

중유탱크속에서의 음전파속도측정

리의환, 손봉철

초음파에 의한 물체와의 거리 또는 탱크안의 준위측정 등은 빛, 자기마당, 전기마당의 영향이나 대상물의 색깔 등의 영향을 받지 않고 정확한 측정을 보장할수 있는 우점을 가지고있는데로부터 측정분야에서 위력한 측정수단으로 되고있다.[2, 3]

중유는 원유를 상압증류할 때 증류가마에 남은 류분으로서 밀도가 $0.9 \sim 1 \text{g/cm}^3$ 인 밤색 또는 검은밤색의 끈기있는 기름이다. 그러나 중유속에는 일반적으로 원유에 포함되어있는 휘발유와 나프사를 비롯한 경질류분(끓음점 약 100°C 이하)들이 적은량이나마 포함되어있으며 중유의 운반과 저장과정에 10%정도의 수분이 포함되어있다. 중유는 끈기있는 기름이므로 $60 \sim 100^\circ\text{C}$ 범위에서 가열하는 과정에 중유탱크에는 다량의 유분가스와 수증기의 혼합기체상태가 조성되게 되며 이러한 혼합기체상태속에서의 음전파속도에 대한 이론적해석은 매우 어려운 문제이므로 실험적으로 확정하여 실천적으로 응용할수 있는 음전파속도공식을 구하여야 한다.

우리는 중유탱크속에서 기체의 조성과 온도환경이 초음파의 전파속도에 미치는 영향을 이론적으로 해석하고 임펄스시간차법을 리용하여 중유탱크환경에서 초음파의 전파속도측정방법을 확립하고 초음파에 의한 중유준위측정에 필요한 실험공식을 얻었다.

1. 중유탱크속에서의 음전파특성에 주는 영향인자해석

음파가 전파할 때 기체매질에서는 보통 음파의 전파과정이 단열적으로 진행된다고 볼수 있다. 이 경우에 진폭이 작은 음파의 전파속도[1]는 식 (1)과 같다.

$$C = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_S} \quad (1)$$

여기서 뿌리기호안의 편도함수는 엔트로피 S 가 일정한 조건에서의 도함수이다.

한편 밀도 ρ 와 단위체적 V 사이에는 거꿀비례관계가 있으므로

$$\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_S = -\frac{V}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S = \frac{1}{\rho \beta_S}$$

의 관계가 성립한다. 여기서 β_S 는 매질의 단열압축률이다.

이로부터 매질의 음전파속도는 다음과 같다.

$$C = \sqrt{\frac{1}{\rho \beta_S}} \quad (2)$$

식 (2)에서 보는바와 같이 매질의 음전파속도는 매질의 밀도와 단열압축률에 따라 달

라진다. 매질의 밀도와 단열압축률은 매질의 조성에 따르는 물리화학적특성과 온도, 압력, 습도와 같은 환경의 영향에 따라 달라진다.

일반적으로 대기압상태($P_0 = 1.023 \cdot 10^5 \text{ Pa}$)에서 0.03 mol/L 의 이산화탄소기체가 포함되어 있는 무수분 기체환경에서 온도에 따르는 음전파속도는 다음과 같다.

$$C = 331.5 \sqrt{\frac{273.16 + T}{273.16}} \quad (3)$$

여기서 T 는 전파환경에서의 섭씨온도이다.

2. 임펄스시간차법에 의한 음전파속도측정실험 및 결과분석

임펄스시간차법은 장치실현이 간단하고 한소편처리기와 결합하여 높은 정밀도에 도달할수 있으므로 많이 쓰이고있다.

1개의 초음파변환자로 복사와 수신을 진행하는 경우 일정한 거리 L 사이를 전파하는데 걸리는 시간 t 가 주어진다면 이때 초음파의 전파속도 C 는 다음과 같다.

$$C = \frac{2L}{t} \quad (4)$$

식 (4)에서 보는바와 같이 매질의 음전파속도측정의 정확도는 전파시간 t 의 측정정확도에 따라 결정된다.

우의 이론적해석에 대한 실험적검증을 위하여 우리는 한소편CPU처리소자 PIC16F877을 수자신호처리부로 한 초음파속도측정장치를 구성하였다.(그림 1)

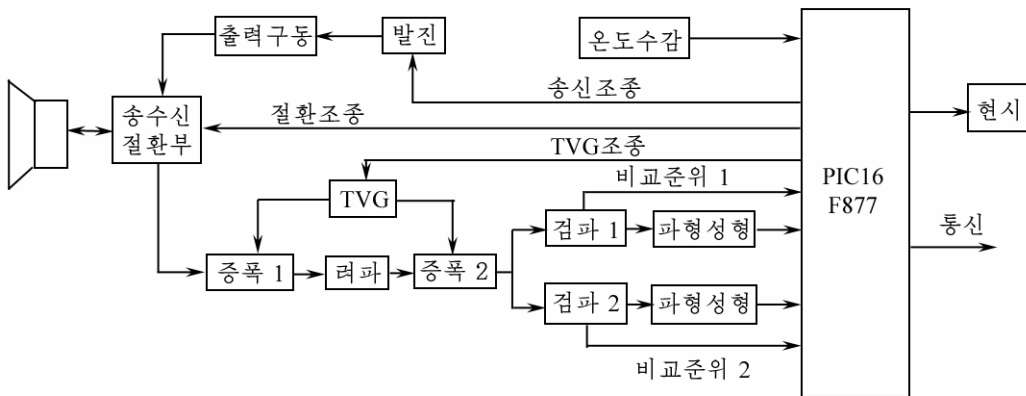


그림 1. 초음파속도측정장치구성도

그림 1에서 보는바와 같이 서로 다른 검출턱값으로 설정된 검파 및 파형성형부를 2중으로 구성하고 초음파복사신호와 동기화된 한소편CPU처리소자의 시간계수기 T1과 T2를 리용하여 설정된 검파턱값에 따르는 수신신호의 시간정보 t_1 , t_2 를 측정하는데 기초하여 수신임펄스앞면령교차순간 t 를 구하고 식 (4)에 의하여 전파환경에서 매질의 평균음전파속도를 얻었다. 이때 초음파변환자로부터 반사판까지의 거리 L 은 고정된 값으로 취하였으며 온도는 LM35DZ를 리용하여 측정하였다. 검출턱값설정은 실제대상에 대한 측정준위대역에서의 반사수신신호의 진폭값을 고려하여 설정하였다.

리상기체와 중유탱크환경에서 온도변화에 따르는 음전파속도관계는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 리상기체환경에서의 음전파속도는 50~100℃범위에서 약 27m/s 변화되지만 중유탱크환경에서는 약 81.4m/s 변화되며 72℃근방에서 음속도가 일치한다.

이러한 변화관계는 음파가 전파하는 공간에서의 매질특성에 관계된다는것을 알수 있다. 즉 리상기체에서는 매질의 조성변화가 없으나 중유탱크환경에서는 온도의 변화로 하여 매질조성에서 변화를 가져오며 온도의 증가와 함께 중유속에서 끓음점이 낮은 물질들의 증발로 탱크환경의 물리적특성이 변화된다.

전파공간매질특성의 이러한 변화로 음전파속도의 기본관계식 (2)의 매질밀도와 단열압축률의 변화가 이루어지며 결과 음속도변화특성이 일반 대기상태의 관계식 (3)과 큰 차이를 가지게 된다.

실험결과를 종합하여 50~96℃의 변화를 가지는 중유탱크환경에서 음전파속도에 대한 실험공식을 이끌어내면 다음과 같다.

$$C = 331.5 + 0.0136T^2 - 0.4124T \quad (5)$$

여기서 C 는 음전파속도, T 는 섭씨온도이다.

맺는 말

우리는 중유탱크속에서 기체의 조성과 온도환경이 초음파의 전파속도에 미치는 영향관계에 대한 이론적해석과 임펄스시간차법에 의한 음전파속도측정실험을 진행하였다. 이에 기초하여 50~96℃의 온도변화를 가지는 중유탱크에서 리용할수 있는 음속도공식을 유도하였다.

참고 문헌

- [1] 리석주; 음향학, 김일성종합대학출판사, 13~17, 1994.
- [2] 安兆亮; 声学技术, 29, 6, 366, 2010.
- [3] 么启; 电子设计工程, 19, 22, 52, 2011.

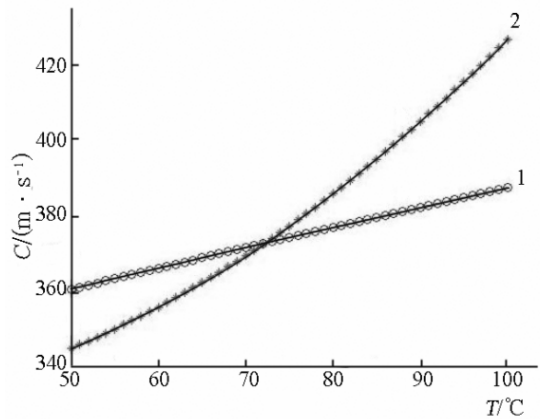


그림 2. 리상기체(1)와 중유탱크환경(2)에서 온도변화에 따르는 음전파속도관계

On the Measurement of Ultrasonic Propagation Speed in the Heavy Oil Tank

Ri Ui Hwan, Son Pong Chol

We theoretically considered the effect of composition of gas and temperature environment in heavy oil tank on ultrasonic propagation speed and measured the ultrasonic propagation speed using the impulse time-of flight(TOF) method.

Based on that, we introduced a formula of ultrasonic propagation speed at 50~96°C in the heavy oil tank and developed the ultrasonic level meter for an oil level measuring of the heavy oil tank using this one.

Key word: ultrasonic level meter