

프린트 산업에서 부품 신뢰성 시험법 개선

김 판 수* · 한 기 웅** · 이 지 혜*

*경북대학교 경영학부 · **삼성전자(주)

Case Study of Parts Reliability Improvement

Pan-Soo Kim* · Ki-Woong Han** · Ji-Hye Lee*

*Inc & School of Business Administration, Kyungpook National University · **Samsung Electronic

Abstract

Continuing and Developing the growth, the company should focus on 'time to market of high quality production' and 'cost down'. Due to the complexity of the production, reliability is being one of the important factor. In this study, in particular, focus on parts reliability test improvement about printer product and proceeded. Need test improvement for time to market that is developed, and reduce expense with test period that is required at Reliability Test time of new parts and should high quality level of product. Finally huge Failure Cost (F-COST) occurs because quality level of product drops if parts that accomplish product does not ensure reliability and this is associated by malfunction in marketplace.

Keywords : parts reliability, reliability improvement, reliability test

1. 서 론

프린터는 컴퓨터나 디스플레이 되는 화상이나 문자를 휴대할 수 있는 용지, 보고서 형태로 출력할 수 있는 것으로 정의할 수 있다. 프린터는 일반 기구적인 부품의 조합이 아닌 레이저 및 복사용 Lamp 등을 이용한 광학계, 토너(문자나 이미지를 구현해 주는 가루)를 녹여 본래의 성질을 바꾸어 활용하는 화학계 그리고 용지의 진입 및 이동을 책임지는 구동계 등이 조합된 멀티 솔루션 제품이라 할 수 있다.

프린터 산업은 기존에 알려진 반도체(약 \$600억), TV(약 \$1,010억) 등의 시장보다 큰 시장 규모(약 \$1,650억)를 가지고 있다[8]. 근래 기존 시장에 대한 변화가 일고 있다. 기존의 프린터는 개인 고객이 자택에서 간단한 문서 등을 출력하는 데 집중적으로 사용하고 있었으나, 최근에는 기업용 프린터 시장의 급속한 확대에 의해 長수명의 제품이 확대되고 있으며, 이에 따라 내구성, Solution 등 가격과 품질을 요구하는 사례가 늘어나고 있다.

더불어 프린터 시장에서의 생산자에게 시장 품질의 중요성이 더욱 높아지고 있으며, 시장 품질 문제의 발생은 단순한 소비자 피해 보상이 아니라 기업의 생존이 걸릴 수도 있게 되었다. 최근에 발생한 2차 전지의 예상치 못한 발화 사건으로 대규모 리콜(Recall)을 실시한 일본 S社は 기업 이미지 실추와 더불어 막대한 품질 비용을 지불하였으며, 해당 사업에서의 철수 또는 매각까지 검토하고 있는 실정이다.

따라서, 기업이 시장에서 성공하기 위해서는 소비자의 요구를 만족시킬 수 있는 안정적인 품질의 제품을 시장에 빨리 출시하는 것이 최대의 과제라 할 수 있다.

안정적인 품질을 보증하기 위해서는 제품의 신뢰성 시험의 충실도가 중요하다.

신뢰성(Reliability)은 아이템이 규정된 조건에서 의도하는 기간 동안 요구기능을 만족스럽게 수행할 수 있는 가능성으로 시간에 따른 품질, 즉 시장 품질을 의미한다. 프린터 산업에서의 빠른 기술 발전과 급속한 시장 환경의 변화는 다른 산업보다도 신속한 신뢰성 보증을 요하고 있다. 일반적으로 신뢰성 보증은 시험을 통해

† 교신저자: 김판수, 대구광역시 북구 산격동 경북대학교 국제경상관 525호

M · P: 010-6248-2071, E-mail: pskim@knu.ac.kr

2010년 5월 20일 접수; 2010년 9월 13일 수정본 접수; 2010년 9월 14일 게재확정

이루어지고 있지만, 프린터 산업에서의 부품 신뢰성 시험은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

- ① 신뢰성 시험에 완성 제품의 환경 조건을 배제한 일반적인 시험법이 적용
- ② 시험에 많은 시간이 소요되며, 이를 통해서 개발 납기가 늦어짐
- ③ 신뢰성 시험법이 특화되어 해외 선진사의 BM이 어렵고, 신규 시험법 개발이 어려움

본 연구에서는 부품신뢰성에서의 시험법 개선이 프린터의 품질에 대하여 미치는 영향 특히 시장 및 공정 불량 개선에 어떤 영향을 미치는 지에 대해 연구하고, 실제 장수명 부품이 사용되어지는 프린터 부품의 신뢰성 시험법의 개선에 집중 하도록 한다. 또한 납기와 밀접한 관계가 있는 부품 신뢰성 시험의 효율화를 제안한다. 신뢰성 보증을 위해 장수명 부품에서의 대표 아이템을 선정하여 시험 항목, 시험 절차, 개선 적용 사례를 제시하도록 한다. 장수명 부품이라 함은 실제 완성제품에 적용되어 운영되는 부품 중 10만매의 인쇄매수 이상을 견뎌야 하는 각 부품으로 보통 완성제품의 수명과 동일하여 부품의 신뢰성 시험 시 시험 기간이 많이 소요되는 부품을 말한다.

2. 부품 신뢰성 시험법 소개

2.1 신뢰성 시험의 정의

2.1.1 신뢰성의 정의

신뢰성이란 시간의 측면에서 본 품질로서 일정기간 동안 주어진 기능을 원활하게 수행할 수 있는 제품의 능력을 말한다. 제품의 신뢰도를 정확히 평가하기 위해서는, 첫째 제품의 요구 되는 기능이 명확히 정의되어야 하고, 둘째 제품의 사용 또는 환경조건이 규정되어야 하며, 셋째 제품의 사용기간을 측정할 수 있는 시간이나, 시간에 상응하는 척도가 마련되어야 한다[3],[4].

제품이 요구되는 기능을 다하지 못하는 것을 고장이라고 한다. 요구되는 제품기능을 정의하는 것, 즉 고장을 정의하는 것이 위의 세 가지 중 제품의 정확한 신뢰도평가에 가장 중요하다고 할 수 있다. 제품의 신뢰도를 평가할 때는 고장으로 취급되는 상태를 명확히 정의하여야 한다.

제품의 사용 또는 환경조건도 신뢰도에 영향을 준다.

동일한 제품도 사용할 때의 진압, 진류 등의 사용조건 또는 온도, 습도, 진동 등의 환경조건 면에서 많은

차이가 난다. 예를 들면 도로 사정이나, 사용연료의 종류, 운전자의 숙련도 등이 자동차의 신뢰도에 영향을 줄 것이다. 제품 신뢰도는 사용기간에 따라 달라진다. 동일한 제품이라도 일 년 후의 신뢰도는 이년 후의 신뢰도 보다는 높다. 보통 사용기간에 의해 신뢰도를 정의하나 시간 이외의 다른 척도를 사용하는 경우도 있다. 위의 신뢰성 정의는 좁은 의미의 정의라고 할 수 있다. 넓은 의미로 신뢰성은 신뢰도, 가용도, 보전도(RAM: reliability availability maintainability)를 의미한다[7].

2.1.2 신뢰성 시험의 목적

신뢰성 시험의 방법과 규모는 그 요구 목적이나 대상 제품의 성격에 따라 크게 달라진다[2]. 일반적으로 시험의 목적을 열거해 보면 ① 제품의 신뢰성 보증(제품의 승인, 로트의 합, 부판정 등) ② 새로운 설계, 새로운 부품, 새로운 공정, 새로운 재료의 평가(안전계수, 내 환경성, 내식성 등) ③ 시험방법의 검토(가속수명시험의 방법과 가속률, 스트레스의 종류와 수준, 시료 수, 시험시간, 시료채취 방법 등) ④ 안정상의 문제점 검토 ⑤ 사고대책(사고의 재현, 고장 해석, 대책의 효과 확인 등) ⑥ 고장분포의 결정(신뢰성 예측, 설계, 시험의 기초자료) ⑦ 신뢰성 데이터 수집 등이다[6].

신뢰성 시험은 그 대상, 실시장소, 스트레스의 강도와 시간 등에 의해 여러 가지로 분류될 수 있다.

2.1.3 신뢰성 시험의 방법

제품의 신뢰도는 사용시간, 수송, 보관 중에 가해지는 온도, 습도, 압력, 진동, 충격, 가속도, 가스, 염수분무, 방사선, 모래, 잡음 등이 환경 스트레스에 많은 영향을 받는다. 최근에는 환경의 급격한 변화로 공해나 안전 등의 문제와 관련하여 환경시험의 역할이 중요시되고 있다.

1) 스크리닝(Screening) 시험

스크리닝은 부품의 잠재고장을 조기에 제거하는 비파괴적 선별기술로, 제품의 구입, 인정, 출하 등에 있어서 신뢰성을 확인, 보증하는 시험으로 사용되고 있다.

제품의 초기 고장을 제거하기 위한 번인(Burn-in)시험도 스크리닝 시험의 일종이다.

2) 수명시험

제품의 수명이나 고장률이 시장에 출하된 제품의 고장 데이터로부터 산출된다면 그 효용가치는 더욱 적어진다. 따라서 제품수명 또는 고장률을 사전에 예측하고 신뢰성 개선설계에 유용한 자료와 사용자에게 제품의 신뢰성을

보증하기 위한 자료를 사전에 확보하기 위해서는 제조 계획의 초기 단계에서 수명시험을 실시할 필요가 있다.

3) 실제 수명시험(Actual life test)

실제 수명시험은 판매 대상이 되는 소비자의 실제 사용조건(스트레스 조건 및 환경조건) 중 최악의 상태에서 제품을 장시간 또는 다량으로 정상 가동시키는 시험이다. 이 시험의 목적은 주로 소비자에게 제품의 수명을 보증하고, 가속 또는 가속시험으로 여과(Filtering)되지 않았지만 실제 사용 시에는 발생하는 고장의 모드이며 이 고장모드의 요인을 발견하여 개선 대책을 수립하기 위한 것이다.

4) 가속수명시험(Accelerated life test)

수명이나 고장률을 사전에 예측하기 위한 방법으로 열화(마모)원인을 물리적, 시간적으로 가속하는 수명시험이다. 가속 수명시험은 가속에 따라 실용조건과 다른 고장 모드가 발생할 수 있으므로 주의하지 않으면 안 된다. 따라서 가속수명 시험법의 실시 초기에는 고장 메커니즘이 단순하고 고장 메커니즘의 시험 조건을 선정해서 실시하는 것이 바람직하며 점차 복합적인 고장 메커니즘의 시험조건을 선정해서 실시해야 한다.

2.2 현재 부품 신뢰성 시험의 진행 현황

2.2.1 부품 신뢰성 시험의 목적

신뢰성 시험은 대상 아이템의 특성과 설계 및 개발 단계에 따라서, 설계 및 개발 검증, 신뢰성 향상, 신뢰성 보증, 기술적 분석의 목적을 위하여 실시할 수 있다.

2.2.2 부품 신뢰성 시험 진행 절차

부품 신뢰성의 시험 절차는 시험대상의 선정, 대상 시험 시료 수 확정, 신뢰성 시험 계획, 신뢰성 시험 진행, 시험 결과 보고의 형태로 운영되고 있다.

2.2.3 현재 부품 신뢰성 시험법 진행시의 문제점

현재 프린터 산업에서의 부품 신뢰성 시험은 다음과 같은 문제점이 있다.

- ① 신뢰성 시험에 완성 제품의 조건을 배제한 일반적인 시험법이 적용
- ② 시험에 많은 시간이 소요되며, 이를 통해서 개발 납기가 늦어짐
- ③ 신뢰성 시험법이 특화되어 해외 선진사의 BM이 어렵고, 신규 시험법 개발이 어려움

이에 대해 세부적으로 각각의 문제점을 살펴보면,

1) 완성 제품의 조건을 배제한 일반적인 시험법이 적용

프린터는 광학, 화학, 열역학, 구동 등이 총망라된 복잡한 제품이다. 또한 기존의 SOHO 중심의 판매 형태에서 벗어나 기업용 제품을 출시, 판매하는 환경에 놓이게 되었다. 갈수록 복잡한 사용 환경에서의 품질 수준을 만족하기 위해서는 신뢰성 시험 자체의 다음과 같은 문제점을 개선해야 한다.

현재의 프린터 산업에서의 부품 신뢰성 시험의 계획에서부터 실시까지의 기존의 신뢰성 시험 절차를 보면 대상 부품이 실제 프린터에서 사용되는 환경에 대한 분석은 진행되지 않고 있다. 부품 제조사의 부품 조건이 그대로 시험 진행되어 지고 그 결과로 인해 신규 부품이 바로 신규 프로젝트의 완성제품에 적용되어 진다.

실제로 신규 부품이 신규로 개발되어지는 완성제품에 사용되어지는지에 대한 선택은 개발 엔지니어가 전적으로 담당하고 있다. 자칫 완성제품의 복잡한 환경을 고려하지 못할 경우 해당 부품이 장기간의 환경 스트레스를 이기지 못하고 동작 불량이나 해당 부품 고유의 특성을 잃어버리게 되고 시장 사고가 발생하여 막대한 품질 비용을 발생시켜 기업의 이미지와 수익에 영향을 미치게 된다.

다음은 실제 완성 제품의 환경을 정확히 고려치 못하고 문제가 발생한 사례이다. 문제 부품은 프린터에서 인쇄되어진 용지가 바로고 정해진 시간에 정확하게 배출되었는지를 인식하는 '센서(Sensor)'류의 부품이었다. 해당 부품의 경우 일반적인 부품 제조사의 사양을 바탕으로 개발되어지는 제품에 적용 되었고, 출시 이후 6개월 전까지는 해당 부품의 결함에 대한 시장 클레임(Claim)은 없었다. 출시 6개월이 지난 후부터 해당 부품과 연관된 시장의 클레임(Claim)이 생겼으며, 이후 지속적으로 시장에서의 불량이 높아졌다. 시장에서 불량으로 발생된 제품을 회수하여 원인을 분석한 결과 해당 부품이 사용되어지는 환경에 기인한 구조적 문제라는 분석이 나왔다. 원인의 핵심은 온도에 의한 반복 시험 응력(열 충격)에 의한 본딩 와이어(Bonding Wire : 해당 부품 내부의 연결선) 단선이었다.

문제 발생 부품에 대한 부품 제조사의 신뢰성 시험 결과에는 전혀 문제가 발생하지 않았으며, 동일한 시험을 진행한 'S전자' 부품 신뢰성 시험 시에도 특별한 문제가 발생되지 않았던 것으로 조사되었다.

시장에서의 불량은 지속적으로 발생되고 있었으며, 이에 따라 실제 해당 부품이 적용되는 완성 제품과 해당 부품의 동작 환경을 비교해 보기로 하였다. 문제 발생 부품의 경우 완성 제품에서의 실제 적용 위치는 프린터에서 고온의 열을 발생시키는 Unit과 근접한 거리

에 위치해 있었다. 추가 원인 분석 결과 문제 발생 부품은 약 100 사이클 정도의 열 충격 시험에서 동일 문제가 발생함이 밝혀졌다.

<표 1>에서 보는 바와 같이 부품 제조사에서의 보증 규격은 해당 온도의 10 사이클만 보증하는 것으로 나타났으며, 실제 그 부품이 사용되어지는 완성 제품의 환경 조건은 일상생활 조건으로 5년 기준으로 최대 약 1,800여 사이클 사용하는 것으로 조사 되었다.

그러나 개선된 부품을 재시험하기 위해서는 완성 제품의 환경 조건으로 약 1,800 사이클 동안 시험을 진행해야 만 했다. 시험을 보다 빨리 진행하기 위해 문제 발생 부품과 같은 부품을 수배하여 재현시험을 실시하였다. 재현 시험에는 열 충격에 의한 파괴시험에 일반적으로 적용되는 'Coffin-Manson'의 수정 법칙을 적용 하였으면 산식은 다음과 같다.

$$N1 = N2 * \Delta T1^{-2} / \Delta T2^{-2}$$

N1 : 시험 온도에서의 사이클 수

N2 : 상온 동작 조건에서의 사이클 수(평균 수명 5년)

ΔT1 : 부품 저장 조건에서의 온도 차이

ΔT2 : 완성 제품 동작 조건에서의 온도 차이

위의 방법으로 불량 발생한 부품을 수배하여 시험한 결과 완성 제품의 수명 주기 내에서의 열 충격 시험에 대한 필요 보증 사이클은 약 700여 사이클인 것으로 나타났으나, 불량에 대한 재현 시험 결과 약 70~100사이클 사이에 불량이 재현되었다. 이 사이클 수는 판매 되어진 제품이 시장에서 불량으로 발생되어진 실제 사용 시간과도 일치하는 수준이었으며, 시장에서는 일교 차이가 큰 겨울철이 여름철보다 발생빈도가 높았다. 부품이 보증하는 규격과 완성제품에서의 사용 환경의 차이로 커다란 실패 비용이 발생하였다.

해당 부품의 막대한 손실로 인해 개발, 제조, 구매 팀에서는 각각의 대안을 제안하였으며, 부품 신뢰성 시험법에 있어서도 개발되어지는 완성 제품의 동작 환경을 충분히 분석 후 진행하도록 시험 절차를 개선 운영하게 되었다.

<표 1> 문제 부품과 완성 제품의 환경 비교

구 분	적용된 부품 규격부품 제조사 보증서	부품이 적용된 완성 제품 환경
열 충격 조건	-25도 ~ 85도 10사이클	0~80도 약 1,800 사이클 (1일 1사이클 기준, 5년 보장 조건)

2) 시험에 많은 시간이 소요되며, 개발 납기가 늦어짐

일부 신뢰성 시험 대상 항목의 경우 정상적인 환경(상온, 상습) 상태에서 평균 수명시험이 약 1,000여 시간 이상의 시험 시간이 요구되며, 이 시간을 일별로 환산하면 약 42일의 시간이 소요된다. 평균적으로 신규로 개발되어지는 완성제품의 신규 부품의 사용 승인 기간이 약 3~5개월이란 점을 감안하면 신규 신뢰성 대상 항목의 시험 기간은 개발 납기에 영향이 있다는 것을 알 수 있다. 42일이라는 시간은 신규 대상 부품의 시험결과가 전혀 문제가 없을 경우 소요되는 시간이며, 만약 신규 대상 부품에 문제가 발생되었을 경우에는 추가적인 재시험이 필요함으로 추가적인 42일이 필요하게 된다. 이는 총 84일로 3개월 가까이 소요되는 시간이다. 시험에 대한 사전 협의, 시험 장치의 개발로 인한 기간을 감안하면 절대적으로 시험에 대한 기간 단축이 절실함을 알 수 있다. 개발 납기의 지연은 프린터 산업에서의 시장 선점 기회를 빼앗아 기업의 생존에 중대한 위기로 작용할 수 있다. 더군다나, 기업이 시장 지배력을 가지고 있지 않은 경우 더 큰 위협으로 영향을 미칠 수 있다.

<표 2> 약 1,000시간 이상의 수명 시험을 필요로 하는 부품

대상 부품	수명 시간
할로젠(Halogen) Lamp	상온 동작 : 약 1,000시간
모터(Motor)	상온 동작 : 무부하 약 3,000시간
LED	상온/고온동작 : 약 1,000시간
Crystal	상온/고온동작 : 약 1,000시간

3) 신뢰성 시험법이 특화되어 있어 새로운 신뢰성 시험법을 제정하기가 어려움

프린터 산업의 경우 각각의 완성 제품 제조사간의 신뢰성 시험법이 공유되지 않고 있으며, 프린터에 사용되는 부품의 재질, 제조방법 등이 기업의 경영비밀로 보호되고 있어 후발업체의 경우 국제규격 등에 의해 알려진 일반적인 방법으로만 시험을 진행하고 있다.

공유되어지는 국제 규격의 경우 프린터 제품에 국한되는 환경이 아닌 산업 전반에 걸친 일반적인 시험법이므로 프린터에 직접적으로 적용하기는 어려우나 공인된 시험법의 부재 및 관련 산업에서의 시험법이 없으므로 일부 국제 규격을 적용하여 시험을 진행하고 있다.

<표 3>은 MIL-STD(미국방성 시험규격) 및 JIS(일본 공업규격)에서 규정하는 일반적인 시험법과 프린터 환경을 비교한 것이다[1]. <표 3>에서 보는 바와 같이 국제 규격과 프린터에 사용되는 부품이 처해지는 환경은 다르며, 어떤 항목을 선택해서 시험을 진행해야 하는지는 전적으로 신뢰성 시험팀에서 결정을 하게 된다.

<표 3> 부품 신뢰성 시험의 국제 규격과 실제 프린터 환경 비교

시험 구분	국제 규격	프린터 환경
고온 동작시험	125°C 이상, 약 1,000시간	각 부품별로 온도 조건 다름
저온 동작시험	-65°C, -55°C, -40°C 선택 약 2시간~100시간	각 부품별로 온도 조건 다름
고온 고습시험	28~30°C, 90~96% 약 48시간~500시간	각 부품별 온,습도 조건 다름
열 충격	운송조건에서 10~100cycle	매일 저온~고온 1cycle

<표 4> 신규 부품의 일반적인 환경과 완성제품 환경 비교

구분	일반적인 시험조건	부품 제조사 시험조건	개발 완성품의 환경조건
기밀시험	105도, 4시간	없음	105도, 4시간
동작 온도	10~32도	0~32도	0~48도
열 충격 시험	-30~-50도 약 20cycle	-30~50도 약 20cycle	0~50도 약 1,800 cycle

2.3 부품 신뢰성 시험법 개선항목

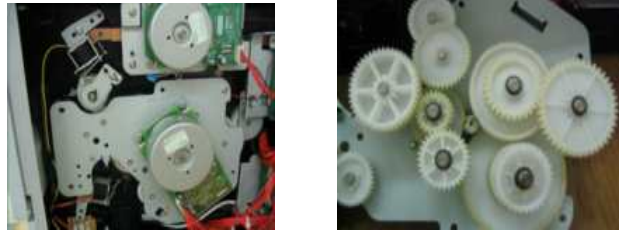
2.3.1 신뢰성 시험 프로세스의 개선

기존의 부품 신뢰성 시험 절차는 시험 대상 항목의 선정에서부터 시험 진행까지 개발되어지는 프린터 완제품에서의 부품 동작 환경에 대한 고려 보다 부품 자체가 가지는 특성에 대한 검증이 이루어져 왔다.

이를 개선하기 위해 부품 신뢰성의 시험 절차를 개선하였다. 개선된 부품 신뢰성 시험 절차는 실제 신규 부품이 개발되어지는 완제품에서 어떤 환경에서 견디어야 하는지에 대해 분석하고 분석되어지는 환경을 기반으로 부품 신뢰성 시험 진행 시 신규 부품이 일반적인 신규 부품의 신뢰성 시험법이 아닌 실질적인 완성 제품의 동작 환경을 고려하도록 하였다. 비교 결과 동작 온도에서의 환경 조건과 열 충격 시험에서의 환경 조건이 부품 제조사의 환경 조건과 상당히 다를 수 있었다. 다음은 신규 부품의 일반적인 시험 환경과 프린터 환경이 고려된 환경과의 비교이다.

일반적으로 사용되는 부품 신뢰성 시험조건을 적용하여 시험했을 경우 사고 사례가 재현 될 수 있다.

부품 신뢰성 시험에서의 환경 조건은 단지 온도 조건에만 국한되지는 않는다. 다음은 프린터에서 구동에 관련된 전기 모터(Motor)에 대해 부품 제조사의 시험 조건과 실제 완제품에서의 사용 조건에 대해 비교하였다. 전기 모터(Motor)는 <그림 1>과 같이 다른 부품을



<그림 1> 완성제품에서의 전기 모터(Motor) 사용 상태

<표 5> 전기 모터(Motor)의 시험조건 비교

구분	일반적인 시험조건	부품 제조사 시험조건	개발 완성품의 환경 조건
부하 조건	없음	없음	약 900g
수명 시간	약 3,000시간	약 3,000시간	약 700시간

자료 : 'L-Project'에서의 전기 모터(Motor) 부하 조건



<그림 2> 전기 모터(Motor)의 시험 장치 구성

구동시켜 주는 역할을 하는 부품이므로 실제 완제품에서는 부하(외부로부터 가해지는 힘)를 받게 되어 있다.

완성 제품의 환경을 고려하지 않고 일반적인 부품 제조사 시험법으로 부품 신뢰성 시험이 진행되었고, 이러한 부품은 시장 환경에서 지속적인 기능 불량을 발생시켰다. 위의 2가지 사례에 대해 시험법을 개선하기로 했다.

첫째, 온도조건에 대해서는 실제 부품 신뢰성 시험 시 완제품에서 측정된 조건을 적용하여 시험 진행하도록 하였다. 둘째, 완성 제품에서의 구동 부하가 적용되는 부품에 대해서는 <그림 2>와 같이 시험 장치를 제작 운영하도록 하였다.

실제로 모터 단품의 경우 고장 모드는 모터 내부 베어링(Bearing)의 마모, 오일의 누유에 의한 기구적 마모로 압축된다. <그림 2>는 모터가 실제 제품에서 사용되는 환경 즉 부하를 받는 조건을 치공구로 구현한 그림이다.

전기 모터(Motor)에서 구동되는 방식을 제품과 동일한 기어(Gear)로 구현하였으며, 실제 모터가 받는 부하는 토크 리미터(Torque Limiter : 일정한 부하가 계속 Load되는 제품)로 구현함으로써 모터가 받는 부하가 일정하게 유지되어 실제 제품에서의 환경에서 진행될 수 있도록 하였다.

1) 신뢰성 시험 Lead Time의 개선

신뢰성 시험은 많은 시간이 소요된다. 앞서 언급한 바와 같이 부품 신뢰성시험에만 약 1,000여 시간 이상의 물리적인 시간이 소요된다. 긴 수명시험은 개발 납기에 지대한 영향을 미치는 것이 현실적인 문제이며, 이를 개선하기 위해서는 시험시간의 단축이 요구된다.

신뢰성 시험에서 시험 시간을 단축시키기 위해서 가속계수를 이용한 가속수명시험을 적용하는 방법이 현재 가장 많이 적용되고 있다.

그러나 다양한 형태로 고장이 발생할 수 있는, 복잡한 제품의 수명을 가속화하는 것은 실용적·통계적 측면에서 문제점을 가진다. 가속 변수의 낮은 수준인 사용조건 수명 혹은 장기간 성능의 추정치를 구하기 위해서는 물리적 통계적 모형을 통하여 하나 이상의 가속 변수(사용률, 온도, 전압, 압력 등)의 높은 스트레스 수준에서의 시험정보가 필요하다[5].

하지만 기존의 가속 시험법을 모든 제품에 일괄적으로 적용하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 실제 시험에 의한 시험법 개선을 진행 하였다. 프린터에 사용되는 복잡하고 다양한 부품 중 가장 긴 수명시험을 요구하는 부품 중에서 할로젠(Halogen) 램프에 대해 수명 시험 효율화를 진행하였다. 그 이유는 할로젠 램프가 수명시간이 길기 때문에 수명가속시험에 따른 결과의 차이가 가장 뚜렷하게 나타나기 때문이다.

2) 할로젠 램프(Halogen Lamp) 시험법 개선

할로젠(Halogen) 램프는 프린터에서 고온의 열을 내는 발열체이다. 프린터에서의 역할은 고온의 열로 토너(고체의 상태에서 액체의 상태로 변하여 용지에 인쇄되어 지는 가루)를 녹이는 열을 발생시키는 역할을 한다.

할로젠(Halogen) 램프에서의 부품 신뢰성 시험은 약 1,000여 시간 이상의 수명 시험을 요하고 있다.

할로젠(Halogen) 램프의 주요 고장 현상은 램프의 연속 점등에 의한 램프관의 흑화 현상에 따른 필라멘트의 단선불량이다. 보통 램프 시험에서의 가속 Factor는 필라멘트의 저항을 높게 만드는 입력 전압이다. 이 입력 전압을 정격전압에 비해 높게 할 경우 새로운 가속 모델을 얻을 수 있을 것으로 기대되었다. 이를 재현하고자 <표 6>과 같은 시험 계획을 세웠다.

<표 6> 할로젠(Halogen) 램프 시험조건

시험	동작 환경	할로젠(Halogen) 램프 규격	시료 수
1	정격 전압의 130% 인가	입력 전압 115V용	5
2	정격 전압의 150% 인가	입력 전압 115V용	5
3	정격 전압의 180% 인가	입력 전압 115V용	5

<표 7> 흑화 단계에 따른 시험 결과[8]

150V (130%)						173V (150%)					
시간	1	2	3	4	5	시간	1	2	3	4	5
10	1	1	1	1	1	10	2	1	2	2	2
20	1	1	1	1	1	20	2	1	2	2	2
30	2	2	2	1	1	30	2	1	2	2	2
40	2	2	2	2	1	40	2	2	2	2	2
50	2	2	2	2	1	50	2	2	2	2	2
60	2	2	2	2	1	60	3	2	3	3	2
70	2	2	2	2	2	70	4	2	3	4	4
80	2	2	2	2	2	80	4	2	4	4	4
90	2	2	3	2	2	90	5	2	5	5	5
100	2	2	3	3	2	100	5	3	5	5	5
110	2	2	3	3	2	110	5	3	5	5	5
120	2	2	3	3	2	120	5	4	5	5	5
130	2	2	3	3	2	130	5	4	5	5	5
140	2	2	3	3	2	140	5	5	5	5	5
150	2	3	3	3	2						
160	2	3	3	3	2	207 (180%)					
170	2	3	3	3	2	시간	1	2	3	4	5
180	2	3	3	3	2	5	2	3	2	1	1
190	2	3	3	3	2	10	5	5	5	5	5
200	2	3	4	4	2						
210	2	3	4	4	3						
220	2	3	4	4	3						
230	2	3	4	4	3						

할로젠(Halogen) 램프의 주요 고장현상은 흑화에 의한 필라멘트 단선으로 선정하였으며, 흑화의 정도는 업계마다 5단계, 7단계로 나뉘어 사용하고 있으나, 본 연구에서는 5단계로 적용하기로 한다. 그 이유는 5단계만으로도 차이 구별이 뚜렷하여, 7단계로 하여 문제를 복잡하게 할 이유가 없기 때문이다. 흑화 발생의 정도를 5단계로 한 결과 <표 7>과 같은 시험 결과를 얻을 수 있었다.

<표 8>의 가속 계수를 기준으로 수명 시험에 대한 시험 시간을 단축할 수 있었다. 시험 결과에 의하면 할로젠(Halogen) 램프의 정격 전압 대비 150%의 시험을 인가하여 수명 시험 진행 할 경우 약 38시간으로 단축할 수 있으나, 150%를 지속적으로 인가 시 일부 유리관의 변형이 생김으로 정격 전압의 130%의 수준인 약 120시간을 시험의 표준으로 진행토록 하였으며, 초기 적용 시 조건 적용의 실패를 대비하여 초기시험에는 약 1,000여 시간 시험법과 약 120시간 시험법을 동시 적용하도록 결정하였다.

<표 8> 시험 결과에 따른 가속 계수 산출

인가전압(v)	정격대비(%)	가속계수	시험시간
115	100	1	1,000
150	130	8.35	120
173	150	26.12	38
207	180	109.54	9

프린터에 적용되는 모터(Motor) 시험에 있어서도 신뢰성 시험법의 절차 개선에 사용되었던 모터(Motor) 시험 장치를 활용하여 시험법 효율화를 위한 시험 조건은 <표 9>와 같이 구성하였다.

<표 9>의 조건으로 시험 진행 한 뒤 각 모터(Motor) 별로 불량 발생 여부를 확인한 결과 불량은 발생하지 않았다. 따라서 각 시험 결과의 비교는 모터(Motor)의 중요 관리 항목인 최대 토크(Pull Out Torque)에 대해 비교 진행하였으며, Data의 비교는 통계적인 방법인 Paired T 분석을 통해 진행하였다.

시험 진행 결과 부하가 없는 상태로 3,000시간 진행된 시험 결과의 값은 P-Value 0.563으로 유의한 변화가 없는 것으로 나타났고, 부하 조건에서 1,000시간 시험한 모터(Motor)의 후기 특성치는 P-Value 0.014로 유의 수준 0.05

<표 9> 모터(Motor) 시험 계획

시험	동작 환경	시험 시간	시료 수
1	부하가 없는 조건	약 3,000시간	10
2	모터(Motor)가 가진 최대 부하	약 1,000시간	10

Paired T-Test and CI: 무부하 초기, 무부하 3,000 시간
Paired T for 무부하 초기 - 무부하 3,000 시간

	N	Mean	StDev	SE Mean
무부하 초기	10	631.40	1.51	0.48
무부하 3,000시간	10	631.90	3.32	1.05
Difference	10	-0.50	2.64	0.83

95% CI for mean difference: (-2.39, 1.39) T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -0.60 P-Value = 0.56

Paired T-Test and CI: 부하 초기, 부하 1,000 시간
Paired T for 부하 초기 - 부하 1,000 시간

	N	Mean	StDev	SE Mean
부하 초기	10	680.80	10.58	3.35
부하 1,000시간	10	669.00	14.69	4.65
Difference	10	11.80	12.28	3.88

95% CI for mean difference: (3.01, 20.59) T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 3.04 P-Value = 0.01

보다 작은 값은 나타내어 최대 토크(Pull Out Torque)에 있어서 유의한 변화가 있는 것으로 확인 되었다.

장 수명 프린터 제품이 150만매인 것을 감안했을 때의 모터 평균 사용시간이 약 470~700여 시간인 것으로 볼 때 변화율을 감안한다면 약 3,000여 시간 부하 조건이 없는 시험보다 약 1,000여 시간의 부하 조건을 감안한 시험법이 완성제품의 환경을 고려한 시험법이 될 것이다.

2.3.2 선진사 Benchmarking을 통한 신뢰성 시험법 개발

신뢰성에 대한 이론적 개념과 가속 계수 등의 시험 효율화 방안에 대해서는 많은 연구가 있지만 특화 되어 있는 산업에서의 부품 신뢰성의 경우에는 사용되어 지는 동일 환경에 대한 시험법을 찾기 힘들다.

프린터 산업에서도 예외는 아니다. 프린터 산업은 시장의 진입장벽이 높고, 기존에 기업들의 입지가 탄탄하다. 이는 프린터 시장규모에 비해 근래 프린터 산업으로 진출한 기업이 없다는 것으로도 알 수 있다. 더 나아가 기존 기업이 기술력뿐만 아니라 품질에 있어서도 우위에 있음을 알 수 있다.

따라서 기존의 부품 신뢰성 시험법 이외에 새로운 시험법을 제정 운영하기는 어렵다. 이에 전반적인 프린터 부품산업에 있어서의 특수한 시험법을 확인하여 신규 시험법으로의 제정을 하도록 하였으며, 시험법에 대해서는 'M社'의 사례를 집중적으로 참조하였다. 산업계 전반에 걸친 부품 시험법은 다음과 같이 집계 되었다.

<표 10>과 같이 실제 산업계 전반에서 운영 중인 부품 신뢰성 시험법에 대해 확인 결과 상당수가 프린터 제품에 적용될 수 있는 시험법이라는 것을 알 수 있었다. 약 190여 개 항목 중 검토 적용 대상이 될 수 없는 항목으로는 수중에서 사용되는 전자 부품의 시험법, 유류 제품에 사용되는 부품에 대한 시험법이 해당 되었으며 이는 프린터 제품의 실제 사용 환경과 확인

히 다른 환경으로 판단되어 배제 하였다.

선진사의 시험법 중 상당수가 현재 ‘S전자’의 부품 신뢰성 시험법에 포함되지 않는 항목이나, 프린터가 판매 되어 지고 있는 시장에서는 지속적으로 문제가 제기되고 있는 항목이었다. 기존의 시험법이 적용되어 프린터가 생산된 이후에도 꾸준히 시장에서의 문제가 발생되고 있지만, 시험법 자체가 없는 항목에 대해서는 전혀 품질 개선을 할 수가 없었으며, 개선된 부품이 어느 정도의 내구성을 가지는 지에 대해서도 추정할 수 없었다. 실제로 완성제품에 적용한 후 일정 기간 시험을 한 뒤 적용 여부를 판단하였으나, 그 시험 자체가 모든 프린터 판매시장에서의 환경을 대변하지 못했다.

<표 11>는 실제 신규 열 충격시험의 적용으로 부품 신뢰성 시험 중 발생된 문제 현상들에 대한 Data이다.

<표 11>에 언급된 해당 부품이 기존의 환경시험의 기준으로 진행되었다면, 해당 부품이 적용된 제품에서의 시장불량으로 연관 되었을 것으로 추정되며, 이를 단순 경제적 효과로 파악한 결과는 다음과 같다.

- ① C 부품(A 제품): 프린터의 복사 기능을 지원해 주는 부품
1만대 (년 생산 수) * 5만원 (서비스 비용) = 5억
- ② L 부품(C 제품 : 프린터에서 Laser를 주사하는 부품)
5천대 (년 생산 수) * 5만원 (서비스 비용) = 2.5억
- ③ L 부품(B 제품)
시장 출시전의 제품으로 출시했을 경우 많은 실패 비용을 초래 할 수 있었음

<표 10> 신규 부품 시험법 파악 현황

대상 시험법 건수	즉시 적용 가능 건수	적용 검토 필요 건수	적용 불가능 건수
약 190여 건	약 10여 건	약 50여 건	약 130여 건

<표 11> 변경된 열 충격 시험 조건 적용 후 결과

적용 부품	기존 조건	신규 조건	불량 현상	적용 제품
C부품	조건 없음	-25~70도 약 170 사이클	센서(Sensor) 위치 문제	A 제품
L부품	-25~70도 5 사이클	-25~70도 약 170 사이클	인쇄 못함	B 제품
	-25~70도 5 사이클	-25~70도 약 420 사이클	부품 떨어짐	C 제품

<표 12> 수명 시험 효율화 전/후 비교

	구 분	개선 전	개선 후
할로겐 (Halogen) 램프	시험 시간	약 42일	약 6일
	부품 승인 기간	약 2~3개월	약 1개월 이내
	인건비	약 420만원	약 60만원
모터 (Motor)	시험 시간	약 130일	42일
	부품 승인 기간	약 6개월 이상	약 2~3개월
	인건비	약 1,300만원	약 420만원

3. 부품 신뢰성 시험법에 대한 개선 효과

3.1. 부품 신뢰성 프로세스 개선에 의한 효과

완성되어진 완성제품의 실제 사용조건을 신규 부품 신뢰성 시험에 적용했을 경우 직접적으로 시장 불량 감소에 따른 기업 이미지 개선, 시장 실패비용 감소로 이어진다. 본 연구에서는 신뢰성 시험 절차 개선으로 얻어지는 기업이미지 개선 등의 무형효과보다 실질적인 유형효과에 대해 논하고자 한다. 본 시험법 절차 개선은 ‘S전자’에서 규정하고 있는 중요부품(동작부품, 중요기능부품, 시장 Worst부품, 2가지 이상의 기능을 가진 복합부품 등)에 대해 전면 적용하였다.

부품 신뢰성 시험 프로세스의 개선 중 완성 제품에서의 동작 환경을 고려한 시험법 적용의 주요 개선 항목으로는 다음을 들 수 있다.

첫째, 부품의 사용 온도 조건을 개선한 시험법을 적용함으로써 다음과 같은 효과를 확인 할 수 있었다. 온도 조건에서의 시험법을 개선한 ‘CIS(Contact Image Sensor)’의 시장에서의 주요 문제는 각 센서 칩(Sensor Chip)이 온도 조건에 변형되어 프린터에서 인쇄되어진 화상에 의도되지 않는 검은 띠를 발생시키는 것이다.

신규 시험법 적용으로 다음과 같이 시장에서의 불량 Data를 확인 할 수 있었다.

두 번째, 새롭게 정의되어 적용된 열 충격시험에서도 많은 긍정적인 효과가 발생되었다. 새로운 열 충격시험의 주요 항목인 시험 사이클 수를 늘려 적용함으로써 실제 시험 기간 자체는 늘었지만, 신규 제품에 적용되어지기 전의 부품 신뢰성 시험에서 다량의 문제점이 검출되어 개선 조치됨으로서 품질 실패비용이 미연에 방지 되었다.

세 번째, 실제 완성제품의 온도 뿐 아니라 부하 조건

에서의 시험법 개선 후 시장불량의 Data가 훨씬 좋아지는 것을 확인하였다. 실제 모터(Motor) 시험 시 모터(Motor)에 인가하는 최대 부하는 완성 제품의 환경보다 훨씬 가혹한 모터(Motor) 보증의 최대 부하로 정하여 시험 하였다.

이외에도 완성 제품의 환경을 고려한 시험법 적용으로 한 가지 부품에 여러 협력사가 납품하는 부품의 경우 부품 수준의 우열을 가릴 수 있게 되어, 그 결과 더욱 수준 높은 품질의 완성제품을 구현할 수 있었다.

3.2 신뢰성 시험 Lead Time 개선에 따른 효과

신뢰성 시험 기간은 개발 납기 및 시험비용에 많은 영향을 끼친다. 특히 수명이 긴 완성제품의 부품은 더욱 많은 영향을 미칠 수밖에 없다. 사례에서 본 2가지 항목의 부품 신뢰성 수명 시험 효율화에 대해 개선 전, 후의 비교를 하였다. 수명시험을 개선한 2가지 부품에 대해 단순 비교에서도 나타났지만, 단순 인건비 이외에 설비사용에 따른 전력량 등의 시험소요 비용뿐만 아니라 신규 부품의 승인 기간의 단축이야말로 개발되어지는 완성제품의 적기 출시에 도움을 주게 된다. 이는 제품에 대한 적기 출시를 통해 기회실패비용을 줄여 기업 활동이 원활하게 진행될 수 있는 촉진제 역할을 하게 된다.

3.3 선진사 BM을 통한 신뢰성 시험 방법 개발에 따른 효과

프린터는 복잡한 제품이다. 모든 공학적 요소가 기술로 접목되어 쉽게 시장 진입을 할 수 없는 제품군 중의 하나다. 이런 프린터 제품에서의 새로운 기능을 가지고 있거나, 새로운 소재를 사용한 부품 또는 새로운 제조방법으로 제작되어진 부품을 개발될 완성제품의 고장 모드를 예측하여 시험하기란 쉽지 않은 일이다.

따라서 부품 소재 산업의 시험법은 각 기업의 고유한 비밀로 취급되는 것 또한 당연한 일이다. 본 연구는 연관성이 있는 부품의 신뢰성 시험법 약 60여 종을 새로이 개발 하였으며, 추가된 시험법이 프린터 신뢰성 시험에 적용될 경우 다음과 같은 효과가 발생 할 것으로 예상된다.

- ① 기존의 시험법에 비해 시험 기간이 짧으며, 새로운 문제 Factor를 발굴 할 수 있음
- ② 시장에서 발생하는 실패 비용 중 불량 현상만을 인지하고 원인을 모르는 부품에 대해 실패 비용을 줄일 수 있음

③ 새로운 시험법의 도입으로 2~3개의 부품 제조사가 동일하게 납품하는 동일 부품에 대한 품질 수준을 판단 할 수 있으며, 좋은 품질의 부품을 선별 사용함으로써 개발되어지는 완성 제품의 완성도를 높일 수 있음

④ 새로이 개발되는 완성제품 뿐만 아니라 신규 시험법을 양산중인 완성 제품에 적용함으로써 현재의 양산 품질을 판단, 개선할 수 있음

새로운 시험법의 개발은 개발 납기 뿐 아니라 잘못된 시험으로 인한 실패에 대한 예방에도 많은 기여를 한다.

4. 결론

본 연구는 갈수록 시장 규모가 커지는 프린터 산업의 부품 신뢰성 시험법 개선에 대해 중심으로 기술 하였다. 프린터 산업은 시장의 진입장벽이 높고, 몇몇의 기업들이 세계 시장 대부분을 장악하고 있는 산업이며, 그로 인해 개발의 빠른 납기와 고품질의 제품으로 승부해야만 한다.

특히 신규 부품을 개발단계의 초기에 검증하게 되는 부품 신뢰성시험의 경우 새로이 개발되는 신규 완성제품의 첫 품질 단계라 볼 수 있다. 의도되지 않은 부품의 사용 또는 완성 제품의 동작 환경과 맞지 않거나 품질이 현격히 떨어지는 제품의 사용으로 인해 이미 많은 실패 비용이 지불 되었으며 경영에 많은 Risk를 가하게 된 것을 알 수 있었다.

새로운 신규 제품의 구성을 이루는 신규 부품을 검증하는 부품 신뢰성은 다음 항목이 반드시 지켜져야 한다.

우선, 개발되어지는 완성제품의 동작 환경 및 내구성을 만족하는 부품의 품질 보증이 되어야 한다. 둘째, 개발 납기 및 시장 선점에 필요한 시간을 확보하기 위해 장기간의 수명시험이 필요한 부품에 대해 품질 보증 관점에서 품질저하가 되지 않는 시험의 효율화를 개발하여야 한다. 셋째, 산업계에서 일반적으로 진행되는 부품 신뢰성 시험 및 선진사례를 통한 벤치마킹을 통해 새롭고 혁신적인 시험법 도출에 앞장서야 한다. 마지막으로, 신규 부품에 대한 지속적인 연구가 선행되어야 한다.

부품 신뢰성 시험의 효율과 더 많은 시험법 개발을 위해서 연관 산업의 연구기관, 대학교, 동일 업종의 기업들과 많은 정보 교류가 필요하다고 제안한다. 시험법 개발이 당장 기업의 이익과 눈앞의 보이는 시장의 불량을 해결하지 못할지도 모르나, 장기적인 Project로 완성제품의 특성에 맞게 구축해 간다면 향후 앞서 언급한 시장에서의 많은 실패 비용을 줄이는 데 일조를

하게 될 것이다.

또한, 향후 연구에서는 부품 산업에서 일반적으로 사용되고 있는 수학적 모형은 해당 부품이 적용되어지는 최종 제품 환경에 대해서 충분한 검토가 이루어져야 할 필요가 있다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 이상용, “신뢰성 공학”, 형설출판사 (1999)
- [2] 박성현, “통계적 공정관리”, 민영사, (2005)
- [3] 배도선, 전영록, “신뢰성 분석”, 아르케, (1999)
- [4] 배도선, “최신 통계적 품질관리”, 영지문화사, (2003)
- [5] 서순근, “Minitab 신뢰성 분석”, 이레테크, (2006)
- [6] 조영준, “전자부품 신뢰성 방법개선사례에 관한 연구”, 석사학위논문, 경북대학교, (2005)
- [7] 정헌태, “신뢰성 시험장비의 품질보증체계 구축에 관한 연구”, 석사학위논문, 경북대학교, (2004)
- [8] 한국산업시험연구원, “R-Project 최종보고서”, (2007)
- [9] IDC, “2007년 제품 시장 규모”, (2007)

저 자 소 개

김 판 수



현재 경북대학교 경영학부에 조 교수로 재직 중이다. 부산대학교 산업공학과에서 학사 및 석사 학위를 취득하였고, Texas A&M 대학교에서 산업공학 박사학위를 취득하였다. LGCNS 및 삼성전자에서 정보전략 및 IT 컨설턴트로 근무하였다. 관심분야는 휴리스틱 알고리즘 개발 및 비교, Data Analysis 및 Data Mining이다.

주소: 대구광역시 북구 산격동 경북대학교 국제경상관 525호

한 기 용



현재 삼성전자에서 근무 중이며, 경북대학교에서 석사학위를 취득하였다. 관련 업무는 부품신뢰성과 회로부문의 품질관리를 담당하고 있다.

주소: 경기도 수원시 팔달구 매탄동 삼성전자 IT솔루션 사업부

이 지 혜



현재 경북대학교 대학원 경영학부 박사과정 중이다. 관심분야는 재고관리, 및 서비스 품질이다.

주소: 대구광역시 북구 산격동 경북대학교 경상대학 332호