

-shotcrete의 최근 기술 동향 Recently activity of shotcrete technology

문상조¹⁾, Sang-jo Moon, 김선홍²⁾, Seon-hong Kim

¹⁾ (주)유신코퍼레이션 전무 : Executive director, Yooshin Engineering co. P.E.

²⁾ (주)유신코퍼레이션 이사 : Director, Yooshin Engineering co. P.E.

1. 서언

국내에서 shotcrete는 NATM 개념에 의해 터널 굴착시 굴착면을 단시간내에 보강함으로써 원지반의 강도변화를 억제하고 원지반의 지지력 및 안정성을 활용하여 지반의 거동을 최소화시키는 1차적인 임시 보강 수단으로 적용되어 왔다. 하지만 근래에 와서는 습식(Wet mix) shotcrete 사용, 로봇장비, 첨가제, 격자지보(Lattice Girder), 강섬유 등의 적용으로 내구성 향상, 환경문제 개선, 임시 지보재의 시공시 확실한 요소 배제, 재료의 균질화 및 고품질화에 의한 Permanent Shotcrete Lining에 대한 관심이 높아지고 있으며 국내외적으로 이와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 내용은 국제터널공학회(International Tunnelling Association : ITA)의 Working Group 12(Shotcrete Use)에서 논의되고 있는 사항을 중심으로 국내외 터널에서 적용되고 있는 shotcrete의 동향을 정리한 사항이다.

2. shotcrete 발전의 국내외 동향

NATM 공법에서 shotcrete(Shotcrete, Sprayed Concrete)는 초기강도 확보를 위해 급결제를 사용하며, shotcrete 장비를 이용하여 굴착된 원지반에 뿌어 붙여짐으로써 지반의 이완을 방지하여 원지반의 강도를 유지하고, 콘크리트 아치로서 하중을 분담하는 기능을 수행한다. 국내의 shotcrete 기술은 NATM공법이 국내에 들어온 초기의 기술력을 아직 답습하고 있는 상태로 다량의 리바운드가 발생하고, 노즐맨의 경험이나 기량등에 의존하는 경우가 많아 비용절감 및 시공능률 향상을 위한 개선이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

선진외국에서는 시공성 및 경제성 확보, 환경개선을 목적으로 다양한 노력을 기울이고 있고 암반터널의 경우 shotcrete를 영구 지보개념으로 설계, 시공하는 사례가 점차 증가하고 있어 국내와 대비되는 사항이 많다. 표1은 국내외 shotcrete 발전동향을 대비하여 보여주고 있는 사항이다.

표1. Spray concrete의 발전

년도	국외 현황	국내 현황
1907년	· 1st shotcrete use in U.S	-
1970년대	· 1st steel fibers available	-
1980년대	· Wet mix spray 선호 · Robot spraying equipment available	· NATM 도입 · Dry mix spray 적용시작
1990년대	· Silica fume으로 Spraying performance 개선 · New alkali-free liquid accelerators available	· 90년대 후반부터 Wet mix spray, Lattice girder, Steel fibers 적용
2002년	· Wet mix process의 기술증진 - Spray concrete technology - Products, Equipment, Admixture · Permanent lining을 위한 연구 개발 지속	· shotcrete 강도 증진을 위한 연구 진행 · Still used as a temporary lining · No in-situ test

3. 각국의 슛크리트 품질관리 현황

표2는 ITA에 보고된 자료를 토대로 국내외의 슛크리트 품질관리 현황을 정리한 내용이다. 표2를 토대로 외국사례를 살펴보면 일본에서는 90년대 후반부터 고성능 슛크리트의 사용실적이 증가하고 있는 추세이며 배합비와 기준강도에 따라 슛크리트를 3등급을 분류하여 품질관리를 하고 있다. 스위스, 이태리에서는 강도증진 이외에도 재활용이 가능할 수 있도록 유독성 물질 제거 등을 위하여 슛크리트에 여러 가지 재료를 혼합하여 사용하고 있으며 긍정적인 성과를 거두고 있다. 국내의 경우는 고성능 슛크리트의 혼화제와 관련된 재료에 대한 연구가 진행중에 있다.

현장품질관리 시험의 경우 국외 대부분의 나라에서는 현장에서 타설된 슛크리트에 3hr, 24hr, 28일을 기준으로 Air Gun으로 Pin을 박고 핀의 삽입깊이와 제거시 소요압력 등으로 강도를 측정하고 있다. 국내에서는 몰드로 시험 시료를 만들어 실험실에서 1일, 28일 강도만을 측정하는 방법으로 품질관리를 수행하고 있다.

표2. 슛크리트 관련동향(ITA WG12 자료 참조)

구분	일본	이탈리아	스위스	국내
Temp. & permanent linings	• 철도,도로,환기구,서비스터널에 영구지보로 다수 적용	• 방수, Single shell, 보수 등의 목적으로 영구지보로 적용	• 철도터널, cavern에 영구지보로 다수 적용	• 임시지보 개념
Method of reinforcement	• Steel fiber, Resin fiber • 슛크리트 총생산량의 2.4% 정도 비율 (최근 10년간)	• 합성섬유, Metallic fiber • 슛크리트 총생산량의 30% 정도 비율	• Steel Fiber	• Steel Fiber • Steel Mesh
Method of application	• 현재 습식(99%) 공법 적용	• 현재 습식(98%) 공법 적용	• '90년 이후 습식(90%) 적용	• 습식 선호
Materials technology	• Silica fume, Lime stone powder 혼합 (리바운드, 분진의 최소화) • Fly ash(재활용 목적으로 적용) • 유동화제, 경화시간 조절제 첨가 • 분말상의 급결제 주로 사용 - 최근 Alkali-free 액상 급결제 사용	• 물유리계 급결제(95%) 주로 사용 • 특수시멘트로 고가의 Fly ash, Silica fume의 역할 대체 • Alkali-free 급결제 사용으로 리바운드량 축소(물이 많은 곳에 주로 사용) • 고성능 감수제에 의한 합수비 조절 및 유동성 유지	• 골재(0~8mm) • Silica fume과 AF급결제의 양을 조절 - AF급결제 소량 첨가될 경우 Silica fume의 양을 증가하여 소정의 강도 확보	• 규정상 합수비는 0.5%이하로 되어 있으나 그 이상으로 적용되는 사례가 있으며 감수제 및 가스제의 미첨가 • 물유리계 급결제를 주로 사용 - 급결제는 5%로 규정되어 있으나 심한 경우 20%까지 적용한 사례 있음
Codes and standards	• 배합비, 강도에 따라 분류 -Standard : 18MPa(28일) -High strength : 38MPa(28일) -Steel fiber reinforced : 38MPa(28일) -High quality shotcrete (SEC mixing system)	• 골재수분함량 6%이내 (dry mix) • 배합 및 작업온도 : 5~35°C • 골재는 시멘트 대비 6배 이하 (dry mix) • 시멘트 배합량 300kg/m ³ (wet mix)	• Silica fume • AF급결제 5~6% 이내 • 가스제 1.2% • 유동화제 1~1.5% • 압축강도 : 40MPa(28일) • 합수비 0.45이하	• 압축강도 10MPa(1일), 21MPa(28일) • 골재(15mm이하)
Quality control	• Compressive strength (현장 Pin penetration) • Flexural strength test	• Compressive strength (현장 Pin penetration) • Flexural strength test	• Compressive strength (현장 Pin penetration) • Flexural strength test	• Compressive strength (휨강도몰드로 시편제작) • Flexural strength test

4. Permanent Shotcrete Lining(PSL) 사례

ITA W/G 12에서 세계각국의 PSL 사례를 정리중에 있으며 현재(2002년초)까지 보고된 사례는 다음 표2와 같다. 표2에서 Permanent Lining으로 시공되는 사례는 cavern, 발전스터널, 수로터널 등이 주류를 이루고 있으나 철도, 도로터널 등에도 적용사례가 늘고 있는 추세를 알수 있다. 교통터널의 시공 사례를 발췌, 소개하면 다음 표3과 같다.

표2. 세계 각국의 Permanent Shotcrete Lining 시공사례

구분	적용시기	재료	강도(MPa)	적용사례
오스트리아	'62~'96	Plane s/c 내황산염 시멘트	30~69	발전소 : Water power plant Kaunertal/Tyrol (machine chamber) 도로 : Brandberg, Gstalda, Hallstadt
캐나다	'82~'97	Steel fiber	40	발전소 : Stave Falls British Columbia 철도 : Tumbler Ridge, Howe Sound : Rogers pass
체코	'85~'98	Steel mesh Steel fiber(carvern)	20	발전소 : Dlouhe strane('85~'87), 도로 : Bohuslavice, 철도 : Blansko 지하철 : Praha, 전력구 : Brno 배수터널 : Loket, 가스저장cavern : Pribram
독일	'82~'88	Steel fiber	-	지하철 : Bielefeld, Gelsenkirchen
일본	'85~'97	Steel fiber Vinyon fiber	18~57	도로 : Aninose, 철도 : Arima, Egeyama 수로터널 : Shinitukigawa, 환기 : Karisaka
노르웨이	'60~'2001	Steel fiber	35~45	도로터널(지상 및 해저) 적용
스위스	'72~'99	Plane s/c	35~55	철도 : Furka Base, 발전소 : Ferdern-Hohtenn, Cavern : Gran Sasso, 전력구
스웨덴	'91~'99	Steel fiber	35~40	도로 : Lundby, 지하철, 발전소, 철도
국내	'91~'2001	Steel fiber Steel Mesh	20	발전소(터널, cavern), 비축기지(cavern)

표3. 교통터널 Permanent Shotcrete Lining 적용사례

구분	국가	터널명	적용시기	강도
철도	캐나다	B.C Rail Tumbler Ridge B.C Rail Howe Sound C.P Rail Rogers pass	'82 ~ '88	40MPa(28일)
	스위스	Lopper, Furka Base, Grengiols	'77 ~ '87	36~45MPa
	일본	Arima, Egeyama	'95	36MPa(28일)
도로	체코	Bohuslavice	'95	20MPa
	일본	Aninose	'92	18MPa
	스웨덴	Lundby, Norra Lanken, Sodra Lanken	'91 ~ '98	35~40MPa
	오스트리아	Brandberg, Gstalda	'76 ~ '80	30~40MPa

6. 결론

국내에 NATM이 도입되어 지금까지 초기의 기준과 기술력으로 안정성을 강조하며 터널이 시공되어 왔으나 90년 중반부터 세계적인 추세에 발맞춰 국내에서도 터널 시공기술의 향상과 급속시공에 따른 경제성 확보 등에 대한 관심이 고조되어 업계와 학회에서는 기존의 콘크리트 라이닝을 대체할 수 있는 고성능 슛크리트의 개발, PCL공법 등에 대한 연구를 진행하고 그 성과들을 발표하고 있다. 그러나 아직 까지도 현장의 적용은 시공경험과 기술력의 부족으로 기존의 방식을 고수하고 있는 실정이다. 따라서 국내의 업계와 학회, 관련기관 등이 연계되어 추진 해야할 당면과제는 연구 개발과 병행하여 관련시방, 기준, 지침을 제정하여 국내에 활성화시킬 수 있는 제도 마련과 여건 조성이라고 판단된다.

참고문헌

1. Spray concrete proceeding 1996, 1999
2. John Brooks, "Shotcrete for ground support as used in the asia pacific region" 1999, Rapid Excavating and Tunneling Conference, Proceedings, pp 473~524,
3. ITA WG12 Activity Report