

# 전자식 전력량계의 수명평가

설일호<sup>1</sup>, 박재덕<sup>1</sup>, 박정원<sup>2</sup>, 임국주<sup>2</sup>

1. 전력연구원, 2. 산업기술시험원

## Lifetime Assessment of Electronic Watt-hour Meters

Jeel-Ho Seol<sup>1</sup>, Jae-Duck Park<sup>1</sup>, Jung-Won Park<sup>2</sup>, Gook-Ju Ihm<sup>2</sup>

1. Korea Electric Power Research Institute, 2. Korea Testing Laboratory

### 초록

전력량계가 기계식에서 전자식으로 변화되면서 전력량계 교체주기의 재설정이 요구되고 있다. 현재까지는 기계식 전력량계의 교체주기를 적용하여 7년으로 교체주기를 정하고 있으나 기계식과 전자식은 차이가 있으므로 전자식 전력량계의 적절한 교체주기를 결정하여야 한다. 적절한 교체주기를 결정하기 위해서는 전자식 전력량계의 수명평가가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 전자식 전력량계의 부품 분석을 통하여 전자식 전력량계의 수명에 영향을 미칠 수 있는 부품을 선정하고, 선정된 부품에 대하여 가속수명시험을 실시하였다. 가속수명시험 결과로부터 부품들의 수명을 추정하고, 수명이 가장 짧아서 전자식 전력량계의 수명을 결정하는 부품의 종류를 확인하였다. 전력량계의 수명은 가장 짧은 수명을 갖는 부품의 수명에 의존하므로 부품들의 수명 추정 결과로부터 전력량계의 수명을 평가할 수 있었다. 또한, 수명이 가장 짧은 부품에 대하여 목표 수명 이상의 수명을 가짐을 보증하기 위한 시험기준을 설계하였다.

## 1. 서론

전력량계가 기계식에서 전자식으로 변화되면서 전력량계 교체주기의 재설정이 요구되고 있다. 기존의 기계식 전력량계 경우 오랜 사용 기간동안 축적된 필드데이터를 기초로 7년을 적정한 교체주기로 정하여 운영해왔는데, 전자식 전력량계의 경우 사용해 온 기간이 길지 않아서 필드데이터가 많지 않으므로 기계식 전력량계와 동일한 7년으로 교체주기를 정해 왔다. 하지만 기계식 전력량계와 전자식 전력량계는 고장메커니즘과 고장형태가 다르므로 전자식 전력량계의 교체주기를 기계식 전력량계와 동일하게 정하는 것은 바람직하지 않다.

전자식 전력량계의 합리적인 교체주기를 정하기 위해서 전자식 전력량계의 수명을 평가하기 위한 연구가 진행되어 왔다. 일본의 전력량계 관측 회사(Japan Electric Meter Inspection Corporation, JEMIC)[4]는 10년 동안 사용한 전자식 전력량계의 오차변동을 조사하였고, 전력연구원[2]에서는 외국 국가별 전력량계의 운영 실태를 조사하고 현장에 설치되어 사용되어 오던 국내 전자식 전력량계에 대하여 오차시험을 실시하였다. 이와 같은 기존 연구들의 경우 주로 현장에서의 사용이력데이터에 의존하여 수명을 판단하고 있으나 전자식 전력량계가 사용된 지 오래 되지 않아서 수명을 평가하기에는 정보가 충분하지 않은 상황이다.

본 연구에서는 전자식 전력량계에 사용되는 부품을 분석하여 전자식 전력량계의 수명에 영향을 미칠 주요 부품을 선정하고, 가속수명시험을 실시하여 주요 부품의 수명을 추정하였다. 주요 부품의 수명을 추정한 결과로부터 전력량계의 수명을 평가하였다. 또한 전력량계의 수명이 목표한 수명 이상임을 보증하기 위하여 가속수명시험 결과 추정된 가속모델을 적용한 수명시험기준을 설계하였다.

## 2. 전자식 전력량계의 수명 평가 절차

본 연구에서는 그림 1과 같은 절차에 따라서 전자식 전력량계의 수명을 평가하였다. 그림 1에서 구성부품 분석단계부터 가속수명시험 설계단계까지의 과정은 시험 설계 과정이고, 이후의 과정은 시험결과 분석 과정으로 볼 수 있다.

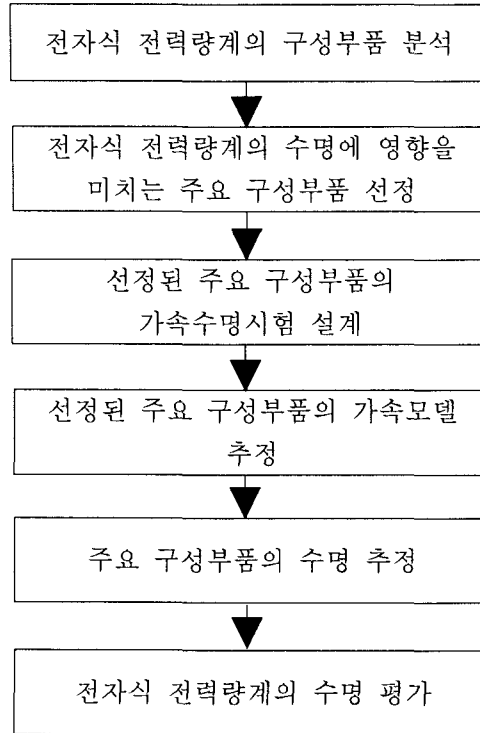


그림 1. 전자식 전력량계의 수명평가절차

### 3. 전자식 전력량계의 시험 설계

#### 3.1 전자식 전력량계의 구성부품 분석

구성부품 분석에서는 필드에서 고장을 일으키는 주요 원인이 되는 부품과 마모고장메커니즘을 갖기 때문에 수명이 유한한 것으로 알려진 부품이 있는지 여부를 조사하였다. 먼저 필드에서의 고장이력을 조사한 결과 필드에서의 주된 고장형태는 표 1에 나타낸 바와 같이 3가지 형태였다.

표 1. 필드에서의 주요 고장형태

고장형태	고장 부위(부품)	고장메커니즘
디스플레이 안됨	LCD Display	백화현상
전원부 고장	AI 전해 커패시터	전해액의 Dry out
오차 변동	저항	저항값 변화

그리고 전자식 전력량계의 구성부품 중 마모고장메커니즘을 갖는 부품을 조사한 결과 AI 전해 커패시터와 LCD였다. IEEE 650[3]에서는 우발고장메커니즘을 갖는 부품과 마모고장메커니즘을 갖는 부품을 나누어 제시하고 있는데 AI 전해 커패시터는 마모고장메커니즘을 갖는 대표적인 부품으로 분류되어 있다. LCD의 경우에는 IEEE 650에 제시되어 있지 않으나 산업계에서 마모고장메커니즘을 갖는 것으로 알려져 있는 부품이다.

### 3.2 전자식 전력량계의 수명에 영향을 미치는 주요 구성부품 선정

앞 절의 구성부품 분석 결과로부터 전자식 전력량계의 수명에 영향을 미치는 주요 구성부품으로서 LCD, AI 전해 커패시터, 저항(오차 변동에 관련된 저항)의 3가지 부품을 선정하였다.

### 3.3 선정된 주요 구성부품의 가속수명시험 설계

주요 구성부품으로 선정된 3가지 부품에 대하여 가속수명시험을 실시한 결과 LCD의 수명이 가장 짧은 것으로 확인되었기 때문에 본 논문에서는 LCD에 대한 가속수명시험과 수명을 추정한 방법에 대하여 설명하였다.

LCD의 필드 고장메커니즘은 LCD에 수분이 흡수되어 디스플레이가 점점 흐려져 표시가 안되는 백화현상이다. 이러한 고장메커니즘을 가속하는 스트레스는 온도와 습도이기 때문에 온도와 습도를 가속 스트레스로서 선정하였다. 시험조건으로서 그림 2와 같은 4가지 조건을 선정하였으며, LCD 시료 수 및 시험시간은 표 2와 같이 결정하였다.

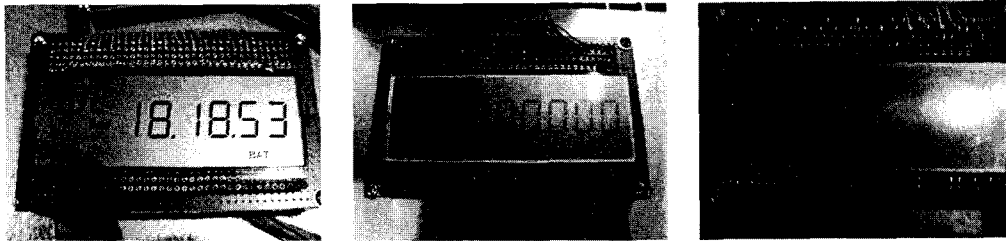
표 2. LCD 시험조건 설계

시험조건	시료수	시험시간
40℃ / 93% R.H.	15개(3개 업체 5개씩)	1872 시간
60℃ / 95% R.H.	15개(3개 업체 5개씩)	모두 고장날 때까지 시험
75℃ / 85% R.H.	15개(3개 업체 5개씩)	"
85℃ / 85% R.H.	15개(3개 업체 5개씩)	"

이 때 고장판정기준은 육안검사를 통하여 LCD에 문자가 보이지 않는 경우 고장으로 판정하는 것으로 결정하였고 매일 고장 여부를 확인하였다.

#### 4. 가속수명시험 결과 분석

LCD의 가속수명시험을 실시한 결과 세 업체의 LCD 모두 그림 2와 같이 실제 사용환경에서 발생하는 고장과 동일하게 백화현상에 의하여 고장이 발생한 것을 확인하였다.



(a) 초기 시료

(b) 시험 중 열화된 시료

(c) 고장 시료 모습

그림 2. 고장 시료 사진

시험결과 얻어진 고장시간 데이터에 대하여 와이블분석을 실시한 결과 고장이 발생하지 않은 40℃, 93% 조건을 제외한 세 조건에서 가속성이 성립하는 것으로 확인되었고, 세 조건에서의 수증기압과 와이블분포의 척도모수 사이에는 다음과 같은 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

$$\alpha = A(P)^n \quad (1)$$

단,  $\alpha$ 는 와이블분포의 척도모수,  $P$ 는 수증기압(kPa),  $A$ 와  $n$ 은 상수이다.

그림 3과 그림 4는 한 업체의 와이블 확률지 타점 결과와 와이블분포 척도모수와 수증기압 사이의 관계를 예로 나타낸 것이다.

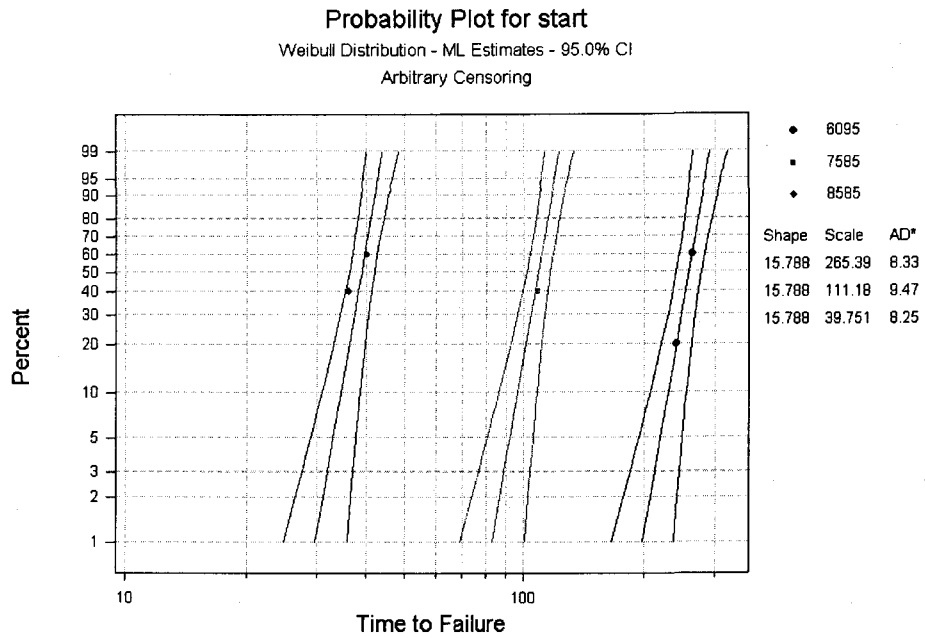


그림 3. 와이블 확률지 타점 결과

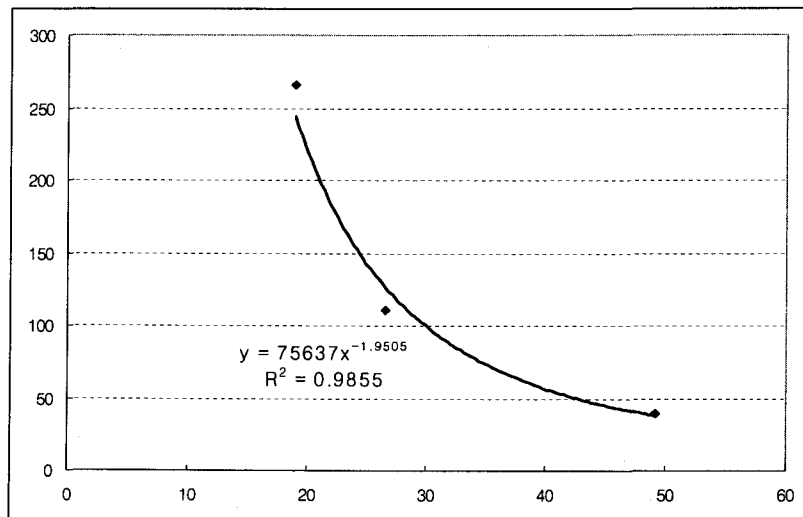


그림 4. 와이블분포의 척도모수와 수증기압 사이의 관계

그림 3과 그림 4와 같이 세 업체 LCD의 가속모델을 추정한 결과 표 3은 결과를 얻었다.

표 3. 세 업체 LCD의 가속모델 추정 결과

업체 구분	가속모델
A	$F(t) = 1 - \exp\{-(t/\alpha)^{15.788}\}, \alpha = 75637(P)^{-1.9505}$
B	$F(t) = 1 - \exp\{-(t/\alpha)^{12.308}\}, \alpha = 456578(P)^{-2.2764}$
C	$F(t) = 1 - \exp\{-(t/\alpha)^{5.267}\}, \alpha = 840999(P)^{-2.3252}$

정상 사용조건을 25 ℃, 50 %RH (1.58 kPa)라고 했을 때 표 3의 가속모델을 사용하여 B<sub>20</sub> 수명을 계산한 결과 표 4와 같은 결과를 얻었다.

표 4. 세 업체 LCD의 B<sub>20</sub> 수명 추정 결과

업체 구분	B <sub>20</sub> 수명
A	28,040 h
B	141,831 h
C	217,045 h

표 4의 B<sub>20</sub> 수명 추정 결과에서 알 수 있듯이 세 업체 LCD의 수명 차이가 크게 나타났다. 이로부터 전자식 전력량계의 수명이 목표하는 수준 이상된다는 것을 보증하기 위해서는 LCD의 수명에 대한 보증이 선행되어야 함을 알 수 있었다.

## 5. LCD의 수명보증을 위한 평가기준 설계

LCD의 가속시험결과로부터 추정된 3개 업체 LCD의 가속모델은 표 3과 같았다. 표 3의 가속모델을 살펴보면 수증기압에 곱해지는 상수항은 제조업체별로 큰 차이가 있으나 가속계수와 관련된 지수항은 소수 첫 번째 자리에서 반올림하면 모두 2로 동일함을 알 수 있다. 이로부터 수증기압에 대한 영향은 제조업체와 관계없이 유사함을 알 수 있다.

그러므로 LCD의 평가기준은 다음과 같이 정할 수 있다. LCD의 기준 사용조건을 25 ℃, 50 %RH(1.58 kPa)로 정하고, 기준 수명을 B<sub>20</sub>수명(20%가 고장나는 시점)으로 정할 때 B<sub>20</sub>수명이 10년 이상됨을 신뢰수준 90%로 보증하기 위해서는 11개의 시험품을 표 5와 같은 조건에서 해당 시간동안 시험하여 고장이 발생하지 않아야 한다.

표 5. 시험조건과 시험시간

시험조건	시험시간
60 ℃, 95 %RH (18.94 kPa)	26일
75 ℃, 85 %RH (26.50 kPa)	13일
85 ℃, 85 %RH (49.15 kPa)	4일

표 5의 시험시간은 기준 조건에서 10년에 해당하는 시간을 계산한 것이다. 예를 들면 60 ℃, 95 %RH 조건의 경우 기준 조건 25 ℃, 50 %RH(1.58 kPa)과의 가속계수가 다음과 같다.

$$AF = (P_u/P_a)^n = (1.58/18.94)^2 = 144$$

단, AF는 가속계수,  $P_u$ 는 기준 조건에서의 수증기압,  $P_a$ 는 시험조건에서의 수증기압,  $n$ 은 가속모델 상수값이다. 그러므로 기준 조건에서의 10년은 60 ℃, 95 %RH 조건에서 다음과 같은 시간에 해당된다.

$$10년 \times 365일 \times 24시간 \times AF = 608.33 \text{ h (약 26일)}$$

시험시간이 결정된 후에 시료수와 허용 고장수는 다음 식에 의하여 통계적으로 결정하였다.

$$n \geq (\tau^*/T)^\beta \times \chi_{(1-CL)}^2 (2c+2)/2 \times \{1/\ln(1-p)\}^{-1}$$

단,  $n$ 은 시료수,  $\tau^*$ 는 보증하고자 하는  $B_{(p \times 100)}$ 수명,  $T$ 는 기준 조건에서의 시간으로 환산한 시험시간,  $\beta$ 는 와이블분포의 형상모수, CL은 신뢰수준,  $c$ 는 허용 고장수이다.  $p$ 는  $B_{(p \times 100)}$ 수명에서의  $p$ 값으로 LCD에서는 0.2로 정하였다.

## 6. 결론

전자식 전력량계의 수명을 평가하기 위하여 전자식 전력량계의 수명에 주요한 영향을 미치는 부품을 조사하였다. 필드 고장이력과 구성부품의 고장메커니즘 조사를 통하여 전자식 전력량계의 필드 주요 고장현상이 디스플레이 안됨, 전원부 고장, 오차 변동이고 이 들 고장에 영향을 미치는 주된 부품이 LCD, AI 전해커패시터, 저항임을 알 수 있었다. 주요 고장원인인 3종류의 부품에 대하여 가속수명시험을 실시한 결과 LCD가 가장 짧은 수명을 가져 전자식 전력량계의 수명을 결정하는 부품으로 확인되었다. LCD의 가속수명시험으로부터 얻어진 고장데이터를 분석하여 가속모델을 추정하고 25 ℃, 50 %RH 조건을 기준 조건으로 결정하고  $B_{20}$  수명을 계산한 결과 3개 업체의 수명이 큰 차이를 보였다. 한 업체의 LCD는  $B_{20}$  수명이 현재의 교체주기인 7년도 안되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로부터 전자식 전력량계의 수명이 목표 수준 이상됨을 보증하기 위해서는 LCD의 수명이 목표 수준 이상으로 보증되어야 함을 알 수 있었다. LCD의 목표 수명을  $B_{20}$ 수명 기준으로 25 ℃, 50 %RH 조건에서 10년 이상



됨을 신뢰수준 90%로 보증하기 위한 시험기준을 설계한 결과 11개의 시험품을 75 ℃, 85 %RH 조건에서 13일 시험하여 고장이 발생하지 않아야 보증할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] 서순근(2001), MINITAB을 활용한 신뢰성 분석, 이레테크.
- [2] 전력연구원 보고서(2001), 전자식 전력량계의 특성과 구조, TM.00PJ12. P2001.166.
- [3] IEEE 650, Standard for Qualification of Class 1E Static Battery Chargers and Inverters for Nuclear Power Generating Stations, 1990.
- [4] METI-JEMIC, Survey on electronic meters and certification term change results, 2003.