

포크레인을 이용한 샌드 드레인 시공 장비에 대한 연구

이정환*, 오성훈**, 소병문***
 *전북대학교 기계시스템 공학부
 **백제 중기 공업
 e-mail: gaoodasi@hanmail.net

Study of Sand-drain machine using the excavator

Jeong-Hwan Lee *, Seong-Hun Oh**, Byung-Moon So ***
 *Mechanical system engineering, Chon-Buk National University
 ** Baek Jae Inc.

요 약

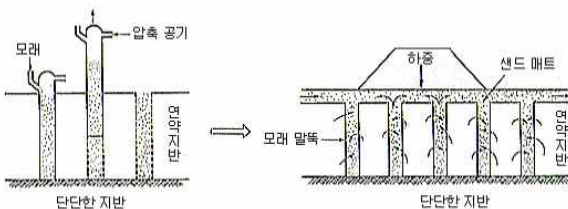
본 논문은 기존의 샌드 드레인 시공장비의 베이스 머신인 기중기 대신에 포크레인을 이용하여 샌드 드레인 시공 장비를 개발 하였다. 그리고 세부적인 기술 개발 사항으로 전기적 타설의 방식에서 유압 타설을 통한 작업 효율·연비 향상과 구조해석을 통한 장비의 무게의 경량화를 이루었다. 그리고 리더의 각도 조절을 통하여 작업의 향상을 도모 할 수 있는 각도 조절 장치와 타설 작업의 자동 모니터링과 제어를 할 수 있는 자동제어 시스템을 개발 하였다.

1. 서론

고함수비의 연약지반을 개량하여 도로, 철도, 공항, 항만, 단지 조성등 각종 구조물의 기초로 활용하기 위해서는 지중에 함유되어 있는 간극수를 조기에 지상으로 배출시켜서 간극수의 배출로 인한 지표면의 침하를 조기에 완료시키고 또한 지지력을 증대시키는 연약지반 개량공사가 필요하다.

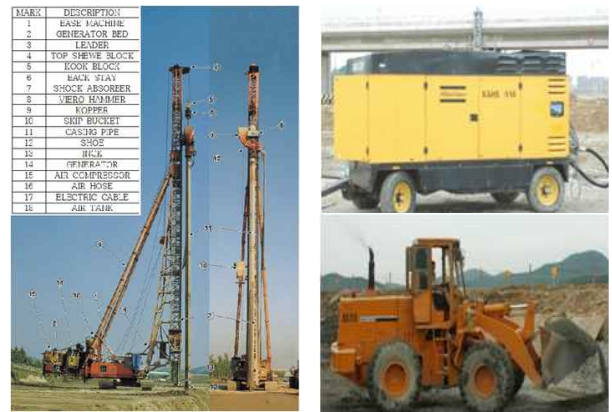
연약지반을 개량하는 대표적인 공법으로 샌드 드레인(sand drain)과 샌드 콤팩션 파일(sand compaction pile), 그라벨 드레인(gravel drain)과 그라벨 콤팩션(gravel compaction) 공법, 팩드레인(pack drain) 공법, 플라스틱 보드 드레인(plastic board drain: PBD) 공법 등이 활용되고 있다.

이러한 공법 중 대표적인 공법으로 샌드 드레인 공법이 있다. 샌드 드레인 공법은 다음과 같은 원리로 지중의 간극수를 외부로 배출한다.



[그림 1] 샌드 드레인 공법

그리고 기존 샌드 드레인 장비는 다음과 같은 장비를 통하여 작업을 수행한다.



[그림 2] 기존 샌드 드레인 장비

작업의 순서는 주변 지반을 정리하고 그림2의 좌측에 있는 리더셋을 시공점에 설치한다. 그리고 샌드 드레인 장비의 타설 수직도를 측정한다. 그리고 나서 케이싱을 지중에 관입후 그림2의 우측하단에 있는 페이로더로 모래를 퍼서 리더셋에 부으면 관입한 케이싱을 따라 모래가 투입된다. 이렇게 투입된 모래를 압축 공기로 압축시키며 케이싱을 인발한다. 이러한 작업

을 통하여 형성된 모래 기둥을 따라 지중의 간극수가 외부로 배출된다.

그리고 샌드 드레인 공법은 단기간에 압밀을 촉진시켜 연약지반을 안정화 시키고 단계적 하중 재하로 지반을 파손시키지 않고 깊은 연약층까지 확실한 시공이 용이하다. 또한 sand pile의 지름과 간격의 조정으로 공사기간을 단축시킬 수 있으므로 후속공사에 지장을 감소시킬 수 있으며 압밀침하의 방지로서는 타 공법에 비하여 우월하다. 그리고 pre-loading 공법에서 발생하는 연약지반의 과잉 공극수압을 초기에 배제시키는 장점을 가지고 있다.

그런데 이러한 샌드 드레인 시공을 위해서는 베이스머신인 기중기에 보조장비를 이용하여 강제 리더를 수직으로 세워 지지 장치에 고정하는 과정이 복잡하고 많은 시간이 소요 되어 PBD 공법에 비해 시공속도가 늦고 공사비가 비싸지며, 기동성이 떨어지는 단점이 있다.

또한 연약지반 개량공사 감리단의 높아진 요구와 고품질 샌드 드레인 시공을 위해서는 여러가지의 계측요소와 개선된 장치를 이용하여 품질관리를 해야 한다. 또한 불량률을 낮추면서 공사비 절감을 위해 작업속도를 높일 수 있는 자동화 요구가 높아지고 있다.

이러한 문제점과 현실을 개선하는 장비를 개발하는 것이 본연구의 궁극적 목적이다.

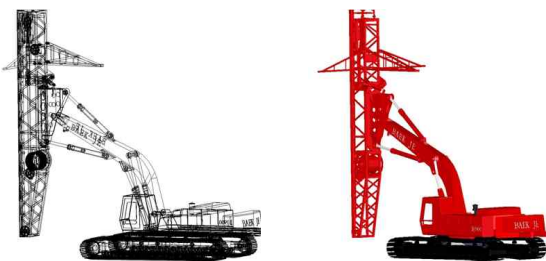
2. 설계 및 제작

2.1 모델링

포크레인을 이용한 샌드 드레인 장비를 개발하기 위해서는 장비에 대한 모델링이 이루어져야 한다. 이는 새로운 장비 개발에 따른 공정의 정확성과 더불어 부품의 설계 제작을 용이하게 하기 위함이다.

모델링은 SOLID WORKS를 이용하여 모델링을 하였고 모델링된 제품을 3차원 구동을 통하여 제작 이전에 장비에 대한 결함여부와 각 부품에 가해지게 될 하중을 고려하는 작업을 병행 하여 장비의 제작을 최적화 하였다.

다음은 장비의 실제 모델링 사진이다.



[그림 3] 샌드 드레인 장비의 3차원 모델링

2.2 장비제작

포크레인의 몸체를 이용하여 샌드 드레인 파일을 타설할수 있는 장비를 개발 하기위하여 포크레인의 버킷봄에 강제 리더를 설치하였다.

기존의 전기 모터를 이용하여 케이싱 관입을 유압 모터를 이용하여 타설을 하도록 하였다. 전기모터를 이용하는 방식은 전기적 힘을 이용하여 타설 추를 올린 후 자유낙하를 통하여 얻어지는 운동에너지를 통하여 케이싱을 삽입하는 방식이다. 이러한 방식은 추의 무게와 낙하 거리에 따라서 작업의 효율성이 떨어지는 문제점과 더불어 추의 낙하 타설시 발생하는 소음 문제가 있었으나 유압 타설을 이용 할 경우 타설시 발생하는 소음이 줄고 항상 일정한 힘으로 타설을 할 수 있게 되어 타설 작업의 효율성을 극대화 할 수 있다.

다음 그림은 포트레인에 리더를 설치하여 장비를 제작한 모습이다.



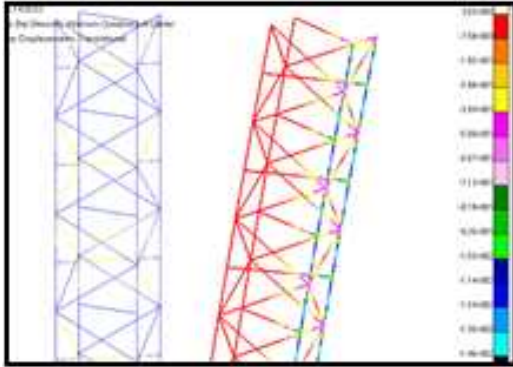
[그림 4] 개발된 포크레인을 이용한 샌드 드레인 장비

포크레인을 통한 장비 개발을 통하여 장비를 개발함에 있어서 작업 효율과 더불어 장비의 안전성을 확보하고자 하는 본 연구의 목적에 따라서 장비의 경량화와 장비 궤도의 가변장치를 개발 하였다.

장비의 경량화와 궤도 가변장치는 작업이 이루어지는 연약지반이라는 특성상 장비의 전복사고 등 안전사고가 빈번하게 일어나던 것이 종래의 현실이다. 이러한 사고를 미연에 방지하고자 리더를 기중하였을 때 총 높이가 40~60m에 이르는 장비의 작업 시 리더의 무게에 따라서

장비 전체의 무게 중심의 위치가 바뀌게 된다. 때문에 리더의 경량화는 아주 중요한 문제이다.

리더의 경량화를 위해서 구조해석을 통하여 철골 구조 개선을 하였고, 기둥의 간격을 넓히고 파이프의 단면적을 줄였다. 다음 그림은 구조해석 통한 리더 경량화를 하는 모습이다.



[그림 5] 구조해석을 통한 리더 경량화

그리고 장비의 궤도를 가변형으로 제작하여 이동시에는 궤도를 좁게 하여 이동성을 용이하게 하였고 작업시에는 궤도를 넓게 하여 작업 시 안전성을 향상 하였다. 궤도의 가변 폭은 좌우1m로 설정하여 전복사고를 방지하는 효과를 가져 올 수 있게 되었다.

3. 자동 제어 시스템

시공 품질에 대한 신뢰성을 확보하고 작업의 여러 가지 인자를 기존에는 작업자의 경험에 의존 하여 작업을 진행되어 왔다. 이러한 현실에서는 작업의 신뢰성을 인정받지 못하는 것이 사실이다.

그래서 장비의 각부에 각종센서를 부착하여 작업시 얻어지는 데이터를 신호변환장치를 통하여 PC로 출력 및 모니터링 하는 시스템을 개발 하였다.

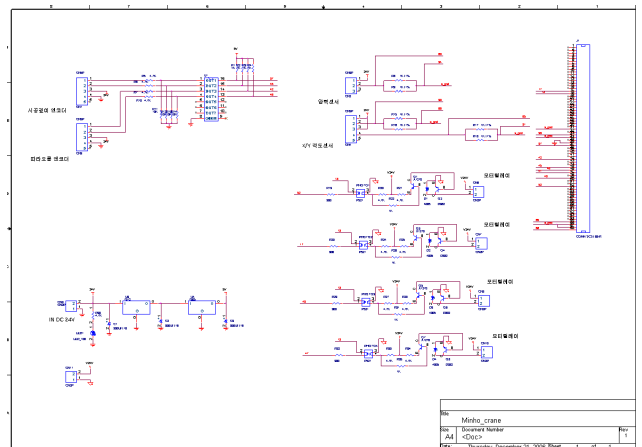
[표 1] 각종센서 및 DAQ 보드 사양 및 모델명

품명	사양	제조회사	모델명
압력센서	최고 측정 압력 : 600bar, 전류출력방식	한영닉스	PT300 GB-0500-HAD
각도센서	X, Y축 ±5°, 전류출력방식	다스테크놀로지	DM2
로터리 엔코더	입력전압 24V, 200펄스/1회전당	Autonics	E50S8-200-3-1-24
DAQ 보드	AI : 8채널, Counter: 2채널, DO : 8채널	National Instrument	PCI-6221

표 1은 선정된 압력센서, 각도센서, 로터리 엔코더, DAQ보드의 사양과 제조회사 모델명이다. 센서와 로터리 엔코더를 동작하기 위한 입력 전압은 포크레인의 축전지 전압 24V를 전압변화 없이 사용하기 위하여 모두 24V인 것으로 선정하였다.

3.1 신호 변환 보드 제작

신호변환보드는 센서의 출력신호를 DAQ보드가 입력 받을 수 있는 신호로 변화하여 주고, 센서에 전원을 공급하고, 각종 측정값을 바탕으로 PC프로그램에서 분석하여 출력되는 경고와 제어신호를 출력해주는 기능을 가진다. 신호변환보드 제작을 위하여 그림 6과 같이 회로 설계를 완성하였으며 이를 바탕으로 PCB기판을 제작하고 전자 부품을 납땜하여 신호변환보드를 제작하였고 신호변환 회로와 각종센서 및 엔코더들의 배선 연결과 컴퓨터와의 배선을 용이하게 하고, 신호변환 회로 기판을 보호하기 위해 커넥터 박스를 제작하였다.



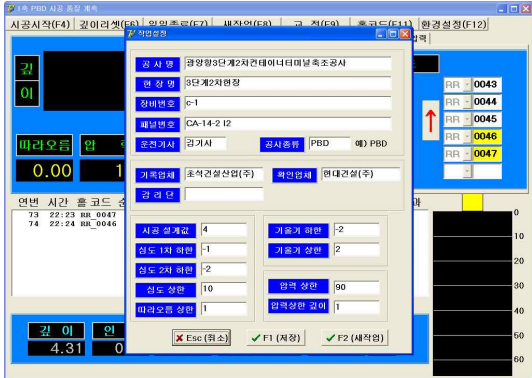
[그림 6] 신호변환 회로 설계도

프로그램은 Window XP에서 구동할 수 있도록 하였다. 프로그램 개발 툴은 볼랜드사의 Delphi 7.0을 사용하였으며 DAQ보드와 연동하기 위하여 DAQ보드 제조사(National Instrument)에서 제공하는 드라이버와 DLL함수들을 이용하였다.

프로그램을 시작하면 그림 7과 같은 화면이 나타나고 여기에서 공사명, 현장명, 장비번호등 작업 기록에 필요한 데이터들을 입력하고 저장할 수 있다. 프로그램의 메인화면은 그림 8과 같다.

메인화면은 심도, 따라오름, 압력, 각도 값을 실시간으로 표시해 주고, 작업진행되는 방향과 작업하는 홀코드 번호를 보여주고 시공된 홀들의 기록데이터

와 현재 흙의 기록 예정 데이터를 보여준다. 또한 케이싱의 타설 깊이를 그래픽적으로 실시간으로 보여 준다.



[그림 7] 자동 측정 프로그램 시작화면



[그림 8] 자동 측정 프로그램 메인화면

4. 결론

본 연구를 통하여 개발된 장비는 다음과 같은 효과를 나타냈다.

첫째, 기존의 기중기를 이용하던 장비보다 작업 시간과 셋팅 시간이 단축되었다.

우선 셋팅을 위한 시간은 전의 장비가 기중기를 이용하여 기중하던 방식에서는 일주일이 걸렸으나 개발 장비를 이용하여 셋팅을 하면 2일에 셋팅이 완료되는 시간적 효과를 거두었다. 뿐만 아니라 전기적 타설에서 유압타설로 전환하여 시공능력이 500m/day에서 1000m/day로 향상되었다.

두 번째, 중량이 120ton에서 90ton으로 감소하였다. 이는 전기적 타설시 필요한 Generator를 사용하지 않게 되면서 감소된 무게와 구조 해석을 통해 얻은 리더의 경량화에 따른 효과로 볼 수 있고 이는 작업 안전성과 연비향상으로 이어지게 되었다.

세 번째, 시공 품질의 향상이다.

자동 제어를 통하여 시공 시 여러 가지 작업 요소를 데이터화함으로써 시공에 대한 신뢰성을 확보 할 수 있게 되었다.

참고문헌

- [1] 장정호, “굴삭기 경량화를 위한 고강도 강판 적용 부재의 치수최적설계”, 대한 기계학회 춘추 학술대회, 2009
- [2] 최재순, “연약지반, 준설매립 분야: Rowe cell 투수 시험을 통한 샌드드레인의 최적 타설간격”, 한국 지반공학회 가을 학술발표회, 1997
- [3] 오성훈, “무진동 PBD(플라스틱 보드 드레인) 시공 장비 구조 최적 설계”, 산학기술학회논문지, 2007년 10월
- [4] 신동주, “피스톤 로드 제조공정에서 검사 및 이송 자동화 시스템 개발”, 산학기술학회, 2010년 춘계 학술발표 논문집
- [5] 김해수, “ANSYS를 이용한 철골기둥의 저항능력에 관한 연구”, 부산대학교 생산기술연구소, 2001
- [6] Hansbo, S “Preconsolidation of soft compressible subsoil by the use of prefabricated vertical drains”, Workshop on Applied Ground Improvement Technique Asian Geotechnical Society , 2001