RCC의 강도발현 특성에 미치는 잔골재의 입도분포

The effects of Fines on the strength of RCC

장 봉 석* 김 완 영** 정 우 성***
Jang, Bong Seok Kim, Wan Young Jung, Woo Sung

ABSTRACT

This study try to apply two methodologies which from USACE and RCD research team of Japan on the mix design procedure. Firstly, a basic mix design was decided using the method of USACE. Secondly, the method of Japan RCD research team was adapted to verify the quality.

From the results of this study, is impossible to guarantee the quality of RCD using the sieve distribution of the dam concrete chapter in the code of korean. So, it is recommended to apply the guideline of USACE or ASCE on the distribution of aggregate. And, more wide experimental study is necessary to establish the relationsjip between the strength and the compaction ratio, because of the difference of strength according to the ratio of compaction was more than 10%.

1. 서론

국내에서 시공 사례가 없고 최초로 한탄강 댐의 설계에 채택된 바 있으며, 또한 세계적으로 댐 콘크리트의 역사에서 있어서 상대적으로 최신기술이라고 할 수 있는 롤러다짐 콘크리트(Roller compacted concrete)는 그 시공방법, 시공 속도 그리고 열응력 특성 등에서 기존의 댐 콘크리트와 비교하여 상대적으로 많은 장점을 가진 콘크리트로서 그 적용성과 미래 전망이 유망한 기술이라고 판단된다.

국내 콘크리트 시방서의 댐 편에서 규정하고 있는 골재의 입도표준은 국내 시공된 콘크리트 댐에 적용되어 온 것으로 블록형태로 타설하는 매스콘크리트용 골재에 대한 입도를 규정한 것으로, 롤러다짐 콘크리트의 강도 및 다짐 요구조건을 충족하기 위해서 제시하고 있는 미국토목학회(ASCE) 또는 미공병단(USACE)의 입도규정을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서는 잔골재의 입도분포가 롤러다짐 콘크리트의 다짐특성과 압축강도 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 현행 시방서의 댐 콘크리트의 입도표준을 만족하는 골재와 ASCE와 USACE의 입도규정을 만족하는 골재에 대하여 다짐특성과 강도발현 특성에 대한 기초 실험을 실시하였다.

2. 실험변수 및 방법

2.1. 실험변수

* 정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 댐안전연구소 선임연구원
** 정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 댐안전연구소 책임연구원
*** 정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 지하수지반연구소 책임연구원

실험의 변수는 표 1 과 표 2 에 나타난 골재의 입도 표준 두 가지 경우와 단위시멘트량 중량비의 30%를 플라이애쉬로 대체한 경우로 총 3가지 변수에 대하여 VC시험, 슬럼프, 단위용적중량 시험, 압축강도 시험, 할열인장강도 시험을 실시하였다.

표 1 롤러다짐 콘크리트용 골재 입도 표준 (USACE, ASCE)

a. Coarse aggregates

Sieve size	Cumulative percent passing
75 ㎜	100
63 ㎜	88
50 ㎜	76
37.5 ㎜	61
25.0 ㎜	44
19.0 ㎜	33
12.5 ㎜	21
9.5 ㎜	14
4.75 ㎜	-

b. Fine aggregates

Sieve size	Cumulative percent passing
9.5 ㎜	100
4.75 ㎜	95~100
2.36 ㎜	75~95
1.18 ㎜	55~80
600 ㎛	35~60
300 ㎛	24~40
150 ㎛	12~28
75 ㎛	8~18
FM	2.10~2.75

표 2 댐 콘크리트 골재의 입도 표준

a. Coarse aggregates

체의 크기 (㎜)	입경별 백분율 (%)
80 ~ 40	40~20
40 ~ 20	40~20
20 ~ 10	25~15
10 ~ 5	15~10

b. Fine aggregates

체의 크기 (㎜)	입경별 백분율 (%)
10 ~ 5	0~8
5 ~ 2.5	5~20
2.5 ~ 1.2	10~25
1.2 ~ 0.6	10~30
0.6 ~ 0.3	15~30
0.3 ~ 0.15	12~20
0.15 ~	2~15

2.2. 배합 및 실험방법

롤러다짐 콘크리트의 배합설계는 미공병대(USACE)에서 제시하고 있는 절차를 도입하여 수행하였으며, 컨시스턴시는 ASTM C 1170과 유사한 방법인 일본 RCD 연구회의 소형VC 시험방법을 적용하였다. 공시체 탈형시에 모든 공시체에 대하여 표면상태를 기록하여 다짐정도와 공시체 표면 상태를 비교하였다. 압축강도 공시체는 ASTM C 1176에 준하여 제작하였다. 압축강도는 재령 7일, 28일, 56일 그리고 91일에 대하여 측정하였으며, 할렬인장강도는 재령 91일에 측정하였다.

표 3 기본 배합설계표

Series name	G_{max} (mm)	공기량 (%)	W/B	s/a (%)	단위량 (kg/m^3)					입도 조정	비고
					W	Binder		F.A.	C.A.		
						C	flyash				
N1F0	80	1.1	0.82	34	93	114	-	731	1419	×	
M1F0	80	1.1	0.82	34	93	79.8	34.2	726	1410	○	
M1F3	80	1.1	0.82	34	93	114	-	731	1419	○	
※설계강도_91일 = 120 kgf/cm^2, fly ash 30%,											

표 4 골재의 비중, 흡수율, 조립율, 마모율

	비중	흡수율(%)	조립율	마모율(%)
잔골재	2.59	1.79	2.853	-
굵은골재	2.71	0.13	-	15.9

2.2.1 VC 시험 및 단위용적중량시험

일본의 RCD 연구회에서 슬럼프 관리를 위하여 미국과 유사한 시험방법인 VC(vibrating compaction) 시험방법을 이용하여 반죽의 질기를 관리하며, VC 시험에는 사용 용기의 크기에 따라 대형 VC시험과 소형 VC시험 두 가지 방법이 있다. 소형 VC 시험은 실내 시험에서 주로 사용되며, 대형 VC 시험은 주로 현장배합의 품질관리를 위하여 사용한다. 일반적으로 소형 VC치(vibrating compaction value)를 20±10 sec 범위를 만족하도록 규정하고 있다. 본 연구에서는 소형 VC 방법을 적용하였다.

단위용적중량시험은 VC 시험 후에 중량과 부피를 측정하여 계산하였다.

표 3 진동대의 주요 사양 비교

항 목	미국 (ASTM C 1170)	일본 (VC 시험)	비고
용기크기, (㎜)	φ241±2, 197±2	φ240, H200 φ480, H400	소형 대형
진동수, (vpm)	3600±100 (60±1.67 Hz)	3,000~4,000	
진 폭, (㎜)	2×(0.43±0.08)	1.0	
추 하중, (kgf)	22.7±0.5	10~20	

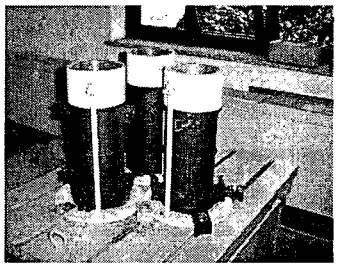

그림 1 다짐도 실험 장면 (3개 다짐)

2.2.2 강도시험 및 공시체 제작

강도시험은 재령 7일, 28일, 56일, 91일 압축강도시험을 실시하고, 할렬인장강도는 재령 91일 강도를 측정하였다. 강도시험은 φ150×H300의 공시체를 제작하여 KS F 2405에 준하여 강도시험을 실시하였다.

강도시험을 위한 공시체의 제작은 현재 국내에 KS규격으로는 공시체의 제작이 불가능하다. 일본 RCD 연구회의 경우, 별도로 강도시험용 공시체의 제작에 대한 언급은 없으나, 미국의 경우는 강도시험용 공시체의 제작은 ASTM C 1176 "Standard practice for making roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating table" 또는 ASTM C 1435 "Standards practice for molding roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating hammer"에서 규정하고 있다. 본 연구에서는 ASTM C 1176에 준하여 강도용 공시체를 제작하였다.

2.2.3 다짐도 특성시험

ASTM C 1176의 규정을 만족하는 진동대에 공시체 제작시 동시에 3개의 공시체 몰드를 설치하여 공시체를 제작한 경우와 동시에 2개의 공시체 몰드를 설치한 경우, 그리고 1개를 설치한 경우로 나누어 각각 공시체를 제작하여 재령 28일의 강도를 비교하고자 하였다.

3. 실험결과

3.1. VC 시험, 슬럼프 시험, 단위용적중량시험 결과

모든 실험변수에 대하여 슬럼프는 '0'이었으며, VC값이 20±10 sec 범위로 만족하는 결과를 보였다.

표 5 에서 알 수 있듯이 단위중량은 2.36~2.44 tonf/㎥의 범위로 나타나 일반적으로 무근콘크리트의 단위중량 2.3 tonf/㎥ 보다 다소 크게 나타났다. 이는 일본 RCD 연구보고서에서 다짐밀도의 평균 2.325~2.410 ton/㎥와 비슷한 결과를 보이고 있으며, 또한 core 관찰에 의한 다짐정도의 구분인 A급(평균밀도 2.43 ton/㎥), B급(평균밀도 2.37 ton/㎥) 그리고 C급(평균밀도 2.31 ton/㎥)에 준하여 비교해보면 대부분 B급을 상회하는 것으로 나타났다. 이는 진동다짐효과가 적정수준이상으로 확보되었음을 나타내고 있는 것으로 이해할 수 있다.

표 5 단위중량시험 결과

변수명	M1F0		N1F0		M1F0	
단위중량 (ton/㎥)	2.44	2.43	2.36	2.47	2.40	2.36
비고	A	A	B	A	B	B

3.2. 강도시험 결과

주요 실험변수인 M1F0, N1F0, M1F3의 압축강도 결과는 표 7 및 그림 2 에 나타내었다. M1F0의 경우 7일 강도는 117.3 kgf/㎠, 28일 강도는 177.0 kgf/㎠, N1F0의 경우 7일 강도는 91.8 kgf/㎠, 28일 강도는 135.8 kgf/㎠ 이고 M1F3의 경우 7일 강도는 87.2 kgf/㎠, 28일 강도는 146.8 kgf/㎠ 을 나타내어 모든 경우에 대해서 재령28일에서 목표강도인 91일 강도 120 kgf/㎠ 을 많이 상회하는 것으로 나타났다. 표 5.2에서 알 수 있듯이 미공병단의 잔골재 입도 요구조건에 부합하는 M1F0의 경우의 압축강도가 N1F0의 경우의 압축강도보다 약 31% 정도 증가함을 알 수 있다. 이는 N1F0의 경우 미립분의 부족으로 내부의 콘크리트가 밀실하게 채워지지 않았기 때문으로 설명할 될 수 있다. 또한 M1F0와 M1F3의 압축강도 비교에서 알 수 있듯이 플라이애쉬의 사용으로 조기강도 발현이 늦어짐을 확인 할 수 있으며, 91일 강도가 다소 경향을 벗어나는 것은 91일 강도시험시 공시체의 습윤상태 차이에 의한 것으로 실제 강도보다 낮은 값들로 추정된다. 플라이애쉬를 30% 사용한 M1F3의 경우의 압축강도가 플라이애쉬를 사용하지 않은 N1F0의 경우 보다 더 크게 나타남을 알 수 있듯이, 롤러다짐 콘크리트에서 잔골재의 입도가 매우 중요함을 확인 할 수 있다.

표 7 압축강도(kgf/㎠)

변수명	재령 (일)	압축강도			평균
M1F0	7	101.9	131.6	118.6	117.3
	28	178.8	180.5	174.3	177.9
	56	214.5	237.1	225.2	225.6
	91	-	206.6	196.9	201.8
N1F0	7	94.8	88.8	85.45	91.8
	28	134.1	117.1	153.2	135.8
	56	166.4	151.1	175.4	164.3
	91	152.2	140.3	140.7	144.4
M1F3	7	87.2	84.31	95.1	87.2
	28	151.7	135.8	152.8	117.1
	56	175.4	145.4	194.7	160.4
	91	185.0	164.1	153.9	167.7

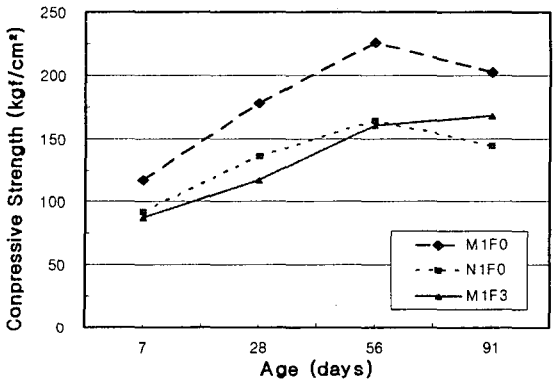

그림 2 재령별 압축강도

4. 결론 및 제언

본 연구결과에서 알 수 있듯이 콘크리트시방서의 댐편의 골재의 입도표준은 롤러다짐 콘크리트의 소요 품질을 확보하기 위해 불리한 것으로 확인되었다. 소요의 강도를 위해 단위시멘트량이 증가하게 됨으로써 롤러다짐콘크리트의 낮은 온도응력에 문제를 일으킬 수 있다. 따라서, 다양한 추가 실험 자료 축적을 통하여 롤러다짐콘크리트용 골재의 입도 기준 등에 대한 제정이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국수자원공사, "롤러다짐 콘크리트댐의 국내 적용에 관한 연구", 2003.
2. 한국수자원공사, "롤러다짐 콘크리트의 품질향상 방안 연구", 2004.
3. 건국대학교, "댐 콘크리트의 최적배합비 도출 및 성능평가에 관한 연구", 2002.
4. ASCE, "Roller-Compacted Concrete", 1994.
5. 산업기지개발공사, "Rolled Concrete 공법에 의한 댐 시공", 1985.
6. Annual Book of ASTM Standards
7. 콘크리트 표준시방서, 건설교통부