

중국 삼협댐

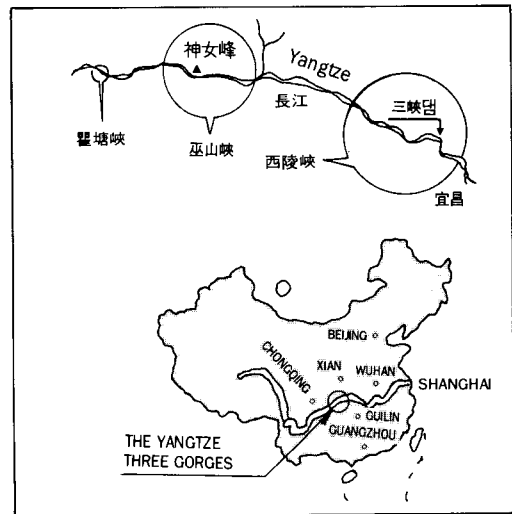
박 상 현*
Park, Sang-hyun

1. 머리말

1995년 3월 27일 중국 양쯔강 중하류에 공사중인 삼협(三峽)댐(The Three Gorges Dam Project : TGP)을 견학하기 위하여 북경에서 2시간동안 비행기를 타고 충칭(重慶 : Chongqing)에 도착하였다. 다시 3일동안 양자강을 따라서 배를 타고 약 500km를 내려와 현재 터파기와 진입도로 공사가 한창 진행중인 현장에 이를 수가 있었다. 원래 양쯔강은 長江(Changjiang)의 하류부만을 일컫는 곳으로, 장강의 총 길이는 6,300km로서 유역면적은 180만평방km이며, 이 유역의 인구는 368백만명, 농지는 24백만ha이다. 한편, 장강 유역은 중국 경제력의 40%를 점유하기도 한다.

삼협이란 충칭에서 이창(宜昌)까지의 장강 계곡 중 경관이 빼어난 세개의 협곡인 Qutang gorge(瞿塘峽), Wuxia gorge(巫山峽) 그리고 Xiling gorge(西陵峽)를 말하며 이 구간은 192km에 이른다. 가장 상류에 있는 Qutang 협곡은 깎아내린 절벽으로 유명하며, 중류의 Wuxia 협곡은 12개의 기암 절벽과 산림의 조화가 잘 어우러지며, 하류의 Xiling gorge는 급류구간으로서 삼협댐은 이곳에 위치한다. 삼협 구역의 가파른 골짜기에서 봄철 유채꽃이 만발하고 싱그러운 삼림의 향기가 계곡에 그윽하다. 우리에게 杜時言解로 잘 알려진 두보의 洞庭湖 등 많은 시들이 이곳에서 만들어진 것들이다. 장비의 사당과 공명의 전설이 있는 兵書寶劍峽(Military Book and Sword Gorge)이 있는 이 협곡은 삼국지의 주무대이기도 하였다. <그림-1> 참조.

TGP 계획은 1940년대부터 구상되었으며, 1992년 4월 중국정부는 이의 건설 계획을 승인하고 1993년 전담기구(長江三峽工程開發總公司)를 발족하였다. 이 댐은 홍수조절과 수력발전 및 선박운행 개선을 위한 것이며, 댐 길이 2,331m, 높이 175m의 콘크리트 댐으로, 총 저수량은 393억m³으로서 우리나라 소양강댐의 14배나 된다.



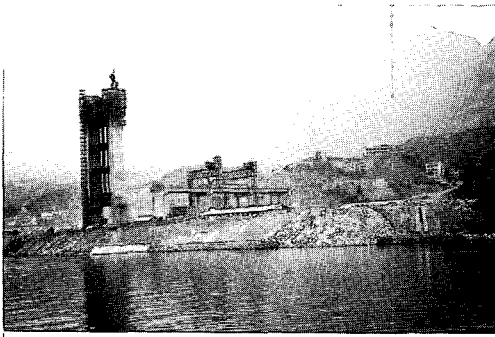
<그림-1> 삼협 구간의 장강 유역

2. 댐 건설 사업 개요

가. 목적

TGP 계획은 홍수 조절, 수력 발전, 선박 운행 개선 등의 종합적인 이익을 도모하는 다목적개발 계획이다. 댐은 강 하류 지역의 홍수를 효과적으로

* 농어촌진흥공사 농어촌연구원



〈그림-2〉 삼협댐 하류의 공사 현황

조절하기 위한 장소에 선정하였으며 홍수조절용량은 221억㎥이다. 따라서, 홍수 피해가 가장 위험한 이창 지역의 10년빈도의 홍수조절능력은 100년빈도로 개선되며, 1000년 빈도나 그 이상의 홍수가 발생 하더라도 댐의 적절한 관리를 통하여 강의 평야지대와 우한(Wuhan)시 지역의 홍수피해도 줄어 들 것이다.

댐의 발전 계획량은 연간 84.68TWh로써 중국의 동부, 중부, 四川(Sichuan)의 동쪽 지역까지 전력을 공급할 것이며, 이는 해마다 석탄 5천만ton의 대체효과를 갖는다. 수력발전은 저렴하고 재생 가능한 에너지이기 때문에 경제 발전과 오염의 방지에 중요하다.

TGP계획으로 이창에서 충칭에 이르는 660km의 항로운행이 개선되며, 매년 현재의 1천만ton인 운항 능력이 5천만ton으로 증가하고, 운항 비용은 35%~37%로 감소된다. 댐의 조절에 의해 이창 하류 지역은 건조기의 최소 유량이 3,000㎥/s에서 5,000㎥/s 이상으로 증가된다.

게다가, 저수지의 어업, 관광, 레크리에이션 활동 등의 발전을 촉진하고, 또 건조기에는 강의 중·하류 지역의 수질을 개선시키며, 남쪽에서 북쪽 분지를 가로질러 수자원 공급계획에 좋은 여건을 마련하게 될 것이다.

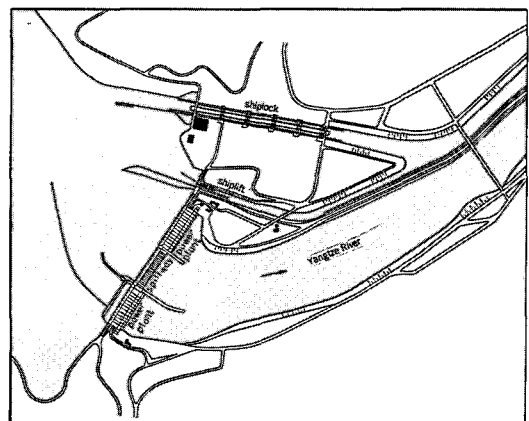
나. 댐의 설계 내용

댐 계획 위치는 15개의 댐지역에 대한 비교 분석 결과에 의하여, 결정질(Crystalline)의 기반암

지대인 산도우핑 지역으로 결정했다. 총 유역면적은 약 1백만㎢이고, 연평균 유출량은 4510억㎥이며 유사량은 53천만ton이다. 산도우핑 지역은 강계곡이 상대적으로 넓게 펼쳐지고 양안에는 작은 섬이 있고 아주 평평한데, 이는 건설중 가배수로 계획에 효과적이다. 댐근처의 교통 수단은 댐위치까지 40km 거리인 이창까지 기차가 운행되며, 협곡지역은 다소 불편한 도로와 수로가 있으나 현재 고속도로가 건설 중이다. 〈그림-2〉 참조.

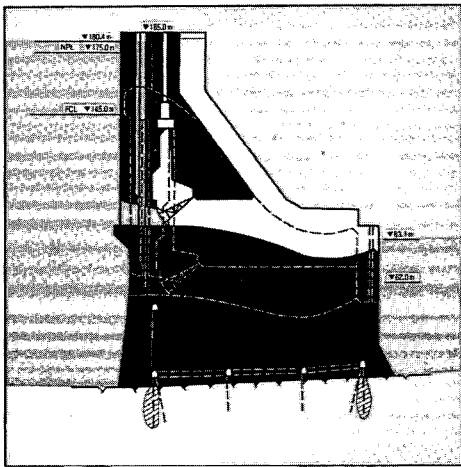
댐위치의 기반암은 압축 강도가 100MPa(약 1,000kg/cm²)로 굳고 단단하다. 반암(盤岩)에는 흠이나 틈은 거의 없으며 투수성은 매우 작다. 양안 윗 부분의 풍화층은 20~40m의 두께로 구성되어 있으며, 지진 활동은 전 지역이 지진 강도 등급 IV으로서 미진하다.

여수로(Spillway)는 강 중앙에, 취수댐(Intake dam)과 비월류부(Non-overflow)가 그 양안에 놓이며 이의 하부에는 수력발전시설이 계획되어 있고, 댐 마루 표고는 185m, 최고 수위는 175m이다. 〈그림-3〉 참조. 여수도의 총 길이는 483m로 저층부 표고 90m에 7×9m의 수문이 23개, 158m 표고에 폭 8m의 수문이 22개 있으며 홍수배제 능력은 116,000㎥/sec이다. 〈그림-4〉 참조. 수문의 하류부에는 에너지 감쇄를 위하여 Flip bucket을 설치하며 선박운행 구조물은 왼쪽 제방 옆에 놓인다. 또한, 댐의 발전용량은 18,200MW로서 700MW의 발전기 26대가 배치될 예정이며 매년 84.68TWh의 전기를 생산할 수 있다. 〈그림-5〉 참조. 발전 시설은 댐의 양안에 위치하게 되며, 왼쪽 발전소는



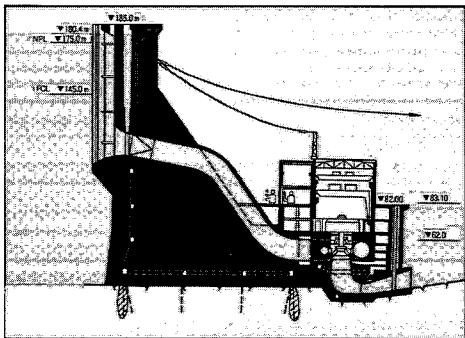
〈그림-3〉 삼협댐 구조물의 배치

총 길이가 643.6m로서 발전기 14개가 있고, 오른 쪽은 총 길이가 584.2m로서 12개의 발전기가 배치 된다. 좌측 발전시설의 왼쪽에 선박인양기(Ship-lift)가 배치되며 이는 길이 120m, 높이 3.5m, 폭 18m로서 3,000톤급 선박을 인양할 수 있다. 이의 좌안에는 통선문이 직육면체의 5단 계단식 구조물 3련으로 구성되며 10,000톤급 선박이 운행된다. 각 통선문은 연장 280m, 수심 5m, 폭 34m의 규모로서 장강연구소에서 이를 수리모형시험한 바 있다.



〈그림-4〉 물넘이와 수문의 단면도

또한, 위의 선박 운행 시설 외에 댐 공사 중 임시 통선문이 240×24×4m의 크기로 만들어질 계획이다.



〈그림-5〉 수력발전실 단면도

다. 사업비와 공정 계획

'93년 추정된 댐 공사비는 500억 Yuan(약 5조

〈표·1〉 댐의 공사규모

항 목 별	터파기 (10 ⁴ m ³)	성토 (10 ⁴ m ³)	콘크리트 (10 ⁴ m ³)	철근 (ton)	철물작업 (ton)	비 고
총공사량	102.59	29.33	27.15	354,300	280,800	18,200Mw
댐	5.77	-	14.86	107,500	29,900	
발전시설	17.15	2.09	2.93	98,300	128,600	18,200Mw (26 sets)
선박운행 시 설	58.12	5.51	5.67	144,800	103,500	
임 시 물막이	21.55	21.72	3.71	3,700	18,800	

원)이며 수몰지 주민의 이주비용은 약 4조원으로 서 우리 새만금사업비의 5배가 넘는다.

현재 댐의 터파기, 공사용 진입도로, 교량 공사 등이 진행중에 있으며, 댐 공사는 강물을 임시로 배수하는 작업에 준하여 3단계로 나누어진다. 1단계 공사는 임시 배수로(Diversion)가 완공되고, 강 내부에 있는 섬의 오른쪽은 종방향(Longitudinal)의 RCC코퍼댐(Cofferdam)을 막는 일이다 (RCC란 진동 전압식 콘크리트(Roller compacted concrete)로서 대형 댐에 적용하는 기법이다). 이 기간에는 강의 흐름과 선박은 강의 주류를 통과하게 될 것이며, 2단계에서는 상·하류에 코퍼댐이 만들어질 것이다. 그리고 제방의 오른쪽에 취수댐과 발전소가 착공되고 제방의 왼쪽에는 통선문과 선박 인양기가 설치된다. 이 기간동안 강물은 임시 배수로를 통해 흐르고, 선박은 수로나 임시 통선문을 통하게 된다. 3단계에서는 상류에 3번째 RCC 코퍼댐이 만들어지고, 저수지의 수위는 135m까지 오를 것이며, 이때 왼쪽 발전소와 선박 운항 시설이 착공된다. 3번째 코퍼댐은 오른쪽 제방과 발전소 구역에 만들어질 것이며, 이 기간에 강물은 여수토의 저층부 수문이나 임시 배수로로 방출된다. 총 공사 기간은 준비 기간을 포함해 17년으로, 준비와 1단계 공사는 5년(1993~1997)이며, 2단계 공사는 6년(1998~2003), 3단계 공사는 6년(2004~2009)이다. 공사 11년째 되는 해인 2003년에는 두개의 발전기가 가동하여 전기를 생산하게 된다.

3. 환경 영향과 대책

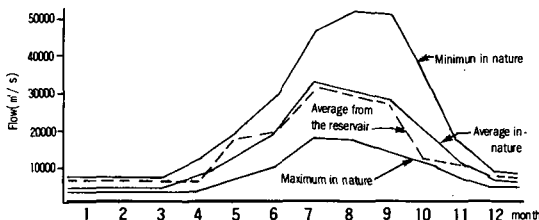
가. 환경 영향 개요

삼협댐의 환경 영향 평가는 1950년대부터 시작돼 거의 40년째이다. 1980년대부터 EIA는 환경 보호의 법적 체계의 발달과 환경 과학의 발전에 힘입어 더욱 강화되었다. 1991년 12월에는 중국과학원의 환경평가부(Environmental Assessment Department of Science Academy of China)와 양쯔강 수자원보호연구소(Research Institute of Water Resources Protection for the Yangtze) 공동으로 삼협댐 환경영향평가서(Environmental Impact Statement of TGP, EIS)가 만들어져 1992년 초에는 중국의 국립환경보호국(National Environmental Protection Agency, NEPA)이 법에 따라 EIS를 승인하였다. 이에 관한 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 삼협댐의 연간 유출량은 4600억 m³이며 총 저수량은 8.7%인 393억 m³이며 유효 저수량은 이의 3.6%인 165억 m³이며, 홍수 조절용량은 221억 m³이다.

(2) 저수지는 계곡의 강처럼 생겼고, 길이는 600km, 평균 폭은 1.1km로 자연상태의 강폭에 비하여 2배이며, 표면적은 1084km²이고, 침수 지역은 632km²이 될 것이다.

(3) 댐 하류의 연간 유출은 저수지의 작동후에도 변하지 않을 것이며, 이 계획은 바다로 유입되는 유출량에도 영향을 미치지 않을 것이다. 월별 유출량은 유량이 감소되는 10월과 유량이 약간 증가하는 1월에서 5월까지의 주기를 제외하고는 기본적으로 변화가 없을 것이다 <그림-6> 참조.



<그림-6> 이창에서의 월평균 유량

EIS는 삼협댐이 환경에 끼치는 긍정적 영향은 양쯔강의 중·하류 지역에, 부정적 영향은 주로 저수지 지역에 집중된다고 밝혔다.

나. 퇴적과 수자원 변화 분석

유사(Sediment)와 퇴적 문제에 관하여는 1950년대부터 많은 연구가 시행되어 왔다. 삼협댐의 퇴적에 관한 분석은 현장 조사와 수학적 모형분석과 수리시험 등에 의하여 시행되었다. <그림-7>은 장강과학원에서 시행 중인 유사 이동과 퇴적에 대한 수리시험 현황이다. 여기서 사용된 유사 시료는 重晶石(비중 1.33)이며 삼협댐 수리시험은 다른 기관에서도 시행되었다. 난징(南京)대학교에서 수리시험에 사용된 유사 시료는 Bakelite(비중 1.46)이며, 칭후아대학교의 시료는 Plexiglass(비중 1.053)이다. 이창수문연구소의 관측결과, 부유사(Suspended load)의 평균 입도는 0.033mm로서 매년 526백만ton이 유하하며, 소유사(Bed load)는 매년 76천ton의 자갈을 포함한 8.6백만ton이 유출된다. 삼협댐의 유사 농도는 1.2kg / m³로서, 황하강 산멘샤(Sanmenxia)댐의 37kg / m³보다 훨씬 낮은 편이다. 삼협댐의 유출량은 산멘샤댐의 10배이고, 유사량은 1/3밖에 되지 않으므로 양쯔강에서의 퇴적 문제는 황하강과는 전혀 다르다. 양쯔강은 유출량이 풍부하고 삼협댐은 저층부 표고 90m에 23개의 수문이 있기 때문에 낮은 수위에서도 방출된다. 저수지에서는 6월에서 9월까지의 홍수기에 연간 유사량의 84%와 물의 61%가 유출되며 이 기간에는 수위를 145m (FCL)까지 낮춰 유사를 방출할 계획이다. 유사량이 줄어드는 홍수 말기에는 수위를 175m (NPL)까지 높여 수력발전과 선박의 이동에 도움이 되도록 할 것이다.

이와같은 방법으로 유사량은 대부분 방출이 될 것이고, 나머지 침전물은 사수 용적(Dead storage)에 남게 되고, 유효 저수량(Effective storage)은 영구적으로 보존될 것이다. 여기에서 저수지는 호수가 아니라 강의 형태로서 저수지 평균 폭은 1,000m 이내로 일정하며, 1/7정도만이 약 1,000~1,700m이다. 저수지내에서 홍수터 지역은 삼협댐의 본류 수로를 따라 형성될 것이다. 삼협댐

의 유사량은 수학 모형에 의해 연구되었는데, 1세기 후에는 저수지의 퇴적은 평형 상태에 이르게 되어 저수지의 유효 저수용량의 86~92%는 보존될 것이다. 댐 설치에 따른 수면 변화와 유사 이동을 분석하기 위하여 12가지의 수리모형시험이 시행되었다. 이중 3개는 댐 주변의 수리적 변화를 시험한 것이며 9개 모형은 댐 상류까지의 수위변화를 분석하기 위한 것이다. 중국에서의 퇴적에 관한 수리모형 시험은 1981년 삼협댐 하류에 완공한 게조우바댐을 계획하면서 대단한 발전을 이룩하였으며, 이 분야는 세계적인 수준으로서 담수한 지 13년째로서 실측값과 모형 시험 결과를 비교해 보면 거의 일치한다(모형 축적은 1/200 정도). 삼협댐 모형 시험 결과에 의하면, 30년 이내에는 침전이 댐지역이나 수면 변동 지역에 별 영향을 끼치지 않을 것이다. 그러나 몇 십년이 지나면, 수위가 낮아지는 건조기에는 선박의 이동이나 항구에 영향을 끼칠 것이다. 이런 문제들은 적당한 저수지의 조절과 항구의 적절한 운영 등으로 풀릴 수 있을 것이며, 댐 근방의 침전에 관한 문제도 공학적 방법으로 해결될 수 있다.

또한, 충칭시는 퇴적때문에 홍수위가 높아질 수 있다. 계산 분석과 모형 시험에 의하면, 100년 후에는 충칭의 홍수위는 194.3m에서 199m로 높아질 것이다. 그러나 충칭은 산간 도시로서 도시 중심부는 약 250m에 있기 때문에 홍수위가 높아지더라도 별 영향은 끼치지 않을 것이다. 또한, 장강 종합개발계획에 따르면, 강 상류에 실루어두(Xiluodu)댐이나 헤추안(Hechuan)댐, 평수이(Pengshui)댐 등 대규모의 댐들이 10~30년 이내에 만들어질 것이므로 이들이 완공되면, 침전물이 감소되고 충칭에서의 홍수위는 낮아질 것이다. 한편, 이런 계획들은 수면 변동 지역에서의 퇴적물의 대처 방법을 수월하게 만들 것이다.

다. 긍정적 환경 변화

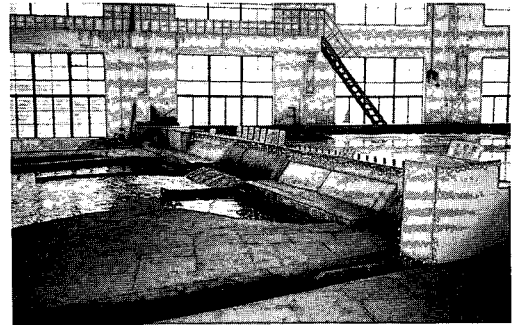
댐의 긍정적 평가내용은 다음과 같다.

(1) 댐의 설치 목적은 홍수 조절이다. 완공 후, 양쯔강의 장강(Jingjiang)유역의 홍수 조절 수준은 10년빈도에서 100년 빈도로 개선될 전망이다며,

TGP는 1,500백만 인구나 153만ha의 비옥한 토지들을 환경적으로나 경제적으로 발전시킬 것이다.

(2) TGP는 엄청난 청정 에너지를 생산할 것이다. 수력발전은 매년 5천만ton의 석탄을 대체하여 전기를 생산할 수 있으나 석탄을 뿜 경우 매년 1억 ton의 이산화탄소, 1.2~2백만ton의 이산화황, 1만ton의 일산화탄소, 37만ton의 산화질소, 쓰레기와 폐수를 배출하므로, TGP가 대기 환경에 기여하는 바는 막대하다.

(3) TGP는 건조기에 댐하류 지역의 수질 개선에 이로울 것이며, 더우기 강하구에서의 염수의 유입을 줄일 수 있을 것이며, 수표면적의 증가는 저수지의 수상 문화를 촉진시킬 것이다.



〈그림-7〉 삼협댐 수리모형(장강과학원)

라. 부정적 환경 변화

댐 설치에 따른 부정적 평가 내용은 다음과 같다.

(1) 자연 경관과 문화적 유산(Landscape and Cultural Heritage)

저수지에 물이 찬 후 수위가 높아지고, 수로 폭이 넓어지면 삼협의 경치는 변할 것이다. 제방과 인접한 산봉우리의 높이는 800~1,100m이며, 유명한 우샤 계곡(Wuxia gorge)의 12 봉우리는 100m 정도이고, 가장 유명한 神女峰(Goddess peak)은 900m 이상이다. 저수지 관리수위가 175m 가 될 것이므로 수위가 지금보다 40~100m 높아지며 급류 구역은 줄어들고, 강계곡의 험준한 골짜기는 그대로지만 44곳의 고고학적으로 유명한 지역에 영향을 끼치게 될 것이다. 댐 건설 후 침수될 문화 유산의 이전 계획이 준비 중이며, 장비의 사당

(Zhangfei temple)등은 적당한 장소로 이전될 것이다.

(2) 희귀종(Rare Species)

저수지 근처에는 국가적으로 보호를 받는 희귀 식물 44종이 300m에서 1,200m 사이에서 서식하지만 침수 지역에는 천연 보호식물이 거의 없는 반면, 양즈강의 중국 고래나 철갑상어와 같은 희귀 동물은 국가에 의해 특별 보호와 인공 산란 등의 방법으로 보호될 것이다.

(3) 저수지 유역의 수질(Water Quality in Reservoir Reach)

매년 저수지 유역으로 유입되는 폐수량은 10억 ton이다. 그러나 양즈강은 엄청난 수량이 유입되므로 도시 근처의 오염 지대를 제외하면 수질이 좋은 편이나, TGP의 낮은 유속과 높은 수위는 양안의 오염을 더욱 악화시킬 것이며 이 오염은 좀더 나은 폐수 처리 방법에 의해 줄여야 한다.

(4) 침수지 주민의 이전 계획(Inundation and Resettlement)

1992년의 조사에 의하면, TGP는 27,820ha의 농지를 침수시키고 844,100명의 주민이 이주해야 한다고 밝혔다. 많은 인구의 부적합한 이주는 환경이나 생태계에 중요한 문제가 될 것이며 중국 정부의 이주계획은 보상 문제만이 아니라, 이주민과 기존 주민의 주거, 생산 능력, 경제적 발전을 촉진시킬 수 있어야 한다. 또 기존 주민의 피해 방지와 보호를 보장해야 하며, 이주민은 저수지로부터 2,000km까지의 지역으로 옮기고 그 중 58%는 시골 지역에 살 것이며, 364,000명의 농민들은 침수에 의해 농지를 잃기 때문에 정착하기가 어려울 것이다. 또한 활용 토지가 제한되어 있지만, 정착 지역의 약 45,000ha는 개발될 수 있을 것이며 농민의 60%는 농업을 계속하고 나머지 40%는 새로운 직업을 찾아야 할 것이다. 개발 예정지의 토지 특성을 고려한 결과, 감귤류나 차나무 등이 재배하기에 적합하며, 이 지역에서는 매년 12~15만ton의 곡식이 부족하는데, 이는 정부에 의해 다른 지역에서 보충되어야 할 것이다. 이 지역이 풍부한 금속 자원, 수자원, 숲, 농업생산, 관광자원은 공업과 3차 산업의 발전을 가져오게 될 것이며 자본과 기술의 부족, 낮은 교육 수준은 정부가 지원해 주어야 한

다. 그러므로 공사 기간 중에, 정부는 이 지역에 상당한 투자와 특별한 정책을 제공해야 할 것이다.

마. 종합평가

삼협댐의 건설에 따른 긍정적인 변화는 홍수피해 감소와 수력발전의 생산 및 선박운행의 개선도 모에 있다. 그러나 개발에 따른 주민의 이주 문제와 상류의 퇴적 및 지역에 따른 수질의 보존 문제, 그리고 900억Yuan(약 9조원)을 초과하는 사업비 부담은 쉽게 풀리기 어려운 문제인 것으로 판단된다. 따라서, 본 삼협댐의 개발은 경제적인 가치나 환경 보존적 평가기준의 중요성보다는 국민의 생명과 재해피해를 줄이는데 그 목표를 두고 개발되는 것으로서, 천연의 수력자원 및 선박 항로의 개설은 부대적인 개발효과가 될 것이다.

약 력

박 상 현



- 1974. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1982. 건국대학교 대학원 농학석사
- 1982. 토목기술사(농어업토목)
- 1990. 서울대학교 대학원 농학박사
- 현재 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수리시험 수석연구원
- KCID 관개배수실행분과 위원장 / 편집·학술분과위원
- ICID 관개배수실행분과 위원