

최소자승법을 이용한 비행체 자동점검장비의 고정밀 신호 보정 방안

Correction Method of High-precision Signal for Aircraft Automatic Test Equipment Using Least Squares Method

이성우¹ · 김동혁¹ · 김성우¹ · 서민기¹ · 이철훈^{2*}

¹LIG넥스원 항공연구소

²충남대학교 컴퓨터공학과

Seong-woo Lee¹ · Dong-hyouk Kim¹ · Seong-woo Kim¹ · Min-gi Seo¹ · Cheol-hoon Lee^{2*}

¹Avionics R&D Lab, LIG Nex1, Daejeon, 34127, Korea

²Department of Computer Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

[요 약]

비행체의 탑재장비의 야전정비를 위한 자동점검장비는 특수목적에 위한 소수의 비행체를 운용할 경우에는 통합 설계하는 것이 효율적이다. 통합형 자동점검장비는 공통적으로 사용되는 인터페이스를 식별하여 각 점검대상장비 별 점검에 사용할 수 있도록 분기하거나 경로를 생성해주는 방식이 사용된다. 분기 및 경로 생성 시 RTD, TC 및 아날로그 전압과 같은 고정밀 신호는 신호 분기 및 연결 시 도선저항에 의한 측정 오류가 발생할 수 있다. 이러한 도선저항에 의한 측정 오류는 점검대상장비 설계 시 많은 제약을 가져오게 된다. 본 논문에서는 아날로그 전압 및 고정밀 신호의 측정오류를 최소화 할 수 있는 통합형 자동점검장비의 고정밀 신호의 보정방법을 제시한다.

[Abstract]

Automatic test equipment for field maintenance of aircraft mounted equipment is effective for integrated design when operating a small number of aircraft for special purposes. The integrated automatic test equipment identifies commonly used interfaces and is used for branching or generating routes for each unit under test specific inspection. High-precision signals such as RTD, TC, and analog voltage can cause measurement errors due to conduction resistance during signal branching and connection when generating branches and paths. The measurement error caused by the resistance of the wire leads to a lot of restrictions in designing the equipment to be inspected. In this paper, we propose a method of calibrating highly accurate signals of an integrated automatic inspection equipment that minimizes measurement errors of analog voltage and high - precision signals.

Key word : Automatic test equipment, Correction, RTD, TC, Unit under test.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.2.64>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 16 March 2018; Revised 26 March 2018

Accepted (Publication) 26 April 2018 (30 April 2018)

*Corresponding Author; Cheol-hoon Lee

Tel: +82-42-821-6659

E-mail: cleee@cnu.ac.kr

I. 서론

비행체 탑재장비의 야전정비를 위한 자동점검장비 (ATE; automatic test equipment) 는 일반적으로 비행체의 수리 및 정비 시간을 최소화하기 위하여 탑재장비 별로 제작된다. 그러나 특수 목적을 위한 소수의 비행체를 운용/유지하기 위해서는 다수의 탑재장비의 점검 장비를 통합 설계하는 것이 효율적이다[1], [2].

통합형 자동점검장비를 설계하기 위해서는 탑재장비 별로 공통적으로 사용되는 인터페이스를 식별하여 설계하고 이를 각 점검대상장비(UUT; unit under test) 별 점검에 사용할 수 있도록 분기하거나 경로를 생성해주는 방식이 사용된다[3]. 위와 같은 분기 및 경로 생성 시 일반적인 항공용 통신 인터페이스 (MIL-STD-1553, ARINC-429, CAN 등)의 경우 relay, coupler 등을 사용하여 설계가 가능하지만 RTD (resistance temperature detector), TC (thermocouple) 와 같은 민감한 센서 신호와 아날로그 전압 등은 신호 분기 및 연결 시 도선저항에 의한 측정 오류가 발생할 수 있다[4].

본 논문에서는 다수의 비행체 탑재장비의 통합형 자동점검장비에 적용 가능한 신뢰성 높은 신호 보정 방법을 제시한다.

II. 통합형 비행체 자동점검장비 구성

통합형 비행체 자동점검장비는 비행체 내의 항공전자계통, 비행조종계통, 유압계통, 구동계통, 환경제어계통, 착륙계통, 추진계통, 전기계통 등 다양한 계통의 탑재장비를 통합하여 설계 가능하다. 그림 1은 본 논문에 사용된 통합형 비행체 자동점검장비 형상이다.

통합형 비행체 ATE의 점검대상장비들은 통신 인터페이스로 MIL-STD-1553B, ARINC-429, CAN, ethernet, serial, analog, discrete, pulse, 1PPS 등의 신호를 사용한다. ATE는 점검 시 다수의 장비를 동시 점검하지 않고 1개의 UUT만을 점검하기 때문에 통합설계 시 각 UUT의 요구 채널 수를 만족하는 하드웨어를 구성하여 설계가 가능하다[5].

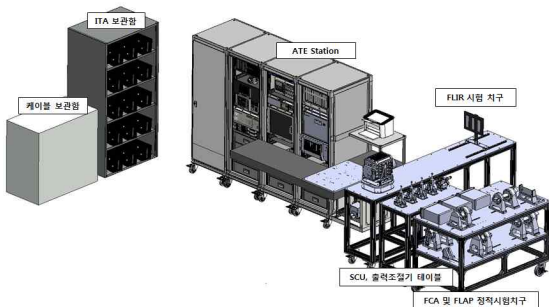


그림 1. 통합형 비행체 ATE 형상
Fig. 1. Configuration of integrated aircraft ATE.

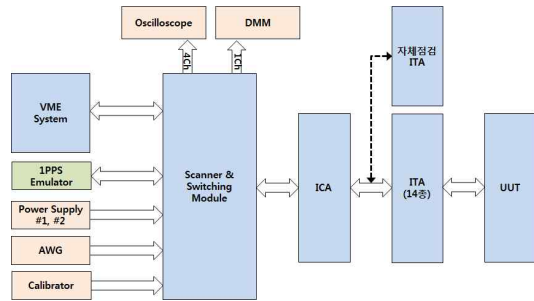


그림 2. ATE 인터페이스 구성도
Fig. 2. Block diagram for ATE interface.

ATE의 인터페이스를 위한 구성은 serial, analog, ARINC-429, MIL-STD-1553B, ethernet, CAN 신호의 입출력을 위한 VME System, pulse 신호 생성을 위한 임의파형발생기, RTD, TC 등 온도 신호 생성을 위한 calibrator, 1PPS 신호 생성 및 분배를 위한 1PPS emulator, 신호 측정을 위한 오실로스코프 및 디지털 멀티미터 등과 DC 전원 출력을 위한 DC 전원공급기로 구성된다. 위와 같은 ATE의 인터페이스를 각 UUT가 필요한 신호로 분배 및 공급하기 위해서는 각 신호를 단선하거나 연결하기 위한 scanner & switching 모듈이 필요하다. scanner & switching 모듈을 통한 ATE 인터페이스를 위한 구성은 그림 2와 같이 구성하였다.

scanner & switching 모듈을 통해 각 UUT 점검에 필요한 모든 신호들은 그림 3과 같은 ICA (interface connection adapter)로 출력되며 각 UUT 점검에 필요한 인터페이스만 그림 4와 같은 ITA (interface test adapter)에서 연결하여 점검에 사용한다. 그림 3과 그림 4는 ICA와 ITA의 형상이다.

scanner & switching 모듈은 그림 5와 같이 ATE의 대부분의 신호가 입력되어 내부의 relay matrix 구조를 통해 신호 측정을 위한 오실로스코프 및 디지털 멀티미터로 연결하거나 각 UUT 점검에 필요한 신호를 ICA로 출력할 수 있도록 신호 경로를 연결한다. scanner & switching 모듈은 신호 분배 및 연결 시 종단저항을 구성하여 각 신호에 필요한 bus 구성을 하여야 한다[6]. 종단저항 구성은 MIL-STD-1553B의 경우 전용 stub를 사용하여 종단저항을 구성하고 CAN 신호는 high speed (250kb/s 이상) 통신을 위해 bus 양 끝단에 120Ω 종단저항을 연결하여 node에서 60Ω 저항이 측정될 수 있도록 구성한다[7].



그림 3. ICA 형상
Fig. 3. Configuration of ICA.



그림 4. ITA 형상
Fig. 4. Configuration of ITA.

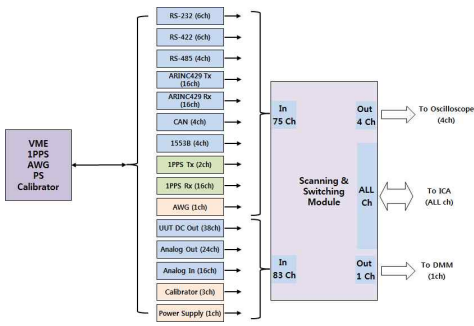


그림 5. Scanner & Switching 모듈 구성도
 Fig. 5. Block diagram for Scanner & Switching Module.

bus 구성이 필요 없는 신호들의 경우에는 단순한 relay matrix 구조만으로 1개 출력을 다수의 출력으로 분기하여 연결하거나 다수의 입력신호를 1개의 채널로 연결할 수 있도록 구성한다. 이를 통해 고가의 상용 계측기 및 신호발생기 등의 채널 구성을 최소화 할 수 있다.

III. 고정밀 신호의 구성 및 보정

3-1 고정밀 신호의 구성

일반적인 전기적 신호 인터페이스와 다르게 환경제어계통이나 추진계통의 장비는 비행체의 다양한 상태를 모니터링하기 위해 RTD, TC 와 같은 온도 측정 센서 신호 및 아날로그 전압 신호들을 사용한다. 이와 같은 고정밀 신호를 사용하는 UUT를 점검하기 위해서는 ATE에서 온도 신호 및 아날로그 전압 신호를 모의하여야 한다. 각 온도 측정 센서 신호의 특징은 다음과 같다.

RTD는 온도에 따라 금속의 전기저항이 변화하는 것을 이용하여 온도를 측정하는 방식이다[8]. RTD에 사용되는 금속은 고온에서도 온도변화에 따른 저항 변화가 선형인 백금이 널리 사용된다[9]. RTD 신호 측정을 위한 구성은 2-wire, 3-wire, 4-wire 구성을 사용한다. 그림 6과 같이 2-wire 구성 방식은 가장 구성이 단순하지만 wire의 도선저항이 높을 경우 오차가 많이 발생할 수 있다. 일반적으로 wire 도선저항의 영향을 줄이기 위해 그림 7과 같은 3-wire 방식이나, 4-wire 방식 구성을 사용한다.

ATE에서는 2-wire 방식과 3-wire 방식이 UUT 별로 모두 사용된다. 따라서 도선저항을 영향을 최대한 줄이기 위하여 니켈도금 및 테프론 코팅된 표준 RTD용 케이블을 사용하여 RTD 신호 경로를 연결하였다.

TC는 열전효과(thermoelectric effect)를 이용한 온도 측정 도구로 두 가지 금속을 폐회로로 구성하고 양단의 온도차를 다르게 하여 발생한 기전력을 이용하여 온도를 측정하는 방식이다 [10].

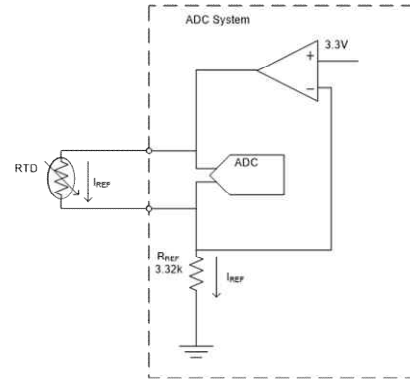


그림 6. 2-Wire 구성방식
 Fig. 6. Configuration of 2-wire.

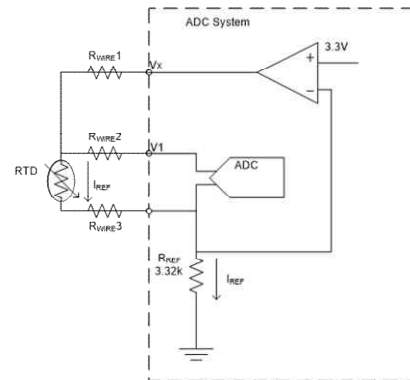


그림 7. 3-Wire 구성방식
 Fig. 7. Configuration of 2-wire.

TC는 RTD 방식보다 오차는 크지만 RTD 측정 온도보다 높은 온도까지 측정이 가능하다는 장점이 있다. ATE는 TC에서 발생하는 기전력인 수mV의 미약한 전압신호를 전달하기 위하여 TC 신호 타입에 맞는 특수한 케이블로 보상케이블을 구성하였다.

아날로그 전압 신호는 가장 보편적으로 사용되는 센서 신호이다. ATE는 -10V ~ +10V 범위의 아날로그 VME용 회로카드를 입출력을 위해 구성하였다.

3-2 고정밀 신호의 연결 및 분배

RTD, TC를 사용하는 UUT 점검을 위해 ATE는 RTD, TC 신호를 생성하여 출력하여야 한다. ATE는 RTD, TC 신호 생성을 위해 Calibrator 장비를 이용하여 온도 센서 신호 모의를 수행한다. ATE의 Calibrator 장비는 FLUKE社의 Precision process Calibrator 7526A 제품을 사용하여 구성하였다.

온도 센서 측정을 위한 UUT는 항공기의 다양한 위치의 온도 신호를 측정해야 하기 때문에 RTD나 TC 신호를 다수의 채널로 입력 받는다. ATE는 각 채널별로 온도 센서를 모의해야 하므로 각 신호별 1개 출력으로 구성된 calibrator 출력 신호를

분배 및 연결하여 제공하여야 한다. 1:N 분배 및 연결을 위하여 ATE는 scanner & switching 모듈을 사용한다.

하지만 scanner & switching 모듈은 PCB 기판에 릴레이가 장착되는 구조이기 때문에 RTD, TC 전용 케이블로 구성이 불가능하다. 이로 인해 RTD, TC의 도선저항에 따른 오차가 커지게 된다. 또한, 아날로그 전압 신호는 필요한 신호의 증폭 및 감폭을 위하여 scanner & switching 모듈에 증폭 및 감폭 회로를 추가하게 되는데 이로 인하여 전압 입력력 전체 범위의 선형성유지가 어렵다.

위와 같은 도선저항 오차 감소 및 아날로그 전압 신호의 선형성 유지를 위하여 본 논문에서는 최소자승법 (Least square method) 방식을 이용한 보정방식을 사용하였다.

3-3 최소자승법을 이용한 보정 방안

ATE의 scanner & switching 모듈을 통과한 RTD, TC 및 아날로그 전압 신호는 최소 구간에서부터 최대 구간까지 도선저항 및 증/감폭 회로로 인해 선형성이 유지되지 않고 불규칙한 오차를 갖는다. 이러한 불규칙한 오차가 최소화 되도록 gain과 offset 값을 근사화하여 고정밀 신호의 오차를 최소화 할 수 있다. 본 논문에서는 gain과 offset 값을 근사화하기 위한 방법으로 최소자승법을 사용한다.

예를 들어 아날로그 전압 신호의 원하는 전압 출력을 위한 입력값을 x라고 하고 입력값을 통해 출력될 전압을 y라고 하면 다수의 입력값과 출력값은 다음 수식과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} y_1 &= Gain \times x_1 + Offset \\ y_2 &= Gain \times x_2 + Offset \\ &\vdots \\ y_n &= Gain \times x_n + Offset \end{aligned} \quad (1)$$

수식 (1)을 행렬식으로 표현하면 수식 (2)와 같다.

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Gain \\ Offset \end{pmatrix} \quad (2)$$

수식 (2)는 수식 (3)과 같은 행렬로 단순화 된다.

$$Y = XA \quad (3)$$

근사화된 gain과 offset 값인 A matrix의 해를 구하기 위해 pseudo inverse를 이용하여 수식 (4)와 같이 계산한다.

$$A = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (4)$$

위와 같이 최소자승법을 이용하여 고정밀 신호의 오차를 최소화 가능한 근사화된 Gain과 Offset 값을 계산할 수 있다.

3-4 최소자승법을 이용한 보정 방안 적용 결과

ATE에서 고정밀 신호는 아래 표 1과 같은 오차 범위를 갖는다. 위와 같은 오차 범위를 만족하기 위해서는 전체 신호 범위 내의 불규칙한 오차가 매우 적어야 한다. 하지만 ATE의 Scanner & Switching 모듈 및 연결 케이블을 통과한 고정밀 신호의 출력값은 대부분 오차범위를 초과하는 값이 측정된다.

표 1. 고정밀 신호 범위 및 오차 범위
Table 1. Range of precision signal.

| Signal type | Signal range | Error range |
|----------------|----------------|-------------|
| RTD | -200°C ~ 600°C | ± 2Ω |
| TC | 0°C ~ 1350°C | ± 1mV |
| Analog Voltage | -11V ~ 11V | ± 0.1V |

표 2. 최소자승법 미적용 시 오차 범위
Table 2. Least squares method not applied error range.

| Number | RTD input value(°C) | Measurement value(Ω) | Expected value(Ω) | Error |
|--------|---------------------|----------------------|-------------------|--------|
| 1 | -200 | 15.231 | 18.520 | 3.289 |
| 2 | -150 | 34.269 | 39.723 | 5.454 |
| 3 | -100 | 64.365 | 60.256 | -4.109 |
| 4 | -50 | 86.236 | 80.306 | -5.930 |
| 5 | 0 | 101.325 | 100.000 | -1.325 |
| 6 | 50 | 124.698 | 119.397 | -5.301 |
| 7 | 100 | 132.698 | 138.505 | 5.807 |
| 8 | 150 | 150.369 | 157.325 | 6.956 |
| 9 | 200 | 179.645 | 175.856 | -3.789 |
| 10 | 250 | 199.878 | 194.098 | -5.780 |
| 11 | 300 | 206.846 | 212.052 | 5.206 |
| 12 | 350 | 224.674 | 229.716 | 5.042 |
| 13 | 400 | 256.374 | 247.092 | -9.282 |
| 14 | 450 | 269.841 | 264.179 | -5.662 |
| 15 | 500 | 275.479 | 280.978 | 5.499 |
| 16 | 550 | 291.476 | 297.487 | 6.011 |
| 17 | 600 | 307.695 | 313.708 | 6.013 |

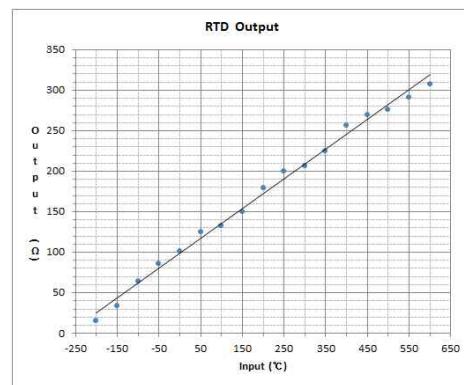


그림 8. 최소자승법 미적용 시 측정값
Fig. 8. Least squares method not applied value.

ATE에서 RTD 특정채널을 측정할 결과는 표 2와 그림 8과 같이 RTD 오차범위인 2Ω을 초과하는 불규칙한 오차를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

위와 같은 오차범위를 벗어나는 신호의 보정을 위해 최소자승법을 적용하여 근사화된 Gain과 Offset을 구할 수 있다. 표 2의 값을 수식 (2)와 같이 정리하면 아래 수식 (5)와 같다.

수식 (5)를 이용하여 수식 (4)와 같이 행렬 A의 값을 계산하면 수식 (6)과 같이 계산된다.

$$\begin{pmatrix} \text{측정값}_1 \\ \vdots \\ \text{측정값}_{17} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{기댓값}_1 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ \text{기댓값}_{17} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Gain} \\ \text{Offset} \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} \text{Gain} \\ \text{Offset} \end{pmatrix} = \left(\begin{pmatrix} x_1 \cdots x_{17} \\ 1 \cdots 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_{17} & 1 \end{pmatrix} \right)^{-1} \begin{pmatrix} x_1 \cdots x_{17} \\ 1 \cdots 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{17} \end{pmatrix} \quad (6)$$

표 3. 최소자승법 적용 시 오차 범위
Table 3. Least squares method applied error range.

| Number | RTD input value(°C) | Measurement value(Ω) | Expected value(Ω) | Error |
|--------|---------------------|----------------------|-------------------|--------|
| 1 | -200 | 17.815 | 18.520 | 0.705 |
| 2 | -150 | 37.976 | 39.723 | 1.747 |
| 3 | -100 | 61.524 | 60.256 | -1.268 |
| 4 | -50 | 82.125 | 80.306 | -1.819 |
| 5 | 0 | 100.458 | 100.000 | -0.458 |
| 6 | 50 | 120.477 | 119.397 | -1.080 |
| 7 | 100 | 136.875 | 138.505 | 1.630 |
| 8 | 150 | 155.925 | 157.325 | 1.400 |
| 9 | 200 | 176.561 | 175.856 | -0.705 |
| 10 | 250 | 195.746 | 194.098 | -1.648 |
| 11 | 300 | 213.364 | 212.052 | -1.312 |
| 12 | 350 | 227.948 | 229.716 | 1.768 |
| 13 | 400 | 248.156 | 247.092 | -1.064 |
| 14 | 450 | 265.746 | 264.179 | -1.567 |
| 15 | 500 | 279.648 | 280.978 | 1.330 |
| 16 | 550 | 296.916 | 297.487 | 0.571 |
| 17 | 600 | 313.968 | 313.708 | -0.260 |

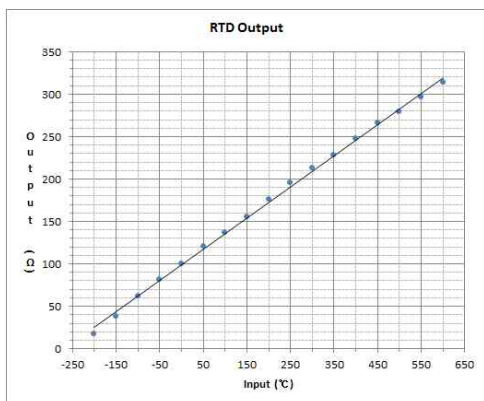


그림 9. 최소자승법 적용 측정값
Fig. 9. Least squares method applied value.

수식 (6)으로 계산된 Gain은 1.0049과 Offset은 -0.3712이다. 계산된 Gain과 Offset을 적용하여 ATE에서 재 측정할 결과는 아래 표 3과 그림 9와 같다. 아래 결과 통하여 계산된 Gain과 Offset 적용으로 오차 범위를 벗어나는 불규칙한 오차를 원하는 오차 범위 내로 줄일 수 있음을 확인하였다.

위 RTD 신호와 같이 TC 신호 및 아날로그 전압 신호도 전체 신호 범위 내에서 오차 범위를 벗어나는 신호들을 최소자승법을 이용한 보정방법을 적용하여 전체 신호 범위 내 오차 범위 내로 보정이 가능함을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 다수의 비행체 탑재장비의 통합형 자동점검 장비에 적용 가능한 신뢰성 높은 신호 보정 방법을 제시하였다. 비행체 자동점검장비에서 사용되는 고정밀 신호들은 매우 작은 오차범위로 동작하여야 하며 이는 케이블 구성, 회로구성 및 장비 선정 등 설계 시 내부 구성에 많은 제약을 가져오게 된다. 이러한 고정밀 신호의 작은 오차범위로 인한 제약은 본 논문에서 기술한 보정방법으로 해결 가능하며 이는 자동점검장비 설계에 다양한 유연성을 부여하고 시험 정확도를 향상시킬 수 있을 것이라 기대한다.

References

- [1] D. H. Cho, C. Y. S. Lim, Y. S. Yoon, and S. J. Kang, "The study on standardization and re-use for ATE design in production phase," in *The Institute of Electronics Engineers of KOREA Symposium*, Busan: Korea, pp. 1062-1065, Jun. 2017.
- [2] Y. H. Yoon, K. Y. Ku, J. J. Keum, U. H. Hwang, and S. Woo, "The study on improvement of ATE reliability in production phase," *The Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control*, Vol. 47, No. 6, pp. 19-26, Nov. 2010.
- [3] H. J. Avil, "Are today's avionic system maintenance liabilities?" *IEEE Transactions on Aerospace*, Vol. 1, Issue 2, pp. 181-186, Aug. 1963.
- [4] T. D. McGee, *Principles and Methods of Temperature Measurement*, New York, NY: Wiley, 1988.
- [5] T. Shafer, "An automated system for testing an avionics radio," in *Microwave Measurement Conference*, Seattle: WH, June. 2013.
- [6] F. C. McKinzie, "Achieving greater automation in fibre channel test equipment for parametric and ASM protocol analysis and testing [military avionics]," in *AUTOTESTCON 2003. IEEE Systems Readiness Technology Conference*,

Anaheim: CA, Sept. 2003.

[7] J. Moreira and H. Werkmann, *An Engineer's Guide to Automated Testing of High-Speed Interfaces*, 2nd ed. Boston, MA: Artech House, 2015.

[8] L. B. Hunt, "The origin of the platinum resistance thermometer," *Platinum Metals Revision*, Vol. 24, No. 3, pp. 104-112, July 1980.

[9] G. F. Strouse, Standard Platinum Resistance Thermometer

Calibration form thr Ar TP to the Ag FP, National Institute for Standards and Technology, Gaithersburg: MD, Special Publication 250-81, 2008.

[10] Dean C. Ripple, G W. Burns, Standard reference material 1749: Au/Pt thermocouple thermometer, National Institute for Standards and Technology, Gaithersburg: MD, Special Publication 260-134, 2002.



이 성 우 (Seong-woo Lee)

2001년 02월 : 경희대학교 전자공학과 (공학사)
 2015년 03월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과
 2001년 01월 ~ 현재 : LIG넥스원 항공연구소 수석연구원
 ※ 관심분야 : 항공전자, 임베디드 컴퓨터 하드웨어



김 동 혁 (Dong-hyok Kim)

2007년 02월 : 충남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2008년 01월 ~ 2011년 1월 : SK텔레시스 선임연구원
 2011년 01월 ~ 현재 : LIG넥스원 항공연구소 선임연구원
 ※ 관심분야 : 항공전자, 시스템 하드웨어



김 성 우 (Seong-woo Kim)

2002년 08월 : 부산대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2002년 10월 ~ 현재 : LIG넥스원 항공연구소 수석연구원
 ※ 관심분야 : 실시간 시뮬레이션 기법 및 시험환경 응용개발



서 민 기 (Min-gi Seo)

2012년 02월 : 한국항공대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
 2011년 10월 ~ 현재 : LIG넥스원 항공연구소 선임연구원
 ※ 관심분야 : 항공전자, 내장형 소프트웨어



이 철 훈 (Cheol-hoon Lee)

1983년 02월 : 서울대학교 전자공학과 전자공학 (공학사)
 1988년 02월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 컴퓨터공학전공 (공학석사)
 1992년 02월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 컴퓨터공학전공 (공학박사)
 1992년 03월 ~ 1994년 2월 : 삼성전자 개발실 선임연구원,
 1994년 02월 ~ 1995년 2월 : Univ. of Michigan 객원연구원
 1995년 02월 ~ 현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수
 ※ 관심분야 : 실시간 시스템, 운영체제, Fault-Tolerant System