

OF 케이블 Gas 검출을 위한 광흡수 스펙트럼 분석장치 구현에 관한 연구

오상기, 강동식, 김요희, 강욱, 류희석, 박해수, 노종대
한국전기연구소

A study on the implementation of optical absorption spectrum analyzer for detecting gases in OF power cable

S.K. Oh, D.S. Kang, Y.H. Kim, U. Kang, H.S. Ryoo, H.S. Park, J.D. Roh
KERI

Abstract - Presently, it is now developing the optical remote gas sensor system which can measure combustible gases such as CH₄ and C₂H₂ generating by partial discharges inside the cable and connection parts to detect thermal deterioration of Oil-Filled(OF) power cable at the appropriate time. It is the most important parameter to select central wavelength of laser diode(LD) by analyzing the absorption bend of measuring gases in the infrared region.

In this research, we proposed the optical spectrum analyzer to absorption band of CH₄ and C₂H₂ for the preliminary research of optical fiber gas detecting system.

1. 서 론

가스, 석탄 및 석유화학산업의 많은 영역에서 다양한 폭발성 가스의 농도가 증가하는 것을 신속하게 검출하기 위한 효과적인 시스템으로 광학 검출 방식이 연구되고 있다. 초기에는 가스의 흡수영역에 일치하는 파장과 근접된 다른 파장을 이용한 자동 방식이 연구되었다.^(1,2) 그리고 1987년에 영국의 Dakin에 의해서 백색 광원인 Febyry-Perot Etalon 사용한 광파이버 가스 검출 기술에 대한 실험적 연구가 진행되었다.⁽³⁾ 그러나 최근에는 단일 파장의 LD 및 광파이버를 이용하여 가스 농도를 측정하는 광파이버 가스 검출 시스템이 연구 개발되고 있는 실정으로 폭발 등의 위험이 존재하는 장소나 전력 기기의 열화 및 절연진단에 이러한 시스템의 적용이 기대되고 있다.^(4,6)

특히 전력분야에서 OF 케이블은 절연 특성이 우수하기 때문에 지중 계통의 송전선으로 사용하고 있는데 이것은 장기간에 걸쳐서 열화가 진행된 후 고장을 일으키는 경우가 있다. 현재 이러한 문제점을 해결하기 위해서 정기적으로 케이블 접속부에서 추출한 절연유에 용해된 C₂H₂, CH₄ 등의 가스 농도 및 량을 분석하는 것에 의해서 열화의 정도를 평가하고 있다. 그러나 이러한 평가 방법은 절연유를 추출할 때 전력계통의 정전과 케이블의 열화 진행 상태를 연속적으로 감시할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 그래서 선진국에서는 중요 OF 전력 케이블의 열화 진행을 원격에서 자동 계측할 수 있는 새로운 시스템에 대한 연구가 진행되어 부분적으로 현장시험을 실시하고 있다.

일반적인 가스 검출은 전기적 센서를 사용하는데 이것은 낮은 감도 및 동작 신뢰도 등에 문제점을 가지고 있다. 그리고 검출부에 전원이 필요하기 때문에 주위 환경이 열악한 장소에서는 적용이 곤란하다. 그러나 광학 센서는 검출부에 전원이 불필요하기 때문에 응용 범위가 넓으며 특히 고감도 계측이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 따라서 OF 케이블 열화 진단 분야에서는 고감도의 광파이버 가스 검출 시스템의 적용이 기대되기 때문에 향후 이에 대한 연구 개발이 확대되리라 생각한다.

그래서 본 연구는 이러한 광파이버 가스 검출 시스템의 기초단계로서 가스 성분별 흡수파장 및 설계 파라미터를 도출하기 위한 광흡수 스펙트럼 분석장치의 구성에 대해서 논하였다.

2. 본 론

2.1 가연성 가스 발생 및 흡수 스펙트럼

2.1.1 열화 현상 및 가스 선정

OF 케이블의 절연 열화는 매우 작은 전기적 방전이 절연유속에서 일어나게 되는데 이러한 방전에 의해 절연지가 탄화되어 최종적으로는 절연 특성의 열화를 가져온다. 그리고 이러한 부분 방전이 장기간 연속되어 방전 에너지가 증가함에 따라 C₂H₂가 발생하게 되는데 OF 케이블의 열화형태에 따라 절연유에서 발생하는 가연성 가스는 표 2.1과 같이 다양한 종류가 있다.⁽⁷⁾

표 2.1 열화형태에 따른 발생 가스의 종류

열화 가스	절연유 과 열	절연체 과 열	유 중 아 크	절연체 아 크
H ₂	○	○	◎	◎
CH ₄	◎	◎	○	○
C ₂ H ₆	○	○	-	-
C ₂ H ₄	◎	◎	○	○
C ₂ H ₂	-	-	◎	◎
C ₃ H ₆	◎	○	○	○
CO	-	◎	-	◎
CO ₂	-	◎	-	◎

그러나 발생한 가스는 서로 다른 특성을 가지고 있기 때문에 그들에 대한 현상 규명은 어렵지만 C₂H₂ 가스의 발생량은 열화 레벨에 따라 변화한다는 것을 알 수 있다.⁽⁵⁾ 따라서 OF 케이블의 절연 열화는 C₂H₂의 량 및 CO를 포함한 가연성 가스(TCG)의 전체 량을 계측함으로써 효과적으로 결정할 수 있다.

이상과 같이 OF 케이블에서 발생한 C₂H₂의 량은 비교적 절연 열화에 대한 정보를 잘 제공하지만 C₂H₂의 발생량이 적을 경우에는 C₂H₂ 데이터로 열화 레벨을 결정하는 것은 어렵다. 따라서 OF 케이블의 열화 진단을 위해서는 C₂H₂ 및 CH₄ 가스를 동시에 계측함으로써 열화 정도를 비교적 정확히 검출할 수 있다.

2.1.2 측정 가스에 대한 흡수 스펙트럼

OF 케이블에서 발생하는 C₂H₂ 및 CH₄에 대해서 가장 강한 흡수진동을 하는 파장영역은 3μm~4μm(ν₃)이다. 이 영역은 실리카 파이버에서 높은 감쇠특성을 나타내기 때문에 광파이버 가스 검출 시스템의 구성에 적합

하지 않다. 그러나 약 1.5 μm , 1.6 μm 파장 대에서 2조파 ($2\nu_3$)가 발생하게 되는데 이러한 흡수 진동은 광파이버 전송손실이 적은 영역이기 때문에 장거리 광통신용 소자를 이용하여 효율적인 가스 검출 시스템을 구축할 수 있다.

그림 2.1은 분광기를 사용해 측정된 대기 및 주위 환경에 존재하는 다양한 가스 분자의 IR 영역에서 흡수파장 대를 나타낸다.^(2,5)

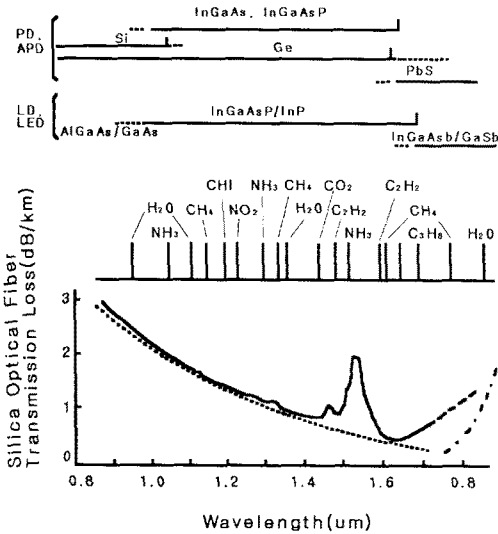


그림 2.1 다양한 가스의 흡수 파장의 예

그림 2.1에서 표시된 흡수파장 대는 일정한 대역폭을 갖는 수많은 흡수라인으로 구성되어 있기 때문에 정확한 파장을 선정하기 위해서는 분석기에 의한 측정이 필수적이다.

2.2 실험 시스템의 설계 및 구성

2.2.1 분광기 및 데이터 계측 장치

흡수파장을 분석하기 위한 분광기는 Spectrapro-150으로 고성능, 이중 Grating Turret으로 구성되어 있으며 분석 파장에 대한 데이터 계측을 위한 PC와 연결할 수 있도록 RS-232C, FA448-2, FA448-3의 인터페이스 기능을 가지고 있다. 그리고 표 2.1은 이에 대한 전기적 특성이다.

표 2.1 분광기 Spectrapro-150의 전기적 특성

항 목	내 용
Focal Length	150mm
Aperture Ratio	f/4
Optical Path	90°
기계적 Scan Range	0~1400nm
Dispersion	5nm/mm
정 도	±0.25nm
Typical Grating	600g/mm, 1.6 μm Blaze

분광기에서 분석한 흡수파장을 처리하기 위한 데이터 계측장치는 PC 확장카드와 계측용 소프트웨어로 구성된다. 이 장치는 16bit A/D 분해능, 1,000 P/초의 데이터 수집 기능 등을 가지고 있다. 그리고 소프트웨어 기

능은 파장에 대한 강도, 시간에 대한 강도를 고 분해능으로 계측할 수 있으며 또한 자동적으로 반사율, 투과율 및 흡수율을 측정할 수 있다.

그림 2.2는 분광기로 사용하는 Monochromater와 데이터 계측 및 표시용 확장카드를 나타낸다.

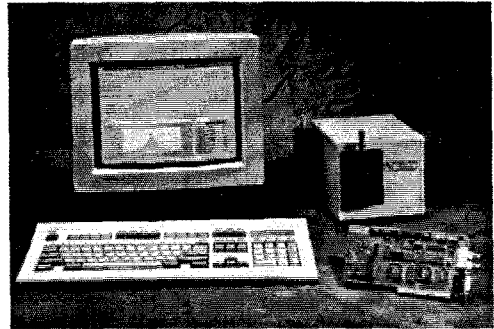


그림 2.2 분광기 및 데이터 계측 시스템

2.2.2 가스 Cell

고압력 가스 Cell은 1,000 psi 정도의 압력까지 가스의 흡수 스펙트럼 분석을 위한 센서로서 근적외선 영역인 0.9 μm ~2.5 μm 까지의 파장을 간편하게 측정할 수 있도록 SMA 커넥터가 부착된 광파이버 케이블의 연결이 가능한 구조로 제작되었다.

이것은 최대 광학 조건을 만족하도록 광학 설계를 최적화 하였으며 표 2.2는 특성 및 규격을 나타냈으며 그림 2.3은 이에 대한 사진이다. 그리고 그림 2.4는 가스 Cell 내에서 광신호가 통과할 때 투과효율에 대한 특성을 나타낸다.

표 2.2 가스 Cell의 특성 및 규격

항 목	내 용
Spectral Range	0.9~2.5 μm
길 이	10cm 고정
압 력	1,000psi
온 도 범 위	-30~125°
연 결 방 법	1/8" 파이프 선
구 조	316L Stainless Steel
Optical Material	Silica Achromat Lens

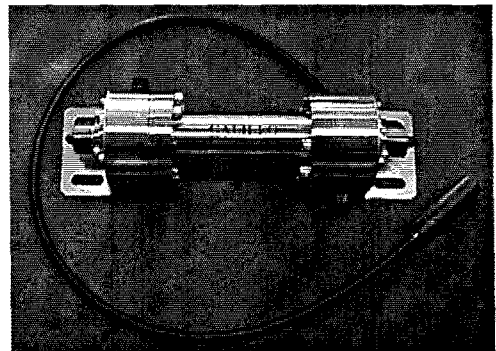


그림 2.3 가스 Cell의 사진

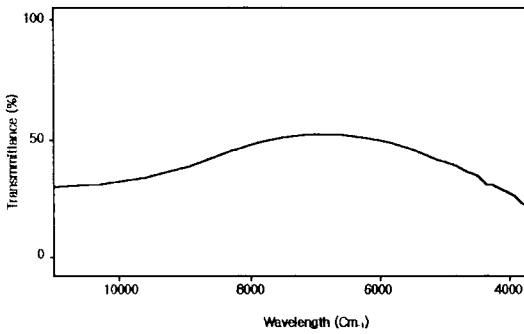


그림 2.4 가스 Cell에 대한 투과특성

2.1.3 광흡수 스펙트럼 분석기 구성

OF 케이블의 가스를 검출하기 위한 시스템의 설계 제작에 있어서 가장 기본적으로 수행해야 할 과정은 측정대상 가스의 흡수 파장을 도출하여야 한다. 이러한 실험은 광원인 LD 및 광학 소자의 선정 등의 기본자료가 되기 때문이다. 그리고 이러한 분석장치는 시스템을 개발한 후 가스 농도에 따른 광신호 감쇠 특성을 측정하여 운용 소프트웨어 및 분석 프로그램을 설계 및 구성하는데 필요한 자료를 획득하는데 필수적인 장치이다. 그래서 본 연구에서는 광신호의 파장 분석을 위한 분광기(Monochromater) 및 데이터 계측장치를 기본 설비로 하고 광원으로서 사용하고자 하는 파장의 넓은 대역에서 광신호를 출력하는 할로젠 램프를 사용하여 그림 2.5와 같이 실험 장치를 구성하였다. 그리고 그림 2.6은 실험 시스템 구성에 대한 사진을 나타낸다.

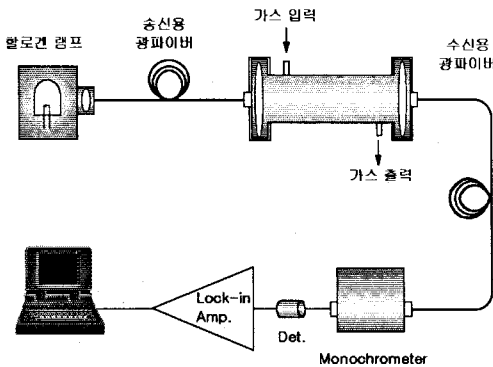


그림 2.5 실험 시스템의 구성도

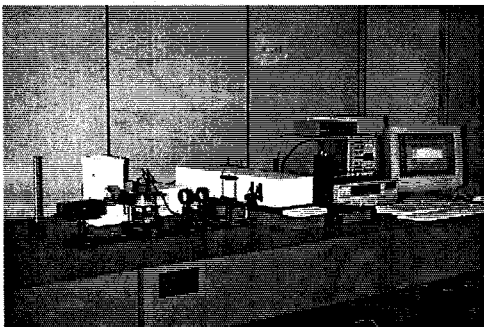


그림 2.6 광흡수 스펙트럼 분석 시스템의 사진

할로젠 램프의 광대역 광신호는 광파이버를 통해 가스 Cell에 전달되어 여기서 측정 가스에 따른 흡수파장이 감쇠하게 된다. 그리고 이 감쇠된 광신호는 광파이버를 통해 연속적으로 스캐닝이 가능한 밴드패스 필터로 동작하는 Monochromater 및 데이터 처리 장치에 전달되어 흡수파장에 대한 신호강도를 분석하게 된다.

3. 결 론

본 논문은 지중 송전 OF 케이블의 광파이버 가스 검출 시스템 구현의 기초 연구로서 기본 설계 자료를 도출하기 위한 광 흡수 스펙트럼 분석장치의 실험 시스템 구성에 대한 것이다.

실험 시스템에서 사용한 광원은 25V, 250W의 할로젠 램프와 광대역의 전력을 전달하기 위해 600 μ m의 실리카 광파이버를 사용하였다. 그리고 InGaAs의 solid state infrared detector를 채용하여 일반 광통신용 소자로 시스템 구성이 가능한 800~1800nm 영역의 흡수 파장을 분석할 수 있도록 하였다.

가스 Cell은 길이가 설치 현장을 고려하여 10cm로 설정하였으며 이것에 의한 각종 실험 데이터는 현장 적용이 가능하도록 하였다. 그리고 특성시험을 실시한 결과 약 1600nm 대역에서 52.23%의 최고 투과율을 갖는 것을 확인하였다.

향후 본 연구에서는 이 실험장치를 이용하여 OF 케이블의 열화진단에 필수적인 CH₄, C₂H₂ 가스는 물론 이에 관련된 가연성 가스의 흡수파장을 분석하는데 적극 활용하고자 한다. 그리고 가스 농도에 따른 파장의 신호 감쇠 특성에 대한 실험을 계속적으로 진행하여 현장적용 시스템 개발의 기본자료를 확보할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Hordvik A., Berg A. "A fiber optic gas detection system", *A. Proceedings ECOC '83*, pp.317-320
- [2] Chan K., Inaba H. "An optic fiber based gas sensor for remote absorption measurement of low-level CH₄ gas in the near-infrared region", *J. Lightwave Tech.* LT-2, No.3, pp.234-237, 1984
- [3] Dakin T.P., Wave C.A. "A novel optical fibre methane sensor", *J. Optical Sensor*, Vol.2, No.4, pp. 261-267, 1987
- [4] Feng, Xiyu Chen, Juan Dongxing "CH₄ gas optic fiber sensor research", *SPIE*, Vol.2895, pp.80-89
- [5] Inaba H., "All-optical remote sensor system over a 20km range based on low-loss optical fibers in the near infrared region", *VDE Verlag.*, pp.211-214, 1984
- [6] Sasaki T., Kurihara M. "Oil-filled cable surveillance system using newly development optical gas sensor", *IEEE Trans. on Power Del.*, Vol.11, No.2, pp.656-662, 1995
- [7] KERI, "지중 케이블 진단 및 유지보수 엔지니어링 기술", Workshop 자료, No.1, pp.214, 240-251, 1999