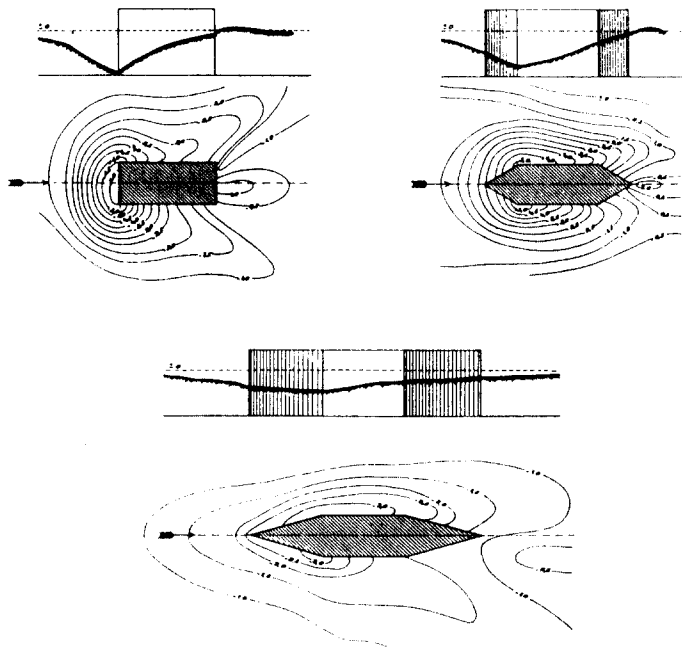


제 13 장

20세기 초 수학의 경향

18세기의 과학적이고 공학적인 노력이 점진적으로 증가됨에 따라 19세기가 수학의 황금기를 구가할 수 있었던 것과 마찬가지로, 19세기는 20세기 수리학발전의 촉매 역할을 해왔다. 과거 두 세기 동안 수학의 지속적 발전에 필요한 모든 기본적 원리와 기술이 연구되어 왔다. 연속방정식과 가속도, 에너지, 그리고 운동량 등에 대한 공식들의 기본적인 형태가 발표되었다. 속도, 압력 그리고 유량 등의 측정장치들을 고안해냈고 수치 평가를 위한 축척 모형(scale model)과 필수적인 수단들을 - 물론 일반적으로 받아들여지지는 않았지만- 유용한 실험도구로 인식했다. 그러므로 20세기의 성과가 새로운 발견에 있다기보다는 이전에 이미 발견된 것들을 확인, 융합 그리고 확장하는데 있다고 할 수 있다.



Engels가 Zeuiner실험실에서 수행한 교각주위 세굴의 체계적 연구

이러한 과학적 활동들은 너무나도 광범위해서 현세기에서 그것의 과정을 이해하며 다룬다는 것은 거의 불가능하다. 설사 그러한 취급이 가능하다 하더라도 각각의 기여도에 대한

정확한 평가가 부족하다면 아마도 잘못 평가될 우려가 크다. 이 장에서는 20세기 초의 주된 과학적 경향들에 초점을 맞출 것이다. 아울러 이러한 과학적 추세에 영향을 끼친 과학자들 - 물론 그들중의 대부분은 고인이 되었지만 - 의 간략한 언급을 함께 기술할 것이다. 적어도 수리학이 토목공학과 연관되어 있는 이상, 이 시대의 역사를 면밀히 검토하기 위해서는 “Die Wasserbaulaboratorien Europas” [1]와 이것의 영문 증보판인 “Hydraulic Laboratory Practice” [2]를 참조해야 한다.

세기가 전환되면서, 수리학 분야의 선두를 달리는 - 수리동역학 분야에서는 아닐지 모르지만- 국가는 분명 독일이었다. 이것은 아마도 독일 교육 제도의 자연적 성과물이었다고 이 제도는 19세기부터 발전해온 주립예비학교(preparatory schools), 대학, 공학연구소(polytechnic institutes)에서 세대 간에 걸쳐 지속적으로 잘 선발하여 육성한 과학자들과 공학자들을 배출해 낸 때문이다. 장기적인 산업적 관심사 중의 일부분은 제외하고, 주로 교육기관에서 연구를 했다. 이 교육기관에는 지식을 확장하고 향상시킬 수 있는 능력을 갖춘 교수들로 구성되어 있었다. 20세기 초 수리학 분야에서 독일인의 공로를 논하기 위해서는 6-7명의 주요 교수들의 영향을 거론함으로써 잘 설명될 수 있다.

이 중의 첫번째 교수는 Hubert Engels (1854-1945)인데 그는 Georg와 Ludwig Franzius의 제자로서 10년 간의 공학 실무를 배운 후에 Bruswick과 Dresdend의 공학연구소의 수리학 분야의 책임자로 임명되었다. 그는 Dresden학교에서 Weiswach의 학생이며 그의 전임자



Hubert Engels



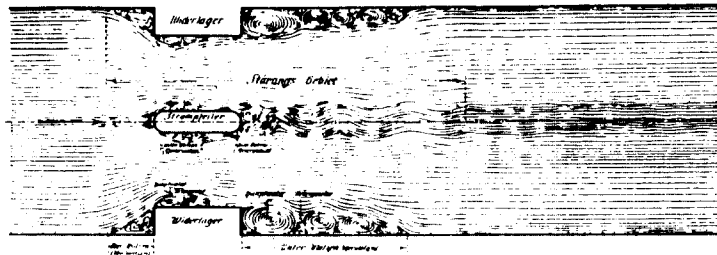
Theodor Rehbock

Zeiner의 “hydraulic observatory”에 있는 수리모형으로 1891년에 실험을 시작했다. 그리고 1898년에 특별히 이동상(movable bed)의 연구를 위해 펌프와 가변경사수로(tilting flume)를 갖춘 40×60-ft 규모의 실험실을 연구소의 지하실에 설치했다. 1913년에 이 실험실

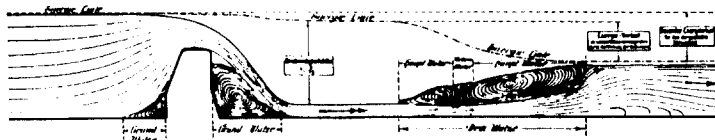
을 훨씬 더 큰 규모의 새로운 하천수리학(river-hydraulics) 실험실로 변경시켰다. 바로 이 실험실에서 하천유량조절(river regulation)에 대한 Engels의 연구가 수십년간 이루어졌다.

Theodor Rehbock (1864-1950)은 곧바로 Engels의 뒤를 이었다. 그는 Amsterdam에서 독일 태생의 양친 사이에서 태어났고, 나중에 역시 Ludwig Franzius의 공학 보조원이 되었다. Rehbock은 남미와 아프리카를 옮겨 다니며 상담실무(consulting practice)를 한 뒤 1899년 실험실에 자금을 지원받기로 계약하는 조건으로 Karlsruhe의 연구소에서 수리학 분야의 책임자로 임명되었다. 이 실험실은 1901년에 Dresden교의 것과 매우 비슷하게 건설되었으나 가동한 지 20년 만에 대대적으로 개조하였다. 이 개조된 실험실은 유리벽수조(glass-walled flume) 와 흙댐(earth dam), 여수로(spillway), 사이폰(siphon), 터널유입구(tunnel inlets)와 교량수축(bridge constrictions) 등이 있고, 특히 와류형성영역(zones of eddy formation)에서의 흐름형태의 재현에 주력하였다. 1921년에 초기 실험실로써는 수행해야 할 많은 작업들을 소화해내기에 부적합하다는 판단 아래 새로운 실험실이 건설되었다.

Engels를 하천수리 실험의 아버지라고 부른다면 Rehbock은 최고의 스승이라고 부를 수 있을 것이다. 위 두 사람의 활동의 성과로 축척모형의 수리 구조물에 대한 연구가 독일에서 급속도로 확산되었다. 위의 연구가 활발히 진행된 것 중에서 가장 주목할만한



윗 그림은 교량기초와 교각벽에 의한 평면상 국소 부흐름을 실험한 것이고, 아래 그림은 방수댐의 종단면에서의 국소 부흐름을 실험한 것이다.(Rehbock)



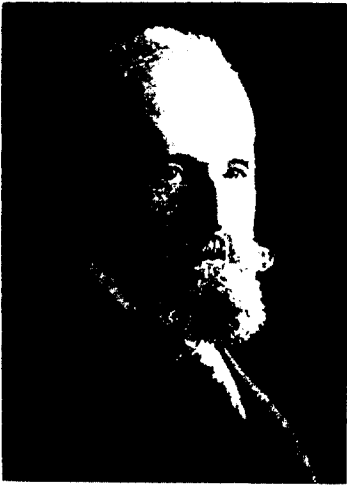
실험실은 놀랍게도 비교육기관인 'The Preussische Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau'였는데 이 기관은 1903년 베를린에 수리구조물과 배에 관한 모형연구를 위한 연방시험소로 건설되었다 ; 이 시험소는 1910년에 재임했었던 Hans Delft Krey (1866-1928)에

의해 상당한 평판을 얻게 되었다.

독일은 수리기계장치의 연구를 위해 실험실을 발전시키는데에서 주도적 역할을 해왔다. 이 실험실 중에서도 가장 주목할 것은 1904년 Hermann Föttiger (1877-1945)에 의해 설립된 베를린의 공학연구소이다. 그는 펌프와 터어빈의 공동현상(cavitation)의 초기 연구에 상당한 공헌을 했으며, 특히 유체토크변환기(fluid torque converter)로 명성을 날렸다. 또 다른 실험실은 Dieter Thoma (1881-1943)의 실험실이다 ; Thoma는 1920년 뮌헨의 공학연구소의 실험실을 설립하기에 앞서 Gotha의 제조회사를 위한 시험소를 10년 동안 운영해 왔고, 특히 수리기계설계에 사용되는 공동인자(cavitation parameter)에 관하여 그의 이름은 자주 인용되고 있다. 세번째는 체코 Brunn의 독일인 교수 Victor Kaplan (1876-1934)의 실험실이다. 그는 이 실험실에서 1910년부터 1924년까지 조절날개(adjustable blades)가 있는 프로펠러 터빈(propeller turbine)을 개발하였다.

수리학의 여러 분야에 관한 다양한 독일판 논문들이 19세기 말과 20세기 초에 물밀듯이 발표되었다. 이 중에 두 논문은 새로운 개념을 제시하였다는 점에서 소개한다. 훨씬 널리 알려진 논문은 Philipp Forchheimer (1852-1933)의 것인데, 그는 Vienna출신이고 Achen과 Graz에서 수리학 전공교수를 역임한 바 있다. Forchheimer의 “Hydraulik” [3]은 1914년에 초판이 발행되었는데 이 책은 오늘날에도 수리학 자료에 대한 뛰어난 주석과 편집으로 가치를 인정받고 있다. 또 다른 한편의 논문은 Alexander Koch (1852-1923)의 것인데, 그는 1909년에 Darmstadt에 있는 공학연구소에 교육과 연구를 위한 작은 규모의 실험실을 발전시켰다. 이 논문은 이론과 실험간의 상호관계에 주안점을 두고 있다는 점에서 Engels와 Rehbock의 논문과는 다르다. Koch는 다음과 같은 말을 했다. “우리가 필요로 하는 것은 수학적 수리동역학과 경험수리학이 아니라 간단-명료하고 실용적인 수리동역학이다.” 그는 주로 “지지력 법칙(운동량 원칙)”을 강조했고, 에너지선(energy line)과 유량도(discharge diagram)도 자주 소개했다. 1926년 Berlin의 Max Castanjen는 “Von der Bewegung des Wassers und den dabei auftretenden Kräften” 라는 제목하에 Koch의 유작으로 출판하였다. 그 저서 안에 웨어, 수문 그리고 수로천이(channel transition)에서의 수면곡선(profile)과 압력분포(pressure-distribution)가 잘 묘사되어 있다. 그러나 이 책은 특별한 해석방법을 제시한 역할을 했다고 보다는 해석방법의 필요성을 인식시키는데 공헌했다고 할 수 있다.

독일의 여러 주변국가들도 자연조건과 유사한 실험실을 개발하는데 노력하였다. 이들 중에 1907년 V. E. Timonoff (1862-1936)에 의해 Leningrad에 설립된 실험실을 들 수 있으며 다음과 같은 실험실이 설립되었다. 1908년 Charles Camichel(1877-....)에 의해 Toulouse에 설립 ; 1910년 Ettore Scimemi (1895-1952)에 의해 Pauda에 설립 ; 1912년 Friedrich Schaffernak (1881-1951)에 의해 Vienna에 설립 ; 1917년 Wolmar Fellenius (1876-1957)에 의해 Stockholm에 설립 ; 1927년 Johannes Theodoor Thijsse (1893-....)에 의해 Delft에 설



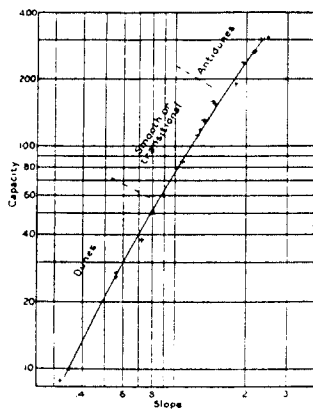
Philipp Forchheimer

립 ; 1928년 Eugene Meyer-Peter (1883-....)에 의해 Zurich에 설립. Manchester에 있는 Osborne Reynolds의 초기 실험실은 Arnold Hatley Gibson (1878-1959)에 의해 재가동되고 확장되었다. 그의 1908년 저서 “Hydraulics and Its Applications”은 영어 사용권 국가에 널리 확산되어 나갔다.

1920년대 중반동안 Rehbock과 Fellenius의 노력으로 그 당시 여러 하천수리학실험실 간부들의 조직을 만들려고 노력했다. 여러 반대 의견에 직면하기도 했으나 1935년 마침내 Brussels에서 열린 항해학술대회 중에 국제 수공학 구조물연구위원회

원회가 정식 출범했다. 모임의 명칭에서도 의미하듯이 모임의 범위를 의도적으로 실험수리학 측면에 국한하고 있다. 그 위원회의 유일한 전전의 회의가 1937년 Berlin에서 개최되었다.

미국에서 첫번째 수리학실험실은 1887년 Mansfield Merriman (1848-1925)에 의해 Lehigh 대학에 설립되었다. 이 실험실은 25×60 ft의 넓이와 인접 하천으로부터 0.25m³/s의 물을 공급받는다. 두번째 교육기관은 1894년에 설립된 Worcester 공학연구소이다. 이와 같은 해에 Charles Metcalf Allen (1871-1950)은 박사학위를 받고 기계공학과에 젊은 교수가 되었다. Allen의 선도로 실험실은 규모나 활동면에서 꾸준히 성장해갔다 ; 유체기계(fluid machinery), 유량계(flow meters), 수리구조물 등에 관한 시험을 추가하여, 유량측정의 염소속도법(salt velocity method)이 1920년대 초에 개발되었다.



소류사의 세영역을 포함한 Gilbert의 측정자료의 전형적 해석

교육기관과 관련된 세번째 실험실이 1899년 Cornell대학에 설립되었다. 1925-1950년 사이의 저명한 대부분의 미국수리학자들이 이 대학에서 수련과정을 거치거나 많은 시험에 참여했다. 이 시대의 대부분을 Ernest William Schoder (1879-....)가 주도적 역할을 하였는데 그는 젊은 보조자의 위치로서 다음 장에서 언급할 1903년의 수많은 관저항(pipe-resistance) 측정에 협력했다.

1908년에 임시실험실이 Grove Karl Gilbert (1843-1918)의 감독 하에 유송토사(sediment transportation)을 연구할 목적으로 미연방지질조사국(U.S. Geological Survey)에 의해 California대학에 설립되었다. 세계의 목재수로를 가지고 있는데 이 중의 하나는 유리벽이고, 초기운동과 매끈하거나 거친 하상위의 자갈이나 모래등의 이송비에 관해 실험하도록 제작되었다. 비록 Gilbert는 건강이 나빠서 원래 의도했었던 만큼 연구를 실행하지는 못했지만, 1914년 U.S. G.S. Professional Paper 에 제출한 결과들은 여전히 그 분야에서 가장 자주 인용되는 것들이다.

그 다음 주목할 만한 미국의 실험실은 지역상의 홍수조절 시스템을 계획하기 위해 Ohio 남서쪽에 있는 Miami 관리국(Miami conservancy District)의 실험실이다. Iowa의 고문으로 임명된 Iowa대학의 수리학교수인 Sherman Melville Woodward (1871-1953)의 노력으로 1915년 도수현상(hydraulic jump)과 유수지(retarding basins)의 출구에서의 감세지(stilling basins)설계를 위해 시험소를 설립했다. Woodward는 또한 1918년 Iowa실험실 설립에 역할이 컸다. 그 후에 그는 Iowa에 Floyd August Nagler (1892-1933)와 David Roy Yarnell (1886-1937)을 끌어들이었는데, Nagler는 Iowa수리학연구소(Iowa institute of Hydraulic Research)의 첫 번째 연구소장을 역임했고, Yarnell은 1922년부터 계속 미국농무부(U.S. Department of Agriculture)에 재임했었다 ; 이 세명은 많은 실험을 공동운영했다. Iowa실험실의 주목할 만한 성과는 여수로유량(spillway discharge)의 모형과 원형 사이의 상관관계를 처음으로 연구했다는 사실이다.

비록 축척모형(scale models)으로 인하여 수리학 연구실험실이 폭넓게 발전했다는 것이 20세기 초 수리학의 지배적 현상이었지만, 수리학을 실험실에 구애받지 않고 계속 향상시켜왔음도 주지의 사실이다. 이러한 사실에 대한 전형적인 예를 들면, 미국농무부가 후원한 현장실험이다. Fred Charles Scobey (1880-1962)는 1915년에 관개수로(irrigation channels)에서 흐름의 저항에 대한 많은 관찰들을 통한 결과물을 출판했고, 1916년에는 목재 도관(wood-stave conduits)에 대한 비슷한 결과물을 출판했다. Yarnell은 Iowa에 가기 전인 1917년에 여러 상업적 크기의 배수토관(drainage tile)에서 흐름에 대한 많은 자료를 발표했다. 그리고 관개수 측정을 위해 Venturi수조에 관해 시작된 연구는 Ralph Leroy Parshall (1881-1960)에 의해 Parshall수조로 명명되면서 최고 정점에 달했다.

또한 현장연구의 주된 결과들은 침식성 재료의 수로에서의 평형흐름(equilibrium flow)이

론을 연구한 영국계-인도인의 분석들이다. 이것들은 19세기 말에 인도의 한 관개수로에서 실트질이 없는 상태를 공식화하려는 Robert Gregg Kennedy (1851-1920)의 노력에 기원한다. 그의 접근에 있어 가장 주목할 만한 발전은 1910대 말과 1920년대 Edward Searles Lindley (1882-....)와 Gerald Lacey (1887-....)가 이루어 냈다. 또한 비슷한 연구를 같은 시기에 이집트에서 수행하고 있었다. 그러나 1930년대에 접어들어서야 미공병단(The Corps of Engineers), 개척국(The Bureau of Reclamation), 토양보전국(The Soil Conservation Service) 등의 후원으로 미국의 퇴사문제들을 양적인 관심보다는 질적인 관점으로 풀어 나가려고 노력하기 시작했다.

19세기 말과 20세기 초에 수력발전이 급증함에 따라 터빈을 평가할 목적으로 유량측정의 방법을 향상시킬 필요성이 생겼다. Allen의 염소속도법(salt-velocity method)뿐만 아니라 두 가지의 미국 기술을 계속해서 언급하겠다 : 그 한가지는 1916년에 Benjamine Feland Groat (1867-1949)가 사용한 염분희석법(salt-dilution method)이다 ; 또 한가지는 1923년에 Norman Rothwell Gibson (1880-....)이 발전시킨 압력-운동량법칙(pressure-momentum principle)이다. 또한 1922년 Thoma의 이름과 관계 있는 수리기계장치에 대한 공동인자(cavitation parameter)를 최초로 소개하였으며, 흡출관(draft-tube) 설계로 더 잘 알려지기도 한 Lewis Ferry Moody (1880-1953)에 대해 주목해야 한다.



John Ripley Freeman

19세기 말에 실험의 업적에 대해서 이미 언급한 바 있는 미국공학자들 가운데 원로 정치가인 John R. Freeman은 20대 초에 독일 및 여러 유럽국가들의 실험실습의 고도화된 발전상황에 너무나도 깊이 감명을 받았다.

Freeman은 상당히 긍정적인 태도였다. 우선 그는 미국 정부 후원하의 실험실 설립에 박차를 가하기 시작했다. 둘째로 그는 Verein Deutcher Ingenieure의 후원으로 유럽 연구자들로 하여금 연구작업 내용을 설명할 책을 준비하도록 설득했다. 셋째로 미국의 젊은 공학자들이 유럽의 공학 연구소에서 활동할 수 있는 연구자금을 기부했다. 넷째로 독일의 가장 저명한 몇몇의 실험실 소장들(Rehok과 Thoma 포함)을 미국으로 초빙

하여 강의를 하도록 하기도 했다. 그리고 다섯번째로 독일판 실험논문들을 영어로 번역, 확대, 출판하려고 노력했다. 미국의 수리학에 끼친 Freeman의 큰 영향은 이루 형용하기 어렵다.

그의 선견지명으로 수십 명의 미국 수리학자들은 유럽에서의 실험과 관찰을 통해 많은

도움을 받았고, 미국 공병단의 특별 임원으로서 광활한 수로시험소(Waterway Experiment Station)를 1929년 Vicksburg에 설립하였다. 1930년대에 들어서면서 미국대학의 실험실 활동이 양과 질적인 측면에서 눈에 띄게 증가했다. 그리고 Freeman이 죽기 직전인 1932년에 미연방 표준국(U.S. Bureau of Standards)에 국립 수리실험실(National Hydraulic Laboratory)이 설립되었다.

20세기 초의 수리학 연구는 19세기의 프랑스 수리학에서 매우 강조했었던 해석적접근을 거의 배제한 채로 실험적 접근에 초점을 맞추었다. 아래 서술하겠지만 20세기의 몇몇 조사 보고들이 이러한 관점을 입증해 주고 있다. 하나는 아주 재미있게도 Freeman 자신에 의해 발전되었는데 그 이유는 그의 제안으로 Raymond Deloraine Johnson (1874-1949)이 1908년에 차동조압수조(differential-surge-tank)의 작동 공식을 유도하고 발표했기 때문이다. 2년 후 Thoma는 자동조절기능을 갖춘 조압수조의 안전인자(parameter of stability)를 공식화했다. 같은 시기에 이탈리아의 수리학자 Lorenzo Allievi (1856-1941)는 Joukowsky의 수격작용(water hammer) 해석을 상당히 확장시켰다 ; 1902년에 기본 등식을 보완하며, 유도하는 작업에 그는 1913년에 이 분야의 보다 깊은 발전임에 틀림없는 수학적이고 도해적인 방법을 출판했다.



Lorenzo Allievi

이 도해법은 나중에 스위스의 Othmar Schnyder (1904-....)와 프랑스의 Louis Bergeron (1876-1948)에 의하여 실용화되었다. 파동의 분리해석(scattered analyses) - Carnegie기술연구소의 Harold Allen Thomas (1885-....)가 연구한 홍수와 연구와 같은 - 은 제외하고서라도 다음 장에 서술할 추세 변화에 독립적으로 영향을 끼친 수리학이론에 있어서의 필수적인 발전인 것이다.

참 고 문 헌

[1] *Die Wasserbaulaboratorien Europas*, edited by C. Matschoss, Verein Deutscher

Ingenieure, Berlin, 1926.

[2] *Hydraulic Laboratory Practice*, edited by J. R. Freeman. American of Mechanical Engineers, New York. 1929.

[3] Forchheimer, P., *Hydraulik*. 3rd edition, Leipzig and Berlin,1930.