



공 학 석 사 학 위 논 문

공간정보 자료를 이용한 현수교 기하형상 결정



부경대학교 산업대학원

토목공학과

이 탁 곤

공 학 석 사 학 위 논 문

공간정보 자료를 이용한 현수교 기하형상 결정

지도교수 이 종 출 이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함 2009년 02월

토목공학과

이 탁 곤

이탁곤의 공학석사 학위논문을 인준함

2009년 2월 25일



| 표 목차 | iii |
|----------|-----|
| 그림 목차 | iv |
| Abstract | vi |

| 1. | 서 | 론 | | | | | | ••••• | | | | | ••••• | 1 |
|----|------|-----|----|---|----|----|---|-----------|-----------|---|---|---|-----------|---|
| 1 | .1 (| 연구배 | 경 | 및 | 목적 | | | | | | | | ••••• | 1 |
| 1 | .2 ° | 연구동 | -향 | | | | | _ | | | | | ••••• | 4 |
| 1 | .3 ° | 연구방 | -법 | 및 | 적용 | 범위 | 5 | 0 | <u>VA</u> | 4 | | | ••••• | 6 |
| | | | | | 1 | 3 | / | 1 | | | ~ | 1 | | |

| 2. 현수교 기하형상 측량기법 | 8 |
|------------------------|---|
| 2.1 GPS 측량에 의한 방법 | 8 |
| 2.2 TS 측량에 의한 방법 | 8 |
| 2.3 계측센서에 의한 방법 | 9 |
| 2.4 3차원 레이저 스캐닝에 의한 방법 | 9 |

3. 기하형상 자료 취득 및 결과분석 10

| 3.1 연구대상교량 | 10 |
|----------------------------|----|
| 3.2 현수교 기하형상 결정을 위한 프리즘 설치 | 11 |
| 3.3 현수교 형상측량 | 15 |
| 3.4 관측 결과 및 분석 | 17 |

| 3.4.1 | 현수교 형상측량 결과 | 17 |
|-------|-----------------|----|
| 3.4.2 | 결과 분석 | 20 |
| 3.4.3 | 도심거리 보정 및 회전 변환 | 24 |



표 목차

| 표 1. 연구대상교량의 구조형식 | 10 |
|--------------------------------------|----|
| 표 2. 프리즘 타켓 설치 위치 및 수량 | 12 |
| 표 3. 형상측량 일자별 그룹 구분 | 16 |
| 표 4.1차 형상측량에 따른 각 그룹별 표준편차의 평균 | 17 |
| 표 5. 2차 형상측량에 따른 각 그룹별 표준편차의 평균 | 19 |
| 표 6. 1차 형상측량 시 각 그룹별 교통량 조사 결과 | 21 |
| 표 7. 2차 형상측량 시 각 그룹별 교통량 분포 | 23 |
| 표 8. 각 프리즘 타켓 지점별 방향별 도심거리 보정량 | 26 |
| 표 9. 도심거리 보정 전·후 1차 형상측량 성과 비교 | 27 |
| 표 10. 도심거리 보정 전·후 2차 형상측량 성과 비교 | 29 |
| 표 11. 회전변환 이후 1차 형상측량 결과 | 32 |
| 표 12. 회전변환 이후 2차 형상측량 결과 | 34 |
| 표 13. 1차 형상측량의 최종 성과 | 37 |
| 표 14. 2차 형상측량의 최종 성과 | 39 |
| 표 15. 대상 현수교의 설계 형상 및 각 시기별 실측형상 비교 | 42 |
| 표 16. 대상 현수교의 설계 형상과 각 시기별 실측형상과의 차이 | 42 |
| 표 17. 대상 현수교 주경간 길이의 허용 한계범위 | 44 |
| 표 18. 대상 현수교 주탑의 거동에 따른 단계별 관리기준 | 44 |

그림 목차

| 그림 1. 연구 흐름도 | 6 |
|---|----|
| 그림 2. 대상 현수교의 설계 형상 치수 | 10 |
| 그림 3. 프리즘 타켓 설치 위치도 | 12 |
| 그림 4. 현수교에 설치된 영구 프리즘 형상 | 13 |
| 그림 5. 주케이블의 프리즘 설치 전・후 모습 | 13 |
| 그림 6. 보강형의 프리즘 설치 전·후 모습 | 13 |
| 그림 7. 주탑 정부 프리즘 설치 전·후 모습 | 14 |
| 그림 8. 주탑 기부의 프리즘 설치 전·후 모습 | 14 |
| 그림 9. 앵커블록의 프리즘 설치 전·후 모습 | 14 |
| 그림 10. 기준점 설치 모습 | 16 |
| 그림 11. 각 그룹별 표준편차의 평균 분포 (1차 형상측량) | 18 |
| 그림 12. 각 그룹별 표준편차의 평균 분포 (2차 측량) | 19 |
| 그림 13. 1차 형상측량 시 차종별 교통량 분포 | 22 |
| 그림 14. 2차 형상측량 시 차종별 교통량 분포 | 23 |
| 그림 15. 탑정 새들 타겟 프리즘과 구조물 도심과의 이격거리 | 24 |
| 그림 16. 주케이블 타겟 프리즘과 구조물 도심과의 이격거리 | 25 |
| 그림 17. 보강트러스 타겟 프리즘과 구조물 도심과의 이격거리 | 25 |
| 그림 18. 주탑기부 타겟 프리즘과 구조물 도심과의 이격거리 | 25 |
| 그림 19. 앵커 블록 새들 타겟 프리즘과 구조물 도심과의 이격거리 … | 26 |
| 그림 20. 앵커 블록 타겟 프리즘과 구조물 도심과의 이격거리 | 26 |
| 그림 21. 1차 형상측량 성과의 도심거리 보정 결과 (X-Y 방향) | 28 |

- iv -

그림 22. 1차 형상측량 성과의 도심 거리보정 결과 (X-Z 방향) 28 그림 23. 2차 형상측량 성과의 도심 거리 보정 결과 (X-Y 방향) 30 그림 24. 2차 형상측량 성과의 도심 거리 보정 결과 (X-Z 방향) 30 그림 26.1차 형상측량 성과의 회전변환 결과 (X-Y 방향) 33 그림 27.1차 형상측량 성과의 회전변환 결과 (X-Z 방향) 33 그림 29. 2차 형상측량 성과의 회전변환 결과 (X-Z 방향) 35 그림 30. 1차 형상측량 최종 성과 (X-Y 방향) 38 그림 32. 2차 형상측량 최종 성과 (X-Y 방향) 40 그림 33. 2차 형상측량 최종 성과 (X-Z 방향) ………………………………………… 40 그림 34. 현수교의 Sag비 구성도 그림 35. 현수교 주경간의 길이와 주탑 변위의 관계 ······ 43

CH OT I

Determination of Geometric Shape of Suspension Bridge Using 3D Information Data

Tack-Gon, Lee

Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry, Pukyong National University

Abstract

In this study we carried out shape surveying twice to decide geometrical form after public use of the suspension bridge. Each shape surveying also was divided into and carried out in 12 groups for each time zone. As a result, the 9th group in case of the first shape surveying and the 11th group in case of the second shape surveying showed the most satisfactory results and were decided to represent the shapes of the related suspension bridge.

Based on the data of the 9th and the 11th shape surveying which are decided to be the representative shape in each time, the prism installation spot and distance between the center of the structures were corrected and rotational transition toward longitudinally fixed side and vertical side was undertaken, which led to decide the final shape of the suspension bridge which planned the center of the structure clearly.

The length of the main span between the suspension bridges, sag and sag ratio were calculated and compared with the length of the main span before designing and public use using the final data of the shape acquired by the result of the shape surveying, and they were also compared with the management standard in each stage according to the tower behavior of the suspension bridge and stability of the suspension bridge was confirmed. To identify accurate behavior of the suspension bridge decision on the geometrical shape should be a high priority and decision on the regular shape model of actual survey in accordance with the period of the public use and traffic increase using space information may contribute largely to secure stability of the structure.

Therefore, this study may be the great outcome to provide scientific and practical method to decide the geometrical shape for maintenance and management of the long-span bridge.



1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 우리나라의 급속한 경제성장과정에서 교량, 터널, 항만, 공항, 발전 소와 댐 등 대형 사회간접자본 시설물의 건설이 급증하였다. 이들 대형 구 조물들은 설계 및 시공과정에서의 결함이나 설계 당시에 고려되지 않았던 조건들과 환경요인으로 인해 구조손상 발생의 위험성에 노출되어 있다(박 재선, 2007). 이로 인해 1994년 성수대교의 붕괴사고와 뒤이은 당산철교의 조기철거 사태, 1995년에 발생한 삼풍백화점 붕괴 사고 등 대형 시설물 사 고가 연달아 발생하였다. 이와 같은 대형 안전사고들은 시설물의 계획, 시 공단계에서의 품질관리의 중요성은 물론이고, 시설물 건설 후 유지관리의 중요성을 일깨워주는 계기가 되었다. 특히 성수대교 붕괴사고는 현재 공용 중인 교량에 대한 유지보수 및 모니터링에 대한 중요도와 사회적 관심을

이후 우리나라에서는 교량구조물의 신설 및 확충시의 품질관리뿐만 아니라, 기존 교량의 효율적인 유지관리를 통하여 공용수명을 증대시키고 각종 안전사고를 사전에 예방하기 위한 효율적인 유지관리가 중요시 되고 있는 실정이다.

교량을 효율적으로 유지관리하기 위해서는 교량의 설계뿐만 아니라 시 공 및 유지관리의 이력을 알아야한다. 왜냐하면 교량의 설계와 시공 상태 가 해당 교량의 유지관리 과정에 절대적인 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 그러나 현실은 교량의 설계 및 시공에 관련된 규정과 유지관리에 관련된 규정 사이에는 아무런 상호 연계성이 없는 실정이다.

- 1 -

특히 케이블에 의해 지지되는 사장교나 현수교와 같은 장대교량의 경우 설계단계 후 시공단계에서는 계속적인 부재의 변위가 발생한다. 이는 교량 구조물의 내력에 큰 영향을 줄 수 있기 때문에 각 시공단계별로 케이블의 기하형상을 측정하여 설계 형상을 유지하도록 수정할 필요가 있다. 그러나 케이블의 기하형상을 아무리 정밀하게 측정하고 이에 따라 가설관리를 하 더라도 완공 후의 교량 형상은 설계 형상과 미소한 차이를 보인다. 뿐만 아니라 공용 이후에도 여러 가지 요인에 의해 케이블의 장력이 변화하게 되며, 이로 인해 케이블의 기하형상이 변화하게 된다. 따라서 케이블의 기 하형상 변화는 케이블 교량의 유지관리에 있어서 그 안정성을 평가하기 위한 매우 중요한 요소이다. 다시 말해서 케이블 교량 유지관리의 측면에 서 설계 시 여러 가지 가정에 근거한 형상 해석보다는 공용 중인 실제 상 태를 고려하여 교량의 안정성을 관리할 필요성이 있다.

본 연구는 실제 국내에 시공이 완료되어 공용중인 현수교를 대상으로 현수교의 기하형상을 관측하고, 관측된 기하형상을 이용하여 공용 이후의 대상 현수교의 변위를 결정함으로써, 케이블 교량의 안정성을 평가하는데 그 목적이 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여서는 다음과 같은 세부 목 표를 설정하였다.

- 첫째, 대상 현수교를 중심으로 1, 2차 형상측량을 수행함에 있어 각 시기 에 따른 시간대별 형상측량 자료를 취득하여 시간대 및 차종별 교통 량 분석을 통하여 각 시기별 형상측량성과를 결정한다.
- 둘째, 각 시기별 형상측량성과를 토대로 프리즘 설치 지점과 구조물의 도 심간 이격거리를 보정하고, 이에 교축직각방향 및 연직방향으로의 회전변환을 수행하여 최종적인 대상 현수교의 형상을 결정한다.

- 2 -

셋째, 결정된 최종 형상자료를 이용하여 각 시기별 주경간의 길이, Sag, 그리고 Sag 비를 산정하고, 설계 형상 및 공용 이전의 형상과 비교 함으로써 관측 당시의 대상 현수교의 안정성을 평가한다. 또한 대상 현수교의 유지관리를 위한 단계별 관리기준과의 비교를 통해 주탑 거동의 안정성을 평가한다.



1.2 연구동향

본 연구는 현수교를 대상으로 그 기하형상을 정확히 결정하고, 이를 이 용하여 대상 현수교의 공용기간에 따른 변위를 결정하기 위한 연구이다. 따라서 여기서는 현수교 유지관리에 관련한 연구와 현수교 기하형상 결정 을 위한 측량 기법에 관련한 연구로 구분하여 그 연구 동향들을 고찰해 보기로 한다.

먼저 현수교 유지관리에 관련해서는 외국 즉 미국, 일본 등의 선진국에 서는 유지관리와 관련된 전문인력이 많이 양성되어 있고, 시공단계에서부 터 사용단계까지 체계적인 유지관리 절차가 마련되어 있어, 대형사고를 미 연에 방지할 수 있는 토대가 마련되어 있다. 그러나 국내에서는 이와 관련 한 연구사례를 거의 찾아보기 힘들며, 최근에서야 장대교량의 보급이 확대 되어 그에 관련한 몇몇 연구가 수행된 바 있다.

허광희 등(2005)은 자정식 현수교 모델을 중심으로 차세대 건설 구조물 의 유지관리시스템을 위한 기대와 전망을 예측한 연구를 수행한 바 있다. 한국건설기술연구원(2006)은 유비쿼터스 환경의 지능형 시설물 모니터링 기술을 개발하였고, 박재선(2007)은 시설물 모니터링 기술 실용화에 관한 연구를 수행한 바 있으며, 김영호(2006)는 현수교 유지관리를 위한 계측기 반의 해석모델을 작성하였다.

현수교 기하형상 결정에 관련해서는 국내의 경우 최병길 등(2000)은 교 량의 거동 측정에 있어서 GPS OTF 측위기법을 활용한 연구를 수행한 바 있으며, 강준문 등(2001)은 근거리 사진측량기법을 이용하여 교량의 3차원 변위를 결정하는 연구를 수행하여 사진측량기법에 의한 교량의 안전진단 가능성을 제시하였다.

또한 이재원(2006)은 광안대교를 대상으로 주탑의 모니터링을 위해 위

- 4 -

성측위시스템인 GPS와 관성장치인 IMU 조합의 측위기법을 제시하였으 며, 박용명 등(2007)은 현수교를 대상으로 한 측량데이터를 이용하여 대상 현수교의 형상오차 원인을 추정하는 연구를 수행하였고, 정진환 등(2008) 은 디지털 화상처리기법을 이용한 현수교의 형상결정기법을 개발하였다.

국외의 경우 Weiqian 등(1990)은 CCD 카메라를 이용하여 교량모델의 실시간 변형을 결정하는 연구를 수행하였고, Loves 등(1995)은 GPS 측위 기법을 이용하여 고층 구조물의 동적변형을 모니터링하는 연구를 수행하 였다. 또한 Robert 등(1999)은 현수교 형식인 Humber 교량의 변형 관측을 위해 GPS 측위에 의한 결과와 유한요소 모델링에 의한 결과를 비교하는 연구를 수행한 바 있으며, Mills와 Barber(2004)는 구조물의 형상을 관측 하는데 있어서 지상에서의 해석적 샤진측량방식과 3차원 레이저 스캐닝 방식에 의해 취득된 자료들의 정밀도를 비교·분석하였으며, 각각의 방식 의 이점을 이용한 정밀하고 정확한 구조물 측량 방식을 제안하였다.

또한 Jaselskis 등(2005)은 3차원 레이저 스캐닝 기법이 교량 빔의 chamber 등을 결정하는데 적합하고, 완공상태의 도면을 3차원으로 작성하 는데 매우 큰 효과를 나타내는 것을 입증하였다.

Erodogan 등(2007)은 현수교의 동적 거동을 모사하기 위한 시간대별 분 석을 실시하였고, Meng 등(2007)은 GPS와 3차원 가속도계를 이용하여 교 량의 동적거동을 추적하였으며, Jiang 등(2008)은 교량의 변위 및 변형을 관측하는데 있어서 근거리 사진측량기법을 적용하는 연구를 수행하였다.

이상과 같이 국내·외적으로 현수교의 유지관리 및 형상측량에 관련한 연구는 GPS 기법에 의한 모니터링에 국한되어있고, 현수교의 전반적인 기 하형상 및 주요 구조물의 위치결정에 관련한 연구가 부족한 실정이다. 따 라서 본 연구에서는 현수교를 대상으로 보다 정확한 기하형상 측량을 위 한 방법을 제시하고, 이를 이용하여 연구대상 현수교에 실제 적용하고 그 결과를 분석하고자 한다.

- 5 -

1.3 연구방법 및 적용범위

본 연구는 현수교를 대상으로 그 기하형상을 결정하고, 결정된 시기별 기하형상과 설계형상간 비교·분석을 통하여 공용 이후 케이블 교량의 안 정성을 평가하는데 목적을 두고 있으며, 본 연구를 위한 흐름도는 그림 1 과 같다.



그림 1. 연구 흐름도

본 연구에서는 먼저 부산광역시 수영구에 소재한 현수교를 대상교량으 로 선정하였으며, 현수교의 기하형상을 대표할 수 있는 총 28개소 위치에 프리즘 타켓을 설치하고 도심거리 보정을 위한 이격거리를 결정한다.

공용기간의 변화에 따른 현수교의 거동을 파악하기 위해 2005년 7,8월 과 2008년 11월에 걸쳐 1,2차 형상측량을 수행하였다. 1,2차 형상측량은 대상 현수교의 주요 구조물에 영구적으로 부착된 프리즘 타켓을 대상으로 TS 측량기법을 이용하여 수행되었으며,각 시기별로 총 77회 관측을 실시 하고,이를 다시 시간대별로 구분하여 총 12 그룹으로 구분한다.

현수교 형상의 경우 교통량 등과 같은 여러 요인들에 의해 그 위치가 빈번히 변화하기 때문에 동일한 그룹의 동일한 프리즘 타켓 성과일지라도 미소한 차이를 나타낸다. 본 연구에서는 1, 2차 형상측량 그룹 중 측량 시 현수교의 형상을 가장 잘 표현하는 그룹을 선정하기 위해 각 그룹별로 각 측점의 표준편차 및 그 평균을 계산하고, 그 결과를 토대로 각 시기별 최 적 형상 그룹을 결정한다.

이렇게 결정된 각 시기별 최적 형상자료는 앞서 결정된 구조물 도심과 의 이격거리에 의해 보정되고, 이를 교축직각방향 및 연직방향으로 회전 변환하였다. 이상과 같이 도심거리 보정 및 회전변환을 통한 형상은 앵커 블록 새들 도심점이나 주탑 정부 새들 도심점의 좌표는 생략된 형상이기 때문에 기존 측정 좌표값과 설계 당시의 좌표값을 이용하여 이를 다시 생 성하여 대상 교량의 시기별 기하형상을 최종적으로 구현한다.

최종적으로 결정된 대상 현수교의 기하형상을 토대로 주경간의 길이, Sag 그리고 Sag 비를 결정하였다. 또한 이를 설계 당시의 형상뿐만 아니 라 대상 현수교 주탑의 거동에 따른 단계별 유지관리기준과 비교·분석하 기로 한다.

- 7 -

2. 현수교 기하형상 측량기법

교량 유지관리를 위한 측량방법에는 GPS 측량에 의한 방법, TS 측량에 의한 방법, 계측 센서에 의한 방법 등이 있으며, 최근에는 지상 3차원 레 이저 스캐너를 이용한 방법도 보급되고 있다.

2.1 GPS 측량에 의한 방법

GPS 측량에 의한 방법은 기준점의 설치와 유지관리, 우물통 등과 같은 교량 하부 구조물의 위치결정뿐만 아니라, 최근에는 측정 지점에서 연속 관측하여 이를 실시간 및 후처리 기법을 이용한 시간대별 측점의 변위량 을 분석하는 기법이 많이 활용되어오고 있다. 그러나 이는 대부분 장대교 량의 주탑의 변위를 모니터링하기 위해 주로 활용되고 있으며, 그 이외의 보강형 또는 현수교 케이블의 변위를 관측하기에는 경제적인 면에서 어려 움이 많은 실정이다.

2.2 TS 측량에 의한 방법

TS 측량에 의한 방법은 전자식 데오돌라이트의 측각기능과 EDM의 거 리 측정기능을 동시에 가지고 있는 토탈스테이션을 이용한 측량을 의미한 다. 토탈스테이션은 컴퓨터 시스템과 간단한 소프트웨어가 내장되어 있어 각과 거리가 측정되는 즉시 측점에 대한 좌표계산 등 필요한 사항이 계산 되며 또한 입력 자료를 포함한 모든 자료가 별도의 저장장치에 보관되어 주 컴퓨터에 의한 추가적인 계산에 활용할 수 있는 특징이 있다.

토탈스테이션은 지형측량과 같이 많은 점들의 평면 및 표고좌표가 필요

- 8 -

하거나, 트래버스 측량 또는 노선측량의 중심말뚝 측량에서와 같이 인접 점들에 대한 좌표가 수시로 필요할 경우 매우 신속하게 효과적으로 작업 을 할 수 있다. 따라서 토탈스테이션에 의한 측량은 정밀을 필요로 하는 기준점 측량보다는 높은 정밀도를 필요로 하지는 않지만 공사 측량과 같 이 비교적 정밀하고 복잡하며 신속한 측량 등에 많이 활용된다.

2.3 계측센서에 의한 방법

계측센서에 의한 방법은 변위량 파악이 우선시되기 때문에 방향 및 절 대좌표 성과로의 변환에 어려움이 많으며 전체적인 계측시스템의 유지관 리에 어려움이 많고, 유지관리를 위한 비용이 많이 소요되는 단점을 지닌 다.

2.4 3차원 레이저 스캐닝에 의한 방법

최근에 많이 시도되고 있는 지상 3차원 레이저 스캐너의 경우 근접한 경우 매우 높은 점밀도의 자료를 취득하여 그 형상을 구현할 수 있는 장 점을 지니고 있지만, 해상에 주로 건설되는 현수교 등의 시설물 관측 시 주사거리에 따른 점 간격이 매우 커지며, 이로 인해 교량의 형상을 제대로 구현할 수 없다.

본 연구에서는 3차원 위치결정에 주로 활용되고 있는 TS 측량에 의한 방법을 이용하여 현수교의 기하형상을 결정해 보았다.

3. 기하형상 자료 취득 및 결과분석

3.1 연구대상교량

현수교는 장대교량 중에서 시공성, 안전성, 내구성이 뛰어나며 경관이 미려하여 최근 해상 교량에 많이 적용되는 방식이다. 우리나라에서는 영종 대교와 남해대교 등이 있다. 본 연구를 위한 연구대상교량은 부산광역시 수영구에 소재하는 현수교로써 전체 교량연장 7,420m 중 현수교는 그 연 장이 900m로 국내 최장 교량이다. 또한 이 교량은 약 3만 톤의 복층 강교 를 직경 60cm 케이블 2본으로 지지하는 형태로 구성되어 있어 일본의 세 토대교, 아카시 해협대교 등과 같은 형식이며, 국내 최장 복층 현수교이다. 표 1은 본 연구를 위한 대상 현수교의 구조 형식을 나타낸 것이며, 그림 2 는 대상 현수교의 설계 형상 치수를 나타낸 것이다.

표 1. 연구대상교량의 구조형식

| 구 분 🥏 | 내 용 |
|-------|------------------------------------|
| 교량명칭 | 0000 현수교 |
| 교량연장 | 900 m |
| 교량형식 | 3경간연속 2힌지 보강트러스 현수교 (Double Deck) |
| 지간분할 | 200 m + 500 m + 200m |
| 구조형식 | 주구조 - 병행현 와렌트러스, 횡구조 - K트러스 |
| 현수형식 | 상현재정착 |
| 구조제원 | 주구조 높이 - 9.850 m, 주구조 폭 - 24.000 m |



3.2 현수교 기하형상 결정을 위한 프리즘 설치

현수교의 유지관리를 위해서는 계측자료에 의한 주탑의 거동 분석, 행어 로프의 장력측정, 현수교 형상측량을 통한 기하 형성 결정 등이 주기적이 고 체계적으로 이루어져야 하며, 이러한 자료는 현수교 주케이블의 장력을 결정하는데 매우 중요한 요소로 작용한다. 따라서 주기적으로 현수교 형상 측량을 실시하기 위해서는 현수교의 주요 지점에 영구 표지를 설치하고, 이를 관측함으로써 각 지점에서의 변위를 결정할 수 있다.

본 연구에서는 현수교의 기하형상 결정을 위하여 그림 3과 같이 토탈스 테이션으로 시준이 용이하고 구조물의 형상을 대표할 수 있는 위치를 선 정하였으며, 설계도면을 통해 실제 설치 위치와 보정이 가능한 위치를 고 려하여 결정하였다.



그림 3. 프리즘 타켓 설치 위치도

또한 표 2와 같이 현수교 기하형상에 있어서 중요한 지점인 앵커리지 주탑정부, 새들 중앙경간, 측경간 최대 새그 발생 지점, 앵커블록, 주탑기 부, 보강형 행어로프 정착부, 그리고 주케이블과 행어로프의 교차점에 총 28개의 영구 프리즘 타켓을 설치하였다.

TIONAT

| 표 2. 프리즘 타켓 설치 위치 및 수량 | | | | | |
|------------------------|-----|--|--|--|--|
| 프리즘 설치 위치 | 수량 | 구분 기호 | | | |
| 앵커리지 | 2개 | T1, T24 | | | |
| 주탑정부 새들 | 2개 | T4, T20 | | | |
| 중앙경간 | 1개 | T12 | | | |
| 측경간 최대 새그 발생 지점 | 2개 | T2, T22 | | | |
| 앵커블록 | 2개 | T25, T28 | | | |
| 주탑기부 | 2개 | T26, T27 | | | |
| 보강형 행어로프 정착부 | 11개 | T3 ,T5, T7, T9, T11, T13, T15, T17, T19, T21, T23 | | | |
| 주케이블과 행어로프의 교차점 | 6개 | T6, T8, T9, T14 ,T16 ,T18 | | | |

현수교에 설치된 영구 프리즘은 Leica 사에서 제조한 GPR121 모델과 GMP104 모델을 사용하였으며 그 형상은 그림 4와 같고, 각 설치 위치에 서의 프리즘 설치 전·후의 모습은 그림 5~그림 9와 같다.



(b) GMP104 모델



(a) GPR121 모델

그림 4. 현수교에 설치된 영구 프리즘 형상



(a) 프리즘 설치 전

프리즘 설치 전 (b) 프리즘 설치 그림 5. 주케이블의 프리즘 설치 전·후 모습



亨



 (a) 프리즘 설치 전
 (b) 프리즘 설치 후

 그림 6. 보강형의 프리즘 설치 전·후 모습





 (a) 프리즘 설치 전
 (b) 프리즘 설치 후

 그림 7. 주탑 정부 프리즘 설치 전·후 모습





 (a) 프리즘 설치 전
 (b) 프리즘 설치 후

 그림 9. 앵커블록의 프리즘 설치 전·후 모습

3.3 현수교 형상측량

현수교의 기하형상은 여러 가지 요인들에 의한 주케이블의 장력 변화로 인해 설계 당시의 형상과 차이를 나타내며, 이는 유지관리 측면에서 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 설계 당시, 공용 이전, 그리고 공용 이후 의 대상 교량의 기하형상의 변화를 분석하기 위해 1, 2차에 걸쳐 총 2회 현수교 형상측량을 실시하였다.

최적의 기하형상을 결정하기 위해서는 기후에 의한 영향, 대상 교량을 이용하는 교통량 등을 감안해야 하기 때문에 각각 시간대별로 12회 관측 을 실시하고 각각을 그룹으로 지정하여 분석을 실시하였다. 각각의 형상측 량 일자별로 그룹을 구분하면 표 3과 같다.

또한 본 연구에서는 현수교의 기하형상 결정을 위하여 Leica사에서 제 조한 모델명 TCRA1201을 사용하였다. TCRA1201 모델은 관측에 있어서 ±(2mm±2ppm×거리)의 정확도를 나타낸다. 그림 10은 형상측량을 위하여 대상 교량 전면의 해안가에 설치한 지상기준점의 모습을 나타낸 것이다.

표 3. 형상측량 일자별 그룹 구분

| 구분 | 그룹 | 측량 일자 | 구분 | 그룹 | 측량 일자 |
|------|----|----------------|------|----|----------------|
| | 1 | 05-07-20 23:02 | | 1 | 08-11-08 01~02 |
| | 2 | 05-07-21 05:02 | | 2 | 08-11-08 03~04 |
| | 3 | 05-07-21 17:02 | | 3 | 08-11-08 06~07 |
| | 4 | 05-07-22 00:28 | | 4 | 08-11-08 13~14 |
| | 5 | 05-07-22 15:50 | | 5 | 08-11-09 23~00 |
| 1차 | 6 | 05-08-17 23:45 | 2차 | 6 | 08-11-09 02~03 |
| 형상측량 | 7 | 05-08-18 12:14 | 형상측량 | 7 | 08-11-09 04~05 |
| | 8 | 05-08-18 17:31 | | 8 | 08-11-09 06~07 |
| | 9 | 05-08-18 23:02 | | 9 | 08-11-10 00~01 |
| | 10 | 05-08-19 10:33 | | 10 | 08-11-10 01~02 |
| | 11 | 05-08-19 16:48 | | 11 | 08-11-10 02~03 |
| | 12 | 05-08-20 14:09 | | 12 | 08-11-10 03~04 |



그림 10. 기준점 설치 모습

3.4 관측 결과 및 분석

3.4.1 현수교 형상측량 결과

2003년 1월부터 공용중인 대상 현수교의 기하형상의 변화를 분석하기 위하여 2005년 7월과 8월에 1차 형상측량을 실시하였다. 1차 형상측량 시 설치된 프리즘 타켓을 대상으로 총 77회 관측을 실시하였으며, 이는 다시 시간대별로 구분하여 총 12 그룹으로 구분하였다.

현수교 형상의 경우 교통량 등과 같은 요인들에 의해 그 위치가 빈번히 변화하기 때문에 동일한 그룹의 동일한 프리즘 타켓의 성과일지라도 미소 한 차이를 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 1차 형상측량 그룹 중 측량 시 현수교의 형상을 가장 잘 표현하는 그룹을 선정하기 위해 각 그룹별로 각 측점의 표준편차 및 그 평균을 계산하였다. 표 4는 대상 교량의 교축방향 (X), 교축직각방향(Y), 연직방향(Z)에 따른 그룹별 표준편차의 평균을 나 타낸 것이다.

| フゼ | 0 | 표준편차의 평균 | 171 |
|----|----------|------------|----------|
| 一百 | X (교축방향) | Y (교축직각방향) | Z (연직방향) |
| 1 | ± 2.26 | ± 0.40 | ± 1.27 |
| 2 | ± 4.29 | ± 0.89 | ± 5.13 |
| 3 | ± 2.62 | ± 0.65 | ± 2.23 |
| 4 | ± 1.26 | ± 0.32 | ± 1.86 |
| 5 | ± 2.09 | ± 0.58 | ± 2.05 |
| 6 | ± 0.64 | ± 0.13 | ± 0.82 |
| 7 | ± 1.44 | ± 0.60 | ± 1.26 |
| 8 | ± 2.02 | ± 0.72 | ± 0.99 |
| 9 | ± 0.60 | ± 0.12 | ± 0.62 |
| 10 | ± 1.46 | ± 0.36 | ± 1.34 |
| 11 | ± 0.90 | ± 0.38 | ± 1.14 |
| 12 | ± 0.80 | ± 0.19 | ± 0.69 |

표 4. 1차 형상측량에 따른 각 그룹별 표준편차의 평균 (단위:cm)

또한 대상 교량의 교축방향(X), 교축직각방향(Y), 연직방향(Z)에 따른 그 룹별 표준편차의 평균 분포는 그림 11과 같다.



표 4와 그림 11에서 9 그룹의 경우 교축방향(X)으로 ±0.60cm, 교축직각방 향(Y)으로 ±0.12cm, 연직방향(Z)으로 ±0.62cm의 가장 양호한 표준편차의 평균값을 나타내었고, 2 그룹의 경우 교축방향으로 ±4.29cm, 교축직각방향 으로 ±0.89cm, 연직방향으로 ±5.13cm로 정확도가 가장 낮게 나타났다. 이는 9 그룹의 결과가 1차 형상측량 당시 현수교의 형상과 가장 잘 대비됨을 설 명해준다.

이상과 같은 방식으로 2차 형상측량의 각 그룹별 표준편차의 평균과 그 분포는 표 5와 그림 12에 나타낸 것과 같다. 2차 형상측량의 경우 4 그룹에 서 가장 낮은 정확도를 나타내었고, 11 그룹의 경우 2차 형상측량 당시의 현

- 18 -

| コモ | | 표준편차의 평균 | |
|----|----------|------------|----------|
| 一五 | X (교축방향) | Y (교축직각방향) | Z (연직방향) |
| 1 | ± 0.70 | ± 0.39 | ± 0.66 |
| 2 | ± 0.51 | ± 0.28 | ± 0.70 |
| 3 | ± 1.69 | ± 0.50 | ± 1.69 |
| 4 | ± 1.52 | ± 0.57 | ± 2.32 |
| 5 | ± 0.87 | ± 0.29 | ± 0.67 |
| 6 | ± 0.64 | ± 0.32 | ± 0.58 |
| 7 | ± 0.68 | ± 0.44 | ± 0.92 |
| 8 | ± 1.38 | ± 0.49 | ± 0.99 |
| 9 | ± 0.61 | ± 0.27 | ± 0.73 |
| 10 | ± 0.50 | ± 0.18 | ± 0.55 |
| 11 | ± 0.42 | ± 0.10 | ± 0.47 |
| 12 | ± 0.58 | ± 0.20 | ± 0.67 |

표 5. 2차 형상측량에 따른 각 그룹별 표준편차의 평균



3.4.2 결과 분석

현수교를 대상으로 1, 2차 형상측량에 따른 각 시간대별 그룹의 표준편차 평균을 분석한 결과, 1차 형상측량의 경우 교축방향으로 최대 ±3.69cm, 교축 직각방향으로 최대 ±0.77cm, 연직방향으로 최대 ±4.51cm의 다소 큰 차이를 나타내었다. 또한 그룹별 표준편차 분포를 시간대별로 분석한 결과, 주로 교 통량이 많은 출·퇴근 시간대에 관측한 그룹에서 비교적 큰 표준편차를 나 타내었다.

본 연구에서는 형상측량 시 각 그룹별 교통량을 조사하여 그 표준편차 분 포와의 상관성을 분석해 보았다. 1차 형상측량 시 각 그룹별 교통량 조사 결 과와 그 분포는 표 6과 그림 13에 나타낸 것과 같다.



| ㄱ르 | 고츠 | اړ (ه | | 차 종 | | | | | |
|----|------------|--------------|-----|---------------|------|-----|-------|--|--|
| 一百 | 친구 | 코기 | 경차 | 소형 | 대형 | 특수 | 741 | | |
| 1 | 2005 07 20 | 22~23 | 103 | 1,646 | 5 | 28 | 1,782 | | |
| 1 | 2003.07.20 | 23~00 | 64 | 1,158 | 1 | 10 | 1,233 | | |
| 9 | 2005 07 21 | $04 \sim 05$ | 36 | 515 | 16 | 91 | 658 | | |
| | 2003.07.21 | $05 \sim 06$ | 81 | 1,167 | 19 | 182 | 1,449 | | |
| 3 | 2005.07.21 | 14~15 | 181 | 2,862 | 49 | 381 | 3,473 | | |
| | 2003.07.21 | $15 \sim 16$ | 194 | 3,063 | 45 | 436 | 3,738 | | |
| 4 | 2005.07.22 | 00~01 | 41 | 795 | 1 | 8 | 845 | | |
| 4 | 2003.07.22 | 01~02 | 26 | 529 | 1 | 18 | 574 | | |
| 5 | 2005.07.22 | $15 \sim 16$ | 204 | 3,223 | 51 | 409 | 3,887 | | |
| | 2003.07.22 | $16 \sim 17$ | 221 | 3,708 | 46 | 308 | 4,283 | | |
| 6 | 2005.08.17 | 23~00 | 71 | 1,100 | 3 | 19 | 1,193 | | |
| 0 | 2005.00.17 | 00~01 | 41 | 726 | 2 | 15 | 784 | | |
| 7 | 2005.08.18 | 11~12 | 147 | 2,696 | 45 | 264 | 3,152 | | |
| | 2005.00.10 | 12~13 | 168 | 2,845 | 60 | 336 | 3,409 | | |
| 8 | 2005.08.18 | $16 \sim 17$ | 248 | 3,569 | 62 | 367 | 4,246 | | |
| | 2005.00.10 | 17~18 | 286 | 4,523 | 52 | 241 | 5,102 | | |
| 9 | 2005.08.18 | 23~00 | 62 | 1,181 | 3 | 36 | 1,282 | | |
| 5 | 2005.00.10 | 00~01 | 38 | 761 | 1 | 17 | 817 | | |
| 10 | 2005.08.19 | 09~10 | 179 | 2,779 | 87 | 414 | 3,459 | | |
| 10 | 2005.00.15 | 10~11 | 145 | 2,737 | 81 | 369 | 3,332 | | |
| 11 | 2005 08 19 | 16~17 | 215 | 3,786 | 59 | 303 | 4,363 | | |
| 11 | 2005.00.15 | 17~18 | 331 | 4, 722 | 46 | 225 | 5,324 | | |
| 12 | 2005.08.20 | 13~14 | 189 | 3,900 | 39 | 204 | 4,332 | | |
| 12 | 2005.00.20 | 14~15 | 207 | 3,942 | 26 | 168 | 4,343 | | |
| | (| ra th | 70 | | 01 1 | A | | | |

표 6.1차 형상측량 시 각 그룹별 교통량 조사 결과



- 21 -



그림 13. 1차 형상측량 시 차종별 교통량 분포

그림 13에서와 같이 6, 9 그룹에서의 교통량이 다른 그룹에 비해 현저히 줄어든 것으로 나타났으며, 앞선 표 4의 표준편차의 평균 분포와 비교해보 면 교통량이 적은 시간대의 형상측량 결과가 더 양호한 것을 알 수 있다. 그러나 4 그룹과 6, 9 그룹의 결과에서 4 그룹의 경우 6, 9 그룹 보다 교 통량이 적음에도 불구하고 6, 9 그룹의 경우가 보다 양호한 형상측량 결과 를 나타내었다. 이는 4 그룹의 측량 당시 많은 과대오차가 포함되어 발생 된 것으로 판단된다.

표 7과 그림 14는 2차 형상측량 시 각 그룹별 교통량 조사 결과와 그 분포를 나타낸 것으로써, 1차 형상측량과 마찬가지로 교통량이 적은 시간 대에 관측한 결과값이 양호한 분포를 나타내었다. 또한 1차 형상측량에 비 해 2차 형상측량의 경우 양호한 결과를 나타내었으며, 이는 1차 형상측량 의 결과를 감안하여 비교적 교통량이 적은 시간대를 선정하여 2차 형상측

- 22 -

| 근 | 고초 | റിച്ച | | 차 | 종 | | ન્ત્રો |
|----|------------|--------------|-----|------|----|-----|--------|
| 一百 | 전득 | 될지 | 경차 | 소형 | 대형 | 특수 | 계 |
| 1 | 2008.11.08 | 01~02 | 25 | 660 | 0 | 10 | 695 |
| 2 | 2008.11.08 | $03 \sim 04$ | 14 | 421 | 2 | 14 | 451 |
| 3 | 2008.11.08 | $06 \sim 07$ | 97 | 1596 | 35 | 197 | 1,925 |
| 4 | 2008.11.08 | 13~14 | 284 | 4600 | 33 | 155 | 5,072 |
| 5 | 2008.11.09 | 23~00 | 77 | 1190 | 1 | 3 | 1,271 |
| 6 | 2008.11.09 | 02~03 | 34 | 486 | 0 | 5 | 525 |
| 7 | 2008.11.09 | $04 \sim 05$ | 30 | 566 | 1 | 15 | 612 |
| 8 | 2008.11.09 | $06 \sim 07$ | 76 | 1203 | 11 | 45 | 1,335 |
| 9 | 2008.11.10 | $00 \sim 01$ | 25 | 475 | 1 | 7 | 508 |
| 10 | 2008.11.10 | $01 \sim 02$ | 19 | 286 | 0 | 8 | 313 |
| 11 | 2008.11.10 | 02~03 | 6 | 264 | 1 | 15 | 286 |
| 12 | 2008.11.10 | 03~04 | 16 | 336 | 0 | 33 | 385 |

표 7. 2차 형상측량 시 각 그룹별 교통량 분포



그림 14. 2차 형상측량 시 차종별 교통량 분포

3.4.3 도심거리 보정 및 회전 변환

실제적인 현수교의 기하형상 결정은 현수교를 구성하는 구조물의 도심 의 교축방향, 교축직각방향, 연직방향 위치를 결정하는 것이다. 그러나 현 수교 형상측량에 있어서 각 방향별 구조물 도심의 위치에 프리즘 타켓을 설치하는 것은 불가능할 뿐만 아니라, 프리즘 자체의 방향별 이격거리로 인해 정확한 도심의 위치를 결정하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 주 탑 주케이블, 앵커 블록, 탑정 새들 등에 설치된 프리즘 타켓의 중심과 각 구조물의 도심과의 이격거리를 관측하고, 형상측량 결과에서 도심거리 보 정을 실시하였다. 그림 15~그림 20은 대상 현수교에 설치된 프리즘 타켓 과 각 구조물간의 이격거리를 도식화한 것이며, 프리즘 타켓 설치 지점에 서의 각 방향별 도심거리 보정량은 표 8과 같다.



그림 15. 탑정 새들 타겟 프리즘과 구조물 도심과의 이격거리



그림 16. 주케이블 타겟 프리즘과 구조물 도심과의 이격거리



그림 18. 주탑기부 타겟 프리즘과 구조물 도심과의 이격거리

- 25 -



그림 19. 앵커 블록 새들 타겟 프리즘과 구조물 도심과의 이격거리



| 그님 | 도 | 심거리 보정 | 량 | 7.1 | 도 | 심거리 보정 | 량 |
|-----|---------|--------|--------|-----|---------|--------|---------|
| イモ | X 방향 | Y 방향 | Z 방향 | 下七 | X 방향 | Y 방향 | Z 방향 |
| T1 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | T14 | 10.50 | 47.50 | -67.80 |
| T2 | 10.50 | 47.50 | -67.30 | T15 | -144.00 | 34.00 | -45.80 |
| Т3 | -94.00 | 34.00 | -45.80 | T16 | 10.50 | 47.50 | -67.80 |
| T4 | 0.00 | 194.00 | -15.50 | T17 | -144.00 | 34.00 | -45.80 |
| T5 | -144.00 | 34.00 | -45.60 | T18 | 10.50 | 47.50 | -68.80 |
| Т6 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | T19 | -144.00 | 34.00 | -45.60 |
| Τ7 | -144.00 | 34.00 | -45.60 | T20 | 0.00 | 194.00 | -15.50 |
| Т8 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | T21 | -144.00 | 34.00 | -45.60 |
| Т9 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | T22 | 10.50 | 47.50 | -68.80 |
| T10 | 10.50 | 47.50 | -67.80 | T23 | 94.00 | 34.00 | -45.80 |
| T11 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | T24 | 10.50 | 47.50 | -67.80 |
| T12 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | T26 | 0.00 | 261.50 | -273.00 |
| T13 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | T27 | 0.00 | 261.50 | -273.00 |

| 표 0. 시 프니듬 나깟 시점될 경양될 도점기니 모정영 | 표 8. | 각 | 프리즘 | 타켓 | 지점별 | 방향별 | 도심거리 | 보정링 |
|--------------------------------|------|---|-----|----|-----|-----|------|-----|
|--------------------------------|------|---|-----|----|-----|-----|------|-----|

표 9는 1차 형상측량 결과에 도심과의 이격거리를 고려한 보정 결과를 나 타낸 것이며, 도심거리 보정 이후의 대상 현수교의 교축직각방향 및 연직방 향 형상은 그림 21 및 그림 22와 같다.

| 표 | 9. | 도심거리 | 보정 | 전・ | 후 | 1차 | 형상측량 | 성과 | 비교 | (단위 | : | cm) |
|---|----|------|----|----|---|----|------|----|----|-----|---|-----|
|---|----|------|----|----|---|----|------|----|----|-----|---|-----|

| 초고 | 도심거 | 리 보정 : | 전 성과 | 도수 |]거리 보기 | 정량 | 도심거 | 리 보정 - | 후 성과 |
|-----|----------|-----------------------|----------|---------|--------------|---------|----------|--------|----------|
| 숙섬 | Х | Y | Z | Х | Y | Ζ | Х | Y | Z |
| T1 | 1980.65 | 769.91 | 4080.01 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 1991.15 | 817.41 | 4011.21 |
| T2 | 10238.52 | 769.23 | 6307.09 | 10.50 | 47.50 | -67.30 | 10249.02 | 816.73 | 6239.79 |
| Т3 | 10323.38 | 784.47 | 3866.48 | -94.00 | 34.00 | -45.80 | 10229.38 | 818.47 | 3820.68 |
| T4 | 19851.80 | 631.81 | 10838.20 | 0.00 | 194.00 | -15.50 | 19851.80 | 825.81 | 10822.70 |
| Τ5 | 21362.87 | 784.84 | 4000.21 | -144.00 | 34.00 | -45.60 | 21218.87 | 818.84 | 3954.61 |
| Т6 | 26888.50 | 770.95 | 7612.98 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 26899.00 | 818.45 | 7544.18 |
| T7 | 27037.10 | 783.74 | 4048.70 | -144.00 | 34.00 | -45.60 | 26893.10 | 817.74 | 4003.10 |
| Т8 | 32542.42 | 768.30 | 5863.91 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 32552.92 | 815.80 | 5795.11 |
| Т9 | 32707.37 | 782.86 | 4082.25 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | 32563.37 | 816.86 | 4036.45 |
| T10 | 39156.50 | 769.17 | 4656.04 | 10.50 | 47.50 | -67.80 | 39167.00 | 816.67 | 4588.24 |
| T11 | 39324.22 | 782.07 | 4105.64 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | 39180.22 | 816.07 | 4059.84 |
| T12 | 44857.57 | 767.92 | 4326.90 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 44868.07 | 815.42 | 4258.10 |
| T13 | 44994.36 | 781.82 | 4111.30 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | 44850.36 | 815.82 | 4065.50 |
| T14 | 50529.84 | 7 <mark>69.</mark> 53 | 4654.64 | 10.50 | 47.50 | -67.80 | 50540.34 | 817.03 | 4586.84 |
| T15 | 50665.33 | 783.41 | 4105.91 | -144.00 | <u>34.00</u> | -45.80 | 50521.33 | 817.41 | 4060.11 |
| T16 | 57144.05 | 771.00 | 5867.21 | 10.50 | 47.50 | -67.80 | 57154.55 | 818.50 | 5799.41 |
| T17 | 57282.39 | 786.39 | 4083.61 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | 57138.39 | 820.39 | 4037.81 |
| T18 | 62800.13 | 771.10 | 7615.46 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 62810.63 | 818.60 | 7546.66 |
| T19 | 62955.32 | 785.66 | 4045.87 | -144.00 | 34.00 | -45.60 | 62811.32 | 819.66 | 4000.27 |
| T20 | 69845.69 | 631.48 | 10840.07 | 0.00 | 194.00 | -15.50 | 69845.69 | 825.48 | 10824.57 |
| T21 | 68625.77 | 787.33 | 3999.61 | -144.00 | 34.00 | -45.60 | 68481.77 | 821.33 | 3954.01 |
| T22 | 79452.29 | 773.54 | 6310.73 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 79462.79 | 821.04 | 6241.93 |
| T23 | 79383.42 | 787.32 | 3868.89 | 94.00 | 34.00 | -45.80 | 79477.42 | 821.32 | 3823.09 |
| T24 | 87710.77 | 773.74 | 4082.99 | 10.50 | 47.50 | -67.80 | 87721.27 | 821.24 | 4015.19 |
| T26 | 19850.37 | 557.40 | 182.26 | 0.00 | 261.50 | -273.00 | 19850.37 | 818.90 | -90.74 |
| T27 | 69850.55 | 560.55 | 184.48 | 0.00 | 261.50 | -273.00 | 69850.55 | 822.05 | -88.52 |



또한 2차 형상측량 결과에 도심과의 이격거리를 고려한 보정 결과는 표 10과 같고, 도심거리 보정 이후의 대상 현수교의 교축직각방향 및 연직방향 형상은 그림 22 및 그림 23과 같다.

| ラフ | 도심거 | 리 보정 : | 전 성과 | 도심 |]거리 보 | 정량 | 도심거 | 리 보정 - | 후 성과 |
|-----|----------|--------|----------|---------|---------------|---------|----------|--------|----------|
| 슥섬 | X | Y | Z | Х | Y | Z | Х | Y | Z |
| T1 | 1980.36 | 769.46 | 4082.28 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 1990.86 | 816.96 | 4013.48 |
| T2 | 10238.05 | 769.93 | 6309.37 | 10.50 | 47.50 | -67.30 | 10248.55 | 817.43 | 6242.07 |
| Т3 | 10323.09 | 783.89 | 3868.88 | -94.00 | 34.00 | -45.80 | 10229.09 | 817.89 | 3823.08 |
| Τ4 | 19850.28 | 632.04 | 10836.42 | 0.00 | 194.00 | -15.50 | 19850.28 | 826.04 | 10820.92 |
| T5 | 21362.99 | 784.08 | 4001.06 | -144.00 | 34.00 | -45.60 | 21218.99 | 818.08 | 3955.46 |
| Т6 | 26887.94 | 771.21 | 7613.33 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 26898.44 | 818.71 | 7544.53 |
| T7 | 27036.87 | 783.45 | 4047.26 | -144.00 | 34.00 | -45.60 | 26892.87 | 817.45 | 4001.66 |
| Т8 | 32542.01 | 767.81 | 5863.19 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 32552.51 | 815.31 | 5794.39 |
| Т9 | 32707.54 | 782.68 | 4083.42 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | 32563.54 | 816.68 | 4037.62 |
| T10 | 39156.18 | 769.66 | 4657.34 | 10.50 | 47.50 | -67.80 | 39166.68 | 817.16 | 4589.54 |
| T11 | 39324.29 | 781.89 | 4105.86 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | 39180.29 | 815.89 | 4060.06 |
| T12 | 44858.06 | 767.34 | 4327.55 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 44868.56 | 814.84 | 4258.75 |
| T13 | 44994.30 | 781.99 | 4110.63 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | 44850.30 | 815.99 | 4064.83 |
| T14 | 50531.07 | 770.26 | 4655.99 | 10.50 | 47.50 | -67.80 | 50541.57 | 817.76 | 4588.19 |
| T15 | 50666.88 | 783.42 | 4107.25 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | 50522.88 | 817.42 | 4061.45 |
| T16 | 57146.04 | 771.16 | 5866.87 | 10.50 | 47.50 | -67.80 | 57156.54 | 818.66 | 5799.07 |
| T17 | 57282.18 | 787.08 | 4084.24 | -144.00 | 34.00 | -45.80 | 57138.18 | 821.08 | 4038.44 |
| T18 | 62802.44 | 771.55 | 7615.05 | 10.50 | <u>4</u> 7.50 | -68.80 | 62812.94 | 819.05 | 7546.25 |
| T19 | 62954.93 | 785.17 | 4046.24 | -144.00 | 34.00 | -45.60 | 62810.93 | 819.17 | 4000.64 |
| T20 | 69847.57 | 631.98 | 10841.17 | 0.00 | 194.00 | -15.50 | 69847.57 | 825.98 | 10825.67 |
| T21 | 68626.17 | 787.83 | 3999.81 | -144.00 | 34.00 | -45.60 | 68482.17 | 821.83 | 3954.21 |
| T22 | 79454.35 | 773.64 | 6311.34 | 10.50 | 47.50 | -68.80 | 79464.85 | 821.14 | 6242.54 |
| T23 | 79384.84 | 787.62 | 3869.21 | 94.00 | 34.00 | -45.80 | 79478.84 | 821.62 | 3823.41 |
| T24 | 87712.17 | 774.23 | 4081.97 | 10.50 | 47.50 | -67.80 | 87722.67 | 821.73 | 4014.17 |
| T26 | 19850.48 | 557.88 | 182.44 | 0.00 | 261.50 | -273.00 | 19850.48 | 819.38 | -90.56 |
| T27 | 69851.05 | 561.05 | 184.53 | 0.00 | 261.50 | -273.00 | 69851.05 | 822.55 | -88.47 |

표 10. 도심거리 보정 전·후 2차 형상측량 성과 비교 (단위 : cm)

- 29 -



그러나 이상의 그림 21~그림 24에서와 같이 교축직각방향의 경우 시점 (T1)과 종점(T24)의 위치가 일치하지 않고, 연직방향의 경우 양쪽 주탑기부 (T26, T27)의 높이가 영점보다 아래에 위치해 있다. 이는 일반적인 측량 좌 표계와 교량 측량에서의 좌표계와의 차이에서 기인된 것이다. 따라서 그림 25와 같이 도심보정을 마친 형상측량 결과를 XY 평면과 XZ 평면에서의 회 전변환을 고려하여 교축직각방향 및 연직방향으로의 이동이 필요하다.



그림 25. 형상측량 성과의 회전변환 개요도

표 11은 회전변환 이후 1차 형상측량 결과를 나타낸 것이며, 회전변환 이후 대상 현수교의 교축직각방향과 연직방향의 형상은 그림 26 및 그림 27과 같다. 또한 표 12와 그림 28 및 그림 29는 2차 형상측량 결과를 XY 평면과 XZ 평면에서 회전시킨 결과를 나타낸 것이다.

| 초기 | 도심거 | 리 보정 후 | - 성과 | 회전혁 | 변환량 | 회전 | 변환 이후 | 성과 |
|-----|----------|--------|----------|-------|---------------------|----------|--------|----------|
| 득심 | Х | Y | Ζ | Y | Z | Х | Y | Z |
| T1 | 1991.15 | 817.41 | 4011.21 | -0.00 | 91.53 | 1991.15 | 817.41 | 4102.74 |
| T2 | 10249.02 | 816.73 | 6239.79 | -0.37 | 91.17 | 10249.02 | 816.36 | 6330.96 |
| Т3 | 10229.38 | 818.47 | 3820.68 | -0.37 | 91.17 | 10229.38 | 818.10 | 3911.85 |
| Τ4 | 19851.80 | 825.81 | 10822.70 | -0.80 | 90.74 | 19851.80 | 825.01 | 10913.44 |
| Τ5 | 21218.87 | 818.84 | 3954.61 | -0.86 | 90.68 | 21218.87 | 817.98 | 4045.28 |
| Т6 | 26899.00 | 818.45 | 7544.18 | -1.11 | 90.43 | 26899.00 | 817.34 | 7634.61 |
| Τ7 | 26893.10 | 817.74 | 4003.10 | -1.11 | 90.43 | 26893.10 | 816.63 | 4093.53 |
| T8 | 32552.92 | 815.80 | 5795.11 | -1.37 | 90.18 | 32552.92 | 814.43 | 5885.28 |
| Т9 | 32563.37 | 816.86 | 4036.45 | -1.37 | 90.18 | 32563.37 | 815.49 | 4126.63 |
| T10 | 39167.00 | 816.67 | 4588.24 | -1.66 | 89.88 | 39167.00 | 815.01 | 4678.13 |
| T11 | 39180.22 | 816.07 | 4059.84 | -1.66 | 89.88 | 39180.22 | 814.41 | 4149.73 |
| T12 | 44868.07 | 815.42 | 4258.10 | -1.92 | 89.63 | 44868.07 | 813.50 | 4347.73 |
| T13 | 44850.36 | 815.82 | 4065.50 | -1.92 | 89.63 | 44850.36 | 813.90 | 4155.13 |
| T14 | 50540.34 | 817.03 | 4586.84 | -2.17 | 89.38 | 50540.34 | 814.86 | 4676.22 |
| T15 | 50521.33 | 817.41 | 4060.11 | -2.17 | 89. <mark>38</mark> | 50521.33 | 815.24 | 4149.49 |
| T16 | 57154.55 | 818.50 | 5799.41 | -2.47 | 89.09 | 57154.55 | 816.03 | 5888.50 |
| T17 | 57138.39 | 820.39 | 4037.81 | -2.46 | <mark>89</mark> .09 | 57138.39 | 817.93 | 4126.90 |
| T18 | 62810.63 | 818.60 | 7546.66 | -2.72 | <mark>88</mark> .84 | 62810.63 | 815.88 | 7635.49 |
| T19 | 62811.32 | 819.66 | 4000.27 | -2.72 | 88.84 | 62811.32 | 816.94 | 4089.10 |
| T20 | 69845.69 | 825.48 | 10824.57 | -3.03 | 88.52 | 69845.69 | 822.45 | 10913.09 |
| T21 | 68481.77 | 821.33 | 3954.01 | -2.97 | 88.58 | 68481.77 | 818.35 | 4042.59 |
| T22 | 79462.79 | 821.04 | 6241.93 | -3.46 | 88.10 | 79462.79 | 817.57 | 6330.02 |
| T23 | 79477.42 | 821.32 | 3823.09 | -3.46 | 88.10 | 79477.42 | 817.85 | 3911.18 |
| T24 | 87721.27 | 821.24 | 4015.19 | -3.83 | 87.73 | 87721.27 | 817.41 | 4102.92 |
| T26 | 19850.37 | 818.90 | -90.74 | -0.80 | 90.74 | 19850.37 | 818.10 | 0.00 |
| T27 | 69850.55 | 822.05 | -88.52 | -3.03 | 88.52 | 69850.55 | 819.02 | 0.00 |

표 11. 회전변환 이후 1차 형상측량 결과 (단위 : cm)



| 초거 | 도심거 | 리 보정 후 | - 성과 | 회전벽 | 변환량 | 회전 | 년변환 이후 | 성과 |
|----------|----------|--------|----------|-------|---------------------|----------|--------|----------|
| 4 | Х | Y | Ζ | Y | Z | Х | Y | Ζ |
| T1 | 1990.86 | 816.96 | 4013.48 | -0.00 | 91.31 | 1990.86 | 816.96 | 4104.79 |
| T2 | 10248.55 | 817.43 | 6242.07 | -0.46 | 90.96 | 10248.55 | 816.97 | 6333.03 |
| Т3 | 10229.09 | 817.89 | 3823.08 | -0.46 | 90.96 | 10229.09 | 817.43 | 3914.04 |
| Τ4 | 19850.28 | 826.04 | 10820.92 | -0.99 | 90.56 | 19850.28 | 825.05 | 10911.48 |
| Т5 | 21218.99 | 818.08 | 3955.46 | -1.07 | 90.50 | 21218.99 | 817.01 | 4045.96 |
| Т6 | 26898.44 | 818.71 | 7544.53 | -1.39 | 90.27 | 26898.44 | 817.32 | 7634.80 |
| Τ7 | 26892.87 | 817.45 | 4001.66 | -1.39 | 90.27 | 26892.87 | 816.06 | 4091.93 |
| T8 | 32552.51 | 815.31 | 5794.39 | -1.70 | 90.03 | 32552.51 | 813.61 | 5884.42 |
| Т9 | 32563.54 | 816.68 | 4037.62 | -1.70 | 90.03 | 32563.54 | 814.98 | 4127.65 |
| T10 | 39166.68 | 817.16 | 4589.54 | -2.07 | 89.75 | 39166.68 | 815.09 | 4679.29 |
| T11 | 39180.29 | 815.89 | 4060.06 | -2.07 | 89.75 | 39180.29 | 813.82 | 4149.81 |
| T12 | 44868.56 | 814.84 | 4258.75 | -2.39 | 89.51 | 44868.56 | 812.45 | 4348.26 |
| T13 | 44850.30 | 815.99 | 4064.83 | -2.38 | 89.52 | 44850.30 | 813.61 | 4154.35 |
| T14 | 50541.57 | 817.76 | 4588.19 | -2.70 | 89.28 | 50541.57 | 815.06 | 4677.47 |
| T15 | 50522.88 | 817.42 | 4061.45 | -2.70 | 89.28 | 50522.88 | 814.72 | 4150.73 |
| T16 | 57156.54 | 818.66 | 5799.07 | -3.07 | 89.00 | 57156.54 | 815.59 | 5888.07 |
| T17 | 57138.18 | 821.08 | 4038.44 | -3.07 | <mark>89</mark> .00 | 57138.18 | 818.01 | 4127.44 |
| T18 | 62812.94 | 819.05 | 7546.25 | -3.38 | <mark>88</mark> .76 | 62812.94 | 815.67 | 7635.01 |
| T19 | 62810.93 | 819.17 | 4000.64 | -3.38 | <mark>88</mark> .76 | 62810.93 | 815.79 | 4089.40 |
| T20 | 69847.57 | 825.98 | 10825.67 | -3.78 | 88.47 | 69847.57 | 822.20 | 10914.14 |
| T21 | 68482.17 | 821.83 | 3954.21 | -3.70 | 88.53 | 68482.17 | 818.13 | 4042.74 |
| T22 | 79464.85 | 821.14 | 6242.54 | -4.31 | 88.07 | 79464.85 | 816.83 | 6330.61 |
| T23 | 79478.84 | 821.62 | 3823.41 | -4.31 | 88.07 | 79478.84 | 817.31 | 3911.48 |
| T24 | 87722.67 | 821.73 | 4014.17 | -4.77 | 87.72 | 87722.67 | 816.96 | 4101.89 |
| T26 | 19850.48 | 819.38 | -90.56 | -0.99 | 90.56 | 19850.48 | 818.39 | 0.00 |
| T27 | 69851.05 | 822.55 | -88.47 | -3.78 | 88.47 | 69851.05 | 818.77 | 0.00 |

표 12. 회전변환 이후 2차 형상측량 결과 (단위 : cm)



이상과 같이 도심거리 보정 및 회전변환을 통한 형상측량 결과는 앵커블 록 새들 도심점이나 주탑 정부 새들 도심점의 좌표는 생략된 형상이므로 완 벽한 형상 좌표라고 할 수 없다. 따라서 이들 좌표를 기존 측정 좌표값과 설 계 당시의 좌표값을 이용하여 생성하였고, 이 과정을 통하여 대상 교량의 시 기별 기하형상을 구현하였다. 표 13은 최종적으로 결정된 1차 형상측량 결 과를 나타낸 것이며, 그림 30과 그림 31은 대상 현수교의 최종 형상측량 결 과를 교축직각방향 및 연직방향으로 도식화한 것이다. 또한 표 14와 그림 32 및 그림 33은 최종적인 2차 형상측량 결과와 교축직각방향 및 연직방향의 최종 형상을 나타낸 것이다.

1, 2차 형상측량의 결과 중 교축직각방향의 최종 형상인 그림 30 및 그림 32와 같이 프리즘 타켓 설치 지점의 교축직각방향 위치가 수 cm 정도의 차 이를 보임을 알 수 있다. 이는 대상 현수교의 주케이블, 주탑정부, 주탑기부, 그리고 보강형에 설치된 프리즘의 교축직각방향 위치가 서로 다르기 때문이 다. 연직방향의 경우 그림 31 및 그림 33과 같이 대상 현수교의 형상을 잘 표현하고 있음을 알 수 있다.

ot u

| 측점 | 교축방향 (X) | 교축직각방향 (Y) | 연직방향 (Z) |
|--------|----------|------------|----------|
| AB2 새들 | -126.36 | 817.41 | 3742.79 |
| T1 | 1991.15 | 817.41 | 4101.74 |
| T2 | 10249.02 | 816.36 | 6330.96 |
| Т3 | 10229.38 | 818.10 | 3911.85 |
| T4 | 19851.80 | 825.01 | 10913.44 |
| PY2 새들 | 19851.80 | 825.01 | 10743.44 |
| T5 | 21218.87 | 817.98 | 4045.28 |
| Т6 | 26899.00 | 817.34 | 7634.61 |
| Τ7 | 26893.10 | 816.63 | 4093.53 |
| T8 | 32552.92 | 814.43 | 5885.28 |
| Т9 | 32563.37 | 815.49 | 4126.63 |
| T10 | 39167.00 | 815.01 | 4678.13 |
| T11 | 39180.22 | 814.41 | 4149.73 |
| T12 | 44868.07 | 813.50 | 4347.73 |
| T13 | 44850.36 | 813.90 | 4155.13 |
| T14 | 50540.34 | 814.86 | 4676.22 |
| T15 | 50521.33 | 815.24 | 4149.49 |
| T16 | 57154.55 | 816.03 | 5888.50 |
| T17 | 57138.39 | 817.93 | 4126.90 |
| T18 | 62810.63 | 815.88 | 7635.49 |
| T19 | 62811.32 | 816.94 | 4089.10 |
| T20 | 69845.69 | 822.45 | 10913.09 |
| PY1새들 | 69845.69 | 822.45 | 10743.09 |
| T21 | 68481.77 | 818.35 | 4042.59 |
| T22 | 79462.79 | 817.57 | 6330.02 |
| T23 | 79477.42 | 817.85 | 3911.18 |
| T24 | 87721.27 | 817.41 | 4102.92 |
| AB1 새들 | 89838.77 | 817.41 | 3742.97 |
| T26 | 19850.37 | 818.10 | 0.00 |
| T27 | 69850.55 | 819.02 | 0.00 |

표 13.1차 형상측량의 최종 성과 (단위 : cm)



| 측점 | 교축방향 (X) | 교축직각방향 (Y) | 연직방향 (Z) |
|--------|----------|----------------------|----------|
| AB2 새들 | -126.64 | 816.96 | 3745.84 |
| T1 | 1990.86 | 816.96 | 4104.79 |
| T2 | 10248.55 | 816.97 | 6333.03 |
| T3 | 10229.09 | 817.43 | 3914.04 |
| Τ4 | 19850.28 | 825.05 | 10911.48 |
| PY2 새들 | 19850.28 | 825.05 | 10741.48 |
| T5 | 21218.99 | 817.01 | 4045.96 |
| T6 | 26898.44 | 817.32 | 7634.80 |
| T7 | 26892.87 | 816.06 | 4091.93 |
| Τ8 | 32552.51 | 813.61 | 5884.42 |
| Т9 | 32563.54 | 814.98 | 4127.65 |
| T10 | 39166.68 | 815.09 | 4679.29 |
| T11 | 39180.29 | 813.82 | 4149.81 |
| T12 | 44868.56 | 812.45 | 4348.26 |
| T13 | 44850.30 | 813.61 | 4154.35 |
| T14 | 50541.57 | 815.06 | 4677.47 |
| T15 | 50522.88 | 814.72 | 4150.73 |
| T16 | 57156.54 | 815.59 | 5888.07 |
| T17 | 57138.18 | 818.01 | 4127.44 |
| T18 | 62812.94 | <mark>81</mark> 5.67 | 7635.01 |
| T19 | 62810.93 | 815.79 | 4089.40 |
| T20 | 69847.57 | 822.20 | 10914.14 |
| PY1새들 | 69847.57 | 822.20 | 10744.14 |
| T21 | 68482.17 | 818.13 | 4042.74 |
| T22 | 79464.85 | 816.83 | 6330.61 |
| T23 | 79478.84 | 817.31 | 3911.48 |
| T24 | 87722.67 | 816.96 | 4101.89 |
| AB1 새들 | 89840.17 | 816.96 | 3741.94 |
| T26 | 19850.48 | 818.39 | 0.00 |
| T27 | 69851.05 | 818.77 | 0.00 |

표 14.2차 형상측량의 최종 성과 (단위 : cm)



그림 33. 2차 형상측량 최종 성과 (X-Z 방향)

4. 현수교 기하형상 결정

현수교는 주형의 하중을 행어(hanger)를 통해 케이블에 전달하고 이 힘 을 주탑과 앵커리지(anchorage)에 의해 지반으로 전달하는 구조형식이다. 주 구성요소로는 주케이블, 주탑, 행어, 앵커리지, 보강형 등이 있으며 그 외에 신축장치, 새들(saddle) 받침 등으로 구성되어 있다.

특히 현수교의 Sag는 현수교의 거동을 해석하는데 중요한 해석 변수 중 하나이므로 이를 결정하는 것은 매우 중요하다. 따라서 그림 34와 같이 주 경간의 길이(L)와 보강형에서 주탑 상부까지의 길이(f) 비인 Sag비(f/L)의 결정은 현수교의 거동을 판단하는데 매우 중요하며, 이는 현수교의 기하형 상 결정에 의해 결정될 수 있다. 일반적으로 현수교의 Sag비는 1/8~1/13 정도이며, 본 연구를 위한 대상 현수교의 Sag비는 설계 당시 1/8로 계획 되었다.



본 연구에서는 1, 2차 형상측량에 의한 대상 현수교의 최종 기하형상을 결정하기 위해 각각의 형상측량에 따른 주경간의 길이와 Sag를 결정하였 다. 또한 이를 대상 현수교의 설계 당시의 형상과 완공 후 공용전에 관측 결과에 의한 형상과 비교, 분석하였으며, 그 결과는 표 15와 같다. 각 시기 별로 결정된 주경간의 길이는 공용전의 경우 500.029m, 1, 2차 형상측량의

- 41 -

경우 각각 499.939m와 499.973m로 결정되었다. 이상과 같이 1, 2차 형상측 량에 의한 결과가 설계 및 공용전 주경간 길이에 비해 약 0.037~0.090m 범위 내에서 차이를 보임을 알 수 있었다. 이는 관측 당시의 교통량 및 풍 속 등과 같은 여러 가지 요인에 의해 발생되는 대상 현수교 자체의 변위 를 포함한 결과로 판단된다. 또한 1, 2차 형상측량 결과에 있어서 주경간 의 길이가 2차 형상측량 결과에서 0.034m 더 증가한 것으로 나타났다. 1 차 형상측량 당시의 평균기온(32℃)이 2차 형상측량 당시의 평균기온(1 2℃)에 비해 약 20℃ 높은 것을 고려해 볼 때, 이로 인한 길이의 증가를 포함한 결과로 판단된다.

| 구 분 | 설계 형상 (a) | 공용전 형상 (b) | 1차 형상측량 (c) | 2차 형상측량 (d) |
|-------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 주경간의 길이 (L) | 500.010m | 500.029m | 499.939m | 499.973m |
| Sag (f) | 63.755m | 63.413m | 63.957m | 63.931m |
| Sag 비 (f/L) | 0.1275 | 0.1268 | 0.1279 | 0.1279 |
| | | | | Y |

표 15. 대상 현수교의 설계 형상 및 각 시기별 실측형상 비교

또한 각 시기별로 결정된 대상 현수교의 형상을 설계 형상과 비교하여 그 차이를 나타내면 표 16과 같다.

표 16. 대상 현수교의 설계 형상과 각 시기별 실측형상과의 차이

| 구 분 | P = b-a | Q = c-a | R = d-a |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 주경간의 길이 (L) | + 0.019m | - 0.071m | - 0.037m |
| | (+0.003%) | (-0.014%) | (-0.007%) |
| Sag (f) | -0.342m | + 0.202m | +0.177m |
| | (-0.536%) | (+0.317%) | (+0.278%) |

표 16에서 공용전의 형상 중 주경간의 길이는 1, 2차 형상측량 결과에 비해 설계 형상에 잘 일치하고 있으나, Sag의 경우 설계 형상에 비해 0.536% 감소함을 알 수 있었고, 이는 1, 2차 형상측량 결과보다 매우 큰 비율이다. 이러한 결과는 공용전의 Sag 길이 결정에 있어서 착오 등의 문 제점을 내포하고 있는 것으로 판단된다.

이렇게 결정된 주경간의 길이를 이용하여 대상 현수교의 각 시기별 주 탑 변위를 결정하였다. 현수교 주경간의 길이와 주탑 변위의 관계는 그림 35와 같다. 설계 당시의 주탑 변위는 존재하지 않지만, 시공 중, 시공 완료 후, 공용 후에는 여러 가지 요인에 의해 주탑이 거동하게 되며, 이로 인해 변위가 발생하게 된다. 이러한 주탑의 변위는 설계 시 그 최대 허용 한계 치를 규정하고 있으며, 공용 후에는 이러한 허용 한계치를 단계별로 구분 하여 현수교를 유지관리하고 있다.



그림 35. 현수교 주경간의 길이와 주탑 변위의 관계

표 17은 각 시기별로 결정된 주경간의 길이를 이용하여 주탑의 변위를 산정한 결과이다. 본 연구를 위한 대상 현수교의 설계 당시 최대 허용 한 계치는 외측방향으로 0.267m, 내측방향으로 0.329m로 규정하고 있으며, 표 17과 같이 각 시기별로 결정된 주탑 변위는 이 한계치 내에 충분히 포함 되고 있음을 알 수 있다.

표 17. 대상 현수교 주경간 길이의 허용 한계범위 (단위 : m)

| 구분 | - | 설계 형상 (L ₀) | 공용전 형상 (L ₂) | 1차 형상측량 (L ₁) | 2차 형상측량 (L ₁) | 비고 |
|---------|--------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 주경간의 길 |]이 (L) | 500.010 | 500.029m | 499.939 | 499.973 | AL 1 : 0.264 |
| 즈타 버이 | ΔL_1 | 0.000 | 0.010 | | / | $\Delta L_{2 \text{ max}} : 0.329$ |
| - T입 컨키 | ΔL_2 | 0.000 | AIT | 0.036 | 0.019 | |

또한 대상 현수교 주탑의 거동에 따른 단계별 관리기준은 표 18과 같다. 공용전과 1, 2차 형상측량에 의한 결과에서와 같이 대상 현수교 주탑의 거 동은 각 단계별 관리기준 내에 포함되고 있으며, 이는 대상 현수교가 유지 관리기준 범위 내에서 안정적으로 거동하고 있음을 설명해준다.

표 18. 대상 현수교 주탑의 거동에 따른 단계별 관리기준 (단위 : mm)

| 즈타 버이 | 단 계 | | | |
|--------------|------|------|-------|--|
| 一百 七日 | 1단계 | 2단계 | 3단계 | |
| ΔL_1 | 57.8 | 98.7 | 150.8 | |
| ΔL_2 | 36.4 | 63.1 | 95.4 | |

5. 결 론

본 연구에서는 현재 공용 중에 있는 현수교를 대상으로 기하형상을 결 정하고, 결정된 시기별 기하형상과 설계형상간 비교·분석을 통하여 공용 이후의 케이블 교량의 안정성을 평가해봄으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 공용된 이후 시기별 대상 현수교의 기하형상을 결정하기 위하여 1, 2차 형상측량을 실시하였고, 이를 다시 시간대별 그룹으로 구분하여 각 그룹별 정확도를 분석하였다. 그 결과, 1, 2차 형상측량 시 각각 9 그룹과 11 그룹의 표준편차가 가장 양호하게 나타났다. 또한 형상측량 시 각 그룹 별 교통량을 조사하고 그룹별 표준편차와의 상관성을 분석한 결과, 통행 교통량이 증가할수록 형상측량의 정확도가 낮아짐을 알 수 있었다.

둘째, 각 시기별로 가장 양호한 결과를 보인 9 그룹 및 11 그룹의 형상 측량자료를 토대로 프리즘 설치 지점과 구조물의 도심간 이격거리를 보정 하고, 이에 교축직각방향 및 연직방향으로의 회전변환을 수행함으로써, 구 조물의 도심을 정확히 모사한 현수교의 최종 형상을 결정할 수 있었다.

셋째, 1, 2차 형상측량에 의한 대상 현수교의 최종 기하형상을 결정하기 위해 각 시기별 형상측량에 따른 주경간의 길이, Sag 그리고 Sag 비를 산 정하였다. 그 결과, 주경간의 길이는 각각 499.939m와 499.973m로 결정되 었고, 이는 설계 및 공용전 주경간 길이에 비해 약 0.037~0.090m의 차이 를 나타내었다. 이는 관측 당시의 교통량 및 풍속 등과 같은 여러 가지 요 인에 의해 발생되는 대상 현수교 자체의 변위를 포함한 결과로 판단된다. 또한 1, 2차 형상측량 결과에 있어서 주경간의 길이가 2차 형상측량 결과 에서 0.034m 더 증가한 것으로 나타났다. 1차 형상측량 당시의 평균기온

- 45 -

(32℃)이 2차 형상측량 당시의 평균기온(12℃)에 비해 약 20℃ 높은 것을 고려해 볼 때, 이로 인한 길이의 증가를 포함한 결과로 판단된다.

넷째, 각 시기별로 결정된 주경간의 길이를 이용하여 주탑의 변위를 산 정한 결과, 설계 당시 최대 허용 한계치인 외측방향으로 0.267m, 내측방향 으로 0.329m 내에 충분히 포함되고 있음을 알 수 있었다. 또한 대상 현수 교 주탑의 거동에 따른 단계별 관리기준과 비교해 볼 때, 대상 현수교가 유지관리기준 범위 내에서 안정적으로 거동하고 있음을 알 수 있었다.

이상과 같이 현수교의 거동을 정확히 파악하기 위해서는 그 기하형상의 결정이 우선시된다. 따라서 공용기간 및 교통량의 증가에 따른 주기적인 실측형상모델의 결정이 필요하며, 이는 현수교 유지관리에 있어서 그 안정 성 확보에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.



참 고 문 헌

- 강준묵, 주영은, 엄대용, 김위현, 2001, "교량의 안전진단을 위한 3차원 변 해석", 한국측량학회, 한국측량학회지, 제19권 제1호, pp.47-53.
- 김영호, 2006, "현수교 유지관리를 위한 계측기반 해석모델 작성 기법", 공 학박사학위논문, 목포대학교 대학원.

부산광역시 건설본부, 2003, "광안대로 초기점검 보고서"

- 부산광역시 시설관리공단, 2005, "광안대교 현수교 주케이블 형상측량 측량 및 장력해석 보고서"
- 박용명, 조현준, 정진환, 김남식, 2007, "측량데이터를 이용한 현수교의 형 상오차 원인 추정", 한국강구조학회, 한국강구조학회 논문집, 제19권 제3호, pp.313-321.
- 박재선, 2007, "유비쿼터스 환경의 지능형 교량 모니터링 기술 실용화를 위한 연구", 공학석사학위논문, 건국대학교 대학원.
- 신기용, 2001, "형상측량비에 따른 현수교의 3차원 정적거동에 관한 연구", 공학석사학위논문, 부산대학교 대학원.
- 이재원, 2006, "GPS와 IMU에 의한 현수교 주탑 모니터링에 관한 연구", 대한지구물리학회, 지구물리, 제9권 제2호, pp.77-86.

- 정진환, 강충현, 김남식, 박용명, 2008, "디지털 화상처리기법을 이용한 현 수교의 형상결정기법 개발", 한국구조물진단학회, 한국구조물진단학회 지, 제12권 제1호, pp.117-126.
- 한국건설기술연구원, 2006, "유비쿼터스 환경의 지능형 시설물모니터링 기 술개발"
- 허광희, 이진옥, 최만용, 김유식, 김광배, 2005, "차세대 건설 구조물의 유 지관리시스템을 위한 기대와 전망 : 자정식 현수교 모델을 중심으로", 한국구조물진단학회, 구조물진단학회지, 제9권 제3호, pp.3-11.
- 최병길, 김영곤, 정진우, 2000, "GPS의 OTF 측위기법에 의한 교량의 거동 측정에 관한 연구", 한국측량학회, 한국측량학회지, 제18권 제3호, pp.271-278.
- Erodogan, H., and Gulal, E., 2007, "The application of time series analysis to describe the dynamic movements of suspension birdges", Nonlinear Analysis : Real World Application.
- Jaselskis, E., Gao, S., and Walters, R. C., 2005, "Improving transportation projects using laser scanning", ASCE Journal of Construction Engineering and Management, Vol.131. No.3, pp.377–384.
- Jiang, R., Jauregui, D.V., and White, K.R., 2008, "Close-range photogrammetry applications in bridge measurement", Measurement, Vol.41, pp. 823–834.

- Loves, J.W., Teskey, W.F., Lachapelle, G., and Cannon, M.E., 1995, "Dynamic deformation monitoring of tall structure using GPS technology, Journal of Surveying Engineering, 121(1), pp.16–22.
- Meng, X., Dodson, A.H., and Roberts, G.W., 2007, "Detecting bridge dynamics with GPS and triaxial accelerometers", Engineering Structures, Vol.29, pp.3178–3184.
- Mills, J. and Barber, D., 2004, "Geomatics techniqus for structural surveying", ASCE Journal of Surveying Engineering, Vol.130, No.2, pp.56–64.
- Robert, G.W., Dodson, A.H., Ashkenozi, V., Brown, C.V., and Karuna, R., 1999, "Comparison of GPS measurements and finit element modeling for the deformation measurements of the Humber Bridge", Proc. ION GPS, Nashville, USA.
- Weiqian, L., Guangwen, K., and Tianning, X., 1990, "Determination of the deformation of the bridge model in real time with CCD solid state camera", SPIE Close-Range Photogrammetry Meets Machine Vision, Vol.1395.

감사의 글

졸업이라는 단어가 아직까지 왠지 어색하게만 느껴집니다. 하지만 졸업 이 끝이 아니라 새로운 과업을 성취하기 위한 도약의 디딤돌이 되었으면 하는 바램입니다. 2년이라는 짧은 기간동안 대학원 생활을 통하여 삶을 살 아감에 있어 피가되고 살이되는 좋은 경험을 많이 하게 되었고 무엇보다 많은 분들의 따뜻한 관심과 애정어린 배려속에서 또 다시 한층 더 성숙해 질 수 있었습니다. 진정한 이 시대의 지식인으로서 소양과 자세를 일깨워 준 모든 분들께 한 분씩 찾아뵙지 못하고 이렇게 지면으로나마 감사의 인 사를 드리고자 합니다.

또한, 이 논문이 나오기까지 학문뿐 아니라 인격체로서 바른 삶의 길을 이끌어 주신 이종출 교수님께 진심으로 존경과 감사의 마음을 올립니다.

그리고 연구와 강의로 바쁜신 가운데도 논문이 완성되기까지 항상 변 함없는 관심과 열정으로 지도하여 주신 이영대 교수님, 김명식 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한, 학부때부터 석사과정까지도 많은 가르침과 따뜻한 격려로 지도하여 주신 손인식 교수님, 장희석 교수님, 이종섭 교수 님, 이동욱 교수님, 김수용 교수님, 국승규 교수님, 정진호 교수님, 이환우 교수님, 정두회 교수님, 이상호 교수님께도 머리숙여 감사를 드립니다.

대학원 생활동안 학교선배로서 뿐 아니라 인생의 선배로서 아낌없는 배려와 배움에 대한 노력하는 자세와 자긍심을 일깨워주신 서동주 박사님, 노태호 박사님, 장호식 박사님 그리고 동기라고 늘 곁에서 힘이 되어준 마 음이 따뜻한 김진수 박사, 입학 때부터 졸업까지 세심한 배려를 아끼지 않 았던 후배 조용재 박사, 연구실 후배 오현우, 정영화에게도 감사의 마음을 전하며 각자의 분야에서 건승하시길 기원합니다.

- 50 -

어려운 여건속에서도 학문의 길을 열 수 있도록 배려해주신 광안대로 사업단 교량시설팀 정재일 팀장님, 노상곤 팀장님, 주상무 과장님 그리고 따뜻한 격려와 배려로 부족한 시간을 채워주신 교량시설팀 동료분들에게 도 이해해 주셔서 감사하다고 꼭 전하고 싶습니다.

끝으로, 지금까지 한결같은 사랑과 정성으로 응원 해주신 사랑하는 부 모님과 장인, 장모님 그리고 형제들에게도 이 기쁨을 함께 나누고자 합니 다.

항상 변함없는 믿음과 사랑으로 남편의 늦은 학업을 위해 헌신적으로 뒷바라지 해준 든든한 후원자인 사랑하는 아내 김경화와 이 영광을 함께 나누고 싶습니다. 또한, 아빠와 함께 뛰어 놀길 원했지만 바쁘다는 핑계로 제대로 놀아주질 못해 항상 미안했던 사랑하는 딸 채은, 그리고 이 논문이 나올 즘이면 또 다른 희망을 안겨줄 새 식구 우리 복돌이... 가족모두 무엇 보다도 소중하게 생각하고 사랑한다는 걸 잊지 않길 바라며, 이 소중한 결 실을 바칩니다.

여러분의 덕분에 오늘보다 더 나은 내일을 위하여 조그마한 또 하나의 결실을 보게 된 것을 무한한 영광으로 생각하고 있습니다. 앞으로도 지금 까지 베풀어주신 은혜와 사랑 잊지 않으며 성실히 노력하면서 열심히 살 겠습니다.

2009년 2월

李卓坤