

중공형 멘드릴을 이용한 광섬유 하이드로폰의 최적 구조 설계

Part I. Forming 층이 음파 전달 및 감도에 미치는 영향

Structural optimizations of the optical fiber hydrophones with the hollow mandrel: Part I. Effects of the foaming layer on the wave propagation and the sensitivity

임종인*, 노용래**
(Jong In Im*, Yong Rae Rho**)

요 약

본 논문은 foaming 층이 음파의 전달 특성에 미치는 영향 및 멘드릴형 광섬유 하이드로폰의 광음향 감도 특성에 미치는 영향을 분석한 것이다. 유한 요소법을 이용하여 foaming 층의 내부 구조에 따른 음파의 전달 특성을 분석하였고, AL(Aluminium)/foaming 및 Nylon/foaming 멘드릴(mandrel) 각각에 대하여 foaming 층의 재질 및 두께 변화에 따른 광음향 감도 변화를 분석하였다. 그 결과, foaming 층 내의 기공의 크기가 클 수록 음파의 전달은 감소하는 경향을 보였으나 기공이 10 부피% 이내 경우 foaming 층 내의 구조변화의 영향을 무시할 수 있었다. 또한 AL 및 Nylon 층상 복합체인 멘드릴에서 foaming 층의 탄성율이 낮을수록, 두께가 증가할수록 광음향 감도는 증가하였다. 그러므로 1GPa 이하의 탄성율을 지닌 두꺼운 Foaming 층을 사용하여 층상 복합체 멘드릴을 구성하는 것이 광음향 감도의 향상을 위하여 효율적이다.

ABSTRACT

This paper describes the effects of the foaming layer on the wave propagation and the sensitivity of an optical fiber hydrophone. All the analyses have been carried out with Finite Element Method (FEM). Studied parameters are internal structure, material properties, and thickness of the foaming layer in the AL/foaming and Nylon/foaming mandrel. The results show that, in general, the wave propagation in the foaming layer is reduced as the pore size is increased. In case of the foaming layer having the porosity less than ten % of volume, however, the internal structural influence is almost negligible. Higher sensitivity of the hydrophone requires a foaming material of relatively low Young's modulus, and the sensitivity increases with the thickness of the foaming layer in the mandrel with both AL/foaming and Nylon/foaming. Therefore it is desirable for improvement of the sensitivity of the hydrophone to use a composite mandrel with thicker foaming layer that has Young's modulus of less than 1GPa.

I. 서론

광섬유 하이드로폰은 외부 음압에 대해 광섬유가 변형되어 유발되는 광 신호의 위상차를 측정하여 음향신호를 분석할 수 있도록 하는 것으로 기존의 압전형 하이드로폰에 비해 감도가 높고, 극한 조건에도 사용될 수 있고, 사용 주파수 대역의 조정이 용이하다는 등의 장점을 가지고 있어서, 현재의 음향 감지 시스템을 보완할 수 있는 유망한 소자로서 주목을 받고 있다. 외부 음향신호와 반응하여 감지하는 음향 감지부는 구조에 따라 평면 배열(planar

array)형, 부지향성(omnidirectional element)형, 구배(gradient)형, 그리고 선 배열(line array)형 등으로 분류되고, 수십 kHz 이하의 주파수에서는 유연한 구조물인 멘드릴형 음향 감지부가 이용되고 있다[1-3]. 최근 Nash 등 소수의 연구자들은 광음향 감도 향상을 위하여 중공형 및 미세 굴곡을 갖는 중공형등 새로운 멘드릴 구조에 관하여 제안한 바 있다[4-7]. 그러나 유연한 구조물과 foaming 층으로 이루어진 층상 복합체 멘드릴에 대하여는 아직까지 보고된 바 없고, 내압음 특성 및 최대 신호 대 잡음비를 갖는 멘드릴형 광섬유 하이드로폰을 구현하기 위해서는 층상 복합체인 음향 감지부에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

본 논문에서는 AL 및 Nylon의 유연한 구조물과 foaming

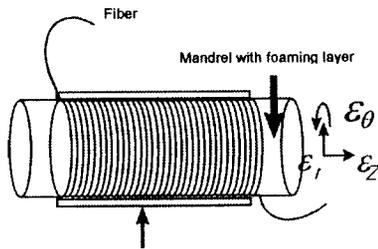
* 포항산업과학연구원 기능세라믹팀.

** 경북대 전자공학과 / 센서공학과
접수일자: 1998년 2월 12일

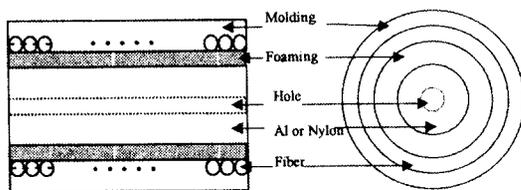
층으로 이루어진 층상 복합체를 음향 감지부로 사용하고, 수심 200m의 환경에서 우수한 감도 특성을 지닌 중공형 멘드릴형 광섬유 하이드로폰을 설계하고자 하였다. 이러한 연구 목표를 달성하기 위해 일차적으로 유한 요소법을 이용하여 foaming 층이 음파의 전달 특성 및 광음향 감도 특성에 미치는 영향을 분석하고, AL/foaming 및 Nylon/foaming 멘드릴에 대한 foaming층의 최적 재질 및 형상을 결정하고자 하였다.

II. 중공 원통형 광섬유 하이드로폰

본 연구의 대상인 중공 원통형 광섬유 하이드로폰의 음향 감지부는 그림 1에 나타난 바와 같이 중공형의 유연성 구조물과 foaming의 층상 복합체인 멘드릴과 광섬유, 그리고 광섬유를 둘러싸는 몰딩(molding) 층으로 구성되어 있다. 광섬유는 단일 모드 광섬유로 코어(core), 클래딩(cladding), 그리고 외부 폴리머 층으로 구성되어 있다. 또한 층상 복합체인 멘드릴을 형성할 유연성 구조물로는 AL과 Nylon을 선정하였고, 몰딩용 재료로는 폴리우레탄을 선정하였고, 이들 재료의 물성을 표 1에 나타내었다. 이러한 구조는 기본적으로 튜브하여 요동을 일으키는 수중에서도 측정이 용이하고, 비교적 높은 감도와 신뢰성을 가진다. 그리고 층상 복합체인 중공형 멘드릴의 구조 및 형상, 재질, 그리고 광섬유의 길이, 몰딩의 두께 및 재질 등의 가변 요소들을 적절히 조정함으로써 주파수 대역과 감도 등의 요구되는 사양에 적절히 대처할 수 있다는 장점을 가지고 있다.



(a) General view of the hydrophone



(b) Cross-section of the hydrophone

Fig.1 Schematic structures of the hollow cylinder type mandrel hydrophone

Table 1. Material properties of the constitutional parts of the hydrophone.

	Material	E(10 ⁹ Pa)	Density(kg/m ³)	Poisson's Ratio
Material	Al	73	2700	0.33
	Nylon	3.99	1150	0.398
Foaming	To be determined			
Fiber	Sr-glass	19.56	1404.4	0.3417
Molding	Polyurethane(LD)	1.31	960	0.445

수중의 음향신호가 광섬유 하이드로폰에 입사될 경우, 멘드릴이 반응하여 변형을 일으키게 되고, 광섬유가 변형되어 광 신호의 위상차가 발생하게 된다. 광섬유 하이드로폰의 감도는 단위 음압이 인가될 때 광섬유에서 발생하는 광파의 위상차로 표시되고, 이를 측정함으로써 외부에서 인가된 음향신호를 분석할 수 있다.

파장(λ)이 1.3(m)인 광파가 길이가 l 인 광섬유에 입사될 경우, 광섬유를 따라 전파하는 광파의 위상차는 식 (1)과 같이 광섬유의 길이 변화와 굴절을 변화, 그리고 광섬유의 직경 변화에 의하여 발생하는 위상차의 합으로 표시된다^{11,12)}.

$$\Delta\phi = \beta \cdot \Delta l + \frac{d\beta}{dn} \cdot \Delta n \cdot l + \frac{d\beta}{dD} \Delta D \cdot l \quad (1)$$

여기서 ϕ 는 광파의 위상, β 는 광의 전파 상수, n 은 광섬유의 굴절률, 그리고 l 은 광섬유의 길이, 그리고 D 는 광섬유의 직경을 의미한다. 그리고 식 (1)의 둘째 항의 $d\beta/dn$ 은 굴절률 변화에 의한 전파 상수의 변화를 의미하며 광의 파수(k)와 같고, 셋째 항의 $d\beta/dD$ 은 광섬유의 반경 변화에 의한 전파 상수의 변화를 의미한다. 식(1)의 셋째 항에 의한 광파 위상의 변화는 앞의 두 항과 비교하여 그 기여도가 아주 적으므로 무시 가능하다^{11,12)}.

원통 좌표계를 이용해 광섬유의 길이 변화 및 굴절을 변화한 광 - 변형 효과를 사용하여 정리하면 광섬유 하이드로폰의 감도(S)는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다¹³⁾.

$$S = \frac{\Delta\phi}{P_{applied}} = \phi \cdot \left[\sum \epsilon_i + \sum \epsilon_r - \frac{n^2}{2} [p_{11} \cdot \sum \epsilon_r + p_{12} \cdot (\sum \epsilon_r + \sum \epsilon_i)] \right] \quad (2)$$

여기서 $P_{applied}$ 는 수중에서 하이드로폰에 인가된 음압이고 ϵ_i 및 P_{ij} 는 각각 광섬유의 변형률과 광-탄성 상수를 나타낸 것이다. 광섬유는 등 방향성의 균일한 유리로 제조되므로 두 개의 독립적인 광-탄성 상수만 존재하고, 본 연구에서 사용한 용융 실리카(Silica)로 제조된 광섬유의 광탄성 계수 및 굴절률은 각각 $P11 = 0.121$, $P12 = 0.27$, $n = 1.456$ 이다^{13,14)}.

식(2)는 수중에서 음압이 하이드로폰에 인가될 경우 광섬유 층에 유발된 변형율을 계산하여 광섬유 하이드로폰의 감도를 계산할 수 있음을 의미한다. 그리고 광섬유 하이드로폰의 감도를 1($\mu rad/k \mu Pa$)의 기준 감도에 대한 dB 로 표시할 경우 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(dB)20\log \frac{S}{S_x} \text{ Ref. } S_x = 1 \mu\text{rad}/\mu\text{Pa} \quad (3)$$

III. 유한요소법에 의한 수치해석

유한 요소법을 이용하여 foaming 층의 내부 구조에 따른 음파의 전달 특성을 분석하였고, AL/foaming 및 Nylon/foaming 층상 복합체인 맨드릴 각각에 대한 foaming 층의 재질 및 두께 변화에 따른 광음향 감도 변화를 분석하였다. 상용화된 프로그램인 ANSYS 5.0 A를 사용하여 각각에 대한 유한 요소 모델을 구성하여 해석하였다.

Foaming 층 내에 작은 pore들이 분포되어 있는 그림 2의 분석 모델과 동일한 유한 요소 모델을 구성하고, foaming 층의 내부 구조에 의한 음파의 전달 특성을 분석하였다. 여기서 $2*r$ 은 기공의 크기를, 그리고 R은 foaming 층의 두께를 나타낸다. 수중에서 forming 층으로부터 일정하게 떨어진 거리에서 10kHz의 평면파인 음압을 인가하고, 그 반대편에서 음압을 검출하였다. 검출된 음압 결과를 기공이 없는, 즉 r이 0인 foaming 층이 존재하는 경우에 검출된 음압과 상대 비교하여 foaming 층의 내부 구조에 따른 음파 전달 특성을 분석하였다. 여기서 인가되는 음원 반대되는 위치의 액체 매질은 경계면에서 전혀 반사가 일어나지 않는 압력 해제 조건을 설정하였다.

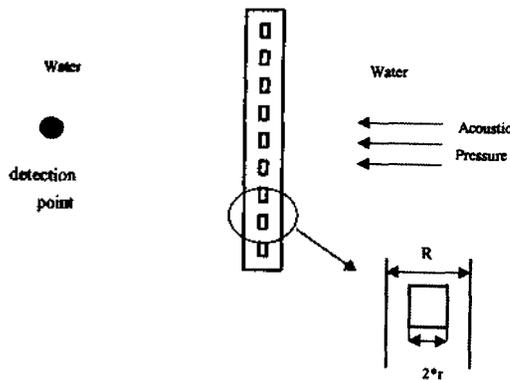


Fig. 2 Schematic model to analyze the effect of pore size inside the foaming layer to external acoustic pressure.

Foaming 층에 의한 광섬유 하이드로폰의 반응 특성을 해석하기 위하여 "FEM을 이용한 맨드릴형 광음향 수중 청음기의 설계에 관한 연구(8)"에서 사용한 것과 동일한 유한 요소 모델을 구성하였다. 그리고 해석의 경제성을 고려하여 광섬유는 등가화된 튜브로 모델링 하였고, 수중 200m의 환경 조건인 20기압의 정수압을 인가하여 광섬유 하이드로폰의 변형을 해석하였다. 이 결과를 이용하여 광섬유 하이드로폰을 모델링하여 조화 해석한 후 상세한 부 모델을 구성하여 재해석하여 외부 음압에 대한 광섬유 하

이드로폰의 응답특성을 계산하였다. 유한 요소 모델링 시 대칭성을 고려하여 1/4만을 모델링 하였고, 맨드릴 하이드로폰은 전혀 구속되지 않은 자유로운 상태이다. 또한 외부에서 인가되는 음원은 평면파라 가정 하였고, 음원과 반대되는 위치의 액체 매질은 경계면에서 전혀 반사가 일어나지 않는 압력 해제 조건을 설정하였다. 그리고 1kHz의 외부 음압을 인가하고, 중공형 AL/ foaming 및 Nylon/foaming 맨드릴 각각에 대하여 foaming 층의 재질 및 두께 변화에 따른 광섬유 하이드로폰의 감도 특성을 해석하였다.

IV. 결과 및 고찰

4-1. Foaming 층의 내부 구조에 따른 음파 전달 특성

Foaming 층의 내부 구조에 따른 음파의 전달 특성을 분석하고, 그 결과를 그림 3부터 그림 5까지 나타내었다. 그림 3은, foaming 층의 두께(R)가 5mm와 10mm 인 경우에 대한 r/R의 변화에 따른 음압 값의 변화를 나타낸 것이고, 그림 4는 그림 3의 결과를 foaming 층 내의 기공의 부피 비로 환산하여 나타낸 것이다. 그리고 foaming 층 두께의 영향을 좀 더 정확히 알아보기 위하여, r/R은 0.25로 고정하여 foaming 층의 두께 대 인가 음압의 파장 비에 따른 음압의 변화를 그림 5에 나타내었다.

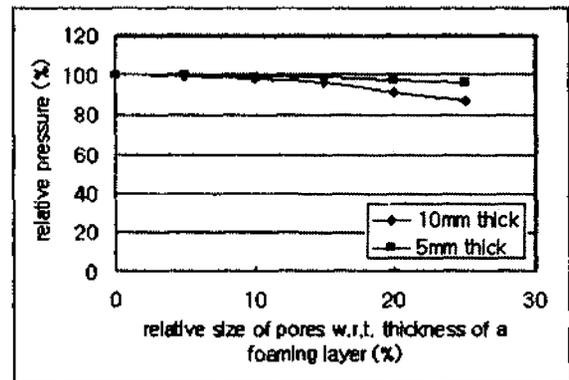


Fig. 3 Variation of relative pressure values with size of pores relative to thickness of the foaming layer.

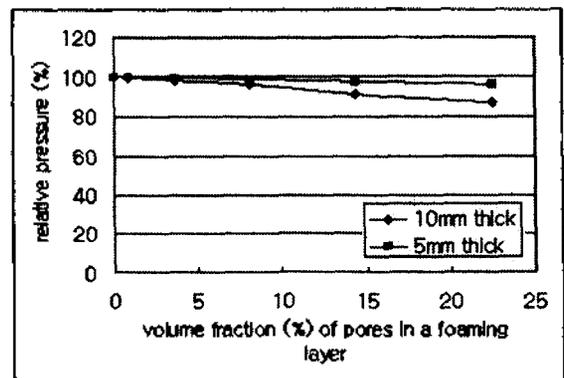


Fig. 4 Variation of relative pressure values with volume fraction of pores in the foaming layer.

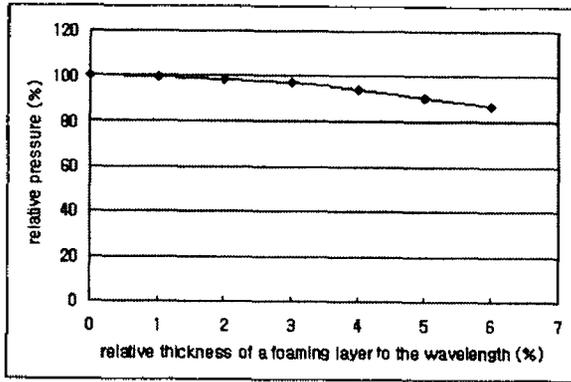


Fig. 5 Variation of relative pressure values with thickness of the foaming layer relative to wavelength of the acoustic pressure.

그림 3에서 알 수 있듯이 내부 기공의 크기가 커질수록 기공의 존재에 의한 음압 변화는 가속화 된다. 크기가 1.25mm인 기공경우, 5mm 및 10mm 두께를 갖는 foaming 층 각각에 대한 기공의 상대 크기는 각각 25% 및 12.5%이다. 그러므로 동일한 크기의 기공에 의한 영향은 10mm 두께의 foaming 층보다 5mm 두께의 foaming 층에서 더 큰 것으로 나타났다. 이는 곧 기공의 절대 크기 값도 중요하지만, foaming 층의 두께 대비 기공 크기의 비, 즉 부피 비도 중요한 역할을 함을 알 수 있다. 그러나 그림 4에서 기공의 부피 비가 약 10% 이내인 경우, 즉 r/R 이 약 0.17 이내인 경우에는 foaming 층의 두께가 10mm일 경우에도 그 영향이 오차 3% 범위 내에서 무시할만한 수준임을 알 수 있다. 그리고 그림 5의 결과에서 알 수 있듯이 foaming 층이 두꺼울수록 그 영향은 크게 나타났으나, 파장 대비 foaming 층의 두께가 3% 이하인 경우는 3%의 오차범위 내에서 그 영향을 무시할 수 있음을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 외부 음압에 대한 foaming 층의 영향은, foaming 층에 존재하는 기공의 크기가 작을수록, 기공의 부피 비가 작을수록 적은 것으로 나타났다. 또한 기공의 부피 비가 10%, foaming 층의 두께가 파장 대비 3% 이내인 경우는 오차 3% 범위 내에서 foaming 층 내의 구조 변화의 영향을 무시할 수 있음을 알 수 있다. 실질적으로 심해에서 사용되는 하이드로폰의 구조적인 안정을 위해서 3% 이상의 기공을 포함하는 foaming 층을 사용하는 것은 바람직하지 않으므로, 상기한 결과를 바탕으로 이하의 연구에서는 광섬유 하이드로폰에 사용되는 foaming 층은 기공이 없는 치밀한 구조라고 가정한다.

4-2. Foaming 층이 광섬유 하이드로폰의 감도 특성에 미치는 영향

AL/foaming 및 Nylon/foaming 층상 복합체인 멘드릴을 이용한 광섬유 하이드로폰 각각에 대하여 foaming 층이 광음향 반응 특성에 미치는 영향을 해석하고, 하이드로폰의 감도 특성의 변화를 분석하였다. 음향 감도에 영향을 주는 foaming 층의 재질 및 형상 변수는 탄성율 과 포아손 비,

그리고 두께이고, foaming 층의 내부 구조는 무시하였다.

4-2-1. AL/foaming 층상 복합체인 멘드릴의 경우

AL / foaming 층상 복합체를 이용한 광섬유 하이드로폰의 감도 특성에 foaming 층이 미치는 영향을 분석하고, 그 결과를 그림 6부터 그림 8까지 나타내었다. 그림 6과 그림 7은 foaming 층의 재질 변화에 따른 감도 특성의 변화를 나타낸 것이고, 그림 8은 foaming 층의 두께 변화에 따른 감도의 변화를 나타낸 것이다. Foaming 층의 재질 영향을 분석하는 경우, foaming 층의 두께를 10 mm 로 고정하여 1 kHz의 음압을 인가하고 광음향 감도를 분석하였다. 여기서 foaming 층의 탄성율 및 포아손 비의 범위를 각각 0.1 GPa부터 10 GPa 범위 및 0.35 부터 0.49 범위까지 한정 하였다. 또한 foaming 층의 탄성율과 포아손 비를 각각 1 Gpa, 0.4 로 고정하고, 멘드릴의 외경과 길이를 각각 7 cm로 한정하여 내경이 0 과 4 cm인 경우에 대하여 foaming 층의 두께에 따른 감도의 변화를 분석하였다.

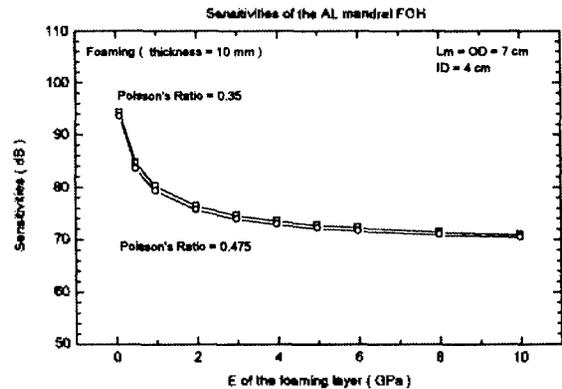


Fig. 6 Hydrophone sensitivity vs. Young's modulus (E) of the foaming layer with the AL mandrel.

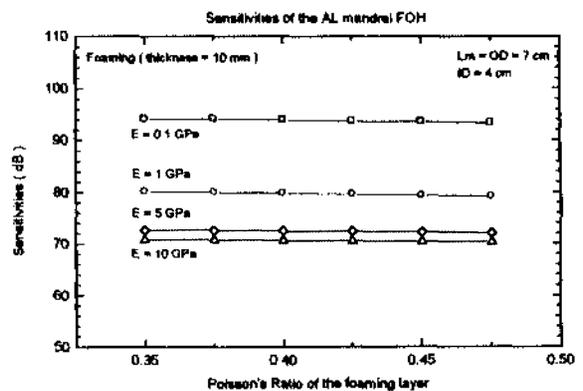


Fig. 7 Hydrophone sensitivity vs. Poisson's ratio of the foaming layer with the AL mandrel.

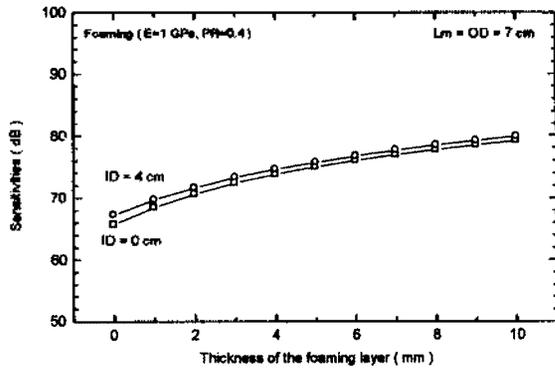


Fig. 8 Hydrophone sensitivity vs. thickness of the foaming layer with the AL mandrel

AL / foaming 층상 복합체를 형성하는 foaming 층의 탄성율을 0.1에서 1GPa 까지 증가함에 따라 광음향 감도는 약 95 dB 에서 80 dB 까지 급격하게 감소하였고 그 이상의 영역인 10GPa 범위까지는 탄성율 증가에 따라 완만하게 약 10 dB 정도 감소하는 경향을 보이고 있다(그림 6 참조). 그리고 foaming 층의 포아손 비는 감도와 무관한 특성을 보이고 있다 (그림 7). 또한 그림 8에서 알 수 있듯이 foaming 층의 두께가 10 mm 까지 증가함에 따라 광음향 감도는 약 65 dB 에서 80 dB 까지 향상되었다. 그리고 동일한 foaming 두께를 사용하는 경우 중앙에 빈공간이 없는 실린더형 맨드릴보다 4 cm 의 내경을 갖는 중공형 맨드릴의 경우 약 2 dB 정도 높은 감도 특성을 보이고 있다. 따라서 맨드릴의 내경 증가가 감도 증가에 기여하는 것보다 foaming 층의 두께 및 유연성을 증가 시키는 것이 광음향 감도 증가에 더 많은 기여를 하는 것으로 결론 내릴 수 있다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 광음향 감도의 증진을 위해서는 1 GPa 혹은 그 이하의 낮은 탄성율을 갖는 foaming 층의 재질을 선정하고, 가능한 한 두꺼운 foaming 층이 형성되도록 중공형 AL/foaming 층상 복합체인 맨드릴을 사용하는 것이 바람직하다.

4-2-2. Nylon /foaming 층상 복합체인 맨드릴의 경우

Nylon / foaming 층상 복합체를 이용한 광섬유 하이드로폰의 감도 특성에 foaming 층이 미치는 영향을 분석하고 그 결과를 그림 9부터 그림 11까지 나타내었다. 그림 9와 그림 10은 foaming 층의 재질 변화에 따른 감도 특성의 변화를 나타낸 것이고, 그림 11은 foaming 층의 두께 변화에 따른 감도의 변화를 나타낸 것이다. Foaming 층의 재질 영향을 분석하는 경우, foaming 층의 두께를 5 mm 로 고정하고, 탄성율은 0.1 GPa부터 5 GPa까지, 포아손 비는 0.35부터 0.475까지 변화 시켜 그 영향을 분석하였다. 또한 1 GPa의 탄성율 및 0.4의 포아손 비를 갖는 foaming 층을 사용한 Nylon 층상 복합체인 맨드릴의 외경과 길이는 4 cm 인 경우로 고정하고, 내경을 각각 1, 1.5, 2, 2.5 cm

로 변화시키며 foaming 층의 두께 변화에 따른 감도의 변화를 분석하였다.

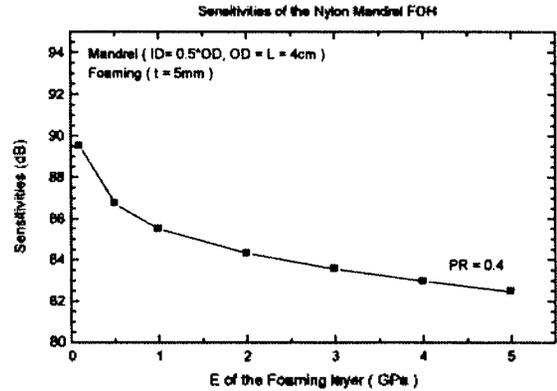


Fig. 9 Hydrophone sensitivity vs. Young's modulus (E) of the foaming layer with the Nylon mandrel.

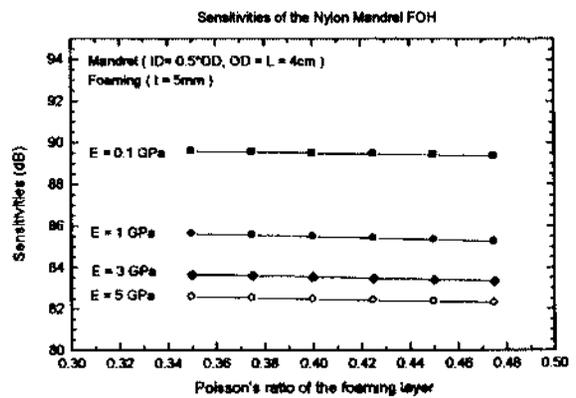


Fig. 10 Hydrophone sensitivity vs. Poisson's ratio of the foaming layer with the Nylon mandrel

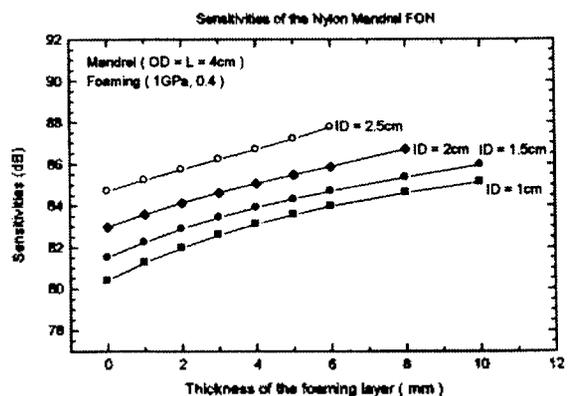


Fig. 11 Hydrophone sensitivity vs. thickness of the foaming layer with the Nylon mandrel.

foaming 층의 탄성율이 0.1 GPa에서 1 GPa로 증가함에 따라 광음향 감도는 약 89.5 dB에서 85.5 dB로 급격하게 감소하다가 foaming 층의 탄성율이 1 GPa 이상인 영역에

서는 탄성을 증가에 따라 감도가 약 82.5 dB까지 다소 완만하게 감소함을 알 수 있다(그림 9). 그리고 foaming 층의 포아손 비는 감도와 무관한 특성을 보이고 있다(그림 10). 또한 그림 11에서 알 수 있듯이 멘드릴의 내경과 상관 없이 foaming 층의 두께가 증가할수록 감도는 선형적으로 증가하는 경향을 보여주었고 내경이 1 cm인 경우 foaming 층의 두께가 10 mm까지 증가함에 따라 약 4.5 dB 정도 향상되었다. 또한 동일한 foaming 층의 두께를 사용할 경우 멘드릴의 내경이 증가할수록 더 높은 감도 특성을 보이고 있고, 내경을 1 cm에서 2.5 cm로 증가 시킬 경우 감도가 약 4.5 dB 정도 향상되었다. 그러므로 Nylon/foaming 멘드릴 경우는 Al/foaming 멘드릴 경우와는 다르게 멘드릴의 내경 및 foaming 층의 두께 및 유연성 등이 광음향 감도 향상에 거의 비슷한 정도의 기여를 하는 것으로 결론 내릴 수 있다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 광음향 감도의 증진을 위해서는 1 GPa 혹은 그 이하의 낮은 탄성을 갖는 foaming 층의 재질을 선정하고, 가능한 한 두꺼운 foaming 층을 형성하며 내경이 큰 중공형의 층상 복합체인 nylon 멘드릴을 사용하는 것이 광음향 감도의 증진을 위해 바람직하다.

V. 결 론

본 논문에서는 foaming 층이 음파의 전달 특성에 미치는 영향 및 멘드릴형 광섬유 하이드로폰의 광음향 감도 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 유한 요소법을 이용하여 foaming 층의 내부 구조에 따른 음파의 전달 특성을 분석하였고, Al/foaming 및 Nylon/foaming 층상 복합체인 멘드릴에 대한 foaming 층의 재질 및 두께 변화에 따른 광음향 감도 변화를 분석하였고, foaming 층의 최적 재질을 결정하였다. 이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) Foaming 층의 내부 구조에 따른 음파의 전달 특성
foaming 층 내의 기공의 크기가 클 수록 기공의 존재로 인한 영향이 크고, 기공의 부피 비가 10% 이내, 즉, foaming 층의 두께가 파장 대비 3% 이내일 경우는 오차 3% 범위 내에서 foaming 층 내의 구조변화의 영향을 무시할 수 있다.

2) Foaming 층이 하이드로폰의 감도 특성에 미치는 영향

AL 및 Nylon 층상 복합체인 멘드릴 모두에서 foaming 층의 탄성이 낮을수록, 두께가 증가할수록 광음향 감도는 증가하였고, 포아손 비는 감도 특성과 무관하였다. Al/foaming 멘드릴의 경우, foaming 층의 두께 및 유연성을 증가에 의한 감도 향상이 효율적이고, Nylon/foaming 멘드릴의 경우, foaming 층의 두께 및 유연성, 멘드릴의 내경

증가 등이 감도 향상에 거의 동등한 기여를 한다. 그러므로 1 GPa 정도 혹은 이하의 탄성을 갖는 재질을 Foaming 층으로 사용하고 두꺼운 foaming 층이 형성한 중공형의 Al/foaming 및 Nylon/foaming 층상 복합체를 음향 감지부인 멘드릴로 사용하는 것이 광음향 감도의 향상을 위하여 효율적이다.

향후 상기의 음향 감지부의 형상에 따른 광음향 감도를 분석하고, 기본 공진 주파수가 15kHz 이상이며 우수한 감도 특성을 갖는 AL 혹은 Nylon 층상 복합체인 중공형 멘드릴을 이용한 광섬유 하이드로폰의 최적 구조를 설계할 예정이다.

참 고 문 헌

1. J. A. Bucaro, N. Lagakos, J. H. Cole, and T. G. Giallorenzi, "Fiber optic acoustic transduction," Physical Acoustics edited by R. H. Thurston, vol. 16, p. 385, 1982.
2. J. Jarzynski, R. Hughes, T. R. Hickman, J. A. Bucaro, "Frequency response of interferometric fiberoptic coil hydrophone," Journal of Acoustical Society of America, vol. 69, No. 6, p. 1799, November 1981.
3. S. Africk, T. Burton, P. Jameson, and A. Ordubadi, "Design studies for fiber optic hydrophones," Report No. 4658, Bolt, Beranek & Newman, Inc., Cambridge, Mass, 1981
4. P. J. Nash & J. Keen, "Design and construction of practical optical fiber hydrophone," Proc. Of the Insitute of Acoustic, vol. 12, part 4, p. 201 - 212, 1990
5. G. F. Mcdearmon, "Theoretical analysis of a push-pull fiber-optic hydrophone," J. of Lightwave Technology," Vol. LT-5, No. 5, p. 647, 1987
6. A. M. Vengsarkar, et al., "Novel fiber optic hydrophone for ultrasonic measurements," Ultrasonic Symposium, p. 603, 1988
7. G. M. Sessler, "Acoustic sensors," Sensors and Actuators (A), Vol. 25, No. 27, p. 323, 1991
8. Jongin Im and Yongrae Rho, "Design studies for mandrel type fiber-optic hydrophones with FEM," J. of Acoustic Soc. of Korea, vol. 16, No. 3, p. 73, 1997
9. R. Hughes and J. Jarzynski, "Static pressure sensitivity amplification in interferometric fiberoptic hydrophones," Applied Optics, vol. 19, No. 1, p. 1, January 1980.
10. V. S. Sudarshanam and K. Srinivasan, "Static phase change in a fiber optic coil hydrophone," Applied Optics, vol. 29, No. 6, p. 855, February 1990.
11. G. B. Hocker, "Fiber-optic sensing of pressure and temperature," Applied Optics, vol. 18, No. 9, p. 1445, May 1979

12. H. L. Price, "On the mechanism of transduction in optical fiber hydrophone," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 66, No. 4, p. 976, October 1979
13. J. A. Bucaro and T. R. Hickman, "Measurement of sensitivity of optical fibers for acoustic detection," *Applied Optics*, vol. 18, No. 6, p. 938, March 1979
14. N. Lagakos, J. A. Bucaro, and R. Hughes, "Acoustic sensitivity predictions of single mode optical fibers using Brillouin scattering," *Applied Optics*, vol. 19, No. 21, p. 3666, November 1980.

▲임 종 인 (Jong-in Im)



1986년 2월: 한양대학교 무기재료과
(학사)

1989년 2월: KAIST 재료공학과(석사)

1995년~현재: 경북대학교 센서공학과
박사과정

1989년~현재: RIST 기능세라믹팀 선
임연구원

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

*주관심분야: 음향 및 광 센서, 유전 및 압전 재료 응용
및 개발

▲노 용 래

한국음향학회지 15권 5호 참조