

# 비선형 파라메타 B/A 측정용 초음파 트랜스듀서의 제안

김정호\*, 고영인\*\*, 김무준\*\*\*, 하강열\*\*\*, 김천덕\*\*\*\*

\* 부경대학교 대학원 전기공학과

\*\* 부경대학교 대학원 음향진동공학과

\*\*\* 부경대학교 물리학과

\*\*\*\* 부경대학교 전기·제어계측공학부

## Design of the Ultrasonic Transducer for Nonlinear B/A parameter measurement

Joung-Ho Kim\*, Young-In Go\*\*, Moo-Joon Kim\*\*\*, Kang-Lyeol Ha\*\*\*, Chun-Duck Kim\*\*\*\*

\*Dept. of Electrical Eng. Graduate School Pukyong National Univ.

\*\*Dept. of Acoustic and Vibration Eng. Pukyong National Univ.

\*\*\*Dept. of Physics Pukyong National Univ.

\*\*\*\*Faculty of Electrical and Control Eng. Pukyong National Univ.

### 요약

음의 비선형 전파가 일어나기 쉬운 정도를 나타내는 파라메타로서 기본파 진폭과 제2고조파 진폭의 비로써 매질의 물리적 성질에만 관계하는 파라메타 B/A가 있다[1][2]. 종래 B/A 파라메타 측정은 대부분 광대역의 초음파 트랜스듀서 혹은 공진 주파수가 다른 복수의 트랜스듀서를 이용하여 왔다[3]. 본 연구에서는 협대역의 단일 트랜스듀서를 이용하여 B/A 파라메타를 효율적으로 측정할 수 있는 전용 초음파 트랜스듀서를 제안하였다. 그 방법으로 특성이 동일한 두 장의 압전체를 적층시키고, 그 중 한 장의 압전체에 전기적인 용량을 접속하여 기본 공진 모드 및 기본 공진 모드의 두 배의 주파수에 해당되는 조화파 모드를 발생시킬 수 있도록 하였다. 이것을 시험 제작하여 그 특성을 이론 및 실험적으로 해석한 결과 음향 매질의 비선형 파라메타인 B/A의 측정에 적용 가능함을 확인하였다.

리고 이것은 기본파의 진폭과 비선형 현상에 의한 제2고조파 진폭의 비로써 관측된다. 따라서 파라메타 B/A 측정에 있어서는 공진 주파수가 다른 복수의 초음파 트랜스듀서를 사용하여 측정하거나 광대역의 초음파 트랜스듀서를 이용하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 특성이 동일한 두 장의 압전체를 동일한 분극방향으로 적층시키고, 그 중 한 장의 압전체에 전기적인 임피던스를 부가하여 구동 위상을 바꾸어주는 방법으로 효율적인 B/A 파라메타 측정을 위한 B/A 파라메타 측정 전용 초음파 트랜스듀서를 제안한다. 그리고 그 유효성을 확인하기 위하여 제안된 초음파 트랜스듀서를 시험 제작하여 그 동작 특성을 실험 및 시뮬레이션을 통해 해석하였다.

### II. 원리

그림1은 특성이 같은 두 장의 압전체 TR1, TR2를 분극 방향이 같도록 접착하여 동작하는 경우를 나타내고 있다. TR1과 TR2의 구동전압 위상이 동상일 경우에는 그림2와 같이 두 장의 전체 두께로 정해지는 공진주파수를 기본모드로 하고 그 기수차 조화파 모드가 나타난다.

### I. 서론

음파의 전파 과정에서 나타나는 비선형 현상의 정도는 음향 매질의 물리적인 성질에만 관계하는 파라메타 B/A로 나타낼 수 있다. 이 파라메타 B/A는 매질 고유의 값으로써 매질에 대한 물성 연구에 많이 이용된다. 그

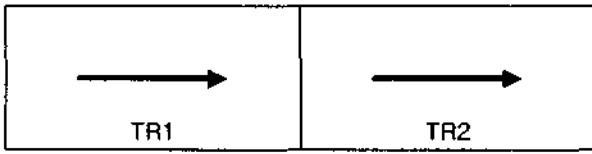


그림1. 2층 압전 트랜스듀서의 구성

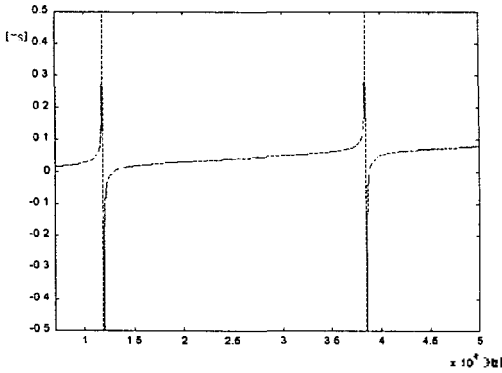


그림2. 위상이 동상일 경우 어드미턴스 곡선

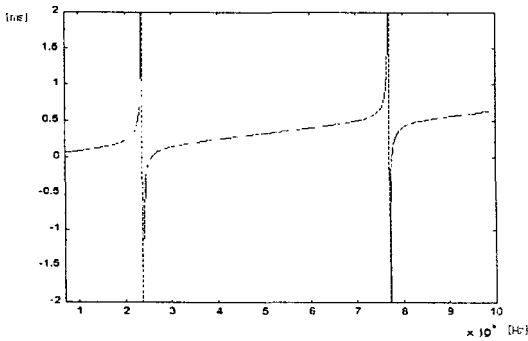


그림3. 위상이 역상일 경우 어드미턴스 곡선

그러나 TR1과 TR2의 구동전압 위상이 역상일 경우에는 그림3에 나타난 것과 같이 한 장의 두께로 정해지는 주파수를 기본 모드 및 기수차 조화파 모드로 생성시킬 수 있다.

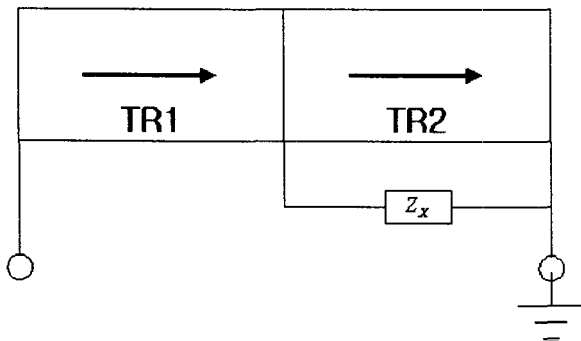


그림4.  $Z_x$ 을 부가한 트랜스듀서

따라서 압전 트랜스듀서의 구동전압의 위상을 적절히 제어함으로써 그림2와 그림3에 나타난 특성을 동시에 얻을 수 있으며 그 방법으로 그림4와 같이 한쪽의 압전체의 전기단자에 전기적인 임피던스  $Z_x$ 를 부가하였다.

### III. 시뮬레이션

제안된 트랜스듀서의 특성 해석 및 설계를 위한 시뮬레이션은 그림5에 나타난 것과 같은 Redwood 등가회로를[4] 사용하여 행하였다.

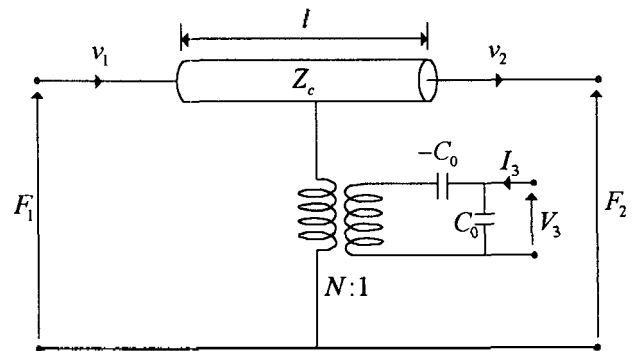


그림5. Redwood 등가회로

그림5에서  $Z_0$ 은 압전체의 특성기계임피던스,  $l$ 은 두께,  $C_0$ 은 재동용량,  $v_1, v_2$ 은 입자속도,  $N$ 은 전기-기계 변성비이다. 이와 같은 등가회로를 이용하여 그림4에서 제안된 압전 트랜스듀서의 시뮬레이션을 위한 등가회로를 나타내면 그림6과 같다. 양쪽의 음향단에는 부하 매질과 배면체를 각각 물과 에폭시로 접속시키고 전기단자에 임펄스를 인가하였을 때 나타나는 음향단에서의 응답을 조사하였다. 이 때 시뮬레이션 도구로는 PSpice9.0을[5][6][7] 사용하였으며 시뮬레이션에 사용된 물질 상수를 표1에 나타내었다. 또한 접착층의 두께는 약  $3 \times 10^{-5} [m]$ 를 고려를 하였다.

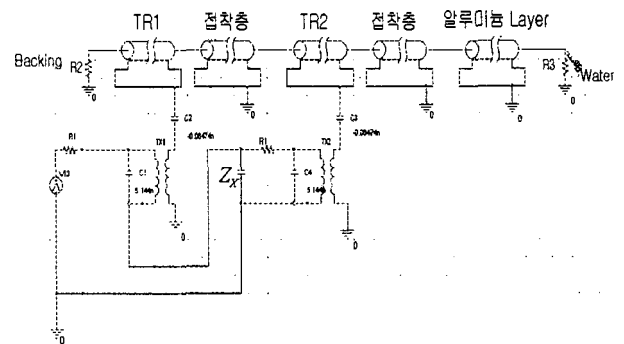


그림6. Pspice에서 사용된 트랜스듀서의 등가회로

	압전 트랜스듀서	알루미늄	물	Epoxy
음속 [m/s]	4403	6300	1500	2450
특성 임피던스 [MRayls]	33.73	17.00	1.50	5.00

표1. 시뮬레이션에 사용한 물질 상수

#### IV. 실험

압전체로써는 같은 특성을 가지는 지름24.7[mm], 두께0.85[mm], 공진주파수 2.345[MHz]의 압전 세라믹을 사용하였다. 이 두 장을 접착하고  $Z_x$ 를 한 쪽의 압전체 전기단자에 부가하여 제작하였다. 한편 접착층의 영향에 의해 기본 공진 모드와 두번째의 주파수 관계가 두 배가 되지 않는 것을 보정하기 위하여 두께 약 0.7[mm] 알루미늄판을 방사면에 접착하였다. 압전 트랜스듀서의 주파수 특성을 측정하기 위한 블록도를 그림7에서 나타내었다. 신호발생기에서 그림8과 같은 펄스폭 10[ns]의 임펄스 신호를 압전 트랜스듀서에 인가하여 초음파를 수중에 방사한 후 길이 0.07[m]에서 반사된 반사파를 디지털 오실로스코프에서 관측하여 퍼스널 컴퓨터로 주파수 특성을 분석하였다.

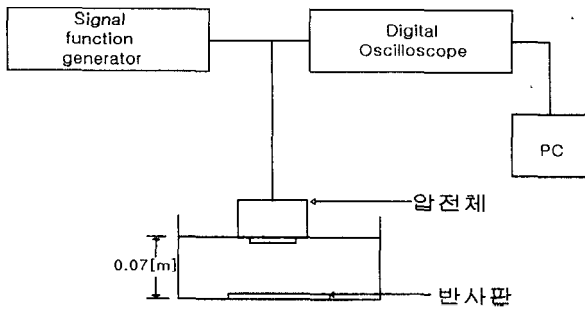


그림7. 실험 블록도

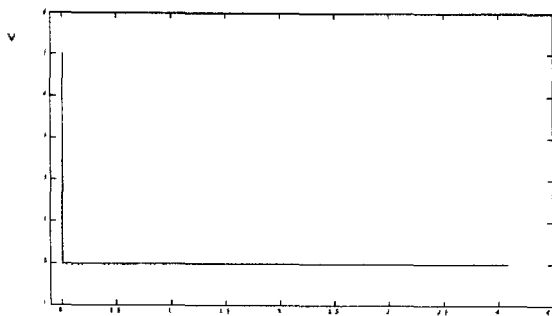
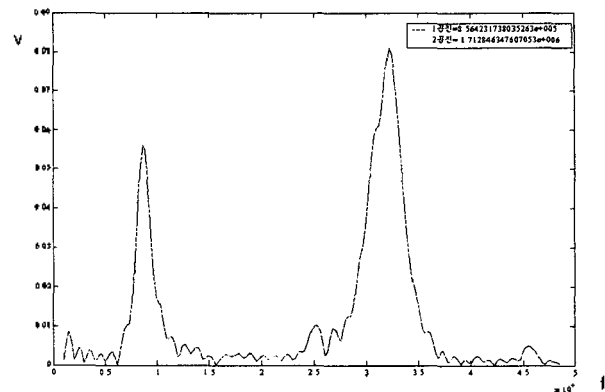


그림8. 압전 트랜스듀스에 인가한 임펄스

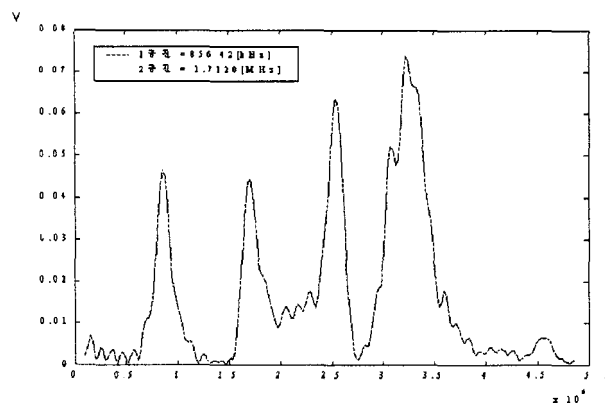
#### V. 결과

전기단에 부가한 임피던스  $Z_x$ 의 변화에 따른 비선형 파라메타 B/A 측정 전용 압전 트랜스듀서의 주파수 특성 변화를 그림9 및 그림10에 나타내었다. 실험 결과인 그림9를 보면  $Z_x$ 를 부가하지 않을 경우(a)는 기본 공진 모드의 두배에 해당하는 모드가 나타나지 않고 있으나  $Z_x$ 를 부가하고 증가 시킬수록 기본 공진모드의 2배에 해당하는 공진모드가 발생되고 또한 주파수 성분이 증가 함을 보이고 있다. 이것은 시뮬레이션 결과인 그림10과 일치함을 보이고 있다.

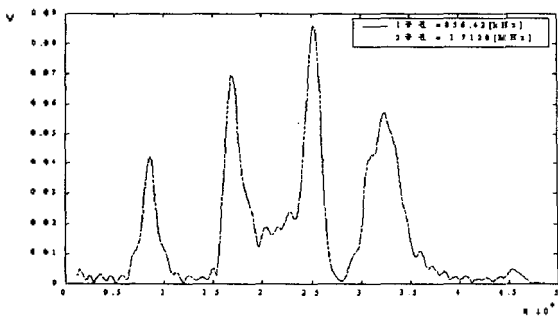
비선형 파라메타 B/A의 측정을 위해서는 기본 모드의 주파수로 송수신을 행하고, 이 때 매질의 비선형에 의해 발생하는 제2고조파 성분을 수신하기 위하여 기본 공진 모드의 두 배의 공진 모드를 사용하게 된다. 그러므로 정도 높은 B/A의 측정을 위해서는 기본 모드와 기본 모드의 두 배의 공진 모드의 변환 효율이 동등할 것이 요구된다. 따라서 그림9의 실험 결과를 보면 압전체 전기단자에 부가한 임피던스  $Z_x$ 가 8.2[nF]일 때 이러한 요구를 만족시킬 수 있다.



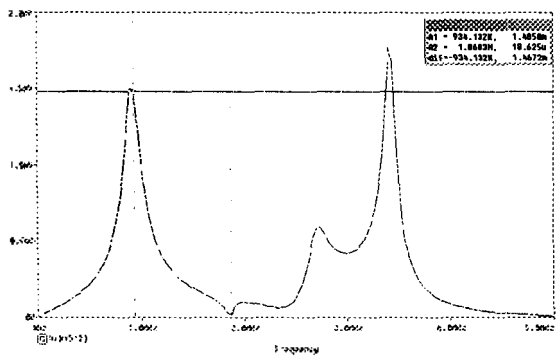
(a)  $Z_x$ 가 0[nF]일 경우 주파수 특성



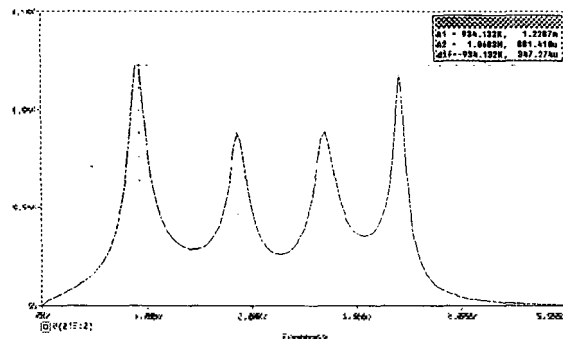
(b)  $Z_x$ 가 8.2[nF]일 경우 주파수 특성



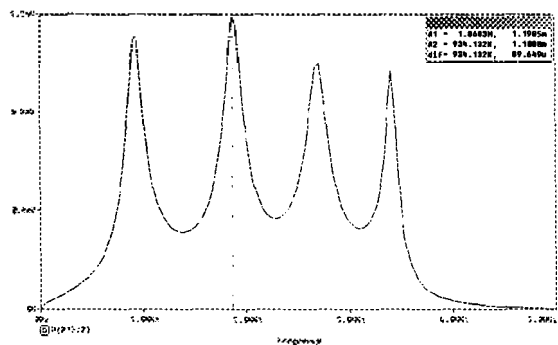
(d)  $Z_X$ 가 22[nF]일 경우 주파수 특성  
그림9. 실험 결과



(a)  $Z_X$ 가 0[nF]일 경우 주파수 특성



(b)  $Z_X$ 가 8.2[nF]일 경우 주파수 특성



(c)  $Z_X$ 가 22[nF]일 경우 주파수 특성  
그림10. 시뮬레이션 결과

## VI. 결론

본 연구에서는 하나의 압전 트랜스듀서를 이용하여 B/A를 측정할 수 있는 트랜스듀서를 제안하였다. 제2 고조파 성분을 수신하기 위하여 두 장의 압전체를 적층하고 그 한 장의 압전체 전기단자에 임피던스  $Z_X$ 를 추가하는 방법으로 기본 공진에 대한 2배 모드의 발생을 가능케 하였다. 그 유효성을 확인하기 위하여 실험 및 시뮬레이션을 통해 그 동작 특성을 해석한 결과 전기단자에 추가한  $Z_X$ 의 값에 의해 기본 공진 모드의 두 배에 해당하는 공진 모드를 발생 및 그 효율을 제어할 수 있음을 확인하였다. 특히 비선형 파라메타 B/A 측정에서 요구되는 기본모드와 그 두 배 모드에 대해 동일한 변환 효율은  $Z_X$ 를 8.2[nF]의 용량으로 하였을 때 나타났다.

## 참고문헌

- [1] 鎌倉友男, 熊本芳朗, “非線型 音響의 基本理論,” 日本音響學會誌, 44卷 9号 pp. 684~688, 1988.
- [2] Mark F. Hamilton, David T. Blackstock, “Nonlinear Acoustics,” pp. 25~37, 1997.
- [3] さいとう, しけみ, “非線型 パラ메ータ의 測定と組織 識別,” 超音波 TECHNO, 1月号, pp.28~33, 1999.
- [4] M. Redwood, “Transient Performance of a Piezoelectric Transducer,” J. Acoust. Soc. Am., 33, No. 4, pp.527~536, 1961.
- [5] Emiliano Maione, Piero Tortoli, Andrzej Nowicki, John M. Reid, “Pspice Modelling of Ultrasound Transducers: Comparison of Software Models to Experiment,” IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Contr., vol. 46, pp.399~405, 1999.
- [6] W. Marshall Leach, “Controlled-Source Analogous Circuits and SPICE Models for Piezoelectric Transducers,” IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Contr., vol. 41, pp.60~66, 1994.
- [7] Steven A. Morris, Chriswell G. Hutchens, “Implementation of Mason's Model on Circuit Analysis Programs,” IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Contr., vol. UFFC-33, pp.295~298, 1986.