

---

## 소구경 터널에 사용되는 SHOT PATCH용 모르타르의 특성

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



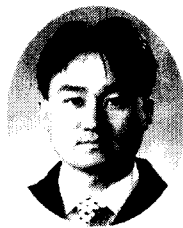
정민철\*

Jung, Min-Chul



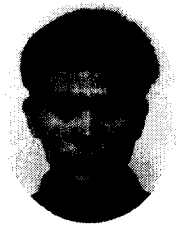
전용희\*\*

Jeon, Yong-Hee



정종익\*\*\*

Chung, Jong-Ick



박길수\*\*\*\*

Park, Gil-Su

---

#### ABSTRACT

The SHOT PATCH System Mortar 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 Mortar, which exhibits excellent shotcrete performance.

**Keywords** : Shot patch system mortar, shotcrete tunnel lining, tbm, spring water, deterioration

---

\* 정회원 한일시멘트 중앙연구소 선임연구원

\*\* 한일시멘트 중앙연구소 주임연구원

\*\*\* 한일시멘트 중앙연구소 연구원

\*\*\*\* 한일시멘트 중앙연구소 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 2000년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2000년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

## 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, 건식공법에의한 시공으로 높은 Rebound율(약 30~40%)과 많은 분진으로 열악한 작업 환경속에서 시공되고 있다. 또한 토사지반이나 암반을 굴착한 직후에는 시간 경과에 따라 낙석으로 인한 작업 지연 및 사고 위험 등이 내재되어 있어 이것을 미연에 방지하고 최종 NATM 공법에 의한 Shotcrete 작업전 사전 조치로 연약지반의 보강 목적으로 본 재료가 사용된다. 특히 이에 가장 중요한 재료의 물리적 특성으로는 타설시 타설면과의 양호한 부착성 과 높은 초기강도 발현이다. 한편 밀폐된 공간에서 작업자의 건강에 해를 주지않고 환경 공해를 유발시키지 않는 재료로 분진 발생이 적고, Rebound양이 적은 것이 요구된다. 따라서 이의 요구 사항에 적합한 재료 개발을 하기 위하여 Rebound 발생을 줄이고 부착성을 증진시키며, 용이한 pumping성과 재료분리가 생기지 않고 분진이 발생되지 않는 재료를 개발하는데 그 목적을 두었다. 이에 본 연구에서 개발된 SHOT PATCH용 모르타르는 이러한 단점들을 극복키 위해 TBM 장비로 시공되는 현장에 주로 사용되는 재료로 낮은 리바운드율(약5~10%)과 적은 분진 등으로 적은 재료 손실과 양호한 작업 환경에 기여할 수 있는 연약 지반 보

강 재료이다. 참고로 96년도 개정된 터널 표준시방서 터널지보재 지침에는 Shotcrete의 배합 및 최소 설계강도를 재령1일 압축강도를  $100\text{kgf/cm}^2$  이상, 재령 28일 강도는  $180\text{kgf/cm}^2$  이상으로 규정하였고, 일본  $\text{エヌエムビ-研究所報}^{(10)}$ 에 의하면 터널 보수·보강용으로 사용되는 SHOT PATCH용 압축강도(28일 기준)는  $370\text{kgf/cm}^2$ 로 고강도화를 요구하고있다.

이 재료는 본 연구소에서 개발되어 중앙고속도로 죽령터널에 실제 타설된 재료로서, 재료에 대한 물리적 특성으로 압축강도, 휨강도, Rebound율 등을 제시하였다.

## 1.2 SHOT PATCH용 모르타르 기본특성 및 시공 방법

SHOT PATCH용 모르타르는 현재 범용적으로 사용되고 있는 Shotcrete와 비교하면 Shotcrete는 굵은 골재가 혼합되어 타설되는 터널 마감용 라이닝 재료인 반면, SHOT PATCH용 모르타르는 주로 TBM공법에 의한 터널 굴착후 연약지반에 사용되는 보강재료로서 그 기본적인 요구특성으로 강도특성, 부착특성이 기존 Shotcrete 보다 향상된 재료이다. 특히 터널 내 작업이므로 타설시 발생하는 분진 및 Rebound를 상당 부분 감소시킨 재료입니다.

그 시공방법을 아래에 간략히 소개하겠습니다.

- a. 작업시기, 작업장 조건, 준비사항이 SHOT PATCH용 모르타르 사용에 지장이 없도록 조치한 후 시공한다.
- b. 우선 Mixer에 재료 투입후 혼합수량은 Flow 기준 20~23초가 되도록 조정하여 공급한다.
- c. 교반시키는 동안 Compressor를 작동시킨다.
- d. SHOT PATCH용 모르타르 작업시 타설면과 노즐과의 거리는 약 40~50cm를 유지하여 시공하며, 시공면과의 각도는 천정 기준 약 70~80° 각도로 한다.
- e. SHOT PATCH용 모르타르 작업시 타설 두께는 1차로 10~15mm 두께로 도포한 후

SHOT PATCH용 모르타르가 경화를 시작할 때 2차 타설로 일반적으로 규정된 두께 (30~50mm) 까지 작업을 한다.

f. 작업중 사용수량 부족으로 호스 내부 및 Mixer 내부에 재료가 걸렸을 경우 호스 연결 부위 및 노즐을 분리하여 막힌 부분을 관통시키고, Mixer 내부를 청소하고 Pumping 부위인 ROTOR/STATOR를 분리, 청소한다.

### 1.3 이론적 배경

SHOT PATCH용 모르타르에 있어 가장 중요한 특성을 부여하는 재료로 액상급결제의 특성 및 급결 메카니즘은 다음과 같다. 즉, 본 연구에서 사용한 액상급결제로는 알루미늄이트계의 무기질 화합물(NaAlO<sub>2</sub>계)이고, 급결 메카니즘으로 NaAlO<sub>2</sub>는 물과 접촉하면 빠르게 Al(OH)<sub>3</sub>, Na(OH)로 가수 분해하여 Al(OH)<sub>3</sub>는 시멘트 가수시 생성되는 Ca(OH)<sub>2</sub>와 다음과 같이 화학 반응하여 Al(OH)<sub>3</sub> + Ca(OH)<sub>2</sub> → 3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O를 생성하여 시멘트를 급결시키는 메카니즘이다.<sup>(1,2,3,4,5,6,7)</sup> 한편 급결향상제의 역할로 액상급결제 단독 과량 투입시 시멘트의 급결한 수화로 인하여 균열 및 강도 저하가 발생되

어 적정 첨가량의 급결향상제 투입시 급결시간 조정 및 안정된 수화물 생성으로 균열방지 및 강도 향상을 기할 수 있는 재료이다. 또한 급결향상제 첨가에 따른 응결시간 data는 Table 1과 같다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

시멘트는 비표면적이 3591 cm<sup>2</sup>/g 인 H사 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 Table 2과 같다.

#### 2.1.2 모래

잔골재는 낙동강산 강모래와 목포산 해사를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

#### 2.1.3 급결향상제

급결향상제는 초미분의 고기능성 비정질실리카를 사용하였으며, 비중은 2.9, 분말도는 8000cm<sup>2</sup>/g의 물리적 특성을 가진다.

Table 1 Setting time

급결향상제 첨가율 (C × %)	응결시간(분 : 초)		비 고
	초 결	중 결	
0	1 : 45	25 : 00	*액상급결제 : C×5% 고정
6	1 : 30	20 : 10	
12	1 : 00	15 : 20	

Table 2 Chemical and physical properties of cement

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

Table 3 Physical properties of fine aggregate

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

### 2.1.4 고성능 감수제

고성능 감수제는 나프탈렌계를 사용하였다.

### 2.1.5 부착 향상제

부착향상제로는 hydroxyethyl cellulose 계를 사용하였고, 물리적 특성으로는 점도(20℃, 1% solution)는  $2,550 \pm 450 \text{mPas}$ , 외관은 white powder를 사용하였다.

### 2.1.6 액상 급결제

액상급결제는 알루미늄에이트계 무기염으로 비중  $1.45 \pm 0.01$  및 pH 13.1를 사용하였다.

## 2.2 배합

SHOT PATCH용 모르타르의 배합조건은 급결향상제(C×0%, ×6%, ×12%), Flow (210mm, 230mm, 250mm)을 변화시켜 배합하였다. 모르타르의 배합을 Table 4에 나타낸다.

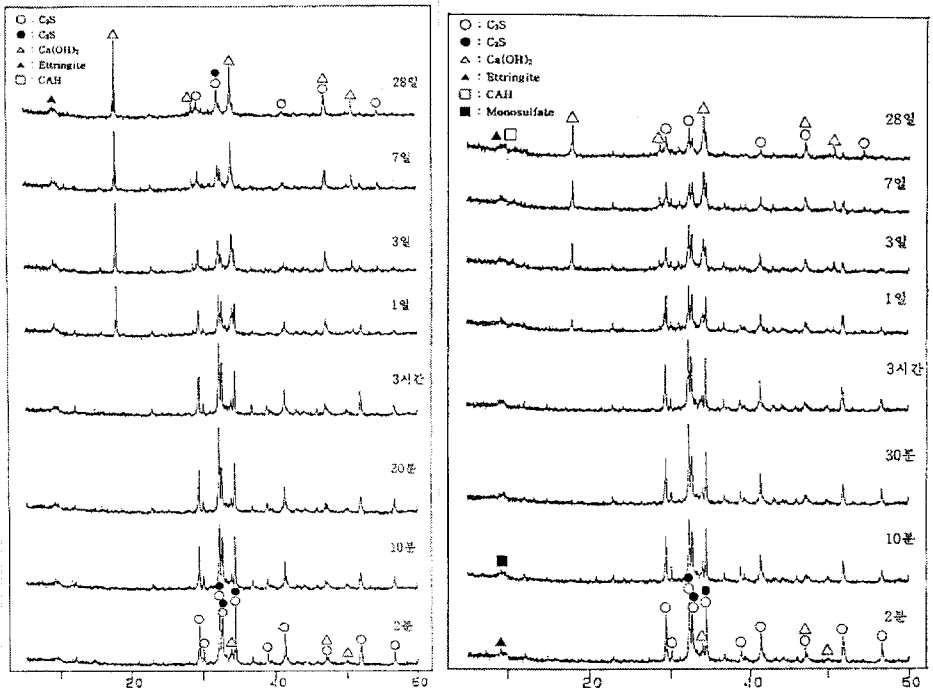
Table 4 Mix proportions of mortar (unit:kg/m<sup>3</sup>)

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 액상급결제 첨가 유·무에 따른 XRD 및 SEM 관찰 결과

3.1.1 액상급결제 첨가 유·무에 따른 XRD 결과  
액상급결제가 첨가되지 않은 XRD 분석결과를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 알 수 있듯이



a) Nonaddition accelerating agent  
b) Addition accelerating agent  
Fig. 1 XRD analysis of cement paste on the addition accelerating agent in curing age

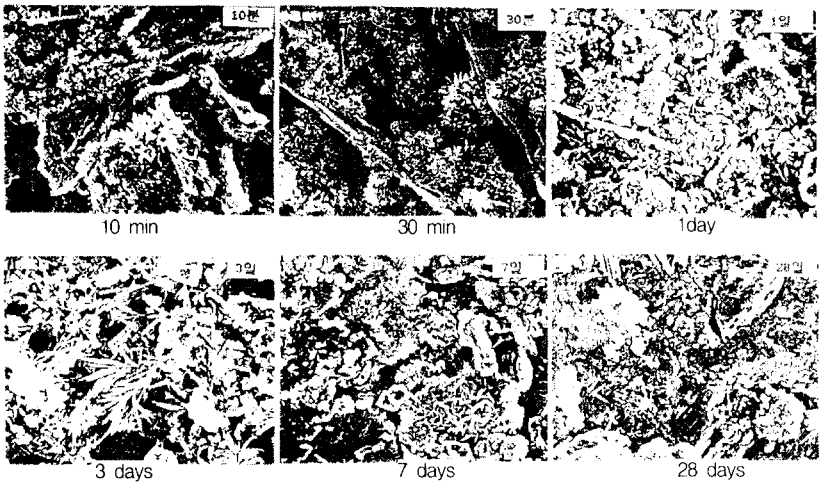
액상급결제가 첨가되지 않은 관계로 일반적인 시멘트 수화반응시 생성되는  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  생성물이 시간 경과에 따른 지속적으로 증가되고 있음을 알 수 있었다.

한편 액상급결제가 첨가된 것은 액상급결제의 가수분해에 의해 생성된  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 와 시멘트 수화시 생성되는  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와의 반응으로 새로운 생성물인  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 의 생성 관계로 인하여  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 소모가 많아 실제적으로

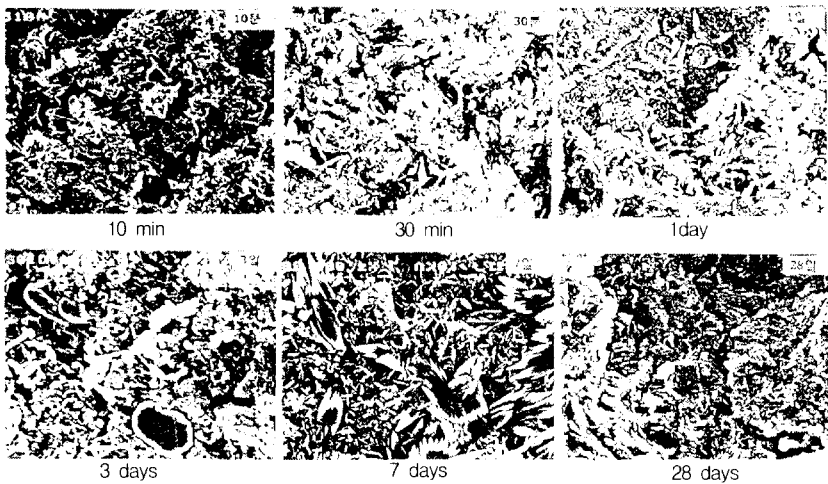
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 peak가 액상급결제가 첨가되지 않은 것에 비하여 상당히 감소되어 있음을 알 수 있었다.

### 3.1.2 액상급결제 첨가 유·무에 따른 SEM 관찰 결과

Fig. 2는 액상급결제 첨가 유·무에 따른 SEM 관찰 결과로서 액상급결제가 첨가되지 않은 수화물의 경우 수화진행에 따른 CSH 수화물



a) Nonaddition accelerating agent



b) Addition accelerating agent

Fig. 2 SEM analysis of cement paste on the accelerating agent

생성과 CSH 수화물 사이로  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  생성물이 다량 관찰됨을 알 수 있었다.

한편 액상급결체가 첨가된 수화물의 경우 급격한 수화반응으로 인한 주요 생성물로  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}(\text{CAH})$ 가 생성되었고, 부분적으로 에트링자이트도 관찰되었다.

### 3.2 압축강도, 휨강도 및 리바운드율

시험제작한 모르타르의 강도는 JIS R 5201에 의거하여 1일, 3일, 7일, 28일 강도에서 표준적인 방법으로 측정하였으며, 그결과를 Table 5에 나타내었다.

급결항상제를 사용한 모르타르의 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.

## 4. 결과의 고찰

### 4.1 급결항상제와 강도와의 관계

급결항상제의 치환율에 따른 강도의 변화는

Fig. 3, Fig. 4에 나타난 바와 같이 급결항상제의 치환율과 강도는 비례하는 것으로 나타났으나 Flow가 증가함에 따라 강도감소곡선이 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, 또한 급결항상제의 구성성분중 슬래그는 시멘트와 혼합시 시멘트 내의 알카리 차극에 의하여 알카리 실리카 반응을 일으켜 초기강도 상승 및 급경화를 유도하여 급결항상제에 의한 고강도화에 기여해 주고 있다.

### 4.2 Flow 별 리바운드율

리바운드율 시험은 실제 터널 현장 막장부에서 시험한 것이며, 리바운드율은 실제 타설된 양과 타설된 후 바닥면에 떨어진 양을 환산하여 계산하였다. 시험은 Flow 증가에 따른 SHOT PATCH용 모르타르의 리바운드율은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 Flow가 낮은 210mm인 경우 오히려 리바운드율이 높고, 한편 Flow가 높은 250mm인 경우 또한 적정 Flow(230mm)와 비

Table 5 Results of the compressive, flexural strength and rebound rate

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

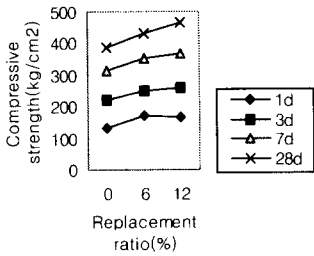
교할 때 떨어지는 것으로 나타났다. 위와같은 특성은 모르타르의 Flow가 떨어지는 경우 재료 자체 내에 수분 함유량이 적어 표면과의 부착성이 낮게 나타나고, 한편 Flow가 오히려 높을 경우 뿔어붙이기 직후 표면으로부터 흘러내리는 현상 등으로 리바운드율이 높게 나타나고 있다.

또한 급결항상제가 증가함에 따라 리바운드율이 낮아지는 것은 뿔어붙이기 직후 급결현상 및 부착성 증진으로 판단된다. Fig. 5는 Flow 별

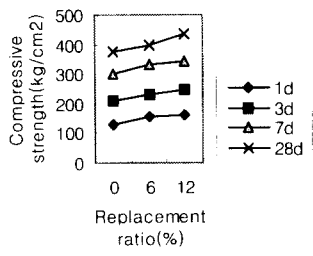
리바운드율 변화를 나타낸 것이다.

### 4.3 Flow 별 부착강도

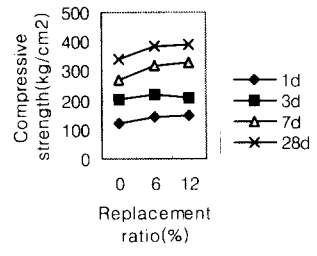
부착강도는 KS L 1593 '도자기질 타일 시멘트' 시험방법에 의하여 시험하였고, mold 채취는 실제 현장에서 채취하였다. 리바운드율과 관련하여 Flow 변화에 따른 부착강도(재령 28일 기준) 시험결과를 Fig. 6에 나타내었다.



(Flow : 210mm)

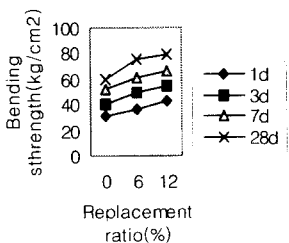


(Flow : 230mm)

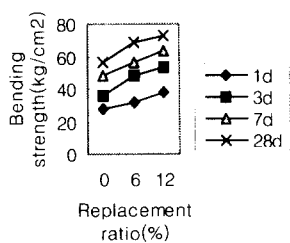


(Flow :250mm)

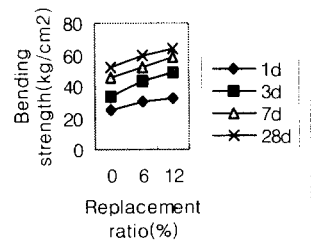
Fig. 3 Compressive strength in curing age



(Flow : 210mm)



(Flow : 230mm)



(Flow :250mm)

Fig. 4 Bending strength in curing age

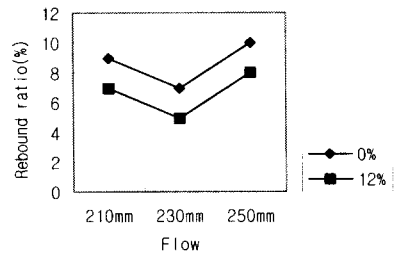
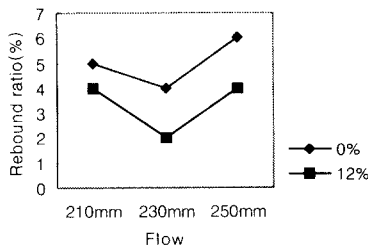


Fig. 5 Rebound rate of flow

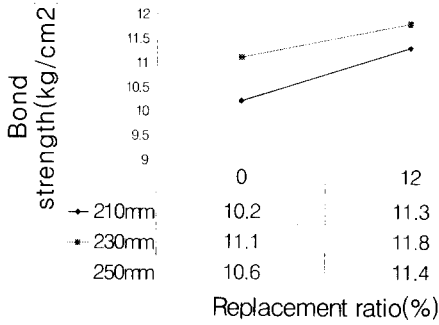


Fig. 6 Bond strength of flow

결과에 나타난 바와같이 적정 Flow인 230mm에서 가장 양호한 결과를 얻었으며, 한편 급결항상제가 첨가된 부분 부착강도에서도 유리하게 작용됨을 알 수 있었다. 이는 리바운드율 결과와도 잘 일치하고 있다.

### 5. 결 론

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

- 1) 급결항상제를 사용한 SHOT PATCH용 모르타르의 압축강도 및 휨강도는 그 치환율이 증가할 수록 커진다.
- 2) Flow 증가와 강도는 반비례하게 나타났다.
- 3) 리바운드율 및 부착강도는 적정Flow(230mm)일 경우 가장 양호한 결과를 나타냈다.

### 참고문헌

1. 현석훈, "숏크리트 품질에 미치는 재료 및 시공 조건의 영향", 전자제, 창간호, 1995년 pp. 136-142
2. 안상기, "숏크리트의 리바운드 감소에 대한 재료개발 연구실험", 콘크리트학회지, 제5권1호, 1993, pp. 54-61
3. Satoru Hirose, Seiichi Hoshino, Toru Higaki and Naoshi Ozawa, "The effects of sodium carbonate on the properties and the hydration of the cement mixed with the hardening accelerator based on calcium-aluminate", Inorganic materials, Vol.4, 1997, pp. 601-608
4. Raymond, J. Schutz, "Properties of shotcrete admixtures", Shotcrete for ground support, ACI publication SP-54, pp. 45-58
5. John wolsiefer, and D.R.Morgan, "Silica fume in shotcrete", Concrete international, April 1993, pp. 34-39
6. 田中一成 "トンネル補修用急硬性コンクリートの 特性", 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.15, No.1, 1993, pp. 865-868
7. Satoru Hirose, Toru Higaki, Kiyoshi Asaga and Massaki Daimon, "Influence of the time of addition of alkali compounds on the hydration of portrand cement", セメント・コンクリート論文集, No.50, 1996, pp.74-79
8. 森仁明, 峯岸敬一, 太田威, 秋葉徳二, "C3S 의 初期水和におよぼす炭酸アルカリの影響", セメント 技術年報, No. 24, 1970, pp. 48-53
9. 森仁明, 須藤儀一, 峯岸敬一, 太田威, "3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · Na<sub>2</sub>O 系의 水和", セメント 技術年報, No.26, 1972, pp. 69-74
10. Akira Yoshizumi, Toru Nemoto, Masahiro Ichige, Kinji Matsukawa, "Properties of the SHOTPATCH System, a Wet Shotcreting System for Small Bore Tunnels" エヌエムビル 研究所報 No. 9 1992, pp. 98-104

### 요 약

SHOT PATCH용 모르타르는 주로 소구경 터널 보수·보강재료로 사용되는 재료로 TBM(Tunnel Boring Machine)공법에 의한 시공시 사용되는 재료이다. 특히 기존에 타설되는 Shotcrete에 의한 시공은 장비의 대형화와 높은 리바운드율 및 분진 등으로 작업여건에 상당한 제약과 어려움이 따르고 있다.

이에 본 논문은 소구경 터널에서도 작업이 가능하며, 적은 리바운드율, 적은 분진 및 우수한 부착 특성 등으로 차후 터널용 보수·보강재료로 그 사용이 확대되리라 판단된다.

(접수일자 : 1998. 12.30)