

# PHC 파일 시공성능향상을 위한 연직 자동제어 파일롯타입의 개발

## Development of the Automated Vertical Controllable Pilot-type Equipment for Improving Construction Performance of PHC Piles

조창연\* · 이준복\*\* · 김한수\*\*\* · 김정태\*\*\*\* · 조문영\*\*\*\*\*

Cho, Chang-Yeon · Lee, Junbok · Kim, Han-Soo · Kim, Jeoung-Tae · Cho, Moon-Young

### 요 약

대부분의 건축·토목공사의 기초공사 시 사용하는 기성콘크리트 파일공사의 굴착 및 파일 매입 작업의 경우 국내 시방기준에는 파일을 연직으로 시공해야 한다는 것만이 명시되어 있을 뿐, 이에 대한 측정기준 및 시공기준이 제시되어 있지 않으며, 대부분의 시공현장에서는 숙련노무자의 경험을 통한 육안측정에 의존하고 있는 실정이다. 본 연구의 목적은 파일공사시 균일한 품질을 확보하고 작업의 안전성 확보 및 생산성 향상을 위한 파일 연직 자동제어를 위한 파일롯타입을 개발하는 것이다. 연구 목적을 만족시키기 위하여 수행한 주요 연구내용으로 국내 시방기준 및 현장 조사를 통하여 파일 공사에서의 연직도 측정 및 제어 현황을 파악하고, 이를 토대로 파일공사시 연직도 측정 및 제어작업을 효율적으로 수행할 수 있도록 파일드라이버 장비의 기능 향상을 위한 장비의 개념설계를 실시하고, 파일롯타입 장비를 제작하여 성능실험을 실시하고 연직 자동제어 장비 프로토타입 개발을 위한 기초 자료를 제시한다.

키워드 : 기성콘크리트 파일, 연직도, 파일드라이버, 자동화장비, 서보시스템, 파일롯타입

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

공동주택 및 주상복합 건물 등 대부분의 건축·토목공사의 기초공사 시 사용하고 있는 기성콘크리트 파일공사(이하 PHC 파일공사)는 파일 심보기, 굴착 및 파일 매입, 두부정리 작업으로 구분될 수 있다. 이 중 굴착 및 파일 매입 작업의 경우 국내 시방기준에 따르면 파일을 연직으로 시공해야 한다는 것만이 명시되어 있을 뿐, 이에 대한 측정기준 및 시공기준이 제시되어 있지 않다. 이로 인하여 대부분의 시공현장에서는 숙련노무자의 경험을 통한 육안측정에 의존하고 있는 실정이다.

그러나 시공 시 파일의 연직성을 확보하지 못할 경우 파일에 휨 모멘트가 발생하게 되며, 발생된 휨 모멘트가 파일 재료의 허용 파괴한도를 초과하게 되면 파일이 파괴되거나 하중 지지력이 저하되는 등의 문제점이 발생된다. 따라서, 기성콘크리트 파일공사시 실시간으로 파일의 연직성을 확보하면서 작업을 할 수 있는 연직 자동제어 장비 개발의 필요성이 요구된 것이다.

본 연구에서는 국내 시방기준 및 현장 조사를 통하여 파일 공사에서의 연직도 측정 및 제어 현황을 파악하고, 이를 토대로 파일공사시 연직도 측정 및 제어작업을 효율적으로 수행할 수 있도록 파일드라이버 장비의 기능향상을 도모하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

기성콘크리트 파일 기초공사는 크게 직접항타 공법과 선굴착 후항타공법으로 구분할 수 있으며 현재 도심에서는 소음, 진동, 분진 등의 환경문제로 인하여 직접항타 공법은 거의 사용되지 못하는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 현재 가

\* 정회원, 홍익대 건축공학과, 석사과정

\*\* 정회원, 홍익대 건축공학과 조교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 세종대 건축공학과 조교수, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, AMT 대표이사, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 건설경영정보연구부장, 공학박사

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

장 많이 사용 중인 선굴착 후향타공법을 대상으로 사용 중인 파일드라이버에 대하여 연직도 자동측정 및 제어기능을 부여하는 것으로 연구의 범위를 한정한다. 파일롯타입을 제작하여 성능평가를 실시하고 그 결과를 파일드라이버 연직도 자동 제어 장비 프로토타입 개발을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

본 연구에서 수행한 연구의 주요내용 및 방법은 다음과 같다.

- 1) 문헌고찰 및 현장조사를 통하여 기존의 연직도 측정 및 제어작업의 실태분석 및 현행 작업 프로세스의 문제점을 분석하고 자동화 대상작업을 선정하였다.
- 2) 국내외의 연직도 측정 및 제어관련 개발사례 조사를 통하여 연직도 자동측정 및 제어 장비 개발을 위해 요구되는 요소기술 및 관련기술을 분석하였다.
- 3) 도출된 자동화 대상작업과 요소기술을 통하여 연직도 측정 및 제어 자동화 장비의 개념디자인을 제시하였으며, 이에 대한 파일롯타입을 제작하여 성능 실험을 실시하였다.
- 4) 성능 실험을 통하여 PHC 파일 연직도 측정 및 제어 자동화 장비의 프로토타입 설계파라미터를 도출하였다.

## 2. 기성 콘크리트 파일 연직 측정 및 제어 작업

### 2.1 현행 연직도작업 프로세스 및 문제점 분석

현행 연직도 측정 및 제어작업시 사용되는 장비의 특징을 파악하고자 파일드라이버 장비 및 관련부품을 조립/생산하는 경상남도 울산에 위치한 OO기업 공장 방문을 실시하였으며, 현행 선굴착 후향타공법의 프로세스 파악을 위하여 4개소의 현장조사를 실시하였다.

선굴착 후향타공법에 사용되는 대표적인 파일드라이버는 그림1과 같다.

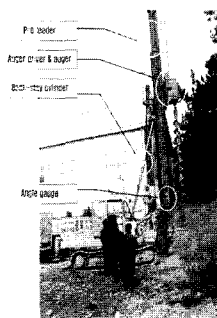


그림 1. 선굴착 후향타공법에 사용되는 파일드라이버

그림 1에서 보듯, 파일드라이버는 크게 운전석과 유압 동력을 공급하는 모터가 있는 본체와 파일공 굴착 작업을 위한 오거 및 오거드라이버, 오거가 일정한 궤도에서 이동할 수

있도록 하는 파일 리더, 리더의 운동을 제어하는 back-stay cylinder 및 리더 측면에 부착된 angle gauge로 구성된다.

현장 조사<sup>6)</sup>를 실시한 결과 선굴착 후향타 작업 프로세스는 세부 작업에서의 다소간 차이는 보이고 있으나 다음의 그림 2와 같이 정리할 수 있다. 첫째, 노무자가 철근으로 파일의 위치를 지정해 주고, 수신호로 파일 리더의 위치를 설정하여 준다. 둘째, angle gauge로 파일드라이버의 운전자가 연직도를 체크한 후 현장기사 또는 숙련노무자가 다림추를 이용하여 파일 리더의 연직도를 육안으로 점검한다. 셋째, 오거를 이용하여 굴착위치에 천공을 시작한다. 넷째, 천공완료 후 오거에 부착된 스크류를 인발하고, 파일을 이동시킨다. 다섯째, 인발된 파일 천공구로 파일을 삽입한다. 여섯째, 파일 삽입이 완료되면 목표심도까지 파일을 자유낙하식으로 향타하여 향타작업을 완료한다. 일곱째, 향타완료 후 다음 파일위치로 이동한다.

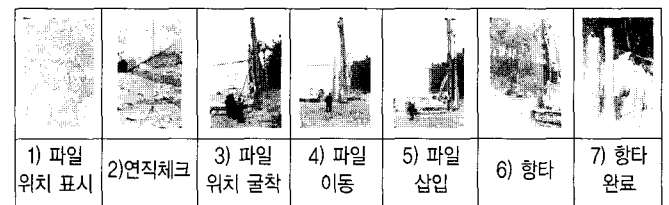


그림 2. 선굴착 후향타공법 작업 프로세스

4개 현장별 연직도 측정/제어 작업 방법을 비교하면 다음의 표 1과 같다.

표 1. 4개 현장간 연직도 측정/제어작업 비교표

구분	측정 방법	OO대학교 산학협력관	수원망포 아파트 공사현장	용인시 행정타운 신공공시현장	일산가좌 아파트 현장
		연직도 측정			
angle gauge를 이용한 측정		○	○	○	×
물수평자를 이용한 측정		×	○	○	○
다림추를 이용한 측정		×	×	○	○
인접건물과의 수평 여부를 이용한 측정		×	○	○	○

연직도 측정방식은 ①차량에 부착된 angle gauge를 이용한 운전자의 1차적인 확인작업, ②보조노무자가 물수평자를 이용하여 리더의 연직도를 측정하는 방법, ③다림추를 이용하여 보조노무자 또는 현장감독자가 육안으로 리더기와의 수평여부 확인을 통한 연직도 측정, ④인접건물과의 수직/수평 여부를 보조노무자 또는 현장감독자가 육안으로 검토하는 방

6) OO대학교 산학협력관 현장, 수원 망포 아파트 공사현장, 용인시 행정타운 현장, 일산가좌 아파트 현장, 일산 무역센터 건립현장

법 등이 있다.

상기의 표 1과 같이 일산 가좌아파트 현장을 제외한 3개 현장에서 굴착작업 전 연직도 측정을 위하여 파일드라이버 차체에 angle gauge를 부착하였으며, 이를 이용하여 1차적인 측정이 실시되었다(그림 3 참고). 또한 OO대학 산학협력관 현장을 제외한 3개 현장에서 물수평자를 이용한 보조노무자의 육안측정이 실시되었으며, 용인 행정타운 신축공사현장과 일산 가좌아파트 현장의 경우 다림추를 2개소(X-Y축 직각방향 2개소) 이용한 육안측정이 실시되었다.

연직도 제어작업의 경우 목표굴착심도 1/3 지점까지 굴착작업을 진행한 후 파일드라이버 리더의 수직여부를 연직도 측정과 동일한 방법으로 진행한 후 연직에 문제가 없다고 판단되면 작업을 진행하는 것으로 실시하였다.

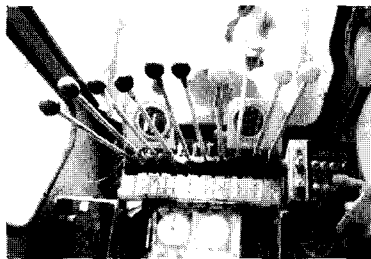


그림 3. 차체 수평계(angle gauge)를 사용한 연직도 측정 방법

국내 시방서를 분석한 결과, 모두 파일항타 시 수직을 유지할 수 있는 장비를 구비하거나, 혹은 수직을 맞춰서 작업해야 한다는 것은 언급되어 있으나 수직을 측정하는 방법이나 기준에 대한 명확한 설명은 없는 실정이다. 이와 같이 현재는 파일의 연직도에 대한 측정방법 및 판단기준이 명시되어 있지 않기 때문에 건설구조물의 하중을 지지하는 기초로서 매우 중요한 의미를 갖는 파일의 연직도는 노무자의 숙련도에 의존하는 경향이 강하며, 노무자의 오판으로 인하여 발생할 수 있는 파일의 허용 파괴한도 초과로 인한 파손, 파일의 하중 지지력 저하 등은 건축물의 구조적 불안전성을 유발할 수 있다.

2.2 자동화 장비의 필요성 및 타당성 분석

개발하고자 하는 자동화 장비의 타당성을 분석하기 위해 현장조사를 통한 작업원의 생산성을 측정하였다.

생산성 측정을 위하여 본 연구에서는 5분 측정기법(5-

minute rating)<sup>7)</sup>을 이용하였다. 측정 작업은 파일위치 지정, 리더 연직도 측정, 파일천공, 파일드라이버 주변까지의 파일운반, 파일내리기, 파일항타, 파일 주변정리 등의 단위작업이 포함된 매입 공정이며, 주요 측정대상은 백호(backhoe)운전원 1인, 파일드라이버 기사 1인, 보조노무자 1인 등 3인이다. 총 10분의 파일 항타 과정을 관찰하였으며, 1사이클의 평균시간은 11분 20초로 측정되었다.

표 2에서 보듯 개별 작업원의 생산성은 백호 운전원(100%), 파일드라이버 운전원(77%), 보조노무자(15%)의 순으로 분석되었다. 즉, 보조노무자는 측정된 파일공사 공정 중 초기작업인 파일 위치 지정 연직도 측정 작업만을 담당하고 있어 그 외에는 비작업 시간(idle time)인 것으로 조사되어 상대적으로 낮은 생산성을 보이고 있다. 또한 이때의 작업생산성에 포함되는 연직도 측정부분도 역시 노무자의 숙련도 여부에 의하여 시공품질이 결정되며, 객관적인 측정 및 제어방식은 없다.

또한 연직도 측정 작업의 경우도 측정결과 소요시간이 5초 이내인 것으로 판단되었으며, 보조노무자의 경우 5초간의 작업을 행수하기 위하여 10분 이상의 idle time을 가지는 것으로 측정되었다.

표 2. 5분 측정기법을 통한 생산성 측정결과표

작업원 구분	측정횟수 (A)	작업(working)횟수(B)	생산성(B/A *100)
백호운전원	52	52	100
파일드라이버 운전원	52	40	77
보조노무자	52	8	15
전체	156	100	64

표 3. 현장작업 측정 항목별 설명

작업주체	작업내용	
• N1 : 보조노무자	• 파일 위치 지정	a
	• 리더 연직도 측정	b
	• 파일 천공	c
• P : Pile Driver 운전원	• 파일 운반	d
	- 파일드라이버 주변까지	
	• 파일 내리기	e
• B : Backhoe 운전원	• 파일 항타	f
	• 파일 주변정리	g

전체 작업 내용의 흐름에 있어 보조노무자가 수행하는 부분은 작업의 특성과 관련지어 분석해 보면, 전체 작업의 수행의 시간 점유율, 작업과의 직접적인 연계성 부분에 있어서 다음과 같이 설명 할 수 있다.

우선 작업 수행의 소요 시간에 있어서는 다른 주요 투입장비들과 대비하여 보았을 때 그 수행정도가 상당히 낮은 부분을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 보조노무자가 파일 항타

7) 측정대상 개별 작업원이 측정시점에서 작업을 하고 있는지(working), 혹은 작업지연 또는 비작업(non-working)상태인지를 측정하여 전체 측정횟수 대비 작업으로 구분되는 측정횟수의 비율을 파악하여 생산성을 판단하는 생산성 측정기법이다.

작업에 있어서 전체적인 생산성 부분에 있어서 차지하고 있는 작업수행의 효율성 부분에서 중요도가 작으며 또한 작업과 직접적으로 관련된 생산 활동시간이 많지 않아 생산성이 저조하다.

파일드라이버 굴착작업과의 연계성 부분에 있어서도 보조노무자가 수행하고 있는 작업의 상당 부분이 본 작업의 프로세스 상에서 별다른 영향력을 지니고 있지 않은 작업으로, 전체적인 흐름에 있어서 오히려 생산성 저하요인으로 작용될 여지가 있다.

결과적으로, 파일 항타 작업에 있어서 연직도의 확보는 작업의 정확성과 탄력적인 작업수행을 위해서 요구되며, 작업의 수행에 있어서 비효율적인 요소의 감소를 위해서도 필요한 요소 기술이라 사료되어 장비 개발의 필요성과 중요성은 강조된다.

2.3 국내외 관련 기술 개발 동향

(1) 국내 기술개발 현황

현재 국내에서 연구 개발된 파일의 거동 및 파일드라이버의 조종에 관련된 기술들은 표 4와 같이 요약할 수 있으며, 주요 내용은 다음과 같다.

표 4. 국내 파일드라이버 및 파일항타 관련 기술

파일드라이버 연직도 관련 기술	파일 거동 관련 기술	파일드라이버 관련 유사기술
1. 축의 착탈식 수직도 측정 및 조정장치	- 고속 라인 스캔 카메라를 이용한 항타량 변위측정 기술	- 항타기의 전도방지 장치
2. 천공기의 수직 보정 가이드 장치		
3. 오거머신용 수직조절 장치		

첫째, 축의 착탈식 수직도 측정 및 조정장치 기술은 일반적인 설비에 고정된 축의 수직도를 신속하고 정확하게 측정 및 조정할 수 있도록 하는 착탈식의 장비이다. 둘째, 천공기의 수직 보정 가이드 기술은 소형 파일드라이버의 헤드가이드를 수직으로 보정하기 위하여 헤드가이드의 하단부를 착탈식 장치로 지지하여 흔들림을 방지하면서 강제적으로 자세를 고정시키는 기술이다. 셋째, 오거머신용 수직조절 장치 기술은 오거머신을 백호를 개조한 크레인에 장착하여 굴착작업을 행하고자 할 시에 리더를 지반과 수직방향으로 조절할 수 있도록 하여 작업 효율성을 높이고자 개발한 기술이다. 그 외 유사기술로는 고속 라인스캔 카메라를 이용한 항타량 변위측정 기술과 항타기기의 전도방지 장치 기술 등이 있으며, 고속 라인스캔카메라를 이용한 항타량 변위측정 기술은 PHC

파일 직접항타작업 시 PHC파일의 거동변위를 실시간으로 측정·기록하는 기술이며, 항타기의 전도방지장치는 작업 종료 후 파일드라이버를 현장에 대기시키는 경우 발생할 수 있는 파일드라이버 전복 방지를 위하여 강제적으로 파일드라이버 리더를 고정시키는 장치이다.

(2) 국외 기술개발 현황

국외 관련기술로는 첫째, 리더가 실린더 로드를 전진시킬 때의 가속도 감소를 통하여, 작업 시작 시 일시적인 컨트롤 시스템의 탈선을 방지함으로써 작업차량의 안정성을 확보하고자 고안된 Automatic Vertical Controlling Device for Pile Driver기술이다. 둘째, 분쇄, 굴착 및 석재 파괴작업 등에 사용되는 장비의 상하진동으로 인하여 발생할 수 있는 장비 자체의 고장 및 운전자의 작업효율 하락을 예방하기 위하여, 충격방지 공구와 브라켓의 양측을 지지하여 진동을 방지하고자 하는 충격공구지지장치가 일본에서 개발되었다.

위에서 살펴본 바와 같이, 현재까지 개발된 기술은 파일드라이버에 부수적인 장비를 장착하여 파일드라이버 리더의 자세를 고정시키거나, 천공 또는 파일항타 작업전에 장비를 아날로그 방식으로 자세를 조정하고자 하는 것으로서 작업 중에 발생할 수 있는 변위를 지속적으로 측정하고 제어하는 기능을 갖추지 못한 것으로 분석되었다.

2.4 연직도 자동화 장비 개발을 위한 작업 범위 선정

연직도 측정 및 제어의 자동화 기술 개발시 고려되어야 하는 요소를 도출하기 위해서 작업프로세스와 고려항목과의 매트릭스 도표(그림 4)를 작성하여 중요도를 분석하였다. 자동화 대상 task를 결정하는 고려항목으로는 작업의 안전사고의 위험성, 작업의 난이도, 인력에 의한 측정 및 제어의 한계, 비용적 측면 등을 우선 검토대상으로 하였으며, 4곳의 현장조사와 자문회의를 통하여 그 중요도를 분석하였다.

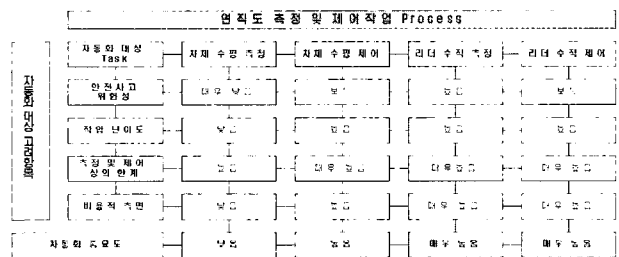


그림 4. 자동화 중요도에 관한 Matrix분석

이와 같은 매트릭스 분석기법을 통하여 자동화 요소 고려항목을 분석한 결과 차체의 수평측정의 경우 자동화 시에도

비용의 개선이나 안전사고 위험도가 낮게 평가되었으며 차체 수평제어의 경우도 비용적 측면에서의 자동화 중요도 및 안전사고 위험도가 크지 않은 것으로 평가되어 중요도가 낮은 것으로 분석되었다.

반면 파일드라이버가 굴착위치에 정착한 후 행해지는 파일드라이버 리더의 연직도에 대한 측정과, 파일삼입공 굴착작업 시 파일드라이버 리더의 연직도에 대한 제어 작업의 경우는 작업 중 안전사고 위험도가 높으며, 작업 난이도도 기존의 방식은 숙련공의 경험에 크게 의존하고 있는 실정이다. 또한 비용적인 측면에서도 파일이 잘못 시공되어 재시공하는 비용의 발생, 안전사고로 인한 안전비용 발생 측면을 고려하였을 때 자동화 중요도가 매우 높은 것으로 평가되었다. 따라서 본 연구의 주요 자동화 대상작업은 연직도 측정 및 제어작업 두 가지로 한정하고 그 내용은 다음과 같다.

첫째, 매입공법 작업프로세스 중 파일드라이버가 굴착위치에 정착한 후 행해지는 파일드라이버 리더의 연직도를 자동으로 측정할 수 있어야 한다. 이를 통하여 현재 보조노무자의 작업속련도에 의하여 영향을 받는 현재의 시공 상의 문제점을 해결할 수 있어야 한다.

둘째, 리더의 연직도 측정 완료 후 행해지는 굴착작업 시 파일드라이버 리더의 연직도를 자동 측정 및 자동 제어할 수 있어야 한다. 이는 현재 굴착작업 시작 이전에만 행해지는 연직도 측정 작업을 굴착작업 중에도 실시간으로 연직도를 자동으로 측정, 제어할 수 있도록 하여 균일한 시공 품질확보를 도모할 수 있다(그림 5).

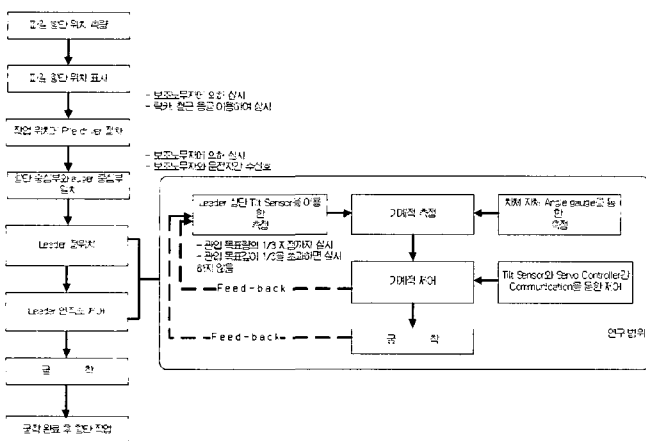


그림 5. 개발장비 목표 작업 프로세스

2.5 연직도 자동화 장비 개발을 위한 고려 요소기술

(1) 연직도 자동화 장비의 고려요소

2.4의 두 가지 대상작업 수행이 가능한 자동화 장비를 제

작하기 위한 고려 요소기술은 다음과 같다.

- ① 파일드라이버 리더가 중력방향에 대하여 수직인지 여부를 측정할 수 있는 디지털방식의 위치측정 센서를 선정한다.
- ② 현재의 파일드라이버 유압 실린더를 자동 제어할 수 있는 디지털 유압밸브를 개발한다.
- ③ 선정된 위치측정센서와 연동하여 디지털 유압 밸브를 자동 제어할 수 있는 시스템을 개발한다.
- ④ 리더의 높이 증가로 발생하는 변위에 대해 능동적인 대처 가능한 시스템을 개발한다.
- ⑤ 보조노무자의 도움 없이 자주적인 작업수행이 가능하며, 운전자의 주관적인 판단에 의존하지 않는 객관적이고 명확한 자동측정 및 제어가 가능한 시스템을 개발한다.

3. 연직도 자동화 파일럿타입 장비의 개발

3.1 개발 방향 설정 및 개념설계

앞서 제시된 연직도 작업의 문제점들을 해결하고 자동화 대상 작업으로 선정된 4가지 주요 기능을 수행하기 위한 파일럿타입 자동화 장비의 4가지 대안을 제시하였으며, 이를 바탕으로 다양한 분석을 통하여 최적대안을 선정하여 개념설계를 실시하였다(그림 6 참조).

(1) 파일럿타입별 주요 기능 및 대안별 비교

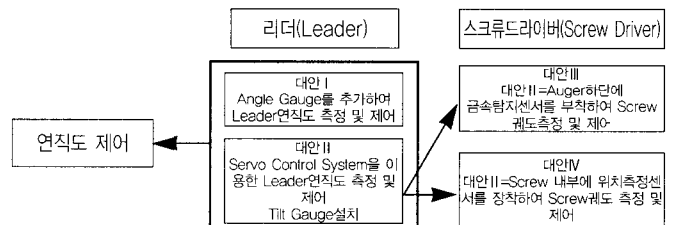


그림 6. 자동화 방안 대안별 설명

대안 1은 리더와 back-stay cylinder가 만나는 부위에 angle gauge를 추가로 부착하여, 두개의 angle gauge에서 측정된 리더의 거동에 대해 차체의 유압 pump 제어가 연계하여 반응할 수 있는 장비를 제안한 것이다. 대안 2는 두개의 back-stay cylinder에 각각 servo system(이하 서보시스템)을 설치하여 back-stay cylinder의 선형거동을 실시간으로 측정하여 이를 유압 pump제어기와 연계하여 리더의 연직도를 자동 제어하는 대안으로 tilt gauge에서 측정된 힘거동 변위를 back-stay cylinder에 대응시켜 수직에 대한 오차범위를 감소시킨다. 대안 3은 대안 2에 추가적으로 오거 드라이버 하단에 금속탐지 센서를 부착하여 천공작업을 수행하는 스크류의 궤적을 실시간으로 측정하는 것이다. 대안 4는

대안 2에 추가적으로 스크류 드라이버간의 절점부 내부에 위치측정 센서를 부착하여 스크류 드라이버에서 발생하는 휨모멘트로 인한 천공구 굴착불량을 선 감지하도록 하는 안이다.

(2) 최적대안 설정

본 연구에서 최적의 개념설계 선정을 위해 현재 실현가능한 기술성 항목과 현장 적용시 내구성이나 사용자 편의성에 관한 항목, 개발장비 도입 시의 경제성에 관한 항목 3가지를 이용하여 자체평가를 수행하였다. 대안 2의 경우 리더의 휨모멘트를 해석하고, back-stay cylinder를 제어하는데 있어서 아날로그 방식을 사용하는 대안 1보다 정확성과 기술적 타당성이 높은 것으로 평가되었다. 또한 back-stay cylinder의 변위를 측정하여 그에 대응하는 시스템을 개발한다는 면에서 가장 현실적인 타당성을 가진 것으로 평가되었다. 대안 3과 대안 4의 경우는 현재의 기술력으로는 경제적 측면이나 기술적 측면 모두 적용하는데 한계가 있는 것으로 평가되었다. 위와 같은 평가 결과 본 연구는 대안 2를 바탕으로 개념설계를 실시하였다.

(3) 개념설계

개념설계의 골격은 기존의 파일드라이버에 두개의 back-stay cylinder에 각각 서보 밸브 및 linear transducer를 설치하여 back-stay cylinder의 선형거동을 실시간으로 측정, 제어하며, 리더의 상/하단에 각각 1개씩의 tilt gauge를 부착하여 리더의 변위 및 휨거동 변형 등에 대한 변위를 실시간으로 측정하는 것이다. 이를 서보 시스템과 연계하여 리더의 연직도를 자동 제어하는 안이다.

2개소의 tilt gauge에서 측정된 리더의 휨거동 변위를 back-stay cylinder의 변위를 측정하는 linear transducer에 대응시키면 수직에 대한 오차범위를 감소시킬 수 있다. 그림 7은 리더의 거동에 대한 tilt gauge 값의 변화와 back-stay cylinder 및 linear transducer간의 상

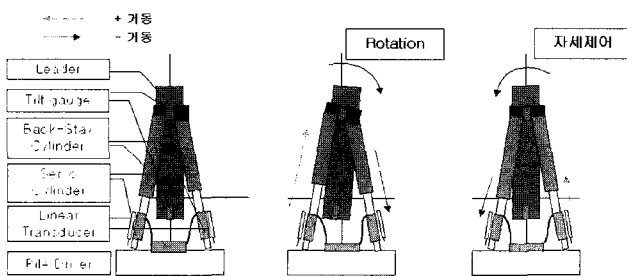


그림 7. 서보 시스템을 이용한 파일롯타입 개념설계

호작용을 보여준다.

기존의 장비는 리더 하단에 아날로그 방식의 angle gauge 1개가 부착되어 있으나 본 장비에서는 리더 상/하단에 디지털 방식의 2축 위치측정센서(digital biaxial clinometer)인 tilt gauge 2개를 설치(그림 8 참조)하여, angle gauge를 하단 1개소에 장착한 기존 장비가 장방형인 리더의 형태에서 기인하는 휨모멘트로 인한 리더 자체의 휨에 대한 측정이 불가능하다는 단점을 보완한다.

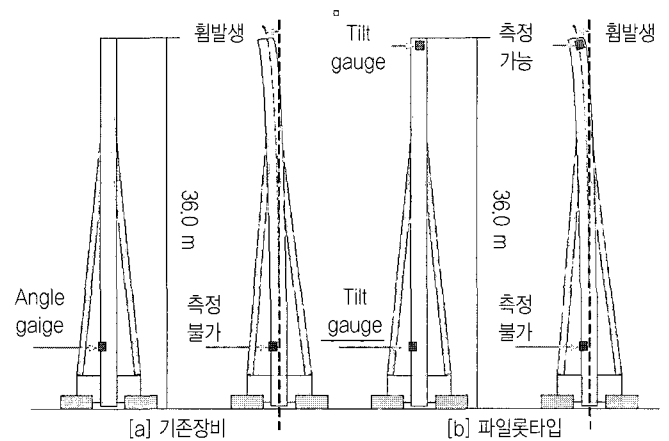


그림 8. 리더 변위 발생에 측정방법 비교

3.2 연직자동화 장비의 파일롯타입 제작 및 평가

(1) 상세설계

본 연구에서 개발한 파일롯타입은 1:20 scale 모델로서, 기존 장비에 사용되는 일반 유압시스템 대신 서보 시스템을 설치함으로써 제어 정밀도를 증가시켰다. 또한 기존의 파일드라이버 장비와의 가장 큰 차이점은 실린더 양쪽에 부착된 linear transducer를 이용하여 cylinder rod의 위치 값에 대한 피드백을 통하여 자동제어가 가능하도록 설계하였다(그림 9 참조).

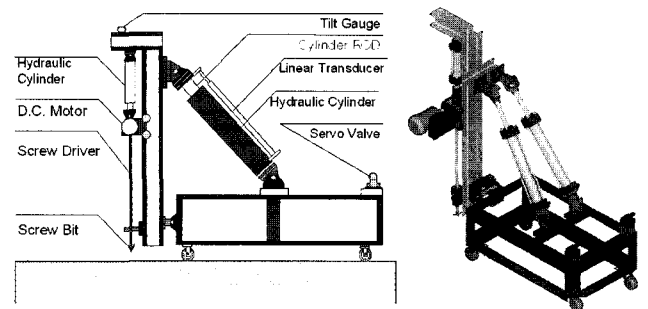


그림 9. 장비 구성도 및 3D 도면

본 파일럿타입 장비의 제원은 다음의 표 6과 같다.

표 6. 파일럿타입 장비제원

높이		1.73m		
너비		0.60m		
길이		1.50m		
하드웨어	실린더	실린더 타입		유압 서보 실린더
		실린더 사이즈	내경	38mm
			스트로크	400mm
		실린더 작동속도		10m/sec
		사용유압	최소	20kg/cm <sup>2</sup>
			최대	210kg/cm <sup>2</sup>
	사용유량		30L/min	
	서보밸브	공급가능유압		210kg/cm <sup>2</sup>
		공급가능유량		30L/min
		사용주파수		15Mhz
	틸트	측정한계		+/- 10V
	게이지	센서 민감도		0.1ms
피드백장치	linear transducer	측정전압	+/- 10V	
컨트롤러	CPU타입		인텔 CPM8401	
소프트웨어	제어프로그램		C	

(2) 실험결과 및 성능 평가

1차년도에는 파일럿타입의 성능실험을 3회에 걸쳐 실시하였다. 즉, 각 구성요소의 개별 기능실험(functional test : 1, 2차 실험)과 개별기능들이 연계된 시스템 동작실험(operational test : 3차 실험)이 실시되었다.

1차 실험은 서보밸브의 동작상태 이상유무 점검, 2차 실험은 tilt gauge와 연동했을 때의 서보 시스템 기능실험, 3차 실험은 파일럿타입의 구동상태 점검 및 2차년도 프로토타입 설계 파라미터를 도출하기 위하여 실시되었다.

각 실험별 주요 내용 및 결과는 다음과 같다.

1) 1차 기능실험 : 서보밸브 기능 실험(2003. 8. 20)

1차 실험은 서보밸브의 기능실험으로 유압 공급장치에서 공급되는 유압에 의해 서보 밸브가 적절하게 작동하는가를 판단하는 것이 목적이다.

시스템의 구성은 유압 공급장치, 서보밸브, linear transducer, 컨트롤러의 4가지로 구성된다. 먼저 유압공급장치는 기계작동유를 20kg/cm<sup>2</sup> 부터 220kg/cm<sup>2</sup>까지 그리고 유량은 30L/min까지 공급할 수 있는 장치로 본 1차 실험에서는 70kg/cm<sup>2</sup>, 30L/min공급 성능을 설정하여 실험을 하였다. 서보밸브는 컨트롤러에서 보내는 아날로그 신호에 비례하여 개구가 조정되는 형식으로, 신호는 0에서 40mA까지 공급하였고 그때에 개구가 적절하게 조절됨을 확인할 수 있었다. 실린더는 스트로크가 0-400mm이고 이때 linear transducer는 0-10V의 전압차를 발생 시킨다. 본 실험을 통하여 linear transducer의 길이변화를 측정하여 컨트롤

러가 서보밸브로 실린더 전후진에 대한 명령을 내리면 밸브가 필요한 길이만큼 실린더가 작동하도록 유압을 조절하는 서보시스템이 원활하게 구동함을 확인할 수 있었다.

2) 2차 기능실험 : Tilt gauge와 연동한 서보 시스템 기능 실험(2003. 8. 23)

2차 실험은 tilt gauge의 측정값에 따라 서보 밸브가 리더의 자세제어를 실시간으로 행하는지에 대한 실험이었다. 1차 기능실험과의 차별성은 실린더 작동명령신호를 서보밸브가 만들어 내는 것이 아니라 tilt gauge로부터 응답(reference)을 받는 실험이었다. 실험에 적용한 tilt gauge는 +/- 5도까지 측정할 수 있으며, 측정 대상의 기울기에 변화가 발생하면 기울기의 정도에 따라 최대 +/- 5V의 전압을 발생시키는 양방향(X-Y방향)의 각도를 측정하는 센서를 적용하였다.

파일럿타입 리더 상단에 tilt gauge를 부착하고, 센서를 기울이면, 센서가 기울어진 방향의 반대 방향으로 실린더가 실시간으로 작동하도록 제작한 제어 알고리즘의 작동상태를 실험하였다(그림 10). 이때, 센서의 민감도는 0.1ms 이내였으나 실린더 작동 속도는 10 mm/sec를 넘지 않도록 설정하였으며, 이는 갑작스런 실린더의 작동으로 인하여 파일럿타입이 부정적인 운동으로 작동하지 않도록 하기 위한 고려이다.



그림 10. tilt gauge와 servo valve의 기능실험



그림 11. 파일럿타입 실린더 및 서보 밸브

2차 실험에 사용된 서보 실린더와 서보 밸브 간 연결부위를 나타내는 그림으로써, 실험 결과 tilt gauge와 서보시스템간의 상호작용이 양호하였다.

3) 동작 실험 : 연직도 자동측정 및 제어 파일럿타입 실험 (2003. 9. 24)

3차 실험은 2차 실험에서까지 적용된 알고리즘에 오거의 굴착동작을 동일하게 적용시켜, 파일 삽입공 굴착 시 지중 상태에 따른 리더의 거동에 대한 서보시스템과 tilt gauge의 자동측정 및 제어 성능에 대한 동작 실험이었다. 본 실험에서는 기능실험이었던 1,2차 실험과 다르게 사람의 인위적인 개입 없이 서보시스템만으로 작업을 수행하였다.

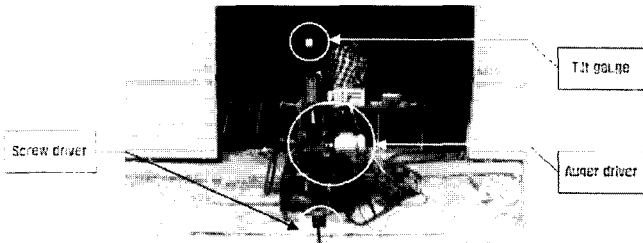


그림 12. 파일럿타입의 동작실험

3차 실험을 통하여 발생하는 리더의 수직 오차를 tilt gauge가 인지하고 이것을 서보밸브에 명령을 보냄으로써 리더의 수직도를 바로 잡는 일련의 작업이 자동으로 수행되었다(그림 12). 이 때 적용한 유압은 210kg/cm<sup>2</sup>이었으며, 이는 실제 작업차량에서 공급하는 압력과 동일한 압력이었다. 유량은 본 장치에 적용한 30L/min 보다 충분한 양이 실제 차량에서 공급 될 것이므로 특별한 고려가 요구되는 파라미터는 아니라고 판단된다.

3.3 프로토타입의 설계 파라미터 도출

3차에 걸친 실험실 실험 결과 프로토타입 제작을 위한 설계 파라미터를 다음과 같이 도출하였다(표 7).

하드웨어의 경우, 파일드라이버에 장착할 것을 고려하여

표 7. 파일럿타입과 프로토타입 제원 비교

장 비		파일럿타입	프로토타입	
하드웨어	실린더 타입	유압 서보 실린더	유압 서보 실린더	
	실린더 사이즈	내 경	38mm	100mm
		스트로크	400mm	120mm
	실린더 작동속도	10m/sec	10m/sec	
	사용유압	최 소	20kg/cm <sup>2</sup>	20kg/cm <sup>2</sup>
최 대		210kg/cm <sup>2</sup>	210kg/cm <sup>2</sup>	
사용유량	30L/min	50L/min		
서보밸브	공급가능유압	210kg/cm <sup>2</sup>	210kg/cm <sup>2</sup>	
	공급가능유량	30L/min	50L/min	
	사용주파수	15Mhz	15Mhz	
틸트	측정한계	+/- 5도	+/- 3도	
게이지	센서 민감도	0.1ms	0.1ms	
	피드백장치	linear transducer	측정전압 +/- 10V	tilt gauge 자체 피드백
컨트롤러	CPU타입	인텔 PCM4823	인텔 8051	
소프트웨어	장비제어	C	C	

실린더의 내경은 100mm에 스트로크는 120mm로 설계하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 이를 통하여 유량 50L/min, 유압이 210kg/cm<sup>2</sup>가 사용 가능하도록 하였으며, 이때의 실린더 센싱은 파일럿타입의 경우 linear transducer를 이용하였으나, 프로토타입은 기존의 파일드라이버에 장착할 것을 고려하여 내구성에 문제가 있을 것으로 사료되는 linear transducer를 제외시키고 tilt gauge를 사용하여 자체 피드백을 사용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

이때의 tilt gauge는 +/- 5도의 범위에서 측정 가능한 것을 적용하되 실제 작동가능 구간은 +/- 3도의 범위에서 +/- 5V의 아날로그 출력을 기본으로 한다. 이는 실제의 파일드라이버의 경우 리더가 +/- 3도를 초과하여 기울어질 경우 전복될 우려가 높은 것으로 판단되기 때문이다. 서보밸브의 경우 실린더 용적을 고려하여 50L/min, 210kg/cm<sup>2</sup>, 동작주파수15Hz(위상 지연 5%이내에서) 이상의 것이 타당할 것으로 판단된다.

소프트웨어의 경우, 파일럿 타입에서 사용한 산업용 컴퓨터는 테스트 결과 프로토타입에 적용이 가능할 것으로 판단되나, 장비의 소형/경량화를 위하여 인텔사의 8051계열의 CPU Chip을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 작동 프로그램은 C언어를 기반으로 자체 제작하여 적용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

4. 요약 및 향후 추진계획

본 연구의 주요 연구결과 및 향후 추진 내용은 다음과 같다.

- (1) 본 연구는 기성콘크리트 파일공사에 있어서 연직도의 확보를 위해서 연직 자동측정 및 제어 자동화 파일럿타입 장비 개발을 수행하였다. 장비개발을 위하여 연직 측정 및 제어 현황 조사, 국내외 유사기술 분석, 자동화 장비 개념설계, 파일럿타입 설계, 제작 및 성능실험을 실시하였다.
- (2) 본 연구의 결과는 3개년 연구개발사업의 1차년도 성과로서 파일럿타입의 개발에 따른 기술적 타당성 분석을 실시하였다. 그 결과 파일공사의 연직 자동 측정 및 제어 자동화 장비의 개발은 기존 파일드라이버 장비에서 서보시스템과 첨단 센싱기술을 접목하여 연직 자동측정 및 제어의 기술적 가능성을 입증하였다.
- (3) 본 연구는 향후 파일럿타입의 성능 실험 결과 도출되는



설계 파라미터를 토대로 프로토타입을 개발할 계획이다. 개발 예정인 프로토타입의 모든 요소기술은 최종적으로 기존의 장비에 적용되어 현장에서의 기술적 타당성을 검증하게 될 것이며, 개발 장비의 경제성 분석 또한 실시될 계획이다.

### 참고문헌

1. 高橋 清 외, 센서사전, 도서출판 세화, 1998
2. 건축공사 표준시방서, 건설교통부, 2002
3. 공사감독자 핸드북, 대한주택공사, 2002
4. 김봉석 외 4명, 유공압제어, 태훈출판사, 1999
5. 김상식 저, 철근콘크리트 구조공학, 문운당, 1999.
6. 대한주택공사 표준시방서, 대한주택공사, 2002
7. 윤민수 외 2명, 센서제어공학, 일진사, 2002
8. 채수근, 매입말뚝 시공법, 건축구조기술사회지, pp 20 ~ 26, 2003
9. James G. Keramas, SciTech 미디어, 2000
10. Saeed B. Niku, 로봇공학, SciTech 미디어, 2002

### Abstract

The objective of the research is to develop the automated vertical controllable pilot-type equipment for PHC piles. The motivation for the research is that inherent problems related to vertical control during pile driving. The paper explains the current vertical control methods and problems, design and manufacturing of the pilot-type automated equipment, and its testing and discussions of the results.

**Keywords** : PHC pile, vertical control, pile driver, automated equipment, servo system, pilot type