

유동대전 감소현상에 미치는 계면활성제의 효과

김용운* 이수호* 한중성** 이은학[§] 이덕출^{§§}

*영월공단, **강원대, [§]한라대, ^{§§}인하대

The Effect of Interface Activation Substances in Reduction Phenomena of Streaming electrification

Y.W.Kim S.H.Lee J.S.Han** E.H.Lee[§] D.C.Lee^{§§}

*Yongwol Jun. Coll. **KangWon Univ. [§]Halla Univ. ^{§§}InHa Univ.

Abstract - The purpose of this study is to find the way to reduce the electrostatics by interface activation substances added in the insulating oil with concentration(ppm). As results, The streaming current, surface tension and viscosity of the samples added nonionic and hermaphroditic substances are decreased but the conductivity is increased at higher point than the 1(ppm)(c.m.c.), the other side the same phenomena of the samples added cationic and anionic substances are discovered at the 10(ppm)

1. 서 론

절연성이 양호한 액체가 고체와 접촉한 상태에서 액체가 유동하는 경우 계면에서의 전하분리로 인해 액체가 대전되고 이것이 원인이 되어 정전기해해가 발생한다.[1]

특히 석유화학공업 및 유기 용제를 다루는 산업체에 있어서 이와 같은 절연성 액체가 송유관을 통하여 수송된 후 대용량탱크 내에 저장될 경우 탱크 내에는 액체와 함께 다량의 대전된 전하가 축적되고 이로 인한 액면전위 및 전계가 상당히 증가된 상태에서 탱크내의 구조물이나 돌출부와의 사이에 불꽃방전이 발생하면 폭발성 혼합기체로 착화되어 폭발을 일으키는 경우가 있다.[2][3] 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 보고서와 Texas Power and Light Company의 1985년도 보고서에는 사고경위까지 자세히 기술하고 있다.[5][6] 유동대전현상에 관한 연구로서 일본 히다찌 연구소의 M.Higaki, H.Miyao등은 절연유와 절연시간의 계면에서 유동대전에 의해 발생된 대전전하의 전위 분포계산 및 제진 방법에 관한 연구 결과를 그리고 미쯔비시 연구소의 R.Tamura, T.Watanabe등은 외철형 대용량 변압기의 유동대전현상에 관한 논문을 발표했으며, 폴란드의 E.Brzostek, J.Kedzia등은 일화된 변압기 절연유의 대전 현상에 관한 논문을 발표한 바 있다.

본 연구에서는 최근 일본 에지(愛知)공업대학의 S. Watanabe, A.Ohashi등과 함께 저자가 공동으로 참여한 연구에서 계면 활성제를 절연유에 첨가한 후 액체의 전기적 화학적 특성을 규명한 결과 시료유의 유동전류, 표면장력, 동점도 및 도전율은 활성제의 첨가로 인해 형성되는 c.m.c.(미셀형성 임계농도)와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

2. 실험

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 표2에 나타내었다.

표1 절연유의 특성

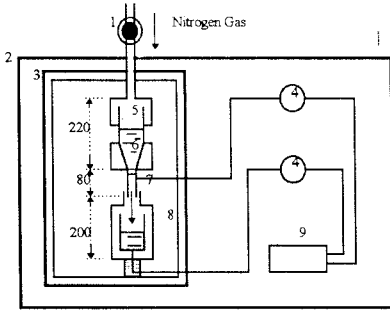
특성		규격	실험치
반응(reaction)		Neutral	Neutral
점도	at 40oC cst	12.0max	8.90
	at100oC cst	3.0max	2.25
	at 0oC cst	76max	57
비중(specific pravity)		0.91max	0.9014
인화점(flashpoint)oC coc		145min	145
전산가 mg,K-OH/gr		0.03max	0.0138
색상(color)union saybolt		0.5	1.0
굴절율 ND20		-	1.4933
절연과피전압KV		30min	56.3
수분(water content)ppm		35max	44.8
유전정접 80oC		0.01max	0.01
아닐린점(aniline point)oC		63~84	64.4

표2 계면활성제의 특성

종류	HLB	외관	특징
비이온(SP-O-10)	4.3	황색액체	화장품 유화제 대전방지제
정이온(S-121)	5.2	"	방청 및 대전방지
부이온(S-111)	6.1	담황색액체	내열성(250oC)
양성(S-131)	4.0	"	표면활성 양호

2.2 실험 장치

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 조절기가 부착된 고압 질소가스 봄베이가 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) TR8031을 사용하였다. 유동전류와 완화전류를 측정하기 위하여 Dakeda 리연제 TR-8641 미소 전류계를 Pipe와 하부탱크에 별도로 연결함으로써 대전전류와 완화전류의 변화량을 알 수 있다. 그림1에 전체적인 장치도를 도시한다.



1 밸브 2차폐막 3 항온항습기 4 미소전류계 5 상부탱크
6 절연유 7 파이프[φ0.2mm] 8 하부탱크 9 기록계 단위[mm]

그림1. 계면활성제를 이용한 제전장치

3. 결과 및 고찰

그림2에 4종의 이온 및 비이온성 계면활성제가 첨가된 시료유를 유온 20[°C], 유속 3[m/s]로 유동시킬 경우의 대전량을 나타내었다. 그림의 결과로부터 비이온성 및 양성의 계면활성제가 포함된 시료유의 경우 활성제의 농도 1[ppm]에서, 그리고 정이온 및 부이온의 계면활성제가 포함된 시료유의 경우 10[ppm]의 농도에서 최저치로 감소한 후 일정한 값을 나타낸다.

계면활성제의 단일분자는 서로 상반되는 성질을 갖는 친유기와 소유기가 결합된 하나의 원자단으로 구성된다. 이러한 계면활성제를 절연유에 첨가할 경우 단일분자의 소유기쪽은 절연유에 대하여 반발작용을 하고 친유기쪽은 절연유를 끌어당기는 작용을 한다. 활성제의 농도가 희박할 경우 단일분자들은 개별적으로 존재할 뿐 고액 계면간 콜로이드막(Colloid membrane)이나 유중 미셀(Micelle)은 형성하지 못한 상태로 대전방지효과는 크게 기대할 수가 없다.

계면활성제의 첨가량이 어느 정도 증가되면 유면이나 계면 가까이 존재하던 단일분자들은 친유기를 유중에 둔채 소유기쪽을 유면이나 계면으로 향하게 하든

가, 혹은 소유기끼리 부착하여 소형미셀을 형성하기 시작한다. 첨가량이 더욱 증가하여 임계농도 부근으로 되면 유면과 계면에는 단일분자들이 일정한 방향으로 배향된 단분자막(콜로이드막)이 형성되고 유중에는 수십에서 수백개의 단일분자들이 모여 거대미셀을 형성하기 시작한다. 이때의 농도를 미셀형성 임계농도(c.m.c.)라 한다. 그림2의 결과로부터 비이온과 양성의 계면활성제는 1[ppm], 정이온과 부이온의 경우는 10[ppm]이 c.m.c.일 것으로 사료되고, c.m.c.에서 고액 계면간에 형성된 콜로이드막으로 인해 고체와 절연유의 직접적인 접촉면적이 감소함에 따라 계면에서의 전하분리가 급격히 감소되므로 유동전류는 최소화되는 것으로 사료된다.

그림3, 그림4는 그림2의 시료유에 대한 표면장력과 동점도를 측정한 결과이다. 순수 절연유에 비해 활성제 농도가 증가함에 따라 표면장력이 감소하는 것은 계면에 형성된 콜로이드막을 구성하는 단일분자들의 친유기쪽 탄화수소 사슬의 표면장력에 비해 낮기 때문으로 사료된다. 동점도의 경우 표면장력이 작을수록 마찰계수는 작아지고 따라서 동점도계의 유출시간 t_g 가 작게 되어 동점도가 감소되는 것으로 사료된다.

그림5에서 도전율은 c.m.c.를 기준으로 증가하는 현상을 보이고 있는데 이는 c.m.c.이하에 있어서 유중 단일분자의 반경: r_1 , 이동속도: μ_1 , 체적: v_1 , c.m.c. 이상에 있어서 유중의 거대미셀의 반경: r_2 , 이동속도: μ_2 , 체적: v_2 라 하면

$$\mu_1 = \frac{e}{fr_1} \quad (1)$$

$$\mu_2 = n \frac{e}{fr_2} \quad (2)$$

으로 된다

여기서 n : 거대미셀을 형성하는 단일분자의 수

e : 단일분자 1개의 전하량

f : 점성에 의한 마찰계수

또한 단일분자와 거대미셀의 체적은 각각

$$v_1 = 4\pi \frac{r_1^3}{3} v \quad (3)$$

$$v_2 = 4\pi \frac{r_2^3}{3} v \quad (4)$$

단, $v_2 = nv_1$ 이고, 따라서

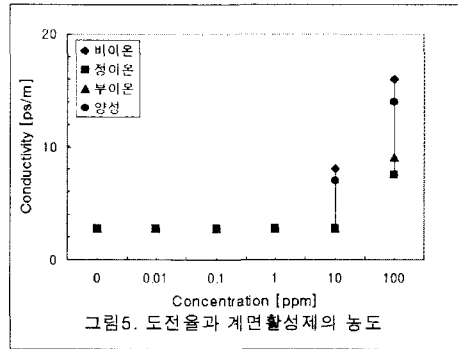
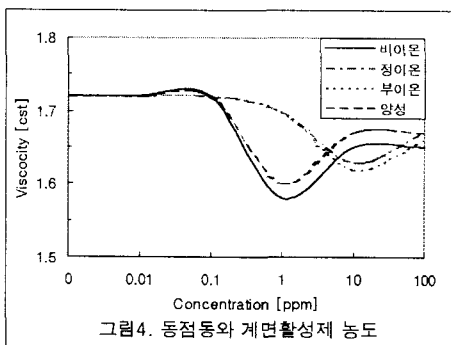
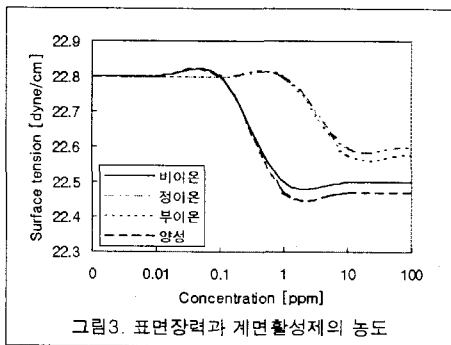
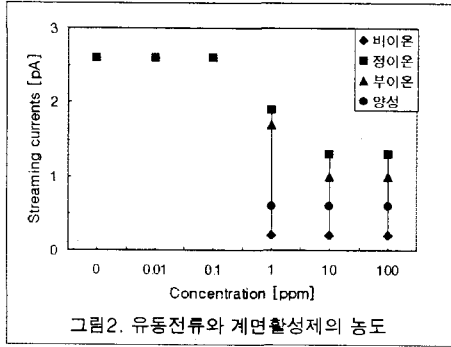
$$r_2 = n^{1/3} r_1 \quad (5)$$

$$\mu_2 = \frac{ne}{fn^{1/3}r_1} = \frac{n^{2/3}e}{fr_1} = n^{2/3}\mu_1 \quad (6)$$

식6으로부터 거대미셀 1개의 이동속도는 단일분자 1개의 이동속도의 $n^{2/3}$ 배가됨을 알 수 있고, 이는 거대미셀이 형성되기 시작하는 활성제의 농도에서 도전율을 증가시키는 원인으로 사료된다.[7]

4. 결 론

유동대전으로 인한 정전기 재해를 감소시키기 위해 절연유에 이온성 및 비이온성의 계면활성제 4종을 첨가한 시료유의 유동대전, 표면장력, 동점도 및 도전율을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 비이온성 및 양성의 계면활성제의 c.m.c는 1[ppm], 정이온 및 부이온성 계면활성제의 c.m.c는 10[ppm]에서 형성되었다. c.m.c 이상에서 유동전류, 표면장력 및 동점도는 최소값으로 된 후 안정되었고, 도전율은 증가함을 알 수 있었다.



참 고 문 헌

- [1] 靜電氣學會編, "靜電氣ハンドブック", 오ム社, p.101,888,(1981)
- [2] 大久保仁의, "油中絶縁における破壊と空間電荷" 정전기학회지, 14,1,pp.16~24.(1990)
- [3] 大木正路, "大學電氣電子工學シニス高電壓工學", 振書店 p.264.(1982)
- [4] 한국전력공사 기술연구원, 전력기기에방진단기 술연구(중간보고서).KRS-84S-Jo3,pp.18~19 (1985)
- [5] J.William, "Staticcharge seperation in power transformer" Berkshire transformer cons- ultants.Inc.United States,(1988)
- [6] D.W.Crofts, "The statics electrification phenomena in power transformer" Texas power and light Company,pp.137~140, (1985)
- [7] 大橋朝夫, 渡辺無男, "流動帶電における界面活性劑 の效果". 愛知工業大學研究論文集, p.597(1994)