

Draw-Wire 센서를 이용한 파이프 플랜지 계측시스템

윤재웅[#], 윤강섭^{*}, 이수철^{*}

Pipe Flange Measurement System Using Draw-Wire Sensor

Jae-Woong Youn[#], Kang-Sup Yoon^{*}, Soocheol Lee^{*}

ABSTRACT

In most shipyards, the measurement of 3-dimensional relative position of pipes should be connected in the block depends on the manual operation. It results a very tedious and inefficient procedure, thus the proper measurement system is needed to improve productivity and accuracy. This paper describes the development of pipe measurement system including system concepts, measuring procedures, system calibration, and its accuracy and productivity. And also, the possibility and things to be improved for application in shipyard are discussed in this paper.

Key Words : Draw-wire sensor(와이어 센서), Pipe flange (파이프 플랜지), 3-dim. measurement (3 차원 계측), Sensor calibration (센서 보정), Neural network (인공신경망)

1. 서론

일반적으로 대형 선박의 건조는 공장에서 제조된 약 22m × 22m × 4m 크기의 블록을 도크에서 조립하여 진행한다. 이 때 Fig. 1 에서 볼 수 있듯이, 블록의 내부에는 다양한 크기의 배관들이 포함되어 있는데, 도크에서의 조립 시 이러한 배관들의 위치 및 자세가 맞지 않아 조립의 생산성을 떨어뜨리는 중요한 요소로 작용하고 있다. 따라서, 블록의 크기보다 배관의 길이를 약 1m 이내로 작게 제작하고 조립 시 각 배관들의 연결관을 제작하여 배관의 조립을 수행한다.

이를 위해서는 두 배관 플랜지(Flange)의 상대적인 위치와 자세를 정확하게 계측한 후, 계측 결과를 바탕으로 연결관을 제작해야 한다. 이때 두

배관의 플랜지는 상대적으로 3 차원 공간 상에서 임의의 위치와 자세를 갖기 때문에 3 차원 계측이 필요하다. 그러나 세계적으로 대부분의 조선소에서는 이처럼 약 2m 정도의 측정영역 내에서 요구되는 정밀도를 만족시킬 수 있는 계측장치의 개발과 활용을 아직은 하고 있지 못한 실정이다. 이는, 휴대용 시스템이어야 한다는 점과, 실외의 다양한 환경 때문이다. 따라서 대부분의 조선소에서는 자동화된 계측기기를 이용하지 못하고 작업자의 노동력에 의존하는 원시적인 방법을 이용하고 있다. 즉, 연결하고자 하는 배관에 연결관 플랜지를 조립한 상태에서 철제 앵글로 두 플랜지 사이를 가용접한 후, 용접된 상태로 플랜지를 분해해서 파이프 공장으로 이송 시켜서, 이를 이용하여 연결관을 제작한다. 그러나 이 방법은 2 명의 작업자가

[✉] 접수일: 2002 년 9 월 9 일; 게재승인일: 2003 년 7 월 11 일
[#] 교신저자: 대구대학교 공과대학 자동차·산업·기계공학부
Email: jwyoun@daegu.ac.kr, Tel: (053) 850-6684
^{*} 대구대학교 공과대학 자동차·산업·기계공학부

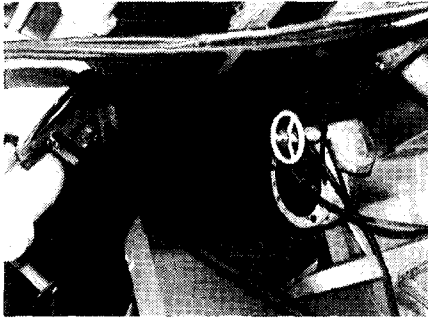


Fig. 1 Measurement environment

하루에 3~4 개 정도의 연결관 밖에 측정할 수 없다는 문제가 있다. 따라서 최근, 선진 조선소에서는 다양한 계측장치를 개발/도입을 시도하고 있으나^{1,2} 그 정밀도가 충분하지 못하여 주변의 다른 공정개선과 같은 간접적인 환경 개선을 통해 계측 기기의 도입을 시도하고 있다.

본 연구에서는 이와 같이, 고정된 배관 사이의 짧은 접속관을 제작하기 위해, 고정된 배관 플랜지 사이의 3 차원 공간에서 상대적 위치와 방향을 정밀 계측할 수 있는 자동계측 시스템을 개발하고자 하였다. 이러한 자동계측 시스템의 개발을 통해, 현재 수작업으로 진행하고 있는 계측의 문제점을 해결함으로써 고정밀·고효율의 계측이 현장에서 이루어지도록 하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 센서의 설계 및 제작

2.1 센서의 개념설계

본 연구에서 개발된 센서의 개념은 Fig. 2 에서와 같이 와이어(Draw-wire) 센서와 스텝모터를 이용하여 자동측정 하는 것이다. 와이어센서는 일반적으로 자동차, 항공, 의학 등 다양한 산업 분야에서 변위의 계측을 위해 실질적으로 많이 활용되고 있는 센서이다^{3,4}. 본 연구에서 와이어 센서는 거리를 측정하는데 사용되고, 모터는 상하 및 좌우의 자동회전, 그리고 엔코더는 각도의 검출을 위한 것이다. 이러한 방식의 센서는 3 차원의 위치정보를 구면좌표계로 정의할 수 있기때문에 각 플랜지 홀간의 상대위치를 측정할 수 있다. 즉, 계측하고자 하는 상대편 배관의 플랜지 홀에 플랜지 볼트를 장착하고, 와이어 센서의 와이어 후크(Hook)를 플랜지 볼트에 걸어 주게 된다. 여기서, 제작된

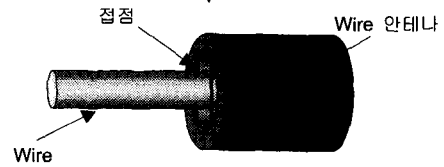
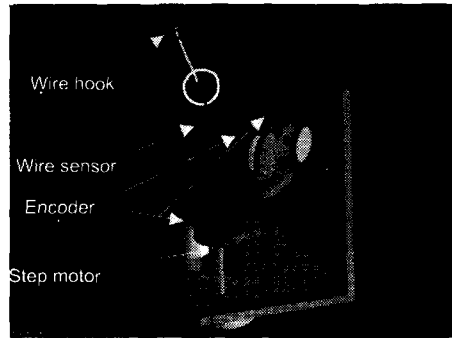


Fig. 2 Electrical contact sensor

플랜지 볼트와 와이어 후크의 정밀도가 시스템의 정밀도에 직접적인 영향을 주기 때문에 설계와 제작에 신중을 기했다.

한편, Fig. 2 에서와 같이 와이어 선단에 설치된 전기적인 접점 센서를 이용하여 와이어가 어느 편에 접촉하고 있는 지를 알 수 있게 된다. 여기서 와이어와 접점들과의 접촉순간 위치를 엔코더로 파악한 후, 모터를 이용하여 와이어를 접점의 중앙에 위치시킴으로써 와이어의 직진성 및 Pan/Tilt 방향의 정밀도를 보장할 수 있게 되며 이 때의 와이어 센서 및 두 모터의 엔코더 값을 읽으면,

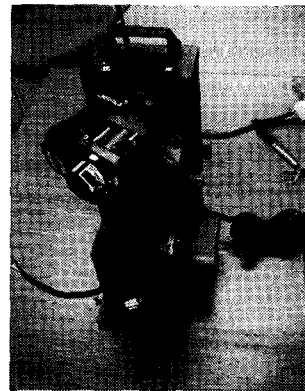


Fig. 3 Photograph of measurement system

이 값이 계측점의 3 차원 위치정보가 되는 것이다. Fig. 3 은 제작된 계측센서의 모습을 보여 주고 있다. 한편, 본 센서는 두 가지 장착자세를 가질 수 있다. 즉, Fig. 3 에서와 같이 센서의 바닥면 또는 뒷면이 플랜지에 장착되어, 측정각도 제한으로 인해 한가지 자세에서 측정이 어려운 다양한 연결관의 계측을 가능하게 할 수 있는 것이다. 이와 같은 센서의 장착은 그 장착 정밀도가 검증된 지그를 이용하여 항상 센서가 기준 플랜지의 정 중앙에 위치될 수 있도록 하며, 장착면에 부착된 근접 센서를 이용하여 어느 면이 장착되었는지 자동으로 감지하고, 그에 맞는 기구학적 해석을 수행한다.

2.2 센서의 설계 사양

본 시스템의 최종 목표정밀도(또는 연결관의 제작 허용공차)는 다음과 같다.

- 측정영역 : 200 mm ~ 2,000 mm
- 거리정밀도 : ± 1.5 mm 이내
- 각도정밀도 : Rotation : $\pm 0.2^\circ$ 이내
Tilting : $\pm 0.1^\circ$ 이내

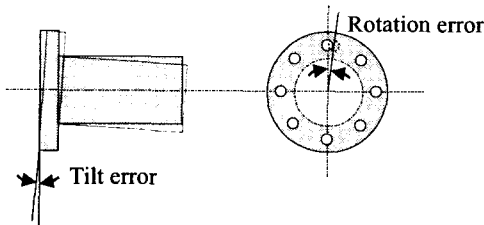


Fig. 4 Definition of measurement error

Table 1 Sensor Specifications

항 목	센서 사양
무게	8.0 kg
크기	140 × 230 × 320 mm
센서의 높이조절	150 mm
장착 자세	두 가지 자세
상하 회전	$\pm 75^\circ$ 이상
좌우 회전	$\pm 110^\circ$ 이상
작동 방법	자동 및 수동
Wire 센서 분해능	0.04 mm
Encoder 분해능	0.003°
Step motor 분해능	0.0015°
Sensor Controller	One-board PC 기반

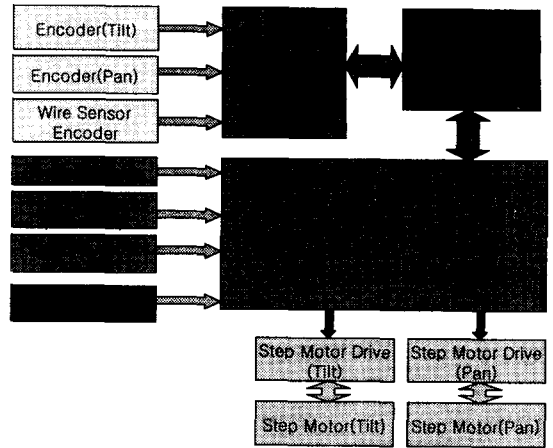


Fig. 5 Composition of control unit

여기에서, 1.5mm 이하의 거리 계측오차는 플랜지 사이에 가스켓을 삽입하는 방식으로 오차를 흡수하고, 각도의 오차는 파이프의 탄성변형을 이용하여 강제 체결하는 방식으로 오차를 흡수 하는 것이다. 한편, 이와 같은 정밀도는 각각의 플랜지 홀에 대한 계측정밀도가 아닌, Fig. 4 와 같은 Pipe 계측에 대한 최종 정밀도로서 위의 목표 정밀도로부터 나뉘는 대로의 기준으로 산출한 각각의 플랜지 홀 계측 정밀도를 구하고, 최종적으로 이를 근거로 각 부품의 사양을 설정해야 한다. 타당한 근거를 기준으로 결정된 센서의 사양은 Table 1 과 같다.

2.3 전장시스템의 구성

본 센서시스템은 휴대가 가능하도록 One-board PC 로 구성된다. 그 전장시스템의 전체 구성도는 Fig. 5 와 같고, 각 구성품의 기능은 다음과 같다.

- 스텝모터 및 드라이브(2 개) : Pan/Tilt 구동용
- 엔코더(2 개) : Pan/Tilt 측정용
- Wire Draw 센서(1 개) : 길이 측정용
- 접점센서(1 조) : Wire 의 접촉여부 판단용
- 근접센서(2 개) : 센서 설치방향/위치 감지용
- 리모트 스위치(1 조) : 단계별 사용자 확인용

3. 센서의 Kinematics 및 측정

본 측정장치를 이용한 측정은 측정점까지의 직선거리와 Pan/Tilt 두 회전각도를 구면좌표계로 해석함으로써 3 차원 위치를 인식하게 되고, 이를

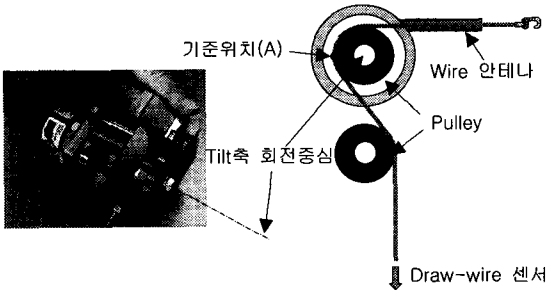


Fig. 6 Configurations of tilt axis

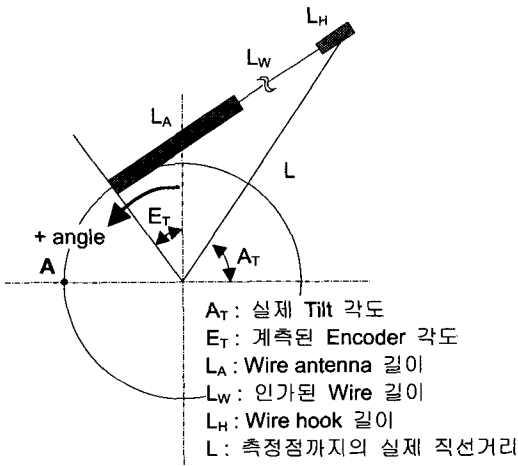


Fig. 7 A real tilt angle and distance

최종적으로 직각좌표계로 변환하여 측정하게 된다.

이 때, 직각좌표계의 원점을 기준 플랜지의 중심에 설정하고, y 축은 기준 플랜지의 축방향으로, z 축은 센서시스템의 위쪽으로 설정하였다. 또한, Fig. 6 에서와 같이, 본 측정장치에서는 Pan/Tilt 회전축의 교점이 직각좌표계 원점과 거리를 두고 떨어져 있고, 와이어의 연장선상에 Pan/Tilt 회전축의 교점이 있지 않으므로, 직각좌표계의 값을 얻기 위해서는 측정 시에 얻어진 센서값을 센서시스템의 kinematics 를 고려하여 좌표변환을 해야 한다.

본 측정장치에서는 와이어의 연장선상에 Pan 방향 회전축이 있기 때문에 Pan 방향 회전각도는 Pan 방향 엔코더 회전각도를 그대로 이용하면 되지만, Tilt 방향에 대해서는 Fig. 7 에서 보는 바와 같이, 와이어의 연장선상에 Tilt 방향 회전축이 없기 때문에 Tilt 방향 회전각도는 Tilt 방향 엔코더 회전각도와 다르게 된다. 따라서 기준위치(두 회

전축의 교점)에 대한 실제 Tilt 방향 회전각도와 측정점까지의 직선 거리를 Tilt 방향 엔코더 회전각도와 인가된 와이어의 길이로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

- A 점에서 Wire hook 선단까지의 wire 의 길이 (Wire 가 인가되지 않은 안테나의 수평상태)

$$L_{W0} = \frac{\pi \cdot R}{4} + L_A + L_H$$

- 임의의 측정위치에서의 A 점에서 Wire hook 선단까지의 Wire 의 길이

$$L_{W1} = \frac{\pi \cdot R}{4} + L_A + L_W + L_H - E_T R$$

- Wire 의 길이 변화량

$$\Delta L_W = L_{W1} - L_{W0} = L_W - E_T R$$

- 임의의 측정위치에서의 직선거리

$$L = \sqrt{R^2 + (L_A + \Delta L_W + E_T R + L_H)^2}$$

- 임의의 측정위치에서의 Tilt 방향 회전각도

$$A_T = E_T + \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{L_A + \Delta L_W + E_T R + L_H}{R} \right)$$

위의 식은 Tilt 방향 엔코더 회전각도가 양 또는 음의 값을 가질 때 모두 성립한다.

본 센서시스템에서 수행되는 계측의 절차는, 센서 초기화, 측정, Data 변환 및 후처리의 4 단계를 거친다. 센서의 초기화는 엔코더의 영점 셋팅을 위한 공정이며 측정은 대략적인 측정과 정밀측정의 두 단계로 나뉘어 진다. 대략적인 측정은, 빠른 속도로 Wire 안테나를 측정하고자 하는 위치로 이동하는 단계로서 대략적인 위치를 찾는 공정이고, 정밀측정 단계는 Wire 를 접점의 정 중앙에 위치시키도록 하는 정밀한 공정이다. 본 센서에서 Wire 와 접점의 간격은 0.15mm 로 설계/제작되었으며, Wire 는 항상 접점의 중앙에 위치하게 되므로 그 간격의 크기는 정밀도에 영향을 주지 않는다. 이렇게 한 플랜지에 대해서 3 개의 Hole 에 대한 측정을 완료하면 기준위치로부터 측정하고자 하는 플랜지의 위치와 자세를 계산할 수 있게 된다.

4. 센서의 보정(Calibration)

4.1 보정용 지그(Jig)의 설계 및 제작

측정장치의 보정은 본 센서의 정밀도를 좌우할 수 있는 가장 중요한 부분이라 할 수 있다. 따라서 센서 보정을 위한 지그의 설계도 신중하게 검토되어야 한다. 본 연구에서는, 정밀도를 보장할 수 있고 다양한 각도에 대한 보정이 가능한 고정식의 지그를 Fig. 8 과 같이 설계/제작 하였다. 설계된 보정용 지그의 제원은 Table 2 와 같다.

이와 같이 제작된 보정용 지그는 Tilting 부분의 보정영역이 상대적으로 부족하다는 단점이 있으나, 센서 장착방향을 변경하면 다양한 Tilting 각도가 가능할 수 있기 때문에 비교적 적절한 설계라고 판단된다. 한편, 제작된 지그는 측정장치가 장착되는 기준면과 각각의 면에 대한 수직 및 수평도, 그리고 각 Hole 의 위치 등을 2 차원 Lay-out 측정기에서 0.01mm 의 정밀도로 정밀 측정하였고, 이 결과가 센서의 보정에 이용되었다.

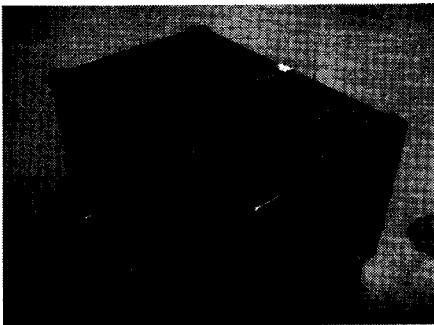


Fig. 8 Calibration jig

Table 2 Specifications of calibration jig

항 목	사 양
크기	1680 X 1120 X 620 mm
무게	약 360kg
보정대상	좌우 회전 정밀도, 상하 회전 정밀도 및 Wire 센서 정밀도
거리 보정 영역	130mm ~ 1530mm (15 등분, 10mm 간격)
각도(Pan/Tilt) 보정 영역	기본 9등분, 기타 다양한 각도조합 (-60.46°, -33.39°, -22.06°, -11.99°, 0°, 11.99°, 22.06°, 33.39°, 60.46°)

4.2 센서의 보정

센서의 보정은 엔코더 절대원점의 설정, 와이어 센서의 거리정밀도 보정, 센서의 각도 오차 보정과 같은 세가지 목적으로 진행된다. 엔코더 절대 원점의 설정에서는 보정용 지그 상의 특정한 홈을 기준으로 증분형 엔코더의 Z-상 신호위치를 이용하여 절대각도의 원점을 결정한다. 그리고, 와이어 센서의 거리정도 보정과 센서의 각도오차 보정은 지그상에서 센서시스템을 이용 하여 계측을 한 후, 이 계측된 결과(Pan/Tilt 회전 각과 거리)를 기존에 알고있는 지그상의 값과 비교해서 와이어 센서의 거리 측정 정도와 각도 오차를 보정하는 것이다.

일반적으로 제작된 센서는 설계의 결과와는 차이를 갖게 된다. 각도 보정의 의미는 이러한 Pan/Tilt 각의 변화에 대한 실제값과 그 오차의 연관성을 찾아내어 임의 각도에서 센서로부터 읽혀진 값을 보정하겠다는 것이다. 이와 같은 센서의 각도 보정은 인공신경망(Neural Network)을 이용한 학습기능^{5,6}을 이용하여 수행하였다. 인공 신경망을 이용한 이유는, Pan/Tilt 변화에 대한 계측오차가 가공오차, 조립오차 등의 여러 가지 원인으로 인하여 특정한 경향을 갖지 않아서 간단한 함수관계로 표현하기가 어렵기 때문이다. 각도의 보정은 Pan 및 Tilt 각도와 그 각도에 대한 오차의 상관관계를 설정하는 것이다. 따라서, 보정용 지그에서 이미 알고 있는 Pan/Tilt 각도에 대한 계측 오차 보정을 위한 학습 데이터로 설정 하였다. 만약, 학습을 통해 정상적으로 학습이 완료 된다면, 임의의 지점에 대한 계측 시, 그 계측값으로부터 인공신경망을 통해 출력된 Output(학습된 오차)을 더해주거나 빼주어, 계측 값을 보정하면 되는 것이다. Fig. 9 는 측정기의 보정 전과 후의 정밀도를 보여주고 있다. 그림에서 점선은 보정 전의 계측정밀도, 실선은 보정 후의 정밀도를 각각 보여주고 있는 것으로서, Pan 과 Tilt 의 회전 각도에서 보정 전에 약 0.4° 이상의 오차가 보정 후에는 약 0.1° 이내로 감소함을 볼 수 있으며, 좌표값으로도 오차가 ± 1 mm 이내로 줄어드는 것을 볼 수 있다.

이와 같은 측정장치의 보정결과는 최종적으로 다음과 같다.

1) 센서의 해상도(Resolution)

- Pan/Tilt 방향의 Encoder : 0.015°

5. Pipe 계측결과 및 분석

본 측정시스템의 측정절차는 다음과 같다.

- ① 센서 초기화 : 센서 설치, 센서원점 설정
- ② 계측 : 상대 플랜지 홀에 후크 설치, 계측 실시(Fig. 10 참조)
- ③ 데이터변환 : 각 홀 계측값을 기준좌표계로 변환, 3 개의 홀 데이터로 플랜지의 위치/자세 계산
- ④ 후처리 : 데이터를 사용목적에 따라 편집 및 저장

본 시스템의 반복정밀도는 Table 3 에서 볼 수 있듯이 약 3~4 Pulse 의 엔코더 반복정밀도와 약 $\pm 1\text{mm}$ 의 와이어 센서 반복정밀도를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 반복오차를 종합하면, 2000mm 의 거리에 있는 플랜지 Hole 에 대해 약 2mm 이상의 측정 오차가 반복정밀도에 의해서만 일어날 수 있음을 의미한다. 이와 같은 반복정밀도는 일반적으로 센서를 이용하여 계측할 경우, 해상도 (Resolution) 의 3 배 정밀도라는 개념과 일치하는 내용으로 볼 수 있다. 따라서, 보다 정밀한 계측을 위해서는 엔코더의 해상도를 현재보다 3 배 이상 높여야 한다는 결론에 도달할 수 있다.

한편, Table 4 는 측정장치의 보정을 수행한 후 보정 지그상의 약 60 여개 Hole 을 계측하여 Pan, Tilt 각도 및 와이어 센서의 보정오차와 그 결과 X, Y, Z 축으로의 위치 오차를 계산한 것이다. 표에서 보듯이 최종 보정된 위치 오차는 평균 약 1.366mm 로 나타나고 있다. 이 결과를 이용하여 최종 계측하고자 하는 플랜지(직경 300mm)의 자세 및 위치오차를 계산한 것이 Table 5 에 나타나 있다. 이 표에서 볼 수 있듯이 평균적으로 나타날 수 있는 최종 플랜지 계측 오차는 거리부분이 약 0 mm~1.366mm 이고, Tilt 및 Rotation 오차가 약 0.26°정도로 예측된다. 그러나 최악의 경우 약 3.5mm

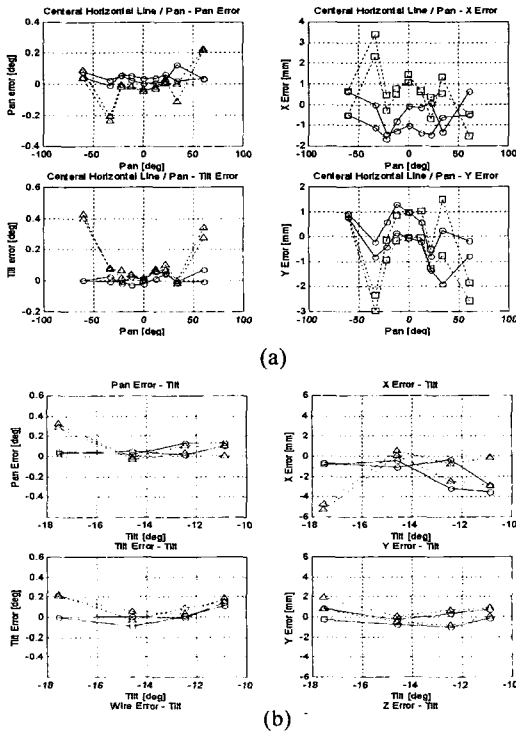


Fig. 9 Calibration results
(a) Pan direction
(b) Tilt direction

- Draw-wire 센서 : 0.04 mm
- 2) 센서의 정밀도(2000 mm 에 대한 위치 정밀도)
 - 회전 방향의 Encoder : 0.52mm/pulse
 - Draw-wire 센서 : 1.25mm
- 3) 센서 반복정밀도
 - Encoder : 3 ~ 4 pulse (min/max 기준)
 - Draw-wire 센서 : 약 1mm (2000mm 기준)
- 4) 보정 전/후의 최종오차
 - Pan/Tilt : $\pm 0.1^\circ$ ($\leftarrow 0.4^\circ$)
 - 위치정밀도 : $\pm 1.0\text{mm}$ ($\leftarrow 5.0\text{mm}$)

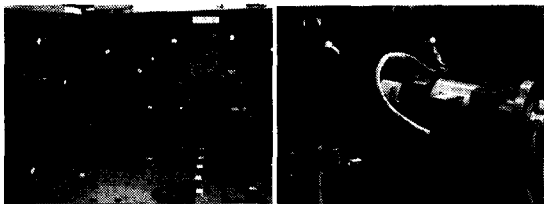


Fig. 10 Photographs for automatic measurement

Table 3 Result of repeatability test

실험 횟수	Pan Angle Error	Tilt Angle Error	Wire 센서 Error
1	0.014°	-0.003°	0.519 mm
2	-0.037°	0.010°	-0.007 mm
3	0.001°	-0.002°	-0.106 mm
4	0.001°	-0.003°	0.311 mm
5	0.014°	-0.003°	0.436mm
6	0.014°	0.010°	-0.007 mm

Table 4 Final measurement errors for each hole

Pan Error (deg)	Tilt Error (deg)	Error (mm)	X Error (mm)	Y Error (mm)	Z Error (mm)	Error (mm)
0.037	0.07	0.362	-0.515	-0.174	0.766	0.939
0.022	-0.006	0.559	-0.633	0.254	-0.099	0.689
0.064	0.043	-0.184	-1.452	-0.783	1.104	1.985
0.042	0.01	0.846	-1.4	0.562	0.282	1.535
0.036	-0.023	0.969	-1.038	0.969	-0.666	1.568
0.052	-0.027	1.005	-1.293	1.311	-0.812	2.012
0.06	-0.005	0.023	-1.412	0.596	-0.115	1.537
-0.007	-0.008	-0.193	-0.004	-0.228	-0.132	0.263
0.045	0.001	0.998	0.621	0.925	0.012	1.114
0.036	-0.002	0.921	-0.59	0.865	-0.317	1.094
0.054	-0.086	0.205	-1.068	-0.242	-1.751	2.065
0.016	0.011	0.259	-0.364	0.309	0.197	0.517
.
.
.
0.041	-0.023	0.797	-0.393	0.799	-0.602	1.075
0.013	0.017	-1.171	-0.757	-1.02	0.371	1.323
0.038	-0.062	-1.317	-0.507	-1.767	-1.609	2.443
0.061	0.071	-1.299	-0.623	-1.937	1.434	2.489
0.069	0.063	-0.365	-1.123	-0.809	1.302	1.900
0.017	-0.035	-1.421	0.623	-1.157	-0.805	1.541
0.021	0.048	0.599	-0.719	0.284	0.478	0.909
0.002	-0.021	-0.116	-0.053	-0.068	-0.63	0.636
0.054	-0.02	-0.329	-1.604	-0.241	-0.549	1.712
평균 Error						1.366
Minimum Error						0.263
Maximum Error						3.353

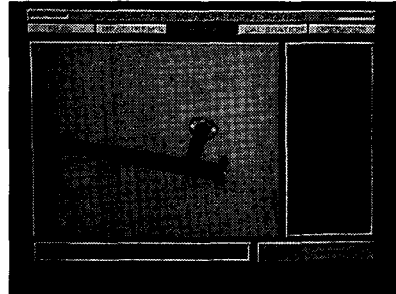


Fig. 11 Screen view of measurement result

는 최대 약 0.4°, Rotation 각 오차는 최대 약 0.3° 정도의 오차를 갖게 되었다.

이러한 오차는 초기의 목표에는 미치지 못하는 결과이다. 그 원인을 분석한 결과, 계측에 사용한 Calibration 지그의 계측 기준값이 맞지 않는다는 것을 알 수 있었다. 이는 초기의 지그 계측 자체의 문제이거나, 그 이후의 지그 변형이 원인이라고 생각된다. 그 결과 센서가 잘못된 기준값으로 보정되었을 가능성이 있으며, 이러한 상황에서 이것이 확실한 계측오차라고 판단하는 것은 무리일 수도 있다. 따라서, 보다 정확한 계측 지그를 이용한 추가 검증이 필요하다고 판단되며, 또한 더욱 높은 분해능의 엔코더를 사용한다면 보다 높은 정밀도의 계측시스템을 구현할 수 있을 것이라 판단된다. 한편, 계측 소요시간은 센서 초기화를 포함하여 단관의 경우는 약 5 분, T 관의 경우는 약 10 분 정도가 소요된다. 이는 기존의 수동방식 계측에 비하면 상당한 생산성 향상이라고 볼 수 있다.

한편, 본 시스템의 운영을 위한 소프트웨어는 휴대용 시스템이라는 점을 감안하여 DOS 환경에서 구현되었으며, Microsoft C++ 7.0 으로 프로그래밍 되었다. 전체 프로그램은 그래픽(Graphic) 기반의 서브 프로그램들로 이루어져 있으며 크게 파일(File)의 입/출력과 저장 등을 다루는 모듈(Module)과 계측 모듈, 측정장치의 자동 보정을 위한 모듈, 그리고 계측된 파이프의 상관관계를 3 차원으로 도시하는 디스플레이(Display) 모듈과 자동계측이 어려운 경우, 수동운전을 위한 모듈 등 총 5 개의 서브 모듈로 구성되어진다. 본 측정장치는 현장의 작업자가 사용하는 시스템이므로 대부분의 프로그램 운영과 계측의 공정은 자동으로 수행될 수 있도록 만들어졌다. Fig. 11 은 T-자형 파이프로 연결

Table 5 Error prediction for flange measurement

구분	거리 오차	자세 오차 (각도 오차)
평균 Error의 경우	+1.366과 -1.366으로 Error가 발생한 경우	0 mm
	±1.366 Error인 경우	$\tan^{-1}\left(\frac{2 \times 1.366}{300}\right) = 0.52^\circ$
Max. Error의 경우	+3.353과 -3.353으로 Error가 발생한 경우	0 mm
	±3.353 Error인 경우	±1.366 mm

Table 6 Pipe measurement results

Flange 시도	거리 오차 (mm)	각도 오차 (Pan, °)	각도 오차 (Tilt, °)	최종 Tilt 각 오차 (°)	Rotation 각 오차 (°)	
1	1	-0.028	0.048	-0.011	0.049	-0.138
	2	0.269	0.021	-0.010	0.023	-0.272
2	1	-0.637	0.378	-0.138	0.402	0.098
	2	-0.64	0.254	-0.258	0.362	0.097
3	1	0.524	-0.354	0.118	0.373	-0.134
	2	0.082	-0.21	-0.207	0.295	-0.171
5 (T관)	1	0.82	0.130	-0.022	0.132	0.081
	2	-0.014	0.127	-0.057	0.139	0.177

의 거리 오차와 1.28° 정도의 각도 오차가 발생할 수도 있을 것으로 판단된다.

Table 6 은 플랜지의 최종 계측결과를 표시 하였다. 다양한 위치에 있는 단관 3 개와 T 관 한 개에 대해서 각각 2 회씩 측정하여 그 결과를 표시 하였고, 각 플랜지는 3 개의 Hole 을 측정하여 계산하였으며, 그 계측 순서를 바꾸어 가며 계측하여 최종 계측오차를 함께 나타내었다. 그 결과 거리 오차는 모두 1mm 이내이고, 최종 Tilt 각 오차

될 플랜지의 계측된 결과를 보여주고 있다.

6. 결론

본 연구에서는 선박의 조립시 각 블록 내부의 연결관을 제작하기 위한 파이프 계측 시스템을 개발하였고, 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 와이어 센서와 2 축 구동장치를 이용하여 3 차원 측정장치를 구축하였고 그 운용을 위한 전장시스템의 설계와 제작을 수행 하였으며, 그 적용 가능성을 확인하였다.
- 2) 계측의 정밀도 및 신뢰성 향상을 위한 계측 공정을 설정하고, 다음과 같은 정밀도를 얻었다.
 - 거리정밀도 : ± 1.0 mm 이내
 - 각도정밀도 : Rotation : $\pm 0.3^\circ$ 이내
Tilting : $\pm 0.4^\circ$ 이내
- 3) 정밀 계측을 위한 계측 S/W 를 개발하고, 직 관, 곡관 및 T 관 등의 다양한 계측이 가능 하였으며 계측시간의 획기적인 감소로 인한 생산성 향상에 기여할 수 있음을 보였다.

이와 같은 연구를 통해 다양한 지식의 축적 및 그 현장 적용 가능성 등을 확인하였지만, 휴대를 위해서는 센서를 보다 소형화해야 하며, 정밀도의 향상을 위해 엔코더 등 핵심부품의 분해능을 향상시켜야 한다는 사실 및 보정용 지그를 보다 견고하게 제작하고 정밀측정 해야 한다는 개선 및 수정 사항들도 도출되었다. 제작된 시스템은 현재 현장적용을 위해 보완 중에 있다.

후 기

이 논문은 2001 학년도 대구대학교 학술연구비의 부분적인 지원에 의한 논문임

참고문헌

1. Ang Jr, M. H., Poo, A. N. and Kumar, A. S., "A Pipe measurement system for repair shipyards," Proceedings of the ICMT '99, pp. 497-502, 1999.
2. Japanese Patent, Position measurement system, No. 11-281303, 1999.

3. Haering Jr, E. A., Airdata measurement and calibration, NASA Technical memorandum 104316, 1995.
4. Gorder, K. V., Developing a vehicle dynamics data acquisition system, Practical Information on SpaceAge Control, Inc. Position Transducers, 1999.
5. Pao, Y. H., Adaptive pattern recognition and neural network, Addison-Wesley Publishing Co. Inc., 1989.
6. Rumelhart, D. and McClland, J., Parallel distributed processing, Volume 1, Cambridge, MA : MIT Press, 1987.