

PHC 파일 두부정리 자동화 장비 개선에 관한 실험적 연구

Experimental Study for the Improvement of an Automated PHC Pile Head Cutter

이 정 호* · 김 명 호** · 김 영 석*** · 조 문 영****

Lee, Jeong-Ho · Kim, Myoung-Ho · Kim, Young-Suk · Cho, Moon-Young

요 약

최근 국내·외의 경우 기성 콘크리트 파일(PHC) 두부정리 작업의 생산성, 안전성 및 품질 향상을 위해 자동화 장비를 개발 중에 있다. 그러나 기존에 개발된 두부정리 자동화 장비는 두부정리 순 작업과정 중 파일 파쇄만을 자동화 대상 작업으로 하고 있고, 파일 파쇄를 위한 말단장치(end-effector) 설계의 오류로 종 방향 균열을 발생시키는 등 문제점이 있는 것으로 분석되었다. 기존 두부정리 자동화 장비가 PHC 파일에 종 방향 균열을 발생시키는 원인은 PHC 파일의 물리적 특성을 고려한 자동화 장비 말단장치의 설계 및 제작, 배치가 제대로 이루어지지 못했기 때문인 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구의 목적은 최근 국내에서 개발 중인 PHC 파일 두부정리 자동화 장비의 파일럿타입(pilot type)을 대상으로 다양한 형태의 말단장치를 설계 및 제작하고, 실험실 실험을 통해 최적의 말단장치 조합을 제안함으로써 종 방향 균열 없이 PHC 파일 두부를 효과적으로 그라인딩하고 파쇄할 수 있도록 하는 자동화 장비의 프로토타입을 제시하는 것이다. 본 연구를 통해 제시된 PHC 파일 두부정리 자동화 장비가 개발되어 현장에 적용될 경우, 기존 두부정리 작업의 생력화를 통한 품질, 안전성, 생산성 향상 및 이를 통한 경제성 확보가 가능할 것으로 기대된다.

키워드 : PHC 파일, 두부정리, 말단장치, 그라인더, 블레이드

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내·외의 경우 기성 콘크리트 파일 두부정리 작업의 생산성, 안전성 및 품질 향상을 위해 자동화 장비가 개발되어 현장에 적용되고 있으나, 기존 장비는 파일 파쇄만을 자동화 대상 작업으로 하고 있고 작업 중 종 방향 균열을 발생 시키는 등 특히 품질 측면에서 문제점이 있는 것으로 분석되었다(건설교통부, 2003), (원영호, 2002). 기존 두부정리 자동화 장비가 파일 파쇄 시 종 방향 균열을 발생시키는 주요 원인으로는 PHC 파일의 물리적 특성을 고려한 자동화 장비의 말단장치가 제대로 설계 및 제작, 배치되지 못했기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에서는 현재 국내에서 개발 중인 PHC 파일 두부정리 자동화 장비의 파일럿타입을 대상으로 종 방향 균열을 예방하고 강선의 휨 현상 및 강선에 남아 있는 콘크리트 잔재물을 처리할

수 있도록 하는 다양한 말단장치를 설계 및 제작하고, 다수의 실험실 실험을 통해 파일 두부를 효과적으로 파쇄할 수 있는 말단장치의 최적 조합을 제안하였다. 또한 PHC 파일의 두부정리 작업 시 파쇄작업 뿐만이 아니라, 노동집약적이고도 안전성 및 생산성 확보가 요구되는 그라인딩 작업을 자동화하기 위해 그라인더 날의 크기와 배치, 회전속도에 관한 실험을 수행하였다. 이를 통해 본 연구에서는 국내 PHC 파일 공사 관련 시방기준, PHC 파일의 특성, 말단장치의 조합 및 그라인딩 관련 실험결과를 바탕으로 기존 재래식 작업에 비해 품질 및 안전성 확보가 가능하고 생산성 향상이 기대되는 PHC 파일 두부정리 자동화 장비의 프로토타입을 제시하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 수행한 연구의 범위 및 방법은 다음과 같다.

(1) 기존 두부정리 자동화 장비 분석

재래식 두부정리 작업이 가지고 있는 문제점을 해결하기 위해 현재까지 개발된 국내·외 두부정리 자동화 장비를 조사 및 분석하고, 기존 자동화 장비의 문제점을 분석하였다. 또한, 본 연구를 통해 개발된 두부정리 자동화 장비 파일럿타입의 실험결과

* 일반회원, 인하대학교 건축공학과, 박사과정

** 일반회원, 인하대학교 건축공학과, 석사과정

*** 일반회원, 인하대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

**** 일반회원, 한국건설기술연구원 연구위원, 공학박사

본 연구는 2002년 산학연 공동연구개발사업(과제번호:02산학연B02-03)의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

를 바탕으로 파일롯타입의 문제점 및 개선사항을 도출하였다.

(2) 두부정리 자동화 장비 말단장치의 설계·제작

국내 공동주택 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 직경 400~450mm의 PHC 파일 두부를 종 방향 균열 없이 효과적으로 파쇄 할 수 있는 두부정리 자동화 장비의 다양한 말단장치(블레이드, 원뿔형 end-effector)를 설계·제작하였다.

(3) 말단장치 조합 관련 실험실 실험

PHC 파일 두부를 효과적으로 파쇄할 수 있는 최적의 말단장치 조합을 찾기 위해 설계 및 제작된 말단장치를 다양하게 조합하여 실험실 실험을 수행하였다. 또한, PHC 파일을 일정깊이로 그라인딩하기 위해 요구되는 그라인더 날의 크기 및 배치, 회전 속도에 관한 실험을 수행하였다.

(4) 두부정리 자동화 장비의 프로토타입 제작 및 실험

실험실 실험을 통해 최적의 성능을 발휘하는 말단장치 조합을 도출하고 그라인딩 기능을 추가하여 두부정리 자동화 장비의 프로토타입을 개발하였고, 실험실 및 현장 실험을 수행하여 개발된 두부정리 자동화 장비의 효용성을 검토하였다.

2. 국내·외 관련 기술개발 동향

품질, 안전성, 생산성 등 기존 두부정리 작업의 문제점을 해결하기 위해 최근 국내·외에서는 그림 1과 같은 두부정리 자동화 장비가 개발되어 왔다. 그러나 기존에 국외에서 개발된 두부정리 자동화 장비(그림 1의 (a), (b))는 백호에 장·탈착이 용이한 부속장치(attachment)가 아니라 크레인에 부착하여 별도의 유압 발생장치에 의해 구동되므로 추가 공사비 및 장비 세팅과 해체에(mobilization/ demobilization)에 적지 않은 시간이 소요되는 등 문제점을 지니고 있다. 또한, 국내 시방기준에서 필수적으로 요구하는 그라인딩 작업을 사전에 수행하지 않은 상태에서 파일 두부 파쇄작업을 수행하므로 두부정리면 하부에 종 방향 균열이 발생하고 있는 것으로 분석되었다

국내에서는 PHC 파일 두부정리 작업을 위해 크러셔(그림 1의 (c))를 활용하고 있으며, 현재 그림 1의 (d)와 같은 파일롯타입의 두부정리 자동화 장비가 개발되어 현장 적용성을 실험 중에 있다. 먼저, 크러셔는 빠른 속도로 파일 상부를 파쇄할 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 상부 파쇄 외 모든 작업(그라인딩, 하부 파쇄 등)이 노무자에 의해 수행되어야 한다는

단점을 지니고 있다. 현재 개발 중인 두부정리 자동화 장비의 파일롯타입은 그라인딩 작업을 수행할 수 있는 1개의 7인치 전동식 그라인더와 두부정리면 상부를 파쇄할 수 있도록 끝 형태의 말단장치(이하 블레이드)를 지닌 4방향 유압 압쇄 장치로 설계되었다. 그라인딩 작업 실험결과, PHC 파일은 7인치 전동식 그라인더에 의해 절단 작업이 수행되었으나 PHC 파일의 중심축과 파일롯타입의 중심축이 일치하지 않아 절단 깊이가 일정치 못하고 절단 속도의 불균형으로 인해 그라인더 날이 PHC 파일에 끼는 현상이 발생하여 전진과 후진을 반복적으로 수행하게 됨으로써 작업 생산성이 저하되는 문제점이 발생되었다. 또한, 기존 재래식 방식에 비해 1개의 7인치 그라인더로 직경 400~450mm PHC 파일의 둘레를 그라인딩하는데 요구되는 작업시간이 많이 소요되는 것으로 분석되었다.

PHC 파일 파쇄능력 실험 결과, PHC 파일은 블레이드와 닿는 곳에서 수평 파쇄가 이루어져 종 방향 균열 없이 띠 형상으로 파쇄(그림 1의 (d)) 되었으나, 대부분의 PHC 파일 잔재가 강선에 남아 있고, 블레이드의 깊은 삽입으로 인해 강선이 심하게 휘어지는 현상이 발생되어 노무자원이 추가로 투입되어야 하는 문제점이 있었다. 따라서 PHC 파일 두부정리 자동화 장비의 프로토타입을 개발하기 위해서는 파일 두부를 일정 깊이로 신속히 그라인딩하고, 파쇄 및 잔재처리 작업을 효과적으로 수행할 수 있는 말단장치의 설계가 요구되었다.

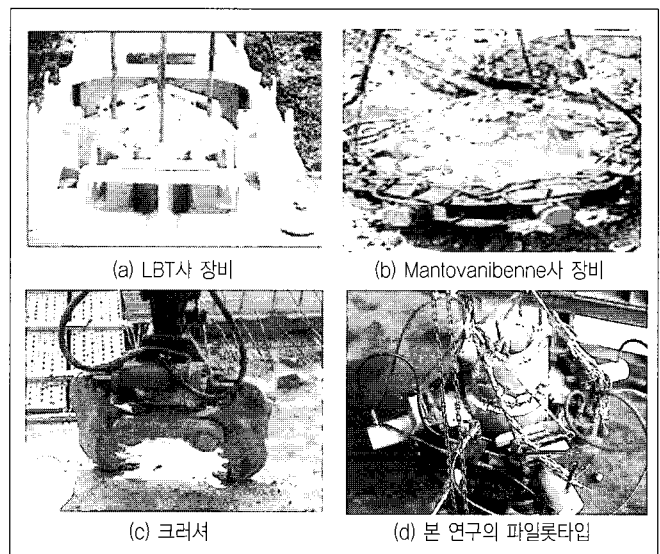


그림 1. 기존 두부정리 자동화 장비

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

3.1 원뿔형 end-effector의 설계 및 제작

본 연구에서는 두부정리 자동화 장비의 프로토타입을 개발하기 위해 파일럿타입 실험에서 문제점으로 지적된 1)파쇄 후 강선 부위에 남게 되는 잔재물 처리 및 2)강선의 휨 현상을 방지할 수 있도록 하는 말단장치의 설계를 선행하였다. 즉, 종 방향 균열 방지를 위한 블레이드의 설치 및 블레이드 상부에 집중하중을 가하여 PHC 파일을 효과적으로 파쇄할 수 있도록 원뿔형의 end-effector를 설계 및 제작하였다. 한편, 원뿔형 end-effector 및 블레이드를 설치 할 수 있는 플레이트(이하, 가변형 플레이트)는 말단장치의 다양한 조합 및 실험을 위해 그림 2와 같이 말단장치의 가변적 배치가 가능하도록 설계되었다.

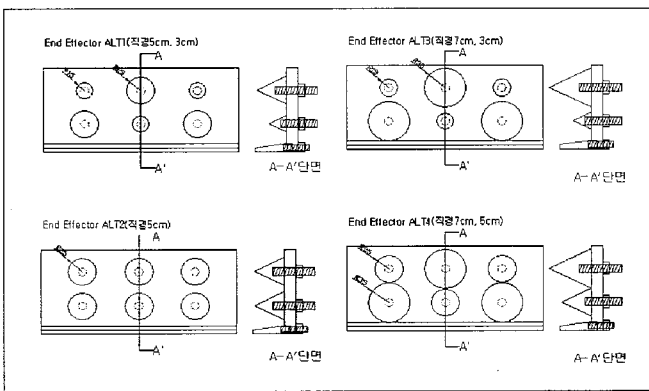


그림 2. 가변형 플레이트 및 원뿔형 end-effector

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

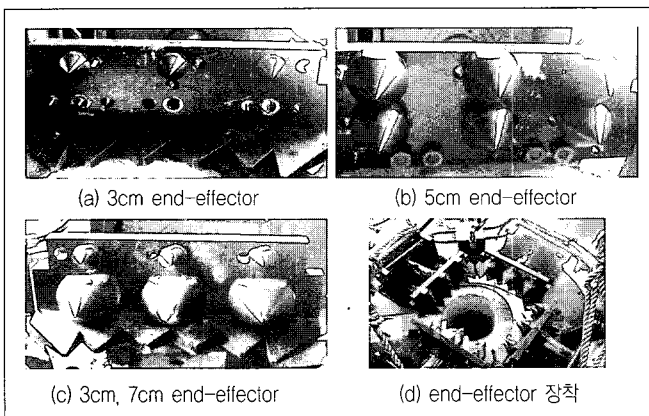


그림 3. 원뿔형 end-effector

로부터 파일 내부의 강선까지 집중하중을 유발 시킬 수 있도록 고려되었으며, 5cm 원뿔형 end-effector는 강선을 지나 내부 콘크리트까지 집중하중을 작용시킬 수 있도록 설계되었다. 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

블레이드는 건설 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 PHC 파일의 직경인 400mm~450mm보다 약간 큰 직경을 가진 \varnothing 500mm의 곡률을 가지도록 설계되었다. 따라서, PHC 파일을 파쇄하기 위한 유압실린더의 행정을 줄일 수 있고, 파일럿타입 실험 결과에서 문제점으로 지적된 강선의 휨 현상을 방지 할 수 있도록 하였다. 또한, 블레이드는 중앙부 2개의 요철(두께 10mm)부터 순차적으로 PHC 파일을 파쇄할 수 있도록 하였다(그림 4).

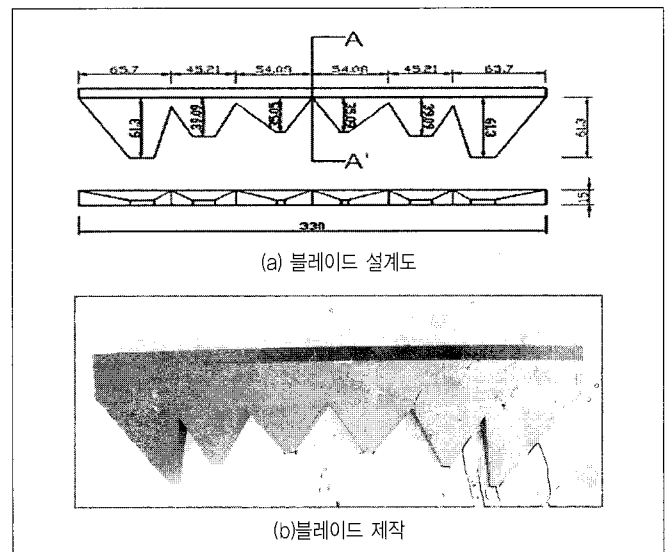


그림 4. 블레이드

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

본 연구에서는 제작된 원뿔형 end-effector와 블레이드를 가변형 플레이트(그림 2)에 장착하고 백호의 유압을 이용하여 PHC 파일을 가장 효과적으로 파쇄 할 수 있는 말단장치의 조합을 찾기 위해 다양한 실험실 실험을 수행하였다.

(1) 2방향 3+7cm 말단장치, 2방향 5+5cm 말단장치, 4방향 블레이드(1차 실험)

1차 실험은 원뿔형 end-effector와 블레이드 조합에 의한

PHC 파일의 파쇄 효과를 측정하기 위해 수행되었다. 실험에 사용된 원뿔형 end-effector와 블레이드의 조합은 2방향에 「3cm+7cm 원뿔형 end-effector+블레이드」를 장착하고 다른 2방향에 「5cm+5cm 원뿔형 end-effector+블레이드」를 장착하였다. 블레이드는 4방향에 모두 장착되었으며, Ø500mm의 곡률과 중심부의 두께는 10mm이고 양단부는 5mm의 두께를 갖도록 설계·제작되었다. 따라서, 총 6개의 3cm 원뿔형 end-effector와 12개의 5cm 원뿔형 end-effector, 6개의 7cm 원뿔형 end-effector, 4개의 블레이드가 PHC 파일의 파쇄를 위해 사용되었다(그림 5).

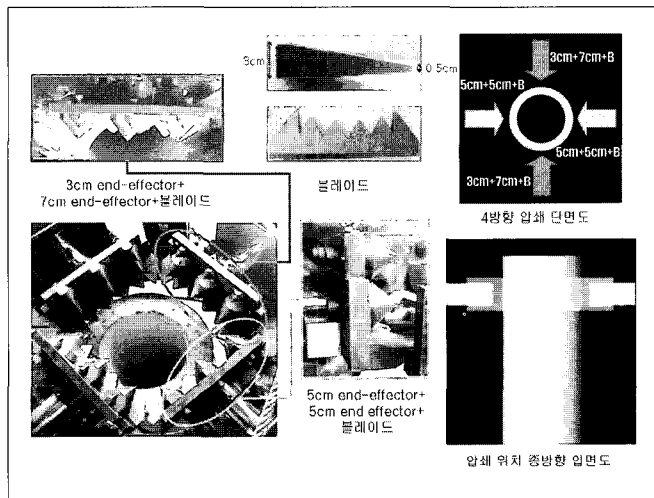


그림 5. 2방향 「3cm+7cm 원뿔형 end-effector+블레이드」와 2방향 「5cm+5cm 원뿔형 end-effector +블레이드」의 조합 및 파쇄 위치

실험결과, 그림 6과 같이 PHC 파일은 파쇄되지 않았으며, 4방향에 총 12개의 파쇄 흔적만 남았고 하부디스크의 휨 현상이 발생하였다. PHC 파일이 파쇄되지 않은 이유는 백호와 유압 증대 장치인 인텐스파이어로 얻을 수 있는 유압의 최대 크기인 800bar 내에서 PHC 파일과 원뿔형 end-effector의 접점(4곳)

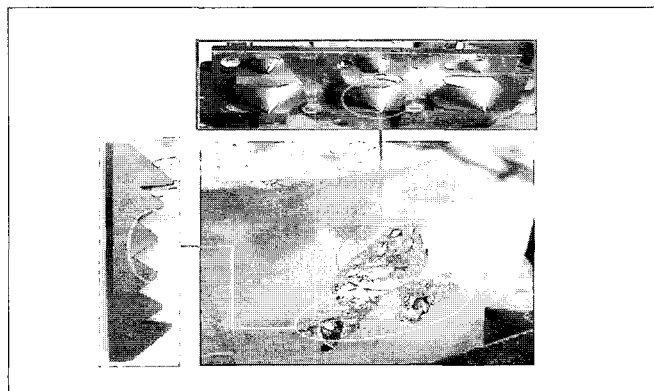


그림 6. 2방향 「3cm+7cm 원뿔형 end-effector+블레이드」와 2방향 「5cm+5cm 원뿔형 end-effector+블레이드」 조합의 파쇄 결과

과 두께 10mm인 중앙부분 블레이드의 접점(8곳)이 과다하게 형성되어 PHC 파일에 가해지는 압축력의 분산으로 인해 PHC 파일을 파쇄하지 못한 것으로 분석되었다.

(2) 4방향 3cm 말단장치, 4방향 블레이드(2차실험)

본 연구에서는 1차 실험의 문제점을 해결하기 위해 그림 7과 같이 PHC 파일과 말단장치가 접하는 접점의 수를 줄였다. 즉, 가변형 플레이트 상부에 3cm 원뿔형 end-effector를 4방향에 총 12개 설치하고 그림 7에서와 같이 가변형 플레이트 중간부에는 원뿔형 end-effector를 설치하지 않았다. 가변형 플레이트 하단부는 첫 번째 실험과 동일한 블레이드를 4방향에 장착하여 실험을 실시하였다.

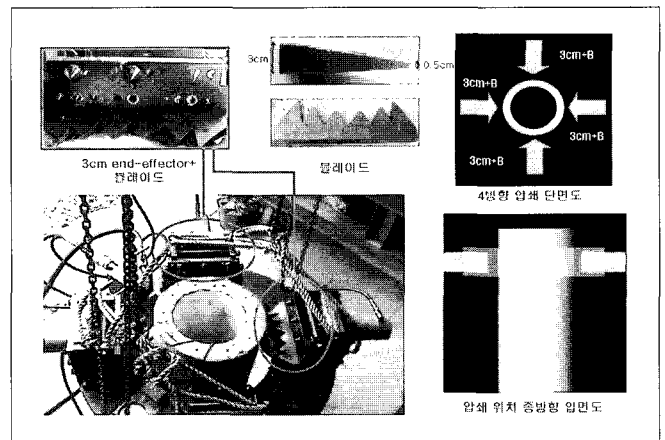


그림 7. 4방향 「3cm 원뿔형 end-effector+블레이드」 조합과 파쇄 위치

실험결과, 그림 8과 같이 4방향에서 두께 10mm 부분인 블레이드 중앙부 8곳이 PHC 파일과 접점을 이루며 PHC 파일을 파쇄하려 하였으나 PHC 파일은 파쇄되지 않았다. 또한, PHC 파일이 파쇄되기 전에 1차 실험과 마찬가지로 하부디스크의 휨 현상이 발생하였다. 이 실험에서 PHC 파일이 파쇄되지 않은 원인은 PHC 파일과 블레이드의 접점면이 너무 넓고 접점의 수가 많은 것으로 분석되었다. 따라서, 블레이드의 두께 및 접점의 수를

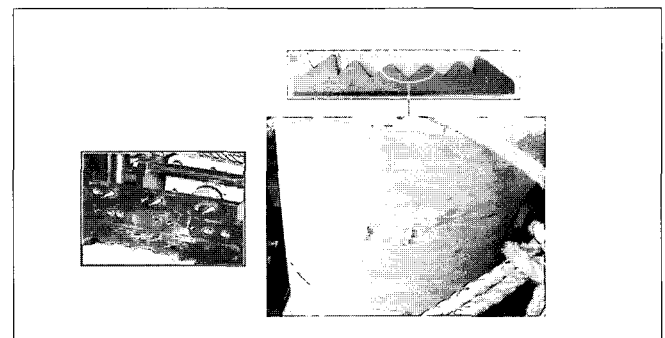


그림 8. 「3cm 원뿔형 end-effector+블레이드」 조합의 파쇄 결과

줄인 상태에서 PHC 파일을 파쇄할 수 있는 지에 대한 실험이 요구되었다.

(3) 4방향 3+5cm 말단장치(3차 실험)

1, 2차 실험 결과에서 가장 큰 문제점으로 지적된 말단장치(원뿔형 end-effector 및 블레이드)와 PHC 파일과의 접촉의 수와 면적을 최대한 줄이기 위해 3차 실험에서는 4방향 블레이드를 모두 제거한 상태에서 그림 9와 같이 PHC 파일의 파쇄 실험을 수행하였다. 3차 실험에 사용된 원뿔형 end-effector의 조합은 4방향 모두 가변형 플레이트의 상부에 3cm 원뿔형 end-effector를 3개씩(총 12개) 장착하였으며, 가변형 플레이트 중간에 5cm 원뿔형 end-effector(총 12개)를 장착하였다.

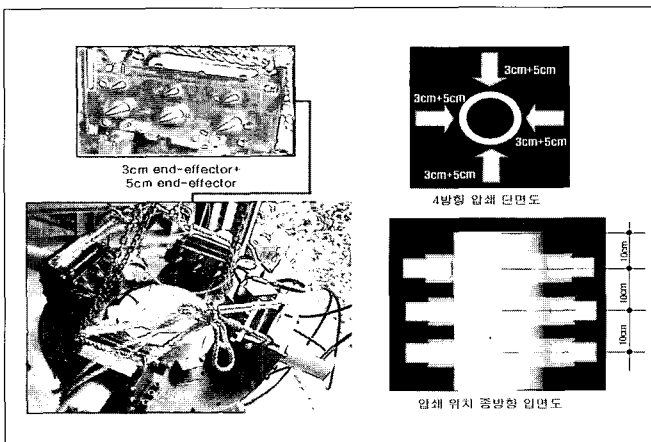


그림 9. 4방향 「3cm+5cm 원뿔형 end-effector」 조합과 파쇄 위치

실험결과, 그림 10과 같이 가변형 플레이트 중앙에 설치된 5cm 원뿔형 end-effector가 4방향에서 4개의 접점을 이루며 PHC 파일을 1차 파쇄하였으며 양측 5cm 원뿔형 end-effector 및 3cm 원뿔형 end-effector가 순차적으로 PHC 파일을 종방향 균열 없이 효과적으로 파쇄할 수 있는 것으로 분석되었다.

3cm+5cm 원뿔형 end-effector 조합에 의한 PHC 파일 파쇄 실험 결과, 후프와 강선에 남아 있는 PHC 파일 콘크리트 잔재가 크지 않으므로 백호의 피칭(pitching)작용에 의해 용이하게 잔재를 처리할 수 있는 것으로 분석되었다. 3cm+5cm 원뿔형 end-effector 조합 실험에서는 블레이드 없이 PHC 파일파쇄 실험이 수행되었으나 원뿔형 end-effector 조합에 의한 PHC 파일 파쇄만으로도 PHC 파일 내외부에 종방향 균열이 발생하지 않았고 수평에 가까운 절단면이 형성되어 블레이드 및 그라인더 사용 없이 PHC 파일 두부정리 작업을 수행할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다. 또한, 재래식 두부정리 작업 중에 필연적으로 발생하던 강선의 휨 현상이 3cm+5cm 원뿔형 end-effector 조합 실험에서는 원뿔형 end-effector가 강선에 닿기 전에

PHC 파일이 파쇄되어 강선이 휘어지지 않고 두부정리 작업을 수행할 수 있었다. 이와 같은 말단장치의 조합에 의해 자동화 두부정리 작업에서는 재래식 두부정리 작업 프로세스 중 강선퍼기 작업 과정이 생략될 수 있는 가능성이 있는 것으로 분석되었다.

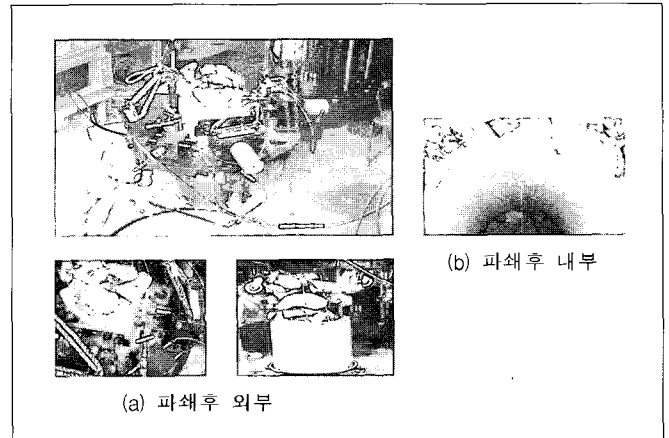


그림 10. 4방향 「3cm+5cm 원뿔형 end-effector」 조합의 3차 파쇄

(4) 2방향 3+5cm 말단장치, 2방향 3+7cm 말단장치(4차 실험)

본 연구에서는 두부정리 자동화 장비 말단장치의 다양한 조합을 실험하기 위해 그림 11과 같이 2방향에 3cm+5cm 원뿔형 end-effector와 다른 2방향에 3cm+7cm 원뿔형 end-effector를 설치하여 4방향에서 압력을 가하는 실험을 수행하였다.

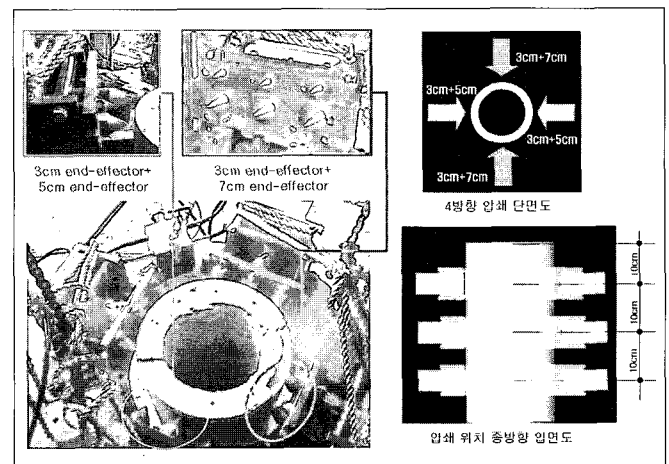


그림 11. 2방향 「3cm+5cm 원뿔형 end-effector」와 2방향 「3cm+7cm 원뿔형 end-effector」의 조합 및 파쇄 위치

실험결과, 이와 같은 말단장치의 조합은 「3cm+5cm 원뿔형 end-effector」 조합과 같이 PHC 파일 내외부를 종방향 균열 없이 파쇄하였다. 그러나, 그림 12와 같이 7cm 원뿔형 end-effector와 강선이 만나는 곳에서 강선의 휨 현상이 발생하여 강선을 펴기 위한 노무자원의 투입이 요구되었다.

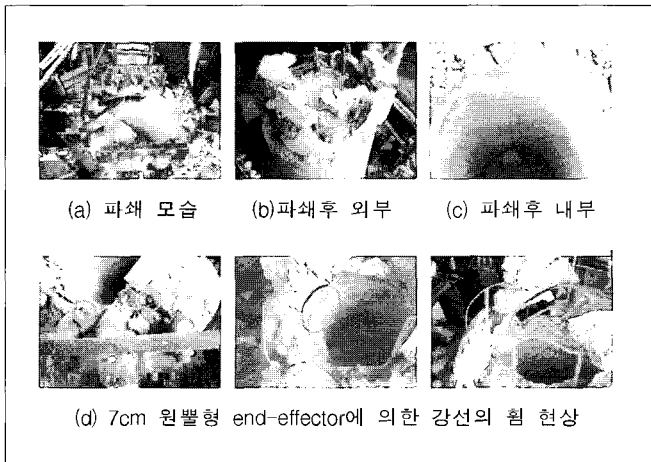


그림 12. 2방향 「3cm+5cm」와 2방향 「3cm+7cm」 원뿔형 end-effector 조합의 파쇄결과

(5) 2방향 3+5cm 말단장치(5차 실험)

본 연구에서는 두부정리 자동화 작업의 생산성을 향상시키기 위해 그림 13과 같이 2방향에만 「3+5cm 원뿔형 end-effector」를 설치하고 다른 방향에는 말단장치를 설치하지 않은 상태에서 PHC 파일을 파쇄하는 실험을 수행하였다.

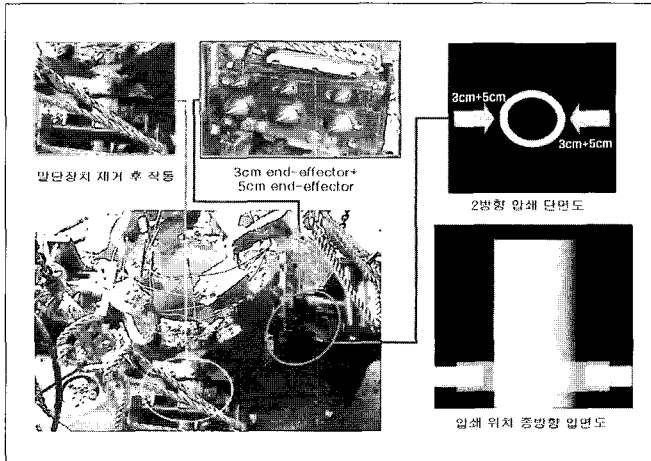


그림 13. 2방향 「3+5cm 원뿔형 end-effector」 조합과 파쇄 위치

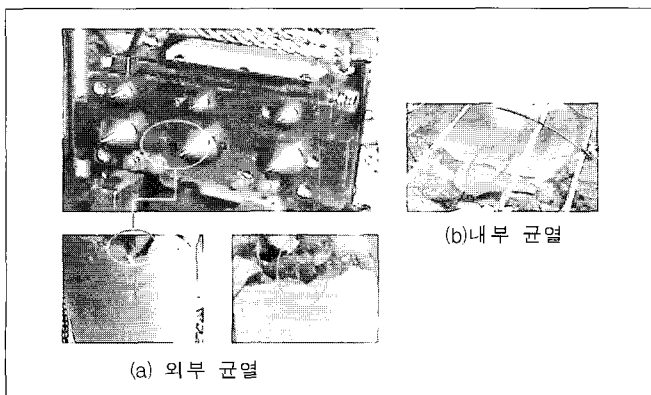


그림 14. 2방향 「3+5cm 원뿔형 end-effector」 조합의 파쇄결과

실험결과, 「3+5cm 원뿔형 end-effector」 조합은 PHC 파일을 신속하게 파쇄할 수 있었으나, 그림 14와 같이 파일 내·외부에 많은 종방향 균열이 발생하는 것으로 분석되었다. 따라서, PHC 파일 상부 파쇄를 위해서는 2방향보다는 4방향 파쇄가 우수한 성능을 발휘하는 것으로 분석되었다.

말단장치 조합에 의한 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 실험실 실험 결과, 표 1과 같이 4방향 3+5cm 원뿔형 end-effector 조합에 의한 PHC 파일 파쇄 결과가 PHC 파일 파쇄 유무 및 종방향 균열 발생 유무, 강선의 휨 현상 발생 유무 측면에서 가장 우수한 성능을 발휘하는 것으로 분석되었다. 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.

4. 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 제작 및 실험

4.1 두부정리 자동화 장비의 프로토타입 설계 및 제작

(1) 그라인더 및 홀더

두부정리 자동화 장비 파일럿타입 실험결과와 같이 1개의 7인치 전동식 그라인더를 사용할 경우 작업 생산성이 기존 재래식 방식에 비해 너무 낮고, PHC 파일의 중심축과 파일럿타입의 중심축이 일치하지 않아 그라인딩 작업시 일정한 절단 깊이가 확보되지 않는 문제점을 가지고 있었다. 따라서, 본 연구에서는 두부정리 작업의 생산성을 높이고 일정한 그라인딩 깊이(∅400mm PHC 파일의 경우 20mm)를 확보하기 위해 그림 15와 같이 2개의 7인치 전동식 그라인더를 사용하였고, 홀더(그림 16의 (a))를 사용하여 PHC 파일의 중심축과 두부정리 자동화 장비

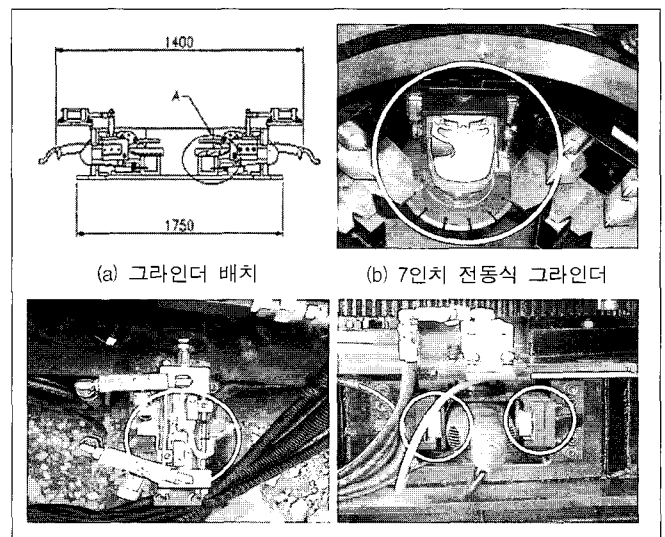





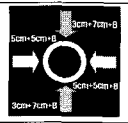
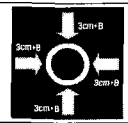
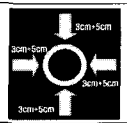
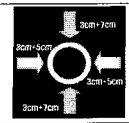
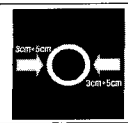


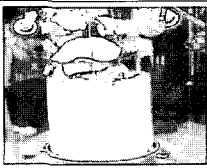




그림 15. 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 그라인더

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 조합내용					
파쇄 방식					
파쇄 결과					
비고	<ul style="list-style-type: none"> 최초파쇄점 : 12개(3x4) 말단장치와 PHC 파일과의 접점이 너무 많아 파일 겉표면만을 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 겉표면만을 파쇄하고 더 이상 파쇄가 진행되지 못함 	<ul style="list-style-type: none"> 최초파쇄점 : 4개(1x4) 4방향 3+5cm 원뿔형 end-effector에 의해 PHC 파일이 원활히 파쇄됨 종방향 균열이 발생하지 않음 강선의 휨 현상 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 최초파쇄점 : 4개(1x4) 2방향 3+5, 2방향 3+7cm 원뿔형 end-effector에 의해 PHC 파일이 원활히 파쇄됨 종방향 균열이 발생하지 않음 10개의 강선 중 2개의 강선에서 휨 현상 발생 	<ul style="list-style-type: none"> 최초파쇄점 : 2개(1x2) 2방향 3+5cm 원뿔형 end-effector에 의해 PHC 파일이 원활히 파쇄됨 2방향 파쇄에 따른 종방향 균열 발생 원뿔형 end-effector에 의한 쪼개짐현상 발생 강선의 휨 현상 없음

의 중심축을 일치시켰다.

한편, 그라인딩 작업을 위한 7인치 전동식 그라인더는 그라인더 날이 파일 내부로 삽입될 때 파일과 그라인더 날의 접촉으로 인한 그라인더 날의 파손을 방지하기 위해 파일 외곽으로부터 30mm 이격된 위치에 장착되었고, 그라인딩 작업 시 PHC 파일의 절단면까지 수평이동 할 수 있도록 설계되었다. 본 연구에서는 그라인더의 수평이동을 위해 유압실린더 및 슬라이딩 가이드를 그림 15의 (c), (d)와 같이 설치하였고, PHC 파일의 그라인딩 깊이를 조절하기 위해 자성체 위치 감지가 가능한 센서 타입의 유압실린더를 그림 15의 (c)와 같이 사용하였다.

개발된 두부정리 자동화 장비 프로토타입에는 2개의 그라인더가 장착되었으므로 파일 둘레를 따라 190도 회전할 수 있도록 하였다. 따라서, 그라인더의 시작점과 끝점이 10도 정도 겹칠 수 있도록 함으로써 원활한 그라인딩 작업을 수행할 수 있도록 설계하였고, 하부디스크가 190도 회전하였을 때 고추파 발진형 근접스위치(그림 16의 (b))에 의해 하부디스크를 자동으로 멈추고 원상태로 복귀할 수 있도록 하였다.

(2) 원뿔형 end-effector 및 블레이드

본 연구에서는 말단장치의 실험 결과(표 1)를 바탕으로 두부정

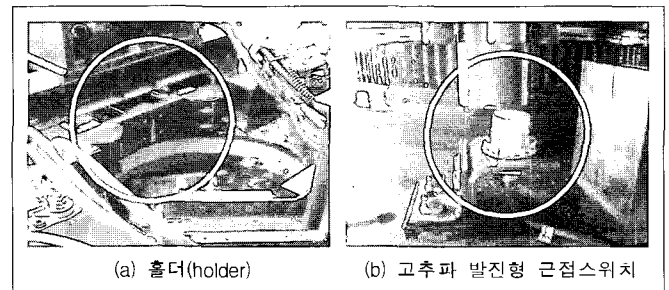


그림 16. 홀더 및 고추파 발진형 근접스위치

리 자동화 장비 프로토타입에 그림 17과 같이 가변형 플레이트 첫 상단에 3cm 원뿔형 말단장치를 장착하였고, 두 번째 단에 5cm 원뿔형 말단장치를 장착하였다. 따라서, PHC 파일에 집중하중을 가하여 PHC 파일의 원활한 파쇄 및 강선에 남아 있는 PHC 파일의 잔재처리가 용이하도록 하였다. 또한, 말단장치 실험에서 문제점으로 지적된 PHC 파일과 블레이드가 접하는 접점의 수와 접촉 면적을 줄이기 위해 블레이드의 곡률을 500mm에서 일자형으로 변경하여 PHC 파일에 블레이드의 중앙부 1곳이 먼저 닿도록 설계·제작하였고 블레이드의 두께를 10mm에서 5mm로 단축하였다.

한편, 본 연구에서는 두부정리 자동화 장비 파일럿타입의 실험 결과에서 지적된 단동식 유압 실린더의 사용으로 PHC 파일

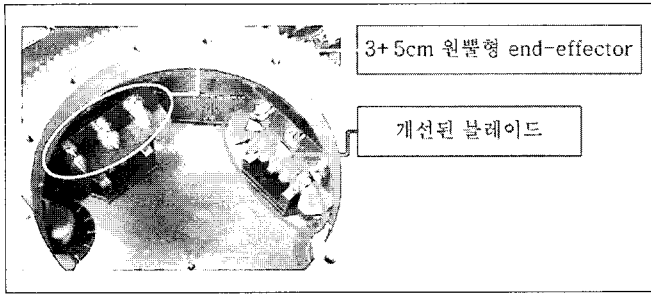


그림 17. 원뿔형 end-effector 및 개선된 블레이드

파쇄 후 말단장치가 정상적으로 복귀하지 않는 문제점 해결 및 그라인더와 말단장치의 원활한 전·후진을 위해 복동식 유압 실린더를 사용하였다(그림 18).

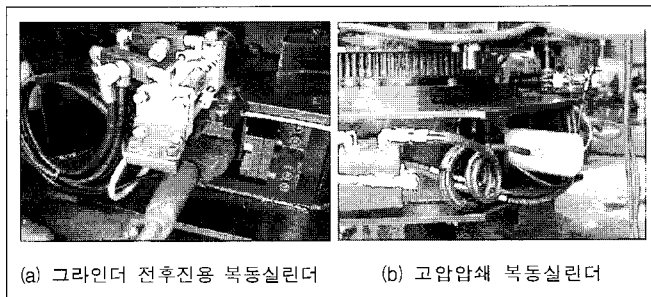


그림 18. 그라인더 및 압쇄를 위한 복동 실린더

4.2 두부정리 자동화장비 프로토타입의 실험

(1)두부정리 자동화 장비 프로토타입의 실험실 실험

두부정리 자동화 장비 프로토타입(그림 19의 (a))의 실험 결과, PHC 파일의 중심축과 두부정리 자동화 장비의 중심축을 맞추기 위한 홀더가 작동한 상태에서 하부디스크가 190도 회전함에 따라 그라인더는 PHC 파일을 평균 18mm 깊이로 그라인딩 하였다(그림 19의 (b)). 그러나, 190도 회전을 위한 하부디스크의 회전속도가 일정치 않아 간헐적으로 그라인더 날이 PHC 파일에 끼는 현상이 발생하여, 추후 다수의 실험실 실험과 현장 실험을 통해 PHC 파일을 최적으로 절단할 수 있는 하부디스크의 회전속도를 찾아 그라인딩 작업을 수행할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

가변형 플레이트에 장착된 3cm+5cm 원뿔형 end-effector와 블레이드에 의한 PHC 파일 파쇄 실험에서는 블레이드가 원뿔형 end-effector 보다 먼저 PHC 파일과 4방향 4점접하면서 PHC 파일을 띠형상으로 파쇄 한 후 원뿔형 end-effector가 순차적으로 블레이드 상부의 PHC 파일을 원활히 파쇄하였다(그림 19의 (c), (d)).

이 과정에서 복동형 유압실린더는 PHC 파일 파쇄 뿐 만 아니라 파쇄 후 말단 장치의 복귀를 정상적으로 수행하였다. 한편,

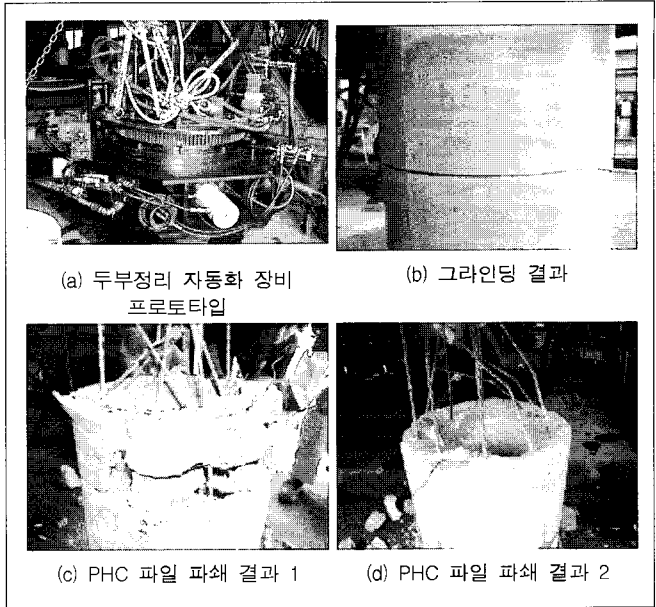


그림 19. 두부정리 자동화 장비 프로토타입 실험 결과

블레이드가 PHC 파일을 먼저 파쇄함으로써 종방향 균열 없이 그라인더를 사용한 것과 유사한 수평면을 만들면서 PHC 파일을 파쇄 하였다. 그러나, 블레이드의 돌출 길이가 너무 길어 그림 19의 (c), (d)와 같이 PHC 파일 강선의 휨 현상을 유발시킴으로써 블레이드의 길이를 원뿔형 end-effector의 길이보다 짧게 설계·제작하는 것이 요구되었다.

(2)두부정리 자동화 장비 프로토타입의 현장실험

두부정리 자동화 장비 프로토타입의 현장실험은 두부정리 자동화 장비 프로토타입과 백호와의 원활한 결속 여부 확인 및 두부정리 자동화 장비 프로토타입이 결속된 백호 암(arm)의 움직임, 백호의 유압을 활용한 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 구동 여부, 두부정리 자동화 장비 프로토타입을 이용한 PHC파일의 파쇄 능력을 확인하기 위해 수행되었다. 본 실험에서는 성능 중심으로 설계·제작된 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 무게가 약 1.6톤임을 고려하여 0.7m³ 백호를 사용하였으며, 백호의 유압을 이용하여 두부정리 자동화 장비 프로토타입이 장착하고 있는 유압 장치들의 원활한 작동 여부를 확인하였다. 구동 실험 결과, 본 연구를 통해 개발된 두부정리 자동화 장비의 프로토타입은 하부디스크 회전 기능을 위해 상부와 하부가 회전하도록 설계되어 백호 운전원이 백호 암의 움직임만으로 용이하게 백호와 두부정리 자동화 장비를 결속할 수 있는 것으로 분석되었다(그림 20). 또한, 백호는 두부정리 자동화 장비 프로토타입이 결속된 상태에서 자연스럽게 상·하·좌·우의 기본 동작을 수행하였으며, 두부정리 작업 중 상하부 파쇄 작업 후 강선에 붙어있는 콘크리트 잔재를 제거하기 위해 요구되는 피칭

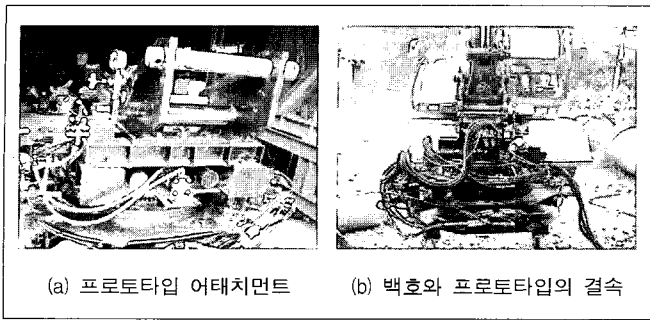


그림 20. 백호와 프로토타입의 결속

(pitching) 운동을 용이하게 수행하는 것으로 분석되었다. 백호로부터 공급된 유압은 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 그라인딩 작업을 위한 하부디스크 회전운동과 말단장치 및 그라인더, 홀더의 수평 운동을 원활히 수행하기에 충분한 것으로 분석되었다.

두부정리 자동화 장비 프로토타입의 그라인더 작업 현장실험 결과, PHC 파일은 2개의 7인치 전동식 그라인더에 의해서 수평과 일정 깊이를 유지하며 시간 효과적(본당 약 68초 단축; 재래식-109초, 자동화-41초)으로 절단되었다. 한편, 실험실 실험 결과와 마찬가지로 하부디스크의 회전 속도가 일정하지 않아 그라인더 날이 PHC 파일에 끼는 현상이 2~3번 정도 발생하였으나 지속적인 실험으로 최적의 회전 속도를 프리세팅(pre-setting) 할 경우 작업 시간은 보다 더 단축될 수 있을 것으로 기대된다.

추후, PHC파일의 원활한 그라인딩 작업을 위한 하부 디스크의 최적 회전 속도 산정, 개발 장비의 제어시스템(그림 21)을 백호 조종실 내부에 설치하는 작업 및 백호 운전원의 편의성이 고려된 리모트 컨트롤러 제작 등에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

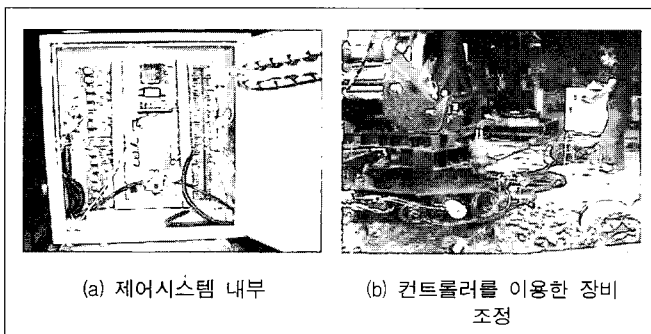


그림 21. 제어시스템

5. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 PHC 파일에 종방향 균열을 발생시키지 않고 신속하게 PHC 파일을 파쇄할 수 있는 두부정리 자동화 장비의 말단장치를 개발하기 위해, 가변형 플레이트를 설계 및 제작하고 3cm, 5cm, 7cm 원뿔형 end-effector 및 블레이드의 다양한 조합을 통한 실험을 수행하였다.

(2) 5차례에 걸친 다양한 말단장치 조합에 의한 PHC 파일 파쇄실험 결과, 4방향 3+5cm 원뿔형 end-effector를 장착한 실험에서 PHC 파일에 종방향 균열 및 강선의 휨 현상이 거의 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

(3) 말단장치 실험결과 가장 우수한 성능을 발휘하여 최적의 조합으로써 선정된 4방향 3+5cm 원뿔형 end-effector를 장착하고 그라인딩 작업과 파쇄 작업을 통합 수행할 수 있는 두부정리 자동화 장비의 프로토타입을 개발하였다.

(4) 개발된 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 그라인딩 작업 실험결과, 홀더의 사용으로 PHC 파일의 중심축과 자동화 장비의 중심축을 일치시켜 평균 18mm로 일정한 그라인딩 깊이를 확보할 수 있었다. 또한, 개발 장비의 경우 그라인딩 작업 시 본당 약 41초의 시간이 소요되어 약 109초의 시간이 소요되는 재래식 방식에 비해 약 68초의 시간이 단축되는 것으로 분석되었다.

(5) 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 파쇄실험 결과, 4방향 블레이드에 의해 PHC 파일이 수평으로 절단되었고(1차파쇄), 3+5cm 원뿔형 end-effector에 의해 순차적으로 PHC 파일이 원활히 파쇄(2차 파쇄)되었다. 자동화 장비에 의한 파쇄 과정에서 PHC 파일에 종방향 균열이 발생하지 않아 재래식 방식에 비해 우수한 성능을 발휘하는 것으로 분석되었다.

향후 연구 과제로써, 본 연구를 통해 도출된 두부정리 자동화 장비 프로토타입의 문제점을 개선하고 제안된 두부정리 자동화 장비에 대한 성능분석(performance analysis) 및 실용화에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 원영호, "기성 콘크리트 파일 두부정리 자동화 방안에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 2002.
2. 대한전문건설협회, "기성말뚝시공가이드", 2002
3. 건설교통부, "기성 콘크리트 파일공사를 위한 자동화 장비의

개발”, 2004

4. LBT사 홈페이지 (<http://www.pilecutter.com>)
5. Mantovanibenne사 홈페이지
(<http://www.mantovanibenne.it>)
6. 파일테크사 홈페이지(<http://www.piletech.co.kr>)

논문제출일: 2005.06.10

심사완료일: 2005.08.23

Abstract

Several advanced countries have been continually developed PHC pile cutting automation machines for improving productivity, safety and quality of the conventional PHC pile cutting work. However, the target work of the previously developed PHC pile cutting automation machines is only crushing the head of PHC pile. Dangerous grinding work is still performed by workers with seven inch hand grinder. In domestic construction industry, the PHC pile cutting work is usually performed by a crusher and three to four skilled workers. Recent analysis results of the PHC 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 and to develop an automated pile cutting machine having unified grinder and crusher parts through a wide variety of laboratory and field tests. 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
