

環境問題로 본 配電用가스絶縁變壓器

1. 머리말

고도정보화시대의 막이 오르면서 受配電機器에 대한 사회적 요구는 고신뢰화 고성능 및 고기능화 등 근년에 들어 한층 더 높아지고 있다. 配電用變壓器에 있어서도 가스, 물드化(乾式化)에 의한 不燃·難燃化, 고신뢰성, 고성능·고기능화 등에 대한 대응이 활발해지고 있다.

한편 프레온에 의한 오존층파괴에의 대응에서 볼 수 있는 地球규모의 환경문제에 대한 사회적 요구도 높아가는 가운데 配電用變壓器 등과 같은 수배 전기기에 대해서도 환경문제에 대한 관점에서 논의 되는 일이 적지 않았다.

이 논문에서는 3상, 1500kVA 배전용변압기에 예로 하여 환경문제에 대한 관점에서 고찰한 것을 소개한다.

2. 配電用變壓器의 技術變遷과 動向

2.1 配電用變壓器의 技術變遷

配電用變壓器는 사회적인 요구를 반영하면서 발달하여 왔으며 그 역사도 100년을 넘고 있다. 기본적인 원리가 거의 완성되어 있는 것은 주지하는 바와 같지만 變壓器출현당시의 配電設備과 오늘의 그것과를 비교해보면 그 性能에 대한 개선은 놀라움

을 금할 수가 없다.

技術變遷으로는 低損失化, 小型 및 輕量化 省스페이스화가 주류로, 適用素材開發, 設計技術開發, 製造技術開發 등에 의하여 실현되어 오고 있다. 또 최근에는 방재상의 이유로 불연·난연화기술이라든지 고기능·複合一體化라고 하는 기술개발 등도 활발하다.

2.2 각종 配電用變壓器의 특징

오늘날의 배전용변압기는 대표적으로 다음에 제시하는 3개의 타입으로 나눌 수가 있다.

(1) 油入變壓器

가장 오랜 역사를 가지고 있으며 제품가격적으로도 다른 것에 비하여 유리하기 때문에 현재에도 배전용변압기의 주류를 이루고 있다. 絶縁·冷却媒體로서 鑛油를 사용하고 있기 때문에 油劣化에 대응한 油交換 등에 의한 保全이 절대적으로 필요하다. 또 제품자체의 신뢰성은 극히 높으나 2차재해에 대한 염려에서 防災面에서의 배려를 필요로 한다.

(2) 물드變壓器

난연성의 樹脂材料를 사용한 제품으로 防災性面에서 각광을 받아 수요가 늘고 있다. 또 공기를 冷却媒體로 하고 있어 기름(油) 등과 같이 용기에 넣

을 필요가 없기 때문에 다른 변압기에 비하여 설치 면적이 적은 이점이 있다. 다만 코일, 철심 등의 변압기본체가 환경의 영향을 받기 때문에 옥내사용에 한정되거나 몰드一體化되어 있기 때문에 리사이클時에 코일導體의 분리가 곤란한 점 등이 다른 것에 비하여 불리한 점이다.

(3) 가스絶緣變壓器

不燃性인 SF₆를 절연 및 냉각매체로 사용하고 있는 점을 제외하면 구성 그 자체는 기본적으로 유압 변압기와 유사하다. 코일·鐵心 등 變壓器本體는 밀폐식탱크에 收納되어 있어 모든 환경에 적합할 수 있으며 유지보수·관리도 용이하다. 또 변압기本體는 吸濕·耐塵에 대한 염려가 없어 몰드一體化의 필요도 없으며 리사이클時의 내부해체도 용이하다.

이들 각종 配電用變壓器의 특성비교를 표 1에 표시한다.

2.3 配電用變壓器의 最新技術

최근의 사회동향으로 본 각종 니즈에 대한 配電用變壓器의 對應技術을 그림 1에 표시한다. 배전용 변압기는 수배전설비 가운데에서도 가장 중요한 기

기의 하나이며 ① 고신뢰성, ② 소형·경량·省스페이스화, ③ 고성능화(省에너지·低騒音化), ④ 省메인テナンス화, ⑤ 고기능화 등의 각 對應技術은 금후에도 더욱 발전해 갈 것으로 생각한다.

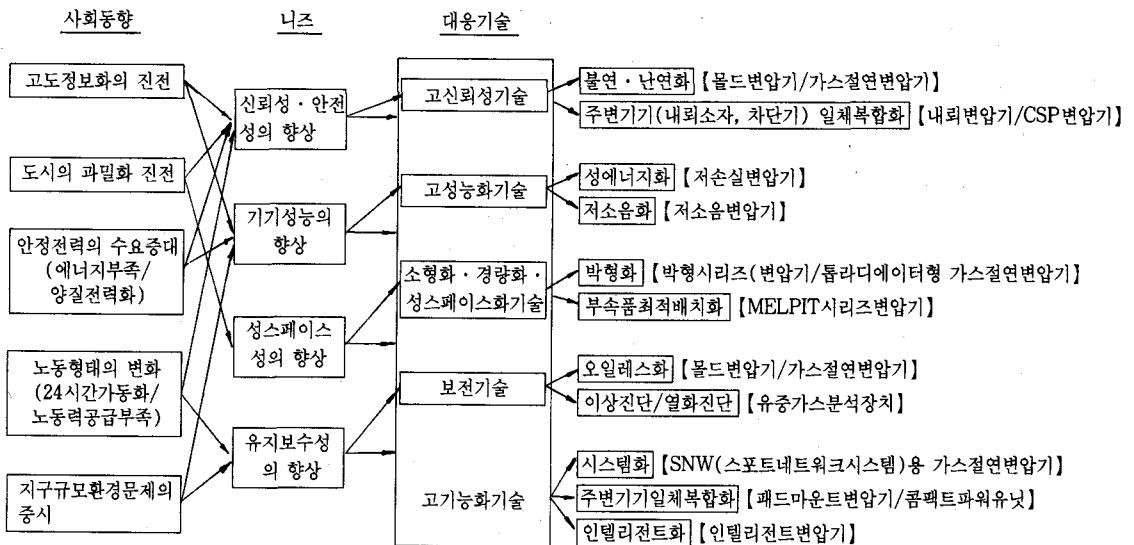
3. 환경에 대한 영향면에서 본 가스絶緣變壓器

3.1 配電用變壓器 外形諸元에서 볼 수 있는 영향과 동향

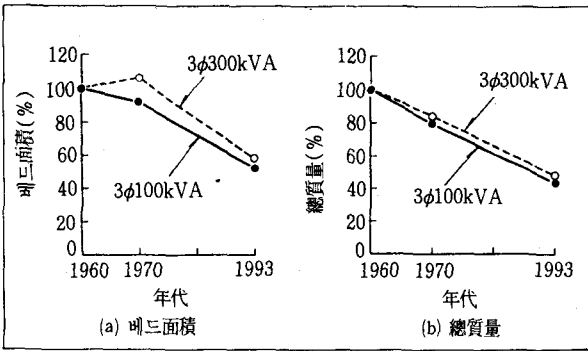
그림 2는 대표적인 油入變壓器에 있어서의 바닥

<표 1> 各種 配電用變壓器의 특성비교

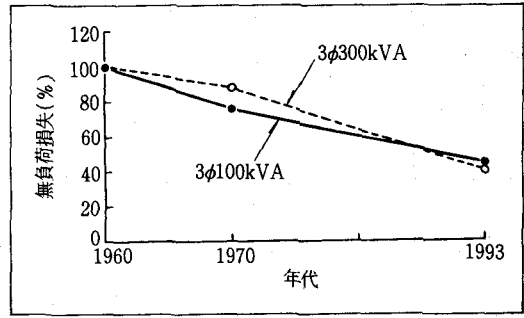
	가스絶緣變壓器	몰드變壓器	油入變壓器
絶緣種別	E	F	A
絶緣·冷却媒體	高分子필름 SF ₆ 가스	에폭시樹脂 空氣	그라프트紙 油
騒音	◎	○	◎
耐熱燒性	◎	○	△
耐濕性	◎	○	◎
메인テナンス	◎	○	○
消化設備	◎	◎	○
材料의 分離性	◎	△	○
使用場所	屋內/屋外	屋內	屋外/屋內



<그림 1> 社會動向으로 본 配電用變壓器對應技術 및 製品動向



<그림 2> 油入變壓器의 베드面積·總質量的推移



<그림 3> 油入變壓器의 無負荷損失 推移

<표 2> 各種 配電用變壓器의 損失比較

單位 : %

	가스絶緣變壓器	물드變壓器	油入變壓器
無負荷損	73	180	100
負荷損	70	81	100

注) 油入變壓器를 100으로 한 指數

면적·질량의 변천을 나타낸 것이다. 1960년대의 제품과 비교하여 대폭적인 小型·輕量化를 이루고 있으며 앞으로 設備更新을 할 경우에도 전기실의 變壓器設備스페이스를 변경하지 않고도 용량증가가 가능하거나 設備스페이스의 축소가 가능하게 되었다. 이 省바닥面積化에 따른 전기실의 스페이스축소는 地價양등에 대한 대책뿐만 아니라 환경문제로서의 스페이스의 유효활용의 검토에도 일조가 될 것으로 생각할 수 있다.

가스絶緣變壓器는 유입변압기에서 과거 실시되어 온 각종 固有技術의 도입도 가능하며 나아가 냉각·절연매체가 가스이므로, 임의의 장소에 냉각기의 배치가 가능하다는 장점을 살려 톱라디에이터식 등으로 더욱 省스페이스化를 기할 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 製品性能에서 볼 수 있는 영향과 동향

3.2.1 損失

변압기의 損失은 1960년대에 方向性규소鋼板이 출현함으로써 크게 개선되었고 또한 이 鋼板을 사용한 捲鐵心構造가 개발되어 변압기의 無負荷損失이 대폭적으로 개량되었다. 또 최신동향으로서는 그 素材價格低下에 호응하여 實用化가 활발하게 진행되고 있는 아몰퍼스磁性材料 등도 각광을 받고 있다. 아몰퍼스磁性材料의 경우 그 특징으로 소형·경량화에는 상반되지만 변압기의 고효율화의 추진

에는 크게 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

그림 3은 배전용변압기의 無負荷損失의 변천을 나타낸다. 무부하손실 저감 등 변압기 운전효율의 향상은 개개의 변압기운전의 경제성을 높일 뿐만 아니라 공급하는 電力의 送電에 소비하는 에너지도 줄이게 된다. 즉 환경에도 유효한 결과를 초래한다.

損失特性은 설계에 의하여 임의로 설정할 수 있는데 하나의 예로서 표 2에 1,500kVA의 각종 변압기의 損失特性 比較를 나타낸다. 가스절연변압기는 다른 변압기에 비하여 低損失傾向임을 알 수 있다.

3.2.2 騒音

변압기의 소음은 주거환경에 대하여 영향이 크며 문제를 일으키는 일이 적지 않다.

표 3은 油入, 乾式물드 및 SF₆가스變壓器의 소음 특성을 규격치를 사용하여 비교한 예이다. 유입변압기와 가스절연변압기는 본래 油容器, 가스容器에 封入되어 있어 低騒音設計로 되어 있음을 알 수 있다.

3.2.3 安全性

인구밀도가 높은 곳에서는 특히 제품의 安全面을 고려함이 필요하다. 세계의 주요도시에서는 다른

<표 3> 各種 配電用變壓器의 騒音레벨比較

變壓器容量 (kVA)	騒音레벨 ³⁾ dB(A)		
	가스絶緣變壓器 ¹⁾	몰드變壓器 ²⁾	油入變壓器
~300	57	63	56
500	59	65	58
700	61	70	60
1,000	63	72	62
1,500	64	74	63
2,000	65	76	64

*1 가스絶緣變壓器는 NEMA TR-1 規格
 *2 몰드變壓器는 500kVA까지는 JIS C 4306規格, 700kVA
 以上 및 油入變壓器는 JEM 1118 規格
 *3 上記 表에는 +3dB(A)의 裕度가 適用된다.

지역에 비하여 地價가 昂등하기 때문에 수평방향보다 수직방향으로 建物이 확장되는 경향을 나타내고 있다. 사람들이 고층빌딩에서 생활함으로써 防災上 수배전설비의 높은 안전성이 요구된다. 따라서 빌딩이나 공공시설에서는 몰드, 가스絶緣變압기 등의 不燃·難燃化變압기를 사용하는 것이 바람직하다.

가스絶緣變壓器에 사용되는 SF₆가스는 美國 UL 規格에서 질소와 동일한 가장 안전성이 높은 그룹 6에 속해 있는 점이라든지 각종 실험결과로 안전성이 확인되어 있다. 그에 더하여 耐環境性면에서도 안전밀폐식인 점에서 몰드變壓器에 비하여 유리하다고도 할 수 있다.

3.3 製品메인テナンス性에서 본 영향과 동향

配電設備의 메인テナンス는 오늘날의 近代都市에 사용되는 大型配電시스템에서는 중요한 과제가 된다. 여기서는 油入과 가스絶緣變壓器의 메인テナンス費用의 비교를 Hongkong Electric Co. Ltd.(香港電燈有限公司: 이하 “香港電力”이라 한다)의 配電시스템을 예로 하여 소개한다.

그림 4는 가스絶緣變압기와 유입變압기의 메인テナンス費用을 비교한 예이다. 유입變압기인 경우 절연·냉각매체인 기름(油)의 운전경과에 따른 劣化는 피할 수 없다. 따라서 絶緣特性을 유지하기 위한 기름의 여과 또는 교환이 불가결하다. 한편 가

스절연變압기에 사용되는 SF₆가스는 그 안정된 不活性特性에 의하여 가스 그 자체의 劣化는 없으며 絶緣시스템으로서의 劣化를 억제하여 메인テナンス의 필요성을 억제하고 있다. 이 예에서 가스絶緣變압기의 이니셜코스트는 유입變압기에 비하여 높지만 신뢰성·운전특성면과 더불어 유지보수면에서도 低코스트化·近代化에 기여할 수 있음을 알 수 있다.

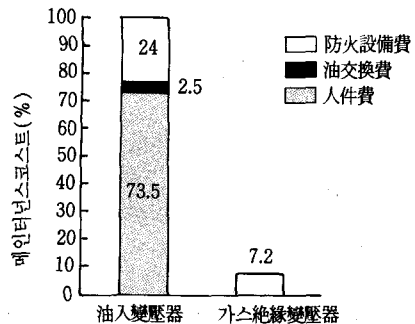
香港電力에서는 이상과 같은 배경에서 全配電變壓器를 가스絶緣變압기로 대체할 것을 결정하고 또한 가스絶緣變압기가 集中監視制御가 용이하다는 장점을 살려 常時監視시스템을 구축하고 있다.

3.4 製品리사이클面에서의 고찰

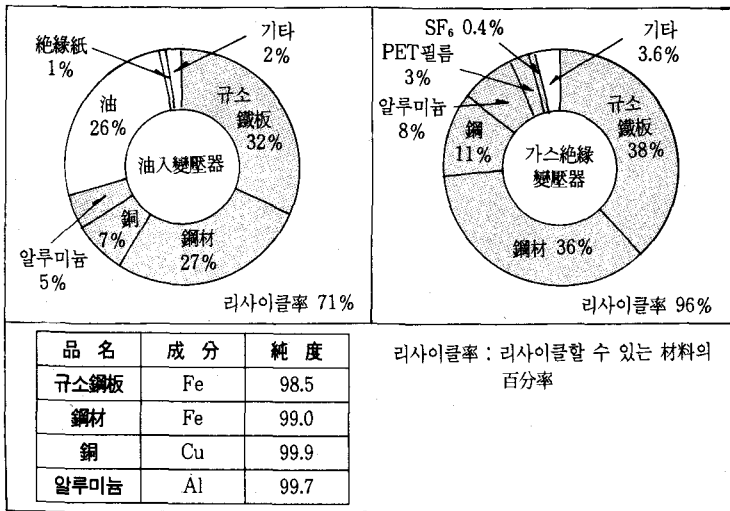
근년에 埋立地에 대한 사회적부담이 점차로 증가되고 있어 폐기시의 코스트가 증가하고 있다. 또한 처리에 따라서는 再利用 가능한 재료를 폐기하고 있는 케이스도 적지 않아 여기에 비싼 비용을 내는 것은 이치에 맞지 않는다. 變壓器에 이용되는 材料는 分別하기 쉽고 또한 材料의 純度도 높아, 價値가 극히 높은데도 불구하고 산업폐기물로 취급되는 경향이 있다. 變壓器는 材料의 物量, 純度로 보아 높은 리사이클製品으로 생각되기 때문에 그 리사이클성을 고려하는 것이 중요하다.

3.4.1 構成材料

배전용變압기에서 사용하는 재료의 구성비는 그림 5에 표시하는 것과 같이 鐵, 銅, 알루미늄 등의



<그림 4> 메인テナンス코스트의 比較 (油入變壓器를 100으로 한 指數)

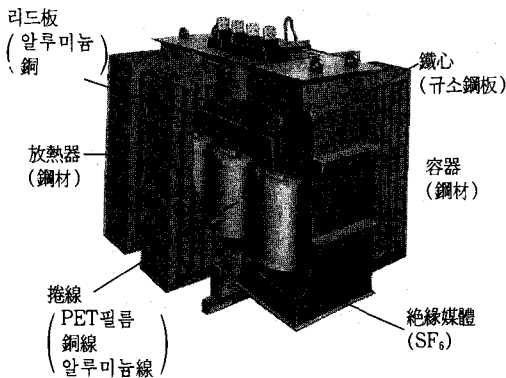


<그림 5> 配電用變壓器의 材料構成比率

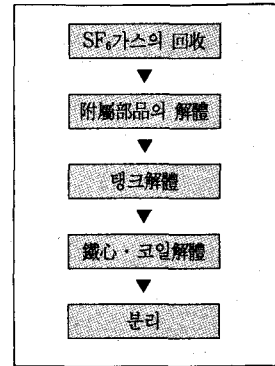
비율이 크다. 또한 변압기는 高純度の 材料를 다량으로 사용하여 만들어지고 있으며 열화도 적다. 銅, 알루미늄 등의 금속재료는 거의 100% 리사이클이 가능하며 재처리함으로써 반영구적으로 이용할 수가 있다.

금속외에 변압기에서 사용되는 재료는 유입변압기의 경우에 油와 종이, 가스절연변압기의 경우에는 SF₆와 절연재(플라스틱)가 있다. 유입변압기인 경우에는 사용되는 絶緣材의 거의 전부가 폐기(燒却)되고 있으나 가스절연변압기에서 사용되는 SF₆나 절연재는 리사이클이 가능하다.

가스는 별도로 하고 金屬과 비교한 경우 플라스



<그림 6> 配電用가스絶緣變壓器의 構成



<그림 7> 配電用가스絶緣變壓器 解體플로

틱類는 리사이클이 어렵다고 할 수 있으나 현재 配電用가스絶緣變壓器에서는 絶緣材로서 폴리에스텔(Polyethylene terephthalate : PET)을 사용하고 있으며 이 PET필름은 현재 이용되고 있는 플라스틱가운데에서 리사이클이 가장 용이한 것이라고 한다. 回收PET필름은 컨테이너, 자동차부품, 카펫 등에 쓰인다.

3.4.2 解體의 容易性

리사이클을 생각할 때 각종 材料가 쉽게 분리될 수 없다면 실제문제에서 의미가 없다. 여기서는 가스絶緣變壓器의 解體作業性에 대하여 소개한다.

우선 변압기의 部品構成을 그림 6에 표시하는데 이 그림에서 변압기의 구조는 비교적 단순하며 철심·코일·함·絶緣재로 구성되어 있음을 알 수 있다. 구조가 단순하다는 것은 材料를 분리할 때에 쓸데없는 시간이 걸리지 않아 리사이클에는 유리하다.

作業플로를 그림 7에 표시한다. 변압기의 解體순서에 대해서는 기본적으로 가스, 油入 공히 大差는 없으나 SF₆가스의 취급에는 주의를 요한다. SF₆가스는 안전한 가스이긴 하지만 공기보다 比重이 크기 때문에 환기하면서 作業할 필요가 있다. 변압기용기로부터 철심과 코일을 꺼내면 나머지는 쉽게

< 표 4 > 리사이클材使用例

材 料 名	使 用 用 途
플라스틱 (PET)	카페트 컨테이너 自動車部品
銅	와이어 커넥터 라디에이터코어 回路基板 半導體 工業製品
鋼 材	建築材料 工業製品 케이싱
규소鋼板	鑄造品
알루미늄	와이어 建築材料 工業製品

해체할 수가 있다. 특히 처리가 까다로운 油나 樹脂 등이 사용되고 있지 않아 리사이클면에서는 다른 변압기에 비하여 유리하다고 생각된다.

표 4는 리사이클된 變壓器材料의 일반적인 용도를 표시한다.

3.4.3 리사이클의 전망

리사이클이 쉽게 되면 환경에 대한 공헌도도 상승한다. 즉 리사이클施設에 대한 부담을 경감할 수 있으면 리사이클의 채산성이 향상되고 보다 활발하게 리사이클材料가 사용된다. 이것은 資源의 有効利用을 촉진시켜 에너지의 낭비를 억제하게 된다.

앞으로는 리사이클材料를 구입하는 가격이 新材보다 더 저렴하게 되어 대폭적인 코스트다운으로

이어질 수 있다고 생각된다.

3.5 환경에 대한 영향정도의 평가

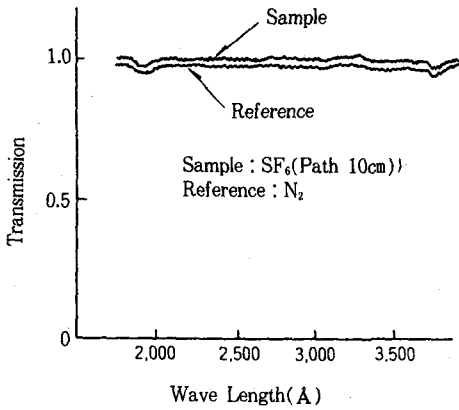
3.5.1 大氣에 미치는 영향

가스절연변압기의 절연·냉각매체인 SF₆가스가 大氣中에 방출되었을 경우 大氣에 미치는 영향에 대하여 소개한다. 우선 光에 의한 化學變化에 대하여 기술하는데 일반적으로 光化學反應에 관계하는 光線은 주로 可視光線과 자외선이다. SF₆가스는 무색투명하기 때문에 可視光線의 吸收는 없어 자외선에 대해서만 검토한다. 그림 8에 SF₆의 자외선흡수 스펙터클을 측정한 결과를 표시한다. 이 波長領域에서의 光吸收가 인정되지 않으며 파장 293mm 이하의 자외선은 地表에 도달하지 않는다고 하므로 SF₆가스의 自然光에 의한 化學變化는 일어나지 않는다고 할 수 있다. 地球溫暖化에의 영향 등 앞으로의 검토사항도 있으나 프레온에서 문제가 되고 있는 成層圈에서의 오존층파괴에 대하여는 프레온分子中의 鹽素原子가 그 機構에 관여하고 있는 것으로 알려져 있어, 鹽素原子를 보유하고 있지 않는 SF₆는 문제가 없는 것으로 생각할 수 있다.

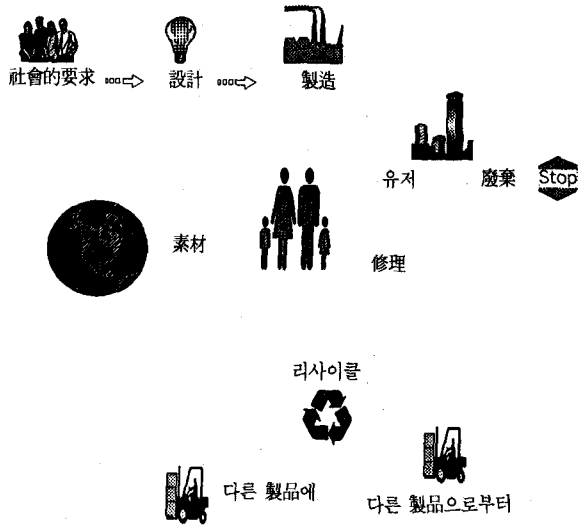
3.5.2 라이프사이클에너지

그림 9에 變壓器를 포함하는 모든 제품의 라이프사이클의 이미지를 표시한다. 이 그림에서 라이프사이클은 일련의 루프를 그린다. 變壓器의 사회에 대한 영향을 알기 위해서는 이 루프 중의 각 단계에서 얼마만큼의 에너지가 소비되는가를 알아볼 필

에너지절약은 환경보호와 경제성장의 원천



<그림 8> SF₆가스紫外線吸收스펙트럼



<그림 9> 配電用變壓器의 라이프사이클

또 이 試算에서는 리사이클時的 必要에너지에 대하여는 고려하지 않았으나 그림 5에 표시하는 것과 같이 가스절연변압기의 리사이클률이 96%로 유입 변압기의 71%에 비하여 훨씬 높은 것으로 보아 실제의 에너지資源에의 효과는 더욱 크다고 생각된다.

4. 맺음말

이상 配電用變壓器에 대하여 환경문제에 대한 관점에서 검토한 것을 소개하였는데 變壓器는 리사이클면, 에너지損失面 등 사회에 대하여 영향이 큰 제품임을 재인식할 수 있었으며 아울러 가스절연변압기의 有効性을 확인할 수 있었다.

금후에도 배전용변압기에 대하여 보다 小型輕量化, 省메인テナンス化, 低損失을 추진하고 또 사용상의 용이성의 향상을 추구하면서 사회의 니즈와 환경에 적응한 가스절연변압기를 비롯한 배전용변압기의 개발에 노력하고자 한다.

이 원고는 日本 三菱電機技報를 번역, 전재한 것입니다. 本稿의 著作權은 三菱電機(株)에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.

요가 있다.

여기서는 제조에 관계되는 에너지량과 운전에 의하여 소비하는 에너지를 試算하여 보았다. 製造에너지算出에는 構成材料別로 에너지를 조사하고 또한 변압기로 완성될 때까지의 加工·組立에너지량을 합한 합계치로 산출하였다.

표 5는 대표적인 1,500kVA 배전용변압기에서 계산한 라이프사이클에너지의 비교를 나타낸 것이다. 이 결과에서는 변압기의 제작까지에 관계되는 에너지(材料精製에너지와 製品組立에너지의 합계)는 유입변압기에 비하여 가스절연변압기 쪽이 많이 소비되지만 운전손실관계로 消費에너지에서는 역으로 가스절연변압기가 유리하게 된다. 라이프사이클 중에서 에너지消費비율을 보면 소비에너지량이 제작에 관계되는 에너지보다 크므로 가스절연변압기를 이용하는 편이 에너지資源에 대하여 우수하다고 할 수 있다.

<표 5> 1,500kVA配電用變壓器의 라이프사이클에너지
單位: ×10⁴J

品名	製造에너지			消費에너지 ¹⁾
	調達部材	組立·加工	小計	
油入變壓器	107,000	16,000	123,000	16,700,000
가스絶緣變壓器	190,000	13,000	203,000	11,100,000

*1 運轉負荷 60%時的 20年間에 消費하는 電氣에너지와 絶緣媒體(油)의 交換에너지의 合計

*2 리사이클時的 에너지는 포함하지 않음.