

CFRD Bedding Zone의 축조재료에 대한 투수성 평가

한상현¹ · 여규권^{2*}

¹서일대학 토목과 교수, ²삼부토건(주) 기술연구실

Evaluation of Permeability on Construction Material in CFRD Bedding Zone

Sang-Hyun Han¹ and Geu-Guwen Yea^{2*}

¹Professor, Department of Civil Engineering, Seoil University

²R&D Center, Sambu Construction Co., Ltd.

우리나라는 암석자원이 풍부하기 때문에 콘크리트표면 차수벽형 석괴담(CFRD)의 시공이 증가하고 있는 실정이다. 콘크리트표면 차수벽형 석괴담에서의 표층부 기초지반인 Bedding Zone 구간은 콘크리트 차수벽을 균등하게 지지할 수 있는 지지력과 콘크리트 차수벽의 누수시 세립토의 유실을 억제할 수 있는 차수성을 유지하여야 한다. 따라서 Bedding Zone 구간의 차수성 확보 여부가 담의 안정성을 좌우하는 주요 요인이 될 수 있다. 본 연구에서는 기존의 시방서에 제시된 Zone-1 구간의 설계입도분포를 만족하는 시험재료를 선정 후, 차수성을 평가하기 위하여 실내시험을 실시하였다. 시험 분석 결과 투수계수, 건조단위중량 및 흙의 입도분포에 따른 차수효과의 상관관계를 제시하였다. 특히, 투수계수와 건조단위중량의 상관관계, No. 4체 중량통과백분율과 투수계수 관계가 제시되었고, 또한 시간경과에 따른 투수계수의 변화도 제시되었다.

주요어 : 콘크리트표면 차수벽형 석괴담, 건조단위중량, 차수효과

Recently, the construction of Concrete Faced Rockfill Dam (CFRD) is increasing because rock material resources are plenty in Korea. Bedding zone in the CFRD is necessary enough bearing capacity to support the concrete face slab uniformly and enough impermeability to prevent the loss of fine soils in case of leakage from the concrete slab face. Therefore, cut-off the water leakage in bedding zone securely is the key factor influencing the safety of CFRD. Tested materials satisfied with the specification of particle size distribution at the Bedding Zone area are chosen for conducting permeability tests, which are done to evaluate the property of cut off the materials. Based on the test results, the effects of cut off the materials are investigated by considering the coefficient of permeability, the soil particle distribution, and the dry unit weight. Especially, the relationships between coefficient of permeability with effective size(D10), dry unit weight, and weight passing percent the No.4 sieve are suggested, and also the variation of coefficient of permeability with time are proposed.

Key words : concrete faced rockfill dam, dry unit weight, cut-off effect

서 론

최근 기상이변에 따른 국지성 집중강우에 의하여 우기시 치수능력에 대한 문제가 건기시 이수능력에 대한 문제보다 많이 대두되고 있는 실정이다. 따라서 우리나라 수자원 여건상 댐 건설은 미래의 물 부족뿐만 아니라 효율적으로 치수능력을 증대하기 위한 불가피한 대안으로 향후 중 규모의 댐의 건설이 많이 이루어 질 것으로 예상된다

(Hong et al. 2003).

우리나라와 같이 암석자원이 풍부한 경우에 특히, 콘크리트표면 차수벽형 석괴담(CFRD)의 형식이 다른 댐 형식에 비하여 여러가지 장점이 있다(박동순 등, 2005; 하익수 등, 2006).

콘크리트 표면 차수벽 석괴담(CFRD)은 일반적으로 댐이 건설되는 하천부근 및 댐 기초 굴착시 발생하는 사석과 공사용도로나 가배수 터널 및 석산 등에서 발생하는

*Corresponding author: moonju@sambu.co.kr

압을 유용하여 시공하므로 재료의 취득이 용이하다. 또한, 댐 하부 기초지반 보강 및 차수를 위한 그라우팅 공중이 댐 상류 Plinth 아래에서 실시되므로 댐 본체 축조와 별개의 공정으로 추진할 수 있어 공기 단축이 가능하다. 따라서, 우리나라와 같이 암석자원이 풍부한 경우에 콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(CFRD)의 형식이 다른 댐 형식에 비하여 적용성이 높다.

특히, 콘크리트표면 차수벽형 석괴댐(CFRD)의 특징은 댐체 축조시 기상의 영향을 비교적 적게 받으며 파이핑에 대한 저항력이 우수하여 구조적으로 안정성이 높다. 그리고 우수전환 계획시 낮은 빈도의 확률홍수량을 채택할 수 있으며 지진에 대한 안정성이 높으므로 현재 한국수자원공사에서 발주된 화북댐, 부항댐에서 본 공법이 채택되어 시공 중에 있다. 본 공법에서 Bedding Zone은 콘크리트 차수벽(Face Slab)을 균등하게 지지할 수 있는 지지력과 사면의 안정을 위한 소요강도를 확보하여야 하며, 콘크리트 차수벽 누수시 세립토의 유실을 억제할 수 있는 차수성을 유지하여야 한다. 따라서 Bedding Zone의 축조재료에 대한 입도분포, 건조단위중량 및 투수성에 대하여 기준을 제시하고 있다(한국수자원공사, 1998).

본 연구에서는 기준에 제시된 Bedding Zone의 축조재료 시방기준과 입도분포의 범위를 고려하여 균등계수를 일정하게 하고 곡률계수를 변화시키거나, 균등계수를 변화시켜 가능한 현장에서 얻을 수 있는 축조재료와 같은 광범위한 입도분포범위를 갖도록 하였다. 이에 따른 시험재료를 선정하여 댐 체체의 안정성 평가와 실내투수시험을 통한 입도분포, 건조단위중량, 투수계수 특성에 대한 상관관계를 연구하였다. 단, 본 연구에서는 Bedding Zone의 축조재료에 대한 전반적인 특성치는 너무 광범위하므로 선정된 입도분포와 건조단위중량에 대한 투수성을 연구하는데 주안점을 두었다.

Bedding Zone 재료의 특성

투수특성

Bedding Zone의 투수성이 댐 본체의 안정성에 미치는 영향에 대한 연구결과에 의하면 콘크리트 페이스 슬래브의 균열이나 지수관의 손상에 의해 누수가 발생할 때 누수의 경로에 따라 체체의 내부에 토립자의 이동이 발생하고 시간이 경과 할수록 공극이 커지면서 유로가 형성된다. 이는 누수량 증대와 체체 변형으로 이어져 콘크리트 페이스 슬래브의 변형으로 댐 파괴에 이르게 된다. 따라서 Bedding Zone의 투수성 평가는 댐 본체의 안정성을 확보하기 위

하여 매우 중요하며 투수성은 입도분포와 건조단위중량에 영향을 받으므로 사용재료의 입도분포와 다짐관리가 중요하다.

댐 축조시 Bedding Zone의 투수능력은 강한 폭우 등을 소화할 수 있는 정도로 투수성이 크지 못하므로 Bedding Zone 배면부에 지하수위가 형성되므로 인하여 침투수가 발생한다. 따라서 Face Slab의 Bedding Zone에서 토립자가 유실이 되고 이에 따라 부등침하가 발생하여 Face Slab에 균열을 초래할 수 있다. 그러므로 투수계수가 너무 작으면 상기와 같은 문제점이 발생될 수 있으므로 일반적으로 소요투수계수를 1×10^{-3} cm/sec이하로 적용하고 있다. Sherard and Cooke (1987)에 의하면 $k = 10^{-3}$ cm/sec 보다 클 경우 내부 안정성 저하로 인하여 영구적으로 댐 체체의 안정성을 확신할 수 없다고 예상하였다. 따라서 최근 CFRD의 Bedding Zone에 대한 설계경향을 조사하면 최대입경을 적게하고 #4체 통과량을 증가시켜 낮은 투수계수를 얻도록 시공하는 추세이며, Table 1과 같이 1980년대 이후는 투수계수가 10^{-3} cm/sec에서 10^{-4} cm/sec로 낮아지는 경향을 알 수 있다.

입도분포

콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(CFRD)에서 댐 단면 구성은 콘크리트 차수벽 외에 여러 개의 Zone으로 되어 있다. 단면의 Zoning 및 축조재료는 축조후의 변위발생을 가능한 최소화되도록 계획하여야 한다. 각 Zone별 시방 입도기준 및 기능이 다르며 입도분포는 소요 투수계수와 경제성 등을 위하여 가장 먼저 고려해야 할 사항이다, 이 중에서 Bedding Zone구간은 댐 상류면의 수압에 따른

Table 1. Coefficient of permeability for bedding zone.

Dam	k (cm/sec)	No. 4 sieve percent finer (completed)	Year	Nation
Cethana	$< 10^{-3}$ cm/sec	0~40	1971	-
Alto Anchiyaca	$< 10^{-3}$ cm/sec	0~32	1974	Colombia
Mangrove Creek	$< 10^{-3}$ cm/sec	12~32	1981	America
Macagua	$< 10^{-3}$ cm/sec	40~65	1982	Venezuela
Salvajina	$< 10^{-3}$ cm/sec	12~48	1984	Colombia
Batang Ai	$< 10^{-4}$ cm/sec	20~38	1985	Malaysia
Cirata	$< 10^{-4}$ cm/sec	25~50	1987	Indonesia
Xibeikou	$< 10^{-4} \sim 10^{-3}$ cm/sec	16~36	1990	China
Xingo	$< 5 \times 10^{-3}$ cm/sec	28~50	1992	Brazil

차수벽의 거동과 침하, 누수에 대한 안정성에 직접적으로 영향을 미친다. CFRD 시공초기에는 콘크리트 차수벽을 지지하는 Bedding Zone 재료는 직경이 75 mm~150 mm 이하를 주로 사용하였으나 최근에는 다짐효율이 양호하고 균질한 지지층을 형성할 수 있는 소형 석재공법으로 전환되고 있으며, 균열이나 이음부의 누수문제에 대한 적합한 투수성 확보와 시공시 재료분리 방지를 위해 최근 국내에서 건설된 대다수의 CFRD에서 Bedding Zone 재료의 최대입도가 작아지고 있다. Bedding Zone은 담수시 수하중을 직접 받는 콘크리트 차수벽을 지지하는 기초지반으로서 콘크리트 차수벽의 누수시 세립토의 이동에 의한 제체변위를 억제할 수 있는 투수성을 유지하여야 한다.

Table 2는 국내에서 시공된 CFRD의 Bedding Zone에 대하여 시방서에서 제시한 입도분포를 나타내고 있으며, 외국에서 연구목적으로 제시한 Sherard *et al.* (1987)의 입도분포특성도 나타내었다. 기존에 시공된 댐에 적용된 입도분포 관리기준은 현장에서 요구하는 소요 투수계수와 경제성 등에 큰 영향을 미치므로 입도분포 선정시 이러한 점을 고려하여 선정이 되었다.

본 연구에서는 Ge Zul에 의하여 제시된 Xibeikou 댐 건설현장에서 113개의 시료를 채취, 분석하여 물 흐름 방향으로의 공극 유로를 통한 세립자의 이동을 연구한 결과인 다음 식을 활용하여 Bedding Zone의 내부안정성을 판단하였다(Zhou *et al.* 1993).

$$D_{30} \cdot C_u^{\frac{1}{2}} \leq 40 \quad (1)$$

단, D_{30} : 통과율 30%에 해당하는 유효입경

C_u : 균등계수

상기 식은 Bedding Zone 구간의 내부 안정성은 주로 어느 특정한 입자에 의해서가 아니고 전체 토질특성에 의해 결정된다는 것을 의미한다.

Table 2. Particle size of bedding zone.

Particle size	Miryang dam	Yongdam dam	Buan dam	Daegock dam	Sherard (1985)
100 mm	-				
75 mm	100	100	100	100	90~100
40 mm	70~95	70~95	60~95	70~95	70~95
19 mm	55~80	35~80	45~80	49~80	55~80
No.4	35~55	35~55	12~55	30~55	35~55
No.30	8~30	8~30	0~30	12~30	8~30
No.200	2~12	2~12	0~12	2~12	2~12

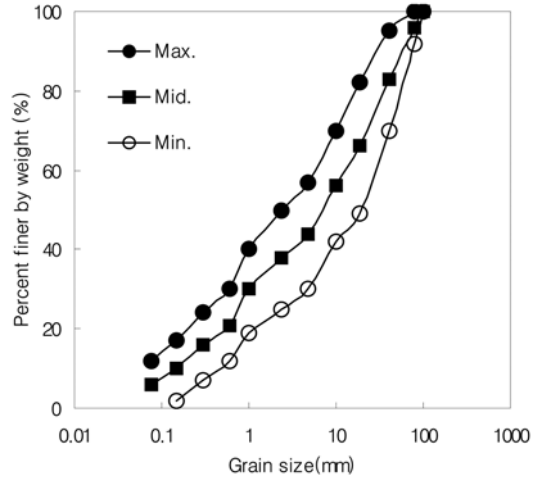


Fig. 1. Particle size and percent finer by weight.

시험조건

시방입도

Bedding Zone에 대한 시방입도 선정시 소요투수계수인 1×10^{-4} cm/sec를 확보할 수 있도록 입도분포의 상한치와 하한치를 기존 시공실적 및 연구실적을 토대로 Fig. 1과 같이 결정하였다(한국수자원공사, 2001). 시방입도의 상한치의 균등계수(C_u)는 81, 곡률계수(C_g)는 0.78이며 중앙치의 균등계수(C_u)는 94, 곡률계수(C_g)는 0.84이다. 그리고 하한치의 균등계수(C_u)는 64, 곡률계수(C_g)는 2.0이다. 즉, 균등계수(C_u)는 6이상으로 입도분포가 아주 양호한 편이나 곡률계수(C_g)는 하한입도의 값이 2.0으로 가장 양호한 편이다. No. 4체 통과율은 상한입도는 57%, 중앙입도는 44%이며 하한입도는 30%로 감소하고 있다.

Fig. 1에서 제시된 시방입도인 상한입도, 중앙입도 및 하한입도를 기준으로 선정된 댐 축조재료와 석산발파암 및 기초굴착재료를 현장에서 교란시료를 채취하여 실내 시험을 실시하였으며 주로 실트질 세립 내지 중립의 모래층이 주성분을 이루고 있으며 현장 표준관입시험결과 N치는 2회/30 cm~15회/30 cm 정도의 매우 느슨 내지 보통 조밀한 상태로 분포하고 있었다.

각 입도에 대한 건조단위중량은 시료의 최대입경이 40~100 mm인 점을 고려하여 KS F 2312의 E다짐 방법을 이용하여 실내다짐시험을 실시하였고, 시험장치는 시험시료의 최대입경 크기의 약 4배 정도인 내경 40 cm, 높이 60 cm인 강재원통을 사용하였으며, 시료는 20 cm 두께로 진동다짐에 의하여 다짐에너지를 변경하면서 건조단위중량을 변경

Table 3. Relationship between coefficient of permeability (k) and dry unit weight (γ_d) for each gradation specification.

Particle size distribution	Test 1		Test 2		Test 3		Test 4	
	γ_d (kN/m ³)	k (cm/sec)	γ_d (kN/m ³)	k (cm/sec)	γ_d (kN/m ³)	k (cm/sec)	γ_d (kN/m ³)	k (cm/sec)
Upper specification	20.65	8.5×10^{-4}	22.33	5.0×10^{-6}	22.63	6.6×10^{-7}	-	-
Mean specification	20.65	1.0×10^{-2}	22.33	3.1×10^{-4}	22.63	3.8×10^{-5}	22.83	3.0×10^{-5}
Lower specification	20.24	1.5×10^{-2}	22.33	1.7×10^{-3}	-	-	22.91	4.9×10^{-4}

시켰다. 그리고 투수계수를 결정하기 위하여 상 하류의 수 위치를 일정하게 유지하는 정수위 투수시험 방법을 사용하였으며 투수계수가 10^4 cm/sec 이하의 투수성이 작은 흙 시료는 침투수량이 너무 작아서 유출량만 측정하는 변수위 투수시험법을 활용하였으며 투수시험을 실시한 결과는 Table 3과 같다.

투수성은 하한입도에서 상한입도가 될수록 투수성이 감소하는데 이는 유효경(D_{10})이 상한입도일 경우 0.074 mm, 중앙입도는 0.149 mm이며 하한입도는 0.42 mm로 유효경의 크기에 투수성은 반대하는 것을 알 수 있다. 그리고 건조단위중량(γ_d)이 증가할수록 투수계수는 감소하는 것으로 나타났다.

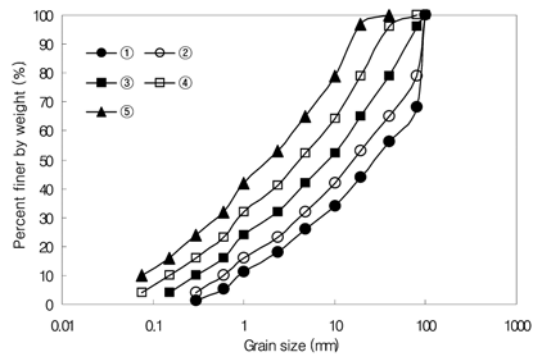
Table 3에서 소요투수계수 1.0×10^4 cm/sec를 얻을 수 있는 건조단위중량(γ_d)은 22.33 kN/m³ 이상이며 입도분포는 중앙입도 또는 상한입도를 만족하거나, 건조단위중량(γ_d)이 22.63 kN/m³ 이상일 경우 소요투수계수를 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 소요투수계수는 토립자의 입경과 다짐에 의한 건조단위중량에 따라 좌우됨을 알 수 있다.

시험입도

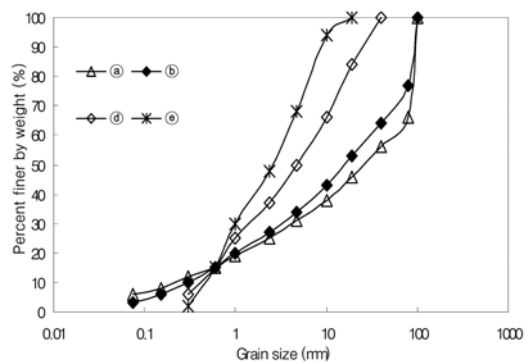
Fig. 2는 투수시험재료에 대하여 가로축은 입자크기를 나타내고 세로축은 중량통과율을 나타내었다. Fig. 1은 시방서에서 제시된 입도분포의 상한입도, 중앙입도와 하한입도를 구분하여 나타내었으며, 입도분포곡선의 형상에 따라 공학적인 특징을 짓는 3가지 기본적인 값들이 있으며 이들은 유효경, 균등계수 및 곡률계수이고 이 값들을 사용하여 공학적인 특성을 분류하는데 사용한다.

Fig. 2에서 각각의 입도분포곡선에 대하여 체분석을 실시한 결과 균등계수(C_u)는 중량통과율이 60%에 해당하는 입경을 중량통과율이 10%에 해당하는 입경으로 나눈 값을 표기하며, 곡률계수(C_g)는 중량통과율이 60%에 해당하는 입경과 중량통과율이 10%에 해당하는 입경을 곱한 값에 중량통과율 30%에 해당하는 값을 제곱한 뒤 나눈 값으로 나타낸 수치이다.

본 연구에서는 시험시료의 입도분포를 결정하기 위하여, 시방입도의 입도분포곡선 기울기와 유사하게 하여 균등계수 $C_u=50$ 을 기준으로 평행 이동시켜 얻은 시험시료는



(a) $C_u = 50$



(b) $C_u = 208, 100, 18, 8$

Fig. 2. Particle size distribution of material for permeability test.

Fig. 2(a)와 같이 ①은 곡률계수(C_g)가 0.92, ②는 곡률계수(C_g)가 0.89, ③은 곡률계수(C_g)가 0.98, ④는 곡률계수(C_g)가 0.96, ⑤는 곡률계수(C_g)가 1.04이다. 그리고 균등계수를 변환시켜 $C_u=208, 100, 18, 8$ 인 시험시료는 Fig. 2(b)와 같이 ①a는 곡률계수(C_g)가 1.47, ①b는 곡률계수(C_g)가 1.14 ①c는 곡률계수(C_g)가 0.81, ①d는 곡률계수(C_g)가 0.82를 선정하여 가능한 현장에서 얻을 수 있는 축조재료와 유사한 입도범위를 갖도록 하였다. 각 시방입도의 입도분포곡선의 기울기에 따라 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_g)를 정리하면 Table 4와 같다.

Table 4. Relationship between uniformity coefficient(C_u) and coefficient of gradation(C_g).

class	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
C_g	0.92	0.89	0.98	0.96	1.04	1.47	1.14	0.81	0.82
C_u	50	50	50	50	50	208	100	18	8

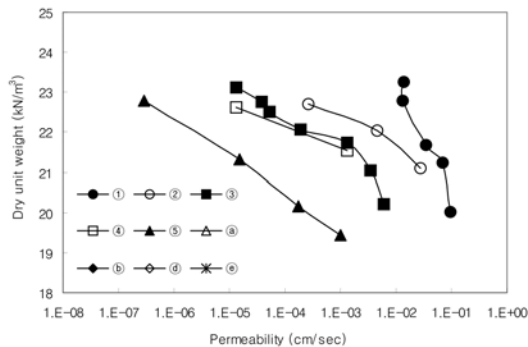
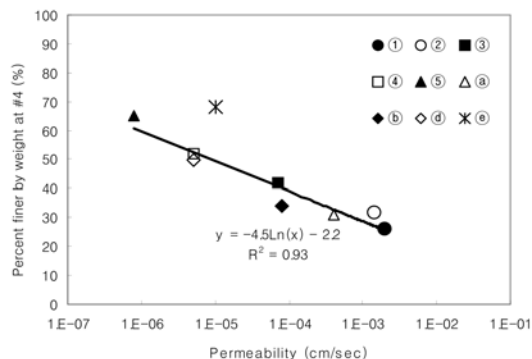
분석 결과

건조단위중량과 투수계수

Fig. 3은 Bedding Zone 재료에 대하여 건조단위중량의 변화에 따른 투수계수의 변화를 도시하였다. 시험재료의 건조단위중량은 $18.4 \text{ kN/m}^3 \sim 23.9 \text{ kN/m}^3$ 정도의 분포를 보이고 있으며 투수계수는 $9.7 \times 10^{-2} \text{ cm/sec} \sim 1.1 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ 로 건조단위중량의 변화에 따른 투수성의 차가 큰 것으로 나타났다. 여기에서 시험시료 ①~⑤는 균등계수(C_u)를 50으로 일정하게 하여 전체적인 입자의 크기를 ⑤, ④, ③, ②, ①순으로 증가한 결과 Fig. 2(a)와 같이 기울기가 완만한 입도분포곡선을 보이며, 투수시험 결과 Fig. 4와 같이 전체적으로 건조단위중량이 증가할수록 투수계수는

증가하는 것으로 나타났다. 따라서 입자의 크기가 전반적으로 증가 할수록 굵은 입자 함유율 증가에 따른 건조단위중량은 증가하였으며, 균등계수가 $C_u = 50$ 으로 일정한 5개의 입도분포곡선에 의하면 동일한 건조단위중량에서는 입자의 크기가 클수록 투수계수가 커지는 경향이 나타났다.

그리고 균등계수를 변환시켜 얻은 시험시료 ①, ②, ③, ④의 경우 Fig. 2(b)와 같이 시험입도 ①, ②의 기울기는 완만한 입도분포곡선을 보이며, 시험입도 ③, ④의 기울기는 급한 입도분포곡선을 보이고 있다. 투수시험결과 균등계수를 변화시킨 시험입도에 대한 투수성은 건조단위중량이 증가할수록 감소가 되었으나 균등계수와의 상관성은 없는 것으로 나타났다.

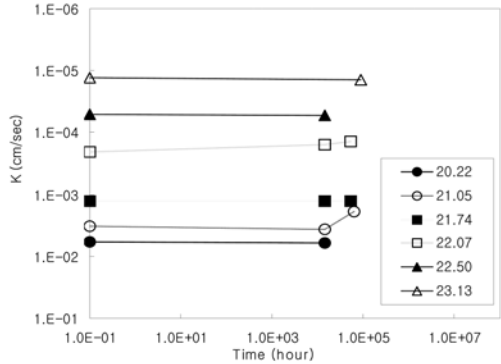
**Fig. 3.** Relationship between dry unit weight and coefficient of permeability.**Fig. 4.** Relationship between percent finer by weight at No. 4 sieve and coefficient of permeability.

No.4체 중량통과율과 투수계수

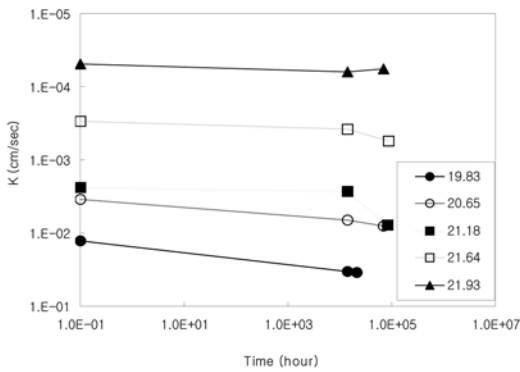
Fig. 4는 No. 4체의 세로축에 중량통과율과 가로축에 투수계수의 관계를 나타내었다. No. 4체의 중량통과율이 감소할수록 투수계수는 증가하며 No. 4체 중량통과율은 $26\% \sim 65\%$ 로 중량통과율의 변화에 따라 투수계수는 $2.0 \times 10^{-3} \text{ cm/sec} \sim 8 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ 로 상관성이 매우 높은 것으로 조사되었다. 회귀분석결과에 의하면, No. 4체의 중량통과율과 투수계수의 상관관계는 Fig. 5와 같이 1차 함수식으로 나타내면 상관관계식은 $y = 0.31e^{-0.207x}$ 로 나타났다. 단 여기서 x 는 신뢰성저하로 인하여 회귀분석시 제외하였고 y 는 투수계수(cm/sec)이고 x 는 No. 4체 중량통과율(%)이다. Fig. 5에 의하면 1차 함수적인 추세선과 No. 4체 중량통과율에 대한 투수계수 값의 결정계수(R^2)가 93%로 매우 높은 적합성을 보이고 있으므로 댐 축조재료의 투수성을 평가할 경우 No. 4체의 중량통과율을 평가하여 상기 식을 활용할 경우 Bedding Zone 재료의 타당성 평가가 가능할 것으로 판단된다.

시간경과에 따른 투수계수

Fig. 5는 각각의 시료의 건조단위중량에 따른 시간경과와 투수계수의 변화를 나타내었다. Fig. 5(a)의 시험입도는 시방입도의 입도분포곡선 기울기와 유사하게 하여 균등계수 $C_u = 50$ 을 기준으로 평행 이동시켜 얻은 시험시료로 곡률계수(C_g)가 0.98이다. 그리고 Fig. 6(b)는 균등계수



(a) Test grain size, No. ③ ($C_u = 50, C_g = 0.98$)



(b) Test grain size, No. ④ ($C_u = 18, C_g = 0.81$)

Fig. 5. Coefficient of permeability with elapsed time.

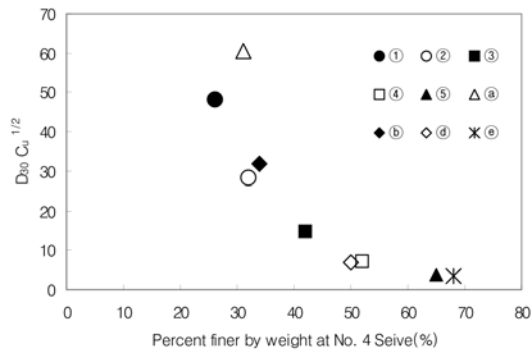


Fig. 6. Relationship Between percent finer by weight at No. 4 sieve and $D_{30} \cdot C_u^{1/2}$.

$C_u = 18$ 인 시험시료로 곡률계수(C_g)가 0.81이다. Fig. 5(a)의 시험입도는 시간에 따른 투수성의 변화가 안정적이나 Fig. 5(b)의 시험입도는 시간에 따라 투수계수가 증가됨으로 인하여 투수성의 변화가 불안정한 것으로 나타났다. 따라서 건조단위중량의 변화에 따른 투수성은 균등계수

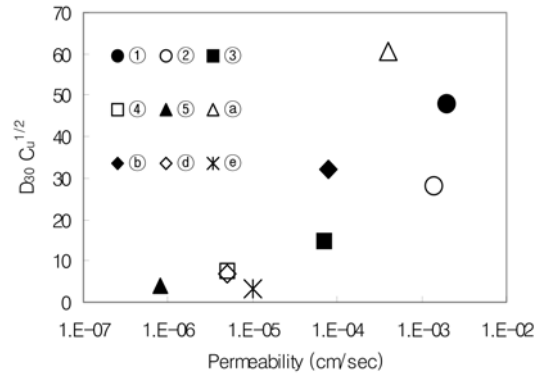


Fig. 7. Relationship Between coefficient of permeability and $D_{30} \cdot C_u^{1/2}$.

(C_u)와 곡률계수(C_g)에 따라 변화하므로 CFRD의 유지관리시 소요투수계수를 확보하기 위하여 입도분포특성을 고려하여 설계에 반영하여야 한다.

No. 4체 중량통과율에 따른 축조재료의 안정성 평가

Bedding Zone 축조시 재료분리를 방지하고 굵은 입자 사이의 공극을 잔입도가 효과적으로 채워줌으로 해서 표면치수벽에 크랙 발생, 지수관 파손 등에 의한 누수발생시 입자이동을 억제하고 누수량을 효과적으로 억제할 수 있도록 내부 안정성의 확보는 매우 중요하다. 따라서 Bedding Zone 재료의 내부 안정성을 평가 할 수 있는 식(1)을 이용하여 No. 4체 중량통과율(%)과 투수계수와 의 관계를 분석하였다.

Fig. 6은 No. 4체의 중량통과율(%)이 증가할 경우에 대하여 안정성 평가치에 대한 시험결과를 도시하였다. 즉, 누수발생시 세립자의 이동에 따른 Bedding Zone 구간의 안정성의 변화를 나타내고 있으며, 안정성 평가치가 20%~40%의 구간에서는 축조재료의 안정성은 급격히 증가하나 40%이상의 경우에는 축조재료 안정성의 증가율은 둔화된다. 따라서 No. 4체의 중량통과율(%)이 증가할수록 Bedding Zone의 안정성 확보에 유리한 것으로 조사되었다.

투수성에 따른 축조재료의 안정성평가

No. 4체의 중량통과율(%)이 증가할수록 투수성은 감소하며 그 상관성은 매우 높은 것으로 나타났다(Fig. 4). 따라서 Fig. 8과 같이 투수계수의 변화 또한, 제체의 안정성과 직접적인 상관성을 보이고 있다. 즉, 투수계수가 감소할수록 평가치가 감소하여 Bedding Zone의 안정성 확보에 유리한 것으로 조사되었다.

결 론

본 연구는 콘크리트 표면 차수벽 석괴담에서 담수시 제체면위로 인한 차수벽의 변형을 최소화하기 위하여 Zone-1 재료의 입도분포특성에 따른 실내투수시험을 통해 입도, 밀도, 투수계수특성을 연구하였다.

Bedding Zone 재료에 대한 투수성 실내시험결과에 의하면 건조단위중량이 감소하면 투수계수가 감소하는 것으로 나타났고 또한, No. 4체의 중량통과율의 변화에 따라 투수계수 및 축조재료의 안정성이 변하는 것으로 나타났으며, No. 4체의 중량통과율이 감소할수록 투수계수는 증가하고 축조재료의 안정성은 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 시간경과에 따른 투수계수의 변화는 건조단위중량과 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_g)에 따라 변하므로 댐 설계시 소요투수계수를 확보여부를 판단하기 위하여 사전에 댐 축조재료에 대한 실내시험을 실시하여야 한다. 본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 균등계수가 일정한 시료의 입도분포곡선에 의하면 동일한 건조단위중량에서는 입자의 크기가 클 수록 투수계수가 커지는 경향이 나타났으며, 시간에 따른 투수계수의 변화는 단위중량이 작을수록 크게 나타났다.

2) No. 4체의 중량통과율과 투수계수의 상관성이 매우 높은 것으로 나타났고 No. 4체의 중량통과율과 투수계수의 상관관계식은 $y = 0.31e^{-0.207x}$ 로 나타났다. 단, 여기서 y는 투수계수(cm/sec)이고 x는 No. 4체 중량통과율(%)이다.

3) Bedding Zone재료의 재료분리에 대한 내부 안정성을 평가결과는 No. 4체의 중량통과율(%)이 증가하거나 투수계수가 감소할수록 평가치가 감소하여 안정성 확보에 유리한 것으로 평가 되었다.

사 사

이 연구는 2008년도 서일대학 학술연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 박동순, 김형수, 임정열, 2005, CFRD의 최근 설계 시공 기술 동향, 대한지질공학회논문집, 15(1), 77-86.
 하익수, 서민우, 김형수, 2006, CFRD 차수벽지지층 강성이 콘크리트차수벽 거동에 미치는 영향, 대한토목학회논문집, 26(5C), 351-358.
 한국수자원공사, 1998, 울산권 광역상수도 사업 설계 보고서.
 한국수자원공사, 2001, 남강 다목적 댐 준공보고서.
 Hong, W. P., Yea, G. G. and Lee, H., 2003, Cut-off Effect by Rock Grouting in the Area of Dam-foundation, Proceeding of The Thirteenth (2003) International offshore and Polar Engineering Conference, 635-639.
 Sherard, James L. and J. Barny Cooke, J, Barny 1987, Concrete Faced Rockfill Dam-Assessment, Journal of the Geotechnical Div., ASCE, Vol. 113, GT10, Oct., 1987, 1106.
 Zhou Eei yuan, Yang Ruoqiong and Yan Gongrui, 1993, Development of Rock Grouting in Dam Construction in China.

2009년 4월 1일 원고접수, 2009년 12월 21일 게재승인

한상현

서일대학 토목과

131-702 서울시 중랑구 서일대학길 22(면목동49-3)

Tel: 02-490-7444

Fax: 02-490-7438

E-mail: shhan@seoil.ac.kr

여규권

삼부토건(주) 기술연구실

100-804 서울시 중구 남창동 삼부빌딩 9-1

Tel: 02-3706-2537

Fax: 02-756-3905

E-mail: moonju@sambu.co.kr