

# 동남아시아 댐 건설현황



01. 중국
02. 인도네시아
03. 태국
04. 캄보디아
05. 베트남
06. 일본
07. 수력발전댐 사업의 성공적인  
개발을 위한 미계측유역  
수문관측소 운영방법
08. 필리핀 Angat 댐 수력발전사업



# 01. 중국의 댐: 과학통계, 기술진보에 관한 문제

Heng Li, 충남대학교 토목공학과 수공 및 환경공학 석사과정  
Hyang Choi, 충남대학교 토목공학과 학사과정  
정관수, 충남대학교 토목공학과 교수

## 1. 중국 지리 위치와 기후에 관한 분석:

중국은 북반부에 위치하고 있으며 아시아에서는 동부와 중부, 태평양서안, 동남부내륙을 향해 북서쪽에 직면하여 있다. 중국의 내륙 면적은 약 9,600,000 km<sup>2</sup>로써 세계에서 세 번째 순위 이다. 중국은 8 개국에 인접한 바다를 경계로 하고 있다. 중국의 지형은 다양하며 산, 고원, 언덕, 저지대, 평원, 사막, 동굴 등이 있는데 서쪽이 높고 동쪽이 낮은 등의 점차 감소되는 세단계의 지형으로 이루어졌다. 중국은 평원이 적고 산이 많으며 내륙의 높낮이 차이가 심하다. 위도상에서 보면 중국은 과도가 큰 나라이다. 그래서 다양한 기후와 생태성을 가지고 있다. 중국은 다섯개의 온도영역과 특별한 청장고원영역으로 나누었다. 중국의 기후에는 여름철에는 온도가 높고 비가 많이 내리며 겨울철에는 많이 추우며 고온기와 강우기가 일정하다는 특징이 있다. 강수량의 분포상 동남지역에는 강수량이 많고 서북지역에는 강수량이 적다. 서쪽이 높고 동쪽이 낮은 지형도 강수량에 일정한 영향을 미친다. 비정상적인 기후 때문에 겨울철에는 대륙에서 바다쪽으로 향하는 편북풍이 많이 분다. 편북풍의 영향으로 많이 춥고 건조하며 이 영향 아래에 대부분 지역은 겨울철에 강수량이 적고 기온이 낮다. 여름철에는 편남풍이 부는데 이로 하여 온도차가 유순하고 습윤하며 강수량이 많아 폭우가 자주 내린다. 중국 대다수 하천의 방향은 동서방향 이고 폭우시기 물의 양이 급격히 증가하여 상, 중, 하류에서는 동시에 홍수가 발생할 수 있다. 중국에서의 담수자원의 불균형한 시간적, 지리적 분포 때

문에 사람들은 댐을 설치하는 방식으로 자연재해를 방지하고 수자원을 충분히 활용할 수 있도록 조정하였다.

## 2. 중국 댐의 공능

### 2.1 홍수방지

저지대 지역에서는 하류는 자주 홍수를 조성한다. 자연홍수는 세계에서 가장 자주 발생하고 큰 재앙을 가져다주는 재해이다. 중국의 경작지의 약 35% 및 인구의 40%와 농업생산의 70%는 종종 홍수재해로 인한 손실을 받는다. 중국이 건설한 저수지의 총용량은 전국에서 평균 연간 흘러가는 강물의 1/6로서 홍수를 대항하는 면에서 큰 이익을 가져다주었다. 통계에 따르면, 댐의 설치로 하여 310만 명의 인구, 4.8억Ha 경작지, 북경, 천진, 무한, 심양과 다른 도시 뿐만 아니라 중요한 철도, 고속도로 및 대형 산업 및 광업기업 등을 홍수재해에서 보호하였다. 합리적인 규제를 통해 홍수로 인한 손실을 크게 감소하였다. 예를 들어 1995년, 대화방저수지의 상류에 큰 홍수재해가 발생하였는데 저수지를 조정 하여 심양, 무순까지의 홍수재해를 방지하였다. 이로 하여 약 7.5억 위안의 경제적 손실의 안정을 보장하였다. 이는 댐 공정에 투자한 액수의 18 배이다. 통계에 따르면, 1998 년에 전국의 1335개의 대 중형저수지는 홍수방지 공정에 참가하였는데 523억m<sup>3</sup>의 홍수량, 3420만Ha의 농지, 200개 이상의 도시의 침수 등 재해를 방지하여 총 7000억 원의 경제손실을 방지하였다.

## 2.2 관개와 물 공급

물은 양식작물과 경제작물의 필수 조건이다. 관개용수 저수지는 신뢰할 수 있고 물사용 보장율이 높고 농업관개에 대한 안정적인 물 공급을 제공 할 수 있다. 중국은 저수지의 80 % 이상이 관개 위주로 저수지면적은 2.4억 Ha로 국가의 관개면적의 약 1/3를 차지한다. 도시폐수의 급속한 발전에 대한 수요를 충족시키기 위해, 중국은 베이징의 밀운저수지, 천천의판가구저수지, 홍콩, 심천의 심천저수지 등의 원격프로젝트 저수지를 건설하였다. 통계에 따르면, 전국의 100개 이상의 주요 도시에서는 국가 저수지 물 공급에 의존하고 있다.

## 2.3 수력발전

수력발전은 환경의 오염이 없고, 저비용, 긴 수명으로 청정에너지원으로 간주된다. 특히 중국과 같은 개발도상국의 관점에서, 수력발전은 경제발전의 중요한 부분이다. 중국의 수력발전 댐 건설은 급속한 발전을 하였다. 1999 년 말, 중국의 수전 총설치 용량은 7297만KW 에 도달 하였고 수전 연간 발전량은 2129억KW로서 수전용량과 발전량은 각각 세계의 2위와 4위를 차지하였다.

## 2.4 수상운송

도로 및 항공 운송에 비해 수상운송은 가장 저렴하고, 오염이 적다. 댐 건설은 강물의 흐름정권을 만들어 배가 통행할 수 있는 공간을 형성하여 수로를 개선하는데 도움을 준다.

## 2.5 기타

중국 댐 건설 목적에는 여가, 어업을 포함한다. 댐의 건설은 양식의 개발에 우수한 조건을 주어 물 공급의 기반이 되었다.

## 3. 중국의 댐 발전 역사

중국 댐의 건설은 유구한 역사를 가지고 있다. 공원전 598년 안휘성 수현의 안봉당의 댐 높이6.5m ,저장용량 9070 만m3,수면면적 34km3에 달하는 오랜 역사와 수정 및 업

데이트를 한 댐은 현재까지 실행되고 있다. 중국 댐의 역사는 유구하나 초기에는 발전이 느렸다. 1950년 글로벌 댐 국제위원회의 통계에 따르면 전세계 5268개의 댐 중에서 중국의 댐은 22개에 불과하였다. 1950년이후 특히 개혁 개방 30년내, 중국의 댐 건설과 댐 기술은 급속한 발전을 가져 왔으며 홍수방지, 관개, 물공급, 에너지안전등에 대하여 중요한 보장을 가져왔다. 1951년부터 1977년사이, 세계의 다른 국가는 평균 335개의 댐을 건설 하였으나 중국은 420개의 댐을 건설하였다. 1982년세계에서높이가 15m 이상의 댐은 34798개였는데 중국은 18595개로 총수의 53.4%를 차지하였다. 1983년부터 1986년에는 중국의 댐 건설속도가 감소하여 1986년말에는 전세계 36226개의 댐 중 18820개로 52%를차지하였다. 2005년말에는 세계에서 높이가 150m 이상의 댐이 5000여개였는데 중국은 200개로 44%를 차지하였다.

### 3.1 초기 댐 건설의 5개 단계

**1단계:** 1950년부터 1957년까지 베이징의 관정댐(높이 46m),백산 댐 (48.4m) 매산의 아치댐(높이 88m), 선홍점의 중력아치댐(87.5m)등이 해하유역의 지류에서 건설을 시작하였다. 1955년 황하유역의 개발이 완료되었다. 처음으로 건설한 댐은 삼문각 중력 댐이다(높이 106m).

**2단계:** 1958년부터 1966년까지 고속발전시기에 들어섰다. 전국의 기본 건설이 전면 진행하였으며 특히 중소형 댐의 건설은 각지의 적극적인 협조 하에 급격하게 수량이 증가하였다. 대형공정으로는 비교적 유명한 황하류 가하의 중력아치댐(높이 147m), 신평강지돈댐(높이 105m), 신안강수력전(높이 105m) 등이 건설되었다. 1963년 8월에는 해하의 대홍수로 인해 많은 저수지에서 침수가 발생하였다.

**3단계:** 1967년부터 1986년까지는 댐 건설속도가 급격히 감소하였지만 공정의 품질에 많은 노력을 기울였다. 특히 후기에 실행한 개혁개방정책은 기술상에서 선명한 효과를 가져왔다. 이 단계에서 건설된 댐



으로는 용양협(높이 178m), 오강공형 중력아치댐(높이 165m) 등이 있다. 1975년 8월, 하남 화 하상류에서는 홍수로 인해 2개의 대형저수지가 재해를 입었다.

**4단계:** 1997년부터 1981년까지는 기술을 견고히 하고 발전하는 단계였다. 개혁개방으로 인해 국가경제의 급속하게 발전해가고 새로운 유형의 댐 건설이 시작되었다. 또 세계선진수준의 공정을 시작하였으며 대댐, 대규모수력전의 개발을 완성하였다. 이 시기 건설한 댐은 동풍 아치 댐(높이 168m), 만완 중력 아치 댐(높이 132m) 등이 있다. 삼협 대형 수력발전소(높이 181m, 총 용량 2,250만 KW, 연발전량 1,000억도), 이탄 아치 댐(높이 240m) 소랑저 댐(높이 155m)등이 시공 되었다. 2000년대 초에는 중소 및 대형 수력발전소의 건설로 하여 전망의 구성, 홍수방지, 관개, 용수공급을 개선하였다. 뿐만 아니라 21세기 대형발전에 대하여 신뢰할 수 있는 기반을 마련하였다.

**5단계:** 1997년 이후부터 현재까지, 21세기의 급속한 발전과 함께 댐 또는 저수지 운영관리의 구성은 단지 기술, 학술 영역의 문제가 아니게 되었다. 우리는



Fig1. 중국의 대형 수력발전소 위치도(총 용량 1,000MW 이상)

사회적으로 허용 가능하고, 환경 친화적이면서 댐의 부정적인 영향을 최소화하고, 인류사회의 발전을 위해 노력해야 한다. 그리고 댐 및 수력발전의 건설에 대하여 외국의 기술을 배우고 경험을 통해 비약하여야 한다. 이러한 대표적 사례가 진핑 일급 발전소이다(높이 305m).

2005년 말, 중국은 높이가 30m 이상의 완공 혹은 시공 중인 댐이 총 4,860개가 있으며 그 중 높이가 300m이상이 1

Table1. 1973~2008년 중국의 댐 수량 및 세계 댐 총수의 점유율 비례

년도	30m 이상 댐(개)	세계 댐 점유율 비례	100m 이상 댐(개)	세계 댐 점유율 비례
1973년	1,644	25%	14	3.5%
1988년	3,768	41%	429	7.2%
2005년	4,860	37.8%	130	15%
2008년	5,191	-	142	-

Table2. 중국의 댐 및 수력발전 현황(2008년)

국가	인구 수 (억)	면적 (만km <sup>2</sup> )	2007~2008년 수력발전소 발전량 (억 kwh/년)	수전용량 (만 kw)	30m 이상의 완공 및 건설 중인 댐	저수지 총 용량 (억m <sup>3</sup> )
중국	13	960	5,655	17,260	4,860	6,924
미국	2.93	937	2,700	7,820	1,533	135,000
캐나다	0.325	991	3,500	7,266	183	6,500
러시아	1.43	1,707	1,700	4,700	60	7,930
일본	1.27	37.77	1,143	22,000	1,075	204

개, 200-300m는 8개, 150-200m는 22개, 100-150m는 99개, 60-100m는 422개 30-60m는 4308개이다. 30m 이상의 제방댐은 2865개인데 중력댐은 545개, rockfill댐은 391개, 아치댐은 729개, 기타댐은 330개이다. 제일 높은 댐은 진평 일급아치댐 인데 305m로서 2013년에 건설하기 시작하였다.

#### 4. 중국 댐 건설의 기술발전

중국 현대화 댐 건설은 삼협, 이탄과 소랑저가 대표적이다. 그 중 이탄과 소랑저 댐은 각각 1999년, 2001년에 건설이 시작되었고, 삼협댐은 2009년에 완공되었다. 삼협, 이탄, 소랑저 댐은 중국의 댐 건설기술이 세계수준으로 끌어올리는 계기가 되었다. 이 시기 중국의 댐 프로젝트는 5가지의 특징을 갖고 있다. (1) 품질이 좋고 안전하고 신뢰성이 있다. 특히 2008년 5월 12일 문천 대지진지역의 100m 이상의 4개 댐(Zipingpu CFRD, Shapai 아치댐, Baozhusi 콘크리트중력댐, Bikou 코어댐)은 지진에 문제가 없어 국제사회에서 높이 평가되었다. (2) 프로젝트비용은 예산보다 일반적으로 낮았다. (3)건설기간은 일반적으로 예상기간 보다 짧은 편이었다. (4) 프로젝트는 결과적으로 경제적, 사회적 이익이 높게 창출되었다. (5) 새로운 댐 형식과 새로운 기술이 널리 사용되었고, 콘크리트 rockfill댐, 아치 댐 등의 연구가 집중적으로 이루어졌다. 중국의 건설을 촉진하기 위해, 국가적 차원의 과학기술조직이 조성되었고, 세계에서 가장 높은 콘크리트 rockfill댐, 용담 RCC 중력댐, 소만 아치 대댐 등의 건설이 가속화되는 계기가 되었다. 현재 중국에서 건설 진행 중인 댐은 아래의 10개가 대표적이다.

##### 4.1 삼협 프로젝트

삼협 수력은 홍수조절, 전력생산, 운송 등에 엄청난 이용 효율을 가지고 있다. 람하댐의 높이는 181m 이고, 총 용량은 2250만kw이며 연 전력생산량은 1000억Kw 정도이다. 1993년 중국인민대표대회회의 승인으로 시공이 시작되었고, 1997년에 완공되었다. 2003년부터 전력을 생산하기 시작하였다.



Fig2 . 삼협댐의 전경

이 프로젝트에서 2000억원의 투자액을 절감 하였으며, 2009년 8월에 완공되었다. 삼협 프로젝트는 대형 건설공사였으며, 공정이 우수 및 안전하고, 건설시간이 짧고, 투자액을 절감하는 등의 효율을 보였다.

##### 4.2 이탄 프로젝트

이탄 수력발전소는 아룽강 수력발전에서 계획한 첫 번째 수력발전소이다. 이는 20세기 중국에서 건설한 것으로 삼협 프로젝트 다음으로 큰 대규모 수력발전소이다. 또한 20세기 중국에서 건설한 수력발전소 중의 제일 큰 수력발전소이다. 이탄 수력발전소는 전력생산을 위주로 하고 전력설비 용량은 330만kw 이고 연간 평균 발전용량은 시간당 170억kw이다. 이탄 콘크리트쌍곡선 아치 댐은 20세기 아시아에서는 첫 번째, 세계적으로는 세 번째로 높은 아치 댐 이다. 이탄 수력발전소는 중앙 및 지방정부의 합작으로 세계은행에서 9.3억원을 지원받아 건설하였다. 또한 최고의계약자, 공급업체, 선진건설관리기법을 도입하여 건설하였다. 2006년에는 환경친화적인 프로젝트라는 국가상을 수상했다.

##### 4.3 소랑저 프로젝트

소랑저 프로젝트는 황하의 흐름을 제어하는 프로젝트이다. 황하의 홍수방지, 유사발생 방지 및 하류의 퇴적을 저감시켰다. 소랑저는 삼협과 함께 이용하여 홍수방지를 위한 재



Fig3 . 소랑저댐의 전경

현기간을 백년에서 천년으로 증가시켰다.

소랑저 저수지는 1991년 9월에 사전 건설이 시작되었으며, 1994년 9월 주체 건설을 시작하였으며, 1997년 10월에 완공되었다. 소랑저 저수지는 아래와 같은 특징이 있다. (1) 수직, 수평 방향의 누수가 발생하지 않게 하였다. (2) 유입구의 막힘 방지 (3) 세계에서 제일 큰 에너지 소산 오리피스를 구축 (4) 댐 건설이 이루어진 지역은 산세가 매우 낮은 편이다. (5) 황하의 유량 및 유사조절에 기여하는 바가 크다.

#### 4.4 콘크리트 rockfill 댐

중국은 1985년에 콘크리트 rockfill댐의 건설을 시작하였다. 1990년에 처음으로 서북구 저수지를 건설하였는데 높이는 95m다. 건설기술의 기초는 지진안전, 소프트록댐, 하드록댐, 높고 가파른 경사 구역의 댐, 깊은 총적층의 댐, 고해발지역의 댐 등의 연구 결과를 반영한 댐이다. 이 댐을 시작으로 중국의 댐 건설 수준은 급속히 발전하였다. 2005년까지 건설한 면반 댐은 169개이다. 대표적으로는 수부야 댐(높이 233m), 강평하 댐(높이 221m)이 있다.

#### 4.5 롤러압축콘크리트댐

1986년에 중국의 첫 번째 롤러압축콘크리트 댐이 건설되었다. 2007년에는 건설 혹은 완공된 롤러압축콘크리트 댐은 126개로 가장 높은 것은 용탄 롤러압축콘크리트 댐이고 그 높이는 216m이다. 이 댐은 2008년 문천 대지진 당시 피해를 입지 않아 롤러압축콘크리트 댐의 발전에 큰 계기가 되었다.

#### 4.6 높은콘크리트 아치댐

높은 콘크리트아치댐은 대형수력댐 중의 주요유형중 하나이다. 1998년에 높이가 240m의 이탄 아치댐을 건설 및 운영한 경험을 기반으로 대형 아치 댐의 건설에 대한 경험을 축적하였다. 2005년의 60m이상의 아치댐이 172개인데 대표적으로는 305m의 진평일급 아치댐, 292m의 소완 아치댐, 278m의 희로도 아치댐, 250m의 라서와 아치댐 등이 있다.

#### 4.7 수공아스팔트 콘크리트 불투수토양공학 및 기타 불침투성의 핵심벽 프로젝트

국제협력과 연구개발을 통하여 수공아스팔트 콘크리트 프로젝트는 급속한 발전을 하였다. 이로 하여 Tianhuangping, Yele, Nierji 및 다수의 프로젝트를 성공적으로 구축하였다. 총체적으로 중국의 저수지 개발은 제방 댐 에서 절대적인 우세를 가지고 있다.

#### 4.8 양수발전소 개발

중국 양수발전소 건설은 늦게 시작하였다. 20세기 60년대 후기에 건설하기 시작하였는데 2003년 연말 까지 중국은 24개의 양수발전소를 건설하였다. 총 용량은 1595만kw에 달한다. 대표적으로는 광주 양수발전소, 심삼령 양수발전소 등이 있다.

#### 4.9 소형수력발전소 개발

중국 농촌 지역의 수력자원은 풍부하며 개발할 수 있는량은 1.28억kw로서 산, 언덕 지대의 1600개의 현에 소형 수력발전소가 분포 되어 있다. 2007년 연말 까지 전국 농촌에서는 4만개 가량의 소형 수력발전소를 건설 하였다.

#### 4.10 겔자갈 댐의 기술

중국에서의 자갈댐은 막 시작하였다. 현재에는 외국기술에 대해 배우고 중국에서 실험 및 연구하는 단계이다. 두개의 수력발전소의 시공에 응용하여 일부 경험을 쌓았다.

## 5. 댐 안전에 관한 문제

중국 경제의 급속한 발전과 함께, 사람들은 저수지에 대한 의식 향상과 댐의 안전 보장에 대한 수요가 증가 하고 있다. 그러나 중국의 댐에 대한 보안 상황은 그리 낙관적이지 않다. 전국 절반 이상의 댐은 1950~1970년대에 건설되었고 대다수는 설계와 동시에 시공하였다. 그리하여 공정 표준치가 낮고 시공 효율이 낮으며 몇 십 년의 운행으로 하여 많은 문제들이 발생하였다. 통계에 따르면 1954년에서 2003년까지 50년의 세월동안 3,481건의 댐 붕괴 사건이 일어났고 그중 대형 저수지는 2건, 중형 저수지는 123건, 소형 저수지는 3,356건의 붕괴사건이 일어났다.

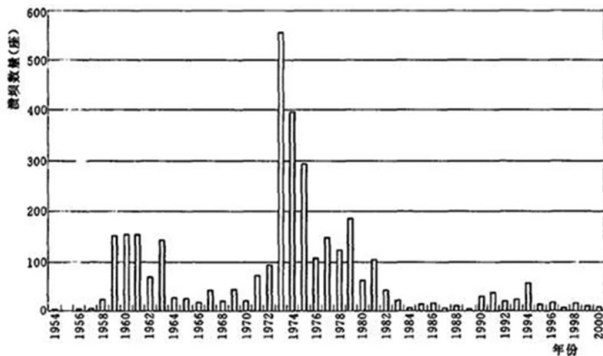


Fig4 . 댐 붕괴 통계표(1954~2003년)

Fig. 4의 통계결과에서 아래와 같은 것을 알 수 있다. (1) 1959~1963년, 1971~1981년, 1990~1994년까지 댐 붕괴사건이 3연속 최대치를 기록하였다. (2) 70년대에는 1973년, 1974년, 1975년의 순으로 댐 붕괴 사건이 빈번히 발생 하였다. 그 수치는 각각 560건, 396건, 291건 이다. (3) 1982년부터는 댐 붕괴 사건이 크게 감소하였다.

## 6. 결론

- 통계를 통하여 중국의 댐 건설은 유구한 역사를 가지고 있으며 초기 발전이 비교적 느렸지만, 1950년대 이후 댐의 건설과 기술은 신속하게 발전하였다. 수력발전도 빠르게 발전 하였다. 현재 중국의 저수지 수량 및 건축 기술은 세계에서 우위를 차지한다. 2013년까지 세계에서 제일 높은 아치 댐은 중국 사천성 아룡강의 진평 일급 댐이다(높이 305m).
- 중국 댐 건설 진행에서 대표적으로는 다음과 같다. 삼협 프로젝트, 이탄수력발전소 및 소량저수력 프로젝트이다. 건축 기술 방면에서는 롤러 압축 콘크리트 댐, 높은 콘크리트 아치 댐, 콘크리트 rockfill 댐이 있고 현재 탐사 단계에는 겔 자갈 댐이 있다.
- 붕괴 사고의 문제에 관하여는 각 지역에서의 높은 중시와 적극적으로 붕괴 발생에 대한 원인을 찾고 부단히 혁신하고 새로운 방안을 설계하여 사고의 발생률을 저하 시켜야 한다. 또한 개인 안전 문제와 재산 안전을 보장하여야 한다.
- 중국의 환경과 인간의 지속 가능성을 고려하여야 하며, 저수지의 댐 운영이나 건설 관리는 더 이상 기술, 학술적인 문제가 아니다. 우리는 사회의 허용 하에 환경의 친화에 중심을 두고, 댐의 부정적인 영향을 감소시켜 새로운 형식 아래에서 인류사회의 진보와 발전에 큰 공헌을 해야 한다.

### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

### [References]

贾金生等. (2010). 中国水库大坝统计和技术进展及关注的问题简论, 水利发电期刊, 第36卷, 第一期, pp. 6-10.  
 汪恕城. (2000). 中国大坝建设的成就和展望, 中国水利报, 第002版  
 贾金生等. (2009). 中国2008年水库大坝统计, 技术进展与关注的问题简论, 现代堆石坝技术进展, pp. 847-855.  
 何晓燕等. (2003). 中国水库大坝失事统计与初步分析, pp. 321-330.  
<http://baike.baidu.com/view/4816369.htm>  
[https://www.google.com/search?q=dam+in+china&rlz=1C1GGGE\\_zhCNKR570KR570&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=KUAVJz6Klb3mQWP3YLQBA&ved=0CAgQ\\_AUoAQ&biw=1280&bih=856](https://www.google.com/search?q=dam+in+china&rlz=1C1GGGE_zhCNKR570KR570&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=KUAVJz6Klb3mQWP3YLQBA&ved=0CAgQ_AUoAQ&biw=1280&bih=856)