

## 論文

## 음향 작동기를 위한 투명한 xGnP/PVDF/xGnP 그래핀 복합재료 필름의 계면 내구성 및 음향 특성

구가영\*, 왕작가\*, 권동준\*, 박종만\*\*

## Interfacial Durability and Acoustic Properties of Transparent xGnP/PVDF/xGnP Graphite Composites Film for Acoustic Actuator

Ga-Young Gu\*, Zuo-Jia Wang\*, Dong-Jun Kwon\*, and Joung-Man Park\*\*

## ABSTRACT

Interfacial durability and electrical properties of CNT, ITO or xGnP coated PVDF nanocomposites were investigated for acoustic actuator applications. The xGnP coated PVDF nanocomposite exhibited better electrical conductivity than CNT and ITO case due to the unique electrical property of xGnP, and this nanocomposite also showed good sound characteristics. Interfacial adhesion durability between either neat CNT or plasma treated CNT and plasma treated PVDF were measured by static contact angle, surface energy, work of adhesion, and spreading coefficient tests. The optimum acoustic actuation performance of xGnP coated PVDF nanocomposite was measured using sound level meter with changing radius of curvature and coating conditions. As compared to CNT and ITO, the xGnP was known as more appropriate acoustic actuator due to the characteristic electrical property. It is the most appropriate condition when the radius of curvature is 15 degree. Although sound characteristics were different with various coating thicknesses, it is possible to manufacture transparent actuator with good sound quality.

## 초 록

음향작동기의 응용으로, CNT, ITO와 xGnP로 코팅된 PVDF 나노복합재료의 계면접착 내구성과 전기적 특성을 평가하였다. CNT, ITO와 xGnP의 고유 전기적 특성으로 인하여 xGnP로 코팅된 나노복합재료가 CNT, ITO 경우보다 다소 낮은 전기저항을 나타내었으나, 모두 양호한 음향특성을 보여주었다. 나노복합재료의 계면 내구성은 정적 접촉각 시험을 통해 미처리 CNT와 플라즈마 처리된 CNT 그리고 플라즈마 처리된 PVDF간의 표면에너지, 접착일, 그리고 퍼짐계수를 평가하여 계면 내구성과의 상호 관련성을 확인하였다. 음향 작동기로서 xGnP 나노복합재료의 최적의 작동성은 시편의 곡률반경, 코팅두께를 달리 하여 음향 측정기를 사용하여 음향특성을 측정하였다. 나노재료의 고유의 전기적 특성으로 인하여 xGnP가 CNT나 ITO보다 음향작동기로서 더 적합함을 알 수 있었다. 곡률반경이 약 15도일 때 가장 적합하며, 코팅두께에 따라 음향특성이 차이가 나지만 투명도도 좋으면서 음향특성도 우수한 음향 작동기를 제작할 수 있었다.

**Key Words** : 음향(Acoustic), 작동기(actuator), 감지(sensing), 내구성(durability), 젖음성(wettability)

접수: 2012년 2월 27일, 수정: 2012년 5월 10일, 게재승인: 2012년 5월 15일

\* 경상대학교 나노·신소재공학부 대학원

\*\* 경상대학교 나노·신소재공학부, 공학연구원, 교신저자(E-mail:jmpark@gnu.ac.kr)

## 1. 서론

스마트폰, 태블릿 PC의 등장과 더불어 모바일 IT 제품들은 빠르게 소형화, 슬림화, 저전력화 되고 있으며, 이런 시스템의 요구에 대응하기 위하여 음향부품은 기술 진화를 맞이하고 있다. 대표적 음향소자로는 소리를 전기적 신호로 변환하는 센서인 마이크로폰과 전기에너지를 소리에너지로 변환하는 작동기인 스피커가 있으며, 이는 오디오 제품의 품질을 좌우하는 중요한 구성 요소이다. 이러한 스피커는 완구에서 통신기기에 이르기까지 모든 전자제품에 소요되는 전자기기의 필수 부품으로 많은 주목을 받고 있다. 최근 초소형 MEMS 마이크로폰과 초박형 압전 스피커와 같은 새로운 제품이 시장에서 주목받고 있다[1-3].

본 연구에서 사용된 PVDF (poly(vinylidene fluoride))는 압전능을 가진 고분자로서 센서와 작동기 재료로 사용될 수 있는 스마트 재료로 연구 되고 있으며, 센서, 스피커로의 응용에 대해 많은 연구가 진행되고 있다[4]. 압전 필름스피커는 다양한 두께의 PVDF 필름의 양면에 전극을 형성하고 고전압으로 분극처리를 함으로써 제조되며 공기를 밀어내는 다이어그램과 구동부가 하나의 유닛으로 구성된다. 필름 스피커는 필름 상에 형성된 전극을 통해 AC전기를 인가하는 매우 단순한 구조이다.

필름상의 전극을 통해 전압이 인가되면 필름의 두께 방향 및 연신된 방향으로 동시에 기계적인 변위가 발생하나 두께 방향의 변위는 필름 자체가 워낙 얇기 때문에 무시할 수 있다. 하지만 변위가 큰 면 변위는 필름의 곡률반경을 따라 상하방향으로 진동하게 되며 이는 효과적으로 주위의 공기로 음향 에너지를 방사하게 된다. 이러한 구조의 필름스피커는 고주파수에서 매우 우수한 음향 특성을 보인다[5-7]. 필름의 영향을 주는 인자로 필름의 두께, 곡률반경, 길이 및 폭, 임피던스의 영향 등이 있다.

그 중 길이 및 폭은 전극이 형성된 면적과 연관된 것으로 전극은 필름의 코팅 나노재료에 따라 영향이 미친다. 이는 나노재료의 전기전도성과 연관이 있다. 따라서 필름의 코팅 재료를 무엇으로 하는지에 따라 필름의 특성에 큰 영향을 준다. 또한, 작동기는 복합재료로써 활용된다. 복합재료의 물성은 계면 접착력이 중요하다. 계면 접착력은 강화재와 기지재 물질 간의 계면에 존재하는, 산-염기 결합에 기여하는 많은 반응기들에 의존한다. 섬유 표면에 대한 산-염기 결합은 주어진 기지재 물질이 함유한 계면접착강도를 조절하기 위한 중요한 요인이다. 그러므로 기지재가 가진 산-염기 결합을 사전에 알게 된다면 강화재와 기지재간의 최적 조합을 가능하게 할 수 있다. 산-염기 결합 조성의 평가는 동적 접촉각 측정을 통해 가능하다[8, 9].

본 연구에서는 나노재료의 전기적 특성을 표면저항을 측정하였으며, 계면특성을 각 재료의 표면 젖음성 시험을 이용하여 접촉각을 측정하여 평가하였다. 또한, CNT, ITO와

xGnP 나노복합재료의 작동기가 스마트 소재로서의 성능을 평가하기 위해 연구하였다. 이러한 작동기는 음향측정 기기를 사용하여 음향 크기를 측정하였으며, 작동기의 특성 최적 조건을 찾고, 주파수와 전압, xGnP의 함량에 따른 음향 특성을 평가하였다. 나노복합재료의 전기적 특성, 계면 특성 그리고 작동기의 음향 특성을 평가하여 어느 복합재료가 더욱 작동기로 적합한지 평가하였다.

## 2. 실험

### 2.1 재료

다중벽 카본탄소튜브 (MWCNT, CVD-MWNT95, 일진나노텍, 한국)와 인듐틴옥사이드 (ITO, ITO-125R, 미지텍, 한국), 그래파이트 나노판 (Graphite nano platelets, xGnP, xGnP-M-5, XG 사이언스, 미국)이 작동기를 제작하는데 사용되었다. MWCNT는 직경이 10~25 nm, 밀도는 1.55 g/cm<sup>3</sup>, 형상비 400~1000 l/d 인 재료를 사용하였으며, ITO는 직경이 30nm, 밀도 0.7 g/cm<sup>3</sup> 이다. xGnP의 평균 두께는 약 6-8 nm 이며, 비표면적은 120~150 m<sup>2</sup>/g, 평균 크기(면상 직경)는 5~15 μm를 사용하였다. 코팅공정에서 CNT, ITO와 xGnP 용액을 제조하기 위하여, CNT와 xGnP의 분산 용매로 아세톤과 ITO의 분산용매로 에탄올을 사용하였다. 모재로 폴리비닐리덴플루라이드 (poly(vinylidene fluoride), PVDF, Aldrich)를 다이메틸포름아마이드 (dimethylformamide, DMF)에 용해하여 사용하였다.

Fig. 1는 작동기 시편에 사용된 CNT, ITO와 xGnP 소재의 상호 다른 형태를 보여준다. 형상비가 큰 CNT는 서로 상호 엉켜있는 모양이며, 이에 비해 구 형태의 ITO는 분말 상태로 상호 결합되어 있는 형태이며, xGnP는 판상의 형태로 분산되어 있는 것을 확인할 수 있다.

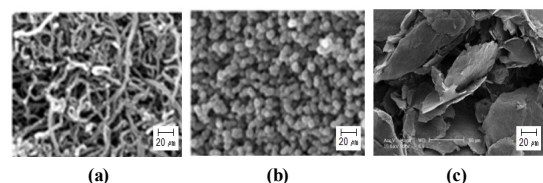


Fig. 1 SEM photos of morphology of the surface (a) CNT; (b) ITO powder; and (c) graphite nano platelets.

### 2.2 나노재료로 코팅된 복합재료 시편제조

Fig. 2은 CNT, ITO와 xGnP 코팅 된 복합재료의 제조공정을 보여준다. PVDF를 DMF에 넣어 70°C오븐 안에서 4시간 동안 용해된 PVDF용액을 깨끗한 유리판 위에 캐스팅한 후 오븐에서 용매를 제거한다. 일정한 두께의 PVDF필름이 제작된다. 제작된 필름은 앞뒤 양면에 1분 동안 플라즈마 처리를 통해 표면에 분극을 형성한다. CNT, ITO와 xGnP는 비커에서 12시간 동안

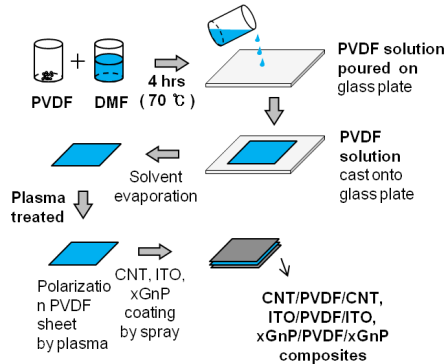


Fig. 2 Schematic of the preparation process for nanocomposites film specimens.

초음파 (sonication) 처리를 통하여 CNT와 xGnP는 아세톤과 ITO는 에탄올에 분산되었다. 분산된 CNT, ITO와 xGnP 용액은 플라즈마처리된 PVDF 필름에 스프레이 코팅으로 양면에 코팅 후 어닐링 과정을 거쳐 작동기 시편이 만들어졌다.

## 2.3 특성평가 방법

### 2.3.1. 전기적 특성측정

스피커의 음향특성의 영향을 주는 것 중 하나인 전극의 형성은 필름에 코팅된 나노재료의 전기저항에 연관이 있다. CNT, ITO 및 xGnP의 전기저항은 4점 탐침법을 사용하여 측정하였다. 표면저항은 단일배열법과 비교하여, 이중 배열법은 모서리 영향을 제거하게 되어 전체 측정거리에서 균일한 전기저항을 구할 수 있다. 표면저항 측정은 일렬로 배열된 4개의 탐침을 사용하여 측정한다. 측정 방법은 두 가지가 있으며, 첫째, 단일배열법은 일렬로 나란히 배열된 4개의 탐침 중 두 개의 바깥쪽 두 개의 탐침에 전류를 흐르게 하고 안쪽 두 개의 탐침에서 전압을 측정하는 방법이다. 둘째, 이중 배열법은 단일배열법의 방법과 함께 첫 번째와 세 번째 탐침에 전류를 흐르게 하고, 나머지 탐침에서의 전압을 측정하여 아래의 식에 의해 저항을 측정하는 방법이다. 이중 배열법에 대한 식은 식 (1), (2)와 같다.

$$R_s = k_a \times R_a \quad (1)$$

$$k_a = -14.696 + 25.173 \left( \frac{R_a}{R_b} \right) - 7.872 \left( \frac{R_a}{R_b} \right)^2 \quad (2)$$

여기서,  $R_s$ 는 이중 배열법으로 측정되는 저항 값이며,  $R_a$ 는 단일배열법으로 측정되는 저항값,  $R_b$ 는 두 번째 방법으로 측정된 저항 값이다.

### 2.3.2. 젖음성 측정

젖음성 측정방법인 동적 및 정적 접촉각 측정 중에서 본 연구에서는 정적 접촉각으로 측정하였다. CNT, ITO, xGnP

그리고 PVDF에 측정 용매들의 작고 균일한 드롭을 떨어뜨려 액체와 소재 간에 이루어지는 정적인 접촉각은 광학현미경 사진을 이용하여 각을 직접 측정하였다. 사용된 측정 용매로는 이차중류수, 포름아마이드, 에틸렌글리콜, 다이오도메탄 네 가지 용매를 사용하였다. 정적 접촉각은 Young에 의해 식 (3)으로 표시된다.

$$\gamma_s - \gamma_{sl} = \gamma_L \cos \theta \quad (3)$$

여기서,  $\gamma_L$ 는 액체의 표면장력,  $\gamma_{sl}$ 는 고체/액체간의 계면 에너지, 그리고  $\gamma_s$ 는 고체의 표면에너지이다[9]. 전체 표면장력,  $\gamma^T$ 는 Lifshits-van der Waals 조성,  $\gamma^{LW}$ 와 산-염기 조성,  $\gamma^{AB}$ 의 합이다. 산-염기 조성 (혹은 수소결합)은 전자받기,  $\gamma^+$ 와 전자주기,  $\gamma^-$ 조성을 포함한다. 또한, 접촉일,  $W_a$ 을 나타내는 변형된 Young-Dupre 식은 다음과 같다.

$$W_a = \gamma_L (1 + \cos \theta) = 2(\gamma_L^{LW} \gamma_s^{LW})^{\frac{1}{2}} + 2 \left[ (\gamma_s^+ \gamma_L^-)^{\frac{1}{2}} + (\gamma_s^- \gamma_L^+)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (4)$$

고체의  $\gamma_s^{LW}$ 은 전자받기와 전자주기가 없는 비극성 용액의 접촉각으로부터 구해진다. 극성과 분산표면에너지를 구하기 위해, Owens-Wendt 식은 다음과 같이 나타낸다.

$$W_a = \gamma_L (1 + \cos \theta) = 2(\gamma_s^d \gamma_L^d)^{\frac{1}{2}} + 2(\gamma_s^p \gamma_L^p)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

고체와 액체간의 퍼짐 정도를 나타내는 식은 다음과 같이 나타내며 퍼짐계수 (spread coefficient),  $S$ 로 나타낸다.

$$S = 2[(\gamma_L \gamma_s)^{1/2} - \gamma_L] \quad (6)$$

### 2.3.3 작동기의 음향특성 실험

Fig. 3은 스피커의 주파수와 전압에 따른 음압측정과 순환전압전류를 측정하는 장치를 나타낸 것이다. 음압측정과 순환전압전류를 측정에서 사용된 기기는 임의 파형발생기 (FG-7002C, EZ)로부터 전압과 주파수를 공급받으며, 데이터 수집장치 (Agilent 34972A LXI, 애질런트사, 미국)로 전압과 주파수가 공급될 때 전류를 측정하는데 사용되었으며, 음향특성은 소음계 (Center 390 data logger, 센터, 대만)로 측정하였다. 파형발생기로 전압과 주파수를 공급하여 주파수 영역에 따른 음압을 측정하며, 데이터 기록기로 전압과 주파수가 공급될 때의 스피커 내의 전류를 측정하며 동시에 소음계로 음향특성을 측정하였다.

음향 작동기의 최적 조건을 찾기 위해 곡률, 코팅 농도를 조절하였다. 작동기의 곡률반경은 스피커의 특성 중 주파수범위를 좌우하는 큰 인자이다. 저음 한계 주파수는 PVDF 필름의

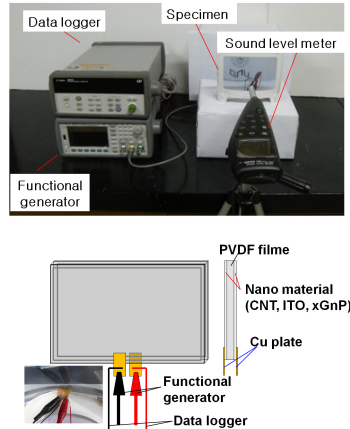


Fig. 3 Measurement sound pressure level and cyclic voltammetry of acoustic actuator.

Young 강성도 (modulus)의 제곱근과 밀도에 비례하고, 곡률반경에는 반비례한다. 이러한 곡률반경의 영향을 확인하기 위해 필름의 곡률을 달리하여 일정한 전압과 주파수에서 음압 레벨 (Sound pressure level, SPL)을 측정한다.

또한 코팅농도에 따라 필름의 표면에 생성되는 전극의 전기전도성이 달라지는데 이는 전극에 따라 필름에 인가되는 전압의 크기에도 상관이 있기 때문이다. 전극의 농도가 높을수록 전기전도도가 높아지기 때문에 음향특성이 좋다고 볼 수 있다. 하지만 음향 작동기로 활용하였을 때 투명도가 떨어진다라는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 코팅용액의 농도를 낮추면서 전기전도도를 높이기 위해 분산조건을 잡아 최적의 투명도를 설정한다.

### 2.3.4 작동기의 전기화학특성 실험

Fig. 3의 장치도를 이용하여 나노복합재료내의 전압과 전류를 측정한다. 전류는 두 전극 사이의 전압이 변할 때 측정된다. 전압을 일정 범위 내에서 자동적으로 왕복시키면, 그 범위에서 전극전위를 갖고 있는 어떤 물질의 산화/환원 쌍에 대한 반응 전류를 측정할 수 있고 이 반응 전류의 데이터로부터 그 물질에 대한 다양한 정보를 얻을 수 있다. 이러한 실험방법을 순환 전압전류법 (cyclic voltammetry, CV)이라고 한다. 전압을 증가시킬 때 나노재료가 전극으로 전자를 건네주는 산화 반응이 시작 되어 산화전류가 흐른다. 반대로 전압을 감소시킬 때 산화된 나노재료가 전자를 받아 환원 반응이 진행되어 환원전류가 흘러 재료내의 반응을 확인 할 수 있다. 이러한 순환전압전류법에 의해 측정된 곡선은 전기 분해되는 반응의 특성에 따라 다르게 나타난다. 특히 분자 한 개에서 교환되는 전자의 수, 전극과 전자를 교환하는 속도, 분자가 확산되는 정도 등이 전류 전압 곡선의 형태를 크게 좌우한다. 이는 나노재료와 고분자간의 반응 정도를 확인 할 수 있으며, 이는 나노재료에서 고분자로 전압이 인가되는 정도를 확인 할 수 있다. 또한 전압이 인가되는 정도에 따라 음향특성에 영향이 있다.

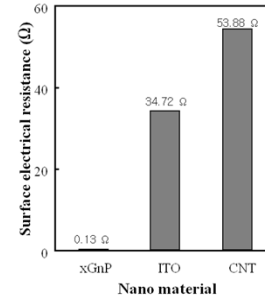


Fig. 4 Electrical resistivity of CNT, ITO and xGnP.

## 3.2 젖음성과 표면 에너지와의 상관관계

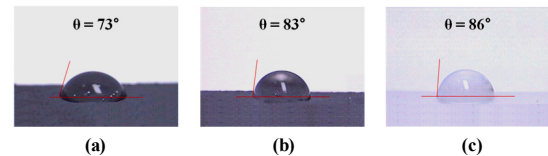


Fig. 5 Optical photos of static contact angle of actuator material with double distilled water droplet: (a) neat xGnP; (b) plasma treated xGnP; and (c) plasma treated PVDF.

## 3. 결과 및 토론

### 3.1 표면 저항도 측정

Fig. 4는 나노복합재료의 코팅 재료인 CNT, ITO와 xGnP의 표면 저항을 나타낸다. 재료자체의 전기적특성을 확인하기 위해 시편은 CNT, ITO 그리고 xGnP 각각의 시트를 제작하여 측정하였다. 각 재료의 시트는 재료를 고온, 고압에서 압축을 시키면 각각의 시트를 제작하였다. 시트의 두께는 0.22mm로 동일하게 제작하였다. 이 시트를 표면저항측정기로 측정하였을 때 CNT, ITO와 xGnP는 각각 53.9, 34.7, 0.13 Ω을 나타내었다. 이로써 xGnP의 전기적특성이 매우 높은 것을 확인 할 수 있다. 이는 음향작동기로 사용 시 복합재료의 표면에 형성되는 전극과 연관이 있으며 전기적특성이 좋을수록 전극형성이 잘 되며, 또한 모재인 PVDF에 인가되는 전압과 연관이 있다.

나노재료의 표면처리를 위해 대기압 플라즈마 장치 (RPS50, UIION Co., Ltd., 한국)를 사용하였다. 대기압 하에서 20 kHz 진동수로 플라즈마 처리가 진행되었다. 전력은 400 W로 설정하여 전기에너지를 장비에 공급하였다. 나노재료를 물에 2 시간동안 분산시킨 용액을 1분 동안 플라즈마 처리를 진행하였다. 플라즈마 처리된 분산용액은 오븐에서 용매를 날려 플라즈마 처리된 나노재료를 얻을 수 있었다.

Fig. 5는 나노복합재료의 모재인 PVDF와 나노재료인 xGnP의 플라즈마 처리한 것과 미처리의 정적접촉각을 보여준다. 4 가지 용매를 사용하여 각각의 접촉각을 측정하였다. 1분 동안

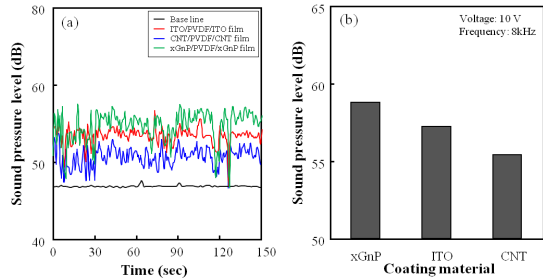


Fig. 6 Response of each acoustic actuator: (a) sound source; (b) frequency.

Table 1 Acid-base and polar-dispersion surface energy component and comparison of work of adhesion,  $W_a$  (mJ/m<sup>2</sup>).

Type	$\gamma_s^T$	$\gamma_s^{LW}$	$\gamma_s^{AB}$	$\gamma_s^+$	$\gamma_s^-$	$\gamma^d$	$\gamma^p$	$W_a$	$S$
Plasma treated PVDF	41.4	39.9	1.6	0.3	2.5	35.3	2.6	-	-
Neat xGnP	55.7	53.5	2.2	0.4	3.1	47.4	4.9	7.5	-15.3
Plasma treated xGnP	44.9	43.5	1.4	2.0	0.3	51.8	1.6	8.0	-3.6

플라즈마 처리한 xGnP가 미처리 xGnP보다 접촉각이 증가함을 알 수 있다. 이는 xGnP표면에 있던 이물질의 제거가 일어나고 xGnP 본연의 표면 특성을 찾았기 때문이라 볼 수 있다.

Table 1은 측정된 접촉각을 앞의 식 (3), (4)를 이용하여 플라즈마 처리된 xGnP와 PVDF그리고 미처리 xGnP의 표면에너지를 구한 것이며, 산-염기 상호작용과 극성-분산 표면에너지 조성과 접촉일과 퍼짐계수 (spreading coefficient)를 나타내었다. 표면에너지 조성으로 식 (5)를 이용하여 재료간의 접촉일과 식 (6)을 이용하여 퍼짐계수, S를 구하였다. 플라즈마 처리한 xGnP가 미처리한 xGnP보다 PVDF와 접촉일과 퍼짐계수가 높은 것을 확인 할 수 있다. 증가된 퍼짐계수와 접촉일은 플라즈마 처리를 함으로써 두 물질간의 퍼짐이 잘되며 접촉이 잘되는 것을 의미한다. 이는 플라즈마 처리를 통하여 두 재료의 표면이 비슷한 기질을 가지게 됨으로써, 좀 더 접촉일과 퍼짐계수가 증가하는 것을 확인하였다.

### 3.3 나노복합재료 필름 작동기의 음향특성 평가

Fig. 6은 나노복합재료의 모재인 PVDF에 나노재료인 CNT, ITO와 xGnP의 코팅재료에 따른 음압과 음파 소스에 대한 반응을 나타낸다. 앞서 언급한 것과 같이 음향작동기의 특성에 영향을 미치는 것 중 하나인 전극형성의 효과를 확인할 수 있다. 이는 전극재료를 무엇을 쓰느냐에 따라 달라짐을 알 수 있으며, 코팅 재료의 전기전도성에 큰 영향이 있는 것을 볼 수 있다. 먼저 xGnP가 CNT나 ITO보다 SPL이 높게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞의 데이터 Fig 4과 연관 지어 설명할 수 있다. 전기 전도도가 증가 할수록 음향작동기의 표면에 형성되는 전극역시 전기적 특성이 좋아지기 때문에 필름에 인가되는 전압이 잘 전달되어 좋은 음향특성을 나타내게 된다.

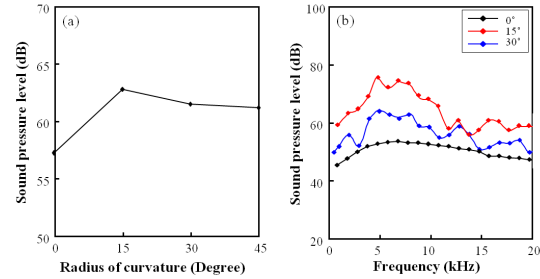


Fig. 7 Radius of curvature responses of plasma treated xGnP/PVDF/xGnP film.

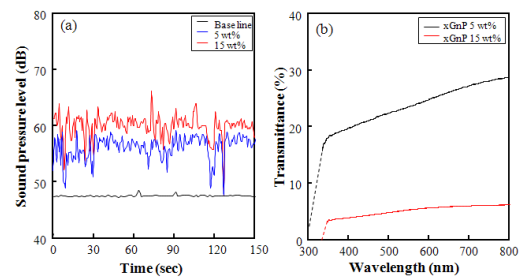


Fig. 8 Coating thickness effect of acoustic actuator: (a) SPL with the fixed frequency and voltage; (b) transmittance of coatings.

Fig. 7은 나노복합재료의 곡률반경에 따라 음향작동기로 응용되었을 때 음향특성을 나타낸 것으로 이는 주파수 영역 대와 연관이 있다. 원래 필름스피커는 저주파영역에서 취약한 점이 있으나 이러한 곡률반경으로 인해 저주파영역의 음향특성이 증가함을 확인할 수 있다. 이는 저주파영역뿐만 아니라 전 영역에서 통상적으로 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 하지만 곡률반경을 무조건 증가 시킨다고 음향특성이 좋아지는 것은 아니다. 곡률을 너무 많이 주었을 때에는 음향의 왜곡현상이 일어나 좋지 못한 음향특성을 나타내며 또한 SPL값도 감소함을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 코팅 용액의 농도에 따른 음향효과와 투명도를 나타내었다. 코팅농도가 증가함에 따라 SPL은 증가하는 반면, 투명도는 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 코팅용액의 농도가 높을수록 전극형성이 잘되지만, 그만큼 두껍게 코팅이 되는 것으로 투과도가 감소한다. 하지만 투명도가 떨어지는 음향작동기는 응용면에서 많이 뒤쳐지기 때문에 투명도가 높으면서 음향특성이 좋은 조건이 바람직하다.

### 3.4 작동기의 전기화학특성 평가

Fig. 9는 전기화학적 특성을 평가하기 위해 순환전압전류법을 측정한 데이터이다. Fig. 9의 (a)는 주파수를 고정시키고 전압을 변화 시켰을 때의 데이터이다. 전압이 증가할수록 히스테리시스 커짐을 확인할 수 있었다. 또한 (b)는 전압이 고정되었을 때 주파수 즉, 전압 변화 속도를 조절하였을 때 CV변화를 나타낸 것이다. 두 데이터를 보았을 때 전압과 주파수가



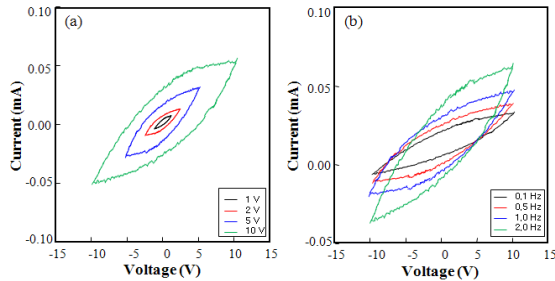


Fig. 9 Cyclic voltammetry of acoustic actuator: (a) CV with the fixed frequency changed voltage ; (b) CV with the fixed voltage changed frequency.

증가할수록 히스테리시스가 증가하는 것을 확인할 수 있으며 이는 조건에 따라 나노복합재료에 인가되는 전기적특성이 다르다는 것을 확인할 수 있다. 또한 산화 환원전류의 곡선에서 크게 변화가 있는 부분이 없는 것으로 보아 산화환원에 대해 안정한 것으로 생각할 수 있다.

#### 4. 결 론

나노복합재료의 전기화학특성, 계면 젖음성, 음향 작동기로서의 여러 가지 특성을 평가하였다. 전기화학특성으로 고분자의 양면에 코팅으로 인해 전극이 형성되며 그 사이의 전압변화에 따른 전류를 측정함으로써 재료간의 반응성을 확인하였다. 이는 모재와 나노재료간의 반응성을 확인할 수 있으며 인가되는 전압의 정도도 파악할 수 있었다. 나노복합재료의 계면내구성은 플라즈마 처리된 PVDF와 플라즈마 처리 된 xGnP와 미처리 xGnP의 각 표면의 접촉각을 측정함으로써 표면에너지, 그리고 접착일과 퍼짐계수를 측정하였다. xGnP는 표면처리를 통해 표면개질이 되어 좀더 PVDF와 접착일이 증가함을 보여 주었다. 나노복합재료의 음향 작동기 특성은 코팅재료의 전기전도성과 크게 연관이 있음을 확인하였다. 이에 CNT와 ITO보다 xGnP가 음향 작동기의 코팅소재로 적합함을 확인하였다. 또한, 나노복합재료의 곡률반경과 코팅용액의 농도에 따른 음향효과도 측정하였다. 곡률반경은 음향작동기의 주파수영역을 결정하는 중요한 요인이며, 적정 곡률에서 최적의 작동을 함을 확인하였다. 코팅용액의 농도는 농도가 높을수록 전극에 인가되는 전압이 증가하여 음향특성은 좋아지나 투명도가 떨어지는 문제가 있다. 이에 대해 적정 농도를 찾아 투명도와 음향특성을 증가시키는

조건을 확인하였다. 본 연구의 주요 결과로, xGnP/PVDF/xGnP가 다른 나노재료보다 음향작동기로서 보다 낫다는 것을 알 수 있으며, 음향효과도 좋으며 투명도도 적당함을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구자 중 구가영은 2단계 BK21의 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) 김성진, “스피커 산업 동향 및 필름스피커 기술 개요,” 전기전자재료, 19권, 8호, 2006, pp. 13-23.
- 2) 이승환, “MEMS 기술에 의한 초소형 마이크로 스피커,” 전기전자재료, 19권, 8호, 2006, pp. 24-32.
- 3) 김세규, “가전용 speaker의 최근 기술동향,” 전기전자재료, 19권, 8호, 2006, pp. 33-43.
- 4) 최범규, 이우훈, “압전 필름의 압전정 효과를 이용한 에너지 저장 시스템에 관한 연구,” 한국정밀공학회지, 제25권, 제9호, 2008, pp. 78-85.
- 5) Safari, A., “Development of piezoelectric composites for transducer,” *J. Phys. III France*, Vol. 4, 1994, pp. 1129.
- 6) Wei, B., and Daben, Y., “Dielectric and piezoelectric properties of 0-3 composite film in PCM/PVDF and PZT/PVDF,” *Ferroelectrics*, Vol. 157, 1994, pp. 427-430.
- 7) Vencatragavaraj, E., Satish, B., Vinod, P.R., and Vijaya, M.S., “Piezoelectric properties of ferroelectric PZT-polymer composites,” *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol. 34, 2001, pp. 487-492.
- 8) Dilsiz, N., and Wightman, J.P., “Effect of Acid-Base Properties of Unsized and Sized Carbon Fibers on Fiber/Epoxy Matrix Adhesion,” *Colloids and surfaces A*, Vol. 164, 2000, pp. 325-336.
- 9) Park, J.M., Son, T.Q., Jung, J.G., and Hwang, B.S., “Interfacial Evaluation of Single Ramie and Kenaf Fiber/Epoxy Resin Composites using Micromechanical Test and Nondestructive Acoustic Emission,” *Composite Interfaces*, Vol. 13, No. 2-3, 2006, pp. 105-129.