

CFRD 축조재료의 다짐관리 기준

Compaction Management Criteria for Fill Materials of Concrete Faced Rockfill Dam

김용성*·박한규 (한국수자원공사)·임희대 (충남대학교)
Kim, Yong Seong*·Park, Han Gyu·Lim, Heui Dae

Abstract

In this study, construction modulus, void ratio and settlement characteristics of 38 CFRD in domestic and foreign countries was investigated from monitoring data and the effect of field dry density and void ratio to dam body was analyzed. The standard void ratio of CFRD that can be easily used for dam designer and field engineer was proposed from the monitoring data. It was conformed that we can get the degree of compaction needed for reasonable compaction of dam body by calculating the field dry density from inverse operation of the standard void ratio. It was thought that the standard void ratio of CFRD is 0.2 as shape factor is under 4 and is 0.28 as shape factor is over 4.

I. 서론

2005년 현재, 우리나라에서 건설된 9개의 대형 댐들이 콘크리트 표면차수벽형 석피댐(Concrete Faced Rockfill Dam, 이하 'CFRD'라 약칭함)이며, 9개의 다목적댐 혹은 용수 전용댐들이 CFRD형 식으로 건설중(또는 예정)이다. 암석자원이 풍부한 우리나라의 경우 축조 재료원 구득이 쉬워 다른 타입의 댐보다 CFRD는 경제적 설계가 가능하며, 댐체 축조시 기상의 영향을 적게 받고, 큰 입경재료로 축조되므로 파이핑 등 누수에 대해 저항력이 강한 장점을 가지고 있어 1990년대 후반부터 주요한 댐 형식의 하나로 급부상하였다. 또한 CFRD는 댐 높이가 동일할 경우 사면경사를 급하게 할 수 있으므로 암석개발 물량을 줄여 환경훼손을 적게 할 수 있으며, 제체 내부에 간극수압이 걸릴 수 없는 구조이므로 지진 발생시에도 유효응력의 감소가 없고 암석재의 주 축조재료인 암괴의 엇물림 작용으로 지진에 대한 안정성도 높은 특징이 있으며 이러한 이유로 인해 중국, 스페인, 미국, 호주, 루마니아, 칠레, 브라질 등 세계 각국에서도 많은 인기를 누리고 있다.

CFRD가 널리 알려지게 된 것은 1955년 스코틀랜드의 Quoich댐에서 Rockfill 재료를 진동롤러로 다짐함으로써 누수량을 상당량 줄일 수 있음을 확인한 '다짐공법'이 계기가 되었으며, 호주의 Risdon Brook댐(1968) 건설 이후 CFRD의 다짐공법이 정착되었고, Cethana댐(1973)에서의 슬립폼(slip form) 적용에 의한 차수벽의 수평이음 제거 방법의 도입으로 CFRD의 안전성 및 경제성의 탁월함이 확인되어, 이후 CFRD가 세계 도처에 속속 건설되기 시작하였다.

한편, CFRD의 괄목할만한 양적(量的) 증가에도 불구하고 CFRD의 설계·시공·유지관리 기준은 경험적인 방법에 의존하는 경우가 많다. 일반적인 비점성토의 상대밀도 시험방법은 KSF 2345에 규정되어 있으나 댐 축조재료와 같이 입경이 큰 조립재료에 대한 표준상대밀도 시험방법은 없으며, CFRD 축조재료(통상 800~1500mm이하의 암석)는 경험에 의한 상대밀도 시험방법으로 다짐 기준을 설정하고 있는 실정이다. 그로인해 다짐도 결정시 최대건조밀도 산정에 있어 다짐에너지, 다짐시간 선정 등에 실험자의 주관이 개입되고, 현장 건조밀도 측정시 상당한 시간과 노력이 요구되는 등 댐 현장에서의 다짐관리 기준을 설정하는데 많은 어려움이 있다.

또한, 댐 축조재료는 암석재료로서 암종에 따라 비중이 다르므로 일률적으로 현장건조밀도만을 이용하여 다짐관리 기준을 설정하면 암종에 따라 각 댐 현장마다 제체의 간극비가 큰 차이를 나타낼 수 있으므로 침하양상도 많이 달라질 수 있다. 간극비는 (1)식과 같이 비중과 건조밀도의 비와 관련되므로 댐 제체 내부의 간극은 현장건조밀도 뿐만 아니라 암석 재료의 비중과도 밀접한 관련을 갖는다.

$$e = \frac{G\gamma_w}{\gamma_d} - 1 \quad (1)$$

여기서, e 는 간극비, G 는 축조재료의 비중, γ_w 는 물의 단위 중량, γ_d 는 현장건조밀도

따라서 종합적인 CFRD의 설계·시공·유지 관리를 위해서는 현행의 건조밀도를 이용하여 다짐도를 결정하는 것 보다 간극비를 이용하는 것이 올바른 방법이라 할 수 있다.

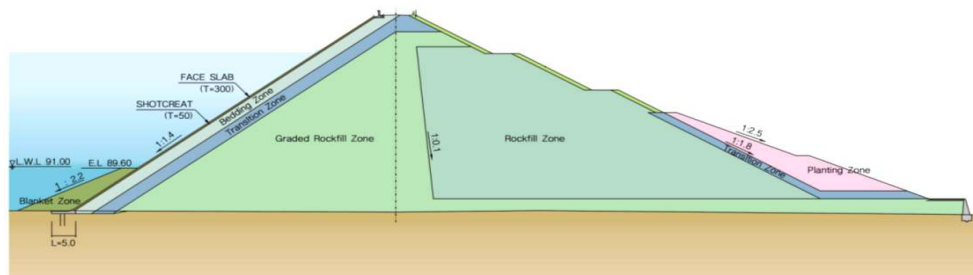
본 연구에서는 국내의 38개의 CFRD 측정자료를 분석하여 변형계수, 간극비, 침하량 관계를 고찰하고 현장건조밀도 및 간극비가 제체에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 CFRD의 다짐관리 기준으로서 표준 간극비($e_{standard}$)를 이용하는 방법을 제안하였으며 향후 국내 CFRD의 설계·시공 및 장기적인 유지관리에 필요한 기초자료를 제시하고자 하였다.

II. CFRD의 각 Zone별 포설 및 다짐 관리

우리나라의 주요 CFRD 축조재료의 설계현황은 <표 1>과 같으며 각 댐별로 다짐장비, 주행속도, 다짐두께 및 다짐회수가 제시되어 있다. <그림 1>은 CFRD형식인 D댐의 단면도를 나타낸다.

<표 1> 우리나라 주요 CFRD 축조재료의 설계 현황

댐 명	설계년도	댐높이	Zone	최대입경 (mm)	밀도(tf/m ³)	내부마찰각(도)	다짐회수	다짐두께(cm)	다짐장비(V/R)	주행속도(km/h)
남강댐 (보강)	1989	34.0	2	100	2.21	43	6	30	10ton	4
			3A	300	1.89	42	6	50		
			3B	600	2.04	50	6	60		
			3C	1,000	1.96	48	4	100		
부안댐	1990	50.0	2	75	2.10	45	7	30	10ton	4
			3A	150	2.10	43	6	50		
			3B	800	2.00	43	4	100		
			3C	1,500	1.90	41	6	160		
밀양댐	1991	89.0	2	75	2.10	45	6	40	10ton	4
			3A	150	2.10	45	6	50		
			3B	800	2.00	43	4	100		
			3C	1,500	1.90	40	4	160		
용담댐	1991	70.0	2	75	2.20	45	6	-	10ton	4
			3A	150	2.10	43	6	-		
			3B	800	1.95	43	6	100		
			3C	1,500	1.90	41	6	160		
산청양수 상하부댐	1995	97.0 /67.5	2	75	2.00	38	6	40	10ton	4
			3A	150	2.10	37	6	40		
			3B	800	2.30	41	6	100		
			3C	1,500	2.30	42	6	160		
대곡댐	1996	52.0	2	75	2.10	45	6	-	10ton	4
			3A	150	1.95	43	6	-		
			3B	800	2.14	43	5	-		
			3C	600	1.96	40	4	-		



<그림 1> 콘크리트 표면차수벽형 석피댐(D댐)의 단면도

<표 2> CFRD의 각 Zone별 포설 및 다짐 방법(Y댐의 예시)

Zone	포설 및 다짐 방법
1 (Upstream Blanket)	① 1층 포설 두께: 30cm 미만 ② Face slab의 60cm 이내 포설 및 다짐장비 접근 금지 ③ Face slab 인접지역은 세립자로 포설 ④ 우천시 대비: 축조면의 표면배수 유도 및 보호덮개 설치 ⑤ 다짐장비: 19ton Sheep-foot Roller 6회 주행 ⑥ 다짐후 투수계수: 1×10^{-6} cm/sec 이하 ⑦ 축조용 횡단도로는 알 재료를 이용한 가도 설치
2 (Bedding)	① 1층 포설 두께: 0.4~0.5m ② 인접한 Zone-3 경계사면의 재료분리 발생부위는 모따기 등 별도 처리 후 포설 ③ 양안부 등 Roller 접근 불가지역의 1층 두께: 10cm(특수다짐: 소형다짐장비 이용) ④ Soil cementL Plinth 인접지역에 5%의 시멘트 혼합 포설(포설 두께: 15cm) ⑤ Zone-2의 상류측 사면 끝단부는 현 포설고 보다 10~20cm 더 높게 유지 ⑥ Plinth 기초부는 포설 전 깨끗하게 유지하고 필요시 살수를 이용한 청소 시행 ⑦ 우천시의 Zone-2의 시공은 함수비 조절이 어려워 세심한 주의 필요 ⑧ 다짐장비: 10ton Vib. Roller 6회 주행(동절기 8회) ⑨ 다짐후 투수계수: 1×10^{-4} cm/sec 이하 ⑩ 다짐시 고압 분사봉을 이용한 함수비 조절 ⑪ 자갈이 집중되어 발생된 재료분리 구간은 다음 층 축조 전 인력 제거 및 장비를 이용하여 치환 ⑫ 과도한 함수비로 인하여 스펀지 현상이 발생된 구간은 제거 후 치환 ⑬ 상류사면의 1 Lift: 축조고 15m 마다 1회 시행(견인식 6ton Vib. Roller)
3A (Transition)	① 포설전 Zone-3B 경계사면의 재료분리 여부의 점검 및 다짐 ② 1층 포설 두께: 0.4~0.5m ③ Zone-2와의 경계사면 끝단에 자갈의 집중화에 주의하여 시공 ④ 다짐장비: 10ton Vib. Roller 6회 주행(동절기 8회)
3B (Main Rockfill)	① 1층 포설 두께: 0.8~1.0m(동절기나 세립재료 포설시:0.5m) ② 한 방향 포설 폭: 30m 정도가 적당 ③ 포설방법: 전층 포설면에 직접 포설하지 말고, 현 포설면 끝단 직후방 상단에 덤핑 후 Dozer로 밀어 내림 ④ Zone-3A와의 경계사면부에는 허용 입도범위내에서 되도록 세립에 가까운 재료로 축조 ⑤ 양안부의 포설: abutment로부터 10~20m 후방에서부터 abutment를 향하여 포설해 나감 ⑥ 살수인원의 배치: 현 포설방향의 전방에 배치하여 덤핑, 포설되는 재료에 직접 살수 ⑦ 다짐장비: 10ton Vib. Roller 4회 주행 ⑧ 다짐장비 주위에 살수인원 고정배치 ⑨ 축조면의 평탄성 확보: 세립의 재료가 위로 포설되도록 하여 다짐장비의 전압이 잘 되도록 함
3C (Sub Rockfill)	① 1층 포설 두께: 1.5~2.0m ② 다짐장비: 10ton Vib. Roller 4회 주행 ③ 댐 축조고가 정상부에 가까워지면 Zone-3B와 같은 두께로 포설함 ④ 하류사면에서 1~2.0m 구간은 대형 암으로 축조하고 Zone-3C 체체보다 한층 먼저 시공함 ⑤ 하류사면 rip rap의 고입돌이나 채움돌은 세립분이 함유되지 않도록 주의함

CFRD의 각 Zone별 포설 및 다짐 방법(Y댐의 예시)은 <표 2>에 나타낸 바와 같으며 추가적으로 부연하자면 다음과 같다.

1) Zone-1(Upstream blanket, 불투수준)

Face slab의 보호를 위하여 slab 주변 60cm이내에서는 Rammer, Temping roller 등 소형 다짐장비를 사용하여 다짐두께 15cm이하로 특수다짐을 실시한다. 축조장을 횡단하여 축조재료를 운반할 경우 축조된 점토의 과다침현상을 방지하기 위해 반투수성 재료로 가도를 설치한다.

2) Zone-2(Face slab bedding)

Plinth 기초 굴착부에 시공되는 Zone-2는 다짐장비의 진입이 어렵고 콘크리트 구조물과 접해있는 점을 고려하여 침하를 방지하고 밀도를 향상시키기 위하여 Zone-2재료의 중량비 5%의 시멘트를 혼합한 Soil cement를 시공한다. 이때 현 포설고보다 한 층을 선행 시공하여 Zone-2의 다짐시공을 용이하게 한다.

3) Zone-3B(Main rockfill)

댐 저부에서 축조 작업시 넓은 단면을 한 번에 포설 다짐하면 포설작업에 비하여 다짐작업의 속도가 늦기 때문에 다짐효율이 저하되므로 포설장비, 다짐장비, 운반 장비의 교행 등을 고려하여 한 방향 축조 폭을 30m정도로 분리한다. 전 축조면 위에 바로 포설하면 입도의 혼합이 적절하게 이루어지지 않으므로 현 축조면 위에 대형 암은 앞쪽에, 세립분은 뒤쪽에 덤핑한 후 동시에 밀어 내린다.

4) Zone-3C(Sub rockfill)

Zone-3C는 정상부에서 폭이 최소 6m까지 협소해지므로 Zone-3B의 다짐두께와 다르게 시공될 경우 운반, 포설, 다짐 등 일련의 작업이 어려우므로 재료의 최대 크기를 Zone-3B와 같게 하여 포설두께도 Zone-3B와 동일 높이로 하여 작업공간을 확보한다.

III. CFRD의 계측자료 분석

계곡형상계수(Valley shape factor)는 콘크리트 페이스 면적(A, m^2)을 댐 높이의 자승으로 나눈 값을 말하며, 계곡이 좁을수록 낮고 넓을수록 높은 값을 보인다(Pinto & Marques Filho, 1998). 유사 개념의 계곡형상비(Valley width ratio)는 댐 길이를 댐 높이로 나눈 값으로 계곡형상을 고려한 댐체 거동 분석에 사용되어 왔다(Giudici et al., 2000). 그러나 계곡형상계수와 계곡형상비는 <표 3>에서 볼 수 있듯이 Fortuna 1st, Khao Laem, Namgang, Tamjin댐의 경우처럼 댐 길이가 긴 경우 다소 차이를 나타낸다. 또한 두 계수 중 어떤 계수가 좀 더 정확한 계곡형상을 나타내는지에 대한 정의를 내릴 수 없으므로 본 연구에서는 두 계수의 평균값(shape coefficient)을 사용하는 것으로 하였다.

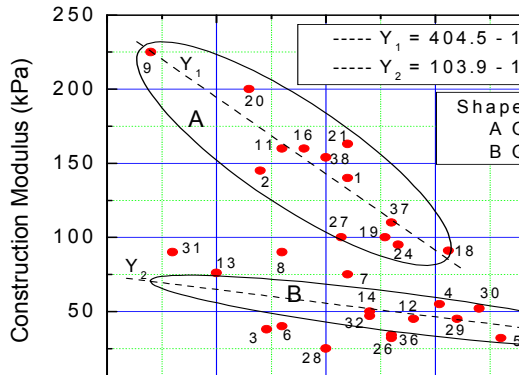
<표 3> CFRD 현황

No.	Dam	Country	Year	Height (m)	Length (m)	Face Area ($10^3 m^2$)	Shape Factor (A/H^2)	Valley width Ratio	Shape Coefficient	Slopes	Rock Type
1	Cethana	Australia	1971	110	215	30	2.5	2.0	2.2	1.3, 1.3	Quartzite
2	Alto Anchicaya	Colombia	1974	140	260	22.3	1.1	1.9	1.5	1.4, 1.4	Hornfels
3	Little Para	Australia	1977	54	-	10	3.4		3.4	1.3, 1.4	Shale
4	Sugaroaf	Australia	1979	85	1050	83	11.5	12.4	11.9	1.5, 2.2	Siltstone
5	Foz do Areia	Brazil	1980	160	828	139	5.4	5.2	5.3	1.4, 1.4	Basalt
6	Mackintosh	Australia	1981	75	465	27.5	4.9	6.2	5.5	1.3, 1.3	Greywacke
7	Mangrove creek	Australia	1981	80	384	29	4.5	4.8	4.7	1.5, 1.6	Siltstone
8	Tullabardine	Australia	1982	26	200	5.5	8.1	7.7	7.9	1.3, 1.3	Greywacke
9	Murchison	Australia	1982	94	200	17	1.9	2.1	2.0	1.3, 1.3	Rhyolite
10	Fortuna 1st	Panama	1982	60	1056	22	6.1	17.6	11.9	1.3, 1.4	Andesite
11	Bastyan	Australia	1983	75	430	19	3.4	5.7	4.6	1.3, 1.3	Rhyolite
12	Khao Laem	Thailand	1984	113	910	140	11	8.1	9.5	1.4, 1.4	Limestone
13	Shiroro	Nigeria	1984	125	560	65	4.2	4.5	4.3	1.3, 1.3	Granite
14	Kotmale	Sri Langka	1984	90	620	60	7.4	6.9	7.1	1.4, 1.45	Gneiss
15	Dongbok	Korea	1985	44.7	188.1	7	3.5	4.2	3.9	1.5, 1.5	Andesite
16	Lower Pieman	Australia	1986	122	360	37.8	2.5	3.0	2.7	1.3, 1.3~1.5	Dolerite
17	Pyonghwa(1st)	Korea	1988	80	410	45.7	7.1	5.1	6.1	1.5, 1.5	Gneiss
18	Guanmenshan	China	1988	58.5	183.6	8.2	2.4	3.1	2.8	1.4, 1.59	Andesite
19	Chengbing	China	1989	74.6	325	15.8	2.8	4.4	3.6	1.3, 1.3	Tuff
20	White Spur	Australia	1989	43	146	4.3	2.3	3.4	2.9	1.3, 1.3	Tuff
21	Xibeikou	China	1989	95	222	29.3	3.3	2.3	2.8	1.4, 1.4	Limestone
22	Longxi	China	1990	58.9	140.5	7.07	2.0	2.4	2.2	1.3, 1.3	Tuff
23	Zhushuqiao	China	1990	78	245	23	3.8	3.1	3.5	1.4, 1.7	Limestone
24	Huashan	China	1993	80.8	160.4	13.03	2.0	2.0	2.0	1.4, 1.4	Granite
25	Segredo	Brazil	1993	145	705	86	4.1	4.9	4.5	1.3, 1.2~1.4	Basalt
26	Xingo	Brazil	1994	150	850	135	6.0	5.7	5.8	1.4, 1.3	Granite
27	Wanaxi	China	1995	93.8	210	18	2.0	2.2	2.1	1.4, 1.4	Granite
28	Buan	Korea	1996	50	282	18.2	7.3	5.6	6.5	1.4, 1.4	Rhyolite
29	Tianshenqiao	China	2000	178	1168	156	4.9	6.6	5.7	1.4, 1.25	Limestone
30	Yongdam	Korea	2001	70	498	43	8.8	7.1	7.9	1.4, 1.4	Schist
31	Miryang	Korea	2001	89	535	54	6.8	6.0	6.4	1.4, 1.4	Granite
32	Namgang	Korea	2001	34	1126	41.8	36.2	33.1	34.6	1.5, 1.5	Gneiss
33	Machadinho	Brazil	2002	125	700	77.3	5.0	5.6	5.3	1.3, 1.2	Basalt
34	Sancheong(L)	Korea	2002	70.9	286.1	31.7	6.3	4.0	5.2	1.4, 1.4	Granite
35	Sancheong(U)	Korea	2002	86.9	360	23	3.1	4.1	3.6	1.4, 1.4	Gneiss
36	Tamjin	Korea	2005	53	403	30	10.7	7.6	9.1	1.4, 1.8	Tuff
37	Yangyang	Korea	2005	72	347	26	5.0	4.8	4.9	1.4, 1.4	Gneiss
38	Daegok	Korea	2005	52	190	10	3.7	3.7	3.7	1.4, 1.8	Gneiss

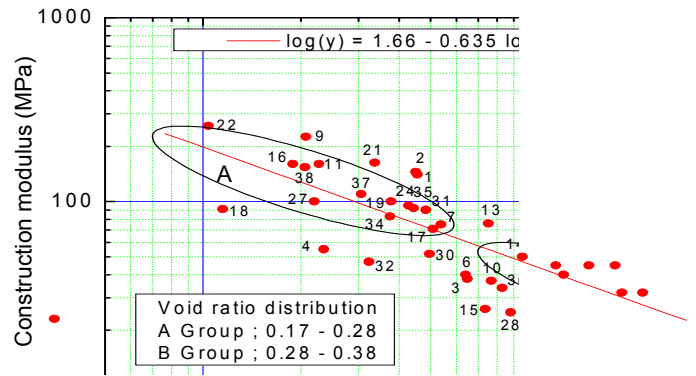
변형계수는 침하계 상부 및 하부 락필의 높이, 락필의 단위중량 및 침하량으로부터 구하며(식 (2) 참조) 모암재료 및 락필의 간극비에 의존한다(Fitzpatrick et al., 1985).

$$E_v = H \times Y_r \times h / (1000 \times s) \quad (2)$$

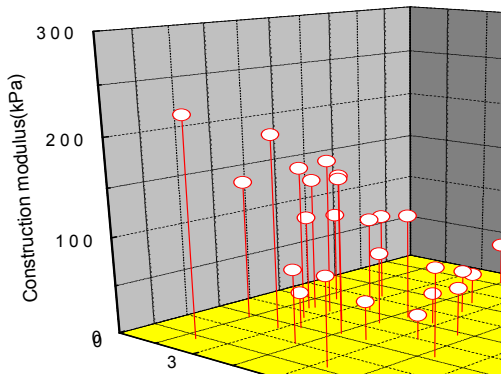
여기서: E_v = 수직변형계수(MPa), H = 침하계 상부 락필의 높이(m), s = 침하량(m)
 Y_r = 락필의 단위중량, kN/m^3 , h = 침하계 하부 락필의 높이(m)



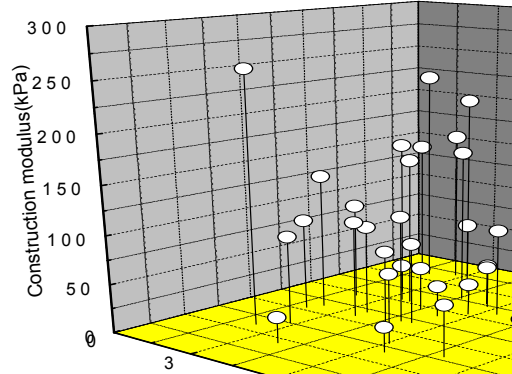
<그림 2> 간극비-변형계수 관계



<그림 3> 변형계수-상대침하율 관계



<그림 4> 변형계수-형상계수-간극비 관계



<그림 5> 변형계수-형상계수-현장밀도 관계

<그림 2>~<그림 5>는 국내·외 38개 CFRD 계측자료로부터 얻어진 간극비, 변형계수, 상대침하율, 형상계수, 현장밀도와의 관계를 나타낸다. <그림 2>에서 보는 바와 같이 계곡형상계수 4를 기준으로 하여 간극비와 변형계수의 분포양상이 달라짐을 알 수 있으며, 간극비가 낮을수록 변형계수는 커지고 간극비가 높을수록 변형계수는 작아짐을 알 수 있다. <그림 3>과 같이 변형계수와 상대침하율(침하량/댐 높이*100(%))의 대수관계에서는 반비례함을 볼 수 있다. 특히 상대침하율이 낮을수록 간극비가 0.17~0.28정도로 상대적으로 낮게 나타났으며, 상대침하율이 높을수록 간극비가 0.28~0.38정도로 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 간극비가 상대적으로 높으면 침하량이 클 것을 예측할 수 있고, 간극비를 낮게 함으로 댐 체체의 침하량을 줄이고 압축강도를 높일 수 있음을 알 수 있다. 또한 <그림 2>~<그림 3>을 이용하여 계곡형상에 따른 CFRD의 적정 다짐을 위한 표준 간극비가 결정될 수 있다면 암중에 따른 비중은 시험을 통해 알 수 있으므로 목표의 현장건조밀도는 쉽게 얻어질 수 있다. <그림 4> 및 <그림 5>는 간극비와 현장건조밀도를 변형계수와 계곡형상계수와 비교해 본 결과를 나타낸 것으로 간극비는 다른 두 Factor와 비교적 직선 혹은 곡선적 관계를 smooth하게 나타내나 건조밀도는 불규칙적인 양상을 나타낸다. 동일한 건조밀도로 축조된 댐에서 모암의 비중이 다르면 간극비가 다르게 되어 변형-강도 특성이 달라지므로, 현재의 방법과 같이 실내시험 및 현장건조밀도시험을 통해 상대밀도를 구하고 그에 따라 다짐도를 구하는 방법은 모암의 영향을 고려할 수 없다. 비교적 시공 실적이 많지 않은 CFRD는 국내 및 외국의 타댐과의 상호 비교 분석을 통한 안정성 평가 및 종합적인 유지 관리가 필요하며 이 때 체체의 건조밀도 보다는 모암의 비중을 고려한 간극비를 기준으로 응력-변형 특성을 비교 분석하는 것이 보다 더 효과적일 것이므로 다짐관리도 간극비로서 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

IV. CFRD의 다짐관리 기준

댐 현장에서의 일반적인 다짐관리 기준은 상대다짐(Relative compaction), 즉 다짐도와 상대밀도 등에 의한 방법이 있다.

$$R = \frac{\gamma_d(\text{Field})}{\gamma_{dmax}(\text{Lab})} \times 100(\%) \quad , \quad Dr = \frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{dmin}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}} \times 100 \quad (3)$$

여기서, R 은 다짐도, γ_{dmax} , γ_{dmin} 는 각각 최대, 최소건조밀도, γ_d 는 현장건조밀도

그러나 이 방법들은 전술한 바와 같이 동일한 다짐도일지라도 축조재료의 압중에 따라 간극비가 달라져 댐 축조과정 및 축조완료후의 유지 관리에 있어 변형 특성 분석에 어려움이 따르므로 다음의 (4)식과 같이 간극비로서 다짐관리 하는 것이 타당성을 갖는다.

$$R = \frac{e(\text{Field})}{e_{max}(\text{Lab})} \times 100(\%) \quad , \quad Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (4)$$

여기서, e_{max} , e_{min} 는 각각 최대, 최소간극비, e 는 현장 간극비

한편, 실내시험으로 최대건조밀도와 최대간극비를 구할 경우, 축조재료가 1,500mm이하로서 대형이며 표준 시험 방법이 없는 관계로 다짐시간 및 다짐에너지 등의 결정 및 실험결과에 실험자의 주관이 개입될 수밖에 없다. 이러한 실정에서 현실적 대안의 하나로서 CFRD의 표준 간극비를 <그림 2~3>으로부터 참고하여 현장의 건조밀도를 역산하는 방법을 (5)식과 같이 제안한다.

$$\gamma_d = \frac{G\gamma_w}{e_s + 1} \quad (5)$$

여기서, e_s 는 CFRD의 표준 간극비(standard void ratio for CFRD)로서 계곡형상이 4이하일 경우 0.23, 계곡형상이 4이상일 경우는 0.28을 적용함(단, 추후 보완 연구가 계속되어야 할 것임).

V. 결론

본 연구를 통해 제시된 주요한 결론은 다음과 같다.

- 1) 현재까지 시공 실적이 많지 않은 CFRD 분야에서 국내·외의 타댐과 상호 비교 분석을 통한 안정성 평가는 필수적이며, 이 때 건조밀도 보다 간극비를 기준으로 변형 특성을 비교 분석하는 것이 보다 더 효과적이므로 다짐관리도 간극비로서 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.
- 2) 국내·외 38개 CFRD 계측자료로부터 댐 설계자 및 현장기술자들이 간편하게 이용할 수 있는 CFRD의 표준 간극비를 제안하였으며 이를 통해 현장건조밀도를 역산하여 제체의 적정 다짐에 필요한 다짐도를 효과적으로 구할 수 있다.
- 3) CFRD의 표준 간극비(standard void ratio for CFRD)는 계곡형상이 4이하일 경우 0.23, 계곡형상이 4이상일 경우는 0.28을 적용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국수자원학회(2005), 댐설계기준, pp.169-277.
2. Fitzpatrick, M. D., Cole, B. A., Kinstler, F. L. and Knoop, B. P. (1985), Design of Concrete-Faced Rockfill Dams, Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction, and Performance, Cooke, J. B and Sherard J. L., ed., pp.410-434.
3. Giudici, S., Herweynen, R. and Quinlan, P. (2000), HEC Experience in Concrete Face Rockfill Dams - Past, Present and Future, Proc. of International Symposium on Concrete Faced Rockfill Dams, Beijing, pp.29-46.
4. International Water Power & Dam Construction (2004), Year Book 2004, pp.282-288.
5. Korea Water Resources Corporation (2005), Dam Integration Information System.
6. Pinto, N. L. S. and Marques Filho, P. (1998), Estimating the Maximum Face Deflection in CFRDs, The International Journal on Hydropower & Dams, Vol.5, Issue 6, pp.28-31.