

## 시멘트광물계 슛크리트재의 강도특성과 친환경성 The Strength and Environmental Friendly Characteristics of Cement Mineral Types Shotcrete

천병식<sup>1)</sup>, Byungsik Chun, 도종남<sup>2)</sup>, Do Jongnam, 박덕흠<sup>2)</sup>, Dukhyum Park, 최희림<sup>3)</sup>, Huirim Choi, 이해성<sup>4)</sup>, Haesung Lee

- 1) 한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.
- 2) 한양대학교 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.
- 3) 한양대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.
- 4) (주)혜영건설 이사, Director, HyeYoung Construction Ltd.

**SYNOPSIS** : Shotcrete is NATM technique after tunnel excavation as major tunnel support for ground stability, curtail of execution period and reduction of execution expenses instead of general lining method. It is trend using constantly shotcrete lining. This high-strength shotcrete is require to use as constantly shotcrete lining. This brought out the solution of environmental pollution and harmfulness about human. Accordingly, in this study Specimens of strength measurement was made to develop shotcrete possible to develop in early materials with Cement Mineral Accelerator as NATM method construction. It's compared with existing shotcrete material, Unconfined Compression test, flexural strength test were experimented. The fish poison test was experimented to evaluate an influence of environment. On results of test, Unconfined Compressive Strength and flexural strength was equivalent with 28-day strength of existing material. On results of fish poison evaluation research subject material was founded environmentally friendly for existing shotcrete.

**Keywords** : Shotcrete, NATM, Unconfined compression, Flexural strength, Fish poison

### 1. 서론

슛크리트공법이 광범위하게 사용되기 시작한 것은 1950년대 후반 Austria의 L. V. Rabcewicz 박사가 NATM공법을 터널공사에 적용하고 부터이다(Franklin et al., 1989). 국내 NATM공법의 터널적용은 1980년대 서울 지하철 3호, 4호선이 처음 시작되면서 지하철, 도로터널, 철도터널, 고속전철, 지하 공동구 등에 급속도로 적용되고 있다. 슛크리트는 록 볼트(rock bolt)와 함께 NATM에 이용되는 중요한 지보공의 하나로 터널이나 큰 공동구조물의 라이닝, 비탈면, 법면, 벽면의 풍화나 박리(剝離) 박락(剝落)의 방지, 터널, 댐 및 교량의 보수·보강공사 등에 널리 사용되고 있다(이양규 등, 2004 ; 마상준 등 2005).

따라서, 본 연구에서는 NATM공법 시공시 조기에 고강도 발현이 가능한 슛크리트재료를 개발하기 위하여 시멘트광물계 급결재를 사용하여 강도측정용 공시체를 제작하여 기존에 쓰여지고 있는 슛크리트재료와 비교하여 일축압축시험, 휨강도시험을 실시하였고, 환경영향성을 평가하기 위해 어독성시험을 실시하였다.

## 2. 실내시험

### 2.1 시료의 배합비

본 연구에서 사용된 공시체의 배합비는 표 2, 3과 같으며 시멘트는 보통포틀랜드시멘트로 비중 3.15이고, 모래는 한강하류에서 채취하여 공기 중에서 햇빛에 건조시켜 사용하였으며 비중 2.62, 건조단위중량 1.68t/m<sup>3</sup>, 조립율(F.M) 2.85로 통일분류법상 SP로 분류되었다. 쇄석은 최대 치수 13mm, 비중 2.66이며 혼화제로 고성능감수제를 시멘트 중량의 1.2% 첨가하였다. 급결제는 시멘트광물계(칼슘설퍼알루미늄이트계)를 시멘트 중량의 10% 사용하였다. W/C는 47.6%로 고정하였고 공기량은 3%로 제한하였다.

표 1. 숯크리트 배합설계(기존재료)

구성	W/C(%)	S/a(%)	사용량(kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	S	G	급결제(무기염계)
성분	47.6	65	214	450	1027	587	40(C×11.2%)

표 2. 숯크리트 배합비(시멘트광물계)

구성	W/C(%)	S/a(%)	사용량(kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S	G	CMC-SP(혼화제)	급결제(시멘트광물계)
성분	47.5	60	190	400	1027	694	4.8(C×1.2%)	Natmic T10 : 40(C×10%)

### 2.2 일축압축강도 시험

일축압축강도 시험을 위한 공시체는 직경 10cm, 길이 20cm로 하였는데, 이는 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체의 제작방법)을 참고하여 Ø10cm×20cm로 제작하였다. 공시체는 원형시편으로 제작되었으며(KS F 2425, 시험실에서 콘크리트 시료를 만드는 방법), 원형몰드에 재령 3시간, 1일, 7일, 14일, 21일, 28일 별로 공시체를 제작한 후 무기염계와 칼슘설퍼알루미늄이트계에 대해서 재하속도 1.0mm/min로 수행한 일축압축시험을 실시하였다. 시험 결과는 표 3과 같으며, 무기염계와 칼슘설퍼알루미늄이트계 숯크리트 모두 국내 기준인 재령 1일강도 100kgf/cm<sup>2</sup>을 상회하였다. 칼슘설퍼알루미늄이트계 공시체의 일축압축강도는 무기염계 공시체보다 재령 3시간, 1일, 7일, 27일 강도가 약 1.30배, 1.60배, 2.00배, 1.94배 더 크게 발견 되었으며 칼슘설퍼알루미늄이트계 공시체의 재령 7일 일축압축강도는 평균 458.4kgf/cm<sup>2</sup>으로 국내 콘크리트 28일 일축압축강도 기준인 200kgf/cm<sup>2</sup>을 초과하는 것으로 나타났다.

표 3. 일축압축강도 측정 결과(kgf/cm<sup>2</sup>)

재 령 재 료	3 hour	1일	3일	7일	14일	21일	28일
		(24 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(336 hr)	(504 hr)	(672 hr)
기존 숯크리트	1	26.1	125.8	143.3	166.0	195.8	226.1
	2	20.3	105.2	132.5	175.3	201.2	234.0
	3	20.5	112.0	155.6	189.2	215.9	249.3
	평균	23.3	114.3	143.4	177.2	204.6	236.1
개발대상 재료	1	25.2	216.3	294.1	340.2	376.2	437.7
	2	35.0	167.2	284.5	362.3	412.5	462.4
	3	29.0	157.7	319.6	359.6	432.8	475.1
	평균	30.1	180.4	299.4	360.4	406.5	458.4

### 2.3 휨강도 시험

공시체의 압축강도 시험을 위한 공시체의 치수는 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체의 제작방법)을 참고하여 15cm×15cm, 길이 55cm로 하였다. 휨강도는 사각형 강재 빔몰드(15×15×55cm)를 사

용하였으며 숯크리트 공시체를 제작한 후 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법, 중앙점재하법)규정에 의거 3시간, 1일, 7일, 28일 재령의 휨강도를 측정하였으며, 그 결과는 표 4와 같다.

칼슘설퍼알루미늄에이트계 숯크리트의 재령 28일 평균휨강도는 90.3kgf/cm<sup>2</sup>였고 무기염계숯크리트의 재령 28일 휨강도는 57.2kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다. 강도 증가경향은 두 재료 모두 재령 7일까지의 증가기울기가 재령 7일 이후보다 더 컸으며 무기염계의 경우 14일~28일 구간에서 60kgf/cm<sup>2</sup>에 수렴하였으나 칼슘설퍼알루미늄에이트계의 휨강도는 동일 구간에서 꾸준히 증가하는 경향으로 나타났다.

표 4. 휨강도 측정 결과(kgf/cm<sup>2</sup>)

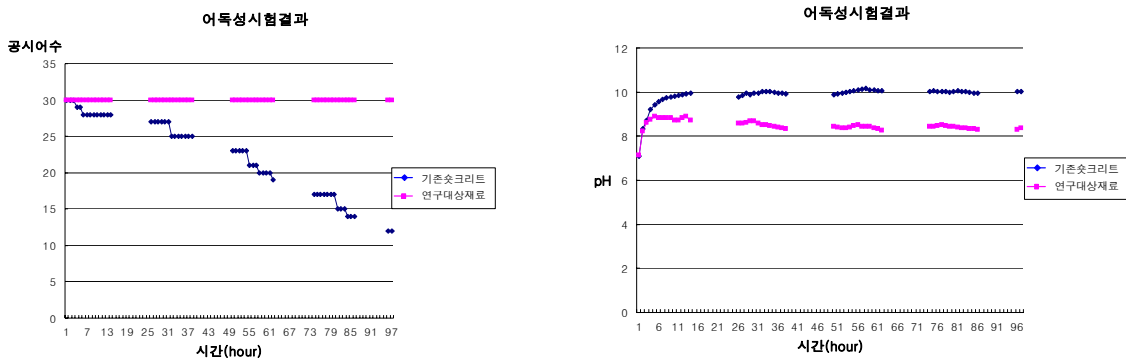
재령 재료		3 hour	1일 (24 hr)	3일 (72 hr)	7일 (168 hr)	14일 (336 hr)	21일 (504 hr)	28일 (672 hr)
기존 숯크리트	1	12.2	21.5	26.9	41.8	48.7	54.3	57.2
	2	11.3	22.8	27.9	40.2	47.8	52.5	58.6
	3	12.0	20.3	28.8	39.5	45.6	53.4	55.7
	평균	12.0	22.3	28.8	39.5	45.6	53.4	57.2
개발대상 재료	1	20.9	37.7	45.6	63.0	72.7	82.5	89.9
	2	21.2	38.4	46.7	65.5	71.2	80.2	90.0
	3	21.7	36.5	47.2	63.3	69.6	77.8	86.1
	평균	21.3	37.5	46.5	63.9	71.2	80.2	88.7

## 2.4 환경영향성 평가(어독성시험)

본 시험에서는 무기염계와 칼슘설퍼알루미늄에이트계 숯크리트를 대상으로 pH상승에 의한 어독성(천병, 2005)을 측정함으로써 환경영향성을 평가하였다(그림 1 참조).

무기염계 숯크리트의 경우 시험시작 초기에 pH가 급격히 증가하여 수침 30분후 pH 10에 이르고, 이후 시간이 지남에 따라 pH가 일정하게 수렴하는 경향을 보여주고 있다. 칼슘설퍼알루미늄에이트계 숯크리트의 경우 pH 9까지 증가하다가 서서히 감소하여 약 pH 8.3에 수렴하는 경향을 보였다.

또한, 공시어수는 무기염계의 경우 시험 시작 10분이내에 2마리가 폐사하였고 지속적으로 감소하여 1시간 경과 후엔 11마리가 폐사하였는데 이는 pH 상승에 의한 수소속 물의 알칼리화 때문인 것으로 판단된다. 이에 비해 칼슘설퍼알루미늄에이트계 숯크리트의 경우 공시어가 초기 숫자인 30마리를 유지하였으며 이는 알칼리 용탈량이 적기 때문인 것으로 판단되었다.



(a) pH 변화 비교

(b) 공시어 생존률 비교

그림 1. 어독성시험 결과

## 3. 결론

본 연구에서는 NATM공법 시공시 조기에 고강도 발현이 가능한 숯크리트 재료를 개발하기 위하여 시멘트광물계 급결제를 사용하여 강도측정용 공시체를 제작하여 기존 숯크리트 재료와 비교하여 강도시험

및 환경영향성 평가를 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 재령별 일축압축강도시험 결과 무기염계와 칼슘설퍼알루미네이트계 숏크리트 모두 국내기준인 재령 1일 강도 100kgf/cm<sup>2</sup>을 상회하였다. 칼슘설퍼알루미네이트계 재료의 강도는 무기염계 재료보다 재령 3시간, 1일, 7일, 28일 강도는 각각 약 1.30배, 1.60배, 2.00배, 1.94배 더 크게 발현되었다. 또한, 재령 28일 강도는 평균 458.4kgf/cm<sup>2</sup>으로 국내 기준치(200kgf/cm<sup>2</sup>)보다 2배 큰 강도가 발현되었음을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구대상재료를 현장에 적용시 상당한 공기단축 효과가 있을 것으로 사료된다.
- (2) 재령별 휨강도시험 결과 칼슘설퍼알루미네이트계 숏크리트의 재령 28일 평균휨강도는 90.3kgf/cm<sup>2</sup>였고 무기염계의 경우 28일 평균휨강도는 57.2kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다. 강도 증가경향을 보면 두 재료 모두 7일까지의 증가기울기가 7일 이후보다 더 컸으며 무기염계의 경우 14일에서 28일 구간에서 60kgf/cm<sup>2</sup>에 수렴하였으나 칼슘설퍼알루미네이트계는 동일 구간에서 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다.
- (3) 어독성시험 결과 무기염계 숏크리트의 경우 시험시작 초기에 급격하게 pH가 증가하여 수침 30분후 pH 10에 이르고, 이후 시간이 지남에 따라 pH가 일정하게 수렴하였다. 칼슘설퍼알루미네이트계 숏크리트의 경우 pH 9까지 증가하다가 서서히 감소하여 약 pH 8.3에 수렴하였다. 또한 공시어수는 무기염계의 경우 시험 시작 10분 이내에 2마리가 폐사하였고 지속적으로 감소하여 1시간 경과 후엔 11마리가 폐사하였는데 이는 알칼리성분이 강하기 때문인 것으로 판단되었다. 이에 비해 칼슘설퍼알루미네이트계 숏크리트의 경우 공시어가 초기 숫자인 30마리를 유지하였으며 이는 알칼리 용탈량이 적기 때문인 것으로 판단되었다.

## 참고문헌

1. 마상준, 김동민(2005), 지하공동 보강을 위한 수중불분리 충전제의 개발과 경제적 충전공법의 적용성 평가, **대한토목학회논문집**, 25권 1C호, pp. 43~53.
2. 이양규, 전준태, 김종열(2004), NATM 터널의 건습식 Shotcrete 강도시험에 관한 연구, **대한토목학회 논문집**, 24권 2D호, pp. 239~245.
3. 천병식(2005), 약액주입-이론과 실제, **원기술**, pp. 159~168.
4. 한국표준협회(1993), 어류에 의한 급성 독성시험, **한국공업규격 KS M 0111**.
5. Franklin, John and Maurice B. Dusseuault(1989), *Rock Engineering, McGraw-hill*, pp. 321~335.