

## 해수오염 된 CSPE의 물리·전기적 상태감시에 관한 연구

신용덕\*, 이정우\*, 전황현\*, 김인용\*\*  
원광대학교\*, 한국원자력안전기술원\*\*

### A Study on Physical and Electrical Condition Monitoring of Seawater Soaked CSPE

Yong-Deok Shin\*, Jeong-U Lee\*, Hwang-Hyun Jeon\* and In-Yong Kim\*\*  
Wonkwang University\*, KINS\*\*

**Abstract** - The accelerated thermal aging of chlorosulfonated polyethylene (CSPE) was performed for 0 days, 80.82 days, and 161.63 days at 100°C, which is equivalent to 0y, 40y, and 80y of aging, respectively, at 50°C. The volume electrical resistivity of dried CSPE for 570~630 days after seawater and freshwater soaking ,are  $1.109 \times 10^{14} \Omega \cdot cm$ ,  $8.546 \times 10^{13} \Omega \cdot cm$  and  $8.466 \times 10^{13} \Omega \cdot cm$ . The applied voltage rising time of 11~12 second and dielectric breakdown time of 9~11 second of the accelerated thermal aged CSPE is shorter than those of 12~13 and 11~13 second of the non-accelerated thermal aged CSPE, respectively. It is shown that oxidation, fragment and crack are formed at hole of dielectric breakdown in CSPE. The apparent density of dried CSPE for 750 days are  $1.555 g/cm^3$ ,  $1.595 g/cm^3$  및  $1.597 g/cm^3$  according to accelerated thermal aging year, respectively.

#### 1. 서 론

원전안전설비를 운전하기 위한 전력과 신호를 전달하는 매우 중요한 설비인 케이블은 발전소에서 경년열화 설비 중 다량을 차지한다. 원전 케이블은 교체 시 많은 시간과 비용을 필요로 하고 교체시기가 어렵기 때문에 정확한 잔존수명 예측을 통한 적기 교체시기를 수립하는 등의 최적의 열화평가 기술개발이 꾸준히 요구되고 있다.[1]

본 연구에서는 원전 케이블로 상용되고 있는 CSPE(chloro sulfonate polyethylene)를 표 1에 나타난 바와 같이 운전온도 50°C 가상하여 100°C에서 가속열화 하였다. 가속열화 되지 않은 CSPE와 가속열화 된 것을 각각 해수·담수 침지 후 체적전기저항률, 유전계강도, 결보기밀도 측정 및 절연과피 부위의 FE-SEM 분석 하여 물리적, 전기적 상태감시를 연구하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 시편제작

CSPE(Taihan Electric Wire Co., Ltd.)를 설정온도 100°C 의 열적 다형 전기 가열로에 넣고 표 1과 같이 해당되는 시간동안(d) 가속열화 하였다. 가상 운전 에 맞는 실제 가속 열화 시간은 KEPRI의 가속열화 프로그램에 의한 가상운전 온도 50°C에 의해 설계되었다.

**<표 1> 운전지속시간에 따른 CSPE의 가속열화 시간**  
**<Table 1> Accelerated aging time of a CSPE according to operating duration time**

운전지속 시간 (y)	가속열화 온도 (°C)	가속열화 시간 (d)	비 고
0	-	-	가상운전 온도: 50°C
40	100	80.82	
80	100	161.63	

##### 2.2 해수담수 침지

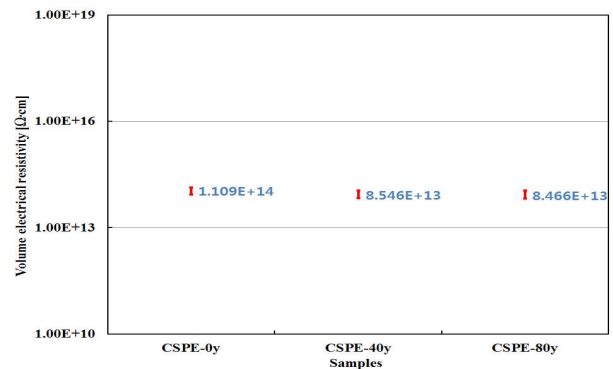
영광원자력 발전소의 해수와 진주 맑은 물 사업소의 담수를 각각 채취하여 5일 동안 침지하였다. 채취한 해수·담수의 성분은 국립수산과학원과 진주 맑은 물 사업소에 의뢰하여 분석 하였다.

해수의 경우 PH 8.00, 염분 32.10% 총질소 0.467mg/L, 총인 0.035mg/L의 성분이고, 담수의 경우 질산성질소 2.0mg/L, 경도 55mg/L, 수소이온농도 6.9mg/L, 염소이온 9mg/L, 증발잔류물 86mg/L, 황산이온 7mg/L 등의 성분을 나타내었다.

##### 2.3 3단자-체적전기저항률

가속열화 CSPE의 해수·담수 침지 후 체적전기저항률은 KSM3015에 의거하여 설계·제작한 3단자-체적전기저항률 측정시스템[2]을 이용하여 측정 하였다.

가속열화에 따른 CSPE의 해수·담수 침지 후 0y, 40y 및 80y의 체적전기저항률은 그림 1에 나타난 바와 같이 각각  $1.109 \times 10^{14} \Omega \cdot cm$ ,  $8.546 \times 10^{13} \Omega \cdot cm$  및  $8.466 \times 10^{13} \Omega \cdot cm$  이다. 해수·담수 침지 후 가속열화 된 40y와 80y CSPE의 체적전기저항률은 가속열화가 되지 않은 0y보다는 낮게 나타나고 있다. 가속열화 후 CSPE의 측쇄(branch chain or side group)가 먼저 끊어지고 주쇄(main chain or back bone)의 일부가 끊어지거나 느슨해진 것으로 생각된다.

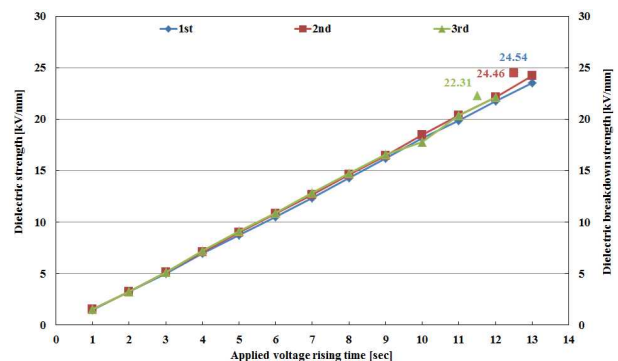


**<그림 1> 가속열화에 따른 CSPE의 체적전기저항률**  
**<Fig. 1> Volume electrical resistivity of CSPE as accelerated thermal aged year**

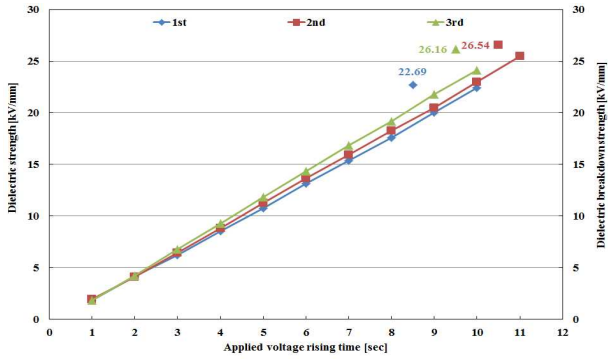
##### 2.4 유전계강도

Break down voltage tester(SM-60BDV)[3]을 이용하여 인가상승시간에 따른 최대유전계강도를 측정하였다.

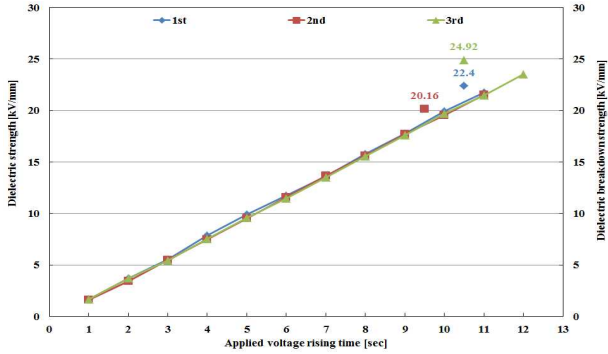
그림 2에 나타난 바와 같이 가속열화 되지 않은 CSPE의 해수·담수 침지 후 applied voltage rising time[sec]과 dielectric breakdown time[sec]은 12~13 및 11~13초 이고, 가속열화 된 CSPE의 해수·담수 침지 후 applied voltage rising time[sec]과 dielectric breakdown time[sec]은 각각 10~11 및 8~11초와 11~12 및 9~11초 이다. applied voltage rising time[sec]과 dielectric breakdown time[sec]은 가속열화 된 CSPE보다 가속열화 되지 않은 CSPE가 더 길게 나타나고 있다.



(a) CSPE-0y



(b) CSPE-40y



(c) CSPE-80y

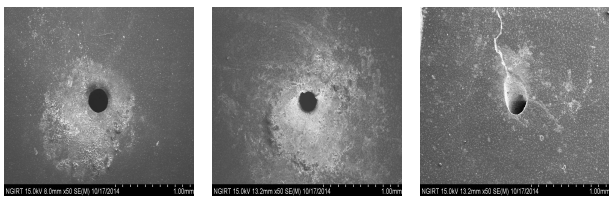
〈그림 2〉 가속열화에 따른 CSPE의 유전체 강도

〈Fig. 2〉 Dielectric strength of CSPE as accelerated thermal aged year

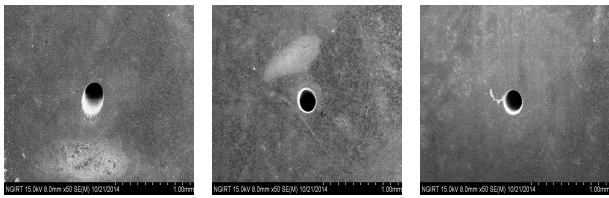
### 2.5 절연파괴 부위의 FE-SEM(Field emission scanning electron microscope)

CSPE의 절연파괴 부위의 구조 분석은 전계 방출 형 주사 전자 현미경(FE-SEM, Hitachi & Horiba/S4800& EDS, Japan)을 사용하여 분석하였다.

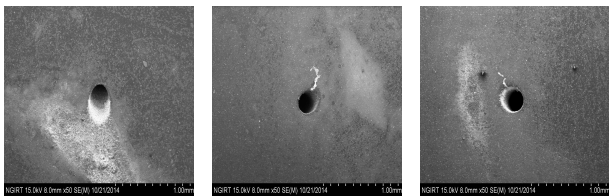
그림 3에 나타난 바와 같이 절연파괴 hole 내부 및 주위에서의 산화반응(oxidation), 파편(fragment), 크랙(crack)등을 볼 수 있다.



(a) CSPE-0y



(b) CSPE-40y



(c) CSPE-80y

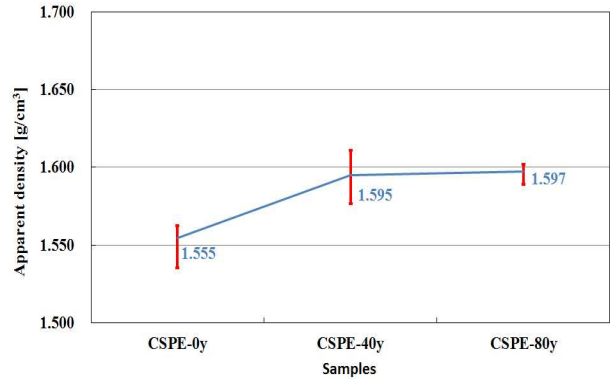
〈그림 3〉 가속열화에 따른 CSPE 절연파괴의 FE-SEM

〈Fig. 3〉 FE-SEM of dielectric breakdown of CSPE as accelerated thermal aged year.

### 2.6 겉보기밀도

CSPE 겉보기밀도(apparent density) 측정은 증류수를 이용한 아르키메데스의 원리(Archimedes' principle)를 이용하여 각 시편 당 9회를 측정하였다. 물의 밀도를 보정하기 위해 물의 온도(SDT8A, Summit Co. Ltd., Korea)를 측정하였고, 질량은 전자저울(AR3130, Ohaus, China)을 이용하였다.

그림 4에 나타난 바와 같이 가속열화에 따른 CSPE의 해수·담수 침투 후 0y, 40y 및 80y의 겉보기밀도는 그림 3에 나타난 바와 같이 각각 1.555 g/cm<sup>3</sup>, 1.595 g/cm<sup>3</sup> 및 1.597g/cm<sup>3</sup>이다.



〈그림 4〉 가속열화에 따른 CSPE의 겉보기밀도

〈Fig. 4〉 Apparent density of CSPE as accelerated thermal aged year

### 3. 결 론

1) 가속열화 년 수에 따라 CSPE의 체적전기저항률이 낮아진다. 가속열화 후 CSPE의 측쇄(branch chain or side group)가 먼저 끊어지고 주쇄(main chain or back bone)의 일부가 끊어지거나 느슨해진 것으로 생각된다.

2) 가속열화 된 CSPE 보다 가속열화 되지 않은 것 의 applied voltage rising time(sec)과 dielectric breakdown time(sec)이 길게 나타난다.

3) 절연파괴 부위의 FE-SEM의 hole 내부 및 주위에서의 산화반응(oxidation), 파편(fragment), 크랙(crack)등이 보인다.

4) CSPE polymer의 점성액체 분과 고무질 분이 점점 줄어들어 강체 성분이 높아져서 겉보기 밀도가 증가한 것으로 생각된다.

따라서 CSPE의 체적전기저항률, 겉보기밀도는 가속열화 년 수에 의존하는 것으로 판단된다. 그 외 유전체강도, 절연파괴 부위의 FE-SEM의 대한 조사 연구는 계속 진행하고자 한다.

본 연구는 2015년도 한국방사선안전재단의 원자력안전연구 사업의 지원으로 수행된 연구임.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Y. D Shin, J. H Lee, C. S Goo, I. Y Kim and B. S Jin, "Dffects on Measuring Temperature of Volume Electrical Resistivity of the Accelerated Thermal Aging CSPE", KIEE summer conference, 2012.
- [2] Patent number 10-1328994, 2013.
- [3] Sungmin instruments, Break Down Voltage Tester(SM-60BDV), 2007