

제정 기술표준원고시 제2001 - 27호 (2001. 2. 14)
개정 기술표준원고시 제2003 -523호 (2003. 5 .24)

전기용품안전기준

K 60216-1

[KS C IEC 2002]

전기절연재료의 내열성 결정지침

제1부: 노화절차 및 시험결과 평가 지침

목 차

제1절 - 일반사항	2
1. 범위	2
2. 일반 고려할 사항	2
3. 평가 원칙 및 정의	3
4. 시험절차의 선택 - 일반 지침	4
제2절 - 실험 절차	5
5. 끝점의 선택	5
6. 시료의 준비	5
7. 초기 특성값 및 시료 개수의 확정	6
8. 노출 온도 및 시간	7
9. 노화 오븐	8
10. 환경 처리	8
11. 절차	9
제3절 - 평가	11
12. 시험 결과의 분석과 내열성 특성의 결정	11
13. 통계적 요건을 충족하지 못하는 시험 데이터의 처리 및 표현	14
14. 시험 보고서	15
표 I	16
(그림)	17
부속서 A	20
부속서 B	21
부속서 C	22
부속서 D	23

전기절연재료의 내열성 결정지침

제1부: 노화절차 및 시험결과 평가 지침

KS C IEC
60216-1:2002
(IEC 60216-1:1990, IDT)

Electrical insulating materials - Properties of thermal endurance - Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results

서론

이 규격은 1990년에 제4판으로 발행된 IEC 60216-1 (Electrical insulating materials - Properties of thermal endurance - Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results) 을 번역해서 기술적인 내용 및 규격서의 서식을 변경하지 않고 작성한 한국 산업 규격이다.

전기 절연물질의 내열성을 결정하고 표현하는 IEC방법은 명확한 것으로 알려져 있으며, 다음과 같이 설명할 수 있다.

- 사용 경험을 토대로 하여 광범위하게 사용된 물질의 열 능력에 대한 원래(이전)의 목록은 폴리머와 전기 절연 기술의 급격한 발전으로 인하여 더 이상 만족스럽지 못하다.
- 시험 절차는 물리적 모델의 타당성을 검증할 수 있도록 개발되었다. 물질에 대한 전체 시험 프로그램은 특정 지점에 특징적인 온도 지수(TI)를 생성한다. 또 다른 방법으로써 비교 시험은 알려진 기준 물질과 비교하여 시험 물질의 성능을 특성화하는 상대 온도 지수(RTI)를 생성한다. RTI는 본래 사용 경험으로부터의 특정 입력에 의하여 제공되었다. 그 밖의 특징은 실험실간의 재현성을 향상시키는 것이다.
- 특정 지점의 표현이 물질의 내열성 관계를 완벽하게 설명해 주지는 않는다. 따라서, 내열 분포(TEP)라고 하는 복합 지수를 IEC Publication 216-1의 2판에 소개하였다. 이는, 내열 그래프의 기울기와 시험 데이터의 신뢰성이 모두 중요하고 관련이 있다는 것을 깨닫게 되었기 때문에 도입된 것이다.
- 통계적 신뢰성을 표현하는 지수를 포함시키는 것은 실질적으로 중요하지 않기 때문에, 현판에서는 시험 데이터의 신뢰성에 대한 검증을 유지하면서 두 지수(TI와 RTI)에만 중점을 두고 있다. 내열 그래프의 기울기는 쉽게 이해할 수 있는 2등분 구간(HIC)으로 명확하게 제공되고 있다. 따라서 TEP를 삭제해도 된다.

비고, - 2판의 내열 분포(Thermal Endurance Profile, TEP)에 대해서는 부록 D를 참조한다.

IEC Publication 216은 5개의 부로 구성되어 있다.

1부: 노화 절차 및 시험 결과 평가의 일반 지침

2부: 시험 기준의 선택

3부: 내열성 산출 지침

4부: 노화 오븐

5부: 내열성 적용 지침

관련 통계 방법은 IEC Publication 493에 수록되어 있다.

비고 - 이 작업은 지속될 수 있다. 개정된 부분을 찾으려면, 최신 IEC Publication의 현재 카탈로그를 참조한다.

제1절 - 일반사항

1. 범위

본 규격은 전기 절연물질과 단순 조합된 절연 물질의 내열성을 평가하기 위한 시험 절차의 원칙을 제공한다. 또한 각종 시험 중에 준수해야 할 조건을 설명하고, 시험 결과로부터 온도 지수, 상대 온도 지수, 2등분 구간을 유도하는 기본 분석 방법을 제공한다. 내열성 관계의 선형성과 분산 요건을 완벽하게 충족하지 않는 시험 데이터가 있을 경우에는 주의를 기울여야 한다.

비고 - 본 표준의 나머지 부분에서, 용어 “절연물질”은 항상 “절연물질과 단순 조합된 절연물질”의 의미로 사용된다.

2. 일반 고려할 사항

내열성 시험은 상층 온도(elevated temperature)에서 연장된 노출이 절연물질 특성을 얼마나 비가역적으로 저하시키는 지 알아내는 시험이다. 이러한 전기적 및 기계적 특성은 실제 작동시 적합한 절연 기능에 영향을 미치므로 매우 중요하다. 또한 이 특성은 열 노화로 인해 악화될 수 있다.

비고 - 그러나, 열 노화 없이 온도에 따라 가역적으로 변하는 다른 특성은 단독으로 또는 조합을 통하여, 실제로 한계 인자가 될 수 있다. 이런 경우, 내열성 시험의 범위에 속하지 않는 다른 평가 방법을 적용한다.

현재 관례에 따라, 절연물질의 내열성은 예상 온도 지수보다 높은 3개 이상의 노화 온도에 노출시켜 평가한다. 이러한 노출 결과는 어느 정도의 특성 변화에 걸린 시간의 로그(logarithm)와 열역학 (절대) 온도의 역수 사이의 선형 (Arrhenius) 관계로 설명할 수 있다. 부록 A를 참조할 것.

선형 관계 또는 내열 그래프에서 그래픽 평가에 기반한 산출은 노출 온도 범위 내와 외부에서 내열 시간을 평가하는데 사용된다.

내열 관계는 해당 온도 범위에서 비선형적인 경우가 종종 있다. 이러한 관계를 잘 확립한다면, 물질의 열 능력을 평가할 수 있다. 부록 C와 7, 8, 13절을 참조한다.

열 노화를 거친 물질의 특성은 동일한 비율로 악화되지 않는다. 결과적으로, 어떤 물질에는 서로 다른 특성의 측정 값에서 유도한 하나 이상의 내열 지수가 지정될 수 있다. 예를 들면, 각기 다른 특성을 가진 측정. KSC IEC 60216-2 참조.

내열성이 물질에 대한 지침을 제공하는 동안 사용중인 절연 시스템의 온도와 성능 사이의 관계를 예측하는데 사용

되지 않을지라도, 이 관계를 별다른 이유 없이 사용하는 경우가 있다. 이것은 다른 시험 또는 사용 경험에 의해 어떠한 관계가 확립되었을 때 물질의 내열성은 동작 온도에만 관계되어야 한다는 것을 강조하는 것이다. KSC IEC 60216-5와 다음 발행물을 참조한다.

- IEC 60085
- IEC 60505
- IEC 60611

3. 평가 원칙 및 정의

본 지침에 포함된 시험 절차는 전기 장비의 특정 부품으로 식별된 절연 구조로 조립하기 전 절연물질과 단순 조합된 절연물질에 적용한다.

이러한 물질 시험과 절연 시스템의 성능 평가 시험은 두 가지 주된 이유로 구별할 필요가 있다. 첫 번째는, 어떤 물질의 개별 사용에 대한 세부사항을 제조자가 알 수 없다는 것이고, 두 번째는, 절연 시스템의 성능을 구성 물질의 성능으로부터 예측할 수 없다는 것이다.

본 지침에 포함된 절차는 전자 제품 제조자에게 물질의 평가 및 적용을 위한 선택 지침을 제공하는 물질의 장기 특성에 대한 정보를 제공해 준다.

비고. - 광범위하게 사용된 물질에 대한 시험 결과는 편리하게 참조할 수 있도록 IEEE Trans. EI.Ins. vol. EI-17 (1982) No.1, pp. 53-63에 자료화되어 있어서, 신물질과 기존물질을 비교할 수 있다. 이 자료집은 정기적으로 갱신할 필요가 있다.

다음의 정의를 적용한다.

1) 온도지수(Temperature index) (TI)

특히 규정하지 않는 한, 주어진 시간 즉, 20,000시간에서 내열 관계로부터 유도한 온도(단위: °C)에 해당하는 숫자

2) 상대 온도지수(Relative temperature index) (RTI)

두 물질이 비교 시험에서 동일한 노화와 진단 절차를 거쳤을 때, 기준 물질의 알려진 온도 지수에 해당하는 시간으로부터 얻은 시험 물질의 온도 지수 (그림 3 참조).

3) 2등분 구간(Halving interval) (HIC)

TI 또는 RTI의 온도에서 취한 끝점 도달시간의 반(1/2)을 나타내는 온도 간격(°C)에 해당하는 숫자

4) 내열 그래프 (Thermal endurance graph(Arrhenius graph))

내열성 시험에서 규정된 끝점에 도달하는 시간의 로그와 열역학 (절대) 시험 온도의 역수를 그린 그래프

HIC의 편차는 12.2절에 명시되어 있다. HIC는 내열 그래프 기울기의 대략적인 척도이다. 부속서 B 참조.

절연물질의 열 평가에 대한 표준 절차는 단계별로 구성되어 있다. 이 단계 중 일부는 TI나 RTI를 결정해야 하는지에 따라 다소 달라진다. 이 단계는 별표(asterisk)로 표시되며, 그 차이는 참조를 기술한 절에서 설명한다.

- a)* 특성 측정에 적합한 시료를 준비한다. 6절과 7절 참조.
- b)* 시료가 표준 온도(대개 실온)로 복귀하는 기간 동안 연속적 또는 주기적으로, 일부 고정된 레벨의 상층 온도에서 시료 균을 노화시킨다. 8절 참조
- c) 노화 정도를 나타내기 위하여 시료에 진단 절차를 실시한다. 진단 절차는 특성의 비파괴적 또는 파괴적 결정 또는 잠재적으로 파괴적 보증 시험이 될 수 있다. 5절 참조할 것.
- d) 규정된 끝점, 즉 시료의 고장 또는 규정되어 있는 측정된 특성의 변화 정도에 도달할 때까지 일정한 열 노출 또는 열 사이클링을 계속한다. 5절과 8절을 참조할 것.
- e) 노화 절차(연속적 또는 주기적)와 진단 절차(항목 c) 이하 참조)의 종류에 따라 시험 결과(노화 곡선, 또는 각 시료에 대해 끝점 도달 시간 또는 사이클의 수)를 보고한다. 12.3절 참조할 것.
- f)* 데이터를 수치적으로 평가하고, 12절과 13절에서 설명한 대로 이 데이터를 그래프로 나타낸다.
- g)* 온도 지수와 2등분 구간 또는 상대 온도 지수와 2등분 구간을 사용하여 12절에서 설명한 약식 숫자 형태의 전체 정보를 표현한다.

보증 시험, 비파괴적 및 파괴적 기준을 사용한 전체 시험 절차의 요약 예가 11절에 명시되어 있다.

4. 시험 절차의 선택 - 일반 지침

4.1 일반 고려할 사항

각 시험 절차는 형상, 치수, 시료의 수, 온도, 노출 시간, TI 또는 RTI와 관련된 특성, 결정 방법, 끝점, 실험 데이터의 내열성의 편이를 규정한다.

가능한 경우, 선택한 특성의 실제 사용시 특히 RTI를 유도할 경우, 물질의 기능에 반영한다. 특성의 선택 지침은 KSC IEC 60216-2에 명시되어 있다.

균일한 조건을 제공하기 위하여 시료를 오븐에서 제거 후와 측정하기 전 시료의 조절을 규정해야 한다.

4.2 TI 결정을 위한 구체적인 지침

IEC 물질 규격을 적용할 수 있을 경우, 일반적으로 TI값의 제한에 대한 특성 요건이 주어진다. 이러한 물질 규격을 적용할 수 없을 경우, 내열성 평가 방법과 특성 선택 지침이 KSC IEC 60216-2에 명시되어 있다. (이러한 방법을 이용할 수 없다면, 국가 또는 단체 표준 또는 특별히 고안된 방법을 열거한 순서대로 사용한다.)

4.3 RTI 결정을 위한 구체적인 지침

RTI를 결정할 때는, 선택한 기준 물질, 기준 물질의 내열성 및 내열성 결정 방법이 매우 중요하다.

기준 물질은 충분한 사용 이력이 있는 물질이어야 한다. 시험 물질과 동일한 형식(IEC 절연물질 규격과 동일한 발행번호 또는 KSC IEC 60216-2, 표 I에 있는 동일한 물질 그룹)이어야 한다. RTI 시험에 사용된 것과 동일한 또는 최소한 합리적으로 유사한 특성과 끝점에 대한 온도 지수를 알고 있어야 한다. 기준물질의 TI와 HIC는 RTI 시험에서 시험 물질에 대해 예상값과 거의 동일해야 한다.

제2절 - 실험 절차

5. 끝점의 선택

물질의 내열성은 절연 시스템 내 특별 적용 측면에서 물질의 적절한 선택을 용이하게 하기 위해 선택한 특성과 선택한 끝점에 의존하는 서로 다른 내열성 데이터로 특성화할 필요가 있다. KSC IEC 60216-5 참조할 것.

끝점을 정의하는 방법에는 두 가지가 있다.

- a) 원래 레벨에서 측정값의 증가율 또는 감소율. 이 접근방식은 물질을 서로 비교할 수 있지만, 항목 b)보다 정상 사용시 필요한 특성값에 대한 관계는 열악하다. 원래 값의 절대값을 보고한다. 결정은 7절을 참조한다.
- b) 특성의 고정값. 이 값은 정상 사용 요건의 경우 선택할 수 있다. 보증 시험(주기적 노화)의 끝점은 특성 고정값의 형태로 제공된다.

끝점은 절연 시스템에서 실제 사용시 발생할 수 있는 응력에 대한 내성 능력을 감소시키는 절연 물질의 악화 정도를 나타내기 위해 선택한다. 시험의 끝점으로 나타낸 저하 정도는 사용시 원하는 물질 특성에 대한 허용 가능한 안전값과 관련되어야 한다.

6. 시료의 준비

노화 시험에 사용한 시료는 조사한 모집단(population)에서 임의 샘플로 구성되며 균일하게 처리한다.

물질 규격 또는 국제 시험 표준에 시료 준비에 필요한 모든 지침이 포함되어 있다.

시료의 두께는 내열성 결정을 위한 특성 측정의 목록에 규정되어 있다. KSC IEC 60216-2를 참조한다. 그렇지 않을 경우, 두께를 보고해야 한다. 일부 물리적 특성(예를 들어, 유연성 있는 강도)은 시료 두께의 미미한 변화에도 민감하다. 이러한 경우에, 각 노화기간 후 두께를 결정할 필요가 있으며 관련 규격에서 요구할 경우, 이를 보고해야 한다.

또한, 노화 속도가 두께에 따라 변하기 때문에 두께는 상당히 중요하다. 두께가 서로 다른 물질의 노화 데이터는 항상 비교할 수 없다. 결과적으로, 어떤 물질에는 서로 다른 두께에서 특성을 측정하여 유도한 하나 이상의 내열성을 지정할 수 있다.

시료 치수의 허용차는 일반 시험에 사용된 것과 동일해야 한다. 시료 치수가 정상적으로 사용된 것보다 더 작은 허용차를 요구할 경우, 특별 허용차를 제공해야 한다. 차폐 측정은 시료의 품질이 일정하고 시험할 물질이 대표한다는 것을 보장한다.

처리 조건은 일부 물질의 노화 특성에 상당한 영향을 미칠 수 있기 때문에, 예를 들어, 샘플링 공급 롤에서의 절단

시트, 주어진 방향으로 이방성 물질의 절단, 성형, 경화, 전처리가 모든 시료에 대해 동일한 방법으로 실시된다는 것을 보장해야 한다.

위의 고찰사항은 RTI 결정시 특히 중요하다. 양 물질의 시료는 동일한 두께로 시험해야 한다.

7. 초기 특성값 및 시료의 개수의 확정

내열성 시험 결과의 정확성은 각 온도에서 노화된 시료의 수에 따라 크게 달라진다. 적합한 시료의 수에 대한 지침은 KSC IEC 60216-3-3에 명시되어 있다. 일반적으로 다음의 7-2 ~ 7-4 지침을 적용하며, 이는 11절에 명시된 시험 절차에 영향을 미친다.

예비 시료를 준비하거나 그렇지 않을 경우 적어도 원래 물질의 일부를 보존하는 것이 좋다. 왜냐하면 시료를 나중에 준비할 수도 있기 때문이다. 이러한 경우에서, 예측하지 못한 문제가 발생한 경우 예비 시료의 필요한 노화가 시료 군의 계통적 차이를 생성할 위험을 최소화한다. 이 문제는 예를 들어 내열성 관계가 비선형적인 것으로 판명 나는 경우, 또는 시료가 오븐의 열 방출로 인해 손실된 경우 발생할 수 있다.

7.1 초기 특성값의 결정

초기 특성값을 결정하기 위하여 전체 모집단에서 임의 샘플을 구성한 시료를 선택한다. 특성값을 결정하기 전에, 이 시료를 2일 동안 시험의 노화 온도의 최저 수준으로 노출시켜 처리해야 한다(8절 참조). 진단 특성을 결정하기 위한 방법에서 별도로 상술하지 않은 경우(예를 들어, 시험 방법 또는 KSC IEC 60216-2에 기재된 방법을 다루는 절연 규격의 부품), 초기값은 시험 결과의 산술 평균이다.

7.2 파괴 시험 기준에 대한 시료의 수

이 수 N은 다음과 같이 유도한다.

$$N = a \cdot b \cdot c + d$$

여기서

a : 특정 온도에서 동일한 처리를 거쳐 특성 결정 후 폐기한 군의 시료의 수이다(대개 5개).

b : 처리(즉, 특정 온도에서 노출 길이)의 수

c : 노화 온도 레벨의 수이다.

d : 초기 특성값을 확정하는데 사용한 그룹의 시료의 수이다. 진단 기준이 초기 레벨에서 특성의 변화율일 경우 $d=2a$ 를 선택한다. 기준이 절대 특성 레벨일 경우, d는 z의 값이다.

7.3 보증 시험 기준을 위한 시료의 수

대부분의 경우, 각 노출 온도에 대해 최소한 11개 시료 그룹이 필요하다. 그래픽 편차의 경우와 일부 다른 경우에서 데이터의 처리는 각 그룹의 수가 홀수이면 더 단순화할 수 있다. KSC IEC 60216-3-3에 더 상세한 지침이 제공되어 있다.

보증 시험 기준이 초기 특성값을 토대로 하는 경우 이는 각 시험 그룹에의 시료의 수의 최소 2배의 시료 그룹에서 결정해야 한다.

7.4 비파괴 기준에 대한 시료의 수

각 노출 온도에 대해 5개의 시료 그룹이 적당하다. 이에 대해 KSC IEC 60216-3-1에 더 상세한 지침이 제공되어 있다.

8. 노출 온도 및 시간

TI 또는 RTI를 결정해야 하는지에 따라 노출 온도와 시간 선택에 서로 다른 지침을 적용한다. 후자의 경우 이미 기준 물질의 전체 노화 시험의 기록이 마련되어 있다. 노화 절차는 기준 물질의 알려진 관계에 대한 시험 물질의 내열성 관계를 확립하기 위한 것이다.

TI 결정의 경우, 최소한 3개의 시료를 노출시켜야 한다. 끝점 도달시간과 열역학 (절대) 온도의 역수 사이의 선형 관계를 확립하는 충분한 범위를 포함하는 네 가지 온도를 권고한다. TI의 그래픽 평가의 경우, 네 가지 온도가 필요하다. RTI 결정의 경우 세 가지 레벨의 노화 온도를 수용할 수 있다.

적합한 내열성을 산출할 때 오차를 줄이려면, 열노출의 전체 온도 범위를 선택할 필요가 있다. 다음 지침을 준수해야 한다.

- a) TI를 결정할 때 최저 노출 온도는 5000시간 이상의 끝점에 대한 평균 또는 중앙값이 되는 온도이어야 한다. RTI 결정의 경우, 끝점 평균 또는 중앙 도달시간은 기준물질과 시험물질 모두 2000시간을 초과해야 한다.

TI를 결정하는데 필요한 외삽은 25K를 초과해서는 안 된다. RTI를 유도하기 위해 더 큰 외삽 여유가 허용된다.

- b) 최대 노출 온도는 최소한 100시간의 끝점 도달 중앙 시간이 되는 온도이어야 한다.
- c) 선택한 노출 온도는 시험의 전체 온도 범위가 동일한 노화 메커니즘을 생성할 것으로 예상될 경우, 일반적으로 20K 정도 동일한 간격만큼 달라야 한다. 이 규칙이 메커니즘의 변화를 가져올 경우, 예를 들어 용해 또는 연화 같은 전이점이 예상될 때, 최대 노출 온도를 제한할 필요가 있다. 이러한 경우, HIC의 값이 알려져 있거나 10K 이하로 예상될 때, 노화 온도의 레벨 차를 감소시켜야 한다. 그러나 10K 이하가 되어서는 안 된다.
- d) 노출 온도의 선택에는 시험할 물질의 상대 온도 지수 또는 온도 지수의 대략적인 값을 사전에 평가하는 활동이 포함된다. 이 정보를 이용할 수 없을 경우, TI 또는 RTI 값을 예측하기 위하여 예비 차폐 시험을 실시할 수 있다.
- e) 노출 시간에 대해서는 다음을 구별하도록 권고한다,

- 주기적 또는 연속적 노화
- 악화 정도의 결정을 위한 파괴적, 비파괴적 및 보증 시험

보증 시험과 비파괴 시험의 경우, 선택한 노출 온도에서 노출된 그룹간 처리, 시험, 열 사이클의 차에 의해 유발된 오차를 최소화해야 한다. 오차를 최소화하려면, 사이클 길이를 선택하여 끝점 평균 또는 중앙 도달시간이 최소한 9 사이클 이상, 약 10 사이클에 도달하도록 한다.

비파괴 시험의 경우, 39페이지 표 I에서 일정한 사이클 길이를 제안하고 있지만, 시험 시간 다음 기하학적 수열을 사용할 수 있다.

파괴 시험의 경우, 각 시험된 그룹의 노화는 연속적이므로, 서로 다른 노화 온도에서 끝점 평균 도달시간이 표 I에 명시된 사이클 길이의 동일한 배수가 될 필요는 없다. 그러나, 각 온도(7.2절 참조)에서 계획한 시료 그룹의 수는 최소한 10이어야 한다. 시험 그룹간 시간 간격은, 최소한 두 그룹의 시료의 결과를 끝점 평균 도달시간 전에 이용할 수 있도록 계획한다. 이 간격의 시간에 따른 특성 변화 속도는 선형적이어야 한다. 11.3절과 KSC IEC 60216-3-2를 참조한다.

표 I은 내열성 시험을 계획할 때 노화 온도와 사이클 기간의 선택을 제공한다. 추정 TI 또는 RTI에 해당하는 표 I의 열은 각각의 열의 맨 위에 있는 오븐 온도에서 일일 단위의 제안된 노화 시간을 보여준다. 노화 시험의 초기 결과는 노화 사이클 또는 온도의 조정의 동기를 제공한다.

11절은 보증 시험, 비파괴적 또는 파괴적 기준을 사용하여 진행하는 방법에 대한 관련 세부 지침을 제공한다.

- f) 순차적인 절차는 알려지지 않은 물질을 시험할 때 적합하다. 이러한 경우, 준비한 시료의 반을 노화 오븐에 위치시키고 권장 수열의 두 번째나 세 번째 노출 사이클 후 측정을 실시하는 것이 편리하다. 몇 회의 사이클을 실시한 후, 나머지 시료를 오븐에 위치시킬 수 있고, 노화 곡선/특성 변화 곡선의 지점(그림 1 참조)을 확정하는데 필요한 것으로 인정된다.

또한, 순차적 절차는 평가의 정확성이 노화될 추가 시료에 필요한 경우, 예를 들어, 내열성 관계가 비선형적인 경우 적합하다. 완료 후에 원래의 시험 프로그램을 연장하도록 결정을 내린다면, 전체 절차의 기간은 금지할 수 있다. 대신, 내열성 관계의 추세는 원래 프로그램의 최저 노화 온도에서 첫 번째나 두 번째 불합격 후 대략적으로 평가할 수 있다. 비선형성이 예상된 경우, 시료의 하나 또는 두 개의 추가 그룹의 하위 온도에서 노화는 허용가능한 시간 한계 내에 완전한 시험 데이터를 즉시 생성하기 위해 시작할 수 있다. 부록 C와 KSC IEC 60216-3과 216-3-3절을 참조한다.

9. 노화 오븐

열 노화 기간 동안, 노화 오븐은 시료가 위치하는 작업 공간의 일부에서 KSC IEC 60216-4-1에 명시된 허용차를 가진 온도를 유지해야 한다.

오븐 내 공기의 환기와 공기 함량의 변화는 열 저하의 속도가 분해물의 축적 또는 산소 고갈에 의해 영향받지 않도록 적절해야 한다.

RTI 결정의 경우, 기준 물질과 시험 물질의 시료는 동일한 오븐에서 동시에 가열해야 한다. 비교가능한 결과를 제공할 수 있는 적합한 시험으로 파악할 수 있다고 가정할 경우, 각 온도마다 오븐을 사용할 수 있다. 어떤 물질의 분해물이 다른 물질에 악영향을 미칠 수 있을 것으로 예상될 경우(예 : 두 물질이 동일한 형태가 아닌 경우), 동일한 오븐에 동시에 노화시켜서는 안 된다. 이러한 경우 오븐이 동일한 고유 공기 입력 특성을 가지고 동일한 공기 속도와 온도(KSC IEC 60216-4-1에 명시된 적합한 보정 기법으로 결정된 대로)로 동작되도록 최대한의 주의를 기울여야 한다.

10. 환경 처리

극한 습도, 화학적 오염 또는 진동과 같은 특수 환경 조건의 영향은 절연 시스템 시험을 통하여 더욱 적절하게 평가할 수 있다. 그러나, 환경 처리, 공기 이외의 대기의 영향, 기름과 같은 액체의 담금이 중요할 수 있다.

10.1 노화중 대기 조건

노화는 대개 통제되지 않은 실험실 대기에서 동작하는 오븐에서 실시한다. 오븐에서 습도에 민감한 물질의 경우, 노화 오븐실의 절대 습도를 통제하고 KSC IEC 60212에 따라 표준 조건 B의 습도와 동일한 경우 더욱 신뢰성 있는 결과를 얻는다. 그리고 이를 보고한다.

11. 절차

본 절은 다음을 사용하기 위한 기본 절차이다.

- a) 보증 시험
- b) 비파괴 시험
- c) 파괴 시험

11.1 보증 시험을 사용하는 절차

규정된 보증 시험(7.3절 참조)에 적합한 시료의 수를 취하고 예비 차폐 시험에서 내성이 있는 것으로 판단된 시료를 취한다. 각 온도에서 주기적인 노출을 위해 임의의 선택하여 동일 그룹으로 나눈다. 하나의 그룹을 9절에 부합하는 각각의 오븐에 두고, 표 1에서 선택한 온도와 가능한 한 근접하게 유지시킨다. 노출 온도와 시간이 8절의 항목 a)와 b)에 명시된 지침을 충족하는지 확인한다.

비고 1. - 각 시험 후 정확한 오븐에 다시 넣기 편하도록 개별 시료를 파악할 것을 권고한다.

2. - 8절 항목 d)에서 상술한 목적을 위해 여분의 보존 시료를 준비하고 추가 레벨의 온도에서 새로운 시료의 노화를 초기에 시작할 수 있도록 주의를 기울인다.

표 I의 온도에 관련된 사이클 간격으로 오븐에서 모든 시료를 제거한다.

각각을 제거한 후, 각 오븐에서 시료를 실온으로 냉각시키고 각각에 규정된 보증 시험을 실시한다.

보증 시험에 내성이 있는 시료를 원래의 오븐으로 전과 동일한 온도에서 복귀시키고, 더 많은 사이클 동안 노출시킨다.

온도 노출 사이클을 계속하여 냉각시키고, 시료의 수(n)가 홀수이면 $(n + 1)/2$ 개의 시료 또는 시료의 수가 짝수이면 $1 + n/2$ 개의 시료가 불합격일 때까지 보증 시험을 계속 적용한다.¹⁾ 결과가 끝점 도달시간이 약 10 기간의 노출에 도달할 가능성이 있음을 보일 경우, 원래 선택한 노출 기간을 변경할 필요는 없다. 결과가 이를 보이지 않을 경우, 사이클 시간의 변화가 네 번째 사이클 전에 이루어진다고 가정했을 때, 이 기간은 중앙 결과를 10 사이클에서 예상할 수 있도록 변경할 수 있다.

12절과 13절에 명시되고, KSC IEC 60216-3-1절과 216-3-3절에 설명되어 있는 결과를 평가하고, 14절에 규정된 대

1) 모든 시료에 대하여 더 완전한 통계 분석(KSC IEC 60216-3-1 참조)이 가능하도록 불합격할 때까지 온도 노출 사이클을 계속할 수 있다.

로 이를 보고한다.

11.2 비파괴 시험을 사용하는 절차

7.4절의 지침을 따르는 시료의 수를 준비한다. 초기 특성값은 7.1절에 규정한 대로 결정한다. 임의 선택한 시료를 노출 온도가 있는 그룹의 수로 나누고, 각 시료를 식별한다.

9절에 부합하는 각각의 오븐에 하나의 그룹을 주기적인 노출 동안 위치시키고, 표 I에서 선택한 온도에 가능한 한 근접하게 유지하여 노출 온도와 시간이 8절의 항목 a)와 b)의 지침(8절의 항목 e)도 참조)을 충족하는지 확인한다.

각 사이클 종료 후, 시료그룹을 각각의 오븐에서 제거하고 실온까지 냉각시킨다.

해당 시험을 각각의 시료에 적용하고, 원래의 오븐으로 전과 동일한 온도에서 복귀시킨 후, 더 많은 사이클 동안 노출시킨다. 측정값이 규정된 끝점에 도달할 때까지 온도 노출 사이클, 냉각, 시험의 적용을 계속하고 끝점을 초과하는 최소한 하나의 포인트를 제공한다.

12절과 13절에 명시되고, KSC IEC 60216-3-1절과 216-3-3절에 설명되어 있는 결과를 평가하여 14절에 규정된 대로 이를 보고한다.

비고. - 11.1절의 주 2를 참조할 것.

11.3 파괴 시험을 사용하는 절차

7.2절에 따라 필요한 시험에 대한 시료의 수를 준비한다. 규정된 시료의 수(= d)를 초기값의 확정을 위해 임의로 선택하고 7.1절의 지침을 준수한다. 초기값의 결정은 실온에서 실시한다.

임의 선택한 나머지 시료를 노화 온도 (= c)의 수에 따라 시료의 그룹으로 나눈다.

하나의 그룹을 9절에 부합하는 각각의 오븐에 위치시키고 연속적 노출을 위해 표 I에서 선택한 온도에 가능한 한 근접하게 유지시킨 후, 노출 온도와 시간이 8절의 항목 a), b), c)에 명시된 지침을 충족하는지 확인한다.

비고. - 11.1절의 주 2를 참조할 것.

지정된 시료의 수(=a)를 임의로 선택하고, 노출 시간이 적합한 순서를 형성하도록 선택한 시간 길이 후 이를 오븐에서 제거한다. 8절의 항목 e)와 f), 그리고 표 I을 참조한다.

각각을 제거한 후, 시료 그룹을 실온까지 냉각시킨다. 온도나 습도에 따라 특성 변화가 현저히 예상되는 물질의 경우, 별도로 규정하지 않는 한 시료를 KSC IEC 60212의 표준 대기 B에서 하루밤 동안 처리한다. 시료를 시험하고, KSC IEC 60216-3-2 또는 개별 물질 규격에 명시된 노출 시간에 대한 결과(또는 적합한 변형)의 산술 평균을 그린다. 이 예가 그림 1에 표시되어 있다. 끝점에 해당하는 시간을 결정한다. 이 결과가, 끝점이 No.3~8 기간 중 하나 후 도달할 가능성이 있음을 보일 경우, 원래 선택한 노출 기간을 변경할 필요는 없다. 이 기간 후 결과가 그림 1의 것보다 훨씬 더 높은 것으로 나타나면, 시료의 10번째 그룹을 시험할 때 평균 결과가 끝점을 초과하도록 기간을 증가시키는 것이 필요할 수도 있다.

12절과 13절에 명시되고, KSC IEC 60216-3-1절과 216-3-3절에 설명되어 있는 결과를 평가하여 14절에 규정된 대

로 이를 보고한다.

제3절 - 평가

12. 시험 결과의 분석과 내열성 특성의 결정

TI 결과의 평가 방법은 KSC IEC 60216-3-1, 216-3-2, 216-3-3절에 설명된 수치 절차와 그림 2에 표시된 그래픽 표현이다. 그러나, 그래픽 평가는 통계 요건이 충족되지 않거나 다른 이유로 바람직하다고 느낄 때 사용한다. 이 경우, 결과는 오븐의 평균 측정 온도를 사용하여 그린다.

RTI의 경우, 그래픽 평가나 수치 평가 중 하나를 사용할 수 있다. 통계적 분산 조건은 필요하지 않다.

12.1 내열성

내열성은 다음과 같다.

온도 지수	TI
또는 상대 온도 지수	RTI
그리고 2등분 구간	HIC

12.1절과 2.7절 참조할 것.

전기 절연 물질의 내열성은 항상 특정 성질 및 끝점에 대해 주어진다. 이를 무시할 경우, 내열성에 대한 기준은 그 의미가 없어진다.

12.1.1 온도 지수 **TI**

수치 방법을 통하여 유도하고 선형성과 분산에 관한 통계 조건을 충족하는 경우, 그 형식은 다음과 같다.

TI (HIC) : TI값 (HIC값)

예를 들어: TI (HIC) : 152 (9)

그래픽 방법을 통하여 유도하고 통계 조건을 충족하지 않는 경우, 그 형식은 다음과 같다.

$TI_g = HIC_g = \dots$,

예를 들어 : $TI_g = 152$, $HIC_g = 9$.

TI를 유도하기 위해 20,000 이외의 시간을 사용할 경우, 관련 시간(단위: kh)를 “kh” 단위로 상술한다. 그러면 TI의 형식은 다음과 같다.

TI(kh 단위의 시간) kh (HIC): ... (...),

예를 들어: TI 40 kh (HIC): 131(10),

그리고 TI_g 에 상응하는 것

12.1.2 상대 온도 지수 (**RTI**)

RTI는 다음 형식으로 보고한다.

$$RTI = \dots, HIC = \dots,$$

예를 들어: RTI = 152, HIC = 9.

여기서, RTI값은 12.7절 등식(4)에서 유도한 수이고, HIC값은 12.7절의 HIC(A) 값이다. 이 형식은 RTI가 수치적으로 유도되었는지 또는 그래픽으로 유도되었는지에 따라 적용한다.

12.2 TI의 수치 평가

측정값의 완전한 수치 분석은 다음과 같은 단계로 구성된다.

- 각 시료에 대해 끝점 도달시간을 결정한다. 12.3절 참조
- 그래픽 표현의 경우, 각 온도 레벨에서 얻은 끝점 도달시간의 평균 또는 중앙 대수를 산출한다.
- KSC IEC 60216-3-1, 216-3-2, 216-3-3절에서 설명한 회귀 및 분산 분석을 실시한다. 선형 회귀 분석을 통하여 다음의 관계를 유도할 수 있다 :

$$y = a + bx \quad (1)$$

여기서

y = 끝점 도달시간의 로그*

x = 열역학 (절대) 온도의 역수

a 와 b = 회귀 계수

- 내열 그래프를 그린다. 12.4절 참조
- 주어진 시간에서 온도 지수 TI(대개 20 kh)를 유도한다. 20 kh인 경우에, TI는 다음 회귀식으로 산출한다.

$$TI = \frac{b}{(\log 20,000) - a} - 273 \quad (2)$$

TI를 얻기 위하여 다른 시간을 사용할 경우, 등식 (2)에서 20,000을 해당 시간으로 대체한다. 12.1.1절과 같이 TI 뒤에 kh의 수를 추가한다.

- 내열 그래프 기울기의 척도인 2등분 구간 HIC를 유도한다. 이를 알고 있을 경우 서로 다른 온도나 시간에서 물질을 비교할 수 있으므로 도움이 된다.

기울기는 TI나 RTI에 해당하는 시간과 이 시간의 반(1/2)에서 내열 관계에서 유도한 2등분 구간으로 표현한다. 또한 HIC는 다음 식을 사용하여 회귀 계수 b와 TI로 유도할 수 있다.

$$HIC = TI + 273^2 \cdot \frac{(\log 2)}{b} \quad (3)$$

두 방법으로 산출한 결과는 동일하지는 않지만 상당히 유사하다.

2등분 구간의 유도에 관련한 다른 식은 부록 B에 명시되어 있다.

- g) 12.5절에서 언급한 통계 검증이 만족스러운 결과를 생성할 경우, TI (HIC)를 보고한다. 그렇지 않을 경우, TIg와 HICg를 보고한다.

12.3 각 온도에서 끝점 도달 시간의 결정

- a) 끝점으로 보증 시험을 사용하는 시험의 경우, 주어진 시료의 끝점 도달시간은 보증 시험을 통과하지 못한 시료 - 불합격 이전 사이클 기간의 반($1/2$)의 시간이다. 시험 데이터를 KSC IEC 60216-3-1절과 216-3-3절과 같이 보고한다.

하나의 절차는 끝점 도달 중앙 시간의 대수에 대한 평가를 기반으로 한다. n 시료의 그룹의 끝점 도달 중앙 시간은 n 이 홀수일 경우 $(n+1)/2$ 개의 시료가 불합격일 때이다. n 이 짝수인 경우, 시료 $n/2$ 개와 시료 $1 + n/2$ 개의 끝점 도달시간의 평균값을 해당 그룹의 끝점 도달 중앙 시간으로 한다. 이 절차는 최소한 시료의 반($1/2$)이 해당 온도에서 끝점에 도달할 때 어떤 특정 온도에서의 노출을 멈출 수 있다.

또 다른 절차는 모든 시료의 끝점 도달 시간의 대수 평균에 대한 평가를 토대로 한다.

- b) 시험에 특성 대 시간의 변화 측정값을 사용하는 경우, 선택한 특성의 주기적 측정이 포함된다. 시험 데이터는 KSC IEC 60216-3-1, 216-3-2, 216-3-3절과 같이 보고한다. 시간에 대한 특성 변화는 그림1과 같은 노화 곡선 위에 표시한다. 이로부터, 끝점 도달 시간을 끝점 기준선과의 교차점에서 얻을 수 있다.

비파괴적 측정의 경우, 끝점 도달시간은 각 시료의 개별 노화 곡선에서 직접 얻는다.

파괴적 측정의 경우, 제안된 끝점 도달 시간은 KSC IEC 60216-3-2의 회귀 분석에 기반하여 유도한다.

12.4 내열 그래프 그리기

시간 대수를 세로축, 열역학 (절대) 온도의 역수를 가로축으로 하여 끝점 도달 시간을 그래프에 그린다.

12.5 시험 데이터의 통계적 평가

통계 절차는 시험 데이터가 분산과 선형성 이탈에 관한 규정 허용차를 충족하는지를 검증하는 역할을 한다. 이 절차와 기준은 KSC IEC 60216-3-1, 216-3-2, 216-3-3에 상세하게 설명되어 있다.

시험 데이터가 통계적 검증 기준을 충족할 경우, TI는 12.2절에 따라 결정한다. 그렇지 않을 경우, 13절의 절차를 적용한다.

TI(HIC)의 표현은 항상 이러한 통계적 요건을 충족하는 시험 데이터에서 취해진다는 것을 나타낸다. 그렇지 않을 경우, TIg와 HICg가 주어지거나, 시험데이터는 내열성없이 직접 표현된다.

RTI가 통계적 요건과의 적합성을 의미하지 않는다.

12.6 TI의 그래픽 평가

TI의 그래픽 평가의 경우, 모든 온도 그룹에서 시료의 수는 대략 동일해야 한다. 동일하지 않을 경우의 지침과 절차는 KSC IEC 60216-3-1에 명시되어 있다.

적합한 절차(12.3절 참조)를 사용하여, 네 온도 각각에서 끝점 추정 평균 도달시간을 결정한다.

내열 그래프를 그리고(12.4절 참조), 이로부터 TI와 HIC를 유도한다. TI_g 와 HIC_g 를 보고한다.

12.7 상대 온도 지수의 결정

시험 물질과 기준 물질의 비교 시험으로 얻은 상대 온도 지수 RTI는 두 숫자로 구성되는데 하나는 (4)식을 사용하여 유도한 온도로 표현한다.

$$RTI = TI_r + (\rho_A - \rho_B) \quad (4)$$

그리고 다른 하나는 해당 2등분 구간으로 표현한다.

유도는 수치 또는 그래픽으로 한다. 수치 유도의 경우, 12.2절의 단계 a), b), d)를 적용하고, 그래픽 유도인 경우, 그림 3을 따른다. 세부사항은 KSC IEC 60216-3-4에 명시되어 있다.

위의 유도와 그림 3에서 사용한 표기는 다음과 같다.

TI_r	기준 물질의 원래 TI
t_0	TI_r 에 해당하는 시간
A	시험 물질의 내열 관계 또는 비교 시험의 그래프 위의 한 점, 좌표(ρ_A ; t_0);
B	기준 물질의 내열 관계 또는 그래프 위의 한 점, 좌표(ρ_B ; t_0);
HIC_r	원래 내열 관계 또는 그래프의 지점 TI_r 에서 기준 물질에 대한 HIC
HIC (A)	A 지점에서 시험 물질에 대한 HIC
HIC (B)	B 지점에서 기준 물질에 대한 HIC

지점 A와 B는 그래픽 또는 수치적으로 결정할 수 있다. RTI값은 12.1.2절의 형식과 2등분 구간값 HIC (A)로 주어진다.

RTI를 제공할 때, 특성, 끝점, 시험의 시료 데이터에 관한 일반적인 정보는 기준 물질에 대한 관련 정보를 통하여 보완해야 한다.

비고. - 4.3절에 명시된 지침을 시행하는데 필요한 기준은 현재 제정중이며, KSC IEC 60216-3-4에 명시되어 있다.

13. 통계적 요건을 충족하지 못하는 시험 데이터의 처리 및 표현

내열성 TI(HIC)을 유도하려면 12.5절과 KSC IEC 60216-3-1, 216-3-2, 216-3-3에서 설명한 통계적 검증을 통과한 시험 데이터가 필요하다. 이 요건들이 충족되지 않을 경우에, 추가 평가와 시험을 통해 연장된 시험 결과를 복구할 수 있다.

데이터는 이 요건을 완전히 충족하지 못할 수 있다. 이러한 이유로, 다음과 같이 카테고리화할 수 있다.

- 시험 데이터의 분산

- 일반 분산
- 개별 분리

- 비선형 내열 관계

부속서 C 참조할 것.

평가 절차의 완전한 설명은 KSC IEC 60216-3-1에 명시되어 있다.

14. 시험 보고서

시험보고서에는 다음이 포함된다.

- 시험된 물질과 시료의 설명(RTI를 유도할 경우 기준 물질 포함)
- 적용가능한 경우, 기준 물질의 원래 TI와 HIC 값
- 조사한 특성
- 특성 결정을 위해 사용한 시험 방법(예를 들어, IEC Publication을 참조하여)(시료의 치수 및 처리 포함)
- 선택한 끝점, 만일 백분율 변화인 경우 초기 특성값
- 노화 절차에 관한 정보: 온도, 환경 등
- 각 시험 온도에서 개별 끝점 도달시간
- 각 노화 온도에 대한 노화시간이 표시된 특성 변화 그래프
- 보증 시험에 대한 노화 사이클의 수와 지속기간
- 회귀 계수 a와 b

비고 - a와 b를 10 이외의 로그의 밑을 사용하여 보고할 경우 사용한 로그의 밑을 보고한다.

- 내열 그래프

- 12.2, 12.6, 12.7절에 따라 유도하고 12.1절에서 설명한 대로 표현한 온도지수와 2등분간격, 또는 상대 온도지수와 2등분간격(20 kh가 아닌 경우 TI 또는 RTI를 유도하기 위해 사용한 시간 포함).

표 I
제안된 노출 온도와 시간

TI또는 RTI의 추정 값	노출온도(℃) 네모안 : 일일단위의 노화 싸이클 기간																												TI또는 RTI을 유도하기 위한 싸이클 기간	
	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330								
95-104	21		7		3		1																				TI	RTI		
105-114		21		7		3		1																			TI	RTI		
115-124			21		7		3		1																		TI	RTI		
125-134				21		7		3		1																	TI	RTI		
135-144					21		7		3		1																TI	RTI		
145-154						21		7		3		1															TI	RTI		
155-164							21		7		3		1														TI	RTI		
165-174								21		7		3		1													TI	RTI		
175-184									21		7		3		1												TI	RTI		
185-194										21		7		3		1											TI	RTI		
195-204											21		7		3		1										TI	RTI		
205-214												21		7		3		1									TI	RTI		
215-224													21		7		3		1								TI	RTI		
225-234														21		7		3		1							TI	RTI		
235-244															21		7		3		1						TI	RTI		
245-254																21		7		3		1					TI	RTI		

비고 1. - 표 I의 내용은 주로 주기적 보증 시험, 비파괴 시험에 대한 것이지만, 파괴 시험에 적합한 시간 간격의 선택 지침으로도 사용할 수 있다.

2. - 8절의 항목 d에서 설명한 대로 원래 계획된 최저 노화 온도의 이하에서 노화에 대한 추가 시료를 제출하여 시험 프로그램을 연장할 경우, TI 결정의 경우 10 K의 온도 간격과 35일의 사이클 기간, 또는 RTI 결정의 경우 21일을 고려해야 한다.

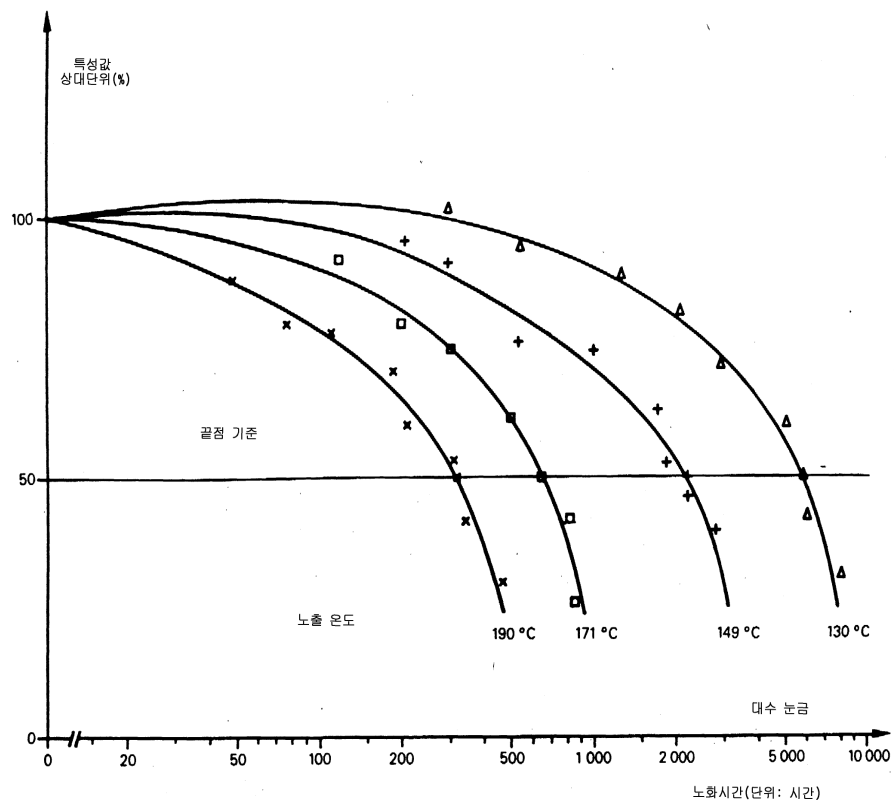


그림 1. - 각 온도에서 끝점 도달 시간의 결정. 특성 변화

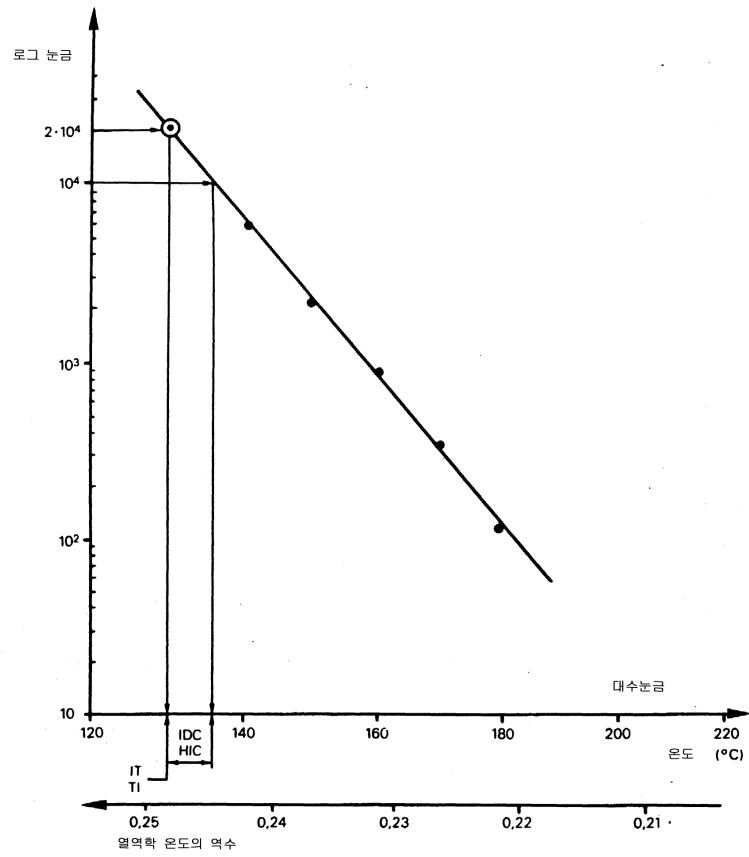


그림 2. - 내열 그래프

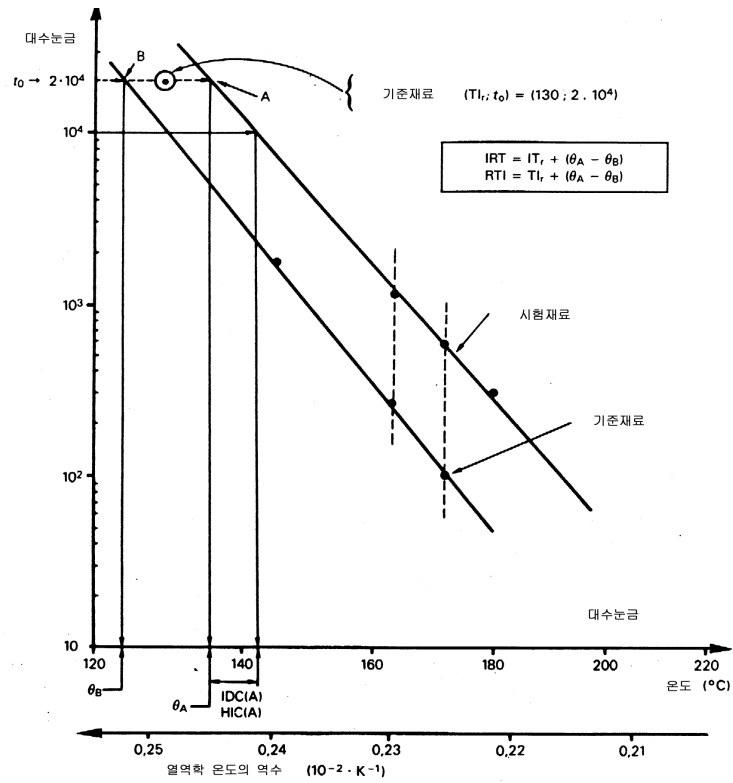


그림 3. - 내열 그래프

부속서 A
열저하 메카니즘에 대한 해석

본 표준에 따라 전기 절연물질의 내열 시험을 기반으로 하는 모델은 열활성화된 화학 속도 과정의 이론을 적용할 수 있다. 이 모델은 진단 특성의 선택된 끝점이 노화를 거친 물질의 분자 변화의 정도와 관련될 경우 유효하다. 따라서 이 모델의 유효성은 진단 특성과 분자 변화의 정도 사이의 엄격한 선형 관계 조건에 의존하지 않는다.

위에서 언급한 기본 가정 이외에, 열 노화의 화학적 메카니즘에 관한 일반 가정 또한 충족해야 한다.

a) 물질 또는 물질 조합은 거시물리적 관점에서 일정해야 한다.

b) 열 저하는 균일 상에서 진행해야 한다. 메카니즘은 구성성분의 화학적 절연파괴, 탈분극 등과 같은 1차 화학 반응이어야 한다. 저분자 저하 제품과 그 휘발의 자유도는 무시할 수 있다.

또한, 2차 화학반응이 본질적으로 균일 상에서 진행될 경우 연속적인 분자 중합과 같이 선형(Arrhenius) 관계를 생성한다. 균질 상에서 2차 반응하는 산화는, 산화가 비교적 두꺼운 시료의 표면에 제한될 경우, 또는 충분히 얇은 시료로 인해 균일한 것으로 인정될 경우 설명한 관계의 측면에서 어떤 요동도 일으키지 않는다.

c) 노화 반응은 본질적으로 비가역적이어야 한다.

부속서 B 2등분 구간

2등분 구간은 전기 절연의 나머지 수명에 대한 온도 변화의 영향을 추정하기 위해 확립한 적용 방법이 있는 Arrhenius 관계의 기울기의 척도이다(Montsinger의 법칙). 2등분 구간은 몇 가지 다른 목적에도 유용하다.

이론적으로 정확한 형태는 열역학 (절대) 온도 HIK의 역수의 2등분 구간이다.

$$HIK = (\log 2)/b \quad (B-3)$$

여기에서 b는 선형 Arrhenius 관계를 나타내는 회귀선 $y = a+b \cdot x$ 의 기울기이다. 여기에서 y는 끝점 도달시간의 로그이고 $x =$ 열역학 (절대) 온도의 역수 $1/T = 1/(273 + \rho)$ 이다.

그러나, 실용적인 기술적 형태는 Celsius 온도 HIC의 2등분 구간이다. 이는 HIK에서 유도할 수 있다.

$$HIC \doteq T_r^2 \cdot HIK \quad (B-2)$$

이 비율은 선택한 기준 온도 T_r 을 말한다. 이 문서에서, T_r 은 TI 또는 RTI에 해당하는 열역학(절대) 온도의 정의에 의한다. HIK가 선형 내열 그래프의 모든 곳에서 동일한 반면, HIC는 온도에 따라 변한다.

내열은 내열 관계의 최소한 20 kh와 5 kh 지수 ρ_{20} 과 ρ_5 로 표현한다. 이는 특히 TEP가 KSC IEC 60216-1의 2판에 따라 주어질 경우에 해당한다. 2등분 구간은 다음과 같이 지수 ρ_{20} 과 ρ_5 로 유도할 수 있다.

$$HIK = (1/T_{20} - 1/T_5)/2 \quad (B-3)$$

여기서 $T_{20} = \rho_{20} + 273$ 과 $T_5 = \rho_5 + 273$ 는 ρ_{20} 과 ρ_5 °C에 해당하는 열역학 (절대) 온도이다.

$(\rho_5 - \rho_{20})/2$ 와 같은 HIC의 명백한 편차는 일반적으로 추정이 양호하지 않을 때 사용해서는 안 된다.

그러나 이는 T_r 에 T_{20} 값을 식(B-2)에 적용하여 해결할 수 있다. 결과는 다음과 같다.

$$HIC \doteq (T_{20}/T_5) \cdot (\rho_5 - \rho_{20})/2 \quad (B-4)$$

부속서 C

분산과 비선형성

KSC IEC 60216-3-1은 과도한 데이터 분산과 그 원인을 확인하는 방법을 상세하게 제공한다. 의심이 가는 개별 분산의 경우, 물리적 검사와 통계 식별 절차가 제공된다.

비선형성 내열 관계는 Fisher 시험의 결과가 비선형성을 표시하는 경우 사전 제어(7절과 8절 참조)로 표시할 수 있고, 완전한 시험 데이터의 통계 평가에 의해 확인할 수 있다. 그러나, 시험 데이터의 분산이 매우 느린 경우, Fisher 시험의 결과로 나타난 비선형성은 실제로 중요하지 않을 수도 있다.

비선형 내열 관계는 다음과 같이 특성화할 수 있다.

- 그래프의 하향 볼록 곡선. 높은 온도에서 기울기가 평평한 것에 비해 낮은 온도에서 그래프의 기울기가 더 가파르다는 것을 의미한다.
- 그래프의 하향 오목 곡선. 낮은 온도에서 기울기가 더 평평하다는 것을 의미한다.
- S자 곡선

이 경우 사이의 구별은 네 개 이상의 시험 온도를 사용한 경우에만 가능하다.

그래프의 결과 곡선이 하나의 표시에만 해당하는 경우(즉, 하향 볼록 또는 오목), 추가 절차를 실시해야 한다. 이 절차에는 특히 약 5000 시간(정상적인 경우 20 kh TI)의 끝점 도달시간에 해당하는 온도보다 10 K 이하의 온도에서 추가 시료의 노화가 포함된다. 노화는 8,000시간이나 10,000시간의 끝점 평균 도달시간 또는 중앙 시간까지 연장할 수 있다. 이 결과를 이용할 수 있을 때, 완전한 데이터 평가를 반복한다. 최고 노화 온도에 해당하는 데이터를 삭제할 수 있다.

부속서 D
내열 분포 (TEP)

TEP의 개념(KSC IEC 60216-1, 2판)을 사용하여 축적된 내열 데이터를 해석하기 위해, 다음과 같이 정의한다.

“내열 분포는 20,000시간과 5,000시간의 내열 그래프에서 유도한 °C 온도에 해당하는 두 숫자 다음에, 5000시간에서 온도에 대한 단축 신뢰성 한계보다 95% 이하에 해당하는 숫자로 구성된다.”

TEP는 KSC IEC 60216-3과 216-4, 2판에서 설명한 대로 시험 데이터에서 수치적으로 유도한다.