
프리캐스트 세그멘탈 교량의 선형관리를 위한 GEOCON의 개발에 관한 연구(I)

A Study on the Development of GEOCON for the Geometry Control of
Precast Segmental Bridges(I)



이 환우*

Lee, Hwan-Woo



곽 효경**

Kwak, Hyo-Gyoung

ABSTRACT

The precast segmental method(PSM) is one of the economical construction methods for the prestressed concrete bridges with high quality control. The geometry control is an indispensable technology for the bridge construction by the PSM. For all that, it may be understood by the analogy of experience of some bridge engineers in Korea and it may be still depending on the foreign technology for some domestic projects.

GEOCON was developed from the investigation on the geometry control of the PSM in this study. It is an interactive software to control the 3-dimensional geometry of precast segmental bridges during the construction progress. In this paper, GEOCON's algorithm was discussed and specially, the sensitivity analysis on the fabricated geometry of precast segmental bridges according to the occurring position of precast segment fabrication errors was performed.

Keywords : precast segmental method, short line method, match casting, geometry control, theoretical casting curve, fabricated geometry, control points, new segment, old segment, bulk head

* 정회원, 부경대학교 토목공학과 조교수
** 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 조교수

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 4월 30일까지 학회로 보내주
시면 1998년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

1981년 원효대교 건설로, 우리나라에 장대교량의 건설공법으로서 실질적인 도입이 이루어져 현재에 이르고 있는 P.S콘크리트 교량의 건설기술은 1990년 서울시 내부순환선을 계기로 현장타설공법에서 프리캐스트 세그멘탈(prestcast segmental) 공법에 까지 이르게 되었다.

이에 따른 주변기술의 발전도 많은 국내 연구진의 노력으로 국제적인 수준에 도달해 가고 있다. 그러나, 최근 사회적인 문제가 되었던 원효대교나 일부 기술자들에게만 알려진 몇몇 P.S 콘크리트 교량에서 경험하였듯이 선형관리기술의 실패는 교량완성 후에 보수, 보강을 위한 추가적인 경제적 손실을 가져올 수 있으며 교량가설 중에도 무리한 보정으로 인하여 구조적인 안전성을 저해할 수도 있다. 그동안 많은 연구와 기술개발결과, 현장타설공법에 관한 선형관리 기술은 국내 기술진에 의해서도 원천적인 실패는 방지할 수 있는 수준에 이르고 있다. 그러나, 프리캐스트 세그멘탈 교량의 선형관리 기술¹⁾에 대하여는 아직도 현장의 기술자들이 부분적이고 경험적으로 이해하고 있는 수준이다.

프리캐스트 세그멘탈 공법에서의 선형관리는 공법의 특성상 교량상부가 건설되기 이전의 상태인 세그먼트 제작 중에 선형관리의 성패가 결정된다는 점에서 현장타설 공법과는 달리 가설단계보다는 세그먼트 제작 준비단계와 세그먼트 제작단계가 더욱 중요하다는데 큰 차이점이 있다^{2,3,4)}. 즉, 프리캐스트 세그멘탈 교량은 교량상부 가설 이전에 제작장(casting yard)에서 세그먼트의 제작과 동시에, 교량이 가설되었을 때의 교량선형을 예측하고 보정하는 기술이 요구된다. 이를 위해서는 제작될 세그먼트의 3차원 형상을 나타내고 제작과정에서 발생하는 오차에 따라 다음 세그먼트에 반영해야 할 보정량을 계산하고 제작된 세그먼트들의 조합된 형상을 제공할 수 있는 3차원 선형관리용 S/W와 검측데이터 분석 등의 운용기술이 필요하다. 이러한 필요에 따라 국내의 몇몇 프로젝트에서 자체적인 기술개발을 시도하기는 하였으나 아직도 대부분의 현장에서는 해외의 선진기술력에 의존하고 있다.

본 연구는 선진기술의 Know-How 보호차원에서

공개되지 않는 프리캐스트 세그멘탈 공법의 핵심기술중의 하나인 선형관리 기술에 대한 알고리즘을 구현하고 자체적인 연구를 통하여 3차원 선형관리용 S/W인 GEOCON을 개발하였다. 본 논문에서는 GEOCON을 소개하고, 제작오차의 발생위치에 따라 교량선형에 미치는 영향을 분석하기 위한 수치결과에 대하여도 논하였다.

2. 세그먼트의 제작과 선형

2.1 세그먼트의 제작

세그먼트는 교량의 곡선변화와 편구배 변화로 인하여 날날의 세그먼트를 개별적인 거푸집으로 제작하는 것은 현실성이 없으므로 일반적으로 match casting 방법으로 제작한다. match casting에 의한 세그먼트 제작방법에는 long line 방법과 short line 방법이 있다⁵⁾. 주형의 형고가 일정하거나, 제작장이 long line bed를 설치하기에 협소할 경우에는 short line 방법이 주로 사용된다. 현재까지 우리나라에서 시공되어진 모든 프리캐스트 세그멘탈 교량들의 세그먼트들은 Fig.1과 같은 short line 방법에 의해 제작되었다.

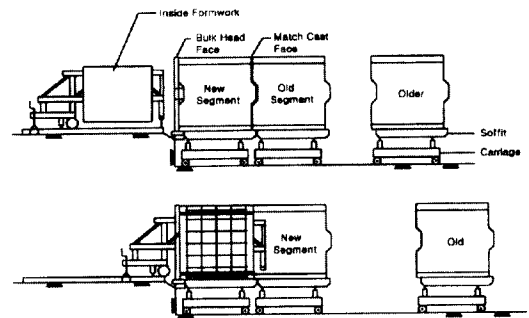


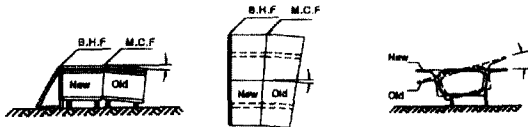
Fig. 1 Short line method¹⁾

Fig.1에서 보는바와 같이, short line 방법에 의한 새로운 세그먼트(new segment)의 제작은 고정된 거푸집과 바로 직전에 제작된 세그먼트(old segment 또는 match cast segment)와의 match casting에 의해 제작된다.

2.2 교량의 제작선형(fabricated geometry)

Fig.2는 종단 곡선구간(Fig.2(a)), 평면 곡선구간

(Fig.2(b)) 및 편구배 변화구간(Fig.2(c))등에서 short line 방법에 의해 제작되는 세그먼트의 기본 제작원리를 보여주고 있다. 이 그림에서 보는바와 같이 세그먼트의 제작선형은 제작장에서 new 세그먼트와 old 세그먼트의 상대적인 위치에 따라 결정되는 것을 알 수 있다.



(a) vertical curve (b) horizontal curve (c) variable superelevation
Fig. 2 Match casting of segments by short line method²⁾

그러나, 실제의 선형은 Fig.2(a), (b), (c)와 같이 개별적으로만 이루어지는 것이 아니고 이들의 조합된 형태로 나타나며, 현실적으로 매번 세그먼트를 제작할 때마다 오차가 발생할 수 있다. 프리캐스트 세그먼트 교량에서 이러한 제작상의 오차, 세그먼트의 가설진행에 따라 현장에서 곧바로 선형관리의 오차를 확인할 수 있는 현장타설공법과는 달리, 초기의 간과된 1mm의 오차가 시간의 끝단에서는 수 십mm의 오차로 나타남을 가설 후이나 확인할 수 있게 된다. 따라서, 프리캐스트 세그먼트 교량의 선형관리에 대한 성패는 제작장에서 결정되며 세그먼트 제작을 관리하는 S/W의 신뢰도와 그 S/W 운용, 그리고 검측 등에 대한 현장 수준이 변수가 된다고 해도 과언은 아니다.

3. GEOCON

본 연구에 의해 개발된 GEOCON은 프리캐스트 세그먼트 교량의 건설에 필수적인 선형관리를 위한 S/W로서 3차원적인 선형관리를 수행한다. 기본적으로는 제작에서의 세그먼트 제작관리를 통한 선형관리를 실시하고, 그 결과로서 자동적으로 계산되어지는 제작선형(fabricated geometry)은 세그먼트 가설시의 선형관리, 즉, 보정시기, 보정방법 및 보정량의 결정에 활용된다.

GEOCON은 Fig.3의 알고리즘에 대한 흐름도에서 볼 수 있듯이, 크게 GEOCON-A, GEOCON-B 등 2개의 모듈로 구성되어 있으며 프리캐스트 세그먼트 교량에서 가장 많이 채택되는 3차원적인 박

스거더의 형상을 Fig.4와 같이 점 1~18의 좌표값으로 이상화시켰다.

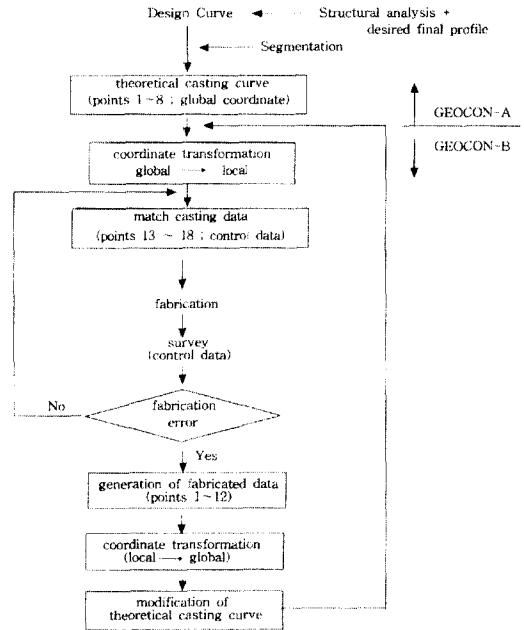


Fig. 3 Flow chart for the geometry control by GEOCON

3.1 GEOCON-A

GEOCON-A에서는 설계곡선(design curve)의 분할을 통하여 설계 제작곡선(theoretical casting curve)을 만든다. 이어서, 교량의 평면 및 종단선형, 편구배 등을 고려한 모든 세그먼트의 형상을 Fig.4의 점 1~8의 위치에서 최종(전체) 기준좌표계²⁾의 좌표값으로 계산한다.

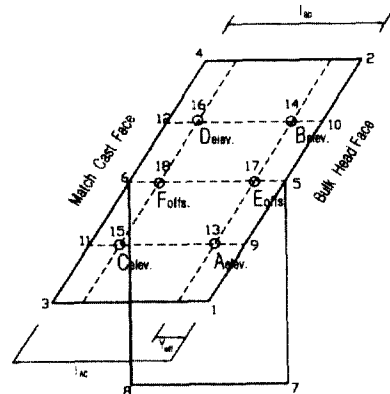


Fig. 4 Control points and data of GEOCON

설계곡선(design curve)은, 현장타설 공법과 마찬가지로, 부재단면의 설계가 이루어진 후에 솟음량(camber) 계산결과와 교량의 설계선형(desired final profile) 조건을 조합하여 결정한다. 솟음량 계산을 위해서는, 크리프와 건조수축 및 P.S 강선의 릴렉세이션 효과를 고려한 시공단계별 구조해석이 수행된다.

세그먼트의 분할은 설계곡선이 결정된 후, 기본설계에서 결정된 세그먼트의 크기(통상적으로 40~70ton 내외)에 따라 Fig.5와 같이 실시한다. 이때, 세그먼트 제작용 거푸집의 bulk head(Fig.1, 2 참조)에 접하는 면은 Fig.5와 같이 반드시 상부 슬래브의 면과 연직이 되도록 한다. 만약, 이 분할면이 연직하지 않아도 된다고 가정하면, 작업자들이나 검측자가 정확한 세그먼트의 제작을 위해 제어해야 할 parameter들과 이에따른 작업량이 많아져 선형관리에 큰 어려움을 겪을 수 있다. 한편, 연직한 분할면에 대한 가정이 만족되기 위해서는 세그먼트 제작용 거푸집, 특히 bulk head면이 전체 세그먼트의 제작이 완료될 때까지 항상 연직성(상부 슬래브 면과의 수직, 수평)을 유지하도록 충분한 강성을 갖도록 설계되어야 한다는 것을 의미하기도 한다. GEOCON-A에서 계산된 결과는 GEOCON-B에 입력된다.

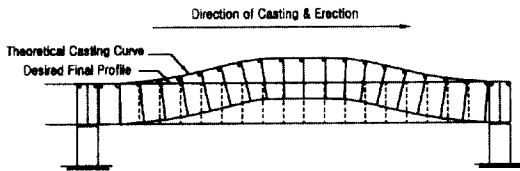


Fig. 5 Segmentation of design curve and theoretical casting curve

3.2 GEOCON-B

GEOCON-B는 GEOCON의 가장 핵심적인 모듈이다. 먼저, GEOCON-A에서 얻어진 최종(전체) 기준좌표계에서 계산된 new 세그먼트와 old 세그먼트의 점 1~8(Fig.4참조)의 좌표값으로부터 점 13~18의 좌표값을 좌표변환(coordinate transformation)을 통하여 계산한다. 점 13~18은 3.3절에서 설명되어지는 GEOCON에서 정의된 제어점(control point)이다. 제어점은 GEOCON에서는 좌표값이 계산되는 가상의 위치이지만 현장에서는 이 위

치에서 GEOCON의 결과에 따라 세그먼트의 제작 및 교량의 선형이 관리된다.

이어서, 전체좌표계에서 계산된 제어점에서의 좌표값은 거푸집의 bulk head를 기준으로 만들어진 보조(국부) 좌표계로의 값으로 변환된다. 이 값들은 제작장에서, match cast segment들(new 세그먼트와 old 세그먼트)의 거푸집을 기준한 제작위치값을 나타낸다. 제작장에서는 계산된 제작위치값에 따라 old 세그먼트를 정위치 시키고 new 세그먼트의 제작값에 따라 콘크리트를 타설, 양생시킨다.

그러나, new 세그먼트의 양생후에 검측을 실시하여보면 계산된 제작위치값과 검측값과는 차이가 날 수 있다. 검측되는 3차원상의 제작오차(종단 및 평면, 비틀림오차)는 콘크리트 타설 및 양생시의 진동이나, 온도변화 그리고 세그먼트 자체에 의한 거푸집 받침판의 침하등 여러 가지 요인에 의해 발생된다. 이미 발생된 제작오차가 다음 세그먼트들에서 적절히 보정될 수 있는 정도의 크기이고, 보정으로 인하여 교량의 전체적인 선형변형이 허용범위를 넘지 않는다면, 다음 세그먼트들의 제작시에 반영되어 교량의 전체적인 선형이 제어되어야 한다.

제작오차가 확인되었을 때, GEOCON-B는 먼저 이미 제작된 세그먼트의 제작오차값을 반영하여 3.4절에서의 방법으로 설계 제작곡선을 수정한다. 계속해서 다음번 세그먼트들의 수정된 제작위치값들이 계산되고, 세그먼트의 제작, 검측 그리고 설계 제작곡선의 수정등 일련의 과정이 모든 세그먼트들의 제작이 완료될 때까지 반복된다. 모든 세그먼트들의 제작이 완료되었을 때, GEOCON-B에 저장된 수정된 설계 제작곡선은 세그먼트들의 제작선형(fabricated geometry)이 되어 가설조립 과정에서의 선형관리를 위해 활용된다.

3.3 제어점(control point)

세그먼트의 제작 및 가설시 교량선형을 관리하기 위해서는 세그먼트 슬래브면에 검측을 위한 제어점(control point)의 설치가 반드시 필요하다. 제어점의 설치갯수와 위치는 제작의 정확성, 효율성 등을 고려하여 결정되어야 한다. 즉, 제어점의 갯수가 많을수록 보다 정확한 세그먼트 형상을 나타낼 수는 있으나 이로 인하여 세그먼트 제작시의 관리 데이터

가 많아져 시공적으로는 효율성이 떨어지게 된다. 제어점은 철판이나 나사못 또는 꺾쇠등을 사용하여 표시한다.

GEOCON에서는 bulk head의 변형이 없다는 가장아래, 세그먼트를 기준으로하는 기본좌표계⁽⁹⁾와 거푸집의 bulk head를 기준으로 하는 보조(국부)좌표계를 일치시켰다. 즉, 거푸집과 new 세그먼트는 일체인 것으로 가정한 것이다. 이에따라, GEOCON에서는 거푸집에는 제어점을 설치하지 않고 세그먼트에만 6개를 설치하였다. 이로써, 관리데이터를 최소화하여 현장작업의 효율을 높이고자 하였다. 현재, 국내 현장에 기술도입되어 사용되고 있는 FORMSETC⁽¹⁰⁾의 경우 제어점의 갯수를 1개의 세그먼트 당 9개~12개로 하고 있다. FORMSETC의 경우는 bulk head의 변형도 선형관리용 S/W의 입력값으로 관리하기 때문이다. 그러나, 만약 bulk head가 세그먼트 제작 중에 항상 변형될 수 있다면 선형관리용 S/W에 의지하기 보다는 세그먼트 제작을 중지하고 거푸집의 강성을 높이는 것이 타당할 것이다.

본 연구에서는 제어점(Fig.4의 점13~18)들을 모두 세그먼트의 상부슬래브에 설치하였으며 종단선형 및 비틀선형 조정을 위해 슬래브 변형 등의 영향이 적은 세그먼트의 web쪽에 4개, 평면선형 조정을 위해 세그먼트의 중심선에 2개를 설치하였다. 제어점들의 위치(Fig.4의 Y_{13})는 가능한 한 세그먼트의 앞, 뒷쪽 면에 근접시키는 것이 좋다. 국내의 프리캐스트 세그멘탈 교량중에서, FORMSETC와 GEOCON이 적용된 프로젝트의 제어점들의 위치는 Table 1과 같다.

Table 1 Distance of the control points from the tip of top slab

Bridge A	Bridge B	Bridge C	Bridge D
80mm	80mm	40mm	20mm

GEOCON에서는 관리데이터로서 Fig.4와 같이 new 세그먼트의 경우는 수준측량값 A_{s1} , B_{s1} , C_{s1} , D_{s1} 와 평면 offset양 E_{s1} , F_{s1} , 그리고 세그먼트의 제작길이인 l_{s1} , l_{s2} , 등을 검측하고, old 세그먼트의 경우는 A~F점에서 수준측량값과 평면 offset양만을 검측한다.

3.4 설계 제작곡선의 수정

먼저, 제어점에서의 검측값으로부터 new 세그먼트의 국부좌표계에서의 제작된 3차원 좌표값(Fig.4의 점1~12)을 계산한다. 이어서 old 세그먼트의 검측결과로부터 match cast 면에서의 종단 및 평면, 비틀경사도를 계산하고 설계 제작곡선의 계획경사도와의 오차를 계산한다. 다음에 제작된 new 세그먼트들의 좌표값들을 match cast면의 경사도차만큼을 고려하여, 최종 기준좌표계에서 old 세그먼트의 앞면을 기준으로 좌표변환 시킨다. 이로써, 제작된 new 세그먼트의 제작선형(fabricated geometry)이 얻어지게 된다. 한편, 세그먼트의 제작오차가 new 세그먼트의 앞면에서 발생되었을 경우와 old 세그먼트의 설치오차에 의한 경우에는 그 다음 세그먼트의 설계 제작곡선의 수정이 불가피하게 된다. 이때는 다음번 new 세그먼트와의 match cast면의 경사도 변화로 인하여, bulk head면에서의 제작 세그먼트의 연속도 유지를 위한 세그먼트 분할이 다시 이루어져야 하기 때문이다.

4. 제작오차의 발생위치에 따른 민감도

Figs. 6~9는 세그먼트의 제작, 검측, 설계 제작곡선의 수정등의 과정을 2차원 평면상에서 기하학적으로 설명하고, 제작오차의 발생위치에 따라 선형에 미치는 영향정도를 알아보기 위한 예제이다. Table 2~5는 Figs. 6~9의 각 경우에 대한 수치계산 결과로서, 그림에서 설계제작곡선(theoretical casting curve)과 제작선형(fabricated curve)에 대한 수치값은 전체좌표계의 값이고, 그림의 제작(fabrication)값에 대한 수치와 표의 수치값들은 보조좌표계에서의 값들이다.

본 예제들의 설계 제작곡선은 그림에서 보는 바와 같이 모두 직선인 것으로 가정하였다. 이에따라, 제어점들에서의 최종(전체)좌표계의 값들은 모두 0.0이 된다. 따라서, 표들에서 보는바와 같이 보조좌표계에서의 설계제작값(desired casting value)도 설계제작곡선이 직선이므로 모두 0.0으로 계산된다. 수치계산은 n번째 세그먼트의 제작과정에서 제작오차가 발생하였고 n-1번째 세그먼트(old 세그먼트)는

자신이 new 세그먼트의 위치에서 있을 때 정확하게 제작된 것으로 가정하였으며 이후의 세그먼트들 (n+1, n+2, n+3)은 수정된 설계제작곡선에 따라 정확히 제작되는 것으로 가정하였다.

실제 현장에서는 Figs. 6~9의 경우가 조합되어 나타날 것이나 본 연구에서는 오차의 발생위치에 따른 민감도 분석을 위해 개별적으로 설명하고자 한다.

4.1 new 세그먼트의 앞면에 발생한 제작오차의 예

Fig.6과 Table 2는 n번째(new) 세그먼트의 콘크리트 타설관리의 오류로 제작오차가 Fig.6(a)에서와 같이 new 세그먼트의 앞면(Fig.4의 제어점 A, B, E)에서 +10mm 발생되었을 경우에 대한 예이다. 현재, n-1번째 세그먼트는 GEOCON에서 출력한 old 세그먼트의 설치위치에 정확히 설치되어져 있다고 가정한다.

앞에서 설명하였듯이 new 세그먼트의 제작 후, 설계 제작곡선의 수정은 최종좌표계에서 old 세그먼트의 앞면 경사도를 기준으로 결정된다. Fig.6(a)는 old 세그먼트의 앞면 경사도에는 오차가 발생하지 않은 경우이므로 n번째(new) 세그먼트의 제작선형이

리트 타설관리의 오류로 제작오차가 Fig.6(a)에서와 같이 new 세그먼트의 앞면(Fig.4의 제어점 A, B, E)에서 +10mm 발생되었을 경우에 대한 예이다. 현재, n-1번째 세그먼트는 GEOCON에서 출력한 old 세그먼트의 설치위치에 정확히 설치되어져 있다고 가정한다.

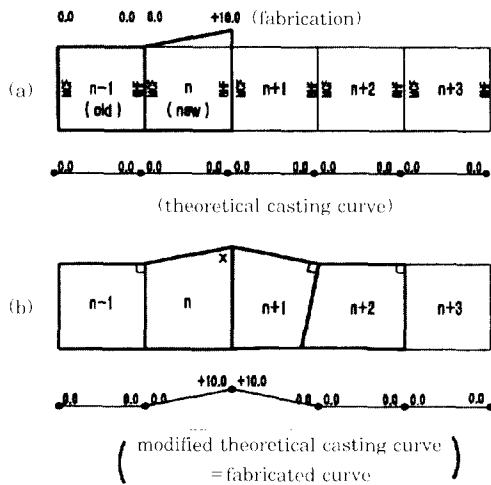


Fig. 6 Fabrication error(+10mm) occurred at the front surface of new segment

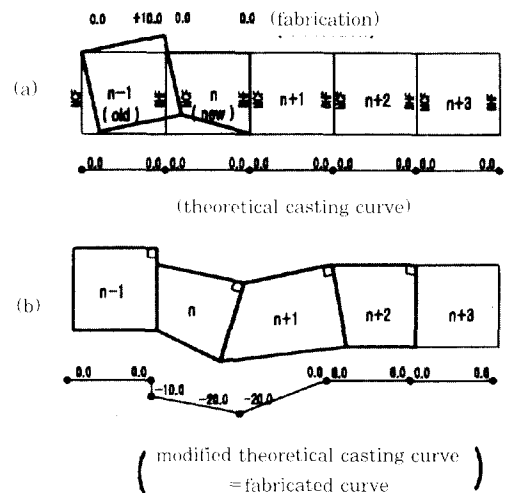


Fig. 8 Fabrication error(+10mm) occurred at the front surface of old segment

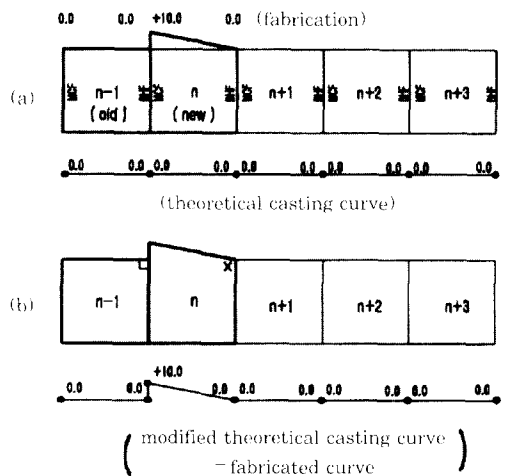


Fig. 7 Fabrication error(+10mm) occurred at the rear surface of new segment

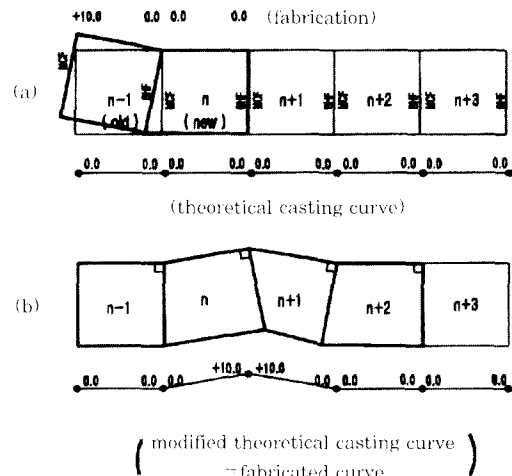


Fig. 9 Fabrication error(+10mm) occurred at the rear surface of old segment

Fig.6(b)와 같이 제작장의 검측값을 변환시키지 않고 그대로 결정되었다. 그러나, n+1번째 세그먼트의 설계 제작곡선은 교량선형의 보장을 위해 Fig.6(b)에서 보는바와 같이 수정되어야 한다. 이는 n번째(new) 세그먼트의 앞면에 대한 제작선형이 설계 제작곡선과 일치하지 않기 때문이다. 한편, bulk head면에서의 연직성 유지라는 세그먼트의 분할원칙에 따라 n+2번째 세그먼트의 뒷면의 경사도도 수정된다. 따라서, Table 2에서 보는바와 같이 n번째(new) 세그먼트의 앞면에서 발생한 제작오차는 n+2번째 세그먼트의 제작에까지 영향을 주게된다. 영향정도는 Table 2에서 보는바와 같이 제작값에는 발생오차의 2배(20mm), 완성된 제작선형은 Fig.6(b)에서 보는바와 같이 발생오차의 크기와 같은 정도(10mm)로 변화된다.

4.2 new 세그먼트의 뒷면에 발생한 제작오차의 예

Fig.7도 n번째(new) 세그먼트의 콘크리트 타설 관리 오류로 인하여 제작오차가 발생한 경우이다. 제작오차는 Fig.7(a)와 Table 3에서와 같이 new 세그먼트의 뒷면(Fig.4의 제어점 C, D, F)에서 +10mm 발생하였다. 이 경우도 Fig.6에서와 같이 n-1번째(old) 세그먼트는 정확한 설치위치에 설치되었다고 가정한다. 따라서, new 세그먼트의 제작선형은 Fig.7(b)에서와 같이 제작장의 검측값과 동일하게 결정된다. 한편, 본 예제의 경우와 같이 new 세그먼트의 앞면에서의 제작선형이 설계 제작곡선과 일치하면 다음 세그먼트들(n+1, n+2, ...)의 설계 제작곡선에 대한 수정도 필요없게 된다. 그러나, n+1

Table 2 Fabrication error(+10mm) occurred at the front surface of new segment

Segments & control points	n-1		n				n+1				n+2				n+3				
	old	new(n-1)	old(n-1)	new(n)			old(n)	new(n+1)			old(n+1)	new(n+2)			old(n+2)	new(n+3)			
	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	
desired values			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
modified values					0.0	0.0	0.0	0.0	-20.0	0.0	0.0	0.0	+10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
fabrication			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	+10.0	-20.0	0.0	0.0	0.0	+10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 3 Fabrication error(+10mm) occurred at the rear surface of new segment

Segments & control points	n-1		n				n+1				n+2				n+3				
	old	new(n-1)	old(n-1)	new(n)			old(n)	new(n+1)			old(n+1)	new(n+2)			old(n+2)	new(n+3)			
	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	
desired values			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
modified values					0.0	0.0	0.0	0.0	+10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
fabrication			0.0	0.0	0.0	0.0	+10.0	0.0	+10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 4 Fabrication error(+10mm) occurred at the front surface of old segment

Segments & control points	n-1		n				n+1				n+2				n+3				
	old	new(n-1)	old(n-1)	new(n)			old(n)	new(n+1)			old(n+1)	new(n+2)			old(n+2)	new(n+3)			
	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	
desired values			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
modified values					0.0	0.0	0.0	0.0	+30.0	0.0	0.0	0.0	-20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
fabrication			0.0	0.0	0.0	+10.0	0.0	0.0	-30.0	0.0	0.0	0.0	-20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Fabrication error(+10mm) occurred at the rear surface of old segment

Segments & control points	n-1		n				n+1				n+2				n+3				
	old	new(n-1)	old(n-1)	new(n)			old(n)	new(n+1)			old(n+1)	new(n+2)			old(n+2)	new(n+3)			
	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	C,D,F	A,B,E	
desired values			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
modified values					0.0	0.0	0.0	0.0	-20.0	0.0	0.0	0.0	+10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
fabrication			0.0	0.0	+10.0	0.0	0.0	0.0	-20.0	0.0	0.0	0.0	+10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

번째 세그먼트의 제작을 위해서, 즉 $n+1$ 번째 세그먼트가 new 세그먼트일 때 old 세그먼트인 n 번째 세그먼트의 설계 설치값(0.0mm)은 Table 3과 같이 발생오차의 크기(10mm)만큼 수정된다.

Fig.7(a)의 경우에서는 match cast 면에서 단차가 발생한 것으로 나타났다. 이 단차는 이미 완성된 세그먼트들 사이에 발생된 것이므로 현실적으로 보정할 수도 없고, 계산적으로 보정해서도 안된다.

4.3 old 세그먼트의 앞면에 발생한 제작오차의 예

new 세그먼트가 아무리 정확하게 제작되었다 하더라도 old 세그먼트의 설치오차에 의해 교량선형이 크게 변화될 수 있음을 보여주는 첫 번째 예가 Fig.8과 Table 4이다.

이 경우는 Fig.8(a)에서 보는 바와같이 n 번째(new) 세그먼트의 경우는 GEOCON에서 출력된 설계값에 따라 정확히 제작되었으나 $n-1$ 번째(old) 세그먼트가 자신의 앞면(Fig.4의 A, B, E)에서 +10mm 만큼 잘못 설치되었다. Fig.8(a)에서 보면 n 번째 세그먼트 이후의 전체적인 교량선형은 설계 제작곡선과 큰 차이가 없는 것으로 보여질 수 있다. 그러나 3.4절에서 설명한 바와같이 Fig.8(a)의 경우는 $n-1$ 번째(old) 세그먼트의 앞면 경사도가 설계값과 다르게 변화되었으므로 n 번째(new) 세그먼트를 좌표변환 시켜야 정확한 제작선형을 얻을 수 있다. 이에 따라 Fig.8(b)와 같이 n 번째 세그먼트 이후의 설계 제작곡선은 대폭 수정된다. 따라서, 전체적인 교량선형도 크게 바뀌게 됨을 알 수 있다. 즉, n (new)번째 세그먼트는 정확하게 제작되었다 하더라도 좌표변환에 의해 new 세그먼트의 앞면에서의 제작선형이 설계 제작곡선과 일치하지 않게 되므로 교량선형의 보정을 위해 $n+1$ 번째 세그먼트의 설계 제작곡선에 대한 수정이 요구된다. 또한, $n+2$ 번째 세그먼트의 뒷면에서의 경사도도 수정되었다.

Table 4의 수치계산 결과에서도 알 수 있듯이 old 세그먼트의 앞면에서 발생한 제작오차는 교량선형의 보정을 위해 $n+2$ 번째 세그먼트까지 발생 오차량의 3배 범위(20mm~30mm)내에서 제작을 조정해야 한다. 완벽한 보정을 실시했다 하더라도 제작선형은 Fig.8(b)에서 보는바와 같이 오차 양의 2배(20mm)

까지 변화된다.

4.4 old 세그먼트의 뒷면에 발생한 제작오차의 예

Fig.9와 Table 5는 old 세그먼트의 뒷면(Fig.4의 제어점 C, D, F)이 +10mm 잘못 설치된 경우이다. 이 경우의 제작오차도 Fig.8의 경우와 같이 $n+1$, $n+2$ 세그먼트의 제작에 영향을 주게된다. 다만, 영향의 정도는 Fig.9(b)와 Table 5에서 보는 바와같이 Fig.8의 경우보다는 작다.

5. 결론

1) 본 연구에서는 선진기술의 Know-How 보호차원에서 공개되지 않는 프리캐스트 세그멘탈 공법의 핵심기술중의 하나인 선형관리 기술에 대한 알고리즘을 구현하였으며, 3차원 선형관리용 S/W인 GEOCON을 개발하였다.

2) GEOCON은 기본적으로 세그먼트 제작관리를 통한 선형관리를 실시하고, 그 결과로서 자동으로 계산되어지는 제작선형(fabrication curve)은 세그먼트 가설시 선형관리, 즉, 보정시기, 방법 및 보정량의 결정에 활용된다.

3) n 번째 세그먼트 제작시에 new 세그먼트 위치에서 발생한 제작오차가 앞면에서 발생하면 이 오차로 인한 보정은 $n+2$ 번째 세그먼트까지 수행되어야 하며, 제작선형의 변화량은 검측오차의 크기와 같다. 한편, old 세그먼트에서 발생하는 제작오차는 new 세그먼트의 경우와 달리 앞면이나 뒷면 구분없이 모두 $n+2$ 세그먼트의 설계 제작 값에 영향을 미친다. 특히, old 세그먼트의 앞면에서 발생한 제작오차는 발생 오차량의 3배 범위내에서 제작을 조정해야 하며, 완벽한 보정을 실시했다 하더라도 제작선형은 오차 양의 2배까지 변화된다.

감사의 글

본 연구를 위해 관련 기술자료의 지원을 아끼지 않으신 브이 에스 엘 코리아(주)의 관계자 여러분들께 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Bender, Brice F., and Janssen, H. Hebert, "Geometry Control of Precast Segmental Concrete Bridges," Journal of the Prestressed Concrete Institute, Vol.27, No.4, July-August 1982, pp.72-86.
2. Barker, James M., "Construction Techniques for Segmental Concrete Bridges," Journal of the Prestressed Concrete Institute, Vol 25, No.4, July-August 1980, pp.66-86.
3. Podolny, Walter, Jr., and Muller, Jean M., Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1982, pp.485~503.
4. Moreton, Alan J., "Segmental Bridge Construction in Florida - A Review and Perspective," Journal of the Prestressed Concrete Institute, Vol.34, No.3, May-June 1989, pp.36-77.
5. Lount, Murray, and Sallay, Judi, User's Manual for Programm FORMSET, Lount Sallay and Associates Inc., Canada, 1992.

요 약

프리스트레스트 콘크리트 교량의 건설공법인 프리캐스트 세그멘탈 공법에서 선형관리 기술은 핵심기술 중 하나이다. 그럼에도 불구하고, 우리나라에서는 몇몇 교량기술자들에게 경험적으로 이해되고 있는 수준을 넘지 못하고 있다. 특히, 세그멘트의 제작에서부터 반드시 필요한 선형관리용 S/W 및 그 운용기술은 아직까지도 선진기술에 의존하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 프리캐스트 세그멘탈 공법의 선형관리 기술에 대한 연구를 통하여 3차원적인 세그멘탈 제작관리와 가설시 선형관리를 위한 제작선형을 자동적으로 계산할 수 있는 GEOCON을 개발하였다. 본 논문에서는 GEOCON의 알고리즘에 대하여 논하였으며, 특히 수치예제로서 제작오차의 발생위치에 따라 교량선형에 미치는 영향을 분석하였다.

(접수일자 : 1997. 4. 9)