

CSPE 케이블의 상태감시를 위한 가속열화 측정 분석

(Accelerated Thermal Aging Measurement and Analysis of CSPE Cable for Condition Monitoring)

박정호* · 차왕철 · 이정훈 · 조옥래 · 김재철**

(Joung-Ho Park · Wang-Cheol Cha · Jung-Hoon Lee · Uk-Rae Cho · Jae-Chul Kim)

Abstract

The accelerated thermal aging of CSPE(Chloro Sulfonate Polyethylene) was carried out for 40.41, 121.22, 202.04 days, 16.82, 50.45, 84.09 days and 7.32, 21.96, 36.59 days at 100, 110, and 120°C, respectively, which are equivalent to 20, 60, 100 years of aging at 50°C. The permittivities and the apparent densities of the accelerated thermally aged CSPE samples are increased with accelerated thermal aging year but EAB(Elongation at Break) is decreased with that. The dielectric strength and the electric breakdown of the non-accelerated and accelerated thermally aged CSPE samples do not depend on accelerated thermal aging year and applied voltage rising time. density and EAB measures.

Key Words : Accelerated Thermal Aging, CSPE, Volume Electrical Resistivity, Permittivity, Dielectric Strength, Polarization Index, EAB and Apparent Density

1. 서 론

전 세계 원자력발전소의 80% 이상이 20년 이상 장기간 운전을 하고 있으며, 국내 원자력발전소 또한 23기 중 9기가 20년 이상 운전 중에 있다. 2012년을 기준으로 고리 1호기는 30년의 설계수명을 이미 초과하였고, 월성 1호기는 설계수명에 접근하고 있다. 이제 전 세계 대부분의 원자력발전소에서 노후화로 인한 열화현

상이 발생하게 되었다.

원자력발전소 내 1차 계통(Class 1E)에 특유의 전기적 안전성과 높은 신뢰성 향상을 위하여 CSPE(Chloro Sulfonate Polyethylene)케이블이 사용되고 있다. 운전환경과 내부 온도변화로 인한 사고빈도가 증가하고 있다. 이에 케이블 상태감시를 통한 사고예방 대책이 필요한 실정이다. 사고발생 시 케이블 교체는 많은 비용과 시간이 소요되기 때문에, 정확한 케이블 수명을 예측하여 사전에 유지보수 계획을 수립해야 한다. 케이블 상태감시는 절연재나 외피의 열화정도를 파악하여 잔존 수명을 진단함으로써 케이블의 교체시기를 판단하기 위한 것이다[1-2].

원자력발전소에 사용되는 CSPE 케이블은 절연재료로 폴리에틸렌에 염소(Cl)와 황(S)을 혼합하여 가교

* Main author : Doctor course, Department of Electrical Engineering, Soongsil University
** Corresponding author : Professor, Department of Electrical Engineering, Soongsil University
Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780
E-mail : jckim@ssu.ac.kr
Received : 2014. 12. 22
Accepted : 2015. 1. 15

(결합)시킨 하이파론(Hypalon)을 사용한다. 다른 고분자 중합체 절연재료에 비해 난연성과 내 방사선성이 비교적 우수하고 가공성이 용이하다. 그러나 CSPE 케이블은 방사선 피폭에 의한 절연재료 열화로 난연성 저하를 촉진시킬 수 있다[3-4]. 특고압 수·변전설비에서 사용되는 XLPE(Cross Linked Polyethylene Insulated PVC Sheathed Power Cable)는 탄소(C)와 수소(H)의 결합에 의한 절연성능의 향상에 목적이 있다. CSPE 케이블은 특수한 환경에서 운용되는 케이블 외피 자켓(Jacket) 즉, PE(Polyethylene)의 열화특성을 측정하였다.

따라서 본 연구에서는 CSPE 케이블 특성변화를 확인하기 위해 100℃, 110℃, 120℃에서 가속열화 특성을 분석하여 케이블 상태감시를 위한 방법으로 활용하고자 한다.

2. 열화 측정방법 및 시편(試片) 준비

2.1 케이블 열화측정 방법

케이블 열화 측정방법에는 전기적 측정법과 물리적 측정법이 있는데, 전기적 측정법은 체적전기저항률 측정, 유전율 측정, 유전체 강도 측정, 누설전류 측정, 성극지수 측정 등이 있다.

물리적 측정법은 EAB(Elongation at Break) 측정과 겉보기 밀도 측정이 있다.

표 1. 케이블 열화의 측정방법
Table 1. Measurement Method of Deteriorated Cable

측정방법	케이블 열화 측정법
전기적 측정법	① 체적전기저항률 측정 ② 유전율 측정 ③ 유전체 강도 측정 ④ 누설전류 측정 ⑤ 성극지수 측정
물리적 측정법	① EAB 측정 ② 겉보기 밀도측정

2.2 시편(試片) 준비

실험을 위한 시편(試片)은 약 1mm 두께의 평판 형태로 제작한 CSPE 절연재 시편별 각 조각을 전력연구원(KEPRI)에서 제안한 가속열화 시험방법[5]을 이용하여 가상의 열화연수를 0년, 20년, 60년, 100년으로 설정하였다. 실제 열화시간은 100℃에서 40.41일, 121.22일, 202.04일로 하였고, 표2에 나타난 바와 같이 110℃에서는 16.82일, 50.45일, 84.09일, 120℃에서는 7.32일, 21.96일, 36.59일로 각각 열화시켰다.

그림 1은 시편보관 Case 이다. 그 열화시킨 시편을 Case별 CSPE-0y, CSPE-20y, CSPE-60y, CSPE-100y로 실험하였다.

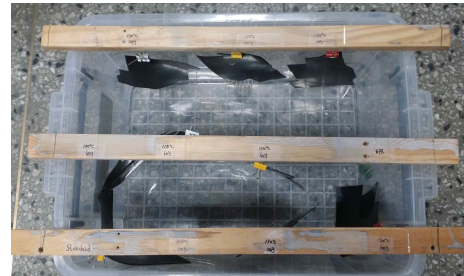


그림 1. CSPE 시편 샘플 사진
Fig. 1. Sample Pictures of CSPE for Specimen

표 2. 시료별 실제 열화 일수
Table 2. The Actual Number of Days per Sample Degradation

Sample	100℃	110℃	120℃
CSPE-0y	-	-	-
CSPE-20y	40.41일	16.82일	7.32일
CSPE-60y	121.22일	50.45일	21.96일
CSPE-100y	202.04일	84.09일	36.59일

3. 전기적 열화 측정 및 분석

3.1 체적 전기저항률 측정

CSPE의 저항은 절연재료 형상과 크기, 그리고 측정 위치에 따라 값이 변하는 특성을 가지고 있다. 이에 반해 체적전기저항률은 형상, 크기, 측정 위치에 따라

서도 변하지 않는 고유의 값을 갖는다[6].

한국고분자시험연구소(KOPRI) 전기물성 규격시험인 KSM3015 방법에 따라 가속열화된 CSPE의 체적 전기저항률 측정에는 그림 2와 같이 3단자 체적전기저항률 측정 시스템[7-8]을 이용하였다.

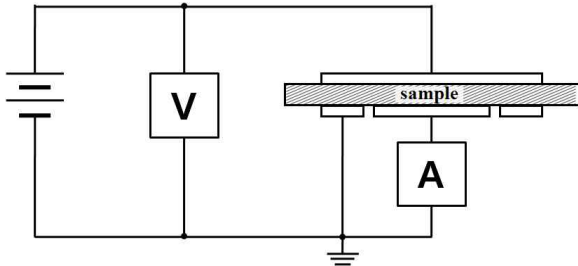


그림 2. 3단자 체적전기저항률 측정
Fig. 2. Measuring System of 3-Terminal Volume Electrical Resistivity

절연체의 체적전기저항률 측정 시스템 전극 부는 시편에 전압을 인가하기 위한 두 개의 평행 판 전극(지름: 50mm, 85mm)과 시편 표면으로 흐르는 전류를 차단하기 위한 가드 링(Ring) 전극으로 구성되어 있다.

전원은 Segye Scientific社의 DC Power Supply SG-P303D와 SG-P305D를 이용하여 직류 500V 전압을 인가하였다. 전압계는 Protek社의 HC-81과 전류계는 Keithley社의 Pico-Ammeter KEITHLEY2502를 이용하여 측정하였다.

측정결과로 그림 3과 같이 가속열화 되지 않은 CSPE-0y 시편의 체적전기저항률은 $4.140 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 이었으며, CSPE-20y, CSPE-60y, CSPE-100y 시편은 가속열화 온도 100°C에서는 각각 3.196×10^{13} , 3.597×10^{13} , $3.948 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 측정되었다. 그리고 110°C에서는 3.573×10^{13} , 3.610×10^{13} , $3.816 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 이었으며, 120°C에서는 3.993×10^{13} , 4.619×10^{13} , $3.641 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 측정되었다.

체적전기저항률은 가속열화 년 수에는 의존하지 않지만, 가속열화 되지 않은 CSPE-0y보다는 전체적으로 낮았다. 실험결과 CSPE-0y과 CSPE-60y 120°C의 체적전기저항률이 $0.479 \times 10^{13} [\Omega \cdot \text{cm}]$ 약 11.57% 높게 나타난 부분은 실험환경 오차나 가상의 열화 년수 차이에 의한 변화로 생각된다. 또한 가속열화로 폴리

에틸렌 전도성 전자나 홀이 증가되었기 때문에 판단된다.

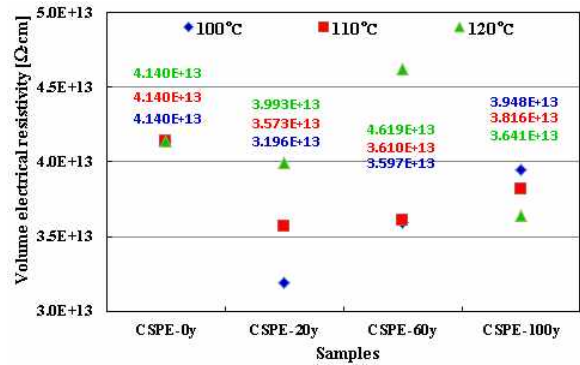


그림 3. 가속열화 CSPE의 체적전기저항률 변화
Fig. 3. Variation in Volume Electrical Resistivity of CSPE with Accelerated Thermal Aging Year

3.2 시정수를 이용한 유전율 측정

흡수현상을 수반하는 고체유전체에 교류전압을 인가하면 그 실효치와 동일한 직류전압을 인가할 때보다 큰 전력손실이 생기는데 이것을 유전체손이라고 한다. 유전체손은 쌍극자 배양에 의한 흡수전류로 인해 발생하기 때문에 흡수전류가 크면 유전체손도 커지게 된다. 그런데 고전압에서는 고체유전체 중에 존재하는 기포 또는 공극이 고전계로 인하여 이온화 하여 코로나 방전이 일어나 코로나손이 발생하며 일부가 유전체손에 포함된다[9-10].

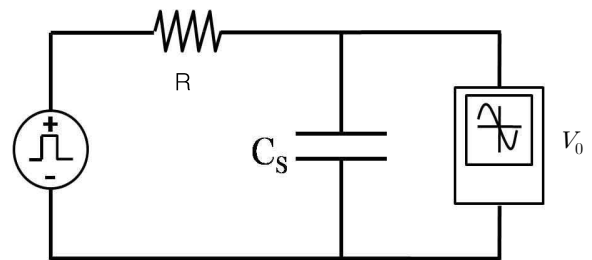


그림 4. 유전율 측정
Fig. 4. Measuring System of Permittivity

그림 4와 같이 등가회로에 전압을 인가하면 유전체 충전전하에 의해 V_0 만큼 충전되고, 어느 순간 전원을

차단($t=0$)하였을 때 커패시턴스에 걸리는 전압이 V_0 이고, 그 이후($t>0$)에 키르히호프의 법칙(KCL)을 적용하여 v 에 대해 표현하면 식 (1), 식 (2)와 같다.

$$C_s \frac{d}{dt} v + \frac{1}{R} v = 0 \quad (t>0) \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} v + \frac{1}{RC_s} v = 0 \quad (t>0) \quad (2)$$

$$\left(D + \frac{1}{RC_s} \right) v = 0, \quad D = - \frac{1}{RC_s}$$

$$v = V_0 e^{-t/RC_s} \quad (3)$$

초기 조건 $t=0$ 일 때 V_0 가 되므로 유전체에서의 무전원 전압응답은 식 (3)과 같이 표현된다.

식 (3)에서 RC_s 는 시정수(τ)로 τ 와 t 가 같다면 v 는 항상 $0.368 V_0$ 의 전압으로 결정된다. 그러므로 $0.368 V_0$ 의 전압이 걸리는 경과시간(t)만 측정하면 시정수를 구할 수 있다.

$$\epsilon = \frac{\tau}{R} \cdot \frac{d}{A} [F/m] \quad (4)$$

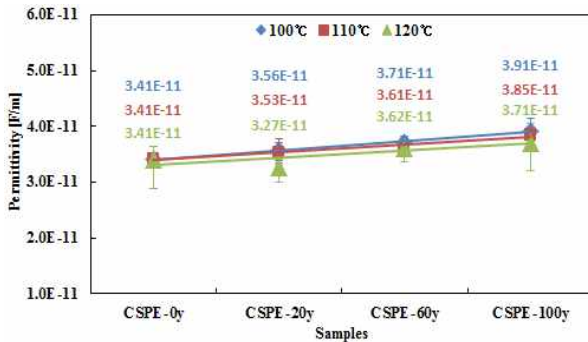


그림 5. 가속열화 CSPE의 유전을 변화
Fig. 5. Variation in Permittivity of CSPE with Accelerated Thermal Aging Year

측정된 시정수를 이용하여 식 (4)를 통해 유전율(ϵ)을 구할 수 있다. 여기서, A 는 시편의 면적이고, d 는 두께이다. 그림 5에서 가속열화 년 수가 증가할수록 가속열화온도 100°C, 110°C, 120°C에서 CSPE 유전율

이 증가하고 있는 실험결과를 나타내었다. 이는 CSPE의 측면 체인 분열 등으로 느슨해진 중합체에 전계 인가 시 쌍극자 배양 분극의 형성이 증가되면서 유전율이 높게 나타난 것으로 분석된다.

3.3 유전체 강도(Dielectric Strength) 측정

유전체에 교류전압을 높여 절연파괴전압 부근까지 상승시키면 전류는 증가된다. 이는 전극으로부터 전하가 주입되거나 물질 내에서 전자가 증식되고 전극에 의한 효과로서 기체와 마찬가지로 쇼트키(Schottky) 효과나 전계방출 효과에 의해 전극에서 절연체 내로 전자가 주입될 수 있어서 주입된 전자는 기체에서와 유사하게 전자를 더 증식하게 된다[9-10].

측정 조건은 평등전극 사이에 시편을 넣고, 교류전압을 인가하여 전기 절연체의 절연파괴 전압 및 절연내력 표준 시험방법(ASTM D 149)에 따른 최대 유전체강도와 절연파괴 전압을 측정하였다[13]. 절연파괴 전압 V 를 두께 d 로 나눈 값을 절연파괴강도(kV/mm)와 전압상승시간(kV/sec)과의 실험결과를 나타내었다.

그림 6은 가속열화 되지 않은 CSPE-0y와 가속열화된 CSPE-20y, CSPE-60y, CSPE-100y 시편에 가한 전압 인가시간에 따른 유전체 강도와 절연파괴강도를 나타내었다.

그림 6의 실험결과에서 가속열화된 CSPE의 유전체 강도는 CSPE 케이블 전계가 높아져서 정상적인 것보다 불규칙적인 절연파괴가 발생되었다. 110°C에서 CSPE-60y 시편의 가속열화가 불규칙적으로 최고 24.63(kV/mm)로 변화하였고, 120°C에서는 시간의 변화에 의한 곡선의 변화가 일정한 선형으로 변화하였다. 이는 절연파괴 전계 한도인 절연체의 온도특성에 기인하는 것으로 판단된다.

3.4 누설전류(Leakage Current) 측정

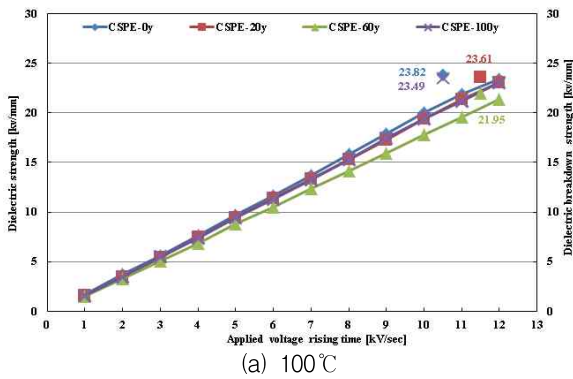
고체유전체에 직류전압을 인가하면 정전용량으로 인한 충전전류와 흡수현상에 의한 흡수전류, 그리고 절연저항에 의한 누설전류가 흐르게 된다.

CSPE 케이블의 상태감시를 위한 가속열화 측정 분석

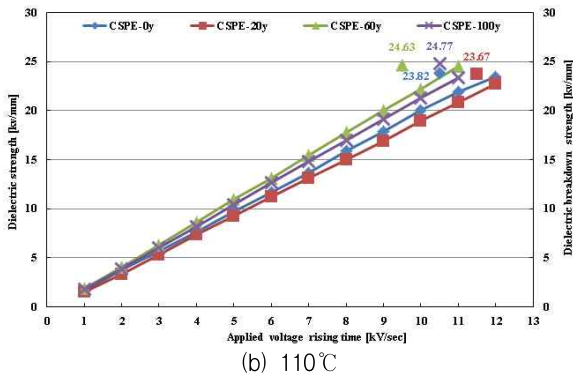
충전전류는 곧 없어지지만, 흡수전류는 수분에서 수 십분 동안 흐르다가 없어지고, 결국 누설전류만 계속 흐르게 된다[10-11]. 여기서 누설전류는 표면누설전류와 체적전도전류로 나누어지는데 본 연구에서 표면누설전류를 제거하기 위해 가드 링이 설치된 체적전기 저항률 측정시스템[7-8]을 이용하여 전류를 측정하였다.

다. 측정 조건으로 시편(試片)에 500V의 일정한 전계가 형성되도록 설계하였으며, 전압인가 후 100분 동안 전류를 측정하였다.

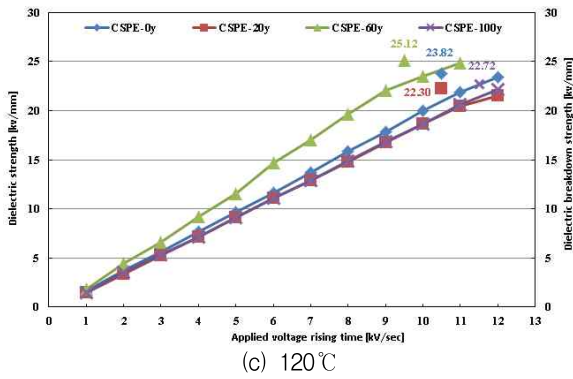
그림 7에서 가속열화 되지 않은 CSPE-0y 보다 가속열화된 CSPE-20y, CSPE-60y, CSPE-100y 시편의 전류가 높게 나타나고 있다. CSPE도 일반 절연체의 누설전류 특성과 유사하며, 전압 인가 후 30분 부터 전



(a) 100°C

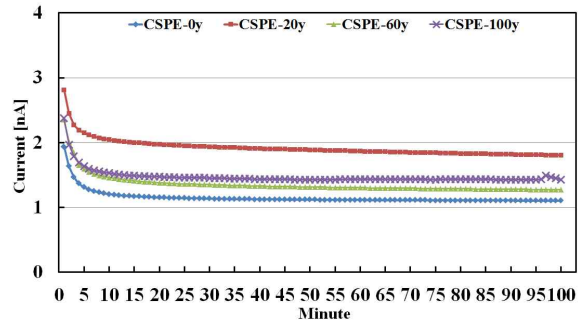


(b) 110°C

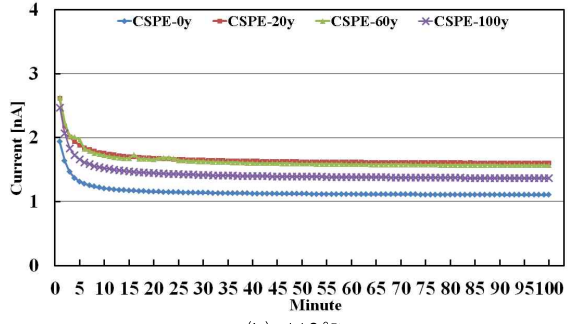


(c) 120°C

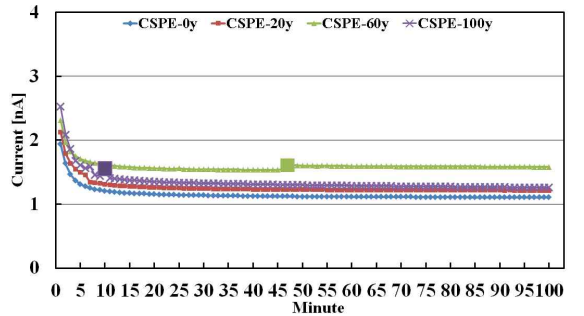
그림 6. 가속열화 CSPE의 유전체 강도
Fig. 6. Variation in Dielectric Strength of CSPE with Applied Voltage Rising Time



(a) 100°C



(b) 110°C



(c) 120°C

그림 7. 전계인가 후 시간에 따른 CSPE의 전류
Fig. 7. Variation in Current of CSPE with Applied Voltage Time

류변화가 거의 없는 것은 초기에 충전전류와 흡수전류가 없어지고, 절연저항에 의한 누설전류만 흐르기 때문이다. 전압을 인가하고 1분 후 CSPE 시편(試片)의 체적에 흐르는 전류를 측정하면 그림 7과 같이 5분까지는 흡수전류가 존재하고 있음을 알 수 있다. 그래프(c)에서 CSPE-60y 누설전류는 47분 후 1.608(nA) CSPE-100y 누설전류는 측정시간 10분에 1.556(nA)로 누설전류가 변화하는 Kick 현상이 측정되었다. 이는 가속열화로 인한 누설전류의 변화로 케이블 가속 열화에 의한 절연물고유특성 변화를 알 수 있었다.

3.5 성극지수(Polarization Index) 측정

시편사이의 인가 전압변화에 따라 내부에 변위전류(Displacement Current)와 흡수전류 및 누설전류가 흐르게 된다. 변위전류는 비교적 단시간에 무시할 수 있을 정도까지 감쇄되고 실제로 측정되는 것은 흡수전류와 누설전류이다. 따라서 충전전류가 1분 안에 사라지지 않거나 누설전류에 의한 절연저항비의 변화가 급변하는 Kick 현상이 나타나면 성극지수에 따라 CSPE의 절연성능이 떨어질 수 있는 것으로 판단된다. 성극지수가 1.0 이상이면 양호로, 1.0 미만은 요주의 및 불량으로 판정한다[12].

$$\text{성극지수} = \frac{\text{전압 인가 후 1분후의 누설전류}}{\text{전압 인가 후 10분후의 누설전류}} \quad (5)$$

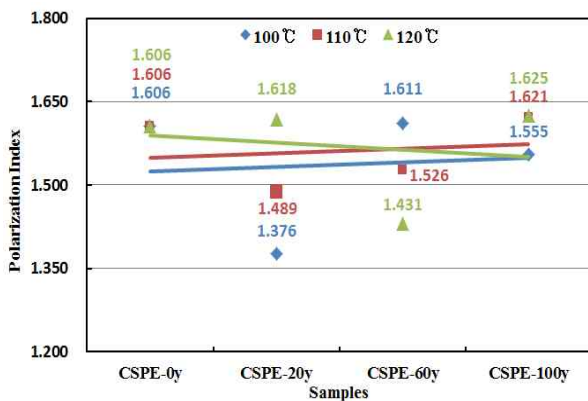


그림 8. 가속열화 CSPE의 성극지수 변화
Fig. 8. Variation in Polarization Index of CSPE with Accelerated Thermal Aging Year

그림 8에서 가속열화 되지 않은 CSPE-0y와 가속열화된 CSPE-20y, CSPE-60y, CSPE-100y의 성극지수가 가속열화 년 수에 의존하지는 않지만, 모두 1.0을 넘기 때문에 절연성능이 양호한 것으로 판정하게 된다.

4. 물리적 열화측정 및 분석

4.1 연신강도(EAB) 측정

연신강도(EAB : Elongation at Break) 측정법의 ASTM(American Society and Testing Materials) D412는 인장시험에서 국제적으로 표준화 되어 있는 방법이다. 실험은 CSPE를 가속열화한 후 ASTM D 412 규격에 맞게 제작하여 시편의 연신강도(kg/mm²)를 측정하였다[14].

그림 9와 같이 가속열화된 CSPE-20y, CSPE-60y, CSPE-100y 시편들의 연신강도(EAB)가 가속열화 되지 않은 CSPE-0y 보다 낮게 나타나고 있다. 이는 CSPE는 열경화성 특성을 지닌 재료이기 때문에 열에 의한 경화도가 높아짐에 따라 EAB가 가속열화 년 수에 따라 낮게 나타난 결과이다.

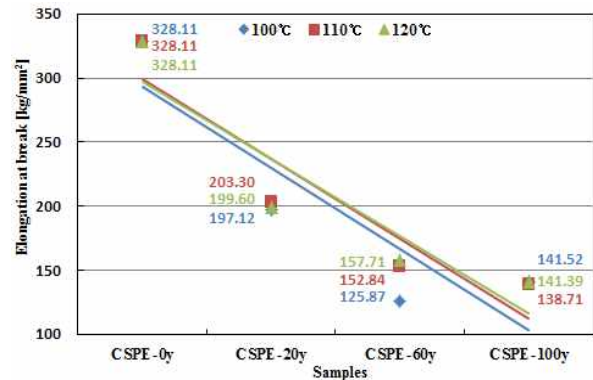


그림 9. 가속열화 CSPE의 EAB 변화
Fig. 9. Variation in EAB of CSPE with Accelerated Thermal Aging Year

4.2 겉보기 밀도(Apparent Density) 측정

CSPE의 겉보기 밀도(Apparent Density) 측정 방법은 증류수를 이용하여 아르키메데스의 원리

(Archimedes' Principle)를 적용하였다. 각 시편 Case 별 9회를 측정하였다. 증류수 물의 밀도를 보정하기 위해 온도(SDT8A, Summit Co. Ltd., Korea)를 측정하였고, 질량은 전자저울(AR3130, Ohaus, China)을 이용하였다.

$$D_s [g/cm] = \frac{W_{dry} \times D_{water}}{W_{sat} - W_{sus}} \quad (6)$$

여기서

- W_{dry} : 건조된 시편의 질량 (g)
- W_{sat} : 시편이 수중에 잠겨있을 때의 질량 (g)
- W_{sus} : 시편이 수중에 잠기기 전 질량 (g)
- D_{water} : 측정온도에 대한 물의 밀도 (g/cm³)
- D_s : 시편의 겉보기 밀도 (g/cm³)

실험 결과 그림 10과 같이 가속열화된 CSPE-20y, CSPE-60y, CSPE-100y 시편들의 겉보기 밀도는 가속열화 되지 않은 CSPE-0y 보다 높게 나타나고 있다. 이는 CSPE는 열경화성 특성을 지닌 재료이기 때문에 열에 의한 경화도가 높아짐에 따라 겉보기 밀도가 가속열화 년 수에 따라 높게 나타난 결과이다.

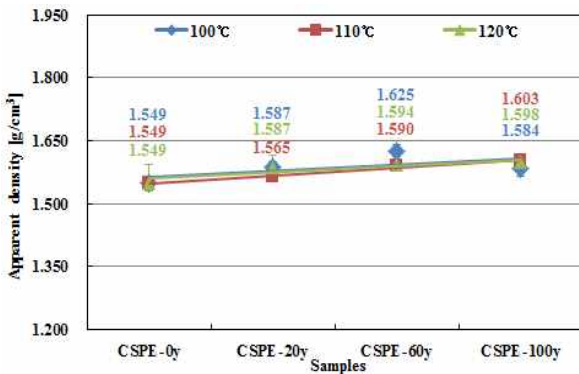


그림 10. 가속열화 CSPE의 겉보기밀도 변화
Fig. 10. Variation in Apparent Density of CSPE with Accelerated Thermal Aging Year

5. 결 론

원자력발전소 전력설비는 사고 발생 시 과급의 영향

이 대단히 크기 때문에 원자력발전소에서 사용되는 전력케이블 신뢰성 상태판단이 필요하다. 특히 장기간 사용하고 있는 전력케이블은 사고예방을 위하여 상태감시를 통한 케이블의 수명예측이 필요한 실정이다. 유지관리 및 사고예방 측면에서 전력케이블의 안전성을 진단하고 상태감시를 통하여 적절한 교체시기를 판단하는 것이 중요한 요소이다. 따라서 CSPE 케이블 상태를 감시하기 위해 가속열화 측정분석을 통하여 전기적, 물리적 측정 실험을 적용한 분석방법을 제시하였다.

분석결과 가속열화된 CSPE 체적전기저항률은 가속열화 년 수에는 의존하지 않지만 가속열화 되지 않은 것 보다는 전체적으로 낮게 나타나고 있다.

가속열화 년 수가 증가할수록 가속열화온도 100°C, 110°C, 120°C에서 각각 CSPE 유전율, 겉보기 밀도는 증가하고 EAB는 낮아지고 있다.

가속열화 되지 않은 CSPE와 가속열화된 CSPE 시편(試片)들의 유전체 강도와 절연파괴강도는 가속열화 년 수와 인가전압 시간에 따른 의존성이 나타나지 않는다.

가속열화 되지 않은 CSPE 시편의 경우 전압인가 30분 후 부터는 순수한 누설전류만 측정되고 Kick 현상은 보이지 않았다. 그러나 가속열화된 CSPE 시편(試片)의 경우는 흡수전류 잔류시간이 길고, 그림 7의 120°C CSPE-60y, CSPE-100y 시편(試片)에서 Kick 현상을 볼 수가 있었다.

절연재 특성변화를 분석한 결과, 케이블 상태감시를 위한 Parameter로 체적전기저항률, 유전율, 누설전류, EAB, 겉보기 밀도를 측정 분석하면 케이블 열화상태를 종합적으로 판단할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 CSPE 케이블 상태감시 측정방법으로 케이블 진단에 적용될 수 있도록 가속열화 분석법을 제안하였다. 향후 원자력발전소 현장에서 시료를 계획정비 기간중 각각 사용기간별로 구분하여 전기적 특성, 물리적 특성 변화에 따른 열화 변화패턴을 분석적용하여 CSPE 케이블 수명 및 신뢰성 예측 연구를 계속 진행할 예정이다.

References

- [1] Jung-Hoon Lee, Myeong-Kyun Kang, Jun-Soo Jeon, Seung-Hoon Lee, In-Yong Kim, Hyun-Shin Park and Yong-Deok Shin "A Study on the Properties of CSPE According to Accelerated Thermal Aging Years" J Electr Eng Technol Vol. 9, No. 2: 643-648, 2014.
- [2] US NRC NUREG/CR-7000, "Essential Elements of an Electric Cable Condition Monitoring Program", Brookhaven National Laboratory Upton, NY, 2010.
- [3] K. T. Gillen, R. Assink, R. Bernstein, and M. Celina, "Condition Monitoring Methods Applied to Degradation of Chlorosulfonated Polyethylene Cable Jacketing Materials", Polymer Degradation and Stability, 2006.
- [4] Z. Gu, G. Song, W. Liu, J. Gao, W. Dou, and P. Lu, "Preparation and Properties of Chlorosulfonated Polyethylene / Organomontmorillonite Nanocomposites", Journal of Applied Polymer Science, 2010.
- [5] In-Yong Kim, Cheol-Soo Goo, Jung-Hoon Lee, Yong-Deok Shin, "Condition Monitoring of Cable Used in Nuclear Power Plant through Volume Electrical Resistivity", The International Conference on Electrical Engineering, 2011.
- [6] In-Yong Kim, Cheol-Soo Goo, Jung-Hoon Lee, Beom-Soo Jin, Myeong-Kyun Kang and Yong-Deok Shin "A Study of Validation of Condition Monitoring Method of NPPs Cable through Volume Electrical Resistivity", ICHME pp76~79, 2012.
- [7] Patent Number 10-1328994, Patentee: Korea Institute of Nuclear Safety, Inventor: Cheol-Soo Goo, In-Yong Kim, Young-Hwan Choi, Yong-Deok Shin, and Jung-Hoon Lee, 2013.
- [8] Y. D Shin, J. h Lee, C. S Goo, I. Y Kim and B. S Jin, "Effects on Measuring Temperature of Volume Electrical Resistivity of the Accelerated Thermal Aging CSPE", KIEE summer conference, 2012.
- [9] Kim Jeong Tai, "Theory and Applications of High Voltage Engineering", KYOWOO, 1997.
- [10] Jeong Seong Gyu, "High Voltage Engineering", MUNLDANG, 1996.
- [11] Lee Cherl ho, "Characteristics and Evaluation of Polymer Insulation Materials II", Journal of the Electrical World/Monthly Magazine, August, pp. 42~52, 2011.
- [12] Lee Sang Woo, "A Study on the DC High Voltage Method XLPE Power Cable" 2005.
- [13] International Standards ASTM D 149-09, "Standard Test Methods for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies" 2009.
- [14] American National Standard J2.1-1969 "Designation : D" 412-68.

◇ 저자소개 ◇



박정호(朴廷浩)

1968년 3월 9일생. 2012년 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사수료. 1992년~현재 한국전기안전공사 근무.

Tel : (02)710-8583

Fax : (02)817-0780

E-mail : pjh051i@kesco.or.kr



차왕철(車旺哲)

1969년 4월 29일생. 2012년 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사수료. 1995년~현재 국방부 근무.

Tel : (02)3411-9177

E-mail : chalsking@hanmail.net



이정훈(李政勳)

1983년 8월 29일생. 2013년 원광대학교 대학원 전기공학과 공학박사. 2013년~현재 신한네트웍스(주) 부설연구소 책임연구원 근무.

Tel : (010)3083-3382

E-mail : ljh0820@hanmail.net



조옥래(趙昱來)

1972년 6월 11일생. 2012년 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사수료. 2000년~현재 한전KDN 근무.

Tel : (02)6262-6391

Fax : (02)6262-6399

E-mail : ukrae@kdn.com



김재철(金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학과 교수. 본 학회 회장.

Tel : (02)817-0647

Fax : (02)817-0780

E-mail : jckim@ssu.ac.kr