

架設 土留壁用 SCW의 未硬化 現像

Unhardening Phenomena of SCW constructed in Organic Soil

金教原(Kim, Gyo Won)
康起榮(Kang, Ki Young)
宋定洛(Song, Jeong Rak)

(주)삼안 엔지니어링 상무이사, 기술사/공학박사
(주)내경 엔지니어링 이사, 기술사
(주)대우 엔지니어링 대리

요 약

본 고는 특정 흙에서의 가설 흙막이용 SCW의 미경화현상 원인을 실험적으로 규명하며 성공적으로 현장 시공한 사례를 소개하고자 한다. 시험은 현장 흙을 채취하여 현장 배합비와 변경된 배합비 및 특정약액의 추가에 따른 SCW의 강도특성 변화를 실내 측정하였다. 그 결과 SCW 미경화 현상의 원인은 현장의 유기질토에 기인된 것으로 나타났으며, 이에 대한 대책으로 염화칼슘 2% 첨가시 가장 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 염화칼슘의 배합비를 4%, 6%로 증가시킨 경우에는 오히려 강도가 저하되는 특이한 현상을 나타내었다. 또한 pH가 13이 되도록 NaOH를 첨가한 경우에는 오히려 강도가 저하하였고, NaSiO₂를 첨가한 경우는 초기 강도는 어느 정도 발현된 반면, 장기 강도는 감소되는 현상을 보였다.

Abstract: A series of laboratory tests were conducted to verify the unhardening phenomena of Soil-Cement Wall (SCW) and the results are presented in this paper. Specimens are prepared by mixing the site soil with cement and additives at a various ratio.

The hydration of the cement mixed with the in-situ soil was retarded due to the higher organic content of the soil. In order to remove the influence of the organic matters in hydration reaction, calcium chloride (CaCl₂) was added as an acceleration additive at a different ratio. The optimum ratio of the calcium chloride for the higher SCW strength was determined as 2% of cement weight. The strength, however, was decreased by adding 4 and 6% of the additives.

The effect of other additives, NaOH and NaSiO₂, were also investigated and the results are included. The strength of SCW by adding sodium hydroxide was lowered. And the short term strength by adding sodium silicate was increased but the long term strength was decreased.

1. 개 요

가설 구조물로서의 토류구조물에는 여러가지가 있으나 근래에는 Cement Grouting 을 이용하여 직접 토류벽을 형성하는 SCW(Soil

Cement Wall)공법이 이용되고 있으며 경제성에서도 긍정적인 평가를 받고 있다. 본 연구의 대상 지역은 강원도 삼척시 월계동에 신축중인 월계 상가 아파트 굴토 공사 현장의 흙막이 가설 구조물로서 통상 시공되었던 Soil Ce-

ment 배합비로 시공한 결과 Grout재료가 경화되지 않는 현상이 발생하였다.

이에 대하여 본 연구에서는 지반의 특이한 성질로 인하여 현장 타설 SCW의 미경화 현상이 발생한 것으로 추정하고, 특수한 지반 조건에서 Cement Grouting의 경화현상을 방해하는 요인들을 살펴보았으며, 실내 시험에 의해 그 원인을 규명하고 이에 대한 대책을 수립하였다.

현장개요(지형 및 지반 조건)

본 연구의 대상 지역은 태백산맥 동쪽 하단부에 위치하여, 서쪽은 산록, 동쪽은 동해바다를 향하고 있다. 현장 시추조사 결과, Table 1과 같이 지표로부터 매립층, 층적층 그리고 풍화대층의 순서로 형성되어 있다.

또한 현장 자연 시료에 대하여 실시한 물성 시험 결과에 의하면 지표하 5.7m~14.8m에 퇴적된 층적토는 함수비가 43~50%이고 액성한계가 33.2~39.2%인 소성지수가 낮은 유기질 실트(유기질 함유율: 4.2~4.8%)로 나타났다. 한편 지표하 2.0m에서 얻은 지하수에 대한 pH는 6.8로 거의 중성수로 나타났다(Table 2 참조).

2. Soil-Cement 경화 이론

1) 시멘트의 수화 반응

일반적으로 널리 사용되고 있는 보통 포틀랜드 시멘트(Portland Cement)의 화학성분 및 산화화합물의 구성비는 시멘트 중량의 약 85% 정도가 CaO와 SiO₂로 구성되어 있다(Mindess & Young, 1981, 건설부, 1986). 이와같은 성분의 시멘트가 물과 화합되는 경우, 수화작용(Hydration)이라는 화학반응을 일으켜서 경화하게 된다.

수화작용이란 시멘트의 구성 물질과 물이 반응하여 시멘트 고결체라는 고체를 형성하는 화학 반응이다. 시멘트의 구성 성분은 매우 복잡하게 구성되어 있으므로 이들이 물과 일으키는 화학 반응 역시 각 원소의 화학적 특성에 따라 매우 복잡하며, 생성되는 고체의 생성속

도 및 강도가 달라지게 된다.

Mindess & Young(1981)에 의하면, 시멘트 분말에 물이 가해지면 반응성이 가장 좋은 C₃A (3CaO Al₂O₃, Tricalcium Alluminate) 성분이 가장 먼저 반응하여 막대모양의 미세한 고결체를 형성한다. C₃A는 수화산물의 강도는 별로 크지 않으나 반응소요 시간이 약1시간 이내로 매우 급격한 발열 반응을 일으키게 된다. 또한 시멘트 속에 C₃A 함량이 지나치게 높을 경우는 C₃A의 수화작용에 의해 시멘트풀이 가경화 현상을 나타내어 뒤따르게 될 C₃S 및 C₂S의 고강도 수화작용을 방해하게 되기도 한다.

C₃A의 반응이 서서히 종료되는 시점에서 부터 C₃S(3CaO SiO₂, Tricalcium Silicate)의 수화 반응이 발생한다. C₃S는 물과 반응하여 시멘트 강도 발현의 주요 중심고체인 C-S-H로 구성되는 무정형의 고결체를 형성하게 된다. C₃S의 수화반응에 연속하여 C₂S(2CaO, SiO₂, Dicalcium Silicate)의 수화반응이 발생하여 또다시 C-S-H를 중첩하여 형성하게 된다.

수화 반응의 속도는 상기와 같이 시멘트의 구성 물질별로 순차적으로 발생하므로, 어느 한 과정에서 반응에 필요한 물이나 기타 성분을 많이 소비한다면 그 다음 반응이 지장을 받게 된다. 즉 시멘트에 충분한 양의 물이 공급되지 않았다면 C₃A 혹은 C₃S 수화작용을 할 수 있으나 C₂S 등은 수화 작용을 충분히 일으킬 수 없게 된다. 이 경우 시멘트는 초기 강도는 정상적으로 발현되나 최종 강도는 정상적으로 발현할 수 없게 된다.

2) 시멘트의 경화에 영향을 미치는 요인들

— 유기질토에서 시멘트의 경화

일반적으로 유기질토에서 시멘트의 경화는 매우 불량한 것으로 나타나 있다(Karol, 1983, 福岡正巴, 1983). 유기질토가 시멘트의 경화에 약 영향을 미치는 이유는 유기질토가 시멘트 중의 C성분을 흡착하여 C₃S 혹은 C₂S가 물과 반응하는 것을 방해하기 때문인 것으로 보고되어 있다(Ingles & Metcalf, 1977). 따라서

Table 1. 현장 조사 결과 요약표

구분	결과 요약
매립층	과거 기존 건물들이 건설되기 이전 매립에 의해 형성된 층. 발달층후는 약 0.5~0.7m 내외, 실트질 모래로 구성.
충적층	유수에 의해 운반, 퇴적된 미고결 상태의 퇴적물층. 발달층후는 약 0.7~18.6m내외, 주로 점토질 실트 및 실트질 점토로 구성되어 있으며 특히 일부 지역의 경우 심도 5.7~13.5M에 유기질의 실트층이 형성되어 있다. N치는 2~13회
풍화대층	오랜 풍화과정을 통하여 완전히 풍화된 층으로 모암은 편마암임. 지표하 15.5~19.3m에 발달

Table 2. 물성시험 결과

시료번호	함수비 (%)	비중 G_a	분류 (USCS)	Atterberg 한계		흙입자의 특성*			유기물 (%)
				LL(%)	PL(%)	모래(%)	실트(%)	균등계수	
L-1	43	2.66	CL	35.2	14.4	3	97	2.6	-
L-2	44	2.65	OL	33.2	8.3	4	96	4.3	-
L-3	-	2.54	OL	39.2	11.6	16	84	4.5	4.82
L-4	-	2.56	OL	34.3	10.3	18	82	5.9	4.20

*점토 함량은 1%이내임.

유기질토에서의 시멘트 그라우팅 작업시에는 통상 시멘트의 양을 늘리거나, C성분을 보강하여 주는 약액을 첨가하는 방법을 쓴다.

- 산성환경에서 시멘트의 경화

수화 반응이 발생할때 시멘트 풀의 pH는 약 12까지 증가된다(Mindess & Young, 1981). 따라서 시멘트풀은 액성이 알칼리성이 된다. 이때 사용된 물이 산성이라면 산-알칼리 반응에 의해 시멘트풀속의 OH⁻ 이온과 가해진 물속의 H⁺ 이온이 반응하여 염 결정체와 물을 생성하게 된다. 시멘트 성분중의 Ca는 원소분류상 알칼리 토금속으로 분류되며, 산-알칼리 토금속반응은 어떤 수화작용보다 우선하는 매우 격렬한 발열반응으로서, 시멘트 풀속의 pH농도를 저하시키고, CaO를 소비하여 물과 반응할 수 있는 칼슘의 함량을 저하하게 된다. 따라서 C₃S 및 C₂S의 수화작용 반응성을 저하시키게 된다. 그러므로 산성환경에서의 시멘트의 효과적인 수화작용을 위해서는 공급되는 물에 알칼리성의 용액을 미리 첨가하는 것이 유용할 것이다.

- 해수 오염상태에서 시멘트의 경화

일반적으로 시멘트에 사용되는 물은 해수를 피하고 있으며 해수에 의해 시멘트의 수화작용이 직접적으로 크게 영향 받지는 않으나 해수속의 염분이 시멘트 구조물속의 철근등을 부식시키기 때문인 것으로 알려져 있다(Ingles & Metcalf, 1977). 따라서 본 연구에서는 SCW 미경화에 대한 해수의 영향은 제외하였다.

3) Soil Cement Wall

- 포출란 반응

시멘트 분말은 물과 반응하였을때 수화작용을 일으켜 고결체를 형성 한다. 포출란 반응은 시멘트 분말 자체와 물과의 화학 반응이 아니고, 시멘트 분말과 물 그리고 여기에 공급되는 흙입자와의 화학 반응이다.

연약 지반개량용으로 널리 쓰이는 석회는 지반속에서 CaO와 흙입자를 결합시켜 지반의 전단강도를 증가시키게 되며(Fig. 1 참조), 여기서 석회와 흙입자의 반응이 바로 포출란 반응이다.

포출란 반응의 주요 원료인 석회의 주요 원

소는 Ca이므로 유기질토, 산성환경, 해수오염 등의 영향은 수화작용에서와 유사할것으로 추정할 수 있다.

-SCW의 경화

SCW는 오저등으로 교반된 지반과 Cement-Milk가 혼합되어 형성되므로 수화반응과 포출란 반응이 함께 발생하게 된다. SCW에 사용되는 Soil-Cement의 강도는 설계, 시공 및 공사비에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 적절한 품질관리가 중요하며, 강도에 영향을 미치는 요인은 물-시멘트비(W/C비), 벤토나이트-시멘트비, 주입율, 재령, 시공심도, 지반조건 등 다양하다.

이들 각 요인에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이나, 연구에 의하면(특수건설, 1986) 특별한 약액이 첨가되지 않은 SCW의 경우, 점토에 있어서 물-시멘트비가 200~400%이고, 주입율이 40~110%인 경우 일축압축강도는 3~13Kg/cm² 정도인 것으로 보고 하고 있

다. 또한 물-시멘트비가 300%를 초과하면 일축압축강도가 급격히 저하하는 경향을 나타낸다(Fig. 2참조). 한편, 재령 T_c와 일축압축강도와의 관계에 있어서 재령 28일 이후에도 강도가 계속 증가하며 사질토에 있어서는 T_c=28일, 점토에 있어서는 T_c=7일을 경계로 하여 증가추세가 작아지는 경향을 나타낸다(Fig. 3 참조).

3. 실내시험

1) 물리특성

본 현장 지반의 물리적 특성은 Table 2에 나타난 바와 같다.

2) 약액의 선택

본 현장의 SCW 미경화 현상을 해결하기 위한 조치로 Table 3과 같은 약액 사용을 고려하였다.

3절에서 살펴본 바에 의하면 본 현장에서의 SCW 미경화 현상은 주로 현장 지반속의 유기

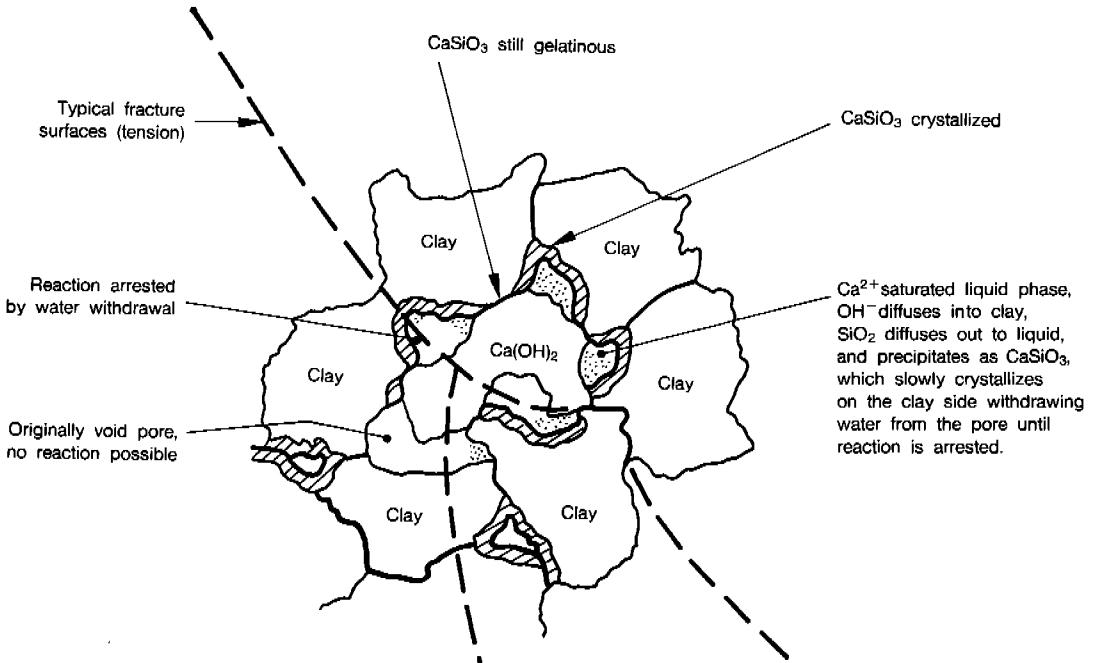


Fig 1. 포출란 반응의 개념도(Mindess & Young, 1986)

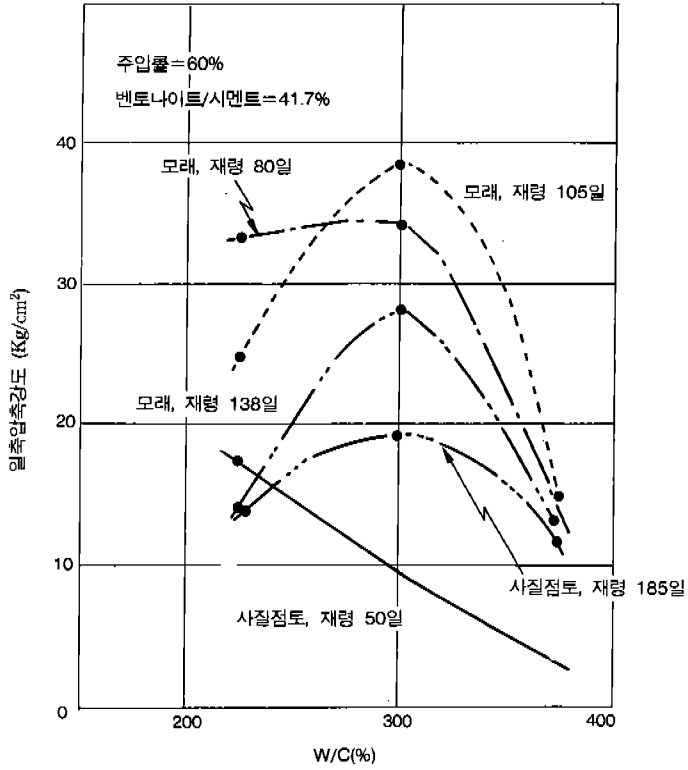


Fig 2. W/C 비와 일축압축강도의 관계(특수건설, 1986)

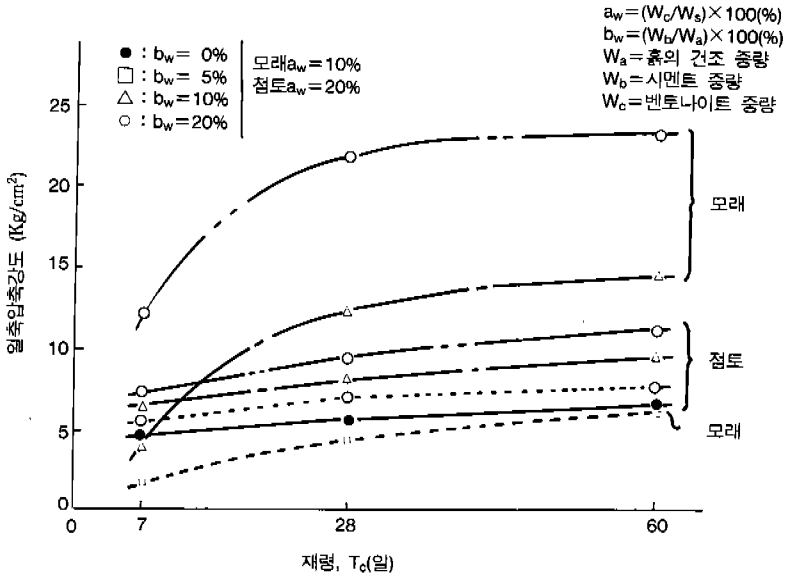


Fig 3. 재령과 일축압축강도의 관계(특수건설, 1986)

질토에 의한 현상으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 Table 6의 약액 중에서 유기질 흙에서 시멘트의 수화작용을 촉진 시키기 위하여 비교적 구입이 용이한 CaCl_2 , NaOH , NaSiO_2 등을 첨가 약액으로 선정하였다.

- 시료배합 및 재령일별 강도

유기질토에 의한 시멘트 미경화현상을 규명하기 위한 일축압축강도 시험을 서로 다른 배합비 및 첨가 약액별로 총 88개의 시료를 제작하여, 실시하였다(Table 4. 참조).

시료는 현장 시공 Cement Grout 배합비와

변경된 배합비에 고결작용에 적합한 첨가재로 예상되는 CaCl_2 , NaSiO_2 , NaOH 등을 일정비율로 추가하여 재령 28일까지 일축압축강도를 측정하였다.

시료는 직경 41mm, 높이 90mm의 PVC관을 시료 모듈드로 이용하여 현장의 상태를 재현하기 위하여 다지지 않고 넣은 후 건조를 방지하기 위하여 비닐 밀봉을 하였다.

시료 제작 1일 후 모듈드를 벗기고, 수중에서 양생되도록 수침하였다. 강도시험전, 시료의 양끝을 평탄하게 마무리하였으며, 시료의 전체 단위중량을 측정하였다. 시료압축은 분당 1

Table 3. 물성시험 결과

개 선 항 목	약액명 및 내용
유기질토에 대한 대책	시멘트량 증가 CaCl_2 , Ca(OH)_2 , NaSiO_2 의 첨가
산성환경에 대한 대책	시멘트량 증가 알칼리성 약액 (NaOH , Ca(OH)_2) 첨가
해수오염에 대한 대책	고려되지 않음
포출란 반응 촉진	시멘트량 증가 석회 추가, 알칼리성 약액 (NaOH , Ca(OH)_2) 첨가

Table 4. 시료별 첨가약액 및 배합비

구 분	첨가약액	첨가약액 농 도	배 합 비 Soil : Cement : Bentonite : Water	비 고
Type 1	없음	-	600 : 93 : 8.3 : 150	현장시공 배합비
Type 2	NaOH	-	〃	pH가 13이 되도록 NaOH 첨가
Type 3	CaCl_2	2%	〃	
		4%	〃	
		6%	〃	
		4%	600 : 111.6 : 2.49 : 150	현장시공상태 배합비 중 시멘트량 20% 증가
		4%	600 : 120.9 : 2.49 : 150	현장시공상태 배합비 중 시멘트량 30% 증가
Type 4	-	-	600 : 111.6 : 2.49 : 150	현장시공상태 배합비 중 시멘트량 20% 증가
Type 5	NaSiO_2	2%	600 : 93 : 8.3 : 150	
		4%	〃	
		6%	〃	
		2%	600 : 111.6 : 2.49 : 150	현장시공상태 배합비 중 시멘트량 20% 증가

mm의 속도로 압축하여 파괴시까지 계속되었으며, 파괴시의 강도 및 변위를 기록하여 시험하였다.

3) 시험결과

Fig. 4에는 시험 결과중 각 Type 별로 가장 강도 특성이 좋은 배합비의 공시체에 대한 강도를 도시하고 있다.

- 기존설계 배합비(Type 1)

Fig. 4로 부터 기존 설계 SCW 배합비에 의한 공시체의 강도는 초기에는 매우 미약하며, 장기 강도 또한 충분치 않음을 알 수 있다.

- NaOH의 영향(Type 2)

Fig. 4로 부터 NaOH는 SCW의 강도 발현에 역현상을 일으킨다는 것을 알 수 있다.

- CaCl₂의 영향(Type 3)

CaCl₂는 SCW의 초기 및 장기 강도를 현격하게 증가시키움을 알 수 있다. 또한 Fig. 4에 나타나지 않은 결과로부터 CaCl₂의 함량을 2%

이상으로 증가시키거나, 시멘트의 함량을 증가시켰을때에는 강도 특성이 오히려 저하됨을 알 수 있었다.

- Cement의 영향(Type 4)

Cement량을 증가시켰을 때는 강도 특성이 개선되기는 했으나 우수하지는 않았다.

- NaSiO₂의 영향(Type 5)

NaSiO₂를 첨가하였을때는 강도 특성이 개선되기는 하나 초기 강도의 개선에 비해 장기 강도는 오히려 저하되었다.

4. 현장시공결과

실내 시험 결과를 토대로 현장시험시공은 굴진용 및 벽체 형성용 용액으로구분하여 벽체형성용 배합비에서 시멘트량은 실내시험의 경우보다 20% 많게 하였는데, 이는 현장 혼합상태가 실험실보다 저조할 것으라는 가정에서 좀 더 많은 시멘트를 사용하였기 때문이다. 또한 첨가 약액으로는 염화칼슘 2%를 사용하였

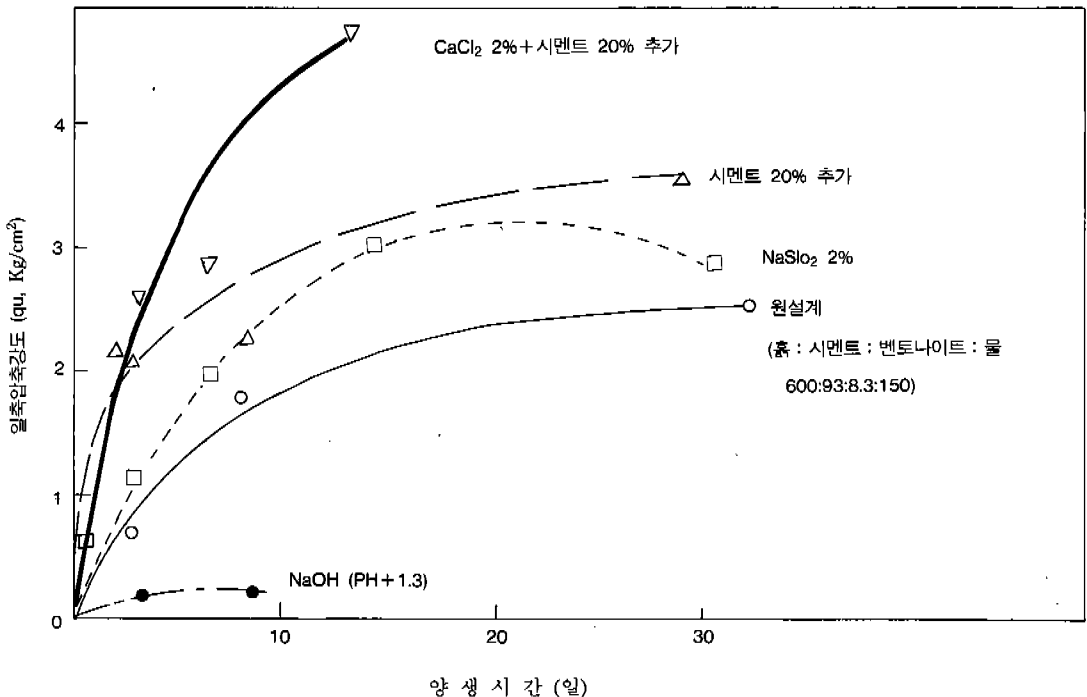


Fig. 4. SCW의 일축압축강도와 양생시간과의 관계

는데 이는 시험 결과, 초기 및 장기 강도에 걸쳐 가장 양호한 강도 개선 효과를 보였기 때문이다.

시공방법은 우선 굴진용 용액을 주입하면서 예정 심도인 16m까지 굴진하고 완전인발 후 다시 16m까지 굴진을 반복(소요시간 약 45분)한다. 그리고 인발용 용액을 주입하면서 서서히 인발한다(소요시간 약 25분). 이와 같이 하여 얻은 시공결과는 1주일이 경과 된 후 현장확인 결과 인력(삽)으로 굴착할 수 없을 정도로 SCW가 경화되었다. 또, 현장굴토 지역을 굴착한 결과 잘 경화된 SCW벽체가 형성되어 성곡적으로 굴토 공사를 할 수 있었다.

5. 결 론

- 1) 본 현장의 SCW 미경화현상은 현상에 현장에 산재한 유기질토에 의한 것이었다.
- 2) 유기질토는 시멘트속의 Ca성분을 흡착하여 시멘트의 수화작용을 저해한다.
- 3) 유기질토에 의한 SCW 미경화현상은 CaO 성분을 추가로 공급해주면 정상적인 수화작용을 유발시킬 수 있다.
- 4) 유기질토에 Ca 성분을 추가로 공급하는 약액으로는 본 연구의 경우 CaCl_2 가 가장 효과적이었으며, 그 양은 2%이었을때 가장 효과적이었으며, 시멘트를 약간 첨가하였을 때 효과가 더욱 현저하게 증대되는 것으로 나타났다.

- 5) 시멘트용 물의 pH를 지나치게 높게(13 이상)하는 것은 시멘트의 수화작용을 오히려 저해한다.
- 6) NaSiO_2 용액을 첨가하였을 경우는 강도 증대가 나타나기는 했으나, 약액사용량을 늘릴수록 강도가 저하되었으며, 전체적으로 장기 강도가 저하되어 사용약액으로 불안정한 것으로 나타났다.

참고문헌

- 건설부 (1986), "콘크리트 配合設計, 레디믹스트 콘크리트", 기술지도서 5.23, PP.21-21
- 福岡正巳 (1983), "最新の薬液注入工法の設計と施工例", 代圖書株式会社 PP.29
- 특수건설공업주식회사 (1986), "Soil Cement 工法", 특수건설공업주식회사, PP.23-39
- Karol, R.H., "Chemical Grouting", Marcel Dekker Inc. New York 10016, pp.263
- Ingles, O.G. and Metcalf J.B.(1977), "Soil Stabilization", Butterworths, pp.103-144
- Mindess, S. and Young, J.F.(1981), "Concrete", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, pp.17-199
- Karol, R.H., "Chemical Grouting", Marcel Dekker Inc. New York 10016, pp.263
- Ingles, O.G. and Metcalf J.B.(1977), "Soil Stabilization", Butterworths, pp.103-144
- Mindess, S. and Young, J.F.(1981), "Concrete", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, pp.17-199