

# 02. 인도네시아 댐 현황

Kania Dewi Nastiti, 충남대학교 토목공학과 수공 및 환경전공 석사과정  
 송미연, 충남대학교 국제수자원연구소 연구원  
 Luki Subehi, 충남대학교 국제수자원연구소 연구원  
 정관수, 충남대학교 토목공학과 교수

## 1. 개요

인도네시아 공화국은 동남아시아에 위치하며 적도 선에 걸쳐있다. 인도네시아는 두 대륙(아시아와 호주)과 두 대양(태평양과 인도양) 사이에 있으며, 북위 6° 남위 11°, 동경 95°-141°사이에 위치해있다. 인도네시아는 13,466개의 섬으로 구성된 세계에서 가장 큰 다도해이며, 2010년 조사된 인구수는 2억 3천 7백만 명이며 국가 공용어로 인도네시아어(Bahasa Indonesia)를 사용한다. 인도네시아의 많은 섬 중 5개의 주요 섬인 수마트라, 자바, 칼리만탄(구 보르네오 섬), 술라웨시(구 셀레베스 섬) 그리고 파푸아는 아래 Fig. 1과 같다. 2012년 12월 기준 인도네시아는 410의 섭정, 98개의 지방 자치 단체, 34개의 지방으로 구성되어있다.



Fig1. Map of Indonesia(source: indonesiapoint.com)

인도네시아는 적도에 위치하며 열대기후이기 때문에 일년 내내 태양에 노출되어있으며, 계절은 건기와 우기로 나뉜다. 10월에서 4월까지 발생하는 우기에는 도시와 숲이 부족한 지역에서 홍수가 발생되며, 5월에서 9월까지의 건기에는 특히 농지에 발생하는 가뭄으로 농민들에게 피해를 준다. 기온은 21°C 에서 33°C 로 유지되지만 높은 고도에서의 기온은 조금 낮으며 습도는 약 60%~80%로 매우 높다. 연 평균 강수량은 인도네시아 동부 지역에서는 1,500mm 서부 지역에서는 2,600mm로 두 지역 사이에 강수량 차이가 발생한다.

## 2. 인도네시아 댐의 용도

인도네시아는 강우량이 상대적으로 많은 열대기후 국가이다. 연평균 강수량의 약 80%가 다섯 달 동안 지속되는 우기에 발생하며, 나머지 20%의 강우는 7개월간 지속되는 건기에 발생한다. 이러한 강우 불균형으로 인하여 인도네시아 대부분의 댐은 건기의 용수공급, 우기의 홍수조절의 용도로 사용된다.

인도네시아에 건설된 댐 중 약 85%의 댐은 이수 및 치수를 담당하며, 나머지 15%는 수력발전의 용도로 사용된다. 제2차 세계대전 이후 인도네시아는 급속한 인구 성장을 겪었으며, 이로 인해 식품과 전기 에너지에 대한 필요성이 증가되었고 인도네시아 정부는 식량 공급과 에너지 공급을 위하여 대형 댐 건설을 계획하였다.

인도네시아에서 가장 큰 규모의 댐일 뿐만 아니라 인도네시아의 댐 중 가장 중요한 의미를 갖는 댐은 Jatiluhur 댐이다. 자바 섬의 뿌르와까르따(Purwakarta)시에 위치한 자틸루허(Jatiluhur) 댐은 Citarum강에 건설되었으며(Fig. 2), Jatiluhur댐의 건설을 기점으로 발달된 과학 기술을 이용하여 단일 용도의 댐이 아닌 다용도 댐의 건설이 시작되었다. Jatiluhur댐 건설로 형성된 저수지는 면적 83km<sup>2</sup>, 둘레 150km, 해발 107m이며, 댐의 초기 유역면적은 4,500km<sup>2</sup>이었으나 댐 상류에 건설된 Saguling 와 Cirata 댐으로 인하여 현재 유역면적은 380km<sup>2</sup>로 초기 유역면적의 약 8%에 해당된다. 댐 유역은 Bandung, 서Bandung Regency, Cimahi, Cianjur 그리고 Purwakarta 지역을 포함한다. 댐 설계 당시 저수용량은 30억m<sup>3</sup>이었으나 2000년 수심 측정 결과, 유사 퇴적으로 인하여 24.4억m<sup>3</sup>의 저수용량을 갖는 것으로 나타났지만 이후 상류에 건설된 Saguling댐 과 Cirata댐으로 인하여 유사 퇴적량은 점차 감소되고 있다. Jatiluhur댐은 다용도댐으로 187.5MW의 발전용량을 갖는 수력발전 시설과 Karawang and Bekasi 지역의 홍수예방, 가정 및 공업용수공급 뿐만 아니라 지역관광시설로도 사용된다.



Fig2. Aerial photo of Jatiluhur dam(source: samiranindah.blogspot.com)

### 3. 인도네시아 댐의 역사와 발전

인도네시아는 많은 강수량을 갖는 나라 중 하나로 이는 수자원의 가용성이 풍부하다는 것을 의미 할 수 있지만 강우 발생 장소와 발생 시기의 불균형으로 인도네시아의 수자원은 풍부하지 않다. 강우는 인도네시아의 서쪽에 집중되어 발생하며 동쪽 지역은 매우 부족하기 때문에 20세기 이후 하천의 불균형으로 인한 물 사용과 관련된 논쟁이 발생되고 있다. 건기에는 하천 유량이 매우 적어 가뭄이 발생하는 반면 우기에는 큰 강우량으로 홍수가 발생된다. 자바섬의 경우 주거, 농업, 산업 등의 토지 변환과 더불어 하천 상류의 불법 벌목으로 인하여 집수면적이 감소되어 상황은 더욱 악화되었다.

19세기 후반 네덜란드령 동인도 정부는 인도네시아에서 인프라 구축과 홍수 조절용 댐을 건설하며 관계 개발을 실시하였다. 인도네시아에서 처음 건설된 대용량 댐은 1910년 공사를 시작하여 1916년 완공된 Nglangon댐으로 자바섬 중앙에 위치하고 있다. 이 후 자바섬 동쪽의 Prijeran 댐(1911년 착공, 1917년 완공), 섬 중앙의 Tempuran댐(1914년 착공, 1946년 완공)을 건설하였으며, 1922년 자바섬 서쪽에 수력발전 용도의 Cileunca댐을 건설하였다. 19세기 이전 인도네시아에는 소규모 댐, 저수지만이 존재하였으며 댐의 높이, 유형, 저수용량 및 용도는 제한적이었다.

1951년 이후 인도네시아는 자바섬에 대형 댐의 건설을 시작했다. 특히 rockfill 댐 및 earth 댐 형태의 구조를 선택하였는데 그 이유는 다음과 같다.

1. fill dam 형태는 인도네시아의 지진발생 지형에 적당하다.
2. 콘크리트 형식의 댐은 단단한 지반을 필요로 하므로 건설이 어렵다.

1960년대 이후 댐의 형식은 rockfill 형식, 단순 돌쌓기 형식, 콘크리트 혼합형 등 다양해졌다. 1967년 완공된 Jatiluhur댐은 높이 105m의 중앙차수벽형 rockfill댐 형식이며, 1988년 완공된 Cirata댐은 높이가 125m로 rockfill 댐의 상류 경사부에 콘크리트 라이닝으로 차수효과를 주는 CFRD(Concrete Faced Rockfill Dam) 공법을 처음으로



사용한 댐이다. 1987년 완공된 Wadasintang댐 역시 높이는 125m이며 습윤 압축된 중앙차수벽 형식으로 설계되었다. 2006년까지 Wadasintang댐은 습윤 중앙차수벽을 갖는 세계에서 가장 높은 댐으로 기록되었다.

RCC(Rolled Compacted Concrete) 기법은 인도네시아 PT.INCO사(PT International Nickel Indonesia)에 의해 실현되었는데, 술라웨시슬라탄주에서 주석 광산에 전력 공급을 목표로 둔 Balambano댐(1999)의 건설에 사용되었다. 시간의 흐름에 따른 댐의 형태 및 기술의 변화는 아래 Table 1에 정리하였다. 현재 인도네시아는 전국에 약 250개의 댐을 보유하고 있으며(Fig. 3), 국제 대댐회(ICOLD)에서 정의



Fig3. Distribution of the dams in Indonesia (source: mapsof.net; INACOLD 2014)

한 대용량 댐의 기준에 의하면 250개의 댐 중 대용량 댐은 100개가 넘는 것으로 판단된다.

인도네시아의 많은 댐들은 대부분 1980년대 이전에 건설되었고, 몇몇의 댐은 식민지 시기인 1950년 이전에 건설되었다. 1945년 인도네시아의 독립 이후 약 18개의 earthfill 형식의 댐이 건설되었는데 이러한 댐은 대부분 노후되었고 이미 경제 수명을 넘어 섰으며 유지 보수가 잘 이루어지지 않았기 때문에 심각한 주의를 필요로 한다. 노후한 댐들은 적절한 유지 보수 및 수리를 통해 관리 하지 않을 경우 큰 위험을 초래할 수 있다. 뿐만 아니라 저수지 퇴적 또한 댐의 올바른 작동에 문제를 일으키며 안전에 문제를 일으킬 수 있다. 유지 보수 및 운영에 대한 예산 문제 외에도, 상류 지역의 유역저하로 인한 저수지의 퇴적은 인도네시아 대부분의 댐에서 발생되고 있다.

인도네시아의 느린 경제성장과 예산의 제약이 있지만 최근 인도네시아 정부는 물 수요의 증가와 홍수 위험의 증가 및 기후 변화를 예측하고 새로운 댐을 건설하기 위하여 많은 예산을 할당하였다.

따라서 2015년부터 공공주택자원부에 의하여 혁신적인

Table1. Summary of dams development in several periods and its technology applications

연번	기간	목적 및 기능	형식	기술	예
1	9세기 이전	단일 목적 (홍수조절, 용수공급)	소규모 댐, 저수지	-	Rentang Dam (1896)
2	19세기 이후	단일 목적 (홍수조절, 용수공급 및 수력발전)	초기 대규모 댐 (높이, 형식, 저수용량과 목적은 제한됨)	-	Nglangon Dam (1910-1916)
3	1950년대	단일 목적 (홍수조절, 용수공급 및 수력발전)	Rockfill댐, Earthfill댐 형식	-	Cacaban Dam (1958)
4	1960년대	다목적 (홍수조절, 용수공급, 수력발전 등)	Rockfill댐, 콘크리트댐, 복합형 댐	중앙차수벽	Jatiluhur Dam (1967)
5	1987년	다목적 (홍수조절, 용수공급, 수력발전 등)	Rockfill댐, 콘크리트댐, 복합형 댐	습윤중앙차수벽	Wadasintang Dam (1987)
6	1988년	다목적 (홍수조절, 용수공급, 수력발전 등)	Rockfill댐, 콘크리트댐, 복합형 댐	CFRD (Concrete Faced Rockfill Dam)	Cirata Dam (1988)
7	1988년	다목적 (홍수조절, 용수공급, 수력발전 등)	Rockfill댐, 콘크리트댐, 복합형 댐	RCC (Rolled Compacted Concrete)	Balambano Dam (1999)

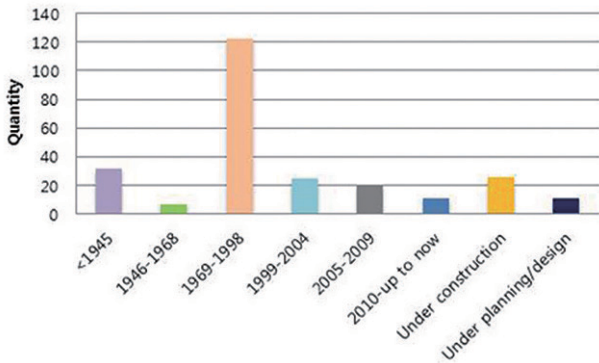


Fig4. Construction of dams in Indonesia  
 (source: sda.pu.go.id; INACOLD 2014)

형태를 갖는 여섯 개의 댐이 설계 될 예정이다. 댐의 이름과 건설 위치는 다음과 같다. Kreuto Dam (Aceh), Karian Dam (Banten), Logung Dam (Central Java), Lolak Dam (North Sulawesi), Raknamo Dam (East Nusa Tenggara), and Pidekso Dam (Central Java).

아래의 Fig. 4는 기간별 건설 되었거나 건설 중이거나 혹은 건설 예정인 댐의 수를 보여준다.

#### 4. 결론

인도네시아의 높은 연평균 강우량은 수자원 관리의 필요성을 암시하는 반면 수자원을 관리하지 못 할 경우 가뭄과 홍수 등으로 인한 큰 피해의 가능성 나타낸다. 인도네시아의 댐 개발은 식민지 시기 단일 목적을 갖는 소규모 댐 형태로 시작되었으며, 오늘날 첨단 기술을 응용한 높은 안전성을 갖는 대형댐 건설로 성장하였다. 또한, 지속 가능한 수자원 관리의 달성을 위하여 정부의 예산 및 지역 문제 해결을 위한 정책 결정이 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원 (14AWMP-B079364-01)에 의해 수행되었습니다.

#### [References]

Directorate General of Water Resources. (2014). Water Resources Database. [Online] Available from : <http://sda.pu.go.id/data-sda/> [Accessed : 4th November 2014].

Directorate General of Water Resources. (2014). Peran Bendungan Bagi Masyarakat. [Online] Available from : <http://sda.pu.go.id/index.php/berita-sda/datin-sda/item/720-peran-bendungan-bagi-masyarakat> [Accessed : 11th November 2014].

Indonesian National Committee on Large Dam (INACOLD). (2014). Dams of Indonesia, A Journey toward National Water Security. Jakarta : Directorate General of Water Resources, Ministry of Public Works.

Sinaro, R. (2007). Seri Sejarah Konstruksi Indonesia, Menyimak Bendungan di Indonesia (1910-2006). Jakarta : Bentara Adhi Cipta.