

콘크리트표면차수벽형 사력댐(CFGD)의 적용성 고찰 Suitability of Concrete Faced Gravelfill Dam(CFGD)

김범주¹⁾, Bum-Joo Kim, 임은상²⁾, Eun-Sang Im, 임정열³⁾, Jeong-Yeul Lim, 박한규⁴⁾, Han-Gyu Park
임희대⁵⁾, Heui-Dae Lim

- 1) 수자원연구원 댐기술연구소 선임연구원, Senior Researcher in Dam Engineering Research Center KIWE
- 2) 수자원연구원 댐기술연구소 선임연구원, Senior Researcher in Dam Engineering Research Center KIWE
- 3) 수자원연구원 댐기술연구소 선임연구원, Senior Researcher in Dam Engineering Research Center KIWE
- 4) 수자원연구원 댐기술연구소 소장, Director in Dam Engineering Research Center KIWE
- 5) 충남대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chungnam National Univ.

SYNOPSIS : In this study, the suitability of CFGD(concrete faced gravelfill dam) was investigated by examining the strength and deformation characteristics of a gravelfill material, a CFGD main fill material, and comparing them with those of several rockfill dam materials. The gravelfill material exhibited similar strength and deformation properties to those of the main fill materials of existing stable large rockfill dams. Since not only CFGD has environmental and economic advantages over CFRD, but its main fill material compares favorably with those of the existing stable CFRDs, CFGD may be the best choice when natural gravel materials are abundant in the vicinity of the dam construction location.

Key words : CFGD, Gravelfill, Strength, Deformation, Rockfill, CFRD

1. 서 론

국내의 현재 건설 중이거나 관리 중인 대형 댐들의 형식은 대부분 암석재를 주축조재료로 사용하는 락필댐(rockfill dam), 혹은 콘크리트표면차수벽형 석피댐(concrete faced rockfill dam, CFRD)으로, rockfill 재료를 이용한 댐 설계 및 시공기술은 비교적 오랜 기간의 경험과 많은 연구를 통해서 발전해 왔다. 그러나 댐 건설시 rockfill 재료를 사용하기에 불리한 조건들 - 예를 들어 석산 개발에 따른 공사비 증가와 공정 지연, 원거리 재료원 등 - 이 존재할 수 있으며 이러한 경우, 대신 댐 예정부지에 상대적으로 하상자갈 등 천연골재가 풍부하다면, 댐 부지의 천연재료들을 그대로 주축조재료로 사용하는 것이 rockfill dam 건설에 대하여 매우 경제적인 대안이 될 수 있다. 이러한 방법을 통해 건설되는 댐을 통상 gravelfill dam이라 하며 특히, 콘크리트표면차수벽형 사력댐(concrete faced gravelfill dam, CFGD)은 gravelfill dam의 일종으로 외국에서는 일반화된 댐 형식이다. 국내에는 아직 시공 사례가 없으나 지난 2004년 국내 최초로 CFGD가 착공되어 현재 건설 예정에 있으며 1980년대 이후 CFGD의 채택 증가는 세계적인 추세이므로 이는 국내에도 영향을 미쳐 향후 신규댐에 대하여 CFGD형식이 증가할 것으로 보인다. 본 연구에서는 CFGD의 국내-외 현황을 조사하고 환경성과 경제성을 제외한 구조적 안정성 측면에서 CFGD의 적용성을 고찰하였다. 이를 위하여 국내 CFGD 현장 축조제에 대한 전단강도 및 변형시험 결과와 기존의 안정된 국내 대형 rockfill dam 축조제에 대한 설계 및 시험결과 자료 등을 비교하고 이를 통해 CFGD의 상대적인 안정성을 판단하였다.

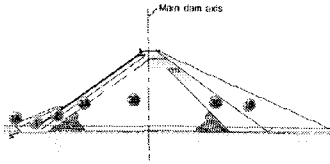
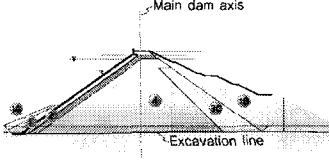
2. CFGD의 국내외 적용 현황

2.1 CFRD와 CFGD

콘크리트표면차수벽형 사력댐(Concrete Faced Gravelfill Dam, CFGD)은 이미 널리 알려진 콘크리트표면차수벽형 석괴댐(Concrete Faced Rockfill Dam, CFRD)과 댐 형식면에서는 동일하나 축조재료에 있어서 rockfill 재료 대신 gravelfill 재료를 사용한다는 점에서 차이가 있다. 더욱이 통상적으로 CFGD를 언급할 때 gravelfill 재료는 CFRD에서 그러한 것처럼 석산개발을 통해서 얻은 암석재료를 사용하는 것이 아니라 댐 건설지역 부근의 천연재료(하상골재 등)를 그대로 축조재료로 사용한다는 점에서 큰 차이가 존재한다.

표 1은 CFRD와 CFGD를 상호 비교한 내용으로 특히 경제성이나 환경적인 측면에서 CFGD가 CFRD보다 유리하다고 할 수 있다.

표 1. CFRD와 CFGD 비교

구분	콘크리트표면차수벽형 석괴댐(CFRD)	콘크리트표면차수벽형 사력댐(CFGD)
단면		
댐개요	· 주 축조재료로 암석을 사용하여 축조	· 주 축조재료로 사력을 사용하여 축조
재료원	· 석산 개발로 환경 훼손 · 재료원 운반거리가 CFGD에 비해 상대적으로 멀음	· 석산을 개발하지 않으므로 환경훼손 적음 · 하상 재료를 사용하기 때문에 운반거리가 짧음
시공성	· 주 축조재료가 암석재이기 때문에 품질관리 양호 · 덤프트럭	· 주 축조재료가 사력재이기 때문에 품질관리 양호 · 덤프트럭
환경성	· 여수로, 취수탑 설치로 인한 훼손 발생	· 여수로, 취수탑 설치로 인한 훼손 발생
장단점	· 석산개발로 인한 자연환경 훼손	· 하상골재 사용으로 자연환경 훼손이 없음

2.2 국외 CFGD 적용 현황

외국의 경우 본격적인 CFGD 시공은 1970년 초반부터 이루어졌으며, 1980년 초반 이후 급격하게 증가하는 추세를 나타내고 있다. 국가별로는 주로 멕시코, 호주, 칠레, 콜롬비아 등에서 축조되고 있으며, 중국이 13개 CFGD 실적으로 가장 많은 시공을 하였다.

표 2. 외국의 CFGD 적용 사례

댐 명	국 적	시공연도 (년)	댐 높이 (m)	사면경사		축조재료
				상류	하류	
Aguamilpa	멕시코	1993	187	1.5	1.4	gravel, ignimbrite
Baiyanghe	중국	1994	37	1.7	1.5	gravel
Barrigon	파나마	2003	82	1.45	1.6	gravel
Baybuxie	중국	-	35	-	-	gravel
Berg River	남아프리카	2006	70	1.6	1.6	gravel
Capillucas	페루	-	37	1.4	1.4	gravel
Chakoukane	모로코	1999	63	1.6	1.6	gravel
Chusong	중국	1999	40	1.8	1.3	sandy gravel
Cogoti	칠레	1938	85	1.6	1.8	dump rockfill - gravel
Corrales	칠레	2000	70	1.5	1.6	gravel
Crotty	호주	1990	82	1.3	1.5	gravel quartzite
Diguillin	칠레	2004	92	1.5	1.6	gravels
Fenging	중국	2001	39	2.0	1.7	sandy gravel
Golillas	콜롬비아	1978	125	1.6	1.6	gravels
Gonboixia	중국	2007	130	1.4	1.4	granite, gravel
Gouhou	중국	1989	70	1.6	1.55	sandy compacted gravel
Heiquan	중국	2000	124	1.55	1.4	gravel, gneiss
Illapel	칠레	-	1955	-	-	gravel
Kekeya	중국	1986	42	1.2-2.75	1.5-1.75	gravel
La Parota	멕시코	-	155	1.5	1.4	gravel, gneiss
La Regadera II	콜롬비아	2004	90	1.5	1.6	gravel
Lianghui	중국	1997	35	1.4	1.4	gravel
Los Caracoles	아르헨티나	-	131	1.5	1.7	gravels
Los Molles	아르헨티나	-	46	1.5	1.5	gravel
Lower Bear No I	미국	1952	71	1.3	1.4	dump rockfill gravel
Mirogi	파키스탄	2005	127	1.5	1.6	gravel
Narmashir	이란	2003	111	1.5	1.2	gravel
Pichi Picun Leufu	아르헨티나	1995	50	1.5	1.5	gravel
Puclaro	칠레	2000	80	1.5	1.6	gravels
Punta Negra	아르헨티나	2004	86	1.65	1.4	gravel
Quimbo	콜롬비아	-	150	1.5	1.6	gravel
Santa Juana	칠레	1995	113	1.5	1.6	gravel, panel wall
Shakaoukane	모로코	1999	63	1.6	1.6	Rhyolite/gravel
Souapiti	기니아	-	125	1.7	1.8	gravel
Split Rock	호주	1987	67	1.3	1.3	Greywacke/gravel
Tianhuangping Lower	중국	1997	95	1.4	1.3	gravel
Tongjiezi Saddle	중국	1992	48	1.75	1.7	gravel/basalt
Wuluwati	중국	1998	138	1.6	1.6	compacted gravel/schist
Xiaogangou	중국	1990	55	1.55	1.6	compacted gravel
Yacambu	베네수엘라	1996	162	1.5	1.6	gravels
Yesa	스페인	2006	117	1.5	1.6	gravels

2.3 국내 CFGD 현황

국내에는 아직 CFGD가 시공된 사례가 없으나 2004년 국내 최초로 H댐이 CFGD로 착공되어 향후 건설될 예정이다.

그림 1은 H댐의 설계단면을 나타낸다.

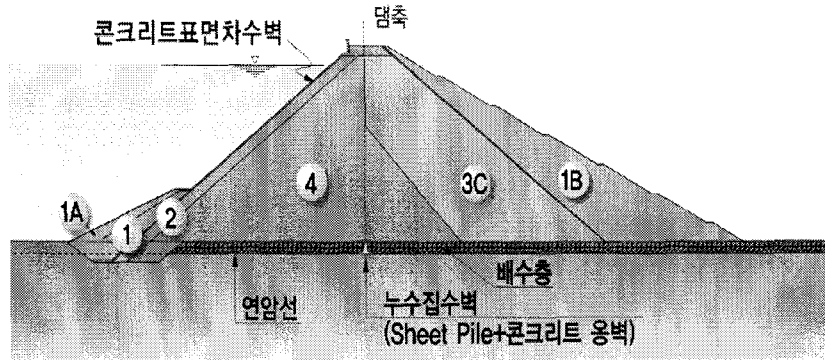


그림 1. H댐 설계 단면

위 그림에서 zoning의 특성을 살펴보면, 댐 주축조존(단면 4)은 댐 부근 하천에 넓게 분포한 하상자갈을 사용하며 부축조재로는 여수로, 본댐, 취수탑 및 가배수로 등에서 산출될 유용암을 사용할 예정이다. 또한, 차수벽지지층과 주축조층 사이의 전이존(transition)은 재료의 입도조건과 동일성에 의거하여 생략하며 본댐 제체하부에 존재하는 자갈층은 세척 및 체분하여 배수층으로 사용하게 된다.

H댐 주축조존과 차수벽지지층 재료의 설계 평균 입도분포(범위)는 표 3 및 그림 2와 같다.

표 3. H댐 주축조존 및 차수벽지지층 재료의 설계 입도분포 범위(H댐 대안실시설계 보고서, 2004)

주축조존							
입경(mm)	500	150	75	38	4.8	1.18	0.08
함유량	100	60-100	35-88	28-75	11-42	3-25	0-5
차수벽지지층							
입경(mm)	75	38	19	4.8	2.36	1.18	0.08
함유량	100	66-95	47-78	26-55	19-48	13-38	2-12

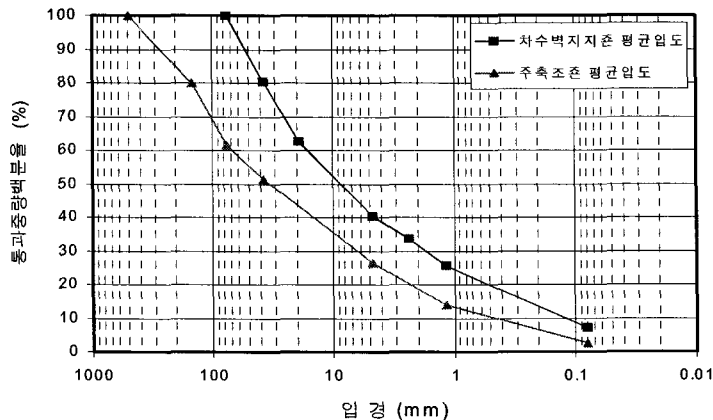


그림 2. H댐 축조재료 설계 입도 (H댐 대안실시설계 보고서, 2004)

3. CFRD와 CFGD 주축조재의 강도 및 변형계수 비교

3.1 강도 비교

국내 대형 다목적댐의 대부분은 락필댐이며 시공 중인 댐을 포함, 기존의 락필댐들은 안정성면에서 매

우 우수하다고 할 수 있다. Gravelfill댐의 경우 안정성의 판단은 기존의 안정한 락필댐과 댐의 구조적 안정성에 영향을 미치는 축조재료의 강도와 변형특성을 상호간 비교함으로써 간접적으로 가능할 것이다.

그림 3은 국내의 대표적인 대형 락필댐 설계시 적용된 rockfill 재료의 내부마찰각을 나타내며 댐마다 차이가 있으나 그 범위는 대략 40°~50°에 분포하고 있음을 보여준다.

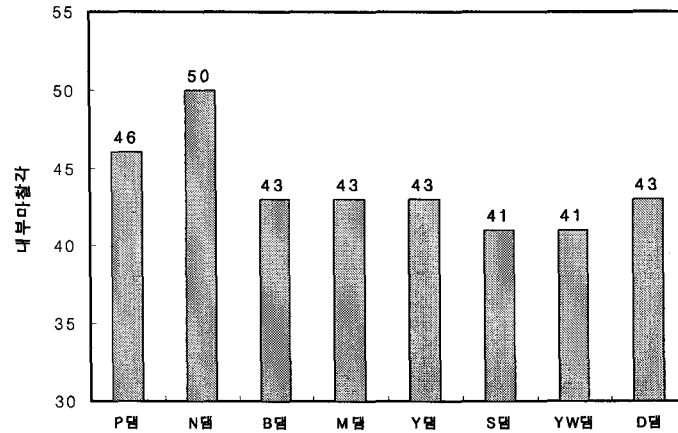


그림 3. 락필댐 재료의 내부마찰각

또한, 표 4는 기존의 락필댐 축조재료에 대한 설계강도와 시험값 및 H댐 축조재료인 gravelfill 재료에 대한 시험값을 나타낸다. Rockfill 재료의 내부마찰각은 37°~46°의 범위에 있으며 gravelfill 재료의 내부마찰각 범위(40°~41°)를 포함하고 있다. 결과적으로 gravelfill 재료는 rockfill 재료와 강도면에서 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

표 4. 대형 락필댐 재료에 대한 설계강도 및 시험값

댐명	축조재료	구분	r_f (tf/m ²)	점착력, c(tf/m ²)	내부마찰각, ϕ (°)
M댐 ¹⁾	rockfill	Zone 3 (graded rockfill, 최대입경 800mm)	2.0	0.0	43.0
		Zone 4 (rockfill, 최대입경 1,500mm)	1.9	0.0	40.0
G댐 ²⁾	rockfill	Zone 3A (최대입경 300mm)	1.90~1.98	9.01~10.96	37.5~39.4
		Zone 3B (최대입경 600mm)	1.92~2.04	7.29~7.7	38.2~40.3
P댐 ³⁾	rockfill	Zone 3 (최대입경 800mm)	2.13	6.33~6.57	38.6~42.1(46)
		Zone 4 (최대입경 1500mm)	2.0~2.14	3.3~4.08	38.5~39.9(43)
H댐 ⁴⁾	gravelfill	최대입경 20mm 시험값	2.10	1.8	41.4
		최대입경 50mm 시험값	2.10	1.8	40.1

1) H댐 대안실시설계 보고서 (2004), 2) 신동훈 등 (2004), 3) 신동훈 등 (2003), 4) 김민주 등 (2005)

주1: 내부마찰각에 대하여 M댐과 P댐 (1)안의 값은 설계 적용값임

주2: G댐과 P댐의 경우 표의 물성치는 원입도에 대해서 최대입경 50.8mm로 축소 조정된 입도에 대한 시험값임

3.2 변형계수 비교

그림 4는 CFRD인 P댐 rockfill 재료와 CFGD인 H댐 gravelfill 재료에 대한 대형오이도미터 시험결과로부터 산정된 압축변형계수(즉, 점선구속계수, tangent constrained modulus)를 나타낸다. 그림에서 보듯이 동일재료에 대해서 입도분포 및 입경크기에 따라 압축변형계수값에 다소 차이가 존재하나 rockfill

재료와 gravelfill 재료간의 차이는 이보다 확연하게 나타난다. 즉, 상대적으로 낮은 하중 범위에서는 gravelfill 재료의 변형계수가 rockfill 재료보다 크나 하중이 증가함에 따라 rockfill 재료의 변형계수가 더 커지는 경향을 나타낸다. 그림에서 gravelfill 재료의 변형계수가 rockfill재료보다 큰 범위를 나타내는 하중 범위는 H댐에 대하여 대략적으로 시공직후 댐체의 응력 범위이며 이후 약 1Mpa까지는 담수후의 응력 범위이다. 따라서, 시험결과에 의하면 H댐 gravelfill 재료의 변형은 시공직후의 응력범위내에서는 rockfill보다 적으나 담수후에는 반대로 rockfill에 비해서 많이 발생한다고 판단할 수 있다.

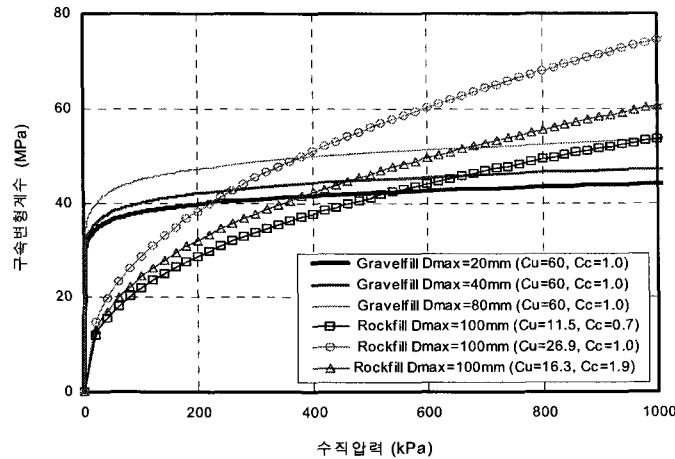


그림 4. Rockfill과 Gravelfill재료의 압축변형계수

4. 결론

콘크리트표면차수벽형 사력댐(Concrete Faced Gravelfill Dam, CFGD)은 콘크리트표면차수벽형 석괴댐(Concrete Faced Rockfill Dam, CFRD)에 비해 경제성 및 환경성에서 우수하여 외국에서는 이미 오래 전부터 시공되어 왔으며 앞으로도 건설 실적은 계속해서 증가할 전망이다. CFGD 주축조재료인 gravelfill 재료는 댐체의 안정성에 영향을 미치는 축조재의 강도와 변형 특성에 있어서 기존의 CFRD 주축조재료인 rockfill 재료와 유사하다. Gravelfill이나 rockfill 재료 등 입경이 큰 조립재료의 경우 모암의 종류나 상태, 입자 형상이나 크기, 입도 분포 등에 따라 강도와 변형에 차이가 존재하나, H댐 gravelfill 재료의 경우, 국내 일반적인 대형 댐의 응력범위 내에서 기존의 rockfill댐 재료와 대체적으로 비슷한 범위의 강도와 변형 특성을 나타내었다. 결론적으로 CFGD는 환경성과 경제성에서 우수함이 이미 검증된 바이며 주축조재료인 gravelfill은 기존의 안정한 rockfill댐 축조재와 유사한 강도 및 변형특성을 나타내는 바, 시공 및 관리가 잘 이루어진다고 가정할 때 안정성 측면에서도 우수하다고 할 수 있다. 따라서 H댐과 같이 댐 예정부지 부근에 축조재로서 사용가능한 하상재료가 풍부한 경우 CFGD는 최선의 선택이 될 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 김범주 등. (2005), *Gravelfill 재료의 강도 및 변형 특성에 관한 연구*, 한국수자원공사 수자원연구원, pp.142
2. 신동훈 등. (2003), *필댐 수처해석을 위한 댐재료의 역학적 특성에 관한 실험적 연구(I)*, 한국수자원공사 수자원연구원, pp.193
3. 신동훈 등. (2004), *G댐 축조재료의 역학적 특성 연구*, 한국수자원공사 수자원연구원.
4. 한국수자원공사(2004), *H 다목적댐 건설공사 대안실시설계 보고서*, 건설교통부.