

실험유체역학

李 東 鎬

<韓國科學技術院 航空工學科 · 工博>

1. 서 론

70년대 이후 급속도로 발전하고 있는 한국 중공업의 발전에 있어 기계공업이 차지하는 비중은 막중하여 이를 이끌어 나갈 기계공학 엔지니어의 중요한 역할은 새삼스럽게 이야기할 필요가 없을 것이다. 지난날과 오늘날의 기계공업 현황을 비교하여 볼 때 세계적인 규모의 대형조선소, 초대형 공작기계 시설등을 갖춘 대규모 기계공업단지 등등..... 그 양적인 팽창은 매우 놀라운 것이다. 60년대의 국내 기계공업은 조립생산을 중심으로 한 자동차등의 수송기계, 광산기계 및 기타 외국기술로 설치된 플랜트의 수리용 부품등의 제작으로 그 범위가 매우 한정되어 있어 실제 현장의 엔지니어가 하는 주요 담당업무는 편람등을 이용한 간단한 구조 계산 및 설계도면 작성, 도입된 원도로 부터의 현장 제작도면 작성, 그리고 현장의 기계 운전 및 보수관리 등이었다. 따라서 이러한 낙후된 국내 공업 수준은 기술계 고등학교 이상의 공업교육이 현장에서 거의 무용지물이 되는 실정이었으며, 공업교육이 현장에서 거의 무용지물이 되는 실정이었으며, 공업교육과 현장과의 괴리는 새롭고 적절한 수준의 공업교육과정을 능동적으로 개발하고 발전시키는 데 많은 어려움을 주었다.

그 후 정부의 중공업 진흥정책으로 국제적인 규모의 조선소 및 창원기계 공업단지의 조성과

더불어 방위산업의 개발등은 국내기계공업을 양적인 면에서 매우 놀라운 팽창을 가져다 주었다 그러나 저임금의 노동력을 기준으로 한 낮은 기술수준의 초기 중공업들은 국내임금의 상승, 국제적인 자원 및 에너지전쟁 등으로 인하여 자원이 빈약한 한국의 제품들은 상대적으로 국제 경쟁력을 잃어 가고 있다. 그러나 자원빈국인 반면 인적자원이 비교적 충분한 국내 실정은 많은 자원과 에너지를 소모하는 중공업대신 적은 재료와 에너지를 사용하여 부가가치가 높은 제품을 생산하는 정밀기계공업으로 방향을 전환하지 않을 수 없게 되었다. 이제 막 중진국의 대열에 진입 우리나라의 급속한 성장은 선진국들의 경계의 대상이 되었으며, 우리가 추구하는 고도정밀 공업 분야의 기술도입에 있어 많은 어려움을 제기하고 있다. 이러한 현실에서 지난 60년대의 경우와는 반대의 현상이 공업교육과 현장에서 일어나게 되었다. 공과대학에서는 교육이 실제 현장에서 신제품의 개발에 활용되고 있으며 분야에 따라서는 그 이상의 교육을 받는 분야별 전문가도 필요로 하게끔 상황이 변하고 있다는 것이다.

자연과학 분야 특히 공과대학 교육에 있어서 이론 강의만을 통한 교육은 공업교육의 의미를 잃는 것이며, 이론과 병행하여 실험강좌를 실시할 때 매우 효과적으로 공업교육의 본래의 목적을 달성할 수 있다는 것은 개지의 사실이다. 한편 공과대학의 교육목적의 커다란 한 부분이 우

리나라 산업계에서 필요로 하는 고급 엔지니어를 기르는 데 있다고 볼 때 지금까지 여러가지 어려운 상황하에서 형식적으로 반복되어 왔다고 볼 수 있는 공과대학의 실험과목들을 다각적으로 검토하여 그 내용들을 수정, 보완하며, 새로운 학문분야는 그에 대응되는 실험과목들을 신설해야 할 때가 아닌가 생각된다.

본 강연에서는 기계공학의 한 중요한 필수과목인 유체역학 분야에 있어서 실험유체역학 강좌의 개설 필요성을 이야기하고 현재 국내 대학 여건을 고려하여 적당한 예산 및 시간배정으로 가능한 예를 들어 이를 설명코자 한다. 유체의 유동현상에 관한 학문인 유체역학은 우리가 살고 있는 대기의 유동, 지표면을 흐르는 강물유동, 해류유동으로 부터 인체의 혈관내의 혈액 유동등등 우리의 일상생활과 밀접한 관련을 맺고 있다. 따라서 대부분의 유체역학 이론은 다른 자연과학 분야와 마찬가지로 실제 자연의 유동현상의 관찰로부터 얻어졌다는 것은 당연한 일일 것이다. 실제 대부분의 유동은 정도의 차는 있으나 일반적으로 수식화하기 어려운 점성 유동이며 난류유동이지만 적절한 조건이나 가정하에서 수식적으로 표현하기 쉬운 비점성유동 및 층류 유동등으로 나타낼 수 있다. 따라서 유체역학 입문과정에서 배우게 되는 단순한 가정하의 이론과 실제 유동현상과의 실험결과를 비교, 검토함으로써 설정한 가정의 유효범위 및 타당성들을 판별하며, 나아가서 좀 더 복잡한 이론 및 개념의 필요성을 체험할 수 있으며 경우에 따라서는 새로운 실험현상을 발견하여 새로운 이론을 개발할 수 있는 능력을 개발하여 줄 수 있을 것이다. 이러한 이론과 실험을 병행한 공업교육은 산업현장으로 진출하는 엔지니어들에게는 실제 문제를 분석, 해결할 수 있는 능력을 길러줄 것이며 동시에 학업을 계속하는 경우에도 복잡하고 어려운 유동현상의 연구에 착실한 기초로 많은 도움을 줄 수 있으리라 생각된다.

2. 실험유체역학 강좌의 내용 및 선택

실제로 실험과목을 개설함에 있어서 여러가지 사항들을 고려하여야 하는데, 이 중 중요한 것은 적절한 수준의 실험내용 선정과 사용 가능한 실험설비 및 측정기기 등이다.

실험강좌의 내용은 이론과목의 진도 정도와 맞추어 적당한 수준을 가져야 하며, 각 실험 주제마다 뚜렷한 기본 이론 및 사용 측정기기등의 차이등으로 독립성을 지니고 있어야 한다. 그러나 현재 국내 여건을 감안할 때 학교 예산상 고려하기 어려운 고가의 대형 실험시설과 고급, 정밀 측정기기만을 생각한다면 이러한 실험과목을 쉽사리 개설하기는 어려운 것이다. 따라서 저렴한 가격으로 용이하게 국내 제작이 가능하며, 또한 한가지 기본 실험장치를 이용하여 간단한 변형으로 여러가지 새로운 내용들의 실험이 가능하며, 이들의 유지, 관리에 인력 및 재정적 뒷받침이 거의 필요없는 실험 시설들을 선택하는 것이 또한 무엇보다도 중요하다고 생각된다.

실제 실험의 측정에 사용되는 측정기기는 똑같은 측정대상치에 대하여서도 요구되는 측정의 정밀도에 따라, 사용 가능한 여러 측정기기 중에서 선택하여야 한다. 일 예를 들면 유체역학에서 가장 중요한 측정치의 하나인 속도를 잴다고 할 때 직접 실험실에서 제작하여 쓸 수 있는 간단한 피토우관(pitot tube)으로 부터 몇단블씩 하는 열성풍속계(hot-wire anemometer) 및 레이저속도계(laser velocimeter)등 측정치의 정밀도, 사용법의 용이도, 측정치의 가격등 선택의 범위는 매우 넓은 것이다. 만일 평균속도만을 잴다고 할 때 피토우관은 다른 두 측정기기의 측정치보다 결코 못하지 않은 결과를 쉽사리 구할 수 있게 해준다.

이상의 여러가지 사항들을 고려하여 선정된 실험의 한 예로서 표 1의 파이프내의 공기유동을 중심으로 실험설비, 측정기기, 관련이론 및 기타 요구되는 실험시간등을 생각하여 보았다.

표 1 Experiments on flow in pipe.

Experiment	Instruments	Measuring data	Related theory	Remarks
1. Measurement of flow rate	Orifice inclined manometer	Static pressures	• Bernoulli equation	3hrs
2. Measurement of wall friction	Inclined manometer	Wall pressure distribution	• Momentum theorem • Wall friction factor (C_f vs. Re)	6hrs
3. Measurement of velocity profile	Pitot tuce traversing mechanism inclined manometer	Velocity distribution	• Boundary layer theory • The law of the wall $u^+ = u^+(y^+)$	9hrs
4. Measurement of turbulent intensity	Single hot-wire probe traversing mechanism	Velocity fluctuations $\frac{\langle u' \rangle}{\bar{u}}$	• Boundary layer theory • Turbulence	12hrs
5. Measurement of turbulent shear stress	Cross hot-wire probe traversing mechanism	$U, V, \langle u' \rangle, \langle v' \rangle$ Turbulent shear stress $\overline{pu'v'}$	• Boundary layer theory • Turbulence	15hrs

이 과목의 개설시기는 일반적으로 대학의 기계공학 분야에서 유체역학을 I 및 II로 나누어 가르칠 경우 유체역학 II와 병행하는 것이 바람직하다고 생각된다.

이 실험강좌를 위하여 필요한 기본시설은 구체적으로 다음과 같다.

- 실험실 면적 : 30평 이상
- 주요시설 : 송풍기(5마력, 풍압 400mmH₂O, 풍량 30 m³/min) 가격은 약 7~80만원 정도
Settling chamber(스크린, honey-comb 사용), 제작에 약 50만원 소요
- 측정기기 : ○ 경사액주계(inclined manometer, 정밀도 0.1 mmH₂O), 제작도 가능하며 5~80만원이면 좋은 제품을 구매할 수 있음.
- 피토우관(직경 1 mm 정도) 제작이 용이하나 전압 및 정압을 동시에 측정할 수 있는 pitot static tube는 작은 칫수인 경우에 약 20만원 정도임.
- 오리피스(orifice), 여러 문헌들을 참고하여 직접 제작, 사용함으로써 형태 및 가공정도 등이 미치는 영향을 직접 파악할 수 있음.
- 열선풍속계(hot-wire anemometer), 주기

기는 1채널에 교육용일 경우 약 400만원, 고급 연구용일 경우에 1,000만원정도이며 열선 probe는 강좌용일 경우 견고한 hot-film probe를 쓰는 것이 바람직하다.

- 이송장치(traversing mechanism), 이송거리 100 mm 정도의 1축 수동장치는 정밀도 0.2 mm일 경우 약 20만원정도이면 충분하며, 자동으로 이송거리 400 mm, 정밀도 0.1 mm는 약 200만원정도이면 좋은 제품을 구매할 수 있음.

본 실험에서는 기본시설의 유지, 관리문제를 고려할 때 물보다는 공기를 실험유체로 이용하는 것이 유리하다고 생각하였으며, 유체속도는 최대 40 m/sec 내외면 적당하다.

표 1에서 실험 1은 공기를 파이프내부로 흘러 보낼 때 적당한 곳에 오리피스를 설치하고 전, 후의 압력차로 부터 공기유량을 계산하게 되는 데 여러가지 형태의 오리피스를 사용하고, 이에 따른 방출계수(discharge coefficient) 등을 공부함으로써 유량측정에 있어서 가장 간단하며 유용한 오리피스 사용법을 배우게 된다. 실험 2는 파이프 내벽을 따른 유체의 마찰손실로 인한 압력감소를 측정함으로써 점성유체에 대한 개념을 확인하고 동시에 속도를 변화시킴으로써 레이

높드수의 함수인 벽면마찰계수 C_f 를 구할 수 있다. 한편 일정구간의 전후에 모멘텀 이론을 적용하여 압력감소와 벽면마찰력간의 관계를 연관시켜줄 수 있다. 실험 3은 피토우관을 이용하여 파이프의 일정 단면내의 속도분포를 측정함으로써 벽면점성 효과에 의한 속도의 비균일성을 확인할 수 있으며 피토우관의 사용법등을 배울 수 있다. 측정된 속도분포를 이용하여 이론적으로 배운 경계층 이론과 비교할 수 있다. 즉 층류경계층과 난류경계층의 차이를 파악하고 측정속도 분포를 벽면까지 연결하여 이로부터 벽면전단 응력을 계산할 수 있으며 이 값을 실험 2의 결과와 비교, 검토함으로써 두 방법의 장단점을 알 수 있다. 또한 난류 경계층의 일반적 속도분포식인 벽면법칙(the law of the wall) 형태로 변환하여 나타내어 기존식과 비교하여 실험의 정확도, 오차의 발생원인 등을 토론할 수 있다. 충분히 발전된 서로 다른 그지점에서의 속도분포를 측정, 비교함으로써 일치되는 결과를 확인할 수도 있다. 이상의 실험 1에서 실험 3까지는 층류유동에 관한 측정이거나 난류유동의 평균치만을 측정하였는데 실제 유동에서는 대부분이 난류유동으로 난류에 대한 개념을 이해시키는 것이 특히 실험과목에서 매우 중요하다고 생각하며 난류측정을 위하여 가장 보편화된 기기인 열선풍속계를 이용한 실험이 실험 4

및 5이다. 실험 3과 마찬가지로 파이프의 일정단면에서 열선 probe를 이송장치로 이동시키며 측정하는데 이 경우 평균속도 및 난류성분이 동시에 측정할 수 있다. 그러나 본 실험이전에 열선풍속계의 원리강의 및 교정(calibration)을 하여야 하므로 타 실험보다 많은 시간을 요한다. 관내유동의 난류 특성은 여러문헌에 자세히 나와 있으므로 이와 비교하여 측정치의 정확도 및 오차에 관하여 토론하여야 할 것이다. 실험 5는 난류유동에 있어서 가장 먼저 제거된 난류모델인 레이놀즈 전단응력(roynolds shear stress)을 측정하기 위한 실험이나 이를 위하여서는 두 채널의 열선풍속계가 요구되므로 예산상의 고려가 요구된다. 그러나 한 채널을 다른 실험실로부터 일시 빌려 쓴다면 큰 문제는 없을 것이다. 이 실험으로부터 파이프 출구나 일정 단면에서의 평균속도성분 2개, 난류속도성분 2개 및 두 난류속도성분의 상관계수 등을 동시에 측정할 수 있으며 측정치의 분석 비교에는 그 깊이에 따라 수 많은 시간이 필요하므로 격절히 해석 수준을 조절하여 실험시간 수도 조절할 수 있을 것이다. 열선 probe의 교정(calibration)에도 실험 4의 단선 probe인 경우보다 몇배의 준비강의 및 시간이 요구되는 점을 잘 고려하여야 할 것이다.

