

고성능 슛크리트 적용 가능성 파악을 위한 슛크리트 품질특성 검토 A Investigation on the Quality of Shotcrete for Appliance of High-Performance Shotcrete

마상준¹⁾, Sang-Joon Ma, 최재석²⁾, Jae-Seok Choi, 김동민³⁾, Dong-Min Kim, 김재신⁴⁾, Jae-Shin, Kim

- ¹⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Senior Researcher in Chief, Geotechnical Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology
- ²⁾ 한국건설자재시험연구원 내후성시험평가센터 선임연구원, Senior Researcher, Weathering Test & Evaluation Center, Korea Institute of Construction Materials
- ³⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher in Chief, Geotechnical Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology
- ⁴⁾ 한국건설자재시험연구원 내후성시험평가센터 연구원, Researcher, Weathering Test & Evaluation Center, Korea Institute of Construction Materials

ABSTRACTS : Korea shotcrete technology has been developed by constructing underground space, roads and rails for expanding Social Overhead Capital. To late, importance of shotcrete is raised due to the efforts for semi-permanent use of underground structure and a long term safety. Shotcrete testing method and quality criterion have been developed continuously in abroad, but there are no standard and quality criterion of shotcrete in Korea. International quality criterion has been used to domestic conditions, so various problems are occurred in construction field, material, mixture, equipment, and so on. In this study, to establish standard of domestic shotcrete, both criteria and quality of shotcrete were investigated and opinion poll was performed in the construction field. Indoor and field test were performed to investigate appliance possibility of high-performance shotcrete.

1. 서론

1970년대 중반이후 지하철 건설로 인한 지하공간의 활용 및 SOC 사업의 일환인 고속도로 및 고속철도의 직선화 공사로 인하여 대단면 규모의 터널링 공사는 매우 활발하게 이루어지고, 세계적으로 관련 기술의 발전이 지속적으로 이루어지고 있으나, 국내에는 관련 제도의 뒷받침 미비로 인하여 반영구적인 수명을 지닌 구조물의 고강도, 고내구성, 고인성, 낮은 리바운드와 저분진 등의 고성능 슛크리트 기술이 선진국에 비하여 상당히 낮은 수준이다.

국내의 경우 슛크리트의 설계기준강도가 설계, 시공상의 문제점 등으로 인해 20MPa 내외의 저강도에 머무르고 있으나, 미국, 유럽등 선진국에서는 2차 라이닝의 대체나 슛크리트의 장기적인 거동 및 내구성의 관점에서 최대 50MPa 정도에 이르는 고강도 슛크리트 일반적으로 시공하고 있다. 일례로, 국내의 지반 특성과 유사한 북유럽의 경우 최근 완공된 세계 최장의 도로터널인 Laerdal 터널(24.5km, Norway, 슛크리트 설계기준강도 39.2MPa) 등 Permanent Shotcrete Lining의 개념을 적용한 Single-Shell Lining 터널이나 PCL(Prefabricated Concrete Lining) 터널의 건설이 꾸준히 증가하고 있으며, 이와 같은 개념의 터널 지보 시스템 적용을 위해서 고강도, 고내구성, 고인성, 낮은 리바운드와 저분진 등의 고성능의 슛크리트 개발이 활발히 이루어지고 있다.

따라서, 본 고에서는 국가적 차원의 슛크리트 규격화 및 고성능 슛크리트 품질기준의 정립을 위해 현재 국내에서 사용되고 있는 슛크리트 품질기준을 현황과 건설현장에서 실제적으로 이루어지고 있는 시공실태를

검토하여 보고, 고성능 숯크리트의 적용 가능성을 파악하기 위한 실내와 현장적용 실험을 통하여 관련 국내 기술수준을 선진국 수준으로 한 단계 끌어올림으로써, 숯크리트의 다양한 적용성을 확보하고 건설기술 개방에 따른 기술경쟁력의 확보 및 증진을 이끌고자 한다.

2. 국내·외 숯크리트 품질기준 현황

2.1 국내 숯크리트 품질기준 현황

국내 숯크리트 품질기준은 터널표준시방서(1996), 터널설계기준(1999), 한국도로공사 도로설계요령(2001) 및 한국도로공사의 터널지보공관련 품질기준 개정(잠정) 및 시공시 유의사항(2002)을 조사 분석한 결과, 건교부의 터널표준시방서와 터널설계기준에서 숯크리트는 필요 강도와 내구성을 확보하고 부착성과 시공성이 양호하며 재령 1일 압축강도가 10 MPa 이상, 재령 28일 압축강도가 18 MPa 이상 되도록 배합할 것을 규정하고 있으며 (표 11 참조), 숯크리트 최소 두께는 사용목적, 지반조건, 단면크기 등을 고려해서 정하되 3~5cm로 할 것을 규정하고 있다.

표 1. 국내 숯크리트 설계기준 강도(재령 28일, MPa)

구 분	건설교통부	한국도로공사	서울시지하철 건설본부
압축강도	약 18	약 20	약 21

표 2. 한국도로공사 숯크리트 관련 품질기준 (2002)

구 분	품 질 기 준	관 리 빈 도	비 고
배합비	지반특성, 강섬유 혼입 등을 고려하여 구분 적용		
압축강도 (일반숯크리트)	재령 1일 : 약 10MPa, 재령 28일 : 약 20MPa →패널코어 강도 : 설계기준강도의 약 85% 이상, 최소 72% 이상	1회/200m ² 이상 또는 재령 1일	10kgf/cm ² ≒ 1MPa
휨강도	재령 1일 : f _{1bk} = 2.1 MPa, 재령 28일 f _{28bk} = 4.5MPa	B/P당 1회/200m ² 또는 1회/일 이상	10kgf/cm ² ≒ 1MPa
휨인성계수 (등가휨강도)	휨인성계수 평균 68%, 최소 58% 이상 (몰드규격 : 50×50×12cm, 15×15×55cm 병용 가능)	휨몰드 사용시 1회/1,000m ² 및 휨인성패널 1회/3,000m ² 이상	
강섬유 혼입량시험	투입 기준량의 90% 이상	1회/1,000m ² 이상(균지 않은 콘크리트 구간내 임의위치 1회(6공) 이상/50m (숯크리트 타설면에서 코어 채취))	
두께 측정	평균 : 설계이상, 최소 : 설계 75% 이상	검사공 : 1회(7공)/20m 이상 및 강섬유혼입량 코어 시료등	
코어압축강도 (28일)	재령 28일 f ₂₈ = 17MPa (일반숯크리트) 재령 28일 f ₂₈ = 20MPa (강섬유숯크리트)	구간내 임의위치 3공/20m	10kgf/cm ² ≒ 1MPa

2 국외 슛크리트 품질기준

(1) 압축강도 기준

스�크리트 압축강도에 관한 규정들은 강도 등급으로 분류되는 경우가 많고, 유럽통합규격(EFNARC) 규정에서는 슛크리트의 압축강도 등급을 표 15와 같이 규정하고 있으며, 콘크리트가 압축강도 규정에 부합하는지 결정하기 위하여 현장채취 코어강도의 기준을 만족하도록 규정하고 있다.

표 3. 슛크리트 압축강도 등급 및 현장강도 기준 (EFNARC, 1996)

구분		강도 등급 및 강도기준 (MPa)						
		C24/30	C28/35	C32/40	C36/45	C40/50	C44/55	C48/56
압축강도등급	원통형 공시체	24	28	32	36	40	44	48
	입방형 공시체	30	35	40	45	50	55	56
현장강도기준	코어강도(28d)	20.5	24	27	30.5	34	37.5	41

이 기준은 재령 28일에 지름 50mm, 길이 100mm인 코어 3개의 평균값에 대한 것이며 현장 코어링의 영향을 고려하기 위하여 0.85의 감소지수가 포함되어 있고, 어떠한 강도 기준값도 75%보다 작아서는 안 되는 것으로 규정하고 있음. 강섬유 보강 슛크리트의 경우에는 C35이상의 강도등급이 주로 사용되고 있다.

2) 휨강도 및 휨인성 기준

유럽통합규정(EFNARC)에 제시된 슛크리트 휨강도 기준은 표 21과 같으며, 휨강도는 주로 콘크리트/모르타르 매트릭스에 의해 좌우되며 최초의 최대 하중에서 등가 최대 탄성인장응력으로 정의된다. 또한, 세 개의 범에서 얻어진 평균 휨강도는 표 22에서 규정된 값보다 크거나 같아야 하며 어떠한 값도 기준 강도의 75%보다 작아서는 안 된다. (EFNARC, 1996)

표 4. 슛크리트 휨강도 기준 (EFNARC, 1996)

강도 등급	C24/30	C36/45	C44/55
빔 휨강도	3.4	4.2	4.6

EFNARC 및 prEN 14487-1:2002의 경우 강섬유 보강 슛크리트의 휨인성에 대해서 빔 시험에 의한 잔류강도 등급(residual strength class)과 플레이트 시험에 의한 에너지 흡수 등급(energy absorption class)으로 구분하여 규정하고, 이의 품질기준은 표 5, 6, 7 및 그림 1과 같다.

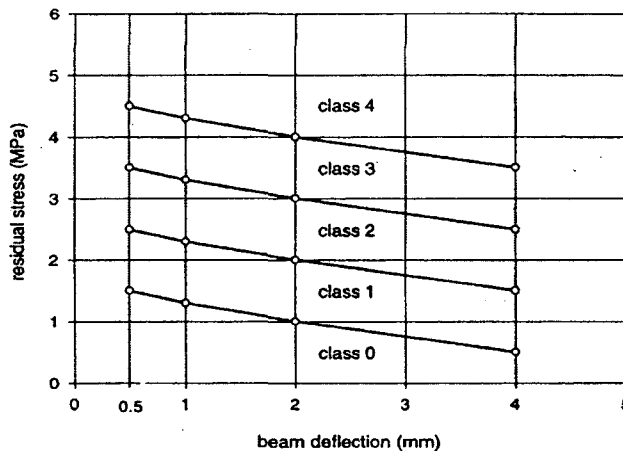


그림 1. 잔존강도등급 (EFNARC)

표 5. 잔존 강도 등급 (residual strength class) ; EFNARC

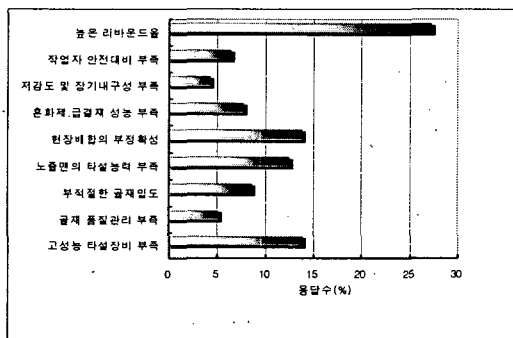
Deformation class	Beam deflection(mm)	Residual stress(MPa) for strength class			
		1	2	3	4
	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
Low	1	1.3	2.3	3.3	4.3
Normal	2	1.0	2.0	3.0	4.0
High	4	0.5	1.5	2.5	3.5

표 6. 잔존 강도 등급 (prEN 14487-1:2002 (E))

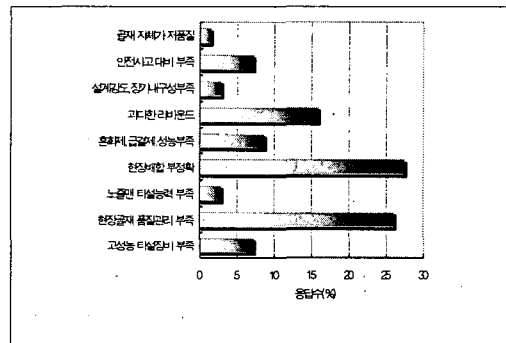
Deformation range		Strength level (Minimum strength, MPa)			
	Deflection	S1	S2	S3	S4
D1	0.5~1.0	1	2	3	4
D2	0.5~2.0				
D3	0.5~4.0				

3. 국내 건설현장의 슛크리트 시공실태 파악을 위한 설문조사 결과

현장설문조사에 대한 결과를 살펴보면 국내 슛크리트 공법에서 가장 큰 문제점으로는 높은 리바운드율(27.3%)과 현장배합의 부정확(27.5%), 현장골재의 품질관리 부족(26.1%)으로 나타났고(그림 2), 설계서에 제시된 슛크리트 타설두께에 대해서는 48.8%만이 정확히 준수한다고 대답하였고 48.0%는 더 크게 타설하고 있다고 응답하였다.

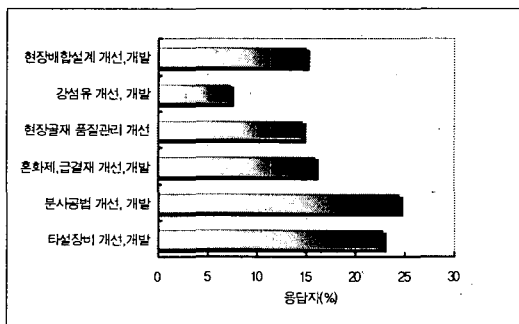


(a) 현장관리자

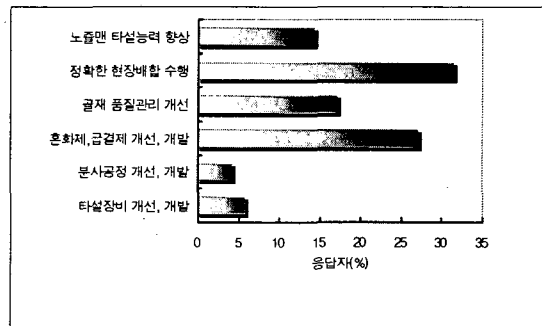


(b) 노출맨

그림 2. 국내 슛크리트 공법의 문제점



(a) 현장관리자



(b) 노출맨

그림 3. 슛크리트 리바운드량 감소를 위한 개선방안

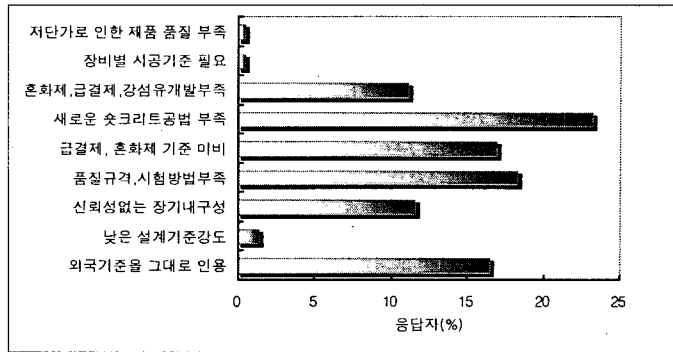


그림 4. 국내 슛크리트 품질기준의 문제점

타설두께를 더 크게 하는 이유는 발파로 인한 여굴량 과다(31.7%) 및 현장 안전성 증대 목적(22.0%)으로 나타났고, 더 작게 하는 이유는 리바운드량의 과다 발생(44.4%) 및 급결제의 부착성 부족(22.2%)으로 나타나 과다한 리바운드량과 함께 국내 급결제의 성능 문제도 제기되었다.

리바운드량을 감소시킬 수 있는 대안에 대해서는 현장관리자의 경우는 분사공법의 개선·개발(24.5%) 및 타설장비의 개선·개발(22.7%)을, 노즐맨의 경우는 정확한 현장배합 수행(31.4%) 및 혼화제와 급결제의 성능개선·개발(27.1%)을 지적하여 공법과 장비에 대한 개선과 함께 재료와 현장관리에 대한 개선을 제시하였다.(그림 3) 국내 슛크리트 품질기준이 실제 현장상황과 상이하여 겪는 어려움에 대해서는 고강도 슛크리트 및 강섬유 보강 슛크리트와 관련된 새로운 공법이 부족하다(23.2%)는 의견이 가장 많았고, 세부적인 슛크리트 관련 품질규격이나 시험방법이 부족하다(18.3%), 외국기준을 그대로 인용하여 국내실정과 맞지 않다(16.5%)는 의견이 다음으로 많았다.(그림 4)

4. 슛크리트 품질특성 고찰

4.1 실내실험

4.1.1 실리카흙의 치환에 의한 모르타르 강도 특성

가. 시험개요

고성능 슛크리트 적용 가능성 파악을 위한 무기 혼화제로 선정된 실리카흙의 치환량에 따른 모르타르 시험개요는 표 7과 같다.

표 7. 모르타르 시험 인자

구분	물시멘트비	시멘트/잔골재 비	혼화재	비고
인자	47.5%	1/2.45	Silica Fume 0, 5, 7.5, 10, 12.5, 15%치환	혼화재의 치환에 따른 모르타르 압축강도 성상분석
수준	1	1	5	
기호	—	—	S0, S1, S2, S3, S4, S5	

나. 시험결과

실리카 흙의 치환율에 따른 모르타르 압축강도 성상은 그림 5 및 6에서 보는 바와 같이, 재령 초기에는 치환율에 관계없이 압축강도가 대동소이한 경향을 나타내고, 재령 중기에는 치환율이 증가할수록 압축강도가 높은 경향을 나타내고 있음. 또한 치환율이 높을수록 재령 초기의 압축강도 증진율이 높은 경향을 나타내고, 재령 중기에는 치환율이 높을수록 압축강도 증진율이 낮은 경향을 나타내고 있다.

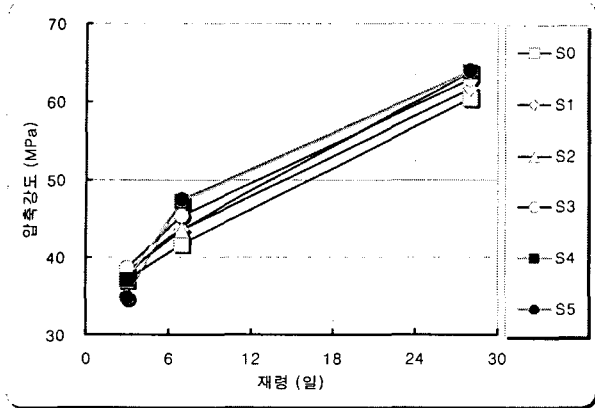


그림 5. 재령별 압축강도

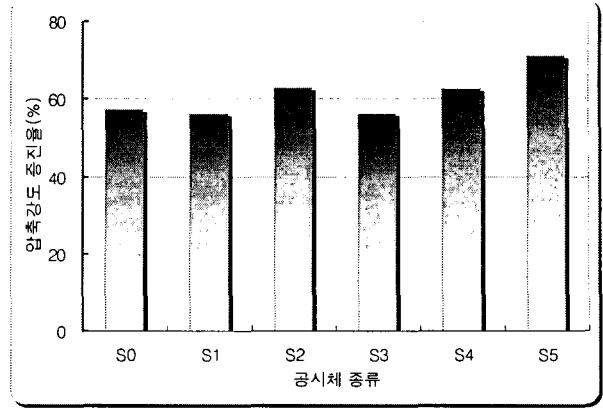


그림 6. 압축강도 증진율 (합계)

또한, 본 실험에서 보는 바와 같이 실리카 흙의 적정 혼입량은 10% 내외임을 알 수 있었으며, 최대입자 크기가 1 μ m이하 크기 입자로 구성된 실리카 흙은 재료분리방지를 위하여 콘크리트에 배합 및 혼입시 충분히 혼련을 시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

4.1.2 콘크리트

가. 시험개요

혼화재료의 치환율에 따른 강섬유보강 콘크리트의 특성분석을 위한 시험인자는 표 8과 같다.

표 8. 콘크리트 시험 인자

구분	W/B 비	보강섬유	혼화재료	비고
인자	1	무혼입, 혼입 (40kg/m ³ 기준)	0, 5, 10, 15% 치환	슬럼프, 공기량, 압축강도, 휨강도, 동결융해, 중성화 특성 분석
수준	1	2	4	
기호	—	N, R	S0, S5, S10, S15	

나. 시험결과

(1) 굳지 않은 콘크리트 성상

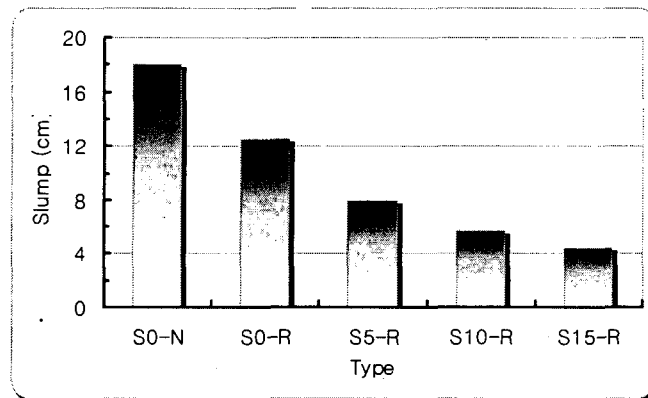


그림 7. 콘크리트 슬럼프 변화 특성

콘크리트의 슬럼프 변화 특성을 나타낸 그림 7을 보는 바와 같이 강섬유를 보강하고 실리카 흙의 치환율이 증가할수록 콘크리트의 슬럼프는 Plain 콘크리트에 비하여 현저히 떨어지는 경향을 나타내고 있기 때문에, 실리카 흙을 숏크리트의 무기혼화제로 이용할 때에는 적정 시공성을 확보하기 위하여 배합시의 별도의 고려가 있어야 할 것으로 판단된다.

(2) 굳은 콘크리트 성상

• 압축강도

실리카 흙의 치환율에 따른 강섬유 보강 콘크리트의 압축강도 성상 및 강도 발현 증가율은 그림 8 및 9와 같다.

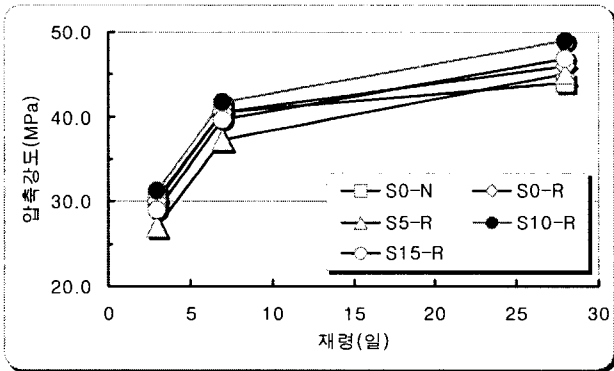


그림 8. 강섬유보강 콘크리트의 압축강도

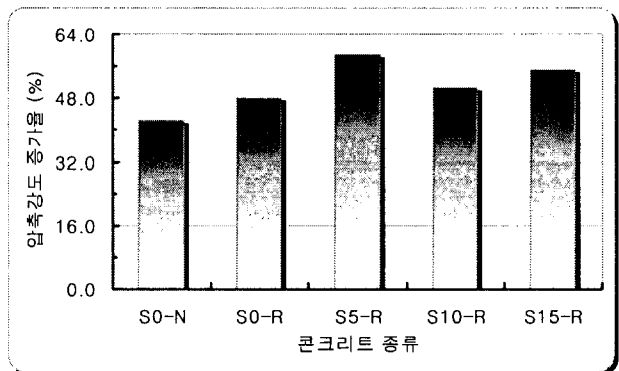


그림 9. 콘크리트 압축강도 증가율(28일까지)

전체적으로 일반 Plain인 S0-N에 비하여 치환율이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내고, 재령 일에는 실리카 흙을 치환하지 않은 공시체의 강도가 약 30MPa로 높았으나, 재령 28일에는 실리카흙을 10% 치환한 강도가 약 50MPa 정도로 가장 높았다. 하지만, 실리카 흙 치환에 따른 모르타르 및 콘크리트의 실내 시험결과는 재령 28일 에서도 일반 모르타르 및 콘크리트에 비하여 강도가 크게 높지 않고 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법) 및 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)에 규정되어 있는 오차범위 10%내에 드는 것으로 나타났다.

일반적인 실리카 흙의 치환에 따른 압축강도 증진효과는 재령 7일 이후부터 Plain에 비하여 대략 10MPa 이상, 전체 강도의 10%이상의 효과가 나타나는 것에 비하여 본 연구의 모르타르 및 콘크리트는 재령 28일 이내에서 약 10%이내의 압축강도 증진 효과만이 있는 것으로 나타났다. 따라서, 향후 실리카 흙의 치환에 따른 모르타르 및 콘크리트의 성상 분석을 위한 중·장기적 재령 연구가 필요할 것으로 사료되며, 실제 숏크리트 타설 공시체와의 상관관계 규명을 위한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

• 휨강도

실리카 흙의 치환에 따른 강섬유 보강 콘크리트의 휨강도는 그림 10을 보는 바와 같이 Plain 시편이 S0-N의 휨강도는 6.8MPa로 가장 낮았고, 강섬유를 보강한 S0-R~S15-R의 휨강도 평균은 7.7MPa로 나타났으며, S10-R이 7.9MPa로 가장 높게 나타났다. 실리카 흙의 치환에 따른 휨강도의 증진현상은 전체적으로 거의 미비하였고, 강섬유를 보강한 시편(S0-R~S15-R의 평균)의 휨강도가, Plain에 비하여 약 12%정도 높게 나타났음. 향후 장기 재령에 따른 휨강도 성상 분석이 필요할 것으로 판단되며, 현장 타설 시편과의 상관성 규명에 대한 연구도 이루어져야 할 것으로 예상된다.

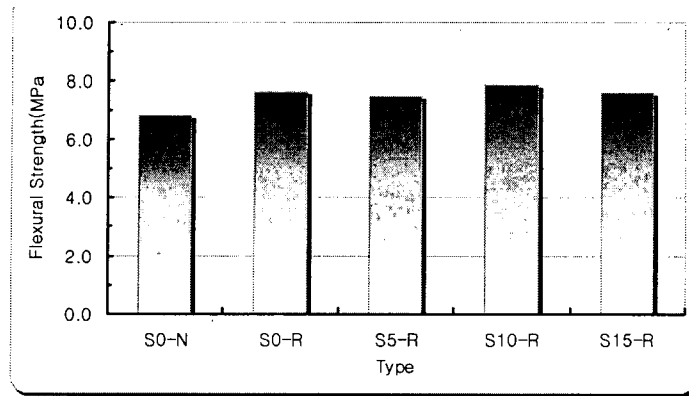


그림 10. 콘크리트 공시체의 휨강도

4.2. 현장적용 실험

일반적인 숏크리트배합으로 현재 사용중인 숏크리트 관련 재료, 즉 급결제, 혼화재료, 보강섬유 등이 숏크리트에 미치는 영향을 파악하고 고강도 숏크리트의 실현 가능성을 검토해보기 위하여 실시함.

4.2.1. 시험 개요

가. 시험일시 및 현장 : 2004년 4월, G건설 터널 현장

나. 시험요소 :

표 9. 제1차 현장 실험 요소

구분	급결제	강섬유	혼화재	비고
인자	Silicate, Aluminate, Alkali Free.	혼입, 무혼입	Silica Fume 5, 10%치환	현장 타설시 합성섬유는 다수의 문제점 발생
수준	3	2	2	
기호	S, AL, AF	R, N	S5, S10	

다. 타설 배합 :

표 10. 현장실험 Mixing Ratio

구분	W/B (%)	G _{max} (mm)	S/a (%)	단위량 (kg/m ³)							
				Water	Cement	잔골재	굵은 골재	급결제	보강 섬유	Silica-Fume	
A	S-N	45	13	65	215	480	1030	555	33.6	0	—
	S-R								(Silicate)	40	—
	AL-N								24	0	—
	AL-R								(Aluminate)	40	—
B	AF-S5-N	45	13	65	215	456	1030	555	31.92	0	24
	AF-S5-R								(Alkali Free)	40	24
	AF-S10-N								432	0	48
	AF-S10-R								432	40	48

라. 시험 항목 :

표 11. 현장실험 시험항목

시험항목	관련 시험방법 규격	비고
압축강도 (1,3,7,28d)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ KS F 2405 콘크리트 압축강도 시험방법 ◦ KS F 2412 콘크리트 코어의 길이 측정 시험방법 	
휨강도 및 휨인성 (28d)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 유럽통합기준(EFNARC) - 시편크기 : 75×125×600mm - 재하속도 : 중앙점의 처짐 0~0.5mm : 0.25±0.05mm/min, 처짐 0.51~4.0mm : 1.0mm/min 	

1.2.2 시험결과

가. 압축강도

숏팅 후 코아 공시체의 압축강도는 그림 11에서 보는 바와 같이 재령이 증가할수록, 알칼리 프리계 급결제 > 알루미늄계 급결제 > 실리카계 급결제 순의 강도 증진 경향을 보이고, 혼화재(Silica Fume)로 시멘트를 치환한 공시체가 시멘트만을 이용한 공시체 보다 높고, 강섬유를 보강한 공시체가 보강하지 않은 공시체 보다 약간 높은 경향을 나타내었다.

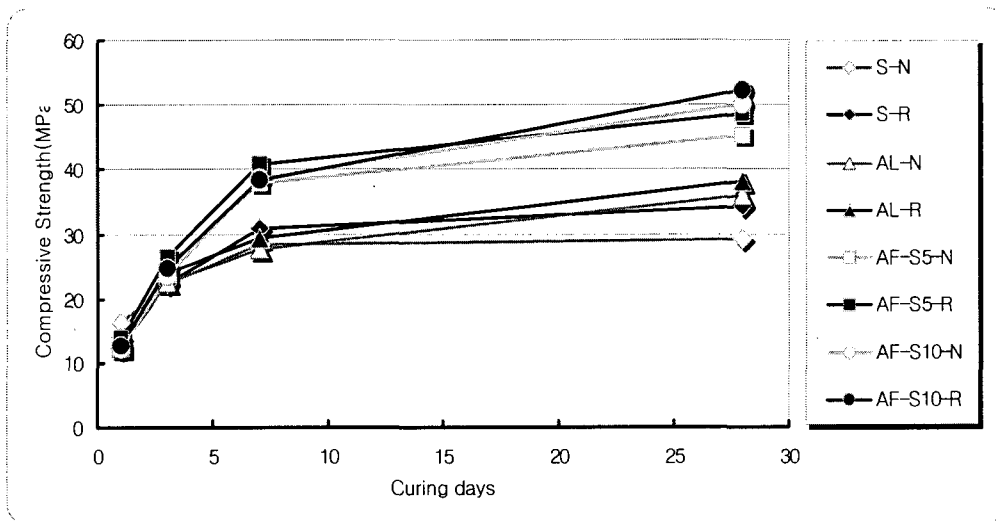


그림 11. 코아 공시체의 재령별 압축강도(1차 현장실험)

재령 1일 강도는 실리카계 급결제를 이용하고 보강섬유를 사용하지 않은 S-N Type 시편이 16.4MPa로서 AF-S10-N보다 34%정도 높은 강도값을 나타내었으나, 재령 3일 강도는 실리카 함을 5~10% 치환하고, 알칼리 프리계 급결제를 사용한 AF-S5-N~AF-S10-R (이하 B Group)이 실리카함을 치환하지 않고 실리카계 및 알루미늄계 급결제를 사용한 S-N~AL-R(이하 A Group)보다 평균 8%정도 높았고, 각각 재령 7일과 28일 의 압축강도는 B Group이 A Group보다 평균 34%, 44%정도 높은 경향을 나타내고 있다.

전체적인 강도 발현 증가율은 A그룹보다 B그룹이 65%정도 높은 경향을 나타내었는데, 이는 초기(재령 1일에서 3일까지) 강도 발현 증가율은 전체적으로 A 그룹보다 B 그룹이 대략 28% 높고, 중기(재령 7일에서 28일까지) 강도 발현 증가율은 A그룹보다 B그룹이 8%정도 높은 것과 같이 초기 강도 발현 증가율이 월등히 높았기 때문에 파악되고 있다.

이와 같은 이유는 재령이 증가할수록 거의 강도저하가 없는 알칼리 프리계 급결제 특성과, 분말도가 OPC의 10~30배(17,000~30,000m²/kg)에 달하고 평균입자크기가 0.2μm인 실리카 흙의 포졸란 반응에 따른 강도증진 현상 때문으로 사료된다.

나. 휨강도 및 휨인성

숏크리트의 EFNARC 시험방법에 따른 휨강도 및 휨인성 시험결과는 표 12~15와 같다.

표 12. Silicate-Reinforced의 시험결과

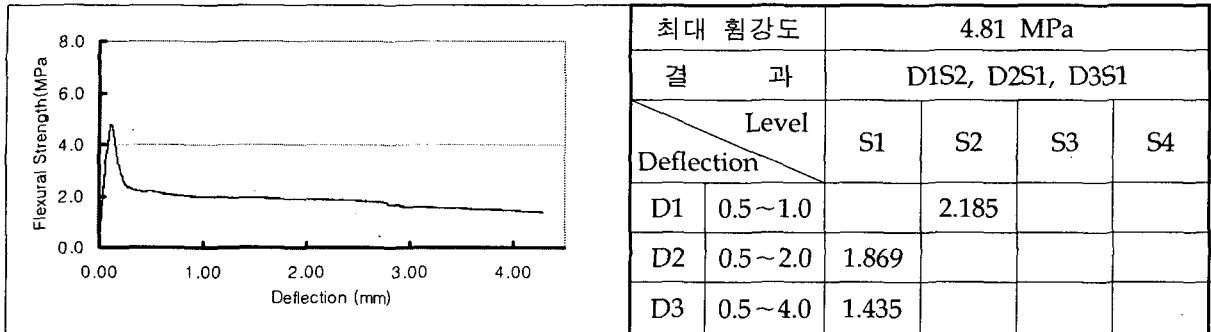


표 13. Aluminate-Reinforced의 시험결과

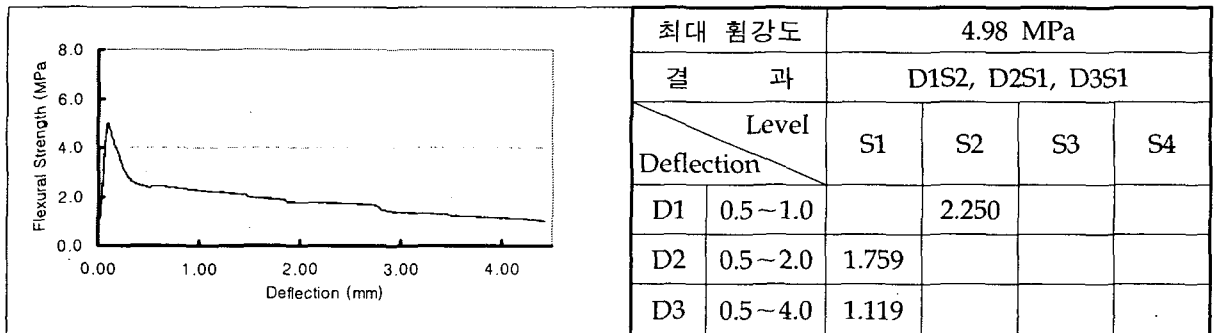


표 14. Silica Fume 5%-Reinforced의 시험결과

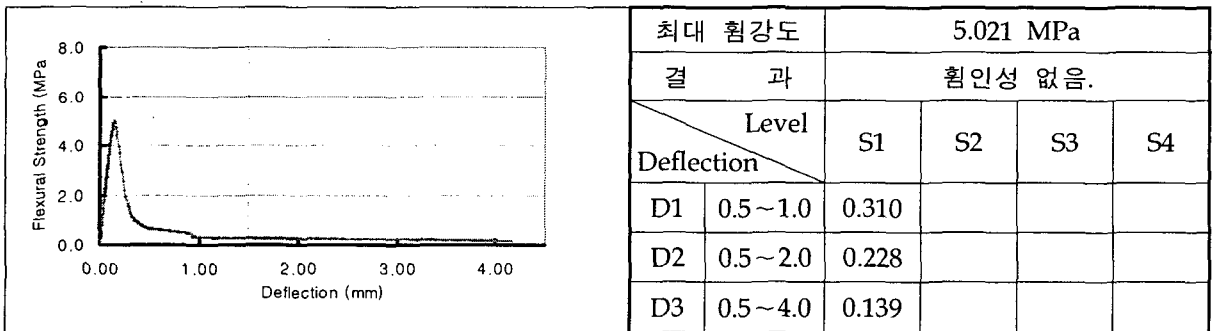
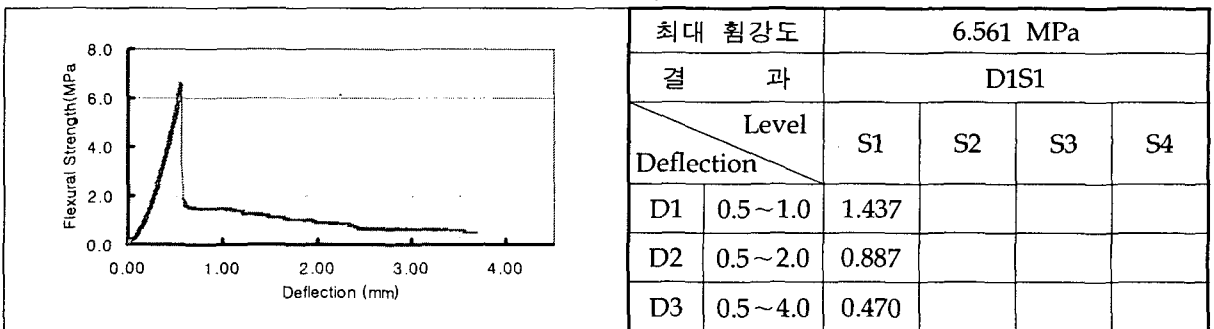


표 15. Silica Fume 10%-Reinforced의 시험결과



휨강도는 전체적으로 압축강도와 비슷하게 A Group의 평균 휨강도는 4.71MPa로 B Group의 평균휨강도 96MPa보다 1.25MPa 낮은 경향을 나타내고 있으며, Silicate-None 빔 시편의 휨강도가 4.31MPa로 가장 낮았으며, Silica Fume 10%-Reinforced 빔 시편의 휨강도가 6.56MPa로서 가장 높게 나타났음. 이는 알칼리프리카계 급결제의 사용과 실리카 흙의 치환효과에 따른 강도증진 현상 때문으로 사료된다.

하지만, 균열의 생성 및 발달에 대한 재료의 내성을 의미하는 것으로 그 값이 클수록 균열에 대한 저항이 높다는 것을 의미하는 슛크리트의 휨인성은 압축강도 및 휨강도와는 달리 Silicate-Reinforced와 Aluminate-Reinforced Beam 시편이 D1S2, D2S1, D3S1으로 가장 좋게 나타났고, B 그룹이 시편은 Silica Fume 10% reinforced 시편을 제외하고는 EFNARC 방법에 따른 휨인성이 없는 것으로 나타났다.

이는 취성재료인 콘크리트의 휨인성을 증가시켜주기 위하여 혼입한 강섬유가, 슛크리트 내의 모르타르와의 부착강도 및 강섬유 자체의 인장강도의 상호작용으로 발휘할 수 있는 최대 강도를 상회하는 휨강도를 가졌거나, 강섬유의 불균질한 분포 또는 Beam 시편의 가공상의 문제 때문인 것으로 사료된다.

5. 맺음말

1980년대 이후 도로, 철도 및 지하철 건설이 활발해지고 새로운 터널 건설기술의 도입과 함께 국내에서 적용되기 시작한 슛크리트 공법은, 지금까지 국내 건설현장에서 많은 시공 실적과 더불어 괄목할만한 기술적, 공학적 성장을 이루어왔다. 하지만, 국가적인 슛크리트 품질기준 부재 및 설계강도기준의 낮음은 반 영구적으로 적용된 슛크리트의 유지관리 측면에서 사회적·경제적으로 많은 문제점을 야기 시킬 것으로 예상된다.

이와 같은 문제를 해결할 수 있는 고성능 슛크리트의 적용 가능성을 기술적으로 검토해 본 결과, 단위시멘트량 480kg/m³에 알칼리프리카계 급결제 및 실리카 흙의 치환에 의한 성능개선을 통해 슛크리트의 코아 압축강도(재령 28일 기준)가 40MPa 이상으로 나타난 것으로부터 고강도 슛크리트의 실현 가능성이 많음을 알 수 있었지만, 고강도 영역에서의 슛크리트의 주요 성능지표인 휨인성에 대한 보완이 선행되어야 할 것으로 사료된다. 또한, 향후 슛크리트 고성능화를 위해 체계적인 연구와 더불어 건설현장 기술자들의 새로운 인식 전환을 통하여 슛크리트의 고성능화를 위한 발판이 마련되기를 희망한다.

6. 감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 시행하고 있는 표준화기술개발사업의 지원 연구비로 수행된 것으로 연구를 가능케 한 산업자원부에 감사드립니다.

7. 참고문헌

1. 오병환 외4인, 터널의 SHOTCRETE 최적배합에 관한 실내 및 현장 모형 실험 연구, 한국콘크리트학회는 문집, 제6권 제4호, pp. 131~140, 1994
2. 박승범 외1인, 혼화제의 사용현황 및 전망, 한국콘크리트학회지, 제8권 제2호 pp. 5~12, 1996.
3. 한국도로공사 도로연구소, 강섬유보강 슛크리트의 성능향상 및 품질기준 정립(II), 도로연 01-37, 2001
4. 건설교통부, 1999, 터널설계기준
5. 건설교통부, 1999, 터널 표준 시방서
6. 건설교통부, 1999, 콘크리트 표준 시방서
7. 한국도로공사, 고속도로 터널설계 실무자료집, 1995
8. 한국도로공사, 도로설계요령, 제4권 터널, 2001
12. EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, 1996
13. EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete - Guidelines for Specifiers and Contractors, 1999