

에어컨 서비스데이터 신뢰도분석[†]

윤원영¹ · 성문현² · 정석주¹

¹부산대학교 산업공학과 · 기계기술연구소 / ²LG전자

Reliability Analysis of Air-conditioner with Service Data

Won-Young Yun · Mun-Hyun Sung · Seock-Joo Choung

This paper presents a method for reliability analysis of the air-conditioner with service data. We explain how to acquire and analyze the service data and some problems in data analysis. We propose two procedures to analyze reliability of air-conditioner using operating time concept and predict the operating times by temperature and failure frequency. Finally, the prediction method for future service is studied by numerical example.

1. 서론

그 동안 가전사업 전체를 이끌어 왔던 냉장고, TV, 세탁기 등은 이제 성장기를 지나, 성숙기 또는 쇠퇴기로 접어들어 대체 수요의 확보 내지 기존 시장의 쟁탈에 치열한 반면, 에어컨은 소득수준의 향상과 함께 그 수요가 증가, 새로운 가전사업의 중심위치에 자리잡아가고 있다. 이렇게 앞으로의 가전사업을 주도해 나갈 에어컨의 안정적인 시장점유(Market share)확보를 위해서는 이미 과거 가격중심의 제품선호에서 품질위주의 제품선택이라는 변화된 고객의 구매패턴에 맞추어 신뢰성 있는 제품을 확보하는 것이 늘어가는 신규수요를 지속적으로 확보해 나가는 데 결정적 요인이 된다. 계절적 사용 특이성을 지닌 에어컨의 고신뢰성을 확보해 나가는 것이 필요한 만큼, 이러한 신뢰성을 파악하기 위해서는 무엇보다도 시장의 고장데이터를 제대로 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다고 볼 수 있다.

제품의 신뢰성파악을 위해 실험실에서 수행되는 수명시험이나 가속수명시험은 실제로 제품이 사용되는 환경과 다른 여건에서 시험될 가능성이 크고 특히 수명시험시간을 단축하기 위하여 실제 사용조건보다 더 열악한 조건에서 수행하는 것이

보통이므로 얻어진 데이터들은 사용현장에서의 제품수명에 대한 정보를 왜곡하여 나타낼 수 있다. 따라서 이러한 위험을 줄이고 제품의 사용현장에서 실제적 의미의 수명에 대한 올바른 정보를 얻어내기 위하여 사용현장에서 얻어진 수명데이터 즉, 사용현장 데이터를 얻고 이를 분석하는 방법들을 연구하는 것은 중요한 일이다.

현재까지의 사용환경에서 얻어진 고장데이터의 분석에 관한 기존연구로는 Hahn과 Meeker[5], Lawless[8], Suzuki[9, 10], Kabfleish와 Lawless[6, 7] 등이 있다. 이들 중에서 Suzuki [9, 10]는 보증기간이 달력시간(Calendar time)인 경우 사용환경에서 얻어지는 제품의 고장시간과 총 시험제품 중 일정비율을 추적조사(Follow-up)하여 얻어진 보증기간 동안 제품의 가동시간(Operating time)을 이용하여 제품의 수명을 추정하는 문제를 다루었고, Kabfleish와 Lawless [6]는 제품의 수명에 영향을 주는 제조특성, 환경특성 등과 같은 설명변수(Covariate)가 존재할 때 사용환경에서 보증기간 동안 얻어지는 고장데이터와 사용환경에 있는 총 시험제품 중 고장이 발생하지 않은 제품의 일정비율을 추적조사하여 얻어진 설명변수에 대한 데이터를 이용하여 수명분포를 추정하였다. 배도선, 최인수, 황용근[12]에서

[†]본연구는 부산대학교 기성회재원 학술연구 조성비에 의한 연구임.

는 Kalbfleish와 Lawless[6]의 연구를 확장하여 고장원인이 다수인 제품의 사용현장 데이터분석에 대해 연구했으며 배도선, 윤형제, 최인수[11]에서는 배도선 등[12]의 논문을 수리가능한 제품의 경우로 확장하였다.

본 논문의 2절에서는 현장에서 이용되는 에어컨시장 고장 데이터의 성격과 특징 그리고 현장에서 사용되고 있는 신뢰성 분석방법을 설명한다. 3절에서는 가동시간을 이용하여 분석하는 방법을 제안하고자 하며 4절에서는 미래의 고장을 예측하는 방법을 예시를 통해 보여 준다.

2. 고장데이터의 수집과 분석

2.1 고장데이터 수집

고장데이터의 수집은 <그림 1>과 같이 판매 이후 고객의 사용단계에서 고객 불만사항의 발생시 서비스기사가 서비스를 실시하고 그 처리결과를 실시간(Real time)으로 공장에 피드백함으로써 얻어지게 된다. 이러한 서비스데이터는 매일 서비스 실시 다음 날에 그 전날의 처리결과를 공장에 송부하며 또한 매일 말 그 달의 총 서비스정보를 정리하여 송부되어지게 된다.

2.2 현장고장 서비스데이터의 구성

고객의 클레임을 접수받아 이루어지는 A/S 처리시 서비스기사는 서비스기록표를 작성하게 된다. 이러한 서비스기록표는 전산으로 데이터관리를 실시하게 되는데 기록표에 기입되는 정보로는 제조일련번호(생산제번), 제품명(모델명), 서비스 처리일자, 고장코드(현상 및 원인), 서비스실시 주관처(서비스센터명 및 해당 서비스기사명), 교환부품 및 사용내역 등이 포함된다.

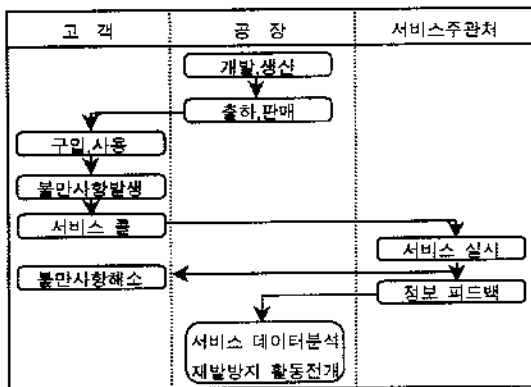


그림 1. 고장서비스 데이터 수집경로.

터명 및 해당 서비스기사명), 교환부품 및 사용내역 등이 포함된다.

2.3 에어컨의 고장분류

에어컨의 고장을 유발하는 대표적인 몇 가지 증상을 살펴보면 다음과 같다. 운전이 전혀 안 되는 경우 사용미숙이나 제품불량으로 나누어지며 물이 새는 경우는 제품불량과 설치불량으로 나누어진다. 찬바람이 나오지 않는 경우 실내기가 정상일때 콤프레서의 불량이거나 실외팬 동작불량이 원인이며 또는 실외기가 정상일 때 실내팬의 동작불량이거나 냉매누설의 경우이다. 소음이 나는 경우는 제품의 불량인 원인이다.

2.4 고장데이터의 분석

지금까지 축적된 고장데이터를 각 판매월단위로 구분하고 고장건수를 누적하여 가로축을 판매월, 세로축을 서비스월로 하면 <그림 2>와 같은 형태로 누적되어진다. <그림 2>와 같이 얻어진 고장데이터는 각 판매년도별 사용년수에 따라 고장의 유형 파악 등 신뢰성과 관련한 정보로써 이들의 활용이 요

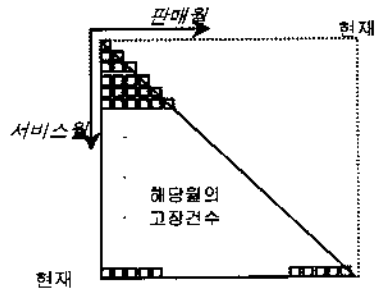


그림 2. 고장데이터의 누적형성.

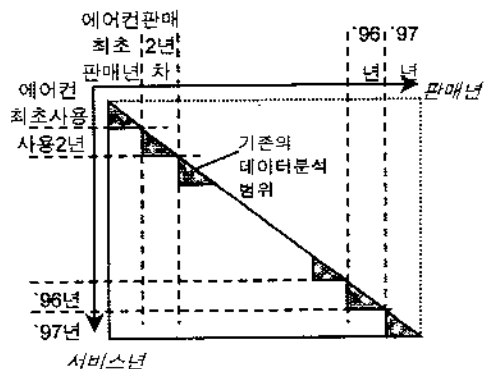


그림 3. 기존의 시장품질 데이터 분석범위.

구되나 지금까지는 <그림 3>과 같이 판매년도에만 해당하는 고장데이터를 분석하여 품질관리에 집중해 왔다. 즉, 가동시간이 1년인 데이터만으로 분석을 해 왔고 가동시간이 2년 이상인 데이터는 매출액의 3~4%를 차지하는 엄청난 서비스비용의 80~90%를 쏟아부을 뿐 시간적인 개념을 고려한 고장률 현황관리와 계절성분석 등 적절한 해석과 활용이 미흡한 것이 현실이다.

2.5 고장률계산법

논문에서 얻어지는 데이터가 한달 동안의 고장건수이기 때문에 구간고장률을 사용한다. 구간고장률은 t 월 한 달 동안에 고장날 확률을 나타내며 또한 본 논문에서는 수리가능한 제품의 경우이므로 고장시 계속해서 수리되므로 총 제품수 N_0 는 일정하며 구간은 1개월을 기준으로 하므로 구간고장률의 추정식은 다음과 같다.

$$h(t) = \frac{n(t)}{N_0}$$

여기서 $n(t)$ 는 t 월 한 달 동안의 고장건수를 나타낸다. <그림 4>는 '94년 제품을 고장률 추정방법에 따라 $h(t)$ 를 구한 것이다. 생산은 3, 4, 5월에 집중되고 사용은 여름철 7,

8월에 집중되므로 어떠한 고장분포에도 적합하지 않고 계절성이 나타난다.

3. 고장률계산에 대한 연구

3.1 사용성수기 위주의 고장률계산

계절성 제품은 생산시점에 따라 사용기간별 고장의 의미가 다르다. 즉, 여름철에 생산한 제품은 즉각 고객이 사용하여 사용 1개월, 2개월의 시점의 의미가 충분히 있으나 비수기 생산품은 상대적으로 그렇지 못하다. 따라서 5, 6, 7, 8월의 생산품을 제외한 나머지 월의 생산품의 사용월을 변경하여 고장률을 구한 것이 <그림 5>이며 이것도 또한 계절성을 보였다.

극단적으로 이러한 계절성요인을 없애기 위하여 7, 8월 발생데이터만 남기고, 나머지 데이터는 없는 것으로 가정하여 데이터를 조정하면 전체적으로 가동시간에 따라 감소하는 경향은 나타났으나, 전체데이터 중 일부를 없앤다는 문제와 가동시간에 있어 비사용기간도 신뢰성분석시 필요한 기간일 수 있어 이 부분이 고려되지 않았을 시에는 곤란한 상황이 될 수

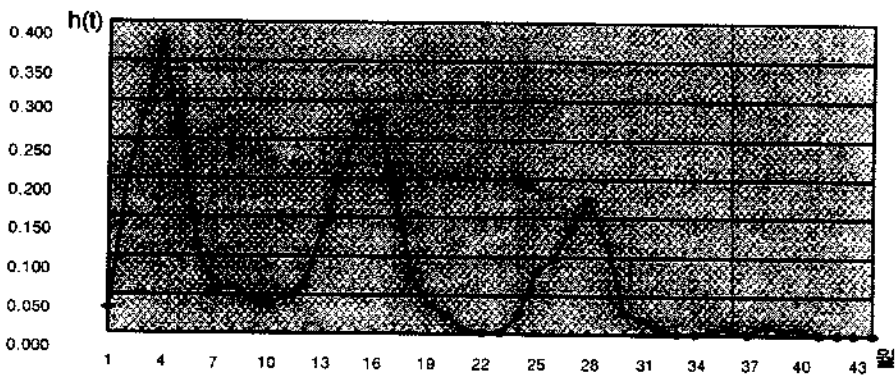


그림 4. '94년품 전체데이터의 구간고장률 형태.

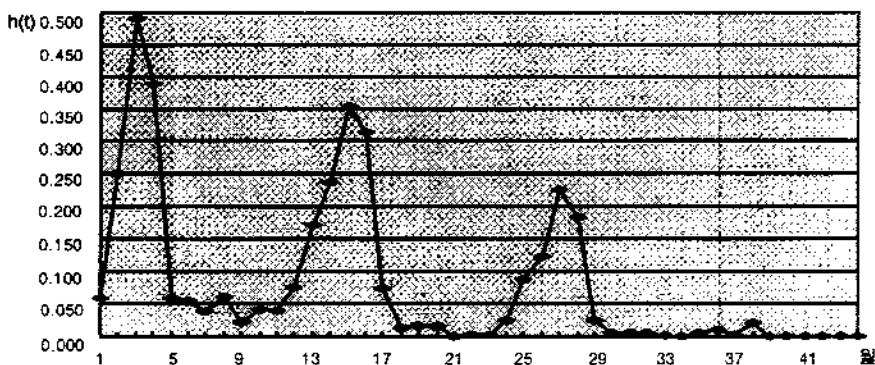


그림 5. '94년품의 사용성수기 위주의 구간고장률의 형태.

있다. 예를 들어 모터의 경우, 사용시보다 오히려 방치되었을 때 고장메카니즘에 있어 베어링의 부식 등은 진전될 수 있는 상황이 일반적이기 때문이다.

3.2 고장전수를 이용한 가동시간에 대한 고장률 계산

에어컨 서비스데이터는 정확하게 어느 고장분포를 따른다고 할 수 없다. 따라서 원래 데이터를 그대로 두고 계절성을 고려한 가중값을 각 월별로 부여하여 신뢰도분석을 할 수 있을 것이다. 지금까지는 각 생산월별에 의한 동일한 1개월씩 가동시간을 할당하여 계산하였으나 실질적으로 계절성제품이므로 여름철 7, 8월의 집중을 제외하고는 나머지 월들은 가동시간이 상대적으로 적어지므로 이것은 고려할 필요가 있다. 따라서 고장시간의 개념을 똑같이 1개월로 두지 않고 7, 8월의 서비스건수의 평균을 가중값 1로 두고, 나머지 월은 7, 8월보다 덜 사용하거나 거의 사용하지 않게 되므로 가중값을 상대적으로 적게 둔다. 즉, 이것은 고장시간의 개념을 일반적인 달력시간에 고정시키지 않고 계절성을 고려하는 것이다. <표 1>

은 '93년 11월부터 '96년 10월까지의 36개월간의 데이터를 발생월별로 분류하여 월별 가중값을 해당월의 서비스 발생건수 기준으로 주었다.

고장전수를 기준으로 한 가중값을 이용하여 가동시간을 기준으로 '94년 4월 출하된 제품의 구간고장률을 분석해 보면 <그림 6>과 같다. 이러한 분석의 문제점은 월별 가중값의 부여시 월별 출하된 제품의 가동시간이 엄연히 다름에도 일괄적으로 서비스 발생월별로 분석한 것과 <그림 6>에서 가동시간에 대해 살펴보면 구간고장률이 갑자기 급증하는 부분이 12월에 발생한 것으로 신뢰도해석에 큰 오류가 될 수 있다. 4월에서 9월 간에 실제 현실적으로 타당한 에어컨 사용시점이라고 할 때 4월~9월을 제외한 나머지 월의 미세한 서비스건은 특이한 고객의 사용환경(이사에 의한 이전설치 서비스 등)하에서 무작위로 발생하므로 신뢰도분석시 제외하는 것이 타당하다. 그 경우에는 <그림 6>과 같이 급증하는 부위는 사라지고 완전한 형태가 될 것이다.

계절성제품의 고장률을 계산하기 위해서 <표 1>에서 정립한 가동시간의 개념으로 환산하는 것이 필요하다. 따라서 가동 1개월은 <그림 7>과 같이 된다. 즉, 93년 11월에 판매된 제품의 그

표 1. 고장전수를 이용한 가동시간 개념정립도

발생월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
서비스 건수	17	21	15	38	115	246	892	887	143	66	55	20	2,515
가중값	0.019	0.024	0.017	0.043	0.129	0.277	1	1	0.161	0.074	0.062	0.022	-
가동 시간	0.57	0.71	0.51	1.29	3.87	8.31	30	30	4.83	2.22	1.86	0.66	84.84

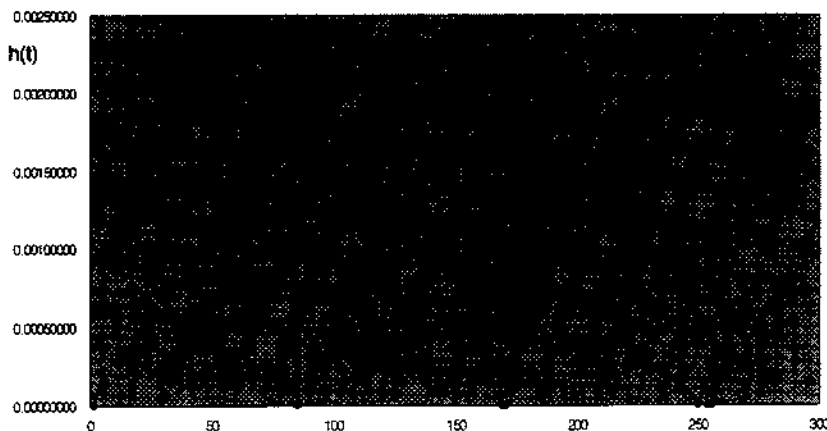


그림 6. '94년 4월 제번의 구간고장률의 형태.

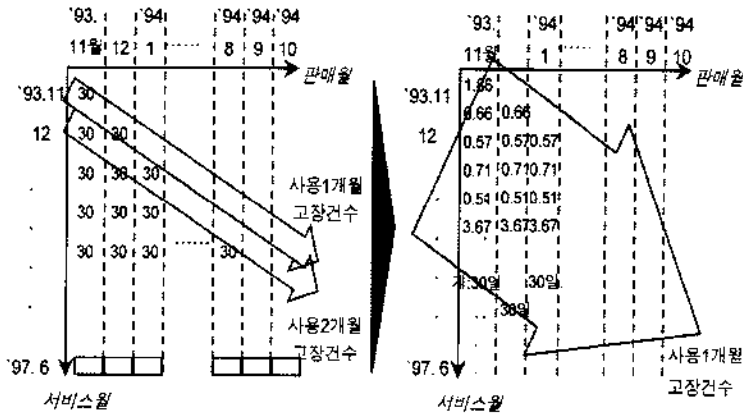


그림 7. 가동시간의 개념변경.

달 가동시간은 <표 1>의 11월에 해당하는 1.86일로 간주한다. 가동시간을 30일까지 누적하여 가동 1개월로 고려한다.

표 2. 최근 3년간 전국 4대 도시의 온도가 25℃ 이상되는 일수

3.3 온도를 이용한 가동시간에 대한 고장률계산

온도와 가동시간과의 관계가 밀접하다고 가정하여 가동시간을 산출할 수 있다. '94년부터 '96년까지의 3개년 전국 주요 4대 도시(서울/대구/광주/부산)에 대한 온도데이터로부터 기준 온도 이상될 때 에어컨을 사용한다는 가정하에 월별 기준온도 이상되는 일수를 산출하여 이들을 각 월의 가동시간으로 간주한다. 이러한 결과를 바탕으로 여기서 '94, '95, '96년별로 제품의 전체데이터를 분석하기 위해 우선 온도변수를 가중값으로 하여 각 월별 산정한 가동시간을 기준으로 데이터를 조정해야 한다. 그것은 <그림 7>과 같이 가동시간의 개념을 바꾸는 것이 필요하다. 일반적인 에어컨을 사용온도인 25℃를 기준으로 분석하고 26℃와 24℃를 기준으로 분석한다.

평균	4월	5월	6월	7월	8월	9월	계
서울	2.33	10.67	23.67	27.67	28.67	19.67	112.67
대구	7.67	19.67	21.67	25.00	27.67	26.33	128.00
광주	4.33	13.33	21.67	28.33	30.33	22.33	120.33
부산	0.33	4.67	10.33	25.00	29.67	22.67	92.67
평균	3.67	12.0	19.33	26.50	29.08	22.75	113.42

1) 기준온도가 25℃일 때의 고장데이터 분석
25℃를 기준온도로 하여 가동시간을 구하면 <표 2>와 같이 나타난다.

사용하여 분석하였으므로 육조곡선의 초기고장과 우발고장을 나타내고 있다.

<표 3>은 변경개념에 따라 각 출하제번별 가동시간을 조정하고 가동시간별 고장건수를 재분배한 예이다.

2) 기준온도가 26℃일 때의 고장데이터 분석
25℃ 이상을 기준하여 분석한 것과 같은 방법으로 26℃를 기준온도로 하여 온도가 그 이상되는 일수를 에어컨 가동시간이라 하면 4월~9월 간의 월별 가동시간은 <표 5>와 같다. 이렇게 정한 가동시간을 기준으로 '94년품의 분석결과는 <그림 9>와 같다.

이와 같은 개념으로 94년부터 96년까지의 전체에 대한 구간고장률에 대한 분석결과를 정리한 결과는 <표 4>, <그림 8>과 같다.

3) 기준온도가 24℃일 때의 고장데이터 분석
동일한 방법으로 24℃ 이상을 기준으로 하여 온도가 그 이상되는 일수를 추출하여 그 일수를 역시 에어컨 가동시간이라 규정하면 4월~9월 간의 월별 가동시간은 <표 6>과 같다. 이렇게 정한 가동시간을 기준으로 '94년품의 분석결과는 <그림 10>과 같다.

<그림 8>을 살펴보면 고장률이 감소하는 형태로 나타났다. 이와 같은 현상은 현장에서 에어컨의 수명을 7 내지 8년으로 보는 데 비해 본 연구에서는 3년 동안의 고장데이터만을

3.4 가동시간에 대한 고장률계산의 비

표 3. 가동시간 개념변경에 따른 고장건수 재분배예시 (단위 : 건, 일)

서비스월	4	5	6	7	8	9	비고		
가동시간	4	12	19	27	29	23	계:114일		
1개월 단위로 나누었을 때	사용1개월		6.5일	5일	5.5일			28.5일 = 1개월로 설정	
			사용 2개월	사용 3개월	사용 4월				
고장건수	8	22	50	200	250	40			
가동시간 제조정	100%	100%	78%	22%	82%	18%	81%	19%	100%
고장건수 배분	8	22	39	11	22	5	23	6	23

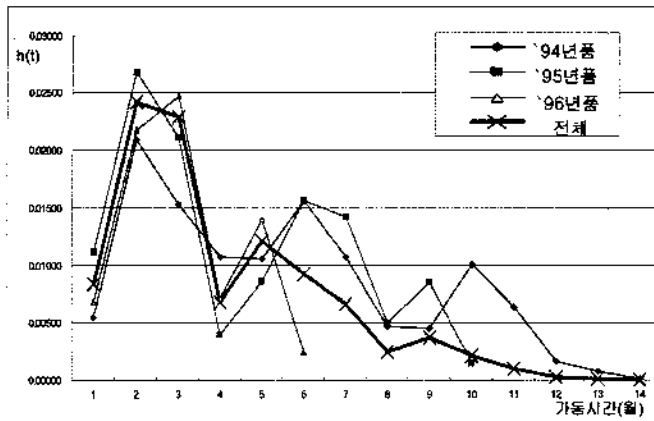


그림 8. '94년 ~'96년 3개년 전체 구간고장률의 형태.

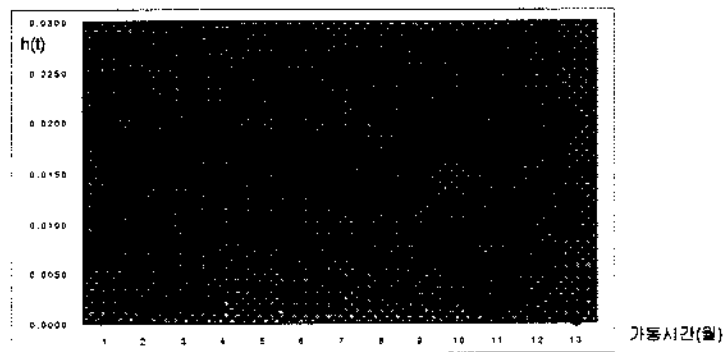


그림 9. 26°C 기준의 구간고장률 형태.

표 5. 최근 3년간 전국 4대 도시의 온도 26°C 이상되는 일수

발생월	4	5	6	7	8	9	계
가동시간	3	9	17	26	29	19	103

가동시간이라는 개념은 신뢰도 분석에 있어 가장 중요한 요인 중의 하나이므로 가동시간의 개념을 현실적인 상황을 최대한 고려하면서 객관적으로 그 개념을 정립해야만 보다 정확한 에어컨 신뢰도분석이 가능할 것이다. 따라서 지금까지의 결과를 정리하면

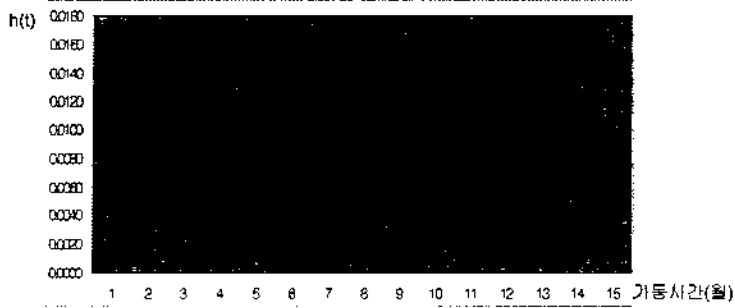


그림 10. 24℃기준의 구간고장률 형태.

1) 고장건수를 이용한 가동시간에 대한 고장률계산

월별 고장건수는 통상 사용성수기인 7~8월에 집중되기 때문에 이러한 7~8월을 기준으로 나머지월들의 고장건수를 7~8월의 고장건수와의 비를 계산, 이를 가중값으로써 활용한 것으로 1년간의 가동시간이 2개월 25일이 산출되었다.

2) 온도를 이용한 가동시간에 대한 고장률계산

결국 에어컨은 하절기온도가 높은 경우 에어컨을 사용한다는 것은 상식적인 것이지만 이것을 좀더 정량화하고 명확화하기 위해 24℃에서 26℃까지 3가지 온도를 기준으로 분석한 결과, 기준온도를 얼마로 하느냐에 따라 가동시간이 약간의 차이가 발생할 뿐, 고장률형태는 비슷한 결과가 나왔다. 그러나 25℃를 기준온도로 하여 분석한 결과는 24℃나 26℃를 기준온도로 설정했을 때보다 구간고장률의 형태가 완만하여 분석에 더 적합하다고 판단된다.

따라서 1)의 경우, 집계방식의 오류 등 기본개념에 위배되므로 큰 의미가 없다고 할 수 있으며 2)의 경우에는 에어컨의 가동시간과 사용온도와는 분명한 관계가 있다는 가정으로부터 출발한 것이므로 타당성이 있으며, 또한 24℃~26℃의 기준시 가동시간이 103일~126일로 대략 4개월 정도가 되어, 연간 가동시간을 4개월로 하는 통상의 제품수명시험과 대략 일치하는 결과를 얻었다. 그러나 현재로써는 사용경과시간이 불과 3년 정도이므로 기본적으로 데이터가 부족하다고 볼 수 있어 앞으로 이를 제대로 활용하기 위해서는 발생하는 데이터를 지속 축적해 가며, 수시로 검증하는 노력을 기울여야 한다.

표 6. 최근 3년간 전국 4대 도시의 온도가 26℃ 이상되는 일수

발생월	4	5	6	7	8	9	계
가동시간	5	15	23	28	29	26	126

4. 고장예측

1) 고장률함수

지금까지 4월~9월의 온도를 고려하여 고장시점을 가동시간으로 변환시켜 분석하였다. 이제 지금까지의 분석결과로 미래의 고장을 예측해 볼 수 있다. 즉, 다음달의 날씨를 예측하여 25℃ 이상인 일수를 추정하여 지금까지의 $h(t)$ 추이그래프를 이용하여 t_1 시점에서 t_2 시점까지의 서비스건수를 다음과 같이 예측해 볼 수 있다.

$$E[n] = N_0 \times \int_1^2 h(t) dt$$

여기서 N_0 는 총제품수, $h(t)$ 는 구간고장률을 나타낸다.

2) 예제

3년간의 전체 고장률패턴으로부터 미래의 고장률 및 고장건수를 예측할 수 있다. 예를 들어 '97년 7월 1일을 현재시점이라고 하고, '97년 4월에 출하된 제품들 중에서 7월 한 달 동안의 발생할 고장을 예측한다. '97년 6월까지의 고장데이터가 아래의 표와 같이 주어지고 7월의 날씨가 기준온도인 25℃ 이상인 일수가 20일이 될 것이라고 예측된다면 현재부터 7월까지의 누적고장률 $H(t)$, 7월말 시점의 구간고장률 $h(t)$ 와 7월에 발생할 고장건수를 구할 수 있다.

(N=10,000대)

구 분	4월	5월	6월	계
가동시간	3.67일	12.08일	19.33일	35일
고장건수	0건	38건	83건	

앞서 얻은 3년간의 전체 고장률패턴을 이용하여 6월까지 35일(1.167개월) 사용경과 이후 7월의 25℃ 이상인 일수 20일을 추가하면 56일(1.833개월)이 된다. <그림 11>에서 우선 두 점 A, B로부터 직선식 $h(t) = 0.016 t - 0.008$ 를 구하면 $t_1 = 1.167$ 일때

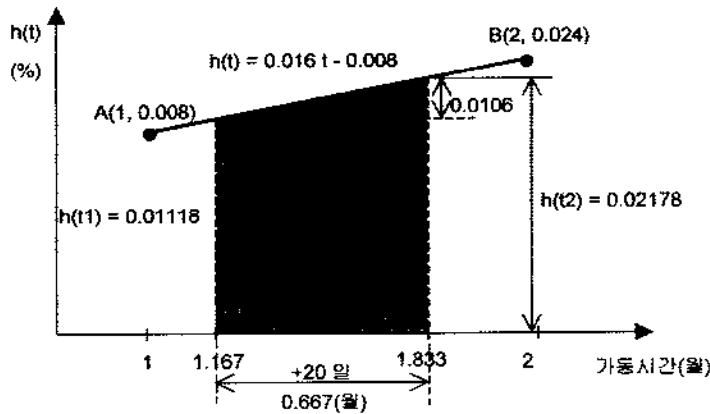


그림 11. 36일 ~56일 사이의 구간고장률 예측.

$h(t_1) = 0.010672$, $t_2 = 1.833$ 일때 $h(t_2) = 0.021328$ 을 구할 수 있다. 이때 전체면적이 $H(t)$ 가 됨을 알 수 있다.

$$H(t) = 0.010672$$

따라서 7월 동안 기대되는 고장건수는

$$0.010672 \times 10000 = 106.72 \text{ (건)}$$

이러한 결과를 볼 때, 앞서 얻은 3년간의 전체 고장률패턴을 이용하여 해당구간별 직선방정식만 찾아내고 향후의 날씨에 대한 예측정보만 주어진다면 어떠한 시점의 고장률 및 고장건수의 예측이 가능해진다는 사실을 알 수 있다. 또한 예시처럼 특정시점에 출하된 제품의 경우가 아닌 지금까지의 총 출하대수를 대상으로 하여 전체 고장건수를 예측하는 것도 가능하다.

5. 결론

에어컨은 하절기제품이어서 여름철에 한시적으로 사용되므로 계절적 특이성이 항상 존재하게 된다. 이러한 계절적 특이성을 보다 객관적인 관점에서 고려하고자 온도를 중심으로 가동시간을 새롭게 정의하였고 그에 따라 새로운 고장률의 패턴을 찾아 보았다. 이러한 고장패턴을 이용하여 미래의 날씨정보를 예측한다면 그것으로부터 사용일수를 추정하고 미래의 고장률 및 고장건수를 예측하는 데 활용할 수 있다.

가동시간의 새로운 개념정립 이후 검토된 에어컨 고장률의 패턴은 지금까지의 과거 3년의 고장데이터에 기초를 두었다. 이것은 불과 사용 3년간의 데이터이기 때문에 일반적인 고장률형태인 육조곡선이 완전하게 나타나지 않았고 대체로 초기 고장 이후 감소하는 패턴만이 발생되었기에 마모고장시점의 고장경향은 나타나지 않았다. 따라서, 고장서비스 데이터를 지속적으로 축적해 나감으로써 마모고장시

점의 고장형태도 파악함은 물론 새로이 추가되는 초기 고장시점의 데이터도 고장패턴에 반영하고 지속적으로 수정하고 보완해 나감으로써 보다 정확하고 유용한 신뢰성정보로써 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 배도선, 윤형제, 최인수, "수리가능한 제품의 사용현장 데이터 분석," *응용통계연구*, 제8권, 제2호, pp. 133-145, 1995.
2. 배도선, 최인수, 황용근, "고장원인이 여러인 제품의 사용현장 데이터 분석," *응용통계연구*, 제8권, 제1호, pp. 89-104, 1995.
3. Blischke, W. R. and Murthy D. N. P., *Product Warranty Handbook*, Marcel Dekker, New York, 1996.
4. Dhananjay, K. and Bengt, K., "Proportional hazards model : a Review," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 44, pp. 177-188, 1996.
5. Dhananjay, K. and Bengt, K., "Proportional hazards model an application to power supply cable of electric mine loaders," *International Journal of Reliability Quality and Safety Engineering*, Vol. 1, No. 3, pp. 337-352, 1994.
6. Elsayed, E. A., *Reliability Engineering*, Addison-Wesley Longman, 1996.
7. Hahn, G. J. and Meeker, W. Q., "Pitfalls and practical considerations in product life analysis (part 1 and 2)," *Journal of Quality Technology*, Vol. 14, pp. 114-152, 1982.
8. Kalbfleish, J. D. and Lawless, J. F., "Estimation of reliability in field-performance studies," *Technometrics*, Vol. 30, pp. 365-388, 1988.
9. Kalbfleish, J. D., Lawless, J. F. and Robinson, J. A., "Methods for the analysis prediction of warranty claims," *Technometrics*, Vol. 33, pp. 273-285, 1991.
10. Lawless, J. F., "Statistical methods in reliability," *Technometrics*, Vol. 25, pp. 305-335, 1983.
11. Suzuki, K., "Estimation of lifetime parameters from incomplete field data," *Technometrics*, Vol. 27, pp. 263-272, 1985.
12. Suzuki, K., "Nonparametric estimation of lifetime distributions from a record of failures and follow-ups," *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 80, pp. 68-72, 1985.

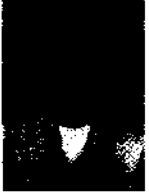


윤원영

서울대학교 산업공학과 졸업
한국과학기술원 석·박사 학위 취득
현재 : 부산대학교 산업공학과 교수
관심분야: 신뢰성, 보전성 공학, 시뮬레이션

성문현

부산대학교 기계공학과 졸업
부산대학교 지능기계시스템전공 석사
현재 : LG전자 공조기 OBU 품질보증팀 과장
관심분야: 신뢰성, 품질보증



정석주

부산대학교 통계학과 졸업
현재 : 부산대학교 산업공학과 석사과정
관심분야: 신뢰성, 보전성 공학