

신뢰성데이터의 해석법

An Analysis of the Reliability Test Data with WEIBULL PROBABILITY PAPER

서 호 북*
HO - BOK SOH

1. 머릿말

우리의 생활주변에서 널리 쓰이는 제품이나, 기기, 시스템 또는 장치등이 과학기술의 발달에 힘입어 기술적으로 고도화되어 가고 있으며 양적으로도 대단히 복잡한 요소로 구성되어 있다. 또한 이들제품, 기기, 시스템, 장치등은 우리의 일상 생활과 밀착되어 관련부문의 일부가 고장이 나게되면 전체가 정지하게 되며 이에 따라 우리의 일상생활에 많은 손해를 입히고 있는 실정이다.

우리가 현재 생산하고 있는 자동차도 이러한 부품, 시스템 또는 장치등이 유기적으로 결합된 제품이며 관련부문의 고장이 자동차 전체의 기능수행이 미치는 영향은 매우 크며, 이는 어느 개인의 안전이나 편리성의 문제뿐만 아니라 국가와 사회전체의 기능수행이나 안전에 미치는 영향도 매우 크다.

또 새로운 재료, 부품, 기기, 장치등의 급속한 개발로 인하여 전에는 미처 보지도 듣지도 못하던 재료나 부품을 사용할 기회가 점점 늘어가고 있으며 이들을 포함한 전체 시스템의 평가나 안전등의 문제를 고려하지 않으면 안되게 되었다.

이러한 이유로 인하여 신뢰성의 문제는 최근에 이르러 메이커에 있어서나 소비자에게 있

어서나 모두에게 중요한 품질특성의 하나로 인식되게 되었다. 물론 신뢰성의 문제는 오래 전부터 주요한 품질특성의 하나였으나 각광을 받기 시작한 것은 최근의 문제로 생각된다.

이와같이 신뢰성에 관한 본격적인 연구가 늦어진 것은 여러가지 이유가 있겠으나 그 중 하나가 신뢰성 데이터의 해석에 필요한 수명시험이 오래 걸리고 비용이 많이 걸리는 점, 또 실행이 매우 어렵다는 점이다. 또 한가지의 이유는 신뢰성 함수를 규정하는 Weibull 분포가 일반적인 기술자들에게 이해하기 어렵고 널리 보급이 되지 않은 점이다.

W. Weibull 교수가 신뢰성 함수인 Weibull 분포에 관한 이론을 발표한 것은 1951년의 일이며 실제로 공업에 응용되기 시작한 것은 1960년도 초기의 일로서 생각된다. 위를 좁혀서 우리나라의 여건을 고려하여 볼때, 아직 통계적 품질관리에 대한 기반도 충분히 조성되지 못한 상태에서 신뢰성을 논하는 것은 어려움이 많다고 하겠으나 실제의 문제로서 이미 당면하고 있는 것이다.

현재 실시하고 있는 부품의 피로시험, 신차종의 내구시험, 정비분야에서 발생하고 있는 다양한 클레임 데이터등이 그것이다.

그러나 한가지 안타까운 점은 이 많은양의

* 정회원, 대우자동차주식회사 전장부품품질관리부

신뢰성 정보가 해석기술이 미흡하여 잘못 해석이 되거나 또는 그대로 사장되고 있는 점이다.

따라서 이러한 신뢰성 정보의 올바른 해석에 조금이나마 도움이 되고자 하는 입장에서 “대수정규확률지를 이용한 수명시험 데이터의 해석방법”을 엮어놓았다(자동차공학회지 제 6권 1호 1984년 3월 참조). 이번이 이에 덧붙여 신뢰성 데이터의 해석에 있어서 또다른 접근방법인 Weibull 확률지의 이용에 관하여 자료를 정리하였다. 대수정규 확률지를 이용한 방법이 잔존확률을 이용한 신뢰성 데이터의 산포와 신뢰한계를 해석하기 위한 방법인데 반하여 와이블 확률지를 이용한 신뢰성 데이터의 해석은 평균수명의 예측, Bq 수명수준의 파악 및 2종류의 수명시험 데이터의 비교 및 개선효과등의 파악이 쉽게되므로 보다 쉽게 이용할 것으로 생각한다. 따라서 이들 2 자료를 잘 활용한다면 와이블 분포 이론에 관한 지식이 없이도 신뢰성 데이터의 해석이 손쉽게 되므로 활용이 용이하다.

2. 신뢰성시험 데이터의 평가

동일조건하에서 신뢰성 시험을 하는 경우 수명분포는 상당히 큰 변동폭을 갖게 된다는 사실은 이미 잘 알려져 있다.

또한 신뢰성 데이터의 평균치만을 가지고 설계적인 문제인지, 재료상의 문제인지, 또는 그 로트가 속하는 제조공정상의 문제인지를 판단할 수 없음도 이미 알려져 있는 사실이다.

내구수명횟수와 그 수명횟수에서의 고장퍼센트의 해석은 통계적인 방법 즉, “산포” “분산” 또는 “흩어진 정도”로서 파악함이 최적이다.

2-1 샘플링

통계적 해석의 주목적의 하나는 적은 시료(샘플)를 사용하여 얻은 시험결과로 큰 집단(모집단)의 성질을 추정하는 것이다. 만일 모집단 전체를 시험한다면 추정은 전혀 필요치 않게 된다.

우리가 알고자 하는것은 모집단의 성질 즉, 모수(모평균 및 모표준편차등)인 것이다. 이 모수는 100% 신뢰도의 수치인 것이다.

만일 모집단의 99%를 시험에 걸었다면 시험된 99%에 대하여는 100%신뢰가 가능할 것이다. 또 모집단의 99%중에서 뽑은 샘플과 나머지 1%가 같다고 하면 이 나머지 1%를 시험하여 거의 100% 신뢰할 수 있는 수명의 예측이 가능하게 된다.

만일 5%만을 시험한다면 시험된 5% 이외의 정보는 얻을 수 없으며, 나머지 95%에 대한 추정방법을 고려하지 않으면 안된다. 실제로 샘플링의 기본조건 즉, 랜덤샘플링이 가능하다고 하면 적은시료를 시험하여 모집단의 성질을 추정하는 것이 가능하다. 이 때 양산이전 단계의 핸드메이드 샘플을 사용하여서는 안된다.

2-2 분 포

만일 모집단 전체를 동일조건하에서 시험하여 그 결과를 크기 순으로 정리하여 세로축에 수명특성을 잡고 가로축에 누적고장율을 잡아서 타점하면 수명특성의 분포가 나타나게 된다.

이 모집단에서 랜덤하게 뽑은 샘플을 시험하면 유사한 수명특성의 분포를 나타낼 것이다. 주어진 샘플사이즈에 대한 유사성은 계산해 낼 수 있으며 이 계산치는 표 1과 같다. 표 1은 샘플사이즈 1~30까지의 시험결과에 대한 메디안 랭크(median rank)이다. 개별 시험결과에 순위를 붙여서 그 시험결과가 모집단 내의 상대위치와 어떻게 대응하고 있는가를 나타낸 것이다.

메디안 랭크는 수치가 낮을수록 “참순위(true rank)”와 잘 들어맞게 되므로 참순위의 추정치로서 사용된다.

샘플사이즈가 30 이상인 경우의 메디안 랭크에 대한 근사공식은 다음과 같다.

$$\text{메디안 랭크} = 100 \times \frac{J - 0.3}{N + 0.4}$$

J : 개별시험결과를 크기순(소→대)으로 정렬한 경우의 순위

N : 총 시료수

표 1 메디안랭크 % (n=1~30)

샘플의 크기

순서 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	순서 번호
1	50.000	29.289	20.630	15.910	12.945	10.910	9.428	8.300	7.412	6.697	1
2		70.711	50.000	38.573	31.381	26.445	22.849	20.113	17.962	16.226	2
3			79.370	61.427	50.000	42.141	36.412	32.052	28.624	25.857	3
4				84.090	68.619	57.859	50.000	44.015	39.308	35.510	4
5					87.055	73.555	63.588	55.984	50.000	45.169	5
6						89.090	77.151	67.948	60.691	54.831	6
7							90.572	79.887	71.376	64.490	7
8								91.700	82.038	74.142	8
9									92.587	83.774	9
10										93.303	10

순서 번호	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	순서 번호
1	6.107	5.613	5.192	4.830	4.516	4.240	3.995	3.778	3.582	3.406	1
2	14.796	13.598	12.579	11.702	10.940	10.270	9.678	9.151	8.677	8.251	2
3	23.578	21.669	20.045	18.647	17.432	16.365	15.422	14.581	13.827	13.147	3
4	32.380	29.758	27.528	25.608	23.939	22.474	21.178	20.024	18.988	18.055	4
5	41.189	37.853	35.016	32.575	30.452	28.589	26.940	25.471	24.154	22.967	5
6	50.000	45.951	42.508	39.544	36.967	34.705	32.704	30.921	29.322	27.880	6
7	58.811	54.049	50.000	46.515	43.483	40.823	38.469	36.371	34.491	32.795	7
8	67.620	62.147	57.492	53.485	50.000	46.941	44.234	41.823	39.660	37.710	8
9	76.421	70.242	64.984	60.456	56.517	53.059	50.000	47.274	44.830	42.626	9
10	85.204	78.331	74.472	67.425	63.033	59.177	55.766	52.726	50.000	47.542	10
11	93.893	86.402	79.955	74.392	69.548	65.295	61.531	58.177	55.170	52.458	11
12		94.387	87.421	81.353	76.061	71.411	67.296	63.629	60.340	57.374	12
13			94.808	88.298	82.568	77.525	73.060	69.079	65.509	62.289	13
14				95.169	89.060	83.635	78.821	74.529	70.678	67.205	14
15					85.484	89.730	84.578	79.976	75.846	72.119	15
16						95.760	80.322	85.419	81.011	77.033	16
17							96.005	90.849	86.173	81.945	17
18								96.222	91.322	86.853	18
19									95.418	91.749	19
20										96.594	20

샘플의 크기

순서 번호	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	순서 번호
1	3.247	3.101	2.969	2.847	2.734	2.631	2.534	2.445	2.362	2.284	1
2	7.864	7.512	7.191	6.895	6.623	6.372	6.139	5.922	5.720	5.532	2
3	12.531	11.970	11.458	10.987	10.553	10.153	9.781	9.436	9.114	8.814	3
4	17.209	15.734	15.734	15.088	14.492	13.942	13.432	12.958	12.517	12.104	4
5	21.890	20.015	20.015	19.192	18.435	17.735	17.086	16.483	15.922	15.397	5
6	26.574	25.384	24.297	23.299	22.379	21.529	20.742	20.010	19.328	18.691	6
7	31.258	29.859	28.580	27.406	26.324	25.325	24.398	23.537	22.735	21.986	7
8	35.943	34.334	32.863	31.513	30.269	29.120	28.055	27.065	26.143	25.281	8
9	40.629	38.810	37.147	35.621	34.215	32.916	31.712	30.593	29.550	28.576	9
10	45.314	43.286	41.431	39.729	38.161	36.712	35.370	34.121	32.958	31.872	10
11	50.000	47.762	45.716	43.837	42.107	40.509	39.027	37.650	36.367	35.168	11
12	54.686	52.238	50.000	47.946	46.054	44.305	42.685	41.178	39.775	38.464	12
13	59.371	56.714	54.284	52.054	50.000	48.102	46.342	44.707	43.183	41.760	13
14	64.057	61.190	58.568	56.162	53.946	51.898	50.000	48.236	46.592	45.056	14
15	68.742	65.665	62.853	60.271	57.892	55.695	53.658	51.764	50.000	48.352	15
16	73.426	70.141	67.137	64.379	61.839	59.491	57.315	55.293	53.408	51.648	16
17	78.109	74.616	71.420	68.487	65.785	63.287	60.973	58.821	56.817	54.944	17
18	82.791	79.089	75.703	75.594	69.730	67.084	64.630	62.350	60.225	58.240	18
19	87.469	83.561	79.985	76.701	73.676	70.880	68.288	65.878	63.633	61.536	19
20	92.136	88.030	84.268	80.808	77.621	74.675	71.945	69.407	67.041	64.832	20
21	96.753	92.488	88.542	84.912	81.565	78.471	75.602	72.935	70.450	68.128	21
22		96.898	92.809	89.013	85.507	82.265	79.258	76.463	73.857	71.424	22
23			97.031	93.105	89.447	86.058	82.914	79.990	77.265	74.719	23
24				97.153	93.377	89.847	86.568	83.517	80.672	78.014	24
25					97.265	93.628	90.219	87.042	84.078	81.309	25
26						97.369	93.861	90.564	87.483	84.603	26
27							97.465	94.078	90.885	87.896	27
28								97.555	94.280	91.186	28
29									97.638	94.468	29
30										97.716	30

2-3 메디안 랭크(median rank)

예를 들어서 4개의 스프링을 수명시험에 걸어서 다음의 데이터를 얻었다고 하자.

스프링번호	내구수명(cycles to failure)
1	77.400
2	198.000
3	37.800
4	120.000

이때 스프링의 번호는 아무런 의미를 갖지 못하므로 내구수명의 크기순으로 정리하여 개별스프링의 순위를 붙인다.

순위번호	내구수명(cycles to failure)
1	37,800
2	77,400
3	120,000
4	198,000

이렇게 정리하면 확률지위에 타점하였을 경우 수명에 관한 정보를 얻을 수 있게 된다. 그러나 아직도 개별관측 데이터의 고장에 대응하는 누적확률의 값은 나타나지 않는다. 따라서 4개의 샘플을 시험하여 첫번째 고장이 37,800 사이클에서 났다고 하면 모집단에서 어느정도가 이 내구수명에서 고장을 일으키게 되는가? 또는 2번째 샘플이 77,400 사이클에서 고장이 난다고 하면 모집단중에서 어느정도가 이 수명에서 고장을 일으키게 되는가? 이와같은 질문이 나머지 2개의 샘플에서 얻은 수명데이터에서도 가능하게 된다. 이에 대한 해답은 여러가지가 있으나 최적인 메디안 랭크법 이라고 생각된다.

그림 1과 같은 0~1 사이의 등간격을 갖는 연속치의 순서통계량의 분포* (non-parametric distribution)가 있다고 하자.

이 모집단에서 1회에 4개씩 샘플을 반복적으로 뽑아서 4개의 샘플중에서 최소치만을 관찰하기로 한다. 연속적인 샘플에서 이 최소

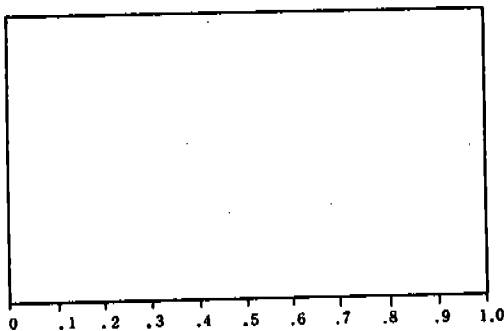


그림 1 순서통계량의 분포 (A nonparametric distribution)

치가 전부 같을수는 없고 이러한 샘플링을 무수히 반복하면 샘플사이즈가 4인 경우의 최소치가 갖는 분포를 이루게 될 것이다. 결과적으로 이들 4개 샘플중의 최소치값은 예상대로 최소치가 0~1의 값을 갖으며 측정치가 낮은 쪽으로 몰리게 된다.

* 주 : 년 파라메트릭(non-parametric)이란 어느 통계량이 분포형에 특별한 전제조건이 필요하지 않거나 분포함수에 의존하고 있어도 모수(parameter)와 무관한 경우를 말한다. 이에 해당하는 대표적인 것으로는 순서 통계량(rank order)이 있다.

따라서 이 샘플의 분포는 그림 2와 같은 형상을 이루게 된다.

이에 따라 샘플의 크기 4의 최소치의 값은 넓은 변동폭이 갖게 됨을 알수 있으며 이 분포 특성을 한개의 샘플값으로 대표시켜 표현하기에 가장 알맞는 값은 이 샘플 분포의 넓이를 이동분하는 값이 될 것이다. 또 이값은 바로 이 샘플분포의 메디안이 되는 것이다. 예제에서 샘플의 크기 4의 최소치의 메디안은 0.1591이며, 이를 달리 표현하면 이 분포의 15.91% 점이 된다. 이 값을 샘플의 크기 4인 경우의 첫번째 메디안 랭크값이라고 부르며 이 샘플 분포의 50%점이 그림 2에 표시되어 있다. 이

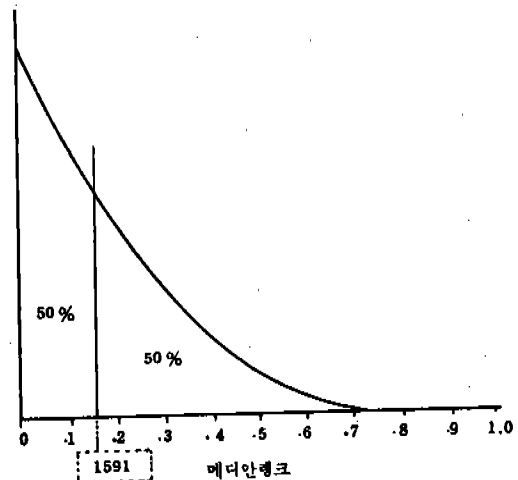


그림 2 4개의 샘플중 최소치의 분포

분포의 5%점 및 95%점도 신뢰구간의 설정에 유용하게 쓰인다.

동일한 방법으로 샘플사이즈 4인경우의 연속샘플에서 2번째 최소치의 샘플값의 메디안 랭크를 구할수 있게 된다. 여러가지 샘플사이즈에 대한 메디안 랭크의 값을 컴퓨터로 계산하여 얻은 것이 표 1이다. 5% 랭크 및 95% 랭크도 동일하게 얻어낼 수 있다.

2-4 신뢰도

개별의 관측치에 메디안 랭크를 부여한 후 이를 직선으로 연결하면 모집단의 몇 %가 특정의 내구수명(cycle to failure)을 갖게될 것인가를 예측할 수 있다. 그러나 이러한 추정 은 필연적으로 너무 높거나 낮게되는 과오를 일으킨다.

이때 기술자들이 얼마나 그 추정치를 신뢰할 수 있을 것인가? 대부분의 경우 추정의 신뢰수준은 90% 또는 95%, 경우에 따라서는 99% 신뢰수준을 사용하며 10%, 5% 또는 1%의 틀릴 수 있는 확률이 남게 된다.

신뢰수준이 주어진 경우 모집단중의 주어진 %의 내구수명은 일정의 허용구간내에 있음을 알게된다. 이는 메디안 랭크 그래프상에서 메디안 랭크 직선의 양쪽에 허용구간(tolerance band)으로 나타낼 수 있다.

이 허용구간이 넓게되면 메디안 랭크선이 과연 모집단의 수명특성 곡선을 나타내는가의 의의의 크게 된다. 샘플사이즈가 일정하면 신뢰수준이 높을수록 허용구간이 넓어지고 반대로 신뢰수준이 주어진 경우에는 샘플사이즈가 적을수록 넓게 된다. 만일 90% 신뢰수준이 주어진 경우는 모집단의 내구수명의 분포의 추정치에 대한 상한 및 하한은 5% 랭크 및 95% 랭크를 이용하여 그릴수 있다.

5% 및 95%는 개별스프링에 주어진 랭크를 부여하였을때 이를 넘거나 또는 낮아질 수 있는 확률이다. 따라서 이 수치를 이용하여 모집단이 존재하는 한계를 추정할 수 있다.

3. Weibull 확률지상의 타점방법

시험결과를 수리통계 학적으로 처리하는 여

러가지가 있으며 그중에서 대표적이 것이 정규분포이다. 이 분포는 잘 알려진 바와 같이 종을 거꾸로 엮어놓은 듯한 형상으로 다음의 2가지 모수(parameter)로 정의할 수 있다.

3-1 평균수명

모집단의 평균수명에 대한 추정치이며, 정규분포의 경우는 평균치, 메디안 및 모우드가 전부 일치한다.

3-2 표준편차

평균치 주위에 데이터가 흩어진 정도를 나타내며 모집단의 분포의 추정에 쓰인다.

정규분포가 여러가지 특징을 갖고 있으며 해석이 쉬운 까닭에 많이 활용되고 있으나 수명분포는 이와다른 특성을 가지고 있으므로 별도의 수학적 해석을 요구하게 되는 것이다.

자동차공업에 있어서 여러가지 수명시험의 해석시 누적고장을 대 내구수명관계를 와이블 확률지상에서 타점하면 직선으로 나타나게 되며 이의 해석이 용이하므로 와이블 확률지를 이용한 수명해석 방법이 널리 쓰인다.

와이블 분포에 있어서 내구수명횡수와 누적고장율과의 관계를 3가지 모수를 갖는 공식으로 나타낼 수 있다.

(1) 최소수명(minimum life)

0 또는 0보다 크며, a 로서 표시한다.

와이블 함수를 확률지위에 타점할때 $a=0$ 인 경우는 직선이 되므로 일반적으로 $a=0$ 을 많이 사용한다.

(2) 와이블 기울기(weibull slope)

분포의 치우침(skewness)을 나타내며 형상모수(shape parameter)라고도 한다. b 로 표시하며 산포를 나타내는 척도이다.

기울기가 적을수록 산포는 크며, 클수록 산포가 적다. 이 기울기는 수명분포를 와이블 확률지상에 타점하여 나타나는 직선의 세로축과 이루는 각도이다.

이때 내구수명을 나타내는 세로눈금(log 눈금)의 100의 거리는 누적고장율을 나타내는 가로축(log-log 눈금)의 2.3-90%의 거리와

같다.

와이블 분포의 경우는 평균치, 메디안 및 모우드가 일치하지 않으나 와이블 기울기의 값이 3.2-3.5인 경우는 와이블 분포가 거의 대칭에 가깝게 된다. 또 와이블 기울기가 3.44인 경우는 거의 정규분포가 일치하게 된다.

와이블 기울기의 값이 3.44 보다 크면 클수록 분포형상이 오른쪽으로 쏠리게 되고, 와이블 기울기가 3.44 보다 적으면 적을수록 분포형상이 왼쪽으로 쏠리게 된다.

이 때 평균치는 각각 메디안의 좌측(메디안보다 적음) 또는 우측(메디안보다 큼)에 있게 된다.

그림 3은 와이블 기울기(형상모수)가 1-12 일때의 모평균 내구수명횟수의 고장율을 나타낸다.

(3) 특성수명(characteristic life)

모집단의 63.2%가 고장이 나는 점이며, 척도모수(scale parameter)라고도 한다. θ 로 표시하며, $63.2 = 100(1-1/e)$ 단, $e=2.7183$ (자연대수의 베이스)이다

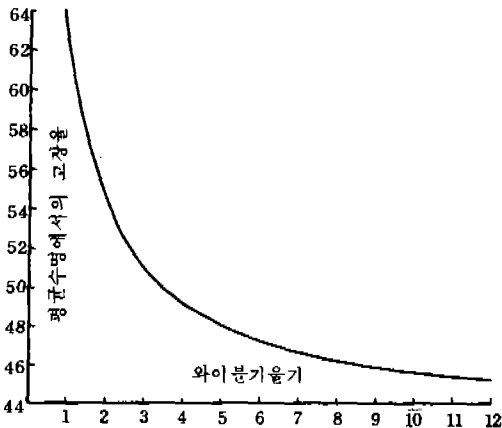


그림 3 와이블기울기 1-12에 대한 평균수명에서의 고장율 곡선

[예제 1] 8개의 스프링을 동일조건 아래서 내구시험을 얻은 시험결과를 크기순으로 정리하고 이에 메디안 랭크(표 1 참조)를 붙여서 다음과 같은 표를 얻었다.

스프링	순서번호	내구수명 (CTF) × 10 ³	메디안랭크
E	1	61	8.30
A	2	91	20.11
F	3	114	32.05
H	4	135	44.02
C	5	155	55.98
B	6	177	67.95
G	7	205	79.89
D	8	245	91.70

이점을 그림 4의 와이블 확률지상에 타점하여 메디안 랭크점을 상하로 이동분하는 근사 직선(line of best fit)을 그으면 모집단의 고장율은 $b=2.4$ 및 $\theta=170,000$ 로 추정된다.

그림 3에서 $b=2.4$ 일때 평균수명에서의 고장율은 52.7%임을 알 수 있다.

이 고장수준에서의 수명은 메디안 랭크선에서 150,000 사이클임을 알 수 있다(그림 4 참조).

B-10 수명수준(모집단의 10%가 고장에 이르는 내구수명)의 값은 메디안 랭크선에서 66,000 사이클임을 알 수 있다.

4. 유의차(significant difference)

대부분의 경우 내구수명 시험을 하는 목적은 서로 다른 샘플의 수명특성을 비교하기 위한 것이며, 확률지 상에서 서로 다른 모집단 간의 수명분포에 대한 정보를 얻어 내기 위한 것이다. 예를들면 설계조건간의 차이, 재질상의 차이 또는 제조공정상의 차이 등을 파악하기 위한 것이다. 2 종류의 샘플에 대한 수명 시험을 하여 메디안선을 그었을 때 수명의 개선효과는 그래프에서 바로 알 수 있다. 그러나 이들간에 유의차(significant difference)가 있는지를 알기 위하여는 개선효과를 양적으로 파악할 필요가 있다.

이때 한정된 수명시험 데이터만으로 전체 모집단이 개선되었다고 주장할 수 있는 신빙성은 어느정도인가?

이에대한 해답은 2메디안선이 떨어져 있는 정도와 2시험간의 샘플의 크기에 따라 결정

된다.

또 우열을 판정하는 신뢰도도 보증레벨에 따라 다르게 된다.

예를들면, B-50 수명(50% 고장수준)에서는 유의하게 개선이 있으나 B-10 수준(10% 고장수준)에서는 전혀 개선이 없는 경우도 가능하다.

이는 와이블 기율기의 차이에서 기인하는 것도 있고 낮은 고장수준이 되면 허용구간의 폭이 넓어지게 되는데에 따른 영향도 있다.

[예제 2] 예제 1의 스프링 설계조건이 새롭게 바뀌어졌다고 한다. 이 신설계의 샘플을 7개시험하여 다음의 결과를 얻었다고 한다.

스프링번호	순서번호	내구수명 × 10 ³	메디안랭크
M	1	132	9.43
O	2	195	22.85
K	3	233	36.41
L	4	275	50.00
P	5	315	63.59
J	6	365	77.15
N	7	440	90.57

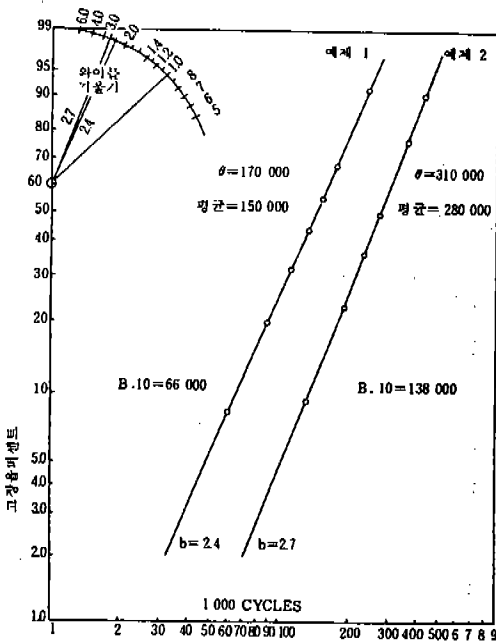
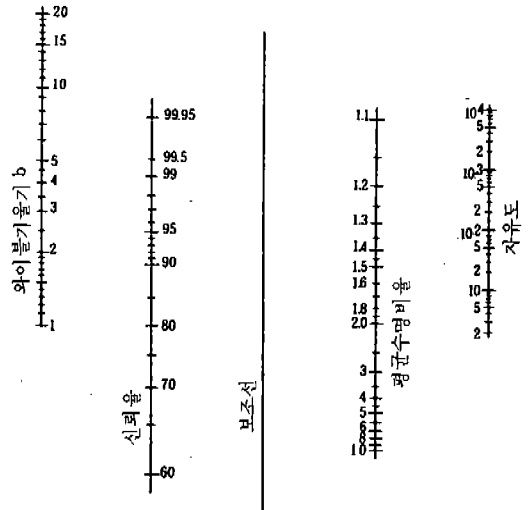


그림 4 메디안 랭크선

이 자료를 그림 4에 그리면 와이블 기율기 $b = 2.7$, 특성수명 $\theta = 310,000$ 임을 알 수 있다. 평균수명수준은 51.8%(그림 3 참조)이므로 평균수명은 280,000 사이클이다. 따라서 B-10 수준의 추정치는 138,000 사이클이다.

예제 1의 평균수명이 150,000 사이클이므로 메디안 랭크선상의 평균수명비는 $280,000 / 150,000 = 1.87$ 이다. 이는 87%의 개선효과 있음을 추정하게 되는 것이다. 이 평균수명비에 대신 신뢰율(confidence number)은 평균수명 계산도표에서 알 수 있다(그림 5).



1. 총 자유도와 와이블 기율기 b 의 값을 연결하고 이직선과 보조선이 만나는 점을 구한다.
2. 이점과 수명비의 점을 연결하는 직선을 연장하여 신뢰율 눈금을 읽어낸다.
3. 와이블 기율기가 다른 경우는 각 기율기마다 위의 방법으로 신뢰율을 구하고 이들의 산술 평균을 구한다.

그림 5 평균수명수준에서의 신뢰율 계산도표

이 계산도표를 사용하기 위하여는 이 두가지 설계조건을 대표하는 샘플간은 자유도(degree of freedom)를 알아야 한다.

자유도는 샘플의 크기가 N 일때 $(N-1)$ 이다. 따라서 $N_1 - 1 = 7$ 및 $N_2 - 1 = 6$ 이므로 총 자유도는 42가 된다.

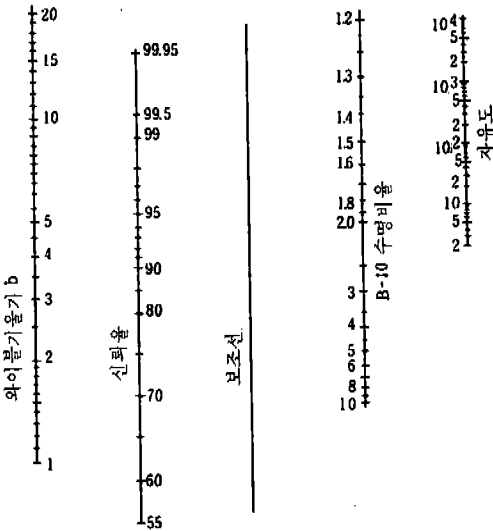
* 주 2 자유도(degree of freedom): 주어진 평균치에 대하여 개별관측치가 이동할 수 있는 정도를 말한다.

예를들어 10개의 샘플을 시험한 경우 평균치를 제외한 나머지 개별데이터가 변위할 수 있는 범위는 평균치의 고정위치를 제외한 나머지 9개 부위가 된다.

계산도표에 의하면 $b = 2.4$ 일때 신뢰율은 98.8%이고, $b = 2.7$ 일때 신뢰율은 99.4%이다. 이들의 평균은 99.1%이며, 이는 평균수명수준에서 신설제가 우수하다고 판정을 하였을 경우 100회 중 99.1%회는 이 판단이 옳다는 사실을 의미하는 것이다.

B-10 수명수준에서의 신뢰율은 B-10 수명수준 계산도표를 이용하여 그린다(그림 6).

예제 1의 B-10 수명은 66,000 사이클이므로



1. 총 자유도와 와이블 기율기 b 의 값을 연결하고 이직선과 보조선이 만나는 점을 구한다.
2. 이점과 수명비의 점을 연결하는 직선을 연장하여 신뢰율 눈금을 읽어낸다.
3. 와이블 기율기가 다른 경우에는 각 기율기마다 위의 방법으로 신뢰율을 구하고 이들의 산술 평균을 구한다.

그림 6 B-10 수명수준에서의 신뢰율 계산도표

로 B-10 수명비는 $138,000/66,000 = 2.10$ 이다. 계산도표에 의하면 $b = 2.4$ 일때 신뢰율은 91.0%이고, $b = 2.7$ 일때 신뢰율은 93.0%이므로 이들은 평균한 평균치는 92.0%이다 따라서 B-10 수명수준에서도 신설제가 92% 우수하다고 할 수 있다.

앞에서설명한 유의차 연구에서 얻은 신뢰율은 개선효과가 어느정도인가를 양적으로 나타낼 수 있다. 개선정도를 수치로서 파악하는 또 다른 방법은 "신뢰율 계산보간법 용지(confidence interpolation graph paper)" 또는 "비율용지(ratio paper)"라고 불리는 계산도표를 이용하여 손쉽게 할 수 있다.

이 용지는 세로축에 신뢰율이 양대수(log-log)의 눈금으로 되어 있으며 가로축은 수명비율로 되어있다(그림 7).

평균수명수준에서의 개선효과를 파악하기 위하여는 매디안 랭크상상의 평균수명비(이 경우에는 1.87임)를 비율용지상의 신뢰수준 50%점에 찍고, 세로축의 1인 점에 신뢰율(이 경우 99.1%)을 찍어 직선으로 연결한다. 다른 신뢰수준에서의 평균수명비의 값은 이 직

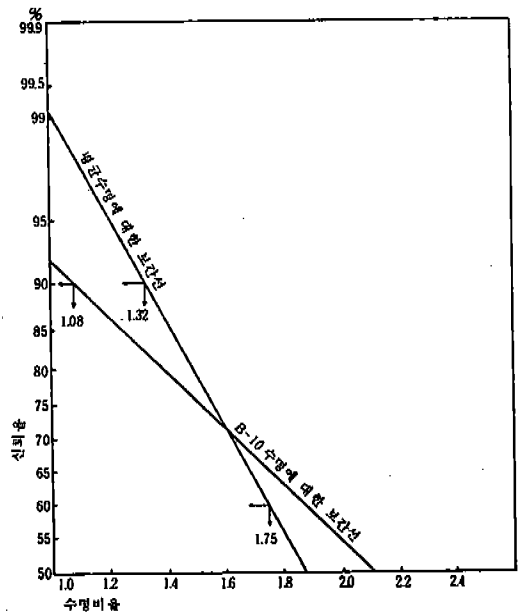


그림 7 보간법에 의한 신뢰율 계산 그래프

선상에서 구한다.

예를들어 60% 신뢰수준에서의 비율은 1.75이며, 이는 75%의 개선효과가 있음을 의미한다. 표준적인 신뢰수준으로 잘 쓰이는 90% 신뢰수준에서의 비율은 1.32이며, 32% 개선효과가 있다고 말할 수 있다(신뢰율 90%).

동일한 방법으로 B-10 수준에서의 개선효과를 파악할 수 있으며 신뢰수준이 동일한 경우는 개선효과는 상대적으로 낮아지게 된다. 이는 낮은 고장수명 수준에서의 신뢰구간 폭이 큰 때문이다. 이 예제에서 신뢰수준 90%에서의 B-10 개선효과는 1.08이며 8%의 개선효과가 있음을 의미한다.

또 이상의 방법을 수명시험에 의한 로트의 합부를 판정하는데에 이용할 수도 있다. 수명의 시험에 의한 로트의 검사방법은 계량수명 시험방법과 계수수명 시험방법의 2가지가 있으나, 계수수명 시험방법은 동일한 합격수준일 경우 시료수가 많고 수명시험 정보의 활용이 나쁘므로 일반적으로 사용하지 않는다.

계량수명 시험을 하는 경우 합격수준별의 샘플수량은 아래와 같다(GM의 기준).

합격수준(conformance level)	샘플의크기
95%	6
98%	12
99%	20

예를들어 예제 1의 스프링의 내구수명의 기준이 50,000 사이클에서 95%의 합격수준을 요구한다면 이 로트는 합격으로 판정한다.

그러나 만일 60,000 사이클에서 95%의 합격수준을 요구한다면 예제 1의 경우는 60,000 사이클에서 8%의 고장을 일으키므로 이 로트는 불합격이 된다. 내구수명의 보증레벨의 표기방법은 Bq 수명을 사용하여 50,000 사이클에서 B-5 또는 60,000 사이클에서 B-2 등으로 표시하기도 한다.

5. 최소수명이 0보다 큰 경우

앞에서 설명한 바와 같이 와이블 확률지상에 타점할 때 최소수명이 0인 것으로 가정하

여 타점하였으며 이때는 직선으로 나타내게 된다.

그러나 만일 최소수명이 0보다 큰 경우는 직선보다 근사곡선이 더 잘 적용된다.

이는 앞에서 설명한 와이블 함수의 장점중의 하나로서 적은시료를 시험하여 얻은 결과라도 근사직선으로 해석할 수 있는 특징의 한 가지이다.

최소수명이 0보다 큰 경우에는 다음과 같은 간단한 방법을 이용하여 근사직선으로 해석이 가능하다.

먼저 샘플의 데이터를 플롯하여 얻은 곡선을 아래쪽으로 연장하여 세로축과 만나는 점을 개략적으로 구하여 최소수명의 추정치 a를 결정한다.

이 값을 샘플의 데이터에서 뺀후 와이블 확률지에 새로이 타점하게 되면 직선으로의 변환이 가능하게 된다. 만일 이 경우에 여전히 곡선이 된다면 최소수명의 추정치가 부정확한 것이다. 만일 근사곡선이 아래쪽으로 휘어지

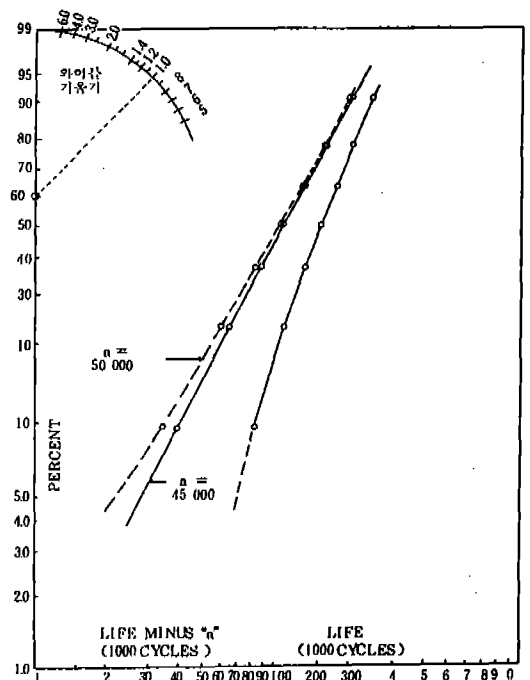


그림 8 최소수명이 0보다 큰 경우의 와이블 플롯

면 최소수명을 너무 적게 추정한 경우이고 윗 쪽으로 휘어지면 너무 크게 추정한 것이다. 이때 2차 또는 3차 추정치를 정하여 직선이 되도록 변환시킨다.

직선상의 수명값을 다른 메디안 랭크선상의 수명값과 비교하기 이전에 변환시에 뺀 a 값을 반드시 더하여 비교하여야 한다.

[예제 3] (그림 8)-7 개의 스프링을 시험하여 아래의 표를 얻었다. 이 점을 타점하여 본 결과 아래쪽으로 휘어진 곡선을 얻었다. 플로트된 곡선을 동일하게 연장하여 $a=50,000$ 사이클 임을 알았다. 이 50,000 사이클을 줄여서 재차 타점한 결과 이번에는 윗쪽으로 휘어지는 커브를 얻었다. 따라서 $a=45,000$ 으로 수정하여 재차 타점한 결과 직선을 얻었다.

부표 1 은 신뢰성데이터의 해석시의 참고자료로서 우리의 주변에서 널리 쓰이고 있는 개별부품의 10^6 시간 또는 10^6 사이클당의 기준 고장을 및 기준의 기대수명에 관한 자료이다. 앞에 설명한 방법을 이용하여 신뢰성 데이터를 해석하고 이 기준과 비교하여 판단 또는 해석을 한다면 보다 유용한 결론을 얻을 수 있을 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. SAE Manual HS J 788-Design & Application Manul on Leaf Spring.
2. Statistical process Control - General Motors Corp.
3. An Analysis of Life Characteristics With Weibull Probability Paper - General Motors Instistute.
4. 鹽見弘, 信賴性工學入門, 1972.
5. 眞壁率, ワイブル確率紙の使い方, 1977.

순서번호	내구수명 $\times 10^3$ CTF	메디안 랭크	$(\text{내구수명} - 50,000) \times 10^3$	$(\text{내구수명} - 45,000) \times 10^3$
1	85	9.43	35	40
2	110	22.85	60	65
3	135	36.41	85	90
4	155	50.00	105	110
5	180	63.59	130	135
6	210	77.15	160	165
7	250	90.59	200	205

부표 1 Earles의 부품고장을 및 기대수명의 표

(Proc. 9th Nat'l Symp. on Rel & QC, 1963. 11. 3. 1 참조)

부 품 명	기준의 고장율 / 10^6 시간			기준의 기대수명 10^6 시간		
	하 한	평 균	상 한	하 한	평 균	상 한
Accelerometers	0.35	2.8	21.4	0.02cy	0.1cy	0.5cy
Accumulators	0.35	7.2	19.3	0.002cy	0.009cy	0.01cy
Ammeters		0.29			1.0cy	
Antennas	0.2	0.36	3.52	0.00004	0.008	0.04
Batteries, Chargeable	0.5	1.4	14.29	0.00003cy	0.002cy	0.005cy
Batteries, Dry		60cy		0.0008	0.12	0.16
Bearings	0.02	0.5	5.5			
Bearings, Ball	0.02	0.65	2.22	0.0005	0.006	0.016
Bellows	0.09	2.237	6.1	0.001cy	0.01cy	0.1cy
Belts, Drive		3.6				
Blowers	0.342	2.4	3.57	0.001	0.004	0.008
Brake Assemblics	0.94	2.1	8.38		0.02	
Bulbs, Temperature	0.05	1.0	3.3			
Buzzers	0.05	0.6	1.3	0.01cy	0.1cy	1.0cy
Cables	0.002	0.475	2.20			
Cams	0.001	0.002	0.004	0.1cy	1.0cy	100cy
Cameras, Slit				0.005	0.001	0.002
Capacitors	0.001	0.1	2.385	0.002	0.015	0.06
Capacitors, Ceramic	0.042	0.15	1.64	0.002	0.016	0.02
Capacitors, Electrolytic	0.003	0.035	0.513	0.004	0.01	0.012
Capacitors, Mica	0.005	0.075	0.132	0.0025	0.015	0.02
Capacitors, Oil-Filled	0.12	0.3	1.95	0.003	0.015	0.06
Capacitors, Paper	0.003	0.05	0.29	0.0025	0.01	0.016
Capacitors, Tantalum	0.103	0.6	1.934	0.002	0.012	0.02
Capacitors, Tantalum Solid	0.001	0.165	0.50	0.002	0.003	0.004
Carburetors		3.14				
Chokes	0.056	1.45	4.75			
Clutches	0.04	0.06	1.1		0.019	
Coils	0.008	0.05	0.33			
Commutators		3.81		0.001	0.006	0.01
Connectors, Coaxial	0.001p	0.003p	0.198p	0.00005cy	0.001cy	0.0005cy
Counters	3.5	4.2	5.25	0.1cy	0.3cy	0.6cy
Crystals	0.04	0.1	0.14	0.01	0.04	0.08
Cylinders	0.005	0.007	0.81			
Diodes	0.16	0.2	1.47		0.2	

부 품 명	기준의 고장율 / 10 ⁶ 시간			기준의 기대수명 10 ⁶ 시간		
	하 한	평 균	상 한	하 한	평 균	상 한
Drive Belt	0.142	3.875	15.0		0.002	
Fans, Exhaust	0.21	0.225	9.0			
Fuses	0.001	0.5	2.75			
Gages, Pressure	0.135	4.0	7.8	0.001cy	0.1cy	10.0cy
Gages, Strain	1.01	11.6	15.0			
Gears	0.002	0.12	0.98	0.1cy	1.0cy	10.0cy
Gear-Boxes	0.051	0.63	4.3			
Generators, A.C.	11.0	15.0	18.82			
Generators, D.C.	2.84	12.4	21.00	0.002	0.006	0.02
Heaters, Electric		7.64				
Horses	0.05	2.0	5.22			
Indutors	0.001	0.02	1.018			
Insulators	0.03	0.05	1.54			
Jacks	0.002	0.01	0.02		0.001cy	
Joints, Hydraulic	0.012	0.03	2.01			
Joints, Mechanical	0.04	0.02	1.96	0.0025cy	0.1cy	1.0cy
Lamps	0.1	0.625	8.0	0.000005	0.02	0.025
Lamps, Incandescent	0.1	0.64	1.18		0.01	
Lamps, Neon Glow	0.019	0.10	1.52		0.03	
Magnets	2.02	5.65	7.11			
Meters	0.005	0.025	5.77			
Motors	0.101	4.500	19.0	0.002	0.007	0.02
Pistons, Hydraulic	0.08	0.2	0.35	0.01cy	0.05cy	0.1cy
Potentiometers	0.018	3.0	15.9	0.0025	0.02	0.03
Pumps	1.12	3.5	4.90	0.00003	0.005	0.2
Pumps, Vacuum	1.12	9.0	16.1			
Rectifiers	0.26	0.6	1.6	0.003	0.021	0.04
Regulators	0.7	2.14	5.54	0.005	0.001	0.04
Relays, Armature Type	0.11cs	0.3cs	0.5cs		0.003cy	
Relays, Thermal	0.12cs	0.4cs	1.0cs	0.02cy	0.2cy	0.25cy
Resistors	0.001	0.159	1.00			
Resistors, Carbon	0.005	0.045	0.888	0.012	0.015	0.05
Resistors, Composition	0.005	0.043	0.297	0.011	0.014	0.04
Resistors, Film	0.011	0.03	0.058	0.0135	0.0145	0.06
Resistors, W. W.	0.042	0.087	0.197	0.011	0.014	0.05
Seals, Sliding	0.11	0.3	0.92			
Sensors, Pressure	1.7	3.5	6.6	0.01cy	0.35cy	1.0cy
Sensors, Temperature	1.5	3.3	6.4		0.01	
Servos	1.1	2.0	3.4	0.02	0.04	0.605
Shafts	0.15	0.35	0.62			