

# 울산의 젓줄이된 대곡댐 건설사업

홍 학 표<sup>\*1</sup>, 이 용 재<sup>\*2</sup>, 이 재 연<sup>\*3</sup>, 여 규 권<sup>\*4</sup>, 김 길 수<sup>\*5</sup>

## 1. 들어가는 말

우리나라 수자원의 특성은 년 평균 강우량이 1,280mm 정도로 세계 평균에 비하여 다소 높은 수준이나 연도별, 지역별, 계절별 강우량의 변화폭이 커서 물 관리에 매우 불리한 상태이다. 특히 전체강우량의 70%가 6~9월에 집중되어 여름철에는 홍수, 겨울철과 봄철에는 가뭄이 빈발하고 여름철에 집중되는 강우는 대부분 바다로 흘러가므로 전체 수자원의 26%만이 용수로 이용 가능한 실태이다. 그러므로 UN에서는 우리나라를 물 부족국가로 분류하고 있다. 우기시 치수능력과 건기시 이수능력을 획기적으로 증대시킬 수 있는 댐 건설은 수자원 확보에 가장효과적인 방안이지만 여러 가지 여건으로 현재 우리나라의 댐건설은 상당히 미진한 실정이다.

대곡댐 사업(울산권 광역상수도사업)은 낙동강 수

질관리개선 대책의 일환으로 울산지역의 깨끗하고 안정된 생활 용수공급을 위하여 추진되었으며, 맑은 물 공급차원에서 당시 공업용수를 식수원으로 사용하고 있는 사연댐을 생활용수 수원으로 전환하고, 신규 취수원으로 대곡댐을 건설하도록 계획하여 시행되었다.

본 대곡댐의 건설은 1994년 3월 실시설계를 시작하여 1999년 4월에 본공사를 착공해서 2004년 10월에 담수를 시작하였고 2005년 6월 17일 준공을 하였다. 사업효과는 울산지역에 하루 90,000m<sup>3</sup>의 맑고 깨끗한 수돗물을 안정적으로 공급하므로써 급수인

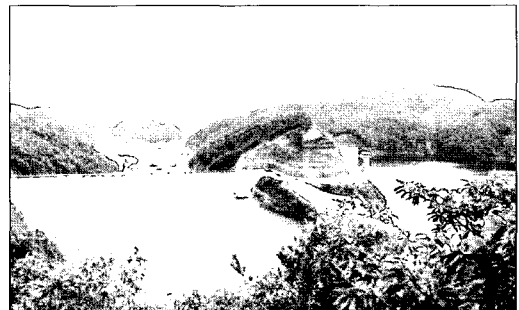


그림 1. 대곡댐 전경

\*1 삼부토건(주) 토목본부 본부장

\*2 삼부토건(주) 토목부 이사

\*3 삼부토건(주) 토목부 현장소장

\*4 삼부토건(주) 기술연구실 차장(moonju@sambu.co.kr)

\*5 삼부토건(주) 기술연구실 대리

## | 울산의 젓줄이된 대곡댐 건설사업 |

구를 당초 83만명에서 114만명으로 증대시키며 삶의 질 향상에 기여하게 되었다.

### 2. 사업 개요

- 유역면적 : 57.5km<sup>2</sup>
- 총 저수량 : 28,500,000m<sup>3</sup>
- 댐 형식 : CFRD(콘크리트 표면 차수벽형 석괴 댐), 높이 = 52m, 길이 = 190m
- 여수로 : Radial Gate 3문
- 가배수터널 : 직경 = 3m, 길이 = 209m,
- 취수탑 : 높이 = 39.3m, 내경 = 4.0m
- 도수관로 : 연장 = 3,200m
- 이설도로 : 연장 = 3,000m

### 3. 지질특성

본 지역의 지질특성은 경상계 신라통의 퇴적암류(대구층)와 이를 관입, 또는 분출한 화산암류와 상기 신라통의 제 암층을 관입한 불국사통의 화성암류로 주로 구성되어 있다. 최하부층인 대구층은 언양을 지나는 언양단층 동부 일원에 널리 분포되어 있다.

하부는 암록색, 녹회색 암회색의 사암, 실트스톤, 사질실트스톤, 사질세일 및 세일이 우세하며 조사대상 지역에 해당되는 하부층은 자색의 사질실트스톤, 실트스톤, 사질세일, 세일 등이 우세하며, 녹회색 내지 암회색 및 암녹색회색의 사암, 사질실트스톤, 실트스톤, 사질세일 및 세일 등과 호층을 이루고 있으며, 담회색의 이암이 박층으로 협재되어 있다. 언양단층 서쪽부분을 접하고 있는 화성암류는 경상계 신라

통의 안산암질암, 석영안산암류 및 반암류 등이 대부분이며, 상기의 퇴적암류와 화산암류를 관입한 불국사통의 화성암류로 구성되었다. 불국사통의 화성암류는 주로 화강암(언양 화강암, 흑운모 화강암)이며, 화강섬록암, 반암류 및 맥암 등으로 분포하고 있다.

### 4. 댐 시공

대곡댐은 태화강 수계의 제 1지류인 대곡천의 중류에 위치하며 댐 지점의 좌안은 급경사인 사행하천의 U자형 계곡에 계획되었다.

그림 2의 표준 단면도와 같이 대곡댐은 콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(CFRD)의 형식으로 축조재료는 양질의 화강암 석산에서 개발한 암을 사용하였고 일부 구간은 현장에서 발생된 유용암을 이용하여 축조하였다.

#### 4.1 CFRD의 특성

CFRD의 특징은 우리나라와 같이 암석자원이 풍부한 경우 다른 댐 형식에 비하여 여러 가지 장점이 있다. 먼저 축조 재료의 구득이 쉽고 댐의 사면경사를 급하게 할 수 있으므로 경제적인 설계가 가능하고 댐 축조시 기상의 영향을 비교적 적게 받으므로 전천후 시공이 가능하여 공기를 짧게 할 수 있다. 또

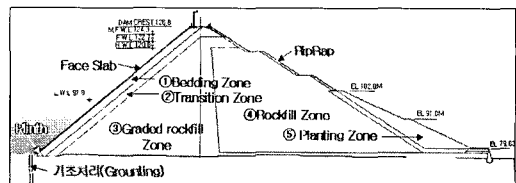


그림 2. 댐 단면도

표 1. Zone별 특성

Zone	기능	재료(최대입경)	시공두께
Zone 1(Bedding Zone)	차수벽을 지지하는 기초	75mm	t=30cm
Zone 2(Transition Zone)	급격한 입도변화 방지 필터층	150mm	t=50cm
Zone 3(Graded Rockfill Zone)	담수시 대부분의 하중 담당	800mm	t=100cm
Zone 4(Sub Rockfill Zone)	Zone 3을 기능 보조	600mm	t=80cm
Zone 5(Planting Zone)	친환경 조성목적으로 식재 가능한 지반조성	양호한 사질토	

표 2. Zone별 시공방법

구분	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	RipRap
재료원	석산암 쇄석+골재원	석산암 쇄석	석산암	여수로 암유용	토취장	석산암
재료규격 (최대크기)	75mm	150mm	800mm	600mm	식생에 양호한 사질토	1m이상
재료운반	석산 → CP CP → 본댐	석산 → CP CP → 본댐	석산 → 본댐	여수로 → 본댐	토취장 → 본댐	석산 → 본댐
투입장비	도자 37.5ton 굴삭기 D19 진동롤러 10ton	도자 37.5ton 진동롤러 10ton	도자 37.5ton 진동롤러 10ton	도자 25ton 진동롤러 10ton	램머 80kg	
다짐횟수	살수+6회	살수+6회	살수+6회	살수+6회	5회	
1층 포설두께	30cm	50cm	100cm	80cm	25cm	
상대밀도	87%이상	80%이상	85%이상	75%이상	90%이상	
기초정리	신선한 암반	신선한암반	풍화암층 정리	표토제거	표토제거	
투수계수(cm/sec)	$1 \times 10^{-4}$					
경계선 허용오차	상류비탈면 7.5cm	직각방향 ±30cm	직각방향 ±50cm	직각방향 ±50cm	하류비탈면 ±30cm	

한 그라우팅 공종이 Plinth 위에서 이루어지므로 댐 축조와 별개의 공정으로 추진할 수 있어 공기 단축이 가능하다.

그리고 큰 입경의 암석재료를 축조하므로 파이핑에 의한 누수에 대하여 저항력이 우수하며 구조적으로 안정성이 높고 댐 제체 내부에 간극수압이 발생하지 않는 구조로서 대형 암괴의 엇물림 작용으로 지진에 대한 안정성이 비교적 높다.

유수전환 계획시 공사중 가물막이댐이 월류 되는 경우에도 제체에 미치는 홍수피해가 필댐 형식보다 상대적으로 적으므로 낮은 빈도의 확률홍수량을 채택할 수 있다.

## 4.2 Zone별 시공

### 4.2.1 Zone 1(Bedding Zone)

#### 1) 개요

차수벽을 직접 지지하고 있는 Bedding Zone은 반투수성 벽을 만들어 차수벽의 균열이나 지수판 결합시 야기되는 누수를 댐 제체의 손상 없이 안전하게 통과시키는 것이 목적이다. Bedding Zone은 수압에 따른 차수벽의 거동과 침하, 누수에 대한 안정성 확보에 직접적인 영향을 주므로 일정한 투수성( $k=1 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ )을 유지하여야 한다. 즉, 담수시 제체변위로 인한 차수벽의 거동이 최소화 되도록 양호한

## | 울산의 젓줄이된 대곡댐 건설사업 |

입도분포를 갖는 재료를 사용하여야 한다.

### 2) 시공

Bedding Zone의 축조재료는 석산암 쇄석 50%와 모래 50%를 혼합설비로 혼합하여 최대크기 75mm로 규정된 입도에 맞도록 생산하여 사용하였다. 1층 높이는 30cm이하로 포설·다짐하면서 축조하였다. 상류 사면부는 40cm정도로 여성을 두면서 시공한 후 입도의 높이에서 정형하고 사면부 다짐을 실시하였다.

### 3) 사면다짐

Bedding Zone은 Face Slab(차수벽)을 지지하는 역할을 하므로 사면부 다짐 시 품질확보의 중요성이 요구된다. 따라서 시험시공을 통하여 다짐밀도를 측정하고 현장밀도시험을 하면서 사면의 다짐도 정도를 확인하였다. 상류사면의 다짐은 최적함수비(OMC)의  $\pm 2\%$  이내에서 1차 Mighty-pac으로 다짐을 실시하고 2차로 견인식 진동롤러(6ton)를 사용하여 총 전압횟수 6회 즉, 처음엔 무진동 2회, 다음은 상향시만 진동 4회로 다짐을 실시하였다. 마지막으로 사면을 정리한 후 3차 Mighty-Pac 다짐으로 마무리 하였으며 사면의 다짐밀도 측정은 그림 3에서와 같이 사면의 경사를 유지하면서 시험하는 방법으로 기존의 방법을 개량하여 실시하였다.

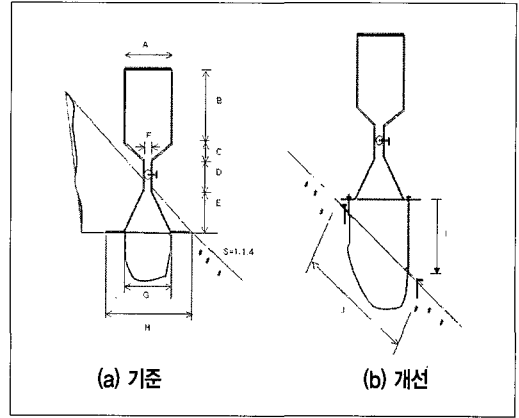


그림 3. 다짐밀도 시험기 개요도

### 4.2.2 Zone 2 (Transition Zone)

Transition Zone은 차수벽과 암석부 제체의 강성 차이로 응력이 차수벽과 Bedding Zone에 과도하게 집중되는 것을 방지하기 위하여 설치한다. 이를 위하여 공극의 크기를 제한하는데 이는 차수벽지지 Zone(Bedding Zone)재료가 암석재료의 공극 속으로 씻겨 들어가지 않도록 하는데 그 목적이 있다. 재료는 석산암을 파쇄하여 최대치수가 150mm로 생산·운반하여 입도가 양호하게 분포하도록 두께 50mm이하로 포설, 다짐하여 축조하였다. 축조 중에 Zone 2의 높이는 인접한 Zone 1 보다는 낮게, Zone 3 보다는 더 높게 유지하면서 시공하였다.

### 4.2.3 Zone 3 (Graded Rockfill Zone)

1)개요

표 3. 다짐 횟수별 현장밀도 측정

설 계 치		시 험 결 과(ton/m <sup>3</sup> )			비 고
단위중량(ton/m <sup>3</sup> )	φ	진동	무진동	2회	γ <sub>d</sub> max : 2,376 O.M.C : 7.9% Dr=86.9% γ <sub>d</sub> =2,244
2.21	45			2회	
				4회	
				6회	

## 지반구조물공 사례 ①

Graded Rockfill Zone은 차수벽을 균등하게 지지하기 위한 층으로, 수압과 댐 자중에 의하여 댐 제체에 작용하는 외력의 대부분을 지지한다. 침하나 변형을 최소화 시키기 위하여 양질의 암 재료와 입도분포가 양호한 재료를 사용하여 축조하였다.

### 2)시공

축조재료는 신선하고 단단하며 내구성이 있고 화학작용을 받지 않은 선별된 석산의 화강암을 개발하여 사용하였다. 층 두께는 100cm이하로 하며 재료 분리 없이 평평하게 포설하고 먼저 원활한 다짐을 위해 Racking을 하여 표면을 정리하고 점토덩어리 등과 같은 불투수성 재료 및 이물질이 혼입되지 않도록 하였다.

다짐장비는 10ton급 진동롤러로 4km/hr의 속도로 댐 축과 평행하게 주행하며 다짐을 하였으며 다짐장비는 일관된 다짐특성이 유지되도록 적절히 관리하였고, 다짐 시 축조재료의 엇물림 효과를 증대시키기 위해 축조물량의 20%정도를 고압분사방식으로 살수하면서 시공하였다.

### 4.2.4 Zone 4 (Sub Rockfill Zone)

Sub Rockfill Zone은 Graded Rockfill Zone의 보조 Zone으로 직접적인 외력을 받지 않으므로 재료의 선택에 다소 여유가 있어 비교적 조립의 석괴재로 구성되며 큰 투수성을 가진다. 본 현장에서는 현장에서 발생하는 암을 축조재료로 유용하였다. 축조는 Zone3의 시공방법과 거의 동일한 수준으로 관리하였다.

### 4.2.5 Zone 5 (Planting Zone)

Planting Zone은 댐 제체의 자연환경적인 조화를

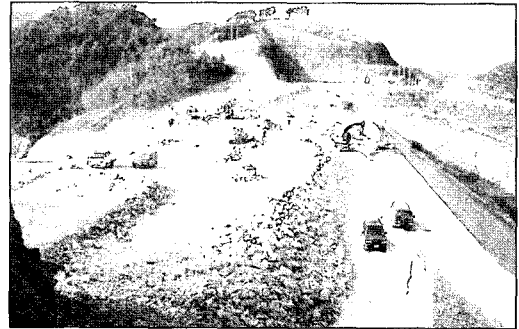


그림 4. 본 댐 축조 전경



그림 5. 좌안부 Clastic Dyke존제

고려하여 댐 제체 하류 비탈면에 조경식재를 위한 환경친화 Zone으로 시공하였다. 환경친화 Zone의 사면은 가급적 완만한 경사로 축조하였고 흙은 토양 시험을 통하여 조경식재가 가능한 흙을 선별하여 축조하였다.

### 4.3 본댐 좌안부 과다 여굴 발생

본댐 좌안부 시공시 지질적인 특성상 경암인 사암 내부에 거의 토사에 가까운 쇄설성 관입암(Clastic Dyke)가 분포함으로 사면 굴착시 법면부가 계속 떨어져 나오는 현상 즉, 수직절리군의 평면파괴 및 층리면의 전도파괴가 동시에 진행되는 현상으로 이러한 지층 특성에 의하여 좌안부 사면에 과 굴착이 발생되었다. 따라서 수평 및 수직시추조사를 실시한 후 채취된 시료에 의하여 역학시험을 수행하여 댐의 안정성 여부를 검토하고 좌안상단부에 Curtain

표 4. Clastic Dyke의 역학적 특성

구 분	역학적 특성	비 고
Clastic Dyke (쇄설성관입암)	<pre>                     graph LR                         A[세일] --&gt; C[단층확인]                         B[사암] --&gt; C                         C --&gt; D[세일은 압쇄되어 토사화 됨]                         C --&gt; E[사암은 인장응력에 의해 균열발생]                         D --&gt; F[관입]                         E --&gt; F                         F --&gt; G[토사와 암혼재]                     </pre>	

Grouting을 실시하였다. Clastic Dyke(쇄설성 관입암)의 역학적인 특성은 표 4와 같다.

#### 4.4 Face Slab

##### 1) 개요

Face Slab는 담수 후 저수지물의 흐름을 차단하기 위한 구조물로서 건설 중 또는 담수 시 발생하는 변형을 수용할 수 있도록 주변이음, 수축이음, 시공이음을 가진 철근 콘크리트 슬래브를 말한다. 콘크리트 표면 차수벽형 석괴면은 댐 제체를 암석으로 축조한 후 차수목적으로 댐 상류 사면부 전면에 콘크리트 차수벽이 설치된다.

##### 2) 시공

콘크리트 차수벽은 댐의 기능 중 가장 중요한 차수역할을 담당하는 구조물로서 충분한 내구성과 수밀성을 확보하여 구조적으로 안전해야한다. 따라서 흡수성이 작은 골재를 사용하고 혼화재료와 섬유보강재를 사용한 배합설계를 통하여 시공단계에서 콘크리트 운반, 치기, 다지기, 양생, 마무리 전 공정에 걸쳐 정밀시공을 하였다. 1Block을 경간으로 나누어서 프린스와 각각의 슬래브 조인트에 설치되는 삼각형 Starter Slab는 Main Slab 타설 보다 먼저 인력으로 시공하고 Main Slab는 전폭 Slip Form 장비에 의해 연속타설 하여 수평시공이음을 두지 않고 시공하였다.

##### 3) 댐 법면 콘크리트 타설을 위한 슬립폼 포장장치 개발

댐 법면 콘크리트 타설을 위한 슬립폼 포장장치는 댐 정상부에 구비된 레미콘 공급장치와 연결되어 철근이 배근된 댐 상류 사면을 따라 위로 이동하면서 연속적으로 콘크리트를 타설하는 장비이다. 본 장비는 슬립폼 포장장치에 자주형 레미콘 투입 컨베이어 세트가 설치되어 콘크리트가 자동적으로 균일하게 투입되도록 되어 있으므로 시공이 매우 간편하게 되며, 장치의 설치 및 분해작업이 매우 간편한 이점이 있다. 본 장치에 대하여 특허를 출원하여 등록이 되었다(특허 제0476477호).

#### 4.5 환경친화적인 댐건설

환경친화적인 댐 건설을 위하여 환경영향평가에 따라 환경보전대책을 수립하여 댐 주변을 공원화하고 쾌적한 친수공간을 조성하였으며 주변문화재와 조화를 이루어 관광명승지로 개발하였다. 댐 상류지역의 환경기초시설인 오수차집관로시설, 축산폐수처리시설, 하수종말처리시설 등의 신설 및 보강으로 수질오염대책을 100%완비하였다.

그리고 지역주민과 관계기관의 협의로 댐 수면만을 한정하여 상수원 보호구역으로 지정하고 지역주민의 자발적인 하천 정화운동으로 주민재산권과 생존권을 보호하는 일환으로 민·관 자발적인 협약체

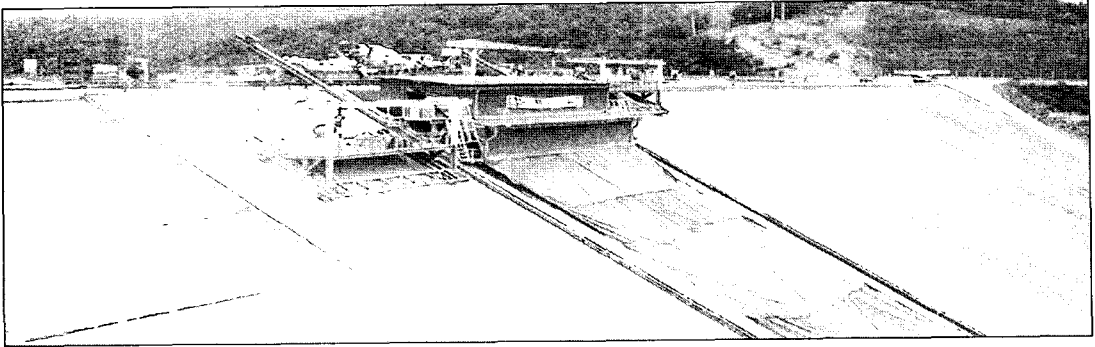
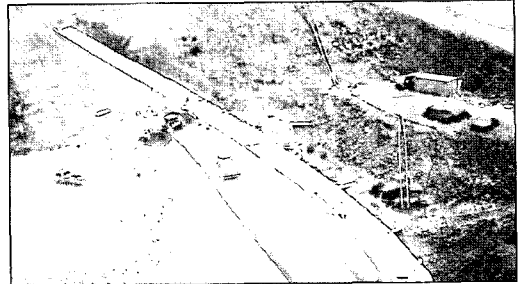


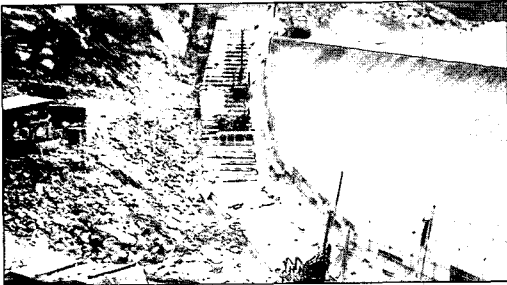
그림 6. 댐 법면 콘크리트 타설을 위한 슬립폼 포장장치



(a) 본댐 Plinth 시공



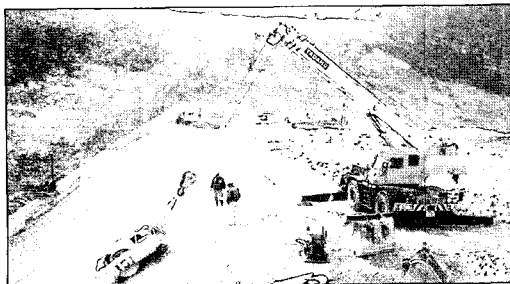
(b) Plinth 시공완료



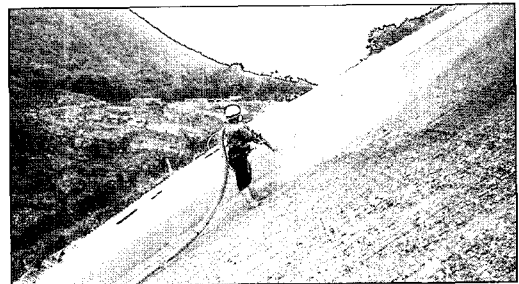
(c) 그라우팅 실시



(d) 본 댐 축조공사

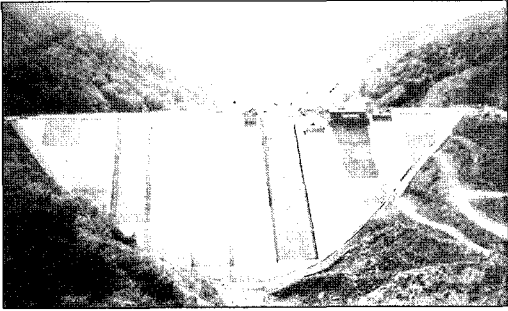


(e) 상류 사면부 다짐

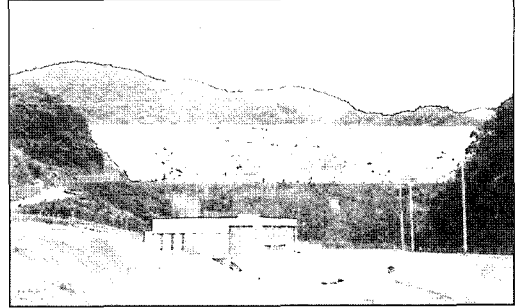


(f) 상류 사면부 슛크리트 타설

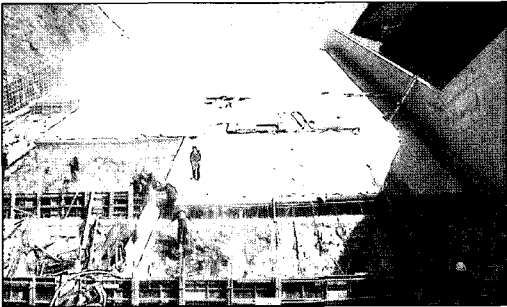
| 울산의 젓줄이된 대곡댐 건설사업 |



(g) Face Slab 콘크리트 타설



(h) 댐 제체 축조완료



(i) 여수로 콘크리트 타설



(j) 취수탑 콘크리트 타설

그림 7. 댐 시공사진

결로 항구적인 하천정화활동을 실시하도록 하였다.

#### 4.6 시공상 어려웠던 점 및 시공사진

##### 1) 문화재 발굴에 따른 공정 차질

대곡댐에 위치한 대곡천 수계에는 우리나라 선사 시대의 암각화 유적지(반구대 암각화, 천전리 각석)로 유명하다. 선사시대, 청동기시대, 삼국시대의 고분군 등 다양한 문화재가 다량 분포한 지역으로 문화재 발굴에 따라 착공 당시 1년여 동안 거의 시공을 하지 못하여 상당한 공정차질로 어려움을 겪었다.

##### 2) 집중호우와 태풍으로 코퍼댐 월류

설계홍수 25년 빈도기준을 상회하는 집중호우와

태풍으로 코퍼댐 월류가 2회에 걸쳐 일어났다. 2002년 8월 9일, 강우량 388mm의 집중호우와 2002년 8월 30일, 강우량 230mm의 태풍 '루사'로 코퍼댐이 붕괴되는 홍수피해로 물푸기와 코퍼댐 재시공 등의 어려움이 있었다.

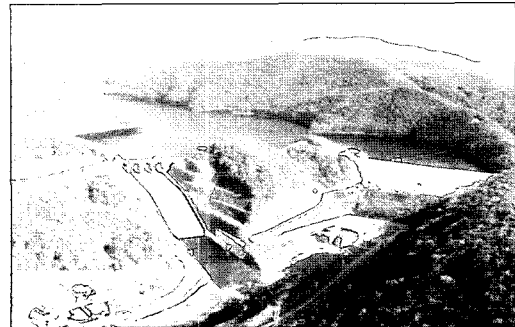


그림 8. 대곡댐 시공사진



## 5. 댄음말

물은 생명의 근원이다. 물은 인간생활에 가장 필수적인 재화이며 모든 산업의 기본이 된다. 최근 물 부족에 대한 정부 및 민간의 관심이 집중되고 있는 실정이며, 만약 물이 부족하게 되면 다른 재화가 부족하여 받는 고통보다 그 크기나 심각성에서 비교가 되지 않을 정도로 클 것이다. 우리나라 수자원 여건 상 물을 확보하는데 있어서 댄의 건설이 미래의 물 부족에 대응하기 위한 불가피한 대안이며, 앞으로 많은 댄 건설공사의 설계 및 시공이 이루어 질 것으로 예상된다.

그러나 댄 건설은 여러 가지 장점이 있는 반면에 수물 이주민 발생 및 환경파괴 등의 문제점을 내포하고 있어서 제약을 많이 받고 있다. 따라서 앞으로 대규모 댄 건설에 의존하는 것은 어렵게 되어 있는 것이 현실이다. 그러므로 친환경적이고 지속가능한 댄 개발로서 지역의 수자원 특성과 환경 등을 고려한 중소 규모의 댄이 지속적으로 건설해야 할 것이다.

울산의 젓줄이 된 대곡댄 건설은 특성화된 중규모 댄의 대표사례라고 볼 수 있다. 본 현장에서 그동안 대곡댄를 건설하면서 댄 축조부분에서의 시공측면을 간략하게 소개 했지만 CFRD는 이미 널리 알려진 공법이다. 그렇지만 대곡댄 건설은 무엇보다도 한층 발전된 CFRD공법의 기술적인 측면과 환경친화적인 댄으로 추진되었다는 점에서 성공적인 수행으로 본다.

향후 댄 건설시 본 대곡댄 시공사례는 친수공간 조성 및 생태계 보전을 위한 수자원 개발에 큰 도움이 될 것이라고 생각된다.

### 참고 문헌

1. 건설교통부(2001), 댄 설계 기준
2. 한국수자원공사(1998), 울산권 광역상수도 사업 설계보고서
3. 한국수자원공사(2001), 대곡댄 기초처리를 위한 지질조사보고서
4. 한국수자원공사(2001), 댄 좌안부 시공 실정보고서, p. 3~6

## 회비 납부 안내 (지로 및 온라인)

학회 사무국에서는 연중 수시로 회회비를 수납하고 있사오니, 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드립니다. 문의사항이 있으면 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.

• 은행 무통장(타행) 입금 국민은행 계좌번호 : 534637-95-100979 예금주 : 한국지반공학회

### • 지로용지 납부

2003년 5월 20일부로 금융결제원에 승인을 받아 한국지반공학회 회비도 지로용지 납부를 할 수 있게 되었습니다.

### • 지로용지 기입시 유의점

- 지로 장표상의 금액과 납부자 관련정보(회원번호, 성명, 납입금 종류 등)는 흑색볼펜으로 글씨체는 정자로 표기해 주시기 바랍니다.
- 납부금액란에는 정확한 위치에 정자로 아라비아 숫자만 기입합니다. 납부금액 앞뒤에 특정기호(W, -, \* 등)를 표시 할 수 없습니다.)

※ 지로용지를 못 받으신 분은 지반공학회 사무국(02-3474-4428/양윤희)으로 전화주세요