

# 진동공학 교육장비 개발 및 적용

## Development and Application of Educational Equipment for Vibration Engineering

임 경 화\*, 양 손\*\*

Kyung-Hwa Rim\*, Xun Yang\*\*

### 요 약

공학교육을 위한 실습장비가 다양하지 못함에 따라 특정 실습을 위해서 맞춤형 교육용 장비 개발이 절실한 경우가 많다. 특히 전공심층과목인 진동공학에 관련된 교육장비는 국내의 부족한 실정이다. 이에 따라 실제 현장에서 발생하는 진동현상을 구현하면서, 진동공학의 이론교육과 실습을 위한 교육용 장비들을 개발할 필요가 있다. 본 논문에서는 학부생 졸업연구작품 과제를 통해서 개발된 임계속도 측정용 회전체 교육장비, 밸런싱 머신 교육장비, 자석을 이용한 흡진기 교육장비 및 능동진동제어 교육장비를 각각 소개하고, 수업시간을 통해서 교육장비들의 활용성 및 실용성을 검증하였다. 또한 미래 교육장비의 개발 및 적용에 대한 개선안도 제안하였다.

**Key Words** : Educational Equipment, Vibration Engineering, Vibration Isolation, Development and Application

### ABSTRACT

Due to the less variety of experiment equipments for engineering education, the development of designated educational equipment is really in urgent need at most time. Especially for the in-depth engineering major subject, vibration engineering, there are almost no related educational equipments in Korea. Accordingly, in order to simulate the vibration phenomena occurred in the actual field, the development of educational equipment for vibration engineering theory and experiment education is required. This paper introduces four development educational equipments developed in graduated research works, which are critical speed test educational equipment, balancing machine educational equipment, isolation educational equipment using eddy current and active vibration isolation educational equipment. Through using them in experiment lesson, the utilization and practicality of educational equipment are verified. The proposed improvement for future development and application of educational equipment is shown in addition.

### I. 서 론

국내 대학의 근대공학 교육이 시작된 지도 60여년이 지남에 따라 진동공학 과목을 교육시키는 대학교가 상당수에 이르게 되었다. 1995년부터 센서 교육용 장비의 필요성을 인식해서 KAIST와 센서기술연구

센터를 중심으로 기술 개발이 진행되었고 교육용 장비제작회사에서 실험실습용 개발 시제품을 제작을 시작하였다<sup>[1]</sup>. 그 후에 센서뿐만 아니라 기본전공 관련 교육장비 개발 및 적용의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 심지어 교육장비를 개발하고 제공하기 위해 다양한 장비기술교육센터가 발족되었다. 그러

\* 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수 (rim@kut.ac.kr)

\*\* 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 박사과정 (delia@kut.ac.kr)

제1저자 (First Author) : 임경화

교신저자 : 임경화

접수일자 : 2009년 11월 20일

수정일자 : 2009년 12월 21일

나 진동공학과 같이 심층전공과목 관련 교육용 장비 개발은 시장여건으로 인해 활성화 되지 못한 면이 있다.

진동 분야의 초기 학자들은 자연 현상을 이해하기 위한 수학적 이론 전개에 노력을 집중했다. 최근에는 많은 진동관련 연구들이 진동의 공학적 응용이라는 관점에 집중되고 있어서, 기계플랜트, 자동차 엔진, 자동제어 시스템 등의 설계에 많이 활용되고 있다. 그러나 진동공학은 역학과목 중에는 이해하기 힘든 교과목이기 때문에 진동 현상에 대하여 이론의 실제적인 구상화와 이해를 돕기 위하여 진동공학 관련 교육장비 개발은 매우 필요한 상황이다.

본 논문에서 졸업연구작품을 통해서 개발된 진동 교육관련 실험 장비를 개발하고 적용의 효과를 확인하고자 한다. 임계속도 측정용 회전체 교육장비, 밸런싱 머신 교육장비, 자석을 이용한 흡진기 교육장비 및 능동진동제어 교육장비가 각각 소개하고 개발 과정 및 적용범위를 제시한다. 마지막으로 설문조사를 통해서 교육용 장비 적용의 만족도를 분석하고 개발의 개선 방법을 제안한다.

## II. 교육장비 소개

진동은 시간에 따라 주기적으로 에너지변환이 생 기면서 물체가 반복적으로 움직이는 현상을 지칭한다. 외부 가진력의 진동수가 기계나 구조물의 고유 진동수와 일치할 때마다, 공진(Resonance)이라는 현상이 일어나는데, 이로 인해 과도한 변형과 파괴가 일어난다<sup>[2]</sup>. 개발된 임계속도 측정용 회전체 교육 장비는 회전속도에 따라 회전체의 진동현상을 보여 주고 공진 일어날 때의 임계속도(Critical Speed)를 파악할 수 있을 뿐만 아니라 급격한 회전속도의 변화로 불안정한 현상을 피할 수 있는 장비이다<sup>[3]</sup>.

진동을 저감하는 방법으로 진동원 제거 또는 감소와 전달경로의 최적화 두 방법으로 나눌 수 있다. 진동원 제거 또는 감소 방법이 진동을 저감하는데 제일 효과적이지만 시스템의 주요 기능과 관련된 것이므로 적용하기가 쉽지 않다. 개발된 밸런싱 머신 교육장비는 회전체의 불평형 제거를 통한 진동을 저감 하는 장비이다<sup>[4]</sup>.

외란에 의한 구조물의 진동을 줄이는 방법에는 다음과 같이 수동제어와 능동제어로 크게 구분된다. 방진재(Vibration Isolator), 흡진기(Absorber) 등을 이용하는 수동제어는 방진재를 시스템의 최적위치에 설치하여 진동을 줄이는 것으로 구성이 간편하고 외

부의 진원을 요구하지 않는다는 장점이 있다. 하지만 설계상의 정확도가 요구되고, 특정한 주파수 범위에서만 효과가 크며, 구조물의 동적특성이 변하는 경우에는 효과가 떨어진다는 단점이 있다. 이에 비해 능동제어는 장비 구조가 수동제어보다 복잡하지만 센서와 구동기 그리고 컨트롤러를 이용하여 시스템을 보다 효과적으로 제어할 수 있다. 본 연구에서 개발된 흡진기 교육장비와 능동진동제어 교육장비는 수동과 능동 제어장비로 각각 활용되고 있다.

### 1. 임계속도 측정용 회전체 교육장비

그림 1과 같은 임계속도 측정용 회전체 교육장비는 진동 현상에 대하여 일반인들의 이해를 돕기 위 함이 있다. 또한 진동학 과목을 배운 학생들에게 이 론에서 언급하는 공진현상을 보여주고, 임의 재질을 가진 회전축의 고유진동수를 측정할 수 있도록 하였다. 고유진동수 측정 방법은 모터의 회전수를 제어함 으으로써 구현될 수 있고, DC모터를 구동기로 사용하여 회전축의 모드형상을 관찰할 수 있다. 개발 시스템은 이런 공진 주파수를 측정하는 실험 장치로 선박, 자동차, 구조물에 관련된 산업에서 공진을 피할 수 있도록 설계를 하는 것에 응용될 수 있다.



그림 1. 임계속도 측정용 회전체 교육장비

### 2. 밸런싱 머신 교육장비

회전기계는 대부분의 설비에 있어 핵심부가 되므로 회전운전의 신뢰도는 매우 중요하다. 따라서 설계시 진동문제를 예방할 수 있도록 엄밀한 분석이 수행되어야 함은 물론 조립 시에도 주의를 기울여야한다. 회전체 질량균형이 맞지 않으면 회전체의 수명에 커다란 영향을 주며, 또한 사용에는 진동과 소음을 동반한다.

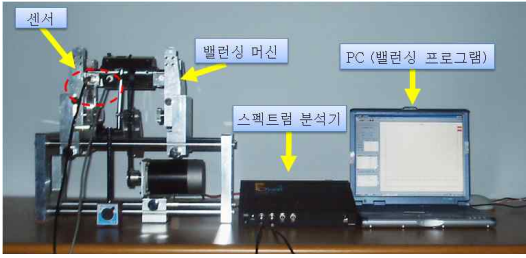


그림 2. 밸런싱 머신 교육장비

그림 2와 같이 밸런싱 머신의 회전체에 질량 불평형(Unbalance)이 있으면 회전 주파수와 배수성분을 가진 진동이 발생된다. 이것을 2개의 가속도 센서를 이용하여 각각 2방향의 가속도를 측정할 수 있다. A/D 변환기를 이용하여 디지털 신호를 컴퓨터로 전송하고, 이 신호를 가지고 프로그램 상에서 조화 커브 피팅(Sinusoidal Curve Fitting)을 하여 진동 크기, 위상각을 분석한다. 그리고 영향계수법 또는 시행질량법을 이용하여 회전체의 질량 불평형량과 위치를 검출한다.

### 3. 자석을 이용한 흡진기 교육장비

흡진기 장비는 일정한 주파수를 가지는 조화 교란에 대해 장비를 보호하기 위하여 사용된다. 일반적으로 흡진기 장비는 질량과 스프링으로 이루어지며 이 부가시스템을 통해 시스템의 고유진동수를 변화시켜 주 구조물의 진동을 억제하는 것이 흡진기 장비의 원리이다. 이와는 별도로 단순히 감쇠만을 증가시켜 넓은 주파수 대역에 걸쳐 감쇠 효과를 얻는 방법이 있다. 그림 3과 같은 교육장비는 자석에 의해 발생하는



그림 3. 자석을 이용한 흡진기 교육장비

와전류(Eddy Current)가 기계적인 감쇠효과로 전환되는 메커니즘에 근거한 와전류 감쇠기(EDC)의 원리를 이용한다. 또한 EDC가 구조물에 부착되는 경우의 동적 특성 변화에 대한 감쇠효과를 확인할 수 있다.

### 4. 능동진동제어 교육장비

센서, PID제어, 역학 등 조합된 형태인 능동진동제어는 매우 어려운 학문이라고 생각하는 경우가 많다. 이런 능동진동제어에 보다 쉽게 접근할 수 있는 교육용 실험 장비를 그림 4와 같이 개발하였다. 검토된 제어 플랜트로는 구조물의 기본적인 형태이며 제어에 따른 변화를 눈으로 쉽게 확인할 수 있도록 두께가 얇은 유연한 외팔보를 선정하였고 구동기로는 비접촉 방식인 전자석을 이용하였다. 외팔보의 끝단의 변위를 확인할 수 있도록 레이저 변위 센서를 사용하였고 제어기로는 컴퓨터 마이컴을 이용하였고, 그리고 컴퓨터가 인식할 수 있도록 A/D, D/A 변환할 수 있는 DAQ Board를 사용하였다. 진동이 가장 큰 1차 모드의 진동레벨을 최소화 하고, 순간적인 외부의 가진에 의해 진동이 발생할 때 효과적으로 줄일 수 있도록 PID 제어기를 적용하여 튜닝하였다.

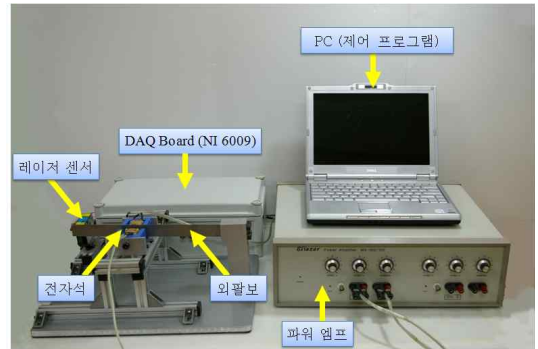


그림 4. 능동진동제어 교육장비

## Ⅲ. 교육장비의 개발 및 적용

실제로 수업시간에 수업에 맞는 적합한 실험 장비들을 구매하려면 시중에서 구하기도 힘들고 비용도 많이 소요된다. 그래서 졸업연구작품으로 교육용 자재를 개발하여 활용하면, 졸업작품을 한 학생이나 수업을 받는 학생들에게도 큰 도움이 된다. 개발한 교육장비들은 주로 기

계진동학 및 진동제어및실험 수업 중에 활용되었다. 외부업체에서 구매한 장비보다 실제 학생들이 만든 장비가 신뢰성이나 조작의 용이성에서 떨어질 수도 있지만 제작과정에 있어서 부딪혔던 문제점이나 설계상의 미흡한 점을 같이 공유함으로써 더 큰 교육 효과를 볼 수 있었다.

학생들이 교육장비를 스스로 운영할 수 있도록 하는 매뉴얼이 보완되어 있다.

#### IV. 교육장비에 대한 설문조사 결과 및 개선안

기계 진동학 또는 진동제어및실험 교과목을 수강한 학생들을 대상으로 설문조사를 하였다. 학부생 1992학번부터 2007학번까지 총 63명이 참여했다. 그 중에 졸업생 15명이며 재학생 48명이다. 진동관련 업체 종사하는 사람이 5명이다. 여자 비율이 19.0% 이고 최종학력은 대학원의 비율이 12.7%이다. 총 8개 설문문항에 대한 조사결과를 표 1과 같고, 결과 분석 차트는 그림 7과 같다.

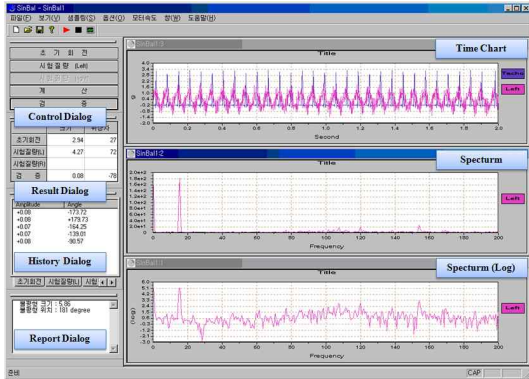


그림 5. 밸런싱 머신 교육장비의 측정용 프로그램

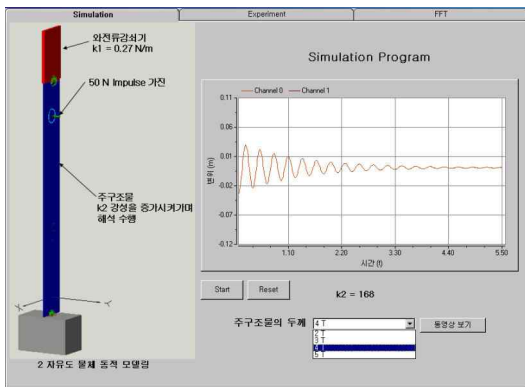


그림 6. 흡진기 교육장비의 시뮬레이션 프로그램

그리고 교육장비 개발뿐만 아니라 신호처리용 프로그램과 시뮬레이션 프로그램도 같이 개발하였다. 신호처리용 프로그램은 상용 소프트웨어를 이용해서 교육장비에 맞는 프로그램을 개발할 수 있었다. 요구한 실험목적에 따라 제작할 수 있기 때문에 활용성을 더 높고 이론과 잘 맞았다. 시뮬레이션을 이용하여 보다 이론적인 접근이 쉽게 이루어질 수 있었다. 또한 시뮬레이션과 실습을 병행하므로 이론과 실무의 접목이 자연스럽게 연결될 수도 있었다. 그림 5와 6과 같은 개발된 밸런싱 머신 교육장비의 신호처리용 프로그램과 자석을 이용한 흡진기 교육장비의 시뮬레이션 프로그램의 화면이다. 또한

표 1. 설문문항 및 조사결과 (응답비율 78.75%)

항목	매우 불만족	약간 불만족	보통	약간 만족	매우 만족
1. 교육장비를 활용하면 진동이론 이해에 도움이 된다.	0	0	2	17	44
2. 맞춤형 교육용 교육장비가 기존 교육장비에 비해 유익하다.	0	0	6	21	36
3. 실험에서 요구한 실험 목적을 충족시킨다.	0	0	5	28	30
4. 교육장비의 신뢰성에 대해 만족한다.	0	1	18	26	18
5. 교육장비의 안전성이 확보되었다.	0	6	9	31	17
6. 교육장비의 조작성 용이하다.	0	0	10	34	19
7. 교육장비의 매뉴얼 내용이 쉽고 충실하다.	1	4	26	24	8
8. 교육장비를 통한 실험과 실무와의 연관성이 있다.	0	4	14	25	20

설문조사 결과를 살펴보면 개발된 교육장비를 활용하면 진동이론 이해에 도움이 많이 되었고 실무분야와도 밀접한 관계가 있으므로 졸업생 대부분이 만족한 반응을 나타내었다. 또한

설문조사결과

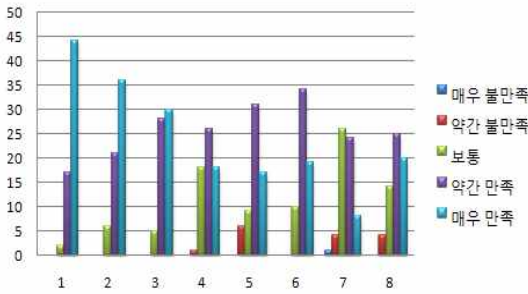


그림 7. 설문조사결과차트. (응답비율 78.75%)

외국회사에서 판매하는 기존 교육장비와 비교해도 더 나은 평가를 받은 것은 특이한 사실이다.

다만 다른 항목에 비해 신뢰성, 안전성 및 장비 매뉴얼에 대한 만족도가 다소 낮게 평가되었다. 앞으로 공간효율을 통한 무게감소, 안전장치 표시의무화 등 디자인 측면을 더 강화할 예정이다. 지금 맞춤형 교육을 위해 지정 제작한 교육장비가 기존 교육장비에 비해 유익하지만 사용하기 쉽고 신뢰성이 더 높은 교육장비가 되도록 노력할 필요가 있다. 또한 실험 장비이기 때문에 쉽고 간편한 매뉴얼이 작성되어야 하고 조작의 편의성이 보장되어야 한다. 그리고 아직까지 교육장비 종류가 부족해서 더 다양한 방식의 응용을 구현할 수 있는 진동공학 관련 교육장비가 추가로 제작될 필요가 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 개발된 진동공학관련 교육장비의 연구에 통해서 교육장비의 활용성 및 실용성을 소개하였다. 그리고 앞으로 교육장비의 개발 및 적용 방향도 제시하였다. 설문조사의 결과에서 볼 수 있었던 듯이 개발된 교육장비는 아직까지 완벽하지 못하지만, 교육효과 및 제품우수성을 확인할 수 있었다. 개발된 교육장비를 보완하여서 우리대학교뿐만 아니라 여러 교육기관에 사용하도록 할 예정이다.

### 감사의 글

설문에 응답 해 주신 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부의 학생들에게 진심으로 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 구경완, "센서 교육장비 및 교재 개발", 기초과학연구사업 학술기사, 1995.
- [2] Singiresu S. Rao, "Mechanical Vibrations, 4th Edition", Pearson Education International, 2004.
- [3] William J. PALM, 양보석 역, "진동공학", 인터비전, 2007.
- [4] 김두기, "구조 동역학 (제2판)", 구미서관, 2009.

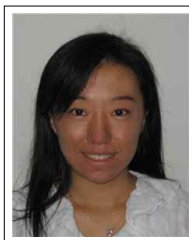
### 임 경 화 (Kyung-Hwa Rim)



1983년 2월 : 한양대학교 기계공학과 졸업  
 1985년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 석사  
 1992년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 박사  
 1995년 9월~현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수

관심분야 : 진동제어, 진동해석, 광디스크 시스템, 방진시스템, 신호처리

### 양 손 (Xun Yang)



2005년 8월 : 중국동북대학교 자동화공학과 졸업  
 2007년 8월 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과 석사  
 2007년 9월~현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과 박사과정

관심분야 : 진동제어, 진동해석, 방진시스템, 신호처리