

의약품 유통 관리용으로 사용되는 UHF 대역 RFID Tag의 가속수명시험법 개발

양일영 · 유상우 · 박정원[†] · 조원서

한국산업기술시험원

Development of Accelerated Life Test Method for UHF RFID Tags for Medicine Supply Management^{*}

Il Young Yang · Sang Woo Yu · Jung Won Park · Won-Seo Joe

Korea Testing Laboratory

RFID (Radio Frequency Identification) system is recognition technology which can maintain various object's information. Reliability of RFID tags is the most important factor in RFID system. In this paper, we proposed ALT (Accelerated Life Test) method for UHF RFID tags. Temperature and humidity were adopted as stress factors and the accelerated life tests were conducted in three different conditions. We performed failure analysis for identifying failure mechanism and statistical analysis of test data. In the statistical analysis, we employed Inverse Power law for relationship between tag's life and stress. Through the statistical analysis, we proposed acceleration factor for several levels of temperature-humidity. The reliability qualification test plans were also designed for the tag's target reliability.

Keywords: RFID Tags, Accelerated Life Test, Inverse Power Model, Acceleration Factor, Failure Analysis

1. 서론

UHF(Ultra High Frequency)대역 RFID(Radio-Frequency Identification) 기술이란 극초단파대역의 전파를 이용해 먼 거리에서 정보를 인식하는 기술을 말한다. 이 기술은 대상물에 부착되는 RFID 태그와, 인식을 위한 RFID 판독기, 인식 정보를 저장하기 위한 서버로 구성되어 있다. 태그는 안테나와 집적 회로(Integrated Circuit)로 이루어지는데, 집적 회로 안에 정보를 기록하고 안테나를 통해 판독기에게 정보를 송신한다. 이 정보는 태그가 부착된 특정 대상의 정보를 식별하는데 이용된다.

RFID 시스템을 성공적으로 사용하기 위해 대상물에 부착되는 RFID 태그의 신뢰성이 가장 큰 문제가 될 수 있다. 최근 연예인의 프로포폴 오·남용으로 의약품 관리에 대한 요구가 증대됨에 따라 '약사법 시행령 제 32조의 2' 등의 법률이 제정되어 RFID 시스템으로 의약품을 관리하고 있다. 이러한

상황에서 의약품에 부착되는 RFID 태그의 수명 주기 중 고장 발생은 큰 문제를 야기 할 수 있다. 따라서 태그의 수명에 대한 평가가 정확히 이루어지고 수명을 보증할 수 있는 시험이 수행되어야 한다. 그러나 RFID 태그는 사용기간이 지날수록 특성이 열화되는 성질 때문에 고장이 단기간에 발생하지 않는다. 따라서 가속수명시험법 개발을 통해 태그를 단기간에 평가할 수 있는 방법이 필요한 상황이다

Kirsi Saarinen and Laura Frisk(2013)은 세 종류의 복합 환경 시험 조합에서 태그의 수명을 평가하여 와이블 분포의 모수를 추정하였다. 굵힘시험, 온습도 사이클, 고온고습 시험을 수행하고 각 시험 수행 후 습도 사이클 시험을 통해 수명을 추정하였으나, 각 시험을 한 수준에서 수행하여 수명과 스트레스의 관계를 규명하지 못했다. 태그 제조사인 3M에서 제작한 'RFID 401 Tag quality and reliability'에서도 고온고습 시험을 통해 인식거리가 열화 되는 현상을 확인하였지만 Kirsi Saarinen and Laura Frisk(2013) 연구와 마찬가지로 한 수준에

* 이 논문은 산업통상자원부 무선인식기술 제품품질 비교분석 및 산업화 지원 기반구축 사업의 지원을 받아 연구되었음.

[†] 교신저자 jwpark@ktl.re.kr,

2014년 2월 5일 접수; 2014년 4월 2일 수정본 접수; 2014년 4월 21일 게재 확정.

서 인식거리의 열화만 확인하여 수명과 스트레스의 관계를 확인하지 못했다.

본 논문에서는 여러 수준의 고온고습 시험을 통해 UHF RFID 태그의 가속수명시험법을 제안하고자 한다. 세 수준의 고온고습 시험을 통해 수명과 스트레스 사이의 관계를 규명하고 고장분석을 통해 고장메커니즘의 재현 여부를 확인하였다. 그리고 다양한 고온고습 조건에서 가속계수를 도출하였고, 목표수명을 보증하기 위한 보증시험 계획도 제안하였다.

2. 가속시험법 개발

2.1 시험계획

Kirsi Saarinen and Laura Frisk(2013)는 복합 스트레스 조합에서 태그의 고장과 수명을 파악하였다. 굽힘시험, 온도 사이클 시험, 고온고습 시험을 먼저 수행하고 각 시험 후에는 습도 사이클 시험을 수행하여 복합 환경에 대한 영향을 파악하고 이때 발생한 고장태그로 고장모드를 확인하였다. 태그의 고장모드는 칩과 안테나 사이의 본딩(bonding)에서 고온고습과 굽힘의 복합 영향에 의한 들뜸(delamination)으로 확인되었다.

태그 제조사인 3M에서 제작한 'RFID 401 Tag quality and reliability'에서도 태그의 고장 모드를 칩과 전도성 접착제, 안테나와 전도성 접착제 사이 본드 부식 및 산화로 저항증가, IC 크랙, 칩과 안테나 사이 접착의 고장 등을 고장모드로 판단하고 핵심 스트레스를 고온고습으로 선정하여 수명시험을 수행하였다.

가속수명시험을 설계할 때 고장모드를 재현하기 위한 가속시험조건은 핵심부품인 칩이나 안테나의 특성이 변하지 않는 조건 내이다. RFID 태그 제조사에서 제시하는 칩과 태그가 물성 변화 없이 고장메커니즘을 재현할 수 있는 사용 환경은 다음<표 1>과 같다.

<표 1> RFID 태그의 사용 환경

종류	동작온도 (Operating temperature)	주위온도 (Ambient temperature)	저장온도 (Storage Condition)
칩	-40℃~85℃	-	-40℃~85℃
tag	-35℃~85℃	-35℃~85℃	-

Kirsi Saarinen and Laura Frisk(2013)의 연구와 'RFID 401 Tag quality and reliability' 연구를 통하여 태그의 고장에 가장 큰 영향을 미치는 인자로 고온고습 환경을 선정하였고 태그 제조사에서 제시하는 보증 온도 내에서 선정한 시험조건은 다음 <표 2>와 같다. 시료 수 배분 비율은 Meeker and Hahn (1985)가 제시한 4:2:1을 적용하였다.

<표 2> 시험 설계

온도 (℃)	습도 (%R.H.)	수증기압 (Pa)	시료 수
70	90	28,061	20
50	90	11,110	40
40	90	6,643	80

초기 성능을 측정하고 명시된 조건에서 시험을 진행한 후 고장 여부를 확인하기 위하여 주기적으로 챔버에서 꺼내어 인식거리를 측정하였다. 이때 고장에 대한 판정기준은 초기 인식거리 대비 70%로 정하였다.

2.2 시험결과

주기적으로 태그의 인식거리를 측정하여 처음에 예상했던 인식거리의 열화(degradation) 특성을 관찰하였다. 예상과는 다르게 태그의 인식거리 열화는 관찰되지 않았고 태그가 동작하지 않는 고장이 발생하였다. 일부 태그는 태그 인식거리 측정을 위해 인가하는 전원을 크게 증가시켰을 때, 짧은 거리로 인식거리가 측정 가능한 것으로 확인되어 안테나와 칩 사이의 저항이 증가하여 고장이 발생한 것으로 파악되었다. 시간별 고장발생 태그의 시험 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 시험 결과

조건	168 시간	312 시간	480 시간	648 시간	816 시간	984 시간	1,152 시간	합계
70℃ 90%R.H.	1	0	1	1	0	4	1	8
50℃ 90%R.H.	1	0	1	0	0	0	1	3
40℃ 90%R.H.	0	0	0	0	0	0	0	0

고장이 발생한 태그를 바탕으로 고장분석을 수행한 결과 (<그림 2> 참조) 안테나와 칩 사이의 이격이 발생함을 확인할 수 있었다. 대상 시료는 70℃, 90%R.H.에서 984시간에 고장이 발생한 시료를 이용해서 분석하였다. <그림 1>은 70℃, 90%R.H.에서 984시간에 정상시료, <그림 2>는 고장시료이다. <그림 1>의 정상시료에서 안테나와 칩을 연결해주는 범프(Bump) 사이의 간격은 1.79 μm이고 <그림 2>의 고장시료의 간격은 (3.08~7.18) μm로 정상시료보다 간격이 큼을 확인할 수 있다.

반도체(Semiconductor)의 고온고습 시험에 적용 가능한 수명과 스트레스 모델은 Peck and Zierdt(1972)가 제안한 Peck 모델과 Flood(1972)가 집적회로(Integrated Circuit)에 수증기압을 적용한 역승(Inverse power) 모델이 있다. 동일한 방법으로 Sinnadurai(1974)는 반도체(semiconductor)에 수증기압을 적용한 역승(Inverse power)모델을 제안하였고, 설일호와 박정원(2009)은 전자식 전력량계에 사용되는 LCD의 가속모델로서 수



<그림 1> 70°C, 90%R.H. 984시간 정상



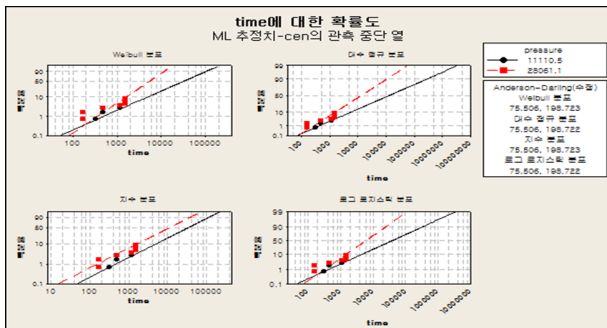
<그림 2> 70°C, 90%R.H. 984시간 고장

증기압을 적용한 역승모델을 제안하였다. Peck 모델의 경우 일반적으로 반도체의 고온고습 시험에 많이 사용되는 모델로 온도와 습도의 교호작용 항에 대한 모델링이 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 고온고습을 수증기압으로 환산하여 역승(Inverse power) 모델을 적용하는 방법을 택하였다. 역승(Inverse power) 모델의 수명과 스트레스 관계는 다음 식(1)과 같다.

$$L(P) = \frac{A}{P^\nu} \quad (1)$$

단, $L(P)$ 는 특정한 수증기압 수준에서의 수명, P 는 수증기압, A 와 ν 은 재료, 제품의 구조 및 시험방법에 따른 상수이다.

적합분포를 탐색한 결과는 아래<그림 3>과 같고 수정된 Anderson-Darling 통계량을 비교해 본 결과 통계량간 차이가 없어 일반적으로 수명분포에 사용되는 와이블 분포를 적용하였다.



<그림 3> 분포 적합도 검정

최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)을 이용해 조건별 추정된 와이블 분포의 형상모수 β 와 척도모수 η 는 다음 <표 4>와 같다.

<표 4> 조건별 와이블 분포 모수

조건	수증기압 (Pa)	형상모수 (β)	척도모수 (η)
70°C 90%R.H.	11,110.5	1.03	44,577.9
50°C 90%R.H.	28,061.1	1.58	6,705.6

동일 형상 모수 검정을 통해 가속성 성립 여부를 확인한 결과 P-Value가 0.05보다 크므로 유의수준 0.05에서 가속성이 성립한다고 볼 수 있었다. 동일형상모수를 검정한 결과는 다음 <표 5>와 같다.

<표 5> 동일형상모수 검정(가속성 검정)

카이-제곱	자유도 (Degree of Freedom)	P-value
0.42	1	0.52

동일 형상 모수를 가정하고 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)을 사용하여 식 (1)의 상수 A 와 ν 를 추정한 결과는 <표 6>과 같았다.

<표 6> 역승(Inverse Power) 모델의 상수 추정

동일형상모수 가정 β	A	ν
1.39	55,069,137	0.86

추정한 수명과 스트레스의 관계를 통해 여러 조건의 온습도에 따른 가속 계수를 계산하면 <표 7>과 같다.

<표 7> 조건별 가속계수

조건	수증기압 (Pa)	평균 수명 (시간)	가속계수
25°C, 50%R.H.	1584.2	97430.8	1
40°C 90%R.H.	6643.1	28393.1	3.43
50°C, 90%R.H.	11110.5	18242.6	5.43
65°C, 95%R.H.	23773.8	9482.7	10.28
70°C, 90%R.H.	28061.1	8222.4	11.85

도출한 RFID 태그의 가속계수를 활용하여 목표로 하는 수명을 보증하기 위한 보증시험을 설계하였다. 의약품의 경우 유통기한이 짧게는 2주부터 길게는 3년까지 있다. 따라서 의약품에 사용되는 RFID 태그의 목표수명은 가장 긴 3년으로,

시험시간 및 시료 수는 김명수·유동수(2001)가 제안한 보증 시험 설계방법을 적용하여 MTTF 3년을 신뢰수준 90%로 보증할 수 있는지 설계하였다. n 개의 아이টে임을 정해진 기간 t_0 까지 시험하였을 때, 형상모수가 β 인 와이블 분포의 B_x 수명이 t^* 이상임을 신뢰수준 $100(1-\alpha)\%$ 로 보증할 수 있는 샘플의 크기를 구하는 식은 식 (2)와 같다.

$$n \geq \left(\frac{t^*}{t_0}\right)^\beta \times \frac{\chi_\alpha^2(2r+2)}{2} \times \frac{1}{\ln(1-x)^{-1}} \quad (2)$$

식 (2)를 적용하여 목표 수명을 보증하기 위해 필요한 시료 수와 시험시간, 시험조건, 허용 고장 수는 다음 <표 8>과 같다. 단, 시험조건은 70 °C, 90 %R.H.로 가속계수 11.85를 적용하여 실제 이 조건에서의 시험시간은 500시간이다.

<표 8> 보증시험설계

와이블 분포의 형상모수(β)	1.39
허용 고장 수(r)	0
목표 수명(t^*)	26,280시간(3년)
시험시간(t_0)	5,925시간
신뢰수준	90%
수명수준	MTTF
시험품수(n)	19개

3. 결론

본 논문에서는 의약품 유통관리용으로 사용되는 UHF 대역 RFID 태그의 가속수명시험법을 제안하였다. 세 수준의 고온고습 시험을 통해 태그의 인식거리 측정불능 현상 및 인식거리 감소의 고장현상을 확인하였고, 고장이 발생한 시료의 고장분석을 통해 안테나와 칩의 범프(bump) 사이에 들뜸

(delamination)현상을 확인하였다. 고장이 발생한 시험 수준 간 가속성 검증을 통해 고온고습 가속시험을 사용온도 범위 내에서 적용할 수 있음을 확인하였다. 또한 기존연구에 추가로 수명과 스트레스 관계를 추정함으로써 다양한 고온고습 조건에서의 가속계수를 도출할 수 있었다. 최종적으로 태그의 목표수명을 검증할 수 있도록 보증시험을 설계하였다. 이와 같은 결과를 통해 RFID 태그 제조자 및 수요자가 장시간의 수명을 갖는 RFID 태그를 짧은 시간에 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김명수·유동수(2001), 신뢰성 평가를 위한 기본개념과 시험조건 결정, 신뢰성 평가·인증·향상을 위한 교육 세미나, p. 105.
- [2] 설일호·박정원(2009), 전자식 전력량계의 수명평가, 신뢰성응용연구, 제9권, 제1호, p.37.
- [3] Flood, J. L. (1972), Reliability aspects of plastic encapsulated integrated circuits, 10 th Ann Proc., *International Reliability Physics Symposium*, p. 95.
- [4] Kirsi Saarinen and Laura Frisk (2013), Reliability Analysis of UHF RFID Tags Under a Combination of Environmental Stresses, *IEEE Transactions On Device and Materials Reliability*, Vol. 13, No. 1, p. 119.
- [5] Meeker, W. Q. and Hahn, G. J. (1985), How to plan an accelerated life test American Society for Quality Control, *Statistics Division*, Vol. 10, p. 36.
- [6] Peck, D. S. and Zierdt, C. H. (1972), Temperature-humidity acceleration of metal electrolysis failure in semiconductor devices, *International Reliability Physics Symposium*, p. 146.
- [7] Sinnadurai, F. N. (1974), The accelerated aging of plastic encapsulated semiconductor devices in environment coating a high vapour pressure of water, *Microelectronics and Reliability*, Vol. 13, p. 23.
- [8] 3M, RFID 401 : Tag quality and reliability (2008).