技術報告

日本에서의 電氣絕緣油의 現況과 將來에 對하여

高　　明*

—차 례—

1. 原油에 對하여
2. 原油의 分類
3. Naphthene 原油의 動向
4. 電氣絕緣油에 對하여
5. 絕緣油가 要求하는 特性
6. 絕緣油의 規格
7. 絕緣油의 製造工程
8. 絕緣油의 劣化原因
9. 絕緣油의 保守管理
10. 絕緣油의 將來

1. 原油에 對하여

일반적으로 油井에서 채취한 그대로의 原油의 外觀은 흑갈색 또는 흑녹색으로 다소 螢光이 있는 것이 많고, 原油의 成因에 있어서 몇가지의 학설이 있지만 이것을 大別하면 無機根源과 有機根源說이 있고 이것들에 대해 새로운 여러가지 說이 있지만 근래에는 일반적으로 有機說의 方向으로 기울어지고 있다.

2. 原油의 分類

原油는 生産地에 따라 物理性狀, 化學性狀이 다르다. 物理的性狀에 의한 分類에도 比重을 기준하여 分類하는 경우와 이것과는 별도로 化學的性質에 의하여 Paraffine基原油, Naphthene 基原油및 이들의 中間인 中間基原油로 분류되고 있다.

2-1 Paraffine 基原油

이 原油는 Paraffine系炭化水素를 비교적 많이 함유하고 있으며, 여기서 얻을 수 있는 Naphtha는 Octane價가 낮고 輕油의 Cetane價는 높다. 또 潤滑劑脫蠟등의 工程을 거쳐서 粘度指數, 酸化安定性, 油性 등의 면에서 우수한 윤활유가 얻어진다. Venezuela原油, Sumatra原油, Arabian原油 그외 中東原油가 대표적인 것이다.

2-2 Naphthene 基原油

이 原油는 naphthene 系炭化水素를 비교적 많이 함유하고 있으며 蒸溜하여 얻은 Naphtha의 Octane價는 높고 輕油의 Cetane價는 낮다. 潤滑油留分의 流動點은 극히 낮으며 熱安定性, 炭化物清掃性이 우수하고, 절연유, 냉동기유등이 요구하는 特性을 만족하는 것으로 되어 있다.

Venezuela의 Jiaguana原油, Bachquero原油, Laqunillas原油, MONAGAS原油, 北美의 Colinga原油, Sanjoquin原油와 Pennsylvania原油 이외에 Rumania, Indonesia의 K-uramona原油, Sahaun의 Gadanguri 原油 日本의 新潟, 秋田地方에서도 소량 생산되고 있다.

2-3 中間基原油

Paraffine基系와 Naphthene基系와의 中間混合基原油로서 일반적으로 대부분의 原油가 여기에 屬하며, Duri原油 Eocene原油와 같이 輕質留分은 Naphthene系에 가깝고 重質留分은 Paraffine系에 가까운 것도 있다.

3. Naphthene原油의 動向

Naphthene原油는 美國, Venezuela, Indonesia, 쏘련, Rumania, 中國 및 日本등지에서 오래전부터 生産되고 있었다. 그러나 Indonesia, 日本이 枯渴化되어가고 美國에서도 生産量이 急減함으로서 輸出能力을 상실한 結果가 되고, 근년에는 Naphthene原油의 세계적인 枯渴化가 과도하게 강조되는 잘못된 認識을 갖게 되었다. 확실히 Naphthene 原油의 油井은 일반적으로 거의가 아주 오래되었고, 生産 cost가 上昇되고 있기 때문에 從前(10年前)의 比重을 基準으로 하여 다시말하면 Naphthene原油는 重質이고 또 比重이 무거운 점도 있어서 Paraffine原油보다 安價이던 것이 최근에는 逆轉現象으로 되어 高價로 되고 있다. 日本에 있어서는 日本海(東海) 原油産油量이 감소하므로 1952年에 全國石油工業協同組合(全石工)이 美國, Sanjoquin 原油, Coalinga原油의 輸入을 共同으로 시작했고, 다

* 日本 松村石油株式會社 販賣技術次長 本稿는 當學會主催로 開催한 特別學術 講演會(1977年 5月 18日 電氣會館講堂)에서 發表된 內容임.

음으로는 Indonesia의 Klamono原油의 수입 등을 행해왔다. 1969年 이후 Venezuela에 輸入先을 점차 轉換하여 현재는 거의를 Venezuela에 의존하여 금일에 이르고 있다. Naphthene原油의 輸出國은 현재 世界的으로 Venezuela國에 限定되어 있는 실태에 있다.

3-1 Venezuela와 日本의 潤滑油業界

1973년 가을에 石油波動이 일어났으며, 同年 7월초에 Venezuela에서 CSV (Venezuela shell) 販賣部長이 來日하여 全石工에 대하여 OPEC의 動向과 Venezuella의 石油政策을 설명했다. 그래서 즉시 全石工은 세계의 石油事情이 一變한다는 정보에 따라 그에 대한 對應策을 검토하고 安定供給을 확인시켰다. 全石工은 1974年 5월末~6月 上旬에 걸쳐서 Venezuela에 石油使節團을 파견하여 政府 國有會社 MEDIA, OPEC 委員등과 회담하고 그들을 통하여 Venezuela의 石油國有化가 완전히 이루어진 후 장래에도 日本에 대한 Naphthene原油의 安定供給을 확약받았다. 1975年 1月 完全國有化가 된 직후 1月에 國有會社 「MARAVEN」 首腦陣이 全石工을 위해 처음으로 訪日하여 會談하고 相互理解를 증진시켰다. 그래서 1977년 1월 全石工은 代表團을 Venezuela에 파견하였으며, 앞으로 매년 Venezuela와 日本에 각 1回씩 상호방문하는 것을 制度化하여 親善을 도모하는데 合意하였다.

3-2 Venezuela의 原油事情

Venezuela의 原油生產高는 현재 320萬 Barrel/日이며, 그 分布는 Marageibo 湖地帶가 75%, 東部 Orinoco 河地帶가 25%로 되어 있다. 原油는 輕質原油(API 30/32)와 重質油(API 20이하)로 나누고, 全體의 構成比는 대략50 : 50이고, 輕質原油는 Paraffine基와 中間基原油가 많고, 重質油는Naphtene基 原油가 극히 많다, Naphthene基原油는 Marageibo湖 주변의 大油田地帶, Jiajuana原油, Bachaquero原油, Lagunillas 原油가 있고 Orinoco 주변에는 Monagas 原油가 있다.

日本에서는 Jiajuana 原油와 Bachaquero原油가 현재 輸入되고 있다. Venezuela는 Marageibo湖 주변의 확인 埋藏量은 140億 Barrel이 있다. Orinoco에는 推定埋藏量 7,000億 Barrel의 重質原油가 아직까지 개발되지 않고 그대로 방치되어 있다. 그의 資源開發이 課題가 되어 있다.

앞서 기술한 바와 같이 日本에서의 Naphthene原油의 必要量에 대하여 90% 이상을 Venezuela에 의존, 순조롭게 공급이 계속되고 있으며 앞으로도 계속 원활하게 공급될 것을 확신하고 있다.

왜냐하면 앞서의 全石工代表團이 Venezuela를 방문하여 회담중 Maraven의 Elenandes씨는 다음과 같이 표명하고 있다.

즉, Naphthene原油는 지금까지 태반을 연료로 사용하고 있었으며, 世界的으로 보아서 Naphthene原油의 最大의 産油國, 輸出國인 Venezuela는 그 資源의 貴重性을 생각하여 Naphthene系 潤滑油의 用途에 限定하여 공급하면 永久的으로 공급할 가능성이 있다.

또한 Orinoco에 投資를 하는것보다 Marageibo에 투자하여 原油를 채취하면 Naphtene原油의 生產量은 크게 증가될 수 있으며, 또 장래의 供給에 不安이 없다.

Exson은 Venezuela의 國有化후의 공급불안도 있어 종래에 Naphthene系潤滑油는 Paraffine系로 移行하려는 研究를 계속하고 있지만 ① 質的으로 不成功, ② Venezuela의 供給安定化 등으로 현재에는再次 Venezuela에 依存되어 있다.

3-3 Naphthene系 潤滑油의 品種과 用途

Naphthene系 潤滑油는 電氣絕緣油, 冷凍機油, 合成고무加工油, 合成고무配合油, Ink Dil原料油, Grease 原油, HVI 混合油, 金屬加工油, 流動 paraffin, 剝離油등이 있고, Paraffin基系로 代用할 수 없는 것으로서 日本에서는 약 35萬kl정도가 소요되어 있다.

日本에서의 電氣絕緣油의 輸入量의 推移는

1970년	9.8萬kl	1974년	10.6萬kl
1971년	11.0萬kl	1975년	7.6萬kl
1972년	12.3萬kl	1976년	8.38萬kl
1973년	13.0萬kl	1980년에는	10.6萬kl

로 推算되고 있다.

4. 電氣絕緣油에 對하여

4-1 서론

電氣絕緣油(以下 절연유라 함)는 變壓器 Condener, Cable 등의 電氣機器의 絕緣材料로서 外部에서의 水分의 侵入을 防止하고, 電氣抵抗에 依한 發熱을 放散하므로서 熱媒體라 말하고, 다른 일반 石油製品에 比해서 特異한 使用目的을 가진 Oil이다. 이 절연유는 전기 재료나 電氣機器의 改良, 進步에 따라 그 요구하는 諸特性도 갈수록 苛酷하게 된다.

絕緣油는 그 사용목적, 諸特性을 고려하여 선정한 原油에서 最高로 적합한 精製法으로 주의깊게 高度로 精製한 것이다.

日本에서는 低硫黃, 耐酸化性이 우수한 Naphthene原油인 新律原油가 사용되고 있는데 Naphthene基原

油가 枯渴됨에 따라 Indonesa, New Guinea, America, Venezuela等의 外國産 Naphthene 基原油가 의존하고 있으며 현재로는 大部分이 Venezuela産 原油를 사용한다.

Naphthene 基原油의 代用으로 Paraffine 基原油를 利用할 것을 검토하고 있으나 日本이 수입하고 있는 原油의 대부분을 占하는 中東原油는 高硫黃, 高流動點이고, 일반적으로 다른 潤滑油材의 처리와 並用하여 운전하는 溶劑脫蠟裝置로서는 流動點을 JIS規格 2號油의 −27.5°C 以下의 製品을 生産하는 것은 不可能하므로 이것을 流動點 降下劑로 보완하더라도 이 添加劑는 電氣的 特性을 低下하는 경향이 있고, 또 低溫에 放置하는 경우 添加劑가 分離되어 流動點이 上昇하는 문제가 발생하는 일도 있다. 따라서 만일 事故가 일어나는 경우 사회적 영향이 대단히 클 것이며 今後 Paraffine 基原油를 사용할 때는 絶緣油나 變壓器의 관계를 포함하여 충분한 연구와 검토를 한 후 實用實驗을 行하지 않고는 어렵다.

5. 絶緣油가 要求하는 特性

절연유는 用途 및 그것을 사용하는 機器에 따라 다르지만 일반적으로 절연유가 요구하는 특성은

(1) 絶緣破壞電壓, 誘電正接, 體積抵抗率 등 전기적 특성이 양호하고
(2) 冷却作用이 크고
(3) 酸化安定性, 熱安定性이 우수하고
(4) 荷電時安定性(耐 corona性)이 우수하고
(5) 低溫特性이 양호하고
(6) 腐蝕性이 없고
(7) 蒸發減量이 적고
(8) 引火의 위험성이 적은것

이상의 것들이 아주 중요하며 이러한 諸特性을 만족시키기 위한 機器의 요구에 따라 用途別로 細區分되고 日本에는 JIS C 2320에 規定되어 있다.

5-1 電氣的 特性

절연유의 전기적 특성을 평가하는 방법으로 절연파괴전압, 誘電正接, 체적저항율 등이 있는데 變壓器油의 受入試驗은 設計上의 문제점 등으로 大體的으로 파괴電壓을 測定하고 있으며 油中의 不純物, 水分 등의 check도 行해지고 있다. 특히 최근의 大型變壓器등에 있어서는 水分등의 混入을 피하기 위하여 絶緣油의 配送時에 있으서도 건조 N_2 gas로서 Tanklorry의 空間을 seal(봉인)하는등 세심한 주의를 하고 있다.

cable油의 경우 그 誘電損失을 최소로 억제하기 위하여 誘電率, 誘電正接이 적은 것이 필요하며, condenser의 경우는 그 設計함에 있어서 誘電容量이 큰 것이 필요하기 때문에 誘電率이 큰 것이 바람직하다. 일반적으로 精製度를 높이면 電氣特性은 向上되지만 부식성등의 문제도 있어 適性의 精密度가 요구된다. 또 電氣特性의 油中의 微量의 不純物, 來雜物이나 水分에서 영향이 오는 일이 극히 크므로 精製中은 물론이고 充填中, 保管中일 때도 이러한 不純物이 混入되지 않게 하는 것이 절대 필요하다. 최근에는 機器 maker에 의하여 機器에 充填할 때는 濾過, 脫氣 脫水를 행하고 있다.

5-2 酸化 및 熱安全性

일반적으로 55°C Rise의 油入變壓器의 最高 平均油는 보통 90°C로 억제되고 實使用의 대부분은 60°C 전후로 나타나고 있다. 그러나 局部的으로 100°C 以上의 高溫이 될 수도 있고 絶緣油의 評價의 제일은 酸化安定性을 생각할 수 있다. 절연유의 酸化에 대한 劣化機構에 대하여 오래전부터 여러가지 說이 있지만 過度精製한 절연유는 天然의 酸化防止劑가 除去되어 精製度가 충분한 절연유도 동시에 酸化劣化를 일으킨다. 이 天然의 酸化防止劑에 대하여 Renison, Hibbard는 硫黃化合物이 그 有效成分이라고 말하고 있다. 또 增永등은 中東原油등을 처리하여 JIS 安定度 試驗方法으로 Test한 결과는 0.1Wt% 이상의 硫黃分을 남기므로 JIS規格에 合格한다고 보고하고 있다. 加熱劣化 Tset에 있어서 Paraffine 基原油와 Naphthene 基原油와를 同一의 精製度로 비교 Test한 결과는 Naphthene 基原油쪽이 안정하다고 서술하고 있다.

適當한 精製度의 것이 양호하다는 표현은 飽和成分과 芳香族成分의 最適比率을 說明한 것이고 木材, 若葉, 間宮 등에 의해서 그 有效成分은 芳香族成分에 있다고 "最適芳香族性"의 理論이라고 설명하고 있다.

그들의 最適芳香族性및 硫黃化合物의 有效性은 어느쪽이라도 效果的임을 증명하고 있다.

5-3 耐 Corona性

Condenser Cable에 사용하는 절연유는 강한 전기적 stress를 받아 重合 또는 縮合反應이라고 말하는 化學變化를 일으킨다. 그 결과 gas 發生이 일어나고 희귀하게도 wax를 生成하는 것도 있다. gas는 水素 gas가 主體이지만 芳香族成分이 많은 油는 이 發生하는 gas를 吸收하는 것이 되지만 適當한 精製油 및 Paraffine系油는 이 發生하는 gas를 吸收할 수가 없어서 空隙이 생겨서 다시 이 부분에 電氣的 Stress가 강하게 가해지면 局部파괴를 초래하여 事故와 연결된

다. 이것의 硏究는 藤田에 의하여 상세히 說明되고 있다. 따라서 절연유는 gas 試驗에서는 吸收型이 되는 것이 필요하며 比分散値가 105-110, n-d-M 組成 分析의 C_A% 7~9로, gas 吸收型과 gas 發生型과의 경계가 된다. Condenser Cable은 전보다 變壓器에 있어서는 耐 corona性의 문제는 중요하지만 Naphthene系 절연유가 더욱 양호하고 Paraffine系로서 대체하기는 어렵다.

5-4 腐蝕性

絶緣과 接하는 銅이나 銀이 油中에서 黑變을 일으키는 것은 잘 알려져 있다.

日本에서는 變壓器의 Tap change가 硫化부식에 따라 黑變하고 이 黑化物이 오랜시간에 걸쳐 生成되어 떨어져서 사고를 일으킴으로서 특히 腐蝕性에 대하여 문제시 되었다. 절연유중에는 여러 종류의 硫黃化合物이 존재하지만 이 안에는 元素硫黃, Nercaptane, Disulfide등이 부식과 관계 있다고 한 白井의 보고가 있다.

6. 絶緣油의 規格

日本에서는JIS C 2320에 電氣절연유의 規格이 規定되어 있지만 각 變壓器 maker에서는 이것에 만족하지 않고 各社에서 독자적으로 社內規格을 制定하고 있는 現況이고 各社 및 各國의 規格에 對한 對比表는 表 1, 表 2와 같다.

表 1. 日本의 變壓器 Maker의 社內規格과 JIS 對比

	JIS 2號	A 社	B 社	C 社	D 社
比 重 15/4°C	0.92>	0.91>	0.92>	0.92>	0.92>
動粘度 (30°C)	19>	17>	17.5>	19>	15>
cst (75°C)	5.5>	5.0>	4.6>	5.5>	4>
流動點 °C	−27.5>	−35>	−30>	−27.5>	−27.5>
引火點 °C	130<	140<	135<	130<	135<
蒸發量 %	0.4>	0.2>	0.3>	0.3>	0.25
反 應	中性	中性	中性	中性	中性
全酸價 mg KOH/gr	0.02>	0.01>	0.01>	0.01>	0.01>
腐蝕性 100°C ×3H	—	1<	—	—	1>
腐蝕性 140°C ×19H	非腐蝕性	2>	3>	3>	3a>
熱安定度 sludge%	0.40>	0.30>	0.15>	0.25>	0.3>
120°C×75H 全酸價	0.60>	0.40>	0.20>	0.45>	0.4>
絶緣破壞電壓 KV	30<	40<	40<	50<	70<
體積抵抗率 Ω-cm 80°C	5.0×10^{12}<	1.0×10^{13}<	5×10^{12}<	4×10^{13}<	3×10^{12}<
誘電正接 %(80°C)	—	0.2>	—	0.2>	0.2>

7. 絶緣油의 製造工程

日本에서는 年間 12萬~15萬kl의 Naphthene系 絶緣油가 生産되고 있지만 그 原料는 국산原油와 輸入 Naphthene系 原油로 大別된다. 그 輸入先은 Indonesia, New Guinea의 일부를 除外하고는 태반이 Venezuela이다.

이러한 원유의 처리 方法은 종래에는 黃酸처리가 主流를 이루었지만 현재는 産業폐기물인 黃酸 Pitch; 廢 Soda의 처분 문제에 있어서 溶劑精製, 水素化精製等으로 정제의 방법이 변하고 있다.

鑛油系 절연유의 製造工程

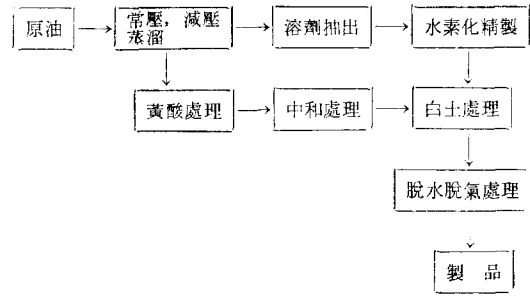


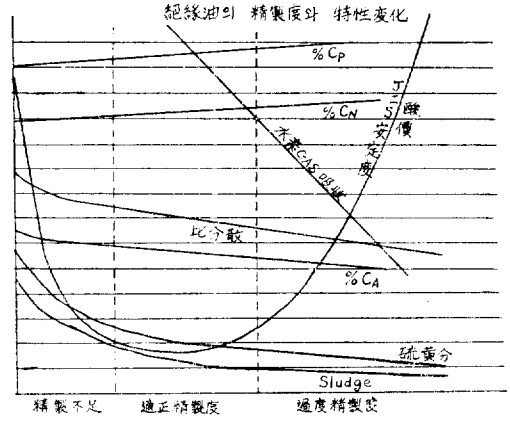
表 2　變壓器, しゃ斷器油の規格

試験項目		試験條件	JIS C 2320	ASTM D1040	BS 148	IEC 296
制定年度			1974	1968	1972	1969
比重		15/4°C 60/60°F	0.92以下	0.84~0.91		
密度 (g/cm³)		20°C			0.895以下	0.895以下
粘度	(cSt)	30°C 75°C	19.0以下 5.5以下			
	(sus)	0°C 38°C		320以下 65以下		
	(cSt)	−15°C 20°C			800以下 40以下	800以下 40以下
流動點 (°C)			−27.5以下	−40.0以上	−30.0以下	−30.0以下
引火點 (°C)			130以下	146以上	140以上	140以上
蒸發量 (%)		98°C	0.4以下			
反應		中性				
無機鹽酸鹽, 硫酸鹽				nil		
全酸價(mgKOH/g)			0.02以上	0.05以下	0.03以下	0.03以下
鋼板腐食		140°C×19hr 100°C× 3hr	noncorrosive	noncorrosive	noncorrosive	1以下
水分 (ppm)				35以下	35以上	
界面張力(dynes/cm)				40以下		
破壞電壓 (kV)		kV/2.5mm kV/2.54mm	30以上	30以上	30以上	30以上
體積抵抗率 (Ω-cm)		80°C 90°C	5×10¹⁸以上		no set limit	
誘電正接 (%)		90°C 100°C		0.5以下	0.5以下	0.5以下
色相				1以下		
酸化安定度試験		120°C×75hr	スラッジ 0.4以下 酸　價 0.6			
		140°C×24hr		スラッジ0.06以下		
		100°C×164hr			スラッ　0.10以下 酸　價0.40以下	スラッジ0.10以下 酸　價0.40以下

8. 絕緣油의 劣化原因

절연유는 高度로 정제된 안정한 炭化水素이지만 사용중 서서히 변질되어 性能이 低下한다. 이것의 가장 큰 원인은 공기중의 酸素에 의해 酸化되어 加熱 및 電氣的 영향으로 보다 酸化가 촉진된다. 또 水分, 金屬, 絕緣材料, 日光, 塵芥등의 作用을 무시할 수 없다.

절연유의 劣化現象은 일반적으로 過酸化物을 生成하고 Alcohol, Aldehyde, Ketone등의 과정을 거쳐 有機酸, Ester 등으로 변화하고 Sludge 발생의 原因이 된다. 통상 劣化정도의 판정으로서 절연 파괴, 전압, 체적저항률, 全酸價, 色, gas分析 등의 측정이 행해지고 있다.



일반적으로 變壓器의 사용온도가 10°C 높아짐에 따

라 劣化速度는 약 2배로 되는 것으로 인정된다. 동시에 水分의 존재에 의해 劣化는 급격히 빨라진다. 이것을 防止하기 위해서도 適正하고 高度로 精製한 절연유가 필요하고 엄선된 절연유를 사용하는 것이 중요하다.

9. 絕緣油의 保守管理

종래 變壓器, 開閉器등 設備機器의 保全에 관해서는 빨리 保守規定이 설정되고 이것을 기초로 하여 관리되고 있지만 절연유에 대해서는 적당한 基準도 없고 절연 파괴 전압 시험에만 의지하는 방향이 많이 채택되고 있었으나 근년에 와서 절연유에 대한 인식이 새로워지고 절연파괴 전압 시험 또는 濾過만에 의한 보수상의 조치에서 더 전진하여 全酸價, 體積抵抗率등의 수치를 정하고 그때 그때 保守基準을 改定 實施하는 곳이 많아지고 있다. 變壓器油의 교환 基準을 요약하면 表 3으로 되고 이것에 더하여 최근에는 사용중의 變壓器油의 함유하는 發生 gas의 成分에 의해 변압기 내부의 異常을 진단하여 大型變壓器의 경우 기준의 하나로 취급되고 있다.

表 3. 各社 變壓器油의 保守方針

	全 酸 價 mgKOH/g	體積抵抗率 Ω-cm	其 他
A 社	0.2以上 再生 0.4以上 危險	10^{12}以下 再生	
C電力	全變壓器가 0.2 以下 되도록 노력		
K電力	0.3以上 再生		
T電力	N_2 gas를 넣은 것은 0.2 以上 再生, 기타 0.4 以上 再生	10^{11}以下 再生	파괴 電壓 25kV 以上의 것
B電力	0.2~0.5 再生 0.5以上 早急再生		
D 社	0.2以下에서 保守함으로 事故가 적음		

10. 絕緣油의 將來

以上으로 現況을 서술해 왔지만 앞으로는 보다 더 電氣機器의 高電壓化, 大容量化로 되어 절연유에도 지금 이상으로 苛酷한 요구가 부과될 것으로 보고 있다.

(1) 硫化腐食(黑化現象)을 일으키지 않는다.

(2) 酸化安定性, 熱安定性이 더욱 우수하다.

(3) 電氣特性(誘電正接, 體積抵抗率, 絕緣破壞電壓, gas 吸收特性)이 좋은 것이 요구되고 送電分野에 있어서도 이미 500kV級의 起高壓 cable이 실용화되고 있고 현재의 鑛物油로서는 熱安定性, 酸化安定性 등의 방면에도 限界가 있고 合成絕緣油로서 Alkyl Benzene, Poly Butene 등이 연구되어 이미 채용되고 있다.

또 금후에 6弗化硫黃 등의 gas絕緣도 크게 연구되고 있다 乾式의 變壓器도 채용된다고 생각되고 우리 절연유 maker도 여러 각도로 연구개발에 노력하여 시대에 적응하는 絕緣油를 공급할 수 있도록 노력하고 있다.

끝으로 오늘의 발표의 기회를 부여해준 대한전기학회 여러분에게 감사의 뜻을 표한다.

參考文獻

1) 內山裕允, 石油學會誌 **17** (7) (1974)

2) 松村石油(株), 社內資料

3) 電氣絕緣油 分科會資料