

지반공학에서 레이저센서의 활용

Application of Laser Sensor to Geotechnical Engineering

박봉근¹⁾, Bong-geun Park, 남문석²⁾, Moon S. Nam, 최용규³⁾, Yongkyu Choi

¹⁾ (주)백경지앤씨 대표이사, President, Backyoung G & C Co., Ltd.

²⁾ 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원, Senior Researcher, Expressway & Transportation Technology Institute, Korea Expressway Corporation

³⁾ 경성대학교 건설.환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kyungsoong University

SYNOPSIS : Recently, researches for side resistances of drilled shafts considering socket roughness have been conducted actively. In order for these researches, roughness measurement devices using laser sensor were developed by two research groups. The devices were only applied in boreholes with dry conditions. In this research, a roughness measurement devices using the laser sensor (BKS-LRPS) was developed, which could apply in wet conditions and also measure vertical offsets of drilled shafts. In addition, the application of the laser sensor to the geotechnical engineering proposed in this paper.

Keywords : drilled shafts, socket roughness, laser sensor, BKS-LRPS, vertical offsets, wet condition

1. 서론

레이저 삼각 거리 측정(Laser triangulation distance measurement)은 위치 측정 방법을 제공하며(Fumio Murakami Laboratory, 1994), 그것은 비접촉식 방법이면서 정확하기 때문에 표면 프로파일링(surface-profiling)과 거칠기 측정(roughness detection)에 대해 효과적인 방법이다(Dwulet, 1995). 이러한 기술을 활용하여 도로 공학자들은 시속 80.5km의 속도로 이동하는 차량에서 포장 표면 데이터(pavement surface profile data)들을 획득하거나 2차원 상에서 물체의 표면 상태를 측정하는데 많은 응용을 하였다.

최근 암반 소켓벽면의 거칠기에 따른 거동을 중심으로 암반에 근입된 현장타설말뚝의 주변마찰력을 예측하기 위한 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있으며, 암반 소켓벽면 거칠기의 영향을 거칠기 계수(RF; Horvarth 등, 1983), 무차원 거칠기 계수, ψ (Kulhawy 등, 1993), 주변저항계수(SRC; Seidel 등, 2001) 등을 통해서 반영하였다(정상섭, 2006).

이러한 측면을 고려한 지반공학 중 말뚝 기초 분야에서 레이저 센서의 적용 사례는 외국의 경우 모나쉬 대학교의 Collingwood(2000)와 휴스턴 대학교의 Nam(2004) 등이 기초 말뚝의 굴착벽면의 거칠기를 측정할 목적으로 거칠기 측정시스템을 개발하였다. 또한 국내에서는 조천환(2003)과 정상섭(2006) 등이 암반 근입 현장타설말뚝의 거칠기 측정에 레이저 센서를 활용한 사례가 있었다. 그러나 이러한 연구들은 공내 지하수 유입, 공내 산소 결핍 및 수압에 의한 케이싱 근입부의 붕괴 위험 등의 현장 위험성을 내포한 상태에서 소켓 벽면의 본을 뜬 후 거칠기 시편 성형 과정을 거쳐 간접적으로 거칠기를 측정하거나 공기 중에 한정되어 사용되었다.

따라서 본 연구에서는 앞서 언급한 기존 시스템들과 예상되는 현장 조건을 고려하여 공기 중과 수중

에서 동시에 거칠기 및 연직도 측정이 가능하도록 개발된 (주)백경지앤씨(2005)의 거칠기 및 연직도 측정 시스템(BKS-LRPS)의 개발 과정들을 비교하였다. 아울러 이러한 고찰을 통해 지반공학에서 레이저 센서의 활용 방안을 제시하고자 한다.

2. 기존 거칠기 측정 장치 및 센서 검증시스템

2.1 휴스턴 대학교 거칠기 시스템(Nam, 2004)

휴스턴 대학교에서 개발된 굴착공 측정 시스템(Liang, 2002)이 그림 1.에 나타나 있으며, 레이저 센서부, 엔코더부 및 데이터 수집 컴퓨터부 등 크게 3가지 주요 부분으로 구성되어 있다. 여기서 AC-DC 컨버터는 연결 박스에 설치되어 엔코더와 레이저 장치에 전원을 공급한다. 엔코더 출력신호, 레이저 장치 회로, 샘플 트리거 모두 이 연결 박스에 보내지기 때문에 엔코더 시스템회로 보드가 이 연결 박스에 놓이게 된다. 연결 박스 위에 있는 LED는 시스템의 온/오프 상태를 나타낸다.

이러한 거칠기 측정 시스템을 이용한 현장 실험은 2002년 5월 24일 휴스턴 대학교 공대 건물 부근에서 실시되었다. 사진 1.은 굴착공의 상태를 보여주고, 사진 2.는 켈리바(Kelly Bar)에 부착된 거칠기 측정 시스템을 보여준다. 사진의 밑 부분에 있는 검정 박스는 레이저 거리 측정 장치이다. 실험을 실시하는 동안에 마운팅 프레임이 시스템을 잘 지지해 주었다. 시추공이 단지 1.83m 깊이기 때문에 바가 낮았을 때 그 프레임이 시추공 바닥에 몇 차례 닿았지만 전체 프레임은 충격 후에도 손상되지 않았다.

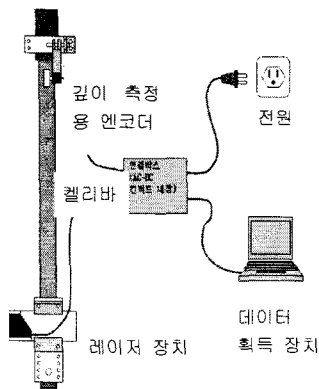


그림 1. 측정 시스템 모식도



사진 1. 굴착공 상태

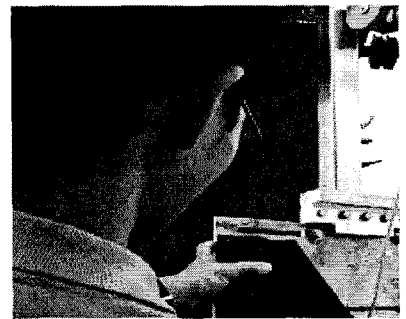


사진 2. 거칠기 측정 시스템

이와 같은 현장 실험 결과를 바탕으로 Liang(2002)은 휴스턴 대학교 거칠기 시스템의 문제점을 개선해야 할 사항을 다음과 같이 향후 과제로 남겼다.

1) 센서 하강 시 흔들림 최소화 필요

켈리바에 부착된 거칠기 측정 시스템으로 약 1.83m의 굴착공에 대해 거칠기 측정을 하였으며, 여기서 수평 방향으로 약 2.54cm 정도 흔들림이 발생하였다.

2) 레이저 센서부의 크기 축소화 필요

휴스턴 시스템의 레이저 센서부의 크기는 길이 27.80cm, 폭 21.02cm, 높이 7.71cm이며 무게는 약 1.36kg이므로 다른 사용 제품에 비해 비교적 크게 만들어 졌다.

3) 회로의 증폭 능력 확대, 노이즈 감소 및 회로기판 축소 필요

마이크로 프로세서를 이용하여 모든 아날로그 회로를 대체하면 회로기판의 크기 축소 및 시스템 노이즈의 최소화가 가능하다.

2.2 모나쉬 대학교 SocketPro 시스템(Collingwood, 2000)

SocketPro(Collingwood, 2000)는 굴착벽면의 프로파일을 정밀하게 측정하기 위하여 레이저를 이용한 거리측정 기술을 도입하였다. 거리측정을 위한 레이저 센서는 그림 2.에서와 같이 펄스(pulse) 레이저 센서가 있으며, 이것은 반사파의 도착시간을 이용하여 거리를 측정한다. 또한 그림 3.에서와 같이 삼각법(triangulation) 레이저 센서는 삼각법 레이저 센서는 레이저 빔의 입사각을 측정하여 거리를 측정한다. 호주도로연구협회(Australian Road Research Board, 이하 ARRB라 칭함)의 레이저 센서 규격(Collingwood, 2000)을 참고로 보면 SocketPro는 펄스 레이저 센서를 사용한 것으로 판단된다.

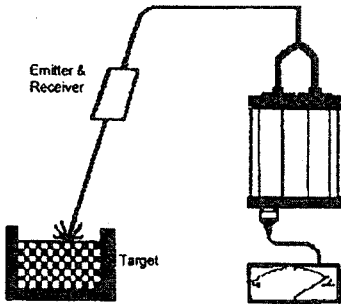


그림 2. pulse 레이저 센서

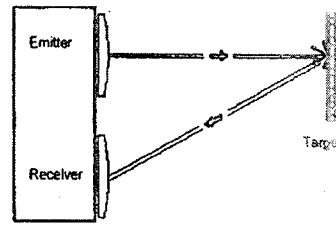


그림 3. triangulation 레이저 센서

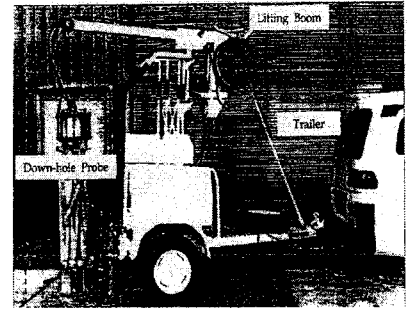


사진 3. SocketPro

사진 3.은 SocketPro의 실물 사진을 나타냈으며 각 세부사항을 설명하면 다음과 같다(파일테크, 2004).

트레일러(trailer) 모든 필요장비를 탑재하고, 측정위치로 이동하는 장비이다
탐사장비(down-hole probe)는 측정장비를 공내 하부로 위치시킬 수 있다.

- 유도 프레임 : 장비를 공내에 위치시키는 지지구조물
- 레이저 거리 측정 센서 : 공벽의 프로파일 측정
- MLDT(magneto-strictive liner displacement transducer) : 레이저 센서의 수직위치 측정
- 모든 장비 : 전기, 전자제어 형식이며 유압으로 작동

2.3 휴스턴 대학교 센서 검증 시스템

사진 4.에는 Liang(2002)에 의해 개발된 굴착공 거칠기 측정용 레이저 센서를 보여 주고 있다. Liang은 눈에 보이지 않는 적외선 영역의 레이저를 사용하였기 때문에 빛의 초점은 반사된 표면에 거의 나타나지 않았다. 따라서 레이저 거리 측정 장치의 비선형 오차를 없애기 위해 보정을 하면서 시스템에 변화를 주어야만 했다. 첫 번째 예러는 위치 감응 소자(PSD)가 검출 오차를 가진다는 것이다. 그림 4.는 측정 영역을 따라 있는 검출 오차를 보여 준다.

두 번째 예러는 위치 감응 소자(PSD) 상의 레이저 이미지 초점의 변위가 측정거리와 직선상으로 비례하지 않는다는 것이다. 그림 5.는 PSD 상에서 빛의 이미지 초점에서 측정 거리까지의 관계를 보여준다. 이 그림은 50mm 렌즈를 가지고, 150mm 떨어진 거리의 27.5° 반사각을 가진 시스템에 기반을 두고 계산되었다.

기하급수적인 신호 찌그러짐들과 센서 빛에서 렌즈의 일시적인 이상들 그리고 전자 시스템에서 남겨진 비선형성은 모두 시스템 비선형 예러에서 원인을 찾을 수 있다. 그러므로 레이저 센서는 검증(Calibration)이 필요하다. 레이저 거리 측정 장치를 검증하기 위하여 정확한 테스트 플랫폼이 필요하며, 사진 5.에서와 같이 테스트 플랫폼을 제작하였다.

이러한 센서 검증시스템은 단순히 레이저 센서 개발을 위한 과정에서 수행되었다. 따라서 실제 현장

에서 예상되는 문제점, 즉 공기 중, 수중, 혼탁도, 염분도, 빛의 밝기, 거칠기 형태, 유효측정영역 등과 같은 조건에서의 실내 모형검증실험은 이루어지지 못하였다.

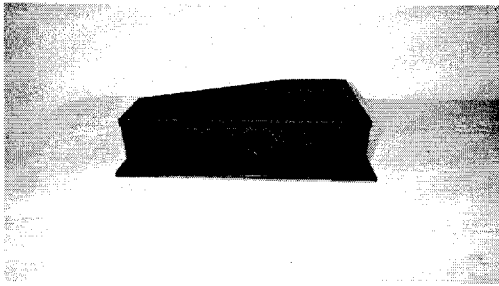


사진 4. Liang(2002)에 의해 개발된 굴착공 거칠기 측정용 레이저 센서

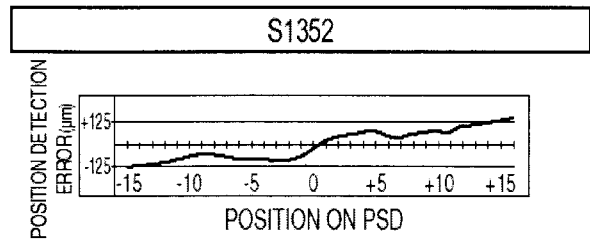


그림 4. PSD 상의 위치 검출 오차(Liang, 2002)

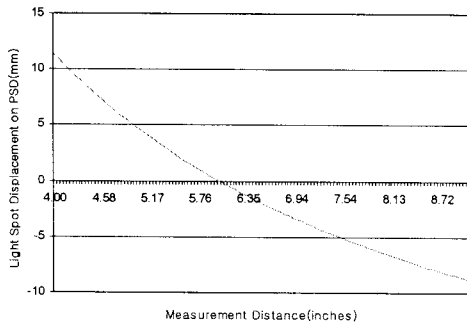


그림 5. PSD 상에서 빛 이미지 초점 위치 (Liang, 2002)

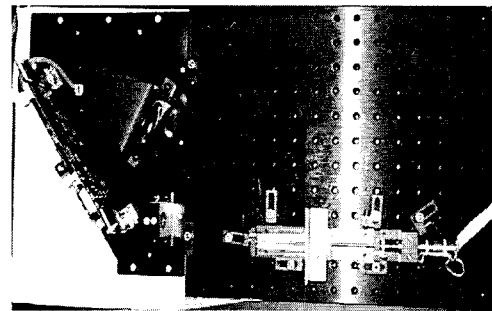
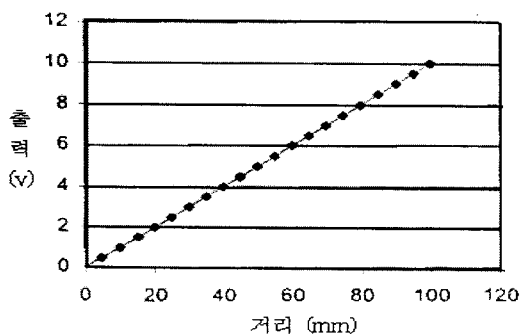


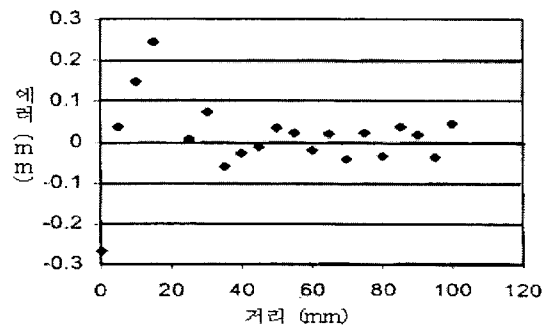
사진 5. 레이저 측정 테스트 플랫폼(Liang, 2002)

2.4 모나쉬 대학교 레이저 센서에 대한 검증 결과

SocketPro에 사용된 레이저 센서는 ARRB에 의해 공급되었다. 따라서 모나쉬 대학교의 경우 자체적인 레이저 센서 검증을 하지 않은 것으로 판단된다. Collingwood(2000)의 연구논문에서 수록된 ARRB에 의한 센서 검증 결과를 그림 6.(a)과 (b)에 나타내었다. 그림 6.(a)에서와 같이 SocketPro에 사용된 레이저 센서는 거리 변화에 따라 출력(V)은 직진성을 보이고 있다. 또한 그림 6.(b)에서는 실제 거리에 대한 오차 변화를 나타내고 있다. 이러한 레이저 센서의 유효측정영역은 100mm 이었으며 유효측정영역이 작을수록 절대오차도 작아진다. 이것은 모나쉬 대학교에서 거칠기 측정을 위해 굴착공의 거칠기를 석고로본을 뜬 후 실내에서 거칠기를 측정할 때에 적합한 레이저 센서시스템으로 판단된다.



(a) 거리에 따른 출력 변화



(b) 거리에 따른 오차 변화

그림 6. ARRB에 의한 센서 검증 결과(Collingwood, 2000)

3 거칠기 및 연직도 측정 장치(BKS-LRPS)의 개발

3.1 개요

굴착공 거칠기 측정에서는 공기 중, 수중, 혼탁도 등과 같은 매질 변화가 예상된다. 또한 현장 시공 특성(예를 들면, 굴착 깊이, 굴착 직경, 지하수위, 빛의 밝기, 수압, 거칠기의 크기 등), 지반 조건(예를 들면, 풍화암, 연암, 경암 등) 및 암석의 종류 등과 같은 많은 변수들이 존재한다.

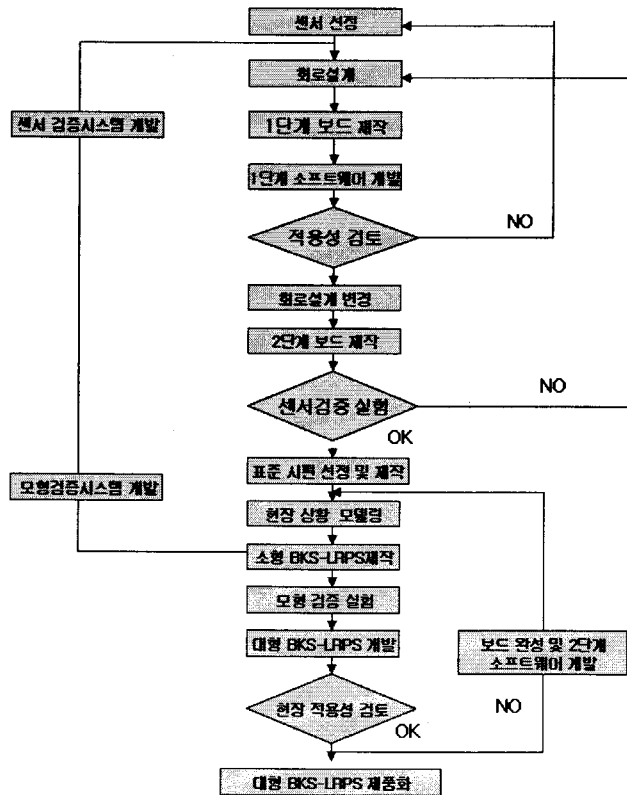


그림 7. 대형 BKS-LRPS 개발 흐름도

앞에서 언급한 현장의 요소들을 해결할 수 있는 센서가 있다하더라도 다음과 같은 측면에서 개발이 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

- 1) 측정된 데이터를 어떻게 컴퓨터 등으로 전송할 것인가?
- 2) 전송 데이터를 눈으로 볼 수 있게 하고, 사용자가 현장 결과를 쉽게 파악 할 수 있는 프로그램의 개발은 어떻게 할 것인가?
- 3) 굴착 심도가 깊을 경우 발생하는 수압에 대비한 방수 시스템, 겨울철에 방수 시스템의 동결로 인한 센서의 파손, 레이저 센서/방수액/투명 방수관 적용 시 센서 검증은 어떻게 해야 할 것인가?
- 4) BKS-LRPS의 현장 측정 결과에서 얻어진 프로파일링을 어떻게 해석하고 판단해야 하는가?

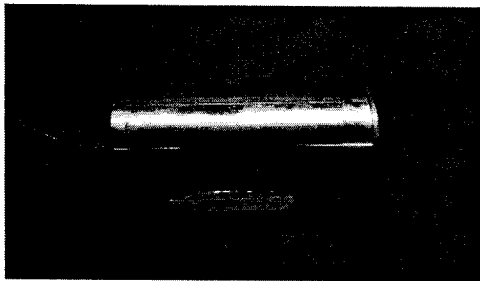
본 연구에서는 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 지난 3년간 여러 번의 시행착오(예를 들면, 회로 수정, 프로그램 변경 등)를 겪었다. 그러나 이러한 시행착오로 인한 개발 기간이 장기화 되는 것을 방지하기 위해 전자 분야의 개발과 병행하여 레이저 센서시스템의 개발, BKS-LRPS 실내 모형검증시스템의 개발(특허출원 중), 대형 BKS-LRPS의 개발(특허출원 등록)을 진행하였다. 이와 같은 일련의 개발 과정을 그림 7.에 나타내었다.

3.2 공기 중과 수중에서 사용 가능한 BKS-LRPS 레이저 센서시스템 개발

본 연구에서는 굴착공 거칠기 측정을 위해 레이저 센서의 소형화, 정밀도 및 유효 측정 거리를 감안하여 기존 시판되는 위치 감도가 좋은 검출기(PSD)을 선택하였다. 또한 레이저 센서는 굴착공의 심도와 연직도에 따라 센서부는 케이싱이나 소켓부에 부딪칠 수 있기 때문에 BKS-LRPS에서는 사진 6.과 같이 제작하였다.

BKS-LRPS 레이저 센서시스템의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기존의 레이저 센서는 공기 중에서만 사용이 가능하였지만, 본 연구에서 개발된 레이저 센서 시스템은 공기 중 및 수중에서 모두 사용할 수 있다.
- 2) 굴착 심도가 깊을 경우 높은 수압에서도 견딜 수 있는 방수 시스템이 되어있다.
- 3) 레이저 센서는 인체에 안전한 빔(Class 2)을 사용하였으며, 측정 중에도 눈으로 볼 수 있는 가시광선 영역(650 nm)을 선택하여 사용하였다.
- 4) 일반적으로 레이저 센서는 색깔 또는 빛의 밝기 등에 영향을 받을 수 있으나 본 연구에서 사용한 레이저 센서는 650 nm 이외의 빛은 PSD에 감응하지 않으며, 출력 보정회로가 내장된 것을 사용하였다.
- 5) 측정 시 오차 요인, 휴스턴 대학교 및 모나쉬 대학교의 거칠기 시스템의 유효 측정 영역이 100 mm 이하인 점 등을 고려하여 본 연구에서는 BKS-LRPS 레이저 센서부의 유효 측정 영역을 25~225 mm, 최소 측정간격을 0.1 mm까지 확보하였다.



(a) 측면부



(b) 정면부

사진 6. BKS-LRPS 레이저 센서부

3.3 BKS-LRPS 실내모형검증시스템 개발

본 연구에서는 현장 여건을 고려하여 ① 재질 변화에 따른 실내모형검증시험, ② 공기 중/수중에서 측정공간의 조도 및 방수 시스템에 따른 실내 모형검증시험, ③ 공기 중과 수중에서 유효 측정영역 검증을 위한 실내 모형검증시험, ④ 염분농도에 대한 실내 모형검증시험, ⑤ 맑은 물에서 혼탁도 변화에 따른 실내 모형검증시험, ⑥ 소금물(3%)에서 혼탁도 변화에 따른 실내 모형검증시험, ⑦ 공기 중 및 수중에서 거칠기 형태에 따른 실내 모형검증시험, ⑧ 측정체 재질 표면의 반사도에 따른 실내 모형검증시험 등을 수행하기 위하여 그림 8.에 도시된 BKS-LRPS 실내모형검증시험을 개발하였다.

이와 같이 개발된 BKS-LRPS 실내 모형검증시스템은 측정위치를 확인할 수 있는 엔코더 시스템, 레이저 센서의 방수 시스템 및 전자 회로용 보드(Board)를 대형 BKS-LRPS 시스템의 것과 동일한 것을 사용하였다. 본 연구에서는 BKS-LRPS 실내 모형검증시험 결과 중 몇 가지 중요한 사항에 대해 다음과 같이 정리하여 소개한다(박봉근, 2007).

- 1) BKS-LRPS 실내 모형검증시스템을 고안하고, 셋팅하여 실험하는 과정은 매우 독창적인 과정이었다.

그래서 측정체 재질, 측정공간의 조도, 공기 중과 수중 등의 매질, 유효측정영역, 염분농도, 맑은 물에서 혼탁도, 소금물에서 혼탁도, 거칠기 형상 및 측정체 표면의 반사도 등에 따른 검증을 실시하여 신뢰도를 확보하였다.

2) 검증결과 매질과 방수시스템에 따른 보정을 실시하여야 하며, 그 보정계수는 다음과 같이 설정할 수 있었다.

공기 중에서 방수판에 대한 보정계수	: 1.013
공기 중에서 방수액에 대한 보정계수	: 1.033
공기 중에서 방수시스템에 대한 보정계수	: 1.046
수중에서 방수시스템에 대한 보정계수	: 1.350

3) BKS-LRPS에 사용된 레이저 센서의 유효 측정영역은 400mm로 결정할 수 있었다. 다만, 유효 측정영역이 227.7mm이내에서는 표준편차가 0.2mm이내 이었으나 그 보다 큰 유효 측정영역에서는 표준편차가 0.5mm까지도 나타났다.

4) BKS-LRPS의 실내 모형검증시스템을 사용하여 최대 실험 가능한 거리인 438.0mm까지 실험을 수행하여도 측정이 가능하였다. 공기 중 유효 측정영역이 400mm인 점과 수중에서의 보정계수(1.350)를 고려할 경우 수중에서의 유효 측정영역은 540mm(400mm X 1.350)까지 확장될 수 있을 것으로 판단된다.

5) 염분도 변화에 따른 실내 모형검증실험 결과 염분농도 3%이내에서는 레이저 센서 거동에는 영향이 없음을 확인하였다.

6) 본 연구에서는 맑은 물에서의 실험 결과를 근거로 하여 슬라임에 대한 유효 측정영역을 다음과 같이 제안하였다.

$$EMD = B_{ks} \times T_b^{-0.64}$$

EMD : BKS-LRPS의 유효 측정 거리(mm)

B_{ks} : 흙 입자에 따른 BKS-LRPS 계수(1149.2)

T_b : 맑은 물에서의 혼탁도(NTU)

7) 낮은 혼탁도에서는 흙 입자의 크기에 따른 영향이 크지만 높은 혼탁도 영역에서는 흙 입자에 의한 영향이 크지 않은 것으로 판단되었다.

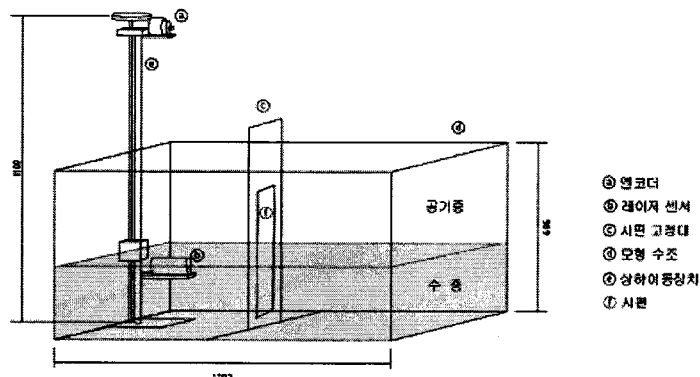


그림 8. BKS-LRPS 실내모형검증시스템 모식도

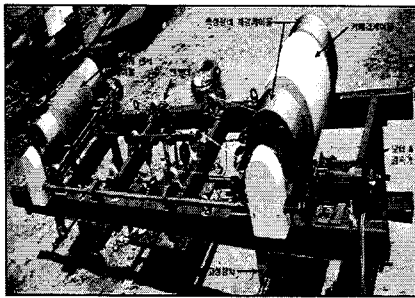
앞서 언급한 휴스턴 대학교와 모나쉬 대학교의 레이저 센서 검증시스템과 달리 여러 가지 예상 가능한 현장 조건을 모사하기 위하여 BKS-LRPS 실내 모형검증시스템을 개발하였다. 또한 이러한 시스템을 이용하여 현장 적용성을 확보하기 위해 매질에 따른 보정계수 연구, 공기 중과 수중에서의 유효측정영역

역 결정, 혼탁도에 따른 유효측정영역 결정을 위한 제안식 등에 대한 중요한 결과를 얻을 수 있었다.

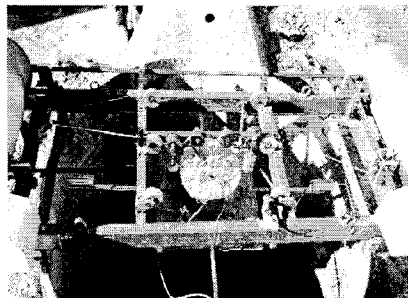
3.4 대형 BKS-LRPS 개발

BKS-LRPS 실내 모형검증시스템과는 달리 현장 실험용 대형 BKS-LRPS 시스템은 말뚝 직경에 따라 측정이 가능하도록 해야 한다. 앞서 언급한 휴스턴 대학교 시스템의 개선 과제는 거칠기 측정 시 레이저 센서의 흔들림을 최소화하고, 레이저 센서와 관련 회로를 소형화하여야 암반 소켓부 거칠기를 보다 정확하게 측정할 수 있게 개발하는 것이었다. 따라서 본 연구에서는 휴스턴대학 시스템의 문제점을 개선하기 위하여 기계적 장치, 레이저 센서의 선정 및 프로그램에 대하여 장기간 연구를 수행하였다.

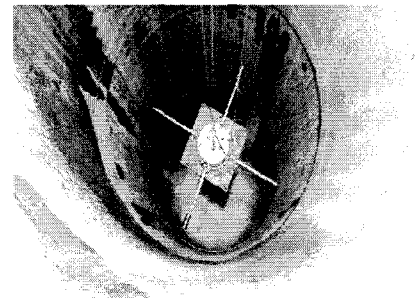
BKS-LRPS의 기계적 장치를 사진 7.(a)에 나타내었다. 좌우에 드럼 형태로 구성된 파이프에 장착된 측정 장치를 굴착공 아래로 내릴 때 흔들림 방지를 위해 와이어가 드럼 양끝에 감겨져 있다. 그리고 왼쪽 드럼 가운데에는 레이저 센서와 연결된 케이블이 감겨져 있다. 그리고 오른쪽 끝에는 감속 모터가 부착되어 자중에 의해 케이블이 풀리는 것을 방지하고, 측정 장치를 상향으로 끌어올리기 위한 기계적 장치가 설치되어 있다. 이러한 감속 모터는 벨트로 연결된 축으로 좌우가 동일하게 작동하도록 고안되었다. 바닥 부분에 있는 고정 장치는 BKS-LRPS를 지면 또는 말뚝 위에 쉽게 거치 할 수 있도록 고안되어 있다. 그리고 엔코더는 와이어가 하향으로 움직일 때 심도를 측정하기 위해 부착되어 있다.



(a) 기계적 장치



(b) 말뚝 거치



(c) 케이싱 내부에서의 센서부

사진 7. 현장용 BKS-LRPS의 기계적 장치((주)백경지앤씨, 2006)

사진 7.(b)은 현장타설말뚝 굴착공에 대해 연직도 및 거칠기를 측정하기 위해 말뚝 케이싱에 거치된 BKS-LRPS 모습을 보여준다. 기존의 휴스턴대학이나 모나쉬대학의 시스템과는 달리 레이저 센서의 소형화로 4개의 센서를 동시에 사용함으로써 한 개의 레이저 센서를 갖고 여러 번 측정할 때 나타날 수 있는 측정 위치에 따른 오차 발생, 측정 시간의 과다 소요로 인한 공기 지연 등의 문제점을 해결할 수 있었다. 또한 레이저 측정 장치의 수평을 쉽게 맞추기 위하여 레이저 센서가 달려 있는 중심추에 연결된 와이어를 나사식으로 만들어 미세한 수평까지도 조정할 수 있도록 하였다. 4지점에서 와이어를 사용하여 레이저 센서가 말뚝 아래로 내려갈 때 기계적 진동 또는 바람의 영향을 최소화 하도록 하여 측정 중 흔들림을 방지하였다.

사진 7.(c)은 말뚝 케이싱 내부로 하향시킨 레이저 센서부를 보여준다. 레이저 센서의 유효 측정 거리 영역 내에서 모든 말뚝 직경에 적용 가능하도록 중심 추에 바(Bar)를 사용하여 레이저 센서를 연결하였다.

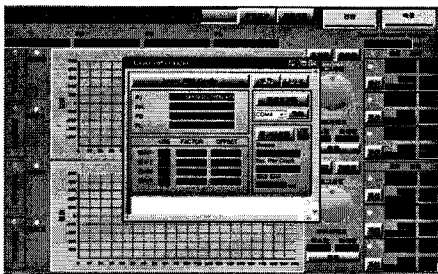
휴스턴 대학교와 모나쉬 대학교의 거칠기 측정 시스템의 문제점을 개선하여 본 연구에서는 대형 BKS-LRPS를 개발하였으며, 이것의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시공 상태(수중 조건, 염분 조건, 혼탁도 조건 등), 시추공 내의 조도상태 등을 극복하고 현장에서 직접 적용 가능하였다.
- 2) 4개의 와이어가 지지하고 있는 중심추의 무게로 인하여 센서 하강 시 흔들림을 최소화하였다. 특히 수중에서는 공기 중에서 보다 흔들림이 거의 나타나지 않았다.

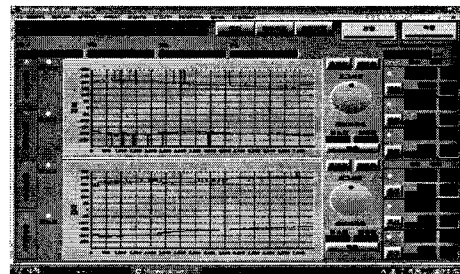
- 3) 기존의 휴스턴대학이나 모나쉬대학 시스템과 달리 레이저 센서의 소형화로 4개의 센서를 사용함으로써 반복 측정 시 오차 발생, 측정 시간의 과다 소요 등의 문제점을 개선하였으며, 데이터의 신뢰성을 향상시켰다.
- 4) 휴스턴 대학교 시스템은 아날로그 형태이므로 회로의 증폭 능력, 노이즈 발생 및 회로기판의 대형화 등의 문제점이 제기되었다. 그러나 본 연구에서는 디지털 방식을 채택하여 회로의 증폭 능력 확대, 노이즈 감소 및 회로기판을 소형화하였다.
- 5) 레이저 측정 데이터와 엔코더 측정값은 한 개의 엔코더 보드를 통하여 전송되는데 이는 기존의 측정 장치(휴스턴 대학교 시스템)와 비교하여 전송 속도와 기능 측면에서 매우 우수한 특성을 나타냈다.
- 6) 대형 BKS-LRPS는 필요시 4개 이상의 센서를 추가 설치할 수 있는 장점을 갖고 있다.
- 7) 감속 모터가 부착되어 자중에 의해 케이블이 풀리는 것을 방지하고 측정 장치를 상향으로 끌어올리도록 하였다.
- 8) 대형 BKS-LRPS에서는 현장타설말뚝 굴착공 벽면 거칠기 측정 및 수직도를 측정 할 수 있도록 소프트웨어가 개발되었다. 또한 측정 중에 사용자가 스케일을 변환 가능하도록 개발하였다.

3.5 BKS-LRPS의 소프트웨어 개발

효과적인 데이터 측정 및 분석을 위해서는 사용자의 편리성을 고려한 프로그램 개발이 필요하게 되었다. 따라서 BKS-LRPS의 프로그램 개발 과정에서는 레이저 센서와 엔코더의 정상 작동 여부를 판단



(a) 프로그램의 셋업 화면



(b) 연직도 계산 화면

사진 8. BKS-LRPS 프로그램

할 수 있는 셋업 기능, 안전하고 쉬운 데이터의 저장 기능, 측정 후 현장에서 데이터의 이상 유무를 판단할 수 있도록 축소확대가 가능한 최소 및 최대값 조절기능, 화면상에서 연직도를 직접 계산할 수 있는 기능, 그리고 조그셔틀 기능 등을 고려하여 프로그램을 개발하였다. 그림 8.(a)과 (b)에 BKS-LRPS 프로그램의 대표적인 화면을 나타내었다. 사진 8.(a)는 BKS-LRPS의 프로그램 시작을 위해 초기에 셋업하는 화면을 보여주고 있다. 그리고 사진 8.(b)은 현장타설말뚝 굴착공의 연직도를 측정한 화면을 보여 주고 있다.

4. 요약 및 제언

말뚝의 굴착공 거칠기 측정 센서로서 레이저는 비접촉식이고 정확도 측면에서 적용성이 우수하다고 인식되고 있지만, 지금까지 연구가 활성화되지 않았고 초보 단계에 머무른 이유를 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 굴착공 거칠기 측정 기술은 토목 분야 중 말뚝 기초 분야와 전자공학 분야의 경계 선상에 있다.

건설 분야의 말뚝 설계 기법 개발 측면에서는 기술 개발의 필요성이 많지만 레이저 센서의 응용 측

면에서는 전자공학 분야의 기술이 결여되어 있었다. 그리고 전자공학분야에서는 주로 공기 중에서 적용되나, 말뚝 기초분야에서는 공기 중과 수중에서 적용되므로 기술 개발의 어려움은 상대적으로 많았다.

2) 토목 기술자들과 전자공학 전문가의 지식 공유의 어려움으로 현장 상황의 변화에 대한 대처 능력이 결여되었다.

전자공학자들은 말뚝 기초 분야에 대한 이해 부족으로 인하여 현장 적용성 보다는 향후 연구의 연속성 때문에 센서 자체 개발에 집중하는 경향이 있었다. 따라서 현장 상황을 이해하지 못하는 상황에서 기술 개발을 위하여 많은 노력, 시간 및 비용이 발생되었다.

3) 레이저 센서를 이용한 굴착공 거칠기 측정시스템의 현장 적용성 연구를 위해서는 많은 시간, 비용 및 노력이 요구되었다.

현장 적용성이 우수한 거칠기 및 연직도 측정 시스템을 개발하는 과정에서 실내 모형검증시스템이 개발되기 전까지 많은 시행착오가 발생하였다. 또한 현장 적용 과정에서 예기치 못한 변수로 인하여 회로 수정과 프로그램(펌웨어와 윈도우 프로그램) 변경으로 개발 기간이 장기화 되었다. 뿐만 아니라 실내 모형검증시험에서 레이저 센서의 검증과 현장 적용시험 과정은 많은 어려움을 수반하였다.

참고문헌

1. (주)백경지앤씨, 박봉근, 최용규(2005), “레이저를 이용한 현장타설말뚝용 굴착공 벽면 수직도 및 거칠기 측정장치 및 측정방법”, 특허출원서
2. (주)백경지앤씨(2006), “BKS-LRPS의 연구개발보고서”, Report No. BK-06-01.
3. 박봉근(2007), “BKS-LRPS(Backyoung-KyoungSung Laser Roughness Profiling System)의 개발 및 검증에 관한 연구”, 경성대학교 박사학위논문
4. 정상섭, 설훈일, 이상윤, 안상용(2006), “현장타설말뚝의 주변마찰력 영향인자 분석”, 한국지반공학회, 한국지반공학회 창립 22주년 기념 기술위원회 공동 학술세미나, pp.351~362.
5. (주)파일테크(2004), “암반중에 근입된 현장타설말뚝의 새로운 설계기법 개발 연구보고서”, 한국건설교통기술평가원, Report No. 2001-목적A-11
6. Collingwood, B.(2000), “The Effects of Construction Practices on the Performance of Rock Socket Bored Piles”, *Ph. D. Thesis*, Department of Civil Engineering, Monash University, Clayton, Vic., Australia.
7. Liang, R.(2002), “Development of A Laser Triangulation Distance Measurement Device and Its Application to Borehole Roughness Detection”, *MSEE Thesis*.
8. Moon S. Nam(2004), “Improved Design for Drilled Shafts in Rock”, *Ph. D. Thesis*, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Houston, Texas. Department of Electrical Engineering, University of Houston, Texas.