

NI-ELVIS를 활용한 센서계측공학의 실습교육 사례

Application of practical education program of sensor instrumentation engineering using NI-ELVIS

이 병렬*, 이 용희*

Byeung-Leul Lee*, Yong-Hee Lee*

요 약

본 논문에서는 센서공학분야의 실습교육에 NI-ELVIS(National Instrument Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite)를 활용하는 방안을 제시하였다. ELVIS는 LabView 기반의 계측시스템 설계와 프로토타이핑 환경을 제공하는 개발 플랫폼을 지칭한다. ELVIS는 가상 계측장치와 다기능 데이터 수집 장치(DAQ) 및 벤치탑 워크스테이션, 프로토타이핑보드 등으로 구성되어 있기 때문에 사용자가 의도하는 다양한 형태의 계측시스템을 PC에서 소프트웨어적으로 구성할 수 있다. 따라서 고가의 계측 장비를 이용하지 않고도 전기전자 분야의 효과적인 실험 실습 교육을 진행할 수 있다는 장점이 있다. 특히 센서계측공학의 경우 센서 기술, 전기전자공학, 신호처리, 데이터 분석 등 다양한 분야가 혼합된 영역임에도 복잡한 실험 장치에 의존하지 않아도 실습교육에 활용이 가능하다. 본 논문에서 제시한 계측공학 실습교육에서의 적용 외에도 전기전자 실험이 필요한 다양한 교과목에 높은 학습효과를 기대할 수 있다.

Key Words : Instrument engineering, Virtual instrument, LabView, Sensor interface

ABSTRACT

In this paper we suggest an effective teaching plan for measurement engineering by utilizing the NI-ELVIS(National Instrument Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite). ELVIS is a development platform for LabVIEW-based design and prototyping environment. It consists of LabVIEW-based virtual instruments, a multifunctional data acquisition device, and a custom-designed benchtop workstation and prototyping board. Therefore it can replace the expensive instruments for the effective education in the area of electrical engineering. This platform can be applicable for the sensor instrumentation engineering study, though it is a multidisciplinary learning including electrical engineering, sensor technology, signal processing and data analysis. We hope this approach can be used for the other educational area related the electrical experimental education.

* 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 (bilee@kut.ac.kr)

제1저자 (First Author) : 이병렬

교신저자 : 이병렬

접수일자 : 2011년 5월 11일

수정일자 : 2011년 6월 08일

확정일자 : 2011년 6월 18일

I. 서론

현대 사회에 사용하는 대부분의 기기에서 제어와 계측을 사용하지 않는 것을 찾기 힘들 정도이다. 특히 마이크로컨트롤러의 활용이 보편화 되면서 시스템의 유연성과 제어력은 큰 폭으로 커졌는데 이들을 통칭해서 제어계측 시스템 혹은 메카트로닉스 시스템이라고 한다[1].

이러한 메카트로닉스 장치의 핵심적인 부분이 계측 시스템이다. 계측 시스템은 일반적으로 트랜스듀서, 신호처리부, 출력장치, 제어제어부 등의 일부 혹은 전체로 구성된다. 트랜스듀서는 물리적 현상을 이용하여 측정해야 할 변수를 감지하는 요소인 센서와 이로부터 감지된 정보를 쉽게 정량화 할 수 있는 형태로 변환하는 역할을 한다[2]. 신호처리부는 변환기 신호의 증폭이나 필터링을 통한 잡음의 부분적 제거 등을 통해 의미 있는 출력을 결정하는 데 도움을 주기 위한 것이다. 출력장치는 계측된 수치를 표시하거나 기록하는 도구이며 일반적으로 기록 장치와 연결되어 온라인 모니터링이나 지속적인 처리를 위해 센서 데이터를 유지하는 데 사용된다. 마지막으로 제어제어부는 센서 동작의 비이상성을 보완하기 위한 역할로 대표적으로 교정 과정이 여기에 포함된다[3].

이처럼 계측공학이란 센서기술과 신호처리 및 데이터 분석을 포함하는 다학제적 학문 영역으로 이론 수업과 실험실습이 잘 조화되어야만 효과적인 교육이 진행될 수 있다. 본 논문에서는 센서계측공학의 학습에 필요한 실험실습 교육에 LabView 기반의 가상계측환경을 제공하는 개발 플랫폼인 NI-ELVIS 활용 방안을 제시하고자 한다.

II. NI-ELVIS 개요

NI-ELVIS(educational laboratory virtual instrumentation suit)는 가상계측기 모음이라는 의미로 NI(National Instrument)사에서 개발한 프로그래밍 언어인 LabView를 기반으로 한 가상계측 시스템 설계와 하드웨어 프로토타입 환경을 제공하는 개발 플랫폼을 지칭한다. 여기서 가상계측기란 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어 기술을 결합하여 다양한 계측기능을 소프트웨어적으로 구현하는 것을 의미한다. 즉 예전에는 간단한 전자회로 실습을 위해서 전원 공급장치, 오실로스코프, 신호발생기 등 다수의 계측장비가 필요했는데, ELVIS를 이용하면 이러한 다수

의 계측 장비 없이 PC와 연결하여 직접 회로를 구성하고 실험 실습을 진행하는 것이 가능하다. 이처럼 NI-ELVIS는 LabView 기반의 가상 계측장치와 다기능 데이터 수집장치(DAQ) 및 벤치탑 워크스테이션, 프로토타이핑보드 등으로 구성되어 있기 때문에 사용자가 의도하는 다양한 형태의 계측장비를 구성할 수 있다. 특히 기본적으로 제공되는 LabView 기반의 가상계측기가 있기 때문에 대부분의 전기전자 실험을 진행하는 데 무리 없이 사용할 수 있다.



그림 1. NI-ELVIS 워크벤치
Fig. 1. NI-ELVIS workbench

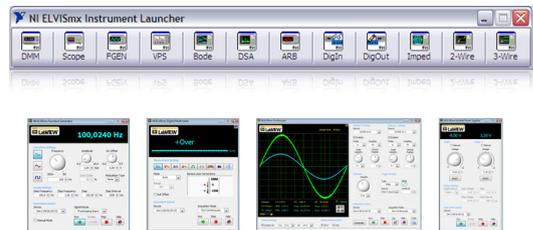


그림 2. NI-ELVIS에서 제공하는 가상계측기
Fig. 2. NI-ELVIS virtual instruments

또한 NI-ELVIS는 전기전자 교육 분야의 표준으로 자리잡은 EDA 소프트웨어인 MultiSim을 포함하고 있기 때문에 회로 설계와 시뮬레이션, 결과 분석 그리고 PCB 설계까지 일괄적으로 진행할 수 있다. NI-ELVIS와 MultiSim을 활용한 전기전자 분야의 설계 흐름은 다음과 같다[4].

- MultiSim을 이용한 회로 설계 및 시뮬레이션
- 3D 브레드보드 환경에서 가상 프로토타이핑
- 실제회로를 구성하고 ELVIS로 계측
- 시뮬레이션과 실제 계측데이터 비교
- LabView를 이용한 사용자 정의 및 복잡한 데이터 분석 진행

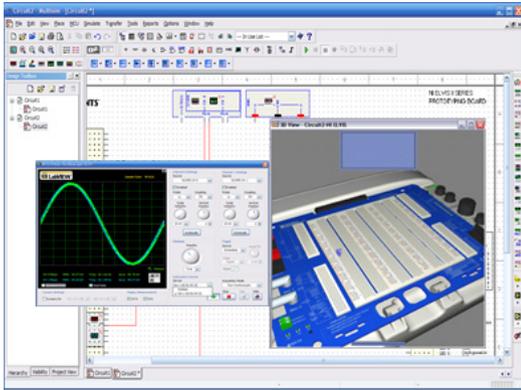


그림 3. NI-ELVIS와 MultiSim 활용예
Fig. 3. MultiSim with NI-ELVIS application example

III. 센서계측공학 실습교육 설계

서론에서 설명한 바와 같이 계측 시스템은 트랜스 듀서, 신호처리부, 출력장치, 궤환제어부 등의 일부 혹은 전체로 구성되므로 각각에 대한 이론과 실습교육이 필요하다. 먼저 센서기술에 대해서는 센서 성능지표에 대한 이해와 센서 분류 그리고 각 종류별 센서 특성에 대한 학습이 요구된다. 센서의 분류 체계는 다양하게 존재하지만 산업 현장에서의 활용 측면을 고려하여 용도별로 분류해서 진행하는 것이 효과적이다. 표1은 이론 교육과 실습교육에서 다루야 할 센서를 분류한 예이다.

표 1. 센서 분류 체계
Table 1. Sensor classification

| 측정 용도 | 센서 종류 | |
|-------|---------|---------------------|
| 변위 | 저항형 | 직선형, 회전형 |
| | 용량형 | 면적형, 간극형, 절연체형 |
| | 유도형 | LDT, LVDT, resolver |
| | 광학형 | 증가형, 절대형 |
| 힘 | 스트레인게이지 | 박막형, 압저항형 |
| | 압력센서 | 용량형, 압저항형 |
| | 가속도센서 | 용량형, 압저항형 |
| 온도 | RTD | 금속 열저항형 |
| | 써미스터 | NTC, PTC |
| | 열전형 | 열전쌍, 써모파일 |
| | 용량형 | 극저온용 |
| | IC형 | |
| | 방사형 | |
| 광 | 광도전형 | LDR |
| | 광다이오드 | PN 접합 다이오드 |
| | 광트랜지스터 | |
| 자기장 | 자기저항형 | OMR, GMR, TMR |
| | 홀센서 | 비례형, 스위치형 |

궤환 제어부는 센서 측정 결과로부터 계측시스템의 교정이나 보정을 하기위한 부분으로 센서 신호에 대한 데이터 분석이 요구된다. 센서 신호는 결정형 외에 통계적 신호도 포함하고 있으므로 Excel이나 MiniTab과 같은 통계 소프트웨어를 활용하는 실습이 필요하다. 특히 계측시스템의 정밀도나 재현성, 반복성, 신뢰도 그리고 측정시스템의 Gage R&R 등 방대한 데이터를 다루는 과정에서 전용 패키지의 활용이 효과적이다.

신호 처리부는 아날로그 혹은 디지털 필터를 포함하는 인터페이스 회로설계가 필요한 부분이므로 NI-ELVIS와 MultiSim으로 실습을 진행할 수 있다. 또한 계측 출력 데이터를 저장하고 이를 모니터링하는 기능을 구현하기 위해선 LabView 기반의 가상계측환경을 사용하는 것이 유리하다. 이를 위해 LabView와 NI-ELVIS에 대한 별도의 사용법 교육이 필요하다.

결국 계측공학 실습교육을 위해선 MiniTab, MultiSim, LabView, NI-ELVIS 등이 교육생 입장에서 새로이 도입되는 것이므로 이에 대한 사용법 교육이 필수적이다. 그러나 이 부분에 대한 교육을 강화하면 본질적인 센서계측에 대한 실습이 부실해질 우려가 있다. 따라서 전체 실습교육 일정의 30% 정도를 사용법 교육에 할당하고 나머지는 구체적인 센서 계측 실습을 통해 학습하도록 하는 것이 효과적이라고 판단된다. 따라서 센서계측 실습은 이러한 내용을 모두 포함하는 구체적인 사례를 이용한 교안 설계가 가장 중요한 부분이다.

IV. 센서계측공학 실습 교안

계측공학 교육에서 센서를 이용한 실습은 학습자가 센서 신호처리부를 직접 구성하여 계측 데이터를 수집하는 것을 주 내용으로 진행하였다. 특히 LabView 기반의 가상계측환경을 활용하여 사용자 정의를 통해 새로운 기능을 구현할 수 있는 부분을 포함시켜 학습자에게 동기부여와 흥미를 잃지 않도록 하였다. 센서계측 실습은 다양한 실습 내용을 구성할 수 있는데 여기서는 대표적인 몇 가지 실습 교안을 소개한다.

1. 변형률 계측 실습

박막형 스트레인게이지를 이용하면 변형률에 비례하는 저항변화를 얻을 수 있으므로 브릿지 회로를 통해 전압변화로 측정할 수 있다. 그러나 스트레인게

이지 자체의 감도가 낮고 또한 측정하고자 하는 변형률도 매우 작은 값이기 때문에 차동 증폭단을 구성하여 측정하도록 진행하였다. 차동 증폭단에 대한 설계와 시뮬레이션은 MultiSim 환경에서 동시에 진행할 수 있다.

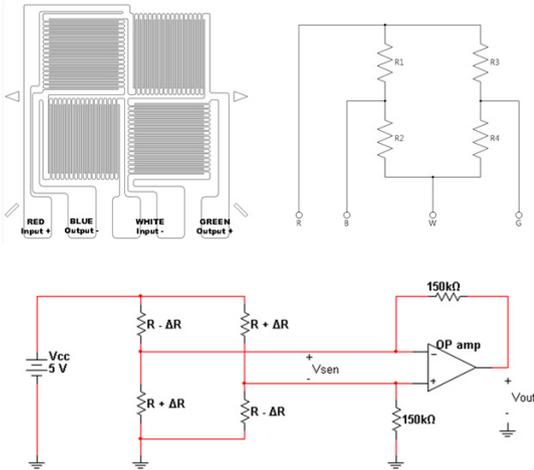


그림 4. 풀 브릿지 스트레인게이지 차동 증폭 회로
Fig. 4. Full bridge strain gauge differential amplifier circuit

박막형 스트레인 게이지의 구조 자체는 매우 간단하지만, 이를 측정 대상에 잘 부착하는 것이 실제적으로 매우 중요하다. 이는 박막형 스트레인 게이지와 측정 대상 사이에 위치하는 접착제의 특성과 접합 위치의 정렬 정도에 따라 센서 출력에 차이가 생길 수 있기 때문이다. 따라서 산업 현장이나 정밀 측정 용도에는 스트레인 게이지 전용 접착제를 사용해야 한다. 그러나 실습교육을 위한 간이 실험에서 순간 접착제를 사용해도 단기 측정에 큰 차이는 발생하지 않는다. 아래는 박막형 스트레인게이지를 로드셀(load cell)에 부착하는 과정을 설명한 것이다.

- 스트레인게이지를 붙일 로드셀 표면을 사포로 거칠게 처리
- 부착할 위치를 정해서 연필로 표시
- 투명 테이프를 잘라서 부착 위치에 임시로 접합한 다음 게이지를 테이프의 하부에 부착
- 테이프의 한 쪽을 떼서 들어 올리고 스트레인 게이지의 하부에 접착제를 균일하게 도포
- 다시 테이프를 덮고 면봉으로 문질러서 균일하게 부착(약 30초 소요)
- 연결 PCB(printed circuit board)를 게이지에서 약

1cm 떨어진 위치에 부착

- 휘스톤브릿지가 구성될 수 있도록 인두기로 게이지 연결선을 연결 PCB를 납땜하고, 다시 연결 PCB에서 외부 결선부로 연결
- IPA나 아세톤(acetone)을 면봉에 묻혀서 솔더 플럭스(soldering flux)를 제거하면 완료.

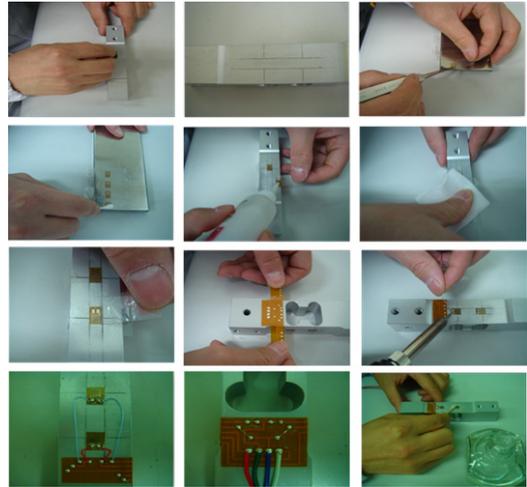


그림 5. 스트레인게이지 부착 공정
Fig. 5. Strain gauge attach process

이 실습을 통해 스트레인게이지의 계측 원리를 이해한 학생들에게 비어있는 알루미늄 캔의 고유진동수를 측정하는 과제를 부여하였다. 고유진동수는 외부에서 충격을 가하고 이때 발생하는 감쇄진동신호의 주파수를 계측하면 된다. 아래는 NI-ELVIS를 이용하여 학습자들이 측정한 결과를 보인 것이다.

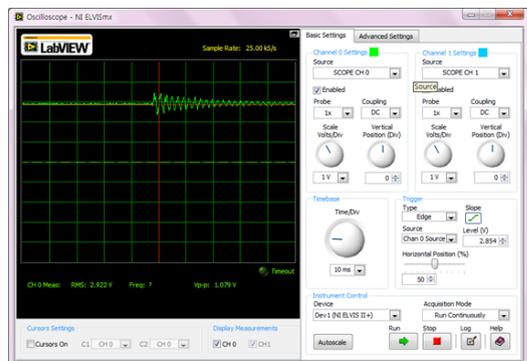


그림 6. 고유진동 특성 관측 결과
Fig. 6. Resonant characteristic measurement result

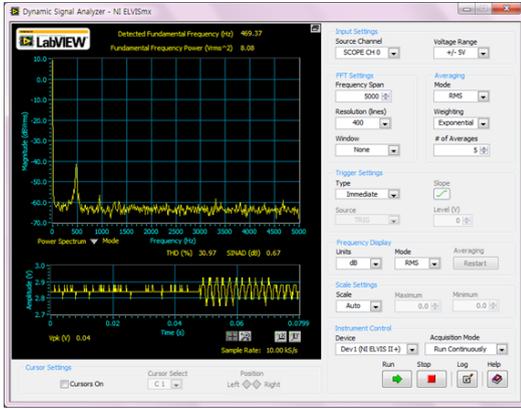


그림 7. 고유 진동수 측정 결과
Fig. 7. Resonant frequency measurement result

2. 광센서 계측 실습

광센서를 이용한 실습에서는 먼저 적외선 LED(infra-red emitting diode, IRED)의 문턱전압을 실험적으로 확인하고 이를 광 트랜지스터로 검출하는 실습을 진행하였다. IRED는 가시광이 아니라서 육안으로는 확인할 수 없기 때문에 일반적인 LED를 이용하여 인가전압에 따른 다이오드 특성을 먼저 확인한 다음 측정을 진행하도록 유도하였다.

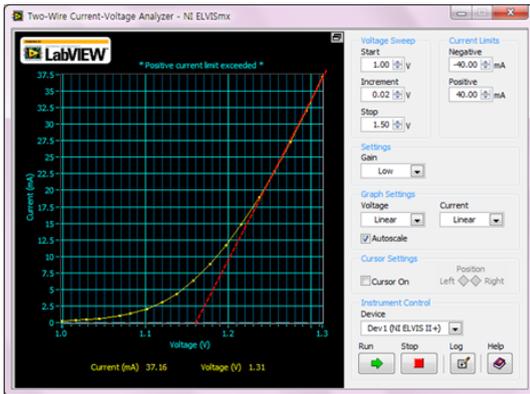


그림 8. IRED 문턱전압 계측
Fig. 8. IRED threshold voltage measurement

광 트랜지스터의 경우 빛의 세기에 따라 출력전류가 달라지는데 이에 대한 실습이 용이하지 않기 때문에 일반적인 트랜지스터의 전압-전류 곡선을 관측하는 방법으로 동작을 이해하도록 진행하였다. 이를 기초로 하여 IRED의 출력을 광 트랜지스터에서 검출하는 회로를 구성하고 빛의 세기에 따라 출력의 변화를 관측하는 실습을 함으로서 학습자들이 광신

호의 송수신에 관한 기본적인 원리를 이해하도록 하였다.

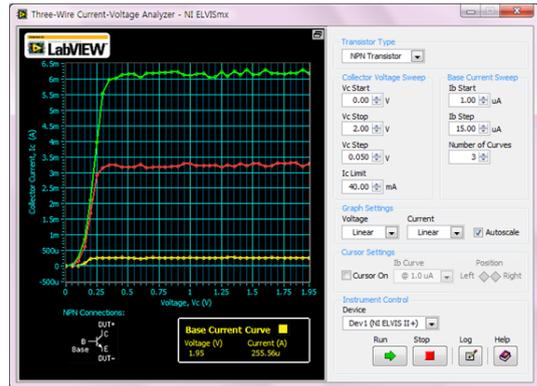


그림 9. 트랜지스터의 전압전류 특성 계측
Fig. 9. Transistor I-V characteristics

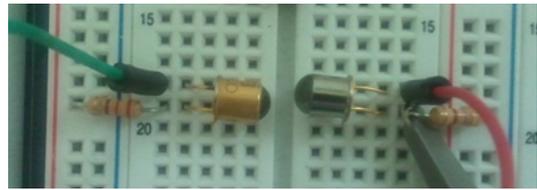


그림 10. IRED와 포토트랜지스터의 동작 실험
Fig. 10. IRED and photo transistor experiment

IRED와 광 트랜지스터를 이용한 실습 내용이 포토인터럽터(photo-interrupter)의 측정 원리와 동일하므로 수강생에게 모터의 회전 속도를 계측하는 과제를 부여하였다. 이는 모터 회전에 따라 발광부와 수광부 사이에 광 경로를 부분적으로 차단하는 구조를 구현하면 되므로 슬릿이 있는 원판을 회전축에 부착하여 빛을 단속할 수 있도록 구성하면 된다. 즉 IRED가 연속적으로 광을 출력하는 상태에서 슬릿을 통과할 때만 포토트랜지스터에 전류가 흐르므로 이를 디지털 신호로 변환하여 펄스를 계수 처리하면 된다.

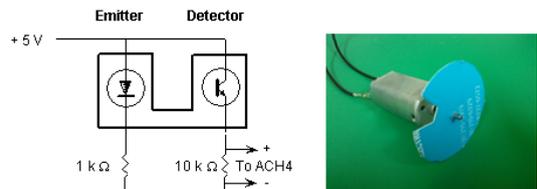


그림 11. 회전수 검출을 위한 포토 인터럽터 결선
Fig. 11. Photo-interrupt interconnection for RPM measurement

실습과제에서 포토 인터럽터의 출력 펄스를 계수 처리하여 rpm으로 변환하고 이를 게이지에 표시하는 기능을 LabView 프로그램으로 구현하도록 하였다. 아래는 학습자들이 측정한 결과를 보인 것이다.

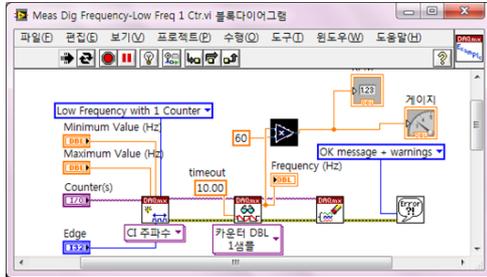


그림 12. 회전속도 측정을 위한 가상 계측장치 구성
Fig. 12. Virtual instrument for RPM measurement

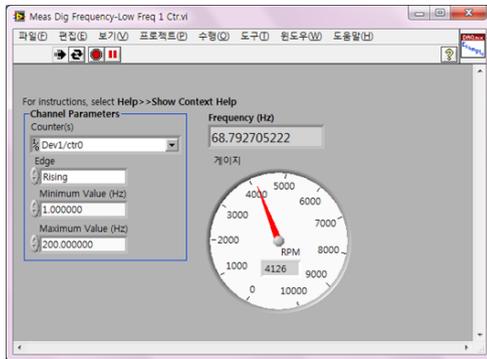


그림 13. 회전 속도 계측 결과
Fig. 13. RPM measurement result

3. 경사도 계측 실습

3축 가속도센서를 이용하면 충격이나 낙하를 검출하는 외에 경사각도 검출할 수 있다. 이를 위해 아날로그 방식의 3축 가속도 센서를 이용하여 출력 신호를 수집한 다음 연산 처리하여 롤링(rolling)각과 피치(pitch)각을 측정하는 실습을 구성하였다.

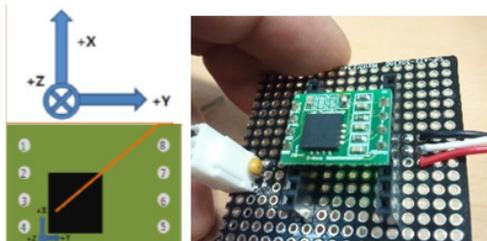


그림 14. 가속도계를 이용한 경사각 검출
Fig. 14. Tilt angle measurement using accelerometer

가속도 센서마다 오프셋(V_{offset})과 감도(S)가 조금씩 차이가 있기 때문에 이를 측정해서 보정하고 연산을 통해 각도를 검출하는 기능을 LabView로 프로그래밍 하도록 하였다. 가속도 센서 출력(A)으로부터 경사도를 계산하는 과정은 아래와 같다.

$$V_{out_x} = V_{offset} + S \times \sin\theta \quad (1)$$

$$A_x = \frac{V_{out_x} - V_{offset}}{S} \quad (2)$$

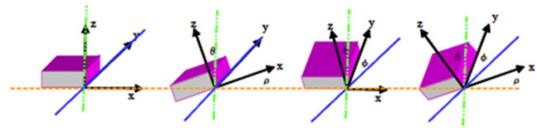


그림 15. 경사각 계산
Fig. 15. Tilt angle computation

$$\rho = \tan^{-1} \left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}} \right) \quad (3)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{A_x}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}} \right) \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{A_x} \right) \quad (5)$$

아래는 수강생이 진행한 경사각 측정을 위한 가상계측장치의 구성과 측정 결과를 보인 것이다.

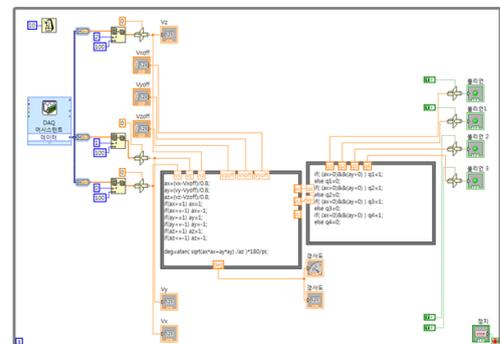


그림 16. 경사도 측정을 위한 가상 계측장치 구성
Fig. 16. Virtual instrument for tilt angle measurement



그림 17. 경사도 계측 결과
Fig. 17. Tilt angle measurement result

4. 기타 센서 계측 실습

앞에서 제시한 3가지 외에 써미스터(thermistor)나 열전쌍(thermocouple)을 이용한 온도 측정이나 홀 센서를 이용한 자계 측정 등의 계측공학 실습을 진행했으며 이외 다양한 내용으로 구성이 가능하다.

V. 반응도 평가

본 논문에서 제시한 실습 교안을 이용하여 학부 전공과목인 센서계측공학 실습에 적용하였다. 실습은 총 44명의 학부생을 대상으로 진행했으며, 학기말에 설문 조사를 통하여 다음 5가지 항목에 대해 반응도를 조사하였다.

- 학과목 이수 전반적인 만족도 수준
- 수강 후 센서계측분야에 대한 관심도
- 실습에 사용한 기자재에 대한 만족도
- 실습 교육 방법에 대한 만족도
- 실습 교육에 대한 이해 수준

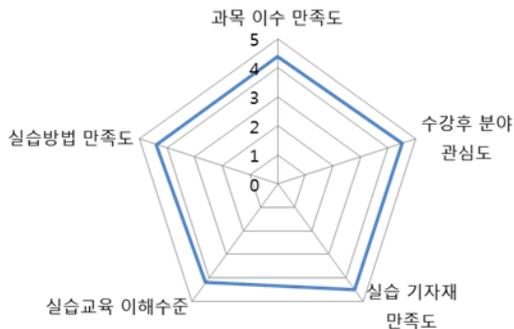


그림 18. 반응도 평가
Fig. 18. Evaluation of response

그림 18은 각 항목별 설문조사한 결과를 5점 만점으로 계량화한 결과를 레이더 차트로 나타낸 것이다. 조사에 응한 학생 대다수는 제시한 실습 교육안에 대해 높은 만족도를 가지고 있는 것으로 나타났다. 특히 기존에 접해보지 못한 가상계측 환경과 소프트웨어에 대한 관심과 학습 의욕이 높았다는 의견이 많았다. 일부 소수 의견으로 실습 내용이 많고 진도가 빨라 어려웠다는 의견과, 좀 더 다양한 실습 내용이 필요하다는 상충된 소견이 있었는데 이에 대해선 지속적인 개선 작업이 이루어져야 할 것이다.

VI. 결론

본 논문에서는 센서계측공학의 교육에 활용할 수 있는 실습 과정을 제시하였으며 이를 교과에 실제 적용한 결과 수강생들의 교육 만족도도 높게 확인되었다. 특히 C 언어에 익숙한 학생들에게 LabView 기반의 프로그래밍은 비교적 용이하게 활용이 가능하였고 산업 표준으로 사용되는 소프트웨어인 만큼 학습하고자 하는 의욕도 높게 나타났다. 신설 교과목인 관계로 다양한 실습 과정을 시도했으나 시간 운용 측면에서 효과적인 실습 교육 항목의 추가적인 개발은 지속적으로 보완해야 할 부분이다.

감사의 글

이 논문은 한국기술교육대학교 교육 연구 진흥비 지원에 의해 연구되었으며 관계자분들께 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Thomas G. Beckwith, Roy D. Marangoni, John H. Lienhard V, "Mechanical Measurement", Prentice Hall, 2007.
- [2] Richard S. Figliola, Donald E. Beasley, "Theory and Design for Mechanical Measurement", Wiley, 2006.
- [3] David G. Alciatore, Michael B. Histand, "Mechatronics and Measurement System," McGraw Hill, 20087.
- [4] 박영하, 최병상, 양진영, "Understanding ELVIS," 인피니티 북스, 2010

이 병 렬 (Byeung-Leul Lee) 종신회원



1989년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)

1991년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)

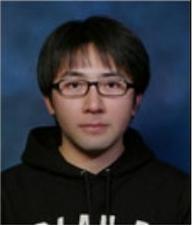
2004년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 (공학 박사)

1991년 2월 ~ 2008년 2월 : 삼성전자 종합기술원 수석 연구원

2008년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스 공학부 조교수

<관심분야> 반도체 센서, MEMS, Micro system

이 용 희 (Yong-Hee Lee) 정회원



1996년 3월~현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스 공학부 학부생