

서울 도심지 내 지반에 시공한 소일-시멘트의 강도 특성 Strength Characteristics of Soil-Cement Constructed in Seoul Urban Area

주진현¹⁾, Jinhyun Choo, 김영석²⁾, Young Seok Kim, 김학승³⁾, Hak Seung Kim, 조용상⁴⁾, Yong Sang Cho

- ¹⁾ 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 지반연구실 연구원, Researcher, Geotechnical and Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology
²⁾ 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical and Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology
³⁾ 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 지반연구실 연구원, Researcher, Geotechnical and Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology
⁴⁾ 삼성건설 TA팀 과장, Manager, TA Team, Samsung Construction and Technology

SYNOPSIS : Soil-cement, a hardened mixture of Portland cement, soil, and water that contain sufficient durability, has been widely utilised in Seoul urban construction sites to retain lateral earth pressures or reinforce grounds. However, little information has been reported about the strength characteristics of soil-cement constructed in Seoul urban area. In this study, we performed a number of unconfined test to the soil-cements mixed from soils sampled in 3 sites in Seoul urban area. Results indicate that unconfined strengths and optimum cement amounts of soil-cements are highly dependent on the proportion of coarse-grain particles of mixed soils. Furthermore, changes of unconfined strengths with curing time are diverse with respect to mixing conditions.

Keywords : Soil-cement, Unconfined strength

1. 서 론

시멘트는 물과 함께 흙에 교반 시 수화작용으로 단기간에 강도를 발현시켜 대상 지반을 손쉽게 견고하게 만들기 때문에 연약지반의 안정처리를 위하여 오래 전부터 사용되어 왔다. 배합 시 시멘트의 양을 증가시켜 흙과 혼합된 물질이 양생 후 ASTM-PCA 내구성 테스트(습윤-건조, 동결-융해) 기준을 만족하는 경우 소일-시멘트라 정의하며 (Mitchell, 1976), 소일-시멘트는 지반을 크게 교란시키지 않으면서도 대상 지반을 높은 강도를 갖는 물질로 치환할 수 있기 때문에 도심지 공사에서 흙막이 공법인 소일-시멘트 벽체(S.C.W) 시공 혹은 지반 보강 공법 등에 적용된다.

김병일 등(2003)은 경기도 용인 지역에서 채취한 사질토를 대상으로 소일-시멘트의 강도 특성을 연구하였지만, 시료를 자연 건조시킨 후 시멘트와 배합하였기 때문에 현장에 바로 시공되는 소일-시멘트의 강도 특성을 정확하게 반영하지 못하였다. 따라서 실제 현장에 시공하는 소일-시멘트의 강도 특성을 평가하기 위해서는 함수비 등의 현장 토질 조건이 유지된 상태에서 제작한 소일-시멘트의 강도를 평가하기 위한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 도심지 공사에서의 지반 보강을 위하여 개발 중인 소일-시멘트 공법 연구(김영석 등, 2009)의 일부로 서울 도심지 내 3개의 재개발 현장들에서 채취한 흙을 자연 함수비 상태에서 실내에서 제작한 소일-시멘트에 대하여 일축 압축강도 시험을 실시하고 결과를 분석하였다.

2. 소일-시멘트 강도 시험

2.1 현장 및 시료 정보

서울 시내 현장 3개소에서 소일-시멘트를 시공하기 전 대상 지반의 시료들을 채취하여 자연 함수비 상태에서 소일-시멘트를 제작하고 일축 압축강도 시험을 실시하여 강도 특성을 평가하였다. A 현장은 서울시 성북구의 아파트 재개발 현장, B 현장은 서울시 송파구의 아파트 재개발 현장, C 현장은 서울시 동대문구의 공원 재개발 현장이다. 소일-시멘트로 제작한 시료들의 기본 물성을 표 1에, 입도분포 곡선을 그림 1에 나타내었으며, 3개 현장에서 채취한 흙이 점토부터 사질토까지 다양한 입도 범위를 갖고 있으며, 함수비 역시 다양함을 확인할 수 있다.

표 1. 서울 도심지에서 채취한 시료들의 기본물성

현장명	비중	함수비 (%)	단위중량 (kN/m ³)	소성지수 (%)	통일분류법
A 현장(Site A)	2.64	24.6	18.6	N.P	SP
B 현장(Site B)	2.61	19.4	17.1	N.P	SW
C 현장(Site C)	2.60	14.1	16.9	20.4	CL

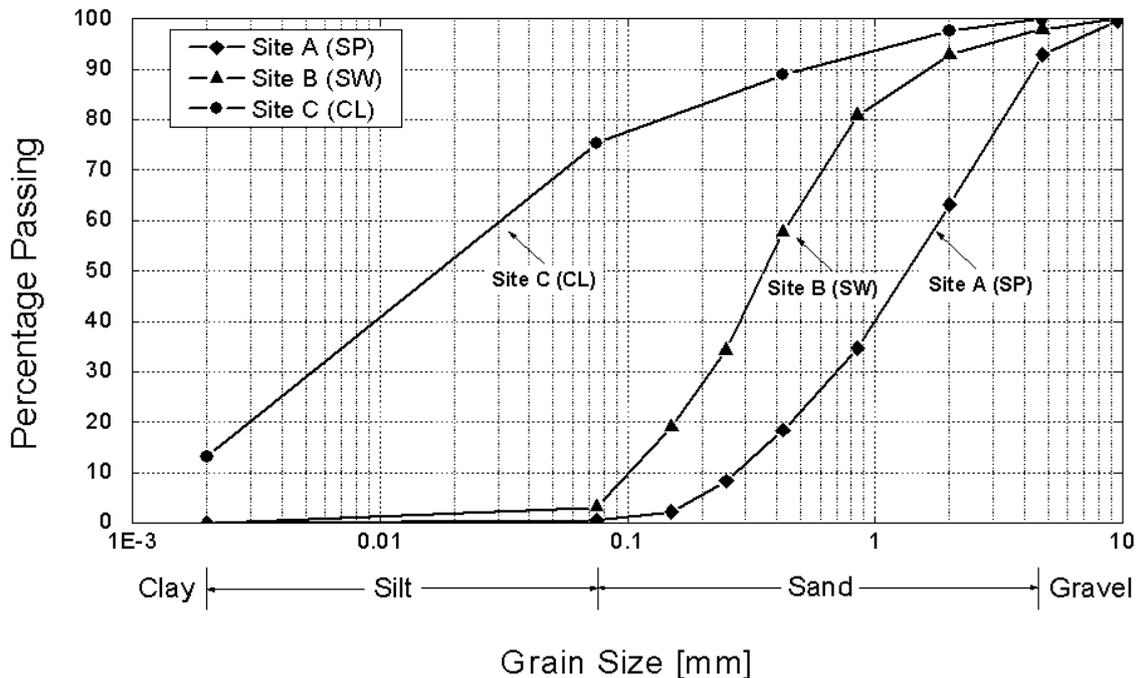


그림 1. 서울 도심지 내 현장에서 채취한 시료들의 입도분포곡선

2.2 소일-시멘트의 일축 압축시험

일축 압축시험을 실시한 공시체 제작 시 토질 조건 및 시멘트 배합 조건에 따른 소일-시멘트 강도의

범위를 파악하고자 시멘트의 비율을 다양하게 설정하였다. 그리고 양생 시간에 따른 강도 발현 특성을 파악할 수 있도록 총 6개의 공시체를 제작하고 3개는 양생 7일 후, 나머지 3개는 양생 28일 후 강도를 측정하였다.

일축 압축시험은 한국산업규격에 제시되어 있는 흙의 일축 압축시험 규정(KS F 2314)에 따라 수행하였다. 즉, 공시체를 매분 1%의 압축 변형이 생기는 비율로 압축하였으며, 압축력이 최대가 되고 나서 계속해서 변형이 2% 이상 생기거나, 압축력이 최대값의 2/3 정도로 감소하거나 또는 압축 변형이 15%에 도달할 때 까지 압축하였다. 시험 결과 모든 공시체가 최대 압축력 이후 압축력이 급속히 감소하면서 파괴되는 취성 거동을 나타내었다. 일축 압축시험을 수행한 후 소일-시멘트 공시체의 모습은 그림 2와 같다.



그림 2. 일축 압축시험을 수행한 공시체 사진

3. 일축 압축시험 결과

3.1 소일-시멘트의 일축 압축강도 특성

3 종류의 시료를 사용해서 제작한 소일-시멘트 공시체의 일축 압축시험 결과를 그림 3에 나타내었다. 시험 결과 같은 조건에서 배합한 공시체들이 대체로 유사한 일축 압축강도를 나타내어 결과는 신뢰성이 있는 것으로 판단된다. 그림 3과 같이 소일-시멘트의 양생 28일 일축 압축강도 범위는 A 현장 시료(SP)는 9 - 12 MPa, B 현장 시료(SW)는 2 - 4 MPa, C 현장의 시료(CL) 1.5 - 3 MPa 을 나타내었다. 이를 통하여 소일-시멘트의 강도는 원지반 토질에 조립질 입자 성분이 많을수록 증가하며 입도 특성이 소일-시멘트 강도의 중요한 영향인자임을 확인할 수 있다.

그리고 소일-시멘트의 일축 압축강도는 첨가한 시멘트의 양과 정비례하지 않고 토질 별로 소일-시멘트의 최대 강도가 발현되는 최적 시멘트 첨가 비율이 존재하는 것으로 나타났다. 최적 시멘트 첨가 비율은 약 20% 내외에 있었으며 세립분 함유량이 커질수록 최적 비율은 작아지는 경향을 나타냈다. 그림 4(d)는 시험 결과를 Mitchell (1976)이 제시한 시멘트 첨가 비율에 따른 소일-시멘트의 일축 압축강도 값과 비교한 그래프이다. 비교 결과, A 현장에서의 강도는 제시한 결과보다 크게 나온 반면 B와 C 현장에서의 소일-시멘트는 다소 작은 값을 나타내어 소일-시멘트의 강도는 시멘트 첨가량에 따라 한 가지로 나타나기 보다는 배합한 토질의 조립질 입자 함유량에 따라 달라지는 것으로 고려해야 한다.

3.2 양생 시간에 따른 소일-시멘트의 강도 발현 특성

소일-시멘트의 양생 시간에 따른 강도 발현 특성을 알아보기 위하여, 양생 7일 공시체와 양생 28일

공시체의 일축 압축강도 비율을 계산하여 그림 4에 나타내었다. 시험 결과 28일 / 7일 강도의 비율은 1.3 - 2.1 사이에 있는 것으로 나타났다. 또한 28일 / 7일 강도 비율은 같은 토질에 대해서도 시멘트 첨가 비율에 따라 다르게 나타났으며, 조립토가 많은 A 현장 흙에서는 시멘트 첨가 비율이 증가할수록 양생 시간에 따른 강도 증가량이 커지는 반면 세립토가 많은 C 현장 흙에서는 경향이 반대로 나타났다. 이를 통하여 소일-시멘트의 일축 압축강도 값 뿐 아니라 양생 시간에 따른 강도 발현 특성 역시 조립질 입자 함유량과 밀접한 관련이 있음을 확인할 수 있다. 즉, 조립토를 많이 함유한 토질에서는 소일-시멘트 강도의 최적 시멘트 첨가 비율 뿐 아니라 양생 시간에 따라 강도가 크게 발현되는 첨가 비율이 조립질 입자를 적게 함유한 토질보다 크게 나타났다.

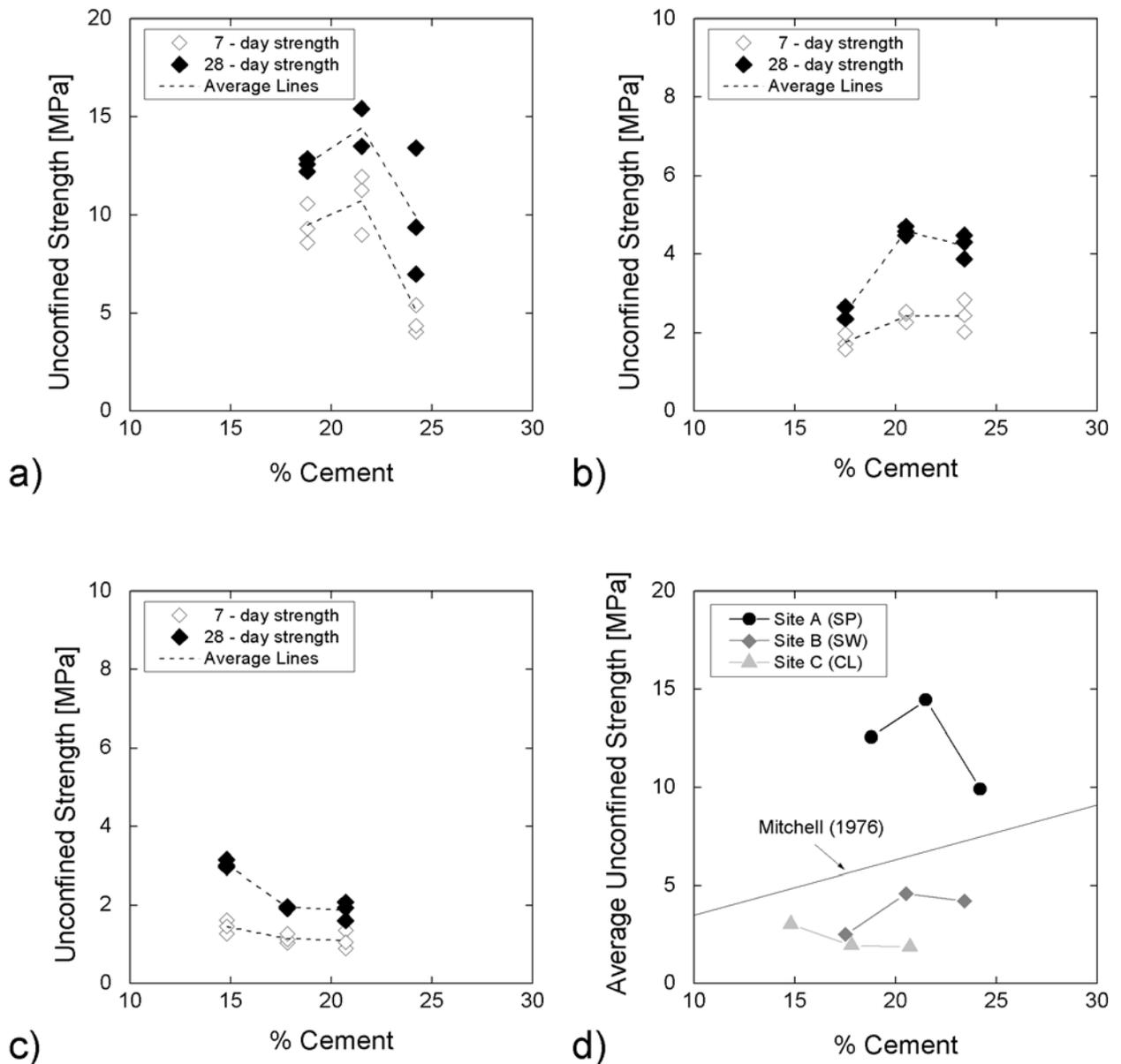


그림 3. 서울 도심지 현장에서 채취한 시료로 배합한 소일-시멘트의 일축 압축시험 결과:
a) A 현장(SP) b) B 현장(SW) c) C 현장(CL) d) 전체 현장

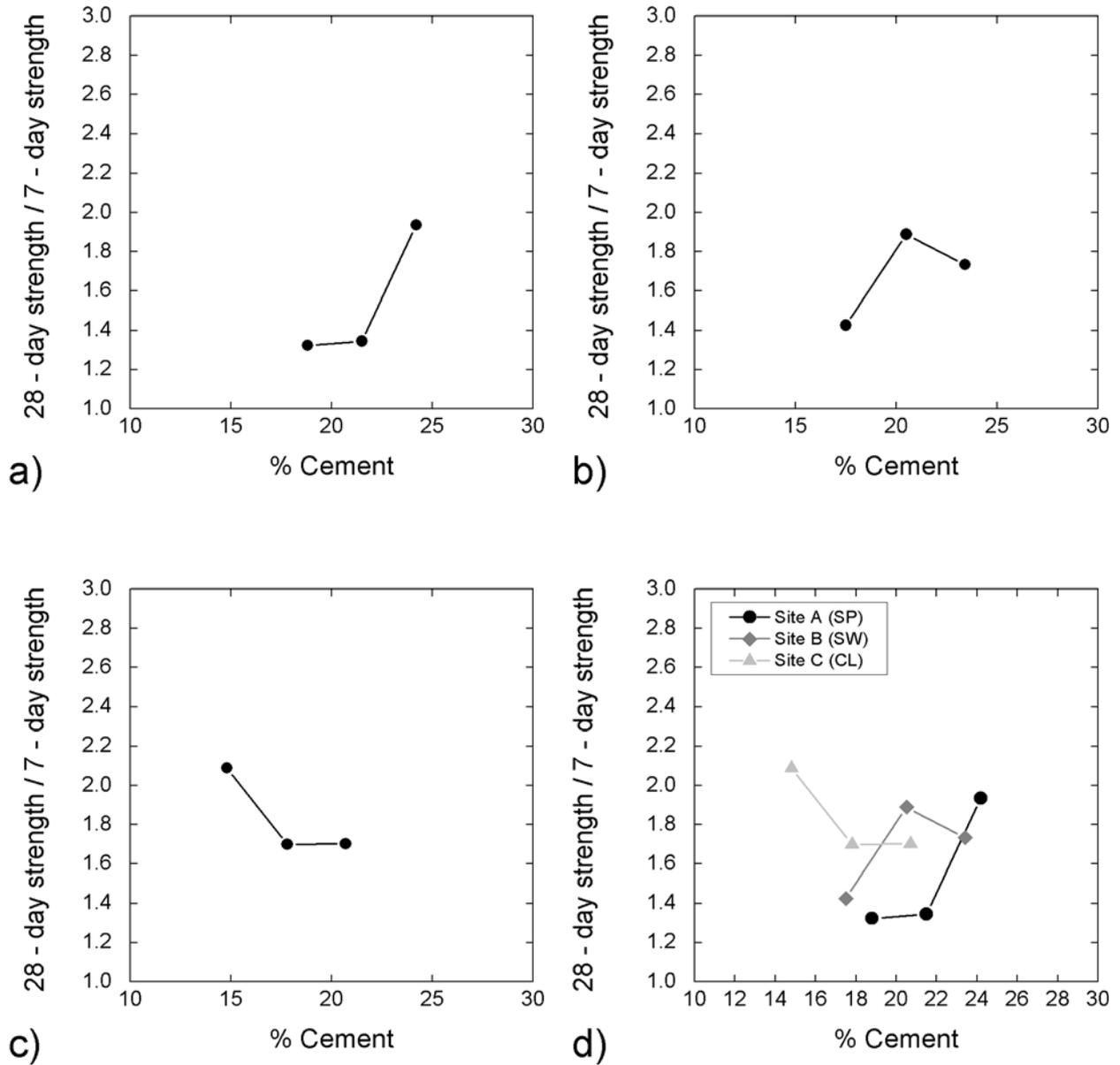


그림 4. 서울 도심지 현장에서 채취한 시료로 배합한 소일-시멘트의 28일 강도/7일 강도 비
a) A 현장(SP) b) B 현장(SW) c) C 현장(CL) d) 전체 현장

시멘트가 첨가된 흙의 시간에 따른 강도 특성에 대하여 Mitchell(1976)은 다음 식을 제시하였다.

$$q_u(t) = q_u(t_0) + KC \log\left(\frac{t}{t_0}\right) \quad (1)$$

여기서, $q_u(t)$ 는 시간 t 에서의 일축 압축강도(kPa), $q_u(t_0)$ 는 시간 t_0 에서의 일축 압축강도(kPa), K 는 양생 시간에 따른 강도 발현 상수: 조립토(Granular soil)에 대하여 480, 세립토(Fine-grained soil)에 대하여 70으로 제시), C 는 시멘트 첨가 비율(%), t 와 t_0 는 시간($t > t_0$)이다. 본 연구에서 시험한 결과로 강도 발현 상수 K 를 계산한 결과는 그림 5와 같다.

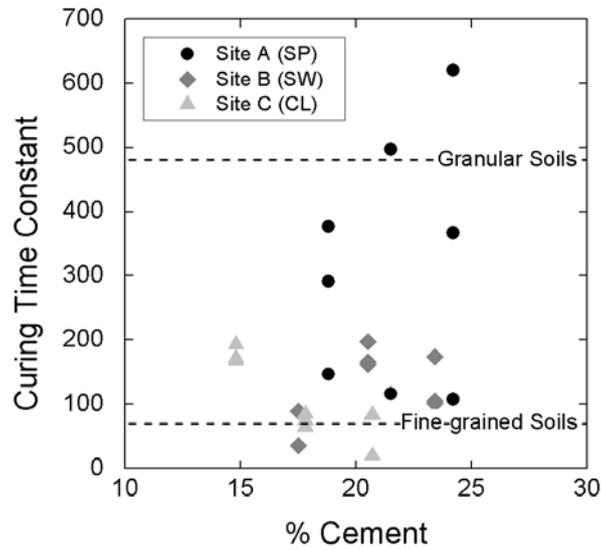


그림 5. Mitchell(1976)이 제안한 양생 시간에 따른 강도 발현 상수 계산 결과

계산 결과 K 값은 대체로 조립토인 A 현장의 흙에서 큰 값을 나타내었지만, 조립토 및 세립토에 따른 상수로 나타나거나 일정한 경향을 나타내지는 않았다. 식 (1)은 28일 강도와 7일 강도의 차이를 비율로 고려하지 않고 강도의 차이로 나타내었기 때문에 상수 K 값은 분산이 심한 것으로 생각되며, 따라서 식 (1)로 시간에 따른 일축 압축강도의 변화를 계산하는 방법은 적합하지 않은 방법으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 서울 도심지 재개발 현장 3개소에서 채취한 흙을 자연 함수비 상태에서 소일-시멘트로 제작하여 일축 압축강도 시험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 소일-시멘트의 강도의 가장 큰 영향 인자는 토질의 조립질 입자 함유량이다. 소일-시멘트의 일축 압축강도는 SP 시료: 9 - 12 MPa, SW시료: 2 - 4 MPa , CL 시료: 1.5 - 3 MPa 범위를 나타내었다.
- (2) 토질 종류에 따라 소일-시멘트의 최대 강도를 발현시키는 최적 시멘트 첨가 비율이 존재하였다.
- (3) 양생 시간에 따른 소일-시멘트의 강도 발현 특성은 토질의 입도 특성, 시멘트 첨가 비율에 따라 다양하게 나타나 28일 / 7일 강도 비율이 1.3 ~ 2.1 범위에 있어 기존 식의 적용이 어려웠다.

참고문헌

1. 김병일, 위성혁, 이승현, 김영욱 (2003), "무기질 고화제를 첨가한 소일시멘트의 강도 특성," *대한토목학회논문집*, 제23권 제3C호 pp.135 - 141
2. 김영석, 조용상, 강인철, 김인섭 (2009), "교반혼합체 공법의 도심지 흙막이벽 적용," *한국지반공학회 2009 춘계 학술발표회 논문집* pp. 883 - 887
3. Mitchell, J.K, (1976), "The Properties of Cement-Stabilized Soils," *Proc. Residential Workshop on Materials and Methods for Low Cost Road, Rail and Reclamation Works*, Leura, Australia