윤활기유의 조성이 전기절연유의 성능 및 특성에 미치는 영향

문 우 식 • 전 정 식

SK㈜ 대덕기술원

The Effect of Base Oil Composition on Electronic Insulating Oil's Performances

Woo-Sik Moon • Jung-Sik Chun

Daeduk Institue of Technology , SK corporation

Abstract : In order to investigate the effect of base oil composition on the electronic insulating oil's performances, an experimental study has been conducted using different oils. Owing to their properties, like lower pour point and gas absorbing, naphthenic base oils are used more often than paraffinic base oils for the electronic insulating oil application. Naphthenic and paraffinic base oils are significantly different in their aromatic hydrocarbon content. In this paper , PXE(para xylyl ethane), LAB(linear alkylbenzene), C13 aromatic hydrocarbon mixture and C17 aromatic hydrocarbon mixture are investigated regarding their influence on insulating oil's performances. According to present study, breakdown voltage decreased with increasing aromatic hydrocarbon content in a deep dewaxed paraffinic base oil. However, any changing in the dissipation factor was not recognizable at small treated level. Furthermore, the volume resistance was not influenced by aromatic hydrocarbon content. The gassing tendency was found as a highly sensible property , changing with treating aromatic hydrocarbons. The higher benzene ring content in the hydrocarbon, the better gassing tendency.

Key Words : Insulating Oil, Transformer Oil, Paraffinc Base Stock, Aroamtic Hydrocarbon Type, Gassing Tendency

1. 서 론

변압기에 널리 사용되는 전기절연유는 일반적으로 다음과 같은 특성들이 요구된다[1].

- 전기적 특성이 양호할 것
- 냉각작용이 클 것
- 산화 및 열안정성이 우수할 것
- 우수한 저온 유동성이 있을 것
- 고전계하에서 안정성을 가질 것
- 화재 위험성이 적을 것
- 부식성이 없을 것 등

이러한 특성들을 Table 1 의 윤활기유의 특성과 연관시켜 비교해보면 나프텐계 기유는 파라핀계 기유에 비해 우수한 저온 유동성을 가지면서 가스흡습성 (Gassing Tendency)으로 평가되는 고전계하에서 안정성이 우수하나 인화점이 낮고 부식성이 떨어지며 전기적특성이 열세이다. 그렇기 때문에 나프텐계 기유는 저온유동성과 가스흡습성의 장점을 유지하면서 열세인 성질을 보완하기 위해 활성백토나 활성알루미나를 이용하여 정제도를 높여줌으로써 부식성을 줄이고 산화 및 열화안정성을 향상 시키게 된다. 파라핀계 기유는 나프텐계 기유에 비해 절연파괴전압, 체적저항률이 양호하고 인화점, 부식성 등이 우수한 반면 유동점이 높고 가스흡습성이

떨어진다.

최근 지금까지 전기절연유의 기유로 널리 사용되어 왔던 나프텐계 기유가 점점 고갈됨에 따라서 가격이 상승하고 적절히 낮은 유동점을 가진 기유의 조달이 어려워지고 있다. 또한, 산업의 발달에 따라서 변압기의 대용량화가 가속화되면서 일본, 미국, 이집트등과 같은 일부지역에서는 파라핀계 기유를 이용하여 심도탈랍(Deep Dewaxing)공정에 의해 전기절연유를 만들려는 시도가 있었으며 몇가지 제품은 이미 상업화되어 사용되고 있다[1,2,3].

나프텐계와 파라핀계 기유는 왁스함량과 방향족탄화수소의 함량에 의해 구분되어지므로 본 연구에서는 나프텐계와 파라핀계의 가장 큰 차이점인 방향족 탄화수소가 전기절연유의 특성에 미치는 영향을 알아보고자 한다. 전기절연유 중에서 나프텐계 나프텐계 기유를 가장 큰 이유인 가스흡습성과 전기적특성 변화를 조사하기 위해 심도탈랍 공정에서 생산된 저유동점 파라핀계 기유(SK Yubase 3 LP)에 방향족 탄화수소를 첨가하여 그 영향을 밝히고자 하였다.

Table 1 Naphthenic Base vs. Paraffinic Base [4]

	Naphthenic	Paraffinic
K. Viscosity @ 30'C	11.73	8.375
Sp. Gravity@ 15/4'C	0.8784	0.8475
Flash Point, 'C, PM	136	144
Pour Point, 'C	- 32.5	- 22.5
Corrosive Sulphur	2a	1 b
Dissipation Factor @ 50Hz, 80'C, %	< 0.001	0.002
Resistivity 80'C,Ωcm10^{15}	3.0	5.1
Gassing Tendency, μl/min. @8kV, 50'C	-19.0	-4.0
Impulse Breakdown Voltage @R.T., kV Point/Sphere @3.2mm	48	90
Oxidation Stability (C 2101) TAN	0.20	0.38

2. 시 험

2.1. 시험방법

전기절연유의 고전계하의 안정성과 전기적 특성을 파악하기 위하여 JIS, KS, ASTM,등의 표준시험 방법을 적용하였다.

파라핀계 기유와 나프텐계 기유의 가장 큰 차이인 고전계하의 안정성을 평가하기 위해서 Table 2 와 같은 조건으로 ASTM D 2300 Procedure-B 에서 규정하고 있는 가스흡습성 시험방법을 사용하였다. 전기적 특성을 평가하기 위해서는 KS C 2101 에서 규정한 지름 12.5mm, 간격 2.5mm 인 구형전극을 가진 절연파괴전압 시험기를 사용했다. 유전정접과 체적저항률도 KS C 2101 에서 규정하고 있는 시험방법을 적용했다

2.2. 시료유의 준비

본 연구에서는 Table 3 의 물성을 가지는 파라핀계 기유를 기재로 적용했다. 이 윤활기유는 방향족 탄화수소함량이 2 % 정도로 방향족 탄화수소가 적으면서 유동

Table 2 Test Condition – ASTM D 2300 (B)[5]

Test Item	Condition
Test Temperature, 'C	80
AC frequency, Hz	50
Test Voltage, kV	10
Test Period, min.	60

점이 - 40°C 이하 이다. 또한, 기재로 사용된 윤활기유는 가스흡습성을 제외한 전기적 특성이 매우 우수한데 가스흡습성이 열세인 것은 낮은 방향족 탄화수소 함량에 기인한 것으로 추정된다.

파라핀계 기유는 고전압하에서 가스 발생형이기 때문에 이를 개선하기 위해서 윤활기유에 2 ~ 10 mol / 100g Oil 의 Antraquinon, Benzophenon, Bipheny 을 첨가하거나 Butylantraquinon, Butylhydroquinone, Octadecan, Azobenzene 을 0.1 % 첨가한 예들이 있고 첨가량이 같은 경우 단환 보다는 다환 방향족 화합물이 효과적이라고도 알려져 있다[6]. 또한, 절연파괴전압에 대해서는 CH3-(CH2)m-CH=CH2 (m=30 이하 정수), 채종유, 수산기, 산기 또는 이 두 가지가 에스테르화 된 히드록시지방산의 에스테르,CH2=C(CH3)CH2-C(CH3)2CH2)n-C(CH3) (Boiling Point : 120~130°C), DL-ρ-metha-1,8 diene, Diphenylcarbazide, ρ-hydroxylphenylacetamide 등이 절연파괴전압을 향상시키는 것으로 보고되고 있다 [7].

Table 3 Reference Fluid

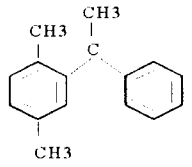
Test Item	Reference
Kinematic Viscosity @ 40°C	12.12
Kinematic Viscosity @ 100°C	3.03
Specific Gravity @ 15/4°C	0.831
Flash Point COC, °C	190
Pour Point, °C	- 42
Neutralization Value, mgKOH/g	< 0.01
Corrosive Sulphur	1-a
Dissipation Factor , %	0.03
Resistivity @80°C,Ωcm10^{15}	1.63
Gassing Tendency, μl/min.	+ 31
Impulse Breakdown Voltage Sphere/Sphere @2.5mm	77.5
Oxidation Stability (KS C 2101) 120°C, 75 Hrs Sludge / TAN	0.02 / 0.19
Hydrocarbon Composition	
Paraffinic %	63.5
Naphthenic %	34.8
Aromatic %	1.7

본 연구에서는 상업적인 이용가능성을 높이고 방향족 탄화수소의 영향을 밝히면서 점도에 의한 영향을 줄이기 위해 탄화수소 구성비를 알 수 있는 저비점 유분인 **Phenyl Xylyl Ethane** (1-(x,x-Dimethyl phenyl)-1-phenyl ethane) (이하 PXE), 직쇄형 알킬벤젠(Linear Alkyl Benzene,이하 LAB), C10~C13 으로 구성된 **C 13 방향족 탄화수소 혼합물** , C9~C17 로 구성된 **C17 방향족 탄화수소 혼합물**을 사용하였다. 이들은 기존에 변압기나 콘덴서의 전기절연유로 사용되고 있는 혼합물들이다.

Phenyl Xylyl Ethane (1-(x,x-Dimethyl phenyl)-1-phenyl ethane))은 일본 Nisseki Chemical 에서 콘덴서용 절연유로 판매하고 있는 제품으로 Fig.1 과 같은 구조를 가지며 절연파괴전압 56 kV, 체적저항률 3 X 10^{14} Ohm-cm, 유전정접 0.1%이하 로 매우 우수한 절연유제로 알려져 있다 [8].

Phenyl Xylyl Ethane

1-(x,x-Dimethyl phenyl)-1-phenyl ethane

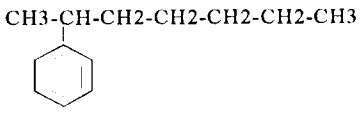


C16H18, Fw: 210, double bond : 6, double bond index : 35

Fig.1 Chemical Structure of Phenyl Xylyl Ethane

직쇄형 알킬벤젠(Linear AlkylBenzene, LAB)은 벤젠 환에 측쇄탄화수소가 연결된 것으로 Fig. 2 와 같은 구조를 하고 있다. 직쇄형 알킬벤젠은 C10 ~ 13 의 측쇄형탄소수를 가지는 동족형 혼합물로 Table 4 에서 보이는 표시된 바와 같이 C10=10%, C11=35%, C12=32%, C13=23%로 구성되어 있다. 직쇄형 알킬벤젠은 절연파괴전압 61 kV, 체적저항률 $1X10^{16}$ Ohm-cm 이상, 유정정접 0.001% 로 매우 우수한 전기적인 특성을 가지고 있다고 알려져 있다. 그러나 직쇄형 알킬벤젠은 Fig.2 와 같은 구조를 가지고 있기 때문에 실제 벤젠환 함량(50%)은 높지 않은 것으로 나타나 있다.

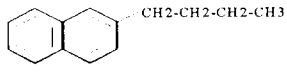
Linear Alkylbenzne



C13H20, Fw: 176, double bond :3, double bond index : 58

Fig.2 Chemical Structure of LAB

C17 Aromatic Hydrocarbon Mixture



C14H16, Fw:184, double bond : 5, double bond index : 36.8

Fig.3 Chemical Structure of C17 Aromatic Hydrocarbon Mixture

C13 방향족 탄화수소 혼합물은 C10 ~ C13 의 방향족 탄화수소 혼합물로 C10, C11 이 주성분이고 C12, C13 이 비교적 적게 포함되어 있는 상태이다.

C17 방향족 탄화수소 혼합물은 Table 4 의 탄화수소분포에 나타난 것과 같이 C9 ~ C17 의 넓은 범위에 걸쳐서 증류된 방향족 Solvent 이다. C17 방향족 탄화수소 혼합물은 C11, C12 를 주성분으로 하고 있다. 탄화수소수가 크기 때문에 Fig.3 와 같이 측쇄기에 탄화수소가 붙어있는 구조를 하고 있다. C17 방향족 탄화수소 혼합물은 비교적 증류가 잘되지 않았기 때문에 전기적인 특성에 악영향을 주는 극성물질의 일부를제거하기 위해서 5 mass % 백토를 이용하여 정제한 후 투입하여 시험했다

Table 4 는 첨가유의 대한 일반적인 물성과 탄화수소 구성비를 나타냈다. Benzene Ring (벤젠환)은 분자 속에 들어있는 벤젠환의 숫자를 나타낸다. Benzene Ring Content(벤젠환 함량)는 평균분자량 중 벤젠 환의 분자량을 백분율로 나타낸다. Mole Content Index(몰 함량지수)는 첨가유가 동일 무게 비로 투입되었을 때 분자량의 차이로 실제로 투입되는 몰 수가 달라지기 때문에 이를 상대적인 수치로 비교하기 위해 "Mole Content Index = (100/평균분자량) X 100"이라는 수식을 적용했다. 즉, 몰 함량지수가 높을수록 동일 백분율 투입시 많은 몰수의 첨가유가 투입되게 되는 것이다.

기재로 사용된 윤활기유는 첨가시료유를 투입한 후 필터링한 다음 감압오븐에 (-) 100 mmHg 의 압력을 걸어 4 시간동안 공기와 미량의 수분을 제거하였다. 이 결과 수분은 20 ppm 이하로 관리되었다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1. 첨가유분이 가스흡습성에 미치는 영향

고전계하의 변압기, 캔덴서, 케이블 등에서는 절연유의 과열, 유침 고체절연물의 가열, 절연유중의 방전, 유침 고체절연물의 방전 등의 현상에 의해 H2, CH4, C2H4, C2H6, CO, CO2 등 다양한 종류의 가스가 발생되게 된다. 이 가스의 약 90%는 수소가스이다. 오일의 관점에서 나프텐계 탄화수소 및 방향족 탄화수소는 비교적 분해가스의 발생이 적고 안정하지만 파라핀계 탄화수소는 많은 분해가스를 발생시키는 것으로 알려져 있다[6].

Table 4 Physical Properties of Chemicals

Test Item	PXE	LAB	C13	C17
Initial BP, °C	292	288	233	215
Dry Point °C	314	302	271	377
Specific Gravity	0.9878	0.861	0.992	0.997
Flash Point °C	146	144	101.5	95
Mixed Aniline °C	14.6	-	13	(14)
Refractive Index	1.564	-	-	1.583
Hydrocarbon %				
C9	-	-	-	3
C10	-	10	35	12
C11	-	35	40	30
C12	-	32	15	20
C13	-	23	10	16
C14	-	-	-	10
C15	-	-	-	6
C16	100	-	-	2
C17	-	-	-	1
Average Mw	210	158	142	157
Benzene Ring	2	1	2	2(1)
Benzene Ring Content (%)	74	50	91	82
Mole Content Index	47.7	63.9	71.0	65.2
Aromatics wt%	-	-	99.9	95

또한, 방향족 탄화수소는 안정할 뿐 아니라 수소가스와 공존하게 되면 이것을 흡수한다. 그러나 고도의 정제에 의해 이러한 특성은 상실되게 되어 파라핀계 기유를 사용할 때 가스흡습성이 떨어지는 원인이 되기도 한다.

Fig. 4 는 첨가유의 농도에 따른 가스흡습성변화를 나타낸 것이다. 매 10 분마다 수소가스의 방출 또는 흡수에 의해 변화된 Dibutyl Phtalate 를 mm 단위로 60 분간 측정하여 기울기 값을 Y 축으로 하고 첨가유의 농도를 X 축으로 하여 도표화 하였다.

PXE 는 투입량 증가에 따라 가스의 방출량이 서서히 줄어 5% PXE 투입에서 방출되던 수소가스가 거의 흡수하는 형태로 변화하게 된다. **직쇄형 알킬벤젠(LAB)**은 특이하게 투입량이 증가함에 따라서 오히려 가스가 방출되는 형태로 나타난다. **C13 방향족 탄화수소** 혼합물은 투입에 따라서 가스흡습성 개선효과가 가장 크다. C13 방향족 탄화수소 혼합물은 1% 정도로 소량 투입해도 가스가 방출하다가 흡수형으로 변화된다. **C17 방향족 탄화수소** 혼합물 또한 소량을 투입하더라도 C13 방향족 탄화수소 혼합물과 유사한 형태를 가지나 그 영향은 C13 방향족 탄화수소 혼합물에 비해 떨어져 가스 방출형에서 흡수형으로 변환되는 농도가 조금 높다. 결과적으로 Fig. 4 에서 보이는 것과 같이 LAB < PXE << C17 < C13 순으로 가스흡습성을 개선하는 효과가 좋다.

유중에서 가스가 발생되는 현상은 라디칼반응으로 알려져 있는데 흡수하는 기구에 대해서는 다음과 같은 보고가 있다. 방향족 탄화수소에 의해 가스흡습성이 가장 큰 영향을 받아 방향족 탄화수소의 함량이 7 ~ 9%를 경계로 이 이상이 되면 가

스 발생형이 되고 그 이하가 되면 가스 흡수형이 된다는 보고가 있다[9]. Antaquinon, Benzopheneone, Biphenyl 과 같은 화합물을 기유에 첨가하는 경우 첨가화합물의 벤젠환이 공명구조를 이루기 때문에 라디칼이 붙어서 안정한 형태로 존재하여 가스가 흡수된다는 것이다.[6].

여기서는 상기보고와 시험결과를 비교해 보기위해 방향족 탄화수소의 투입량에 영향을 주는 평균분자량, 몰 함량지수와 가스흡습성의 상관관계를 보고자 한다. Fig.5는 평균분자량 변화에 따른 가스흡습성의 영향을 나타냈다.

PXE를 제외한 첨가유들은 분자량이 다른 탄화수소의 혼합물이기 때문에 탄화수소수에 따른 분포를 이용하여 평균분자량을 계산했다. 평균분자량이 157이 될 때까지는 평균분자량이 증가함에 따라서 가스흡습성이 저하되는 방향으로 나타났다. 그러나 평균분자량이 157이상이 되면 증가하다 떨어지는 것으로 나타났다. 평균분자량과 가스흡습성이 직선적인 관계를 나타낸다고 가정할 때 직쇄형 알킬벤젠과 PXE의 결과를 설명하기 어렵기 때문에 평균분자량과 가스흡습성의 상관성이 있다고 하기 어렵다.

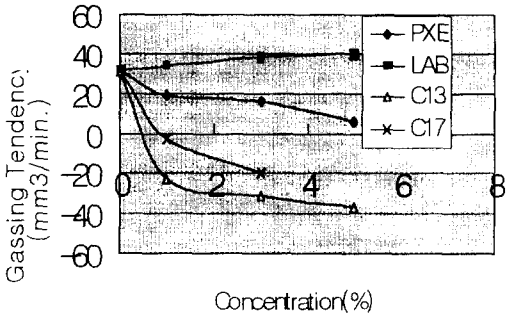


Fig. 4 Gassing Tendency

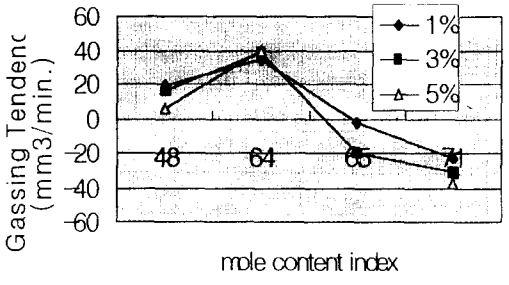


Fig. 6 Gassing Tendency vs. Mole Content Index

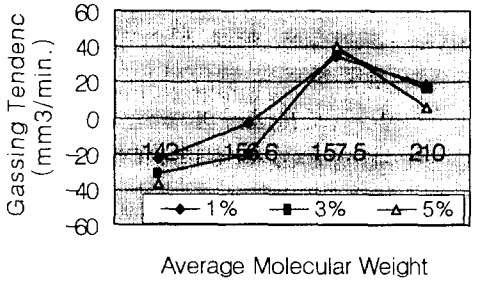


Fig. 5 Gassing Tendency vs. Average Molecular Weight

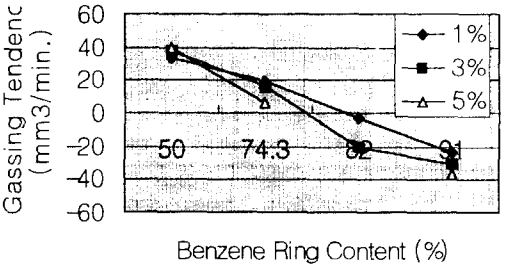


Fig. 7 Gassing Tendency vs. Benzene Ring Content

Fig.6 에서는 몰 함량지수와 가스흡습성의 관계를 도표화 하였다. Fig.6 에서도 Fig.5 와 같이 직쇄형 알킬벤젠과 PXE 의 결과를 설명하기에는 부족한 점이 있다.

이번에는 벤젠환의 투입량에 영향을 주는 벤젠환 함량과 가스흡습성의 상관관계를 보고자 한다. Fig.7 은 첨가유의 벤젠환 함량에 대한 가스흡습성 변화를 나타낸다. 방향족 탄화수소의 함량이 증가함에 따라서 가스흡습성이 모든 첨가유에 대해 증가하는 좋은 상관관계를 가진다. Fig.7 은 기존에 평균분자량이나 몰 함량지수로도 표현할 수 없었던 직쇄형 알킬벤젠과 PXE 의 가스흡습성 결과도 표현이 가능하게 되었다. PXE 와 C13 방향족 탄화수소 혼합물, C17 방향족 탄화수소 혼합물이 동일한 거동을 한다고 하면, Fig. 5, Fig.6 에서 직쇄형 알킬벤젠이 다른 첨가유와 상이한 결과를 나타낸는 것은 Table 5 와 Fig. 7 에서 볼수 있는 것과 같이 벤젠환에 비해 많은 알킬기가 붙어 있어 벤젠환 함량이 적기 때문으로 판단된다.

즉,방향족 탄화수소중에서 가스를 흡수하는데 중심적인 역할을 하는 것은 방향족 탄화수소의 투입량이나 분자량보다는 방향족 탄화수소중의 벤젠환이라는 것이다. 가스흡수의 기구는 벤젠환의 공명구조에 라디칼에 붙어 안정한 구조를 가지기 때문에 가스발생이 줄어드는 것으로 판단된다.

3.2 첨가유분이 전기적특성에 미치는 영향

3.2.1 절연파괴전압에 미치는 영향

절연파괴전압은 오염물에 의해 심하게 영향을 받기 때문에 절대값으로 비교하기 어려우나 동일한 용기 및 탈수, 탈기 조건에서 시험한 결과, Fig.8 첨가유의 농도변화에 따른 절연파괴전압,을 얻을 수 있었다. PXE 가 1%일 때 예상되지 못한 결과가 나타나는데 이것은 오염원이나 실험적인 오류일 가능성이 높을 것으로 추정된다. C13 과 직쇄형 알킬벤젠는 시험영역에서 다소 저하되는 것으로 나타났다. PXE 와 C17 은 투입영역에서 농도가 증가함에 따라서 절연파괴전압이 감소하는 것으로 나타났다.

저하되는 현상은 첨가유의 고유 절연파괴전압이 낮기 때문으로 판단되며 나프텐계 기유의 절연파괴전압이 낮은 것도 고유 절연파괴전압이 낮은 혼합물이 많기 때문으로 판단된다. Fig. 8 에 나타난 결과를 Table 4 의 평균분자량, 몰 함량지수, 벤젠환 함량과 비교해보아도 일정한 경향성을 발견하기 어려웠다.

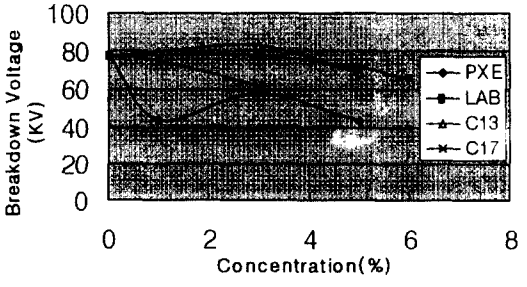


Fig. 8 Breakdown Voltage

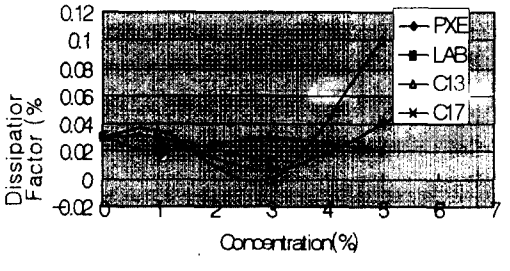


Fig. 9 Dissipation Factor

3.2.2 유전정접에 미치는 영향

Fig. 9 은 첨가유의 농도에 따라서 절연유에 의한 전력손실을 나타내는 유전정접과의 관계를 도표화 한 것이다. Fig. 9 에서 볼 수 있는바와 같이 5% 이상의 LAB, C13를 제외한 첨가유 전체에 대해 농도에 따른 변화폭이 크지 않은 것으로 나타나 있다. 5%이상의 LAB, C13 에 대해서 갑작스럽게 유전정접이 증가하는 현상은 첨가유의 투입량이 증가함에 따라서 직쇄형 알킬벤젠과 C13 방향족 탄화수소 혼합물중에 포함된 극성물질의 영향이 증가하기 때문이다. 일반적인 경우 이러한 영향을 줄이기 위해 C17 방향족 탄화수소 혼합물과 같이 백토처리를 하여 극성물질을 제거해주게 된다.

3.2.3 체적저항률에 미치는 영향

Fig. 10 에서는 첨가유의 농도변화에 따른 체적저항률 변화를 도표화 하였다. Fig. 10 에서 볼 수 있는바 와 같이 직쇄형 알킬벤젠의 경우 농도가 증가함에 따라서 체적저항률이 증가한다. 이것은 직쇄형 알킬벤젠 자체의 체적저항률이 1 X 10 ^{16} Ohm-cm 로 높기 때문에 혼합에 의해 직쇄형 알킬벤젠의 영향을 많이 받게 되기 때문으로 판단된다.

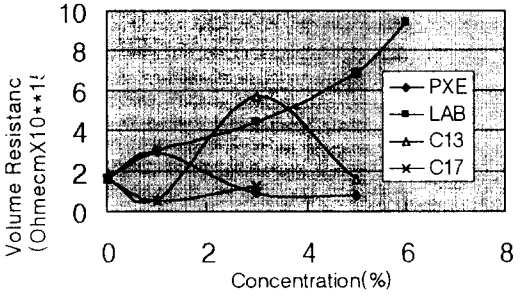


Fig. 10 Volume Resistancy

C13 3%를 제외하고는 첨가유의 농도변화에 따른 체적저항률 변화폭이 적은데 이것은 첨가유의 체적저항률이 기재 윤활기유와 비슷한 범위에 있기 때문으로 판단된다. 체적저항률은 물질자체의 고유값에 가장 많이 좌우되는 물성이기 때문에 Fig. 10 에서도 첨가유의 농도와 체적저항률변화의 연관성을 찾기는 어려웠다.

3.3 종 합

Table 5 는 KS C 2301 1 종 4 호와 ASTM D3487 에서 규정하고 있는 절연유 규격이다. PXE 의 경우 Table5 의 절연파괴전압을 만족시키기 위해 기재 윤활기유에 대해 절연유로서의 다른 성능을 만족시키는 범위에서 최소 1%, 최대 5%까지 투입할 수 있다. 직쇄형 알킬벤젠은 투입함에 따라서 가스흡습성을 저하시켜 Table 5 의 규격을 만족시키지 못하므로 기재 윤활기유에 대해서는 적용이 불가능하다. C13 방향족 탄화수소 혼합물을 5% 이상 투입하는 경우에는 활성백토처리를 하지 않았을 때 유전정접이 Table 5 의 규격을 벗어나게 된다. 그러나 C13 방향족 탄화수소를 활성백토에 의해 처리하는 경우에는 절연파괴전압을 고려하여 최대 8% 정도까지도 사용 가능할 것으로 판단된다.

Table 5 Specification of Transformer Oil [10,11]

	KS C 2301 1-4
Gassing Tendency*	Max. +30 mm3/min.
Breakdown Voltage	Min 40 kV
Dissipation Factor	Max. 0.1 %
Volume Resistancy	Min. 5X10**13 Ohm-cm

* ASTM D 3487

C17 방향족 탄화수소의 경우 투입량에 따라서 절연파괴전압이 감소하므로 최대 5% 까지 투입하여도 Table 5 의 규격을 만족시킬 것으로 판단된다.

4. 결 론

윤활기유의 조성이 전기절연유의 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 심도탈랍공정에 의해 생산된 윤활기유 (SK Yubase 3 LP)에 대해 4 가지 종류 방향족 탄화수소를 투입하여 시험한 결과,

1) 가스흡습성은 방향족 탄화수소의 투입량보다는 방향족 탄화수소에 들어있는 벤젠환의 함량에 따라 좌우되며
2) 전기적 특성 중 절연파괴전압과 체적저항률은 첨가된 방향족 탄화수소의 투입량이나 화학적 구조보다는 물질 고유값에 영향을 받으며
3) 유전정접은 불순물이나 극성물질을 제거하는 정제도에 의해 결정되는 것을 알 수 있었다.

결과적으로 장기간에 걸친 현장 적용시험에 의한 안정성이 전제로 되어야 하겠지만, 파라핀계 윤활기유도 심도탈랍 공정을 통해서 유동점을 낮추고 방향족 탄화수소를 혼합한다면 나프텐계 기유와 동등한 수준의 성능을 가지는 전기절연유로써 사용이 가능할 것으로 여겨진다.

참고문헌

1. 신현운, "전기절연유" , 윤활관리, Vol.5, No.3, page 44~46,1978
2. Exxon Research and Engineering Company, "Process for producing transformer oil from a hydrocracked stock" US Patent 5167847, Dec. 1,1992
3. H.H. Abou El Naga, A.Anis, A.E. Salem, and Y.M. Boghdady, "Production of Transformer Oil from Paraffinic Basestocks" Lubrication Scienece 10-1, (10) 77, page 77 ~ 89, November 1997
4. S.Yasufuku, Y Ishjoka and S. Kobayashi, " General Properties of mixtures of paraffinic insulating oil with alkylbenzenes", IEEE Transactions on Electrical Insulation Vol. EI-15 No. 5, page 429 – 433, October 1980
5. "Standard Test Method for Gassing of Insulating Oils under Electrical Stree and Ionization (modified Pirelli Method)" ASTM D2300 (B) – 1991
6. Zaky, Asser A.; Megahed Ibrahim Y, "Effect of organic additives, gas phase, stress, and temperature on the gassing characteristics of insulating liquids" IEEE Transactions on Electrical Insulation Vol. EI-7 No.3, page 145 – 152, 1972
7. "전기절연유" 특허번호 076001, 미쓰비시텐키, 1998.08.04
8. Nisseki Chemical Texas Inc. SAS-40 Catalogue " Newly Synthesized High Performance Capacitor Fluid"
9. "전기절연유의 고전계하의 안정성",윤활관리, Vol.8,No.5, page 37~39, 1981
10. "절연유(Insulating Oil)", KS C 2301 – 1985.07.01 개정
11. "Standard Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus" ASTM D 3487 – 1984