

PHC 파일 두부정리 자동화 장비의 말단장치 개발

Development of the End-effector for Developing a PHC Pile Cutting and Crushing Machine

○ 이정호* 김영석** 조문영*** 김성근**** 성낙원*
Lee, Jeong-ho Kim, Young-suk Cho, Moon-young Kim, Sung-keun Sung, Nak-won

Abstract

재래식 두부정리 작업은 노동 집약적이며 노무자간의 숙련도 차이에 의해 품질 및 작업 생산성이 크게 영향을 받고 있다. 국내·외에서는 두부정리 작업의 생산성 및 안전성, 품질을 향상시키기 위해 자동화 장비를 개발 중에 있으나 기존에 개발된 두부정리 자동화 장비는 파일 파쇄 작업만을 자동화 대상으로 하고 있고, PHC 파일에 다량의 종방향 균열을 발생시켜 두부정리 작업의 품질을 크게 저하시키고 있는 실정이었다. 기존 두부정리 자동화 장비가 PHC 파일에 종방향 균열을 발생시키는 원인은 PHC 파일의 물리적 특성을 고려한 자동화 장비 말단장치의 설계 및 제작, 배치가 제대로 이루어지지 못한 것으로 분석되었다. 따라서, 본 연구에서는 기존에 개발된 두부정리 자동화 장비 및 본 연구를 통해 현재까지 개발된 두부정리 자동화 장비 파일럿타입의 실험결과를 토대로 PHC 파일을 종방향 균열 없이 효과적으로 파쇄할 수 있는 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 말단장치를 개발하고자 한다.

키워드 : PHC 파일, 두부정리, 말단장치, 그라인더, 블레이드

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

파일 기초공사에서 사용되고 있는 기성 콘크리트 파일(이하 PHC 파일)은 공동 주택 및 주상복합 건물, 공장 등과 같은 대부분의 건설·토목 공사현장에서 사용되고 있으며 그 수요가 점차 증가하는 추세에 있다. 이와 같은 PHC 파일은 구조체의 기초와 연결되어 지지력을 확보하기 위해 두부정리 작업이 요구된다. 국내·외에서는 두부정리 작업의 생산성 및 안전성, 품질을 향상시키기 위해 자동화 장비를 개발 중에 있는 것으로 조사되었다. 그러나, 기존에 개발된 두부정리 자동화 장비는 파일 파쇄 작업만을 자동화 대상으로 하고 있으므로 두부정리 작업을 위한 노무비 비율이 높고, 노무자간의 숙련도 차이에 의해 작업 품질 및 생산성이 크게 영향을 받는 문제점이 있는 것으로 분석되었다. 특히, 기존 두부정리 자동화 장비는 두부정리 작업 중 PHC 파일에 다량의 종방향 균열을 발생시켜 두부정리 작업의 품질을 크게 저하시키고 있는 실정이었다. 기존 두부정리 자동화 장비가 PHC 파일에 종방향 균열을 다량 발생시키는 원인은 PHC 파일의 물리적 특성을 고려한 자동화 장비 말단장치의 설계 및 제작, 배치가 제대로 이루어지지 못한 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 기존에 개발된 두부정리 자동화 장비 및 본 연구를 통해 현재까지 개발된 두부정리 자동

화 장비 파일럿타입의 실험결과(건설교통부, 2003)를 토대로 PHC 파일을 종방향 균열 없이 효과적으로 파쇄할 수 있는 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 말단장치를 개발하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 수행한 연구의 범위 및 방법은 다음과 같다.

(1) 재래식 두부정리 작업 분석

본 연구에서는 국내 현실에 적합한 두부정리 자동화 장비를 개발하기 위해 현장조사 및 문헌고찰을 토대로 재래식 두부정리 작업 프로세스 및 문제점 분석을 수행하였다.

(2) 기존 두부정리 자동화 장비 분석

재래식 두부정리 작업이 가지고 있는 문제점을 해결하기 위해 현재까지 개발된 국내·외 두부정리 자동화 장비를 조사·분석하고, 기존 자동화 장비의 문제점 및 효과적인 두부정리 자동화 장비 개발을 위한 고려사항을 분석하였다.

(3) 두부정리 자동화 장비의 말단장치 설계

국내 공동주택에서 대부분 사용되고 있는 직경 400~450mm의 PHC 파일을 신속하고 종방향 균열 없이 파쇄할 수 있는 두부정리 자동화 장비의 말단장치(블레이드, 원뿔형 end-effector)를 다양하게 설계·제작하였다.

(4) 말단장치의 실험

본 연구에서는 PHC 파일을 효과적으로 파쇄할 수 있는 말단장치의 조합을 찾기 위해 말단장치를 다양하게 조합하여 실험실 실험을 수행하였다. 또한, 실험 결과를 토대로 향후 두부정리 자동화 장비 프로토타입 및 실용화 장비 개발 시 고려사항을 분석하였다.

* 정희원, 인하대학교 건축공학과, 박사과정

** 정희원, 인하대학교 건축학부 조교수, 공학박사

*** 정희원, 한국건설기술연구원 연구위원, 공학박사

**** 정희원, 제주대학교 토목환경공학과 전임강사, 공학박사

본 연구는 2002년 산학연 공동연구개발사업(과제번호 : 02산학연 B02-03)의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

2. PHC 파일 두부정리 작업

2.1 재래식 두부정리 작업 프로세스 및 문제점 분석

국내 시방기준에 따른 PHC 파일 두부정리 작업은 1)레벨링(leveling)을 통해 두부정리면을 확인하고, 2)그라인더를 이용해 파일을 일정 깊이(직경 400mm일때 그라인딩 깊이 20mm)로 그라인딩한다. 3)그라인딩 작업이 완료되면 유압파쇄기(이하 크러셔)를 이용하여 그라인딩면 상부 100mm까지 파쇄한 후 4)노무자가 해머를 이용하여 나머지 부분 파쇄 및 5)강선 절단/피기 작업을 수행하도록 규정하고 있다. 두부정리 작업 시 PHC 파일의 종방향 균열 방지를 위해 시방 규정에서는 두부정리면 상부 100mm까지만 크러셔를 이용하여 작업(이하 상부파쇄 작업)하고 나머지 부분은 노무자가 해머를 사용하여 작업(이하 하부파쇄 작업)하도록 규정하고 있다. 그러나, 두부정리 작업 현장에서는 작업 시간의 단축을 위해 그라인딩면에 근접하여 크러셔로 파쇄작업을 수행함으로써 PHC 파일 내·외부에 심한 균열이 발생되어 구조체의 지내력 확보에 문제점이 있는 것으로 분석되었다. 또한, 많은 노무 투입 비율을 차이하고 있는 그라인딩 작업을 자동으로 수행할 수 있는 자동화 장비의 개발은 현재까지 이루어지지 않아 자동화의 필요성이 높은 것으로 분석되었다.

2.2 국내외 관련 기술 개발 동향

두부정리 작업의 문제점을 해결하기 위해 국내·외에서는 그림 1과 같은 두부정리 자동화 장비를 개발하였다. 그러나, 기존 국외에서 개발된 두부정리 자동화 장비(그림 1의 (a),(b))는 백호에 부착시키는 attachment가 아니고 크레인에 부착하여 별도의 유압 발생장치에 의해 구동되므로 많은 공사비가 소요된다. 또한, 국내 시방 규정상 반드시 수행하도록 규정한 그라인딩 작업을 사전에 수행하지 않은 상태에서 작업을 수행하므로 다량의 종방향 균열이 발생하고 있는 것으로 분석되었다. 한편, 국내에서는 PHC 파일 두부정리 작업을 위해 크러셔(그림 1의 (c))와 본 연구에서 기존에 수행한 두부정리 자동화 장비 파일롯타입(그림 1의 (d))이 개발되어 시험실 시험이 수행되었다. 크러셔는 빠른 속도로 파일 상부파쇄작업을 할 수 있으며 강선에 붙어있는 PHC 파일 잔재를 효과적으로 제거 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나, 크러셔를 사용하여 작업할 경우 파일 내·외부에 심한 균열이 발생하고 상부파쇄 외 모든 작업이 노무자에 의해 수행되어야 하는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서 기존에 개발한 두부정리 자동화 장비 파일롯타입은 그라인딩 작업을 수행할 수 있는 1개의 7인치 전동식 그라인더와 그라인딩면 상부를 파쇄할 수 있도록 끝형태의 말단장치(이하 블레이드)를 가진 4방향 유압 압쇄 장치를 가지고 있다. 그라인딩 작업 실험결과, PHC 파일은 7인치 전동식 그라인더에 의해 절단 작업이 수행되었으나 PHC 파일의 중심축과 파일롯타입의 중심축이 일치하지 않아 절단 깊이가 일정치 않았고, 절단 속도의 불균형으로 인해 그라인더 날이 PHC 파일이 끼는 현상이 발생하여 전진과 후진을 반복적으로 수행함으로써 생산성이 낮아지는 문제점이 발견되었다. PHC 파일 파쇄능력 실험 결과, PHC 파일은 블레이드와 닿는 곳에서 수평파쇄가 이루어져 종방

향 균열 없이 띠형상으로 파쇄되었다. 그러나 대부분의 PHC 파일 잔재가 강선에 남아 있고, 블레이드의 깊은 삽입으로 인해 강선이 심하게 휘어지는 현상이 발생되어 노무자의 추가 투입을 요하는 문제점이 있었다. 따라서, PHC 파일 그라인딩 작업 및 파쇄, 잔재처리를 시간 효과적으로 수행할 수 있는 말단장치(그라인더, 파쇄 말단장치)의 개발 및 배치, 실험이 요구되는 것으로 분석되었다.

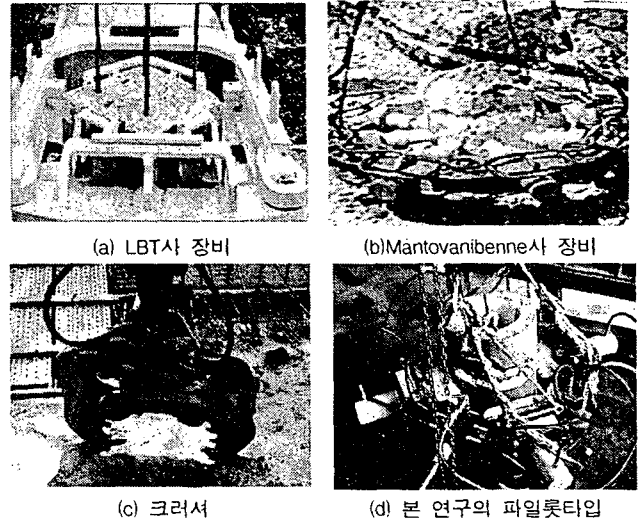


그림 1. 기존 두부정리 자동화 장비

3. 두부정리 자동화 장비 개발을 위한 말단장치의 설계 및 제작, 실험

3.1 원뿔형 end-effector의 설계 및 제작

본 연구에서는 두부정리 자동화 장비 프로토타입을 개발하기 위해 파일롯타입 실험에서 문제점으로 지적된 강선에 남아 있는 PHC 파일 잔재 처리 및 강선의 휨 현상을 방지할 수 있도록 말단장치의 설계를 선행하였다. 즉, 종방향 균열 방지를 위한 블레이드의 설치 및 블레이드 상부에 집중하중을 가하여 PHC 파일을 효과적으로 파쇄할 수 있도록 원뿔형의 end-effector를 설계·제작하였다. 한편, 원뿔형 end-effector 및 블레이드를 설치 할 수 있는 플레이트는 다양한 말단장치의 조합 및 실험을 위해 그림 2와 같이 말단장치의 가변적 배치가 가능하도록 설계되었다.

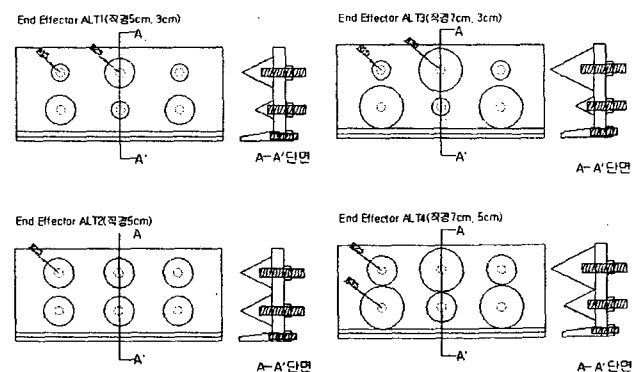


그림 2. 가변형 플레이트 및 원뿔형 end-effector

원뿔형 end-effector는 직경 및 길이를 3m, 5cm, 7cm의 3가지 종류로 설계하여 다양한 조합으로 PHC 파일 파쇄실험을 수행할 수 있도록 함으로써 최적의 조합을 선별할 수 있도록 고안되었다(그림 3).

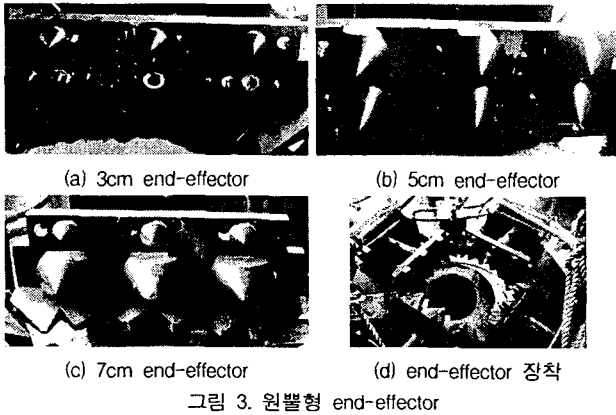


그림 3. 원뿔형 end-effector

3cm 원뿔형 end-effector는 파일 외부면으로부터 파일 내부의 강선까지 집중하중을 유발 시킬 수 있도록 고려되었으며, 5cm 원뿔형 end-effector는 강선을 지나 내부 콘크리트까지 집중하중을 작용시킬 수 있도록 설계한 것이다. 또한, 7cm 원뿔형 end-effector는 PHC 파일 두께 6cm~7cm(PHC 파일 직경 400mm ~ 450mm의 경우)를 관통하여 PHC 파일을 파쇄할 수 있도록 설계되었다.

3.2 블레이드

두부정리 파일럿타입 실험의 일자형 블레이드 실험 결과, PHC 파일은 일자형 블레이드의 중앙부가 접촉하는

순간 파쇄가 수행되기 시작하였고, 블레이드의 양 끝부분이 완전히 진입 되었을 때 일정 이상의 파쇄 효과를 가질 수 있는 것으로 분석되었다. 즉, 일자형 블레이드의 양 끝부분이 PHC 파일에 닿기 위해서는 유압 실린더의 행정이 길어져야 하고 강선의 휨 현상이 발생하는 문제점이 있었다. 따라서, 본 연구에서는 블레이드를 $\varnothing 500\text{mm}$ 의 곡률을 가지도록 설계하여 PHC 파일을 파쇄하기 위한 유압실린더의 행정을 줄였고, 파일럿타입 실험 결과에서 문제점으로 지적된 강선의 휨 현상을 방지할 수 있도록 설계하였다. 그림 4와 같이 설계·제작된 블레이드는 중앙부 2개의 요철(두께 10mm)부터 순차적으로 PHC 파일을 파쇄할 수 있다.

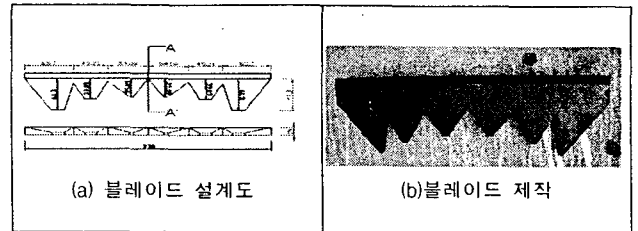


그림 4. 블레이드

3.3 원뿔형 end-effector와 블레이드 조합에 의한 PHC 파일 파쇄 실험

본 연구에서는 그림 5와 같은 두부정리 자동화 장비 1차 프로토타입을 제작하여 원뿔형 end-effector와 블레이드를 가변형 플레이트(그림 2)에 장착하고 백호의 유압을 이용하여 PHC 파일을 가장 효과적으로 파쇄 할 수 있는

표 1. 말단장치 조합에 의한 PHC 파일 파쇄 능력 실험 결과

실험	실험 1	실험 2	실험 3	실험 4	실험 5
말단장치 조합내용	2방향 3+7cm 말단장치 2방향 5+5cm 말단장치 4방향 블레이드	4방향 3cm 말단장치 4방향 블레이드	4방향 3+5cm 말단장치	2방향 3+5cm 말단장치 2방향 3+7cm 말단장치	2방향 3+5cm 말단장치
말단장치 조합모습					
파쇄 방식					
파쇄 결과					
비고	<ul style="list-style-type: none"> 최초파쇄점 : 12개(3x4) 말단장치와 PHC 파일과의 접점이 너무 많아 파일 겹표면 만큼 파쇄하고 더 이상 파쇄가 진행되지 못함 	<ul style="list-style-type: none"> 최초파쇄점 : 8개(2x4) 블레이드의 두께(10mm)가 너무 두껍고 최초 파쇄점이 많아 PHC 파일 겹표면 만큼 파쇄하고 더 이상 파쇄가 진행되지 못함 	<ul style="list-style-type: none"> 최초파쇄점 : 4개(1x4) 4방향 5cm 원뿔형 end-effector에 의해 PHC 파일이 원활히 파쇄됨 중앙방향 균열이 발생하지 않음 강선의 휨 현상 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 최초파쇄점 : 4개(1x4) 4방향 7cm 원뿔형 end-effector에 의해 PHC 파일이 원활히 파쇄됨 중앙방향 균열이 발생하지 않음 10개의 강선 중 2개의 강선에서 휨 현상 발생 	<ul style="list-style-type: none"> 최초파쇄점 : 2개(1x2) 2방향 5cm 원뿔형 end-effector에 의해 PHC 파일이 원활히 파쇄됨 2방향 파쇄에 따른 중앙방향 균열 발생 원뿔형 end-effector에 의한 조개껍질상 발생 강선의 휨 현상 없음

말단장치의 조합을 찾기 위해 표 1과 같이 다양한 실험실 실험을 수행하였다.

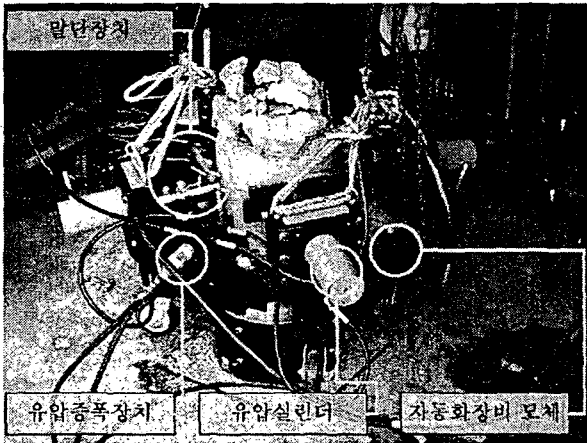


그림 5. 두부정리 자동화 장비 1차 프로토타입

실험 결과 실험 1, 2에서는 PHC 파일과 말단장치와의 접촉 및 접촉 면적이 과다하게 발생하여 힘의 분산으로 인해 PHC 파일이 파쇄되지 않았으나 블레이드를 제거한 실험 3, 4, 5에서는 PHC 파일이 원활히 파쇄되었다. 특히, 실험 3과 같이 4방향에 3+5cm 원뿔형 end-effector를 장착하고 PHC 파일을 파쇄한 결과 PHC 파일에 종방향 균열이 발생하지 않았으며 강선의 휘어짐이 전혀 발생하지 않아 가장 우수한 성능을 발휘하는 것으로 분석되었다. 따라서, 3+5cm 원뿔형 end-effector를 사용하여 두부정리 작업을 수행할 경우 기존 두부정리 방식에 비해 두부정리 작업의 품질을 향상 시킬 수 있을 뿐만 아니라 두부정리 작업 프로세스 중 강선 퍼기 작업을 수행하는 노무인력을 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 실험 4에서는 7cm end-effector의 영향으로 강선의 휨 현상이 발생하였고, 실험 5와 같은 2방향 파쇄에서는 PHC 파일에 심한 종방향 균열이 발생하였다. 따라서, 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 제작에서는 본 실험에서 가장 우수한 성능을 발휘한 4방향 3+5cm 원뿔형 end-effector 조합의 반영 및 보다 평활한 파쇄면을 얻기 위해 PHC 파일과 접촉면이 넓지 않은 블레이드의 제작·실험이 요구되었다. 또한, 4방향 3+5cm 원뿔형 end-effector를 장착하고 그라인딩 작업과 파쇄 작업을 통합하여 수행할 수 있는 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 개발이 요구된다.

5. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 현장 방문을 통해 두부정리 작업 프로세스를 분석한 결과 두부정리 작업은 노동 집약적이고 단순·반복적으로 작업이 수행되고 있는 것으로 분석되었다.

(2) 기존 두부정리 자동화 장비 분석 결과, 현재까지 국내·외에서 개발된 두부정리 자동화 장비는 파일 파쇄만을 대상작업으로 하고 있고 노무 투입 비율이 높은 그라인딩 작업은 노무자에 의해 수행되고 있는 실정이었다. 또한, 기존 자동화 장비에 의해 수행된 두부정리 작업 결과는 건축물의 구조적인 문제점을 일으킬 수 있는 종방향 균열을 PHC 파일에 심하게 일으키는 것으로 분석되었다.

(3) 본 연구에서는 PHC 파일에 종방향 균열을 발생시키지 않고 신속하게 PHC 파일을 파쇄할 수 있는 두부정리 자동화 장비의 말단장치를 개발하기 위해 가변적으로 다양한 실험을 수행할 수 있는 블레이드 및 원뿔형 end-effector를 개발하였다.

(4) 다양한 말단장치 조합에 의한 PHC 파일 파쇄실험 결과, 4방향 3+5cm 원뿔형 end-effector를 장착한 실험에서 PHC 파일에 종방향 균열 및 강선의 휨 현상이 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

향후 본 연구를 토대로 두부정리 자동화 장비 프로토타입 및 실용화 장비의 개발 및 현장 실험을 통한 개발 자동화 장비의 성능분석이 요구된다.

참 고 문 헌

1. 대한전문건설협회, "기성말뚝시공가이드", 2002
2. 건설교통부, "기성 콘크리트 파일공사를 위한 자동화 장비의 개발", 2003
3. LBT사 홈페이지 (<http://www.pilecutter.com>)
4. Mantovanibenne사 홈페이지 (<http://www.mantovanibenne.it>)

Abstract

Cutting work of the concrete pile is an important task to crush a part of pile head which is compressed with more than 800kgf/cm². It is usually performed by a crusher and three to four skilled workers. Recent analysis results of the pile cutting work reveal that it frequently makes a lot of cracks which significantly reduce the strength of the pile and is labor-intensive work. The primary objective of this study is to propose the end-effector which can effectively break PHC pile without any longitudinal cracks before developing an automated pile cutting machine having unified grinder and crusher parts. It is anticipated that the development of the automated pile cutting machine would be able to bring improvements in safety, productivity, quality as well as cost saving.

Keywords : PHC Pile, Pile Cutting Work, End-effector, Grinder, Blade