

6시그마 프로세스를 이용한 정류자(Commutator) 압입 공정개선에 관한 연구

정선환[#], 최성대^{*}, 양세영^{**}

A Study on the Process Improvement of Commutator Press Fitting by 6 Sigma Process

Seon-Hwan Cheong[#], Seong-Dae Choi^{*}, Se-Young Yang^{**}

ABSTRACT

Recently 6 σ quality control is an most important strategy to many enterprises in order to be a top company in the world, because it is an excellent scientific method to achieve the best quality control for their management and products. SY company is a small and medium one that has the quality problem for a long time such as occurring cracks on the surface of commutator at his assembly line while being assembled a rotor shaft and commutator of DC motor. This research was started to improve this problem by 6 σ process, and as the results of this study, first, to find three vital fews, second, to get an achievement of about 21% improvement for the fracture strength of commutator, and third, to be recognized to change into 6 σ quality control in SY company.

Key Words : 6 Sigma Process(6시그마 프로세스), Commutator(정류자), Armature(전기자), CTQ(핵심인자), UTM(만능재료시험기), Gage R&R(측정기의 반복성과 재현성), Vital Few(핵심적 소수인자)

1. 서 론

자동차용 DC모터의 핵심 부품인 정류자는 브러시와 조합되어, ①전원 전압을 회전수에 동조하여 주파수를 변환시키고, ②토크를 발생시키기 위한 구동전류를 전기자에 공급하는 장치로써, 실제 가공정도 및 재료의 특성에 따라 DC모터의 전체적인 성능을 변화

시킬 수 있는 중요한 부품이다.

정류자는 그 용도상 무산소온입동인 정류자편에 패놀수지를 사출성형하여, 첫째 접지측으로의 누설전류를 차단, 둘째 축 압입시 발생하는 후프응력에 대한 지지, 셋째 고속회전에 의한 원심력에 저항, 넷째 장기간 사용에 따른 적절한 내구력 등을 모두 만족시켜야 한다.

DC모터는 여러 개의 부품을 조립하여 제조하는데, 그 중에 전기자 축을 정류자에 압입하는 조립공정에서 정류자에 균열이 발생하는 경우가 많아 불량률 증가로 인한 문제가 크다. 그 원인은 전기자 축을 정류

교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부
E-mail: stabram@kumoh.ac.kr

* 금오공과대학교 기계공학부

** 금오공과대학교 대학원 기계공학과

자에 압입할 때 정류자 내경의 내벽과 전기자 축의 외경이 팽창하거나 수축하여 접촉면압과 접촉응력이 증가하면서 정류자의 인장강도 값보다 커지게 되어 균열이 발생된다고 생각한다.

본 논문은 정류자를 전문적으로 생산하고 있는 SY사가 고객사에 납품후 조립공정에서 균열이 발생하는 문제를 모델로 선정하고, 6시그마 프로세스에 따라 문제정의, 측정, 분석, 개선, 유지관리 등을 실시하여, 장차 본 공정이 6시그마 품질 수준에 이를 수 있는 해결방법을 제시하고자 한다.

2. 6시그마 프로세스의 추진방법

6 시그마 프로세스는 제품의 설계와 제조뿐 아니라 사무 간접, 지원, 연구개발 등을 포함하는 모든 종류의 프로세스에서 결함을 제거하고 목표로부터의 이탈을 최소화하여 조직의 이익 창출과 함께 고객만족을 최대화하고자 하는 품질경영전략을 의미한다.

Fig. 1은 6시그마 추진단계를 표시한 그림이다.

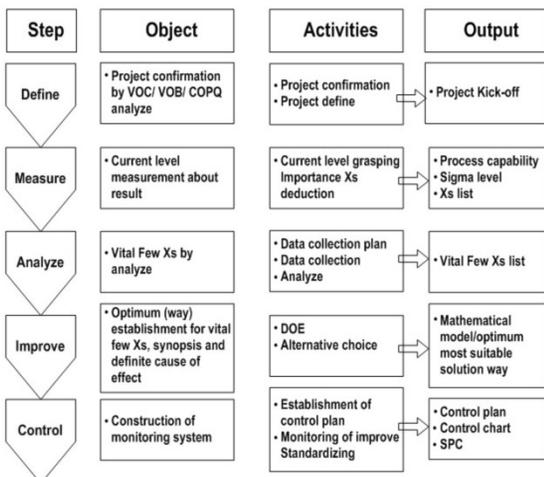


Fig. 1 Achievement contents of 6sigma task by DMAIC

Fig. 1에서 5단계 수행절차는 정의(Define), 측정(Measure), 분석(Analyze), 개선(Improve), 관리(Control)으로써, 일반적으로 DMAIC이라고 말하며 문제해결 절차를 의미한다.

6시그마의 문제해결과정을 종합하면, 고객관점에서 문제로 여기는 현실적인 문제를 분석적 기법으로 파악, 통계적 문제로 새롭게 변형하고, 이 문제에 다양한 통계적 기법을 적용, 과학적 해결책을 찾아내는 품질기법이며, 이를 실제적 문제의 해결책으로 연결시켜나가는 일련의 과정이다^{1,3)}.

3. 실험방법

3.1 DC모터의 정류자 및 전기자의 구조

자동차용 DC모터의 정류자는 Fig. 2 의 (a)와 같으며, 전기자에 정류자가 조립되어 있는 구조는 Fig. 2 의 (b)와 같다.

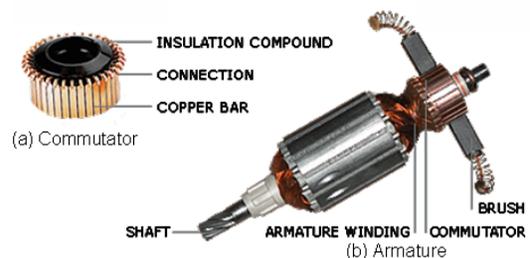


Fig. 2 Photos of commutator(a) and armature assembled with commutator(b)

DC모터 조립공정에서 압입되어 균열이 발생하는 개선 대상의 정류자와 전기자 축의 치수공차는 Table 1과 같다.

Table 1 Dimensions of commutator and armature shaft

Outer diameter of armature shaft		Inner diameter of Commutator	
	$\Phi 8.1 +0.05/+0.04$		$\Phi 8.03 +0.03/0$
USL	$\Phi 8.15$	USL	$\Phi 8.06$
LSL	$\Phi 8.14$	LSL	$\Phi 8.03$

3.2 실험장치

Fig. 3은 6시그마 프로세스에 의한 핵심인자(CTQ:

Critical to quality))로 정의된 정류자의 압입 파괴강도의 실험을 위한 장치를 나타낸 것이다.



Fig. 3 Experimental setup for fracture strength test by UTM

그림에서 만능재료시험기는 Zwick사의 Z1010을 사용하였으며, 분석 소프트웨어는 testXpert v8.0을 사용하였다.

3.3 실험방법

압입 파괴강도를 측정하기 위하여 Fig. 4와 같이 시험편을 제작하였다. 테이퍼 핀 모양인 시험편은 압입 도입부 외경 $\Phi 7$, 구배 2/100이고 정류자에 5N으로 예압하여 고정한 후, 시험속도 50mm/min로 압입하여 균열이 발생할 때의 파괴강도를 측정한다.

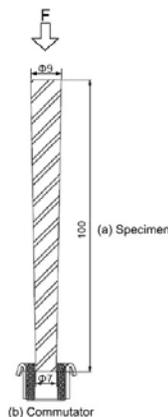


Fig. 4 Specimen of fracture strength

4. DMAIC 단계별 추진 내용

4.1 정의(Define)

정의란 선정된 프로젝트에 대하여 문제가 되는 것이 무엇인지를 정확하게 정의하는 단계이다.

본 연구는 조립공정에서 문제가 되고 있는 핵심적인 문제(CTQ)를 정의하기 위해 고객사가 제시한 데이터를 분석해 본 결과 파괴강도가 1000N 이상인 경우에는 상온에서 균열이 발생하지 않음을 알 수 있었다. 따라서 고객사가 제시한 데이터의 신뢰성과 품질 특성간의 관계를 파악하여 확실한 문제의 정의를 하기 위해 정류자 압입 파괴강도 시험을 실시하였다.

시험은 Fig. 5와 같이 100개를 랜덤 샘플링을 하여 실시하였으며, 시험결과는 정류자의 압입파괴강도의 평균이 1345N, 표준편차 162.8, 정규성 검증 결과 정규분포를 따르지 않아 공정능력 분석 시 Box-Cox 변환이 요구된다.

그림에서 보면 균열발생의 주원인이 되는 압입강도 1000N 이하인 부품이 상당수(8%) 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 압입강도를 1000N 이상이 되도록 공정개선 하는 것을 CTQ(Critical to quality)로 정의 하였다.

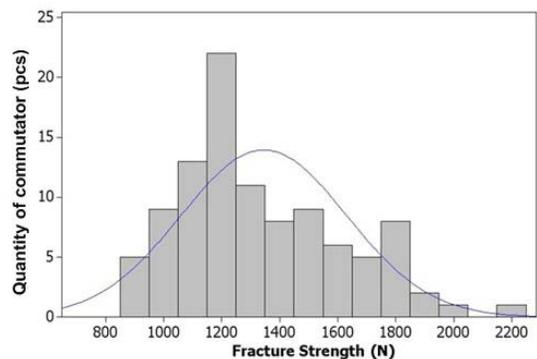


Fig. 5 Histogram of fracture strength

4.2 측정(Measure)

측정 단계 정의된 CTQ에 대하여 현재의 수준이나 상태를 측정하는 단계이다. 즉 측정기 분석의 Gage R&R 분석, 공정능력분석을 통한 현재 수준을 파악 등 CTQ에 관한 주요 입력 변수를 확인하는 단계이다^[5].

4.2.1 Gage R&R 분석

측정에 들어가기 전에 측정기(Gage)의 반복성(Repeatability)과 재현성(Reproducibility)에 대한 신뢰도를 확인하고자, 내경의 감소가 파괴강도에 선형적인 영향을 끼치는 내경치수를 측정하는 마이크로 Plug gage의 측정기를 분석하였다. 내경치수를 측정하여 시험을 한 결과는 Table 2와 같다.

표에서 알 수 있듯이 총변동 중에서 측정기에 의한 변동이 차지하는 비율(%Contribution)이 3.06%로 나타났다. 이는 식 $(7.29E-05/1.30E-03) \times 100$ 으로 구해진 값이며, 일반적으로 이 값이 10% 미만일 때는 측정기의 신뢰성이 높다는 의미이다. 또한 측정기를 평가하는 척도 (Number of distinct categories)가 7로써, 이 값이 신뢰도 기준 값 4보다 크므로 측정기의 신뢰성은 충분하다고 판단된다^[1].

Table 2 Result of Gage R&R

Items	Result of Gage R&R
Fracture Strength	Not applicable
Inner diameter of commutator	%Contribution: 3.06% Number of distinct categories: 7

UTM의 경우는 가장 최근의 검·교정 결과를 검토한 결과 충분하였기에 그대로 신뢰성이 있다고 판단하였다.

4.2.2 공정능력 분석

데이터의 정규성 검정을 각각 내경공차와 압입 파괴강도에 시행하였다.

정규성 검정을 위한 귀무가설과 대립가설은 다음과 같이 설정할 수 있다.

- 귀무가설(H_0) : 데이터가 정규분포를 따름.
- 대립가설(H_1) : 데이터가 정규분포를 따르지 않음.

각각의 경우에서 얻어지는 P-Value를 유의수준 $\alpha = 0.05$ 와 비교하여, P-Value가 유의수준 $\alpha = 0.05$ 보다 큰 경우에는 귀무가설을 채택하고, P-Value가 유의수준 $\alpha = 0.05$ 보다 작은 경우에는 귀무가설을 기각하여 정규성이 유의하지 못하다는 것을 나타낸다. 즉, 1종 오류의 확률을 말한다^[2].

내경공차는 P-Value가 0.058로서 정규성을 따르지 만 압입파괴강도의 데이터는 0.01로서 유의수준비교 시 정규성을 따르지 않아 Box-Cox변환을 통하여 시그마 수준을 산출하였다.

Box-Cox 변환절차는 프로세스 데이터가 비정규성일 때 주어진 데이터 집단에 대한 변환 먹을 결정하기 위해 일반적으로 람다(Lambda)라고 불리는 표준적인 변환을 적용한다^[4]. 람다에 대한 추정 값을 계속해서 구하여 좀 더 정규화된 데이터로 변환한 후에 공정능력 분석을 통해 Table 3과 같이 시그마 수준을 산출 하였다.

Table 3 Sigma level of current assembly process

Items	Normal probability	Sigma level
Fracture Strength	P-Value: 0.010 Box-cox conversion Lambda: -0.087769	2.72
Inner diameter of commutator	P-Value: 0.058	6.27

표에서 알 수 있는 바와 같이 현재 SY사의 파괴강도의 품질수준은 2.72 시그마이고, 정류자의 내경은 6.27 시그마 수준임을 알게 되었다.

4.3 분석(Analyze)

분석 단계는 측정단계에서 판명된 주요입력변수에 대한 데이터를 수집하여, 이들이 최종품질에 미치는 영향을 분석한 후, 최종적으로 품질에 가장 큰 영향을 미친다고 판단되어 지는 소수의 핵심적 소수인자(Vital few)를 확인하여 ‘현실의 문제’를 ‘통계적 문제’로 전환하는 단계이다.

각 공정의 주요인자들 중에서 브레인스토밍을 통해 회사의 실정에 맞게 결정한 세 가지 지수인 중요성, 시급성, 용이성을 고려하여 CTQ와 상관관계가 높은 주요 입력변수들을 선정하였으며, Table 4에서와 같이 선정된 입력변수들에 대하여 크게 개선이 일어날 수 있는 10점 이상의 부분에 초점을 맞추어 잠재적 근본원인을 도출하고 검증방향을 계획하였다.

그 결과 CTQ인 정류자의 압입 파괴강도 개선에 영향을 미칠 수 있는 각 주요 입력 변수들은 성형 재

Table 4 Major input parameter

Items	Mould						Press fit			Inner diameter		
	Moulding material	Moulding pressure	Nozzle size	Moulding temp.	Post cure	Moulding shape	Roundness	Roughness	Shape of Inner dia.	Collet chuck	Reamer	I.D process cond.
Output	Grade	kgf/cm ²	Φ	℃	Hour		μm	μm		kgf/cm ²		rpm
Importance	5	4	4	3	5	3	1	1	1	1	2	3
Urgency	5	3	4	3	2	3	1	1	3	1	2	2
Simpleness	2	5	2	5	3	3	2	1	3	2	2	5
Result	12	12	10	11	10	9	4	3	7	4	6	10

질, 성형 압력, 성형 온도, 노즐 크기, 열처리 조건, 내경가공조건이 도출 되었다.

품질특성 데이터의 분포를 비교하기 전에 우선 품질특성에 영향도가 큰 인자를 구하여야 한다. 제조공정에서는 많은 변수들이 품질특성에 영향을 미치기 때문에 영향도가 큰 인자들을 찾아내어 이들을 제어, 품질특성의 변동을 줄이는 것이 효과적이다.

분석방법은 우선 품질특성에 상관관계가 높은 인자를 찾는 것이다. Table 5와 같이 압입과괴강도에 대해서는 성형 재질, 성형 압력, 성형 온도가 높은 상관관계가 있음을 보였다. 한편 내경 가공조건, 노즐크기, 열처리 조건은 압입과괴강도에 미치는 영향이 매우 적다는 결론을 얻을 수 있었기 때문에 분산분석 결과에 따라 개선 단계 및 추후 분석에서 이들 인자들은 제거하기로 결정 하였다.

Table 5 Result of correlation analysis on major input parameters

Output Y	Input X	P-Value	Correlation coefficient
Fracture Strength [N]	Material	0.000	8.83
	Pressure	0.026	5.92
	Temp.	0.009	8.70
	I.D process cond.	0.168	2.01
	Nozzle size	0.533	0.4
	Post cure cond.	0.246	1.48

4.4 개선(Improve)

개선 단계는 분석단계에서 파악한, 핵심적 소수인자에 대한 개선방안을 모색하는 단계로서, 개선 해결책을 찾고 그 결과를 실제 현장에 적용하여 효과를 파악하는 단계이다.

선정된 핵심적 소수인자는 Table 6과 같이 실험계획법(DOE)의 3인자 완전요인 배치법을 활용하여 실험을 실시하였다.

Table 6 Factorial design by DOE

Factors	Level		
	1	2	3
Moulding Material	Grade14	Grade30	Grade41
Moulding Pressure	145kgf/cm ²	160kgf/cm ²	
Moulding Temp.	175℃	185℃	

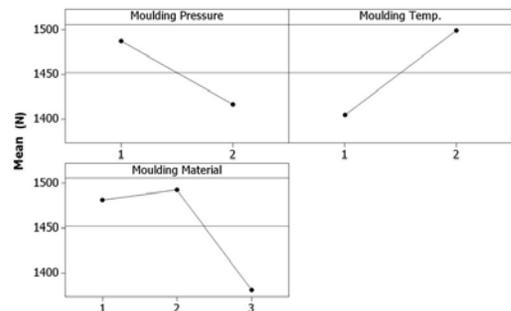


Fig. 6 Main effects plot for fracture strength

Fig. 6은 실험에 의하여 얻어진 결과에 대한 반응을 주효과 도표로 확인한 결과이다. 주효과는 인자가 낮은 수준에서 높은 수준으로 이동함에 따라 반응이 증가(또는 감소)하는 것을 보여주고 있다.

Table 7은 실험계획법(DOE)으로 구한 핵심적 소수 인자에 대한 최적조건 결과이다.

Table 7 Results of optimum condition by DOE analysis

Factor	Result
Moulding Material	Grade30
Moulding Pressure	145kgf/cm ²
Moulding Temp.	185℃

핵심적 소수인자에 대한 최적조건으로 개선을 하고, 개선 전후를 비교했을 때, Table 8과 같이 개선 후 정류자 압입 파괴강도와 3.29 시그마 수준으로 향상되어 약 21% 개선되었다.

Table 8 Comparison result of sigma level

Items	Fracture strength	Sigma level
Before	910 [N]	2.72
After	1120 [N]	3.29

4.5 관리(Control)

관리단계는 프로세스를 개선한 후에 지속적으로 그 상태를 유지하기 위하여 체계적으로 프로세스를 모니터링 및 통제하는 체계적 관리시스템 운영단계이다.

정류자 내경 압입파괴강도 불량을 줄이기 위해 관리상태가 안정적인지를 살펴보기 위하여 Xbar-R관리도를 활용하여 관리를 하였고, 또한 관리계획 및 모니터링의 관련 데이터를 통한 지속적인 개선과 표준화의 기회를 제공하고 해결안의 유지 가능성을 확인하기 위해 DOS Mode에서 운영되었던 SPC에서 SAP와 연동되는 IBX AG사의 QSYS-SPC로의 신규 SYSTEM 도입과 연계된 6시그마 품질관리 체제를 갖추도록 하였다.

5. 결 론

본 연구는 SY사의 DC모터 전기자 축과 정류자 조립공정에서 발생하는 정류자 균열문제를 6시그마 품질기법을 사용하여 과학적으로 분석하고 개선책을 세워 본 것으로써, 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 정류자의 압입 파괴강도에 큰 영향을 미치는 핵심적 소수인자는 성형 재질, 성형 압력, 성형 온도임을 확인하였다.
2. 정류자 압입파괴강도는 2.72시그마에서 3.29시그마 수준으로 약 21% 개선되었다.
3. 실험 및 분석을 통해 얻은 통계적 데이터는 문제점, 개선방향 등을 과학적으로 제시함으로써, 종래에 정성적인 품질관리에 중점을 두었던 SY사의 품질관리가 정량적인 품질관리로 이행될 수 있는 계기가 되었다.
4. 다음의 연구는 3.29시그마 수준을 최종목표인 6시그마 수준으로 높이는 것이다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 교내 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습니다. 대학 당국에 감사사를 드립니다.

참고문헌

1. 이순산, 6시그마 가이드 북, 비아이씨코리아, pp. 39-129, 2004.
2. 이레테크 미니텨사업팀 저, 새 Minitab 실무완성, pp. 539-569, 2005.
3. 차원준, 최연선, “6 시그마 프로세스를 이용한 소형 직류 모터의 소음저감,” 한국소음진동공학회논문집, 제13권 제7호, pp. 532-538, 2003.
4. 홍성훈, 반재석, “모니터 소재의 색상편차 개선을 위한 6시그마 프로젝트,” 품질경영학회지, 제29권 제3호, pp. 166-176, 2001.
5. <http://ise.chonbuk.ac.kr/~sixsigma/cyber/map.htm>