

연약지반상 PHC파일 항타력 증대장치 개발에 관한연구

김종길^{1*}, 이용주²

¹청운대학교 토목환경공학과 교수, ²주식회사 준건설 박사

A Study on Development of PHC pile driving force increase device on soft ground

Jong-Gil Kim^{1*}, Young-Joo Lee²

¹Professor, of Civil Engineering, Chungwoon University

²Dept, of Civil Engineering, June Construction

요 약 본 연구는 연약지반상에 PHC 파일 시공시 발생하는 인장파에 의해 발생하는 인장 균열에 의한 파일 파손 방지를 위하여 일반적으로 시공되는 선굴착 공법을 대체할 장비 개발에 목적이 있다. 연약지반상에 PHC 파일 항타 중 해머 타격시 발생하는 인장파에 의해 인장 균열이 발생하며, 이는 결국 부실시공으로 이어진다. 항타시 발생하는 인장파 발생을 방지하기 위하여 연약층에서는 별도의 항타력 증대 장치를 이용하여 인장파 발생을 방지하여 파일 손상을 방지할 수 있다. 또한 장비 개발시 시공 속도 향상, 시공비 절감 및 소형장비를 사용할 수 있어 매연 및 소음을 감소시키는 친환경 공법이다. 본 개발 장비는 대심도 연약지반이 분포하는 새만금 간척지, 동남아시아 건설시장을 개척할 수 있는 효과적인 장비이다.

주제어 : 연약지반, 선굴착, PHC 파일, 항타, 인장 균열, 항타력 증대 장치

Abstract The purpose of this study is to develop a device to replace the pre-boring method, which is generally constructed, to prevent pile damage caused by tension cracks that reason from tension waves generated during PHC pile construction on soft ground. Tension cracks are caused by tension waves from the hammer striking during the PHC pile hitting on the soft ground, which in turn leads to faulty construction. In order to prevent the occurrence of tension waves generated during driving, apply separate driving force increasing device to prevent the generation of tension waves, and pile damage as well. Also, it is an eco-friendly construction method that reduces smoke and noise by improving construction speed, reducing construction costs, and able to small equipment when developing equipment. This development equipment is a piece of effective equipment that can pioneer the Saemangeum reclamation area, the South-east Asian construction market, where the Deep soft ground is distributed.

Key Words : Soft ground, Pre-boring, PHC pile, Pile driving, Tension crack, Driving force increase device

*Funding information : This study was supported by Academic Research Supporting Program of Chungwoon University in 2020.

*Corresponding Author: Jong-Gil Kim(kman1@chungwoon.ac.kr)

Received July 16, 2020

Revised October 8, 2020

Accepted October 20, 2020

Published October 28, 2020

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

일반적으로 연약지반에서 PHC(Pretensioned Spun High Strengthed Concrete) 파일은 시공시 햄머 항타에 의해 발생하는 응력이 연약층 통과시 파일 선단에서 압축과가 인장과로 변환되면서 인장균열 및 손상이 발생한다. 따라서 파일 손상을 방지하기 위하여 선굴착 후 말뚝을 시공하는 매입공법을 대부분 적용하고 있다. 국내의 경우, 대부분 유압햄머(5~10Ton)로 항타장비가 제한적이거나, 해외설계 및 시공사례를 보면 항타장비조합의 다양화로 대심도 연약지반에서도 항타에 의한 시공이 가능한 것으로 조사되었다[1]. 따라서, 연약층 두께, 말뚝직경 및 항타응력 등에 따라 항타 장비의 항타력을 증대시켜 국내 및 해외 대심도 연약지반에서 PHC 파일 항타가 가능하도록 하는데 본 연구의 목적이 있다. 또한, 대심도 연약지반의 경우 견고한 지지층에 도달시키기 위하여 파일 직경에 비해 과다 햄머를 사용하여야 하며, 이 경우 파일의 두부 손상이 발생하는 경우가 다수 발생한다. 기존 햄머의 항타력을 증가시키는 경우 기존보다 소형 햄머를 사용할 수 있어 파일의 손상을 최소화 하는데도 그 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

연약 지반상에서 PHC 파일 시공을 위하여 선굴착 후 매입공법 시공 장비는 굴착 오거 및 대형 햄머를 장착하므로 대형 항타 장비를 이용한다. 대형 항타 장비의 경우 대부분 해외에서 수입한 장비를 사용하고 있다. 항타 장비의 항타력을 증대시킬 경우 장비를 소형화할 수 있어 국산화가 가능하다[2, 3].

본 연구에서 수행한 연구의 주요 내용 및 방법은 다음과 같다.

- 1) 연약 지반상에 PHC 파일시공시 연약지층 통과시에는 항타력 증대 장치에 의해 시공됨으로 햄머 타격 응력이 파일에 작용하지 않는다. 따라서 파일에 인장과가 작용하지 않도록 하여 파일의 인장균열 및 손상을 방지하였다[4, 5].
- 2) 햄머의 중량을 최소화 할 수 있어 기존에 사용하는 항타 전용기 보다 소형 장비를 이용할 수 있으며, 일반 굴착기에도 장착하여 시공이 가능하다. 따라서 해외에서 수입하는 PHC 파일 장비의 국산화를 가능하게 하

였다. 또한, PHC 파일 항타 장비 소형화로 협소한 장소에서도 작업이 가능하게 하였다.

- 3) 대심도 연약지반에서도 PHC 파일 시공시 항타력 증가에 의해 기존보다 소형 햄머를 이용할 수 있으므로 최종 항타시 파일 두부 손상을 최소화 시킬 수 있다.
- 4) 최종 항타시 반발력이 심한 지층에서도 항타력 증가 보조 장치가 말뚝의 Rebound를 최소화 시켜 시공 속도를 향상 시킬 수 있다.

2. 연약 지반상 PHC 파일 시공시 파손 및 균열발생 원인

2.1 PHC 파일 파손 현황

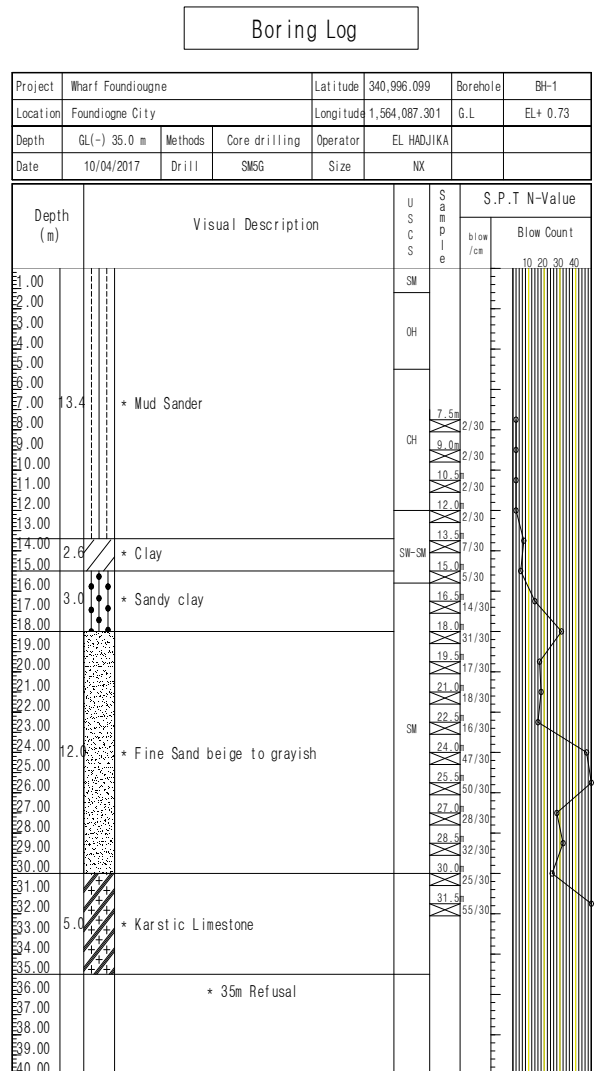


Fig. 1. Boring Log

- 1) 현상 : 일부 파일 상단까지 물이찬 현상 발생
- 2) 지반 조건 : 지층은 지표로부터 점토질 모래층, 점토층, 실트질 점토층, 세립 모래층, 석회암순으로 이루어져 있으며, 상부 점토질 모래층은 약 7m 정도 표준관입 시험 값(Standard Penetration Test) N=0으로 매우 연약한 상태이다. Fig.1. 말뚝은 하부 석회암에 지지되도록 계획되었다[6, 7].
- 3) 시공 방법 : 상기 현장의 기초공은 PHC 파일(∅ 500mm)를 직항타 하였으며, 시공관입 깊이는 최대 32m로 상·하 파일 2본을 연결(16+16m)하여 시공하였다.
- 4) 파일 내부에 물이 차는 이유는 일반적으로 다음 3가지 원인이 있으며 Fig.2와 같이,
 - 파일의 파손 및 균열
 - 상·하 파일 이음(용접) 불량
 - 선단 슈 불량
 본 현장의 경우 항타 중 파일의 파손 및 균열에 의한 것으로 추정되고, 이 경우 파일의 지지력 부족 및 장기 침하 발생이 예상된다[8-10].



Fig. 2. Filled with water to the top of the pile [8]

2.2 파일 균열 발생 원인

2.2.1 연약지반상 항타 시공시

말뚝머리에 가해진 타격력은 말뚝체내를 지나, 말뚝선단에서 반사되어 되돌아온다[Fig.3]. 말뚝선단 지반이 단단한 경우 압축력이 되돌아와 중첩되거나, 선단지반이 연약하여 인장력이 반사될 경우 인장균열이 발생 된다[11]. 본 현장은 상부 7.0m 정도가 N=0의 매우 연약한 지층으로 구성되어 있으므로 이를 감안한 항타 공사를 실시하여야 하나 일반 현장과 동일한 시공법으로 항타를 실시하여 인장 균열이 발생하였다. 콘트리트 파일의 인장 강도는 압축강도의 1/10~1/15정도 밖에 되지 않기 때문

에 이와 같은 조건에서 낙하 높이를 높게 타입 시키면 길이 방향의 균열이나 두부 파손의 원인이 되기 때문에 낙하 높이를 될 수 있는 한 낮게 해서 타격하는 것이 바람직하다[12, 13].

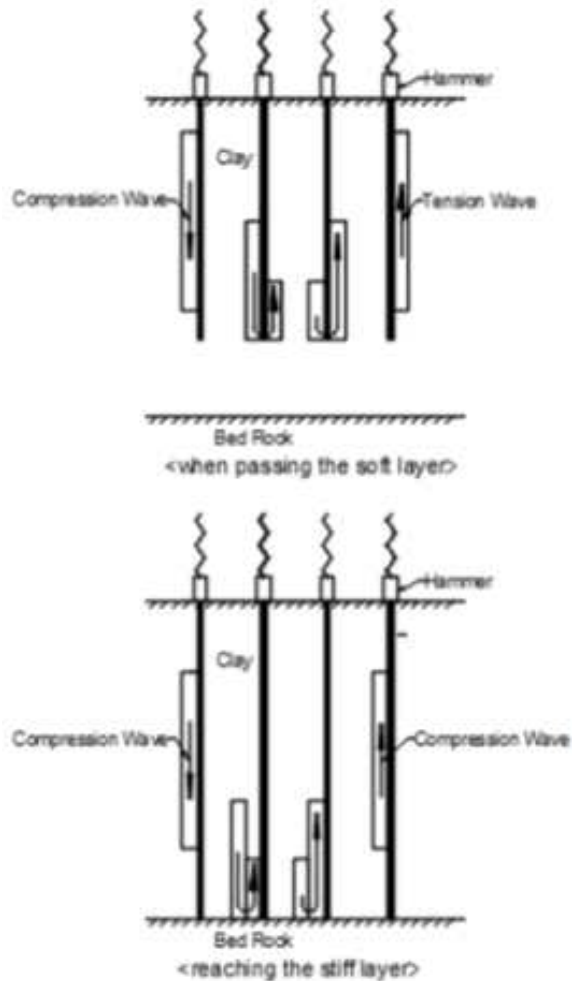


Fig. 3. A schematic diagram of the transmission of stress waves during soft ground driving [8]

2.2.2 과다 램 중량에 의한 균열 발생

지금까지 대부분의 대심도 연약지반에서 토목 및 건축의 구조물 기초시공 시에는 시공성, 압축 및 휨강도에서 유리한 강관 말뚝(토목 구조물에서는 경제성보다는 안정성이 우선되어 거의 대부분이 강관말뚝 사용)이 주를 이루었으며, 최근에는 현장타설 말뚝 시공도 설계법의 변경 및 굴착장비의 발전으로 점차 증가 추세에 있다. 그러나 상기의 말뚝재료는 말뚝심도가 깊어짐에 따라 비경제적일 수밖에 없으며 PHC 파일로 대체시 경제성을 기대할 수 있다[14]. 다음 [Fig.4]에서는 지층 심도별 적합한 해

머용량을 나타내고 있다. 파일 시공 심도가 깊어 질 수록 용량이 큰 해머를 이용하여야 한다.

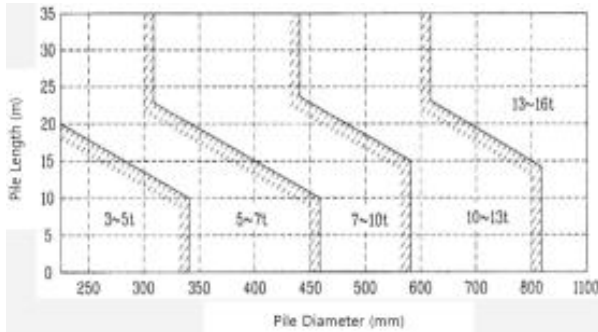


Fig. 4. Hammer selection of concrete pile

PHC 파일 항타시 타격에 의해 말뚝체에는 항복 응력에 가까운 큰 압축응력이 발생한다. 따라서 길게 계속 타격하면 가장 큰 응력이 발생하는 말뚝머리 부근의 피로적인 변형이 생겨 말뚝머리의 콘크리트가 파손된다. 더욱이 장기간의 타격은 해머성능에도 악영향이 미친다. 본 현장의 경우 지지층까지 도달하기 위하여 7Ton 해머를 계획하였으나, 다수의 파일에서 파손이 발생하였다. Fig.5. [15].



Fig. 5. Damaged pile head due to excessive hammer striking

3. PHC 파일 파손 방지를 위한 항타력 증대장치 개발

3.1 개발 장치의 개념

기존 파일 항타 장비는 유압해머의 자중과 낙하하중(5~10Ton)에 의해 파일을 목표한 지지층까지 타입하는 장비다. 최종 타입시 파일 두부에 과도한 타격력이 작용하여 파일 두부 또는 파일에 손상이 발생하여 재 시공, 보강 등의 문제점이 발생한다. 금번 개발하는 장비는 유압해머 본체에 와이어를 연결한 후 드럼으로 와이어를 하부로 끌어 당김으로써 파일 상부에서 “유압해머의 낙하하중 + Wire rope 압입력”으로 항타력을 증대시켜 해머 하중 감소, 항타 속도 증가 및 파일 손상 감소시킬 수 있는 장비를 개발하는 것이다. Fig. 6.

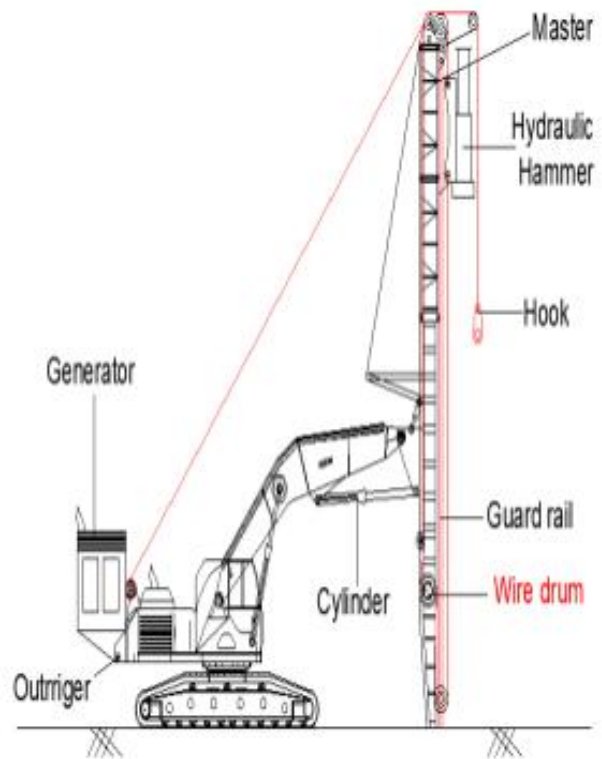


Fig. 6. Concept diagram of development equipment

아래 [Fig 6]의 Wire Drum은 본체 장비의 유압펌프의 유압을 이용하여 회전 시키며, 이때 발생하는 회전력을 wire rope를 통하여 유압해머 본체에 작용시킴으로써 항타력을 증대시킬수 있다. 또한, 유압해머 타격시 해머 본체에 연결된 Wire rope에 의해 해머 본체가 고정

되어 타격시 발생하는 반발력을 최소화 하여 파일 두부 파손을 방지 할 수 있다. 와이어 로프의 압입력은 무선 로드셀을 이용하여 측정한 결과 최대 25Mpa 정도로 측정되었다.

3.2 기존 장비와 비교

연약지반 상에서 PHC 파일 시공시 일반적으로 많이 사용되는 DH-508 장비와 금번 개발한 항타 장비의 비교는 Table 1과 같다. 기존 장비와 비교한 결과 동일한 PHC 파일 직경 500mm을 시공할 경우 장비의 중량과 해머 중량을 경량화 할 수 있다. 금번 개발 천공 장비는 연약지반 천공기 압입 와이어 드럼에 유압해머를 압입 와이어와 연결하여 최대 25Mpa의 압입력을 추가하여 별도의 해머 낙하하중 없이 연약층(SPT N < 6)에서 PHC 파일의 항타가 가능한 장비이다. 또한 장비 하중 및 폭이 기존 파일 항타 장비 보다 소형이어서 협소한 도심지 및 연약한 지반에서도 시공이 가능한 장점이 있다. 대심도 연약지반이 분포하는 서해안, 남해안 지방 및 동남아시아 해안 지역에서 활용 가능할 것으로 판단된다. Fig.7, 8.



Fig. 7. Wire drum pictures

Table 1. Equipment specifications comparison

Item	Existing equipment (DH-508)	Development equipment
Equipment Weight (ton)	95	50
Equipment Width (m)	4.38	3.5
Leader length (m)	26	26
Ram weight (ton)	5~10	5~7
Penetration Pressure (Mpa)	-	25



Fig. 8. General pile driving equipment

4. 결론

본 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

(1) 연약 지반상에 PHC 파일시공시 연약지층 통과시에는 항타력 증대 장치에 의해 시공됨으로 해머 타격 응력이 파일에 작용하지 않는다. 따라서 파일에 인장파가 작용하지 않음으로서 파일의 인장균열 및 손상이 발생하지 않는다. 장비 개발 결과 연약지층 (SPT, N < 6)에서 별도의 해머 타격 없이 PHC 파일의 시공이 가능한 것을 확인 하였다. 금번 개발한 항타력 증대 장치의 압입력은 와이어에 장착된 무선 로드셀을 이용하여 측정한 결과 최대 25Mpa 정도로 측정되었다.

(2) 해머의 중량을 최소화 할 수 있어 기존에 사용하는 항타 전용기 보다 동일 직경의 PHC 파일 시공시 소형 항타기 및 해머를 이용할 수 있으며, 일반 굴착기에도 장착하여 시공이 가능하다. 따라서 해외에서 수입하는 장비의 국산화가 가능하다.

(3) 대심도 연약지반에서도 항타력을 증대시켜 기존항타 장비 보다 소형 해머를 이용할 수 있으므로 최종 항타시 파일 두부 손상을 최소화 시킬 수 있다.

(4) 최종 항타시 반발력이 심한 지층에서도 항타력 증가 보조 장치가 말뚝의 Rebound를 최소화 시켜 시공 속도를 향상 시킬 수 있다.

REFERENCES

[1] N. H. Kim. (2014). *Analysis of drivability and constructability for Spun Pile into special ground conditions*. Youshin Technology Newsletter, 80-89.

[2] G. S. Woo, (2016). *Evaluation of Allowable Bearing Capacity of 600mm Diameter Preboring PHC Piles Using Dynamic Load Test*. Journal of The Korea Geotechnical Society Vol32, No11, 61-72

[3] K. J. Cho. (2010). *Evaluation of the tip resistance of prebored PHC pile on weathered rock*. KSCE 2010. 990-993

[4] D. G. Kim. (2017). *High strength and ultra high strength PHC pile test case with high design load*. KSCE 2017. 55-56

[5] E. A. Hwang. (2017). *Suggestion of New Pre-drilling Method for Soft Soils using Multiple Auger Boring Machine Equipped with Wire Ropes*. KSCE Vol65No09. 41-45

[6] S. S. Jeong. (2015) *Analysis of Load Sharing Ratio for PHC Piled-raft Foundation*. KSCE 81-82

[7] H. K. Choi. (2015). *A study on the Installation of the Point Foundation as the Substitution method of the soft ground*. KSCE 45-46

[8] C. H. Cho. (2004). *PHC PILE cracking related technology cases in soft ground*. Samsung E&C Technical Information, 15-17.

[9] J. Y. Ko. (2015). *Proposed Bearing Capacity for Open-Ended Piles with Soil Plugging*. KSCE 47-48

[10] W. P. Hong. (1987). *Deep foundation of soft ground*. KSCE Vol35.No6. 11-14

[11] K. W. Lee. (1996). *Problems and countermeasures in design and construction of ready-made concrete pile foundation*. Construction technology Ssangyong.

[12] W. J Lee. (2015). *The proposal to Design PHC Piles Properly when used for Civil Engineering Structures*. KSCE 163(11), 52-60

[13] J. M. Goo. (2008) *Micropiling: Case History and the Improvement of Design Method*. KSCE 865-868

[14] Y. H. Lee, (2007). *Example of construction method for applying PHC file in soft ground*. *Geotechnical Engineering 23(7)*, 9-21

[15] B. K. Kim. (2016) *Preliminary study on the Underwater Noise Mitigation Device under Offshore Pile Driving*. KSCE. 78-79

김 종 길(Jong-Gil Kim)

[정회원]



· 2001년 2월 : 군산대학교 (공학석사)
 · 2005년 2월 : 군산대학교 (공학박사)
 · 2005년 2월 ~ 2015년 12월 : (주) 준코 퍼레이션 대표이사
 · 2016년 1월 ~ 현재 : 청운대학교 공과대학 토목환경공학과 교수
 · 관심분야 : 토목공학, 구조

· E-Mail : kman1@chungwoon.ac.kr

이 용 주(Young-Joo Lee)

[정회원]



· 2001년 2월 : 군산대학교 (공학석사)
 · 2005년 2월 : 군산대학교 (공학박사)
 · 2004년 12월 ~ 현재 : 주식회사 준건설 박사
 · 관심분야 : 토목공학, 지반
 · E-Mail : leeyj-07@hanmail.net