

# 신뢰성 기법을 통한 Engine oil pan의 신뢰성척도 연구 Research of Reliability Measures of Engine Oil Pan through Reliability Method

김장수\*  
Jang-su Kim\*

## <Abstract>

Usually, it says that reliability is failure rate achieved by required functions for some period under limited use environment conditions. The reliability can be researched by automotive part or system module and it can be affected by using environment condition, such as using atmosphere temperature and using user's behavior. Also, the time can be influence on the reliability. Recently, the oil leakage from eng oil pan was raised by customer in the field. So, there is the purpose of this paper that research predicting the reliability of eng oil pan efficiently by using reliability method described below.

**Keywords : Reliability, MTTF(Mean Time To Failure), Failure rate, B10, P-value**

## 1. 서 론

### 1.1 신뢰성 개요

신뢰성(신뢰도)이란 아이템이 규정된 사용조건(환경)하에서 의도하는 기간(시간) 동안 요구되는 기능을 수행할 성질(확률)을 말한다. 따라서 예를 들어 자동차 바퀴가 -25 ~ -40℃ 하에서 국도 및 고속도로에서 3만 km만큼 달리는 동안 펑크 없이 안전하게 달릴 수 있다면 신뢰성은 좋다고 말할 수 있고, 이때 그렇게 될 수 있는 확률을 신뢰도라고 한다. 이 예에서와 같이 우리가 어떤 아이템에 대해 신뢰성을 논할 때에는 다음과 같이 여러 가지 항목들에 대해서 꼭 짚어봐야 한다.

### 1.2 신뢰성 조건

첫째, 신뢰성의 대상인 아이템은 자동차나 비행기 그 자체 즉, 시스템일 수 있고, 또는 자동

차나 비행기를 구성하는 서브시스템 또는 그 이하의 레벨에 속하는 구성부품일 수 있다. 그러므로 구성 부품 수준에서 신뢰성이 아주 좋아도 시스템 수준에서는 신뢰성이 좋지 않을 수 있다.

둘째, 아이템의 사용 또는 환경조건이 신뢰성에 영향을 미칠 수 있다. 동일한 제품이라고 하더라도 주변의 온도라든가 누가 사용하는지에 따라 그 기능에 차이가 나기 마련이다. 똑 같은 자동차라고 하더라도 도로 사정이나 운전자의 숙련도 등에 따라 신뢰성이 달라진다.

셋째, 시간이 신뢰성에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 똑 같은 냉장고라고 하더라도 1년 후의 신뢰성보다는 2년 후의 신뢰성이 더 나쁠 것이다. 이와 같이 신뢰성에서는 정적인 관점이 아닌 동적인 관점에서 아이템의 속성에 대해 논한다. 그런데 상황에 따라서는 시간 이외에 다른 척도가 사용될 수 있다. 자동차의 경우 보

\* 정회원, 교신저자, 쌍용자동차, 창원 엔진 공장, 부장  
E-mail : jskim1229@hanmail.net

\* Corresponding Author, General Manager, Engine plant, Ssangyong Motor Co.,

유시간보다 주행거리가 신뢰성을 측정하는데 더 좋은 지표가 될 수 있다.

넷째, 요구되는 기능이 무엇인지 정확히 정의되어야 아이টে에 대한 신뢰성을 올바르게 논할 수 있다. 한 예로, 자동차의 경우 달릴 수 없는 상태가 되어야 비로소 고장 났다고 할 것인지 또는 소음이 조금이라도 나거나 또는 가속이 빨리 안 되는 경우라도 고장 났다고 할 것인지 명확히 정해야 한다. 예전에는 완전 고장의 경우 얻어지는 데이터에 대한 분석을 많이 했는데, 요즘은 일부 고장으로 얻어지는 열화 데이터(Degradation data)에 대한 분석으로 아이টে에 대한 개선을 많이 도모하기도 한다.

### 1.3 신뢰성 항목(RAMS)

근래에는 수리하면서 사용할 수 있는 시스템(수리계 시스템)의 경우 앞의 정의보다 좀더 '넓은 의미의 신뢰성'이 다루어지고 있다. 구체적으로 요즘에는 앞에서 정의한 협의의 신뢰성(Reliability)뿐만 아니라 수리 가능한 시스템에서 특정한 시점에 시스템이 작동하는 성질을 나타내는 가용성(Availability), 고장난 시스템이 설계된 용도에 따라 기능을 복원하는 성질을 나타내는 보전성(Maintenability), 위험, 손상 또는 상해가 없는 성질을 나타내는 안전성(Safety)을 모두 포함하는 RAMS로 시스템의 유효성(Effectiveness)을 많이 평가한다. 요즘은 자동차나 전철 등 어떤 시스템이든 그 기능이 많아지면 좋아지고 있다. 하지만 시스템이 일단 고장 났을 때 그 영향력(파괴력)은 매우 크다. 따라서 시스템의 신뢰성을 항상 높은 상태로 유지해야 할 필요가 있다. 그러기 위해서는 여러 가지 공학적인 지식이 필요하다.

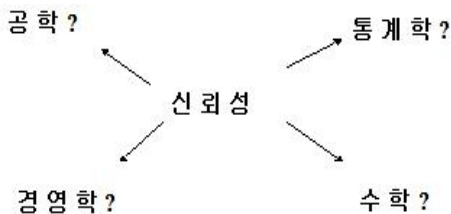


Fig. 1. Variable aspect of reliability.

이와 같은 공학적인 면을 강조할 때 신뢰성은 신뢰성공학이라고 부른다.(Fig. 1 참조) 한편 시

스템의 올바른 평가 및 개선을 위해서는 여러 가지 실험을 해봐야 하고, 이때 실험결과가 항상 똑같이 나온다는 보장이 없으므로 과학적 분석(통계적 분석 포함)은 필수 불가결하다.

좀 더 일반적으로 시스템의 특성을 파악하고 개선 및 관리를 하기 위해서는 여러 가지 수학적 모델이 필요하다. 그런 의미에서 통계학의 여러 방법론이 신뢰성 향상에 적용될 수 있다.

### 1.4 Engine oil pan 의 분석 배경

2006년 8월부터 현재까지 출고된 RV차량의 알파D Engine oil pan 에서 240여 건의 oil leakage 및 oil pan의 파손이 발생하고 있으며, 그로 인해 200여 건이 oil pan 교환을 통해 A/S 되고 있다. 이는 내구시험 결과로 보면 알파 D엔진에서뿐만 아니라 알파D1엔진및 베타G 엔진 차량에서도 동일 문제가 발생하고 있으며, 이를 생각할 때 출고 후 engine oil pan 에 의한 A/S 비용이 과다하게 발생할 것이 예상된다.

따라서 알파D 엔진을 대표로 하여 신뢰성 기법을 통해 Engine oil pan의 oil leakage 및 파손이 어느 시점에서 발생하고, life cycle이 어떻게 되는지 예측하여 향후 품질 향상과 개선 필요성에 대한 기초 자료로 사용하고자 한다.

## 2. 본 론

A/S data를 통해 Engine oil pan 에 대한 신뢰성 척도 즉, 신뢰도  $R(t)$ , 평균 수명(MTTF),  $B_{10}$  수명 및 고장률  $\lambda(t)$ 을 알아보고 분석할 것이다.

### 2.1 Engine oil pan 의 신뢰성 척도

#### 2.1.1 항 Engine oil pan 의 결함

A/S data로 본 ENG oil pan 의 결함내용은 두 가지로 압축할 수 있다. 총 199개의 결함 중 ENG oil pan 의 파손 및 균열에 의한 것이 22건, 밀착 및 기밀 불량에 의한 결함이 177건으로 밀착 및 균열에 의한 oil leakage 가 대부분을 차지하고 있다.

여기서는 균열, 파손, 밀착 및 기밀 불량에 의한 oil leakage 전반에 대한 신뢰성 척도와 총 출고된 차량에 대한 199대의 Engine oil pan부 oil leakage 결함에 대한 신뢰성 척도를 구하여 비교할 것이다.

Table 1. A point of ENG oil pan defect occur

19,947	11,658	15,004	50,125	38,345	52,791	23,000
31,400	1,100	51,876	55,228	26,174	60,000	9,000
41,000	39,940	48,000	19,686	46,177	52,176	59,000
39,000	30	62,290	29,001	37,892	41,600	41,261
26,010	52,000	48,000	33,000	39,874	51,270	50,053
20,000	59,000	57,242	40,000	31,567	42,553	37,258
24,881	32,277	43,500	25,323	23,706	50,010	3,094
34,269	25,600	38,011	29,424	21,182	52,234	59,847
10,726	40,010	55,608	14,855	39,829	48,912	69,012
27,189	58,500	33,435	24,893	35,990	54,672	42,355
32,525	12,392	22,395	2,850	5,215	44,576	31,021
11,138	17,104	48,745	37,115	47,187	49,105	23,782
31,224	10,325	52,329	39,028	58,400	39,271	35,265
33,127	43,376	29,245	41,213	40,916	15,050	12,300
31,124	37,000	23,700	18,163	32,740	18,000	19,535
58,878	42,500	25,200	33,860	47,562	26,600	39,518
58,293	9,331	38,010	28,702	30,200	25,411	28,206
58,301	37,999	50,766	38,500	42,000	58,242	39,214
58,863	58,721	28,000	18,782	29,200	23,128	33,724
17,680	15,819	18,668	27,110	36,500	31,500	16,000
22,900	32,000	32,277	12,683	59,945	58,621	27,010
39,800	42,008	11,013	37,000	58,729	21,200	26,892
39,700	38,010	7,513	31,936	45,001	32,450	53,153
5,574	11,500	28,747	13,612	40,000	32,010	28,618
15,712	12,600	11,073	46,619	43,601	39,434	28,503
36,088	32,000	19,270	55,124	18,422	5,207	39,520
510	39,000	37,341	38,541	4,951	55,648	50,212
16,300	13,020	50,633	25,043	18,935	39,775	36,026
37,200	20,000	54,010				

2.1.2 ENG oil pan의 신뢰성 척도

신뢰성에서 가장 중요한 것은 내구성일 것이다. 왜냐하면 제품이 어디에서나 쉽게 사용할 수 있고 기능이 아무리 좋다고 하더라도 장기간 사용하지 못한다면 제품의 기본적인 목적을 달성할 수 없기 때문이다. 여기서 장기간 사용한다는 것은 쓸데없이 오래가는 것을 의미하지 않고, 요구되는 사용기간 동안 충분히 그 기능을 발휘하면서 오래가는 것을 의미한다.

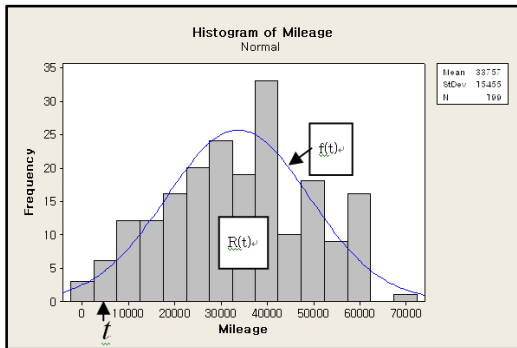


Fig. 2. Reliability R(t), function of probability f(t).

따라서 내구성을 나타내는 가장 기본적인 척도로 아이템의 수명이 t 시간(Mileage를 대체하여 표기함, 이하 t로 표기)은 될 가능성을 신

뢰도라고 하고 R(t)로 표기한다. 즉, 고장이 t 시간 이후부터 날 확률을 나타내므로 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (1)$$

이는 Fig. 2 에서 파란색으로 표시된 f(t) 곡선 아래 부분과 t 점 이후에 해당한다. 따라서 R(t)는 t가 증가하면서 감소한다는 것을 알 수 있다. 임의의 시간 t 이내에 고장 날 불신뢰도는 F(t)라고 하며 이는 신뢰도 R(t)와 다음과 같은 관계에 있으며,

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2)$$

F(t)로 정리하면 다음과 같은 등식이 성립한다.

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx \quad (3)$$

따라서 F(t)는 t가 증가하면서 증가한다는 것을 알 수 있다.

그러면 여기서 Engine oil pan이 어떤 수명 분포를 따르는지 미니탭을 이용하여 Plotting을 해보면 다음과 같은 그래프가 나온다.

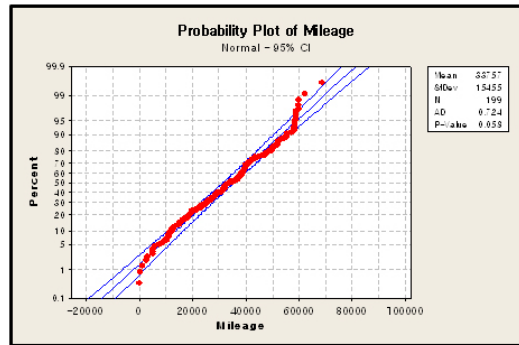


Fig. 3. Lifetime distribution model with varying parameter analysis.

Fig. 3 에서 P-value 값이 0.058 으로 0.05 보다 크고, 또한 Figure 2 에서 확률밀도 함수 f(t)의 형태를 보면 좌우가 대칭인 것을 보면 Engine oil pan은 정규분포를 따른다고 할 수 있다. 그러면, 2006년 8월부터 현재까지 출고

된 차량이 총 199대라고 가정했을 때, 보증기간 인 60,000km 에서 불신뢰도는 Table 2 에서 보 는 바와 같이 약 96% 수준이 된다.

Table 2. Reliability analysis

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Lower	Normal CI Ppper
0.1	-14115.3	2654.95	-19318.9	-8911.74
1	-2281.72	2125.36	-6447.35	1883.91
2	1941.21	1945.92	-1872.73	5755.15
3	4620.52	1835.83	1022.37	8218.68
4	6636.07	1755.33	3195.69	10076.4
5	8275.56	1691.54	4960.20	11590.9
6	9671.02	1638.58	6459.45	12882.6
7	10894.6	1593.27	7771.82	14017.3
8	11990.1	1553.66	8944.99	15035.2
9	12906.5	1510.49	10010.3	15962.6
<b>10</b>	<b>13903.6</b>	<b>1486.88</b>	<b>10989.4</b>	<b>16817.8</b>
20	20718.7	1280.36	18209.3	23228.2
30	25632.9	1172.26	23335.3	27930.5
40	29831.9	1115.89	27644.8	32019.0
50	33756.6	1098.15	31604.2	35908.9
60	37681.3	1115.89	35494.2	39868.4
70	41880.3	1172.26	39582.7	44177.9
80	46794.5	1280.36	44285.0	49303.9
90	53609.6	1486.88	50695.3	56523.8
91	54526.7	1518.49	51550.5	57502.9
92	55523.1	1553.66	52478.0	58568.2
93	56618.6	1593.27	53495.9	59741.4
94	57842.2	1638.58	54630.6	61053.7
95	59237.6	1691.54	55922.3	62553.0
96	60877.1	1755.33	57436.7	64317.5
97	62892.7	1835.83	59294.5	66490.8
98	65572.0	1945.92	61758.0	69385.9
99	69794.9	2125.36	65629.3	73960.5
99.9	81628.5	2654.95	76424.9	86832.1

즉 불신뢰도  $F(t)$  는 0.96 이고 신뢰도  $R(t)$  는 0.04, 고장률  $\lambda(t)$  는  $F(t) / R(t)$ 이므로 24 로 24% 에 해당하는 대수가 고장이 발생한다고 볼 수 있다.

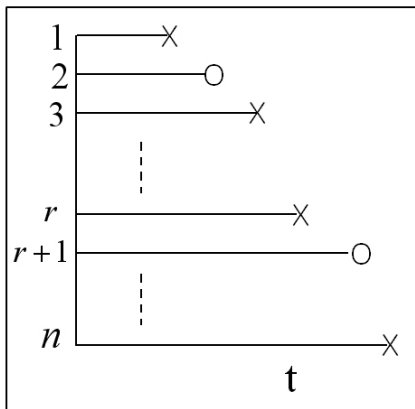


Fig. 4. Random stop data.

그러나 실제로 그 기간 동안 출고된 RV차량의 알파 D엔진은 총 14,789 대로 결함에 의해 중단된 시점이 모두 다르기 때문에 Engine oil pan data 는 Fig. 4 와 같이 랜덤중단데이터가

된다. 그러면 60,000km 시점에서 불완전 데이터 중 랜덤중단데이터의 신뢰도를 알아보고, 그때의 나머지 신뢰성 척도를 알아보겠다.

랜덤중단데이터의 신뢰도 추정방법은 Kaplan 과 Meier 에 의해 제안된 PL(Product Limit) 추정방법을 사용한다.

랜덤중단 데이터를 이용한 신뢰도함수의 Kaplan-Meier 추정은 다음의 순서에 의해 얻어진다. 우선  $n$ 개의 표본을 가지고 수명시험을 시행하는 경우 얻어지는 각 표본의 관측값은  $(t_i, \delta_i), (t_2, \delta_2), \dots, (t_n, \delta_n)$ 으로 나타내는데, 여기에서 만일  $\delta_i = 0$  이면 대응되는  $t_i$  는 표본  $i$ 의 시험 중단시점이고 만일  $\delta_i = 1$  이면 대응되는  $t_i$  는 표본  $i$ 의 고장시점이라고 하자.

[ 순서 1 ] 시험중단 데이터를 포함한 관측값  $t_1, t_2, \dots, t_n$ 를 작은 것부터 큰 것으로 순차적으로 나열하여  $t_{(1)} < t_{(2)} < \dots < t_{(n)}$ 을 얻는다.

[ 순서 2 ] 관측값  $(t_1, \delta_1), (t_2, \delta_2), \dots, (t_n, \delta_n)$ 을 재배열한다. 여기에서

$\delta_i = 1$ , 대응되는  $t_i$  가 고장시간인 경우  
 $\delta_i = 0$ , 대응되는  $t_i$  가 중단시간인 경우  
 로 정의한다.

[ 순서 3 ]  $t_{(i)} \leq t < t_{(i+1)}, i=0,1, \dots, n$ 에 대하여 신뢰도  $R(t)$  는 다음과 같이 계산된다. 여기에서  $t_{(0)} = 0$  과  $t_{(n+1)} = \infty$  로 정의한다.

$$R_n(t) = \prod_{l=1}^i \left( \frac{n-l}{n-l+1} \right)^{\delta_n} \quad (4)$$

따라서 총 출고차량 14,789대 중 199대에서 발생한 Engine oil pan 의 60,000 km 이상에서의 신뢰도  $R(60,000)$  은 아래에 나타난 바와 같이

$$R_{14789}(t) = \left( \frac{14788}{14789} \right)^1 \times \left( \frac{14787}{14788} \right)^1 \times \left( \frac{14786}{14787} \right)^1 \times \left( \frac{14785}{14786} \right)^0 \times \dots \left( \frac{195}{196} \right)^0 = 0.99$$

신뢰도는 0.99 이고, 불신뢰도  $F(t)=1-R(t)$  로 0.01 이다.

이처럼 신뢰도가 높게 나오는 이유는 출고된

총 14789 대의 차량 중에 199대의 차량에서만 결함이 발생하였기 때문이다. (결함이 발생했으나 A/S 를 받지 않았을 가능성 있음)

Engine oil pan 과 같이 교환을 해야 하는 비수리계 부품의 경우 평균 수명(MTTF)는 Fig. 2 에서 분석했던 것처럼 MTTF=33,757km이다.

고장률의 경우 내구성을 측정하는 또 다른 척도로 임의의 시점 t 에서 잔존하는 것들 중 몇 개가 순간적으로 고장 날 것이지 나타내는 것으로 식 (5)와 같다.

$$\lambda(t) = f(t) / R(t) \quad (5)$$

이것은 순간고장률이라고 부르는 것으로 주어진 아이টে에 대해 수명시험을 하여 고장률  $\lambda(t)$  를 그려보면 아이টে이 시간이 지남에 따라 언제까지 강건해지는지(고장률이 작아지는지) 또는 언제 우발적으로 고장이 나는지(고장률이 일정한지) 등을 파악할 수 있다. 고장률은 생산자의 입장에서는 작을수록 좋을 것이다. 따라서 상기 R(t) 와 F(t) 의 결과로 보면 고장률  $\lambda(t) = 0.01 / 0.99 = 0.01$  이다.

마지막으로 신뢰성 척도중의 하나인 B<sub>10</sub> 수명에 관해 알아보겠다. B<sub>10</sub>수명은 아이টে이 100% 작동하는 시점을 말하여(따라서 그런 시점의 최대값에 대해 관심이 있을 것임), 아이টে의 불신뢰도가 10%인 시점을 말한다.(B<sub>10</sub>수명은 p번째 백분위수(p-fractile 또는 p-quantile)에서 p=0.1인 경우값) B<sub>10</sub>수명은 많은 아이টে이 있는 겨우 10%의 아이টে이 본격적으로 고장 난다는 것을 알 수 있다. 따라서 품질보증정책을 입안하는데 꼭 필요한 정보이다. B<sub>10</sub>수명을 그냥 B<sub>10</sub> 이라고 표현하는 경우 B<sub>10</sub>과 f(t)와는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\int_{B_{10}}^{\infty} f(t)dt = 0.9 \quad [\text{즉, } R(B_{10}) = 0.9] \quad (5)$$

혹은

$$\int_0^{B_{10}} f(t)dt = 0.1 \quad [\text{즉, } F(B_{10}) = 0.1] \quad (6)$$

Table 2에서 보는 바와 같이 199대의 결함 내용만으로 분석을 하면 B<sub>10</sub> 수명은 최대값이

16,817 km로 그 이후로 결함이 본격적으로 발생한다고 볼 수 있다.

한편, 총 출고량 14,789대에 대한 199대의 결함 차량의 B<sub>10</sub> 수명은 총 출고량 대비 결함차량에 대한 비율이 10% 이하이므로 구하기는 힘들다. 단지, 최후에 발생한 69,012km 보다는 크다는 것을 Table 1 의 data를 통해 추정할 수는 있다.

## 2. 2절 Engine oil pan 의 신뢰성 척도 비교

Table 3. Reliability measure comparison

Engine oil pan	신뢰도 R(t)	평균수명 MTTF	고장률 $\lambda(t)$	B <sub>10</sub> 수명
199대의 신뢰성 척도	0.04	33,757 km	24 %	16,817 km
총출고량대비 199대의 신뢰성 척도	0.99		1 %	69,012 km~

Table 3 에서 보는 바와 같이 199대만으로 분석한 결과와 총 출고량 대비 199대의 신뢰성 분석 결과가 상당히 차이를 알 수 있다. 여기서 고객이 차량을 구매한 이후로 Engine oil pan 에서 발생한 oil leakage에 대해 모두 고객이 A/S를 받았다고 가정한다면 신뢰도는 상당히 높은 것으로 분석할 수 있다. 그러나 Engine oil pan 에서 oil leakage가 발생하였더라도 고객이 미처 알아채지 못하였거나 그 상황이 경미하여 A/S를 받지 않았지만, 만약 그런 차량까지 포함한다면 신뢰도는 떨어질 것이며 더 정확한 신뢰도가 나올 것이다.

## 3 결론

지금까지 RV차량의 알파D Engine의 oil pan 에서 발생한 oil leakage에 대한 신뢰성 척도들을 알아보았다. 그런데 앞서 기술했듯이 RV차량이 아닌 미니벤, 중형RV, 소형RV, 등과 같은 차량의 Engine에서 발생한 Engine oil pan 부위 oil leakage에 대한 신뢰도를 알아본다면, 조금은 다를 것이다. 즉, 고객에 따라 A/S data 가 다를 수 있기 때문이다. 또한 RV차량에만 알파D Engine을 탑재한 것이 아니기 때문에 더 정확한 신뢰도를 알아보려면 RV차량, 미니벤, 중형RV, 소형RV 등 각각의 차량의 알파 D Engine 에서의 신뢰도를 구하고 세 차종에 대한 신뢰도를 다시 환산해야만 할 것이다.

또한 앞으로 Engine oil pan 이 아닌 다른 부품의 신뢰도를 알아보고 각각의 신뢰도를 환산하여 한 차종의 총 신뢰도를 알아보기 위해서는 훨씬 많은 Data가 필요하며 A/S data 뿐만 아니라 고객의 차량에 대해 더 많은 정보를 알 수 있는 Data가 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

- 1) Kim, J. G., Reliability Engineering, (2003)
- 2) Kim, J. J., Baek, J. U., Reliability Engineering, Korea national open university (1997)

- 3) Baek, J.U., Reliability Engineering Korea national open university, (1999)
- 4) Kaplan, E. L. and Meier, P. *Journal of the American Statistical Association* 53, 457 (1958)
- 5) Barlow, R. E. and Proschan, P. 'Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models' To Begin With, Maryland. (1981)

---

(2009년 9월 9일 접수, 2009년 11월 20일 채택)