

샷크리트용 급결제의 품질, 응결 및 경화특성

Quality, Setting and Hardening Properties of Rapid Set Accelerators

김진철*, 류종현**, 안태송***

Kim, Jin Cheol, Ryu, Jong Hyun, Ahn Tae Song

ABSTRACT

Rapid set accelerators are widely used in tunnel construction, however quality criteria of and dosage are not well established. The density and solid content of admixtures, setting time and compressive strength of paste and mortar with admixtures were investigated to establish the quality criteria. While the early strength of mortar with sodium-silicate, sodium-aluminate and calcium aluminate type admixtures that have high alkali content are very high, but long-term strength are low. Aggregates of shotcrete has to be carefully selected. Sodium-silicate type admixture need longer setting time than the others.

1. 서론

우리나라의 고속도로 터널설계 및 건설에 이용되고 있는 터널시공방법은 NATM(New Austrian Tunneling Method)를 근간으로 하고 있다. NATM 시공법은 터널의 굴착직후 샷크리트를 타설하여 낙반방지 및 암반의 변형 및 이완을 조기에 억제하고 암반의 변형에 대한 지보압력을 제공하여 시공 중뿐만 아니라 시공 후 터널의 안정성을 확보하고 있다. 샷크리트는 타설압에 의한 반발률을 감소시키고 조기강도를 얻기 위하여 시멘트의 응결 및 경화를 촉진시키는 급결제를 사용하고 있다. 현재 고속도로 건설공사의 약 40여 터널 현장에서는 주로 알루미늄계 및 실리케이트계 급결제를 사용하고 있다.

1983년부터 국내에서 본격적으로 사용된 NATM 시공법은 건설에서 습식시공, 암반하중에 대한 인성 증가를 위하여 강섬유보강 샷크리트로 변화되면서 시공법과 품질관리 기준에 대한 연구도 활발히 전개되고 있다. 그러나 터널시공현장에서 급결제의 사용은 보편화된 반면 급결제에 대한 품질 및 시공기준은 아직 정립되지 못한 실정이다. 일본 토목학회, 미국의 ACI 및 ASTM, EFNARC 등에서는 나름대로의 품질기준 및 시험규격을 규정함으로써 품질향상을 도모하고 있다.

본 연구는 샷크리트용 급결제의 품질기준 정립의 일환으로 국내에 유통중인 급결제의 품질시험과 급결제를 혼합한 페이스트 및 모르타르의 응결 및 강도측정결과를 정리한 것이다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

국내산 H사 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 모르타르 제조에 사용된 잔골재는 조립율 2.95의 강모래를 표면건조 포화상태로 사용하였다. 샷크리트용 급결제의 첨가량은 실리케이트계(이하 Si)

* 정회원, 한국도로공사 도로연구소 재료·환경 연구실, 그룹장(공박)

** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 재료·환경 연구실, 연구원

*** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 재료·환경 연구실, 수석연구원(공박)

12%, 알루미늄이트계(이하AL), 알카리 프리계(이하 AF) 및 시멘트 광물계(이하 CM)는 각각 5%를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 밀도 및 고형분 함유량 측정

액상급결제의 밀도는 액체 비중계를 이용하여 측정하였으며, 고형분 함유량은 105±3℃의 건조로에서 17±0.25 시간 항량한 후 시료의 건조중량을 측정하여 다음 식과 같이 계산하였다.

$$\text{고형분 함유량(\%)} = \frac{\text{건조후 시료중량}}{\text{건조전 시료중량}} \times 100$$

2.2.2 전알카리량 측정

급결제중의 Na_2O 및 K_2O 함유량을 ICP(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer)로 측정하였으며, 전알카리량(R_2O)은 다음 식으로 계산하였다.

$$R_2O = Na_2O + 0.658K_2O$$

2.2.3 응결시험

Gillmore 시험장치에 의한 페이스트의 응결시간, 한국콘크리트학회 기준(KCI SC 102)의 관입저항에 따른 모르타르의 응결시간을 측정하였으며, 초결 및 종결의 관입저항은 각각 35 및 270 kgf/cm²이었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 급결제 품질

유럽통합규격(EFNARC)에서는 밀도, 고형분 함유량, pH 등과 같이 급결제의 기본 품질기준을 정하고 있으며, 이에 따르면 밀도가 1.10 이상인 경우 표준편차 0.03, 그 이하의 경우 0.02이며, 고형분 함유량 20% 이상에 대해서는 표준편차 5%를 품질기준으로 제시하고 있다.

표 1은 국내에 유통중인 7개사 13종 액상급결제의 밀도와 고형분 함유량 측정결과를 주성분별로 정리한 것이다. 이 표에서 13개 제품의 전체 평균은 1.468, 표준편차 0.066, 고형분 함유량 평균은 47.5%, 표준편차는 3.48%로 나타났다.

표 1 액상 급결제의 밀도 및 고형분 함유량의 평균 및 표준편차

급결제 종류	밀도	고형분량(%)	비고
Si	1.397±0.0093	44.39±0.84	6종류 제조사
AL	1.528±0.0268	47.97±2.06	7종류 제조사

액상급결제의 주성분별로 고찰하면 Si의 표준편차는 밀도 및 고형분함유량에 대하여 각각 0.0093 및 0.84%로 나타나 제품사이의 품질편차가 거의 없음을 알 수 있다. AL의 경우에는 표준편차가 Si에 비하여 약간 높게 나타났으나 EFNARC의 일반시방은 만족하고 있다.

액체의 밀도와 고형분 함유량은 어느 정도 상관성을 가지게 된다. 그림 1은 액상 급결제의 주성분별로 밀도와 고형분함유량의 상관성을 고찰한 결과이다. 이 그림에서 액상 급결제의 제조사 및 주성분에 관계없이 분석한 비중과 고형분함유량 사이의 결정계수는 0.29로서 상관성이 거의 없으나, 주성분별로 분류하면 결정계수는 Si 0.70, AL 0.62로 상관성이 크게 높아짐을 알 수 있다.

이러한 결과는 국내에 유통중인 액상형 급결제의 경우 밀도와 고형분 함유량에 대하여 제조사간의 품질편차가 거의 없으므로 현장에 입수되는 액상형 급결제의 균질성 평가를 위한 품질관리 방안으로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

숏크리트용 급결제는 시멘트 수화작용을 촉진시키기 위하여 다량의 알칼리성분을 포함하고 있다. 알칼리 함유량은 시멘트 경화체의 재령별 강도와 밀접한 상관관계가 있으며, 이 양이 증가하면 초기강도는 증가하지만 장기강도는 감소하게 된다. 또한 알칼리 성분은 골재중의 반응성 물질과 화학반응에 따라 과도한 팽창을 일으키는 알칼리-골재반응의 원인이 되기도 한다.

표 2는 국내 유통중인 8개사 16개 제품에 대하여 주성분에 따른 평균 전알칼리 함유율 및 도로공사 숏크리트 표준배합(단위시멘트량 480 kg/m³)을 사용하였을 때 급결제로부터 공급되는 전알칼리량을 정리한 것이다. 본 연구에서 대상으로 한 급결제는 Na₂O 함유량이 대부분이었으며, K₂O 함유량은 매우 미미하였다.

표 2 전알칼리 함유율 및 급결제로부터 공급되는 전알칼리량

종류	R ₂ O(%)	전알칼리량(kg/m ³)	비고
Si	8.81	5.07	6종류 제조사
AL	20.61	5.14	7종류 제조사
AF	0.06	0.01	2종류 제조사
CM	14.14	3.39	1종류 제조사

전알칼리 함유율을 주성분에 따라 비교하면 Si 8.8%, AL 20.6%, CM 14.14%, AF 0.06%로 나타났으며, 콘크리트 중의 전알칼리량은 각각 5.07, 5.14, 3.39 및 0.01kg/m³으로 나타났다. 또한 Si 및 AL로부터 유입되는 전알칼리량이 유사한 것은 첨가율이 각각 12 및 5%로 차이가 나기 때문이다.

3.2 응결시간

표 3은 숏크리트용 급결제의 품질기준으로서 응결시간 규격을 정리한 것이다. 이 표에서 일본과 우리나라는 모르타르의 관입저항에 의한 응결시간을 규정하고 있는 반면 ASTM, 대한 터널협회는 Gillmore 응결시간을 규정하고 있으며, 응결시간 기준도 유사함을 알 수 있다. EFNARC의 경우 Vicat

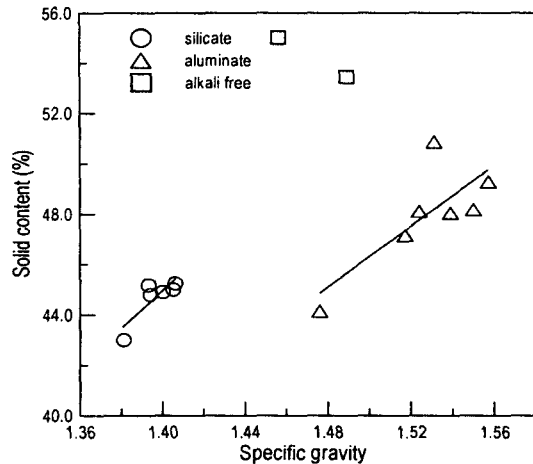


그림 1 액상 급결제의 비중과 고형분량의 관계

시험장치를 사용하고 있으며, 응결시간도 초결 10분, 종결 60분 이내로 비교적 넓은 범위로 규정하고 있음을 알 수 있다.

표 3 급결제의 응결시간 기준

구분	규격명	W/C	S/C	응결시간(분)		시험방법
				초결	종결	
Mortar	KCI SC 102 JSCE 1986	50	3	5	15	관입저항침
	ITA	-	-	3~10	9~30	관입저항침
Paste	대한터널협회	-	-	1~5	12~20	Gillmore test
	ASTM C 1141	24~30	-	1~3	12	Gillmore test
	EFNARC	35	-	10	60	Vicat test

본 연구에서는 대한터널협회 규정과 1999년 제정된 한국 콘크리트학회 규준에 따라서 시멘트 페이스트 및 모르타르의 응결시간을 측정하였다. 표 4는 물-시멘트비 28%인 시멘트 페이스트에 급결제를 첨가하여 동시 혼합하였을 때 Gillmore 응결시간을 정리한 것이다.

표 4 Gillmore 시험에 의한 급결제 응결시간

급결제 종류	첨가율 (%)	시험결과	
		초결(분:초)	종결(시:분:초)
Si	12	37:57	3:26:05
AL	5	1:55	0:08:24
AF	5	1:12	0:07:54
CM	5	2:25	0:10:49

이 표에서 AL, AF 및 CM의 경우 대한 터널협회 규정을 만족하였으나 Si는 응결시간 크게 늦어지는 결과를 나타내었으며, 이는 Gillmore 시험장치의 응결시간 판단기준이 모호한 측면과 재료특성에 기인하는 것으로 생각된다.

그림 2 및 3은 한국콘크리트학회에서 규정하는 모르타르의 관입저항에 의한 응결시간을 측정한 결과로서 이때 물-시멘트비는 50%, 잔골재-시멘트비는 3.0이었다. 응결시간을 20분까지 나타낸 그림 2에서 CM은 한국콘크리트학회 규준을 만족하므로써 가장 빠른 응결시간을 나타내었으나 AF는 초결이 약간 늦은 반면 종결은 15분 이내로 나타났다. AL 및 Si의 응결시간은 그림 3을 참조하면 AL의 초결 5분 이내로 나타났으나 종결은 약 50분 정도이었으며, Si는 초결 약 80분, 종결 약 500분으로 나타나므로써 급결제로 평가할 수 없을 정도로 응결시간이 크게 늦어지는 결과를 나타내었다.

Si의 응결시간이 Gillmore 시험결과와 같이 크게 늦어지는 것은 Si가 시멘트의 급결제로써 작용하는 것이 아니라 자체의 풀효과(gluing effect)에 의한 영향으로 생각된다. 또한 CM만이 한국콘크리트학회 규준의 초결 및 종결을 모두 만족하는 결과를 나타내었으나 국내 터널현장에서 대부분 사용되고 있는 액상형 급결제는 이 규준을 만족하지 못하므로써 품질기준의 적용성에 문제가 나타났다.

이러한 결과는 한국콘크리트학회 규준이 일본 토목학회 규준(안)을 그대로 답습하였기 때문으로 생각된다. 즉, 일본의 경우 용수(湧水)부위가 비교적 많기 때문에 응결시간이 매우 빠른 CM이 널리 사용되고 있으며 규준도 비교적 엄격하게 관리되고 있는 실정이다. 그러나 우리나라의 경우 대부분의 현

장에서 액상급결제를 사용하며, Si의 사용실적도 비교적 많기 때문에 품질향상을 도모하면서 동시에 현실을 반영한 규격제정이 시급히 요망된다고 할 수 있다.

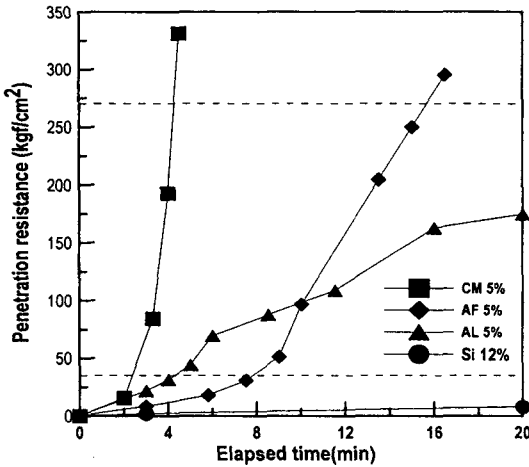


그림 2 급결제 첨가 모르타르의 육결시가(III)

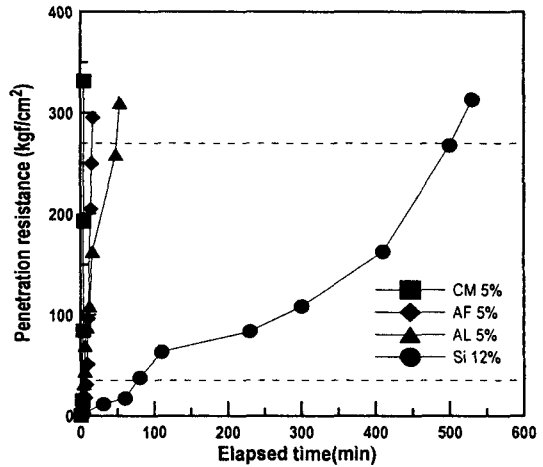


그림 3 급결제 첨가 모르타르의 응결시간(II)

3.3 압축강도

표 5는 급결제 혼합 모르타르 및 숏크리트 혼합물의 압축강도 품질기준을 정리한 것으로 한국콘크리트학회 규준은 비교적 초기강도에 비중을 두고 있으며, EFNARC 규정은 후기 안정성에 큰 비중을 두고 있음을 알 수 있다.

표 5 급결제 혼합 모르타르 및 숏크리트의 압축강도 품질기준

규격명	압축강도				시험방법
	12시간	1일	28일	90일	
KCI SC 102 JSCE 1986	10kg/cm ² 이상	90kg/cm ² 이상	PL 대비 75% 이상	-	모르타르 (5×5×5cm)
대한터널협회	-	100kg/cm ² 이상	180kg/cm ² 이상	-	숏크리트 (코아 공시체)
한국도로공사 전문시방서	-	100kg/cm ² 이상	200kg/cm ² 이상	-	숏크리트 (코아 공시체)
EFNARC	-	-	PL 대비 75%이상	PL 28일 강도 이상	숏크리트 (코어 공시체)

그림 4는 재령 1일, 그림 5는 재령 91일까지 모르타르의 압축강도를 나타낸 것이다. 그림 4에서 CM의 압축강도는 재령 1일에 가장 높게 나타났으며, AL도 재령 1일 이전에는 우수한 강도특성을 나타내었다. Si는 재령 12시간까지 강도가 매우 낮았으나 재령 1일 압축강도는 CM, AL과 거의 유사한 반면 AF는 재령 24시간에서도 매우 낮은 압축강도를 나타내었다.

재령 28일까지의 압축강도를 나타낸 그림 5에서 Si, AL 및 CM이 거의 유사한 반면 AF는 높은 압축강도를 나타내었다. CM을 비롯하여 알칼리 성분이 많은 급결제는 초기재령의 압축강도가 높은 반면

장기재령의 압축강도는 낮은 경향을 나타내었으며, AF의 초기재령 압축강도는 비교적 낮지만 장가재령의 경우 큰 압축강도를 나타내었다.

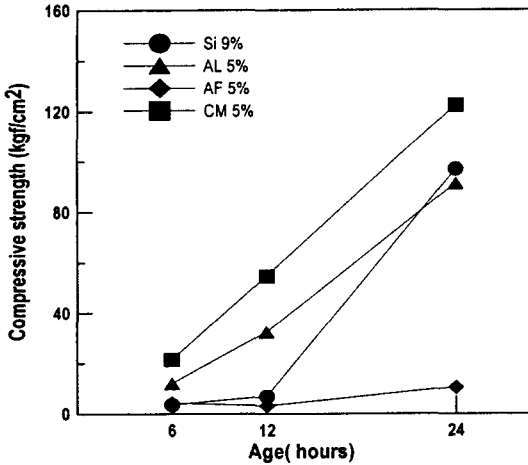


그림 4 급결제 혼합 모르타르의 초기재령 압축강도

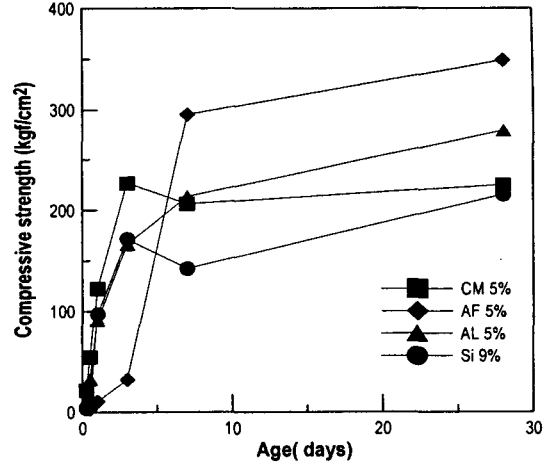


그림 5 급결제 첨가 모르타르의 압축강도(II)

4. 결론

- 1) 액상형급결제의 밀도 및 고형분 함유량은 주성분별로 분류하였을 때 상관성이 높아지므로 균질성 평가를 위한 품질관리 방안으로 활용가능하였으며, Si, AL 및 CM의 알카리 함유량이 매우 높아 알카리골재반응을 우려할 수준이므로 숯크리트용 골재의 반응성 판정에 대한 각별한 주의와 수시 검사가 필요하였다.
- 2) Si의 용결시간이 크게 늦어졌으며, 이는 Si가 시멘트를 급결시키기 보다는 자체의 풀 효과에 의해 굳어지기 때문으로 생각된다. 또한 공인시험성적서와 본 연구결과가 큰 차이가 있었으며, 급결제 품질기준인 한국콘크리트학회 규준이 일본 토목학회 규준(안)을 답습하므로써 현장의 여건을 반영하지 못하므로 시급히 수정 보완되어야 할 것으로 생각된다.
- 3) CM, Si 및 AL과 같이 알카리 성분을 다량 함유하고 있는 급결제는 초기재령의 압축강도가 높은 반면 장기재령의 압축강도는 낮은 경향을 나타내었으며, AF의 초기재령 압축강도는 비교적 낮지만 장가재령의 경우 큰 압축강도를 나타내었다. 다만, 모르타르 실험결과만으로 급결제의 품질을 평가하기보다는 타설된 숯크리트의 압축강도간의 상관성이 먼저 규명되어야 할 것이다.

참고문헌

1. KCI-SC 102, "숯크리트용 급결제 품질규격," 콘크리트 표준시방서, 한국콘크리트학회, 1999.
2. 현석훈, 한기석, "숯크리트 품질에 미치는 재료 및 시공조건의 영향," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 1994 pp. 227~232.