

저 잡음 수중 청음기의 설계 방안 연구

- II. 음향 감쇠층 재질의 영향 -

Design and Evaluations of Underwater Hydrophone with Self Noise Suppressing Structures ;

- Part II. Influence of Acoustic Damping Layer Properties -

임종인*, 노용래**
(Jong-in Im*, Young-Rae Roh**)

요약

본 논문에서는 구조 변경한 저 잡음 수중 청음기에 사용되는 음향 감쇠층의 최적 물성을 제시하고 제작 가능성을 알아 보고자 하였다. 이를 위하여 음향 감쇠층의 특성 중 재료 감쇠도와 음향 임피던스를 변화시켜 FEM(Finite Element Method)으로 과도 해석하여 재질 변경에 따른 잡음 응답 특성을 고찰 하였다. 그 결과 재료의 감쇠도는 큰 영향이 없었으며 1 Mrayl 이하 혹은 4 Mrayl 이상의 음향 임피던스 값을 갖는 음향 감쇠층을 사용하는 것이 효율적임을 알 수 있었다. 이러한 목적을 위해서는 일반적인 흡음 재료로 사용되는 고분자 폴리머들은 본 연구의 수중 청음기용 음향 감쇠 층으로 사용하기에 부적합하고, 새로운 금속 혹은 세라믹-폴리머 복합체의 개발이 필요하다.

ABSTRACT

This paper investigates the influence of material properties of the acoustic damping layer in the low noise hydrophone designed in the previous paper. For increase of the insensitivity of the hydrophone to external noises, acoustic impedance and damping coefficients are selected and the effects of the selected material property on the hydrophone response to the external noises are simulated with finite element method(FEM). The results show that the damping coefficients are not influential to the structural vibration decoupling from the sensing element. On the other hand, the optimum acoustic impedance of compliant layer is estimated which is smaller than 1 Mrayl or larger than 4 Mrayl. However polymer materials, which are in general use for acoustic window and damping layers, is not appropriate for the compliant materials of this hydrophone. Therefore development of new composite materials, i.e. ceramic-polymer composite or metal-ceramic composites etc., is required for the development of effective self noise suppressing underwater hydrophones.

I. 서론

본 연구의 목적은 심해의 여러가지 잡음원과 진동 성분이 유입되는 환경에 노출되어 사용되고 있는 수중 청음기의 저 잡음화를 구현하는데 있다. 이 연구와 연관된 논문 Part I[1]에서는 수중 청음기에 잡음의 전달 경로 특성 및 저 잡음화를 달성할 수 있도록 구조를 변경하고, 잡음 응답 특성을 분석하였다.

전술한 논문 Part I[1]에서 언급 하였지만 수중 청음기

의 진동 잡음 감소 방안으로 외부에서 발생된 잡음의 전달 경로를 차단하는 방안과 잔류 잡음 성분의 흡수시키는 음향 감쇄재 삽입하는 방안을 생각할 수 있다. 그러나 이들 두 방안은 각각 장 단점을 가지고 있으므로 적절히 조합, 최적화하여 센서의 내 잡음성을 구현하여야 한다. 그리고 더욱 효율적인 저 잡음화를 달성하기 위해서는 사용되는 음향 감쇠층의 물성이 아주 중요하다. 잡음 성분을 흡수시키는데 영향을 주는 음향 감쇠층의 물성으로는 재료의 감쇠도 및 음향 임피던스를 들 수 있고, 이들 재료 특성의 최적화가 필수적이다. 그러므로 수중 청음기의 음파에 대한 감도를 향상되도록 음향 감쇠층의 재료 특성 변화가 잡음 전달 특성에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 필요가 있다.

* 포항 산업과학연구원 소재부문 기능세라믹팀

** 경북대학교 전자공학과/센서기술연구센터

접수일자: 1996년 8월 8일

본 연구에서는 사용되고 있는 음향 감쇠층의 재질 변경에 따른 잡음 전달 특성을 분석하여 음향 감쇠층의 최적 물성을 제시함으로써 다양한 외부 잡음을 효과적으로 차폐시킬 수 있는 고성능 저 잡음 음향 센서를 개발하고자 하였다. 또한 제시한 물성 값을 갖는 음향 감쇠층의 실제 제작 가능성을 제시하고자 한다.

II. 유한 요소 모델링 및 수치 해석

상해에서 사용되는 수중 청음기는 앞진 세라믹스와 전면 주, 후면 추로 이루어진 여러 개의 Tonpitz 트랜스듀서, 내부 및 외부 금속 케이스, 음향 윈도우, 음향 격리막 등으로 구성되어 있다[2, 3]. 본 연구에서 사용한 모델은 이 연구의 연관된 논문 Part I[1]에서 구조 변경한 수중 청음기의 모델 중 No.13의 모델로 그림 1과 같다. 상기한 모델 No.13은 해석 대상인 기존의 수중 청음기에 3개의 air pocket과 3개의 음향 감쇠층을 추가하여 구성한 것이 특징이다.

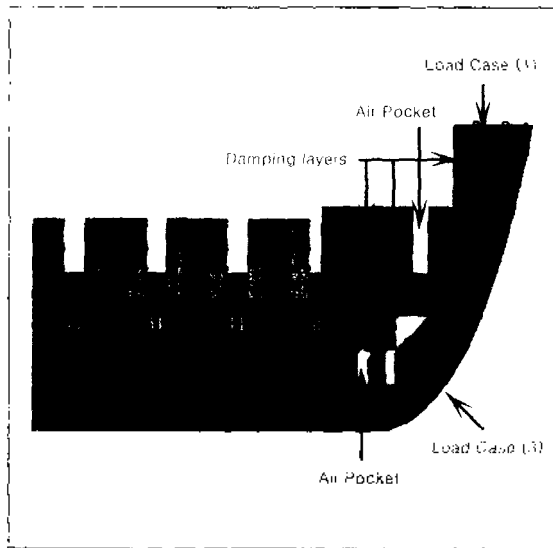


그림 1. 구조 변경한 수중 청음기의 유한 요소 모델 No.13
Fig. 1. Finite element model No.13 of structure modified hydrophone

본 연구의 대상인 수중 청음기 FEM 수치 모델링은 ANSYS 5.0 A의 알고리즘을 사용하고, 수중 청음기의 대칭성을 고려하여 1/4에 해당하는 모델을 구현하였다. 이때 x 및 y 방향은 대칭 처리 하였으며 음향 센서의 금속 케이스 상단은 모든 방향으로 변위가 구속된 조건을 취하였다. 그리고 외부 잡음원의 위치 변화에 의한 수중 청음기의 상대적인 출력을 알아보기 위해 1000 Pa 압력이 0.01초로 동안 step load로 인가되는 경우에 대해 과도 해석을 하였다[3, 4]. 본 논문에서 하중 인가 조건은 전술한 논문 part I[1]의 잡음 전달 특성 해석에서 설명한 하중 인

가 조건 중 (1)과 (3)에 대해 해석 하였다. 하중 조건을 전체 다섯 가지 중 특히 하중 조건 (1)과 하중 조건 (3)으로 제한 한 이유는 (1)의 경우는 2축 하중 성분만이 존재하고, (3)의 경우는 하중 성분을 벡터 분율로 나누는 조건들인 나머지 (1), (4), (5)의 경우들을 대표할 수 있기 때문이다. 그리고 잡음 전달 특성 분석 결과를 기초로 가장 높은 반응을 보인 하중 조건 (3)을 선정하였다.

III. 결과 및 고찰

수중 청음기의 구조 변경 시 전달 잡음 신호의 경로를 차단 혹은 음향 임피던스 부 정합을 일으키도록 구조를 변경하여 진동을 흡수 혹은 반사시키는 방법을 사용하였다[2, 3]. 전술한 논문 Part I[1]에서는 여러 개의 air pocket과 음향 감쇠재 층을 다양하게 조합 시켜 14개의 모델을 고안하고, 잡음에 대한 응답 특성을 알아 보았다. 구조 변경의 영향 해석 시에 사용한 음향 감쇠층의 재질은 고정하고, 단지 그 갯수 와 위치만을 변경한 것이었다. 본 논문에서는 해석 모델로 상기 구조 변경 모델들 중 우수한 저 잡음 특성을 나타낸 모델 No.13을 선정하고[1], 음향 감쇠 층의 재질 변경에 따른 수중 청음기의 잡음에 대한 응답 특성을 고찰하여 최적의 음향 감쇠 층 물성을 알아보려 한다.

일반적으로 잡음의 전달 경로 차단 효과는 반사와 흡수에 의한 효과가 복합적으로 이루어져 나타나는 것이라고 할 수 있다. 반사 효율을 높이기 위해서는 음향 임피던스의 부 정합을 유도하는 것이 효율적이며, 흡수 효율 증진을 위해서는 재료의 감쇠 도를 변경하는 것이 효율적이다. 이들은 구조적 변경과 상호 보완의 효과가 있을 것이므로, 구조의 변경은 없이 동일한 한 구조에 대하여 재질의 변경에 의한 영향만을 알아보아야 할 것이다. 그러므로 본 논문에서는 모델 13번 구조에 대하여 감쇠 재료의 물성을 다양하게 변경시키고, 외부 잡음이 인가될 경우 Tonpitz 트랜스듀서의 과도 응답 특성의 변화를 조사 하였다. 변경할 수 있는 재료의 물성으로 흡음재의 음향 임피던스와 내부 감쇠도를 선정하였다. 이들 두 변수는 서로 독립된 값으로서, 일반적으로 흡음 재료의 음향 특성을 규정짓는데 가장 널리 사용되는 요소들이다. 여기서 재료의 임피던스 변경을 위하여서는 재료와 밀도는 변경하지 않고 탄성을 만을 변경하였다. 우선 재질의 변경이 센서의 특성에 미치는 전반적인 경향을 파악하기 위해서 총 11가지의 경우를 임의로 설정하였는데, 이들 11가지 흡음재들의 물성은 표 1에 나타내었다. 단 여기서 센서의 다른 부분의 물성은 전혀 변화시키지 않았다.

음향 감쇠층의 음향 임피던스를 변경시켜 센서 내부의 음향 결합 상태를 변경에 따른 수중 청음기의 센서의 과도 출력 특성을 해석하고, 기존의 수중 청음기 출력과 상대 비교하였다. 그림 2는 하중 조건 (1)을 인가하였을 때 모델 No. 13의 센서 과도 출력을 나타낸 것이고, 그림 3은

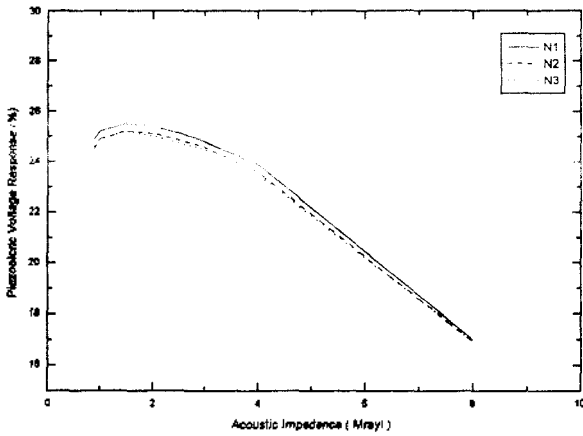


그림 2. 하중 조건 (1) 인가시 모델 No.13의 전압 응답 특성에 감쇠층의 임피던스가 미치는 영향
Fig. 2. Effects of the Z of the damping layer on the piezo. voltage response of the model No.13 in the load case (1)

하중 조건 (3)을 인가하였을 때 센서 과도 출력을 나타낸 것이다. 두 그림에 나타낸 센서의 반응 값 N1은 수중 청음기의 중심에 위치한 Tonpilz 트랜스듀서의 출력 값이고, N2는 45도 방향의 두번째 Tonpilz 트랜스듀서의 출력 값이다. 그리고 N3는 가장 외곽에 위치한 Tonpilz 트랜스듀서의 출력 값을 나타낸다.

그림 2에서 알 수 있듯이 하중 조건 (1)을 인가하는 경우에는 음향 감쇠층의 음향 임피던스가 증가함에 따라 Tonpilz 센서의 출력이 감소하였다. 하중 조건 (1)과 같이 z축 방향의 단일 성분의 잡음 신호가 수중 청음기에 인가될 경우 높은 음향 임피던스를 갖는 음향 감쇠층을 사용하는 것이 센서의 내 잡음성 향상을 위해서는 효율적이다. 그리고 하중 조건 (3)을 인가한 경우에 대한 해석 결과를 나타낸 그림 3에서 알 수 있듯이 음향 감쇠층의 임피던스가 증가함에 따라 Tonpilz 센서의 출력이 증가하다가 어느 구간을 넘어서면 감소하는 경향을 보이고 있다. 반응도가 증가하는 구간은 임피던스가 1-4 Mrayl에 해당하는 때이다. 이러한 현상은 이 구간에서 흡음체가 들어간 잡음 차단 벽이 도리어 임피던스 정합 층의 역할을 하여 잡음의 전달을 더 용이하게 한 결과로 판단된다. 전술한 논문 Part I[1]에서 하중 조건 (1)을 인가하였을 경우 기존 수중 청음기의 센서 출력은 약 0.02 mV이었고, 하중 조건 (3)을 인가하였을 경우 기존 수중 청음기의 Tonpilz 센서 출력은 약 1 mV 정도로 약 50배 정도 큰 잡음 출력 특성을 나타내었다. 그리고 기존 수중 청음기의 특성과 비교하여 구조 변경시 얻었던 최소 반응도는 하중 조건 (1)의 경우 25%, 하중 조건 (3)의 경우 42%이었다. 그러므로 효율적인 내 잡음 특성을 갖는 수중 청음기를 구현하기 위해서는 그림 2보다 그림 3의 해석 결과가 더 중요하고, 이를 근거로 흡음체의 임피던스를 적절히 선택하면 이보다 더 높은 잡음 차폐 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 전체적으로는 흡음 재료로 음향 임피

던스가 1 Mrayl 이하 혹은 4 Mrayl 이상의 재료를 사용할 경우 효과적인 잡음 차폐 효과가 있는 것으로 결론 내릴 수 있다.

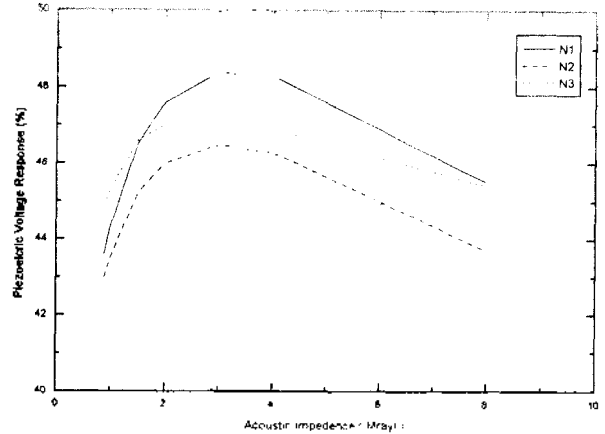


그림 3. 하중 조건 (3) 인가시 감쇠층의 임피던스가 모델 No.13의 전압 응답 특성에 미치는 영향
Fig. 3. Effects of the Z of the damping layer on the piezo. voltage response of the model No.13 in the load case (3)

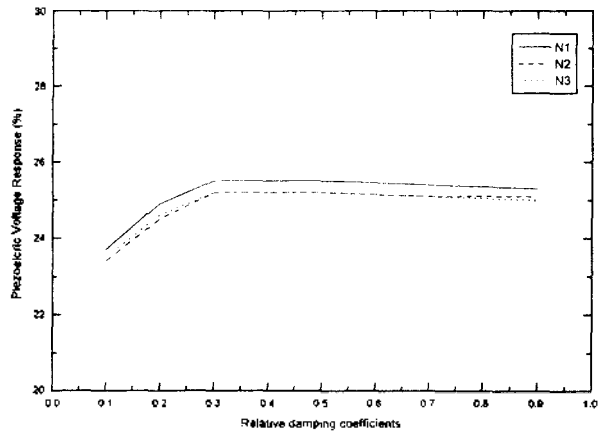


그림 4. 하중 조건 (1) 인가시 감쇠층의 감쇠도가 모델 No.13의 응답 특성에 미치는 영향
Fig. 4. Effects of the damping coeff. of the damping layer on the piezo. voltage response of the model No.13 in the load case (1)

감쇠층의 음향 임피던스는 일정하게 유지하여 감쇠층의 감쇠 계수 증가에 대하여 해석하고, 그 결과를 그림 4와 5에 나타내었다. 그림 4의 하중 조건 (1)을 인가하여 해석한 결과에서 알 수 있듯이 음향 감쇠층의 감쇠도가 증가함에 따라 수중 청음기의 Tonpilz 센서 출력이 약 2% 증가하다가 거의 일정한 값에 수렴하였다. 반면에 하중 조건 (3)의 경우에는 음향 감쇠층의 감쇠도가 증가함에 따라 압전 소자의 출력이 계속해서 증가하는 특이한 경향을 보이고 있다. 이 결과는 모델 구성의 편리성을 위

표 1. 구조 변경한 모델 No.13에 삽입된 감쇠 재료의 물성
Table 1. Material properties of inserted damping layers in structure modified FE model No.13

Model No.	density (kg/m ³)	E(Gpa)	Poisson's ratio	damping coeff.	Acoustic Impedance(Mrayl)
ST model 13	1000	0.8	0.4	0.2	0.89
1	1000	1	0.4	0.2	1
2		2.25			1.5
3		4			2
4		9			3
5		16			4
6		64			8
7	1000	1	0.4	0.1	1
8				0.3	
9				0.5	
10				0.7	
11				0.9	

표 2. 각종 폴리머의 기계 및 음향학적 물성
Table 2. Mechanical and acoustic properties of various polymer

Polymer	Density (kg/m ³)	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Acoustic impedance (Mrayl)	Damping coefficients
PMMA	1190	6.24	0.34	2.77	0.047
Polyethylene (HD)	960	2.55	0.41	2.09	0.06
Phenol-formaldehyde resin	1220	5.8	0.36	2.92	0.137
Polycarbonate	1190	3.09	0.39	2.0	0.16
Epoxy resin (RDEG/PDA)	1270	7.20	0.36	3.31	0.17
Epoxy resin (RGEBA/MPDA)	1205	5.05	0.38	2.86	0.183
Polypropylene	910	4.13	0.34	1.7	0.187
Polyurethane	1008	2.38	0.40	2.0	0.25
Eccogel 1365-80 epoxy	1060	4.25	0.38	2.5	0.6
Dispersion 236 rubber(Dow-C)	1540	1.375	0.42	2.1	0.927

PMMA = Poly-Methyl Methacrylate
 DGEBA = Diglycidyl Ether of Bisphenol A
 RDGE = Resorcinol Diglycidyl Ether
 MPDA = M-phenylene Diamine
 PDA = Propane Diamine
 Dow-C = Dow-Corning

하여 수중 청음기의 상단부에 설치한 감쇠층의 위치 때문에 발생한 결과로 추정되지만 정확한 원인은 향후 분석하여야 할 부분이다. 그러나 감쇠층의 음향 임피던스의 증가의 경우와 같이 감쇠도 증가에 따라 수중 청음기의 Tonpitz 센서 반응이 감소하는 현상은 나타나지 않았다. 따라서 수중 청음기의 외부 잡음에 대한 반응도는 음향 감쇠층의 감쇠도의 변화에는 그다지 크게 영향을 받지 않는 것으로 결론 내릴 수 있겠다. 일반적으로 수중 청음기의 Tonpitz 트랜스듀서와 내부 지지부 사이의 음향적 격리 기구는 coulomb friction damping에 의해 이루어

지므로, 내부 지지부에 삽입할 음향 감쇠층도 그 감쇠도의 변화보다는 음향 임피던스를 변화시키거나 포아손 비를 변경하는 경우를 우선적으로 고려해야 할 것으로 판단된다.

표 2에는 일반적으로 흡음 재료로 혹은 음향 창(acoustic window) 재료나 acoustic backing 재료로 널리 사용되는 기존의 재료들의 종류와 물성들을 나타내었다[5~8]. 위에서 얻은 해석 결과를 바탕으로 이들 기존 재료들의 물성들은 일단 감쇠 계수에 대한 가중치를 줄이고 음향 임피던스 값들을 볼 때, 이들 고분자 폴리머의 음향 임피던스는 모두 1.5~3 Mrayl 사이의 값들을 가지고 있다. 따라서 앞에서의 해석 결과인 그림 2와 3에서 알 수 있듯이, 이 임피던스 값들은 구조 변경한 모델 No.13의 출력 이 거의 최대값을 갖는 범위에 해당하고, 본 연구의 목적으로는 전혀 부적합함을 알 수 있다. 실제로 이들 표 2에 나타난 재료들에 대하여 동일한 해석을 수행한 결과를 표 3에 나타내었는데, 하중 조건 (1)과 (3) 모두에 대해서 기존 모델 대비 외부 잡음에의 반응도가 기존의 onion skin paper를 사용했을 때의 반응도 25%, 42%에 비해 더 열악하게 나타났다. 그러므로 기존의 고분자 폴리머들은 본 연구에서 개발하고자 하는 내 잡음 특성이 향상된 수중 청음기의 감쇠 재료로는 사용하기 힘들며, 새로운 고분자-세라믹 복합체를 제조하여 사용할 경우 내 잡음 특성이 우수한 수중 청음기를 개발할 수 있을 것이다.

최근 세라믹 제조 공정의 많은 발전에 의하여 알루미늄, 지르코니아등 많은 종류의 산화물들이 미세한 hollow sphere 형태로 제작되고 있으며 고 압축 강도 및 저 밀도, 낮은 열전도도 특성으로써 자동차의 충격 흡수용과 단열용 재료로 응용 되고 있다[9]. 이러한 세라믹 hollow sphere와 다양한 고분자 폴리머를 이용하여 복합체를 제

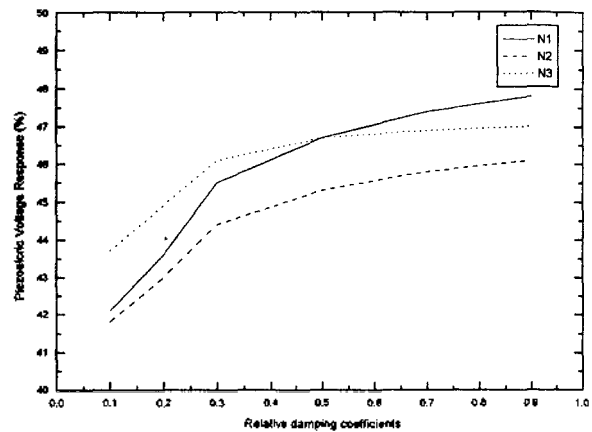


그림 5. 하중 조건 (3) 인가시 감쇠층의 감쇠도가 모델 No.13의 응답 특성에 미치는 영향
Fig 5. Effects of the damping coeff. of the damping layer on the piezo. voltage response of the model No.13 in the load case (3)

조할 경우 1 Mrayl 이하의 음향 임피던스를 갖는 새로운 복합체를 제조 가능하다. 또한 고밀도의 금속 혹은 산화물 경우 15 Mrayl 까지 다양한 범위의 임피던스 값을 가지므로 금속-금속 복합체, 금속-산화물 복합체, 금속 혹은 산화물-고분자 복합체를 제조할 경우 원하는 다양한 특성의 복합체를 제조할 수 있다. 향후 이러한 복합체의 제조에 대한 체계적인 연구가 진행될 경우 본 논문에서 제시한 음향 감쇠층의 물성이 유용하게 사용되리라 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 내 잡음 특성을 갖는 고성능 수중 청음기를 구현하기 위하여 구조 변경한 저 잡음 수중 청음기에 사용되는 음향 감쇠층의 최적 물성을 제시하고 제작 가능성에 대하여 기술 하였다. 이를 위하여 전술한 논문 Part I]]의 구조 변경 모델들 중 우수한 저 잡음 특성을 나타낸 모델 No.13을 선정하고, 음향 감쇠층의 특성 중 재료 감쇠도와 음향 임피던스를 변화시켜 FEM으로 transient 해석하여 재질 변경에 따른 잡음 응답 특성을 고찰 하였다. 그 결과 음향 임피던스 1 Mrayl 이하 혹은 4 Mrayl 이상의 값을 가지는 흡음 재질을 수중 청음기의 감쇠 층으로 적용할 때 가장 효율적인 잡음 차폐가 이루어짐을 알 수 있었고, 상기한 구조에서 재료의 감쇠 도는 그다지 영향을 주지않는 것으로 나타났다.

일반적으로 흡음 재료로 사용되는 고분자 폴리머의 음향 임피던스는 모두 1.5에서 3 Mrayl 사이의 값들을 가지고 있어 본 연구에서 개발하고자 하는 내 잡음 특성이 향상된 수중 청음기의 감쇠 재료로는 적합하지 않고, 새로운 고분자-세라믹 복합체의 개발이 필요하다. 이는 세라믹 hollow sphere-고분자 폴리머의 복합체 제조 기술을 이용하여 제조 가능하리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. Jong-in Im, Young-rae Rho, "Design and evaluations of underwater hydrophone with self noise suppressing structures; Part I. Noise transfer characteristics and effects of structure modifications," J. Acoust. Soc. Korea, to be submitted, 1996.
2. P. R. Anderson, "Low noise transducer system," US Patent No. 5, 243, 566, 1993.
3. S. J. Zain, W. Thompson, Jr., and M. Kahn, "Construction and evaluation of a noise-suppressing hydrophone," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 92(2), Pt. 1, pp. 642-645, 1993.
4. R. Lerch, "Simulation of piezoelectric devices by two and three dimensional finite elements," IEEE Trans. Ultra. Ferro. Freq. Contr., Vol. 37(2), pp. 233-247, 1990.
5. E. E. Mikoska and J. A. Behrens, "Evaluation of transducer window materials," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 59(6), pp. 1294-1298, 1976.

6. M. G. Grewe, T. R. Gururaja, T. S. ShROUT, and R. E. Newnham, "Acoustic properties of particle/polymer composites for ultrasonic transducer backing applications," IEEE trans. on Ultrason. Ferro. and Freq. Contr., Vol. 37(6), pp. 506-513, 1990.
7. Acoustic properties, "Encyclopedia of Polymer Sci and Engineering," Vol. 1 (2nd edition), pp. 131-160, New York press, 1984.
8. Acoustic properties, Properties of polymer (3rd edition), pp. 439-454, Elsevier Sci. Publishing Company Inc., New York (1990).
9. 권숙인, 복합 재료, 민음사.

▲임 종 인(Jong-in Im)



1986년 2월: 한양대학교 무기재료과 (학사)

1989년 2월: KAIST 재료공학과(석사)

1989년~현재: RIST기능세라믹팀 주 임연구원

1991년 2월~8월: (미)Penn. State Univ., MRL 재원연구원

1995년~현재: 경북대학교 센서공학과 박사과정

※주관심분야: 음향 및 광 센서 설계, 유전 및 압전 재료 응용 및 개발