

1. 서론

CFRD는 전세계적으로 최근 댐형식의 주류를 이루고 있으며, 국내에서도 1985년 동북댐을 시초로 1990년 이후로 현재까지 지어진 7개의 대형 댐들이 CFRD 형식을 취하고 있으며, 2004년 현재 기준으로 8개의 다목적댐과 양수댐들이 시공중이다. 그러나 CFRD의 시공중 거동이라든지, 담수 전후, 방류 전후의 거동에 대해서는 예측기법과 관측자료가 매우 빈약한 실정이며, 토목기술자들 사이에서도 아직까지 매우 생소한 개념에 속하고 있다. 따라서 국내 댐의 주된 형식으로 자리매김한 CFRD의 거동을 객관적으로 평가하고 예측하는 일은 향후 CFRD의 설계 및 기존댐의 유지관리에 있어 매우 중요한 요소이다. 본 고에서는 CFRD의 거동과 관련하여 실제 사례들과 수치해석적 접근방법을 통하여 관련 기술자들에게 귀중한 통찰력을 제공하고자 한다.

*1 한국수자원공사 수자원연구원 지하수지반연구소 토목4급 (fulgent@kowaco.or.kr)

*2 한국수자원공사 수자원연구원 댐안전연구소 책임연구원

*3 한국수자원공사 수자원연구원 지하수지반연구소 소장

*4 한국수자원공사 수자원연구원 댐안전연구소 선임연구원

*5 한국수자원공사 수자원연구원 댐안전연구소 소장

2. CFRD 거동 영향 인자

2.1 축조재료의 역학적 특성

CFRD의 거동특성을 이해하기 위해서는 우선 CFRD 체제를 이루는 축조재료의 역학적 특성에 관하여 알아야 한다. Fitzpatrick et al. (1985)은 CFRD에 있어 rockfill 재료의 변형특성을 쉽게 표현할 수 있는 변형계수값을 구하는 간편한 방법을 제안하였고, 현재까지 널리 쓰이고 있다. 변형계수값은 시공중인 경우와 담수 후의 경우가 개념적으로 다르다.

표1은 오스트레일리아, 남미, 기타 국가별 E_{rc} 와 E_{rs} 를 나타낸 것으로, 변형계수 E_{rc} 는 95~650 MPa 정도로 시공중의 연직 침하로부터 계산된 E_{rc} 보다 약 1.5~4배 크다(E_{rc} 는 계곡부 형상의 영향이 크다). 다짐 rockfill의 변형계수는 비다짐식 rockfill 공법보다 3~8배 정도 더 크다.

2.2 계곡부 형상의 영향

Sergio Giudici et al.(2000)은 최근의 연구에서 시공중과 시공 후 CFRD의 계수값들을 산정하는 데

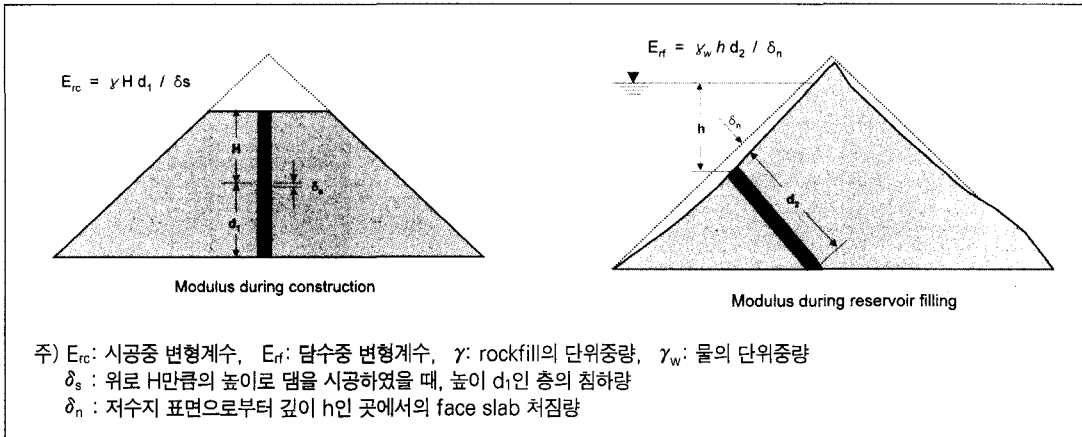


그림 1. CFRD의 건설중과 담수시 변형계수(Fitzpatrick et al. 1985)

표 1. 해외 댐들의 변형계수

댐명	연도	높이(m)	Rock 종류	E_c (Mpa)	E_r (Mpa)
Wilmot	1970	35	경사암(硬砂岩), 석영반암	115	160
Cethana	1971	110	석영반암	145	310
Faloon	1971	38	Chert	75	115
Serpentine	1972	39	석영반암	115	95
Mackintosh	1981	75	경사암	40	95
Tullabardine	1982	26	경사암	90	170
Murchison	1982	94	유문암	225	650
Bastyan	1983	75	유문암	160	300
Lower Pieman	1986	122	조립현무암	160	-
Alt Anchikaya	1974	140	혼펠스(Hornfels), 섬록암	145	440
Foz do Areia	1980	160	현무암	32	110
Segredo	1993	140	현무암	45	170
Xingo	1994	140	화강암	37	190
Aguamilpa	1993	187	사력	190	680
Gollilas	1984	130	사력	210	310
Shiroro	1984	125	화강암	76	-
Khao Laem	1984	130	석회암	45	380
Kotmale	1984	97	Charnokite	50	
Reece	1986	122	Dolerite	160	115
White Spur	1988	45	Tuff	200	350
Crotty	1990	82	자갈	360	460
Anthony	1993	39	Conglomerates/Sandstone	-	310

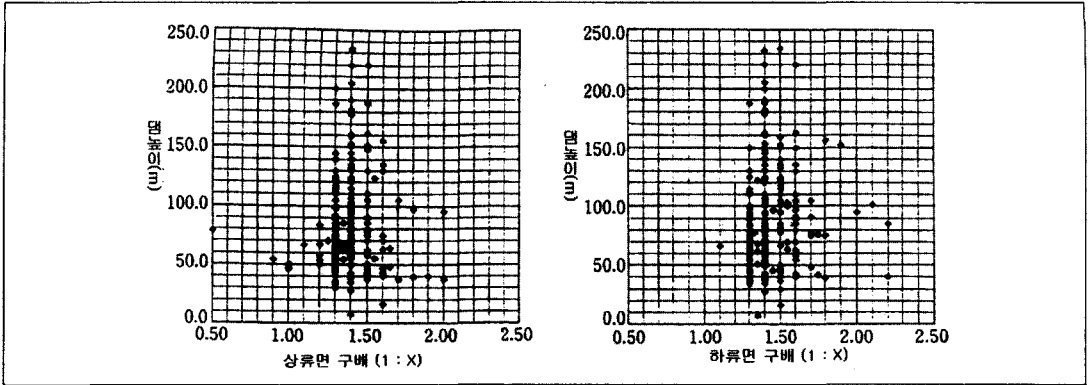


그림 2. CFRD의 댐 높이와 상하류면 구배의 관계

에 있어 특별히 제체의 강성에 대한 계곡 형상 (valley shape)의 영향을 연구할 필요가 있다고 지적하였다. 이는 침하 분석에 유용한 자료가 된다. 호주의 CFRD에 대한 계수값들을 비교해 보면 상당히 변화의 폭이 넓다. 대체로 다짐조건은 댐별로 비슷했기 때문에 다짐으로 인한 원인은 아니다. 이 다양한 분포의 원인은 모암(parent rock)의 강도와 계곡 형상의 기하학적 효과, 그리고 댐의 절대적인 높이에 기인한다. 따라서 최종적인 rockfill 계수에 대한 계곡 형상과 모암 강도의 영향을 잘 이해하는 것은 매우 중요한 일이다(참고문헌 참조).

3. CFRD의 사면안정성 평가

현재 국내에서는 균일형 댐이나 중심코아 석괴댐에서의 댐의 안전도는 사면의 안정해석법으로부터 구한 안전율과 최소안전율을 비교하여 평가하게 된다. 그러나 CFRD는 과거의 선례를 참조하여 상·하류면의 경사(1:1.3~1:1.6)를 결정하며, 세계적인 통계자료에 의하면 1:1.3~1:1.7 구배를 지닌 댐이 92%를 차지하고 있음을 알 수 있다. 따라서

일반적으로 균일형 댐이나 중심코아 석괴댐에 적용하는 정역학적인 안전해석을 생략하는 것이 일반적인 경향이 되고 있다. 이는 암반상에 축조되는 CFRD는 제체가 건조한 상태이므로 상시는 물론 지진 진동시에도 간극수압이 작용하지 않으며, 이론적 근거나 실제적인 경험으로 통하여 불 때 전단활동은 발생할 수 없기 때문이다. 따라서 사면 안정해석 결과치를 CFRD 댐의 안전도를 판단하는 기준으로 정하는 것은 큰 의미가 없다.

1985년 ASCE의 CFRD에 관한 심포지움 자료에 따르면 「대부분의 CFRD에서 안정계산은 실시하고 있지 않으며, 1:1.3 정도의 구배를 채택하고 있다. 한계소성평형법(限界塑性平衡法, limiting plastic equilibrium)은 earth dam이나 자연사면에 사용되지만 제체가 건조한 rockfill에는 경험적으로나 이론적으로 sliding surface는 발생하지 않으므로 sliding 계산을 CFRD에 적용하지 않는 것이 일반적인 인식이다.」라고 지적하고 있다. ICOLD의 CFRD에 관한 최신 자료에 의하면 「...(중략)...제체에는 간극수압이 존재하지 않으므로 안정 문제도 없다」라고 하였으며, 오스트레일리아의 대담회의에서 제시한 CFRD의 가이드 라인에 따르면 「rockfill



의 구배는 일반적으로 1:1.3으로 한다. 배수상태에서는 수압에 대하여 sliding(slip)의 안전율은 약 7 정도이다. 재료 조건이 나쁘다면 이에 맞추어 구배를 완만하게 한다. 기초에 특별한 약층(弱層)이 없는 한 sliding(slip) 안정계산은 불필요하다라고 기술하고 있다. 한편 중국의 기준을 보면, 「굵은 입경은 안정이며 통상적으로 안정계산을 실시하지 않는다. 만약 실시할 경우에는 비선형(非線形)의 파괴포락선(破壞包絡線)을 사용한다. (이것은 일본의 내진 설계 지침과 동일)」와 같이 규정하고 있다. 즉 CFRD에서 주요 과제는 sliding(slip)이 아니라 차수벽 슬래브를 어떻게 지지하는가 이며, rockfill의 변형계수, 또는 만일의 누수에 대비하여 안전하게 배수할 수 있는 transition과 배수성에 우려가 있을 경우 drain이 중요하다.

CFRD의 댐체를 가지고 사면안정해석을 수행하여 보면 지진시 활동에 대한 안전율이 최소안전율을

다 작은 값(SF<1)을 나타낼 수 될 경우가 있으며, 이 안전율을 가지고 CFRD가 불안정하다고 평가해서는 안될 것이다. 따라서 CFRD에서는 축재재료의 내부마찰각과 댐사면의 경사도에 의한 안전도를 “Effects of Earthquakes on Dam and Embankment” 논제로 발표한 Newmark's Method에 의하여 지진시 댐의 안전도를 가지고 설계되고 있다.

$$F_s = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} (1 - R_u \cdot \sec^2 \beta)$$

여기서, $N = (F_s - 1) \sin \beta$ 설계지진계수

F_s : 정적안전율

ϕ : 축재재료의 내부마찰각

β : 댐의 사면경사($\tan^{-1}(1/\text{사면구배})$)

R_u : 간극수압(0)

N : 항복지진계수

표 2. 댐의 경사도에 따른 정적안전율

댐의 경사도	β	R_u	ϕ	F_s	N
1 : 1.3	37.568°	0	39°	1.053	0.032
1 : 1.4	35.538°			1.134	0.078
1 : 1.5	33.690°			1.215	0.119
1 : 1.6	32.005°			1.296	0.157
1 : 1.3	37.568°	0	40°	1.090	0.055
1 : 1.4	35.538°			1.175	0.102
1 : 1.5	33.690°			1.259	0.143
1 : 1.6	32.005°			1.343	0.182
1 : 1.3	37.568°	0	41°	1.130	0.079
1 : 1.4	35.538°			1.217	0.126
1 : 1.5	33.690°			1.304	0.168
1 : 1.6	32.005°			1.391	0.207
1 : 1.3	37.568°	0	42°	1.171	0.104
1 : 1.4	35.538°			1.261	0.151
1 : 1.5	33.690°			1.351	0.194
1 : 1.6	32.005°			1.441	0.234

4. CFRD의 침하 변형 특성

4.1 CFRD의 일반적인 변형

Sergio Giudici et al.(2000)은 호주의 HEC에서 설계, 시공한 13개의 CFRD에 대해서 매우 인상적인 CFRD의 거동에 관한 연구자료를 선보였다. 이 13개 댐에 대한 거동 계측 결과는 다음의 그림들로 요약되어지며, 이는 CFRD 거동특성을 파악하는 데에 있어서 핵심적인 내용들을 제공한다.

그림 3(상)는 담수하고 시간이 흐름에 따라 상류사면과 정상부, 하류사면부의 변형을 나타내는 것으로

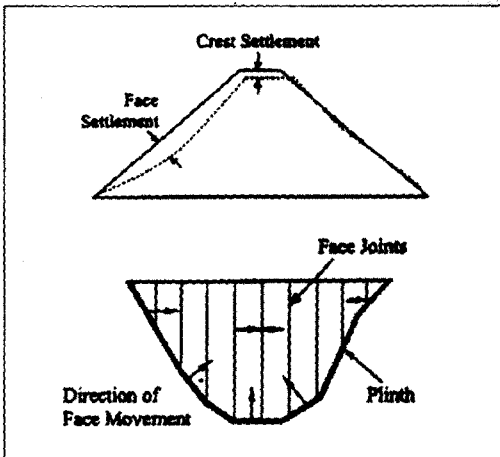


그림 3. 담수 후 체계의 변형과 face 면의 거동

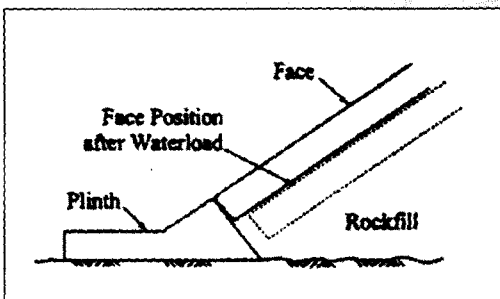


그림 4. perimetric joint에서의 face 변위

로, 불투수층의 변형은 전적으로 댐 재체의 변형에 의존한다는 사실을 알 수 있다. 그림 3(하)는 담수 이후에 face 면에서 나타나는 움직임의 성향을 보여준다. 즉 face 부의 주변쪽은 plinth를 끌고나오려 하며, face slab의 중앙부는 joint들이 압축되는 경향을 나타낸다. 그림 4는 plinth에 대해 face slab가 상대적으로 멀어지려 하며, 중력방향으로 침하하려는 성질을 가짐을 보여준다.

결과적으로 face slab와 plinth 사이의 상대적인 움직임의 크기가 perimetric joint의 지수판 설계에 가장 중요한 인자이며, face slab의 움직임은 지지하고 있는 rockfill의 변형에 의해 좌우됨을 알 수 있다. face의 균열이나 joint 부를 통한 누수현상은 face 선형(curvature)의 급속한 변화를 최소화한다면 상당히 감소시킬 수 있음도 알 수 있다.

4.2 CFRD의 침하

일반적으로 댐체는 대부분 최소한 풍화암층 위에 축조하게 되므로 기초의 압축에 의한 침하는 없다고 볼 수 있으며, 경험적으로 댐체 대부분의 침하는 공사기간중에 발생하는 것으로 추정된다. 하지만 댐축조 완료 후의 장기 침하량을 배제할 수 없으며, 이에 해당하는 양을 예측하여 더쌓기를 하는 것이 필요하다. 설계단계에서 장기 침하량은 재료의 압축성과 축조시 다짐의 불균등에서 오는 공극 등을 고려하여 체체 축조 완료 후부터 댐높이의 통상 0.1%~0.35% 정도로 추정한다. 실제 계측결과상으로 CFRD의 침하는 보통 댐높이의 0.15~0.45% 정도인 것으로 계측되고 있다. 특수한 환경하에서는 댐높이의 1%도 발생한 사례가 있다.

다음은 호주에서 설계, 시공된 13개의 CFRD에 대한 담수 후 정부 침하량과 face deflection 값들을

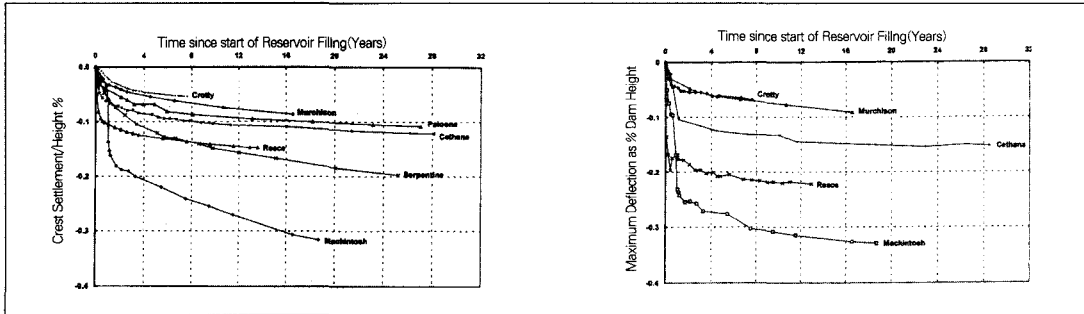


그림 5. 호주 CFRD의 시간에 따른 정부 침하(좌) 및 face deflection(우) 경향

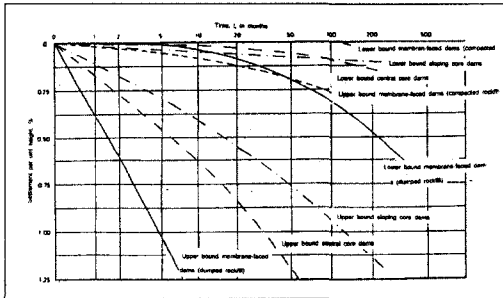


그림 6. 침하곡선 경향 (R. Clements, 1984)

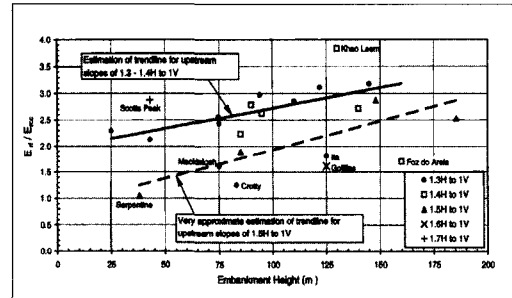


그림 7. 다짐식 rockfill에 대한 댐 높이에 따른 E_r/E_{rc} 비 (Gavan Hunter et al., 2003)

나타낸 그래프이다. 정부 침하량은 측량에 의해 측정되었고, face deflection 값은 경사계로 계측되었다.

위 그림에서 운영이 시작된지 수년이 지난 후에 정상부의 침하량은 댐높이의 0.05~0.3%의 분포를 가짐을 알 수 있다.

Ronald Clements는 1984년까지 지어진 68개 rockfill댐의 완공 후 정부 침하와 변위량을 경험식을 사용하여 예측하는 값들과 정확도를 비교하고 효율성을 평가하는 흥미있는 작업을 진행하였다. 다음은 Clements(1984)가 실제 rockfill댐의 거동사례를 기초로 rockfill댐 침하와 변위 값들의 개략 곡선을 산정한 그래프이다. 그래프에서 시간축의 시작점은 댐 완공 이후 기준점이 설치되고, 최초 실제 계측

이 시작되었던 시간을 기준으로 산정되었다. 정부 침하와 변위에 대한 범위 곡선 그래프를 통하여 특정 설계단면에 대한 댐체 예상 변형량을 재빨리 예측할 수가 있다. 그러나 값들의 넓은 분포로 인하여 특정 변위 값들을 계산할 수는 없으며, 이 곡선들에서 취해진 결과값들은 최초의 근사값으로만 활용해야 할 것이다.

또한 Gavan Hunter et al.(2003)은 CFRD의 실제 사례를 바탕으로 합리적인 rockfill 거동특성을 설명하였다. 다음에 이어지는 일련의 그래프와 표들(CFRD의 rockfill계수와 침하, Gavan Hunter, 2003, ASCE)은 향후 CFRD의 설계와 시공, 그리고 거동양상을 규명할 때 매우 유용하게 사용할 수 있는 자료들이다.

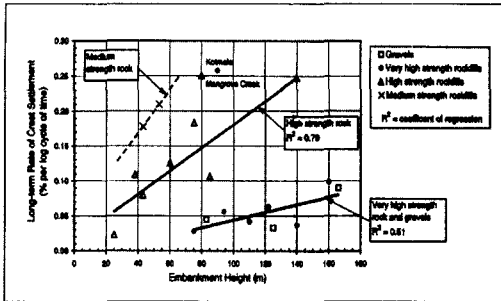


그림 8. 다짐식 rock댐의 댐 높이에 따른 장기 정부 침하 비 (Gavan Hunter et al., 2003)

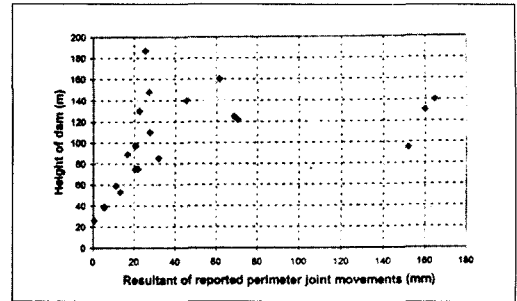


그림 9. 댐 높이와 관측된 최대 perimetric joint의 변위 상관관계 (A. J. Brown, J. D. Gosden, 2000)

4.3 Perimetric Joint의 변위

CFRD의 변형특성과 관련하여 최근에는 perimetric joint에서 발생하는 변위값들에 대한 산정 연구가 활발히 이루어지고 있다. 표 4는 몇개의 CFRD에서 참고할만한 perimetric joint의 실제 측정 변위값이다.

A. J. Brown과 J. D. Gosden (2000)은 "Design criteria for the toe plinth of CFRD and their application to Kannaviou Dam, Cyprus"에서

perimetric joint의 실제 발생한 변위값들을 정리하여 사례로(그림 9) 발표하였다.

4.4 제체 내부의 침하

비단 제체 표면부의 변형특성뿐만 아니라 최근에는 제체 내부의 침하 등 변형특성을 산정하려는 움직임이 활발히 일어나고 있다. 특히 Liu Fu Ming et al(1993)은 "Construction Material Selection and Characteristics of Wan An Xi CFRD" 논문

표 3. 댐핑 속도 CFRD에 대한 장기 정부 침하 비율 (Gavan Hunter et al., 2003)

기간 (주요 정수, 정수 범위, 년)	정수 범위 (% per 100 cycle of time)	평균
0.5 ~ 5년	0.10 ~ 0.58	0.27
5 ~ 20년	0.25 ~ 1.14	0.66
20년 이상	0.33 ~ 1.44	0.85

표 4. perimetric joint의 최대 관측 변위(mm)

NO	댐명	높이(m)	구조	기초	침하	전단(shear)
1	Chengping	74.6	CR	13.1	28.2	20.6
2	Cuangzhou	68.0	CR	2.5	10.4	1.14
3	Lingxi	58.9	CR	0.58	5.8	2.8
4	Cuanmenshan	58.5	CR	2.9	4.8	1.81
5	Tongjiezi	48.0	CR	1.94	0.72	-



에서 저수지 담수 후 건설완료 시점에서 축조재료에 기초한 CFRD의 rockfill 변형특성을 연구하면서 rockfill의 연직 변형률, 연직응력 및 압축계수를 가지고 완공시 CFRD 단면 내 침하분포 추정식을 유도하였다(참고문헌 참조).

5. 침투 및 누수특성

5.1 일반적 특성

댐 누수량(amount of leakage)은 댐상류의 물이 댐체, 기초압반, 또는 접촉면을 통하여 흘러나오는 물의 양을 총칭하는 말이며, 용어 사용에 있어 누수량은 관측치에 사용하고, 이론적 검토시에는 침투량(seepage)으로 사용하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 특히 CFRD의 경우 콘크리트 자체의 투수계수는 대개 $1 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ 이므로 차수벽을 통한 누수량은 매우 작다. 그러나 차수벽의 설계와 그 시공이 양호하더라도 실제 현장에서는 온도 및 건조수축에 의한 미세 균열이 발생하게 되어, CFRD에서의 누수량은 콘크리트의 투수계수에 지배를 받기보다는 joint 부위, 균열부위 및 기초압반 등으로부터의 누수가 지배적인 것으로 알려져 있다. 따라서 댐 형식과 재료원, 지형, 지질 등이 상이한 댐마다의 누수량을 일원화할 수 있는 현실적인 식은 아직 존재하지 않으며, 일원화 자체가 매우 어려운 일이라 하겠다. 최근 대략적인 누수량을 해석적으로 산정하기 위해 많은 연구가 진행되고 있으나, 다양한 현장요건의 불확실성 때문에 명확한 가이드라인을 제시하고 있는 경우는 아직까지 없다.

CFRD의 누수는 일반 필댐과는 달리 누수가 세굴이나 Piping작용을 수반치 않으므로 댐의 안전에

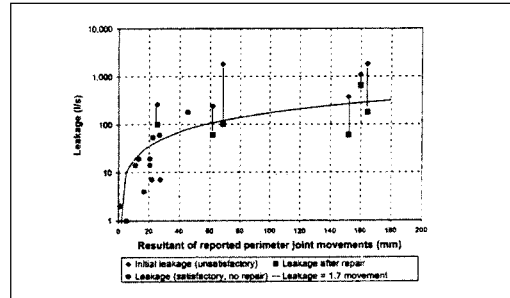


그림 10. 누수량과 관측된 최대 perimetric joint의 변위 상관관계 (A. J. Brown, J. D. Gosden, 2000)

는 영향을 미치지 않으며, 일반적으로 CFRD의 누수는 용수의 경제적 가치와 관련되며, 누수량이 경제적 가치를 상회할 때 보수공사가 타당하다. 또한 시공시, 건설 후 침하량의 감소 및 댐안정성을 위해 CFRD의 차수벽 지지층의 투수도는 $1 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 또는 이 이하로 유지하는 것이 바람직하다.

A. J. Brown과 J. D. Gosden (2000)은 "Design criteria for the toe plinth of CFRD and their application to Kannaviou Dam, Cyprus"에서 perimetric joint의 실제 발생한 변위값들과 누수량을 정리하여 사례로 발표하였다.

다양한 노력의 일환으로 Liu Fu Ming et al(1993)은 rockfill의 침투 저항 특성에 대해서 연구하였는데, 홍수를 막기 위한 가물막이댐 단면은 주로 반 불투수성 bedding zone이 중요한 역할을 하며, 평균 입자크기와 평균 침투 속도를 기준으로 할 때 bedding zone의 레이놀드 수는 1보다 작게 나타났다. 따라서 bedding zone을 통과하는 침투는 층류 흐름을 보이며, darcy 법칙을 만족시키게 되므로 Laplace 방정식으로 해석이 가능하다. 침투수 해석에서 bedding zone, transition zone 및 rockfill 재료는 각각 10^{-9}cm/s , 10^{-2}cm/s , 10^{-1}cm/s 의 투수계수를 갖는 것으로 가정하여, 이에 대한 2차원 유한

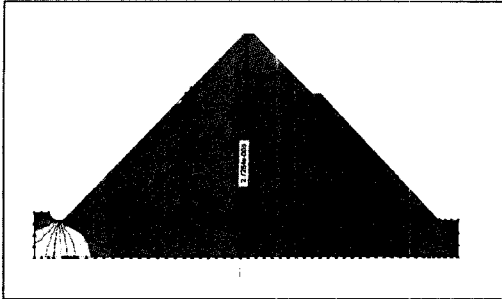


그림 11. 상부 누수시 침투수 거동

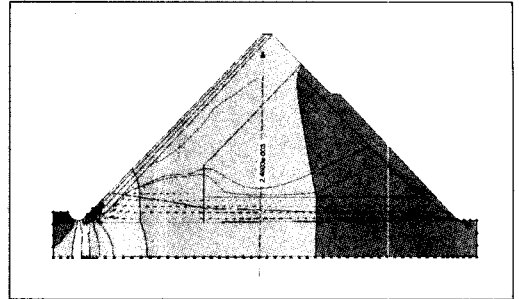


그림 12. 하부 누수시 침투수 거동

요소 침투해석 결과 홍수에 대비한 가물막이댐은 bedding zone 및 transition zone에서 침투 수두의 70%가 줄어들었고, rockfill zone의 phreatic line은 상당히 떨어졌으며 하류측 사면의 안정성에 불리한 영향을 미치지 않았다. 결과적으로 침투 변형은 bedding zone에서 발생하지 않으리라는 사실을 알 수 있었다.

경험적으로도 누수에 대해서 CFRD는 담수 초기에 상대적으로 그 양이 크지만, 시간이 흐르면서 안정화된다. 해외의 일부 100m 이상 댐들에 있어 누수는 20~650 l/s의 범위를 가졌다. 100m 이상되는 중국의 CFRD의 경우 누수량은 10 l/s 이하였다.

5.2 Face Slab 손상시 침투류의 수치해석적 거동특성

CFRD에 있어 face slab에 균열이 발생시 균열부위를 통과하는 침투수가 어떤 거동특성을 보이는지에 대한 연구는 그 중요성에 비해 현재까지 매우 미진한 상태이다. 특히 face slab를 지난 침투수가 bedding zone과 filter zone에서 어떤 궤적을 그릴지는 설계에 있어 매우 귀중한 통찰력을 제시해 줄 수 있다. 따라서 실제 관측은 어렵지만, 수치해석적으로 침투류 벡터의 궤적을 구해 봄으로써 설계시

bedding zone에서의 누수특성을 추정할 수 있다. 이러한 사항을 바탕으로 침투해석 프로그램 SEEP/W를 사용한 face slab 손상시 침투수의 흐름 특성은 다음과 같이 정리된다.

- CFRD에서 face Slab손상시 침투류는 발생부위에 상관 없이 중력방향(연직하방향) 및 수평 방향으로 발생하여, face Slab저면을 따라 흘러가지는 않는다.
- 침투수량은 저수위의 중간 부위에 face가 손상된 경우가 가장 많은 것으로 나타났다.
- Bedding zone 또는 transition zone의 투수성을 적절히 조절할 경우 침투류에 대한 안정성을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

해외에서도 이와 비슷한 연구가 진행중인데, Ding Liuqian et al.(2000)은 "Research on the siltation self-healing watertight structure for super high CFRD"에서 슬래브 joint의 침투 특성에 대해 흥미로운 연구를 진행하였다. 만약 joint가 어떠한 이유로 열리거나 비어있다면, 침투에 대한 저항능력은 주로 bedding zone에서 담당하게 되며 joint에서의 수두 손실은 무시할만하다.

Joint를 통과한 침투수의 흐름은 bedding zone에



서 급격히 분산된다. 큰 수두 손실과 침투 동수경사가 접촉면에서 발생하게 된다. 그러나 결론적으로 bedding zone에서의 누수량과 침투 동수경사는 매우 작으며 이는 수중 덤핑 채움방식의 누수부 처리 공법에 효과적인 것으로 나타났다(참고문헌 참조).

American Bureau of Soil and Water Conservation의 실험에 따르면, 투수계수가 10^{-4} cm/s 정도인 양입도의 bedding zone 재료는 transition 재료의 적절한 필터 보호로 200 이상의 동수경사를 견딜 수 있는 것으로 드러났다. 그러므로 200m 높이의 CFRD에 대해서도 bedding zone 재료는 침투에 대해 매우 안정적인 것으로 사료된다.

6. 결론

본 고에서는 CFRD 축조재료가 가진 역학적 특성에 관하여 요약 기술하였고, CFRD의 설계에 있어서 사면안정성을 평가하는 방법, 그리고 CFRD의 침하 변형특성과 침투 누수특성 등을 실제 사례와 해석적 연구사례를 들어 정리하였다. CFRD가 가진 재료적 우수성과 거동특성은 이제까지 보편적으로 시공된 필댐이나 콘크리트댐과 사뭇 다르며, 이에 대한 정확한 이해는 이제까지 CFRD가 겪어온 과거와 현재를 조명해보고, 미래의 발전적인 기술을 축적하는 일에 필수적인 조건이 되어있다. 따라서 이제까지 걸어 온 CFRD의 거동에 대한 기초적인 지식을 바탕으로 아직 밝혀지지 않은 그 이상의 거동특성을 규명하는 일에 우리는 열의를 가져야 할 것이다.

참고문헌

1. 한국수자원학회, 댐설계기준, 2003
2. 坂本忠彦, 松本徳久, 福永和久 (2000), 海外のCFRDの動向, 댐기술 NO 162, 財法人 댐技術센터
3. A.J.Brown, J.D.Gosden (2000), Design Criteria for the Toe Plinth of CFRD and Their Application to Kannaviou Dam, Cyprus, Proceedings: International Symposium on CFRDs, 18 Sep. 2000, Beijing, China
4. Alberto Marulanda, Nelson L. De S. Pinto (2000), Recent Experience on Design, Construction, and performance of CFRD Dams, J. Barry Cooke volume, Concrete face rockfill dams, Beijing
5. Ding Liuqian, Zhou Xiaoguang, Yang Kaihong, Chao Huayi, Cui Yihao, Research on The Siltation Self-Healing Watertight Structure for Super High CFRD, Proceedings: International Symposium on CFRDs, 18 Sep. 2000, Beijing, China
6. Gavan Hunter, Robin Fell (2003), Rockfill Modulus and Settlement of CFRDs, Journal of Geotechnical and Geoenvironment Engineering, ASCE
7. Kazuo Harita, Fumio Yonezaki, Nobuteru Sato, Takehiko Someya, Koichi Ono (2000), Stress and Deformation of Concrete Slab in CFRD, Proceedings: International Symposium on CFRDs, 18 Sep. 2000, Beijing, China
8. Liu Fuming, Chen Yibin, Liu Jie, Ni Yunliang, Construction Material Selection and

Characteristics of Wanaxi CFRD, Proceedings: International Symposium on High Earth-rockfill Dams, Oct., 1993, Beijing, China

9. Masayuki Kashiwaanagi, Shintaro Koizumi, Yutaka Ishimura, Hiroshi Kakiage (2000), A Fundamental Study on the Face Slab Joint Behavior on the CFRD, Proceedings: International Symposium on CFRDs, 18 Sep. 2000, Beijing, China

10. N. L. de S. Pinto, P. L. Marques Filho (1998), Estimating the Maximum Face Deflection in CFRDs, The International Journal on Hydropower & Dams, Vol.5, Issue 6, 1998

11. Mike D. Fitzpatrick, Bruce A. Cole, Frank L. Kinstler, Bram P. Knoop (1985), Design of Concrete-Faced Rockfill Dams, Concrete Face Rockfill Dams - Design, Construction, and Performance, ASCE, 1985

12. Ronald P. Clements (1984), Post-Construction Deformation of Rockfill Dams, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.110, No.7, 1984, ASCE

13. Sergio Giudici, Richard Herweynen, Peter Quinlan, HEC experience in CFRDs - Past, Present And Future, Proceedings: International Symposium on CFRDs, 18 Sep. 2000, Beijing, China

회비 납부 안내 (지로 및 온라인)

학회 사무국에서는 연중 수시로 학회비를 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 대리)으로 전화주세요