

데오드라이트 시스템의 측정 정확도에 대한 연구(V) - 타겟 바의 거리에 따른 측정 정확도

윤용식*, 이동주⁺

(논문접수일 2005. 1. 10, 심사완료일 2005. 4. 29)

A Study on Measurement Accuracy of A Theodolite System(V)

- A Measurement System Accuracy depending on the distance from theodolite system to target Bars

Yong-Sik Yoon*, Dong-Ju Lee⁺

Abstract

The affected factors for an accuracy of theodolite system are not only the measurement environment of temperature, illumination, etc. but also the measurement processes of the distance between two theodolites, the distance from theodolite system to scale bar and the distance from theodolite system to targets. We have known that the best collimation distance between two theodolites and the best distance from theodolite system to scale bar is 3~4m. This study was performed for searching the best distance from theodolite system to targets on above measurement configuration. And, we could know that the best distance from theodolite system to targets is 2~6m and the system accuracy could be within $\pm 0.025\text{mm}$.

Key Words : Theodolite(데오드라이트), Scale Bar(기준자), Target Bar(타겟 바), Collimation(시준), Measurement Accuracy(측정 정확도), Measurement Precision(측정 정밀도), Measurement System Accuracy(측정 정도)

1. 서 론

비접촉 3차원 정밀 측정 장비에는 일반적으로 디지털 데오드라이트 시스템(digital theodolite system), 레이저 추적기(laser tracker) 및 사진 측정기(photogrammetry system) 등이 사용되고 있다. 이들 측정 장비는 약 0~100m 범위의

측정 범위에서 최대 $\pm 0.5\text{mm}$ 의 측정 정확도로 측정이 가능한 것으로 알려져 있다⁽¹⁾. 그러나 현재 인공위성이나 항공기의 구조체 조립 시 $\pm 0.5\text{mm}$ 이내의 설치 정확도를 요구하고 있고⁽²⁾, 인공위성에 탑재되는 통신용 안테나의 개발 시 $\pm 0.2\text{mm}$ 이내의 열 변형을 요구하고 있다⁽³⁾. 이와 같이 요구되는 측정 정도가 측정장비의 측정 정도를 넘어서는 경우 새로운 측정

* 한국항공우주연구원 우주시험그룹 (ysyoon@kari.re.kr)
주소: 305-333 대전광역시 유성구 어은동 45번지
⁺ 충남대학교 기계공학과

장비의 개발이나 기존 측정장비의 측정 정도를 최대한 얻을 수 있는 연구 수행이 요구된다. 이러한 연구 수행의 일환으로 Yoon과 Lee^(4~9) 등은 테오드라이트 시스템의 측정오차 요인 및 측정 절차 즉 기준자의 높이, 2대 테오드라이트의 시준거리 및 테오드라이트 시스템과 기준자 사이의 거리 등에 따른 측정 정도에 대한 연구를 수행한 바 있다. 이에 따라 테오드라이트 최적의 측정 환경으로 온도 20±2℃와 조도 300±15Lux가 될 수 있음을 밝혀낸 바 있다. 또한 기준자 높이가 1m, 2대 테오드라이트 시준거리 3~4m 그리고 이때 테오드라이트 시스템과 기준자사이의 거리 3~4m에서 최대 ±0.02mm의 측정 정도를 얻을 수 있다고 주장하였다.

본 논문에서는 테오드라이트 시스템을 사용하는 측정에 있어서 Yoon과 Lee 등에 의하여 주장된 결과에 따라 테오드라이트 시준 거리 및 테오드라이트와 기준자 사이의 거리를 기준으로 하여 테오드라이트 시스템과 타겟과의 거리 변화에 따른 측정 정확도에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구를 위하여 두 대의 테오드라이트 사이의 거리를 각각 3m, 4m, 테오드라이트 시스템과 기준자 사이의 거리를 각각 3m, 4m로 하여 테오드라이트 시스템과 타겟까지의 거리를 2~9m까지 1m 간격으로 하여 측정을 수행하였고, 최적의 타겟 거리와 이때의 최대 측정 정도를 구하고자 하였다.

2. 테오드라이트 시스템의 관계 이론

2.1 테오드라이트 시스템의 측정 절차

먼저 테오드라이트 시스템은 2대 이상의 테오드라이트를 데이터 처리시스템에 RS-232 선으로 연결하여 측정을 수행한다. 먼저 2대 이상의 테오드라이트를 측정하고자 하는 3차원 공간의 점들이 모두 보이는 곳에 위치시킨다. 그리고 2대의 테오드라이트를 마주 보면서 대물 렌즈부에 설치되어 있는 십자선을 맞추어 각각의 위치를 확인하는 시준(collimation) 작업을 한다. 다음에 기준자에 부착된 2개 이상의 타겟을 테오드라이트로 동시에 측정하여 표준 길이를 설정을 완료한 후 Fig. 1과 같이 타겟 번호 순서대로 테오드라이트를 측정점에 맞추어 측정한다. 이때 테오드라이트의 시준 선(line of sight)이 3 차원 공간의 측정점을 교차하면서 삼각형이 형성된다. 이 측정점은 수평각 α_1 과 α_2 로, 수직각 β_1 과 β_2 로 정의되고 이 값들은 데이터 처리시스템의 오리엔테이션(orientation) 기능을 통하여 테오드라이트 1을 기준으로 하는 3차원 좌표 값들로 변환된다⁽¹⁰⁾.

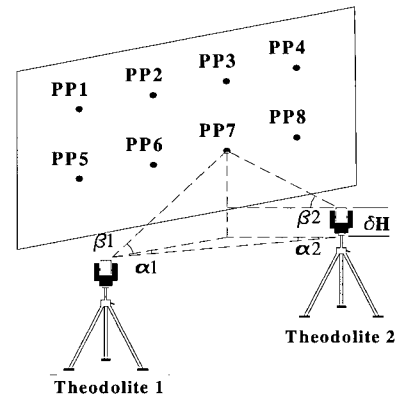


Fig. 1 Measurement Process of Target Points

2.2 측정 데이터의 계산

2.2.1 측정 정확도

본 연구에서의 측정 정확도(measurement accuracy)는 테오드라이트로 4회 반복 측정된 측정 평균값에서 표준 측정기로 측정된 표준 길이를 뺀 측정 오차에 대한 산술 평균(mean)으로 표현하였다. 산술 평균은 아래 식 (1)과 같이 구하였고, 측정 오차 0의 값을 기준으로 한 측정 정확도를 고찰하는데 사용하였다.

$$x' = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1)$$

여기서 x' 은 산술 평균, x_i 는 측정 오차, n 은 표본 개수를 나타낸다.

2.2.2 측정 정밀도

측정 정밀도(measurement precision)는 측정값의 산포(dispersion)의 정도로 표시할 수 있다. 이 때 측정값의 정밀도는 식 (2)와 같이 표본 표준 편차(standard deviation)로 나타낼 수 있다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x')^2} \quad (2)$$

여기서 σ 는 표본 표준 편차이고, n 은 표본 개수, x_i 는 4회 측정된 측정 평균값이다. 그리고 x' 은 표준 측정기에 의한 표본 평균(sample mean)으로 본 연구에서는 한국 표준과학연구원의 표준 측정기를 사용하여 ±0.01mm의 확장 불확도도 타겟 점의 거리를 측정된 결과를 사용하였다.

2.2.3 측정 정도

측정 정도(measurement system accuracy)는 측정 정확도와 측정 정밀도 모두를 포함하는 것으로 측정 결과를 표본으로 하여 산술 평균을 중심으로 일정 범위를 나타내는 신뢰 구간(confidence)으로 표현될 수 있다. 이에 따라 식 (2)의 표준 편차를 이용하여 각각의 측정 거리 조건 별로 계산된 측정 오차 값의 표본에 대한 측정 정도를 식 (3)과 같이 구할 수 있다^(11,12).

$$\delta = \pm t(\phi, \frac{\alpha}{2}) \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

여기서, δ 는 측정 정도로 표시할 수 있는 신뢰 구간, α 는 신뢰도 95%로 하여 0.05의 상수, σ 는 표본 표준 편차, n 은 표본 크기로 측정값의 개수를 나타낸다. $t(\phi, \alpha/2)$ 는 자유도 $\phi = n - 1$ 일 때 신뢰 수준에 따른 t 인자의 값으로 측정 정도 계산 시 2.074⁽¹¹⁾로 계산하였다.

3. 측정 및 결과

3.1 측정 준비

본 연구를 위하여 테오드라이트는 측정 전에 자체 교정 절차를 통하여 수평, 수직 및 편심도를 점검하였고 지면에서 망원경부까지를 1.5m 높이로 하였다. 그리고 테오드라이트는 바닥면에 타켓을 설치하여 테오드라이트 자체에 내장된 위치 확인용 렌즈를 통하여 타켓의 중심에 맞추어 $\pm 0.5\text{mm}$ 의 오차로 설치하였다.

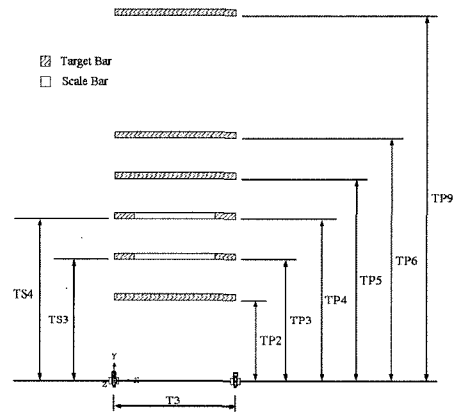
본 측정에서 사용된 기준 자는 20°C에서 $1 \sim 2 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 의 열 팽창율을 가진 인바(invar)의 재질로 제작된 것으로 한국표준과학연구원의 교정을 통하여 확장 불확도 $\pm 0.01\text{mm}$ 의 교정 검사를 완료한 후 사용하였다.

측정용 타켓은 인바 재질로 된 3m 길이의 타켓 바(target bar) 위에 0.01mm의 중심 지름을 가진 24개의 타켓을 임의의 길이로 부착하였다. 이들 타켓 사이의 길이는 한국표준과학연구원의 교정을 통하여 1번 점을 기준으로 24번 점까지 각 점에 대한 상대 길이를 $\pm 0.01\text{mm}$ 의 정확도로 측정된 결과를 기준으로 하였다.

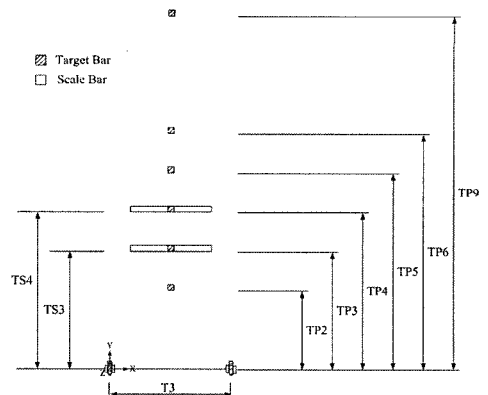
3.2 측정

테오드라이트 시스템과 타켓과의 거리에 따른 측정 정도 및 최적의 거리를 구하기 위하여 테오드라이트의 시준 거리를 각각 3m와 4m로 하고 테오드라이트로부터 기준 길이 설

정을 위한 기준 자의 거리를 각각 3m와 4m로 하였다. 이때 각 측정 조건에 따라 타켓 바를 수평과 수직으로 하여 2~9m 까지 1m 간격으로 측정을 수행하였다. 그리고 전체 측정 수행에 있어 기준점 설정을 위한 기준자 높이는 지면으로부터 1m, 타켓바의 높이는 1.5m로 하여 수행하였다. Fig. 2에서는 테오드라이트 시준 거리 3m를 기준으로 한 측정 조건을 나타내고 있다. Fig. 2에서 사선이 포함된 사각형은 타켓 바의 거리 변화를 나타내고 있고, 사선이 없는 사각형의 경우 기준 자의 거리 변화를 나타내고 있다. 본 논문에서는 복잡한 측정 조건을 간단히 표시하기 위하여 2 대의 테오드라이트의 거리를 'T거리(m)'로, 테오드라이트 시스템과 기준 자 사이의 거리를 'TS거리(m)'로 표시하였다. 그리고 각 시준 거리별로



(a) Horizontal Measurement



(b) Vertical Measurement

Fig. 2 Measurement Scheme of TS Variables in T3

데오드라이트 시스템과 타켓 바의 거리를 ‘TP거리(m)’로 표시하였고, 타켓 바를 수평으로 한 경우 ‘H’, 수직으로 한 경우 ‘V’로 표시하였다.

3.3 측정 결과

3.3.1 T3TS3의 측정 결과

2 대의 데오드라이트의 시준거리를 3m, 데오드라이트와 기준자 사이의 거리를 3m로 하고 타켓 바를 수평(T3TS3H)으로 한 측정 조건에서 TP2~TP9의 거리 변화에 따른 측정 결과를 Fig. 3 및 Table 1에 나타내었다. TP2 및 TP3의 경우 측정 정확도가 0.0031mm와 -0.0059mm로 비교적 측정 오차 0의 값에 근접하지만 측정 정밀도가 0.0365mm와 0.0393mm, 측정 정도는 $\pm 0.0158\text{mm}$ 와 $\pm 0.0170\text{mm}$ 로 다른 측정 조건과 비교하여 낮게 나타나고 있다. TP4~TP9의 경우 측정 정밀도가 0.0168~0.0236mm이고, 측정 정도가 $\pm 0.0073 \sim \pm 0.0102\text{mm}$ 로 TP2 및 TP3의 측정 조건에 비하여 양호한 결과를 나타내고 있다. 측정 정확도에 있어서 T4와 T5의 경우 0.0344mm와 0.0319mm를 나타내고 있으나 TP6과 TP9에서 각각 0.0670mm 및 0.0683mm로 측정 오차 0의 값과 차이가 크므로 TP4와 TP5의 측정 결과가 양호한 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 데오드라이트 시스템으로부터 타켓 바의 측정 거리가 기준자의 거리보다 가까운 경우와 TP6 이상의 먼 거리인 경우에 측정 정도가 감소하는 경향이 나타남을 알 수 있다.

2대의 데오드라이트의 시준거리를 3m, 데오드라이트와 기준자 사이의 거리를 3m로 하고 타켓 바를 수직(T3TS3V)으로 한 측정 조건에서 TP2~TP9의 거리 변화에 따른 측정 결과를 Fig. 3 및 Table 1에 나타내었다. TP2~TP9에서

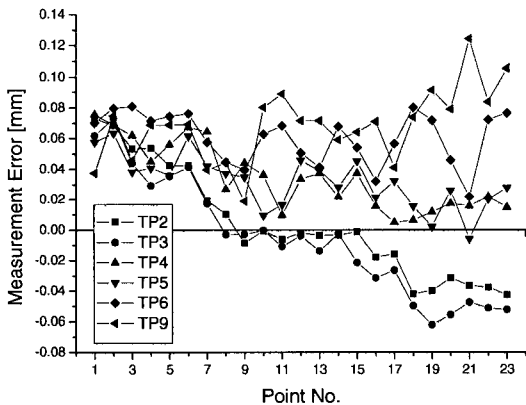


Fig. 3 Measurement Errors depending on TP Variables in T3TS3H

의 측정 정밀도는 0.0412~0.0542mm인 측정 결과를 보이고 있어 동일한 측정 조건의 수평 측정 결과 보다는 좋지 않은 것으로 나타나고 있다. 측정 정확도에 있어서 TP2~TP6에서는 -0.0136~0.0334mm를 나타내고 있으나 TP9의 경우 0.1807 mm로 다른 측정 조건에 비하여 큰 차이를 보이고 있다. 측정 정도는 TP2~TP9에서 $\pm 0.0178 \sim \pm 0.0234\text{mm}$ 로 나타나고 있다.

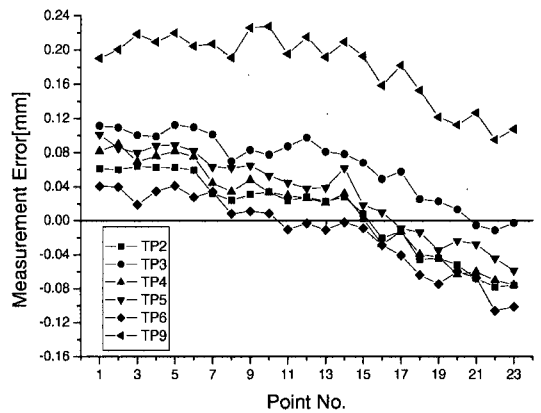


Fig. 4 Measurement Errors depending on TP Variables in T3TS3V

Table 1 Measurement System Accuracy depending on TP Variables in T3TS3

(unit : mm)

Measurement Configuration	Measurement Accuracy	Measurement Precision	Measurement System Accuracy	
T3TS3H	TP2	0.0031	0.0365	± 0.0158
	TP3	- 0.0059	0.0393	± 0.0170
	TP4	0.0344	0.0222	± 0.0096
	TP5	0.0319	0.0177	± 0.0076
	TP6	0.0607	0.0168	± 0.0073
	TP9	0.0683	0.0236	± 0.0102
T3TS3V	TP2	0.0088	0.0483	± 0.0209
	TP3	0.0174	0.0489	± 0.0211
	TP4	0.0154	0.0542	± 0.0234
	TP5	0.0334	0.0490	± 0.0212
	TP6	- 0.0136	0.0460	± 0.0199
	TP9	0.1807	0.0412	± 0.0178

3.3.2 T3TS4의 측정 결과

2대 데오드라이트의 시준거리를 3m, 데오드라이트와 기준자 사이의 거리를 4m로 하고 타켓 바를 수평(T3TS4H)으로 한 측정 조건에서 TP2~TP9의 측정 결과를 Fig. 5 및 Table 2에 나타내었다. TP2~TP9의 거리 변화에 따른 측정 정확도는 TP9의 0.0961mm를 제외한 TP2~TP6까지 0.0224~0.0564mm를 나타내고 있고, 측정 정밀도는 0.0170~0.0284mm로 비교적 안정적으로 나타나고 있다. 또한 측정정도는 TP2의 경우 $\pm 0.0123\text{mm}$ 그리고 TP5의 경우 $\pm 0.0119\text{mm}$ 로 다른 측정 조건에 비하여 비교적 낮게 나타나고 있다. 그러나 TP4와 TP6의 경우 측정 정도가 $\pm 0.0093\text{mm}$ 와 $\pm 0.0073\text{mm}$ 로 비교적 높게 나타나고 있다. 이에 따라 T3TS4H의 TP3, TP4 및 TP6의 측정 조건에서 비교적 좋은 측정 결과가 나타나는 것을 알 수 있다.

2대 데오드라이트의 시준거리를 3m, 데오드라이트와 기준자 사이의 거리를 3m로 하고 타켓 바를 수직(T3TS4V)으로 한 측정 조건에서 TP2~TP9의 측정 결과가 Fig. 6 및 Table 2에 나타나 있다. TP2~TP9의 거리 변화에 따른 측정 정확도의 경우 TP9의 0.1237mm를 제외하고, TP2~TP6의 측정 조건에서 $-0.0144 \sim 0.0691\text{mm}$ 를 나타내고 있고, 측정 정밀도는 $0.0268 \sim 0.0400\text{mm}$ 로 안정되게 나타나고 있다. 측정 정도는 TP2~TP9에서 $\pm 0.0098 \sim \pm 0.0173\text{mm}$ 으로 비교적 좋은 결과를 나타내고 있다. 그러나 TP9의 측정 조건에서 타켓 바를 수평 및 수직 측정하는 경우 측정 정확도가 0.0961mm와 0.1237mm로 측정 오차 0의 값과 차이가 나며, 다른 측정 조건의 측정 정확도에 비해서도 낮은 것을 알 수 있다. 이것은 Fig. 6과 같이 데오드라이트로부터 타켓 바의 측정 거리가 멀어짐에 따라 측정 정확도가 낮아지는 데 기인하는 것으로 판단된다.

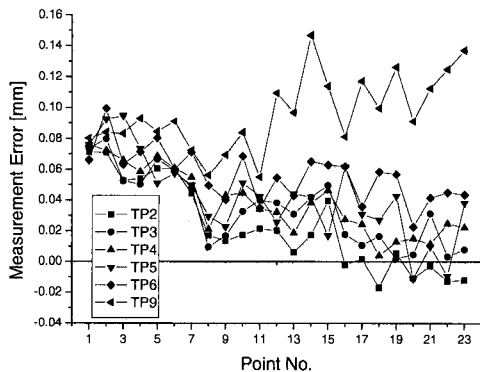


Fig. 5 Measurement Errors depending on TP Variables in T3TS4H

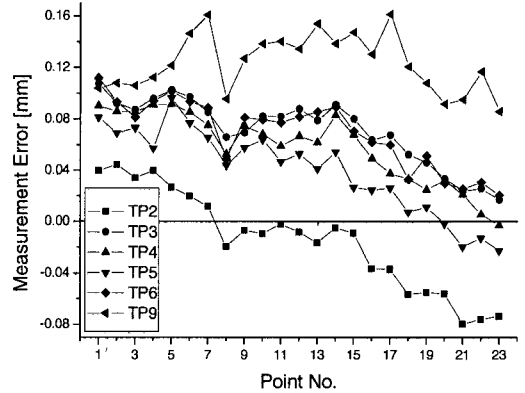


Fig. 6 Measurement Errors depending on TP Variables in T3TS4V

Table 2 Measurement System Accuracy depending on TP Variables in T3TS4

(unit : mm)				
Measurement Configuration	Measurement Accuracy	Measurement Precision	Measurement System Accuracy	
T3TS4H	TP2	0.0224	0.0284	± 0.0123
	TP3	0.0341	0.0234	± 0.0101
	TP4	0.0381	0.0215	± 0.0093
	TP5	0.0417	0.0275	± 0.0119
	TP6	0.0564	0.0170	± 0.0073
	TP9	0.0961	0.0242	± 0.0105
T3TS4V	TP2	- 0.0144	0.0389	± 0.0168
	TP3	0.0206	0.0400	± 0.0173
	TP4	0.0375	0.0382	± 0.0165
	TP5	0.0399	0.0337	± 0.0146
	TP6	0.0691	0.0268	± 0.0116
	TP9	0.1237	0.0225	± 0.0098

3.3.3 T4TS3의 측정 결과

2대 데오드라이트의 시준거리를 4m, 데오드라이트와 기준자 사이의 거리를 3m로 하고 타켓 바를 수평(T4TS3H)으로 한 측정 조건에서 TP2~TP9의 거리에 따른 측정 결과가 Fig. 7 및 Table 3에 나타나 있다. TP9를 제외한 TP2~TP6까지의 측정 정확도가 $-0.0189 \sim 0.0116\text{mm}$ 로 측정 오차 0의 값에 근접해 있고 측정 정밀도도 0.0373~0.0514mm로 비교적 양호하게 나타나고 있다. 그러나 측정 정도는 $\pm 0.0161 \sim \pm 0.0222\text{mm}$ 로 T3TS3H 및 T3TS4H에 비하여 낮게 나타

고 있다. TP9의 경우 T3TS3 및 T3TS4의 측정 조건과 마찬가지로 테오드라이트로부터 거리가 멀어지면서 측정 정확도, 측정 정밀도 및 측정 정도가 다른 측정 조건에 비하여 좋지 않은 것을 알 수 있다.

2대 테오드라이트의 시준거리를 4m, 테오드라이트와 기준자 사이의 거리를 3m로 하고 타켓 바를 수직(T4TS3V)으로 한 측정 조건에서 TP2~TP9의 거리에 따라 측정된 결과가 Fig. 8 및 Table 3에 나타나 있다. 측정 정확도는 TP2~TP6에서 -0.0082~0.0374mm로 측정 오차 0의 값에 근접해 있으나 TP9의 경우 0.0863mm로 측정 오차 0의 값과 차이를 나타내고 있다. 측정 정밀도는 TP2~TP9에서 0.0170~0.0450mm로 비교적 안정적으로 나타나고 있다. 또한 측정 정도도 TP2~TP9의 경우 $\pm 0.0074 \sim \pm 0.0195$ mm로 수평 조건에 비하여 비교적 좋은 결과를 나타내고 있다. 그러나, TP9의 경우 TP6에 비하여 측정 거리가 멀어지면서 측정 정확도 및 측정 정도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

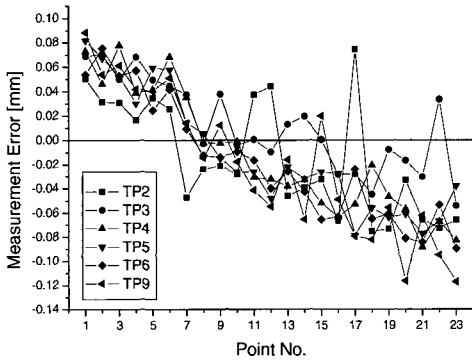


Fig. 7 Measurement Errors depending on TP Variables in T4TS3H

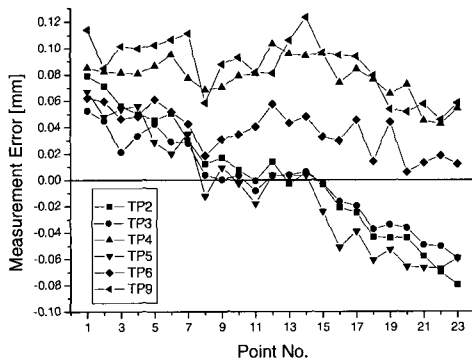


Fig. 8 Measurement Errors depending on TP Variables in T4TS3V

Table 3 Measurement System Accuracy depending on TP Variables in T4TS3

(unit : mm)				
Measurement Configuration	Measurement Accuracy	Measurement Precision	Measurement System Accuracy	
T4TS3H	TP2	- 0.0151	0.0475	± 0.0205
	TP3	0.0116	0.0373	± 0.0161
	TP4	- 0.0127	0.0514	± 0.0222
	TP5	- 0.0129	0.0495	± 0.0214
	TP6	- 0.0189	0.0500	± 0.0216
	TP9	- 0.0211	0.0601	± 0.0260
T4TS3V	TP2	0.0021	0.0450	± 0.0195
	TP3	- 0.0018	0.0322	± 0.0139
	TP4	0.0084	0.0429	± 0.0185
	TP5	- 0.0082	0.0438	± 0.0189
	TP6	0.0374	0.0170	± 0.0074
	TP9	0.0863	0.0223	± 0.0096

3.3.4 T4TS4의 측정 결과

2대 테오드라이트의 시준거리를 4m, 테오드라이트와 기준자 사이의 거리를 4m로 하고 타켓 바를 수평(T4TS4H)으로 한 측정 조건에서 TP2~TP9의 거리에 따른 측정 결과를 Fig. 9 및 Table 4에 나타내었다. TP2~TP9의 측정 정확도는 -0.0117~0.0163mm로 측정 오차 0의 값에 근접해 있고 측정 정밀도는 0.0385~0.0488mm이다. 그러나 T4TS3H와 마찬가지로 측정 정도는 $\pm 0.0167 \sim \pm 0.0211$ mm로 비교적 낮게 나타나고 있다.

2대 테오드라이트의 시준거리를 4m, 테오드라이트와 기준

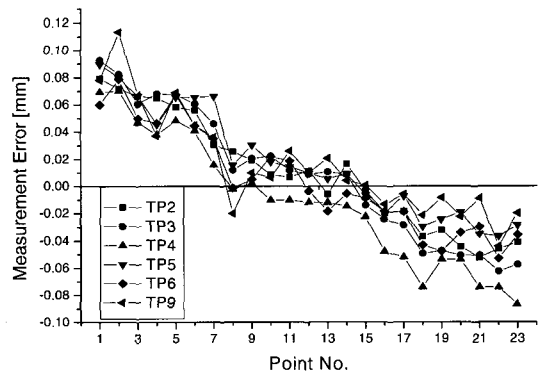


Fig. 9 Measurement Errors depending on TP Variables in T4TS4H

자 사이의 거리를 4m로 하고 타겟 바를 수직(T4TS4V)으로 한 측정 조건에서 TP2~TP9의 거리에 따른 측정 과를 Fig. 10 및 Table 4에 나타내었다. TP2~TP9에서 측정 정확도는 -0.0027~0.0494mm, 측정 정밀도는 0.0146~0.0552mm로 비교적 안정적인 값을 나타내고 있다. 그러나 TP5와 TP6에서의 측정 정밀도가 0.0552mm와 0.0545mm로 다른 측정 조건에 비하여 낮게 나타나고 있다. TP2~TP9에서 측정 정도는 $\pm 0.0063 \sim \pm 0.0239\text{mm}$ 를 나타내고 있다.

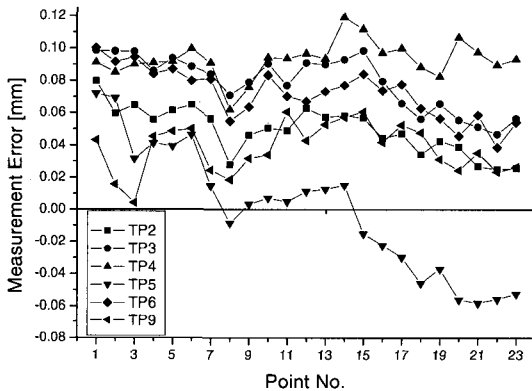


Fig. 10 Measurement Errors depending on TP Variables in T4TS4V

Table 4 Measurement System Accuracy depending on TP Variables in T4TS4

(unit : mm)				
Measurement Configuration	Measurement Accuracy	Measurement Precision	Measurement System Accuracy	
T4TS4H	TP2	0.0094	0.0419	± 0.0181
	TP3	0.0081	0.0488	± 0.0211
	TP4	- 0.0117	0.0479	± 0.0207
	TP5	0.0163	0.0400	± 0.0173
	TP6	0.0048	0.0392	± 0.0170
	TP9	0.0157	0.0385	± 0.0167
T4TS4V	TP2	0.0494	0.0146	± 0.0063
	TP3	0.0482	0.0445	± 0.0193
	TP4	0.0475	0.0450	± 0.0195
	TP5	0.0137	0.0552	± 0.0239
	TP6	- 0.0027	0.0545	± 0.0236
	TP9	0.0379	0.0153	± 0.0066

3.3.5 측정 결과 고찰

3.3.1~3.3.4 절의 테오드라이트와 타겟 사이의 거리 변화에 따른 측정 결과와 함께 타겟 바의 수평 및 수직 조건 모두를 포함한 T3TS3, T3TS4, T4TS3 및 T4TS4의 각 측정 조건에 따른 측정 정확도, 측정 정밀도 그리고 측정 정도를 Table 5에 나타내었다.

Table 5에서와 같이 모든 측정 조건에서 TP2와 TP3의 경우 $\pm 0.022\text{mm}$ 이내의 측정 정도를 나타내고 있다. 이것은 일

Table 5 Measurement System Accuracy depending on TP Variables on T3TS3, T3TS4, T4TS3 and T4TS4

(unit : mm)				
Measurement Configuration	Measurement Accuracy	Measurement Precision	Measurement System Accuracy	
T3TS3	TP2	0.0088	0.0483	± 0.0209
	TP3	0.0174	0.0489	± 0.0211
	TP4	0.0154	0.0542	± 0.0234
	TP5	0.0344	0.0490	± 0.0212
	TP6	0.0607	0.0460	± 0.0199
	TP9	0.1807	0.0412	± 0.0178
	TP2	0.0224	0.0389	± 0.0168
	TP3	0.0341	0.0400	± 0.0173
	TP4	0.0381	0.0382	± 0.0165
T3TS4	TP5	0.0417	0.0337	± 0.0146
	TP6	0.0691	0.0268	± 0.0116
	TP9	0.1237	0.0242	± 0.0105
T4TS3	TP2	- 0.0151	0.0475	± 0.0205
	TP3	0.0116	0.0373	± 0.0161
	TP4	- 0.0127	0.0514	± 0.0222
	TP5	- 0.0129	0.0495	± 0.0214
	TP6	0.0374	0.0500	± 0.0216
	TP9	0.0863	0.0601	± 0.0260
T4TS4	TP2	0.0494	0.0419	± 0.0181
	TP3	0.0482	0.0488	± 0.0211
	TP4	0.0475	0.0479	± 0.0207
	TP5	0.0163	0.0552	± 0.0239
	TP6	0.0048	0.0545	± 0.0236
	TP9	0.0379	0.0385	± 0.0167

정한 측정 거리 조건 즉, 일정한 데오드라이트의 시준 거리 및 기준자의 거리에 따라 측정이 수행되는 경우 가까운 거리에서의 측정이 안정적이고 정확한 것임을 나타낸다. 그리고 동일한 측정 조건에서 TP4~TP6까지의 측정은 $\pm 0.025\text{mm}$ 이내의 측정 정도를 나타내고 있다. 이것은 데오드라이트로부터 타겟과의 거리에 따른 영향으로 판단된다. 특히, 상기의 측정 조건 중 T3TS4에서 TP2~TP6까지의 측정 정도는 $\pm 0.020\text{mm}$, TP5~TP6 까지의 측정 정도는 $\pm 0.015\text{mm}$ 이내를 나타내고 있다. 이것은 T3TS4의 측정 조건이 데오드라이트 시스템의 최적의 측정 정도를 얻을 수 있는 측정 거리 조건임을 나타낸다.

그러나 동일한 측정 조건에서 TP9의 경우 측정 정도가 $\pm 0.0105 \sim \pm 0.0260\text{mm}$ 로 나타나고 있으나 T3TS3에서 측정 정확도가 0.1807mm , T4TS3에서 0.0863mm 로 측정 조건에 따라 측정 정확도가 큰 차이를 나타내므로 측정 조건이 불안정한 것으로 판단되어 최적의 측정 정도를 나타내는 측정 조건에는 포함시키지 않았다.

4. 결 론

비접촉식 3차원 정밀 측정 장비인 데오드라이트 시스템의 정밀 측정에 있어서 측정 정확도에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 2 대의 데오드라이트 사이의 시준 거리, 데오드라이트 시스템과 기준자 사이의 거리 및 데오드라이트 시스템과 측정 타겟 사이의 거리 등이 있다.

본 연구에서는 데오드라이트 시준 거리를 3m와 4m로 하고 데오드라이트 시스템과 기준자 사이의 거리를 3m와 4m로 하여 타겟을 2~9m까지 1m 간격으로 하였을 때 측정 정확도, 측정 정밀도 및 측정 정도에 대한 연구를 수행하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 기준자 높이 1m, 데오드라이트의 시준 거리 3~4m, 데오드라이트와 기준자 사이 거리 3~4m 그리고 데오드라이트와 측정 대상물 사이의 거리를 2~6m에서 측정하는 경우 가로 3m, 세로 3m의 크기를 갖는 측정 대상물에 대하여 $\pm 0.025\text{mm}$ 이내의 측정 정도를 얻을 수 있었다.
- (2) 특히, 시준 거리 3m, 데오드라이트와 기준자 사이의 거리 4m를 기준으로 데오드라이트로부터 측정 대상물까지의 거리가 5~6m인 경우 $\pm 0.015\text{mm}$ 이내의 측정 정도를 얻을 수 있었다.
- (3) 또한 데오드라이트에서 타겟까지의 거리에 따라 측정 정도가 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

본 연구를 통하여 3m 이내의 측정 대상물에 대해 데오드라이트 시스템을 사용하는 측정의 경우 정밀 동작기기, 고속 철도, 항공기, 인공위성 및 핵발전소 등 고도의 정확성과 정밀성이 요구되는 정밀 산업물의 조립 및 검사 시 요구되는 측정 정도를 만족시킬 수 있을 것으로 사료된다.

그리고 본 연구 결과를 이용하여 향후 국내에서 비접촉식 광학 3 차원 정밀 측정 시스템의 개발 시 시스템 측정 정도를 구하기 위한 기초 자료로의 활용도 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) Yoon, Y. S. and Lee, D. J., 2002, "Measurement Technology and Trend of Non-contacted 3-Dimension Precision Coordinate Measurement of Middle-Large Structure," *Journal of the KSMTE*, Vol. 11, No. 1, pp. 7~13.
- (2) Cohen, D. and Brydon, L., 1998, "Reflector Surface Thermal Stability Measurement," *CMSC Annual Conference*.
- (3) Yoon, Y. S., Lee, J. Y., Cho, C. R., and Lee, S. S., 2001, "3-Dimensional Precision Measurement of Spacecraft Structure Test Model," *Proceedings of the KSPE Spring Conference*, pp. 131~134.
- (4) Yoon, Y. S. and Lee, D. J., 2003, "A Study on Measurement Error Factors of Theodolite System," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 12, No. 4, pp. 36~42.
- (5) Yoon, Y. S. and Lee, D. J., 2004, "A Study on Measurement Accuracy of Theodolite System(I) - A Measurement Accuracy According to a Theodolite Collimation Distance," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 13, No. 2, pp. 61~68.
- (6) Yoon, Y. S., Lee, D. J., and Cheong, J. G., 2004, "A Study on Measurement Accuracy of Theodolite System(II) - A Measurement Accuracy for a Height of Scale Bar," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 13, No. 4, pp. 37~43.
- (7) Yoon, Y. S., Lee, D. J., and Yoon, I. J., 2005, "A Study on Measurement Accuracy of Theodolite System (III) - A Measurement System Accuracy depending on a distance of Scale Bar on the Distance 3m between two Theodolites," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 14, No. 2., pp. 48~54.

- (8) Yoon, Y. S., Lee, D. J. and Park, Y. C., 2005, "A Study on Measurement Accuracy of Theodolite System (IV) - A Measurement System Accuracy depending on a distance of Scale Bar on the Distance 4m between two Theodolites," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 14, No. 3.
- (9) Yoon, Y. S., 2004, *A Study on Measurement Accuracy Improvement of Theodolite System*, Chungnam Univ. Ph. D. Thesis.
- (10) Sandwith, S. C., 1993, "Gageless Tool Building with Computer-Aided Theodolites," *Leica Practice Report*, Leica co. Ltd.
- (11) Hong, J. H., 1998, *The Fundamental of Measurement Engineering*, Sigma Press.
- (12) Nakazawa, H., 1994, *Principles of Precision Engineering*, Oxford Univ. Press.