

## BOT 수력발전 사업에 있어서 지질조사

윤 건 신

지오테크콘설탄트(주)

BOT란 Build, Operate, Transfer의 약자로 자기자본으로 투자하여 건설한 후 일정기간 운영하여 투자액을 회수하고 운영권을 이관하는 방법을 말한다. 이는 경쟁입찰하여 저가 수주하여 수익성이 떨어지는 것 보다는 초기투자가 요구되지만 안정적으로 수익을 보장 받을 수 있는 방법이다. 아래 소개하는 댐들은 (주)대우에서 추진하였던 BOT수력발전 Project중 본인이 참여하였던 댐 조사들로, 앞으로 이와 유사한 사업 참여시 참고토록 조사 내용을 소개하고자 한다.

Laos 에는 BOT 사업으로 현재 전력 생산하여 판매하고 있는 Houay Ho 댐, 그리고 사업타당성 조사되었던 Laos의 Sekong 4 댐, Myanma에 Shweli, Yewha, Bilin 댐들, Pakistan에 Neelum-Jhelum River Project의 Kohala, Mohl, Azad Pattan, Karot 댐들, Punch River Project의 Gulpur, Brali, Kotli 댐들, Swat River Project 및 Kunhar River Project들에 대해 소개하고자한다.

### 라오스 Houay Ho 댐

Houay Ho dam은 라오스 남부에 위치하며 (주)대우가 국내에서 최초로 수행한 해외 BOT 토목공사 사업으로 현재 전력 생산하여 태국에 전력 판매중인 Project이다. 본 Project는 대우에서 건설하여 30년간 운영한 후 라오스에 이관되도록 계약 되어 있다.

지질조사는 댐지점 선정에서부터 완공까지 타당성 조사, 설계, 시공에 참여하여 지표지질조사, 기초조사, 재료원조사, 굴착조사 등 조사가 수행 되었다.

본 지역은 500여 미터 높이에 Plateau를 이루고 있는 지형적 이점을 살려 상부에 저수지를 건설하여 수직낙차를 이용한 수력 발전 방식이다. 본 지역의 지질은 주로 중생대 사암과 이에 Ssiltstone과 Mudstone이 협재되어 있는 비교적 단순한 암석으로 구성되어 있으며 지층도 14도 경사의 수평층으로 구성되어 있다(그림1). 댐지점 양안은 상부는 80%이상이 견고한 사암으로 구성되어 있으며 하부 및 댐 기초 부분은 사암과 실트스톤의 혼합체가 분포하는 균질한 양호한 암석으로 구성되어 있으며 저수면적내에 분포하는 암석도 이들과 유사한 암석으로 구성되어 있으며 지하자원의 분포도 없는 것으로 알려져 있다.

댐의 규모는, 저수면적은 37.5km<sup>2</sup>, 연평균강우량 2,416mm, 댐 형식은 Concrete-faced rock-fill Dam(CFRD)이며 높이 88M, Crest 399m, 도수터널 980m, 하부 수압터널 1400m, 지표 Penstock 466m, 수직터널 740m로 동양 최대 수직터널로, 발전량 150MW의 발전소이다.

본 Project의 특징은 압력수직터널에 배수 설계 개념과 원지반응력(Hydrofracturing stress 측정방법) 측정하여 압력터널에 대한 Steel lining의 길이를 최소화 하여 건설비를 절약한

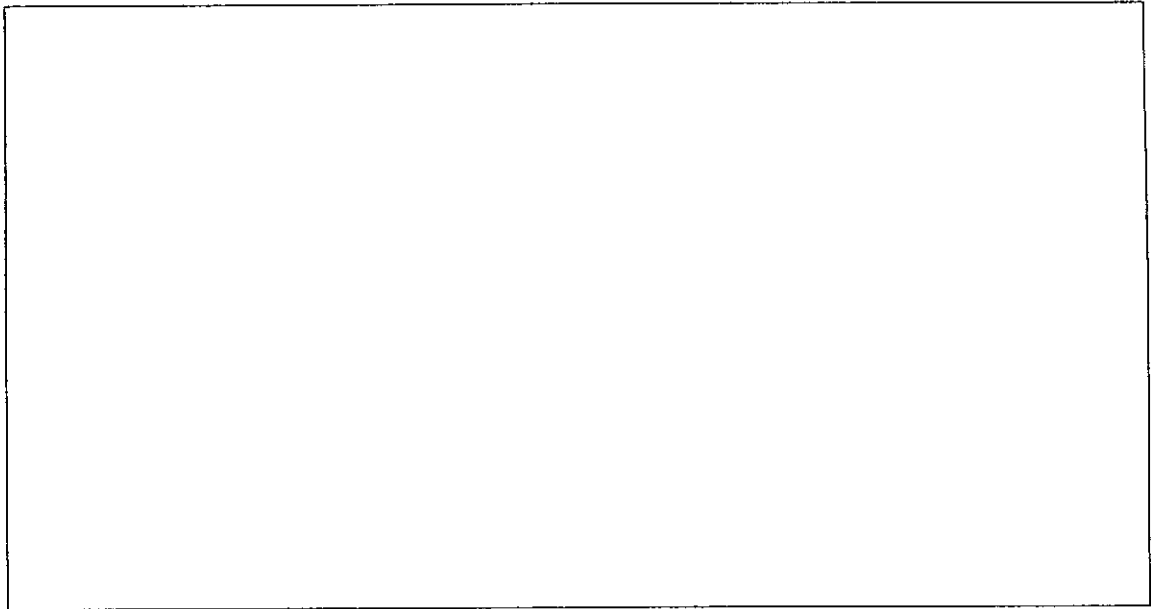


그림 1 Houay Ho 댐 지질단면

설계와 Fast track 개념 으로 설계, 시공, 구매가 수행된 Project이다

#### 라오스 Sekong 4 댐

Sekong 4 댐 지점은 라오스 남부에 위치하며 댐 형식은 CFRD, 댐의 높이 170m, Crest 923m, 5,279km<sup>2</sup> 저수면적을 가지고 전력 생산 용량이 470MW 가능한 댐이다. 5개 후보 댐 지점에 대하여 검토하여 경제성이 제일 높은 최적지를 선정하여 검토하였다.

조사는 3개공의 시추 및 탄성파굴절법 탐사가 댐축에 수행된 기 자료가 있었으며 예비타당성 전의 조사가 되었다. 댐 지점의 암석은 Triassic의 사암, 응회암, 역암 및 석회암이 분포하고 있으며 복잡한 편으로 추가 상세 지표지질조사가 필요하다. 습곡이 댐의 축과 경사가 지나고 있다. 저수지의 지질은 고생대의 사암, 편암, 셰일, 역암 석회암과 중생대의 역암, 사암, 유문암이 분포한다.

#### 미얀마 Bilin 댐

Bilin 댐 예정지는 미얀마의 수도 Yanggon의 동남부 150km 지점에 위치한다. 댐 형식은 CFRD 또는 Earth Core Rockfill Dam, 댐 높이 120m, Crest 1.2km로 설계되어 있으며 발전량은 140MW 가능성 있으며 댐 저수지 내에는 추가 댐 지점(45MW) 가능성이 있는 지점이 있는 지역이다. 댐 지점의 지질은 좌안은 퇴적변성암으로 Phyllite, Schist, Phyllonite, Marble, 우안은 화강암이 분포한다. 이들 암석은 단층접촉으로, Bilin 저수지내에는 7.9의 지진 기록이 있는 활성 단층 가능성 지역이다(그림2). 저수지의 지질은 대부분이 석회암이 분포하여 누수 가능성에 대한 추가 조사가 요구되는 지역이다.

본 댐은 원래 Earth Embankment Dam으로 설계되었던 것을 퇴적변성지역의 암질이 나쁜

점을 감안하여 Spillway를 화강암쪽으로 변경 하여 안전성도 높이고 건설비도 감소하는 안이 검토되었다.

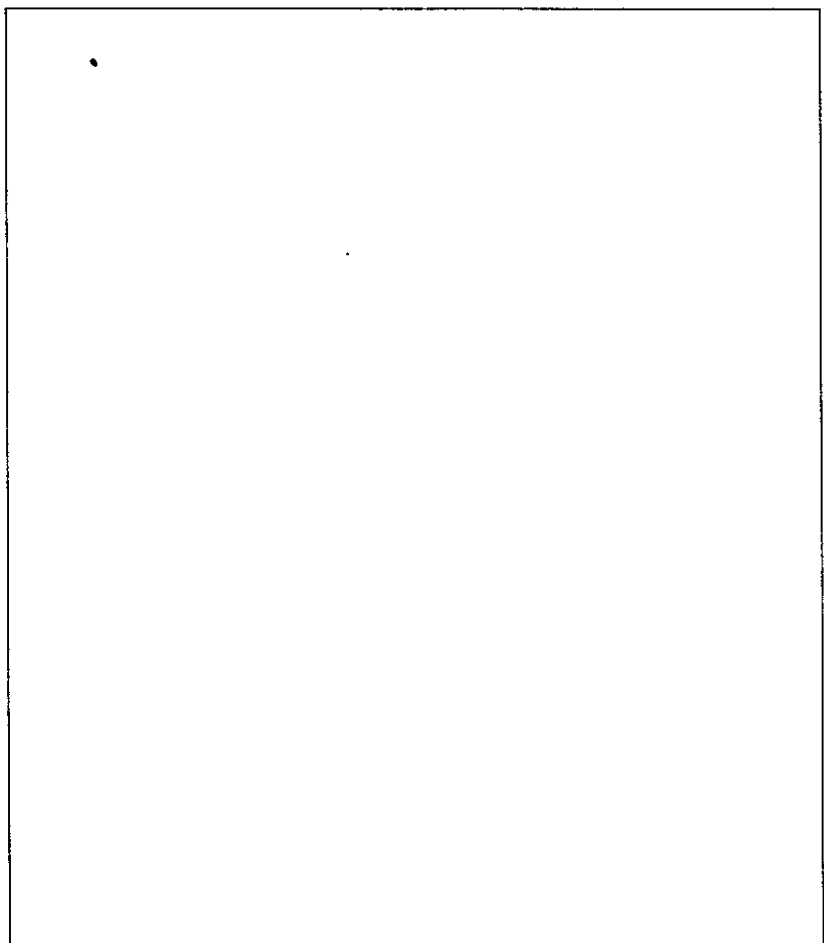


그림 2 Bilin 댐 부근 지진과 단층 분포

### 미얀마 Yewha 댐

Yewha 댐은 미얀마의 중부 Mandalay의 남동 50km에 위치하며 600MW의 전력 생산 가능성이 있는 댐 지점으로 저수지면적 28,206km<sup>2</sup>, 연평균강우량은 1400mm, 댐 형식은 Roller Compacted Concrete Dam, 댐의 높이는 120m으로, 댐지점의 지질은 Metagraywacke 및 Phyllite가 분포하며 저수지 지역의 지질은 Precambrian 변성암, 고생대의 퇴적암이 분포한다. 고생대의 퇴적암중에 석회암층내 동공이 분포하는 것이 보고되어 누수 가능성에 대하여 추가조사가 요구되며 댐 지점 부근에 활성단층 가능성이 있는 단층이 확인된 지역이다.

### 미얀마 Shweli 댐

Shweil 댐지점은 미얀마 북부 중국과 국경부근에 위치하며 저수지 면적의 90%가 중국에 속하는 지역으로, 100MW까지 발전 가능성 있는 지역으로 지형적으로 짧은 거리에서 높은 낙차

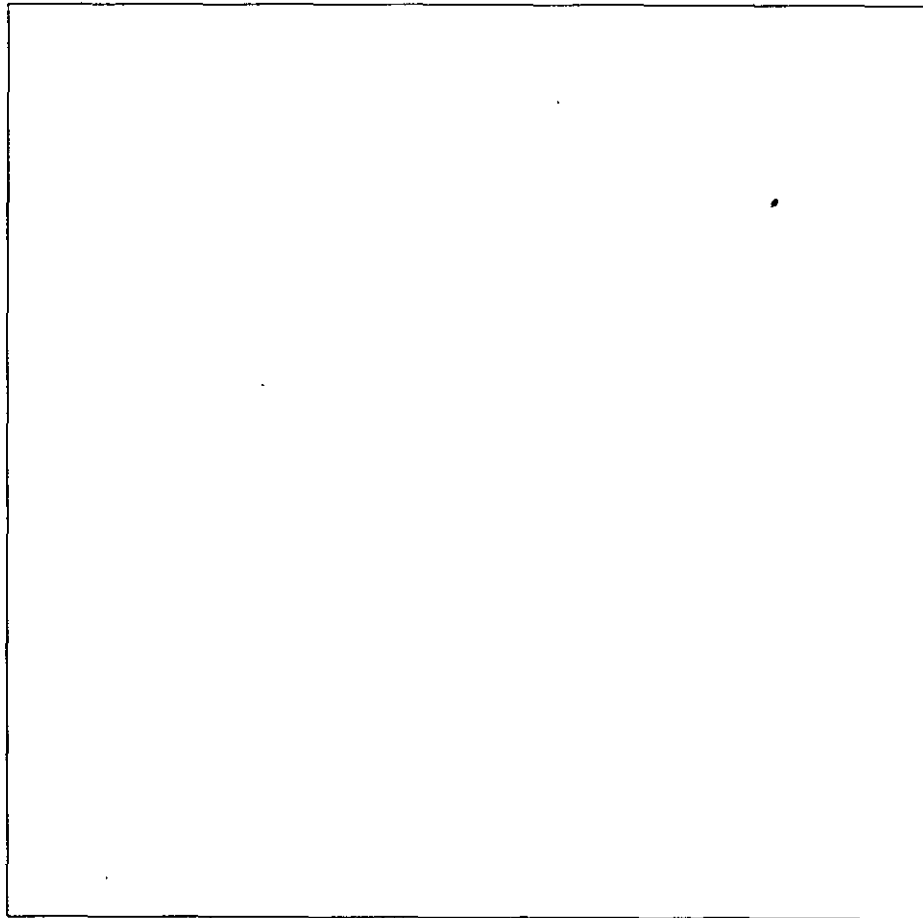


그림 3 Pakistan 댐 조사 지역

를 이용하여 발전할 수 있는 지형조건을 가진 지점이며 9.6km의 거리에서 낙차가 260m이다. 저수면적은 12,150km<sup>2</sup>이며 댐 형식은 Weir type이며 수로터널은 4.8km이며 지점의 지질은 Precambrian의 괴상의 Lecocratic banded Gneiss와 Honblende-feldspar Geniss가 분포하며 강의 방향과 평행한 160km Capable fault가 발달하고 있는 지역이다.

### 파키스탄 Neelum-Jhelum River Hydropower Project

Neelum-Jhelum River를 따라 Kohala(500MW), Mahl(245MW), Azad Pattan(220MW), Kaort(240MW), Kohala(500MW)댐등 4개 댐 지점이 검토된 지역이다(그림3).

이들 지점들은 지형적으로 협곡을 이루고 있으며 평균 River bed 경사가 6.3m/km로 급류지역이다. Hymalaya Thrust Belt 지역의 일부로 지진대에 속하며 Richter Scale 5에서 8까지 기록된 곳으로 지진동 설계치 0.6G가 추천된 곳이다. 또한 미고결 빙퇴적물이 많이 분포되어 있어 침전물이 많아 이들 처리문제가 중요한 지역들이다.

Kohala댐은 Jhelum River 상류에 댐을 건설하여 Diversion 시켜 14km내지 18km 터널을 통과하여 하류에서 발전하는 방법으로 8개 댐 지점이 검토 되었으며 발전량은 200MW에서 860MW까지 검토되었다. 지질은 사암과 세일로 구성되어 있으나 습곡과 단층이 분포한다. 댐(Weir)은 22 높이이나 터널의 길이가 길어 터널공사비가 전체 건설지 큰 비중을 차지하여

터너 지질이 중요한 Project이다.

Mahl Dam 지점은 Kohala 댐 지점에서 22km하부에, Azad Parran은 Mahl 댐에서 1km 아래, Karot 댐 지점은 Azad Pattan에서 1km 하부에 위치하며 지질은 Kohala 댐 지역과 유사한 사암과 세일 분포하는 지역이다.

### **파키스탄 Punch River Hydropower Project**

Punch River Hydropower Project는 Jhelum River하부에 위치하는 지류라 할 수 있는 강으로 Jhelum River Hydropower Project와 유사한 지질, 수문 조건을 가지고 있으나 지형적으로 낮고 고결도가 낮은 퇴적암이 많이 분포하는 것이 Jhelum River Project와 다른 점이다. Gulpur(116MW), Brali(66MW), Kotli(97MW) 댐 지점이 검토되었다.

### **파키스탄 Swat River Hydropower Project**

Swat River Hydropower Project는 파키스탄 북부에 위치하는 Swat River를 따라 Gobral-Kalam(수로길이 3.8km, 발전량 101MW), Kalam-Kedam(수로길이 22.3km, 발전량 410 MW), Kedam-Madyan(수로길이 12.3km, 발전량 147MW)을 잇는 3단계 수력발전 건설(총 658 MW) Project이다. 지질은 과상 안산암질 유문암 및 섬록암 및 화강암등의 심성암, 변성퇴적암이 분포하는 지역으로 지반조건이 양호한 지역이나 히말라야산맥의 남부지역에 위치하므로 미고결 된 빙퇴적물의 분포가 많은 지역이다. 본 지역내에는 7-8MW의 강지진이 기록된 지역이다.

### **파키스탄 Kunhar River Hydropower Project**

Kunhar River Hydropower Project는 파키스탄 북북에 위치하는 Kunhar River를 따라 Naran(210MW)과 Sukki Kinari(520MW) 댐 지점이 검토된 Project로 Swat River Project의 동쪽 계곡이다. Swat 지역과 달리 지질은 퇴적암, 변성퇴적암이 분포하며 파키스탄의 대표적인 활성 지질구조대가 분포하는 지역이다. Naran 댐 지점은 변성퇴적암이 분포하고 Sukki kanari댐 지점은 slate로 구성되어 있으며 저수지역도 이들 지역과 불투수층이 예상되는 지역이다.

## **결 언**

BOT 전력사업은 수익사업으로 사업의 추진 여부를 결정하는데 중요한 요소로서 지질조건의 평가는 매우 중요하다. 또한 사업 추진 여부를 대개 조사가 충분하지 않은 시점에 결정하여야 하므로 많은 지질학적 지식과 경험을 요구하게된다.

동남아 지역에서 입지 선정관련 중요한 지질학적 요인으로서의 일반 댐 조사 요인과 마찬가지로, 댐 지점의 지형적 조건(Houay Ho, Bilin, Neelum-Jhelum), 지반조건(Bilin, Kohala), 재료원 분포(Yewha), 지진과 활성단층 분포(Bilin, Yewha, Shweli, Swat, Jhelum), 석회암분포(Bilin, Yewha), 저수지의 누수 가능성(Bilin, Yewha), 산사태(Neelum-Jhelum), 미고결 빙

퇴적물(Neelum-Jhelum, Punchun,), 지하자원 분포 가능성(Yewha) 등이 중요 검토 사항이었다.

즉 Laos인 경우는 지질학적 으로 댐 개발 조건이 문제되는 점은 별로 없는 편이며 미얀마는 지진, 활성단층, 석회암 분포 지역이 분포, 파키스탄인 경우는 지형적으로 급경사면이 많고 미고결 빙퇴적물의 분포 및 지진활성지역 분포로 인한 문제점들이다.