

# 자속센서리스 회전자 층간단락 진단기법 및 특성해석

金仙子<sup>\*</sup>, 全潤石<sup>\*\*</sup>, 李承學<sup>\*\*\*</sup>, 鄭柄煥<sup>\*\*\*\*</sup>, 崔圭夏<sup>†</sup>, 李明彦<sup>§</sup>

## Diagnosis Method and Characteristic Analysis of Shorted Turns on Generator Rotor using Flux Sensorless

Sun-Ja Kim, Ywun-Seok Jeon, Seung-Hak Lee, Byung-Hwan Jeong, Gyu-Ha Choe, and Myung-Un Lee

### 요 약

발전기의 회전자 권선의 층간단락이 발생하면 자속의 불평형과 비대칭적인 발열로 인한 불안정한 진동이 발생하게 된다. 이러한 층간단락으로 발생할 수 있는 심각한 사고를 방지하기 위하여 회전자 권선의 층간단락 진단기법에 관한 연구는 매우 중요하다. 현재 운전중 진단기법이 주로 사용되고 있는 센서부착방식의 단점을 개선하기 위해 본 논문에서는 발전기의 계자 층간단락을 검출할 수 있는 새로운 센서없는 방법을 제안하였고 제안된 방식에서는 발전기에서의 전압 및 전류의 측정값만으로 단락현상을 판단할 수 있도록 하였다. 제안된 방식의 적용 가능성을 검토하기 위해 디지털 시뮬레이션을 통해 공극자속밀도, 누설자속, 발전된 전압 및 단락계자전류 등과 관련된 특성을 이론적으로 분석함으로써 단락 판정을 위한 근거를 제시하였다.

### ABSTRACT

Short-circuit rotor windings on a generator causes unstable oscillation of unbalance of flux, asymmetrical heat. In order to prevent serious accidents of short-circuit rotor windings, it is important to study the shorted-turn diagnosis method for rotor windings of the generator. To improve the defects of the diagnosis with sensors, the new sensorless method for rotor shorted-turn diagnosis is proposed, which is to measure the electrical values of the voltage and current at the generator and then to detect if the shorted-turned phenomena would occurred. For the feasibility of the suggested method the theoretical results are shown in the aspects of the air-gap flux density, the flux leakage, the generated output voltage and the shorted field current through the digital simulation. Also the possibility of decision for the suggested sensorless method could be shown in this paper.

**Key Words** : shorted-turned field, sensorless diagnosis method, shorted turn ratio, current balance

### 1. 서 론

최근 복합화력 발전소의 가스터빈 또는 스팀터빈 발

전기 회전자 권선의 층간단락은 출력제한, 진동증가 및 성능저하 등 비정상적인 운전의 원인을 제공하며 심한 경우 발전기의 불시정지 및 장기간 정비를 요하는 고장을 일으키기도 한다. 특히 발전기의 회전자 권선에서 각각의 슬롯 내에 적층된 개별권선사이에 층간단락이 발생하면 자속의 불평형과 비대칭적인 발열로 인한 진동의 변화를 일으킨다. 따라서 이로 인한 비정상적인 운전의 예방과 고가의 권선교체 비용이 요구되는 심각한 절연파괴가 발생하기 이전에 회전자 권선의 층간단락 현상을 감시하는 예방정비에 관한 관심이 증가되고

<sup>†</sup>교신저자 : 정회원, 건국대 전기공학과 교수

E-mail : ghchoe@konkuk.ac.kr

<sup>\*</sup>정회원, LS산전 자동화연구소 연구원

<sup>\*\*</sup>정회원, (주)케피코 선임연구원.

<sup>\*\*\*</sup>정회원, 대덕대학 전기과 교수

<sup>\*\*\*\*</sup>정회원, 건국대 대학원 전기공학과 박사과정

<sup>§</sup>정회원, 서울대학 전기전자컴퓨터공학계열 겸임교수

접수일자 : 2004. 11. 2                      1차 심사 : 2004. 12. 29

2차 심사 : 2005. 2. 14                      심사완료 : 2005. 3. 16

있다<sup>[1]</sup>.

감지기법에는 정지중 감지기법과 운전중 감지기법이 있다. 정지중 감지기법은 공극탐지코일 시험, 임피던스 측정법 등을 시행하며 발전기의 운전정지가 필수적이고 효과적으로 단락현상을 찾아내기가 쉽지 않다. 이에 반해 운전중 진단기법은 발전기의 정지없이 진단이 가능하다는 큰 장점을 가지고 있으며 단락발생현상이 주로 운전 중에 발생하는 시변특성을 가지고 있으므로 운전중 감지기법이 월등하게 뛰어난 성능을 발휘한다<sup>[2-4]</sup>. 고장발생의 조기진단 및 발전기의 안정운전에 중요한 역할을 담당하는 운전중 감지기법에는 감지센서를 이용한 센서방식 및 센서리스 방식이 있다. 기존의 센서방식은 발전기 고정자 웨지에 설치하는 감지센서인 Flux Probe에 의해 계자권선의 누설자속을 유기한 전압파형을 분석하여 각 극별, 권선별로 나타낸 그래프로 나타낸 전압편차로 단락을 판별한다. 그러나 센서방식은 설계 시에 발전기 용량, 회전자와 계자의 공극크기, 권선 층수에 따라 감지센서의 크기 및 코일수 등이 결정되므로 각 발전기 종류에 따른 전용 센서가 필요하게 된다. 더구나 센서에 대한 중복설계가 필요하게 되며 이에 따른 비용증가 및 설계오류 발생시 재시공상의 문제점이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 동기발전기에서 문제가 되고 있는 층간단락 현상을 분석하고 기존 센서방식의 단점을 개선한 새로운 센서리스 방식을 제안하였다.

## 2. 층간단락 현상

발전기의 회전자 슬롯은 그림 1에서와 같이 원통형으로 단조시켜 슬롯을 만들고 각각의 슬롯에 슬롯절연, 턴절연 및 동도체로 구성된 여러 개의 권선도체를 삽입한 후 리테이닝 링(retaining ring)을 사용하여 양쪽 끝을 고정시키며 슬롯내의 권선은 대략 7~18개 정도의 동도체로 이루어져 있다. 이 동도체들 사이로 권선을 적절히 냉각하기 위한 냉각공기를 통과시킨다. 발전기의 운전중 부하의 변동에 따라 회전자의 진동 및 스트레스 등이 발생되고 이로 인해 여러 층의 회전자 판형도체들 사이의 진동으로 이어진다. 복합화력 발전기의 경우 1일기동정지 및 빈번한 출력 증감발로 인하여 회전자권선이 팽창, 수축을 반복하게 되어 권선사이에 위치한 턴절연이 열응력 또는 한쪽으로 밀리거나 끊어지는 현상 등에 의해 손상되어 층간단락이 빈번히 발생한다. 이때 층간단락의 발생원인은 그림 2에서와 같이 절연지 손상으로 인한 단락은 물론 동분발생의 경

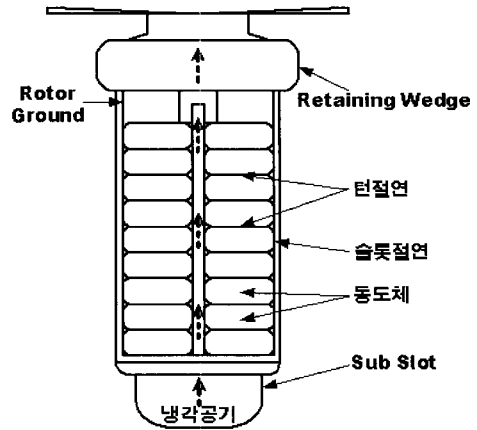


그림 1 회전자 슬롯의 단면도  
Fig. 1 Cross sectional view of rotor slot

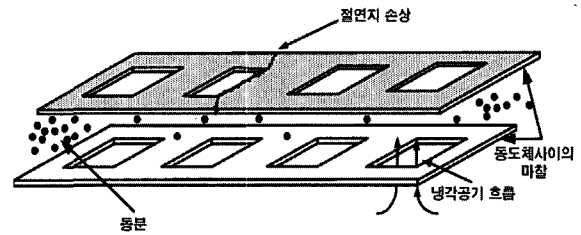


그림 2 층간단락 현상의 원인  
Fig. 2 Cause of shorted turn

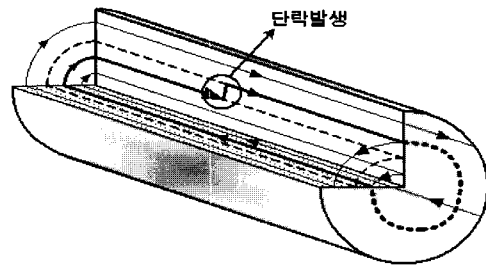


그림 3 단락에 의한 권선 수의 감소  
Fig. 3 Decreasing number of turns by shorted turn

우 발전기의 운전시간 경과 및 운전 스트레스로 인하여 동도체 사이의 마모로 인하여 발생된 동분의 퇴적이 증가하고 냉각공기의 흐름에 의해 회전자 개별권선 사이에 단락 및 접지사고 등이 발생한다. 그림 3은 회전자 권선에 층간단락이 발생하였을 경우 단락 발생에 따라 전류가 각 계자권선을 통해서 정상적으로 흐르지 못하고 일부 바이-패스(by-pass)현상이 나타나는 것을 보여준 가상도이다. 이러한 층간단락 현상으로 1차적으로 계자인 회전자 권선과 쇄교하는 전체 자속이 줄어들게 되므로 최종출력전압의 크기가 저하되거나 파형

이 왜곡되는 등의 현상이 발생되어 발전기의 성능 저하를 초래한다. 이처럼 층간단락현상은 그 현상 자체만으로 머무는 것이 아니라 연속적으로 고장을 파급시키게 되고 궁극적으로 발전기의 운전을 정지시킨다.

### 3. 운전중 층간단락 진단기법

신뢰성의 측면에서 매우 탁월한 운전중 진단기법은 감지센서의 유무에 따라 센서방식과 센서리스 방식으로 나뉘며 센서방식은 고정자 윗지에 영구자속 프로브(probe)나 발전기 외부에서 가공한 감지구멍을 통해 회전자 공극에 자속 프로브를 삽입하는 감지코일을 사용한다<sup>[5]</sup>. 프로브는 회전자가 정상적으로 회전시 자속밀도의 변화크기를 감지하여 이를 전압파형으로 나타내어 얻어진 파형을 분석하여 층간단락 상황을 감지할 수 있다. 센서방식은 센서의 설치를 위해 발전기를 반드시 정지시켜야 하고 센서의 부착 후 회전자의 정상 운전시 센서의 위치에 따라 검출특성이 심하게 달라지는 전압편차 등의 단점이 있다. 본 논문은 이러한 단점을 개선하고자 새로운 센서리스 방식을 제안하였다.

#### 3.1 새로운 센서리스방식 진단기법

새로운 진단기법은 슬롯에 의한 누설자속으로 생기는 기전력의 왜곡을 이용하는데 이상적인 경우 계자권선 및 전기자 권선에 의한 공극의 자속은 각각 반경방향으로 방사상 형태의 정현파 모양을 가지게 되므로 기전력과 자속밀도는 모두 정현파형을 가지게 된다<sup>[6]</sup>.

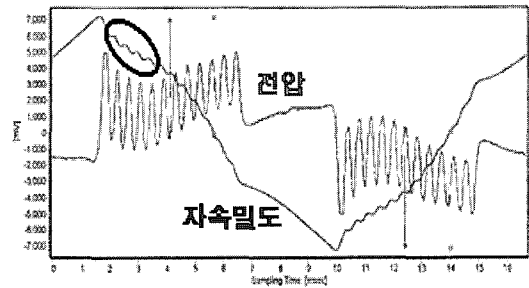
계자권선의 도체와 도체사이에는 슬롯의 영향에 의하여 슬롯을 중심으로 누설자속이 발생하게 되며 그림 4(a)의 실측파형 상에 굵은 실선으로 O표한 것과 같다. 여기서 세로축은 실측된 전압의 크기이며 가로축은 극당 슬롯번호를 나타낸다. 이처럼 계자권선에 의한 이상적인 자속밀도파형(그림4(b))에 슬롯위치마다 슬롯형상으로 인한 누설자속밀도(그림4(c))의 왜곡이 발생하게 된다. 그림 4(d)에서 기전력 파형의 좌측부분에 슬롯형상에 대한 누설자속이 리플형태로 나타나 있고 그중 하나를 그림 4(c)와 같이  $B_s(\alpha)$ 로 나타내었다. 이러한 누설자속은 순수한 정현파 자속밀도  $B_f(\alpha)$ 와 함께 공극단에는 그림4(c)와 같은 자속밀도가 존재하게 된다. 그림 4(d)처럼 이상의 내용을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$B_g(\alpha) = B_f(\alpha) + B_s(\alpha) \quad (1)$$

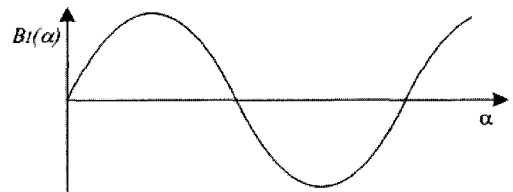
$$B_f(\alpha) = B_m \sin \alpha \quad (2)$$

여기서,  $B_g(\alpha)$ ,  $B_f(\alpha)$ ,  $B_s(\alpha)$ 는 각각 공극, 이상적인 공극, 누설자속에 의한 자속밀도이다.

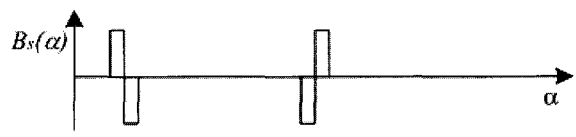
그림 5의 누설자속  $\phi_s(t)$ 는  $B_s(\alpha)$ 를 적분하면 얻어지고 누설자속에 의한 전압  $e_s(t)$ 는 누설자속  $\phi_s(t)$ 을 시간에 대해 미분하면 얻어진다. 이때  $B_s(\alpha)$ 의 파형 및 크기는 슬롯설계에 따라 달라지나 하나의 누설자속의 평균치는 0이며 고장이 없는 상태에서는 대칭되는 위치의 두개 슬롯의 누설자속은 서로 대칭적인 파형을 가지게 된다.



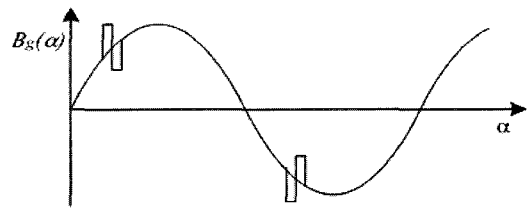
(a) 센서방식을 이용한 자속밀도의 실측 파형



(b) 이상적인 공극 자속밀도



(c) 공극 누설자속밀도



(d) 공극 자속밀도

그림 4 공극상의 각부 파형  
Fig. 4 Waveforms of flux density at airgap

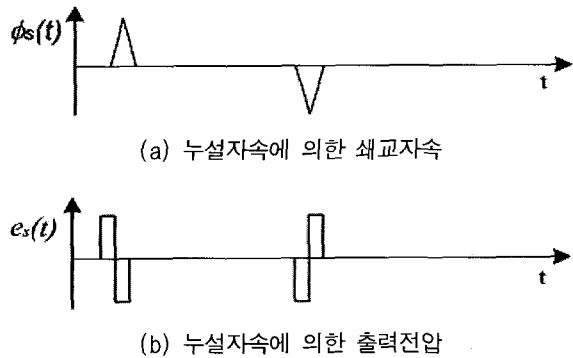


그림 5 공극상의 쇄교자속과 출력전압  
Fig. 5 Linkage magnetic flux and output voltage of airgap

이때 발전기의 기전력은 이러한 자속밀도가 전기자 권선에 쇄교할 때 나타나는 쇄교자속에 의하여 발생하게 되며 각 권선에서 두 도체의 간격은 그림 6과 같이 전기각으로 180도의 이격거리를 갖는다. 회전자의 회전에 의하여 그림 6(a)에서 나타낸 바와 같이 공극자속밀도상을 전기자 권선이 이동한다고 할 수 있으며 이 때 전기자 권선에 쇄교되는 쇄교자속은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi_I(\alpha) = \int_{\beta}^{\beta+\pi} B_I d\alpha = \int_{\beta}^{\beta+\pi} B_m \sin\alpha d\alpha \quad (3)$$

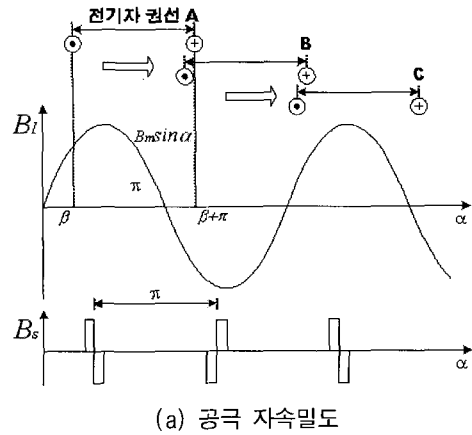
$$\phi_S(\alpha) = \int_{\beta}^{\beta+\pi} B_S d\alpha \quad (4)$$

여기서  $\phi_I(\alpha)$ 와  $\phi_S(\alpha)$ 는 이상적인 공극자속과 누설자속에 의한 전기자 쇄교자속이며  $\beta$ 는 전기자 권선의 위치이다. 그리고 현재 2극기이므로 회전위치  $\alpha = \omega t$ 의 관계를 갖는다. 이때 발전기의 기전력은 이상적인 쇄교자속에 의한 발전전압 및 누설쇄교자속에 의한 발전전압의 합으로 표현될 수 있으며 다음과 같다.

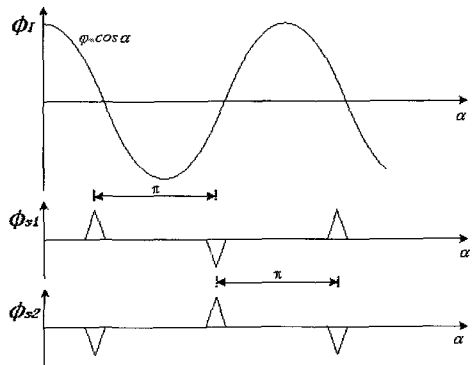
$$e_g(t) = e_I(t) + e_s(t) \quad (5)$$

여기서  $e_g(t)$ ,  $e_I(t)$ ,  $e_s(t)$ 는 각각 발전기, 이상적인 쇄교자속에 의한 발전기, 누설 쇄교자속에 의한 발전기 기전력이다. 이때  $e_I(t)$ 를 구하면 쇄교자속  $\phi_I(t)$  및 기전력은 다음과 같이 표현된다.

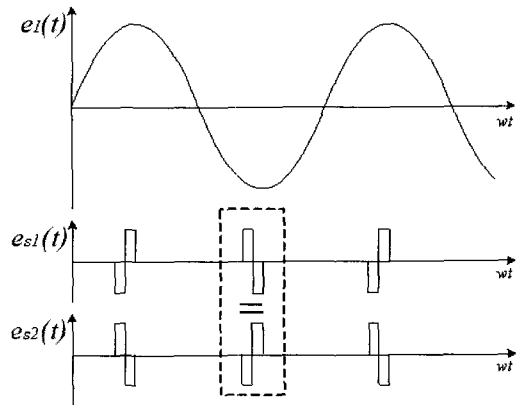
$$\phi_I(t) = \phi_m \cos \omega t \quad (6)$$



(a) 공극 자속밀도



(b) 권선 쇄교자속



(c) 출력전압

그림 6 정상상태 공극파형  
Fig. 6 Waveforms of airgap in the steady-state

$$e_I(t) = -N \frac{d\phi}{dt} = \omega N \phi_m \sin \omega t \quad (7)$$

여기서  $\phi_m$ 는 기본파 자속의 최대값이며  $e_I(t)$ 는 기본파 자속에 의한 이상적인 출력전압이다.

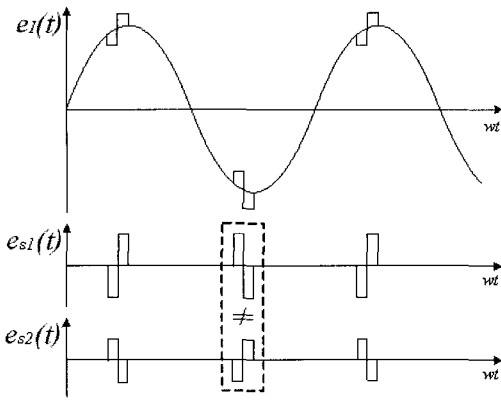


그림 7 충전단락 시 출력전압  
Fig. 7 Output voltage of airgap in the case of shorted turn

는 코일과 쇠교하는 슬롯고조파 성분이 서로 상쇄되어 출력전압에 고조파로 나타나지 않는데 충전단락 발생 시 서로 상쇄되지 못하고 두 개의 쇠교자속펄스로 발생하게 되며 첨자 1, 2로 나타내어 그림 6(b)과 같은 파형이 발생하게 된다. 이 때 계자권선이 정상일 경우 슬롯은 항상 180도의 간격으로 대칭되게 배치되어 있으므로 대칭되는 슬롯에 의한 권선의 쇠교자속의 합은 0이 된다. 따라서 두개의 극에서 발생한 쇠교자속에 의한 출력전압이 서로 상쇄됨으로써 출력전압  $e_g(t)$ 은 그림 6(c)에서처럼 다음 식과 같이 기본과 자속밀도에 의한 출력전압만 나타나게 된다.

$$e_I(t) = -N \frac{d\phi_I}{dt} \quad (8)$$

그러나 한쪽 슬롯에서 단락이 발생할 경우 그림 7에서처럼 두 극에서 발생한 쇠교자속이 상쇄되지 않음으로써 쇠교자속의 합이 0이 아니게 되어 누설자속에 의한 출력전압펄스가 해당슬롯의 위치에서 발생하게 된다. 따라서 단락슬롯의 위치에서 출력전압파형에 왜곡된 파형이 나타나게 되어 단락감지 여부 및 위치를 판정할 수 있다.

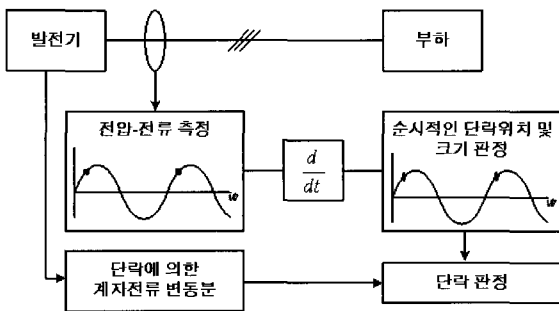
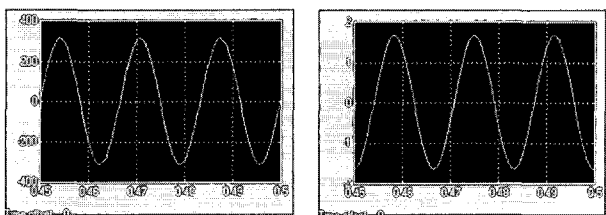


그림 8 센서리스 충전단락 진단알고리즘  
Fig. 8 Algorithm for diagnosing shorted turns by sensorless method

### 3.2 진단 알고리즘

새로운 센서리스방식의 진단 알고리즘을 그림 8에서 나타내고 있다. 이 경우 발전기의 출력전압 및 전류를 측정하여 쇠교자속에 의한 출력전압의 왜곡성분을 관찰함으로써 단락의 크기 및 단락유무를 판별하게 된다. 이 때 출력전압 또는 전류를 미분할 경우 주파수 성분에 비례하여 출력의 크기가 증가하게 되므로 기본과 성분에 비하여 왜곡성분의 크기 증가가 확실하므로 판별이 용이하게 된다. 그러나 파형을 미분할 경우 이러한 왜곡성분 외에 전기적 잡음의 증가도 커지게 되므로 신뢰성이 떨어지는 단점이 발생하게 된다. 이를 보완하기 위하여 센서리스 단락감지 시스템의 경우 계자 전류를 측정함으로써 단락발생시 증가하게 되는 계자 전류 변동분과 전압, 전류의 왜곡파형을 측정하여 단락 판정을 하게 된다.



(a) 계자자속 (b) 내부기전력

그림 9 5번 단락시 계자파형  
Fig. 9 Shorted turn flux density waveform

또한  $e_s(t)$ 를 구하기 위하여 쇠교자속  $\phi_s$ 를 살펴보면 권선의 두 도체간 사이에 슬롯이 존재할 때 쇠교자속의 합이 0이 되며 권선의 두 도체 중 한 개의 도체가 슬롯의 위치를 지날 때 즉, 권선의 위치가  $\beta$  및  $\beta + \pi$ 일 때 쇠교자속의 변동이 발생되며 따라서 한 개의 슬롯에 의하여 한 주기 동안에 정상적인 경우에

### 4. 해석 및 검토

본 논문에서는 서인천 복합화력발전소 G/T(가스/터빈) 발전기를 대상으로 센서리스 충전단락 감지기법을 적용하여 해석하였다. 해석과 더불어 실험적인 검증이 필요하나 이를 위해서는 발전기를 정지시켜야 하는 문

제가 있어 제안한 진단 알고리즘을 기초로 Matlab 시뮬레이션을 이용하여 분석하였다. 그림 9는 12턴 중 5턴의 층간단락이 발생한 경우의 계자자속과 이 때의 발전기 내부 기전력을 나타내고 있다. 이 때 발전기의 출력측은 무한모선에 연결되어 있으므로 출력전압 측정의 경우 무한모선의 전압 영향에 의하여 발전기 층간단락시의 전압변화 측정이 어렵다는 단점이 있다. 또한 그림 4(a)와 같은 센서방식의 실측파형과 비교하여 그림 9는 자속과 기전력은 거의 동일한 파형으로 나타나 정상상태와 비교하기 어렵다. 이는 센서방식의 경우 센서자체가 식 (8)과 같은 패러데이 법칙(Faraday's law)에 의해 미분특성을 가짐으로서 누설자속에 의한 고조파 성분의 자속을 보다 크게 증폭하여 나타나는 반면 센서리스 방식의 경우 식 (3)과 같이 이러한 고조파 성분이 전기자 권선과 쇄교할 때 쇄교자속은 권선의 구간동안 적분의 형태가 됨으로서 작게 나타나기 때문이다. 그러나 그림 10과 같이 단락증가에 따라 제 3, 5, 7 고조파 성분이 증가하는 것을 알 수 있으며 이는 발전기 층간단락현상이 발전기 출력전압에 왜곡현상을 일으키며 단락이 증가할수록 고조파의 크기도 증가함을 알 수 있다.

또한 단락이 발생할 경우 N-S극 슬롯에서 자속밀도의 편차가 발생하게 되며 그림 11은 이러한 편차에 따른 출력전류파형을 나타내고 있다. 정상적인 경우 회전자계는 정현파이지만 층간단락이 발생한 경우 정현파형의 일부분에 변형이 발생하게 된다. 그림 11에서 단락율이 증가할수록 출력전류파형에 불평형이 생기는 것을 알 수가 있다. 표 1과 그림 12는 이러한 불평형율이 단락율에 따라 거의 선형적으로 증가함을 보여준다. 이와 같이 센서리스 방식은 단락발생에 따른 출력전압 왜곡과 계자전류의 변동을 함께 관측하여 보다 정확한 단락유무와 단락턴수까지도 판정할 수가 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서 발전소의 주요 고장중의 하나인 발전기의 회전자 층간단락을 감지하기 위한 진단방식 중 발전기의 출력 전압을 관찰하는 새로운 센서리스 진단기법을 연구하였다. 출력전압과 계자자속과의 관계를 시뮬레이션을 통한 결과로 판단하였으며 단락발생시 파형에 왜곡이 발생하며 이를 이용하여 발전기의 단락유무 및 단락 턴수의 판별이 가능함을 살펴보았다. 그러나 이러한 출력전압의 왜곡성분은 전체적인 파형의 크기에 대하여 그 값이 작으므로 감도가 나빠질 수 있다.

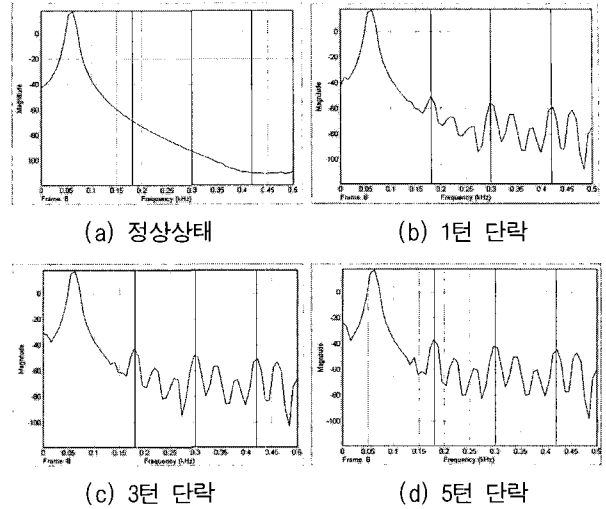


그림 10 단락턴수에 따른 출력전압의 FFT 파형  
Fig. 10 FFT of output voltage according number shorted turn

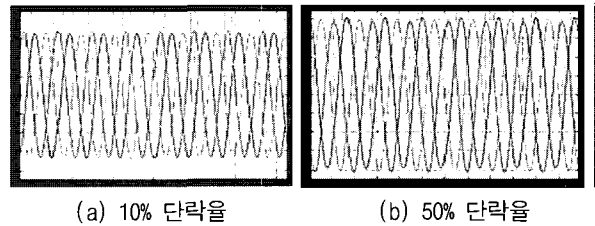


그림 11 단락율에 따른 전류파형  
Fig. 11 Current waveform according shorted turn ratio

표 1 단락율에 따른 전류불평형률  
Table 1 Current unbalance according short-turn ratio

단락율[%]	불평형률[%]	단락율[%]	불평형률[%]
10	0.00	60	12.01
20	2.40	70	14.40
30	4.81	80	16.80
40	7.21	90	19.20
50	9.61	100	21.60

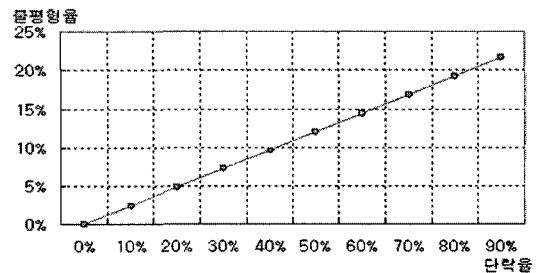


그림 12 단락율에 따른 전류불평형률  
Fig. 12 Current unbalance according shorted turn ratio

따라서 이를 극복하기 위하여 출력전압을 FFT 분석할 경우 단락에 의한 고조파 성분이 발생함을 알 수 있었으며 이러한 고조파 성분의 증가를 통하여 단락의 유무를 판정할 수 있다. 여기에서 제안한 새로운 감지방식은 정확한 진단기법의 구축을 위해서는 향후 발전회사와 공동으로 실증시험 및 데이터 축적을 통한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력 연구원(R-2002-B-039) 주관으로 수행된 과제임

### 참 고 문 헌

- [1] 이영준, 김희동, 박종정, 주영호, 조지원, 한상욱, 전력연구원, 인천대학교, 충남대학교, "발전기 회전자 충전단락 진단기법", 대한전기학회, *춘계학술대회 논문집*, 5, 1998
- [2] M. P. Jenkins, "On-Line Monitoring of rotor Shorted Turns", IEE Conference Publication No. 401, pp. 55-60, 1994.
- [3] E. Wochnagg, "Turbogenerator Field winding Shorted Turn Detection by AC Flux Measurement", *IEEE Trans on Energy Conversion*, Vol. 9, No. 2, pp. 427-431, 1994.
- [4] O. J. Penman, H. G. Sedding, B. A. Lloyd and W. T. Fink, "Detection and Location of Interturn Shorted Circuits in the Stator Windings of operating motors", *IEEE Trans on Energy Conversion*, Vol. 9, No. 4, pp. 652-658, June 1994.
- [5] 남종하, 이승학, 최규하, "발전기 회전자의 충전단락 감지 기개발", 대한전기학회, *대한전기학회논문지*, pp. 307-312, 6, 2002
- [6] Vincent Del Toro, Basic Electric Machines, Prentice-Hall International Editions, 1990.

### 저 자 소 개



#### 김선자(金仙子)

1979년 7월 20일생. 2003년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 LS산전 자동화연구소 연구원.



#### 전윤석(全潤石)

1971년 2월 15일생. 1996년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2004년~현재 (주)케피코 선임연구원.



#### 이승학(李承學)

1954년 6월 23일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1982년 숭실대 전기공학과 졸업(석사). 2004년 건국대 전기공학과 박사(공박). 1974~1998 한전 전력연구원 선임연구원. 1999~현재 대덕대학 전기과 교수.



#### 정병환(鄭柄煥)

1978년 11월 1일생. 2001년 경성대 공대 전기공학과 졸업. 2003년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년~현재 동 대학원 박사과정.



#### 최규하(崔圭夏)

1955년 7월 24일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1987년~1988년 미국 오레곤 주립대 Post-Doc. 1997년~1998년 건국대 연구처장. 2002년~2004년 건국대 교무처장. 현재 건국대 전기공학과 교수. 전력전자기술연구소 소장. 당 학회 부회장.



#### 이명언(李明彦)

1960년 6월 11일생. 1985년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1993년~2001년 대양전기학원장. 2002년~현재 서울대학 전기전자컴퓨터공학계열 전기전공 겸임교수.