

대구경 교반혼합체를 활용한 도심지 흙막이 공법 소개

An Earth Retaining Structure System using Large Diameter Soil-cement Mixture for Urban Excavation Projects



조 용 상 (Yong-Sang Cho)

삼성물산 건설부문 차장 · 공학박사
yscho.cho@samsung.com

김 영 석 (Young-Seok Kim)

한국건설기술연구원 수석연구원 · 공학박사
kimys@kict.re.kr



강 인 철 (In-Cheol Kang)

삼성물산 건설부문 부장
kaka@samsung.com

주 진 현 (Jin-Hyun Choo)

한국건설기술연구원 전임연구원 · 공학석사
jinhyun@kict.re.kr

I. 서론

최근 대도시로의 급격한 인구 집중과 국토 전역에 걸친 개발로 인하여 기존 구조물 근접 구역, 급경사 사면 등 시공 조건이 양호하지 못한 곳에서 수행되는 흙막이 시공 사례가 증가하고 있다. 이러한 경우 기존에 사용되는 흙막이벽 보강 공법인 어스앵커나 소일 네일링 등의 적용이 어려운 경우가 발생하기도 한다. 예를 들면, 보강재를 설치할 수 있는 배면 지반의 여유가 매우 협소한 굴착 혹은 사면 공사의 경우 기존의 보강 공법(어스앵커나 소일 네일링)은 시공이 불가능하거나 시공 가능한 보강재들은 지반 보강 효과가 충분하지 않을 수 있다. 특히 최근 도심지 지역에 인구 및 구조물이 밀집함에 따라 근접시공 사례가

증가하고 있으며, 시공시 보강재를 설치할 수 있는 배면 지반이 점차 협소해지고 있는 추세이다. 따라서 보강재의 길이가 길지 않으면서도 높은 보강 효과를 기대할 수 있는 새로운 흙막이벽 보강 공법이 필요한 실정이다.

본 기사에서는 심층혼합공법(deep mixing)을 응용하여 길지 않은 보강재로도 효과적으로 지반을 보강할 수 있는 대구경 교반혼합체를 이용한 흙막이 공법을 소개하였다.

II. 대구경 교반혼합체의 특징 및 시공방법

1. 특징

대구경 교반혼합체 공법은 심층혼합처리 공법의 교반

혼합기술을 응용한 공법으로 기존의 소일 네일링 공법과 유사한 흠막이 지보 공법이라고 할 수 있다. 그림 1은 대구경 교반혼합체와 소일네일링의 구조를 나타낸 그림이다. 교반혼합체 중심에는 인장용 재료로서 철근 또는 부식의 영향이 적은 FRP 룯드가 설치되어 있고, 룯드의 주위에는 시멘트 밀크를 주입하여, 룯드, 시멘트 밀크, 소일 시멘트의 3층 구조로 하여 룯드의 부착력을 확보할 수 있도록 하였다. 또한 그림 1에는 기존의 소일네일링 공법과의 차이를 도식적으로 설명하고 있다. 기존의 소일네일링 공법이 천공직경이 약 100mm 정도인데 비해, 본 공법은 직경 300~500mm의 대구경 시멘트 교반혼합체(소일시멘트)를 지반 내에 일정한 각도로 타설한다. 이러한 대구경 교반혼합체의 적용으로 지반과 개랑체의 마찰저항을 극대화할 수 있어, 굴착에 따른 벽체의 변형을 억제시킬 수 있다. 또한, 축조 구경이 크기 때문에 기존의 앵커 또는 네일링 공법에 비해 지반 속 타설 깊이를 매우 짧게 할 수 있다. 그리고, 타공법에 비해 상대적으로 보강체의 개수도 줄일 수 있다는 특징이 있다.

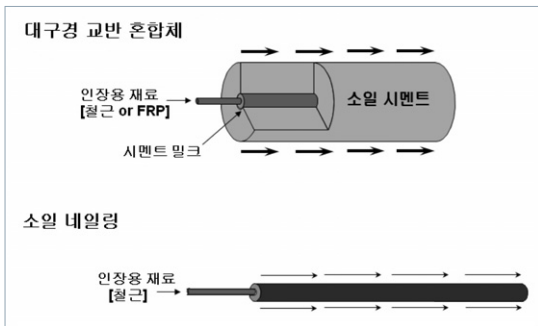


그림 1. 대구경 교반혼합체와 소일 네일링 비교

2. 대구경 교반혼합체 공법의 시공방법

대구경 교반혼합체를 이용한 흠막이 공법은 지반개랑 말뚝을 일정 각도로 천공과 동시에 교반하는 것으로, 흠막이 공법으로 사용할 경우의 시공방법은 다음과 같다 (그림 2 참조).

- ① 굴착하고자 하는 전면부에 H-pile, S.C.W 또는 역지말뚝을 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 300~500mm의 대구경 교반혼합체를 형성시킨다.
- ④ 대구경 교반혼합체가 목표깊이까지 도달하면, 교반 속도 및 시멘트 주입량을 조절하여 인장용 심재 주위에 시멘트 밀크가 형성될 수 있도록 역회전하여 교반혼합기계를 인발한다.
- ⑤ 교반혼합체 심재의 두부를 띠장 또는 지압판을 이용하여 간단한 볼트와 너트로 고정시킨다.
- ⑥ 다음단계의 굴착과 함께, ②번에서 ⑤번 작업을 목표 굴착 깊이까지 반복한다.

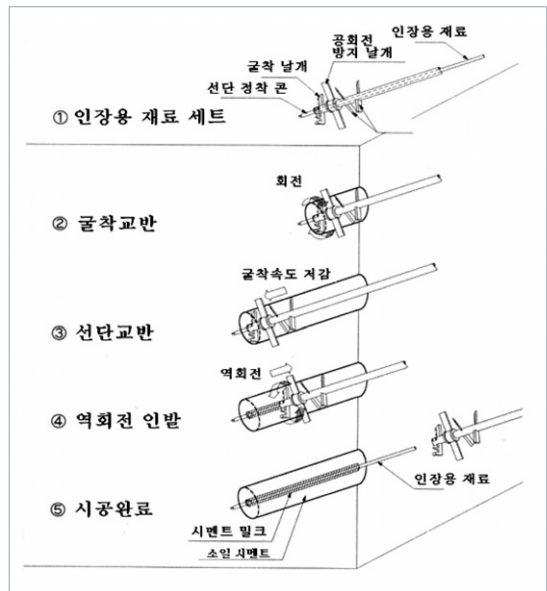


그림 2. 대구경 교반혼합체 공법의 시공 순서

III. 공법의 적용성 평가를 위한 현장시험 시공 결과

1. 현장개요

도심지 흠막이 공법으로 대구경 교반혼합체 공법을 적용하기 위하여 국내 현장에서 실증단면을 통하여 검토하였다. 본 공법을 적용한 현장은 서울시에 있는 00 재개발

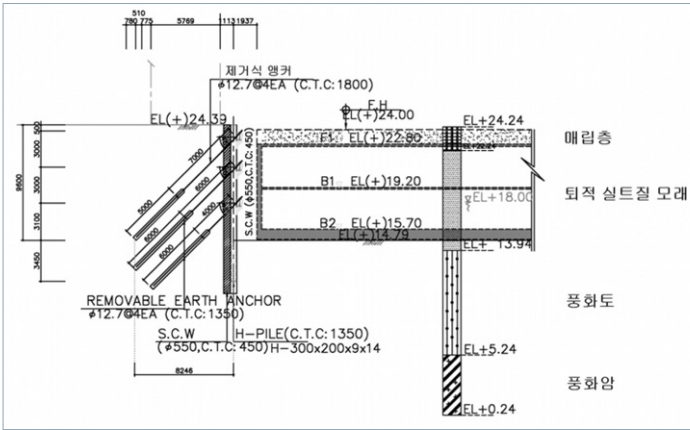


그림 3. 대표단면 및 지층구성도

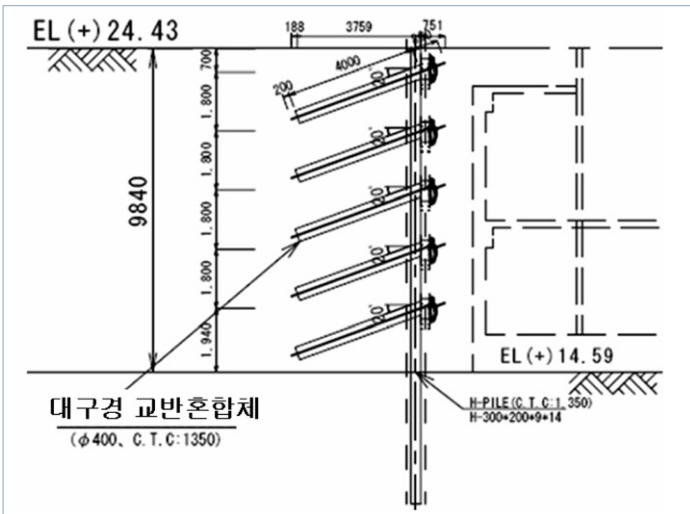


그림 4. 시험 시공 최종 단면도

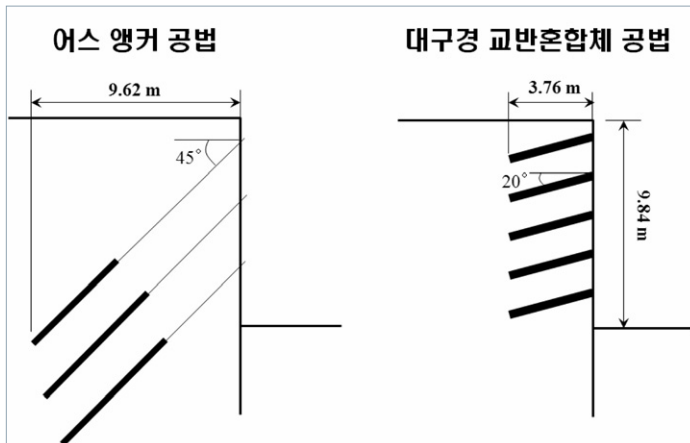


그림 5. 기존 어스앵커 구간과의 비교 단면

현장으로, 굴착심도는 지표면으로부터 약 10m이며, 지하수위는 지표면에서 약 6m 정도이다. 또한, 지반은 상부로부터 매립토층, 퇴적토층, 잔류토층, 풍화암층 순으로 구성되어 있다. 지반조사 결과 N값은 퇴적토층에서 4~10, 잔류토층에서 20~50으로 나타났다(본 공법을 적용한 실증단면 구간의 N값은 4~14정도이다). 당초 흙막이 굴착공법은 그림 3과 같이 S.C.W.와 어스앵커가 계획되어 있었으나, 어스앵커 부분을 일부 대구경 교반혼합체(직경 400mm) 공법으로 변경하여 도심지 흙막이 공법으로써의 적용가능성을 검토하였다. 가로 10m, 세로(굴착심도) 9.84m를 대상으로 대구경 교반혼합체를 그림 4와 같이 총 5단으로 적용하였다. 또한, 그림 5는 본 현장에서 기존 흙막이 공법인 어스앵커 설계단면과 변경된 단면에 대한 개략도이다. 그림에 나타난 것과 같이 기존 어스앵커의 경우 흙막이 벽체로부터 인접구조물과 약 10m 정도의 여유거리가 확보되어야 시공이 가능하나, 대구경 교반혼합체 공법의 경우 약 3.8 m만 확보되어도 시공이 가능하여 도심지 근접공사에 매우 유리한 공법임을 알 수 있다.

2. 계측결과 및 시공현황

대구경 교반혼합체로 보강된 흙막이 벽체의 안정성 및 거동을 검토하기 위하여 현장계측 및 수치해석을 실시하였다. 현장계측은 굴착 중 발생하는 벽체의 변위, 벽체에 작용하는 토압 등을 측정하기 위하여 그림 6과 같이 지중경사계 1개, 지하수위계 1개, 하중계 3개를 설치하여 검토하였다.

그림 7은 지중경사계로 측정한 대구경

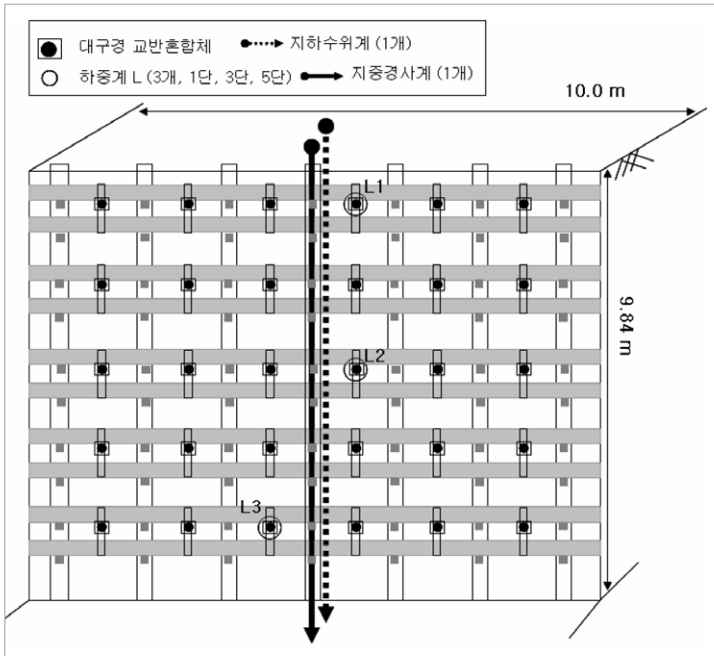


그림 6. 현장 계측기기 배치도

교반혼합체 벽면부의 수평변위 거동을 나타내고 있다. 굴착에 따라 보강체 전면부의 벽체의 변위가 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 굴착은 총 5단계로 진행하였으며, 8.3m 굴착(대구경 교반혼합체 4단 설치 완료 단계)까지의 벽체의 변위는 약 15mm 정도로 나타났다. 이 값은 약 $H/560$ (H : 굴착심도)의 수평변위로 일반적인 관리 기준치($H/500 \sim H/300$)에 미치지 않는 적은 양의 변위만 발생한 것으로 나타났다. 그러나 최종 굴착심도인 9.8m 굴착에서 최대 변위는 약 45mm로 증가하였다. 이는 대구경 교반혼합체 5단 시공 시에 지하수의 강제저하를 위하여 일부 과굴착을 실시한 것이 원인이 되었을 것으로 판단된다. 즉, 지하수위 저하 공법으로 사

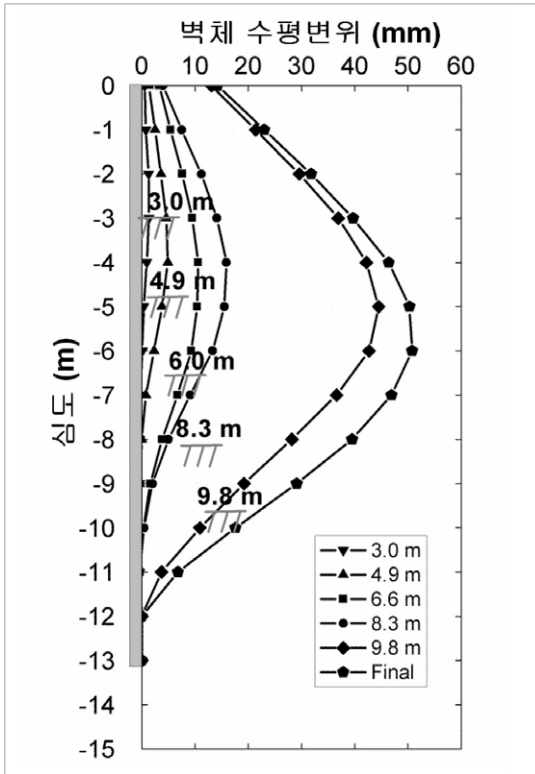


그림 7. 지중경사계에 의한 굴착 단계별 벽체의 수평 변위 계측 결과

용한 Weep Hole 설치나 Well Point 공법을 위하여 벽체를 추가 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 5mm의 변형이 발생하였으며, 이는 벽체에서 누수 되는 지하수를 차단하기 위해 실시한 그라우팅 때문이며 본 공법의 시공으로 인한 변형은 아닌 것으로 판단된다. 본 공법은 시공 특성상 지하수위 이하에서의 시공시 지하수의 유출과 함께 혼합체(소일시멘트)의 유출로 인하여 시공에 어려움이 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 본 공법의 시행에 있어서는 지하수위면 이하에서의 공사에서는 지하수위 저하를 위한 공법이 선행되어야 함을 알 수 있다.

그림 8은 각 굴착 단계별 벽체 변위의 현장 계측 결과와 수치해석 결과(PLAXIS를 이용한 2차원 평면변형을 해석)를 비교한 것이다. 여기서 현장 계측 결과는 점선으로, 수치해석 결과는 각 굴착 단계별로 실선으로 나타내었다.

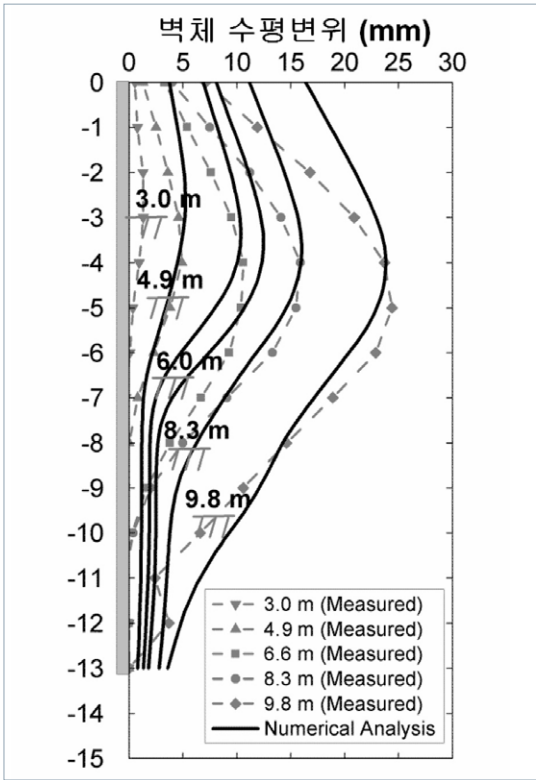


그림 8. 현장 계측 결과와 수치해석으로 평가한 벽체의 수평 변위 비교

또한, 현장 계측 결과는 굴착이 진행되지 않고 지하수위 저하 공법을 시행한 기간 동안의 변위를 고려하지 않은 변위이다. 즉, 굴착 심도 9.0m에서 굴착을 중단하고 지하수위를 저하시키기 위해 well point 공법 등을 시행 중 시행착오로 인하여 벽체의 변위가 약 15mm 증가하였다. 이와 같은 벽체 변위는 시행착오로 인한 변위로 수치해석에서는 고려할 수 없으므로 해석과의 비교를 위해서 해당 기간 동안의 계측변위를 제외한 변위를 나타내었다.

그림 8에서 보는 바와 같이 굴착 초기(굴착심도 4.9m 까지)의 현장 벽체 변위는 수치해석에 비해 상대적으로 작게 나타났으나, 굴착심도가 깊어짐에 따라 수치해석과 비슷한 경향을 나타내었다. 이를 통하여 수치해석이 현장의 벽체 및 지반 거동을 적절히 모사하였음을 확인할 수 있으며, 또한 최종 굴착 단계에서 벽체에 급격하게 발생한 수평 변위는 굴착에 의한 토압보다는 지하수 흐름의 영향이라고 판단할 수 있다. 따라서 지하수에 의한 수평 변위가 발생하지 않았을 경우 최종 굴착 완료 후 벽체에

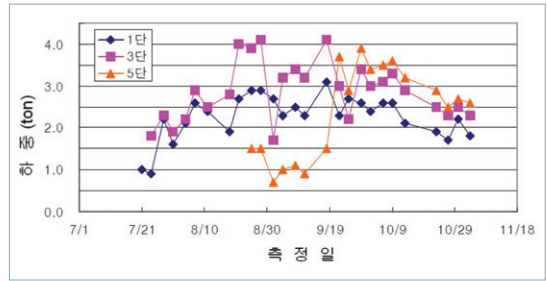


그림 9. 굴착 완료 후 소일시멘트 보강체에 작용하는 축력 계산 결과



그림 10. 대구경 교반혼합체의 시공완료 모습


발생한 수평 변위의 최대값은 수치해석 결과 23.7mm (H/410)로 나타났다.

그림 9는 하중계로 계측한 띠장에 작용한 하중의 경시 변화를 나타내고 있다. 본 공법은 소일네일링 공법과 마찬가지로 보강체 두부에 작용하는 하중은 작을 것으로 예상하였으나 확인을 위하여 하중계를 설치하여 띠장에 작용하는 하중을 확인한 것이다. 예상대로 측정된 최대 하중은 약 4ton으로 H-pile 수평간격(1.35m)을 고려하면 2.96ton/m가 작용하는 것으로 판단된다. 따라서 향후 본 공법의 적용에 있어서는 띠장을 최소한으로 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 사진 1은 최종굴착이 완료된 후의 실증단면의 모습을 나타내고 있다.

IV. 맺음말

본 기사에서는 배면부지가 매우 협소한 도심지 굴착

현장에서도 적용이 가능한 대구경 교반혼합체 공법을 소개하였다. 본 공법은 대구경 소일시멘트를 보강재로 적용하기 때문에 보강재의 단위 길이당 주면 마찰력이 증가하여, 짧은 보강재의 길이로도 소일네일링 등 기존의 보강 공법보다 향상된 보강 효과를 기대할 수 있다. 서울 시내 도심지 현장에서 본 공법을 이용하여 흠막이 벽체 시공을 성공적으로 마침으로써, 배면부지의 여유가 협소한 도심지 굴착 및 흠막이 현장에서의 적용 가능성을 확인하였다. 또한 본 실증시험을 통하여 본 공법이 흠막이 벽체 변위 억제에 충분한 효과가 있는 것을 확인하였고, 향후 본 공법의 적용시 일부 개선을 통하여 도심지 흠막이 공법에 다양하게 활용이 가능함을 확인하였다. 

참고문헌

1. 김영석, 조용상, 강인철, 김인섭 (2009), “교반혼합체 공법의 도심지 흠막이벽 적용”, 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집, pp. 883-887.
2. 김영석, 주진현, 조용상 (2010), “대구경 소일-시멘트 교반체의 토류벽 보강재 적용,” 한국지반공학회 논문집 (심사중).
3. 김홍택 (2001), “소일네일링의 원리 및 지침”, 도서출판 평문각.
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).

기획 : 신주열 편집위원 juyeoul@kistec.or.kr

기술기사 투고요청

‘대한토목학회지’에서는 다양한 분야의 기술기사를 매달 게재하고 있습니다.
 토목 및 유관 분야의 새로운 기술을 소개, 발표하고자 하시는 분들은
 논문형식으로 작성한 기술기사를
 대한토목학회 편집 담당자에게 투고해 주시기 바랍니다.
 투고된 기술기사는 학회지 편집위원회의 심사를 거쳐 학회지에 게재되며,
 소정의 원고료를 지급합니다.
 토목인들의 많은 관심과 참여를 부탁드립니다.

투고요령

- 담당자: 전지연(02-3400-4505 / solcsys@ksce.or.kr)
- 담당자에게 이메일로 원고를 접수하신 후에 연락 주시기 바랍니다.
- 작성 방법: 기술기사A4 5~10매 이내(사진 포함)로 작성