

습도 변화에 따른 DNA의 전도 특성

이중환, 김경섭, 김남훈, 노용한*
성균관대학교

Electical Conductivity Characteristics of DNA by Relative Humidity

Jong-Hwan Lee, Kyoung-Soeb Kim, Nam-Hoon Kim and Yonghan Roh*
Sungkyunkwan Univ.

Abstract : In order to characterize an electrical conductivity of λ -DNA by relative humidity, I - V characteristics through DNA on Au electrode with $1\mu\text{m}$ gap were measured as a function of the relative humidity. The electrical conductivity increased and the resistance decreased with an increase of humidity. The maximum effect of the humidity on the electrical property of DNA was obtained with the range from 43 to 82%. The hysteresis loop in I - V characteristics of DNA was disappeared above 92% of the humidity while the applying voltage was changed.

Key word : DNA, Conductance, Resistance, Humidity

1. 서 론

DNA는 생명 유지에 필요한 단백질 합성에 관한 정보를 저장하는 물질로서 분자인식, 자기조합능력이 우수하여 DNA 컴퓨터, 기억소자, 나노소자, DNA칩 등 응용분야가 넓다. [1-2] DNA는 당, 인산, 염기로 이루어졌고, A&T, G&C의 수소결합으로서 두 개의 가닥이 꼬여져있는 2중 나선 구조를 가지고 있다. 최근 들어 DNA 전도 특성에 대해 연구한 논문들이 많다.[1-10] 특히 DNA 전도 특성은 습도에 민감한 반응을 보인다고 알려져 있다. 물(H_2O)분자는 DNA 분자를 여러 겹으로 둘러싸서 DNA 구조를 안정시켜 DNA의 진동 모드 및 DNA 분자와 분자사이의 접촉에 영향을 미치고, DNA의 base쌍 주변의 인산이 물을 쉽게 흡수하여 수소 결합형태가 됨으로써 전기전도 특성에 큰 영향을 미치게 된다.[4-5] 다시 말하면, DNA 분자 주변의 상대습도가 증가함에 따라 DNA에 흡수된 물 분자가 Z-type에서 B-type으로 DNA의 구조를 변화시킴으로써 저항을 감소시켜 전기전도 특성에 영향을 미치게 된다. 이 논문에서는 DNA에 큰 영향을 보이는 습도 변화와 더불어, 전압 인가 방식에 따른 DNA의 전기전도 특성을 파악하고자 한다. 우리는 습도 변화의 영향을 파악하고자 마이크로 간격의(micro gap) 전극 위에 DNA 필름을 형성한 후, 습도를 다양하게 변화시켜 DNA의 전기전도 특성을 파악하였다.

2. 실험

λ -DNA Takara Co.(3Kbps, s3001, 농도 $37.5\text{ng}/\mu\text{l}$)를 실험에 사용하였다. 나노 간격의 금(Au) 전극은 실리콘 기판위에 포토리소 방식을 사용하여 $\text{Ti}(20\text{nm})/\text{Au}(50\text{nm})$ 을 쌓았다. 전극간의 간격은 $1\mu\text{m}$ 이다. 이 전극 사이에 DNA 샘플($0.4\mu\text{l}$)을 떨어뜨린 후, 진공상태에서 건조시켰다. 전압은 +3V에서부터 -3V까지 0.03V 간격으로 두 전극 사이에 흐르는 전류를 측정하였다. 대기상태의 온도는 22.9°C , 습

도는 75%, 진공은 10mTorr 였다. 습도에 따른 I - V 그래프를 얻기 위해 진공 측정기 안의 습도를 20%~92%까지 변화시켰다. 진공 측정기 안의 습도를 제어한 뒤, 4145A Semi conductor parameter analyzer를 이용하여 전극 사이를 흐르는 I - V Curve와 Resistance를 측정하였다. 그리고 -3V에서부터 +3V 및 +3V에서부터 -3V로 두가지 방법의 전압 인가 방식을 통해 나타나는 DNA의 I - V 곡선을 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

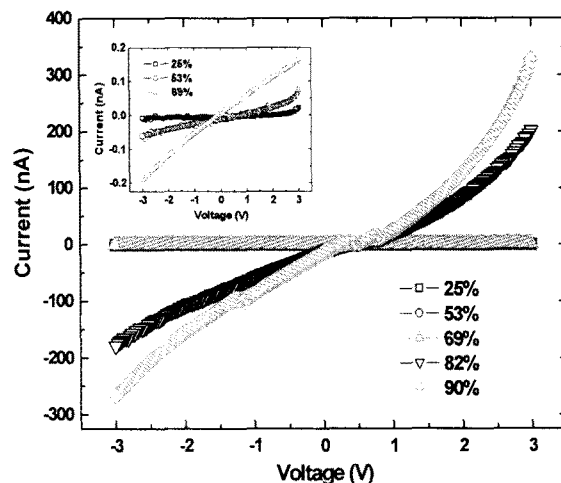


그림1. 습도변화에 따른 DNA의 I - V 곡선.

그림 1은 습도가 증가할수록 두 전극을 통해 흐르는 전류의 세기가 급격하게 커지는 모습을 보여준다. 그래프에서 볼 수 있듯이 25%의 낮은 습도에서는 전류가 거의 흐르지 않는 부도체 특성을 보였다. 습도 25%, 3V 전압 인가시, 0.021nA, 69%에서 3V 전압인가시, 0.165nA였고, 습도 90%에서 3V 전압인가시, 327nA까지 증가하였다. 이러한

현상은 DNA 분자가 인산, 당, 염기로 2개의 가닥이 꼬인 2중 나선 구조를 가지고 있고, 이 DNA 분자에 물(H₂O)과 접촉하게 되면 인산이 물과 반응하여 수소결합을 하게 되며, 이때 DNA의 구조가 안정되고 약간의 환경변화에도 영향을 받게 되는 것에 기인한다.[4]

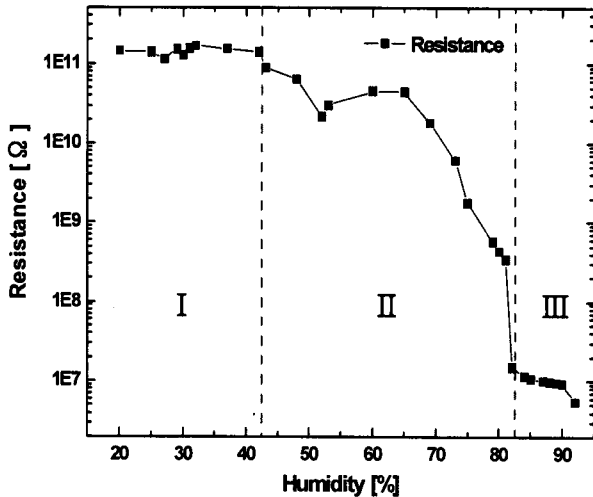


그림 2. 습도에 따른 DNA의 저항 변화 곡선

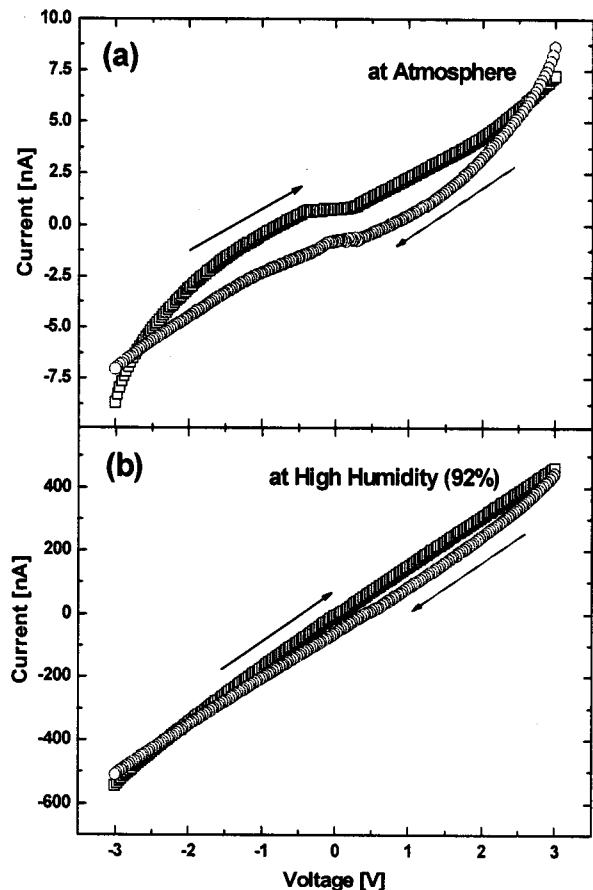


그림 3. 전압 인가 방식에 따른 DNA의 I-V 곡선

그림 2에서 3V 전압을 인가했을 때, 20%의 습도에서 저항은 $1.42 \times 10^{11} \Omega$ 이었다. 대기상태에서 3V 전압인가시, 저항

은 $1.77 \times 10^9 \Omega$ 으로 감소하였고, 90%(고습도), 3V 전압인가시, 저항은 $9.1 \times 10^9 \Omega$ 으로 대기 상태에서의 저항보다 약 1/20로 감소하는 모습을 볼 수 있었다. 그리고 약 20%~43%, 82%~90%의 습도에서는 저항이 크게 변화가 없었지만, 43%~82%에서 저항이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 즉, DNA의 전기 전도 특성에 가장 큰 영향을 미치는 습도 구간임을 알 수 있다. 그림 3에서 전압을 -3V ~ +3V로 할 때와 +3V ~ -3V로 인가할 때 I-V 곡선이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 3의 (a)는 대기상태에서의 I-V 곡선이다. 그래프가 전압 인가 방식에 따라 hysteresis 곡선을 보이는 것을 볼 수 있다. 그러나 그림 3의 (b)의 고습도(92%)일 때에는 hysteresis 분포를 거의 보이지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 높은 습도에서 물(H₂O) 분자에 의해 DNA의 구조가 바뀌어 강화된 전류에 의해서다.[9] 이 것으로 보아 전압 인가 방식 또한 습도와 마찬가지로 DNA의 전기 전도 특성에도 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다.

4. 결론

DNA의 습도와 전압 인가 방식에 따른 전기전도 특성 변화를 금(Au) 전극과 진공측정기를 사용하여 실험하였다. 그 결과 습도 변화는 λ-DNA에 영향을 끼쳐 습도가 증가하면 할수록 전도도가 증가하고, 저항은 감소하는 것을 볼 수 있었다. 하지만, 습도에 따라 선형적으로 변하지는 않는다는 것을 알 수 있다. 습도는 DNA의 전기 전도 특성에 약 43%~82%에서 가장 큰 영향을 미친다. 그리고 전압 인가시, -3V ~ +3V, +3V ~ -3V로 하느냐에 따라서 hysteresis 분포를 보인다는 사실을 알 수 있었다. 하지만, 습도가 충분히 높아진 상태인 92%일 때에는 hysteresis 분포가 거의 사라진다는 것 또한 알 수 있었다. 이러한 λ-DNA의 전도 특성 변화는 습도에 의해 DNA의 구조가 변해가는 과정에서 DNA의 성질변화를 초래했기 때문이다.

참고문헌

- [1] Masateru Taniguchi, Tomoji Kawai Physica E 33 (2006) 1-12
- [2] A. Rakitin, P. Aich, C. Papadopoulos Physica Letters Volume 86, Number 16
- [3] 측정표준 24권 4호, 생명과학과 측정기술, 하동한
- [4] Yoichi OTSUKA, Hea-yeon Lee, Jpn. j. Appl. Phys. Vol.41 (2002) pp. 891-894
- [5] Phys. Rev. Left 87. 198102 (2001)
- [6] Hans-werner Fink & Christian Schonenberger letters to nature
- [7] P. T. Henderson et al. Proc. Natl. Aca. Sci. USA, 96, 8353 (1999)
- [8] M. Feig et al, J. Mol. Biol. 286, 1075 (1999)
- [9] S. Tuukkanen, A. Kuzyk, and J. J. Toppari, Applied Physics Letters 87, 183102 (2005)
- [10] P.tran, B. Alavi, and G. Gruner Physica Letters volume 85, number 7