

## 제 14 장

# 유체 역학의 태동

이론 유체동역학은 20세기 초의 실험수리학 못지 않게 눈부신 발전을 거듭해 왔다. 그러나, 몇 가지의 요인들로 인하여 과정상의 변화를 겪게 됨을 알 수 있다. 그 한 측면은 20세기 초에 수리학 분야에서의 이론과 실험의 두 가지 측면에서 노력하였다는 사실이고 다른 측면은 항공학의 수요가 계속적으로 급증함에 따라 이론과 실제의 명백한 차이점을 이어 줄 수 있는 교량적 역할을 할 수 있는 새롭고 효과적인 학문 분야가 태동되었다는 사실이다.

물론 그 분야의 칭호와 목적이 완전히 새로운 것은 아니다. 왜냐 하면, Bossut은 1세기 전에 젊은 공학자들에게 “la mécanique des fluides”의 교습을 권장했고, Weisbach, Reynolds 그리고 Boussinesq도 역시 순수 수학적이고 경험적인 기초보다는 유체의 물리적 거동을 설명하려고 노력했기 때문이다. 그러나 20세기 초가 되어서야 이론과 실제 사이의 문제의 실마리가 풀리기 시작했고, 그 이후에 이러한 새로운 접근 방식을 항공학과 수리학 및 그 연관 분야에 접목시키게 되었다.



Ludwig Prandtl

아마도 현대 유체동역학의 창시자는 Ludwig Prandtl (1875-1953)이라는 데 이의를 제기할 사람은 아무도 없을 것이다. 그는 교수의 아들로서, 뮌헨 근처에서 태어나 공학연구소에서 기계공학을 연구했고 그 대학에서 탄성 분야의 박사학위를 받았다. 그는 커다란 기계회사에 공학자로 재임해 있는 동안, 공기의 흐름에 대한 최초의 연구 수행 과정에서 유체의 흐름문제의 이론과 실험의 상관관계를 보다 더 자세히 규명할 필요성을 심각하게 느꼈다.

1901년에 그는 Hannover의 공학연구소의 연구원으로 임명되어 이 분야의 연구를 계속했고,

3년에 앞서 그 간의 뒤 제3차 국제수학회(the Third Congress of Mathematicians International) 성과에 대한 최초의 보고서를 제출했다 [1] :

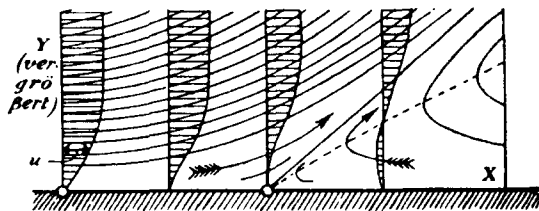
나는 내부저항이 매우 작다고 가정한 유체의 거동을 조직적으로 연구하는 업무에 착수했다. 사실 내부저항을 너무 작게 가정하여 큰 속도차나 저항의 축적효과가 존재하지 않는 경우에는 내부저항을 무시할 수 있다. 이 방법은 매우 유익함이 입증되었는데, 그 이유는 문제해결을 위한 수학적 공식을 도출해 냈을 뿐만 아니라 관찰을 통해 만족스런 결과를 얻어냈기 때문이다. .... 특수한 흐름현상에 대한 연구를 두 가지 부분으로 나누어 진행하였다 : 그 한 가지는 자유유체(free fluid)인데 이것은 Helmholtz의 와도 법칙에 따른 비점성유체로 다루었다. 그리고 또 다른 한 가지는 고정된 경계에서의 천이층(transition layer)인데 이것은 자유유체에 의해 지배받는 운동이고 역으로 와면층(vortex sheets)의 배출로 자유운동에 독특한 특성을 부여한다.

학술 회의 이전에 검토한 80편의 논문 중에서 Prandtl의 논문은 수학자들로 부터는 관심을 거의 끌지 못했다. 그럼에도 불구하고 그 논문이 소개한 - 경계층이론(the theory of the boundary layer) - 개념은 앞 페이지에 소개한 어떤 이론들 못지않게 유체운동을 이해하는데 큰 영향을 끼쳐 왔다. 대개 도해적이고 단지 8페이지밖에 되지 않지만 경계층 해석과 조절의 모든 주된 측면들을 근본적으로 연구되었다.

국제수학회회에 참석한 한 수학자는 Prandtl의 기여도를 인정했다 - 그는 바로 Göttingen대학에 응용수학과 기계공학 및 물리학의 저명한 교수인 Felix Klein였다. 그 결과로 Prandtl은 같은 해에 Göttingen대학에서 작은 연구소의 교수이면서 소장으로 임명되었다.

그의 동료 중에 한사람은 이렇게 말했다.

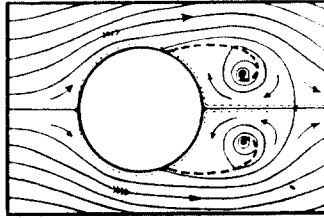
“ 그는 물리적 현상을 이해하고 이것을 상대적으로 간단한 수학적 표현으로 나타내는데 비범한 능력과 뛰어난 통찰력을 갖추었다. 그러나 그는 수학적 방법과 기교를 조절하는 데는 한계가 있었다. 그의 협력자들과 수행원들이 난해한 수학문제를 푸는데 있어선 그를 능가했다. 그러나 근본적인 물리적 상관관계를 규명하고 비근본적인 부분을 소거하여 단순한 방정



분리점 부근에서의 Prandtl의 속도분포 개념

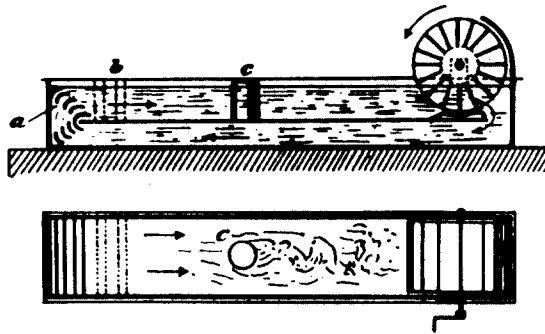
식의 체계를 세우는 능력 하나 만큼은 뛰어났다 .... -심지어 역학분야에서의 전임자와 비교해 보더라도- .... ” Prandtl의 지도하에 설립된 연구기관은 - 이것은 결국에 세계적으

로 유명한 Kaiser Wilhelm Institut für Strömungsforschung - 설립 초기부터 세 가지의 영역에 기여하였다 : 첫 번째는 수학적 공식이 경험적 공식이 아니라 물리적 합리성하의 실제적 적용이다 ; 두 번째는 실험실에서의 개선된 실험적 기술이다 ; 세 번째는 - 결코 작지는 않은 - Prandtl의 정신으로 고취되어 잘 육성된 해석가, 실험가, 그리고 교수들이다.



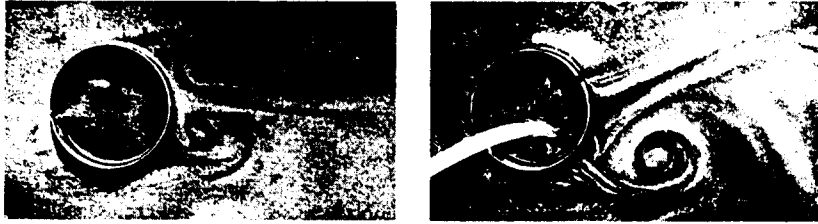
원통 뒤의 박리점에서의 와면형태

난류와 항력의 Göttingen해석과 그리고 아음속이나 초음속 흐름에서의 비행날개 주위의 유체 거동에 대한 공기역학법칙의 해석들은 경계층이론과 밀접한 관계가 있다. Göttingen의 풍동실험 폐합회로형태는 여러 국가들 사이에서 널리 사용되었고 계측방법 - Pitot관(Pitot tube), 압력계(pressure gage), 터널저울(tunnel balance) 그리고 흐름형태 측정기구 등 - 이 상당히 향상되었다. 그러나 과학에 많은 영향을 끼친 실제의 측정은 Prandtl의 열성적인 제



경계층이론을 논증하기 위해 Prandtl이 고안한 수동패달형 수조

자들에 의해 수행되었다. 이들 중에서 첫 번째로 주목해야 할 제자는 Berlin의 Paul Richard Heinrich Blasius(1883-....)였다. 1908년에 Prandtl의 질적이론을 양적 형태로 접근했을 뿐 아니라 역으로도 실험측정에 의해 층류 경계층의 속도분포와 저항에 대한 해석적 실험을 발표하였다.

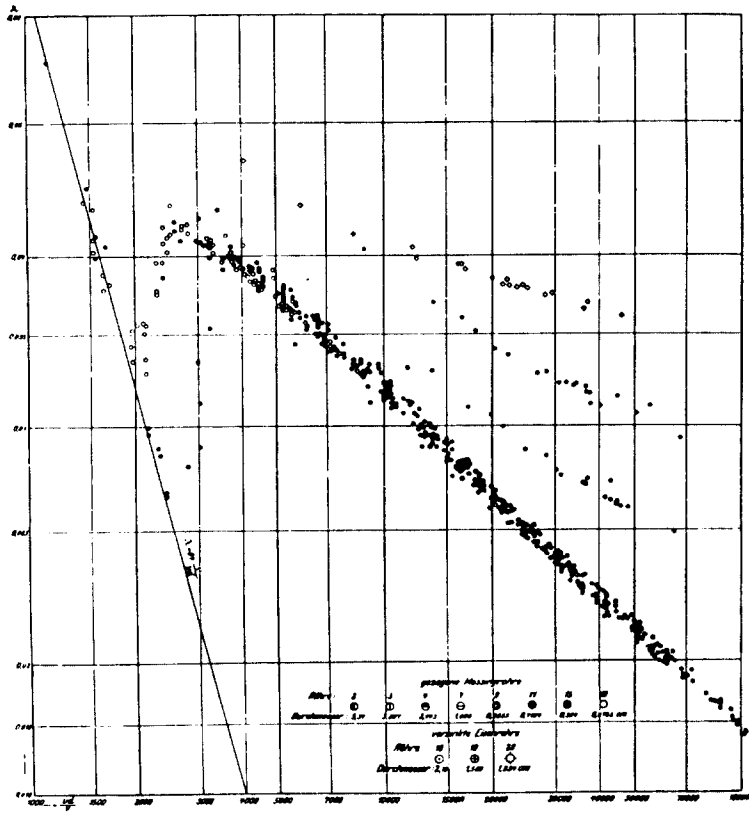


관상형 수조에서 찍은 사진: 왼쪽은 원통체 뒤에서의 수직후류:  
오른쪽은 윗면의 격자를 통한 경계층 제거 효과

그리고 Blasius는 1911년 논문 “Das Aehnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgängen in Flüssigkeiten”에서 미끈한 관(smooth pipes)의 저항계수는  $vd/v$ 의 고유함수라는 것을 증명했다. 1913년 같은 제목의 그의 논문에는 앞 장에서 언급한 Cornell자료에 기초한 예측방법 뿐만 아니라 냉각수, 온수 그리고 공기로부터 Blasius자신이 얻어낸 자료들이 내포되어 있다. 여러 새로운 측정자료물로 더욱 혼돈에 빠지게 되었던 문제들이 적어도 부분적으로는 해결되었다. Blasius는 같은 논문에서 Berlin의 예인수조(towing tank)에서 얻은 자료에 의해서 경계층에서의 첫 번째의 Reynolds수 도표를 제시했다.

아마도 Göttingen대학 동창 중에 가장 유명한 사람은 Theodor von Kármán (1881-1963)인데, 그는 Budapest대학 교수의 아들이었다. Budapest의 왕립공학연구소(the Royal Polytechnic Institute)에서 기계공학부를 수석 졸업한 후에 Kármán은 Göttingen에서 박사학위를 받고 교수지위를 확보했고 그리고 나서 1912년에 Aachen의 공학연구소에 있는 항공실험실의 소장으로 임명됐다. 1930년에는 California기술연구소에서도 소장으로 재임했다.

Prandtl과 마찬가지로 Kármán의 관심은 역학의 실용적인 모든 분야까지 확장되었다. 그러나 Prandtl의 접근이 주로 물리적인데 비하여, Kármán은 물리적 통찰력 뿐만 아니라 어떤 당면문제에도 거의 어려움 없이 해결할 수 있을 정도의 수학적 방법을 제시했다.



Blasius의 저항측정에 따른 관내에서의 Reynolds수



Theodor von Kármán

그의 탁월한 공로는 형상항력(form drag), 난류와 표면저항(surface resistance), 소리(sound)와 중력파(gravity waves)사이의 유추 등의 분야에 있었다. 원통(cylindrical bodies)뒤에 발생하는 와류의 연구는 그의 초창기 연구(1911) 중에 포함되어 있다. 그리고 이전에는 Kármán의 와열(vortex trail)이라고 알려졌던 것에 대하여 해석적으로 풀이를 하였다. 그와 Prandtl은 관수로와 평면표면(plane surface)에서의 난류의 속도분포나 저항을 해석해 내는데 기여하였다.

그래서 결과적인 대수적 표현은 현재 그들의 이름이 합쳐져서 명명되고 있다. 그리고 Kármán은 California에 있는 동안에 고속개수로흐름(high-velocity open-channel flow)를 해석하는데 음향법칙(acoustic principles)을 사용하였다. Prandtl학교의 다른 사람들은 너무 많아서 모두 소개하기 어렵고 몇몇 사람만 언급하겠다. Albert Johann Betz(1885-....)는 오랫동안 Prandtl의 주보조원으로 있다가 마침내 Göttingen연구소에서 유체기계부 소장으로 임명되었으며 그의 주목할 만한 업적이라면 등각과정의 일반적 응용을 들 수 있다. Walter Ludwig Christian Schiller(1882-....)의 주요 관심은 관수로 저항문제에 있고, 나중에 Leipzig 대학 교수로 재임하고 그 곳에서 유체의 운동에 주안점을 둔 “Handbuch der Experimentalphysik” [3]라는 제목의 4권 분량의 놀라운 책을 출판하였다. Jacob Ackeret(1898-....), 공동현상에 관한 초기 권위자로서 나중에 Zurich의 연방공학연구소의 공기역학 실험실을 설립했고, 그 곳에서 초음속흐름(supersonic flow)중에서 많은 원파유추 기술(original wave-analogy technique)이 발전했다. Walter Gustav Johannes Tollmien(1900-....)은 흐름안정(flow stability)과 난류확산의 해석으로 유명해졌고, Göttingen의 Prandtl 소장의 계승자가 되었다. Oskar Karl Gustav Tietjens (1893-....)은 1929년에 Prandtl의 강의 노트를 책으로 만들었고 이로 인하여 Prandtl은 마침내 “Abriss der Strömungslehre”라는 제목의 원고를 작성하기에 이르렀고, 1931년 이래 4편의 연속 증보판과 중요한 제목변화를 거치게 되었다 [4]. Hermann Schlichting (1907-....)은 안정성과 경계층 발전의 해석에 주목할 만한 공헌을 하였고 마침내 Brunswick의 공학연구소에 자신의 실험기관을 설립했다. Göttingen의 임원 중에 세명의 임원들은 실험지식의 영역을 상당히 확장시켰다 : 항력현상의 Carl Wieselsberger (1887-1941) ; 같은 항력현상이나 특히 건물에 작용하는 풍압(wind pressure)을 다룬 Otto Flachsbarth (1898-1957) ; 그리고 관저항(pipe resistance) 분야의 Johann Nikuradse (1894-....)가 바로 그들이다.

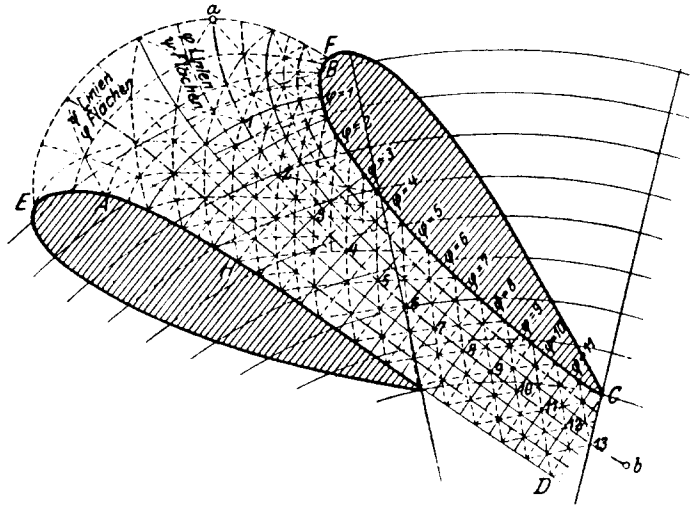
비록 Göttingen실험실은 공학연구소보다는 대학의 소속이었지만, 대학원을 졸업한 기계공학자어 의해 설립되었을 뿐 아니라 향상된 교육으로 육성된 많은 기술자들을 배출하였다.

Göttingen대학이 끼친 영향의 결과이건 또는 독일 공학 교육의 결과이건 간에, 수리학에 새로운 관점을 끌어들이는 사람은 토목공학자라기 보다는 기계공학자들이다. 이러한 경향의 대표적인 예는 작은 책 “Element der techischen Hydromechanik” [5] 에서 발견할 수 있다.

이 책은 1914년 Strassburg대학부의 기계공학자였던 Richard von Mises (1883-1953)에 의해 출판되었다. 이 책은 실무공학자에게 중요한 참고서로 인기를 끌었고, 간단하고 간결한 방식으로 수리학 문제풀이에 적용되는 유체가속도와 저항법칙을 설명했다. 이 책은 과거로부터 현재까지 그 가치를 인정받고 있고 자료의 사소한 수정을 제외한다면 현대수리학자들에게 소개서로 유익할 것이다.

거의 같은 시기에 Zurich의 연방공학연구소의 Franz Prásil (1857-1929)은 펌프와 터빈 해석에서 고전 수리동역학의 많은 법칙들을 사용하고 있었는데, 1913년에 흐름형태를 결정하는 중요한 도해적 수단으로서 직각격자망(square-meshed net)을 최초로 제창하였다. Prásil방법은 Wilhelm Spannhake (1881-1959)에 의해 일반화되어 Prandtl의 접근과 더욱 밀접하게 일치하도록 했는데, 그는 Karlsruhe의 공학연구소의 유체역학실험실에서 근무했는데, 이전에 Föttiger의 동료였다. Thoma와 Ackeret과 같은 다른 기계공학자들의 많은 영향을 통해, 공기 중의 수리장치시험-때로는 수중의 공기역학장치- 이 그러했듯이 유량계의 검증과 표준화에 Reynolds수의 사용이 마침내 범용화되었다. Berlin공학연구소의 조선공학과 교수였던 Moritz Weber (1871-1951)의 성과로 상사법칙이 근본적으로 현재의 형태를 띠게 된 것 역시 바로 이 시기였다. 그는 1919년 논문 “Die Grundlagen der Aehnlichkeitsmechanik und ihre Verwertung bei Modellversuchen”에서 Froude수와 Reynolds수라는 명칭을 붙이고 Cauchy의 이름과 탄성상사(elastic similarity)를 연관시키고, 모세관인자(capillarity parameters)를 공식화했다. 그 모세관인자는 Frantz Eisner (1895-1933)에 의해 Weber수라고 명칭 되었다. Eisner는 앞 장에서도 언급했듯이 수리와 해양공학을 위한 시험소에서 연구하는 이론가였다.

유체운동해석의 새로운 접근방식의 필요성이 공기역학에서의 관심 만큼이나 전 세계적으로 대두되었고, 따라서 독일 만이 이것에 기여했다고 할 수는 없다. 특히 Russia의 성장을 주목해야 하는데, Joukowsky의 이전 작품들이 주류를 이루었으나 그의 젊은 동료인 Dimitri Pavlovitch Riabouchinsky (1882-1962)가 새로운 전기를 이룩했다.



Paásil의 초기 유선망 작도

그는 모스크바 태생으로 1904년 초에 Koutchino 근처에 가족의 자산으로 공기역학연구소(aerodynamics institute)를 설립했다.



Dimitri Pavlovitch Riabouchinsky

이 연구소는 그가 1919년에 혁명이 일어나 파리로 이주할 때까지 활기차게 운영되었다. 파리에서 프랑스 공군사령부와 협력하여 나중에는 파리대학에 공군사령부가 설립한 유체역학실험실의 소장이 되었다. 예리한 해석가이며 상상력이 풍부한 실험가이고 뛰어난 작가이기도 한 Riabouchinsky는 오늘날 그의 이름이 관련되지 않은 분야가 없을 정도로 여러 이론과 기술의 창시자였다. 이것들 중에서 1916년에 그가 제안했으나 25년이 지나서야 세상에 인정을 받은 관을 장착한 로켓(tube-launched rocket)가 포함되어 있었다.

그가 세운 일반 유체역학에서의 공로는 차원해석(dimensinal analysis, 1911), 난류저항(turbulent resistance, 1914), 자유유선의 등각사상(conformal mapping, 1919) 그리고 측정기기(1909년에 그가 제안한 열선유속계) 등의 분야이다. 그러나 200여편의 기이한 그의 작품들은 읽기 어렵기 때문이건 성격이 매우 내성적이기 때문이건 간에 어쨌든 그다지 관심을 끌지 못했다.

프랑스는 비록 수학적 분석의 방향으로 대학교육의 초점을 맞추는 경향을 띠긴 했지만



이 시기에 적어도 한 명의 대단히 실용적이면서 과학적인 사람을 배출해 냈다 : Alexandre Gustave Eiffel(1832-1923)이다. 물론 그는 구조적인 성과로 더 잘 알려졌지만 Eiffel은 모형 시험에서 기본적인 형태에 작용하는 풍압을 결정할 필요성을 절감했고, 1910년까지 파리박람회탑에서 자유낙하실험을 수행하고 나서 더욱 개조된 실험수행을 위해 풍동(wind tunnel)을 제작했다. 시험결과 중에 가장 주목해야 할 특징은 Göttingen에서 측정되었던 단순구 (simple sphere)에서의 항력계수 값의 반도 못되는 값을 얻어냈는데 터널속도를 독일의 시험에서 적용했던 만큼 줄여서야 비로소 2배 크기의 항력계수 값을 얻어낼 수 있었다. 비록 Eiffel 자신도 속도가 증가하면 후류의 크기(wake dimensions)가 감소하는 현상을 관찰했지만 1914년 마침내 층류에서 난류층으로의 전이에 관한 현상을 규명해 냈는데 그는 바로 다름 아닌 Prandtl이었다. 그 후로 관(pipes)이나 평면표면(plane surface)의 항력계수처럼 어떤 물체의 항력계수를 Reynolds수의 함수로 표현하게 되었다.



Geoffrey Ingram Taylor

유체운동해석에 끼친 19세기 영국의 다양한 공로는 20세기 초의 Cambridge대학에서 기상학자로 재임 중이던 Geoffrey Ingram Taylor (1886-....)의 업적으로 인하여 질적으로 승화되었다. Taylor는 1915년에 대기 중의 와류운동의 연구를 시작하였고 그 후 20여년 동안 통계학적인 방법으로 유체의 난류현상의 기본적인 해석에 주안점을 둔 여러 논문들을 발표했다.

Prandtl의 혼합거리(mixing length)의 기본개념과 Kármán의 상사가설(예를 들면, 난류 요소간의 상관계수)을 초월한 단계인 Taylor의 연속흐름에 의한 확산이론은 난류거동의 확산성과 분산성을 연관시켰을 뿐 아니라 해석의 개선안까지 개발해 냈다.

또한 Thomas Edward Stanton의 실험적 작업 역시 언급할 가치가 있다. 학생때 Owens 대학에서 Osborne Reynolds의 동료이기도 했던 그는 국립물리연구소(the National Physical Laboratory) 공학부 감독자로 30년 동안이나 재직하였다. 물론 관저항 연구로 수리학 분야에서 많이 알려져 있긴 하지만(비록 Blasius가 그보다 선행하여 소위 말하는 Stanton도표를 소개하긴 했지만), 실험유체역학의 여러 측면들에 기여한 바 컸다 - 초음속흐름이 교량에 미치는 풍력 등. Richard Vynne Southwell (1888-....)은 그 당시 Oxford대학 공학교수였고 이어서 런던의 과학기술국립대학의 총장을 역임한 바 있다. 그는 Systematic relaxation of restraints 이라고 알려진 적분방법을 개발하였다. Southwell은 1930대 초에, 10년 전에

Hardy Cross에 의해 구조해석으로 소개된 바 있는 모멘트분배법(moment distribution)의 과정과 유사한, 그가 “구속의 체계적 완화(systematic relaxation of restraints)”라고 명칭을 붙인 수치적 본과정을 발전시켰고, 그 완화방법은 고체나 유체역학 모두에 널리 적용됨을 발견했다. 더 최근의 괄목할 만한 영국의 업적은 항공연구위원회의 유체운동소위원회(the Fluid Motion Panel of the Aeronautical Research Committee)에 의해 “Modern Developments in Fluid Dynamics” [6]에 관한 논문이다. 비록 Horace Lamb은 원래 편집자로 불리었지만, 그 과업은 Manchester대학의 유망한 후계자였던 Sydney Goldstein (1903-....)이 주관하였다.

보다 새로운 해석 - 특히 유체의 난류해석 -을 실증하고 보충하는 실험적 증거는 20세기에 개발되어 가장 중요한 역할을 한 측정기기 - 열선유속계 -에 의해 대부분의 측정으로도 출해 났다. 1914년 영국인 Louis Vessot King (1886-1956)은 주어진 속력의 공기흐름(air stream)에 의해 전기적 열선에서 손실된 열의 비율을 최초로 공식화했다. 그때 이후로 열선 유속계의 이론과 기술 모두 세계 여러 국가에서 크게 개선되었다. 독일과 영국의 실험실에서 폭넓은 사용 뿐만 아니라 네델란드 Delft의 Johannes Martinus Burgers (1895-....)의 초기 작업과 미연방표준국(the U.S. Bureau of Standards)의 Hugh Latimer Dryden (1898-....)과 Galen Brandt Schaubauer (1904-....)의 후기 업적을 언급하지 않을 수 없다. 측정기기의 사용은 공기흐름에 국한되었는데, 그 이유는 가스의 거품과 다른 외부적 문제에 의한 강선의 오염으로 수중에서 제대로 사용하기 어렵기 때문이었다.

미국에서 새로운 접근의 첫 번째는 표준국(Bureau of Standards)의 물리학자인 Edgar Buckingham (1867-1940)이 1914년과 1915년에 출판한 차원해석을 다룬 논문이다. Buckingham은 Reynolds수에 관한 Blasius의 관저항자료의 상관관계를 미국 학회기사에 실었을 뿐 아니라  $\pi$ 이론이라고 일컫는 방법을 수단으로 하여 여러 무차원 인자들을 공식화한 Riabouchinsky방법을 일반화한 내용을 발표했다. 또 물리학자이며 Harvard대학교수였던 Percy Williams Bridgman (1882-1961)은 1922년에 출판한 작은 책 안에 차원추론의 논리에 더 큰 관심을 보였다. 그러나 미국의 유체역학 개념의 가장 큰 조류는 네사람 - 두명은 거주민이고 두명은 유럽으로부터 미국으로 이주한 사람 -에 의해 이루어졌다. 이 두 그룹중의 하나는 이미 앞에서 언급한 바 있다 : John R. Freeman과 Theodor von Kármán. 미국으로 이주한 후에 이 분야에 끼친 Kármán의 영향은 실로 직접적이고 강력했으나 Freeman의 영향은 간접적이고 영향이 다소 늦게 나타났다. 비록 Freeman은 국제항공자문위원회의 회원이었으나 그의 주된 관심은 응용수리학에 있었다 ; 그러나 그가 강의를 위해 미국으로 초빙해 왔던 몇몇의 독일 교수들 중에는 Prandtl도 포함되어 있었고 Freeman이 지급하는 연구비 수령자 중에 적어도 한사람은 Göttingen에서 상당한 시간을 보냈다. 분명히 현대 유체학 교의 창설을 제안한 미국의 원로는 William Frederick Durand (1859-1958)였다. 그는 오랜

동안 활동적이었고 토목, 조선, 기계, 항공공학 등의 폭넓은 경험을 통하여, 직업활동의 영향을 받아 넓은 시야를 가졌다. Cornell대학의 조선공학교수와 Stanford대학의 기계공학교수를 역임하며 ; 국제항공자문위원회와 국제연구협회 및 Guggenheim항공진흥자금 등의 의장을 역임 ; 그리고 많은 공학연구과제의 참고인으로서 많은 공로를 쌓았다. 그의 저서는 그가 끼친 영향만큼 크지는 않지만 특별히 언급해 볼 가치가 있다 : 6편의 참고서인 1934년의 “공기역학이론(Aerodynamics Theory)” [7]는 연구과제에 대하여 세계적 석학들의 작업을 조명하였다 : 폭넓은 역사적 고찰을 통해 참고서를 출판했다.

미국 사고의 방식에 지대한 영향을 끼친 네 번째 인물은 Boris Alexandrovitch Bakhmeteff (1880-1951)였는데, 그는 Tiflis태생으로 St. Petersburg와 Zurich의 공학연구소에서 연구한 후 토목공학을 가르쳤으며 St. Petersburg에서 상담실무(consulting practice)을 발전시켰다. 1912년에 Bakhmeteff는 러시아에서 에너지도표(energy diagram)를 최초로 이용하여 개수로 수리학에 관한 책을 출판했다. Kerensky정권 하에 미국대사로서 미국에 상주해 있었고 성냥제조업을 경영하게 되는 길운과 행운을 얻게 되었다.



Boris Alexandrovitch Bakhmeteff

그는 개수로 책의 영어증보판을 출판하고 Columbia대학에서 강의를 하게 되면서 수리학에 큰 관심과 애착을 나타냈다. 이 강의는 유체역학에 관한 내용으로 시작하였는데, 1932년 학생을 대상으로 개론서를 출판하였다. Bakhmeteff는 또한 실험연구에 관한 많은 논문들과 난류에 관한 강의록들을 발표했다. 그의 저서 중의 대부분은 원론적이기 보다는 해석적이었고, 그 중에 적어도 한 권(Coriolis와 Boussinesq계수에 관한)은 분명 오류를 범한 내용도 있긴 했지만, 아마도 그만큼 미국수리학자들의 관심을 새롭게 자극시킨 사람은 없을 것이다. 이것은 Bakhmeteff의 저돌적인 성격에 기인하기도 했는데, 결과적으로 미국의 여러분야에 있어서 실험실 고문과 연구 소장으로서 추천 받게 되었다.

국제수리학연구실을 설립하려는 Freeman의 끊임없는 노력으로 마침내 미연방표준국에 설립된 실험실은 유체역학분야의 Garbis Hovannes Keulegan(1890-....)의 저서로 과학적 명성을 얻게 되었다는 점에서 언급해 볼 가치가 있다. 그는 Armenia태생으로 미국에서 교육을 받았고, 20대 초에 물리학자로 표준국에 임명되었으며 새로운 수리실험실임원의 창단회원이 되었다. 그는 수학자였고 협회소속의 수리학자였기에, 그의 여러 논문과 보고서(파동, 관과 개수로저항) 그리고 밀도성층화(density stratification)에 따른 흐름 등)들이 관련된 이론, 실험 그리고 세계 여러 작품들을 확실히 정리하여 반영했다는 사실이 그리 놀랍지는 않

다.

수리학자들에게 새로운 시도에 대한 것에 확신할 수 있었던 것은 관저항 측정의 설명과 상관 규명에 성공한 Prandtl-Kármán학파의 업적이었다. 그들은 1925년 중반 쯤에 표면조도 효과(surface-roughness effects)뿐만 아니라 소류사(bed load)나 부유사(suspended load)와 같은 유사이동해석에 기본적인 난류문제에 관하여서도 연구를 하였다. 공기와 유체흐름은 차이점보다는 유사점에 관하여 초점이 맞춰졌다. 그리고 Prandtl의 경계층개념(boundary-layer concept)을 통해, 기본운동방정식의 본질적 역할이 점차로 인정되기 시작했다 - 비록 수리학에서 항공학의 유선경계형상(streamlined boundary configurations)은 거의 접할 수 없다는 사실 때문에 기본운동방정식을 적용하기는 상당히 어려웠다. 어쨌든 1930년대 말에 유체역학의 적절한 수단과 개념은 수리학자들에게 유용할 뿐만 아니라 이미 여러 분야에 사용하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Prandtl, L., "Ueber Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung." *Verhandlungen des III, Internationalen Mathematiker Kongresses (Heidelberg, 1904)*, Leipzig, 1905.
- [2] Kármán, T. von, *Aerodynamics*, Ithaca, 1954.
- [3] *Handbuch der Experimentalphysik*, edited by Wien-Harms, Leipzig, 1931.
- [4] PRANDTL, L., *Führer durch die Strömungslehre*, 3rd edition (5th of Abriss), Brunswick, 1949.
- [5] MISES, R. von, *Elemente der technischen Hydromechanik*, Leipzig and Berlin, 1914.
- [6] *Modern Developments in Fluid Dynamics*, edited by S. Goldstein, Oxford, 1938.
- [7] *Aerodynamic Theory*, edited by W.F. Durand, Berlin, 1934.(Dover)