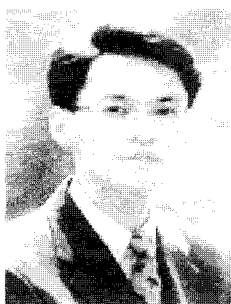


## 파일공사를 위한 자동화 장비의 개발에 관한 연구 소개

김성근, 한국건설기술연구원



김영석, 인하대학교 건축공학과 조교수



### 1. 서론

건설업은 안정성, 품질, 생산성, 인력자원, 첨단기술의 적용 측면에 있어서 많은 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 하나의 시도로써 건설 자동화 및 로봇화가 제안되어 왔다. 제조업 분야에서는 오래 전부터 첨단기술을 적용하여 많은 이득을 보아왔으나, 건설업은 제조업과는 다른 환경으로 인하여 첨단기술의 적용이 제한되어 왔다. 또한 건설업의 보수성으로 인하여 건설업에서 효용성이 입증되지 않은 첨단기술을 적용하는 것을 리스크로 인식하여 기피해 온 것이 사실이다. 하지만 최근에는 국내에서 건설업이 제조업에 비하여 기술적으로 많이 낙후해 있는 현실을 직시하고, 장기간의 안목으로 건설업에 첨단기술을 적용하려는 시도를 많이 하고 있다.

국내에서는 1990년대에 들어서서 건설 자동화 및 로봇화의 필요성과 그 적용 대상에 관한 연구와 건설기계의 반자동화 연구, 그리고 유지관리를 위한 자동화 장비 개발에 관한 연구를 수행하였다. 최근에는 정부에서는 산학연 연구과제를 통하여 건설현장에 적용성이 높은 건설자동화 관련 연구에 투자를 하고 있으며 현재 파일공사용 자동화 장비 개발에 관한 연구가 건설교통부 산학연 연구과제로 선정되어 한국건설기술연구원, 인하대, 홍익대, 세종대, (주)에이앤티, (주)경인에 의하여 수행되고 있다.

기본적으로 파일공사는 압축강도가 800kg/cm<sup>2</sup> 이상(PHC 파일의 경우)인 콘크리트 파일을 설치한 후 파일의 상부를 파쇄하고 잔재를 처리하는 작업으로써 일반적으로 유압식/전동식 파일 드라이버, 크리셔를 장착한 굴삭기(Backhoe) 등의 장비가 요구되며, 기성 콘크리트 파일공사에 투입되는 비용을 분석해 보면, 기계경비를 제외한 총 작업 비용 중 노무비의 비율이 90% 이상으로써 두부정리 작업에

투입되는 비용 중 노무비가 차지하는 비중이 매우 높아 작업이 노동집약적(Labor-intensive)이며 단순 반복적(Repetitive)이고 노무자간 숙련도 차이에 의해 품질 및 작업 생산성이 크게 영향을 받는 등 많은 문제점이 있다. 따라서 기성 콘크리트 파일공사를 위한 자동화 장비의 개발을 통해 인력 위주의 작업을 자동화 장비로 대체 함으로써 노무비 절감, 생산성 향상 및 안전한 작업 환경을 조성 할 수 있을 것으로 기대하고 연구를 수행하고 있다.

본 논고는 연구보고서 (인하대, 2001) 및 연구제안서 (한국건설기술연구원, 2002)를 바탕으로 정리한 것으로 현행 파일공사의 문제점을 분석하고, 파일공사용 장비 개발의 필요성, 그리고 연구수행계획 및 연구의 기대효과에 관하여 소개하고자 한다.

### 2. 개발의 필요성

기성 콘크리트 파일 기초는 대규모 건축 및 토목공사에 흔히 사용되며, 최근 건축물이 중량화, 대형화, 고층화되고 연약 지반에 구조물을 시공해야 하는 사례가 늘어나면서 그 수요가 지속적으로 증가하는 추세이며, 특히, 국내의 경우 기성 콘크리트 파일 기초를 주로 사용하는 간척사업, 공동주택 및 주상복합 건물의 수요가 높아 앞으로 그 사용량이 증가하고 있는 추세이다.

기성 콘크리트 파일공사는 파일 심보기, 굴착 및 파일 매입, 두부정리, 잔재처리 작업으로 구분될 수 있다. 이들 작업중에서 굴착 및 파일 매입 작업 과정에서 파일의 연직성을 확보하지 못할 경우 (그림1 참조) 파일에 휨 모멘트가 발생하고, 발생된 휨 모멘트가 파일 재료의 허용 파괴한도를 초과시 파일의 파괴 또는 하중 지지력이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 파일의 연직도를 유지하면서 굴착

작업을 자동제어 할 수 있는 자동화 장비가 개발될 경우 파일의 연직성 확보에 대한 정확성이 크게 향상될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 파일 두부정리 작업의 경우, 콘크리트 파일을 파쇄하는 과정에서 균열이 발생되면 기초와 연결되는 부분의 파일 강도가 현저히 감소하여 건물을 지지하기 위한 충분한 지내력의 확보가 어려울 뿐만 아니라 파악하기 어려운 비가시적인 균열의 경우에는 이에 대한 적절한 대응을 할 수 없어 콘크리트 파일 품질의 균일성을 유지하기 어려운 실정이다.

특히 최근의 현장 작업관찰 결과를 살펴보면, 크러셔(crusher)를 활용한 두부 파쇄 시 두부절단면으로부터 1D지점까지 파쇄하는 것이 원칙이지만 이 경우 할석공이 수행해야할 작업량이 많아져 작업 생산성이 저하되고 번거로운 작업이 많이 발생하기 때문에 절단선에 거의 근접하여 콘크리트를 파쇄하고 있는 것으로 조사되었다. 이는 크러셔로 콘크리트를 파쇄하는 과정에서 파일의 강선이 무리하게 당겨져 절단선 하단 내 외부에 균열이 발생하고 두부정리 작업 품질에 지대한 영향을 미치고 있다. 이러한 균열은 두부정리 작업 후 보수보강 공사를 필요로 하므로 공기지연 및 공사비 증대의 주요 원인이

되고 있다(그림1 참조).

한편, 두부정리 작업 중 그라인더를 활용한 커팅 작업은 감전 사고의 위험을 내포하고 있으며 강선 절단 작업은 일반 노무자가 일반 절단기와 유압 절단기를 사용함으로써 기 절단된 강선이 절단과정에서 튀어 작업자가 상해를 입을 수 있으므로 안전성이 확보되어 있지 않은 열악한 작업환경에서 작업이 수행되고 있다. 따라서 안전한 작업환경 내에서 두부정리 작업을 수행할 수 있는 자동화 기술개발의 필요성이 절실히 요구된다.

### 3. 파일공사 작업 분석

현장조사를 통해 나타난 일반적인 두부정리 작업과정은 다음과 같다. 1) 현장 관리자나 시공업체에서 파일에 절단선을 마커 등을 이용하여 표시하면 2) 그라인더 공은 그라인더를 활용하여 절단선에 따라 파일의 외부를 일정한 깊이로 커팅한다. 3) 그라인딩이 완료되면 크러셔를 이용하여 두부상부로부터 절단선 1D(파일의 지름)까지 파쇄하며 파쇄가 완료되면 크러셔는 다음 파일로 이동한다. 4) 할석공은 크러셔가 파쇄했으나 인근에 남아 있는 콘크리트 잔재물을 처리하고 절단선까지

해머로 파쇄하며, 5) 한편에서 보조 노무자는 잔여시간을 활용하여 기 파쇄된 파일의 강선절단 및 퍼기 작업을 수행한다.

그림2와 3은 현장에서 수행되는 두부정리 작업 전경 및 세부작업 과정을 나타낸 것이다.

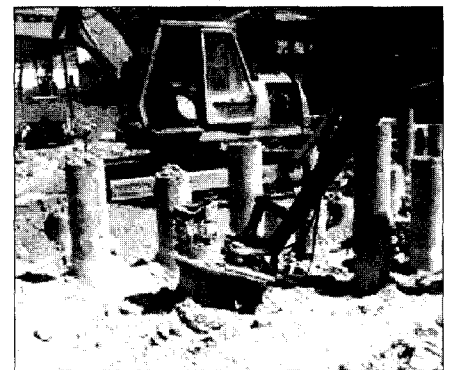
두부정리 작업은 3~4명(운전원 포함)으로 구성된 1개 작업조에 의해 수행되는 것이 일반적이며 이들의 일일 평균 작업량은 200~300본/일인 것으로 조사되었다. 그러나 각 세부작업들이 병행되어 진



(a) 절단선 표시



(b) 절단선 그라인딩



(c) 상부 파쇄

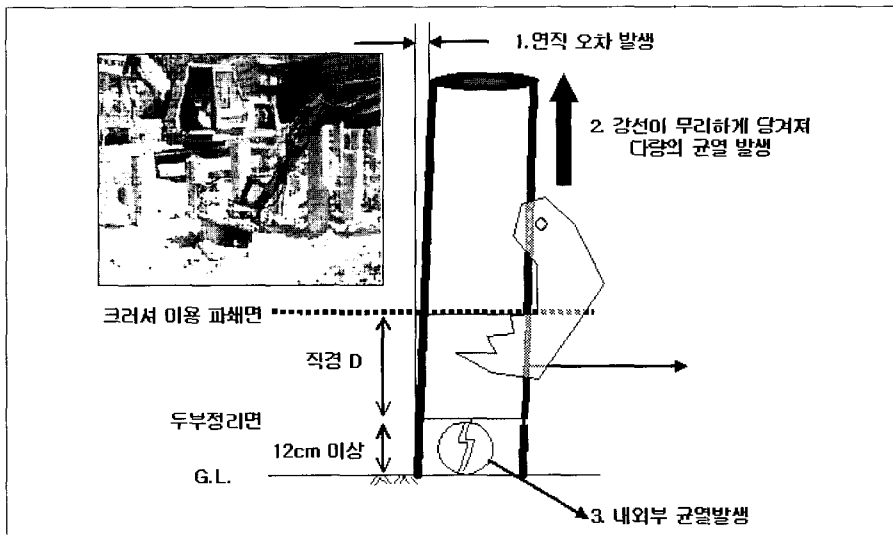


그림 1. 기성 콘크리트 파일시공의 문제점

그림 2. 현장의 두부정리 작업 전경

행되므로 잔재물 처리 작업시간, 두부정리 작업이 불량인 파일의 처리시간 등을 고려했을 때 200본~300본의 두부정리 작업 수행을 위해서는 약 2~3일의 작업 시간이 소요될 것으로 조사되었다.

표 1은 아파트 신축공사 현장 두부정리 작업의 세부작업의 소요시간 및 비용을 측정한 결과이다. 투입비용 비율은 세부작업을 수행하기 위해 소요되는 시간과 비용의 상대적인 값으로써 각 비율이 높다는 것은 해당 세부작업(소요시간이 길고 투입비용이 큰 작업)을 위한 자동화 기

술이 도입될 경우 경제적인 기대효과가 높음을 의미한다.

소요시간 비율과 투입비용 비율을 함께 고려한 자동화 대상 작업의 선정을 위해 시간-비용(Time-Cost) 매트릭스를 구성하면 그림 4와 같다. 시간-비용 매트릭스에서 X축은 투입비용 비율을, Y축은 소요시간 비율을 나타내며 두부정리 각각의 세부작업은 각 비율의 값에 따라 매트릭스 상의 한점으로 표시된다. 매트릭스를 통하여 절단면 그라인딩 및 상부 파쇄, 두부정리 면까지 파쇄작업은 다른 작업에 비해 상대적으로 많은 시간이 요구되고 투입 비용이 높기 때문에 자동화 기술 도입이 필요한 작업영역이라는 것을 알 수 있다.

#### 4. 국내외 기술동향 파악

##### 4.1 국내 기술동향

LG 건설에 의하여 개발된 해상 파일 항타공사를 위한 위치 자동제어 기술은 GPS 측량 방법을 응용하여 실시간에 최

소한의 인원으로 공사에 필요한 정보를 컴퓨터에 의해 1지점에서 종합하고 모형화하여 항타선의 유도과 정밀한 위치의 파일 항타를 가능하게 하였으며, 자연조건에 의한 영향범위를 최소화하고 공사의 정확도를 높임으로써 높은 시공품질의 확보, 공사관리, 감독의 편리성을 얻도록 하였다.

콘크리트 파일 기초 두부정리 자동화 장비 개발에 관한 연구(인하대, 2001)에서는 콘크리트 파일 두부정리 작업의 절차 및 자동화를 위한 고려요소 도출, 관련 기술동향 분석 등을 수행하여 기성 콘크리트 파일의 두부정리를 자동화하기 위한 장비의 개념모델을 제시하였으며, 개념 모델에 대한 기술적·경제적 타당성 분석 등을 수행하였다. 이 연구를 기초로 하여 좀 더 포괄적이며 실질적인 파일 자동화 장비를 개발하기 위한 연구를 수행하고 있다.

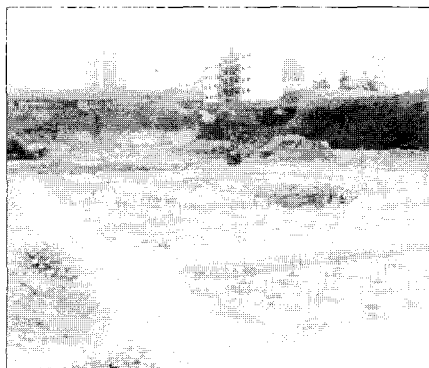
위터 스프레이 냉각식 파일커팅 기계를 이용한 강관 파일 절단 공법은 1999년 (주) 삼성물산에서 개발하여 신기술로 지정된 공법으로써 강관 파일의 절단 작업을 대



(d) 강선절단 및 폐기

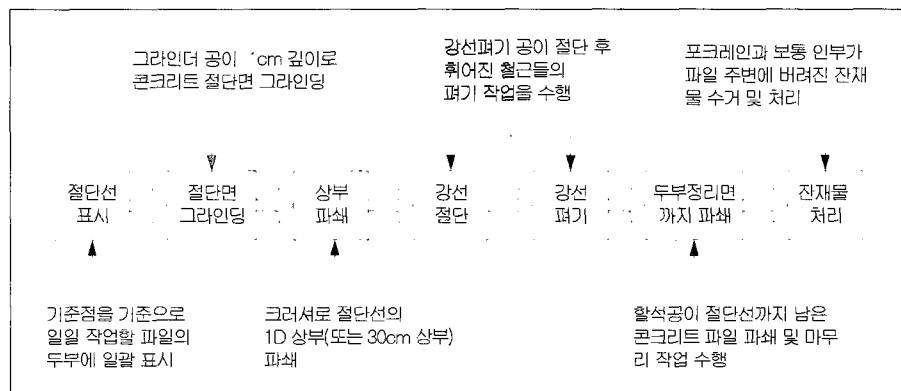


(e) 두부정리면까지 파쇄



(f) 잔재물 처리

그림 2. 현장의 두부정리 작업 전경



작업구분	투입인원 및 장비	소요시간	비용
절단면 그라인딩	1인	109초 (0.36%)	100,000원 (0.15%)
상부파쇄	굴삭기(0.2m3) 1대	32초 (0.11%)	300,000원 (0.46%)
강선절단	0.5인	21초 (0.07%)	50,000원 (0.08%)
강선폐기	0.5인	23초 (0.07%)	50,000원 (0.08%)
두부정리면까지 파쇄	1인	104초 (0.35%)	100,000원 (0.15%)
파일캡 씌우기	0.5인	12초 (0.04%)	50,000원 (0.08%)
계	4인	301초 (100%)	650,000원 (100%)

표 1. 두부정리 작업의 세부작업별 작업시간 및 비용 분석

\*비고: 소요시간은 파일 1본 기준이며, 비용은 1일 기준임

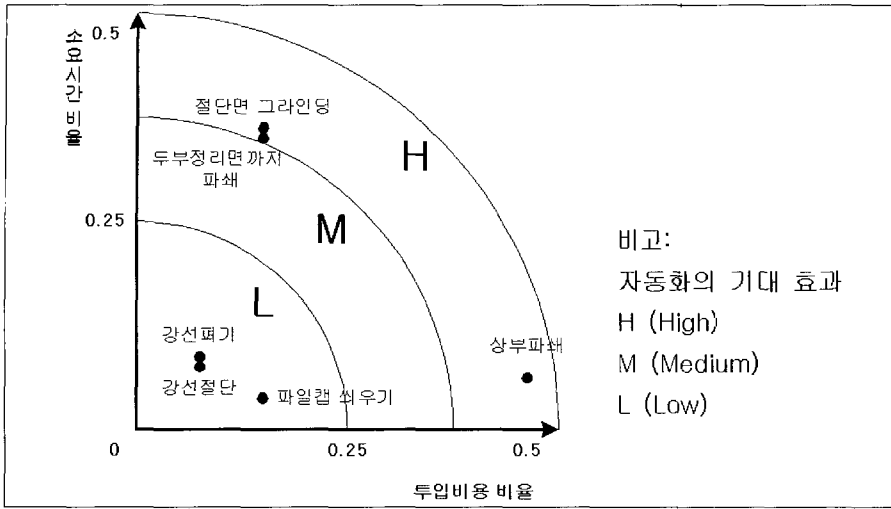


그림 4. 두부정리 세부작업의 시간-비용(Time-Cost) 매트릭스

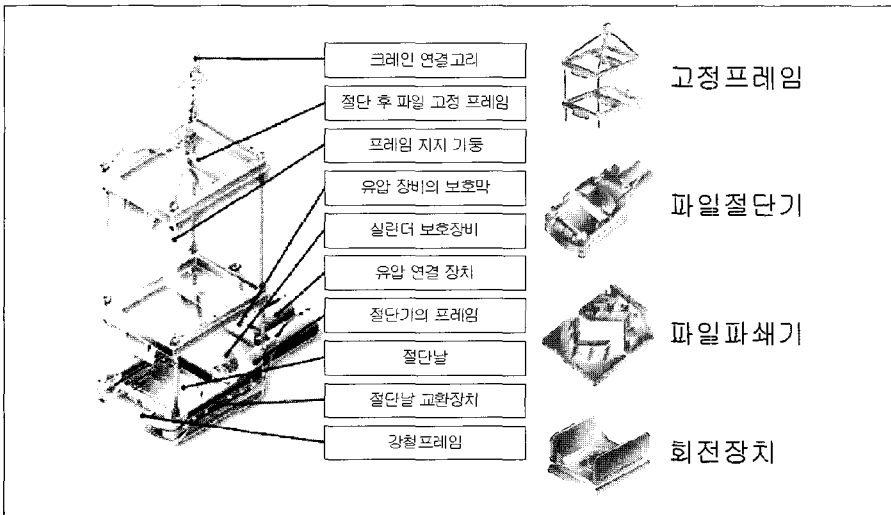


그림 5. 콘크리트 파일 절단기(캐나다 LBT사)

상으로 하고 있다. 강관 파일을 향타 한 후 파일커팅 기계를 이용하여 필요한 길이로 강관 파일을 지중에서 절단하고 선(先)절단된 파일을 인발한 다음, 일괄적으로 굴착을 시행할 수 있다.

4.2 국외 기술동향

캐나다의 LBT사에서 사각형 콘크리트 파일(16", 24", 30")의 절단 및 두부정리를 위해 콘크리트 파일 절단기(Prime Concrete Pile)를 개발하였다(그림 5). 이 콘크리트 파일 절단기는 굴삭기 끝 부분에 부착되어 유압 레버(Hydraulic lever)의 작동에 의해 두부정리 위치로 이동하며,

보강철근의 배치를 손상시키지 않으면서 콘크리트를 절단할 수 있도록 특별히 고안된 칼날(Blade)을 가지고 있다. 이 장비는 콘크리트를 파괴함에 있어 콘크리트 파일 기초의 최상단에서 최종 절단위치까지 200mm의 간격으로 내려오면서 콘크리트 파일의 두부를 파쇄한다.

쇄석을 유용한 크기로 파쇄하기 위해서는 쇄석을 별도의 파쇄 장비로 운반하여 파쇄 작업을 수행하는 것이 일반적이나 일본의 JEC사에서 개발한 콘크리트 쇄석 파쇄 장비는 굴삭기에 장착하여 사용할 경우 쇄석을 운반하는 것과 동시에 파쇄를 할 수 있다. 버킷을 이용하여 쇄석을

운반하는 것처럼 장비에 쇄석을 담게 되면 굴삭기 운전원의 간단한 조작에 의해 쇄석이 파쇄되면서 지면으로 떨어지게 되며 이 장비는 시간당 24톤의 쇄석 파쇄 능력을 가지고 있다.

4.3 기술동향 분석

상기에서 언급한 국내외 기술동향을 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 국내의 경우 기성 콘크리트 파일의 사용량은 지속적으로 증가하고 있으나 파일공사의 대부분이 노동집약이며 열악한 작업환경 내에서 이루어지고 있다. 또한 파일공사의 생산성과 품질이 노무자의 작업 숙련도에 크게 영향을 받는 등 다양한 문제점이 지적되어 왔으나, 이를 개선하기 위한 창의적인 연구개발 노력은 매우 미흡하였다.

2) GPS를 이용한 해상 파일 향타위치 자동제어 기술은 본 연구에서 제안하고 있는 기성 콘크리트 파일공사를 위한 연직도 자동제어 기술개발에 대한 응용성은 높다고 사료되나, 고도의 정밀성이 요구되는 고가의 GPS 장비가 요구되므로 해상 파일공사에 비해 지상 파일공사에서의 GPS 적용성은 비용이 효과적이지 못한 것으로 판단된다.

3) 캐나다 LBT사에서 개발한 사각형 콘크리트 파일의 절단 및 두부정리를 위한 파일 절단기는 아직 실험단계에 있으며, 국내 대부분의 건설현장에서는 원형 콘크리트 파일을 사용하며 두부를 절단하지 않고 강선을 남겨두기 위하여 두부를 파쇄하므로 그 활용도는 매우 낮을 것으로 사료되나 이 연구로부터 기성 콘크리트 파일 두부정리에 대한 자동화 장비개발의 기술적 타당성을 확인하였다.

4) 일본의 JEC사에서 개발한 콘크리트 쇄석 파쇄 장비는 기성 콘크리트 파일 두부정리 작업시 발생하는 잔재처리를 목적으로 개발된 것은 아니나, 이러한 개념을 활용하여 콘크리트 잔재물을 5cm 이하로

파쇄하였을 경우 현장에서 잡석으로 사용 가능하므로 이 기술을 콘크리트 파일공사에 응용할 경우 그 활용도가 높을 것이다.

### 5. 연구개발의 목표 및 내용

본 연구의 최종 목표는 기성 콘크리트 파일공사의 자동화 시공을 위한 두 가지 유형의 장비를 개발하는 것이며, 각 장비는 시작품(프로토타입)의 형태로 제작되며 시험실 실험 및 현장적용 실험을 통해

상용제품 개발의 직전 단계 수준의 파일 자동화 장비를 개발하는 것을 최종 목표로 설정한다.

- 장비 1: 기성 콘크리트 파일 설치를 위한 사전 굴착 작업시 연직도를 실시간으로 측정하여 굴착작업을 자동 제어하는 장비의 개발(연직도 자동 제어 장비)
- 장비 2: 기성 콘크리트 파일 설치 후 두부정리를 위한 자동화 장비의 개발(두부정리 자동화 장비)

표 2. 연차별 주요 연구 내용

연 차	주요 연구 내용
1차년도 (2003년)	○ 기성 콘크리트 파일 공사 현황 및 작업 분석 ○ 국내외 파일 공사 관련 연구 및 기술 동향 파악
2차년도 (2004년)	○ 자동화 장비 개발 시 고려요소 도출 및 요소기술 파악 ○ 자동화 장비의 개념 디자인 및 파일롯 타입의 개발
3차년도 (2005년)	○ 파일롯 타입의 시험실 실험을 통한 설계 파라미터 도출 ○ 자동화 장비의 구동을 위한 센싱 및 제어 알고리즘의 개발 ○ 자동화 장비의 하드웨어, 소프트웨어 및 인터페이스 개발을 통한 프로토타입 설계 및 제작 ○ 자동화 장비의 성능 측정을 위한 평가 모델 개발 ○ 프로토타입의 시험실 실험 및 현장 적용성 검토 ○ 프로토타입의 문제점 분석 및 개선 사항 도출 ○ 프로토타입의 수정 보완, 현장 실험 및 성능 측정 ○ 파일공사 자동화 장비 제작을 위한 상세설계
	○ 파일공사 자동화 장비의 제작, 현장실험 및 개선 ○ 파일공사 자동화 장비의 완성 ○ 파일공사 자동화 장비의 성능 분석 ○ 파일공사 자동화 장비의 활용이 기존 생산체계에 미치는 영향 분석 ○ 파일공사 자동화 장비의 상용화 전략 및 수익모델 개발 ○ 개발 장비 및 요소기술의 응용분야 및 활용방안 제시

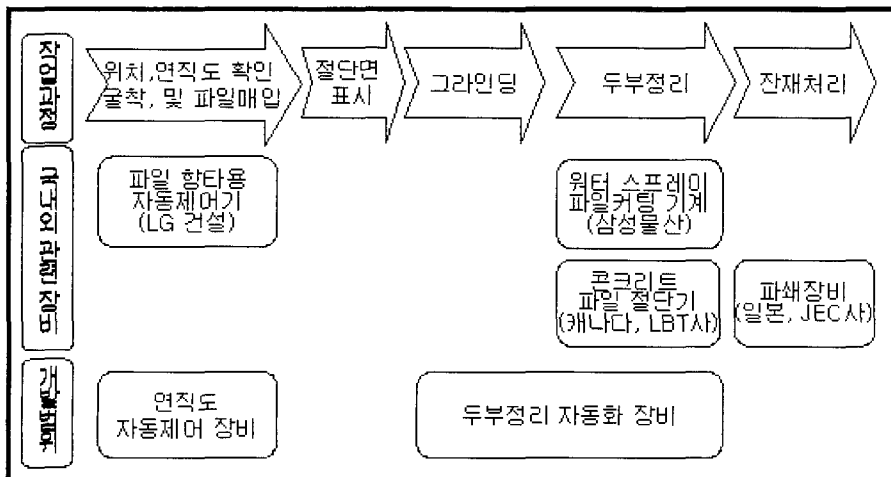


그림 6. 파일공사의 세부작업별 장비개발 현황 및 장비개발 범위

그림 6에서 세부작업별로 개발된 장비를 나타내고 있으며, 현재 추진하고 산학연 과제의 범위를 명시하였다. 또한 표 2에서는 연차별 주요 연구 내용을 요약하고 있다. LG 건설의 향타용 자동제어기는 비용측면에서 육상공사에서는 적절하지 못하며, 삼성물산의 파일커팅 기계는 강관 파일만을 작업 대상으로 하므로써 전체 파일 출하량의 95% 정도에 이르는 콘크리트 파일에는 적용할 수 없는 한계를 가지고 있다. 또한 캐나다의 콘크리트 파일 절단기는 사각형 파일에만 적용이 가능하며 강선을 두부정리면에서 절단을 해 버리는 문제가 있어 국내 실정에 맞지 않는다. 따라서 국내 실정에 알맞으며 기존의 개발된 파일공사 관련 장비와의 차별성을 갖는 파일의 연직도 제어 및 파일 두부정리를 위한 장비를 개발하고자 하는 것이 연구목표이다.

### 6. 기대효과 및 결론

#### 6.1 기대효과

본 연구과제가 성공적으로 수행되어 개발된 장비가 현장에 적용이 된다면 다음과 같은 기대효과를 예상할 수 있을 것이다.

- 1) 기성 콘크리트 파일공사의 자동화 기술 개발을 통한 안전한 작업환경 조성 및 건설산업의 이미지를 제고할 수 있다.
- 2) 파일설치를 위한 사전 굴착작업시 연직도 확인을 위한 첨단 제어계측 기기의 활용 및 적용을 통하여 궁극적으로 품질 향상을 도모할 수 있다.
- 3) 인력 의존형 작업의 자동화 장비개발을 위한 다양한 요소기술의 개발을 통하여 건설기술력 향상을 도모할 수 있다.
- 4) 인력대체형 자동화장비의 개발을 통하여 자동화시공의 활성화를 도모하는 계기가 될 것이고 궁극적으로는

기존의 생산방식의 변화를 도모하게 될 것이다.

- 5) 인력 대체용 장비의 개발을 통한 인건비 절감 및 안전사고의 근원적 위험 요소를 제거함으로써 경제적 수익성을 확보할 수 있다.
- 6) 건축 및 토목 공사를 위한 기성 콘크리트 파일의 수요가 증가하고 있는 현 시점에서 파일공사의 자동화를 통한 일일 생산성 및 경제성 향상은 원가절감의 효과를 기대할 수 있다.
- 7) 새로운 장비의 개발 및 수출을 통하여 해외 건설시장에서의 기술력 우위를 통한 경쟁력 확보 및 수익성 증진에 기여할 수 있다.
- 8) 성공적 기성 콘크리트 파일공사의 자동화 장비의 개발은 건설자동화 장비개발 및 투자에 미흡한 국내 건설산업에 있어 건설자동화 시스템 개발을 통한 경제적·사회적 긍정적 파급효과를 제고시킬 것이며, 이를 통해 민간기업의 기술개발 의욕을 고취시킴으로써 급변하는 해외건설 시장에 능동적으로 대처할 수 있는 기술적 능력을 배양하고자 하는 동기부여가 될 것이다.

## 6.2 결론

본 논문에서는 현재 수행중에 있는 건설교통부의 산학연 과제인 파일공사를 위한 자동화 장비 개발에 관한 연구를 소개하였다. 기성 콘크리트 파일공사를 위한 자동화 장비의 개발을 통해 인력 위주의 작업을 자동화 장비로 대체 함으로써 노무비 절감, 생산성 향상 및 안전한 작업 환경을 조성 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 성공적인 자동화 장비 개발 및 민간으로의 기술이전을 통하여 건설기계 및 장비산업분야의 획기적인 기술혁신을 도모하게 될 것이며, 건설산업의 자동화 시공 분야의 요구 층대로 인해 전기·전자·기계·메카트로닉스 산업 분야에서도 건설 자동화에 대한 필요성(Needs)을 인식하여 연구·개발을 주력하게 되어 자동화시공 분야의 연구개발 활성화로 이어질 것으로 사료된다.

향후, 기성 콘크리트 파일의 향타 위치 파악, 굴착작업의 연직도 자동제어, 두부정리, 잔재물 처리 기능을 일체화한 보다 진보된 자동화 장비의 개발에 대한 연구가 요구되며, 토질상태에 따른 최적의 파일향타 공법, 소음 및 진동의 예방 등을 포함한 파일향타를 위한 자동화 시스템의

개발을 실시하고 본 연구개발사업과의 연계를 통하여 콘크리트 파일공사 자동화 시스템을 구축해야 할 것이다.

본 연구과제는 실용성에 중점을 두고 시작한 연구로서 건설자동화 전문가, 파일공사용 장비를 개발 및 판매를 하는 산업체, 그리고 메카트로닉스 전문업체와의 공동연구 체제를 확립하므로써 시너지 효과를 발휘하여 현장 적용성이 아주 높은 장비 개발이 가능할 것으로 생각이 된다. 아직은 연구과제의 초반이라서 많은 사항을 소개하지 못했지만, 연구가 진행됨에 따라서 구체적인 장비 모델들을 소개할 수 있을 것으로 생각이 된다.

## 참고자료

1. 인하대, (주)에이엠티 (2001). 콘크리트 파일 기초 두부정리 자동화 장비 개발에 관한 연구, 연구보고서, 인하대학교
2. 한국건설기술연구원 외 (2002). 기성 콘크리트 파일 기초공사를 위한 자동화 장비의 개발 (파일향타시 연직도 자동제어 및 두부정리 자동화 중심으로), 연구과제 제안서, 한국건설기술연구원