

시멘트 광물계 급결제를 사용한 뿔칠콘크리트의 특성

이선우* · 강석화 · 구자술 · 송용순
 <동양중앙연구소>

1. 서 론

뿔칠 콘크리트는 뿔칠할 면으로 부터 조금 떨어진 장소에 뿔칠기를 설치하고 압축 공기에 의해 콘크리트를 뿔칠하는 것으로 특별한 형틀이 필요없이 시공이 가능하며, 넓은 범위 및 경사면 등의 시공도 가능하여 터널의 1차 복공, 콘크리트 구조물의 보수, 보강 또는 굴삭 법면의 안정 등의 용도로 활용되고 있다. 뿔칠 콘크리트의 특징을 살린 NATM(New Austrian Tunneling Method)공법의 보급으로 뿔칠 콘크리트는 그 사용이 확대되어졌다.

한편 뿔칠 콘크리트 공정에 있어서 각 품

질에 미치는 영향을 나타낸 Table. 1에서와 같이 재료와 배합이 뿔칠 콘크리트의 전 공정에 걸쳐 매우 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 특히 이러한 재료의 선택은 뿔칠 콘크리트의 특징을 발휘시키는데 예를 들어 급결제의 급결력이 저하되면 이에 따라 리바운드율도 증대하는 등 매우 지대한 영향을 미친다.

그러나, 뿔칠 콘크리트용 급결제에 대한 연구 보고는 미흡한 실정이며, 또한 현재 사용하고 있는 급결제는 알칼리도가 높아 인체의 유해성 및 리바운드율, 장기 강도 등에 문제점이 있는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 분말형의 시멘트 광물계 급

Table 1. Influence on the of Shotcrete in the Shotcreting Procedure

순서	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
단 계	혼합	투입	압송	분사	부착	경화 초기	장기 중기
재료의 혼입 건식 습식	C+A+Q		+W				
	C+A+W		+Q				
품질에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> ●재료와 배합 ●작업과 방법 ●뿔칠면의 상태 ●터널내의 환경 						
품질에 요구되는 사항	<ul style="list-style-type: none"> ●시공성(작업성) ●지보공 ●복공 ●리바운드율(손실) 						

주1) C:시멘트, A:골재, W:물, Q:급결제를 표시함.

주2) 경화 초기≤1일, 1일≤단기≤7일, 7일≤중기≤28일, 28일≤장기임.

결제와 액상형 실리케이트계 급결제를 비교 검토하기 위해 모르타에 대한 응결, 압축강도 실험을 실시하였으며, 실제 뿜칠 콘크리트 타설을 통해 콘크리트 물성의 차이를 알아보았다.

2. 실험

2.1 실험 재료

본 실험에서 시멘트는 비중이 3.15인 보통 포트랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 비중이 2.60, 조립율 2.75인 하천사를 그리고 굵은 골재는 비중이 2.62, 조립율 2.75인 쇄석을 각각 사용하였다.

급결제는 T사 제품의 광물계(분말형)와 K사 제품의 실리케이트계(액상형)를 각각 사용하였으며, SP제는 K사 고성능 감수제를 사용하였다. 본 실험에 적용된 뿜칠 콘크리트의 배합표는 Table 2와 같다.

Table 2. Mix Proportions of Shotcrete

G _{max}	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)					
			W	C	S	G	Accer.	SP
13	39.1	60	180	460	1020	682	32.2	4.6

2.2 뿜칠 장비

뿜칠 장비는 분말형 급결제 및 액상형 급결제를 공용으로 사용할 수 있으며, 최대 콘크리트 토출량이 23m³/h인 FURUKAWA사의 콘크리트 스프레이 CJM 1200E - Special를 용하였다. 뿜칠 장비는 1000리터의 액상급결제 탱크와 200리터의 분말급결제 탱크를 장착하고 있으며 시험시공에서는 콘크리트 토출량은 15m³/h로 셋팅하여 실시하였다.

Photo. 1은 시험시공에 사용된 뿜칠기의 전경으로 최대 15m 높이까지 뿜칠시공이 가능하다.

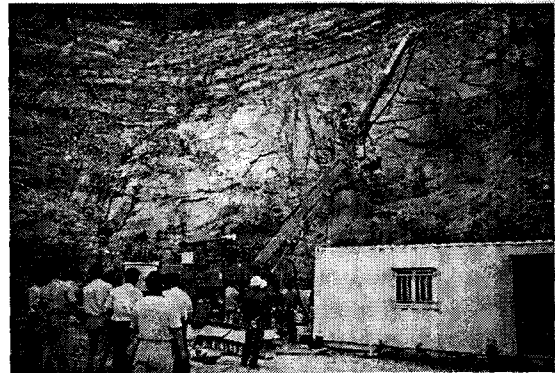


Photo 1. Shotcreting Machine

2.3 분말 급결제 첨가장치

액상 급결제는 기존 방식과 같이 노즐의 바로 앞 부분에서 분사 혼합하는 방식을 채택하였으나, 분말 급결제의 경우는 분말 급결제 공급장치 (Photo. 2)에서 공기압으로 압송된 분말급결제를 콘크리트와 연속적으로 혼합시키기 위해 노즐 전방 3m 앞에서 기존 장비를 Photo. 3과 같이 개조하여 뿜칠 콘크리트를 타설했다.

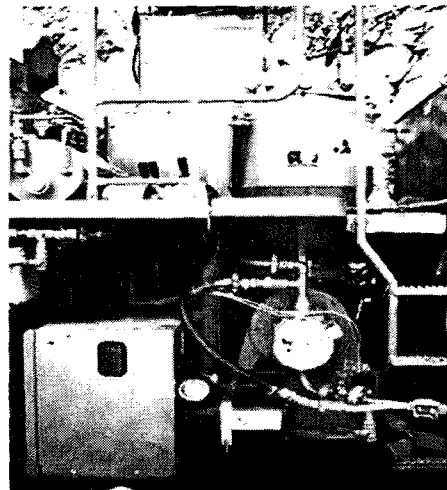


Photo 2. Feeding Machine of Powder Type Accerator

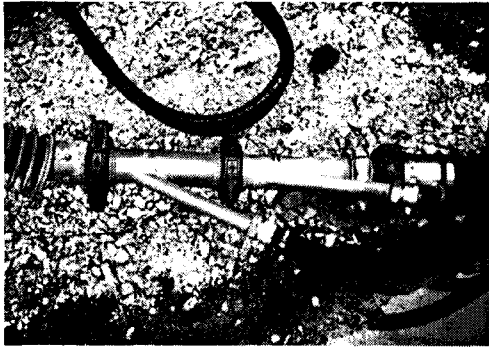


Photo 3. Modification of Material Hose by Y Type Nozzle.

3. 실험 방법

3.1 모르터

모르터의 응결은 일본 콘크리트 표준시방서의 뿔칠 콘크리트용 급결제 품질규격 시험방법(JSCE-D 102-1986)에 따라 측정하였다.

Table 1. JSCE-D 102 - 1986

항목	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm ²)		
	초결	종결	12시간	24시간	28일
품질규격	5이내	15이내	10이상	90이상	75%이상

3.2 뿔칠 콘크리트

각종 시험체를 얻기 위해 플라스틱 원통형 몰드를 제작한 후 현장에서 그 위에 15cm 이상의 뿔칠 콘크리트층을 형성하였다. 타설은 평균 1.2m거리에서 하였다. 휨강도 측정용으로 15cmX15cmX55cm의 빔시험체를 제작하였다. 인발시험(Pull out test)은 Fig. 1 과 같은 시험 장치를 이용하여 초기 압축 강도(3, 6, 24시간)를 측정하는 시험으로 최근 까지는 1일 이전의 압축강도 발현을 측정하는 것이 상당히 어려웠으나, 본 시험을 통해 가능하게 되었다. 또한 이 시험은 현장에서 직접 실험도 가능하고, 초기 급결력과 압축 강

도를 판단할 수 있는 매우 유익한 시험방법이라고 생각된다.

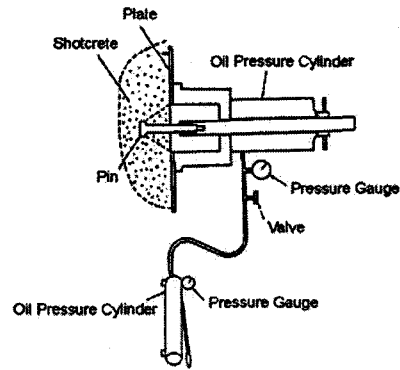


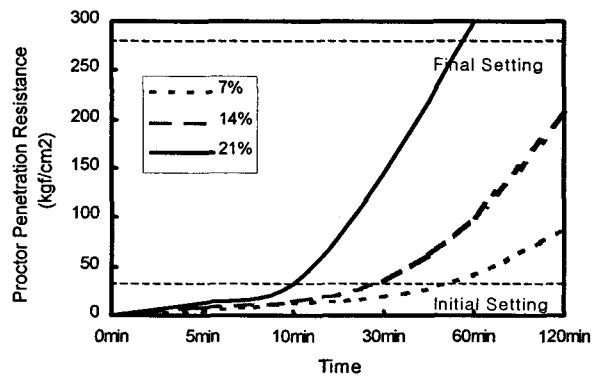
Fig. 1 Pull Out Testing Apparatus

4. 결과 및 고찰

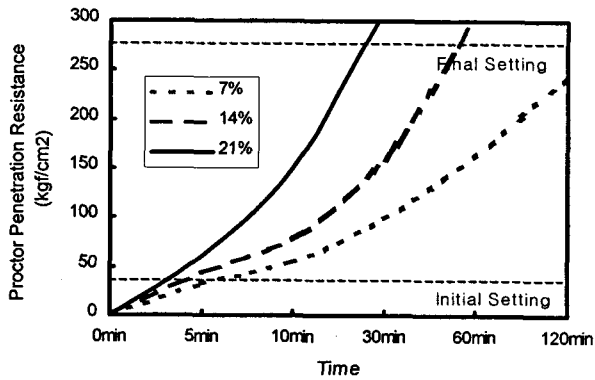
4.1 모르터

4.1.1 응결 실험

실리카이트계 급결제를 사용한 모르터에서 물시멘트 비 (30, 40, 50%) 및 첨가량(7, 21%)에 따른 응결 실험 결과는 Fig. 2와 같다. 실리카이트계(액상) 급결제의 결과를 보면 물시멘트 비(이하 W/C)를 일본 콘크리트 표준시방서의 뿔칠 콘크리트용 급결제 품질규격 시험방법(JSCE-D 102-1986)에 따라 50% 하면 부적합한 것으로 나타났기 때문에, W/C를 각각 40, 30%로 낮추어 실험을 했다

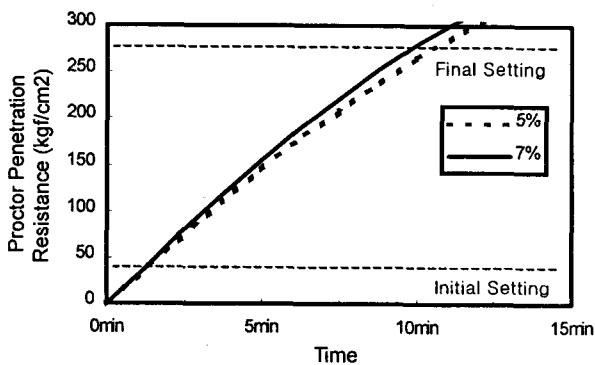


(A) W/C=40%

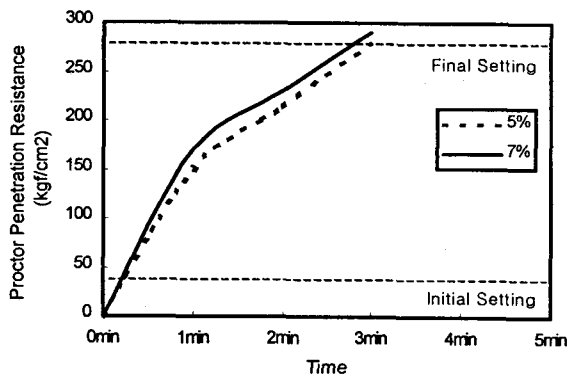


(B) W/C=30%

Fig. 2 Setting Time of Mortar (Alkali-Silicate Type)



(A) W/C=60%



(B) W/C=50%

Fig.3 Setting Time of Mortar (Cement Mineral Type)

한편 시멘트 광물계는 W/C(50, 60%) 및 첨가량(5, 7%)에 따른 모르타 응결 실험 결과(Fig. 3)를 보면 W/C=60%에서 첨가량을 각 5, 7%로 하여도 초결 및 종결이 규격에 적합한 것으로 나타났고 W/C=50%의 경우를 보면 첨가량 5, 7%에서 초결이 1분 이내로 종결도 2분 이내로 측정되었다. 또한 시멘트 광물계는 W/C가 변해도 급결력에는 변함이 없는 것을 알 수 있다. 실리케이트계와 같은 W/C= 40%에서의 시멘트 광물계는 너무 빨리 응결되어 측정이 불가능하였다.

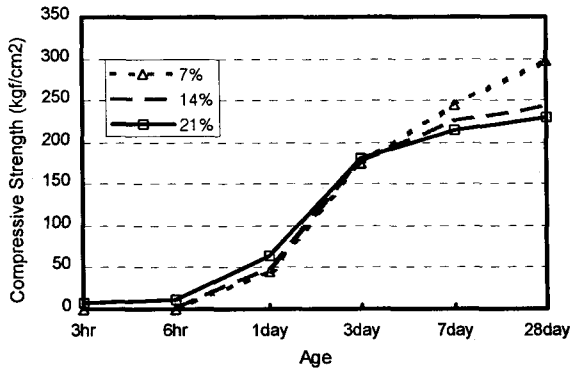
이와 같은 급결력의 차이는 콘크리트의 리바운드율과 직접적인 관련이 있어 응결이 빠르다는 것은 그만큼 리바운드에 의한 손실이 적다는 것을 의미하므로 시멘트 광물계의 경우 급결력이 우수하여 리바운드율도 적다는 것을 의미한다. 따라서 콘크리트의 특성향상 뿐만 아니라 경제적인 측면에서 매우 유용한 급결제라고 판단된다.

4.1.2. 압축강도

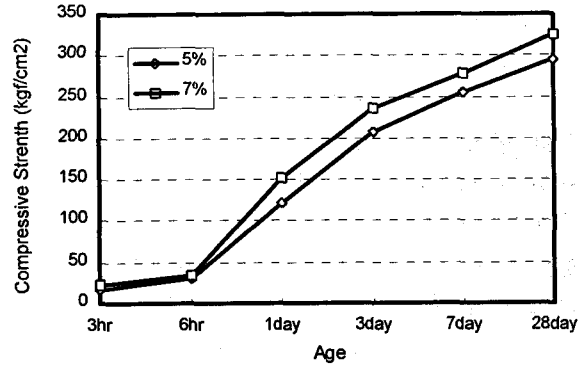
응결실험 모르타 제작방법으로 제작한 공시체를 재령별(3시간, 6시간, 1일, 3일, 7일, 일)로 압축강도는 Fig. 4, 5와 같다. 일본 콘리트 표준시방서의 뿔칠 콘크리트용 급결제 품질규격 시험방법(JSCE-D 102 -1986)에 W/C=50%로 하여 재령 24시간에서 90kgf/cm 이상으로 규정되어 있다. 실리케이트계(Fig 4)의 경우 W/C= 50% 및 W/C= 40%, 첨을 21%의 경우도 24시간 강도는 64kgf/cm으로 규정을 만족하지 못하였다.

실리케이트계의 경우 위의 규격에 만족하려면 W/C를 낮추지 않으면 안되었다. 하지만 전체적으로 1일 이내의 초기강도는 극히 낮고, 첨가량이 많아질 수록 재령28일 압축강도는 저하되는 것으로 나타났다.

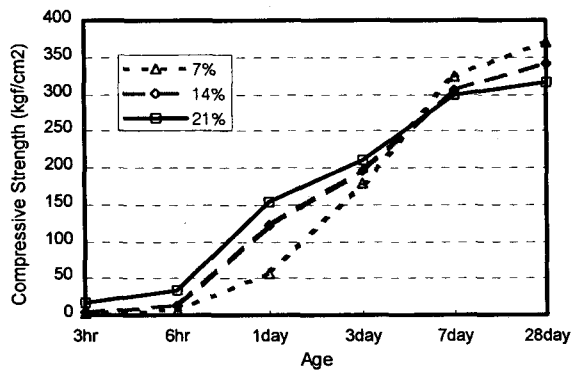
그러나 시멘트 광물계(Fig. 5)의 경우를 보면 전체적으로 재령1일 이내의 초기 강도는 W/C가 변화해도 실리케이트계의 경우보다 높고 장기 강도측면에서도 우수한 것으로 나타났다.



(A) W/C=40%

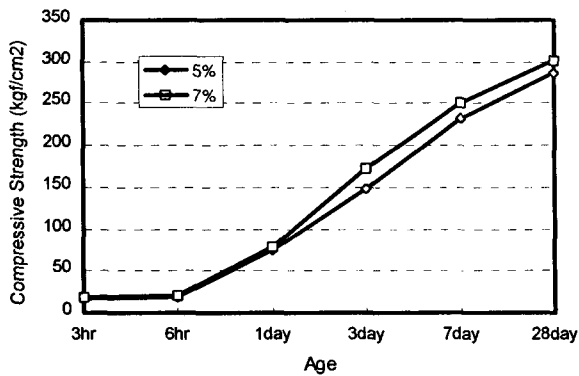


(B) W/C=50%



(B) W/C=30%

Fig.4 Compressive Strength of Mortar (Alkali-Silicate Type)



(A) W/C=60%

Fig.5 Compressive Strength of Mortar (Cement-Mineral Type)

또한 일본 콘크리트 표준시방서의 뿔칠 콘크리트용 급결재 품질규격 시험방법에 따라 W/C=40%에서 첨가량 5, 7%로 한 경우 2간 압축 강도가 각각 121, 152kgf/cm²로 타나, 일본 콘크리트 표준시방서의 규정강도보다 약 40~60kgf/cm² 이상으로 얻어지는 것에 반해 실리케이트계의 경우 W/C=30%로 하고 첨가량을 14%이상 넣어야만 일본 콘크리트 표준시방서의 규정에 만족하는 것으로 나타났다.

4.2 뿔칠 콘크리트의 물성

4.2.1 인발 시험 (Pull Out Test)

일본 터널표준 시방서·동해설을 보면 “뿔칠 콘크리트의 강도는 재령28일 강도를 기본으로 하는 것이 일반적이다. 그러나 뿔칠 콘크리트는 설계상 초기 강도의 발현이 중요하다”라고 표기되어 있다. 또한 일본 콘크리트 표준시방서에서는 초기 강도를 “뿔칠후 24시간이 내의 강도”라고 특별히 명기하고 있다.

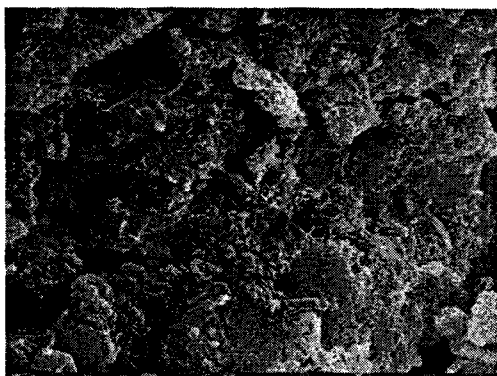
따라서 본 논문에서는 Fig. 1과 같은 시험방법으로 뿔칠 콘크리트를 타설하여 3, 6, 2시간의 인발 시험을 실시한 결과는 Fig. 6과 같다.

반응해서 비정질의 C-S-H를 급속히 생성시켜 경화한다.

위와 같이 시멘트 광물계와 실리케이트계 수화 반응 메카니즘은 상당히 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉 시멘트 광물계(분말형)는 자체가 반응하여 수화해가고 실리케이트(액상형)는 시멘트내의 C₂S 및 C₃S를 자극시켜 시멘트의 수화물 생성시키는 수화 반응 과정을 통해 급결력 및 강도를 나타낸다. 따라서 자체가 반응하는 것이 자극을 시켜 반응하는 것보다 시간적으로 빠르게 이루어지기 때문에 시간에 따른 급결력에 차이가 생기는 것이다.



(A) Cement Mineral Type Accelerator



(B) Alkali-Silicate Type Accelerator

Photo 4. Fracture Surface of Shotcrete (after 7 days)

5. 결론

본 연구에서는 뿔칠 콘크리트용으로 개발된 분말형 시멘트 광물계 급결제의 물성을 파악하고자 현재 주로 사용되고 있는 액상형 실리케이트계 급결제와의 비교 실험을 수행한 결과는 다음과 같다.

(1) 액상형 실리케이트계 급결제는 일본 콘크리트 표준시방서의 뿔칠 콘크리트용 급결제 품질규격(JSCE-D 102 -1986)에 부적합한 것으로 판명되었고, 규격에 만족하려면 W/C 30%이하 및 첨가량을 20%이상의 배합에서 적합한 것으로 나타났다.

(2) 분말형 시멘트 광물계는 W/C(50, 60%) 및 첨가량(5, 7%)에 따른 모르타 응결 실험 결과, 초결 및 종결이 일본 콘크리트 표준시방서의 뿔칠 콘크리트용 급결제 품질규격(JSCE-D 102-1986)에 적합한 것으로 나타났다으며, W/C가 변해도 급결력에는 변함이 없는 것을 알 수 있었다.

(3) 모르타의 압축강도는 실리케이트계의 경우 W/C=30%에 첨가량 21%의 배합에서 시멘트 광물계 (W/C=50%에 첨가량 7%를 넣은 공시체)와 유사한 강도 추이를 나타냄을 알 수 있었다. 강도측면에서 실리케이트계의 경우 시멘트 광물계에 비해 W/C를 20%로 낮추고, 첨가량을 3배이상 첨가하여 강도를 비슷하게 하여도 실리케이트계는 종결 시간은 규격에 부적합하고 시멘트 광물계에 비해 2배 이상 지연됨을 알 수 있었다.

(4) 인발 시험결과, 시멘트 광물계가 실리케이트계에 비해 높은 인발 압축강도를 나타내어 초기 급결력 및 압축강도 발현에 있어서 분말형의 시멘트 광물계가 액상형의 실리케이트계에 비해 우수한 것으로 사료된다.

(5) 28일 압축 강도는 시멘트 광물계가 259 kgf/cm², 실리케이트계가 212kgf/cm²로 나타나 장기강도 측면에서도 시멘트 광물계가 우수한 것으로 나타났다. 또한 강도의 증진을 및 휨 강도 측면에서도 시멘트 광물계(분말형)가 재령에 따라 실리케이트계 보다 우수한 것을 알 수 있었다.

분말형의 시멘트 광물계 급결제의 인발 압축강도는 40kgf/cm^2 로 기존 액상형 실리케이트계에 비해 4배 정도 높은 값을 나타내었고, 24시간에서의 결과는 실리케이트계의 경우 88kgf/cm^2 인 것에 비해 시멘트 광물계는 132kgf/cm^2 로 나타났다. 즉, 초기 급결력 및 압축 강도 발현에 있어서 분말형의 시멘트 광물계가 액상형의 실리케이트계에 비해 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

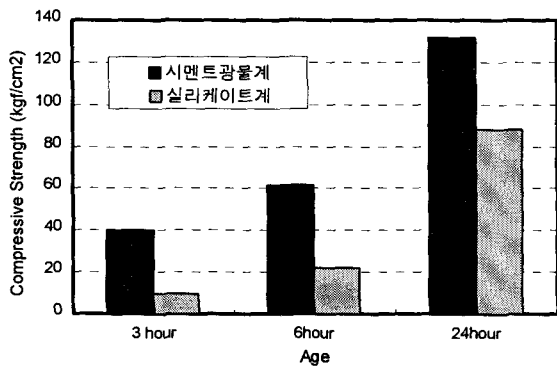


Fig. 6 compressive Strength of Shotcrete (Pull-Out Test)

4.2.2. 압축 강도

프라스틱 원통형 몰드위에 25cm 이상의 쏫크리트를 뿔칠한 후 재령별로 코어링하여 측정된 압축 강도 결과는 Fig. 7과 같다.

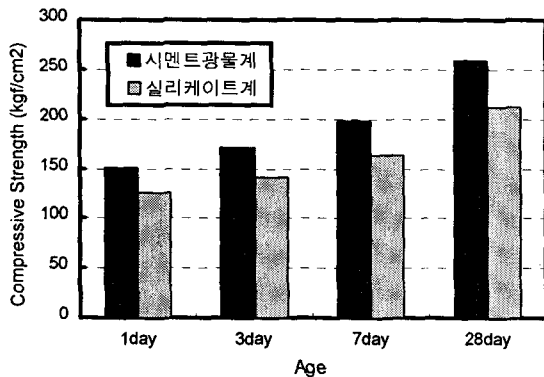


Fig. 7 Compressive Strength of Shotcrete

재령28일 압축 강도는 시멘트 광물계가 250kgf/cm^2 , 실리케이트계가 210kgf/cm^2 로 나

나 장기강도 측면에서도 시멘트 광물계가 우수한 것으로 나타났으며 또한 강도의 증진을 보면 시멘트 광물계가 재령이 경과함에 따라 실리케이트계보다 그 증진율이 우수한 것으로 나타났다.

4.2.3. 휨강도

휨강도 측정은 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 55\text{cm}$ 의 빔 물에 뿔칠콘크리트를 타설한 후 재령7일 및 28일 휨 강도를 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 8 같다. 휨 강도 역시 시멘트 광물계(분말형)가 실리케이트계(액상형)보다 높은 것으로 나타났다.

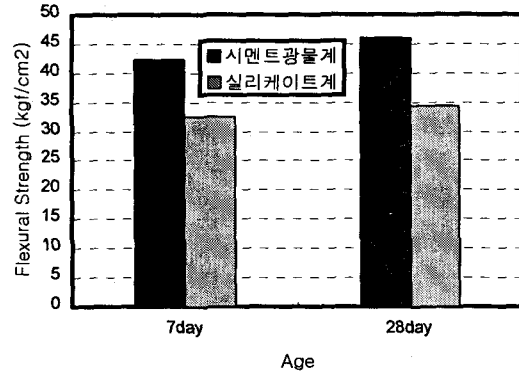


Fig. 8 Flexural Strength of Shotcrete

4.2.4. 주사전자현미경 관찰

코어링한 공시체의 재령 7일 파단면 사진은 Photo. 4와 같다. 시멘트 광물계를 보면 전체적으로 콘크리트내의 급결력을 좌우하는 에트링자이트라는 수화물이 전체적으로 치밀하게 생성되어 콘크리트내의 물질들을 서로 견고하게 부착시키고 있음을 알 수 있다. 이러한 시멘트 광물계의 반응은 C_{12}A_7 이라는 물질이 주성분으로 이루어져 CaSO_4 와 함께 $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ 의 침상 결정(에트링자이트)라는 수화물이 생성되어 급결력이 얻어진다.

한편 실리케이트계 급결제는 주성분이 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 계로 점성이 있는 액상형으

(6) 분말형의 시멘트 광물계 급결제를 첨가한 콘크리트의 내면은 급결력을 좌우하는 에트링자이트라는 수화물이 전체적으로 치밀하게 생성되어 콘크리트내의 물질들을 서로 견고하게 부착시키고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 岡田 喬, "山岳トンネルの新技術(14)", トンネルと地下, 第19巻5號, 1988年 5月, pp. 401~414
2. 中原 康, "吹付けコン크리트における材料の現況と問題點", 콘크리트工學, Vol.19, No.4, pp.20~28, 1981 .
3. 吹付け콘크리트用急結劑品質規格(案) JSCE-D 1986, 콘크리트標準示方書(土木學會規準)
4. S.Teramuta, Y.Matsunaga, K.Hirano et.al., Accelerator for Shotcrete Based Amorphous Calcium Aluminate, Engineering Foundation Conference on SHOTCRETE FOR UNDER- GROUND SUPPORT at Niagara-on-the- Lake, Canada, vol.4, 9, 1993
5. K.Nakagawa, I.Terahima, K.Asaga and M. Daimon, Influence of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ on hydration reaction of amorphous calcium aluminate, Cem. Con. Rec. vol. 20. 824, 1990
6. (社) 日本トンネル技術協會, "トンネルの吹付けコン크리트", 平成8年 2月
7. Marc vandewalle, "Tunnelling the World", 1996
8. 酒井芳文ほか, 高性能吹付けコン크리트システムを用いた施工實驗, 콘크리트工學 年次論文報告集, vol. 19, No. 1, pp143 5~1440, 1997