

# 월드컵경기장 지붕구조의 주기거동측량

## A survey of periodic movement applying to a roof of worldcup stadium

김감래\* 김명배\*\* 전호원\*\*\* 객강울\*\*\*\*

Kim, Kam Lae · Kim, Myoung Bae · Chun, Ho Woun · Kwak, Kang Youl

### 1. 서론

현재 구조물의 거동을 측정하고 있는 방법으로 1차원적인 수직 거동을 측정하기 위한 게이지에 의한 방법이 있으며, 3차원의 방법으로 Total Station 즉, 3차원 측정기를 통한 방법 및 인공위성을 이용한 GPS측량 방법 등으로 크게 나눌 수 있다. 여기서 월드컵 경기장의 지붕구조에 있어서처럼 케이블 구조로 이루어진 구조물이나 캔틸레버형 트러스 구조 형태로 구성되어 있는 구조물에 있어서는 게이지와 같은 1차원의 거동만을 측정하는 장비를 이용하여서는 구조물의 거동을 정확히 파악할 수 없다. 또한 GPS측량방식은 비유적인 면이나 측정데이터의 저장 및 전달과정상의 문제를 내포하고 있다. 그러나 Total Station을 이용한 3차원 측량방식은 임의의 위치에 3차원측량기를 설치한 후 이로부터 기준점에 대한 정밀측량결과를 토대로 측정지점에 부착한 타겟을 측정하므로써 3차원 측정이 가능한 장점을 가지고 있다. 따라서 이러한 3차원 측량장비를 이용하여 월드컵 경기장의 지붕구조에 대한 거동을 주기적으로 측정함으로써 구조물의 계절별 시간대별 거동을 파악할 수 있도록 하고 이를 통해 구조물의 유리관리에 적극 활용하도록 하여야 한다.

월드컵 경기장의 지붕 인장케이블 막구조와 같이 케이블 구조로 이루어진 구조물이나 캔틸레버형 트러스 구조 형태로 구성되어 있는 구조물에 있어서는 풍향, 풍속 및 온도변화에 따른 거동이 발생할 수 있다. 따라서 월드컵 경기장에 대한 시간대별 및 계절별 주변환경변화에 따른 구조물의 거동을 3차원적으로 측정함으로써 초기자료를 확보하고 이를 이용하여 유지관리에 적극 활용코자 하는데 그 목적이 있다.

### 2. 3차원측량의 원리

3차원측정용 기계인 토탈스테이션은 양지점간의 거리관측을 위하여 적외선, 레이저광선, 극초단파등의 전자기파(electromagnetic wave)를 이용하여 거리를 관측하는 방법인 전자기파거리측량(EDM)방법과 각측정기능인 테오돌라이트의 기능이 동시에 한 개의 시스템으로 한 대의 장비내에 구성되어 있다. 토탈스테이션에 의한 측정방법에 대한 기본원리는 다음과 같다.

먼저 3차원의 위치좌표를 얻기 위해서는 기본적으로 방향각의 설정이 필요하다. 따라서 기계를 세운 위치 지점에 대한 좌표 및 기지점인 삼각점의 위치좌표 등의 3차원 위치좌표가 필요하며, 기계를 세운 지점과 삼각점간의 방향시준을 하여 기본의 방향각을 설정한 후 임의 지점들간의 3차원 위치좌표를 측정한다.

$$\begin{aligned} X_A &= l_1 \cos(\text{방향각} + \alpha_1) & Y_A &= l_1 \sin(\text{방향각} + \alpha_1) & Z_A &= l_1 \tan(\text{연직각}) \\ X_B &= l_2 \cos(\text{방향각} + \alpha_2) & Y_B &= l_2 \sin(\text{방향각} + \alpha_2) & Z_B &= l_2 \tan(\text{연직각}) \\ X_C &= l_3 \cos(\text{방향각} + \alpha_3) & Y_C &= l_3 \sin(\text{방향각} + \alpha_3) & Z_C &= l_3 \tan(\text{연직각}) \\ X_D &= l_4 \cos(\text{방향각} + \alpha_4) & Y_D &= l_4 \sin(\text{방향각} + \alpha_4) & Z_D &= l_4 \tan(\text{연직각}) \end{aligned} \quad (1)$$

만약 삼각점이나 기계점의 좌표를 알 수 없는 경우에는 기계점의 위치나 삼각점의 위치를 임의로 설정하

\*정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사 · 031-330-6411(E-mail:kam@mju.ac.kr)  
\*\*정회원 · 명지전문대학 토목과 부교수 · 공학박사 · 02-300-1336(E-mail:kimmb@mail.mjc.ac.kr)  
\*\*\*정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 · 공학박사 · 02-970-6501(E-mail:jmchung@duck.snut.ac.kr)  
\*\*\*\*정회원 · 명지대학교 토목공학과 박사과정 · 공학석사 · 02-307-8117(E-mail:kwak\_ky@hotmail.com)

여 방향각을 설정한 후 측정대상에 대해 측량을 실시하면 된다. 즉, 운동장내 거동이 없는 원지반내에 4점의 자기준점을 설치한 후 자기준점에 대한 Network 망 구성을 통한 정밀측량을 실시한다. 이후 자기준점에 대한 정밀측정에 따른 오차조정을 통해 정밀기준점망을 구성하고 이로부터 측정점의 3차원 거동 측량을 실시한다.

### 3. 3차원측량 및 분석

#### 3.1 기준점 설정

월드컵 경기장의 지붕구조에 대한 3차원 거동을 측정하여 계절별, 시간대별 거동량을 파악하기 위해서는 절대기준위치 및 좌표계의 구성이 필요하다. 따라서 월드컵 경기장내의 원지반내에 기준점 표지를 최소 4점 이상 설치하고 이를 3차원 정밀측량기를 이용하여 3대회 정반관측을 실시하였다. 기준점의 배치에 있어서는 기준점의 배치구역이 측정지역에 대한 범위를 고려하여 배치함으로써 측정범위에 따른 오차를 최소한으로 줄이도록 하였다. 이 결과에 대해 3차원 정밀측량을 실시한 결과에 대해 NetWork구성을 통한 정밀 망조정을 실시하였다.

#### 3.2 변위 측정점 설정 및 부착

각 월드컵 경기장내의 거동을 측정하기 위하여 부착식 타겟을 이용하여 그림 3 및 그림 4의 경기장 평면도 및 단면도에 표시된 위치에 각각 부착하였다. 이때 3차원 좌표 관측에 사용된 타겟은 측정지점과의 거리가 최대 200m이내인 점을 고려하여 8×8cm크기의 타겟을 이용하였으며, 측정시 관측시준각도를 최소45도내에서 측정이 가능한 위치에 타겟을 부착함으로써 교회측량시 오차를 최소한으로 하도록 하였으며, 타겟을 탈락방지를 위하여 철판부착용 본드를 이용하여 밀착상태로 부착하였다.

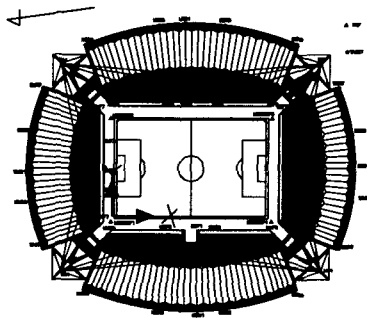


그림 3. 기준점 및 측정점 배치현황 단면도

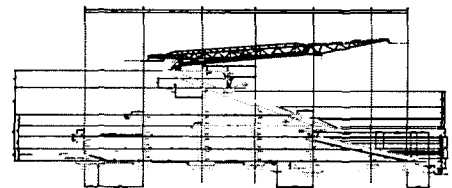


그림 4. 측정점 배치 단면도

#### 3.3 측량시기 및 사용장비

월드컵 경기장에 대한 3차원 거동을 측정하여 유지관리에 적극 활용하기 위해 계절별(봄,여름,가을,겨울), 시간대별(오전(08:00~10:00), 정오(12:00~14:00), 오후(17:00~19:00)) 3차원 공간측량을 실시하였다. 이때 사용된 측량장비로는 TC2002(라이카)로서 각측정 정밀도가 0.5", 최소표시단위는 0.1"이며, 거리 정밀도는 1mm + 1ppm, 최소표시단위 0.1mm이다. 이때 3차원거동 측정시 풍향, 풍속 및 부재의 표면온도를 측정하여 거동 분석시 활용하였다.

### 3.4 3차원측량에 의한 거동량 산출분석

지붕구조에 대한 3차원 거동양상을 파악하기 위해 계절별·시간대별로 측정된 결과를 이용하여 분석하였다. 여기서 거동량분석에 있어 사용된 초기값은 경기장의 준공직후인 가을철(2001년10월)에 실시한 측량결과를 기본으로 각 계절별로 측정된 결과를 비교분석하였다.

그림 5는 가을철 측정시 대비 겨울철 측정시 거동량의 관계를 나타낸 것으로서, 그림 5에서 보는 바와 같이 오전, 오후시간대의 각 측정점의 거동량은 거의 같은 양상의 거동을 하고 있으며, 정오시간대의 거동량은 가을철 대비 겨울철의 온도변화(7°C → -9°C)에 따른 온도차의 영향으로 오전, 오후시간대에 비해 거동량이 많이 발생하였음을 알 수 있다. 또한 해의 진행방향에 있는 동쪽지붕과 서쪽지붕에 있어서는 거의 같은 양상으로 거동량이 발생하였으며, 남쪽지붕에 있어서는 남동쪽의 지붕이 남서쪽의 지붕에 비해 거동량이 많이 발생한 것은 햇빛의 영향이 남동쪽의 지붕에 많이 준 결과로 사료되며, 이는 북쪽지붕 구조에 있어 오전, 오후시간대에 비해 정오시간대의 거동량이 많이 발생한 것에서 알 수 있다.

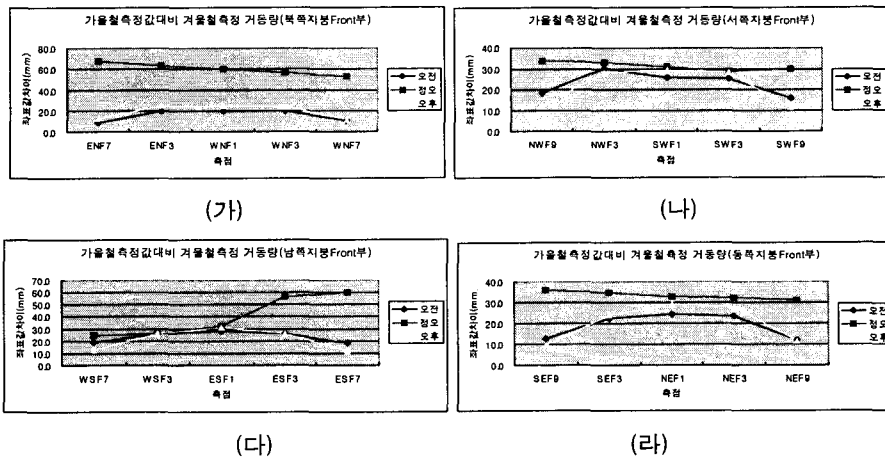


그림 5. 가을철 측정시 대비 겨울철 측정시 거동

그림6은 가을철 측정값 대비 봄철 측정시에 따른 거동량을 나타낸 것으로서 측정점에 있어 각 지붕 구조의 중앙부에서의 거동량이 많이 많이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이 경기장은 그림 3에서 보는 바와 같이 4지점의 Mast부로부터 지붕구조를 Cable로 잡아 당기는 형식인 케이블구조형식으로 되어 있다. 따라서 구조상 가장 많은 변화를 나타낼 수 있는 부분은 Mast와 Mast의 중앙지점에서 가장 많이 발생할 수 있으므로 그림 6의 거동량의 변화를 잘 표현하고 있는 것이라 할 수 있다.

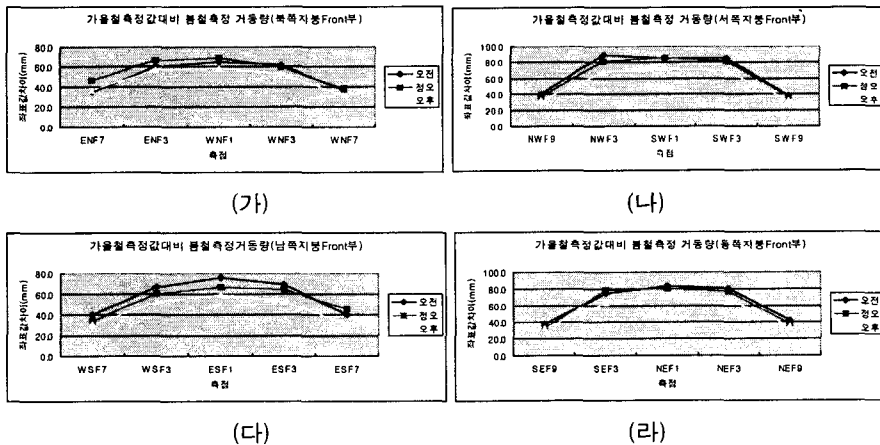


그림 6. 가을철 측정시 대비 봄철 측정시 거동

그림 7은 가을철 측정값 대비 여름철 측정시 거동량을 나타낸 것으로서 가을철 대비 봄철 측정시 거동량과 거의 같은 거동형태를 나타내고 있음을 알 수 있으며, 오전, 오후 시간대의 거동량이 정오시간대의 거동량에 비해 거의 차이가 없게 나타났음을 알 수 있다. 이는 온도변화에 따른 거동량이 더욱더 부재의 거동에 영향을 미치고 있다고 할 수 있다.

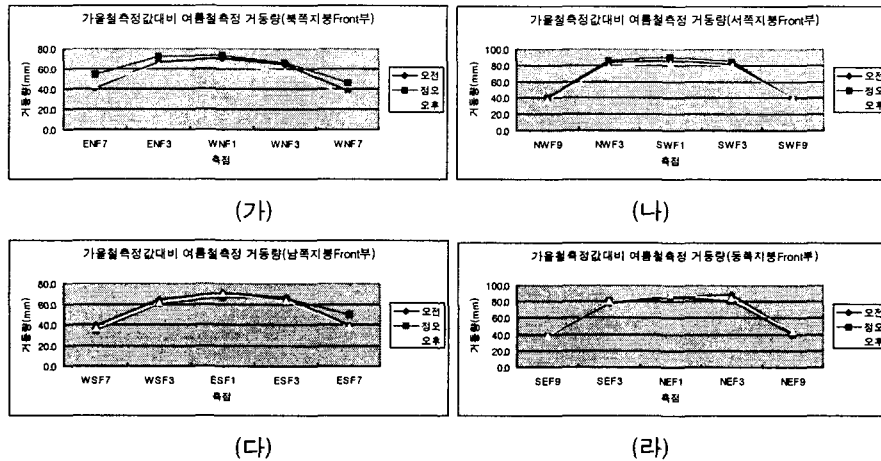


그림 7. 가을철 측정시 대비 여름철 측정시 거동

이 월드컵 경기장은 온도의 변화에 따라 최대 90mm의 거동량이 발생하고 있으며, 오전, 정오, 오후시간대의 순으로 순환 거동을 하고 있음을 알 수 있다. 따라서 구조물의 주기적인 계측관리나 유지관리에 있어 각 부재의 중앙지점에 대해 계측관리를 통해 순환거동에 따른 설계허용치(약150mm)의 초과 여부를 확인하여 그에 따른 안전관리의 조치를 취할 수 있도록 하여야 할 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 월드컵경기장의 지붕구조에 대해 거동변화양상을 파악하기 위하여 3차원측량방법을 이용하여 측정된 결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 케이블 및 트러스구조의 형식으로 구성되어 있는 경기장의 지붕구조에 대한 거동은 Mast부와 트러스 부재의 온도변화에 따라 순환거동을 하고 있음을 알 수 있다.
2. 경기장은 최대 90mm의 거동량이 계절변화나 온도변화에 따라 순환하며 거동하고 있음을 알 수 있다.
3. 이를 토대로 설계시의 거동변화에 따른 허용치(약 150mm)에 따른 구조물의 주기 거동변화량을 파악하고 추후 유지관리의 기초자료로 활용할 수 있는 자료를 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 안철호외 1인, 일반측량학, 문운당, pp.278-450
2. T.J.M. Kennie, G.Petrie, Engineering Surveying Technology, John Wiley & Sons Inc, pp.7-46