

Co⁶⁰照射에 대한 A種絶緣材料의 放射線損傷에 관한 연구

논문
20~3~2

The Experimental Study of Co⁶⁰ Irradiation Effect on Radiation Damage of A-Kind Insulator

지 철 근* 김 병 수**
(Chol Kon Chee, Byung Soo Kim)

[ABSTRACT]

The main focus of this paper is on the study of the radiation effect upon the electrical property of a A-Kind insulator which is one of the organic insulators.

The varnished cloth is so typical of the A-Kind insulators as to be selected for a sample.

AC and Impulse voltage is applied to the variable Gamma ray irradiated dose samples with the constant time duration and the dielectric breakdown voltage are measured from the sample.

The experimental data of the dielectric breakdown voltage are considerably decreased.

The above conclusion is useful for the selection and application of the organic insulators under the irradiation effects.

1. 서 론

최근 우리나라에서도 原子力發電이 본격적으로 계획되고 있을 뿐만 아니라 放射線同位元素를 이용한 물질의 두께측정, 品種改良, 암의 治療, 간이X線장치등 理化學, 工業分野, 生物, 醫學, 農業分野등에 原子力이 널리 이용되고 있다. 그러므로 이에 필요한 여러 측정용 하기 위하여 많은 電氣機器와 電子部品이 사용되므로 이들의 絶緣재료가 放射線下에 노출될 기회가 많아질 것이다. 그러므로 高에너지 放射線이 絶緣재료에 미치는 영향은 큰 관심거리가 되고 있다.

1952年 Charleshy가 Polyethylene에 대한 原子爐內(放射線)照射에 의한 架橋反應(Crosslinking)이 일어난 것을 發表한 이래 放射線照射에 의한 Polyethylene의 酸化와 誘電의 特性의 변화에 관한 研究⁽⁶⁾나 Polyethylene의 電氣의 性質에 미치는 γ 線照射의 影響⁽⁷⁾, 나프타린 單結晶에 放射線照射가 미치는 絶緣特性의 변화에 관한 연구등 絶緣材料에 放射線照射가 미치는 電氣의 特性變化에 관한 연구⁽⁸⁾가 여러사람들에 의해 연구 발표되어 왔다. 그러나 이들 연구의 대부분은 放射

線照射에 의한 품질개선에 관한 연구였고 放射線損傷에 관한 연구는 거의 없었다.

또한 γ 線照射에 의한 B種絶緣材料의 전기적특성변화에 대한 연구⁽⁴⁾는 발표된 것이 있으나 A種絶緣材料에 관한 연구는 아직 발표된 것이 없다. 따라서 본 연구에서는 A種絶緣材料中에서 가장 널리 사용 또는 Varnished cloth를 試料로 택하여 γ 線源인 Co⁶⁰을 이 試料에 照射한 후 주로 放射線損傷에 의한 전기적특성의 변화를 이론 및 실험적으로 연구했다. 電氣絶緣材料에 있어서 電氣絶緣破壞電壓은 그 中극적인 絶緣性能을 支配하는 중요한 電氣의 性質의 한 要素이므로 放射線의 照射效果가 絶緣耐力에 미치는 영향을 명백히 하고 특성변화를 확실히 구하기 위해 交流電壓(60c/s), 衝擊電壓을 각각 印加하고 常溫과 動作溫度에서의 絶緣破壞値를 각각 구하였다.

2. 이론적 고찰

일반적으로 高에너지 放射線을 物質에 照射했을 때 그 構成原子, 分子와의 사이에 여러종류의 相互作用을 일으켜 그 에너지를 점점 消失한다. 그들의 직접적인 相互作用은 放射線의 종류 및 그 에너지, 물질의 종류에 따라 다르지만 결과적으로는 物質中에 原子變位,

* 정회원 : 서울대학교 공과대학교수

** 정회원 : 서울대학교 대학원 전기공학과

電離 및 勵起를 일으킨다.

그림 1은 그 과정을 原子爐中の 核反應에 의해 생기

결합하여 網狀構進의 分子를 生成하는 架橋反應 (Crosslinking)을 일으키고 때로는 低分子의 氣를 방출하

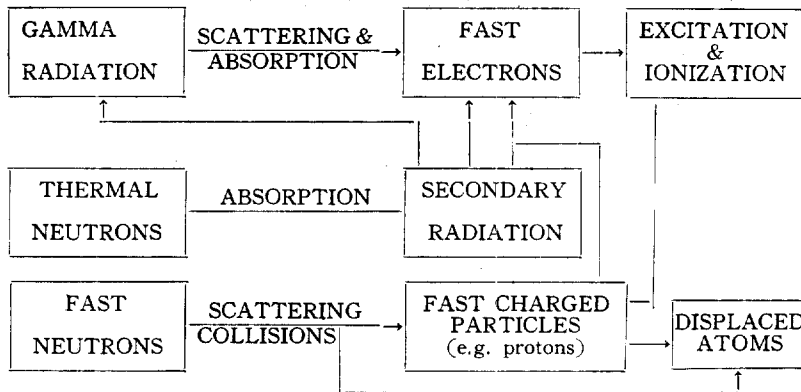


그림 1. γ 線, 中性子와 물질의 相互作用

Fig. 1. Prominent reactions of reactor radiation with matter.

는 γ 線 및 中性子線에 의해 표시한 것이다.⁽⁵⁾ 일반적으로 금속과 같은 無機質材料들은 原子變位에 의한 格子不整의 生成으로 인하여 그 性질에 큰 變化가 일어나지만 共有結合을 主體로 하는 高分子과 같은 有機質材料들은 電離 및 勵起가 主要한 1차적 效果로 나타난다. 이들은 이온 反應, radical 反應과 같은 化學反應을 誘發하여 그 分子構造에 半永久的 變化를 일으킨다. 다시 말해서 高分子의 主要한 共有結合을 形成하는 電子對에 放射線의 에너지가 주어지면 그것이 活性化되어 合子의 離脫, 分子의 切斷을 일으키며 때로는 低分子가 그 活性化된 透離基를 통해 결합되어 巨大分子로 成長하는 重合反應을 일으키거나 長鎖分子가

고 分子內에 二重結合을 生成하기도 한다. 위의 현상을 그림으로 표시한 것이 그림 2이다.⁽⁵⁾

일반적으로 分子崩壞가 일어나면 그 高分子에는 (1) 軟化, (2) 機械的 強度의 減少, (3) 伸張度의 增大, (4) 融點의 低下, (5) 溶解度의 增加등이 일어나며 架橋反應의 결과는 위의 경우와 反對의 현상이 나타난다.

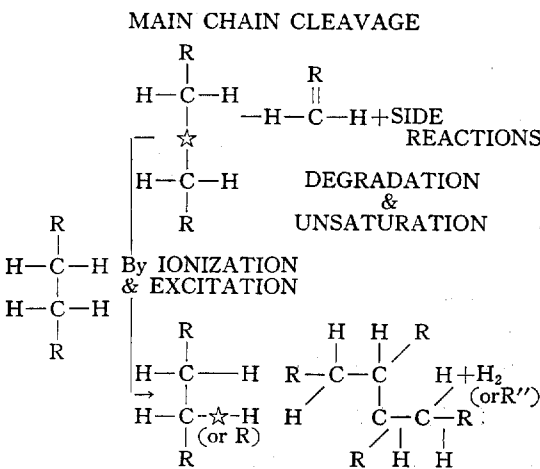
표 1은 電氣絶緣材料로서 重要한 各種高分子을 架橋型과 崩壞型으로 分類한 것이다.⁽⁶⁾

표 1. 主要한 電氣絶緣用 高分子의 架橋型 및 崩壞型에 의한 분류

架橋型 高分子	崩壞型 高分子
天然 고무	Cellulose
Polyester	Cellulose 誘導體
Polystyrol	尿素樹脂
Nylon	Polyethylene-terephthalate
Polyethylene	Poly-choro-trifluoro ethylene
Neoprene	butyl rubber
Polyvinyl chloride (PVC)	Poly-tetrafluoro-ethylene
	纖維素充填 Phenol 樹脂

표 1에서 보는바와같이 본 연구에서 試料로 택한 Varnished cloth cotton에 phenol 樹脂를 含浸시킨 것이므로 崩壞型에 속한다. 따라서 Horowitz의 機械的 破壞理論에 의하면⁽²⁾ 絶緣破壞電壓은 γ 線照射에 의해 감소할 것이다. 또한 高分子化合物을 大氣中에서 放射線照射을 행하던 酸化 및 Gas 放出의 현상이 일어난다.

다시 말하면 放射線照射을 大氣中에서 행하면 大氣中の 酸素와 照射에 의해 生成된 透離基(Free radicals



SID CHAIN CLEAVAGE CROSSLINKING & GAS

그림 2. 放射線照射에 대한 炭化水素 重合體의 반응

Fig. 2. Reactions of ionizing radiation on hydrocarbon polymer.

에 의해 酸化가 일어나는 것으로⁽⁸⁾ 되어있다. 따라서 誘電正接 $\tan \delta$ 가 增加하므로 誘電體損이 증가하여 본 시험이 熱的崩壞라면 絶緣破壞値가 저하하게 될 것이다.

그러나 放射線損傷效果에 가장 큰 영향을 미치는 것은 電氣傳導現象이다. 高分子에 放射線을 照射했을때 電離에 의해서 生成되는 自由電子와 陽이온이 電界를 따라서 이동하여 電流를 誘起시켜 電氣電導度를 상승시킨다. 그러나 γ 線을 長時間 照射할 경우에는 化學反應에 의한 이온 捕獲中心의 生成으로 인한 이온 密度의 감소에 의해 電氣電導度는 감소된다.

따라서 비교적 照射線量이 낮은 경우에만 放射線의 照射에 의해 絶緣破壞電壓은 감소된다.⁽⁸⁾

3. 실험

(a) 試料

여러가지 A種絶緣材料中에서 Varnished cloth 는 유연성이 풍부하고 引張強度가 강하며 균일한 絶緣性을 얻을수 있으므로 機器코일, 導線口出部, 케이בל등의 테이프 卷絶緣物로 많이 쓰이며 回轉機의 스톱트 絶緣物로도 널리 사용되고 있다. 또한 Varnished cloth 는 두께의 偏差가 아주 적은 품질의 것을 구할수 있으므로 본실험에서는 일본 Nitto Electrical Co. Ltd 製의 30~60 S pure cotton fabrics 로 만들어진 두께 10⁻² inch 인 제품을 시료로 사용했다. 이 試料의 絶緣破壞電壓은 15 KV 이고 熱抵抗은 120°C×24 hr 이다.

(b) γ 線 照射裝置

CO⁶⁰ 800 Curie 인 韓國原子力研究所의 γ 線照射裝置를 이용하였고 照射線量은 Roentgen 을 택하여 大氣中에서 照射하였다.

(c) 絶緣破壞試驗

商用周波數인 交流電壓과 衝擊電壓의 두가지에 대하여 絶緣破壞電壓試驗을 行하였고 그 장치는 利川電機工業株式會社와 서울工大의 것을 이용하였다. 氣中交流破壞電壓에는 日本 芝浦製 交流絶緣破壞裝置를 이용하였고 시험용 변압기의 규격은 15 KVA, 60c/s, 200~30 KV 이다.

또한 油中실험에는 General Electrical Co. Ltd 製의 115 Volt 50/140 c/s 0~25 KV 인 Potable oil Tester 를 사용하였다. 또한 충격전압에는 Tokyo Trans Co. Ltd 製의 100 KV 의 Impulse Generator 를 사용했다.

(d) 實驗方法

표 2 는 原子爐 주변에서 측정된 γ 선과 中性子線의 線量에 대한 표이다.⁽⁸⁾

표 2 에서 보는바와 같이 電氣機器는 10⁶ r/h 정도의 放射線에 노출되어 있다. 따라서 試料에 放射線을 照射시켜 電氣의特性變化에 대한 실험적 結果치를 얻기 위하여 照射方法으로 照射時間을 1 시간으로 일정하게 하고 照射量을 10², 10³, 10⁴, 10⁵, 10⁶ Roentgen 으로 변화시켰으며 한 종류의 試料에 대해 각각 5 회의 破壞實驗을 행한 뒤 그 산술적 평균치를 내어 結果치로

표 2. 原子爐 주변의 γ 線과 中性子線의 線量

Table 2. Gamma and neutron fluxes in the vicinity of nuclear reactions.

Locatio	Neutron Flux, Neutron per, Centimeter ² -Second	Gammn Flux, γ /hr	Insulation Required for
Reactor cores.....	10 ¹⁰ ~10 ¹²	10 ⁶ ~10 ⁸	Instumments for in pile measurements, eq., thermocouples
Oudside primary reacto shield.....	10 ⁵ ~10 ⁷	10 ⁶ for.....	Na Crolant.....Control mechanisms
Inside secondary shield.....	10 ⁵ ~10 ⁷	10 ⁸ for water.....	pumps level indicators temperature indicators
		Coolant	
		Negligible for He...	
Outside secondary shield.....	negligible.....	negligible.....	Standard electric apparatus

삼았다. 또한 常溫에서의 交流絶緣破壞實驗은 氣中과 油中에서 각각 行하였고 電氣機器의 動作溫度의 실험은 變壓器油를 加熱하여 75°C에서 油中破壞實驗을 行하였다.

A種絶緣材料의 허용온도가 105°C 이하이며 보통 電氣機器의 온도상승은 65°C 로 제한하고 있으며 美國標準協會 (American Standard Association) 規準에는 A種同機器 電機子의 最高許容溫度가 60°C 로 규정되어

있지만 실험중의 冷却效果를 고려하여 75°C 로 정하였다.

(e) 實驗結果

照射시킨 試料를 室溫 180C, 습도 79%, 764.5mmHg 인 大氣中에서 60c/s 交流高電壓을 印加하여 絶緣破壞値를 측정된 것이 그림 3 이고 油中에서 印加하여 絶緣破壞値를 측정된 것이 그림 4 이다. 다음 變壓器油를 75°C 로 가열하여 油中絶緣試驗을 행한 結果가 그림 5

이러 衝擊電壓波의 波頭幅이 $15\mu s$ 이고, 波尾幅이 $50\mu s$ 되는 一定한 波形의 Impulse 를 加하여 絶緣破壞值를 측정한 結果가 그림 6 이다. 이들의 산술적평균을 구하여 plot 한것이 이다.

그림에서 보는 바와같이 照射時間을 일정하게 하고 照射線量을 증가시켜 가면 破壞電壓이 감소하고 있으며 또 10^6 roentgen 으로 照射된 試料에서는 非照射材料보다 油中에서는 약 2KV, 氣中에서는 약 1.4KV 정도의 絶緣破壞值가 감소됐다.

또 油中에서 $7.5^\circ C$ 로 가열하여 行한 실험에서는 常溫에서의 油中實驗結果보다 약 4KV 내외의 絶緣破壞值의 감소를 보였으며 照射量에 다른 曲線도 보다 현저한 감소를 보이고 있다.

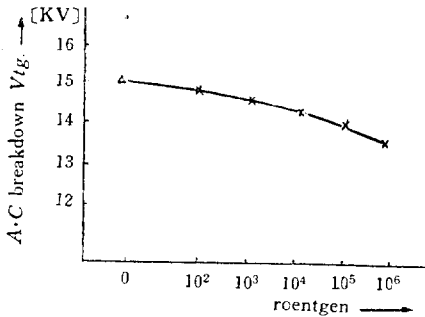


그림 3. Co^{60} 의 照射量과 공기중의 교류파괴전압
Fig. 3. Resultant between the roentgen of Co^{60} and A.C. breakdown Vtg. in the air.

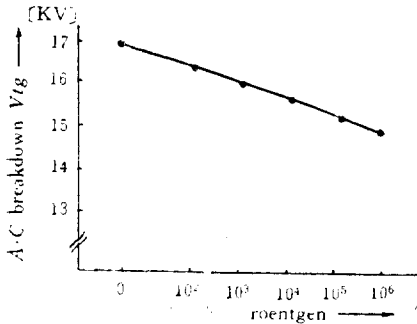


그림 4. Co^{60} 의 照射量과 油中の 교류파괴전압
Fig. 4. Resultant between the roentgen of Co^{60} and A.C. breakdown Vtg. in the oil.

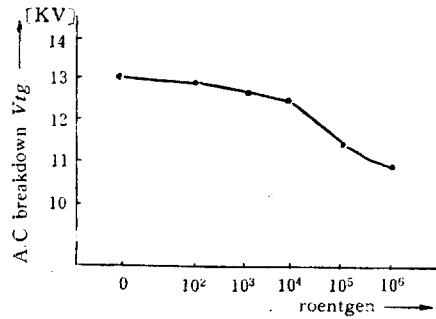


그림 5. Co^{60} 의 照射量과 油中の 교류파괴전압 (동작온도에서)
Fig. 5. At the working temp., Resultant between the roentgen of Co^{60} and A.C. brackdown Vtg. in the oil.

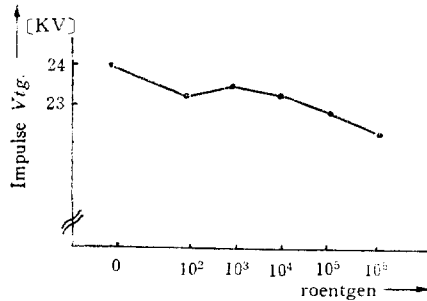


그림 6. Co^{60} 의 照射量과 衝擊電壓
Fig. 6. Resultant between the roentgen of Co^{60} and Impulse Vtg.

4. 김 토

앞의 特性變化曲線에서 보는바와 같이 γ 線 照射量이 많을수록 絶緣破壞電壓이 조금씩 감소하여 가는 것은 電離에 의해 生成된 電子와 이온에 의한 電氣傳導度의 증가에 의한 것으로 보인다.

만일 試料의 두께가 크면 放射線照射에 의한 $\tan \delta$ 의 증가로 誘電體損에 의한 熱的破壞가 일어나 그 絶緣破壞電壓이 점점 저하될것으로 생각되나 본실험에서 사용한 0.25 mm 정도의 얇은 시료의 경우에는 주로 電氣的으로 絶緣이 破壞된다는 것이 알려져 있으므로 $\tan \delta$ 의 증가는 별로 영향을 미치지 않는다.

또 본실험에서와 같이 10^6 roentgen 정도의 비교적 낮은 照射線量에서는 Cross-linking 이나 Degration 이 현

저하게 나타나지 않는다.⁽⁸⁾

따라서 이상의 사실들로 볼때 본실험에서의 γ 線照射에 의한 絶緣破壞電壓의 減少는 電氣傳導度의 증가에 의한 것으로 볼수 있다.

다음에 動作狀態인 油中加熱實驗에서 絶緣破壞值의 현저한 감소는 우선 加熱에 의한 變壓器油의 劣化에도 원인이 있겠지만 온도가 상승함에 따라 照射後의 電氣傳導度가 온도에 따라 상당히 차이가 나는것으로도 볼수 있다.⁽⁹⁾

다음에 常溫에서 측정한 氣中交流破壞電壓과 油中交流破壞電壓이 차이가 나는 것은 沿面코로나로 인하여 試料가 조기에 파괴되는 媒質效果(medium effect)에 의한 영향도 있겠지만 電離狀態에 있는 傳導粒子가 再結合을 行하여 그 數字가 감소되므로 시간과 더불어 誘起電流가 감소하기 때문에 電氣傳導度가 감소한 영향도 있을 것이다.

5. 결 론

(1) γ 線照射에 의해 Varnished cloth 의 交流絶緣破壞電壓은 감소된다.

(2) 動作溫度에서는 常溫에서보다. 급격한 감소를 나타냈다. 따라서 原子爐 및 放射性同位元素의 이용장치에 쓰여지는 電氣計器, 電線等 電氣設備의 絶緣材料는 그 사용시의 온도에 유의하여 설계하고 제작되어야 한다.

(3) 10^6 roentgen 정도의 비교적 낮은 照射量에 의해서는 架橋反應(Cross linking)이나 分子崩壞(Degradation)이 현저하게 나타나지 않았다.

(4) γ 線照射에 의한 損傷效果는 주로 電子, 이온에 의해 誘起된 電流에 의한 電氣傳導度의 증가에 의한 것으로 보인다.

(5) 만일 照射線量이 크다면 電離의에도 勵起에 의한 半永久的인 化學反應이 일어나 이온性物質을 生成할것이므로 그 구조가 현저히 변화하여 당연히 그 효

과가 電氣傳導에 나타날 것으로 思料된다.

(6) 照射開始直後부터 誘起電流가 증가하여 一定值에 달한후 照射中の 電氣傳導度는 照射前後에 비해 상당한 차이를 보일것이므로 放射線下에서 사용되는 계기는 電氣傳導度가 증가한다는 점을 고려하여 그 材料를 선택할때 絶緣破壞電壓이 높은 것을 선택하는 것이 타당할 것이다.

끝으로 이 연구에 많은 助言을 해주신 여러教授님들과 放射線照射에 많은 협조를 해주신 原子力研究所의 林瑢圭研究官, 試料等 材料의 入手와 실험에 많은 협조를 해주신 國際電氣의 朴弘根, 利川電機의 姜英植씨에게 감사말 드리는 바입니다.

참 고 문 헌

- 1) 日本電氣學會：放電現象 p.78, p.169, p.179.
- 2) 日本電氣學會：高電壓工學 p.267
- 3) 日本電氣學會：電氣材料便覽 p.158~160
- 4) 大韓電氣學會誌：1969년 3월 Vol. 18 No.2 p.15
~p.20
- 5) A.I.E.E. Transactions 1955년 Vol.74 Part I
Communication and Electronics p.717
~p.731.
- 6) 日本電氣學會誌：1961년 p.1077~1083 p.2100
- 7) 日本電氣學會誌：1962년 p.1909
- 8) 原子力工業：1958년 7월 p.4, p.11, p.20,
1958년 10월 p.7
1959년 4월 p.25 p.41
1960년 6월 p.63
1961년 1월 p.57
1961년 4월 p.10
1961년 5월 p.11
- 9) 絶緣物の 絶緣破壞電壓에 미치는 放射線의 영향에 관한 실험적 연구, 정성계.