

# 제 9 장

## 18세기 실험 수리학

초기의 이탈리아 수리학과 연구에 자극을 받아, 그 뒤 수세기에 걸쳐 이탈리아가 이 분야에서 계속하여 발표한 일련의 논문은 경이할 만 하다. 위의 논문들은 논문집인 “Racclota”에 계속해서 모아졌는데 그 중에는 Grandi, Gennette, Lecchi, Manfre야, Frish 그리고 Zandrini 등의 저자를 볼 수 있다. 특히 Frish는 한개의 보고서를 제출하고, 그것은 차례로 전국에 강한 반응을 불러 일으켰다. 즉 실제로 수리학은 수학이라고 하는 것 보다는 오히려 물리학의 한 분야 일 경우에 수학적 이론을 정식화하는 것은 불합리하다고 한 것이다. 다만, 유감스러운 것은 이들이 쓴 보고서는 거의 알려지지 않고, 때문에 실험수리학의 주도권은 점차 다른 나라의 기술자에게로 의해 옮겨져 갔고, 그들 기술자의 이름이 우리들의 학술용어에 사용되게 되었다.

이 점에 관해서 18세기 초 이탈리아사람인 Marquis Giovanni Poleni는 특히 그 부분에 대해서 언급하고 있다. 그는 베니스에서 태어나서 26세에 Padua에서 천문학의 교수가 되고, 뒤이어 물리학 교수, 그후에는 수학 교수가 되었다. 그의 흥미는 외국어, 철학 및 신학에 까지 이르고, 유럽의 거의 대부분의 과학의 학회에 가입해 있었다. 기술자로서 Poleni는 급수와 홍수조절의 고문이었고, 인근 제국의 지배자의 조정자이기도 하였다. 그의 수리학의 주요한 공헌은 세가지가 있었다 [1]. 1718년의 저서인 “De Castellis” 중에서 그는 예언 오리피스에 대한 수축계수로써 뉴턴의  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  라고하는 값을 계산 해서 0.62라고 하는 측정치를 얻어냈다.



Giovanni Poleni

그는 또한 짧은 관을 오리피스에 연결한 시험을 통해서 최대 유출속도는 중간 길이관에서 얻어진다는 것을 발견하였다. 또한 1717년의 「물의 운동」(De moto aquæ mixto)중에서 일련의 수평한 요소에 있어서 일어나는 것과 같은 자유표면까지의 직각 개구로부터의 유출을 취급하고, 각각의 유속은 처음의 표면수위로부터 거리의 평방근에 비례 한다고 가정했다. 그래서 단위폭당의 전유출속도는 표면과 개구저부간의 포물선 속도곡선으로 둘러 쌓여지는 면적에 대응한다.

$$Q = \frac{2}{3} hb\sqrt{f}$$

여기에서 h와 b는 개구의 깊이와 폭이고, f는 속도수두를 나타내는 2gh로 표현한다. 이와 같은 접근법은 후에 예연웨어의 유출관계를 유도함에 있어서 사용되어 왔기 때문에 웨어의 기본식

$$Q = \frac{2}{3} Cb\sqrt{2gh}^{\frac{2}{3}}$$

은 종종 Poleni의 식이라고 불려진다.

프랑스 수리학파는 이탈리아학파에 비해서 처음에는 느린 움직임을 보인 반면 18세기 말엽에는 유럽의 선두가 되었다. Mariotte에 의한 수리실험은 이미 세계의 주목을 받고 학계에 자극을 끼쳤다.



Henri de Pitot

Claude Antoine Couplet(1642-1722)이 Versailles에서 행한 실험은 -직경이 약 10cm에서 약 45cm, 길이 0.8km이하로부터 거의 약 3.2km, 거기에 정상적 상태와 최악의 상태까지 포함시켰다.- 5개의 관로에 대한 저항을 정하고자 측정을 하였다. 그 실험결과에 대해서도 간단히 한다. 또한 1737년부터 1753년 사이에 파리에 Bernard Forest de Belidor(1693-1761)에 의해 발표된 전 4권의 방대한 논문 『수리건조술』 (Architecture hydraulique)도 놀랄만한 학술논문이다. 각종의 공학지식에 대한 이 편찬물은 다음 1세기 이상에 걸쳐서 설계와 현장에서 영향을 미쳤다.

Henri de Pitot(1695-1771)의 이름은 현재로는 계측용어의 중요한 부분으로 되어져 있지만 그는 Belidor와 동시대 사람으로서 프랑스 남서부의 Aramon에서 태어났다.

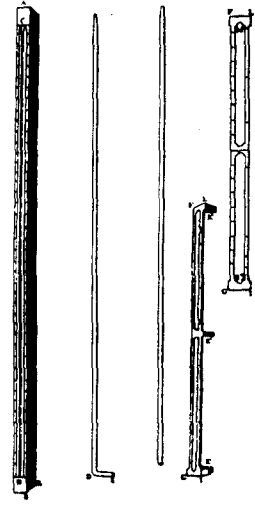
젊은 시절에는 그다지 장래가 촉망되지 않았지만 20대 초반에 파리에 Reaumur밑에서 수학과 물리학을 열심히 배웠다.

1740년에 Midi운하의 감독자로서 고향인 Languedoc에 돌아와서 생애를 마쳤다. 그는 거기에서 호수의 배수, 다리·수도의 건설, 그 지방의 홍수대책을 세웠다. 그의 다수의 저서는 수리학외에 구조, 측량, 천문학, 수학, 위생설비 및 조선이론에까지 미쳐 있었고 이에 따라 그는 『과학아카데미』 뿐만 아니라 『런던 왕립학회』의 회원으로 추대되었다. 물의 흐름에 대한 그의 개념의 대부분은 아카데미 회원으로 부터는 잘못되었다고 평가되었다. 이와 관련해서 그가 -Belidor와 마찬가지로- 풍차의 날개에 작용하는 힘과 수차의 최고성능 점

에 관한 Parent의 잘못된 결론을 솔직하게 인정한 것은 주목할 만하다.

그러나 1732년의 논문 『Description d'une machine pour mesurer la vitesse des eaux courantes et le sillage des vaisseaux』(유수의 속도와 진행속도를 측정하는 기계의 기술)에 실린 발명품은 그의 이름을 오랫동안 남게 하였다.

Pitot의 『기계』는 간단히 말해 눈금과 소형의 4개 petcock가 있는 가는 틀에 붙여진 2개의 평행한 관으로 형성되어 있다. 하나의 관은 똑바로 되어있고 다른 하나는 그 밑단이 90° 굴절되어 있다. 장치의 저부로 흐르고 있는 물의 임의 깊이에 담그고 나서 petcock를 닫고 장치를 들어 올려 두 개의 수주의 높이의 차를 기록하여 그로부터 유속을 계산하려고 했다. Pitot 자신이 인정했던 것처럼 [2],



초기 Pitot tube의 모습

이 기계의 착상은 매우 간단하고 게다가 자연스러운 것이기 때문에 생각이 드는 순간 바로 유리 관으로 최초의 실험을 하기 위해 하천으로 달려나갔다. 그리고 결과는 완전히 나의 예상을 입증해 주었다. 그 최초의 실험이 있던 후에 이렇게 간단하고 실용적인 것을 물의 운동에 대해 연구하고 많은 서적들을 남긴 많은 뛰어난 사람들이 왜 생각하지 못했는가를 생각하게 하였다.

그렇지만 많은 실용적인 발명과 마찬가지로 Pitot는 조금 잘못된 가설에 기초를 두고 있었다.

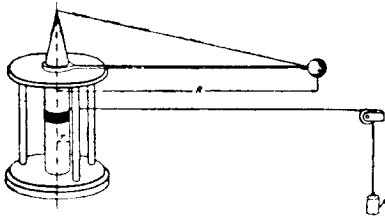
그런데 실험에 의하면 정지하고 있는 평면에 무한의 유체에 대한 수직방향의 충격은 본질적으로 이 유체 기동무게와 같다. 그것은 저면에 그에 해당하는 면에 충돌이 일어나는 속도에 해당하는 높이를 갖는다.  $P$ 를 충격,  $S^2$ 을 표면적,  $h$ 를 유속에 대한 높이,  $u$ 를 유체의 비중이라 하면 근사적으로

$$P = us^2h$$

라 나타낼 수 있으며  $h$ 는 물체의 낙하의 법칙으로부터 결정될 수 있다.

이처럼 Pitot는 현상의 실제의 이론적 평가에 관해서는 Varignon보다 가까이 접근하지는 못하였으나 그는 Varignon을 『이 원리를 최초로 설명한 명예를 얻은 사람』라고 칭송하였다. 또한 주위의 압력을 나타내기 위해 끝이 막혀져 있지 않은 직선관을 사용한 점에서는 액주계 원리를 바로 도입한 Bernoulli보다 훨씬 미치지 못했다. 물의 높이차를 측정해서 속

도를 계산하는 것에 관해서 그는 떨어지는 물체가 1초후에 생기는 속도로 나타내는 관습을 고집하였다. 이 장치의 사용을 간단하게 하기 위해서 그는 한쌍의 표를 준비하였지만 그중에서 다수의 중요한 숫자를 계산하는데에는 장치와 낙하속도의 측정 정도를 유지할 수 없는 종래의 습관에 따랐다. 하지만 이 최초의 발명에 잘못이 있다하여도 그 기본적인 착상은 확실하게 새로운 공헌이었다. 그리고 Pitot는 수로내의 유속분포와 배의 속도 측정에서 그 유용성을 확실히 나타내었다.



Robin이 사용한 회전대

18세기초까지는 물체저항측정에 세 가지의 시험 방법이 사용되어 왔다. ---즉 Galileo학과 Newton학파에 의해 사용된 자유낙하의 시간측정, 당시 많은 사람들에 의해서 실행된 것 처럼 진자에 물체를 놓는 것 그리고 마리호트에 의해 최초로 이용된 것 같은 흐르는 물안에 물체를 메다는 것.

네 번째의 방법 -회전대-은 확실하게 두사람의 영국인 Mr. Rouse of Harborrhugh와 탄도진자의 발명자 Benjamin Robins(1707-1751)에 의해서 독립적으로 도입되었다.---회전대 장치는 1746년 수회에 걸쳐서 왕립학회에서 설명 되었다. 그것은 현과 도르래, 추에의해서 수직축 주위를 회전하는 약 1.2m의 고정대로 만들어져 있다. 고정대와 본체의 합성저항은 처음에 소요의 중량과 속도로 측정하며, 다음에 고정대에 의한 저항을 같은 속도가 될 때까지 줄여 측정하였다. Robins가 사용한 고정대는 비교적 짧았다(약 1.2m). 그리고 측정결과는 오늘날의 표준치보다 오히려 부정확했다. 그러나 방법 그 자체는 탄도학과 마찬가지로 최근에 있어서도 수리학에 이용하게 되었다. 개수로의 등류의 흐름저항의 원리를 이해하고자한 이탈리아학과 초기의 노력에 이어서 같은 노력이 다른 나라들에서도 행해졌다. Cornelius Velsen에 의해 1749년에 암스텔담에서 발표한 논문중에서 속도는 경사의 평방근에 비례한다는 결론이 나왔다. 그러나 이 바른 관계는 이탈리아인의 이론과 마찬가지로 토리첼리의 유출의 법칙을 부적절하게 적용하였기 때문에 가치가 약해져 버렸다. 한편 독일의 기술자 Albert Brahm는1757년 Hanno ver Aurich에서 출판된 「제방하천공학의기초」(Anfangs - Grunde der Deiche - undasser - Baukunst)중에서 등류에서의 하상의 감속효과는 중력에 의한 감속효과와 같을 뿐이 아니라 유속의 제곱에 비례한다고 서술하였다. 더욱이 Brahm은 오늘날에도 한 두가지 형태로 알려져 있는 토사유송의 초기운동에 대한 단순한 법칙을 경험적으로 구하였다. 즉 하상유속과 하상재료의 수중중량의 6분의 1승 범위에서 비례한다. 그러나 그의 통찰력에도 불구하고 Brahm은 종종 정식화했다고 주장하고 있지만 실제로는 저항관계를 공식화하지 못했다. 저항 식중에서 최초일 뿐 아니라 무엇보다 사용되었던 것은, 통상 프랑스의 기술자 Antoine Chezy(1718-1798)의 공으로 돌렸지만 그의 수리학에서의 공헌

은 그가 죽은 후에도 오랫동안 거의 주목되어져 있지 않은 상태였다. Chezy는 Calons · sur · r · Marne에 결코 고귀하다고 할 정도는 아니지만 좋은 집에서 태어난 (그의 이름에 때때로 de가 붙어있는 것은 그의 아들이 붙였다고 한다).

그는 교구의 학교에서 배우고 공부하고 이어서 거기서 교사를 하고 있었지만 30세에 교량도로학교(Ecole des Ponts et Chaussees)라고 부르는 새로운 정부의 학교에 입학하여 우등생으로 졸업하였다. 그 뒤 그 조직중에서 차례로 승진하여 특히 동교의 초대교장 Perronet의 밑에서 파리의 교량과 도로의 건설과 검사의 적극적인 역할을 담당하였다. 그러나 그는 1790년에 극빈상태로 퇴직하였다. 그리고 그가 죽기 1년전인 1797년에 드디어 그의 제자중의 한 사람 Baron Riche de Prony남작의 노력에 의해 마침내 동교의 교장에 임명되었지만 너무 늦어버린 것이었다.



Antoine Chézy

Chezy 가 저항의 연구에서 유도한 사항은 다음과 같다. 1760년에 「과학 아카데미」는 파리지 당국으로부터 펌프의 움직임이 나쁜 것과 그 결과 급수가 불충분한 것에 대해서 상담을 받고 그 문제의 연구를 위해 위원회를 조직하였다. 위원회는 다른 사항과 함께 도시보다도 높은 곳에 있는 Yvette강의 물을 이용할 것을 권고하였고 그것은 1768년에 이르러서 드디어 받아들여져서 시당국은 Perronet와 Chezy가 이 계획을 수행하게끔 결정하였다. Chezy의 일은 수로단면을 정하고 유량을 계산하는 것이었다. 그러나 이에 대한 문헌이 없어서 그는 독자적으로 연구하여 그 권장사항을 보고서의 형태로 Perronet에 제출하였다. 이 보고서는 사라져 버렸지만 「도로교량학교」의 서류와 소개서에 그의 원고가 포함되어 있으므로 이하의 발췌는 그로부터 인용한 것이다 [3] :

물이 없는 곳에서 급수하는 것이나 물이 많은 지역의 배수는 물에 흐름을 이용하려고 할 때에는 대부분 어느 곳에서나 가능한 한 작은 경사로 물의 흐름을 최대한으로 해야만 한다.

수로를 설계하고 그 경사를 잘 조정하면 후 그 수로가 흐르는 물에 대해서 충분한 용량이 되는지를 아는 것은 극히 중요한 일이다. 그러기 위해서는 일정한 경사로 가장한 수로에 있어서 물이 어느 만큼의 유속으로 흐르는지를 아는 것이 필요하다.

초기 속도와 일시적인 속도는 아무런 문제가 되지 않는다. 그것이 낙차에 의해서 일어나는 것이라면 매우 클 것이고 중력 혹은 수로의 경사에 의한 것이라면 매우 작을 것이다. 초기속도가 어떠한 지라도 그것은 빨라지거나 감소되거나 바로 수로의 경사와 중력에 지배되는 일정한 속도로 되어버린다. 수로의 경사 혹은 중력의 효과라고 하는 것은 수로의 경계에 대한 마찰저항만에 한정된다.

근사적으로라도 알 필요가 있는 것은 이 속도이다.

이처럼 제출된 문제는 그 자신속에 해답을 나타내고 있다. 이것은 연속적으로 작용하는 중력에 의한 속도는 (무엇인가 다른 원인으로부터 오는 것은 제외한다. 그리고 그런 것은 드디어는 소실하고 결국은 문제가 되지 않는다.) 그것이 가속되지 않을 때 속도는 단순히 일정한 것이고 중력은 그 물에 대한 움직임이 수로의 경계 때문에 일어나는 저항과 같을 때를 제외하면 가속을 멈추지 않는 것이 확실하다. 그러나 저항은 일정시간에 충돌하는 입자의 수와 힘 때문에 속도의 2승과 같고 또한 윤변(수로의 경계에 접해있는 흐름 단면의 주위 부분)의 역할이다. 자유표면에 대한 공기의 저항은 무시한다. 속도를  $V$ , 그리고 윤변을  $P$ 라고 하면 마찰의 저항은  $VVP$ 로 된다. 한편 중력의 효과는 흐름 단면적, 수로의 경사, 즉 각각의 단위길이에 대한 수위하강의 높이로서 나타내준다. 따라서 단면적을  $A$ , 수로의 경사를  $H$ 로 하면 중력의 효과는  $AH$ 로 된다.

이처럼 잘 관찰해봄에 따라서

수로의 경사-----H  
 흐름의 단면적-----A  
 유속-----V  
 윤변-----P

를 알 수 있다면

경사-----h  
 단면적-----a  
 윤변-----p

를 알 수 있는 다른 수로의 속도를 산출해 내는 것이 용이하다. 즉

$$\frac{VVP}{AH} = \frac{vvp}{ah}$$

따라서

$$VVPah = vvpAH$$

아울러

$$v = V\sqrt{\frac{ahP}{AHp}}$$

이 공식을 이용하기 위해서는 모든 것을 관측에 의해서 구할 필요가 있다. 여러 가지 소하천에 대해서 유사한 관찰을 행하는 것도 흥미가 있지만 이들 관측은 모두 상당한 주의가 필요하고 충분한 정확도로 행하는 것은 곤란하고 매우 신중한 주의를 기울이는 사람에게 의해서 행해졌을 때만이 계산할 수 있음에 주의해야 한다.

오늘날 알려져 있는 Chezy의 식은 차원적인 계수를 포함하고 있지만 Chezy의 당초의 식은 유사한 성질을 갖는 두 개의 흐름사이의 흐름상태를 간단히 비교만한 것임을 알아 둘 필요가 있다. 나중의 기록에서는 계산을 간단히 하기 위해서 최초의 식의 좌변을 하나의 수치로 변환시키는 것이 사실이지만 —— 그는 결코 때때로 말해지는 것처럼 —— 모든 호

름에 대해서 그것이 일정하다고 가정하지는 않았다. 실제 한 흐름이 변하면 다른 것도 변하는 것을 알고 있었다. 그는 그 계산방법을 관수로의 경우에 적용하고 주위에 대한 단면적의 비가 관의 직경의 1/4과 같다는 것을 인정했다고 하는 것은 주목할 만하다. Chezy의 해석이 간결함과 합리성에도 불구하고 Yvette의 하천계획에 대한 Perronet의 보고서에는 그것의 언급도 없고 Chezy의 계산결과만이 기술되어 있다. 더욱 주목할 것은 최초에는 반대가 많아 이윽고 프랑스 혁명때문에 계획은 정지되어 버렸다. Chezy의 원고는 19세기초 프랑스의 기술자 Girard과 Prony에 의해서 되새겨졌으나 그것은 프랑스보다도 독일에서 한층 강한 관심을 불러 일으키고 19세기 말에 처음으로 출판되었고 그 뒤 아메리카에서는 Clemens Herschel에 의해서 출판되었다 [4]. 따라서 Chezy가 입는 영예는 수학의 역사에 직접적인 진전의 영향이라는 것보다는 오히려 그의 해석의 본질적인 가치에 대한 것이다. 1716년에 「교량도로학교」가 창설되어 프랑스의 기술자는 전문직업으로서 인정되었지만 영국의 기술자는 아직 단순한 직업인으로 여겨졌다.

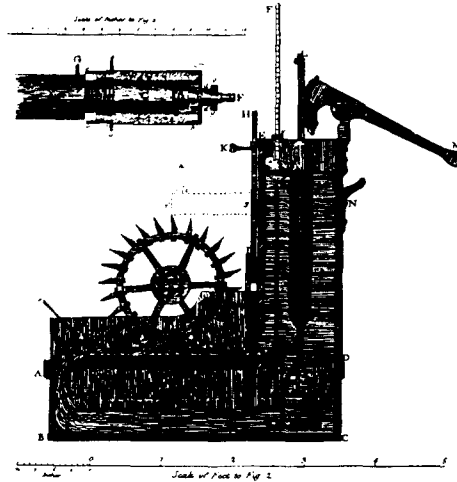


John Smeaton

영국의 최초의 위대한 기술자 John Smeaton(1724-1792)은 순전히 독학으로 공부하였고 결국은 그의 직업이 인정된 점에 관해서 그에게 큰 공적이 있었다. 그는 Leed에서 변호사의 아들로 태어나 26세때 「왕립학회」에서 최초의 논문을 발표하고 35세때 4번째의 논문을 제출하여 학회로부터 금메달을 획득했다. Low Countries 에서 사용되었던 기술을 배운뒤에 그는 몇 개의 영국의 항만 하수도 그리고 —— 그에 의해 그가 무엇보다 유명하게 된 계획 —— 이전에 두 사람의 청구인이 실패한 Eddystone 등대의 설계와 시공을 하였다. 그는 또한 발명가이고 (수압펌프의 고안에 의한것이였다)

천문학자이며 기계제작의 여러분야에 대한 저술가였다. 수학에 관한 한 1759년 그의 금메달 논문 「회전운동에 관계되는 공장과 기타 기계를 돌리는 자연 동력인 물과 바람에 관한 실험적 연구」(An Experimental Inquiry concerning the Natural Powers of Water and Wind to turn Mills, and other Machines, depending on a Circular Motion)는 최초로 공개 모형실험에 대한 기술을 포함시켜 놓고 특히 흥미가 있다. Smeaton의 서문은, 최근의 많은 보고 중에서 그것과는 관계없이 인용되어 왔다 [5] :

이에 대해서 내가 연습해야 할 것은 원래가 모형실험으로부터 나타난 것이라고 하는 것이다. 나는



Smeton이 사용한 수차모형의 실험대

모형은 기계적 탐구에 관한 것은 개요를 얻는데는 무엇보다도 좋은 방법이라고 생각한다. 그러나 이 경우 모형과 큰 기계와는 다른 상황이 있다는 것을 구별할 필요가 있다. 그렇지 않으면 모형은 우리를 진리로부터 벗어나게 한다. 따라서 모형에서는 매우 잘 이루어진 것이 큰 기계에서는 잘 이루어지지 않을 경우가 발생한다. 그리고 실제로는 극히 신중하게 하였지만 기계의 최양의 고저는 충분히 성립되어 있지 않고 그들에 대한 실험으로부터 적당한 크기가 결정될 수 있다. 모형과 이하의 실험 대부분은 1752년과 1753년에 행한 것이지만 실제로 여러가지 목적에 대해서 행하여 출현하는 기회를 얻을 때까지 학회에 결과를 제출하지 않은 것은 그 때문이다. 나는 내가 해답을 얻어 「학회」를 안심시키기 위해서.

Smeaton는 하사식 수차, 상사식수차 및 소위 표준형의 풍차모형으로 대규모 실험을 하였다. 하사식 수차의 결과로부터 그는 다음과 같은 적절한 정수를 도출하였다.

- 가상 혹은 유효수두가 같다면 효과는 거의 소비되는 물의 양에 의한다.
- 소비되는 수량이 같다면 효과는 거의 가상 혹은 유효수두의 높이에 의한다.
- 소비되는 수량이 같다면 효과는 거의 유속의 2승에 의한다.
- 개구가 같다면 효과는 거의 물의 유속의 3승에 의한다.

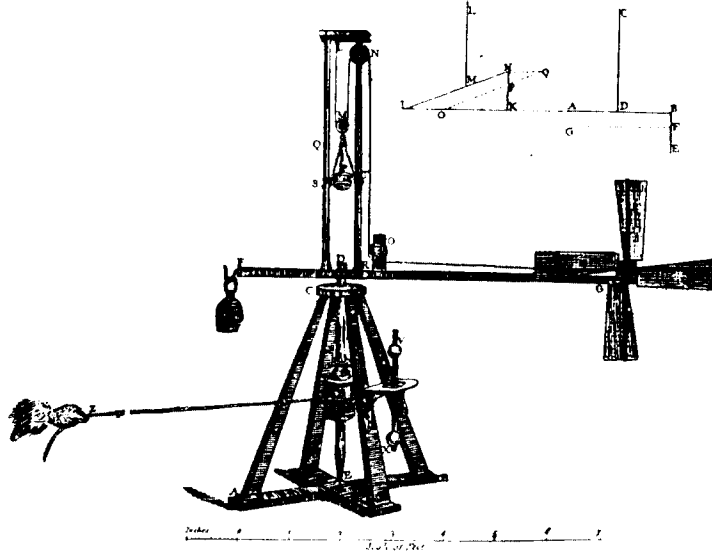
그는 또한, 최고의 성능과 상사식 수차와 하사식 수차의 비교에 대해서 연구하였다.

……따라서 수량과 낙차가 같은 상황하에서는 상사식 수차의 효과는 평균적으로 하사식 수차의 배이다. 그 결과로 충격 혹은 충돌에 의해서 작용할 때의 비탄성체는 그것이 본래 갖고 있는 힘의 일부분을 전달함에 불과하다. 다른 부분은 타격의 결과 그 형태를 변화시키는데 소비되고 있다.

Smeaton는 풍차의 연구에 대해서 Rouse와 Robin의 회전완복을 기묘하게 결합하였다.



날개를 지지하는 부분은 손으로 움직이고 날개 그 자체는 낙하하는 추로 회전한다. 이들의 실험으로부터 도출한 일련의 설명은 하사식 수차에 대한 것과 같고 일반적인 성질의 것이다. Smeaton의 연구를 Girard는 정성을 들여 번역하였고 그것은 19세기초에 영국 기술문헌만이 아니고 프랑스에서도 높게 평가 되었다. 프랑스에서 혁명기의 주도권이 실험 수리학



Smeton이 사용한 풍차의 회전대 실험기구

에 있었던 사실은 아마 단순한 우연은 아닐 것이다. 확실하게 탁월한 지위가 있는 몇몇 사람들은 정치적 사회적 동란의 은인이라고 하기보다도 희생자였지만 프랑스의 과학은 전반적으로 그것으로 해를 입었다고는 생각하지 않는다. 「과학 아카데미」는 1793년에 해산되었지만 2년후에 그에 대신하는 「프랑스 학사원」이 만들어졌다. 그리고 당시 우세였던 변혁의 정신의 소취인 하나가 무게와 척도에 대한 m계의 설정이고 그것은 실험과학의 모든 분야에 일치하는 효과를 가져다 주었다. 19세기 초에 불안정한 과도기에 많은 과학자는 새로운 제도의 발전을 담당해야 하는 조직으로 도피처를 도출하였다.

Jean Charles Borda(1733-1799)는 이 시대의 전형적인 공학자였다. 그는 Dax에서 태어나서 Mersenne와 Descartes에게서 일찍이 교육받았다. 수학 교사로서의 짧은 기간을 거친 뒤 공병으로서 전문적인 직업을 시작하였다. 처음에는 항만건설에 이어서 탄도학의 문제 해석, 말년에는 수리학과 수력기계의 실험에 전념하였다. 1767년에는 해군으로 옮겨서 활약하였지만 거기에서 그는 위도와 경도의 측정방법의 개선에 현저한 기능을 발휘하였다. 대혁명후 무게와 길이의 10진법의 고안을 위탁받은 위원회에서 그는 지도적 역할을 하였다. 특히 그의 흥미는 자오선의 호에 의한 길이의 단위 (이에 대해 그는 meter라는 단어를 만들

었다).

Borda는 20대 초반에 수리학의 실험을 Dunkerque에서 수행하였다. 1763년에 과학 아카데미에 논문 「유체의 저항에 관한 실험」 (Experiences sur la resistance der fluides)을 제출하였다. 그것은 공기중에서의 회전 완목의 테스트를 쓴것으로서 1767년에는 같은 제목으로 수중에서의 같은 실험을 간단하게 쓴 논문을 제출하였다. 이들의 저항에 대한 연구는 보통 행해진 구와 판에 대해서만이 아니고 각주, 원주, 원뿔, 썩기형에 대해서도 수행하였다. 그가 얻은 절대치는 오늘날 얻은 값보다도 컸지만 각종의 여러 유체중에서 그들의 상대적인 크기는 양호하였다.

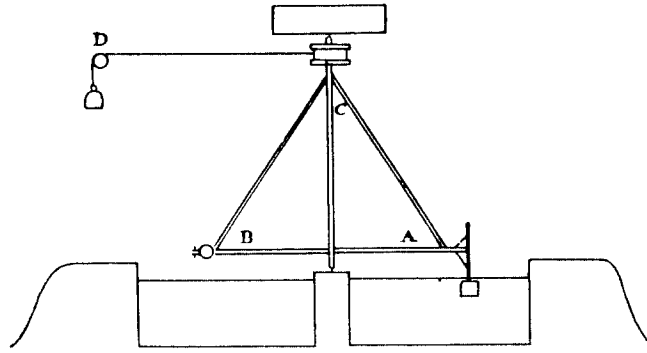


Jean Charles Borda

이렇게 해서 Borda는 정해진 물체의 저항은 상대속도의 2승에 비례한다고 하는 당시 지배적인 이론을 증명하였다. 또한 그는 혹시 표면과가 생기면 그것은 보다 높은 힘의 날개에 비례한다는 것을 나타내었다. 그러나 그는 자신의 측정치를 단면적과 밀도에 의해서 상관시키지 못했다. 그리고 물체의 외형에 차이는 저항에 현저한 차이를 일으킨다는 것을 —— 실제 당시 유행하고 있던 이론과는 반대로 —— 결정적으로 증명했지만 구와 볼록측을 상류로 향한 반구가 근본적으로는 같은 항력을 내기 때문에 중요한 것은 후방보다도 전방의 형태라고 결론짓고 일반적으로 용인되어져 있던 잘못을 부추기게 되었다.

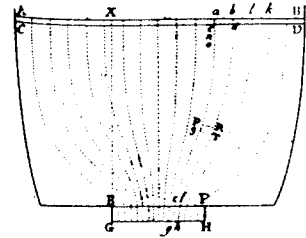
이들 논문의 어느 부분은 칭찬할 만한 것이었지만 그것은 아무런 갈채도 받지 못했다. 실제 오늘날 Borda의 이름은 1766년에 「용기 오리피스에 의한 유체유출에 의한 연구보고」 (Memoire sur l'ecoulement des fluides par les orifices des vases)라고 하는 제목으로 아카데미에 발표하였다. 전혀 다른 수리학 분야의 연구로 잘 알려져 있다. 그중에서 그는 유출문제에 대한 베르누이와 d'Alembert의 해석에 놓여진 몇 개의 모순을 이론과 실험의 양면으로부터 제거하려고 했다 [6] :

지금 인용한 두 개의 연구를 아무리 칭찬을 해도 한이 없지만 거기에서 얻은 결론은 항상 일치하지 않는다는 것을 알아야 한다. 이 부분의 유체이론에는 우선 큰 불확실성이 남아 있다. 놀랄만한 일은 그 불확실성을 기초로 되어 있는 가설과 원리의 사용을 더욱 상세하게 누구도 제거하려고 하고 있지 않다는 것이다.



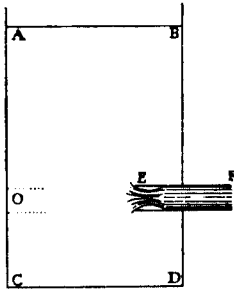
물의 저항력실험에 쓰인 Borda의 회전대

Borda는 유출을 취급하는데 먼저 수직조각으로 나누는 것보다는 오히려 유관요소라고 하는 개념을 도입하였다. 이어서 그는 유량의 비율을 정식화할 경우 분류의 수축만이 아니고 에너지 손실도 항상 고려해야 한다는 것을 나타내었다.



Borda가 그린 유관

운동량을 고려함에 의해서 그는 수조내에 돌출한 관의 특수한 경우(즉, Borda의 파이프 구멍)에 분류가 관 단면적의 반으로 흐르는 것을 발견하고 이 값을 실험적으로 확인하였다. 그로부터 흐름의 팽창과 비탄성체의 충돌과의 유사성을 유도하면서 여러 형태의 관 유입구를 통하는 유출과 수조의 밑바닥에 둘러진 오리피스를 통한 흐름의 연구를 진전하였다.



흐름의 팽창에대한 모식도

용기중의 모래의 움직임은 서로 작용하는 고체계의 것이라고 생각된다. 아문튼 우리들은 활력의 원리는 상호작용이 아주 작게 일어나는 물체의 운동에 관계가 있다는 것, 그리고 하나의 물체가 다른 것에 부딪치면 바로 그 시스템의 활력은 필연적으로 잃어버린다는 것을 알고 있다.

따라서 다음과 같은 명제가 그의 해석의 기초로서 사용되었다.

<명제> 주어진 속도  $u$ 의 고체  $a$ 는 속도  $V$ 의 고체물체  $A$ 에 부딪힌다고 한다. 정해 놓아야 할 것

은 이 충돌에 의한 활력의 손실이다 충돌전의 활력의 합은

$$\frac{au^2 + AV}{2g}$$

이 합은 충돌 후에 활력이 되는

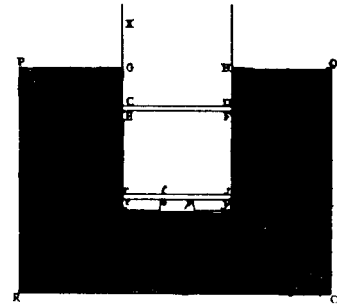
$$\frac{a + A}{2g} \left( \frac{au + AV}{a + V} \right)^2$$

충돌 후의 그 차이는 이처럼 된다.

$$\frac{aV}{a + V} \left( \frac{u - V}{2g} \right)^2$$

깊이  $x$ 의 물의 자유표면으로부터 A인 장소에 오리피스를 갖는 폭B의 부수조에 대해서 그는 베르누이의 각 편 요소를 사용하여 논하고 있다.

어느 순간 용기에 들어온 슬라이스 mopn는 다음의 위치를 rsxy점한다. 그 위치를 점하기 전에 작은 박편이 거기에 있던 유체에 대해서 바로 독립한 질량이 다른 용량으로 부딪침과 마찬가지로 그 운동의 일부를 잃어버리는 것은 명확하다. 그러나 이들 두 개의 독립질량의 경우에는 활력의 손실이 있다. 그래서 지금 우리들이 생각하고 있는 경우에 있어서도 역시 손실이 발생한다.



……이것은 소박편 rsxy가 큰 유체 rCDs 에 작용한 결과이다. 그리고 박편 opmn의 속도를  $V$ 로 하면 명제에 의하여 이 경우에 활력의 손실이

$$\frac{badx}{a + dx} \frac{(V - u)^2}{2g} = bdx \frac{(V - u)^2}{2g}$$

다음과 같은 식이라는 것을 용이하게 알 수 있다.

…… 다만,  $V$ 를 결정하는 것이 남아있다. 이에 대해서는 수조에 들어온 유체가 바로 꼭 같은 오리피스로부터 용기 밖으로 유출할 때와 마찬가지로 수축한다는 것에 유의하면 좋겠다.……

여기에서 나온

$$\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

의 항은 오늘날에도 Borda손실이라고 부른다. 특히 흥미있는 것은 흐름의 관계식에 있어서 인자 ' $2g$ '를 명확하게 표시한 수학자는 Borda라고 하는 사실이다. Charles Bossut(1730-1814)는 Borda와 동시대의 사람으로서 당시의 대표적인 성직 과학자였다. Lyons 근처의 Tarare에서 태어나서 6살 때 고아가 되었지만 Lyons에서 예수회에 의해 교육받고 후에 그들의 일원으로 되었다. 조숙한 재능에 의해서 그는 이윽고 Clairaut와 d'Alembert의 원조를 받게 되고

1752년에는 Mezieres공업학교에서 수학 교수로 임명되었다. 그는 Lyons아카데미상을 Bernoulli와 또한 과학아카데미상을 Euler와 함께 받았다. 1768년 아카데미의 회원으로 선출되어 그때 루브루 박물관에서는 그를 위해서 유체역학 강좌가 개설되었다. 혁명의 기간동안 그는 지위와 재산을 잃고 성직자로서의 본분을 버리고 한때 공직생활로 부터 은퇴했었다. 그러나 후에 그는 프랑스 학사원의 설회원과 Ecole Polytechnique의 시험관이 되었다. 그의 과학적인 저서는 1765년에 최초로 발행되었고 산술, 대수, 기하, 역학, 유체역학, 미적분학, 파스칼의 업적 및 수학의 역사에 대한 전7권을 포함한 『수학 전과정』(Cours complet de mathématique)등이 있다. Bossut의 수리학의 중요한 공헌은—넓게 얘기해서—교육자로서이고 Mezieres에서 「기술자의 직업에 필요한 유체의 역학을 그들에게 가르치는 것」을 그의 임무라고 생각했던 것을 알아둘 필요가 있다.

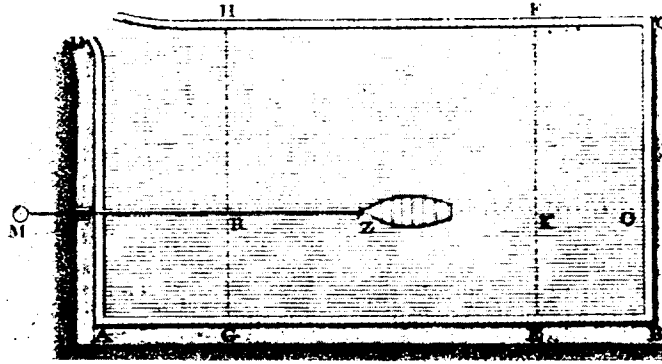


Charles Bossut

수학 교과서의 유체역학 부분이 늘어난 결과 1771년에 전 2권의 『유체역학초보개설』을 간행했지만 이것은 1786년과 1795-1796년에 개정 보완되었다. 그 제목은 유체역학으로 되어 있지만 주제는 본질적으로는 수리학이었다. 그것은 순 실험적 접근법보다도 물리학적 접근법을 강조하였다. 그리고 이론과 실험을 분리하여 수록하여, 후세에 저자의 모범이 되었다. 제 1권은 배열과 취급방법만이 독창적이었지만 그래도 Bossut의 시대에는(그가 그것을 알고 있었다시피) 지식 상황에 대한 묘사가 뛰어났다.

제 2권에 수록되어 있는 실험 데이터는 대부분 새로운 것이고 소규모실험의 허위성, 대규모 실험의 어려움에 대한 그의 논평은 지금까지도 주목받는다. 선인을 신뢰하는 것만 생각하는 기술자는 아마 곤란을 받을 것이라고 논한 뒤 그는 다음처럼 예리하게 말하고 있다.  
[7]

이들 두 개의 암초 사이에 취해야 할 길이 단 하나 있다. 즉, 정밀도에서 한도를 뛰어넘는 것이 아니고 효과를 명확하게 할 수 있는 충분히 큰 규모로 실험을 행하는 것이다.



Bossut의 소형선박수조

1775년 Bossut, D'Aiembert 그리고 Marquis후작은 내륙항행 시스템을 확대하는 문제에 관련해서 여러 가지 형상 물체의 저항에 대한 일련의 실험을 정부로부터 위탁받았다. 이 목적 때문에 주로 Bossut의 지휘로 길이 약 30m, 폭 약 15m, 깊이 약 2.1m의 중력구동을 하기 위한 수조가 만들어지고 뱃머리의 형상과 단면형상의 효과에 대한 연구가 이루어졌다. 이것으로 얻어진 중요한 결론은 (Benjamin Franklin에 의해 소형선박수조에 이미 나타낸바와 같이) 수로의 상대단면이 감소함에 따라서 저항이 증가한다는 것이고 그러므로 보다 앞서 제안되었던 지하수로의 사용 계획은 멈춰졌다. Bossut는 이들 시험에 대한 공동보고서에서 “좁은 지식으로부터는 아무 것도 기대할 수 없다……추리없이 는 과학은 존재하지 않는다……”라고 하는 유명한 말을 탄생시켰지만 다음과 같은 어느 실험적 관찰에 대한 약간의 잘못된 일반화는 그 후 오랜 세월에 걸쳐 수리학에 영향을 끼쳤다 [8].

우리들은 마찰이 약하게 된 순간부터 더욱 가벼운 힘으로 배가 움직이는 것을 관찰하였다. 이로 부터 우리들은 물의 점착력은 매우 작고 그 저항은 관성에 의한 것에 비하면 완전히 ‘영’에 가깝게 볼 수 있다고 할 수 있다. 배의 측면과 저면에 약한 물의 마찰에 대해서도 마찬가지이다. 이 마찰은 매우 작고 도르래와 공기저항과 분리할 수 없었다.

약 20년 후에 Mark Beaufoy경(1764-1827)은 보다 큰 성공을 하였다. 그는 1796년부터 1798년까지 London, Green Dock에서 새로이 조직된 선조개선회를 위하여 여러 가지 선박수조를 만들었다.

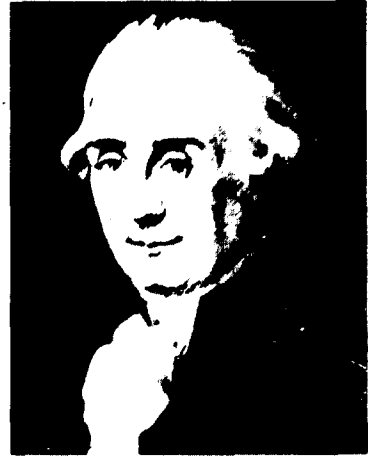
Beaufoy는 앞 부분형상, 뒷 부분형상, 길이, 표면적에 대한 개개의 효과를 조사했으며 그 측정치는 충분히 정밀하여 속도가 증가함에 따라서 [9],

마찰의 증가비율은 항상 2배보다도 작다 [1.71부터 1.82사이].

로 결론지었다.

이 시기의 제 3의 수리학자는 Pierre Louis Georges Du Buat(1734-1809)였다. 그는 대표적인 기술자였다. Normandy, Tortizambert의 오래된 가문에서 태어나고, 형이 죽은 후에 백작의 지위에 올랐다.

Paris에서 교육을 받고 10대중에 기술자가 되어 운하와 항만건설의 분야에서 경험을 쌓고 1761년부터 1791년까지 군사기술자가 되었다. 이 시기의 후반은 정부의 원조를 받아서 많은 수리학의 시험에 전념하였다. 그런 중에 Du Buat는 11명의 자식의 아버지가 되었다. 그러나 그의 직위 때문에(날카로운 비난과 프랑스혁명이 일어나기 2년전에 후계자로 상속된 것) 그는 1793년 가족과 프랑스로부터 피하지 않을 수 없었고 모든 재산은 몰수되었다. 1802년에 돌아왔을때에는 그 일부분만이 되돌려 받을 수 있었다.



Pierre Louis Georges Du Buat

그의 말년은 주된 저서 『수리학 원리』(Principles d'hydraulique)의 교정에 소비하였지만 그것은 처음 1779년에 1권이 간행되었고, 1786년에는 2권으로 증판되었고, 1816년에는 3권이 사후 출판되었다. 제 2판은 독일어와 영어로 번역되고 영역서에 의해서 그는 George Washington으로부터 찬사를 받았다. 선배에 대해서는 불공평하지만 Du Buat는 종종 프랑스 수리학과의 태조라고 불려지고 있다. 그의 업적과 좋은 가치가 있는 그의 저서를 발표한 그 시대에는, 그의 저서 서문에서 언급한 바와같이, 거의 알려지지 않은 내용이다. 그러나 진보는 무한의 미래보다도 오히려 유한한 과거에 의해서 평가받게 된다. 인간의 자존심 때문만이라면 Du Buat의 서문은 역시 유익한 것이고 그 많은 부분은 거의 2세기후의 오늘날 까지도 적합한 말일 것이다 [10] :

오늘날까지 수리학에 대한 우리들의 지식은 극히 한정되어 있다고 알려져 있다. 거기에 많은 재능이 각각 포함되어 있지만 몇 세기후에 물의 운동을 지배하는 본래의 법칙에 대해서 우리들은 아직 거의 아무것도 알지 못한 상태이다. 150년 후 실험 덕분에 주어진 오리피스로부터 물의 유출의 시간, 양, 속도를 가까스로 알 수 있었다. 지구 표면의 일양한 수로에 관한 것은 우리들에게는 아무것도 알려지지 않고 있다. 우리들이 할 줄 아는 것이 조금이라는 생각은 우리들에게 불가능한 것을 조금씩 보여준 것 만으로도 충분하다.

깊이, 경사를 알고 있는 하천의 유속을 아는 것, 또는 다른 하천의 물을 합류시킨다면 수위가 어느만큼 올라가는 가를 정하는 것, 또 물을 하천으로부터 전환시킨다면 수위는 어느만큼 내려가는 가를 예견하는것, 어떤 유속을 유지하기 위한 적당한 도수관의 경사, 또는 주어진 경사에서 어느 시기에 필요한 만큼의 수량을 공급하는 데에 적당한 수로의 용량을 정하는 것, 정해져 있는 하상을 변화

지 않게끔 하천의 윤곽을 설계하는 것, 길이와, 직경, 수원을 알고 있는 관으로 보내질 수 있는 수량을 계산하는 것, 교량과 댐, 수문등이 어느만큼 하천의 수위를 높일 것인가를 정하는 일, 어느만큼의 거리에서 배수가 있는가를 지적하는 것, 또한 그 지방의 홍수에 의한 피해 여부를 예견하는 것, 오랜 동안 경작할 수 없었던 습지의 배수로의 길이와 크기를 계산하는 것, 효과적인 운하의 유입구와 하천의 합류점, 하구의 형태를 선정하는 것, 최소의 힘으로 물을 가로 지를 수 있는 선박의 유리한 형상을 결정하는 것, 특히 물에 떠있는 물체를 움직이는데 필요한 힘을 계산 하는 것, 이와같은 많은 문제는 아직 해결되어 있지 않다. 누가 이것을 믿겠는가. 수리학에 대해서는 누구나 말할 수는 있지만 그것을 이해하는 사람은 많지 않다.

……원리가 결여되어 있기 때문에 비용만은 실제로 성공이 된다는 보장없이 계획이 선정된다. 목적에 도달할 수 없는 계획이 실행된다. 많은 비용을 소비하여 성과는 없다 혹은 종종 손실에 의한 책임을 국가와 주와 단체에 떠넘긴다 혹은 적어도 비용과 그로 부터의 이익과는 균형이 맞지 않다. 반복해서 말하지만 그와같은 큰 피해의 원인은 원리의 불확실성 그리고 경험과 모순되는 이론의 잘못이며 지금까지 취해진 관찰이 적었기 때문이다. 또한 그 관찰을 정확히 행하는데 있어서의 어려움이 있다.

Du Buat의 관점은 이처럼 소기의 목적을 충분히 달성하는 공사수행 수단을 구하는 수리 기술자 그 자체였다. 그는 문제의 해결방법을 Bossut의 저서에서 추구하고자 했지만, 바로 자료부족이라는 결론에 달했다. 그래서 그는 동류에서의 가속도와 경계저항간에 본질적인 평형에 기반한 일련의 해석과 실험에 의해서 스스로 자신의 문제에 답하고자 생각하였다. 이 조건을 그 자신이 발견한 것처럼 소개되어 있지만 그것은 그 이전에 다른 사람에 의해서 이미 알려져 있었다. 적어도 그가 서문에서 언급한 사람 ——Guglielmini ——에 의해서, 그러나 Chezy의 보고서는 명확하게 그에게는 알려져 있지 않았다. 따라서 Du Buat가 확실히 정립하고자 했던 것은 순전히 그의 공적이다. 그가 모든 문제를 모두 완전히 증명할 수 없다는 것이 그의 불명예가 아닌 것은 그들 대부분이 여전히 해답이 없기 때문이다. 실제 그의 업적의 대부분은 명확하게 독창적이고, 그것은 그의 후계자에게 많은 영향을 미쳤다. 이러한 이유로 그의 저서의 제 2권은 상세하게 흥미할 가치가 있다. 관로와 수로의 흐름의 종류의 현상해석에 있어서 최초의 부분에서 Du Buat는 —— Borda와 마찬가지로 —— 오리피스로부터의 유출속도를  $V = \sqrt{2gh}$  로 나타내었다. 관로 입구의 경우에 대해서 그는 각도가 급격하게 변화할 때의 손실은,  $V = \sqrt{2g(h-k)}$ 의 관계에 따라서 유출속도가 감소한다고 가정하였다. 그리고 Bossut 측정치로부터 그가 계산한  $k$ 의 값, 0.51은 오늘날의 유입손실계수와 같다. 그로부터 그는 주어진 수두하에서, 주어진 길이에 대해 관로의 저항은 어떠한 경사가 있어도 같고, 그것은 경사가  $S = (h-k)L$  로 해석될 수 있다고 추론하였다. ——그것은 개수로의 경우와 마찬가지로이다. 저항이 속도의 제곱에 비례한다고 가정하고 이것을 흐름 방향의 중력과 같다고 하여  $V^2 = mgs$  라고 하는 등가식을 얻었다. 나머지 일은 실험자료로부터 계수  $m$ 을 결정하는 것이었다. 그는 Chezy가 행한 것처럼, 윤변에 대한 단면적의 비는



비례한다고 하고, 그 양을 경심 R이라고 하였다. 그러나 그의 실험은 2보다 조금 작은 속도의 제곱이 실제로 포함되어 있는 것을 나타내고, 따라서 그의 최종식은 데이터와 일치시키기 위해서 필요한 경험적인 수정계수를 분류하여 포함하였다. 결과는(미터법으로 환산해서) 오히려 정확치 않은 상태였다.

$$V = \frac{49\sqrt{R} - 0.8}{\sqrt{1/s - \ln\sqrt{(1/s)} + 1.6}} - 0.05\sqrt{R}$$

특히 주의해야 할 것은, 거기서 표면조도에 대해서는 고려되지 않았다는 것이며, Du Buat는 경계에 접촉하고 있는 유체는 반드시 정체층을 형성하고, 다른 유체는 그 위를 미끄러진다고 믿고 있었기 때문이었다.

물이 어떤 표면체를 흐르려할 때 다른 경계물질에서는 약간의 저항력도 가지지 않는다는 것을 알 수 있다. 사실 이러한 경우 물이 유리, 납, 철, 나무, 지구상의 여러종류의 물질위로 흐를 때마다 달라서 마찰력의 어떠한 변화를 발견할 것이다.

현재 경계법칙이론으로 볼 때, 그것은 아주 잘못되었다는 것을 알 수 있고, 점성이 쉽게 변한다는 성질은 발견할 수 없다. 사실 Du Buat은 점성이 바닥에 미치는 영향은 벽에 닿지 않는 부분까지 전달하고 그리고 그것은 오직 벽을 지나는 유체의 속도에 대한 평균속도의 비에 영향을 미친다고 명확하게 말했다.

Du Buat은 그 후 관수로와 개수로의 변화되는 문제에 대해 그의 식을 적용했으며, 직·간접적인 변화에 대한 적용은 관찰력에 관계되어 있다.

예를 들어, 그는 그 의미평가에 대해 선형분포를 활용하였고, 표면과 바닥수로의 관계에 대한 자료(여섯개의 중요한 숫자)를 제안했다.

그는 웨어의 흐름에 대한 Poleni의 해석을 발전시켰고, 재미있는 것은 그 총합은 그 수두의 반과 같은 목두께이상 위로 확장했고, 그리고 이를테면 약 0.65의 유출계수를 얻기 위해, 그는 두 부분(웨어와 같은 윗 부분과 구멍과 같은 아래부분)에서 물에 잠긴 웨어부분의 해석을 권했다.

그는 마찬가지로 구멍에서 수문아래로 흐르는 유출을 계산하였다. 그는 인접부분과 다리교각의 형태를 유선형을 제시했다.

-운하의 배치법- 저항과 역류에 대한 영향을 최소로 했다. 그리고 그는 저수지로부터 역류의 범위평가에 순서도와, 순서도의 그림은 자유표면한계에 접하고 경사표면한계선의 교차점에 대해 좌우대칭이며, 그는 표면측면의 더 정밀한 계산의 생각에 잠깐 손을 대고 그리고 그것을 마쳤다.

역류곡선의 실제 형태를 묘사했으나, 정도의 벗어남에 유용하고 상당한 흥미가 있다.

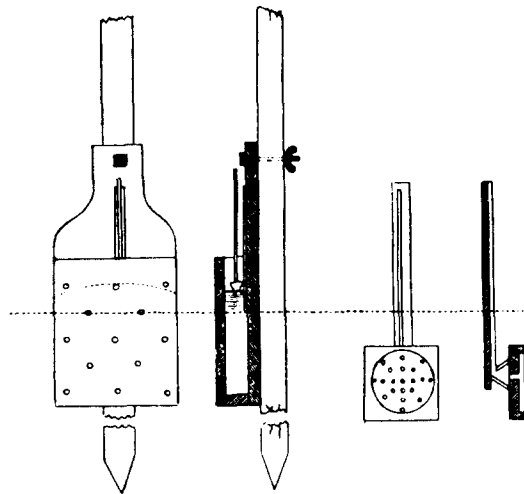
그의 경험적인 Data를 기록한 책의 두 번째부분 (즉 2편)은 Du Buat가 한 일의 가장 중요이다.

실제로 Couplet과 Bossut에 의해 이미 얻어진 것들과 함께 이 Data들은 그의 후임자들에 의해 고안되고 많은 또 다른 저항식들의 기초로 사용되었다. 이 Data들은 다양한 크기, 경사, 굴곡 관들, 또 관 기능들, 구형과 사다리꼴 수로, 자연흐름, 저수지, 교량에 대한 200가지 세분된 시험을 통해 얻었다.

특히 이어지는 두 가지 관측들은 연구방법에서 흥미가 있다.

첫 번째, 그는 다양한 수심에 대한 상대적인 유속을 알아내기 위해서 물속에 잠긴 유속계(프로펠러 모양인지, 컵모양인지는 확실하지 않다.)를 사용했다.

그리고 두 번째 그는 점토위에 달걀크기의 자연석으로 7가지 형태로 깔고 물을 흘려 침전물 운동을 측정하였다.



Du Buat가 유속분포 측정시 사용한 도구들

수중 물체의 저항에 관한 Du Buat의 연구는 이 저서 끝부분에 있으며, 아마도 가장 참신한 것이다. 여기에는 여러 형태의 물체에 관하여 백 번 이상의 시험을 하였다. 그것은 공기 및 수중 실험에서 밀도에 관해서 나타낸 것을 볼 수 있었다. 그 기회에 그는 인간의 낙하에 직경 약 18피트(약 5.4m)가 필요하다고 계산했다. 그리고 그는 다른 유체의 저항은 그 운동에서 움직이는 유체의 양에 의존한다고 했으며 가상질량의 초보개념도 도입했다. 그러

나 그의 최대 기여는 물체의 후반부 형태가 저항의 역제에 있어서는 전반부 형태도 같이 중요하다라는 사실을 실험적으로 논증 하였다.

그는 역시 '무압력' 또는 이 부분의 흡입력에 의한 후반부효과를 증명했다. 이 증명에서 그는 판의 표면을 따라서 피에조메타를 설치했다. 이것들을 압력계에 정교하게 연결시켜서, 상류부분과 하류부분의 압력분포를 측정할 수 있게 하였다. 이것들의 압력분포 실험으로, Du Buat가 얻은 결론은 베르누이의 정리에 의한 실험적 근사치를 이끌어 냈다.

수면을 따라서 흐를 때, 수면위의 어떠한 점에서 압력수두는 그 액체가 정지하고 있을 때 생기는 수두이고, 표면에 평행한 유체의 평균유속 때문에 생기는 수두를 뺀 것과 같다.

그러나 그의 실험의 기초에서 그는 잘못되게 결론지었다.

.....흐름에 대하여 90° 인 평면 중앙에서의 압력수두는 지시된 값의 2/3밖에 안된다.

는 앞선 잘못된 결론을 믿은 그는, 역류하게끔 유도된 열린 관을 그것의 중앙에 피에조메타 구멍이 있는 작은 원판으로 교체시켰다. 움직이고 있는 물에 의해서 정지된 물체에 가해진 힘은 정지된 물을 통하여 같은 상반된 속도로 같은 물체를 움직이기 위해 요구되는 힘보다 더 크다.



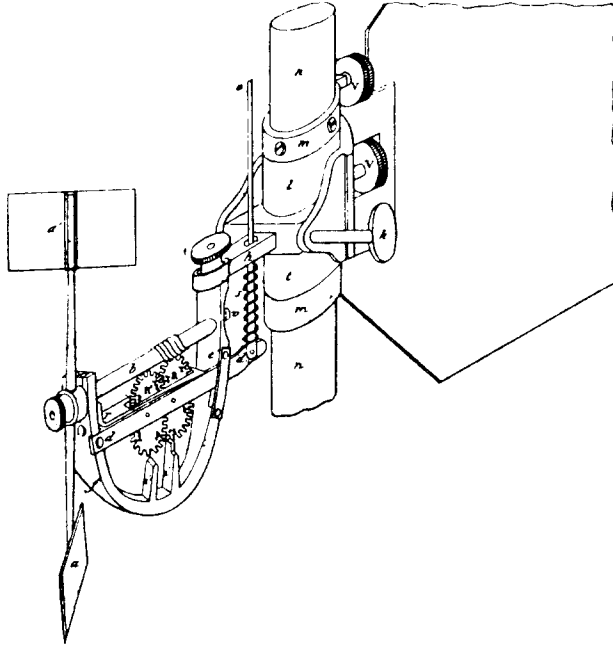
Reinhard Woltman

그가 발견한 효과는 흐름의 움직임이 균일하지 않은 것 때문인지, 잘못된 유속측정법인지는 알려져 있지 않다. Du Buat의 저서는 18세기 후반에서부터 19세기 초까지 유럽의 수학자에게 큰 영향을 주었다. 다른 제국의 동시대인의 연구는 지금은 거의 용두사미가 되었다. 그러나 이들 중 최소한 두명은 그들 자체의 정확성이 유지되고 있다. 한명은 이태리 물리학자인 Giovanni Battista이고, 다른 한명은 독일의 기술자 Reinhard Woltman이었다.

Woltman의 생애에 있어서 특히 Cuxhaven 과 Hamburg에서 Hanover주의 항구와 배가 항행할 수 있는 수로에 관련된 부서에서 거의 시간을 보냈다는 것 이외에는 거의 알려지지

않았다.

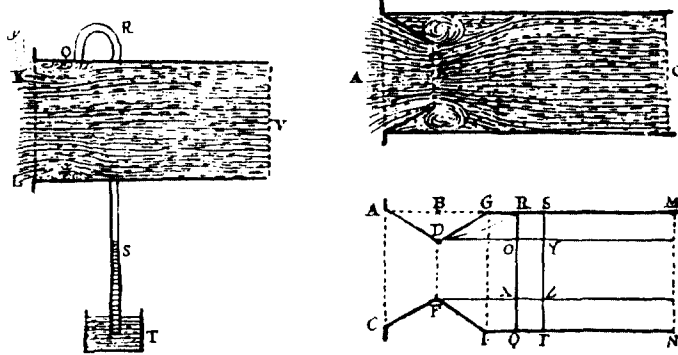
한편 Venturi는 다양하면서 잘 정리된 능력을 가지고 있었다. 그는 훌륭한 가문인 Reggio의 근교에서 태어났고, 23세의 나이에 목사가 되었다. 그는 후에 Modena에서 지질학과 철학 교수, ducal engineer, 감사를 거쳐서 마침내는 실험물리학 교수가 되었다.



Woltman의 current meter

나중에는 프랑스 파리의 이탈리아 공사관에서 비서로서 봉사하였으며 Venturi는 물리학과 화학을 연구하고 다빈치와 Galileo의 업적(작품)과 수리학을 쓰기 위해 머물렀다. Venturi는 후에 Napolen의 후원으로 이탈리아로 돌아왔다. 수리학에 대한 Woltman의 공헌은 두가지 논문의 형태를 가져왔다. 첫 번째는 1790년에 Hamburg에서 출간된 “Theorie und Gebrauch des hydromentrischen Flugel”은 강의 흐름을 추정하기 위해서 회전계수기와 Spoke-vane형태의 유속계의 적용을 묘사했다. 비록 Woltman이 Schober에 의해 이미 고안된 풍속계의 형상으로 간주할지라도 그의 이름은 여전히 이 기구의 형태와 함께 연상되고 있다.

두 번째 논문인 “Beitrage zur hydraulischen Architectur”는 독일인 “Belidor”의 방법에서 실행된 것처럼 수리학 기술의 다양한 내용은 1791년에서 1799년까지 Gottingeon에서 출간된 일련의 연속물의 책들로 구성되었다. 두 번째 논문에서는 관은 1.75이고 개수로는 2의 범위에서 다양한 유속의 힘과 Du Buat의 저항식의 단순화를 제안했던 Woltman의 기초에



원형관 입구에서의 흐름

서 관과 수로저항의 독창적인 측정의 수를 포함했다.



Giovanni Battista Venturi

1797년 파리에서 출간된 Venturi의 (Recherches experimentales sur le principe de communication laterale dans les fluides) 은 Poleni에 의해 본래 사용된 유출기구로서 이탈리아에서 이미 실시했던 경험들을 묘사했다. 오리피스에 꽂은 다양한 형태의 주둥이의 형태에 의해 Venturi는 단면의 뜻밖의 변화에서 형성된 소용돌이의 효과를 논증했다.

부수적으로 유출에서의 변화는 소용돌이를 제거할 것이다.

예를 들면, 그는 원형관입구에서 흐름의 축소는 압력하에서 단면축소와 와류의 발생에 기인한다는 것을 보여주었다.

관을 채우기 위한 흐름의 원인이 되는 소용돌이 발생의 확산으로 유효수두는 감소된다.

두 개의 원추형 단면을 가진 원관의 대체는 본질적으로 와류를 없앤다. 그러므로 흐름의 속도를 증가시킨다. 그러나 여전히 압력에 의해서 단면축소를 발생시킨다. Venturi의 발견요소는 Bernoulli에서 Borda로 이어지는 실험학자에 의해 기록되는 동안에 전적으로 이 기초 형식에 연관되어 온 Venturi의 이름이었다. 또한 Venturi는 개수로 흐름에서 와류의 확산에 의해 발생된 것을 이야기 했고, 본질적으로 같은 현상은 대기중에서도 발견되었다. 그는 처음으로 방류구에서 빠른 흐름의 감소된 깊이의 사용을 명백히 주장했다. (-도수현상이 형성되기 이전에-)배수를 목적으로 한 수두의 증가를 위한 방법으로써, 실제적으로 그의 논문에서

포함된 계산은 현재 potential vortex라고 불리는 surface profile의 형식에 따른다.

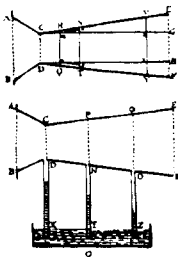
-다빈치의 속도관계에서-

짧은 세기 동안에 Poleni의 실험과 Venturi의 실험에서 알 수 있듯이 실험수리학은 프랑스인에 의해서 크게 진행·발전되어 온 것이 확실하다. Du Buat의 야심찬 목표가 실제로 이룬 것은 사실상 거의 없다.

첫 제로, 이 기간동안 실험실과 야외에서 5가지의 중요한 기구가 발명되었다.

piezometer, Pitot tube, current meter, scale model, towering tank

둘째로, 제어된 상태가 전제된 적절한 시험에 의한 관찰의 시대가 시작된 것은 주목할 만하다. 그리고 마지막으로 흐름관계의 공식에서 성공적인 첫 시도가 주목되었다. 가능한 한 유용한 물리적 원리를 발견하고 게다가 실용에 이르기 까지 경험적으로 확장되었다.



Venturi관의 흐름분출

#### 참 고 문 헌



도수현상에의한 수두

- [1] Raccolta d'autori che trattano del moto dell'acque, Florence, 1723.
- [2] PITOT, H., "Description d'une machine pour mesurer la vitesse des eaux le sillage des vaisseaux," Histoire de l'Académie des Science, 1732.
- [3] MOURET, G., "Antoine Chézy, histoire d'une formule d'hydraulique," Annale des Points et Chaussées, 1921-II.
- [4] HERSCHEL, C., "On the origin of the Chézy Formula, " Journal of the Association of Engineering Societies, Vol. 18, 1897.
- [5] SMEATON, J., "An experimental Inquiry concerning the Natural Powers of Water and Wind to turn Mills, and other Machines, depending on a circular Motion," Philosophical Transactions of the Royal Society of London Vol. 51, 1759.
- [6] BORDA, J. C., "Mémoire sur l'écoulement des fluides par les orifice de vases," Histoire de l'Académie Royale des Sciences (1776), 1779.
- [7] BOSSUT, C., Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique, 3rd editor Paris, 1795-6.
- [8] D'ALEMBERT, CONDORCET, and BOSSUT, Nouvelles expériences sur la résistance des fluides, Paris, 1777.

[9] BEAUFOY, M., Nautical and Hydraulic Experiments, London, 1834.

[10] DU BUAT, P. L. G., Principes d'hydraulique, vérifiés par un grand nombre d'expériences faites par ordre du gouvernement, 2nd edition, Paris, 1786.