

분말형 폴리머 혼화제를 적용한 고강도 · 고차수성 레디믹스트 쏿크리트의 물리적 성능 평가

Evaluation of Physical Performance of High-Strength · High Waterproof Ready-mixed Shotcrete using Powdered Polymer Dispersion

마 상 준* 최 희 섭** 이 흥 수***
Ma, Sang Joon Choi, Hee Sup Lee, Heung Soo

Abstract

As the Ready-mixed Shotcrete using Powdered Polymer Dispersion, Shotcrete Matrix as totally shotcrete gel that a part of second binder in Shotcrete materials is dense. Also, Ready-mixed Shotcrete is showed the decreasing Rebound and rising Durability. Therefore, it is possible that Ready-mixed Shotcrete for High-Strength and High-Waterproof can apply to the Powdered Polymer Dispersion.

1. 서 론

쏿크리트는 굴착 직후 발생하는 원지반의 초기변위를 제어하고 풍화 방지를 통해 굴착면의 안정을 도모하기 위한 구조물로서, 특히 터널, 철도 및 지하공간의 활용에 그 중요성이 더욱 크게 부각되고 있지만 파쇄대 출현, 지하수 유입량 과다 등의 터널 시공 중 발생하는 문제점들은 여전히 현장상황을 어렵게 하고 있다. 따라서 이의 효과적인 대응을 위해 시멘트 복합체의 물리적 성질을 개선해 고강도 · 고차수성 쏿크리트를 개발하고자 현재까지 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이에 대한 대표적인 방법 중 하나로서 압축, 인장, 휨강도 및 내마모성, 내충격성, 내약품성, 전기절연성, 방수성, 내동결융해성 등의 성능이 우수한 시멘트 혼화용 폴리머(Polymer Dispersion)가 사용되고 있다. 하지만 일반적으로 유기재료인 폴리머를 혼합한 쏿크리트 시공시 시멘트계 분말시료와 액상 폴리머를 현장에서 배합하기 때문에 숙련부족으로 인해 적합한 품질성능을 발휘하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 기계의 사용에 의해 현장에서 혼합하던 현장배합의 단점을 개선하고자 선진국에서는 분말로 건조된 폴리머를 시멘트계 분말재료와 미리 혼합한 프리믹스 제품을 개발하여 현장에서는 일정량의 물만 혼합하여 사용하고 있다. 이러한 현대적 시스템에 의한 막대한 생산성의 증가는 고전적인 수작업에 비해 노동력을 크게 절감할 수 있게 하였다. 이러한 특징이 있는 재유화형 분말수지를 현재 국토해양부와 민간기업의 주도로 연구 · 개발 중인 ‘분말형 레디믹스트(Ready-mixed) 쏿크리트’에 적용시 고차수성의 품질을 확보하는 동시에 고강도 쏿크리트의 생산이 가능해 질것으로 판단된다.

*정회원, 한국건설기술연구원 지반방재환경연구실 책임연구원, 공학박사, sjma@kict.re.kr

**정회원, 한국건설기술연구원 지반방재환경연구실 연구원, 공학석사, hschoi@kict.re.kr

***정회원, 한국건설기술연구원 지반방재환경연구실 연구원, 공학석사, hslee79@kict.re.kr

본 연구에서는 레디믹스트 숏크리트에 폴리머를 혼입하여 사용할 목적으로 기존의 액상형 폴리머와 동일한 특성을 발휘하는 분말형 재유화형 폴리머를 사용하였으며, 기본배합은 각종 문헌 및 기존제품의 분석을 통하여 배합비를 도출한 뒤 실내실험을 통한 물리적 성능을 평가하였다. 실험항목으로는 레디믹스트 숏크리트에 재유화형 분말수지의 적용 가능성을 평가하기 위하여 제조사별 적정 혼입율을 적용해 강도발현특성, 부착성능 및 투수성능의 간접적인 시험방법인 염소이온투과저항성시험을 실시하였으며, 얻어진 결과를 비교·분석하여 역학적 특성 및 내구성능이 가장 우수한 고강도·고차수성 레디믹스트 숏크리트 개발에 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 레디믹스트(Ready-mixed) 숏크리트

레디믹스트 숏크리트란 기존 현장배합 숏크리트를 대체하는 공법으로서 터널시공 특성, 현장조건 및 사용용도에 맞게 생산할 수 있으며, 시공성 및 고품질 숏크리트를 확보할 수 있는 공법이다. 즉, 기존에 현장에서 배합되던 숏크리트의 고질적인 문제점들을 효과적으로 개선하기 위해 숏크리트 재료의 배합 및 제조를 레미탈 제조 전문업체에서 사전에 미리 실시하여 골재의 철저한 토립분 관리, 확실한 입도관리, 전문배합 장치를 이용한 엄격한 품질관리 및 재료의 규격화 등을 거쳐 시공 품질을 극대화 시킬 수 있게 제조되는 숏크리트 재료를 의미한다. 숏크리트는 적당한 강도와 장기내구성을 가져야 하며, 경제적인 시공이 가능해야 하기 때문에 이를 위해서는 숏크리트 구성재료 중 80%이상을 차지하는 골재의 역할이 상당히 중요하다. 하지만 골재부족 현상을 겪고 있는 우리나라의 경우 양질의 골재를 얻는 것은 상당히 어려운 현실이며, 또한 골재의 먼지, 진흙, 유기물 등의 유해물 함유량 관리 및 골재의 입도관리등 엄격한 품질관리가 시급한 실정이다. 따라서 이러한 문제를 해결하고 각 요소별 최적의 혼합을 유도하기 위한 공장배합 시스템의 적용이 불가피하며, 이를 통해 고품질 및 낮은 탈락율의 특성을 갖는 숏크리트 시공이 가능해질 것으로 판단된다. 또한 본 공법은 NATM 지보개념을 준용하며, 영구지보재로 역할을 할 수 있는 장기 고성능 숏크리트 개발 및 터널 지보재 표준화와 시공의 편이성, 품질관리의 용이성 및 재료의 고성능화를 통해서 사회간접 시설물의 하나인 터널구조물 안정성 확보를 이룰 수 있다.

3. 실내실험

3.1 실험계획 및 배합표

레디믹스트 숏크리트에 재유화형 분말수지의 적용 가능성을 평가하기 위하여 제조사별 적정 혼입율을 혼입하여 강도발현특성, 부착성능 및 투수성능의 간접적인 시험방법인 염소이온투과저항성시험을 실시하였으며, 시험 배합표는 표 1과 같다.

표 1 재유화형 분말수지 혼입 배합표

배합명	Gmax (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	W	C	레디믹스트 골재	급결제	혼화제	혼화제
								재유화형분말수지	유동화제(kg)
1 Plain	8	12	45.6	212	465	1,602	×	-	4.19
2 W-EVA	8	12	45.6	212	465		×	20	4.56
3 W-VAV	8	12	45.6	212	465		×	20	4.56

주1) W- 합성수지 제조사 VAV- 초산비닐아세테이트

W/B:물 바인더(시멘트+혼화제)비, S/a:잔골재율, Gmax:골재최대치수

3.2 실험방법

3.2.1 압축강도

압축강도 공시체는 KS F 2403에 준하는 $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ 의 원통형 공시체를 제작하였다. 초기 탈형 후 기중양생을 실시하였으며 압축강도는 재령 1일, 7일, 28일에 KS F 2405에 준하여 실시하였다.

3.2.2 부착강도

재유화형 분말수지의 특성을 파악하기 위하여 부착강도 시험시 시험오차를 최대한 줄여 굵은 골재의 혼입은 제외하였다. 부착강도 시험은 먼저 KS L5105에 따라 배합한 모르타르 $70 \times 70 \times 20 \text{mm}$ 의 공시체를 만들어 온도 $20 \pm 3^\circ \text{C}$, 습도 80% 이상의 상태에서 24시간 양생시키고, 탈형한 후 6일동안 $20 \pm 2^\circ \text{C}$ 의 물속에서 수중양생을 실시하였다. 그런 후 다시 7일 이상 항온항습실에서 양생시킨 뒤 KS L 6003(연마지)에서 규정하는 150번 연마지를 사용하여 성형할 밀면을 충분히 연마해서 시험용 밀판에 사용하였다. 3종류의 배합재료를 두께 1cm로 도포하여 28일에 $40 \times 40 \text{mm}$ 크기의 어테치먼트를 부착하여 KS F 4715, KS F 4716에 준하여 부착강도를 측정하였다.

3.2.3 염소이온 침투저항성 평가방법

모르타르 및 콘크리트의 투수성을 간접적으로 확인할 수 있는 염소이온 침투저항성 시험은 ASTM C 1202에 준하여 실험을 실시하였다. 염소이온 투과시험은 정확한 투구계수 값을 결정하는 것이 아니라 대략적인 콘크리트의 투수성을 측정하는 실험방법이다.

3.3 실험 결과 및 분석

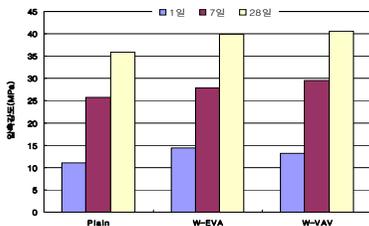


그림 1 압축강도

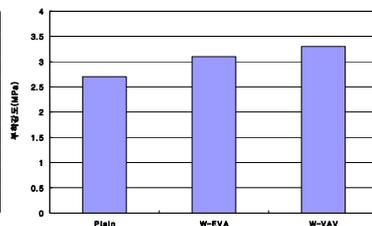


그림 2 부착강도

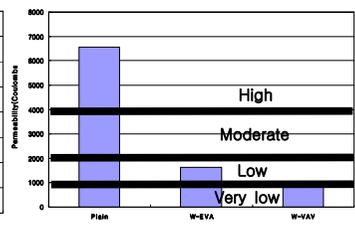


그림 3 통과 전하량

3.3.1 압축강도

혼화제를 혼입하지 않은 Plain 배합과 합성수지 2종을 혼입한 W-EVA, W-VAV 배합의 압축강도 결과를 표 2와 그림 1에 나타내었다. 초기 1일 강도부터 합성수지를 혼입한 배합이 압축강도 발현이 우수하였으며 장기재령으로 갈수록 더욱 우수하게 나타났다. Plain 배합 대비 재령 28일 기준으로 재유화형 분말수지를 혼입한 배합이 13% 정도의 강도 증진효과를 보였다. 폴리머를 혼입함으로써 숏크리트 재료내에서 제2의 바인더 역할을 하면서 전체적인 숏크리트 개질에 의해 매트릭스가 치밀해진 결과로 판단된다.

표 2 재유화형 분말수지 종류별 압축강도(단위 : MPa)

배합명	재령(일)		
	1일	7일	28일
Plain	11.0 MPa	25.8 MPa	35.9 MPa
W-EVA	14.4 MPa	27.9 MPa	39.9 MPa
W-VAV	13.2 MPa	29.5 MPa	40.5 MPa

3.3.2 부착강도

부착강도 시험은 각 배합별로 총 8개의 시편을 측정하였다. 측정 결과는 표 3과 같으며, 초산비닐아세테이트(VAV)계 재유화형 분말수지가 부착강도 향상에 가장 좋은 결과는 나타났다. W-VAV 배합

의 경우 Palin 배합 대비 22%의 부착강도가 증진 효과를 나타내었으며, W-EVA배합은 15% 정도 부착강도가 증진되었다. 초기부착성능 또한 우수한 것으로 나타나 레디믹스트 슛크리트에 적용시 리바운드량 감소에 기여할 것으로 판단된다.

표 3 재유화형 분말수지 종류별 부착강도

	재령 28일 (단위 MPa)				평균
	2.1	2.4	2.8	2.9	
Plain	3.0	-	-	-	2.7
	2.9	2.8	3.3	3.2	
W-EVA	3.3	-	2.9	-	3.1
	3.5	3.4	3.2	3.1	
W-VAV	-	2.9	3.3	3.4	3.3

3.3.3 염소이온투과저항성

각 배합별 염소이온 침투저항성 결과를 표 4에 나타내었다. Plain 배합의 경우 평균 통과 전하량이 6480~6710 Coulombs로 매우 높은 투수성을 나타내었고, 재유화형 분말수지를 혼입한 배합은 대체적으로 양호한 결과를 나타내었다.

W-VAV(초산비닐아세이트)계 재유화형 분말수지인 경우 880~970 Coulombs을 나타내어 ASTM C 1202 기준으로 Very Low를 기록하여 매우 낮은 투수성을 보였다(그림 3). 이러한 결과는 폴리머가 슛크리트 매트릭스 내에서 연속적인 폴리머 필름을 형성하여 내구 구조를 매우 치밀하게 만든 결과라 판단되며 장기적인 내구성능 측면에서도 매우 양호한 재료라고 판단된다.

표 4 재유화형 분말수지 혼입 레디믹스트 슛크리트 통과 전하량

종류	Specimen No.			Mean	Evaluation
	1	2	3		
Plain	6530	6480	6710	6573	High
W-EVA	1587	1705	1605	1632	Low
W-VAV	970	946	880	932	Very Low

4. 결론

본 연구에서는 고강도·고차수성 레디믹스트 슛크리트 초기개발의 일환으로 재유화형 분말수지의 적용성 검토를 실내실험을 통하여 실시하였으며, 결론은 다음과 같다.

분말형 재유화형 폴리머를 레디믹스트 슛크리트에 혼입함으로써 슛크리트 재료내에서 제2의 바인더 역할로 전체적인 슛크리트 개질에 의해 매트릭스가 치밀하며, 리바운드량 감소 및 장기내구성이 향상되어 고강도·고차수성 레디믹스트 슛크리트용 혼화재료로서의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 건설핵심기술개발사업에서 지원한 “산업부산물의 경제적 재활용과 시공품질 향상을 위한 분말형 레디믹스트(Ready-mixed) 슛크리트 개발” 사업으로 수행된 것으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2007), 터널설계기준
2. 건설교통부(1999), 터널표준시방서
3. 박현일, 송기민, 박상순(2008), “폴리머 시멘트 모르타르의 부착강도에 대한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 2008년도 봄 학술발표회, pp.629~632