CFRD 차수벽콘크리트에서의 섬유보강효과에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Effect of Fiber Reinforced on CFRD Face Slab Concrere

최 세 진* 임 정 열** 김 완 영*** 김 무 한****
Choi, Se Jin Lim Jeong Yeol Kim, Wan Young Kim, Moo-Han

ABSTRACT

CFRD(Concrete Faced Rockfill Dam) face slab concrete has a much capability to occur crack due to drying shrinkage, hydration heat and bad compaction etc. Because of crack of concrete induce structural problem and decrease durability of concrete, it is need to reduce crack of concrete.

This is an experimental study to analyze the effect of fiber reinforced on CFRD face slab concrete. For this purpose, it was investigated and analyzed the engineering properties of plain concrete and polypropylene fiber reinforced concrete(PFRC) according to test result ; the test include slump, air content, compressive strength, tensile strength, drying shrinkage and permeability etc.

As the results, it was found that permeability and drying shrinkage of PFRC less than that of plain concrete.

1. 서론

CFRD(Concrete Faced Rockfill Dam)는 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐을 일컫는 것으로서, 댐 체제를 암석으로 축조한 후 차수목적으로 상류사면 전면에 콘크리트 차수벽을 설치하게 되며(그림 1), 국내의 경우 암석자원이 풍부하고 시공이 간편할 뿐만 아니라 구조적으로도 안정하기 때문에, 거의 모든 댐들이 이러한 CFRD로 설계·시공되고 있다[1]. 이 중 차수벽콘크리트는 댐의 기능중 차수역할을 담당하는 가장 중요한 부분으로 외부에서 작용하는 하중(수압)에 대해 구조적으로 안전해야 하며, 내구성 및 수밀성이 확보되어야 한다. 또한, 장대사면(댐높이에 따라 100m이상가능)이라는 구조물의 특성상 차수벽콘크리트는 슬립폼(Slip-form)을 이용하여 댐하부에서 정상까지 연속적으로 타설하기 때문에 시공시 세심한 주의가 필요하며 특히, 시공 전·후에 건조수축 등으로 인해 균열발생 위험성이 상당히 높게 된다.

본 연구는 CFRD 차수벽콘크리트의 공학적특성 개선을 위한 실험의 일환으로서, 차수벽콘크리트에서의 섬유보강효과를 파악하고자 하였다. 이를 위하여, 기존 CFRD 차수벽콘크리트의 배합과 폴리프로필렌섬유를 사용한

*정회원, 충남대학교 대학원 박사과정
**정회원, 한국수자원공사 수자원연구소 연구원
***정회원, 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원
****정회원, 충남대학교 건축공학과 교수

콘크리트를 각각 제작하여 압축강도 등의 제공학적특성을 비교·분석한 후, 실제 CFRD 차수벽콘크리트에 시험적으로 타설·적용하여 균열발생량의 측정 및 목시관찰을 수행함으로서 차수벽콘크리트에서 섬유보강효과를 검토하고자 하였다.

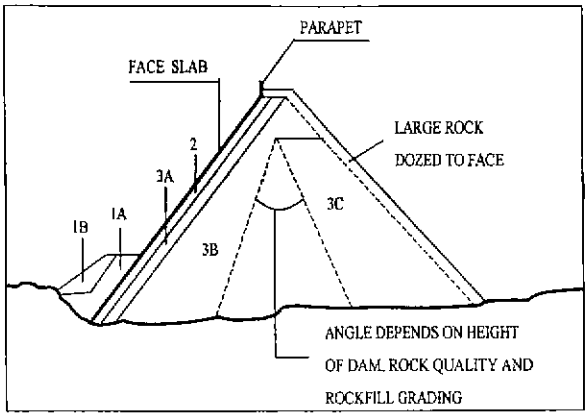

그림 1 일반적인 CFRD의 단면

2. 국내 CFRD의 현황

표 1은 1985년 이후 국내 댐 설계 및 시공현황을 나타낸 것으로서, CFRD가 최초 도입된 댐은 광주광역시의 상수원으로 개발된 높이 44.7m인 동복댐으로, 이후 많은 댐들이 시공중이거나 설계가 완료되었으며 일부 댐은 높이가 100m에 이르는 것도 있다. 표에서 알 수 있듯이, 대다수의 댐들이 CFRD형식을 다수 채택하여 설계하고 있다.

3. 실 험

3.1 실험계획

본 실험계획은 기존 CFRD 차수벽콘크리트 배합중 대표적으로 A, B, C의 3수준을 기본적으로 선정하고, 폴리프로필렌섬유를 사용한 배합 P를 추가하여 각 배합수준에 따라 압축강도, 인장강도, 건조수축, 투수성 등의 각종 공학적특성을 비교·검토하였다. 표 2는 실험계획 및 배합을 나타낸 것이다.

3.2 사용재료

본 연구에 사용된 재료는 표 3과 같다.

표 1 국내 CFRD 현황[1)]

댐 명		위 치	형 식	연 도		댐높이 (m)	유역면적 (km^2)	총저수용량 (백만m^3)
				설계	준공(예정)			
동 복 댐		전남화순	CFRD		1985	44.7	189.0	99.5
평화의댐	1단계	강원화천		1986	1988	80.0	3227.0	5.9
	2단계			1989		135.0	3227 0	3730.0
남 강 댐		경남진주		1989	1998	34.0	2285 0	309.2
부 안 댐		전북부안		1990	1996	49 0	59.0	41 54
밀 양 댐		경남밀양		1991	(1999)	89.0	95 4	73.6
용 담 댐		전북진안		1991	(2000)	70.0	930 0	815.0
산청양수	상 부 댐	경남산청		1995	(2000)	97.0	2.04	6.326
	하 부 댐					67.5	36.3	7.138
탐 진 댐		전남장흥		1996		53.0	193.0	183 0
양양양수 (상부)		강원인제		1997	(2005)	95.5	0 45	3 65
엉 월 댐 (유보)		강원영월		1997		98.0	2267.0	698 1

표 2 실험계획 및 배합

배합종류	W/C (%)	W (kg/m³)	s/a (%)	폴리프로필렌 섬 유 (g)	측정항목	
					굳지않은 콘크리트	경화콘크리트
A	44	159	40	-	· 비빔온도 · 공기량 · 슬럼프	· 압축강도(재령 7일, 28일, 56일) · 인장강도(재령 7일) · 건조수축 · 투수성*
B	45	148	43	-		
C	55	175	44	-		
P	43	149	35	900		

* P배합에서 섬유 사용 유 · 무에 따라 실시

3.3 굳지않은 콘크리트 실험결과

표 4는 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것으로서 우선, 슬럼프의 경우 폴리프로필렌섬유를 사용한 P배합을 제외한 나머지 배합에서 7~8cm 수준으로 유사하게 나타났으며, P배합은 5cm로서 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 또한, 공기량의 경우 4.3~5.3% 수준으로 건설교통부 제정 「콘크리트표준시방서」에서 규정하고 있는 AE콘크리트의 공기량 4~7%를 모두 만족하고 있다.

3.4 경화콘크리트의 특성 검토

3.4.1 압축강도 및 인장강도의 변화

콘크리트의 배합별 압축강도의 변화를 나타낸 표 4 및 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 A, B, C 배합의 경우 각 재령별로 대체적으로 유사하게 나타났으며, P배합에서 압축강도가 상대적으로 다소 높게 발현하였는데, 이는 기존 차수벽콘크리트의 배합인 A~C(210 kgf/cm²)와는 달리 P배합의 경우에는 최근 콘크리트의 고강도화 추세에 따라 설계강도를 240kgf/cm²로 다소 증가시켰기 때문이다. 참고로, 폴리프로필렌섬유를 사용한 섬유보강콘크리트의 경우 보통콘크리트와 비교해 압축강도가 유사하거나 다소 높은 것으로 알려져 있다[1].

또한, 인장강도의 경우 배합종류에 무관하게 15~21 kgf/cm² 수준으로 대체적으로 유사하게 나타났다.

표 3 사용재료의 물리 · 화학적 성질

잔 골 재	강모래, 입경 5mm, 조립율 3.03, 비중 2.57
굵은골재	강자갈, 입경25mm 조립율 7.02, 비중 2.59
시 멘 트	1종보통시멘트 비중3.15, 분말도3,300(㎠/g)
폴리프로 필렌섬유	비중 0.91, 인장강도 3,500~7,700kgf/cm²
AE감수제	리그닌계, 비중1.185±0.005

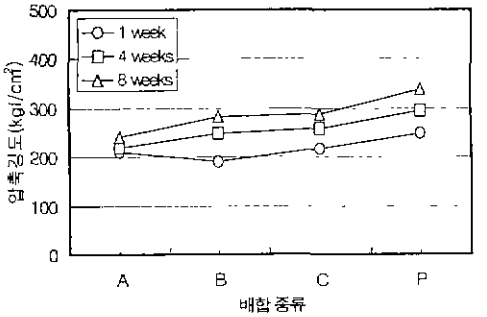

그림 2. 각 재령별 압축강도의 변화

표 4 실험 결과

배합종류	W/C (%)	W (kg/m³)	굳지않은 콘크리트			압축 강도 (kgf/cm²)			1주 인장강도 (kgf/cm²)
			비빔온도 (℃)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	1주	4주	8주	
A	44	159	26	8	5.1	209	221	242	15.3
B	45	148	26	7	4.9	192	248	282	21.5
C	55	175	27	8	5.3	218	258	287	14.6
P	43	149	26	5	4.3	248	294	337	15.8

3.4.2 건조수축의 변화

그림 3은 각 배합별 건조수축량의 변화를 나타낸 것으로서, 일반콘크리트의 경우 재령 25주 후의 건조수축 변형량이 $5.5\sim6.2\times10^{-4}$으로 나타난 반면, P배합에서는 4.5×10^{-4} 수준으로 건조수축변형량이 상대적으로 적게 나타났는데, 이는 폴리프로필렌 섬유가 시멘트 매트릭스 내에서 균열의 성장을 제어하는 가교작용을 했기 때문으로 사료된다.

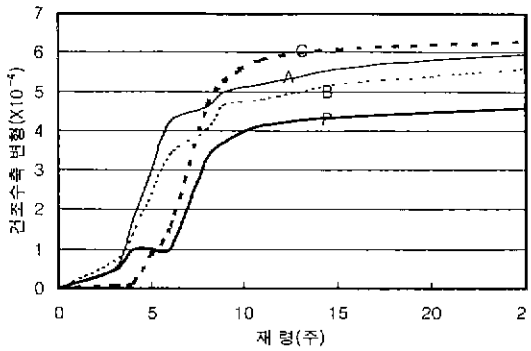

그림 3. 재령에 따른 건조수축량의 변화

3.4.3 투수성 검토

차수벽콘크리트의 목적이 저수를 차수하는 것인 만큼 투수특성은 차수벽콘크리트의 가장 중요한 특성중의 하나라고 할 수 있다.

투수성의 비교·검토를 위하여 배합을 P배합으로 유지한 상태에서 폴리프로필렌을 첨가한 콘크리트와 첨가하지 않은 콘크리트의 투수특성을 측정하였다.

실험방법은 TANIFUJI MACHINE CO.의 투수시험기를 사용하여 input 방식으로 수압을 가한 후 침투깊이를 측정함으로서 투수계수를 구하였다.

실험결과, 그림 4에서 보는 바와 같이 두 배합 모두 일반적인 콘크리트의 투수계수[2]인 $10^{-9}\sim10^{-13}$m/s 범위를 만족하였으며 특히, 폴리프로필렌섬유를 사용한 콘크리트의 투수계수가 1.67×10^{-10}m/s로서 사용하지 않은 콘크리트(4.29×10^{-10}m/s)보다 투수계수가 낮게 나타났다.

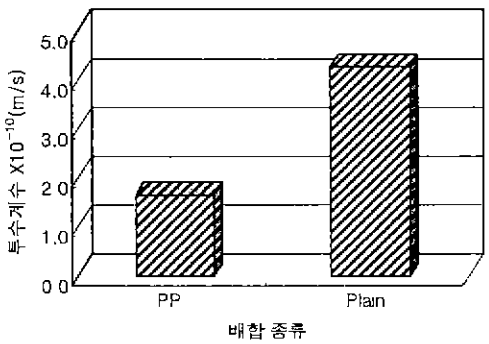

그림 4 투수시험 결과

4. 차수벽콘크리트 시험타설 결과 및 결론

실험결과를 토대로 시공중인 CFRD 차수벽콘크리트의 일부 Block을 선정하여 보통콘크리트와 섬유보강콘크리트를 실제 시공시와 동일하게 타설후, 균열발생현황을 관찰하였으며(사진 1), 측정결과, 0.1mm 이상 육안관찰이 가능한 균열이 보통콘크리트 Block에서는 일부 관찰된 반면, 섬유보강콘크리트 Block의 경우 거의 관찰되지 않았다.

따라서, 폴리프로필렌섬유를 차수벽콘크리트에 적용할 경우 차수벽콘크리트에서 발생 가능한 균열을 효과적으로 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

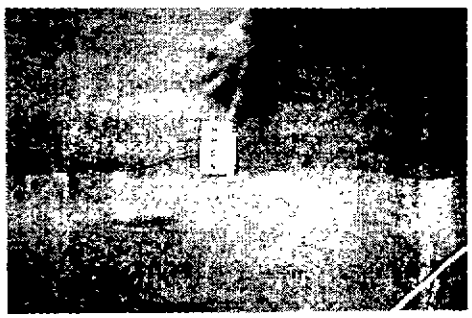

사진 1 균열 측정장면

참고 문헌

1. 한국수자원공사 ; CFRD 차수벽콘크리트의 균열저감에 관한 실험적 연구, 1999.
2. The Concrete Society, Permeability testing of site concrete-a review of methods and experience, Report of a Concrete Society Working Party, Permeability of Concrete and its control, Papers for a one-day Conference, London, 1985, pp.1~68
3. 김무한 ; 高流動콘크리트의 콘시스턴시 特性 및 各種 影響要因에 關한 考察, 레미콘지, 1996