

가스센서를 이용한 부분방전특성에 따른 유중수소가스 측정연구

논문
58-9-21

Measurement Technology of the Dissolved Hydrogen Gas Due to Partial Discharge in Oil using Gas Sensor

허 중 철[†] · 선 중 호^{*} · 강 동 식^{*} · 정 주 영^{**} · 추 영 배^{***} · 박 정 후[§]

(Jong-Cheol Heo · Jong-Ho Sun · Dong-Sik Kang · Joo-Young Jeong · Y-B Choo · Jung-Hoo Park)

Abstract - This paper describes the measurement technology of the dissolved hydrogen gas due to partial discharge in oil using gas sensor. For higher resolution and less error in measurement of the dissolved hydrogen gas in oil, the sensor outputs with ambient temperature which affect the sensor output characteristics should be considered. The sensor output trends with ambient temperature and the properties of the dissolved hydrogen gas in oil with partial discharge characteristic were analyzed through the test results. It was indicated that the sensor peak and the base voltage with measuring time were affected by ambient temperature and the measurement errors of the sensor output by temperature were reduced by using the difference between the peak and the base voltage rather than just the peak voltage. In addition, the hydrogen gas sensor outputs were increased with the increase of partial discharge energy.

Key Words : Hydrogen Gas in Oil, Diagnosis System, Partial discharge energy, Oil-immersed Transformer, Sensitivity

1. 서 론

유입식 전력기기의 절연유나 유중 고체절연물에서 부분방전이 발생하면 고장에너지에 의해 절연유가 분해되어 H₂, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, CH₄, CO등의 가스가 발생하고 유중에 용해된다. 그러므로 유중 용해가스를 측정하므로써 부분방전 발생유무의 간접적인 판정이 가능하며, 특히 분해가스중 수소가스는 부분방전에 의하여 가장 많이 발생하고 유중에서의 낮은 용해도로 인한 수소가스의 분리가 용이한 특성 때문에 다른 가스에 비하여 부분방전의 정도를 검출하는데 효율적인 가스로 알려져 있다.[1-3] 이와 같은 부분방전에 대한 유중 수소가스의 검출특성과 더불어 최근 수소가스 센싱 기술과 디지털 기술의 발전으로 온라인 수소가스 검출 기술이 다양하게 연구되어 왔다.[4-7] 유중 수소가스를 이용한 온라인 진단기술은 수소가스를 분리하는 기술과 분리된 수소가스를 센싱하는 기술로 분류할 수 있다. 일반적으로 수소가스의 분리는 멤브레인을 사용하고 있지만 센싱기술로는 반도체형 수소가스센서, FTIR, 수소연료전지센싱과 같은 다양한 방식이 알려지고 있다.[8-10] 이와 같은 센싱방식 중에서 측정의 간편성과 경제성, 유지보수의 편리성등의 장점 때문에 반도체 가스센서를 이용한 센싱방식에 대한 연구결과

도 다수 보고되고 있다[5,9-10].

반도체 가스센서를 이용한 수소가스 측정은 수소가스 농도에 따라 변하는 반도체 센싱물질의 전도도 변화를 이용한 다. 전도도의 변화는 센서의 출력전압을 변화시키고 따라서 수소가스농도에 따른 출력전압의 변화특성으로부터 수소가스의 농도를 결정할 수 있다.

유중수소가스의 측정을 통해 부분방전으로 인한 유입식 변압기의 고장예방을 위해서는 신뢰성 있는 유중 수소가스 농도 결정기술이 필요하다. 반도체 가스센서를 이용한 유중 수소가스측정에서 측정의 신뢰도를 높이기 위해서는 측정시 적절한 감도를 유지해야 하고 또한 센싱물질의 전도도는 주위 측정환경에 따라 변하기 때문에 환경에 영향을 적게 받는 수소가스농도 결정 기술을 적용해야 한다. 저자 등은 반도체 가스센서를 이용한 유중가스 농도측정에서 멤브레인을 통과한 수소가스가 반도체 가스센서와 반응하기 전 가스수집시간을 이용하여 측정감도를 조절하는 연구를 수행한 바 있다[11]. 따라서 이와 같은 가스수집시간을 이용한 유중 수소가스측정 기술로 측정 감도의 조절은 가능하지만 여기에 측정의 정확도를 더욱 향상시키기 위해서 환경의 영향을 줄일 수 있는 유중가스 농도 측정기술이 필요하다. 특히 환경요소 중 온도는 전도도에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으므로 온도와 가스센서출력과의 상관관계로부터 온도의 영향을 최소화 할 수 있는 수소가스 농도 결정기술에 대한 연구가 요구된다.

본 연구에서는 가스센서를 이용한 부분방전특성에 따른 유중수소가스농도 측정에 관하여 논하고 있다. 가스센서를 이용한 수소가스측정에서 온도에 대한 영향 정도를 감소시킬수 있는 측정방법을 결정하기 위하여 일반적으로 사용되고 있는 가스센서 최대 출력전압 측정방법과 최대출력전압

[†] 교신저자, 정회원 : 한국전기연구원 책임기술원
E-mail : jcheo@keri.re.kr

^{*} 정 회 원 : 한국전기연구원 책임연구원 · 공학박사

^{**} 정 회 원 : 한국전기연구원 책임기술원

^{***} 정 회 원 : 거제대학 선박기술계열 부교수 · 공학박사

[§] 펠로우회원 : 부산대학교 공대 전기공학과 교수 · 공학박사
접수일자 : 2009년 7월 29일

최종완료 : 2009년 8월 4일

상승치 측정방법의 2가지 기준방법에 대하여 온도가 미치는 영향 정도를 비교 분석하였으며, 그 결과로부터 온도가 가스 센서 출력에 미치는 영향을 최소화하는 측정방안을 결정하였다. 또한 절연유중에서의 연속적인 부분방전 실험을 통하여 주기적으로 부분방전 크기와 펄스수를 측정하였으며 이와 같은 부분방전 정보량과 결정된 유중수소가스 측정방법을 사용하여 부분방전 특성과 유중수소가스크기와의 관계를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 이론적 고찰

특정가스가 어떠한 공간에서 액체에 용해되어 있으면 액체에 용해되어 있는 가스와 기상에 존재하는 가스는 최종적으로 서로 평형상태로 유지된다. 만약 멤브레인이 부분방전에 의해서 발생된 수소가스가 용해되어 있는 절연유와 일정 기체 용기 사이에 접해있으면 절연유내의 수소가스는 멤브레인을 통해서 평형이 될 때까지 기체용기로 투과된다. 이때 단위시간당 투과되는 가스가 일정하다고 하면 Δt 시간 동안 투과되는 가스량 P 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.[11,14]

$$P = P_0 \Delta t \tag{1}$$

여기서 P_0 : 단위시간당 투과 가스량

한편, 수소가스가 없을 때 반도체 가스센서의 전도도 σ_0 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_0 = A \cdot \exp(kT/E) \tag{2}$$

여기서 A: 상수, κ : 볼츠만상수, T: 절대온도

E: 이온이동의 확산화 에너지,

만약 수소가스센서가 식(1)과 같이 Δt 시간 동안 투과되어 수집된 수소가스와 접하게 되면 그 때의 전도도 σ_1 은 수소가스량에 비례하므로 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_1 = A_1 \cdot P_0 \Delta t \cdot \exp(kT/E) \tag{3}$$

가스센서의 전도도의 차는 수소가스의 양을 의미하므로 식(2)와 식(3)에 의하여 수소가스에 의한 전도도차 $\Delta\sigma$ 는 식(4)와 같이 된다.

$$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_0 = A_2 (P_0 \Delta t - 1) \cdot \exp(kT/E) \tag{4}$$

식(4)에 따르면 단위시간당 가스투과량 및 가스센서의 재질이 일정하다고 할 때 전도도의 차는 가스센서의 온도 T와 가스수집시간 Δt 에 비례함을 알 수 있다

이상과 같은 이론적 고찰에서 부분방전에 의해서 발생된 동일한 수소가스양에 대해서도 온도나 가스수집시간이 다르다면 전도도가 차이가 나서 수소가스양을 다르게 지시할 수 있음을 알 수 있다.

2.2 실험방법

‘2.1항’에서 설명한 바와 같이 가스센서의 출력은 주위 온도 T와 가스수집시간 Δt 에 관계함을 알 수 있었다. 이전의

연구[11]에서 가스센서의 출력과 가스수집시간 Δt 는 비례 관계가 있는 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 두가지 관점에서 실험하였다. 그중 첫 번째는 동일한 가스농도에 대하여 주위온도 T와 가스센서의 출력과의 관계로부터 주위 온도 T에 대한 영향을 최소화하는 가스센서 출력특성을 찾기 위한 실험이며, 두 번째는 결정된 가스센서 출력특성과 부분방전특성과의 관계를 분석하기 위하여 유중에서 부분방전을 발생시키고 그 때 발생된 유중수소가스는 가스센서를 사용하여 측정하는 실험이다.

2.2.1 주위온도에 따른 가스센서출력 측정실험

그림 1은 첫 번째 실험으로서 주위온도에 따른 상용화 수소가스센서 출력의 온도특성 실험 개략도를 보여준다. 실험에 사용된 가스센서는 F사의 수소가스 측정용 반도체 가스센서를 사용하였으며, 주위온도를 조절하기 위하여 가스센서가 들어있는 가스셀을 오븐내에 설치하였다. 오븐의 온도를 계절에 따른 외부온도를 고려하여 18℃(상온)과 30℃ 및 40℃로 포화시킨 후 20ppm 및 50ppm의 수소가스를 MFC를 사용하여 분당 200ml의 양으로 5초 동안 가스셀에 주입하였다. 가스셀에 가스가 주입되기 전부터 가스센서의 출력 전압 분포로부터 최대 출력전압 및 최대 출력전압과 가스센서가 수소가스와 반응하기 직전의 출력전압과의 차인 최대 출력전압 상승치를 주위온도에 따라 분석하였다. 이 때 사용된 가스센서의 입력전압은 5V이고 최대 출력전압은 약 4.7V이며 상세한 측정회로는 참고문헌[11]의 그림 2에 나타났다.

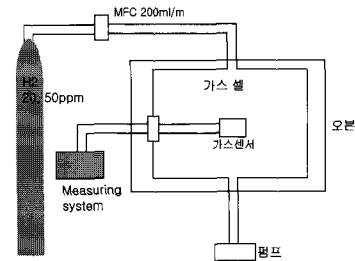


그림 1 주위온도에 따른 수소가스센서 출력 실험장치
Fig. 1 Temperature characteristic layout of hydrogen gas sensor

2.2.2 부분방전에 의한 유중수소가스 측정실험

유중수소가스와 부분방전 특성치와의 관계를 고찰하기 위하여 부분방전 실험을 실시하였다. 부분방전 발생에 사용된 전극구조는 그림 2와 같다. 그림 2에서와 같이 부분방전은 절연유(광유 1종 2호)가 들어 있는 밀폐된 용기의 전극사이에 삽입된 강화유리의 연면에서 일어나며 그 때 연면방전에 의해 절연유가 분해되면서 유중수소가스가 발생하게 된다. 인가전압은 4kV, 7kV, 10kV이며 각 전압은 24시간 동안 인가되었고 동일한 인가전압 조건에서 부분방전시험은 각 3회 실시되었다.

부분방전측정은 IEC 60270에 적합한 부분방전 측정기(MODEL: CD-6) 및 디지털저(VXI-1000)를 사용하여 측정하였으며, 부분방전 교정기(Mitsubishi, MODEL PG-6)를 이용하여 부분방전 전하량을 교정하였다. 부분방전 시험중 3시간 마다 부분방전측정기에서 측정된 부분방전펄스를 디지털저를 사용하여 위상에 따른 PD크기, PD개수를 10주기 반복 측정 저장하였으며, 사용된 디지털저의 샘플링율은 250kS/s이고 1주기 측정시간은 60Hz 상용주파 1주기인 16.67ms이고 분해능은 8bit이다.

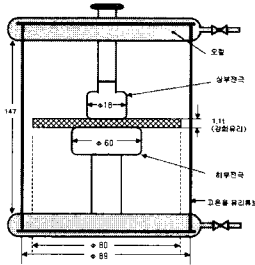


그림 2 부분방전 Cell 및 전극구조
Fig. 2 PD Cell 및 Electrode structure

24시간동안 각 시험전압에서 부분방전을 발생시킨 후 그림 3과 같은 방법으로 수소가스센서 출력전압을 측정하여 유중 수소가스 크기 경향을 측정하였다. 그림 3에 따르면 먼저 수소가스가 누기 되지 않도록 24시간 방전실험이 종료된 부분방전 셀(PD cell) 내부의 절연유를 절연유 챔버(Oil chamber)로 옮긴다. 이 때 챔버내의 유중수소가스가 누기 되지 않도록 부분방전 셀과 절연유 챔버의 유통로는 테프론관을 사용하여 밀폐하며 절연유챔버에 기포가 발생하지 않도록 송유펌프를 사용하여 절연유를 서서히 이동시킨다. 절연유가 절연유 챔버에 가득 찬 후 가스센서와 반응시 적절한 감도를 얻기 위하여 절연유 챔버에 설치되어 있는 멤브레인을 통과한 수소가스를 60분 동안 가스수집실에 모은다. 가스수집이 종료되면 가스수집실과 가스센서 사이에 설치되어 있는 밸브를 개방하여 가스 수집실에 모여진 수소가스를 자연적으로 가스센서 쪽으로 이동시키며 이 때 가스센서는 수소가스와 반응하게 한다. 가스센서의 출력전압은 수소가스와 반응하기 전부터 1초에 한번씩 측정하며 각 시험전압에서 동일한 시험을 3회씩 실시하였다.

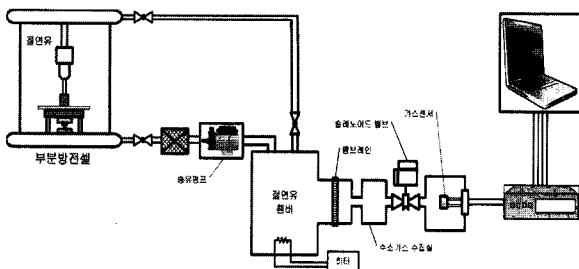


그림 3 유중분해 수소가스 측정시스템구성
Fig. 3 Experimental setup for dissolved hydrogen gas measurement

3. 실험결과 및 고찰

3.1 주위온도에 따른 가스센서출력 측정 실험결과

그림 4는 수소가스 20ppm과 50ppm에 대해서 오븐내 가스셀 주위온도에 대한 센서 출력특성을 보여주고 있다. 그림 4에서 측정시간에 대하여 센서출력은 수소가스가 없을 때는 일정한 기저전압을 유지하다가 수소가스와 반응을 시작하면 급격히 증가하여 최대전압을 보인 후 감소하는 형태를 취하고 있다. 또한 20ppm과 50ppm에서의 최대출력전압은 분명한 차이를 보이고 있고 동일한 농도에서 온도가 증가함에 따라 최대출력전압이 증가하고 있는 것으로 보이고 있다. 이러한 관계를 상세히 분석하기 위하여 그림 4로부터 표 1과 같이 각 측정전압 값을 구하였다. 표 1에서 알 수 있듯이 먼저 20ppm에서 최대출력전압(Peak Voltage)은 18°C에서 469mV, 30°C에서 521mV, 40°C에서 542mV이며 18°C에 대한 30°C와 40°C에서의 최대출력전압비는 111.1%와 115.5%로서 온도에 따라 최대출력전압은 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로부터 반도체 가스센서의 최대출력전압을 사용하여 수소가스 농도를 결정할 때 센서의 주위온도가 다르면 출력전압도 차이가 나서 수소가스 농도를 다르게 지시하게 된다. 한편 표 1에 따르면 최대출력전압뿐만 아니라 기저출력전압도 18°C에서 35mV, 30°C에서 56mV 그리고 40°C에서 76mV로 18°C에 비하여 30°C와 40°C에서의 기저출력전압 비는 각각 160%와 217%로서 온도상승에 따라 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 수소가스농도를 결정할 때 최대출력전압과 기저출력전압과의 차를 이용하면 최대출력전압을 단독으로 사용하는 것보다 온도에 따른 출력전압의 영향이 감소할 것으로 보인다. 실제 표 1에서와 같이 차를 이용하면 20ppm의 경우 18°C에서의 차에 대한 30°C와 40°C 차의 비는 각각 107.1%와 107.3%로서 최대출력전압을 사용할 때보다 온도에 대한 영향이 4%~8% 감소한 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 50ppm에서도 유사하게 나타났다. 이와 같은 결과로부터 반도체 가스센서를 사용하여 유중가스를 측정시 최대출력값과 기저출력값의 차를 사용하는 것이 주위온도 영향을 적게 받는 것으로 평가되었다.

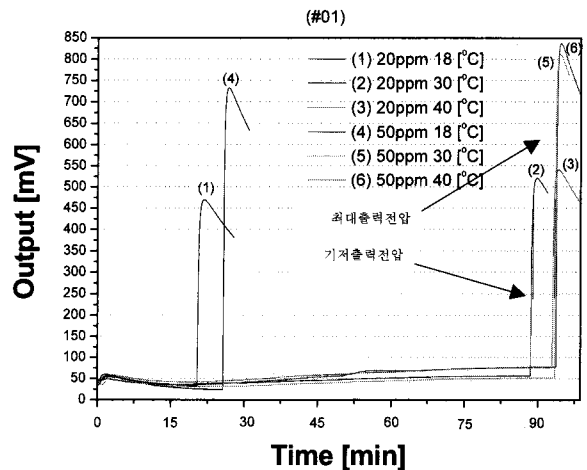


그림 4 수소농도 20ppm, 50ppm에서 센서출력의 온도의존성
Fig. 4 Output trend of sensor with temperature under 20ppm, 50ppm hydrogen gas

표 1 가스농도 및 주위온도에 따른 센서출력

Table 1 Sensor output properties with gas concentration and ambient temperature

Gas 농도 (ppm)	주위 온도 (°C)	기저 출력 전압 (mV)	최대출력전압 (mV)		최대출력전압 상승분(mV)	
			전압	증가율	전압	증가율
20	18	35	469	100.0%	434	100.0%
	30	56	521	111.1%	465	107.1%
	40	76	542	115.5%	466	107.3%
50	18	23	733	100.0%	710	100.0%
	30	52	813	110.9%	761	107.1%
	40	78	838	114.3%	760	107.0%

3.2 부분방전에 의한 유중수소가스측정 실험결과

상기에서와 같이 최대출력전압 상승치를 이용하여 수소가스를 측정하는 방법과 부분방전 특성과의 상관관계를 고찰하기 위하여 실제 부분방전실험을 통한 기저출력전압과 최대출력전압과의 차이를 측정하는 실험을 실시하였다. 그림 5는 4kV와 7kV, 10kV에서 16.67ms x 10주기 동안 측정된 대표적인 부분방전 펄스분포형태를 보여주고있다. 또한 24시간 전압인가 종료 후 그림 3과 같은 방법으로 부분방전에 의하여 발생된 유중가스를 반도체 가스센서를 사용하여 측정하였다. 그림 6은 각 전압에서의 부분방전에 따른 대표적인 측정시간에 대한 반도체 가스센서의 출력특성을 보여주고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 온도조건이 비슷한 약 20°C의 상온에서 측정하였기 때문에 기저전압은 유사하지만 최대출력전압은 인가전압이 높을수록 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 동일한 인가전압에서 3회 측정된 부분방전분포에 따른 부분방전량, 펄스수 그리고 부분방전에너지와 같은 부분방전 특성과 반도체 가스센서 최대출력 상승치와의 관계를 고찰하기 위하여 표 2에 각 측정요소들을 나타내었다. 여기서 총 부분방전에너지는 다음과 같은 식에 근거하여 구해졌다[15].

$$E = \frac{q \cdot n}{0.01667 [s] \times 10 [회]} \times V \times T \quad (5)$$

- E : 총 부분방전 에너지[J]
- q : 10주기동안 측정된 평균 부분방전전하량[C]
- V : 인가전압[Vrms]
- T : 전압인가시간[s] : 24시간
- n : 부분방전갯수

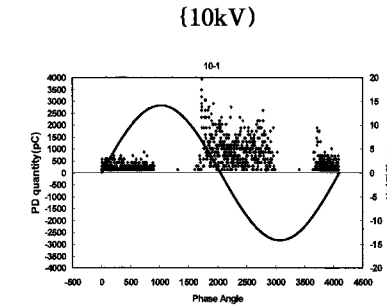
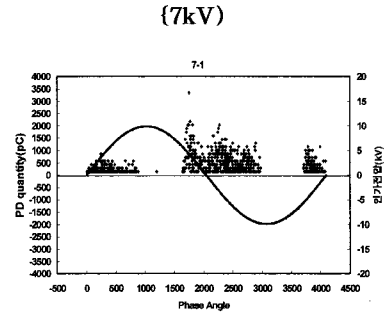
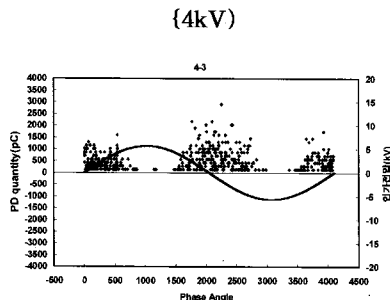


그림 5 인가전압에 따른 부분방전특성
Fig. 5 Partial discharge properties with applied voltages

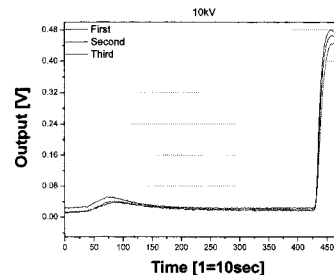
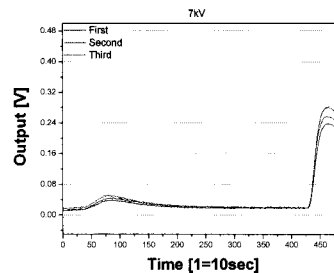
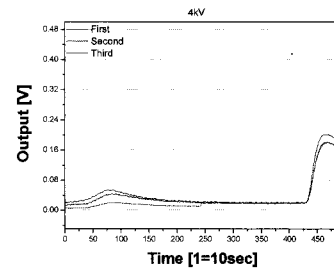


그림 6 인가전압별 부분방전 에너지에 따른 센서출력
Fig. 6 The sensor output with partial discharge energy at each applied voltage

표 2 부분방전특성과 가스센서 출력비교

Table 2 The comparison with the gas sensor output and PD characteristics

인가 전압	측정 회수	부분방전특성						가스센서 최대출력전압 상승치 (mV)			
		최대부분 방전량 (pC)		평균부분 방전량 (pC)		부분방전 개수 (n)		부분방전 총에너지 (J)			
4kV	#1	3054	3151	624	596	367	391	469	160.6	168.1	
	#2	2909		625		400		514	162.5		
	#3	3490		539		407		451	181.4		
7kV	#1	3345	3296	583	617	598	635	1258	220.1	240.0	
	#2	3490		682		601		1486	1414		238.1
	#3	3054		586		707		1500	261.7		
10kV	#1	3927	3805	697	695	873	819	3107	456.4	451.1	
	#2	3781		707		749		2729	2920		449.5
	#3	3709		681		836		2924	447.4		

표 2와 같이 인가전압에 따른 부분방전 특성과 가스센서의 최대출력전압과의 관계로부터 4kV에 대한 7kV와 10kV에서의 최대부분방전량과 평균 부분방전에너지의 증가 비율은 각각 105%와 120%와 296%와 611%로 나타났고 가스센서의 최대출력전압상승치의 증가비율은 각각 143%와 268%로 계산되었다. 이와 같은 증가비율의 관계로부터 수소 가스센서 최대출력상승치(V_{out})에 대한 최대 부분방전량(Q_m)과 부분방전에너지(E)의 추세선을 구하면 다음 식(6)과 같이 일차함수의 관계를 얻을 수 있다.

$$V_{out} \propto a \cdot (Q_m \text{ or } E) \quad (6)$$

여기서 a 는 상수,

이러한 관계식으로부터 유중수소가스농도에 의해서 결정되는 수소가스센서의 출력은 실험전압 범위에서 최대부분방전크기 및 부분방전에너지에 일차함수적으로 비례하여 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 본 가스센서를 이용한 유중수소가스의 측정은 유입식 전력기기의 최대 부분방전크기나 부분방전에너지와 같은 부분방전 특성치의 변화 경향을 분석하는 데 유효한 것으로 사료된다.

4. 결 론

가스센서를 이용한 부분방전특성에 따른 유중수소가스 측정연구에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 주위온도를 변화시키면서 가스센서 출력특성을 분석한 결과 20ppm의 경우 수소가스와 반응하기 전의 기저출력전압은 18℃ 비하여 30℃와 40℃에서 각각 160%와 217%로 상승하였고 수소가스와 반응후의 최대출력전압은 각각 111.1%와 115.5%로서 상승하였으며 50ppm의 경우도 유사한 특성을 보여주어 반도체 수소가스센서의 출력전압은 주위온도에 영향을 받는 것으로 나타났다.

2. 온도에 따른 센서 최대출력전압상승치의 상승률(최대출력전압과 기저치의차)은 최대출력전압의 상승률 보다 4%~8% 낮게 나타났으며, 따라서 수소가스양을 결정하는데 있어 최대출력전압보다 최대출력전압 상승치를 적용하므로써

주위온도에 따른 측정오차를 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

3. 실험전압 범위내에서 수소가스센서 최대출력상승치(V_{out})에 대한 최대 부분방전량(Q_m)과 부분방전에너지(E)는 일차함수의 비례관계가 얻어졌다. 이러한 관계를 통하여 반도체 수소가스센서의 최대출력전압상승치를 이용한 유중 수소가스감시는 유입식 전기기기의 부분방전경향 감시진단에 유효함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Inoue et al., "Development of oil dissolved hydrogen gas detector for diagnosis of transformers", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 1, January 1990, pp. 232-236
- [2] Shigemitsu Okabe, Takashi Hara., "Study on Early Detection of Incipient Faults in Oil Filled Transformers by Analysis of Dissolved Gas in Oil", T. IEE Japan. Vol.116-13. No.9(1996)
- [3] Hiroshi Kuwahara, Keiji Tsuruta : 日本電氣學會論文誌 A 97券5号, p267(昭 52-5) - シリコン油中の放電によるガスの發生
- [4] IEEE Std C57.104-1991, IEEE Guide for the interpretation of Gases Generation in Oil-Immersed Transformers
- [5] C. Weigen et.al., "Study on Intelligent Sensor Used in Transformer On Line Monitoring", Proceedings of 12th AECD, November 2004.
- [6] Joseph J. Kelly, "Transformer fault diagnosis by dissolved gas analysis", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol 16, No. 6, 11-12 1980, pp. 777-782
- [7] 선종호 외, "지능형 유중가스 분석기술기반 유입식변압기 전산관리 프로그램 개발", Trans. KIEE Vol. 54C, No 12, Dec. 2005
- [8] R. Qin, "An Oil/Gas Separation Membrane and Its Use in Gas Sensor for On Line Incipient Fault Monitoring of Transformer, Proceedings of the 12th ACED, November 2004.
- [9] Xiao Dengming et. al., "New Apparatus for Detecting Transformer Faults Online", Proceedings of The 6th ICPADM, June 21-26, 2000
- [10] A. Varl, "On-Line Diagnostics of Oil Filled Transformers", Proceedings of ICDL-2002, July 7-12, 2002
- [11] 허종철 외, "가스수집시간을 이용한 유중수소가스 측정감도향상연구", 대한전기학회 논문지, 제 58권, 제3호, 2009. 03.
- [12] Takayuki. K, Shigeyuki.T Yoshihara. O, "Improvement in Diagnostic Method for Transformer based on Dissolved Gas Analysis" 日本電氣學會 電力, エネルギー 部門大會
- [13] Takashi Ishi, Yoshihiro Makino, "A New Technique for Diagnosis of the Oil Filled Transformer Based on

Dissolved Gas Analysis."日本電氣學會 SA-00-45 (平 12年11月)

[14] 가스센서와 그응용(1999), 김영해 저[기전연구사] pp. 65-66

[15] IEC 60270(2000), High voltage test techniques - Partial discharge measurement

저 자 소 개



허 종 철 (許宗喆)

1961년 1월 11일생. 1989년 경남대 공대 전기공학과 졸업, 1998 창원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 부산대 전기공학과 박사과정, 1989년 ~ 현재 한국전기연구원 고전압평가실 팀장 책임기술원

Tel : 055-280-1518

Fax : 055-280-1512

E-mail : jcheo@keri.re.kr



선 종 호 (宣宗鎬)

1962년 10월 10일생. 1986년 부산대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1989년 ~ 현재 한국전기연구원 전력기기연구센터 책임연구원

Tel : 055-280-1578

Fax : 055-280-1547

E-mail : jhsun@keri.re.kr



강 동 식 (姜東植)

1956년 10월 13일생. 1983년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1987년~현재 한국전기연구원 산업전기연구본부 책임연구원, 2005년 7월~2008년 11월 한국 전기연구원 전력설비진단연구그룹 그룹장. 2008년 12월~현재 한국전기연구원 전력기기연구센터장

Tel : 055-280-1573

Fax : 055-280-1547

E-mail : dskang@keri.re.kr



정 주 영 (鄭周榮)

1962년 11월 26일생. 1986년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 부산대 전기공학과 박사과정, 1989년~현재 한국전기연구원 대전력평가본부 책임기술원, 2008년 12월~현재 한국전기연구원 고전압평가실 실장

Tel : 055-280-1601

Fax : 055-280-1512

E-mail : jyjeong@keri.re.kr



추 영 배 (秋榮培)

1955년 6월 23일 생. 1982년 부산대 공대 전기기계공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박) 1984년~1985년 (주)효성중공업 근무. 1986년~1991년 한국전기연구원 근무. 현재 거제대학 선박기술계열 부교수

Tel : 055-680-1606

Fax : 055-680-1517

E-mail : ybchoo@koje.ac.kr



박 정 후 (朴正后)

1945년 4월8일생. 1968년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980~1983년 일본 구주대학대학원 졸업 (공학박). 현재 부산대 공대 전기공학과 교수.

Tel : 051-510-2369

Fax : 051-513-0212

E-mail : parkch@pusan.ac.kr