

# 제품의 신뢰성 수준 비교를 위한 신뢰성 지수 개발

박정원, 함중걸

산업기술시험원 신뢰성종합기술지원센터

## Development of Reliability Index for Comparison of Components' Reliability

Jung-Won Park, Jung-Keol Ham

Korea Testing Laboratory, Reliability Technology Center

### 초록

본 논문에서는 선진 제품의 신뢰성 수준과 국산 제품의 신뢰성 수준 비교 결과를 정량적으로 표시하기 위한 신뢰성지수를 개발하여 제안하였다. 본 연구에서 제안한 신뢰성지수는 가장 우수한 제품의 신뢰성수준과 비교하고자 하는 제품의 신뢰성 수준을 점수화한 신뢰성점수의 비로서 나타낸다. 이 때 신뢰성점수는 제품 초기 특성값 산포, 환경시험 후의 특성변화율, 제품 설계 여유도, 제품 수명 또는 고장률의 4가지 항목을 고려하여 미리 정한 점수 산출 기준을 통하여 산출한다. 제안한 신뢰성지수의 적용방법에 대한 이해를 돕기 위하여 구체적인 적용례도 함께 제시하였다.

### 1. 서론

신문이나 TV 등의 방송매체에서 선진국가와 우리나라 사이의 기술수준을 비교하면서 우리나라 기술수준은 선진국가의 몇 % 수준이라고 발표하는 것을 자주 보게 된다. 이

와 같은 정보는 실제 기술에 대하여 잘 모르는 일반 소비자들도 우리나라 기술수준을 쉽게 이해할 수 있도록 해 준다. 이와 같이 신뢰성도 누구나 들으면 쉽게 그 수준을 이해할 수 있는 지수가 필요하다.

본 논문에서는 대상 제품의 신뢰성 수준이 어느 정도인지 일반 소비자들이 쉽게 이해할 수 있고 정량적으로 나타낼 수 있는 신뢰성지수(Reliability Index, RI)를 제안하였다.

## 2. RI의 정의

본 논문에서는 RI를 다음과 같은 값으로 정의하였다.

$$RI (\%) = \left( \sum_{i=1}^n \omega_i \times RS_{O_i} / \sum_{i=1}^n \omega_i \times RS_{T_i} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

단,  $n$ 은 비교 평가항목 수,  $\omega_i$ 는  $i$ 번째 평가항목에 대한 가중값,  $RS_{O_i}$ 는 대상 제품의  $i$ 번째 평가항목에 대한 신뢰성 점수(Reliability Score)이고,  $RS_{T_i}$ 는 세계적으로 가장 우수한 신뢰성을 갖는 제품의  $i$ 번째 평가항목에 대한 신뢰성 점수이다. 즉, 관심 있는 제품의 RI가 90%인 경우 대상 제품의 신뢰성이 세계에서 가장 신뢰할 수 있는 제품 신뢰성의 90% 수준이라는 의미이다.

(2.1) 식에서 RS는 신뢰성 점수로서 미리 정한 평가항목에 대한 평가척도 값을 기준하여 비교 대상 제품 중 가장 좋은 값을 100으로 보았을 때 상대적인 비율로 표시하여 점수를 매긴다. 평가척도의 성질에 따라 값이 클수록 좋은 경우와 작을수록 좋은 경우가 있는데 각각의 경우에 대하여 다음과 같이 점수를 계산한다.

### (1) 평가척도 값이 클수록 좋은 경우

평가척도 값이 클수록 좋은 경우에는 RS를 다음과 같이 계산한다.

$$RS = (M_O/M_T) \times 100 \quad (2.2)$$

단,  $M_O$ 는 대상 제품의 평가척도 값이고,  $M_T$ 는 비교 대상 제품의 평가척도 값 중 가장 좋은 평가척도 값이다. 예를 들면, 제품의 수명을 평가항목으로 삼고  $B_{10}$ 수명을 평가척도로 정한 경우 비교 대상으로 삼은 업체 제품 중 가장 긴  $B_{10}$ 수명이 10년이고, 대상 제품의  $B_{10}$ 수명이 9년이라면 대상 제품의 RS는  $(9/10) \times 100$ 으로 90점이 된다.

### (2) 평가척도 값이 작을수록 좋은 경우

평가척도 값이 작을수록 좋은 경우에는 RS를 다음과 같이 계산한다.

$$RS = \{(1/M_0)/(1/M_T)\} \times 100 \quad (2.3)$$

예를 들면, 제품의 고장률을 평가척도로 삼을 때 비교 대상으로 삼은 업체 제품 중 가장 작은 고장률이 10 FIT이고, 대상 제품의 고장률이 20 FIT라면 대상 제품의 RS는  $\{(1/20)/(1/10)\} \times 100$ 으로 50점이 된다.

### 3. 평가항목과 평가척도

수요업체에서 부품·소재를 선택하는데 있어서 신뢰성과 관련하여 관심을 갖는 평가항목을 조사한 결과 다음과 같았다.

#### (1) 초기 부품·소재 특성 산포

수요업체에서 가장 기본적으로 평가하는 항목이 초기 특성의 산포이다. 다구치가 품질을 바람직한 값에서 벗어남으로 인하여 사회에 끼치는 손실로 정의하였던 것처럼 초기 특성 산포가 큰 경우 불량 제품이 만들어질 가능성이 높아지기 때문이다. 초기 특성 산포를 나타내는 정량적인 척도로서는 공정능력지수(Cpk)가 주로 사용이 된다. 공정능력지수는 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} Cpk &= (1-K) Cp, \quad 0 < K < 1 \text{인 경우} \\ &= 0, \quad K \geq 1 \text{인 경우} \end{aligned} \quad (3.1)$$

단, K는 치우침도를 나타내는 값으로  $|M-\mu|/\{(U-L)/2\}$ 이고, M은 규격의 중심값으로  $(U+L)/2$ ,  $\mu$ 는 평균, Cp는  $(U-L)/6\sigma$ , U는 규격상한, L은 규격하한,  $\sigma$ 는 표준편차이다. 공정능력지수는 클수록 불량이 발생할 확률이 적은 것을 의미하므로 클수록 좋은 부품이다. 이 경우 (2.2)식을 사용하여 RS를 계산한다. 예를 들어 칩저항의 공정능력지수를 산출한 결과 가장 좋은 업체의 Cpk 값이 1.67이었고, 관심 있는 업체의 Cpk 값이 0.74였다면 이 업체의 RS는 다음과 같이 계산된다.

$$RS = (0.74/1.67) \times 100 = 44 \text{점}$$

#### (2) 환경시험 후 특성의 로버스트 성질

부품의 신뢰성은 사용환경에 따라서 크게 영향을 받는데 어떤 환경에 장시간 노출되어도 특성이 변화되지 않고 일정하다면 좋은 부품으로 볼 수 있을 것이다. 이와 같은 관점에서 환경시험 후 부품 특성의 로버스트 정도는 부품을 비교할 때 고려되어야 할

항목이다. 환경시험 후 부품 특성의 로버스트 성질을 나타내는 척도로서는 특성 변화율을 사용한다. 환경시험 후의 특성 변화율이 작다는 것은 어떤 환경에 노출되어도 특성이 로버스트하게 유지된다는 의미로 필드에서 고장 발생할 가능성이 작다는 것을 의미한다. 특성 값의 환경에 대한 영향 정도를 나타내는 평가척도로서 특성 변화율을 다음과 같이 계산한다.

$$\text{특성 변화율} = |\text{시험 전 특성 값} - \text{시험 후 특성 값}| \times 100 / \text{시험 전 특성 값} \quad (3.2)$$

특성 변화율을 평가척도로 삼는 경우 RS는 (2.3)식을 이용하여 계산할 수 있다. 예를 들어 알루미늄 전해 커패시터 제조업체 4업체로부터 시료를 받아서 고온시험을 실시한 후 정전용량 변화율을 산출한 결과 그림 1과 같았다면 D업체의 RS는 다음과 같이 계산된다.

$$RS = \{(1/7.2)/(1/1.4)\} \times 100 = 19\text{점}$$

단, 정전용량 변화율의 중앙값을 기준하였고, 7.2는 D업체의 정전용량 변화율의 중앙값을 %로 표현한 것이고, 1.4는 C업체의 정전용량 변화율의 중앙값을 %로 표현한 것이다.

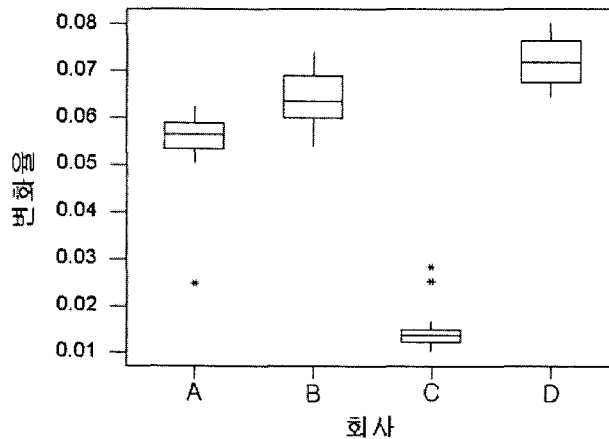


그림 1. 고온시험 후 정전용량 변화율의 Box plot 결과

환경시험항목이 여러 개인 경우 각각의 환경시험항목에 대하여 RS를 계산한 후 평균값을 구하여 환경시험 후 특성 로버스트 성질에 대한 RS로 삼는다.

### (3) 설계 여유도

최근 수요업체에서 제품을 평가할 때 많이 사용하는 시험방법으로 HALT(Highly Accelerated Life Test)가 있다. HALT에서는 스트레스를 단계적으로 높여 제품의 동작 가능한 범위를 찾는다. 동작 가능 범위가 실제 사용환경보다 넓으면 넓을수록 여유도(margin)가 크게 설계되었다는 의미로 고장 발생 가능성이 작아짐을 알 수 있다. 설계 여유도에 대한 평가척도는 미리 정한 각 스트레스에 대하여 최고 동작 스트레스 수준이 된다. 예를 들어 어떤 LCD에 대하여 온도 스트레스를 이용한 HALT를 실시한 결과 A업체 LCD의 최고 동작 온도는 100℃였고, B업체 LCD의 최고 동작 온도는 80℃였다면 설계 여유도와 관련된 B업체의 RS는 (2.2)식을 사용하여 다음과 같이 계산된다.

$$RS = (80/100) \times 100 = 80\text{점}$$

### (4) 수명 또는 고장률

현재 정부에서 부품·소재에 대하여 신뢰성인증하고 있는 내용을 살펴보면 신뢰성을 수명 및 고장률로 표현하고 있다. 수명에 대한 평가척도로는 주로  $B_p$ 수명 또는 평균 수명(Mean Time To Failure, MTTF)을 사용하고 있고, 고장률은 그 자체가 평가척도가 된다. 수명의 경우에는 앞서서도 예를 들어 설명하였듯이 (2.2)식을 사용하여 RS를 계산하고, 고장률의 경우에는 (2.3)식을 사용하여 RS를 계산한다.

## 4. 적용례

알루미늄 전해 커패시터 제조업체 5개 업체의 시료에 대한 신뢰성 수준을 비교하였다. 이 중 2개 업체(A, B로 지칭함)는 국내에서 점유율이 높은 상위 2개 업체이고, 3개 업체(C, D, E로 지칭함)는 세계적으로 점유율이 높은 해외 선진업체들이다. 이들 업체의 시료에 대하여 위에서 언급한 바와 같이 4가지 평가항목에 대하여 RS를 산출하고 RI를 계산한 예를 제시한다.

### (1) 특성값의 초기 산포

알루미늄 전해 커패시터의 특성으로는 정전용량, 유전손실율, 누설전류를 주로 측정한다. 각각의 특성값에 대하여 5개 업체의 시료 100개씩을 추출하여 공정능력지수를 계산한 결과 표 1과 같았다.

표 1. 알루미늄 전해 커패시터의 특성에 대한 공정능력지수(Cpk)

	A	B	C	D	E
정전용량	3.4	2.4	3.0	7.4	3.5
유전손실율	2.2	1.7	2.5	3.7	3.2
누설전류	1.5	1.2	2.0	2.3	2.5

표 1로부터 각 특성에 대한 RS 값을 계산하면 표 2와 같다.

표 2. 특성값의 초기 산포 관련 RS 계산 결과

	A	B	C	D	E
정전용량	46	32	41	100	47
유전손실율	59	46	68	100	86
누설전류	60	48	80	92	100
평균 RS	55	42	63	97	78

(2) 환경시험 후 특성의 로버스트 성질

비교 대상 5개 업체의 시험품에 대하여 고온저장시험, 고온동작시험, 고온고습시험, 온도변화시험, 서지시험, 납땜내열성시험, 진동시험을 실시하였다. 이와 같은 7가지 시험 후 주로 변화가 크게 발생한 정전용량을 기준으로 시험 전, 후의 용량 변화율을 다음과 같이 계산한 결과 표 3과 같은 용량 변화율의 증감값이 얻어졌다.

$$\text{용량 변화율(\%)} = (\text{시험 전 정전용량} - \text{시험 후 정전용량}) \times 100 / \text{시험 전 정전용량} \quad (4.1)$$

표 3. 환경시험 후의 용량 변화율 증감값

	A	B	C	D	E
고온저장시험	7%	5%	5%	2%	3%
고온동작시험	12%	10%	8%	5%	7%
고온고습시험	8%	8%	10%	5%	5%
온도변화시험	5%	7%	7%	3%	5%
서지시험	2%	3%	2%	2%	3%
납땜내열성시험	1%	2%	2%	1%	2%
진동시험	2%	1%	2%	1%	1%

표 3의 용량 변화율 중앙값을 기초하여 RS를 산출하면 표 4와 같은 RS 값이 얻어진다. 이 때 RS 값은 용량 변화율이 작을수록 좋은 값이므로 (2.3)식을 이용하여 계산하였다.

표 4. 환경시험 후 특성의 로버스트 성질 관련 RS 값

	A	B	C	D	E
고온저장시험	29	40	40	100	67
고온동작시험	42	50	63	100	71
고온고습시험	63	63	50	100	100
온도변화시험	60	43	43	100	60
서지시험	100	67	100	100	67
납땀내열성시험	100	50	50	100	50
진동시험	50	100	50	100	100
평균 RS 값	63	59	57	100	74

(3) 설계 여유도

알루미늄 전해 커패시터의 경우 고온에 영향을 많이 받으므로 85℃부터 단계적으로 10℃씩 올려 커패시터의 특성이 사양을 벗어나기 시작하는 온도를 조사한 결과 표 5와 같았다.

표 5. 설계 여유도

	A	B	C	D	E
최고 사용가능온도	150 ℃	160 ℃	180 ℃	160 ℃	170 ℃

표 5의 설계 여유도를 이용하여 RS값을 계산하면 표 6과 같다. 이 때 RS값은 (2.2)식을 사용하여 계산하였다.

표 6. 설계 여유도 관련 RS 값

A	B	C	D	E
83	89	100	89	94

(4) 수명

알루미늄 전해 커패시터의 수명을 비교하기 위하여 105℃에서 5개 업체의 시료를 시험하여 B<sub>10</sub>수명을 산출하였다. 산출 결과 표 7과 같은 수명이 얻어졌다.

표 7. 105 ℃에서의 B<sub>10</sub>수명

	A	B	C	D	E
B <sub>10</sub> 수명	3000	3500	4000	3800	2500

B<sub>10</sub>수명 관련 RS값을 계산하면 표 8과 같다.

표 8. 수명 관련 RS 값

A	B	C	D	E
75	88	100	95	63

4가지 평가항목에 대하여 동일한 가중값을 주는 경우 각 회사별 총 RS 값은 표 9와 같다.

표 9. 회사별 총 RS 값

	A	B	C	D	E
특성값의 초기 산포	55	42	63	97	78
환경시험 후 특성의 로버스트 성질	63	59	57	100	74
설계 여유도	83	89	100	89	94
수명	75	88	100	95	63
총 RS 값	276	278	320	381	309

표 9로부터 각 회사의 신뢰성지수를 계산하면 표 10과 같다.



표 10. 회사별 신뢰성지수

A	B	C	D	E
72	73	84	100	81

산출된 회사별 신뢰성지수를 보면 가장 신뢰성 수준이 높은 회사 대비 관심있는 회사의 신뢰성 수준이 몇 % 정도 되는지 알 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 선진업체의 신뢰성 수준 대비 국내 업체의 상대적인 신뢰성 수준을 정량적으로 표현하기 위한 신뢰성지수(RI)를 제안하였다. 본 논문에서 제안한 신뢰성지수는 부품 특성의 초기 산포, 환경시험 후 로버스트 성질, 설계 여유도, 수명 또는 고장률의 4가지 항목을 고려하여 산출하였다. 4가지 항목에 대한 평가척도로는 공정능력지수, 환경시험 후 특성 변화율, 동작 가능한 최고 스트레스 수준,  $B_p$ 수명 또는 고장률을 사용하였고, 이 평가척도 값들을 기초로 산출한 신뢰성점수(RS)가 가장 높은 업체의 신뢰성점수 대비 대상 업체의 신뢰성점수 비로서 신뢰성지수를 정의하였다.

부품 제조업체의 부품 신뢰성 수준을 본 논문에서 제시한 신뢰성지수로 표현함으로써 수요업체가 대상 부품의 신뢰성 수준을 쉽게 파악할 수 있게 되어 부품을 선택하는데 신뢰성 수준 정보를 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 부품 제조업체 입장에서는 신뢰성지수를 참고하여 시장에서 경쟁력을 갖추기 위한 구체적인 신뢰성 목표를 설정할 수 있을 것이다.