현장 발생토를 재활용한 PHC파일 채움재의 현장 적용성 평가

Estimation of field application for the PHC pile backfill recycling In-site soil

최 희 복* 노 창 석** 한 병 권*** 이 홍 규****
Choi, Hee-Bok Noh, Chang-Suck Han, Byung-Kwon Lee, Hong-Gyu

Abstract

The aim of this study is to estimate the field applicability of PBFM to replace in-site soil with pile backfill used to replace the existing cement paste. As results, the flowability, segregation and bleeding, and bond strength of PBFM was a good performance than that of the existing cement paste. But the skin friction of pile by Pile Driving Analyzer (PDA) and compressive strength was slightly decreased than that of the existing cement paste. However, as pile backfill materials, and in terms of economics and environment, the applicability of PBFM is considered very effective.

키 워 드 : 파일 채움재, 동재하시험, 유동성, 재료분리저항성, 부착강도
Keywords : Pile backfill material, Pile Driving Analyzer, Flowability, Segregation and bleeding, Bond strength

1. 서 론

1.1 연구의 목적 및 배경

최근의 건설 현장에 있어서, 파일기초공사시의 소음과 진동 규제 강화 추세에 따라 매입공법의 파일공사가 증가하고 있다. 또한, 최근의 대규모 건설공사가 진행되고 있는 곳은 대부분이 매립지 또는 해안가 및 4대강 유역이 주를 이루고 있으며, 이 지역은 기초 지반이 연약한 경우가 대부분이다. 이 지역의 기초 시공시에는 매입말뚝의 설치를 위한 천공 시 현장 발생토가 대량으로 생기고 있는데, 일반적인 토사와는 달리 매립지의 뻘과 슬러리와 같은 현장 발생토는 폐기물로서 처리되어지고 있는 실정이다.

매입 공법은 필연적으로 굴착토가 발생되어 폐토사 반출을 위한 공사비(운반비)가 발생하며, 파일 주면에는 시멘트 페이스트 주입에 따른 비용이 추가된다. 특히, 폐토사는 해양 매립토 등으로 일부 처리되고 있지만 환경적인 문제를 야기할 수 있기 때문에 굴착토의 재활용을 위한 새로운 방안이 요구되어지고 있다.

천공 홀과 파일사이에 충진재는 하중 재하 초기 단계에서 파일의 자립을 위한 채움재 및 파일 주면마찰력의 기능을 발휘하는 것이 기본 역할이며, 파일 주면 흙이 지니고 있는 역학적 특성 이상의 성능에서는 파일 주면채움재로서의 기능이 상대적으로 저하되어 장기적인 기여도 측면에서 큰 역할을 하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 역학적으로 큰 의미가 없는 파일 주면 채움재 부분에 환경 부하를 유발시키는 시멘트 페이스트의 다량 주입을 저감시켜야 할 필요가 있다.

최근의 연구에서 현장발생토를 활용한 기술이 개발되고 있으나[1)2)], 파일 뒷채움재로써 활용하기 위한 소요 강도를 만족하지 못하기 때문에 대부분 지중 매설관 또는 노면하부 공동부의 뒷채움재로써 그 활용이 한정되어 있다.

따라서 본 연구에서는 파일 천공시 발생하는 발생토를 현장에서 재활용하는 방안으로써 기존의 파일 채움재로 사용되고 있는 시멘트 페이스트 대용으로 적용하기 위한 초기 단계로서 파일 채움재로서 발생토의 소정의 성능을 발휘함과 동시에 현장 시험시공을 통해 적용 가능성을 평가하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 연구에서 적용된 PHC 파일의 채움재는 기존에 사용되고 있는 시멘트 페이스트와 대체대로서 활용하고자 하는 파일뒤채움재(이하 PBFM)를 사용하였으며, 각 채움재에 대한 배합은 표1에 있다. 시멘트 페이스트의 배합비는 한국토지주택공사의 전문시방서 중 주택건설공사 전문시방서30535[3)]에 준하여 배합비를 결정

* 두산건설(주) 기술연구소 선임연구원, 공학박사
** 이엑스티(주) 기술연구소 선임연구원
*** 이엑스티(주) 기술연구소 책임연구원
**** 두산건설(주) 기술연구소 책임연구원, 공학박사

1) Kim BI, Wee SH, Lee SH, Kim YU, Strength Characteristics of Siol-Cement Mixed with Inorganic Solidification Liquid, Korea Society of Civil Engineers, 2003:23(3C):135-141

2) Park JH, Lee KH, Jo JH, Kim SN, Deformation Characteristics of Underground Pipe with In-site Soil CLSM, Korea Geotechnical Society, 2004: 20(3):129-139

표 1. 실험 계획 및 배합

구 분	W/C	C	W	Soil	고화재	평가항목
PBFM	250%	186.6kg	466.6L	733.3	1.16kg	• 유동성 • 압축강도[7일, 14일, 28일] • 재료분리저항성 • 부착강도[14일] • 동재하시험[7일]
Cement Paste	83%	880kg	730L	-	-	

표 2. 시험 말뚝 제원

종 류	직 경	두 께	단면적	말뚝길이	관입심도	해머종류	낙하고
P.H.C.	600mm	90mm	1441.99㎠	15m	13m	DROP-5.0	1.5 ~ 3.0m

하였다. PBFM의 배합에 있어서 고화제의 양은 1㎥당 1.16kg이 투입되었으며, 사용된 발생토는 5mm 체를 이용하여 분리한 다음 5mm 체를 통과한 자연상태의 토사만을 사용하였다.

PBFM의 성능 및 적용 가능성을 검토하기 위해 필요한 평가항목 중에서 본 연구에서는 최소한의 필요한 평가항목을 선정하였으며, 표1에 설명되어 있다. 또한, 본 연구에서는 ∅600mm의 PHC 파일을 사용하였으며, 파일 제원은 표2에 있다. 본 연구의 현장 적용성 시험은 OO건설 부산 해운대 현장에서 실시되었으며, 적용 위치 및 전경은 그림 1과 같다.

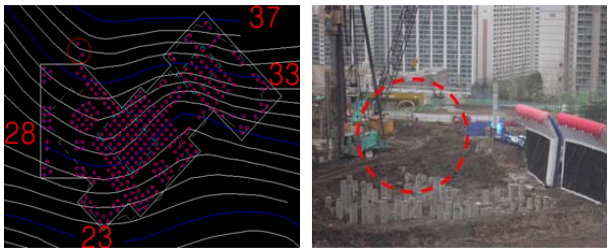

그림 1. 시험파일 위치 및 전경

2.2 시험체 제작 및 실험 방법

PBFM의 기본적인 역학적 특성과 파일 뒤채움재로서의 성능을 확인하기 위해 ASTM D6103[4]에 준하여 80mm(직경)×80mm(높이) 원형 실린더로 유동성을 평가하였으며, 재료분리 저항성은 ASTM C940[5]에 준하여 실시하였다. 또한, 압축강도는 KS F2405에 준하여 측정하였으며, PBFM 및 시멘트 모르타르 각각 공시체 3개씩 총 18개를 제작하였다.

부착강도 시험체는 그림 2와 같이 PHC 파일의 일부를 절단한 후 그 시편 위에 50mm×50mm×50mm 몰드를 제작하여 올리고 PBFM과 시멘트 페이스트를 타설하였으며, 시험체는 각각 3개씩 총 6개를 제작하였다. 압축강도와 부착강도는 시험체를 제작한 후 현장 대기상태에서 양생한 후 측정하였다.

본 연구에서 동재하시험은 기존의 시멘트 페이스트 채움재와 PBFM의 주면마찰력에 대한 비교평가가 목적이기 때

문에 현장여건과 비용을 고려하여 PHC 파일의 길이는 15m로 하였고, 관입 심도는 13m로 동일하게 하였다.

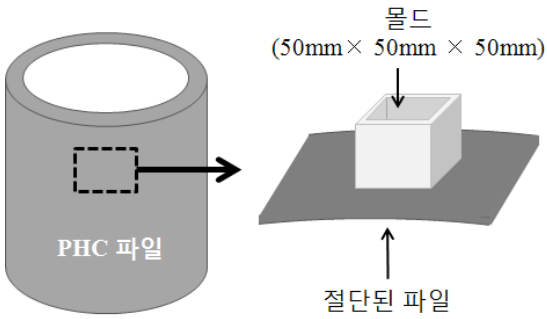

그림 2. 부착시험용 시험체

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동성

PBFM의 유동성은 그림 3과 같이 원형실린더를 이용하여 평가하였으며, 일반적으로 다짐 없이 잘 채워지기 위해서는 플로우가 실린더 직경의 2배 이상을 만족하여야 한다.

그림 3. 유동성 평가

3) Korea Land & Housing Corporation 2010, LH Construction Specifications 30535

4) ASTM Standards D6103, 2004, Standard Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material (CLSM), ASTM International, West Conshohocken

5) ASTM Standards C940-98a, 2003, Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory, ASTM International, West Conshohocken.

유동성 평가 결과 그림 4에서 보듯이 PBFM의 플로우 값은 210mm로서 실린더 직경 80mm의 2.6배를 만족하였다. 시멘트 페이스트의 경우 높은 물-시멘트비로 인해 플로우값 측정이 불가능하였다.

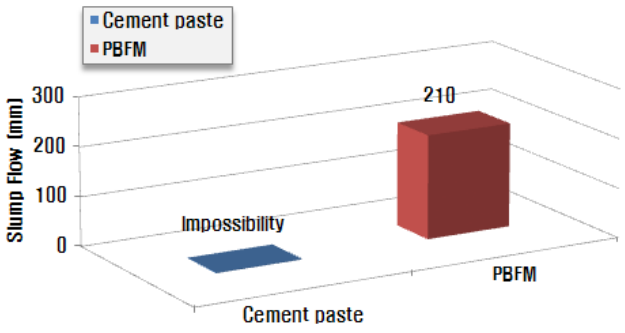

그림 4. 슬럼프 플로우

3.2 압축강도

압축강도의 측정은 50ton 용량의 U.T.M(만능시험기)을 이용하여 측정하였다. 그림 5에서 보듯이, PBFM의 28일 압축강도는 평균 1.92MPa로서 시멘트페이스트의 압축강도에 비해 많이 저하되었다. 그러나 PBFM과 유사한 기존 유동화토의 압축강도는 평균 0.5MPa 이하이며, 일본 동경부에서 요구하는 최대강도 0.56MPa 보다 3배 이상의 강도를 발현하였다.

파일 채움재는 일정 강도를 발현하여 파일의 주면마찰력에 영향을 미칠 수 있겠지만, 소요강도 이상에서는 채움재가 주변 지반의 강도 이상이 되기 때문에 채움재와 주변지반 사이의 마찰력 향상에는 큰 영향을 미치지 못할 것으로 판단된다.

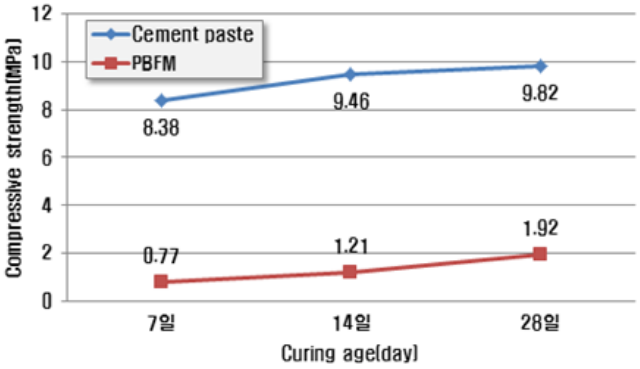

그림 5. 압축강도

3.3. 부착강도

부착시험은 50ton UTM으로 0.2mm/min로 일정하게 변위제어 하여 측정하였으며, 시험체는 재령 14일에 진행되었다. 그림 6에서 보듯이, 압축강도시험에서 강도발현이 작았던 PBFM 시험체의 부착강도가 기존의 시멘트 페이스트 시험체보다 25%정도 높게 발현되었다.

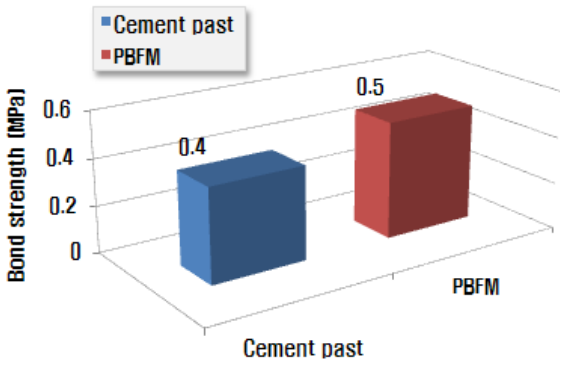

그림 6. 부착강도 시험결과

3.4. 재료분리저항성

PBFM과 시멘트페이스트 두 시험체에 대해 현장 타설 3시간 후 그리고 타설 24시간 후 재료분리저항성을 측정하였다.

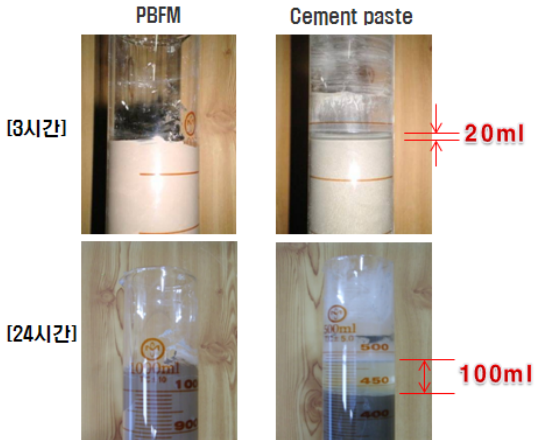

그림 7. 재료분리 저항성 시험

그림 7과 같이, 타설 3시간 후 시멘트 페이스트에서는 20ml의 블리딩이 발생하였으며, 타설 24시간 후에는 100ml의 블리딩이 발생하였다. 이에 반해 PBFM 시험체는 블리딩이 전혀 발생하지 않았다. 시멘트페이스트는 시멘트 대비 다량의 물이 사용되어 시멘트와 반응하지 않은 잉여수가 발생된 것이며, 지반하에서 이러한 블리딩이 다량 발생되어 지반으로 다량의 수분이 흡수된다면, 지반의 강도를 저하시키는 원인으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.5. 동재하시험

동재하시험은 그림 8과 같이 파일을 천공홀에 삽입하고 시멘트페이스트와 PBFM을 천공홀에 부어넣은 후 센스를 파일에 부착한다. 그 후 햄머를 이용하여 1차 Strike를 타격하여 초기 선단지지력과 주변마찰력을 측정하였다. 재령 7일에 2차 Re-strike를 타격하여 파일의 선단지지력과 주면마찰력을 측정하여 비교평가하였으며, 시험결과는 표 3에 있다.

그림 9. 동재하시험 절차

표 4. 동재하시험 결과

구 분		주면 마찰력 (ton/본)	선단 지지력 (ton/본)	전체 지지력 (ton/본)	주면 마찰력 /전체 지지력
PBFM	Early	11.0	101.0	112.0	0.1
	Re-strike	48.7	121.4	170.1	0.29
Cement Paste	Early	12.0	108.6	120.6	0.1
	Re-strike	68.2	141.8	209.9	0.32

Re-strike 시험 후 PHC말뚝의 전체지지력은 시멘트모르타르로 채워진 말뚝이 PBFM으로 채워진 말뚝보다 좀 더 크다. 또한 주면마찰력에서도 시멘트모르타르로 채워진 말뚝이 더 크다. 그러나 두 시험체가 동일한 현장에서 실시된 실험이지만, 당 현장의 지반은 핵석이 많이 나오는 현장으로서 핵석의 위치에 따라 파일의 전체지지력에 영향을 미칠 수 있기 때문에 표3의 동재하시험 결과를 단순 비교하는 것은 약간의 고려가 필요할 것으로 판단된다.

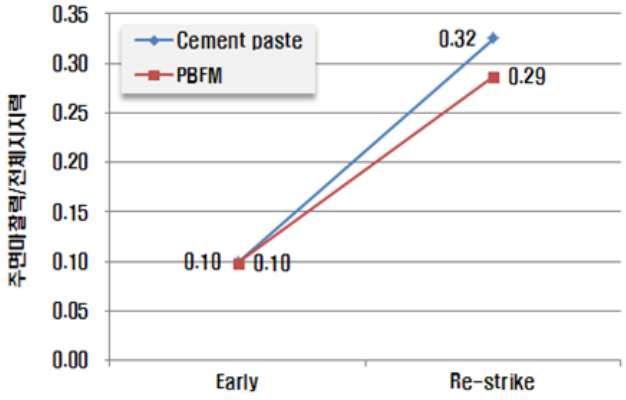

그림 10. 주면마찰력을 전체지지력으로 무차원한 결과

PBFM의 파일 채움재로서의 적용 가능성을 확인하기 위한 차원에서 다른 영향요인을 배제하고 주면마찰력을 확인하기 위해 그림 9와 같이 주면마찰력을 전체지지력으로 무차원하였다.

무차원한 결과 초기 Strike에서 주면마찰력/전체지지력은 두 시험체 모두 0.1로서 동일하였지만, 재령 7일 후 Re-strike에 의한 주면마찰력/전체지지력은 PBFM이 0.29로서 기존 시멘트페이스트보다 다소 작은 결과가 나타났다. 그러나 이 차이는 대략 10%내외로서 경제성과 환경성 등을 고려와 동시에 채움재로서의 구조적인 역할을 고려한다면 적용가능성이 높을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 파일 뒤채움재로서 사용되는 기존의 시멘트 페이스트를 대체함과 동시에 경제성과 환경성을 고려하여 현장에서 발생되는 발생토를 파일 채움재로서 재활용하기 위한 현장 적용성을 평가하였다.

그 결과, PBFM은 기존 시멘트페이스트에 비해 유동성과 재료분리저항성 및 부착강도에서는 좋은 성능을 발휘하였지만, 압축강도와 동재하시험에 의한 주면마찰력은 다소 저하되는 결과를 얻었다. 그러나 앞서 언급하였듯이, 채움재로서의 구조적 역할을 고려하고, 경제성 및 환경적인 측면을 고려한다면, PBFM의 적용가능성은 매우 효과적일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 2010년 건설기술사업화의 연구비지원(과제번호 : 10TRPI-C055141-01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. ASTM Standards C940-98a, 2003, Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory, ASTM International, West Conshohocken
2. ASTM Standards D6103, 2004, Standard Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material (CLSM), ASTM International, West Conshohocken
3. Kim BI, Wee SH, Lee SH, Kim YU, Strength Characteristics of Siol-Cement Mixed with Inorganic Solidification Liquid, Korea Society of Civil Engineers, 2003:23(3C):135-141
4. Korea Land & Housing Corporation 2010, LH Construction Specifications 30535
5. Park JH, Lee KH, Jo JH, Kim SN, Deformation Characteristics of Underground Pipe with In-site Soil CLSM, Korea Geotechnical Society, 2004: 20(3):129-139