

# 가스터빈 와전류검사 탐촉자 설계

\*박병철, 안연식, 정계조, 박상기, 길두송, 조용상  
한전 전력연구원

## Design of the Eddy Current Surface Probe for NonDestructive Testing of Land Based Gas Turbines

\*B. C. Park, Y. S. Ahn, G. J. Jung, S. K. Park, D. S. Gil, Y. S Cho  
Korea Electric Power Research Institute

Key words : Eddy Current Testing, Land Based Gas Turbine, Eddy Current Surface Probe

### 1. 서론

발전용 가스터빈 주요설비는 고온, 고압, 고속회전등의 운전조건과 빈번한 부하변동 및 기동정지로 인하여 각 설비 중요 부품의 손상빈도가 높아 유지보수 비용의 증가는 물론 발전정지로 이어지는 경우가 종종 발생한다. 가스터빈 동익(bucket or blade)은 가스터빈 주요부품중에서 핵심부품에 해당되는 설비로써 주로 발생하는 손상유형은 표면균열이다. 다른 설비에 비해 가스터빈 동익은 균열 발생시 설비가 견딜수 있는 관용도가 낮기 때문에 균열을 발견할 경우 균열 제거등의 재생정비 또는 동익의 교체를 해야한다. 이러한 설비의 손상상태를 정밀하고 체계적으로 진단하여 설비의 건전성을 확보하기 위해서는 비파괴검사의 중요성 크다고 할 수 있다.

기존의 가스터빈 비파괴검사방법으로 일반적으로 사용되는 방법은 FPI(Fluorescent Penetrant Inspection), MT(Magnetic Particle Testing) 등으로써, 이에 비해 와전류검사는 검사전 시험체의 표면처리가 필요없고, 검사후 화학적 폐기물등이 없는등 환경적으로 깨끗하며 MT로 검사가 불가능한 비자성체에 검사가 가능한 장점을 가지고 있다. 또한 균열의 크기를 추정할 때 비교적 정확하게 균열의 깊이를 평가할 수 있다.

와전류 프루브의 종류에는 원자력발전소의 증기발생기나 복수기등의 열교환 튜브를 검사할수 있는 보빈 탐촉자와 가스터빈 Rotor Wheel 과 베킷등의 복잡한 형상을 검사할수 있는 표면탐촉자등으로 분류될수 있으며, 그 외에 외삽형 탐촉자는 봉재나 와이어등을 검사하는데 주로 쓰인다. 표면 탐촉자가 보빈 탐촉자나 외삽형 탐촉자와 크게 다른점은 검사면과 코일이 수직을 이루고 있다는 점이다. 이런 특징으로 결함을 감지하였을때 결함이 존재하는 위치를 정확하게 파악할 수 있다. 이 탐촉자는 두께깊이 방향으로 형성된 결함에 대해서도 감도가 좋지만, 검사체 표면에 평행하게 형성된 충결함에 대해서는 감도가 좋지 않다.

본 연구에서는 GE 7FA형 가스터빈의 1단 동익에(Fig 1.참조) 발생한 표면균열을 감지 및 균열의 깊이를 추정할 수 있는 와전류 검사탐촉자 의 최적설계를 위하여 일반적인 표면 와전류검사 탐촉자의 특성을 분석하였다. 또한 새로운 형태의 하이브리드형 와전류검사 탐촉자 설계 개념을 제안한다.



Fig 1. 1'st stage bucket of GE 7FA+e type gas turbine (left side)  
and cross section of airfoil part (right side)



Fig 2. 와전류검사장비 (RD Tech사 TC5700 및 PC)

### 2. 와전류검사장비

일반적으로 사용되는 와전류검사장비는 탐촉자를 특정주파수로 가진시키는 신호발생부 및 신호취득부, 신호처리부, 신호Display로 구성되어 있다. 최종 신호 Display는 X-Y축으로 구성되어 있는데, X축은 탐촉자의 Resistance가 Y축은 Reactance가 표시된다.

와전류검사 탐촉자와 연동하여 활용한 장비로 RD Tech사의 TC-5700을(Fig 2. 참조) 사용 하였다. TC-5700은 다중채널 장비로써 PC와 Lan으로 연결되어 작동한다. PC에서 구동되는 소프트웨어는 RD Tech사에서 제작한 MultiView라는 소프트웨어를 사용한다. TC5700에서 검사코일을 구동할수 있는 최대 인가 전압은 20 Vp-p, 주파수 범위는 1kHz~4MHz, 최대구동전류는 1A peak이다.

### 3. 표면 탐촉자 특성분석

와전류검사 표면 탐촉자의 가장 기본적인 형태는 절대형 탐촉자 (absolute probe)이다. 이 탐촉자는 코일이 하나만 있는 구조를 가지고 있다. 이 탐촉자의 첫 번째 단점은 노이즈가 크다는 점과 두번째 단점은 자체코일의 신호가 신호취득부에 입력되기

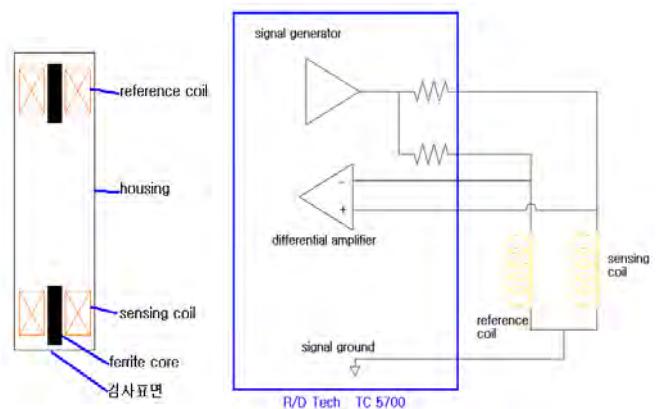


Fig 3. conventional surface eddy current probe (left side) and the probe connection with R/D Tech instrument (right side)

때문에 유효한 신호의 범위가 작다는 점이다. 절대형 탐촉자는 이와 같은 이유로 활용이 제한되어 있다.

일반적으로 표면 와전류검사에서 폭넓게 활용되고 있는 탐촉자는 Fig 3의 좌측과 같은 이중코일형 탐촉자이다. 이 탐촉자는 두개의 동일한 사양의 코일을 가지고 있는데, sensing 코일은 재료검사신호가 입력되는 반면, reference 코일은 재료검사신호가 입력되지 않도록 접촉부와 떨어져 있다. 이 두개의 코일신호는 차동증폭기에 입력되어 두 신호중 동일한 신호는 상쇄되어 없어진다. 이와 같은 이유로 노이즈가 적으며, 유효한 신호의 범위가 넓다. 식 (1), (2), (3)은 이중코일형 탐촉자의 민감도가 뛰어난 이유를 수식적으로 표현한다. 식 (3)에는 노이즈에 의한 성분 및 코일자체성분이 없어진 것을 확인할 수 있다.

$$V_{\text{sensing}} = V_{\text{coil}} + V_{\text{material information}} + V_{\text{noise}} \quad (1)$$

$$V_{\text{reference}} = V_{\text{coil}} + V_{\text{noise}} \quad (2)$$

$$V_{\text{sensing}} - V_{\text{reference}} = V_{\text{material information}} \quad (3)$$

Fig 4는 HP 4396A Impedance Analyser를 이용해 A사의 상용 이중코일형 탐촉자의 주파수에 따른 임피던스변화를 측정한 데이터이다. 실험에 사용한 A사의 상용 이중코일형 탐촉자는 A1 ECT probe는 1MHz ~ 2.5MHz, A2 ECT probe는 500KHz ~ 1MHz, A3 ECT probe는 50Hz ~ 500KHz의 권장사용주파수 대역을 갖는다. 4396A 장비는 RF I-V방식으로 Impedance를 측정하는 계측기로써 100KHz ~ 1.8GHz의 주파수 대역에서 Impedance를 측정할 수 있다.

Fig 4에서 임피던스분석결과 각 탐촉자의 권장사용주파수대역에서 A1 ECT probe는 30Ω~88Ω, A2 ECT probe는 84Ω~157Ω, A3 ECT probe는 75Ω~327Ω으로 측정되었다. 일반적인 와전류 검사장비의 출력 임피던스가 100Ω 임을 감안하면, 장비 출력임피던스와 임피던스 matching이 적절히 이루어졌음을 파악할 수 있다.

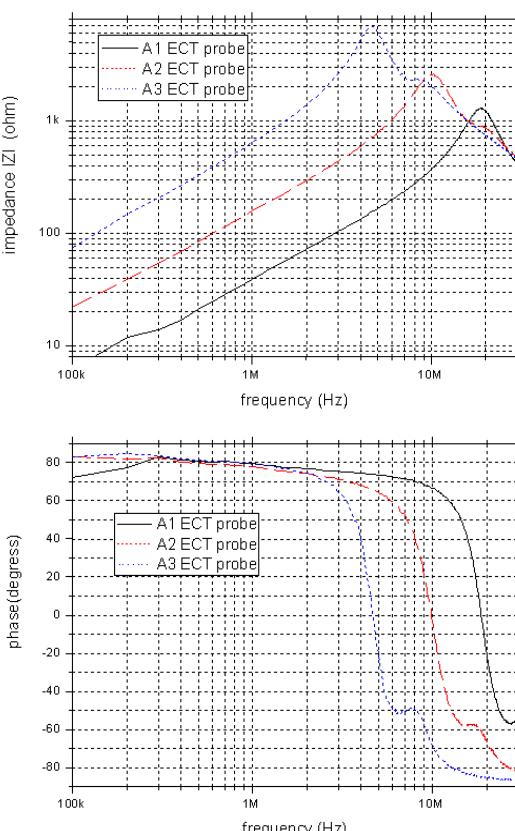


Fig 4. Impedance change in the specific frequency range for the surface probe of vendor A

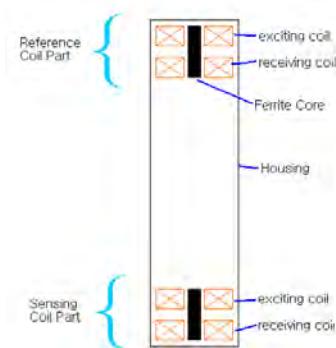


Fig 5. structure of hybrid type surface eddy current probe

#### 4. 하이브리드형 탐촉자 설계

Fig 5.는 본연구에서 새롭게 제안하는 표면 탐촉자의 구조를 보여준다. 이 탐촉자는 Send-Receive형 탐촉자의 장점과 이중코일형 탐촉자의 장점을 조합하여 설계하였다. 여기서 Send-Receive형 탐촉자는 일반적으로 잘 알려져 있는 탐촉자로써 자기장발생코일과 신호취득코일이 별개의 코일로 구분되어 있어 신호대 잡음비가 뛰어난 장점을 가지고 있다.

Fig 5의 하이브리드형 탐촉자의 reference 및 sensing 파트의 exciting 코일은 signal generator에 별별로 연결되며, 각 receiving 코일은 차동증폭기의 +, - 단자에 입력된다.

#### 5. 결론

탐촉자의 직경이 크면 두개의 인접한 결함을 분해할 수 있는 Resolution이 떨어지기 때문에 탐촉자의 직경을 일반적으로 가능한 작게 제작한다. 이때 동일한 코일권선수에서 ferrite core 가 삽입되어야 Inductance가 크게 나오므로, ferrite core를 탐촉자 제작에 포함하는 것이 권장된다.

검사대상체의 재료 및 두께가 주어지게 되면 와전류의 표준침투깊이를 계산할 수 있고, 적절한 검사주파수를 선택할 수 있다. 이때 검사 탐촉자가 산출된 주파수에서 100Ω 정도의 임피던스를 갖어야 장비와 탐촉자가 최적의 임피던스 매칭이 이루어지므로 탐촉자설계시 중요 설계인자로 고려해야 한다.

향후 본연구에서 제안한 하이브리드형 탐촉자의 가능성을 좀더 검토하고, 권선수등의 세부사항들을 설계하여 실제 제작 및 시험할 예정이다.

#### 참고문헌

1. 박병철, 안연식, 정계조, 박상기, 길두송, 조용상 "가스터빈 동의의 와전류검사", 2006 한국비파괴검사학회 춘계학술대회집, pp291-296
2. "TC 5700 User's Manual", R/D Tech, Canada 1997
3. S. S. Udpal, " Electromagnetic Testing" ASNT, Nondestructive Testing Handbook, 3rd Edition, Vol. 5, 2004
4. V.S. Cecco, S. P. Sullivan, J. R. Carter and L.S. Obrutsky, "Innovations in Eddy Current Testing", 1995
5. Donald J. Hagemaier, "Fundamentals of Eddy Current Testing", ASNT, 1990