

스트랩다운 관성항법 시스템을 위한 시험 기법의 개발 (I)

이 만형*, 조 경래*, 이 진규*, 이 상집**

* 부산대학교 기계공학과 ** 해양대학교 항해과

Development of Test Methods for
Strapdown Inertial Navigation System (I)

M.H.LEE*, K.R.CHO*, J.K.LEE* and S.J.LEE **

* PUSAN NATIONAL UNIV. and KOREA MARITIME UNIV. **

ABSTRACT

IN THIS PAPER, WE DEALED DEVELOPMENT OF ANALYTIC TOOLS FOR STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM. IT CLASSIFIED THE CONSTITUTION OF STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM AND THE TESTS OF PRODUCTIONS. IT IS USEFUL TO HIGH PRECISION INSTRUMENT.

1. 서 론

증래의 항법장치는 김벌(gimbal)을 이용하는 관성항법장치가 주로 사용되어 왔으나, 컴퓨터 기술의 고급화와 다양화에 따라 김벌타입 관성항법장치에서 사용되는 플랫폼(platform) 대신에 컴퓨터를 사용하는 스트랩다운 관성항법장치(SDINS)가 사용되고 있으며, 또한 개발되어지고 있다.

스트랩다운 관성항법장치는 관성공간에 관한 운동체의 정확한 거동에 기초를 두고 있으며, 재래식 김벌타입과는 달리 스트랩다운 시스템 자이로스코프와 가속도계는 운동체에 고정되어 있으며 각운동과 선형운동에 의해서 기술되어 진다.

본 논문은 스트랩다운 관성항법장치의 시험기법 개발에 관한 연구인데, 1 차적으로 스트랩다운 관성항법 시스템의 구성과 제작품의 세부적인 시험에 관해서 연구하였다. 시스템 구성에서는 시스템, 시험설비 및 시험실의 구성, 제어 및 데이터 취득, 그리고 시험절차에 관하여 언급하였다. 또한 제작품의 세부적인 시험에 관해서도, 제작품의 성능에 관한 여러가지 시험 및 필요한 장비에 관해서도 언급하였다. 아울러 이 연구는 앞으로 언급할 시험설비를 도입 실제 시험실을 구성하여 제작품에 대한 최적의 시험기법을 개발할 것이다.

2. 관성항법 시스템

관성항법장치의 정확성은 주로 사용된 센서의

오차에 의해 제한을 받는다. 이것은 특히 스트랩다운 관성항법장치에 적용되는데 왜냐하면, 김벌시스템과는 다른, 그들의 센서들이 동체에 부착되어 있고 안정화된 플랫폼에 의해 운동체 운동으로부터 연계되어 있기 때문이다. 이런 의미에서 스트랩다운 시스템에서의 오차 발생을 고려한 센서 모델의 오차계수를 결정하는 시험절차는 매우 중요하며, 센서신호의 계통적 오차는 보상되어야만 한다. 이 목적을 위하여 센서오차 모델의 개수 많은 정확히 측정되어져야 한다.

2. 1 시스템

스트랩다운 시스템의 센서는 플랫폼 시스템에서의 센서들보다 더욱 높은 동적부하를 받는다. 특히 스트랩다운 자이로는 중력 벡터에 관련된 고정 위치에서 있지 않아서 동적부하는 운동체 운동에 부과되어 진다. 이것은 센서상에서의 동적 영향을 표현하는 또다른 오차항들이 센서 오차 모델에 의해 고려되어짐을 의미한다. 그래서 스트랩다운 센서오차 모델은 더욱 복잡하고, 더욱 큰 정확성을 요구한다. 아래는 시스템오차로서 토오크오차와 편류계수, 그리고 동적오차가 자이로에서 발생하는 가장 중요한 오차임을 나타낸다.

$$\text{편류 (drift)} = \text{토오크오차} + \text{편류계수} + \text{동적오차} \\ (a) \quad (b) \quad (c)$$

$$(a) \text{ 토오크오차} = \text{속의 오배열} + \text{환산계수 오차} + \text{환산계수 비선형성}$$

$$(b) \text{ 편류계수} = \text{고정편향} + \text{질량불균형} + \text{구적불균형} + \text{이방성 탄성}$$

$$(c) \text{ 동적오차} = \text{각 가속도} + \text{이방성관성} + \text{모터거동}$$

식 (1), (2), (3) 은 좌표축 x,y,z 에 대한 편류를 나타낸다.

$$\delta W_x = \varepsilon_x^z W_y - \varepsilon_y^z W_x + \Delta S_{Tz} W_x + S_{Tz}^2 W_x^2 + D(x)_y + D(x)_x a_x + D(x)_y a_y + D(x)_{xz} a_x a_z - \frac{A}{H} \dot{W}_y + \frac{C-A}{H} W_x W_z + (\dot{\alpha}_z(t) W_x \dots (1)$$

$$\delta W_y = -\varepsilon_x^z W_x + \varepsilon_y^z W_z + \Delta S_{Ty} W_y + S_{Ty}^2 W_y^2 + D(y)_x a_x + D(y)_y a_y + D(y)_z a_z + D(y)_x a_x + D(y)_y a_y + D(y)_z a_z + \frac{A}{H} \dot{W}_x + \frac{C-A}{H} W_y W_z + (\dot{\alpha}_z(t) W_y \dots (2)$$

$$\delta W_z = \varepsilon_y^z W_x + \varepsilon_x^z W_y + \Delta S_{Tz} W_z + S_{Tz}^2 W_z^2 + D(z)_y a_y + D(z)_z a_z + D(z)_x a_x + D(z)_y a_y + D(z)_z a_z + \frac{A}{H} \dot{W}_y + \frac{C-A}{H} W_z W_x + (\dot{\alpha}_x(t) W_z \dots (3)$$

여기서,

- x, y, z : 직교 좌표축
- W_x, W_y, W_z : 관성 각속도
- a_x, a_y, a_z : 관성 가속도
- α : 입력속 오배열각
- $D(x)_y, D(y)_x, D(z)_x$: 고정 편향률
- H : 자이로 각운동량
- E : 축 오배열 오차
- $D(x)_x$: 질량 불균형

2. 2 시험설비

관성 시스템의 시험에는 다음과 같은 엄격한 요구사항

- 1) 시험 장비의 정확성
- 2) 환경조건의 안정된 조절
- 3) 극부적인 상수들에 대한 정확한 지식
- 4) 복측과 수평에 대한 정확한 배열
- 5) 데이터 취득 및 정확도 축소

등이 부과된다. 이런 이유로부터 모든 시험은 냉난방장치가 된 깨끗한 방에서 수행되어야 하며, 온도는 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 평균 상대습도는 $45 \pm 3\%$ 로 안정화되어야 한다. 그리고 필터링되고, 조절된 공기는 마루바닥 구멍을 통해 방으로 전달되고, 천정에 장치된 풍력계를 통해 배출되는데, 이 공기의 흐름은 수직적이다. 이는 동작 시뮬레이터 (motion simulator)의 장시간 안정에 요구되는 동온조건을 보충하기 위함이다.

동작 시뮬레이터는 80톤의 콘크리트 장치위에 기초되어지는데, 이는 기울어짐과 교환을 유발하는

진동을 제거하기 위해 건물로부터 절연시키기 위함이다. 동작 시뮬레이터의 정확한 방위각 (azimuth) 배열은 진북기준선에 의해 성취되는데, 이것은 해마다 행하는 북극성 관측에 의해 잘 알려져 있다 (정확성 $\pm 0.4 \text{ sec}$). 그리고 이웃방에는 제어컴퓨터와 그 주변기기들이 설치되어 진다.

2. 3 시험실의 구성

앞에서 언급한 바와같이, 모든 시험들은 냉난방장치가 된 깨끗한 방에서 실행되어야 하는데 시험실 구성에 소요되는 면적은 약 10 평 내외이며, 사용되는 전원은 50 - 60 Hz 혹은 400 Hz가 소요된다. 특히 시험실의 구성에 있어서는 바닥공사가 매우 중요한데, 이는 온도에 따른 여러가지 영향을 시험하기 위함이다. 설비로는 온도방향 및 온도계수 측정을 위한 온도제어 챔버 (chamber), 레이저 테이블 (rate table), 그리고 테이타 취득 시스템이 기본적으로 갖추어져야 하며, 이 외에도 정밀한 각도 검출기와 같은 전용부속기구 및 전용계기들이 필요하다. 그림. 1은 바닥공사를, 그림. 2는 주춧대 구성을 나타내는 상세한 도면이다.

< 바닥공사 >

(단위:mm)

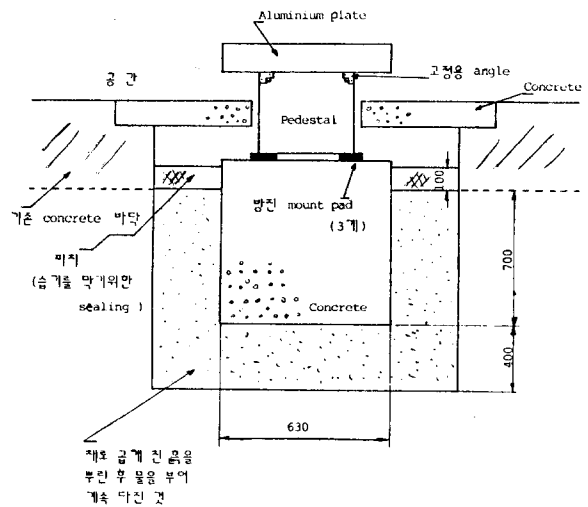


그림 1. 바닥공사

2. 4 시스템 제어

동작 시뮬레이터의 온-라인 (on-line) 제어를 위해서는 그림. 3과 같은 컴퓨터 구성 - 배치가 필요하다.

- 제어 컴퓨터는 다음의 부가적인 기능을 갖는다
- 1) 실시간에서 시험대상의 데이터 취득 및 기록
 - 2) 실시간에서의 데이터 축소

- 3) 프로그램 개선
- 4) 시험과 동시에 시험 데이터의 오프-라인 평가

< 주춧대 (Pedestal) >

(단위: mm)

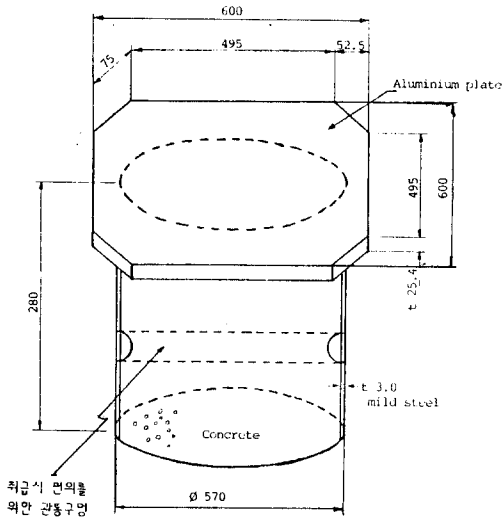


그림 2. 주춧대 (pedestal)

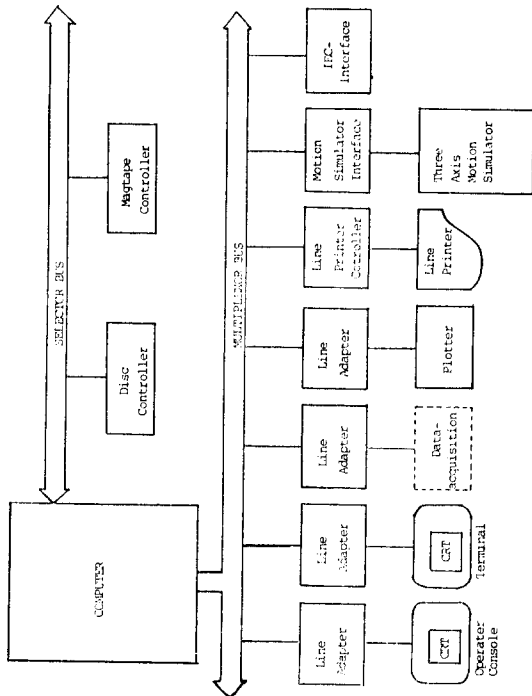


그림 3. 컴퓨터 블록도

2.5 시험 절차

여기서는 스트랩다운 시스템에 대한 중요하고도 다양한 시험 아이디어를 검토한다. 수행되는 시

험은 다음으로 구성되나 한 기능적인 단계로 구성되어진다. 그림 4는 시험 블록도를 나타낸다

- 1) 관성 측정 장치 (IMU)
- 2) 인터페이스 장치
- 3) 디지털 컴퓨터
- 4) 파워 서플라이 (power supply)

관성센서의 부가된 관성측정장치가 아날로그 센서 신호를 펄스로 변환하기 위한 전압-주파수 변환기를 포함한다. 인터페이스 장치는 컴퓨터와 IMU 사이에서 데이터 전송을 용이하며, 시험대상인 디지털 컴퓨터에서 프로세스된 데이터가 연속 데이터 전송을 통하여 시험 시스템의 컴퓨터로 전송된다. 이 데이터가 연속적으로 필요치도, 스트랩다운 컴퓨터의 저장장치으로 전송된다.

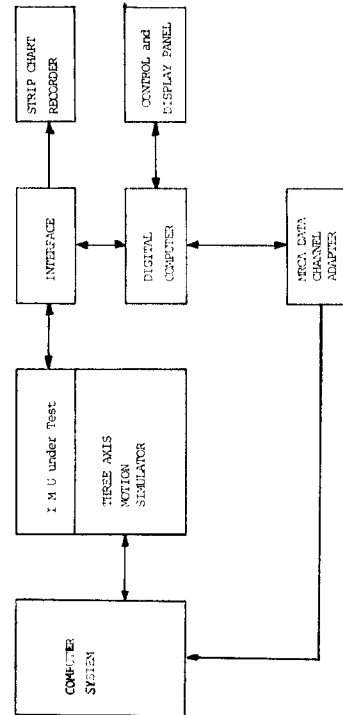


그림 4. 시험 블록도

2.5.1 변화율 시험

변화율 시험은 자이로 환산계수, 자이로 환산계수의 피산영상, 그리고 자이로 수의 각 오배열 (misalignment) 를 수정하기 위해 수행되나, 이 시험이 수행되나 앰프 시험대상은 연속적으로 각각의 위치로 바뀐다. 이를 각각에서 시험대상은 앰프 시험대상의 외부로 수위를 인정한 각각 변화율로 회전한다. 수정시간은 모든 변화율에 대해 인정한, 충분한 분석이 디지털신호 판독과 함께 수행될 수 있도록 결정되어진다. 수정간격의 시작과 끝은 수정하루 동안 움직인 각이 복에 대해 대칭이 되도록, 외부된 데이터에 의해 조절

되어진다. 처리되지 않은 데이터는 자기테이프 (mag-tape) 에 기록된다. 변화율 시험 절차는 다음의 주요단계들로 구성되어 있다.

- 1) 시험 시스템과 시험 대상을 초기화
- 2) 요구되는 시험위치를 선택
- 3) 시험 시스템과 시험 대상을 동작시켜 얻어진 데이터를 기록
- 4) 측정시간 경과후에는 데이터 기록을 중단

2. 5. 2 다위치 시험

다위치 시험의 목적은 자이로의 길경요소적인 오차계수를 측정하는 것으로, 시험대상은 그 측정각이 정의되는 방법과 모든 각각의 위치에 연속적으로 배치된다. 이들 각각의 위치에서 자이로의 처리되지 않은 데이터는 어떤시간 간격을 통해 기록되어 지는데, 이 지속시간은 데이터 분석을 충분히 할 수 있도록 선택되어진다. 다위치 시험절차는 다음의 주요단계들로 구성된다.

- 1) 시험시스템과 시험대상을 초기화
- 2) 요구되는 시험위치를 선택
- 3) 시험시스템과 대상을 동작시켜 데이터를 기록
- 4) 측정간격의 경과후에는 다음 위치를 선택하여 데이터를 기록한다. 이 단계는 모든 위치가 선택될때까지 계속 반복된다.

2. 5. 3 동적시험

스트랩다운 운항시스템의 성능은 다양한 동적 인자들에 의해 크게 영향을 받는데, 이러한 이유로 동적 시험은 다음 두가지의 특징적인 목적을 갖는다.

- 1) 동적 센서오차와 시스템오차 결정
- 2) 시뮬레이션된 운동체 임무 프로파일하의 시스템 특성 결정

동적센서 오차들의 기진 (excitation)에 대해 한속 혹은 두속 주파에서 정현파형을 갖는 각진동은 동작 시뮬레이터에 의해 발생된다.

운동체의 시뮬레이션에서는 다음이 적용된다.

- 1) 배열 정확성과 시뮬레이션된 운동체 조건들을 측정
- 2) 운항 정확성 분석
- 3) 칼만 필터 (Kalman filter) 기법에 의한 운항과 배열에서의 정확성 개선, 측정
- 4) 완전한 운항을 시뮬레이션

여기서는 어떤 운동체의 각 다이내믹 (angular dynamic)이 시뮬레이션될 수 있음을 보여준다. 그리고 이 시험은 스트랩다운 시스템 전체에 걸쳐 개발을 촉진시키는 중요한 도구이다.

3. 자이로 제작품의 검사

제작된 자이로는 그 특성이 시험되기전에 여러가지 요구를 따르도록 결정하는 기량면에서의 결점과 표면마무리, 그리고 고유동질성에 대해 시각적으로도, 치수적으로도 측정되어질 수 있다. 검사의 종류에는 아래와 같은것이 있다.

3. 1. 기계적인 측면에서의 검사

3. 1. 1 외부표면 검사

이것은 모든 외부표면이 설정된 환경을 견디어 내고, 또 부적합성을 유발하는 변질없이, 시험-작동되는 정상과정에서의 취급에서도 잘 견디는지를 검사하는 것이다.

3. 1. 2 축 검사

이것은 외장상의 축 배열 규정에 따라 입력기준속과 회전기준속이 잘 배열되어 있는지를 검사하는 것이다.

3. 1. 3 중량 검사

이것은 자이로의 중량이 얼마인가를 평가하는 것인데, 만일 이것에 연결기, 전치증폭기 및 케이싱이 결합되어 있으면 이들의 중량도 포함된다.

3. 1. 4 회전자의 매달림 검사

이것은 회전자의 매달림이 어떠한 형태로 매달려있고, 또 매달려 있는 회전자와 외부와의 공극이 허용 범위내에 있는지를 검사하는 것이다.

3. 2 전기적인 측면에서의 검사

1) 임피던스

이는 각 검출기, 모터, 토오크, 속회전 탐지기등의 임피던스를 측정함이 목적이다.

2)부전도성

이는 자이로의 구성요소 혹은 회로요소가 자이로 외장으로부터 절연된 회로와 자이로 외장사이에서, 그리고 절연된 회로들사이의 누출전류측정에 의해 스워칭, 서어지등에 기인하는, 순간적인 과전위를 견디어낼 수 있는지, 그리고 그 변화된 전압에서 안전하게 작동할 수 있는지를 검사하는 것이다.

3)절연저항

이것은 자이로 외장으로부터 절연된 회로와 자이로 외장사이, 그리고 절연된 전기적 회로들사이의 절연저항을 측정하는것이 목적이다.

3. 3 극성 시험

이것은 축에 관한 자이로 검출기, 토오크, 그

리고 모터의 극성을 결정하는 것이다.

3. 4 작동 온도 검사

1) 온도 센서 특성

이 시험의 목적은 자이로 온도센서의 환산계수와 저항을 결정하는 것이다.

2) 준비운동 시간

이것은 특정한 작동조건하에서, 물우어진 순간으로부터 작동온도에 도달하는 자이로에 대해 요구되는 시간 간격을 결정하는 것이다.

3) 동작온도

이것은 자이로 동작 온도가 자기-억제 온도센서저항, 회전모터저항, 로오르저항에 의해 지적되어진 동작온도 범위에 있음을 보증하는 것이다.

3. 5 검출기 검사

이것의 목적은 위상이동, 전기적인 영(null), 환산계수, 복합오차, 그리고 검출기 환산계수를 측정하는 것이다.

3. 6 축 회전 탐지기 검사

이것은 축회전 탐지기(RRD)의 출력을 측정하는 것이다.

3. 7 스핀 모터 검사

이 검사의 목적은 시동전류, 구동전류, 시동전력, 구동전력, 그리고 스핀모터의 run-up시간, run-down 시간을 측정하는 것이다.

3. 8 배열 검사

이는 입력기준속 - 회전기준속 면상의 입력속 부양에 대한 입력기준속의 오배열과 입력기준속 - 회전기준속 면에 대한 입력속의 오배열을 측정하는 것이다.

3. 9 자이로 변환 특성 검사

이는 자이로 환산계수, 자이로 이득(gain) 및 자이로 특성시간을 결정하는 것이다.

3. 10 편류율 검사

이 검사의 목적은 자이로 가속도에 민감한 편류율, 자이로 가속도 제곱에 민감한 편류율 계수, 탄성구속 편류율 계수, 그리고 김벌감속(김벌마찰)을 측정하는 것이고, 또한 민감한 편류율 계수와 가속도에 민감한 편류율의 반복성을 측정하는 것이다.

3. 11 출력외란 검사

이는 주파수응답, 폐회로응답 및 자이로 세트 링시간을 측정하는 것이다.

3. 12 출력속에 관한 각 가속도 감도 검사

이는 출력속에 관한 각가속도에 대한 자이로 감도를 측정하는 것이다.

3. 13 봉합(seal) 및 전자기 간섭 검사

자이로가 봉합이 창되어 있는지를 검사하고 자이로에 의해 생긴 전자기 간섭을 측정하는 것이다.

3. 14 환경적인 검사

여기서는 앞서의 검사외에 기계적인 충격, 열적인 충격, 진동, 가속도, 기계적인 과부하, 수명, 습도, 압력, 먼지등이 자이로의 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 검사한다.

4. 결 론

본 연구에서는 스트랩다운 관성항법장치의 시험기법 개발에 있어서의 스트랩다운 시스템 시험설비 구성과 그 시험에 필요한 사항들을 살펴보았다. 관성항법장치의 정확도는 센서의 오차에 의해 많이 좌우 되는데, 이를 위해 센서오차 모델의 계수가 측정되어진 후 보상되어야 함을 알았다. 그리고 자이로의 제작품 검사에 있어서는, 여러가지 요구조건을 따르도록 결정하는 기량면에서의 결점과 표면 마무리 및 고유동질성에 대해서도 검사되어야 함을 연구하였으며, 또한 자이로 성능에 영향을 줄 수 있는 모든 측면에서의 검사가 행해져야 함을 알았다. 본 연구에서는 이론적인면에 대해 많은 부분이 언급되었으나, 실제에서는 실제의 시험에 필요한 노-하우(Know-how)를 얼마나 습득, 개발하는나가 자이로 시스템 및 제작품 검사의 정확도를 좌우할 것으로 사료된다. 본 연구는 과학기술처의 특정연구개발사업의 일환으로 본 대학에서 계속적으로 연구되어지고 있으며, 최종적으로 최적의 시험기법을 개발할 것이다.

1. Joos, D. K.
" Comparison of Typical Gyro Errors for Strapdown Application ", DGON-Symposium Gyro Technology, Sept. 28 th , 1977.
2. Bertler , H .
" Test Facilities and Procedures for Strapdown Systems," Symposium Gyro Technology, Sept. 18-19, 1978.
3. U.Krogmann
Identification Procedures for Strapdown Sensor- Parameter by System Level Testing,DGON-Symposium Gyro Tech., Sept. 19th, 1978.
4. "Specification Format Guide for Single- Degree of- Freedom , Rate- Integrating Gyros", IEEE, 1974.
5. 이 만형, 최 근국, 조 경래
" SDINS 의 좌표속 초기 직립에 관한 칼만 필터링 기법의 응용", 한국 정밀 학회지 발표예정, 1987.
6. William G. Denhard
" Labratory Testing of a Floated Single- Degree- of- Freedom, Integrating, Integral Gyro", Jackson & Moreland, INC, Sept. , 1956.