

거더교 상판 콘크리트 타설용 거푸집 개발 및 경제성 분석

Development of the Purlin Hanging System Form for the Girder Bridge Slab and Economic Analysis

임지영¹

김선국¹

손기영^{2*}

Lim, Jeeyoung¹

Kim, Sunkuk¹

Son, Kiyoung^{2*}

Department of Architectural Engineering, Kyung Hee University, Yongin-Si, Gyeonggi-Do, 17104, Korea ¹

School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Nam-Gu, Ulsan, 44610, Korea ²

Abstract

In the case of South Korea, steel girder bridge (steel box or H-steel) and PSC (Pre-Stressed Concrete) girder bridge are the representative upper structures of railroad and road bridges. These structures account for 75% of the total bridge constructions and 80% of the total construction cost. Since the form work for concreting bridge slab is difficult, various construction methods developed and applied. However, several problems in those methods did not solve partially, including cost increase by material loss and rise of labor costs, quality deterioration by unskilled workers, increased construction time by complicated method, reduced productivity, safety accident by high place work, difficult transportation by big member, and rise of maintenance cost by material characteristic. Alternative method is needed to solve problems of as-is methods. Therefore, the purpose of this study is development of the purlin hanging system form for the girder bridge slab and its economic analysis. Through the findings of this study, it was verified that the purlin hanging system form is possible 60% reduction in cost and 80% reduction in time as comparison with conventional method.

Keywords : girder bridge, bridge slab, bridge superstructure concreting form, bridge construction, economic analysis

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 철도 및 도로 교량의 대표적 상부구조 형식인 철제 (steel box 또는 H-형강) 거더교와 PSC (Pre-Stressed Concrete) 거더교는 현재 가장 많이 시공되는 교량형식으로 [1] 전체 교량의 75%, 시공 금액의 80%를 차지하고 있다 [2]. 이에 거더교에 대한 많은 연구들이 진행되고 있으며, 특히, 거더교 상판 콘크리트 타설을 위한 거푸집 공사는 여러 가지 시공의 어려움 때문에 다양한 공법이 개발 및

적용되었다 [3,4,5,6,7]. 그러나 재료 손실 및 인건비 상승으로 인한 원가 상승, 미숙련공에 의한 품질 저하, 복잡한 시공방법으로 인한 공기 증가, 생산성 저하, 고소작업으로 인한 안전사고 발생, 큰 부재로 인한 운송성 저하, 재료 특성으로 인한 유지관리비 증가 등 여러 가지 문제가 아직 해결되지 않은 실정이며 이를 해결하기 위하여 기존 공법을 대체할 수 있는 공법개발이 필요하다 [3,4]. 공법개발에 따른 원가 절감은 수익성과 연결된다 [8].

따라서 본 연구는 거더교 상판 콘크리트 타설용 시스템 거푸집 (Purlin Hanging System Form, 이하 PHS form)의 개발 및 경제성 분석을 목적으로 한다. 본 연구에서 개발된 거푸집은 기존 공법보다 공기 단축, 공사비 절감 효과가 있고 교량 건설현장에서 본 공법의 적용을 통해 안전성, 시공성, 생산성 향상 등이 기대된다.

Received : March 5, 2016

Revision received : March 30, 2016

Accepted : April 4, 2016

* Corresponding author : Son, Kiyoung

[Tel: 82-52-259-2788, E-mail: sky9852111@ulsan.ac.kr]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 철제 거더교 및 PSC 거더교에 적용 가능한 거푸집 시스템을 개발한 후 사례분석을 토대로 경제성 분석을 실시하여 그 효용성을 검증하는 것을 목적으로 Figure 1과 같이 진행한다.

첫째, 이론적 고찰을 토대로 PHS form의 개발을 위한 요구조건을 도출한다. 둘째, PHS form의 상세설계를 제안하며, 설치 및 해체를 위한 프로세스와 구동방법을 분석한다. 셋째, 실제 교량현장에 사례 적용하여 재래식 공법과 설치비 및 해체비를 비교 및 분석하여 PHS form의 효용성을 검증한다.

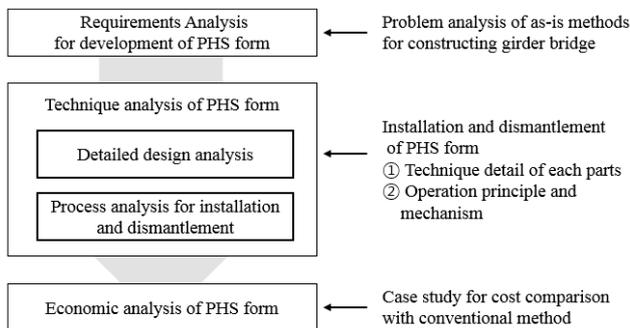


Figure 1. Research methodology

2. 이론적 고찰

거더교 상판 콘크리트 타설을 위한 거푸집 공사는 시공 시 여러 가지 어려움 때문에 다양한 공법이 개발 및 적용되고 있다[3,4]. Lim et al.[4]은 철제 거더교와 PSC 거더교 시공 및 거푸집 공법의 문제점에 대한 분석 연구를 진행하였다[4]. 연구에 따르면 재래식 공법[3,9,10]은 거더 위에 멩에, 장선을 설치하여 콘크리트를 타설하는 공법으로, 현장에서 임의로 모든 부재를 재단하여 설치하므로 재료 손실의 우려가 있다. 이때 미숙련공에 의한 시공품질 저하에 대한 우려가 있을 뿐만 아니라 현장에서 많은 작업이 이루어져 많은 인력 투입으로 인해 인건비가 상승한다[3]. 거푸집 해체 시 교량 바닥판 아래 (지상 30~40m 높이)에서 멩에 단부의 지지부재를 절단하는 작업이 진행되므로 안전사고 발생 우려가 있고, 이때 절단된 거푸집은 바닥으로 낙하되어 부재 파손으로 인해 거푸집의 전용성을 저하시킨다.

또한, 프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판 공법[11,12]과 LB-Deck 공법[13] 등 Half PC 공법은 부분적으로 교량 상판을 공장제작하여 현장으로 운송 및 설치되므로 그 과정

에서 비용이 발생하고, 큰 부재로 인해 차량 적재, 도로여건 등 현장 운송에 어려움이 있다[3]. 교량 바닥판의 접합부 품질 확보 등 세밀한 공사관리가 이루어져야 하므로 생산성 저하가 우려된다.

데크플레이트 공법의 경우[4], 공장에서 부분적으로 교량 바닥판을 생산하여 현장으로 운송하는 비용이 발생하고, 운송 시 큰 부재로 인해 차량 적재, 도로여건 등의 문제가 있다[3]. 또한, 스틸 (steel)의 부식을 예방하기 위한 도금, 코팅, 도막 등 지속적인 방청 비용이 발생하고 교량 바닥판 하부의 균열 확인이 불가능하여 유지관리에 어려움이 있다.

이와 같이, 현재 교량 건설현장에서 주로 사용되는 공법은 재래식 공법으로 이를 보완하기 위해 프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판 공법, LB-Deck 공법, 데크플레이트 공법 등 다양한 공법이 개발되었다. 하지만 이들 공법은 여전히 자재 손실, 과도한 인력투입 등으로 인한 원가 상승, 어려운 시공방법과 미숙련공으로 인한 품질 저하, 공기 증가, 생산성 저하, 안전사고 발생, 큰 부재로 인한 운송성 저하, 유지관리비 증가 등 여러 가지 문제가 부분적으로 해결되지 않았다. 따라서 이를 해결하기 위한 거더교 상판 콘크리트 타설용 거푸집 개발이 필요하다.

PHS form은 이러한 문제점을 해결할 뿐만 아니라 다양한 측면에서 기존 공법보다 향상된 공법이어야 한다. Kim et al.[9]는 원가, 공기, 품질, 안전 등의 측면에서 ‘교량 상판 거푸집 시스템의 요구조건’을 도출하였다. 그러나 누락된 항목에 대한 보완 및 수정이 필요하므로 앞서 언급한 문제점을 고려하여 거더교 상판 콘크리트 타설용 시스템 거푸집의 요구사항을 분석하였다. 현재 재래식 거푸집에서 가장 큰 문제점인 ‘작업자 추락 방지’, 전용성 확보를 위하여 ‘다양한 폭과 길이의 슬래브에 대한 적용 가능성’, 꾸준히 개발중이지만 현장적용이 어려운 PC 부재의 문제점인 ‘거푸집 운송의 용이성’ 등 3개 항목을 추가하였고 ‘거푸집 단부의 상세 설계’가 공기 측면이 아닌 품질 측면으로 분류되어야 하므로 Table 1과 같이 보완하였다.

원가 측면은 거푸집의 제작비용 최소화, 전용성 확보, 표준화 및 규격화, 설치 및 해체 시 인건비의 최소화, 공기 측면은 거푸집의 조립 시간 최소화, 쉽고 신속한 설치 및 해체, 설치 프로세스의 간소화가 고려되어야 한다. 품질 측면은 시공 시 콘크리트 누출 방지, 해체 시 거푸집 자재 손상 방지, PC 및 철제 거더 구조물 손상 방지, 거푸집의 단부 상세 설계, 안전 측면은 거푸집 구조적 안정성, 설치

및 해체 시 안전성, 거푸집 전개 시 구조적 안정성, 작업자 추락방지가 고려되어야 한다. 그 외에는 PC 및 스틸 등 다양한 형태의 거더에 적용가능한지 고려되어야 하고, 다양한 폭과 길이의 슬래브에 거푸집의 길이를 조절하여 사용 가능한지, 부재운송 시 어려움이 없는지에 대해 고려되어야 한다. 본 연구는 분석된 요구조건의 만족도를 고려하여 PHS form의 개발이 진행되었다.

Table 1. Requirements for development of PHS form

Item	Requirements
Cost	<ul style="list-style-type: none"> • Production cost • Reusability • Standardization • Less manpower of Installation and dismantlement
Time	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrication of form frame • Installation and dismantlement of system form easily and rapidly • Fab. Process
Quality	<ul style="list-style-type: none"> • Protection from concrete leakage • Anti-damage of form frame during dismantlement • Structural integrity with PC or steel girders • End form detail
Safety	<ul style="list-style-type: none"> • Structural stability of form frame • Safe installation and dismantlement • Structural stability of form setting • Worker's prevention of falling
Others	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable to any PC or steel girders • Adjustable to the widths of slab concreting • Transport property of form frame

3. PHS form 개발

3.1 PHS form 개요

PHS form은 Figure 2와 같이, 양쪽 거더에 달대 (hanging steel)를 이용하여 지지하고 거더와 동일한 높이의 철판 (steel sheath)을 설치하는 일체형 거푸집으로 교량 상판 콘크리트 타설을 위하여 신속하게 설치 및 해체가 가능한 가설장치이다[14]. 이러한 PHS form은 양쪽 거더와 교량 바닥판을 평탄하게 시공하기 위하여 거더와 철판은 동일한 높이에 위치하여야 하고 펄린 (purlin)은 길이조절이 가능하도록 제작하여 다양한 폭의 교량에 적용이 가능하고 전용성을 확보하여야 한다.

특히, 펄린을 수직으로 통과하여 와이어 (wire)와 연결되는 R&L bar (Rotating and Lifting bar)는 펄린의 길이를 조절할 수 있어 거푸집의 설치 및 해체가 용이하다. 또한, 조이스트 (joist)는 철판과 펄린 사이에 설치되어 철판의 처짐을 방지하고 균일한 하중을 펄린에 전달할 수 있다.

이때 펄린, 조이스트, R&L bar 등은 기성품인 강관과 각관으로 제작하여 제작비용을 최소화하였다.

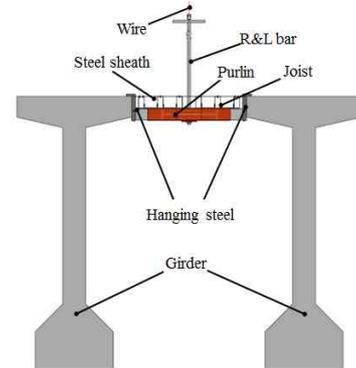


Figure 2. Application of PHS form in PSC girder bridge

3.2 PHS form의 설계 상세

콘크리트의 하중을 균일하게 전달하기 위해 규격화된 PHS form을 길이방향 등간격으로 배치하면 Figure 3과 같이 나타낼 수 있다. Figure 3(a)와 같이, R&L bar를 이용하여 거푸집의 폭을 조절하여 양쪽 거더에 달대로 고정한다. 또한, Figure 3(b), (c)와 같이 펄린과 조이스트가 구조검토를 통해 일정 간격으로 배치하여 하중을 균등하게 전달할 수 있도록 하며 콘크리트 타설이 가능하도록 거더와 동일한 높이의 철판을 설치한다. 콘크리트는 PHS form 설치 후 Figure 3(d)와 같이 타설하도록 한다.

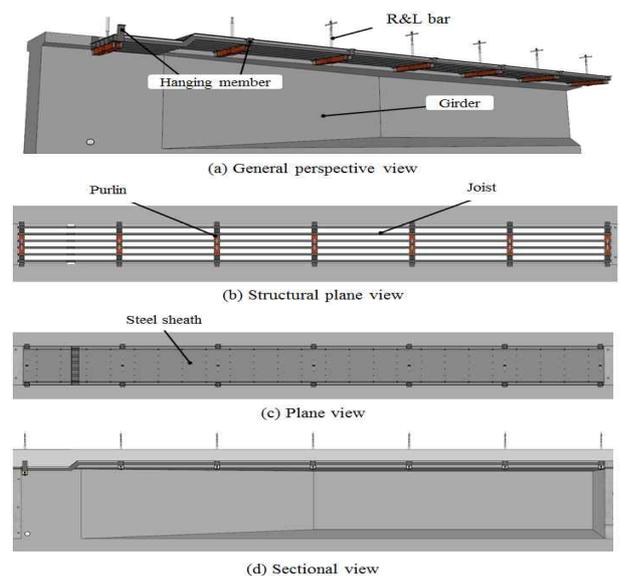


Figure 3. Detailed design of PHS form

Figure 4는 달대상세도를 나타낸다. Figure 4(a)와 같이, 달대는 펄린의 양 단부에 위치하여 거푸집을 양쪽 거더에 고정할 수 있도록 하는 가설장치로, 파손 시 부분적으로 교체하기 위하여 조립할 수 있도록 제작되어야 한다. 또한, 달대에 대한 상세는 투시도 (b), 평면도 (c), 단면도 (d)와 같다. 달대상세도에서와 같이 달대는 거더와 PHS form이 맞닿는 위치에 설치되어 거더에 거푸집의 하중을 전달하는 역할을 하므로, 시공하중 및 거푸집 하중을 고려하여 설계되어야 한다.

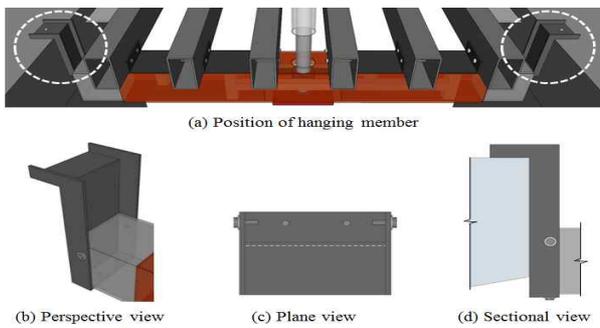


Figure 4. Detailed design of hanging member

Figure 5는 R&L bar 상세도를 나타낸다. R&L bar는 가설장치로 PHS form을 상승 및 하강시켜 거더에 위치할 수 있도록 하고, 회전을 통해 펄린의 길이를 조절하여 거더에 고정 및 해체할 수 있도록 한다.

Figure 5 (a)와 같이, R&L bar는 펄린을 수직으로 통과하는 가설장치로, 손잡이 회전을 통해 펄린의 길이 조절로 PHS form이 다양한 폭의 거더에 적용될 수 있도록 하고 와이어를 연결하여 양중 시 활용한다. R&L bar는 콘크리트 타설 후 교량 바닥판 위로 손잡이가 올라오게 되고, 양생 후 바닥판과의 분리를 위하여 슬리브 (sleeve)를 설치한다 (b). 손잡이 부분은 손으로 쉽게 회전하여 PHS form이 설치 및 해체 될 수 있도록 하고, 와이어 고정장치가 와이어에 걸리는 거푸집의 하중을 견딜 수 있도록 설계한다 (c).

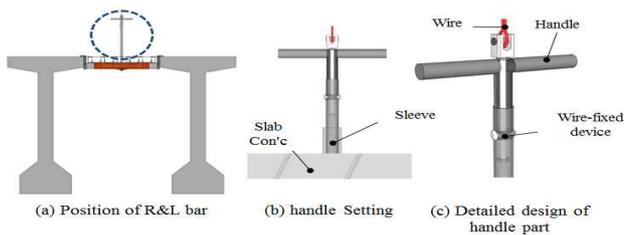


Figure 5. Detailed design of R&L bar

또한, PHS form 설치 후 쉬스와 거더 사이, R&L bar와 철제판 사이 틈새로 콘크리트 누출의 우려가 있다. 콘크리트 타설 전 고무 재질의 슬리브 링 밴드를 Figure 6과 같이 설치하여 콘크리트 누출을 방지할 수 있다.

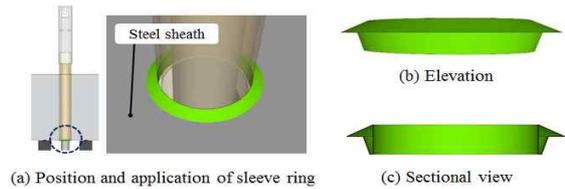


Figure 6. Detailed design of sleeve ring

3.3 PHS form의 설치 및 해체 프로세스 분석

PHS form을 현장 적용하기 위해 설치 및 해체에 대한 정확한 프로세스가 분석되어야 하고, 이를 분석하기 전 PHS form이 설치 및 해체 구동방법이 분석되어야 한다.

PHS form은 R&L bar의 회전을 통해 거푸집이 설치 및 해체될 수 있다. Figure 7은 R&L bar의 설치 위치 및 구동방법을 나타낸다. R&L bar는 펄린을 수직으로 통과되어 기어에 의해 구동되는데, PHS form이 거더에 고정되어 있을 때 시계방향으로 회전 시 펄린의 길이가 줄어들어 해체가 가능하다.

펄린 내부의 기어 상세는 Figure 8 (a),(b),(c)와 같다. Figure 8(a)와 같이, R&L bar는 펄린을 통과하여 펄린의 외부 바닥까지 연결되도록 한다. 이때 Figure 8(b),(c)와 같이 피니언 기어 (pinion gear)와 연결되어 R&L bar가 회전할 수 있도록 하고, 랙 기어 (rack gear)는 펄린 측면 내부에 고정되어 R&L bar의 회전 시 펄린의 길이를 조절할 수 있다.

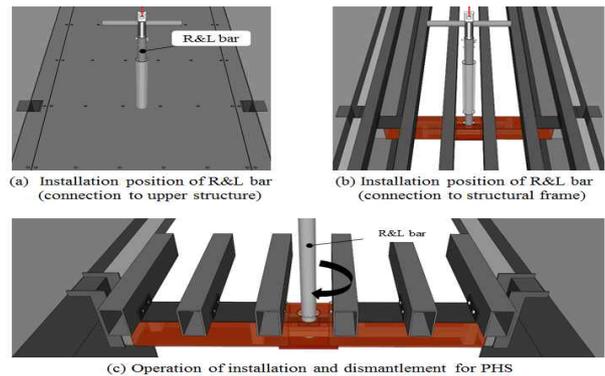


Figure 7. Installation position and operation method of R&L bar

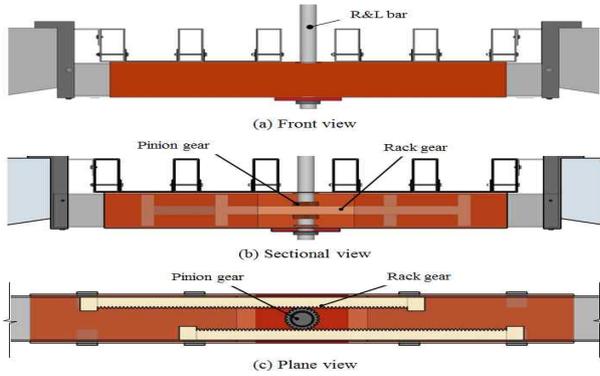


Figure 8. Detailed design of gear in purlin

PHS form의 설치 프로세스는 Figure 9와 같다. 교량 상판으로 PHS form을 인양 및 거더에 설치하기 위하여 공장에서 제작하여 현장에서 조립한다. PC 거더의 폭과 길이를 반영하여 부재의 길이를 조절하고 PHS form 인양을 위한 양중장비, R&L bar, 와이어를 설치한다 (a). 설치 시 거더 손상을 예방하기 위해 PHS form의 폭이 가장 작은 길이로 인양하고 (b) 인양된 PHS form은 거더에 임시 거치한다 (c). R&L bar의 회전을 통해 PHS form을 전개하여 PC 거더에 고정하고, 이때 거더와 PHS form의 쉬스의 높이가 일치하도록 한다 (d). R&L bar 및 와이어를 제거하고 (e) 교량 상판에 콘크리트를 타설하면 (f) PHS form 설치과정이 완료된다.

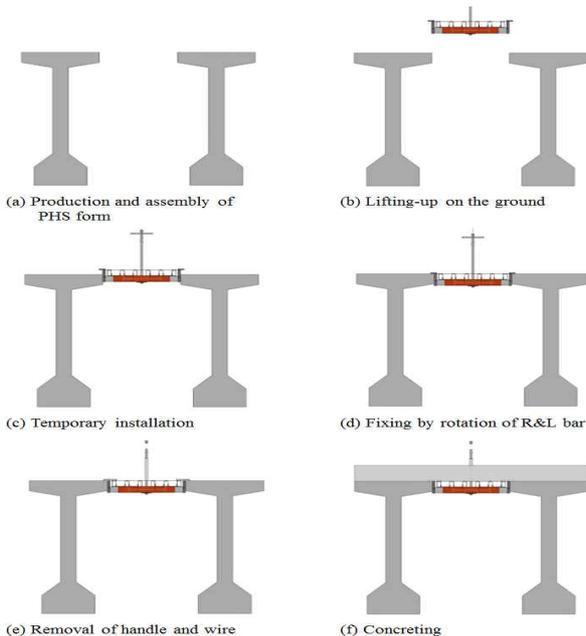


Figure 9. Installation process of PHS form

콘크리트 양생 후 PHS form의 해체 프로세스는 Figure 10과 같다. R&L bar 상부에 와이어를 결속하여 PHS form의 해체를 위한 준비를 하고 (a) R&L bar를 회전시켜 전개된 펄린의 길이가 작아지면 (b) 쉬스는 교량 상판 콘크리트와 분리되고 거더와도 분리된다 (c). R&L bar와 연결된 와이어를 통해 양중장비를 이용하여 하강시키고 (d) 지상에 완전히 하강된 후 R&L bar와 와이어를 제거한다 (e). 슬리브가 위치하여 콘크리트 타설을 하지 못한 교량 상판 부분에 그라우팅하면 (f) 교량 상판 콘크리트 타설공사가 완료된다.

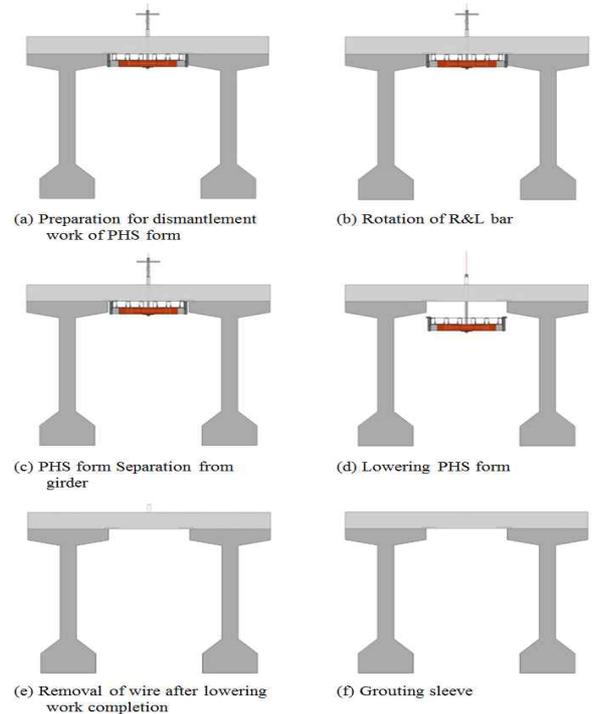


Figure 10. Dismantlement process of PHS form

4. 사례검증을 통한 경제성 분석

본 연구에서 개발된 PHS form의 효용성을 검증하고자 이천 소재 ○○ 교량현장에 PHS form을 적용하였다. Table 2는 적용된 현장의 개요를 나타낸다.

Figure 11과 같이, PHS form은 제작된 기성품을 현장에서 간단하게 조립하여 설치하므로 보통인부 2인으로 0.5일 동안 설치 및 해체가 가능하다. PHS form의 적용 범위는 Figure 12와 같이 이천의 거더교 상판 타설 (24.94m×10.7m)을 기준으로 하였다.

Table 2. Construction overview

Item	Content
Location	Namjeong-ri, Sindun-myeon, Icheon-si, Gyeonggi-do
Size	8.5km (tunnel, bridge)
Period	2012. 06. 01. - 2015. 12. 31 (43 months)
Total construction cost	196,968 million won

PHS form의 경제성 분석을 위해 현재 교량현장에서 주로 적용되고 있는 재래식 공법의 직접공사비를 산정하여 비교하였다. 이때 자재비, 노무비, 기계경비 등은 포함하지만 직접공사비의 비율로 결정되는 재경비는 제외하였다. 재래식 공법의 자재 단가는 포항 소재 ○○ 교량현장의 실제 투입 공사비와 현장 관계자의 자문을 통해 산출하였고 PHS form의 자재 단가는 실제 제작비를 반영하였다. 기계경비의 경우 “2016년 건설공사 표준품셈”을 토대로 산정하였고 노무비 단가는 “2016년 상반기 적용 건설업 임금실태조사 보고서 (시중노임단가)”의 금액을 적용하였다.

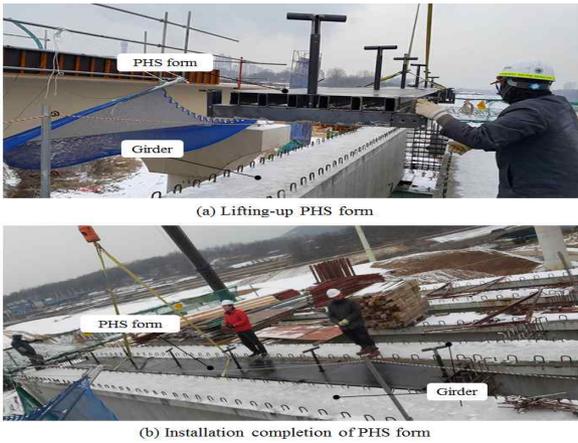


Figure 11. Case study of PHS form

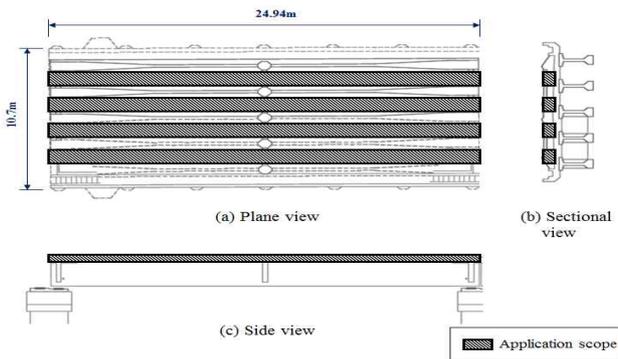


Figure 12. In-situ application scope of PHS form

Figure 12의 범위에 적용하였을 경우, Table 3, Table 4와 같이 재래식 공법과 PHS form의 물량산출에 대한 자재비를 산출하였다. 이때 2016년 건설공사 표준품셈에 의거하여, PHS form (강재 거푸집 사용횟수 기준)은 60회로 산정하였고 재래식 공법 (거푸집 및 동바리 재사용횟수 기준)은 3회로 하였다. 재래식 공법은 7.8백만원이고 PHS form은 5.2백만원으로, PHS form 적용 시 재래식 공법에 비해 33% 자재비 절감이 가능하였다.

Table 3. Quantity take-off and material cost for conventional method

	Item	Unit	EA	Each price (won)	Total cost (1,000won)
Slab form	Plywood (0-7m)	m ²	745	8,087	6,024.81
	Structural rectangular pipe (□-50×50×2.3T)	m	12.6	3,000	37.80
Support for slab form	Rectangular timber (90×90)	m ³	0.729	369,036	269.03
	Wedge pin (4.5T×85)	ea	400	34	13.60
	Notch-plate (2.3T, W=29)	ea	400	475	190.00
	Hanger-bolt/ nut (M12mm)	ea	400	3,260	1,304.00
	Total				7,839.24

Table 4. Quantity take-off and material cost for PHS form

	Item	Unit	EA	Each price (won)	Total cost (1,000won)
Purlin	Structural rectangular pipe (□-100×100×3.2T)	m	34	6,893	234.36
	Structural rectangular pipe (□-100×50×3.2T)	m	238	6,893	1,640.53
Gear	pinion gear	ea	69	10,000	690.00
	rack gear	ea	34	10,000	340.00
R&L bar	Structural circular pipe (○-48.6×3.2T)	m	34	6,893	234.36
	High-tensile bolt/ nut (M25mm)	ea	500	2,260	1,130.00
Sheath	Steel sheath (2T)	m ²	60	15,700	942.00
Total					5,211.25

노무비의 경우, 재래식 공법은 형틀목공 8명을 3일 투입하므로 24인일이고 PHS form은 보통인부 2명을 0.5일 투입하므로 1인일이다. 이때 PHS form의 경우는, 현장 관계자의 자문과 현장 적용시 실제 투입을 통해 산정하였다. 이를 근거로 형틀목공과 보통인부의 단가를 적용하면, 재래식 공법에 비해 97%의 노무비가 절감이 가능하다. 이에 따른 노무비의 비교는 Table 5와 같다.

또한, PHS form은 재래식 공법 적용 시 사용되는 크레인을 활용할 수 있으므로 기계경비는 동일한 것으로 가정하였고 Table 6과 같이 1일 사용료는 644,120원으로 산출되었다. 재래식 공법은 합판 거푸집, 구조용 각관, 각재 등 각종 부재

를 거더 위로 양중하기 위하여 크레인을 사용하고, PHS form은 일체화된 거푸집 설치 및 해체 시 크레인을 활용한다.

재래식 공법과 PHS form의 해체비는 설치비의 80%를 적용하여 Figure 13과 같이 산출하였다. 재래식 공법의 설치/해체 공사비는 22.2백만원, PHS form은 10.7백만원으로, 재래식 공법이 PHS form에 비해 52% 공사비 절감 가능하다. 이와 같이, 전체적으로 재래식 공법에 비해 공사비 및 약 60% 절감이 가능하다고 판단된다.

Table 5. Labor cost for conventional method and PHS form

Method	Unit	EA	Each price (won)	Total cost (1,000won)
Conventional method (carpenter)	Manday	24 (8man·3day)	160,431	3,850.34
PHS form (common laborer)	Manday	1 (2man·0.5day)	94,338	94.34

Table 6. Equipment cost for conventional method and PHS form

Item	Unit	EA	Each price (won)	Total cost (1,000won)	
Material cost	Diesel	L	6.1	1,454	8.87
	Sundries (comparison with diesel)	%	39	-	3.46
Labor cost	Construction equipment operator	man	1	23,389	23.39
Equipment fee	Crane (25ton)	won	0.1991	225,000	44.80
Total (won/1hour)				80.52	
Total Equipment cost (1,000won/1day)		hour	8	80,515	644.12

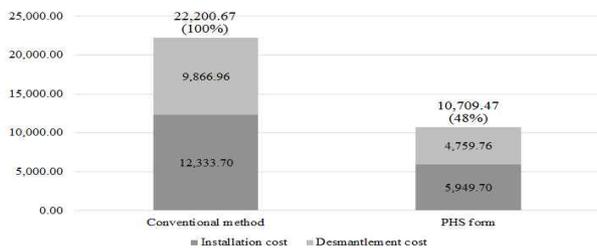


Figure 13. Comparison of installation/dismantlement cost for conventional method and PHS form (unit : 1,000won)

앞서 도출한 Table 1의 PHS form의 요구조건에 따라 사례 적용한 것을 토대로 검증결과는 아래와 같다.

첫째, 공사비 및 공사기간의 경우, 현장 적용결과 재래식 공법은 설치 및 해체 시 8인×3일 투입이 필요하지만 PHS form은 2인×0.5일 투입되어 인건비 97%, 공기 80% 이상 단축된다. 또한, 재래식 공법은 3회의 거푸집 재사용이 가능하고 PHS form은 60회의 재사용이 가능하다. 이와 같이,

자재비, 노무비, 경비를 종합적으로 고려하였을 때 재래식 공법은 약 22.2백만원 소요되지만, PHS form은 약 10.7백만원이 소요되어 재래식 공법보다 약 52% 공사비 절감 가능하다고 판단된다.

둘째, 품질의 경우, 재래식 공법은 현장에서 임의로 재단 및 설치하여 시공하므로 자재 손실로 인한 원가 상승과 시공 품질 저하 우려가 있지만, PHS form은 기성품을 활용한 제작으로 인력 투입량을 줄여 건설현장의 기계화를 통해 원가 절감 및 균일한 시공품질 확보가 가능하다.

셋째, 안전성의 경우, PHS form은 양중장비를 이용하여 설치 및 해체되므로 작업자의 추락사고 위험이 없고 설치 및 해체에 의한 거푸집 손상과 거더 손상을 방지하기 위하여 펄린의 양 단부는 여유 값을 가진다. 또한, PHS form 개발 시 구체적인 시공 프로세스 정립을 통해 거푸집 전개 시 구조적 안정성 확보 및 안전한 설치 및 해체가 가능하다.

넷째, 기타의 경우, PHS form은 조립식 거푸집으로 거푸집을 분할하여 운송할 수 있으므로 운송성이 좋고 PC 및 스틸 등 다양한 형태의 거더에 적용 가능하며 펄린의 길이조절로 다양한 크기의 교량 상판에 적용 가능하므로 전용횡수 증가가 가능하다. 또한, 슬리브 링 밴드를 활용한 콘크리트 누출을 예방하고 미숙련공도 쉽게 이해할 수 있어 생산성이 향상된다.

5. 결 론

본 연구는 기존 공법보다 원가, 품질, 공기, 안전 등의 측면에서 우수하고 다양한 크기와 형태의 철재 및 PSC 거더 교에 적용 가능한 거푸집 개발에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, PHS form의 요구조건을 원가, 공기, 품질, 안전 측면에서 분석한 후 PHS form을 개발하였다. 둘째, PHS form의 검증을 위해 교량 현장사례에 적용하였으며 개발된 PHS form은 재래식 공법보다 공사비 약 52%, 인건비 97% 절감, 80%의 공기 단축이 가능하다는 것을 확인하였다.

이와 같이 PHS form을 국내 교량공사에 적용하는 경우, 공사비 절감, 공기 단축 등의 효과로 해외 건설공사 수주 경쟁력이 향상될 것으로 기대된다. 본 연구에서 논의된 PHS form은 향후 구조설계 타당성 분석을 통해 구조적 안정성에 대한 확보가 필요하고, 콘크리트 바닥판 하중으로 인해 인력으로는 해체 어려움이 있다. 따라서 PHS form은 보다 간단한 형태로 제작하여 설치 및 해체가 용이한 교량

상판 콘크리트 타설용 거푸집에 대한 연구가 필요하다. 또한, 현재 개발된 PHS form의 안전성, 시공성을 더욱 향상시킬 수 있는 지속적인 연구가 필요하다.

요 약

국내 철도 및 도로 교량의 대표적 상부구조 형식인 철제 (steel box 또는 H-형강) 거더교와 PSC (Pre-Stressed Concrete) 거더교는 현재 가장 많이 시공되는 교량형식으로 전체 교량의 75%, 시공 금액의 80%를 차지하고 있다. 거더교 상판 콘크리트 타설을 위한 거푸집 공사는 여러 가지 시공의 어려움 때문에 다양한 공법이 개발 및 적용되었다. 그러나 재료 손실 및 인건비 상승으로 인한 원가 상승, 미숙련공에 의한 품질 저하, 복잡한 시공방법으로 인한 공기 증가, 생산성 저하, 고소작업으로 인한 안전사고 발생, 큰 부재로 인한 운송성 저하, 재료 특성으로 인한 유지관리비 증가 등 여러 가지 문제가 부분적으로 해결되지 않았다. 이를 해결하기 위하여 기존 공법을 대체할 수 있는 공법이 필요하다. 따라서 본 연구는 거더교 상판 콘크리트 타설용 시스템 거푸집 (Purlin Hanging System Form)의 개발 연구 및 경제성 분석을 목적으로 한다. 본 연구를 통해 Purlin Hanging System Form이 기존 공법에 비해 60%의 원가절감, 80%의 공기단축 효과가 있음을 확인하였다.

키워드 : 거더교, 교량 슬라브, 교량 상판 타설 거푸집, 교량 건설, 경제성 분석

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2013R1A2A2A01068297).

References

1. Han JS, Local Analysis of Bridge Seat Considered the Critical Loading of Road and Railroad Bridge Design Specifications [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2005, 27 p.
2. Hyosung LB-DECK, Bridge slab construction method by LB-DECK (PC Panel), Korea Association of Construction Engineering & Management, 2006 Mar;12(3):23-8.
3. Lim J, Hong W, Kim J, Kim S, Basic Study of the System Form

- for Concreting the Bridge Slab, Proceeding of Hong Kong International Conference on Engineering and Applied Science; 2014 Decr 29-31; Hongkong, China, Hongkong (China): Hong Kong International Conference on Engineering and Applied Science; 2014, p. 79-86.
4. Lim JY, Lee DH, Lim CY, Kim SK, Development of the System Form for Concreting the Girder Bridge Slab, Journal of The Regional Association of Architectural Institute of Korea, 2015 Dec;17(6):195-202.
5. Ahsan R, Rana S, Ghani SN, Cost Optimum Design of Posttensioned I-girder Bridge Using Global Optimization Algorithm, Journal of Structural Engineering, 2012 Feb;138:273-84.
6. Sirca GF, Adeli H, Cost Optimization of Prestressed Concrete Bridges, Journal of Structural Engineering, 2005 Mar;131:380-8.
7. Bank LC, Malla AP, Oliva MG, Russell JS, Bentur A, Shapira A, A Model Specification for Fiber Reinforced Non-participating Permanent Formwork Panels for Concrete Bridge Deck Construction, Construction and Building Materials, 2009 Jul;7(23):2664-77.
8. Choi JS, Choi YJ, Chae ST, Yoo SW, Assessment of Project Cost Reduction Potential Adopting Cases-Synthetic Approach, Journal of The Korean Institute of Building Construction, 2009 Oct;9(5):137-46.
9. Kim TG, Lim JY, Kim SK, Requirement Analysis of the System Form for the Bridge Slab, Proceeding of the 2014 Autumn Annual Conference of The Korea Institute of Building Construction, 2014 Nov 14-15; Goseong, Korea, Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2014, p. 195-6.
10. Sung SJ, Lim JY, Kim SK, Basic study about Geometric feasibility analysis of the System form for the Bridge Slab, Proceeding of The 2014 Autumn Annual Conference of The Korea Institute of Building Construction, 2014 Nov 14-15; Goseong, Korea, Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2014, p. 197-8.
11. Kim YJ, Chung CH, Shim CS, A Study on Bond Properties of Joint Grouting Materials for Precast Concrete Bridge Decks, Journal of Korea Concrete Institute, 1998 Feb;10(1):153-60.
12. Kim IG, Kim YJ, Kim SW, Jang SK, Rapid and Mechanized Construction of Bridge Deck with Precast Concrete Deck System Used Longitudinal Tendon, Journal of Korea Concrete Institute, 2007 May;19(3):50-4.
13. Hyosung LB-DECK, Hyosung LB-DECK Brochure. [Internet]. Wonju:Hyosung LB-DECK; 2011 Nov [cited 2014 Aug 20]. Available from: www.lb-deck.co.kr.
14. Sung S, Lim J, Palikhe S, Han K, Kim S, Development of the System Form for Concrete Casting in the Girder Bridge Slab, Proceeding of International Conference on "Engineering & Technology, Computer, Basic & Applied Science" (ECBA-2015), Kota Kinabalu, Sabah Malaysia, Kuala Lumpur (Malaysia): Academic Fora; 2015, p. 15.