

강섬유 슛크리트의 설계 및 시공에 대한 문제점 및 개선방향에 대한 연구

A development of modification program for steel fiber reinforced shotcrete during design and construction stages

김상환¹⁾, sang-hwan kim, 윤승기²⁾, seung-ki youn

¹⁾ 호서대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hoseo University

²⁾ 호서대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hoseo University

SYNOPSIS : The quality control of tunnel support construction is very important to maintain a long term stability of tunnel. Especially, steel fiber reinforced shotcrete should be necessary to investigate practically the condition of quality control in the construction site. In order to perform this study, the design criteria and specifications relevant to steel fiber reinforced shotcrete are reviewed. And the comparison is made between the bearing capacity of the several shotcrete layers, based on the equivalence of the bending moments. Eight tunnel construction sites are also investigated carefully to examine and analyse the characteristics of steel fiber reinforced shotcrete especially including strength and mixing condition of steel fiber. Based on the results, it is founded the items to be improved in the future. In addition, the modification program for the specifications of steel fiber reinforced shotcrete is suggested.

Keyword : specification, tunnel support, steel fiber reinforced shotcrete, steel fiber mix

1. 서론

사회가 도시화 되어가고 빠른 발전을 이루면서 친환경적인 사회적 요구에 따라 터널이 중요하게 부각되어지고 있고 터널 건설이 증가하는 추세에 있다. 특히 우리나라는 전국토의 70%이상이 산악지형으로 생태계 보전차원에서 자연환경훼손을 최소화하고 신속한 물류망 구축을 위해 철도, 도로 등의 선형을 최단거리로 직선화하는 것이 바람직한 상황에서 환경훼손, 부지매입 등 많은 제약조건이 따르기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 터널의 건설은 적합하다고 할 수 있다. 현재 국내터널공법 중 주로 사용되는 NATM(New Austrian Tunneling Method)공법은 원지반의 강도를 유지하고 보강하는 수단으로 록볼트, 슛크리트, 강지보를 이용하여 암반굴착 직후 원지반의 지지능력을 최대한으로 활용하여 지반을 안정화시킴으로 터널의 안전성을 유지시키는 공법이다. 그 중에서 슛크리트는 시공기술의 발달로 굴곡이나 전단의 증강을 목적으로 강섬유보강 슛크리트로 발전하였지만 아직 국내에는 정확한 시방기준이나 이론이 확립되지 않은 상황으로 비경제적인 시공이 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존에 선행된 연구자료를 통해 강섬유 혼입량과 강섬유 슛크리트 두께 변화에 따른 선행 연구 결과를 분석하고 국내외 시방서 및 시공현장의 강섬유보강 슛크리트 시공 현황 자료를 분석하여 강섬유보강 슛크리트의 설계 및 시공상의 문제점과 개선방향에 관한 연구를 수행하였다.

2. 국내외 강섬유보강 슛크리트 시방 기준 비교 분석

국내외 슛크리트 관련기준은 상당히 광범위하게 다루어져 있으므로 국내외 시방서 및 설계기준에 수록된 강섬유보강스�크리트 관련 기준을 각 기준별 주요 특성치 별로 작성하여 분석하였다.

2.1 국내 강섬유보강 슛크리트 시방기준 비교

국내 다양한 시방기준에서 강섬유보강스�크리트 관련 기준에 대한 각 기준별 특성치를 표 1에서 요약 정리 하였다. 국내 시방기준 검토 결과 강섬유보강스�크리트의 품질 관리에 대한 다양한 방안이 제시되어 있었지만 한국철도시설공단의 시방기준에는 강섬유보강 슛크리트에 대한 휨강도 및 휨인성에 대한 기준이 없는 것으로 나타났으며 고속철도공사 전문시방서에도 적절한 기준이 없는 것으로 파악되었다. 그 외에도 건설교통부와 한국도로공사에서 제정한 도로설계편람 및 도로설계요령에서도 휨강도 및 휨인성에 대한 기준은 없는 것으로 파악되었다. 분석 결과 도로공사 표준시방서나 고속도로공사 전문시방서 외에는 휨강도 및 휨인성에 대한 기준이 마련되어 있지 않는 것으로 파악할 수 있었다. 또한 일부 시방 기준에서 강섬유 혼입량을 배합기준으로 $40\text{kg}/\text{cm}^3$ 을 적용하고 있으나 이는 시공시 강섬유의 리바운드율을 고려하지 않은 것으로 판단되어짐으로 배합기준 보다는 시공시 부착기준을 선정하여 강섬유 혼입량을 관리하고 강섬유의 직경, 혼입량, 휨강도 및 휨인성에 대한 보완이 국내시방기준에 필요한 것으로 판단되어진다.

표 1. 국내 강섬유보강 슛크리트 시방기준 비교

시방기준	기 관	강섬유					강섬유보강 슛크리트	
		인장강도 (MPa)	길이 l (mm)	직경 d (mm)	형상비(l/d)	혼입율	휨강도 (MPa)	등가휨강도 /휨강도(%)
철도공사전문시방서	한국철도 시설공단	700	30~40	0.3~0.6	40~80	용적비:0.5~1.5%	-	-
철도설계편람			40이하		40~60	용적비:1~2% 중량비:3~6%	-	-
고속철도공사전문시방서	한국고속철도 건설공단	700	30~40	-	60~80	40kg/m ³ 이상	-	68이상
도로설계편람	건설교통부	700	40이하	0.3~0.6	40~60	용적비:1~2% 중량비:3~6%	-	-
도로공사표준시방서		686	-	-	60~100	40kg/m ³ 이상	4.5	68이상
도로설계요령	한국도로공사	-	40이하	0.3~0.6	-	용적비:0.5~1.5%	-	-
고속도로공사전문시방서		686	-	-	60이상	40kg/m ³ 이상	4.4	68이상

2.2 국외 슛크리트 시방기준

국외의 슛크리트 품질기준을 국내의 기준과 비교하면 선진국에서는 국내에 비해서 고강도의 슛크리트 기준을 표 2와 같이 적용하고 있다. 특히 노르웨이에서는 슛크리트의 영구지보재화를 위해 압축강도 기준이 1980년대에 25MPa에서 45MPa로 조정었으며, 유럽통합기준에서도 휨강도와 휨인성은 빔시험에서 얻어지는 잔류강도등급이나 평판시험에서 결정되는 에너지 흡수등급으로 규정되고 있다. 그 외에도 슛크리트의 접착강도가 적용되는데 투수계수, 동결융해저항성, 밀도, 화학적 저항성과 같은 내구성 관련 지표에 대한 기준을 제시하고 있다. 하지만 국내에서는 초기재령과 장기내구성과의 관련된 기준과 시험 방법이 정립되어 있지 않고 있는 실정에 있으나 유럽통합기준 및 일본에서는 압축강도이외에도 초기재령에서 장기재령까지 슛크리트의 역학적 특성과 내구성 지표에 대한 기준 및 시험방법을 제시함으로써 품질을 규정하고 있는 실정이다.

표 2. 국외의 슛크리트의 압축강도 요구량

Age of Shotcrete	Compressive strength	Reference Source
8 hours	5	Wood
1 day	5	Japan Tunnelling Assoc
	7	Austria
	8*	AFTES(1992), Great Britain
	9	Austria
	10	EFNARC(1992)
3 day	20	Wood(1992)
7 day	17*	AFTES(1992)
	25	EFNARC(1992)
	30	Morgan(1991), Wood(1992)
28 day	18	Japan tunnelling Assoc.(1991)
	25**	AFTES(1992)
	30	JCI(1991),EFNARC(1992)
	35	Great Britain, Stockholm city streets and Traffic Admin.(1990)
	35***	Maidl(1992)
	38	Austria(JI 기준)
	40*	Maidl(1992)
	40	Austria, Morgan(1991)
	45	Swedish Railroad Dept.(1991)
	35	EFNARC(1992)

*Arithmetic mean, **Characteristic strength, ***Single value, JCI: Japan Concrete Institute
EFNARC: European Specification for Sprayed Concrete, AFTES: French Tunnelling Association

2.2.1 유럽통합기준(EFNARC)

EFNARC의 경우, 강섬유보강 슛크리트의 휨인성에 대해서 보(beam)시험에 의한 잔류강도등급과 플레이트 시험에 의한 에너지 흡수등급으로 구분하여 규정하고 있다. 잔류강도 등급을 평가하기 위한 시험편의 제작은 슛크리트 타설 패널로부터 그림1의 (b)에서 도시한 것처럼 75X125X600mm 크기의 보로 절단한다. 설계자가 요구할 경우 보의 상부가 인장면이 될 수 있도록 표시하여 시험 전까지 수중양생을 실시한 후 시험한 후에 응력-변위 곡선의 모양에 따라 그림 1의 (a)와 같이 5가지 잔류강도 등급으로 분류하여 강섬유 보강 슛크리트의 휨인성평가를 규정함으로 표 3과 같이 사용한다.

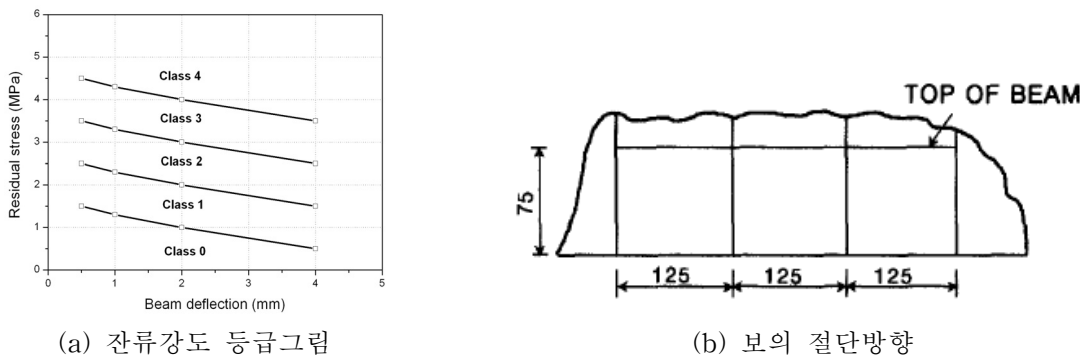


그림 1. 유럽형 강섬유 보강 등급분류

표 3. 강섬유보강 슛크리트(SFRS)의 잔류강도 등급

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

2.2.2 ASTM 기준

ASTM의 주된 판단규정은 콘크리트의 일차 균열이 발생할 때까지의 탄성에너지와 강섬유를 혼입함으로써 증가된 소성에너지의 비(Toughness indices)를 산출하는 것이다. 그 결과 인성지수를 이용하여 일정구간까지의 잔류강도 계수를 산정하는데 전체적인 SFRS의 품질을 평가하는 방법으로서 초기균열과 인성지수, 잔류강도계수를 산정하여 계산을 표 4와 같이 4단계로 분류된 performance level에 적용한다. 표 5은 ASTM C1018에 의해 산정된 인성지수와 잔류강도계수를 사용하여 1985년 Morgan이 제안한 국제터널협회(ITA)의 SFRS의 등급표이다.

표 4. 강섬유보강 콘크리트 및 슛크리트 Performance Level 시방기준

Performance Level	Is		I10	
	Specified Value	Test Result	Specified Value	Test Result
I	2.7	3.0	5.4	6.0
II	3.6	4.0	7.2	8.0
III	4.5	5.0	9.0	10.0
IV	5.4	6.0	10.8	12.0

표 5. Morgan의 SFRS 등급표

항목	등급	I10	I30	R30/10
I	Marginal	<4	<12	<40
II	Fair	4	12	40
III	Good	6	18	60
IV	Excellent	8	24	80

2.2.3 일본토목학회(JSCE) 기준

강섬유보강 슛크리트의 품질관리 규정 중 일본의 JSCE-SF4에 의거한 등가휨강도(f_e)개념으로서 등가휨강도(f_e)는 강섬유보강 슛크리트의 휨인성과 관계되는 값으로 최대하중에 도달한 후 일정한 변위까지의 평균 강도개념이다.

(1) 등가휨강도의 계산 방법

휨강도(σ_t)는 3등분점 굴곡시험에서 얻은 최대하중으로부터 식(1)에 의해 계산된다.

$$\sigma = \frac{P_u l}{bh^2} \quad (1)$$

P_u = 최대하중, l = 시험편의 지간길이, b = 시험편의 폭, h = 높이

등가휨강도는 3등분점 굴곡시험에서 얻은 하중-변위 곡선으로부터 규정 변위 $\delta_{tb} = l/150$ 까지의 변형에너지를 기초로 하여 식(2)에 의해 계산된다.

$$f_e = \frac{T_b}{\delta_{tb}} \cdot \frac{l}{bh^2} \quad (2)$$

T_b = 규정 변위까지의 휨인성, δ_{tb} =규정변위, l = 시험편의 지간 길이, b = 시험편의 폭, h : 높이

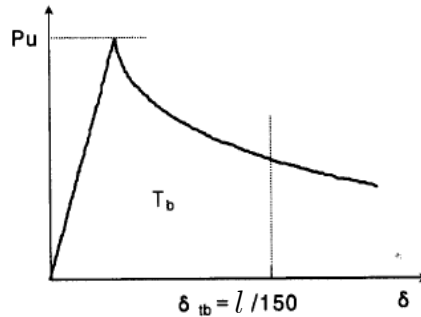


그림 2. 휨인성 시험에 의한 하중-변위 곡선

표 6. 설계기준 휨강도 및 등가휨강도(콘크리트표준시방서(시공편))

설계기준 휨강도	등가휨강도
5.5N / m m ² 이상	3.5N / m m ² 이상
7.0N / m m ² 이상	5.5N / m m ² 이상
9.0N / m m ² 이상	7.0N / m m ² 이상

2.3 국내외 시방기준 분석

국내 시방기준을 검토한 결과, 강섬유보강 슛크리트의 품질을 관리하기 위한 다양한 방안이 제시되고 있으나, 대부분의 시방기준이 강섬유보강 슛크리트의 인성(Toughness)을 관리하는 시방기준을 규정하고 있지 않은 것으로 나타났으며, 일부 시방기준에서는 강섬유보강 슛크리트 시공시 강섬유 혼입량을 배합기준으로 40kg/m³을 적용하고 있는 것으로 나타났는데, 강섬유보강 슛크리트 시공시 강섬유의 리바운드율이 일반적으로 35~65%인 점을 감안하면, 배합기준보다 시공시 부착기준을 선정함에 따라 슛크리트의 혼입량을 관리하는 것이 타당하며 강섬유보강 슛크리트의 인성 관리방안 및 타설된 강섬유의 부착기준 수립으로 시공시 강섬유보강 슛크리트의 품질관리가 필요한 것으로 나타났다.

국외 시방기준으로서는 일본, 유럽, 미국 등이 다양한 강섬유보강 슛크리트 인성(Toughness) 관리방안을 마련하여 적용하고 있는 실정에 있다. ACI 544, ASTM 1018은 인성지수와 잔류강도계수를 적용하고 있으며, EFNARC은 에너지 흡수등급 및 잔류강도등급을 적용하고 있다, JSCE은 등가휨강도를 적용하여 타설된 강섬유보강 슛크리트의 인성을 관리하고 있는 실정이다. 이 중에서 ASTM과 EFNARC의 관리방법은 국내 시방기준과의 연관성 및 적용성 등을 고려할 경우 국내 적용이 어렵지만, JSCE에서 휨인성 평가를 위해 적용하고 있는 등가휨강도는 이미 국내에서도 적용되고 있으며 KCI-SF-104(“강섬유보강 콘크리트의 휨강도 및 휨인성 시험방법)등이 국내에 규정되어 있어 국내 적용이 가능 할 것으로 판단된다.

3. 휨모멘트를 기초로 하는 설계방법에 대한 비교 분석

터널지보에 NATM개념이 적용되면서 과거의 수동적 지보개념이 능동적인 지보개념으로 전환되었다.

능동적인 지보를 위해 록볼트와 숏크리트를 적절히 사용하는 공법들이 사용되고 있지만 숏크리트는 일반 콘크리트와 마찬가지로 재료의 특성상 균열의 전파에 대한 저항이나 인장력 등이 약한 취성적 성질을 보이므로 지보재로서 충분한 성능을 발휘하기 위해서는 이러한 콘크리트의 단점들을 보완할 수 있는 보강재로서 와이어 메쉬나 강섬유 등의 사용이 불가피하다. 콘크리트 보강을 위해 초기에 적용된 방법은 와이어메쉬를 사용한 보강방법이지만 와이어 메쉬 보강을 사용할 때 설치에 많은 비용과 시간이 요구되며, 암석표면의 불규칙성은 숏크리트의 타설을 어렵게 만든다. 또한 보강재가 라이닝의 휨모멘트를 균등하게 분산시킬 확률은 매우 적다. 그러나 강섬유 보강재를 사용함으로써 와이어메쉬 보강에 대한 대부분의 문제점은 해소될 수 있으므로 일반 숏크리트, 1메쉬 숏크리트, 2메쉬 숏크리트와 강섬유 숏크리트를 휨모멘트를 기초로 각종 보강숏크리트의 설계를 비교 분석하였다.

(1) 일반 숏크리트 설계

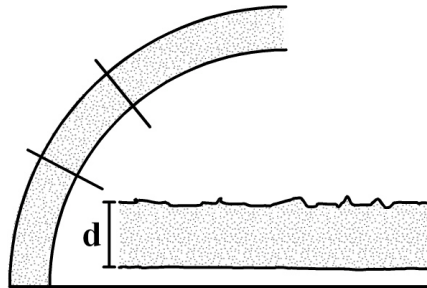


그림 3. Design of plain shotcrete layer

$$M_p = \frac{f_u}{s} \cdot b \cdot \frac{d^2}{6} \quad (3)$$

M_p = bending moment(Nm/m), f_u = plain shotcrete flexural strength(N/mm²),
 s = safety factor, b = width of loaded area(mm), d = total shotcrete layer thickness(mm)

(2) 1메쉬 보강숏크리트 설계

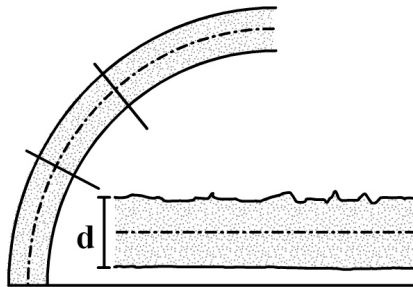


그림 4. Design of the 1 mesh reinforced layer

$$M_{m.u} = 0.9 \cdot \frac{d}{2} \cdot A_s \cdot \sigma_{s.u} \quad (4)$$

$M_{m.u}$ = ultimate bending moment(Nm/m), d = total layer thickness(mm),
 A_s = steel wire mesh cross section(mm²/m), $\sigma_{s.u}$ = ultimate tensile strength of mesh steel wires(N/mm²)

(3) 2메쉬 보강슛크리트 설계

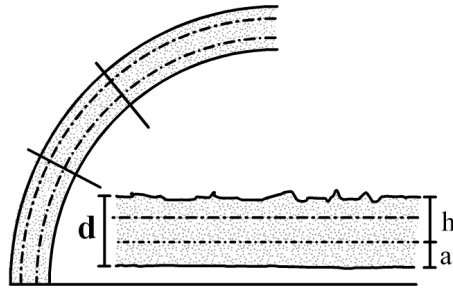


그림 5. Design of the 2 mesh reinforced layer

$$M_{2m.u} = 0.9 \cdot h \cdot A_s \cdot \sigma_{s.u} \quad (5)$$

$M_{2m.u}$ = ultimate bending moment(Nm/m), $h= d-a$ (mm), d = shotcrete layer thickness(mm),
 a = shotcrete cover of wire mesh(mm), A_s = steel wire mesh cross section(mm^2/m),
 $\sigma_{s.u}$ = ultimate tensile strength of steel mesh wire(N/mm^2)

(4) 강섬유 보강슛크리트 설계

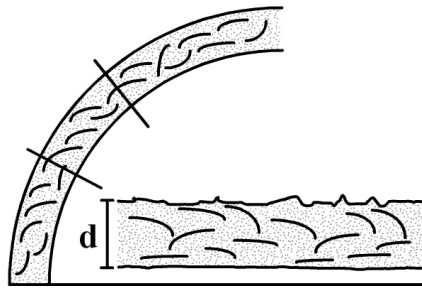


그림 6. Design of steel fibr reinforced shotcrete layer

$$M_{D,p} = f_e \cdot b \cdot \frac{d^2}{6} \quad (6)$$

$M_{D,P} = M_p$ = bending moment(Nm/m), f_e = equivalent flexural strength of Dramix shotcrete(N/mm^2),
 b =width of loaded area(mm), d = total layer thickness(mm)

강섬유보강 슛크리트의 경우 일반 슛크리트와는 달리 하중의 전달이 강섬유에 의하여 균열에 의존하지 않고 고루 분포되어 균열의 발생 시에도 인장 변형량 및 인장면에서 중립축까지의 거리가 증가되며 균열을 통해 부담되는 변형과 응력사이의 관계가 소멸될 때까지 인장변형은 압축변형보다 크게 증가한다. 강섬유의 혼입은 인장강도의 강화뿐만 아니라, 인장응력분포의 면적이 증가하고, 또 중립축이 위로 이동함에 따라 재료의 휨강도를 증대시킬 수 있는데 메쉬보강 슛크리트 설계의 경우 와이어 메쉬의 위치가 불규칙하기 때문에 본 평가에서는 슛크리트 층의 중간에 위치한 것으로 가정하고 강섬유보강 슛크리트 설계의 경우 현실적으로 직접 인장강도는 구하기가 어렵기 때문에, 설계를 단순화하고 수치적으로 평가하기 위해 슛크리트를 균질한 물체로 간주하여 계산하였다. 따라서 제하면의 넓이는 동일하고 등가 휨강도 f_e 는 도로공사 규정에 의거하여 설계휨강도의 68%라고 가정하였는데 이와 같은 메쉬보강 슛크리트 설계를 대체하여 강섬유보강 슛크리트 설계를 사용하기 위해서는 기존 설계된 메쉬보강 슛크리트의

휨모멘트에 상응하는 강섬유보강 슛크리트의 적정 설계가 선행되어야 함으로서 위의 방법에 의해 비교 분석한 결과 기존의 동일한 극한 모멘트를 발현하기 위한 슛크리트층의 두께가 일반 슛크리트, 1메쉬보강 슛크리트와 2메쉬보강 슛크리트에 비해 강섬유보강 슛크리트를 적용할 경우 슛크리트층의 두께가 현저히 감소됨을 알 수 있었고 슛크리트 타설량을 감소시킬 수 있었기 때문에 경제적인 측면에서도 강섬유보강 슛크리트가 적합하다고 판단되어 진다.

4. 강섬유보강 슛크리트 시공 현황 분석

시방서 기준의 현장 적용성을 분석하기 위하여 강섬유보강 슛크리트의 타설에 대한 시공현황 및 강섬유 혼입량에 대한 자료 조사를 실시함으로써 선행 연구자료를 통해 강섬유 보강 슛크리트의 국내 현장 타설 시공현황의 문제점을 분석하였다.

4.1 강섬유 혼입량 분석

강섬유보강 슛크리트는 록볼트와 함께 굴착중인 터널의 안정성뿐만 아니라 시공완료 후의 터널 안정성을 확보해주는 주지보재 역할을 하는데 강섬유보강 슛크리트의 품질이 터널 안정성에 직접적인 영향을 미치게 된다. 이러한 강섬유보강 슛크리트의 품질을 확보하기 위해 강섬유의 함유량 기준을 정하여 품질관리를 실시하고 있지만, 대부분의 현장에서 이러한 기준이 제대로 지켜지지 않고 있다. 손영현(1997), 백신원(1996)등의 연구에 의하면 슛크리트에 있어서 강섬유 혼입률이 0.5~0.75%에서 연성, 휨강도와 후균열저항성의 최대효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났으며 인성 및 연성이 증가된 강섬유보강 슛크리트는 지반변형을 효율적으로 저항할 수 있는 것으로 연구되었는데 이승호(2006)등은 연구결과에 유럽통합기준(EFNARC) 시험체 조건으로 잔류강도등급에 적용한 결과 혼입량이 $10\text{kg}/\text{m}^3$ 과 $20\text{kg}/\text{m}^3$ 인 경우 일부 시험결과가 그림 1에 보여지는 유럽통합기준의 class 0에 해당되었고, $30\text{kg}/\text{m}^3$ 인 경우에는 대부분의 시험결과가 그림 1에서 Class 2 이상으로 나온 것으로 보아 유럽통합기준에 의한 잔류강도등급 기준을 적용할 경우 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 이상의 강섬유 혼입량을 확보해야 하는 것으로 분석하였다. 선행연구결과를 바탕으로 강섬유 혼입률 적용에 대한 현장 적용 실태를 알아보기 위하여 국내의 대상터널 8곳의 평균 혼입량을 조사해본 결과 표 6에서 $8.7\text{kg}/\text{m}^3 \sim 29.7\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 큰 편차를 보였으며 배합설계기준 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 에도 크게 미치지 못하는 것으로 분석되었으므로 국내 배합설계기준 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 에 의한 설계기준은 적용되지 않은 것으로 판단되며 강섬유 리바운드등을 현장에서 반영하지 못한 것으로 부착기준을 선정하여 관리해야 하는 것으로 나타났으며 강섬유 혼입율이 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 이상이면 유럽통합기준의 잔류강도등급에 의한 휨인성도 확보가 가능한 것으로 판단된다.

표 7. 강섬유 혼입량

터널명	강섬유 혼입량 시험결과(kg/m ³)		
	최대	최소	평균
터널 1	30.0	18.0	18.0
터널 2	23.2	15.6	19.6
터널 3	19.3	18.0	18.5
터널 4	33.3	14.7	25.2
터널 5	33.2	19.6	26.0
터널 6	9.2	8.3	8.7
터널 7	32.9	12.8	23.7
터널 8	33.3	24.6	29.7

4.2 강섬유보강 슛크리트 현황 분석

터널 시공시 강섬유보강 슛크리트의 두께와 강섬유 혼입률에 관한 연구는 장수호(2006)등에 의해 선행 연구되었다. 기존의 연구에 의하면 강섬유 혼입률이 $10\text{kg}/\text{m}^3$, $20\text{kg}/\text{m}^3$ 경우에 원설계 대비 소요 슛크리트 두께 증가율은 50%, 25%이며, $30\text{kg}/\text{m}^3$ 이상이면 슛크리트 두께증가를 고려하지 않아도 된다는 연구 결과에 따라 현장에서 강섬유 혼입량을 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 이상으로 관리하는 것이 적절하다고 판단된다. 또한 강섬유보강 슛크리트 현장 시공 상태를 조사하기 위해서 대상터널 8곳의 강섬유보강스�크리트 시공두께를 조사하였는데, 그 결과 그림 7에서와 같이 모든 대상터널 8곳의 시공두께는 설계두께를 초과하여 타설시공 된 것으로 조사되었다. 이는 설계두께를 초과하는 슛크리트 타설시공으로 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단되나 표 7과 같이 강섬유 혼입량의 부족으로 강섬유보강 슛크리트의 휨인성 및 잔류강도 감소로 인해 발생할 수 있는 터널의 장기적인 안정성 문제에 대해 고려해야한다. 또한 강섬유 혼입량을 일부 지방기준에도 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 이상의 강섬유 혼입량에 대해 관리하여 슛크리트 두께를 최소화해야 경제적이고 안정적인 터널시공을 할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 일정한 강섬유 혼입량을 유지할 수 있는 부착기준 및 더 많은 강섬유보강 슛크리트에 대한 연구가 필요한 실정이다.

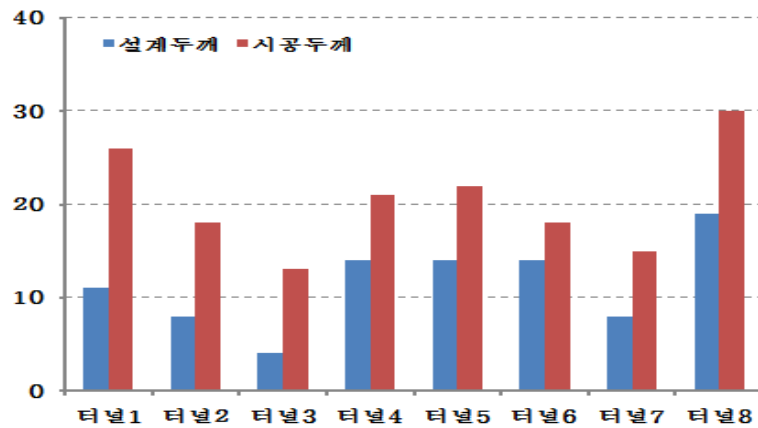


그림 7. 설계두께 및 시공두께 비교

5. 결론

본 연구는 국내외의 지방기준 및 설계기준을 비교분석하고 시공되었던 강섬유 보강 슛크리트의 강섬유 혼입량과 설계시 강섬유보강 슛크리트의 두께에 대해 분석함으로써 국내 강섬유보강 슛크리트에 적용현황에 대한 문제점을 분석하고 개선방향을 연구하였다

1) 유럽, 미국, 일본 등은 강섬유보강 슛크리트의 휨인성에 대한 기준을 두고 관리하고 있는 상황이지만 국내 지방기준에서는 강섬유보강 슛크리트의 인성을 관리하는 지방기준을 규정하고 있지 않은 것으로 분석되었으며 외국의 기준을 국내 실정에 적용할 경우 일본의 등가휨강도에 의한 평가법이 국내에 적용이 가능할 것으로 분석되었다.

2) 대상터널 8곳의 강섬유 혼입량을 조사해본 결과 평균적으로 $8.7\text{kg}/\text{m}^3 \sim 29.7\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 큰 편차를 보였으며 배합설계기준 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 에도 크게 미치지 못하는 것으로 분석되었지만 선행연구 자료를 통해 강섬유 혼입량이 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 일 때는 슛크리트 두께에 대해서 휨인성과 유럽통합기준 잔류강도등급을 적용할 수 있을 것으로 판단되어 진다.

3) 대상터널 8곳의 강섬유보강 슛크리트 설계두께 및 시공두께를 조사해본 결과 모든 대상현장에서 시공두께는 설계두께를 초과하여 타설시공 된 것으로 조사되었다. 설계두께를 초과하는 강섬유보강 슛크리트 시공두께는 안정성에는 문제가 없겠지만 경제성이 많이 떨어진다는 단점을 가지고 있으므로 시공기술개발 및 시방기준 수립을 위한 연구가 필요한 실정이다.

4) 휨모멘트를 기초로 각종 보강 슛크리트에 대한 설계를 분석한 결과 기존의 동일한 극한 모멘트를 발현하기 위한 슛크리트층의 두께가 일반 슛크리트 및 1메쉬보강 슛크리트와 2메쉬보강 슛크리트에 비해서 강섬유보강 슛크리트를 적용할 경우 현저히 두께가 감소됨을 알 수 있었으므로 경제적인 측면에서도 강섬유보강 슛크리트가 적합하다고 판단되어 진다.

감사의 글

본 연구는 “신개념 고성능 터널지보 시스템 이론 및 지보재료 개발에 대한 연구”(과제번호 : R01-2008-000-11783-0) 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 대한토목학회(2006), 철도터널 슛크리트 라이닝 품질개선 방안 연구 및 실태조사 보고서
2. 한국철도시설공단(2004), 철도설계편람
3. 한국철도시설공단(2004), 철도공사 전문시방서
4. 한국고속철도건설공사(2003), 건설공단, 고속철도공사 전문시방서
5. 건설교통부(1999), 도로설계편람
6. 한국도로공사(1992), 도로설계요령
7. 건설교통부(2003), 도로공사 표준시방서
8. 한국도로공사(2004), 고속도로공사 전문시방서
9. 백신원, 김동백(1996), "강섬유보강 슛크리트에 관한 실험적 연구", **대한토목학회 논문집**, 제 16권, 제 1-3호, pp217~226
10. 이승호, 김상환, 배규진, 정형식(2006), "터널 굴착시 강섬유 슛크리트의 적정 강섬유 함유량에 관한 연구", **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, pp1557~1560
11. 장수호, 이승호, 배규진, 정형식(2006)리 "터널 시공시 강섬유 슛크리트 두께 변화에 따른 강도 증대 효과에 관한 연구", **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, pp534~537
12. 손영현, 박우진(1998), "강섬유보강 슛크리트의 역학적 특성 및 경제성 평가", **한국안전학회지**, 제 13권, 제 2호, pp122~129