

3차원 위치좌표를 이용한 대형 구조물 양중을 위한 계측 - 평가 시스템

Monitoring-Evaluation System for Lifting Heavy Structures using 3D Location Data

이 명 호¹⁾ · 천 성 철²⁾ · 오 보 환³⁾
Lee, Myung Ho · Chun, Sung Chul · Oh, Bohwan

요 약 : 일반적으로 대형 지붕구조나 초대형 보와 같은 대형 구조물을 양중하는 방법은 유압잭이 이용된다. 또한, 양중시 안전을 위하여 CCTV를 이용하여 각 포인트에 설치된 줄자를 모니터링하여 레벨체크를 수행하고, 상대 변위가 기설정된 한계를 벗어나면 유압잭을 정지하고 상대 변위를 수동으로 조정한 후에 양중을 수행하였다. 그러나, 이러한 종래의 양중 방법은 CCTV를 육안으로 확인하여 레벨을 체크하기 때문에 정확도가 높지 않았고, 실시간 계측은 현실적으로 불가능하였다.

이러한 문제를 개선하기 위하여 자동추적형 토탈스테이션, 레이저 거리계, 데이터로거, 변형도게이지 등을 이용하여 대형 구조물 양중시 적용할 수 있는 계측-평가 시스템 구축하였다. 시스템을 구현하기 위한 프로그램 작성 후 실험실에서 시연을 통해 계측-평가 데이터의 정확성 및 활용 가능성을 평가하였으며, 안정적인 데이터 취득 및 연산을 통해 적용성이 검증되었다.

ABSTRACT : Heavy structures such as large roof structures and superbeams were lifted using hydraulic jacks. Moreover, member verticality and horizontality checks were performed at every construction stage to monitor the measuring tapes for their structural safety, using CCTV. When the relative displacement exceeded the predetermined limit, the hydraulic systems were terminated. After adjusting the relative displacement manually, lifting was resumed. The accuracy of the relative displacement was found not to be reliable, however, due to eye check using CCTV, and it took a long time due to manual adjustment. Moreover, real-time monitoring was impossible.

To address these problems, the monitoring-evaluation system for the stable lifting of heavy structures was proposed, using the total station of the automatic-target-recognition type, laser-distance-measuring devices, a data logger, a strain gauge, and others. After developing a program for the operation of the system and for the acquisition of data, a mock-up test was conducted in a large-scale structural laboratory to evaluate the accuracy and applicability of the system. The stable acquisition and applicability of data was confirmed in the test.

핵심용어 : 대형구조물, 양중, 폐쇄회로 텔레비전, 토탈스테이션, 레이저 거리계

KEYWORDS : heavy structure, lifting, CCTV, total station, laser distance measuring device

1. 서론

양중 (lift-up, lifting 등으로 표현, 이하 양중) 공법은 지상에서 조립한 본 구조물을 미리 시공한 본기둥 또는 가설기둥을 지지점으로 하여 소정의 위치까지 유압잭으로 양중하여 설치하

는 공법으로 주로 고소 작업 등 가설구대에 의한 작업이 용이하지 않을 때 주로 이용된다. 양중공법은 1913년 미국에서 최초로 고안되었으며, 일본에서는 1963년 竹中工務店이 와세다 대학과 공동개발하여 기숙사 건설에 양중공법을 실시한 것이 최초이며 (정상진, 2005), 한국에서는 1996년 한진중공업

1) 교신저자, 대우건설 기술연구원 건축연구팀 선임연구원
(Tel. 031-250-1168, Fax. 031-250-1131, E-mail: astropix@dwconst.co.kr)
2) 대우건설 기술연구원 건축연구팀 책임연구원(bluebird@dwconst.co.kr)
3) 대우건설 기술연구원 건축연구팀 전문위원(bhoh@dwconst.co.kr)

본 논문에 대한 토의를 2010년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

표 1. 국내외 대형구조물 양중사례

공사명	시공사	수행년도	양중 중량 (tf)	양중높이 (m)	수직변위 계측기기	계측시스템	관리기준 (허용변형, mm)
텔레콤센터 (中村幹, 1994)	大成 외 3개사	1992-1995	1.800	72.85	레이저연직기 레이저거리계	CCTV	경사 ±1°
김포공항 대한항공 빌딩 (한진중공업, 2001)	한진중공업	1996	4.800	28	level tape	CCTV	±20
삼성 종로빌딩 (삼성물산, 2001)	삼성물산	1990-1999	1,700(철골) 3,200(최종)	30	water level laser level level tape	CCTV	±30
KLCC Sky Bridge (삼성물산 1996)	삼성물산	1994-1996	580	170	water level laser level	전자신호	±50
인천공항 대한항공 격납고 (한진중공업, 2001)	한진중공업	2002	5.500	23.5	level tape	CCTV	±50
광명경륜동 (대우건설, 2006)	대우건설	2003-2005	1,080	50	level tape	CCTV	±25
트라펠리스 타임브릿지 (삼성중공업, 2006)	삼성중공업	2003-2006	500	61	토탈스테이션	전자신호	
인천 논현지구 관망탑 (대우건설, 2004)	대우건설	2006	750	120	water level	CCTV	-
누리꿈 스퀘어 IT 캡슐 (삼성물산, 2005)	삼성물산	2005-2007	660	40	토탈스테이션	CCTV	±12.5
알펜시아 타워 (태영건설, 2008)	태영건설	2008	686	53	레이저거리계 토탈스테이션	-	-

에서 김포 대한항공 격납고에 최초로 적용하였다.(한진중공업, 2001) 현재 공법의 발전으로 대형 돔 구장 등 체육시설에서부터 공장, 격납고, 전망대, 교량 등에 이르기까지 적용범위가 넓다. 표 1은 국내외에서 양중공법으로 시공된 구조물 중 일부로 많은 실적이 있음을 알 수 있다.

일반적으로 양중공법의 장점은 다음과 같다.

- 1) 지상작업으로 작업조건이 양호하고 시공성 향상
- 2) 고소작업 감소로 안정성 확보
- 3) 시공성 향상으로 공기단축
- 4) 가설비계 및 중장비 절감으로 공사비 절감
- 5) 검사업무의 용이함으로 품질확보 수월

이러한 장점뿐 아니라 양중공법을 적용하는 구조물은 대개가 장스팬이고 중량물이기 때문에 다음과 같은 사항에 주의하여야 한다.

- 1) 양중시에 하중의 불균형에 의한 부재의 변형이 발생할 수 있으므로 그 한계를 예측하고 하중이 균등하게 분포할 수 있도록 하여야 한다.
- 2) 풍력 등에 의한 수평력에 견딜 수 있도록 가설지지물의 설치를 검토하여야 한다.
- 3) 유압잭 시스템의 안전성을 확인하여야 한다.

이러한 문제를 고려하여 계측관리와 제어관리가 중요한 문제이다. 표 1의 대부분의 경우 양중시에 변위계측을 물수평계 및 level tape를 설치하고 그림 1과 같이 CCTV를 이용하여 육안으로 모니터링하였다. 하지만, 육안관찰은 오차가 발생할 가능성이 크고, 실시간 모니터링에 어려움이 있다. 또한, 바람에 의한 가속도와 수평변위에 대한 모니터링은 현실적으로 불가능하였다. 본 논문에서는 기존 양중공사의 사례를 조사하여 계측 관리에 대한 문제점을 도출하고 이를 통하여 대형구조물 양중을 위한 계측-평가 시스템을 제안하고자 한다.



그림 1. CCTV를 이용한 레벨 모니터링 (대우건설, 2006)

2. 기존 사례의 계측관리

양중시의 안정성, 부재의 응력 등을 양중시에 확인하고, 안전한 리프트를 하기 위하여 계측관리가 필요하다.

표 2. 일반적인 계측항목

계측항목	계측기기명	계측항목	계측기기명
부재응력	변형도게이지	양중하중	하중계
구조체 수평변위	방안보드	양중높이	토탈스테이션 level tape
풍향·풍속	풍향풍속계	전체상황	CCTV
철골온도	온도계	지반변형	경사계

위 표 2는 양중을 수행할 경우 일반적인 계측항목이다. 일반적으로 계측은 다음과 같이 수행한다.

- 1) 변형도게이지, 하중계, 풍향풍속계, 경사계는 컴퓨터로 통합된 계측관리 시스템으로 수행한다.
- 2) 구조체 수평변위 및 양중높이는 일정 높이만큼 양중 후 토탈스테이션으로 계측을 수행하여 상대 변위 문제가 발생하면 수동으로 유압잭을 조절하여 상대변위를 조정 한 후에 다시 양중을 수행하거나, level tape나 물수평계를 CCTV를 이용하여 육안으로 모니터링하여 계측을 수행한다.

다음은 제어계획으로 양중하는 구조체의 크기, 중량 등 전체적인 조건에 맞게 제어 관리폭을 설정한다.

- 1) 양중점별로 하중이 다르기에 하중 평형이 가장 중요함.
- 2) 수치해석을 행한 결과에 의해 결정한 계획값에 따라 관리 한계값을 설정하여 이 범위내에서 제어함.
- 3) 부재응력의 관리한계값은 각 부재의 장기허용과 단기 허용의 중간값인 중기허용응력 채용.

하지만, 제어를 수행하기 위한 계측이 육안평가로 수행되어 계측기의 신호를 평가하여 하중 및 변위 등 계측값이 기설정된 한계값을 벗어날 경우 양중을 정지하고 오차값이 한계값 내로 오도록 유압잭을 수동으로 작동시킨 후 다시 양중을 시작한다.

2.1 계측-평가-제어 통합시스템

육안평가 및 유압잭 수동제어에 의한 문제점을 해결하고자 저자들은 대형구조물 양중을 위한 통합자동화 시스템에 관한

연구를 수행하여 발표하였다.(이명호 외 2인, 2009) 연구내용을 요약하면 다음과 같다. 계측과 제어부분을 통합하여 자동화를 실현시키기 위해서는 계측결과를 기설정된 계측기별 한계값과 비교 평가하여 이상 유무를 결정하고 이상이 있을 경우 보정을 하는 시스템과 이상이 없을 경우 양중을 지속하는 통합시스템이 구축되어야 한다. 이와 같은 시스템의 흐름은 아래 그림 2와 같다. 표 3은 데이터 취득에 의한 제어변수 및 제어방안이다.

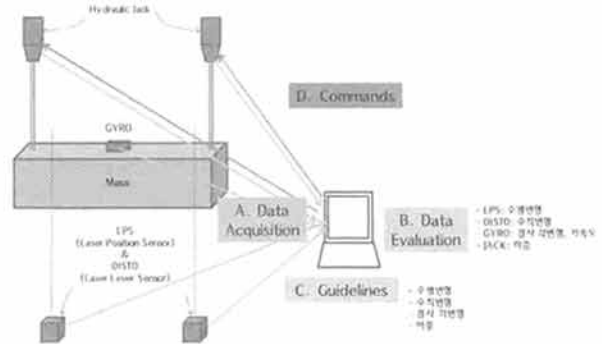


그림 2. 두 개의 유압잭을 이용한 선형 대형 부재 양중

본 시스템은 레이저 기기를 이용한 무선 시스템을 채택하였다. 무선시스템은 양중장소의 넓어 유선작업의 어려움과 시스템 연결선의 파단 가능성을 배제할 수 있다.

데이터 취득에 의한 제어방안으로는 양중되는 구조물의 수직변위를 측정하는 DISTO, 구조물 상부에 설치되어 구조물의 각변형 및 가속도를 측정하는 GYRO, 구조물의 수평변형을 계측하는 LPS가 중요한 계측기이다.(GeneSys, 2008)

표 3. 데이터 취득에 의한 제어변수 및 제어방안

제어기준값	계측기	관리방안	비고
하중	유압잭	- 양중초기: 해석값과 초기측정값의 비교, 불일치시 원인 파악 및 진행방향 결정 - 양중도중: 한계값을 벗어나면 시스템 중지 및 원인 파악 및 진행방향 결정	수동
수직변위	DISTO	- 한계값을 벗어나면 유압잭의 유압량을 조절하여 한계값 이내로 유도	자동
각변형 (x,y 방향)	GYRO	- 한계값을 벗어나면 유압잭의 유압량을 조절하여 관리 한계값 이내로 유도	자동
가속도 (x,y 방향)	GYRO	- 양중시 바람, 진동 등으로 가속도가 한계값을 벗어나면 시스템 중지 및 한계값 내로 가속도가 들어오면 다시 양중 시작	자동
구조체의 수평변형	LPS	- 한계값을 벗어나면 유압잭의 유압량을 조절하여 관리 한계값 이내로 유도	자동

또한, GYRO, LPS, DISTO의 기능을 가진 자동추적형 토탈스테이션(Leica, 2008; Sokkia, 2008)을 사용하면 3

차원 위치좌표를 이용하여 수직/수평변위, 경사각, 가속도 등을 실시간 계측하는 시스템을 구축할 수 있다.

또한, 계측 데이터가 관리 한계값을 벗어나면 자동으로 유압잭의 유압을 감압 또는 가압하여 관리 한계값 이내로 거동하도록 자동 보정을 하는 시스템이다.(ENERPAC, 2002)

3. 계측-평가 시스템의 적용성 평가

3.1 계측-평가 시스템 구성도

상기 2.1절의 계측-평가-제어 통합시스템을 구현하기 위한 첫단계로 유압잭 제어를 제외하고 계측-평가 시스템을 구축하였다. 그림 3은 대형 구조물 양중을 위한 계측-평가 시스템에 관한 것으로 대형 구조물 양중시 자동추적형 토달스테이션 2대와 레이저거리계 3대를 이용하여 3차원 위치정보와 수직거리를 계측하여 수평/수직 변위, 경사각, 가속도 등을 실시간으로 평가하는 시스템을 구성하였다. 계측항목 및 계측장비는 표 4와 같다.

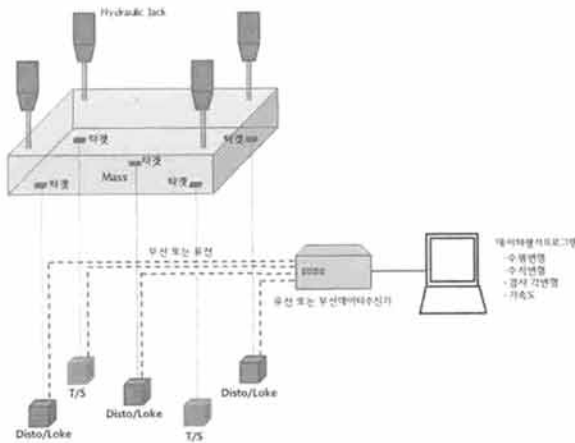


그림 3. 대형 구조물 양중을 위한 계측-평가 시스템 구성

표 4. 계측항목 및 계측장비

구분	위치	계측장비
수직변위	유압 잭위치 4곳 최대처짐위치 1곳	자동추적형 토달스테이션 레이저거리계
수평변위, 수평회전, 가속도	유압잭 위치 2곳	자동추적형 토달스테이션

3.2 계측방법 및 계측장비

그림 3의 시스템 구성요소로는 총 5대의 계측장비와 계측 데이터를 평가하여 실시간으로 모니터링을 할 수 있는 데이

터 평가 프로그램이다. 표 6은 계측-평가 시스템 구축방안에서 사용하려고 하는 장비에 대한 비교평가표이다. 현장적용성을 고려하여 무선으로 시스템 구축이 가능한 장비를 물색하였으며, 유사한 기능의 기기를 비교평가하여 최적의 장비를 선정하려 노력하였다. 자동 추적형 토달스테이션은 양중하는 구조물에 프리즘을 설치하고 프리즘의 위치를 자동추적하여 3차원 위치 좌표를 탐색하는 시스템이다. 향후 적용성을 높이기 위하여 유사한 기능을 가지는 두 개사의 자동추적형 토달스테이션을 이용하여 계측-평가 프로그램을 작성하였다. 또한, 경사계, 변형도 게이지 등을 이용한 계측을 위하여 데이터로거를 이용하는 시스템을 포함하였다.

3.3 평가항목

자동추적형 토달스테이션과 레이저거리계를 이용하여 평가하고자 하는 데이터는 표 5와 같다. 계측된 데이터를 연산하여 양중의 안전성과 효율성을 증진시킬 수 있는 항목을 선정하였다. 잭 위치의 수직방향의 최대 편차, 변형각, 최대처짐량, 최대 수평변위, X 및 Y 방향 수평변위, 수평회전중심, 수평회전각, 가속도를 연산하기 위한 수식을 유도하고 프로그램에 적용하였다. 각 항목의 개념은 그림으로 도시하였다. 개념의 이해를 도모하고자 개념도는 대부분 선형으로 작성되었다.

표 5. 평가항목

항목	평가방법	개념도
잭 위치의 수직방향 절대값 차	$\text{Max}(D_i) - \text{Min}(D_j)$	
잭 위치의 수직방향 각	$\frac{\text{Max}(D_i) - \text{Min}(D_j)}{L_{ij}}$	
최대 처짐량	$D_m - m(D_i)$	
최대 처짐각	$\frac{D_m - m(D_i)}{M_{ij}}$	
최대 수평 변위	$\sqrt{X_o^2 + Y_o^2}$	
X, Y방향 수평 변위	X_o, Y_o	
수평 회전 중심	$R_o(Rox, Roy)$	수식에서 산출됨

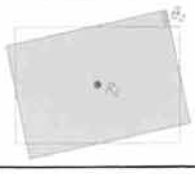
수평 회전각	θ_0	
가속도	$\frac{\Delta\sqrt{X_0^2+Y_0^2}}{\Delta t}$	

표 5의 기호의 의미는 다음과 같다.

- D_m : 최대처짐 위치의 처짐량
(일반적으로 잭이 설치되지 않은 위치)
- D_i, D_j : 잭 위치의 수직방향 변위 ($i, j=1\sim4$)
- L_{ij} : 잭위치간의 거리
- M_{ij} : 잭과 최대처짐위치 사이의 거리
- R_{ox} : 수평회전 중심의 X좌표
- R_{oy} : 수평회전 중심의 Y좌표
- $m(D_i)$: 잭 위치의 수직방향 변위들의 평균
- $Max(D_i)$: 잭 위치의 수직방향 변위들의 최대값
- $Min(D_i)$: 잭 위치의 수직방향 변위들의 최소값
- $X_0=(X_1+X_2)/2$: 질량중심의 X방향 변위
- $Y_0=(Y_1+Y_2)/2$: 질량중심의 Y방향 변위
- X_1, X_2 : 2대의 토달스테이션에서 계측된 t시점의 X방향 변위
- X_{10}, X_{20} : 2대의 토달스테이션에서 계측된 (t-1)시점의 X

방향 변위

- Y_1, Y_2 : 2대의 토달스테이션에서 계측된 t시점의 Y방향 변위
- Y_{10}, Y_{20} : 2대의 토달스테이션에서 계측된 (t-1)시점에서 Y방향 변위
- a_1, a_2 : 2대의 토달스테이션의 초기 위치의 X방향 좌표
- b_1, b_2 : 2대의 토달스테이션의 초기 위치의 Y방향 좌표

$$\theta_0 = \frac{\sqrt{(X_1 - X_1^0)^2 + (Y_1 - Y_1^0)^2}}{\sqrt{(R_{ox} - X_1^0)^2 + (R_{oy} - Y_1^0)^2}} : \text{회전 중심 } R_0 \text{로부터}$$

회전각 (그림 4 참조)

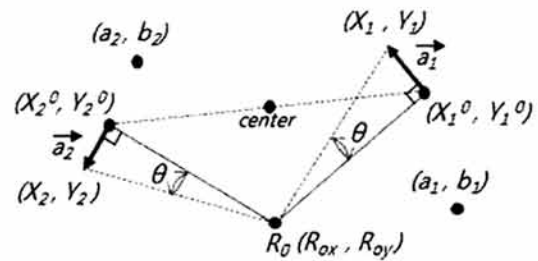


그림 4. 회전각 개념

그림 4의 회전각 개념에서 (t-1)에서 t 사이의 변위벡터 \vec{a}_1, \vec{a}_2 의 관계를 이용하여 회전중심 R_0 의 좌표를 산정할

표 6. 계측장비 비교평가

장비	장비명 제조사 모델명	계측항목 계측점 관리	통신방법	계측 거리	정확도
	자동추적형 토달스테이션 Leica TCRA1202 plus R400 (Leica, 2008-2)	3차원 좌표/ 프리즘	Bluetooth RS232	3km	각정밀도 1초 1 mm±1.5 ppm
	자동추적형 토달스테이션 Sokkia SRX 1 T (Sokkia, 2008)	3차원 좌표/ 프리즘	Bluetooth RS232	3km	각정밀도 1초 1 mm±2ppm
	Laser Distancemeter Leica DISTO A6 (Leica, 2008-1)	1차원 거리/ 반사지	- Bluetooth(20m 통신) - 실시간 데이터 전송.	200m	±1.5mm
	Laser Distancemeter Loke LMC-J-0040-1 (Loke, 2008)	1차원 거리/ 반사지	- RS232 유선 - 100m 무선장비가능	100m (반사지)	±2mm

수 있다. (a_1, b_1) , (a_2, b_2) 은 각각의 자동추적형 토달스테이션의 초기 위치 좌표이다.

$(t-1)$ 과 t 에서 계측된 좌표를 이용하여 벡터로 나타내면 다음의 수식과 같다.

$$\vec{a}_1 = (X_1 - X_1^0, Y_1 - Y_1^0) \quad (1-1)$$

$$\vec{a}_2 = (X_2 - X_2^0, Y_2 - Y_2^0) \quad (1-2)$$

$t-1$ 과 t 에서의 좌표인 $(X_1^0 + a_1, Y_1^0 + b_1)$, $(X_1 + a_1, Y_1 + b_1)$ 를 지나면서 직각인 1차함수는 다음과 같다.

$$y = -\frac{X_1 - X_1^0}{Y_1 - Y_1^0}(x - X_1^0 - a_1) + Y_1^0 + b_1 \quad (2-1)$$

마찬가지로 $t-1$ 과 t 에서의 좌표인 $(X_2^0 + a_2, Y_2^0 + b_2)$, $(X_2 + a_2, Y_2 + b_2)$ 를 지나면서 직각인 1차함수는 다음과 같다.

$$y = -\frac{X_2 - X_2^0}{Y_2 - Y_2^0}(x - X_2^0 - a_2) + Y_2^0 + b_2 \quad (2-2)$$

(2-1)과 (2-2)의 교점의 좌표는 회전중심 $R_0(R_{0x}, R_{0y})$ 된다.

$$R_{0x} = \frac{(Y_1 - Y_1^0)(Y_2 - Y_2^0)}{(X_1 - X_1^0)(Y_2 - Y_2^0) - (X_2 - X_2^0)(Y_1 - Y_1^0)} \left(-\frac{X_1 - X_1^0}{Y_1 - Y_1^0}(X_1^0 + a_1) + \frac{X_2 - X_2^0}{Y_2 - Y_2^0}(X_2^0 + a_2) + (Y_2^0 + b_2) - (Y_1^0 + b_1) \right) \quad (3-1)$$

$$R_{0y} = \frac{(X_1 - X_1^0)(X_2 - X_2^0)}{(Y_1 - Y_1^0)(X_2 - X_2^0) - (Y_2 - Y_2^0)(X_1 - X_1^0)} \left(-\frac{Y_1 - Y_1^0}{X_1 - X_1^0}(Y_1^0 + b_1) + \frac{Y_2 - Y_2^0}{X_2 - X_2^0}(Y_2^0 + b_2) + (X_2^0 + a_2) - (X_1^0 + a_1) \right) \quad (3-2)$$

3.4 계측-평가 프로그램 (대우건설, 2008-1)

대형 구조물 양중시 자동추적형 토달스테이션, 레이저거리계를 이용하여 3차원 위치정보와 수직거리를 계측하여 수평/수직 변위, 경사각, 가속도 등을 실시간으로 평가하고, 변형도게이지 등을 이용하여 양중 구조물의 안정성을 평가할 수 있는 프로그램으로 개발되었으며, 기본 사양은 다음과 같다.

- (1) 입력값: 자동추적형 토달스테이션 3차원 위치정보, 레이저 거리계 계측값, 변형도 게이지 등
- (2) 선택옵션: 화면구성, 변수설정 (사용장비 별), 채널설정, 입력값 연산기능, 데이터 취득방법(Direct/

Measure), 데이터 입력시간 등

- (3) 항목표현: 관리한계값 설정, 그래프를 통한 실시간 평가

프로그램은 Delphi 7.0으로 작성되었으며, IBM-PC 호환용으로 개발되었다.

그림 5는 계측평가 프로그램 계측화면이다. 각 그래프별로 관리한계값을 그래프에 설정할 수 있어 계측-평가 데이터가 관리한계값을 넘으면 프로그램 자체내에서 위험신호를 표현하도록 프로그래밍이 수행되었다.

상기 프로그램에 사용될 것으로 판단되는 장비와 결과값, 채널수는 표 7과 같다.

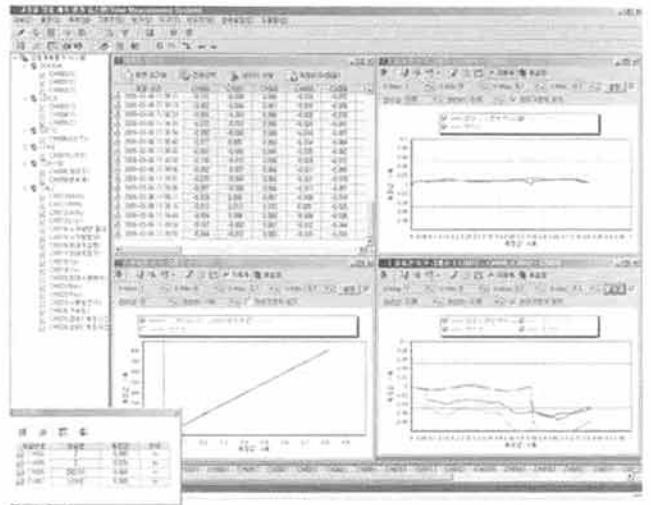


그림 5. 계측-평가 프로그램 계측평가 프로그램 화면

3.5 계측-평가 프로그램 실험실 시연

상기 장비 중 자동추적형 토달스테이션, 레이저 거리계, 변형도 게이지, 데이터로거, 줄 변위계 (자동추적형 토달스테이션 및 레이저 거리계의 수직변위의 적합성 평가용)를 이용하여 위한 실험실 수준에서 시연을 수행하였다.

시연방법은 양중시를 모사하기 위하여 대형 실험동에서 강재 블록을 조립한 후 크레인에 연결하여 상하방향으로 블록을 움직여 계측-평가프로그램의 적용성을 평가하였다.

대각방향에 자동추적형 토달스테이션용 프리즘을 설치하였고, 나머지 두 개의 모서리 부위에는 레이저 거리계를 설치하였다. 강재 블록의 중앙에는 자동추적형 토달스테이션과 레이저 거리계의 수직변위값의 적정성을 비교평가하고자 1m 성능의 변위계를 설치하여 계측 데이터의 적정성을 평가하였다.

표 7. 사용장비 및 결과값

구분	결과값	입력채널수
자동추적형 토탈스테이션	3차원 위치정보	3개/대
거리측정기	거리	1개/대
변형도게이지	변형도	1개/대
데이터로거	변형도게이지 연결	스위치박스 연결가능

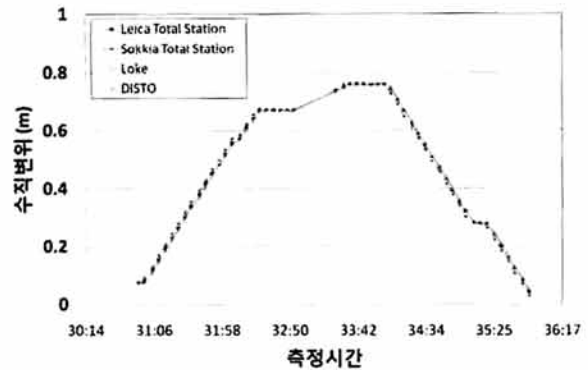


그림 7. 시연결과 (수직변위)

그림 6은 실험동에서의 계측-평가 프로그램 시연 장면이며, 시스템 시연과정은 다음과 같다.

(1) 1단계: 시스템 세팅 및 초기화

시연을 하기 위해 블록 조립 및 계측기 설치 후 계측기에 대한 초기화 (initial setting)가 이루어졌다. 프로그램에서 각 기기와 프로그램의 연결을 위한 작업이 수행되었다.

(2) 2단계: 수직방향으로 블록 인양

크레인을 이용하여 조립된 블록을 인양하여 2대의 자동추적형 토탈스테이션, 2대의 레이저 거리계, 1대의 변위계의 값이 동일하게 출력되는지를 평가하였다.

(3) 3단계: 수평방향 변형

수직방향으로 블록을 인양하면서 블록을 인위적으로 수평방향으로 이동하여 두 대의 자동추적형 토탈스테이션의 값이 동일한 값을 나타내는지 평가하였다.

(4) 4단계: 관리한계값 초과

관리한계값을 초과할 경우 위험신호를 나타내도록 프로그램이 작성되었다.

(5) 5단계: 반복적인 수직 및 수평 방향 이동

4단계까지의 시연이 종료된 후 반복적으로 수직 및 수평방향으로 이동하면서 시스템의 안정성을 평가하였다.

그림 7은 시연결과로 수직변위에 대한 결과그래프이다. 가로축은 측정시간이고 세로축은 2대의 자동추적형 토탈스테이션과 2대의 레이저변위계 (DISTO, Loke)의 측정수직변위이다. 측정데이터를 그래프로 나타내면 수직변위의 안정적으로 데이터를 취득하고 있는 것을 알 수 있다. 하지만, 기기별로 데이터 취득시간의 차이로 인하여 동일 시점에서는 오차가 있음을 알 수 있다. 2대의 자동추적형 토탈스테이션과 2대의 레이저변위계의 동일 시간대의 오차의 크기는 2-20mm 범위인 것으로 파악되었으나, Sokkia 자동추적형 토탈스테이션을 제외하면 2-9mm 범위로 오차가 작아진다. 이는 기기의 데이터 송신상의 문제로 실제 현장 적용시에는 동일 기기를 사용하게 되면 이 오차는 거의 없을 것으로 판단된다.

4. 향후 연구계획

그림 8은 광명경륜돔의 양증 전경이다. 내부 지붕 구조에 대하여 10개의 유압잭을 설치하여 양증을 실시하였고, 그림 1과 같이 잭킹타워에 level tape를 설치하고 이를 CCTV를 이용하여 육안으로 모니터링하는 시스템으로 양증을 수행하였다. 이러한 양증의 경우 본 계측평가 프로그램을 이용하면 실시간으로 데이터 계측이 가능하다고 판단된다.



그림 6. 계측-평가 프로그램 실험실 시연

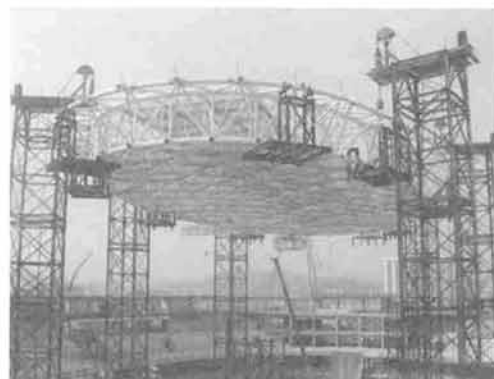


그림 8 광명경륜돔 양증 시스템 (대우건설, 2006)



그림 9. 플로팅 아일랜드 조감도 (대우건설, 2008-2)

또한, 그림 9의 한강 플로팅 아일랜드 부유체 책다운시 안정성과 데이터의 신뢰 확보를 위해 적용을 추진하고 있다.

본 시스템은 다수의 유압잭을 이용하여 구조물 양증을 실시할 경우 육안계측이 현실적으로 불가능하고, 구조물의 강제변형이나 바람 등 환경조건 등이 중요한데 이러한 경우에 본 연구내용을 이용할 경우 안전하고 효율적인 양증이 가능할 것이라 판단된다.

향후 유압잭을 자동제어할 수 있는 제어부분에 대한 시스템 개발을 통해 대형구조물 양증을 위한 계측-평가-제어 통합시스템을 구현할 계획이다.

5. 결론

본 논문은 대형구조물 양증시 안전하고 효율적인 계측-평가를 위하여 무선으로 구성이 가능하도록 시스템을 구축하였으며 결론은 다음과 같다.

- (1) 자동추적형 토탈스테이션, 레이저 거리계, 데이터로거, 변형도게이지 등을 이용하여 대형 구조물 양증시 적용할 수 있는 계측-평가 시스템을 구축하였다.
- (2) 시스템을 구현하기 위한 프로그램 작성 후 실험실에서 시연을 통해 계측-평가 데이터의 정확성 및 활용 가능성을 평가하여 적용성이 검증되었다.
- (3) 본 시스템을 대형지붕구조, 대형보, 대형 트러스 구조 등의 양증시 계측-평가에 활용하면 실시간 데이터 측정 및 평가를 통해 안정성과 효율성이 높은 시스템을 구축하는 것이 가능하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 07첨단도시개발사업(과제번호:07도시재생A03)의 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

국토해양부 (2008) 입체·복합 공간 구조 및 공법 개발, 도시재생 사업단 1·2차년도 통합연구결과보고서, 5월

대우건설 (2004) 논현지구 집단에너지시설 관망탑 시공성 검토

대우건설 (2006) 광명경륜돔 Erection Engineering 보고서

대우건설 (2008-1) 양중 계측-평가 시스템 프로그램 매뉴얼

대우건설 (2008-2) 플로팅 아일랜드 설계도

삼성물산 (1996) Malaysia KLCC 기술자료

삼성물산 (2001) 건축기술 실무이야기-건축구조·시공/신기술·신공법, 공간예술사

삼성물산 (2005) 누리꿈 스퀘어 공사 IT 캡슐 Lift-up 계획서

삼성중공업 (2006) 트라펠리스 타임브릿지 건설지

이명호, 천성철, 오보환 (2009) 대형구조물 양증을 위한 통합자동화 시스템에 관한 연구, 한국강구조학회 학술발표대회.

정상진 외 16인 (2005) 건축시공 신기술공법, 기문당

태영건설 (2008) 점프타워 Lift-up 시공계획서

한진중공업 (2001) LIFT-UP 공법

한진중공업 (2002) 인천국제공항 항공기 정비시설 공법보고서

中村幹 (1994) テレコムセンタービル ツインビル 高層部 連結ブリッジのリフトアップ, 建築の技術 施工, No.348, pp.56-70

ENERPAC (2002) PC제어 동조시스템

GeneSys (2008) LPS (Laser Position sensor), Gyro Manual

Leica (2008-1) Disto Manual

Leica (2008-2) Leica Total Station Manual

Loke (2008) Loke Measuring System Manual

Park, H.C., Oh, Bohwan (2007) Erection for Roof Steel Structures of Gwangmyeong Velodrome, November, SEWC2007, India

Sokkia (2008) Sokkia Total Station Manual

VSL (2008) VSL Heavy Lifting 기술자료

(접수일자 : 2009. 4. 8 / 심사일 2009. 4. 20 / 게재확정일 2009. 5. 9)