

PHC 파일 두부정리 자동화를 위한 파일럿타입 장비의 개발

Development of the Pilot Type Machine for Automation of PHC Pile Cutting Work

이 정 호* · 박 상 준** · 정 명 훈** · 김 영 석***

Lee, Jeong-Ho · Park, Sang-Jun · Jeong, Myung-Hoon · Kim, Young-Suk

요 약

기성 콘크리트 파일(PHC 파일)은 대규모 건축공사 및 토목공사에서 주로 사용되며, 최근 건축물이 중량화, 대형화, 고층화 됨에 따라 그 수요가 지속적인 증가 추세에 있다. 이와 같은 PHC 파일은 건물 구조체의 기초와 연결되어 지지력을 확보하기 위해 두부정리 작업이 반드시 요구된다. 두부정리 작업은 800kgf/cm²이상으로 압축된 기성 콘크리트 파일의 두부를 파쇄하고 약 30~40cm 정도의 강선을 남겨놓아 구조체의 기초와 정착시킬 수 있도록 하는 작업이다. 국내 재래식 두부정리 작업은 노동 집약적이며 노무자간의 숙련도 차이에 의해 품질 및 작업 생산성이 크게 영향을 받고 있다. 또한, 백호에 연결된 크러셔에 의한 무리한 작업으로 인해 PHC 파일 그라인딩면에 다량의 균열이 발생됨으로써 구조체의 지지력 확보에 문제점이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 재래식 두부정리 작업의 문제점을 해결하고 두부정리 작업을 자동으로 수행할 수 있는 자동화 장비를 개발하고자 기존 문헌 고찰 및 국내외 최신기술 동향, 현장조사를 바탕으로 개념디자인을 제시하고 두부정리 자동화 장비의 파일럿타입을 제작·실험함으로써 제안된 개념 디자인의 기술적 타당성 제시 및 자동화 장비 개발을 위해 요구되는 설계파라미터를 도출하였다.

키워드 : 기성 콘크리트 파일, 두부정리, 건설자동화, 그라인더, 압쇄장치, 브레이커

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 건축·토목 공사현장에서 사용되고 있으며 그 수요가 점차 증가하는 추세에 있다. 이와 같은 PHC 파일은 구조체의 기초와 연결되어 지지력을 확보하기 위해 두부정리 작업이 요구된다. 국내 시방기준에 따른 PHC 파일 두부정리 작업은 레벨링(leveling)을 통해 두부정리면을 확인하고 그라인더를 이용해 파일을 일정 깊이(직경 400mm일때 그라인딩 깊이 20mm)로 그라인딩한다. 그라인딩 작업이 완료되면 유압파쇄기(이하 크러셔)를 이용하여 파일 최상단으로부터 그라인딩면(이하 두부정리

면) 상부 100mm까지를 파쇄한 후 노무자가 해머를 이용하여 나머지 부분의 파쇄 및 강선 절단/피기 작업을 수행하도록 규정하고 있다. 그러나 재래식 두부정리 작업은 크러셔에 의한 상부 파쇄 작업시 파일 내·외부에 균열이 발생되고 그라인딩 및 하부파쇄 작업이 노동집약적이고 단순·반복적으로 수행되므로 두부정리 작업을 위해 차지하는 노무비 비율이 높고 노무자간의 숙련도 차이에 의해 작업 품질 및 생산성이 크게 영향을 받고 있는 등 많은 문제점이 있는 것으로 분석되었다. 국외의 경우 기성 콘크리트 파일 두부정리 작업을 위해 자동화 장비를 개발하여 활용하고 있으나 현재까지 개발된 두부정리 장비는 두부정리 작업 프로세스 중 PHC 파일 파쇄 작업만을 수행할 수 있도록 개발되었고 두부정리 작업 시 PHC 파일에 심한 균열을 발생시키는 것으로 조사·분석되었다.

본 연구에서는 현장 방문 및 국내 시방 기준, 현재까지 개발된 두부정리 관련 자동화 장비를 토대로 PHC 파일 두부정리 작업을 효과적으로 수행할 수 있는 자동화 장비를 개발하고자 두부정리 자동화 장비의 개념디자인을 제시하고 파일럿타입의 장비를 제작하여 제안된 개념디자인의 기술적 타당성 제시 및 자동

* 학생회원, 인하대학교 건축학부 박사과정
 ** 학생회원, 인하대학교 건축학부 석사과정
 *** 종신회원, 인하대학교 건축학부 조교수, 공학박사
 본 연구는 2002년 산학연 공동연구개발사업(과제번호 : 02산학연 B02-03)의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

화 장비 개발을 위해 요구되는 설계파라미터를 도출하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 국내 공동주택 건설현장에서 가장 많이 사용하고 있는 직경 350~450mm PHC파일을 대상으로 두부정리 작업을 수행할 수 있는 자동화 장비를 개발하였다.

본 연구에서 수행한 연구의 주요 내용과 방법은 다음과 같다.

- 1) 기존 문헌 고찰 및 현장 조사를 통해 재래식 두부정리 작업 프로세스상의 문제점을 분석하여 두부정리 자동화 장비 개발의 필요성을 제안하였다.
- 2) 국내외 관련 두부정리 자동화 장비 개발 사례를 분석하여 두부정리 자동화 장비 개발을 위해 요구되는 최신 요소기술(state-of-the-art technology) 및 기존 장비의 문제점을 분석하였다.
- 3) 현장 조사를 통한 노무자들의 요구사항 및 작업 프로세스에 따른 투입시간과 경제성을 고려하여 두부정리 작업 프로세스 중 자동화 대상 작업을 선정하였다. 또한, 두부정리 자동화 장비 개발을 위해 요구되는 제한 사항 및 고려요소에 대한 분석을 수행하였다.
- 4) 도출된 자동화 대상 작업을 효과적으로 수행할 수 있는 두부정리 자동화 장비의 개념디자인¹⁾을 제시하고 기술적 구현성 검토를 통해 두부정리 자동화 장비의 파일럿타입²⁾을 제작하였다.
- 5) 파일럿타입의 시험실 실험을 통해 PHC 파일을 효과적으로 파쇄하기 위해 요구되는 말단장치의 형태 및 개수, 필요 유압과 그라인더의 위치 등과 같은 주요 설계 파라미터를 도출하였으며 제안된 두부정리 자동화 장비의 기술적 타당성을 제시하였다. 또한, 파일럿타입의 실험 결과를 바탕으로 기존 두부정리 자동화 장비와 본 연구에서 개발 중인 자동화 장비의 주요 기능을 비교·분석하였다.

2. PHC 파일 두부정리 작업

2.1 두부정리 작업 프로세스 및 문제점 분석

2.1.1 두부정리 작업 프로세스

현장 조사 결과, 두부정리 작업 프로세스는 표 1과 같이 1)두

부정리면 표시, 2)그라인딩, 3)상부파쇄, 4)하부파쇄, 5)강선절단/퍼기의 순서로 이루어진다.

두부정리면 표시 작업은 노무자 2명이 레벨장비와 물호스, 팬을 사용하여 PHC 파일상에 그라인딩 면을 표시하는 것이다. 그라인딩 할 부분을 확인한 그라인더공은 일반적으로 8인치 전동식 그라인더를 사용하여 일정깊이(직경 400mm일때 그라인딩 깊이 20mm)로 PHC 파일 외부에 그라인딩 한다. 그라인딩이 완료된 파일은 백호(backhoe : 0.2m³)에 장착된 크러셔를 사용하여 파일상부(파일 최상단에서부터 두부정리면 상부 100mm까지)를 파쇄한다. 파일상부파쇄가 완료되면 노무자는 해머를 사용하여 파일하부(두부정리면 상부 100mm부분에서부터 두부정리면까지)를 파쇄한다. 파일파쇄가 끝나면 노무자는 구조체와의 정착깊이 확보를 위해 절단기 및 유압절단기를 사용하여 두부정리면 상부 300~400mm 까지의 강선만을 남겨두고 절단한 후, 강봉을 이용하여 강선을 끈게 편다.

표 1은 두부정리 작업 프로세스 및 소요 작업시간을 표시한 것이다.

표 1. 두부정리 작업 프로세스 및 소요시간

작업	두부정리면 표시	그라인딩	상부파쇄	하부파쇄	강선 절단 및 퍼기
사진					
작업대상위치					
장비	측량장비 (레벨), 팬	그라인더	백호 크러셔	해머	절단기 강봉
작업주체	노무자 2명	노무자	백호 운전원	노무자	노무자
작업시간	15초	109초	32초	104초	43초

2.1.2 두부정리 작업의 문제점

두부정리 작업에 관한 시방 규정을 살펴보면, 파일 최상단으로부터 두부정리면 상부 100mm까지만 크러셔를 이용하여 작업(이하 상부파쇄 작업)하고 나머지 부분은 노무자가 해머를 사용하여 작업(이하 하부파쇄 작업)하도록 규정하고 있다. 그러나 크백호 운전원은 작업 시간의 단축을 위해 두부정리면에 근접하여 크러셔로 파쇄작업(그림 1의 a)을 수행함으로써 파일 내·외부에 심한 균열이 발생되어 구조체의 충분한 지지력 확보에 어려움이 있고 두부가 파손(그림 1의 b)될 경우 재시공이 요구되는 등 문제점이 있는 것으로 분석되었다. 한편, 노무자는 그라인딩 작업 시 분진발생 및 그라인더 날에 의한 절단사고, 백호에 근접

1) 개념디자인: 자동화 장비 개발 시 요구되는 주요 고려요소를 기반으로 작성된 schematic design
 2) 파일럿타입: 개념디자인의 기술적 구현성 검토 및 개발 장비의 프로토타입 제작시 발생 가능한 오류(trials and errors)를 최소화하기 위해 프로토타입 제작 이전에 장비의 주요 기능에 대한 설계파라미터를 도출할 목적으로 제작된 실험용 장비

해서 작업을 수행하므로 백호에 의한 안전사고의 위험에 노출되어 있다(그림 1의 c). 또한, 재래식 두부정리 작업은 노동 집약적이고 단순·반복적으로 수행됨으로써 자동화의 필요성이 높은 것으로 분석되었다.

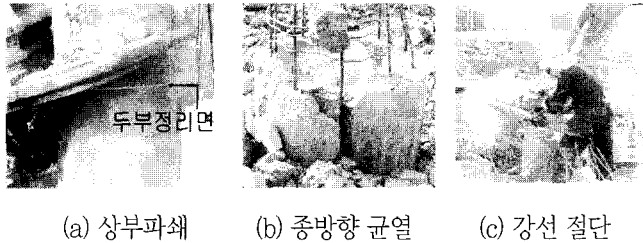


그림 1. 재래식 두부정리 작업 현황

2.2 국내외 관련 기술 개발 동향

2.2.1 크러셔

현재 국내 두부정리 작업에 활용되고 있는 크러셔는 압쇄식 콘크리트 파쇄 장비의 일종으로써 PHC 파일 측면에 강한 압축력을 가하여 콘크리트를 파쇄하는 장비이다(표 2의 a). 크러셔는 빠른 속도로 파일 상부파쇄작업을 할 수 있으며 강선에 붙어있는 콘크리트를 효과적으로 제거 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 두부정리 프로세스 및 문제점 분석에서 지적한 바와 같이 크러셔를 사용하여 작업할 경우 파일 내·외부에 심한 균열이 발생하고 상부파쇄 외 모든 작업이 노무자에 의해 수행되어야 하는 단점을 가지고 있다.

2.2.2 LBT사 두부정리 자동화 장비

이 장비는 캐나다 LBT사에서 개발한 충전 파일용 두부정리 장비로써 2방향 유압 압쇄판을 이용하여 파일을 파쇄할 수 있도록 제작되었다(표 2의 b). LBT사 두부정리 자동화 장비는 백호에 부착시키는 장비가 아니고 크레인에 부착하여 별도의 유압 발생 장비에 의해 구동되는 자동화 장비이다. 또한, 이 장비의 사용 시 그라인딩 작업을 사전에 수행하지 않은 상태에서 작업이 수행되므로 두부정리면 하부에 적지 않은 균열이 발생되고 있는 것으로 분석되었다.

2.2.3 Mantovanibenne사 두부정리 자동화 장비

이 장비는 이탈리아의 Mantovanibenne사에서 개발한 콘크리트 파일(충진된 원형 파일) 파쇄 장비로 다수의 유압해머를 사용하여 파일 파쇄작업을 수행할 수 있도록 제작되었다(표 2의 c). 특히, 파일 직경에 따라 유압 실린더의 개수를 다르게 조립하여 작업할 수 있는 장점이 있으며 각 유압 실린더에 장착된 해머 형태의 말단장치(end-effector)를 이용하여 파일을 파쇄할 수

있으나 LBT사 두부정리 자동화 장비에 비해 두부정리면 하부에 발생하는 균열이 더욱 심한 것으로 조사·분석되었다.

3. 자동화 대상 작업 선정 및 고려요소 분석

3.1 두부정리 자동화 장비의 작업 범위 선정

두부정리 작업을 자동화하기 위해서는 모든 작업 프로세스를 자동으로 수행할 수 있는 자동화 장비의 개발이 이상적이나 개발 장비의 작업 속도에 따른 생산성 및 경제성, 현재의 기술 수준 등을 고려한 작업 범위의 선정이 요구된다. 두부정리 자동화 장비의 작업 범위를 선정하기 위해서는 현장조사를 바탕으로 한 노무자들의 자동화 대상 요구사항과 두부정리 작업 프로세스에 따른 투입시간 및 경제적 요인 분석이 선행되어야 한다.

두부정리 자동화 장비의 작업 범위를 선정하기 위해 기존 문헌을 고찰해 본 결과, 원영호(2002)는 소요시간비율과 투입비용비율을 함께 고려한 자동화 대상 작업의 선정을 위해 소요시간비율-투입비용비율 매트릭스를 분석하여 자동화 대상 작업으로 절단면 그라인딩, 상부파쇄, 하부파쇄 작업을 선정하였다(그림 2).

표 2. 국내외 관련 기술 개발 동향

	(a) 크러셔(국내)	(b) LBT사 두부정리 자동화 장비(캐나다)	(c) Mantovanibenne사 두부정리 자동화 장비(이탈리아)
장비			
개요	-압쇄식 파쇄 장비의 일종으로 PHC 파일 측면에 강한 압축력을 가해 파일 상부파쇄 수행	-캐나다 LBT사에서 개발된 충전 파일용 두부정리 자동화 장비 -2방향 유압 압쇄판을 이용한 파일 파쇄장비	-원형 충전파일 파쇄장비 -다수의 유압해머를 사용하여 파일 파쇄
장점	-파일 상부파쇄 작업 속도가 빠름 -강선에 붙어있는 콘크리트 잔재를 효과적으로 제거	충진 파일 상하부 파쇄를 동시에 수행할 수 있음	-파일 직경에 따라 유압 실린더의 개수를 다르게 조립하여 작업할 수 있음 -파일 상하부를 동일한 장비를 이용하여 파쇄할 수 있음
단점	-파일 내외부에 심한 균열 발생 -상부파쇄 외 모든 작업이 노무자에 의해 수행되고 있음	-크레인 및 별도의 유압 발생 장비가 필요하고, 장비 제어상의 어려움 -사전 그라인딩 작업 없이 파일 파쇄 작업을 수행하므로 파일에 다량의 균열 발생	-사전 그라인딩 작업 없이 파일 파쇄 작업을 수행하므로 파일에 다량의 균열 발생

본 연구에서도 투입시간이 가장 많이 소요되는 작업인 절단면 그라인딩 작업과 하부파쇄작업을 자동화 대상으로 선정하였다. 또한, 자동화 장비를 이용하지 않을 경우 절단면 그라인딩 및 하부파쇄작업 보다 많은 작업시간이 소요될 것으로 예상되고 투입비용 비율이 가장 높은 상부파쇄 작업을 자동화 대상 작업에 포함시켰다.

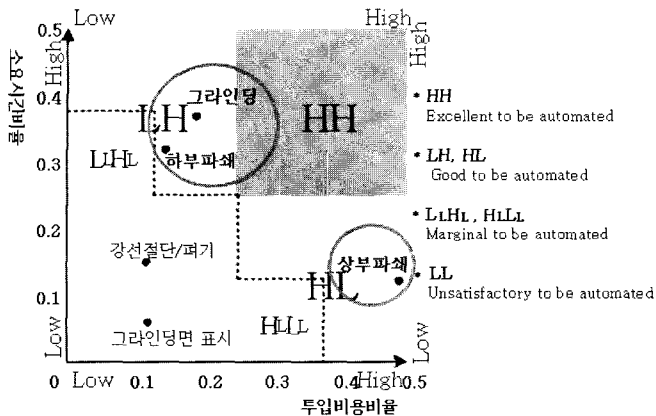


그림 2. 소요시간비율-투입비용비율 매트릭스(원영호, 2002)

3.2 두부정리 자동화 장비 개발을 위한 고려요소

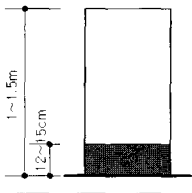
본 연구에서는 두부정리 자동화 장비가 최적의 성능을 발휘하고 현장적용 시 발생할 수 있는 오류를 최대한 감소시키기 위해 문헌고찰 및 현장조사를 바탕으로 다음과 같은 요구조건 및 고려요소 기술을 도출하였다.

3.2.1 요구조건 분석

- 표준시방 규정상 파일간 간격은 2.5D이므로 직경 350~450mm PHC파일을 대상으로 두부정리 자동화 장비를 개발할 경우 파일 최소 간격은 525~675mm가 된다. 따라서 두부정리 자동화 장비의 크기 결정 시 이를 고려하여 설계해야 한다.
- 그라인더 및 하부파쇄 장비는 두부정리 자동화 장비를 두부정리면에 고정시키거나 상부파쇄 작업으로 인한 영향(그라인더 및 하부파쇄 장비가 파일과의 충돌로 인한 파손)을 최소화시키기 위해 파일면과 일정한 간격을 유지하고 그라인딩 및 하부파쇄 작업 시 파일면으로 접근하여 작업할 수 있도록 설계되어야 한다.
- 지면 밖으로 도출된 파일 상부 잔여길이는 대개 1~1.5m이므로, 두부정리 자동화 장비는 파일상부 잔여길이 파쇄를 위해 파일 상·하로 이동할 수 있는 기능이 요구된다. 또한, 버림콘크리트의 두께를 고려하여 두부정리면 하단에서 지면까지의 높이가 약 12~15cm이므로 상부파쇄 작업 시 그라인딩 작업과 하부파쇄 작업을 위한 장비가 지면에 닿지 않도록 유의해야 한다.
- 하부파쇄 작업은 두부정리면 하부로의 종방향 균열을 방지하기 위해 노무자에 의해 해머로 수행되고 있으므로 두부정리 자동화 장비 개발 시 해머링과 유사한 성능을 발휘할 수 있는 장비의 개발이 요구된다.
- 현장에서 두부정리 작업을 위해 사용되고 있는 백호의 용

량은 0.2m³이며, 이 백호의 최대 허용 유압은 210bar이다. 따라서 경제성 및 작업 용이성 측면에서 위 허용 유압 내에서 구동 가능한 자동화 장비의 개발이 요구된다.

표 3. PHC 파일의 특성에 따른 고려요소

구분	장비 개발시 고려사항	
	직경(mm)	파일최소간격(mm)
파일 최소 간격	350	525
	400	600
	450	675
파일 입면	 <p>파일 상부 길이는 1~1.5m정도이며, 버림콘크리트를 위한 높이는 파일 하부에 지면으로부터 12~15cm임.</p>	

3.2.2 PHC 파일 그라인딩을 위한 기술

두부정리 자동화 장비의 개발을 위해 사용가능한 그라인딩 장비는 전동식과 유압식 그라인더가 있다. 기존 방식과 마찬가지로 작업 현장에 전기를 유입하여 전동식 그라인더를 사용할 수 있으며, 유압식 그라인더는 백호의 유압을 이용하여 사용할 것으로 판단되나 전동식 그라인더가 회전력 및 사용성 측면에서 유압식 그라인더 보다 우수하므로 본 연구에서는 PHC 파일의 그라인딩을 위해 전동식 그라인더를 사용하였다.

3.3.3 PHC 파일 파쇄를 위한 기술

콘크리트 압축강도 800kgf/cm²이상의 파일 파쇄를 위해 고려할 수 있는 방식에는 압쇄식과 타격식이 있다. 압쇄는 축압을 가해 콘크리트를 파쇄하는 방법으로 크러셔와 같은 장비가 압쇄방식으로 파일을 파쇄한다. 타격식은 진동 및 타격을 통해 콘크리트에 충격을 주어 파일을 파쇄하는 방법으로 브레이커 및 유압해머 등을 이용할 수 있다. 두부 상부파쇄를 위해서는 빠른 작업속도가 요구되므로 압쇄식 장비의 사용을 고려할 수 있으며, 두부 하부파쇄를 위해서는 작업속도도 중요하지만 균열의 발생을 최소화해야 하므로 타격식 장비의 사용이 바람직 할 것으로 판단된다. 또한, 하부파쇄의 경우 현재 노무자에 의해 해머로 작업이 수행되므로 브레이커와 같은 타격식 장비를 사용함으로써 해머링과 유사한 효과를 발휘할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 두부정리 자동화 장비의 개발

4.1 개념디자인 제시

본 연구에서는 자동화 대상 작업으로 선정된 두부정리 자동화

장비를 개발하기 위해 국내의 최신 요소기술 및 현장 방문을 통한 고려요소를 바탕으로 그림 3과 같은 두부정리 자동화 장비 개념 디자인을 제시하였다. 제안된 개념디자인은 그라인딩 작업 및 상·하부파쇄작업을 수행할 수 있도록 그라인더, 블레이드 형식의 압쇄장치 및 브레이커로 구성되었고, 상·하부 디스크(disc)를 사용하여 3가지 주요 장치를 결속함과 동시에 그라인더 및 브레이커가 파일 둘레를 따라 회전할 수 있도록 고안되었다. 또한, 그라인더 및 브레이커, 압쇄장치는 수직운동을 위해 리프트(lift)와 연결되어 파일을 따라 상하운동을 할 수 있도록 설계되었다.

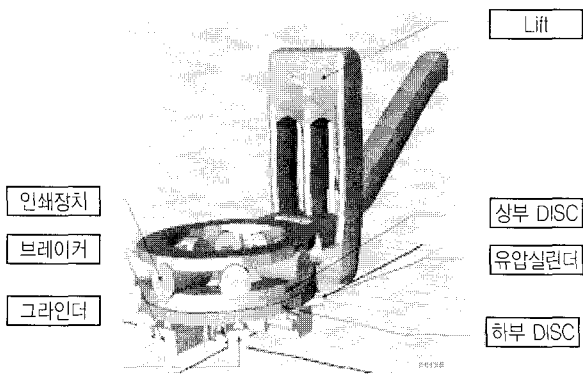


그림 3. 두부정리 자동화 장비 개념디자인

4.2 개념디자인 작업 프로세스 및 세부 작업

4.2.1 개념디자인 작업 프로세스

개념디자인의 작동 순서는 그림 4와 같이 두부정리 자동화 장비와 연결된 백호가 두부정리 대상 파일에 접근하여 파일 상부에 두부정리 자동화 장비를 삽입하여 설치 한 후, 두부정리 자동화 장비가 리프트의 수직운동에 의해 두부정리면까지 하강하여 두부정리면에 고정되면 전동식 그라인더가 파일을 축으로 하여 수평이동을 함과 동시에 회전하면서 그라인딩 작업(직경 400mm PHC파일일 때 그라인딩 깊이 20mm)을 수행한다. 또한, 하부 디스크에 부착된 4개의 그라인더는 디스크가 90도 이상 회전하면서 파일 둘레를 따라 그라인딩 할 수 있도록 고안되었다. 그라인딩 작업이 완료되면 두부정리 자동화 장비는 리프트를 통해 파일 최상단으로 수직 이동하여 블레이드(blade) 형식의 유압 압쇄장치로 상부파쇄 작업을 수행한다. 두부정리면으로부터 상부 100mm까지만 유압 압쇄장치가 파쇄작업을 수행하고, 마지막 하부파쇄 부분은 폭 100mm 정도로 제작된 브레이커를 사용하여 상하 이동 없이 디스크의 회전운동만으로 PHC 파일을 파쇄한다.

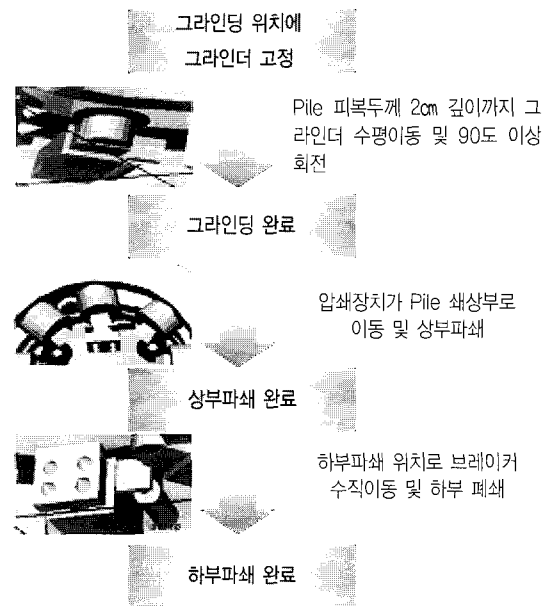


그림 4. 개념디자인 작업 프로세스

4.2.2 그라인딩 및 상·하부파쇄 작업

본 연구에서 제안한 개념디자인은 그라인딩 작업을 위해 전동식 그라인더(그림 5의 a) 4개와 하부파쇄 작업을 위한 브레이커(그림 5의 c) 4개를 하부디스크에 부착하였고, 상부파쇄를 위한 유압실린더 8개를 상부디스크에 장착하였다. 4개의 그라인더와 브레이커는 PHC 파일 작업 영역을 4부분으로 분할하여 작업함으로써 작업속도를 향상시킬 수 있으며, 8개의 유압실린더의 크기는 PHC 파일간 최소 간격(표 3)을 고려하여 상부파쇄가 가능하도록 설계되었다. 압쇄장치(그림 5의 b)의 말단장치는 경사진 끝형으로 제작하여 압쇄가 진행되면 끝의 상부면을 따라 콘 크리트가 상승되어 PHC 파일 상부방향으로 파쇄력이 전달되도록 함으로써 하부방향 균열을 최소화 할 수 있도록 하였다.

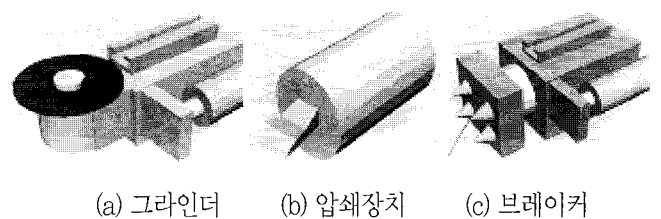


그림 5. 개념디자인 각 부위 상세 모습

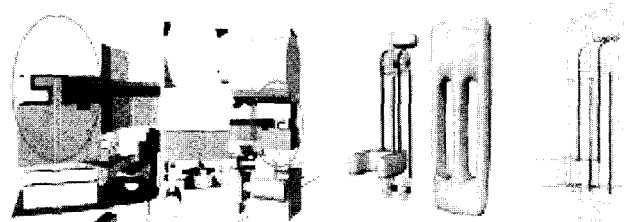
또한, 각 장치들의 수직 및 수평, 회전 운동을 위해 그림 6과 같이 리프트 및 유압실린더, 상하부 디스크를 활용함으로써 두부정리 작업 생산성을 향상시킬 수 있도록 하였다. 수직운동은 두부정리면에 그라인더 고정 및 PHC 파일 두부 상하부 파쇄작업을 위해 요구되는 것으로, 지게차의 상·하운동 원리를 적용

하였다(그림 6의 d).

수평운동은 그라인딩 작업과 하부파쇄 작업을 위해 파일면에 근접하여 설치된 그라인더와 브레이커의 수평운동을 가능케 함으로써 원활한 그라인딩 및 하부파쇄 작업이 수행될 수 있도록 하였다. 또한, 상부파쇄 작업 중에는 그라인더 및 브레이커가 파일면으로부터 일정거리 이상 간격을 유지하게 함으로써 그라인더 및 브레이커의 손상을 방지할 수 있다(그림 6의 a). 그라인더와 브레이커의 수평이동을 위해 수평이동 레일을 하부디스크에 설치하고 유압실린더의 밀림동작과 당김동작을 통해 그라인더와 브레이커가 파일면까지 수평이동 할 수 있도록 하였다. PHC 파일면에 접근한 그라인더와 브레이커는 4부분의 작업영역을 작업하기 위해 파일면을 따라 90° 이상 회전할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 그라인더 및 브레이커의 회전운동을 위해 하부디스크 윗면에 기어를 설치하고 상부디스크에 설치된 모터를 이용하여 하부디스크를 회전시킴으로써 그라인더와 브레이커가 회전할 수 있도록 하였다.(그림 6의 b와 c).



(a) 수평운동(슬라이딩) (b) 디스크 회전운동



(c) 상·하부 디스크 단면 (d) 리프트를 이용한 상하운동

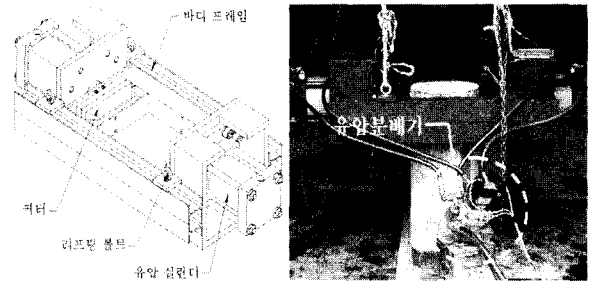
그림 6. 개념디자인 작동원리(수평, 회전, 상하 운동)

5. 두부정리 자동화 장비 파일럿타입 제작 및 실험

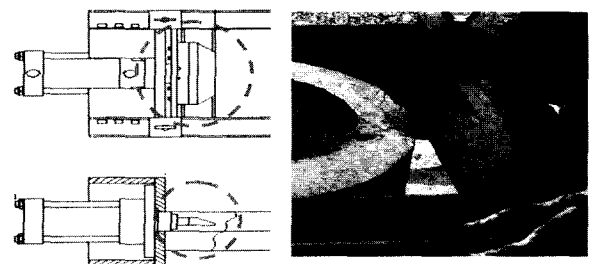
본 연구에서는 위에서 제안된 개념 디자인을 바탕으로 파일 파쇄를 위해 요구되는 말단장치의 형태 및 개수, 필요 유압과 원활한 그라인딩을 위한 그라인더의 위치 및 하부디스크 회전 속도 등과 같은 주요 설계파라미터 도출 및 기술적 구현성 검증에 위해 두부정리 자동화 장비의 파일럿타입(1차, 2차)을 제작하여 실험실 실험을 실시하였다.

5.1 1차 파일럿타입의 제작 및 실험

1차 두부정리 자동화 장비 파일럿타입은 PHC 파일 파쇄를 위해 요구되는 말단장치의 형태 및 개수, 필요 유압의 크기, 파쇄 단면의 형상 등을 실험하기 위한 것으로 그림 7과 같이 2방향 유압 압쇄장비로 구성되었다.



(a) 1차 파일럿타입



(b) 1차 파일럿타입 커터 형상

그림 7. 1차 파일럿타입

1차 파일럿타입에 사용된 유압실린더는 백호로부터 얻을 수 있는 유압인 210bar내에서 PHC 파일을 용이하게 파쇄할 수 있는 140bar용 유압실린더가 사용되었으며, 유압분배기(그림 7의 a)를 통해 백호로부터 유입된 유량을 두개의 실린더에 균등히 분배할 수 있도록 하였다. 1차 파일럿타입 실험은 PHC 파일 상부 파쇄를 목적으로 하므로 실험 대상 PHC 파일(직경 400mm, 길이 800mm)을 상부에서부터 100~150mm 간격으로 순차적인 파쇄 실험을 수행하였다. 1차 파일럿타입에서 사용된 말단장치는 그림 7의 b와 같이 윗면을 경사지도록 한 블레이드를 사용함으로써 종방향 하부 크랙이 최대한 발생하지 않도록 설계되었다.



(a) 1단 상부 파쇄 형상 (b) 2단 상부 파쇄 형상
(c) 3단 상부 파쇄 형상 (d) 종방향 균열 형상

그림 8. 단계별 상부 파쇄 형상

그러나 2방향 압쇄장치만을 사용한 PHC 파일 파쇄 실험 결과, PHC 파일은 백호로부터 얻을 수 있는 유압 범위(210bar) 내에서 그림 8과 같이 용이하게 파쇄 되었으나 다량의 종방향 균열이 발생(그림 8의 d)되었다. 이는 말단장치의 설계 오류보다는 2방향 압축력만으로 속이 비어 있는 PHC 파일을 파쇄함으로써 PHC파일이 다 방면으로부터 균등분포 압력을 받지 못하고 심하게 양방향으로부터 압착되어 생긴 결과로 판단된다. 따라서 PHC 파일의 균열을 최소화하면서 두부정리 작업을 자동으로 수행하기 위해서는 최소 4방향 이상의 압축력이 요구되는 것으로 분석되었다.

5.2 2차 파일럿타입의 제작 및 실험

PHC 파일을 효과적으로 파쇄하기 위해 요구되는 말단장치의 형태 및 개수, 필요 유압과 원활한 그라인딩을 위한 그라인더의 위치 및 수평이동 속도, 하부디스크 회전속도 등과 같은 설계파라미터를 도출하기 위해 1차 파일럿타입 장비 실험 결과 도출된 문제점을 보완하여 4방향 압쇄 및 그라인딩 작업이 가능한 2차 파일럿타입 장비를 제작하여 그림 9와 같은 2차 실험실 실험을 수행하였다.

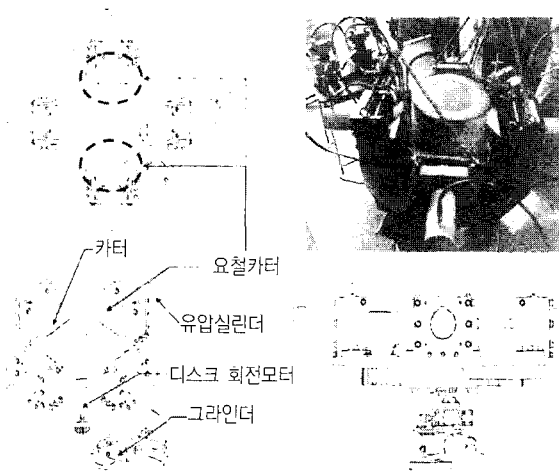
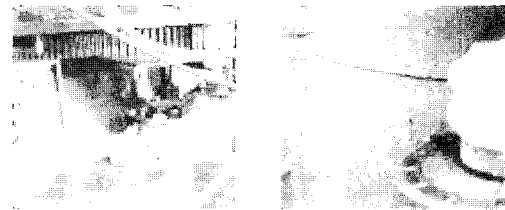


그림 9. 2차 두부정리 자동화 장비 파일럿타입

2차 두부정리 자동화 장비 파일럿타입의 그라인더는 두부정리 작업 현장에서 그라인더공이 사용하고 있는 8인치 전동식 그라인더를 파일 둘레를 따라 그라인딩 할 수 있도록 하부디스크에 부착하고 상부디스크에 장착된 유압모터에 의해 회전할 수 있도록 제작하였다. 또한, 그라인더의 수평이동을 위해 소형 유압 실린더를 사용하여 그라인딩 깊이까지 수평이동 할 수 있도록 하였다(그림 10의 a). 2차 파일럿타입의 그라인딩 장비 실험 결과 그라인더가 장착된 하부 디스크가 회전하며 파일 둘레를 따라 그라인딩 작업이 효과적으로 수행되었다(그림 10의 b).

한편, 상부파쇄를 위해 4개의 실린더 단면적이 작은 800bar 유압실린더를 직각으로 배치하였고 백호의 유압 내에서 작동시키기 위해 유압 증폭장치인 인텐시파이어(intensifier)를 사용하였다. 실험결과, 블레이드 형식의 말단장치를 가진 4방향 유압 압쇄장치를 이용하여 PHC 파일을 파쇄할 경우 기존 크리셔 및 1차 파일럿타입 장비에서 발생한 종방향 허부크랙이 발생하지 않는 것으로 분석되었다(그림 11의 d).



(a) 그라인더 (b) 그라인딩 작업

그림 10. 2차 파일럿타입 그라인더 및 파일 그라인딩

또한, 본 실험에서 사용된 4개의 말단장치 중 2개는 요철을 가진 블레이드로 제작되었으며 나머지 2개는 요철이 없는 블레이드로 제작되었다(그림 9). 이와 같이 2가지 형태의 블레이드를 이용하여 PHC 파일 파쇄 실험을 수행한 결과 요철을 가진 블레이드가 PHC 파일을 보다 더 효과적으로 파쇄하는 것으로 분석되었다. 한편, 블레이드 날을 상부를 향해 경사지도록 설계·실험한 결과 PHC 파일은 종 방향 균열 없이 띠 형상으로 파쇄되었다. 따라서 본 연구에서 제안한 4방향 압쇄장치를 이용하여 두부정리 작업을 수행할 경우 기존 재래식 방식에 비해 두부정리 작업면의 품질 향상을 기대할 수 있고 하부파쇄를 위한 별도의 장비 없이 상부파쇄 유압 압쇄장비만을 사용하는 것도 고려해 볼 수 있을 것으로 사료된다(그림 11의 a, b, c).



(a) 1단 상부 파쇄 형상 (b) 2단 상부 파쇄 형상



(c) 3단 상부 파쇄 형상 (d) 두부정리면 파쇄 형상

그림 11. 2차 파일럿타입 상부 파쇄 및 파쇄면 형상

그라인더 및 브레이커를 회전시킬 수 있도록 고안된 상·하부 디스크는 유압 모터에 의해 원활히 구동되었으나 그라인딩 작업과 하부파쇄 작업을 수행하기 위해 그라인딩 작업 속도와 하부파쇄 작업 속도에 맞춰 하부 디스크 회전 속도를 정확히 제어하는 기술에 대한 연구가 요구되었다.

이와 같은 실험 결과를 바탕으로 향후 파쇄 속도 향상 방안 및 강선에 남아있는 콘크리트 잔재에 대한 처리, 일관된 그라인딩 깊이의 확보 및 그라인딩 속도 향상 등에 관한 연구가 요구된다.

5.3 기존 두부정리 장비와 제안된 두부정리 자동화 장비의 비교·분석

본 연구에서는 기존 크러셔 및 국외 두부정리 자동화 장비와 본 연구에서 제안한 두부정리 자동화 장비를 표 4와 같이 비교·분석하였다.

기존 크러셔 장비는 유압크러셔로 PHC 파일 두부 상부를 파쇄하고 두부 하부파쇄를 위해 노무자가 해머를 이용하여 작업을 수행함으로써 많은 작업 시간이 소요되고 노동 집약적으로 작업이 수행된다. 특히, 크러셔 작업은 PHC 파일 두부정리면의 품질에 커다란 영향을 미치는 종 방향 균열이 발생된다. 캐나다 LBT사 장비는 2방향 유압 블레이드 및 압쇄판을 이용하여 파일 상·하부를 파쇄하고, 이탈리아 Mantovanibenne사 장비는 파일 상·하부파쇄를 위해 다수의 유압 해머를 이용하고 있으나 두 장비 모두 충전된 콘크리트 파일을 대상으로 자동화 장비를 개발되었고 그라인딩 및 하부파쇄를 위한 별도의 자동화 장비를 갖추고 있지 않으므로 국내 PHC 파일과 같이 속이 빈 PHC 파일을 파쇄 할 경우 심한 균열이 발생될 것으로 예상된다.

반면, 본 연구에서 제안된 두부정리 자동화 장비의 개념디자인은 그라인딩 작업을 자동으로 수행할 수 있도록 하였으며, 유압 블레이드를 사용하여 두부 상부를 파쇄하고 종방향 균열 방





지를 위해 유압 브레이커를 이용하여 두부 하부를 파쇄 할 수 있도록 제시되었다. 그러나 개념디자인을 바탕으로 제작된 파일럿 타입 장비의 실험 결과 제안된 두부정리 자동화 장비는 하부파쇄를 위한 유압 브레이커 없이 상부파쇄를 위한 4방향 압쇄장치만으로도 종방향 하부 균열을 발생시키지 않았다. 따라서 개발될 두부정리 자동화 장비의 프로토타입은 상·하부 파쇄 작업을 별도의 유압 브레이커 없이 4개 이상의 유압 블레이드를 활용하여 수행할 수 있을 것으로도 사료되며 이를 통한 두부정리 작업의 품질 및 생산성 향상 효과가 기대된다.

6. 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) 국내·외 기술동향 분석 결과, 현재 기성 콘크리트 파일의 두부정리를 위한 자동화 장비가 국내외에서 개발되어 활용되고 있으나 현재까지 개발된 두부정리 자동화 장비는 파일 파쇄만을 대상작업으로 하고 있고 그라인딩 및 상하부파쇄를 통합적으로 수행할 수 있는 자동화 장비의 개발은 이루어지지 못한 것으로 조사·분석되었다.
- 3) 문헌고찰 및 현장 방문을 통한 설문/인터뷰 결과를 바탕으로 그라인딩, 파일 상·하부파쇄 작업을 자동화 대상작업으로 선정하였고, 콘크리트 파쇄 및 절단 등을 위한 자동화 요소기술 및 고려사항을 분석하여 개념디자인을 제안하였다. 또한, 개념디자인에 제시된 그라인더 및 브레이커, 압쇄장치가 효율적인 작업을 수행할 수 있도록 수직 및 수평, 회전 운동을 위한 장치를 제안하였다.

표 4. 기존 두부정리 자동화 장비와 제안된 두부정리 자동화 장비의 비교

분류	크러셔	캐나다 LBT사 장비	이탈리아 Mantovanibenne사 장비	제안된 두부정리 자동화 장비
그림				
그라인딩	• 노무자가 수작업으로 그라인딩 작업 수행	• 그라인딩 無		• 그라인딩 작업 자동으로 수행 가능
상부파쇄	• 유압 크러셔로 파일 상부를 파쇄	• 유압 블레이드 및 압쇄판을 이용하여 파일 상·하부파쇄	• 다수의 유압 해머를 이용하여 파일 상·하부파쇄	• 유압 블레이드를 활용한 파일 상·하부파쇄
하부파쇄	• 노무자가 해머로 두부정리면 상부 100mm 부분을 파쇄			
비고	• 그라인딩 작업 및 하부 파쇄를 위한 전용 자동화 장비 부재 • PHC 파일의 균열 발생이 심함	• 속이 찬 파일을 대상으로 자동화 장비가 개발되었으므로 속이 빈 PHC 파일을 파쇄 할 경우 심한 균열 예상 • 그라인딩 및 하부파쇄를 위한 별도의 콤포넌트가 없음		• 백호 유압을 이용한 PHC 파일 파쇄 • 그라인딩 자동화 장비 적용으로 그라인딩 작업 수행 • PHC 파일 종방향 균열 발생안함

- 4) 제안된 개념디자인을 바탕으로 두 개의 두부정리 자동화 장비 파일럿타입을 개발하여 자동화 장비 개발을 위해 요구되는 설계파라미터를 도출하기 위해 실험실 실험을 실시한 결과, 백호의 유압내에서 PHC 파일 파쇄가 원활히 수행되었다. 또한, PHC 파일 하부에 발생하는 종방향 균열을 방지하기 위한 그라인딩 자동화 장치를 개발하여 실험한 결과 PHC파일의 둘레를 따라 효과적으로 그라인딩 되었다.
- 5) 본 연구에서 제안한 두부정리 자동화 장비를 기존 자동화 장비와 비교·분석해 본 결과, 제안된 두부정리 자동화 장비가 자동화 측면(그라인딩, 두부 상부파쇄) 및 균열 발생 억제 측면, 품질의 균일성 확보 측면에서 우수한 성능을 발휘할 수 있을 것으로 예상되었다.
- 향후 2차 파일럿타입 장비의 실험분석 결과, 도출된 문제점의 수정·보완 및 개발 장비의 상세 설계를 통하여 두부정리 자동화 장비의 프로토타입 제작 및 현장 실험을 바탕으로 한 두부정리 자동화 장비의 완성이 요구된다.

참고문헌

1. 대한전문건설협회, "기성말뚝시공가이드", 2002.
2. 이정호, "기성 콘크리트 파일 두부정리를 위한 자동화 장비의 개발", 대한건축학회 학술발표대회논문, 2003
3. 원영호, "기성 콘크리트 파일 두부정리 자동화 방안에 관한 연구", 건축학회논문, 2002.
4. 한국원심력콘크리트공업협동조합, "콘크리트 파일(PC, PHC)설계지침서", 2000.
5. 파일테크사 홈페이지 (<http://www.piletech.co.kr>)
6. LBT사 홈페이지 (<http://www.pilecutter.com>)
7. Mantovanibenne사 홈페이지 (<http://www.mantovanibenne.it>)
8. CII Advanced Technological Systems Task Force, "Need assessments for Construction Automation", CII Publication 16-1, 1992.

Abstract

During the last few years, the use of Pre-tensioned spun high strength concrete piles(PHC pile) has been gradually increased in many construction sites. 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 conceptual designs for developing an automated pile cutting machine. 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, Breaker, Grinder, Blade, Crusher