

# 전자식 안정기의 신뢰성 평가

하 태 현\*, 명 성 호\*\*

(\*한국전기연구소 선임연구원, \*\*책임연구원)

## 1. 서 론

에너지 자원의 고갈 및 산업의 에너지 절약 정책에 따라 전력에너지의 관리가 공급 위주에서 수요관리 위주로 바뀌고 있다. 국내의 조명분야에서도 국제적인 발전추세에 대처하고 에너지 절약 정책에 대응하기 위해 고효율 조명제품의 기술 개발 및 26mm 32W형으로의 슬림화 정책 등을 추진하고 있다. 또한 전자식 안정기의 한국표준규격인 KSC 8100이 1992년에 제정되어 1996년부터 시행되고 있으며, "에너지 소비 효율 등급 제도"와 "고마크 제도" 등 정부 차원에서 고효율 전자식 안정기의 보급 확대를 꾀하고 있다.

따라서 전자식 안정기의 보급 확대를 위해서는 신뢰성 확보가 필수적이지만, 현재 60여개의 중소기업에서 생산되고 있는 전자식 안정기는 부품 조립 후 초기 특성만을 검사하여 공급하고 있는 실정이다. 본 고에서는 현재 시판되고 있는 전자식 안정기의 신뢰도 평가를 부품 및 시스템에 발생 가능한 최악 조건에서의 가속 수명 시험과 MTBF에 의한 신뢰도 예측 측면에서 살펴보고자 한다.

## 2. 국내 전자식 안정기의 현안 문제점

전자식 안정기 생산업체를 대상으로 설문조사를 실시한 결과, 전자식 안정기에 대하여 다음과 같은 현안 문제점을 가지고 있었다.

- 1) 저온 및 방전 초기에 Sputtering 현상에 의한 램프의 수명 단축
- 2) 미소 전압 변동( $\pm 10\%$ )에 따른 절전효과 감소
- 3) 부하 조건 이상 상태시(램프의 교환(무부하시 포함), 수명 말기 및 오결선 등) 안정기 내부 스위칭 소자 파괴

4) 전자파 및 고조파 장해

5) 과전압, 서지 유입에 의한 신뢰도 저하

이러한 문제점을 해결하는 것이 전자식 안정기의 신뢰도를 향상시키는 것이며, 이들 대부분은 회로 설계시에 이루어져야 한다. 또한 현안 문제점을 토대로 전자식 안정기가 갖추어야 할 신뢰도 요구사항은 다음과 같다.

1) 제조 및 공정관리 기술 :

- PCB 조립 · 가공 기술
- 제조, 검사 설비 관리 기술
- 신뢰성 시험 평가 기술

2) 회로 설계(성능면) :

- 램프와의 정합성
- 미소 입력 전압 변동시 절전 효과
- 부하 조건 이상 상태시 보호 기능
- 전자파 및 고조파 장해 대책
- 과전압, 서지 유입에 따른 회로의 안정성

3) 부품의 품질 보증 :

- 수입 검사 확립을 통한 부품의 편차 흡수
- 주요 부품(Diode, TR, FET, 콘덴서, 인덕터, 트랜스 등)의 신뢰성 검증
- 부품의 신뢰도 예측기법 확립

## 3. 시료 선정

시료는 국내 전자식 안정기 업체에서 주로 생산하고 있는 여러 가지 회로 방식 중에서 정류회로, 출력제어회로(발진 방식, 시동방식) 및 보호회로 구성별로 분류하여 대표적인 5가지 모델을 선정하였다. 시료의 규격은 32mm, 40W용과 26mm, 32W용 두 가지로 결정하였으며, 40W용은 국내 전

표 1 32mm, 40W용 전자식 안정기의 구성

모델 구분	정류회로	출력 및 제어회로		보호회로	비고
		발전방식	시동방식		
A	Boost	자려식	Instant	비복귀	
B	철심 인덕터	자려식	Instant	-	물딩제품
C	부분평활	자려식	Soft	자동복귀	
D	Dither	자려식	Instant	-	
E	Dither	타려식	Soft	비복귀	고마크

표 2 26mm, 32W용 전자식 안정기의 구성

모델 구분	정류회로	출력 및 제어회로		보호회로	비고
		발전방식	시동방식		
A	철심 인덕터	자려식	Soft	-	
B	철심 인덕터	자려식	Instant	-	물딩제품
C	부분평활	자려식	Soft	자동복귀	
D	Dither	자려식	Instant	-	
E	Dither	타려식	Soft	비복귀	고마크

\*이하 본 고에서는 모델별 시료구분을 상기 A,B,C,D,E로 표시하였음

자식 안정기 생산의 80% 이상을 차지하고 있고, 32W의 경우는 현재 정부차원에서 "고마크 제도" 실시 및 "고효율 기자재" 고시 등의 여러 가지 지원제도를 통하여 절전형 조명기구로서 생산 및 수요를 장려하고 있기 때문에 선정하였다. 본 평가에 사용된 시료의 구성을 표 1 및 표 2에 나타내었다.

본 평가에 사용된 형광램프는 KSC 8100에 규정된 시험용 램프의 규격을 만족하는 것을 선별하였으며 램프특성의 안정을 위하여 100시간 에이징한 후 시험에 사용하였다. 표 3과 표 4는 시험에 사용한 40W와 32W 전자식 안정기의 초기특성을 각각 나타낸 것이다.

32W 전자식 안정기는 40W에 비해서 램프전류가 적은 반면에 램프전압이 높으며, 특히 점등시 더 높은 전압을 필요로

표 3 40W 전자식 안정기의 초기특성

구분	램프전류 (A)	램프전압 (V)	입력전력 (W)	광출력 (lm)	출력주파수 (kHz)	
A	1	0.298	110.1	38.0	2695	28.1
	2	0.313	110.6	39.3	2782	28.2
	3	0.298	111.4	38.5	2701	29.5
B	1	0.258	114.2	36.3	2682	24.2
	2	0.254	114.6	36.4	2674	24.5
	3	0.259	114.6	35.3	2678	24.5
C	1	0.387	108.1	39.4	2755	27.4
	2	0.387	108.2	39.5	2780	27.6
	3	0.388	104.1	39.1	2680	27.6
D	1	0.304	108.6	38.5	2696	41.4
	2	0.299	109.3	36.9	2605	41.6
	3	0.300	105.5	37.8	2672	41.6
E	1	0.308	101.3	37.4	2746	42.3
	2	0.306	100.8	37.0	2719	42.8
	3	0.306	105.4	37.9	2695	42.2

표 4 32W 전자식 안정기의 초기특성

구분	램프전류 (A)	램프전압 (V)	입력전력 (W)	광출력 (lm)	출력주파수 (kHz)	
A	1	0.176	142.1	29.3	2230	41.1
	2	0.182	141.1	29.1	2239	41.6
	3	0.178	141.9	29.1	2282	40.4
B	1	0.182	140.1	32.3	2207	22.6
	2	0.183	138.4	32.7	2342	23.6
	3	0.188	137.9	33.3	2312	23.5
C	1	0.238	134.3	30.4	2308	28.2
	2	0.252	134.4	30.2	2406	29.0
	3	0.232	134.8	30.1	2219	29.2
D	1	0.184	147.2	27.6	2189	47.8
	2	0.183	141.5	27.7	2259	46.3
	3	0.181	144.5	27.6	2093	47.3
E	1	0.208	142.8	31.9	2551	46.2
	2	0.206	136.5	31.0	2598	45.7
	3	0.203	135.0	32.2	2531	45.7

한다는 점 외에는 회로설계 및 구성면에서 거의 동일하게 제작될 뿐만 아니라, 안정기 자체만으로는 제품 성능면에서도 크게 차이가 나지 않았다.

### 4. 가속 수명 시험

제품의 수명(또는 고장률)을 조기에 예측하고, 신뢰성 개선 설계 자료 수집과 함께 사용자에게 제품의 신뢰성을 보증하기 위한 자료를 확보하기 위하여 일반적으로 널리 사용되는 방법이 강제열화조건을 포함하는 가속수명시험이다.

가속수명시험은 시간과 비용을 단축시키는 장점이 있는 반면에 가속에 의해 실용조건과 다른 고장 mode를 발생시키기 쉽기 때문에 가능한 한 고장 메커니즘이 변화되지 않는 시험 조건 또는 고장 메커니즘이 단순한 시험조건을 선정하여 적용범위를 명확히 하여야 한다. 또한 시험조건을 결정하기 전에 스트레스의 종류나 레벨 등 사전정보를 충분히 활용하여 적절한 예비시험을 행하여, 경제적으로 능률이 좋은 시험을 실시토록 하는 것이 중요하다.

표 5 국내·외 내구성 시험 규격 비교

구분	KS C 8100	고마크 기술규격	JIS C 8117	IEC 929
내열동작	고온85±2℃ 360시간	고온80±2℃ 360시간	고온80+2℃ 360시간	온도반복, 개폐 시험후 정격부하시 200시간 경과 전의 Tc의 온도를 상승
개폐	10초 ON, 10초 OFF 무부하,부하 각 1000회	10초 ON, 10초 OFF 무부하, 말기부하 각 1500회	10초 ON, 10초 OFF 무부하, 부하 각 1000회	30초 ON, 30초 OFF 무부하 1500회
온도반복	5℃ 1시간, 100℃ 1시간 5회 반복	5℃ 1시간, 100℃ 1시간 5회 반복	5℃ 1시간 100℃ 1시간 5회 반복	10℃ 1시간 방치후, 1시간 동안 Tc의 온도로 상승을 5회 반복
시험순서	내열동작 개폐 온도반복	온도반복 개폐 내열동작	독립적 수행	온도반복 개폐 내열동작
시료수	3개	5개	시험별 3개이상	1개
검사	상온에서 15분간 정상동작	실온에서 3분 ON, 2분 OFF 15분간 정상동작	실온에서 15분간 정상동작	실온에서 15분간 정상동작

표 6 Step Stress 시험 방법

시험조건	시료수	비 고
1. 기본 조건 - 10초 ON, 10초 OFF	20개 (5개모델×4)	1. 시험순서는 step 번호 순으로 실시 2. 1 cycle 시험완료후 정상동작시료는 step ③번부터 리사이클 시험 실시
2. step 조건 ①정격입력전압, 무부하시 : 2,000회		
②정격입력전압, 부하시 : 2,000회		
③과전압(253V), 부하시 : 10,000회		
④고온(85℃), 부하시 : 10,000회		

#### 4.1 가속수명시험 방법

현재 표 5와 같은 내구성 시험에 관한 국내·외 규격의 시험 방법은 사실상 제품의 에이징 및 디버깅 개념에 불과하다. 따라서 표 6과 같이 새로운 가속수명시험 방법으로 실시하였다. 이 방법은 단계별로 스트레스의 수준을 증가시키는 Step Stress Cycle 시험으로써 10초 ON, 10초 OFF의 개폐시험을 기본시험조건으로 하며, 비교적 단시간에 걸쳐 고장 Data 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

#### 4.2 가속수명시험 결과 및 고찰

- 시료 : 32W 전자식 안정기
- 총 점멸시험 회수 : 20만회 (10 cycle)
- 고장시료수/총시료수 : 10 / 20
- 시험소요시간 : 1,150 시간 (48일)
- 고장내역 :  
- 2nd Cycle

시료구분	점멸횟수	고 장 부 품
A-2	31,000회	- 2차측 전류제한 트랜스
A-3	38,000회	- 2차측 전류제한 트랜스
D-3	33,000회	- 정류부 다이오드(1N4007)

#### - 3rd Cycle

시료구분	점멸횟수	고 장 부 품
A-1	58,000회	- 2차측 전류제한 트랜스
A-4	46,000회	- 2차측 전류제한 트랜스
C-3	53,000회	- 정류부 저항
E-2	49,000회	- FET(IRF830)

- 4th Cycle

시료구분	점멸횟수	고장 부품
D-1	72,000회	- 정류부 다이오드(1N4007)

- 5th Cycle

시료구분	점멸횟수	고장 부품
E-4	88,000회	- FET(IRF830)

- 7th Cycle

시료구분	점멸횟수	고장 부품
D-2	131,000회	- FET(IRF730)

이상 시험결과를 보면 2~3번째 사이클에서 고장 시료수가 가장 많으며, 그 이후 10번째 사이클까지 우발적인 고장이 발견되었다. 즉 2~3번째 사이클까지 초기고장기간, 5~6번째 사이클시험부터는 우발고장기간에 진입한 것으로 볼 수 있다. 따라서 본 시험은 가속수명시험을 우발고장기간내에서 종료한 것으로 볼 수 있으며, 그 이후의 고장을 발견하기 위한 시험방법은 비경제적이며 큰 의미가 없다.

### 5. 신뢰도 예측 평가

전자식 안정기의 신뢰성 보증을 위해서는 개발 초기 단계부터 전 공정에 걸쳐 신뢰성 분석 업무를 수행하는 것이 효과적이다. 즉 효과적인 예측을 하기 위해서는 신뢰성 분석 업무가 설계 과정의 일부가 되어 공학적 요소와 신뢰도 요소를 상호 관련시켜야 한다.

#### 5.1 신뢰도 예측 평가 방법

신뢰도 예측 평가는 MIL-HDBK-217F의 부품 스트레스 분석 방법(Parts Stress Analysis Method)을 적용하였으며, 신뢰도 분석 작업의 진행은 우선 가장 중요한 부분인 신뢰도 예측 작업지를 작성하고 이것을 신뢰도 예측 프로그램(MilStress)에 활용하였다.

이와 같이 전자식 안정기 설계시 사용된 각종 전자부품의 특성들을 상세하게 검토하여 신뢰도 예측 작업지는 가능한 정확하게 작성해야 하며, 이를 토대로 "적절한 부품 선정 및 부하 경감(Derating)"이 설계에 반영되도록 하여 신뢰성 향상 업무와 연계되도록 해야 한다. 전자식 안정기의 개발단계에서 수행해야 할 신뢰도 분석업무의 흐름도는 그림 1과 같다.

#### 5.2 신뢰도 예측 평가 결과 및 고찰

부품 스트레스 분석 방법을 적용한 평가 과정에 따라 신뢰도 예측 작업지에 고장률 산출에 필요한 데이터를 실제 측정 또는

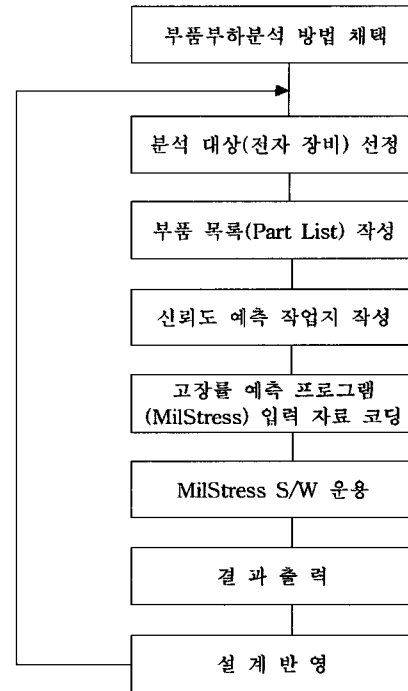


그림 1 신뢰도 분석 업무 흐름도

사양서를 이용하여 적절히 작성하였으며, 이를 신뢰도 예측 프로그램(MilStress)을 이용하여 신뢰성 분석 작업을 수행하였다.

신뢰도 예측 작업지 작성시 공통사항으로서, 전자식 안정기의 대부분은 천장의 밀폐된 등기구 내에 설치되므로 적용 환경은 "GF"로 하고 주변온도는 "45℃"(Discrete Semiconductors "GF"의 디폴트 케이스온도)를 적용하였다.

또한 전자식 안정기의 신뢰도 향상을 위해 "주변 온도에 따른 제품 수명의 영향"과 "부품의 적정 스트레스(Derating)설정에 의한 설계 회로 평가"를 수행하여 그 결과를 고찰하였다.

#### 5.2.1 설계 회로의 신뢰도 예측 평가 결과

전자식 안정기의 설계회로에 대한 신뢰도 예측 평가한 결과를 구성회로별(정류회로, 출력제어회로, 출력회로, 보호회로)로 구분하여 표 7에 나타내었다.

표 7에서 알 수 있는 바와 같이 예측된 전자식 안정기의 평균수명(MTBF)은 37,878시간에서 96,153시간 사이에 분포하였으며, 전자식 안정기를 하루 24시간 점등한다고 가정하면 평균 5년~6년의 평균 수명을 나타낸다.

모델 A를 제외한 8개의 모델(B, C, D, E)은 각각 동일 제조회사의 회로 방식이므로 동작 고장률은 각각 비슷한 양상을 보이거나 32W 전자식 안정기가 40W 전자식 안정기의 동작 고장률보다 대체로 높다. 그 이유는 회로의 부하가 40W에서 32W로 감소했음에도 불구하고 출력회로 정수를 제외한 나머지

표 7 설계회로의 신뢰도 예측 평가 결과

구분	고장률(fpmh:고장수/10 <sup>6</sup> 시간)					MTBF (시간)
	정류회로	출력제어회로	출력회로	보호회로	합계	
40W	A	11.1	1.43	4.01	1.04	17.6 (6년5월)*
	B	1.74	1.36	7.31	-	10.4 (10년 11월)
	C	2.27	1.66	15.5	0.888	20.3 (5년 7월)
	D	2.71	1.86	16.0	-	20.6 (5년 6월)
	E	3.43	3.88	15.2	0.334	22.8 (5년)
32W	A	3.44	1.89	12.7	-	18.0 (6년 4월)
	B	1.78	1.45	8.07	-	11.3 (10년 1월)
	C	2.59	1.59	15.4	0.979	20.5 (5년 6월)
	D	3.71	1.79	15.4	-	20.9 (5년 5월)
	E	3.81	4.58	15.6	2.34	26.4 (4년 3월)

\* 24시간 점등한다고 가정할 때, (MTBF / (365×24시간/일))값

지 회로 부품들은 그대로 적용한 경우가 많아 전반적으로 전기적 스트레스가 높게 걸렸기 때문이다.

또한 회로의 동작 고장률은 부품 수보다는 부품의 종류, 스트레스에 따라 더 큰 영향을 받는다. 예를 들어 표 7에서 모델 A(40W)는 부품 수가 가장 많으나 부품에 인가되는 전기적 스트레스가 대체로 낮아 동작 고장률은 낮은 편이다.

동작 고장률 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 부품은 스위칭 소자(특히 FET)를 포함한 반도체 소자이며, 이 때문에 출력회로의 동작 고장률이 가장 높게 나타난다.

### 5.2.2 주변 온도에 따른 제품 수명의 영향

전자식 안정기의 전자부품은 주변 사용 환경에 따라 제품 수명에 상당한 영향을 받으므로, 특정 환경에 사용되는 전자식 안정기를 설계할 때는 부품의 열적 스트레스에 대한 특별한 고려가 필요하게 된다. MIL-HDBK-217F에는 부품의 온도에 대한 경험식을 제시하여 신뢰도 예측에 적용하고 있다. 따라서 전자식 안정기의 신뢰도 향상을 위해서는 이 경험식을 사용하여 주변온도에 따른 제품 고장률의 추이를 파악하고 제품의 열적 여유도를 고려할 필요가 있다. 그림 2와 그림 3은 40W 및 32W 전자식 안정기의 온도 변화에 따른 고장률 변화를 각각 나타내었다.

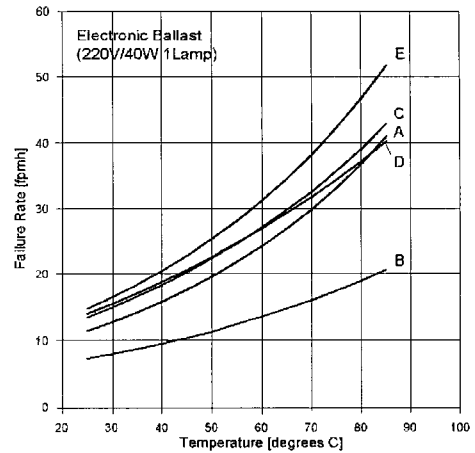


그림 2 온도-고장률 변화 특성(40W)

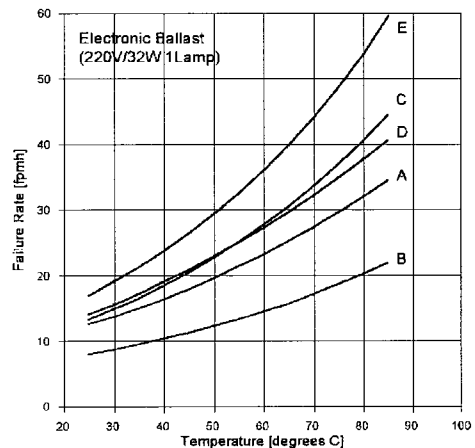


그림 3 온도-고장률 변화 특성(32W)

전자부품에서 온도변화에 대해 고장률 변화량이 가장 큰 것은 IC이며, 그 다음으로 콘덴서, 개별 반도체 소자, 인덕터, 저항순으로 나타났다. 따라서 그림 2와 그림 3은 이를 토대로 해서 보면 이해할 수 있다. 또한 기관에서의 부품 실장시 이를 고려하여 적절히 배치하면 부품의 열적 스트레스를 상당히 줄일 수 있다.

### 5.2.3 부품의 적정 스트레스(Derating)설정에 의한 평가 결과

전자식 안정기의 신뢰도 향상 방안 중의 하나는 부품의 적정부품의 적정 스트레스(Derating)를 적용하여 부품의 동작 고장률을 감소시키는 것이다.

따라서 본 평가에서는 전자식 안정기의 설계회로에 대한 신뢰도 예측 평가시에 최대 권장 스트레스 수준을 초과한 부품

표 8 부품의 적정 스트레스(Derating) 설정에 의한 평가 결과

구분 샘플	고 장 륜(fpmh:고장수/10 <sup>6</sup> 시간)					MTBF (시간)
	정류회로	출력제어 회로	출력회로	보호회로	합계	
40W	A	9.68	1.37	2.19	0.85	14.1 70921 (24.8%)*
	B	1.21	0.716	5.72	-	7.65 130718 (35.9%)
	C	1.90	1.66	15.5	0.888	19.9 50251 (2.01%)
	D	1.70	1.86	15.4	-	19.0 52631 (8.42%)
	E	1.49	3.58	14.9	0.334	20.3 49261 (12.3%)
32W	A	1.47	1.65	12.5	-	15.6 64102 (15.3%)
	B	1.36	0.651	5.91	-	7.92 126262 (42.6%)
	C	1.80	1.59	15.3	0.894	19.6 51020 (4.59%)
	D	2.33	1.79	15.3	-	19.5 51282 (7.17%)
	E	1.39	3.85	14.9	2.34	22.5 44444 (17.3%)

\* 부품의 적정 스트레스(Derating) 설정에 의한 MTBF 증가분

에 대하여는 적정 스트레스 수준으로 재설계하여 동작 고장률의 변화를 관찰하고 그 결과를 표 8에 종합하여 나타냈다.

부품의 적정 스트레스(Derating) 설정에 의한 평가 결과 예측된 전자식 안정기의 평균 수명(MTBF)은 44,444시간에서 130,718시간 사이에 분포하여, 평균 20%의 신뢰도 향상의 효과를 나타내었다.

## 6. 결 론

전자식 안정기의 신뢰성 평가를 현재 시판되고 있는 제품에 대하여 가속 수명 시험과 신뢰도 예측 측면에서 살펴보았다. 가속수명시험에서는 단시간 내에 고장 Data를 얻을 수 있는 Step Stress 시험 방법을 제안하였으며, 신뢰도 예측 평가에서는 구성회로별로 고장률을 계산하여 평균 수명을 평가하였다.

결론적으로 현재 보급되고 있는 형광램프용 전자식 안정기는 회로설계상 기술적 기본구성은 확립단계에 있다고 볼 수 있으며, 다만 제조공정상의 철저한 관리를 통한 제품불량의 최소화, 부품간 편차 흡수를 위한 노력, 그리고 내구성 시험 검사의 지속적인 실시가 이루어진다면 전자식 안정기의 내구 신뢰성은 향상되리라고 본다.

본 원고는 1995년 산업자원부에서 시행한 에너지절약기술 개발사업의 사업수행결과의 일부임.

## 참 고 문 헌

- [1] Military Handbook, "Reliability Prediction of Electronic Equipment", MIL-HDBK-217F Notice 2, 1995, Feb.
- [2] 한국전기통신공사, "품질표준서 전자부품 신뢰도 예측", 1987.
- [3] 見 弘, "신뢰성 입문", 1976.
- [4] ITEM Software, "MilStress for Windows User Manual", Version 4.1.1, Isograph Limited, 1996.
- [5] 牧野鐵治, 野中保雄, "信頼性工学", 日科技連出版社, 1991.
- [6] 川崎義人, "信頼性・保全性總論", 日科技連出版社, 1984.
- [7] 三根久, 河合一, "信頼性・保全性總論の基礎數理", 日科技連出版社, 1984.
- [8] 川崎義人, "信頼性設計", 日科技連出版社, 1985.
- [9] 見 弘, 久保陽一, 吉田弘之, "信頼性試験 總論・部品", 日科技連出版社, 1985.
- [10] 眞壁 肇, "品質保と保全性", 日科技連出版社, 1984.
- [11] (社)日本電子機械工業會, "最新 電子部品", 電波新聞社, 1978.
- [12] 김득연, 김영진, "전기·전자재료와 부품", 이공도서출판사, 1978.

## 〈 저 자 소 개 〉



### 하태현(河泰珪)

1962년 12월 20일생. 1987년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1989년~현재 한국전기연구소 선임연구원.



### 명성호(明聖鎬)

1959년 3월 20일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1985년~현재 한국전기연구소 전기환경연구팀장, 책임연구원.