

콘크리트 표면차수벽형 석괴댐(CFRD)의 거동해석 A Case Study on Deformation Characteristics of Concrete Face Rockfill Dam

김 훈¹⁾, Hun Kim, 정규정²⁾, Kyu-Jung Chung, 이왕곤³⁾, Wang-Gon Lee, 장중렬⁴⁾, Jung-Ryeol Jang

- 1) 한국시설안전기술공단 댐항만실 부장, General Manager, Dam Safety Division, Korea Infrastructure Safety & Technology(KISTEC)
- 2) 한국시설안전기술공단 댐항만실 차장, Manager, Dam Safety Division, KISTEC
- 3) 한국시설안전기술공단 댐항만실 과장, Assitant Manager, Dam Safety Division, KISTEC
- 4) 한국시설안전기술공단 댐항만실 대리, Staff, Dam Safety Division, KISTEC

SYNOPSIS : Instrumentation system in Concrete Face Rockfill Dam(CFRD) can give special attention to the deformation characteristics of the rockfill and behavior of the concrete membrane during construction, reservoir filling and subsequent phase of operation. It also contains data about vertical and transversal compressibility moduli of the rockfill, deflections in the concrete slab, and draws comparisons with other concrete face rockfill dams of recent construction. In this paper, the internal deformation data from D dam monitored by means of hydrostatic settlements cells are analyzed. Observations cover the construction stage, reservoir filling and up to March 1991. The above method can be concluded D dam was well constructed and maintained.

Key words : concrete face rockfill dam(CFRD), instrumentation system, compressibility modulus, reservoir filling, deformation, horizontal and vertical movement.

1. 서 론

국내 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐(Concrete Face Rockfill Dam ; CFRD) 형식으로 최초 축조된 댐은 1985년에 준공된 전남 화순군에 위치한 D댐이며, 그 이후로 평화의댐, 부안댐, 용담댐, 탐진댐, 밀양댐, 양양양수상부댐 등이 건설되었다. 이는 주재료인 암석을 비교적 쉽게 얻을 수 있어 동일 규모의 필댐에 비해 경제적인 설계가 가능하며, 댐축조시 기상영향을 적게 받아 공사기간도 유리하여 최근에는 CFRD 축조가 많이 이루어지고 있다. 그러나, CFRD는 현재 국내·외적으로 설계 및 시공방법에 따른 충분한 기술축적이 이루어지지 않은 상태이다.

일반적으로 댐을 축조하는 경우 댐체에는 각종 매설계기를 설치하고 계측기록을 측정 분석하여 댐체 안전성 여부 판단에 활용하고 있다. 매설계기의 계측목적중 댐 시공중의 계측은 댐 설계 및 시공상의 신뢰성을 확인하는 것이며, 준공이후 유지관리 단계에서의 계측은 댐의 이상거동에 대한 원인분석을 통하여 안전성 판단을 하게 된다.

본고에서는 D댐의 시공과정 및 초기 담수과정에서 계측된 댐체 변형 자료를 활용 CFRD댐의 거동특성을 파악하여 댐체의 안전성 평가방안에 활용코자 하였다.

2. D댐의 거동특성

2.1 댐 제원 및 재료특성

D댐의 내부 존 구분과 단면형태는 Fig. 1과 같다. 댐 축조에 사용된 재료는 여수로, 진입도로, 가배수로 및 도수관로 등의 굴착시 발생된 암을 유용하였으며, 각 축조재료의 시방은 Table. 1과 같다. 유용암의 암종은 분출암인 안산암(Andesite)으로서 강도와 마모율이 시험결과 큰 것으로 나타났다.

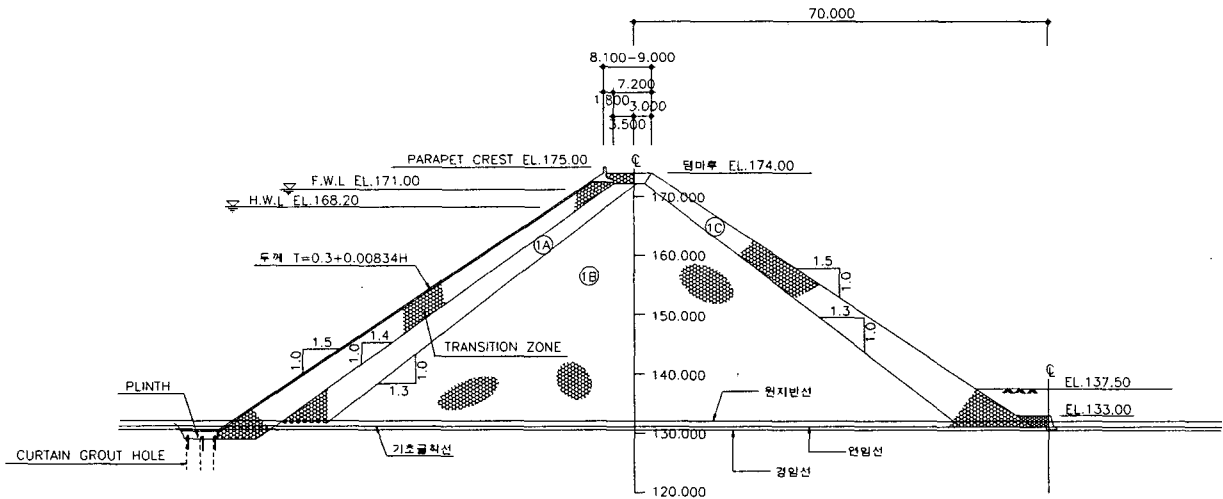


Fig. 1 Typical cross-section of embankment

Table. 1 Zoning of the rockfill dam

구분	골재 최대크기 및 입도	펼침두께(mm)	다짐회수(회)	다짐장비
트랜지션존	150 mm	300	수평 : 4 경사 : 6	수평층 : 17ton 진동로라 경사면 : 10ton 진동로라
존 1A	400 mm	500	4	17ton 진동로라
존 1B	800 mm 25% ≤ 75mm ≤ 75% #4 통과량 ≤ 25% 균등계수(U_{60}/U_{10}) ≤ 8	1,000	4	17ton 진동로라
존 1C	1,600 mm	2,000	4	17ton 진동로라

2.2 계측현황 및 계측결과

D댐의 내부변위 계측은 수위차식 상대침하계(Hydrostatic settlement cell)로 이루어지며, 댐 단면에서의 매설위치는 Fig. 2와 같이 배치하여 여러 존에서의 변위를 계측할 수 있도록 하였다. 댐체 내부 7개소(EL.160m에 3개소, EL.145m에 4개소)에 수직침하량을 측정하기 위한 수위차식 상대침하계는 3개의 튜브(물공급튜브, 배수튜브, 공기튜브)와 침하셀, 측정실, Manometer 등으로 구성된다. 계측방법은 물공급튜브를 통하여 침하셀과 Manometer에 물을 주입하여 Manometer 수위의 표고로부터 셀의 표고를 구한 다음, 댐 주변에 설치된 영구표석점으로부터 수준측량을 함으로써 상대침하계의 수직침하량을 구한다.

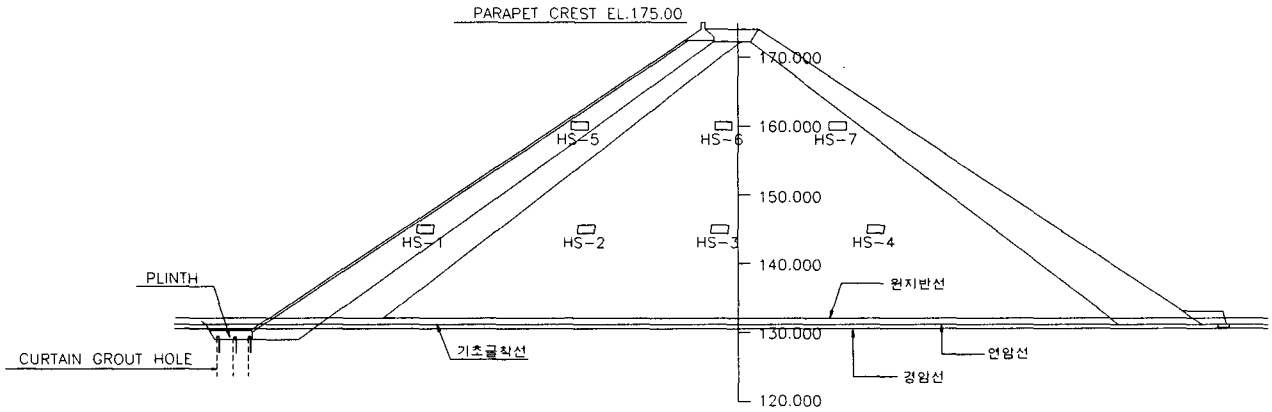


Fig. 2 Location of hydrostatic settlement cells

콘크리트 차수벽의 변형을 계측하기 위하여 차수벽 경사계가 설치되지 않은 경우에는, 담수기간동안 콘크리트 차수벽의 변형은 상류사면에 인접한 트랜지션존 내에 위치하는 침하 셀로 파악할 수 있다. 트랜지션존의 침하 셀은 정확도에서 차수벽경사계에 비하여 다소 떨어지는 것이 일반적이다.

Fig. 3은 침하 셀 계측자료 경시변화를 성토고 및 저수지 수위와 함께 도시한 것이다. 성토고 및 초기 담수와 함께 침하가 발생하였으며, 1986년 부터는 침하가 수렴된 양상을 보여주고 있다.

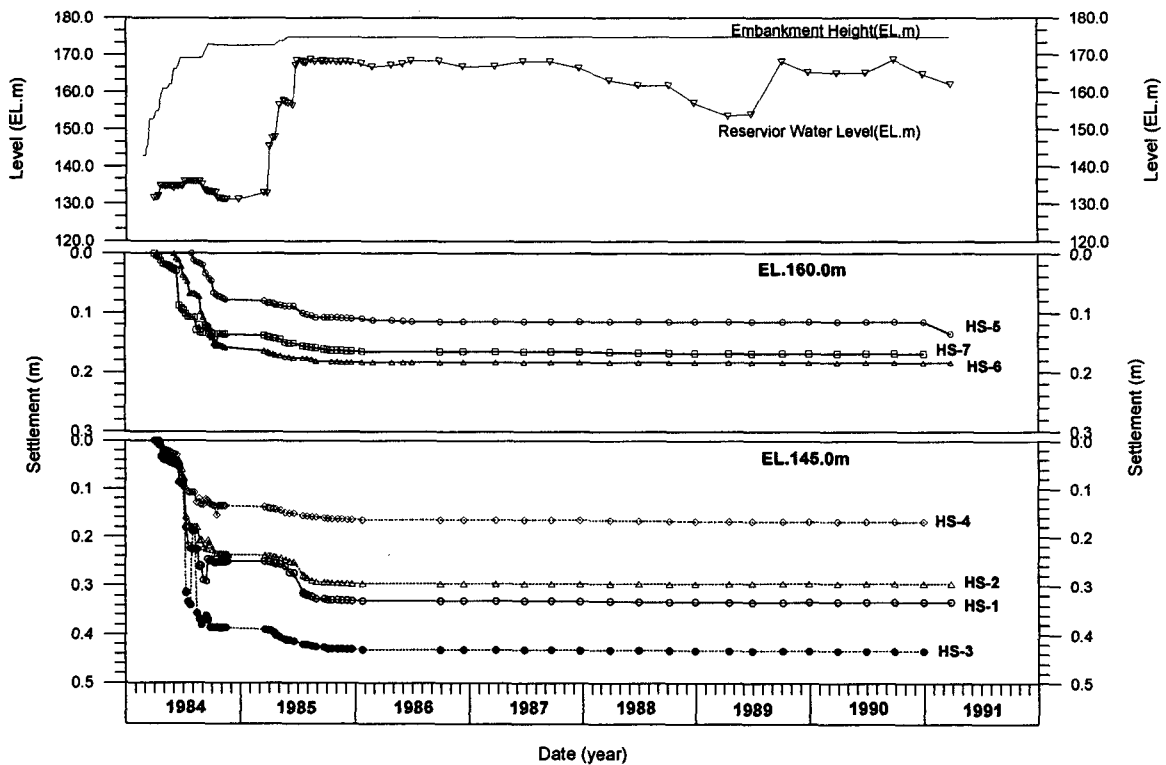


Fig. 3 Variation of deformations with time and reservoir level

상기의 변형량 계측기록으로 시공중 및 담수중 록필의 변형계수는 Fig. 4와 같이 표시할 수 있는 바에 따라 Fig. 5는 시공중 변형계수를, Fig. 6는 담수시 변형계수를 나타내었다. 시공중 변형계수는 평균 $1,195\text{kg/cm}^2$, 담수중 변형계수는 평균 $4,182\text{kg/cm}^2$ 로 산출되었다.

Modulus during construction
 $E_{rc} = \gamma \times H \times d / \delta_s (\text{kg/cm}^2) = E_v$

Modulus during reservoir filling
 $E_{rf} = h \times d / \delta_n (\text{kg/cm}^2) = E_t$

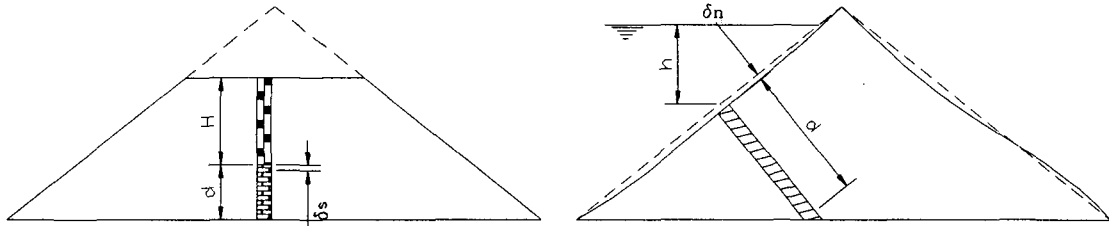


Fig. 4 Calculation of deformation modulus - Definition sketch

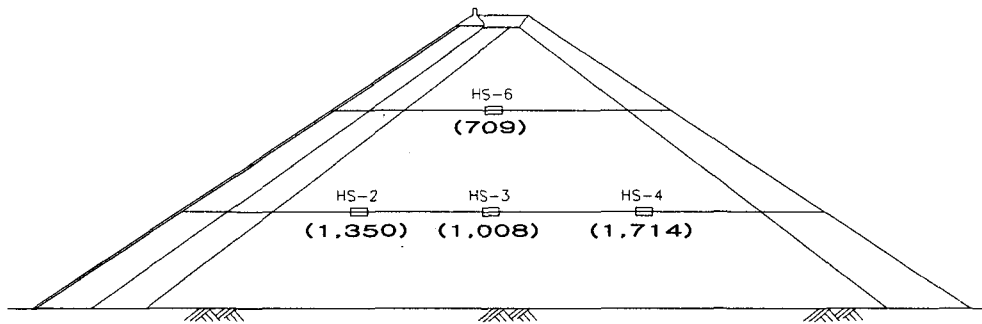
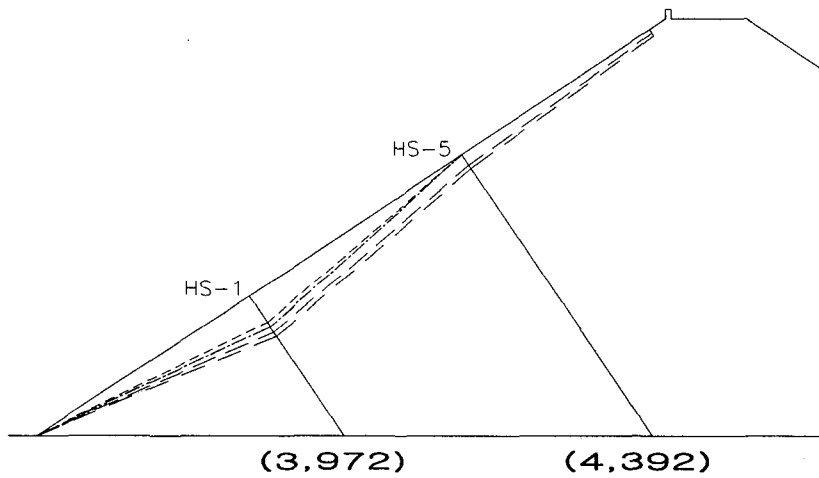


Fig. 5 Deformation modulus during construction



HS-	DEFLECTION(cm)			
	85/4/16	85/5/22	85/7/18	85/8/15
1	30.48	31.2	37.8	38.64
5	-	-	12.12	12.6
W.L. (EL.m)	147.58	157.5	168.29	168.66

Fig. 6 Deformation modulus during reservoir filling

2.3 거동특성 고찰

상기와 같이 계측자료를 이용하여 간략하게 산정한 변형계수를 국외 6개댐과 비교한 결과는 Table. 2와 같다.

Table. 2 Data about concrete face rockfill dam

댐	Cethana 오스트레일리아	Alto Anchicava 콜롬비아	Foz do Areia 브라질	Mackintosh 오스트레일리아	Murchison 오스트레일리아	Bastyan 오스트레일리아	D댐 한국
준공년도	1971	1974	1980	1981	1982	1983	1985
암종	Quartzite	Hornfels Diorite	Basalt-Bas. Breccia	Greywache Slate	Rhyolite	Rhyolite	Andesite
댐높이(m)	110	140	160	75	94	75	44.7
시공중 변형계수 E_v (kg/cm ²)	1,850	1,450	375	550	2,100	1,500	1,195
담수중 변형계수 E_t (kg/cm ²)	2,900	4,050	875	800	7,000	3,000	4,182
E_t/E_v	1.6	2.8	2.3	1.5	3.3	2.0	3.5

Table. 2에서 알 수 있듯이, 국외 CFRD댐의 시공중 변형계수(E_v) 범위는 375~1,850kg/cm², 담수중 변형계수(E_t)는 800~7,000kg/cm², E_t/E_v 는 1.5~3.5로 나타났다. D댐의 시공중 변형계수와 담수중 변형계수가 각각 1,195kg/cm²와 4,182kg/cm² 상기의 범위 내에 있는 것을 알 수 있다.

또한, 각 댐의 시공중 변형계수는 암종에 따라 차이를 보이는 것으로 판단된다. 즉 분출암이면서 파쇄가 심한 험무암 각력은 변형계수가 아주 작으나 규암은 큰 것으로 보아 암석의 강도에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 담수중 변형계수는 암석의 강도와 상관성이 다소 떨어짐을 볼 때 현장시공조건, 다짐 등의 영향을 받는 것으로 추정된다.

3. 결론

D댐의 시공 및 담수는 안정적으로 이루어졌다고 판단할 수 있다. 다만, 담수중 변형계수가 크게 나타난 것은 댐의 높이가 낮아 수압에 의한 차수벽의 변형이 매우 적게 일어났음을 추론할 수 있다.

본 고의 내용을 요약하면

- ① 댐체 내부에 7개소의 수직침하에 대한 경시변화는 성토 및 초기담수와 함께 침하가 발생되었으며 준공이후 2년이 경과한 1986년부터 안정화 단계를 나타낸다
- ② 콘크리트 차수벽의 변형을 계측하기 위하여 경사계가 설치되지 않은 경우에는 상류사면에 인접한 트랜지션존 내에 위치하는 침하 셀로 파악할 수 있다
- ③ 저류된 상류사면에서의 변형은 댐높이의 1/3지점 정도에서 상대적으로 큰 변형을 나타낸다.
- ④시공중 변형계수와 담수중 변형계수가 각각 1,195kg/cm²와 4,182kg/cm² 으로 국외6개댐과 유사하게 나타난다

이상에서와 같이, 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐에서 일반적으로 매설되는 수위차식 상대침하계 계측기록을 이용하여 시공과정 및 초기 담수과정을 통하여 댐체 안전성 활용방안을 파악코자 하였으며, 아울러 외국의 사례와 비교하여 본 D댐의 시공 및 담수는 안정적으로 이루어졌다고 판단할 수 있었다.

아울러 매설계기의 계측자료를 수치해석적인 거동해석방법에 활용하여 CFRD의 변형특성을 파악한다

면 댐체의 안전성 판단의 기준으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2001), 댐설계기준
2. 최형식, 세계에서 제일 높은 CFRD형 사력댐(높이 210m)을 설계하면서, 대한토목학회지, 1995
3. J. Barry Cooke, James L. Sherard(1985), Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction, and Performance
4. Poulos, H.G. and Davis, E.H.(1973), Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics, John Wiley & Sons
5. Pedro LAGOS MARQUES Filho, Edilberto MAURER, Nelson BUHR TONIATTI(1985), "Deformation Characteristics of FOZ DO AREIA Concrete Face Rockfill Dam, As Revealed by a Simple Instrumentation System", 15th ICOLD, Q.56, R.21, Lausanne, Swiss, pp.417~449.