



# 타겟면의 거칠기 및 경사각에 따른 초음파 반사 특성 실험

## Experiments Characterizing Ultrasound Reflection at a Target Surface Depending on Roughness and Slope

임 성 구\* · 김 진 오†  
Sung Gu Lim\* and Jin Oh Kim†

(Received August 1, 2019 ; Revised November 13, 2019 ; Accepted November 13, 2019)

**Key Words :** Ultrasound(초음파), Reflection(반사), Target Surface(타겟면), Roughness(거칠기), Slope(경사)

### ABSTRACT

This study deals with ultrasound reflection characteristics at a target surface during distance measurements using an ultrasonic sensor. The purpose of this study is to investigate the allowable range of the slope angle of a target surface where the incident ultrasound is reflected to return when the distance is measured by an ultrasonic sensor for both transmission and reception. To this end, it is necessary to research the reflection characteristics of ultrasound according to the roughness and slope angle of the target surface. We carried out experiments detecting ultrasonic waves reflected on a rough surface and returning to the sensor. The target specimens had particle sizes from 0 to 0.01 relative to the ultrasonic wavelength. As we changed the target surface slope, we monitored the reception of the reflected waves and investigated the distance measurement error. It appears that for the rougher surface, the allowable slope angle range was larger even though the detectable distance range is smaller. When the particle size relative to the ultrasonic wavelength was 0.008, the distance measurement was reasonable at a slope angle up to 25°.

### 1. 서 론

초음파를 활용한 거리측정 기술은 차량의 후방감지<sup>(1)</sup> 및 주차보조와 이동로봇의 장애물 감지<sup>(2)</sup> 등에 활용되고 있다. 초음파 트랜스듀서로 초음파를 송신할 때, 타겟면에서 반사된 후 수신되는 초음파는 타겟면의 거칠기와 경사각에 따라 다르다. 거리측정이 타당하게 이루어지는 경사각 허용범위를 파악하기 위해 타겟면의 거칠기나 경사각에 따른 초음파의 반사특성을 파악할 필요가 있다.

박쥐가 초음파로써 전방 장애물을 탐지할 때, 타겟면이 초음파 전파방향에 직각이 아니어도 감지한다. 이는 거친 타겟면에서 초음파가 난반사하여 박쥐에게 되돌아오는 반사파가 있기 때문이며, 매끄러운 타겟면은 초음파 전파방향에 직각이 아니면 박쥐가 인지하지 못하여 충돌하는 사례가 관찰되었다<sup>(3)</sup>. 그러나 거친 타겟면에 대해서 거칠기와 반사각에 관한 연구 결과는 제시되지 않았다. 비파괴평가 방법 중 하나인 초음파 검사에서 거친 표면에 대한 초음파 산란을 유한요소 해석을 기반으로 연구한 사례<sup>(4)</sup>가 있지만 이를 실험으로 검증하지는 않았다. 타겟면의 거칠기에

† Corresponding Author ; Fellow Member, Soongsil University  
E-mail : jokim@ssu.ac.kr  
\* Member, Soongsil University

# A part of this paper was presented at the KSNVE 2019 Annual Spring Conference  
‡ Recommended by Editor Won Ju Jeon  
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

따라 반사된 초음파의 진폭을 연구한 사례도<sup>(5)</sup> 있는데, 거리측정과 관련하여 경사각 허용 범위를 다루지는 않았다.

이 논문은 타겟면의 거칠기와 경사각에 따라 거리 측정이 가능한 경사각의 허용범위를 실험으로 파악하였다. 송신 및 수신 겸용 초음파 센서를 이용하여 거리를 측정하고, 타겟면의 거칠기에 따른 반사 초음파의 수신음압을 관찰하였다. 이때, 타겟면의 거칠기는 사포의 면으로 분류하였다. 타겟면의 경사각을 변경하며 수신음압을 관찰하고, 그 결과로부터 타겟면에 따른 초음파의 반사 특성을 파악하였다.

## 2. 거칠기에 따른 반사특성

다양한 거칠기의 타겟면은 1200방, 800방, 400방, 150방 사포로 설정하였다. 사포면의 거칠기를 SEM (scanning electron microscope)으로 찍어 Fig. 1에 제시하였다. 타겟면의 입자크기를 ISO 6344에서 참조하여 Table 1에 기재하고, 입자크기를 파장( $\lambda$ )으로 나눈 값을 함께 기재하였다. 여기서 grit size 0은 매끈한 유리면이다. 재료의 차이가 있지만 공통적으로 공기와의 음향 임피던스 차이가 매우 커서 파동 반사율에는 차이가 없다.

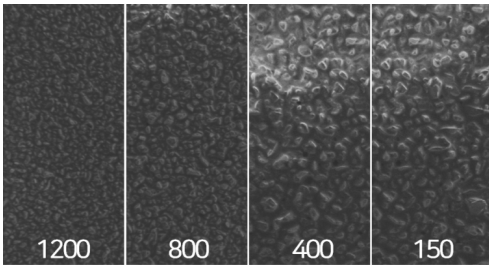


Fig. 1 SEM pictures of sandpaper surface

Table 1 The grit size of sandpaper per wavelength of ultrasound

Roughness		Grit size per wavelength	
Sandpaper specification (grade)	Grit size ( $\mu\text{m}$ )	At 30 kHz ( $\lambda = 11.4 \text{ mm}$ )	At 40 kHz ( $\lambda = 8.5 \text{ mm}$ )
-	0	0	0
1200	15.3	0.0013	0.0018
800	21.8	0.0019	0.0026
400	35	0.0031	0.0041

Fig. 2에 실험장치 구성을 제시하였다. 초음파 센서로부터 일정거리 떨어진 위치에 타겟면을 설치하였다. 송·수신 보드(airmar development kit)로 정현파 신호를 초음파 센서에 입력으로 인가하였다. 타겟면에서 반사되어 되돌아온 초음파의 수신 신호를 오실로스코프로 측정하였다. 거리측정용 초음파 센서에서 주로 사용되는 구동주파수 30 kHz와 40 kHz의 초음파 센서를 활용하였다.

구동주파수 30 kHz인 초음파 센서로 초음파를 송신하고, 1 m 거리의 타겟면에서 반사되어 되돌아온

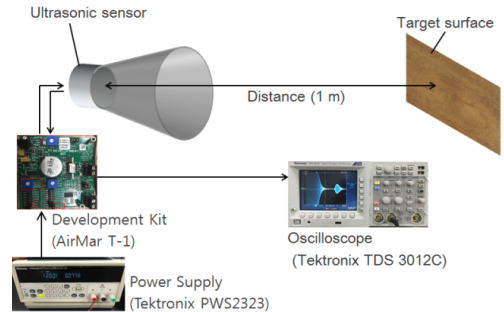


Fig. 2 Configuration diagram of transmission and reception test instrument for the roughness of the target surface

Table 2 Received voltage depends on the roughness of the target surface (30 kHz, 1 m)

Grit size per wavelength	Sensor output	
	Measured (mV)	Normalized
0	1020 $\pm$ 3.1	1
0.0013	830 $\pm$ 1.2	0.814
0.0019	700 $\pm$ 0.8	0.686
0.0031	600 $\pm$ 1.2	0.588
0.0088	550 $\pm$ 0.5	0.539

Table 3 Received voltage depends on the roughness of the target surface (40 kHz, 0.4 m)

Grit size per wavelength	Sensor output	
	Measured (mV)	Normalized
0	628 $\pm$ 0.9	1
0.0018	616 $\pm$ 0.7	0.981
0.0026	452 $\pm$ 0.3	0.720
0.0041	430 $\pm$ 0.1	0.685
0.0118	426 $\pm$ 0.4	0.678

초음파를 수신하여 측정된 센서 출력의 크기를 Table 2에 나타내었다. Table 3에는 구동주파수가 40 kHz인 초음파 센서를 사용하여 0.4 m 거리의 타겟면에서 반사된 후 수신된 초음파의 센서출력이다. 측정을 3번씩 하여 평균값과 표준편차를 기재하였다. 30 kHz일 때와 40 kHz일 때 타겟면 거리를 다르게 설정하였다. 구동주파수가 40 kHz인 초음파 센서는 1 m 거리에서 수신음압이 작아 0.4 m에서 실험하였다. Table 2와 Table 3의 데이터를 Fig. 3에 그래프로 나타내었다. 여기서 2개의 점선은 각각 주파수에 대한 추세선이다. Fig. 3의 그래프 추세는 초음파 파장 대비 입자 크기가 클수록 타겟면에 반사되어 되돌아온 초음파 음압이 작음을 보여준다. 추세에서 벗어나는 결과가

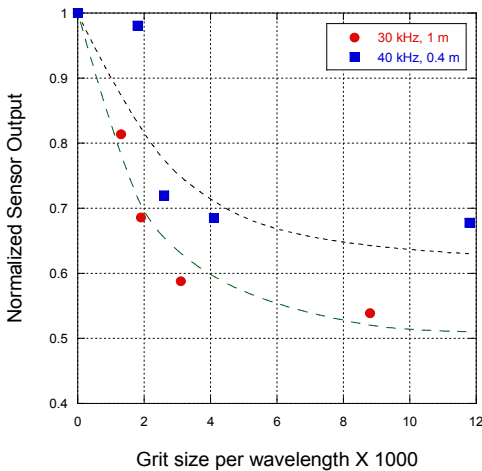


Fig. 3 Normalized sensor output depending on grit size per wavelength

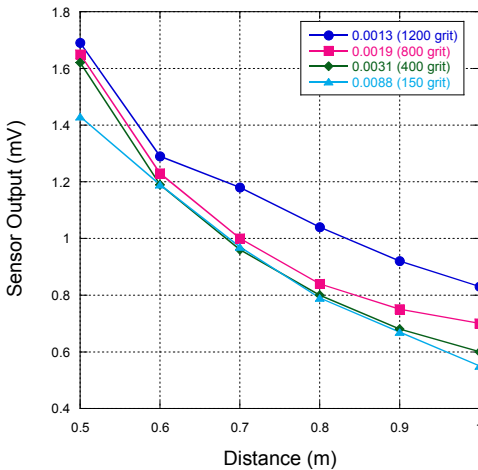


Fig. 4 Sensor output depending on target surface roughness (30 kHz)

하나 나타났는데, 이는 실험 중의 오류로 추정되므로 추가 검토가 필요하다.

타겟면의 거칠기와 거리를 변경하며 초음파 송수신 실험을 하였고, 실험결과를 Fig. 4에 그래프로 나타내었다. 타겟면이 거칠수록 초음파 센서의 수신음압이 작은 것으로 나타났다. 이는 산란으로 인해 초음파가 방사되어 센서로 되돌아 온 양이 작아지기 때문이며, 참고문헌 (5)의 결과와 같은 경향이다.

### 3. 경사각에 따른 반사특성

타겟면의 경사 각도를 0°부터 45°까지 5°간격으로 변경하며 실험하였다. 타겟면의 거칠기는 2절에서 언급한 내용과 같다. 실험장치를 Fig. 5에 나타내었다. 구동주파수가 30 kHz와 40 kHz인 초음파 센서를 사

Table 4 Measured distance according to target surface slope angle (30 kHz, 1 m)

		Measured distance (m)					
Target surface slope (°)		0	10	15	20	25	30
Grit size per wavelength	0.0013	1.00	1.00	1.00	0.96	0.97	1.4
	0.0019	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.17
	0.0031	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08	1.49
	0.0088	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.37

Table 5 Measured distance according to target surface slope angle (40 kHz, 0.4 m)

		Measured distance (m)					
Target surface slope (°)		0	10	15	20	25	30
Grit size per wavelength	0.0013	0.40	0.40	0.38	0.42	0.47	0.46
	0.0019	0.40	0.40	0.40	0.45	0.47	0.45
	0.0031	0.40	0.40	0.40	0.43	0.47	0.48
	0.0088	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45

용하였다. 타겟면의 경사각을 변경하며 수신된 초음파의 센서출력을 측정하였고, 결과를 Fig. 6에 제시하였다. 타겟면의 경사각도가 0°일 때, 즉 수직 입사때에

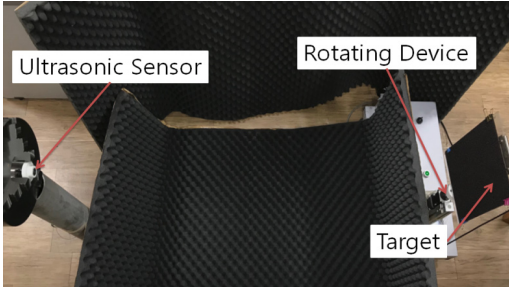
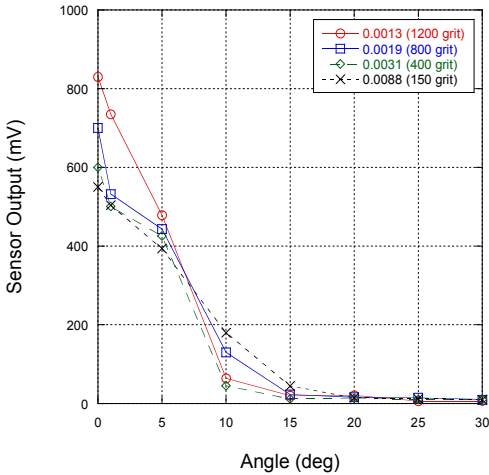


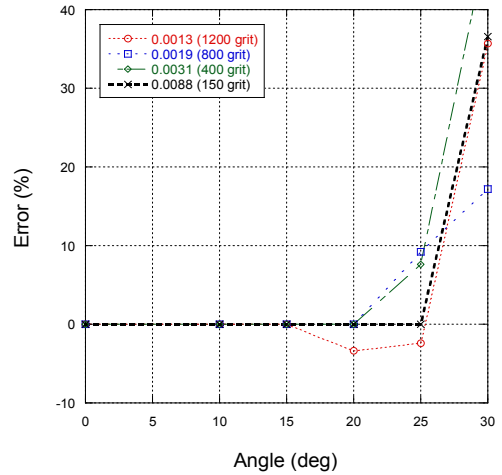
Fig. 5 Device for measurement of receiving sound pressure according to slope angle

타겟면이 거칠수록 수신음압이 작지만, 타겟면의 경사각도가 0°가 아닐 때에는 타겟면의 거칠기에 따라 수신음압이 유의미한 차이를 나타내지 않았다.

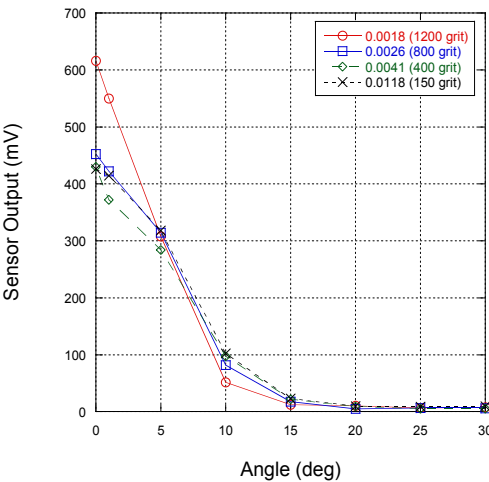
타겟면의 거칠기와 경사각을 변경하며 거리측정을 하였고, 측정오차를 관찰하였다. 구동주파수 30 kHz인 초음파 센서로 1 m 거리에 위치해 있는 타겟면에 초음파를 송수신 하였다. 경사각은 0°부터 30°까지 변경하였다. 초음파의 송수신 시간을 거리로 환산하여 Table 4에 나타내었다. 구동주파수 40 kHz인 초음파 센서로 0.4 m 거리에 위치해 있는 타겟면에 초음파를 송수신 실험을 하여 Table 5에 나타내었다. 거리측정 실험결과를 토대로 오차를 계산하여 Fig. 7에 그래프로 제시하였다. 타겟면이 거칠수록 거리측



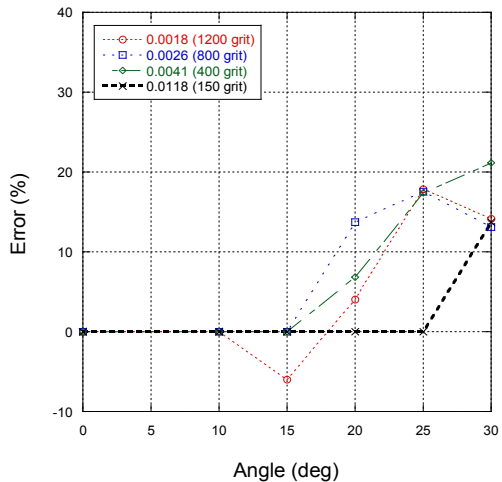
(a) Frequency 30 kHz and distance 1 m



(a) Frequency 30 kHz and distance 1 m



(b) Frequency 40 kHz and distance 0.4 m



(b) Frequency 40 kHz and distance 0.4 m

Fig. 6 Reflected ultrasound according to the roughness and slope angle of the target surface

Fig. 7 Error in measured distance according to slope angle

정이 가능한 경사각의 허용범위가 커짐을 확인하였다. 실험에 사용된 사포 중 가장 거친면인 150방 사포(과장 대비 입자크기는 30 kHz에서 0.0088이고 40 kHz에서 0.0118)의 경우에 25°까지의 경사각에서 거리측정이 타당하게 이루어졌다. 경사각 15°까지에서는 오차 1% 이내로 거리측정이 정확히 이루어졌다. 경사각 20°와 25°에서는 오차 2%로 거리측정이 가능한 결로 나타났다.

구동주파수 30 kHz와 40 kHz인 초음파 센서를 사용하였고, 타겟면의 거칠기를 1200방, 800방, 400방, 150방 사포로 하였다. 거칠기에 따른 반사파 수신을 관찰하였고, 타겟면의 각도를 0°부터 45°까지 5°간격으로 변경하며 거리측정 오차를 파악하였다.

#### 4. 결 론

거리측정용 초음파 센서로부터 전파하는 초음파의 타겟면 반사 특성을 다루었다. 송신 및 수신 겸용 초음파 센서로 거리를 측정할 때, 타겟면에 입사하는 초음파가 반사하여 센서로 되돌아가는 타겟면 경사각 허용범위를 파악하기 위하여 실험을 하였다.

타겟면의 경사각도가 0°일 때 타겟면이 거칠수록 수신음압이 작지만, 타겟면의 경사각도가 0°가 아닐 때에는 타겟면의 거칠기에 따라 수신음압이 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 타겟면이 거칠수록 거리측정이 가능한 경사각 허용범위가 커짐을 확인하였다. 150방 사포(과장 대비 입자크기는 30 kHz에서 0.0088이고 40 kHz에서 0.0118)의 경우에 25°까지의 경사각에서 거리측정이 타당하게 이루어졌다.

#### References

- (1) Kim, J. O., 2000, Sensors and Actuators Using Ultrasound, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 723~728.
- (2) Choi, Y. K., Choi, U. S. and Song, J. B., 2009, Obstacle Avoidance of a Mobile Robot Using Low-cost Ultrasonic Sensors with Wide Beam Angle, Journal of

Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 15, No. 11, pp. 1102~1107.

- (3) Grief, S., Zsebök, S., Schmieder, D. and Siemers, B. M., 2017, Acoustic Mirrors as Sensory Traps for Bats, Science, Vol. 357, No. 6355, pp. 1045~1047.

- (4) Choi, W. J., Kim, K. B. and Kwon, S. G., 2018, A Statistical Study on Wave Scattering on Rough Surfaces Using Ultrasonic Numerical Simulations, Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 38, No. 3, pp. 197~202.

- (5) Sukmana, D. D. and Ihara, I., 2006, Surface Roughness Characterization through the Use of Diffuse Component of Scattered Air-coupled Ultrasound, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, No. 5B, pp. 4534~4550.



**Sung Gu Lim** received the B.S. and M.S. degrees in mechanical engineering from Soongsil University in 2014 and 2019, respectively. During his stay at Soongsil as a graduate student, he was working on ultrasonic sensors and wave propagation.



**Jin Oh Kim** received the B.S. and M.S. degrees in mechanical engineering from Seoul National University in 1981 and 1983, respectively, and the Ph.D. degree from University of Pennsylvania in 1989. For ten years he has got research experiences at Korea Research Institute of Standards and Science, Northwestern University, and Samsung Advanced Institute of Technology. Since 1997, he has been working at Soongsil University, where he is currently a Professor of mechanical engineering. His research interests are in the area of ultrasonic sensors and actuators using mechanical vibrations and waves.