

이 글에서는 실험 교육이 이론 교육과 잘 융합되어 이론적 지식에 대한 이해의 폭을 넓히고 공학개념을 세우는데 어떻게 학생들에게 도움을 주며 교육 목표를 달성할 수 있는지 연세대학교 기계공학부에서 운영되고 있는 “고체역학 및 실험 (1)과 (2)”를 통해 소개하고자 한다.

급격히 발전하고 변화하는 현대 산업 환경과 이에 필요한 신기술의 개발을 위한 시대적 요구사항을 만족시키기 위한 창의성, 적응력 그리고 종합능력을 갖춘 기계공학도를 대학에서 배출하기 위해서는 이에 부합한 이론 교육과 실험 교육이 필요하다. 연세대학교 기계공학부에서는 2003년도 1학기부터 종전의 “기계공학 실험 (1), (2), (3)”을 운영하면서 학생들에게 실험을 교육하던 틀에서 벗어나 학습 효과를 높이기 위해 해당 이론 교과목에서 실험 내용을 흡수하여 강의 시간에 배운 이론적 지식을 직접 실험을 통하여 현상을 보여주고 체험할 수 있는 방법으로 실험 교육을 진행하고 있다. 이를 통해 이론적 지식에 대한 이해의 폭을 넓히고 공학개념을 세우는 데 학생들에게 도움을 주며 실제 공학 문제에 실험 기술을 어떻게 응용 및 적용하여 해결하는 지 가르친다. “고체역학과 실험 (1)과 (2)”를 통해 고체역학 이론 교육과 실험 교육이 어떻게 잘 융합되어 해당 분야에서 이와 같은 목표를 달성하는지 그 내용과 성과에 대하여 소개한다.

고체역학의 이론 및 실험 교육 배경

연세대학교 기계공학부에는 2002년 2학기 이전에는 학습과 연구에 필요한 실험 경험의 습득을 위한 실험 교육으로 기계공학 실험 (1), (2), (3)을 운영하여 이론

위주의 교육에서 탈피하여 실험 교육을 병행함으로써 균형 잡힌 학습 내용을 학생들에게 제공하려 하였다. 하지만 표 1과 같이 실험 교육 내용이 학생들이 교과목을 통해 배운 수업 내용과 다소 거리가 있었고 대학원에서 진행되는 연구와 관련된 실험 내용도 있어 학부 이론 교육과는 연계가 적었다. 따라서 학부 과정의 교과목을 통해 배운 이론을 이해하는 데 도움이 되며 다양한 실험 장비의 사용법을 익히고 실험 경험을 쌓는데 실질적으로 도움이 되는 방향으로 실험 교육 내용을 개편하여 2003년도 1학기부터 해당 교과목인 고체역학, 유체역학, 열역학, 동역학, 기계 진동 및 열전달에서 실험 교육을 흡수하여 운영하기로 하였다. 고체역학에서는 정역학 내용을 포함하며 기계공학 실험 (1), (2), (3)에 있던 해당 실험 항목의 일부를 가져온 후에 교과 내용 수정과 교과목명의 변경을 통해 고체역학 및 실험 (1)과 (2)에서 해당 교과목 내용에 적합한 실험을 각각 2건씩 진행하여 총 4회의 실험을 진행하도록 재편성하였다.

고체역학은 고체에 작용하는 응력과 그에 따른 변형에 관여하는 물리적 현상에 대해 이해하는 학문으로 설계 능력을 배양하기 위한 토대 구축에 필요한 기초 과목이라 볼 수 있다. 고체역학 및 실험 (1)에서는 다음과 같이 정역학을 포함한 내용을 가르치고 2회에 걸친 실험 교육을 실시하며 교과 내용은 다음과 같다.

표 1 기계공학 실험 (1), (2), (3)의 실험 항목

기계공학 실험 (1) 목차	기계공학 실험 (2) 목차	기계공학 실험 (3) 목차
1. 열공학 실험 - 자동차용 수랭 가솔린 기관 성능시험 - 점도시험	1) 컴퓨터를 이용한 3투상도의 입체도형 자동변환에 관한 실험	1) Micro Processor Experiment
2. 재료시험 - 인장 시험 - 굽힘 시험	2) 공차와 틈새를 고려한 4절 연쇄기구의 최적 설계	2) Microcomputer를 이용한 Stepping Motor의 제어실험
3. 절삭 시험 - 절삭 측정 시험 - 변태점 측정 시험	3) 공기조화기의 성능 실험	3) 상변화를 갖는 다공물질 내의 유효전도율 측정
4. 유체실험 - 관마찰계수 손실 측정 시험 - 원주의 유체 저항 측정	4) Experiment on Forced Convection Heat Transfer	4) 간섭계를 이용한 자연대류 열전달율 측정
	5) Use of the Oscilloscope	5) Voltage Divider 및 Balanced Bridge 회로 실험
	6) Standard Test Method for Constant-load Amplitude Fatigue	6) Acoustic Emission Method for Fracture Mechanics
	7) Measure of Fracture Toughness	7) NC 선반(RAN-20) 실험

- 정역학 • 응력과 변형률
- 기계적 물성과 응력-변형률 관계
- **인장시험 (실험 1)** • 축 하중을 받는 부재
- 비틀림을 받는 부재 • **비틀림 실험 (실험 2)**

고체역학 및 실험 (2)에서는 2회의 실험 교육을 포함하여 다음과 같은 교과 내용을 가르친다.

- 굽힘을 받는 부재 • 조합 하중
- **압력 용기 실험(실험 3)**
- 응력 변환 • 변형률 변환
- 보의 처짐 • **보의 굽힘 및 처짐 실험(실험 4)**
- 기둥

고체역학 실험 구성 및 내용

고체역학 관련 실험 교육은 2학년을 대상으로 1학기

와 2학기에 걸쳐 총 4차례로 진행이 된다. 고체역학 및 실험 (1)에서는 응력-변형률 관계와 기계적 물성에 대한 학습을 진행한 후에 첫 번째 실험인 인장 시험을 진행한다. 인장 시험에서는 3가지 이상의 재료에 대한 응력-변형률 곡선을 구하고 그로부터 탄성 계수, 프아송 비, 항복 응력 및 강도 등을 얻는 방법에 대하여 습득하고 만능 인장 및 압축 시험기의 시스템 구성과 작동 방법 및 표준 시험 방법 등에 대하여 배운다. 그 후에 비틀림에 대한 학습을 진행한 후에는 비틀림 실험을 진행하는 데 비틀림 실험은 비틀림 실험을 수행할 수 있는 조립식 하중 프레임을 제작하고 원통형 시편의 한쪽은 고정하고 다른 한쪽에는 일정한 토크를 가해질 수 있도록 하며 각도기를 이용해 비틀림 각도를 측정하는 실험이다. 일정한 토크는 원통형 시편의 자유단에 지그를 이용해 부재를 붙이고 회전축으로부터 떨어진 3곳의 위치에 추를 달아 토크의 크기를 3번 정도 증가시키면서 실험을 진행한다. 토크와 비틀림 각도로부터 전단 응



그림 1 인장 시험 장비

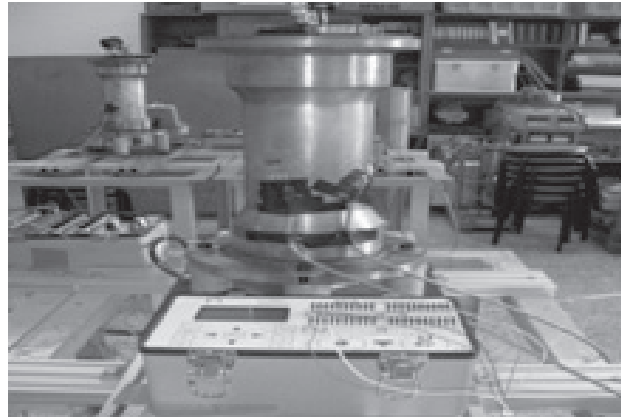


그림 3 압력용기 실험 장치

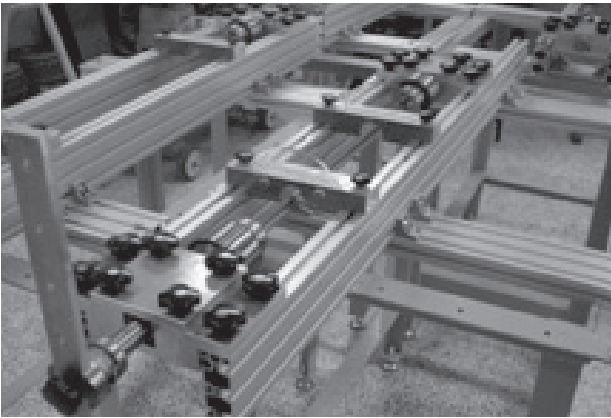


그림 2 비틀림 실험 장치

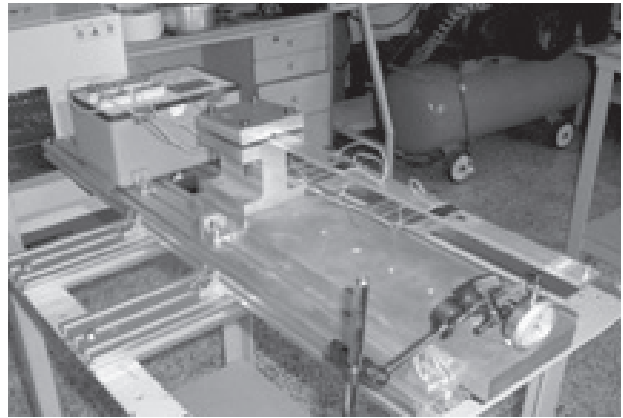


그림 4 보의 굽힘 및 처짐 실험 장치

력-전단 변형률 곡선을 얻는다. 전단 응력-전단 변형률 곡선으로부터 세 가지 재료에 대한 전단 계수를 구하고 앞서 인장시험 결과로부터 얻은 탄성 계수와 프아송 비를 이론식에 넣어 얻은 전단 계수와 비교한다.

고체역학 및 실험 (2)에서는 평면 응력 상태와 응력 및 변형률 변환에 대한 학습을 하게 되며 스트레인 게이지를 이용해 변형률을 측정하고 훅의 법칙을 이용해 응력을 구하는 방법에 대하여 배운다. 재료의 물성을 알고 있는 원통형 압력 용기에 45도 3축 로제트 게이지를 붙이고 로제트 게이지의 두 축 방향을 원통형 압력 용기의 길이 방향과 원주 방향과 일치시킨다. 압력용기 내부의 압력을 증가시키면서 로제트 게이지로부터 얻은 변형률을 이용해 원통형 압력용기의 길이 방향과 원

주 방향의 응력을 계산한다. 또한, 압력 게이지로부터 얻은 내압을 압력용기 응력 공식에 대입하여 원통형 압력용기의 길이 방향과 원주 방향의 응력을 이론적으로 계산하여 실험을 통해 구한 응력과 비교를 한다. 그 후에 임의의 방향에 부착한 게이지의 변형률 값을 변형률 변환식을 통해 구한 변형률과 실험치를 비교하여 변형률 및 응력 변환 현상을 관찰한다. 이 실험을 통해서 학생들은 스트레인 게이지를 부착하는 방법, 위스톤 브리지의 원리, 위스톤 브리지와 신호 컨디셔너가 내장된 스트레인 인디케이터의 사용 방법에 대하여서도 배우게 된다. 보의 굽힘과 처짐에 대한 내용을 학습한 후에는 보의 굽힘 및 처짐 실험을 마지막으로 수행한다. 보의 굽힘 및 처짐 실험은 조립식 하중 프레임에 이용하



그림 5 인장 시험을 준비하는 학생

여 외팔보의 굽힘 응력 및 처짐을 측정하는 실험이다. 하중은 자유단에 추를 달아 가한다. 외팔보의 고정단으로부터 임의의 거리만큼 떨어진 위치에 보의 윗면과 아랫면에 길이 방향으로 스트레인 게이지를 붙이고 고정단으로부터 임의로 떨어진 3곳의 위치에 다이얼 게이지를 장착하여 각각의 위치에서 보의 처짐을 구한다. 그런 후에 굽힘 응력 공식으로부터 얻은 굽힘 응력과 보의 처짐식으로부터 얻은 이론값과 실험값을 비교한다.

모든 실험은 3번 이상 반복하여 재현성을 확인하고 실험 평균값을 사용하며 이론값과 실험값의 오차가 생기는 이유에 대한 고찰을 실험 방법 및 실험 과정과 더불어 보고서에 작성하여 제출하도록 한다.

실험 교육의 현황

고체역학 및 실험은 매학기 3개 분반이 열리며 주당 3시간의 이론 수업과 1시간의 실험 실습으로 구성되어 있다. 실험이 없는 주간은 4시간의 이론 수업을 진행하며 실험이 있는 주간은 실험만 진행하는 것을 원칙으로 한다. 3개 분반의 원활한 실험 진행을 위하여 고체역학 분야 공동 실험실을 운영하고 있고 강의 조교와 실험 조교를 두고 교과목을 운영한다. 분반당 학생 수는 40명에서 80여 명 정도이다. 실험은 6명에서 8명이 한조를 이루어 조별 공동 실험을 하는 형태로 운영이 된다. 매시간 4개

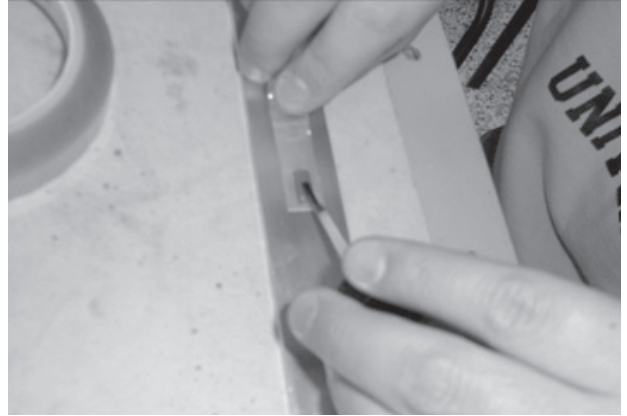


그림 6 스트레인 게이지 부착을 실습 중인 학생

에서 5개의 실험 세트를 구비하여 운영하고 필요에 따라 야간에 추가 실험을 진행하기도 한다. 실험에 필요한 실험 학습 자료, 재료 및 장비는 실험 담당 교수가 준비하며 실험 조교가 학생들과 함께 실험을 진행한다.

실험 교육의 성과 및 한계

고체역학 및 실험 (1)과 (2)를 운영하면서 나름대로 실험교육의 성과도 있었지만 한계도 있었다. 성과로는 이론 학습에만 치우쳤던 교과목 학습에 실험 교육을 접목함으로써 학생들의 이론 지식의 이해와 공학 개념의 폭을 넓히고 공학적 센스를 키우는 데 도움이 되며 각종 실험 장비의 사용법을 익힘으로써 장비 활용법의 지식 습득을 통해 실험 모델 구축 및 이론에 대한 검증 능력을 배양할 수 능력을 함유할 수 있는 기회를 제공하였다는 것 등을 들 수 있다. 하지만 운영에 따른 한계도 있었다. 한계로는 실험 담당 조교가 자주 바뀜으로 인한 실험 조교들의 재교육이 수시로 이루어져야 한다는 점과 이를 담당하는 실험 담당 교수가 1명이라 충원이 필요하다는 점과 대형 분반의 실험을 수행하기에 현 공동 실험실의 공간이 협소하다는 것 그리고 노후 장비를 교체하기 위한 꾸준한 재정적 지원이 필요하다는 것이다. 하지만 이런 한계는 꾸준한 학부 교육의 질적 향상을 위한 노력을 통해 단기간 내에 해결될 것으로 보인다.