

X線裝置用 絶緣油의 放射線 誘起電流에 관한 研究

A Study on the Radiation Induced Current of X-ray Insulating Oil

金 英 一* · 鄭 然 澤** · 李 德 出***
 (Young-Il Kim · Yon-Tack Chung · Deok-Chool Lee)

요 약

本 研究에서는 X線用 絶緣油의 放射線 誘起電流에 대해서 조사하였다. X線 誘起電流는 X線 强度, 波長에 따라 比例的으로 증가하고, 또한 絶緣油의 溫度, 갭길이에 크게 影響을 받고 있으나 吸收量에는 變化가 없었다. 이러한 결과는 X線裝置 設計 및 取扱에 있어서 X線管의 冷却系, X線 强度, 連續撮影에 의한 溫度 上昇, 絶緣油의 사용 限과 交換 및 管理 등에 중요한 자료를 제시한다.

Abstract- Radiation induced current of the insulating oil used for X-ray tube housing was investigated in this paper. The X-ray induced current increased in proportion to the X-ray intensity and X-ray wave length and was greatly affected by the temperature of the insulating oil and the gap length; however, the current was not varied by the amount of the X-ray absorbed. The results suggest that one must consider the following problems as important factors for X-ray machine design and normal operation: cooling system of the X-ray tube housing, X-ray intensity, increasing temperature due to continuous operation, years used, and oil exchange and management.

1. 서 론

최근 X線裝置는 질병의 진단, 치료 그리고 공업 분야에서는 非破壞檢査 등에 이용되고 있다. X線 裝置로 부터 발생된 X線이 絶緣油에 조사되면

그 재료의 物理·化學的 및 電氣的 特性 變化가 일어나 점진적인 絶緣劣化[1]가 발생하게 된다.

중전 放射線場 內 고체 絶緣재료의 特性 變化에 대한 연구는 많이 수행되었으나 액체 絶緣재료에 대해서는 재료 自体의 物性에 대한 해석이 不明하고 측정 기술상의 복잡성과 응용 영역이 적은 탓으로 연구 수행이 거의 없는 실정이다. 현재 高價이면서 그 수요가 급증 추세에 있는 醫療診斷裝置 中에는 컴퓨터 斷層撮影裝置를 비롯 特殊 診斷裝置에 이르기까지 대단히 폭 넓은 X線診斷裝置가 국내에서도 널리 보급되고 있으며 재료의 物性 해

*正 會 員 : 新丘專門大 放射線科 副教授 · 工博

**正 會 員 : 明知大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

***正 會 員 : 仁荷大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1988年 10月 7日

1次修正 : 1989年 4月 1日

2次修正 : 1989年 6月 12日

석을 위해서도 X線裝置가 연구실 등에 많이 보급되고 있는 실정이다. 이들 裝置의 X線管은 액체 절연유에 의해 絶緣과 冷却이 됨으로서 보호되고 있다. [2] 따라서 이에 사용되고 있는 액체 절연유는, 放射線, 高熱, 高電界에 의한 劣化가 가중되고 있는 상황이라 볼 수 있으며 특히 X線이 발생하고 있는 곳에는 대단히 많은 放射線 誘起電流가 高電界 사이에 흘러 絶緣性能 低下로 인하여 X線管의 파손 내지는 수명 단축과 장치에 고장을 일으킬 우려성이 높게 대두되고 있다.

본 연구에서는 X線 發生管에 이용되고 있는 絶緣油에 대하여 X線裝置 稼動 前과 稼動 中 및 稼動 後 등 세부분에 대한 電氣傳導 現象을 관측하고 주로 X線 誘起電流에 대하여 집중적으로 검토함과 동시에 X線 強度, X線量 및 波長 變化에 의한 特性 變化和 絶緣油 溫度 및 電極 間격이 變化에 대한 特性 變化를 기초적으로 고찰하여 X線裝置 設計 및 取扱 管理에 새로운 정보를 제공하고자 한다.

2. 實驗

2.1 試料 및 電極系

본 실험에 사용한 試料은 광유계의 전기 절연유

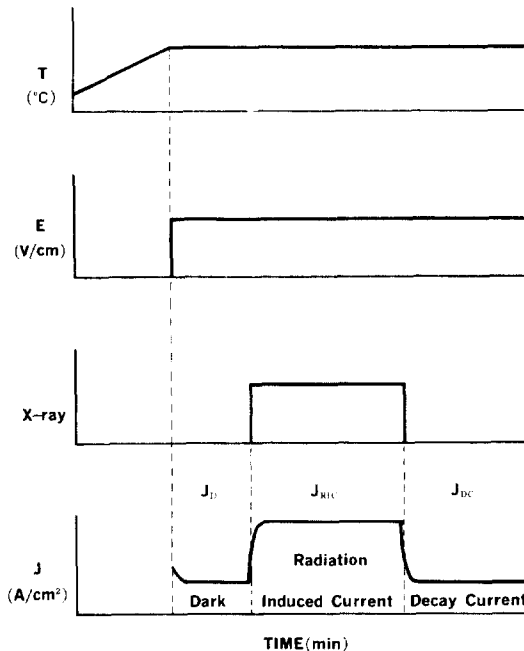


그림 1 放射線 誘起電流 측정
Fig. 1 Measurement of radiation induced current

ASTM D-3487 규격의 Type II로 주로 변압기에 사용되고 있으나 X線發生裝置의 X線管 容器에 사용되고 있는 액체 절연유 이다. 그 성분은 파라핀계 탄화수소 40%, 나프텐계 탄화수소 47%, 방향족계 탄화수소 13%이며 일반적 특성을 보면 점도는 40°C에서 8.90, 100°C에서 2.25cst이며, 인화점은 145°C, 절연파괴 전압은 56.3kv, 수분은 44.8 p.p.m.이었다. 부분적 特性 비교를 위해 K샘플도 채택하였다. 電極系는 전극 면적 25cm²로 하였고 材質은 Fe, Cu, Al를 사용하여 도전전류를 측정하였으나 큰 영향이 없었기에 본 실험에서는 주로 Fe를 사용하였다. 이들 전극을 지지하기 위해서는 본 연구실에서 설계 제작한 고열과 고진공도에 耐性이 있는 테프론 전극 지지대(60mm×50mm)를 사용하였으며 실험장치 중 진공 유리 유조 내에 이를 설치하고 試料을 유입하였다.

2.2 實驗 方法

액체 절연체는 不純物의 미소량 함유 및 기포와 온도 등 주위 조건에 따라 電氣의 特性變化가 매우 크게 일어난다. [3] 유리유조 內의 절연유를 자석 회전체를 이용하여 교반시키면서 로터리 펌프로 10⁻²Torr 정도의 진공상태를 유지시켜 脫 가스를 시행하였다. 소정의 절연유 溫度가 일정히 유지되도록 溫度 調節系를 이용하였다. 試料에 조사되는 X線은 深部治療用 X線裝置에 의해 조사하였으며, 이때 조사조건은 X線源-電極間 距離 30cm, X線管電壓 80, 140, 200kv, X線管電流 5, 10, 15 mA이었다. X線을 조사하면서 전극간 印加 直流電壓 20~500V에서 일렉트로 메터로 放射線 誘起電流를 측정하였다. 측정 순서는 그림 1처럼 試料의 온도를 일정히 유지시킨 후 전극간에 전계를 가하여 J_D를 관측하고 그 상태에서 20분 후 X線을 조사하면서 J_{RIC}를 측정하고 그후 X線 조사를 멈춘 상태에서 J_{DC}를 관측하였다. 그리고 측정치의 정확성을 기하기 위하여 전유계와 전원은 정전차폐를 하였으며, 매 실험 마다 동일 조건으로 4~5회 반복 측정하고 그 평균치로서 실험치로 하였다.

3. 實驗 結果 및 考察

3.1 未照射 絶緣油의 도전전류와 분위기 영향

유리유조 內의 시료를 大氣상태로 유지시킨 것과 眞空상태를 유지하면서 3시간 교반하여 脫가스시킨 것 그리고 脫가스시킨 後 N₂가스를 주입시킨 시료에 대하여 間격이 5mm로 일정히 하고 印加

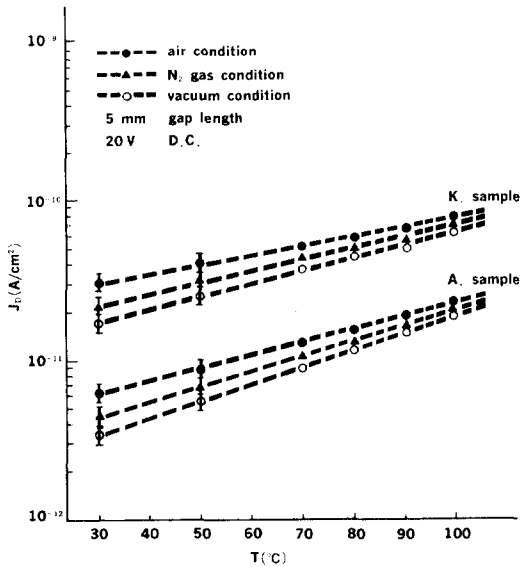


그림 2 J_D의 대기, N₂가스, 진공상태의 분위기 효과

Fig. 2 Effect of air, N₂ gas and vacuum condition on J_D

電壓을 20V로 하였을 때 흐르는 도전전류를 그림 2에 도시한다. 그림 2에는 特性 비교를 위하여 K 샘플 絶緣油의 것도 나타내었다. 대체적으로 大氣 상태 > N₂가스 주입상태 > 眞空상태의 순서로 도전전류의 흐름이 관측되었고 低溫 영역에서는 분위기 영향이 현저히 나타나지만 高溫 영역으로 감에 따라 거의 일치되어 가는 경향이 있다. 일반적으로 底電界 영역에서 도전전류는 오오의 법칙에 따르고, 열 에너지, 또는 우주선에 의한 不純物 解離에 의해서 액체 體積 內에 캐리어가 필수적으로 발생한다는 것은 잘 알려져 있다. [4] 따라서 低溫 영역에서 脫가스 油의 도전전류 감소는 가스 不純物이 적어 캐리어의 수가 다른 시료에 비해 저하된 상태라 생각하면 이해되며, 高溫 영역에서는 熱 解離 및 캐리어의 平均 移動度가 증가하고 음극에서의 전자 방출 [5]로 캐리어 수가 많아지며, 또한 자유전자는 熱 에너지를 받아 油 分子를 解離하여 가스 발생을 촉진시키게 되므로 氣泡 형성 [6]이 일어나는 등의 원인으로 도전전류가 증가되는 경향이 있어서 분위기의 효과가 나타나지 않는 것으로 해석된다. 이의 실험 결과로부터 X線 照射의 영향만을 보기 위하여 眞空 상태의 분위기로 일정히 하고 시료의 溫度는 실용상과 분위기 효과가 거의 없는 100°C 부근을 주로 선택하여 X

線 強度, 시료 溫度 및 갭길이의 영향에 대하여 검토한다.

3.2 放射線 誘起電流

脫가스의 시료에 외부에서 直流 電壓을 20분간 印加하였을 때 흐르는 전류(J_D: dark current)와 J_D 측정 後 J_D 측정 조건과 꼭 같은 상태에서 X線을 30분간 照射하였을 때 흐르는 放射線 誘起電流(J_{RIC}: Radiation induced current)와 X線 照射를 중단시켰을 때 흐르는 감쇠전류(J_{DC}: Decay Current) 特性을 그림 3에 도시한다.

X線을 照射하면 誘起電流가 照射 時 급격히 크게 증가하는 경향이고 그 이후는 일정하게 된다. 高溫에서 J_{RIC}가 低溫에서 J_{RIC}보다 현저히 크게 나타나며 또한 X線 強度에 크게 의존함을 알 수 있다. X線管에서 X線 발생시 양극전류(管電流 mA)가 많이 흐르면 X線量은 많아지고, 管電壓이 높으면 X線 波長이 짧아져서 물질 투과력은 일반적으로 강하게 된다고 알려지고 있다. [6] 따라서 X線 強度는 식 (1)로 나타낼 수 있다. [7]

$$I_x = kIV^2Z \quad (1)$$

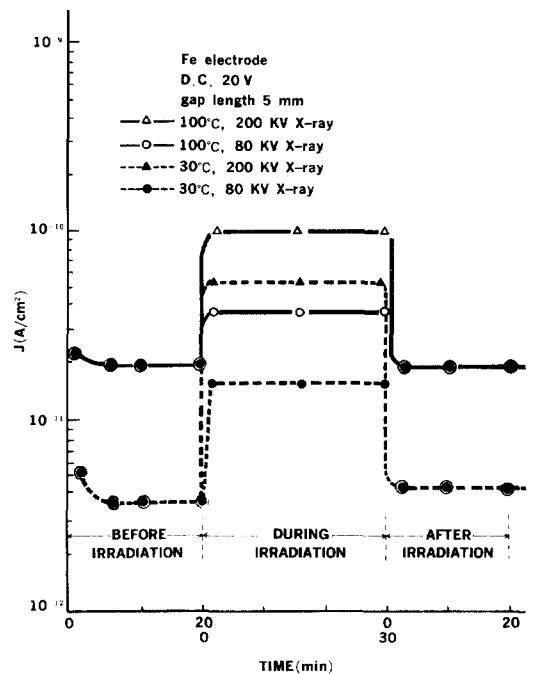


그림 3 X선조사 前·中·後의 J-t 特性

Fig. 3 J-t characteristics before, during and after X-ray irradiation

여기서 k :定數 (일반적으로 사용되는 관전압에
서 $k=1.1 \times 10^{-9}$)

I : X線管電流 (mA)

V : X線管電壓 (kv)

Z : 타겟트의 원자번호 (W. 74)

X線管用 絶緣油의 J_{RIC} 를 보다 세밀히 관측하기
위해 이하 X線 强度, X線量 및 X線 波長 의존성
을 중점적으로 해석한다.

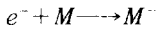
3.2.1 X線 强度 依存性

油溫 30°C인 眞空 狀態의 시료에 直流電界
(0.2~5kv/cm)을 印加한 後 X線 照射 時 X線 强
度를 $5 \times 10^2 \sim 1.5 \times 10^4$ [R/hr]까지 變化시켰을 때
시료의 J_{RIC} 特性을 그림 4에 도시하면, 대체적으로
X線 强度에 比例하여 증가함을 알 수 있다.

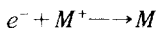
X線을 액체 유전체에 照射하면 여러가지 가스
발생[8]이 있고 光 이온化 작용에 의해 액체 분자
를 이온화하여 양이온과 전자를 생성한다.[9]



이 전자는 곧 개개의 분자와 결합하여 음이온이
형성된다.



만약 그것의 속박 에너지가 熱 에너지 보다 크
다면 양이온과 再結合을 하여 中性 分子로 될 것
이다.



이러한 過程 中에서 電界를 가하면 생성된 캐리
어는 電極으로 移動하여 J_{RIC} 가 X線 强度에 따라
증가되리라는 것을 추정 할 수 있다. 放射線 誘起
電流 J_{RIC} 는 식 (3)으로 표시된다. [10]

$$J_{RIC} = e\mu Fg\tau_r(1 - e^{-I\tau}) \quad (3)$$

여기서 μ : 移動度

F : 印加電壓

g : X線 照射에 의한 短 時間에 誘起된
캐리어 밀도

τ_r : 傳道 전자의 再結合 수명

τ : 時定數

이 식 (3)으로부터 아래식을 유도할 수 있다.

$$J_{RIC} \propto F \text{ (오음의 법칙)} \quad (4)$$

$$J_{RIC} \propto g \propto D \quad (5)$$

여기서 D 는 X線 强度이고, 식 (4), (5)로 부터
기대되는 것은 실험적 J_{RIC} 가 底電界에서 오음의
법칙에 따르고 X線 强度에 따라서 선형적으로 증
가 되리라는 것을 암시한다. 이는 그림 4의 실험
결과와 잘 일치하고 있다. 이처럼 X線 强度가 크
면 放射線 이온化 작용이 증가되어 캐리어의 발생
이 많아져 J_{RIC} 가 증가됨을 알 수 있고 이러한 現
象은 液體 絶緣油가 아닌 고체 절연재료에 대하여
연구한 결과 보고[11]와 같은 경향을 보여주고 있
다. 이러한 결과는 液體 電離槽가 放射線 檢出器
로서 활용 가능 함을 지적해 주고 있다. 그림 3처
럼 印加 電壓이 印加된 상태에서 X線을 照射하면
급속히 증가해서 일정한 平衡 誘起電流 (J_{RIC})가 되
고 순간 X線 照射를 멈추면 J_{DC} 가 급격히 저하 하
면서 즉시로 안정값을 유지하였다. 일부 고분자
(HDPE)재료의 X線 誘起電流는 X線조사 시간에
따라 증가하는 경향[12]도 있으나 절연유의 J_{RIC} 가
X線조사 후 곧 평형상태로 유지하고 있는 것은 照
射에 의해서 생성된 단위 시간당 캐리어 수가 소
멸하는 캐리어 수와 같고 캐리어의 소멸 속도도
照射 時間에 따라 변하지 않는 것이라 생각된다.

放射線 誘起電流와 線量率 (X線 强度)관계는 식
(6)으로 나타낼 수가 있다. [11]

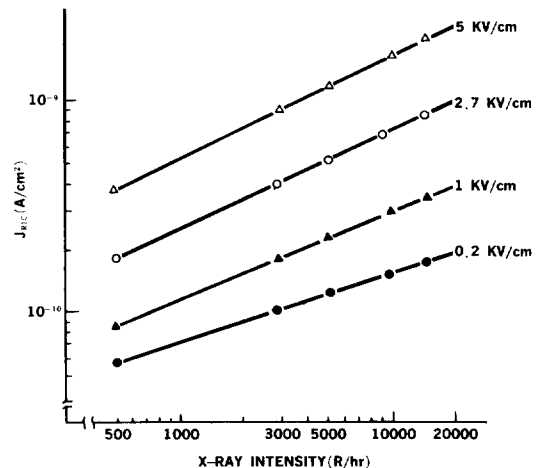


그림 4 電界 變化에 따른 J_{RIC} 의 X線强度(線量
率) 의존성

Fig. 4 J_{RIC} -X-ray intensity (does rate) depen-
dence as a function

표 1 k and Δ at $J_{RIC} = kR^d$ 에서 k 와 Δ 의 값

Table 1 k and Δ at $J_{RIC} = kR^d$

Field(kV/cm)	k (A/cm ²)	Δ
0.2	7.11×10^{-12}	0.331
1	5.42×10^{-12}	0.436
2.7	9.67×10^{-12}	0.465
5	1.65×10^{-11}	0.496

$$J_{RIC} = kR^d \quad (6)$$

여기서 Δ 는 직선의 기울기이고, X線強度變化에 의한 캐리어 발생의 정도를 나타내며 K는 단위 선량을($R=1R/hr$)에서 캐리어의 발생량에 관계되고 발생량이 적으면 J_{RIC} 는 적게 된다. 그림 4에서 k 및 Δ 의 값을 계산하여 표시한 표 1과 같이 印加電界가 커지면 k 와 Δ 가 증가하고 있으나 1kV/cm 이상에서 Δ 는 큰變化가 없음을 보여주고 있다. 이들을 高分子 材料(대략 $k=10^{-17} \sim 10^{-22}$, $\Delta=0.5 \sim 1.0$)[11]와 比較할 때 액체 절연유는 放射線에 의한 캐리어 발생량이 많은 반면 放射線 強度 依存性은 적다는 것을 알 수 있다. k 및 Δ 의 값은 절연재료의 化學 構造 및 結晶性을 포함한 微細 構造에 影響을 미치고 있으므로 k 및 Δ 값을 알므로서 각종 絶緣 材料의 放射線 照射 時 절연 저항의 耐 放射線 평가가 가능하다. 즉 k 가 적고 Δ 가 적을수록 절연 저항의 耐 放射性이 있는 재료로 해석할 수가 있겠다. 그러나 k 가 적으면 Δ 도 적은 것이 아니고 材料에 따라서 變化한다고 보겠다.

3.2.2 X線量 依存性

X線量은 X線管의 양단간에 흐르는 X線 管電流(mA)에 좌우되는 것으로 管電流가 많이 흐른다는 것을 X線 발생량이 많아지고 있음을 나타낸다. [7] X線 管電流를 0(未照射), 5, 10, 15mA로 하였을 때 시료에 흐르는 J_{RIC} 를 그림 5에 도시한다. X線量이 0일 때에서 X線 照射 직후 J_{RIC} 가 급격히 증가하는 것을 알 수 있으며 管電流가 증가하면 즉 X線量이 증가하면 J_{RIC} 는 管電壓이 증가 할 때 증가하는 비율로 증가하지 못함을 알 수 있다. 80kV에서는 거의 변화가 없이 일정하며, 200kV와 같이 管電壓이 높게 됨에 따라 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 現象은 식 (1)에서 보는 것과 같이 X線 強度는 管電流에 비례하고 管電壓의 자승에 비례하는 것에 기인한다. 갭길이 5mm 直流 電壓 20V 시료 溫度 100°C로 일정히 하고 X線管의 管電壓 200kV인 경우 管電流를 5, 10, 15mA

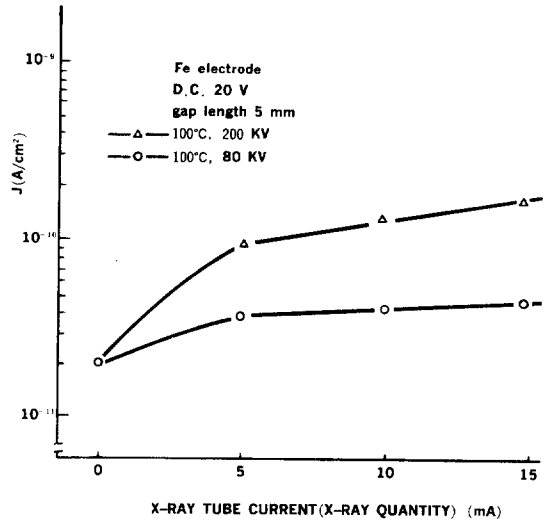


그림 5 J_{RIC} 의 管電流(X線量)의 의존성
Fig. 5 X-ray tube current dependence as a function of J_{RIC}

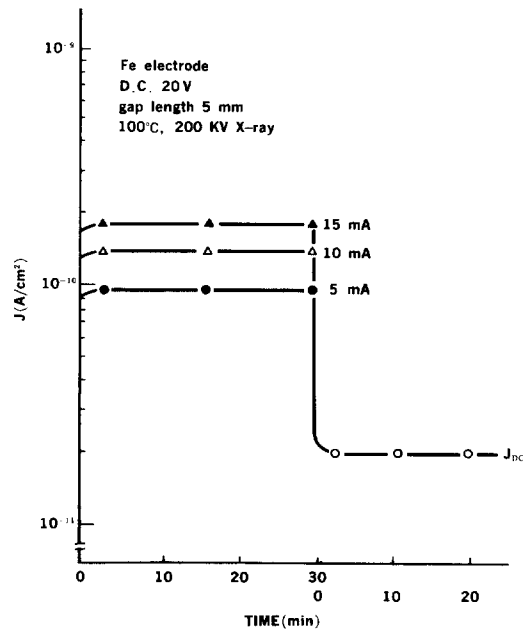


그림 6 X線管電流에 따른 J_{RIC} , J_{DC} -t 특성
Fig. 6 J_{RIC} , J_{DC} characteristics as a function of X-ray tube current

로 하였을 때 J_{RIC} 와 J_{DC} 를 그림 6에 도시한다. 같은 X線 발생 조건으로 30분간 계속 X線을 照射하는 것은 시료 측면에서 볼 때 총흡수선량 $Q_t=R/hr \times$ 조사시간이 되어 흡수선량이 증가되지만 J_{RIC}

는 일정한 平衡值를 나타내고 있다. 이러한 現象은 캐리어의 축적이 없이 照射에 의해서 발생된 캐리어 수와 소멸하는 캐리어 수가 같다고 推定되며, 액체 절연유에서 J_{RIC} 는 照射線量率에 의존되나 흡수선량에는 의존하지 않음을 제시 할 수 있다. 또 X線 照射를 멈춘 순간 J_{RIC} 는 실온에서나 100°C에서 모두 빠른 속도로 급격히 감소해서 平衡된 J 를 나타낸다. 이는 넓은 온도 범위에서 수명이 짧은 캐리어가 대부분 유기된다고 추정된다. 그러나 고밀도 폴리에틸렌에서는 수명이 긴 캐리어의 발생으로 J_{RIC} 는 서서히 감소되는 경향을 보고[12, 13]하고 있다.

3.2.3 X線 波長 依存性

그림 7은 X線의 조사 조건으로 X선관 전류를 5 mA로 고정시키고 X선관 전압 변화 즉 X선파장을 변화시킬 때 J_{RIC} 특성이다. 이때 시료의 온도는 30°C, 100°C, 이었고, 갭길이 5mm에 직류전압 20V와 240V를 각각 인가하였다. X線의 最短 波長은 X線管電壓에 좌우되며, 이들의 관계는 Duane-Hunt의 법칙[7]에 의해 식 (7)로 나타낸다.

$$\lambda_{min} = \frac{12.4}{KV} (\text{\AA}) \quad (7)$$

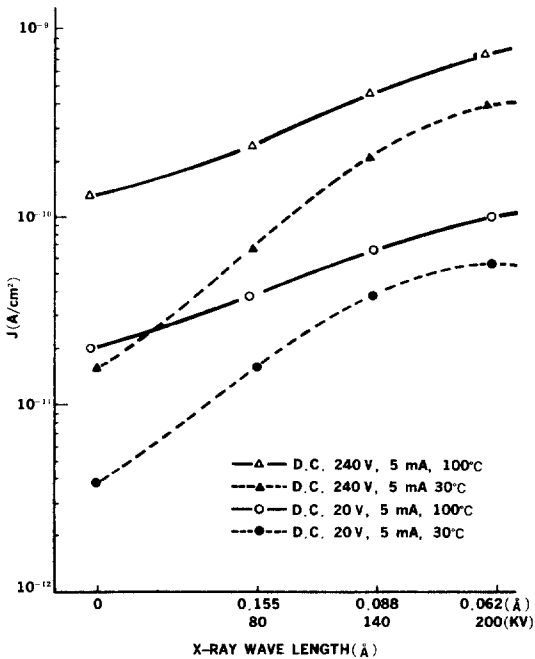


그림 7 J_{RIC} 의 X線波長 의존성
Fig. 7 X-ray wave length dependence as a function of J_{RIC}

X線이 短波長일수록 물질 투과력은 강하게 된다. 管電壓 증가에 따라 短波長이 짧아질수록 J_{RIC} 가 증가하는 경향이다. 대체적으로 管電流를 증가시킬 때 (그림 5)보다 管電壓을 증가시킬 때가 J_{RIC} 特性 變化가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 現象은 X線 強度가 管電壓의 자승에 比例하고 있기 때문이며 또한 短波長의 X線에서 물질 투과력이 크고 동시에 산란선 발생이 많아지고 衝突 電離에 의한 캐리어의 발생량이 급격히 증가하기 때문이라 사료된다. 이와같이 X線의 波長이 0.1Å 이하로 短波長이 됨에 따라 J_{RIC} 가 크게 증가 함으로서 深部治療 X線裝置가 高管電壓 X線 撮影 時에는 100~250kv 정도의 高管電壓을 사용하고 있기 때문에 X線管容器 内の 絶緣油에서 캐리어 발생이 증가되어 放射線 誘起電流가 커지고 이에 따라 X線管容器에 누설전류가 증대됨으로 X線管이나 裝置에 고장을 초래할 우려성이 높아지므로 X線管 설계에 좋은 자료로 제시될 수 있다.

3.3 溫度 依存性

갭길이 5mm 直流 電源 20V로 일정히 하고 시료의 溫度 變化에 따른 J_D , J_{RIC} 및 J_{DC} 특성을 그림 8에 도시한다. 溫度 上昇에 따라 J_D , J_{RIC} 및 J_{DC} 는 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이러한 現象

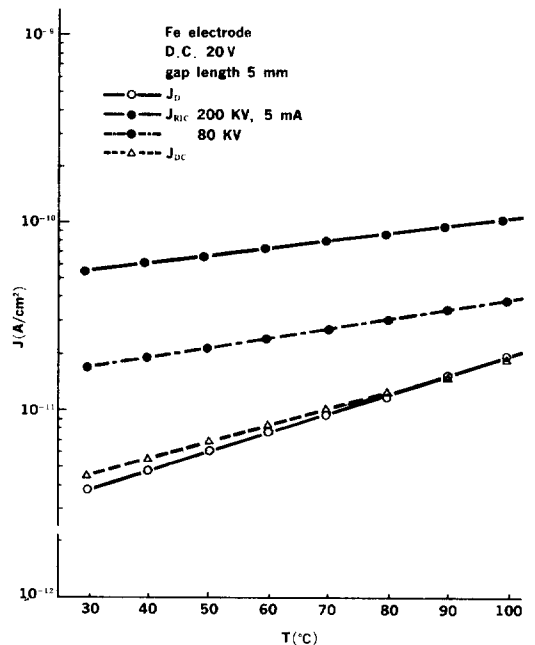


그림 8 J-T의 특성
Fig. 8 J-T characteristics

은 액체 절연유에 존재하는 비교적 낮은 트랩에 전자가 트랩되었다가 溫度가 상승하면서 熱로 인한 脫트랩하는 확률의 증가[6]와 平均 移動도가 높아지면서 캐리어의 수가 많아지는 것이라고 추정되며, 또한 溫度 上昇으로 인하여 粘度가 감소 [1]되어 캐리어가 활발하게 운동하게 됨으로서 電流가 증가된다고 볼 수 있다. 粘性 계수 μ 의 溫度 의존성은 Andrade식에 의하여 $\mu = \mu_0 \exp(E_\mu/kT)$ 로 나타내고 있다. [14] Arrhenius plot에 의한 電流와 절대온도 역수 관계를 그림 9에 도시한다. 그림 9에 의해서 구해진 J_D , J_{RIC} 및 $\Delta J = J_{RIC} - J_D$ 에 대한 활성화 에너지를 표 2에 나타낸다.

J_D 에서는 0.6으로 0.18~0.29 범위의 J_{RIC} 보다

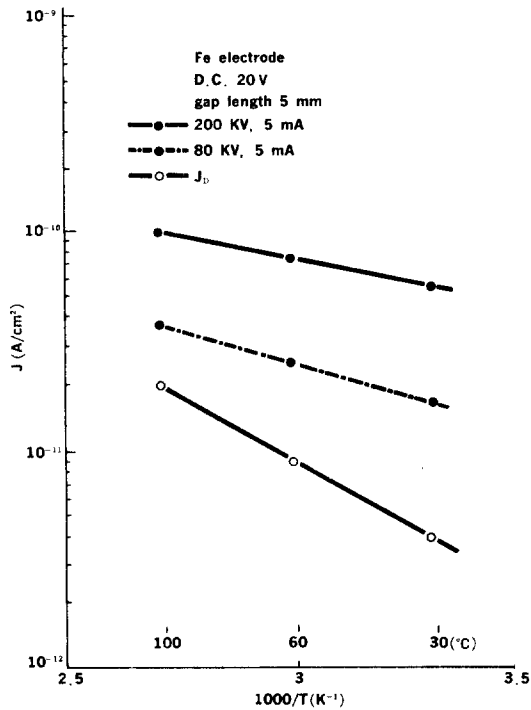


그림 9 J-1000/T 특성
Fig. 9 J-1000/T characteristics

표 2 X선강도에 따른 J_{RIC} 와 ΔJ 의 활성화에너지
Table 2 activation energy of J_{RIC} and ΔJ with x-ray intensity

X선강도	J_{RIC} 의 E_μ (eV)	ΔJ 의 E_μ (eV)
200kV, 5mA	0.21	0.14
80kV, 5mA	0.29	0.12
0	$J_D = 0.6$	—

훨씬 커서 溫度 의존성이 큼을 보여주고 있다. 이 결과로 부터 放射線이 照射되지 않을 때는 絶緣油의 溫度 의존성이 크나 放射線이 照射되고 있는 中에는 溫度 의존성이 적어짐을 알 수 있는데 J_{RIC} 에서 X線 強度가 클수록 溫度 의존성이 적어지는데 이는 溫度 의존성이 큰 J_D 의 영향 때문이라 여겨진다. 그러나 $\Delta J = J_{RIC} - J_D$ 의 순수한 放射線 誘起電流 측면에서 관측하면 X線 強度가 클수록 溫度 의존성은 커지고 있다. 이는 X線 強度가 커므로 캐리어가 많아지고, 많아진 캐리어의 운동이 활발해지므로 溫度 의존성이 커지고 있음이라 생각된다.

3.4 갭길이 의존성

X線管의 管電壓을 200kV로 일정히 하고 시료의 溫度를 100°C 및 30°C로 유지하면서 Fe製 전극의 갭길이를 1, 5, 9mm로 變化시킨 後 X線을 照射시킬 때 흐르는 J_{RIC} 특성을 그림 10에 도시한다. 동일 電界下에서 대체적으로 갭길이에 따라 J_{RIC} 가 증가하는 경향이며, 갭길이에 比例해서 電界가 0.2kV/cm에서 1kV/cm로 증가하면 J_{RIC} 의 증가율이 크게 나타나는 것이 관측되었다. 이러한 現象

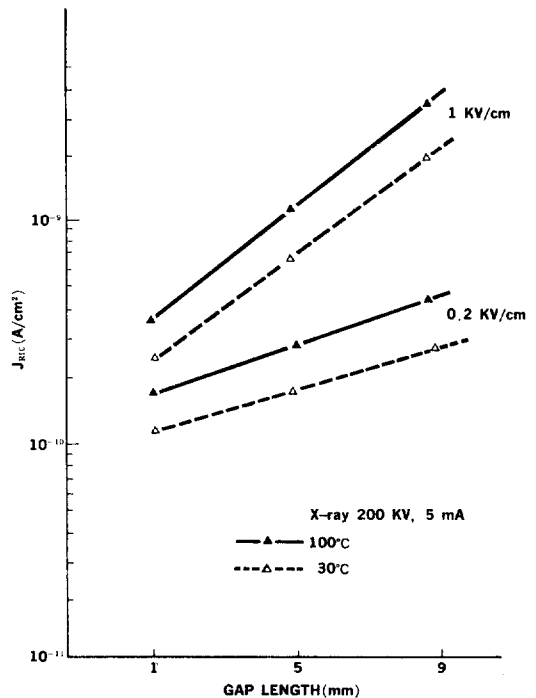


그림 10 J_{RIC} -갭 길이 특성
Fig. 10 J_{RIC} -gap length characteristics

은 액체 절연유의 電氣傳導 機構가 이온 傳導[8]가 지배적임을 추정할 때 同一 電界에서 갭길이 길어지면 容積이 커짐으로 인한 全體 캐리어의 수가 많아지는 것[9]이 주 원인이라 할 수 있다. 그러나 유기전류는 체적이 커지면 증가되고 있지만 어느 조건에서나 體積 증가비와 일치하는 것은 아니고, 본 실험의 결과에서는 電極에 印加되는 電界가 1kV/cm 이상이고, 管電壓 200kV, 管電流 5 mA인 조건에서 J_{RIC} 는 體積增加比와 잘 일치하고 있다. 이처럼 캐리어 발생이 많을 때는 J_{RIC} 는 體積增加比에 따름을 알 수 있겠다.

4. 결 론

X線 裝置에 이용되는 絶緣油의 放射線 誘起電流(J_{RIC})를 X線 照射(X線 強度, 線量, X線 波長), 溫度 및 갭길이 영향 등으로 검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) X線用 絶緣油의 전기전도에 미치는 분위기 효과는 大氣狀態가 眞空狀態의 조건보다 크게 나타난다.

2) X線用 絶緣油에 X線을 照射하면 照射 즉시는 매우 큰 誘起電流가 흐르나 時間 經過에 따라 일정한 電流가 흐른다. 그리고 X線 照射를 중지하면 다른 고체 절연재료에서는 관측될 수 없는 30초 이내에 감쇠전류가 흐른다. 이러한 결과는 액체를 이용한 放射線 檢出器에 응용될 수 있음을 시사한다.

3) X線 強度를 증가시키면 X線 誘起電流는 비례적으로 크게 증가하나 X線 吸收線量에는 영향이 없었고, X線 波長은 短波長이 될수록 誘起電流가 크게 증가한다.

4) X線 絶緣油의 溫度가 증가하면 X線 誘起電流가 비례적으로 증가하는 경향이이며 X線 強度가 클수록 高溫 영역에서 많이 흐른다. 이는 X線管 裝置·設計에 冷却 조건을 엄격히 해야함을 제시한다.

5) X線 誘起電流는 동일 電界 下에서 갭길이의 크기에 比例하여 증가하며 電界가 증가할수록 誘起電流 增加率이 급격하게 된다. 이러한 실험 결과는 X선 고전압 촬영시나 X선 노출 체적의 과대로 인한 유기 전류의 급증으로 장치의 고장을 유발할 가능성이 있으므로 X線 장치 설계 및 취급에 중요한 정보를 제시할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 李 德出 外, 高電壓工學, 文運堂, 1984, pp. 144~151.
- [2] D.N. & M.O. Chesney, X-ray equipment for student radiographers, Blackwell, 1978, pp. 46~50.
- [3] 李 德出, “液體絶緣材料인 電氣絶緣油의 現況과 展望,” 電氣學會誌, 28卷 1號 pp. 20~25, 1979.
- [4] 井上 外, “液體誘電體의 研究現況,” 電氣學會誌, vol. 87~4, no. 943, 1967.
- [5] 電氣學會放電 핸드북出版委員會編, “放電 핸드북” 오ーム社, p. 530, 昭和 50.
- [6] I.Y. Megahed, A.A. Zaky, “Influence of temperature and Pressure on Conduction Current in Transformer Oil,” IEEE Trans. Electr. Insul. vol. EI-4, no. 4, Secemder 1969.
- [7] Edward E. Christensen, An Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology, Lea & Feliger, 1978, pp. 22-28.
- [8] Sachio Yosufuhu, et al., “Radiation-Induced Degradation Phenomena In Electrical Insulating oils,” IEEE Trans, Electr. Insul. vol. EI-13, no. 1, pp. 45~50. February 1978.
- [9] K.C. Kao, et al., “The Electric Conduction in n-Hexane Under Ultra Violet and Gamma Radiations,” IEEE Trans, Electr. Insul. vol. EI-2, no. 2 pp. 108-114, August 1967
- [10] Teruyoshi Mizutami, et al., “X-ray Induced Currents in Polyvinylidene Fluoride,” Japanese Journal of Applied Physics, vol. 20, no. 1, pp. 59~63, January 1981.
- [11] 栗山 外, “放射線照射下における絶緣材料の電氣特性”, 藤倉電線技報, 第56號, pp. 25~32, 1977.
- [12] Yoshiaki Nakase, et al., “Radiation-Induced Conductivity in Polymeric Insulating Materials Degraded under Specified Conditions,” TEEE Trans, Elects, Insul. vol. EI-17, no. 4, pp. 306-313, August 1982.
- [13] 高橋 外, “各種高分子絶緣材料の放射線誘起電流,” 電氣學會論文誌 A. 101卷, 3號, pp. 167-173, 1981.
- [14] 宮本 外, “電氣絶緣油におけるイオン傳導, 電氣學會論文誌 A. 98卷, 1號, 1978.”