

## 제 15 장

# 20세기 중기에서의 과학의 평가

현재 상황에서 이해하려는 입장을 취해도 수리학의 과학 분야에 대한 적절한 조사는 아무리 동료의 업적을 객관적으로 평가를 하더라도 이에 대한 인위적인 오차가 생길 수 밖에 없다고 단정하면 실제로 이루어지기 불가능하다고 사료된다. 사실상 모든 역사의 기록은 그와 동시대의 작품을 다룰때 상당한 편견을 야기시킬 수 있는 역사가들의 선천적인 편애에 의해서 채색되어지는 경향이 있다. 그러나 이러한 수리학의 역사는 과거의 경향이 오늘날 남아있는 논제의 다양한 부분에서 그들의 절정기에서의 업적과 병행하지 않는다면 이러한 목적은 충족시키지 못 할 것이다. 이런 이유에서 지금은 과학의 축적을 이룰 수 있도록 하여야 한다. 즉, 현재 상태의 기본원리를 강조하며 이에 대해 책임질 수 있는 개인적 착오를 완전히 제거할 수 있는 조사 방법을 시도해야 한다. 바로 10년 후에는 후자의 가치를 확실하게 평가할 수 있을 것이다. 실로 그때에는 편견없는 평가의 객관성은 실제적으로 판단될 수 있다.

만일 수리학자들이 아직도 유체 운동에서 공통적 관심사와 노력과 인식을 공유하는 효력에 대한 증명을 요구한다면, 이것은 이미 2차 세계대전 기간 동안에 과학적 활동을 통하여 설득력있게 충족시켰다고 할 수 있다. 유체의 흐름현상을 다루어 본적이 있는 모든 전문가들은 물, 공기, 기름 그리고 여러 유체들을 포함한 전쟁시에 발생된 바 있는 문제의 해결에 종사하는 것처럼 생각되었고, 가끔 연구라는 이름으로 유체매개체는 이전에 경험적으로만 요구되었던 점에 있어서는 차이가 있었다. 더우기 이전에 경험해보지 못했던 현상을 분석할 수 있는 물리학자들처럼 교육받은 사람들의 능력은 기본적인 접근의 중요성에 의해서 명백한 증거를 제시해 주게 되었다. 중요한 시기에서 일반적인 사실은 그 자신들의 기본원리가 두드러지게 확대된 것이 아니라 널리 알려진 원리의 적용이 더욱 다양해 진 것이다. 전쟁 말기에 여태껏 거리가 멀게 느껴졌을 뿐만 아니라, 수리학으로 부터 분리할 수 없는 독창적인 분야들인 탄도학, 추진력, 난류확산에 대한 연구의 전망은 활기를 띠기 시작 했다. 더우기 기상학, 초음속, 기체역학, 및 해양학과 같은 걸으로는 구별된 것 처럼 보이는 주제와 수리학과와 관계는 더욱 명백하게 되었다. 단일 수리 실험은 안개의 산란, 선박의 저항력, 동일한 모형법칙과 기술에 의하여 성충화된 흐름의 안정성을 연구하는 것은 그 자체가 유체역학의 보편성을 가리키기 충분했다.

중세기까지 수리학의 한계성은 좀 더 애매모호하였고 20세기 후반부에는 과학의 평가가 과학의 한계내에서 자유재량을 요구하기 시작하였다. 우리는 동일한 계통이었던 많은 분야

들이 분리되어 그 자체가 완성된 사실로서 받아들였다. 아직도 유체 운동을 다루는 어떤 분야의 한 면에서 이것은 수공학자들 사이에서는 그냥 지나치는 관심사 이상으로 재조명되어야 할 필수요소로서 간주되어야만 한다. 반면에 아래의 논의는 오랫동안 수리학의 주류가 되어왔던 주제를 강조하는 것으로서 최소한 몇 개의 주제들은 보수적이지 않는 수리학자를 과거에 인정하지 않으려 했던 점을 고려해야 한다.

아마도 관점에서의 가장 큰 변화는 수학자들과 공학자들 사이에서 불화의 근원적인 원인이 되었던 비회전의 가정하에서 유체운동의 해석방법을 받아들였다는 점이다. 수공구조물 거의가 일반적으로 완전한 비유선형이기 때문에 단순한 포텐셜 이론의 수학적 적용에서 항공학 보다는 다소 뒤떨어졌다. 반면에 항공학은 가령 비행기의 날개나 동체같은 유선형 형태이며, 이들에 대한 과거의 유체 운동은 대부분 비회전류이다. 그러나 공동현상으로 부터 증가된 효율성, 안전성, 그리고 자유의 요구는 점진적으로 수리분야의 설계를 유선형태의 영역으로 강요했으며, 해석 방법은 빠르게 개선되었다. 유선망은 비록 도시적으로 또는 등각사상(conformal mapping)에 의해서 결정되었지만 통상적으로 2차원적 속도영역을 표현하는 보편적인 수단이었다. 수치적인 이완기법은 2차원과 축방향으로 대칭인 연구를 위한 유력한 수단으로 인식되었다. 포텐셜 흐름의 전기적 모의실험은 3차원을 포함한 연구에 특히 유용한 방법으로 남아 있다. 이러한 방법들은 중력가속도를 포함하거나 포함하지 않는 2, 3차원 자유수면 흐름의 문제, 그리고 자유수면을 가지거나, 가지지 않는 침투의 문제들과 2, 3차원의 방향의 다양한 침투성을 포함한 문제들로 점진적으로 확장되어 갔다.

파랑의 운동은 오랫동안 수리학의 한 단계인 까닭에 심지어는 대략적인 수학적 해석에 근거하여 고려되어졌으며, 이런 면에서 수학적 해석에 근거하여 해석적 단서를 도출했다. 천해파와 심해파는 다소 극한적인 상대적 크기를 갖는 유한진폭에서 수학적으로 표현되었으며, 이러한 제한적인 유형 사이의 범위는 상당한 완성도를 가지며 포함되어 있다. 가령 부진동과 쇄파와 같이 고유의 불안정한 현상의 기본적인 요소는 해석적이거나 실험적으로 확실한 성공을 보장 받을 수 있다. 그리고 경계와 내부저항을 지닌 파랑운동의 다양한 문제는 점성 감쇠에 의한 파에너지의 분산과 하천수계를 통한 홍수파의 전달 (급격한 댐 파괴에 따라 나타나는 문제를 포함하는)이라는 두가지 해석의 증명을 점차적으로 가능하게 하였다. 층류의 불안정성에 대한 파랑운동 관계는 전술한 이론을 비록 온도 변화, 부유물 속에 고체물질의 존재 또는 용해의 결과로 밀도 성층 흐름의 해석부문에 큰 역할을 하도록 이끌었다. 고속 흐름을 갖는 개수로 천이부의 설계에 대한 음파원리의 적용은 특이한 경계형태에 의해 발생하는 파의 형태들의 신속한 평가를 위해 초음속, 풍동과 같은 부속물을 이용한 예인수조 또는 고속 수로의 사용에 의해서 균형을 맞추어 가고 있다. 단지 수충작용과 서지(surge) 해석 분야에서는 기본적인 중요성을 좀 더 확립시켰다. 20세기 초의 포괄적인 해석은 복합체계원리의 적용으로 많은 것을 가져왔으며 도식적 과정과 특히 전자 아날로그 컴퓨터

터는 이러한 점에서 매우 유용한 것이었다.

역설적으로, 도수 저항은 역사적으로 수리학에 가장 특징적이라 할 수 있다. 표면조도 문제(다른 전문가들의 관심 밖에 있었던 비유선 경계층 처럼)를 제외하고는 가령 공기동역학, 물리학, 그리고 해군의 조선학과 같은 연관 분야의 연구에 기여한 몇가지를 제외하면 다른 분야에서 조금은 관심의 대상이 되었던 비유선 경계처럼 동일 분야로부터 오늘날에 이르렀다. 속도 분포 그리고 도수로 흐름의 저항이 특히 중요한 것은 경계층 흐름과 밀접하게 관계가 있는 것으로, 그것은 아마도 이런 상관관계를 통하여 연속된 과정은 조도 영향의 평가에서 기인될 것이다. 조도계수가 관련되는 한 이 문제는 이중적인 문제로 기하학적 인공조도의 흐름에 대한 동역학적 영향을 예측하는 것과 같은 조도 변수로서 일반적인 표면에 대한 자연조도를 구체화한 것이다. 수직조도 측정 뿐만 아니라 수평조도 측정(평균값 뿐만 아니라 표준 편차)도 이들 매개 변수에 영향을 미치는 것은 기정 사실이다.

유체운동의 한 일면은 그것을 다루고 있는 다양한 분야들에 있어 난류의 현상을 판명하는 가장 일반적인 기초가 되는 경향이 있다. 수리학의 많은 분야에서 일부는 평균 흐름 변화의 축척때문에, 그리고 또다른 일부는 불규칙적인 경계형태가 예외라기 보다는 아직도 수리학에서는 규칙적이기 때문에 난류확산과 저항의 문제에 직면하였다. 전통적으로 이러한 현상을 이론적으로 연구하기 보다는 실험적으로 기여한 수리학자들은 실험에 필요한 이론적 지표가 적고, 거의가 등방성적인 형태의 난류를 다루어 왔지만 수리학의 난류는 거의가 비등방성이기 때문에 고민하게 되었다. 물리학과 항공학 분야의 덕택으로 제트류 확산, 흐름확대, 후류에 대한 문제들의 근사해는 해결되었으며 또한 수리학적인 설계에도 이들이 응용되기 시작 했다. 수리학 그 자체는 와류공동현상, 증발현상, 공기혼입현상 및 부유물질의 퇴적작용과 운송작용의 문제가 점차적으로 난류현상에 비추어서 취급하게 되었다.

자연에서 본래의 수리적인 흐름현상의 분류는 흐르는 물에 의한 퇴적물의 이동을 포함하여 구성되고 있다. 비사와 먼지 그리고 화학적 제조업의 여러측면에 있어서 발생하는 분진에 대한 명확한 상사성이 있음에도 불구하고, 하천과 수로에서 퇴적물 수송의 해석은 거의 전적으로 외부의 도움없이 수리학 차원에서만 진행되었다. 소류사 운송에 대한 평가는 측정된 자료의 구성으로 해석하지 않고 본래의 경험적인 형태로 남아 있었다. 반면에 부유물 이론은 측정값들이 사용되기 전에 개발되어졌으며, 부유물 이론의 정확도는 공식화된 결정사항에 단지 속도분포와 혼합관계에 의해 제한되었다. 그러나 경계상태의 표현에 의존하는 것은 하상 그 본래 상태에서 부유입자의 지역적인 상태를 결부시키는 것이 지금까지는 가장 유용한 방법이었다. 후자의 관계는 부유물질, 증발 및 공기 혼입의 해석에서 밀접한 관련이 있으며 기초가 확립된 상태에서 아직은 가장 중요하다.

수력기계는 것처럼 적용되는 공학분야였지만 더 이상 수리학 자체의 학문으로 속하지 않게 되는 시기가 되었다. 예를 들어 수리조절시설이나 수리학적 동력 전달은 아마도 기본적인

인 흐름의 원리를 산업에 가장 잘 이용한 것을 묘사한 것으로 볼 수 있으나, 그것들의 개발은 정변위 펌프와 터빈, 그리고 유체 연결장치와 관련된 장치의 조합을 크게 전문화시켰다. 터보기계에 관해서는 비록 액체 또는 기체의 중간 성질을 포함하지만 그들 해석을 일원화하여 실험에 적용시켜 한층 더 발전하게 되었다. 상당한 질적발전은 다양한 날개구조의 상대적인 장점을 평가하기 위해서 등각법(conformal method)을 적용하면서 이루어졌다. 같은시기에 상대적으로 낮은 레이놀즈수를 이용하여 기계의 운전 상태를 해석하는데 조금은 성공했다. 공동현상은 터보기계의 작동과 설계에 있어 제한요소로서 남아 있으나 전쟁기간 동안 공동현상을 야기시키는 어뢰의 연구중에 진행된 발전은 점진적으로 이 분야와 다른 관련분야에 반영되었다.

수리학 연구는 그 나름대로 대학들의 연구소와 여러 학회를 주축으로 유지되었으며, 일찍이 독일 학회가 가졌던 선도자의 위치는 지금 유럽각국과 미국의 학회에 의해서 담당하게 되었다. 그러나 이들 두가지 형태의 조직(제조회사와 연방기관)은 실험과 연구에서 절대적인 역할을 담당하여 왔다. 산업 연구소들은 단지 최초로 완성품의 실험을 실시하기 위한 설비를 제공하기 위해 조직되었으나, 많은 연구소들은 일반적인 가치의 기존정보 뿐만 아니라 설계의 개선을 위한 자료를 산출하였다. 대축척의 하천, 항구 및 수력전기의 개선을 위한 설계부서를 지원하기 위해 공인된 정부산하 시험소들은 특정 모형실험에만 주력하였다. 이러한 연구소들의 국제적인 명성은 기본조사를 얼마나 충실히 수행했는가에 달려있다. 더욱이 제2차 세계대전의 중요한 성과는 연구의 발주를 각 정부의 부처들에 의해 역할을 담당하게 하였으며, 국가 방위 뿐만 아니라 평화 유지와 관련된 문제를 조사하기 위해 대학 및 개인 연구실에 대한 기금의 조성을 통하여 특히 미국에서 실행되어졌다.

특히 기계 사용상의 문제는 전쟁기간 동안 전자공학 분야의 발전과 함께 향상되었다. 이러한 것들은 매우 높은 세기의 빛을 빠르게 다시 비추는 영화제작 기술도 포함한다. 열선 유속계는 매우 견고한 형태 뿐만 아니라 물에서도 사용할 수 있는 것으로 만일 그것을 교환할 수 없더라도 hot film으로 보충할 수 있게 하였다. 그리고 하천과 항구에 대한 모형의 일반적인 실험에서도 시간의 함수로 알려진 홍수 또는 조수의 재현은 전자제어에 의해 매우 용이하게 하였다.

반면에 기기조작 기법상의 문제는 축소된 축척에서 동일한 유체에 대한 Froude와 Reynolds의 상사조건을 만족시키기에 충분하지 못했으며 많은 경우에 과거 실용상의 어려움이 아직도 많이 남아 있다. 하천 수리 모형에서 수심과 시간축척의 왜곡을 일으킬수 있기 때문에 이것은 원형에서의 퇴적물과 그 특성에 있어서 본질적으로 유사하지 않는 이동상 하상재료를 사용함으로써 실제적으로 더욱 과장되어 왔다. 더우기 최근에는 밀도 성층화 현상(중력과 점성의 영향을 포함하는)에서 혼합현상의 모의 실험 필요성은 새로운 실험적 방법의 개발을 주도했다. 인접 흐름층에서의 혼합은 하구와 저수지에서 뿐만 아니라 다양한 산

업적인 과정에서 매우 중요한 현상이다.

기술논문 수의 증가는 앞장에서 설명된 것의 반복적 언급에 불과하다. 그것은 매년 임시 변통적으로 대신 쓰여져 왔다. 한편 이것은 과학적 문제에 계속 주어져 오는 방대한 양의 자료에 유의해야 하며, 또한 점점 많아지는 기술논문에 적합하지 않는 것을 발견하기 위해서도 논문들은 읽혀져야 한다. “Engineering Index”와 같은 일반적인 목록서비스는 논문 가치의 비판적인 평가없이 내용에 짧은 요약일지라도 논문을 검토하고자하는 이들에게는 도움을 줄 것이다. 후자는 순수하게 공학보다는 다소 과학적인 논문과 같은 저널지인 “Applied Mechanics Reviews” (전쟁전에는 “Zentralblaff fur Mechanik” 였으나 영어로 재편집 됨)에 의해 충분하게 되었다. 단지 제목에 의존해서 수리학의 다양한 분야에서 현재 논문의 목록은 “La Houille Blanche”의 저서 목록이 가능하게 만들었다.

특정 주제의 문헌에 관한 경향은 한결같이 저서목록을 거의 완벽하게 준비했으나 불행히도 종종 각 논문에 대한 상대적인 가치를 평가하려는 시도를 하지도 않지만 더욱 공식적으로 발표하게 되었다. 그러한 것들 중에는 수충작용, 공동현상, 조석수리학 및 유사 이동과 같은 것이 대표적이다. 아마도 인용작업에 있어서 기본적인 방법 중에 하나는 저서목록을 발췌하는 것으로 가령 Jaeger’s의 “Technische Hydraulik”[2]와 학술논문 “Engineering Hydraulics”[3]과 같은 다양한 항목들은 독자에게 서로 특이한 화제의 적용범위를 더욱 확대 시켰다. 또한 시사 정보에 관하여 보면 미국 표준국의 국가 수리 실험실은 1933년 이래로 미국과 캐나다의 약 100여개의 실험실에서 진행된 실험조사에 관한 매년 보고서를 복사 형태로 출판되었다. 한편 유럽과 다른 세계 여러 나라 실험실에서 필적하는 수의 출판물의 간행이 1937년경에 시작되었으며, 전쟁이 끝난 후에는 국제 수리구조물학회(International Association for Hydraulic Structures Research)에 의해 다시 계속하게 되었다. (1949년에 그 이름에서 “Structure”의 용어를 삭제함으로써 좀 더 넓은 의미를 지니게 되었다.)

수리학의 미래에 관해서는 현재의 평가가 어려운 만큼 미래를 예상한다는 것은 분명히 불가능하다. 지침으로서의 수세기에 걸친 기록들의 유용성에도 불구하고 최근의 기록이 보여주는 현저한 변화에 대해서 지금의 것에 대한 한정된 추정 조차에서도 큰 어리석음을 보여준다. 수리학의 보고서들이 줄어든다는 예언이 없다면 우리는 수리학이 완전히 경험에 의존하는 것을 배제하기 위하여 그 영역을 넓혀 갈 것이고, 물리적인 해석과의 연대를 강화할 것이다. 물리적인 해석의 가능성은 무한하다. 한편, 우리는 수리학적 지식에 수리학에 있어서 중대한 결함으로 보이는 것 (Du Buat가 2세기 전에 했던것)을 단순히 인용함으로서 전적인 예언을 피할 수 있다. 그 예언의 결함들이 적어도 가까운 미래에 상당부분들은 충족될 것이다.

Du Buat에 의해 미지의 것으로 분류된 것들 중에는 상당수가 지금은 해결되었다. 그것은 경험과 비경험의 평가에 대해 원인이 되어왔던 것들이 해결된 것에 크게 기인된다. 그런

까닭에 측정만으로 해결할 수 있는 주제들에 대한 항목을 들자면 사실상 전형적인 수리학으로서의 문제가 되는 것은 네가지이다.

첫 번째는 수문이나 여수로와 같이 고정된 경계에서의 흐름에 대한 수학적 해석에 있어서 중력의 영향을 고려하는 것이다. 둘째로는 수공 구조물들이 절대로 완전한 유선형이 될 수 없다는 가정에 따른다. 즉, 박리현상을 일으키는 영역에 있어서의 흐름의 평균성분과 변동성분 양상에 대한 이해이다.

세 번째로는 표면 조도에 대한 통계학적 평가와 그것이 경계면 저항에 미치는 영향이다.

마지막으로는 Du Buat의 목차에 거의 포함된 것과 같은 문제이다. 이것은 어떠한 영역에서의 난류 혼합의 구성으로, 그 영역은 공기를 포함한 물 표면일 수도 있고, 물이나 공기 속에 침전물이 있는 층이나, 미세한 밀도의 차이를 가지는 두 개의 흐름 사이의 표면일 수도 있다. 각각의 이러한 문제들은 계속되는 장에서 언급될 것이고, 또 어떤 내용은 이미 폭 넓은 연구의 과제가 되어 왔다. 이러한 과제들은 향후 해결될 준비가 되어서 가까운 장래에 수리학자들의 과학이 계속되는 역사에 있어서 공로를 인정받을 수 있는 범주를 나타내 보일 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- (1) Rouse, H., "Present-Day Trends in Hydraulics," Applied Mechanics Reviews, Vol. 5, No. 2, 1952.
- (2) Jaeger, C., Technische Hydraulik, Basel, 1949 ; French translation, Hydraulique Technique, Paris, 1954; English translation, Engineering Fluid Mechanics, London, 1956.
- (3) Engineering Hydraulics, edited by H. Rouse, New York, 1950.