

의료서비스 최적화 : 현황 및 활성화 방안

강성홍¹ · 김병인^{2*} · 전치혁² · 최병관³ · 이신호⁴

¹인제대학교 보건행정학과 / ²포항공과대학교 산업경영공학과

³부산대학교 의과대학 신경외과 / ⁴한국보건산업진흥원

Healthcare Optimization : Current Status and Vitalization Suggestions

Sung-Hong Kang¹ · Byung-In Kim² · Chi-Hyuck Jun² · Byung Kwan Choi³ · Shin-Ho Lee⁴

¹Department of Health Policy and Management, Inje University

²Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

³Department of Neurosurgery, School of Medicine, Pusan National University

⁴Korea Health Industry Development Institute, Bureau of Health Industry Policy

Healthcare optimization is mandatory to strengthen the competitiveness of domestic healthcare industry. Healthcare optimization aims to increase service quality, patient safety, and system efficiency. This paper reviews various healthcare optimization cases of developed countries, synthesizes the current status of domestic healthcare industry, points out several reasons why healthcare optimization is not active in Korea, and suggests some vitalization ways.

Keywords: Healthcare, Optimization, Simulation

1. 서론

노인인구의 증가, 건강보험의 보장성 강화, 신 의료기술의 도입 등으로 1980년에 1.4조 원이던 우리나라 국민의료비가 2010년에는 82.9조 원으로 크게 증가하였고, 2020년에는 256조 원이 될 전망이다. 이보다 심각한 것은 국민의료비의 일반경제(GDP)대비 상승 속도인데, 1980년에 GDP의 3.7%이던 것이 2010년에는 7.1%로 급격히 상승하였고, 2020년에는 11.2%를 차지할 것으로 추정된다(Ministry of Health and Welfare, 2011; Chung, 2011). 이 같은 국민 의료비 증가에 대응하기 위해서 2010년에 5.3%이던 직장 보험료율을 2020년에는 8.6%로 증가시켜야 할 것으로 전망되고 있다(Committee on Advancement of Health Security, 2010).

국민의료비는 급속하게 증가하고 있으나 국민들이 제공

받고 있는 의료서비스의 질적 수준 및 효율성은 여전히 미흡한 실정이다. 2009년 기준으로 우리나라의 연간 의료사고는 5,357,401건이고 이로 인해서 36,473명이 사망하는 것으로 추정되고 있다. 이는 운수사고의 5배에 해당하는 규모이다(Lee, 2010). 또한 우리나라의 질환에 대한 재원일수는 매우 길다. 급성심근경색 질환의 경우 2009년 OECD 평균 재원일수가 7.2일인데 비해 우리나라는 13.7일로 OECD 국가 중 가장 긴 재원일수를 보이고 있다. 하지만 급성심근경색의 입원 후 30일 이내의 연령표준화사망률(연령구조차이가 제거된 국제간 비교를 위해서 OECD 기준인구로 표준화한 사망률)은 OECD 평균이 5.4%인데 비해 한국은 6.3%로 오히려 더 높았다(OECD, 2011). 즉, 재원일수가 긴데도 사망률은 오히려 높은 것으로 의료행위가 비효율적으로 운영되고 있다고 할 수 있다.

이와 같이 국내 의료비는 지속적으로 증가하나 의료의 질적

* 연락저자 : 김병인 교수, 790-784 경북 포항시 효자동 산 31 포항공과대학교 산업경영공학과, Tel : 054-279-2371, Fax : 054-279-2870,

E-mail : bkim@postech.ac.kr

2013년 1월 2일 접수; 2013년 2월 28일 수정본 접수; 2013년 3월 27일 게재 확정.

수준은 크게 향상되지 못하는 문제를 안고 있다. 향후에도 노인인구의 증가로 의료비는 더욱 증가하고, 생활수준의 향상에 따라 국민들의 양질의 의료에 대한 욕구는 계속적으로 증가할 전망이다. 따라서 우리나라 의료계는 의료비를 억제하면서 의료의 질적 수준을 향상시킬 수 있는 방안을 마련해야 하는 어려운 입장에 처해 있다. 의료비를 억제하고 국민들에게 양질의 의료서비스를 제공하기 위한 방안을 마련하기 위해서는 우리나라보다 이 문제를 먼저 경험하고 있는 미국, 유럽 국가 등의 사례를 파악하고 이를 기반으로 우리나라의 방안을 수립 할 필요가 있다. 다음절에서 자세히 기술되는 것과 같이 미국 및 유럽에서는 의료의 당면 과제를 해결하기 위한 방법론으로 산업공학/경영과학을 설정하고 의료분야에 적용하기 위해 국가 차원에서 큰 그림을 그리고 전략적으로 접근하고 있다. 하지만 우리나라에서는 이러한 노력이 매우 미흡한 실정이다(Park, 2002).

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 한 가지 방법으로 의료서비스 최적화를 활성화시켜야 한다고 주장한다. 의료서비스 최적화란 “최적화 기법 및 방법론을 이용하여 의료서비스의 질과 효율성을 높이고자 하는 행위”로 정의될 수 있다. 여기에서 최적화는 선형계획법으로 대변되는 협의의 의미뿐만 아니라 스케줄링, 시뮬레이션, 통계분석 및 데이터 마이닝 등의 경영과학 기법들과 식스시그마 등의 혁신기법들까지 포함하는 광의의 의미를 갖는다. 또한 최적화의 대상이 되는 분야는 병원단위의 오퍼레이션 수준 뿐만 아니라 의료수가제 등의 국가 전체 의료시스템에 영향을 주는 분야까지를 포함한다.

본 논문은 국내 연구자 및 의료 실무자들에게 관련된 기본적인 문헌들과 함께 의료서비스 최적화의 다양한 분야를 소개하고 활성화 방안에 대한 화두를 던지는 목적으로 작성되었다. 의료분야가 매우 광범위하기 때문에 모든 분야를 다루었다고 할 수는 없으나 경영과학/산업공학, 보건행정학, 의학, 국가보건정책결정 등 저자들의 다양한 전공에 따른 복합된 시각으로 의료서비스 최적화를 기술하고자 하였다. 따라서 특정한 의료서비스 최적화 분야를 심도 있게 다루지는 못했음을 밝힌다. 본 논문이 보다 많은 연구자들이 의료서비스 최적화에 참여할 수 있게 하여 의료서비스 효율성 및 질 제고에 도움을 줄 수 있게 되기를 기대한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 문헌 조사를 통해 각 의료서비스 분야에 산업공학/경영과학의 최적화 기법들이 적용된 기존 연구들을 살펴보고, 제 3장에서는 우리나라에서 의료서비스 최적화가 활발하지 못한 이유들을 제시하고, 제 4장에서는 활성화 방안에 대해 토의한 후 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. 의료서비스 최적화 연구 문헌

의료분야에 최적화 기법 및 방법론이 적용된 사례들은 매우 광범위하여 모두 고찰하기는 불가능하다. 본 절에서는 먼저

이 분야에 관심 있는 연구자들이 참고할만한 중요한 자료들을 제시하고, 이어 공공보건, 병원경영, 임상진료 등의 영역에서의 문헌들을 대략적으로 살펴본다. 관련 문헌들은 미국 국립 의학도서관의 논문 사이트인 펍메드(PubMed)에서 “Healthcare Optimization”으로 검색된 최근 등록자료 400개 및 이를 기반으로 필요하다고 판단된 각 문헌의 참고문헌을 추가적으로 검색하였고 국내 문헌의 경우에는 학술정보공동활용체제인 학술연구정보서비스(RISS)에서 “의료 최적화”로 검색된 각 문헌 및 이들의 참고 문헌을 추가 검색하였다.

2.1 주요 참고자료

미국에서는 2000년에 의학연구소(Institute of Medicine; 이하 IOM)에서 “To Err is Human”이라는 보고서(Kohn *et al.*, 2000)를 통하여 의료사고를 예방하는 의료체계를 구축하는 것을 가장 시급한 의료과제로 선정하였다. IOM에서는 이의 후속 보고서로 2001년에 “Crossing the Quality Chasm”(Committee on Quality of Health Care in America, 2001)을 발간하였다. 이 보고서에서는 새로운 의료체계가 갖추어야 할 기본 방향으로 환자안전(safe), 효과성(effective), 적시성(timely), 환자중심(patient-centered), 효율성(efficient), 형평성(equitable)을 제시하고 이를 달성하기 위해 국가 차원에서 다양한 노력을 하여야 한다고 선언하였다. 이를 위해서 미국의 의료기관 인증 제도의 변화 등 다양한 정책적 수단을 제안하였고 동시에 이를 달성할 수 있는 과학적인 방법론으로 산업공학/경영과학을 제시하였다. 이에 따라 2002년부터 경영과학 전문가와 의료계의 전문가들이 공동연구를 하여 2005년에 NAE(National Academy of Engineering)와 IOM에서 “Building a Better Delivery System : A New Engineering/Health Care Partnership”라는 보고서(Reid *et al.*, 2005)를 발간하고 산업공학/경영과학을 이용한 보건의료체계의 기본방향을 설정하였다. 이후 이를 달성하기 위한 다양한 노력을 시도하고 2010년에 AHRQ(Agency for Healthcare Research and Quality)에서 “Industrial and Systems Engineering and Health Care: Critical Areas of Research”라는 보고서(Valdez *et al.*, 2010)를 발간하여 산업공학/경영과학에서 이상적인 의료시스템을 구현되도록 하기 위해 기여할 수 있는 연구 주제들을 제안하였다.

Brandeau *et al.*(2004)은 단행본 “Operations Research and Health Care : A Handbook of Methods and Applications”에 32편의 논문을 수록하였고, Lubicz(2009)은 헬스케어와 모델, 정신과 치료, 응급실 관리, 병원 경영 등의 유럽 사례들의 논문 35편을 편집하여 단행본 “Operational Research Applied to Health Services in Action”을 발표하였다. Kolker and Story(2011)는 경영과학을 의료분야에 접목시켜 의사결정을 내리는 구체적인 사례들을 소개하였다. 그들은 효과적인 의사결정 및 작업관리, 외래환자 관리 및 스케줄링, 전자 의료정보, 환자 흐름(patient flow) 등 분야의 연구 20편을 편집하여 단행본 “Management Engineering

for Effective Healthcare Delivery : Principles and Applications”을 간행하였다.

Rais and Viana(2010)는 의료에 응용된 경영과학에 관한 논문 약 250편을 조사하고 정리하였다. 그들이 정리한 논문들은 (1) 헬스케어 계획분야 : 의료수요예측, 의료센터 위치선정 문제, 응급차의 배치문제, 용량계획(capacity planning) 문제 등, (2) 일정계획(scheduling) 분야 : 환자일정계획, 간호사/수술실/의사 등의 인적/물적 자원 일정계획, 의약품 재고관리 및 자원 할당 문제 등, (3) 치료분야 : 암 등의 질병 진단, 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy; IMRT) 등의 치료계획수립 문제 등, (4) 예방의학 : 전염병 전이 분석, 장기기증 및 이식에서의 할당문제, 전염병 예방을 위한 백신 선택문제, HIV 방지를 위한 자원할당 문제 등에 관한 연구들이다. 또한 저자들은 헬스케어 관련 연구센터, 책, 논문지 특집호 등을 소개하였다.

의료서비스 최적화에 대한 학회 차원의 노력들도 활발해지고 있다. 유럽 경영과학회(EURO-European branch of the International Federation of Operational Research Societies, IFORS)에서는 1975년에 Operational Research Applied to Health Services(OR AHS)를 설립하여 제한된 의료비를 이용하여 적정 수준의 의료서비스를 어떻게 제공할 것인가에 대한 다양한 연구활동을 지속적으로 수행하고 있고, 최근에 이의 활동이 보다 활발히 이루어지고 있다(Brailsford *et al.*, 2012). 미국 산업공학회(Institute of Industrial Engineers : IIE)에서는 2011년부터 논문지 IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering을 발간하여 헬스케어 시스템의 최적화에 관한 연구를 소개하고 있다. European Journal of Operational Research 2012년 6월 “의료에서의 경영과학 적용” 특별호에서는 대표적인 경영과학의 적용사례를 소개하였고, 한국경영과학회지 2012년 12월 “새로운 의료산업 환경과 경영과학의 응용” 특별호에서는 국내의 최근 사례들을 소개하였다.

2.2 공공보건 영역

공공보건 분야는 보건기획과 보건사업으로 분류할 수 있으며 보건기획은 다시 업무영역에 따라 국제보건, 건강보장, 질환예방 및 관리로 분류할 수 있다. 여기서는 각 분야에 대한 적

용사례를 <Table 1>과 같이 살펴본다.

(1) 국제보건

세계화 추세에 따라 국제교류가 꾸준히 증가함으로 인해 전염성 질환의 관리가 중요한 국제적인 이슈가 되고 있다. 이에 대응하기 위해 WHO를 중심으로 다양한 국제보건 사업이 이루어지고 있다. WHO는 경영과학의 적용이 국제보건 사업의 효율성을 높일 수 있음을 강조하고 국제 보건 사업에 경영과학을 도입하는 구체적인 방법론을 정리한 보고서를 발간하였다(The Global Fund, 2010). Royston(2011)은 경영과학 기법이 많은 잠재력이 있음에도 불구하고 국제보건 사업에 충분하게 적용되지 않았다고 지적하고 더욱 적극적으로 활용해야 된다고 주장하였다.

(2) 건강보장 및 건강보험

건강보장 및 건강보험의 형태는 의료기관 및 환자의 행동방식을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 국가의 건강보장 제도는 크게 국가보건서비스방식(National Health Service : NHS), 사회보험방식(National Health Insurance : NHI), 민간보험제도(Consumer Sovereignty Model : CSM)로 구분된다. 영국처럼 조세제도에 기반을 둔 것을 NHS라 하고 우리나라, 독일, 일본처럼 건강보험 제도에 기반을 둔 것을 NHI라 하며, 미국처럼 민간보험에 의존하는 건강보장 제도를 CSM으로 분류한다. 2009년 기준으로 GDP 중 국민 의료비의 비중은 OECD 국가 평균인 9.6%에 비해 CSM을 기반으로 한 미국은 17.4%, NHI를 기반으로 한 독일은 11.6%, NHS를 기반으로 한 영국은 9.8%로 차이를 보이고 있다. 이에 반해 국민들의 건강 수준을 나타내는 2009년 기준 평균수명은 OECD 평균이 79.5세, 미국은 78.2세, 독일은 80.3세, 영국은 80.4세로 미국이 의료비를 가장 많이 쓰지만 평균 수명은 가장 낮게 나타났다. 즉, 국가의 건강보장 제도에 따라서 국가 의료비 활용의 효율성에 차이가 있음을 알 수 있다(OECD, 2011). Pitt *et al.*(2009)는 영국의 NHS 시스템에서 산업공학/경영과학기법을 제대로 활용하지 못하고 있는 현실을 지적하고 모델링 및 시뮬레이션 방법을 연구하여 NHS의 업무를 보다 효율적으로 운영하는 방안을 제시하였다.

건강보험 제도에서 환자의 진료비를 결정하는 방식은 크게

Table 1. Research on public health

영역	세부영역		연구사례
공공보건	보건기획	국제보건	The Global Fund(2010), Royston(2011)
		건강보장 및 건강보험	Cooper(1999), Bolton and Hand(2002), Cios and Moore(2002), Major and Riedinger (2002), Martin <i>et al.</i> (2004), Bellazzi and Zupan(2008), Bertsimas <i>et al.</i> (2008), Li <i>et al.</i> (2008), Park <i>et al.</i> (2008), Pitt <i>et al.</i> (2009), Committee on Advancement of Health Security(2010), OECD(2011), Copeland <i>et al.</i> (2012)
		질병 예방 및 관리	Bartolozzi <i>et al.</i> (2000), Davies <i>et al.</i> (2000), Sainfort <i>et al.</i> (2005), Hall <i>et al.</i> (2008), Lienhardt and Cobelens(2011)
	보건사업	Herrin(1995), Loechl <i>et al.</i> (2005), Johnson and Smilowitz(2008), USAID(2008)	

행위별수가제와 포괄수가제가 있다. 행위별수가제는 진료 행위당 비용을 책정하므로 환자들은 의료기관으로부터 충분한 의료서비스를 받을 수 있다는 장점이 있지만 과잉진료로 건강보험 재정 누수가 발생할 가능성이 있다. 이에 비해 포괄수가제는 특정 질환에 대해서 비용이 정해짐에 따라 의료 기관은 최소의 서비스를 제공하고자 하므로 건강보험 재정 누수는 막을 수 있으나 환자들은 적정 진료를 받지 못할 수 있다는 단점이 있다. 미국에서는 메디케어(medicare), 메디케이드(medicaid) 환자에게 초기에는 행위별수가제를 실시하였으나 증대되는 의료비를 억제할 목적으로 1983년부터 포괄수가제를 도입하였다. 이때 사용된 포괄수가제는 경영과학 기법을 사용하여 개발되었다(Cooper, 1999). 외국에서는 이미 의료서비스의 질 평가가 기반 수가 차등제도를 실시하고 있는데 우리나라도 이를 검토하고 있다(Committee on Advancement of Health Security, 2010).

건강보험업무를 기획하는 데 있어서 중요한 요소 중 하나는 미래의 급여 비용을 추정하는 것이다. 급여비용 추정은 질환 발생 추이의 변화, 인구구조 등을 고려하여 해야 하기 때문에 매우 복잡하다. Bertsimas *et al.*(2008)은 데이터마이닝 기법을 사용하여 미래의 급여비를 추정하는 연구를 수행하였다. 또한 건강보험업무에서 진료비 심사 대상을 선정하는 업무도 매우 중요하다. 전체 진료비 청구 자료를 심사하는 것은 비효율적이기 때문에 부당 청구 가능성이 높은 건을 효과적으로 선정하여 진료비 심사를 하여야 한다. 이러한 필요성을 채우려는 시도로 국내외에서 데이터마이닝 등의 기법이 사용되었다(Bolton and Hand, 2002; Major and Riedinger, 2002; Li *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2008; Copeland *et al.*, 2012).

건강보험 업무에서 질환별 고위험군을 선정하여 이들에게 맞춤형 예방사업을 실시할 수 있다면 그 파급효과가 클 것이다. 이를 위해서는 건강보험의 검진 데이터와 청구 데이터를 이용하여 환자의 질환별 질병 위험도를 예측할 필요가 있다. 이러한 필요성에 부응하여 데이터마이닝 기법을 이용하여 질환별 위험 모형을 개발하여 활용하는 연구들이 있다(Cios and Moore, 2002; Martin *et al.*, 2004; Bellazzi and Zupan, 2008).

(3) 질환 예방 및 관리

국민들의 건강한 삶을 제고하고 의료비 증가를 억제하기 위해서는 국가 차원에서 질환에 대한 예방 및 관리 사업을 체계적으로 실시하여야 한다. 국가 차원의 예방 및 관리사업은 대상자가 많고, 사업 지역도 넓으므로 과학적 방법론에 근거하여 체계적인 사업을 수행하여야 한다. 질환의 예방 및 관리분야에서 경영과학기법이 적용된 분야는 질병의 예방접종, 조기 발견, 치료, 환자관리 등이다. Hall *et al.*(2008)은 소아에 대한 최적의 예방접종 스케줄에 대해서 연구 하였다. Davies *et al.*(2000)는 당뇨병 망막질환에 대한 조기발견사업에 대해서 시뮬레이션 기법을 이용하여 효율적으로 사업을 수행할 수 있는 방안에 대해서 연구하였다. Bartolozzi *et al.*(2000)는 치료 및 진

단에 있어서 경영과학기법을 활용하는 다양한 연구를 고찰한 후 이를 기반으로 경영과학기법을 진단 및 치료에 활용하는 방안을 제시하였다. Sainfort *et al.*(2005)는 IT 기술과 산업공학의 방법론을 접목하여 만성질환을 관리하는 방안을 제시하였다. Lienhardt and Cobelens(2011)는 결핵환자 관리에 경영과학 기법을 적용할 수 있는 구체적인 방안을 제시하였다.

(4) 보건사업

보건사업은 앞에서 살펴본 보건기획 영역들에서 설정된 사업을 구체적으로 수행하는 것이다. 대부분의 보건사업은 인력 및 예산 계획이 수반되므로 거의 모든 보건사업 분야가 산업공학/경영과학 기법의 활용영역이라 볼 수 있다. Herrin(1995)는 보건사업에서 경영과학기법을 활용하는 방안을 제시하였고 USAID(2008)는 아랍에 대한 가족계획 사업을 수행하는데 경영과학기법을 이용하여 계획 및 평가를 하였다. Loechl *et al.*(2005)은 모성보건 영양사업의 모니터링 및 관리에 산업공학의 기법을 활용하였고, Johnson and Smilowitz(2008)는 지역사회 보건사업 수행에 활용되는 운영과학의 필요성을 주장 하였다.

2.3 병원경영 영역

병원경영은 병원 업무의 특성에 기반하여 <Table 2>와 같이 수요예측, 병원설계, 인력관리, 스케줄링, 환자동선, 프로세스 개선, 자원관리로 분류하여 사례를 살펴본다. 병원경영분야에 시뮬레이션 등의 경영과학 분야가 응용된 것은 이미 1960년대 부터이다(Fetter and Thompson, 1965).

(1) 수요예측

의료기관을 효율적으로 운영하기 위해서는 환자 수 등의 수요를 예측하는 것이 매우 중요하다. Finarelli and Johnson(2004)은 의료서비스 수요예측을 위한 9단계틀을 제시하였다. Abdel-Aal and Mangoud(1998)는 시계열분석의 ARIMA 모형을 이용하여 월별 환자수를 예측하였고 Schweigler *et al.*(2009)은 응급실의 시간대별 도착환자 수를 예측하는 모형을 개발하고 이를 기반으로 응급실의 병상점유율을 추정하였다. Abraham *et al.*(2009) 또한 응급실의 환자 중 입원 병상점유율을 ARIMA 모형으로 예측하였으며, Jones *et al.*(2008)은 응급실의 일별 환자수 예측을 위하여 다양한 시계열분석을 활용하였다.

(2) 병원설계

병원 건축이 제대로 이루어지기 위해서는 체계적인 병원의 운영계획이 설계되고 이를 기반으로 병원설계가 이루어져야 한다. Kusters and Groot(1996)는 산업공학/경영과학 기법을 이용하여 병원 운영 계획의 타당성을 평가하였다. 운영계획을 충족시킬 수 있는 병원 건축이 되기 위해서는 도면 설계 단계에서 설계대로 했을 때 병원운영이 계획대로 이루어질 수 있는지 분석기법을 이용하여 검토할 필요가 있다. Bowers and Mould

Table 2. Research on hospital management

영역	세부영역	연구사례
병원경영	수요예측	Abdel-Aal and Mangoud(1998), Finarelli and Johnson(2004), Jones <i>et al.</i> (2008), Abraham <i>et al.</i> (2009), Schweigler(2009)
	병원설계	Kusters and Groot(1996), Bowers and Mould(2005), Zonderland <i>et al.</i> (2009), Lim <i>et al.</i> (2012)
	인력관리	Isken and Rajagopalan(2002), Eveborn <i>et al.</i> (2006), Burke <i>et al.</i> (2008), Diefenbach and Kozan(2008), van Oostrum <i>et al.</i> (2008), Sundaramoorthi <i>et al.</i> (2009), Sermeus <i>et al.</i> (2011), Izady and Worthington(2012), Koeleman <i>et al.</i> (2012)
	스케줄링	Cheng and Rich(1998), Bertels and Fahle(2006), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2007), Hans <i>et al.</i> (2008), van Oostrum <i>et al.</i> (2008), Cardoen <i>et al.</i> (2010), Chang and Lee(2010), Zonderland <i>et al.</i> (2010), Hall(2012), Nickel <i>et al.</i> (2012), Rasmussen <i>et al.</i> (2012)
	환자동선	Jun <i>et al.</i> (1999), Moreno <i>et al.</i> (2000), Sibbel and Urban(2001), Hall(2006), Jacobson <i>et al.</i> (2006), Cardoen and Demeulemeester(2007), Ahmed and Amagoh(2008), Litvak <i>et al.</i> (2008), Li <i>et al.</i> (2010)
	프로세스 개선	Revere and Black(2003), van den Heuvel <i>et al.</i> (2005), Woodard(2005), Carrigan and Kujawa(2006), De Koning <i>et al.</i> (2006), Lee and Lee(2010), Najmuddin <i>et al.</i> (2010), Han <i>et al.</i> (2011)
	자원관리	Fletcher <i>et al.</i> (2006), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2007), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2008), van Dijk and Kortbeek(2009), Raikundalia <i>et al.</i> (2011), Creemers <i>et al.</i> (2012), Zonderland and Timmer(2012)

(2005)는 영국의 한 병원에서 외래 병동의 배치방법에 따른 환자의 대기시간과 공간효율에 대해서 시뮬레이션 기법을 이용하여 분석을 하였다. Lim *et al.*(2012)은 건강 검진센터의 운영 의사결정에 시뮬레이션을 활용하는 예를 보였다. Zonderland *et al.*(2009)은 대기이론을 기반으로 외래마취과의 설계방안을 제시하였다.

(3) 인력관리

병원은 노동집약적인 산업임에 따라 인건비가 전체 비용에서 높은 비율을 차지하기 때문에 인력관리는 병원 운영에 매우 중요하다. 병원의 인력관리에 대한 연구에는 간호사 인력에 관한 사례가 많다. 이는 병원에서 간호사 인력이 차지하는 비중이 높고 업무가 다양하기 때문으로 판단된다. Burke *et al.*(2008)은 간호사 스케줄링에 수학적 알고리즘을 이용하여 최적의 스케줄링 방안을 찾은 후 인력 효율화를 도모 하였다. Sundaramoorthi *et al.*(2009)는 간호사에게 환자를 배분하는 방식의 효율성에 대해서 시뮬레이션 기법을 이용하여 분석하였다. 유럽 12개국이 참여하는 RN4CAST 프로젝트에서는 과거의 간호사 인력관리 모델의 단점을 지적하면서 양적인 측면과 동시에 간호인력 및 간호의 질을 고려하는 새로운 모델을 제시하였다 (Sermeus *et al.*, 2011). Diefenbach and Kozan(2008)은 응급실의 의사 및 간호사의 효율적 활용을 위해서 시뮬레이션 방법론에 근거하여 연구를 수행하였다. Isken and Rajagopalan(2002)은 산부인과 입원병동의 인력계획을 수립하는데 있어서 시뮬레이션 기법을 이용하였다. van Oostrum *et al.*(2008)은 시뮬레이션 기법을 이용하여 응급 수술팀의 인력의 규모를 제안하였다.

Eveborn *et al.*(2006)은 홈 케어를 위한 스태프 계획 의사결정 지원 시스템을 개발하여 스웨덴의 한 소도시에 적용하였다. Izady and Worthington(2012)에 따르면 영국에서는 2000년부터

응급환자가 병원에 도착하면 4시간 안에 98%의 환자의 응급 치료를 완료하겠다는 목표를 설정하고 노력을 기울이고 있다고 한다. 그들은 시간대에 따라 여러 종류의 환자들이 응급실에 도착할 때 의사, 간호사, 검사 전문가 등의 적정 수를 구하는 해법으로 대기이론과 시뮬레이션을 이용하는 방법을 제시 하였다. Koeleman *et al.*(2012)은 환자의 요구와 서비스 시간에 불확실성(stochastic)이 있는 상황에서 새로운 환자가 홈케어를 받기 원할 때 그 환자를 받아들일 것인지 않을 것인지, 받아들인다면 바로 서비스를 시작할 것인지 대기시킬 것인지를 어떻게 결정하는 것이 최적의 정책인가에 대한 연구를 수행하였다. 그들은 마코브 결정이론(Markov decision theory)을 이용하여 해법을 제시하였다.

(4) 스케줄링

환자의 대기시간을 줄이고 병원의 인력 및 자원을 최대한 활용하기 위해서는 효율적인 스케줄링이 필요하다. Hans *et al.*(2008)과 van Houdenhoven *et al.*(2007)는 초과근무의 가능성을 줄이면서도 수술실 활용률을 높일 수 있는 휴리스틱 및 개선 알고리즘을 제안하였다. Chang and Lee(2010)은 시뮬레이션과 탐색 알고리즘을 이용하여 효과적인 외래환자 예약 방법을 찾는 시뮬레이션 최적화(Simulation Optimization : SO) 기법이 어떤 환경의 병원에 잘 적용될 수 있는지에 대한 연구를 수행하였다. 그들은 예약 환자수의 변동이 심한 병원 환경에서 SO가 효과적임을 보였다.

Zonderland *et al.*(2010)은 빠른 수술을 요하지만 반드시 당일에 수술을 해야 할 필요는 없는 응급환자(semi-urgent)를 위해서 어느 정도의 수술실 시간을 할애하는 것이 좋은지에 대한 연구를 수행하였다. 그들은 대기이론 모델을 이용하여 응급환자를 위한 수술실 시간 할애에 따른 일반환자의 수술 취소율과

수술실 활용률에 대한 영향도를 분석하고, 마코프 의사결정 이론을 이용한 의사결정지원 시스템을 제안하였다. van Oostrum *et al.*(2008)은 수학적 모델링 기법에 근거하여 수술실 스케줄의 최적화에 대해서 모델링을 하였다.

Cheng and Rich(1998)는 홈 헬스 케어 간호사 스케줄링 문제를 위한 혼합정수계획법 모델을 제시하고 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. Bertels and Fahle(2006)는 홈 헬스 케어를 위한 간호사 스케줄링을 위한 해법을 제시하였다. 이 문제는 환자에게 어떤 간호사를 할당할 것인가에 대한 로스터링(rostering) 문제와 각 간호사가 따라 가야 할 경로를 찾아주는 라우팅(routing)문제를 포함하고 있다. Nickel *et al.*(2012)은 독일과 네덜란드의 홈 케어 서비스 인력의 주간 스케줄링 문제에 대한 해법을 제시하였다. 먼저 그들은 일관성을 위한 마스터 플랜을 작성하는 것을 제안하였는데 해법으로 제약계획법과 ALNS(Adaptive Large Neighborhood Search)을 사용하였다. 매일매일의 변화에 대응하기 위한 방법으로는 마스터 플랜을 기반으로 타부탐색법을 사용하는 것을 제안하였다. Rasmussen *et al.*(2012)은 노인이나 병약자들을 위한 홈 케어 서비스 인력의 일일 스케줄링 문제에 대한 연구를 진행하였다. 그들은 고객들의 우선순위 및 선호도와 고객 방문의 시간 상의 우선순위 등을 고려한 문제를 분지평가법(branch-and-price)을 사용하여 해결하고자 하였다.

Cardoen *et al.*(2010)은 수술실 계획 및 스케줄링에 관한 124개의 논문을 조사하고 정리하였다. 그들은 다루어진 문제들에서 환자의 위급성 종류, 사용된 평가지표, 연구방법론, 다루어진 불확실성의 종류(환자 도착 혹은 수술 시간) 등으로 논문을 분류하였다. Hall(2012)은 의료시스템 스케줄링 방법론에 관한 논문들을 편집하여 단행본을 출간하였다.

(5) 환자동선

효율적인 치료를 위해서는 의료기관의 환자 동선을 최적화해야 한다. Moreno *et al.*(2000)은 환자중심의 환자동선을 설정하는 방법과 이의 효과성을 시뮬레이션 기법으로 분석하는 방법을 제시하였다. Sibbel and Urban(2001)은 병원의 효율적인 동선관리를 위한 환자동선에 대한 모델링의 중요성을 기술하고 이의 효과성을 시뮬레이션으로 분석하였다. Litvak *et al.*(2008)은 중환자실의 환자 동선에 대해서 시뮬레이션 기법을 이용하여 분석을 하였다. Ahmed and Amagoh(2008)는 환자동선에 따른 환자의 대기시간, 의사 및 간호사의 활용도 등을 분석하여 최적의 환자동선을 선정하려는 연구를 수행하였다. Cardoen and Demeulemeester(2007)는 시뮬레이션을 이용하여 의료의 표준 프로세스라 할 수 있는 표준임상경로(clinical pathway)에 따른 영향도를 분석하였다. Li *et al.*(2010)은 표준임상경로는 의료서비스의 효율성을 향상 시키면서 치료비를 절감할 수 있는데 실제 진료 현장에서는 이것이 제대로 적용되지 못하고 있는 문제점이 있음을 지적하고 이를 개선하기 위해서는 산업공학 기법에 근거하여 분석을 하고 이를 기반으로 표준임상경

로를 개발하는 것이 필요하다고 주장하였다.

Jun *et al.*(1999)과 Jacobson *et al.*(2006)은 환자 흐름 개선 및 리소스 할당 부문에 시뮬레이션이 적용된 문헌 조사를 실시하였다. 시뮬레이션은 환자 스케줄링, 환자 진료프로세스 개선, 리소스 스케줄링, 베드 수 결정 및 계획, 병실 수 결정 및 계획, 스태프 수 결정 및 계획에 활발히 사용되었다. Hall(2006)은 환자 흐름에 관한 논문들을 편집하여 단행본으로 출간하였다.

(6) 프로세스 개선

병원의 프로세스 개선활동에 관한 사례는 다양하게 보고되고 있다. Revere and Black(2003)은 TPM과 식스시그마를 접목하여 프로세스를 개선하는 방안을 제시하였으며 예로서 약물 관련 오류를 측정하는 절차를 제공하였다. De Koning *et al.*(2006)은 린 식스시그마(lean six sigma)를 의료활동에 적용하여 비용, 품질, 서비스 등을 관리하는 체계적인 혁신활동에 대한 프레임워크를 제시하였다. Najmuddin *et al.*(2010)은 산부인과 외래의 대기시간 절감을 위한 질 향상 활동에 시뮬레이션 기법을 이용하였다. Lee and Lee(2010)은 대형 병원에서 대기시간 절감을 위한 프로세스 개선방안에 대한 의료의 질 향상 활동에 시뮬레이션 기법을 이용하여 연구를 수행하였다. Han *et al.*(2011)은 응급실 의료서비스의 질 향상을 위한 품질관리 활동에 린 식스시그마와 시뮬레이션 기법을 접목한 연구를 수행하였다. 이외에도 식스시그마 등의 품질혁신활동을 의료서비스 분야에 적용한 사례 및 적용을 위한 제언 등은 다른 문헌에서도 찾아볼 수 있다(van den Heuvel *et al.*, 2005; Woodard, 2005; Carrigan and Kujawa, 2006).

(7) 자원관리

병원의 자원관리는 매우 중요하다. van Houdenhoven *et al.*(2007)은 네덜란드 한 대학병원 데이터를 이용하여 환자 타입의 구성과 초과근무를 어느 정도 수준으로 받아들일 것인가에 따라 수술실 활용률이 크게 달라질 수 있음을 수학적 모델링을 이용하여 보였다. Fletcher *et al.*(2006)은 영국 보건복지부(Department of Health)에서 사용할 수 있도록 응급실분석용 시뮬레이터를 개발하였다. van Houdenhoven *et al.*(2008)은 스케줄링 기법을 이용하여 수술실의 활용률을 향상 시킬 수 있는 방안을 제시하였다. van Dijk and Kortbeek(2009)는 수술실에서 수술을 마치고 중환자실로 이동하는 병원상황에서 중환자실의 베드 수에 따라 수술을 마친 환자가 중환자실로 들어갈 수 없는 확률에 대해 Tandem queue 모델을 사용하여 분석하였다. Raikundalia *et al.*(2011)은 병실 점유율 등을 시뮬레이션할 수 있는 웹 기반 시뮬레이터를 개발하였다. Zonderland and Timmer(2012)는 MRI 스캔 용량을 요구하는 진료 과에 어떻게 할당하는 것이 최적인가를 베이시안 게임(Bayesian game) 이론을 이용하여 분석하였다. 그들은 각 진료 과에서는 자기 과에서 최대한 많은 용량을 확보하기 위해 실제 예상되는 요구보다 많은 양을 요청하기도 한다고 가정 하였다. 이 문제는 공급망관리

(SCM)에서 발생하는 용량분배(capacity allocation) 문제와 유사하다. Creemers *et al.*(2012)은 여러 환자 군에 수술실의 사용시간을 할당하는 문제를 다루었으며 벌크서비스대기모델(bulk service queuing model)을 이용하여 환자 군의 가중치를 고려한 기대 대기시간을 가장 작게 할 수 있음을 보였다.

2.4 임상진료 영역

제품과 달리 환자들은 동일한 치료에 대해서 매우 다양한 반응을 나타내기 때문에 진료에 어려움이 많다. 환자를 다루는 임상의학은 기본적으로 이러한 불확실성을 내포한 환경을 전제로 한다. 이러한 진단 및 치료에서 그 불확실성이나 오류를 제거하거나 환자의 안전을 도모하고 치료효과를 높이기 위해 산업공학/경영과학 기법을 적용하는 다양한 시도가 이루어지고 있다. 예를 들면, 확률 의사결정의 대표적인 방법의 하나인 마코프 결정 프로세스의 임상에서의 적용을 들 수 있다(Schaefer *et al.*, 2005). Lefevre(1981)는 어떤 정해진 수의 인구에서 나타나는 감염을 birth and death 프로세스를 이용하여 모델링하고 최적으로 통제하는 방법을 찾기 위해 연속시간 마코프 결정 모델을 사용하였다. 모델에서는 인구에서 이미 감염된 사람의 수를 시스템의 상태(system state)로, 건강한 사람이 환자로 바뀌는 속도, 감염환자가 회복하는 속도가 전이 확률(transition probability)에 영향을 미친다고 고려하여 인구 중 격리될 수 있는 사람 수, 감염된 인구를 치료할 수 있는 자원의 양 등 두 가지 인자를 의사 결정자가 선택할 수 있도록 하였다.

Ahn and Hornberger(1996)는 신장 이식에서 이식이 성공할 것인지를 예측하기 위해서 환자 상태를 수치화하고 임계값(threshold)을 설정하여 이식성공 가능성을 예측하는 모델을 개발하여 활용하였다. 그들은 환자의 상태를 다섯 가지 상태로 단순화 하고 이미 보고된 이식 성공률을 대입하여 모델을 만들고, 이식을 받는 환자의 상태는 마코프 체인을 따라 상태 사이를 전이 한다고 가정하였다. Hauskrecht and Fraser(2000)는 부분관찰 마코프 결정프로세스를 허혈성 심질환 환자에게 적용하였다. 환자의 상태를 관상동맥질환의 유무, 관상동맥 우회술 병력, 혈관성형술 시행병력, 스트레스 테스트 등에 따라 분류 하였고 의사결정자는 진단기법의 시행유무, 수술 기법의 시행유무를 선택할 수 있게 하였다. 그들은 환자의 관상동맥의 폐색정도는 알기 힘든 불확실성으로 간주 하여 환자의 전체 일생에서 치료경비를 절약할 수 있는 치료 전략 모델을 개발 하였다.

경영과학을 활용하여 도출된 결과에 따라 치료를 시행하는 연구도 많이 수행되고 있다. 그 대표적인 예로서 혈당-인슐린 분비 패턴을 시간에 대한 함수로 분석하고 수학적 기법을 활용하는 방법과 뇌 MRI에서 백질과 회백질을 연산적으로 구분하는 기법, 푸리에 분석(Fourier analysis) 등을 이용한 심장 박동 분석 기법, 체열의 분포를 예측하고 열을 가하는 종양의 열 치료 기법이 있다(Bartolozzi *et al.*, 2000). Kim *et al.*(2012)은 이

산시간추계적 모델링 방법(discrete-time stochastic control formalism)을 활용하여 암환자의 방사선 치료를 최적화 할 수 있도록 방사선조사(放射線照射) 과정에서 환자의 상태가 어떻게 달라지는지에 따라 방사선의 세기를 조절하는 치료법을 제안 하였다.

한편, 전자 차트와 더불어 도입된 임상 의사결정지원체계(clinical decision support system)는 임상 데이터를 이용하여 경고 등의 방법으로 의료진에게 직접 조언을 하게 함으로써 추론 업무를 지원하고 있다(Cho and Kim, 2011). Kong *et al.*(2012)은 심장병의 흉통 임상위험도 평가에 전통적인 규칙기반의 의사결정시스템과 근거 추리 접근법(evidential reasoning approach)을 이용함으로써 불확실성을 가진 진료상황에 더 충실한 시스템을 제공하고자 하였다. 임상 의사결정지원체계는 국내에서도 이미 많은 병원에 도입되어 약물 용량, 약물정보, 약물 상호작용, 약물 구분 등의 투약관련 경고 체계나, 항생제, 수혈 처방 관리에 이용 되고 있다(Cho and Kim, 2011).

3. 국내 의료서비스 최적화가 활발하지 못한 이유

앞 절에서 살펴본 것처럼 미국, 유럽 등 선진국은 보건의료 분야에 산업공학/경영과학을 접목하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 이들 국가에서는 2000년대에 들어서면서 국가 차원에서 이를 활성화하기 위해 정책적으로 접근할 정도로 매우 적극적인 움직임을 보이고 있다. 하지만 우리나라에서의 의료서비스 최적화는 그 활동이 매우 미흡한 실정이다. 본 절에서는 국내 의료서비스 최적화가 활발하지 못한 이유들을 살펴본다. 본 절에서 제시하는 내용들은 충분한 검증이 뒷받침되지 않은 다소 주관적인 견해를 밝힌다. 본 논문이 출발점이 되어 보다 많은 연구자들이 국내 의료서비스 최적화가 활성화 되지 못한 이유에 대한 심층적인 분석을 시도하고 활성화 방안들을 제시할 수 있기를 기대한다.

3.1 의료서비스 산업의 영세성

제조 산업의 2011년 매출액을 살펴보면 삼성전자 165조 원, 현대자동차 78조 원, 포스코 68조 원이다. 반면, 주요 대학병원의 2011년 매출을 살펴보면 카톨릭의대성모병원 1조 5,320억 원, 서울아산병원 1조 3,978억 원, 서울대 부속병원 1조 1,659억 원, 삼성서울병원 9,656억 원이다(The Korea Economic Daily, 2012). 이와 같이 제조업에 비해 의료기관은 매출액 규모가 작을 뿐 아니라 노동집약적 산업으로 수익률이 높지 않다. 이에 따라 병원경영에 있어서도 최적화의 접목과 같은 새로운 분야에 대한 투자가 용이하지 않은 실정이다. 또한 우리나라의 대다수를 차지하는 의료기간은 영세하다. 2010년의 우리나라 의료기관은 56,000여개 이며 그 현황은 <Table 3>과 같다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 대다수의 의료기관이 의원, 중소병원이

Table 3. Medical institutions and status in 2010

분류	병상 수	기관 수	비고
조산원	-	68	-
의원	30 미만	53,065	일반의원(27,104), 치과의원(14,071), 한의원(11,705), 기타(185)
병원	30 이상	2,532	요양병원(762), 일반병원(1,129), 치과병원(151)
전문 병원		134	병원 중 특정질환 등에 대한 의료행위를 하는 의료기관
종합병원	100 이상	270	-
상급 종합병원		42	종합병원 중 중증질환에 대한 의료행위를 하는 의료기관

Source : KB Financial Group(2011).

며 국내병원의 57.5%가 개인병원이다(KB Financial Group, 2011). 의원 및 중소병원들의 매출규모와 수익률은 대학병원에 비해 더욱 낮은 실정이기 때문에 의료서비스 최적화에 대한 인식이 낮을 뿐 더러 투자할 여력도 적다.

3.2 건강보험의 수가 제도

건강보험의 수가제도는 크게 포괄수가제, 인두제, 총액계약제, 행위별수가제로 구분할 수 있다. 포괄수가제는 미국 등에서 입원환자에 대해 취하는 수가제도로써 단일 질병을 기준으로 수가를 책정하는 방법이다. 즉, 동일한 상병으로 입원한 환자에 대해서는 건강보험의 수가도 동일하므로 의료기관은 최소의 자원으로 환자를 진료하기 위해 노력을 한다. 인두제는 영국 등에서 채택하고 있는 수가제도로써 일정기간 동안 의료기관에 등록된 환자 일인당 정액을 지불하는 진료비 지불제도이다. 의료기관에서는 1년간 수입이 정해져 있으므로 비용을 최소화하기 위한 다양한 노력을 하게 된다. 총액계약제는 독일 등에서 택하고 있는 수가제도로써 1년 동안 의료기관에 지불하는 건강보장 급여액을 의료기관과 계약하여 정하는 방식이다. 총액계약제 역시 이미 의료기관별로 일정 수입이 정해져 있음에 따라 의료기관은 비용절감을 위해 노력을 한다. 이에 비해 행위별 수가제는 우리나라에서 채택하고 있는 수가제도로 의료기관이 환자에게 제공한 의료서비스 하나하나에 대하여 항목별로 가격을 책정하는 수가제도이다. 행위별 수가제 하에서는 의료기관은 서비스의 양을 늘릴수록 의료기관의 수입이 늘어나기 때문에 환자에게 과잉서비스를 제공할 수 있다는 단점이 있다(Lee, 2005). 이와 같이 포괄수가제, 인두제, 총액계약제를 실시하는 국가에서는 의료기관이 병원경영이나 의료서비스 제공의 최적화에 관심이 많은 반면 행위별 수가제를 채택하고 있는 우리나라의 의료기관은 상대적으로 낮은 실정이다.

3.3 의료서비스 최적화의 인식 및 전문인력 부족

국내 의료 업계에서는 산업공학/경영과학이 의료분야에 어떤 역할을 할 수 있는지 인식이 미흡하다. 중형도시의 종합병원에서도 아직 시뮬레이션이 어떤 것인지조차 알지 못하는 실정이다. 의료서비스 최적화의 성공사례가 많지 않고 홍보가

이루어지지 않고 있다.

의료분야에 최적화를 접목하기 위해서는 의료와 최적화 두 분야를 모두 알고 있는 전문가가 필요하나 현재 이러한 전문 인력이 매우 부족하여 의료분야최적화가 이루어지지 않고 있다. 또한 두 분야의 전문 인력들의 협력사례도 많지 않은 실정이다.

의료분야에서 활용될 수 있는 최적화 기법으로는 QFD(Quality Function Deployment), FMEA(Failure Mode and Effect Analysis), 대기이론, 시뮬레이션, 게임이론, 생산성 분석, 확률 및 통계 분석, 공정관리(Statistical Process Control; SPC), 데이터마이닝, 스케줄링, 수리계획법 등 다양하나 이러한 기법이 의료분야에서 활용되기 위해서는 의료기관 종사자들이 저렴한 비용으로 손쉽게 사용할 수 있는 툴이 필요하다. 그러나 의료분야를 위해 이러한 기법을 지원하는 툴은 거의 개발되지 않은 실정이다.

3.4 의료정보시스템의 미비

의료서비스 최적화 기법을 이용하여 다양한 의사결정을 하기 위해서는 의료정보시스템에서 최적화에 필요한 데이터를 신속, 정확하게 습득할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 각 병원에서 전자의무기록이 구축되고, 시스템에서 필요로 하는 데이터를 자동적으로 추출할 수 있는 기능이 있어야 한다. 최근에 우리나라 병원에서 전자의무기록의 구축이 확대되고 있으나 아직까지는 단순 업무 처리 중심으로 구축됨에 따라 의료최적화에서 필요로 하는 정보를 추출하는 데에는 한계가 있는 실정이다.

4. 의료서비스 최적화 활성화 방안

의료서비스 최적화의 목적을 축약하면 의료의 질, 환자안전, 그리고 효율성 제고가 될 것이다. 특히 환자안전과 의료의 질 향상이라는 목적은 누구도 부인할 수 없는 의료서비스의 본질적인 이슈이다. 의료서비스 최적화는 개별 의료인에게는 의료기술을 지속적으로 유지, 향상시키도록 도와주고, 의료기관에게는 의료의 질과 환자안전을 향상시킬 뿐만 아니라 비용을

절감하여 효율성을 증대시킬 수 있도록 지원하고, 정부나 보험공단에게는 의료서비스의 질을 유지하거나 향상시키면서도 비용과 오류를 감소시킬 수 있도록 지원한다.

이와 같이 유용한 의료서비스 최적화가 앞 절에서 제시한 여러 가지 배경으로 우리나라에서 활성화되지 못하였다. 하지만 지속되는 국민의료비의 증가와 고령화에 따른 건강보험 제정의 악화, 의료서비스에 대한 국민들의 알 권리 신장 및 의료의 질에 대한 관심의 증대로 요약될 수 있는 의료환경의 변화는 국내 의료서비스 최적화 도입 및 활성화를 강력히 요구하고 있다. 특히 2012년 7월부터 본격적으로 시행된 7개군에 대한 포괄수가제와 신포괄수가제 시범사업의 시행으로 우리나라 수가제도가 변화하고 있고, 의료기관에 대한 인증제의 도입을 통하여 의료기관의 질적 수준을 향상시키려는 국가적 정책이 이루어지고 있음에 따라, 우리나라 의료기관도 이제 의료의 질적 수준을 높이면서도 동시에 비용을 절감해야 하는 시대에 돌입하게 되었다. 따라서 우리나라에서도 이제는 의료서비스 최적화는 필수적으로 수행되어야 할 것으로 예상된다. 이 절에서는 우리나라 의료서비스 활성화를 위한 방안들을 논의한다.

- 의료서비스 최적화의 유용성에 대한 적극적인 홍보 : 앞에서 지적한 것처럼 우리나라 의료분야의 의사결정자들은 당면한 문제를 해결하고 경영 효율의 최적화를 달성하는 데 있어 산업공학/경영과학이 유용한 수단이라는 것을 잘 알지 못하고 있다. 따라서 의료분야의 의사 결정자에게 최적화 기법들의 유용성을 적극 홍보하는 노력이 필요하다. 이를 위한 구체적인 방법으로 의료최적화에 대한 세미나 및 특강 개최 등이 필요하다. 본 논문의 저자들이 주축이 되어 2013년 1월에 서울 및 부산에서 실시한 “Healthcare Optimization을 이용한 의료의 효율화 방안”에 대한 세미나는 좋은 예가 된다. 이 세미나에는 의사, 간호사, 의료 행정 담당자, 의료정책 관련자 등 380여명의 의료계 종사자가 참여하여 높은 관심을 보였다. 앞으로 이러한 활동을 계속적으로 실시하여 의료계 종사자에게 의료서비스 최적화를 홍보할 필요가 있다.
- 국내 성공사례 개발 : 국내에서 벤치마크가 될 수 있는 의료서비스 최적화 성공사례들의 개발이 필요하다. 최근 포괄수가제가 적용됨에 따라 많은 병원들에서 최적의 표준임상경로의 개발에 관심을 가지고 있다. 이를 지원할 수 있도록 시뮬레이션 등을 이용한 효과적인 표준임상경로 개발, 평가, 유지, 개선 방법론 및 관련 툴을 개발하여 제공할 수 있다면 파급효과가 큰 성공사례가 될 것으로 예상된다. 또한 다년간의 건강검진 데이터를 활용하여 고위험 질병의 발병 예측 모델을 개발하여 개인 맞춤형 의료서비스를 제공한다면 질병 예방을 할 수 있어 국가 의료비를 현저히 감소시킬 수 있는 성공사례가 될 것으로 기대한다. 이외에도 의료 원가 계산, 수가제 (행위별, 포괄, 신포괄)의 적정성 평가, 보험 급여비의 부당청구 적발 방법론 개발, 지역의원과 종합병원간의 밸런싱을 통한 비효율적인 의료 전달체계 문제 해결, 질병 치료

능력에 따른 의료기관의 공정한 평가 방법 등은 국내 의료서비스 시스템이 당면하고 있는 이슈들로서 시급한 최적화 연구를 필요로 한다.

- 의료전문인력과의 공동연구 및 전문 인력의 양성 : 의료서비스 최적화를 위해서는 의료와 최적화 두 분야의 전문지식이 융합되어야 한다. 이를 위해서는 두 분야의 전문가들이 공동 연구를 통해 의미 있는 결과들을 도출해내야 한다. 의료 분야 의사결정자, 의사, 보건행정학 관련 전문가, 최적화 관련 전문가들이 팀을 이루어 단기, 중장기 연구 이슈들을 찾아내고 연구를 수행할 필요가 있다. 또한 의료분야와 산업공학/경영과학을 함께 알 수 있는 전문교육 프로그램을 개발하여 전문 인력을 양성하여야 할 것이다. 이를 위하여 상호간의 전공 내용을 습득할 수 있도록 지원하는 학생 교육 프로그램의 마련이 필요하다.
- 의료최적화 로드맵 설정 : 미국의 AHRQ에서는 보건의료 분야에 산업공학/경영과학을 접목할 분야와 우선순위를 설정하고 이를 기반으로 연구자들이 연구를 할 수 있도록 국가적인 연구비를 지원하고 있다. 우리나라도 의료최적화의 연구 주제들을 찾아내고 연구의 우선순위를 설정하여 이를 기반으로 국가기관에서 연구비를 적극적으로 지원하여야 할 것이다.
- 의료분야에서 활용이 편리한 최적화 툴 개발 : 의료분야의 현실 여건 및 최적화 분야에 대한 인력 수준을 고려한 툴의 개발이 필요하다. 국내 의료기관들의 영세성을 감안할 때 저렴한 비용으로 손쉽게 사용할 수 있는 툴의 개발이 필요하다. 최근에 개발되어 인터넷에 무료로 공개된 외래환자 프로세스 진단용 시뮬레이터인 PIOS(POSTECH Internet-based Out-patient Simulator; <http://logistics.postech.ac.kr/pios>)는 이러한 툴의 좋은 예이다(Koo *et al.*, 2012). 이와 유사한 입원환자 및 간호사 관리를 위한 시뮬레이션 툴의 개발이 시급하다. 이외에도 의료분야에 적합한 QFD, SPC, FMEA, 데이터마이닝 등의 툴이 개발되어야 한다.
- 의료정보시스템의 정비 및 가용한 정보의 활용 : 의료최적화의 관점에서 필요로 하는 정보를 자동적으로 추출할 수 있는 전자의무기록을 포함한 병원정보시스템의 보완 및 구축이 필요하다. 또한 서로 다른 기관에서도 정보를 공유할 수 있도록 상호 호환성(interoperability)을 확보하여야 한다. 그리고 이러한 정보들은 의료기관뿐 아니라 환자도 접근할 수 있게 하여야 한다. 의료서비스는 공급자와 수요자가 함께 노력해야 하는 Co-production이 매우 강한 분야이다. 따라서 수요자인 환자들이 필요한 정보에 접근할 수 있어야 하며 의료서비스를 위한 필요 지식(health literacy)을 가져야 한다.

5. 결 론

국내 의료산업의 경쟁력 제고를 위해서 의료서비스 최적화는 필수적이다. 의료서비스 최적화의 목적은 의료의 질, 환자안

전, 그리고 효율성 제고이다. 의료서비스 최적화는 개별 의료인에게는 의료기술을 지속적으로 유지, 향상시키도록 도와주고, 의료기관에게는 의료의 질과 환자안전을 향상시킬 뿐만 아니라 비용을 절감하여 효율성을 증대시킬 수 있게 할 것이다. 본 논문에서는 의료서비스의 최적화 사례들을 살펴보고, 우리나라에서 활성화되지 못한 이유들을 지적하고, 활성화 방안을 제안하였다. 본 논문에서 지적하고 제안한 내용들은 많은 제한점(limit)이 있음을 부정할 수 없다. 하지만 본 논문이 국내 의료서비스 최적화에 대한 관심을 불러일으키고 연구 활성화에 미력하나마 도움이 될 수 있기를 기대한다.

참고문헌

- Abdel-Aal, R. E. and Mangoud, A. M. (1998), Modeling and forecasting monthly patient volume at a primary health care clinic using univariate time-series analysis, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **56**, 235-247.
- Abraham, G., Byrnes, G. B., and Bain, C. A. (2009), Short-term forecasting of emergency inpatient flow, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, **13**(3), 380-388.
- Ahmed, A. and Amagoh, F. (2008), Modeling hospital resources with process oriented simulation, *Central Asia Business*, **1**(1), 5-20.
- Ahn, J.-H. and Hornberger, J. C. (1996), Involving patients in the cadaveric kidney transplant allocation process : a decision-theoretic perspective, *Management Science*, **42**(5), 629-641.
- Bartolozzi, F., de Gaetano, A., Lena, E. D., Marino, S., Nieddu, L. and Patrizi, G. (2000), Operational research techniques in medical treatment and diagnosis : a review, *European Journal of Operational Research*, **121**, 435-466.
- Bellazzi, R. and Zupan, B. (2008), Predictive data mining in clinical medicine : current issues and guidelines, *International Journal of Medical Informatics*, **77**(2), 81-97.
- Bertels, S. and Fahle, T. (2006), A hybrid setup for a hybrid scenario : combining heuristics for the home health care problem, *Computers and Operations Research*, **33**, 2866-2890.
- Bertsimas, D., Bjarnadottir, M. V., Kane, M. A., Kryder, J. C., Pandey, R., Vempale, S., and Wang, G. (2008), Algorithmic prediction of health-care costs, *Operations Research*, **56**(6), 1382-1392.
- Bolton, R. J. and Hand, D. J. (2002), Statistical fraud detection : a review, *Statistical Science*, **17**(3), 235-249.
- Bowers, J. and G. Mould. (2005), Ambulatory care and orthopaedic capacity planning, *Health Care Management Science*, **8**, 41-47.
- Brailsford, S. C., Harper, R. R., and Sykes, J. (2012), Incorporating human behaviour in simulation models of screening for breast cancer, *European Journal of Operational Research*, **219**, 491-507.
- Brandeau, M. L., Sainfort, F., and Pierskalla, W. P. (Eds) (2004), *Operations Research and Health Care, A Handbook of Methods and Applications*, Kluwer's International Series, Dordrecht.
- Burke, E. K., Curtois, T., Post, G., Qu, R., and Veltman, B. (2008), A hybrid heuristic ordering and variable neighborhood search for the nurse rostering problem, *European Journal of Operational Research*, **188**, 330-341.
- Cardoen, B. and Demeulemeester, E. (2007), Evaluating the capacity of clinical pathways through discrete-event simulation, KU Leuven Department of Decision Sciences and Information Management Working Paper No. KBI 0712, 1-23.
- Cardoen, B., Demeulemeester, E., and Belien, J. (2010), Operating room planning and scheduling : a literature review, *European Journal of Operational Research*, **201**, 921-932.
- Carrigan, M. D. and Kujawa, D. (2006), Six sigma in health care management and strategy, *Health Care Manager*, **25**(2), 133-141.
- Chang, H. and Lee, T. (2010), A study on effectiveness of simulation optimization for outpatient appointment scheduling, *Proc. Joint Conf. of KIIE/KORMS*, Jeju RamaDa Hotel.
- Cheng, E. and Rich, J. L. (1998), *A Home Health Care Routing and Scheduling Problem*, Technical Report 98-04, Computational and Applied Mathematics, Rice University.
- Cho, I.-S. and Kim, K.-A. (2011), Electronic Health Records-based clinical decision support system, *Journal of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, **29**(2), 92-100.
- Chung, H. (2011), Korean National Health Accounts and Total Health Expenditure in 2010, Ministry of Health and Welfare and Yonsei Institute of Health and Welfare.
- Cios, K. J. and Moore, G. W. (2002), Uniqueness of medical data mining, *Artificial Intelligence in Medicine*, **26**(1/2), 1-24.
- Committee on Advancement of Health Security (2010), *Future Strategy for Health Security Advancement : 2010 Committee Report*, National Health Insurance Service.
- Committee on Quality of Health Care in America (2001), *Crossing the Quality Chasm : a New Health Systems for the 21st Century*, Institute of Medicine, National Academy Press, Washing, D. C.
- Cooper, W. W. (1999), Operational research/management science : where it's been. where it should be going?, *Journal of the Operational Research Society*, **50**(1), 3-11.
- Copeland, L., Edberg, D., and Wendel, J. (2012), Applying business intelligence concepts to medicaid claim fraud detection, *Journal of Information Systems Applied Research*, **5**(1), 51-61.
- Creemers, S., Belien, J., and Lambrecht, M. (2012), The optimal allocation of server time slots over different classes of patients, *European Journal of Operational Research*, **219**, 508-521.
- Davies, R., Brailsford, S. C., Roderick, P. J., Canning, C. R., and Crabbe, D. N. (2000), Using simulation modelling for evaluating screening services for diabetic retinopathy, *The Journal of the Operational Research Society*, **51**(4), 476-484.
- De Koning, H., Verver, J. P. S., van den Heuvel, J., Bisgaard, S., and Does, R. J. M. M. (2006), Lean six sigma in healthcare, *Journal for Healthcare Quality*, **28**, 4-11.
- Diefenbach, M. and Kozan, E. (2008), Hospital emergency department simulation for resource analysis, *Industrial Engineering and Management Systems*, **7**(2), 133-142.
- Eveborn, P., Flisberg, P., and Ronnqvist, M. (2006), LAPS CARE-an operational system for staff planning of home care, *European Journal of Operational Research*, **171**, 962-976.
- Fetter, R. B. and Thompson, J. D. (1965), The simulation of hospital systems, *Operations Research*, **13**, 689-711.
- Finarelli Jr, H. J. and Johnson, T. (2004), Effective demand forecasting in 9 steps, *Healthcare Financial Management*, **58**(11), 52-58.
- Fletcher, A., Halsall, D., Huxham, S. and Worthington, D. (2006), The DH accident and emergency department model-a national generic model used locally, *Journal of the Operational Research Society*, **58**, 1554-1562.
- Hall, R. (Ed.) (2006), *Patient Flow : Reducing Delay in Healthcare Delivery*, International Series in Operations Research and Management Science, **91**.
- Hall, R. (Ed.) (2012), *Handbook of Healthcare System Scheduling*, Interna-

- tional Series in Operations Research and Management Science*, **168**.
- Hall, S. N., Jacobson, S. H., and Sewell, E. C. (2008), An analysis of pediatric vaccine formulary selection problems, *Operations Research*, **56**(6), 1348-1365.
- Han, J., Lee, K., Ahn, M., and Lee, T. (2011), Process improvement of emergency roll using Lean six sigma and simulation, *Health and Social Welfare Review*, **31**(4), 454-477.
- Hans, E., Wullink, G., van Houdenhoven, M., and Kazemier, G. (2008), Robust surgery loading, *European Journal of Operational Research*, **185**, 1038-1050.
- Hauskrecht, M. and Fraser, H. (2000), Planning treatment of ischemic heart disease with partially observable Markov decision processes, *Artificial Intelligence in Medicine*, **18**, 221-244.
- Herrin, A. N. (1995), *Operations Research for Program Planning and Management*, The Population Council.
- Isken, M. W. and Rajagopalan, B. (2002), Data mining to support simulation modeling of patient flow in hospitals, *Journal of Medical Systems*, **26**(2), 179-197.
- Izady, N. and Worthington, D. (2012), Setting staffing requirements for time dependent queuing networks : the case of accident and emergency departments, *European Journal of Operational Research*, **219**, 531-540.
- Jacobson, S. H., Hall, S. N., and Swisher, J. R. (2006), Discrete-event simulation of health care systems, Patient Flow : Reducing Delay in Healthcare Delivery, *International Series in Operations Research and Management Science*, **91**, 211-252.
- Johnson, M. P. and Smilowitz, K. (2008), Community-based operations research, *OR/MS Today*.
- Jones, S. S., Thomas, A., Evans, R. S., Welch, S. J., Haug, P. J., and Snow, G. L. (2008), Forecasting daily patient volumes in the emergency department, *Academic Emergency Medicine*, **15**(2), 159-170.
- Jun, J. B., Jacobson, S. H., and Swisher, J. R. (1999), Application of discrete-event simulation in health care clinics : a survey, *Journal of the Operational Research Society*, **50**, 109-123.
- KB Financial Group (2011), Domestic health industry status and financial operation analysis.
- Kim, M., Chate, A., and Phillips, M. H. (2012), A stochastic control formalism for dynamic biologically conformal radiation therapy, *European Journal of Operational Research*, **219**, 541-556.
- Koelman, P. M., Bhulai, S., and van Meersbergen, M. (2012), Optimal patient and personnel scheduling policies for care-at-home service facilities, *European Journal of Operational Research*, **219**, 557-563.
- Kohn, L.T., Corrigan, J. M., and Donaldson, M. S. (Eds.) (2000), *To Err Is Human : Building a Safer System*, Institute of Medicine, National Academy Press, Washing, D. C.
- Kolker, A. and Story, P. (Eds.) (2011), *Management Engineering for Effective Healthcare Delivery : Principles and Applications*, Medical Information Science Reference.
- Kong, G., Xu, D.-L., Body, R., Yang, J.-B., Machway-Jones, K., and Carley, S. (2012), A belief rule-based decision support system for clinical risk assessment of cardiac chest pain, *European Journal of Operational Research*, **219**, 564-573.
- Koo, J., Lee, G., Lee, J., Li, H., and Kim, B. (2012), Internet-based generic simulation model for outpatient clinics, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, **40**(2), 408-417.
- Kusters, R. J. and Groot, P. M. A. (1996), Modelling resource availability in general hospitals Design and implementation of a decision support model, *European Journal of Operational Research*, **88**, 428-445.
- Lee, K. (2005), *Medical Security and Medical System*, Kyechukmunhwasa.
- Lee, S. (2010), *Domestic and Foreign Trend of Patient Safety*, the 19th Health Insurance Review and Assessment Service Forum.
- Lee, Y. and Lee, T. (2010), A comprehensive study on patient flow improvement solutions and their implementation strategies in an outpatient system, *IE Interfaces*, **23**(1), 1-11.
- Lefevre, C. (1981), Optimal control of a birth and death epidemic process, *Operations Research*, **29**(5), 971-982.
- Li, J., Huang, K.-Y., Jin, J., and Shi, J. (2008), A survey on statistical methods for health care fraud detection, *Health Care Management Science*, **11**(3), 275-287.
- Li, W., Liu, K., Li, S., and Yang, H. (2010), A semiotic multi-agent modeling approach for clinical pathway management, *Journal of Computers*, **5**(2), 266-273.
- Lienhardt, C. and Cobelens, F. G. J. (2011), Operational research for improved tuberculosis control : the scope, the needs and the way forward, *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, **15**(1), 6-13.
- Lim, J.-H., Kang, S.-H., and Kim, W.-J. (2012), Patient management through simulation modeling in the medical center, *The Journal of Digital Policy and Management*, **10**, 287-295.
- Litvak, N., van Rijsbergen, M., Boucherie, R. J., and van Houdenhoven, M. (2008), Managing the overflow of intensive care patients, *European Journal of Operational Research*, **185**, 998-1010.
- Loechl, C., Ruel, M. T., Pelto, G., and Menon, P. (2005), *The Use of Operations Research as a Tool for Monitoring and managing Food-Assisted Maternal/Child Health and Nutrition(MCHN) Programs : An Example from Haiti*, International Food Policy Research Institute.
- Lubicz, M. (Eds.) (2009), *Operational Research Applied to Health Services in Action*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej Wrocław.
- Major, J. A. and Riedinger, D. R. (2002), EFD : A hybrid knowledge/statistical-based system for the detection of fraud, *Journal of Risk and Insurance*, **69**(3), 309-324.
- Martin, K. E., Rogal, D. L., and Arnold, S. B. (2004), *Health-Based Risk Assessment : Risk-Adjusted Payments and Beyond*, Academy Health, Washington.
- Ministry of Health and Welfare (2011), Health Expenditure Report for 2010~2020.
- Moreno, L., Aguilar, R. M., Martin, C. A., Pineiro, J. D., Estevez, J. I., Sigut, J. F., and Sanchez, J. L. (2000), Patient-centered simulation to aid decision-making in hospital management, *Simulation*, **74**, 290-304.
- Najmuddin, A. F., Ibrahim, I. M., and Ismail, S. R. (2010), A simulation approach : improving patient waiting time for multiphase patient flow of obstetrics and gynecology department in local specialist centre, *Wseas Transactions on Mathematics*, **9**(10), 778-790.
- Nickel, S., Schroder, M., and Steeg, J. (2012), Mid-term and short-term planning support for home health care services, *European Journal of Operational Research*, **219**, 574-587.
- OECD (2011), *Health at a Glance 2011 : OECD Indicators*, OECD Publishing.
- Park, H. (2002), Healthcare industry and Industrial engineering : hospital sector, *IE Magazine*, **9**(2), 20-21.
- Park, K., Choi, I., Ji, W., Park, H., and Shin, H. (2008), Chronic delinquency index for hospital bill claim, *Proc. 2008 Conf. of KIEE*.
- Pitt, M., Dodds, S., Bensley, D., Royston, G., and Stein, K. (2009), The potential for operational research, *British Journal of Healthcare Management*, **15**(1), 346-351.
- Raikundalia, G. K., Mastan, M., and Bain, C. A. (2011), A web-based visual simulator for hospital management using discrete event simulation, *Research Journal of Information Technology*, **3**, 55-67.
- Rais, A. and Viana, A. (2010), Operations research in healthcare : a survey, *International Transactions in Operational Research*, **18**, 1-31.
- Rasmussen, M. S., Justesen, T., Dohn, A., and Larsen, J. (2012), The home

- care crew scheduling problem : preference-based visit clustering and temporal dependencies, *European Journal of Operational Research*, **219**, 598-610.
- Reid, P. P., Compton, W. D., Grossman, J. H., and Fanjiang, G. (Eds.) (2005), *Building a Better Delivery System : A New Engineering/Health Care Partnership*, National Academies Press.
- Revere, L. and Black, K. (2003), Integrating six sigma with total quality management : a case example for measuring medication errors, *Journal of Healthcare Management*, **48**(6), 377-391.
- Royston, G. (2011), Meeting global health challenges through operational research and management science, *Bulletin of the World Health Organization*, **89**, 683-688.
- Sainfort, F., Blake, J., Gupta, D., and Rardin, R. L. (2005), *Operations Research for Healthcare Delivery Systems*, World Technology Evaluation Center, Inc., Boston.
- Schaefer, A. J., Bailey, M. D., Shechter, S. M., and Roberts, M. S. (2005), Modeling medical treatment using Markov decision processes, *International Series in Operations Research and Management Science*, **70**(4), 593-612.
- Schweigler, L. M., Desmond, J. S., McCarthy, M. L., Bukowski, K. J., Ionides, E. L. and Younger, J. G. (2009), Forecasting models of emergency department crowding, *Academic Emergency Medicine*, **16**(4), 301-308.
- Sermeus, W., Linda, H. A., van den Heede, K. *et al.* (2011), Nurse forecasting in Europe (RN4CAST) : rationale, design and methodology, *BMC Nursing*, **10**(6), <http://www.biomedcentral.com/1472-6955/10/6>.
- Sibbel, R. and Urban, C. (2001), Agent-based modeling and simulation for hospital management, in : Saam, N. and Schmidt, B. (eds.) : *Cooperative Agents*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Sundaramoorthi, D., Chen, V. C. P., Rosenberger, J. M., Kim, S. and Buckley-Behan, D. F. (2009), A data-integrated simulation model to evaluate nurse-patient assignments, *Health Care Management Science*, **12**, 252-268.
- The Korea Economic Daily (2012), Best Hospital it is me.
- The Global Fund (2010), *Framework for Operations and Implementation Research in Health and Disease Control Programs*, The Global Fund.
- USAID (2008), *Using Operations Research to Enhance Delivery of Postpartum/Postabortion Family Planning Services in the Arab Region*, Frontiers in Reproductive Health(FRONTIERS) Population Council.
- Valdez, R. S., Ramly, E. and Brennan, P. F. (2010), *Industrial and Systems Engineering and Health Care : Critical Areas of Research-Final Report (Prepared by Professional and Scientific Associates under Contract No. 290-09-00027U)*, AHRQ Publication No. 10-0079, Rockville, MD : Agency for Healthcare Research and Quality.
- van den Heuvel, J., Does, R. J. M. M., and Verver, J. P. S. (2005), Six sigma in healthcare : lessons learned from a hospital, *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, **1**(4), 380-388.
- van Dijk, N. M. and Kortbeek, N. (2009), Erlang loss bounds for OT-ICU systems, *Queueing System*, **63**, 253-280.
- van Houdenhoven, M., Hans, E. W., Klein, J., Wullink, G., and Kazemier, G. (2007), A norm utilisation for scarce hospital resources : evidence from operating rooms in a Dutch university hospital, *Journal of Medical Systems*, **31**(4), 231-236.
- van Houdenhoven, M., van Oostrum, J. M., Wullink, G., Hans, E., Hurink, J. L., Bakker, J., and Kazemier, G. (2008), Fewer intensive care unit refusals and a higher capacity utilization by using a cyclic surgical case schedule, *Journal of Critical Care*, **23**, 222-226.
- van Oostrum, J. M., Bredenhoff, E., and Hans, E. W. (2008), *Managerial Implications and Suitability of a Master Surgical Scheduling Approach*, Econometric Institute.
- van Oostrum, J. M., van Houdenhoven, M., Vrielink, M. M. J., Klein, J., Hans, E. W., Klimek, M., Wullink, G., Steyerberg, E. W., and Kazemier, G. (2008), A simulation model for determining the optimal size of emergency teams on call in the operating room at night, *International Anesthesia Research society*, **107**(5), 1655-1662.
- Woodard, T. D. (2005), Addressing variation in hospital quality: is six sigma the answer?, *Journal of Healthcare Management*, **50**(4), 226-236.
- Zonderland, M. E., Boer, F., Boucherie, R. J., de Roode, A., and van Kleef, J. W. (2009), Redesign of a university hospital preanesthesia evaluation clinic using a queuing theory approach, *International Anesthesia Research Society*, **109**(5), 1612-1621.
- Zonderland, M. E., Boucherie, R. J., Litvak, N., and Vleggeert-Lankamp, C. L. (2010), Planning and scheduling of semi-urgent surgeries, *Health Care Management Science*, **13**, 256-267.
- Zonderland, M. E. and Timmer, J. (2012), Optimal allocation of MRI scan capacity among competing hospital department, *European Journal of Operational Research*, **219**, 630-637.