

## 음차를 리용한 류동액체밀도수감기에 대한 유한요소해석

신윤섭, 리상길

류체의 밀도를 측정하기 위한 일부 장치들[1-3, 7]에서는 진동요소로 음차를 리용한다. 밀도측정장치들은 밀도가 측정될 류체속에 잠겨있게 된다. 그래서 수감요소는 류체 흐름속도와 점성, 압력, 류체에 의한 부식 등의 영향을 직접 받게 된다. 이리하여 수정량이 많고 측정정밀도가 시간이 흘러감에 따라 점점 떨어진다. 이로부터 류체 흐름관밖에 수감요소를 설치한 밀도수감기[7]가 개발되어 광범히 리용되고있다.

우리는 음차를 리용한 류동액체밀도수감기에 대한 유한요소해석을 ANSYS를 리용하여 진행하여 수감기의 주파수응답특성들을 평가하였다.

### 1. 밀도수감기구성

음차를 리용한 류동액체밀도수감기의 기본구성은 그림 1과 같다.

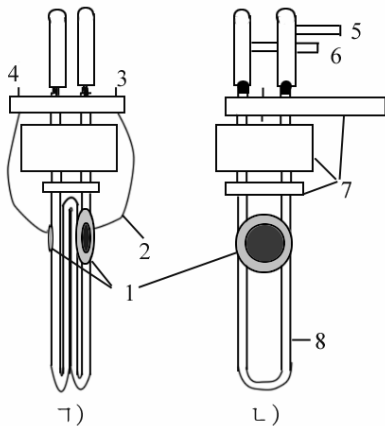


그림 1. 류동액체밀도수감기의 기본구성

가) 정면도, 나) 측면도;

- 1-압전진동자, 2-입출력단자선,  
3-수감장치, 4-임펄스발진기,  
5-입구, 6-출구, 7-고정틀,  
8-불수강관

류동액체밀도수감기에서 음차는 보통의 음차와는 다르다. 그것은 2개의 U자형음차들의 시작과 끝을 서로 연결한 라선형모양을 가지며 2개의 원판형유니모르프압전진동자를 설치하는데 편리한 모양을 가진다. 음차는 또한 측정하려는 류체의 주목하는 부분을 포함하는데 적합한 하나의 빈 금속판을 이룬다. 이 수감기의 한가지 기본특징은 류동액체가 밀도수감기의 진동요소의 한 부분을 이루고있다는것이다. 따라서 액체밀도의 약간한 변화는 밀도수감기의 고유주파수를 변화시킨다. 음차들은 그것들중의 하나에 붙은 압전진동자(려기진동자)에 의하여 려기된다. 또한 다른 음차에 붙은 두번째 압전진동자(수감진동자)를 통하여 공진주파수가 수감된다.

복사와 수신의 두 과정들이 하나의 음향계와 결합되어 하나의 전기음향변환계[4]를 이룬다.

그림 2는 유한요소모의를 위한 밀도수감기의 구조를 보여준다.

그림 1과 2에서 음차의 두 끝들은 고정하는 기둥들에 안전하게 고정되어 류동액체의 입구와 출구통로들을 형성한다. 음차들은 90mm의 높이와 20mm의 폭을 가지며 아래부분에서 두 음차사이의 거리는 8mm이다. 음차를 이루는 판의 외부직경은 2.2mm, 내부직경은 1.8mm이며 판의 길이는 약 218mm이다. 판의 길이와 내부직경

의 비가 100보다 크므로 액체가 충분히 들어갈수 있으며 합리적인 감도를 주게 된다.[4] 두 압전진동자들은 서로 평행으로 마주 서있으며 예폭시수지로 음차와 굳게 결합되어있다.

모의에 리용된 재료상수들은 표 1과 같다.

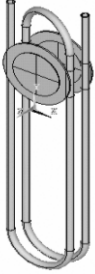


그림 2. 밀도수감기모의구조

표 1. 재료상수들

물질	양그률/(N·m <sup>-2</sup> )	밀도/(kg·m <sup>-3</sup> )	빠쑈비
황동판	$10.5 \times 10^{10}$	8 400	0.33
흐름판(불수강)	$19.0 \times 10^{10}$	7 910	0.30
압전사기(PZT-4)		7 500	—
액체(물)	$0.2 \times 10^{10}$	998	—

압전사기(PZT-4)의 역세기행렬, 압전상수행렬, 상대유전상수행렬은 다음과 같다.

$$[K] = \begin{bmatrix} 13.2 & 7.1 & 7.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 13.2 & 7.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.6 \end{bmatrix} \cdot 10^{10} (\text{N/m}^2), [e] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -4.1 \\ 0 & 0 & -4.1 \\ 0 & 0 & 14.1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10.5 & 0 \\ 10.5 & 0 & 0 \end{bmatrix} (\text{C/m}^2),$$

$$[\bar{\epsilon}] = \begin{bmatrix} 804.6 & 0 & 0 \\ 0 & 804.6 & 0 \\ 0 & 0 & 659.7 \end{bmatrix}$$

## 2. 류동액체밀도수감기에 대한 유한요소해석

류동액체밀도수감기에 대한 모의에 앞서 압전진동자의 진동해석을 ANSYS를 리용하여 진행하였다.

압전진동자의 기하학적모양은 그림 3과 같다.

압전사기원판의 직경과 두께는 각각 14, 0.2mm이며 황동판의 직경과 두께는 각각 20, 0.45mm이다. 전극들은 압전사기의 전극화된 표면들에 붙어있으며 여기에 전위  $V$ 가 가해진다.

내부손실(감쇠)은 없다고 본다. 황동판과 압전사기의 요소형은 3차원결합마당고체요소 Solid5로 취하였다. 요소분할은 구역마다 다르게 진행된다. 압전사기에 붙어있고 그것과 같은 반경을 가진 동판구역은 압전사기와 같은 형식으로 분할한다. 즉  $5 \cdot 10^{-5}\text{m}$ 보다 큰 반경을 가진 구역들에서는 선행연구[5]에서와 류사하게 6면체—균등분할(Hex-Mapped)형식을 취하고  $0 \sim 5 \cdot 10^{-5}\text{m}$ 범위의 반경을 가진 구역들은

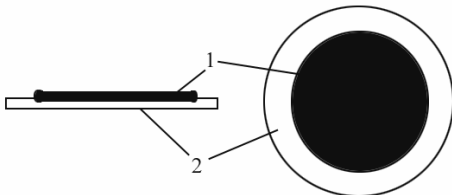


그림 3. 압전진동자의 기하학적모양  
Γ) 측면도, L) 정면도;  
1—황동판, 2—압전사기

6면체/썰기-썰기(Hex/Wedge-Sweep)분할형식을 취한다. 동판의 나머지구역은 6면체-썰기(Hex-Sweep)형식으로 분할한다. 압전사기의 윗표면전극에 놓이는 마디점들에는 전압자유도를 결합하고 0 V의 전위를 준다. 그리고 압전사기의 동판쪽 전극화된 표면에는 1 V의 전위를 준다.

압전진동자의 입구완전전도도의 주파수특성들은 압전조화해석에 의하여 평가되었다.

압전진동자는 9 904Hz에서 최대입구완전전도도를 가진다.

모의결과의 검증을 위하여 우리의 연구방법을 선행연구[6]에 적용한 모의결과를 표 2에 보여주었다.

표 2. 입구완전전도도의 주파수특성

주파수 /kHz	입구완전전도도/( $\cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$ )		
	선행연구 (측정)[6]	선행연구 (ANSYS)[5]	우리의 방법 (ANSYS)
20	0.41	0.43	0.43
35	0.90	0.96	0.96
42	2.0	2.8	3.1
45	—	-1.74	-1.3
50	0.39	0.32	0.38
54	0.65	0.63	0.66

표 2로부터 압전조화해석에 의한 우리의 연구방법은 음차를 리용한 액체밀도수감기의 공진특성을 연구하는데 합리적이라는 것을 알 수 있다.

음차를 이루는 판의 요소형은 3차원 20마디점고체구조요소 SOLID186으로 취하고 판에 포함된 액체의 요소형은 3차원류체포함요소 FLUID80으로 취하였다.

요소분할은 먼저 우의 방법으로 압전진동자에 대하여 진행하고 그다음 판과 류체구역에 대하여 6면체-썰기형식을 리용

하여 진행하였다. 음차의 두끝들은 안전하게 고정되므로 그것들의 전체 표면자유도들은 령과 같은 변위값을 가지고 속박된다. 중력가속도( $g$ )는  $+y$ 축방향으로 향한다. 중력가속도의 방향을 고려하기 위하여 수감기의 기하학적모양을  $x-z$  평면에 대하여 반전시켜 모의한다.

9 456 Hz 근방에서 수감기의 전형적인 주파수응답특성은 그림 4와 같다.(여기서 액체는 물이다.) 그림 4에서 출구완전전도도는 압전조화해석에 의하여 수감진동자에서 얻는다.

모의결과로부터 얻어진 공진주파수에 따르는 류동액체의 밀도관계는 그림 5와 같다.

그림 5에서 보는바와 같이 액체의 밀도는 수감기의 공진주파수에 영향을 미치는데 액체의 밀도가 증가할 때 공진주파수는 거의 선형으로 감소한다.

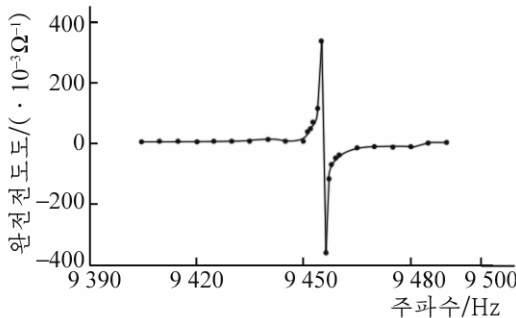


그림 4. 수감기의 주파수응답특성

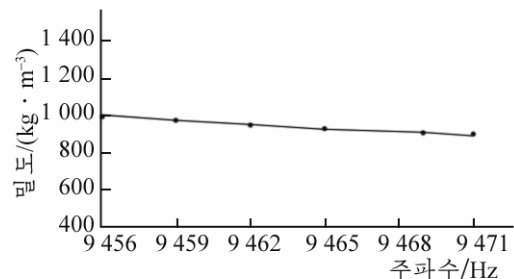


그림 5. 류동액체의 밀도와 공진주파수 사이의 관계

## 맺 는 말

음차를 리용한 류동액체밀도수감기에 대한 유한요소해석을 ANSYS를 리용하여 진행하였다. 모의결과는 액체의 밀도가 증가할 때 공진주파수가 감소한다는 실험자료[3]를 잘 반영한다. 우리의 모의방법은 류동액체밀도를 실시간적으로 측정하는데 리용할 수자출력을 가진 여러가지 수감기들을 설계하는데 효과적으로 리용할수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. W. Ward; EP0129753A1, 1985.
- [2] R. Difoggio et al.; WO2005/091204A1, 2005.
- [3] B. C. Black-Coleman et al.; WO 85/04476, 1985.
- [4] T. Pramathesh et al.; Inter. J. Sci. Eng. Tec., 2, 4, 260, 2013.
- [5] Verification Manual in Release 10.0 Documentation for ANSYS (ANSYS, Inc), 2005.
- [6] Y. Kagawa et al.; IEEE Trans. Sonics and UltraSonic, SU-26, 2, 81, 1979.
- [7] 张福学 等; 现代压电学(下册), 科学出版社, 373, 2002.

주체105(2016)년 6월 5일 원고접수

## **Finite Element Analysis for Flowing Liquid Density Sensor using a Tuning Fork**

*Sin Yun Sop, Ri Sang Gil*

Finite element analysis of flowing liquid density sensor using a tuning fork is performed using ANSYS. The simulation results correlate well with the experimental data[3] that the resonant frequency decreases as the density of liquid increases. The present simulation can be effectively applied to design various sensors with digital output used in measuring the flowing liquid density in real time.

Key words: tuning fork, flowing liquid density sensor