J. Korean Ind. Eng. Chem.,
Vol. 10, No. 3, May 1999, 461-466

2-Methacryloxyethyl dimethyl 2-hydroxyethyl ammonium bromide를 이용한 고분자 습도센서의 감습 특성 및 신뢰성

이 칠 원 · 공 명 선†

단국대학교 화학과
(1999년 2월 13일 접수, 1999년 4월 13일 채택)

Humidity-Sensitive Characteristics and Reliabilities of Polymeric Humidity Sensors Using 2-Methacryloxyethyl dimethyl 2-hydroxyethyl ammonium bromide

Chil-Won Lee and Myoung-Seon Gong†

Department of Chemistry, Dankook University, Cheonan, Chungnam 330-714, Korea
(Received February 13, 1999; accepted April 13, 1999)

요 약: 암모늄염을 포함하는 고분자 습도센서를 2-methacryloxyethyl dimethyl 2-hydroxyethyl ammonium bromide (MDHAB)/MMA/DAEMA = 6/3/1의 공중합체로부터 제조하였다. 감습막은 금/알루미나 전극에 침적법에 의하여 도포하였으며 5 ℃, 40%RH, 70%RH, 그리고 90%RH에서 전형적인 임피던스는 각각 298 kΩ, 11 kΩ, 그리고 2.3 kΩ을 나타내어 감습특성은 저온에서 사용되는 습도 센서로서의 특성에 적합하였다. 온도 의존성 계수는 5~20 ℃에서 -0.80%RH/℃이었으며 히스테리시스는 ±2%RH 이내에 존재하였다. 응답 속도는 34%RH에서 88%RH로 변화할 때 38초였다. 신뢰성 시험으로서 온도 사이클, 습도 사이클, 고온 · 고습 저항성, 전기 인가, 장기 방치, 그리고 내수성을 측정하여 습도센서로서의 응용성을 평가하였다.

Abstract: The humidity sensor containing ammonium salt was prepared from the copolymer of 2-methacryloxyethyl dimethyl 2-hydroxyethyl ammonium bromide (MDHAB)/MMA/DAEMA = 6/3/1. The humid membrane was fabricated on the gold/alumina electrode by dipping. The impedances were 298 kΩ, 11 kΩ, and 2.3 kΩ at 40%RH, 70%RH and 90%RH, respectively, at 5 ℃ and the humidity-sensitive characteristics were suitable for low temperature humidity sensor. The temperature-dependent coefficient between 5 ℃ and 20 ℃ was found to be -0.80%RH/℃ and the hysteresis falled in the ±2%RH range. The response time was found to be 38 sec for the relative humidity ranging from 34%RH to 88%RH at 20 ℃. The reliabilities such as temperature cycle, humidity cycle, high temperature and humidity resistance, electrical load stability, stability of long-term storage and water durability were measured and evaluated for the application as a humidity sensor.

Key words: *Humidity Sensor, 2-Methacryloxyethyl dimethyl 2-hydroxyethyl ammonium bromide, Reliability, Cross-linked Copolymer*

1. 서 론

고분자막 습도센서의 전기적 특성, 감도, 안정성, 그리고 신뢰성은 전해질 고분자의 화학 구조와 밀접한 관계가 있다[1-6]. 최근 4차 암모늄염이 포함된 메타크릴레이트계 단량체는 화학 구조를 쉽게 변화시킬 수 있으며 큰 분자량의 전해질 고분자를 형성할 수 있기 때문에 감습 재료로 많이 응용되고 있다[7-12]. 이러한 감습성 단량체와 소수성 단량체와의 공중합은 감습막의 내수성을 증진시키는 방법 중에 하나이며[13,14] 전해질을 포함하는 단량체와 2관능성 비닐 단량체를 사용한 가교화는 또 다른 방법중의 하나이다[10, 12]. 그러나 습도센서의 감습특성은 전해질 고분자의 소수성 단위의 함량이나 가교도에 의하여 크게 변화한다. 이러한 점에서 소수성 단량체와 감습 단량체의 비율을 조절하여 공중합체를 형성하게되면 상대습도에 대한 임피던스 변화 뿐만 아니라 내수성도 부여할 수 있다.

전극 위에 감습막의 형성법은 센서의 양산성, 재현성 및 성능에 커다란 영향을 미치고 있다. 침적 도포법은 양산화에 쉽게 적용할 수 있으나 가교화된 감습액은 용매에 불용이기 때문에 도포가 불가능하며 먼저 감습성 단량체 용액을 도포한 후 중합에 의하여 감습막의 가교가 이루어져야 한다.

2-Methacryloxyethyl dimethyl 2-hydroxyethyl ammonium bromide (MDHAB)는 4차 암모늄염을 포함하는 감습성 단량체로서 고분자막 습도센서에 응용될 수 있다. 그러나 MDHAB는 수분에 의해 쉽게 용해되기 때문에 내수성을 부여하기 위하여 소수성 단량체인 methyl methacrylate (MMA)와 가교가 가능한 단량체인 2-(*N*,*N*-dimethylamino)ethyl methacrylate (DAEMA)와 공중합하여 이들의 3원 공중합체를 가교제와 함께 전극에 도포하여 열가교를 통하여 새로운 형태의 내수성 습도센서를 제작하였다.

본 연구에서는 기본 특성 이외에도 신뢰성 실험으로서 히스테리시스, 온도의존성, 주파수 의존성, 응답속도, 습도 사이클, 온도 사이클, 내한성, 내열성, 고온 고습 특성, 고온 부하 특성, 고습 부하, 장기 부하, 내 용제성, 그리고 장기 방치 등을 행하여 기본 특성의 변화 등을 조사하여 습도센서로서의 응용성을 검토하였다[13-15].

† 주 저자 (e-mail: msgong@anseo.dankook.ac.kr)

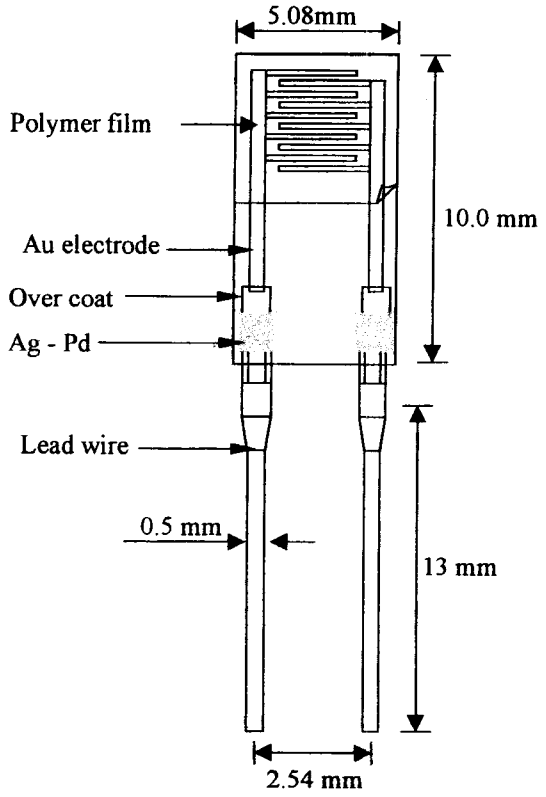

Figure 1. Schematic diagram of humidity sensor electrode.

2. 실 험

2.1. 시약 및 장치

2-Methacryloxyethyl dimethyl 2-hydroxyethyl ammonium bromide (MDHAB)는 문헌에 제시된 방법에 의하여 합성하였다[12]. Dimethylsulfoxide (DMSO)는 Dean-Stark 장치를 이용하여 톨루엔을 환류시켜 일차로 물을 제거한 후 감압 증류하였으며, MMA (Aldrich Chem. Co)는 묽은 sodium hydroxide 용액, 그리고 증류수로 세척한 후 calcium hydride로 건조한 후 증류하였다. 1,5-Dibromopentane, 그리고 2-(*N,N*-dimethylamino)ethyl methacrylate (Aldrich Chem. Co)는 시약용 약품을 그대로 사용하였으며 azobisisobutyronitriles (AIBN, Aldrich Chemical Co.)은 에탄올에서 재결정하여 사용하였다.

습도 센서 제작에 사용한 전극은 알루미나 기판 위에 5개의 바이트형 금 전극을 인쇄하여 사용하였다(Figure 1). 습도는 온도-습도 조절기 (Tabai Espec Model PL-2G, 30%RH~98%RH, -40~150 ℃)를 사용하였으며 여러 습도 범위에서 임피던스는 교류 1 V, 1 kHz, 그리고 5 ℃에서 LCR meter (Booton Model 5110, 0.1 Ω~20 MΩ)로 측정하였다.

2.2. 감습성 공중합체의 제조

DMSO (10 g)에 감습 단량체 MDHAB (1.69 g, 6.0 mmol), 공단량체 MMA (0.30 g, 3.0 mmol), DAEMA (0.16 g, 1.0 mmol) 그리고 AIBN (2 mol %)을 녹인 용액을 앰플에 넣고 freeze-thaw 방법에 의하여 기체를 제거한 후 진공 상태에서 밀봉하였다. 이 앰플을 60 ℃에서 24시간 동안 라디칼 중합을 진행하였으며 중합된 혼합물을 전해질 고분자 감습 모액으로 사용하였다.

감습막은 DMSO에 MDHAB, MMA, 그리고 DAEMA가 60/30/10 비율인 3원 공중합체를 이용하였다. MMA는 소수성 단량체로서 감습막의 내수성 증진 및 감습특성 변화를 위하여 사용하였으며, DAEMA은 4차 염화 반응에 의한 가교 결합을 부여하기 위하여 도입하였다. 감습막을 구성하는 세 단량체는 모두 메타크릴레이트 계이므로 이들의 반응성은 비슷하여 공중합체 중에서 각 단량체들의 조성비는 원소분석의 결과를 비교한 결과 투입한 비율과 일치하였다.

2.3. 금 전극 위에 감습성 전해질 고분자의 도포

상기 앰플을 개봉한 후 DMSO (10 mL)를 가해서 용액을 희석시킨 후 가교제로서 1,5-dibromopentane (6.0 mmol %)을 가하여 최종 감습용액을 제조하였다. 센서 칩을 감습 용액에 침적한 후 수직으로 들어 올려 바로 수평을 유지하며 10시간 동안 60 ℃에서 가교 반응을 진행하였다. 마지막으로 진공 오븐에 넣어 80 ℃에서 12시간 용매를 제거하였으며, ethyl ether에 담구어 세척한 후 최종 습도 센서를 얻었다.

금 전극 위에 감습막의 도포는 침적법을 사용하였는데 MDHAB, MMA, 그리고 DAEMA의 3원 공중합체와 가교제로서 1,5-dibromopentane의 혼합 용액에 침적시켜 제작하였다. 도포된 감습막은 10시간 동안 60 ℃로 가열하여 4차 염화 반응을 진행하고 최종 용매를 제거하여 습도센서를 얻었다. 가교시간은 일반적으로 3차 아민과 가교제의 반응시간을 고려하여 충분한 온도 및 시간을 부여하였으며 반응시간에 따른 임피던스의 변화가 나타나지 않았으며 미반응 가교제를 제거하기 위하여 센서 시료를 ethyl ether에 담근 후 측정하였다.

2.4. 감습특성 측정

습도센서의 임피던스는 항온 항습조를 이용하였으며 5 ℃에서 정해진 상대 습도가 평형이 되었을 때 LCR미터의 출력 1 V, 주파수 1 kHz에서 측정하였다. 히스테리시스는 40%RH (RH, Relative Humidity)→90%RH로 상대습도를 10%RH씩 상승시킨 가습과정과 역으로 90%RH→40%RH의 제습과정 순으로 측정하였다. 응답속도의 측정은 5 ℃에서 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$의 포화용액 (34%RH)과 KCl 포화 용액 (88%RH)을 이용하였다. 34%RH에서 평형을 이룬 후 신속히 88%RH의 평형을 이룬 상태에서 임피던스가 일정할 때의 시간을 측정하였다. 제습과정의 응답속도는 상기 과정을 역으로 측정하여 결정하였다. 온도 의존성은 교류 1 V, 1 kHz 조건에서 5, 10, 15, 그리고 20 ℃에서 흡착 과정을 실시하여 측정하였다. 주파수 의존성은 교류 1 V, 5 ℃에서 60, 100 Hz, 1, 10, 그리고 50 kHz의 주파수 변화에 따른 임피던스의 변화를 측정하였다.

2.5. 신뢰성 측정

신뢰성 시험은 습도센서의 여러 가지 조건하에서 요구하는 기능을 수행할 수 있는 능력을 평가하는 것으로 히스테리시스, 응답 속도, 경시 변화 및 사이클 특성 등을 측정하였다[15]. 경시 변화와 사이클 특성에는 습도 사이클, 온도 사이클, 내한성, 내열성, 고온고습, 고온 부하, 고습 부하, 내수성, 장기 부하 그리고 장기 방치 등을 행하여 기본 특성의 변화를 80%RH에서 상대습도의 변화율로 나타내었다. Table 1에 신뢰성 실험의 조건을 요약하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 습도센서의 전기적 성질

온도와 습도를 조절할 수 있는 항온-항습 조절기에 10~20개의 습도센서 시료를 고정시키고 여기에 LCR 미터를 연결한 후 교류

Table 1. Conditions of Reliability Experiment

시 험 항 목	시 험 조 건
습도 사이클	20 ℃, 30%RH(30분) ↔ 90%RH(30분)을 1사이클로 시행
온도 사이클	-30 ℃(30분) ↔ 85 ℃(30분)을 1사이클로 시행
내한성	온도 -30 ℃중에 방치
내열성	온도 85 ℃중에 방치, 습도 30%RH의 공기중에 방치
고온·고습	온도 60 ℃, 습도 90~95%RH에 방치
고온 부하	온도 85 ℃에서 AC 1 V, 1 kHz를 부하
고습 부하	온도 20 ℃, 습도 90~95%RH 중에서 AC 1 V 부하
내 유기 용매성	온도 20 ℃, 유기 용매 포화 증기에 방치
장기 부하	온도 20 ℃, 습도 70%RH, 그리고 AC 1 V
장기 방치	온도 25 ℃, 70%RH에서 방치

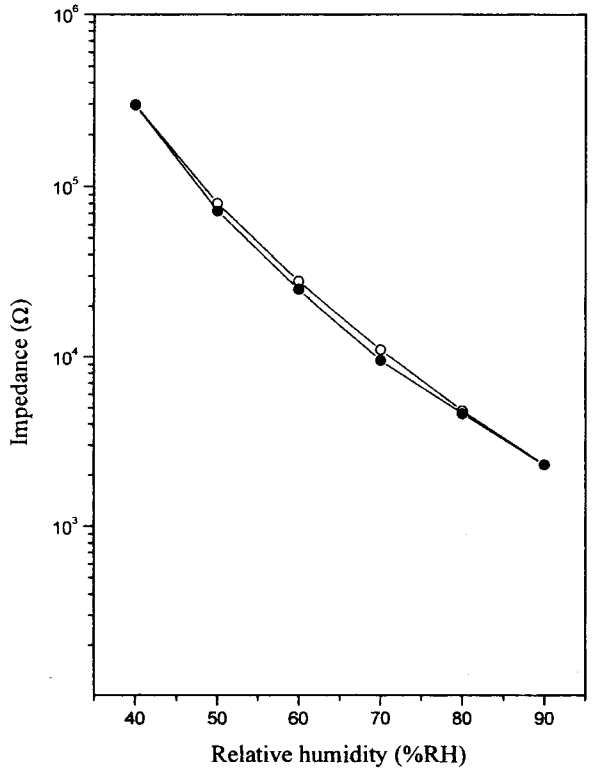

Figure 2. Dependence of impedance on the relative humidity and hysteresis for the humidity sensor obtained from MDHAB)/MMA/DAEMA = 6/3/1 between (○) absorption and (●) desorption at 5℃, 1 kHz and 1 V.

1 V, 1 kHz를 인가하여 상대습도에 따른 임피던스 변화를 측정하였다. 임피던스는 항온-항습 조절기의 정해진 온도와 습도에 도달하였을 때 측정하였으며 이렇게 얻어진 습도센서의 전기적 특성은 임피던스 대 상대 습도의 관계를 세미로그 그래프로 나타내었다.

교류 1 V, 1 kHz, 그리고 5 ℃, 40, 70 및 90%RH에서 습도센서의 전형적인 임피던스는 각각 298 kΩ, 11 kΩ, 그리고 2.3 kΩ로 약 10^2 정도의 변화를 나타내고 있다. 히스테리시스는 수분의 흡착 및 탈착 속도와 관계가 있으며 가습과정과 제습과정에서 나타나는 히스테리시스를 Figure 2에서 나타내었다. 고분자 감습막의 히스테리시스는 수분의 탈착속도가 흡착속도 보다 작게 나타나며 측정된 습도범위에서 히스테리시스는 ±2%RH 이하의 영역 내에 존재하여 매우 우수한 감습특성을 보여주었다.

Figure 3과 4에서는 감습막의 온도와 주파수 변화에 따른 의존

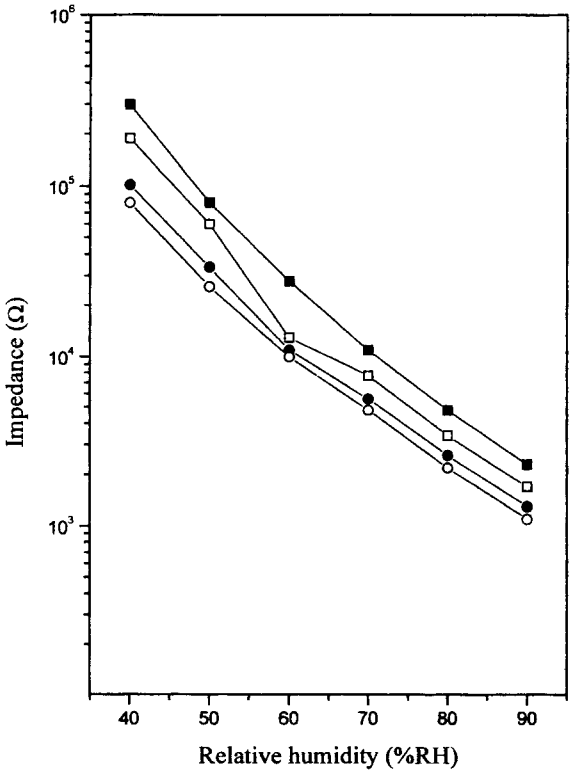

Figure 3. The impedance dependence on the temperature at (■) 5 ℃, (□) 10 ℃, (●) 15 ℃ and (○) 20 ℃ at 1 kHz and 1 V.

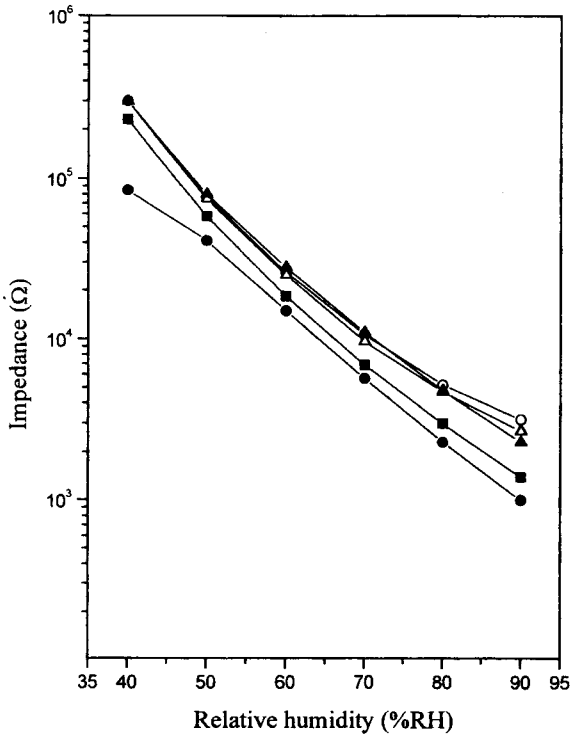

Figure 4. The impedance dependence on the applied frequency of (○) 60 Hz, (△)100 Hz, (▲) 1 kHz, (■) 10 kHz and (●) 50 kHz at 5 ℃ and 1 V.

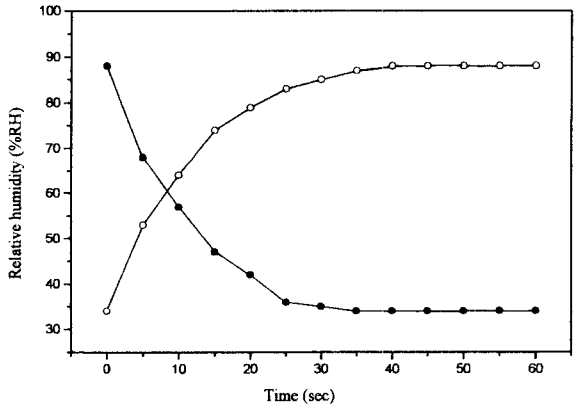

Figure 5. The response characteristics for the humidity sensor; (○) absorption and (●) desorption at 5 ℃.

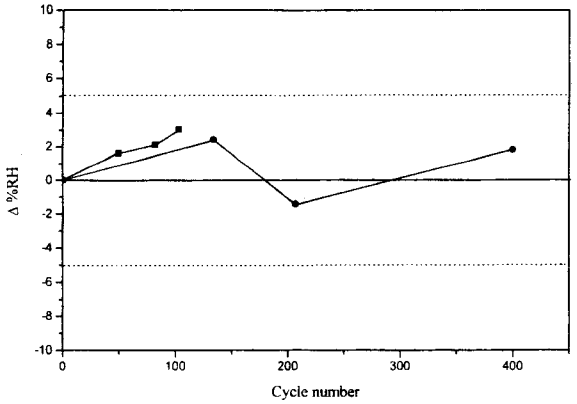

Figure 6. Difference of the relative humidity under (●)humidity cycle between 30%RH and 90%RH and (■) temperature cycle between -30 ℃ and 85 ℃.

성을 나타내주고 있다. 일반적으로 온도가 상승할 경우 전해질 고분자를 이용한 습도센서의 임피던스는 감소하게 된다. 5, 10, 15, 그리고 20 ℃에서 온도의존성을 측정한 결과, 대략 1 ℃ 상승할 때 0.8%RH의 감소를 나타내었는데, 이 결과는 다른 감습막이 약 0.5%RH의 감소하는 것에 비하면 큰 변화로서 실제 습도센서로 사용되기 위해서는 온도 보정이 필요하다[7,11,12]. 주파수 의존성은 60, 100 Hz, 1, 10, 그리고 50 kHz에서 측정하였다. 주파수가 증가하면 그 감소 폭은 일정하지 않으나 임피던스가 감소하는 경향을 보여주고 있다.

Figure 5는 습도 센서의 응답 시간을 나타낸 것으로 흡착 (34%RH → 88%RH)과 탈착 (88%RH → 34%RH)시 약 38초 이내로 보여주어 비교적 양호한 특성을 보여주었다.

3.2. 습도센서의 신뢰성

신뢰성 실험은 습도센서가 여러 조건하에서 요구되는 경시 변화의 평가로서 습도 사이클, 온도 사이클, 내한성, 내열성, 고온 · 고습 특성, 고온 부하 특성, 고습 부하, 장기 부하, 장기 방치, 그리고 내수성 등을 측정하였다. 신뢰성의 평가는 60%RH에서 임피던스를 기준으로 하여 변화율을 측정하여 결정하였다. 고분자막 습도 센서에서 경시 변화 폭은 ±5%RH 이내의 것이 양호한 특성이라 할 수 있다[14,15].

습도 사이클과 온도 사이클은 각각 저습 (30%RH)과 고습 (90%RH), 저온 (-30 ℃)과 고온 (85 ℃)의 사이클을 통하여 감습막에 신장과 수축을 반복함으로서 전극과 감습막 사이의 접착성 약화가 야기되는데 이것이 감습특성에 주는 영향을 주는 것으로 보인다. Figure 6에서 습도 사이클은 134, 207, 그리고 400 사이클에서 측정하였으며 임피던스의 변화 폭은 -1.4~+2.4%RH 사이를 보여주었다. 습도 사이클은 가교화된 암모늄 염 단량체, MMA, 그리고 DAEMA 공중합체 감습막으로 이루어진 습도센서의 성능에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

온도 사이클의 경우 사이클이 증가할수록 그 변화 폭이 임피던스가 증가하는 방향으로 진행하는 것을 볼 수 있는데, 이것 역시 감습막이 저온에서의 수축과 고온에서의 신장으로 인해 균열 전극과 감습막 사이의 접착성 감소됨으로서 발생되는 현상으로 설명할 수 있다. 특히 감습막은 가교화가 되어있기 때문에 저온에서 취약성이 증가하여 감습막의 균열 및 파열을 관찰 할 수 있었다. Figure 6에서 온도 사이클은 50 사이클, 82 사이클, 그리고 100 사이클 까지는 임피던스의 변화가 +1.6~+3.0%RH로 나타내 주었으며 그 이후에는 계속적으로 임피던스가 증가하였다.

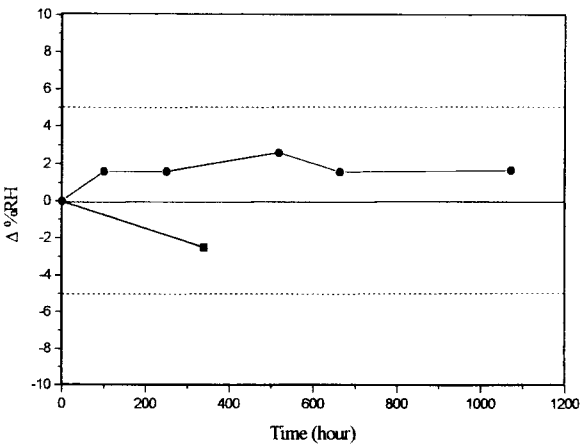

Figure 7. Difference of the relative humidity under storage at (■) -30 ℃ and (●) 85 ℃.

Figure 7은 내한성과 내열성을 나타내주고 있다. 내한성은 결로 센서를 실리카겔 건조제와 함께 넣고 -30 ℃를 유지하고 장시간 보존하였을 때의 특성 변화로 평가하였다. 340 시간 후에 -2.5%RH 정도의 변화율을 보여주고 있으며 장시간의 저온에서 보관은 임피던스가 다소 변화하는 경향을 보여주고 있다. 이것은 저온에서 수축된 감습막의 균열과 전극과의 접촉불량이 커다란 원인이 되는 것으로 보인다.

내열성은 85 ℃에서 장시간 방치 후 측정하였으며 암모늄염이 포함된 감습막이 고온에서의 안정성을 평가하였다. 100 시간까지는 임피던스가 증가하는 경향을 보여주고 있지만 이후 1000 시간까지의 변화율은 거의 없었으며, 변화율의 범위 또한 +3%RH 미만의 값을 유지하고 있어서 매우 양호한 상태를 보여주고 있다. 이러한 결과는 감습막이 가교가 되어 있어 열에 비교적 안정한 것으로 볼 수 있다.

고온 · 고습 특성, 고온 부하 특성, 그리고 고습 부하특성은 Figure 8에 나타내었다. 고온 · 고습 특성은 60 ℃와 90%RH에서 100, 240, 330, 480, 615, 그리고 1000 시간에서 임피던스를 측정하였다. 최초 100 시간 경과 후 임피던스를 측정하였을 때 그 변화량은 +0.7%RH로 임피던스가 증가하는 방향으로 진행하였으며 100 시간 이후의 측정 결과는 변화량이 임피던스가 감소하는 경향을

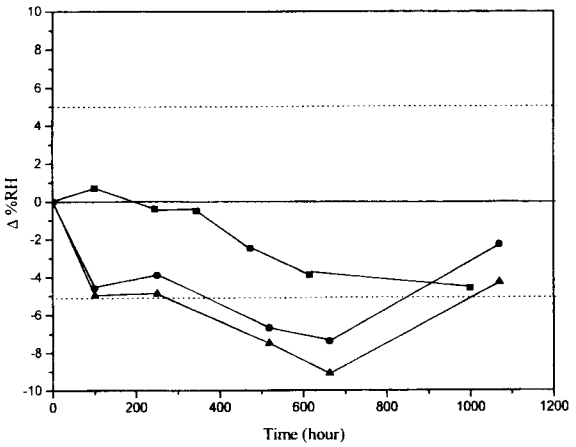

Figure 8. Difference of the relative humidity under storage at (■) 80 ℃ and 90%RH, (●) 60℃ and loading AC 1 V, (▲) 90%RH and loading AC 1 V.

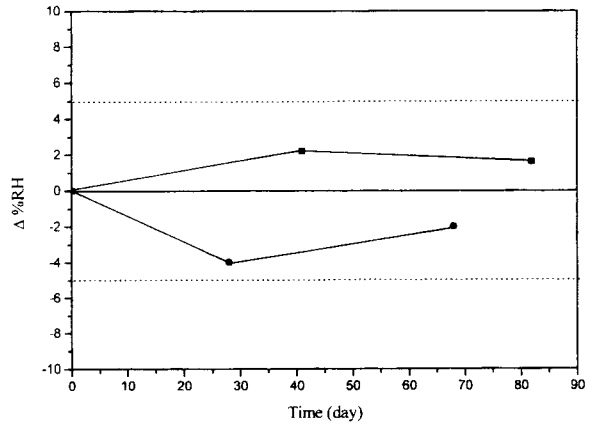

Figure 9. Long-term stability of the sensor under loading (●)AC 1 V, and (■) in an ordinary room.

보여주었다. 이러한 임피던스의 감소는 가교는 되었지만 일부 감습막이 높은 온도와 습도에서 용해되어 전극과 접촉된 것으로 보여진다.

고온 부하 특성은 80 ℃에서 교류 1 V의 방형파를 인가하였을 때, 그리고 고습 부하 특성은 장시간 동안 90%RH에서 교류 1 V, 1 kHz의 전류를 인가하고 장시간이 지난 후 그 변화율을 측정하였다. 그래프에서 보는 바와 같이 고온 부하 특성 및 고습 부하 특성은 모두 임피던스가 감소하는 경시 변화를 보여 주었으며, 경시 변화가 200시간 이후에는 -5%RH 이내로 나타내 주고 있다. 고습 부하 특성은 습도센서로서 매우 중요한 특성이 되지만 일반 습도센서에서 200시간까지는 응용이 가능한 것이다. 또한 고온부하 특성도 200시간이 한계로 되어 있으며, 이러한 특성의 경시 변화 특성의 개선이 요구된다.

장기 부하 특성은 보통 센서가 작동되는 방향파 교류 1 V를 인가하여 상온, 상습에서 변화량을 측정하였다. 이 조건은 일반 습도센서가 작동되는 조건으로서 Figure 9에서 변화율은 그 변화량이 +3.0%RH 이내의 변화율을 보여 주어 양호한 특성을 보여주었다. 장기 방치는 실내에 장기간 방치하였을 때 센서의 경시 변화를 측정한 결과이다. 방치 온도는 20 ℃, 그리고 상습 조건인 60%RH에서 장시간 방치하였을 때 임피던스 변화율은 +1.6~+2.2%RH 사이의 변화를 보여 주었으며 장기 보관시 특성 유지가 가능하였다.

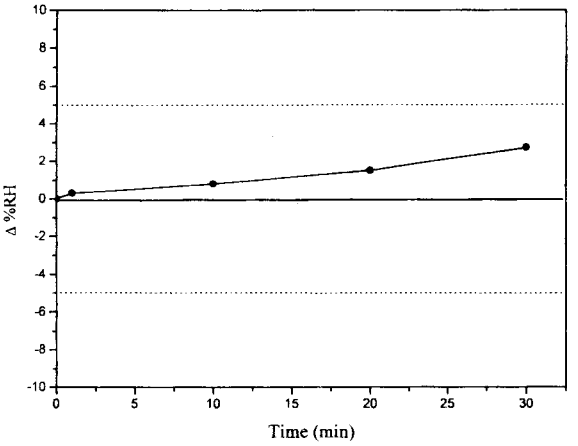

Figure 10. Water resistance of the humidity sensor in water.

결로 센서의 내수성은 응용에 매우 중요한데 10 mol %로 가교된 감습막은 이슬점이나 높은 습도에서 안정성을 평가하였다. 제조한 시료를 수중에서 1, 2, 3, 4, 5, 그리고 30분 침적한 후 임피던스의 변화를 측정하여 그 결과를 Figure 10에 나타내었다. 수중 침적시 30분까지 임피던스 변화가 ±3%RH에 존재하여 내수성이 우수한 것으로 평가된다. 전기적 성질 변화를 고려하여 가교도를 변화시켜 내수성 증진을 꾀할 수 있을 것이다.

4. 결 론

암모늄염을 포함하는 감습 단량체인 MDHAB, MMA, 그리고 DAEMA의 3원 공중합체를 제조하고 여기에 1,5-dibromopentane을 혼합하여 가교화된 고분자 전해질을 결로 센서의 감습막으로 사용하였다. 감습특성은 40%RH~90%RH에서 298 kΩ~2.3 kΩ으로 100 배 이상의 임피던스 변화를 보여주었으며 히스테리시스는 ±2%RH 이내, 온도 의존성은 -0.80%RH/℃, 응답속도는 38초로서 저온에서 사용할 수 있는 센서 특성을 나타내었다. 습도센서의 응용성을 시험하기 위한 신뢰성 실험에서 온도, 습도 사이클 특성 및 내열성, 내수성 실험에서 변화량이 대부분 ±3%RH미만의 변화 특성을 보여주어 센서로서 응용 가능성을 보여 주었으며, 일반적인 습도센서의 작동 조건인 장기 부하, 장기 방치 특성도 우수한 것으로 나타났다. 그러나 고온, 고습 특성, 고온 부하, 고습 부하, 그리고 내수성에서는 경시 변화율이 비교적 크게 나타나 보완 개선이 필요한 것으로 나타났다.

감 사

본 연구는 한국과학재단의 '98 핵심전문연구과제(과제번호 : 981-1109-048-2) 지원에 의한 연구임.

참 고 문 헌

1. J. P. Randin and F. Zulling, *Sensor and Actuators*, **11**, 319 (1987).
2. S. Otsuki and Y. Dozen, *Kobunshi Ronbunshu*, **45**, 549(1988).
3. Y. Sadaoka and Y. Sakai, *J. Mater. Sci.*, **21**, 235(1986).
4. Y. Sakai, Y. Sadaoka, S. Okumura, and K. Ikeuchi, *Kobunshi Ronbunshu*, **41**, 209(1984).

5. J. S. Paek, S. T. Kim, and M. S. Gong, *Polymer(Korea)*, **19**, 561(1995).
6. Y. Sakai, Y. Sadaoka, and K. Ikeuchi, *Sensors and Actuators*, **9**, 125(1986).
7. J. S. Paek and M. S. Gong, *Korean J. Mater Res.*, **5**, 715 (1995).
8. Y. Sakai, Y. Sadaoka, and M. Matsuguchi, *J. Electrochem. Soc.*, **136**, 171(1989).
9. Y. Sakai, Y. Sadaoka, M. Matsuguchi, N. Moriga, and M. Shimada, *Sensors and Actuators*, **16**, 359(1989).
10. Y. Sakai, Y. Sadaoka, and H. Fukumoto, *Sensor and Actuators*, **13**, 243(1988)
11. J. S. Paek, I. Y. Lee, J. K. Park, and M. S. Gong, *Polymer (Korea)*, **18**, 842 (1994).
12. J. S. Baek and M. S. Gong, *Polymer(Korea)*, **20**, 996(1996).
13. *"Humidity Sensors Manual"*, Association of Humidity Measuring Sensors, Japan(1990).
14. *"Handbook of Materials and Moisture"*, Kyoritsu Publish, p 151-167(1990).
15. O. Kim and M. S. Gong, *J. Korean Ind. & Eng. Chemistry*, **9**, 554(1998).