

# 임피던스 법에 의한 풍력 블레이드 접합부 손상 탐지 Detection of Damage in Adhesive Joints of Wind Turbine Blade using Impedance Method

\*김종일<sup>1</sup>, #허용학<sup>1</sup>, 이재현<sup>2</sup>, 김동진<sup>2</sup>

\*J. I. Kim<sup>1</sup>, #Y. H. Huh(yhhuh@kriss.re.kr)<sup>1</sup>, J.H.Lee<sup>2</sup>, D.J. Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국표준과학연구원 산업측정표준본부, <sup>2</sup>충남대학교 기계설계공학과

Key words : Impedance, PVDF Film Sensor, Failure, Wind Turbine Blade

## 1. 서론

풍력 발전은 신재생 에너지 가운데 현재 가장 활발하게 사용되는 에너지 분야 중의 하나로서 풍력 발전 시스템에서 신뢰성을 기반으로 한 제작 및 운영은 매우 중요하게 여기어지고 있다. 그 중에서도 풍력 발전기의 블레이드는 제작 혹은 사용 중 결함이 발생하면 사용 수명 및 안전성에 큰 영향을 미친다. 블레이드의 사용 중 작용 하중에 의한 손상은 손상의 발달에 따라 블레이드의 강성이 저하되고 이러한 거동의 정량화는 손상의 감지와 연결될 수 있다. 그러나 일반적으로 국부적인 손상에 따른 블레이드 전체 구조에 대한 강성의 저하를 감지하는 것은 그리 쉬운 일이 아니다. 이에 따라 국부적인 강성의 변화를 감지할 수 있다면 이는 손상과의 관계를 나타낼 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구에서는 블레이드 선단(leading edge)과 후연(trailing edge)부 부분품을 대상으로 PVDF 센서를 이용하여 손상의 발생에 대한 임피던스 특성을 측정하였다.<sup>1-2</sup> 건전한 블레이드 부분품에 정적 하중을 부하하여 블레이드 접합부에서의 탈착(debonding) 손상을 야기시켰으며, 손상의 발달에 따른 임피던스의 변화를 확인하였다.

## 2. 실험 방법

블레이드 접합부의 탈착 손상에 대한 탐지 가능성을 확인하기 위하여 Fig. 1 과 같이 블레이드의 부분품을 블레이드 선단과 후연의 두 부분품으로 나누어 제작하였다. 블레이드의

주 소재는 GFRP(Glass-Fiber Reinforced Plastic)를 사용하였다.

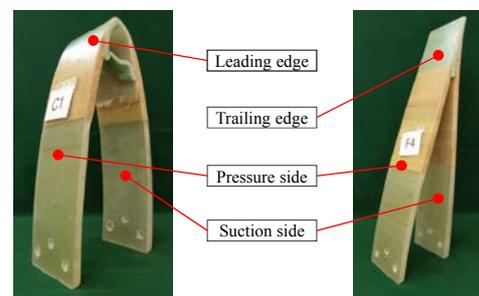


Fig. 1 Configuration of blade components used in this study

실험에 사용된 센서는 PVDF 필름 센서 양면에 은(silver)으로 덮인 52  $\mu\text{m}$  두께의 PVDF 필름(Measurement Specialities)으로 100  $\text{mm}^2$  로 제작하였다. PVDF 센서는 압력면(pressure side)에 부착하여 임피던스를 측정하였다. 임피던스 측정 시점은 손상 발생 전과 발생 후 각각의 손상 발달 단계마다 측정하였으며, 손상의 발달에 따른 임피던스를 분석하기 위해 1 ~ 300 MHz의 주파수 범위를 사용하였다.

정적 하중의 증가에 따른 손상을 확인하기 위하여 열립 하중을 부하하였다. 선단부 부분품의 열립 하중은 3 mm/min, 후연부 열립 하중은 5 mm/min의 일정 변위 속도 제어로 유압 재료 시험기(최대하중 250 kN, 최대변위 200 mm)를 이용하여 부하하였으며, 임피던스 출력은 HP IMPEDANCE ANALYZER 4191A 과 VISHAY 사의 SYSTEM7000 을 이용하여

측정하였다.

### 3. 실험 결과 및 토의

정적으로 부하되는 열림 하중에 의하여 에지(edge)의 양 스킨의 접합부에는 응력 집중에 의한 응력 증대로 탈착(debonding)이 발생하게 된다. 임계 하중에 도달 시 팝인(pop-in)이 발생하고 이에 따라 하중 저하가 일어난다. 연속된 부하로 하중은 다시 증가하고 또 임계 하중의 도달로 팝인이 되는 과정이 연속적으로 일어난다. 이러한 팝인 단계에서 손상의 전개를 확인할 수 있다.

블레이드 선단부와 후연부에서 총 2 번의 팝인이 발생하였으며, 두 번째 팝인은 시험편이 최종적으로 파손된 상태로 나타났다. 이러한 1차 및 2차 팝인에 대하여 임피던스는 1차 손상 전과 후, 2차 손상 후에 총 세 번에 걸쳐 측정하였다. 블레이드의 선단부와 후연부의 손상 발달에 따른 임피던스 실수부에 대한 응답은 Fig. 2 와 Fig. 3 에 각각 나타내었다.

블레이드 선단부에서의 응답 임피던스는 측정 주파수 80 MHz 이상에서부터 뚜렷한 변화가 나타났으며, 최대 약 40 Ω의 절대 크기의 변화를 확인하였다. 또한 블레이드 후연부에서는 측정 주파수 1 MHz에서부터 임피던스의 절대 크기 및 피크를 이루는 주파수의 이동이 나타났다. 블레이드 선단부와 후연부 모두에서 손상의 발생 및 발달에 따라 임피던스의 절대 크기의 변화 또한 증가함을 확인하였다.

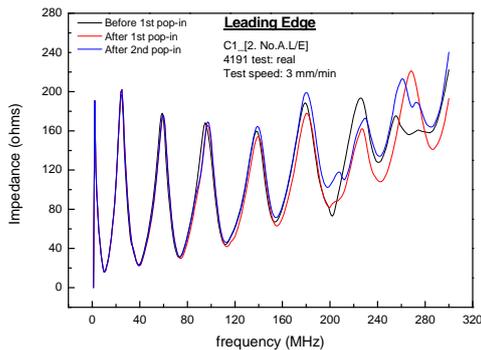


Fig. 2 Impedance vs. frequency curve for leading

edge of wind turbine blade

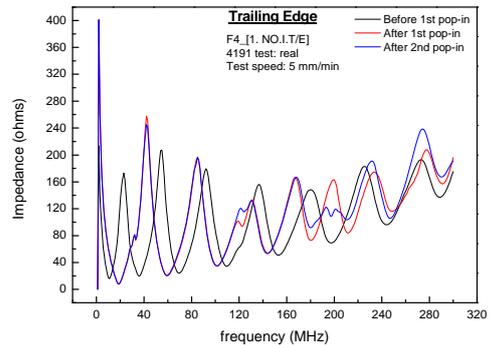


Fig. 3 Impedance vs. frequency curve for trailing edge of wind turbine blade

### 4. 결론

본 연구에서는 풍력 발전기 블레이드에서 발생하는 손상에 대한 조기 탐지 기법을 PVDF 센서를 이용하여 가능성을 조사하였다. 풍력 발전기 블레이드의 접합부에서 국부 손상에 대한 임피던스 응답성을 PVDF 필름 센서를 이용하여 확인하였다. 손상 발생 및 발달에 따라 임피던스의 절대 크기 및 응답 주파수의 변화를 확인함으로써 손상 조기 탐지 센서로서 좋은 가능성을 보였다.

### 후기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (2010-N-WD09-P-01 & 2010T100100754)

### 참고문헌

1. Vodicka, R. and Galea, S. C., "Use of PVDF Strain Sensors for Health Monitoring of Bonded Composite Patches," DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION, DSTO-TR-0684, 1998.
2. Park, S. H., Yun, C. B., Roh, Y. R. and Lee, J. J., "Health monitoring of steel structures using impedance of thickness modes at PZT patches," Smart Structures and Systems, 4, 339-353, 2005.