

수중에서 사용가능한 굴착공 벽면거칠기 측정 시스템(BKS-LRPS)의 굴착공 내 혼탁도 보정에 관한 연구

Turbidity Calibration of Borehole Roughness Measurement System (BKS-LRPS) Usable in Water

박 봉 근¹ Park, Bong-Geun

최 용 규² Choi, Yongkyu

김 명 학³ Kim, Myung-Hak

권 오 균⁴ Kwon, Oh-Kyun

남 문 석⁵ Nam, Moon S.

Abstract

Based on recent studies, the side resistance of rock socketed drilled shafts was affected by unconfined compressive strength of rock, socket roughness, rock types and joints, and initial normal stress. Especially, the socket roughness was affected by rock types and joints, drilling methods, and diameters of pile. In this study, a new roughness measurement system (BKS-LRPS, Backyoung-KyungSung Laser Roughness Profiling System) usable in water was developed. Based on the laboratory model tests, an EMD (Effective Measurement Distances) according to various turbidity was proposed as $EMD = 1149.2 \times T_b^{-0.64}$.

요 지

암반에 근입된 현장타설말뚝의 주면마찰력은 암석의 일축압축강도 외에 굴착면의 거칠기, 암반의 재료특성, 초기 수직응력, 말뚝의 직경, 암반의 절리 및 풍화도 등에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 특히 주면마찰력에 영향을 미치는 인자 중 굴착공의 거칠기는 암반의 종류, 말뚝의 직경, 그리고 말뚝의 시공법에 따른 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 암반의 굴착공 벽면거칠기 측정장치인 Backyoung-KyungSung Laser Roughness Profiling System(이하 BKS-LRPS라 칭함)의 혼탁도에 대한 유효 측정영역 및 측정 가능 여부를 결정하기 위하여 실내모형실험을 수행하였으며, 여기서 혼탁도(T_b)와 BKS-LRPS의 유효 측정 거리(Effective Measurement Distances(EMD), mm)의 관계식은 $EMD = 1149.2 \times T_b^{-0.64}$ 로 구할 수 있었다.

Keywords : BKS-LRPS, Borehole Roughness, Effective Measurement Distance, Rock Socketed Drilled shafts, Turbidity

1. 서 론

최근 Horvath 등(1983), O'Neill 등(1996), Seidel과

Collingwood(2001)의 연구에 따르면 암반에 근입된 현장 타설말뚝의 주면마찰력은 암석의 일축압축강도 외에 굴착면의 거칠기, 암반의 재료특성, 초기 수직응력, 말뚝의

1 정회원, (주)백경지엔씨 대표이사 (Member, President, Backyoung G&C Co., Ltd.)

2 정회원, 경성대학교 건설환경공학부 교수 (Member, Prof., Department of Civil & Environmental Engrg., KyungSung Univ., ykchoi@ks.ac.kr, 교신저자)

3 정회원, 인제대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Department of Civil Engrg., Inje Univ.)

4 정회원, 계명대학교 토목공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Department of Civil Engineering, Keimyung Univ.)

5 정회원, 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (Member, Senior Researcher, Expressway & Transportation Research Institute, Korea Expressway Corporation)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2009년 4월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

직경, 압반의 절리 및 풍화도 등에 크게 영향을 받는 것으로 알려졌다. 특히 주면마찰력에 영향을 미치는 인자 중 굴착공의 거칠기는 압반의 종류, 말뚝의 직경, 그리고 말뚝의 시공법에 따른 영향이 큰 것으로 알려져 있다 (박봉근, 2007).

대부분 레이저 센서의 굴착공 거칠기 측정에 관한 연구들은 공기 중 사용에 국한되어 있다. 그 일례로 휴스턴 대학(Nam, 2004; Liang, 2002)과 모나쉬 대학(Collingwood, 2000)에서 굴착공의 거칠기를 측정할 수 있는 시스템을 개발하였으나 이러한 연구들 역시 공기 중에서만 적용 가능한 것이었다. 따라서 일반적으로 공기 중과 수중 상태가 공존하는 대부분의 현장 말뚝시공조건에서도 굴착공 거칠기 측정이 용이한 측정 시스템에 대한 개발 필요성이 대두되었다. 아울러 이러한 시스템들을 적용하기 위해서는 공기 중에서 수중으로의 매질 변화에 따른 레이저 센서의 측정값과 참값 사이의 보정계수에 대한 연구, 굴착공의 높은 수압에도 견딜 수 있는 방수 시스템 적용에 따른 보정계수에 대한 연구, 공기 중과 수중 각각에서의 유효측정영역에 대한 연구, 재질 변화에 따른 레이저 센서의 거동 연구, 육상과 해상 조건을 고려한 염분농도에 따른 거동 연구, 거칠기 형태에 따른 거동 연구, 그리고 맑은 물과 흙탕물에서의 거동 연구 등이 요구되어 진다.

본 연구에서는 Backyoung-KyungSung Laser Roughness Profiling System(이하 BKS-LRPS라 칭함)의 수중에서 혼탁도 변화에 따른 유효 측정영역을 결정하고 혼탁도와 BKS-LRPS의 유효 측정 거리의 관계식을 얻을 수 있었다. 이때 얻어진 관계식에 간단하게 측정된 굴착공의 혼탁도를 적용하여 BKS-LRPS의 현장 적용 여부를 결정하고 적용이 어려운 경우 굴착공 내 혼탁도를 기준치 이하로 낮추어야 하였다.

2. 레이저를 이용한 거칠기 측정 장치의 원리

일반적으로 거리측정을 위한 레이저 센서는 펄스(pulse) 레이저 센서와 삼각법(triangulation) 레이저 센서가 사용된다. 앞서 언급한 모나쉬 대학의 굴착공 거칠기 측정 시스템인 SocketPro는 펄스 레이저 센서를 사용 하였으나 BKS-LRPS는 휴스턴 대학과 마찬가지로 삼각법 레이저 센서를 사용하였다. 그러나 굴착공의 거칠기 측정에 이러한 레이저 센서를 사용한 경우는 휴스턴 대학이 최초로 시도되었으나 전자 공학적 측면에서 레이저 센

서 개발에 치중하게 되어 굴착공의 거칠기 측정에서는 많은 진척이 이루어지지 못하였다. 따라서 지금까지의 연구들은 공기 중에서 거칠기 측정에 적용되는 초보적 연구 단계였으나 BKS-LRPS는 공기 중 뿐만 아니라 수중 조건에서도 적용 가능하도록 고안하였다.

2.1 삼각법(triangulation) 레이저 센서의 원리

레이저 삼각 거리 측정(Laser triangulation distance measurement)으로 위치 측정 방법을 제공하며(Fumio Murakami Laboratory, 1994), 비접촉식이고 정확하기 때문에 표면 프로파일링(surface-profiling)과 거칠기 측정(roughness detection)에서 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.

그림 1은 레이저 삼각 거리 측정 장치의 레이저 센서부의 구성 요소 및 원리를 보여주고 있다. 이러한 센서부는 ① 레이저 다이오드 모듈, ② 볼록 렌즈, ③ PSD(Position Sensitive Detector)로 구성된다.

레이저 다이오드 모듈은 물체 표면 위에 광점을 생성하기 위하여 레이저 빔을 방출한다. 볼록 렌즈는 반사된 빛을 모으고, PSD 상에 이미지 점으로 수렴한다. 만약 측정 장치와 물체 표면 사이의 거리가 변하면 PSD 위에 있는 이미지 점의 위치도 동시에 변한다. 이미지 점의 위치와 빛의 강도에 따라 PSD는 현재 신호들을 전자 회로로 출력할 수 있다. 이것이 레이저 삼각 거리 측정 광학 서브시스템의 원리이다.

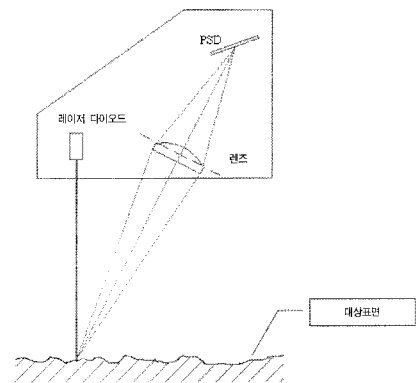


그림 1. 레이저 삼각 거리 측정 장치

그림 2는 레이저 삼각 광학 시스템의 다이어그램을 나타내고 있으며 아래에 수학적 관계를 상세하게 나타내었다(Wiese, 1989). 레이저 빔이 물체 표면 위에 있는 점 A에서 방출한다고 가정하면, A의 이미지는 PSD상에서 점 C에 위치하게 된다. 마찬가지로 레이저 빔이 물체 표면 위에 있는 점 B에서 방출한다고 가정하면 B의 이미지는 점 D에 위치하게 된다. 이미지 초점의 법칙에 따라 식 (1)과 같은 관계식이 얻어진다.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{O} + \frac{1}{I} \quad (1)$$

f : 렌즈의 초점 길이
 O : 점 A에서 렌즈까지의 거리
 I : 렌즈에서 점 C까지의 거리

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{O'} + \frac{1}{I'} \quad (2)$$

O' : 점 B에서 렌즈까지의 거리
 I' : 렌즈에서 점 D까지의 거리

식 (1)은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$I = \frac{Of}{O-f} \quad (3)$$

식 (3)을 α 와 α' 의 관계식으로 표현하면 식 (4)과 같다.

$$\begin{aligned} \tan\alpha' &= \frac{(O-f)}{f} \tan\alpha \\ &= const. \end{aligned} \quad (4)$$

α : 레이저 빔과 광학축 사이 각
 α' : PSD상에서 반사각

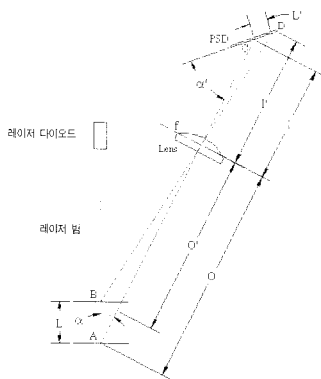


그림 2. 레이저 삼각 거리 측정 광학 시스템의 다이어그램(Liang, 2002)

식 (3)과 식 (4)으로부터 다음과 같은 식 (5)을 도출할 수 있다.

$$\frac{O}{I} = \frac{\tan\alpha'}{\tan\alpha} \quad (5)$$

따라서 식 (5)를 이용하면 광학 서브시스템의 세 부분들 사이의 위치 관계를 계산할 수 있다(Liang, 2002).

2.2 BKS-LRPS의 레이저 센서 구성 및 특징

거칠기 측정장치 개발에 관한 가장 최근의 연구(Liang, 2002)로 부터 휴스턴 대학교 거칠기 측정시스템의 개선해야 할 사항을 다음과 같이 도출할 수 있었다.

① 센서 하강 시 흔들림 최소화

켈리바에 부착된 거칠기 측정 시스템으로 약 1.83m의 굴착공에 대해 거칠기 측정을 하였으며, 여기서 수평 방향으로 약 0.025m 정도 흔들림이 발생 하였다.

② 레이저 센서부의 크기 축소화

휴스턴 시스템의 레이저 센서부의 크기는 길이 0.28m, 폭 0.21m, 높이 0.077m이며 무게는 약 1.36kg이므로 다른 사용 제품에 비해 비교적 크게 만들어 졌다. 본 연구에서 선정된 센서의 제원을 표 1에 나타내었다.

③ 회로의 증폭 능력 확대, 노이즈 감소 및 회로기관 축소

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

본 연구에서는 Liang(2002)이 제시한 휴스턴 대학교

표 1. 선정된 레이저 센서 규격

항 목	규 격
측정범위(measurement range)	20 ~ 400mm
절대오차(absolute accuracy)	±0.5% 20 ~ 200mm ±1% 200 ~ 400mm
재현성(repeatability)	±0.25% 20 ~ 200mm ±0.5% 200 ~ 400mm
해상도(resolution)	0.1mm
광원(laser source)	650nm - 1.2mW
안전 등급(safety class)	Class 2
작동 온도(operating temperature)	-20 ~ 50℃
전원(power requirements)	10 ~ 30V DC

주: 상기의 모든 값은 공기 중에서 측정된 것임

거칠기 시스템의 문제점을 해결하기 위해 레이저 센서의 소형화, 정밀도 및 유효 측정 거리를 감안하여 기존 시판되는 위치 감응 소자(PSD)를 선택하였다. 기존 연구자들이 사용한 레이저 센서는 눈에 보이지 않는 적외선 영역(850nm)을 사용함으로써 사용 중에 시각 장애를 줄 수 있다고 판단하였다. 따라서 시각에 치명적인 영향을 피하면서 눈에 보이는 650nm의 가시성 레이저 빔을 사용하는 레이저 센서(표 1 참조)를 선택하였다.

레이저 센서의 중요 구성은 레이저 다이오드, 렌즈부, 위치감응 소자(PSD) 등이지만, 아날로그/디지털(A/D) 컨버터를 내장한 측정회로와 RS-232/422 변환 장치가 추가적으로 필요하다. PSD에 들어온 레이저의 신호 강도를 증폭한 후, 0~5V 범위로 변경한다. 그리고 A/D 컨버터를 이용하여 디지털 데이터로 변환시킨다. 이들 데이터를 다시 RS-232나 422 변환기를 통해 2바이트 데이터로 초당 200번 출력하게 된다. 출력 보정회로가 내장되어 있다는 점에 착안하여 사진 1과 같은 BKS-LRPS를 위한 레이저 센서 시스템을 제작하였다. 레이저 센서는 굴착공의 심도와 연직도에 따라 센서부는 케이싱이나 소켓부에 부딪칠 수 있기 때문에 BKS-LRPS에서는 사진 1과 같이 제작하였다. 그리고 레이저 센서 시스템의 레이저 빔의 측정 경로는 그림 3과 같이 측정된다. 그림 3은 공기 중과 수중 모두에서 측정 가능한 센서시

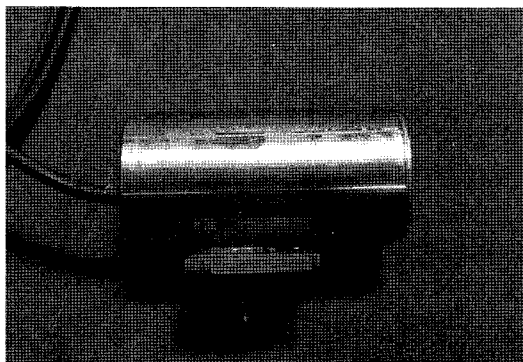
스템이므로 방수시스템과 매질 변화 등에 따른 레이저 센서의 거동 변화가 예상되었다. 따라서 공기 중과 달리 수중에서는 많은 영향인자들에 따른 보정이 요구되었다.

3. 혼탁도를 고려한 BKS-LRPS의 실내 모형검증 실험

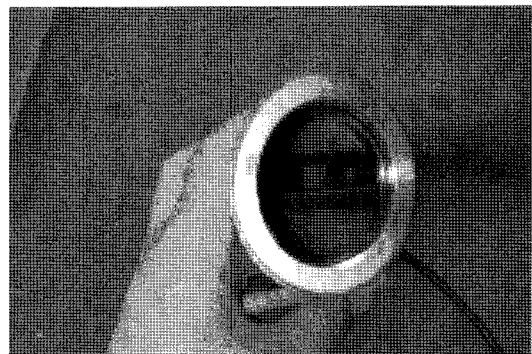
굴착공의 혼탁도 측정만으로 BKS-LRPS의 현장 적용 가능 여부를 판단하고 유효 측정 영역의 예측을 위한 제안식을 얻기 위하여 실내 모형검증시스템(박봉근, 2007)을 이용하여 혼탁도 변화에 따른 레이저 센서의 거동에 대한 연구를 다음과 같이 실시하였다.

3.1 실험계획

탁도 측정방법으로는 육안판별법과 기기분석법으로 나뉘어 진다. 특히 기기분석법은 시료에 조사된 광량에 대해 혼탁입자들에 의한 산란도를 측정하는 네펠로법(Nephelometry)을 많이 사용한다. 이러한 기기분석법에 의한 혼탁도 측정 단위를 NTU(Nephelometry Turbidity Unit)라고 한다. 본 연구에서도 탁도를 측정하기 위해 기기분석법을 사용하였으므로 NTU 단위를 사용하였다. 기기분석시 사용되는 탁도 표준 물질은 일본공업규



(a) 측면부



(b) 정면부

사진 1. 레이저센서 시스템

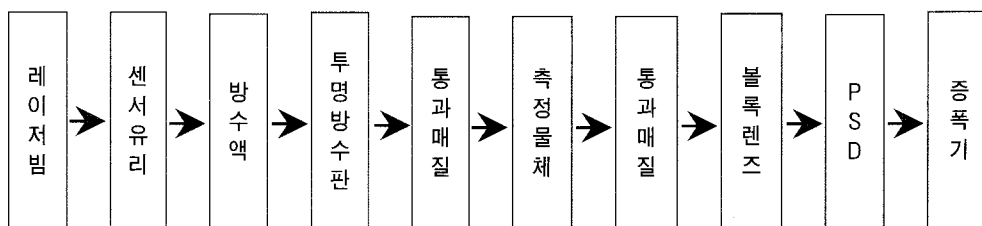


그림 3. BKS-LRPS에서 레이저 빔의 측정 경로

격(JIS)에 의하면 물 1L 중에 정제 카올린(kaolin) 1μN 을 포함한 경우의 탁도를 1도(또는 1ppm)이라고 한다. 이때 사용되는 카올린 입자는 원료의 산지, 조성, 정제 방법에 따라 기기분석법에서 광학적 측정치가 다를 수 있다.

본 연구에서는 이러한 특성을 고려하여 혼탁액에 포함된 세립분의 종류와 함유량은 레이저 센서의 유효 측정 영역 결정에 매우 중요한 영향인자일 것으로 예상하였다. 우선적으로 세립분 함량이 매우 높을 것으로 예상되는 교육용 점토(시료 1)를 대표 시료로 선정하였다. 또한 현장조건을 반영할 수 있도록 하기 위하여 현장의 굴착공 내 슬라임(시료 2)을 현장 시료로 선정하였다. 시료 1의 경우 액성한계가 56%, 세립분(실트 및 점토)이 95%정도인 고소성 점토(CH)로 나타났으며, 시료 2의 경우 액성한계가 25%, 세립분이 50%에 근접하는 사질토(SC)로 나타났다. 시료의 물성시험 결과를 표 2에 요약하였으며 그림 4에는 입도분포곡선을 도시하였다.

육상부와 해상부의 현장조건을 고려할 수 있도록 맑은 물과 소금물(염분 3%) 조건을 선정하였는데 해수의 경우 염분 농도가 3% 이하로 측정되었다.

혼탁도에 의한 유효측정영역 확인 실험조건은 표 3과 같다.

3.2 실내 모형검증시스템

BKS-LRPS 실내 모형검증시스템을 그림 5에 나타내었다. 측정 시편을 시편 고정대에 부착시키고 엔코더와 레이저 센서를 사용하여 시편과 레이저 센서 사이의 거리를 측정할 수 있는 장치이다.

3.3 실험 절차

먼저 시료 1에 대하여 다음과 같은 방법으로 시험을 실시하였다.

- 1) 분석용 전자저울에 3리터 비이커를 올려놓은 후 제로 세팅한다.

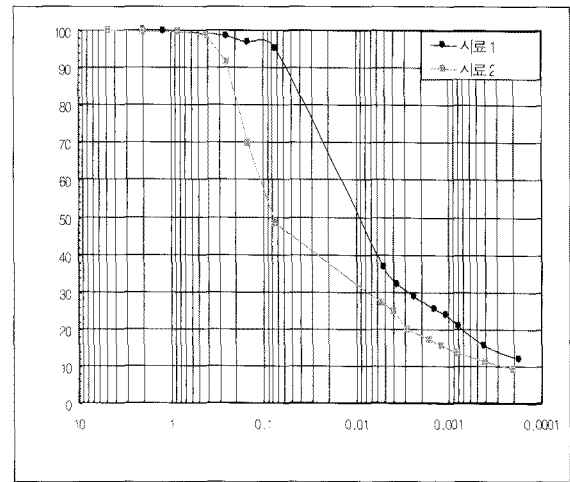


그림 4. 시료 1과 시료 2에 대한 입도 분포 곡선

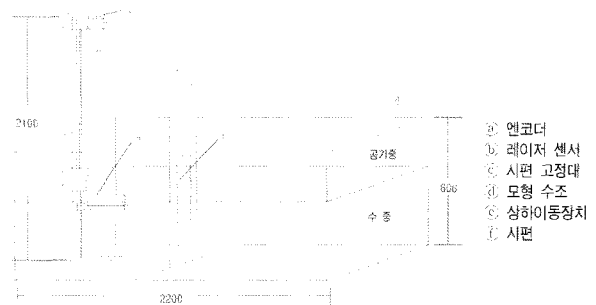


그림 5. BKS-LRPS 실내 모형검증시스템의 모식도

표 2. 시료 1과 시료 2에 대한 물성 실험결과

시료명	구분	통일분류	세립분 함량 (%)	비 중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수	비 고
대표시료 1		CH	95	2.666	56	19	37	교육용 점토
현장시료 2		SC	50	2.726	25	12	13	화성OO현장

표 3. 혼탁액 보정실험 조건

실험조건	현장조건		육상조건 (맑은 물)		해상조건 (3% 소금물)	
	시료 종류	시편	대표시료 1	현장시료 2	대표시료 1	시편
거칠기			알루미늄10			
측정범위(m)			평면			
측정간격(m)			0.078-0.438			
혼탁도(NTU)			0.05(0.078-0.228), 0.03(0.228-0.438)		17.0, 35.5, 46.1, 56.8, 64.2	
			10.8, 18.0, 27.2, 43.1, 63.3		10.8, 21.6, 32.7, 43.1, 63.3	

- 2) 약 0.005N의 교육용 점토를 비이커에 넣고 정확하게 무게를 측정한다.
- 3) 2)에 약 0.1N의 맑은 물을 비이커에 넣고 정확하게 무게를 측정한다.
- 4) 계량을 완료한 후 고속 교반기를 사용하여 점토 입자를 충분히 분산시켜 혼탁도가 매우 높은 용액을 만든다. 이러한 용액을 마개가 있는 용기에 보관한다.
- 5) BKS-LRPS 실내 모형검증시스템의 모형 수조에 맑은 물 약 800N을 채운다.
- 6) 4)의 혼탁액은 입자가 침전될 수 있으므로 사용 전에 충분히 흔들어 5)에 일정량 투입 후 충분히 분산시킨다.
- 7) 분산된 혼탁액을 탁도계(TN-100)를 사용하여 혼탁도를 측정한다.
- 8) 이러한 혼탁액에 대하여 시편과 레이저 센서간의 거리를 증가시키면서 레이저 센서의 값을 측정한다.
- 9) 상기 6)에서 8)까지의 과정을 반복하여 혼탁도를 점진적으로 증가시킨다.

현장에서 채취한 슬라임을 건조시켜 준비한 시료(시료 2)를 이용하여 상기와 동일한 방법으로 실내 모형검증실험을 실시하였다.

해상조건(3% 염수)에 대한 시험에서는 맑은 물 대신 3%의 염수를 사용하고 나머지 절차는 동일하였다.

4. 실내 모형검증실험 결과 및 분석

시공현장의 조건(맑은 물 그리고 해수)에서의 혼탁도 변화에 따른 유효 측정영역 확인을 위한 실내 모형검증실험을 수행하였고, 그 실험결과를 분석하였다.

4.1 육상조건에서 혼탁도 변화에 따른 유효측정영역

그림 6은 육상조건(맑은 물)에서 시료 1의 혼탁도 변화에 따른 레이저 센서의 측정한계를 보여주고 있다. 여러 가지 혼탁도에서 측정한 결과들은 동일한 선형성을 보여주고 있으나 혼탁도의 증가에 따라 레이저 센서의 참값과 측정값의 측정 영역은 감소하는 경향을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 혼탁도는 레이저 센서의 측정 영역에는 영향을 미치나 측정 영역 내에서 참값과 측정값에는 영향이 없으므로 혼탁도에 따른 보정계수가 필요 없다는 것을 알 수 있었다. 즉, 이와 같은 실내 모형검증실험 결과를 활용하면 현장 시공 과정에서 굴착공 내의 혼탁도를 알 수 있다면 BKS-LRPS의 현장굴착공

내에서의 사용 가능 여부를 결정할 수 있을 것으로 판단되었다.

그림 7은 맑은 물에서 시료 1과 2의 혼탁도와 유효측정영역의 관계를 보여주고 있는 데 혼탁도가 증가함에 따라 유효 측정영역은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 여기서 세립분의 함량이 높은 시료 1에서 유효측정영역의 하한계가 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 하한계에 대하여 회귀분석 한 결과 유효측정영역(y)과 혼탁도(x)의 관계는 $y = 1149.2x^{-0.6264}$ 와 같은 지수함수로 나타났으며 신뢰도 $R^2 = 0.9945$ 로 나타났다. 여기서 그림 7에서 지수함수 아래쪽 영역은 측정 가능한 영역을 의미한다.

그림 7에서 BKS-LRPS 혼탁도 기준선으로 표시된 것

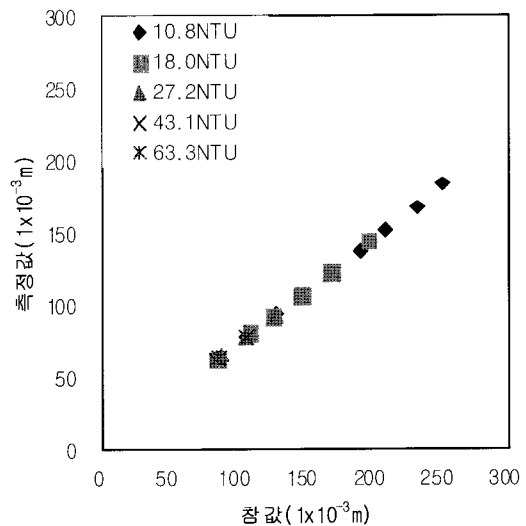


그림 6. 육상조건에서 혼탁도에 따른 레이저 센서의 거동(교육용 점토의 경우)

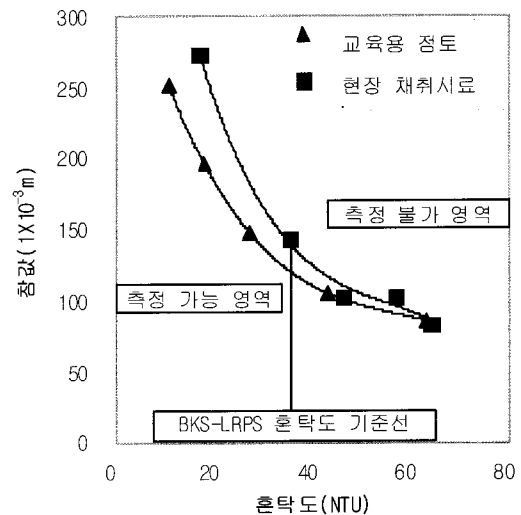


그림 7. 육상조건에서 혼탁도에 따른 유효측정영역

은 슬라임을 채취한 현장에서 굴착공 내에 있는 슬라임 제거 후 채취한 물의 혼탁도로 약 38NTU로 측정되었다. 따라서 그림 7에서 시료 2에 대한 혼탁도(NTU)-참값의 그래프로부터 BKS-LRPS를 적용 시 유효측정영역은 약 0.15m임을 알 수 있었다.

4.2 해상조건(3% 소금물)에서 혼탁도 변화에 따른 유효 측정영역

그림 8에는 시료 1의 혼탁도에 따른 측정한계를 나타내었는데 여기서 참값에 대한 측정값의 선형성은 동일하였으나 혼탁도가 증감함에 따라 측정한계는 감소하는 경향을 보였다. 현장 시공 과정에서 혼탁도를 알 수 있다면 이와 같은 실내 모형검증실험 결과를 기준으로 BKS-LRPS의 현장 적용 가능 여부를 결정할 수 있을 것으로 판단되었다.

그림 9는 소금물에서 혼탁도 변화에 따른 레이저 센서의 유효측정영역의 범위를 보여주고 있다. 육상부에서와 마찬가지로 유효측정영역은 혼탁도의 증가에 따라 지수함수적으로 감소하는 것을 알 수 있었다.

4.3 혼탁도에 따른 유효측정영역의 결정

2종류의 시료에 대하여 육상조건과 해상조건에서 수행한 혼탁도 모형시험결과를 그림 10에 함께 나타내었으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

① 세립분의 함량에 따른 영향

육상부 조건(맑은 물)에서 시료 1(세립분 함량 95%)과 시료 2(세립분 함량 50%)에 대한 혼탁도에 따른 유효측정영역(그림 10의 a, c)을 비교한 결과 낮은 혼탁도(예, 20NTU) 영역에서는 시료 1(a)의 유효 측정 영역은 약 24cm이었으나 시료 2(c)의 경우 약 24cm로 나타났다. 다시 말해 낮은 혼탁도 영역에서는 세립분 함량이 높을수록 유효 측정 영역은 작아짐을 알 수 있었다. 56NTU 이상의 영역시료 1과 시료 2의 유효 측정 영역은 거의 차이가 없었다. 즉 낮은 혼탁도 영역에서는 세립분 함량이 높을수록 유효 측정 영역은 작아짐을 알 수 있었으며 높은 혼탁도에서는 세립분의 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

혼탁도가 낮은 경우 유효측정영역은 혼탁도에 따라 급격하게 줄어드는 것을 알 수 있으며 약 56NTU이상의

영역(그림 10의 d 및 e)에서는 유효측정영역은 거의 일정한 값을 나타내고 있었다.

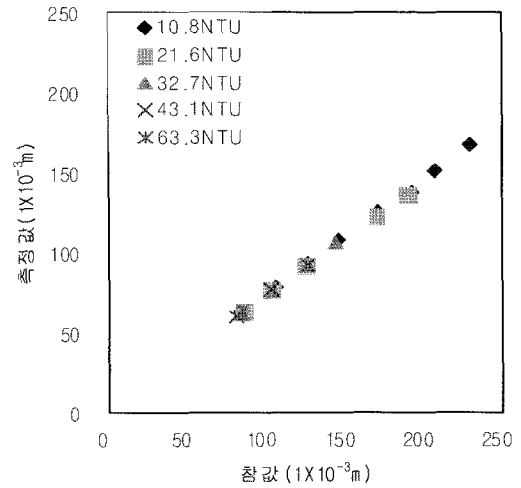


그림 8. 해상조건에서 혼탁도에 따른 레이저 센서의 거동

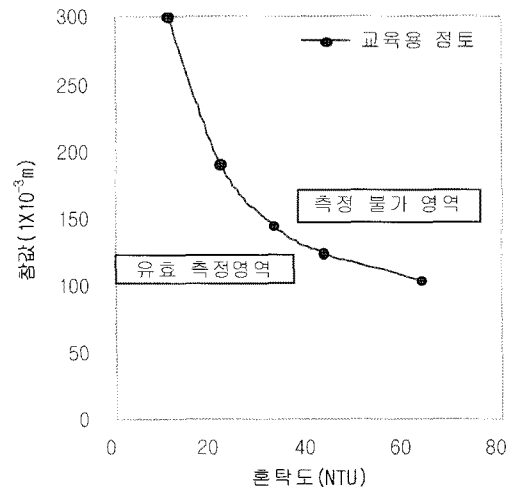


그림 9. 해상조건에서 혼탁도에 따른 유효측정영역

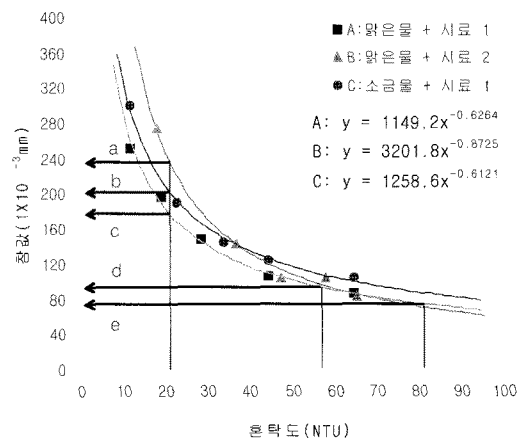


그림 10. 굴착액의 혼탁도에 따른 유효 측정 영역 결정

② 염분의 영향

세립분 함량이 우세한 기준시료 1에 대한 육상부와 해상부 조건에서의 유효 측정영역(그림 10의 b, c)을 비교하였는데 혼탁도에 따라 유효측정영역이 크게 변화하지 않는 것을 알 수 있었다.

③ 유효측정거리에 관한 제안식

따라서 육상부 조건에서 수행된 세립분이 95%인 기준시료 1에 대한 실험 결과에 근거하여 유효측정영역을 안전측으로 식 (6)과 같이 제안할 수 있었다.

$$EMD = B_{ks} \times T_b^{-0.64} \quad (6)$$

EMD : BKS-LRPS의 유효 측정 거리(1×10^{-3} m)

B_{ks} : 흙 시료와 염분에 따른 BKS-LRPS 계수

T_b : 맑은 물에서의 혼탁도(NTU)

여기서, 세립질 성분이 95%이상을 차지하는 시료 1에 대한 유효 측정영역을 하한계로 볼 수 있었으며 육상부 조건에서 유효측정거리가 줄어드는 것으로 나타나고 있었으므로 이러한 조건에서 B_{ks} 는 1149.2로 구할 수 있었다.

5. 결론 및 제언

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 혼탁도가 증가함에 따라 BKS-LRPS의 유효측정영역은 감소하는 경향을 보였으며 따라서 굴착공의 혼탁도는 BKS-LRPS의 유효측정영역을 결정하는 중요한 요인임을 알 수 있었다.
- (2) BKS-LRPS의 유효측정영역은 안전측으로 다음과 같이 제안할 수 있었다.

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

EMD : BKS-LRPS의 유효 측정 거리(1×10^{-3} m)

B_{ks} : 흙 입자에 따른 BKS-LRPS 계수(1149.2)

T_b : 맑은 물에서의 혼탁도(NTU)

- (3) 낮은 혼탁도 영역에서는 세립분 함량이 높을수록 유효 측정 영역은 작아짐을 알 수 있었으며 높은 혼탁도에서는 세립분의 영향이 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 혼탁도가 낮은 경우 유효측정영역은 혼탁도에 따라 급격하게 줄어드는 것을 알 수 있으며 약 56NTU이상의 영역에서는 유효측정영역은 거의 일정한 값을 나타내고 있었다.
- (4) BKS-LRPS의 유효측정영역에 미치는 염분의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 박봉근 (2007), "BKS-LRPS(Backyoung-KyungSung Laser Roughness Profiling System)의 개발 및 검증에 관한 연구", 경성대학교 박사학위논문
2. 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.
3. David R. Wiese (1989), "Laser Triangulation Sensors:A Good Choice for High Speed Inspection", *Chilton's, I&CS*, Vol. 62, pp.27-29.
4. Dwulet, R. J. (1995), "Laser Triangulation Expands Measurement Options", *Design News*, Mar 27, pp.114
5. Fumio Murakami Laboratory. (1994), "Accuracy Assessment of a Laser Triangulation Sensor", IMTC '94, 10-12, May.
6. Horvath, R. G., Kenney, T. C., and Kozicki, P. (1983), "Methods of Improving the Performance of Drilled Piers in Weak Rock", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 20, pp.758-772.
7. Liang, R. (2002), "Development of A Laser Triangulation Distance Measurement Device and Its Application to Borehole Roughness Detection", *MSEE Thesis*, Department of Electrical Engineering, University of Houston, Texas.
8. Nam, M. S. (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.
9. O'Neill, M. W., Townsend, F. C., Hassan, K. M., Buller, A., and Chan, P. S. (1996), "Load Transfer for Drilled Shafts in Intermediate Geomaterials." *FHWA Publication No. FHWA-RD-95-172*, Department of Transportation, Federal Highway Administration, Research and Development, McLean, VA.
10. Seidel, J. P., and Collingwood B. (2001), "A New Socket Roughness Factor for Prediction of Rock Socket Shaft Resistance", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 38. February pp.138-153.

(접수일자 2008. 3. 14, 심사완료일 2008. 9. 9)