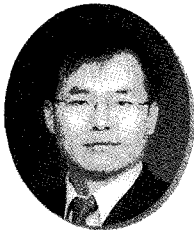


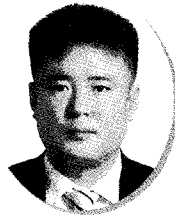
선단보강판을 이용한 PHC 파일 적용 사례



송기용
이엑스티(주)
대표이사



한병권
이엑스티(주)
토목팀장
(bkhan@extpile.co.kr)



이철웅
이엑스티(주)
기술지원팀장



허갑수
극동건설(주)
기술연구소장



유충식
성균관대학교
건설환경시스템공학과 교수

1. 서론

산업화의 가속 및 경제 성장과 더불어 근래 들어서는 고층빌딩, 아파트 및 교량 등의 건축 및 토목 구조물이 대형화, 중량화 됨에 따라 구조물 기초 보강공법인 파일기초가 점점 증대되고 있는 추세라 할 수 있다. 이와는 반대로 파일의 시공환경 조건이 갈수록 열악해져가고 있어 파일의 신뢰성 있는 지지력 확보 방안이 매우 중요하게 대두되고 있다.

PHC 파일 공법의 국내시장은 2006년 410만톤, 2007년 480만톤, 2008년 560만톤 규모로 연간 약 17%의 신장을 보이는 것으로 조사되었으며 이후 파일 시장규모의 확대에 따라 더욱 증대될 것으로 보인다.

이와 같이 PHC 파일의 적용이 늘어나고 있으나, 사회환경의 변화로 인하여 기존의 직항타 공법은 소음 및 진동 등 건설공해 요인으로 인해 민원 등의 문제가 발생하는 경우가 많다. 이를 해결하기 위해 선굴착 후 파일을 근입하여 시공하는 매입공법이 적용되고 있다.

매입공법에 의한 시공시 지지력 저하요인에 대하여 기

존 문헌을 근거로 살펴보면, 조천환 등(1996)은 국내 건축 구조물의 지지력 미달원인에 대하여 분석하였다. 분석에 사용된 자료의 21.3%가 설계하중을 만족하지 못하였고, 지지력 미달의 원인 중 주변부처리 미흡이 13.3%로 큰 비중을 차지하고 있음을 보여주고 있다. 이는 파일 근입후 주입하는 시멘트페이스트가 불확실하고 정형화되어 있지 않은 지반종류, 지하수조건 및 시공조건에 크게 좌우되어 파일과 주변 지반에 충분히 밀착되지 않아서 발생하는 현상으로, 주변마찰력 발현 여부를 확신할 수 없는 이유가 된다. 임해식 등(2001)은 "일본과는 달리 국내는 선단근교역을 별도로 주입하지 않고 묶은 주변교정액만을 주입하기 때문에 선단부에 단단한 쏘일 시멘트가 형성되지 않는다. 그러므로 선단은 반드시 굴착비탁면까지 타격하여야 소정의 설계지지력을 얻을 수 있다"고 지적하고 있다.

이에 따라, 매입공법으로 시공되는 PHC 파일의 경우 최종 경타과정에서 소정의 선단지지력 확보여부를 확인하는 과정을 거치게 되며 따라서 설계 및 시공시 PHC 파일의 전체 지지력에서 선단지지력을 매우 비중있게 다루고 있는

것이 일반적인 건축공사의 경향이다.

또한, 이러한 이유에서 국내 매입말뚝의 경우 설계하중을 말뚝 재료하중의 55~75% 수준에서 보수적으로 결정하고 있으며(박종배 등, 2008), 전체 지지력에서 주면마찰력 발현보다 불확실성이 적은 선단지지력에 대한 관심이 증대되고 있는 추세이다. 이러한 경향은 해외 현장타설말뚝 설계 및 시공에서도 두드러지고 있다. 2008년 11월에 개최된 “The 2nd Asian Workshop on ATC 18 Mega Foundations”에서 발표된 5개의 시공사례 중에 3개가 선단부 확장형 파일에 대한 설계 및 시공사례(인도, 일본, 홍콩 등)를 보여주고 있다. 이는 모두 확실한 선단지지력 확보를 통해 설계하중을 높이기 위한 시도라고 볼 수 있다.

이러한 추세에서 국내의 사례로 PHC 파일에 선단보강판을 부착하여 시공되고 있는 이엑스티 파일의 개념과 주요 적용사례에 대해서 소개하고자 한다.

2. 공법 개념

2.1 공법원리

본 공법은 파일의 선단확장을 통해(Steel 또는 고강도유리섬유 재질의 Donut 모양) 선단지지력을 증가시켜 설계하중을 PHC 파일 재료의 허용하중 수준까지 끌어올려 공사비 절감, 공기단축을 통해 자원의 낭비를 최소화한 공법이다.

그림 2는 벽식 구조를 가진 구조물의 단위 벽체에 있어 파일기초를 설계하는 모식이다. 중앙의 벽체를 통해 전달되는 하중은 기초를 통해서 파일에 전달되고, 파일은 그 하중을 각자 부담하여 지반으로 전달하게 된다. 이때에 한정된 공간안에 많은 수의 파일을 배치하려다 보면 그림 2의



그림 1. 선단보강판을 이용한 PHC 파일 형태

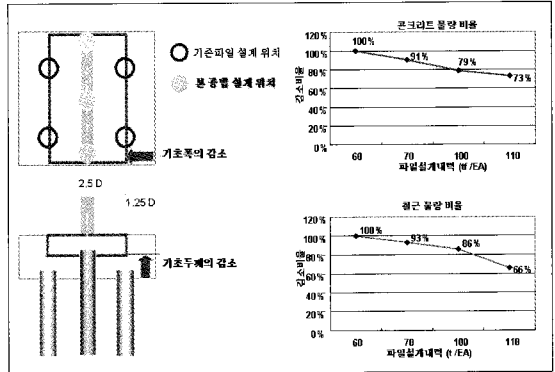


그림 2. 철근 및 콘크리트 절감 모식도 및 비율

기존 PHC 파일처럼 2열 또는 3열로 배치가 될 것이고, 수량이 적으면 선단확장형 PHC 파일처럼 벽체 직하부에 1열로 배치할 수 있게 된다. 이러한 원리에 의해서 본 공법을 적용하면 파일기초의 철근 및 콘크리트 물량까지 절감이 가능하게 된다.

1) 지지력 산정식

본 공법의 지지력 산정식은 국·내외에서 일반적으로 적용되고 있는 매입공법의 산정식을 근간으로 하고 있다. 다만, 선단지지력은 현재 국내에서 시공되고 있는 대부분의 매입말뚝이 풍화암층 이상에 근입시키고 있다는 점과 선단면적 확대로 파일 자체 내력을 더 많이 활용할 수 있다는 점을 고려하여 일부 조정하여 적용하고 있다.

① 선단지지력

$$R_p = (25 \sim 30) \cdot \bar{N} \cdot A_p$$

여기서, A_p : 파일 선단 단면적

\bar{N} : 표준관입치 (≤ 60)

단위 선단지지력은 선단지반 특성에 따라 25~30N을 적용하며, 타입시 적용값인 30 \bar{N} 을 상한값으로 적용하고 있다. 이것은 사질토지반에서 Meyerhof가 최초 제안한 40 \bar{N} 에 비해서는 작은 값으로 국내 지반 특성에 대한 연구결과(대한주택공사의 매입말뚝 공법의 설계와 재하시험 기준, 한국지반공학회, 2008.10) 등을 반영한 값이다.

또한, 선단부 \bar{N} 값은 60을 상한값으로 적용하고 있다.

선단보강판을 이용한 PHC 파일 적용 사례

기존에 풍화암에 대한 분류기준으로 50/10을 사용하고 있으나, 본 기준으로는 강도가 현격하게 차이가 나는 풍화토나 풍화암을 모두 50을 상한으로 동일하게 적용하여 풍화암에 근입된 파일 선단지지력을 과소평가할 수 밖에 없는 실정이었다. 이에 국내시공 조건(풍화암 근입)과 재하시험 자료를 근거로 풍화암에 대해서는 풍화토와 차이를 두어 $\bar{N}=60$ 을 상한으로 적용하였다(주택공사에서도 $\bar{N}=60$ 을 적용하고 있음).

② 주면마찰

$$R_f = f_s \times A_p \times \ell$$

여기서, A_p : 파일 주면장

ℓ : 파일 길이

f_s : 단위주면마찰력

점성토 $f_s = 0.5 \times q_u (=1.25N) = 0.625 \times N$, q_u =일

축압축강도

사질토 $f_s = 0.2 \times N$

주면마찰력은 현재 통용되고 있는 식을 동일하게 적용하고 있으나, 지반조건이 자갈층, 유속이 빠른 지층인 경우에는 주면마찰력의 불확실성을 고려하기 위해 계산값의 20~30%를 저감하여 적용하고 있다.

2) 보강판의 임계 내경

선단보강판을 이용한 PHC 파일 공법에서 임계 내경이란 선단보강판의 확장시 선단지지력 증가량의 변화가 없는 보강판의 제원(그림 3참조)을 의미한다.

성균관대학교에서 실내모형실험 및 수치해석을 통해서 보강판의 다양한 제원 및 규격에 따른 지지력 특성에 관한

연구를 수행하였으며, 그 결과에 의하면 t_{plate}/D_{outer} 가 70% 이상에서는 보강판의 내경을 늘려도 지지력 증가는 크게 발생하지 않은 것으로 평가되었다(그림 4참조). 즉, 선단보강판은 t_{plate}/D_{outer} 가 70% 이내에서 사용해도 지지력 확보에는 문제가 없으나, 내·외경을 늘릴수록 보강판에 모멘트가 크게 발생하여 보강판의 두께는 두꺼워지는 문제가 발생한다. 따라서, t_{plate}/D_{outer} 가 70% 이내에서 현재의 파일 시공법을 그대로 사용할 수 있고, 지지력 증대효과도 발생하고 보강판의 두께도 얇은 경제적인 보

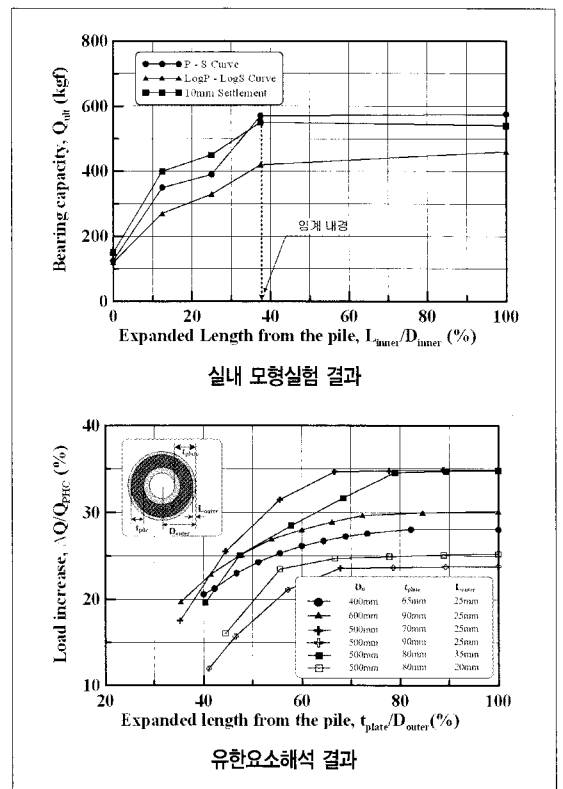


그림 4. 임계내경 분석 결과

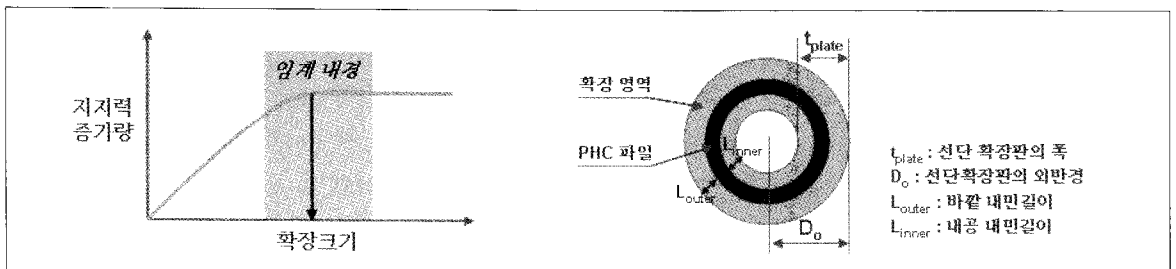


그림 3. 임계내경의 정의

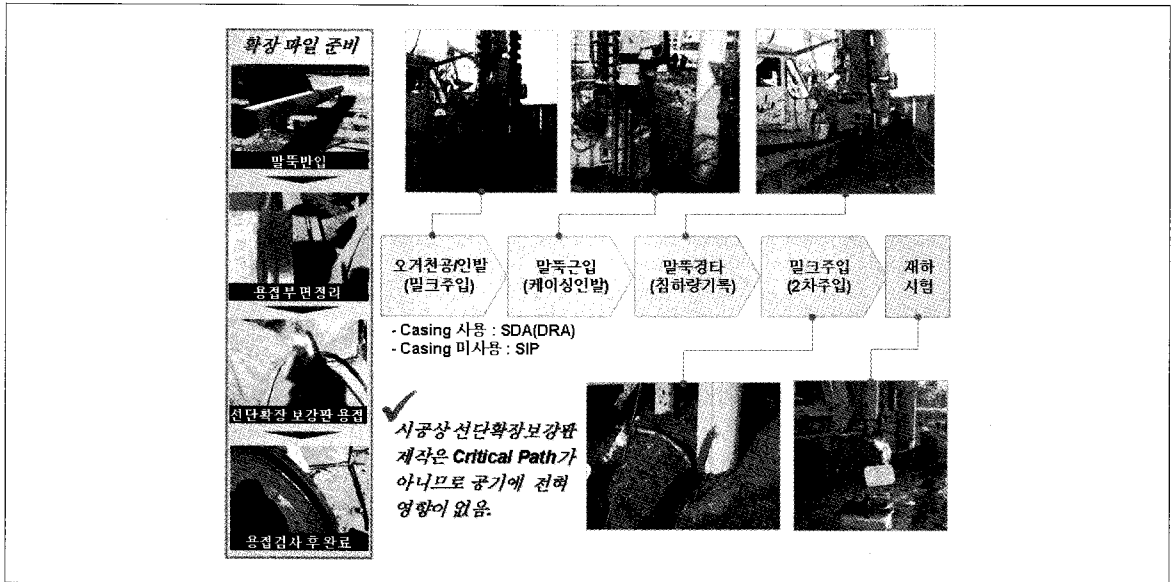


그림 5. 시공순서

강판의 규격을 선정하여 사용하고 있다.

2.2 현장 적용성

1) 시공성

본 공법의 시공순서는 현장에 반입된 PHC 파일에 선단 확장 보강판을 부착하는 준비작업 이후에 지반 천공에서부터 재하시험까지는 기존의 시공법을 그대로 적용하고 있다.

2) 환경친화성

본 공법의 설계하중 증가에 따른 파일수량 감소로 공기 단축 및 원가절감에 의해서 파일공사 현장의 두부정리에 의한 파일 폐기물 감소, 장비운행 및 파일 자체 생산량 절감을 통한 CO₂ 발생량 절감 등의 친환경성을 보유하고 있으며, 2008.12 대한민국 친환경인증(Lohas)을 획득하였다.

① 폐기물 감소 효과

일반적인 파일공사에서의 폐기물은 지반천공에 따라 발생하는 배토사, 파일 두부정리에 의해서 발생하는 절단 파일 등이 있다. 그러나, 본 공법 적용시 수량절감 효과가 있

표 1. 폐기물 감소 효과(파주 00현장)

구 분	본 공법	기존 기술
1본당 폐기물 길이	0.6m	0.6m
시공본수	918	1275
폐기물총길이	551m	765m
폐기물무게	98.1ton	138.2ton
절감효과	28%절감	-

어 기존 공법대비 약 25% 이상의 폐기물 감소효과가 있어 폐기물 운반 및 처리비에 대한 절감이 가능하다.

② CO₂ 발생 저감 효과

지구 온난화 현상에 대한 대책으로 전세계적으로 이산화탄소(CO₂)에 대한 국가적인 규제가 계획되고 있으며, 추후 탄소배출권에 대한 시장 형성도 예상된다. 이러한 환경에서 파일공사에 CO₂ 발생요인은 파일 자체 생산, 콘크리트/시멘트 및 철근 제작 공정이다. 여기에서 본 공법 적용에 따른 PHC파일 자체의 생산 절감에 따라 CO₂ 발생 저감량을 추정하면 2005년 이후 2008년 현재까지 약 132,544ton의 CO₂를 절감하였으며, 이는 탄소배출 비용으로 환산하면 약 13.4억원에 이른다(참고문헌 : 공동주택 신축단계에서의 에너지소비 및 CO₂배출 특성평가 - 대한

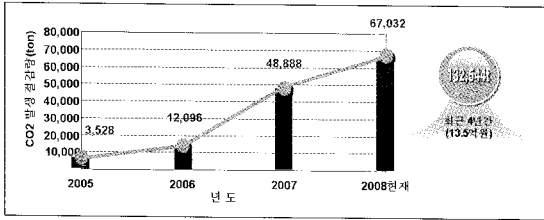


그림 6. 연도별 CO₂ 절감량 및 탄소비용

건축학회 21권4호, 탄소시장의 부상과 비즈니스모델 - 삼성경제연구소 CEO Information 제 630호).

또한, 파일 자체뿐만 아니라, 본 공법의 공기단축 효과에 의해서 건설 중장비(항타기, 포크레인, 페이로더, 발전기, Compressor 등) 운행기간 단축으로 CO₂가 추가 절감되며, 기초 RC 물량 절감에 따라서 콘크리트와 철근 생산 감소로 추가적인 CO₂ 절감이 예상된다. 향후 CO₂ 발생량 저감은 국가차원을 넘어서 전세계적인 과제로 급부상할 것으로 예상되며, 이에 따라 본 공법도 지구 환경을 보존하고 탄소 시장에서의 수익창출에 기여할 수 있는 공법이다.

3. 현장 적용 사례

본 공법은 2004년부터 2009년 현재까지 약 130여개 현장에 적용 되었으며, SIP, SDA, T4 공법 등 일반 매입말뚝 공법 전체에 동일하게 시공되었다. 적용 현장에서 1,000회 이상의 현장 재하시험을 실시하였으며, 재하시험 결과 모두 설계하중을 만족하였다.

또한, 2009년 4월 현재까지 시공본수는 161,000본, 관입길이 2,700,000m, PHC 파일 자재의 총 시공본수 720,000ton 의 시공 실적을 올렸으며 현재에도 지속적으로 적용되고 있다.

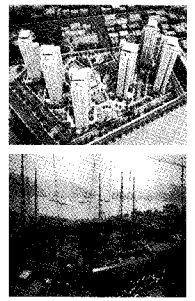
본 공법의 적용 현장 중에서 최근 많은 관심이 집중되고 있는 해안가나 매립지 등 장심도 파일 적용 사례와 특이 지질인 이암층의 적용사례 그리고 초고층건물에서의 RCD파일을 본 공법으로 변경 적용한 사례 등을 소개하고자 한다.

3.1 장심도 파일 시공 사례

1) 마산만 00 신축공사 현장

① 설계 개요

구 분	기존공법	적용공법
파일종류	일반 PHC파일	Ext-PHC파일
직경(mm)	500	500
설계하중(tf)	120	150
파일본수	4,754	3,844
관입길이(m)	209,827	149,501
시공법	S.D.A	
구조물규모	지하2층 / 지상 21층~36층	



② 지반 특성

본 현장은 마산만에 인접한 과거 해상지역으로서 수년 전 부지조성을 위해 인위적으로 매립한 지역으로 상부로부터 매립층, 퇴적층, 풍화토층, 풍화암층, 연암층 등으로 구성되어 있다. 상부 매립층은 최고 22.0m 두께로 분포하고 대부분 점토 및 자갈이 많이 섞인 모래층으로 구성되어 있다. 매립층 하부는 퇴적층으로서 매립층 아래 12.5m의 두께로 분포되어 있으며 전체 구간의 약 50~60% 정도가 매우 점성이 강한 점토층이 넓게 분포되어 있다. 풍화토층은 지면으로부터 약 21.0~51.0m까지 비교적 깊게 분포되어 있으며 대부분 실트질 모래로 구성되어 있고 N치는 22/30~50/10으로 시공성을 감안하여 일부분 지지기반으로 선정한 층이다. 그 아래 풍화암층은 지면으로부터 39.0~71.0m의 심도로 분포되어 있고 N치는 50/9~50/3 까지 매우 조밀한 상대밀도를 보여 지지기반으로는 매우 양호한 지층이다.

③ 시공 특성

상부 지층 매립층 및 퇴적층으로 이루어져 있고 해안가의 특성상 지하수의 영향이 매우 많아 공벽의 붕괴를 방지하기 위해 Casing을 사용하는 SDA공법을 적용하였다. 평균 관입길이를 35.0m 구간과 45.0m 구간으로 구분하였으며, 시공장비는 국내 천공장비 중 DH658로서 Reader길이 45.0m로 조립하였다. 또한 천공 중 퇴적층의 매우 강한 점토층으로 인해 슬라임의 배토가 잘 되지 않고 Casing이 잘

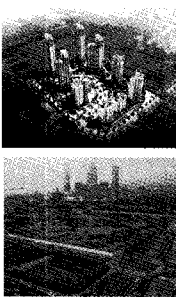
인입되지 않는 현상을 보였다. 이러한 강한 점토층 천공시에는 시멘트페이스트를 선단부에 주입하면서 수회 오거천 공 및 인발을 반복하면서 문제를 극복하였다.

그리고 장비 천공 능력/심도 등을 감안하여 일부 구간에서는 N치 50/15 이상의 풍화토 구간에 경타로 안착시켜 시공하였으며, 초기항타값을 설계하중의 70~80%, 주면마찰력을 설계 하중의 30% 수준으로 관리하였다. 이러한 시공관리는 시천공 및 시험항타를 통한 재하시험 결과를 분석하여 결정하였다.

따라서 본 현장의 경우에는 일반적인 매입공법에서의 지지층인 풍화암의 심도가 깊어서 장비한계를 벗어난 경우에 대한 해법을 제시하는 사례로 볼 수 있으며, 이는 많은 시험천공 분석 및 현장에서의 엄격한 품질관리를 통해서 가능하였다.

2) 송도 4-3공구 00 신축공사 현장

① 설계 개요

구분	기존공법	적용공법	
파일종류	일반 PHC파일	Ext-PHC파일	
직경(mm)	500	500	
설계하중(tf)	80(부주면20)	130(부주면20)	
파일본수	4,026	3,165	
관입깊이(m)	160,261	120,970	
시공법	S.D.A		
구조물규모	지하2층 / 지상 11층~30층		

② 지반 특성

본 현장은 인천 송도지역으로서 상부로부터 매립층, 충적층, 풍화토층, 풍화암층, 연암층으로 구성되어 있으며 상부지층 대부분이 연약한 충적층으로 이루어져 있다. 또한 지하수위가 높고 그 양도 많아 천공 시 어려움이 많았다. 상부 매립층은 부지조성 시 성토한 지층으로 4.0m 두께로 매우 연약한 상태였다. 매립층 하부지층인 충적층은 하상퇴적층의 일원으로서 암갈색을 띄고 있고 점토 및 자갈섞인 모래층으로 구성되어 있으며 평균 두께가 35.0m 정도이며, N치는 7/30~50/30이하로 대부분 느슨 내지 조밀했다.

풍화토층은 평균 두께 4.0m로 매우 짧게 분포되어 있고 파일기초의 지지기반으로 적용된 풍화암층은 평균 두께 10.0m로 심한 풍화상태를 보이고 있다.

③ 시공 특성

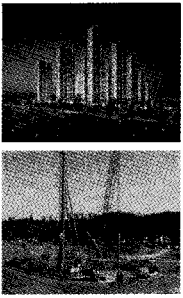
기초저면의 터파기면이 장비가 자랍할 수 없을 정도로 연약하여 1.0m 이상의 골재 치환이 이루어졌으며 특히, 천공시 hole의 붕괴로 인해 슬라임이 쌓이는 관계로 천공길 이만큼 Casing길이를 확보하는 것이 품질관리측면에서 무엇보다도 중요한 과제였다. 따라서 최소한 풍화토 하부까지는 Casing을 관입해서 슬라임 유입을 차단하였다. 또한 파일 관입깊이는 35.0~44.7m까지의 분포를 보이고 있으며 평균적으로 길이 38.0m로 시공 되었다.

설계하중은 130tonf이나 총적층 구간의 부주면마찰력 20tonf를 감안하여 시공단계에서의 재하시험 관리기준은 150tonf으로 설정하였다. 선단지저력은 설계하중의 약 90%, 주면마찰력은 약 10% 로 시공관리를 수행하였으며, 시험시공 및 110회 이상의 재하시험을 통해서 품질을 확보하였다.

3.2 고층건물의 RCD 변경 사례

1) 포항장성 00 신축공사 현장

① 설계 개요

구분	기존공법	적용공법	
파일종류	RCD	Ext-PHC파일	
직경(mm)	1500	600	
설계하중(tf)	1,500	200	
파일본수	682	3,901	
관입깊이(m)	26,306	63,181	
시공법	S.D.A(+T4)		
구조물규모	지하2층 / 지상 25층~48층		

② 지반 특성

본 현장은 포항지역의 대표적인 토질인 이암이 기반암으로 형성된 지역으로 매립층, 충적토층, 풍화토층, 이암층

으로 구성되어 있으나, 기초저면은 대부분 이암층으로 되어 있다. 지지기반으로 계획된 이암층은 심한 풍화를 받아 절리 및 균열이 발달되어 있으며 암질이 매우 불량한 편이며, 강도도 매우 약하여 일반 오거 천공으로도 천공이 되는 수준의 강도를 가지고 있다. 그러나 이암층도 하부로 진행할수록 다소 단단한 강도를 보이며, 천공 시 암편으로 분해되어 슬라임이 배출되며 시간 경과에 따라 공기의 영향으로 바로 풍화되어 강도가 매우 약해지는 현상을 보였다. 그리고 이암층의 특성 중 하나인 띠모양의 암맥이 부분적으로 형성되어 있으며 일부 직경 1.0~1.5m 정도의 암맥층이 부분적으로 존재하고 있다.

③ 시공 특성

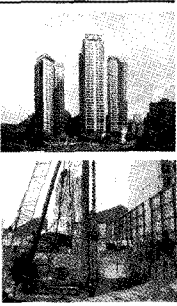
이암층은 초기 선단지지력 값이 잘 나오지 않으며, 강도의 변화가 크지 않아서 하부로 천공이 쉽게 진행되므로 지지층 판단이 쉽지 않는 것이 현실이다. 따라서 이암지역의 타현장시공 경험을 바탕으로 이암층의 관입길이별 시험시공을 수행하여 최적 지지층 및 관입길이를 분석하였다. 총 4가지 길이(7, 10, 15, 20m)에 대해서 2개소에 시험을 실시한 결과 이암이하 10.0m 관입시 효율적인 결과가 도출되어, 본 시공에 적용하였고 본 시공시 동재하시험 111회, 정재하시험 19회, 수평재하시험 9회 등 수시로 재하시험을 실시하여 지지력을 확인하였다. 시공시 초기항타 값은 설계하중의 70%이상으로 확보하고 나머지는 주변마찰력을 활용하여 시공하였으며 이때의 시멘트페이스트 배합비는 일반적인 83%보다는 부배합인 65%로 관리하였다. 이암

층 시공시 가장 유의해야 할 사항은, 추후 이암층의 팽창현상 등에 의한 지지력의 Relaxation 현상을 최소화하는 것이며, 이를 위하여 주변마찰력의 확보를 위한 시멘트페이스트 관리가 중요하며, 배합비와 주입량의 세밀한 관리가 요구된다.

그리고 이암층의 특성 중 하나인 암맥층이 종종 발견되며, 암맥층의 두께 및 경도에 따라 T4천공이 요구된다. 본 현장에서도 약 0.2~0.5m 정도의 두께로 띠모양으로 분포되어 있으며 파쇄 시 콘크리트를 파쇄한 것처럼 단단하며 덩어리져 있는 것이 특징이다.

2) 부산 거제동 00 신축공사 현장

① 설계 개요

구분	기존공법	적용공법	
파일종류	RCD	Ext-PHC파일	
직경(mm)	2000	600	
설계하중(tf)	2,000	200	
파일본수	76	752	
관입길이(m)	1,260	8,157	
시공법	S.D.A+T4		
구조물규모	지하2층 / 32층~36층		

② 지반 특성

본 현장의 지층은 상부로부터 표토층, 매립층, 풍화토층, 풍화암층, 연암층으로 구성되어 있다. 현장의 위치가 산자



그림 7. 오거 천공시 이암 배토 및 암맥 현상

락에 자리하고 있어 풍화토층에 비교적 큰 핵석이 부분적으로 존재하며 풍화암은 비교적 짧게 분포하고 있고 모래 및 세편으로 분해되었다. 높은 지대의 영향으로 지하수위가 낮아 지하수의 영향이 거의 없었으며 지지기반은 풍화암이 주이며, 풍화암이 짧고 연경이 반복되는 경우에는 연암층상단으로 결정하였다.

③ 시공 특성

파일의 평균 관입깊이는 10.8m이고 시공공법은 SDA+T4이다. 풍화대에 큰 핵석이 존재하여 전체적으로 T4시공으로 진행했으며 초기 선단에서 설계하중의 100% 만족시키는 조건으로 시공관리하였다.

4. 결 론

지금까지 선단보강판을 이용한 확장형 PHC파일 공법의 개념 및 시공사례에 대해서 소개하였다. 현재 진행되거나 계획 중에 있는 송도지구, 청라지구, 영종지구를 포함한 인천경제자유구역 개발계획, 새만금 개발사업, 태안기업도시 및 화성송산 그린시티 등 대규모 매립지는 지지층이 상대적으로 깊게 분포하고 있어 파일기초가 예상된다. 특히, 상기 지역의 지반은 매우 연약한 점성토층이 존재하여

부주면마찰력에 의한 지지력 저감이 예상되고, 주면마찰력 발현의 불확실성이 크게 문제시 될 수 있어 선단확장을 통해 선단지지력의 확보가 용이한 본 공법 적용시 원가절감 및 공기단축 효과가 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

1. 임해식, 박종배, 박용부, 김도형(2001), SIP공법의 품질개선 방안과 지지력 산정법 제안에 관한 연구, 대한주택공사
2. 이명환, 조천환, 홍현성, 이장덕, 이원제, 엄재경(1996), 건축 구조물 말뚝기초의 지지력 미달원인 및 보강, 한국지반공학회 봄학술발표회, pp.133~144
3. 박종배, 임해식, 박용부(2008), 대한주택공사의 매입말뚝 공법의 설계와 재하시험 기준, 한국지반공학회 가을학술발표회, pp.527~534
4. 유종식, 김선빈, 이주탁(2008), Ext-PHC 파일공법 설계기술 개발 중간보고서, 성균관대학교 지반연구소
5. 김종엽, 이승연, 손장열(1995), 공동주택 신축단계에서의 에너지소비 및 CO2배출 특성 평가, 대한건축학회 21권4호, pp.199~207
6. 김현진, 강희찬, 박준(2007), 탄소시장의 부상과 비즈니스모델, 삼성경제연구소 CEO Information 제630호

박사학위 소개기사 요청

지반지에서는 회원여러분의 오랜 연구기간동안의 결실인 박사학위에 대하여 초록을 싣고 소개하는 기사가 있습니다. 국내외에서 박사학위를 취득하신 분이나 학위취득하신 분을 알고 계신 회원께서는 학위논문 초록, 지도교수, 학위취득년도 등을 수록하셔서 학회로 보내 주시면 정성껏 편집하여 지반지를 빛내는데 사용하겠습니다. 여러 회원님들의 많은 관심을 바랍니다.

제출처 : kgssmfe@chol.com