

락필댐의 정부침하 거동특성 연구

A Study on Crest Settlement Characteristics of Rockfill Dam

박한규¹⁾, Han-Gue Park, 박동순²⁾, Dong Soon Park, 김용성³⁾, Yong-Seong Kim, 이종욱⁴⁾, Jong Wook Lee

1) 한국수자원공사 수자원연구원 댐안전연구소장, Director, Korea Water Resources Corporation

2) 한국수자원공사 수자원연구원 토목4급, Senior Researcher, Korea Water Resources Corporation

3) 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원, Senior Researcher, Korea Water Resources Corporation

4) 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원, Senior Researcher, Korea Water Resources Corporation

개요(SYNOPSIS) : In this study, crest settlement characteristics of CFRD (Concrete Faced Rockfill Dam) and ECRD (Earth Cored Rockfill Dam) were analysed through the instrumentation data from representative 7 large dams in Korea. Also, We have studied the effect of valley shape and uniaxial compressive strength of intact rock to better understand the impact of the parent rock strength and the valley shape on the long term crest settlement of CFRDs. From the results, we found that the valley shape and strength of intact rock on crest settlement of dams are an important parameters. As a result, we obtained that the maximum crest settlement of CFRD is larger than that of ECRD and long term crest settlement rate per dam height of rockfill dams is less than 0.60% during service period.

주요어(Key words) : CFRD, ECRD, rockfill dam, long term crest settlement, valley shape factor

1. 서 론

지반공학의 다양한 분야에 있어 댐의 설계와 시공은 상당한 기술의 축적을 필요로 하지만, 상대적으로 거대한 체적과, 거동 특성을 규명하는 데에 오랜 기간이 소요된다는 한계성으로 인해 현재까지 국내의 지반공학자들에게 명확히 그 거동 특성이나 연구 결과를 제시한 사례가 많지 않다. 실제로 국내에는 수많은 댐들이 존재하며, 지반공학적 재료를 쌓아 올려 만들어진 댐의 담수와 정상 운영시, 어느 정도 범위의 침하량을 갖는지에 대한 자료는 매우 빈약한 실정이다.

국외뿐만 아니라 국내에서도 노후화된 댐의 안전관리가 사회적인 문제로 떠오르고 있는 만큼, 본 논문에서는 최근 시공된 국내의 대표적 락필댐들에 대한 침하 거동특성을 주로 정상부 침하에 초점을 맞추어 규명하고자 하였다. 현재 국내에 담수를 시행하고 운영중인 대형 댐 7개에 대한 장기간의 계측 결과를 분석하고, 외국의 장기 정부침하량을 문헌조사를 통해 비교·검토하였다. 특히 최근 대형 댐의 형식으로 가장 주목받고 있는 CFRD(Concrete Faced Rockfill Dam)와 ECRD(Earth Cored Rockfill Dam)의 장기 정부침하량을 상호 비교하였으며, 아직까지 국내에는 연구된 사례가 거의 없는 계곡부의 형상이 댐의 정부침하량에 미치는 영향을 계곡부 형상계수(valley shape factor)를 도입하여 고찰하였다.

2. CFRD의 정부 침하 특성

2.1 일반사항

2.1.1 CFRD의 일반적 거동특성

CFRD는 철근 콘크리트 구조물을 차수 역할을 담당하게 함으로서 댐체의 상류사면을 불투수층으로 만들고 제체의 대부분은 석괴로 쌓아올리는 댐 형식으로 최근 국내 댐 건설의 주류를 이루고 있다. 그러나 실제로 시공된 많은 댐들의 정상 운영시의 침하량이 어느 정도인지는 매우 제한적으로만 알려져 있다. CFRD는 기존의 댐들과는 다른 거동 패턴을 보이는 데, 댐 축조 후 담수가 진행됨에 따라 다음 그림과 같은 변형 양상을 일반적으로 나타낸다.

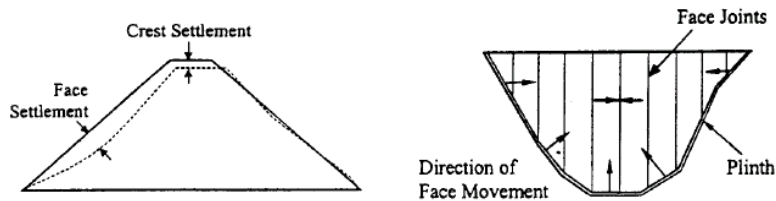


그림 1. 담수 후 제체의 변형과 face 면의 거동 (Giudici et. al., 2000)

락필댐에 있어서 정상부 침하량을 아는 일은 현재까지 수많은 댐 엔지니어의 관심사였다. 이는 비단 시공시 더쌓기 문제 뿐만 아니라, 정상 운영시나 지진과 같은 특수한 환경을 겪을 때, 댐의 거동특성을 대표적으로 손쉽게 표현할 수 있는 항목이기 때문이다. 외국의 계측 및 연구사례에 비추어 볼 때, CFRD의 댐체는 대부분 최소한 풍화암층 위에 축조하게 되므로 기초의 압축에 의한 침하는 미미하다고 볼 수 있으며, 경험적으로 댐체 대부분의 침하는 공사기간중에 발생하는 것으로 추정된다. 하지만 댐축조 완료후의 장기 침하량을 배제할 수 없으며, 이에 해당하는 양을 예측하여 더쌓기를 하는 것이 일반적이다. 이로 인해 장기 정부침하량을 예측하는 기술이 중요하며, 설계단계에서 장기 침하량은 재료의 압축성과 축조시 다짐의 불균등에서 오는 공극등을 고려하여 제체 축조 완료후부터 댐높이에 대한 통상적인 비율로 추정한다.

2.2.2 CFRD의 침하 영향인자

CFRD의 장기 침하량을 예측하는 다양한 식들이 현재까지 연구되어 왔지만, 명확하게 값을 산출해 내는 데에는 많은 어려움이 있으며, 이러한 분산 분포는 다음과 같은 댐체의 침하에 직·간접적으로 영향을 미치는 다양한 영향인자들에 기인한다.

표 1. 댐체 응력분포 영향 인자(Gavan Hunter and Robin Fell, 2003)

구분	영향인자
축조재 사이즈	높이(H), 정상부 길이(L), L/H, 상류사면경사
락필 재료 물성 및 축조방법	지질, UCS, 입경, 균등계수, 입도분포 축조재의 건조밀도, 간극비, 층 두께, 롤러 무게, 통과횟수, 첨가된 물의 양

특히 본 논문에서는 최근들어 댐체 거동연구에 도입되기 시작한 계곡부의 구속조건에 대한 영향을 고찰하였다. 최근의 댐체 거동 연구에서, 특별히 시공중과 시공후 CFRD의 계수값들을 산정하는 데에 있어 특별히 제체의 강성에 대한 계곡 형상(valley shape)의 영향을 연구할 필요가 있는데, 이는 침하

분석에 유용한 자료가 된다. 계곡부의 형태는 양안부 사면에 나타나는 아칭현상 때문에 댐체 내의 연직 응력에 상당한 영향을 미친다(Pinto and Marques Filho 1998, Giudici et al. 2000).

계곡부 형상과 양안부 사면경사가 댐의 응력분포에 미치는 영향을 알아보기 위해, 최근 시행된 연구에 의하면, 계곡부 아칭 현상(cross-valley arching)은 댐 하부 1/3~1/2 의 범위에 걸쳐, 가파른 양안부 사면경사(50°이상, 하쪽에 따라)를 가진 좁은 협곡 (하폭이 댐높이의 30~40% 이하인 경우)일수록 두드러지게 나타남(연직응력 20% 이상 감소)을 알 수 있었다(Hunter and Fell, 2003). 하폭이 대략 댐 높이의 절반 정도일 경우, 계곡부 아칭 현상은 댐 하부 1/3~1/2 의 범위에 걸쳐, 45°이상의 양안부 사면경사에 대해 약간의 영향(연직응력 10~20% 감소)을 미쳤으며, 하폭이 댐 높이와 같은 경우에는 양안부 사면경사에 관계없이 계곡부 아칭 현상은 거의 무시할 만한 수준이 되었다.

본 논문에서는 계곡 형상과 변화하는 CFRD의 장기 침하량 사이에 어떤 경향성이 있는지를 검토하기 위해 계곡 형상계수(Valley Shape Factor)를 다음과 같이 도입하였다. 무차원화된 계곡 형상계수(VSF)는 face slab의 면적을 최장 face slab 길이로 나눈 값을 평균 계곡 폭으로 가정하여, 이 평균 계곡 폭과 댐 높이와의 비를 지칭한다.

$$\text{계곡 형상계수, VSF} = \text{평균 계곡 폭} / \text{최대 댐 높이} \quad (1)$$

$$(\text{Valley Shape Factor} = \text{Average Valley Width} / \text{Max. Dam Height})$$

여기서, 평균 계곡 폭 = 상류측 face 면적 / 상류 face의 최대 사면길이

$$\text{상류 face의 최대 사면길이} = \sqrt{H^2 + (H \times US)^2}$$

US : 상류사면경사 (1: US)

계곡 형상계수(VSF)가 클수록 댐 높이에 비해 상대적으로 넓은 계곡 폭을 가진 댐을 의미하며, 이는 좌안과 우안부 어버트먼트의 구속효과가 댐체의 침하에 미치는 영향을 고찰하는 데에 필수적인 요소가 될 수 있다.

2.2 CFRD의 침하 특성

2.2.1 댐 일반현황

본 연구에서는 국내의 대표적인 CFRD 형식의 댐 4개소를 선정하여, 댐 축조 후 최초 담수 시행과 장기간의 운영기간을 고려한 실제 계측 사례를 분석하여 침하량과 비율을 산정하였다. 본 연구에 사용된 댐들의 일반현황은 다음과 같다.

표 2. 연구 대상 CFRD 형식 댐들의 일반현황

댐명	설계 연도	댐높이 (m)	댐연장 (m)	경사도		축조 재료	face 면적 (1000m ²)	일축압축강도 (kg/cm ²)
				상류면	하류면			
남강댐	1989	34.0	1,126	1.5	1.5	편마암(Gneiss)	41.8	1193~2477
부안댐	1990	50.0	282	1.4	1.4	유문암(Rhyolite)	18.2	619~843
용담댐	1991	70.0	498	1.4	1.4	편 암(Schist)	43	-
대곡댐	1996	52.0	190	1.4	1.8	화강암(Granite)	27	960~1560

2.2.2 계측 분석

다양한 조건들을 검토하기 위하여 대곡댐과 같이 1년 미만의 신규댐에서부터 부안댐과 같이 8년이 넘는 운영기간을 갖는 댐에 이르기까지 4개의 CFRD에 대한 정상부 침하량 변화를 분석하였다. 정부 침하는 정상부 침하 측정점에 대한 측량으로 실측하였다. 특별히 운영기간을 고려하고자 댐 제체 축조의

주공정이 끝나고 face slab를 타설 완료한 시점을 완공 직후(end of construction)로 설정하였으며, 완공 직후와 정상부 침하 측정점의 설치 및 최초 계측 시점과의 시간적인 간격을 명시하였다.

이와 같은 내용을 바탕으로, 본 논문에서는 4개의 CFRD에 대하여 댐 길이에 대한 높이의 비 (L/H), 계곡 형상계수(VSF), 모암의 종류, 암석의 일축압축강도 등에 따른 정부 침하량에 미치는 영향을 종합적으로 정리하였다.

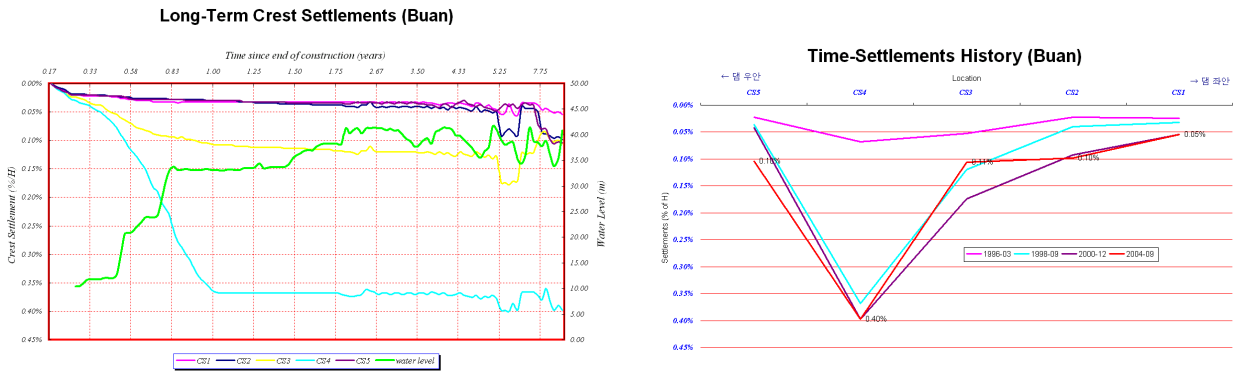


그림 2. 부안댐의 정부 침하비 변화

부안댐의 경우는 계측이 이루어진 운영기간이 8.8년으로써 4개 댐 중 가장 오래된 댐이다. 2004년 9월까지 진행된 계측 결과 최대 정부침하량은 19.9cm였으며, 댐높이에 대한 침하비는 0.40%에 이르렀다. 부안댐의 정부 침하 경시변화 그래프를 통해 댐체의 주된 침하량 대부분은 초기 2~3년 사이에 이루어짐을 알 수 있다. 기간별 경시변화 분포를 볼 때, 현재 침하는 거의 수렴상태에 접어든 것으로 판단된다. 제체 축조암의 일축압축강도가 타댐에 비하여 상대적으로 낮은 재료를 사용한 것에 대한 영향으로 타댐보다 비교적 침하가 많이 일어난 편이다. 최대 침하 발생시, 중앙부의 침하량은 양안부 어버트먼트 쪽보다 약 7배나 크게 발생하였다. 계곡 형상계수(VSF)는 식 (1)에 의하여 4.23으로 산정되었으며, 4개 대상댐들 중 남강댐을 제외하고 근소하게 가장 낮은 값이다. 이는 상대적으로 가장 계곡부가 덜 완만함을 뜻하며, 침하비율이 상대적으로 높음을 알 수 있다. 그러나 이 결과는 보다 많은 데이터의 분석을 통한 신뢰성 평가 작업이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

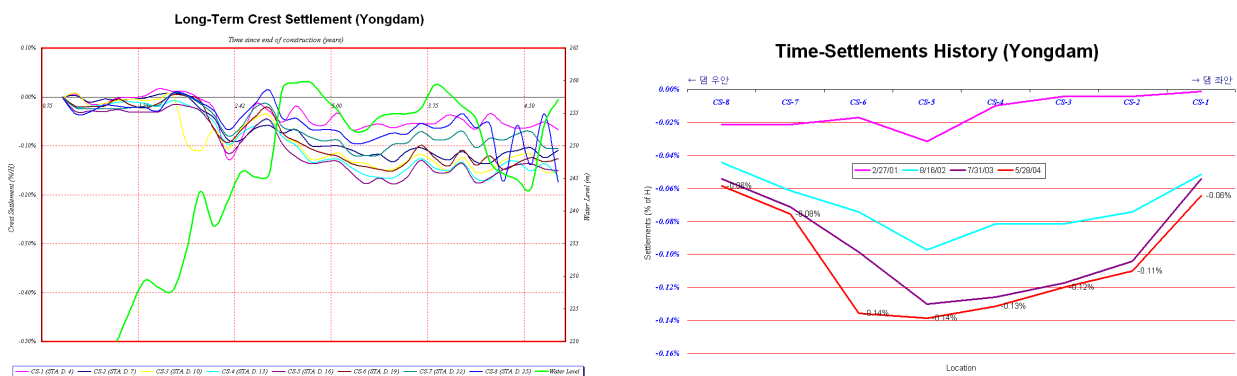


그림 3. 용담댐의 정부 침하비 변화

용담댐은 비교적 최근에 지어진 CFRD형 댐으로서, 계측기간 3.7년에 대하여 최대 침하량 9.7cm, 댐높이에 대한 침하비율 0.14%를 나타내었다. 중심부에서의 최대 침하는 양안부쪽의 침하량에 비해 약 2.3배에 해당하며, VSF는 5.1로 산정되었다. 용담댐은 현재 침하가 안정 단계로 접어들고 있는 추세임

을 확인할 수 있었다.

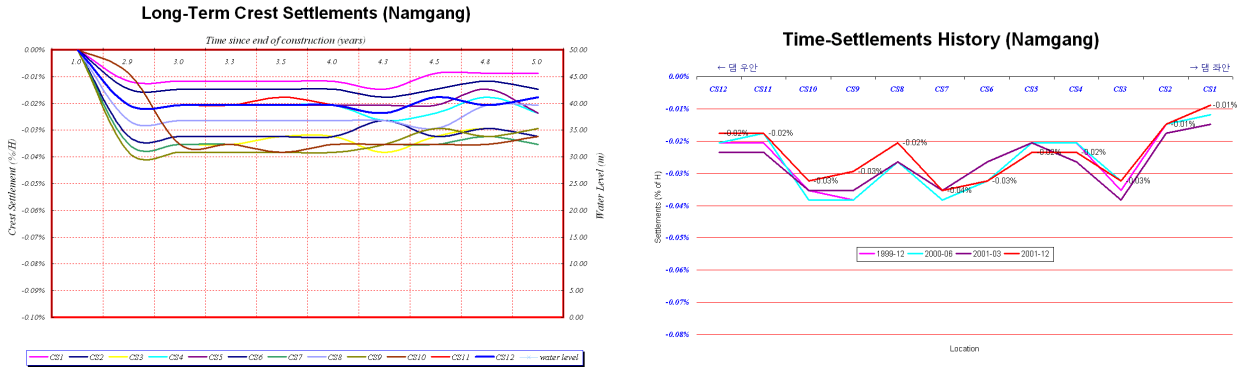


그림 4. 남강댐의 정부 침하비 변화

남강댐은 다른 3개의 댐과 대별되는 뚜렷한 기하학적 특징을 갖고 있다. VSF는 무려 20에 이르며, 댐 연장은 댐 높이의 33배에 달한다. 이러한 매우 넓은 계곡부를 가진 댐에 대한 계측 분석 결과, 1997년부터 2004년 8월까지의 6.7년 동안 겨우 1.4cm의 최대 침하량(침하비 0.04%)만을 나타내었다. 중심부 침하는 양안부의 약 3배 정도에 해당한다. 장기 침하량이 이렇듯 작은 것은 여러 가지 원인이 있을 수 있겠으나, VSF의 영향보다는 상대적으로 낮은 댐높이(H)와 현저히 높은 모암의 일축압축강도(1,193~2,477 kg/cm²) 등의 영향이 지배적으로 작용하는 것으로 판단된다.

대곡댐은 위의 3개 댐과는 달리 현재 활발히 침하가 진행중인 신규댐에 해당하며, 6개월 동안의 계측 결과, 1.1cm 정도의 최대 침하량(0.02%)을 나타내며, 본격적인 침하가 진행되고 있음을 경시변화를 통해 알 수 있다.

결론적으로, 다양한 영향 인자에 따른 CFRD의 정부 침하량과 댐 높이에 대한 침하비율을 다음과 같이 정리하였다.

표 3. 국내 CFRD의 정부 침하 특성

댐명	H (m)	L (m)	L/H	VSF	암종	일축압축강도 (kg/cm ²)	완공 시점	최초 계측-완공 (yr)	계측 기간	운영 기간 (yr)	최대 정부 침하량 (cm)	최대 정부 침하비 (%/H)	중양부 침하량 / 양안부 침하량
부안	50	282	5.64	4.23	Rhyolite	619~843	1995.09	0.17	1995.11~2004.09	8.8	19.9	0.40	7.37
용담	70	498	7.11	5.10	Schist	-	1999.12	0.75	2000.09~2004.05	3.7	9.7	0.14	2.37
남강	34	1,126	33.12	20.06	Gneiss	1,193~2,477	1996.12	1.0	1997.12~2004.08	6.7	1.4	0.04	3.0
대곡	52	190	3.65	5.80	Gravel, Shale	960~1,560	2003.05	0.83	2004.04~2004.11	0.6	1.1	0.02	5.0

본 연구에서, VSF가 상대적으로 유사한 부안댐과 용담댐의 경우 장기 정부 침하비는 댐 높이의 0.40% 미만인 것으로 나타났으며, VSF가 현저히 큰 남강댐은 0.04%의 장기 정부 침하비를 보였다. 즉, VSF가 비슷한 두 댐(부안댐과 용담댐)의 경우에는 모암의 일축압축강도가 현저히 낮은 부안댐의 침하량이 훨씬 크며, 남강댐의 경우는 타댐보다 낮은 댐 높이의 영향이 침하에 지배적으로 작용하는 것으로 생각된다. 일반적으로 해외사례에서 보다 협착한 계곡 조건을 가진 댐의 장기 침하량이 양안부의 구속으로 인한 응력 아칭 현상 때문에 보다 작은 값을 나타낸다. 본 연구 결과의 경우, 매우 넓은 계곡 폭

을 갖는 남강댐이 타댐보다 작은 침하비를 갖는 원인으로, VSF보다는 댐 높이(H) 자체에 대한 영향과 모암(intact rock)의 압축강도의 영향이 지배적이기 때문인 것으로 판단되며, 보다 많은 신뢰성있는 자료들이 추가된다면 침하와 이에 미치는 영향인자들 사이의 상관관계 및 기여도 정립에 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 분명한 것은 VSF는 다른 영향 인자와 더불어 댐의 침하량을 설명하는 데에 매우 중요한 개념이 된다는 점이다. 또한 유사한 개념으로서 댐 높이에 대한 댐 연장의 비율에 대한 고찰도 필요할 것으로 보인다. 일반적으로 중앙부에서 최대 침하량이 발생하며, 중앙부의 침하량은 양안부 침하량의 2배~7배까지 분포하는 것으로 나타났다.

2.2.3 외국 사례와의 비교

외국에서는 CFRD를 주된 댐 형식으로 채택하고 있는 호주, 브라질, 콜롬비아 등을 중심으로 장기 침하 특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

표 4. 해외 CFRD의 시공 후 정부 침하량 (ICOLD, 2004)

댐	암종	높이(m)	기간	경과년수	침하량(mm)	%(H)
Aguamilpa	Gravel	187	1993~2000	7	340	0.18
Tianshengqiao	Limestone, mudstone	178	1999~2000	1.5	1,060	0.60
Areia	Basalt	160	1980~2000	20	210	0.13
Xingo	Granite	150	1993~1997	4	490	0.33
Segredo	Basalt	145	1992~2000	8	160	0.11
Alto Anchicaya	Hornfels-diorite	140	1974~1994	20	170	0.12
Ita	Basalt	125	1999~2000	2	450	0.36
Golillas	Gravel	125	1978~1984	6	57	0.04
Khao Laem	Limestone	115	1984~1998	14	150	0.16
Turimiquire	Limestone	115	1978~1995	17	270	0.23
Kenney	Basalt	100	1952~1998	46	950	0.95
R.D.Bailey	Sandstone, Shale	96	1980~1998	18	420	0.44
Sugarloaf	weathered Siltstone	85	1984~1997	13	40	0.04
Crotty	Gravel	83	1991~2000	9	56	0.07
Chenbing	Lava tuff	75	1989~1999	10	100	0.13
Minase	Liparite	67	1963~1975	12	400	0.60
Cabin Creek	Gneiss	64	1966~1995	29	110	0.22
Kangaroo Creek	Weak Schist	60	1969~1998	29	180	0.30
Taum Sauk	Limestone	36	1963~1998	35	450	1.50

Clements (1984)는 초기 담수시와 10년 동안의 운영시 정상부 최대 침하량을 예측하는 식을 다음과 같이 제시하였다. 이 식의 특징은 침하의 상관성을 댐높이(H)에만 연관시켰다는 점이다.

$$s = aH^b \quad (2)$$

여기서, s : 완공 후 침하량 (m)

H : 댐 높이 (m)

a, b : 댐 타입과 측정기간에 의한 상수값으로 다음 표를 따름

표 5. CFRD의 완공 후 침하량과 높이와의 관계 상수 (Clements, 1984)

상수	dumped rockfill		compacted rockfill	
	초기담수	10년 경과	초기담수	10년 경과
a	0.0018	0.009	0.0002	0.0000014
b	1.2	0.9	1.1	2.6

윗 식에 의해 산정한 다음 4개 댐의 정부침하량은 다음의 표 6.과 같다.

표 6. 실제 침하량과 Clements 예측식과의 비교

댐명	실제 침하량 (cm)	침하 예측량 (cm)	비고
부안	19.9	3.7	10년 운영시
용담	9.7	8.8	10년 운영시
남강	1.4	1.3	10년 운영시
대곡	1.1	1.5	*초기 담수시

거의 10년의 운영기간에 근접한 부안댐의 경우 Clements의 예측식과 많이 어긋나는 것을 알 수 있으며, 나머지 댐들은 유사한 것으로 나타났다.

다음의 호주 CFRD 형식 댐들의 경우, 담수후 정부 침하량은 대부분 댐높이의 0.3% 미만인 것으로 나타나고 있으며, 이는 국내 댐들의 경우와 유사한 것으로 파악된다.

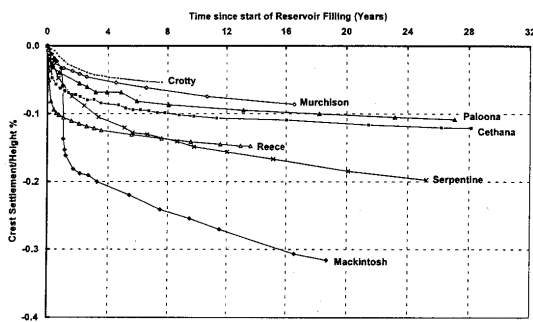


그림 5. 호주 CFRD의 정부침하 변화

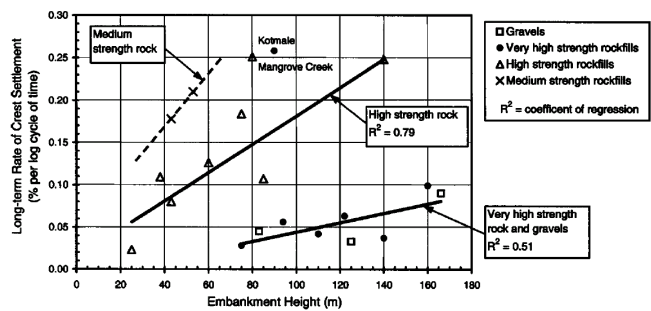


그림 6. 락필댐의 장기 정부 침하비(Hunter et al., 2003)

추가적으로, 본 연구에서 나타나는 데이터의 분산 원인은 주로 체체의 조닝 모양, 상류사면 경사, 초기담수의 시점과 담수기간등의 영향등에 기인하며, 이러한 추가적인 영향 인자에 대한 연구는 추후의 과제라 할 수 있겠다.

3. CFRD와 ECRD의 침하 특성 비교

3.1 ECRD의 침하 특성

CFRD의 정부 침하 특성과 비교하기 위해서 국내 대댐의 대표적인 ECRD 형식의 댐들에 대한 비교 연구를 수행하였다. 결과적으로 산출된 ECRD의 정상부 침하 특성은 다음과 같이 요약된다.

표 7. ECRD의 정부 침하 특성

댐명	H (m)	L (m)	L/H	계측 기간	운영 기간 (yr)	최대 정부 침하량 (cm)	최대 정부 침하비 (%)	침하비 (중앙부/양안부)
보령	50	291	5.82	1997.01~2004.06	7.3	20.4	0.41	1.58
주암	58	330	5.69	1989.02~2004.11	15.7	20.7	0.36	3.34
주암조절지댐	99.9	562.6	5.63	1990.08~2004.11	14.3	58	0.58	2.70

3.2 CFRD와 ECRD 침하량 비교

ECRD는 중심 코어를 갖는다는 점에서 근본적으로 표면을 불투수층으로 만드는 CFRD와 거동 패턴이 다르며, 본 연구 결과에서는 이점은 명확히 드러난다. CFRD의 경우 부안댐(0.40%)을 제외하고는 모두 댐높이의 0.14% 이내의 정부 침하량을 나타내는 반면에, ECRD의 경우 3개 댐 모두 0.36% 이상의 상대적으로 높은 침하비율을 가짐을 확인할 수 있다. 본 연구를 통해 CFRD 형식 댐들의 정부 침하량이 ECRD 형식 댐보다 작다는 일반적인 결론을 재확인하였으며, 침하에 대해서 위의 3개 락필댐은 0.60% 미만에서 안정화됨을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 락필댐의 대표적 주류를 이루고 있는 CFRD와 ECRD에 대한 계측 사례를 바탕으로 담수 후 정상부 침하 경향을 분석하였다. 특히 계곡 형상계수와 일축압축강도가 정부 침하량에 미치는 영향을 검토하였고, 두 가지 형식의 상대적인 침하 정도를 비교하였다. 또한 해외문헌조사를 통해 제시된 정부침하량과의 비교도 이루어졌다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 락필댐, 특히 CFRD 형식 댐의 정부 침하 특성을 규명하는 데에 있어서, 계곡부의 구속효과와 댐높이(H), 모암의 일축압축강도는 매우 중요한 영향 인자이다.
- 2) 4개 CFRD에 대하여, 계곡부 형상계수(VSF)라는 무차원계수를 도입하여 댐체의 정부 침하량과의 상관성을 검토한 결과, 계곡 형상계수가 유사할 경우 모암의 일축압축강도가 큰 댐이 담수 후 정부침하비율이 보다 작은 경향을 나타냈다. 계곡 형상계수가 현저히 큰 남강댐은 0.04%의 매우 작은 장기 정부 침하비를 보였으며, 이는 VSF보다는 타댐보다 낮은 댐높이와 높은 모암의 일축압축강도 영향이 침하에 지배적으로 작용하기 때문인 것으로 사료된다.
- 3) 4개의 국내 CFRD의 장기 정부침하량은 모두 댐체의 0.40% 이내에 머물렀다.
- 4) CFRD의 정부 침하 패턴과 비교하기 위해서 ECRD 형식의 3개 댐에 대한 정부 침하량을 분석하였으며, 그 결과 ECRD형식은 댐높이의 0.36%~0.58% 사이의 정부 침하량을 나타내었고, CFRD에 비해 상대적으로 침하량이 큰 것으로 나타났다.
- 5) ECRD와 CFRD에 대한 침하 분석 결과, 7개 댐 모두 댐높이의 0.60% 미만의 정부침하량을 갖는 것으로 나타났으며, 이는 향후 댐 설계와 시공시 유용한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 박동순, 신동훈, 김형수, 임정열, 박한규(2004), "CFRD의 거동 특성 이해", **지반**, 제 20권, 제 8호, pp.6~15
2. 한국수자원공사(1996), **부안다목적댐 공사지**, pp.414~417
3. 한국수자원공사(2001), **남강다목적댐 공사지**, pp.792~794
4. 한국수자원공사(2003), **다목적댐 운영 실무편람**
5. Clements, R. P.(1984), "Post-construction deformation of rockfill dams", *Jour. of Geotechnical Engineering*, Vol.110, No.7, ASCE
6. Giudici, S., Herweynen, R. and Quinlan, P.(2000), "HEC experience in concrete faced rockfill dams; past, present and future", *Proc of Inter. Sympo. on Concrete Faced Rockfill Dams*, Beijing, pp.2946.
7. Hunter, G. and Fell, R.(2003), "Rockfill modulus and settlement of concrete face rockfill dams", *Jour. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.129, No.10, ASCE
8. ICOLD Committee on Materials for Fill Dams(2004), "Concrete Face Rockfill Dams; Concepts for Design and Construction", ICOLD
9. N.L. de S. Pinto and P.L. Marques Filho(1998), "Estimating the maximum face deflection in CFRDs", *Hydropower & Dams*, Issue 6.