

〈技術報文〉

## 小水力開發의 動向 및 展望

沈 名 弼\*  
Shim, Myung Pil

### 1. 머리말

水力の 직접적 이용은 멀리는 기원전 3세기 경 Greece에서, 생활과 농업用水를 위한 揚水, 탈곡이나 제분등의 목적을 위한 水車(Waterwheel)의 사용에서도 찾아 볼 수 있으나, 水力에 力을 발전에 이용한 역사는 1878년 프랑스의 최초의 수력발전소 건설로서 약 100여년이라 할 수 있다. 미국에서 최초의 수력발전은 Wisconsin 주의 Fox江에 설치된 (1882年) 12.5KW 설비용량의 극소규모이며, 우리나라에서 수력발전의 시작은 1919년 강원도 申谷里의 저수지식 발전소 건설로 약 70년의 역사를 가진다.

세계의 수력발전의 包藏水力은 약22억KW로 알려져 있으며, 그중 약 13.6%만 이미 개발되었으며, 한국의 포장수력은 揚水型 발전을 포함하여 약4,170만 KW로서, 이미 개발되었거나 계획중인 것을 제외한 미개발 포장수력은 전량의 88%인 3,670만 KW로 알려져 있다.<sup>(1)</sup> 물론 이러한 포장량은 타당성은 고려하지 않은 개발 가능한 양을 나타내는 것이므로 사회, 경제적 사정의 여건등에 따라 변하는 것이며, 특히 투자비, 用水의 타목적과의 관계, 환경적 문제, 제도적인 문제, 대체에너지의 기술적 발전등이 수력발전의 개발에 영향을 미치는 주요한 요소라 할 수 있다.

본고에서는 小水力의 간단한 소개, 해외동향 및 전망, 참고문헌을 소개하고자 한다.

### 2. 小水力의 정의

소수력(Small hydropower)은 일반적으로 설비용량이 15,000KW이하의 경우를 말한다. 美國에서 소규모 수력발전 개발을 위해, 15,000KW이하 경우에는 인가(licensing), 차관(loan) 등의 특별한 고려를 하도록 1978년 PURPA(Public Utility Regulatory Policies Act)로서 美議會에서 채택된 뒤 이러한 구분이 널리 통용되고 있다.

소수력은 다시 세분하여 100KW이하는 Micro-hydropower, 100~1,000KW는 Mini, 1,000~15,000KW는 Small hydropower로 구분하기도 한다. Micro-hydropower는 高落差의 산악지역에 주로 Impulse turbine을 사용하는 경우가 많다.

소수력 발전은 낙차에 의해 다음과 같이 구분하기도 한다.

- (1) Low head 2~20 m
- (2) Medium head 20~150 m
- (3) High head 150 m 이상

또 다른 소수력의 구분은 저수량(storage)을 갖는가에 따라서 自然流下式(run-of-river)과 貯水式(storage)으로 나눌 수가 있다. 자연유하식은 하천의 순간적인 흐름을 이용하고, 반면에 저수식은 dam 축조에 의한 저수지의 방류조절에 의해 연속적인 형태의 에너지를 생산 할 수 있다.

소수력은 대규모의 수력발전과 원리에서는 차이가 없다. 주요한 차이라면 소수력은 지역조건

\* 仁荷大學校 土木工學科 副教授

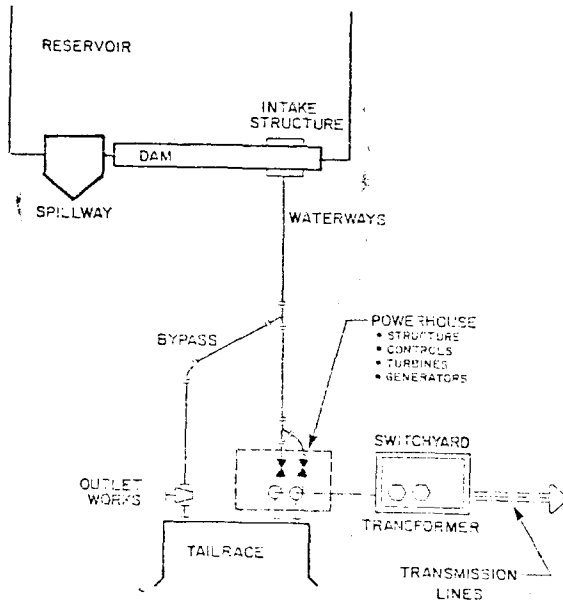


Fig. 1. Main components of a small hydro project.

에 맞는 보다 간단한 기술을 요구하며 지역자원을 이용할 수 있다는 것이다. 일반적으로 project의 기술적, 경제적, 사회적, 환경적 위험도가 적으므로, 경우에 따라서는 간단한 data로서 가능한 경우도 있다. 예를 들면 자연유하식의 경우에는 위험도는 더 적을 것이다.

Fig. 1은 소수력의 주요 구성요소를 나타내며 입지의 물리,水文 및 地形 등의 조건에 따라 추가되거나 빠질 수도 있다.

예를 들면 소수력의 가장 단순한 형태는 Fig. 2와 같은 자연유하식이다. 이러한 방식은 저수

를 위한 막대한 건설비가 소요되는 dam의 축조가 필요치 않으며 (물론 取水를 위한 diversion dam은 필요할 수도 있으나), 上流의 取水口로부터 물을 받아, turbine을 통해 방류하게 된다. 취수구로부터 penstock에 이르는水路는 하천의 경사나 주변의 地形에 따라 직접, 혹은 경사가 완만한 경우에는 그림 2에서와 같이 turbine의 바로 윗 부분까지는 導水路를 이용할 수가 있다.

자연유하식 발전은 본래의 流路로부터 짧은 구간, 짧은시간 동안만 流路를 변경시키므로 환경적인 면이나 用水의 다른용도와 마찰을 피할 수 있는 장점이 있다. 그러나 발전의 첨두부하시나 갈수기의 발전을 위해서는 저수지를 축조하므로써 다른 用水의 목적과 연계하여 利點을 얻을 수가 있다. 그러므로 소수력발전을 주목적으로 수자원을 개발할 때에도 일반적으로 수력발전, 用水, 홍수조절, 流砂조절, 레크리에이션 養魚 등의 다목적에 따른 이점을 동시에 고려하는 것이 바람직하다.

### 3. 소수력개발의 動向 및 전망

수력발전의 장점에 대해서는 새삼 언급할 필요가 없으며, 주요 경제적특징중 하나는 초기의 막대한 투자인 반면에 OM & R cost가 아주 낮다는 점이다.

Table 1은 여러에너지源의 KW 당 투자비용을 나타내며, (2) 소수력은 대수력에 비해 일반적

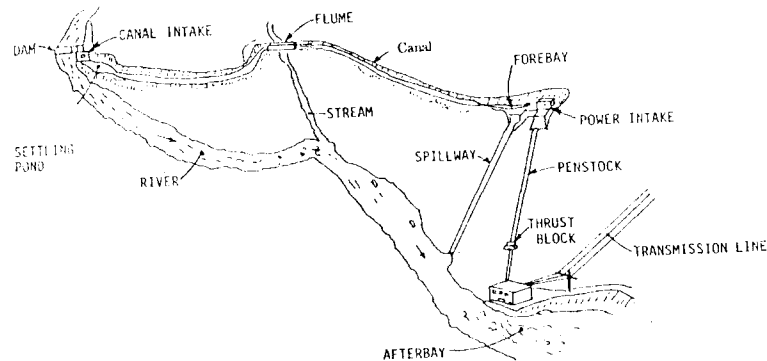


Fig. 2. A Typical Run-of-River Small Hydropower scheme.

**Table 1.** Average System Costs per Kilowatt of Generating Capacity in 97 Developing Countries

System type	\$ US, 1979
Hydro	1,296
Geothermal	1,564
Nuclear	1,436
Thermal	836

으로 더 많은 투자단가가 소요되는 것으로 알려져 있으나 지역의 특성 (Regional basis) 및 개발형식(System basis)에 따라서도 다르므로 복잡적이라 할 수 있다. 특히 소수력발전의 경제성은 투자비용의 이차율에 무척 민감하므로 정책적인 뒷받침이 고려되어야 할 것이다.

소수력의 대수력에 대한 상대적인 장점을 들면 아래와 같다.

- (1) 비교적 짧은 계획, 설계 및 시공기간
- (2) 싼 설비를 포함한 낮은 투자비용
- (3) 주위의 人力이나 資材를 이용한 쉬운 설치
- (4) 개인이나 기업을 통한 투자참여
- (5) 지역자금의 참여 및 운용을 통한 지역개발 효과
- (6) 예상치 않은 돌발사고에 대한 유연성
- (7) 사회적이점 및 보다 적은 환경적인 피해 등

소수력의 가장 중요한 설비는 turbine 과 generator 이다. 어느 후보지의 최고의 경제성을 위해서는 적합한 turbine 의 결정이 가장 주요한 인자의 하나이다. 일반적으로 turbine 의 형식은 衝動型(Impulse turbine)과 反動型(Reaction turbine)으로 나눌 수 있다. 충동형은 turbine 을 통한 水流가 대기압을 받게되며 高落差에 효율적이며 예로는 Pelton turbine 과 Crossflow turbine 을 들 수 있다. 반동형은 水流의 속도보다는 압력에 의해 작용하며, 일반적으로 저낙차에 이용되므로 많은 流量을 요구한다. 반동형의 예로서는 Francis, Propeller turbine 을 들 수 있으며 Propeller Type 으로는 Bulb, Tubular, Straflow turbine 등을 들 수 있다. 소수력을 위한 turbine 의 연구가 활발히 이뤄지고 있으며<sup>(3)</sup>

turbine 은 일반적으로 주문생산되나(소요기간 24~30 개월), 최근에는 표준화된 여러 사이즈의 turbine (9 개월정도)이 생산되고 있으므로 소수력의 경우에는 대량생산에 의해 막대한 설비비용을 절감할 수 있다. 최근의 turbine<sup>(4)</sup>은 낙차가 1.5m 이상이면 설치할 수 있고, 효율도 90%이상에 이르고 있다.

소수력의 개발은 일반적으로 다음과 같이 몇 가지로 구분할 수가 있다.

- (1) 기존의 시설에 발전시설을 부착하는 방법
  - i) 발전시설이 없거나 (혹은있는) 기존 中小규모의 dam 을 이용
  - ii) 농업용수로등의 저낙차의 소수력 개발
- (2) 새로운 후보지에 건설하는 방법
  - i) 自然流下式(Run-of-river)
  - ii) 저수지式(Storage)

(1)의 경우는 경제성의 재평가와 더불어, 이미 저수지나 수로가 있는 지역이므로 환경적 사회적으로 야기될 문제가 없으므로 미국에서는 큰관심을 끌고 있다.

소수력에 대한 연구는 미국을 비롯 여러나라에서 활발히 이루어 지고 있다.

1979년 미국에서는 Corps of Engineers(C. O. E.)가 미국의 수력발전의 포텐셜을 조사하기 위해 National Hydropower Study<sup>(5)</sup>를 시행해, 50,000 sites 로부터 몇단계의 screen 을 거쳐 최소 설비용량 50KW, B/C ratio 가 1 보다 큰 11,000 sites 에 대해 조사를 하였다. C. O. E. 는 아울러 소수력의 타당성 조사를 위한 가장 포괄적인 Guide manual<sup>(6)</sup>을 출간하였다. Bureau of Reclamation(U. S. B. R.)은 1979년에서 1982년에 걸쳐 Western Expansion Study<sup>(7)</sup>란 이름으로, 서부 17개州의 저낙차(20m 이하)의 소수력 포텐셜을 세단계에 걸쳐<sup>(8)(9)(10)</sup> 조사하여 보고서를 발표하였다. U. S. B. R. 역시 1980년 저낙차 소수력의 타당성조사를 위한 Guide manual<sup>(11)</sup>을 출간하였다. 그외에도 소수력개발을 위한 Manual로서는 U. S. Dept. of Energy<sup>(12)(13)</sup> Colorado<sup>(14)</sup>, New York<sup>(15)</sup>, Oregon<sup>(16)</sup>州 정부 등에서 발행한 것도 있다.

소수력의 타당성조사를 위한 program 으로는

SMHYDRO<sup>(10)</sup>, HCR Package<sup>(17)</sup>, FLASH<sup>(18)</sup> 등이 있다.

소수력에 관한 국제학술회의로는 1979년부터 2년 간격으로 미국에서 열리고 있으며<sup>(19)(20)(21)</sup> 미국의 NRECA(National Rural Electric Cooperative Association)는 Small Decentralized Hydropower(SDH) Program의 일환으로 특히 Asia, Africa, Latin America에 소수력개발의 기술적 지원을 하며 1980년 부터 USAID 등의 후원으로 여러나라에서 Workshop을 열고 있다.<sup>(22)(23)(24)</sup>

그밖의 東南 Asia 국가들, 南美, Africa 국가들도 소수력에 대한 국가적 次元의 Inventory Study, 타당성조사등을 통해 소수력개발을 활발히 진행하고 있다. 예를 들면 중국에서는 평균 40KW 규모의 소수력이 10萬개 이상 운영되고 있으며, 그들은 steel pipe 대신에 고강도의 PSC pipe를 이용하여 비용을 줄이는 등의 기술적 개발도 추진하고 있다.

#### 4. 맺음말

우리나라는 年平均강우량이 1,160mm 이고 국토의 85%가 해발 100m 이상으로, 충분한 流量과 落差를 갖고 있으며 山地의 平均높이는 비교적 낮으나 많은 계곡과 지류를 갖고 있어서 소수력개발을 위한 좋은 입지조건이라고 할 수 있다.

앞에서도 언급한 바와 같이 소수력개발은 大水力에 비해 투자단가가 큰 편이나, 사회적,<sup>(25)</sup> 환경적<sup>(26)</sup>인 면을 고려한다면, 국토와 자원개발의 장기적인 안목에서 낮은 이자율의 차관, 제도적인 뒷받침등을 통한 정책적인 배려가 필요하다. 참고로 1973년 미국의 Water Resources Council은 Principles & Standards에서 수자원 개발에 따른 4개의 평가시스템을 소개하였다.

- (1) NED(National Economic Deuelopment)
- (2) RED(Regional Economic Development)
- (3) EQ(Environmental Quality)
- (4) OSE(Other Social Effects)

소수력은 대수력에 비해 몇가지 단점을 가지고 있다. 일반적으로 소수력은 저녁차이므로 투

자비가 많이 들고, 지역에 따라서는 소수력에 의한 전력생산이 부적합할 수 있고, 공급의 불안정에 따른 낮은 市場價, 작은회사나 지역사회에 의해 개발될 경우의 재정적문제나 기술적 전문성의 결핍을 들 수 있다.

소수력개발의 비용을 줄이기 위해서는 합리적인 계획및 입지의 선전, Optimization, Sensitivity Analysis 등을 통한 최적 시스템의 결정, 물의 다목적이용, 설비의 표준화및 대량생산화 등을 들 수 있다. 일반적으로 소수력개발을 위한 타당성조사에는 총예산의 1~3%가 소요되며 계획단계에서 충분한 예비조사및 타당성조사가 이뤄져야 설계, 시공 및 운영단계에서 일어날수 있는 위험도를 줄일 수 있다.

#### 참고 문헌

- 1) 姜 瑄遠, 水資源의 開發, 仁荷大學校出版部, 1986 pp.128~131.
- 2) Fritz, J.J., *Small and Mini Hydropower Systems*, McGraw-Hill Book Co., 1984, p.11-3.
- 3) The American Society of Mechanical Engineers, *Small Hydro Power Fluid Machinery* 1981, Proceedings of the 1st Symposium held in 1980 in Chicago, 2nd Symposium in 1982 in Phoenix.
- 4) Inversin, A.R., *Directory of Sources of Small Hydroelectric Turbines and Packages*, National Rural Electric Cooperative Association(NRECA), Washington, D.C., 1981.
- 5) Hanchey, J.R., "Overview of the National Hydropower Study: The Value, Potential, and Role of Hydropower as a Future Energy Source", *Waterpower '79: An International Conference on Small-Scale Hydropower*, U.S. Army Corps of Engineers and U.S. Department of Energy, October 1~3, 1979, pp.675~680.
- 6) U.S. Army Corps of Engineers, *Feasibility Studies for Small Scale Hydropower Additions-A Guide Manual*, The Hydrologic Engineering Center and Institute for Water Resources, July 1979.
- 7) U.S. Bureau of Reclamation, *Report on the Western Energy Expansion Study*, U.S. Department of the Interior, February 1977.

- 8) Water and Power Resources Service(now U.S. B.R.), *Report on Assessment of Small Hydroelectric Development at Existing Facilities*, U.S. Dept. of the Interior, July 1980.
- 9) Water and Power Resources Service, *Western States Inventory of Low-Head Hydroelectric Sites*, Vol.1, U.S. Dept. of the Interior, October 1980.
- 10) U.S. Bureau of Reclamation, *Report on Assessment of Low-head Hydroelectric Sites in the Western States Methodology and Summary*, conducted by Tudor Engineering Company, Denver, Colorado, March 1982.
- 11) Water and Power Resources Service, *Reconnaissance Evaluation of Small, Low-Head Hydroelectric Installations*, prepared by Tudor Engineering Company, Colorado, July 1980.
- 12) U.S. Department of Energy, *A Manual for Development of Small Scale Hydroelectric Projects by Public Entities*, prepared by The Energy Law Institute, New Hampshire, March 1981.
- 13) Idaho National Engineering Laboratory, *DOE Small-Scale Hydropower Progsam: Annual Status Report 1984*, U.S. Dept. of Energy, Sept, 1984
- 14) Colorado Office of Energy Conservation, *Water Over the Dam-A Small Scale Hydro Workbook for Colorado*, Colorado Water Conservation Board, Denver, July 1981.
- 15) Polytechnic Institute of New York, *Site Owner's Manual for Small Scale Hydropower Development in New York State*, prepared for New York State Energy Research and Development Authority, March, 1980.
- 16) Oregon Department of Energy, *Small Scale Hydro Electric Power-Oregon Development Guide*, May 1983.
- 17) Idaho National Engineering Laboratory, *Hydropower Computerized Reconnaissance Package Version 2.0*, prepared by C.R. Broadus for U.S. Dept. of Energy, April 1981.
- 18) Sant' Ana, R.F., *Assessing the Feasibility of Small Hydroelectric Power Plants*, **Ph. D. Dissertation, Dept. of Civil Engineering**, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, Spring 1983.
- 19) Waterpower '79: *An International Conference on Small-Scale Hydropower*, U.S. Army Corps of Engineers and U.S. Dept. of Energy, October 1~3, 1979.
- 20) Waterpower, '81: *An International Conference on Hydropower*, Proceedings: Vol. I ~ II, U. S. Army Corps of Engineers, June 22~24, 1981.
- 21) Waterpower '83: *International Conference on Hydropower, Conference Proceedings*: Vol. I ~ III, Tennessee Valley Authority and The University of Tennessee, September 18~21, 1983.
- 22) *Proceedings of NRECA Workshop on Small Hydroelectric Powerplants*, Quito, Ecuador, August 19~21, 1980, NRECA, Washington, D.C., 1981.
- 23) Proceedings of NRECA Workshop on *Small Hydropower for Asian Rural Development*, Bangkok, Thailand, June 8~11, 1981, National Rural Electric Cooperative Association, 1983.
- 24) Proceedings of NRECA, *Small-Scale Hydropower in Africa*: Workshop on Abidjan, Ivory Coast, March 1~5, 1982, NRECA, Washington, D.C. 1983.
- 25) NRECA, *Evaluating Electrification Experience: A Guide to the Social Evaluation of Small Hydroelectric Units in Lesser Developed Countries*, Vol.1, prepared by AMARU IV Cooperative for NRECA, Washington, D.C., 1982.
- 26) Cada, G.F. and F. Zadroga, *Environmental Issues and Site Selection Criteria for Small Hydropower in Developing Countries*, Environmental Sciences Division Publication No.1712, Oak Ridge, Oak Ridge National Laboratory, March 1981.