

교반혼합체 공법의 도심지 흠막이벽 적용

Application of Earth Retaining Structure using Soil Cement-mixing Method

김영석¹⁾, YoungSeok KIM, 조용상²⁾, YongSang CHO, 강인철³⁾, InCheol KAMG, 김인섭⁴⁾, InSup KIM

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반방재·환경연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Disaster and Environment Research, Korea Institute of Construction Technology

²⁾ 삼성물산 건설부문 품질경영실 T.A.팀 과장, Manager, T.A. Team, Quality Management Division, Samsung C & T

³⁾ 삼성물산 건설부문 품질경영실 T.A.팀 부장, General Manager, T.A. Team, Quality Management Division, Samsung C & T

⁴⁾ 삼성물산 건설부문 품질경영실 T.A.팀 전무, Executive Vice President, T.A. Team, Quality Management Division, Samsung C & T

SYNOPSIS : In this study, a new soil retaining system was proposed by soil cement mixing method. The new soil retaining system is based on deep cement mixing method by large diameter reinforcing blocks (piles). Large diameter reinforcing blocks (usually $\varnothing 300\text{-}500$ mm) have the advantage to make reinforcements over a relatively short depth and thus reduce the amount of reinforcement necessary. A field case has been reviewed for actual application of the soil retaining system at a downtown site. Research was conducted to evaluate the behavior of the installed soil retaining wall, with reinforcing blocks (400 mm in diameter and 4 m in length) placed into a 10 m excavation wall at a 20° angle. As a result, the potential for applying this method to the downtown excavation site was confirmed.

Keywords : Soil cement-mixing, Earth retaining wall, Ground improvement

1. 서론

최근 도심지에서는 토지의 유효 활용을 위하여 협소한 공간에서도 대규모 굴착 공사가 이루어지고 있다. 이러한 지역에서는 흠막이 굴착공사에 따른 주변지반의 변형을 줄이기 위한 흠막이 지보 공법으로 일반적으로 버팀보 공법, 어스앵커 공법 및 쏘일네일링 공법 등이 사용되고 있다. 버팀보 공법의 경우 작업공간의 활용의 어려움이 있고, 현장내 부지가 넓을 경우 사용에 제약을 받는다. 이 경우 대안으로 어스앵커 공법 및 쏘일네일링 공법 등이 사용되고 있으나, 이러한 공법들은 배면지반 내의 여유가 필요하게 된다. 그러나 최근 도심지 근접공사 현장에서는 인접 구조물 등에 의하여 배면부지가 매우 협소한 경우도 있어, 어스앵커 공법 및 쏘일 네일링 공법을 적용하기 힘든 경우가 발생하기도 한다(e.g., 김학문, 1994; 김홍택, 2001; 이송 등, 2006).

본 논문에서는 배면부지가 매우 협소한 도심지 굴착 현장에서도 적용이 가능한 새로운 흠막이 공법을 소개 하고 있으며, 국내 모델현장을 대상으로 실제로 도심지 흠막이 공법으로 활용이 가능한지 검토하였다. 본 흠막이 공법은 심층혼합처리 공법의 교반혼합기술을 응용한 공법으로 교반혼합체의 직경을 확대하여 교반혼합체와 주변지반의 마찰력을 극대화하는 방법이다(e.g., 財團法人 日本先端建設技術センター, 1997; Miura et al., 1998). 교반혼합체의 큰 직경(보통 300~500 mm)으로 보강체의 타설깊이를 상

대적으로 짧게 할 수 있으며, 보강체의 수량도 쏘일네일링 공법에 비해 대폭 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다(삼성물산(주) 건설부문과 한국건설기술연구원, 2008).

2. 대구경 교반혼합체의 특징 및 시공방법

2.1 특징

대구경 교반혼합체 공법은 기존의 쏘일네일링 공법과 유사한 흙막이 지보 공법이지만, 기존의 쏘일네일링 공법이 천공직경이 약 100 mm 정도인데 비해, 본 공법은 직경 300-500 mm의 대구경 시멘트 교반혼합체(쏘일시멘트)를 지반내에 일정한 각도로 타설한다. 이러한 대구경 교반혼합체의 적용으로 지반과 개량체의 마찰저항을 극대화 할 수 있어, 굴착에 따른 벽체의 변형을 억제 시킬 수 있다. 또한, 축조구경이 크기 때문에 기존의 앵커 또는 네일링 공법에 비해 지반 속 타설깊이를 매우 짧게 할 수 있다. 또한 타공법에 비해 상대적으로 보강체의 개수도 줄일 수 있다는 특징이 있다. 교반혼합체 중심에는 인장용 재료로서 철근 또는 부식의 영향이 적은 FRP 룯드가 설치되어 있고, 룯드의 주위에는 압축강도가 높은 시멘트 밀크를 주입하여, 룯드, 시멘트 밀크, 쏘일시멘트의 3층 구조로 하여 룯드의 부착력을 확보할 수 있도록 하였다. 그림 1은 일반적인 대구경 교반혼합체의 구조 및 본체를 나타내고 있다.

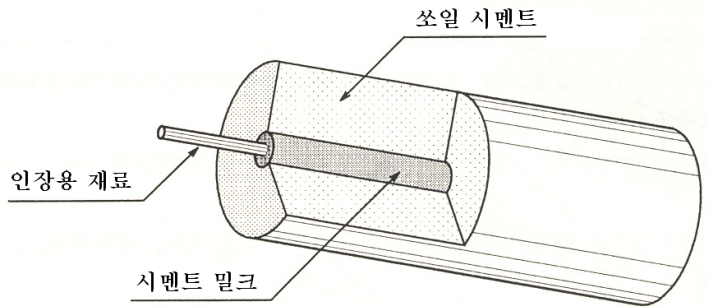


그림 1. 대구경 교반혼합체의 일반적인 구조

2.2 시공방법

대구경 교반혼합체를 이용한 흙막이 공법은 지반개량 말뚝을 일정 각도로 굴착과 동시에 타설하는 것으로, 흙막이 공법으로 사용할 경우의 시공방법은 다음과 같다.

- ① 굴착하고자 하는 전면부에 H-pile, S.C.W 또는 억지말뚝을 시공한다.
(굴착 깊이 또는 굴착 지반조건에 따라 생략 가능함)
- ② 교반혼합기계의 중심에 인장용 심재(보통 철근)를 삽입하여 시공 준비를 한다.
- ③ 교반혼합기계를 이용하여 천공과 동시에 시멘트를 주입하면서 원지반을 교반시켜 직경 300-500 mm의 대구경 교반혼합체를 형성시킨다.
- ④ 대구경 교반혼합체가 목표깊이까지 도달하면, 교반속도 및 시멘트 주입량을 조절하여 인장용 심재 주위에 시멘트 밀크가 형성될 수 있도록 역회전하여 교반혼합기계를 인발한다.
- ⑤ 교반혼합체의 선단부(심재)를 띠장 또는 지압판을 이용하여 간단한 볼트와 너트로 고정시킨다.
- ⑥ 다음단계의 굴착과 함께, ②번에서 ⑤번 작업을 목표 굴착 깊이까지 반복한다.

3. 현장적용성 평가

3.1 현장개요

흙막이 굴착공법으로 본 공법을 적용한 현장은 서울시내에 있는 00 재개발현장으로 굴착심도는 지표면으로부터 약 10m이며, 지하수위는 지표면에서 약 6m정도이다. 또한, 지반은 상부로부터 매립토층, 퇴적토층, 잔류토층, 풍화암층 순으로 구성되어 있다(그림 2 참조). 지반조사 결과 N값은 퇴적토층에서 4-10, 잔류토층에서 20-50으로 나타났다. 당초 흙막이 굴착공법은 그림 2와 같이 S.C.W와 어스앵커가 계획되어 있었으나, 어스앵커 부분을 일부 대구경 교반혼합체(직경 400 mm, 타설깊이 4 m, 각도 20°)

공법으로 변경하여 도심지 흙막이 공법으로서의 적용가능성을 검토하였다. 가로 10 m, 세로(굴착심도) 9.84 m 벽체를 대상으로 대구경 교반혼합체를 총 5단 6열로 적용하였다(그림 3 참조).

그림 4는 기존 흙막이 공법인 어스앵커 설계단면과 변경된 대구경 교반혼합체 단면에 대한 개략도이다. 그림에서와 같이 기존 어스앵커의 경우 흙막이 벽체로부터 인접구조물과 약 10 m 정도의 여유거리가 확보되어야 시공이 가능하나, 대구경 교반혼합체 공법의 경우 약 4 m만 확보되어도 시공이 가능하여 도심지 근접공사에 매우 유리한 공법임을 알 수 있다.

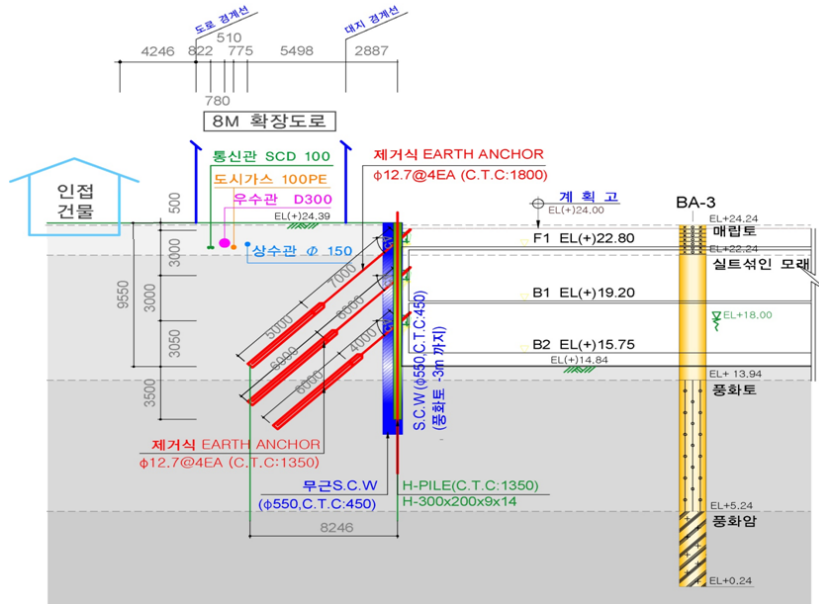


그림 2. 대표단면 및 지층구성도

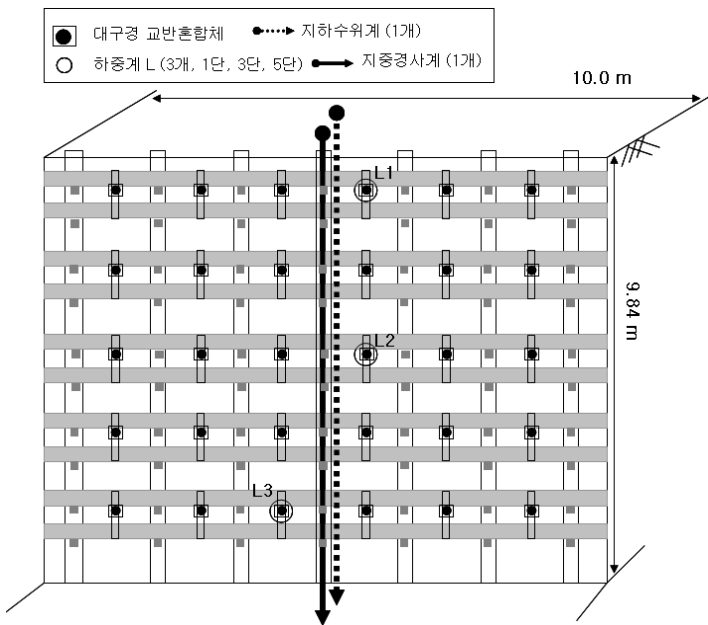


그림 3. 대구경 교반혼합체 적용단면 및 계측기기 배치도

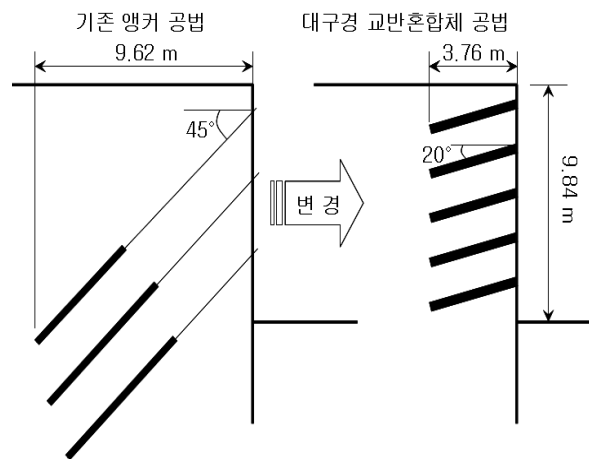


그림 4. 기존 어스앵커 구간과의 비교단면

3.2 계측결과 및 거동분석

흙막이 벽체의 안정성 및 거동을 검토하기 위하여 지중경사계(1개), 하중계(3개), 지하수계(1개)를 이용하여 계측을 실시하였다. 그림 3에는 대구경 교반혼합체 구간에 설치한 계측기기의 종류 및 배치위치를 나타내고 있다.

그림 5는 지중경사계로 측정된 대구경 교반혼합체 벽면부의 수평변위 거동을 나타내고 있다. 굴착에 따라 보강체 전면부의 벽체의 증가가 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 굴착 심도 약 8.5 m(대구경 교반혼합체 4단 설치 완료 단계)까지의 벽체의 변형은 약 15 mm 정도로 나타났다. 이는 약 H/560 (H: 굴착심도)의 수평변형으로 일반적인 관리 기준치 (H/500 ~ H/300)에 미치지 않는 적은 양의 변위만 발생한 것으로 나타났다. 그러나 최종 굴착심도인 9.8 m 굴착에서 최대변위는 약 45 mm로 증가하였다. 이는 교반혼합체 5단 시공 위치가 지하수위면 하부에 있어 5단 시공전 지하수위 저하를 위하여 일부 과굴착을 실시한 것이 원인이 되었을 것으로 판단된다. 즉, 지하수위 저하 공법으로 사용한 weep hole 설치나 well point 공법을 위하여 벽체를 천공하였다. 이 때 지하수와 함께 토사의 유출을 동반하여 교반혼합체 3단과 4단 위치의 지중 지반이 일부 이완되어 교반혼합체와 지반과의 부착력 및 마찰 저항의 감소로 인해 벽체의 변형이 증가한 것으로 판단된다. 또한, 최종굴착이 완료된 이후 추가적으로 약 5 mm의 변형이 발생하였으며, 이는 벽체에서 누수되는 지하수를 차단하기 위해 실시한 그라우팅 때문이며 본 공법의 시공으로 인한 변형은 아니다.

그림 6은 하중계에서 계측한 측정일에 따른 하중계의 변화를 나타내고 있다. 우선 이론적인 주동토압을 계산하면 다음과 같다. 최종 바닥면까지 굴착 후 발생하는 주동토압은 약 38.8 ton 발생하나, 실제 5단 대구경 교반혼합체에서 계측된 토압은 최대 3.9 ton으로 나타나 10분에 1에 해당하는 토압이 발생하고 있음을 알 수 있다. 즉 대부분의 토압을 대구경 교반혼합체로 개량한 벽체가 일체형으로 대응하고 있음을 알 수 있다. 참고로 어스앵커 3단(지표면에서 6.5 m)에서 계측한 토압(하중)은 약 31 ton정도 나타났다.

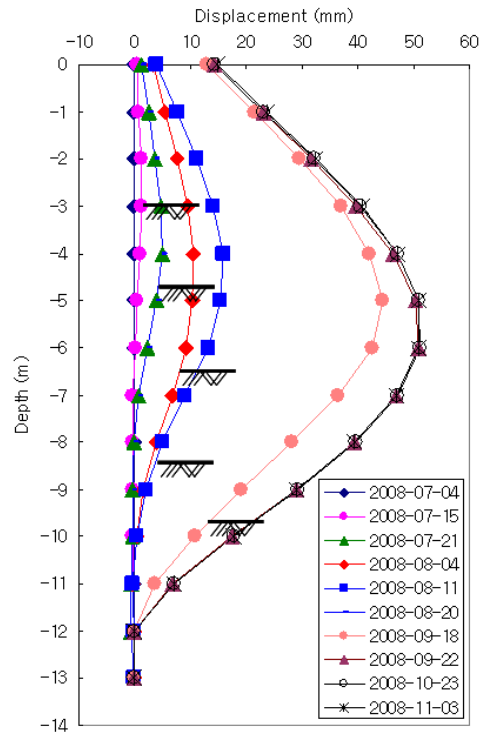


그림 5. 측정일에 따른 지중경사계 변화

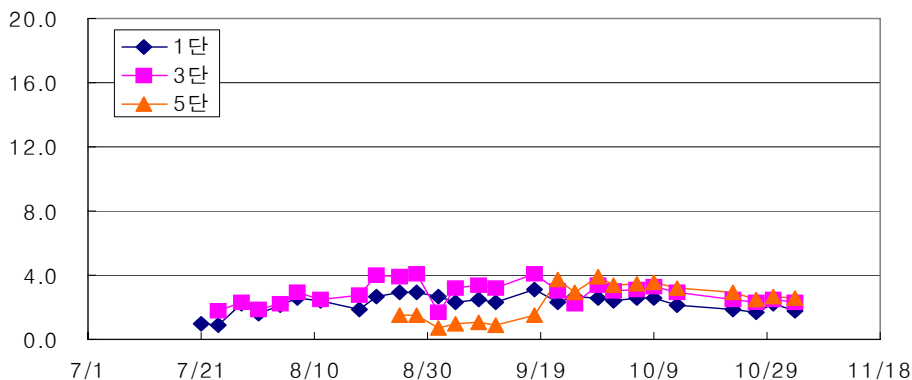


그림 6. 측정일에 따른 하중계 변화

마지막으로 그림 7은 굴착심도, 지하수위 및 벽체의 최대 수평변위 변화를 종합한 것이다. 지반을 굴착함에 따라 벽체 전면부의 변위가 서서히 증가하고 있으며, 최종적으로 약 51 mm의 수평변위가 발생하였다. 특히 대부분의 수평변위는 대구경 교반혼합체 5단 시공 중(8월 10일에서 8월 20일 사이, 지하수의 영향)에 발생하였음을 알 수 있다. 앞서 설명한 것처럼 지하수위 아래에서 교반혼합체를 시공할 때, 지하수의 영향으로 일부 토사가 유출됨에 따라 이러한 결과가 나타났으며, 향후 보완할 필요가 있다(8월 11일 이후 weep hole 설치나 well point 공법으로 강제적으로 지하수위를 저하시킴).

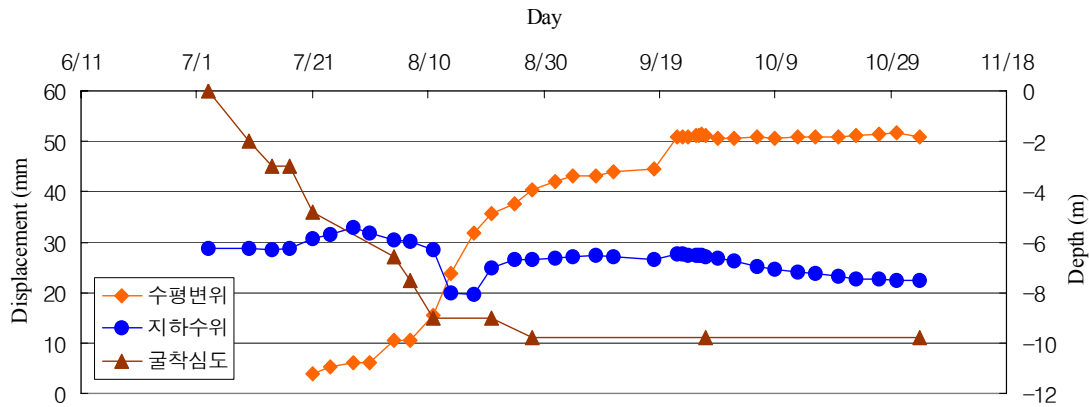


그림 7. 굴착에 따른 대구경 교반혼합체의 거동

4. 결론

본 논문에서는 배면부지가 매우 협소한 도심지 굴착 현장에서도 흙막이 지지 구조로 적용이 가능한 대구경 교반혼합체 공법을 소개하였다.

약 10m 굴착심도를 대상으로 현장 실증연구를 실시하였으며, 굴착과 함께 교반혼합체 직경 400mm, 근입깊이 4m, 타설각도 20°로 설치한 흙막이벽의 거동을 평가하였다. 그 결과, 배면부지의 여유가 없는 도심지 굴착 및 흙막이 현장에서 대구경 교반혼합체 공법의 적용가능성을 확인하였다.

향후 지하수위 아래에서의 시공법 및 다양한 지반을 대상으로 본 공법의 적용가능성을 검토하여, 새로운 도심지 흙막이 공법으로 발전시킬 계획이다.

참고 문헌

1. 김학문 (1994), “도심지 지하굴착의 문제점과 개선방향”, 한국지반공학회 가을학술발표회 Keynote Lecture, pp. 158~166.
2. 김홍택 (2001), “쏘일네일링의 원리 및 지침”, 도서출판 평문각
3. 이송, 채점식, 김일, 우종택 (2006), “흙막이 구조물의 설계와 시공”, 도서출판 예문사
4. 삼성물산 주식회사 건설부문, 한국건설기술연구원 (2008), “Radish Anchor 공법의 국내적용연구”
5. 財團法人 日本先端建設技術センター (1997), “Radish Anchor 工法” (일본어)
6. Miura, N., Shen, S.L., Koga, K. and Nakamura, R. (1998), “Strength change of the clay in the vicinity of soil cement column”, Journal of Geotechnical Engineering, JSCE, 596, III-43, pp.209-221. (일본어)