

가스센서를 이용한 변압기 절연유중 가스 검출장치의 수소 가스 감지 특성에 관한 연구

황규현, 서호준, 이동희
수원대학교 전기공학과

Permeability Study of Membranes for Separation H₂ in Oil

Kyu-Hyun Whang, Ho-Joon Seo, Dong-Hee Rhie
Electrical Eng. Dept., University of Suwon

Abstract - In oil-filled equipment such as transformers, partial discharge or local overheating will precede a final shutdown. Accompanied with such problems is a decomposition of insulating material into gases, which are dissolved into the transformer oil. The gases dissolved in oil can be separated with some membranes based on the differences in permeability of membranes to different gases. This paper discuss the permeability characteristics of several membranes for separation hydrogen gas in oil. With result of this paper, it may become possible to detect fault-related gases from transformer oil and predict incipient failures in the future.

1. 서론

대전력용 변압기로 사용되는 유입변압기 내부에서의 이상현상은, 예를 들어 절연과피현상이나 국부과열현상과 같이 반드시 발열이 수반되어 발생한다. 이와 같은 발열원에 접촉된 절연유, 절연지, 프레스보드 또는 베이 크라이트 등의 절연재료는 그 열에 의한 영향으로 분해 반응을 일으켜, 이산화탄소, 일산화탄소, 수소나 메탄, 에탄 등의 탄화수소계 가스를 발생시킨다. 이와 같은 분해 가스의 대부분은 절연유 중에 용해되므로, 예전부터 이들 유중용해가스를 추출, 분석하여 그 가스량 및 조성으로부터 변압기의 내부이상 유무 및 그 정도를 추정하는 유중가스분석법^[1]이 적용되어 왔다. 따라서 본 논문에서는 유입 변압기의 절연유에 용해되어 있는 가스 성분을 추출하기 위하여 멤브레인을 이용한 유중 수소 가스 농도 검지 시스템을 구성하여 멤브레인 종류에 따른 유중 수소 가스 투과 특성을 조사하였다. 제작한 유중 수소 가스 농도 검지 시스템은 기름 중에 용해되어 있는 가스를 추출하기 위하여 멤브레인을 이용 하였으며 가스 농도 검출부는 여러 종류의 가스들 중에서 수소 가스에 민감하게 반응하는 화학 센서를 이용하여 가스 농도를 측정하였다. 멤브레인의 종류에 따른 유중 수소 가스 투과 특성을 조사하기 위하여 시중에서 구할 수 있는 정밀여과막, 환외여과막 그리고 역삼투막 멤브레인에 대하여 실험을 수행하였다.

2. 본론

2.1 유중 가스 농도 검지 시스템 구성

유입 변압기의 절연유에 용해되어 있는 가스 성분을 추출하여 추출된 가스들로부터 수소 가스 농도를 측정하기 위한 유중 가스 농도 검지 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 실험에 사용한 유중 가스 농도 검지 시스템은 절연유 샘플 보관 용기와 유중 가스 추출부와 수소 가스 농도 검출부와 데이터 처리부로 나뉘어져 있다. 절연유 샘플 보관 용기는 직육면체의 아크릴 재질로써 용기의 부피는 1200cm³이며 본 실험 이후 방전 실험을 수행하기 위하여 제작한 고전압 실험 장치 양단 전극이 중앙

부에 위치하도록 설계하였다. 또한, 측면부에는 멤브레인 필터를 투과한 유중 가스를 채집하는 가스 포집부가 있다.

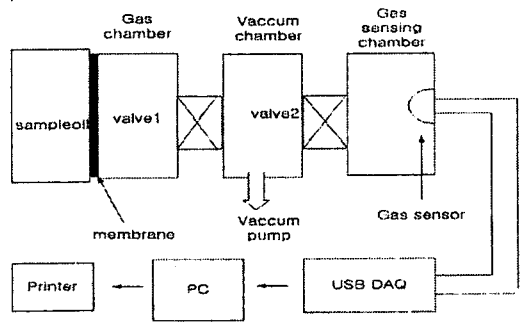


그림 1 유중가스농도 검지 시스템

측면부 가스 포집부는 원통형의 폴리프로필렌 재질로써 멤브레인 필터를 투과한 가스를 포집하는 기능을 수행한다. 수소 가스 농도 검출부는 수소 반응 가스 센서를 설치하여 추출된 가스들 중에서 수소 가스의 농도를 센싱하는 기능을 수행한다.

2.1.1 유중가스의 추출

본 논문에서 제작한 유중 가스 추출 장치는 기존의 가스 투과 멤브레인을 이용한 유중 가스 추출 방식^[10]의 효율을 개선하기 위하여 멤브레인의 가스 추출부에 압력 장치를 추가하였으며 제작한 장치의 대략적인 구성도는 그림 2 와 같다.

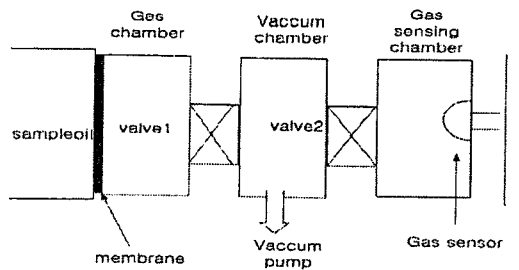


그림 2 유중가스 추출부

그림 2의 구성도에서 보듯이 본 연구과정에서 제작한 유중 가스 추출 장치는 크게 여섯 부분으로 구성되어 있다. 절연유를 보관하는 절연유 보관 용기(오일 챔버), 가스 투과 멤브레인, 멤브레인을 투과한 가스가 유입되는 가스 챔버, 멤브레인의 투과 속도 개선을 위한 진공 챔버, 수소 가스 농도를 측정하는 가스 센서 챔버 그리고

수소 가스 반응 센서로 구성되어 있다.

가스 투과 멤브레인 부분은 멤브레인의 자연적인 여과 기능을 이용하여 절연유는 차단하고 유증 가스만을 투과시켜 절연유 중에 용해되어 있는 가스를 추출할 수 있는 기능을 수행한다. 본 연구과제에서 사용중인 멤브레인 필터는 기공 크기가 0.01 μm 이하의 폴리이미드 재질의 한외여과막(Ultrafiltration membrane : UF막) 평막 필터이다. 멤브레인 선정 과정과 실험 결과에 대한 자세한 설명은 다음 절에 수록하였다.

제작한 진공 챔버의 대략적인 구성도는 그림 3 과 같다. 진공 챔버는 진공 발생기를 이용하여 저진공 상태(약 0.8기압)를 유지하도록 설계하였다. 이러한 저진공 상태는 멤브레인을 투과하는 가스의 속도를 증가시키기 위하여 고안하였다.

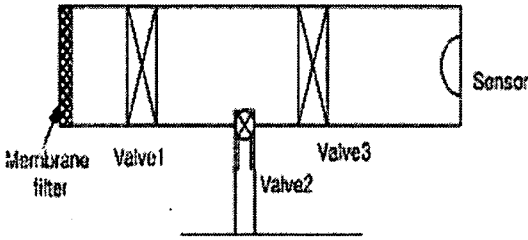


그림 3 가스 투과 속도 개선을 위한 진공챔버 구성도

수소 가스 농도를 측정하는 가스 센서 챔버는 절연유로부터 추출된 가스 성분이 즉시 수소 반응 가스 센서와 반응하지 않도록 가스 포획부와 가스 센서를 분리하는 기능을 담당하며 가스 센서 챔버의 밸브는 일정 시간이 경과하여 멤브레인을 투과한 절연유중 용해 가스의 양이 측정 가능 시점이 되었다고 판단되는 시점에 열린다.

수소 가스 반응 센서는 멤브레인을 투과한 기체가 자연확산에 의하여 가스 센서챔버까지 도달하였을 경우 수소 소스와 반응하여 수소 가스 농도를 검출하는 기능을 담당한다.

2.1.2 멤브레인 종류에 따른 가스 투과 특성 실험

본 논문의 유증 가스 추출 장치에 사용한 멤브레인 필터는 정밀여과막, 한외여과막 그리고 역삼투막의 세 종류이며 각각의 실험 결과를 표 1 에 나타내었다.

	기공크기	실험결과	비고
정밀여과막 (MF막)	0.1 μm	기름유출	실험 부적합
	0.2 μm		
	0.45 μm		
한외 여과막 (UF막)	0.01 μm 이하	가스투과	실험적합 투과속도 해결요망
역삼투막 (RO)	20A 이하	정상운전 조건미비	실험조건 미비

표 1 멤브레인의 종류와 가스 투과 실험 결과

정밀여과막(MF막)의 경우 현재 실험에 사용한 표준 2종 2호의 절연유에 대하여 기공 크기 0.1 μm 0.2 μm 0.45 μm Cellulose acetate재질의 정밀여과막을 적용한 결과 다른 여과막에 비하여 막의 기공 크기가 커서 절연유가 누출되므로 유증 가스 추출을 위하여 정밀여과막의 사용이 불가함을 확인하였다. 이는 정밀여과막의 재질에 관련한

문제보다는 기공 크기가 크므로 인하여 발생하는 현상으로 사료된다.

한외여과막(UF막)의 경우 실험에 사용한 표준 2종 2호의 절연유에 대하여 실험한 결과 현재 수행중인 연구과제의 유증 가스 추출부로서 적합하다는 결론을 얻었다. 그러나, 투과 속도를 개선시키기 위하여 UF막의 추출부에 부압(약0.8atm)을 인가한 결과 절연유가 유출되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 막분리공정 전문가에게 자문을 구하는 중이며 현재까지 자문받은 결과로는 현재 사용중인 재질 이외의 UF막을 사용할 것과 여러 종류의 기공 크기에 해당하는 다수의 UF막을 구입하여 실험할 것을 제안받았다. 따라서, 현재 본 연구 수행을 위하여 국내 필터 제조 업체 및 판매 업체를 통하여 UF막에 대한 상품 정보를 수집하고 있으나, 대부분의 상용화된 UF막의 경우 물에 대한 실험 정보는 다수 존재하고 있으며 기름에 관련한 분리막에 대한 정보 및 실험 결과는 전무한 상태이므로 실험에 맞는 UF막의 선정에 어려움이 따르고 있다. 또 다른 막분리공정 전문가는 본 연구 수행에 부합하는 유증 가스 추출에 적당한 UF막을 제조할 것을 권유하고 있으나 이는 현실적으로 불가능한 상황이다.

역삼투막(RO막)의 경우 실험에 사용한 표준 2종 2호의 절연유에 대하여 실험한 결과 현재 수행중인 연구과제에서 제작한 유증 가스 추출부로서 부적합하다는 결론을 얻었다. 그 이유는 표 1 에 나타난 역삼투막의 동작 조건을 고려할때 역삼투막을 정상적으로 동작시키기 위하여 약 20atm 이상의 압력을 인가하여야 하는데 현재 연구 수행중에 아크릴 재질로 제작한 절연유 보관 용기의 경우 그와 같은 높은 압력 상태를 유지할 수 없으므로 역삼투막의 적용성 여부를 판단하기 위하여 절연유 보관 용기에 절연유는 방출시키고 H₂ 500ppm/Air의 기체만을 보관하고 가스 챔버 사이에 역삼투막을 설치한 후 투과 정도를 관찰하였으나 가스조차 투과하지 못한다는 결론을 얻었다. 따라서, 유증 가스 추출부에 역삼투막을 사용하기 위해서는 절연유 보관 용기를 금속 재질로 고압 상태에 견디도록 특수 제작하여야 하지만, 제작에 따른 어려움이 많은 상황이다.

2.2 실험과정

본 논문에서 수행한 실험 절차는 다음과 같다.

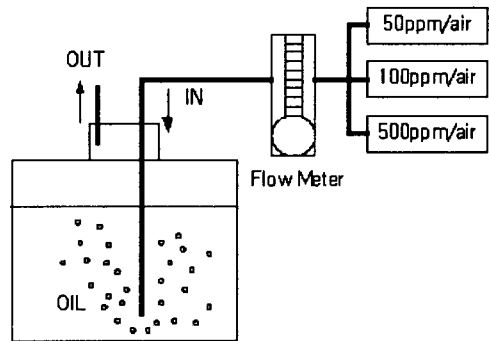


그림 4 수소 가스를 절연유에 용해시키는 과정

먼저, 절연유(신유)에 충분한 양의 수소 가스가 용해되도록 하기 위하여 외부의 수소 가스 저장 용기로부터 각각 50ppm H₂/Air, 100ppm H₂/Air, 500ppm H₂/Air를 각각 20시간씩 버블링 작업을 수행하였다. 50ppm H₂/Air, 100ppm H₂/Air, 500ppm H₂/Air의 각 가스를 충분한 시간에 걸쳐 절연유에 주입함으로써 절연유에 용해되도록 실험 예비 작업을 진행하였다. 실험에 이용한 버블링 작업의 구성도는 그림 4 와 같다.

이 과정을 통해 절연유에 수소 가스를 용해시킨 후 한

외여과막을 통과한 가스중에서 수소 가스 농도를 측정하였다.

2.2.1 실험 결과

50ppm H₂/Air, 100ppm H₂/Air, 500ppm H₂/Air를 버블링시킨 후 측정된 센서 출력 전압과 센서 저항의 시간에 대한 변화를 그림 5에 나타내었다.

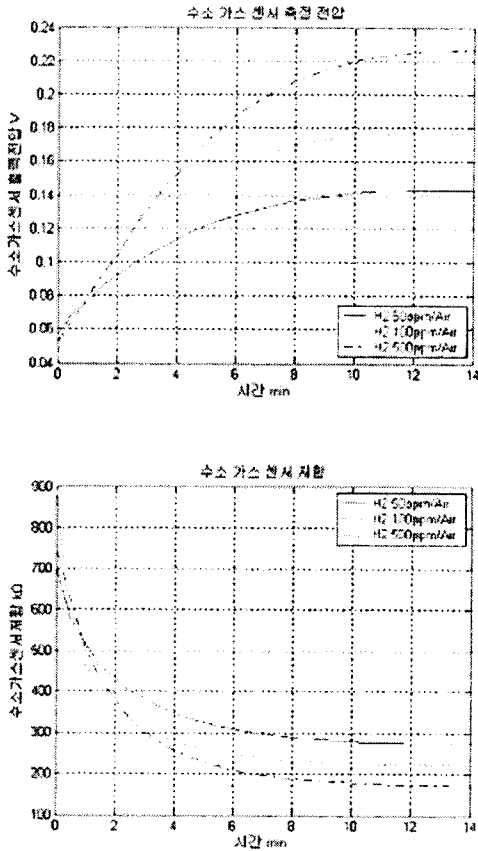


그림 5 수소 가스 센서의 측정 전압과 가스 센서 저항

Sensitivity Characteristics

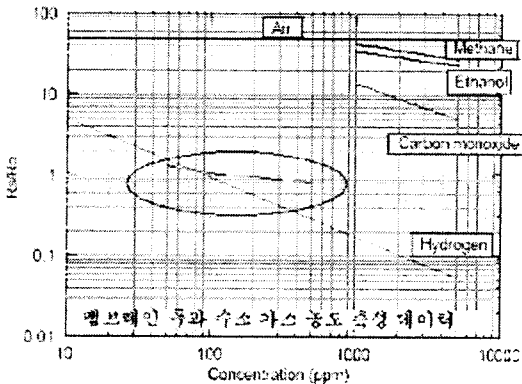


그림 6 멤브레인 투과 수소 가스 농도 특성곡선

그림 6은 현재 실험을 통하여 얻은 유중 수소 가스 농도를 가스 센서 제작회사의 수소 가스 농도 특성 곡선과 비교하였다. 위의 실험 데이터로부터 유중 수소 가스 농도를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

실험 결과는 현재 연구 수행중인 유중 가스 추출부에 사용한 멤브레인은 압력을 인가하지 않은 경우 대략 10분 정도면 센서 출력이 포화됨을 알 수 있었다. 또한, 멤브레인을 투과하는 가스 속도를 개선시키기 위하여 압력을 인가하는 경우 멤브레인을 통하여 절연유 보관 용기로부터 절연유가 유출되는 현상을 관찰하였으며 실험실에서 보유중인 멤브레인으로는 부압력을 인가하여 가스 투과 속도를 향상시키는 실험에는 부족하다는 것을 확인하였다. 이러한 현상을 개선하기 위하여 멤브레인의 재질 및 기공 크기가 다른 여러 가지 한외여과막을 이용하여 향후 실험을 계속할 예정이다.

3. 결 론

가스 추출부에 이용한 멤브레인의 특징은 다음과 같다. 정밀여과막을 이용하여 가스 추출 실험을 수행한 결과, 멤브레인의 기공 크기가 커서 절연유가 누출되는 실험 결과를 확인하였으며, 유중 가스 추출을 위하여 정밀여과막의 사용이 불가함을 확인하였다. 이는 정밀여과막의 재질에 관련한 문제보다는 기공 크기가 큼으로 인하여 발생하는 현상으로 사료된다. 한외여과막의 경우 절연유에 대하여 가스 추출 실험을 수행한 결과 현재 수행중인 연구 과제의 유중 가스 추출부로서 적합하다는 결론을 얻었다. 그러나, 절연유로부터 투과되는 가스 속도를 개선시키기 위하여 한외여과막의 추출부에 압력을 인가한 결과 절연유가 유출되었으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 현재 사용중인 재질 이외의 한외여과막을 사용하는 방안과 다른 기공 크기를 갖는 다수의 한외여과막에 대하여 실험할 예정이다. 역삼투막의 경우 절연유중 가스 추출 실험을 수행한 결과 현재 연구 수행중인 유중 가스 추출부로서 부적합하다는 결론을 얻었다. 그 이유는 앞서 언급한 역삼투막의 동작 조건을 고려할 때 역삼투막을 정상적으로 동작시키기 위하여 약 20atm 이상의 압력을 인가하여야 하는데 현재 연구 수행중에 아크릴 재질로 제작한 절연유 보관 용기의 경우 그와 같은 높은 압력 상태를 유지할 수 없다는 것이다.

향후 연구 과제로서는 실험 조건에 일치하는 멤브레인을 선정하여 완성 예정인 유중 가스 농도 검지 시스템과 부분 방전 시험을 병행하면 산업체 현장에서 발생하는 변압기 이상현상에 대한 기초 데이터 베이스를 구축하여 추후 변압기 이상유무 진단에 필요한 데이터로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- 1) 電氣協同研究會 : "油中가스分析による 油入器 機保守管理", 電氣協同研究, 第36卷, 第1號, 1979
- 2) 日本ガス協會 : "變壓器油中水素檢出裝置", 第44 卷 10號 p.46-49, 1991
- 3) "油中溶存酸素監視裝置", 電氣學會全國大會講演 論文集, 1991, 8, p.77, (1991)
- 4) IEEE Transformer Committee (1988). "Guide For Failure Investigation, Documentation and analysis for power Transformers and shunt reactors"
- 5) ANSI/IEEE Std C57. 104 (1977). "Guide for the Detection and Determination of Generated Gasses in Oil Immersed Transformer and their Relation for the Serviceability of the Equipment"
- 6) 張替, 後藤, 太田, 月岡 : "フルフルルによる油入 變壓器の經年劣化度診斷研究" 電氣學會論文集 A, 112卷, 6號, p.589, 1992
- 7) 電氣學會技術報告, 第502號 : "電力設備絶緣余 壽命推定 法", p.61, 1994