

레디믹스트 슛크리트의 적정 골재최대치수 제안을 위한 기초적 연구

A Fundamental Study for Proper Maximum Size of Coarse Aggregate of Ready-mixed Shotcrete

마 상 준¹ Ma, Sang-Joon

최 희 섭² Choi, Hee-Sup

김 동 민³ Kim, Dong-Min

Abstract

This study was carried out to investigate and analyse the influence of maximum size of coarse aggregate and quality control of aggregate on the properties of shotcrete through the laboratory and field test. From the results of the test, as the maximum size of coarse aggregate decreased from 13 mm to 8 mm, plasticity property declined and compressive strength and dynamic modulus of elasticity of hardened concrete increased remarkably, so it was found that the aggregate size 8 mm was superior to 13, 10 mm in fluidity, constructability and durability. Therefore, it was advisable for well maximum size of coarse aggregate to apply to the 8mm aggregates through the Ready-mixed Method for quality control and minimum segregation.

요 지

골재최대치수 및 골재의 품질상태 등이 슛크리트에 미치는 역학적 영향성을 실내실험과 현장실험을 통해 평가하였다. 실험결과 골재최대치수가 13mm에서 8mm로 작아질수록 유동 특성은 감소되었으나, 경화 콘크리트의 강도 및 동탄성계수는 크게 증가하였으며, 이러한 결과를 토대로 골재최대치수 8mm인 경우가 10, 13mm인 경우보다 유동성, 시공성 및 내구성이 더욱 우수할 것으로 판단된다. 따라서 슛크리트 품질개선과 재료분리 최소화를 위해 본 연구에서 개발하고자 하는 레디믹스트 슛크리트의 적정 골재최대치수는 공장생산방식을 통해 정제된 8mm 골재를 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

Keywords : Constructability, Durability, Fluidity, Maximum size of coarse aggregate

1. 서 론

스�크리트는 굴착 직후 발생하는 원지반의 초기변위를 제어하고 풍화 방지를 통해 굴착면의 안정을 도모하기 위한 구조물로서, 특히 터널분야에서 지하공간의 활용, 도로 및 철도 등의 건설로 인한 대단면 터널공사에

NATM공법과 연계되어 슛크리트 관련기술도 비약적인 발전을 이루어왔다. 그럼에도 불구하고 국내 터널현장에서는 여전히 슛크리트 문제점이 나타나고 있으며, 그 중 골재최대치수와 골재 품질상태에 대한 두 가지 문제점이 크게 부각되고 있다. 첫째, 골재최대치수는 슛크리트 공법의 효율성과 시공성 및 경제성에 영향을 미

1 정희원, 한국건설기술연구원 지반방재·환경연구실 책임연구원 (Member, Research Fellow, Geotechnical Disaster & Environment Research Division, KICT, sjma@kict.re.kr, 교신저자)

2 한국건설기술연구원 지반방재·환경연구실 연구원 (Researcher, Geotechnical Disaster & Environment Research Division, KICT)

3 정희원, 한국건설기술연구원 지반방재·환경연구실 연구원 (Member, Researcher, Geotechnical Disaster & Environment Research Division, KICT)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 10월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

치는 중요한 요소 중 하나로서 국외의 경우(미국, 유럽) 골재최대치수에 대한 품질기준이 8~10mm로 규정되어 있으며 골재의 확실한 품질관리가 선행되어 40~60MPa에 이르는 고강도 슷크리트 시공능력을 갖추었지만, 국내의 경우 최근에서야 슷크리트용 골재최대치수가 10mm이하로 규정되어졌으며, 설계기준강도 또한 21MPa이상(건교부, 2007)으로 국외에 비해 비교적 낮은 실정이다(건교부, 1999; 2007). 둘째는 슷크리트용 골재의 품질상태이다. 현재 국내 시공현장에서 사용하고 있는 슷크리트용 골재는 골재 최대치수의 불균일, 골재 토립분 및 석분토의 과다함량, 입도불량, 함수율의 부정확, 편장석의 과다함량, 조립율의 불량 및 규격화된 골재 품질 기준의 미비뿐만 아니라 현장 배치 플랜트에서의 품질관리 부족 등 골재품질에 관련된 문제가 여전히 거론되고 있는 실정이다(마상준, 2005).

현재 건설교통부의 지원과 민간기업의 주도로 현장타설 슷크리트가 가지는 불확실한 시공품질, 강도 및 내구성 품질저하 등과 같은 기존 현장에서의 슷크리트 문제점들을 효과적으로 개선하고, 산업부산물인 고로슬래그를 재활용하여 슷크리트 품질향상 및 국가자원의 확보 및 시공 품질을 향상시키고자 품질관리가 잘 이루어진 건조형태의 재료를 현장에서 배합하는 방식을 적용한 ‘레디믹스트(Ready-mixed) 슷크리트’의 연구·개발이 수행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 수행되고 있는 과제 중에서 기존 슷크리트 문제점의 개선과 더불어 슷크리트의 강도증진, 공기단축 및 리바운드량 감소를 위해 현행기준보다 골재최대치수를 합리적으로 낮추어 효과적인 국내적용의 기반을 마련하고자 한다. 또한 공장생산방식에 의해 품질관리가 극대화된 적정 골재최대치수를 레디믹스트 슷크리트 개발에 적용하여 건설재료 시장의 활성화 및 슷크리트 공법의 기술 선진화에 기여하고자 한다.

2. 레디믹스트(Ready-mixed) 슷크리트

레디믹스트 슷크리트란 기존 현장배합 슷크리트를 대체하는 공법으로서 터널시공 특성, 현장조건 및 사용 용도에 맞게 생산할 수 있으며, 시공성 및 고품질 슷크리트를 확보할 수 있는 공법이다. 즉, 기존에 현장에서 배합되던 슷크리트의 고질적인 문제점들을 효과적으로 개선하기 위해 슷크리트 재료의 배합 및 제조를 건조모르타르 제조 전문업체에서 사전에 미리 실시하여 골재의 철저한 토립분 관리, 확실한 입도관리, 전문배합장치를 이용한 엄격한 품질관리 및 재료의 규격화 등을 거쳐 시공 품질을 극대화 시킬 수 있게 제조되는 슷크리트 재료를 의미한다.

슷크리트는 적당한 강도와 장기내구성을 가져야 하며, 경제적인 시공이 가능해야 하기 때문에 이를 위해서는 슷크리트 구성재료 중 80%이상을 차지하는 골재의 역할이 상당히 중요하다. 하지만, 골재부족 현상을 겪고 있는 우리나라의 경우 양질의 골재를 얻는 것은 상당히 어려운 현실이며, 골재의 먼지, 진흙, 유기물 등의 유해물 함유량 관리 및 골재의 입도관리 등 엄격한 품질관리가 시급한 실정이다. 따라서 이러한 문제를 해결하고 각 요소별 최적의 혼합을 유도하기 위한 공장배합 시스템의 적용이 불가피하며, 이를 통해 고품질 및 낮은 리바운드율의 특성을 갖는 슷크리트 시공이 가능해질 것으로 판단된다. 또한 본 공법은 NATM 지보개념을 준용하며, 영구지보재로 역할을 할 수 있는 장기 고성능 슷크리트 개발 및 터널 지보재 표준화와 시공의 편이성, 품질관리의 용이성 및 재료의 고성능화를 통해 사회간접 시설물의 하나인 터널구조물 안정성 확보를 이룰 수 있다. 표 1은 일반 현장배합 방식과 레디믹스트 방식의 기

표 1. 현장배합 방식과 레디믹스트 방식 기술 비교

현장배합 방식	레디믹스트 방식
<ul style="list-style-type: none"> - 현장준비에 많은 시간을 필요 - 현장배합은 품질 불균일 - 현장 품질관리 어려움 - 동절기 dispersions 동결 - 인력에 의한 재로운반, 복잡함 - 포장방식에 따라 공사공정 복잡 - 복잡한 공정의 시공품질 하자요인 	<ul style="list-style-type: none"> - 현장준비 작업이 간단함 - 정량 첨가방식 생산 품질 균일 - 장비system 현장시공 품질관이 용이 - 동절기 dispersion 가능 - 현장 환경조건 의거 운송장비로 운반 - 장비system 현장시공 공사공정 용이 - 같은 품질로 시공 - 품질 균질성 - 취급이 용이 - 효과적, 지속성
느리고 비효과적 수준	빠르고 효과적

술 비교를 나타낸 것이다.

3. 국내·외 슛크리트용 골재최대치수의 품질기준

골재최대치수는 입자 크기에 따라 슛크리트 품질에 큰 영향을 주며, 입경이 과다한 경우 거친 배합에 따른 슛크리트의 배송저하가 발생되고, 노즐의 막힘 현상으로 인한 작업지연 및 중단사례가 초래되어 슛크리트 공법의 적용 시 시공성에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 특히 슛크리트를 구성하는 재료 가운데 골재는 전체 체적의 70~80%를 차지하기 때문에 슛크리트의 작업성, 강도, 리바운드율 및 내구성에 큰 영향을 미치며 경제적으로도 매우 중요하게 인식되고 있다. 따라서 국내·외 슛크리트 골재최대치수에 대한 품질기준을 살펴보면, 국외의 경우 골재최대치수를 8~10mm로 규정되어 있으나(Austrian Concrete Society, 1990; EFNARC, 1996;

Norwegian Tunneling Society & Norwegian Rock Mechanics, 1999), 국내의 경우 최근에서야 골재최대치수를 10mm로 낮추는 연구가 수행되어 졌으며(한국도로공사, 2003), 터널설계기준에 10mm이하로 규정되어졌다(건교부, 2007). 표 2는 슛크리트 골재최대치수에 대한 국내·외 품질기준을 나타낸 것이다.

4. 현장골재 품질관리 실태파악

4.1 현장설문조사를 통한 국내 슛크리트의 시공 실태 파악

본 절에서는 레디믹스트 슛크리트 개발에 앞서, 실제 현장에서 적용되고 있는 슛크리트용 골재의 문제점을 정확히 파악하기 위해 현장 및 설계 기술자 150명을 대상으로 현장설문조사를 실시하였다. 설문조사 결과 슛크리트 품질에서 골재품질 및 입도의 중요성이 가장 높게 조사되었으며, 리바운드율 감소를 위한 골재의 고품질화가 절실한 것으로 조사되었다. 또한 국내 시공현장의 골재최대치수 분포조사를 통해 적정 골재최대치수 제안에 대한 근거제시와 더불어 최종적으로 레디믹스트 슛크리트의 개발 필요성에 대해 조사한 결과, 본 연구의 개발 필요성을 확인할 수 있었다. 다음 그림 1~4는 현장설문조사의 결과를 나타낸 그래프이다.

표 2. 슛크리트 골재최대치수에 대한 국내·외 품질기준

구 분		스�크리트 골재최대치수(G _{max})
국 내	한국도로공사	13mm
	터널설계기준	10mm
국 외	미국 콘크리트 학회	10mm
	노르웨이 품질기준	8mm
	오스트리아 품질기준	8mm
	유럽통합규격	8mm

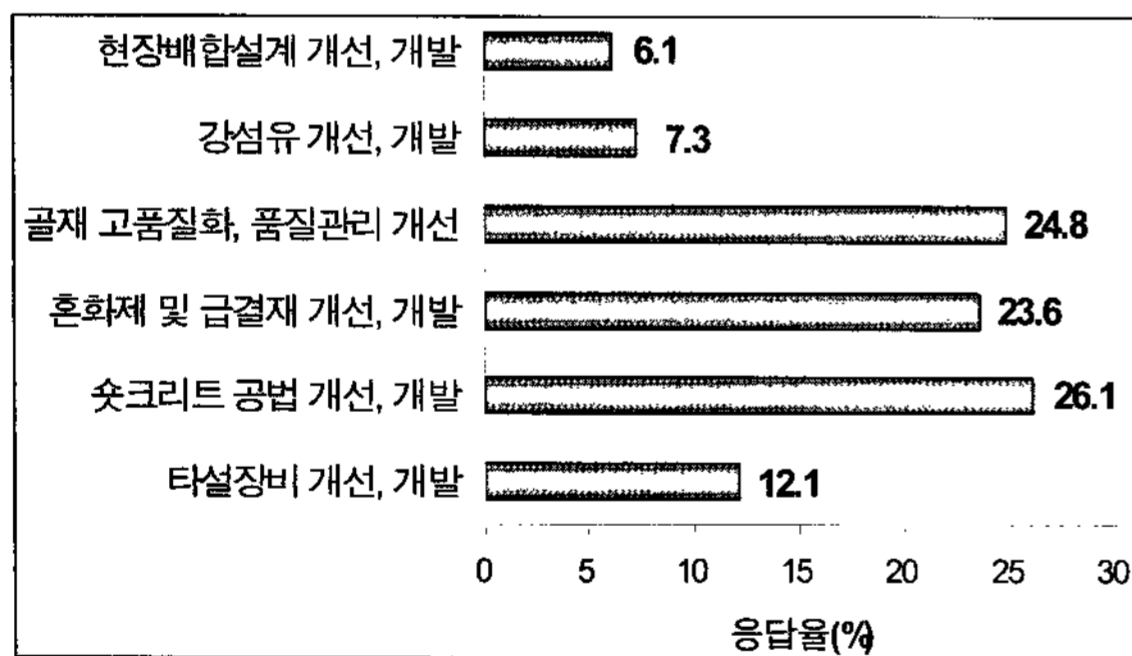


그림 1. 리바운드율 감소를 위한 개선방안

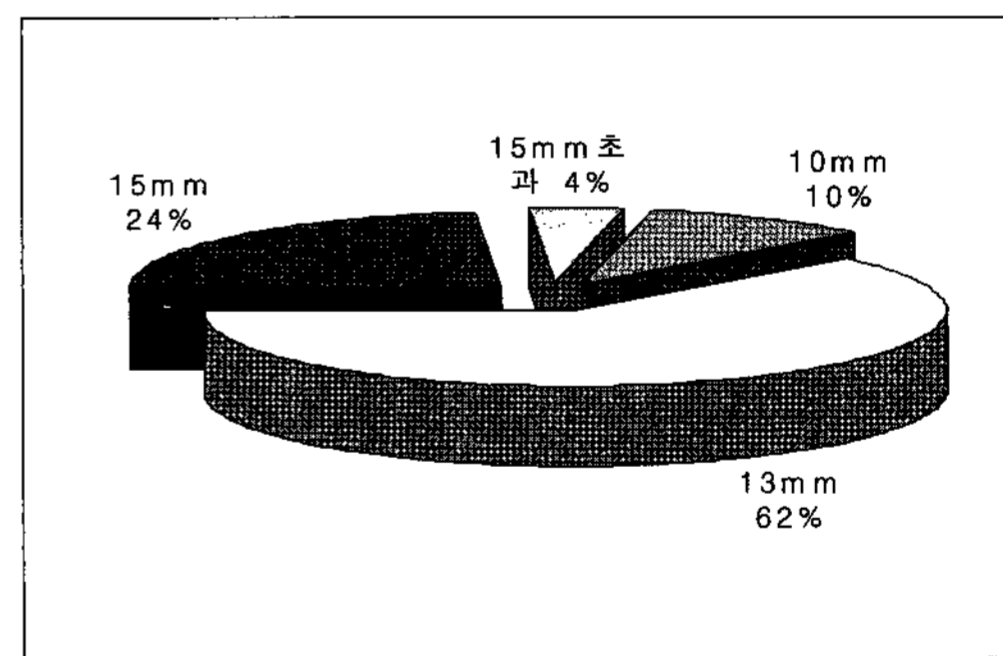


그림 3. 국내 현장의 골재최대치수 분포

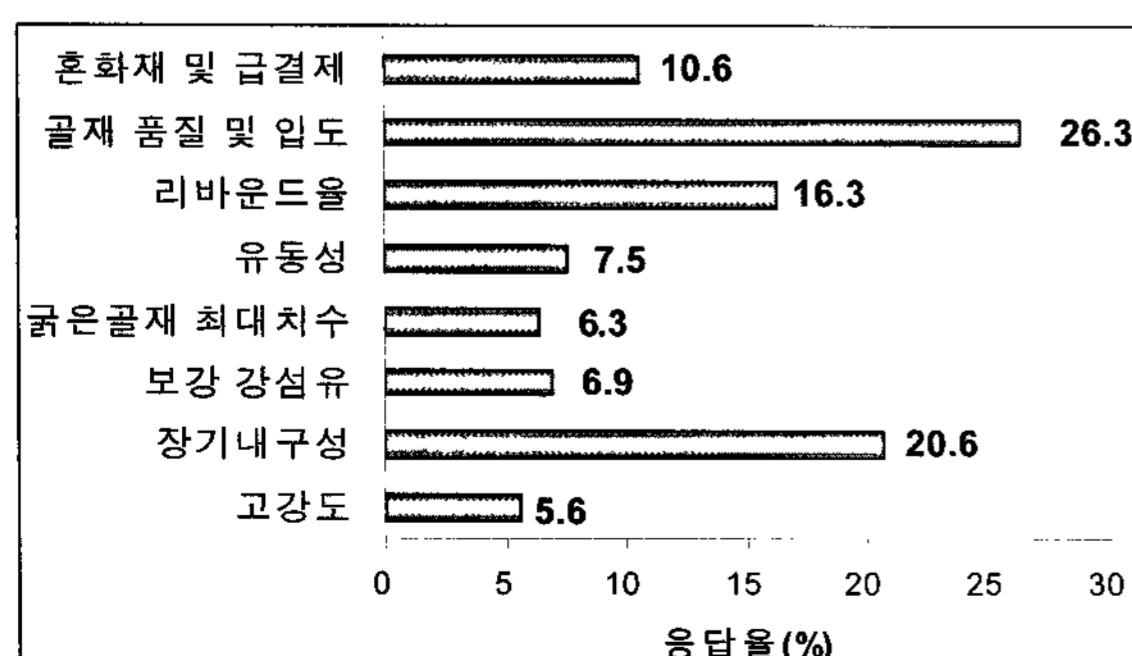


그림 2. 슛크리트 품질 중 가장 중요한 항목

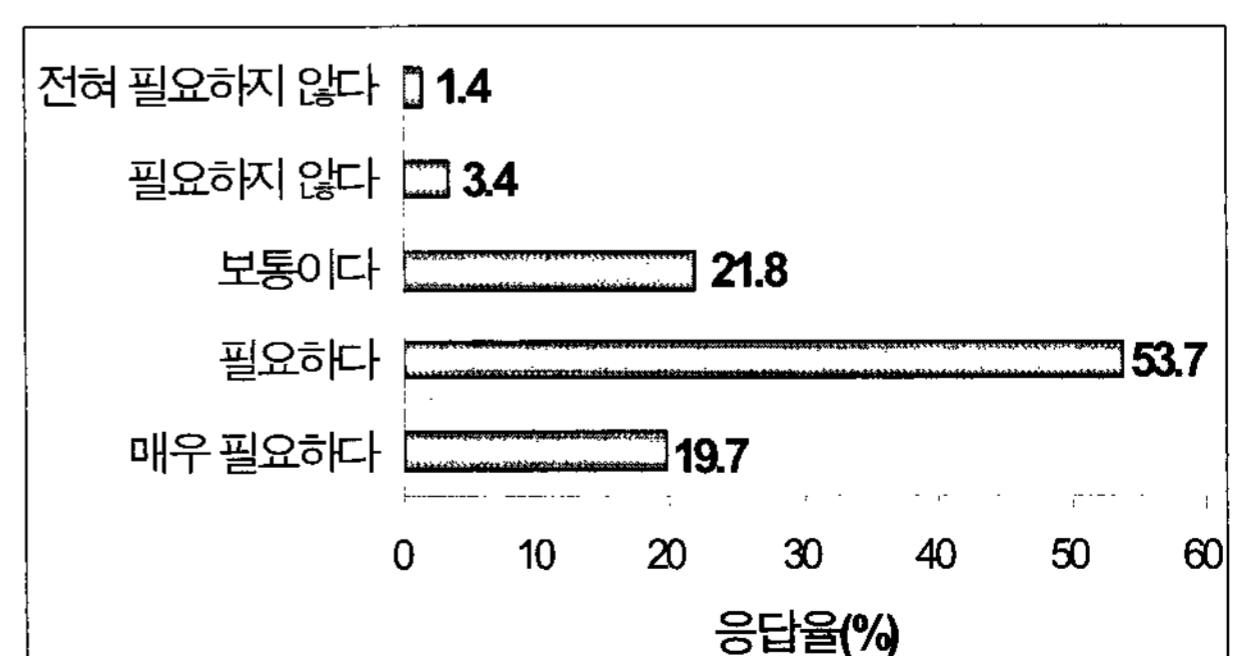


그림 4. 레디믹스트 슛크리트 개발 필요성

4.2 현장 슛크리트 골재의 품질관리 실태파악

국내 터널현장에서 실제 사용되고 있는 슛크리트용 골재의 품질파악을 위해 일정 규모와 생산량을 갖춘 터널 현장 15개소에서 골재를 채취하였으며, 이를 통해 현장 슛크리트 골재의 입도분포 및 골재의 물리적 특성을 분석하였다. 골재의 입도분포 특성은 KS F 2526을 기준으로 하여 실시하였으며, 잔골재의 경우 70%이상이 표준입도에 만족스러운 결과를 나타냈고 표면수의 기준도 만족하였지만, 골재 관리 시 직사광선 및 강우에 노출되어 표면과 내부의 함수율 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다(김덕현, 2004). 표 3은 표면과 내부의 함수율 차이가 가장 크게 나타난 5개소에 대하여 조사한 것이며, 그림 5는

표 3. 표층과 심층부 함수율 차이

발생지	표층부(%)	심층부(%)	함수율차이(%)
A	4.14	7.66	3.52
B	1.08	5.52	4.44
C	5.90	8.06	2.16
D	2.20	7.17	4.97
F	3.86	8.71	4.85



(a) 세척 전 골재상태



(b) 세척 후 골재상태

그림 5. 현장의 골재 품질상태

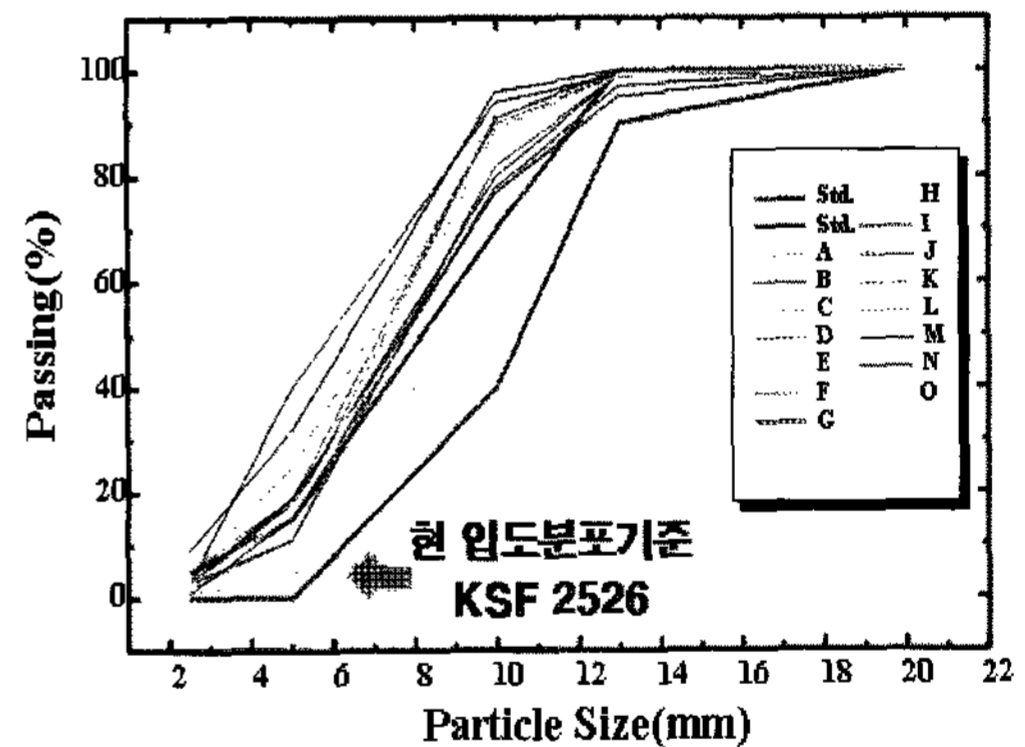
터널현장의 골재 품질상태를 보여주고 있고, 세척 후 석분 및 이물질이 그대로 남아있는 것을 알 수 있다.

굵은 골재의 경우 그림 6에서 보여 지듯이 측정결과 모든 현장에서 표준입도에 만족하지 않는 결과가 나타났고, 이로 인해 슛크리트 슬럼프 및 유동성저하, 리바운드량 증가와 슛크리트 품질저하 등의 문제점이 유발될 것으로 판단된다. 표 4는 15개소 중 입도분포기준(KS F 2526)에 의거해 조립율, 표건 및 절건밀도 등의 항목에서 기준을 벗어나는 5개소에 대해 굵은 골재의 물리적 특성치를 나타내었으며, 이 결과를 통해 현장골재가 가지는 문제점을 알 수 있었다.

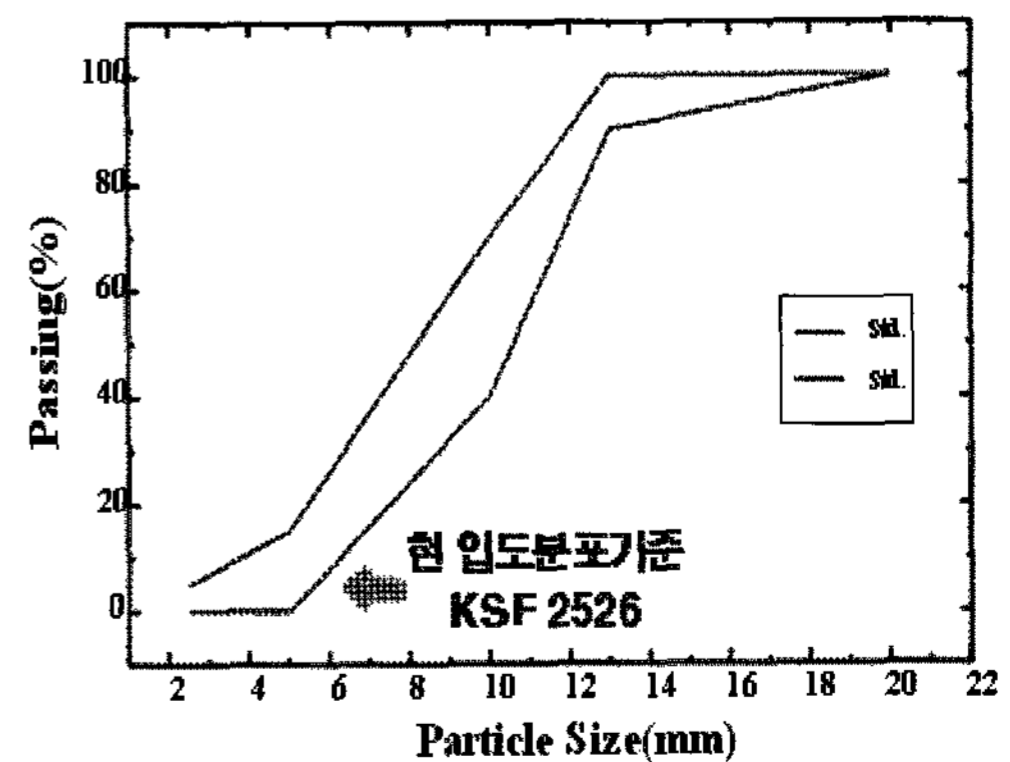
5. 실내실험

5.1 실험 개요

레디믹스트 슛크리트 개발을 위한 적정 골재최대치수를 제안하고자 국내·외 슛크리트용 골재의 규격현황과 현장설문조사를 통해 골재최대치수를 8, 10, 13mm로 산정한 후, 경화 전·후 콘크리트의 물리적 성능평가



(a) 터널현장 15개소 골재입도분포

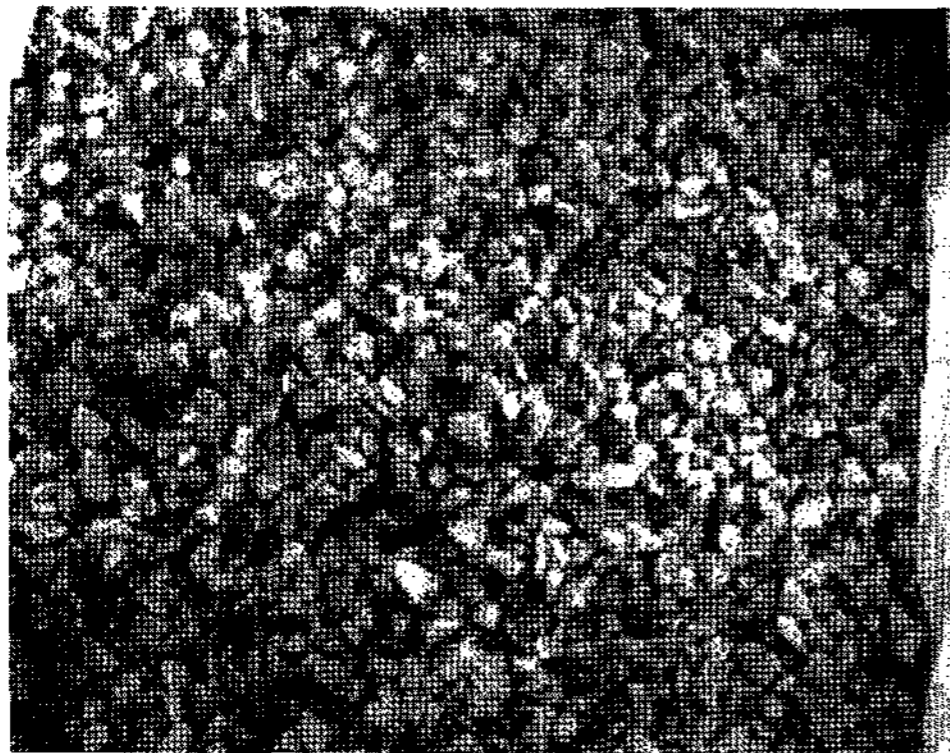


(b) 입도분포기준

그림 6. 현장골재 입도분포 및 기준

표 4. 현장 5개소의 굵은 골재 물리적 특성치

항 목	A	B	E	F	G	기준치	출 처
조립률(%)	3.26	2.61	3.15	2.90	2.70	2.3~3.1	KS F 2502
표건밀도(g/cm ³)	2.57	2.58	2.61	2.61	2.58	2.5이상	KS F 2504
절건밀도(g/cm ³)	2.53	2.55	2.57	2.57	2.54	2.5이상	KS F 2504
흡수율(%)	1.89	1.36	1.36	1.38	1.46	3.0이하	KS F 2504
점토덩어리(%)	0.3	0.3	-	-	0.4	1.0이하	KS F 2511
0.08mm체 통과량(%)	2.7	1.2	3.8	3.3	2.6	5.0이하	KS F 2511
염화물(%)	0.001	0.001	-	-	0.001	0.04이하	KS F 2515



(a) 8mm 골재



(b) 13mm 골재

그림 7. 골재 모습

표 5. 굵은 골재의 물리적 특성

골재치수	비 중	각 체 통과량의 중량백분율(%)						조립율	안정성 (%)	흡수율 (%)	연석량 (%)
		20mm	13mm	10mm	5mm	2.5 μ m	1.2 μ m				
8mm	2.60	100	100	100	77	35	8	5.57	4	1.47	0.5
10mm	2.61	100	100	97	64	4	1	5.94	4	0.94	0.8
13mm	2.72	100	99	82	11	3	2	6.28	5	0.97	0.8

방법을 통해 슛크리트의 물리적 특성을 알아보고자 실내실험을 실시하였다.

경화 전 슛크리트의 특성은 시험체 제작 시 슬럼프 시험(KS F 2402)과 공기량 시험(KS F 2401)을 통해 슛크리트의 작업성을 평가하였으며, 경화 후 슛크리트의 특성은 시험체의 재령(3, 7, 28일)에 따라 압축강도 시험(KS F 2405)과 동탄성계수를 측정하여 슛크리트의 강도특성을 분석하였다. 그림 7은 정제된 8mm와 일반현장의 13mm 골재모습을 나타낸 것이다(한국건설기술연구원, 2006).

5.2 사용재료 및 배합표

5.2.1 골재

잔골재는 최대치수가 2.5mm인 양질의 하천사를 사용하였으며, 굵은골재는 동일 석산의 부순골재를 사용하였고, 굵은골재 최대치수에 따른 물성평가를 위해 골재최대치수가 8, 10, 13mm 인 것을 사용하였다. 굵은골재의 물리적 특성은 표 5와 같다.

표 6. 골재최대치수의 변화에 따른 배합표

Sample	Comp.	W/B(%)	G _{max} (mm)	S/a(%)	단위량(kg/m ³)					비고
					W	C	S	G	SP	
8-Plain		33.7	8	67	155	460	1062	524	2.3	골재 최대 크기 평가
10-Plain	10									
13-Plain	13									

5.2.2 배합표

골재최대치수의 변화(8, 10, 13mm)에 따른 숏크리트의 경화 전·후 물리적 특성을 비교·분석하여 적정 골재 최대치수를 제안하고자 실내실험을 실시하였으며, 표 6은 골재최대치수에 따른 배합표를 나타낸 것이다.

5.3 실험 결과

실내실험 결과 골재최대치수 8mm인 경우가 10mm나 13mm의 경우보다 유동성과 시공성에서 약 50%정도 높게 나타났으며, 숏크리트 품질개선과 공장배합 후 운반 중의 재료분리 방지를 위해 본 연구에서 개발하고자 하는 레디믹스트 숏크리트의 적정 골재최대치수를 8mm

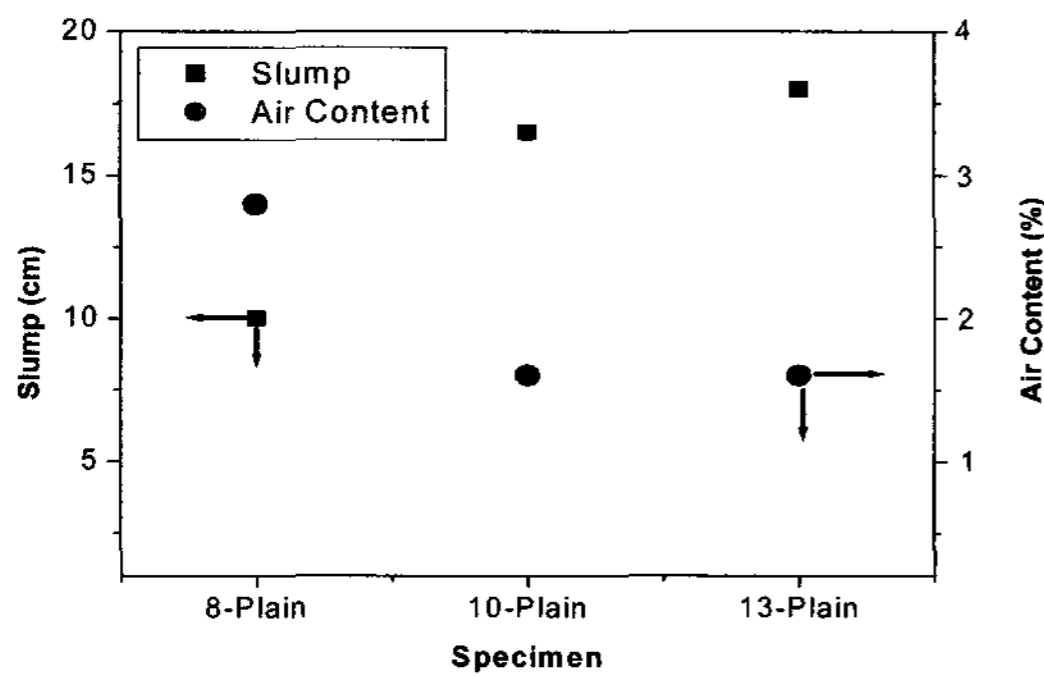


그림 8. 골재치수에 따른 공기량과 슬럼프 시험

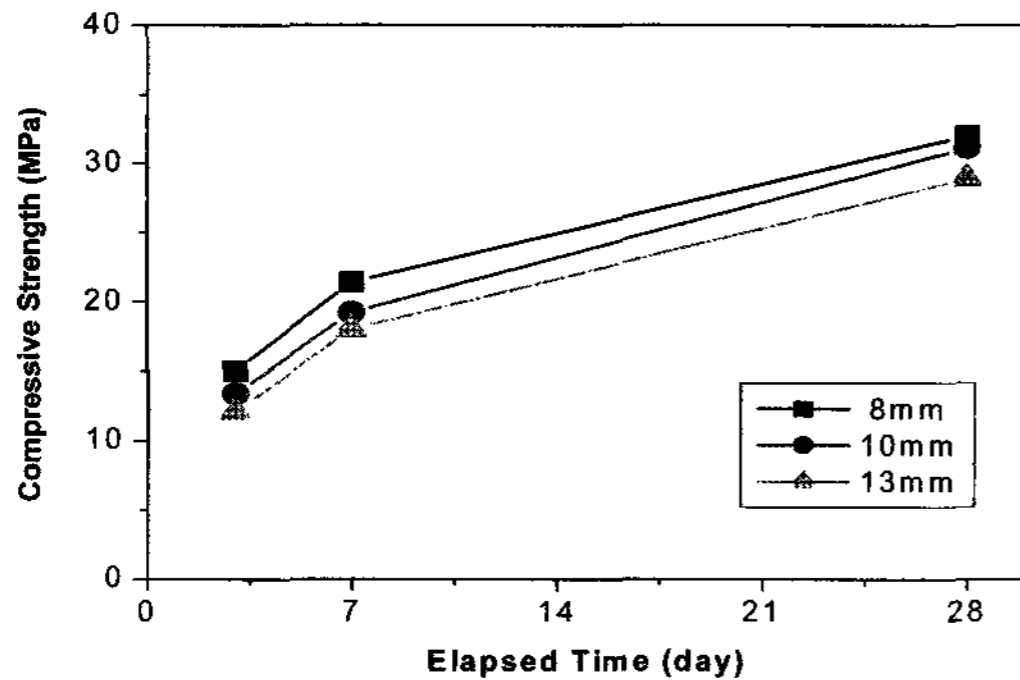


그림 9. 골재크기에 따른 압축강도 변화

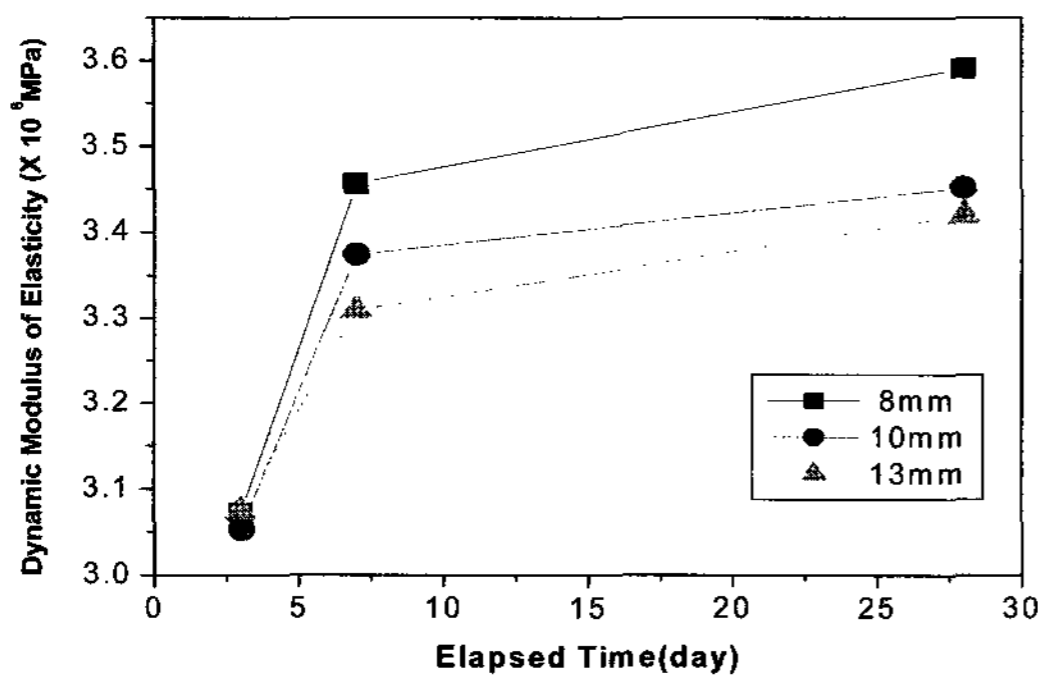


그림 10. 골재크기에 따른 동탄성계수 변화

로 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

경화 전·후의 각 실험결과는 다음과 같다.

그림 8은 경화 전 숏크리트의 슬럼프와 공기량에 대한 물리적 특성을 나타낸 것이며, 골재최대치수가 커질수록 슬럼프가 증가하는 경향을 보였고, 숏크리트의 반죽질기 측면에서는 동일 단위수량 및 단위시멘트량의 경우 크기가 작을수록 상대적으로 미흡한 결과를 나타내었다. 반면 공기량 시험에서의 연행공기는 골재최대치수가 커질수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 결과적으로 골재최대치수가 커질수록 공기연행제의 함량이 증가되어야 하고, 반대로 골재최대치수가 작아질수록 유동화제(감수제)의 첨가량이 높아져야 할 것으로 판단된다(김기형, 1986).

그림 9, 10은 경화 후 숏크리트의 물리적 특성을 나타낸 것이며, 이는 압축강도와 동탄성계수를 통해 평가하였다. 그림 9에서 골재최대치수와 압축 강도의 상관관계를 살펴보면 골재최대치수가 커질수록 압축강도가 감소하는 경향성을 나타내었다(이양규, 2004). 그림 10의 골재최대치수와 동탄성계수와의 관계는 재령 3일에서는 약간 불규칙적인 경향을 보였고, 재령 7, 28일에서는 골재최대치수가 커질수록 동탄성계수가 감소하는 경향을 나타내었으며, 골재최대치수가 작은 경우에 비해 내구성이 작을 것으로 판단된다.

6. 현장 실험

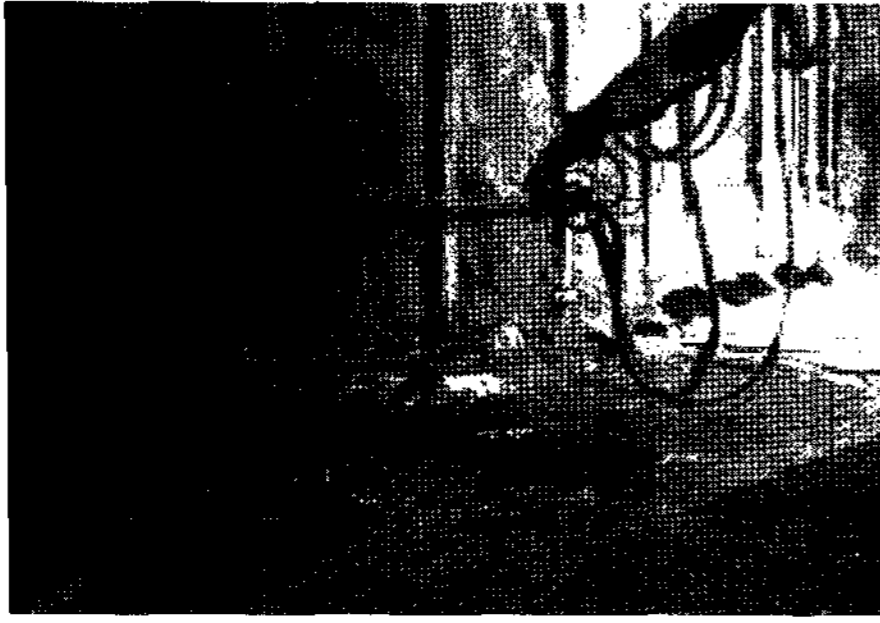
6.1 실험 개요

본 현장실험은 2007년 5월 B광업소의 ○○광산 예비갱도에서 실시하였으며, 실내실험을 통해 얻어진 골재최대치수의 8mm적용 결과를 토대로 하여, 골재최대치수 8, 10, 13mm에 따른 숏크리트의 성능평가를 수행하였다. 이와 더불어 각각의 골재최대치수에 실리카흄과 고로슬래그로 치환하여 추가실험을 실시하였다. 그리고 이를 통해 기능이 극대화 된 레디믹스트 숏크리트 개발을 위한 적정 골재최대치수의 현장적용성을 평가하고자 압축강도, 슬럼프 및 리바운드율에 대한 현장실험을 수행하였다.

6.2 사용재료 및 배합표

6.2.1 혼화제

고로슬래그 미분말을 시멘트량의 30%로 치환하였고,



(a) 몰드 샷팅 장면



(b) 타설이 완료된 시험체

그림 11. 현장실험 모습

실리카 흙은 8%를 치환하였으며, 표 7과 표 8은 현장실험에서 사용된 고로슬래그와 실리카 흙의 물리적 특성 및 화학적 특성을 나타낸 것이다.

6.2.2 배합표

본 현장실험에서는 골재최대치수 차이에 따른 슛크리트의 성능을 최대한 효과적으로 비교하기 위해 골재 최대치수만을 변화시키고 다른 배합조건은 동일하게 고정시켜 현장실험을 수행하였다. 즉, 플레인 배합에 3 종류의 골재치수를 적용시키고 실리카 흙 8% 배합과 고로슬래그 30% 배합에도 역시 동일하게 골재치수를 적용시켜 실험을 수행하였다. 표 9는 현장실험의 배합표를 나타낸 것이다.

6.3 실험 결과

표 10은 골재최대치수 변화에 따른 압축강도, 슬럼프 및 리바운드율 실험의 결과를 나타낸 것인데, 압축강도 시험결과 시험체 모두 설계기준강도인 21MPa에 약간 못 미치는 경향을 보였으나, 8mm 골재사용 시 슛크리트의 강도차이는 10mm나 13mm와 비교해 크지 않았으며, 그 이유는 골재 치수에 의한 강도의 차이보다는 급결제 및 타설조건에 영향을 더 받는 것으로 판단된다. 슬럼프 시험결과 열악한 현장조건으로 인하여 실내실험과는 약간 상이한 결과를 나타냈지만, 슬럼프의 변화 폭은 크지 않은 것으로 보여지며 유동성과 작업성 확보에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

리바운드 시험결과 골재최대치수 8mm인 경우가 10mm나 13mm의 경우보다 65~70%정도 낮게 나타났으며,

표 7. 혼화재별 물리적 특성

종 류	비 중	분말도 (cm ² /g)	lg. loss	염화이온 (%)	활성도지수 (%)		
					7d	28d	91d
실리카 흙	2.3	200,000	1.3	0.19	99	-	-
고로 슬래그	2.9	4,355	0.83	0.008	84	120	123

표 8. 혼화재별 화학적 특성

종 류	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
실리카 흙	21.7	5.3	3.1	62.4	1.6	1.7
고로슬래그	33.5	15.2	0.5	43.9	2.6	2.5

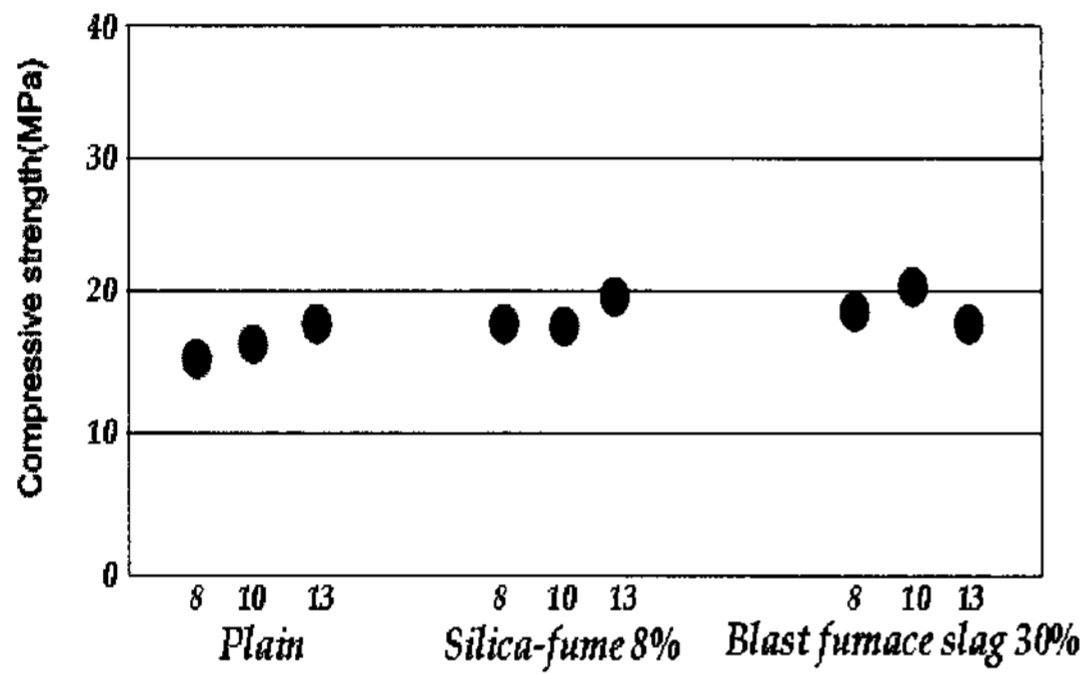
표 9. 현장실험 배합표

구 분 ¹⁾	W/B (%)	G _{max} (mm)	S/a (%)	단위량(kg/m ³)						
				Water	Cement	잔골재	굵은골재	급결제	강섬유	혼화재
8-Plain	45.7	8	67	210	460	1062	524	36.8 (알칼리 프리계 : 8%)	40 (Ø0.5×30mm)	-
10-Plain										
13-Plain										
8-SF8										
10-SF8										
13-SF8										
8-BF30										
10-BF30										
13-BF30										

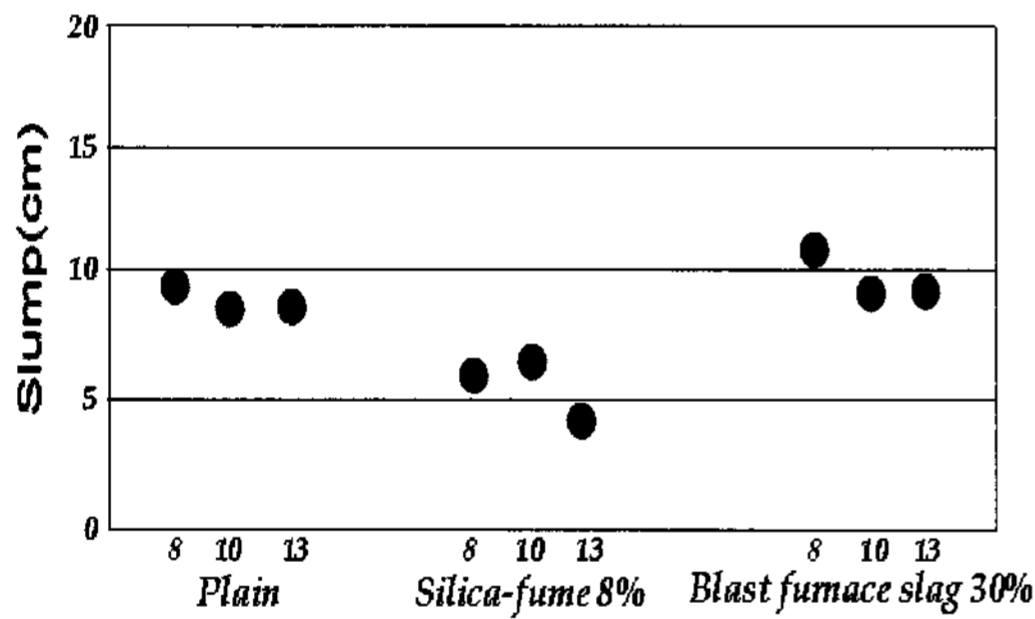
주1) W/B : 물 바인더(시멘트+혼화재)비, S/a : 잔골재율, G_{max} : 골재최대치수
SF8 : 실리카흙 치환율 8%, BF30 : 고로슬래그 치환율 30%

표 10. 골재최대치수 변화에 따른 압축강도/슬럼프/리바운드율 결과

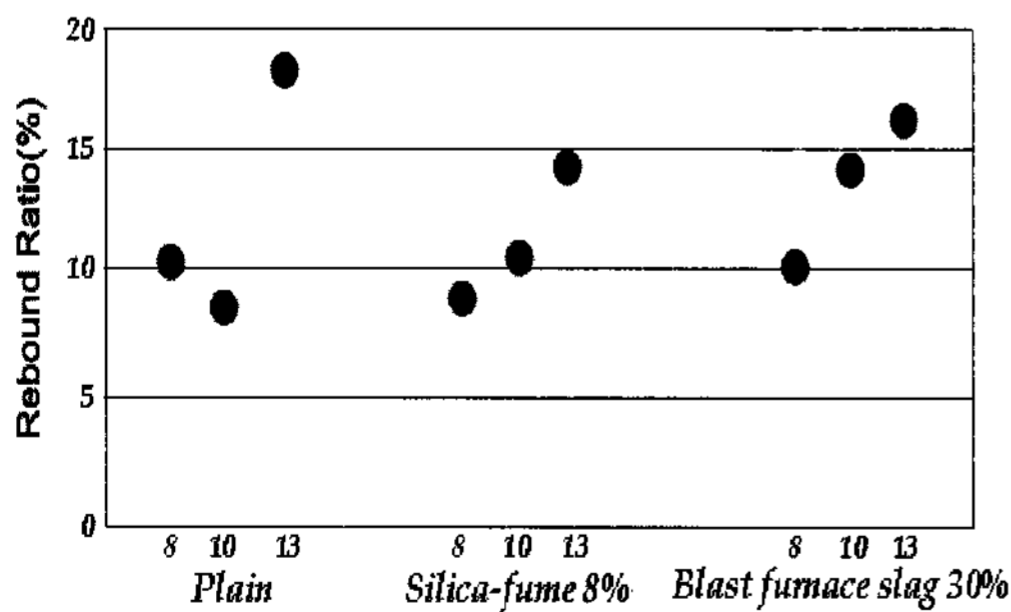
치환율	구 분	G _{max} (mm)	압축강도(MPa)	Slump(cm)	Time for shotting(min:sec)	Rebound	
						Amount(kg)	Ratio(%)
	8-Plain	8	16	9	2:40	23.4	10.3
	10-Plain	10	17.5	7	3:04	20.2	8.9
	13-Plain	13	19	6.8	3:24	39.7	17.6
	8-SF8	8	19.1	5.5	3:15	19.4	8.6
	10-SF8	10	18.8	6	2:45	24.1	10.6
	13-SF8	13	20.1	4.5	3:01	32.8	14.5
	8-BF30	8	19.7	11	3:02	22.6	10
	10-BF30	10	20.9	8.5	3:14	32.4	14.3
	13-BF30	13	18.5	8.3	3:27	37.2	16.5



(a) 압축강도 결과



(b) 슬럼프 결과



(c) 리바운드 결과

그림 12. 골재크기별 혼화재 종류에 따른 시험결과

이는 골재최대치수가 작을수록 리바운드 감소효과가 클 것으로 판단된다. 따라서 각 실험결과를 종합해보면 고로슬래그로 치환한 8mm 골재의 현장적용성을 증명

하는 계기가 되었으며, 골재최대치수를 8mm 적용 시 유동성 및 시공성 뿐만 아니라 경제성에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 12의 (a), (b), (c)는 각각 압축강도, 슬럼프 및 리바운드량 실험의 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

7. 결론

본 연구에서는 레디믹스트 슛크리트 개발을 위한 적정 골재최대치수를 제안하고자 굵은 골재 최대치수 및 품질에 따른 슛크리트의 역학적 특성을 실내실험과 현장실험을 통해 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 레디믹스트 슛크리트란 기존에 현장에서 배합되던 슛크리트의 고질적인 문제점들을 효과적으로 개선하기 위해 슛크리트 재료의 배합 및 제조를 건조 모르타르 제조 전문업체에서 사전에 미리 실시하여 골재의 철저한 토립분 관리, 확실한 입도관리, 전문 배합 장치를 이용한 엄격한 품질관리 및 재료의 규격화 등을 거쳐 시공 품질을 극대화 시킬 수 있게 제조되는 슛크리트 재료를 의미한다.
- (2) 현장설문조사 결과 슛크리트 품질에서 골재품질 및 입도의 중요성이 가장 높게 조사되었으며, 리바운드량 감소를 위한 골재의 고품질화가 절실한 것으로 나타났다. 또한 레디믹스트 슛크리트의 개발 필요성에 대해 조사한 결과 본 연구의 개발 필요성을 확인할 수 있었다.
- (3) 현장 슛크리트 골재의 품질관리 실태파악 결과 현장의 골재는 입도분포, 표면수 및 골재의 세척상태 등이 불량하여 슬럼프 및 유동성 저하, 리바운드량

증가와 슛크리트 품질저하 등의 문제점이 유발될 것으로 판단된다.

- (4) 실내실험을 통한 골재최대치수의 영향평가에서는 골재최대치수가 작아질수록 초기의 굳지 않은 콘크리트에서는 유동성 측면에서 점성이 증가하여 좋지 않은 결과를 보였으나, 골재 입자의 충전 효과로 인해 연행 공기량은 높게 나타났다.
- (5) 경화된 콘크리트에서는 골재최대치수가 작을수록 강도증진 및 동탄성계수 증가가 나타났다. 즉, 골재 최대치수 8mm인 경우가 10mm나 13mm의 경우보다 유동성과 시공성능 및 내구성적 측면에서 우수할 것으로 판단된다.
- (6) 현장실험 결과 실내실험을 통해 제안한 골재최대치수 8mm 골재를 실제 시공현장에 적용할 수 있는 8mm 골재의 현장적용성을 증명하는 계기가 되었으며, 골재최대치수를 8mm로 사용 시 유동성 및 시공성 뿐만 아니라 경제성에도 크게 기여할 것으로 판단된다. 하지만, 실내실험 및 현장실험의 결과가 약간 상이하게 나타난 것은 실제 열악한 현장조건이 기인된 것으로 판단되며, 향후 추가보완된 체계적인 실험을 통하여 더욱 정량적인 결과를 얻도록 수행할 예정이다.
- (7) 실내실험 및 현장실험에서 얻어진 결과와 더불어, 국내의 경우 슛크리트 품질개선을 위해 골재최대치수를 국외수준(10mm이하)으로 낮추려는 연구와 유럽의 경우 골재최대치수를 8mm로 사용하는 점을 감안할 때, 슛크리트 품질개선과 공장배합 후 운반 중의 재료분리 방지를 위해 본 연구에서 개발하고자 하는 레디믹스트 슛크리트의 적정 골재최대치수는 공장생산방식을 통해 정제된 8mm골재를 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. 건설교통부 (1999), 터널표준시방서.
2. 건설교통부 (2007), 터널설계기준.
3. 김덕현, 이상수, 송하영, 김을영 (2004), “굵은골재 최대치수별 굵은골재/잔골재 용적비에 따른 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구”, *한국건축시공학회 논문집*, 제4권 2호, pp.97-103.
4. 김기형, 최재진, 문한영 (1986), “레디믹스트 콘크리트의 공기량 손실에 관한 고찰”, *대한토목학회 학술발표회 개요집*, pp.37-42.
5. 마상준, 최재석, 김동민, 김재신 (2005), “고성능 슛크리트 적용 가능성 파악을 위한 슛크리트 품질특성 검토”, *한국터널공학회 학술발표회 논문집*, pp.131-1331.
6. 이양규, 전준태, 김종열 (2004), “NATM 터널의 건습식 Shotcrete 강도시험에 관한 연구”, *대한토목학회논문집*, 제24권 2호, 239~245.
7. 한국건설기술연구원 (2006), “스�크리트 장기 내구성 평가 및 제 기준 제정 연구”.
8. Austrian Concrete Society (1990), *Guideline on shotcrete*.
9. EFNARC (1996), *European Specification for Sprayed Concrete*.
10. Norwegian Tunneling Society & Norwegian Rock Mechanics Group (1999), *Sprayed Concrete for Rock Support-Technical Specification, Guideline and Test methods*.

(접수일자 2007. 10. 19, 심사완료일 2008. 3. 10)