

유동대전 감소현상에 미치는 비이온성 계면활성제의 효과

김용운¹, 정광현², 류근민³, 류주현⁴, 이은학⁵, 이덕출⁶,

*영월공과대학, **인하대학교, ***세명대학교, #한라공과대학.

The Effect of Nonionic Interface Activation Substances in Reduction Phenomenon of Streaming electrification

Y.W.Kim¹, K.H.Chung², K.M.Yoo³, J.H.Yoo⁴, E.H.Lee⁵, D.C.Lee⁶

¹.Dept. of Electrical Eng., Yongwol Institute of Technology

² Dept. of Electrical Eng., Inha University

³*** Dept. of Electrical Eng., Semyung University

Dept. of Electrical Eng., Halla Institute of Technology

Abstract - The purpose of this study is to find the way to prevent the electrostatics from the interface of liquid and solid by adding interface active substances to the insulating oil with concentration. As results, The streaming current, surface tension, and viscosity decreased and conductivity increased at the higher point than the c.m.c. which resulted from the adding of the interface active substances.

1. 서 론

변압기의 절연유를 비롯하여 절연성이 양호한 액체가 고체와 접촉한 상태에서 액체가 유동하는 경우 계면에서의 전하분리로 인해 액체가 대전되고 이것이 원인이 되어 정전기재해가 발생한다.[1] 특히 전기공학 분야에서는 나날이 증가하는 전력수요를 충당하기 위해 대한민국 동서간 765[kV]급 초고압 송전라인이 건설되고 있는 시점에서 변압기의 대용량화는 불가피하며, 이 경우 유입 변압기내 절연유의 유동으로 인한 대전 전하의 발생 및 축적으로 결국 변압기내의 절연파괴로 까지 이어진다.[2,3,4]

유동대전 현상으로 인한 변압기 사고는 국내의 경우 1974년부터 10여년간 154[kV]급 변압기의 경우 272대중 80대란 높은 비율의 통계 보고가 있으며[4], 미국의 경우 Berkshire Transformer consultants. INC의 보고서[5]와 Texas Power and Light Company의 1985년도 보고서에는 사고경위 까지 자세히 기술하고 있다. 유동대전현상에 관한 연구로는 일본 히다찌 연구소의 M.Higaki, H.Miyao등은 절연유와 절연지간의 계면에서 유동대전에 의해 발생된 대전전하의 전위 분포계산 및 제전방법에 관한 연구 결과를 그리고 미쓰비시 연구소의 R.Tamura, T.Watanabe등은 외침형 대용량 변압기의 유동대전현상에 관한 논문을 발표했으며, 폴란드의 E.Brzostek, J.Kedzia등은 열화된 변압기 절

연유의 대전 현상에 관한 논문을 발표한 바 있다.

본 연구에서는 최근 일본 애지(愛知)공업대학의 S.Watanabe, A.Ohashi등과 함께 저자가 공동으로 참여한 연구에서 비이온성 계면 활성제를 절연유에 첨가한 후 액체의 전기적 화학적 특성을 규명한 결과 시료유의 유동전류, 표면장력 및 동점도는 c.m.c.(미셀형성 임계농도)이후부터 감소한 후 안정되었고, 도전율은 c.m.c.에서 증가하는 실험결과를 얻었다.

2. 시료 및 실험장치

2.1 시료

본 연구에 사용된 시료유는 광유계의 절연유로서 현재 변압기유로 주로 사용되고 있다. 변압기유의 성분은 파라핀계 탄화수소 40%, 나프탄계 탄화수소 47%, 방향족 탄화수소 13%이며 절연유의 일반적 특성과 비이온성 계면활성제의 제원을 각각 표 1과 표 2에 나타내었다.

표 1 절연유의 특성

특 성	규 格	실험치
반응(reaction)	Neutral	Neutral
비중(specific gravity)	0.91Max at 40°C cst	0.9014 12.0Max 8.90
점 도	at 100°C cst	3.0 Max 2.25
	at 0°C cst	76 Max 57
인화점(flashpoint)°C	145 min	145
유동점(pour point)°C	-40 max	-45
전산가(total acid)mg. KOH/gr	0.03Max	0.0138
색상(color)union say.	0.5	1.0
굴절률 ND20	-	1.4933
절연파괴전압KV	30 Min	56.3
수분ppm	35 Max	44.8
유전정점(power factor) 60 Hz, 80°C	0.01Max	0.01
아닐린정(aniline point)°C	63~84	64.4

3. 결과 및 고찰

표 2 계면 활성제의 제원(비 이온성)

	구조식	HLB	외관 (상온)	주용도
SP-O-10		4.3	황색 액체	
SP-O-30		1.8	담황색 액체	화장품 용유화제, 대전방지제
SP-L-10		6.6	담황색 액체	

2.2 실험장치

본 실험은 질소가스에 의한 압송식으로 액체를 저장하는 상부탱크, 유동전류를 발생시키는 파이프, 발생한 전하를 측정하는 하부탱크(Faraday cage)로 크게 구성된다.

상부탱크 상부에는 염화비닐 파이프에 의해 2단 압력 조정기가 부착된 고압 질소가스 불베이가 접속되어 있다. 따라서 상부탱크에는 소정의 안정된 압력이 가해지게 된다. 유동전류 발생 파이프는 (주)Nippon Rikagaku Kikai Co., LTD. 제품의 스테인레스 주사침으로 내경 0.2 [mm], 길이 80[mm]의 것으로 선단은 직각으로 절단하였다. 하부탱크는 (주)Nippon Advantest의 Faraday cage(정전하 측정전극) TR-8031을 사용하였다. 유동전류와 완화전류를 측정하기 위하여 Dakeda 리연체 TR-8641 미소전류계를 Pipe와 하부탱크에 별도로 연결함으로서 대전전류와 완화전류의 변화량을 알 수 있다. 그림1에 전체적인 장치도를 도시한다.

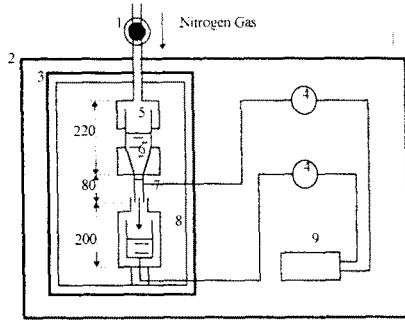


그림1. 계면활성제를 이용한 제전장치

3.1 유동전류 (I_s)

(a) 농도 의존성

그림2는 N_2 가스 압력만을 3[kg/cm²]으로 일정히 유지하고 변압기유에 3종의 비이온성 계면활성제가 첨가된 시료유의 유동전류 변화 특성을 활성제 농도 변화에 따라 나타내었다.

3종의 액체 상태의 계면활성제를 첨가한 시료유(SP-O-10:No.1, SP-O-30:No.2, SP-L-10:No.3)의 I_s 는 농도 0.1[ppm]까지는 순수 시료유에 비해 다소 증가된 후 그 이후 급격히 감소하며 1[ppm]부터 최소값으로 포화되는 경향이 있다.

(b) 유온 의존성

그림3은 N_2 가스 압력을 3[kg/cm²]으로 일정히 유지하고, 계면활성제 1[ppm]을 일정하게 첨가한 시료유 No.1, No.2, No.3에 대한 I_s 의 평균값을 유온에 따라 나타내었다.

대체적으로 순수 질연유의 I_s 에 비하여 활성제 첨가유의 I_s 가 40~60%정도 저하되고 있는 경향이다. 유온 상승에 따라 I_s 는 증가 경향을 보인 후 45($^{\circ}$ C)이후부터 감소 경향을 나타낸다.

또한 유온이 상승함에 따라 대전방지 효과가 다소 저하되는 경향을 보이는데, 이는 액체와 고체 계면에 형성된 콜로이드 막이 유온 상승과 함께 부분적으로 파괴되기 때문으로 사료된다.

(c) 유속 의존성

그림4는 유온을 20($^{\circ}$ C)로 일정히 하고 (b) 항에서와 같은 시료유에 대한 I_s 의 유속의존성을 나타내었다.

유속에 따라 시료유의 I_s 는 순수 질연유의 I_s 에 비해 현저히 낮으며 그 증가율도 둔한 편이다. 특히 첨가 시료유의 경우 1[kg/cm²]에서 I_s 는 0에 가깝고, 3[kg/cm²]에서의 I_s 의 값이 순수 질연유의 1[kg/cm²]인 경우의 I_s 와 거의 동일한 값을 나타내고 있다.

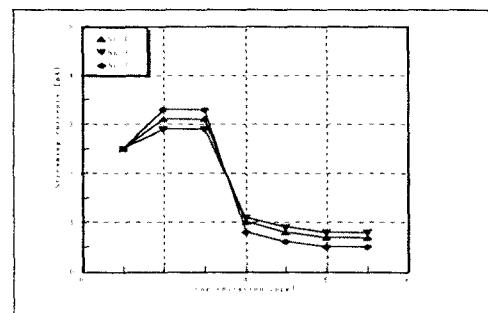


그림2. 유동전류의 활성제 농도의존성

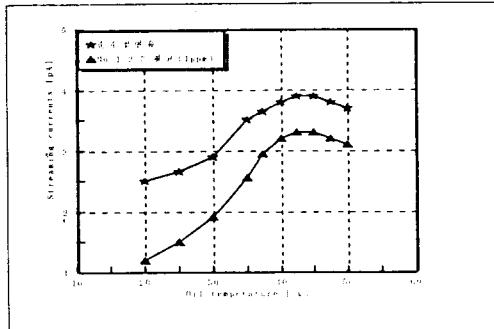


그림3. 유동전류의 유온의존성

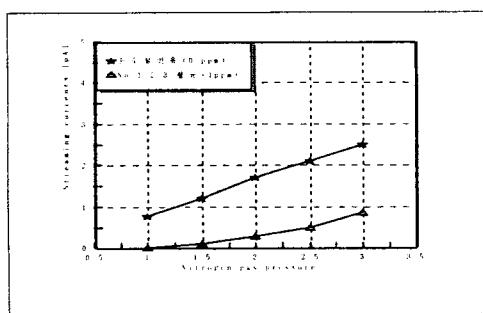


그림4. 유동전류의 유속의존성

4. 전기적 화학적 고찰

계면 활성제는 서로 상반되는 성질의 친유기와 소유기를 갖는 원자단(기)의 화합물이며, 친유기와 소유기가 결합되어 있는 한 개의 원자단을 단일 분자라 부른다.

이러한 계면 활성제를 절연유에 첨가할 시 유중에 첨가된 활성제를 구성하는 단일분자의 소유기 쪽은 절연유에 대하여 반발작용을 하고 친유기 쪽은 절연유를 끌어당기는 역할을 한다.

흡인력이 반발력과 같을 경우는 단일분자는 유중 한 지점에 정지되고, 흡인력이 클 경우는 친유기 쪽의 이온 해리가 되며, 반발력이 클 경우에는 각각의 단일분자들은 반발력에 의해 유중을 무질서하게 움직이게 된다. 그러나 농도가 회박할 경우 단일분자들은 개별적으로 존재할 뿐 고액 계면간 콜로이드 막이나 유중 미셀(Micelle)은 형성하지 못한 상태로 대전 방지효과는 크게 기대할 수가 없다.

계면 활성제의 첨가량이 조금 증가되면 유연이나 계면 가까이에 존재하던 단일 분자들은 친유기를 유중에 둔 채 소유기 쪽을 유연이나 계면으로 향하게 하든가, 혹은 소유기끼리 부착하여 소형 미셀을 형성하기 시작한다.

첨가량이 더욱 증가하여 임계농도 부근으로 되면 유연과 계면에는 단일 분자들이 일정한 방향으로 배향된 단 분자막(콜로이드막)이 형성되고

유중에는 수십에서 수백 개의 단일분자들이 모여 거대 미셀을 형성하기 시작한다. 이 때의 농도가 미셀 형성 임계농도(c.m.c. :critical micelle concentration)라 한다. 이 단계에서 고액 계면간에는 단일 분자들로 인한 콜로이드 막이 완전하게 형성된 반면 유중에서는 수십 혹은 수백 개의 단일 분자들이 모여 거대 미셀을 형성한 상태이다.

임계농도 상태에서 고액 계면간에 형성된 콜로이드 막으로 인해 고체와 절연유의 직접적인 접촉면적이 감소함에 따라 계면에서의 전하 분리가 급격히 감소되므로 유동전류는 최소화되는 것으로 사료된다.

5. 결 론

(1) 본 실험 조건 하에서 사용된 비이온성 계면활성제의 c.m.c.는 1[ppm]으로 결정되었다.

(2) 비이온성 계면활성제를 각각 절연유에 농도별로 첨가하여 유동전류를 측정한 결과 미셀형성 임계농도(c.m.c.)에서 유동전류는 순수 절연유의 유동전류에 비해 60% 이상 감소하였다.

(3) c.m.c.에 있어서 제전효과는 유연이 증가할 수록 다소 감소되었으며 유속의 증가에 따라서는 큰 변화없이 유지되었다.

참고문헌

- 1) H. D. Goodfellow, W. F. Graydon, Can. J.Chem. Eng., pp.46, 243, 1968.
- 2) 大久保仁外, “油中絶縁における破壊と空間電荷” 静電氣學會誌, 14.1, pp.16~24, 1990.
- 3) 田村外, 日本電氣學會誌, p. 99, 10, 913, 1979.
- 4) 韓國電力公社 技術研究院, 電力機器 諭防診斷技術研究(中間報告書), KRC-84S-Jo3, pp. 18~19, 1985.
- 5) J. William, "Statics charge seperation in power transformer" Berkshire transformer consultants. Inc. United States, 1988.