변단면 콘크리트 주탑공사의 슬립폼 시스템 적용을 위한 설계기술 연구

윤혜진¹ · 김영진² · 진원종¹ · 김희석*

¹한국건설기술연구원 인프라구조연구실 · ²한국건설기술연구원 글로벌기술협력센터

A Study on the Design of the Slip-Form System for the Construction of Tapered Concrete Pylons

Yoon, Hyejin¹, Kim, Young Jin², Chin, Won Jong¹, Kim, Hee Seok*

¹Structural Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology

²Global Technology Cooperation Center, Korea Institute of Construction Technology

Abstract : This paper studied design of slip form system considering the erection of a pylon mock-up. The height of the pylon is 10 m. A rectangular hollow cross-section was considered. The outer and inner dimensions of the pylons were varied with respect to the height. The thickness of 1 sides among the 4 faces were varied. Accordingly the slip form was designed to respond to continuous changes in its dimensions and thickness. Structural analysis was conducted to examine structural safety of the slip form. Virtual construction by BIM proved its practicality. The developed design technologies were successfully applied to the erection of a 10m high pylon executed for field verification test.

Keyword : Concrete Pylon, Construction of Pylon, Slip-Form, BIM

1. 서 론

최근의 장대교량은 장경간화와 더불어 주탑의 높이도 비약적으로 증가하고, 대부분이 콘크리트 주탑을 채택하는 추세이다. 국내의 경우 콘크리트 주탑 높이는 2000년 완공한 서해대교에서는 182m, 2009년 완공된 인천대교에서는 230.5m, 2013년 완공된 이순신대교에서는 270m이다. 세계 최대 사장교인 러시아의 Russky Bridge에서 높이 320.9m의 콘크리트 고주탑이 적용되어 머지않아 높이 400m 이상의 콘크리트 주탑 가설이 예상된다.

콘크리트 주탑 시공을 위한 거푸집은 용도, 모양, 사용 방법에 따라 다양하게 세분되나 크게 일반 거푸집과 시스템 거푸집으로 구분된다. 시스템 거푸집은 미리 거푸집과 이를 보강하는 지지물 등을 일체화, 유닛화, 대형화 시킨 것으로 고소 구조물의 시공 시에는 작업성 및 안전성을 확보하기 위하여 ACS(Auto Climbing Form System)과 슬립폼시스템(Slip-Form System)과 같이 거푸집과 발판이 일체화된 시스템 품의 적용이 필요하다. 특히 슬립폼 공법은 24시간 연속 타설과 품의 자동 상승 기술의 적용으로 공기 단축의 장점

을 갖는 최첨단 공법이라 할 수 있다. 하지만 국내에서는 지금까지 슬립폼 시스템에 대한 설계와 제작을 수행한 경험 없이 오직 외국 기술에 의존해 왔다. 서해대교, 마창대교, 이순신대교 등에서는 오스트리아의 G.B.G사의 설계 및 제작기술을 전적으로 수입하고 중소 전문업체가 시공하는 실정이다(백헌술 등 2011, 천재원 등 1997). 이러한 이유로 국내에서는 지금까지 해외에 막대한 로열티를 지불해 왔다. 국내에서는 슬립폼 공법에 대한 연구가 일부 진행되었으나(서진선 등 2003) 슬립폼 시스템의 설계기술을 개발하기 위한 체계적인 연구는 진행되지 못하였다. 따라서 콘크리트 주탑 시공을 위한 첨단 공법인 슬립폼 시스템의 설계와 제작기술을 국산화하는 함으로써 초장대교량의 건설 자립화가 필요하다. 이에 본 논문에서는 슬립폼의 설계기술의 자립을 목적으로 10m 높이의 변단면 콘크리트 주탑 시공을 위한 슬립폼 시스템 설계기술을 연구하였다. 이를 위하여 슬립폼 시스템의 구성 요소를 분석하고, 주탑 단면이 하단에서 상단으로 갈수록 줄어드는 단면 변화에 대응하기 위한 설계기술을 연구하였다. 또한 슬립폼 시스템 운용 시 예상되는 하중들을 고려하여 구조적 안전성을 검토하였다. 설계된 슬립폼 시스템은 BIM(Building Information Modeling)에 의한 가상 시공으로 실용성을 사전 검증한 후, 실제 제작·조립하여 10m 높이의 변단면 콘크리트 주탑 시공을 위한 mock-up 실험을 실시하였다.

* Corresponding author: Kim, Hee seek, Structural Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang-Si 411-712, Korea
E-mail: lagoon@kict.re.kr
Received June 27, 2013; revised August 14, 2013
accepted April 24, 2014

2. 변단면 슬립폼 공법

슬립폼 공법은 시스템의 조립이 완료된 후에는 거푸집의 탈부착 없이 거푸집 상승-철근조립-콘크리트 타설-양생의 4 가지 반복 작업이 동시에 이루어지기 때문에 설치 및 해체 기간을 감안하여도 타 공법에 비하여 공사기간이 대폭 단축된다는 장점이 있다. 슬립폼 시스템은 거푸집(Form), 요크(Yoke), 자동 상승 장치, 작업발판 등으로 구성된다(Fig. 1). 슬립폼의 상승은 수직 유압잭(Hydraulic Jack)이 콘크리트 구체 속에 묻혀 있는 로드(Rod)를 물고 요크(Yoke)와 거푸집(Form) 등을 수직 상승시키는 방법으로 이루어진다. 주탑 단면이 하단에서 상단으로 갈수록 줄어드는 변단면 시공을 위해서는 거푸집의 길이를 조정하기 위한 스핀들(Spindle)이 거푸집 외부에 설치된다. 주탑이 특정 높이에 이르러 거푸집의 길이 변화가 요구될 때에는 거푸집 외부에 설치된 스핀들(Spindle)의 길이를 조정함으로써 단면 변화에 대응한다.

Fig. 1. Slip-Form System

3. 변단면 대응을 위한 슬립폼 설계

3.1 주탑 형상

교량 주탑은 일반적으로 중공의 사각 형상을 갖고, 주탑 단면은 하단에서 상단으로 갈수록 줄어든다. 이에 본 연구에서는 10m 높이와 중공의 사각 변단면을 갖는 콘크리트 주탑 시공을 위한 변단면 슬립폼 시스템을 설계하였다. 주탑은 하단에서 상단으로 갈수록 모든 면에서 벽체 길이가 줄어들도록 계획하였다(Fig. 2). 또한 주탑의 1면은 두께가 600mm 에서 500mm로 줄어들도록 계획하였다.

3.2 시스템 구성 및 부재 배치

슬립폼 시스템은 시공하고자 하는 주탑의 형상과 규모를

고려하여 거푸집 상승을 위한 부재, 콘크리트 측압을 지지하고 주탑의 형상 유지를 위한 부재, 변단면 대응을 위한 부재, 작업대를 구성하였다.

Fig. 2. Shape of the pylon

요크(Yoke)는 슬립폼 시스템에서 뼈대가 되는 부재로 수직 방향의 2개의 요크레그(Yoke-Leg)가 수평 방향의 2개의 요크채널(Yoke-Channel)과 연결된다(Fig. 3). 요크는 총 10 개를 배치하였다(Fig. 4). 벽체의 두께 변화 없이 길이 변화만 있는 X-X 단면에는 단면의 내·외부에 요크레그를 두는 ㉠형 요크를 4개 배치하였다. Y-Y 단면은 벽체의 길이와 두께가 동시에 줄어들기 때문에 4개의 ㉠형 요크와 주탑 단면의 외부에만 요크레그를 두는 ㉡형 요크를 추가로 2개 배치하였다.

Fig. 3. Yoke

Fig. 4. Arrangement of yoke(cross section)

슬립폼 공법에서는 거푸집의 탈착없이 수직 유압잭이 콘크리트 구체 속에 묻혀 있는 로드를 물고 거푸집을 상승시킨다. 따라서 유압잭은 슬립폼의 자중을 비롯하여 슬립폼에 작용하는 모든 하중을 지지할 수 있어야 한다. 유압잭은 요크채널의 하부에 위치하도록 설계하였다(Fig. 5). 유압잭은 60kN 용량을 갖고, ㉠형 요크에는 요크 당 1개를 배치하고, ㉡형 요크에는 요크 당 2개를 배치하여 총 12개를 사용하는 것으로 설계하였다(Fig. 6).

Fig. 5. Hydraulic Jack

Fig. 6. Arrangement of Hydraulic jack(cross section)

거푸집 설계에서는 강재 패널과 Glass Fiber Reinforced Plastic(GFRP) 패널을 적용하였다. 기존의 슬립폼 패널은 강재로 제작되어 해상에서의 시공 환경과 군지 않은 콘크리트와의 지속적인 마찰로 인해 부식이 쉽게 발생한다. 또한 강재의 높은 열전도율로 단열 성능이 확보되지 못하여 콘크리트의 경화속도에 악영향을 미칠 수 있다. 이러한 단점을 극복하고자 본 연구에서는 GFRP 재료를 적용함으로써 부식에 대한 내구성을 확보하고자 하였다. GFRP 재료는 단면이 매우 미끄럽고 열전도율이 낮아 슬립폼 적용 시 강재 슬립폼의 단점을 극복할 수 있다(김현중 2012).

본 연구에서는 기존의 강재 패널과 함께 GFRP 패널을 적용하였다(Fig. 7). 이들 패널은 기존의 시공 사례와 철근 조립의 용이성을 고려하여 1.25m의 높이를 갖도록 하였다. 내부 거푸집에는 강재 패널을 적용하였다. 외부 거푸집에는 벽체 길이 변화가 없는 곳에는 GFRP 패널을, 길이 변화가 발생하는 모서리부는 강재 패널을 사용하였다. 거푸집의 보강재 역할을 하는 월러(Waler)는 거푸집의 모든 면에 2단으로 배치하였다. 작업대(Platform)는 상부작업대(Top Deck), 가설작업대(Working Deck), 하부작업대(Hanging Deck)의 3단으로 구성하였다.

Fig. 7. Cross sectional shape of the panel

3.3 변단면 대응을 고려한 부재 설계

기존의 변단면 콘크리트 주탑 시공에서는 거푸집의 전체 높이만큼 콘크리트의 일괄 타설과 양생 후 거푸집을 탈착하여 폼 수정이 이루어진다. 반면 슬립폼 공법에서는 콘크리트의 타설과 거푸집의 인상이 연속적이기 때문에 주탑이

변단면인 경우에는 연속적인 폼 수정이 가능하도록 부재들을 설계하여야 한다. 이에 본 논문에서는 주탑 형상 변화에 연속적으로 대응할 수 있는 요소 설계기술을 연구하였다.

3.3.1 벽체의 길이변화 대응 설계기술

거푸집 패널은 콘크리트의 측압을 지지하고 주탑의 형상을 유지시키는 부재이므로, 벽체의 길이를 변화시키기 위해서는 거푸집 패널이 치수 조절이 가능하도록 설계되어야 한다. 본 연구에서는 슬립폼이 특정 높이에 이르러 벽체의 길이 변화가 요구되는 경우, 거푸집의 길이방향으로 외부에서 압축력을 가함과 동시에 거푸집 패널이 이와 연동하여 자동적으로 치수 조절이 가능하도록 설계하였다. Fig. 8은 벽체의 길이변화를 위한 슬립폼 대응 기술을 보여주고 있다. 거푸집 외부에서 길이방향으로 압축력을 가하기 위하여 벽체의 길이 변화가 발생하는 곳에 스핀들을 설치하였다. 또한 스핀들이 조여짐에 따라 모서리부의 강재 패널이 GFRP 패널 방향으로 점진적으로 이동하면서 서로 겹쳐질 수 있도록 설계하였다. 치수변화가 커서 GFRP 패널이 강재 패널과 완전히 겹쳐졌을 때에는 겹쳐진 GFRP 패널을 제거함으로써 거푸집 크기를 조절할 수 있다. 단면 변화는 모서리부에서 이루어지는 것으로 계획하여 스핀들을 내부폼과 외부폼의 모서리부에 2단으로 배치하여 총 32개를 설치하였다.

Fig. 8. Arrangement of spindles and panels

3.3.2 벽체의 두께변화 대응 설계기술

본 연구에서 고려하는 슬립폼 시스템은 중공단면 주탑의 시공을 위한 것이다. 또한 주탑의 1면은 높이에 따라 두께가 변화하도록 계획하였다. 이러한 벽체의 두께 변화에 슬립폼 시스템이 대응하기 위해서는 요크(Yoke)를 구성하는 외부 요크레그(Yoke-Leg)와 내부 요크레그(Yoke-Leg)의 간격 조절이 가능하도록 설계되어야 한다. 이에 본 연구에서는 요크레그(Yoke-Leg)와 요크채널(Yoke-Channel)의 연결

부에 스크류(Screw)를 설치하고, 슬립폼이 특정 높이에 이르면 정해진 치수만큼 스크류를 조여 요크레그 간격을 축소시킴으로써 벽체의 두께가 줄어들도록 설계하였다 (Fig. 9).

Fig. 9. Screws

3.4 설계 검토

본 슬립폼 시스템은 전술한 바와 같이 상부 작업대는 요크의 상단에 적재되고, 하부 작업대는 요크의 하단에 매달 수 있는 구조를 갖는다(Fig. 1). 따라서 요크는 슬립폼 시스템에서 뼈대가 되는 구조로 슬립폼의 자중, 작업대 하중 등 주탑의 시공 동안 발생 가능한 모든 하중에 안전하도록 설계되어야 한다. 본 연구에서는 10개의 요크가 배치하여 슬립폼 시스템을 설계하였으며, 대표적인 요크 형식을 대상으로 설계 검토를 수행하여 요크의 응력과 유압잭의 용량을 검토하였다(Fig. 10).

Fig. 10. Analysis model

요크는 Table 1의 단면 제원을 갖는 철골 구조물로 빔 요소로 모델링하고, 탄성계수 210,000MPa를 갖는 SS400 강재를 적용하였다(Fig. 11). 요크채널의 중앙에 위치하는 유압잭이 콘크리트에 묻혀 있는 로드와 연결되어 슬립폼에 작용하는 모든 수직하중을 부담하는 것을 고려하기 위하여 해당 절점에 강성이 큰 스프링(2,000kN/m)을 부과하였다. 또한 콘크리트 측압을 부담하는 웰러를 요크 모델링에서 고려할 수 있도록 웰러가 설치되는 위치의 절점은 수평변위를 구속하였다.

Table 1. Dimensions of Yoke

No	component	standard
1	Yoke-Leg	SQ 200x100x6
2	Yoke-Channel(upper)	2U 150x75x6.5
3	Yoke-Channel(lower)	2U 125x65x6.5

Fig. 11. Modelling

하중은 요크 자중을 비롯하여 요크에 전달되는 연결 부재들의 자중, 작업발판에 작용하는 하중, 콘크리트 측압, 풍하중, 슬립법에 따른 마찰하중을 고려하였다. 구조 검토를 위한 프로그램은 상용프로그램인 MIDAS CIVIL 2012를 사용하였다.

Fig. 12. Moment diagram under permanent loads

주탑의 시공 동안 슬립폼 시스템에 작용하는 다양한 하중 조건을 고려하여 유압잭 용량과 요크 부재의 응력을 검토하여 Table 2와 같이 정리하였다. 유압잭은 수직방향으로 작용하는 모든 하중을 부담한다. Table 2에 따르면 유압잭이 부담하는 수직 하중은 최대 29.5kN으로 개별 잭의 용량이 60kN임을 고려하였을 때 설계 시 고려하였던 유압잭의 용량은 충분한 것으로 판단된다. 또한 요크에 발생하는 최대 응력을 검토하였을 때 이 연구에서 설계한 슬립폼 시스템의 요크는 도로교설계기준(2010)에서의 허용응력을 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

Table 2. Results of yoke design check

	Reaction of Jack [kN]	Flexural stress [MPa]	Axial stress [MPa]	Shear stress [MPa]
Ultimate limit state	29.5	37.87	9.62	8.78
Ultimate wind load	6.4	8.03	4.58	1.91
Check result	OK < 60 kN	OK <130 MPa	OK <130 MPa	OK <75 MPa

3.5 BIM 적용을 통한 디지털 가상 시공

기존 건설시장에서는 2D 도면에 의한 설계 방식을 고수해왔다. 하지만 이러한 설계 방식은 제작 및 시공단계에서 많은 설계 오류로 재설계가 반복되고 많은 비용과 시간, 정보의 손실을 초래해왔다. 또한 3차원 형상을 갖는 구조물의 2차원 표현은 형상정보의 전달과 이해를 저감시키는 원인이 되기도 한다. 최근 Building Information Modeling(BIM) 기술은 건축에서 토목분야로 확대되고 있으며, 도로공사 전 생애주기 중 설계단계에서의 BIM을 적용하여 구조물의 사전 시공성을 검토한 사례도 찾아볼 수 있다(김민지 등 2013). 본 연구에서는 슬립폼 설계에 BIM 기술을 적용함으로써 슬립폼의 시각화된 설계로부터 기존의 2D 도면을 검토하였으며, 가상의 조립과 시공을 통하여 개발된 슬립폼 시스템의 실용성을 사전에 입증하였다.

BIM 기술의 가장 큰 장점은 시각화이다. 이러한 시각화 기능을 활용하기 위해 슬립폼 시스템의 부품들을 3D로 모델링하고, 디지털 가상 설치를 수행하였다. Table 3과 같이 부재들의 조립 방법과 설치 순서를 실제 현장 상황을 반영하였다. 이로부터 각각의 부재들의 설치위치를 확인하고 조립과 설치 시 부재들 간의 간섭여부를 확인하였다. Fig. 13은 상부작업대에 이방향으로 설치된 스핀들을 보여준다. 초기 설계단계에서는 상부작업대 상의 스핀들이 동일한 높이에서 수평하게 설치되도록 계획되었으나 가상 설치로부터 스핀들 간의 간섭으로 계획대로 설치가 불가능하다는 것을 확인하였다. 이에 일부 스핀들에 대해서는 Fig. 13과 같이 경사지게 설치하도록 변경하였다. 디지털 가상 설치로부터 확인할 수 있었던 대표적인 설계 오류는 서로 다른 부재들의 연결을 위한 나사 구멍의 불일치이다. Fig. 14는 요크레그와 월러의 연결부에서 나사 위치가 일치하지 않음을 보여준다.

Table 3. Visualization of assembling sequence of slip-form

No	Assembling sequence	Visualization through BIM
1	Yoke
2	Top Deck Frame
3	Waler, Panel
4	Working Deck Panel
5	Handrail, Wood

Fig. 13. Check of position of spindles

Fig. 14. Check of connection point between the components

지면에서의 가상 설치가 완료된 후 주탑 시공 높이에 따른 슬립폼 시스템의 상태를 파악하기 위하여 기존의 3D 모델에 시간 정보를 더하여 4D 시뮬레이션을 구현하였다. 이를 위하여 지면에서부터 주탑 상부 10m 까지 2m 별로 가상시공을 실시하였다(Fig. 15). 본 슬립폼 시스템은 주탑의 벽체의 두께를 조절하기 위하여 요크레그와 요크채널의 연결부에 스크류를 설치하였다(Fig. 9). 초기 설계 단계에서 계획된 369mm 길이의 스크류는 가상 설치 단계에서는 문제되지 않았다. 하지만 4D 시뮬레이션으로부터 10m 시공까지 계획한 벽체 두께를 조절하기에는 스크류의 길이가 짧은 것으로 확인되어 그 길이를 500mm로 수정하였다(Fig. 16).

Fig. 15. Digital virtual erection

Fig. 16. Error check of 2D drawing for the 10m construction

4. 실증실험

개발된 설계 기술들의 검증에 위해 설계된 도면을 바탕으로 슬립폼을 제작·조립하고 목업 실험을 실시하였다.

제작된 주요 부재들은 현장 작업대에서 가 조립을 거친 후 설치되었다. Fig. 17(a)는 설치 전 요크의 가 조립 모습이다. 요크는 가 조립을 마친 후 현장에 설치되었다(Fig. 17b). Fig. 18는 설치된 폼 패널을 보여준다. 벽체 길이 변화가 발생하는 모서리 부는 강재 패널을 설치하고, 벽체 길이 변화가 없는 곳에는 GFRP 패널을 설치하였다. Fig. 19는 유압잭의 설치 모습이다. 유압잭은 요크채널의 하부에 위치시켰다. 이 시스템은 3단 작업대로 구성되어 있는데 하부 작업대는 어느 정도 슬립 업이 진행되어 작업대 설치가 가능한 높이를 확보한 뒤 설치하였다(Fig. 20).

(a) Temporary assembly

(b) In site assembly

Fig. 17. Assembly of yokes

Fig. 18. Form Panel

Fig. 19. Hydraulic jack

Fig. 20. Installation of Hanging decks

콘크리트 배합은 최근 대부분의 장대교량이 해상에서 시공됨에 따라 염해에 대한 저항성을 확보하고 슬립폼의 효율적인 운영이 가능하도록 이순신대교에서와 동일한 콘크리트 배합을 적용하였다(Table 4).

Table 4. Mix proportions of concrete

MIX Type	W/C (%)	Water (kg)	Cement (kg)	Sand (kg)	Gravel (kg)	Superplasticizer (kg)
20-40-200 (blast furnace slag)	35.4	168	475	760	935	4.75

콘크리트는 주·야간에 걸쳐 연속적으로 타설하였다. 1회 콘크리트 타설 높이는 200mm이다. 첫 번째 콘크리트의 타설 후 콘크리트가 1.25m 높이의 패널 상단에 이르기까지 1.5~2시간 간격으로 타설을 반복하였다. 1.25m 높이까지 타설이 완료되면 첫 번째 슬립폼 상승시기를 판단하여야 한다. 슬립폼 상승은 타설된 콘크리트가 구조물로서 자립할 수 있는 초기 강도에 이르렀을 때 이루어져야 한다. 본 실험에서 첫 번째 슬립 업은 초기 타설로부터 11시간 후에 이루어졌다. 슬립 업은 콘크리트의 압축강도 0.2MPa 발현을 기준으로 하였으며, 이를 판별하기 위하여 표면과 속도를 이용한 초기강도 추정기술을 적용하였다(김희석 등, 2012). Fig. 21은 시공이 완료된 주탑 모습이다. 10m 높이의 주탑 시공에 소요된 시간은 5일로, 하루 2m/day의 시공 속도를 나타내었다. 외국기술이 적용된 서해대교와 이순신대교에서 슬립폼 최고 상승속도는 서해대교 2.07m/day, 이순신대교 3.0m/day이다(Table 5). 시공 초기단계에서는 슬립폼 시스템을 구성하는 기계적 장치들의 점검과 시스템의 보완작업이 이루어진다는 점을 감안한다면 본 연구에서 수행한 10m 높이의 주탑 시공에서 슬립폼이 최고 상승 속도를 보이기에겐 어려움이 따른다. 10m 높이의 주탑은 실교량 주탑 규모와 비교하였을 때 시공 초기 단계에 해당한다. 따라서 초기 시공 단계에서 2.0m/day의 상승 속도를 보이는 것은 외국 기술과 비교하였을 때 동등 이상의 수준을 갖는 것으로 판단된다.

Fig. 21. Mockup test of pylon(H=10m)

Table 5. Comparison of slip up velocity of the slip-form

		Seohae Bridge	Yi sun shin Bridge
method		Slip-Form	Slip-Form
design, manufacture		GBG	GBG
height [m]		182	270
slip up velocity of the slip-form [m/day]	ave.	1.57	2.5
	max.	2.07	3.0
	min.	1.10	2.0

5. 결론

본 논문에서는 초장대교 콘크리트 주탑 시공의 첨단 공법이라 할 수 있는 슬립폼 공법의 국내 기술 자립을 목적으로 슬립폼 설계기술을 연구하였다. 이를 위하여 슬립폼을 구성하는 장비 및 부재들을 분석하여 변단면 시공을 위한 슬립폼 대응방안을 도출하였다. 기존의 슬립폼 패널은 강재로 제작되어 지속적인 마찰과 해상에서의 시공환경으로 부식이 쉽게 발생한다. 또한 강재의 높은 열전도율로 단열성능이 확보되지 못하여 콘크리트의 경화속도에 악영향을 미치는 요인이 되어 왔다. 이에 본 연구에서는 부식에 대한 내구성을 확보하기 위하여 슬립폼 패널로 GFRP 재료를 적용하였다. 한편 슬립폼 시스템의 설계에 있어서 BIM 기술의 적용을 통하여 기존의 2D 도면에 의한 설계방식을 탈피하였다. BIM 기술의 적용으로 설계 결과물을 시각화하여 검토하고, 슬립폼 가상 설치와 가상 시공을 통하여 개발된 슬립폼 시스템의 실용성을 사전에 검증하였다. 설계된 제작 도면을 바탕으로 슬립폼 시스템을 제작하고 10m 높이의 주탑을 성공적으로 시공함으로써 본 연구에서 개발된 변단면 슬립폼 시스템의 효율성을 입증하는 성과를 얻을 수 있었다. 본 슬립폼 시스템은 연속적인 단면 변화에 대응 가능하도록 설계되어 슬립폼이 10m 이상의 높이로 상승이 요구될 때에는 설치된 패널과 요크를 제거함으로써 지속적인 단면 변화에 대응할 수 있다. 따라서 향후 실제 주탑 시공에도 개발된 변단면 슬립폼 시스템이 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설기술혁신사업 초장대교량사업단 과제(과제번호:08기술혁신E01)인 “콘크리트 고주탑 가설장비 및 공법 개발(7차년도)” 과제의 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- Baek, H., Shin, Y., Chang, J., and Sea, Y. (2011). “Construction Technology of the Yi sun shin Bridge’s Pylons with Slip-form Method”, *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, 59(3), pp. 23-32.
- Cheon, J. W. and Lee, Y. C. (1997). Mock-up Test of “Slip-form System for Seohae Bridges”, *Daelim Technical Review*, Summer, pp. 99-107.
- Kim, H. J. (2012). “Mechanical Characteristics of GFRP Slip Form for In-Situ Application” Ph.D. Thesis, Hanyang Univ., Seoul, Korea.
- Kim, H., Kim, Y. J., Chin, W. J., and Yoon, H. (2012). “A Study on the Determination of Slip-up Time for Slip-Form System using Surface Wave Velocity”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 32(5D), pp. 483-492.
- Kim, M. J., Lee, K. H., and Kwon, S. H. (2013). “A Case Study on the Constructability of Civil Engineering through BIM(Building Information Modeling)”, *Proceedings of KICEM Annual Conference*, KICEM, 13, pp. 329-330.
- Korea Road & Transportation Association (2010). *Korean Highway Bridge Design Code*, Ministry of Construction Transportation, Seoul.
- Suh, J. S., Han, J. Y., and Im, C. S. (2007). “A Study on the Section Change Using the Slip-Form Method”, *Proceedings of KICEM Annual Conference*, KICEM, 7, pp. 123-128.

요약: 이 논문에서는 콘크리트 고주탑 시공을 위한 최첨단 공법이라 할 수 있는 슬립폼 시스템 공법의 기술자립을 목적으로 슬립폼 설계기술을 연구하였다. 대상 주탑은 10m의 높이를 갖고며 보통 케이블 교량의 주탑에서 적용하는 사각 중공 형상으로 계획하였다. 슬립폼 시스템은 콘크리트의 연속 타설을 고려하여 슬립폼이 연속적으로 단면의 치수변화와 두께변화에 대응할 수 있도록 설계하였다. 또한 시공시 슬립폼에 작용하는 다양한 하중에 대한 안전성을 검토하고, BIM에 의한 가상 시공으로 실용성을 사전 검증하였다. 설계된 제작 도면을 바탕으로 슬립폼 시스템을 제작하고 10m 높이의 주탑을 성공적으로 시공함으로써 개발된 변단면 슬립폼 시스템의 효율성을 입증하는 성과를 얻을 수 있었다.

키워드 : 콘크리트 주탑, 주탑 시공, 슬립폼 BIM