

## 관성센서 출력 측정을 위한 AF 변환기 교정기법

김정용\*, 조현철\*\*, 노웅래\*\*\*, 최형돈\*\*\*\*, 조광래\*\*\*\*\*

Calibration Method of AF Converter  
for Measuring the Inertial Sensor Output

Jeong-Yong Kim\*, Hyun-Chul Cho\*\*, Woong-Rae Roh\*\*\*

Hyung-Don Choi\*\*\*\*, Gwang-Rae Cho\*\*\*\*\*

## Abstract

Generally, the inertial navigation and guidance unit uses AF(Analog-to-Frequency) converters which convert analog signals into frequency signals to enhance a measurement accuracy of gyroscope and accelerometer outputs. The confidence level of AF converter is guaranteed by a prudential decision of calibration procedure and a performance of periodic calibration test. In this paper, we focus on the synchronous charge balance type AF converter which has a separate positive or negative reset current according to a positive or negative current input and its calibration method is described. The calibration tests are classified into the scale factor error calibration and the bias calibration. These tests are automatically performed by the calibration program.

## 초 록

관성항법유도장치는 관성센서 출력에 대한 측정 정밀도를 향상시키기 위해 자이로 및 가속도계의 아날로그 출력을 주파수로 변환해주는 AF(Analog to Frequency) 변환기를 사용한다. AF 변환기 측정 신뢰성을 보장하기 위해서는 신중한 교정절차가 결정되어야 하며, 교정절차에 의한 교정시험은 주기적으로 수행되어야 한다. 본 논문에서는 양·음의 입력에 대해 각각 양·음 리셋전류를 갖는 synchronous charge balance type의 AF 변환기 교정방법에 대해 다루었다. AF 변환기 교정은 AF 변환기 환산계수 오차 교정 시험과 바이어스 교정시험으로 나누어 수행되었으며, 교정 시험용 프로그램에 의해 자동으로 수행되었다.

키워드 : 관성항법유도장치(inertial navigation and guidance unit), 교정(calibration), 아날로그 주파수 변환기(analog-to-frequency converter)

\* 임무설계그룹/kjy0413@kari.re.kr

\*\* 임무설계그룹/overmind@kari.re.kr

\*\*\* 임무설계그룹/rwr@kari.re.kr

\*\*\*\* 제어그룹/hdchoi@kari.re.kr

\*\*\*\*\* 우주발사체사업단/gwcho@kari.re.kr

## 1. 서 론

관성센서 출력에 대한 측정 정밀도는 관성항법유도장치의 성능을 좌우하는 중요한 요소이다. 일반적으로 관성항법유도장치는 관성센서 출력 측정 정밀도 향상을 위해 AF(Analog to Frequency) 변환기를 사용한다. AF 변환기는 관성센서 출력을 센서 출력전류에 비례하는 주파수를 갖는 펄스로 변환해주는 장치로써, 출력 펄스 측정시간에 비례하는 분해능을 갖는다. 이와 같은 AF 변환기는 항법 전에 반드시 교정되어야 한다.

AF 변환기 교정시험은 관성센서의 입력신호 오차요인을 제거한 상황에서 AF 변환기 각각의 채널에 대한 오차 파라미터를 추정하는 시험이다. 본 논문에서는 양·음의 입력에 대해 각각 양·음 리셋전류를 갖는 synchronous charge balance type의 AF 변환기 교정 시험방법에 대해 다루었다. 본 논문에서 AF 변환기 교정시험은 크게 두 시험으로 나누어 수행되었다. 첫 번째 시험은 온도에 따른 AF 변환기의 환산계수 오차요인을 보상하기 위한 시험이고, 두 번째 시험은 온도에 따른 AF 변환기의 바이어스를 보상하기 위한 시험이다.

이 두 교정시험은 매우 긴 시간이 소요되며, 온도변화에 의한 오차를 줄이기 위해 각각의 시험절차는 빠르게 진행되어야 하며, run-to-run과 같은 오차 요인을 배제하기 위해 휴식 없이 수행되어야 한다. 이와 같은 AF 변환기 교정시험은 수동으로 수행하기 불가능하므로 교정시험용 프로그램에 의해 자동화하여 시험결과에 대한 신뢰성을 확보하였다.

## 2. AF 변환기

### 2.1 AF 변환기 모델

현재 개발 중인 관성항법유도장치(NGU:Navigation Guidance Unit)의 관성센서 출력은 AF

변환기의 NPP(Negative Precision Pulse)와 PPP(Positive Precision Pulse)의 개수를 카운트하여 측정된다. 이와 같은 AF 변환기 하나의 채널은 일정한 온도환경에서 관성센서 출력 값이 적분기 적분시간 동안 일정하고, 충분한 적분기 적분시간을 갖는다는 가정 하에 다음과 같은 1차 모델 식으로 정의될 수 있다.

$$i_{SEN} = K_{NPP0} (1 + DSF_{NPP}) \times \frac{N_{NPP}}{t_{INT0}} \left( \frac{1 + \Delta f_{MSTR}}{1 + \Delta f_{AF}} \right) - K_{PPP0} (1 + DSF_{PPP}) \times \frac{N_{PPP}}{t_{INT0}} \left( \frac{1 + \Delta f_{MSTR}}{1 + \Delta f_{AF}} \right) + i_{AFbias} \quad (1)$$

여기서

- $i_{SEN}$  : 관성센서 출력 전류
- $K_{NPP0}$  : NPP 신호의 Scale Factor
- $K_{PPP0}$  : PPP 신호의 Scale Factor
- $DSF_{NPP}$  : NPP 신호의 Scale Factor 오차
- $DSF_{PPP}$  : PPP 신호의 Scale Factor 오차
- $N_{NPP}$  : NPP 신호의 출력펄스 개수
- $N_{PPP}$  : PPP 신호의 출력펄스 개수
- $\Delta f_{MSTR}$  : 마스터 클럭 오차
- $\Delta f_{AF}$  : AF 변환기 클럭 오차
- $t_{INT0}$  : 적분기 적분시간
- $i_{AFbias}$  : AF 변환기 Bias

AF 변환기 모델변수 중  $K_{NPP0}$ 와  $K_{PPP0}$ 는 하드웨어 설계 시 결정되는 값이고, 적분기 적분시간  $t_{INT0}$ 는 교정시험 전에 요구되는 전류 측정 분해능을 고려하여 결정된다. 그리고  $N_{NPP}$ 와  $N_{PPP}$ 는 NGU의 PAM(Pulse Accumulator Module)에 의해 측정되며, 이 값은 NGU의 통신 모듈을 통해 PC로 전송된다. PAM의 마스터 클럭 오차와 AF 변환기 클럭 오차 비에 관한 항은 마스터 클럭을 이용해 AF 변환기 클럭 펄스를 측정함으로써 구할 수 있다. 따라서 적분기 적분시간  $t_{INT0}$ 이 결정된 상황에서 관성센서의 정확한 출력 값을 얻기 위해서는  $DSF_{NPP}$ ,  $DSF_{PPP}$ ,  $i_{AFbias}$  변수 값을 구하는 일이 선행되어야 한다.

## 2.2 AF 변환기 규격

NGU의 AF 변환기는 모두 10채널로 구성되어 있다. 자이로스코프 출력 측정을 위해 6채널이 할당되어 있고, 가속도계 출력 측정을 위해 4채널이 할당되어 있다. AF 변환기 교정작업은 AF 변환기 10채널에 대해 관성센서 모든 출력 범위에 대한  $DSF_{NPP}$ ,  $DSF_{PPP}$ ,  $i_{AFbias}$  값을 구하는 과정이다. 그리고 이 변수들은 온도에 관한 함수이므로 교정시험은 다양한 온도 포인트에 대해 수행되어야 한다.

AF 변환기가 관성센서 출력을 정확하게 측정하기 위해서는 관성센서 전체 출력 범위 내에서 AF 변환기 출력 안정도가 관성센서 출력 안정도보다 높은 성능을 보여야 한다. 따라서 AF 변환기의 규격은 NGU 관성센서 성능에 의해 정해진다. 표 1은 NGU AF 변환기 자이로스코프 채널과 가속도계 채널의 출력 안정도에 대한 규격을 나타낸다.

표 1. AF 변환기 규격

	Gyroscope Channel	Accelerometer Channel
Measurement Range	±83 deg/sec	±20.2 g
Input Current Range	±299 mA	±24.2 mA
Bias Stability	≤0.08 ppm	≤2.97 ppm
Scale Factor Stability	≤100 ppm	≤200 ppm

여기서 바이어스 안정도는 관성센서 전체 출력범위에 대한 비를 의미하며, 환산계수 안정도는 관성센서 출력에 대한 비를 의미한다. 바이어스 안정도를 전류단위로 나타내면, 자이로 채널의 경우 24nA, 가속도계 채널의 경우 72nA의 바이어스 안정도를 가져야 한다.

## 3. 환산계수 오차 교정시험

### 3.1 환산계수 오차 교정 기법

AF 변환기 환산계수 오차 교정성능은 정밀한 캘리브레이터 또는 정밀한 DMM 성능에 의해 좌우된다. 본 논문에서는 캘리브레이터에 의한 교정방법과 DMM에 의한 교정방법에 대해 다룬다.

AF 변환기 환산계수 오차 교정시험은 관성센서 출력 대신 캘리브레이터 전류를 AF 변환기 입력으로 사용하는 방식으로 수행되며, AF 변환기 모든 채널에 캘리브레이터 출력을 입력하기 위해 캘리브레이터 모든 출력은 스위치를 거쳐 AF 변환기로 들어간다. 이와 같은 시험조건 하에서 AF 변환기 모델 (1)은 (2)와 같이 간단히 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 i_{SEN} &= K_N C_N(i_m) - K_P C_P(i_m) + i_{AFbias} \\
 &= K_{cal}(1 + DSF_{cal})i_{cal} + i_{calbias} + i_{sw}
 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서

$K_{cal}$  : 캘리브레이터의 scale factor

$DSF_{cal}$  : 캘리브레이터의 scale factor error

$i_{cal}$  : 캘리브레이터 출력 전류 명령값

$i_{calbias}$  : 캘리브레이터의 bias 전류

$i_{sw}$  : 스위치의 누설 전류

$i_m$  : AF 변환기 입력 전류

$$K_N = K_{NPP0}(1 + DSF_{NPP})$$

$$K_P = K_{PPP0}(1 + DSF_{PPP})$$

$$C_N(i_m) = \frac{N_{NPP}}{t_{INT0}} \left( \frac{1 + \Delta f_{MS TR}}{1 + \Delta f_{AF}} \right)$$

$$C_P(i_m) = \frac{N_{PPP}}{t_{INT0}} \left( \frac{1 + \Delta f_{MS TR}}{1 + \Delta f_{AF}} \right)$$

$K_N$ ,  $K_P$ 는 AF 변환기 환산계수와 환산계수 오차를 의미하고,  $C_N(i_m)$ ,  $C_P(i_m)$ 는  $i_m$ 의 AF 변환기 입력에 대한 precision pulse 개수와 적분시간, 오실레이터 오차 출력에 대한 값이다.

### 3.1.1 캘리브레이터에 의한 교정기법

캘리브레이터에 의한 교정기법은 가정 1의 조건이 요구된다. 가정 1의 조건하에 (2)는 (3)과 같이 표현할 수 있다.

#### 가정 1

- 캘리브레이터 전류 출력의 환산계수 오차는 존재하지 않는다.

$$K_N C_N(i_{in}) - K_P C_P(i_{in}) + i_{AFbias} = i_{cal} + i_{calbias} + i_{sw} \quad (3)$$

본 교정방법에서는 캘리브레이터 양의 출력과 음의 출력 바이어스 변화를 방지하기위해 양의 출력을 스위치를 이용하여 음의 출력을 생성한다. 캘리브레이터에 의한 환산계수 오차 교정기법은 (4)~(9)에 의해 이루어진다.

- 캘리브레이터 양의 출력 명령

$$K_N C_N(0_+) - K_P C_P(0_+) = i_{calbias} + i_{sw1} - i_{AFbias} \quad (4)$$

$$K_N C_N(i_{in+}) - K_P C_P(i_{in+}) = i_{cal} + i_{calbias} + i_{sw1} - i_{AFbias} \quad (5)$$

(4),(5)에 의해 (6)이 성립된다.

$$i_{cal} = K_N(C_N(i_{in+}) - C_N(0_+)) - K_P(C_P(i_{in+}) - C_P(0_+)) \quad (6)$$

- 캘리브레이터 음의 출력 명령

$$K_N C_N(0_-) - K_P C_P(0_-) = i_{calbias} + i_{sw2} - i_{AFbias} \quad (7)$$

$$K_N C_N(i_{in-}) - K_P C_P(i_{in-}) = -i_{cal} - i_{calbias} + i_{sw2} - i_{AFbias} \quad (8)$$

(7),(8)에 의해 (9)가 성립된다.

$$-i_{cal} = K_N(C_N(i_{in-}) - C_N(0_-)) - K_P(C_P(i_{in-}) - C_P(0_-)) \quad (9)$$

(6),(9)는 (10)과 같이 정리될 수 있다.

$$i_{cal} = \frac{(C_N(i_{in+}) - C_N(0_+)) (C_P(i_{in+}) - C_P(0_+)) K_N}{(C_N(i_{in-}) - C_N(0_-)) (C_P(i_{in-}) - C_P(0_-)) K_P} \quad (10)$$

만약 (10)에서 최소자승법에 의해 환산계수 오차를 구할 경우, AF 변환기의 높은 입력 범위에 대한 정확도는 보장할 수 있지만 낮은 입력 범위에 대한 정확도는 보장할 수 없다. 일반적으로 AF 변환기는 입력 신호 크기에 비례하는 출력 허용 오차를 가지므로, 적합한 AF 변환기 환산계수 오차를 추정하기 위해 (10)의 환산계수는 캘리브레이터 출력에 대한 환산계수 비의 형식으로 변환되어야 한다.

$$i_{cal} = \frac{1}{-1} \frac{(C_N(i_{in+}) - C_N(0_+)) (C_P(i_{in+}) - C_P(0_+)) K_N^*}{(C_N(i_{in-}) - C_N(0_-)) (C_P(i_{in-}) - C_P(0_-)) K_P^*} \quad (11)$$

여기서  $K_N^* = K_N/i_{cal}$ ,  $K_P^* = K_P/i_{cal}$  이다. AF 변환기 환산계수 오차는 (11)을 이용하여 최소자승법으로 구할 수 있다.

본 교정방법을 사용하기 위해서는 캘리브레이터 양과 음의 출력을 AF 변환기가 측정하는 동안  $i_{calbias}, i_{sw1}, i_{sw2}, i_{AFbias}$ 가 일정한 값을 가져야 한다. 이 중  $i_{calbias}$ 는 캘리브레이터 출력 레벨에 따라 변하므로 캘리브레이터 출력 레벨에 따라 (4),(5)의 값이 계속 갱신되어야 한다. 본 교정방법은 캘리브레이터 환산계수 오차에 교정성능이 좌우되므로 캘리브레이터 선택의 신중함이 요구된다.

### 3.1.2 DMM에 의한 교정기법

DMM에 의한 교정기법은 가정 2의 조건 하에 성립될 수 있다.

#### 가정 2

- DMM 환산계수 오차는 존재하지 않는다.
- 스위치의 누설전류는 무시할 정도로 작다.

- 캘리브레이터 출력

$$K_N C_N(i_{m+}) - K_P C_P(i_{m+}) = i_{cal} + i_{calbias+} + i_{sw1} - i_{AFbias} \quad (12)$$

$$K_N C_N(i_{m-}) - K_P C_P(i_{m-}) = -i_{cal} + i_{calbias-} + i_{sw1} - i_{AFbias} \quad (13)$$

식 (12),(13)에 의해

$$i_{cal} + \frac{1}{2}(i_{calbias+} + i_{calbias-}) = \frac{1}{2}(K_N(C_N(i_{m+}) - C_N(i_{m-}))) - K_P(C_P(i_{m+}) - C_P(i_{m-}))) \quad (14)$$

- DMM 출력

$$i_{DMM1} = i_{cal} + i_{calbias+} + i_{sw2} + i_{dmmbias} \quad (15)$$

$$i_{DMM2} = -i_{cal} - i_{calbias-} + i_{sw2} + i_{dmmbias} \quad (16)$$

따라서 (12)~(16)에 의해 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$0.5(i_{DMM1} - i_{DMM2}) - 0.5(i_{DMM1} + i_{DMM2}) = \begin{matrix} 1 & -1 & C_N(i_{m+}) & C_P(i_{m-}) & K_N \\ -1 & 1 & C_N(i_{m-}) & C_P(i_{m+}) & K_P \end{matrix} \quad (17)$$

여기서 (17)의 환산계수는 측정된 AF 변환기 입력에 대한 환산계수 비로 변환한다.

$$\begin{matrix} 1 & & 1 & -1 & C_N(i_{m+}) & C_P(i_{m-}) & K_N^* \\ -1 & & -1 & 1 & C_N(i_{m-}) & C_P(i_{m+}) & K_P^* \end{matrix} \quad (18)$$

여기서  $K_N^* = K_N / (0.5(i_{DMM1} - i_{DMM2}))$ 을 의미하고,  $K_P^* = K_P / (0.5(i_{DMM1} - i_{DMM2}))$ 이다. 위 (18)을 이용하여 최소자승법에 의해 환산계수 오차를 구할 수 있다.

본 교정방법은 DMM 환산계수 오차에 의해 AF 변환기 교정 성능이 좌우되는 교정방법이다. 캘리브레이터 양과 음의 출력을 AF 변환기가 측정하는 동안  $i_{calbias}, i_{sw1}, i_{sw2}, i_{AFbias}$ 가 일정해야 하며, AF 변환기 전류 입력과 DMM 전류 측정 시 캘리브레이터 출력에 run-to-run 오차가 존재해서는 안된다. 그리고 매회 DMM에 의한 캘리브레이터 출력 측정과정이 수행되어야 하므로 캘리브레이터에 의한 교정방법 보다 긴 교정시간이 요구된다.

이와 같은 이유로 본 논문에서는 캘리브레이터에 의한 교정시험을 수행하였다.

### 3.2 환산계수 오차 교정시험 시스템

환산계수 오차 교정시험은 AF 변환기 모델 식의 미지항 중  $DSF_{NPP}$ 와  $DSF_{PPP}$ 에 대한 온도계수를 구하기 위한 시험으로써, 정확한 환산계수 오차 교정을 위해서는 다양한 전류 입력 및 온도 포인트에 대해 시험을 수행해야 한다.

본 교정시험을 수행하기 위해서는 이미 알고 있는 관성센서 출력 전류( $i_{SEN}$ )값이 요구되므로 매우 정밀한 전류 소스원인 캘리브레이터 출력을 AF 변환기 입력으로 사용하였다. 그림 1은 AF 변환기 환산계수 오차 보상을 위한 교정시험 시스템 구성도를 나타낸다.

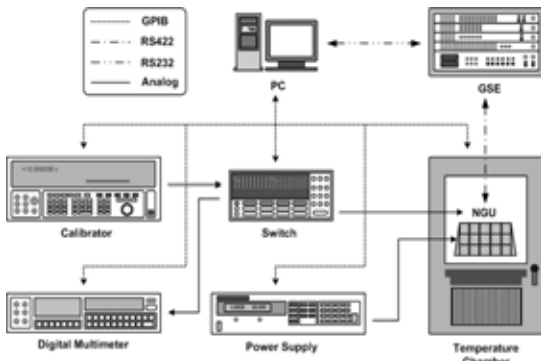


그림 1. 환산계수 오차 교정시험 시스템

표 2. 캘리브레이터 사양

	Range	Resolution	Relative Uncertainty (95%)
			24 Hours (23°C±1°C)
DC Current	±220µA	0.1nA	20ppm+6nA
	±2.2mA	1nA	20ppm+7nA
	±22mA	10nA	20ppm+40nA
	±220mA	0.1µA	20 ppm+0.7µA
	±2.2A	1µA	32 ppm+12µA

본 교정시험에서는 가정 1의 조건을 만족시키기 위해 환산계수 안정도가 20ppm 미만인 캘리브레이터를 사용하였고, 바이어스 안정도를 고려하여 누설전류가 0.1nA 미만인 스위치를 사용하였다. 본 교정시험에서 사용한 캘리브레이터의 DC 전류 출력 안정도는 표 2와 같다.

환산계수 오차 교정시험 시스템에서 교정 장비들 간의 기준 전압레벨에 의한 오차를 방지하기 위해 NGU를 제외한 모든 장비의 접지와 샤시(chassis)를 하나의 접지 포인트에 연결되도록 하고, NGU의 접지 및 샤시는 파워썬플라이 (-) 단자와 레벨을 맞추며 온도챔버 샤시와는 분리시킨다. 그리고 캘리브레이터 출력은 캘리브레이터 접지와 분리되도록 한다.

### 3.3 환산계수 오차 시험 절차

NGU의 AF 변환기 환산계수 오차 교정시험을 위해 AF 변환기 10채널에 대해 5개의 온도 포인

트 및 10개의 캘리브레이터 출력 전류에 대한 교정시험을 수행하였다. 그림 2는 시간에 따른 온도챔버 온도명령 및 환산계수 오차 교정시험 수행절차를 나타낸다.

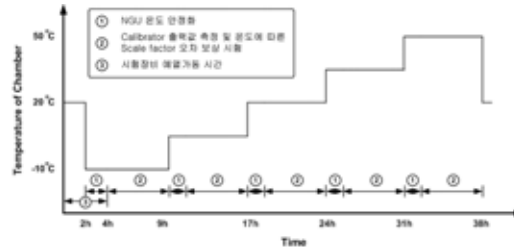


그림 2. 환산계수 오차 교정시험 온도환경

본 교정시험에서는 -10°C에서 +50°C까지 15°C간격의 온도 환경에 대한 시험을 수행하였고, 캘리브레이터에 의한 AF 변환기 입력은 스위치를 이용하여 각각의 채널에 순차적으로 제공 하였다.

이 때 동적환경에 따른 자이로와 가속도계 출력 범위가 다른 이유로 AF 변환기 채널 중 테스트할 채널이 가속도계를 담당하는 채널인지 자이로스코프를 담당하는 채널인지에 따라 다른 입력 값이 요구된다. 표 3은 환산계수 교정시험을 위해 AF 변환기 채널에 따른 입력 전류를 나타낸다

표 3. AF 변환기 채널에 따른 캘리브레이터 출력

수행순서	가속도계 채널	자이로스코프 채널
1	open	open
2	+0A	+0A
3	-0A	-0A
4	+500µA	+30µA
5	-500µA	-30µA
6	+1mA	+100µA
7	-1mA	-100µA
8	+2mA	+1mA
9	-2mA	-1mA
10	+5mA	+10mA
11	-5mA	-10mA
12	+10mA	+100mA
13	-10mA	-100mA
14	+20mA	+200mA
15	-20mA	-200mA

환산계수 오차 교정시험 수행 순서를 살펴보면 처음에 캘리브레이터와 AF 변환기를 open 시켜서 AF 변환기 채널 자체의 바이어스를 측정하고, 캘리브레이터의 0A출력을 사용하여 캘리브레이터 자체의 바이어스를 구한다. 그 후 가속도계 및 자이로가 측정할 수 있는 다이내믹 범위에 대한 출력값을 캘리브레이터로 구현하여 AF 변환기 채널로 보낸다. 이때 캘리브레이터 출력 바이어스가 양과 음의 출력에 관계없이 일정한 값을 갖게 하기 위해 캘리브레이터의 출력은 양의 출력만 사용하고, 스위치를 통해 양의 출력과 음의 출력을 생성한다. 각각의 캘리브레이터 출력에 대한 AF 변환기 채널의 출력 데이터는 100Hz로 갱신되며 100초간 저장된다.

이와 같은 시험 절차를 통해 수집한 5 온도 포인트에 대한 10개 AF 변환기 출력 데이터를 이용하여 각 온도에 대한 환산계수 오차 항과 바이어스 항을 구한 후 환산계수 오차에 관한 온도계수와 바이어스에 관한 온도계수를 구한다. 여기서 환산계수 오차 교정시험에서 얻은 바이어스 정보는 교정을 위해 사용하지 않는다.

## 4. 바이어스 교정시험

### 4.1 바이어스 교정시험 시스템

바이어스 교정시험은 온도에 따른 AF 변환기 바이어스( $i_{BIAS}$ )를 구하는 시험이다. 이 교정 시험은 환산계수 오차 교정시험과 달리 AF 변환기에 입력을 가하지 않은 상태에서 NGU의 데이터를 수집하기 때문에 AF 변환기의 모든 채널을 동시에 시험할 수 있다. 본 교정시험에서는 환산계수 오차 교정시험보다 다양한 온도 환경에 대한 시험을 수행하였다.

바이어스 교정시험에서는 온도에 따른 AF 변환기 바이어스 교정뿐만 아니라 온도에 따른 NGU 마스터 오실레이터 오차 교정시험도 수행한다. PAM 보드에 있는 마스터 오실레이터 교정시험을 통해 항법계산을 위한  $(1 + \Delta f_{MSTR})$  파

라미터를 구하게 된다. 다음 그림은 AF 변환기 바이어스 교정시험 시스템 구성도를 나타낸다.

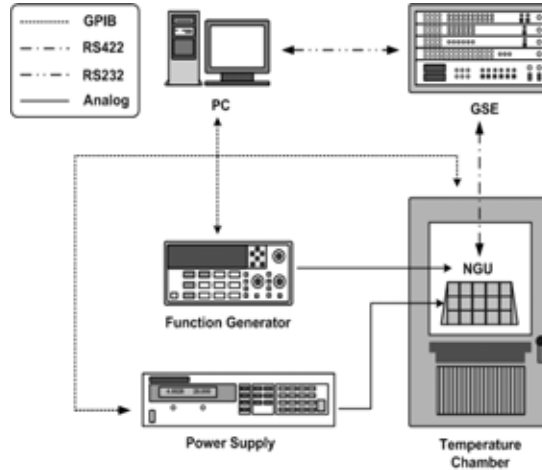


그림 3. 바이어스 교정시험 시스템

NGU 마스터 오실레이터 교정을 위해 3ppm 미만의 신호 안정도를 갖는 함수 발생기 사용하였다.

### 4.2 바이어스 교정시험 절차

AF 변환기 바이어스 교정시험은 다양한 온도 환경 조건에서 동시에 모든 AF 변환기 채널에 대한 바이어스를 측정할 수 있도록 설계되었다.

본 AF 변환기 바이어스 교정시험에서는 AF 변환기가 온도챔버 온도변화를 추적 가능하도록  $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$  온도범위에서 기울기가  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 인 램프형태의 온도챔버 온도 명령을 사용하였다. 이 시험은 환산계수 오차 교정시험과는 달리 온도가 증가하는 온도환경만 고려하는 것이 아니라 온도가 감소하는 온도환경도 고려하였다. 따라서 온도에 따른 AF 변환기의 바이어스 특성뿐만 아니라 바이어스 히스테리시스 특성 분석도 가능하도록 하였다. NGU의 데이터는 100초간 적분된 데이터 형태로 0.01Hz 마다 갱신되며, 25 시간 동안 모든 데이터를 저장한다.

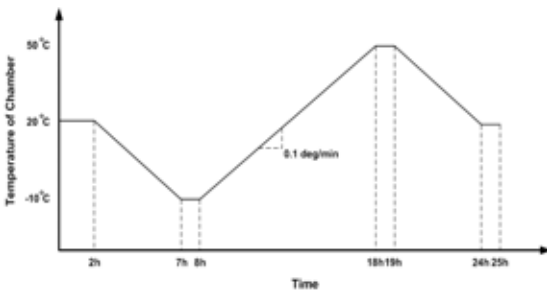


그림 4. 바이어스 교정시험 온도환경

### 5. 교정시험 프로그램

AF 변환기 교정시험을 휴식 없이 수행한다고 가정할 경우 환산계수 오차 교정시험은 38시간의 시험 수행시간이 소요되며, 바이어스 교정시험은 25시간의 시험 수행시간이 소요된다. 두 교정시험을 수행하기 위해서는 여러 장비들의 조작과 데이터 저장과정이 반복적으로 이루어져야하며, 시험 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 교정시험은 휴식 없이 진행되어야 한다. 이와 같은 교정시험은 주기적으로 수행되어야 하며, 교정결과 비교를 위해 과거 교정시험 절차와 동일한 방법으로 수행되어야 한다.

이와 같은 이유로 AF 변환기 교정시험은 교정시험용 프로그램에 의해 자동으로 수행되도록 하였다.



그림 5. 교정시험 프로그램 실행화면

AF 변환기 교정시험용 프로그램은 시리얼 통신을 이용하여 NGU의 데이터 수집과 모니터링 및 명령 전송 기능을 수행하며, 교정시험 장비들을 GPIB 통신을 이용하여 제어하는 기능을 수행한다. 그리고 타이머를 이용하여 모든 기능이 자동으로 수행될 수 있게 한다.

교정시험용 프로그램의 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 2개의 시리얼 통신 제어기능
- CRC 체크를 통한 NGU 데이터 무결성 검사 기능
- 3개의 그래프 창을 이용한 데이터 표시 기능
- 14개의 GPIB 통신장비 제어기능
- 외부 환경설정 파일에 의한 수신 데이터 프레임 구성
- 외부 환경설정 파일에 의한 자동명령 시퀀스 설정

본 교정시험용 프로그램은 수행할 교정시험에 따라 외부 환경설정파일을 설정함으로써 환산계수 오차 교정시험과 바이어스 교정시험을 수행할 수 있다. 교정시험을 위한 환경설정파일은 앞에서 언급한 교정시험 절차를 기반으로 각 교정 장비들의 GPIB 명령 및 데이터 저장 명령을 시간 별로 나열하여 자동명령 시퀀스를 작성하였다.

### 6. 결 론

NGU의 GN&C(Guidance Navigation and Control) 성능향상을 위해 AF 변환기의 교정시험은 신중히 이루어져야 하고 주기적으로 수행되어야 한다. 본 논문에서는 synchronous charge balance type의 AF 변환기를 대상으로 AF 변환기 오차 파라미터 교정을 위해 교정시험 기법 및 환산계수오차 교정시험과 바이어스 교정시험에 대해 다루었다. 그리고 교정시험을 자동으로 수행하기 위한 프로그램에 대해 다루었다. 본 논문에서 다룬 교정기법 및 시험수행 프로그램에 의해 신뢰성 있는 교정 결과를 얻을 수 있었다.



## 참 고 문 헌

1. 한국항공우주연구원, 소형위성발사체 개발 사업(I), 과학기술부 연구보고서 N02100, 2003.7.16.
2. 조현철, 노웅래, "Analog to Frequency 변환기 설계 기법", 한국항공우주연구원 기술 보고서.
3. Barry N.T. and Chris E.K., Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, NIST Technical Note 1297, 1994.
4. David Deaver, Fulke Corporation, Everett Washington, "Managing Calibration Confidence in Real World", NCSL Workshop & Symposium, 1995.