

Blended 섬유를 사용한 CFRD 표면 차수벽 콘크리트의 균열발생 가능성 분석

Crack Analysis of CFRD Face Slab Concrete Using Blended Fiber

우 상 균* 송 영 철**
Woo, Sang Kyun Song, Young Chul

ABSTRACT

The main purpose of this research was to enhance the durability in both the design and construction of dams. Especially, in case of rockfill dams, the durability of face slab concrete in a concrete-faced rockfill dam(CFRD) is achieved by optimizing the fly ash replacement for cement and application of blended fiber. The effect on durability and thermal property corresponding to the increasing replacement of fly ash and application of blended fiber was evaluated, and the optimum value of fly ash replacement and blended fiber application was recommended. The results show that 15% of fly ash replacement and 0.9kg/m^3 of blended fiber application was found to be an optimum level and demonstrated excellent performance in durability and thermal property.

요 약

본 연구의 목적은 댐의 설계 및 건설에 있어 댐 콘크리트의 내구성을 향상시키기 위한 것이다. 특히, 콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(Concrete Faced Rockfill Dam)의 경우 표면 차수벽 콘크리트의 내구성은 시멘트의 일부를 플라이애쉬로 치환하고 blended 섬유(고인성 섬유 + 일반 섬유)를 사용함으로써 향상될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 플라이애쉬의 치환율 및 blended 섬유의 혼입율에 따른 표면 차수벽 콘크리트의 내구성과 열특성 실험을 수행하고 그 효과를 분석하였다. 실험결과 플라이애쉬 치환율은 15%, blended 섬유의 혼입율은 0.1%(고인성 섬유 0.09kg/m^3 + 일반 섬유 0.81kg/m^3)인 경우 내구성 측면에서 가장 우수한 결과를 보여 주었으며, 특히 다른 배합에 비하여 균열발생 가능성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

* 정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 수석연구원

1. 서론

표면 차수벽형 석괴댐(CFRD: Concrete Faced Rockfill Dam)은 제체를 석괴로 축조한 후 저수지 측 사면에 콘크리트 차수벽을 설치하는 형식의 댐으로서, 상류사면에 시공하는 슬래브(face slab)는 저수지의 물을 차단시키고 수압에 의한 응력을 제체에 전달하며 제체의 구조적 안정을 얻기 위한 중요한 역할을 하게 된다. 따라서 표면 차수벽 콘크리트는 차수효과 및 내부응력 발생 등에 대하여 안전하고 시공성에 문제가 없도록 최적의 콘크리트 배합을 선택하여 콘크리트의 물리·역학적인 특성을 우수하게 하고 균열발생 가능성을 최소화 하여야 한다(임정열, 운영수, 2003, 1999). 국내에서는 CFRD가 국내 지질구조상 댐 건설에 주요 구성 재료인 암석질원이 풍부하고 취득이 쉬우며 댐 축조에 계절적 영향을 적게 받으면서 시공기간이 짧고 댐 제체가 우수에 대한 안정성이 좋기 때문에 건설에 가장 유리하다고 판단되어 널리 사용되고 있다. 그러나 표면 차수벽 콘크리트는 차수를 위한 수밀성의 확보와 콘크리트의 연속타설로 인한 열응력 및 소성수축에 의한 균열, 유수의 작용에 의한 표면 차수벽이 깎임 및 패임 등에 노출되어 내구성 저하요인이 상존하고 있다. 현재 소성수축으로 인한 균열을 방지하기 위하여 섬유를 콘크리트의 보강재로 사용하는 방법과 시멘트의 일부분을 Fly Ash로 치환하는 방법을 사용하고 있다. 특히 폴리프로필렌섬유는 표면 차수벽 콘크리트의 균열제어를 목적으로 국내외에서 주로 사용되어 왔다(원종필, 1999). 그러나 폴리프로필렌섬유는 표면이 비친수성의 섬유로서 균열제어에는 상당한 효과를 발휘하나 콘크리트와 섬유사이의 부착면에 다량의 공극을 생성시킬 수 있는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이런 문제점을 해결하기 위하여 친수성의 PVA 섬유가 국내에 도입되었으며, 현재 그 사용이 증가하고 있는 실정이다. 또한 열응력으로 인한 균열을 방지하고자 Fly Ash를 시멘트 중량의 일부분으로 치환하여 사용하는 방법이 일부 CFRD 표면 차수벽 콘크리트에 적용되어 왔다(원종필, Y.S, Yoon, 2003, 2002).

본 연구에서는 소성수축과 열응력으로 인한 균열의 문제를 동시에 해결하고자 친수성의 PVA 섬유(고인성 섬유 + 일반 섬유)와 시멘트의 일부분을 Fly Ash로 치환한 표면 차수벽 콘크리트의 균열제어 및 발생 가능성을 평가하였다. 특히 친수성의 PVA 섬유와 Fly Ash를 동시에 사용한 표면 차수벽 콘크리트의 열특성 및 균열발생 가능성을 평가함으로써 궁극적으로 표면 차수벽 콘크리트의 내구성 향상방안을 제시하였다.

2. 연구계획 및 방법

2.1. 연구계획

본 연구에서는 CFRD 표면 차수벽 콘크리트의 열특성 및 균열발생 가능성을 분석하고 표면 차수벽 콘크리트의 내구성을 향상시키기 위하여 Blended 섬유와 Fly Ash 치환율에 따른 열특성 실험 및 수화열 해석을 수행하였다. 표 1은 본 연구에서 사용된 표면 차수벽 콘크리트의 배합설계를 나타낸 것이다.

표 1 표면 차수벽 콘크리트 배합설계

설계기준강도 (MPa)	굽은골재 최대치수 (mm)	슬럼프의 범위 (cm)	공기량의 범위 (%)	물-시멘트 비 (%)	잔골재율 (%)	단위 재료량(kg/m ³)								
						물	시멘트	Fly Ash	잔골재	굽은골재	혼화제	고인성 섬유	일반 섬유	
24	25	6±1.5	4±1.5	55	42	154	328	0	748	1,036	3.28	2.62	0.0	0.0
							278.8	49.2				0.0	0.0	
						154	278.8	49.2	748	1,036	3.28	0.0	0.9	
												0.09	0.81	

2.2. 연구방법

2.2.1. 단열온도상승

단열온도상승 실험은 콘크리트의 수화열로 인한 내부의 온도상승량을 파악하여 콘크리트의 온도응력에 의한 균열발생 가능성을 분석하는데 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 Fly Ash 및 Blended 섬유의 혼입에 따른 표면 차수벽 콘크리트의 수화열 특성을 분석하기 위해 단열온도상승 시험기(Concrete Calorimeter)를 이용하여 실험을 수행하였다. 본 실험장치는 1개 시편에 대한 단열온도상승 실험을 수행할 수 있으며, 시편의 용적은 50ℓ이다. 계측은 타설 직후부터 30분 간격으로 실시하였으며, 타설 후 약 7일간 측정하였다. 측정된 데이터는 컴퓨터에 자동으로 저장되며, 식 (1)에 의해 회귀분석을 통해 최대 단열온도 상승값과 반응속도를 구하였다.

$$T = K*[1 - e^{(-\alpha*t)}] \quad (1)$$

여기서, T = 단열온도 상승치(℃), K = 최대 상승 온도치(℃), α = 반응속도(℃/hr), t = 재령(일)

2.2.2. 수화열 해석

표면 차수벽 콘크리트에 균열이 발생하면 일반적으로 투수성이 증가하여 내구성능이 저하되므로 차수벽 본래의 기능을 상실하게 된다. 따라서 본 연구에서는 Fly Ash 첨가량 및 Blended 섬유의 혼입량 등을 변수로 정하고 위에서 수행한 단열온도상승 실험결과를 이용하여 표면 차수벽 콘크리트의 수화열에 의한 내부의 온도상승 형상과 온도응력에 의한 균열발생 가능성을 분석하였다. 표면 차수벽 콘크리트의 온도응력해석은 전력연구원에서 개발한 “콘크리트 구조물 수화열 해석 프로그램”을 이용하여 수행하였으며, 본 해석에 사용된 재료 및 물성값은 표 2와 같다. 또한 본 구조물의 해석은 3차원 Solid 모델을 이용하여 수행하였다.

표 2 표면 차수벽 콘크리트의 수화열 해석변수 상세

입력 값		배합 유형		측정 값	하부 지반
단열온도	시멘트 종류	1종 보통시멘트			-
	최대 단열상승온도(K)	No.1	Fly Ash 0%	52.45	-
		No.9	Fly Ash 15%	50.40	
		No.10	Fly Ash 20%	50.31	
		No.11	Fly Ash 0% + PVA 0.1%	50.90	
		No.15	Fly Ash 15% + PVA 0.1%	52.75	
	반응속도(α)	No.1	Fly Ash 0%	0.772	-
		No.9	Fly Ash 15%	0.476	
		No.10	Fly Ash 20%	0.567	
		No.11	Fly Ash 0% + PVA 0.1%	0.347	
No.15		Fly Ash 15% + PVA 0.1%	0.457		
열특성	열전도계수(kcal/m hr °C)	2.25		2.25	
	비열(kcal/kg °C)	0.257		0.257	
	외기대류계수(kcal/m ² · hr · °C)	5.0			-
	단위중량(kgf/m ³)	2300			2300
	열팽창계수(/°C)	10×10 ⁻⁶			10×10 ⁻⁶

3. 연구결과

3.1. 단열온도상승

실험결과 Fly Ash 혼입율이 증가할수록 단열온도상승값과 반응속도는 감소하는 경향을 보였다. 이것은 시멘트 대체 결합제로 사용된 Fly Ash 가 수화반응을 일시적으로 억제하거나 지연시킴으로서 반응속도를 저하시키는 것으로 분석된다. 한편 Blended 섬유유 경우 그 혼입율이 증가할수록 단열온도상승값과 반응속도는 일반 콘크리트 및 플라이애쉬 콘크리트에 비하여 감소하는 경향을 보여 주었으며, 특히 고인성 섬유유에 비하여 일반 섬유유의 감소경향이 더 큰 것으로 나타났다.

3.2. 수화열 해석

표면 차수벽의 수화열 해석결과는 표 3과 같다. 응력해석결과 표면 차수벽의 경우 타설고가 전체 구조물 제원에 비하여 두껍지 않으므로 타설 후 응력 유발이 주로 바닥판의 외부구속에 의해 지배를 받는 것으로 분석되며, 외부구속의 경우에 시간이 지남에 따른 관통균열의 위험이 존재하나, 본 해석결과로 미루어 볼 때 5가지 배합 모두 최소균열지수가 1.5 이상으로 외부구속에 의한 균열발생 가능성은 없는 것으로 판단된다.

표 3 표면 차수벽 콘크리트의 수화열 해석결과

구 분	인장응력 (MPa)	위 치	인장강도 (MPa)	최소균열 지수	균열발생 가능성
No.1	1회 타설부	1.33	2.09 (타설 후 5일)	1.57	약 5%
	2회 타설부	1.21	2.08 (타설 후 5일)	1.72	약 4%
No.15	1회 타설부	1.22	1.97 (타설 후 5일)	1.61	약 5%
	2회 타설부	1.11	1.99 (타설 후 6일)	1.79	약 3%

4. 결 론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 실험결과 Fly Ash + Blended 섬유 콘크리트가 일반 콘크리트(OPC) 및 Fly Ash 콘크리트에 비하여 열특성 측면에서 보다 우수한 결과를 보여 주었다.
- 2) 수화열에 의한 균열발생 가능성 분석결과 일반 콘크리트(OPC) 및 Fly Ash 콘크리트에 비하여 Fly Ash + Blended 섬유 콘크리트가 더 우수한 결과를 보여 주었다.
- 3) 따라서 본 연구에서는 양수댐 표면 차수벽 콘크리트의 내구성 향상과 균열 저감을 위하여 Fly Ash 치환율은 15%, 섬유 혼입율은 0.1%(고인성 섬유 0.09kg/m³ + 일반 섬유 0.81kg/m³)을 혼입한 배합을 선정하여 시공에 활용할 것을 제시하고자 한다.

참고문헌

1. 윤영수, 손유신, 원종필, 이상균, 송영철, “Fly Ash 첨가에 따른 댐 콘크리트의 내구성 향상에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회논문집, 제19권 제I-5호, pp. 707-714, 1999.
2. 이상균, 송영철, “예천양수 댐 콘크리트의 내구성 향상 방안 연구(최종보고서)”, 한국남동발전주식회사 건설처, 2008.