

종합병원 진단용방사선장비의 고장유형 분석

서울보건대학 의공학과
이우철 · 김정래

-Abstract-

Studies on Failure Kind Analysis of the Radiologic Medical Equipment in General Hospital

Lee woo cheul · Kim jeong lae
Dept. of medical-engineering, Seoul Health College

This paper included a data analysis of the unit of medical devices using maintenace recording card that had medical devices of unit failure mode, hospital of failure mode and MTBF. The results of the analysis were as follows :

1. Medical devices of unit failure mode was the highest in QC/PM such A hospital as 33.9%, B hospital 30.9%, C hospital 30.3%, second degree was the Electrical and Electronic failure such A hospital as 23.5%, B hospital 25.3%, C hospital 28%, third degree was mechanical failure such A hospital as 19.6%, B hospital 22.5%, C hospital 25.4%.
2. Hospital of failure mode was the highest in Mobile X-ray device(A hospital 62.5%, B hospital 69.5%, C hospital 37.4%), and was the lowest in Sono devices(A hospital 16.76%, B hospital 8.4%, C hospital 7%).
3. Mean time between failures(MTBT) was the highest in SONO devices and was the lowest in Mobile X-ray devices which have 200 - 400 failure hours.
4. Anverage failure ratio was the highest in Mobile X-ray devices(A hospital 31.3%, B hospital 34.8%, C hospital 18.7%), and was the lowest in Sono(Ultrasound) devices (A hospital 8.4%, B hospital 4.2%, C hospital 3.5%).
5. Failure ratio results of medical devices according to QC/PM part of unit failure mode were as follows : A hospital was the highest part of QC/PM (50%) in Mamo X-ray device and was the lowest part of QC/PM(26.4%) in Gastro X-ray. B hospital was the highest part of QC/PM(56%) in Mobile X-ray device, and the lowest part of QC/PM(12%) in Gastro X-ray. C hospital was the highest part of QC/PM(60%) in R/F X-ray device, and the lowest a part of QC/PM(21%) in Universal X-ray.

It was found that the units responsible for most failure decreased by systematic management. We made the preventive maintenance schedule focusing on adjustment of operating and dust removal.

I. 서 론

과학의 발전과 의학의 진보속에 살고 있는 현대인은 좋은 환경에서 보건 진료 서비스를 받고 싶은 욕망에 따라, 의학 발전에 따른 질적 향상으로 의료장비에 많은 투자가 이루어지고 있다¹⁾.

수요와 공급의 개념으로 인간의 생명을 다루기에는 어려우나 의료행위에 관여할 수 없는 특수성을 지닌 의료 서비스 행위나 의료기술의 발전에 따른 의료비의 급속한 증감으로 의료 지원의 제한 등이 의료 경제 개념의 도입

이 불가피한 상황에 이르고 있다.

대형화 되어버린 의료기관에서는 의료 서비스의 다양한 진행과 고가 첨단 의료기기의 기술적인면을 중요한 역할로 인식하게 되어, 새로운 진단기술, 치료기술이 병원의 물리적 구성요소에 많은 변화를 가져오고, 이것이 물리적, 사회적, 경제적인면으로 영향을 받고 있음을 인식하게 되었다.

따라서, 의료기기도 전문화 및 세분화되어 중요성뿐만 아니라 고장 발생에 따른 문제의 제기로 병원 내 의료기기 관계자로서는 기기의 유지 및 관리에 직접적이고 효

올적인 방안이 필요하게 되었다.

본 연구에서 제시하는 내용은 의료기기의 수리 내력에 대한 Data Base을 이용하여²⁾ 의료 기기의 고장사례분석, 고장발생빈도 및 동일 사례 유형 분석, 고장률을 분석하여 고장발생에 대한 원인을 정확히 분석할 수 있는 기술적인 능력의 배양과 앞으로 효율적 보수 유지 방법을 제시하고자 한다^{4, 5)}.

II. 연구 방법 및 분석방법

1. 방법

본 연구는 수도권 지역 3개의 3차 의료기관을 임의로 선정하여 진단용 방사선장비의 운영실태의 제방사항을 직접 방문에 의한 관련 사항을 토대로 분석하였다. 분석 자료로는 진단 방사선 의료장비조사, 연간 의료기기 수리 관리 실적물, 진단 방사선 해당과 업무일지, 진단 방사선 의료기기 관리부서의 작업일지 및 진단 방사선 용역 계약일지이다.

또, 96년도와 97년도의 장비 이력내용은 Data Sheet를 분석하고 방사선 장비 유형을 9개로 장비별 분류하여 제시하였다.

2. 고장유형 분석항목

방사선 기기의 안전관리, 고장간격 및 보전도를 알아서 예방보전의 시기 결정을 추정하기 위한 신뢰성 이론을 이용하였으며, 신뢰성 이론의 정의는 “Item에 신뢰성을 부여하는 목적의 응용과학 및 기술로, 신뢰성 특성치로써 구해진다”라고 되어 있음으로 여기에서는 유형별, 고장발생빈도, 고장발생형태 빈도 및 MTBF으로 수량적으로 구했다⁶⁾.

1) 고장유형분류

고장유형분류는 QC/PM, 전기전자적 결함, 기계적 결함, Operating error, 시설결함, 파손, 분실 등 8단계로 구분하였다¹⁵⁾(Table 1).

2) 고장발생 형태의 빈도분석

동일 장비의 고장 형태와 동일고장 발생의 빈도 분석과, 동일 장비와 고장 형태 분석, 고장시 수리기간 분석도 한다¹⁶⁾.

3) MTBF(Mean Time Between Failures)

MTBF란 [몇시간 무사고로 사용하는가] 또는 [몇 시간 사용했을 때 수리하면 좋은가]라는 것을 명시해줌으로써 예방보전의 중요성을 갖고 있다. 그러므로, MTBF

Table 1. Failure mode

형 태	내 용
QC/PM	Error Message, 예방정비, 관리 상 제거사항
전기 전자적 결함	단선 및 Sensor 불량, 온도 상승 및 하강, Power 불량, CPU 불량, 소품 및 Cable 불량
기계적 결함	Tube Probe 교체, 작동불량, Cassette 및 magane 불량, 기계적 손상, 조임, 교체 등 불량
Operating Error	작동 불량
시설 결함	누수 및 습기 및 시설 결함
파손	파손 및 헤어짐
분실	분실
Unknown	기타 사항

는 결국 예방보전을 결정해주고, 1회 비율에 따라 시간당으로 표시한다.

$$MTBF = \frac{\text{전체 운용시간}}{\text{전체 고장횟수}}$$

전체 운용 시간 : 시간 [0, t] 내에서 모든 시스템이 실제로 운용된 시간들의 합

전체 고장 횟수 : 시간 [0, t] 내에서 모든 시스템이 실제로 운용되는 동안에 발생한 고장횟수들의 합

4) 고장률(Failure Ratio)

고장률이 발생하는 징후란 한 시스템의 구성요소가 제대로 기능을 발휘하지 못하는 사실을 말하며, 이 징후는 시스템이 기대한 것처럼 작동하지 않을 때에 발생하게 된다^{10, 11)}. 그러므로 징후가 있을 때에는 반드시 그 징후를 유발하는 원인이 한 개나 그 이상 존재하게 되는데, 이 원인을 찾아내는 것이 고장진단이고, 찾아낸 원인값을 분류해서 일어날 수 있는 형태로 나타내어 고장률을 측정할 수 있다¹²⁾.

따라서 고장률은 [고장이 일어나는 비율]을 의미하는 것이기 때문에 고장률의 단위로서 사용하는 것은 %로 나타냈다^{13, 14)}.

$$\text{고장률(\%)} = \frac{\text{년간동작불능시간}}{\text{년간동작가능시간}} \times 100$$

5) 신뢰성(Reliability)

신뢰성이란 주어진 조건하에서 주어진 일정 기간동안 어떤 시스템이 만족할만한 성능을 나타낼 수 있는 확률을 의미한다⁷⁾. 시스템의 수명을 나타내는 확률변수를 T

라 하면 주어진 시간 [0, t]에서의 시스템의 신뢰성은 다음과 같이 표현한다^{8,9)}.

$$\text{신뢰성} : R(t) = P(T > t)$$

즉 시간함수에 따른 고장률 분석 함수값을 갖는다.

$$R(t) = \int_0^t f(t) dt$$

R(t) : 신뢰성(Reliability)
f(t) : 고장률(Failure rate)

III. 결과 및 고찰

1. 고장 유형별 분포도

유형별 고장빈도를 분포도상으로 보면 가장 높은 빈도를 나타낸 부분이 QC/PM 부분으로 A병원 33.9%, B병원 30.9%, C병원 30.3% 이고, 그 다음으로 전기 전자적 결함으로 A병원 23.5%, B병원 25.3%, C병원 28%이고, 그 다음으로 기계적 결함으로 A병원 19.6%, B병원 22.5%, C병원 25.4%로 나타났다. 그밖에 O/S, 분실, UNKNOWN도 발생하였다(Fig. 1).

2. 병원별, 장비별 고장 연간 빈도

병원별간의 장비 사용빈도에 따른 고장빈도를 분석하면, 장비사용에 따라 빈도 값은 다소 차이를 보였다. A병원의 경우 Potable X-ray가 39.5%로 가장 높은 값을 나타냈으며, 그 다음으로 Film Processor(31%), 위장계 X-ray(26%), 투시 X-ray(25%) 순위이며, 가장 낮은 값

은 Sonograph(10.5%)이다.

B병원은 A병원과 마찬가지로 Potable X-ray가 40.5%로 가장 높은 값을 나타냈고, 그 다음으로 투시X-ray(28%), Film Processor(25.5%), Mamo X-ray(22.5%)이며, 가장 낮은 값은 Sonograph(7.5%)이다.

C병원은 Potable X-ray가 22.5%로 가장 높은 값을 나타냈고, 그 다음으로 투시 X-ray(13%), 위장계 X-ray(12.5%), Film Processor(10%)순이며, 가장 낮은 값은 Sonograph(4%)이다(Table 2).

3. 평균 고장 간격 시간(MTBF)

평균 고장 간격 시간은 고장이 발생하는 간격을 시간 별로 표시하면 가장 긴시간을 보이는 것이 Sonograph 장비로 1년에 3-4회의 고장발생을 나타냈으며, 그 반면에 가장 짧은 시간에 고장을 발생하는 장비로는 Mobile X-ray 장비로써 200 ~ 400 시간정도 잦은 고장시간 간격을 나타냈다(Fig. 2).

4. 평균 고장률 분석결과

평균 고장률 분석결과로는 Mobile X-ray장비가 가장 높은 고장률로 A병원에서 31.3%, B병원 34.8%, C병원 18.7%이고, 가장 낮은 고장률은 Sonograph장비로써 A병원 8.4%, B병원 4.2%, C병원이 3.5%로 나타났다. 그 다음으로 Film Processor장비로 A병원 29.2%, B병원 29%, C병원이 9.8%이고, 위장X-ray는 A병원 26.4%, B병원 23%, C병원이 11.8%이고, 투시X-ray는 A병원 22.9%, B

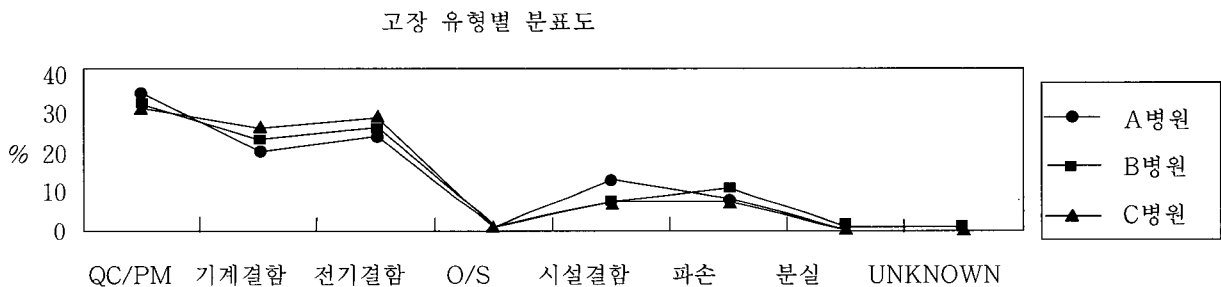


Fig. 1. Medical devices of unit failure mode

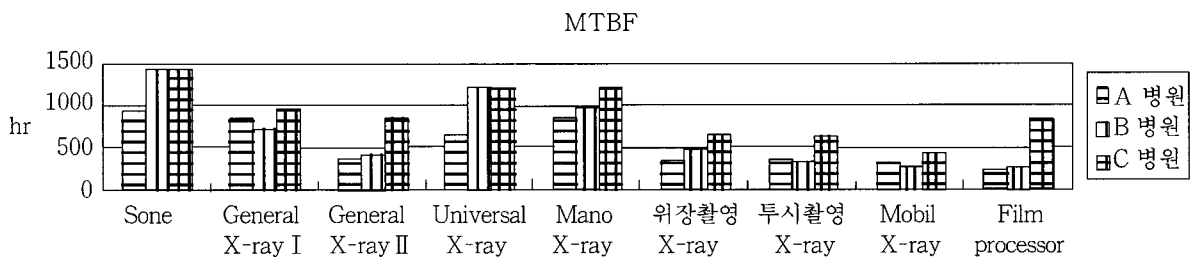


Fig. 2. Mean time between failures

Table 2. Failure ratio of medical device in hospital(A,B,C)

		96 1/4 (회)	96 2/4 (회)	96 3/4 (회)	96 4/4 (회)	97 1/4 (회)	97 2/4 (회)	97 3/4 (회)	97 4/4 (회)	년 평균 (회)
A 병원	Sone	3	5	2	2	1	3	5	0	10.5
	G. X-ray I	0	5	5	2	6	1	2	1	11
	G. X-ray II	9	5	7	1	5	5	6	0	19
	U. X-ray	6	2	3	2	4	3	3	1	12
	M.G. X-ray	6	1	5	0	0	4	5	5	13
	위장 X-ray	18	8	7	5	6	1	7	0	26
	투시 X-ray	12	5	1	8	9	3	10	2	25
	Mobil X-ray	22	8	14	3	9	5	16	2	39.5
	Film Pro.	5	7	11	9	11	7	4	8	31
B 병원	Sone	0	1	2	2	3	3	3	1	7.5
	G. X-ray I	0	2	3	6	4	4	0	5	12
	G. X-ray II	11	10	4	0	0	10	3	1	19.5
	U. X-ray	7	0	2	1	5	1	1	2	9.5
	M.G. X-ray	9	0	0	1	3	2	7	3	22.5
	위장 X-ray	8	4	16	4	1	1	5	3	21
	투시 X-ray	9	6	0	12	6	12	8	3	28
	Mobil X-ray	16	14	18	4	11	4	12	2	40.5
	Film Pro.	2	5	8	10	11	5	2	8	25.5
C 병원	Sone	0	2	2	1	0	1	2	0	4
	G. X-ray I	0	2	3	3	4	0	0	3	7.5
	G. X-ray II	3	6	1	1	2	4	1	0	9
	U. X-ray	4	1	1	1	2	1	0	1	5.5
	M.G. X-ray	1	4	0	1	3	0	3	0	6
	위장 X-ray	4	6	4	1	1	2	6	1	12.5
	투시 X-ray	7	2	0	6	5	1	5	0	13
	Mobil X-ray	8	7	8	3	8	4	7	0	22.5
	Film Pro.	3	2	5	0	3	4	2	1	10

병원 25.7%, C병원이 13.2%이고, 일반X-rayⅡ는 A병원 20.8%, B병원 20.2%, C병원이 9.1%이고, 일반X-rayⅠ는 A병원 9.8%, B병원 20.5%, C병원이 7.7%이고, Universal X-ray는 A병원 11.4%, B병원 5.6%, C병원이 4.9%이고, Mamography X-ray는 A병원 9.1%, B병원 8.4%, C병원이 4.9%로 나타났다(Fig. 3).

5. 신뢰성 분석결과

평균 신뢰성은 일정 기간동안 장비의 성능정도를 판명하여 사용하는데 측정단위로 나타냈으며 장비의 수명을 나타내는 값으로 표현할 수 있다^{8, 9)}. 따라서 가장 높은 신뢰성을 갖는 장비는 Songraph장비로써 A병원 91.6%, B병원 95.8%, C병원이 96.5%, 가장 낮은 신뢰성을 갖는 장비는 Mobil X-ray장비로 A병원 68.7%, B병원 65.2%, C병원이 81.3%로 나타났다. 그 다음으로 Film Processor 장비로 A병원 70.8%, B병원 71%, C병원이 90.2%이고, 위장X-ray는 A병원 73.6%, B병원 77%, C병원이 88.2%이고, 투시X-ray는 A병원 77.1%, B병원 74.3%, C병원이 86.8%이고, 일반X-rayⅡ는 A병원 79.2%, B병원 79.2%, C병원이 90.9%이고, 일반X-rayⅠ는 A병원 90.2%, B병원

79.5%, C병원이 92.3%이고, Universal X-ray는 A병원 88.6%, B병원 94.4%, C병원이 95.1%이고, Mamography X-ray는 A병원 90.9%, B병원 91.6%, C병원이 95.1%로 나타났다(Fig. 4).

6. 고장 유형중 QC/PM 항목과 장비별 고장률 특성

고장유형 중 QC/PM항목에 따른 장비별 고장률 특성 결과는 A병원에서는 Mamo X-ray에서 QC/PM이 50%로 가장 높고 고장률은 9.1%가 나타났고, 위장X-ray에서 QC/PM이 21%로 가장 낮고 고장률은 26.4%로 높게 나타났다. B병원에서는 Mobile X-ray에서 QC/PM이 56%로 가장 높았고 고장률은 34.8%로 나타났으며, 이동용 장비로 QC/PM과 고장률이 높은 결과를 나타냈고, 위장X-ray에서 QC/PM이 12%로 가장 낮고 고장률은 23%로 높은 결과를 나타냈다. C병원에서는 투시X-ray장비에서 QC/PM이 60%로 가장 높았고 고장률은 13.2%로 낮게 나타났고, Universal X-ray에서 QC/PM이 21%이고 고장률은 4.9%이다(Fig. 5).

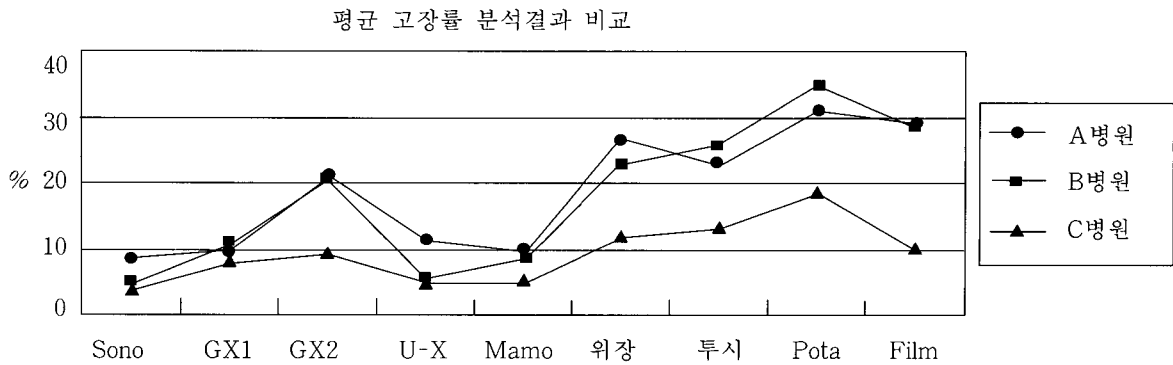


Fig. 3. Average failure rate

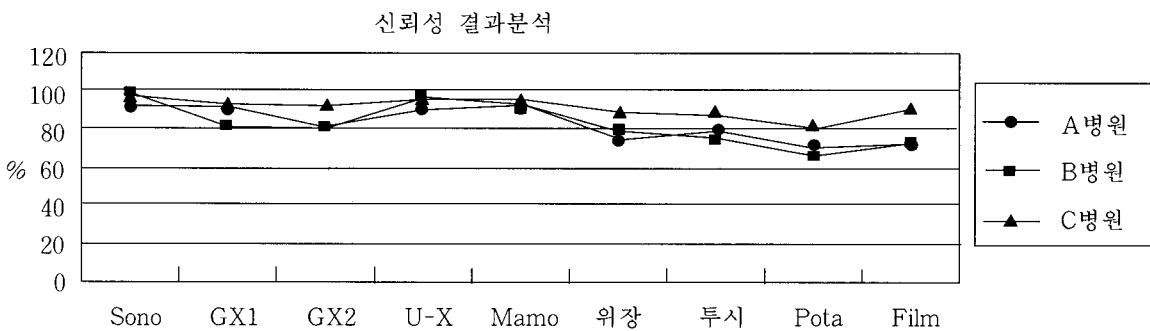


Fig. 4. Results of Reliability

IV. 고 찰

의료장비의 수리이력에 대한 자료분석의 결과로 고장의 유형을 보면 관리측면에서 체계적으로 이루어져야 한다. 실질적 활용에 따른 분석결과 예방정비(PM)와 QC장비의 성능과 수명을 연장시키는 가장우선 순위이며, 고장 발생의 감소를 통하여 기기의 가동률을 높일 수 있다. 그 다음으로 전기전자적으로 발생하는 원인으로 하절기에 전기사용량의 급증에 따른 고장발생원인과 안정하지 못한 전원이 고장을 유발할 수 있고, 충분한 전원의 공급과 안정한 전원공급이 전자장비에 성능을 연장시키고 급작스런 고장의 원인을 해소 시켜줄 수 있다. 기계적인 문제발생은 사용상의 무리한 사용과 사용상의 부주의에서 발생하는 결과임으로 완전한 사용상의 기술습득과 장비의 기능을 이해함으로써 해소되리라 여겨진다. 그 이외에 분실과 원인모른 고장도 본 논문에서 언급한 사항들을 이해함으로써 잦은 고장의 발생을 줄여줄 수 있다.

장비의 연간 고장 빈도는 기계적 동작이 많은 이동용 장비로 대부분 사용자의 부주의로 기기의 Power cable의 단선, Plug파손, Bearing마모 등의 고장원인이며, Gear 및 Chain에 주기적으로 윤활처리하고 Bolt 등의 조임상태를 점검, 보강해 주어야 한다. 본 논문에서도 이러한 사항으로 발생되는 현상들이 많은 결과로 나타나 있다. 그 이외에 Film을 자동으로 장착해주는 Film spot device부에서

고장발생이 많았고, Tube support은 기계적 움직임이 잦음으로 고장의 원인과 전기적 작동부위(Switch, Power볼 랑 등) 및 습도에 의한 전자적 결함도 작용하였다.

평균 고장 간격 시간은 조사결과에서 나타냈지만 Sono-graph장비는 연간 3 ~ 4회 고장발생을 나타냈는가 하면, 이동용 장비인 Mobile X-ray장비는 200 ~ 400시간의 잦은 고장시간 간격을 나타냈다. 고장의 유형별 장비점검과 문제발생에 대한 사용상의 주의를 통해 고장시간간격을 줄일 수 있고, 본 논문에서 나타난 결과를 볼 경우 평균 700 ~ 900시간으로 고장간격률이 나타났으므로 관리상 보완을 해야 할 것으로 생각된다.

평균 고장률은 이동과 사용을 많이하는 장비가 빈도가 높으며, 또 기계적 동작이 잦은 부분에 심하게 나타났다. 대체적으로 Motor, Belt조정, Relay, Bearing, Plug, Collimator 등 일반적인 사항이 주 증목으로 나타났다. 특히 본 논문에서 Sonograph장비는 10%미만의 고장률을 나타내 장비의 활용도를 높게 나타냈다.

평균 신뢰성은 고장간격이 가장 낮은 Sonograph장비가 90%이상의 신뢰성을 나타냈고 Mobile X-Ray 장비가 60 ~ 70%로 나타났다. 따라서 신뢰성은 고장률을 줄임으로써 장비의 가동률을 증대시키는 역할을 하고, 아울러 사용상의 관리를 체계적으로 함으로써 사용자로 하여금 불필요한 시간적 낭비 및 인력의 낭비를 줄일 수 있다.

고장 유형 중 QC/PM 항목이 장비의 고장률을 줄이는

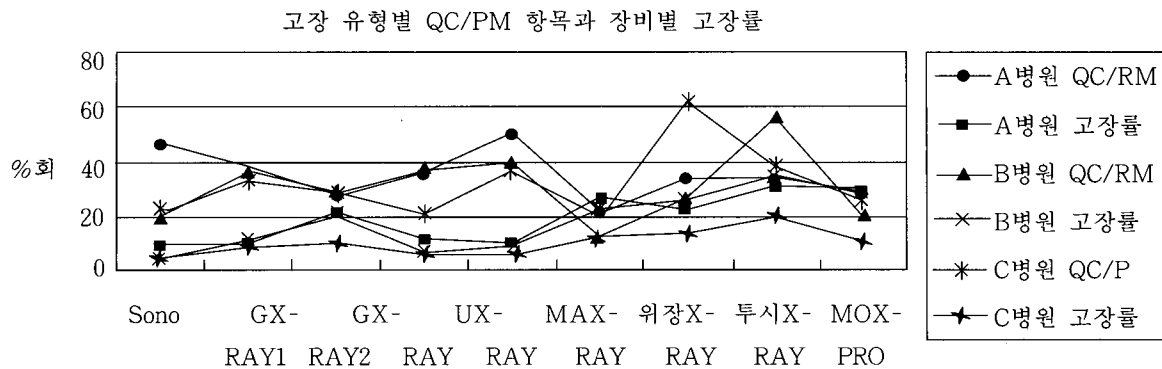


Fig. 5. Failure rate special results of medical devices

역할을 함으로써 상당히 보완을 해야하며 필요성을 느껴야 한다¹⁷⁾.

본 논문 결과로 비추어 볼 때 각 병원별 장비 이력 자료를 분석하여 특징적으로 고장 발생유형을 분석하고 체계적인 관리가 이루어질 수가 있으며, 고장의 실질적 자료로 활용될 수 있다. 고장의 원인을 미연에 방지하는 예방정비가 적용되면 고장발생의 감소를 줄여 가동률을 높일 수 있다. 또 고장의 방지를 위해 지속적인 사용자 및 관리교육을 실행함으로 의료기기고장 발생의 감소를 기할 수 있을 것이다.

V. 결 론

진단 방사선 의료 장비의 수리 이력 내용을 토대로 기기별 Data를 분석한 결과 대부분의 기기는 특징적인 유형별 고장 발생 빈도, 병원별 고장 빈도, 평균 고장 시간 간격 과 평균 고장률을 분석했으며, 장비별 고장 유형 중 QC/PM 항목과 평균 고장률 특성의 비교 결과를 나타냈다.

(1) 유형별 고장의 결과 가장 빈도가 높은 것은 QC/PM으로 A병원 33.9%, B병원 30.9%, C병원 30.3%이고, 그 다음으로 전기 전자적 결함으로 A병원 23.5%, B병원 25.3%, C병원 28%이고, 그 다음으로 기계적 결함으로 A병원 19.6%, B병원 22.5%, C병원 25.4%로 나타났다.

(2) 병원별, 장비별 고장 연간 빈도로는 Mobile X-ray가 가장 높았고 A병원 39.5회, B병원 40.5회, C병원 22.5회이고 가장 낮은 것은 Sono로 A병원 10.5회, B병원 7.5회, C병원 4회이다.

(3) 평균 고장 간격 시간(MTBF)에는 가장 고장 간격이 긴 장비는 Sono(초음파진단기)이고, 가장 짧은 고장 간격을 갖는 장비는 Mobile X-ray 장비로 200~400시간 정도이었다.

(4) 병원별, 장비별 평균 고장률 분석 결과는 Mobile X-ray 장비가 가장 높았으며, A병원에서 31.3%, B병원은 34.8%, C병원은 18.7% 이고, 가장 낮은 고장률은 SONO(초음파진단기)장비로써 A병원은 8.38%, B병원은 4.2%,

C병원은 3.5%로 나타났다.

(5) 고장 유형 중 QC/PM 항목에 따른 장비별 고장률 결과는 A병원에서는 Mamo X-ray가 QC/PM이 50%로 가장 높고, 고장률은 9.1%로 낮은 편에 속했으며, 위장 X-ray에서는 QC/PM이 21%로 가장 낮고, 고장률은 26.4%로 높게 나타났다^{15~17)}.

B병원에서는 Mobile X-ray가 QC/PM 이 56%로 가장 높았고, 고장률은 34.8%로 가장 높게 나타났으며, 이동용 의료 장비라서 QC/PM과 고장률이 둘다 높은 결과를 보이며, 위장 X-ray에서 QC/PM이 12%로 가장 낮고, 고장률은 23%로 높은 결과를 나타냈다.

C병원에서는 투시 X-ray장비에서 QC/PM이 60%로 가장 높았으며, 고장률은 13.2%로 낮게 나타났고, Universal X-ray장비는 QC/PM 이 21% 이며 고장률은 4.9%이다.

장비 개별 수리 내력을 체계적인 관리 형태로 이루어 고장 발생의 감소를 이루려면 예방정비 차원에서 관리가 이루어져야 하며, 일정기간, 고장원인의 분석을 통해 철저한 교육, 사전 교육, 사용상의 교육, 사후교육을 실시함으로써 의료기기 고장 발생을 감소시킴으로서 인력의 감소, 시간과 경비의 절감 및 병원의 경제력, 장비의 수명, 장비의 가동률을 증대시킴으로써 효율적 관리가 이루어 지리라 예상한다³⁾.

참 고 문 헌

1. Manny Roman : Radiology Maintenance-Circle og Quality Assurance, Journal of Clinical Engineering, 413-418, 1993.
2. J. H. STANLEY CHEN, M. S. B. E., C. E. : Contract Management Using Cause-Effect Clues in Service Worksheets, Journal of Clinical Engineering, 21(1):51-54, 1996.
3. LINNEA C. BRUSH : The BMET Carrer, Journal of Clinical Engineering, 18(4), 327-333, 1993.
4. Joseph P.McClain : Quality Improvement & Team Building, Clinical Engineering, 2616- 2570, 1995.

5. Werner Rainer, Elisabetta menegazzo, Andeas wiedmer :Quality in Management of Biomedical Equipment, Journal of Clinical Engineering, 108-1131, 1996.
6. Blanchard, B. S. and W. J. Fabrycky :Systems Engineering and Analysis, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, N. J., 1990.
7. Hogg, R. V., and J. Ledolter :Engineering Statistics, Macmillian, New York, 1987.
8. Kapur, K. C. and L. R. Lamberson :Reliability in Engineering Design, John Wiley & Sons, New York, 1977.
9. Boker, A. H. and G. J. Liberman :Engineering Statistics, Prentice-Hall, N. J., 1997
10. de Kleer, J. and B. C. Williams :“Diagnosing Multiple Faults”, Artificial Intelligence, Vol. 32, No1, 97-130, 1987.
11. Milne, R : “Strategies for Diagnosis,” IEEE Trans. on System, Man, and Cybermedics, Vol. SMC-17, No. 3, 333-339, 1987.
12. Zeleny, M :Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill, NY, 1982.
13. 이원형 : “Diagnostic Reasoning,” 「정보과학회지」, 한국정보과학회, 제10권, 제4호, 50-55, 1992.
14. 박경수 : “신뢰도 공학 및 정비이론”, 6판, 희중당, 1986.
15. 강훈희, 김종순, 김서확, 허수진 : “의료기기 고장 발생의 원인 분석을 통한 효과적인 보수유지 방법의 개선” 대한의용생체공학회 추계 학술발표논문집, Vol. 20, No.2, 106-107, 1998.
16. 김상원 : “통계기법을 이용한 무한궤도형 군용 장갑차량의 신뢰성, 가용성 및 정비성 분석 사례연구”경영과학, Vol. 11, No. 1, 117-128, 1994.
17. 김종순, 강훈희, 주라형, 김원중, 김서확, 허수진 : “방사선 의료기기 보수의 정량적 분석 및 평가” 의료 Q/A 학술지, 1998.