

시뮬레이션을 이용한 치과의원의 예약정책과 스케줄링 규칙 평가

이종기*, 김명기*, 하병현**†

서울대학교 치의학전문대학원 치과경영정보학교실*

부산대학교 공과대학 산업공학과**

<Abstract>

Evaluation of Appointment Policy and Scheduling Rule for a Dental Clinic Based on Computer Simulation

Jongki Lee*, Myeng-Ki Kim*, Byung-Hyun Ha**†

*Dept. of Dental Management and Informatics, School of Dentistry, Seoul
National University**

*Dept. of Industrial Engineering, Pusan National University***

In today's competitive dental markets, it is of paramount importance to improve service quality and at the same time to use scarce resource efficiently. In this study, we present appointment policies and scheduling rules for private dental clinics to reduce the waiting time of patients and to increase the revenue by utilizing resource more effectively. This study validates the proposed appointment policies and scheduling rules based on simulation models. We show that the bottleneck-based appointment policy is the most effective among appointment policies, followed by the multiple-block appointment one. The shortest processing time among scheduling rules

* 투고일자 : 2011년 10월 28일, 수정일자 : 2011년 11월 25일, 게재확정일자 : 2011년 12월 10일

† 교신저자 : 하병현, 부산시 금정구 장전2동 산30번지 부산대학교 산업공학과 하병현, Tel: 051-510-2303,

Fax: 051-510-7603, e-mail: bhha@pusan.ac.kr

contributes most to the performance of the appointment system.

Keyword : dental clinic, revenue, simulation, appointment policy, scheduling rule

I. 서 론

의료기관 경영에 있어 환자의 대기시간은 서비스의 질을 결정하는 중요한 요소로 인식되고 있다(Huang, 1994). 통계청 “2010년 사회조사 보고서”에 의하면, 긴 대기시간(19%)이 비싼 진료비(30%)에 이어 의료서비스 이용자 불만족의 두 번째 이유로 조사되었다(통계청, 2010). 하지만 대기시간의 최소화 등을 통한 서비스 수준의 제고는 자원 활용의 효율성을 떨어뜨릴 수 있는, 특히 한정된 시간 동안 진료 가능한 환자수를 제약할 수 있는, 위험을 가지고 있다. 따라서 환자의 대기시간 및 의료기관 내 체류시간을 줄임과 동시에 의료자원을 효율적으로 활용하기 위한 전략을 의료기관 경영에 도입해야하는 필요성이 대두되고 있다.

의료기관은 진료 환자의 흐름을 조절하는 방법을 통하여 이와 같은 전략을 효과적으로 구현할 수 있다(Jun 등, 1999). 환자 흐름의 조절은 크게 방문시점을 정해주는 예약정책(appointment policy)의 활용과 내원한 환자의 진료순서를 효율적으로 정하는 스케줄링 규칙(scheduling rule)의 적용으로 나눌 수 있다. 이러한 예약과 스케줄링을 통한 의료 인력과 자원의 효율적 활용은 생산성과 수익을 높이는 중요한 요소이다(Jameson, 1996; 김란, 2000).

먼저, 환자 예약은 환자가 내원할 시점과 내원해서 진료 받을 시간을 정하는 과정이다. 이는 일반적으로 단위시간(블록) 동안 계획하는 예약건수와 예약간격의 조합이나 변형으로 이루어진다(Fries, Marathe, 1981). Bailey와 Welch의 선구적인 연구에서는(Bailey, 1952; Welch, Bailey, 1952) 진료 시작 시 두 명의 환자를 예약하고(블록 크기는 2), 이후 평균 진료시간 간격으로 한 명씩의 환자를 예약할 경우(블록 크기는 1) 환자의 대기시간을 줄이고 의사의 시간을 효율적으로 활용할 수 있음을 보였다. 이후, 가변 블록과 고정 예약 간 간격(Fries, Marathe, 1981; Liu, Liu, 1998), 고정 블록과 가변 예약 간 간격(Ho 등, 1995; Denton, Gupta, 2003; Robinson, Chen, 2003), 그리고 가변 블록과 가변 예약 간 간격(Cayirli 등, 2006) 등 여러 조건에 대한 다양한 연구가 이루어졌다.

다음으로, 진료순서를 조절하는 스케줄링 규칙 역시 환자의 대기시간 단축과 의료자원의 효율적인 활용에 영향을 미치는 중요한 요소로 알려져 있다(Cayirli, Veral,

2003). 일반적으로 의료기관에서는 환자를 내원한 순서대로 진료하는 선입선출 방법을 사용하지만, 진료순서를 진료의 특성 또는 의료기관의 환경에 맞게 보다 탄력적으로 변화시킴으로써 보다 나은 서비스를 환자에게 제공할 수 있다. 대표적으로 특정 환자 그룹에 우선순위를 주는 신속처리열을 운용하거나 처치시간이 가장 짧은 환자부터 처리하는 최단처리시간 규칙을 사용하는 것이다. 신속처리열은 일반적으로 응급실에서 환자의 흐름을 개선하기 위한 방법 중의 하나로 많이 활용되고 있다(McGuire, 1994; Kirtland 등, 1995). Garcia는 응급실에서 시간이 적게 걸리는 경증의 환자를 위한 신속처리열을 따로 마련함으로써 중증환자에게 큰 영향을 끼치지 않고, 이들의 대기시간을 25%정도 줄였다고 보고하였으며(Garcia 등, 1995), Testi는 수술실 스케줄링에서 수술시간이 가장 짧은 환자부터 처리하는 최단처리시간 규칙을 적용함으로써 수술실의 활용도를 높이고 초과근무시간을 줄일 수 있음을 보여주었다(Testi 등, 2007).

치과분야에서의 예약정책에 관한 연구로, 김란은 설문조사를 통해 재진환자의 만족도의 파악하고 예약제도의 개선점을 제시하였으며(김란, 2000), 이형주와 장혜정은 특정 치과의원의 예약관리체계에 대한 통계를 바탕으로 환자의 대기시간과 예상 진료시간의 오차 등을 계량적으로 평가하고 제안점을 도출하였다(이형주, 장혜정, 2003). 치과분야에 스케줄링 기법과 시뮬레이션 기법 등 정보 시스템 기반의 방법론을 적용해야 하는 필요성은 충분히 인식되어 왔다(Snyder, 1995; Jameson, 1996). Czech 등은 치과의원 경영에 시뮬레이션 기법을 활용하는 사례연구를 수행하였으며(Czech 등, 2007), Javel 등은 의사와 보조인력의 업무부하를 고려하여 환자가 내원 예약시간을 정하는 몇 가지 시나리오에 대해 시뮬레이션 수행하고 환자의 만족도를 평가하였다(Javel 등 2010).

본 연구는 치과의원에서 예약정책과 환자 스케줄링 규칙을 제시하고 평가하는 것을 목표로 한다. 현재까지 대부분의 연구들은 응급실과 수술실 등 의과분야를 대상으로 하고 있으며, 치과분야에서 구체적인 정책과 규칙을 개발하고 평가하는 연구는 드물다. Hancock 등은 한 가지의 예약정책이나 스케줄링 규칙을 다른 진료 과에 동일하게 적용하기 어렵고, 각 과의 환자의 내원 형태, 진료 조건 등 다양한 요소를 고려해야 함을 지적하고 있다(Hancock 등, 1976). 따라서 치과의원 진료 서비스의 고유한 특성을 고려하여 효과적인 정책과 규칙이 검토되어야 한다.

치과분야는 일반적인 의과분야와 비교하여 보조인력에 의존하는 비율이 낮으며(김영남 등, 2003), 한 명의 치과의사가 여러 대의 진료용 체어를 이용하여 다수의 환자를 번갈아 가면서 동시에 진료를 한다는 특징을 가진다. 또한, 일반적으로 진료내용에 따라 치과의사의 처치 시간의 변이가 심하며, 의사 1인당 1일 평균 치과 환자수가 15.9 명으로 의원의 52.6명에 비해 현저히 낮다(통계청 2009). 본 연구에서는 위와 같은 치

과의원의 특성을 고려하여 환자의 대기시간을 줄이면서 동시에 효율성을 극대화하여 수익을 높일 수 있는 병목기반 예약(bottleneck-based appointment) 정책과 진료 패키징(treatment packaging) 방법을 제시하고, 기존 방식들과 함께 시뮬레이션 기법을 이용하여 적용 후의 효과를 검증한다.

II. 연구방법

1. 대상 시스템

연구 대상 시스템인 치과의원을 운영환경과 제어요소, 그리고 그에 따른 반응결과로 구분하여 도식화하면 그림 1과 같다. 본 연구에서는 치과의원의 운영환경으로 1일 평균 신환수를 고려하며, 예약정책과 스케줄링 규칙에 따라 내원하는 환자의 흐름을 제어하고, 치과의원(공급자)과 환자(수요자)의 관점에서 결과를 평가한다.

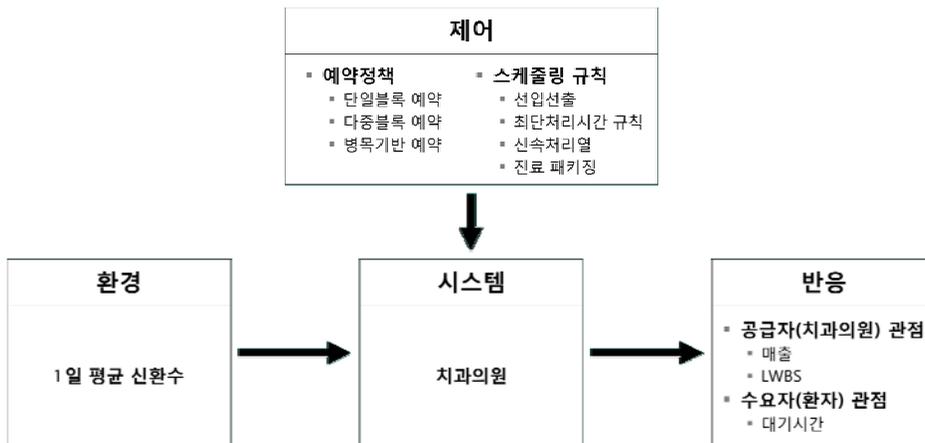


그림 1. 대상 시스템.

1일 평균 신환수는 대상 치과의원에 하루 평균 방문하는 신규 환자의 명수를 나타낸다. 신환이 처음 치과의원을 방문할 때는 예약 없이 내원하며, 추가적인 내원이 필요할 경우 예약정책에 따라 다음 내원 시점을 정하고 그에 맞추어 다시 방문하게 된다. 1일 평균 신환수가 증가하면 진료 과정에 있는 환자의 수가 늘어나고, 그에 따라 내원하는 환자수도 증가하게 된다. 모든 내원한 환자는 스케줄링 규칙에 따라 진료 순서가 결정된다.

예약정책과 스케줄링 규칙의 효율성은, 공급자 관점에서 매출과 LWBS(left without being seen; 내원했지만 진료를 받지 못하고 되돌아 간 환자의 수)로, 수요자 관점에

서 대기시간으로 나타나게 된다. 매출은 환자가 진료 후 지불한 진료비의 합으로, LWBS는 대기시간이 길어져 진료를 포기하고 돌아가는 환자의 수로 정의한다. 대기시간은 환자가 내원한 시점부터 진료를 받기 시작한 시점까지의 시간을 의미한다. 즉, 이는 환자가 내원해서 진료실에 입장할 때까지 대기실에서 머문 시간과 진료실 입장 후 진료를 받기 전까지 기다린 시간의 합으로 구성된다. 본 연구에서는 이들 지표를 바탕으로 예약정책과 스케줄링 규칙의 효율성을 평가한다.

2. 예약정책과 스케줄링 규칙

1) 예약정책

본 연구에서는 예약정책으로 의과분야뿐 아니라 치과분야에서도 널리 사용되고 있는 단일블록 예약(single-block appointment; SA)과 다중블록 예약(multiple-block appointment; MA)과 함께 치과진료의 특성을 반영한 예약정책인 병목기반 예약(bottleneck-based appointment; BA)을 고려한다(그림 2).

단일블록은 하루 일과시간 전체를 하나의 블록으로 보고 예약을 수행하는 정책으로, 단일블록을 사용하는 경우 하루 최대 예약건수인 24건을 넘지 않는 범위에서 예약을 한다. 단일 블록에서는 환자에게 진료 날짜만 알려주고 환자는 정해진 날짜에 맞춰 임의의 시간에 방문한다. 따라서 특정 시간에 여러 환자가 동시에 내원할 가능성이 존재하게 된다. 참고로, 시뮬레이션에서는 환자의 일반적인 내원 양상에 따라 오전 진료 시작 무렵과 그리고 오후 진료 종료 1~2시간 전에 방문하는 비율을 가장 높게 하였다.

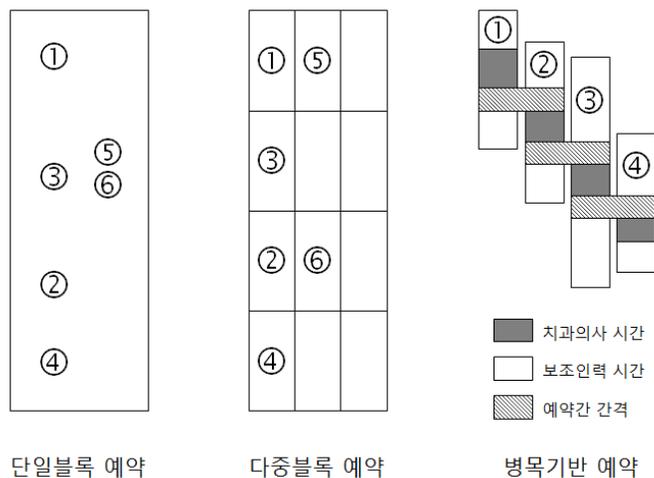


그림 2 예약정책과 예약 수립의 예.

다중블록 방식에서는 일정 시간 단위로 설정된 각 블록에 정해진 최대 건수를 넘지 않도록 예약을 잡는다. 이때 예약의 균일한 분포를 위해 연속되는 예약은 가능한 띄어서 배치한다. 예를 들어 그림 2의 다중블록 정책에서는 오전과 오후진료에 각 네 개의 블록을 사용하며 한 블록에 최대 세 명의 환자를 예약한다. 이 경우 첫 번째 예약은 블록 1에, 다음 연속되는 예약은 각각 블록 3, 블록 2, 블록 4에 할당한다. 추가적인 예약에 대해서는 블록 1부터 다시 할당을 시작한다.

병목기반 예약에서는 단일 또는 다중블록의 예약방법과 달리 진료시간의 변동성을 고려한다. 즉 진료의 종류에 따라 예약시간의 길이를 달리하고 또 총 진료시간 중 치과의사의 진료시간과 보조인력의 진료시간을 구분하여 치과의사의 시간을 기준으로 예약한다. 각 예약 사이에는 일정 시간간격을 두어 진료시간의 변동성에 대처한다.

2) 스케줄링 규칙

치과의원에 내원한 환자의 흐름제어를 위해 선입선출(First-In First-Out; FIFO) 규칙과 최단처리시간(shortest processing time; SPT) 규칙을 고려하고, 추가적으로 신환을 위한 신속처리열(fast track lane; FTL)과 진료 패키징(treatment packaging; TXP)의 스케줄링 방법을 고려한다.

먼저, 최단처리시간 규칙을 적용할 경우 대기환자 중 치과의사의 진료예정시간이 가장 짧은 환자를 먼저 진료한다. 본 연구에서는 치과의원의 현실적 상황을 고려하여 진료실 또는 대기실에 대기하는 환자 중 진료시간이 짧은 환자를 먼저 진료하도록 정하였다. 즉 진료실에 30분정도 소요되는 발치환자와 1분정도의 검진환자가 대기하고 있다면 내원 또는 예약순서에 관계없이 후자를 먼저 진료한다. 이를 기존의 처리방식인 먼저 내원한 환자가 빨리 진료 받는 선입선출 방식과 비교하였다.

다음으로, 신환을 위한 신속처리열을 마련하여 새로 방문한 환자가 대기시간 때문에 돌아가는 경우를 줄인다. 즉, 신환이 내원하면 대기실의 환자들과 경쟁하지 않고 진료실로 들어 갈 수 있다.

마지막으로, 진료 패키징은 치과의사의 여유시간을 최대한 활용하기 위한 방법이다. 치과진료의 특성상 일부 진료는 통상 여러 번 나누어 진료를 진행하지만, 여건이 허락한다면 한 번에 통합하여 진료할 수 있다. 가령 근관치료의 경우 통상 2번에서 4번 정도 나누어 진료를 하지만 상황이 허락한다면 한 번에 종료할 수 있다. 반면 발치와 발치 후 드레싱은 동시에 처치할 수 없는 항목이다. 이와 같은 연속 가능한 진료인 근관치료와 치근활택술을 대상으로 가능한 경우 진료 패키징을 수행한다.

3. 시뮬레이션 모형

연구대상인 치과의원의 진료흐름을 분석하여 시뮬레이션 모형을 설계하였다(그림 3).

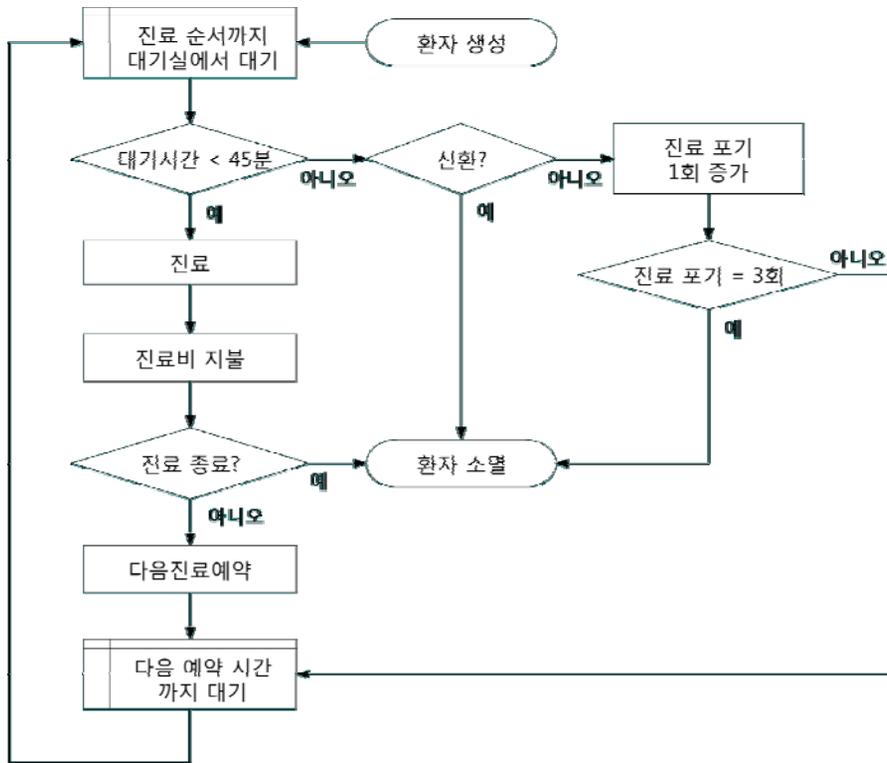


그림 3. 시뮬레이션 모형에서 환자의 흐름.

신규로 생성되는 환자의 치과도착 간격은 지수분포를 따른다. 방문한 환자는 스케줄링 규칙에 따라 진료를 받은 후, 추가적인 진료가 필요하면 주어진 예약정책에 따라 다음 방문시간을 예약하고, 필요한 만큼의 일정 시간을 보낸 후 예약 시간에 맞추어 다시 방문한다. 본 연구에서는 환자가 특별히 선호하는 예약시간은 없으며 항상 예약 시스템의 결정에 따른다고 가정한다. 예약시간에 따른 환자의 치과의원 도착 시간은 일정한 분포에 따라 변이를 가진다. 진료를 받지 못하고 오래 기다린 환자는 진료를 포기하고 치과를 떠난다. 시뮬레이션 모형 작성을 위해 사용한 주요 가정은 다음과 같다.

- 주 5일간, 하루 오전 4시간과 오후 4시간씩 총 8시간 근무하며, 근무 중 한 시간의 점심시간을 가진다.
- 한 명의 치과의사가 진료를 하고, 진료시간은 보조 인력의 준비시간, 치과의사의 진료시간 그리고 보조 인력의 마무리 시간으로 구성된다. 진료 중에는 한 명의 보조 인력이 항상 환자와 같이 있다.
- 환자가 생성될 때 진료 종류, 내원 회수, 내원 간격, 진료비를 결정한다.
- 환자의 진료시간은 계획된 시간대비 $\pm 30\%$ 범위에서 변한다. 변이는 삼각 분포를 따른다(4절의 표 1 참조).

- 환자는 예약된 시간에 비해 늦게 또는 빨리 치과의원에 도착한다. 변이는 평균이 -1.38 분, 표준편차 11.5인 정규분포를 따르며 최소 -20분 최대 +20분으로 절삭한다(4절의 환자의 도착시간의 분포 참고).
- 내원 후 환자의 동선과 추후 진료 예약시간은 예약정책과 스케줄링 규칙에 따라 실시간으로 정해진다.
- 예약간격 정보(표 1)를 이용하여 다음 예약 날짜를 잡는다. 만일 정해진 날짜에 기존 예약환자가 많아 불가능 한 경우 날짜를 하루씩 증가시키며 예약을 시도한다.
- 환자가 대기실에서 45분 이상 기다리는 경우 또는 내원했지만 근무시간 내에 진료를 시작할 수 없는 경우 진료를 포기하고 치과를 떠난다. 이때 LWBS를 증가시킨다. 신환의 경우 한 번 포기하면, 구환의 경우 세 번 포기하는 경우, 더 이상 내원하지 않는다.
- 진료종료 후 환자는 진료비를 치과의원에 지불한다.

4. 자료 수집과 분석

시뮬레이션 연구대상으로 경상남도 창원 도시에 위치한 B치과의원을 택하였다. B치과의원에서는 4개의 진료실이 있으며, 한 명의 치과의사가 6명의 보조 인력과 함께 환자를 진료한다. 2008년부터 자체 개발한 예약 시스템을 이용하여 환자를 관리하고 있으며, 환자의 예약시간과 치과의원 내원시간, 대기실에서 기다린 시간, 진료 받은 시간 등이 기록된다. 2010년 B치과의원 통계에 의하면, 하루 평균 환자수는 20 명 전후이고, 신환은 평균 두 명 정도이다. 환자의 주요 계층은 청소년부터 노년층까지 다양하며, 소수의 소아환자도 포함한다. 주요 치료 범위는 근관치료, 난발치, 치주수술 등의 보형진료와 전통적인 보철진료이다.

시뮬레이션 모형의 입력으로 필요한 기본 자료는 2011년 1월 1일부터 2011년 7월 31일까지 7개월간 B치과의원 예약 시스템의 데이터를 이용하였다. 이는 진료의 종류, 진료별 방문횟수, 예약 간격, 진료비, 진료 소요시간, 보조인력 대비 치과의사 진료시간의 비율 등을 포함한다. 진료 중 내원 차수에 따라 진료내용이 달라지는 것은 하위 진료에서 구분하여 진료시간을 정하였다(표 1). 대상 기간의 통계에 따르면 보험진료인 근관치료의 빈도가 제일 높고 다음이 금관수복이다. 참고로, 치료 빈도가 높은 근관치료와 금관수복치료의 소요시간 분포는 그림 4와 같다. 평균 금관수복 시간이 평균 근관치료 시간보다 2배 정도 길며 소요시간의 변이가 더 심한 것을 알 수 있다.

예약 시 계획한 진료시간과 실제로 진료한 시간에도 차이가 존재한다. B치과의원 진료 계획시간 대비 실제 진료시간의 비율은 그림 5와 같다(총 2,276 건). 실제 진료시간의 비율이 계획의 70%에서 130%까지의 경우가 전체 진료 중 약 50% 정도를 차지

한다. 예약시간과 차이가 많은 경우의 원인은 환자나 치과의사의 요인에 의해 치료의 내용이 변경되었거나 시술에 변수가 생겨 진료시간이 변한 것으로 추정된다.

표 1. 시뮬레이션 데이터로 사용된 진료의 속성(자료수 1,720건)

치료종류 (비율)	방문횟수			예약간 격 (일)		진료비 (천원)	하위진 료	방문당 치료시간(분)			치과의사의 시간비율	
	최소	최빈	최대	최소	최대			최소	최빈	최대	최소	최대
1. 근관치료 (29.0%)	1	3	6	2	7	150		15	30	60	65%	80%
2. 크라운 (22.4%)	2	2	3	5	8	400	2.1 지대치 형성과 인상	30	80	150	35%	45%
							2.2 접착	15	40	100	40%	50%
3. 스케일링 (15.4%)	1	1	1			60		30	60	70	10%	20%
4. 레진수복 (9.3%)	1	1	1			120		20	45	70	70%	80%
5. 인레이 (8.8%)	2	2	3	5	8	250	5.1 지대치 형성과 인상	30	60	90	40%	50%
							5.2 접착	20	25	50	30%	50%
6. 치근활택 술 (5.4%)	2	4	5	5	7	25		15	30	50	40%	50%
7. 외과적발 치 (4.0%)	2	2	3	7	10	80	7.1 발치	20	50	100	70%	80%
							7.2 드레싱, 발사	5	7	10	50%	60%
8. 치주수술 (2.6%)	2	3	3	7	14	70	8.1 수술	20	50	40	60%	70%
							8.2 드레싱, 발사	5	7	10	50%	60%
9. 발치 (1.8%)	1	1	1			30		20	35	40	70%	80%
10. 소아치료 (1.3%)	1	3	6	2	7	80		20	50	60	50%	60%

환자의 도착시간의 분포는 그림 6과 같다(총 3,239 건). 평균값이 -1.38분으로 예약시간보다 조금 일찍 도착함을 알 수 있다. 이전 연구에서 경험적 데이터에 의하면 환자는 예약시간보다 일찍 도착하는 경우가 많다고 보고되었으며(Fetter, Thompson, 1966; Klassen, Rohleder, 1996; Lehaney 등, 1999), 이는 B치과의 통계와 일치한다.

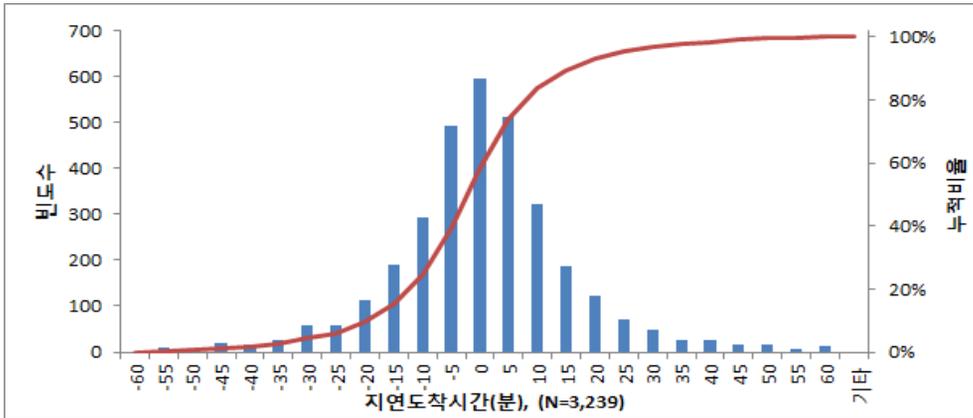


그림 4. 지연도착시간분포.

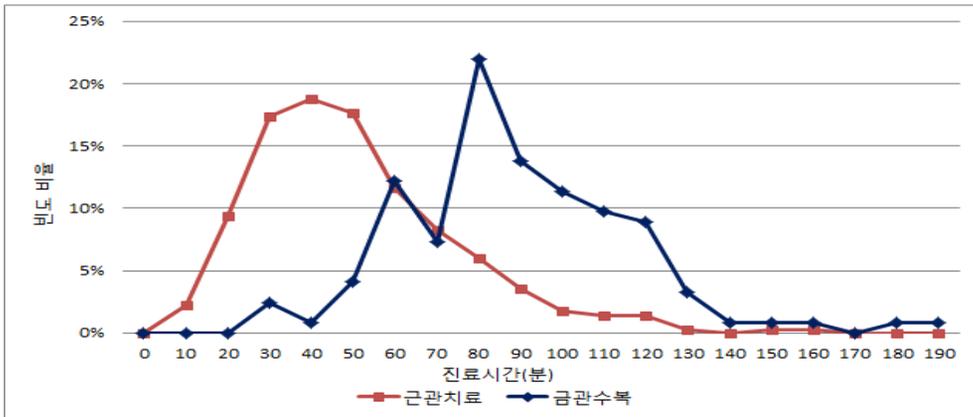


그림 5. 근관치료와 금관수복의 치료시간 분포.

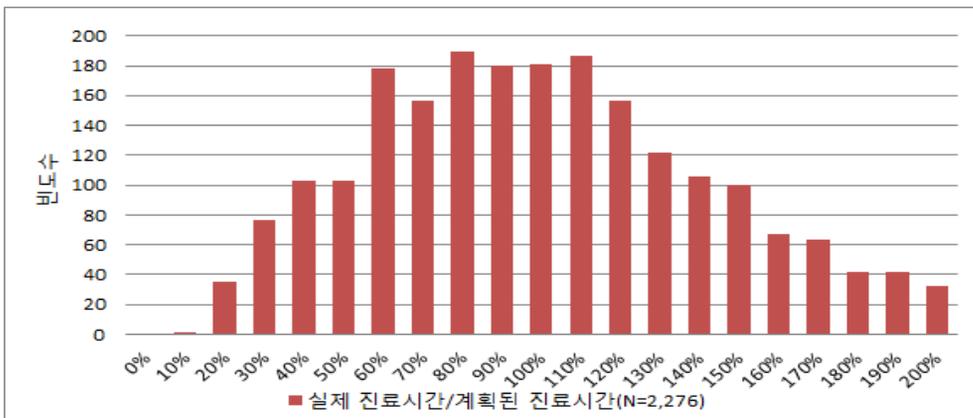


그림 6. 계획된 진료시간과 실제진료시간의 비율.

예약정책의 성능은 예약 간 간격의 변화에 큰 영향을 받는다(Bailey, 1952). 따라서 치과의사 진료시간에 따른 최적예약 간 간격을 찾을 필요가 있다. 병목기반 예약정책에서 최적 예약 간 간격을 찾기 위하여, 예약 간 간격을 14분부터 23분까지 1분씩 증가시키면서 최고의 매출을 나타내는 예약 간 간격을 찾아 시뮬레이션 실험시 적용하였다.

5. 시뮬레이션 모형 구현

본 연구에서는 상용 시뮬레이션 모형 구축 도구인 AnyLogic 6.6을 이용하여 치과 진료 프로세스를 구현하였다. 환자의 생성과 흐름, 소멸을 제어하기 위하여 AnyLogic의 Enterprise Library를 활용하였으며, Java 프로그래밍을 통하여 환자의 속성, 치료의 종류, 스케줄링 방법 등을 조절하였다. 구현된 시뮬레이션 모형의 실행 상태를 애니메이션으로 표현할 수 있는 것이 AnyLogic의 큰 장점 중 하나이다. 이는 시뮬레이션에 비전문가인 의료관련 종사자들이 모형을 쉽게 이해하는 것을 도와줄 뿐 아니라 모형의 개발과 검증에도 도움이 된다(Lehane 등, 1999).

시뮬레이션 모형은 비어 있는 상태에서, 즉 환자가 전혀 없는 상태에서, 실험이 시작되고 시간이 흘러 환자가 충분히 도착한 후 안정 상태에 도달한다(Robinson, 1994). 본 연구에서는 6개월의 워밍업(warming-up) 기간을 거친 후 모형이 안정 상태에 도달한 후 결과값을 수집하기 시작하였다. 안정 상태는 생성된 후 소멸되지 않은 환자수, 즉, 시스템 안에 있는 환자수로 판단하였다.

시뮬레이션 실험은 1일 평균 신환수를 1.7부터 2.0까지 0.1단위로 증가시키면서 진행하였다. 치과진료용 체어는 4대이다. 예약정책은 단일블록 예약, 다중블록 예약 그리고 병목기반 예약을 포함하고, 스케줄링 규칙은 선입선출, 최단처리시간 규칙, 신환을 위한 신속처리열, 진료 패키징 등을 포함한다. 각 조합에 대하여 20회씩 실험을 반복하였으며, 개인용 컴퓨터(Windows 7 64bit on Intel Core i7-2620M 2.7GHz, 8GB RAM)에서 약 6시간 소요되었다.

6. 시뮬레이션 모형 검증

시뮬레이션 모형의 유효성을 검증하기 위해 B치과의원에서의 환자의 실제 대기시간과 시뮬레이션 실험의 결과인 대기시간의 추정값을 비교하였다. B치과의원과 동일한 실험 환경을 만들기 위해 검증 시뮬레이션에서는 예약정책으로 다중블록 예약을 사용하고, 스케줄링 규칙은 선입선출만 적용했다. 환자가 많은 성수기와 환자가 적은 비수기의 운영 환경을 고려하기 위해 기간에 따라 하루 총 진료환자수를 17.6명과 20.1명이 되도록 조정하였다.

실제 데이터에서는 대기실에서 평균 대기시간은 9.3분이며, 시뮬레이션 실험 결과는 8.7분의 대기실 대기시간을 예측하였다. 이 결과는 모형이 현실을 충분한 정도로 반영하고 있음을 보여준다. 실제의 평균 대기실 대기시간이 0.6분 정도 긴 이유는 보조 인력이 환자가 내원했음을 인지하고 진료실까지 동행하는 과정에서의 소요시간 때문으로 추정된다.

III. 시뮬레이션 결과 분석

1. 예약정책 간 비교

단일블록 예약(SA), 다중블록 예약(MA) 그리고 병목기반 예약(BA)의 1일 평균 신환수에 따른 매출과 대기시간, 그리고 내원했으나 진료를 받지 못하고 돌아간 1일 평균 환자수(LWBS)는 그림 7과 같다. 이때 스케줄링 규칙은 적용하지 않았다. (그림 7에서 10까지의 각각의 지표에는 상한과 하한의 표식을 사용해서 지표의 95% 신뢰구간을 동시에 나타내었다.) 1일 평균 신환수가 1.9일 때의 환자 수는 단일블록 예약이 17.7명, 다중블록과 병목기반 예약이 21.0명이다. 매출은 1일 평균 신환수가 1.9일 때 까지 병목기반 예약이 제일 우수하고, 다중블록 예약이 그 다음의 성능을 보여준다. 단일블록 예약은 병목기반 예약에 비해 매출이 1억원 이상 적다. 대기시간은 1일 평균 신환수가 1.9일 때까지는 병목기반 예약이 다중블록 예약보다 1분정도 짧은 것을 관찰할 수 있다. LWBS에서 보여주듯 단일블록 예약 적용시 진료를 받지 못하고 돌아가는 환자가 많기 때문에 진료 받는 환자수가 적어지고 따라서 대기시간도 짧고 매출도 낮음을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과 1일 평균 신환수가 1.9일 때 병목기반 예약에서 치과 의사의 하루 평균 진료시간은 472분이다. 이는 하루 최대근무시간인 480분(8시간 근무)보다 8분 적은 수치다. 환자수가 증가하여 치과 의사 활용률이 100%에 근접하면 병목기반 예약의 성능이 급격히 떨어지는 것을 관찰할 수 있다. 반면 다중블록 예약과 단일블록 예약은 1일 평균 신환수가 증가하여도 매출과 대기시간 증가 양상이 일정하다.

2 스케줄링 규칙 간 비교

병목기반 예약을 대상으로 스케줄링 규칙을 적용했을 때 매출과 대기시간은 그림 8과 같다. 1일 평균 신환수가 1.9일 때, 스케줄링 규칙을 적용하지 않았을 경우(no control) 매출은 4.66억원, 대기시간은 36.0분이다. 이에 비해, 세 가지의 스케줄링 규

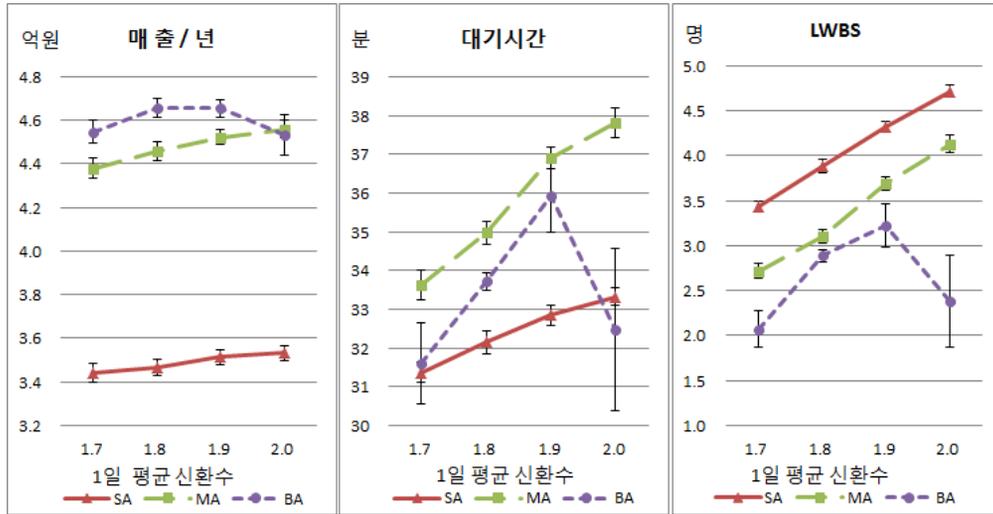


그림 7 예약정책간 매출, 대기시간, LWBS 비교.

칙을 모두 적용하였을 경우(all control) 매출은 5.24억원, 대기시간은 35.0분으로 향상됨을 알 수 있다. 즉, 모든 스케줄링 규칙을 적용하였을 경우 매출이 0.58억원 정도 증가했고, 대기시간은 1분 정도 줄었다. 1일 평균 신환수가 1.9 이하에서 최단처리시간 규칙(SPT)의 매출 기여가 가장 높고, 신속처리열(FTL)과 진료 패키징(TXP)은 비슷하였다. 최단처리시간 규칙은 대기시간의 감소에 기여하는 반면 진료 패키징과 신속처리열은 대기시간을 증가시키는 것으로 나타났다.

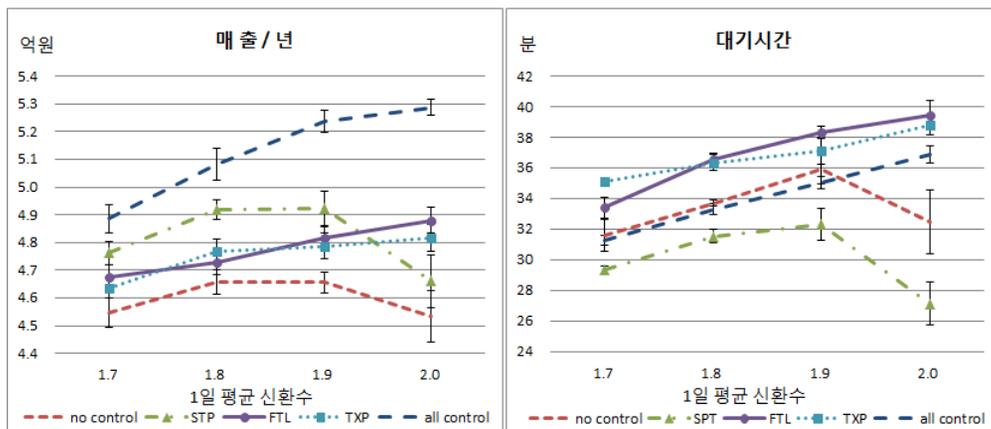


그림 8 병목기반 예약의 매출과 대기시간.

다중블록 예약을 대상으로 스케줄링 규칙을 적용했을 때 매출과 대기시간은 그림 9와 같다. 모든 스케줄링 규칙을 적용하였을 경우, 스케줄링 규칙을 적용하지 않은 경우와 비교하여 매출이 0.5억원 정도 증가했고, 대기시간은 1.7분 줄었다. 스케줄링 규칙별 매출 기여도는 최단처리시간 규칙이 가장 높다. 병목기반 예약과 마찬가지로 최단처리시간 규칙은 대기시간의 감소에 기여하는 반면 진료 패키징과 신속처리열은 대기시간을 증가시키는 것으로 나타났다.

이러한 시뮬레이션 결과는 스케줄링 규칙에 따라 매출과 대기시간이 향상될 수 있음을 보여 준다. 또한, 각 예약정책별, 스케줄링 규칙이 매출과 대기시간에 미치는 영향이 상이함을 관찰할 수 있다.

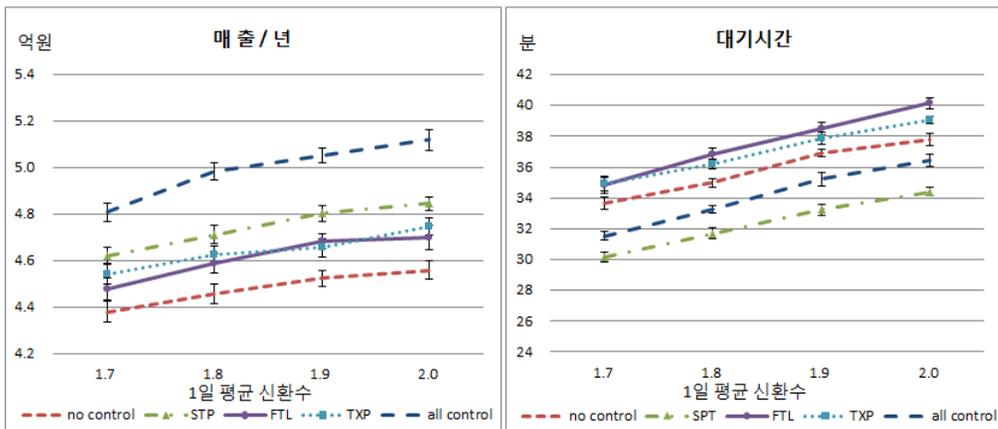


그림 9 다중블록 예약의 매출과 대기시간.

3. 예약정책과 스케줄링 규칙 비교

다음으로, 예약 시스템 성능개선에 예약정책과 스케줄링 규칙의 기여도를 비교하기 위해, 병목기반 예약과 다중블록 예약을 대상으로 스케줄링 규칙 적용 유무에 따른 매출과 대기시간, 그리고 LWBS를 비교하였다(그림 10). 이는 그림 8과 9에서 스케줄링 규칙을 적용하지 않았을 경우와 모든 스케줄링 규칙을 적용했을 때의 그래프를 재조합한 것이다. 그림 10에 의하면 스케줄링 규칙이 예약정책보다 매출과 대기시간 그리고 LWBS에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

표 2와 표 3은 1일 평균 신환수가 1.9일 때, 전술한 예약정책과 스케줄링 규칙의 조합에 따른 매출과 대기시간을 정리한 것이다. 표 2에 의하면 매출이 가장 높은 조합은 병목기반 예약에서 최단처리시간 규칙, 신속처리열 그리고 진료 패키징을 모두 적용하였을 때 5.24억원이고, 가장 낮은 조합은 단일블록 예약에서 스케줄링 규칙을 적용하지

않았을 때(FIFO/-) 3.52억원로 약 1.72억원의 차이를 보인다. 각 예약정책에서 최단 처리시간 규칙 적용 유무에 따라 0.2억원에서 0.3억원의 매출차이를 보이는 반면 신속 처리열, 진료 패키징의 적용유무는 이보다 적은 차이를 나타내는 것을 알 수 있다.

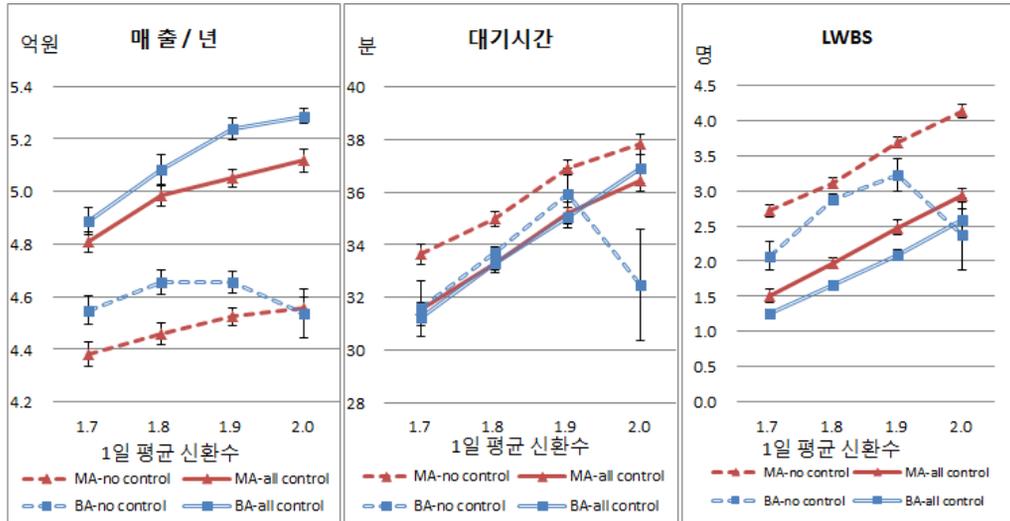


그림 10 병목기반 예약과 다중블록 예약의 비교.

표 3에 의하면 단일블록에서 대기시간이 짧다. 그 이유는 단일블록 예약에서는 내원하는 환자를 효율적 처리하지 못해 돌아가는 환자(LWBS)가 많아지고, 따라서 진료 받는 환자가 줄어들기 때문이다. 병목기반 예약과 다중블록 예약에서 최단처리시간 규칙만 적용했을 때(SPT/-) 대기시간이 짧다. 신속처리열과 진료 패키징을 적용하면 대기 시간도 약간 증가함을 알 수 있다.

표 2. 예약정책과 스케줄링 규칙별 매출(억원)

예약정책 \ 스케줄링 규칙	예약정책				
		FTL/TXP	FTL	TXP	-
병목기반 예약	SPT	5.24	5.14	5.09	4.92
	FIFO	4.96	4.82	4.79	4.66
다중블록 예약	SPT	5.05	4.96	4.94	4.80
	FIFO	4.79	4.68	4.66	4.52
단일블록 예약	SPT	4.08	3.89	3.90	3.71
	FIFO	3.86	3.65	3.65	3.52

FTL: 신속처리열(fast track lane)
 TXP: 진료 패키징(treatment packaging)
 SPT: 최단처리시간(shortest processing time) 규칙
 FIFO: 선입선출(First-In First-Out) 규칙

표 3. 예약정책과 스케줄링 규칙별 평균 대기시간(분)

예약정책	스케줄링 규칙	FTL/TXP	FTL	TXP	-
병목기반 예약	SPT	35.0	33.0	34.4	32.3
	FIFO	39.3	38.3	37.1	35.9
다중블록 예약	SPT	35.2	34.9	33.8	33.2
	FIFO	39.4	38.5	37.9	36.9
단일블록 예약	SPT	31.7	30.4	30.7	29.1
	FIFO	36.9	35.2	34.3	32.8

VI. 토 의

본 연구는 치과의원을 대상으로 예약정책과 스케줄링 방법이 대기시간, 매출, LWBS에 미치는 영향을 시뮬레이션 기법을 이용하여 분석하였다. 이를 위해 B치과의원의 진료 시스템과 데이터를 이용하여 시뮬레이션 모형을 개발하였으며, 환경 변수로 1일 평균 신환수를 사용하고 제어 변수로 예약정책과 스케줄링 방법을 적용하여, 결과로 출력되는 대기시간과 매출, LWBS의 변화를 관찰하였다.

실험 결과 예약정책 중에서는 병목기반 예약방법이 가장 우수한 성능을 발휘하며, 스케줄링 방법 측면에서는 최단처리시간 규칙과 신속처리열 그리고 진료 패키징을 모두 적용하는 것이 성능의 매출 향상에 가장 큰 기여를 하는 것을 볼 수 있었다. 대기시간의 경우 서로 다른 정책과 규칙의 조합에 따라 크게 차이가 나지 않는다는 것을 알 수 있었으나, 적절하게 환자의 흐름을 관리하는 경우 비록 조금이지만 대기시간을 줄이면서 오히려 매출의 증가를 가져올 수 있는 결과를 도출하였다. 이 절에서는 본 연구 결과의 시사점을 이론적, 그리고 실무적 관점에서 제시한다.

1. 예약정책에 대한 이론적 시사점

먼저, 본 연구 결과는 예약정책의 관점에서 크게 두 가지 시사점을 제시한다. 첫째, 병목기반 예약정책이 1일 평균 신환수가 1.9 이하에서는 예약정책 중 제일 우수한 성능을 발휘하는 것으로 나타났다. B치과의원을 포함한 치과진료의 특징은 환자수가 1일 20명 전후로 적은 반면, 진료시간의 변이가 크다. 이는 환자의 대기시간과 의사의 진료 공백시간을 아주 길게 만들 수 있는 조건으로 작용한다(Bailey, 1952; White, Pike, 1964; Klassen, Rohleder, 1996; Denton, Gupta, 2003). 병목기반 예약은 이를 극

복하기 위하여 각 진료 별 진료시간, 그리고 진료시간 중 진료보조 인력의 시간과 의사의 시간 등의 정보를 예약 시 이용하게 된다. 즉 병목이 되는 치과의사의 진료시간을 파악하고, 이를 중심으로 예약을 하여 예약 시스템의 성능을 높일 수 있다. 또한 1일 평균 신환수가 1.9이상에서는, 즉 환자가 증가하여 치과의사의 활용률이 100%를 넘기는 경우, 스케줄링 규칙을 적용하지 않으면 병목기반 예약정책의 성능이 급격히 떨어짐을 본 연구 결과는 보여주고 있다.

병목기반 예약정책에서, 예약 간 간격을 최적화 하여 성능을 보다 향상시킬 수 있다. 예를 들어, Wang (Wang, 1993; Wang, 1997)의 연구와 Robinson과 Chen (Robinson, Chen, 2003)의 연구는 진료시간의 초반부와 후반부의 예약 간 간격이 좁고, 중간부위로 갈수록 넓어지는 돔 형태(dome-shape)의 간격 설정이 성능을 높일 수 있음을 보여준다. Denton과 Gupta는 예약 간 최적 간격을 구하기 위해 두 단계의 추계적 선형계획 모형(two-stage stochastic linear programming model)을 제시하였다(Denton, Gupta, 2003). 이는 환자의 지연도착, 진료시간의 변이 등 불확실한 조건에서 의사결정을 위해 널리 사용하는 최적수리모형의 일종이다. 본 연구는 병목기반 예약에서 시뮬레이션 결과를 기반으로 예약 간 간격을 택했다. 따라서 향후 위에서 제시된 방법 등을 적용하여 최적의 간격을 설정하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

둘째, 본 연구 결과는 다중블록 예약이 효과적인 예약정책이 될 수 있는 조건을 제시한다. 스케줄링 규칙을 적용하지 않을 경우 1일 평균 신환수가 1.9 이하에서는 병목기반 예약정책보다 매출이 줄어들고, 대기시간이 길어지지만, 그 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 구체적으로, 병목기반 예약 대비 다중블록 예약의 매출은 약 0.1억원 감소하고, 대기시간은 약 1~2분 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, 1일 평균 신환수가 1.9 이상에서는 병목기반 예약의 성능이 급격히 떨어지는 반면, 다중블록 예약은 신환수 증가에 영향을 크게 받지 않는 일관적인 양상을 보여준다.

White와 Pike는 환자가 약속시간을 정확히 지키지 않고 예정된 진료시간과 실제 진료시간의 변이가 심한 불확실성이 큰 환경에서는 다중블록 예약이 좋은 성능을 보인다고 보고하였으며(White, Pike, 1964) 이는 본 연구의 결과와 일치한다. 본 연구에서 환자들이 늦게 도착하는 것을 허용하였고 진료시간의 변이를 $\pm 30\%$ 로 설정하여 불확실한 요소들을 포함시켰기 때문에 다중블록 예약이 우수한 성능을 보인 것으로 추정된다.

또한 치과의원은 의학분야와 달리 여러 개의 진료실을 두고 한 명의 치과의사가 옮겨 다니면서 진료를 한다. 따라서 치과의사가 다른 환자를 진료하고 있어도 대기실의 환자는 빈 진료실에 들어가 보조 인력의 도움을 받아 진료 받을 준비를 한다. 즉 진료실 수만큼의 환자가 한 번에 진료실에 들어갈 수 있다. 이러한 치과진료의 특수성 또한 다중블록 예약의 성능을 높이는 요소로 작용했을 것으로 보인다.

그리고 현장적용의 관점에서 다중블록 예약정책의 장점으로 진료예약을 위한 관리비용이 적게 든다는 점을 지적할 수 있다. 1일 평균 환자수를 구하여 블록 당 할당할 환자 수를 설정하면 되므로 병목기반 예약에서 요구되는 진료시간에 대한 세밀한 분석이 필요 없다. 마지막으로, Walter가 언급했듯이 정각이나 30분 등 환자들이 잘 이해할 수 있는 시간으로 예약을 잡을 수 있는 것(Walter, 1973)도 장점이라고 할 수 있다.

2. 스케줄링 방법에 대한 이론적 시사점

먼저, 본 연구결과는 스케줄링 규칙이 예약정책보다 대기시간의 증감에 더 큰 역할을 함을 보여준다. 이러한 결과 역시 내원한 환자의 진료순서를 결정하는 것이 예약시점을 결정하는 것보다 더 큰 역할을 한다는 기존 연구 결과와 일치한다(Cayirli 등, 2006). 그림 10에 의하면, 병목기반 예약과 다중블록 예약 간의 매출의 차이가 약 0.1억원 전후인 반면, 스케줄링 규칙 적용 유무에 따른 매출 차이는 0.5억원 전후임을 알 수 있다. 특히 최단처리시간 규칙의 효과는 신속처리열과 진료 패키징에 비해 우월함을 알 수 있다. 최단처리시간 규칙은 진료시간이 가장 짧은 환자부터 진료하여 환자의 원활한 흐름을 유도하는 것이다. 그러나 이는 내원 또는 예약된 순서를 무시하기 때문에 환자들이 공정한 대우를 못 받는다고 느낄 수 있고, 또 진료시간이 긴 환자가 오래 기다릴 확률이 높아지는 문제점을 안고 있다. 따라서 이 부분에 대한 해결책도 필요하다.

신속처리열은 응급실의 환자흐름 효율성을 위해 많이 사용되었다. 중증환자의 진료를 방해하지 않는 범위에서 진료시간이 짧은 경증 환자를 별도의 처리열을 이용, 진료함으로써 환자의 대기시간을 줄인다(Garcia 등, 1995; Kirtland 등, 1995). 치과에서는 신환이 치과의원의 수입 증가에 중요한 기여를 하고, 또 처음 내원하여 오래 기다리는 경우 다른 치과의원으로 갈 수 있으므로, 별도의 열로 처리하여 대기기간을 최소화 시켜 환자를 유치하였다. 즉, 이는 치과의원 수익의 기여도가 높은 환자를 대상으로 적용 가능한 방법이다.

진료 패키징은 치과의사의 여유시간을 최대한 활용하기 위한 방법으로 치과진료의 특성을 이용한다. 이는 매출의 증가에는 도움을 주나 대기시간을 증가시킴을 알 수 있다. 예약 시 진료 패키징을 적용할 수 있는 환자를 치과의사의 여유시간이 많을 때 배치함으로써 효과를 더 높일 수 있을 것으로 예상된다.

3. 실무적 시사점

예약정책과 관계없이, 내원한 환자의 진료순서를 조절함으로써 대기시간을 줄이고, 매출을 높일 수 있다. 특히, 진료 소요시간이 짧은 환자를 먼저 진료함으로써 대기시간

을 줄일 수 있으며, 신환의 경우 별도의 예진실 등으로 안내하여 대기시간을 짧게 하여 첫 내원 시 만족도를 높여 계속 진료 받도록 할 수 있다. 또 신경치료, 치주치료 등 연속적인 진료가 가능한 경우, 치과의사의 시간만 허락한다면 최대한 많이 진료하는 것이 매출을 높이기 위한 방법이 될 수 있음을 본 연구는 제시한다.

예약정책의 측면에서는 다중블록 예약정책이 관리비용은 적으면서도 효율적인 정책이라고 할 수 있다. 또한, 본 연구결과는 환자의 지연도착, 진료시간의 변이가 존재하여도 스케줄링 규칙과 함께 적용하면 효과를 높일 수 있음을 제시하고 있다. 마지막으로, 본 연구결과는 병목기반 예약정책을 사용하면 더 높은 성능을 기대할 수 있음을 보여준다, 하지만, 이를 위해 진료 종류, 진료 소요시간 등 치과의사의 진료 형태 정확한 분석이 필요하다는 사실에 유의할 필요가 있다. 또한 환자의 지연도착, 진료시간의 변이 등을 최소화하여 병목기반 예약정책의 최대효과를 끌어낼 수 있다.

4. 연구의 제한점과 추후 연구과제

본 연구의 제한점과 추후 연구과제는 다음과 같다. 첫째, 병목기반 예약은 진료종류에 따른 진료시간의 예측이 중요하다. 따라서 우수한 성능의 병목기반 예약 시스템 구현을 위해 진료관련 자료를 쉽고 정확하게 수집할 수 있는 절차나 도구에 대한 추가 연구가 필요하다. 둘째, 예약정책과 스케줄링 규칙 사이의 교호작용의 분석은 예약정책과 스케줄링 규칙의 임상 적용시 시사점을 제시할 것으로 사료된다. 가령 각 예약정책에 따라 더 나은 성능을 발휘할 수 있는 스케줄링 규칙을 통계적으로 찾음으로써 임상 가이드를 제시할 수 있을 것이다. 셋째, 스케줄링 규칙의 적용 시 예약환자의 진료 순서 변경에 의한 각 환자들의 대기시간 변화에 대한 추가 연구가 필요하다. 이를 바탕으로 스케줄링 규칙의 부수효과를 예측하고 대응 방안을 마련할 수 있을 것으로 기대된다. 마지막으로, 성능지표의 변동성을 제공하기 위해 각 지표의 95%의 신뢰구간을 차트에서 표시하였지만 엄밀한 분석석이 수행되지는 않았다. 추후 연구에서 대기시간과 관련된 서비스 수준 및 매출과 관련된 병원의 효용성(utilization) 등의 개념을 적용하여 추가적인 연구가 수행된다면 보다 많은 시사점을 제공해줄 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

김영남, 정기호, 권호근(2003). 치과의원 경영실태에 관한 연구. 대한구강보건학회지, 27(4): 591-602.

김관(2000). 치과병원 외래진료의 재진예약제도에 대한 문제점 및 개선점에 관한 연

구. 대한치과위생학회지, 2(1): 35-48.

이형주, 장혜정(2003). 치과의원 외래환자 예약관리체계의 계량적 평가. 한국병원경영학회지, 8(2):49-69.

통계청(2010). 사회조사보고서, <http://kosis.kr>.

통계청(2009). 연도별 의료기관종별 1일 외래환자수 추이, <http://kosis.kr>.

Bailey NJ(1952). A Study of Queues and Appointment Systems in Hospital Out-Patient Departments with Special Reference to Waiting-Times. Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological), 14(2): 185-199.

Cayirli T, Veral E(2003). Outpatient Scheduling in Health Care: A Review of Literature. Production and Operations Management, 12(4): 519-549.

Cayirli T, Veral E, Rosen H(2006). Designing Appointment Scheduling Systems for Ambulatory Care Services. Health Care Management Science, 9(1): 47-58.

Czech M, Witkowski M, Williams EJ (2007). Simulation Improves Patient Flow and Productivity at a Dental Clinic, In: Proceedings of the 21st European Conference on Modelling and Simulation, 25-29.

Denton B, Gupta D(2003). A Sequential Bounding Approach for Optimal Appointment Scheduling. IIE Transactions, 35(11): 1003-1016.

Fetter RB, Thompson JD(1966). Patients' Waiting Time and Doctors' Idle Time in the Outpatient Setting. Health Services Research, 1(1): 66-90.

Fries BE, Marathe VP(1981). Determination of Optimal Variable-Sized Multiple-Block Appointment Systems. Operations Research, 29(2): 324-345.

Garcia ML, Centeno MA, Rivera C, Decario N(1995). Reducing Time in an Emergency Room via a Fast-track, In: Proceedings of the 27th Conference on Winter Simulation. Arlington, Virginia, IEEE Computer Society.

Hancock WM, Warner DM, Heda S, Fuhs Paul(1976), Admission Scheduling and Control Systems, In: Cost Control in Hospitals. Griffith JR, Hancock WM, Munson FC (Eds), Health Administration Press, 150-185.

- Ho CJ, Lau HS, Li J(1995). Introducing Variable-interval Appointment Scheduling Rules in Service Systems. *International Journal of Operations & Production Management*, 15(6): 59-68.
- Huang XM(1994). Patient Attitude towards Waiting in an Outpatient Clinic and its Applications. *Health Services Management Research*, 7(1): 2-8.
- Jameson C(1996). Scheduling for Productivity, Profitability and Stress Control. *Journal of the American Dental Association*, 127(12): 1777-1782.
- Javel Y, Riopel D, Perez-Gladish B(2010). Measurement of Clients' Satisfaction on Appointment Assignment. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 2(5): 634-655.
- Jun JB, Jacobson SH, Swisher JR. (1999). Application of Discrete-Event Simulation in Health Care Clinics: A Survey. *The Journal of the Operational Research Society*, 50(2): 109-123.
- Kirtland A, Lockwood J, Poisker K, Stamp L, Wolfe P(1995). Simulating an Emergency Department "Is as Much Fun As...", In: *Proceedings of 1995 Winter Simulation Conference*. Arlington, Virginia, IEEE Computer Society.
- Klassen KJ, Rohleder TR(1996). Scheduling Outpatient Appointments in a Dynamic Environment. *Journal of Operations Management*, 14(2): 83-101.
- Lehaney B, Clarke SA, Paul RJ(1999). A Case of an Intervention in an Outpatients Department. *Journal of the Operational Research Society*, 50(9): 877-891.
- Liu L, Liu X(1998). Block Appointment Systems for Outpatient Clinics with Multiple Doctors. *Journal of the Operational Research Society*, 49(12): 1254-1259.
- Mcguire F(1994). Using Simulation to Reduce Length of Stay in Emergency Departments, In: *Proceedings of 1994 Winter Simulation Conference*.
- Robinson LW, Chen RR(2003). Scheduling Doctors' Appointments: Optimal and Empirically-based Heuristic Policies. *IIE Transactions*, 35(3): 295-307.
- Robinson S(1994). *Successful Simulation: A Practical Approach to Simulation Projects*. Maidenhead. UK, McGraw-Hill.
- Snyder TL(1995). Integrating Technology into Dental Practices, *Journal of*

American Dental Association, 126(2): 171-178.

Testi A, Tanfani E, Torre G(2007). A Three-phase Approach for Operating Theatre Schedules. Health Care Management Science, 10(2): 163-172.

Walter SD(1973). A Comparison of Appointment Schedules in a Hospital Radiology Department. British Journal of Preventive & Social Medicine, 27(3): 160-167.

Wang PP(1993). Static and Dynamic Scheduling of Customer Arrivals to a Single-server System. Naval Research Logistics, 40(3): 345-360.

Wang PP(1997). Optimally Scheduling N Customer Arrival Times for a Single-server System. Computers & Operations Research, 24(8): 703-716.

Welch JD, Bailey NJ(1952). Appointment Systems in Hospital Outpatient Departments. The Lancet, 259(6718): 1105-1108.

White MJB, Pike MC(1964). Appointment Systems in Out-Patients' Clinics and the Effect of Patients' Unpunctuality. Medical Care, 2(3): 133-145.