

콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐의 Zone-1재료에 대한 다짐특성

Compaction Characteristics of Zone - 1 Material in Concrete Faced Rockfill Dam

여 규 권^{1*} Yea, Geu-Guwen
한 상 현² Han, Sang-Hyun
이 재 호³ Lee, Jae-Ho

ABSTRACT

Bedding zone in CFRD (Concrete Faced Rockfill Dam) requires bearing capacity to support the concrete face slab uniformly. Also, shear strength which is a key factor in slope stability and impermeability which is to prevent a loss of soils in case of leakage of concrete slab face are needed. In this study, trial prototype construction for bedding zone in CFRD was performed to investigate the compaction characteristics of bedding zone according to the frequency of compaction, water contents and so on. As a results of series of field test, the compaction characteristics of bedding zone in CFRD was affected considerably by the depth of compaction layer and frequency of compaction.

요 지

콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(CFRD)에서의 표층부기초지반은 콘크리트 차수벽을 균등하게 지지할 수 있는 지지력과 사면 안정을 위한 소요강도를 확보하여야 하며, 콘크리트 차수벽의 누수시 세립토의 유실을 억제할 수 있는 차수성을 유지하여야 한다. 본 연구에서는 사면부 표층기초지반에 대하여 시험시공을 실시하여 다짐회수에 대한 체체의 변위량과 현장다짐밀도의 변화, 살수량에 따른 함수비 변화 등을 측정하여 효율적인 다짐관리기준을 마련하고자 하였다. 일련의 현장다짐시험결과 CFRD에서의 표층부기초지반은 층별 포설두께 및 다짐회수에 따라 영향 받고 있음을 확인할 수 있었다.

Keywords : CFRD, Bedding zone, Compaction, Dry unit weight, Settlement

1. 서 론

우리나라 수자원의 특성은 년 평균 강우량이 1,300mm 정도로 세계 평균에 비하여 다소 높은 수준이나 연도별, 지역별, 계절별 강우량의 변화폭이 커서 물 관리에 매우 불리한 상황이다. 특히 전체 강우량의 70%가 6~9월에 집중되어 여름철에는 홍수, 겨울철과 봄철에는 가뭄이 빈발하고 여름철에 집중되는 강우는 전국토의 65%가 산악이고 동고서저의 지형학적영향으로 인하여 하천범람 등 홍수피해가 빈번하게 발생되고 강우량의 대부분이 바다로 흘러가므로 전체 수자원의 26%만이 용수로 이용 가능한

상태이다.

현재 기상이변에 따른 국지성 집중강우에 의하여 우기 시 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 중규모의 댐의 건설이 많이 이루어 질 것으로 예상된다(Hong et al. 2003).

우리나라와 같이 암석자원이 풍부한 경우에 특히, 콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(CFRD)의 형식이 다른 댐 형식에 비하여 여러가지 장점이 있다(박동순 등, 2005; 하익

1* 정회원, 삼부토건(주) 기술연구소 차장 (General Manager, The technology Research Institute, Sambu Construction Co. Ltd, E-mail: moonju@sambu.co.kr)
2 비회원, 서일대학 토목과 교수 (Professor, Dept. of Civil Engineering, Seoil college)
3 정회원, 중앙대학교 방재연구소 전임연구원 (Researcher, The Disaster Prevention Research Institute, Chung-Ang Univ.)

수 등, 2006). 먼저, 축조 재료의 구득이 쉽고 댐의 사면경사를 급하게 할 수 있으므로 경제적인 설계가 가능하고 댐 축조시 기상의 영향을 비교적 적게 받으므로 전천후 시공이 가능하다. 또한 그라우팅 공종이 Plinth 아래에서 이루어지므로 댐 축조와 별개의 공정으로 추진할 수 있어 공기 단축이 가능하다. 그리고 큰 입径의 암석재료를 축조하므로 파이핑에 의한 누수에 대하여 저항력이 우수하며 구조적으로 안정성이 높고 댐 제체 내부에 간극수압이 발생하지 않는 구조로서 대형 암괴의 엇물림 작용으로 지진에 대한 안정성이 비교적 높다. 우수전환 계획시 공사중 가물막이댐이 월류되는 경우에도 제체에 미치는 홍수피해가 필댐 형식보다 상대적으로 적으므로 낮은 빈도의 확률홍수량을 채택할 수 있다.

본 연구는 CFRD의 사면부에 다짐이 실시되는 표층부 기초지반에 대한 다짐특성을 규명하기 위하여 수행되었다. 본 구간은 Face Slab Bedding 재료로 콘크리트 차수벽을 균등하게 지지할 수 있는 지지력과 사면안정을 위한 소요강도를 확보하여야 하며, 콘크리트 차수벽의 누수시 세립토의 유실을 억제할 수 있는 차수성을 유지하여야 한다. 따라서 사면부 표층기초지반에 대하여 시험시공을 실시하여 다짐회수에 대한 제체의 변위량과 현장다짐밀도의 변화, 살수량에 따른 함수비 변화 등을 측정하여 효율적인 품질관리기준을 마련할 목적으로 본 연구를 수행하였다. 시험시공은 본댐 하류측에 임의의 계획높이로 축조한 후 사면부 표층기초지반에 실시하였다. 또한, CFRD의 본체 시공중에도 다짐시험을 실시하여 그 특성을 비교, 분석하였다.

2. 현장개요

본 연구의 대상이 되는 대곡댐 현장은 낙동강 수질관리 개선 대책의 일환으로 울산지역의 깨끗하고 안정된 생활

용수공급을 위하여 추진되었다. 맑은 물 공급차원에서 당시 농업용수를 식수원으로 사용하고 있는 사연댐을 생활용수 수원으로 전환하고, 신규 취수원으로 이용하기 위하여 건설되었다. 댐형식은 콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(CFRD)로 높이가 52m이며 길이가 190m인 중규모의 댐이다. 유역면적은 57.5km²이며 총 저수량은 28,500,000 m³이다. 대곡댐 건설은 1994년 3월 실시설계를 시작으로 1999년 4월에 본공사를 착공하여 2004년 10월에 담수를 시작하였고 2005년 6월 17일에 준공을 완료하였다.

본 지역의 지질특성은 경상계 신라통의 퇴적암류(대구층)와 이를 관입, 또는 분출한 화산암류와 상기 신라통의 제 암층을 관입한 불국사통의 화성암류로 주로 구성되어 있다. 최하부층인 대구층은 언양을 지나는 언양단층 동부 일원에 널리 분포되어 있다. 하부는 암록색, 녹회색 암회색의 사암, 실트스톤, 사질실트스톤, 사질세일 및 세일이 우세하며 조사대상 지역에 해당되는 하부층은 자색의 사질실트스톤, 실트스톤, 사질세일, 세일 등이 우세하며, 녹회색 내지 암회색 및 암녹색회색의 사암, 사질실트스톤, 실트스톤, 사질세일 및 세일 등과 호층을 이루고 있으며, 담회색의 이암이 박층으로 협재되어 있다.

언양단층 서쪽부분을 점하고 있는 화성암류는 경상계 신라통의 안산암질암, 석영안산암류 및 반암류등이 대부분이며, 상기의 퇴적암류와 화산암류를 관입한 불국사통의 화성암류로 구성되었다. 불국사통의 화성암류는 주로 화강암(언양 화강암, 흑운모 화강암)이며, 화강섬록암, 반암류 및 맥암 등으로 분포하고 있다.

3. CFRD의 표층기초지반(Bedding zone) 시공

대곡댐은 태화강 수계의 제 1지류인 대곡천의 중류에 위치하며 댐 지점의 좌안은 급경사인 사행하천의 U자형 계곡에 계획되었다(한국수자원공사, 1998). 그림 1은 대곡

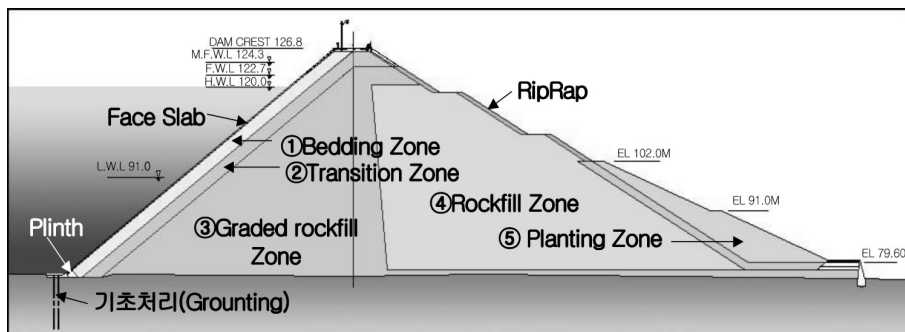


그림 1. 댐 단면도

댐의 표준 단면도를 나타낸 그림이다. 대곡댐은 콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(CFRD)의 형식으로 축조재료는 양질의 화강암 석산에서 개발한 암을 사용하였고 일부 구간은 현장에서 발생된 유용암을 이용하여 축조하였다. 차수벽을 직접 지지하고 있는 표층기초지반은 표 1에서 나타낸 바와같이 Zone-1로 구분된다. 본 기초지반은 반투수성벽을 만들어 차수벽의 균열이나 지수관 파손시 야기되는 누수를 댐 제체의 손상 없이 안전하게 통과시키는 것이 목적이다(한국수자원학회, 2003). 본 구간은 수압에 따른 차수벽의 거동과 침하, 누수에 대한 안정성 확보에 직접적인 영향을 미치므로 일정한 투수성($k=1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$)을 유지하여야 한다. 즉, 담수 시 제체변위로 인한 차수벽의 거동이 최소화 되도록 양호한 입도분포를 갖는 재료를 사용하여야 한다.

3.1 시험 시공

시험성토는 본댐의 축조에 앞서 시방기준에 적합한 입도를 갖는 각 Zone-1 성토재료를 대상으로 포설두께, 전압 횡수, 함수비 등을 변경시켜가며 다짐 성토하며 수행하였다. 이때의 시험다짐 성토체에 대한 침하율, 다짐밀도, 투수계수 등을 측정, 분석함으로써 본댐 성토시 Zone 재료가 시방서 및 설계 조건에 적합한 효율적인 시공방법을 결정하기 위해 실시하였다.

Zone-1 재료는 석산쇄석, 모래 및 마사토로 구성되어 있고 각각 구성비는 50%, 40%와 10%이다. 석산쇄석의 생산 방법은 출구간격을 40m/m로 조정한 콘 크랏샤로 살수와 파쇄를 병행하여 생산한다. 모래는 골재원에서 반입하거나 선별된 잔골재 사용하고 마사토는 석산에서 반입된 마사토를 사용하였다. 표 2는 CFRD에서 Zone-1의 시험축조를 위한 성토재료의 입도기준을 나타낸 것이다.

표 1. CFRD의 Zone별 특성

Zone	기능	재료(최대입경)	시공두께
Zone-1	차수벽을 지지하는 기초	75mm	30cm
Zone-2	급격한 입도변화 방지 필터층	150mm	50cm
Zone-3	담수시 대부분의 하중 담당	800mm	100cm
Zone-4	Zone 3을 기능 보조	600mm	80cm
Zone-5	친환경 조성목적, 식재시공	양호한 사질토	

표 2. Zone-1 시험축조 관리 기준

체크기	75mm	40mm	19mm	No. 4	No. 30	No. 200
통과백분율(%)	100	70~95	49~80	30~55	12~30	2~12

재료의 혼합방법은 혼합비율별로 석산쇄석 파쇄시 모래 및 마사토를 동시에 투입하여 살수 또는 자연 건조하여 혼합한다. 혼합재료 파쇄시 분사노즐을 통한 살수 압력별 함수비조사를 실시한 후 실내다짐시험시 결정된 최적함수비(O.M.C)7.9% ± 2%를 유지하도록 하였다. 그리고 함수비의 변화를 최소화 하기위하여 천막 등을 이용하였다.

시험성토는 본댐 하류에서 실시하였으며 지표면을 고르고 깨끗하게 정리한 후 기초지반을 축조용으로 규정된 다짐장비(드럼중량 15.8ton 로울러)로 10회 이상 다짐을 실시한 후 레벨 측정으로 시험성토구간의 평탄성 확인하였다. 성토재료는 불도져로 퍼고르기를 한 후 규정 두께별로 다짐을 실시하였으며 댐축 직각방향으로 포설을 하며, 견인식 진동롤러 6ton을 25t 크레인을 이용하여 댐축방향으로 다짐을 각각 4회, 6회, 8회 실시하였다. 시험성토 개요도는 그림 2와 같다.

한편, 현장지반의 다짐밀도는 시험성토 중앙부(그림 2

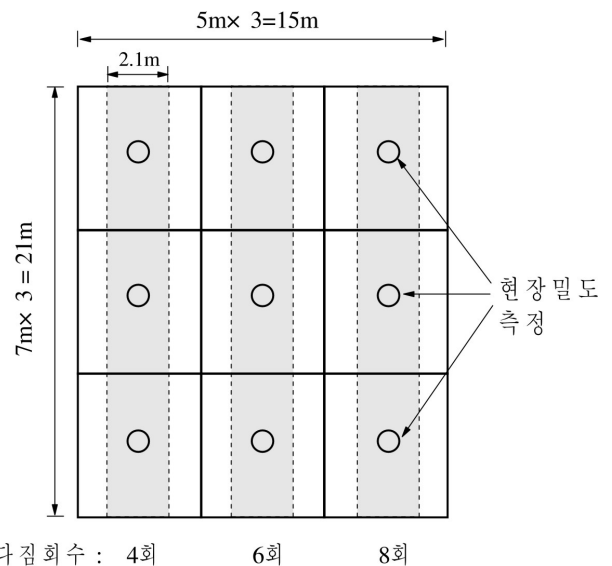


그림 2. 시험성토 개요도

의 원 표시구간)에서 모래치환법에 의한 밀도측정기로 측정하였다. 이때 그림 3에서와 같이 댐사면의 경사를 유지하면서 지반의 밀도를 측정할 수 있도록 기존의 방법을 개량하여 실시하였다.

3.2 본댐 시공

본댐 Zone-1(Bedding Zone)의 축조재료는 석산암 쇄석 50%와 모래 50%를 사용하였고 그 외 혼합방법 및 다짐방법은 시험시공과 동일한 조건으로 하였다. 침하량 측정방법은 다짐 전 사면에 직각방향으로 동일 Level이 되도록 말뚝으로 표시 후 수평자를 이용하여 일정한 간격으로 3개소 이상 측정하여 평균값을 취하였다. 다짐 완료 후 동

일한 위치에서 침하량을 산출하였다.

4. 다짐특성

4.1 시험시공

4.1.1 다짐회수와 최대건조단위중량

Zone-1재료에 대한 포설두께 30cm, 40cm, 50cm와 다짐회수 4, 6, 8회에 따른 최대건조단위중량의 변화는 그림 6과 같다. 그림 6에 의하면 다짐회수가 증가할수록 최대건조단위중량은 증가하나 다짐회수가 4회에서 6회로 증가할 경우와 6회에서 8회로 증가할 때의 최대건조단위중량의 증가율은 5%~6%에서 2%~3%로 감소하는 것으로 나

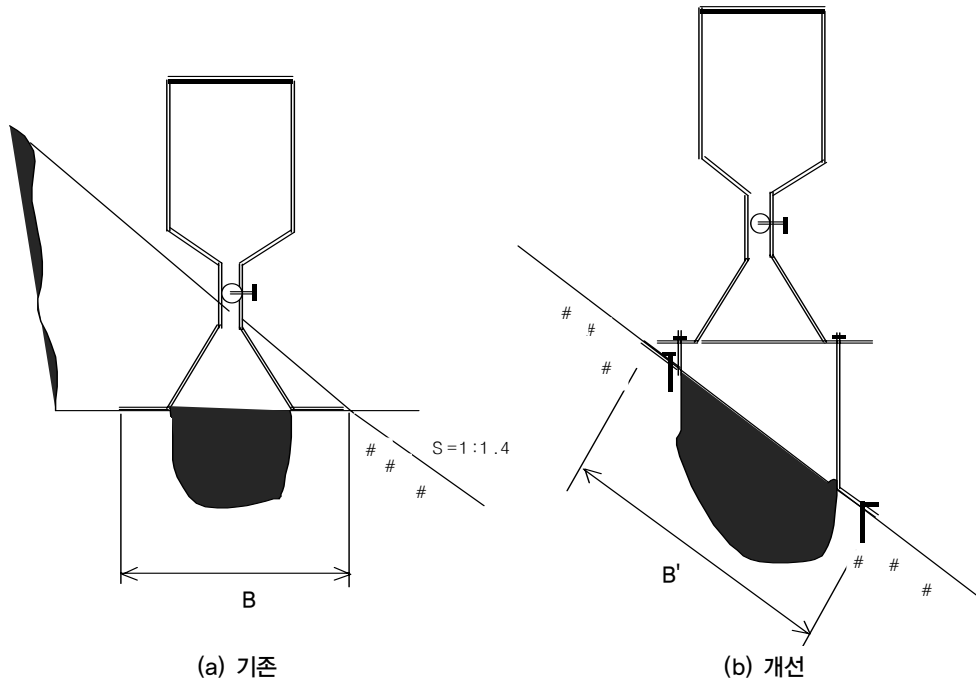


그림 3. 경사면에 적용한 현장 다짐밀도측정

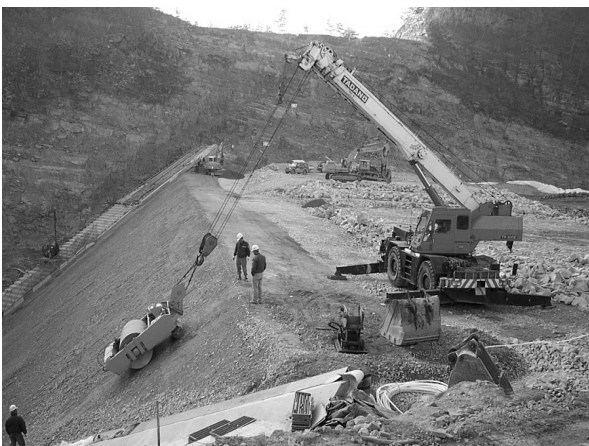


그림 4. 표층기초지반 다짐 전경



그림 5. 침하량 측정

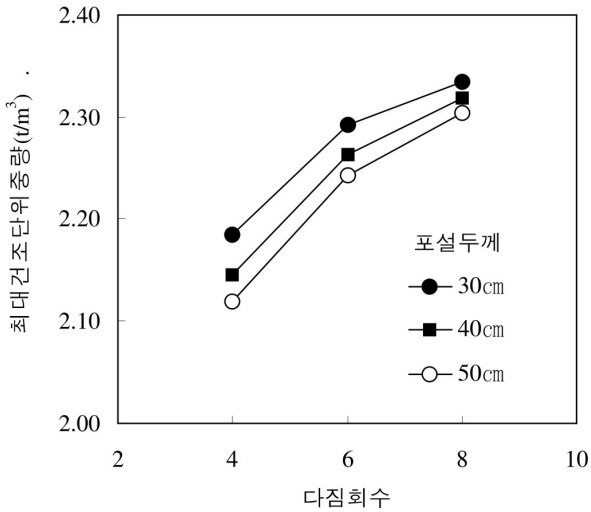


그림 6. 다짐회수와 최대건조단위중량

타났다. 그리고 다짐회수가 4회일 경우 최대건조단위중량은 포설두께가 30cm에서 40cm로 증가할 때 1.8%감소하고 40cm에서 50cm로 증가할 경우 1.3%감소하였다. 다짐회수가 6회일 경우 최대건조단위중량은 포설두께가 30cm에서 40cm로 증가할 때 1.3%감소하고 40cm에서 50cm로 증가할 경우 1.0%로 감소하였다. 그리고 다짐회수가 8회일 경우 최대건조단위중량은 포설두께가 40cm에서 50cm로 증가할 때와 40cm에서 50cm로 증가할 경우 모두 0.7%로 감소하였다. 이는 다짐회수가 증가할 때 최대건조단위중량은 선형적으로 증가하지 않으며, 포설두께에 따른 최대건조단위중량은 층이 두꺼울수록 다짐효율이 낮은 것으로 나타났다.

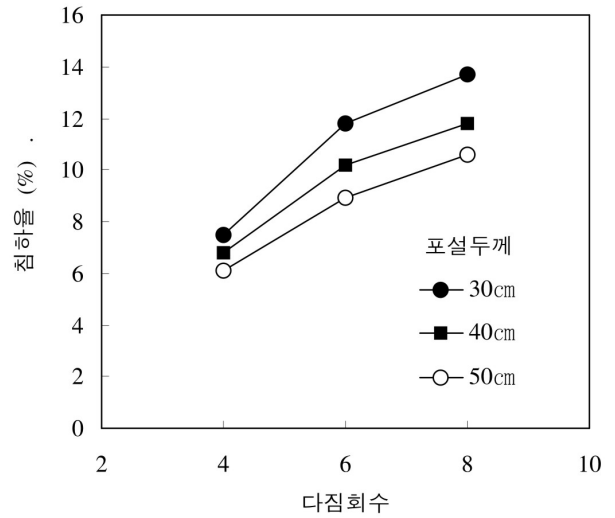


그림 7. 다짐회수와 침하율 관계

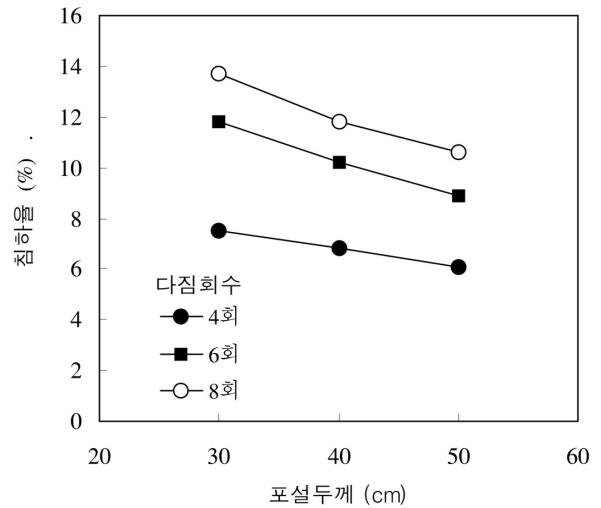


그림 8. 포설두께와 침하율

4.1.2 다짐회수와 침하율

Zone 1 재료에 대하여 각 포설두께 30cm, 40cm, 50cm 별로 다짐회수에 따른 침하율 관계를 도시하면 그림 7과 같다. 여기서 침하율이란 다짐에 따른 침하량을 포설두께로 나눈 백분율을 나타낸다. 그림 7에서 다짐회수가 4회에서 6회로 증가할 때 침하율은 46%~57%정도 증가하였고 6회에서 8회로 증가할 경우 침하율은 16%~19%로 증가하였다. 다짐회수에 따른 침하율은 다짐회수에 따라 선형적으로 증가되지 않고 약간 둔화되는 것을 알 수 있었다. 특히 각각의 다짐회수에 대한 포설두께와 침하율의 관계는 포설두께 30cm일 경우가 40cm, 50cm에 비해 침하율이 큰 것으로 나타나고 있는 반면, 포설두께 40cm, 50cm의 경우 침하율은 포설두께에 영향을 받지 않고 거의 비슷한 값을 보이고 있어 포설두께가 30cm~40cm 사이에서 침하율의 변화가 크게 되는 것으로 나타나고 있다.

4.1.3 포설두께와 침하율

Zone-1 재료에 대하여 포설두께에 따른 침하율의 변화를 다짐회수별로 나타내면 그림 8과 같다. 침하율에 따른 전압회수별 적정포설두께 관계는 그림 8과 같이 나타났다. 특히 각각의 다짐회수에 대한 포설두께와 침하율의 관계는 4회의 경우 6.1%에서 7.5%이고 6회의 경우 8.9%에서 11.8%이며 8회일 경우 10.6%에서 13.7%이다. 그림 8에서 다짐회수를 4회에서 6회로 증가할 경우 침하율의 변화량은 다짐회수 6회에서 8회로 증가할 경우보다 침하율의 변화량이 큰 것으로 나타났다.

4.1.4 투수계수와 다짐회수

Zone-1 재료의 각 포설두께 30cm, 40cm, 50cm별로 다짐회수에 대한 투수계수 관계를 도시하면 그림 9와 같다.

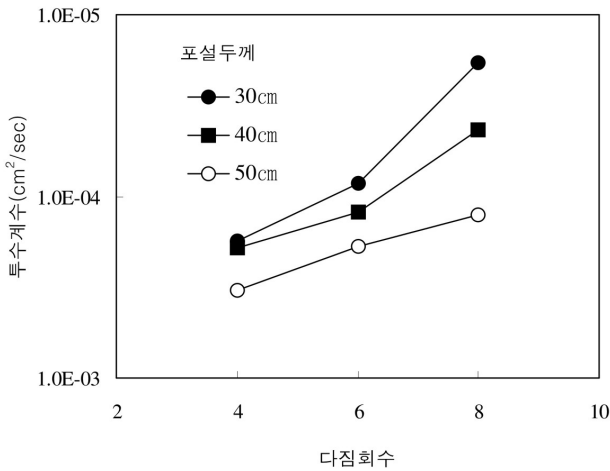


그림 9. 투수계수와 다짐회수

Zone-1은 Face Slab에 균열이 생겨 누수가 발생할 경우 세립토의 이동에 따른 제체변위를 억제할 수 있는 차수성을 유지하여야 한다. 따라서 차수능을 확보하기 위하여 소요 투수계수는 $K=1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 이하가 되어야 한다. 본 시험성토구간에서 실시한 투수시험결과에 의하면 소요 투수계수를 확보하기 위한 포설두께 및 다짐회수는 포설 두께 30cm이하로 다짐회수 6회 이상일 때 가능하다. 그리고 다짐회수가 증가할수록 투수계수는 감소하나 감소율이 4회에서 6회로 증가했을 때 보다 6회에서 8회로 증가했을 때가 더 큰 것으로 나타났다. 즉, 투수계수는 다짐회수의 증가와 비례하여 선형적으로 감소하지 않는 것을 의미한다.

4.2 본댐 시공

4.2.1 살수량에 따른 표면 함수비

그림 10은 Zone-1 사면부에서 살수량의 변화에 따른 표면의 함수비의 변화를 도시하였다. Zone-1 구간에서 살수량에 따른 함수비의 변화를 조사하는 목적은 경사가 1:1.4로 급한사면으로 소요의 지지력과 차수성을 확보하기 위하여 엄격한 품질기준이 필요하다. 따라서 최대건조단위 중량과 함수비의 측정이 필요하다.

함수비의 변화는 살수량에 따라 직접적으로 영향을 받으므로 이에 대한 조사를 실시하였다. 시험결과 살수량이 증가 할수록 표면의 함수비는 이에 대응하여 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 살수량과 표면 함수비의 상관관계는 매우 높은 것으로 나타났고 함수비와 살수량의 상관관계식은 $y=0.06x+2.8$ 로 나타났다. 여기서 y는 함수비(%)이고 x는 살수량(ℓ/min)이다.

그림 10에 의하면 살수량이 42 ℓ/min 에서 185 ℓ/min 로

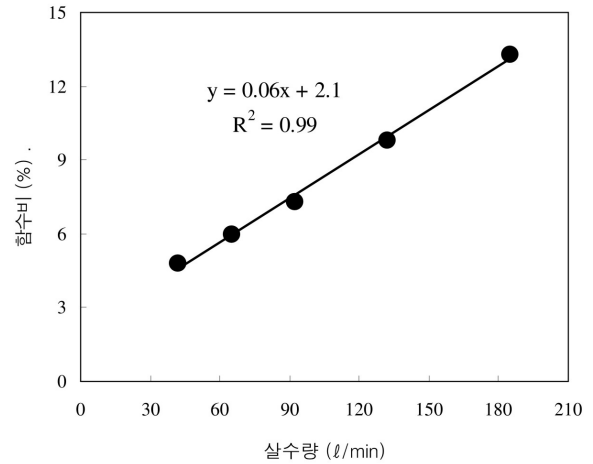


그림 10. 살수량에 따른 함수비 변화

증가 하였으나 함수비는 4.8%에서 13.3%로 함수비가 낮은 편인데 이는 Zone-1구간의 축조재료의 주성분이 쇄석과 모래로 구성되어 있어 투수성이 크기 때문에 살수량에 비하여 상대적으로 함수비가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

4.2.2 다짐회수와 침하량

그림 11은 Zone-1구간 사면부에서 다짐회수에 대한 침하량을 나타내었다. 사면 침하량 측정은 직각방향으로 다짐 전·후에 변화를 측정하였다. 다짐은 견인식 진동로울러 6ton을 크레인을 이용하여 실시하였다. 침하량 측정은 3구간으로 나누어 각각 8회를 실시하였다.

그림 11에 의하면 침하량은 다짐회수가 4회일 경우 0.37cm에서 0.50cm이며 6회일 경우 0.93cm에서 1.13cm이고 8회일 경우 1.07cm에서 1.27cm이다. 여기에서 다짐회수가 4회에서 6회로 변할 경우 다짐에너지 증가에 따른 침하량의 증가량은 다짐회수가 6회에서 8회로 변할 경우보다 매우 큰 것으로 조사되었다.

이는 다짐회수가 증가할수록 침하량은 비례하여 증가하지 않는 것을 의미한다. 따라서 다짐회수의 결정시 다짐회수 증가에 비하여 침하량의 증가가 정비례하지 않으므로 경제적인 관점에서 다짐회수의 결정이 필요하다는 것을 그림 11에서 알 수 있다.

4.2.3 다짐회수와 현장다짐밀도

그림 12는 다짐회수에 대한 최대 건조단위중량을 나타내었다. 그림 3과 같이 사면부에서 간편하게 현장의 건조단위중량을 측정할 수 있도록 모래치환법을 개선하여 측정된 결과이다.

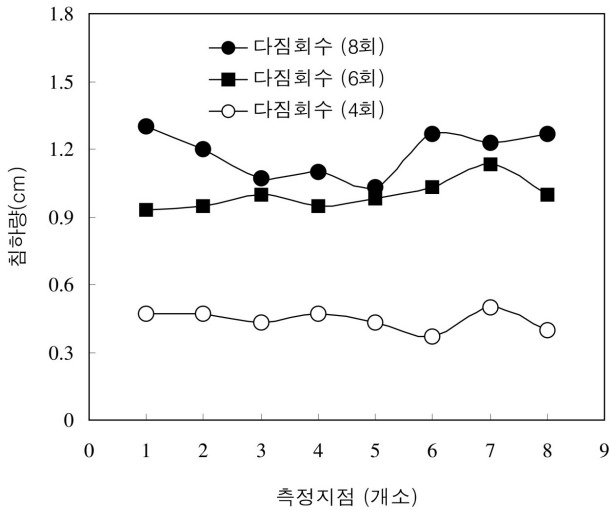


그림 11. 침하량과 다짐회수와의 관계

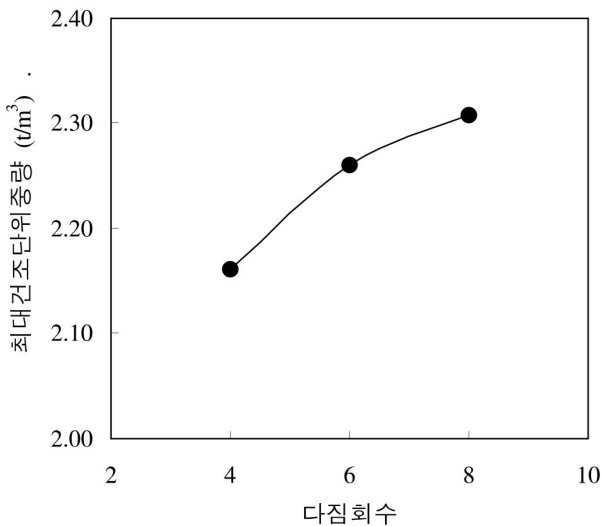


그림 12. 다짐회수와 최대건조단위중량

이에 의하면, 다짐회수가 증가할수록 최대건조단위중량은 증가하지만 다짐회수가 4회일 경우 최대 건조 단위중량은 $2.16t/m^3$ 이며 다짐회수가 6회시 최대건조단위중량은 $2.26t/m^3$ 이고, 다짐회수가 8회에서 최대건조단위중량은 $2.31t/m^3$ 으로 그림 12와 같이 다짐회수가 4회에서 6회로 변할 경우 증가량이 6회에서 8회로 변할 때의 증가량보다 큰 것으로 나타났다.

즉 최대건조단위중량은 그림 12에 의하면 다짐회수가 증가할수록 수렴하는 경향을 보이고 있다. 이는 그림 11과 같이 다짐회수에 따른 침하 특성과 같은 양상을 보이고 있다. 본 Zone-1의 주재료가 쇄석과 모래로 구성되어 있어 최대건조단위중량이 $2.308t/m^3$ 까지 나타나므로 강도특성이 우수한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(C.F.R.D)의 Zone-1구간 사면부에 대하여 살수량에 따른 함수비변화, 다짐회수에 따른 침하특성과 다짐특성에 대한 상관관계를 연구하였다. 본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 살수량과 표면 함수비의 상관관계는 매우 높은 것으로 나타났고, 함수비와 살수량의 상관관계식은 $y=0.06x+2.8$ 로 나타났다.
- (2) 다짐에너지에 대한 침하특성은 다짐회수가 증가할수록 침하량은 이에 정비례하여 증가하지 않는 것을 나타냈다. 따라서 침하기준을 만족하는 다짐회수는 경제적인 관점에서 결정하여야 한다.
- (3) 다짐에너지에 대한 건조단위중량은 다짐회수가 증가할수록 일정한 값에 수렴되는 경향을 보이고 있다.

참고문헌

1. 박동순, 김형수, 임정열 (2005), “CFRD의 최근 설계·시공기술 동향”, *대한지질공학회논문집*, 제15권, 제1호, pp.77-86.
2. 하익수, 서민우, 김형수 (2006), “CFRD 차수벽지대강성 이 콘크리트차수벽 거동에 미치는 영향”, *대한토목학회논문집*, 제26권, 제5C호, pp.351-358.
3. 한국수자원공사 (1998), *울산권 광역상수도 사업 설계보고서*.
4. 한국수자원학회 (2003), *건설교통부승인 댐설계기준*.
5. 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 International offshore and Polar Engineering Conference*, pp.635-639.

(논문접수일 2007. 3. 28, 심사완료일 2007. 4. 23)