

차량부품 문제에 대한 실험계획법과 Field Data 분석을 통한 신뢰성 평가연구

Research of Reliability Assessment through the Analysis of Field Data and Taguchi Method about Vehicle Components Problem

강창학¹, 유재복², 이치우³, 김장수^{4*}
Chang-Hak Kang¹, Jae-Bog You², Chi-Woo Lee³, Jang-Su Kim^{4*}

<Abstract>

As the vehicle components are various, we confront unexpected problems in the development and application of them. also warranty expenses occur in the result of unconfirmed warranty. in this paper, to solve the problems of disconnection of damper Strut cable, we applied the optimum conditions through taguchi method for improvement of durability. and we made standard of reliability by weibull analysis of the field data. we acquired reliability standard by correlation with lab data and confirmed improved components satisfying the target of reliability. The analysis of reliability by field data is very useful and we need to apply this method to other components, the correlation between field data and Lab Test has influence on satisfying the target of reliability. this method would be utilized for current mass production components and upcoming developed components. the reliability of durability should be continuously used in the basis of primary technique in cope with competitive automotive companies.

Keywords : ALT(Accelerated Life Test), Taguchi Method, Weibull Analysis, Reliability Assessment, Damper Strut Assy(Vehicle Components)

1. 서 론

차량 부품은 다변화되고 부품의 개발과 그것을 적용하는 과정에서 Field의 문제를 예상치 못하고, 이러한 과정에서 Field의 보증 관계를 충분히 확인치 못한 결과로 생각지 못한 보증 비용이 발생하는 현실에 직면하기도 한다.

본 연구에서는 차량 부품인 Damper Strut

Assy에서 발생한 Field 문제(Cable 단선)해결을 위하여 개선 방안을 최적화하기 위하여 실험계획법을 실시 내구성 향상을 검토하였으며, Field로 부터의 고장유형을 확보하고, A/S Data를 분석하여 Field 보증 관계를 구하며, ALT(Accelerated Life Test)을 개발하여 신뢰성 평가를 수행하였으며, 또한 실험계획법을 통한 최적 사양 결정 및 개선 제품에 대한 신뢰성 평

¹정회원, 경남대학교 대학원 기계공학과, 박사과정

²정회원, 경남대학교 대학원 첨단공학과, 박사과정

³정회원, 경남대학교 공과대학 기계자동차공학부 교수, 工博

⁴교신저자, 정회원, 경남대학교 공과대학 기계자동차공학부

겸임교수, 工博,

E-mail:jskim1229@hanmail.net

¹Doctor's course, Graduate school of Mechanical Engineering, Kyungnam University

²Doctor's course Graduate school of Advanced Engineering (Mechatronics), Kyungnam University.

³Prof., School of Mechanical Engineering and Automation, Kyungnam University. Ph. D.

⁴Corresponding Author, Adjunct Prof., School of Mechanical Engineering and Automation, Kyungnam University. Ph. D.

가 기법을 통한 신뢰성 확보를 통하여 Field 문제를 해소하고 이 가능한 내구 시험 조건을 제시하였다.

2. 본 론

2.1. Taguchi Method

Taguchi Method는 자연의 유일한 해를 찾으려는 과학이라기 보다는 품질과 Cost의 최적해를 구하려는 의도에서 출발된 것이며, 본 기법은 학자들에 의해 연구되기 보다는 기업의 설계를 중심으로 한 관리자들에 의해 연구되고 활용되는 부분이라고 할 수 있다.

즉, 고객의 다양한 사용조건(온도, 습도, 사용방법, 사용빈도, 부품의 공차, 부품의 마모 등) 하에서도 제품의 수명 기간 동안 제 기능을 발휘하는 것을 로버스트니스(Robustness)라 하며, 이러한 제품의 설계를 강건설계라 하여 현재의 제품설계와는 근본적으로 상이한 접근방법이라고 볼 수 있다.¹⁾

이를 위하여 본 논문에서는 Taguchi Method의 직교표(Orthogonal Array)를 활용하였으며, 2수준 3인자를 위한 표준 직교표 L4[2(3)]을 사용하였다.

Table.1 L4[2(3)] Orthogonal array

실험	인 자		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1
성분	A	B	AB

Table.1은 직교표에서 가장 간단한 2수준 3인자의 L4[2(3)]을 나타내고 있다. 또한 분산분석에서 변동의 계산식을 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S_A &= (A_1^2 + A_2^2) / n - CT \\
 &= (A_1^2 + A_2^2) / n - (A_1 + A_2)^2 / 2n \\
 &= \{ 2A_1^2 + 2A_2^2 - (A_1 + A_2)^2 \} / 2n
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \{ A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2 \} / 2n \\
 &= (A_1 - A_2)^2 / 2n
 \end{aligned}$$

단, 2수준에서만 적용 가능한 식이며, n은 각 수준에서의 실험회수가 된다. 또한 3열에 배치된 인자 C의 변동을 앞에서의 변환된 식으로 나타내면,

$$\begin{aligned}
 S_C &= (C_1 - C_2)^2 / 2n \\
 &= \{ (y_1 + y_4) - (y_2 + y_3) \}^2 / 4 \text{로 된다.}
 \end{aligned}$$

그런데 이 식의 [(y₁+y₄)-(y₂+y₃)]은 [(y₁-y₂)-(y₃-y₄)]로 나타낼 수 있다. 이것을 C 이외의 인자조건에 착안하면 y₁은 A₁B₁, y₂는 A₁B₂, y₃는 A₂B₁, y₄는 A₂B₂이므로 [(y₁-y₂)-(y₃-y₄)]는 [(A₁B₁-A₁B₂)-(A₂B₁-A₂B₂)]가 된다. 이는 [(A가 제 1수준일 때의 B의 수준차)-(A가 제 2수준일 때의 B의 수준차)]라고 할 수 있으며, 즉 A의 수준에 따른 B의 효과의 차이를 나타낸다.

이를 A와 B의 교호작용이라 한다. 즉 C의 변동으로 계산한 것이 실제로는 A와 B의 교호작용을 계산한 결과이기도 하다. 이와 같이 되는 것을 주효과 C와 교호작용 A×B가 교락(交絡)한다고 한다. 즉 C가 배치된 제3열에는 C의 효과와 교호작용 A×B가 섞여 나타나므로 C의 주효과만을 알아낼 수 없게 된다. 따라서 L4[2(3)] 직교 표에서 제 3열에 인자 C를 배치하면, 그 값에는 실은 A B의 교호작용의 효과도 포함되게 되어 참된 C의 효과를 구할 수 없다는 것이다. A와 B의 인자 간에 교호작용이 없다는 것이 분명할 때는 해당 열에 인자나 오차를 배치할 수 있다. 분명치 못할 때는 교호작용을 우선적으로 배치하고, 교호작용이 미치지 않는 다른 열에 인자를 배치해야 한다.

2.2. 신뢰성 평가 이론

차량은 차종별 연간 수만 대에서 수십만 대 이상의 생산이 이루어진다. 주변은 생산 차량에 대한 엄격한 품질 확보를 더욱 요구하며, 본질적으로 모집단 전체의 검증이 필요하나 현실은 불가능하다. 결국 극히 소수의 샘플에 대한 검증으로 전체를 추정하여야 한다.

문제는 전기한 상황에서 근거 불명의 규격과

불과 몇 개의 시험품으로 모집단 전체의 내구 신뢰성을 확신해야 한다는 것의 어려움이다. 이에 신뢰성 평가를 통한 확률적 추정치의 도입과 이를 통한 검증 방안이 필수이다.

2.2.1. Life Distribution

어떠한 부품이든 그 수명은 일정치 아니하고 어떠한 분포를 갖게 된다. 신뢰성 공학에서는 모수적 방법으로 이를 설명하기 위한 여러 확률분포 모델이 있으며, 그 응용 범위가 크고 특히 기계 재료 부품에 유용하다고 알려져 있는 와이블(Weibull) 분포가 이용된다.²⁾

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (1)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (3)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (4)$$

where, $f(t)$: Probability Density Function

$F(t)$: Cumulative Density Function

$R(t)$: Reliability Function

$\lambda(t)$: Hazard Function

β : Shape Parameter

η : Scale Parameter

γ : Location Parameter

2.2.2. 시료수, 신뢰수준, 고장률의 관계

와이블 분포에서 소비자 위험(2중 오류)이 β , 허용 고장 개수가 r 이고 누적고장률이 20% 이하일 때, Duty Cycle(Test Target)에 대한 요구되는 신뢰수준에서의 신뢰성 목표(Reliability Target Cycles)는 다음과 같이 구할 수 있다.³⁾

Reliability Test Cycles

$$= \text{Duty Cycle} \times \left[\frac{\chi_\alpha(2r+2)}{2n} \times \frac{1}{\ln(1-x)^{-1}} \right]^{1/\beta} \quad (5)$$

where, β : Weibull Shape Parameter

a : Significance Level

x : Cumulative Failure Rate

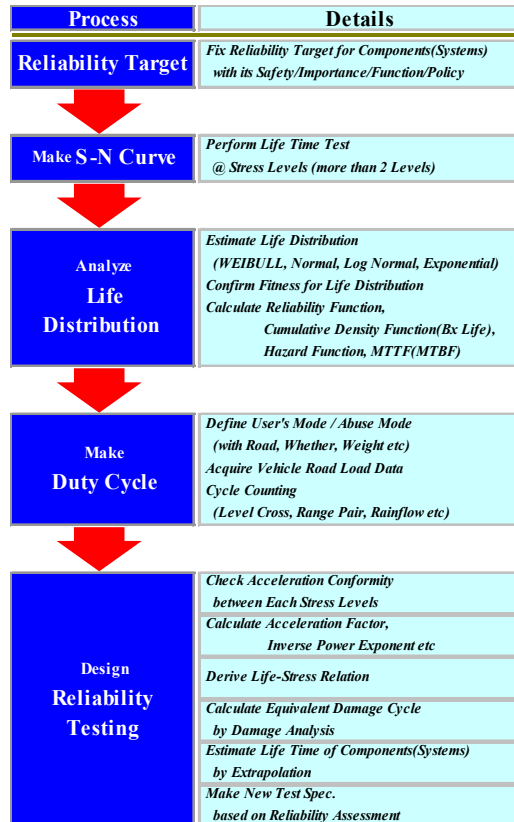
r : Allowable Number of Failed Samples

본 부품에 대해서는 부품의 안전 및 중요도를 고려하여 신뢰성 목표 5년 10만km를 누적 고장률 5%, 허용 고장개수를 0로 하고, 신뢰수준 95%로 보증할 수 있도록 하였다.

2.2.3. 신뢰성 평가 Process

아래 Chart 1은 신뢰성 평가를 위한 상세 절차를 나타내고 있다.

Chart 1. Process of Reliability Assessment.



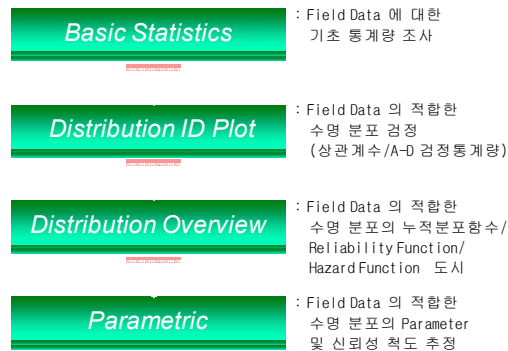
2.2.4. Field Data 분석

Field Data는 전체 출고차량에 대하여, 문제 고품의 A/S 건수(Mileage 포함)를 포함한 완전

자료와 특정 시점까지의 미발생 차량의 우측 관측중단 자료를 포함하고 있다. 따라서 Right Censoring Analysis를 실시하여 이에 대한 모수적 분석 접근이 가능하다.⁴⁾

Chart.2는 이에 대한 분석 절차를 표시하고 있다. 기초 통계 조사가 이루어지면, 이에 대한 적합한 수명 분포를 검정하고 수명 분포가 결정된 후 여러 신뢰성 척도를 구하고 또한 수명 분포의 파라미터가 추정할 수 있다.⁵⁾

Chart 2. Analysis Process of Field Data. (By MINITAB : Reliability-Survival Right Censoring)



분산분석 결과이다. 원데이터 분산분석으로부터 수명 개선을 위한 최적 조건을 구할 수 있었으며, S/N비 분산분석을 통하여 산포를 줄일 수 있는 최적조건을 확인하였다.

Table 2. Test result of orthogonal array L4[2(3)]

실험 수	인 자			실험 결과	
	A)Cable 입사각	B)Holder 위치	C)Grip Type	실험#1	실험#2
1	1	1	1	150000	130000
2	1	2	2	900000	990000
3	2	1	2	250000	210000
4	2	2	1	120000	90000

Table 3. Analysis of variance (Original data)

인자	f 자유도	S 변동	V 분산	Fo	기여율
A	1	2.8e11	2.8e11	204.5	29.4%
B	1	2.3e11	2.3e11	168.1	24.2%
C	1	4.3e11	4.3e11	314.5	45.4%
e(2)	4	5.5e11	1.4e09	-	1.0%
전체	7	9.5e11	-	-	100%

최적조건의 추정
인자(A)-수준(1)/인자(B)-수준(2)/인자(C)-수준(2)
추정된 최적 조건의 예측된 평균값
945000(+/-1.03e05)(기존 공정/실험보다 575% 향상된 평균값)

2.3. 실험계획법에 의한 최적조건 추정

2.3.1 인자 및 수준

본 논문에서는 3인자 2수준에 대하여 L4[2(3)]의 직교표를 이용, 원데이터 및 S/N비의 분산분석을 통한 최적 조건을 구하였다.

Table 1. Decision of factor and level

인 자	1 (현)	2 (New)
1) Cable 입사각	90도	75도
2) Holder 위치	2 nd MTG	2 nd MTG+50mmUp
3) Grip Type	I-Type	Ring Type

2.3.2. 분산분석

Table 2는 직교표에 의한 실험 결과와 이의

Table.4 Analysis of Variance (S/N)

인자	f 자유도	S 변동	V 분산	Fo	기여율
A	1	56.6	56.6	2.4	15.2%
B	1	23.3	23.3	-	Pool
C	1	139.3	139.3	6.0	53.0%
e(p)	1	23.3	23.3	-	31.8%
전체	3	219.1	-	-	100%

최적조건의 추정
인자(A) -수준(1) / 인자(B)-Pool / 인자(C)-수준(2)
추정된 최적 조건의 예측된 평균값
117(+/-53)(기존 공정/실험 보다 14[dB] 증가와 81% 산포감소)

2.4. Field Data 분석과 신뢰성 평가

2.4.1. Field Data 분석 (Weibull Analysis)

Fig.1은 EAS-Frt에 대한 06년 1월 부터 06년 12월까지의 12개월간의 Field Data에 대한 Weibull 분석결과이다. 동 기간 판매대수 4,865대 중, 총 133건의 보증 수리가 있었으며, 결과

로부터 형상모수가 1.68, 척도모수가 132,546km가 되며, 상관계수가 0.98이므로 수명 분포로 Weibull 분포가 적합함을 알 수 있다. 마찬가지로 Fig.2~4는 ECS-Frt, EAS-Rr, ECS-Rr에 대한 Weibull 분석결과로 형상모수와 척도모수를 구할 수 있었다.

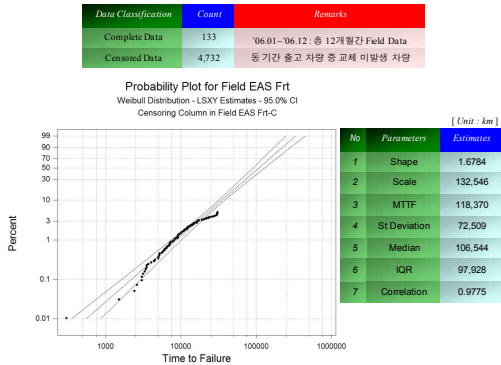


Fig. 1. Weibull analysis of EAS-Frt field data.

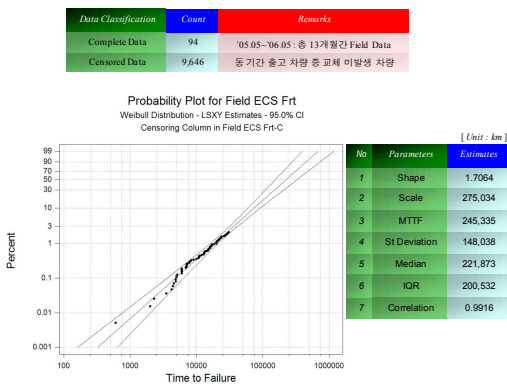


Fig. 2. Weibull analysis of ECS-Frt field data.

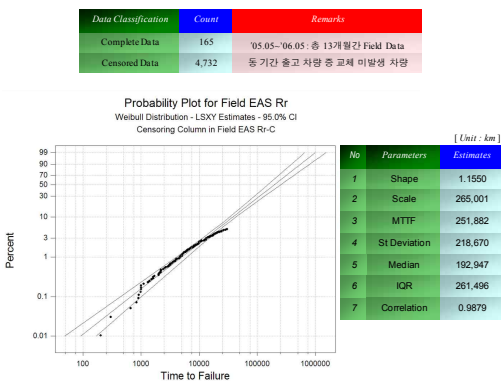


Fig. 3. Weibull analysis of EAS-Rr field data.

Data Classification	Count	Remarks
Complete Data	20	'05.05~'06.05 : 총 13개월간 Field Data
Censored Data	9,646	동기간 출고 차량 중 교체 미발생 차량

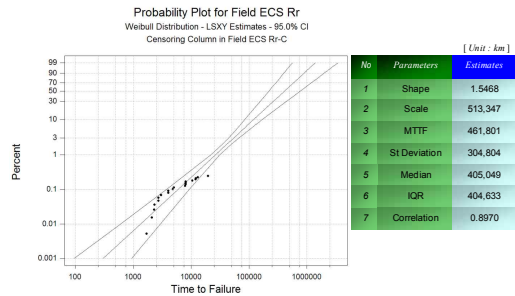


Fig. 4. Weibull analysis of ECS-Rr field data.

2.4.2. Lab Data 분석 (EAS-Frt)

Fig.5는 EAS-Frt에 대한 Lab Test 결과에 대한 Weibull 분석 결과를 나타내고 있다. 총 9개 샘플에 대한 시험을 고장 날 때까지 실시하여 완전 자료를 통한 분석이 가능하다. 이의 분석 결과로부터 형상모수가 1.67, 척도모수가 99,039 Cycles가 됨을 확인할 수 있다. 또한 상관계수가 0.97이므로 이는 Weibull 분포에 적합하다고 볼 수 있다. 따라서 결과로부터 Field와 Lab Test 사이의 Correlation이 가능하다.

Data Classification	Count	Remarks
Complete Data	9	전타 내구(Steer Full Stroke)
Censored Data	0	-

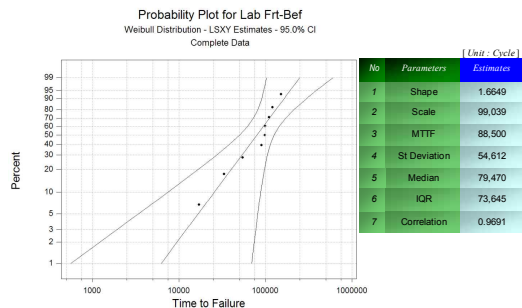


Fig. 5. Weibull analysis of EAS-Frt field data.

2.4.3. Field Data와 Lab Data의 상관 분석

본 건의 Damper Strut Field Data와 Lab Data의 상관 분석에 대하여 고장 메커니즘이 케이블 단선으로 동일하며, 두 경우 모두 와이בל 분석 시 상관 계수가 1에 근접하여 와이בל 수명 분포에 적합하고, 형상 모수의 경우 Field

Data가 1.68~1.71, Lab Data가 와이블 수명 분포에 적합하며, 형상 모수의 경우 Field Data가 1.68~1.71, Lab Data가 Frt의 경우 1.66으로 Minitab에 의한 동일성 검정을 만족하므로, 두 조건은 가속성의 관계에 있음을 확인하였다.

따라서 Field Data와 Lab Data의 Weibull Chart의 각 누적 분포 수명은 서로 대응 관계에 있다고 할 수 있으며, 두 조건 사이의 Correlation Factor를 구할 수 있으며, 척도 모수를 비교하여 Lab Test를 기준으로 각각 Table.5와 같이 그 관계를 규정할 수 있다.

Chart.3는 Minitab을 이용하여 가속성을 검정하기 위한 절차를 나타내고 있다.

Table 5. Field Data-Lab data correlation

No	Data	Scale Parameter	B5 Life	Correlation Factor by Scale Par [Cycle/km]	Correlation Factor by B5 Life [Cycle/km]
1	Field EAS-Frt	132,546	22,584.77	0.747	0.737
2	Field ECS-Frt	275,034	48,244.36	0.360	0.345
3	Field EAS-Fr	265,001	20,251.43	0.374	0.821
4	Field Lab-Data	99,039	16,635.28	-	-

Chart 3. Process of accelerated test.



2.4.4. Reliability test design

본 부품에 대해서 부품의 안전 및 중요도를 고려한 신뢰성 목표는 누적 고장률 5%에 5년 또는 10km를 보증하는 것이며, 이 때 허용 고장 개수를 0로 하고 시료수를 5개로 하여, 신뢰 수준(Confidence Level-CL) 95%로 보증할 수 있도록 신뢰성 목표를 아래와 같이 제시하였다. 결국 각 부품의 시료수 5ea를 시험 Cycle까지

실시하여, 하나도 고장 없이 완료하면, B5=10만 km를 CL=95% 수준에서 입증할 수 있으며, 개선품에 대해서도 상기의 조건을 만족함을 확인하면 상기의 신뢰성 목표를 보증하게 된다. Table.6은 신뢰성 목표를 보증하기 위한 Lab 시험 상당 Cycle과 이를 검증하기 위한 시료수와 시험 Cycle을 관계를 보여주고 있다.

Table 6. Damper strut cable reliability test design

No	Part Name	Reliability Target		Equivalent Cycle [Duty Cycle]	
1	EAS-Frt	B5=5year (10만 km)	CL=95	74,720 Cycles	
2	ECS-Frt	B5=5year (10만 km)	CL=95	36,010 Cycles	
3	EAS-Fr	B5=5year (10만 km)	CL=95	82,144 Cycles	
No	Part Name	Sample Size	Shape Parame	허용 고장	Test Cycle
1	EAS-Frt	5	1.68	0	320,000
2	ECS-Frt	5	1.71	0	160,000
3	EAS-Fr	5	1.16	0	690,000

2.4.5. 최적 조건에서의 신뢰성 평가

차량부품인 Damper Strut Assy의 Cable 단선 문제에 대하여 Taguchi Method를 통한 최적 조건을 결정하였으며, 이로부터 개선된 제품에 대하여 실험을 통한 고장 수명을 확인하였고, 결과로부터 신뢰성 보증 목표를 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 7 Test result of orthogonal array L4[2(3)]

시험 수	인 자			실험 결과	
	A)Cable 입사각	B)Holder 위치	C)Grip Type	시험#1	시험#2
1	1	1	1	150000	130000
2	1	2	2	900000	990000
3	2	1	2	250000	210000
4	2	2	1	120000	90000

(A) 수준1:90도 (B) 수준2:MTG 50mm up (C) 수준2:Ring Type
 시험#2/#3/#4는 각각 75만회/42만회/68만회의 고장수명을 확인함.

결과로부터 개선품은 신뢰성 목표를 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 Graph.6은 개선 전 부품과 개선 후 부품에 대한 고장수명에 대한 Weibull 분석결과이다. 분석결과로부터 MTTF가 개선전,후 각각 89,127회, 750,457회이며, B5값이 15,769회, 328,499회로 현 사양 대비 각 8.4배 및 21배 정도 개선되었음을 확인할 수 있다.

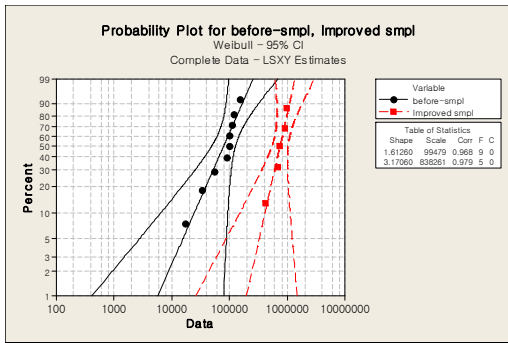


Fig. 6. Reliability analysis of components improvement before/after.

이상과 같이 Field Data를 통한 신뢰성 분석이 유용하며, 타 부품에 대한 확대 적용이 필요성이 증대되고 있다. 또한 이를 통한 Lab 시험과의 관계를 확보하고 각 부품에 대한 신뢰성 목표의 만족 여부를 확인함으로써 현 양산품 및 추후 개발 부품에 대한 신뢰성 평가를 통한 내구 품질 확보가 가능하다.

이로부터 지속적으로 관심이 증대되고 있는 내구 신뢰성 확보를 통한 경쟁적으로 증가에 대응하는 자동차사의 주요 기술 기반으로 적극 활용되어야 할 것이다.

3. 결론

차량부품인 Damper Strut Assy의 Cable 단선 문제와 관련하여, Taguchi Method를 통한 최적 조건을 구하여 내구 개선에 적용하였으며, Field Data에 대한 Weibull 분석을 실시, Lab Data와 상관 관계를 통한 신뢰성 규격을 확보하고 이의 평가로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) Damper Strut Assy의 Cable 단선 문제와 관련하여, Taguchi Method를 통한 최적 조건을 구하여 내구 개선에 적용하였다.
- (2) Field Data에 대한 Weibull 분석을 실시하여 본 부품에 대한 주요 신뢰성 척도를 구할 수 있었으며, Lab Data와 상관 관계를 통한 신뢰성 규격을 확보하였으며, 개선품이 신뢰성 목표를 만족하고 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- 1) S. T. Kim, "Failure Analysis of Automotive Components", Reliability Analysis Research Center of HanYang Univ., pp 28~40, (2006)
- 2) W. W. Jung, S. S. Kang, *KSAE*, 3, 6, 154, (1995)
- 3) D. H. Jung, S. I. Bae, *Key Engineering Materials*, 297, 300, 1776, (1998)
- 4) Agency for Technology and Standards, "Reliability Handbook", Agency for Technology and Standards, pp 77~101, (2003)
- 5) Department of Defense, "Military Handbook, MIL-HDBK-338B", Department of Defense, pp 160~167, (1998)

(접수:2010.09.15, 수정:2010.10.15, 게재확정:2010.11.24)