

# 제 6 장

## 르네상스 이후의 수리학

앞 장에서는 르네상스 시대에 실험적 경향이 Leonardo da Vinci와 Galileo Galilei의 연구를 통해 이탈리아에서 시작되었음을 알 수 있었다. 다빈치의 흐름에 대한 관찰력은 심오하고 지각력이 있었지만 주위환경이 따라 주질 못했다. 그러나 Galileo의 경우 흐름에 관련된 사항은 별로 중요하지 않았지만, 그가 발견한 사항들은 전반적으로 인정을 받았다. 아마 그가 발견한 한 두 가지 사항들이 이탈리아 수리학자나 과학자, 기술자들에게 중요한 자극이 되었기 때문이리라. 어쨌든 이탈리아 수리학은 17세기 중반 이전에 형성된 것이었다. 만약 다빈치나 Galileo 둘 다 수리학의 창시자로 인정을 못 받았다면, 다빈치는 이탈리아의 첫 번째 수리학자가 되었을 것이며, Galileo는 새로운 학파의 선도자가 되었을 것이다.

Galileo 제자 중의 한 사람인 Benedetto Castelli는 Brescia에서 태어나 Benedict 교단에 들어가, Pisa와 로마에서 수학을 가르쳤다. Galileo의 정수역학 이론이 공격을 받았을 때, 그 이론을 방어하는 임무는 Castelli가 맡았다. Castelli의 주요 연구 업적은 1628년에 발간된 “Della misura delle acque correnti”라는 책이라 할 수 있는데, 그 결과 그는 자주 이탈리아 수리학의 창시자로 불리웠다. 이 책에는 다음과 같은 3가지의 내용을 담고 있다 [1] :

동일한 하천 단면에서 유량은 단면 자체가 다를지라도 일정하다.

하천에서 두 단면이 주어질 때, 첫 번째 단면과 두 번째 단면의 유량비는 각 단면의 단면적과 속도에 비례한다.

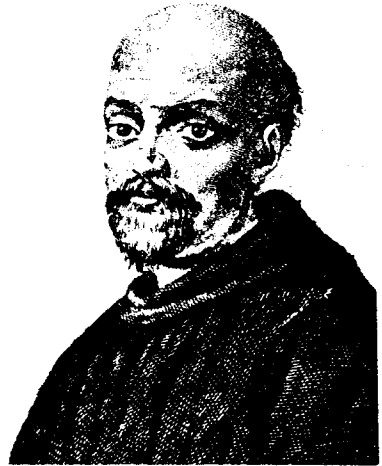
동일 유량이 통과하는 2개의 서로 다른 단면의 경우 단면적은 속도에 반비례한다.

상기 사항은 정류에 관한 연속방정식의 기본 내용으로서 다빈치가 1세기 전에 발표한 내용과 별 차이가 없다. 그러나 이탈리아에서는 Castelli 법칙으로 널리 알려졌다. 상기 연속방정식에 관한 Castelli의 재발견이 다빈치의 영향을 받아 이룩된 것인지의 여부는 아마 절대로 밝혀지지 않을 것이다. 많은 이탈리아 사람들은 그의 영향을 받지 않은 것으로 믿고 있다. 설사 그렇더라도 그것은, 그 시대의 기술자들 사이에서는, Castelli의 법칙으로 널리 인정이 되어 버렸다.

Castelli의 내용 중 다른 하나는, 다빈치의 내용과 아주 흡사한 것으로서, 용기에서 방출되는 유출량은 용기의 위치수두에 직접 관련된다는 것이다. 또 다른 내용은 아래와 같은 것으로서 Castelli의 사후에 발간된 소논문에서 수록되어 있다 [2] :

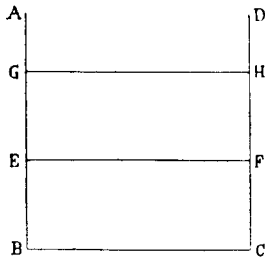
일정 속도로 움직이는 흐름의 한 지점에서 만약 새로운 유입으로 말미암아 흐름이 2배가 되었다면 속도는 역시 2배가 될 것이다.

ABCD에서의 수심이 EB라 하고, 하천 또는 수로에서부터 새로운 물의 유입으로 인해 수심이 EB의 2배가 되는 GB가 되면 GC 흐름의 유속은 EC 흐름의 2배가 된다.



Benedetto Castelli

Castelli가 전에 밝혔듯이 그는 상기 내용에 전적으로 만족하지 않는다고 하였다. 그래서 그 후 계속된 그의 연구결과에서는 그 내용이 생략되었다. 그러나 Barattie의 “Architettura d’acque(1656-63)”에서 그것은 다시 언급되었고 더욱 다음과 같은 증명도 언급되었다 [2]:



EF를 바닥으로 하는 흐름 GF는 바닥경사가 BC와 같고, 수심 GE는 높이 EB와 같다. 그리고 같은 폭 BC를 가지며 따라서 이 흐름은 그 자체의 유동뿐만 아니라 EC의 유동도 포함되어 있다. 또한 흐름 EB는 자체의 중량뿐만 아니라 EG 흐름의 중량에도 영향을 받기 때문에 2배의 추진력을 지니며 따라서 속도에서

2배의 힘을 지니고 있다. 따라서 두 흐름 GC와 EC는 두번째 가정을 고려할 때 동일한 유속을 지니고, 전체 흐름 GC는 EC 흐름 유속의 2배가 되며 이것이 우리가 나타내고자 하는 내용이다.

상기 내용은 결국 - 유속은 흐름의 수심에 비례한다 - 는 내용으로 확장되었으며, 유량은 수심의 평방근에 비례한다는 내용이 상기 여건에서 뿐만 아니라 일반적인 하천에도 적용된다는 사실을 이탈리아 공학자들은 알게 되었다.

Evangelista Torricelli (1608-1647)는 Faenze에서 태어나 로마에 거주하는 Castelli 밑에서 연구하였는데, 비교적 짧은 생애에 업적 면에서는 Castelli를 능가하였다. 1638년의 Galileo와의 대화에서 그는 깊은 감명을 받았으며, 추진 분사장치에 해석을 일반화시켰다. 그의 해법(초기속도와 분사각도에 따라 변하는 포물선 그룹 및 초기속도가 일정할 경우 외곽 포물선:parabolic envelope을 그리는 내용)은 Castelli에 의해 Galileo에게 전해졌으며, 그 결과 Torricelli는 피렌체로 초대되어 생애 후반 3개월 동안 Galileo와는 막역한 동반자가 되었다. 5년 동안 Torricelli는 피렌체에서 수학 강좌를 맡게 되었다. 그곳에서 그는 유능한 분석자로서 뿐만 아니라 실험장치의 능숙한 조작자로서도 알려졌다.

1644년에 출간된 Torricelli의 저서 “De motu gravium”에는 Galileo의 많은 역학 개념을 상당히 넓혀 놓았다. 여기에는 가상일의 원리에 관한 첫 번째의 내용도 포함되어 있는데 이 내용은 결국 통계해석의 기초가 되었다. 또 다른 내용은 Galileo의 가르침을 받은 cycloid에 관한 해석인데, 이 내용은 훗날 프랑스 인 Roberval로 부터 표절한 것이라고 부당하게 비난을 받기도 하였다. 이 책에는 유출 원리도 포함되어 있는데 불행하게도 이 원리를 발표한 시대와 상황이 정확히 알려지지 않고 있다.



Evangelista Torricelli

Dugas에 의하면 [3], Torricelli의 유출이론은 일정 시간 간격으로 수조 바닥의 오리피스로부터 방출되는 수량 중 홀수 번째 시간 간격의 수량은 서로 비례한다는 그의 관찰력에서부터 비롯된 것이라고 주장하고 있다.

이같은 상관성과 Galileo가 발표한 낙하법칙은 모두 제트류를 위치수두에 따른 유속에 의해 연속적으로 자유낙하 하는 물체로 취급하고 있다는 점이다. Torricelli의 연구논문에는 이와 같은 유출실험에 대해 특별한 언급은 없지만, 다음과 같은 “거의 쓸모가 없으나 아주 재미없는 것은 아닌” 가설<sup>4)</sup>에서 원리 그 자체를 분명히 언급하고 있다 [4] :

격렬하게 분출하는 액체는 무거운 액체인든 혹은 한 방울의 액체인든 같은 분출점에서는, 그것이 비록 액체 상층에서 오리피스로 흐름이 있다 해도 같은 속도를 가진다.

그는 상기 가설을 여러 방법으로 증명하려 했는데, 가장 논리적인 것은 오리피스로부터 수직 상향하는 제트류는 거의 수조의 자유면까지 도달한다는 사실이다. 약간의 오차는 낙하하는 흐름과 흐름 주위의 공기저항에서 기인한 것이라고 보고 있는데, 왜냐하면 저항을 받지 않는 초기의 액체는 그 다음의 액체보다 더 높게 솟기 때문이며 공기는 결국 제트류에 의해 움직이기 때문이다. 그는 다음과 같은 사실로 부터 공기영향의 가변성을 느끼게 되었다.

높은 수두에서 물은 안개처럼 미세한 조각으로 부서진다. 그리고 그것은 이론적으로 보아 저항이 전혀 없다고 가정하였을 때 우리가 예상하는 위치수두의 1/2, 아니면 1/3 또는 1/4 밖에 오르지 못할 것이다.

이런 사실을 고려하면 오리피스로부터의 분사원리는 발사체의 원리와 훌륭하게 맞아 떨어진다고 할

수 있다.

Torricelli의 분사이론이 지금은  $v=\sqrt{2gh}$ 로 일반적으로 알려져 있지만 2g라는 인자가 명확히 도입되기까지는 적어도 1세기가 지났다는 사실에 유의하여야 한다. Galileo와 그의 추종자들은 자유낙하의 문제점들을 비례계수가 지닌 물리적인 중요성을 고려하지 않은 채 단순히 비례성 자체로만 간주하였다.

기압계의 발견은 Torricelli에 의해서 이룩되었다. 그러나 성능에 의문을 가졌던 사람들은 Galileo (혹은 Viviani나 Maggiotti 또는 Bertali 할 수 있다)의 제자들이었던 같다. 그러나 Torricelli는 1644년 Ricci라는 친구와의 편지에서 (성능) 결과를 타당하게 해석하였으며, 자연에 진공이란 존재하지 않는다 (Natura abhorred a vacuum)라는 아리스토텔레스의 의견을 배격함으로써 명성을 얻었다 [4] :



우리는 그림과 같이 길이가 2 cubit인 A, B 와 같은 많은 유리관이 있다. 이 관에 수은을 가득 채우고 관 밑을 손으로 막은 다음에 수은 C가 담겨 있는 그릇에 거꾸로 세워 놓았다 하자. 그러면 이 수은 밑으로 쏟아져 관 내부에는 수은이 없게 되고, 빈 유리관에는 아무 일도 일어나지 않을 것처럼 느껴진다. 그러나 AD 관에는 수은이 1.25 cubit와 1 inch를 더한 높이로 항상 채워져 있다. 유리관이 완전히 비어있다는 사실은 다음과 같은 것으로 알 수 있다. 즉, 그릇에 물을 D 높이까지 채우고 유리관을 천천히 올려 관 밑이 물에 다다르면, 수은은 그릇으로 떨어지고 대신 물이 격렬하게 유리관을 채우게 되어 E 지점까지 물이 차오름을 알 수 있다. 이 실험은 유리관 AE가 비어 있고, 비록 상당히 무겁기는 하지만, 수은이 AD 까지 채워져 있는 상태에서 행하여졌다. 수은을 이와같이 떠받치고 다시 떨어뜨리는 힘은 지금까지는 유리관 AE 내부에 존재하며, 진공 또는 수은 자체로부터 기인 한다고 믿었다; 그러나 나는 그 힘은 외부에 있으며 외부로부터 온다고 주장한다. 그릇에 있는 액체의 표면 위에는 50 마일 높이의 공기 군에 의해 중력이 미치며, 따라서 유리관 EC 내부에는 아무 것도 없기 때문에 수은이 끌어 올려지거나 반대로 밀려날 수 없는데, 단지 액체에 압력을 가하는 외부 공기의 무게와 평형을 이루기 위해 수은이 유리관 내부를 상승한다는 것은 놀랄 만 한 사실이 아니다. 비슷한 논리로서 수은 대신 물은 거의 18 cubit 만큼 상승하게 될 것이다. 즉 수은이 물보다 무겁기 때문에 같은 공기압에 대응하기 위해서는 물은 수은보다 훨씬 높이 상승하게 될 것이다.

이탈리아 학파에 속하지 않았던 17세기의 유명한 수리학자로는 Edme Mariotte (1620-1684)를 들 수 있는데 그는 Bourgogne의 원주민으로서 프랑스 Dijon 가까이 있는 수도원의 부원장으로 재직하였다. 그의 연구는 정확하고, 폭이 넓으며, 다양했던 관계로 프랑스 실험의 선구자로 알려지고 있다. 유체운동에 대한 그의 관찰력의 심오함과 독창성은 그를 프랑

스 수리학자의 선두자로 올려놓게 하였으며, 적어도 이탈리아의 동시대 학자들과 같은 수준에 놓이도록 하였다. 그는 1666년 파리에서 설립된 Academic Royale des Sciences의 발기인 중 한 사람이었으며, 그의 첫 번째 저서 “Histoire et Memoires de l’Academie”에는 색깔의 특성, 기압계, 물에서의 공기의 용해, 물의 동결, 그리고 더위와 추위와의 차이 등 많은 업적들이 담겨져 있다.



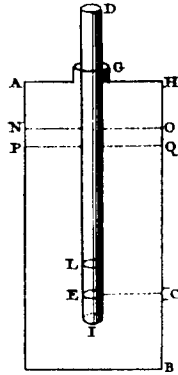
초기 학회의 모습-왼쪽에서 두 번째가 Mariotte

Mariotte의 2가지 주 관심사 중 하나는 공기에 관한 탄성 연구로서 Torricelli의 관찰력으로부터 고무되었으며, 독일의 Otto von Guericke (1602-1686)나 영국의 Robert Boyle (1627 -1691), 그의 고향친구 Pascal과 같은 많은 과학자들과의 의견교환을 통해 이루어 졌는데, 그들 과학자들은 다음 장에서 언급될 것이다. Guericke는 1650년에 원시적인 진공펌프를 개발했으며 그 펌프를 이용하여, 반구 내부가 진공일 경우, 말이 양쪽에서 잡아당겨도 떨어지지 않는 Magdeburg 반구체에 의해 대기압의 원리를 설명하였다. Boyle은 Guericke의 진공펌프를 개선하였으며 이를 공기의 탄성실험에 사용하였다. 그러나 1660년에 발간된 그의 저서에는 실험 결과가 정량적으로 해석되지 못하였다. 영어권 국가에서는 Boyle 법칙으로 알려지고 있기는 하지만 Mariotte는 수은기압계를 이용한 실험결과로써 1675년 “공기는 무게를 가한 만큼 무게에 비례해서 압축된다는 것을 알 수 있다”는 사실을 발표했으며, 이 결과는 대륙에서는 Mariotte의 법칙으로 알려지고 있다.

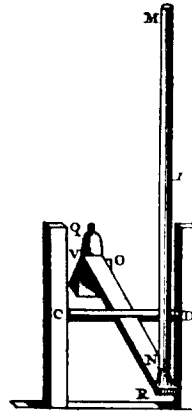
Boyle도 그의 저서를 통해 같은 결론을 도출하였으며, 그의 제자 한사람에 의해 Boyle의 이름으로 발표되었다. 상기 결과를 누가 먼저 발표했는가는 아직도 영국과 대륙에서 논쟁의 대상이 되고 있다. 아롱튼 Boyle과 Mariotte는 별도로 연구를 한 것이며 따라서 둘 다 동등한 명성을 얻을 가치가 있다 할 수 있다. 그러나 세상 사람들은 과학에 대한 수리학의 기여도에 있어 Boyle에게 비중을 더 두고 있는 것 같다.

현대 수리학사에 대한 Mariotte의 주요 업적은 그가 죽고 나서 2년이 지난 1686년에 처

음 발표된 “Traite du mouvement des eaux et desautres corps fluids” [6] 이다. 이 저서에  
서 그는 액체와 기체를 같이 취급하려고 했으며 접근방법도 그 시대에는 아주 새롭고 독



Mariotte flask의 모습



jet편향의 연구에 쓰었던 기구

특해서 연구에 대한 많은 재검토가 질서있게 이루어졌다. 그 저서는 5장으로 이루어졌다. 1  
장에서는 유체의 성질, 용수철(반발)의 원리, 바람의 (생성)원인 등을 다루고 있다. 2장에서  
는 유체의 무게, 탄성압축 그리고 충격에 대한 평형원리가 언급되어 있다. 3장에서는 흐르는  
물에서의 측정에 대한 내용이며; 4장에서는 액체 분사이론; 5장에서는 물의 분배와 파이프  
의 저항에 관해 언급하고 있다. 모든 내용은 될 수 있는 한 저자의 실험 관찰에 기초를 두  
고 있으며 독창적인 기법을 많이 사용하고 있다. 또한 연구결과를 정략적인 법칙으로 유용  
하게 사용하려는 노력도 포함되어 있다.

2장의 첫째 부분은 이른바 Mariotte flask (측면에 오리피스가 있고 상부로부터 일정 깊  
이까지 하향조정이 가능한 끼우기 튜브를 설치한 상부가 막힌 원통형의 수조)의 해석에 관  
한 내용을 담고 있다. 이 장치는 대기의 무게를 설명하기 위해 이용되었으나 지금은 일정수  
두장치로 이용되고 있다. Mariotte가 매우 진취적이었다는 사실은 3번째 부분을 보면 알 수  
있다. 그는 이 부분에서 그 당시 사실 충격실험 분석에 유행하였던 방법을 이용하여 제트류  
운동학에 관한 Torricelli의 법칙으로부터 제트류 동력학을 유도하려고 하였기 때문이다. 광  
선동력계를 이용한 실험을 기초로 하여 그는 정상적인 표면을 벗어나는 제트류의 편향에 대  
해 다음과 같은 5가지 법칙을 만들었다.

제트류는 고체와는 달리 같은 방향으로 움직일 때 충격력을 갖지 않는다.

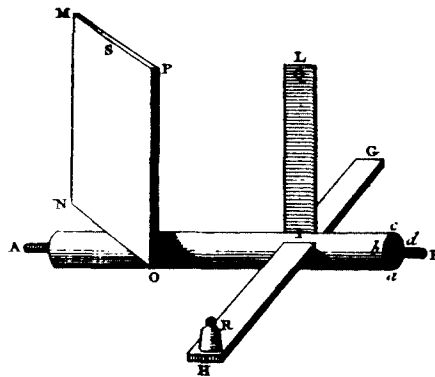
저수지 수조 바닥에 있는 원형 구멍을 통해 방출되는 물은 구멍 중심에서부터 최상부 수면까지의 물의 무게에 대응되는 평형현상을 발생시킨다.

높이가 서로 다른 물로 채워져 있는 수조바닥의 관의 작은 구멍에서 방출되는 2종류의 제트류는 직경이 같을 경우 높이에 비례해서 대응하는 평형현상을 일으킨다.

속도가 서로 다른 제트류는 속도의 제곱에 비례하는 물의 무게에 대응해서 평형현상을 발생시킨다.

직경이 서로 다른 구멍을 통해 방출되는 제트류는 만약 속도가 같다면 직경의 제곱에 비례하는 물의 무게에 대응한다.

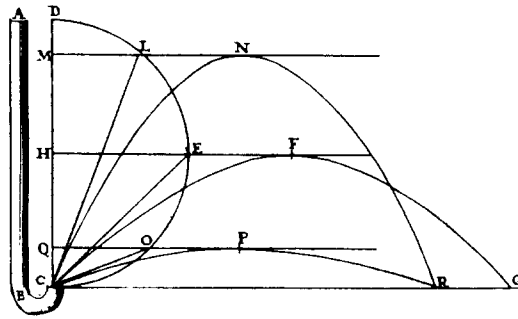
이들 5가지 법칙 중 첫 번째는 완전하지 못하지만 실질적인 충격과 제트류 편향과는 차이가 있음을 인식시켜 주었다. 두 번째는 논리적인 것으로써 실험에 의해 확인이 되었지만, 차원적으로 맞지만 수치적으로 부정확하였다; Mariotte의 실수는 제트류 수축에 대한 인식이 부족했기 때문이며, 그가 사용했던 평량 장치의 평면이 좁은 관계로 제트류가 측방향으로 완전하게 편향하지 못한 까닭도 있다. 그러나 이같은 실수는 다른 법칙에 영향을 주지는 않았다. 특히 흥미가 있었던 법칙은 네 번째라 할 수 있는데 흐르는 물이 작용하는 힘은 속도의 제곱에 비례한다는 내용이었기 때문이다.



경사날개에서 바람의 힘을 측정하는 도구

Mariotte는 제트류에 의한 힘이 동력 피스톤으로 측정한 오리피스 단위 면적당의 힘과 같다고 함으로써 유량 관련성을 표현하지 않고서도, 그의 연구를 공기 제트류에도 확장시킬

수 있었다. 그는 또한 흐르는 물이 흐름방향과 연직으로 매달려 있는 평판에 작용하는 힘을 해석하고자 했으며, 동력계 측정에 의해 “충격”은 바닥면적이 평판면적과 같고 높이는 자유낙하 할 때의 유속으로 환산되는 높이를 가진 물기둥의 무게로 표현된다고 결론지었다. 이 사실을 이용하여 그는 나무에 미치는 바람의 힘을 측정하고자 했으며, 풍차의 경사날개 또는 수차에 미치는 물의 힘을 측정하고자 했다. 그는 물에 의한 힘을 측정하려 했을 때 흐름을 정지상태로 취급하였는데, 이는 경사날개에서 날개방향의 힘은 유속의 연직분력과 날개의 투영면적이 경사도에 비례해서 줄어든 만큼 줄어든다고 생각하였기 때문이다.



그림을 이용한 jet분출의 해석

Mariotte는 흐르는 물에서 유속과 단면적의 상호의존성 뿐 아니라 흐름의 비등류성도 고려해야 한다고 하였다. 그는 통상 사용하고 있는 “pouce”나 inch를, 서로 다른 수두를 가진 1 inch 크기의 구멍으로 부터 배출되는 유량의 측정 단위로써, 정량적으로 사용하려 하였다. 또한 그는 다빈치나 Castelli가 그랬던 것처럼 개수로에서의 유속은 부자의 유하시간을 이용해서 측정하되 수로는 폭이 일정한 지점을 선택해야 한다고 주장하였다. 더욱이 그는 일정 수심 간격으로 연결된 부자(막대부자와 같은 형식)를 이용하여, 유속은 바닥으로 갈수록 줄어든다는 사실을 보여 주었으나 급수축 단면에서는 가끔은 오히려 늘어날 수도 있다고 하였다.

수직 제트류의 상승 높이를 측정하는 데 있어, Mariotte는 -Torricelli가 그랬듯이- 상승 높이의 손실을 공기저항으로 간주하여 높이를 초기수두의 함수로 하여 정량화하였다. 각각 다른 경사각도로 분출하는 제트류를 포물선 궤도로 해석했던 그의 해법은 분사궤도를 도식적인 방법으로 해석했던 Galileo-Torricelli의 해법에 기초를 두고 있다. 그들의 도식적 해법이 액체 제트류에도 적용되었다고 Mariotte는 주장하였지만, 문헌상으로는 Mariotte만이 액체 제트류의 해석자로 기록되어 있다. 그는 액체의 밀도가 클수록 공기저항의 영향을 덜 받는다는 Torricelli의 예측을 이용하여 분사실험을 물 뿐만 아니라 수은에도 적용하였다.

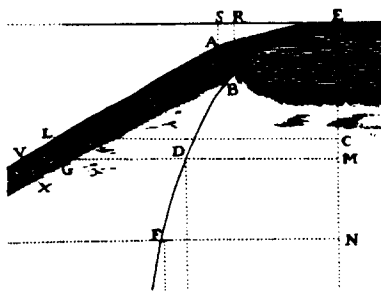




부당하게 인정받기는 하였지만). 그러나 그는 가설이 실제와 맞지 않는다는 것을 관찰을 통해 알게 되었다. 따라서 그는 포물선 분포는 “완전” 유체에서 성립되며, 하천바닥에서의 저항과 물의 점성 때문에 유속은 결국 자유수면으로 갈수록 커지며 최대유속 지점이 자유수면 쪽으로 향한다고 하였다.

수문 또는 하향경사 수로의 입구에서 나타나는 흐름 조건을 유출원리를 적용하여 해석했던 Guglielmini의 방법은 전수두와 부분수두를 도식적으로 표현한 현 해법에 대한 첫번째 시도였다 할 수 있다. 그는 단면이 변하는 지점의 자유수면에서의 유속이 원래의 수면으로부터의 하향 수직거리의 제곱근에 따라 변화한다고 수정 발표하였다. 유속과 압력 그리고 수심과의 상관성에 대한 지식의 부족으로, 그는 입구 근처의 자유수면에서의 수직 유속분포를 포물선법칙으로 가정했을 뿐이다 [1] :

일정수심을 가진 물은 상부층은 중력으로 하부층을 누르며 표고의 차이가 생기는 지점으로 흐르게 되는데, 이는 사실상 물이 어느 한 지점에서 다른 지점으로 흘러 내려갈 때 얻어지는 유속 등급(상승)을 의미한다……



수로조절에 따른 수두변화

그렇지만 그는 상기 가정이 충족되는 지점은 매우 한정되어 있다고 보고 있다.

정지하고 있는 물이 움직이거나 저수지를 떠날 때 …… 경사로 인해 하천을 내려갈 때 어느 정도 유속을 갖게 된다. 그러나 이 유속은 물과 하천 바닥과의 저항에 의해 곧 일정한 값을 갖게 된다. 일단 유속이 일정해지면, 물은 흐름의 속도를 유지하게 되는데 이 유속은 바닥 경사가 급할수록 커진다.

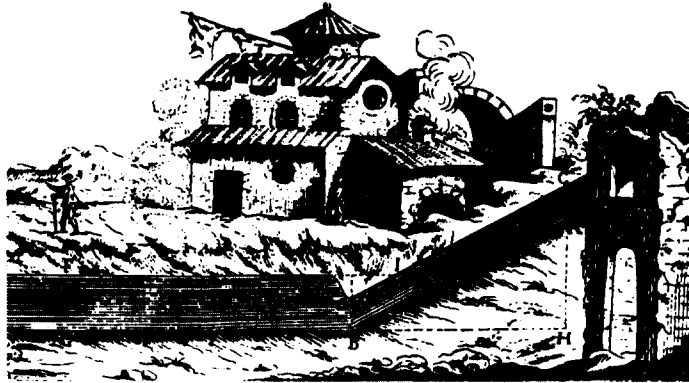
Guglielmini는 흐름이 아래로 향할 때 얻는 유속의 증가와 바닥저항에 의한 반작용 사이에는 평형상태가 존재한다고 처음으로 지적하였다. 그는 저항법칙을 정량적으로 표현하는데 성공하지는 못했다. 앞서 말한 표현은 유속과 경사가 직접 비례한다는 것을 뜻한다.

그러나 그는, 이미 지적했던 이유로써, 유속이 수심의 제곱근에 비례한다고 하였으며 유량은 따라서 수심의 1.5 제곱에 비례한다고 하였다. 후자는 확실히 근본적으로 옳다; 그러나 그의 해석에 대한 잘못된 점은 아직 완전히 해석되지 못했다는 사실에 있다. 한편 유사 거동에 관한 그의 정성적 표현은 매우 적절하다 :

빠른 유속을 가진 하천은 바닥을 세굴시킨다. 그리고 수심이 깊어지면 경사는 감소하고 움직임은 느려진다. 만약 유사 농도가 커지면 하천에는 퇴적이 발생된다. 따라서 나는 퇴적이 성립되기 위해

필요한하천경사는 그다지 중요하지 않다고 본다, 설사 하천경사가 필요 이상으로 급하다고 해도 과도한 세굴현상은 일어나지 않기 때문이다.

하천은 하천 하안과 바닥을 구성하고 있는 흙을 침식시켜 이를 이송시키는 흐름의 강렬함에 비례해서 넓어지고 깊어지는 것은 확실하다; 따라서 (세굴되기 위해서는) 소류력이 흙 또는 바닥 구성물질의 저항력보다 커야 된다. 만약 소류력과 저항력이 같으면 세굴이 일어나지 않으며, 저항력이 소류력보다 크면 퇴적이 발생되기 때문이다. 하천이 무한정 세굴되지는 않을 것이다; 태초에 형성된 하천바닥은 그 당시 벌써 깊어졌기 때문이다. 하천이 세굴되는 과정에서 흐름의 소류력은 점점 줄어들고 흙의 저항력은 점점 늘어나 마침내 평형상태에 이르게 된다.



자유표면에대한 Guglielmini의 그림

프랑스의 두 번째 과학자는 상기 사실과 관련된 다음과 같은 의견을 발표하였는데 이는 완성된 형태에 이르기까지 비난을 받기는 하였으나 독창적인 것이라 할 수 있다. 이 과학자는 파리의 물리학자이자 수학자인 Antoine Parent (1666-1716)로서 Academie Royale des Sciences 회원이기도 하였다. 수차의 거동을 토의하는 과정에서 그는 다음과 같이 언급하였다 [7] :

흐름에 의해 움직이는 수차는 흐름의 유속과 같은 속도로 움직이지는 않으며 저항을 받기도 하기 때문에 수차의 움직이는 속도에 따라 다른 영향을 나타낸다. 만약 수차가 움직이지 않는다면 흐름의 영향은 쓸모 없을 것이다. 따라서 수차의 속도와 흐름의 속도에는 최대효과를 발휘할 수 있는 비율이 존재한다.

Parent는 이 비율을 1:2로 하였다가 2:3으로 수정하였다. 또한 그는 수차날개의 적정각도를 계산하여  $54^{\circ} 44'$  로 결론지었다. 그의 해석은 -Mariotte가 그랬듯이- 정지상태에 국한되었으며 따라서 반지름 방향으로 변화하는 상대속도에 따라 날개 각도를 바꾸어야 한다는

내용은 거의 1세기 동안 (수리학자들에게) 이해되지 못하였다. 사실, 상기 문제들에 대한 Parent의 견해 및 해석은 그보다 더 유명했던 후계자들로 부터 별 문제없이 받아들여 졌다.

르네상스 이후의 1세기 동안은 아직 걸음마 단계였던 수리학을 놀랄만큼 성장시켰다. 적어도 학파가 생겨 났으며 미래에의 활기를 불어넣었다. 실험실에서의 실험은 빈번하게 이루어졌고 신빙성도 있었으며, 현지관찰은 미시적 분석에 도움은 주지 못하였어도 찬사를 받을 만 하였다. 유출이론은 해석적 방법으로써 연속법칙에 일조를 기하였다; 대기압이 새롭게 인식되었고; 흐름의 동력학과 저항에 관한 미래의 해석에도 훌륭한 기반을 제공하였다. 이 같은 기본적 원리들은, 가끔 오용되기도 하였으나, 선도자로서의 역할 때문에 아마 공학자들이 (수리학자보다) 더 만족하였을 것이 틀림없다. 사실 수학이나 역학이 관찰된 현상들을 해석하는 데 있어서 신빙성있는 길잡이 역할을 충분히 해내지 못하였기 때문에 수리학이 남겨 놓은 업적들은 놀랄 만큼 위대하다 할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] DE MARCHI, G., *Guglielmini*, Brescia. 1947.
- [2] ARREDI, F., "Introno al trattato 'Della misura dell'acque correnti' di Benedetto Castelli," *Annali dei Lavori Pubblici*, No. 2, 1933.
- [3] DUGAS, R., *Histoire de la Mécanique*, Paris, 1950.
- [4] MAGIE, W. F., *A Source Book in Physics*, New York, 1935.
- [5] WATSON, E. C., "Edme Mariotte," *American Journal of Physics*, Vol. 7 1939.
- [6] MARIOTTE, E. *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides*, Pares, 1686
- [7] GIRARD, P. S., Introduction to *Recherches expérimentales sur l'eau et levent* by John Smeaton, Paris, 1810.