

# 3차원 모델 기반의 미적 교각 설계 및 시공 기술 개발

## Development of Creative Design and Construction Methods of Bridge Piers using 3D Model

이상용<sup>1)</sup>, 당고손<sup>2)</sup>, 심창수<sup>3)</sup>

Lee, Sang-Yong<sup>1)</sup> · Dong, Ngoc Son<sup>2)</sup> · Shim, Chang-Su<sup>3)</sup>

Receive March 13, 2015 / Accepted April 16, 2015

**ABSTRACT:** Bridge piers typically have circular or rectangular shapes without decorative design. Prefabrication for accelerated construction has been widely adopted in bridge structures. Cost for steel formwork is a main restriction of creative irregular shapes. 3D modelling techniques allow creative design of columns and 3D printing provides possibility to minimize the fabrication cost. In this paper, 3D design process of bridge piers was suggested by converting 2D picture into 3D decorative shape. Formwork design using 3D printed panels was also proposed and mock-up tests were conducted. Precast columns need accurate geometry control from fabrication to assembly. Laser scanning and geometry control devices were adopted. Through the digitalized process of design, fabrication and assembly, creative design of structures can be realized in reasonable cost range.

**KEYWORDS:** Bridge Pier, 3D Modeling, 3D Printing, Precast, Geometry Control

**키워드:** 교각, 3차원 모델링, 3차원 프린팅, 프리캐스트, 형상관리

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 사회간접자본 시설물의 노후화로 인해 자산으로서의 가치가 하락하고 있다. 이로 인해 최근에 시설물 설계에서 화두로 제기되는 것이 유산(Legacy)이 될 수 있는 구조물을 만들자는 것이다. 창의적인 디자인은 비용증가를 수반하기 때문에 대규모 사업에서 이를 수용하는 데는 한계를 보였고 특히 현장타설 공법을 사용하는 많은 콘크리트 구조물에서 거푸집 재활용 빈도에 따른 경제성으로 인해서 정형화된 형태를 제외한 구조물은 배제되는 경향이 있다.

고령 사회 진입과 숙련 인력의 급속한 감소는 건설산업에서 품질을 유지하는데 어려움을 야기하고 있다. 이에 따라서 사전 제작을 통한 조립식 구조물에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Billington et al, 1998; El-Sheikh et al, 1999; Hieber et al, 2005). 국내에서도 이와 관련하여 교량 구조물의 급속 시공 기술개발이 이루어지고 있고 특히 바닥판을 비롯한 상부구조와

함께 최근에 하부구조에 대한 프리캐스트 부재 및 연결 기술이 개발되고 있다(Shim et al, 2008; Shim et al, 2010; Shim et al, 2011; Shim et al, 2012).

BIM(building information modeling)은 건설분야에서 취약한 생산성을 높이기 위해 정보의 흐름을 원활하게 하고 창의적인 설계를 가능하게 하는 새로운 절차를 국내외적으로 제시하고 있다(AIA 2008; Sacks et al, 2005; Eastman et al, 2010). 국내에서는 교량 분야에서 조립식 구조의 설계와 형상관리를 위한 3차원 설계 측면에서 연구가 수행되고 있다(Lee et al, 2012; Shim et al, 2012; Kim et al, 2012). 이러한 연구들은 주로 효율성 측면에서 3차원 엔지니어링 기술을 활용하는 목적을 갖고 있다. 미적 설계를 위한 시도는 건축분야에서 활발하게 시도되고 있는 것에 반해서 토목분야의 공공시설물에 대해서는 미진한 실정에 있다.

이에 이 논문에서는 프리캐스트 콘크리트 교각 부재의 미적인 설계를 위한 방법론을 개발하고 이를 경제적으로 구현하기 위한 3차원 프린팅 기술, 제작 및 가설단계에서 활용할 수 있는

<sup>1)</sup>학생회원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정 (lsy12344@cau.ac.kr)

<sup>2)</sup>학생회원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정 (dangngocson@cau.ac.kr)

<sup>3)</sup>정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수, 공학박사 (csshim@cau.ac.kr) (교신저자)

형상관리 방안을 제안하고 이를 관리하는 절차를 제시하였다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

교각의 미적 설계를 위해서 해결해야 하는 과제는 다양하다. 우선, 3차원 기반의 형상이나 문양을 구조설계를 통해 도출되는 특정 형태의 교각에 반영하기 위한 모델링 기술이 요구된다. 모델링이 주어지면 경제적으로 강재거푸집을 구현하기 위해서 비정형성을 갖는 부분에 대한 거푸집 모델링을 효과적으로 수행할 방법론이 요구된다. 교각 모델링이 변수 기반의 3차원 모델로 이루어지면 이에 따른 형상관리 항목을 수치화하고 관리 제한값을 설정하는 절차가 필요하고 형상 보정을 위한 방법론이 필요하게 된다.

이 논문에서 다루는 연구의 대상 및 범위는 Figure 1과 같은 미적 교각의 3차원 설계를 통한 제작 및 시공 관리 기술에 한한다. 프리캐스트 교각은 이음면에서의 정밀한 형상 관리가 필수적이기 때문에 매치캐스팅 방식을 활용하는데 이 연구에서는 이러한 형상관리의 어려움을 개선하기 위한 3차원 모델 기반의 설계와 거푸집 관리, 형상 계측 및 보정 절차를 대상으로 한다.



Figure 1 3D Decorative Design of a Bridge Pier

## 2. 교각의 3차원 설계 기법

### 2.1 2차원 그림의 3차원 모델화 과정

교각은 주로 구조적 효율성 측면에서 원형 단면 혹은 타원형에 가까운 사각형 단면을 사용한다. 창의적인 설계를 하더라도 구조적 효율성을 기본적으로 확보한 상태에서 제시될 필요가 있다. 이 경우에 교각의 형태를 일부 변경하면서 음각 혹은 양각의 디자인을 더하게 된다. 이 논문에서는 2차원 디자인으로부터 3차원 형상을 구현하는 절차를 제시하였다.

2차원 디자인이 주어지면 변수모델링 기법을 활용하여 Figure 2(a)와 같이 2차원 그림을 돌출될 수 있도록 생성하는데 중간

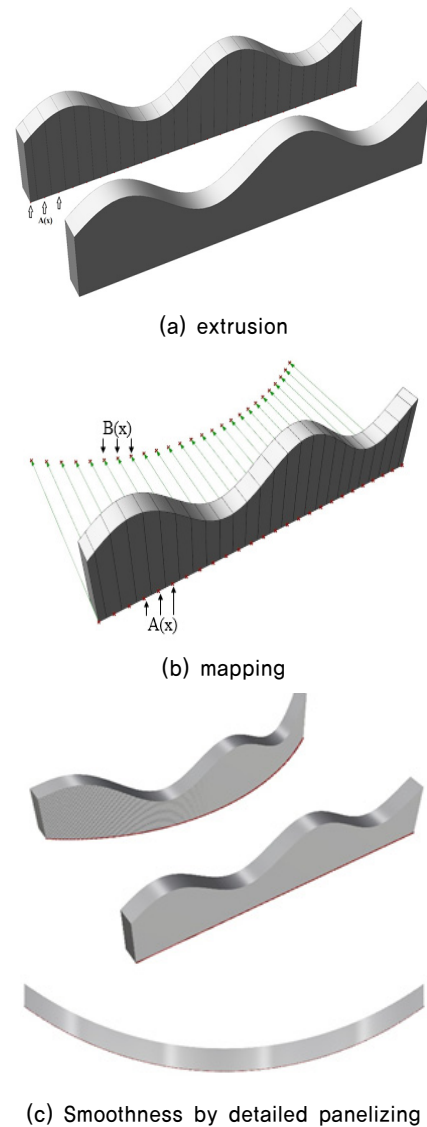


Figure 2 Process to convert 2D picture into 3D shape

단계에 격자를 구성하여 전환할 수 있다. 평면형상을 여러 개로 분할하고 각 평면 형상은 하나의 점  $A(x)$ 를 통해서 조절할 수 있도록 설정한다. 이후 목표가 되는 원형 형상에 있는 점  $B(x)$ 에 맵핑을 하게 된다. 이로부터 벡터  $AB$ 가 설정된다. 이로부터 벡터  $AB$ 를 조정하여 패널라이징된 평면 형태를 움직여서 하나로 합치게 된다. 분할된 정도를 세밀하게 할수록 Figure 2(c)와 같이 부드러운 형태를 얻게 된다.

### 2.3 변수모델링 기법을 이용한 3차원 교각 모델링

교각의 3차원 모델은 변수모델링을 통해 구현할 수 있다. 표 1은 3차원 교각 모델링에 활용되는 변수를 나타낸다. 변수들은 교각의 형상을 구성하는 콘크리트 부분과 내부의 철근상세를 Figure

Table 1 Numerical description of parametric modeling

Segment	Component	Primitive Shape	Parameter	Notation	Numerical data	Unit
FOOTING	Concrete	Box	Length			mm
			Wide			mm
			Height			mm
	Bolt hole (inside of concrete)	Cylinder	Diameter			mm
			Height			mm
			Coordinates of start points			mm
	Tendon hole (inside of concrete)	Pipe around a curve	Diameter			mm
			Coordinates of start point, control points and end point of the control curve			mm
			Angle of distribution			Degrees
	Rebar; Support for stirrup; Hook	Pipe around a curve	Diameter			mm
			Coordinates of start point, control points and end point of the control curve			mm
			Angle of distribution			Degrees
Reinforcement (Longitudinal, Transverse, and forty for tendon holes); Stirrup	Pipe around a curve	Diameter			mm	
		Coordinates of start point, control points and end point of the control curve			mm	
		Spacing			mm	
		Interruption			mm	
SEGMENTAL COLUMN	Concrete	Cylinder	Length			mm
			Wide			mm
			Height			mm
	Tendon hole and Rebar hole (inside of concrete)	Pipe around a straight line	Diameter			mm
			Coordinates of start point and end point			mm
			Angle of distribution			Degrees
	Rebar; Coupler; Support for stirrup	Pipe around a straight line	Diameter			mm
			Coordinates of start point and end point			mm
			Angle of distribution			Degrees
	Stirrup	Pipe around a curve	Diameter			mm
			Coordinates of start point, control points and end point of the control curve			mm
			Spacing			mm
Interruption					mm	
PIER CAP	Concrete	A lofted surface through a set of section	Diameter of the first curve		A graph mapper	
			Shape of the generatrix			
			Amount of control points on the generatrix			
			Distance between control points			mm
	Tendon hole and Rebar hole (inside of concrete)	Pipe around a straight line	Diameter			mm
			Coordinates of start point and end point			mm
			Angle of distribution			Degrees
	Grout hole for prestress jack	Box	Length			mm
			Wide			mm
			Height			mm
	Rebar; Coupler; Support for stirrup	Pipe around a straight line	Diameter			mm
			Coordinates of start point and end point			mm
Angle of distribution					Degrees	
Stirrup	Pipe around a curve	Diameter			mm	
		Coordinates of start point, control points and end point of the control curve			mm	
		Spacing			mm	
		Interruption			mm	
TENDON	Prestress cable	Pipe around a curve	Diameter			mm
			Coordinates of start point, control points, and end point of the control curve			mm
			Angle of distribution			Degrees
	Prestress jack	Box, Conic, and Cylinder	Length, Wide, Height of Box			mm
			Diameter and Height of Conic			mm
		Diameter of tendon hole			mm	
		Angle of distribution			Degrees	

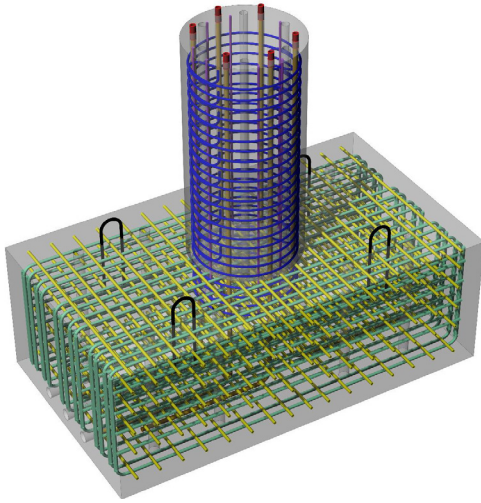


Figure 3 3D Precast pier model with detail of reinforcement by grasshopper

3과 같이 표현 할 수 있다. 변수 모델링에서는 변동 범위 설정, 변수간 관계설정, 설계 기준을 반영한 고정 변수 설정 등 면밀한 고려를 통해 설정해야 한다. 이러한 디지털 모델은 캐드로부터 도출된 모델링에 비해 용량이 적고 다양한 용도에 따라 프로그래밍 수준으로 활용 가능한 장점을 가진다.

Figure 4는 변수를 이용한 3차원 교각 모델링의 절차를 설명한다. 우선 모델링에 필요한 변수를 설정한다. 본 논문에서 사용된 프로그램은 Rhino with grasshopper로 프로그램에 내장되어있는 알고리즘을 활용해 숫자로 구성된 변수를 선, 면, 그리고 객

체로 구성 할 수 있다. 세그먼트의 형상을 원형, 사각형, 타원형 등으로 선정하고 형상구현이 가능한 알고리즘을 활용해 구현한다. 원형단면의 세그먼트의 경우, 원의 중심, 직경, 그리고 높이로 콘크리트의 형상을 표현 할 수 있다. 본 논문에서는 조립식 교각의 축방향 강재가 위치 할 수 있는 홀을 구성하기 위해 홀의 위치, 수, 직경을 고려하여 기둥 세그먼트를 구성하였다. 철근상세의 경우 콘크리트 덮개, 철근 간격, 직경 등을 고려하여 모델을 구현했다. 교각 세그먼트와 동일한 방법으로 기초부와 코핑부를 구현한다. Figure 3는 개념도를 바탕으로 완성된 조립식 교각의 형상과 철근상세를 나타낸다.

명확한 변수 설정으로 구성된 3차원 교각 모델은 이후 유사한 3차원 교각 모델링에 활용 될 수 있으며, 입력된 변수 값으로 물량을 산출 할 수 있다. 변수화된 설계 모델은 구조계산서로부터 도출된 형상 관련 수치들을 이용하여 신속하게 3차원 모델을 생성하고 활용할 수 있게 된다. 이러한 형태의 모델 라이브러리는 활용 가능성이 높고 여러 가지 용도로 유연한 응용을 가능하게 한다.

### 3. 프리캐스트 부재의 3차원 형상관리

#### 3.1 3D 프린트 활용 거푸집

디자인이 반영된 프리캐스트 교각 부재는 제작 비용의 절감과 정확한 형상관리 대책이 필요하다. 이 연구에서는 프리캐스트 세그먼트 제작을 위한 거푸집의 효율성을 높이기 위해서 3차

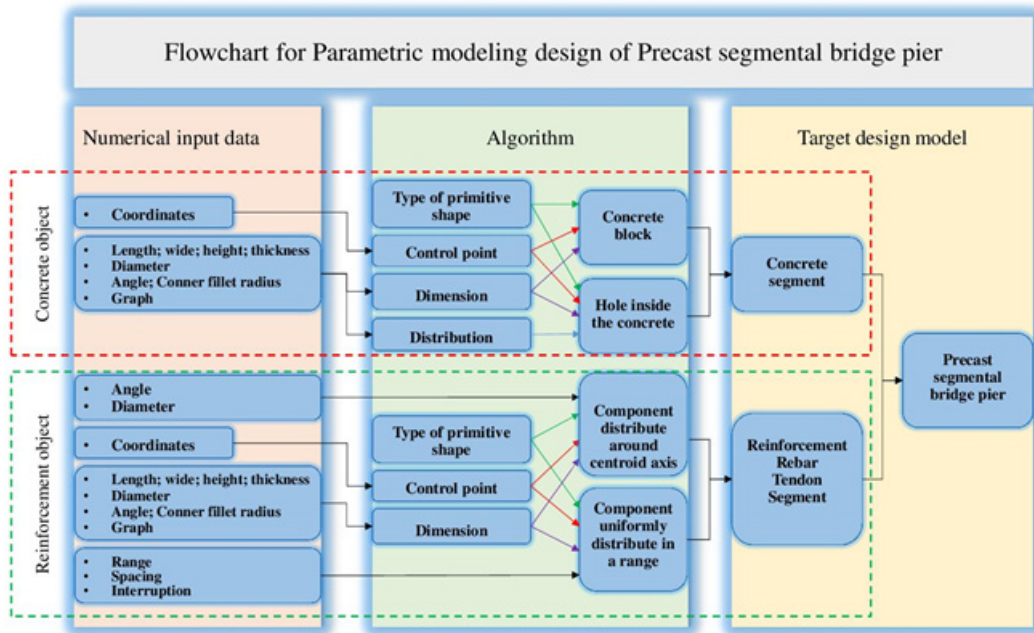


Figure 4 Flowchart for Parametric modeling design of precast bridge pier

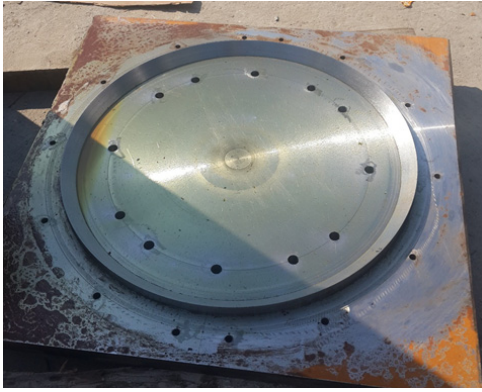


Figure 5 Machine fabricated Formwork

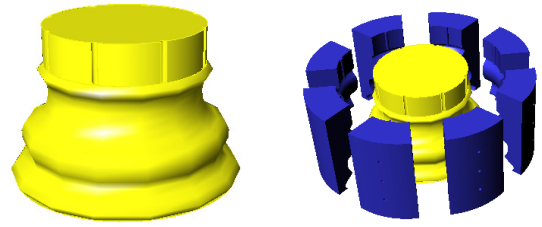
원 프린팅을 활용한 기술을 도입하였다. 기본적인 전제조건은 기존에 사용하고 있는 원형 강재 거푸집을 활용하고 그 내부에 프린팅 패널을 Figure 6과 같이 얇은 강판에 부착하고 이를 강재 거푸집 내부에 고정하여 원하는 형상을 만들 수 있다.

3차원 프린팅 패널의 모델은 앞서 만든 교각의 3차원 모델과 기존 강재거푸집의 디지털 모델을 위치시켜서 그 사이의 공간을 채워서 거푸집 모델을 생성하는 절차를 따른다. 이렇게 만든 거푸집 모델은 3차원 프린팅하는 프린터의 용량에 맞게 나누는 패널라이징을 거친다. 이때 거푸집의 분리시에 콘크리트와 쉽게 분리될 수 있도록 경사를 주고 모따기를 하는 등의 고려가 필수적으로 필요하다. 거푸집 탈형시에 손상을 방지하기 위해서 프린팅 재료는 연성 재료를 사용하는 것이 유리하다.

프리캐스트 교각 제작에서 가장 중요한 점이 이음면이 정확하게 일치해서 프리스트레스트에 의해 단면에 압축력이 도입될 때 응력집중으로 인한 국부 파손을 방지하는 것이다. 이를 위해서 3차원 교각 세그먼트 모델로부터 경계면 거푸집을 Figure 5와 같이 기계 가공을 통해서 제작하였다. 기계 가공은 3차원 모델을 충분히 활용할 수 있는 장점이 있다. 3차원 디지털 모델로부터 거푸집 기계가공을 위한 거푸집 모델을 분리 생성하고 이를 STL 언어로 변환하여 제시하면 가공기계에서 이를 바로 활용할 수 있는 장점이 있다. 매치캐스팅 대체 여부를 시험하기 위해서 상대적으로 두꺼운 강판을 기계가공하여 부재 제작에 사용하였다. 실제 제작 결과 하면에 위치한 이음부는 완벽한 형상구현이 되었고 상면의 경우에는 건조수축에 의해 완전한 평면이 유지되지 못하는 것이 관찰되었다. 그러나 경계면이 완전하고 중간 부분의 수축부위는 이음면에 도포되는 에폭시 층에 의해서 흡수될 수 있는 것으로 나타났다.

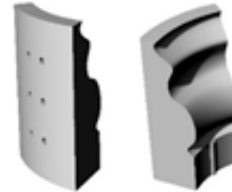
### 3.2 3D 형상관리 절차

변수 모델링에 의해 생성된 모델은 설계모델(Design Model)

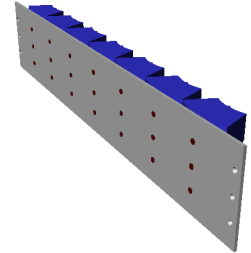


(a) 3D Model

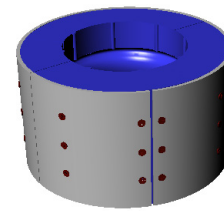
(b) formwork model



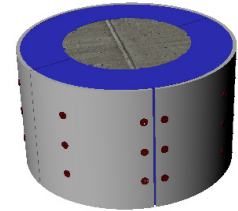
(c) panelized formwork segments are printed by 3d printer



(d) segments are attached to steel plate



(e) steel plate is deformed as shape of steel formwork



(f) pour the concrete



(g) irregular shape after curing

Figure 6 Formwork using 3D printed panels

이고 프리캐스트 부재로 제작된 모델은 제작 모델(Fabricated Model)으로 정의한다. 현장에 운반하여 조립할 때는 사전에 제작된 모델과 원래 설계모델의 형상을 상호 비교하여 현장에서의 형상 보정을 위한 작업지시를 하여야 한다. 시공 모델(Assembled Model)은 결국 설계모델과 일치해야 한다. 이를 위해서 오차를 정량적으로 사전에 평가하고 보정할 수 있는 물리적 방안을 도출해야 한다.

이 연구에서는 Figure 7과 같이 다수의 형상 관리점을 사전에 설정하였다. 이 관리점들은 세그먼트가 제작된 후에 3차원 레이저 스캐닝을 통해 클라우드 데이터를 생성하고 생성된 데이터와 비교를 통해 형상 오차를 설정하게 된다. 이음면의 상호 평탄성



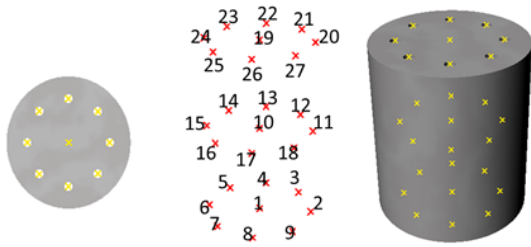


Figure 7 Geometry control points

이 중요한데 일반적으로 예폭시 층이 흡수할 수 있는 수준은 5mm 이내이다. 이를 초과하는 형상이 나올 경우에는 세그먼트 제작을 다시 하거나 연마를 별도로 실시해야 한다. 두 번째는 세그먼트의 연속성을 위한 수직방향 크기이다. 각 세그먼트 가설 후에 프리스트레스가 도입되고 예폭시 층이 있기 때문에 가설시에 이를 모두 고려하여 설계 모델과의 오차 평가를 해야 한다. 교각 가설의 최종적인 형상 관리 목표는 교각의 좌표가 된다. 교각부는 일부 현장타설을 통해서 약간의 조절이 가능하지만 교각의 높이가 높은 경우에는 사전에 이를 반영한 형상 오차 관리가 수행되어야 한다.

### 3.3 형상관리 가설장비 및 작업지시서

프리캐스트 세그먼트가 제작되어 양생되고 적재되어 있는 기간 동안에 콘크리트는 수축 변형을 계속하게 되고 초기에 제작시 오차를 가지고 있게 된다. 프리캐스트 세그먼트 1개의 중량은 현장 여건과 모바일 크레인의 가용성에 따라 다르게 선택될 수 있다. 현재까지의 일반적인 시공은 작업대를 사전에 설치하고 크레인으로 인양된 프리캐스트 세그먼트를 인력으로 정위치 시켜서 가설하는 절차를 거치는데 상당히 위험성이 높고 정위치에 어려움을 겪는 경우가 많다.

이 연구에서는 원래 교각 가설시의 작업대 설치를 위해서 세그먼트에 사전에 설치해두는 고정장치를 활용하여 형상 오차 보정 지그를 설치할 수 있도록 제시하였다. Figure 8과 같이 하

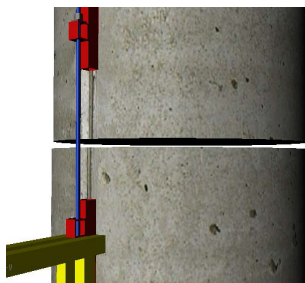


Figure 8 Geometry error control device

The error correction work instruction		Performance	Examination	Approval
Field name	Precast Bridge	Company name		
Type of work	Precast pier	Due date		
Title	Correction work of vertical alignment			
<b>&lt;Instruction&gt;</b> - There are some differences between D-Model and P-Model. - The intervals should be zero using leveling device. - Laser scanning should be utilized to confirm vertical alignment between design model and actual pier.		Interval between segments Front                      Back		
Instruct as stated above		Contractor	:	
		Signature	:	
<b>&lt;Contents of work&gt;</b> - We follow each instructions. - We do the laser scanning to actual model. - After leveling, there is no difference.				
Deal with the instructions as stated above.		Sub Contractor	:	
		Signature	:	

Figure 9 Work Instruction

부 세그먼트에는 작업자의 작업대 고정용 장치에 상부 세그먼트에 달려서 내려오는 강봉을 고정하여 상하로 위치 조절이 가능하도록 하는 볼트 및 너트 형식의 상세가 고려되었다. 원형 단면의 경우에는 3곳 이상의 보정 장치가 있으면 원하는 연속도와 평면을 맞출 수 있다. 이렇게 개선한 시공방법을 통해서 고공 작업에서의 안전성과 함께 정확한 연속도를 확보할 수 있고 이 음면에 도포되는 예폭시가 경화될 때까지 일시적으로 압축상태로 유지되도록 고정할 수 있다. 이를 통해서 양호한 이음부 품질을 확보할 수 있다. 이음부의 품질이 전체적인 조립식 교각의 성능을 좌우하고 향후 내구성에 가장 중요한 요인이 된다.

현장에서 실제 조립작업을 하는 인부들은 기술적 사항을 파악하기 힘들다. 따라서, 사전에 Figure 9의 예시와 같은 작업지시서를 정량적으로 제시해주어야 한다. 앞서 설명한 바와 같이 프리캐스트 세그먼트 제작 후 형상을 측정할 결과와 원래의 설계 모델과의 오차를 평가하고 가설시의 여건을 감안한 형상 보정 장치의 운영 방안이 필요하다. 세그먼트 이음부 마다 3개의 보정 장치를 사용한다면 한 면에서 3점에서의 이음부 간격을 설정해야 한다. 이를 통해서 현장 작업자는 작업지시서를 통해 적절한 이음 간격조정을 하게 되고 이는 형상 오차 보정으로 이어지게 된다. 조립 가설이 진행되는 동안에도 일반적으로 측량이 수행되기 때문에 이를 통해 추가적인 오차 보정 요구사항이 도출되면 이를 현장에서 추가로 반영해야 한다.

## 4. 결론

이 논문에서는 기존의 전통적인 교량 설계에서 미적인 고려

가 많이 이루어지지 않았던 교각에 대한 3차원 설계 방안을 변수모델링을 통해 제시하였다. 3차원 캐드 프로그램을 통해 그리는 것이 아니라 스크립트와 같이 프로그래밍 기법에 따른 모델링을 수행하고 변수에 부여해야 하는 설계 고려사항을 반영할 수 있도록 하였다. 이를 통해 설계자의 실수를 방지하고 다양한 설계 조건을 사전에 모델링에 반영하는 지식기반모델(Knowledge embedded model)을 제시할 수 있다.

창의적인 설계를 구현하기 위해 2차원 이미지를 3차원으로 전환하는 방법론과 3차원 모델링, 이 모델링을 활용하여 프리캐스트 부재를 제작하기 위한 3차원 프린팅 모델, 제작 및 가설 오차를 보정하기 위한 절차와 보정 장치를 고안하여 제시하였다. 최종적으로 현장 작업자를 위해 단순화된 형상 보정 작업지시서를 산출하여 설계에서 시공까지의 일관된 정보 흐름이 유지되어 고품질의 구조물이 구현될 수 있는 방안을 제안하였다.

사전제작 기술은 현재 건설산업에 필수적인 요구 사항이지만 비용 위주의 실무 관행으로 초기 도입시에 한계를 보이고 있다. 이를 극복하기 위해서는 창의적인 디자인을 구현하여 차별화된 설계가 이루어져야 한다. 향후 교량 구조물이 유산이 될 수 있는 창의적 설계와 이를 경제적이고 지속가능한 유지가 될 수 있는 시공 및 유지관리가 되도록 하는 3차원 엔지니어링 기술의 고도화가 필요하다.

## 감사의 글

이 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설기술A01)에 의해 수행되었습니다.

## References

- AIA, Document E202 – Building Information Modeling Protocol Exhibit, American institute of architects, Washington, DC, 2008.
- Billington, S.L., Barnes, R.W., and Breen, J.E. Project summary report 1410–2F: A Precast substructure design for standard bridge systems, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, 1998.
- Eastman C, Sacks R, Panushev I, Venugopal M, Aram V. Precast concrete BIM standard documents: Model view definitions for precast concrete. volume–1, Precast/Prestressed Concrete Institute Report, 2010.
- El–Sheikh, M.T., Sause, R., Pessiki, S., and Lu, L. Seismic behavior and design of unbonded post–tensioned precast concrete frames, PCI Journal 1999; 44(3): 54–71.
- Hieber, D.G., Wacker, J.M., Eberhard, M.O., and Stanton, J.F. State–of–the art on precast concrete systems for rapid construction of bridges. Technical report contract T2659, Task 53, Washington State Transportation Commission; March 2005.
- Hieber, D.G., Wacker, J.M., Eberhard, M.O., and Stanton, J.F. Precast oncrete pier systems for rapid construction of bridges in seismic regions, washington state department of transportation technical Report WA–RD 611,1, Olympia, Washington 2005.
- Kim DW, Chung DK, Shim CS. Development of 3D Parametric Models for Modular Bridge Substructures, Journal of Korea Institute of Building Information Modeling 2012; 2(2): 37–45.
- Lee KM, Lee YB, Shim CS, Park KL. Bridge information models for construction of a concrete box–girder bridge, Structure and Infrastructure Engineering 2012; 8(7): 687–703.
- Shim CS, Lee KM, Kang LS, Hwang J and Kim YH. Three–Dimensional Information Model–based Bridge Engineering in Korea, Structural Engineering International 2012; 22(1): 8–13.
- Sacks R, Eastman CM, Lee G, Orndorff D. A target benchmark of the impact of three–dimensional parametric modeling in precast construction, PCI Journal 2005; 50(4): 126–139.
- Shim CS, Chung CS, Kim HH. Experimental evaluation of seismic performance of precast segmental bridge piers with a circular solid section, Engineering Structures 2008; 30 (12): 3782–3792.
- Shim CS, Chung CH, Kim IK, Kim YJ. Development and Application of Precast Decks for Composite Bridges, Structural Engineering International 2010; 20(2): 126–133.
- Shim CS, Chung YS and Yoon JY. Cyclic Behavior of Prefabricated Circular Composite Columns with Low Steel Ratio, Engineering Structures 2011; 33(9): 2525–2534.
- Shim CS, Kim DW, Kong D. Structural performance of precast segmental composite pier cap, Proc. of 18th Congress of International Association for Bridge and Structural Engineering 2012: 1988–1993.