

소구경 터널에 사용되는 SHOT PATCH용 레미탈의 특성

Properties of the SHOT PATCH Remitar a Wet System for Small Bore Tunnels

정민철* 전용희** 정종익*** 박길수****
Jung, Min Chul Jeon, Yong Hee Chung, Jong Ick Park, Gil Su

ABSTRACT

The SHOT PATCH System Remitar is a mortar shotcreting system which uses fairly small machine and equipment, and is applied for shotcrete tunnel linings, in particular for small bore tunnels of aqueducts by the TBM(Tunnel Boring Machine)method, and for repairing tunnels suffering from spring water and deterioration.

This study shows the characteristics of the new mortar shotcreting system, the SHOT PATCH System Remitar, which exhibits excellent shotcrete performance.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근들어 고속도로, 고속철도, 지하철 등의 건설이 급격히 증가함에 따라 터널 시공이 증대되고 있다. 이런 터널공사는 주로 NATM(New Austrian Tunnel Method) 공법으로 터널 공사를 하고있으나 최근에는 터널 굴착 속도 및 작업안정성을 최우선으로 하는 TBM(Tunnel Boring Machine) 장비에 의해 시공되고 있다. 현재 소구경 터널 공사는 TBM 장비로 1차 굴착후 굴착면의 보강작업을 한 뒤 2차로 NATM 공법에 의한 터널 공사로 마무리를 하는 방법을 채택하고 있다. 한편 국내에서 터널 굴착 작업은 NATM 공법에 의한 Shotcrete 작업으로 대부분 이루어지고 있으나 건식공법에 의한 시공으로 높은 리바운드율(약 30~40%)과 많은 분진으로 열악한 작업 환경속에서 시공되고 있다. 이에 본 연구에서 개발된 SHOT PATCH용 레미탈은 이러한 단점들을 극복키 위해 TBM 장비로 시공되는 현장에 주로 사용되는 재료로 낮은 리바운드율(약5~10%)과 적은 분진 등으로 적은 재료 손실과 양호한 작업

*정희원. 한일시멘트 중앙연구소 선임연구원

**한일시멘트 중앙연구소 주임연구원

***한일시멘트 중앙연구소 연구원

****한일시멘트 중앙연구소 연구원

환경에 기여할 수 있는 연약 지반 보강 재료이다.

본 연구는 한일시멘트 중앙연구소에서 개발되어 중앙고속도로 죽령터널에 실제 타설된 재료로서, 재료에 대한 물리적 특성으로 압축강도, 휨강도, 리바운드율 등을 제시하였다.

1.2 이론적 배경

SHOT PATCH용 레미탈에 있어 가장 중요한 특성을 부여하는 재료로 액상급결체의 특성 및 급결 메카니즘^{1),2)}은 다음과 같다. 즉, 본 연구에서 사용한 액상급결체로는 알루미늄이트계의 무기질 화합물 (NaAlO₂계)이고, 급결 메카니즘으로 NaAlO₂는 물과 접촉하면 빠르게 Al(OH)₃, Na(OH)로 가수 분해하여 Al(OH)₃는 시멘트 가수시 생성되는 Ca(OH)₂와 다음과 같이 화학반응하여 Al(OH)₃ + Ca(OH)₂ → 3CaO · Al₂O₃ · 6H₂O를 생성하여 시멘트를 급결시키는 메카니즘이다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

(1) 시멘트

시멘트는 비표면적이 3591 cm²/g 인 H사 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표1과 같다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

시료명	항목								비중
	화학성분(%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	MgO	Ig.loss	Total	
보통포틀랜드 시멘트	20.94	5.11	3.27	2.27	63.65	2.12	1.22	98.58	3.15

(2) 모래

잔골재는 낙동강산 강모래와 목포산 해사를 사용하였으며, 물리적 성질은 표2와 같다.

표 2 잔골재의 물리적 성질

비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M.)	유기불순물	점토덩어리(%)	염화물 (%)
2.56	1.24	2.52	표준색보다 연합	-	0.001

(3) 급결향상제

급결향상제는 초미분의 고기능성 비정질실리카를 사용하였으며, 비중은 2.9, 분말도는 8000cm²/g의 물리적 특성을 가진다.

(4) 고성능 감수제

고성능 감수제는 나프탈렌계를 사용하였다.

(5) 부착 향상제

부착향상제로는 hydroxyethyl cellulose 계를 사용하였고, 물리적 특성으로는 점도(20℃, 1% solution)는 2,550±450mPas, 외관은 white powder를 사용하였다.

(6) 액상 급결제

액상급결제는 알루미늄에이트계 무기염으로 비중 1.45±0.01 및 pH 13.1를 사용하였다.

2.2 배합

SHOT PATCH용 레미탈의 배합조건은 급결향상제(C × 0%, × 6%, ×12%), Flow(210mm, 230mm, 250mm)을 변화시켜 배합하였다. 레미탈의 배합을 표3에 나타낸다.

표 3 레미탈의 배합(단위:kg/m³)

Flow (mm)	치환율 (%)	W	C	Sand	급결향상제
210	0	319	665	1064	0
	6	299	625		40
	12	279	585		80
230	0	333	665	1064	0
	6	313	625		40
	12	293	585		80
250	0	346	665	1064	0
	6	326	625		40
	12	306	585		80

3. 시험결과

3.1 압축강도, 휨강도 및 리바운드율

시험제작한 레미탈의 강도는 JIS R 5201에 의거하여 1일, 3일, 7일, 28일 강도에서 표준적인 방법으로 측정하였으며, 그결과를 표4에 나타내었다.

급결향상제를 사용한 레미탈의 압축강도는 무첨가에 비하여 재령 경과에 따라 증가폭이 컸으며, Flow 와 압축강도는 반비례 하였다.

휨강도는 압축강도와 동일한 경향으로 나타났으며, Flow 증가에 따른 리바운드율은 높은 것으로 나타났다.

표 4 시험체별 압축강도, 휨강도 및 리바운드율 측정결과

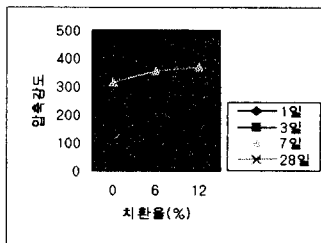
Flow (mm)	치환율 (%)	압축강도(kg ¹ /cm ²)				휨강도(kg ¹ /cm ²)				리바운드율 (%)	
		1일	3일	7일	28일	1일	3일	7일	28일		
210	0	130	221	313	386	31	40	52	60	측벽부	5
										천정부	10
	6	171	250	355	431	37	50	61	75	-	-
	12	166	262	370	465	43	54	66	79	측벽부	4
230	0	128	210	302	375	28	36	48	56	측벽부	4
										천정부	7
	6	156	231	335	398	32	48	56	69	-	-
	12	160	250	347	435	38	53	64	73	측벽부	2
250	0	119	201	268	341	25	33	45	52	측벽부	6
										천정부	10
	6	145	220	319	385	30	43	52	60	-	-
	12	150	251	330	391	32	49	58	64	측벽부	4
										천정부	8

4. 결과의 고찰

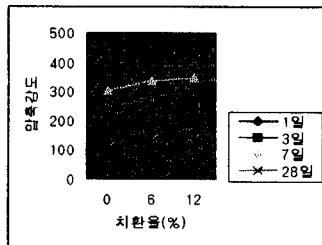
4.1 급결항상제와 강도와의 관계

급결항상제의 치환율에 따른 강도의 변화는 그림1, 그림2에 나타난 바와 같이 급결항상제의 치환율과 강도는 비례하는 것으로 나타났으나 Flow가 증가함에 따라 강도감소폭선이 완만하게 떨어지고 있는 경향을 보이고 있다.

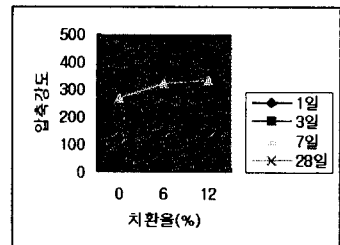
급결항상제의 치환율이 0%에서 12%로 점차 증가함에 따라 사용수량 감소 및 강도의 상승을 보이는 것은 고미분의 급결항상제가 시멘트와 혼입시 시멘트의 입자 사이에 생긴 공극을 메꾸면서 흐름성을 좋게하여 사용수량을 감소시키며, 강도 상승 요인은 액상급결제의 알카리와의 반응으로 수화 활성이 높아져 급결현상이 일어나고, 재령 경과에 따른 내구성 증진 및 치밀한 구조체 형성으로 강도를 증진 시킨다.



(Flow : 210mm)

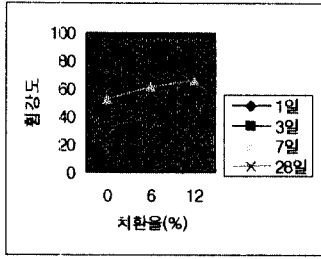


(Flow : 230mm)

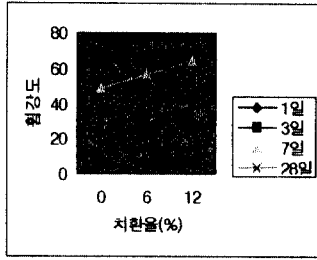


(Flow : 250mm)

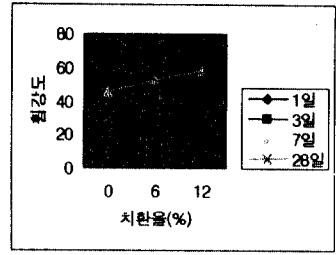
그림 1 치환율에 따른 재령별 압축강도



(Flow :210mm)



(Flow : 230mm)



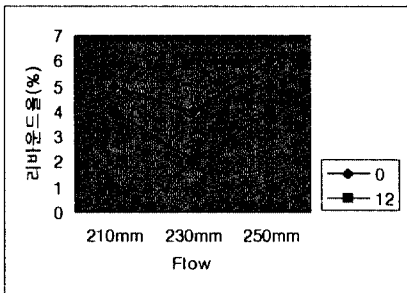
(Flow : 250mm)

그림 2 치환율에 따른 재령별 힘강도

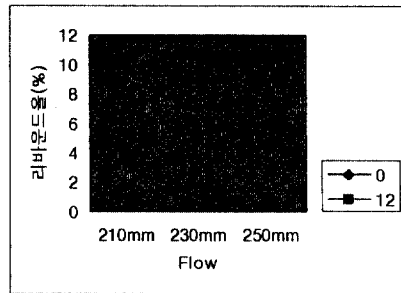
4.2 Flow 별 리바운드율

Flow 증가에 따른 SHOT PATCH용 레미탈의 리바운드율은 그림 3에 나타난 바와 같이 Flow가 낮은 210mm인 경우 오히려 리바운드율이 높고, 한편 Flow가 높은 250mm인 경우 또한 적정 Flow(230mm)와 비교할 때 떨어지는 것으로 나타났다. 위와같은 특성은 레미탈의 Flow가 떨어지는 경우 재료 자체 내에 수분 함유량이 적어 표면과의 부착성이 낮게 나타나고, 한편 Flow가 오히려 높은 경우 뿔어붙이기 직후 표면으로부터 흘러내리는 현상 등으로 리바운드율이 높게 나타나고 있다.

또한 급결항상제가 증가함에 따라 리바운드율이 낮아지는 것은 뿔어붙이기 직후 급결현상 및 부착성 증진으로 판단된다. 그림3은 Flow 별 리바운드율 변화를 나타낸 것이다.



(측벽부)



(천정부)

그림 3 Flow 별 다른 리바운드율 변화

5. 결론

TBM 장비에 의한 터널 굴착후 연약지반을 보강하는 SHOT PATCH용 레미탈에 대한 적용 시험결과 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 급결항상제를 사용한 SHOT PATCH용 레미탈의 압축강도 및 힘강도는 그 치환율이 증가할 수록 커진다.

(2) Flow 증가와 강도는 반비례하게 나타났다.

(3) 리바운드율은 적정 Flow(230mm)일 경우 가장 양호한 결과를 나타냈다.

참고 문헌

1. 현석훈, 「숯크리트 품질에 미치는 재료 및 시공 조건의 영향」, 전자재, 창간호, p136~142, 1995
2. 안상기, 「숯크리트의 리바운드 감소에 대한 재료개발 연구실험」, 콘크리트학회지, 제5권, 1호, 1993.3