GIS용 광전류센서의 실시간 센서링 연구

(A study on the real time sensing of optical current sensor for GIS)

김영민 · 지승욱 · 이광식 · 김민수* · 김정배* · 박원주
(Young-Min Kim · Seung-Wook Jee · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Min-Soo Kim · Jung-Bae Kim)

영남대학교 · 효성중공업*

개 요

본 연구는 도체주변에 감겨진 광섬유 코일에 따라 선형편광축이 자기장에 의해 회전하는 Faraday Effect 를 이용한 GIS(Gas Insulated Switchgear ,이하 GIS) 용 광 전류센서의 구성과 DAQ(Data Acquisition ,이하 DAQ)보드를 장착한 PC를 이용하여 실시간 데이터 취득, 분석 그리고 저장을 동시에 수행하였다. 광원은 1310[nm]의 레이저 다이오드를 이용하였다. 센서부는 GIS에 맞게 원형으로 제작하였고 9/125[μm]규격 단일모드의 일반 통신용 광섬유를 지름 31[cm]의 센서부 코어에 20[회] 감아 설치하였다. PC기반의 실시간 데이터 분석 프로그래밍은 NI사의 Labview를 이용하여 코딩하였으며 PD(Photo Diode ,이하 PD)의 전기적인 신호는 터미널 블록을 거쳐 NI사의 16bit DAQ M시리즈를 이용하여 수집되어진다. 직접 코딩한 프로그램을 이용하여 700A~1400A 측정한 출력값 선형적인 증가추세를 보여주었다. 또한 OCS(Oscilloscope ,이하 OCS)를 이용한 측정시스템과의 출력신호 및 정밀도를 비교 검토하였다. 그리고 Labview에서 지원하는 Web Tool기능을 이용하여 Web기반의 원거리 측정에서도 안정된 출력을 보여주었다.

1. 서 론

최근 사회 모든 곳에서 급증되고 있는 전력수요를 충족시키기 위해 공급 전압의 초고압화와 설치규모의 대형화가 추세이다. 이런 배경에서 GIS는 전기적 절연이나 설치규모의 콤팩트화 측면에 강점을 가지고 있다. 이에 GIS의 사고 예방과 안정된 운영을 위해 정확하면서 신뢰성이 보장되는 상시진단을 위한 온라인 전압·전류 측정 및 부분방전의 검출기술의 확보가 절대적으로 필요하다.

기존의 전압 및 전류를 측정하는 방식과 다른 적외선, 광전효과등의 원리를 가지는 새로운 센서들이 주목을 받으며 활발히 개발되고 있는데, 그 중 광학적 방법으로 계통의 전류를 측정하는 광 전류 센서는 광통신 산업 발달과 맞물려 그 실용화의 가능성이 높아지는 추세의 분야이다.[1]

또 기존의 전류변류기(Current Transformer, 이하 CT)의 단점인 중량과 잔류자기와 자기포화에 따른 출력신호 왜곡 등의 문제가 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 고절연성, 저손실, 무유도성, 안정성등의 장점을 가진 Laser를 이용한 광 전류센서의 필요성이 증대되어지고 있다. 하지만 Verdet상수의 온도의존성과 선형복굴절의 영향으로 발생하는 출력신호의 왜곡은 좀 더 안정되고 정밀한 출력을 위해 개선되어야 하는 문제이다. 그리고 IT기술을 접목하여 광 전류 센서의 효율을 극대화하고 운영자가 실시간으로 전력계통의 취약지역을 감시할 수 있는 시스템이 필요하다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 실시간 온라인 측정시스템을 구성하여 광 전류센서에서의 데이터 수집과 분석 그리고 데이터 저장 등을 PC기반의 프로그램을 이용하여 일괄 처리하였다.

2. 관련 이론

2.1. Faraday Effect 및 편광처리

광을 이용한 전류의 측정은 광신호가 자성체광 매질의 매부를 진행하는 경우 자기장의 영향에 의하여 편광(polarization)의 축이 회전하는 현상 Faraday effect를 이용하며, 그림 1은 자기광학현상중 하나인 Faraday Effect의 개념도이다. 선형편광(Linear polarization)된 광신호가 Faraday소자를 통과할 때 편광의 진동 축은 식 (1)의 θ만큼 회전하게 된다. 편광면의 회전각 θ는

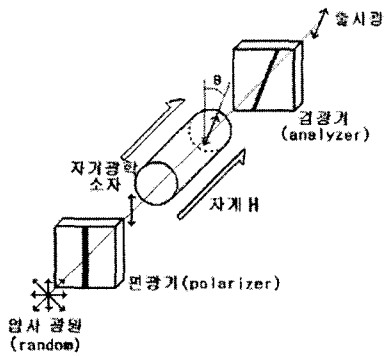

그림 1. Faraday Effect 개념도

매질에 가해진 자계의 세기 H에 비례하고 그 매질의 길이 L에 비례하므로

$$\theta = V \cdot H \cdot L \cdot \cos\phi \qquad (1)$$

여기서, V: Verdet상수[rad/A]
H: 매질에 가해진 자계[A/m]
L: Faraday 소자의 길이(광경로 길이)[m]
Φ: 빛의 진행방향과 자기장 사이의 각

이라는 관계가 만족 시킨다. 그러나 자기장의 방향에 따른 Vector값이므로 자성체 소자를 사용할 경우 측정하기가 매우 곤란해진다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 광섬유를 Faraday소자로 사용하여 도체 주위에 폐루프형 센싱부를 구성할 경우 암페르의 전류법칙(Ampere's circuit law)에 의해 코일의 형태, 센서코일과 도체와의 거리 등에 무관하게 일정한 값을 가지고 측정도체 이외의 인근 신호원에 영향을 받지 않는 식(2)를 얻을 수 있다. 이와 같은 구성에서 회전각 θ는 인가전류 및 광섬유의 감은 회수에 비례하게 된다.

$$\theta = Vn\oint H \cdot dl = Vnl \qquad (2)$$

여기서, n : 광섬유를 감은 회수
I : 인가전류

측정의 최대 민감도와 선형성은 식(3)에서와 같이 Analyzer와 초기 편광판(I=0)사이의 45°를 측정하면서 얻어진다.

$$J = \frac{J_o}{2}(1+\sin\varphi) \qquad (3)$$

여기서, J : analyzer 후의 빛의세기

PD(Photo Diode)에서 측정되어지는 빛의 신호는 빛의 기존 강도 J_o에 의존되어진다. 이에 Faraday 회전과 측정된 전류 I의 비례에도 불구하고 측정되어지는 전류사이에는 비선형적인 관계가 존재하게 된다. 이것은 PBS(Polarization Beam Splitter 이하, PBS)를 이용하여 식(4), 식(5)과 같이 서로 직교인 두 벡터성분의 빛으로 선형적을 분리하여 연산을 하면 빛의 강도와는 관계없는 신호값을 얻을 수 있다.[2]

$$J_1 = \frac{J_o}{2}(1+\sin\varphi)$$
$$J_2 = \frac{J_o}{2}(1+\sin\varphi) \qquad (4)$$

$$Output\ S = \frac{J_1 - J_2}{J_1 + J_2} = \sin 2\varphi \qquad (5)$$

3. 실험장치

3.1. 광 전류센서

실험 장치는 그림2 에서와 같이 크게 광원구동부, 센서부, 신호계측부, 신호처리부A, B로 나누어진다.

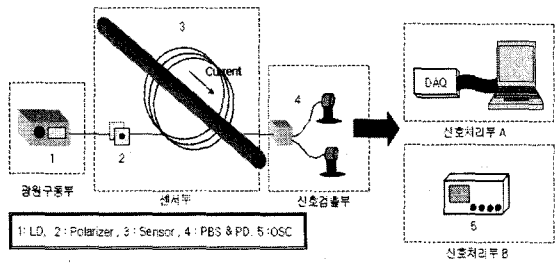

그림 2. 실험 개략도

레이저 광원을 발생하는 광원구동부는 수명이 길어(10^5h) 장시간 운영이 가능한 1310[nm]의 레이저 다이오드를 사용하였다.[2] 패러데이 효과를 이용하여 전류를 측정하는 센싱부는 단일모드 광섬유(9/125[μm])를 20[회] 감아 폐루프형으로 구성하였으며 감은 횟수에 따른 민감도를 높이도록 제작하였다. 광신호를 전기적인 신호로 바꾸어주는 신호검출부는 PBS를 이용하여 서로 직교하는 두 벡터성분으로 분리하여 빠른 응답속도를 가진(~0.2[ns]) PD를 이용하여 광신호를 전기적인 신호로 변환하게 된다.[3] 신호를 실시간으로 수집하여 분석, 저장을 동시에 가능한 신호처리부 A는 16[bit]의 DAQ보드를 이용하여 데이터를 수집하고

Labview를 이용하여 데이터 처리 프로그램을 구성하였다. 신호처리부 A와의 비교를 위해 OSC를 이용한 측정시스템인 신호처리부 B를 구성하였다.

3.2. 신호처리부

신호처리부는 신호처리부 A, B로 나누어 측정하였으며 신호처리부A는 그림3 에서와 같이 세부적인 부분으로 나눌 수가 있다.

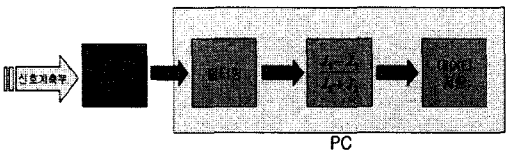

그림 3. 신호처리부 A

신호계측부에서 광신호를 전기적 신호로 변환하여 DAQ 보드를 통해 PC로 데이터가 전송되고 PC내의 프로그램을 이용하여 데이터 분석과 저장이 이루어지게 된다. 16[bit] DAQ보드는 NI사의 M시리즈를 사용하였고 데이터 처리는 Labview를 이용하여 직접 프로그래밍하였다. 또 Web기반의 원거리 측정을 위해 Labview의 Web Tool기능을 이용하여 프로그래밍 하였다. 신호처리 B는 OCS를 이용한 시스템을구성하여 데이터를 측정하였다.

4. 실험 결과

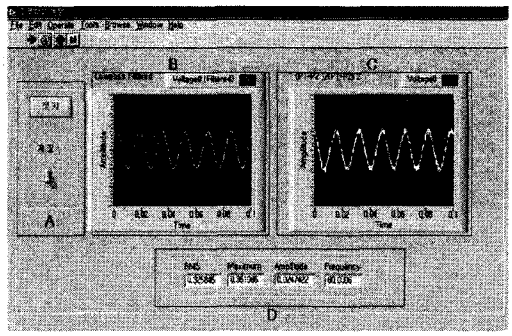

그림 4. 데이터 측정 프로그램 (1400A)

그림 4.는 Labview를 이용하여 데이터를 필터링하고 분석, 저장하는 프로그램을 직접 프로그래밍하였다. 디스플레이 화면은 크게 A, B, C, D의 부분으로 나눌 수 있다. A는 운영자가 직접 조작하여 데이터를 저장할 수 있는 스위치를 구성하였다. B는 1400A에서의 PD출력신호를 프로그램에 의한 Lowpass필터링을 적용한 후 식(6)의 연산한 것을 나타내는 것으로 노이즈와 파형 왜곡이 감소하였다. C는 측정전류 1400A에서의 PD와 DAQ보드를 거쳐 들어오는 신호를 처리하지 않고 식(6)의 연산하여 나타낸 신호이다. D는 수집된 데이터 값들에 대한 RMS, 최대값, 진폭 및 주파수 데이터를 디스플레이 하여 실시간으로 센서신호를 디스플레이 할 수 있다.

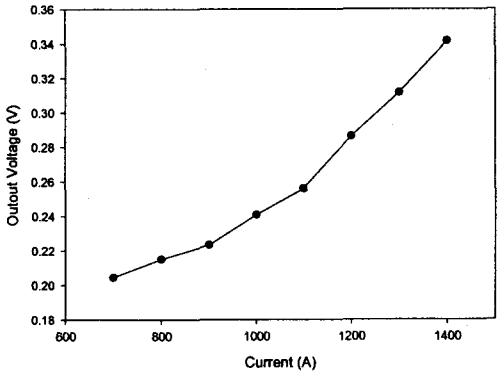

그림 5. 전류에 대한 수집한 데이터 값

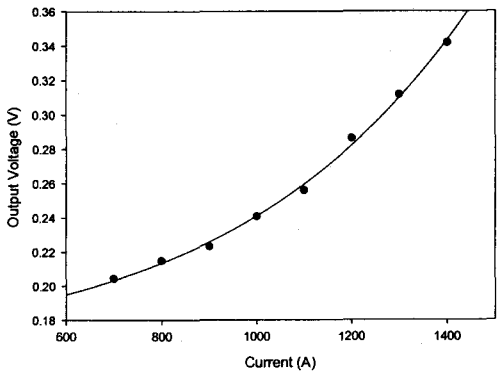

그림 5-1. 전류에 대한 수집한 데이터 값

그림 5, 5-1은 프로그램을 통해 수집한 700A~1400A의 데이터 값을 측정 전류값에 대해 나타낸 것이다. 전류값이 증가할수록 센서의 출력전압 신호가 2차원적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

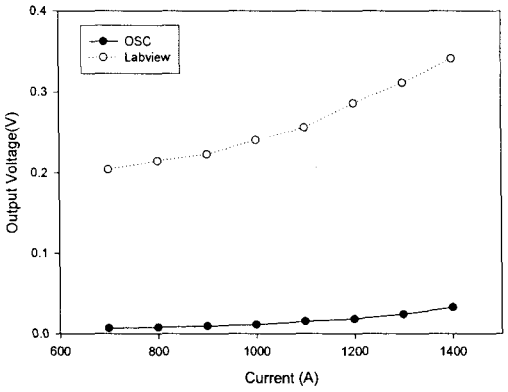

그림 6. 기존 측정방법과의 비교

그림 6.은 700A~1400A 전류값을 오실로스코프(Tektoronix 2000)를 이용한 측정방법과의 데이터 비교 곡선이다. 두 곡선 모두 2차원적으로 증가하는 모습을 볼 수 있으나 오실로스코프를 이용하여 측정한 데이터에 비해 감도 면에서 우수한 면을 보였다.

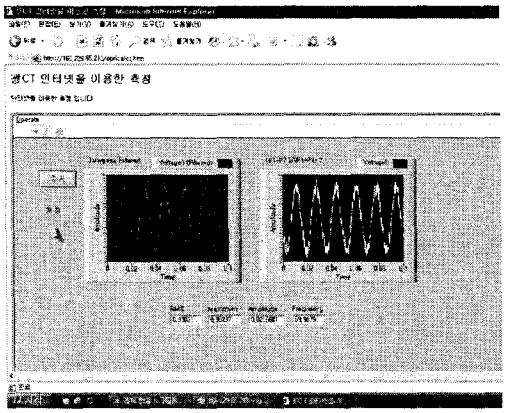

그림 7. Web기반의 온라인 측정

그림 7.은 Web을 기반으로 하여 온라인으로 원거리에서도 운영자가 감시할 수 있는 온라인 모니터링을 보여주고 있다. Labview의 Web Tool기능을 이용하여 프로그래밍하였으며 웹브라우저로 손쉽게 측정되는 값을 디스플레이 할 수 있다.

5. 결 론

1310nm 레이저다이오드와 단일모드 9/125 μm를 이용하여 폐루프형 GIS용 광전류센서를 구성하고 700A~1400A의 전류에서의 PC기반 측정장치에서 광 전류센서의 출력을 측정하였다. 또 실시간으로 데이터를 취득, 분석, 저장 가능한 프로그램을 코딩하여 기존의 오실로스코프를 이용한 실험결과와 비교하여 높은 정확성을 확인할 수 있었다. 웹브라우저를 이용한 Web기반의 측정은 IT기술 전력계통에 접목하여 원거리에서도 계통을 감시할 수 있는데 이점을 지니고 있다. 또 기존 측정장비에 비해 저렴한 비용의 장비와 프로그래밍을 이용한 측정으로 상황이나 환경에 맞는 유연성이 강한 계측 시스템을 구축할 수 있다. 하지만 Web ,PC기반으로 계통을 측정, 감시하는 경우에 보안문제가 해결되어야 할 것이다.

이 연구는 산업자원부와 (주)효성의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] 송민호, 양창순, 안성준, 박병석, 이병호 "과전류 보호계전기용 광섬유 전류센서",비파괴검사학회지 Vol.21, No.5 2001
[2] H. Aulich, W.Beck, N. Doukilas, H. Harms, A. Papp, and H. Schneider, Appl. Opt. 19, 3735(1980)
[3] 정철우 "대전류 측정을 위한 Optical CT 기술 개발 연구" 영남대학교 , 석사 학위 논문 p.2, 2004.02
[4] H. Harms, E. Feldtkeller , Rev. Sci. Instrum., Vol. 44, No. 6, June 1973
[5] George I. Chandler and Franz C. Jahoda , Rev. Sci. Instrum. 56(5) May (1985)