

6시그마 방법론 활용을 통한 모터 수명 개선 Motor's Lifetime Improvement Using Six Sigma Methodology

이 장 희 & 이 문 수
한국기술교육대학교 산업경영학부

Abstract

본 연구는 모터 제조회사에서 모터 수명 향상을 위해 식스 시그마 방법론에 근거하여 개선한 사례 연구이다. 모터 수명 향상 활동을 추진하기 위해 본 연구에서는 제조부문의 식스 시그마 프로젝트 추진절차인 Define-Measure-Analyze-Improve-Control 절차를 수행했다. 모터 수명과 연관된 불량 유형을 정의하고 불량 측정 시스템에 대한 계측시스템의 정도평가, 불량유형요인효과분석, 4Step Diagram과 같은 분석기법을 활용하여 수명에 중요한 요인도출, 중요 요인의 개선대책 수립 및 개선 확인 후 최종적으로 지속적인 신뢰성 관리 방안을 수립하였다. 본 연구는 대부분 영세한 모터 제조업체에서 모터 수명 관리를 위해 많은 투자를 할 수 없는 현황을 고려할 때 신뢰성 관리의 효율적 방안을 제시한다.

1. 서론

품질이 제품이 만들어 졌을 때 단기간 관점에서의 성능과 기능을 뜻하는데 비해, 신뢰성은 장기간의 제품 사용 환경에서 성능과 기능의 저하정도를 파악하여 사용가능 기간을 보증하는 장기적 관점의 품질이라고 할 수 있다. 플라스틱, 고무, 세라믹스와 같은 화학소재의 예를 들면, 장기간 사용 시에 열, 빛, 온도, 습도 등의 환경적 요인의 영향을 받아 이들 소재의 성능 저하가 발생하게 되고 따라서 화학소재의 신뢰성 관리 및 고장 발생에 대한 원인 규명이 필요하다.

본 연구는 실생활에 가장 많이 사용되는 부품중의 하나인 모터의 신뢰성 향상을 위해 6시그마 개선 프로젝트를 수행한 사례를 제시한다. 제조부문의 6시그마 적용절차인 D-M-A-I-C 절차에 따라 모터 신뢰성의 현수준을 가속수명시험을 통해 파악하고 신뢰성에 영향을 주는 불량을 정의하여 불량 개선 요인을 도출, 향후 지속적으로 개선된 신뢰성 수준을 유지할 수 있는 관리계획을 제시하였다.

본 연구는 영세하고 신뢰성 시험 장비 부족으로 신뢰성 확보에 어려움이 있는 다수 모터 제조업체의 신뢰성 향상에 기여할 수 있다는 점에서 의의가 있다 하겠다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 신뢰성과 가속 수명시험, 모터의 신뢰성에 대한 기본적인 내용을 살펴보았다. 3장에서 6시그마 적용 방법론을 활용한 모터 신뢰성 개선 절차를 제시하였다. 마지막 4장에서는 본 연구의 결과를 요약하였다.

2. 관련 연구

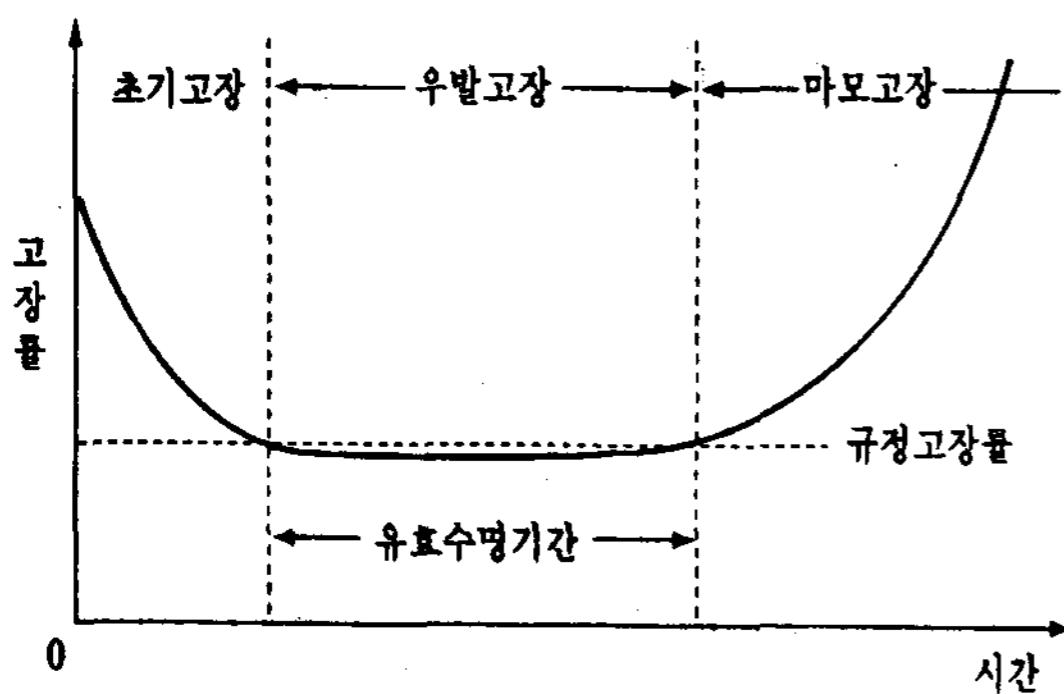
2.1 신뢰성과 가속수명시험

신뢰성이란 어떤 Item (장비, 부품, 소재, 시스템 등)이 주어진 운용조건하에서 의도하는 사용 기간중에 의도한 목적에 만족스럽게 작동하는 특성을 말하며 신뢰성이 좋은 제품이란 고장없이 오래 쓸 수 있고 소비자가 만족할 수 있는 제품을 말한다[1]. 일반적으로 신뢰성은 시간의 함수로 평가되는데 어떤 Item이 고장날 때까지의 시간을 수명으로 정의하고 이를 관리하고 있다.

Item의 수명을 빨리 추정하기 위해 Item의 실 사용 조건보다 가혹한 조건(가속조건)에서 시험하여 고장을 촉진시키고, 가속조건에서 관측된 고장 데이터로부터 수명과 스트레스 관계를 추정하고, 이를 사용조건으로 외삽하여 사용조건에서의 수명을 추정하는 가속 수명 시험을 실시한다.

Item을 사용하는 도중에 순간적으로 고장날 확률인 고장률은 일반적으로 그림1과 같이 초기 고장, 우발고장, 마모고장 기간의 3부분으로 구성되는 곡선으로 표현된다[1].

초기 고장기간에는 Item이 시장에 처음 출하되면서 잠재적인 설계나 제조상의 결함으로 인하여 발생하는 초기 고장률이 높게 된다. 이러한 초기고장을 관리하기 위해, 일반적으로 제조기업에서는 Burn-in test를 실시하여 초기고장이 발생하는 아이템을 검출한다. 우발고장기간에는 설계나 제조상의 결함이 제거되어 품질안정화가 이루어지면서 고장률은 일정하게 된다. 마모 고장기간에는 아이템을 어느 기간 이상 사용하면 재료나 부품이 열화되어 고장률이 증가하게 된다.



<그림 1> 시간에 따른 고장 발생 확률

2.2 모터의 신뢰성

모터에는 단상 모터, 3상 모터, 직류 모터, 교류 모터, 유도 전동기 모터, 브러시리스 모터, 서보 모터, 인덕션 모터, 스피드 제어 모터 등이 있는데, 본 연구는 교류 모터의 Shaded coil type 단상 모터를 대상으로 하였다.

모터는 주로 Rotor, Shaft, Bearing, Fan, Coil, Core, Housing으로 구성되며 Coil의 Turn수에 따라 모터의 회전속도 RPM이 정해지게 된다. Shaded coil type 단상 모터는 기동전류와 토오

크가 작기 때문에 구조가 간단하면서 주로 소형 모터, 가정용 송풍용 모터로 많이 사용된다. 기동전류와 토오크가 작아도 동작하기 때문에 Fan이나 Bearing부의 구속이 없을시에 10만번 이상의 on, off 회전 Cycle에 버틸수 있어야 한다.

Shaded coil type 단상 모터의 수명은 이와 같은 모터 회전을 만족해야 하고 이외에 여러 기후 환경적인 요소와 전원 환경적인 요소가 복합적으로 결합되어 모터 수명에 영향을 주는 것으로 알려져 있다[2]. 그럼에도 불구하고 실제 모터 제조업체에서의 신뢰성 시험은 단순한 반복시험 (예, 10초 on, 10초 off 5만회)으로 모터의 신뢰성을 판단하고 숙련작업자의 감성에 의존하고 있는 실정이다. 또한 항온항습조나 기타 신뢰성을 실험, 판단할수 있는 장비 부족으로 인해 신뢰성 확보에 어려움이 있다.

3. 수명 개선을 위한 6시그마 프로젝트 추진

<표 1>은 본 연구에서 수행된 모터 수명 향상을 위해 6시그마의 D-M-A-I-C 절차에 의해 진행된 개선 프로젝트 활동을 보여준다[3].

단계	주요 활동 사항
정의(Define)	> Cross-Functional 팀 구성 > 가속수명시험 수행을 통한 모터의 수명 (신뢰성) 평가 > 수명 향상을 위한 주요 불량 정의
측정(Measure)	> 주요 불량관련 계측 시스템의 타당성 평가 > 불량 데이터의 공정 능력 평가
분석(Analyze)	> 불량률의 핵심 원인(Vital Few X's) 도출
개선(Improve)	> 신뢰성 개선 활동 전개 > 가속수명시험 수행을 통한 개선 결과 확인
관리(Control)	> 향후 신뢰성 관리 방법 수립

<표 1> 모터 수명 향상을 위한 6시그마 프로젝트 추진단계별 활동

3.1 정의 단계: 모터 수명 평가 및 수명 향상을 위한 불량 정의

모터에 대한 신뢰성 보증 수준은 10년동안 1% 고장을 보장한다. 현재 생산하고 있는 모터의 신뢰성을 가속 수명 시험을 통해 평가

해 보았다. 가속 수명 시험 데이터에 대해 와이블 분포를 적용하여 1% 고장이 발생한 시간을 추정된 결과, 6229 시간(6.4년, 1년 120일 및 하루당 8시간 보증)으로 평가되어 목표수준인 10년에 비해 신뢰성이 떨어짐을 확인하였다[4].

모터 신뢰성 향상을 위해, 우선적으로 4-Step Diagram 분석을 수행하여 모터의 주요 고장 모드와 매커니즘을 파악하였다.

모터의 주요 고장은 크게 기동불량과 소음불량으로 나눌 수 있다. 모터 수명에 직접적으로 영향을 주는 불량은 기동불량인데, 모터 기동이 멈추거나 RPM Spec대비 감소하게 되었을 때 모터를 장착한 제품은 제 기능을 수행하지 못하기 때문에 수명과 직접적으로 연관되어 있다. 소음 불량은 RPM이 규격은 만족하나 규격상한으로 관리될 경우 발생할 수 있다.

3.2 측정단계: 모터 불량 현수준 평가

모터의 기동불량과 소음불량 현수준을 파악하기 위해, 우선 RPM과 소음 측정 시스템에 대한 정밀도 평가를 수행하였다. 측정시스템에 대한 평가는 미니탭을 이용하여 Gage R&R (Repeatability & Reproducibility) 분석을 수행했다[5]. 분석결과, RPM 측정 데이터의 전체 산포 중에서 계측시스템에 의한 산포의 비율은 8.57%, 소음 측정데이터의 전체 산포 중에서 계측시스템에 의한 산포 비율이 7.14%로서 일반적인 기준인 9%이하를 만족하므로 양호한 수준으로 측정 데이터를 신뢰할 수 있음을 확인하였다.

RPM 데이터와 소음 데이터에 대한 공정능력 분석을 수행하였다. RPM과 소음의 공정능력 지수는 각각 $Cpk(RPM)=0.56$ 과 $Cpk(소음)=0.05$ 로 산출되어 좋은 수준은 아님을 확인하였다.

3.3 분석단계: 불량개선을 위한 개선 요인 도출

3.1 단계에서 수행한 4-Step Diagram 분석을 결과와 불량요인효과분석(FMEA: Failure Mode Effect Analysis)을 수행하여 모터의 주요 고장 모드별 원인을 파악하였다. 모터의 기동불량에 영향을 주는 요인으로는 Rotor,

Oil을 들 수 있다. Rotor는 모터의 Shaft가 회전함에 있어 방해요소가 발생되었을 때 기동에 영향을 줄 수 있고, Oil은 환경적 요소 및 이물 등에 대해서 고착이 되었을 때 기동에 영향을 준다.

3.4 개선단계: 모터 신뢰성 개선 방안 도출

3.3의 FMEA 분석을 기준으로 신뢰성 향상을 위한 개선 방안을 도출하였다. 즉, 기존의 Rotor의 외경의 크기를 줄임으로써 Rotor가 회전시 기동방해의 요소를 줄이고 Rotor 외부 가공 정밀도를 높여 불량을 줄이고자 하는 개선 방안을 도출하였다. 또한, Housing과 Shaft봉 사이에 위치한 Washer의 개수를 줄임으로써 소음 불량을 줄이고자 하는 개선 방안을 도출하였다.

이러한 개선방안을 적용한 모터를 10대 생산하여 가속수명 시험을 실시한 결과 1% 고장이 발생하는 시간이 9013시간 (9.38년)임을 확인할 수 있었다. 이때 가속 요인은 온도 55도, 습도 90 %RH, 전압 253V로 가속 계수는 98.6이다.

3.5 관리단계: 개선 사항 유지 방안

모터의 고장이 기동과 소음에 있음을 어느정도 인지하고 실제 모터 제조업체의 작업방법과 원재료비에 대해 기술적 교류가 이루어져야 한다. 신뢰도와 비용의 측면에서 볼때 Over Spec적인 부분으로 인해 비용이 높아지는 것은 바람직하지 않다. 이에 개선전의 재료비와 개선후의 재료비측면에서 제조업체에서 기피할 만한 인상요인은 또 다른 신뢰성에 문제를 야기할수 있다.

개선된 모터 신뢰성 유지를 위해 모터 제조업체의 신뢰성 관리 방안을 검토하여 적절하고 효과적인 관리계획을 세웠다. 예를 들어 모터의 원재료 공급시에 원자재의 신뢰도를 유지한 포장유통이 이루어지지 않고 원자재들이 혼합되어 공급되어 지는 것을 개선하였고 양질의 Oil을 유지하여야 하나 Oil의 보관이 상온에서 아무런 보호없이 방치되어 있는 것을 밀봉케이스를 통해 개선하였다. 모터 제조업체의 관리도 사용과 공정능력 지수 관리가 이루어지게 하여 지속적인 모니터링 체계를 구축하였다.

4. 연구결과

본 연구에서는 실제 제품에 사용되는 모터의 신뢰성 향상을 위해 6시그마 방법론을 적용하여 과학적이고 체계적으로 모터의 수명을 향상시킨 사례를 제시하였다.

본 연구에서는 특히, 신뢰성 분석에 많이 활용되는 4 Step Diagram, FMEA와 같은 분석을 통해 모터 신뢰성에 영향을 주는 요인들을 선별하여 신뢰성 향상을 위한 개선방안을 효과적으로 도출할 수 있었다.

대부분의 모터 제조업체에서 신뢰성 시험이 단순 반복시험과 숙련작업자의 감성에 의존하고 있는 실정에서 본 연구결과는 체계적이고 과학적인 6시그마 기법 및 적용절차에 근거한 신뢰성 확보 방안을 제시함으로써 현장 활용에 시사하는 바가 크다 하겠다.

참고문헌

- [1] 이치우. 신뢰성공학. 보성각. 2004
- [2] 이태구, 문종선, 유호선, 이재현. 가속수명 시험에 의한 고속팬용 밀폐구조형 BLDC 모터의 열신뢰성 분석. 설비공학 논문집. 2005
- [3] 이범재. 한국전자산업에서 6시그마 성공의 핵심 요인에 관한 실증적 연구 -핵심성공요인과 성과와의 관계. 중소기업연구. 2005
- [4] 신승훈. 와이블 차트와 가속시험. 과학기술. 2003
- [5] 이승훈. MINITAB을 이용한 공학통계 자료 분석. 이레테크. 2006