

RFID 태그 패키지의 신뢰성 향상을 위한 연구

반창우*, 장동영⁺

(논문접수일 2012. 03. 26, 수정일 2012. 04. 03, 심사완료일 2012. 04. 06)

Investigation of Improve to RFID Tag Packaging Reliability

Chang-Woo Ban*, Dong-Young Jang⁺

Abstract

Recently RFID(Radio Frequency Identification) technology advances in wireless communication technologies are bringing new challenges. But RFID tag packaging technology has been lagging compared to the demand, so this technology is being required to improve productivity and reliability.

This study is performed on FMEA, reliability at development level and analysis failure mode through environment and mechanical test. Robust design is applied to search the optimized condition of factor and RFID tag packaging should be satisfied with high MTTF.

Key Words : RFID(전자태그), Packaging(패키징), Reliability(신뢰성), FMEA(고장분석), Sealing(밀봉)

1. 서론

RFID는 사물에 소형 칩을 부착하여 사물의 정보를 무선으로 전송하고 처리하는 비접촉식 인식 시스템으로서 반도체 및 무선 통신 기술의 급속한 발전과 국제적 표준화가 진행되면서 데이터 인식기술방식 중 획기적이며 확고한 방식으로 자리를 잡아 가고 있다. RFID에는 미세한 반도체 칩이 내장되어 있어 사물의 정보와 주변 환경 정보를 무선 주파수로 전송하여 처리하는 인식 시스템으로 태그, 리더기, 안테나 등으로 구성되어 있다.

RFID 태그는 언제 어디서나 자동으로 확인 또는 추적이 가능하며, 메모리를 내장하여 정보의 갱신 및 수정이 가능하다. 또한 눈, 비, 안개, 오염 등 환경적인 요인으로 제약을 받는 바코드와 극히 제한된 거리에서 인식되는 스마트카드와는 달리 환경적인 제한 상황에서도 인식이 가능하며 이동하는 물체에

대한 인식도 가능하다. 이러한 RFID 태그는 높은 평균고장수명(MTTF)을 만족하여야 하므로 태그 패키징 단계에서부터 고려되어진 신뢰성 실험과 통계적 분석을 통해 RFID 태그 개발에 적용하였다.

현재 RFID 태그 패키지는 와이어 본딩(Wire Bonding)이나 전도성 테이프를 이용한 본딩으로만 생산되어 신뢰성과 생산성이 현저히 떨어진다. 와이어 본딩의 경우 전도성 테이프를 이용한 본딩 방법에 비해 신뢰성은 좋으나 생산성이 떨어지고 (3,000ea/6인/8hrs) 패키지의 전체 두께가 500마이크로미터 이상으로 적용할 수 있는 제품에 한계가 있다. 또 전도성 테이프를 이용한 본딩의 경우 신뢰성이 약해 외부의 노출에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 표면실장기술과 에폭시 몰딩(Epoxy Molding)을 적용하여 RFID 태그 패키지를 개발하고 신뢰성 연구를 하였다.

* 서울과학기술대학교 나노아이티공학과 (cwban@seoultech.ac.kr)

주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172

+ 서울과학기술대학교 국제융합학부 MSDE 프로그램

2. RFID 태그 패키지 개발단계에서의 신뢰성

2.1 개발단계에서의 신뢰성

높은 신뢰성을 확보한 RFID 태그 패키지를 개발하기 위해선 개발단계에서 신뢰성을 고려한 연구가 우선되어야 한다. 제품에 있어 라이프 사이클 코스트(Life Cycle Cost)의 경우 개발이 이루어지는 시점에서 90%가 넘게 보장되어 지며 제품이 판매되는 시점에서의 라이프 사이클 코스트는 작다고 할 수 있다. 즉 제품의 신뢰성과 평균 수명은 개발단계에서 이루어진다는 것이다. 제품 성능의 경우 계속해서 개선되어 질 수 있지만 신뢰성적인 측면에서 보면, 개발이 완료된 시점에서의 신뢰성 연구는 막대한 비용이 소요되거나 또는 비용으로도 신뢰성의 향상이 불가능하게 된다는 것을 의미한다.

Fig. 1은 제품개발단계에 따른 신뢰성 연구의 효과를 보여준다. Fig. 1에서와 같이 Fig. 2는 시간에 비교한 라이프 사이클 코스트의 효과를 보여준다. 이는 라이프 사이클 코스트에 대한 소비자의 만족은 제품의 빠른 개발단계에서 연구되어 질수록 높아짐을 알 수 있다^{(1),(2)}.

2.2 RFID 태그 패키지 신뢰성 연구

개발단계에서 제품의 신뢰성이 결정되므로 RFID 태그 패키

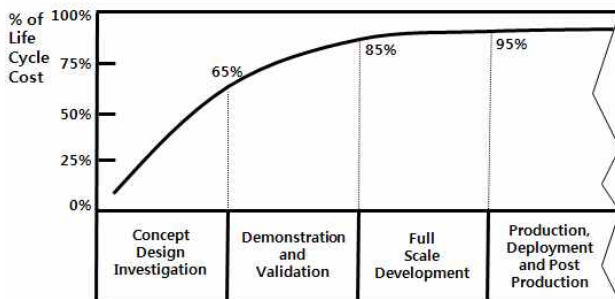


Fig. 1 The reliability on the product development step

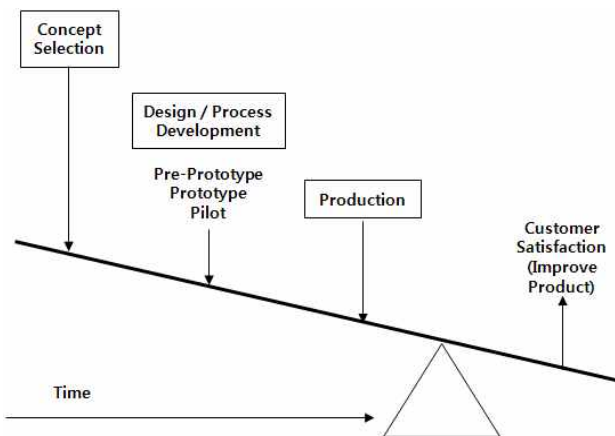


Fig. 2 Life cycle cost analysis using the lever

지의 경우 Table 1과 같이 개발단계에서 신뢰성 연구를 3단계로 나누었고 단계별 테스트 종류와 연구의 수준을 분류하였다.

개발단계에서의 신뢰성 연구의 특징은 개발기간이 단시간으로 한정되어 있다는 것과 제품의 성능 및 신뢰성 데이터가 없다는 것이다. 이러한 특징은 단시간 안에 신뢰성 실험을 수행하여야 하며 정확한 고장모드의 분석이 이루어져야 함을 의미한다.

이러한 요구에 의해 RFID 태그 패키지의 디자인 컨셉(Design Concept)과 동시에 일반적인 전자부품의 국제규격과 시장에서

Table 1 Reliable research step of product development

Step	Level	Contents	Test	
Step 1	Design for reliability	Define PFMEA, Select standard, Structure verification	Life cycle test	
Step 2	Development test	Select structure, Select material, Set assemble method, Analysis failure mode	Vibration test, Mechanical shock test, Damp Heat	
Step 3	Certification test	Reliability assessment	Reliability certification test	Standard test
Step 4	Production test	Periodic verification	Periodic verification	Calculate MTF, Special test

Table 2 Failure mode of package

Process	Failure Mode
Assemble	Crack the structure
Package	Bonding endurance
Sealing	Change the Sealant, Temp. & Humidity penetration

소비자가 요구하는 테스트 등을 연구하였다. 일반적인 전자부품의 국제 규격은 MIL-STD-883이며⁽⁹⁾, Table 2는 전기/전자 패키지 부품의 공정에 따른 고장 모드이다.

일반적인 전기/전자 패키지 부품은 열과 습도에 민감하여 구조물의 균열, 마모, 본딩(Bonding) 내구성, 변형, 실런트(Sealant)의 변화 등으로 온·습도가 침투하여 고장이 발생할 수 있다. 이렇게 신뢰성에 있어 까다로운 요소가 많음에도 불구하고 제품의 가격과 용도에 의해 높은 신뢰성이 요구되어지므로 국제 규격이 상당히 까다롭다고 할 수 있다. Table 3은 MIL-STD-883에 따른 신뢰성 인증 테스트 종류이다.

신뢰성 인증 테스트의 경우 충격과 진동 테스트는 약하고 환경 테스트의 경우는 오랜 시간을 실행하여 스트레스(Stress) 강도보다는 시간에 따른 신뢰성 척도를 중점으로 하였다. 이는 안정적 환경에서의 장시간 쓰임으로 환경의 변화보다는 장시간 동안의 성능 변화를 관찰하는 테스트에 초점을 두었다. 즉, 제품의 성능 특성이 수동 소자이고, 단일 소자로 구성되어 있으므로 환경에 따른 오랜 시간을 고려하였다.

3. RFID 태그 패키지 개발 테스트

3.1 동작 테스트

개발 단계에서 우선적으로 RFID 태그 패키지의 동작에 대한 신뢰성 평가를 하였다. Fig. 3은 PCB를 제작하여 12개의 샘플을 장착하고, 저항 측정 장비를 사용하여 4단자 방법으로 입력 0.003V(DC)일 때의 출력 저항을 측정하여 동작 테스트를 하였다. 물론 RFID 칩만 사용하여 RFID 태그의 성능을 평가할

수는 없지만 구조물의 안정성은 검증할 수 있다.

동작 테스트 결과 Table 4와 같이 3×10^8 번의 반복을 하는 동안 일정한 출력 저항값을 발생하였다. 이 결과를 통해 개발 단계에서 동작에 대한 안정성이 검증 되었고, 기본적인 구조에 대한 신뢰성적인 문제는 배제할 수 있는 기반이 되었다.

3.2 예상 고장 모드 분석

RFID 칩에 대한 동작 구현의 안정성이 검증된 후 제품의 예상 고장 모드를 분석하였다. 아직 공정 프로세스가 확립되지 않은 단계이므로 완전한 고장 모드의 분석이 불가능하지만, 계획된 프로세스와 조립공정을 기준으로 하여 예상 고장 모드를 분석하였다.

Fig. 4와 같이 제품의 예상 구조를 기반으로 PFMEA 분석을 위해 Table 5와 같이 공정을 나누고 주요 고장 모드를 분석하였다.

스크린 프린트 공정은 PCB 패드(Pad)위에 솔더 페이스트(Solder Paste)를 올리는 공정으로 패드 위에 정확히 올리지 못하거나 과납이 되었을 경우 전기적 쇼트가 발생할 수 있고, 소납이 되면 단락이 되어 고장이 발생할 수 있다.

Table 3 Reliability test of MIL-STD-883

Heading	Tests	Condition	LTPD 20%
Mechanical Integrity	Mechanical Shock	5time/direction, 500G, 1ms	11ea
	Vibration	20G 20~2,000Hz min/cy 4min/cy, 4cy/axis	11ea
	Thermal Shock	$\Delta T=100^{\circ}C$ Liquid to Liquid (0 $^{\circ}C$ to 100 $^{\circ}C$)	11ea
Endurance	High Temp.	85 $^{\circ}C$, 2,000hours	11ea
	Damp Heat	85 $^{\circ}C$ /85%RH 2,000hours	11ea
	Low Temp.	-40 $^{\circ}C$, 2,000hours	11ea
	Temp. Cycle	-40 $^{\circ}C$ to 85 $^{\circ}C$ 500cycles	11ea
	Cycle Moisture Resistance	-40 $^{\circ}C$ to 85 $^{\circ}C$ 85%RH	11ea



Fig. 3 The test sample for action test

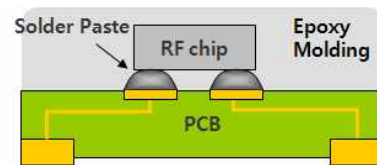


Fig. 4 The expected structure of RFID tag Package

Table 4 Action test result

Item	Period	Condition	Result
Action test	7days (3×10^8 Times)	4 terminal Input 0.003V(DC)	Pass

Table 5 The expected failure mode

Process	Failure Mode
Screen Print Process	Mis-alignment solder paste printing Shortage solder paste
Chip Process	Mis-alignment chip mounting
Reflow Process	Mis-matching melt point of solder paste
Molding Process	Error the epoxy curing

칩 공정은 솔더 프린트된 PCB 위에 RFID 칩을 마운트(Mount)하는 공정으로 정렬이 틀어지면 쇼트나 단락이 되어 고장이 발생할 수 있다.

리플로우(Reflow) 공정은 솔더 페이스트를 용융시키는 공정으로 온도가 용융점에 미치지 못하면 용융이 되지 않아 냉납으로 인한 고장이 발생할 수 있다.

몰딩(Molding) 공정은 칩을 외부로부터 보호하고 습기 침투 등을 막기 위한 공정으로 에폭시(Epoxy) 경화 조건에 따라 경화가 이루어지지 않을 경우 고장이 발생할 수 있다.

위와 같이 공정 순으로 고장의 예상 모드를 나열하였고, 고장 예상 모드에 세부적으로 PFMEA를 제작하였다. 개발 단계에서의 PFMEA는 필수적이며, 핵심 고장 모드를 예상할 수 있는 방법이기도 하다.

3.3 목표 MTTF의 설정

개발 단계에서 RFID 태그 패키지의 목표 MTTF(Mean Time To Failure)를 설정하기 위해 정해진 규격(MIL-STD-883)을 근거로 규격을 통과할 경우 MTTF가 일정 수준 이상임을 밝히기로 하였고 이때의 MTTF를 목표 MTTF로 설정하였다. 이러한 가정은 예를 들어 항온항습(85°C, 85%) 실험에서 1,000시간을 11개의 시료가 고장 없이 통과 했다면, 1,000시간을 정시 중단(일정 시간을 정하여 하는 실험으로 고장의 개수와 별개로 일정 시간에 도달하면 실험을 마치는 방법)으로 가정하면 최소 $MTTF \geq 1,000$ 일 것이다. 제품이 1,000시간 이상 생존하고 특정 시간에 다량의 샘플이 동시에 고장을 일으키지는 않는다고 가정하면 1,000시간 이상에서의 수명 분포는 포아송 분포가 된다. 포아송 분포는 일정 시간안에 고장의 발생 확률이 아주 작음을 의미한다. 전체적인 고장률 분포는 지수 분포를 따라 일정 기간 후에는 고장 개수가 증가 한다고 가정 한 후 추정하였다.

Fig. 5와 같이 가정되어진 분포에 의해 예상 고장률을 추정하였다. 고장이 규격 통과 기준이 되는 1,000시간 동안의 고장 개수는 0이고 1,000시간 이후부터 고장은 지수분포로 증가함을 가정하였다⁽⁷⁾.

포아송 분포는 이항분포에서 표본이 크고 나타날 가능성이

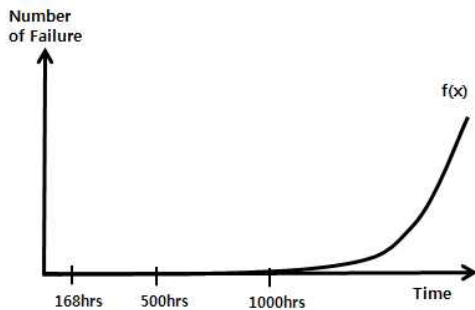


Fig. 5 The expected failure rate function

희박할 경우 발생하는 사건의 분포로 1,000시간 이후의 고장이 발생하는 발생 시간의 크기가 크고 발생하는 사건이 작으므로 적합하다고 할 수 있다. 물론 고장에 따른 데이터가 있다면 분포의 추정이 가능하지만, 개발 단계에서 제품이 개발되기 전의 경우 분포의 추정이 불가능하기 때문에 많은 가정이 전제 되어야 한다.

$$\Pr(r \leq c) = \sum_{r=0}^c \frac{e^{-m} \cdot m^r}{r!} = \alpha \tag{1}$$

$$\Pr(r=0) = e^{-m} = e^{-\lambda T} = \alpha \tag{2}$$

$$\hat{\theta} = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln \alpha} \tag{3}$$

1) $\alpha = 0.1$ (90%) 인 경우

$$\hat{\theta}_L = \frac{T}{2.3} \tag{4}$$

$$\frac{T}{2.3} \leq \hat{\theta} \leq \infty \tag{5}$$

2) $\alpha = 0.05$ (95%) 인 경우

$$\hat{\theta}_L = \frac{T}{2.99} \tag{6}$$

$$\frac{T}{2.99} \leq \hat{\theta} \leq \infty \tag{7}$$

$$T = n \cdot t_0 \tag{8}$$

- Pr : 고장이 발생할 확률
- r : 고장의 발생개수
- m : 포아송 분포의 평균(평균 고장 개수)
- α : 유의 수준(90%, 95%)
- λ : 고장률
- $\hat{\theta}$: 추정 MTTF
- $\hat{\theta}_L$: MTTF의 하한 추정치
- T : 정시 중단된 시점에서의 총 시험 시간
- n : 샘플 수
- t_i : i번째 고장 발생 시간

1,000시간 이후의 고장 확률을 포아송 분포라 가정하고 MTTF의 상한과 하한을 추정하면 위 식과 같다⁽⁷⁾.

1,000시간 실험에서 고장의 발생이 0인 경우를 가정한 모형에서 추정 MTTF의 경우 하한과 상한 중에 상한의 추정은 불가

능하다. 고장의 발생이 포아송 분포라 가정하면 식 (1)이 되고, 고장의 발생을 0으로 계산하면 식 (2)가 된다. 식 (1)과 식 (2)는 유의수준 90%, 95%로 나누어 계산할 수 있다. 즉, 90% 신뢰수준으로 1,000시간 동안 고장의 개수가 0일 확률을 구하는 식이 된다. 식 (1)에서 고장이 0일 경우 식 (2)의 지수 분포로 변환되고, 지수 분포의 정의에 의해 식 (3)이 계산되어 진다. 규격에서의 1,000시간에서 불량률 0인 경우 최소 보증할 수 있는 MTTF를 계산해야 하므로 식 (4)와 식 (5)에서처럼 규격 하한을 계산하였다. 지수 분포에서의 MTTF 정의는 다음과 같다.

$$f(x) = e^{-\lambda T} \tag{9}$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \tag{10}$$

식 (2)에서 양변에 자연 로그를 해주어 계산하면 식 (3)이 되고 신뢰수준 90% ($\alpha=0.1$)에서 식 (4)가 계산된다. 이러한 계산에 의해 항온항습 1,000시간에서 11개의 시료가 0개의 불량 발생되었고 항온항습에서 제품의 신뢰수준 90%로 추정하면 MTTF는 4,782.6시간이 된다. 즉, 최소한 4,782.6시간의 MTTF를 확보한다고 할 수 있다.

위에서의 추정은 항온항습 조건에서의 11개 샘플의 추정 MTTF이다. RFID 태그 패키지의 상온에서의 수명을 추정할 경우 가속수명 테스트에 의해 추정이 되어져야 한다. 가속 테스트에 의해 계산된 가속수명계수에 항온항습 조건에서 구한 MTTF를 곱하면 상온에서의 추정 MTTF가 계산된다.

가속수명 테스트는 시험기간을 단축하기 위한 목적으로 기준 조건보다 가혹한 조건에서 실시하는 시험이다. 높은 수준의 스트레스를 인가하는 스트레스 가속과 간헐 동작 시 반복 횟수를 증가시키거나 연속 동작 시 지속 시간을 늘리는 시간 가속을 실시하여 제품의 고장 메커니즘을 촉진하여 수명을 측정하는 시험 방법이다. 이러한 가혹한 조건의 시험 결과로부터 기준 조건의 수명 또는 고장률을 추정하기 위해 두 조건 사이에 존재하는 규칙성을 활용하여 가속계수를 구할 수 있다.

가속계수를 구하기 위해 가속 모형을 선정하여야 하며 선정된 모델에 고장 데이터의 분포 추정에 의해 계산된 활성화 에너지 등을 입력하여 가속수명계수를 구한다.

$$\hat{\theta}_1 = AF \cdot \hat{\theta}_2 \tag{11}$$

$$\hat{\theta} = \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \tag{12}$$

$$AF = \frac{\hat{\theta}_1}{\hat{\theta}_2} \tag{13}$$

$$AF = \exp\left(\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right) \tag{14}$$

- $\hat{\theta}_1$: 사용온도에서 제품의 MTTF
- $\hat{\theta}_2$: 제품의 스트레스 조건에서의 MTTF
- AF : 가속수명계수
- E_a : 활성화 에너지(eV)
- k : Boltzman 상수(8.617eV/K)
- T : 절대온도(K)

임의의 두 스트레스 조건 1과 2사이에서 가속성이 성립한다고 하면(단, 조건 2가 조건 1보다 열악) 두 조건에서의 수명 $\hat{\theta}_1$ 과 $\hat{\theta}_2$ 는 가속수명계수 AF에 의해 식 (1)의 관계가 성립된다. 식 (12)는 아레니우스 모형으로 온도 스트레스에 의한 물리적 및 화학적 반응속도의 의존성을 나타낸다. 이러한 수명 모델은 활성화 에너지에 의존하게 되는데 활성화 에너지의 경우 고장 메커니즘에 의존하는 중요한 인자이다. 이러한 활성화 에너지는 고장 데이터를 취합하여 분포를 추정한 후 확률치를 사용하여 구할 수 있다.

1단계 신뢰성 설계단계에서는 모델을 사용하고 규격에서 제시하는 활성화 에너지를 대입하여 목표 MTTF를 계산하였다.

MIL-STD-883에서 제시하는 항온항습(85°C, 85%)에서의 활성화 에너지 0.6eV를 식 (14)에 대입하고 습도를 제외한 온도만을 입력하여 계산하면 AF=50.00604 이다. 즉 제품의 사용 온도 25°C 일 때 항온항습의 스트레스 조건은 50배의 스트레스이고 평균 수명 또한 사용온도에서 50배 임을 알 수 있다.

Table 6 The expected failure mode on development test

Test	Failure Mode
Vibration test, Mechanical shock test	Chipping
	Crack
	Detachment
Damp Heat test	Break align
	Leakage
	Detachment
	Worn-out

Table 7 Damp heat test result(kΩ)

No.	Initial	168hrs	500hrs	Drift After-Initial	Cheap condition
1	7.726	7.954	7.992	0.266	Working
2	7.719	9.162	10.337	2.618	Breakdown
3	7.723	9.068	10.328	2.605	Breakdown
4	7.721	8.997	10.321	2.600	Breakdown
5	7.720	7.936	7.951	0.231	Working

식 (5)에서 추정된 항온항습 조건에서의 신뢰수준 90%에서의 MTTF=4,782.6시간이 사용온도 25℃ 일 경우 50배가 넘는 239,158.88시간이 된다.

신뢰성 설계단계에서 RFID 태그 패키지의 목표 MTTF =50,006시간(5.78년)으로 계산되었다.

3.4 개발 테스트

제품에 대한 신뢰성 설계 단계를 통해 PFMEA, 목표 MTTF 등을 설정 하였고, 개발 단계에서 제품의 구조 및 자재에 대한 테스트로 다음과 같은 3가지 테스트를 실행하였다.

- 기계적 테스트 : 진동, 충격 테스트
- 환경적 테스트 : 항온항습 테스트

위의 테스트는 앞에서 기술한 바와 같이 규격의 여러 테스트 중에서 가장 중요한 테스트로 밝혀졌으며, 이러한 테스트를 만족 시킨다면 규격에서의 모든 테스트를 만족 시킬 수 있을 것이다.

동작이 가능한 RFID 태그 패키지가 개발 단계에서 제작 되었고, 제작이 완료되어 성능을 테스트하고 분석하는 것과 더불어 진동, 충격 테스트를 수행하였다.

Table 6은 RFID 태그 패키지 개발 테스트에 따른 예상 고장 모드이다.

RFID 태그 패키지의 시료가 제작되고 개발 테스트에서 진동



Fig. 6 The vibration test

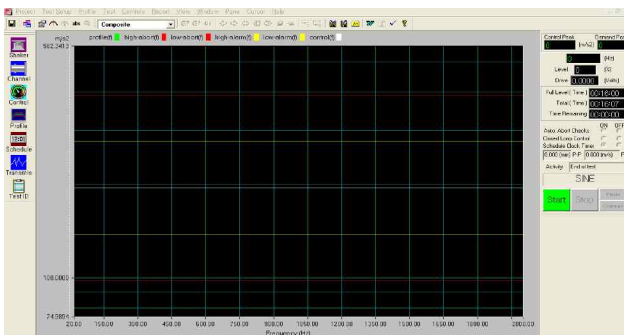


Fig. 7 The screen of vibration test

테스트를 먼저 실시하였다. 실험 전과 후의 차이를 살펴보면 모두 0.01KΩ 이하이며, 저항값은 평균 7.713KΩ으로 만족할 결과를 얻었다.

진동 테스트를 마친 샘플을 가지고 충격 테스트를 실행하였다. 인증 단계의 실험이 아니므로 동일 샘플로 진행하여 샘플 제작 시간과 동시에 개발 시간을 단축하기 위함이다.

충격 테스트의 결과 실험 전과 후의 차이는 모두 0.01KΩ 이하이며, 저항값 평균은 7.714KΩ으로 만족할 만한 결과를 얻었다.

진동 테스트와 충격 테스트에서 우려하였던 부스러짐(Chipping), 크랙(Crack), 분리(Detachment) 등의 현상은 발생되지 않아 제품 성능에 있어 기계적 신뢰성 테스트가 제품에 미치는 영향은 없다고 할 수 있다.

개발 단계에서 환경 테스트는 유일하게 항온항습 테스트로 정의하였고, 새롭게 5개를 제작하여 실험하였다. 진동 테스트와 충격 테스트 샘플의 경우 기계 신뢰성으로 환경 신뢰성과는 상당한 차이를 보이므로 항온항습 테스트를 위해 새롭게 제작하였다. Table 7은 항온항습 500시간 실험 결과이다.

항온항습 500시간 실험 결과 동작 2개, 고장 3개가 발생하였다.

3.5 신뢰성 테스트에 의한 고장 모드

항온항습 테스트에서 발생한 고장 모드 분석 결과 완전 밀봉(Hermetic Sealing)을 하지 않아 발생 한 것으로 분석 하였다. 제품에 있어 완전 밀봉을 하지 않을 경우 환경 테스트에 의해 치명적인 결함을 보이며 이러한 밀봉 문제는 전자 및 기계를 포함한 전 제품에 있어 상당히 중요한 요소가 된다. 완전 밀봉을 한 것과 하지 않은 것의 차이는 신뢰성 측면에서 많은 차이가 있다⁹⁾. 제품 신뢰성에 중요한 활성화 에너지(Activation Energy)의 경우 제품을 구성하는 물질의 표면에서부터 차이가 발생하므로 완전 밀봉을 할 경우 높은 신뢰성을 확보 할 수 있기 때문이다.

제품을 보호하고 높은 신뢰성 확보에 있어 완전 밀봉이 중요



Fig. 8 The mechanical shock test

하며 제품의 단가에도 많은 비중을 차지하므로 이러한 조건을 만족 시키는 완전 밀봉 방법의 개발이 중요하다. 몰딩의 종류를 살펴보면 레이저와 이온빔을 이용하여 높은 신뢰성을 갖지만 공정비용이 고가인 용접밀봉(Welding Seal), 고 신뢰성이며 현재까지도 많이 쓰이고 있지만, 높은 온도 조건을 갖추어야 하기 때문에 공정비용이 다소 비싼 솔더 밀봉(Soldered Seal), 유리 원료를 주재료로 사용하여 보드와 열팽창계수(CTE : Coefficient of Temperature Expansion) 차이가 거의 없어 낮은 공정비용은 좋지만 매우 높은 온도를 요구하는 프릿 밀봉(Frit Seal), 낮은 공정비용과 쉽게 사용할 수 있는 에폭시 밀봉(Epoxy Seal) 등이 있다. 밀봉의 중요성이 대두된 초창기에는 금속과 세라믹으로 전자부품을 밀봉하였으나 공정비용이 비싸고 오랜 공정시간으로 인해 현재는 단가와 공정의 편의성이 높은 에폭시 밀봉이 패키지에서 많이 사용되고 있다.

완전 밀봉에 있어 필요한 조건은 다음과 같다.

- 높은 신뢰성
- 공정의 단순함
- 성능대비 가격 경쟁
- 디자인 적용 가능

위와 같은 조건을 만족시키기 위해 Fig. 9와 같이 밀봉 공정을 추가하였다.

지그 위에 RFID 칩이 마운트(Mount)된 PCB를 올려 에폭시가 경화되기 전 흐르는 것을 막았다. 또 이형필름과 상판 지그를 이용하여 에폭시가 지그에 달라붙는 것과 경화되는 과정에서 생기는 웹-페이지(Warp-page)를 방지하였다. 이때 사용된 에폭시는 습도센서를 이용한 기밀도 분석을 통해 선정된 에폭시를 사용하였다.

위와 같이 RFID 태그 패키지에 있어 제품의 성능을 충족시

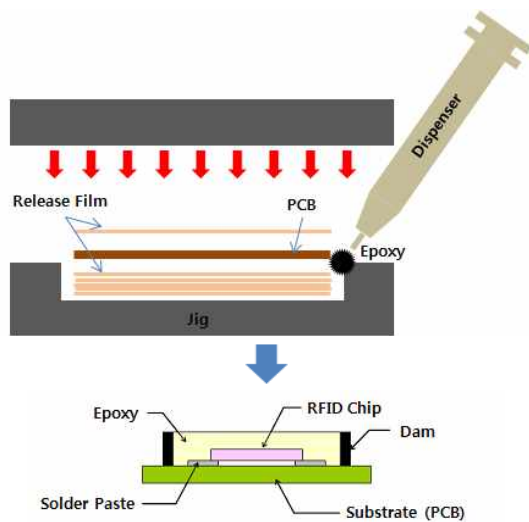


Fig. 9 Sealing process

켜주는 제품의 개발과 동시에 신뢰성을 만족시킬 수 있는 제품을 완성할 수 있었다.

3.6 신뢰성 향상

개발 단계에서 진동 테스트, 충격 테스트, 그리고 항온항습 테스트를 통해 신뢰성에 영향을 주는 고장 모드를 분석하였고, 이를 개선하였다. 이러한 개선과 함께 문제시 되었던 항온항습 테스트를 실시하였으며 Table 8은 항온항습 1,000시간 테스트 결과이다. 항온항습 1,000시간 테스트에서 11개의 시료 중에 고장은 하나도 발생하지 않았다. 이는 제품의 개발 단계에서 성능의 완성과 동시에 양산을 고려한 신뢰성을 확보하였다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 양산 단계에서 장시간의 신뢰성 테스트가 필요 없게 되어 개발 완료와 동시에 시장에서 높은 점유율을 확보할 수 있는 발판이기도 하다. Table 9는 MIL-STD-883에 따른 신뢰성 테스트 결과이다.

Table 8 2nd damp heat test result(kΩ)

No.	Initial	500hrs	1000hrs	Drift After-Initial	Work
1	7.721	7.722	7.724	0.003	○
2	7.726	7.725	7.726	0	○
3	7.722	7.725	7.726	0.004	○
4	7.721	7.722	7.723	0.002	○
5	7.723	7.721	7.722	-0.001	○
6	7.720	7.721	7.721	0.001	○
7	7.719	7.721	7.725	0.006	○
8	7.723	7.722	7.724	0.001	○
9	7.722	7.722	7.723	0.001	○
10	7.722	7.723	7.724	0.002	○
11	7.720	7.721	7.722	0.002	○

Table 9 Reliability test result

Tests	Condition	Result
Mechanical Shock	Input Acceleration 500g, Displacement 1ms, 5Times	Pass
Vibration	Input Frequency 20~2,000Hz, Input Acceleration 196m/s ² (20g) 4min/cycle, 4Times	Pass
High Temp.	85°C, 2,000hrs	Pass
Low Temp.	-40°C, 2,000hrs	Pass
Damp Heat	Temp. 85°C, Humidity 85%RH, 2,000hrs	Pass
Temp. Cycle	High Temperature 85°C, Low Temperature -45°C, 500Cycles	Pass

Table 10 The comparison of test results

Damp Heat test (85°C/85%RH)		Sample No. (kΩ)					Working Unit
		1	2	3	4	5	
Epoxy Molding	Before	7.73	7.73	7.73	7.73	7.73	5ea
	After	7.99	7.98	7.99	7.99	7.99	
Wire Bonding	Before	7.73	7.73	7.72	7.73	7.73	3ea
	After	7.99	7.99	10.09	10.33	7.98	
Flip chip Bonding	Before	7.73	7.73	7.73	7.73	7.73	0ea
	After	0	0	0	0	0	

4. 결론

제품의 신뢰성에 있어 개발 단계에서의 신뢰성 확보는 상당한 의미를 차지한다. 신뢰성의 90%이상을 개발 단계가 차지한다고 하지만 실질적으로 개발 단계에서 신뢰성을 확보하기 위한 연구는 거의 없다고 할 수 있다. 기존의 신뢰성 연구가 양산 단계에서 발견된 불량량의 고장 모드 개선에 치우쳐져 있었다. 이는 제품이 시장에 판매된 이후에 가속 수명을 산출하는 경우가 발생되어지는 이유이다. 그러므로 개발과 동시에 신뢰성 실험이 정의 되어 지고 양산 시점에서 신뢰성 실험이 종료되는 개발 단계의 신뢰성이 중요하다.

본 연구에서는 개발 단계에서의 신뢰성 연구를 통해 고장모드를 분석하였고, 이를 통계적 방법을 통해 개선하여 RFID 태그 패키지의 개발 단계에서부터 양산과 판매를 고려한 신뢰성을 확보한데 의의를 들 수 있다. 또한 개발 단계에서의 신뢰성 연구가 어떠한 것을 해야 하는지 단계를 나누어 설명하였고 단계별로 수행하여야 할 테스트의 종류도 설명하였다. 이러한 연구를 통해 개발 완료와 동시에 MIL-STD-883 규격에 만족하는 RFID 태그 패키지를 개발 하였고, 목표 MTTF=50,006시간(5.78년)을 확보하였다. Table 10은 환경시험 중 항온항습 시험의 이전 개발 방법과 비교한 결과이다.

추후 계속된 신뢰성 연구를 통해 수율과 신뢰성의 관계, 최적의 스크리닝(screening) 기법 등을 도출하고 가속 수명 실험을 통해 RFID 태그 패키지의 효과적인 테스트의 연구가 필요하다.

후 기

본 논문은 (재)한국전자기계융합기술원의 “300mm대용 대구경 다층 구조의 복합패키지 공정 및 장비 기술 개발” 사업의 일환으로 지식경제부 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Yates, W. D., 1988, “Reliability Advisor Expert System,” *Aerospace and Electronics Conference*, Vol. 4, pp. 1346~1348.
- (2) Bieda, J., 1992, “A Product-cycle Cost-analysis Process and Its Application to the Automotive Environment,” *Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 422~425.
- (3) MIL-STD, 1995, *MIL-STD-883*, Military Standards, USA.
- (4) Wagner, U., Franz, J., and Schweiker, M., 2001, “Mechanical Reliability of MEMS-structures under Shock Load,” *Microelectronics and Reliability*, Vol. 41, No. 9~10, pp. 1657~1662.
- (5) McCluskey, P., 2002, “Design for Reliability of Micro-electro-mechanical Systems,” *Electronic Components and Technology Conference*, pp. 760~762.
- (6) Müller, F. R., Wagner, U., and Bernhard, W., 2002, “Reliability of MEMS- A Methodical Approach,” *Microelectronics Reliability*, Vol. 42, No. 9~11, pp. 1771~1776.
- (7) Khanna, P. K., Bhatnagar, S. K., and Gust, W., 1999, “Analysis of Packaging and Sealing Techniques for Microelectronics Modules and Recent Advances,” *Microelectronic International*, Vol. 16, No. 2, pp. 8~12.
- (8) Finn, J., 1995, *Electronic Component Reliability*, John Wiley, USA, pp. 21~153.
- (9) Davy, J. G., 1975, “Calculation for Leak Rates of Hermetic Packages,” *IEEE Transactions on PARTS Hybrids and packaging*, Vol. 11, No. 3, pp. 177~189.
- (10) Stanley R., 1980, “A Rapid Cycle Method for Gross Leak Testing With the Helium Leak Detector,” *IEEE Transactions on Components Hybrids and Manufacturing Technology*, Vol. 3, No. 4, pp. 564~570.
- (11) Richard, K., and Traeger, 1977, “Non-hermeticity of Polymeric Lid Sealants,” *IEEE Transactions on parts, Hybrids, and packaging*, Vol. 13, No. 2, pp. 147~152.
- (12) Hal, G., 2000, *Hermeticity of Electronic Packages*, William Andrew Publishing, LLC, Norwich, New York.
- (13) Yiping, W., 2004, “RFID Tag Manufacturing,” *Global SMT & Packaging*, Vol. 4, No. 6, pp. 4~7.
- (14) An, B., Cai, X. H., and Chu, H. B., 2007, “Flex Reliability of RFID Inlays Assembled by Anisotropic Conductive Adhesive,” *9th Int'l IEEE CPMT Symp on High Density Design, Packaging and Microsystem Integration*, pp. 60~63.

- (15) Imhoff, A. C., 1999, "Packaging Technologies for RFICs: Current Status and Future Trends," *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, pp. 7~10.
- (16) Kim, S. K., and Lim, E. M., 2011, "Dynamic Reliability of Board Level by Changing the Design Parameters of Flip Chips," *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 20, No. 5, pp. 559~563.