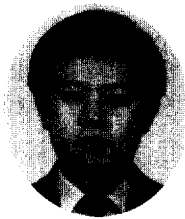


시공관리시스템을 적용한 프리스트레스트 콘크리트 사장교의 가설

— Application of Construction Control System to Prestressed Concrete Cable Stayed Bridge Erection —



김 영 진*



박 칠 림**

1. 서 론

국토의 균형있는 발전을 위해 건설되는 도로망 체계의 원활한 기능발휘를 위해서는, 각종 장애물을 통과하기 위한 수단으로 건설되는 교량의 역할이 대단히 중요하다.⁽¹⁾ 더구나 최근들어 건설재료의 개발, 시공기술의 발전, 해석기법의 개선 및 교량의 경관성 강조 등에 힘입어 교량구조물도 점차로 고급화, 장대화, 다양화 및 경량화되면서 사장교, 현수교 및 세그멘탈 형식의 교량이 증가되는 경향이 있다.⁽²⁾ 따라서 공용기간동안 교량의 안전성과 사용성을 확보하기 위한 유지관리분제도 더욱 복잡해지고 중요시되고 있다.

이중 프리스트레스트 콘크리트(prestressed concrete:PC) 사장교는 강사장교에 비하여 내풍 안전성, 사용성, 내구성 및 경제성 등 우수한 다수의 이점을 갖고 있기 때문에, 국내에서도 장대교량의 건설에 PC 사장교가 자주 채택되고는 있으

나, 이 형식으로 가설되던 신행주대교 및 팔당대교가 건설중 붕괴되는 등 아직도 그 설계와 가설에 관한 기술수준은 다소 부족한 형편이다.⁽³⁾ 이는 PC 사장교가 콘크리트와 강재의 복합구조이고, 시공단계에 따라 구조계의 응력에 변화가 생기고 그 변화량의 누적에 의해 완성된 구조계의 응력상태가 결정되며, 단계적인 시공을 실시하므로서 인접 부재간의 재료성질이 상이하기 때문이다. 또한, 콘크리트의 크리프와 건조수축, PC강재의 릴렉сей션 등과 같은 재료의 시간의존적 성질에 의해 시공중이나 시공이 완료된 후에도 처짐이 변하고 응력재분배현상이 발생하여 그 구조적 거동이 복잡해지므로서, 시공관리가 강사장교보다 어렵기 때문이다.^(4,5)

더우기 PC 사장교는 교차의 부정정구조이고 유연한 구조이기 때문에, 교량의 안전시공을 위해서는 가설시의 정밀도 관리가 대단히 중요하다. 시공관리를 위해 설계단계에서 주케이블의 장력, 주형과 주탑의 형상 및 단면력 등에 관한 시공관리 기준치가 제시되고는 있으나, 시공의 각 단계에서 생기는 각종 요인들이 교량의 형상, 장력 및 응력

* 정회원, (주)대우 건설기술연구소 선임연구원, 공학박사

** 정회원, (주)대우 건설기술연구소 소장, 전문이사

에 영향을 주어 실제의 거동이 설계단계에서 설정된 관리기준치와 오차가 생기게 된다.⁽⁶⁾ 이러한 오차를 방지하거나 가능한한 최소화시키기 위해서는, 교량의 형상, 응력 및 온도 등의 시공관리항목에 대한 방대한 자료를 신속하고 양호한 정밀도로 계측할 수 있는 자동계측시스템과 수집한 시공관리 자료를 실시간(real time)으로 획득하여 관리항목의 최적조정량을 산출할 수 있는 보정시스템을 구축하여 시공허용치의 범위내에서 교량의 형상을 확보하는 등의 체계적인 시공관리기법의 도입이 필요하다.

따라서, 본고에서는 PC 사장교의 안전시공을 도모하는 한 방안으로서, 시공중 교량의 구조응답을 신속히 파악하여 가설시의 안전성을 확보하고, 완성된 최종 구조물의 정밀도를 향상시킬 수 있는 시공관리시스템(contruction control system)과 그 적용에 대하여 논하고자 한다.

2. PC 사장교의 시공관리시스템

2.1 시공관리의 기본개념

PC 사장교의 시공관리를 신속하고 정확하게 수행하기 위해서는 시공에 앞서 시공중이나 완성시의 교량 형상과 각 부재의 응력상태를 좌우하는 각종 요인을 사전에 검토하고 영향이 큰 요인에 대하여 중점적으로 관리하는 것이 효과적이다. 현장의 작업조건, 시공성 및 안전성을 고려해서 PC 사장교의 시공관리시 반영해야 할 기본 사항은 다음과 같다.^(7,8,9)

① PC 사장교는 주형의 강성이 작기 때문에, 설계정수(콘크리트 탄성계수, 크리프 계수, 건조수축률 등)와 시공오차 등에 의해 처짐이 민감하게 변동한다. 따라서 교량의 형상관리(솟음관리, 처짐관리)가 매우 중요하며, 이를 위한 관리기법이 개발되어야 한다.

② PC 사장교는 사장재에 프리스트레스를 도입하여 주형의 휨모멘트가 균등히 분포되도록 하며, 사장재의 장력을 조절하므로써 시공오차의 보정이 가능하기 때문에, 가설시의 장력관리가 불가피하다.

③ 각 시공단계별로 발생하는 각종 오차의 영향을 최소화시키기 위해서는 각 시공단계별로 계측 및 조정을 마친 후, 시공을 진행해야 한다.

④ 켄틸레버공법에 의한 시공의 경우, 원칙적으로 폐합 후의 오차조정이 곤란하기 때문에, 폐합시의 오차를 최소화시키기 위해서는 각 단계별로 오차가 목표치 안에 들도록 세밀히 관리해야 한다.

⑤ 시공관리를 합리적이고 효율적으로 행할 수 있도록, 계측 → 해석, 장래예측 → 조정 → 확인계측이 일괄적으로 시행가능한 시공관리시스템이 되도록 하고, 이를 위해서는 자동계측과 전산처리를 전제로 해야 한다.

2.2 시공관리시스템의 구성

PC 사장교의 시공관리시스템은 관리목적, 관리항목 및 시공방법 등에 따라 다소의 차이는 있으나, 일반적으로 각 가설단계마다 시공에 따른 교량의 구조거동을 계측하고 이를 각 단계에서의 관리기준치(또는 시공계획치)와 비교, 분석하여 만일 오차가 발생할 때는 최적조정량을 구할 수 있는 단계로 구성하는 것이 합리적이다. 그림 1은 이러한 시공관리시스템의 일반적인 구성도이다.⁽¹⁰⁾

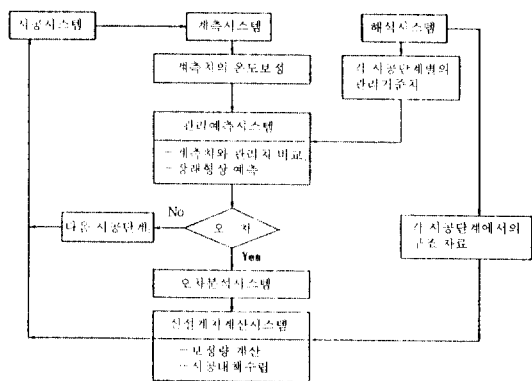


그림 1 시공관리시스템의 구성도

그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 사장교의 시공관리에서 가장 중요한 것은 각 가설단계에서의 교량 형상, 장력 및 온도 등에 대한 계측자료를 정확히

얻는 것과 가설단계에 따른 구조해석을 통해 관리 기준치를 정확히 산정하는 것이다. 이러한 목적을 효율적으로 달성하기 위한 시공관리시스템은 교량구조의 거동을 자동계측할 수 있는 계측시스템(measurement system), 실측치와 관리기준치를 비교분석하는 관리예측시스템(control and forcast system), 오차요인을 분석하는 오차분석시스템(error factor analysis system) 및 구조해석에 의해 새로운 관리기준치를 구하는 신설계치계산시스템(new design value calculation system)으로 구성할 수 있으며⁽¹¹⁾, 이를 통해 최종 교량형상을 항시 관리기준치내로 유지하고 각 시공 단계에서의 시공상황을 신속히 파악하여 다음 시공단계에 반영하므로써, 고정도의 시공관리가 이루어질 수 있다.

3. 시공관리시스템의 적용

PC 사장교와 같이 많은 시공단계를 통하여 건설되는 교량에서는 가설오차의 발생을 피할 수 없지만, 설계단계에서 부터 오차를 고려하고 그 오차량을 관리하면서 가설을 진행하면 신뢰성이 높은 교량구조를 건설할 수 있다. 따라서, 대형교량을 건설할 경우 기술위원회가 구성되어, 각 교량에서 발생되는 오차발생의 메카니즘과, 발생량에 대한 합리적 추적 및 보정법 등의 연구를 통해 가설 정도관리를 수행하는 경우가 일반적이다.^(12,13,14,15) 본 절에서는 일본의 靑森大橋^(13,14)와 東明足柄橋⁽¹⁵⁾의 사례를 중심으로 이러한 시공관리의 실 적용예를 알아보고자 한다.

3.1 靑森大橋의 경우

(1) 靑森大橋의 개요

靑森大橋은 1992년 7월에 개통된 靑森시의 동시향반 시설간의 연락교로서 총연장 1,219m의 고가교이며, 이중 특히 교장 498m의 PC 사장교는 주경간 240m, 측경간 128m로 구성된 일본최대의 3경간 연속사장교이다. 그림 2는 본 교량의 측면도이다.

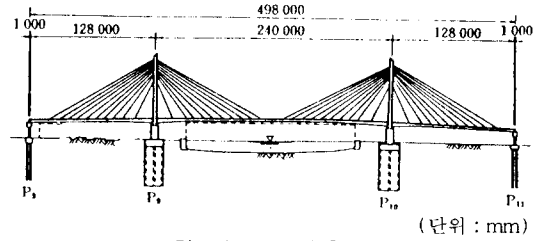


그림 2 靑森大橋의 측면도

(2) 시공관리시스템의 개요

본 PC 사장교의 경우, 상부공의 시공에 앞서 시공중 또는 완성시의 교량 형상과 각 부재응력 상태를 좌우하는 각종 오차요인 가운데, 해석적인 접근이 가능한 항목에 관한 사전검토를 통해, 영향이 큰 요인에 대해서 중점적으로 관리하였다. 사전검토의 결과, 사장재 장력의 변동과 온도 하중이 주형의 처짐과 응력에 미치는 영향이 비교적 큰 것으로 나타났다. 따라서 사장재의 장력과 주형의 처짐(또는 솟음)을 주요 관리항목으로 하고, 이에 큰 영향을 미치는 온도에 대해서는 실시간(real time)으로 평가할 수 있는 계측시스템을 구축하여 시공관리를 행하였다. 그림 3은 본 교량의 시공관리 흐름도이다.

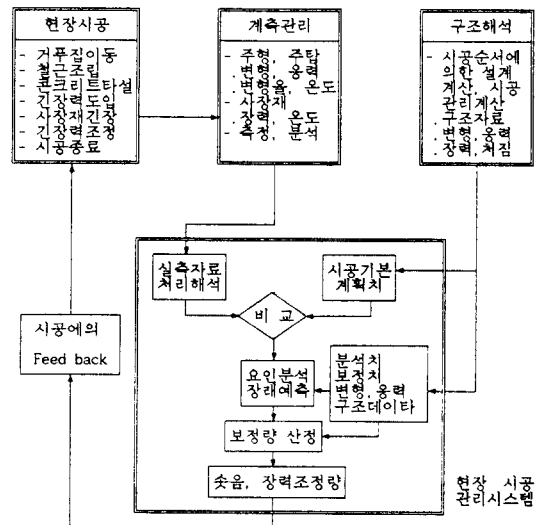


그림 3 靑森大橋의 시공관리시스템

(3) 사장재의 장력관리

1) 장력관리의 목적

교량에서 사용하고 있는 장력관리방법은 교량의 형상관리를 그 목표로 하고 있다. 즉 주탑, 사장재 및 주형을 공장 및 가설현장에서 정밀관리하여 제작한 후, 소정의 정밀도를 만족시키는 형상을 갖도록 조립하면서 동시에 사장재에 도입된 장력을 관리하는 방법을 사용하고 있다.

그러나, 콘크리트 사장교의 경우에는 임의의 형상을 갖는 부재들이 현장에서 시공되기 때문에 강교와 동일한 방법에 의한 형상관리는 곤란하다. 따라서, 전체구조의 조립이 완성된 후, 전 사장재가 설계계산에서 설정된 소정의 장력이 되도록 장력을 조절할 필요가 있다. 특히, 콘크리트 사장교에서는 시공단계에 따라 복잡한 설계 계산을 반복하기 때문에 설계단계에 있어서 각 사장재의 도입 장력을 정확히 결정하여 시공중에 사장재 장력이 조정이 가급적 없도록 해야한다. 그러나 일반적으로 이러한 조정은 전문적인 이유로 반드시 필요하게 된다. 가설완료 후 1개의 사장재 장력을 조정하면 나머지 케이블의 장력도 변동하기 때문에, 1개의 케이블장력의 변동이 나머지 케이블 장력에 미치는 영향을 사전에 계산하기 위해서는 케이블 수 및 긴장회수와 동일한 호수 만큼의 구조해석이 필요하다. 비교적 소규모 교량에서는 이러한 작업으로 시공오차 방지가 가능하지만, 케이블 수가 많은 장대지간의 교량에서는 문제가 있기 때문에 적절한 시공관리가 필요한 것이다.

2) 도입된 장력의 확인방법

본 교량의 경우 장력도입 종료후 케이블의 장력을 확인하기 위해서 유압잭을 이용하는 방법과 고유진동수를 측정하여 장력을 추정하는 진동법을 적용하였다. 먼저 유압잭으로 사장재의 장력을 변동시키면서 압력계를 읽어 실측 장력을 산출하고, 가속계를 이용하여 고유진동수를 측정하여 실측 장력-고유진동수 관계를 구하였다. 다음에 진동법으로 케이블장력의 추정식을 이용하여 장력을 구한 후, 실측 장력-고유진동수 관계와 비교하여 진동법의 타당성을 검증하였다. 진동법은 케이블에 가속계를 설치하고 가진시킨후, FFT에 의해 고유진동수를 구하여 장력을 추정하는 것이다. 이

때 사용되는 추정식에는 케이블의 휨강성을 무시한 현 이론에 의한 식(1)과 휨강성과 케이블의 처짐(sag)을 고려한 식(2)~(4)등이 있다.⁽¹⁶⁾

① 현이론에 의한 장력추정식

$$T = \frac{4\omega l^2}{n^2 g} f_n^2 \quad (1)$$

여기서, f_n : n차 고유진동수

l : 케이블의 길이

g : 중력가속도

ω : 단위길이당의 질량

② 휨강성과 케이블의 처짐을 고려한 장력추정식

a. 대칭 1차 진동시 ($\Gamma \geq 3$, sag가 작은 경우)

$$T = \frac{4\omega}{g} (f_1 \cdot l)^2 \{0.857 - 10.89 \left(\frac{c}{f_1}\right)^2\} \quad (3 \leq \zeta \leq 17) \quad (2)$$

$$T = \frac{4\omega}{g} (f_1 \cdot l)^2 \{1 - 2.2 \left(\frac{c}{f_1}\right) - 2 \left(\frac{c}{f_1}\right)^2\} \quad (\zeta \geq 17) \quad (3)$$

b. 비대칭 2차 진동시 ($\Gamma < 3$, sag가 클 경우)

$$T = \frac{\omega}{g} (f_2 \cdot l)^2 \{1.02 - 6.26 \left(\frac{c}{f_2}\right)\} \quad (\zeta \geq 10) \quad (4)$$

여기서, $\zeta = \sqrt{\frac{T}{EI}} \cdot l$

$$C = \sqrt{\frac{EIg}{\omega l^3}}$$

$$\Gamma = \sqrt{\frac{\omega l}{128EA\delta^3 \cos^2 \theta}} \left(\frac{0.31\zeta + 0.5}{0.31\zeta - 0.5} \right)$$

$\delta = \text{sag.} / \text{케이블 길이의 수평성분}$

3) 사장재의 긴장관리

① 사장재의 1차긴장

사장재의 1차긴장관리란 길이관리를 기본으로 하였다. 그러나, 긴장작업이 안정된 공정내에서 이루어지는 것을 확인하기 위하여 압력계의 읽음치에도 관리 목표치를 설정하였다. 길이관리의 목

표치는 1차 긴장량(정착손실량 포함)에 대해서 PC강연선 1본당 $\pm 2\text{mm}$ 로 하였다. 압력계 읽음치의 관리목표치는 계산치의 $\pm 5\%$ 로 하였다. 긴장관리 순서는 다음과 같다.

- 사장재 정착부 사이(지관압 사이)의 길이측정
- 온도의 영향에 의한 실측 길이의 보정치산출
- 교량 형상의 시공오차 보정
- 1차 긴장량의 산정
- 압력계의 읽음치 및 긴장량의 한계치 설정
- 현장에서의 조치로서, 긴장량의 한계치, 정착량, 주형측의 강연선의 돌출량 및 압력계 읽음치를 측정하고, 긴장량과 압력계의 읽음치가 관리 목표치내에 드는가를 확인

② 사장재 장력의 조정

사장재 장력의 조정은 압력관리를 기본으로 하고, 그 관리목표치는 설계장력의 $\pm 5\%$ 로 하였다. 사장재 장력의 조정은 교면높이의 보정을 위한 조정과 장력오차의 보정을 위한 조정으로 대별할 수 있다. 최근의 PC 사장교에서는 교면높이와 사장재 장력 모두를 각각의 허용오차 이내로 하기 위한 장력조정량을 구할 수 있는 최적화 기법이 사용되고 있다. 장력조정은 기본적으로 사장재 길이(사장재 정착점간의 상대적 길이)를 조정하여 이루어지지만, 최적 계산에서는 사장재 길이를 조정

하는 썬기두께(shim량)을 제시하고 있다.

본 교량에서는 1단 2분의 케이블로 구성되어 있기 때문에, 그림 4과 같이 긴장관리를 하며, 실제의 긴장 작업에 있어서는 2분의 케이블과 신장량 차이가 설계치의 2%이하가 되게 하였다.

(4) 주형의 솟음관리

1) 관리목적

주형의 솟음관리는 실측치와 계획치(설계계산치)를 비교하여 계획 교면높이를 확보할 수 있는가를 검토하여, 필요에 따라 계획솟음량을 수정하거나 사장재 장력조정에 의해 보정하는 것이다. 솟음관리시 각 시공단계를 정확하게 모형화하고 해석하여 계획치를 산출하고 이를 관리의 기준으로 한다. 이때 콘크리트의 탄성계수, 단면강성 및 설계상수의 가정치가 솟음 오차의 발생요인중 하나이지만 솟음관리의 목적이 소정의 교면높이를 확보하는 것이며, 직접 재료 물성치를 구하고자 하는 것은 아니므로 솟음관리량 계산에 있어서도 설계상수는 가정치를 사용한다.

한편, 시공중 하중변동의 영향, 부재강성의 영향(콘크리트의 탄성계수, 강재의 영향), 온도변화의 영향, 시공중 크리프 및 건조수축의 영향에 대하여 주형 변위의 응답치를 산출하여 기부집, 지보공 높이 및 사장재 장력 등의 보정량을 검토한다. 응답해석은 대형 컴퓨터에서 데이터베이스를 이용하여 현장의 시공관리용 개인용 컴퓨터(personal computer)에 저장하는 경우가 대부분이므로 이 해석 자체를 개인용 컴퓨터 내에서 일괄처리하는 시스템이 필요하다. 또한, 보정량은 응답해석을 바탕으로 각 시공단계에서의 기부집, 지보공 높이 및 사장재 장력 등 보정가능량을 검토하여 결정한다. 보정량의 결정에 있어서는 가설중 상태뿐만 아니라, 가설완료 후 응력 상태, 저침형상 등도 종합적으로 고려하여야 한다.

2) 주형솟음의 계측

주형의 솟음은 주형교면상에서 레이저 레벨, 광학식 레벨을 이용한 수준측량을 실시하거나, 연통관식 변위계를 이용하여 수두차를 변위로 환산하는 방식을 이용하여 측정하고, 측정위치는 케이블 정착부, 부재 연결부 및 교각 상으로 하고, 각 위

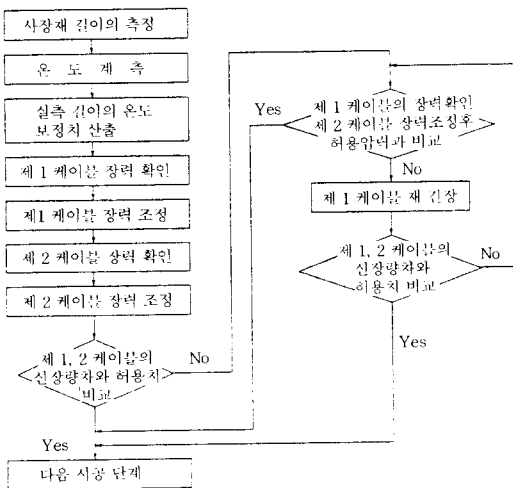


그림 4 사장재의 긴장조정관리의 순서도

치에서는 교면상의 중앙과 양단의 3점으로 한다.

3) 주형의 솟음관리

그림 5는 주형의 솟음관리 흐름도이다. 주형의 솟음관리에서는 시공단계마다 가설된 주형 선단의 높이를 2)항에 따라 계측하고, 솟음의 계획치와 비교하여 오차발생시에는 이에 따른 시공대책을 수립한다. 시공중 주형의 형상관리는 거푸집형틀의 높이 보정과 사장재의 긴장력을 조정하여 보정하는 방법이 있으나, 본 교량의 경우에는 교량의 횡방향 선형을 확보하기 위해 거푸집형틀의 높이를 보정하기 보다는 사장재장력을 조정하여 보정을 실시하였다.

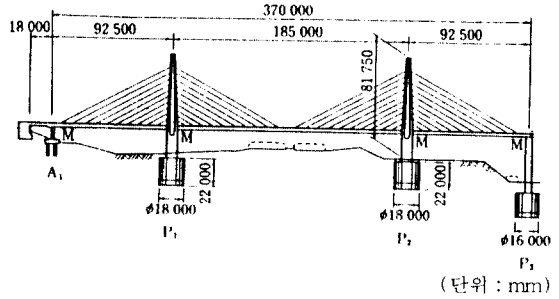


그림 6 東名足柄橋의 측면도

(2) 시공관리시스템의 개요

각 교량의 시공관리시스템은 각 교량의 시공방법, 현장조건 등에 따라 다소 차이는 있으나, 전술한 青森大橋의 시공관리시스템의 운영체계와 큰

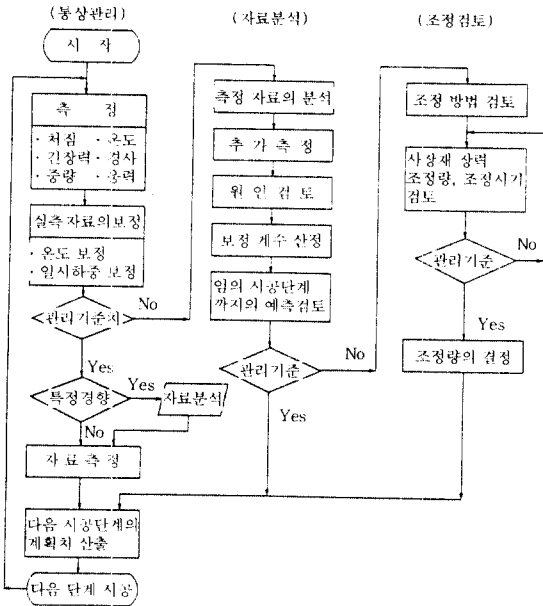


그림 5 주형의 솟음관리 순서도

3.2 東名足柄橋의 경우

(1) 東名足柄橋의 개요

본 교량은 1988년 2월에 발주되어 1991년 3월에 준공한 일본 최초의 고속도로 PC사장교이다. 이 교량은 동명고속도로 개축사업의 일환으로, 대정송전 IC~어전장 IC간에 건설된 PC사장교로서, 주경간 185m, 측경간 92.5m인 3경간 연속 PC 사장교이다. 그림 6는 본 교량의 측면도이다.

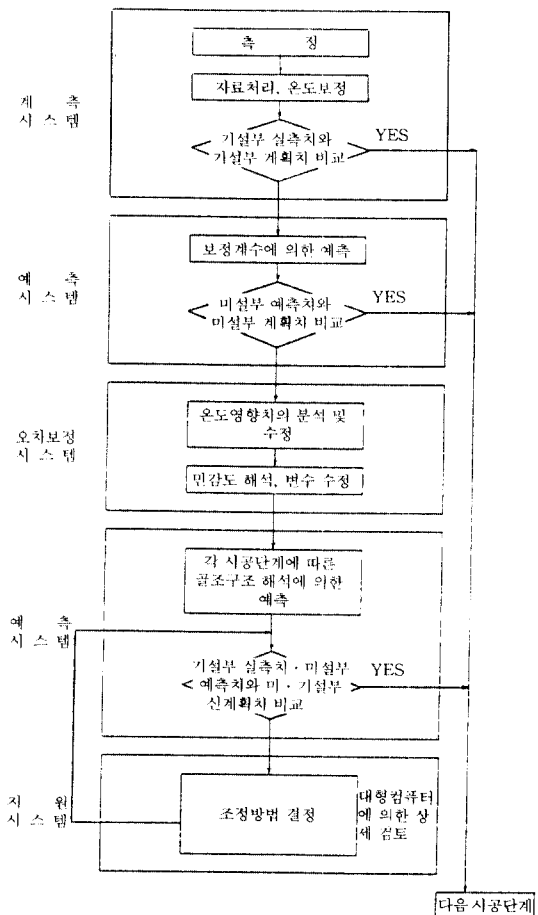


그림 7 東名足柄橋의 시공관리시스템

차이가 없다. 따라서 여기서는 본 교량에서 채택하고 있는 시공관리시스템의 주요 특징만을 기술하고자 한다.

통상의 PC 사장교와 같이 캔틸레버 시공법에 따라 건설되는 본 교량의 경우도, 주형의 시공이 진행됨에 따라 사장재의 장력, 부재의 응력 및 주형의 처짐 등 구조응답의 양상은 매우 복잡한 거동을 보인다. 또한 주형의 강성이 작기 때문에 설계 계산에 사용되었던 각종 설계정수의 가정치와 참값과의 차, 시공오차 등에 대하여 시공중인 교량 기동 중 특히 주형의 처짐은 민감하게 반응한다. 이러한 오차원인을 규명하고 설계에 반영하기 위해서는 방대한 자료와 시간이 소요되기 때문에, 현장의 시공공정에 지장을 주게 된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해, 현장적용성을 고려한 그림 7의 시공관리시스템을 도입, 운영하였다.

이 시공관리시스템은 캔틸레버공법에 의한 시공시, 각 시공단계를 정확히 모의발생하여 해석한 결과로부터 시공계획지를 산출하고, 시공단계별로 주형의 처짐, 사장재장력, 및 부재응력을 측정하여 시공계획지와 비교검토하여 장래형상을 예

측한 후 관리기준치를 벗어나기 전에 오차보정을 행하는 단계를 구성되어 있다. 이중 오차보정의 단계는 오차의 원인을 규명하기 위한 것이 아니고, 설계에 사용된 각종 설계정수의 가정치에 의한 구조해석 결과치와 실제 거동 사이의 오차를 줄이기 위한 최적 오차보정 계수를 회귀적으로도출하고, 이 값을 구조해석에 반영하여 장래의 형상예측을 하는 것이다. 그림 8은 오차보정시스템의 순서도이다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 오차발생의 주요요인을 콘크리트의 단위중량, 탄성계수, 이동식거푸집의 중량 및 주형, 주탑, 사장재의 구조거동치의 온도보정치로 설정하고, 민감도해석을 수행하여 이들 변수가 구조해석에 미치는 영향을 분석한 후 보정계수(민감도 계수)를 결정한다. 이렇게 결정된 계수를 이용하여 장래의 형상을 예측하고, 관리기준치를 벗어날 것으로 예상되는 경우에는 사장재의 긴장력으로 조정하거나 이동식거푸집의 높이를 수정하는 등의 시공대책을 세운다.

4. 결 론

PC 사장교는 역학적으로 대단히 합리적이고 경제적으로도 우수한 구조이기 때문에, 선진국에서는 이미 강사장교와 경합을 하는 단계에 이르고 있다. 그러나, 우리나라의 경우에는 사장교 건설이 이제 착수되고 있는 단계이고, 특히 PC 사장교는 팔당대교 및 신협주대교가 모두 건설도중 사고가 발생하므로써 우리의 기술력에 대한 경각심을 고취시킨 바 있다.

이러한 기술적 한계성을 극복하고 PC 사장교의 적용범위를 확장시키기 위해서는 교량의 계획, 설계, 시공 및 유지관리전반에 관한 폭넓은 연구가 시급한 실정이다. 그 구체적인 예로는 강도설계법, 한계상태설계법 등의 적용상 문제점 도출 및 합리적 설계법 개발, 자중을 감소시키기 위한 경량골재 콘크리트, 고강도콘크리트의 사용 및 강재와의 합성구조에 대한 검토를 들 수가 있다. 또한 주형 솟음에 미치는 온도의 보정방법, 사장재 장력의 측정법과 조정법, 콘크리트 탄성계수의 정확한 추정 및 유지관리를 고려한 구조해석 등이 향후 연구검토가 필요한 분야가 될 수 있을 것이다.

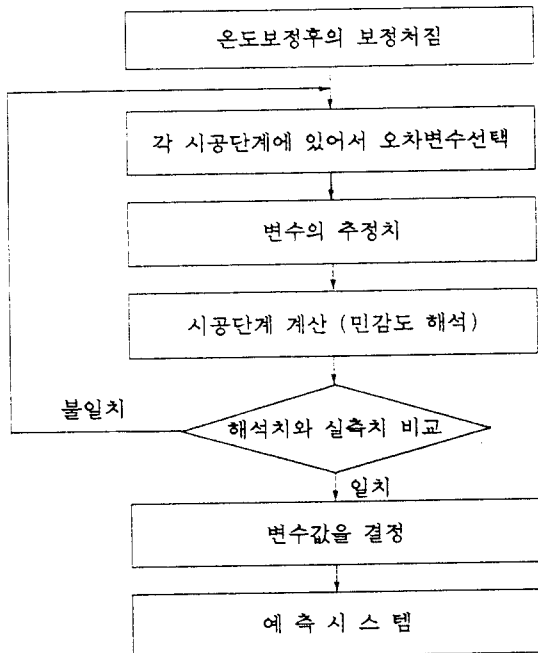


그림 8 오차보정시스템의 순서도

아울러 본 고에서 고찰한 시공관리시스템을 실 시공단계에서 도입함으로써 신속하고 고정도의 계측이 이루어지고 계측업무에 대한 인력절감이 가능하며, 컴퓨터의 통신기능에 의해 현장시공정보의 전달속도가 신속해지고, 교량가설 현장이 외의 장소에서도 자료수집과 분석이 가능해질 것으로 판단된다. 더우기 계측자료를 실시간으로 처리하고 엄밀한 온도보정을 한후, 구조계산을 통하여 교량의 최종형상을 예측하므로써, 고정도의 형상관리를 통한 안전시공이 보다 합리적으로 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 변근주, "교량의 건설과 붕괴", 대우건설기술, 통권 10호, 1992, pp.1~10.
2. 이현우, "IABSE 교량심포지움 참가보고", 대한토목학회지, 제49권 제1호, 1992, pp. 75~77.
3. 장승필, "장대교량의 붕괴원인", 서울공대, 통권 2호, 1993, pp.48~50.
4. Shushkewich, K.W., "Time-Dependent Analysis of Segmental Bridges", Computers & Structures, Vol.23, No.1, 1986, pp.95~118.
5. 松本嘉司, 小田純夫, "콘크리트교량현황과 문제점", 콘크리트공학, Vol.18, NO.2, 1980, pp.1~9.
6. 山下久生, 能登宥愿, 町屋節昭, "新东方代橋의 架設時의 精度管理", 土木學會第47回 年次學術講演 概要集, 1992, 1060~1061.
7. 金治英貞, 岩永旦夫 外4人, "東神戸大橋上部工의

- 施工と架設精度管理(下)", 橋梁と基礎, Vol.26, No.7, 1992, pp.24~32.
8. 田中茂義, 山村正人, 内田誠二郎, "PC橋架設における精度管理", 橋梁と基礎, Vol.26, No.8, 1992, pp.65~68.
9. 萩生田弘, "電算を用いた架設精度管理", 橋梁と基礎, Vol.26, No.8, 1992, pp.32~33.
10. 田中茂義, 關文夫, "PC斜張橋の戰略的施工管理システム", プレストレストコンクリートの發展に関するシンポジウム論文集, 1990, pp. 293~298.
11. 市橋俊夫, 前原達也, "現場のパソコンを用いたPC斜張橋シム調整量算定プログラムの開發", プレストレストコンクリートの發表に関するシンポジウム論文集, 1990, pp.303~306.
12. 結城正洋, 櫻井順, 伊藤芳則 "横浜ベイブリッジ中央径間の架設精度管理", 橋梁と基礎, Vol. 25, No.4, 1991, pp.27~32.
13. 大庭光商 外5人, "青森ベイブリッジ上部工の施工(下)", 橋梁と基礎, Vol.26, No.2, 1992, pp. 33~38.
14. 大庭光商 外3人, "PC斜張橋の設計と施工(青森ベイブリッジ)", 콘크리트工学, Vol.29, No. 12, 1991, pp. 33~42.
15. Koizumi, M. and Kimura, H., "Construction of PC Cable Stayed Bridge-Tomei Ashigara Bridge", Concrete Jr., Vol.29, No.10, 1991, pp. 13~24.
16. Takahashi, M. 外4人, "Tension Measurement by Microtremor-Induced Vibration Method and Development of Tension Meter", Ishikawajima-Harima Eng. Review, Vol.21, No.2, 1981, pp.1~6. 