

現在 및 將來에 있어서 世界의 水資源開發

—Water Resources Development in the World: Present and Future—

벤 · 테 · 차우

Ven Te Chow

물은 地球上에서 가장 풍부한 물질이다. 바다만 하더라도 地球表面의 70% 이상을 차지하고 있으며 대략 13억 5천만 km³의 물을 갖고 있다. 또한 7억 7천만 km³의 물은 地下水의 형태로 地殼內 혹은 岩石圈에 저장되어 있으며 2천 8백만 km³의 물은 얼음이나 빙하로 존재한다. 일반적으로 地球를 중심으로 하여 大氣上 15 km까지 그리고 지하로 地殼內의 평균 1km까지 이르는 水圈(Hydrosphere)에서 물이 존재하고 있다.

물은 역시 모든 生命體의 필수요소로서 물이 없이는 어떠한 生命도 이어나갈 수 없다. 즉 人體는 그 체중으로 보아 약 65%가 물이며, 이 중에서 12% 이상 잃으면 生命을 잃게 된다. 그리고 닭 역시 무게상 74%의 물을 포함하고 도마도는 95%의 물을 포함하고 있으며 대개의 有機物은 그 무게의 50% 이상 물에 좌우되고 있다. 또한 人間의 生命자체도 물에서 특히 바다의 鹽水에서 시작하였다고 볼 수 있다. 이것은 피, 땀, 눈물 등의 짠 맛으로부터도 가히 짐작할 수 있다.

물이 自然에 존재한 이래 지금까지 地球를 형성하는 큰 힘이 되기도 하였다. 즉 地表面에 내린 비는 흙을 운반하고 계곡을 만들어 沖積礫타를 만들기도 하였고 海洋의 海, 潮流 및 波浪은 해변을 변형시키거나 陸地를 읊기도 하였다. 그리고 현재에 있어서 물의 重要性은 生命을 유지하거나 河川地形을 변형시키는 역할 그 이상의 기능을 하고 있으며 人類의 生存을 위한 地球의 환경 조성이나 文明의 발전에 영향을 주는 主要因子이다. 역사적으로 보아도 물은 人類의 노예이기도 했고, 人類를 지배하기도 했다.

현재 세계의 人口가 팽창하고 生活수준이 향상됨에 따라 水需要와 그 調節機能의 필요성은 더욱 커지고 복잡하게 되었다. 따라서 누구나 各者가 물을 보다 効果적으로 관리해야 하며 물에 관한 科學的인 이해가 근본적으로 필요하게 되었다. 이를 위해서는 물순환 과정

을 통한 충분한 이해와 地球上의 可用水資源의 완전한 개발과 이용을 위하여 필요한 것이다.

따라서 지금까지 이 물순환과정의 科學的 調査를 위하여 여러 국가와 국제기관이 적극적으로 참여하여 왔는데 FAO(국제식량농업기구), WMO(세계기상기구) WHO(세계보건기구) 등이 대표적이다.

또 유네스코는 1965년 1월 1일부터 1974년 말까지 10년 동안을 國際水文觀測 10週年計劃 (IHD) 기간으로 정하여 물에 대한 범세계적인 기초조사와 연구를 수행하였다. 이 계획에 세계 100여 개국 이상이 참여하였으며 이것은 人口의 팽창이나 生活수준의 향상에 당면한 水資源의 저장을 위해서 그리고 이 수자원의 보다 효과적인 사용을 위한 범 세계적 연구에 대한 人類의 첫 시도이었다. 이 계획이 성공적으로 끝난 75년 초부터 다시 國際水文計劃(IHP)이 세워져 물에 대한 연구 조사 및 교육이 세계적으로 계속되고 있다.

社會에 있어서의 물

먼저 물과 文明의 관계를 살펴보면 물은 科學의 척도일뿐 아니라 역시 文明의 척도이다. 특히 현대문명에 있어서 生活수준은 1人當 물소비량에 의하여 판단될 수 있다.

한 사람이 하루에 필요한 최소의 물의 양은 80리지만, 현대화된 도시에서 1人當 平均소비량은 약 400리 정도이고 首都와 같은 지역에서는 1,500리 혹은 그 이상까지 소비하고 있는 실정이다. 이러한 도시의 물급에 있어서 水質이 역시 주된 관심을 일으키게 되었다.

물은 음료수 이외에 灌溉를 위한 물수요가 역시 食糧 생산을 위하여 일찌기 文明의 시초부터 필요하게 되었다. 즉 기원전 4천년경 메소포타미아平原이나 기원전 3천 4백년경 나일계곡에서 이미 灌溉耕作이 시작되었으며 현대의 대규모灌溉시스템으로는 9백만ha의 토지

에 물을 공급하는 파키스탄-인도간의 인더스流域 시스템과 20만ha이상의 토지에 공급하는 美國의 임페리알계곡시스템이 있다. 이 灌溉를 성공적으로 하기 위해서는 소비수량, 주로 식물에 의한 증산에 대하여 충분한 물을 필요로 할뿐만 아니라 역시 지하수의 충분한 이동과 灌溉地域에서 이 鹽分의 제거를 위한 충분한 排水를 할 것을 필요로 하고 있다.

다음 물은 洪水에 의하여 人間에게 큰 피해를 주고 사회경제적인 문제를 야기하기도 한다. 人口가 팽창함에 따라 사람들은 경제적 필요성이나 물운반의 용이, 기타의 편리에 의하여 洪水범람원에 많이 살게 되었으며 따라서 그뒤 洪水가 일어날때 제방을 넘어 범람된 塋원이 물속에 잠기는 일이 많아지게 되었다. 소규모의 洪水에서는 심각한 침수나 피해를 일으키지 않는 반면 큰 洪水는 빈번히 일어나지는 않으나 큰 피해를 가져오며 人命의 손실을 가져오기도 한다. 기원전 2500~1500년에 인더스平原의 「모헨조다르」와 「하라파」에서의 고대 文明이 되풀이해서 발생하는 이러한 洪水에 의해서 완전히 파괴된 것도 그 한 예이다. 그러나 이러한 洪水의 문제는 오늘날에 와서도 큰 洪水가 방지될 수 없고 다만 조절될수만 있기 때문에 해결할수 없는 것이다. 이러한 심한 피해에도 불구하고 洪水범람원에서의 人間の 생활은 세계도처에서 나날이 증가하고 있는 실정이다.

洪水로부터 입는 손실을 경감시키기위한 현재의 방법으로서의 임시적 긴급대책을 세우거나 洪水를 방어할 구조물을 만들거나 土地使用을 조정하거나 洪水보험을 실시하거나 洪水의 조절이나 제방및 저수지 등의 洪水工事を 하는등 여러 대책이 있으나 최적의 해결책은 일반적으로 多目的의 사업을 함께 시도해 보는 것이다.

河川이나 호수및 海洋의 물은 또한 교통의 수단으로 이용되기도 한다. 배의항행을 위한 運河의 건설은 역사상 일찍부터 시작되었으며 中國의 大運河는 13세기 경에 완성되어 北으로부터 南으로 文明을 전파토록 하였다. 그리고 근세에와서는 閘門이나 디젤엔진등의 발명으로 運河의 큰 진보와 이용도가 높아졌으며 수에즈 파나마와 같은 大運河가 건설되게 되었다.

한편 물은 水力發電에 의한 에너지源으로서 크게活用되고 있다. 즉 이發電은 도시나 농촌 그리고 산업 시설에 널리 이용되므로 현대문명의 발전에 크게 이바지하고 있다. 물론發電에 있어 火力이나 原子力發電에 비하여 그 장단점이 있으나 水力발전은 아직까지 그 경제적 중요성을 지니고 있으며 장기간으로 보아서 저렴한 에너지를 얻을 수 있는 것이다. 특히 近年에와서 세계의 에너지 위기로 인하여 揚水발전의 추가적인

이익을 얻을 수 있기 때문에 경제적으로 더욱 타당성을 갖게 되었다.

이처럼 人間生活과 밀착되어있는 물을 이용하기 위해서는 공급, 변화, 배분, 洪水, 水質 및 汚染이라는 6가지 기본문제를 해결해야만 한다. 즉 물의 공급문제는 수요가 가용자원보다 초과할때 일어나게 된다. 이것은 공급과 수요가 지리적으로 보아 일치하지 않을 때 일어나게 되는 것이다. 그리고 地表上의 물의 근원은 주로 降水이므로 流出의 양상은 降水의 양상에 유사하다. 따라서 降水의 변화성에 따라 물의 량도 변화성을 갖게 되며 어떤 지역에 있어서 평균 불공급량이 평균수요량에 일치하더라도 수요가 어떤 시간에 있어서 공급량을 초과할 때 변화성이 문제가 되는 것이다. 현대社會에 있어서 모든 물문제 가운데 水質과 관련된 문제들이 가장 복잡하고 다루기 힘든 문제중의 하나이다. 특히 人口의 급속한 팽창으로 인한 廢水의 방출은 물의 汚染을 더욱 촉진하고 있다. 이와같이 과거에 있어서 물은 文明의 形成에 큰 역할을 하였으나 현재의 새로운 文明은 오히려 물에 있어서의 새로운 문제들을 야기하고 있다.

다음 水資源開發에 대하여 살펴보면 古代에 있어서와 마찬가지로 현대에 있어서 人間에게 하나의 큰 도전은 물을 가장 잘 사용하고 가장 효과적으로 조절하는 것이지만 지금까지 水資源은 남용되었거나 잘못 관리된 경우가 많았다. 다행히도 水資源은 항상 보충되고 있으며 만약 이들이 효과적으로 개발되거나 잘 관리될 수 있다면 현재물 부족을 받고 있는 여러곳에서 이용할 수 있는 물보다 더욱 많은 물을 얻을 수 있을 것이다.

현대의 水資源開發은 여러가지 目的 가운데 대개 하나이상의 目的에 대하여 계획되고 있으며 이것은 보통 多目的의 開發이 큰 경제적 이점을 갖기 때문이다. 그 多目的의 開發으로는 洪水調節, 灌溉, 水力發電, 舟運, 生活 및 工業用水, 流域管理, 慰樂, 魚族保護, 汚染防止, 排水, 流砂조절, 鹽水침입조절등을 들 수 있으며 댐이나 貯水池등의 많은 구조물의 建設을 開發에 있어서 포함하고 있다. 따라서 현대에 있어서의 水資源開發은 이것이 물사용의 多目的, 多單位 혹은 多變性으로 인하여 매우 복잡하게 되어왔다.

이러한 技術的 복잡성뿐만 아니라 또한 水資源開發은 開發地域에 있어서의 필요성과 문젯점들을 반영해야한다. 일반적으로 이러한 필요성과 문젯점들은 多機關性을 띄우고 있는 것으로 정부와 여러 개인이익과의 상호협조를 필요로 하고있다.

따라서 현재의 水資源계획은 복잡하기 때문에 재래적인 經濟分析으로서의 그 계획의 명확한 양상을 쉽게

평가할 수 없다. 그러므로 지난 몇십년간 OR과 시스템 분석의 科學的技法이 이러한 현상에 대처하기 위하여 紹介되었다. 이러한 技法에 의하여 水資源계획은 하나의 시스템으로 취급되며 또한 이 시스템은 그 계획의 명확한 目的을 표시하는 目的函數에 의하여 數學的으로 표시된다. 그리고 이 目的函數는 역시 數學的으로 표시될 수 있는 어떤 조건에 따라서 最適化된다. 일반적으로 이 分析에 있어서 두가지 방법이 있는데 하나는 「數學的시뮬레이션」이고 다른 하나는 「數學的 모델화로서 모두 컴퓨터에 의한 신속한 分析을 할 수 있는 것이다.

이 시스템 分析에 의한 水資源開發計劃의 例로는 텍사스水資源계획을 비롯하여 세계도처에 많이 活用되고 있다. 그러나 현재로 水源資개발 및 관리에 있어서의 시스템 分析의 사용은 技法으로서 연구 및 개발단계에 있으며, 「아나로그」와 「디지털」 컴퓨터의 併用역시 현재조사단계에 있으나 앞으로 더욱 빠르고 효과적인 계산 및 分析을 기약해 주고 있다.

將來에 있어서의 물 및 그 開發方向

미래에 있어서의 물문제를 해결하기 위한 水資源의 개발방향으로서 많은 가능성을 생각할 수 있다. 먼저 가능한 것은 물순환과정의 수정이다. 즉 자연의 균형을 깨뜨리지 않고 물순환사이클을 수정하고자 하는 기도가 많이 전개되어 왔으며 이것은 언젠가는 人間의 복지를 위하여 대규모로 유효하게 사용될 수 있을 것이다. 이 물순환과정의 방법으로서 기도된 것은 降雨 조절(혹은 人工降雨) 蒸發억제 및 地下水 재보급 등이 있다. 먼저 강수량은 人工降雨法에 의하여 大氣上에 수증기의 농도를 모의조작하는 물질에 의해서 구름을 생성 시킴으로서 증가시킬 수 있다. 이 人工降雨이외에 푸로판게스의 공기나 혹은 드라이·아이스를 산포함으로써 降水를 일으키게 하는 방법도 국부적으로 성공하였다. 또한 태풍의 에너지를 감소시켜서 그 농축된 에너지를 구름의 생성이나 혹은 核폭발에 의하여 분산시키는 것도 계획되고 있다.

현재 人間은 아마도 수백 km² 혹은 그 이상 규모의 물순환과정을 수정할 수 있는 위치에 놓여있으나 대규모의 물순환과정의 수정은 地球上의 여러 환경조건에 위험한 결과를 초래할지도 모르므로 모든 가능한 효과가 먼저 예측될 때까지는 그 수정은 반드시 연기되어야 한다.

다음 蒸發抑制나 地下水의 再補給 방법도 여러 경우에 있어서 매우 효과적임이 입증되었으며 장차 널리 이용되리라고 본다. 蒸發억제의 여러가지 방법은 가용 水資源을 보존하기 위하여 개발된 것으로, 가장 일반적

인 방법은 水面上에 單分子膜을 만들어 물分子가 도망하기 어렵도록 하여 증발이 지체되도록 하는 방법이다. 이 방법에 대한 化學的 연구는 50년전 美國의 여러 실험실에서 처음 시행되었을지라도 실제로 이 방법이 濠洲의 貯水地에 처음 응용된 것은 1952년이후였다.

그리고 地下水의 재보급에는 여러가지 방법이 있다. 1890년이후 美國 캘리포니아에서 시행된 최초의 방법은 溝渠擴水法(Ditch Spreading)으로서 침투량을 증가시키기 위하여 地表水를 開水路로 유도하는 방법이다. 그러나 이 방법은 다시 流域擴水法 (Basin Spreading)에 의하여 대체되었는데 이것은 대량의 물을 擴水침투케하는 가장 효과적인 재보급법이다. 美國로스앤젤리스의 예를들어보면 20여개의 擴水地에서 도합 초당 6만 l의 물이 침투하여 地下水로 재보급되고 있다. 그리고 우물을 통한 流域재보급도 역시 海水의 침입을 억제하기 위한 淡水장벽을 만들어주며 따라서 海岸地域의 地下水資源을 보호할 수 있다.

두번째의 水資源 개발방향은 대규모의 물수송 혹은 廣域의 利水計劃이다. 즉 20세기 후반에와서 한 流域 혹은 지역으로부터 물을 받음으로서 사회, 경제적 발전에 팔목할만한 효과를 가지는 다른 流域 혹은 지역으로 대규모의 물수송기술이 대중화 되었다. 캘리포니아 물計劃에 있어서는 700km의 水路에 의하여 북쪽의 물이 풍부한 사크라멘토 산조콘델타지역에서 중앙 및 남부지역으로 물을 보내며, 콜로라도江에서 로스앤젤리스까지 送水하는 洲사이 혹은 높은 流域을 통하여 물수송을 하는 더욱 의욕적인 경우도 있다. 그리고 최신의 텍사스 물計劃에서는 연간 약 150억 m³의 물이 루지아나 低部の 미시시피江으로부터 수입되면 이 가운데 약 90억 m³은 약 800km의 水路와 貯水池群을 통하여 송수되어 灌溉用水의 목적으로 서부 텍사스의 高地平原으로 1000m 정도 揚水, 송수된다. 그리고 남은 물은 다시 뉴멕시코로 수송된다.

대규모 물수송계획으로 제안된 나바파(NAWAPA) 계획은 科學공상의 꿈과같이 생각되는 최대규모의 물수송 계획으로서 멀리 알라스카로부터 캐나다, 미국을 거쳐 北멕시코까지 물을 수송코저하는 北美대륙의 모든 주된 西部河川들을 조절하는 계획이다. 이 계획에 의하여 루키산 계곡에 800km 길이의 大貯水池가 형성될 것이며 이로부터 水路를 통하여 美國의 서부건조지와 멕시코까지 수송된다. 현재로서는 캐나다와 美國정부간의 협의, 경제적인 문제등 많은 難題들을 갖고 있기 때문에 조기의 실현은 어려우나 앞으로 20~30년후에는 이 계획이 실현될 것이라고 내다보고 있다.

또한 소련에 있어서 이 나바파계획의 규모에 비교할 수 있는 것으로서 오브-에니세이-일티쉬 방수로

계획이 있으며 이계획은 서부 시베리아의 北流하는 江으로부터 카스피안사막으로 물을보내 아세아에 英國보다 더 큰 표면적을 갖는 人工바다를 만들계획을 세우고 있다.

세번째의 水資源開發方向은 풍부한 양을 갖고 있는 海水의 淡水化이다. 일반적으로 溶存物質이 1,000ppm을 초과할때 鹽水라하고 海水의 평균치는 35,000ppm이다. 海水의 脫鹽방법으로 몇가지가 있으나 가장 널리 사용되는 방법은 蒸發이나 증류를 포함하는 방법이다. 이 淡水化가 實用된다면 물 문제는 쉽게 해결될 수 있으나 將來에 있어서 널리 사용되기 위해서는 그 비용이 주된 열쇠이다. 현재로서는 淡水化 즉 脫鹽의 방법은 그 비용이 높기 때문에 다른 방법으로 물을 인기가 비정상적으로 비용이 많이들던가 혹은 깨끗한 물을 거의 얻을 수 없는 경우에 한하여 이용될 뿐이다. 그러나 이 脫鹽의 方法은 장차 그 技術의 개선에 의하여 비용이 낮아질 때 물의 공급源으로서 널리 사용될 것이다.

또한 매우 실용적이고 중요한 또 하나의 물문제의 해결책으로는 都市 下水의 재이용 및 처리를 들 수 있다. 이 방법은 앞으로 수10년간 많은 지역에서 전통적인 실용방법이 될 것이다.

끝으로 將來에 있어서의 물문제를 보면 세계는 풍부한 물經濟로부터 부족한 시대로 변천하고 있다. 다행히도 물이란 파괴되는 것도 아니고 소멸하는 資源도 아니며 물부족현상은 단지 地理의 分布나 水質의 악화에 기인하는 것으로 그 총 가용물량에 의한 것은 아니다. 또한 水資源의 誤用이나 管理의 잘못도 역시 이 不足현상에 큰 몫을 차지하고 있다. 앞으로 科學이나 技術이 이러한 장래의 물문제에 대한 技術적 해결방법을 제공하는데 더욱 큰 역할을 할 것이며 뿐만 아니라 心理學的으로 社會經濟 및 政治의 으로도 물에 대한 태도의 변화를 필요로 할 것이다. 물을 保存하기 위하여 將來에 있어서 人間은 公급된 물의 재사용, 資源의 非汚染 및 非廢水化하는 새로운 물문제와 함께 生存해야 한다. 역시 현실적인 물의 평가가 물공급을 保存시킨다는 것을 인식하는 것이 세계의 모든 사람에게 부여된 중요한 과제이다.

물이란 현대사회에 있어서 기본적인 필수품으로서 그 資源의 개선과 확충을 위하여 유지 및 자본의 투자를 필요로 하는 工場製品으로서 취급되어야 한다. 그리고 역시 사용조건하에 통과되는 借用된 資源이라는 것이다. 만약 이러한 이해가 이룩되지 않는다면 언젠가는 진실로 심각한 물 不足의 현상이 일어날 것이다.

正會員入會要領

水文 또는 이와 關係있는 知識이 있거나 또는 識見이 높은 분, 水文을 應用하는 事業에 從事하는 분으로써 本學會 事業趣旨에 찬동하여 入會를 원하시는 분은 既加入한 會員의 推薦을 받아 本學會 所定樣式에 의한 入會願을 提出하여 주시기 바랍니다.

提出處：韓國水文學會事務局

電話 (23) 0491 · 0492

會費納付

每年莫重한 事業을 推進하면서도 恒常會費納付가 지연되고 있어 學會運營에 많은 시장을 받고 있습니다.

여러분이 納付하는 會費는 本學會運營의 動脈이 되오니, 學會財政을 十分惠諒하시어 現在까지 未納하신 會員은 다음과 같이 早速한 時日內에 自進納付하여 주시기 바랍니다.

納付金：75年度까지 年間 ₩1,000 76年度 年間 ₩1,500 第10回定期總會에서 '76年度分부터 500원을 引上하여 ₩1,500으로 決定하였으니 惠諒하여 주시기 바랍니다.

納付方法：直接納付 또는 隣近郵遞局을 利用하여 振替口座505545에 拂込하여 주시면 當學會에 入金됩니다.