

교차결합의 변화에 따른 Polyaniline 필름의 전기적 성질과 전자기차폐 성질에 관한 연구

10-1-9

Electrical and Electromagnetic Shielding Properties of Polyaniline Films with Different Degrees of Crosslinking

김재욱*

(Jae-Wook Kim)

Abstract

The electrical and electromagnetic shielding properties have been investigated in polyaniline free standing films with different degrees of elongation cast from N-methyl-2-pyrrolidone(NMP) solution and camphorsulfonic acid(HCSA) doped polyaniline film. The degree of crystallinity of the crosslinked films increased with increasing the draw ratio. For the case of the oriented films doped with hydrochloric acid, we have the values of conductivities up to 173 S/cm. It is considered that the physical micro-crystalline crosslinking domains act as nucleation sites for the increase of relative crystallinity during stretching. We have obtained the value of conductivity 210 S/cm in the HCSA doped polyaniline film cast from the solvent of m-cresol, which is higher than that of the crosslinking oriented films. The electromagnetic shielding efficiency of HCSA doped polyaniline film obtained 37~41 dB in the frequency range of 10MHz~1GHz, which is higher than that of the crosslinking oriented films. The higher value of electromagnetic shielding efficiency of HCSA doped polyaniline film suggests strong possibility of electromagnetic shielding material.

Keywords(주요용어) : polyaniline film(폴리아닐린 필름), crystallinity(결정성), conductivity(전도도), electromagnetic shielding efficiency(전자기차폐 효율)

1. 서 론

1977년 Heeger등에 의해 폴리아세틸렌이 Br₂와 같은 할로겐 기체로 도핑된 후에 ~5000 S/cm의 전기전도도를 갖는 전도성 물질로 밝혀진 후¹⁾, 전도성 고분자 분야에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다. 그러나 이들의 대부분이 일반적인 유기용매에 녹지 않으며, 열적 안정성 및 대기안정성이 떨어지는 단점이 있다. 고분자 분야에 있어서 용해도가 큰 용매의 개발은 여러가지 용도로의 응용면에 있어서 매우 중요하다. Polyaniline의 경우 1987년 Angelopoulos 등에 의해 NMP(N-methyl-2-pyrrolidinone)가 좋은 용매임이 보고된 이후²⁾, 이

로부터 여러 연구진들에 의해서 polyaniline이 free standing film, fiber, elastomer, blend 등으로 제조되었으며, 이들이 hydrochloric acid 등의 양성자산으로 doping되었을 때 전도성을 갖는다고 보고되었다³⁾.

최근에 polyaniline, polypyrrole등을 캄퍼솔포닉산(camphorsulfonic acid, HCSA), 도데실벤젠설포닉산(dodecylbenzenesulfonic acid, HDBSA)등의 기능성산 또는 그의 염(salt)으로 처리할 때 m-cresol, chloroform 등의 유기용매에 대한 용해도가 증가하여 직접 전도성을 갖는 형태로 가공이 가능함이 보고되었다⁴⁾. 이러한 가공기술의 진보와 더불어 전도성 고분자를 이용한 여러가지의 응용이 전세계적으로 시도되고 있다. 특히 최근에 전기, 전자소자 및 통신분야의 수요증가에 따라 가장 큰 관심을 끌고 있는 분야가 전자기파의 차폐분야이다.

현재까지 전자기파의 차폐는 대부분 구리나 베

* : 중소기업청

접수일자 : 1996년 7월 18일

심사완료 : 1996년 11월 1일

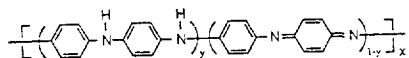
필름 등의 금속과 웨라이트 등의 세라믹재료가 이용되고 있다. 그러나 금속재료는 높은 차폐효율을 나타내고 있지만 공기중에서 부식이 되고 무거우며, 높은 온도에서 가공이 되어야 하므로 경제성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 또한 세라믹재료 역시 높은 온도에서 처리해야 하며, 잘 깨지는 단점을 가지고 있다. 따라서 금속에 가까운 전기전도도와 더불어 합성이 용이하고, 여러가지 형태로의 가공이 가능한 전도성 고분자를 이용한 전자기파차폐 재료에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 XRD와 전기전도도 실험으로부터 교차결합(crosslinking)의 정도와 신장 비율에 따른 결정성에 대하여 알아보았으며, 결정성과 전기전도도와와의 상관관계에 대하여 조사하였다. 또한 전자기파차폐 성능실험을 통하여 캠퍼솔포닉산으로 도핑된 polyaniline 필름이 전자기파차폐 재료로서 가능성이 있는지 알아보았다.

2. 실험 방법

2-1. 시료합성 및 제조

Polyaniline은 다음의 일반식으로 나타내어지며, 산화상태의 조절 및 질소 그리고 ring 위치로의 치환에 의해 유도되는 화합물들의 총칭이다. Polyaniline의 평균산화상태는 $1-y$ 값으로 주어지며 완전환원상태(leucoemeraldine base : $1-y=0$)로 부터 중간산화상태(emeraldine base : $1-y=0.5$), 완전산화상태(permigraniline base : $1-y=1$)로 연속적인 변화가 가능하다⁵⁾. 이중 대기중에서 안정한 중간산화상태의 에머랄드 베이스(emeraldine base)는 산화형과 환원형의 단위가 교대로 반복되는 형태를 갖는다.



중간분자량 polyaniline(emeraldine base:EB)은 대표적인 화학적 방법으로 합성되었으며⁶⁾, 교차결합되지 않은(non-crosslinked) 필름(NMP내에서의 용해도 >90%)의 제조는 30ml의 NMP(N-methyl-2-pyrrolidinone)용액을 자석젓개로 저어주며 ~1분간에 걸쳐 저분자량 polyaniline 분말 0.3g을 약수지로 서서히 가하였다. 약 10분간 자석젓개로 저어준 후 얻어진 용액을 필터로 유리솥이 채워진 주사기내에 넣고 압축을 시켜 녹지않은 부분을 제거하여 균일한 용액(~1 wt%)을 제조하였다. 깨끗하게 닦고 건조시킨 수평이 조절된 유리기판(15cm x

15cm x 0.2cm)위에 이 용액을 부은 후 60℃로 유지된 대류 오븐내에서 15시간 동안 바람을 불어주면서 건조시켰다. 건조된 필름을 증류수가 담긴 접시내에 넣고 면도날로 귀퉁이를 들어올려 유리기판에서 떼어내었고 이후 종이수건으로 닦아내고 종이수건내에서 적당한 무게(~300g)로 눌러주며 24시간 건조시켰다. 얻어진 필름내에 존재할 수 있는 결정성을 없애기 위해 필름을 1M 염산용액에 48시간 담그어 도핑시키고 다시 0.1N 수산화암모니아로 24시간 dedoping시켰으며 이 과정을 두번 더 반복하고 건조시켜 교차결합되지 않은 필름을 제조하였다.

중간으로 교차결합(intermediate crosslinked)된 필름(10% < NMP내에서의 용해도 < 90%)의 제조는 30ml의 NMP용액을 자석젓개로 저어주며 ~1분간에 걸쳐 약수지로 중간분자량 polyaniline 분말 0.927g을 서서히 가하였다. 약 10분간 자석젓개로 저어준 후 얻어진 용액을 필터로 유리솥이 채워진 주사기내에 넣고 압축을 시켜 녹지않은 부분을 제거하여 균일한 용액(~3 wt%)을 제조하였다. 깨끗하게 닦고 건조시킨 수평이 조절된 유리기판(15cm x 15cm x 0.2cm)위에 이 용액을 부은 후 60℃로 유지된 대류 오븐내에서 15시간 건조시켜 중간으로 교차결합된 필름을 제조하였다.

고도로 교차결합(highly crosslinked)된 필름(NMP내에서의 용해도 < 10%)의 제조는 우선 30ml의 NMP용액에 3.708g의 중간분자량 polyaniline 분말을 넣어 혼합시킨 후 용액이 gel 상태가 되기 전에 용해되지 않은 부분을 필터로 제거하여 균일하고 점도가 큰 용액(~12 wt%)을 만들고 이 용액을 PET필름 위에 부은 후 3시간(gelation time) 동안⁷⁾ 방치시켰고 완전히 gel 상태가 된 후 이를 꺼내어 후드내에서 24시간 방치하여 고도로 교차결합된 필름을 얻었다.

캠퍼솔포닉산으로 도핑된 polyaniline(EB) free standing 필름은 polyaniline 파우더(EB) 0.724g (0.002mol)와 캠퍼솔포닉산(C₁₀H₁₃OSO₃H) 0.929g (0.004mol)을 막자사발에서 10분정도 잘 교반시키고 균일하게 혼합된 분말을 용매인 m-cresol에 무게 비율로 3%가 되게 녹인 후 초음파 중탕(ultrasonic bath)에서 35시간 동안 처리하였으며, 용해되지 않은 부분은 필터를 사용하여 제거하였고 이 용액을 PET필름 위에 부은 후 60℃로 유지된 대류 오븐내에서 15시간 건조시켜서 free standing 필름을 얻었다.

2-2. 측정장치 및 방법

열중량 분석기(Model: Rigaku Thermoflex TG 8110 system, Japan)를 사용하여 합성된 시료의 열적 안정성 및 용매의 함유량을 조사하였으며, 상온에서 600℃의 온도까지 분당 10℃의 승온속도로 온도를 올리면서 시료의 무게변화를 측정하였다. X-선 회절 실험은 상온에서 X-선 회절 분석기(Model: Rigaku Geigerflex, Japan)를 사용하여 행하였으며, 가공된 필름(stretched and unstretched film)들의 결정성을 조사하였다. 이때 사용된 X-선은 파장 1.5404Å의 Cu-K α_1 의 복사선으로 니켈 필터를 사용하였으며, 분당 5°의 주사속도로 2 θ 값을 5°에서 35°까지 측정하였다. 전기전도도 측정은 4단자 방법으로 행하였으며, 상온에서 여러 필름들의 전기전도도 측정시 백금선을 전극으로 사용하여 필름과 전극과의 접촉저항을 최대로 제거하였다. 전자기과차폐 성능 실험은 원역장 차폐 효과 측정치구로 사용되는 플랜지형 동축전송선 측정치구를 사용하였으며, 이 치구는 ASTM : D 4935-89의 규격에 의거한 측정치구이다⁸⁾. 이 실험은 두 조각의 기준시편을 측정치구의 큰 동축 플랜지 사이에 끼워 기준레벨을 측정하고 다시 디스크형의 측정시편을 측정치구 사이에 끼운 다음 수신되는 전력을 측정하게 되며, 이들 두 값의 차로 부터 시편 재료의 전자파 차폐효과를 결정하였고 이때 측정 주파수 대역은 10MHz~1GHz 이었다.

3. 결과 및 고찰

합성된 에머랄드 베이스를 NMP에 균일하게 녹인 용액을 solution casting하여 제조한 여러 필름들에 대한 TGA 측정 결과를 그림 1에 나타내었다. 교차결합되지 않은, 중간으로, 고도로 교차결합된 필름 모두 ~100℃에서 각각 5, 3.2, 3%의 무게가 감소하였다. 이는 필름내에 함유된 수분의 증발에 기인되며, 교차결합되지 않은(non-crosslinked) 필름의 경우 중간으로, 고도로 교차결합된 필름에 비해 수분 함량이 크게 나타났다. 이는 필름의 제조시 교차결합을 없애기 위해 doping(1M HCl내에서), dedoping(0.1N NH₄OH내에서)을 반복하는 과정에서 poor solvent인 물분자의 영향으로 good solvent인 NMP가 고분자 사슬 주위로부터 감소되며 반대로 물의 함유량이 다소 증가하는 것으로 사료된다. 또한 ~300℃까지의 무게 감소는 NMP의 증발에 의한 것이며 교차결합되지 않은, 중간으로, 고도로 교차결합된 필름 각각 1.5, 10, 13.1%를 나타내었다. 따라서 교차결합의 증가에 따라 NMP의 함유량이 커지는 것을 알 수 있었다. 400~600

℃ 구간에서의 무게감소는 고분자 사슬의 분해에 의한 것으로 사료된다.

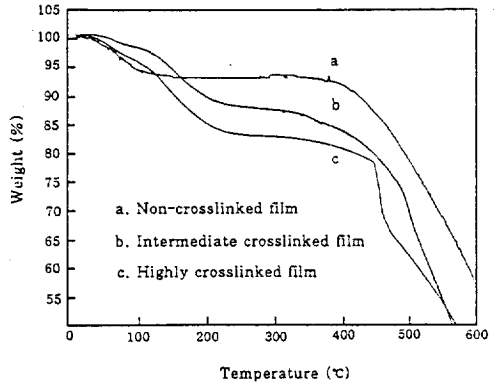


그림 1. 교차결합 정도에 따른 에머랄드 베이스 필름의 열중량 분석 곡선.

Fig. 1. TGA Thermograms for the emeraldine base films with various degrees of crosslinking.

그림 2, 3, 4에는 각각 교차결합되지 않은, 중간으로, 고도로 교차결합된 에머랄드 베이스 필름을 여러 비율로 잡아늘린 후 1M 염산용액으로 도핑시켜서 얻은 에머랄드 염기 필름에 대한 X-선 회절패턴을 비교하여 나타내었다. 잡아늘리지 않고 교차결합되지 않은, 중간으로, 고도로 교차결합된 에머랄드 베이스 필름의 경우 1M 염산용액으로 도핑된 후에 모두 23°에 중심을 둔 무정형패턴을 나타내었다. 교차결합되지 않은 에머랄드 염기 필름의 경우 잡아늘린 비율이 4배까지 증가함에 따라 중심피크의 위치가 23°에서 26°로 약간 이동하는 경향을 보였으나 결정성에 변화는 없었다. 중간으로 교차결합된 에머랄드 염기 필름의 경우 잡아늘린 비율이 4배까지 증가함에 따라 중심피크의 위치가 23°에서 26°로 약간 이동하는 경향을 보이며 결정성이 증가함을 알 수 있었다. 또한 3배의 잡아늘린 비율에서 부터 11°와 21°에서 결정성 피크가 성장됨을 보이고 있다. 고도로 교차결합된 에머랄드 염기 필름의 경우 잡아늘린 비율이 4배까지 증가함에 따라 중간교차결합된 에머랄드 염기 필름의 경우와 비슷하게 중심피크의 위치가 23°에서 26°로 약간 이동하였으며 결정성이 증가되었다. 그러나 2배의 잡아늘린 비율에서 부터 11°와 21°에서 결정성 피크가 급성장됨을 볼 수 있다. 따라서 이러한 현상도 앞서 설명한 바와 같이 필름내에서 형성된 교차결합이 존재하는 점이

잡아늘려짐에 따라 필름의 결정성을 증가시키는 nucleation site로 작용함을 알 수 있었다.

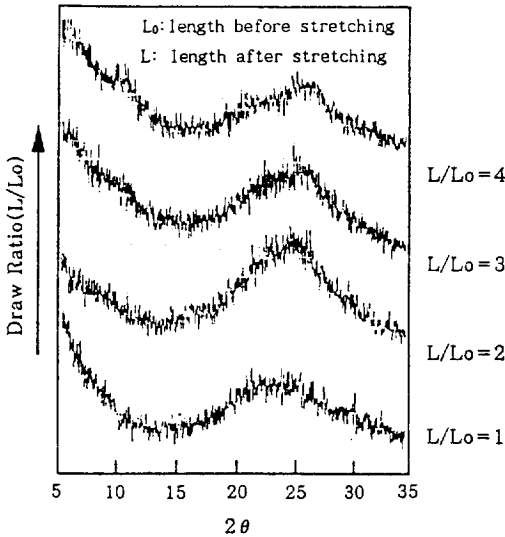


그림 2. 인장 비율에 따른 교차결합되지 않은 에머랄드 염기 필름의 X-선 회절 패턴.

Fig. 2. X-ray diffraction patterns for non-crosslinked emeraldine salt films with various draw ratios.

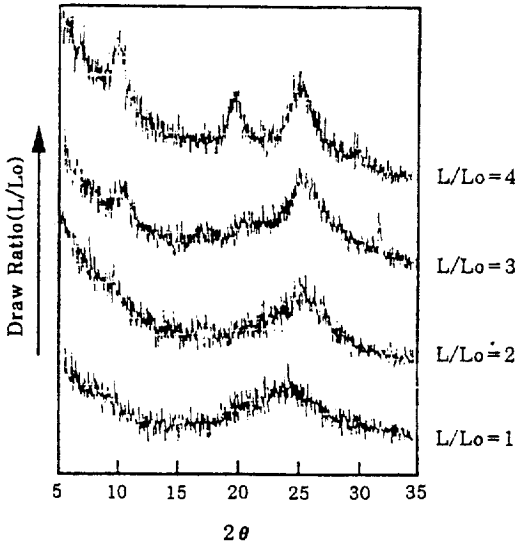


그림 3. 인장 비율에 따른 중간으로 교차결합된 에머랄드 염기 필름의 X-선 회절 패턴.

Fig. 3. X-ray diffraction patterns for intermediate crosslinked emeraldine salt films with various draw ratios.

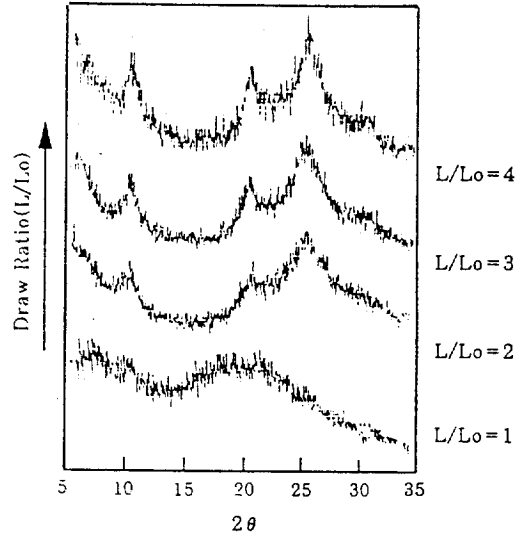


그림 4. 인장 비율에 따른 고도로 교차결합된 에머랄드 염기 필름의 X-선 회절 패턴.

Fig. 4. X-ray diffraction patterns for highly crosslinked emeraldine salt films with various draw ratios.

그림 5에 교차결합의 정도가 다른 polyaniline 필름을 여러 비율로 잡아늘린 후 1M 염산용액으로 도핑시켜서 얻은 필름에 대한 상온에서의 전기전도도를 비교하여 나타내었다. 이들 다른 유형의 필름 모두 잡아늘린 비율이 증가됨에 따라 전기전도도가 증가되었다. 그러나 같은 잡아늘림에 대해서는 교차결합의 정도가 증가함에 따라 전기전도도가 증가하는 경향을 보였다. 예로서 잡아늘리지 않은 교차결합되지 않은 에머랄드 염기 필름의 경우 7 S/cm의 값을 보였으나 고도로 교차결합된 필름의 경우 25 S/cm의 값을 나타내었고, 4배로 잡아늘려진 교차결합되지 않은 필름의 경우 상온 전기전도도가 38 S/cm임에 비하여 고도로 교차결합된 필름의 경우 173 S/cm의 값을 나타내었다. 이러한 결과는 교차결합의 정도에 따라 전기전도도가 변하며 가공을 통해 고분자 사슬의 구조 (dimensionality)를 변화시킴에 따라 전기적 특성을 조절 가능하다는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과를 그림 2, 3, 4에 나타난 X-선 회절 패턴과 연관시켜보면 잡아늘리지 않은(교차결합되지 않은, 중간으로, 고도로 교차결합된) 필름의 경우 염산용액으로 도핑된 후에 무정형패턴을 나타내고 있었으나 잡아늘린 필름의 경우 잡아늘린 비율(신장도)이 커짐에 따라 결정성이 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다. 일반적으로 고분자 필름을

잡아늘일 경우 잡아늘리는 방향으로 고분자 사슬이 배향(orientation)되며 이는 3차원적으로 얽혀진 구조(coil-like structure)로부터 1차원적인 구조(rod-like structure)로 배열이 옮겨감을 의미하게 된다. 잡아늘임에 따른 고분자 사슬의 1차원적인 배열은 구조의 규칙성을 증가시키게 되며 이러한 구조적 규칙성은 microcrystalline domain의 형성을 야기시키게 되어 X-선 회절패턴에 부분적인 결정성을 나타내게 한다⁹⁾. 이러한 고찰은 그림 3, 4의 중간으로, 고도로 교차결합된 필름의 경우 신장도의 증가에 따라 결정성이 증가하는 경향과 잘 일치한다. 그러나 교차결합되지 않은 필름의 경우에는 잡아늘이기 전, 후의 패턴이 무정형으로 동일하였다. 또한 캠퍼솔포닉산으로 도핑된 polyaniline 필름의 경우 전기전도도는 210 S/cm로 고도로 교차결합된 필름의 경우보다 높은 값을 나타내었다.

고분자내에서 교차결합이 형성된 지점이 stretching에 따라 결정성을 증가시키는 역할을 하는 nucleation site로서 작용을 하며, 고분자들은 교차결합내에 형성된 작은 결정성 중심(crystalline center)내에서 맞물려진 손가락 관절(interlocking knuckle)과 같이 배열되어 전하운반체인 전자들은 용이하게 이들 사이를 건너뛸 수 있게 된다. 따라서 잡아늘임에 따른 고분자 사슬의 배향에 기인된 1차원적 전기전도 뿐만 아니라 고분자내에 형성된 결정성 중심사이로의 3차원적인 기여가 부가적으로 나타나게 되어 높은 전기전도도를 나타내게 되는 것이다.

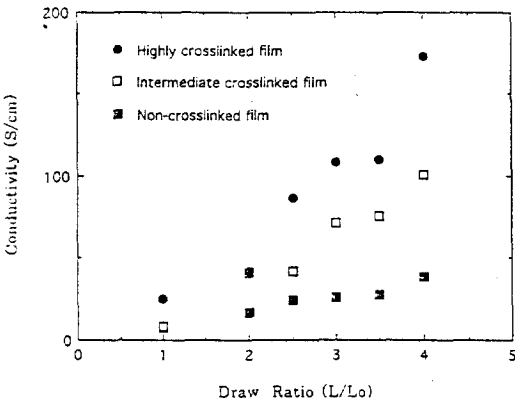


그림 5. 인장 비율에 따른 교차결합되지 않은, 중간, 고도로 교차결합된 에머랄드 염기 필름의 전기전도도.

Fig. 5. Room temperature electrical conductivities of non, intermediate, highly crosslinked emeraldine salt films with different draw ratios.

그림 6에 4배로 잡아늘여진 교차결합되지 않은, 중간으로, 고도로 교차결합된 에머랄드 베이스 필름들을 1M 염산용액으로 도핑한 후에 측정된 전기전도도의 온도의존성을 Mott의 1D-VRH (1-dimensional variable range hopping) model¹⁰⁾에 따라 나타내었다. $\text{Log } \sigma \text{ VS. } T^{-1/2}$ plot이 직선성을 나타내는 경향으로부터 4배로 잡아늘여진 polyaniline 염기 필름들은 1D-VRH 전도 모델 (conduction model)을 따르는 것을 알 수 있다. 이는 compact coil의 형태로 존재하던 고분자 사슬이 잡아늘임에 따라 잡아늘이는 방향으로 배향됨에 따라 전하운반체에 의한 사슬내의 전기전도가 우세해짐을 의미하는 것이다. 이 경우에도 교차결합되지 않은 필름이 중간으로, 고도로 교차결합된 polyaniline 필름의 경우보다 전기전도도의 온도의존성이 크게 나타났다. 이는 교차결합된 polyaniline 필름내의 고분자 사슬이 교차결합되지 않은 polyaniline 필름보다 덜 규칙적인 영역 (amorphous region)에서 잘 정렬되어지며, 고분자 사슬내의 전하가 metallic island를 통하여 펼쳐진 coil-like와 같은 사슬들을 통하여 보다 용이하게 비편재화되어 높은 전기전도도를 나타내게 된다.

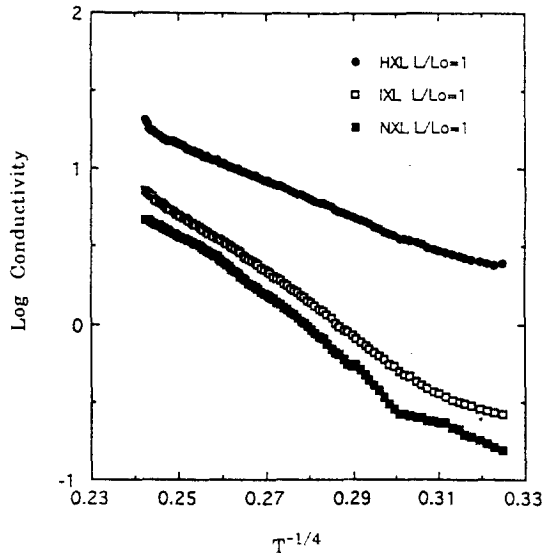


그림 6. 교차결합 정도에 따른 4배로 인장된 에머랄드 염기 필름의 전기전도도의 온도의존성.

Fig. 6. Temperature dependence of electrical conductivity of 4 times stretched emeraldine salt films with different degrees of crosslinking.

전자기파차폐 효율은 입사되는 전자기파의 power와 투과되는 전자기파의 power의 차이로서 정의되며, 전기전도도와 유전상수의 값에 의존하기 때문에¹¹⁾ 캠퍼슬포닉산으로 도핑된 polyaniline 필름의 경우가 고도로 교차결합된 polyaniline 필름의 경우보다 전자파차폐효율이 클 것으로 사료된다.

그림 7과 그림 8은 10MHz~1GHz의 주파수 영역에서의 전자기파차폐 효율(EMI SE)을 나타낸 것이다. 이 실험은 전자파 차폐 효과에 대한 표준 시험방법(ASTM D 4935-89)에 의해 행해진 결과이다. 여기서 그림 7과 그림 8의 결과에 대한 시편은 각각 염산용액으로 도핑된 고도로 교차결합된 polyaniline이 도포된 필름(A)과 캠퍼슬포닉산으로 도핑된 것을 m-cresol의 유기용매로 처리시킨 polyaniline이 도포된 필름(B)이다. 시편(A)의 경우 10MHz~1GHz의 주파수 영역에서의 차폐효율은 30~33dB를 나타내었으며, 주파수의 영역에 무관하게 flat한 특성을 보였다. 시편(B)의 경우 10MHz~1GHz의 주파수 영역에서의 차폐효율은 37~41dB이었고 이 또한 주파수의 영역에 무관하게 flat한 특성을 보였다. 시편(A)와 (B)의 경우에 있어서 차폐효율에 차이는 결국 전기전도도 차이라고 볼 수 있다. 이 값들은 전자기파차폐용 재료로서의 가능성을 보여준 결과이다.

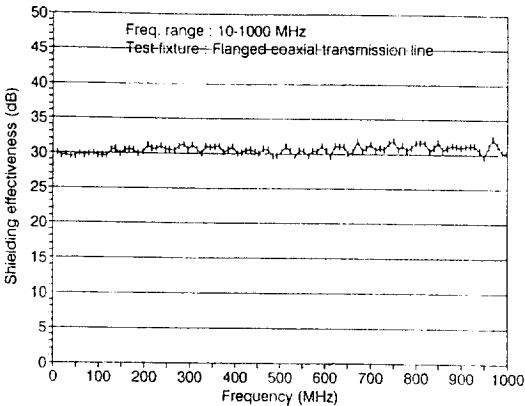


그림 7. 고도로 교차결합된 polyaniline 필름의 주파수 변화에 따른 전자기파차폐 효율.

Fig. 7. Electromagnetic shielding efficiency of highly crosslinked polyaniline film as a function of frequency.

4. 결 론

전도성 고분자인 폴리아닐린과 폴리아닐린의 유도체를 합성하여 작용기를 가진 기능성산인 캠퍼

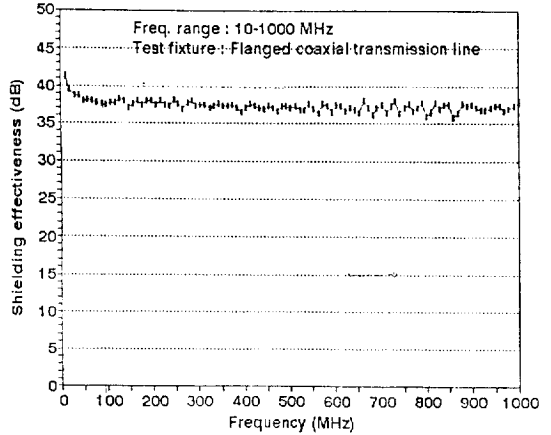


그림 8. 캠퍼슬포닉산으로 도핑된 polyaniline 필름의 주파수 변화에 따른 전자기파차폐 효율.

Fig. 8. Electromagnetic shielding efficiency of HCSA doped polyaniline film as a function of frequency.

슬포닉산으로 도핑한 후 유기용매인 m-cresol에 녹여서 만든 free standing 필름과 NMP 용액으로 용해시켜서 만든 free standing 필름등을 제조하였으며, 전기적 특성과 전자기파차폐 특성을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. XRD와 전기전도도 실험에 의하면 필름내에 형성된 교차결합이 존재하는 지점이 결정성을 증가시키는 nucleation site의 역할을 하여 결국 신장율이 증가함에 따라 전기전도도가 향상되었다. 4배로 신장된 고도로 교차결합된 필름의 경우 전기전도도의 값은 173 S/cm이었고 캠퍼슬포닉산으로 도핑된 폴리아닐린 필름의 경우는 210 S/cm이었다.
2. 전자기파차폐 성능시험을 통하여 캠퍼슬포닉산으로 도핑된 polyaniline 필름이 10MHz~1GHz의 주파수 영역에서 전자파차폐 효율(EMI SE)이 37~41dB이었으며, 고도로 교차결합된 필름의 경우보다 높은 값이다. 또한 이 값은 전자기파 차폐용 물질로서의 가능성을 보여준 것이며, 전자기파 차폐효율이 물질의 전기전도도와 유전상수에 의해 내부적으로 결정되므로 다양한 화학적 방법에 의해 다양한 차폐물질의 개발이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

1. C.K. Chiang, C.R. Fincher, Y.W. Park, A.J.Heeger, G. Shirakawa, E.J. Louis, S.C. Gau and A.G. MacDiamid, Phys, Rev, Lett., 39, 1098(1977).
2. M. Angelopoulos, A. Ray, A.G. MacDiamid and A.J. Epstein, Synth. Met., 21, 21(1987).
3. G.B. treet, .. larke, M. Krounbi, K. kanazawa, V. Lee, K. Pfuger, J.C. Scott and G. Weiser, Mol. Cryst, Liq. Cryst., 83, 11285(1982).
4. J. Langer, Solid State Commun., 26, 839 (1978).
5. C.K. Chiang and A.G. MacDiamid, Synth. Met., 13, 193(1986).
6. A.G. MacDiamid and A.J. Epstein, Synth. Met., 65, 103(1994).
7. E.J. Oh, E.M. Scherr, A.G. MacDiamid and A.J. Epstein, Synth. Met., 55, 977(1993).
8. ASTM E57-83, Emergency Standard Test Methods for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials, Dec.(1983).
9. S.A. Kivelson and A.J. Heeger, Synth. Met., 22, 371(1988).
10. H.W. Ott, Noise Reduction Techniques in Electronic Systems(Wiley, New York, 1987).
11. Y.W. Park, A.J. Heeger, M.A. Druy and A.G. MacDiamid, J. Chem. Phys., 73, 948(1985).

시시소개



김재욱

1962년 4월 15일생. 1985년 2월 명지대학교 물리학과 졸업(이학사). 1987년 2월 한양대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사). 1993년 2월 동 대학원 물리학과 졸업(이학박사). 1993년 1월-1994년 4월 대우전자 회전기연구소 선임연구원.

1994년 4월-1997년 1월 만도기계 중앙연구소 선임연구원. 1996년 3월-1997년 2월 한라공업전문대학 전자과 겸임조교수. 1997년 2월 중소기업청.