

機械的應力下에서의 高分子材料의 絶緣強度特性

朴 正 后
(釜山水産大學 教授)

■ 차 례 ■

- 1. 序論
- 2. 高分子材料의 기계적 성질
 - 2.1 高分子의 형성
 - 2.2 高分子의 형태
 - 2.3 高分子의 구조
 - 2.4 高分子의 분자운동
 - 2.5 機械的應力에 의한 高分子의 파괴
- 3. 고분자재료의 絶緣強度와 기계적스트레스
- 4. 結論
- 5. 참고문헌

1 序 論

절연은 전기기기의 심장부라고 말하고 있으며, 電氣絶緣技術 및 성능에 의해 기기설계뿐아니라 운전상태에 있어서의 기기사고 혹은 기기의 종합수명 등, 기기의 신뢰성이 크게 영향을 받고 있는 실정이다. 초기의 電氣機器絶緣은 未經驗에다 많은 어려운 조건이 부가되어 있었으며, 절연재료의 면에서도 입수가 가능한 한정된 범위에서 재료를 유효하게 사용하면서 한발자욱 한발자욱씩 발전을 거듭해왔다.

그후 급증하는 전력수요와 급속한 전력망의 초고전압화가 요망되어, 관련기기의 고전압화, 소형화 및 신뢰성의 향상과 사용환경의 복잡, 가혹화의 경향이 두드러지게 나타났다. 이러한 경향에 가장 큰 타격을 받는 부문이 絶緣技術 및 絶緣材料分野로써, 이분야의 개발이 고전압관련기기의 실용화 및 신뢰성에 가장 핵심적인 요소가 되어왔다. 한편, 절연재료분야에서는 절연거리의 증가로 인한 관련기기의 대형화가 어려워짐에 따라 고전계절연의 양상으로 나타나게 되었다. 여기에 덧붙여, 전자부품에 있어서도 반도체다이오드·박막소자의 진출은 집적회로의 실용화와 함께 전압의 절

대치는 낮으나 그절연층의 두께는 아주 얇아서역시 고전계절연의 양상을 띠게되었고 여기에 전력·전자의 兩部分에 있어서 고전계현상에 대한 새로운 절연 문제가 제기되게 되었다.

절연재료의 면에서 볼때 2 차대전후 고분자화학의 발달에 따라 유효한 고분자재료가 계속하여 개발되었다. 이러한 합성고분자의 전기절연재료로써의 가치는 뛰어난 전기절연성과 광범위에 걸쳐 변화시킬 수 있는 물리적·기계적특성 등으로 높게 평가되어 전선피복재, 필름재, 내열재, 주형재 등으로 전기절연에서 필요로하는 여러부문에 이용되어 기기절연의 양상이 크게 바뀌게 되었다.

한편 이러한 절연재료는, 전기기기의 小型化·單機大容量化의 추세에 따라 필연적으로 동반되는 기계적·열적스트레스를 받게되었으며, 합리적 절연설계를 행하기 위해서는 재료의 전기적·기계적 및 열적 성능의 각각이 問題될 뿐아니라 이들이 동시에 작용될 때의 복합스트레스 하에서의 재료의 성능이 크게 문제가 되어 최근 이에 대한 연구가 활발히 행해지고 있다^{1)~11)}.

전기기기의 절연물에 가해지는 기계적 스트레스는 외력에 의한 것, 제조공정중의 열스트레스 및 기계적 스트레스에 의한 잔류스트레스 등이며, 그의 發電機나 변압기의 부하단 혹은 기기단자에서

의 급격한 단락이 발생할 경우에는 기기내의 대전류에 의한 전자력이 문제가 된다. 이대전류는 기기가 가지고 있는 자신의 리액턴스에 의해 다르지만 일반적으로 정격전류의 10 배 정도의 전류가 흐른다. 이것에 의한 전자력은 (코일 상호간에 작용하는 힘은 흐르는 두전류의 적에 비례하므로) 대략 평상 전자력의 약 100 배의 힘이 걸리는 것으로 된다. 이힘은 막대하여 대책을 세우지 않을 경우는 코일에 큰 변형이 생긴다. 이러한 경향은 기기가 대용량으로 될 수록 심하게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 기계적 스트레스가 고분자재료의 절연강도특성에 미치는 영향을 기초적인 입장에서 해설해 보고자한다.

② 高分子材料의 機械的性質

고분자물질이란 일반적으로 분자량이 약 1,000 이상의 분자라고 생각하고 있으며 분자량이 크게 될 수록 고분자재료로서의 특징을 발휘한다. 고분자재료의 특징을 충분히 발휘하는 분자량은 수만~수십만 혹은 그이상일 경우가 대부분이다. 일반적으로 高分子物質은 天然高分子와 合成高分子로 나눌 수 있으며 천연물로서는 셀룰로오스와 그유도체, 종이, 천연고무 등이 있고 합성물로서는 플라스틱, 합성와니스, 합성고무 등이 있다. 합성고분자 중에서 절연재료로 주로 사용되고 있는 엔지니어링 플라스틱의 기계적성질과 관계있는 몇가지 구조적 성질을 간단히 알아보면 다음과 같다.

2.1 고분자의 형성

고분자란 비교적 간단한 구조의 분자가 화학결합에 의해서 반복 연결된 것으로, 반복되는 기본분자를 單量體(monomer)라 한다. 결합방식에 의해 중합체, 공중합체 및 축중합체(혹은 축합체)의 3종류로 나뉜다.

- (1) 중합체 : 한종류의 분자가 반복결합하고 있는 것.
- (2) 공중합체 : 2종류 이상의 분자가 반복결합하고 있는 것.
- (3) 축중합체 : 동종의 분자 혹은 2종류이상의 분자가 결합할 경우 결합부분의 원자 또는 원자단을 간단한 화합물의 형으로 분리하고(예를들면 H₂O) 남은 부분이 반복결합한 것.

2.2 高分子의 形態

고분자를 분자의 형태면에서 보면 중합체 혹은 공중합체에서 볼 수 있는 바와 같이 분자가 직선상으로 연결된 鎖狀高分子(linear polymer)와 鎖狀高分子에 적당한 架橋劑를 가하여 반응시켜 분자간에 다리를 놓아 서로 결합하여 3차원구조를 가진 網目狀高分子(network polymer)로 나눌 수 있다. 또 결합방향의 긴分子鎖(molecular chain)를 主鎖, 主鎖의 측면방향의 분자쇄를 측쇄라 한다. 일반적으로 鎖狀高分子는 주쇄의 곳곳에 비교적 긴 分子鎖가 側鎖의 방향으로 분기되어 있으며 이분기가 규칙바른 경우 결정화하기 쉽고, 불규칙한 경우(예하면 atactic 구조)는 결정화가 매우 어렵거나 결정화하지 않는다.

2.3 高分子의 構造

고분자중에는 전혀 결정을 형성하지 않는 無定形高分子(amorphous polymer)와 분자중 일부가 결정을 형성하는 結晶性高分子(crystalline polymer)가 있다. 결정성고분자는 분자가 규칙적으로 배열되어 있는 結晶領域과 불규칙상태로 존재하는 非結晶領域으로 이루어져 있으며 이 두영역은 서로 독립하여 존재하는 것이 아니라 서로 혼재하고 있는 것으로 생각되고 있다. 또 하나의 결정영역을 微結晶(crystallite)이라 부르며, 그 대략적인 크기는 100~200 Å 정도이다. 일반적으로 鎖狀高分子의 평균길이는 미결정의 크기보다 훨씬 길기 때문에(약 2,000~5,000 Å) 한개의 鎖狀高分子가 결정 또는 비결정영역을 몇군데나 가진 상태로 존재하는 것으로 믿어지고 있다. 이와 같은 결정성 고분자를 적당한 온도에서 延伸이나 열처리를 행하면 결정화(crystallization)가 촉진된다. 結晶性高分子固體의 경우 고체전체에 대하여 결정부분이 점하는 중량분율(%)을 結晶化度(degree of crystallinity)라 부르며, 학문적으로 실용적으로 중요한 의미를 가지며, 그결정방법이 여러가지로 연구되어 있다. 또 미결정의 모양, 크기, 그분포, 配向(orientation), 非結晶領域의 구조를 포함하여 고분자의 집합상태를 나타내는데 微細組織(fine texture)이라는 용어를 사용하고 있다.

고분자의 결정구조에는 그림 1에서 볼 수 있는 것과 같이 無定形領域(비결정영역)의 사이에 分子鎖가 꽃술狀으로 규칙바르게 배열한 구조의 것(fringed micelle model)과 그림 2에서와 같이 고분자쇄가 포개어져서 생긴 판상결정(lamella,

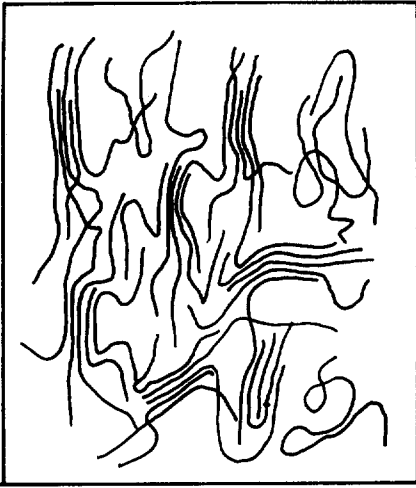


그림 1. 高分子의 結晶과 非結晶 구조의 fringed micell model

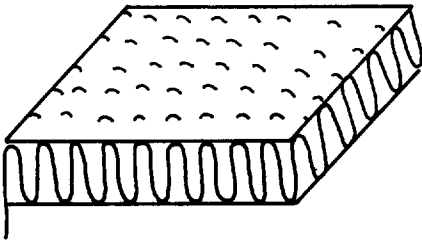


그림 2. 板狀結晶 (lamella) 構造

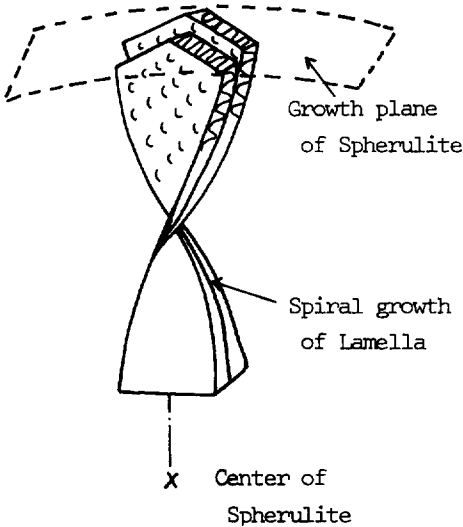


그림 3. 球晶의 成長

두께는 대략 100 Å이 무정형영역중에 형성된 구조의 것이 있다. 또 판상성이 그림 3과 같이 특징의 배열로 되어 그외형이 구형상으로 된 것을

晶(spherulite)이라 한다. 이구정은 결정화시의 온도가 높을수록 크게 발달하며 낮으면 미세화한다. 구정을 형성하는 판상정사이에 무정형구조의 부분이 존재한다.

2.4 高分子의 分子運動

(a) 無定形構造의 分子運動

고분자고체의 상태변화는 분자쇄의 운동양식의 변화에 대응한다. 먼저 鎖狀高分子의 無定形構造 : 충분히 높은 온도에서는 分子鎖全體의 이동에 따른 마크로브라운운동(macro brownian movement) 때문에 형상을 일정히 유지할 수 없어 유동상태로 되고 점성을 나타내지만, 온도의 강하와 더불어 분자의 열운동은 감소하여 고분자고체의 상태는 유지하지만 부분적인 열운동은 남게된다. 이운동의 주역을 담당하고 있는 運動單位는 主鎖를 구성하고 있는 炭素數로써 10~20 개의 정도의 비교적 큰 원자단이다. 그 때문에 運動單位間의 상호작용이 커서 운동에 필요로 하는 에너지(활성화에너지)가 비교적 크고 운동은 완만하다. 이와 같은 운동을 마이크로브라운운동(micro brownian movement), 運動單位를 세그먼트(segment)라 한다. 외력이 作用하지 않는 상태에서는 분자는 統計的平衡狀態로 존재하지만 외부에서 힘을 가하면 힘이 그렇게 크지 않는 한 分子鎖間의 결합점은 풀어지지 않고 결합점사이의 분자쇄는 마이크로브라운 운동에 의해 서서히 결합배위의 분포에 변화를 초래하여 늘어난다. 외력을 제거하면 역의 과정을 거쳐 본래의 상태로 된다. 즉 마이크로브라운 운동에 기인하는 기계적응답은 탄성적이지만 시간의 늦음(완화시간)을 동반하는 특징이 있다. 이 성질은 고무가 가지는 탄성과 유사하여 마이크로브라운 운동의 주역이 되는 상태를 고무상태라 한다. 고무상태는 고분자고체가 갖는 특유한 것으로 고분자의 부드럽고 강인한 성질은 여기서 부터 유래한다. 고무상태에서는 분자쇄의 국소운동도 동시에 존재하지만 기계적 성질에는 그다지 관계치 아니한다. 한편 완화시간의 온도에 따른 변화는 자유체적(free volume : 분자간에 존재하는 틈(gap)의 체적 · 이체적이 클수록 고분자쇄의 확산이 용이하게 되므로 분자운동은 활발히 된다)의 변화에 의존한다고 생각되고 있으며 glass 轉移溫度에서의 평균 自由體積分率 $f (f = \frac{V_f}{V_0})$: V_0 는 $O (K)$ 에 있어서 물질의 1g당의 체적, 즉 분자의 점유체

적이며, V_f 는 T [K] 에 있어서 1g당의 자유 체적)는 0.025 정도의 값을 가진다.

고무상태에서 다시 온도를 낮추면 마이크로브라운 운동도 정지하고 주쇄의 미소부분 혹은 측쇄의 운동만 남는다. 이와 같은 상태에서는 외력이 작용하더라도 거의 변형이 일어나지 않는다. 즉 탄성율이 큰 고체이며 유리와 같이 딱딱하므로 이상태를 glass 상태라 한다. 고무상태에서 glass 상태로 이행하는 현상을 glass轉移라 하며 glass轉移가 일어나는 온도 또는 온도역을 각각 glass轉移點 또는 glass轉移域이라 한다. glass 전이점을 경계로 하여 여러 물리적 성질이 크게 변화하므로 실용상으로도 중요한 의미가 있다. glass 전이점은 보통 熱膨脹 온도특성곡선의 변곡점으로 관측할 수가 있다. 일반적으로 고온측에서 온도를 내리면서 측정하지만, 온도강하의 속도를 빨리하면 glass 전이점은 고온측으로 이동한다. 이것은 glass 전이점 부근으로 되면 세그먼트의 열운동이 아주 완만해지고 온도강하의 속도가 이보다 빠르면 비교적 고온의 상태에서 세그먼트의 운동이 동결돼 버리기 때문이다.

한편 網目狀高分子는 鎖狀高分子와는 달리 分子鎖間의 결합이 화학결합이므로 결합의 세기가 아주 크다. 따라서 열분해가 일어나는 아주 높은 온도에 이르기까지 고무상태를 유지하며 비교적 저온에서 glass 상태로 된다. 결합점의 밀도가 높아질수록 신도는 감소하며 외력에 거의 영향을 받지 않으며 glass 전이점도 아주 높아진다.

(b)結晶性高分子의 分子運動

결정성고분자는 무정형영역과 결정영역으로 되어있고 무정형영역의 분자운동은 무정형구조의 鎖狀高分子와 같으나 결정부분이 분자쇄의 운동을 속박하므로 결정화도의 증가와 더불어 glass轉移點이 높아진다. 일반적으로 결정화도가 높게 되면 고분자는 부스러지기 쉬운 경향 때문에 탄성율은 높게 되지만 파괴신도는 감소한다. 강인한 고분자나 고무상물질에서는 인장강도가 결정화도의 증가와 함께 증가하나, 취성을 가진 고분자에서는 역으로 강도는 저하한다. 이것은 미결정이 응력집중체의 역할을 하기 때문이다. 구정의 구조 역시 고분자의 기계적 성질에 큰 영향을 미친다. 큰 구정은 일반적으로 고분자의 파괴신도와 유연성을 저하시킨다. 충격강도 및 굽힘파괴수명은 구정이 적

어질수록 증대한다.

분자 및 미결정의 배향도 고분자의 역학적성질을 크게 변화시킨다. 일반적으로 배향에 의해서 역학적 성질에 이방성이 나타나며 배향방향의 인장강도나 탄성율은 현저히 증대한다.

2.5 機械的應力에 의한 高分子의 破壞

Glass 상의 無定形高分子固體는 결정성고분자고체에 비교해서 내부의 응력이나 變形(歪)의 미시적인 분포가 훨씬더 균일하다고 볼 수 있다. 결정성고분자는 역학적성질이 다른 2 상의 혼합체로 생각하여 취급하는 것이 편리한 경우가 많다. 이 경우 파괴는 언제나 가장 약한 상에서 시작된다. 여기서는 고분자재료가 외력을 받아 파괴에 도달하기 까지의 미시적 과정을 간단히 요약해둔다.

(1) 고분자가 취성적 혹은 연성적인 거동의 어느 쪽을 나타내느냐는 분자쇄 혹은 그 일부의 분자의 외력에 대한 응답성의 문제이다. 외력에 대한 분자적 입장에서의 응답은 1 차구조(분자의 종류, 분자량, 분자량분포, 결정·가교의 유무, 결합점의 밀도등), 二次構造(결정화도, 결정의 형태와 크기, 配向狀態) 및 재료의 상태(glass 전이온도 혹은 그외의 副轉移溫度와의 관계), 그위에 외력조건(외력의 종류, 負荷速度등)에 의해 결정된다.

(2) 미배향의 시료가 引張應力을 받으면 引張方向으로 分子鎖가인장되면서 응력방향으로 배열하려고 한다. 이 과정에서는 分子主鎖를 형성하는 공유결합은 Van der Waals력 등의 분자간 응집력에 비교하여 강하므로, 분자간슬립이나 분리가 분자쇄의 절단보다 우선적으로 생긴다.

(3) 결정이나 화학적가교는 분자간의 슬립을 방해한다. 또 분자쇄상호간의 결합점은 분자간슬립을 방해하는 영구적구조는 아니지만, glass 전이 온도보다 낮은 온도에서는 가교와 닮은 효과가 있다. 따라서 glass 상태에서는 분자간슬립을 충분히 생기게 하려면 높은 응력(항복응력)을 필요로 한다.

(4) 결정이나 가교의 비율이 높을 경우에는 분자간슬립은 생기기가 어렵고, 변형의 초기에서 분자쇄가 탄성적으로 긴장을 받고, 일부의 분자쇄가 절단을 시작한다. 또 배향한 재료도 배향방향으로 외력을 받을 경우와 같은 상태로 된다. 이와 같은 재료는 거시적으로 소위 취성파괴를 나타내게 된다.

(5) 분자쇄의 절단이 적고, 분자간의 슬립이 주

로 생기는 재료는 국부적 변형인 경우 크레이지 (craze : 크레이지란 원래 도기의 표면에서 볼 수 있는 가느다란 금같은 모양을 의미하고 있으며, crack와는 다르다. 크레이지 현상은 고분자특유의 것이며, 미시적인 파괴와 항복의 중간적양상을 띠고 있는 동시에 거시적인 파괴의 선구적 현상이라고 말하고 있다)로 되고, 전체적인 변형인 경우에는 塑性變形을 생기게 하므로, 연성적인 재료라고 할 수 있으나 塑性變形의 경우라도 전분자쇄가 동시에 응력방향으로 향하는 경우는 없고, 먼저 배향한 일부의 분자쇄가 우선 외력을 분담하게 된다. 따라서 이점에서 이미 분자적 입장에서서의 응력불균일이 생기게 된다. 또 결정영역과 무정형영역의 분자쇄에도 외력을 분담하는 값에 차이가 생긴다.

(6) 더욱 응력을 증가하면 긴장되었던 일부의 분자쇄 (taut-tie molecule)는 절단을 시작한다. 절단의 동적인 과정은 일반적으로 응력의존형의 속도 과정으로 생각되며 그 빠르기 R 는

$$R = W_0 \exp\left(-\frac{\Delta F - \alpha \sigma}{k T}\right) \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 ΔF 는 활성화에너지, α 는 應力集中係數을 포함한 활성화체적, σ 는 외부응력, k 는 Boltzmann 상수, T 는 절대온도, W_0 는 분자의 格子振動數이다.

(7) 외력의 부하를 더욱 증가하면, 먼저 긴장된 분자쇄가 절단됨에 따라 연속적으로 새로 긴장된 분자쇄가 절단되어간다. 절단된 분자쇄가 많아지면 마이크로보이드 (micro void)로 변화한다. 마이크로보이드가 형성되면 그 주위에서는 분자쇄의 운동이 자유로이 되므로 슬립이 생기게 되고, 다시 분자쇄의 절단이 계속되기도 하고 혹은 마이크로보이드끼리 접근하게 되어 보이드가 크랙 (crack)으로 성장한다.

(8) 거시적인 파괴의 개시에는 1개의 큰크랙이 있으면 충분하다. 크랙은 그 선단에서 분자쇄 혹은 분자쇄간의 결합을 절단하면서 진행한다. 이미 형성되어있는 마이크로보이드는 크랙의 진행을 더욱 용이하게 한다.

(9) 재료중에 거시적인 응력집중을 나타내는 이물(구멍, 불순물등)이나 결함이 존재하면 (5)-(7)까지의 과정은, 그 주위에서 국부적으로 진행되고, 분자쇄의 절단 혹은 마이크로보이드는 용이하게 크랙화한다. 이상의 과정에서 알 수 있는 바와 같

이 결국 외력에 의해 크랙이 발생되어 고분자는 거시적파괴에 이르게 된다.

③ 고분자재료의 절연강도와 기계적스 트레스

여기서는 결정성고분자중 그 結晶化度 및 延伸度를 변화시킨 PET (Polyethylene Terephthalate) 시료에 압축응력이 가해졌을 경우 그 절연강도특성의 변화에 대해 간단히 살펴보기로 한다.

그림 4는 無定形PET (A시료), 一軸延伸PET (B시료, 연신비 3.3) 및 二軸延伸PET (C시료, 연신비 3.3×3.9)에 대하여 열처리를 행하였을 경우의 결정화도의 변화를 나타내고 있다^{8),10),11)}. 그림에

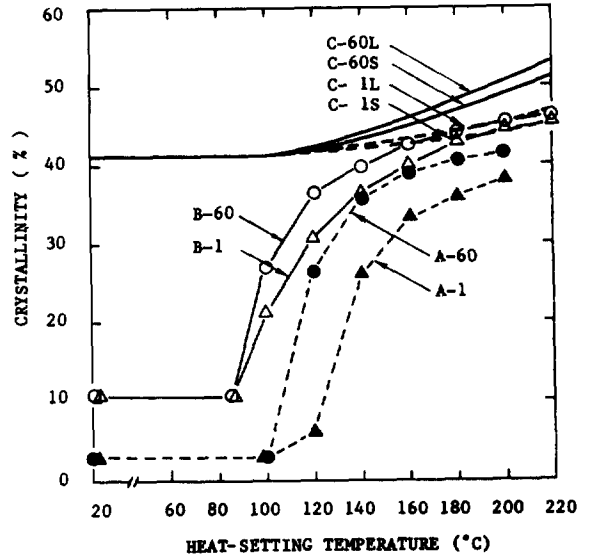


그림 4. 熱處理溫度—結晶化度の 變化

서 첨자 "1" 및 "60"은 열처리시간(분)을 나타내며 C시료의 L 및 S는 열처리후 각각 서냉 및 급냉한 경우를 나타내고 있다. 그림에서 PET의 결정화도는 약 100°C 이후에서 변화하기 시작함을 알 수 있으며 A 및 B시료는 180°C의 이후에서 거의 포화상태에 도달하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 이 PET 시료의 최대결정화도는 약 60%로 알려져 있다.

그림 5는 A, B 및 C를 편광현미경으로 관찰했을 경우의 구멍을 나타내고 있다. A시료의 경우는 정상적인 구형의 구멍이 형성되고 있으며, B의 경우는 연신방향과 90° 방향으로 타원형의 구멍이 형성되고 있음을 알 수 있다¹⁰⁾. 한편 C시료

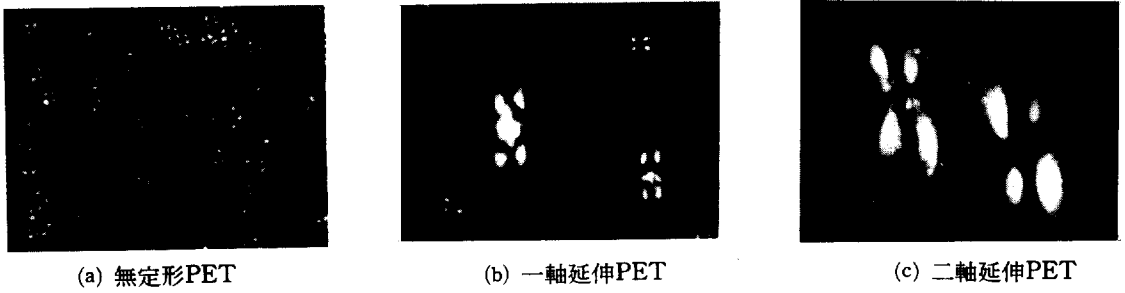


그림 5. 편광현미경으로 관찰한 PET의 球晶

에서는 섬유상구조의 결정이 연신되면서 성장하고 있다고 추측된다.

그림 6 과 7 은 연신을 행하지 않은 무정형고분자인 A시료에 대하여 140, 180 및 200℃에서 각각 1분 및 60분간 열처리한 후 냉각한 시료를 매 30 회씩 絶緣破壞強度試驗을 행하였을 경우의 결과를 나타내고 있다⁹⁾. 이들 그림에서 알 수 있는 바와 같이 열처리시간이 길어질수록 안정된 절연강도 값을 나타내며 180℃까지 열처리한 시료에 대하여서는 결정화도가 증가하면 절연강도 값이 증가함을 알 수 있다. 그러나 200℃에서 열처리한 시료는 구정이 과대성장하여 구정상호간에 경계면을 형성하면서 많은 결함이 생긴 결과 절연강도 값이 저하한다고 생각된다.

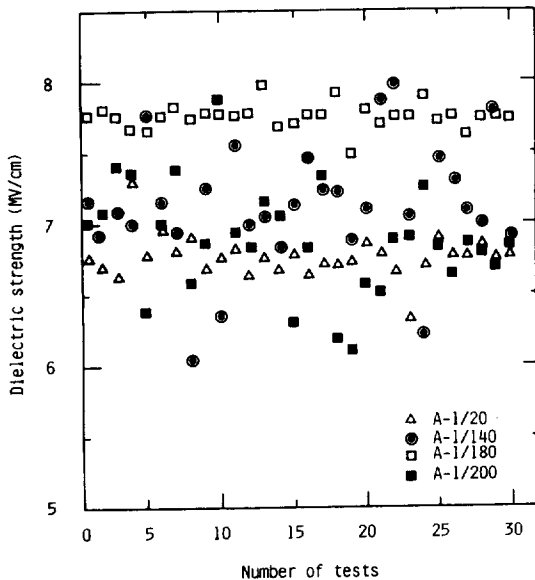


그림 6. 140, 180 및 200℃에서 1분간 熱處理한 PET의 絶緣強度(實驗回數: 30回)

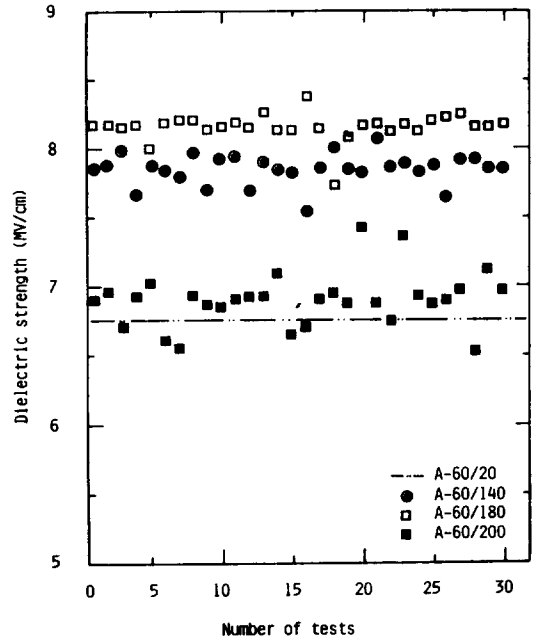


그림 7. 140, 180 및 200℃에서 60분간 熱處理한 PET의 絶緣強度(實驗回數: 30回)

그림 8, 9 및 10 은 A, B 및 C시료에 대하여 100~220℃의 온도범위에서 60분간 열처리한 시료를 냉각후 상온에서 機械的壓縮應力을 가하였을 경우의 시료의 절연강도 값의 변화를 나타내고 있다^{9),10),11)}. 이들 그림에서 일반적으로 압축응력이 증가하면 절연강도 값은 일단 증가한 후 감소하는 특성을 나타내고 있으며, 증가 및 감소부분은 각각 시료의 탄성 및 항복영역에 상당한다고 생각되고 있다^{6),7)}. 한편 彈性領域內에서의 압축응력의 증가에 대한 절연강도의 상승은 다음과 같이 생각할 수 있다.

$$E_B = (2 J h \nu)^{0.5} / q \cdot \lambda \quad (2)$$

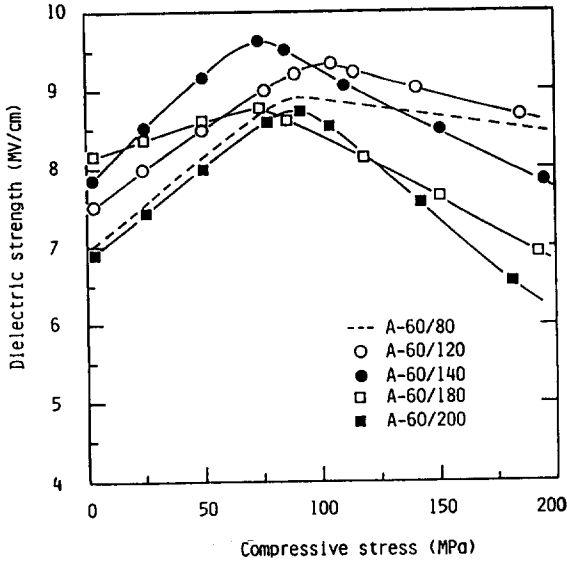


그림 8. 未延伸PET의 壓縮應力下에서의 絶緣强度特性

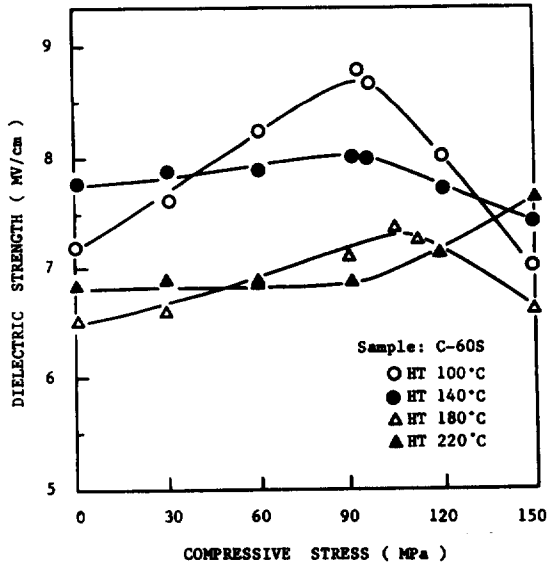


그림 10. 二軸延伸PET의 壓縮應力下에서의 絶緣强度特性

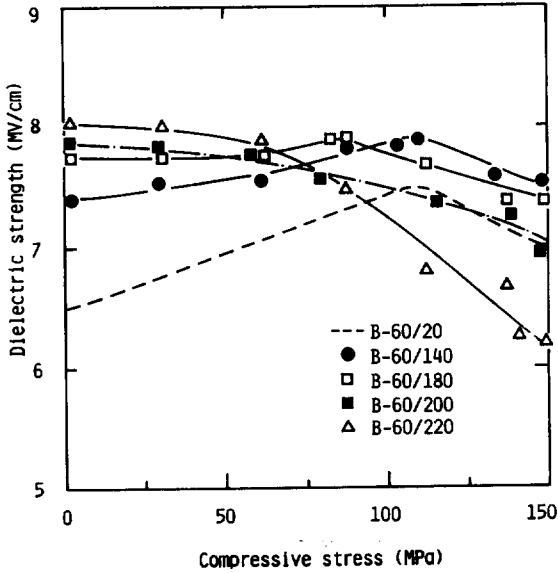


그림 9. 一軸延伸PET의 壓縮應力下에서의 絶緣强度特性

여기서 E_B 는 시료의 절연강도, J 는 시료의 격자나 고분자구조의 이온화에너지이며, h 는 Plank 상수, v 는 격자의 진동주파수, q 는 전하, λ 는 전류캐리어(current carrier)의 平均自由行程(mean free path)이다. 이 식에서 λ 외의 값은 모두 상수이며 또 λ 자신은 외부의 압축응력에 대하여 감소하므로 결국 시료의 절연강도 E_B 가 증가한다고 생각된다. 그러나 항복영역에서는 2.5

절에서 설명한 crack 등의 발생에 의해 절연강도가 저하한다고 볼 수 있다. 한편 그림 8, 9 및 10에서 볼 수 있는 바와 같이 결정화도가 증가하면 최대절연강도를 나타내는 압축응력의 값이 낮아지는 경향을 나타내는 것은 2.4 절에서 설명한 바와 같이 결정화도가 증가하면 脆性を 띠게 되기 때문으로 생각된다. 특히, 非等方的機械的性質을 가진 일축연신한 B시료가 결정화도가 증가하면 최대절연강도 값을 나타내는 압축응력의 값이 가장 심하게 저하하는 이유는 그림 11에서 볼 수 있는 바와 같이 압축응력하에서 내부크레이지가 발생하기 때문으로 생각되고 있다. 그러나 2축연신한 C시료에서는 등방적인 기계적성질 때문에 기계적성질이 우수하고 크레이지 발생이 억제되어 최대 절연강도를 나타내는 압축응력의 값도 결정화도의 증가와 더불어 증가하는 경향을 나타내고 있다고 생각된다.

4 結 論

기계적응력하에서의 고분자재료의 절연강도특성은 시료의 종류, 시료의 기계적 특성 및 기계적응력의 조건등의 주변조건에 따라 크게 변화하지만, 高分子内部構造의 변화에 기인한 絶緣破壞機構의 변화를 고찰함으로써 어느정도 이방면의 해석이 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) R.Cooper, BR varlow and J.P.White, "The Effect of Heat Treatment on Some Electrical Properties of Polythene", J.Phys.D: Appl. Phys., Vol.10, pp.1521-1529, 1977
- 2) P.J.Philips, "Morphology-Electrical Property Relations in Polymers", IEEE Trans. Vol. EI-13, pp.69-81, 1978
- 3) K.Yahagi, "Dielectric Properties and Morphology in Polyethylene", IEEE Trans. Vol. EI-15, pp.241-250, 1980
- 4) J.F.Morel, P.N. Dung and J.C.Joly, "Thermal Aging of Biaxially Oriented PET Films: Relation Between Structural Change and Dielectric Behavior", IEEE Trans. Vol.EI-15, pp.335-339, 1980
- 5) S.N.Koesov, "The Influence of Morphology on the Electric Strength of Polymer Insulation", IEEE Trans., Vol.EI-15, pp.382-388, 1980
- 6) C.H.Park, T.Kaneko, M.Hara and M.Akajaki, "Effect of Mechanical Stresses on the Dielectric Strengths of PET and FRP", IEEE Trans., Vol.EI-17, pp.234-240, 1982
- 7) C.H.Park, M.Hara and M.Akazaki, "Effects of Temperature and Voltage on Dielectric Breakdown Strengths of PET and FRP under Mechanical Stresses", IEEE Trans., Vol.EI-17, pp.546-553, 1982
- 8) C.H.Park, K.Okajima, M.Hara and M.Akazaki, "Effect of Heat Treatment of Dielectric Strength of PET under Compressive Stress", IEEE Trans., Vol.EI-18, pp.380-389, 1983
- 9) M.Hara, C.H.Park, T.Kaneko and M.Akazaki, "Dielectric Strength of PET and GERP under Mechanical Stresses at Room and Cryogenic Temperatures", 4th Inter.Sympo. on High Voltage Eng.Paper No.23.04, 1983
- 10) M.Hara, C.H.Park and M.Akazaki, "Effect of Heat Treatment and Mechanical Stresses on the Dielectric Strength of Uniaxially Drawn PET Film", IEEE Trans. Vol.EI-19, pp.273-280, 1984
- 11) C.H.Park, D.J.Kwak and M.Hara, "Some Dielectric and Mechanical Properties of Heat Treated Biaxially Drawn PET Films", IEEE Trans. to be Published, 1985