

CNG 탱크 내 연료량 계측을 위한 송·수신 초음파 센서의 접촉면 변경에 따른 수신 감도 분석

김남욱¹, 임석연², 최두석^{3*}

¹공주대학교 대학원 기계공학과, ²동명대학교 자동차공학과, ³공주대학교 기계자동차공학부

Analysis of Receiving sensitivity according to Contact Surface Change of Transmit-Receiver Ultrasonic Sensor for Fuel Level Measurement in CNG Tank

Nam-Wook Kim¹, Seok-Yeon Im², Doo-Seuk Choi^{3*}

¹Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University

²Department of Automotive Engineering, Tongmyeong University

³Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요 약 본 연구는 송·수신 초음파 센서를 이용하여 CNG 탱크에서의 정밀한 연료량을 측정하기 위한 기초 연구로써 탱크 내부 압력 및 초음파 센서의 접촉면 변경에 따른 수신감도를 분석하였다. 실험은 탱크와 센서의 접촉면을 점, 선, 면의 3가지 타입으로 변경하고 탱크 내부의 압력을 0 bar 부터 5 bar까지 1 bar 간격으로 충전하면서 측정을 진행하였다. 실험결과 탱크 내부의 압력이 증가함에 따라 초음파 센서의 수신신호 값이 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 또한 탱크와 센서의 접촉면적이 증가할수록 수신 신호 값은 증가하지만, 노이즈 또한 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 실험 결과 초음파의 투과 특성을 이용하여 탱크내부의 기체 연료량을 측정할 수 있을 것으로 판단되며, 센서의 접촉면 변경을 통해 정밀성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

주제어 : 초음파 센서, 노이즈, 수신감도, 압력, 압축천연가스

Abstract This paper is studied, as basic research for measuring the accurate fuel amount of the CNG tank by using the transmit-receive ultrasonic sensor, the receiving sensitivity according to changed the pressure inside the tank and the contact surface of the ultrasonic sensor is analyzed. Measurement was carried out while changing the contact surface of the tank and the sensor to three shapes of Point, Line, and Surface and charging the pressure in the tank at an interval of 1 bar from 0 bar to 5 bar. Experiment results, as the pressure in the tank increased the tendency of the received signal value of the ultrasonic sensor to decrease was confirmed. As the contact area between the tank and the sensor increased, the value of the received signal increased, but the noise also increased. The results of experiment, it is judged that accuracy can be improved by changing the contact surface of the sensor.

Key Words : Ultrasonic sensor, Noise, Receive sensitivity, Pressure, Compressed natural gas

*This study was financially supported by Industrial Core Technology Development Program (No. 10052094, A fuel-gauge development of efficiency for CNG vehicle with leak detections and active safeties) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MI, Korea).

*Corresponding Author : Doo-Seuk Choi (dschoi@kongju.ac.kr)

Received February 28, 2018

Revised March 26, 2018

Accepted April 20, 2018

Published April 28, 2018

1. 서론

자동차 배출가스 규제가 지속적으로 강화됨에 따라 천연가스는 연소시 발생하는 이산화탄소(CO₂), 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x) 등의 유해 배출가스가 휘발유 및 경유에 비해 적게 배출되기 때문에 차세대 연료로 각광 받고 있다[1-4]. 현재 압축천연가스 자동차는 연료를 저장탱크 안에 약 250 bar의 고압으로 충전하여 사용되고 있다. 탱크 안의 연료량 계측을 위해 기존 다이어프램 형식의 압력센서와 탱크 상·하부의 압력 차이를 측정하여 내부 연료량을 계측하는 차압센서 등의 방식을 사용해왔다[5-9]. 하지만 이러한 방법은 기체연료 특성상 순수 기체연료에 대한 탱크 내부의 정확한 연료량을 계측하는데 기술적인 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이와 같은 문제들을 해결하기 위해 초음파 센서를 이용한 계측기술이 각광받고 있다. 초음파란 20 kHz 이상의 주파수로 사람의 귀로는 들을 수 없는 음파로 정의되며[10-14], 초음파의 투과 및 반사 특성을 이용하여 두 물체 사이의 거리를 측정하는 방식과 관내에 흐르는 유량 및 내부 파손 측정 등의 여러 계측 장치로 사용되고 있다[15-18]. 이렇게 초음파 센서는 차세대 정밀 계측 장비로 각광받고 있지만, 기체연료 탱크의 연료량 계측에는 아직까지 적용되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 CNG 탱크 내부에 충전된 가스를 초음파 센서에 의하여 계측할 수 있는 기초적인 실험 방법을 제안하고, CNG 탱크에 추가적인 가공없이 탱크 내부 압력 및 송·수신 센서의 접촉면 변경에 따라 변화되는 포락선 에너지를 검증하기 위해 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험을 위해 제작된 초음파 센서의 압전 소자는 M사의 MS-21 모델을 사용하였으며, 매칭레이어는 알루미늄 탱크와 같은 재질로 선정하였다. 또한 외부에서 센서로 유입되는 노이즈를 감소시키기 위하여 압전소자와 센서 몸체 사이에 에폭시를 주입하여 내부공간을 경화 시켰다. 알루미늄 탱크 외벽과 맞닿는 송·수신 센서의 접촉면을 Fig. 1 과 같이 점(Point), 선(Line), 면(Surface) 3가지로 제작 하여 총 9가지의 실험을 진행하였으며, 자세한 조건은 Table 1과 같다.

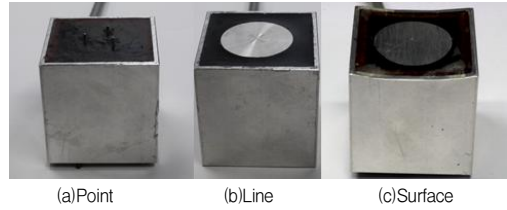


Fig. 1. Contact surface shape of ultrasonic sensor

Table 1. Experiment condition of ultrasonic sensor

Properties	Model	Properties	Model
Type 1	P-P	Type 6	L-S
Type 2	P-L	Type 7	S-P
Type 3	P-S	Type 8	S-L
Type 4	L-P	Type 9	S-S
Type 5	L-L		

Fig. 2 는 초음파 센서를 이용한 기체 연료량 계측 모사장치의 개략도 이다. 실험의 안전성을 고려하여 실제 사용되는 CNG 탱크가 아닌 내부 용량이 작은 알루미늄 탱크를 사용하였으며, 초음파의 주파수 및 펄스 등을 제어하기 위해 A사의 T1 모델을 사용하였다. 수신센서의 출력 신호를 확인하기 위해 탱크 외벽에 접촉제(Super X)를 접촉매질(couplant)로 사용하여 송·수신 센서를 부착한 후 오실로스코프를 통해 데이터를 취득하였다. 실험에 사용된 장비의 자세한 성능은 Table 2와 같다.

실험은 탱크 주변의 온도를 25℃로 일정하게 유지시킨 후 탱크 내의 압력을 1 bar 간격으로 충전하면서 변화되는 수신감도 분석을 진행하였다. 자세한 실험조건은 Table 3과 같으며, 안전을 위해 CNG가 아닌 공기를 사용하였다.

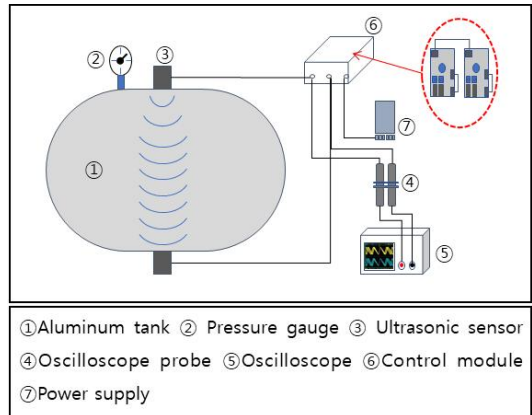


Fig. 2. Schematic of measuring device

Table 1. Specifications of experiment

Equipment	Specifications
Aluminum tank	0 to 10 bar
Pressure gauge	0 to 20 bar
Oscilloscope	70 MHz
Control module	30 to 300 kHz
Power supply	220 V to 12 V

Table 2. Conditions of experiment

Parameter	Value
Frequency	69.8 kHz
pulse	3
Sensor type	3types
Target fluid	Air
Temperature	25±1 °C
Pressure	0 to 5 bar

3. 결과 및 고찰

3.1 압력변화에 따른 수신감도 분석

Fig. 3 은 기본 모델인 선 타입의 송·수신 센서를 탱크 외벽에 부착 후 압력 변화에 따른 수신감도를 나타낸 결과이다. 수신신호의 최댓값은 초음파 센서의 불감지 영역 이후 약 900 μs 구간에서 나오는 것을 확인할 수 있었다. 수신감도 구간은 모든 타입의 송·수신 센서에서 유사하게 나타났으며, 이와 같은 이유는 송·수신 센서의 거리 및 음속이 동일하기 때문에 나타나는 것으로 판단된다.

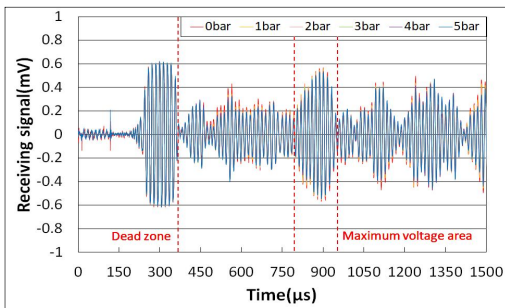


Fig. 3. Results of reception sensitivity of line type sensor

Fig. 4는 탱크 내부의 압력이 증가했을 때의 각 타입의 송·수신 센서에서의 최대 수신감도 값을 나타낸 결과이다. 선 타입의 송·수신 센서에서 0 bar의 수신신호 최댓값은 약 568 mV로 나타났으나, 탱크 내부의 압력이 증가함에 따라 약 528 mV까지 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 다른 타입의 모든 송·수신 센서에서 탱크 내부의 압력이 증가할수록 수신신호 값이 감소하는 것을 확

인할 수 있었다. 이와 같은 이유는 탱크 내부의 압력이 증가함에 따라 내부 압축공기의 밀도 또한 증가하여 수신신호 값이 감소하는 것으로 판단된다.

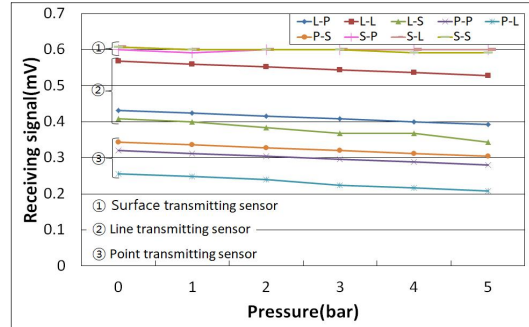


Fig. 4. Results of maximum reception sensitivity due to pressure change

3.2 송·수신 센서의 접촉면 변경에 따른 수신감도 분석

각 타입별 수신감도 분석을 진행하였으나, 센서의 경향이 유사하게 나타났기 때문에 수신감도의 차이가 두드러지는 점 타입의 결과만을 제시하였다.

Fig. 5는 송신센서를 점 타입으로 고정시킨 후 수신센서의 접촉면 변경에 따른 수신감도 차이를 나타낸 결과이다. 0 bar 에서 선 타입의 최대 수신감도 값은 약 320 mV가 나타났으며, 수신센서를 면 타입으로 변경하였을 경우 최대 약 30 mV 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

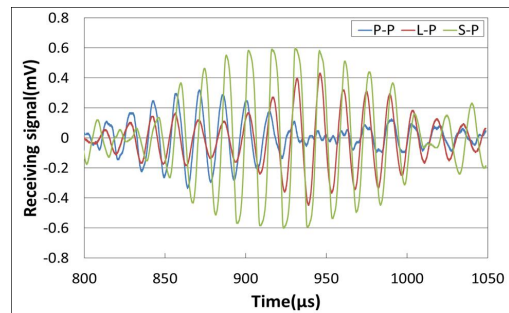


Fig. 5. Results of reception sensitivity due to shape change of receiving sensor

Fig. 6은 수신센서를 점 타입으로 고정시킨 후 송신센서의 접촉면 변경에 따른 수신감도 차이를 나타낸 결과이다. 0 bar 에서 선 타입의 최대 수신감도 값은 약 432 mV가 나타났으며, 면 타입으로 변경하였을 경우 최대

약 160mV 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

이와 같은 이유는 탱크와 초음파 센서의 접촉 면적이 증가하여 더 많은 양의 음향 에너지가 투과됐기 때문으로 판단된다. 또한 수신센서의 타입을 변경시킬 때보다 송신센서의 타입을 변경시켰을 때 최대 수신신호 값에 더 큰 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

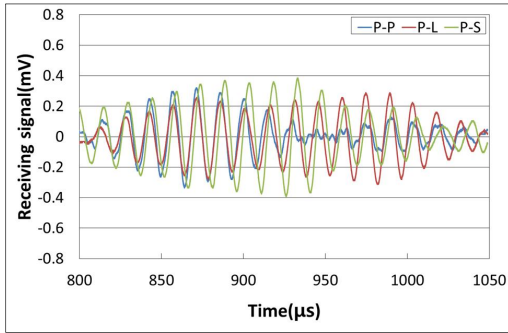
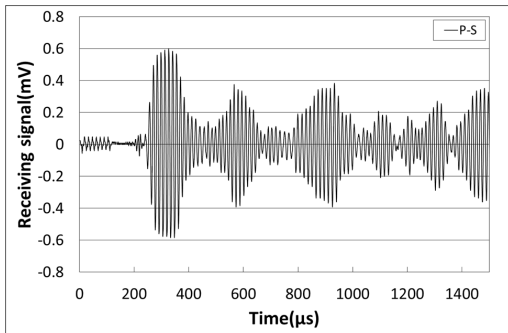


Fig. 6. Results of reception sensitivity due to shape change of transmitting sensor

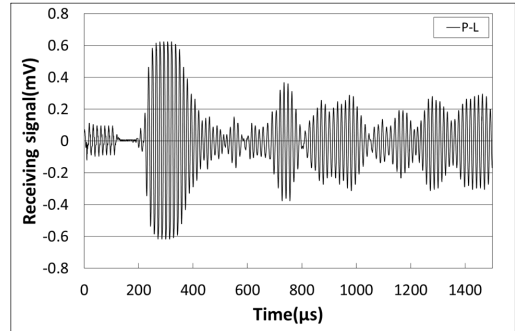
3.3 송·수신 센서의 접촉 면 변경에 따른 노이즈 감도 분석

Fig. 7은 송신센서를 점 타입으로 고정시킨 후 수신센서의 접촉면을 변경시켰을 때의 노이즈 감도 변화를 나타낸 결과이다. 선 타입에서 점 타입으로 변경하였을 경우 900 μs 구간 전후로 노이즈 감도는 감소하였으나, 면 타입의 경우 노이즈 감도가 더 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

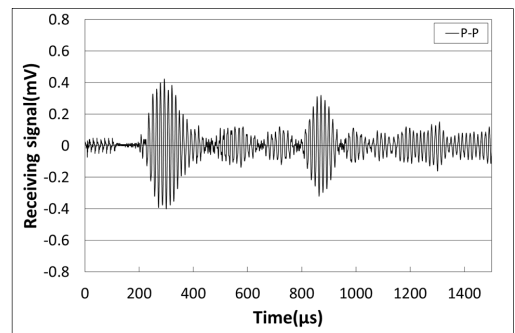
이와 같은 결과가 나타나는 이유는 탱크와 초음파 센서의 접촉 면적이 넓어질수록 투과하여 들어오는 음향 에너지와 탱크 외벽을 타고 들어오는 음향 에너지 값 또한 증가하여 나타나는 것으로 판단된다.



(a) Point-Surface type



(b) Point-Line type



(c) Point-Point type

Fig. 7. Results of noise sensitivity due to changes in the shape of the receiving sensor

4. 결론

기체 연료량 계측 모사장치를 이용하여 탱크 내부의 압력 및 송·수신 센서의 접촉 면 변경에 따른 수신감도 분석 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 모든 타입의 송·수신 센서에서 탱크 내부의 압력이 증가할수록 수신신호 값이 감소하는 경향이 나타났으므로 탱크 내부의 밀도 차에 의하여 변화되는 초음파 신호 분석을 통하여 실제 CNG 탱크 내부의 연료량을 측정할 수 있을 것으로 판단된다.
2. 송·수신 센서의 접촉 면 변경에 따른 수신감도 값은 수신센서 보다 송신센서를 변경하였을 때 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 따라서 수신신호 값을 증가시키기 위해서는 수신센서 보다 송신센서와 알루미늄 탱크와의 접촉면적을 증가시켜야 되는 것을 확인할 수 있었다.
3. 탱크와 수신센서의 접촉 면적이 적을수록 수신되는

신호의 노이즈는 감쇠하는 경향이 나타났으며, 초음파 센서의 접촉 면 변경에 따른 수신감도 분석 결과 면 타입의 송신센서와 점 타입의 수신센서에서 작은 노이즈 감도와 가장 높은 수신신호 값이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] J. W. Jung, S. H. Song & K. B. Hur. (2016). Numerical study on effect of intake valve timing on characteristics of combustion and emission of Natural gas-Diesel engine. *Journal of Energy Engineering*, 25(2), 29-36. DOI : 10.5855/ENERGY.2016.25.2.029
- [2] S. W. Lee, G. H. Lim, C. W. Park, Y. Choi & C. G. Kim. (2015). Characteristics of Combustion and Emission for Synthetic Natural Gas in CNG Engine. *Journal of the Korean Institute of Gas*, 19(6), 8-14. DOI : 10.7842/KIGAS.2015.19.6.8
- [3] C. K. Kim. (2015). A Study on the Integrated Control and Safety Management System for 9% Ni Steel LNG Storage Tank. *Journal of the Korean Institute of Gas*, 14(5), 13-18. DOI : 10.7842/KIGAS.2015.19.6.8
- [4] G. H. Yoo, J. L. Kim, T. S. Lee & J. H. Lee. (2011). Study of the Characteristics of Hydrogen-Gas Filling Process of Ultra-Light Composite Tanks for Fuel-Cell Vehicles. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 35(7), 813-819. DOI : 10.3795/KSME.2011.35.7.813
- [5] K. S. Kim, D. S. Choi, Y. C. Kim & J. U. Cho. (2013). Study on Relation of Optimum Resonant Frequencies between Piezo Ceramic and Matching Layer. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 14(7), 3191-3196. DOI : 10.5762/KAIS.2013.14.7.3191
- [6] D. K. Lee & Y. Cho. (2012). Deviation Characteristics of Clamp-on Type Ultrasonic Flowmeter Installed in Downstream of Valves. *Journal of Fluid Machinery*, 15(4), 12-18. DOI : 10.5293/KFMA.2012.15.4.012
- [7] J. W. Kim, C. G. Kim, J. O. Kim & D. S. Kim. (2015). Comparison of Ultrasonic Paths for Flow Rate Measurement. *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 25(7), 455-461. DOI : 10.5050/KSNVE.2015.25.7.455
- [8] G. C. Park, S. H. Lee, C. S. Park, D. W. Kim, W. T. Kim & G. R. Jeon. (2014). Study on the Development of Sensors for Distance Measure Using Ultrasonic. *Journal of Sensor Science and Technology*, 23(1), 46-50. DOI : 10.5369/JSST.2014.23.1.46
- [9] C. G. Piao, D. J. Kim & J. O. Kim. (2015). Energy Transmission of Elastic Waves in Ultrasonic Transducers. *Journal of Sensor Science and Technology*, 25(2), 124-132. DOI : 10.5050/KSNVE.2015.25.2.124
- [10] S. H. Park, E. S. Kim & J. K. Jung. (2015). A Study on the Fabrication and Electrical Characteristics of Hydraulic Pressure Sensors by Using Ceramics Materials. *Journal of the Korean institute of electrical and electronic material engineers*, 28(6), 384-389. DOI : 10.4313/JKEM.2015.28.6.384
- [11] Y. G. Son. (2016). The Effect of Liquid Height on Sonochemical Reactions in 74 kHz Sonoreactors. *Journal of soil and groundwater environment*, 21(1), 80-85. DOI : 10.7857/JSGE.2016.21.1.080
- [12] J. W. Kim. (2016). *Ultrasonic Flow-Velocity Sensors Enabling Pipe Thickness Measurement* Master dissertation. Soongsil University, Seoul
- [13] H. J. Kim, K. S. Kim & D. S. Choi. (2017) Signal Analysis of Ultrasonic Sensor according to Pressure Change in CNG Tank Using Attenuation Characteristics of Ultrasound. *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*
- [14] C. H. Kim, T. S. Kim, J. H. Jung, J. H. Lee & M. K. Lee. (2013) Development of Ultrasonic Sensor to Measure the Distance in Underwater. *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 2013, 293-298.
- [15] J. L. Hong & S. C. Lee. (2002) Development of the Ultrasonic Sensor for Gas Flowmeter. *The Korean Institute of Electrical Engineers*, 2002(6), 131-134.
- [16] M. J. Kang, M. S. Han & J. W. Jang. (2017) Evaluation of convergence Elasticity of Liver Fibroscan used measurement with Ultrasonography. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(5), 79-85. DOI : 10.15207/JKCS.2017.8.5.079
- [17] W. J. Hwang. (2015) A Study on Obstacle Avoidance Technology of Autonomous Traveling Robot Based on Ultrasonic Sensor *Journal of The Korean Society of Industry Convergence*, 18(1), 30-36.
- [18] S. H. Park & J. S. Kim. (2015). Optimal Power Maintain of Electric Wheelchair by using Applying Complementary Filter on the Smart Control System. *Journal of Digital Contents Society*, 16(3), 355-363. DOI : 10.19728/DCS.2015.16.3.355

김 남 옥(Namwook, Kim) [준회원]



- 2016년 2월 : 공주대학교 자동차 공학과(공학사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (공학석사과정)
- 관심분야 : 내연기관, 초음파에너지, CNG & NGV 연료

▪ E-Mail : na_ma_ya@naver.com

임 석 연(Seokyeon, Im) [정회원]



- 2002년 2월 : 충남대학교 기계공학과(공학사)
- 2004년 2월 : 충남대학교 기계공학과(공학석사)
- 2008년 8월 : 충남대학교 기계공학과(공학박사)

▪ 2014년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 자동차공학과 교수
▪ 관심분야 : 내연기관, 볼텍스, 연소제어, 대체에너지
▪ E-Mail : imsy@tu.ac.kr

최 두 석(Dooseuk, Choi) [정회원]



- 1981년 2월 : 충남대학교 기계공학과(공학사)
- 1984년 2월 : 충남대학교 기계공학과(공학석사)
- 1996년 2월 : 충남대학교 기계공학과(공학박사)

▪ 1994년 2월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수
▪ 관심분야 : 플라즈마, 연소제어, 내연기관, 대체에너지
▪ E-Mail : dschoi@kongju.ac.kr