

# 콘크리트댐 비월류부 수치해석과 계측결과 비교

## The Comparison of Behavior by Instrumentation and Numerical Analysis on Non-Weir Concrete Dam

임정열\*                      오병현\*\*

Lim, Jeong Yeul    Oh, Byung Hyun

---

### ABSTRACT

In this study was compared with result of instrumentation and numeral analysis of non-weir of concrete dam to prepare a plan for total safety estimation method such as reliability estimation of numerical analysis result, characteristics of dam behavior and etc. The results of instrument analysis of displacement and stress on N.H.W.L was similar to that of numeral analysis.

---

#### 1. 서 론

콘크리트댐 내부에는 각 Block 별로 많은 계측기기가 묻혀있어 댐 내·외부의 하중작용에 따른 댐 거동을 계측결과를 통하여 비교분석하고 있다. 각 Block의 계측기기는 위치별, 심도별로 온도계, 응력계, 변위계, 개도계 등으로 대부분 수위조건에 따라 변화하는 값을 주로 검토하고 있으며, 각 계측기기는 관리기간을 단계적(공사중, 제1기, 제2기, 제3기)으로 나타내어 관리지속 여부를 판단하고 있다. 콘크리트댐의 안정성 평가는 일부 단면에 대해서 가능한 수위조건에 맞는 계측결과 값을 비교 검토해야 하지만, 현실적으로 수위조건과 가능한 단면을 일치시켜 비교하기는 현실적으로 어려움이 있다.

이에 따라, 콘크리트댐의 비월류부에 대한 수치해석 결과와 계측결과를 비교함으로써, 수치해석 결과의 신뢰성 평가와 댐 거동특성 등 종합적인 안전도 평가 방법에 대한 대책을 마련하고자 검토 해보았으며, 현재 전 콘크리트댐의 Block을 수치해석과 계측결과를 비교 검토한 자료가 마련되지 않아 앞으로 전 Block에 대한 비교분석 자료를 마련할 계획이다.

#### 2. 수치해석

##### 2.1 해석조건

본 댐의 해석조건은 표 1과 같으며, 적용 하중은 자중(단위 중량 2.3 t/m<sup>3</sup>)과 정수압을 적용하였다. 댐체는 재령90일 설계기준강도를 적용하여 내구년수 5년 이상에 대한 강도 증가계수를 사용하여 본 해석에 적용하였으나, 노후화에 대한 감소계수는 객관적인 실험결과가 없어서 적용하지 않았다. 댐 기

---

\* 수자원연구원 댐안전연구소 연구원

\*\* 수자원연구원 댐안전연구소 수석연구원

초부분의 물성값을 적용할 경우는 RQD 80%이상인 경암층으로 판단하여 해석에 적용할 수 있다. 본 연구에서는 지반물성에 대한 값을 적용하지 않았다.

본 댐에 적용한 경계조건은 기초 암반에 일체된 고정경계로 해석을 실시하였으나, 동적해석 및 정밀한 해석을 실시할 경우는 주변 지반을 고려하여 접촉요소를 이용한 해석이 필요할 것으로 판단된다.

표 1 대상댐 제원

Type	Concrete Gravity	Crest	EL. 181.0m
Height	96m	$W_c$	2.3 t/m'
Length	472m	$W_w$	1.0 t/m'
N.H.W.L	EL. 176.0m	$f_{ck}$	280 kg/cm <sup>2</sup>
L.W.L	EL. 140.0m	$\nu$	0.17

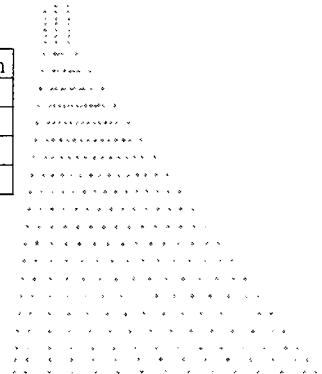


그림 4 대상댐 모델

### 2.2 해석 모델

본 해석 모델은 대상 모델댐에 대해서 FEM 해석을 수행하였으며, 적용 프로그램은 GT-STRUDL로 유한요소 모델은 3 node와 4 node를 갖는 모형을 이용하여 해석을 실시하였다. 본 해석 모델은 Joint 301개, Element 272개로 이루어져 있으며, 적용하중인 정수압은 댐 상류면에 직각으로 작용하는 것으로 해석을 실시하였다.

## 3. 수치해석 결과

### 3.1 계절적 요인에 대한 검토

본 수치해석 대상댐 경우는 휨 변위계(Plumb line device)가 설치되어 상·하류 방향 및 좌·우안 방향의 휨 변위량을 표고차에 대하여 측정하고 있다. 일반적으로 계측결과를 보면 수위가 상승하면 하

표 2 계절적 요인에 따른 변위 결과

구 분	상·하류 방향 휨 변위 계측치(mm)		비고
	'95년 6월 (평균수위 EL.144.89m)	'97년 12월 (평균수위 EL.165.47m)	
변위량(계측)	-5.10	+3.90	+ : 하류
수치해석	-3.10	+1.00	- : 상류

류측, 수위가 하강하면 상류측으로 변위가 발생하는 현상을 보이고 있으며, 표 2에서 계절적 요인에 따른 변위 결과를 나타내었다.

계절에 따른 변위 결과는 저수위와 대기온도의 변화에 따른 변위 경향을 비교해보고자 수치해석값과 계측결과를 선택하여 비교해 보았다. 계측치와 수치해석상의 차이는 수위조건에 따른 양압력의 차이로 판단되나, 대기온도에 따른 계절적인 변화의 양상과는 비슷한 경향을 보이고 있다. 그림 2와 그림 3은 계절적인 변화에 따른 댐의 거동 경향을 보이고 있다.

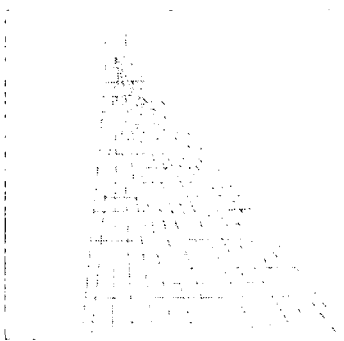


그림 5 '95. 6 변위 경향

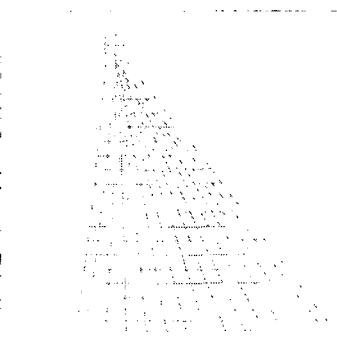


그림 6 '97. 12 변위 경향

### 3.2 수치해석과 계측결과 비교

본 연구에서 수치해석과 계측결과에 대한 비교는 상시만수위시를 기준으로 하였으며, 계측결과

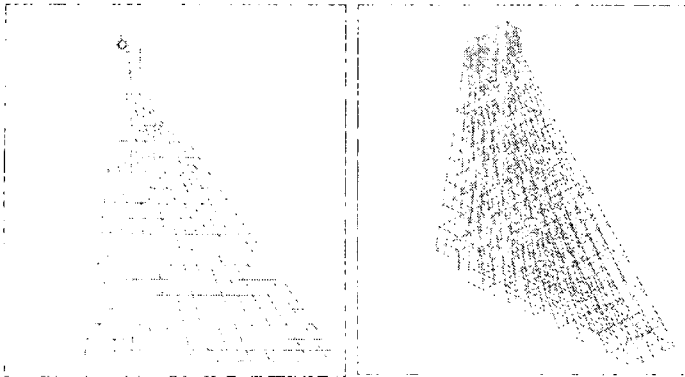


그림 7 변위도(상시만수위)



그림 8 변위도(3D)

가능한 상시만수위에 가까운 수위를 선택하여 분석하였다. 수치해석결과 댐체에 발생하는 변위도는 <그림 4~5>와 같고, 계측위치(● EL. 178.0m)에서 변위는 약 2.71mm, 3.59mm 정도 댐 하류방향으로 발생하고 있다.

본 변위결과의 비교는 상·하류 방향 휨 변위 계측치와 상시만수위에 근접한 월평균 저수지 수위시 2개를 선택하였으며, 비교결과는 표 3과 같다.

기존 해석결과는 기초지반(기초아래 50m까지)을 포함한 결과로 댐체 자중에 의한 지반 변위를 포함하여 계측값과 댐체만을 수치해석한 결과보다 조금 큰 값을 나타내고 있으나, 전체적으로는 유사한 경향을 보이고 있으며, 댐체 계측값의 허용범위(±6mm)는 만족하고 있다.

표 3 계측결과와 상시만수위시(EL. 176.0m) 수치해석결과 비교

구 분	상·하류 방향 휨 변위 계측치		정밀안전진단 (EL.176.0m)	본 연구 (EL.176.0m)		비고
	'97년 8월 (수위 EL.170.64m)	'99년 10월 (수위 EL.171.58m)		2차원	3차원	
변위량	+3.90	+3.52	+5.3	+2.71	+3.59	+ : 하류 - : 상류

### 3.3 계측값과 수치해석 결과 응력 비교

본 수치해석결과 상시만수위시(EL. 176.0m) 댐에 발생한 응력은 나타내면 <그림 6~8>과 같으며, 본 해석단면(Block 9)에는 응력에 대한 계측결과가 나타나 있지 않아, 계측결과는 피어부(Block 11)의 응력 결과로 댐에 발생하는 응력 경향과 값의 검증차원에서 비교를 하고자 한다.

측정된 응력값의 매설계기의 위치는 댐 상류(I, ●), 하류부(II, ○)로 구별하여 값을 나타내었으며, 계측결과 값은 년도별로 측정된 값을 근거로 나타내었다. <그림 6~8>에서와 같이 x, y 방향의 발생 응력 중 최대압축응력은 y 방향으로 14.5kg/cm<sup>2</sup>이고, 최대인장응력은 x 방향에서 2.1kg/cm<sup>2</sup>가 발생하지만, 허용인장응력(7.0kg/cm<sup>2</sup>)내의 값을 보이고 있고, <그림9~10>에서는 x, y 방향의 발생응력 중 최대 압축응력은 y 방향으로 14.9kg/cm<sup>2</sup>이고, 최대인장응력은 x 방향에서 4.2kg/cm<sup>2</sup>가 발생하지만, 허용인장응력(7.0kg/cm<sup>2</sup>)내의 값을 보이고 있다.

<그림 11> 계측결과는 본 단면에서 신뢰성이 있다고 판단되는 기간 중 최대값이며, 수치해석결과는 매설계기와 동일한 위치의 결과를 나타낸 값으로, 정밀안전진단 및 본 연구 결과 모두 허용기준치 이내에 있다. 댐의 거동경향과 응력상태를 볼 때 댐의 안전성은 문제가 없는 것으로 판단된다.

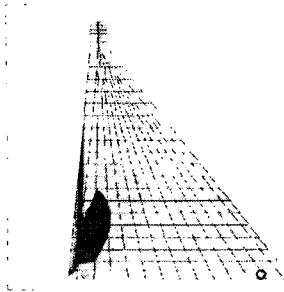


그림 9 x 방향 응력(상시만수위)

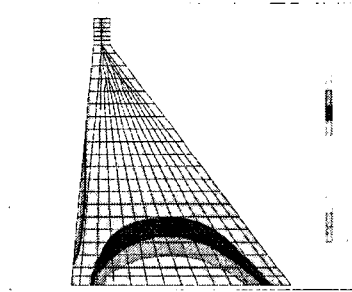


그림 10 y 방향 응력(상시만수위)

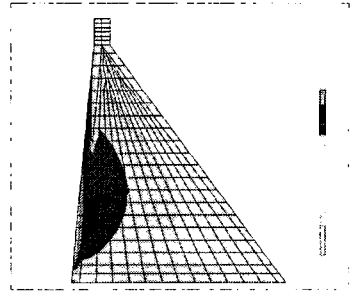


그림 11 최대주응력(S1)

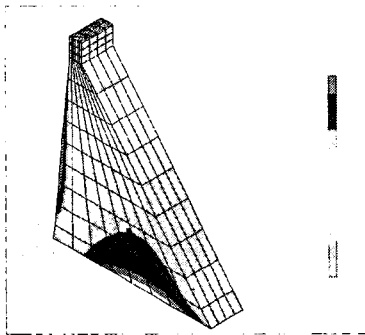


그림 12 y 방향 응력(상시만수위)

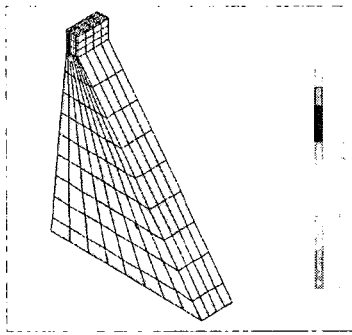


그림 13 최대주응력(S1)

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 계측결과와 수치해석 결과를 비교하여 콘크리트댐 변위와 응력 경향을 분석하고자 하였다.

1. 계절에 따른 수위차는 댐 전체 거동에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 본 연구에서 역시 하절기인 경우 수위저하와 대

기온도 증가로 인하여 상류방향으로 거동을 보였으며, 동절기에는 수위상승과 대기온도 감소로 인하여 하류방향으로 거동함을 알 수 있다.

2. 상시만수위에 근접한 수위에서 비월류부 상·하류 방향 휨 변위 계측결과 댐 상부(EL.178.0m)에서 변화하는 값은 기존 해석결과 및 본 연구와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 허용기준( $\pm 6\text{mm}$ )에 만족하고 있다.

3. 상시만수위시 응력은 계측결과와 가장 근접한 위치에서의 해석결과(기존 결과 및 본 연구) 모두 압축,

인장응력 모두 만족한 결과를 보이고 있으며, 이 계측 결과는 가장 신뢰성이 있다고 판단되는 최대값이며, 댐의 안정성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

4. 본 연구에서는 콘크리트댐 비월류부에 대한 계측결과와 해석결과를 비교하였으나, 추후로는 월류부, 피어부에 대한 각 계측기기 위치별로 검토를 실시하여 DB화를 갖출 것이며, 또한 콘크리트댐 개도 부분에 대한 미세거동 분석을 실시하고자 한다.

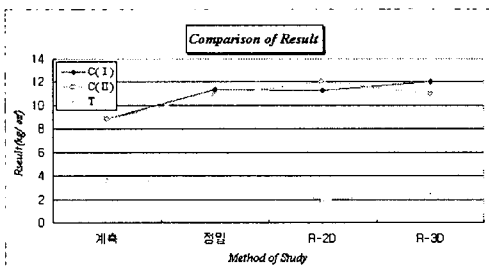


그림 14 계측결과 비교

#### 참고문헌

1. 한국수자원공사, "00댐 정밀안전진단", 보고서, 2000.
2. 건설교통부, 댐설계기준, 2001.
3. GT-STRU DL user's Manual.