

DC용 절연지 및 절연 컴파운드의 특성

박세은, 연복희, 이상진, 심성익
LS전선 전력연구소 초고압그룹

Abstract : 절연지는 콘덴서 뿐만 아니라 변압기 및 부상, 전력 및 전화케이블의 절연을 위해 전기분야에서 폭넓게 사용되고 있다. 각 응용 분야에 따라서는 전기적, 기계적 특성이 달리 요구되므로 절연지의 준비단계나 펄프의 처리단계에서 서로 다른 방법으로 만들어진다. 본 내용은 절연지의 절연파괴 강도와 유전체 손실에 영향을 미치는 것들에 대한 발전된 기술을 소개하기 위한 것이다. 절연지의 전기적 특성을 고찰한다는 것은 절연지가 거의 항상 절연유와 함침된 상태로 사용되기 때문에 매우 어렵다. 왜냐하면 함침에 사용된 절연유의 종류에 따라 조합된 절연유와 절연지의 전기적 특성에 대단히 중요한 영향을 미치기 때문이다. 본 내용에 소개된 결과들은 전기 절연과 관련된 절연지의 주요 물리적 특성을 관찰하기 위하여, OF 케이블에 사용된 한가지 특수한 저점도유를 사용해서 얻은 것이다. 또 본 내용은 절연지의 주요 열적, 기계적 특성과 절연유의 주요 특성이 기술되어 있다.

Key Words : 절연지, 절연유, DC, 함침

1. 서론

1906년 프랑스에서 직류발전기를 직렬 연결하여 MOTIERS와 LYON간 4.3MW의 직류전력 송전을 시도한 이후, 부하증가에 따른 대용량 화력 및 원자력발전소 건설에 따른 경제적 송전 및 송전선로 강화와 전력 계통의 대규모화에 따른 단락용량 증가 등으로 오늘날 직류 송전의 필요성은 절실히 요구되고 있다. 직류송전 방식의 적용분야로는, 직류송전은 위에서 언급한 바와 같은 장점 이외에 교류 직류 상호 변환을 위한 변환소 건설을 위한 경제적인 부담이 있으나, 비동기 전력 계통의 상호연계가 가능하며, 장거리 대전력 수송이 용이하므로 국가간 전력계통 연계에 의한 전력 상호 융통 및 지원, 저 원가 발전력의 장거리 수송, 부하패턴이 다른 지역간의 연계, 기타 연료전지, 신전력 공급장치 및 초전도 전기에너지 저장장치 등에 활용될 전망이다.

이에 따라 본 보고서에서는 직류송전을 위한 케이블 설계 및 건설에 관한 사항을 언급하려 한다.

2. 절연지 및 절연컴파운드

2.1 절연지

2.1.1 천연소재, 섬유소의 조직

일반적으로 섬유소 분자(Cellulose molecules)는 1,4 Glucosidic 산소 결합에 의한 일련의 포도당 단위(Glucose units)로 구성된다. 목재펄프에는 섬유소연결단위(Cellulose Chain Units)로 약 1%의 Carboxyl Group이 존재하여, 자체 이온교환 특성은 절연지의 유전체 특성에 중대한 영향을 미친다. 목재 섬유를 구성하는 유기성분은 Hemicellulose와 α -Cellulose, Lignin이다.

2.1.2 전기적 특성에 영향을 미치는 물리적 성질

절연지 두께가 감소함에 따라 임펄스 강도도 증가하며 볼투과성이 어떤 값을 가지든 절연지 한 겹의 임펄스 강도는 절연지의 밀도와 더불어 분명히 증가한다. 또한 절연지의 물리적 구조가 임펄스 강도를 결정하는 중요한 요소이지, 섬유질 구성에 의해서는 크게 영향을 받지 않는다. 그리고 주로 함침 절연지 계통에서 발생하는 임펄스 절연파괴와는 대조적으로 교번전계(Alternating field)에 의해 절연물질의 상호 작용에 의

한 유전체 손실이 전기적 특성에 영향을 준다.

2.2 절연컴파운드(Insulating oil)

종류는 절연지의 전기적 특성에 대단히 중요한 영향을 미치며 일반적으로 케이블에는 광유와 합성유의 2종류가 사용된다.

고전압 응용분야에서 절연지는 항상 절연유로 함침되어 사용됨으로써 절연체의 유전특성이 바뀌게 되었다. 그림 1에는 (a) 함침되지 않은(b) Hydrocarbon oil과 함침된 (c) Pentachlorodiphenyl과 함침된 절연지의 역할과 온도특성이 나타나 있다.

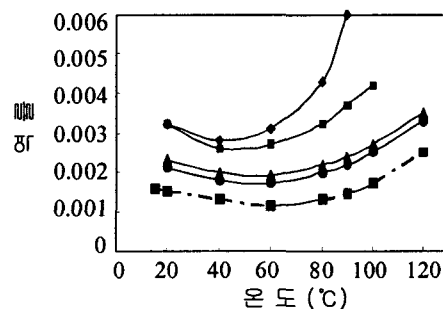


그림 1. 함침된 절연지의 역할과 온도 특성.

(0.8V/μm로 광유 함침(맨 위 그래프), 13V/μm로 광유 함침(위에서 두번째), 0.8V/μm로 pentachloriodiphenyl함침(위에서 세번째), 13V/μm로 pentachloriodiphenyl함침(위에서 네번째), 함침하지 않음(가장 아래 그래프))

3. 결과 및 고찰

전기절연분야에 사용하는 펄프에서 이온염(Ion Salts)을 제거하고 순수한 물로 오랫동안 씻어내면 역률이 개선된다. 그림2는 그 예로, 나트륨 이온이 칼슘이나 마그네슘이온으로 대체되면 역률이 뚜렷이 감소하는 것을 보여준다. 그러나 가장 낮은 역률은 산(acid)으로 씻어냄으로써 즉 수소이온으로 1가와 2가의 금속 양이온의 대부분을 바꿈으로써 얻어진다 는 사실이 주목된다. 상용주파수에서 쌍극자 손실이 셀룰로

스에서 최대로 될 때 0°C 이하에서 역률에 대한 금속 양이온의 영향은 이온의 반경 및 원자와 더불어 증가하게 되는 반면, 높은 온도에서는 다른 손실 메커니즘이 나타나고 반대현상이 발견된다.

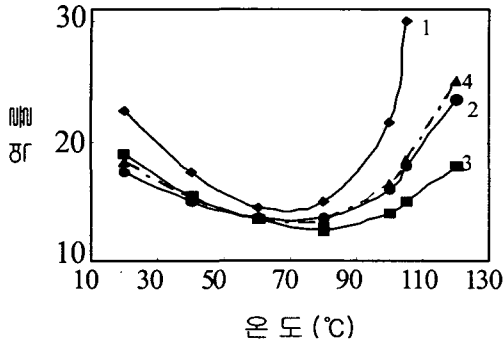


그림 2. 펄프세척과 이온교환이 역률과 온도에 미치는 영향

	%ash	Na양	Ca양
1 - wood pulp	0.62	220	2200
2 water-washed	0.5	44	2000
3 acid-washed	0.22	26	90
4 Ca ion-exchange	0.41	38	2300

함침을 하게 되면 어느 쪽 성분에도 존재하지 않던 새로운 손실현상이 나타난다. 절연지에서 만들어진 이온이 절연유에서 진동을 하는 것은 실제로 중요한 실례이다. 이러한 현상은 영화 diphenyl과 같은 높은 유전율의 절연유와 함침하는 데서 비롯된다.

4. 결론

4.1 HVDC 케이블의 사양

고압 DC용 케이블의 절연지는 다른 섬유질의 첨가 없이 화학적 표백처리를 하지 않은 wood pastry 상태로 만들어진 2중 광택 크라프트지(duplex calendered kraft paper)를 사용해야 하며, 절연지의 외관은 공극이나 주름, 덩어리진 섬유질과 같은 어떠한 내부 결점도 있어서는 안 된다. 그 밖의 특성으로는,

중량과 밀도 : $83 < \text{중량} < 93 \text{ g/m}^3$

$950 < \text{밀도} < 990 \text{ g/m}^3$

절연지 두께 (1장) : 86~96 μm 사이

상투성(porosity): 0.06~0.11 / NFQ 03 075

항장력 : 장력 방향 : 7.4 kN/m 이상

단면 방향 : 4.5 kN/m 이상

탈수 pH와 도전율 : 탈수 도전율 : 4mS/m 이하

탈수 pH : 6.5~8.5

손실각(200V, 50Hz) : 탄델타 (100°C) : 30×10^{-4}

4.2 HVDC 케이블용 컴파운드 사양

Solid형 케이블의 경우 함침절연유는 polyiso-butylene과 synthetic resins을 포함하는 광유로 만들어지며 주요 특성으로는,

밀도 : 0.91g/cm³ (60°C)

활성점도(kinematic viscosity) :

$1,150 \pm 50 \text{ cSt} (60^\circ\text{C}), 200 \pm 15 \text{ cSt} (100^\circ\text{C})$

20×10^{-4} 이하 (100 °C), 10×10^{-4} 이하 (80°C)

이며 절연컴파운드가 가져야 하는 고유 특성은 다음과 같다.

상대밀도(15°C) : 0.95

발화점(fire point) : 260

인화점(flash point) : 250

Pour point : 0. max

팽창 계수 : 0.0007

점도 (60 °C) cSt : 1150

산가 (acid value, inorganic) : 없음

산가 (acid value, organic) : 0.03 max

유황량(sulphur content) : 산화 없음

참고문헌

- [1] 井上 외 : 500kV 직류 해저케이블 개발 및 포설, 전기평론, 1998
- [2] S. koyama, H. Uno, K. Fujii, "DC±500kV oil-filled submarine cable crossing kii-channel"