

〈資料〉

先進國의 水資源의 現在와 將來의 展望

Present and future perspectives of water resources in developed countries

李 正 主 譯*

역자註. 本文은 IAHR와 IAHS의 공동주최로 1987년 4월 로마에서 개최된 "Water for the future"에 관한 국제심포지엄에서 초청강연자인 Ugo Maione가 발표한 내용을 발췌한 것임.

Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.26-1988, -No.2

서 론

나는 水資源문제를 선진국과 후진국회의로 나누어 진행하는 것이 적절하다고 생각한다. 선진국의 인구증가율은 0.6~0.7%이고 장래에는 더 낮아질 전망이다. (서기2,000년에 약0.5%로 예측). 후진국은 그 증가율이 선진국의 약3배(2,000년)로 추정된다. 이런 큰 차이는 감소보다는 증가하는 경향이며 지구의 인구가 62억이 되는 2,000년에는 약 50억의 인구가 후진국에 살게되며 12억만이 선진국에 살 것이다. (Table 1). 1인 日平均칼로리는 현재 선진국은 약 3,315칼로리인데 후진국은 2,180칼로리에 불과하다. (Table 2), 여러가지 理由—그 중의 하나는 灌溉제도의 진보—로 인하여 헥타르당 곡물생산량이 미국과 일본은 5.27톤과 4.28톤인데 비하여 후진국은 1.43톤이다. Fig. 1을 보면 네팔의 쌀생산량은 17세기 일본의 생산량과 비교된다. 농업생산에서 물은 重要な 역할을 한다. Table 3에서 후진국의 관개 가능 면적은 지구 전체의 86%이지만 사용가능한 물은 74%이다. 이와 반대로 유럽과 북미주는 반대현상을 나타낸다. 아프리카에서는 관개가능면적의 31%가 사용가능한 물의 14%만을 차지하고 있으므로 심한 물不足상태를 보여준다. 住民의 물 소비에 대해서는 열대후진국은 농촌인구의 73%가 완전히 식수공급이 不足하고 도시인

구의 약 34%가 1인 日平均공급량이 40~50리터 이하인 반면 미국의 도시는 400~800리터이고 어떤 유럽지역은 100~300리터이다. 폐수관리문제에서는 후진국과 선진국의 차이는 엄청나게 크다. 事實 선진국에서는 폐수의 처분 및 處理시설이 거의 완전한 발달단계에 이르고 있다. 유럽은 人口의 80%가 폐수처리시스템과 연계된 반면 후진국은 겨우 몇몇 도시나 공업지대에서 하수도 관망이 설치되어 있다. 예를들어 라틴아메리카는 인구의 24%가 처리시설의 혜택을 받고 있는데 (1973) 북미주는 70%가 혜택을 받고 있다. (1968)

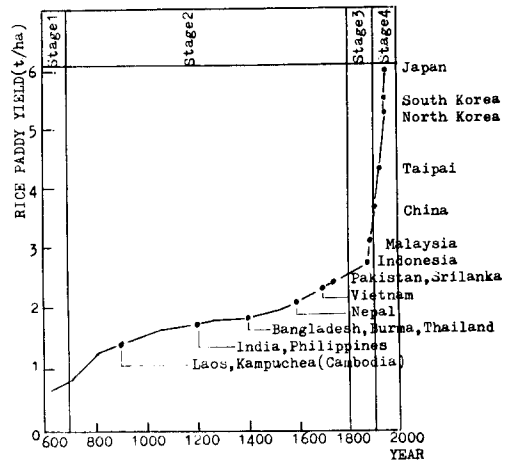


Fig 1. Historical evolution of rice paddy yield in Japan as compared to the present situation for some developing countries (Framji, 1984)

* 한양대학교 공대 교수(工博)

Table 1. Population growth in developed and developing countries

year	population (million)			gap between col. 3 and col. 4 (million)	annual growth rate (%)		
	world	developing countries	developed countries		world	developing countries	developed countries
1	2	3	4	5	6	7	8
1950	2,513	1,681	832	849	0.8	0.9	0.8
1960	3,027	2,082	945	1,137	2.0	2.3	1.3
1975	4,033	2,940	1,093	1,847	1.8	2.2	0.8
1980	4,415	3,284	1,431	2,153	1.8	2.2	0.7
1990	5,275	4,069	1,206	2,863	1.8	2.1	0.6
2000	6,198	4,926	1,272	3,654	1.6	1.8	0.5

Source: United Nations, Department of International Economics and Social Affairs, Population studies, No. 72, 1978. p. 9.

Table 2. World distribution of average daily calories per capita

Period/ year	34 developed countries	90 developing countries	Africa	Far East	Latin America	Near East	- low income
1	2	3	4	5	6	7	8
1974-1976	3,315	2,180	2,180	2,025	2,525	2,500	2,010
2000	3,475	2,370	2,305	2,200	2,700	2,845	2,175

Source: FAO, 1981, "Agriculture", Toward 2000 p. 20.

Table 3. World distribution of irrigable area as compared with usable water

region	irrigable area (million ha)	usable water (billion m ³)	percentage irrigable area (%)	percentage usable water (%)
Africa	290	1905	31	14
Asia + Oceania	357	4500	38	32
Europe	60	1325	6	9
North America	80	2380	8	17
South America	160	3900	17	28
total	947	14010	100	100

Sources: K. K. Framji, Past and likely future developments (by 2000) in irrigation, drainage and flood control in developing countries; ICID-Bulletin 1984, Vol. 33, No. 2.

수자원분석의 발달과 계획

개발전략

장래의 물수요는 계속 증가할 것이며 미국은 (Table 4) 2020년에 현소비량의 50%증가가 예상된다. 그러므로 수자원개발은 다음 사항에 목표를 두고 기술적인 혁신이 있어야 된다.

- a. 지구상의 물수요의 증가사정으로 인한 比消費水사용의 감소;
- b. 요구되는 수질기준에 따라 배분된 물공급의 차등화;
- c. 가용수자원의 증대
- d. 경고 및 경보절차와 더불어, 구조적, 非구조적시스템을 결합하여 사용하는 洪水조절방법의 개선;
- e. 지표수와 지하수 水質의 개선;

이러한 목표들은 일반적으로 流域을 대상으로 하고 있으며 적어도 장기적인 면에서 장래 展望으로 水文學의과정을 포함한 많은 복합적 환경과정을 연구하기 위하여 보다 큰 공간적 스케일이 요구된다. 그러나 현재 해결해야 될 많은 문제들은 즉각적인 大規模의 수문학적 연구를 바라고 있다. "El Nino"라 부르는 기상학적 현상과 관련 될 수 있는 수문학적 사건들이 최근 1982~1983년 사이에 발생한 약 100억달러의 피해를 일으켰다는 사실을 말할 수 있으며 Eagleson이 지적한

대로 전지구적 규모의 접근방법이 수문학적 영향을 기술하기 위하여 전지구적규모(global scale)와 함께 기상학적과정을 이해하는 데 필요하다.

比消費水 使用的의 감소

농업은 가장 소비적인 물사용자이다. 比소비수량을 감소시키기 위하여는 Springkling이나 Drip system과 같은 현대적 시스템이 전통적인 지표수나 저수지시스템과 代替되어야 한다. 실제로 전통적 소비수량의 50%정도의 감소를 달성할 수 있고 또한 효과적인 관개가능면적과 서로 다른 作物의 실제물수요량을 연구하기' 위하여 보다 많은 연구노력이 집중되어야 할 것이다. 가정용상수도에 있어서는 재료와 건설 兩面에서 새로운 기술이 필요하며 일반적으로 管路內에서 발생하는 많은 손실량을 감소시키는 데 목표를 두어야 한다. (이태리에서는 대략 18~50%까지 추정된다)

경영의 관점에서 보면 도로청소용이나 消火用, 살수용물과 같은 多量의 물사용자는 식용수를 절약하기 위하여 낮은 水質의 물을 공급받을 수 있다. 현재 물을 사용하는 건물의 냉각기술의 개선과 아울러 水熱펌프(Water heat pump)의 사용이 억제되어야 한다.

공업용수의 소비절약에 있어서는 內的으로 재사용의 절차를 개선함으로써 小요총수량의 數퍼센트까지 감소시킬 수 있다.

Table 4. United States projected water use, 1980-2020 in billion gallons per day

type of use	projected withdrawals			projected consumptive use		
	1980	2000	2020	1980	2000	2020
rural domestic	2.5	2.9	3.3	1.8	2.1	2.5
municipal (public supplied)	33.6	50.7	74.3	10.6	16.5	24.6
industrial (self-supplied)	75.0	127.4	210.8	6.1	10.0	15.6
<i>steam electric power</i>						
fresh	134.0	259.2	410.6	1.7	4.6	8.0
saline	59.3	211.2	503.5	0.5	2.0	5.2
<i>agriculture</i>						
irrigation	135.9	149.8	161.0	81.6	90.0	96.9
livestock	2.4	3.4	4.7	2.2	3.1	4.2
U.S. total	442.6	804.6	1368.1	104.4	128.2	157.1

Source: National Water Commission, 1973.

가용수차원의 증대

가용수자원을 증대시키기 위한 유일한 전망은 都市폐수의 재사용이다. 최근의 발달 추세는 人工的인 지하수주입의 타당성도 보여주는데 이 경우에 흙의 自然的인 능력은 잔류박테리아함량과 독성물질을 除去하는데 有用하게 이용될 수 있다. 이와 대조적으로 농토에 축적되는 이런 物質들의 누적적 영향때문에 같은 方法이 농업용수의 공급증대에는 부적합한 것 같다. 다른 물공급원으로 海水가 있으나 염수변환과정의 개발이 담수 개발보다 훨씬 많은 운영비가 들기 때문에 특별한 사용에 한정될 것이다.

水質의 개선

수문 및 수리기술자들은 合流式하수관망의 오염조절에서 생기는 문제를 해결하기 위하여 위생 기술자와 힘을 합쳐야 한다. 이 문제는 폐수와 호우의 合流式수집이 하천, 호수 혹은 海水에 미치는 영향에 주로 관련된 정량적, 정성적인 兩面에 다 관련이 있다. 물오염시스템에 대한 많은 불만은 排水와 폐수제거의 조합된 시스템이 잘못 설계된 것에 기인한다고 할 수 있다. 사실은 건기동안에 排水관망을 따라 퇴적되기 쉬운 物質과 같이 호우에 의하여 수송되는 오염물질은 종종 무시되지만 결국은 호우동안에 월류조절시스템에 의하여 하천으로 放流된다. 대수층내 오염물질의 擴散을 연구하기 위하여 수질관리문제에 대한 水文기술자의 많은 공헌이 필요하다.

洪水調節方法的 개선

효과적인 홍수조절시스템을 설치하기 위하여 구조적인 것과 非구조적인 方法을 결합하여 사용하면 적어도 선진국의 中大河川에 유역의 극한적 경우에 대하여 가장 만족스러운 응답을 준다는 것이 입증되었다. 제방, 호안, 유역변경수로, 저수지등과 같은 영구적 구조물에 의한 方法은 시민보호에 의하여 운영되는 일시적인 구조적 非구조적 방법들과 연결될 수 있다.

홍수의 발생과 예측사이의 유도시간과 예측의 신뢰성을 증대시켜 운영의 효율성을 가지려면 유도시간이 6~12시간 이상이 되어야 한다. 홍수에

보절차의 능력에서 전망있는 개선점은 물리적인 기술의 향상된 적용과 엄격하게 관련되어 있으며 대입변수(호우구조와 토양수분)을 감시추적할 수 있는 능력이 증가된 점이 참작되어야 한다. 원격감지기술의 급속한 발달은 모형유입에 대하여 증가하는 실시간 정보를 제공할 것이다. 호우 강수의 공간시간분포에 대한 레이다관측자료가 좋은 예이다.

수문기술자는 도로, 공항, 화력 및 원자력발전소의 경우에 홍수범람의 파괴적인 영향으로 부터 구조물을 보호하기 위한 필요성을 절감하며 河口와 석호동역학(Estuarine and lagoondynamics)의 해석에 주로 한정되어 있는 2차원자유수면흐름에 대한 더 이상의 연구가 개발되어야 한다. 특수연구가 필요한 또다른 문제는 댐피파가 下流유역에 미치는 영향을 推定하는 절차의 평가에 관한 것이다. 시민보호프로그램은 이런 배경내에서 수행되어야 하며 이 때 河川은 종종 개발지역을 가로질러 흐른다는 점에 유의하는 것이 중요하다.

水資源의 결정해석

결정해석을 위한 合理的方法의 평가에 대하여 검증하는 노력과 관련지어 이것의 주요역할이 일반적으로 받아들여 진다 하더라도 몇가지 의문에 대한 완전한 해답을 얻기 어려울 뿐 아니라 몇몇 문제점들이 예상된다. 오랫동안 주로 최적화모형의 경우에 정교한 모형의 사용을 반대하는 국가적, 국제적기관의 강한 경향이 인정되어 왔다. 전반적으로 모형수립가와 결정을 하기 위한 모형 이용자 사이에 수직적 斷絶이 있으며 연구자와 이용자사이에도 거리감이 있다. 수문기술자는 양호한 자료나 좋은 모형보다 더 選好되고 있는 것으로 조사되었으며 수문기술자의 역할은 그만큼 중요시 되고 있다. 수문기술자는 연구하고 있는 과정의 物理的성질을 알고 있어야 할 뿐 아니라 數學的方法을 통하여 그것을 記述하여야 한다. 分明히 後者は 믿을만 할 것이어야 하고 결코 그들을 잘못 이용해서는 안된다.

최근 발표된 700편이상이 논문중에 겨우 5%만이 수자원최적화를 다루었다. 잠재모형제작자들이 큰 관심을 가지지 않는 주요한 세가지 이유는

i. 기초자료의 불충분한 신뢰성

ii. 모형의 부적합성

iii. 설계매개변수의 변동에 대한 모형의 현저한 無感度性이다.

마지막 理由는 최적해의 근방에서 수학적모형에 의하여 제공된 변동없는 應答과 관계가 있다. 그래서 對案解들이 目的함수를 거의 변화시키지 않고 선택될 수 있다.

실제에 있어서 決定은 가끔 合理的 분석보다는 오히려 개인적 직관에 따를 때가 있다. 결정이론에 의하면 모든 解는 권력과 결정사이의 평형이다. 반대로 하나의 문제에 관련된 권력과 결정의 多樣性때문에 효과적인 쌍방단일관계를 발견하기는 대단히 어렵다. 그렇지만 정치권력이 최종적으로 결정할 것이다.

수문科學의 展望

수문학에 극단적 변혁이 필요한 데 그것은 많은 모형화 문제를 조사하는 것보다 공간과 시간 크기가 다른 침투, 증발산 및 불포화多孔매체와 같은 아직도 밝혀지지 않은 과정을 조사하는데 관심을 가져야 한다. 수문학에서 극단적인 변혁은 연구평가에 대한 현재의 기준을 修正하여야 되는 학자들의 전폭적 지지가 필요하다. 사실 실험적 연구가 수치적인 연구보다 훨씬 많은 에너지가 필요하다. 後者は 학구적인 발전면에서는 훨씬 유익하다. 유역을 對象으로 하는 水文學은 人間과 재정자원을 필요로 한다. 수문학은 다른 분야보다 훨씬 역사가 짧은 과학이다. 따라서 빨리 발전하여야 한다. 그러나 수문학의 자기발전적 접근方法은 數理物理學과 같은 威嚴의 가치가 있다. 복잡한 수문학적 과정은 전형적 크기 때문에 가정을 검정하기 위하여 장기간의 연구가 필요하다. 수문학이 홍수추적과 같이 물리적 거동이 잘 알려진 상황에 대해서만 믿을만한 解를 준다고 한다면 수문학적 변수의 통계적 분석은 도외시 할 수 있는가? 몇가지 연구된 과정은 物理的 특징이 고려된다면 分明히 훨씬 나은 결과가 통계적 분석을 통하여 얻어질 것이다. 만일 추계학적 모형이 완전히 도외시된다면 우리는 어떻게

호우 및 홍수, 한발, 인구증가율, 지진의 발생과 強度, 바람의 세기등을 예보나 예측할 수 있겠는가? 확실히 작은 표본에 근거한 통계적 예측은 정확한 결과를 예측하지는 않지만 어떠한 관련된 不確實性은 결정될 것이다. 또한 상식선에서 提案된 주관적 평가를 사용하기 보다는 오히려 여전히 제한적이면서 근사화와 단순화할 지라도 이론에 근거를 둔 결정을 내리는 것이 더 나을 것이다. 수자원연구의 전망을 수문학적 연구의 발달과 엄격하게 연계되어 있어 수자원연구의 장래 추세는 주로 수문학적과정의 기초지식에 관계되는 많은 미해결문제에 착수할 것이다. 다음은 연구를 착수할 가장 흥미있는 항목들이다.

- a. 전지구규모 수문학;
- b. 강우영역;
- c. 눈수문학;
- d. 유역의 증발산;
- e. 토양수분물리학;
- f. 포화대와 불포화대내의 물의 흐름과 용액 수송;
- g. 총적수로를 포함하여 유역에서 수문학적 응답에 관련된 하천망의 3차원적 구조;
- h. 지하수영역의 축척성질;

Burge가 지적한 대로 적절한 플럭스의 완전한 測定과, 前에는 측정하지 못했거나, 부적당한 공간과 시간크기로 자료가 추출되었던 상태의 측정치들이 필요하게 된다. 이런 배경내에서 선진국의 역할은 선진기술에 의하여 매일 얻어지는 측정장치와 조절시스템 및 컴퓨터시설에 대한 새로운 업적을 개발하는 것일뿐 아니라 적절한 시간-공간적 분석의 규모를 조절된 실험의 타당성을 지향하는 노력과 관련을 맺게 될 것이다.

結 論

위의 조사는 실제로 복잡한 水資源系에 대한 不完全하고 극히 포괄적인 개관과 현재의 문제점 및 將來의 몇가지 전망으로 보일 수도 있다. 또 수문학과 수자원관리는 환경분야와 밀접하게 상

8. 建設技術研究院의 向後發展計劃

장차 本研究院은 자체의 研究棟을 마련할 계획으로 있으며, 현재에는 여의도 라이프빌딩내에 약 1,400坪을 賃借해서 使用하고 있다.

아울러 實驗棟은 仁川에 있는 舊廳舍에 120坪 규모의 土質 및 環境實驗室을 運營하고 있으며, 國立建設試驗所 등의 施設도 활용한다.

保有하고 있는 實驗機資材는 構造分野에서 콘크리트 壓縮 韌 強度 試驗機等 12種, 施工分野에서 大型 自動 다짐기 등 2種, 土質·基礎分野의 電動 액성 限界試驗機 등 34種, 水資源分野 유속계 등 15種, 環境分野 불광광도계 등 55種, 建築分野 열류계 등 14種, 設備分野 오실로 스코우프 등 10種 등으로 총 142種을 보유하고 있다. 그러나 이 같은 實驗機資材의 保有는 앞으로 本研究院이 國策研究機關으로서 公認性을 바탕으로 建設業界의 技術需要에 대응하고, 대외적으로 신뢰받는 建設技術綜合研究機關으로서 맡은바 所任을 다하기에는 절대로 부족한 상태이다. 따라서 建設技術研究가 實驗을 바탕으로 한 實證研究가 重點

的으로 이루어질 수 있도록 研究施設에 대한 持續的인 投資가 絶실히 要求된다 하겠다.

本研究院은 이러한 認識과 함께 「建設技術研究 長期發展方向」에서 제시된 기본방향에 입각하여 연구원의 中長期 發展目標을 設定하고, 이를 향후 10년동안 効果적으로 達成할수 있도록 分野別 段階의 실천계획을 마련하여 금년 6월에 「研究院 發展 10個年計劃」을 研究·發表했다.

이 계획에 따르면 1단계('89~'93)에는 研究施設確報, 건설기술정보센터 구축 등의 연구기반조성을 완료하고, 2단계('94~'98)에는 研究成果를 축적하여 연구성과에 의한 建設技術發展을 이룩함으로써 10년후에는 國際水準의 建設技術關聯 研究機關과 대등한 수준으로 발전시키는 것을 목표로 하고 있다.

이러한 段階別推進計劃을 성공적으로 실천하기 위해서는 政府는 물론 學界와 業界의 加速的인 支授과 協力이 絶실히 要求된다 하겠으며, 本研究院은 그러한 뒷바침이 있을때 비로소 우리나라 建設技術의 產室로서의 구실을 훌륭하게 감당해 나갈 수 있을 것임을 확신한다.

→ 242페이지 “先進國의 水…”에서 계속

호작용한다. 그 결과 學際間 접근방법에 쏟는 현재의 노력이 조화있게 증가되려고 하며 따라서 복합성에 또하나의 인자를 포함하게 된다.

學際的인 연구에 있어서, 학자들의 合同노력에 의하여 만족할 만한 과학적 성과를 이루지 못했으며 현안의 복잡한 환경문제에 깊은 통찰력을 거의 제공하지 못했다. 이런 이유중의 하나는 학자의 공헌을 자신의 아는 범위로 제한시키려고

하는 학자개개인의 태도에서 엿볼 수 있다. 따라서 학제간의 관련내에서 어떤 不확실한 새로운 方法을 모색하는 것을 피하게 된다. 이러한 태도를 극복하는 것이 장래 연구활동의 중요과제중의 하나이며, 실험적인 연구역시 학제간 연구에 대하여 과학적 方法을 평가하는 데 적절한 역할을 하여야 한다.