

심층혼합처리 공법의 시공조건 및 환경적 영향 분석

Analysis of Construction Condition and Environmental Effect of Deep Soil Mixing

조진우¹⁾, Jin-Woo Cho, 이용수²⁾, Yong-Soo Lee, 유준³⁾, Jun Yu, 신원재⁴⁾, Won-Jae Shin

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Dept. of Geotech. Eng., KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원, Senior Researcher, Dept. of Geotech. Eng., KICT

³⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원, Senior Researcher, Dept. of Geotech. Eng., KICT

⁴⁾ 플러스환경건설(주) 전무이사, Managing Director, PLUS Environment Construction Co., Ltd

SYNOPSIS : This paper presents a study on the construction condition and environmental effect of deep soil mixing. Construction condition means the difference in unconfined compressive strength with respect to the depth and location of samples. Environmental effect means alkalinity diffused from soil stabilizer. The experimental results indicate that the unconfined compressive strength vary with respect to the depth, and doesn't show consistency pattern. So, in field application we must decide a mixing ratio enough to satisfy the least unconfined compressive strength. The difference in unconfined compressive strength with respect to the location of samples is negligible. The generation of alkalinity from soil stabilizer is reduced by permeating in non-improved soil and it is expected that the diffusion of alkalinity has no environmental effect on soil and ground water.

Key word : Alkalinity, Construction condition, Deep soil mixing, pH, Unconfined compressive strength

1. 서 론

심층혼합처리 공법은 시멘트나 석회 등의 개량재를 지반과 혼합하여 고화하는 기술로서 흙 자체의 역학적 특성이나 물리적 특성을 개선하여 지반의 지지력을 증대시키거나 지반의 변형 및 침하를 방지하는 기술이다. 이 기술은 개량재와 토립자 및 물과의 화학반응에 의한 반응생성물들이 토립자간의 결합력을 증가시켜 지반의 강도를 증가시키며, 반응생성물에 의한 간극의 충전 및 밀실화에 의하여 지반을 개량하는 기술로서 지반개량에 완전히 정착된 공법이 아니라 최근 급속히 발전 중인 공법이라 할 수 있다.

심층혼합처리 공법으로 지반개량을 실시할 때, 시공된 기동체의 품질은 재료, 시공장비, 시공방법 등에 따라 달라진다. 재료요인으로는 원지반 흙의 특성, 사용된 지반개량재의 종류 및 배합량, 물시멘트비 등이 포함되며, 시공장비로는 교반장비의 형상 등이 포함된다. 시공방법으로는 교반축의 회전수, 관입 및 인발 속도, 지반개량재 투입방법(슬러리 또는 분체) 등이 포함된다. 본 논문에서는 심층혼합처리공법의 시공조건으로 시공심도 및 시공위치(선단부, 중첩부)에 따른 개량체의 일축압축강도를 평가하였으며 환경적 영향으로서 개량재 및 주변(10, 30, 50cm)의 pH 특성을 평가하였다.

2. 시험개요

2.1 현장조건

충청북도 진천군 지역에서 시험시공을 실시하였다. 현장에 대한 지반조사 결과 지하수위는 지표면으

로부터 -1~-4m이었고, 지표면으로부터 깊이 5m까지는 자갈과 화강풍화토가 혼합된 상태이며 5m 이 후부터는 암반으로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 지표로부터 약 1m 깊이에서 채취한 시료에 대한 시험결과는 표 1과 같고 통일분류상 SW에 해당하였다.

표 1. 현장토의 물성

시료	항목	자연함수비(%)	비중	소성지수	입도분포(%)			통일분류
					점토	실트/모래	자갈이상	
화강풍화토		12	2.66	N.P	2.1	93.9	4	SW

2.2 시공장비

본 시험시공에 사용된 시공장비의 모식도와 실제 모습을 각각 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 본 장비의 가장 큰 특징은 장비의 선단에 교반장치(Air hammer와 Button bit)를 장착하여 자갈, 전석, 풍화암 지반 등의 N치가 높은 지반에서도 제약 없이 원지반을 굴착·혼합할 수 있다는 점이다.

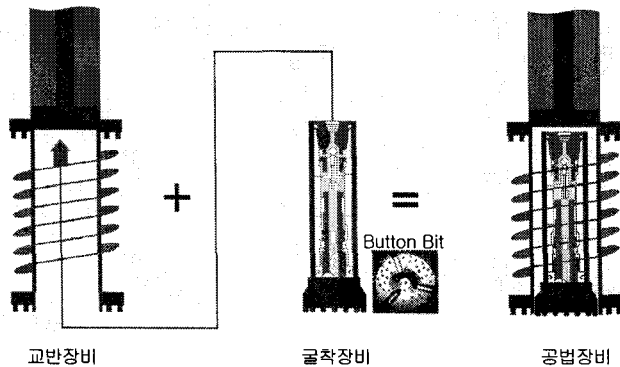


그림 1. 시공장비 모식도그림

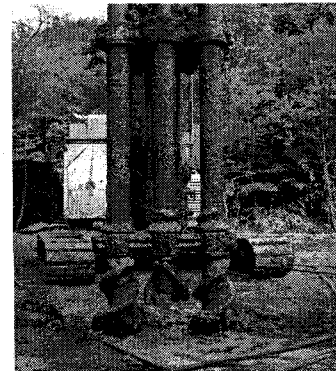


그림 2. 시공장비 전경

2.3 분석조건

심도별 일축압축강도를 측정하기 위하여 1m, 2m, 3m, 4m, 5m 지점에서의 일축압축강도를 측정하였다.

일반적인 심층혼합 기동체의 시공순서는 아래 그림 3과 같으며, 선단부와 중심부는 각각 1번, 중첩부는 2번 시공된다. 따라서 선단부, 중심부와 중첩부의 특성을 비교하였다.

심층혼합처리 공법의 환경적 영향을 평가하기 위하여 원지반, 개량체 중심, 개량체 주변토(10cm, 30cm, 50cm)에 대한 pH를 측정하였다.

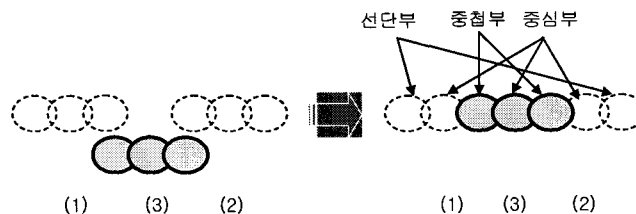


그림 3. 심층혼합처리 공법의 시공순서 및 명칭

2.4 시험방법

현장에서 2중관식 코어배럴을 사용하여 채취한 시료를 사용하여 실내에서 일축압축강도 및 pH 실험을 실시하였다.

일축압축강도 시험은 KS F 2320에 따라 최대하중 3000kg의 기기를 사용하여 하중제하속도 1mm/min을 유지하는 변형률 제어방식으로 실험을 수행하였다.

pH시험은 폐기물공정시험법에 따라 시료 50g과 증류수 250ml를 500ml 비이커에 취하고 혼합한 후 유리전극을 이용한 전위차 측정법을 이용하였다.

3. 시험결과

3.1 심도별 일축압축강도

그림 4는 시공심도에 따른 일축압축강도를 나타내고 있다. 최대강도는 지표면 부근이나 기동체 하부가 아닌 중간 부근에 나타남을 알 수 있다. 또한, 전체적으로 강도의 범위가 넓고 일관된 관계를 찾아보기 어렵다. 즉, 심도에 따라서 강도가 증가하거나 감소하는지를 단순히 예상하여 설계에 반영하는 것은 매우 위험하며 따라서, 기동체의 모든 심도에서 기준으로 정한 값을 초과하는 강도를 발현할 때까지 양생에 주의를 기울여야 하며 심도별 최소 강도가 기준값으로 정한 값을 초과하도록 배합비, 시공방법을 최적화할 필요가 있다. 또한, 심도에 따라 지반조건이 달라지는 경우 배합비 변경 및 시공조건 변경 등의 특별한 주의가 요구된다.

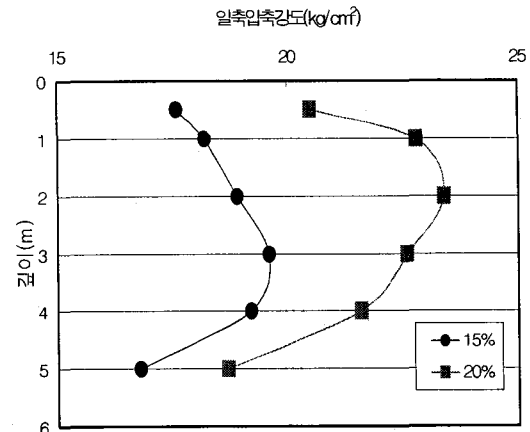


그림 4. 심도별 일축압축강도

3.2 시공위치에 따른 특성

그림 5와 그림 6은 선단부, 중심부, 중첩부에 대한 일축압축강도 및 투수계수를 나타내고 있다. 심층 혼합처리 시공시 선단부와 중심부는 1번, 중첩부는 2번 시공되게 된다. 시공과정에서 3개의 기동체를 연속적으로 시공하는 것을 관찰한 결과 선단부, 중심부, 중첩부에 관계없이 고르게 혼합되고 있으며, 3개의 기동체가 아닌 벽식개량의 형식을 나타내는 것으로 판단된다. 양생 28일 일축압축강도의 경우 선단, 중심, 중첩부가 각각 35.45kg/cm², 33.21kg/cm², 33.57kg/cm²로 선단부나 중심부에서의 강도저하 현상이 발생하지 않았다. 양생 28일 투수계수 역시 선단, 중심, 중첩부가 각각 8.5×10⁻⁸cm/sec, 9.1×10⁻⁸cm/sec, 8.9×10⁻⁸cm/sec로 선단부나 중심부에서의 투수계수 증가현상이 발생하지 않았다.

단, 시공시 지체시간이 발생하거나 개량심도가 깊은 경우에는 이에 대한 검토가 필요하리라 판단된다.

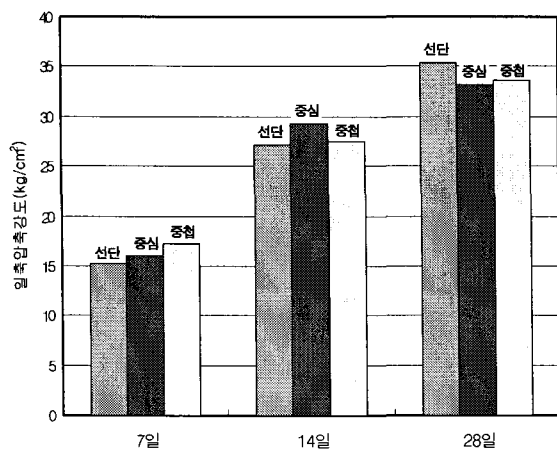


그림 5. 시공위치에 따른 일축압축강도

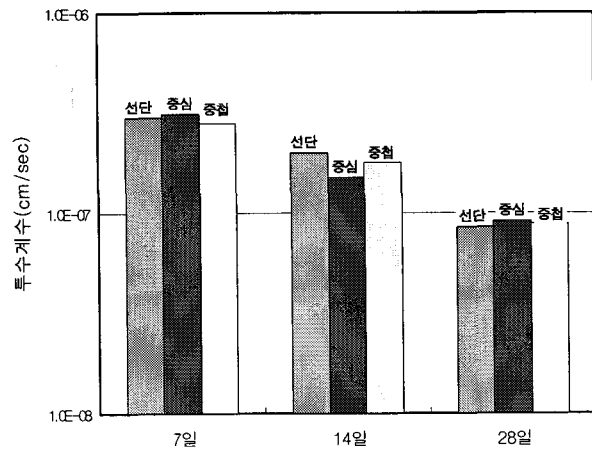


그림 6. 시공위치에 따른 투수계수

3.3 환경적 영향

그림 7은 원지반토, 개량체, 개량체 주변토의 pH 시험 결과를 나타내고 있다. 원지반토의 pH는 8.2로 중성을 나타내고 있으나 개량토의 pH는 11 이상으로 알칼리성을 나타내는데, 이는 저시멘트계 지반개량재의 강한 알칼리성(pH 12~13)에 기인하는 것이다. 개량체에서 10cm 떨어진 부분의 경우 9.2로 지반개량재의 알칼리성이 약간 영향을 미치고 있으나, 개량체에서 30cm, 50cm 떨어진 부분의 경우 원지반토와 같은 pH 8.2정도를 나타내고 있다. 일반적으로 시멘트계 지반개량재에 의한 개량체의 표면은 공기중의 탄산가스에 의한 탄산화나 강우 등에 따른 알칼리성분의 용탈 등에 의해 점차적으로 중화되며, 주변지반으로 침투한 알칼리성분은 흙의 완충작용에 의해 확산이 억제된다. 따라서, 저시멘트계 지반개량재에 의한 알칼리성의 발생은 미개량토를 침투하여 pH가 저하하며 알칼리의 확산은 거의 문제가 되지 않는다고 판단된다.

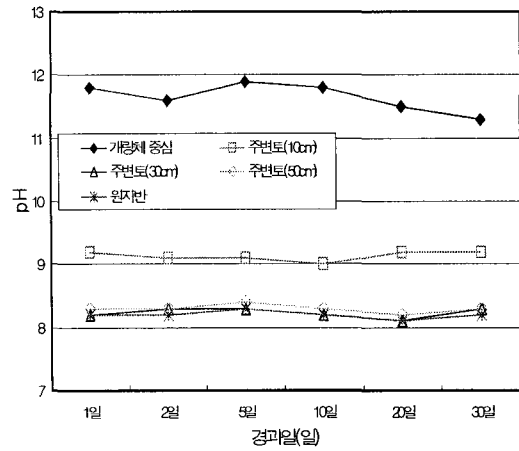


그림 7. 원지반 및 개량체 주변의 pH

4. 결론

심층혼합처리 공법의 시공조건 및 환경영향을 평가하기 위하여 현장시험시공을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 시공심도에 따른 일축압축강도의 분포를 살펴보면, 전체적으로 강도의 범위가 매우 넓고 일관된 관계를 찾아보기 어렵다. 따라서, 기동체의 모든 심도에서 기준으로 정한 값을 초과하도록 배합비, 시공방법을 최적화할 필요가 있다. 또한, 심도에 따라 지반조건이 달라지는 경우 배합비 변경 및 시공조건 변경 등의 특별한 주의가 요구된다.
- 2) 선단부, 중심부, 중첩부에 대한 일축압축강도 및 투수계수를 조사한 결과 선단부나 중심부에서의 투수계수 증가현상이 발생하지 않았다. 이는 선단부, 중심부, 중첩부에 관계없이 고르게 혼합되고 있으며, 3개의 기동체가 아닌 벽식개량의 형식을 나타내는 것으로 판단된다. 단, 시공시 지체시간이 발생하거나 개량심도가 깊은 경우에는 이에 대한 검토가 필요하리라 판단된다.
- 3) 원지반토, 개량체, 개량체 주변토의 pH 시험 결과 원지반토의 pH는 8.2로 중성을 나타내고 있으나 개량토의 pH는 11 이상으로 알칼리성을 나타내는데, 이는 저시멘트계 지반개량재의 강한 알칼리성(pH 12~13)에 기인하는 것이다. 개량체에서 10cm 떨어진 부분의 경우 9.2로 지반개량재의 알칼리성이 약간 영향을 미치고 있으나, 개량체에서 30cm, 50cm 떨어진 부분의 경우 원지반토와 같은 pH 8.2정도를 나타내고 있다. 따라서, 저시멘트계 지반개량재에 의한 알칼리성의 발생은 미개량토를 침투하여 pH가 저하하며 알칼리의 확산은 거의 문제가 되지 않는다고 판단된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2001), 다축교반식 지반개량체 조성에 의한 대심도 연약지반 보강 및 차수벽 조성공법 연구
2. 건설교통부, 플러스환경건설(주)(2005), 지반 내구성 강화를 위한 고칼슘계 차수성능 향상기술 개발
3. 社團法人 セメント 協會(2003), セメント系 固化材 による 地盤改良 マニュアル, 第 3版
4. 土木研究センター(1999), 陸上工事における深層混合処理公法設計·施工マニュアル
5. CDM 研究會(1994), セメント系 深層混合処理工法, CDM- 設計 と施工 マニュアル