

대기온도에 의한 콘크리트 댐의 변형 특성

Deformation Properties of Concrete Dam

by Atmosphere Temperature

방 기 성* 송 영 철** 최 홍 식*** 이 기 성**** 이 원 창*****
Pang, Gi-Sung Song, Young-Chul Choi, hong-Shik Lee, Ki-Seong Lee, Won-Chang

ABSTRACT

This paper summarized deformation properties of hydroelectric power concrete dam through the comparison between measured and analysed data. This is a part of the process to evaluate concrete dam safety, which has become a critical concern in the country. We analysed strain and angle deformation data by considering only the effect of atmosphere temperature to evaluate deformation properties of Gaisan hydroelectric power concrete dam.

Analysis results are almost identical with measured data, and behavior of Guisan dam can be cleared up more reliably in case of acting the external loads(seismic, wind, water pressure, etc.) except the influence of temperature

1. 서 론

담은 사회적으로 매우 중요한 반영구적 구조물로서 파괴시에 막대한 재해를 가져다주기 때문에 이를 사전에 예방하기 위해 사용중 댐의 안전성을 확보함은 대단히 중요하다. 이의 일환으로 댐에는 변형(Strain), 수압등의 안전에 영향을 미치는 인자를 상시 감시(Monitoring) 하기 위해 각종 계측기를 매설하여 자료를 취득하고 이를 분석 하므로써 댐의 안전성을 확보하고 있다. 그러나 이러한 계측값에는 온도, 저수위, 풍속등 많은 외적사용 환경요인이 영향을 미치게 됨에 따라 이를 고려한 댐 계측 운용 관리기준을 마련함은 그리 쉬운일이 아니다. 따라서 본 연구에서는 댐 계측 데이터를 분석한 결과 댐 구조물의 변형에 가장 크게 영향을 미치고 있는 대기온도 변화에 따른 댐의 거동 특성을 계측과 수치해석을 통해 비교 분석하였다. 이를 위한 대상구조물은 콘크리트 중력댐인 괴산댐으로 하였으며 계측자료는 콘크리트 피어(Pier)의 표면부에 설치된 변형을 및 각변위계로부터 1년간에 걸쳐 취득된 데이터를 활용하였다. 또한 수치해석은 대기온도 변화시 콘크리트댐이 탄성범위 내에서 거동한다는 가정하에 3차원 유한요소 해석을 수행하였다.

2. 계측기 현황

괴산댐의 경우 건설당시 매설된 계측기는 없으며 수력발전소댐 계측 및 자동화 설비설계 당시 간극 수압계, 각변위계 및 변형률계가 설치되었으며 그 현황 및 매설위치는 각각 다음 표 1 및 그림 1과 같다.

* 정회원, 한전 전력연구원 선임연구원 ** 정회원, 한전 전력연구원 책임연구원
*** 정회원, 충청대학 토목공학부 교수 **** 비엔티 엔지니어링 상부이사
***** 비엔티 엔지니어링 내리

이번 연구에서는 긴급수압계를 제외한 각변위계 및 변형률계의 계측치만으로 해석치와의 비교분석을 실시하였다.

표 1 계측기의 현황

구분	개수	형식	설치위치
간극수압계	3	진동현방식	피어 3, 5, 7 EL 100.5m
각변위계	3	전위차감응식	피어 3, 5, 7 EL 138.5m
변형률계	4	진동현방식	피어 3, 7 EL 130.5m

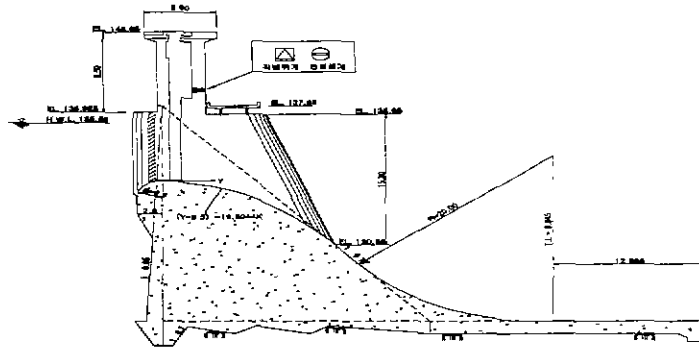


그림 1. 계측기의 매설위치

3. 해석조건

3.1 해석조건 및 모델링

본 해석에서 사용한 조건은 다음 표 2와 같다¹⁾.

표 2 해석조건

압축강도	206 kgf/cm ²	인장강도	27 kgf/cm ²
프와솜비	0.2	탄성계수	197000 kgf/cm ²
단위중량	2300 kgf/m ³	열팽창계수	0.00001 /°C
열전달계수	2.6749 W/m°C	비열	0.25 kcal/kg°C

해석프로그램으로는 Ansys를 사용하였으며 사용요소는 콘크리트 전용 3차원 요소인 Solid65를 사용하였다. 모델링은 총 Node 18761개 및 Solid65 요소 72164개로 피산뎀을 형상화 하여 3차원 모델링하였으며 구현된 형상은 다음 그림 2와 같다.

3.2 하중재하

온도하중은 대기온도와 접촉하는 표면에는 대기온도를, 지반과 접촉하고 있는 표면에는 지반온도를, 저수와 접촉하고 있는 표면에는 수온을 각각 적용하였다.

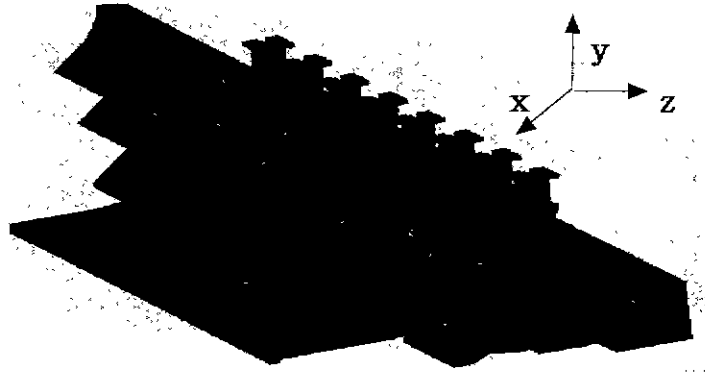


그림 2 과산댐의 3차원 모델링

온도하중은 일평균 일조시간을 8 시간으로 가정하여 온도를 적용한 후 8시간 후의 변형률 분포를 산정 하였으며 댐체 내부의 콘크리트 온도는 10℃로 일정하게 유지시켰다. 지반과 접하는 부분은 모두 고정지점으로 가정하여 경계조건을 적용하였다^{2), 3)}.

표 2 하중재하조건

구분	콘크리트 표면온도(℃)	지반온도(℃)
TLC1	-30	0
TLC2	-30	10
TLC3	-30	20
TLC4	10	0
TLC5	10	10
TLC6	10	20
TLC7	40	0
TLC8	40	10
TLC9	40	20

4. 해석 결과 및 분석

4.1 변형률계 해석결과

변형률계 매설 위치의 해석결과는 표 3 및 그림 3과 같다. 그림 3은 수온 및 지반의 온도를 기준으로 대기온도를 변화시켜 나타낸 것이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 Pier3 과 Pier7의 거동 차이는 크게 없는 것으로 나타났으며 수온 및 지반의 온도보다는 대기온도의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 특히 계측기 매설위치에서는 수온 및 지반의 온도영향이 비선형적으로 나타나며 0℃ 및 20℃에서는 비슷한 값을 나타내는 반면 오히려 10℃부근에서는 가장 작은 값을 나타냄을 알 수 있으며 이는 콘크리트 내부의 온도를 10℃로 가정하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 대기온도를 10℃로 가정하여 해석하였을 때는 수온 및 지반의 온도가 변화하여도 변형률의 발생이 거의 없는 것으로 나타났는데 이는 변형률계의 부착위치를 고려해 볼 때 수온 및 지반의 온도영향보다는 대기 온도의 영향이 훨씬 크기 때문인 것으로 사료된다.

표 3 매설위치에 따른 Load Case별 해석결과

(단위 : $\mu\epsilon \cdot 10^{-6}$)

구분	LC1		LC2		LC3		LC4		LC5		LC6		LC7		LC8		LC9	
	Pier3	Pier7	Pier3	Pier7	Pier3	Pier7	Pier3	Pier7	Pier3	Pier7	Pier3	Pier7	Pier3	Pier7	Pier3	Pier7	Pier3	Pier7
x방향 변형률	-248	-236	-336	-313	-337	-313	1	1	0	0	-16	-15	185	175	98	99	183	173
y방향 변형률	-176	-206	-134	-161	-138	-165	2	2	0	0	31	31	128	150	184	184	124	146

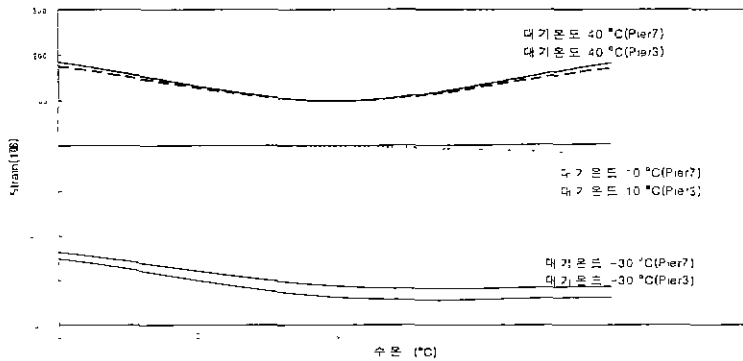


그림 3 Pier3 및 Pier7의 대기온도별 변형률 분포

다음 그림 4는 대기온도를 기준으로 수온 및 지반의 온도를 변화시켜 나타낸 것이다 역시 대기온도가 증가할수록 변형률이 증가하는 것으로 나타났으며 Pier3와 Pier7의 결과치에는 큰 차이가 없으므로 나타났다. 각 Pier의 해석결과를 회귀 분석하여 얻어진 결과를 실제 계측자료와 비교하여 나타내면 다음 그림 5 및 그림 6과 같다

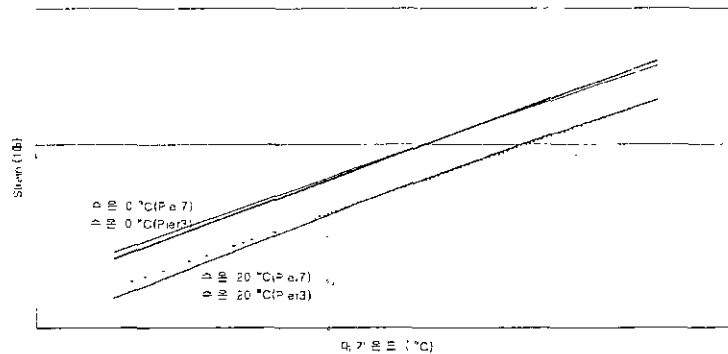


그림 4 Pier3 및 Pier7의 수온별 변형률 분포

그림 5와 같이 Pier 3의 온도분포별로 나타난 변형률 해석결과를 실측치와 비교한 결과, ST1의 경우 일정한 해석 경계 내에 들어가나 ST2의 경우, 선형은 같으나 98년 12월부터 99년 3월 사이의 실측치는 해석경계를 약간 벗어나는 것을 알 수 있다. 이는 계측기 내부의 오차뿐만 아니라 해석시 저수위의 변동 및 풍속 등의 영향인자들을 고려하지 않았기 때문에 발생한 것으로 저수위 및 풍속등을 고려하고 계측치를 모두 해석 경계 내에 존재하도록 할 수 있을 것으로 판단된다.

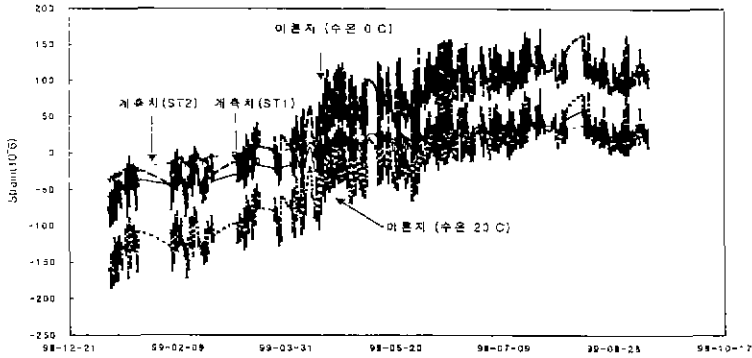


그림 5. 계측치와 이론치의 변형률 비교(Pier3)

또한 그림 6에서 Pier 7의 온도분포별로 나타난 해석결과를 실측치와 비교한 결과, 실측치가 모두 일정한 해석 범위 내에 들어가는 것으로 나타났다.

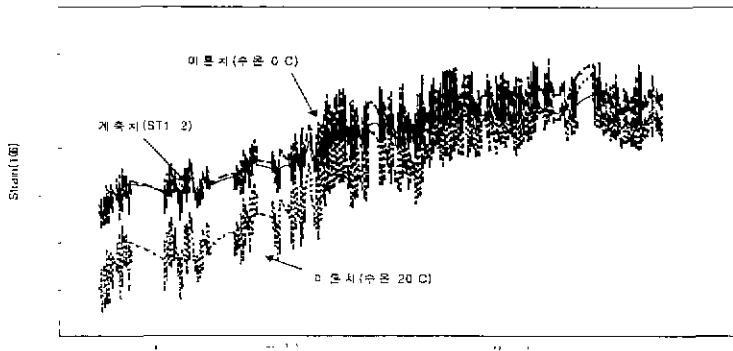


그림 6. 계측치와 이론치의 변형률 비교(Pier7)

4.2 각변위계 해석결과

Pier3의 각변위계에 대한 해석결과는 그림 7과 같다. 변형률계의 해석결과와 마찬가지로 수온 및 지반의 온도보다는 대기온도의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 또한 열팽창 계수 및 기타의 조건을 선형으로 가정하였으나 해석결과는 선형으로 나타나지 않은 것은 댐체의 기하학적 비선형성에 인한 것으로 사료된다. Pier5 및 Pier7의 해석결과는 실측치의 결과가 신빙성이 없기 때문에 생략하였다.

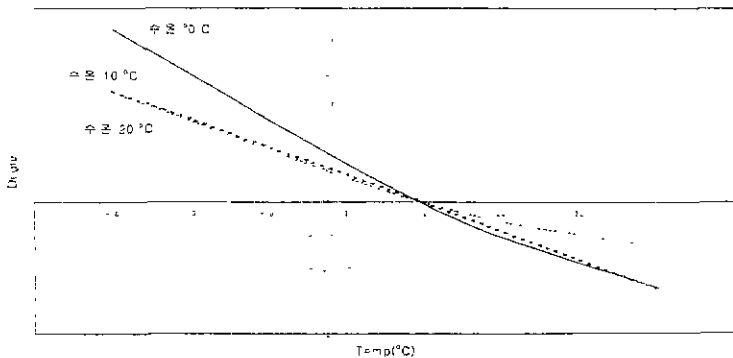


그림 7. Pier3의 수온 및 지반온도별 각변위 분포

Pier3의 각변위 해석결과를 회귀 분석하여 얻어진 결과를 실제 계측자료와 비교하여 나타내면 다음 그림 8과 같다. Pier 3 의 온도분포별로 나타난 각변위 해석결과를 실측치와 비교한 결과, 수온 및 지반온도를 각각 0℃와 20℃로 가정하여 얻어진 해석경계 내에 실측치가 위치함을 알 수 있다. 또한 99년 5월 이후에 해석경계의 폭이 증가하는 것으로 나타났으며 이는 그림 7의 해석결과에서 보듯이 대기온도가 20℃이상일 때 변곡점이 발생하기 때문인 것으로 사료된다

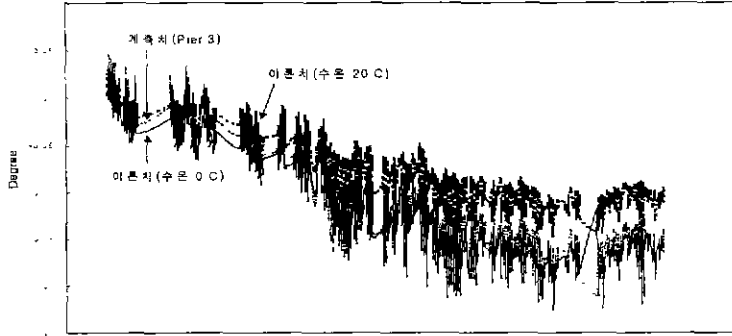


그림 8. 계측치와 이론치의 각변위 비교(Pier3)

5. 결론

피산 댐의 안전성을 평가할 수 있는 계측치 관리기준을 수립하기 위해 대기온도만에 의한 수치해석을 수행하였으며, 해석치와 계측치와의 비교분석 결과는 다음과 같다.

- (1) 대기온도를 -30℃ ~ 40℃까지 변화시켜 가며 해석을 실시한 결과 이론치와 실측치의 경향이 잘 일치하는 것으로 나타나 대기온도의 변화가 콘크리트 댐과 같은 대형구조물의 거동에 크게 작용함을 알 수 있었다.
- (2) 피어3의 ST2 경우 일부 실측치가 해석치를 약간 상회하는 것으로 나타났으나 이는 저수위 및 풍속등의 영향을 고려하지 않아 발생한 것으로 판단되며 이를 고려하여 해석한다면 전체적으로 잘 일치할 것으로 예상된다.
- (3) 본 연구를 통해 대기온도만에 의한 콘크리트 댐 구조물의 변형 특성을 파악하게 됨으로서 정수압, 풍압, 지진 및 양압력 등의 외부하중을 적용하여 해석할 경우 보다 신뢰성 있는 댐 전반의 거동 특성을 파악할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 시설안전기술공단, 충북 피산군 피산댐 정밀안전진단보고서, 한국전력공사, 1999. 12
2. US Army Corps of Engineers, Fracture mechanics analysis of gravity lock monolith. ETL 1110-2-344, Department of the Army, Washington, D.C., 1993. 12
3. Federal Regulatory Commission Engineering guidelines for the evaluation of hydropower projects Technical report, Federal Energy Regulatory Commission, Oce of Hydropower Licensing, 1991. 10