

RCC 댐 콘크리트의 배합비 도출에 관한 연구

Mix proportions of Concrete for Roller Compacted Concrete Dam Application

원종필* 윤종환** 황금식** 장필성** 김완영*** 정우성***
Won, Jong Pil Yoon, Jong Hwan Hwang, Kum Sik Jang, Pil Sung Kim, Wan Young Jung, Woo Sung

ABSTRACT

Roller-compacted concrete(RCC) dam is a new type that combines advantages of earthfill dam and concrete dam in construction. This method save cost due to their rapid method of construction. RCC is, used in RCC dams, no-slump concrete so it is different that measure method of consistency and mixture properties compare with conventional mass concrete. There are existing two major design method, which one used in USA the other used in Japan. The results obtained in this study would be useful in establishing mixture proportions for dam concrete for RCC dams by apply method of compound their merit.

1. 서론

Rock fill 및 earthfill 댐은 경제성이 높고 시공성이 좋으나 안정성 측면에서는 콘크리트 댐에 비하여 취약하다. 실제로 지난 몇 십년 동안 overtopping과 충전 재료의 내부 침식으로 인해 많은 흙 제방들이 무너졌다.⁽³⁾ 많은 연구자들은 이러한 점에 착안해 콘크리트 댐과 earthfill 댐의 장점을 살린 새로운 댐 건설 방식을 연구하였고 여러 가지 방법을 통해 1960년대 초부터 1970년대에 걸쳐 Roller Compacted Concrete(RCC) Dam을 발전 시켰다.⁽⁶⁾

RCC 댐은 1964년 이탈리아의 Alpe Gera Dam에서 높이 172m의 댐을 건설하면서 필 댐 시공 장비인 덤프트럭과 dozer, tractor를 이용하고 내부 진동을 통해 다짐을 실시하면서 시작되었다.⁽¹⁾ 이후 1970년 Jerome Raphael은 그의 논문에서 롤러를 통한 다짐으로 단면을 줄이는 효과를 얻을 수 있고 흙댐에 적용되는 연속 타설 방법을 사용한다면 기존의 중력댐과 비교할 때 시간과 비용을 절감할 수 있을 것이라고 밝혔다.⁽¹⁾⁽³⁾ 이를 계기로 많은 연구들이 진행되었고 1970년대 초반 Time Ford Dam의 Tennessee Valley Authority와 Lost Creek Dam의 미공병대 기술진의 연구를 통해 RCC 댐 공법의 경제적 적용 가능성이 밝혀졌고 타설 방법 역시 크게 발전하였다.⁽⁷⁾ 1975년에는 파키스탄의 댐 여수로 붕괴 복구에서 42일간 350,000m³를 타설하여 빠른 타설을 증명하였고 일본과 영국에서 독자적인 새로운 형식의 RCC 댐에 대한 연구가 시작되었다.⁽³⁾ 일본의 경우는 자체적으로 이를 RCD라 명하고 지역적 특성에 맞는 RCC 댐을 계속 발전 시켰다. 이후 1980년대에 들어 미국 과 일본 등지에서 많은 성공적인 시공이 이루어 졌다. 대표적인 RCC 댐으로는 미국의 Willow Creek Dam, 오스트레일리아의 Copperfield Dam, 일본의 Shimajigawa Dam, Tamagawa Dam 등이 있다.⁽⁵⁾⁽⁸⁾

* 정회원, 건국대학교 지역건설환경공학과 교수

** 정회원, 건국대학교 지역건설환경공학과 석사과정

*** 정회원, 한국수자원공사 수자원 연구소

RCC 댐에 사용되는 RCC는 극도로 된 반죽이며 단위시멘트량이 매우 적은 빈배합이다. 따라서 건조수축, 크리프 등 부피변화가 작아 물성 면에서 유리하고 댐과 같은 거대한 단면의 시공시 수화열의 감소에도 큰 장점을 가지고 있다. 시공면에서는 광범위한 건설 장비의 사용과 지속적인 시공이 가능해 시공속도가 빠르면서도 경제성이 우수한 장점을 가지는 공법이다. 이러한 장점들로 인해 현재는 다짐기계와 재료를 적절히 운반하여 처리할 수 있는 공간이 확보되어 있는 장소에서 기존의 매스콘크리트를 대체할 수 있는 방법으로 고려되고 있다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾

RCC 댐은 시공방법의 발전과 함께 RCC의 배합설계도 많은 연구가 진행되었는데 미국의 경우는 그래프와 수식들을 이용한 방법을 통해 배합설계를 실시하고 있으며 일본의 경우는 댐 현장의 특수한 지질 및 지형 조건을 고려해 시공현장에 맞게 반복 실험을 하여 배합을 결정하는 방법을 취하고 있다.⁽³⁾⁽⁵⁾ 또한 배합의 특성을 규명하는 측정 방법들 역시 기존에 사용되고 있는 매스콘크리트와는 많이 다르다.⁽¹⁾⁽⁶⁾ 본 연구에서는 이러한 위의 두 가지 방법을 기초로 하면서도 그 장점만을 조합한 효과적인 방법으로 적정 배합비를 도출하려 한다.

2. 배합조건 및 사용재료

2.1 배합조건

본 연구에서 적용되는 목표 배합 조건은 표 1과 같다.

표 1 Target properties

$f_{ck}(kgf/cm^2)$	$G_{max}(mm)$	slump(cm)	Vc(sec)*	Air(%)
120	80	0	20 ± 10	1.5±1

* Vc : Vebe time

2.2 시멘트

국내에서 사용되는 S사의 2종(중용열) 포틀랜드 시멘트를 사용했으며 그 화학성분은 표 2와 같다.

표 2 Chemical compositions of Type II portland cement

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	lg.Loss
23.3	3.9	3.6	62.4	2.9	0.11	0.82	1.9	1.0

2.3 골재

굵은 골재는 최대치수 80mm의 부순 골재가 사용되었으며 잔골재 역시 같은 종의 부순 골재가 사용되었다. 본 연구에서 사용된 골재의 물리적 특성은 표 3과 같다.

2.4 혼화제

시공성, 응결시간 조절 및 배합 조건을 만족시키기 위해 소량의 고유동화제가 사용되었다.

표 3 Physical properties of fine and coarse aggregate

Clause of experimentation	Coarse aggregate	Fine aggregate
Stability(%)	5.5	5.0
Specific gravity(SSD)	2.51	2.54
Rate of absorption(%)	0.87	0.98
Clay mass(%)	0.01	0.2
Rate of passing 0.08mm sieve(%)	0.1	1.1
rate of abrasion(%)	28.2	-
unit weight(kg/m ³)	1418	1618
Chloride(%)	-	0.01
F.M.	-	2.92

3. 배합설계

3.1 배합설계 고찰

3.1.1 미 공병대 방법

미국 공병대에서 사용하는 배합 설계 방법의 특징은 오랜 연구 결과를 기본으로 많은 부분이 도식화 되어 있다는 것이다. 단위수량, 잔골재율 및 단위시멘트량을 도식화된 그래프를 통하여 결정하고 이를 이용해 잔여 재료의 절대용적을 산출하는 방식이다. 배합설계에 있어 매우 빠르고 편리한 장점이 있지만 재료의 차이 및 지형 조건의 차이로 인해 이를 국내에서 그대로 적용하기는 어려움이 있을 것으로 고려되어진다.

3.1.2 일본 방법

1970년대 후반 RCC를 도입하여 열악한 지형 및 지질 조건에 맞게 발전시켜온 일본에서는 모든 재료량의 결정이 현장 지형과 재료 조건에 맞추어 실험을 통해 이루어져 적용성과 시공측면에서 유리하지만 초기 재료량의 범위를 추정하는데 있어 특히 많은 어려움이 있으며 반복적이고 장기간의 시간이 소요된다는 단점이 있다.

3.2 배합설계 실시

본 연구에서는 위의 두 방법을 혼용해 주요 변수의 초기값 산정은 미공병대의 자료를 통해 결정하고 이를 일본의 시험 방법에 따라 반복 실험을 통해 적정 배합비를 도출하였다.

3.2.1 단위 수량 및 잔골재율

표 4는 단위 수량 및 잔골재율을 결정하기 위한 것으로 굵은골재 최대치수와 Vc값에 따른 단위수량과 굵은골재 최대치수와 골재 종류에 따른 잔골재율을 결정할 수 있다. 본 연구에서는 표 1의 배합조건을 표 4에 적용하여 단위 수량의 범위를 97-112 kg/m³으로, 잔골재율을 29-35%로 결정하였다.

표 4 Water content, sand content for various nominal size aggregates.⁽⁵⁾

Contents	Nominal Maximum Size of Aggregate					
	19.0mm		50mm		75mm	
	Average	Range	Average	Range	Average	Range
Water Content, kg/m ³						
a) Vebe < 30 sec	150	133-181	122	107-140	107	85-128
b) Vebe > 30 sec	134	110-154	119	104-125	100	97-112
Sand content, % of total						
a) crushed aggregate	55	49-59	43	32-49	34	29-35
b) rounded aggregate	43	38-45	41	35-45	31	27-34

3.2.2 단위시멘트량

그림 1은 재령 강도에 따른 단위시멘트량을 나타내는 그래프로 본 연구에서는 이를 기준으로 약 100-120 kg/m³의 시멘트량 범위를 결정하였다.

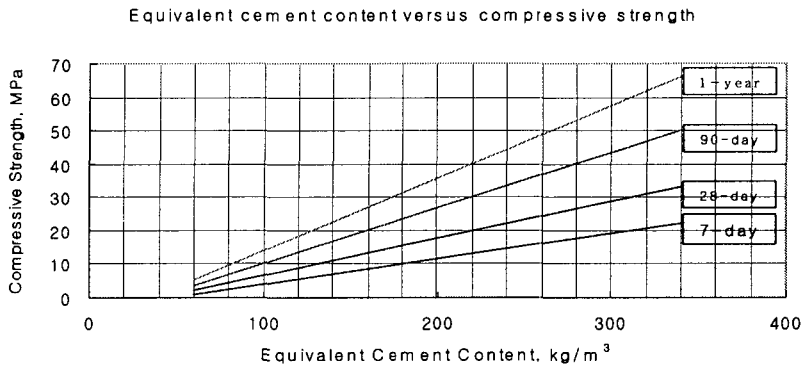


그림 1 Equivalent cement content⁽⁵⁾

이와 같은 방법으로 결정된 초기 범위를 바탕으로 반복 실험을 통한 단위수량, 잔골재율, 단위시멘트량의 정확한 값을 결정하였다.

3.2.3 단위수량 시험

3.2.3.1 모르타르 단위 용적 중량시험

모르타르 단위 용적 중량시험은 RCC의 단위 수량을 결정하기 위한 시험으로 모르타르의 단위 수량을 변화 시키면서 가장 작은 단위용적중량과 공극률을 찾아 단위 용적 중량이 가장 크고 공극율이 가장 적어진 단위수량을 찾는 것이다. 지금까지의 현장 적용 실적을 살펴보면 시공성이 좋은 단위수량은 모르타르 단위용적중량으로 찾았던 콘크리트환산 단위수량보다 약 5-15%정도 증가시킨 것이 적당하다고 한다.⁽⁸⁾ 따라서 본 연구에서도 표 5에서 보는 바와 같이 콘크리트 단위 수량의 범위를 89-98 kg/m³로 결정 하였다.

표 5 Water content(kg/m³)

Water content for mortar	Water content for concrete	Water content application
225	85	89-98

3.2.3.2 단위수량과 비비시간의 관계

본 시험은 콘크리트 중의 단위수량을 변화시키면서 Vc 치를 측정해 시공성이 좋은 단위수량을 찾는 것으로 시험 방법은 ASTM C 1170-91 및 CRD C 53-01을 따랐다. 측정 전 wet screening 통하여 40mm이상의 재료는 제거하였다. 단위 수량의 범위는 표 4를 통해 결정한 범위와 모르타르 단위용적증량시험 결과를 참조하여 결정하였다. 실험결과는 그림 2에 나타나 있다. 실험결과에 의하면 90-100 kg/m³ 정도의 단위 수량이 본 연구에 적당할 것으로 판단된다.

3.2.4 잔골재율 시험

잔골재율 변화에 따른 컨시스턴시의 변화를 통해 잔골재율과 Vc 값과의 관계를 통하여 적정 잔골재율을 결정하는 것으로 본 연구에서는 단위수량을 앞선 결과에 따라 95 kg/m³로 하여 실험을 실시하였다. 실험결과는 그림 3과 같다. 그림 3에서 보면 요구되는 Vc값을 나타내는 값 중 35% 전·후의 값이 적절할 것으로 판단된다.

3.2.5 단위시멘트량 시험

단위시멘트량을 결정하기 위하여 단위시멘트량의 변화에 따른 압축강도를 측정하여 적절한 단위시멘트량을 결정하는 시험방법이다. 압축 공시체의 제작은 ASTM C 1176-92를 따랐으며 압축강도의 측정은 KS F 2405에 준하여 실시하였다. 실험결과는 그림 4와 같다. 그림 4에 따르면 요구되는 압축강도를 나타내는 단위시멘트량은 약 110 kg/m³ 정도이지만 약간의 할증률을 적용하여 115 kg/m³ 정도를 단위시멘트량으로 결정하였다.

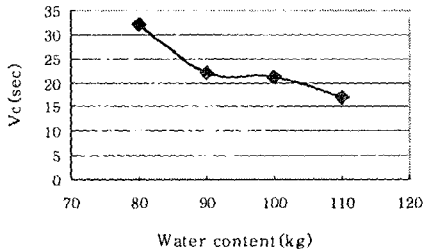


그림 2 Water content vs Vc

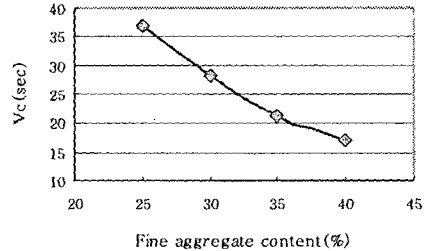


그림 3 Fine aggregate vs Vc

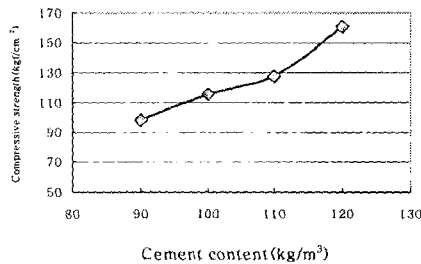


그림 4 Cement content vs Compressive strength

4. 배합설계 결과

앞선 실험들을 통하여 단위수량을 95 kg/m³, 단위시멘트량을 115 kg/m³, 잔골재율을 35%

로 결정하였다. 이러한 데이터를 통해 컨시스턴시 및 압축강도를 반복 측정한 결과 표 6과 같은 배합을 얻을 수 있었다.

표 6 Mix proportion of RCC for Roller Compacted Concrete Dam

G _{max} (mm)	Vc(sec)	Air(%)	w/c	s/a(%)	W(kg/m ³)	C(kg/m ³)	S(kg/m ³)	G(kg/m ³)	SP(kg/m ³)
80	20 ± 10	1.5±1	0.79	34	92	117	765	1468	0.33

참 고 문 헌

1. ACI(1988), Roller Compacted Mass Concrete, ACI Committee 207.5R-89
2. Donald J. Hall and Donald L. Houghton (1974). Roller Compacted Concrete Studies at Lost Creek Dam, U.S. Army Engineer District, June
3. Kenneth D. Hansen, P.E. and William G. Reinhard(1991), Roller-Compacted Concrete, MCGraw-Hill, Inc.
4. Toshio Hirose and Tsutomu Yanagida(1984), Burst of Growth Demands Speed Economy, Concrete International, May, pp 14-18.
5. US Army Corps of Engineers(2000), Roller-Compacted Concrete, EM 1110-2-2006, January.
6. US Army Corps of Engineers(1995), Seismic Design Provisions for Roller Compacted Concrete Dams, EP 1110-2-12, September.
7. W. O. Tynes(1973), Feasibility Study of No-slump Concrete for Mass Concrete Construction, US Army Engineering Waterways Experiment Station, October
8. 財団法人 日本RCD協會 RCD公法施工研究會(坪城 8年), RCD公法施工事例調査報告書, 3月.