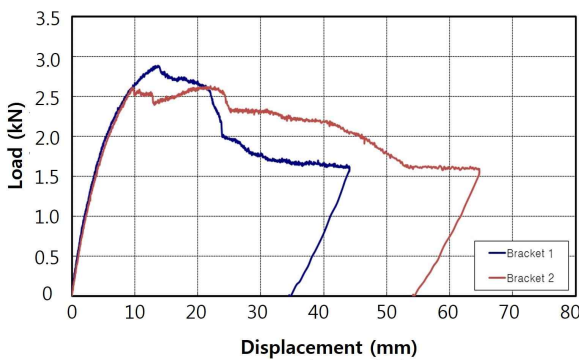


Figure 12. Load-displacement curve of a bracket

3.4 동바리 압축 실험

3.4.1 동바리의 이론치에 따른 구조안전성 검토

본 연구를 통해 개발된 동바리는 겹대와 속대로 구성되어

있어, 구조안전성 검토를 위하여 겹대와 속대의 축강성을 별도로 고려한 결과, 겹대의 강성이 속대에 비해 큰 것으로 나타나, 전체 동바리의 강성은 속대의 내력에 의해 결정되는 것으로 판단된다. 따라서 속대의 강성을 고려하여 허용하중 및 최대하중을 계산한 결과는 식 (29), (30), (31)과 같으며, 이를 작용하중 식 (32)와 비교한 결과, 식 (33)과 같이 안전율을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

$$F_c = 51000 / (KL/r)^2 = 7.489 kips \quad (29)$$

$$= 51.63 MPa$$

여기서, 동바리 속대높이 $KL = 1700 mm$

속대의 단면이차반경 $r = 20.6 mm$

$$\text{허용하중}(F_a) = F_c \times A = 21.68 kN \quad (30)$$

$$\text{최대하중}(F_{cr}) = F_a \times \nu = 35.77 kN \quad (\nu = 1.65) \quad (31)$$

$$\text{작용하중}(P) = \text{설계하중} \times \text{동바리간격} = 14.04 kN \quad (32)$$

여기서, 동바리 간격(A) = 1.20 × 1.80 = 2.16m²

$$\text{안전율}(S.F. = F_a/P) = 1.54 \quad (33)$$

3.4.2 동바리의 휨 실험 결과

동바리(3810mm)에 대한 실험결과를 Table 19에 나타내었다. 실험결과와의 평균은 최대 및 최소값을 뺀 나머지 값의 평균으로 최대하중은 42.29kN으로 나타났다.

Table 19. Maximum load according to test results

Specimen number	1	2	3	Average
Maximum load (kN)	41.94	42.34	42.60	42.29

3.5 해체소음 현장계측 실험

현장 해체 과정에서의 발생하는 소음을 개발공법과 기존 AL 폼 공법이 적용된 현장에서 계측한 결과, 개발공법은 핀 제거를 위하여 망치 등으로 타격하는 경우와 작업자들이 거푸집 등을 정리하는 과정에서 던지는 등의 작업형태로 인해 주된 소음이 발생하는 것으로 나타났으며, 기존 AL 폼

Table 20. Noise level of dismantling formwork (AL Form)

Items	No. 1	No. 2	No. 3	Average (dB(A))
Noise distribution	92~100.4	106~115.4	105~114.9	101~110.2
Maximum noise (Lmax)	100.4	115.4	114.9	110.2

Table 21. Noise level of dismantling formwork (DS System)

Items	Pin removal		Panel drop		Average (dB(A))
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	
Noise distribution	84.0~86.6	84.4~91.4	78.8~83.7	74.0~84.0	80.3~86.4
Maximum noise (Lmax)	86.6	91.4	83.7	84.0	86.4

공법은 타격하는 작업 및 거푸집을 낙하하는 작업 등 전체적인 해체공정에서 큰 소음이 발생하는 것으로 나타났다.

기존 AL 폼 공법의 경우 소음분포도 평균이 101~110.2 dB로 나타났으며, 본 연구의 테이블형 다단 드롭 시스템은 소음분포도 평균은 80.3~86.4dB, 최대 소음도(Lmax) 평균은 86.4dB로 측정되었다.

해체 과정 동안 발생한 본 연구 공법의 소음 시간이력은 Figure 13, 14에 나타내었다. 측정은 마이크로폰으로부터 입력받은 데이터를 PDA analyzer에 저장된 것으로 두 시스템의 측정결과를 살펴보면 제안 시스템의 측정결과는 최대 음압(Pa기준)이 기존연구의 AL 폼 시스템에 비하여 2~3배 정도 낮게 나타났다.



Figure 13. Noise measurement results during pin removal

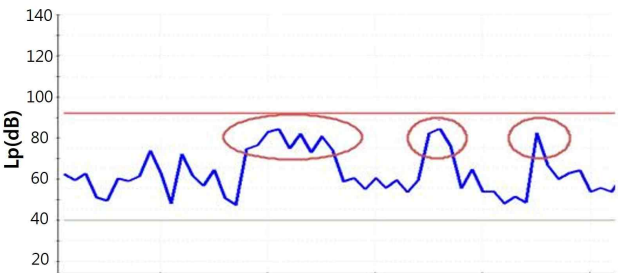


Figure 14. Noise measurement results during panel drop

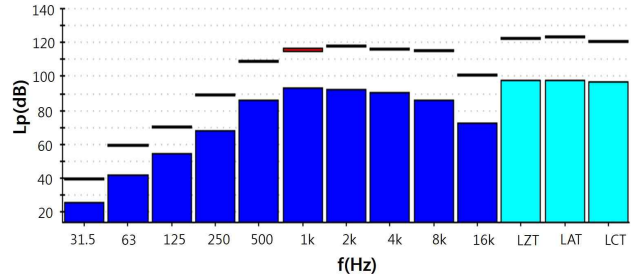


Figure 15. Noise measurement results from 25m distance (AL Form)

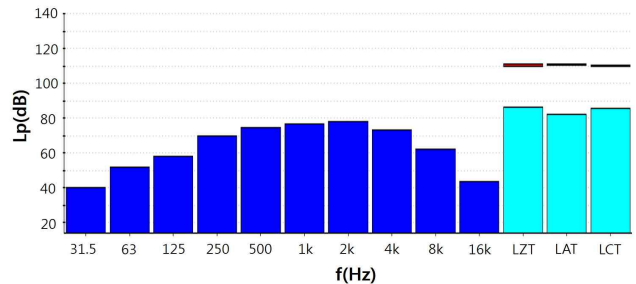


Figure 16. Noise measurement results from 25m distance (DS system)

또한, 민원 측 예상소음도 평가를 위하여 소음원으로부터 25m 떨어진 거리에서의 소음도를 측정된 결과는 Figure 15, 16과 같으며, 평균소음도로 AL 폼은 79 dB, 본 연구의 공법은 71.4dB로 나타났다. 이 결과와 식 (34)의 소음 거리 감쇠식을 이용하여 소음발생원으로부터의 이격거리에 따른 소음도를 계산한 결과를 Table 22, 23에 나타내었다.

소음·진동관리법의 생활소음규제기준 중 공사장소음기준인(주간, 주거지역) 65dB(A)이하 기준을 만족하는 범위는 기존 AL 폼 방식의 경우 120m이상 이격되어야 하며, 본 연구의 DS 공법의 경우 44m이상 이격되어야 하는 것으로 나타나 기존 공법 대비 소음영향이 저감되는 것을 확인하였다.

$$SPL_1 - SPL_2 = 20 \log \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \quad (34)$$

여기서, 음원으로부터

r_1 (m) 떨어진 지점의 소음도 : SPL1

음원으로부터

r_2 ($r_2 > r_1$) 떨어진 지점의 소음도 : SPL2

Table 22. Noise calculation results by distance (AL Form)

Items	Distance (m)					
	30	40	50	100	150	200
Noise (dB(A))	78	75	73	67	63	61

Table 23. Noise calculation results by distance (DS system)

Items	Distance (m)					
	30	40	50	100	150	200
Noise (dB(A))	67.9	65.4	63.4	57.4	53.9	51.4

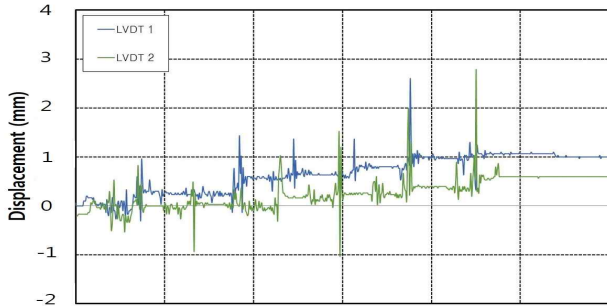


Figure 17. Deflection result according to loading load and working load during casting (Construction site)

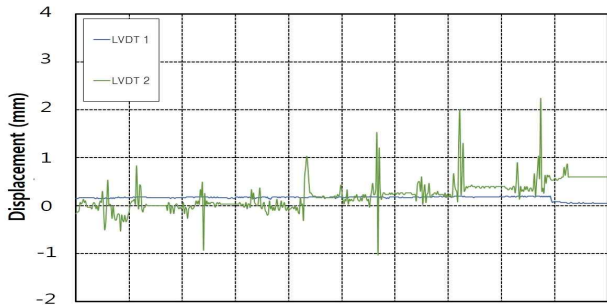


Figure 18. Deflection result according to loading load and working load during casting (Mock-up)

3.6 타설 중 슬래브/보 처짐 실험

본 연구개발 공법에 대하여 콘크리트 타설 중 타설 하중 및 작업하중에 대한 현장적용 및 Mock-up TEST를 대상으로 처짐 실험을 실시한 결과 다음 Figure 17, 18과 같은 결과를 얻었다.

현장적용의 경우 처짐량은 약 2.0~2.7mm, Mock-up의 경우 약 0.2~1.2mm로 나타나 기존공법[5]과 비교하여 처짐에 대한 저항성이 큰 것으로 확인되었다.

4. 결 론

본 연구에서 개발된 공정개선, 안전성 향상 및 해체소음 저감이 가능한 슬래브, 보 전용 테이블형 다단 드롭 시스템 거푸집 시스템 내에 사용되는 주요 부재인 받침대 빔, 보 팀버 빔, 브라켓, 동바리의 물성을 평가, 타당성을 검토하고, 이 시스템의 현장 적용을 위한 해체공정에서의 소음 및 콘크

리트 타설시 처짐량을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 받침대 빔의 휨 실험 결과에 따른 구조안전성을 검토한 결과, 받침대의 내력검토에서 얻은 허용하중은 1825kg이며, 실험을 통해 얻은 허용하중은 1909kg로서 4.6%의 차이가 있어 보, 슬래브 타설용 가설재로 사용하기에 충분한 내력을 가지고 있다고 판단된다.
- 2) 보팀버 빔의 휨 실험 결과에 따른 구조안전성을 검토한 결과, 받침대의 내력검토에서 얻은 허용하중은 1370kg이며, 실험을 통해 얻은 허용하중은 1298kg로서 5.5%의 차이가 있어 보팀버 빔 또한 보, 슬래브 타설용 가설재로 사용하기에 충분한 내력을 가지고 있는 것으로 확인되었다.
- 3) 브라켓 휨 실험을 통한 구조안전성을 검토한 결과, 파괴하중은 2.70 kN이고, 최대하중 시 변위는 17.8mm으로 시스템 내에서 필요한 내력을 확보한 것으로 확인되었다.
- 4) 본 연구를 통해 개발된 동바리의 구조안전성 검토한 결과, 허용하중은 21.88kN이고, 작용하중은 14.04kN로 1.54의 안전율을 확보하여 보, 슬래브 타설용 가설재로 사용하기에 충분한 내력을 가지고 있는 것으로 확인되었다.
- 5) 해체 과정 동안 발생한 현장소음 측정 및 민원 이격거리에 따른 소음도 계산 결과, 기존연구의 재래식 시스템에 비하여 2~3배 정도 낮게 나타나 본 연구 거푸집 시스템의 소음저감 효과가 유효한 것으로 확인되었다.
- 6) 본 연구의 공법에 대하여 콘크리트 타설 중 타설 하중 및 작업하중에 대한 현장적용 및 Mock-up TEST를 대상으로 처짐 실험을 실시한 결과, 현장적용의 경우 처짐량은 약 2.0~2.7mm, Mock-up의 경우 약 0.2~1.2mm로 나타나 기존공법과 비교하여 처짐에 대한 저항성이 큰 것으로 확인되었다.

요 약

콘크리트 건축물 공사에 있어, 거푸집공사는 전체공사비의 10%를 차지하는 중요한 공정이다. 최근의 건축물은 대형화, 고층화가 이루어지고 있다. 이러한 거푸집공사의 고효율과 안전성을 위하여 거푸집공정의 시스템화가 이루어지고 있으나, 여전히 인명사고와 해체공정에서 발생하는 소음 민

원이 빈번히 발생하고 있으며, 이러한 문제의 해결을 위하여 대부분 해외기술에 의존하여 국내 건설현장 여건을 고려하지 않는 관계로 외면되어 기존 거푸집 공법을 답습하고 있는 실정이다.

본 연구는 공정개선, 안전성 향상 및 해체소음 저감이 가능한 슬래브, 보 전용 테이블형 다단 드롭 시스템 거푸집을 개발하고 시스템 내에 사용되는 주요 부재인 장선 멩에와 동바리의 물성을 평가하고, 이 시스템의 현장 적용을 위한 해체공정에서의 소음을 기존 공법과 비교 평가하는 연구로서 실험결과, 멩에 빔과 동바리 모두 슬래브 및 보 타설용 가설재로 사용하기에 충분한 내력이 있는 것으로 나타났으며, 평균소음도가 기존 공법에 비해 10dB(A) 이상 저감되는 것으로 확인되었으며 타설 시의 처짐량을 측정 한 결과, 기존 공법 대비 처짐이 저감되는 것을 확인하였다.

키워드 : 거푸집공사, 시스템 거푸집, 소음저감, 드롭시스템

Acknowledgement

This research was supported by the Research Grant from Hanyang Experiment & Consulting through the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of the Korean government(Project No.: 17TBIP-C111855-02-000000).

References

1. Go SS, Oh JH, A study on the risk assessment of formwork, Journal of the Korea Society of Safety, 2002 Sep;17(3):96-101.
2. Kim JH, Study on developing the aluminum-plastic form to reduce the noise of the aluminum form work [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Korea University; 2017. p. 17-21.
3. Lee SC, Jeon JY, Assesment of annoyance cause by different types of construction noises. Transactions of the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, 2013 Dec;23(12):1111-6.
4. Yang YS, An appropriate use plan by structural system of conventional and system forms[master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Chung-Ang University; 2007. p. 14-26.
5. Oh KG, Slab formwork method using single-drop type yoke with span adjustment(Korea Construction Transport New-Technology)[Internet]. Anyang(Korea): Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement; 2016 Mar [cited 2017 June 20]. Available from: <http://ct.kaia.re.kr/ntecsite/>.
6. Jung WJ, Song SY, Ryu HS, Song DY, Drop-table-type multi-stage noise reduction of reinforced concrete floor height more than 4.2m using a system-type slab formwork, Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 2016 Dec;20(4):49-51.
7. Kang JS, Lee SJ, Song JW, Won YH, Choi SM, Experimental study on pre-cambered unshored deck for 7.5m span structures, Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, 2016 Jun;7(2):7-15.
8. Shin YS, Choi HB, Lee UK, Ann SH, Kang KI, A study on selection of slab form work system for high - rise building construction, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2006 Feb;22(2):147-54.
9. Song H, Park HG, Go SS, A study on the analysis of accident cause of form work using FTA(Fault Tree Analysis) system, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2006 Jun;22(6):119-27.
10. Kim GH, Kang KI, A study on development and application of the unit table form for concrete structural frame work of high-rise buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2003 Aug;19(8):181-8.
11. Kang KI, System form and hoisting technology in high-rise buildings, Magazine of the Korea Concrete Institute, 2016 Jan;28(1):10-1.
12. Shin SH, Ryu HS, Kim DM, Sim SJ, Jeong WJ, Experimental study on the noise evaluation for removal of the table type multi-drop system, Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2016 Nov 2-4; Gangwon, Korea, Seoul (Korea):Korea Concrete Institute; 2016. p. 583-4.
13. Ryu HS, Shin SH, Kim DM, Sim SJ, Jeong WJ, Experimental study on the characteristics of materials for development of the table type multi-drop system, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 2016 Nov 2-4; Gangwon, Korea, Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2016. p. 585-6.
14. Kang SH, Hong SG, Structural behavior of ultra high performance fiber reinforced concrete-reinforced concrete composite slab subjected to bending, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 2013 May 14-16; Yeosu, Korea, Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2013. p. 497-8.
15. Kim BS, Park JM, Oh BH, Kim OK, Choi BJ, Improvement of safety certification system by aluminum form on construction temporary equipment, Proceedings of the Architectural Institute of Korea, 2011 Oct 29; Gyeongsan, Korea, Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2011. p. 271-2.