

CNG 레벨계측을 위한 Matching layer의 성능분석

이홍윤¹, 김권세², 최두석^{3*}

¹세원기연 연구개발팀, ²공주대학교 그린카기술연구소, ³공주대학교 기계자동차공학부

Performance Analysis of Matching Layer for Level Measurement in CNG

Hongyoon-Lee¹, Kwonse-Kim² and Dooseuk-Choi^{3*}

¹Department of Research & Development, Sewon Giyeon Co., Ltd

²Green Car Technology Institute, Kongju National University

³Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요 약 본 연구는 기체연료레벨 값에 대한 정밀도를 측정하기 위하여 초음파의 음향매칭에 관한 실험적인 분석을 수행한 것이다. 연구 모델은 송신과 수신에너지를 결정시키는 세라믹 어세이 (Ceramic Assay)의 구성요소에 의하여 설계되었다. 실험 장치로는 12V-DC 전원공급장치, Control T1 Board, 오실로스코프 (DSO1072B), 초음파 프로브 그리고 패턴테이블 (Pattern Table)이 사용되었다. 불감지영역에 대한 분석결과 최대피크지점인 2.9V의 시작점을 기준으로 D (0.180m) < E (0.184m) < B (0.204m) < A (0.234m) < F (0.244m) < C (0.247m) 모델 순으로 점차적으로 불감지폭이 증가되는 특성을 확인할 수 있었다. 실험결과로부터 매칭레이어 (Matching Layer)의 치수가 $\varnothing 21 \times 3 + 2t$ 로 설계된 모델에서 가장 우수한 지향성 에너지를 생성할 수 있었다.

주제어 : 지향성, 초음파센서, 가스연료, 음향에너지, 세라믹

Abstract This work conducted the experimental analysis on ultrasonic acoustic matching in order to measure the accuracy of gaseous fuel level values. The experimental devices were used as 12V-DC supply, control T1 board, oscilloscope (DSO1072B), ultrasonic probe and pattern table. The research models were designed by ceramic assay which can determine the transmitting and receiving energies. The result of the ringing area could verify the increased characteristics in the order of D (0.180m) < E (0.184m) < B (0.204m) < A (0.234m) < F (0.244m) < C (0.247m) models based on initial 2.9V of the maximum peak voltage. From the experimental results, the model designed by $\varnothing 21 \times 3 + 2t$ of the matching layer was notable in that the most outstanding directivity energy could be created.

Key Words : Directivity, Ultrasonic sensor, Gaseous Fuel, Acoustic energy, Ceramic

1. 서론

천연가스 (Natural Gas)는 셰일가스의 본격적인 생산으로 인하여 대체연료 연구에 있어 활용빈도가 증가하고

있는 추세이다[1].

특히, 승합자동차에 탑재된 CNG 연료는 약 80%에 해당하는 비중으로 메탄가스 (CH_4) 가스를 사용하고 있으며, 향후, 가솔린과 CNG (Compressed Natural Gas)를

*This study was financially supported by the 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 and Energy (MI, Korea).

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

Received March 2, 2018

Revised April 1, 2018

Accepted April 20, 2018

Published April 28, 2018

혼합하여 사용하는 Bi-Fuel 시스템의 개조기술이 증가할 것으로 보여진다[2]. CNG 연료를 사용하는 엔진기술은 안전성에 대한 불안감과 사고등에 의한 위험성이 포함되어 있으나, 풍부한 매장량에 의하여 활용가치에 대한 수요가 점차적으로 증가되고 있는 추세이다. 하지만, 천연 가스의 연료는 순수한 기체의 양을 직접적으로 측정할 수 없기 때문에, 탱크 내부에 충전된 기체의 압력만을 측정하고 있는 불확실한 계측기술이 적용되고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 초음파센서를 활용한 비접촉식 (Non-Contact Method) 계측기술이 급부상되고 있다. 초음파(Ultrasonic)란 가청주파수의 상한선인 20kHz를 넘어선 범위의 주파수로 정의되며, 음향 임피던스는 측정대상의 매질에서 반사, 굴절 그리고 감쇄하는 특성에 의하여 다양한 분야에서 응용되고 있다. 초음파 센서의 선행연구로는 음파 에너지를 송신하여 측정물체와 부딪혀 반사되는 원리를 활용하여 유체의 유속 및 수위 등을 측정하는 연구결과가 조사되었다[3-5]. 특히 압전소자 (Piezo-electric Element)는 진동을 전기적 에너지로 변환하여 각종센서로 사용되며, 반대로, 전기적 에너지를 인가하여 음파의 신호를 분석하는 계측기술로 활용되고 있다[6-8]. 또한, 초음파센서는 음향에너지 (Acoustic Energy)를 측정할 수 없는 영역이 존재한다는 점에서 가장 큰 단점을 가진다[9]. 하지만, 이러한 불감지 영역을 감소시킬 경우 더욱더 넓은 영역을 측정할 수 있다는 장점이 있으며[10-13], 매칭레이어의 구조가 어떠한 특성으로 설계되었는지에 따라 초음파의 에너지는 최종적인 성능이 결정된다[14-17]. 이와 같이, 본 저자들은 초음파센서를 응용하여 CNG 탱크 내부에 압축된 순수한 기체성분을 비접촉방법에 의하여 계측할 수 있는 새로운 아이디어를 모색할 수 있었다.

그러므로 본 연구는 기존 압력센서에 의하여 검출되는 연료측정의 오차율을 최소화 시킬 수 있는 방법과 연료레벨 값에 대한 정밀도를 향상시킬 수 있는 음향 임피던스에 의한 신호분석을 중점으로 시도하였다. 또한, 초음파센서의 성능을 결정시키는 매칭레이어의 구조적인 배열을 차별화되도록 설계함으로써, 초음파의 효율성, 지향성 그리고 빔각에 관한 성능과 함께 세라믹 어레이 모델들에 의하여 실험적인 연구결과를 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험장치 및 방법

Table 1은 본 연구에서 사용된 초음파센서의 모델을 보여주고 있으며, 연구 모델은 송신과 수신에너지를 결정시키는 세라믹 어레이의 구성요소에 의하여 설계되었다. 또한, 세라믹 어레이 모델은 구조 및 배열 변경에 따른 결과를 확인하기 위하여 본 저자들에 의하여 개발되었으며, 세라믹 어레이 모델의 구조는 음향에너지를 생성시키는 피에조 세라믹과 세라믹의 음향에너지가 공기영역 층 내부에 확산시킬 수 있는 매칭레이어(1차 : ■, 2차 : ▨) 그리고 음향 에너지가 후단부로 전달되는 에너지를 흡수하기 위하여 설계된 백킹레이어 (Backing Layer, ▩)로 구성되었다. 특히, 본 연구에서 선정된 피에조 세라믹(□)은 소형화로 제작된 MS-21모델을 사용하였으며, 세라믹의 사양은 직경: 21mm, 두께: 2mm의 원형 판 형상으로 제작된 사용화 모델을 사용하였다.

Table 1. Cross sections of sensor and body assay according to each type of ultrasonic

Properties	Sizes	Models
Type A	Ø21*3t	
Type B	Ø21*3+1t	
Type C	Ø21*3+2t	
Type D	Ø21*4t	
Type E	Ø21*4+1t	
Type F	Ø21*4+2t	

본 연구를 위하여 개발된 세라믹 어레이의 총 시료수는 6가지이고, 다음과 같이 모델들에 관하여 사양을 정의하였다. 첫 번째 모델은 매칭레이어를 Ø21*3t로 제작되었으며, 두 번째 모델은 1차 매칭레이어를 Ø21*3t와 2차 매칭레이어를 Ø21*1t로 제작하여 수신감도의 특성이 변

화되는 결과를 관찰할 수 있도록 사용되었다. 그리고 세 번째 모델은 1차 매칭레이어를 Ø21*3t와 2차 매칭레이어를 Ø21*2t로 제작하여 초음파의 포락선 에너지 변화를 관찰하는데 사용되었다. 추가적으로 네 번째 모델은 매칭레이어를 Ø21*4t, 다섯 번째 모델은 1차 매칭레이어를 Ø21*4t와 2차 매칭레이어를 Ø21*1t, 여섯 번째 모델은 1차 매칭레이어를 Ø21*4t와 2차 매칭레이어를 Ø21*2t로 설계하여 초음파의 포락선 에너지의 변화를 관찰하는데 사용되었다. Table 2는 본 연구에 사용된 피에조 세라믹과 매칭레이어의 사양을 세부적으로 보여주고 있다.

Table 2. Properties of PST, MS-21

Classifications	Sizes
Size	Ø21[mm]×2[mm]
Density	7.90×103[kg/m3]
Resonance frequency	77.7[kHz]
Dielectric constant	1,350
Coupling coefficient(kp)	0.61
Piezoelectric constant(g31)	28.0×10-3[V·m/N]
Mechanical quality factor(Qm)	2,000

실험장치의 구성은 Fig. 1과 같이 크게 두 가지로 분류되어 실험이 수행되었다. 첫 번째로는 세라믹 어세이의 감도성능을 분석하기 위하여 0m부터 1.2m까지 측정거리를 변화시킬 수 있는 정밀한 실험장치를 설계하여 실험을 수행하였다. 두 번째로는 초음파의 포락선 에너지가 확산 될 때 변화되는 2D 형상을 가시화 시키는 빔 패턴 실험장치를 설계하여 실험을 수행하였다. 실험이 진행된 Test Chamber 조건은, 20°C 공기 중의 대기압에서 수행하였다. 실험에 사용된 부수적인 장치로는 12V-DC 6.3A의 전원공급장치, Control T1 Board, 오실로스코프(DSO1072B) 그리고 패턴 테이블이 사용되었다.

또한, 실험 데이터의 X 축은 거리에 따른 전압 값을 비교하기 위하여 초음파의 기본원리에 따라 다음과 같은 수식으로 계산될 수 있었다.

$$R = \frac{T_d}{2} * C \tag{1}$$

$$C = 331 + 060741 * T_c \tag{2}$$

여기서 R은 초음파센서의 수신에너지지를 나타내며, C는 공기층에 대한 속도로 정의된다. 그리고 T_c는 공기층에 대한 온도보정의 값으로 정의되며, 이와 같은 수식에 의하여 수신신호의 거리를 계산할 수 있었다.

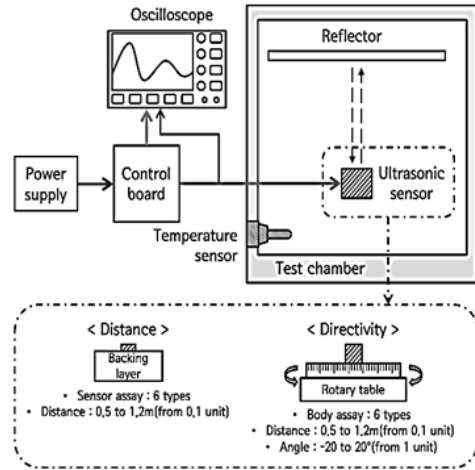


Fig. 1. Schematic of experimental device for basic sensitivity measurement

Fig. 2는 초음파의 포락선 에너지를 제어하기 위하여 사용된 A Corp.의 T-1 Board에 대한 회로를 보여주고 있다. T1 Board의 회로는 전압강도, 주파수 그리고 펄스를 제어할 수 있도록 설계되었으며, 최종적으로 트랜스 포머에 의하여 세라믹 어세이의 전압공급과 포락선 에너지의 수신신호를 증폭하도록 설계되었다.

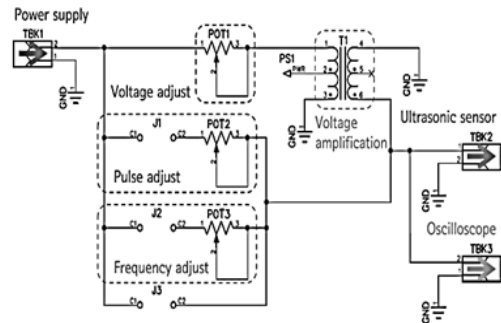


Fig. 2. Schematic of transducer (T-1 board) circuit

3. 결과 및 고찰

Fig. 3과 Fig. 4는 6가지 매칭레이어의 두께를 변화하였을 때 검출된 불감지영역 (Ringing Area) 신호의 특성을 보여주고 있다.

그래프의 X축은 식 (1)에 의하여 계산된 거리변화에 대한 스케일을 나타내며, Y축은 세라믹 어세이 모델들에

의하여 검출된 불감지역의 전압 값을 나타낸 것이다.

불감지역에 대한 분석결과 최대피크지점인 2.9V의 시작점을 기준으로 D (0.180m) < E (0.184m) < B (0.204m) < A (0.234m) < F (0.244m) < C (0.247m) 모델 순으로 점차적으로 불감지폭이 증가되는 특성을 확인할 수 있었다. 또한, 불감지역에 대한 전압 값은 F > A > B > E > C > D 모델 순으로 비선형적으로 감소하게 되는 결과를 확인할 수 있었다. 또한, F 타입의 모델에서 가장 큰 전압 값이 검출되는 특성을 확인할 수 있었으며, D 타입 모델에서 가장 낮은 불감지역의 전압 값이 검출되는 결과를 확인할 수 있었다.

특히, 매칭레이어를 A, B 그리고 C로 설계한 모델을 비교하여 분석한 결과 1차 매칭레이어의 두께 3t와 2차 매칭레이어의 두께 1t 그리고 2t로 설계한 모델에서 불감지역의 최대전압 값이 점차적으로 감소되는 결과가 확인되었다. 그리고 D, E 그리고 F로 설계한 모델들을 비교하여 분석한 결과 1차 매칭레이어의 두께 4t와 2차 매칭레이어의 두께 1t 그리고 2t로 설계한 모델에서 불감지역의 최대전압 값이 증가하게 되는 결과가 확인되었다.

이와 같은 특성은 1차 매칭레이어의 두께 3t와 추가적으로 접착된 2차 매칭레이어의 두께가 증가할수록 음향에너지는 매칭레이어 내부에서 자체적으로 손실되었기 때문에 최대전압 값 또한 감소하게 되었다는 점을 알 수 있었다.

결과적으로, 1차 매칭레이어의 두께 4t와 추가적으로 접착된 2차 매칭레이어의 두께가 증가할수록 음향에너지는 매칭레이어 내부에서 외부로 확산시킬 수 있는 효율이 증가하였기 때문에 최대 전압 값 또한 증가하게 되었다는 점을 예상할 수 있었다.

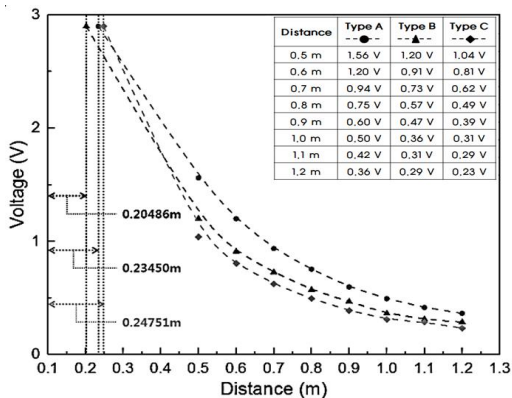


Fig. 3. Maximum voltage result according to changing distance of Type A, B, C

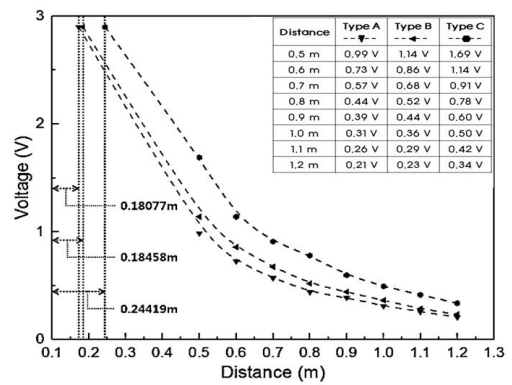


Fig. 4. Maximum voltage result according to changing distance of Type D, E, F

Fig. 5는 초음파의 음향측정 거리를 0.5m로 설정하여6 가지의 세라믹 어레이 모델에 대한 빔각 (X축) 과 지향성 (Y축) 을 분석한 결과를 보여주고 있다. 또한, X축의 변화수치는 빔각을 최소 (-)20°에서 최대 20°까지 설정하여 결과를 분석하였으며, Y축은 최소 0V에서 최대 2V까지 전압 값을 설정하여 실험결과를 분석하였다.

실험결과 전압 값이 가장 높은 세라믹 어레이 모델은 C 타입에서 확인할 수 있으며, 전압 값이 가장 낮은 세라믹 어레이 모델은 F 타입에서 결과를 확인할 수 있었다. 특히, C 타입은 최소전압 값을 가진 F 타입 대비 약 2.43 배 향상된 전압 값이 확인되었으며, C 타입은 지향성과 빔각의 감도는 모든 모델들의 성능 대비 가장 우수하다는 결과를 확인할 수 있었다.

이와 같은 특성은, 불감지역의 신호 값이 크거나 넓게 생성될수록 지향성의 성능은 증가하게 된다는 점을 알 수 있으며, C 타입의 세라믹 어레이의 자체적인 진동은 공진점에 가장 크게 영향을 받았기 때문에 지향성의 폭과 확산성이 F 타입의 지향성 성능 대비 향상되었다는 점을 관찰할 수 있었다.

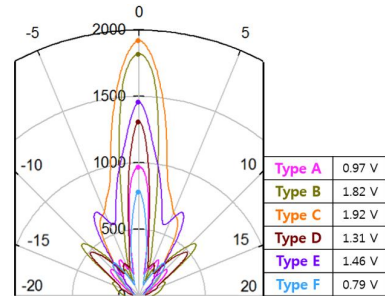


Fig. 5. Directivity curve result according to changing angle of all types at 0.5m

Fig. 6, Fig. 7 그리고 Fig. 8은 매칭레이어의 두께를 3t로 기준하여 설계된 A, B 그리고 C 타입들에 대한 지향성과 빔각의 성능을 분석한 결과를 보여주고 있으며, 지향성에 대한 최대 전압 값을 정규화률치로 변환하여 본 실험결과를 분석할 수 있었다.

A 타입에 대한 특성은 약 $\pm 1^\circ$ 에 영향을 초래하는 빔각의 결과를 확인할 수 있으며, $\pm 6 \sim 7^\circ$ 그리고 $\pm 11 \sim 12^\circ$ 에서 생성되는 측면각의 특성을 확인할 수 있었다. 반면에 B 타입의 특성은 약 $\pm 1^\circ$ 에 영향을 초래하는 빔각의 결과를 확인할 수 있으며, $\pm 10 \sim 11^\circ$ 에서 좁은 빔각과 측면각을 생성하는 특성을 확인할 수 있었다. 특히, C 타입의 특성은 약 $\pm 7^\circ$ 에 영향을 초래하여 빔각이 넓고 측면각 생성되지 않는 결과를 확인할 수 있으며, 지향성 또한 가장 안정되고 확산성이 우수해지는 결과를 확인할 수 있었다.

이와 같은 특성은 매칭레이어의 설계방법에 의하여 단일접착공법이 아닌 다중접착공법으로 제작되었기 때문에 음향에너지의 임피던스 값이 증가하게 되었던 것이라 판단되며, 지향성의 성능은 빔각이 최소화 될수록 정확한 측정이 가능하다는 점을 예상할 수 있었다.

결과적으로, 본 실험은 빔각의 생성율이 넓은 경우 측정의 정확성을 감소하지만, 빔각의 생성율이 적을수록 지향성으로 전환되는 에너지의 효율이 증가하게 된다는 점을 알 수 있었다.

Fig. 9, Fig. 10 그리고 Fig. 11은 매칭레이어의 두께를 4t로 기준하여 설계된 D, E 그리고 F 타입들에 대한 지향성과 빔각의 성능을 분석한 결과를 보여주고 있으며, 지향성에 대한 최대 전압 값을 정규화률치로 변환하여 본 실험결과를 분석할 수 있었다.

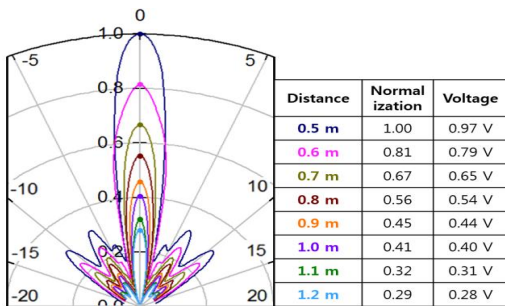


Fig. 6. Directivity curve result of each distance according to changing angle of Type A

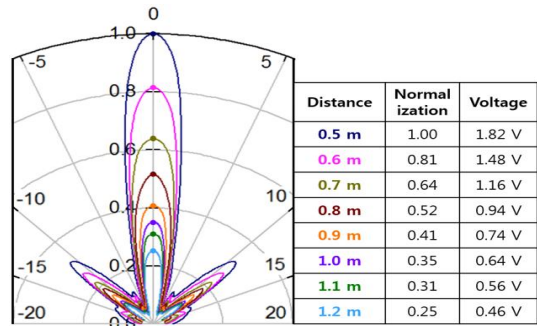


Fig. 7. Directivity curve result of each distance according to changing angle of Type B

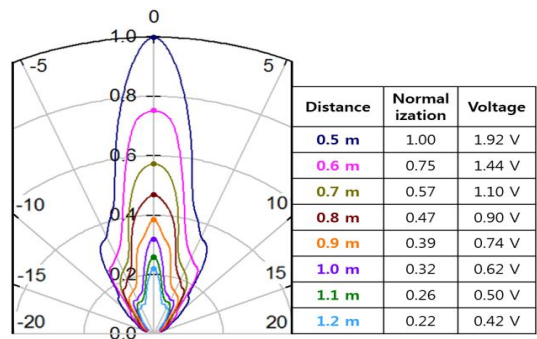


Fig. 8. Directivity curve result of each distance according to changing angle of Type C

D 타입에 대한 특성은 약 $\pm 1^\circ$ 에 영향을 초래하는 빔각의 결과를 확인할 수 있었으며, $\pm 6^\circ$, $\pm 11 \sim 12^\circ$ 에서 생성되는 측면각의 특성을 확인할 수 있었다. 반면에 E 타입은 약 $\pm 4^\circ$ 에 영향을 초래하는 빔각의 결과를 확인할 수 있으며, $\pm 6^\circ$ 에서 생성되는 측면각의 특성을 확인할 수 있었다. 또한, F 타입의 빔각은 약 $\pm 2^\circ$ 에 영향을 초래하는 결과를 확인할 수 있으며, $\pm 8 \sim 9^\circ$ 에서 생성되는 빔각의 특성을 확인할 수 있었다. 또한, 지향성의 특성은 매칭레이어의 두께 3t로 설계한 모델 대비 감도가 저하된 결과를 확인할 수 있었으며, 빔각은 넓은 분포로 확산되어 음향에너지의 성능을 감소하게 되는 결과를 확인할 수 있었다. 그리고 음향에너지는 D, E, F 타입에서 단계적으로 감소되는 결과를 관찰할 수 있었으며, E 타입은 D와 F 타입 대비 가장 높은 전압 값을 생성하여 지향성의 에너지를 확산하는 결과를 확인할 수 있었다. 하지만, 매칭레이어의 두께 3t로 설계한 모델 대비 빔각의 폭과 전압 값이 감소하여 기체를 투과시킬 수 있는 투과율과 수신율에 영향을 초래할 것이라 판단된다.

이와 같은 특성은 매칭레이어의 두께를 4t로 설계된

모델들은 초음파의 송신에너지를 전달시킬 수 있는 특성을 가지고 있으나, 3t로 설계된 매칭레이어의 성능 대비 저항성을 형성하여 음향에너지가 감소하게 된다는 점을 알 수 있었다.

결과적으로, 본 실험은 세라믹 어세이와 접착된 매칭레이어의 치수가 $\varnothing 21 * 3 + 2t$ 로 설계된 모델에서 가장 우수한 저항성을 생성할 수 있으며, 음향에너지는 기체영역에서 초음파의 송신과 수신에너지의 손실률이 가장 적을 것이라는 점을 예상할 수 있었다. 또한, 본 저자들에 의하여 개발된 세라믹 어세이 모델은 CNG의 기체연료를 측정하는데 기초적인 데이터로 활용할 수 있는 유용성이 있으며, 새로운 계측방법에 대한 기술적인 방법으로 활용될 것이라 판단된다.

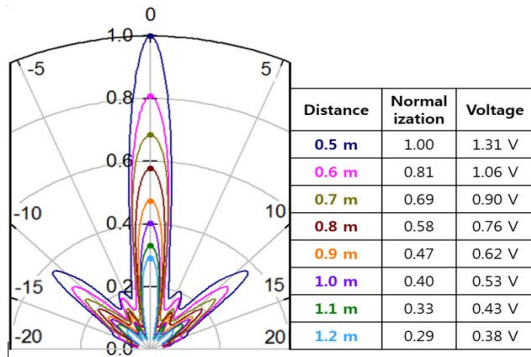


Fig. 9. Directivity curve result of each distance according to changing angle of Type D

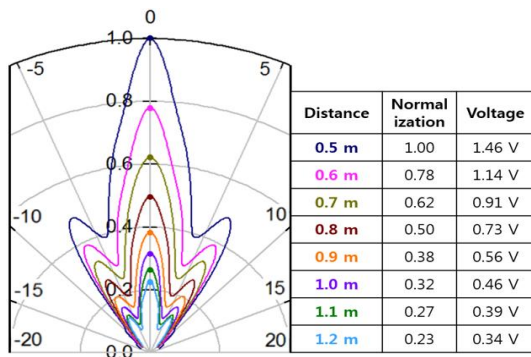


Fig. 10. Directivity curve result of each distance according to changing angle of Type E

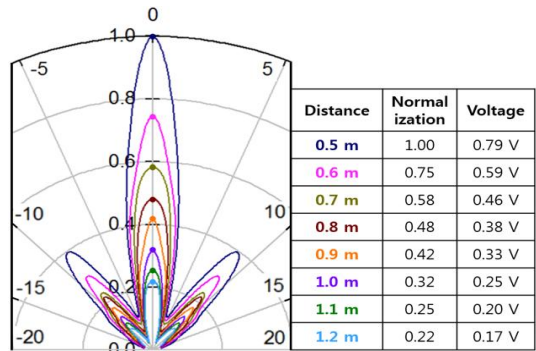


Fig. 11. Directivity curve result of each distance according to changing angle of Type F

4. 결론

초음파를 활용한 기체가스 매질의 연료량 계측을 위한 매칭레이어의 특성에 관한 실험적인 결과로부터 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

- [1] 1차 매칭레이어의 두께 3t와 추가적으로 접착된 2차 매칭레이어의 두께가 증가할수록 음향에너지는 매칭레이어 내부에서 자체적으로 손실되는 특성이 생성된다는 점을 관찰할 수 있었다.
- [2] 매칭레이어의 설계방법은 단일접착공법이 아닌 다중접착공법으로 제작된 모델에서 음향에너지의 입피턴스 값이 증가하게 되고, 저항성의 성능이 증가하게 되는 실험적인 결론을 얻을 수 있었다.
- [3] 세라믹 어세이와 접착된 매칭레이어의 치수가 $\varnothing 21 * 3 + 2t$ 로 설계된 모델에서 가장 우수한 저항성을 생성할 수 있으며, 음향에너지는 기체영역에서 초음파의 송신과 수신에너지의 손실률이 가장 적을 것이라는 점을 예상할 수 있었다.
- [4] 세라믹 어세이 모델은 CNG의 기체연료를 측정하는데 기초적인 데이터로 활용할 수 있는 유용성이 있으며, 새로운 계측방법에 대한 기술적인 방법으로 활용될 것이라 판단된다.

REFERENCES

[1] Y. S. Kim, K. S. Park & T. O. Kim. (2012). Suggestion for safety improvement of compressed natural gas

- vehicle. *Journal of the Korean Institute of Gas* 16(4), 1-7.
DOI : 10.7842/kigas.2012.16.4.
- [2] C. Y. Lee et al. (2015) Investigation on Supporting Policies and Problems of Shale Gas Development in China. *Journal of the Korean Institute of Gas* 19(2), 54-65.
DOI : 10.7842/kigas.2015.19.2.54
- [3] 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
- [4] J. Borenstein & Y. koren, (1988). Abstacle avoidance with ultrasoinc sensors. *IEEE*, 4, 213-218.
DOI: 10.1109/56.2085
- [5] 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. *JSST*, 23(1), 46-50.
DOI: 10.5369/JSST.2014.23.1.46
- [6] K. S. Chong & L. Kleeman. (1999) Mobile robot map building from an advanced sonar array and accurate odometry, *Int. J. Robot. Res*, 18, 20-36.
- [7] H. Choset. (1998) Nonsmooth analysis convex analysis and their applications to motion planning, *Int. J. Comput. Geometry Applicat. Special Issue*, 9, 447-469.
- [8] H. Choset & J. W. Burdick. (1995) Sensor based planning part I: the generalized Voronoi graph. *Proc IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, 1649-1655.
- [9] L. Kleeman & R. Kuc. (1997) Mobile robot map building from an advanced sonar array and accurate odometry. *IEEE Trans. Robot. Automat*, 13, 3-19.
- [10] Q. Zou, et al. (2015) Novel integrated techniques of drilling slotting separation sealing for enhanced coal bed methane recovery in underground coal mines, *J Nat Gas Sci Eng*, 26, 960-973.
- [11] D. Pagac, E. M. Nebot & H. Durrant-Whyte. (1998) An evidential approach to map-building for autonomous vehicles. *IEEE Trans. Robot. Automat*, 14, 623-629.
- [12] A. Schultz, B. Yamauchi & W. Adams. (1998) Integrating map learning localization and planning in a mobile robot, *Proc. 1998 Conf. Computational Intelligence in Robotics and Automation*, 331-336.
- [13] A. C. Schultz, & J. J. Grefenstette. (1992) Using a genetic algorithm to learn behaviors for autonomous vehicles, *Proc. Amer. Inst. Aeronautics and Astronautics Guidance Navigation and Control Conf. (AIAA)*, 739-749.
- [14] O. Wijk, & H. Christensen, (2000) Triangulation-based fusion of sonar data with application in robot pose tracking, *IEEE Trans. Robot. Automat*, 16, 740-752.
- [15] 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*,
- [16] C. G. Piao, D. J. Kim & J. O. Kim. (2015) Energy Transmission of Elastic Waves in Ultrasonic Transducers. *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 25(2), 124-132.
- [17] 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
- [18] B. S. Kim & O. H. Kang. (2014) Design and Implementation of a Range Measuring Sensor Network with Z-Stack on CC2530. *Journal of Digital Contents Society*, 15(2), 167-172.
DOI : 10.9728/DCS.2014.15.2.167
- [19] J. S. Lim. (2017) Design of Wideband RF Frequency Measurement System with EP2AGX FPGA. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(7), 1-6.
DOI : 10.15207/JKCS.2017.8.7.001

이 홍 윤(Hongyoon, Lee)

[정회원]



- 2015년 2월 : 공주대학교 자동차 공학과(공학사)
- 2017년 2월 : 공주대학교기계공학과 (공학석사)
- 2017년 8월 :~ 현재 : 세원기연 연구개발팀 사원

- 관심분야 : 내연기관, 초음파에너지, CNG & NGV 연료
- E-Mail : h01068597243@nate.com

김 권 세(Kwonse, Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 공주대학교 자동차 공학과(공학사)
- 2015년 2월 : 공주대학교 기계공학과(공학석사)
- 2018년 2월 : 공주대학교 기계공학과(공학박사)
- 2018년 2월 ~ 현재 : 공주대학교 그린카기술연구소 연구교수
- 관심분야 : 플라즈마 에너지 & 연소, 내연기관, 연소제어
- E-Mail : kimkwonse@kongju.ac.kr

최 두 석(Dooseuk, Choi)

[정회원]



- 1981년 2월 : 충남대학교 기계공학과(공학사)
- 1984년 2월 : 충남대학교 기계공학과(공학석사)
- 1996년 8월 : 충남대학교 기계공학과(공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차 공학부 교수
- 관심분야 : 플라즈마, 연소제어, 내연기관, 대체에너지
- E-Mail : dschoi@kongju.ac.kr