

## 〈特輯 河川 環境管理〉

## 댐計劃과 성공적인 環境管理

徐 炳 夏\*

## 1. 서론

물은 인간과 동식물의 생존에 필수적인 요소이다. 地球상 곳곳의 개척은 항상 식량, 난방, 주거지의 공급이외에 用水供給을 위한 것이다. 현재 세계 도처에서는 이용가능한 用水量이 더 이상의 개발이나 심지어 현재의 사회 발전 또는 생존에 위험이 될 정도로 인구가 급증했다.

또한 에너지 부족은 점점 더 심각해져서 水力과 같이 재생가능한 에너지 資源을 더욱 더 필요로 하게 되었다. 水資源은 生活用水 및 産業用水, 灌溉, 水力發展 등을 위해 개발되며, 이런 계획은 대부분 댐 건설을 포함하게 된다. 댐은 또한 環境保存, 洪水輕減, 海岸開發과 舟運과 慰樂 시설등의 목적을 위한 水資源 管理 計劃에도 이용되기도 한다. 이런 댐 계획의 대부분은 분명히 성공적이었다.

20세기 들어 環境影響에 대한 관심이 점차 증가하였다. 댐기술자는 環境의 중요성을 깊이 인식하고 발생 가능한 문제들에 대한 사전에 충분한 고려를 하게 되었다. 댐건설은 環境變化를 초래하며, 이것은 이로운 면과 해로운 면을 동시에 지니고 있다. 어떤 심각한 해로운 영향을 경제적으로 만족스럽게 해결하기 위한 방안들이 있다. 그러나 때때로 책임기술자들이 그런 해결책을 찾지 못하여 계획자체가 포기되기도 한다.

環境問題는 그것들이 잠재적으로는 중요성이 분명히 인식되지만 실제로 예측하는데는 상당한 어려움이 있다. 이 때문에 과거에는 여러가지 실

책이 발생하기도 하였다. 일반적으로 이런 문제는 다음의 두가지 이유 중 하나 때문에 발생한다. (대개 댐 소유기관이나 참모진들이) 해로운 영향을 과소 평가하기도 하고 (대개 공공 단체들이 이에 대해 이해가 부족하여) 과대 평가하기도 한다. 후자때문에 국민 복지에 상당한 이득을 가져올 수 있는 계획들이, 좀 더 완벽한 연구를 통하여 모든 관련된 문제의 해결책을 찾을 수 있는데도 불구하고, 포기되어 버리기도 한다. ICOLD 환경위원회의 구성은 위의 두 경우와 같은 실수가 유발될 소지를 최소화하고자 하는 것이다.

이 小考는 環境問題와 관련된 댐기술자의 관심과 지식을 설명하고자 하는 것이다. 또 전세계의 댐工學者들이 댐 계획의 環境的 安全度를 높이기 위해 일반적으로 채택하고 있는 과정을 기술한다. 또 실제로 제시된 성공적인 해결책과 발생가능한 주요 문제점을 열거한다.

그러나 이 小考에서 총체적으로 모두 다룰 수는 없으므로 좀더 세밀한 정보를 얻고자 하는 사람은 도서관이나 ICOLD에서 제공되는 정보를 이용하기 바란다. 몇가지 참고문헌을 본고 뒤에 첨부한다.

## 2. 계획의 입안

댐計劃의 着想은 댐의 소유기관 또는 운용기관에서 시작되며, 이들이 공인된 용역회사나 외부 수탁연구를 통해 시행된다. 소유기관은 이 계

\*한국건설기술 연구원 수자원 연구실장 (ICOLD 발간자료에서 발췌)

획의 계속 추진 여부를 판단하기 위해 일반적으로(계획의 주요 목표에 부합되는) 경제적 기준을 지니고 있다. 예상되는 문제점을 평가하고 可能解(feasible solution)의 범위에 대한 經濟的 分析을 하기 위해 妥當性 調査를 한다. 이 조사에서는 또한 經濟性 分析 결과가 비현실적인지 여부와 발생 가능한 環境問題도 고려하여야 한다. 妥當性 調査段階와 그 후 단계에서 공학자들이 意思決定을 돕기위해 ICOLD는 고려되어야 할 모든 심각한 환경문제를 검토할 수 있는 檢討目錄(check list)을 제시하고, 실행가능한 해결책들의 相互關係를 명백히 밝혀서 工學者들이 평가를 쉽게하도록 도움을 줄 수 있는 방법을 개발했다. 많은 나라에서 擘計劃은 여러 승인 과정을 거친다. 이 과정은 대개 소유기관과 별개인 정부 기관의 관리하에 있으며, 몇몇 나라에서는 議會의 의결을 거쳐야 하는 경우도 있다. 이 단계에서는 각계의 專門家와 공공기관들의 특별한 모임이나 調査 現況板, 放送媒體를 통하여 環境問題에 대해 조언을 하게 된다. 또 소유기관이 그의 妥當性 調査와 개별적인 環境影響 研究結果를 제시할 수 있는 것도 이 단계이다. 몇몇 국가에서는 법적으로 이런 것을 요구하기도 한다. 이런 연구는 모든 가능한 環境問題를 만족스럽게 해결할 수 있는 충분한 對策이 마련되어야 한다.

소유기관의 妥當性 調査와 면허 과정을 거쳐 소유 기관에 발급되는 면허에는 필요한 環境保護 對策이 明示되며, (시행되지 않았을 경우) 나중에 강제로 시행하게 된다.

擘의 計劃, 依賴, 調整 및 建設 중에 工學者와 다른 專門家들이 環境因子를 감시하고 豫測値와 실제 결과를 비교한다. 豫測値와의 偏差를 다루는데는 유연성이 필요하다. 이런 점에서 ICOLD의 방법은 각 影響의 相互關係를 파악하는 데 도움을 준다. 승인기관에 대한 보고 또는 그 기관의 감독도 필요한 과정 중 하나이다.

일반적으로 이런 과정을 거쳐서 擘을 計劃 및 設計한다면 成功的인 環境保護에 대한 전망은 최대로 될 것이다.

### 3. 환경 문제와 대책

#### 3.1 댐 통과물

댐은 浮遊物이나 木材, 얼음, 魚類와 선박의 통행에 지장을 준다. 이것은 슈트(낙수로), 부유 쓰레기를 제거하는 갈퀴, 고기사다리 또는 승강기, 수문등을 설치하여 해결할 수 있다.

#### 3.2 流砂

流砂는 貯水池에 이르면 下流로 계속 運送되지 않고 대부분 貯水池바닥에 堆積된다. 댐에서 流出되는 물은 이런 짐(load)이 없으므로 浸蝕性이 강하다. 따라서 下流의 堤防이나 下床의 浸蝕을 막기 위해 河川改修作業이 필요하다. 과거에 경작지에 堆積된 silt는 비료로 바뀌므로 이것을 잘 이용하면 상당히 유용하다. 이런 영향을 대개 어떤 水文學的 조건하에서 洪水의 初期 단계에서 餘水路나 水門을 낮게하여 silt가 섞인 물을 흘러 보내거나 洪水후에 깨끗한 물을 가두기 위해 水門을 단음으로써 부분적으로나마 극복할 수 있다. 후자의 과정은 또한 下流의 생활에 중요한 浮遊營養物과 관계된 잇점이 있다. 貯水池에서의 浮遊物의 집적은 山林綠化사업, 土壤保存과 같은 上流流域의 浸蝕防止 대책에 의해 경감시킬 수도 있다.

貯水池의 流砂測定, 豫測 및 調節에 대해 ICOLD의 多國籍技術委員會가 연구중에 있다. 이 위원회의 보고서는 댐기술자들의 流砂問題를 해결하는데 지침을 제공해 줄 것이다.

#### 3.3 放流

일반적으로 큰 貯水池는 沈澱池역할을 하므로 河川 下流로 放流되는 물의 濁度는 감소된다. 그러나 沈降速度가 작은 細粒土砂의 상당부분은 放流量이 많은 경우에는 흐르는 물에 浮遊되어 排出된다. 이런 경우 貯水池의 貯溜는 下流의 河川水의 濁度를 장기적으로 일정, 수준으로 지속시킨다. 이 경우 慰樂施設, 魚類繁殖, 用水利用 뿐 아니라 河川邊의 쾌적성에 심각한 문제를 야기한다.

濁流는 貯水池내에서 여러 개의 분리된 水平層을 형성하여 貯溜되므로, 더 깨끗한 물을 放流하기 위해서는 放流높이를 잘 결정하여 물을 流入시키는 것이 효과적이다.

水路를 따라 작은 洪水가 생기는 것은 下流의 魚類生存에 특히 중요하며, 이것은 댐에서 報償流量(compensation water)을 특별히 放流하여 발생시킬 수 있다. 하천이나 해안의 자연장애를 또는 砂洲의 주기적 세굴을 위해서 大量放流가 필요한 때도 있다. 댐아래의 하천이 건조하게 되면 미관상 좋지 않으며 養殖에는 치명적이다. 대개의 경우 이런 문제를 해결하기 위하여 댐에서 流量을 放流한다.

### 3.4 動物

貯水池 水位가 증가할 때 그 안에 갇힌 陸上動物들은 '노아의 방주'와 같은 작업에 의해 구출될 수 있다. 한편 기러기와 같은 철새들은 새로 생긴 서식지역에 머무를 수도 있고, 비슷한 종류의 물새와 어류는 새로운 저수지의 혜택을 받으면서 번성한다. 그러나 陸上動物의 移動經路는 방해받을 수 있으므로 이에 대한 적절한 對案이 마련되어야 한다.

### 3.5 氣候

새로 큰 貯水池가 만들어지면 氣候形態가 변하여, 안개生成, 降雨形態의 변화, 降雨의 增加 등의 영향을 미친다. 이런 효과는 氣溫과 水溫등을 근거로 하여 폭 넓게 예측할 수 있다.

### 3.6 水溫

깊은 貯水池의 表層部에서는 더운 계절에 溫度傾斜(temperature differential)가 더욱 크게 된다. 따라서 파이프를 이용하여 용수를 取水할 경우 층에 따라 溫水와 冷水의 선택이 가능하다. 또 容存酸素量도 깊이에 따라 변하므로 깊은 수심에서는 산소결핍이 일어날 수도 있다. 그러나 여러 층에서 導管을 통하여 선택적으로 放流되는 放流水는 大氣와 접촉하면 즉시 標準容存酸素量을 회복하기도 한다. 發電所와 다른 産業施設의

冷却 시스템에서 나온 冷却水의 온도문제는 貯水池를 합리적으로 이용하여 완화시킬 수 있다.

### 3.7 氣體

드문 경우지만 潛水 bucket을 지닌 높은 餘水路 아래에서는 貯水池 放流水의 질소와 산소의 過飽和 상태가 발생하기도 한다. (특히 수표면에 근접해서) 이런 상태는 魚類의 生存에 해를 미칠 수 있지만, 편향관을 적절하게 설계하여 완화시킬 수 있다.

### 3.8 鹽分

河川 上流에서의 폐기물에 의해 貯水池에 流入된 溶解된 鹽分은 貯水池에서 稀釋되므로 방류수에서는 濃度가 훨씬 떨어진다. 그러나 열대기후에서는 저수지내의 蒸發이 매우 크므로 鹽分濃度가 증가될 수도 있다. 이런 효과는 수학적으로 모형화하여 예측이 가능하다.

### 3.9 富榮養化(Eutrophication)

富榮養化현상은 특히 새로 만든 貯水池에서 발생할 수 있다. 과다한 榮養化은 플랑크톤과 말류, 수조류의 폭발적 성장을 유발하며, 이런 생물이 죽어 바닥에서 썩으면서 溶存酸素를 소모해 버린다. 이때 黃化水素가 발생하므로 물은 生活用水로는 부적합하게 된다. 貯水池 值下流에서는 魚類의 生存이 위협을 받게 된다. 이에 대한 첫째 대책은 새로운 貯水池水域을 담수하기 전에 완전히 깨끗이 정소하는 것이다.

貯水池 바닥에서 제거된 나무는 목재나 연료로 이용할 수 있다. 또 다른 방안은 수중 폭기, 유입수 처리, 차단수로 설치 등을 하여 특히 질소나 인 복합체 비료 성분이 포함된 陸水가 貯水池에 流入되지 않도록 하는 것이다.

또 다른 방법은 중국 잉어와 같이 수초를 먹는 魚類를 방류하는 방법이다. 그러나 외래종이 자연 동물군의 균형을 깨뜨리지 않도록 항상 세밀한 주의가 필요하다.

### 3.10 植物群

水中植物群이 貯水池내에서의 물의 流出, 發電, 舟運, 魚類養殖등을 방해할 정도로 번성할 경우도 있다. 이에 대한 대책으로는 貯水池 水位 低下, 除草劑의 散布, 수초가 자라기 시작할 때의 機械의 除草, 生物學的 調節을 위한 식물 기생충의 이용 등이 있다.

### 3.11 動物群

水中動物群은 많은 새로운 貯水池에서 번성하며 이것은 일반적으로 유익하다. 그러나 새로운 종의 도입에는 주의 깊은 고려가 필요하다.

### 3.12 地下水

地下水位는 댐 건설의 영향을 받는 지역에 따라 올라가기도 하고 내려가기도 한다. 이것은 특히 低地帶 河川에 있는 댐과 貯水池에 큰 영향을 준다. 用水供給과 農業은 그런 변화의 영향을 받는다. 만일 필요하다면, 地下水位 上昇은 排水調節對策으로 地下水位 低下는 調節用 weir, 차단, 人工給水井을 이용하여 각각 대처할 수 있다.

### 3.13 산사태

洪水가 발생하는 가파른 계곡에서는 새로운 貯水池로 산사태가 일어날 가능성을 고려해야 하는데, 산사태는 일반적으로 地下水位의 變化나 급격한 貯水池水位 下降에 의해 발생한다. 土質力學과 地質學的 조사로 그런 지역을 찾을 수 있다. 일반적으로 排水와 安定化 작업을 이용한 대책이 가능하며, 지반의 움직임과 水壓變化를 조사하는 것이 필요하다.

### 3.14 地震

막대한 流量이 流入되는 높은 댐은 地震에 대한 위험을 고려하여 특별한 조사가 수행되어야 한다. 岩石應力을 조사하고 최근의 火山 活動의 地質學的 根據나 斷層의 길이, 이동 등을 조사해야 한다. 이 과제를 특별히 연구하기 위한 ICOLD의 기술위원회가 설치되어 있다.

### 3.15 人口移動

댐計劃에 따른 댐지역의 人口移動은 피해를 주기도 하지만 때로는 새 거주지에서의 주택사정, 사회적 쾌적성, 취업의 기회 등에서 더 좋은 결과를 가져 오기도 한다. 이에 대해서는 사회학적 조사와 연구가 수행되어야 하며, 영향을 받는 사람들의 交通問題와 生活의 便宜施設이 적합하도록 되어야 한다.

### 3.16 農業

때로는 댐에 의해 農業的으로 비옥한 土地가 浸水되기도 한다. 그러나 한편으로는 예전에 洪水被害를 받던 下流의 더 큰 지역이 灌溉用水가 확보되고 洪水危險으로부터 보호되므로 (사진7) 비옥한 농업 지역으로 바뀌기도 한다.

### 3.17 考古學

考古學的 遺跡이 때때로 새로운 貯水池의 위험을 받기도 한다. 이집트의 Abu Simbel과 같이 매우 중요한 遺跡은 이의 보호와 이전을 위해 국제적 재정 지원이 행해졌다. 다른 경우에도 댐 계획시에 가치있는 유적의 이전이나 현장의 기록, 사전 조사가 시행되어야 한다.

## 4. 熱帶 또는 亞熱帶 地域의 衛生問題

새 貯水池가 덥고 습한 지역에 계획 또는 시공되면 malaria, bilharzia, onchocerciasis(filaria)와 같은 熱帶 및 亞熱帶性 질환의 전염이 문제가 된다. 이런 질병은 宿主 또는 保菌生物에서 일생의 일부를 지내다가 사람에게 전염된다. 이런 宿主와 保菌生物들은 그들의 생존시 맑은 물을 필요로 하므로 새로운 저수지는 이런 宿主生物의 번식을 촉진하게 된다.

말라리아의 宿主인 모기는 번식을 위해 저수지 주변의 경계지역을 이용한다. onchocerciasis의 숙주인 흑파리는 餘水路나 放水路 근처와 같이 빨리 흐르는 물을 이용한다. bilharzia의 숙주는 정지 수역이나 느린유속의 물에 사는 수초에 번

성하는 물달팽이이다. 디스토마는 그 유충이 달팽이를 떠나서 물에 노출되어 있는 인체의 부분을 통해 들어와서 감염된다. 따라서 호수 주변은 衛生的으로 위험한 지역이다.

또 어떤 경우에 새 貯水池는 중간 숙주를 거치지 않는 전염병인 amoebiasis를 증가시킨다.

새로운 貯水池에 파리, 모기, 연체 동물들이 번성하는 것을 다음과 같이하여 방지할 수 있다.

a) 지역 주민들에게 공중위생, 지역적 경고, 의학적 예방에 대한 교육

b) 담수 전에 식생 제거

c) 저수지 水位降下時에 습지대가 될 위험이 있는 주변지경의 埋立, 浚渫 또는 排水

d) 부하기에 매주일 貯水池 水位를 上昇 및 低下시킴.

e) 살충제 이용, 살충제는 자주 살포되므로 인간이나 식용어류에 유독하지 않아야 한다.

f) filharzia 달팽이에 유독한 것으로 알려진 수초의 재배

## 5. 이로온 부수적 효과

실제로 댐計劃은 多目的(예를 들어 發電, 洪水調節 및 灌溉) 또는 食水供給과 같이 單一目的으로 시행된다. 그러나 대개의 경우 최소한 부수적인 물需給調節이나 水資源調節 같은 利益이 있게 마련이다. (예를 들면 用水供給計劃은 부수적으로 洪水調節效果가 있다.) 이런 부수적인 用水 또는 水資源 調節 효과는 主計劃의 經濟性의 일부이므로 특별히 따로 고려하지 않는다. 그러나 댐계획의 다른 부수 효과들도 대체로 충분히 이롭다.

댐計劃에 따라 폭포, 협곡 등이 물에 잠기기도 하지만, 貯水池가 자연 경관을 더 멋있게 만드는 경우도 있다. 댐 자체도 상당한 관광명소이고 고가사다리, 水門, 發電所, 水路와 같은 부속물도 흥미를 끈다. 관광이나 위락을 위해 공원, Camp, 수상스포츠, 수영장 등의 시설을 설치할 수도 있다. 만일 적합한 안전 대책, 위생 시설과 관리 시설이 갖추어 진다면 이런 공공 시설의 설

치에 제한을 가할 필요는 없을 것이다.

새 貯水池의 計劃을 위한 接近道路등의 道路再整備를 하면, 交通이 더 좋게 되어 이 지역의 경제 및 관광개발의 기회가 제공되기도 하며, 때로는 舟運이 효과적인 방안이 되기도 한다.

낚시 또는 상업적 개발을 위한 담수어업의 기회가 제공되며, 후자는 대개 가두리 어장의 형태로 만들어진다.

## 6. 事後監視와 管理

調査, 設計, 建設 및 用役기간 중에 소유 기관과 승인 기관을 대표하는 工學者는 댐 計劃에 능동적으로 참여하게 된다. 이때 環境問題는 효과적으로 감시되고 예상된 효과에서 벗어나는 결과에 대해서는 즉각적인 대처가 가능하다.

댐 계획의 후반 단계에서도 監視는 계속되어야 하며, 지속적인 監視體系가 필요할 것이다.

소유기관은 대개 댐 계획에 책임이 있는 전문 기술 참모진을 두고 그 계획에 포함된 環境影響을 감시하여야 한다. 이 기술진은 항상 예리하게 관찰하여 보고하고, 모든 사건에 대해서 충분히 기록하여야 한다. 예상된 결과에서의 이탈이나 특이한 현상에 대해서는 관계 기관에 즉시 연락을 취하여, 專門家들이 조사를 할 수 있도록 하여야 한다.

소유기관에 의한 이런 지속적 감시에 덧붙여 특정한 기간마다 개별적인 조사를 하여야 한다. 이것은 다양한 분야의 전문가로 구성된 팀이나 개인에 의해 수행되며, 계획 승인시에 규정되어야 한다.

이런 과정들이 環境保護를 위한 장기적 안전장치이며 일반적으로 經濟的이기도 하다. 모든 문제는 심각해졌을 때보다 그 이전에 처리되는 것이 바람직하다.

## 7. 水資源의 環境과 管理

물은 環境에 있어 매우 중요한 요소이다. 또한 세계의 생물계 내에서 인간이 거주하는데도 매우 중요하다.

인간의 물需要를 충족시키기 위해서 댐과 貯水池는 필연적 소산이다. 科學的 調查와 工學과 管理의 조합에 의해 댐 계획은 주요 계획 목표의 성공을 최대로 하면서 동시에 環境改善과 保護를 동시에 만족시킬 수 있는 정도로 발전했다. 環境 변화는 일어나지만 변화가 파괴를 의미하지는 않는다. 변화의 충격을 효과적으로 조절하고 균형을 이루어 이것을 유익하게 만들 수 있다.

### 참 고 문 헌

- ACKERMANN, W.C. et al. *Man-made Lakes: Their problems and Environmental Effects*, American Geophysical Union, Washington D.C. 1973.
- Les lacs artificiels: leurs problèmes et leurs effets sur l'environnement*, Association Américaine de Géophysique, Washington D.C. 1973.
- American Society of Civil Engineers, *Environmental Effects of Large Dams*, New York 1978.
- Société Américaine des Ingénieurs Civils, *Les effets des grands barrages sur l'environnement*, New York 1978.
- ICOLD/CIGB *The Consequences on the Environment of Building Dams*, Question 40, Proc. 11th Congress. Madrid 1973.
- Conséquences de la construction des barrages sur l'environnement*, Question 40, Comptes Rendus II' Congrès, Madrid 1973.
- ICOLD/CIGB, *The Effects on Dams and Reservoirs of some Environmental Factors*, Question 47. Proc. 12th Congress, Mexico 1976.
- Les effets de quelques facteurs d'environnement sur les barrages et les retenues*, Question 47, Comptes Rendus 12 Congrès, Mexico 1976.
- ICOLD/CIGB Bulletin 35—June/juin 1980.
- Int. Bank for Reconstruction and Development, *Environmental Health and Human Ecologic Considerations in Economic Development Projects*, Washington D.C. 1974.
- Banque Int pour la reconstruction et le développement, *Considérations sur la préservation de l'environnement et l'écologie humaine dans les projets de développement économique*, Washington D.C. 1974.
- LAGLER, Karl F. *Man-made Lakes: Planning and Development* UNDP/FAO, Rome 1969.
- Les lacs artificiels: programmation et développement, PNUD/FAO, Rome 1969.
- Scientific Committee on Water Research International Symposium on made-made lakes, Knoxville, Tennessee 1971.
- Comité Scientifique de Recherche Hydraulique Symposium International sur les lacs artificiels, Knoxville, Tennessee 1971.
- SCOPE Report 2, *Man-made Lakes as Modified Ecosystems*, Int. Council of Scientific Unions, Scientific Committee on Problems of the Environment, Paris 1972.
- SCOPE Rapport n\*2, *Les lacs artificiels en tant que systèmes écologiques modifiés*, Conseil Int. des Associations Scientifiques, Comité Scientifique sur les problèmes d'Environnement (SCOPE), Paris 1972.
- SYMONS. J.H., *Water Quality Behaviour in Reservoirs*, U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, Cincinnati 1969.
- Qualité de l'eau dans les retenues*, Ministère Américain de la Santé, de l'Education et des Services Sociaux. Cincinnati 1969.