

제3장

로마의 급수 체계

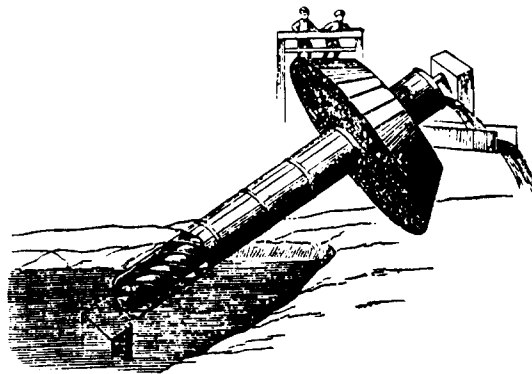
훗날 그리스인의 과학적인 기계 발명을 바빌로니아인과 이집트인의 덕택이라고 한다면 시대적, 지리적 이유로도 로마인들은 훗날 실용화된 초기의 지식 대부분을 주변국인 그리스인들로부터 얻었다고 결론 지을 수 있다. Thales가 이집트에서 학생이었을 때 로마는 지역 단체로써 자기방어를 해 오던 비교적 작은 마을 이었다. 그러나 Alexandria가 그리스 문화의 중심이 되었을 때 로마는 이미 세계에서 가장 큰 도시였다. 이에 로마의 군사적 영향은 이탈리아 반도를 통해 급속히 퍼져가고 있었고, Archimedes는 이 팽창의 과정에서 죽음을 맞이했다. 사실 기원전 200년부터 2세기 동안 모든 그리스인은 로마의 통치 아래 있게 되었다.

비록 로마의 서북쪽 영토확장은 적대적인 지역을 정복하면서 이루어졌지만 그리스에 대한 관계는 정복자라기 보다는 상호간에 서로의 적으로 부터 보호해 준 것이라 하겠다. 그리하여 그리스는 로마제국에 흡수되었으며 그리스는 높은 수준의 문화를 유지 할 수가 있었다. 그후 로마는 그리스학교에 의존하게 되었고 그리스의 전문 지식인들은 로마건설을 지휘하기 위해 고용 되었다. 남부그리스의 지성의 중심지인 Alexandria는 기원전 80년에 Ptolemy Alexandria에 의해서 로마에 통합되었고 로마의 지배하에서 여러 세기 동안 특권을 누렸다. 그리스 문명의 전성기와 말기동안 도시에서 주(州)로 또 세계적인 대국으로 발전해 오면서 로마는 이렇듯 그 문화유산을 비교적 손상시키지 않고 이어 받을 수 있었다.

사실 전해 내려오는 전부 그 진가를 인정 받거나 이용되는 일은 드물다. 고대 그리스 문명이 철학자와 수학자 그리고 기술자에 의한 것으로 알려진 반면, 로마는 주로 정치학, 국토 확장, 민정 쪽에 주력하는 경향이 있었다. 1세기 말에 로마제국은 스페인에서 메소포타미아까지, 영국과 남부 독일에서 북부 아프리카와 이집트까지 영역을 넓히면서 고도의 기동력을 갖출수 있었으며 해상을 지배한 군함과 무역상, 인도까지 항해하는 상선 등 로마의 해운업은 발달 할 수 있었다. 로마는 정복한 지역 대부분에 적어도 로마 문명과 비슷한 것을 전파했고 그것은 그들의 어떠한 선조들이 이루어 놓은것보다 한 단계 높은 것이었다[1]. 실제로 최초의 로마수도(水道)는 (BC312) 다른곳에서 사용되고 있던 것과 실질적으로 다르지 않았지만, 로마제국시대까지 사용되던 수도중 9개이상은 그당시 로마시에 1인당 공급할 수 있었던 양이 현재 문명국가에서의 공급되는 1인당 급수량 이상이었다[2]. 게다가 Augustus와 그의 후임자들은 도로 아래에 납 파이프를 갖추었고, 수 많은 공공샘을 만들었다. 또 도시가 현대적인 것들과 거의 같은 잘 연결된 하수관으로 완벽하게 배수된다고 전해지고 있다. 제

국의 절정기에서 모든 주요도시는 물 공급 체계를 갖추었고, 건조한 지역에서도 관개시설이 잘 되어 있었다. 풍차와 수차가 동력의 원천으로 많이 쓰이지 않은 점은 노예들의 노동력이 풍부했기 때문인 것으로 보인다.

이러한 수공기술 발전의 배경이 된 새로운 과학지식의 정보를 얻기 위해서라면, 일반적인 주제에 대해 광범위하게 저술한 단 두명의 로마기술자의 업적을 보면 된다. 그 중 첫 번째가 Marcus Vitruvius Pollio인데 그에 대해서는 기원전 1세기때 Julius Caesar와 Octavian의 통치 아래 살았다는 것, 그리고 요새와 무기를 만들고 수리하는 일이 담당이었다는 것 말고는 거의 알려진 것이 없다. 그렇지만, 그의 관심은 이런 것들을 뛰어 넘었는데, 그것은 그가 Octavian의 로마 재건설에 상당한 부분을 차지했다. - Octavian이 벽돌로 된 도시를 발견하여 자신이 대리석으로된 도시를 만들었다고 자랑했다.- 10권짜리 논문 「건축서」(De Architectura Libri Decem)에서 Vitruvius는 Octavian을 BC 27년에 붙여진 공식 호칭인 'Augustus'로 부르지 않았기 때문에 우리는 논문이 그전에 쓰여 졌다고 추정할수 있다[3]. 그 논문은 건축술, 즉 민간 건축과 군사적인 건축의 요소 모두를 담고 있다. 그 시대에 실제로 쓰여졌던 것에 대한 논의는 처음으로 이루어 졌던 것이다. 그리고 그것에 대해 썼던 사람들에 대한 많은 언급은 광범위한 역사적인 회고를 불러 일으켰다. 그중 일부는 앞장에서 활용한 바 있다. 8번째 책에서 Vitruvius는 물의 공급과 분배에 대해 이야기 했다. 첫 번째의 부분에서는 스프링의 위치와 우물을 파는 것, 그리고 물의 다양한 맛에 대해 많은 것을 담고 있었으며 이 자료는 믿을만한 기술상의 법칙과 이상한 요술을 섞어 놓은 것 같이 보인다. 나머지 부분은 수로관, 납과 흙으로 만든 파이프, 고저 측량에 관해 다루고 있다. 비록 그 재료가 역사적으로 흥미 있는 것이지만, 공교롭게도 그리스로 부터 인용한 것 이상의 많은 과학적 지식을 드러내어 열거 하지는 못하였다.



로마에서 만든 Archimedean screw의 모습

Sextus Julius Frontinus (40-103)는 군사적인 기술자로서 일했으며 여러 캠페인에 참가했다. 그렇지만 그는 나중에 정치적인 행정가로 바뀌었고, 집정관 그리고 영국의 지배자로서

일한 뒤에 그는 서기 97년, 로마시의 물 감독관에 임명 되었다. 두권으로 된 논문 'De Aquaeductibus Urbis Romae Commentarius'는 그의 몇몇 저서 중에서 가장 잘 알려져 있는데[4], 이유는 그 책에 그가 무척이나 자랑스러워 하는 로마의 물분배방법을 아주 자세하게 놓았기 때문이다. 그는 “누가 이 한심한 피라밋들, 비록 유명하다고는 하지만 저 쓸모 없는 그리스인들의 물건들과 꼭 필요한 구조물들을 갖춘 우리 수로관을 비교 하겠는가?” 라고 기술하였다. 물론 이것은 약간 불공정한 말이다. 로마가 촌락도 형성하지 못하고 있었던 때에 이집트와 그리스는 물 분배를 하고 있었다는 관점에서 보면 말이다. 그러나 그것이 나타내는 입장도 특징적이다.

기준이 되는 배열은 없었지만, 다음과 같이 로마시의 물공급 체계를 쉽게 도식화할 수 있다. : 물의 원천은 샘이다. 샘이 없는 곳에서는 우물을 파서 물을 여러 방법중 하나(대개는 두레박)로 끌어 올렸다. 우물에서 나오는 물의 양이 많고 또 물이 깨끗하다면, 그것은 곧 바로 수로관을 통해 도시로 보내진다. 때때로 여러 수원지에서의 물이 저수지로 모이고 그 저수지는 목욕하는 못이나 마실수 있는 못이었다. 여러 가지 사례에서 알수 있듯이 수로는 압력관을 통해 배수용저수지로 보내졌다. 종종 하나의 수로로 세 개의 부저수지에 공급했다. Vitruvius는 이 문제를 이렇게 썼다.

…… 그리고 크기가 같은 세 개의 파이프를 저수지에 연결시켰고, 그 파이프는 인접한 저장소로 이어지는데, 이는 외부에 있는 두 개의 저장소로 부터 물이 넘칠 경우 중앙의 저장소로 물을 저장하기 위한 것이다. 그 중앙 저수지는 모든 공동 분수와 수영장을 만들었다. 두 번째 저수지에서는 공공의 세금을 걷기 위하여 공중 목욕탕에 공급하고, 공공급수의 결함을 피하기 위해 개인의 주택에는 세 번째 저수지로 부터 공급하였다. 각 개인은 저수지로 부터 공급받는 양이 한정되어 있기 때문에 개인이 물을 끌어 낼 수는 없다. 이렇게 구분 짓는 이유는 개인 주택 전용의 물을 공급받는 사람들은 그 물의 양에 따라 수도료를 징수하기 위해서이다.



16세기에 작성된 로마의 배수체계

이 시스템은 계측방법이 더 자세히 논의 됨에 따라 더욱 더 확실해 질 것이다. 여기에서는 공중목욕탕과 개인주택에 공급되는 양이 계량기에 의해 최대치가 고정되어 있다고만(물론, 물을 도둑질하는 경우는 제외하고) 말해 둔다. 이 시스템에서 두가지 사실이 로마인이 갖고 있던 수리학의 지식 수준을 증명하는데 중요한 역할을 한다. 첫 번째는 도수관거이고 두 번째는 바로 계량기이다.

수로는 대부분이 샘이나 저수지에서 부저수로 물 운반하는데 쓰였다. 이것들은 돌로 만든 수로였고, 부분적으로는 돌로 된 아치로 지탱 되었다. 수로는 물이 먼지와 흙, 다른 불순물들로 인해 오염되는 것을 막고, 태양에 의해 데워지는 것도 막기 위해 덮개가 씌워 졌다. 또 약 75 m 마다 공기 구멍이나 검사하기 위한 구멍이 있었다. 때때로 두 개나 세 개의 수로가 겹쳐지면, 수요가 늘어날 것에 대비하여 원래 있던 것 위에 증가하게 된다. 대개는 직각으로 교차되며, 단면은 통상 장방형으로, 폭은 약 0.6~1.8 m, 높이는 약 1.5~2.4 m 이다. 단면의 제원은 수리학적 조건보다는 구조적인 사항을 만족시키도록 정해졌다.

이러한 세부 사항들을 배경으로 해서, 이제 우리는 로마시대 수리학이란 과학의 상태에 대한 실마리를 더 쉽게 찾을 수 있다. 진부한 내용이지만 그리스와 이집트의 기술자들이 그랬듯이 로마의 기술자들도 물은 경사진 아래로 흐른다는 것과 도움을 받지 않고서는 원래보다 위로 올라 갈수 없다는 것을 알았다. Frontinus는 다음과 같이 썼다.

각각의 수도는 서로 다른 높이로 도시에 닿는다. 그러므로 어떤 것은 물을 높은 곳 까지 운반하고 또 어떤 것은 높은 산꼭대기 까지 물을 끌어 올리지 못한다.

그렇지만 수로의 경사는 수리학적으로 고려한 만큼이나 지형적으로도 고려하여 설치한 것 같다. 왜냐하면 같은 도관에서도 1:2000 ~ 1:2500까지 다양하게 변화하기 때문이다. Frontinus가 해석한 것과 연결지어 로마의 수로를 철저히 연구한 Clemens Herschel은 다음과 같은 결론을 내렸다.



프랑스에 남아있는 로마식 수로

“나는 로마의 측량사(mensor)나 liberator 나 건축가(architector)가 바라는 만큼의 유출을 하

기위허 경사량에 대해 꼭 맞는 교차 비율이 그들의 머리속에 있었는지 궁금하다. 그는 작은 수로로 실험해 보고 그의 생각보다 물이 너무 천천히 내려간다는 것을 알고서, 그 부분을 줄이거나 경사를 크게 했을지도 모른다.”

도시내의 배수 체계를 위해서 우연히도 수로관 대신에 압력관이 도입되었다. 이것들은 견더널 압력에 따라 다양한 재료로 만들어 졌다. 납과 진흙이 관 재료의 주류를 이루었으나 구리, 청동, 구멍이 뚫린 돌 역시 재료가 되었다. Neuberger는 Vitruvius의 설계서에 의해 만들어진 납관에 대해 행한 Belgrand의 실험에 대해 설명하였다[5].

관들은 적어도 10피트(약 3m) 이상으로 만들어야 한다. 만약 납이 ... (중략) ... 50인치(약 1.3m) 폭 이라면 그것들의 무게는 600파운드(약270kg)이어야 한다. 만약, 그 관을 납으로 50인치(약1.3m)의 관 을 만들었다면 그것은 50인치-관이라 부른다. 그리고 다른것들도 그와 비슷한 방식으로 이름이 붙여 진다.

그 이음새는 둥글게 말린 납의 끝부분을 쳐서 이음부분에 녹은 납을 부어 만들어진다. Belgrand에 의해 만들어지고 시험된 7 mm 벽 두께의 파이프들은 18기압에서 그 형태를 잃는다. 단, 형태를 잃는 부분은 접합부분이 아니다. 압력관이 수로관보다 더 널리 쓰이지 못한다는 사실을 Herschel은 경제성이 떨어지기 때문이라 설명하였으며, 로마인들은 가장 손쉽게 구할 수 있는 재료(돌과 몰타르)를 이용한다고 하였다.

로마인들이 얼마나 파이프 보존의 요점을 잘 이해 했는지의 의문은 Frontinus가 대답해 준다.

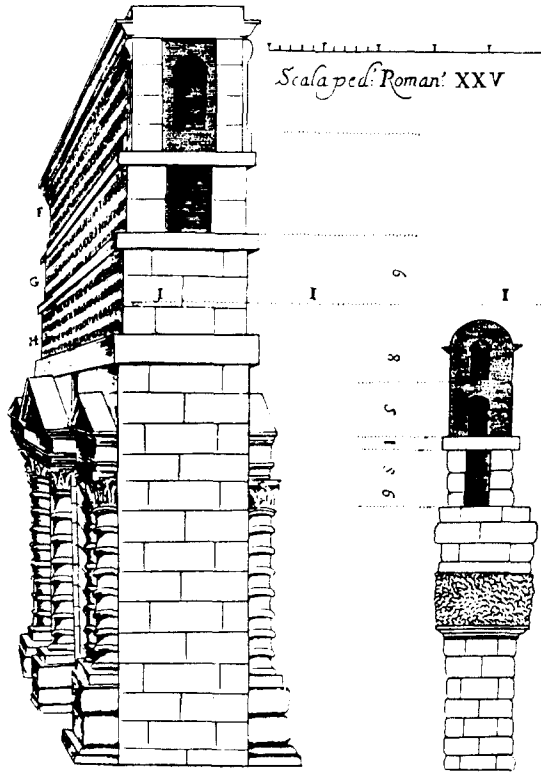
높은 곳에서 와서 짧은 길이의 관을 통해 운반탱크로 흘러 들어온다면 모든 물줄기는 정량만을 채우는 것이 아니라 그 이상의 초과분을 남기나 그 물줄기가 낮은 곳으로 부터, 또는 굉장히 먼 곳으로부터 흘러 들어 온다면 그것은 그 도관의 정량을 사실상 채우지 못할 것이다. 그러므로 우리는 어떤 보수나 검사가 필요하다는 것을 잊어서는 안될 것이다.

Frontiers가 그 문제에 대해 더 자세하게 이론을 정립하지 못하였기 때문에 아래의 사실도 고려해야 할 것이다. 로마인들은 비록 불완전하게나마 파이프의 길이와 수두의 중요성을 인식하고 있었다. 그러나 그들에게 적용되었던 법(양적인 면에서 거리가 먼)의 내용에서는 고려할 만한 질적인 가치도 얻지 못했다.

계량기는 사실상 홍수를 방지하는 것이지만 다양한 유출량을 계량하기 위한 것이 아님을 알아야한다. 물은 세 종류의 소비자에 의해 각기 다른 저장소로 나누어 진다. 공동분수와 수영장, 목욕탕, 그리고 개인의저택, 뒤의 두가지는 이용료를 내야 한다. 물을 보내는 것을 중지해야 할 시간을 알리는 시계나 마개는 자주 쓰지 않았다. 반면, 물은 모든 파이프를 통

해 흘렀다. 그러므로 각 소비자는 자신이 실제로 사용한 물의 양만큼 돈을 낸 것이 아니라 일정한 유출량에 의해 균일요금을 내었다. 저장소에서 분기된(갈라진) 파이프들의 표준크기는 유출량을 계산하는 기준이 되었다. 그러나 곧 정직하지 못한 소비자들(Frontinus에 의하면 로마에서 부족한 것이 없던 사람들)은 훨씬 큰 파이프를 썼다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 약 25cm길이의 표준 놋쇠 튜브를 모든 파이프의 유입부분에 끼웠다.

로마인들에 의해 사용된 유출량의 단위는 퀴나리아(quinaria), 즉 직경이 한 단위의 5/4

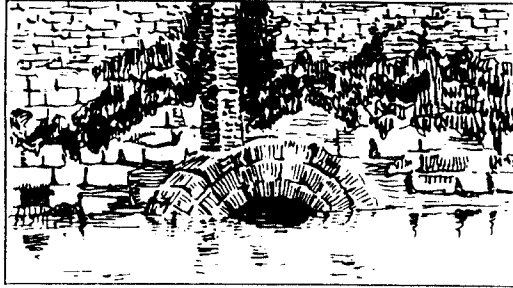


수로의 세부단면

인 원의 면적과 같았고, 한 단위는 로마인들 보폭(피트)의 1/16이다. 파이프의 횡단면의 유출량은 몇몇의 저자가 생각했던 것처럼 믿을 수 없는 것이 아니었다. 왜냐하면, 다른 것들과 비교 가능한 상황에서 횡단면을 두 배로 넓히면 물이 흐름도 두 배에 가깝게 늘어난다. 디자인의 유사성과 물 흐름의 획일화를 유지하기 위한 분명한 -그러나, 때론 잘못 적용된 노력도 있었다- 그 두 외부의 저장소는 양이 변하지 않는 수조로 그 초과분은 세금이 붙지 않는 공공용으로 이용되기 위해 중앙 저장소로 옮겨진다. 게다가 Frontinus에 의하면,

관을 설치할 때는 어느 일정한 높이에 놓고 다른 관의 아랫 부분보다 높게 설치하지 않도록 주의해야 한다. 물의 흐름이 아랫쪽을 향하기 때문에 아랫쪽의 관이 윗쪽의 관보다 더 많은 물을 수용하

게 되며 공공수로관에서 물을 가져다 쓰는 어떤 사람도 1퀴나리아보다 큰 관을 사용해서는 안된다. 그러나 어떤 탱크에서는 관이 법률이 인정하는 기준에 적합함에도 불구하고 더 큰 직경의 관들을 부착시켰다. 그 결과로 법률이 인정하는 거리에 미치지 못하는 물은 그 반대의 경우에도 마찬가지로 나중에 합류하게 되는 넓은 관을 채웠다. 그러므로 그것은 우리가 인용한 의회의 투표에 의해 지시된 길이 만큼 그 합류하는 관을 절단해야 한다.



고대로마의 주요 하수구인 Cloaca Maxima

그러나 입구의 높이와 크기에 초점이 맞추어지고 출구의 상대적 높이와 법에 의해 통제될 수 없는 출구의 단면을 확대하는 정직하지 못한 소비자들은 빈번히 실용적인 효과에 관심이 없었던 것은 명확하다.

마지막 질문은 여전히 남아있다. 과연 로마인들은 속력, 넓이, 유출량의 정도, 그리고 연속성의 요점 자체의 관계에 대해 어떤 개념을 가지고 있었을까? Frontinus가 유출량의 속도에 따른 관계를 말해주는 부분이 있다:

내가 측량한 양에서 나타난 것은 너무 많은 것이 아니다. 이것에 대한 설명은 그것이 넓고 빠르게 흐르는 강에서 오기 때문에 물의 흐름이 빠를수록 그 공급이 늘어난다는 것이다.

그러나 이것은 그다지 결론적인 진술이 아니고 그의 저서의 나머지 부분에선 그 역할이 사실은 유속에 의한 것이었기 때문에 그가 분명한 개념을 갖고 있지 않았다는 좋은 지적이 있다. 연속성의 문제에 있어서 그는 계속해서 Virgo를 언급하고 있었다.

측정은 물을 받아들이는 어귀에서 할 수 없었다. 왜냐하면, Virgo는 몇 개의 지류로 이루어져 있었고, 도관을 통과하려는 물은 매우 느렸기 때문이다. 그러나 도시의 근처 7마일 지점, 지금은 Cajonis Commodus에 속하는 지역에서 매우 큰 유속을 갖는 곳에서 측정을 했으며 그 결과는 2,504 퀴나리아였고, 그 수치는 기록으로 남겨졌던 것보다 1.752 퀴나리아 크다. 그러나 우리의 측정의 정확성에 대한 증명은 바로 근처에 있었다. 왜냐하면 Virgo는 우리가 측정한 곳에서 모든 양, 즉 2,504 퀴나리아를 유출하기 때문이다.

Herschel은 이 진술을 Frontinus가 Virgo에서 나와 파이프의 단면으로 들어가는 모든 물의 양을 합해 평균을 내는 거라 생각하고 그가 연속성의 잘못된 개념을 갖고 있다고 타했다. 반면 Frontinus는 측정과정에 있어 다소 애매한 역할을 한 속력에 관해서 거론했다. 다음의 진술은 그의 입장을 명확히 해 준다. Appia 수로관에 대해 그는 다음과 같이 말했다.

Appia는 841 쿠나리아라는 유출량 기록을 얻는다. 이 수로관은 두 개의 도관으로 구성되었기 때문에 그 유입부분에서는 측정할 수 없다. 그러나 Spes Vetus 아래에 있는 Twins에서 Augusta의 물줄기와 합치는데 그 점의 수심은 5피트(약 1.5 m), 폭은 1.75피트(약 0.5m) 가 되며, 8.75평방피트(약 $0.8m^2$)의 단면적을 이룬다. 그것은 22개의 100-관과 40-관을 연결하여 얻은 수량, 1,825쿠나리아와 같다. 그것은 기록에 남아있던 984 쿠나리아보다 많은 수치이다. Augusta의 측정량은 Twins에서 측정 한 1,121 쿠나리아보다 적은 수치인 704 쿠나리아를 유출하고 있었다.



로마의 caltellum의 복원도

그러나 흐름의 횡단면으로 물의 유출량을 측량하는데 아무 이의도 없이 받아 들여졌다는데 문제가 있는 것이다. 같은 양의 물흐름은 적당한 단면까지 흘러야 한다는 연속성의 개념은 Frontinus에 의해 제안되었다. Frontinus의 유출량의 측정이 옳다고 인정하는데 있어, 파이프 속에서의 유속이 다른 파이프내의 유속보다 클지도 모르기 때문에 그의 실험이 균일하지 못할 수도 있다는 지적을 할 수 있다. 그러나 그가 물의 흐름의 양을 적합하게 나누고 있었다 해도 그의 방법이 틀렸다는 사실은 여전히 남아있다.

로마인들에 의해 물을 유출시키는 기술에서 많은 이득이 있었음에도 불구하고 실제로 그들이 알고 또 인용했던 그리스인들의 방법대로 수력학의 요점에 근거를 두었다는 증거로부터 결론을 내려야 한다. 물의 흐름의 원천과 경사 그리고 저항력의 영향은 분명하게 인식하

였고, 그렇지 않았더라면 그들의 기구들은 지금처럼 기능을 갖추진 못하였을 것이다. 그리스 인들도 파이프의 한 쪽 끝에서 나온만큼 다른 도관으로 들어간다는 것을 이해했을 것이다. 그러나 그들은 이것을 기록으로 남기지 않았으나 Frontinus는 기록으로 남겼다. 그는 물 흐름의 정도는 한편으로는 물 높이의 총체적인 높이에 따른 것이고, 다른 한편으로는 횡단면의 넓이와 유속에 의한다고 분명하게 지적했다. 그러나 로마인들은 이 사실을 이해 못했었다 하더라도 아주 애매하게 받아 들였을 뿐이다. 과학 발전의 정상적인 과정에서 기초가 되는 요점의 발전은 대개 경험적인 지식의 습득에서 만이 이루어진다. 그러므로 한때는 쉽게 알 수 있었던 수리학의 몇몇 원리가 시간이 지남에 따라 과학적인 면은 잊혀지고 실용적인 기술만 남았다는 것은 흥미로운 일이다.

참 고 문 헌

- [1] HERING, S., "Vom rönischen Ingenieurbau in Trier", *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, Vol. 78, 1934.
- [2] ASHBY, T., *The Aqueducts of Ancient Rome*, Oxford, 1935.
- [3] GRANGER, F., *Vitruvius on Architecture*, New York, 1934.
- [4] HERSHEL, C., *The Two Books on the Water Supply of Rome of Sextus Julius Frontinus*, New York, 1913.
- [5] NEUBURGER, A., *Die Technik des Altertums*, Leipzig, 1919.