한국경영과학회지
제37권 제4호
2012년 12월, pp.161-180
http://dx.doi.org/10.7737/JKORMS.2012.37.4.161

병원 의료장비 교체 우선순위를 결정하는 지표의 개발

박 준* · 이미영**† · 김기태***

A Development of Indicators to Decide Replacement Priority for Medical Equipment in Hospital

Jun Park* · Mi-young Lee** · Ki-tae Kim***

■ Abstract ■

We develop some evaluation tool and indicators for the scores for medical equipment replacement in hospital. There has been no research for Korean hospitals although there are many for foreign medical institutions. In this paper, among many variables that were obtained from the previous studies, eleven variables are selected as indicators and tied as three groups. And then we obtain scores of medical equipments based on the weighted values of those indicators. We can make decisions whether we replace medical equipments or not by ranking the medical equipments based on the scores. This paper shows that we can make decisions to replace medical equipments very objectively and effectively using the evaluation tool and indicators we develop.

Keyword : Medical Equipment Replacement Scoring System, Indicators, Evaluation Tool, Deterioration Assessment

논문접수일 : 2012년 10월 16일 논문게재확정일 : 2012년 12월 05일
논문수정일(1차 : 2012년 12월 03일)
* 건국대학교 정보통신대학원, 건국대학교병원 의공학팀
** 건국대학교 경영대학
*** 건국대학교병원 의공학팀
† 교신저자

1. 서 론

1.1 국내의 사회적 배경

이한주, 남혜진[7]은 의료시설, 인력과 함께 주요한 의료자원인 의료장비가 병변의 진단 및 치료에 사용되는 필수요소이고 이런 의료장비는 의료기술의 발전과 신기술 의료장비의 도입으로 의료서비스에 매우 큰 영향력을 행사하고 있다고 하였다.

이한주, 남혜진[7]은 의료기관들이 건강보험심사평가원에 등록 및 신고해야 하는 의료장비 233여종을 대상으로 보유현황을 분석한 결과 2005년 508,392대의 의료장비가 2010년에는 721,989대로 급격히 증가하여 5년간 42%가 증가했고 등록이나 신고가 되지 않은 장비가 이 통계에서 제외되었음에도 불구하고 이와 같은 증가율을 보이고 있다고 하였다.

〈표 1〉 의료장비의 종류별 보유현황[7]

(단위 : 대)

구 분	2005년	2010년	5년간 증가율	연평균 증가율
총계	508,392	721,989	42.0%	7.3%
검사	146,394	218,314	49.1%	8.3%
방사선진단 및 치료	62,123	95,753	54.1%	9.0%
이학용법	215,513	256,921	19.2%	3.6%
수술 및 처치	53,627	75,570	40.9%	7.1%
한방	30,735	75,431	145.4%	19.7%

그리고 하나금융경영연구소의 보고서[8, 9]는 국내 의료기기 시장의 고성장세가 1) 소득수준 향상에 따른 보건의료에 대한 욕구 증가, 2) 노령화에 따른 의료비 지출 증가, 3) 병 · 의원 등 의료기관의 양적 팽창과 서비스 수준 향상을 위한 첨단 의료장비 수요 증가, 4) 예방중심의 의식구조 변화에 따른 일반 검진기기 및 자가진단기기의 수요증가, 5) 고가의 첨단 의료기기 비중의 증가 등에 기인한다고 하였다.

한편 특수의료장비 중 CT, MRI, Mammography, PET, PET-CT의 5종에 대하여 2010년 2월 기준으로 연도불명인 장비를 제외하고 노후도가 5년 이하인 장비는 전체 3,852대 중 1,508대 로 39%였고, 노후도가 6년 이상인 장비는 총 2,344대로 61%였다. 그 중 노후도가 11년 이상인 장비는 1,117대로 전체의 29%였다[7].

〈표 2〉 특수의료장비 5종의 노후도 현황[7]

장비	≤ 5년	6년 ~10년	11년 ~20년	≥ 21년	계
CT	538	393	360	21	1,312
MRI	337	273	124	1	735
Mammo	573	531	603	7	1,714
PET PET-CT	60	30	1	·	91
자료 : 2010년 2월 기준.					3,852

한경희 외[10]는 종합전문요양기관과 종합병원의 경우 병원급 이하 의료기관보다는 장비의 노후화정도가 덜했으나 바람직한 이용 기간인 5년은 모두 상회하는 것으로 나타났다고 했다. 그리고 종합전문요양기관 및 종합병원의 장비노후화 원인은 구입 당시 신품을 구입하기는 하였으나 도입 후 경과연수가 오래됨에 따라 장비들이 상당히 노후화되어 있는 것이다라고 하였다. 또한 한경희 외[10]는 다른 산업의 장비와 달리 의료장비는 직접적으로 환자의 생명에 영향을 줄 수 있으므로 안전성이 중요하다고 하였다. 그래서 의료장비의 경우 사용연수와 사용횟수에 따라 장비 성능상의 문제가 발생할 소지가 높고, 사용연한이 지난 중고 의료장비는 이미 구형 모델로써 소모성 부품을 교환하여도 성능상의 문제가 있을 가능성이 높다고 하였다. 그리고 한경희 외[10], 김성조 외[2]는 의료장비의 성능과 기종에 따른 가격 차이와 신품과 중고품 여부의 차이에도 불구하고 동일한 건강보험 수가가 적용되고 있어 일부 병 · 의원들의 경제성을 앞세운 정책으로 환자의 재검진 발생이나 오진율 상승 등의 문제가 발생될 수 있어 우려된다 하였다

그래서 보건복지부[6]는 2012년 5월 총 8종의 특수 의료장비의 설치 및 품질기준 마련을 주요 내용

으로 하는 '특수 의료장비의 설치 및 운영에 관한 규칙 개정안'을 입법예고했고 특수 의료장비에 고유번호를 부여해 장비의 사용·이력 관리를 도모하고 일률적이던 장비의 검사기간을 내용연수에 따라 차등화하여 내용연수가 오래된 노후장비에 대한 품질관리를 강화시켜 자연스럽게 퇴출을 유도하고자 하였다.

한편 이한주, 남혜진[7]은 선진국의 의료장비에 대한 관리정책을 고찰한 결과 프랑스, 미국, 호주는 수가 산정 시 사용한 감가상각기간과 사용량을 초과한 장비에 대해 수가를 삭감하는 정책을 시행함으로써 의료장비의 품질 및 사용량을 통제하고 있고 일본은 2년 마다 수가 개정을 통해 시장변화를 즉각적으로 반영하고 있는데, 장비의 성능에 따라 수가를 달리하는 정책을 시행하고 있다고 하였다. 현재 건강보험심사평가원은 내부 연구자료를 바탕으로 의료장비의 수가를 장비품질과 사용기간, 사용량에 따라 달리 지급하는 '수가차등화'의 당위성을 강력히 주장하고 있고 의료계는 건강보험심사평가원의 이런 움직임을 영상장비 수가차등화를 위한 신호탄으로 보고 있다고 한다[1].

〈표 3〉 해외 영상진단장비 품질관리 현황[1]

국가	품질관리 현황
프랑스	◦ 장비 설치 사전 승인 ◦ CT, MRI 사용기간(7년) 및 기준 촬영횟수 초과시 수가 감액
호주	◦ 의료영상 인증 프로그램(DIAS) 시행 ◦ CT, MRI 유효기관 경과 시, 수가 50% 감액
일본	◦ 장비성능에 따라 수가 차등 ◦ CT는 채널수, MRI는 자장의 세기에 따라 수가 차등
미국	◦ 복지부 지정 기관에서 사전 승인 ◦ 장비사용율 50% → 70%로 상향조정(2011년)

이러한 국내의 의료 상황에 비춰봤을 때 의료기술의 발전, 국내의 의료기관 증가, 의료서비스의 향상 그리고 소비자의 의식수준의 향상으로 인해 의료기관들의 상호 경쟁이 불가피해졌고 고가의 첨단장비 및 노후화되지 않은 장비는 환자로부터 의료기관이 선택되는 중요한 변수가 될 수 있어 의료기관들은 기존의 노후한 장비의 교체 및 신규 도입에 더 집중하게 될 것으로 예상된다.

1.2 해외의 현황 및 배경

시간이 지남에 따라 의료장비는 큰 폭으로 증가하고 있고 장비의 노후화도 계속되고 있으며 장비의 교체가 증가할 것으로 국내 문헌을 통해 확인했다. 한편 의료장비의 노후화가 계속 진행되는 장비들에 대하여 최적의 교체평가 방법을 찾기 위해 국·내외 문헌을 고찰했다. 우선 국내에서는 의료장비의 교체 평가를 위한 방법론을 제시한 문헌이나 사례를 찾아볼 수 없었다. 따라서 해외문헌을 통해 의료장비 교체 평가에 대한 해외사례 및 방법론을 고찰하였으며 실제로 해외병원 및 기관들은 의료장비의 최적 교체시기를 결정하는 평가 시스템을 구축하여 활용하고 있음을 확인하였다[12, 13, 16, 22, 24, 28].

Rajasekaran[22, 23]은 병원들이 노후화된 의료장비들을 교체해야하나 충분한 자금을 보유하고 있지 않고 병원에서 의료장비 교체를 검토할 때 사실적, 안전적, 기술적, 재무적, 성과데이터들을 고려하지 않는다고 하였다. 따라서 병원은 교체할 필요가 있는 장비보다는 병원의 수익에 기여하는 장비를 우선적으로 교체하는 잘못을 범하고 있고 이로 인하여 의료시스템의 총 생산성이 현저하게 저하되고 있다고 하였다. 따라서 환자안전에 대한 관심, 의료과정의 효율성, 예산의 활용성을 최대한 고려하여 가장 교체가 필요한 장비를 알아낼 수 있는 자동화된 의료장비 교체계획 시스템(Automated Equipment Replacement Planning System, ERPS)을 개발했다고 하였고 이 시스템은 미국UMass Memorial Medical Center에 구축되어 있다고 하였다.

Taylor et el.[32]는 의료장비 교체평가(Medical Equipment Replacement Scoring, MERS) 시스템이 캐나다 북서지역의 20개 이상 병원과 보건소에 약 3000여종의 의료장비들을 정확하고 공정하게 평가하기 위해서 개발되었다고 하였다. 그리고 이 시

스템은 모두 다른 우선순위와 요구들을 가지고 있는 여러 의료기관들의 의료장비를 평가하고 의사, 간호사, 의료기기 안전관리자(의공사), 병원 경영자들이 장비 교체하는 데 필요한 중요한 요인들을 정량화할 수 있도록 규칙기반의 자동화된 프로그램으로 개발되었으며 전산화된 유지관리 시스템에서 정보를 쉽게 접근하고 실시간으로 장비교체 결과를 만들어 내도록 프로그램화 되었다고 하였다.

그 외에도 미국 Connecticut주 West Haven의 Veterans Adminisrtation Medical Center[13], 캐나다 Ontario주의 Hamilton Health Sciences[12], 미국 Kentucky주 Louisville의 Norton Healthcare[28] 등 해외의 여러 병원 및 기관에서 의료장비 교체평가 시스템을 구축하여 의료장비 교체를 위한 의사결정 도구로 활용하고 있다.

1.3 문제제기

의료기관들의 상호 경쟁으로 고가 의료장비 위주의 장비 증가는 계속될 것이다. 그리고 현재의 일률적으로 적용되는 수가체계에서는 신규장비나 노후장비나 동일한 수가를 적용받기 때문에 장비의 폐기는 더뎌지고 노후화는 계속 진행되어 품질이 저하된 장비들로 환자들을 진료하는 행위들이 앞으로도 계속될 것이다. 그러나 건강보험심사 평가원에서 강력히 주장하고 있고 보건복지부에서 입법예고한 '수가차등화'가 시행된다면 노후된 기존 의료장비들이 대거 교체될 것으로 예상된다.

그러나 현재 국내에서 의료장비의 노후화에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 그 이유 중 하나는 노후장비를 판별하는 기준이 매우 불명확하기 때문이다. 노후장비의 기준이 될 수 있는 사용연수의 경우 차입가격이 고가인 까닭에 지속적인 유지관리가 이루어져 공식적이고 객관적인 측정이 어렵다[3, 10]. 또한 의료장비의 사용연수는 하나로 정의하기 어렵고 장비도입 후 장비의 유지보수가 장비의 잔존가치에 영향을 미친다[10]. 한편 고가의 의료장비는 개발되어 사용한지 5년 정도가 지나면 개발한 회사에서는 성능이 향상된 신제품을 내놓고 판매를 시작하면서 원래 제품에 대한 사후 보수 유지에 필요한 부품의 재고를 줄여나가는 경향이 있다고 하였다[2, 10].

결국 의료기관들의 증가 및 상호경쟁으로 신규장비의 도입 역시 증가되고 신규장비 또한 시간이 지나면 자연스럽게 노후장비로 분류될 것이다. 그리고 보건복지부에서 입법 예고한 것처럼 11종의 특수 의료장비에 대해서 품질관리가 강화되고 건강보험심사 평가원에서 강하게 주장하고 있는 의료장비 수가차등화가 시행된다면 내용연수가 오래된 노후장비에 대한 교체는 증가하게 될 것이다. 따라서 의료장비의 노후도를 판단하는 것에 대한 기준을 세우는 것은 매우 시급하다. 그러나 오랜 기간 동안 장비노후도를 판단하는 기준 중 하나였던 내용연수가 비록 오래되었다 하더라도 도입 후 장비의 유지관리가 잘 되어있다면 이 장비를 노후화되었다고 할 근거는 없기 때문에 좀 더 객관적으로 판단할 수 있는 시스템이 필요하다.

따라서 국내에서 의료장비 교체평가 시스템에 대한 선행연구는 아직 보고된 적이 없어 해외의 여러 병원 및 기관의 의료장비 교체평가에서 사용되는 지표들인 내용연수, 제조사 또는 공급사의 제품지원 가능 여부, 장비의 위험도 및 고장률, 장비상태 등을 반영하여 객관적으로 의료장비를 교체평가 할 수 있는 시스템을 제안하고자 한다.

1.4 연구의 목적 및 내용

본 연구의 목적은 병원에서 사용되는 의료장비들은 도입이후 시간이 지남에 따라 노후화되어 언젠가는 교체를 하게 된다는 전제하에 누가 보더라도 공정하고 정확하게 의료장비의 최적 교체시기를 평가하는 방법을 제시하고 교체 우선순위를 결정해주는 MERS(Medical Equipment Replacement Scoring) 시스템의 개발 전 Pilot Test의 역할을 수행함으로써 개발될 시스템이 병원 내 의사결정자들의 장비교체에 대한 의사결정을 돕고 의료장비에 대한 장기교체 계획을 수립할 수 있는지 여부를 사전 판

단하는데 목적이 있다.

본 연구의 구체적인 내용은 다음과 같다.

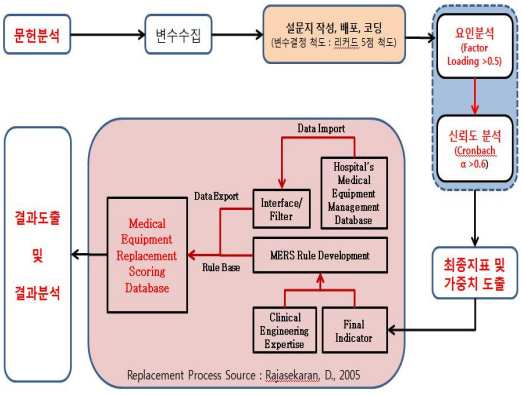
첫째 : 문헌분석을 통해 의료장비 교체에 영향을 주는 선행 변수 및 방법론을 고찰한다.

둘째 : 문헌분석을 통해 수집된 변수들을 바탕으로 설문도구를 개발하고 병원의 사용자 및 관리자에게 장비교체에 대한 변수들의 영향도와 관련한 설문조사를 한다. 그리고 이를 분석하여 의료장비 교체평가를 위한 지표를 개발한다.

셋째 : 개발된 지표를 국내 K병원에 적용하여 의료장비의 교체평가를 시뮬레이션 한다.

1.5 연구의 절차 및 구성

의료장비 교체평가와 관련한 국내연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 해외의 선행연구들의 문헌분석을 통해 의료장비 교체평가를 위한 변수들을 수집했고 [그림 1]의 절차에 따라 연구를 진행하였다.



[그림 1] 연구의 절차 및 구성

2. 문헌연구

2.1 Fennigkoh and Smith Model

세계의 여러 의료기관에서는 의료장비의 유지관리를 위해 의료장비들이 포함되는 기준을 체계적으로 분류하는 Fenningkoh and Smith 모델을 사용한다.

EM = Function+Risk+Required Maintenance
(EM : Equipment Management)

〈표 4〉 Fennigkoh and Smith Model

Category	Description	Point score
Function		
Therapeutic	Life support	10
	Surgical and intensive care	9
	Physical therapy and treatment	8
Diagnostic	Surgical and intensive care monitoring	7
	Additional physiological monitoring and diagnostic	6
Analytical	Analytical laboratory	5
	Laboratory accessories	4
	Computers and related	3
Miscellaneous	Patient related and other	2
Risk		
	Potential patient death	5
	Potential patient or operator injury	4
	Inappropriate therapy or misdiagnosis	3
	Equipment damage	2
	No significant identified risk	1
Maintenance		
	Extensive : routine calibration and part repalcement required	5
	Above average	4
	Average : performance verification and safety testing	3
	Below average	2
	Minimal : visual inspection	1

Fennigkoh and Smith 모델은 의료장비의 기능적 요소와 장비의 사용과 관련된 위험도, 장비의 점검 방법에 근거하여 장비를 평가하는 모형이다. EM 값은 4~20사이의 값을 가지며 12 이상의 값을 가지는 장비는 유지관리 계획에 포함시키고 12보다 작은

장비는 포함시키지 않는다[17, 18, 25].

2.2 교체 방법론

2.2.1 간단한 방법론(Simple Method)

Dondelinger[15]는 교체되어야 할 필요가 있는 것을 결정하는 여러 가지 방법이 있지만 가장 타당하고 논리적으로 옹호할 수 있고 대다수의 핵심 인물들이 가장 이해하는 것을 선택해야 한다고 하였다. 따라서 가장 오래된 것을 찾아서 교체되어야 하는 순위 목록을 제공하는 것이 가장 간단한 방법이라고 하였다. 그래서 다음과 같은 장비교체 방정식이 만들었다.

Ret Date = Manuf Date+Life Exp(Yrs)
Ret Date : 교체(은퇴)일(Retirement date)
Manuf Date : 제조일(the date of manufacture)
Life Exp : 기대수명(Life expectancy of the item)

결국 교체(은퇴)일(Ret Date) 순서대로 목록이 나열되고 교체비용과 누적 교체비용을 바탕으로 예산에 맞춰 장비의 교체여부가 결정된다.

2.2.2 복잡한 방법론(Complex Method)

Dondelinger[14]는 간단한 교체 방법론(Simple Method Replacement Model)의 나이요인(Age Factor)에 몇몇 인자들을 추가해서 복잡한 교체 방법론(Complex Method Replacement Model)을 만들었다. 추가된 인자들은 수리 횟수와 누적된 수선비, 기술진보, 5년 계획 적합도이다. 이 자료들 중 수리횟수와 누적수선비는 병원의 의료장비 유지관리 데이터베이스로부터 가져올 수 있다. 그리고 기술진보(Advancement in technology)와 5년 계획 적합도(Fit into five-year plan)는 주관적 요소임에도 불구하고 Complex 방법론의 평가 프로세스에 포함되는데 이 주관적 요소들은 리커드 척도를 사용하여 평가한다. 기술진보(Advancement in technology)는 교체항목에 대한 주관적 평가가 있어야하고 5년 계획 적합도(Fit into five-year plan)는 조직의 5년 계획에 맞춰 특정항목의 교체가 잘 되었는지를 평가하는 것이다. 결론적으로 복잡한 교체 방법론은 총 5개(나이, 수리횟수, 수선비, 기술진보, 5년 계획 적합도)의 인자와 가중치들을 곱해서 각각 더한 후 높은 점수 순으로 나열하여 예산에 맞게 장비 교체여부를 결정하는 것이다.

2.2.3 기타 방법론

의료장비 교체평가와 관련된 선행연구들은 의료장비의 교체우선 순위를 알아내기 위해 전반적으로 공통된 연구패턴을 가진다.

1) 병원과 의공학팀의 관리 데이터베이스로부터 각종 관리지표나 자료들을 추출한다.
2) 장비교체에 영향을 주는 여러 변수들을 선정하여 변수를 정의하고 지표를 개발한다.
3) 병원과 의공학팀의 관리 데이터베이스에서 얻은 데이터와 업체 및 사용자 조사 등을 통해 구한 자료로 부터 개발된 지표값에 맞게 점수화한다.
4) 점수화된 각각의 지표에 가중치를 곱해서 교체계수 값을 구한다.

결과적으로 기타 방법론들은 Dondelinger의 복잡한 방법론(Complex Method)에 연구자가 지표를 개발하여 교체우선 순위를 구한 것이다.

1) Rajasekaran[23]은 총 14개 지표로부터 RRN = $\sum Normalized_value \cdot \frac{100}{Number_of_rules}$의 계산식을 통해 RRN(Relative Replacement Number)을 구했다.
2) Dreiss[16], Capuano[12]는 개발된 지표로부터 Priority Factor = $\sum$(Weight · Score)의 방정식을 통해 장비교체 우선순위를 구했고, Taylor et el.[24]는 아래 계산식을 사용했다.

MERS(Medical Equipment Replacement Score)
= Technical+Device Safety+Mission-Critical
= {(Condition+Life Span) · Discontinuation}
+(Physical · TRI)+(Mission · backup)

3. 연구방법

3.1 조사분석 대상

선행연구들로부터 정리한 19개의 변수들 중 핵심 변수들을 찾기 위해 장비를 사용하거나 관리하는 서울 소재의 K병원의 관계자 58명(의사직 11명, 간호직 20명, 의료기사직 14명, 행정직 7명, 기술직 6명)을 조사대상으로 설정하였다.

3.2 문헌조사를 통한 변수선정

선행연구들로부터 의료장비 교체평가 시 필요한 변수들을 수집하였고 연구별 중복 변수를 제외하고 총 19개의 변수(Rajasekaran[23]에서 13개, Taylor et el.[24]에서 2개, Capuano[12]에서 4개)를 채택하였다. 채택된 19개 변수와 관련 선행연구들은 <표 5>에 정리했다. 그리고 <표 5>의 설문변수명의 용어에 대한 설명은 <표 6>의 설문변수의 조작적 정의를 참조한다.

선행연구에서 정의된 19개 변수들은 다음과 같다.

1) 부품단종(Parts discontinuity) : 제조사로부터 지원이나 파트의 이용 가능성은 장비를 수리할 지 교체할 지를 결정한다고 하였다[23]. 그리고 공급사 지원(Vender Support) 여부가 장비교체에 있어 매우 중요한 인자라 하였고 그 지표 중에 하나가 예비부품(Spare Part)의 확보여부였다[21].

〈표 5〉 문헌조사를 통해 채택된 변수들과 관련 연구들

주요 선행연구	① Rajasekaran[22] ② Taylor et el.[24] ③ Dreiss[16] ④ Capuano[12]					
No	수집 변수명	설문 변수명	관련연구			
			①	②	③	④
1	부품단종(Parts discontinuity)	Parts discontinuity	○			○
2	장비 기대수명 대비 사용연수 (Age of device/Estimated useful life)	Overage	○	○	○	○
3	고장률(Failure rate)	Failure rate	○		○	
4	노동력(Labor)	Time to repair				○
5	물리적 상태(Physical condition)	Equipment condition	○	○		○
6	위험도(Risk)	Equipment risk	○		○	○
7	(의료)사고 관련 기술(Technology related incidents)	Technology related incidents	○	○	○	
8	사용상실수(Use error)	Use error	○		○	
9	신체적 위험도(Physical risk)	Physical risk		○		
10	취득가 대비 관리운영비 (Cost of ownership/Acquisition Cost)	Repairs expense	○		○	
11	주요장비여부(Mission-critical)	Mission-critical		○		
12	장비가격(Price)	Acquisition cost				○
13	표준화(Standardization)	Standardization	○			
14	고장시 재무적 영향(Financial impact of downtime)	Financial impact of downtime	○		○	
15	제품지원종료(Termination of product support)	Termination of product support	○	○	○	○
16	활용도(Utilization)	Frequency of utilization				○
17	임상(기술) 노후와(Clinical Obsolescence)	Clinical obsolescence	○			
18	사용성(Usability)	Usability	○			
19	백업장비 활용성(Availability of backup)	Availability of backup	○	○	○	

2) 장비 기대수명 대비 사용연수(Age of device/Estimated useful life) : 기대수명 대비 실제나이다[23]. 그리고 장비의 나이(수명)는 시간이 지나면서 구성품들이 고장 날지도 모르기 때문에 중요한 요소로 간주된다[12]. 한편 MRI의 사용연수는 5년으로 산정하고 있고 예상 사용연수 역시 대개 5년으로 정하고 있다. 그러나 실제 사용연수는 이보다 길다. 그리고 의료보험연합회[1] 또는 건강보험심사 평가원의 연구에서는 고가 의료장비의 사용연수를 10년으로 산정한다. 대한외과학회의 기준도 10년으로 보고 있다[3, 10].
3) 고장률(Failure rate) : 총 수리횟수를 장비의 도입연수로 나누어 산출하므로 연간 수리횟수의 의미이다[23]. 보통 오래된 장비일수록 부품이 노후화 되어있으므로 고장도 증가하고 유지비용 역시 증가하기 때문에 자연히 교체순위도 높아진다[13].
4) 노동력(Labor) : 의료기기 안전관리자(의공사)나 공급사의 인력이 장비를 유지보수 하는데 걸리는 연간 장비 당 평균 수리시간이다[12].
5) 물리적 상태(Physical condition) : 장비 자신의 낡은 상태로 인해 교체가 필요할 수도 있다[23]. 장비의 현재 상태는 기능성, 안전성, 효율성에 근거하여 교체에 필요한 정도를 나타낸다[12].
6) 위험도(Risk) : 장비가 환자에게 사용되는 동안 오작동과 관련된 위험도로 장비의 기능적 범주, 임상적 응용, 사용환경에 근거하여 평가된다[12]. 장비위험도는 FDA의 장비분류 체계, 장비의 기능, 장비가 사용되는 환경, 기술에 관련된 사건들, 규제기관에 보고된 해당 장비의 리콜 및 경고들 그리고 사용자 오류의 가능성 등의 요인들에 의해 평가된다[13] 사용기능, 사용결과, 치사율, 사용빈도, 요구되는 정비형태, 보호용 안전장치와 같은 요인들로부터 위험도에 의해 평가된다[12].
7) (의료)기술관련 사고(Technology related incidents) : 병원 내부에서 발생된 사고나 외부의 정부기관(FDA, Healthcare Canada, etc) 또는 외부의 비정부기관(ECRI, direct from company, etc)에 보고된 사고들을 말한다[23, 24].
8) 사용상실수(Use-error) : 장비의 사용상 실수(오류)들로 사용자 또는 조작자 실수, 좋지 못한 사용자 인터페이스 디자인, 부적절한 제품 라벨(표지), 장비의 오용 또는 남용, 사용자와 장비간의 상호작용으로 부터 발생된 사용상 문제의 결과로써 발생한다[23].
9) 신체적 위험도(Physical risk) : 많은 (해외)의공학팀에서 위험도를 점수화하기 위해 사용하는 Fenningkoh 모형의 한 부분으로 Fenningkoh 모형은 헬스케어 산업 전반에 걸쳐 폭넓게 적용된다[24].
10) 취득가 대비 유지관리비(Cost of ownership/Acquisition Cost) : 유지관리비의 총액은 취득가 대비로 계산된다[23].
11) 주요장비여부(Mission-critical) : 병원에서 핵심적인 역할을 하는 장비인지 여부로 장비고장 시 병원의 경영자들이 많은 관심을 가지고 지켜보는 장비들을 말한다[24].
12) 장비가격(Price) : 장비의 취득금액으로 상대적으로 중요성을 나타내준다[12].
13) 표준화(Standardization) : 동종 장비의 더 적은 모델의 소유는 더 적은 사용자와 서비스 기술자의 훈련과 지원을 필요로 한다[23].
14) 고장 시 재무적 영향(Financial impact of downtime) : 고장시간 동안의 기계 수리비와 의료서비스를 제공할 수 없어 수익을 낼 수 없는 손실의 합이다[23].
15) 제품지원 종료(Termination of product support) : 제조사로부터 지원이나 파트의 이용 가능성

1) 의료보험연합회는 1977년 설립된 공공법인체로 직장의료보험 조합 및 국민의료공단의 발전과 육성을 도모함으로써 국민 건강의 유지·증진 및 사회복지 향상에 기여할 목적으로 설립되었다. 이 단체는 국민건강보험법의 통과로 전국의 직장조합과 지역조합, 의료보험관리공단 등이 전국 단일조직으로 의료보험이 통합됨으로써 2000년 7월 1일자로 해산하였다(출처 : 두산백과 doopedia, http://www.doopedia.co.kr).

은 장비를 수리할 지 교체할 지를 결정한다[23] 제품의 품질요건, 공급사의 정책, 제조사의 지원 정책에 따라 장비 교체에 영향을 준다[24]. 이 변수는 장비교체 순위 결정 시 잘 받아들여지는 요인이다[12].

16) 활용도(Utilization) : 장비를 사용하는 정도로 의공학팀 매니저가 장비별로 매우 자주 사용하는 지~매우 드물게 사용하는 지를 상대적으로 할당한다[12].

17) 임상(기술) 노후화 : Clinical obsolescence : 새로운 기술들로 인해 아직은 사용될만한 기술들도 장기적으로는 임상적으로 도태되어진다[23].

18) 사용성(Usability) : 장비가 엔지니어에 의해 점검될 때 어떠한 문제도 없는 경우를 말한다[23].

19) 백업장비 활용성(Availability of backup) : 장비를 백업할 수 있는 장비가 있다는 것은 장비 교체 요구에 반비례한다[23].

3.3 변수의 조작적 정의

선행연구를 통해 채택된 19개의 변수를 바탕으로 설문지 구성을 하였고 본 연구의 의도에 적합하도록 변수정의가 조작되었다. 설문에 사용될 각 변수의 조작적 정의는 <표 6>와 같다.

〈표 6〉 설문변수의 조작적 정의

설문변수명	조작적 정의
부품단종(Parts discontinuity)	부품단종으로 제조사 or 공급사로부터 공급이 불가능한 상태
사용연한초과(Overage)	장비의 실제사용연수에서 감가상각기간을 뺀 기간
고장률(Failure rate)	장비가 연간 고장을 일으킬 확률
수리시간(Time to repair)	수리건당 의공학팀 or 공급사에서 수리에 소요되는 평균 시간
장비상태(Equipment condition)	장비의 내·외부를 망라한 전반적인 상태
장비위험도(Equipment risk)	장비의 기능적, 임상적, 점검방법을 고려한 장비측면의 위험등급
(의료)기술과 관련된 사고 (Technology related incidents)	병원 내·외부적으로 보고되는(의료) 장비 및 기술과 관련된 사고
사용상실수(Use error)	장비 본연의 기능 외적인 문제나 사용자의 실수로 발생되는 문제
신체적위험도(Physical risk)	장비고장으로 환자 or 사용자에게 발생할 수 있는 결과(죽음, 상해 부적절한 치료, 오진 등)에 대한 위험도
장비수선비(Repairs expense)	장비를 유지하는데 사용된 총 비용을 취득액으로 나눈 값
주요장비여부(Mission-critical)	병원에서 핵심적인 역할을 하는 장비인지 여부(장비고장 시 병원의 경영자들이 많은 관심을 가지고 지켜보는 장비인지 여부)
장비취득가(Acquisition cost)	장비의 취득 금액
(모델)표준화(Standardization)	공통장비 중 다수 모델의 보유로 인해 업무의 효율성이 떨어지는 경우 모델의 통일성 고려 여부
고장 시 재무적 손실 (Financial impact of downtime)	장비고장 시 미가동 시간동안 병원이 손해를 보는 재무적 손실 정도
제품지원종료 (Termination of product support)	제조사 또는 공급사로 부터 사용자 또는 기술적 지원이 중단되는 것
사용빈도(Frequency of utilization)	하루에 장비가 사용되는 평균 건수
임상(기술) 노후화(Clinical obsolescence)	의료기술의 발전이나 사용자의 기호변화 등에 의해 의료신기술이 현재 or 과거의 기술을 대체하는 것
사용성(Usability)	사용자가 잦은 수리요청의 결과가 문제없음으로 나타나는 경우로 이것은 사용자가 사용하는데 있어 불편하거나 효율적이 않은 경우임
백업장비 활용성(Availability of backup)	고장 시 대체장비가 공급사 또는 병원 내에서 보유하고 있는지 여부

3.4 설문지의 구성

본 연구의 설문은 선행연구로부터 수집된 19개의 변수들이 의료장비 교체의도에 미치는 영향도를 알아보고 장비교체에 영향을 주는 요인들의 중요도를 분석하여 최종변수들의 가중치를 결정하는데 목적이 있다. 현재까지 국내에서는 이와 관련 된 연구보고가 없었고 해외에서는 관련 연구들이 있었으나 설문도구를 찾을 수 없어 설문도구를 직접 개발해야만 했다. 조사대상자들에게 질문한 설문지 내용은 아래와 같다.

1) 의료장비 교체에 대한 변수들의 영향도 조사
2) 장비교체 시 주요하게 고려해야할 변수 선택
3) 장비교체에 영향을 주는 변수들의 요인결정
4) 장비교체에 영향을 주는 요인들의 중요도 결정
5) 기초조사(성별, 나이, 근무기간 등)

1번 문항을 위해 리커드 5점 척도(전혀 그렇지 않다~매우 그렇다)를 사용하였고 2번 문항은 조사 대상자가 의료장비 교체 시 고려해야 하는 주요변수 10개를 중복 선택하도록 하였다. 3번 문항은 조사대상자들에게 선행연구에서 수집된 변수들이 기술적(Technical), 안전적(Safety), 재무적(Financial), 활용적(Utilizability) 요인 중 해당되는 것을 선택하도록 하였다. 4번 문항은 조사대상자가 4가지 요인들의 중요도를 순서대로 나열하게 하여 이로부터 각 요인들에 대한 가중치를 구하고자 하였다. 마지막 5번 항목은 성별, 나이, 근무기간 등 조사대상자들에 대한 기초정보를 조사하고자 하였다. 설문도구는 구글 문서의 폼 형식으로 개발하였고 설문방식은 설문조사자가 설문대상자들에게 19개 변수를 이해하기 쉽도록 직접 설명해주고 아이패드 또는 컴퓨터를 사용하여 설문링크를 열어 설문대상자가 직접 설문에 응답하도록 하였다.

3.5 분석방법

본 연구의 분석을 위한 자료처리는 PASW SPSS 17.0를 사용했고 조사대상의 인구통계학적 특성, 변수들의 설문항목에 대한 요인분석, 신뢰도분석을 했다.

연구의 타당성을 확인하기위해 요인분석(주성분분석, 3개의 요인추출, 배리맥스 회전방식 사용)을 하였는데 이를 통해 본 연구의 변수로는 적합하지 않은 변수들을 제거하였다. 요인분석 결과에 따라 합산하여 재도출된 측정변수들을 가지고 이 측정변수들이 해당하는 이론변수들을 얼마나 적절하게 반영하는가를 평가하기 위해 신뢰도 분석을 실시하였다. 그리고 각각의 요인별로 신뢰도 검정하여 요인별로 Cronbach-α 계수가 0.6 이상이 되도록 하여 측정항목들이 내적일관성을 가지도록 하였다. 한편 Microsoft Excel 2007을 사용하여 정해진 의료장비 교체규칙에 따라 K병원의 1억 원 이상 88대의 장비를 점수화하여 최종 교체순위를 도출하였다.

4. 연구 결과

4.1 인구통계학적 특성

조사대상의 인구통계학적 특성으로 성별, 나이, 근무기간, 직종, 직책, 보직여부를 분석하였으며 그 결과는 <표 7>와 같다.

성별분포는 남성(55.2%)이 여성(44.8%)에 비해 많았다. 남성은 의사직, 기술직, 사무직에서 많았고 여성은 간호직에서 압도적으로 많았으며 보건직은 비슷했다. 연령은 40대(48.3%), 30대(27.6%), 50대(19.0%) 순으로 나타났다. 근무기간은 의료기관에서의 근무연수(전직장 포함)는 10년 이상~20년 미만(53.4%), 20년 이상~30년 미만(31%), 5년 이상~10년 미만(6.9%) 순으로 분포되어 있었고 근무연수가 5년 이상이 전체의 94.7%에 해당할 정도로 의료기관의 시스템을 잘 알고 있는 이를 대상으로 설문을 하였다.

직종분포는 간호직(34.5%), 보건직(24.1%), 의사직(19.0%), 사무직(12.1%), 기술직(10.3%) 순으로 나타났고 모집단의 특성을 최대한 반영하려고 했다. 그리고 보직여부는 보직자(55.2%)가 비보직자(44.8 z%)보다 많았고 의사와 시니어급에서 보직자가 많았으

〈표 7〉 조사대상의 인구통계학적 분석결과

변수	특성	빈도	퍼센트
성별	남성	32	55.2
	여성	26	44.8
연령	20대	2	3.4
	30대	16	27.6
	40대	28	48.3
	50대	11	19.0
	60대 이상	1	1.7
근무 연수	1년 미만	2	3.4
	1년 이상~5년 미만	1	1.7
	5년 이상~10년 미만	4	6.9
	10년 이상~20년 미만	31	53.4
	20년 이상~30년 미만	18	31.0
	30년 이상	2	3.4
직종	의사직	11	19.0
	간호직	20	34.5
	보건직	14	24.1
	사무직	7	12.1
	기술직	6	10.3
직급	DOCTOR	11	19.0
	JUNIOR	20	34.5
	SENIOR	27	46.6
보직 여부	보직자	32	55.2
	비 보직자	26	44.8

며 특히 의사는 전체 11명 중 8명(73%)이 보직자에 해당했다. 그리고 간호사도 전체 20명중 13명(65%)이 보직자로 보직자의 비중이 컸으며 전체 보직자 중 의사와 간호사의 비중은 65.6%였다. 비보직자는 주니어급에서 많았고 그 중에서도 기술직, 보건직의 비중이 컸다. 이는 기술직과 보건직의 보직 수가 많지 않기 때문이다.

4.2 탐색적 요인분석 및 신뢰성 분석

총 19개 변수 중 사용성, 취득가, 임상기술 노후화 변수는 삭제하였고 부품단종 및 제품지원종료 변수는 하나의 변수로 통합시켰다. <표 8>은 요인분석에서 제외된 변수들의 제외사유이다.

〈표 8〉 요인분석에서 제외변수들의 제외사유

변수명	제외사유
사용성 (Usability)	교체가 아닌 사용자 교육의 문제로 확인되어 제외함
장비취득가 (Acquisition Cost)	장비수선비의 계산식에 포함되어 제외함
임상(기술) 노후화 (Clinical Obsolescence)	역-이미지 상관계수 행렬의 대각원소에 해당하는 표본 적합성 측도(MSA)가 0.5 이하로 측정되어 삭제함[4, 5]
부품 단종 (Parts Discontinuity)	부품단종과 제품지원 종료는 통합(통합 변수명 : Product Support)하였고 제품지원 지표의 규칙을 정의할 때 부품단종, 제품지원종료가 모두 반영될 수 있도록 하였다.
제품지원 종료 (Termination of Product Support)	

개별 변수에 대해서도 표본적합성 측도(measure of sampling adequacy, MSA)를 계산할 수 있다. 합을 구할 때 모든 변수쌍을 고려하는 것이 아니라 관심변수와 여타변수간의 상관계수만을 고려하는 것으로서 개별변수의 표본 적합도를 정의할 수 있는데, 개별변수의 MSA는 역-이미지 상관계수 행렬의 대각원소에 해당한다. 이 값들도 커야만 요인분석이 타당성을 갖게 된다. 따라서 MSA의 값이 작은 관측변수들을 요인분석에서 제거하는 것을 고려하는 것은 타당하다[4, 5].[2)]

측정항목의 신뢰성과 타당성을 평가하기 위해서 탐색적 요인분석과 신뢰도분석을 사용하였고 탐색적 요인분석의 평가 기준은 요인적재값 0.5 이상으로 설정하여 구성개념들의 측정타당성을 검토하였다. 또한 반복적 측정 자료의 신뢰성을 나타내는 Cronbach-α는 0.6 이상으로 설정하였다. 그리고 요

2) 문춘걸, 나성린[4]는 최종적으로 요인분석을 적용할 변수를 선정하는 과정을 요약하여 수록하였는데 그 중 개별 변수의 MSA_i 값이 1차적으로 0.4 이하인 변수를, 2차적으로 0.5 이하인 변수를 제거하여 Kaiser-Meyer-Olkin의 표본적합성 측도(Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy, KMO) 값을 향상시켰다.

인추출 개수는 Rajasekaran[23]의 연구에서와 같이 3개의 요인에 대하여 검정하는 차원에서 3개로 한정하여 요인분석을 진행하였다.

일반적으로 Cronbach-α 계수는 0~1의 값을 가지며 0.8~0.9 이상이면 바람직하고 0.6~0.7 이상이면 수용할 만한 것으로 여겨진다. 그러나 0.6보다 작으면 내적일관성을 결여한 것으로 받아들여진다[11]. 또한 새로 개발된 설문의 경우에는 0.6을 최저 허용치로 사용하기도 한다[11]. 그리고 사회과학분야에서 Cronbach-α 값이 0.6 이상이면 비교적 내적일관성이 높은 것으로 인정된다. 이러한 내적일관성, 즉 단일차원성을 확보하기 위해 구성단위별로 주성분 분석을 실시한 후 요인적재량을 단순화시키기 위해 각회전 방식 중에서 베리맥스 회전방식을 적용해 요인분석을 실시하였다.

요인분석에서 본 연구의 타당성을 검정하기 위해 KMO-Bartlett 검정을 실시하였다. 이 검정은 각 항목간의 상관계수의 다양성이 공통요인을 가질 수 있는지에 대한 값이며, 이 값이 1에 가까울수록 공통요인을 가질 수 있는 의미가 높고 0.5 이하이면 공통요인을 가질 수가 없다. Kaiser[19]는 경험적으로 볼 때 요인분석을 진행하기 위해서는 KMO 값이 0.6보다 커야한다고 하였다.

또한 Bartlett의 구형성 검정은 변수들의 상관행렬이 단위행렬이라는 귀무가설을 검정한다. 즉, 변수들 간의 상관계수가 모두 0이라는 가설인데 이 가설을 기각할 수 있어야 한다[5]. 요인분석에서 KMO 측도는 0.638로 0.6보다는 크게 나왔고 Bartlett의 구형성 검정결과(유의확률 0.000) 상관행렬이 단위행렬 이라는 귀무가설이 기각되기 때문에 요인분석을 할 수 있었다. 그 결과는 <표 9>과 같다.

〈표 9〉 KMO와 Bartlett의 검정

KMO와 Bartlett의 검정		
표준형성 적절성의 Kaiser-Meyer-Olkin 측도		.638
Bartlett의 구형성 검정	근사 카이제곱	230.114
	자유도	105
	유의확률	.000

<표 10>의 공통성(Communalities)은 각 변수들이 추출된 요인에 의해 설명되는 비율을 나타낸다.

〈표 10〉 공통성(Communalities)

변수명	초기	추출
수리시간(Time to repair)	1.000	0.490
장비수선비(Repairs expense)	1.000	0.588
(모델)표준화(Standardization)	1.000	0.618
고장 시 재무적 손실 (Financial impact of downtime)	1.000	0.676
백업장비 활용성 (Availability of back-up)	1.000	0.451
사용연한초과(Overage)	1.000	0.577
장비위험도(Equipment risk)	1.000	0.606
제품지원(Product Support)	1.000	0.415
고장률(Failure rate)	1.000	0.376
장비상태(Equipment condition)	1.000	0.198
(의료)기술과 관련된 사고 (Technology related incidents	1.000	0.307
사용상 실수(Use error)	1.000	0.475
주요장비여부(Mission-critical)	1.000	0.257
사용빈도(Frequency of utilization)	1.000	0.452
신체적 위험도(Physical risk)	1.000	0.654

추출 후 값이 0.4 이하는 삭제 후 요인 분석할 수 있지만 본 연구는 이를 포함시켜 했다. <표 11>는 요인분석과 신뢰도분석의 결과이다.

요인분석과 신뢰도 분석의 결과의 해석은 다음과 같다.

1) 요인분석 결과 설명된 총 분산의 누적 분산 값을 보면 3개의 주성분으로는 전체 변이의 47.588% 정도를 설명하는 것으로 나타났고 총 15개의 변수는 기술활용적, 재무적, 안전적의 총 3개 요인으로 구분되었다. 요인을 더 많이 추출하였다면 그 설명력은 47.588%보다 더욱 높아질 것이지만 요인의 수가 많아진다는 단점이 있다. 그리고 본 연구에서는 Rajasekaran[23] 연구에서의 요인과 같은 수로 추출하는 제약이 있었으므로 설명력

〈표 11〉 요인분석과 신뢰도분석

요인	변수명	요인 적재값	고유값 / 분산(%)	Cronbach-α
기술·활용적 요인 (Technical and Utilizability)	사용연한초과 (Overage)	.736	3.490	0.754
	(모델)표준화 Standardization	.684		
	사용상실수 (Use errors)	.644		
	수리시간 (Time to repair)	.606	18.602	
	제품지원 (Product Support)	.606		
	사용빈도 (Frequency of utilization)	.578		
재무적 요인 (Financial)	고장 시 재무적 손실 (Financial impact of downtime)	.812	2.029	0.692
	장비수선비 (Repairs expense)	.764		
	백업장비 활용성 (Availability of back-up)	.642	14.662	
안전적 요인 (Safety)	신체적위험도 (Physical risk)	.798	1.620	0.696
	장비위험도 (Equipment risk)	.771	14.324	
누적분산(%)			47.588	

을 높이는데 한계가 있었다.

2) 앞부분에서 밝혔듯이 국·내외 문헌고찰 결과 국내에서는 의료장비 교체평가와 관련된 기존 연구가 보고된 사례가 없고 해외에서는 관련 연구들이 있지만 설문도구가 없어 자체적으로 설문도구를 개발해야 했다. 또한 실무에서 사용할 지표를 개발하는 것이 목적이었고 해외문헌 고찰을 통해 수집된 변수들이 하나의 연구에서 수집된 것이 아니라 여러 개의 연구에서 수집되었기 때문에 누적분산 값이 다소 낮게 나왔을 것으로 추정된다. 하지만 본 연구는 의료장비 교체평가를 위한 지표를 개발하는 것이었고 해외지표 중 국내 상황에 맞는 지표를 찾는 것이 연구의 목적이었기 때문에 누적분산이 다소 낮은 것은 연구의 특성상 어쩔 수 없는 부분이었다.

3) 요인분석을 실시한 총 15개의 변수 중 장비상태(Equipment Condition), 주요장비여부(Mission-critical), 고장률(Failure rate) 변수들은 요인분석 결과 이론구조에 맞지 않게 적재되어 제거(요인적재량이 0.5보다 작음)하고 남은 12개 변수들로 신뢰도분석을 했다.

4) 신뢰도분석 결과 (의료)기술과 관련된 사고(Technology of Incidents) 변수는 안전적 요인의 신뢰도를 하락시키는 변수였다. TRI가 포함될 경우 신뢰도는 0.595로 하락하게 되어 본 연구에서는 (의료)기술과 관련된 사고 변수를 안전적 요인에서 제외시켰다.

5) 신뢰도분석 결과 재무적 요인에서 백업장비 활용성(Availability of back-up) 변수가 삭제되었을 때 재무적 요인의 Cronbach-α 값이 0.771로 더 커지지만 Availability of back-up 변수를 포함시켜도 Cronbach-α 값이 0.6 이상을 만족하고 이 변수는 본 연구에서 중요한 변수이므로 삭제하지 않고 포함시켰다.

6) 장비상태(Equipment Condition) 변수는 요인분석 결과에서는 제외되었지만 상관분석 결과 모든 변수들과 독립적이고 본 논문에서 중요한 변수이므로 총 교체계수 값을 조정하는 변수로 사용했다.

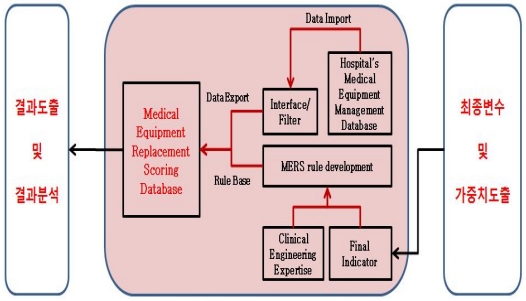
7) (의료)기술과 관련된 사고(TRI) 변수는 의료기술로 인한 사고 발생 시 병원내부, 정부기관, 비정부기관에 그 내용이 보고되므로 변수자체가 객관적이고 모두가 인정할만하다고 판단되는 중요한 변수이다. 따라서 총 교체계수 값을 조정하는 변수로 사용했다.

8) 요인분석 및 신뢰도 분석 결과 요인 적재 값은 모두 0.5 이상이며 신뢰성 분석결과 신뢰도 계수는 모두 0.6 이상을 보이고 있으므로 측정항목간의 내적 일관성은 높은 것으로 판단된다.

4.3 교체평가 시스템의 방법론

4.3.1 교체 프로세스

[그림 2]은 본 연구의 의료장비 교체 프로세스로 Rajasekaran[41]의 연구를 참조하였다.



Replacement Process Source : Rajasekaran, D., 2005.

[그림 2] 장비교체 프로세스

프로세스 내부의 의료장비 교체평가 데이터베이스는 Microsoft Access, Oracle 등 데이터베이스 프로그램으로 구축을 해야 한다. 그러나 본 연구에서는 의료장비 교체평가 시스템의 개발 전 서울 소재 K병원의 1억 원 이상인 장비 88대를 대상으로 시뮬레이션(Pilot-test)의 개념으로 연구를 진행했기 때문에 Microsoft Excel 2007을 사용하였다. 따라서 데이터베이스 구축 및 결과 조회 프로그램을 따로 구축할 필요는 없었다. 그러나 전체 장비를 대상으로 할 때는 Microsoft Access, Oracle 등으로 데이터베이스를 구축하고 Visual Basic 등 프로그래밍 언어를 사용하여 조회 프로그램을 만들어야 한다. 그리고 본 연구에 적용한 의료장비 교체 프로세스의 세부사항([그림 2] 참조)은 다음과 같다.

1) 병원 의공학팀의 의료장비 관리 데이터베이스에서 장비의 기본 데이터(귀속부서, 설치장소, 자산코드, 장비명, 모델명, 시리얼 넘버, 취득일자, 제조사, 취득금액)와 고장 및 예방점검 등 서비스와 관련된 기록(고장률, 수리시간 등)들을 추출시켜 의료장비 교체평가 데이터베이스로 넣어준다.
2) 선행연구를 통한 문헌 고찰과 병원의 의공학 엔지니어들의 경험을 바탕으로 의료장비 교체 평가를 위한 규칙을 개발하고 그 규칙들을 바탕으로 의료장비 교체평가 데이터베이스에 저장된 데이터를 평가한다. 이 때 이미 만들어진 규칙에 의거하여 요인분석과 신뢰도분석을 거친 최종변수들을 점수화한다.
3) 점수화된 각각의 변수들에 가중치를 반영시키고 조정변수들에 의해 가중치가 반영된 값들을 조정하여 장비의 교체평가 결과를 조회하는 프로그램을 개발한다. 단, 본 연구에는 일부 장비에 대하여 시뮬레이션을 했기 때문에 Microsoft Excel 2007을 사용했다.

선행연구들에서는 장비교체를 위한 우선순위를 정할 때 실무담당자의 실무적인 입장을 고려하여 연구를 한 것으로 보인다. 대부분 1)~3)의 과정을 거쳐 연구를 진행했지만 2)의 변수들에 대한 타당성 및 신뢰도 검토는 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 사용된 변수들의 조작적 정의나 지표가 측정하고자 하는 개념을 제대로 반영하는지 여부를 확인하기 위해 타당성 검증도 함께하였다.

그리고 의료장비 교체평가와 관련된 모든 연구들이 해외에서 발표됐기 때문에 국내 실정에 맞는 선행연구의 변수들을 찾아내고자 했다. 그리고 최종변수 결정은 선행연구들처럼 장비교체 관련된 행정부서와 주요 의사결정자들이 아닌 병원에서 의료장비와 관련된 직종에 근무하는 사람들의 의견을 골고루 반영하여 최종변수를 선정했다. 그리고 최종변수를 사용하여 서울소재 K병원의 1억 원 이상 장비에 대하여 교체평가를 하였다.

4.3.2 교체 규칙

의료장비 교체평가를 위한 지표는 탐색적 요인분석 및 신뢰도 분석을 통해 11개가 최종 채택되었다. 11개의 지표는 안전적(Safety) 2개, 기술 · 활용적(Technical and Utilizability) 6개, 재무적(Financial) 요인 3개의 지표들로 구성되어 있다. 3개 요인의 11개 지표에 의해 각 장비별로 점수합계가 계산되어지고 조정변수 3개(장비상태, (의료)기술과 관련된

〈표 12〉 의료장비 교체평가를 위해 개발된 지표 및 지표값

요인명	지표명	지표값					
		0	20	40	60	80	100
기술·활용적 요인	사용연한초과(Overage)(년)	OA < 0	OA < 1.5	OA < 3	OA < 4.5	OA < 6	OA ≥ 6
	(모델)표준화(Standardization)	N	-	-	-	-	Y
	수리시간(Time to repair)(시간)	TR = 0	0 < TR < 1	1 ≤ TR < 2	2 ≤ TR < 3	3 ≤ TR < 4	TR ≥ 4
	제품지원(Product support)	장비 N 부품 N	장비 Y 부품 N	-	장비 N 부품 Y	-	장비 Y 부품 Y
	사용상실수(Use error)(회/년)	UE = 0	UE < 2	UE < 4	UE < 6	UE < 8	UE ≥ 8
	사용빈도(Frequency of utilization)(회/일)	FU < 2	FU < 4	FU < 6	FU < 8	FU < 10	FU ≥ 10
재무적 요인	장비수선비(Repairs expense)	RE = 0	0 < RE < 20	20 ≤ RE < 40	40 ≤ RE < 60	60 ≤ RE < 80	RE ≥ 80
	고장시 재무적 손실(시간/월) (Financial impact of downtime)	FD = 0	FD < 10	FD < 20	FD < 30	FD < 40	FD ≥ 50
	백업장비 활용성 (Availability of back-up)	Y	-	-	-	-	N
안전적 요인	신체적위험도(Physical risk)	<표 13> Physical Risk 점수 참조					
	장비위험도(Equipment risk)	No	Low	-	Medium	-	High
조정 변수	장비상태(Equipment condition)	EC = 0	Very good (EC < 1.0)	Good (EC < 2.0)	Moderate (EC < 3.0)	Poor (EC < 4.0)	Very poor (EC ≥ 4.0)
		= Average(고장률*, 사용연한초과, 제품지원)					
		※ 단, 제품지원에서 부품단종(부품 : Y) or 교체평가 전 수리불가 판정을 받은 장비 or 이미 폐기된 장비는 장비상태가 매우 좋지 않음으로 간주					
	고장률×(Failure rate)	FR = 0	0 < FR < 0.5	0.5 ≤ FR < 1	1 ≤ FR < 1.5	1.5 ≤ FR < 2	FR≥ 2
	(의료)기술과 관련된 사고 (Technology related incidents)	= 모든장비(1)+내부사고(1)+외부사고 : 비정부(1.5)+외부사고 : 정부(1.5)[24]					
		※ 장비상태가 매우 좋지 않은 상태이면 내부사고로 간주함[24]					
	감가상각 내용연수보다 적은 사용연수(Years less depreciation)	= 감가상각기간을 지나지 않은 장비의 MERS 값을 50%만 인정[24]					
합계	MERS	= TRN · (Equipment condition · TRI · Years less depreciation)					

사고, 감가상각 내용연수보다 적은 사용연수) 그리고 1개의 부 조정변수(고장률)에 의해 점수합계가 조정되어 최종점수가 산출된다. 그리고 각 장비의 최종점수로부터 교체순위가 매겨질 것이다. <표 12>는 의료장비 교체평가를 위해 개발된 지표의 값들이다.

<표 12>의 규칙 이외에 예외규칙이 있다.

예외 1 : 의공학팀의 대체장비(Loaner Equipment)는 무조건 MERS 점수에 0점을 자동으로 부여하고 추가로 임대계약을 통해 병원에 설치된 장비들은 병원의 자산이 아닌 업체의 자산이므로 MERS 점수에 0점을 자동으로 부여한다.[3)]

그리고 <표 12>의 신체적 위험도(Physical risk)의 지표 값은 <표 13>과 같다.

3) Taylor et el.[24]는 대체장비는 구매하는 중에 취득되거나 서비스로부터 제거된 장비들이 의공학팀의 대체장비가 된다는 사실에 의해 정당화 될 수 있어서 능동적으로 교체될 필요가 없고 그런 장비들에 MERS 점수를 3점을 자동적으로 부여할 수 있게 하였다.

〈표 13〉 신체적 위험도의 지표값[24]

세부지표	점수
Possible Patient/Operator death	5
Possible Patient/Operator injury	4
Possible inappropriate therapy /misdiagnosis	3
Possible delay in therapy/diagnosis	2
Linited to no risk	1

한편 교체평가 지표의 조사 및 분석은 <표 14>와 같이 한다.

〈표 14〉 장비교체 평가지표의 조사 및 분석방법

지표값	MC D/W	CE DB	업체 조사	user 조사	문헌 조사	실무 평가
사용연한초과		O				
(모델)표준화		O		O		O
수리시간		O				
제품지원			O			O
사용상실수		O				
사용빈도	O			O		
장비수선비		O				
고장시 재무적손실	O					
백업장비활용성		O		O		O
신체적위험도		O				O
장비위험도		O				O
장비상태	O	O				O
-고장률		O				
(의료)기술관련사고		O			O	O
감가상각내용연수보다적은사용연수		O				

지표별 가중치는 설문의 응답 결과를 통해 계산하였다. 장비교체에 영향을 주는 요인들의 중요도를 질문했고, 중요한 요인을 순서대로 기재하도록 하였다. <표 15>에 요인별 가중치 결과를 나타냈다.

설문 대상자들은 실제 장비를 사용하는 사용자들이 대부분이므로 네 가지 요인 중 안전적 요인을 가장 중요하다고 선택했고 활용적 요인을 두 번째로 중요하다고 선택했다. 반면 기술적과 재무적 요인은 상대적으로 덜 중요하다고 인식했다.

〈표 15〉 요인별 가중치

순위	점수	요인			
		안전적	활용적	기술적	재무적
1순위	100	27	16	8	7
2순위	75	8	21	15	14
3순위	50	11	11	16	19
4순위	25	11	10	19	18
합계		4125	3,975	3200	3150
평균		0.284	0.274	0.221	0.217
기술·활용 통합		0.28	평균 : 0.25	0.22	
최종가중치		38%	33%	29%	

그리고 요인별 최종 가중치는 요인별 지표수로 나누고 그 값을 반영했다. 안전적 요인의 가중치는 38%이고 지표수는 2개이므로 각 19%씩, 기술·활용적 요인의 가중치는 33%이고 지표수는 6개므로 각 5.5%씩, 재무적 요인의 가중치는 29%이고 지표수는 3개이므로 각 9.7%씩 가중치가 반영될 것이다.

마지막으로 의료장비 교체 점수(MERS)의 계산식은 다음과 같다.

MERS(Medical Equipment Replacement Score)
= TRN · Adjustment Variables
= TRN · (Equipment condition · TRI · Years less depreciation)

의 계산식에 의해 교체순위를 구하게 된다.

4.4 적용 사례-서울지역의 K병원

서울소재 K병원 3,300여대의 의료장비 중 1억 원 이상인 장비는 97대였다. 그 중 Optional Item 3대와 주요 장비가 아닌 구성품 5대 그리고 치료계획 장비까지 총 9대를 제외시킨 88대를 대상 장비로 했다.

연구방법의 교체 프로세스와 교체 규칙에 의거하여 의공학팀 관리 데이터베이스에서 기본 데이터(귀속부서, 설치장소, 장비명, 모델명, 제조사, 취득

일자, 취득금액, 감가상각연수(6년))를 추출하여 의료장비 교체평가를 위해 개발한 지표 값들과 가중치 값들을 반영하여 88대의 장비를 점수화했다. 3가지 요인의 총 9개 지표 값과 가중치 값에 의해 총 교체점수(TRN : Total Replacement Number)이 계산 되었으며 3개의 조정변수(장비상태, (의료)기술과 관련된 사고, 감가상각 내용연수보다 적은 사용연수)의 값을 반영하여 의료장비 교체점수(MERS : Medical Equipment Replacement Score) 값을 계산해서 전체 장비의 교체순위를 확인했다.

서울 K 병원의 결과를 통해 사용연한이 감가상각 내용연수(6년)을 넘기고 고장률이 높고 제품지원여부에서 부품단종이 된 장비 또는 교체평가 전 수리불가 판정을 받은 장비나 이미 폐기가 된 장비들은 장비상태가 매우 좋지 않은 상태가 됨을 알 수 있었다. 이런 장비들은 장비상태에서 보통의 장비보다 총 교체계수(TRN)의 5배나 되는 점수를 득하였다.

한편 취득한 후 무상보증기간이 지나지 않았음에도 사용빈도가 높고 위험도가 높은 방사선 장비의 경우 교체 순위가 상위권에 속하는 경우가 있다. 따라서 Taylor et el.[24]에서 정한 예외규칙에 의거하여 감가상각기간을 지나지 않은 장비는 MERS 값을 50%만 인정하도록 하였다.

그리고 Tayler[24]는 장비상태가 매우 좋지 않은 경우에 해당 장비는 자동적으로 병원 내부의 사건사고 보고가 이루어지게 되어 TRI 변수에 0.5점이 추가되도록 하였는데 본 연구에서는 TRI 조정변수의 내부사건 보고는 1점으로 하였다. 그런데 모든 장비는 1점을 가지므로 내부사건 보고가 있는 장비는 2점을 가지게 되어 내부사건 보고가 없는 장비에 비해 2배의 총 교체계수(TRN) 값을 갖게 되었다.

이를 K병원의 적용한 결과 장비상태가 매우 좋지 않은 장비는 총 4대(모두 부품 단종이 되어 주요 부품의 고장 시 더 이상 수리가 불가능할 장비임)였고 이 장비들은 장비상태와 (의료)기술과 관련된 사고 조정변수의 규칙에 의해 총 교체계수(TRN) 값의 10배가 곱해져 의료장비 교체평가 점수를 득하였다.

그리고 K병원의 의료장비 교체평가 시뮬레이션을 통해 1) 비방사선 장비와 방사선 장비가 고루 분포될 수 있었고, 2) 장비상태가 매우 좋지 않거나 이미 폐기가 된 장비가 우선적으로 교체될 수 있었고, 3) (의료)기술 관련 사고가 발생되서 교체평가 시점까지 그 문제가 해결이 되지 않은 장비가 우선 교체될 수 있었고, 4) 감가상각 내용연수보다 사용연수가 적은 장비들(장비 취득 후 6년이 안된 장비)은 교체가 뒤로 미루어지도록 하였고 5) 사용년수가 6년이 안되어도 장비를 폐기해야 하는 상황(Ex. 부품단종으로 인한 수리불가)이라면 장비가 교체될 수 있었다는 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

5.1 결과 요약

본 연구는 국내에서 최초로 의료장비 교체평가 시스템을 위한 지표를 개발을 하고 이를 국내의 K병원에 적용을 해본 첫 케이스이다. 해외 선행연구를 통해 의료장비 교체와 관련된 19개 변수가 수집되었고 방법론도 고찰되었으며 수집된 변수들을 사용하여 설문도구 직접 개발했다.

SPSS 17을 사용하여 요인분석과 신뢰도 분석 실시한 결과 11개의 최종지표들이 결정되었고 요인분석 및 신뢰도분석 결과 요인적재값은 모두 0.5 이상, 신뢰도계수인 Cronbach-α 값도 모두 0.6 이상을 보여 측정항목간의 내적 일관성이 있는 것으로 나타났다. 그리고 각 지표별로 가중치를 구했으며 지표값을 개발하여 그 값을 각 장비에 적용하여 점수화하였다. 또한 장비별로 각 지표값에 가중치를 곱해 지표별로 합산하여 총 교체계수(TRN)을 계산해냈다. 여기에 조정변수 3개의 값을 반영시켜 최종 MERS 값을 계산하여 순위를 매겼다.

각 지표의 값도 중요하지만 의료장비 교체평가 시스템에서는 조정변수 값들이 매우 중요함을 확인했다. 조정변수 중 장비상태, (의료)기술과 관련된 사고는 반드시 교체해야 되는 장비를 교체할 수 있도

록 해주는 조정변수이다. 반면 감가상각 내용연수보다 적은 사용연수는 사용연수가 감가상각 내용연수보다 적음에도 총 교체계수가 높은 장비들을 조정을 해주는 역할을 한다. 예를 들면 장비를 취득하고 무상보증기간이 지나지 않은 장비도 위험도가 높고 사용빈도 등 여러 지표들이 높은 방사선 장비라면 총 교체계수 점수가 높아 교체순위가 상위에 랭크될 가능성이 있어 Taylor et el.[24]의 예외규칙에 의해 조정될 수 있다.

조정변수 중 장비상태는 Capuano[12]의 연구에 의해 기능적, 위험적, 효능적인 것을 반영하고자 본 연구의 지표인 장비위험도 지표를 장비상태의 성분으로 하였다. 그 외에 고장률, 사용연한 초과, 사용빈도 지표를 장비상태의 성분으로 하였다. 이 4개 성분의 평균값을 장비상태의 조정값으로 하고 나머지 조정변수인 (의료)기술과 관련된 사고, 감가상각 내용연수보다 적은 사용연수와 함께 장비 교체평가 시뮬레이션을 해보았다. 그 결과 방사선 장비의 교체순위가 높게 나타났는데 그 원인은 방사선 장비들이 대부분 장비 위험도가 높고 사용빈도가 높았기 때문이었다. 따라서 장비위험도와 사용빈도를 제외하고 제품지원을 추가하여 시뮬레이션을 다시 해본 결과 방사선 장비의 편중 현상은 없어졌다. 그래서 장비상태는 고장률과 사용연한 초과, 제품지원으로 결과를 도출해야 한다는 결과를 얻어 조정변수인 장비상태의 규칙을 수정하였다.4)

5.2 시사점

첫 번째, 기존에는 의료장비를 교체할 때 부품단종, 과도한 사용 연수 및 수선비, 높은 고장률 때문에 장비를 폐기하고 새로운 장비의 도입을 검토했었다. 그리고 종종 병원 내부의 정치적인 문제에 의해서도 장비가 교체되곤 했다. 하지만 의료장비 교체평가 시스템은 기존의 주관적인 기준에 의존했던 장비교체 방식을 최대한 탈피하고 객관적인 도구와 누구나 인정하는 다양한 지표들을 가지고 장비들의 우선순위를 매겨 객관적이고 합리적인 근거에 의해 장비의 교체평가가 이루어지게 할 것이다.

두 번째, 이 도구의 개발로 국제의료기관 평가위원회(Jonit Commission International)의 FMS(Facility Management and Safety) 인증 기준을 만족시킬 수 있다. JCI 인증 기준 제 4판(2011)에서 FMS 8.1은 병원은 의료장비 관리 프로그램에 관한 모니터링 자료를 모으고, 이 데이터는 장비 업그레이드나 교체를 위한 장기적인 요구사항을 계획하는데 사용된다고 했다. 그러므로 자동화된 의료장비 교체평가 도구는 장비교체와 관련된 지표들을 지속적으로 수집하고 관리함으로써 의료장비 교체를 위한 장기계획을 수립할 수 있다.

마지막으로 국내에서 최초로 의료장비 교체평가를 위한 지표 및 설문도구를 직접 개발하여 국내에서도 객관적인 의료장비 교체평가가 가능해졌고 만들어진 지표와 도구들을 바탕으로 어느 병원에서든지 병원의 현실에 맞게 시스템을 구축할 수 있는 토대가 마련되었단 의의가 있다.

5.3 한계점과 향후과제

첫 번째, 의료장비의 자동화된 교체평가 시스템은 장기적으로 의료장비 구입 예산을 효과적으로 분배해주고 장기적인 의료장비의 교체계획을 세울 수 있다. 하지만 의료장비 교체평가에 의해 얻은 결과가 장비 교체에 절대적으로 영향력을 미칠 거란 생각을 해서는 안된다. 이 시스템의 역할은 장비를 교체하는데 있어 교체 대상장비가 객관적인 관점에서 교체가 될 만한 장비인지를 판단해주는 간접적인 도구의 역할이지 우선순위가 높다고 장비를 교체해야 한다고 주장하는 시스템이 아니다.

두 번째, 장비상태를 반영하는 인자에 사용빈도

4) Cameron은 2003년 호주 빅토리아 주정부의 감사보고서인 “Managing medical equipment in public hospitals”에서 부품단종으로 부품수급이 어려운 경우에는 장비상태가 매우 좋지 않음으로 간주된다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 부품단종이 제품지원에 포함되어 있어 제품지원 지표가 장비상태의 성분으로 포함되었다.

가 반영되어야 할 것이다. 사용빈도가 높은 장비는 일반적으로 고장도 많고 장비가 빨리 노후된다고 대부분 생각한다. 하지만 방사선 장비의 경우 고가의 장비이기 때문에 장비의 무상보증기간이 끝나면 업체와 유지보수 계약을 맺어서 꾸준히 품질관리를 하고 있다. 따라서 방사선 장비들은 장비 사용빈도가 높다고 장비가 한 순간에 나빠지지 않는다. 그러므로 유지보수 계약을 맺고 있는 장비들은 관련 지표를 추가 개발하여 향후에는 장비상태에 반영될 수 있도록 방안을 마련해야 할 것이다.

세 번째 , K병원처럼 사용상 실수와 고장 시 재무적 손실에 대하여 데이터를 수집할 수 없는 경우 이 데이터들을 구할 수 있는 방안을 빠른 시일 내로 마련해야 할 것이다. 사용상 실수는 의료장비가 점검을 할 때마다 전산이력을 남길 때 문제없음(No problem) 이란 코드를 생성할 수 있도록 전산개발이 필요하다. 그리고 고장 시 재무적 손실의 경우에는 수익성 분석과 관련이 있기 때문에 전 장비에 대한 수익성 분석이 이루어져야만 한다.

네 번째, 문헌연구를 통해 19개의 변수를 수집했는데 이 중 12개의 변수만 직・간접적으로 사용하고 7개의 변수는 사용하지 못했다. 이 변수들 중에는 정말 사용 불가한 변수도 있지만 주요장비여부나 임상(기술) 노후화 같은 지표들은 사용해볼만한 지표로 사료된다. 이런 지표들을 추가로 개발하여 향후 의료장비 교체평가 지표로 활용할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다.

마지막으로, 지표별 가중치를 구할 때 요인별 가중치를 구하고 지표별 개수로 나누는 방식 대신에 전문가 집단에 설문을 하여 지표별 가중치를 구한다면 좀 더 정확한 결과가 나올 수 있을 것이다. 현재 적용된 방식은 안전적요인의 2개 지표가 서로 동일한 가중치를 가지고 있고, 기술・활용적요인의 6가지 지표가 서로 동일한 가중치를 가지고 있다. 재무적요인의 3가지 지표도 마찬가지이다. 하지만 지표별로 가중치가 다르다면 좀 더 변별력이 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상되므로 이에 대한 추가연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 의협신문,「심평원, 의료장비 수가차등화 여론몰이 본격화」, http://www.doctorsnews.co.kr/news/articleView.html?idxno = 77767, 2012.

[2] 김성조, 김성민, 김용우 “중고 수입고가의료기기 현황조사분석 및 관리방안 연구”,「한국보건산업진흥원 연구보고서」, 2002.

[3] 김윤희, “시나리오 민감도 분석을 이용한 MRI 원가분석”, 서울대학교 보건학석사논문, 2005.

[4] 문춘걸, 나성린, “요인분석에 의거한 국가별 정보화 지수의 측정”,「한국응용경제학회지」, 제1권, 제2호(1999), pp.89-114.

[5] 박일형, 김성우, 서승우, “보안 인지 및 실천 현황 분석을 통한 대학 연구정보보안 수준 제고 방안”,「한국정보보호학회지」, 제20권, 제2호(2010), pp.91-108.

[6] 보건복지부, “‘특수의료장비 설치 및 운영에 관한 규칙’ 일부 개정령안 입법예고”,「보건복지부 법령정보」, http://www.mw.go.kr/front/jb/sjb0403ls.jsp?PAR_MENU_ID = 03&MENU_ID = 030403, 2012.

[7] 이한주, 남혜진, “의료장비의 효율적 관리 및 질 제고 방안”,「건강보험심사평가원 연구보고서」, 2012.

[8] 정귀수, 이인혁, “하나 산업정보 : 의료기기 시장 전망”,「하나금융연구소」, 제47권(2008).

[9] 정귀수, 차력, “산업연구 시리즈 : 국내 의료서비스업의 향후 시장 성장 전망”,「하나금융경영연구소」, 제14호(2009).

[10] 한경희, 고수경, 정설희, “우리나라 고가의료장비 분포 및 노후화 현황 분석”,「한국병원경영학회지」, 제12권, 제1호(2007), pp.31-50.

[11] 한재훈, “의료기관인증제도(JCI)가 의료서비스 질 향상 의도에 미치는 영향”, 경희대학교 의료경영학 석사학위논문, 2010.

[12] Capuano, M., “Prioritizing equipment for replacement,” *Biomedical Instrumentation and*

Technology/Association for the Advancement of Medical Instrumentation, Vol.44, No.2 (2010), pp.100-109.

[13] Carleton, K.L., J.D. Enderle, K.T. Jensen, and Q. Zhu, "Development of an equipment replacement planning tool for the veterans administration," *Paper presented at Bioengineering Conference, NEBC IEEE 33rd Annual Northeast*, (2007), pp.275-276.

[14] Dondelinger, R.M., "A complex method of equipment replacement planning : An advanced plan for the replacement of medical equipment," *Biomedical Instrumentation and Technology*, Vol.38, No.1(2004), pp.26-31.

[15] Dondelinger, R.M., "A simple method of equipment replacement planning," *Biomedical Instrumentation and Technology*, Vol.37 No.6 (2003), pp.433-436.

[16] Dreiss, A., "When does medical equipment need to be replaced?," *Journal of Clinical Engineering*, Vol.33, No.2(2008), pp.78-81.

[17] Fatunde, O.A. and S.K. Bhatia, "Medical Devices and Biomaterials for the Developing World-case studies in Ghana and Nicaragua Series," *Springer Briefs in Public Health*, 2012.

[18] Fennigkoh, L., "A medical equipment replacement model," *Journal of Clinical Engineering*, Vol.17, No.1(1992), pp.43-47.

[19] Kaiser, H.F., "A second generation little jiffy," *Psychometrika*, Vol.35, No.4(1970), pp. 401-415.

[20] Nair, S.K. and J.H. Wallace, "A model for equipment replacement due to technological obsolescence," *European Journal of Operational*, Vol.63, No.2(1992), pp.207-221.

[21] Ouda, B.K., A.S.A. Mohamed, and N.S.K. Saleh, "A simple quantitative model for replacement of medical equipment proposed to developing countries," *Paper presented at 5th Cairo International Biomedical Engineering Conference*, 2010.

[22] Rajasekaran, D., "Design and development of an automated medical equipment replacement planning system for healthcare facilities," *University of Connecticut*, 2005.

[23] Rajasekaran, D., "Development of an automated medical equipment replacement planning system in hospitals," *Paper presented at Bioengineering Conference, Proceedings of the IEEE 31st Annual Northeast*, 2005.

[24] Taylor, K. and S. Jackson, "A Medical Equipment Replacement Score System," *Journal of Clinical Engineering*, Vol.30, No.1 (2005), pp.37-41.

[25] Wang, B., "Fennigkoh and smith model for inclusion criteria : 15-year retrospective : Interview with larry fennigkoh," *Journal of Clinical Engineering*, Vol.31 No.1(2006), pp. 26-30.

[26] Wang, B. and P.R. William, "JCAHO's equipment inclusion criteria revisited-application of statistical sampling technique," *Journal of Clinical Engineering*, Vol.28, No.1(2003), pp. 37-48.

[27] WHO, "Introduction to medical equipment inventory management," WHO medical device technical series, *WHO Headquarters in Geneva*, (2011), pp.27-29.

[28] Williams, J.S., "Clinical equipment replacement plan puts budget spotlight on bedside technologies," *Biomedical Instrumentation and Technology/Association for the Advancement of Medical Instrumentation,* Vol.44, No.6 (2010), pp.478-81.