機械部品 壽命의 統計的 處理

權 寧 皓
<韓國綜合機械(株) 附設硏究所 次長>

1. 머리 말

일반적으로 어떤 제품이 손상 또는 고장이 일어나는 고장률(故障率)은 사용시간에 대해 그림 1과 같이 나타난다고 한다. 어떤 장비나 부품의 사용 초기에는 절연불량, 불량부품, 결합불량 등의 제작과정에서의 결함 때문에 비교적 많은 고장이 발생하게 된다. 이 초기(初期) 고장기간(Ⅰ)에서 표준 이하로 열화(劣化)된 제품이 고장이 나고 이것이 도태되면 안정되어 우발(偶發) 고장기간(Ⅱ)으로 진행된다. 이 기간에서의 고장은 우연히 지배되는 요인에 의해서 발생하기 때문에 고장률은 거의 일정하게 된다. 또 장기간 사용하게 되면 고장률은 다시 증가하여 마멸(摩滅) 고장기간(Ⅲ)에 이른다. 즉 제품은 마멸 또는 이에 유사한 기구(機構)에 의해 고장이 나고 고장률은 점점 증가한다.

각종 기계류에서 가장 중요한 구름베어링을 예로 들면 고장으로는 후레이킹(flaking), 갈라짐, 마멸, 부식, 과열, 타붙음, 토오크(torque) 과대 이음(異音), 소음(騷音)이 큰 것, 진동(振動)이 큰 것, 정도열화(精度劣化), 전식(電食) 등 많은 형태가 있으나 이들 중에는 베어링의 사용방법 및 보수가 적절하지 않아서 일어나는 경우가 많다. 가령 큰 설치 오차에 의한 조기(早期) 후레이킹이나 타붙음, 베어링 설치시의 압흔(壓痕)에 의한 조기 후레이킹, 예압(豫壓), 틈새, 끼워맞춤이 부적당하여 일어나는 발열(發熱) 타붙음 및 조기 후레이킹, 윤활제의 종류나 점도(粘度) 선정의 부적절 혹은 보수교환의 부적당에서 오는 마멸 또는 타붙음, 먼지 이물의 침입방지책이 불완전하여 일어나는 마멸, 부식 및 조기 후레이킹 등등을 열거할 수 있다. 이같은 고장은 주로 그림 (Ⅰ),(Ⅱ)의 영역에 속할 것이다. 그러나 베어링을 바르게 사용하고 적절한 보수를 행함으로서 베어링의 고장률은 특히 (Ⅰ),(Ⅱ)영역의 고장률은 상당히 감소하고 고장의 대부분이 (Ⅲ)영역에 속하게 될 것이다. (그림 1의 점선). 이 경우에 존재하는 고장은 구름 피로에 따른 후레이킹이다. 즉 피로수명은 아무리 올바른 베어링을 올바르게 사용한다해도 언젠가는 도달하는 구름면의 피로박리(疲勞剝離)에 의한 수명이며 협의(狹義)로 이것을 수명이라 부른다. 실제로 베어링의 수명은 궤도륜(軌道輪) 혹은 전동체(轉動體) 중 어느 쪽인가의 피로에 의한 재료의 손상이 일어날 때까지 회전한 총 회전수 또는 시간으로 정의된다.

이하에 베어링을 예로 하여 수명의 성질을 고찰한다.

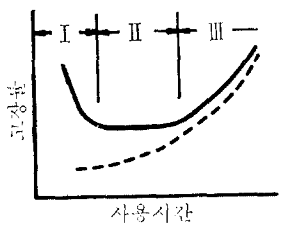

그림 1 사용시간과 고장율

2. 수명의 통계적 처리(이론)

2.1 수명의 산포

수명을 정확히 예측하고 제어하는 것은 현재 지극히 곤란한 것으로 이것은 매우 산포가 큰 양(量)이며 확률사상으로서 파악하기가 쉽지 않다. 표 1은 20개의 보올베어링(#6204)을 수명시험하여 얻은 데이터이며 이것을 그림 2에 나타내었다.

이와같이 20개 정도의 시험에서도 수명의 최대치와 최소치 사이에는 약 6.6배의 차이를 보인다. 이같은 산포는 수명에 관계되는 설계, 재료, 제조, 설치, 하중, 운전, 보수 등의 제 인자의 수와 복합성에 기인된다.

표 1 보올베어링 수명시험결과(#6204)

시험순서	회전수($\times 10^6$)	시험순서	회전수($\times 10^6$)
1	39.6	11	40.9
2	16.0	12	13.6
3	25.5	13	17.3
4	39.2	14	44.5
5	30.2	15	28.5
6	41.5	16	35.0
7	34.0	17	25.5
8	46.0	18	27.5
9	29.1	19	16.0
10	25.9	20	6.96

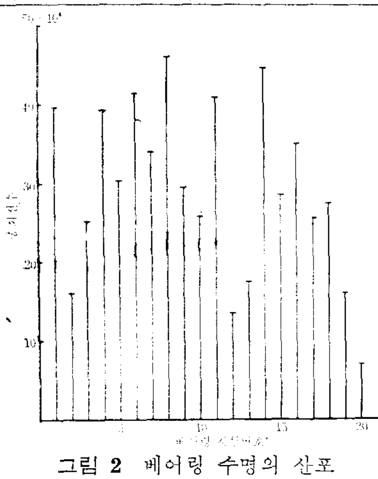

그림 2 베어링 수명의 산포

2.2 순위(順位)의 개념

많은 양(量)의 샘플(sample)을 구할 수 있을 때에는 샘플로부터 모집단의 분포를 추정하는 방법으로 데이터를 분석하여 도수분포도를 구한다. 그러나 대부분의 공학적인 문제들을 분석해야 하는 상황에서는 많은 양(量)의 샘플을 얻을 수 없는 경우가 많다. 그러므로 이런 경우에 도수분포도를 그린다면 분류구분을 얼마로 정하는가에 따라 분포도의 형태 자체가 크게 변하게 된다. 그러므로 이런 상황에서는 누적확률 분포도가 쓰이게 된다. 즉 횡좌표로는 관측치를 갖고 종좌표로는 이들 관측치의 순위를 갖는 점들을 찍어 곡선으로 연결하는 것이다.

만약 5개의 샘플을 취하여 측정을 하고 이 측정치들을 크기 순서로 작은 것에서부터 정렬한다면 첫번째(최소치) 측정치의 순위는 1/5(20%), 두번째 측정치의 순위는 2/5(40%) 등등이 될 것이라고 일견 생각될 것이다. 이것은 전모집단의 20%는 샘플 5개 중에 첫번째(최소) 측정치 보다도 작은 값을 갖게 된다는 말이다. 이것이 정말인지 아닌지를 알기 위해서는 통계적인 방법에 의해서 "전모집단의 몇 %가 샘플 5개 중에 첫번째 측정치 보다도 작은 값을 갖게 되는가를 추정할 필요가 있다.

예를 들어 2,000개의 유리구슬로 이루어진 모집단이 있을 때 각 유리구슬의 직경에 대한 확률 밀도함수가 그림 3 과 같을 때 여기서 5개의 샘플을 랜덤하게 뽑는다고 하자, 이렇게 뽑혀진 샘플들의 직경을 측정하여 측정치가 기록된다.

5개의 유리구슬로 이루어진 첫번째 샘플에서 최소치는 그림 3의 A와 같은 값을 가질 수 있

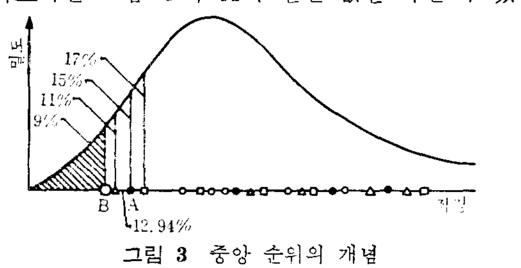

그림 3 중앙 순위의 개념

표 2 중앙순위표

席次	샘플 數 n 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	.5000	.2929	.2063	.1591	.1294	.1091	.0943	.0830	.0741	.0670
2		.7071	.5000	.3864	.3147	.2655	.2295	.2021	.1806	.1632
3			.7937	.6136	.5000	.4218	.3648	.3213	.2871	.2594
4				.8409	.6853	.5782	.5000	.4404	.3935	.3557
5					.8706	.7345	.6352	.5596	.5000	.4519
6						.8909	.7705	.6787	.6065	.5481
7							.9057	.7979	.7129	.6443
8								.9170	.8194	.7406
9									.9259	.8368
10										.9330

席次	샘플 數 n 11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	.0611	.0561	.0519	.0483	.0452	.0424	.0400	.0378	.0358	.0341
2	.1489	.1368	.1266	.1178	.1101	.1034	.0975	.0922	.0874	.0831
3	.2366	.2175	.2013	.1873	.1751	.1644	.1550	.1465	.1390	.1322
4	.3244	.2982	.2760	.2568	.2401	.2254	.2125	.2009	.1905	.1812
5	.4122	.3789	.3506	.3263	.3051	.2865	.2700	.2553	.2421	.2302
6	.5000	.4596	.4253	.3958	.3700	.3475	.3275	.3097	.2937	.2793
7	.5878	.5404	.5000	.4653	.4350	.4085	.3850	.3641	.3453	.3283
8	.6756	.6211	.5747	.5347	.5000	.4695	.4425	.4184	.3968	.3774
9	.7634	.7018	.6494	.6042	.5650	.5305	.5000	.4728	.4484	.4264
10	.8511	.7825	.7240	.6737	.6300	.5915	.5575	.5272	.5000	.4755
11	.9389	.8632	.7987	.7432	.6949	.6525	.6150	.5816	.5516	.5245
12		.9439	.8734	.8127	.7599	.7135	.6725	.6359	.6032	.5736
13			.9481	.8822	.8249	.7746	.7300	.6903	.6547	.6226
14				.9517	.8899	.8356	.7875	.7447	.7063	.6717
15					.9548	.8966	.8450	.7991	.7579	.7207
16						.9576	.9025	.8535	.8095	.7698
17							.9600	.9078	.8610	.8188
18								.9622	.9126	.8678
19									.9642	.9169
20										.9659

고 총 2,000개의 유리구슬의 직경을 전부 측정한 결과 300개가 A보다 작다고 하자. 다시 말하면 모집단의 15%가 A보다 작다는 말이다. 먼저의 샘플을 다시 집어넣고 잘 섞어서 5개의 유리구슬로 이루어진 두번째 샘플을 뽑았을 때는 측정치의 최소치가 그림 3의 B와 같은 값을 가질 수 있고 총 2,000개의 유리구슬의 직경을 전부 측정한 결과 180개가 B보다 작다고 하면 모집단의 9%가 B보다 작다는 말이다.

이런 샘플링 실험을 1,000번 가량 한다면 샘플 5개중의 최소치보다도 작은 모집단의 % 수치가 1,000개가 발생될 것이며 이들 1,000개의

% 수치들 중에 500개는 12.94%보다도 작고 나머지 500개는 12.94%보다 크다면 (즉 이들 1,000개의 % 수치들의 중앙치가 12.94%라면) 이 12.94%가 바로 정확한 "샘플 5개중의 최소치의 중앙순위"로 사용된다. 그림 3에는 샘플 5개 중의 최소치의 중앙순위인 12.94%가 표시되어 있다.

비슷한 방법으로 5개의 샘플 중에 두번째로 큰 것, 세번째……최대치 들에 대한 중앙순위도 구할 수 있다. 여러 종류의 샘플 수 n과 측정치 석차에 대한 중앙순위가 표 2에 나와 있다. 그러므로 예를 들면 샘플수 $n=5$일 때 최소치의 중앙순위는 12.94%, 두번째로 큰 것의 중앙순위는 31.47% 등등이다. 누적분포함수 곡선을 얻기 위해서는 이 중앙순위 들을 그래프 상에 찍어 나가면 된다.

만약 중앙순위표가 없거나 필요한 샘플 수가 빠졌을 경우에는 다음 공식을 사용하여 중앙순위의 근사치를 구할 수 있다.

$$\text{중앙}(50\%)\text{순위} = \frac{\text{측정치 석차} - 0.3}{\text{샘플수} + 0.4}$$

또한 중앙순위 대신에 평균순위를 사용할 수도 있겠으나 중앙순위 만큼 많이 쓰이지는 않는다.

2.3 Weibull 분포

일반적으로 어떤 통계실험을 계획할 때 당면하게 되는 가장 중요한 문제는 검사 데이터들이 어떤 분포를 따를 것인가를 추정하는 것이다. 그러나 실제로 실험계획을 하여 검사 데이터가 나오기 전에 실험을 계획하는 단계에서는 어떤 분포를 가정할 수 있는가를 확실하게 정할 수 있는 어떤 지침이라는 것이 없다. 이런 경우에 어떤 특수한 이유가 없다면 우선 처음 시도로서 검사 데이터가 Weibull 분포를 따른다고 가정할 수 있다.

이 Weibull 분포가 다른 함수보다도 공학적인 문제에 훨씬 유용하고 또 많이 쓰이는 이유는 바로 Weibull 분포를 갖는 확률변수의 데이터들을 Weibull 확률용지에 찍어보면 직선으로 나타난다는데에 있다. 특수한 좌표척도를 갖는 그래프 용지가 필요하지만 단순히 그래프만 가지고도 파라미터(parameter) 값들을 결정할 수 있고 많은 문제들의 해를 구할 수가 있다.

Weibull 분포의 공학적인 가장 중요한 용도는 수명현상이나 신뢰도 분석을 할때이다. 일반적으로 지수(指數) 분포가 조립체나 시스템의 수명을 표사하는데 적당하다면 Weibull 분포는 부속품의 수명을 표사하기에 적당하다.

(1) 확률밀도함수

Weibull 분포의 확률밀도함수는

$$f(t)=\lambda\beta t^{\beta-1}e^{-\lambda t^{\beta}}\ ;\ t\geq 0 \qquad (1)$$

로 주어진다. 여기에 나오는 2개의 파라미터는 보통 실험적으로 결정되는데

t : 시간 또는 회전수

λ : 스케일 파라미터(scale parameter)

β : Weibull 기울기(Weibull slope)

라 한다. 몇가지 Weibull 기울기에 대한 밀도함수가 그림 4에 나타나 있다.

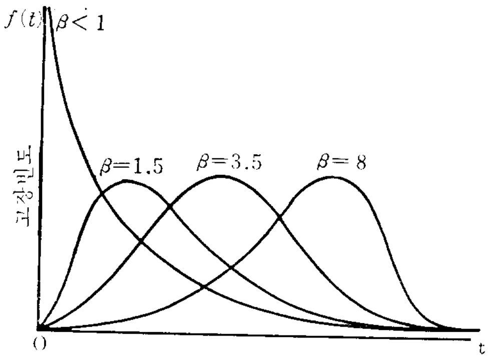

그림 4 Weibull 분포의 확률밀도 함수

누적분포함수는

$$F(t)=\int_0^t \lambda\beta x^{\beta-1}e^{-\lambda x^{\beta}}dx \qquad (2)$$

로 된다. 여기서 $x^{\beta}=y$라 하면 $\frac{dy}{dx}=\beta x^{\beta-1}$ 또는 $\beta x^{\beta-1}dx=dy$이므로

$$F(t)=\int_{y_0}^{y_t}\lambda e^{-\lambda y}dy$$

$$=\left[-e^{-\lambda y}\right]_{y_0}^{y_t}=\left[-e^{-\lambda x^{\beta}}\right]_0^t$$

$$=1-e^{-\lambda t^{\beta}} \qquad (3)$$

(2) Weibull 확률용지

Weibull 분포의 누적확률분포를 직선으로 나타내는 Weibull 확률용지를 만들기 위해서 위의 식 (3)을 다시 쓰면 $1-F(t)=e^{-\lambda t^\beta}$이고 역수를 취하면

$$\frac{1}{1-F(t)}=e^{\lambda t^\beta}$$

이며 자연대수를 두번 계속 취하면

$$\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]=\lambda t^\beta$$

$$\ln\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]=\ln\lambda+\beta\ln t \quad (4)$$

이다. 여기서

$$Y=\ln\ \ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]$$

$$X=\ln t \qquad A=\ln\lambda$$

라 하면 식 (4)는 $Y=A+\beta X$ 라는 직선의 방정식이 된다. 그러므로 $\ln\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]$와 $\ln t$를 그래프 상에 찍어보아도 β의 기울기를 갖는 직선이 될 것이다. 그러나 t_i의 대수와 또 $\ln\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]$을 일일이 취하여 용지 상에 점을 찍는 수고를 피하기 위하여 특별한 용도를 갖는 확률용지가 고안되었다. 이 확률용지는 Weibull 확률용지타 불리우며 이 용지의 횡축은 대수적인 축척을 가지고 있고 종축은 $F(t)$를 $\ln\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]$로 변환한 축척을 가지고 있다.

만약 Weibull 분포를 갖는 확률변수 T의 누적분포함수 $F(t)$를 이 확률용지에 찍으면 β의 기울기를 갖는 직선이 될 것이다. Weibull 확률용지의 표본 하나를 그림 5에 나타낸다. 그림 5에 기울기가 다른 여러개의 직선을 그려보아도 알 수 있듯이 기울기 β는 제품의 균일성을 나타내는 척도이다. 즉 β가 크면 밀도함수가 뾰족해짐과 동시에 모든 제품의 특성(예를 들면 수명)이 비슷한 것을 나타낸다.

(3) 파라미터 추정

Weibull 분포를 갖는 확률변수와 그 누적분포함수를 Weibull 확률용지에 찍으면 β의 기울기를 갖는 직선이 되므로 β를 추정하기 위해서는 확률용지 상의 직선의 기울기를 구하면 된다.

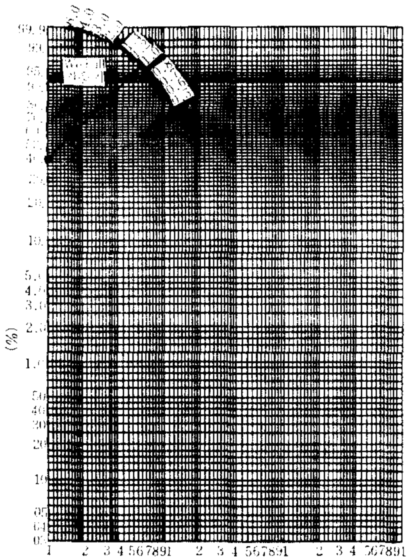

그림 5 Weibull 확률용지

그림 5에 있는 확률용지에 β의 추정을 용이하게 하기 위하여 기울기 척도가 나와 있다. 이 척도를 사용하는 방법은 확률용지의 종축 상의 40%에 있는 표적을 지나서 누적분포함수(직선)에 평행한 직선을 그어 기울기 척도와 만나는 점의 눈금을 읽으면 된다.

스케일 파라미터 λ는 50%(중앙)수명($T_{50\%}$)으로부터 구할 수 있다. 여기서 50%수명 혹은 중앙수명이란 모집단의 50%가 고장이 날 수명이다. 다시 말하면 모집단의 50%는 $T_{50\%}$이전에 고장이나고 모집단의 나머지 50%는 $T_{50\%}$ 이후에 고장이 날 그런 수명이다. 일반적으로 모집단의 p%가 고장날 수명을 T_p 수명이라 정의한다.

$T_{50\%}$까지는 모집단의 50%가 고장이 날 것이므로

$$F(T_{50\%})=\frac{1}{2}$$

이고 식 (3)으로부터

$$1-e^{-\lambda(T_{50\%})^\beta}=\frac{1}{2}$$

혹은

$$1-\frac{1}{2}=\frac{1}{2}=1/e^{\lambda(T_{50\%})^\beta}$$

역수를 취한 후 대수를 취하면

$$\ln 2 = \lambda (T_{50\%})^{\beta}$$

그러므로

$$\lambda = \frac{\ln 2}{(T_{50\%})^{\beta}} = \frac{0.69315}{(T_{50\%})^{\beta}} \qquad (5)$$

이다.

3. 수명의 통계적 처리(실례)

#6204 보올베어링 20개를 래디얼 하중 6,000 kg을 주고 시험기에 걸어 후레이킹이 발생(고장날 때)하기 까지의 수명을 측정한 결과 표 1과 같은 데이터를 얻었다.

3.1 보조표 작성

샘플의 수명을 증가하는 순서로 정렬하고 표 2로 부터 $n=20$일 때의 중앙순위를 구하여 정리하면 표 3과 같이 된다. 참고로 5% 순위와 95% 순위를 부기한다.

표 3 정렬된 수명 데이터와 중앙순위, 5%순위, 95%순위

파손순서	회 전 수 ($\times 10^6$)	중앙순위 (%)	5%순위 (%)	95%순위 (%)
1	6.96	3.41	0.26	13.91
2	13.6	8.31	1.83	21.82
3	16	13.22	4.29	28.62
4	16	18.12	7.25	34.75
5	17.3	23.02	10.51	40.36
6	25.5	27.93	13.96	45.56
7	25.5	32.83	17.85	50.68
8	25.9	37.74	21.83	56.66
9	27.5	42.64	25.87	60.43
10	28.5	47.55	30.29	65.31
11	29.1	52.45	34.69	69.71
12	30.2	57.36	39.57	74.13
13	34	62.26	44.34	78.17
14	35	67.17	49.32	82.15
15	39.2	72.02	54.44	86.04
16	39.6	76.98	59.64	89.49
17	40.9	81.88	65.25	92.75
18	41.5	86.78	71.38	95.71
19	44.5	91.69	78.18	98.17
20	46	96.59	86.09	99.74

3.2 Weibull 분포도 작성

이 데이터의 수명을 횡좌표, 중앙순위를 종좌표로 갖는 점들을 Weibull 확률 용지에 찍으면 그림 6과 같다.

3.3 Weibull 기울기 계산

Weibull 기울기를 구하는 방법으로 누적분포함수를 구하고 누적분포함수에 평행한 직선을 확률용지의 종축상의 40%에 있는 표적을 지나는 직선을 그어 기울기 척도와 만나는 점의 눈금을 읽으면 되나 좀더 자세히 관찰하기 위해서 최소자승법(最小自乘法)으로 회귀분석(regression)을 하여 직선을 맞추고 기울기를 구할 수 있다.

회귀분석을 용이하게 하기 위해서 조표를 표 4와 같이 작성한다.

Weibull 기울기 β는 직선 $\hat{y}=\hat{\alpha}+\hat{\beta}x$를 최소제곱 회귀직선으로 놓으면

$$\hat{\beta} = \frac{S_{(xy)}}{S_{(xx)}} = \frac{\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)/n}{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2/n}$$

$$= 2.446$$

여기서 $S_{(xy)}$와 $S_{(xx)}$는 각각 $\sum (x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$, $\sum (x_i-\bar{x})^2$를 나타낸다.

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta}\bar{x}$$

$$= -8.571$$

그러므로 최소제곱 회귀직선은

$$\hat{y} = -8.571 + 2.446x$$

따라서 Weibull 기울기 $\beta=2.446$을 얻을 수 있으며 그림 6에 직선을 그려 넣을 수 있다.

참고로 분산분석 및 결정계수를 계산해보면

$S_{(yy)} = S_{y \cdot x} + S_R$ 에서

$$S_{(yy)} = 26.1086$$

$$S_R = [S_{(xy)}]^2 / S_{(xx)}$$

$$= 25.7986$$

$$S_{x \cdot y} = S_{(yy)} - S_R$$

$$= 0.31$$

따라서 분산분석표를 작성하면 표 5와 같다. 여기서 S_R, $S_{(yy)}$, $S_{y \cdot x}$는 각각 회귀변동, 총변동, 잔차변동을 나타낸다.

표 5의 결과로부터 구한 회귀직선은 유의수준 1%로 유의하다고 할 수 있다.

표 4 회귀분석을 위한 보조표

파손순서	회 전 수 ($\times 10^6$)	중앙순위 (%)	x (ln)	$y(\ln\ln\frac{1}{1-F(t)})$	x^2	xy	y^2
1	6.96	3.41	1.94	−3.36	3.76	−6.52	11.29
2	13.6	8.31	2.61	−2.44	6.81	−6.38	5.95
3	16	13.22	2.77	−1.95	7.69	−5.41	3.80
4	16.0	18.12	2.77	−1.61	7.69	−4.46	2.59
5	17.3	23.02	2.85	−1.34	8.13	−3.82	1.80
6	25.5	27.93	3.24	−1.12	10.49	−3.62	1.25
7	25.5	32.83	3.24	−0.92	10.49	−2.99	0.85
8	25.9	37.74	3.25	−0.75	10.59	−2.43	0.56
9	27.5	42.64	3.31	−0.59	10.98	−1.94	0.35
10	28.5	47.55	3.35	−0.44	11.22	−1.47	0.19
11	29.1	52.45	3.37	−0.30	11.36	−1. 0	0.09
12	30.2	57.36	3.41	−0.16	11.61	−0.54	0.03
13	34	62.26	3.53	−0.03	12.44	−0.09	0.00
14	35	67.17	3.56	0.11	12.64	0.38	0.01
15	39.2	72.02	3.67	0.24	13.46	0.89	0.06
16	39.6	76.98	3.68	0.38	13.53	1.41	0.14
17	40.9	81.88	3.71	0.54	13.77	1.99	0.29
18	41.5	86.78	3.73	0.70	13.88	2.63	0.49
19	44.5	91.69	3.80	0.91	14.41	3.46	0.83
20	46	96.59	3.83	1.22	14.66	4.66	1.49
합 계			65.52	−10.91	219.61	−25.25	32.06

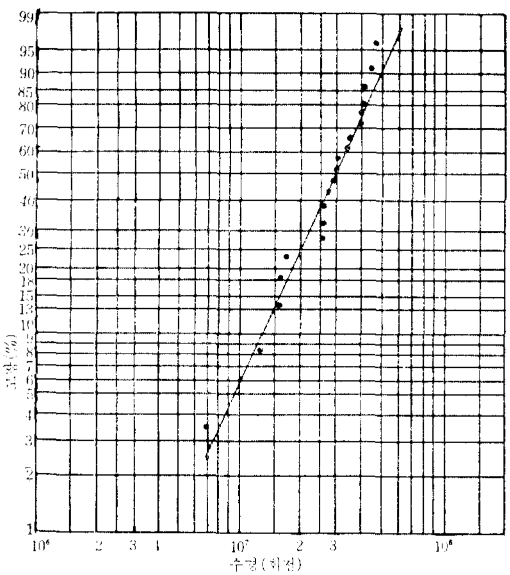

그림 6 베어링수명의 누적분포도(I)

또 결정계수 (r^2)는

$$r^2=\frac{S_R}{S_{(yy)}}$$
$$=0.988$$

임으로 총변동 중에서 회귀직선에 의하여 설명되는 부분은 98.8%로서 기여율이 아주 양호하다.

표 5 분산 분석표

요 인	S	ϕ	V	F_0	F (0.01)
회 귀	25.7986	1	25.7986	** 1499.9186	8.29
잔 차	0.31	18	0.0172		
계	26.1086	19			

3.4 스케일 파라미터, $T_{50\%}$, $T_{10\%}$

$T_{50\%}$은 회귀직선으로부터 계산할 수 있다.

표 6 감마함수표

n	$\Gamma(n)$	n	$\Gamma(n)$	n	$\Gamma(n)$	n	$\Gamma(n)$
1.00	1.00000	1.25	.90640	1.50	.88623	1.75	.91906
1.01	.99433	1.26	.90440	1.51	.88659	1.76	.92137
1.02	.98884	1.27	.90250	1.52	.88704	1.77	.92376
1.03	.98355	1.28	.90072	1.53	.88757	1.78	.92623
1.04	.97844	1.29	.89904	1.54	.88818	1.79	.92877
1.05	.97350	1.30	.89747	1.55	.88887	1.80	.93138
1.06	.96874	1.31	.89600	1.56	.88964	1.81	.93408
1.07	.96415	1.32	.89464	1.57	.89049	1.82	.93685
1.08	.95973	1.33	.89338	1.58	.89142	1.83	.93969
1.09	.95546	1.34	.89222	1.59	.89243	1.84	.94261
1.10	.95135	1.35	.89115	1.60	.89352	1.85	.94561
1.11	.94739	1.36	.89018	1.61	.89468	1.86	.94869
1.12	.94359	1.37	.88931	1.62	.89592	1.87	.95184
1.13	.93993	1.38	.88854	1.63	.89724	1.88	.95507
1.14	.93642	1.39	.88785	1.64	.89864	1.89	.95838
1.15	.93304	1.40	.88726	1.65	.90012	1.90	.96177
1.16	.92980	1.41	.88676	1.66	.90167	1.91	.96523
1.17	.92670	1.42	.88636	1.67	.90330	1.92	.96878
1.18	.92373	1.43	.88604	1.68	.90500	1.93	.97240
1.19	.92088	1.44	.88580	1.69	.90678	1.94	.97610
1.20	.91817	1.45	.88565	1.70	.90864	1.95	.97988
1.21	.91558	1.46	.88560	1.71	.91057	1.96	.98374
1.22	.91311	1.47	.88563	1.72	.91258	1.97	.98768
1.23	.91075	1.48	.88575	1.73	.91466	1.98	.99171
1.24	.90852	1.49	.88595	1.74	.91683	1.99	.99581
						2.00	1.00000

$$\Gamma(n)=\int_0^\infty e^{-x}x^{n-1}dx$$

$$\Gamma(n+1)=n\Gamma(n) \qquad \Gamma(1)=1$$

$$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)=\sqrt{\pi}$$

$$\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)=\left(\frac{n}{2}-1\right)!=\begin{cases}\left(\frac{n}{2}-1\right)\left(\frac{n}{2}-2\right)\cdots(3)\cdot(2)\cdot(1)\ ;\ \text{짝수 } n>2\\ \left(\frac{n}{2}-1\right)\left(\frac{n}{2}-2\right)\cdots\left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\sqrt{\pi}\ ;\ \text{홀수 } n>2\end{cases}$$

$$\hat{y}=\ln\ln\frac{1}{1-F(t)}$$

$$=-8.571+2.446\,x$$

$$T_{50\%}=e^x$$

$$=28.62$$

$\therefore$ $T_{50\%}$ 는 28.62×10^6 회전

λ 는 식 (5)에서

$$\lambda=\frac{\ln 2}{(28.62\times10^6)^{2.446}}$$

$$=3.998\times10^{-19}$$

위와 같은 방법으로 하면 $T_{10\%}$는 13.25×10^6 회전이 나온다.

3.5 기대수명과 분산

수명 T의 기대치와 분산을 구해보면 다음과 같다.

$$E(T)=\lambda^{\frac{1}{\beta}}\Gamma\left(\frac{1}{\beta}+1\right)$$

$$=2.949\times10^{7}\text{ 회전}$$

$$V(T)=\Gamma\left(1+\frac{2}{\beta}\right)-\Gamma^{2}\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$$

$$=0.14986$$

3.6 90% 신뢰구간

표 3에서 회전수와 5%, 95%순위를 대응시켜 회귀직선을 구하면 그림 7과 같다.

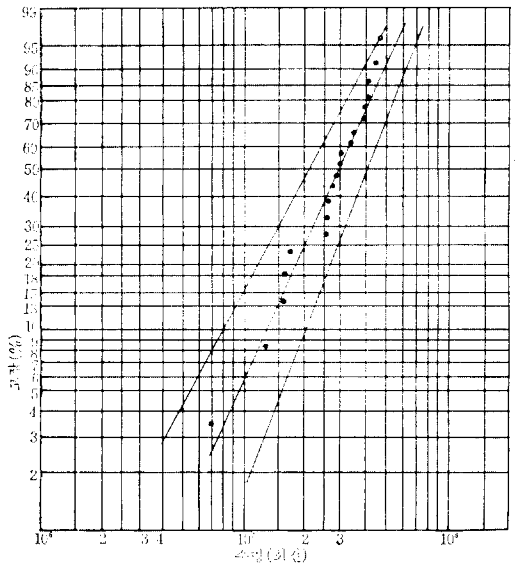

그림 7 베어링수명의 누적분포도(Ⅱ)

그러므로 그림 7 또는 계산에 의거 $T_{50\%}$의 90% 신뢰구간은

2.121×10^{7} 회전 $\leq T_{50\%}\leq 3.535\times10^{7}$ 회전

이고 $T_{10\%}$의 90% 신뢰구간은

0.785×10^{7} 회전 $\leq T_{10\%}\leq 2.019\times10^{7}$ 회전

임을 알 수 있다.

3.7 통계처리 결과 요약

이상과 같이 분석한 결과를 표 7에 나타낸다. 이 결과를 가지고 계산치 또는 목표치와 비교한다던가 또 이러한 방식으로 두 그룹의 수명을 비교한다던가 하는 것은 실험의 목적에 따라 진행시키면 된다.

표 7 수명시험결과 분석 요약표

구 분	수명 분석 결과
수명의 누적분포도	그림 6
수명의 90%신뢰구간도	그림 7
Weibull 기울기 (β)	2.446
스케일 파라미터 (λ)	3.998×10^{-19}
기대수명 [$E(T)$]	2.949×10^{7} 회전
분산 [$V(T)$]	0.14986
50% 수명 ($T_{50\%}$)	2.862×10^{7} 회전
50% 수명의 90% 신뢰구간	$2.121\times10^{7}\sim3.535\times10^{7}$ 회전
10%수명 ($T_{10\%}$)	1.325×10^{7} 회전
10%수명의 90%신뢰구간	$0.785\times10^{7}\sim2.019\times10^{7}$ 회전

4. 맺음 말

앞에서 부품의 특성(수명)에 대해서 그 통계적 처리방법을 알아보았다. 어떤 장비나 부품의 신뢰성은 주어진 운용조건에서 의도하는 사용기간 중에 의도한 목적에 만족스럽게 작동할 확률로서 기계, 전기, 산업공학 등의 여러 전문분야의 지식이 필요하다. 또한 주어진 환경에서 장비설계 및 인간공학적인 제 원칙을 종합하여 최소한의 비용으로 시스템(system)의 가용도(可用度)를 높이며 부품 수명의 정확한 추정을 통해 현재 상태를 파악하여 기술수준을 올려야 하는 것이 우리의 과제일 것이다.

참 고 문 헌

(1) 韓國綜合機械(株) : 구름베어링工學, 1985

(2) 朴景洙 : 信頼度工學 및 整備理論, 塔出版社, 1982