

# X 선 영상기법을 이용한 고분자 전해질형 연료전지의 수분분포 가시화

임남윤\* · 박구곤\*\* · 이상준†

## Visualization of Water Distribution in a Polymer Electrolyte Fuel Cell Using an X-ray Imaging Technique

Nam-Yun Lim, Gu-Gon Park and Sang Joon Lee

### Abstract

Water management for Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) has been receiving large attention as an important issue in practical applications. Proper water management is vital to achieve high performance and durability of PEFC. In this study, an X-ray imaging technique was employed to visualize the water distribution in a PEFC quantitatively. X-ray images of the PEFC components with and without water are distinguished clearly. From the visualized X-ray images, we could confirm the water distribution in the region between separator and gas diffusion layer (GDL). In addition, the contact angle of water in the micro-channels was also clearly visualized..

**Key Words :** PEFC (고분자 전해질형 연료전지), water management (물관리), X-ray imaging technique (X 선 영상기법)

### 1. 서 론

청정 고효율의 장점을 가지는 고분자 전해질 연료전지(polymer electrolyte fuel cell, PEFC) 기술은 전기자동차의 동력원으로 개발이 활발히 진행되고 있다.

이러한 고분자전해질 연료전지는 수소와 산소가 반응하여 물과 전기를 생산하는 발전기술로서 전해질 막, 전극촉매, 기체확산층, 분리판 등으로 구성된다. 전해질 막으로 주로 사용되는 나피온(Nafion)은 수분이 존재하는 조건하에서만 수소이온의 전도성을 가지므로 수소이온의 원활한 이동을 위해서는 연료극과 공기극에 공급되는 기체에 대한 가습이 요구된다. 전해질 막

측면에서는 수분이 많을수록 유리하지만 전극촉매, 기체확산층 및 분리판 측면에서는 과도한 수분이 존재할 경우, 연료전지의 성능저하의 원인이 되기 때문에 원활한 수분 공급 및 배출, 즉 물 관리가 필요하다. 따라서 PEFC 운전에 있어서 적절한 물관리 (water management)는 매우 중요하며, 상용화 단계에 있어서 해결하여야 하는 난제 중 하나이다<sup>(1)</sup>.

최근에는 이러한 PEFC 물관리에 대한 연구의 중요성과 필요성이 증대되면서 이에 대한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 예를 들어, 운전 중인 PEFC 내부의 수분 분포와 그 양을 파악한 PEFC 내부 가시화 연구로, 중성자 영상 기법(neutron image technique)을 이용한 연구가 수행되었다<sup>(2)</sup>. 이밖에 MRI<sup>(3)</sup> 와 X 선 영상기법<sup>(4)</sup>을 이용한 연구도 발표되었으며, 투명한 cell 을 제작하여 물의 이동 및 분포를 관찰하는 연구도 수행되었다<sup>(5)</sup>.

본 연구에서는 X-ray 영상기법을 이용하여 PEFC 내부 가시화 연구가 가능한 지를 확인해 보았다.

† 회원, 포항공과대학교 기계공학과  
E-mail : sjlee@postech.ac.kr  
TEL : (054)279-2169 FAX : (054)279-3199

\* 포항공과대학교 기계공학과

\*\* 한국에너지기술연구원

먼저 기초실험 과정으로 PEFC 를 구성하는 구성품들을 대상으로 X 선 영상을 취득하고, 수분의 가시화가 가능한지를 주로 살펴 보았다. 또한 X 선 영상기법을 사용한 PEFC 가시화 연구에서 측정 가능한 범위를 확인하였다.

## 2. X 선관 방사선

임상용 X 선관에서는 target 에 충돌한 전자의 운동에너지 중 일부가 X 선으로 변환되어 생성되며, 생성된 X 선은 원뿔(cone)형태로 퍼져 나가게 된다. 임상용 X 선관의 경우, 취득한 X 선 영상의 그 결맞음성이 가속기 X 선에 비해 떨어지기 때문에 위상대비 영상은 생성되지 않으며, 샘플 구성물질의 X 선 흡수율 차이에 기인한 흡수대비 영상을 얻게 된다. 물질을 통과한 X 선의 강도는 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

여기서  $I$  는 두께가  $x$  인 물질을 통과하여 약해진 X 선의 강도를 의미하며,  $\mu$  는 해당 물질의 X 선 흡수율(attenuation coefficient)을 나타낸다. 흡수율  $\mu$  는 일반적으로 밀도( $\rho$ )나 원자번호( $Z$ )가 클수록 커지며, 밀도로 나눈 값( $\mu/\rho$ )을 mass attenuation coefficient 라고 부른다. 특정 에너지의 방사선마다 물질 고유의 특정  $\mu/\rho$  값을 가지며, 이 값이 다른 물질들로 구성된 샘플의 경우, 흡수대비 영상을 얻을 수 있게 된다. 선명한 X 선 영상을 얻기 위해서는 얻고자 하는 샘플의 X 선 흡수율 특성을 고려하여 X 선관의 전압을 적절하게 조절하는 것이 중요하다.

## 3. 실험 장치와 측정기법

본 연구에서는 X 선관의 원리와 특성을 고려하여 Varian 사의 A272 모델을 Medical X 선 영상 시스템의 구성요소로 사용하였다. 이 X 선관은 의료 진단용으로 사용되는 X 선관 중에서 가장 작은 0.3/0.6mm 의 초점크기를 가지며, 40~150KVp 범위의 관전압과 함께 100/300mA 의 비교적 큰 관전류 성능을 가지고 있다. 그리고, X 선관의 제어장치로는 최근에 개발된 고주파 인버터 방식의 SMS-525 기종을 선택하였는데, 60Hz 주파수를 갖는 일반 AC 전원을 수 KHz 의 고주파 전원으로 변환하여 X 선관의 전원으로 사용하기 때문에 고르고 안정적으로 출력되는 X 선을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그리고 X 선관에서 방출되는 방사선으로부터 연구자를 보호하기 위해 실험실 공간을 2~3 mm 두께의 납판으로 밀폐하였으며, 순간적으로 큰 전력을 필요로 하는 X 선관을 원활하게 작동시

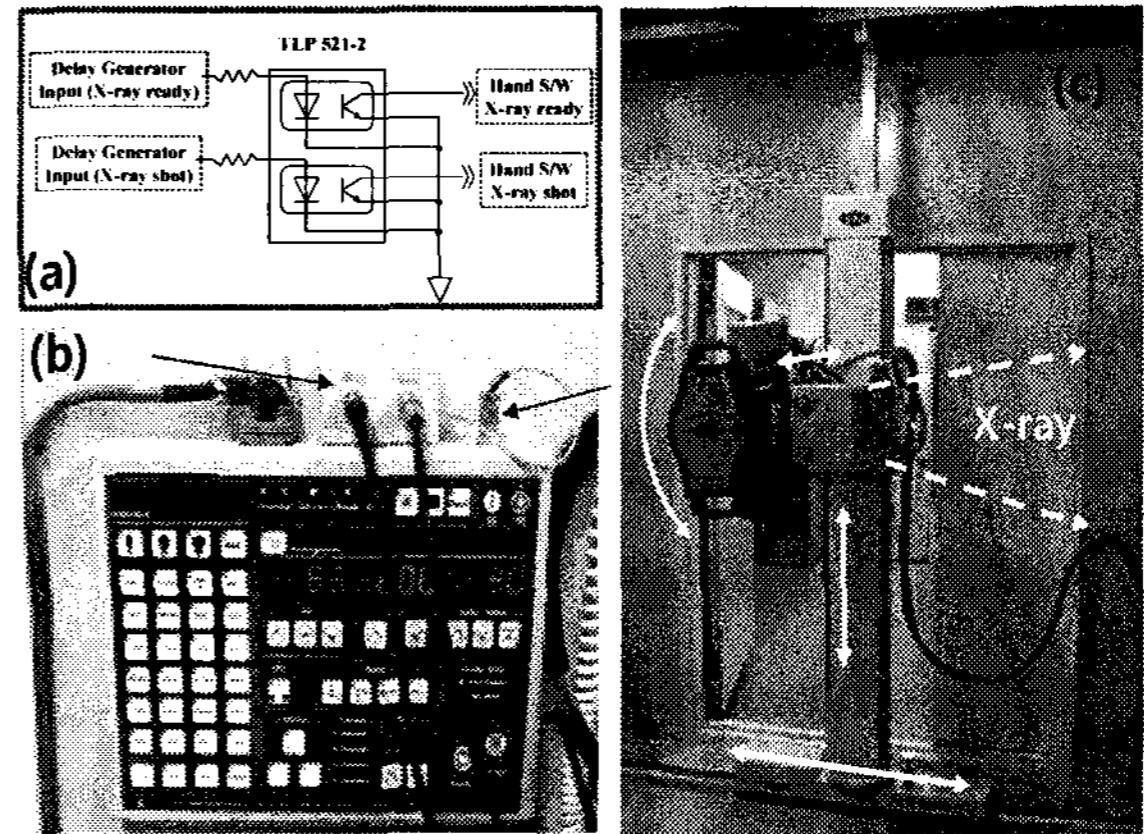


Fig. 1 (a) Synchronization circuit for medical X-ray tube, (b) X-ray tube control console, and (c) photograph of X-ray tube attached on a traverse system

키기 위해 30KVA 에 해당하는 전기시설을 구축하였다. 디지털 신호에 의해 X 선관이 특정시점에 작동하도록 하기 위해 Fig. 1 에 나타난 photo coupler 소자를 이용하여 간단한 회로를 구성하고 핸드스위치 단자를 이용한 동기장치로부터 나온 디지털 신호에 의해 X 선관이 작동하도록 하였다. 이때, X 선관은 1~2 초 정도의 준비시간을 주어야 작동 가능상태로 되기 때문에 동기장치로부터의 2 개의 채널을 이용하여 X 선관의 작동에 필요한 준비신호 및 발사신호를 제어하도록 하였다. Fig. 1(c) 은 본 실험에서 사용한 구축된 X 선관을 이송장치에 부착한 모습을 찍은 사진이다. 본 연구에서는 흑연재질의 기체 유로가 있는 분리판(separator)과 기체확산층(gas diffusion layer, GDL, 10BC, SGL 社)의 PEFC 구성품을 사용하여 X 선 영상을 취득하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 PEFC 구성요소의 X 선 영상

Fig. 2(a)는 PEFC 의 주요 구성요소인 유로가 있는 분리판을 X 선 영상 기법으로 찍은 영상을 나타낸다. 여기서 보면 기체가 통과하는 기체 채널 부분은 회색으로, 그리고 립(rib) 부분은 흑색으로 나타내고 있다. X 선관으로 취득한 영상은 샘플을 구성하는 물질들의 X 선 흡수율 차이에 기인한 흡수대비에 의해 형성되는데, 흡수율은 재료의 원자번호가 높고 밀도가 높을수록 크게 나타난다. 또한 재료의 두께가 두꺼울수록 흡수대비에 의한 명암차가 뚜렷하게 나타나기 때문에 주된 구성 물질인 흑연 분리판의 립부분은 채널부분에 비해 두꺼우므로 흡수율이 상대적으로 크게 나타나고 있다. Fig. 2(b)는 분리판에 수분이 포함되었을 경우

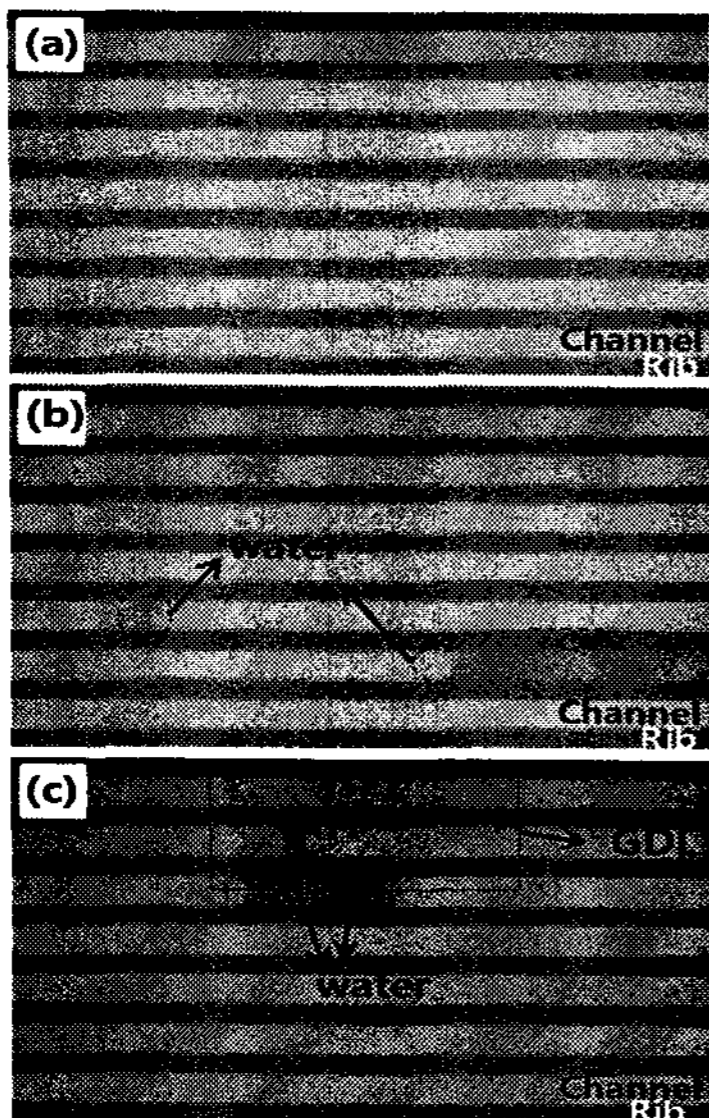


Fig. 2 X-ray images of (a) separator only, (b) separator and water, and (c) acryl plate, separator, water, and GDL

수분의 존재 유무를 확인하기 위해 분리판의 유로가 있는 부분에 물을 떨어뜨린 후 취득한 X 선 영상을 보여주고 있다. 이 결과로부터 분리판에 수분이 포함되어 있을 때 그것을 구분하는 것이 가능하고, PEFC 구성품 내부에 형성된 수분의 meniscus 의 특성 파악도 가능하다는 것을 알 수 있다. Fig. 2(c)는 아크릴판, 분리판, GDL 의 3 개의 구성품을 겹친 상태에서 수분 분포를 찍은 X 선 영상을 나타낸 결과이다. 수분은 분리판의 유로 있는 부분에 떨어뜨리고 GDL 조각을 그 위에 덮었으며, 약 2.5cm 의 두께의 아크릴을 사용하였다. X 선 관의 위치로부터 아크릴판, 분리판, 수분, GDL 의 순으로 구성품을 배치하였다. Fig. 2(c)를 보면 아크릴로 인해 Fig. 2(a) (b) 보다는 전체적으로 약간 어두워졌으나 분리판이나 수분, 그리고 GDL 에 대한 각각 구성품의 구분에는 어려움이 없을 만큼 아크릴의 흡수율이 낮은 것으로 나타났다.

Fig. 3 은 수분이 포함된 분리판과 금(gold)으로 제작한 ring 모양의 고리를 겹쳐서 얻은 X 선 영상을 보여주고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 금 고리가 덮고 있는 부분에서는 채널과 수분의 차이를 구분할 수 없었다. 이것은 금의 흡수율이 탄소로 구성된 분리판에 비해 매우 크기 때문이다. 따라서, X 선을 이용한 PEFC 의 수분분포 가시화 연구에 있어서는 위해서는 PEFC 의 end plate 는 아크릴처럼 X 선이 잘 통과하는 재질로 구성되어야 함을 알 수 있었다.

Fig. 4 는 GDL 이 포함된 부분과 포함되지 않은 부분에 대하여 수분의 hydrophobicity 정도를 X 선



Fig. 3 X-ray image of separator, and liquid water covered with a gold ring

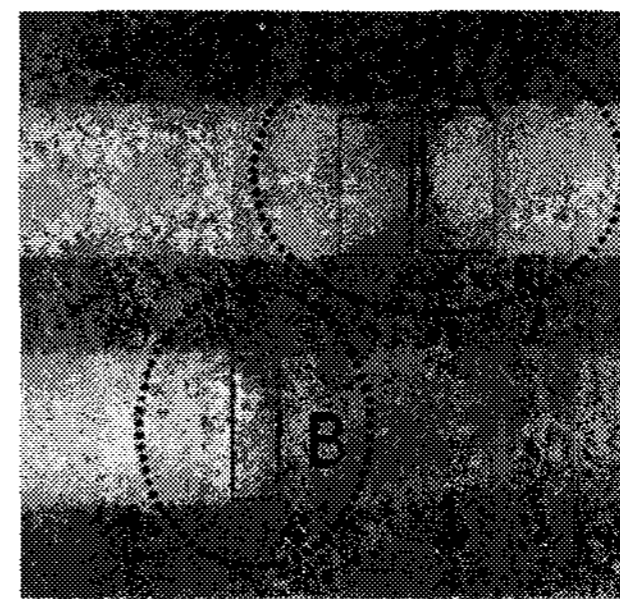


Fig. 4 Comparison of hydrophobicity between (A) with and (B) without GDL

영상으로 나타낸 결과이다. 그림과 같이 A 영역의 수분에 대한 meniscus 가 B 영역의 meniscus 비해서 더 크게 나타남을 알 수 있다. 이것은 GDL 에 포함된 PTFE 의 hydrophobicity 특성으로 기인한 것임을 알 수 있다.

#### 4.2 수분분포의 정량화

Fig. 5 는 채널과 림(rib) 부분을 찍은 X 선 영상과 임의의 수평선을 따라 추출한 gray level 분포를 나타낸 것이다. 유로가 있는 분리판의 채널 부분에서는 gray level 이 큰 값을 가지며, rib 부분은 낮은 gray level 값을 보여주고 있다. 여기서 gray level 은 X 선 흡수율 차이에 의한 흡수대비를 나타내며, gray level 이 작을수록 X 선 흡수율이 크다는 것을 의미한다. 그림에 나타난 바와 같이 rib 의 gray level 은 약 70 으로, 그리고 채널의 gray level 은 약 170 으로, rib 과 채널의 gray level 차이는 약 100 정도로 나타났다.

Fig. 6 은 수분이 포함된 채널 부분을 지나는 수평선을 따라 추출한 gray level 을 보여주는 결과이다. 그림에서 (a) 부분은 채널 영역이며 (b)는 rib 에 해당하는 gray level 을, 그리고 (c)는 채널에 수분이 포함된 부분의 gray level 을 나타낸다. 여기서 (a)와 (c) 부분의 gray level 차이는 약 70 정도로,

## 참고문헌

- (1) M.M. Mench, Q.L. Dong, C.Y. Wang, 2003, "In situ Water Distribution Measurements in a Polymer Electrolyte Fuel Cell", J. of Power Sources, 124, p.90
- (2) K. W. Feindel, S. H. Bergens and R. E. Wasylshen, 2006, "The Use of  $^1\text{H}$  NMR Microscopy to Study Proton-exchange Membrane Fuel Cells", Chem. Phys. Chem., 7, p.67-75
- (3) A. B. Geiger, A. Tsukada, E. Lehmann, P. Vontobel, A. Wokaun and G. G. Sherer, 2003, "In Situ Investigation of Two-Phase Flow Patterns in Flow Fields of PEFC's Using Neutron Radiography", Fuel Cells, 2, p. 92
- (4) P. K. Sinha, P. Halleck and C.Y. Wang, 2006, "Quantification of Liquid Water Saturation in a PEM Fuel Cell Diffusion Medium Using X-ray Microtomography", Electrochem. & Solid-state Letters, 9 (7), p. A344-A348
- (5) F. Y. Xhang, X.G. Yang and C. Y. Wang, 2006, "Liquid Water Removal from a Polymer Electrolyte Fuel Cell", J. of Electrochem. Soc., 153 (2), p. A225

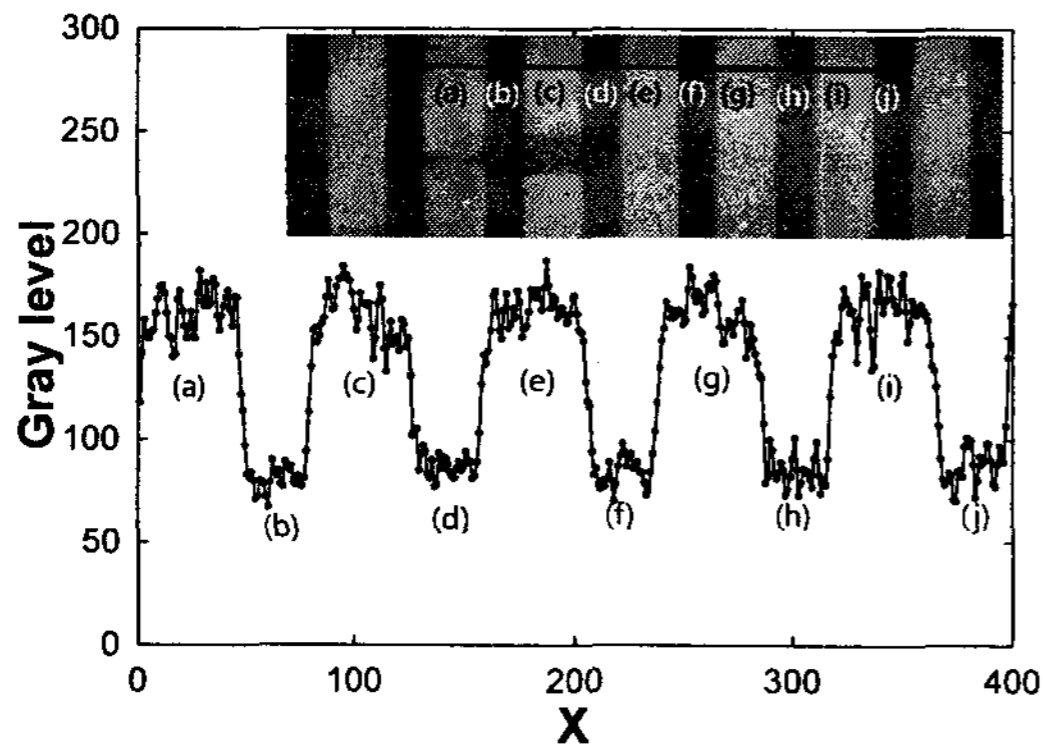


Fig. 5 Gray level profile across channels and ribs of the separator

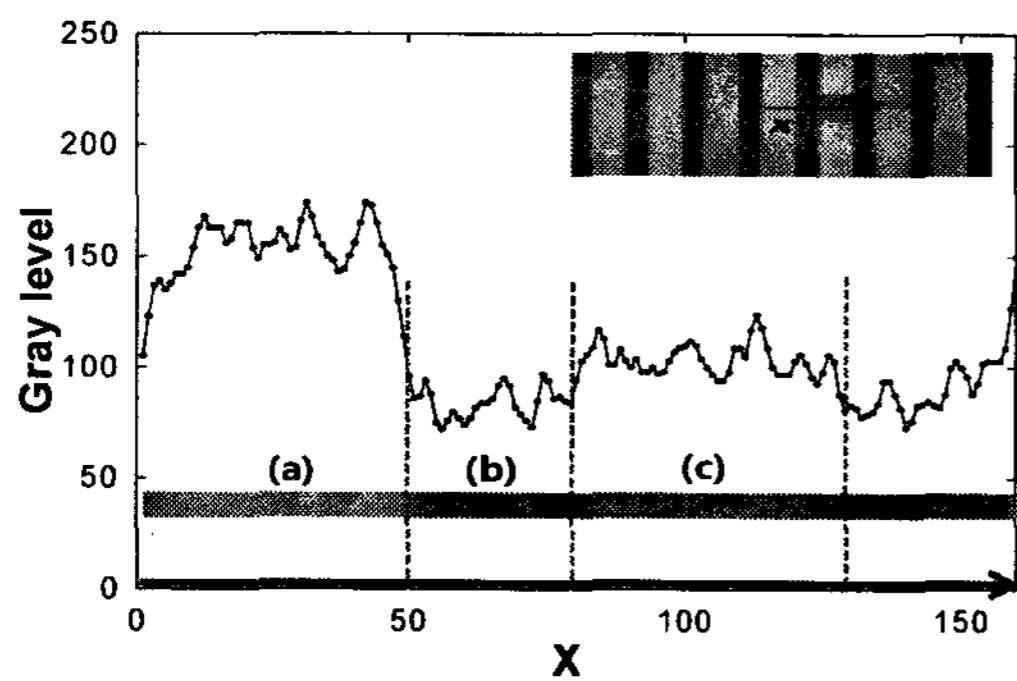


Fig. 6 Variation of gray level along a line passing liquid layer

이 정도의 gray level 차이면 수분의 존재 유무를 채널이나 rib 으로부터 뚜렷하게 구분해 낼 수 있다

## 5. 결론

X 선 영상기법을 이용하여 PEFC 의 최적 물관리 연구를 위한 가시화 연구의 가능성을 확인하였다. 본 연구에서는 PEFC 내부의 수분 존재 유무를 확인하였고, meniscus 특성 변화를 가시화하였다. X 선 영상 기법에서는 PEFC 의 end plate로 금과 같은 높은 원자번호의 금속재질을 사용할 경우 가시화가 불가능하게 되므로 아크릴과 같은 X 선 흡수율이 낮은 재질을 사용해야 됨을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 분리판과 GDL 사이의 수분 분포를 가시화하는 것이 가능하였으며, 그것의 정량화도 가능할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 국가지정연구실(NRL) 사업의 지원을 통해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.