

## 임상연구병동 자동병상배정 전문가시스템 개발

<sup>1</sup>인제대학교 부산백병원 임상시험센터, <sup>2</sup>부경대학교 해양바이오신소재학과,  
<sup>3</sup>인제대학교 부산백병원 임상약리학과

송승미<sup>1</sup>, 김종명<sup>2</sup>, 김종률<sup>3</sup>, 신재국<sup>3</sup>, 김은영<sup>3</sup>

=Abstract=

### The Development of Automated Bed-allocation Expert System in Clinical Research Ward

Seung-Mi Song<sup>1</sup>, Jong-Myoung Kim<sup>2</sup>, Jong-Lyul Ghim<sup>3</sup>, Jae-Gook Shin<sup>3</sup>, Eun-Young Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Clinical Trial Center, Inje University Busan Paik Hospital,

<sup>2</sup>Department of Marine Bio-Materials, Pukyong National University,

<sup>3</sup>Department of Clinical Pharmacology, Inje University Busan Paik Hospital, Busan, Korea

**Background:** Demands for complicated and long-term administration clinical trials have been increased since investigators actively involved in early stage clinical trials including first-in-human (FIH) trials. Research wards in our clinical trial center were mainly used for phase 1 trials. In order to perform several clinical trials simultaneously during a short period with a minimum number of rooms, beds, and equipment, staffs have to spend a lot of time for efficient operation of limited numbers of facilities. In this study, automated bed-allocation system was developed for efficient scheduling of the research ward based on clinical trial condition and status like experts.

**Methods:** The system was developed based on clinical trial design, schedule, and the information on research bed and availability stored and updated in database (DB). Automatic assignment system was designed to find an optimal schedule according to the given information using expert rules and algorithms. The optimal solution can be visualized on Gantt chart using C# and Chart FX API.

**Results:** The system was developed to demonstrate the schedule on color chart. It turned out to be well-designed to find an optimal schedule for bed allocation. The system also allows automatic updating of the schedule and information in the DB.

**Conclusion:** Automated bed-allocation system developed in this study could save time and improve the efficiency for using space and equipment in clinical trial center. The system can be also applied to similar works or tasks in other fields.

**Key words:** Automated bed-allocation, Scheduling, Expert system, Clinical trial, Clinical research ward

---

본 논문은 2010년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임.

교신저자: 김은영

소 속: 인제대학교 부산백병원 임상약리학과

주 소: 부산광역시 부산진구 복지로 75 (우 614-735)

전화번호: 051-890-8972, 팩스: 051-895-6438, E-mail: eykim@inje.ac.kr

접수일자: 2012. 04. 09. 수정일: 2012. 05. 15. 게재확정일: 2012. 05. 18.

## 서론

식품의약품안전청에서 승인된 임상시험 현황을 살펴보면, 국내 임상시험이 비약적인 증가세를 보이고 있다. 국내 승인건수는 2000년 45건에서 2011년 총 503건으로 10배 이상 증가하였고, 그 중 초기 임상시험(0~1상)이 29.6 %인 149건으로 가장 많은 비중을 차지했다.<sup>1)</sup>

초기 임상시험은 임상시험 시 입원환이 원칙이므로, 임상시험센터 임상연구병동 사용량도 함께 증가하였으며, 국내 제약사뿐만 아니라 임상시험 디자인이 복잡한 글로벌 제약그룹의 의뢰도 증가하는 추세를 보이고 있다. First-in-Human (FIH) 과 같은 초기 단계 임상시험의 의뢰로 약물의 안정성과 유효성을 평가해야 하는 경우가 증가함에 따라 이를 평가하기 위한 특수 장비의 사용 빈도와 장기간 입원해야 하는 경우도 많아졌다.

1상 임상시험의 특성상 피험자를 많이 모집할 수 있는 방학과 같은 기간에 여러 개의 임상시험을 동시 다발적으로 진행하게 되는 경우가 많다. 이런 시기에는 임상시험에 사용되는 공간(병실, 침대 등), 환자감시장치와 같은 특수 장비들의 사용 여부, 성별에 따른 병실 구분 등을 고려하여 한정된 자원을 효율적으로 사용할 수 있게 임상시험 일정을 잡아야 한다. 따라서 여러 가지 사정을 고려한 계획적인 일정 안배를 위해서는 많은 시간과 노력, 노하우 등이 필요하다.

임상시험 일정 관리는 대부분 임상연구코디네이터가 담당한다. 임상연구전문가협회(Association of Clinical Research Professionals, ACRP)에서 제시된 임상연구코디네이터 업무분류를 보면,<sup>2)</sup> 임상시험 진행 전반에 관해 임상연구코디네이터가 다양한 일을 하고 있다. 만약 컴퓨터 프로그램을 이용하여 자동으로 임상시험 일정을 정할 수 있

다면, 임상연구코디네이터가 이를 위해 투자하는 시간을 절약하여 다른 업무에 좀 더 신경을 쓸 수 있으며, 한정된 공간을 낭비 없이 효율적으로 사용 가능하므로 더욱 많은 임상시험을 진행할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 인공지능의 한 분야인 전문가시스템<sup>3)</sup> 개념을 이용하여, 임상시험 일정을 자동으로 배정하는 자동병실배정 전문가시스템을 개발하고자 하였다.

## 연구대상 및 방법

전문가시스템을 비롯하여 특정 분야에서 사용되는 응용프로그램을 개발할 때 가장 중요한 것은 해당 분야의 업무를 파악하고 이해하는 일이다. 특히 전문가시스템은 해당 분야 전문가가 가진 노하우와 지식을 습득하는 것이 필수적이다. 예를 들어, 2인실과 4인실을 포함하여 사용 가능한 침대가 30개, 환자감시장치가 10대 있고 아래와 같은 임상시험을 7~8월 방학기간을 포함하여 모두 수행하여야 한다고 가정하자(Table 1). 임상시험 프로젝트 매니저, 임상시험 담당자, 임상연구코디네이터 등은 이들을 모두 진행할 수 있는 일정을 잡기 위해 많은 시간을 소요하게 된다. 수시로 시행하는 임상시험은 분리된 2인실 등의 병실을 이용하여 진행하게 되며, 다른 임상시험과 동시에 수행될 수 있도록 일정을 잡아야 한다.

본 연구에서 개발하고자 하는 프로그램은 임상시험과 관련되어 이미 구축된 병실 및 장비를 고려하여 병실 내 침상을 배정하므로 임상시험센터 입원병동 내 시설 및 장비 구축현황을 조사하였다. 또한, 시기에 따른 임상시험 건수 및 임상시험의 특성, 임상시험 일정 수립 시 고려해야 할 여러 가지 요소들에 대해 임상시험 전문가를 대상으로 조사하였다. 지난 2009년 8월부터 2010년

**Table 1.** The example of the requested clinical trials

	Number of subjects	Hospitalization period (days)	Wash out (days)	Number of hospitalization	Using the patient monitor	Isolation	Frequency of using
A drug phase 1	38	4	14	2	no	no	2
B drug First-in-Human	50	7	0	1	yes	no	5
C drug Bioequivalence study	30	5	14	2	no	no	1
D drug phase 1 (patients & healthy people)	24	4	7	2	yes	yes	frequently
E drug phase 1 Bioequivalence	68	4	14	2	no	no	2
F drug phase 1 (patients)	20	5	21	2	yes	yes	frequently
G drug phase 1	18	15	0	1	yes	no	2

5월까지 센터 내에서 수행한 실제 임상시험 일정을 수집하여, 임상시험별로 입·퇴원 날짜, 입원 기간, 피험자 수, 사용 병실, 격리 여부, 환자감시 장치 사용 여부 등으로 정리하였다.

사전 조사를 기반으로 여러 단계를 거쳐 시스템을 개발하였다. 먼저 임상시험 자동병실배정 전문가시스템은 여러 가지 정보들을 누적시켜 사용하는 프로그램이므로 이를 저장할 수 있는 데이터베이스가 필요하다. 조사한 자료를 바탕으로 시스템에 사용될 데이터베이스를 디자인하였다. 다음으로 임상시험 자동병실배정 전문가시스템에 적용할 Rule과 Algorithm을 개발하고, 이를 바탕으로 프로그래밍하여 시스템을 개발하였다. 개발에 사용된 프로그래밍 언어는 C# (Microsoft Visual C# 2005, Microsoft, USA)이고, 데이터베이스는 SQL Server 2005 (Microsoft SQL Server Management Studio, Microsoft, USA)를 사용하였다. 그리고 현재 예약된 상황을 사용자가 한눈에 볼 수 있게 하기 위하여 Gantt chart를 활용하여 색채화 및 시각화(color visualization)를 Chart FX API (ChartFX for develop Visual Studio 2006 ESD, Software FX, USA)를 사용하여 만들었다. Chart FX API를 이용하기 위해서 데이터베

이스에 저장된 내용을 XML<sup>4)</sup> 형태로 변환하였다.

시스템 개발과정에서 시스템완성도를 분석하기 위하여 수집했던 자료(Table 1)를 테스트 데이터로 사용하여 디버깅하였으며, 시스템 오류를 찾아내고 보완하는 작업을 거쳐 시스템 개발을 완료하였다.

마지막으로 개발한 시스템의 성능을 평가하였다. 1상 임상시험 수행경력이 3년 차 이상인 임상시험 코디네이터 3명이 직접 임상시험 일정을 잡는데 걸리는 시간과 개발한 시스템을 이용하여 일정을 잡는데 걸리는 시간을 비교하여 시스템을 평가하였다.

## 결 과

### 1. 데이터베이스 구축

사전조사를 바탕으로 시스템에 사용하기 위해 생성한 테이블은 총 4개이다(Figure 1). 테이블 tblStudyInfo는 과제 정보를 저장하기 위해 사용된다. 현재 진행 중이거나 종료된 과제 정보 모두 저장되며, index (fldStudyIdx 필드)를 이용하여 과제별로 고유 ID를 부여한다. 교차 임상시험의 경우

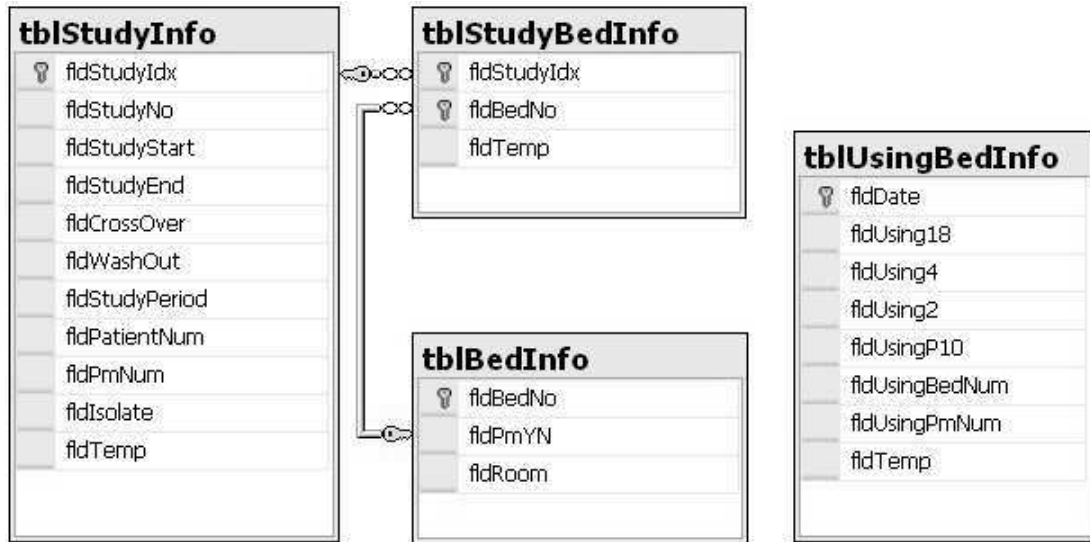


Figure 1. Database diagram.

각기의 임상시험일정이 다르므로 다른 ID를 부여한다. 필드 fIdStudyIdx를 primary key로 설정하여, tblStudyBedInfo 테이블과 연결하여 사용하게 된다. 테이블 tblStudyBedInfo는 고유 ID를 가진 과제별로 할당된 침대 번호를 저장하는 테이블이다. 필드 fIdStudyIdx와 fIdBedNo를 primary key로 설정하였다. 센터 내 연구병실에 있는 침대에 관한 기본 정보를 저장하는 테이블로는 tblBedInfo를 사용하였다. 침대 번호, 환자감시장치 유무, 위치한 병실에 관한 정보를 저장한다. 마지막으로 tblUsingBedInfo 테이블은 날짜별로 예약된 침대와 환자감시장치 수를 저장하게 된다. 예약된 침대, 환자감시장치 개수를 전체와 병실별로 구분해서 저장한다.

## 2. Rule 및 Algorithm 개발

### 1) Rule

Rule은 최대한 많은 임상시험을 동시에 진행하

기 위해 비어 있는 침대가 없도록 하는 것을 목표로, 피험자 수가 많은 임상시험을 같은 병실로 배정하기 위해 작은 병실부터 채워 나가는 방향으로 디자인하였다. 그리고 설정한 Rule을 프로그래밍으로 구현할 수 있도록 간략하고 구체적으로 설정하였으며 아래와 같다.

① 병실 및 침대 배정 시 사용자가 특정 병실 배정을 원하면, 선택한 병실로 우선 배정한다. 만약 선택한 병실에 배정할 수 없을 때 알림 메시지를 통해 사용자가 다른 병실을 선택할 수 있도록 유도한다.

② 사용자가 선택한 병실이 18인실, 4인실, 2인실 등 여러 가지일 경우, 피험자 수에 따라 결정한다. 피험자가 1~2명인 경우 2인실로, 3~4명인 경우 4인실로 우선 배정한다.

③ 피험자가 1~2명이지만 2인실에 배정할 수 없는 경우, 4인실로 배정한다. 4인실로 배정할 수 없으면, 18인실로 배정한다.

④ 같은 과제의 피험자는 같은 병실로 배정한다

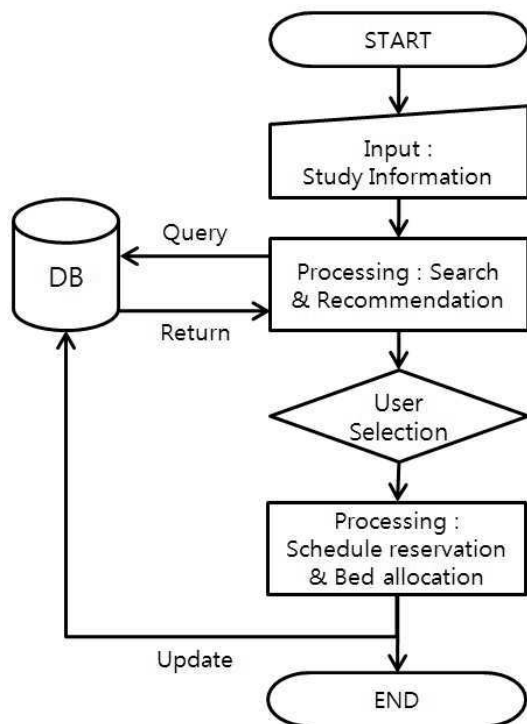
다. 단 2인실이나 4인실의 경우 하나의 과제에 대해서만 사용할 수 있도록 한다. 예를 들어, A, B 과제에서 피험자 1명씩 입원하게 된다면 2인실에 함께 배치하는 것이 아니라 2인실에 한 명, 4인실에 한 명 등 서로 다른 병실로 배치한다.

⑤ 환자감시장치를 사용하는 과제인 경우, 2인실 혹은 18인실(환자감시장치가 있는 1~10번 침대)로 배치한다.

⑥ 사용자가 입력한 임상시험 시작 마감 요청 날짜(Deadline)까지 병실 배정이 가능하지 않으면, 마감 요청 날짜의 수정을 요청한다.

## 2) Algorithm (Figure 2)

① 사용자로부터 과제 관련 기본 정보(과제번호, 피험자 수, 입원기간 등)와 임상시험 디자인



**Figure 2.** The algorithm of automated bed-allocation system.

정보, 임상시험이 시작되길 원하는 날짜, 시작 마감 요청 날짜를 입력받고, 사용 가능한 병실과 침대 배정을 위한 검색을 시작한다.

② 데이터베이스(tblUsingBedInfo 테이블)에 저장된 현재 예약된 침대 정보를 이용하여, 날짜별로 사용 가능한 침대 수를 계산한다.

이때 사용자가 선택한 병실을 기준으로 계산하며, 사용 가능한 침대 수가 사용자가 입력한 과제 정보의 피험자 수보다 크면 예약 가능함으로 표시하고 같은 방법으로 사용자가 입력한 '시작 마감 요청 날짜+임상시험기간'만큼 계산한다. 시스템은 예약 가능한 날짜와 임상시험 입원기간, 교차시험 디자인 일정 등을 고려해서 임상시험이 가능한 날을 추천한다. 간단한 예로, 가상데이터를 이용하여 피험자 수가 5명이고 2박 3일 1회 입원하는 과제를 진행할 수 있는 날짜를 찾아보자. 사용자는 이 과제가 2월 1일 이후에 시작했으면 하고, 늦어도 2월 17일에는 시작되길 원한다. 시스템은 데이터베이스에 저장된 정보를 이용해서 사용 가능한 침대 수가 피험자 수보다 많은지 비교하여 예약 가능 여부를 판단한다. 다음으로 임상시험이 사흘 동안 지속하여야 하므로 예약 가능한 날이 3일 연속인 경우를 찾게 된다. 따라서 Figure 3에 나타낸 바와 같이 2월 3일과 4일은 탈락하게 되고, 2월 7일~9일, 8일~10일 등은 임상시험이 가능한 날로 추천된다. 교차시험 디자인 과제는 다음 주기도 고려해서 따져 봐야 한다. 위와 같은 과제에서 휴약기가 2일이고, 3-way 교차시험인 경우를 고려하면, 위의 경우와 마찬가지로 2월 7~9일은 조건을 만족하게 되므로, 이를 뒤인 12~14일을 따져 보게 된다. 이 또한 조건을 만족하게 하므로, 이를 뒤인 17~19일을 따져 보게 된다. 다른 날짜는 모두 조건을 만족하게 하지 못하기 때문에, 임상시험이 가능한 경우는 2/7~9일,

For parallel test design																			
Date(Feb.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
The number of remaining beds	3	4	5	5	2	1	5	6	8	6	7	5	5	7	3	10	10	10	10
Be possible? ( >=5?)	x	x	o	o	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	x	o	o	o	o

washout  
2days

washout  
2days

| For crossover design | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**Figure 3.** Searching a schedule using the rules and algorithms from a clinical trial design.

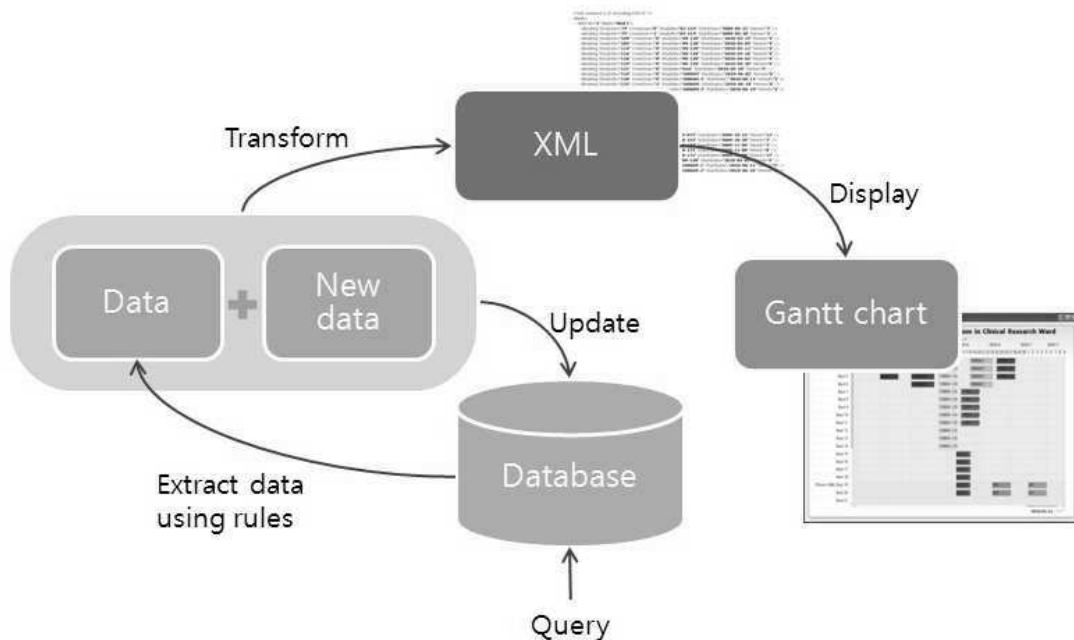
2/12~14일, 2/17~19일 한 가지 경우만 존재하고, 시스템은 이 날짜를 사용자에게 추천하게 된다 (Figure 3).

③ 사용자는 시스템에서 추천한 날짜 중 하나를 선택해서 예약한다. 이때 시스템은 사용자가 선택한 날에 사용 가능한 침대를 찾아 피험자 수만큼 할당한다. 먼저 데이터베이스에 저장된 자료를 조합하여 사용자가 선택한 날에 진행되고 있

는 과제들을 찾아 할당된 침대 번호를 추출한다. 이를 이용해 비어 있는 침대 즉, 사용 가능한 침대 리스트를 만든 후 피험자 수만큼 침대를 할당하게 된다.

침대를 할당할 경우, 사용자가 선택한 병실을 우선으로 하고 여러 병실을 중복해서 선택했을 때 위에서 설정한 Rule을 따른다.

④ 사용자가 입력한 과제 기본 정보, 할당된 침



**Figure 4.** The schema of automated bed-allocation system.

대 번호 정보, 예약된 침대 개수 등의 정보를 추가하여 기존 데이터베이스를 업데이트한다.

### 3. 시스템 개발

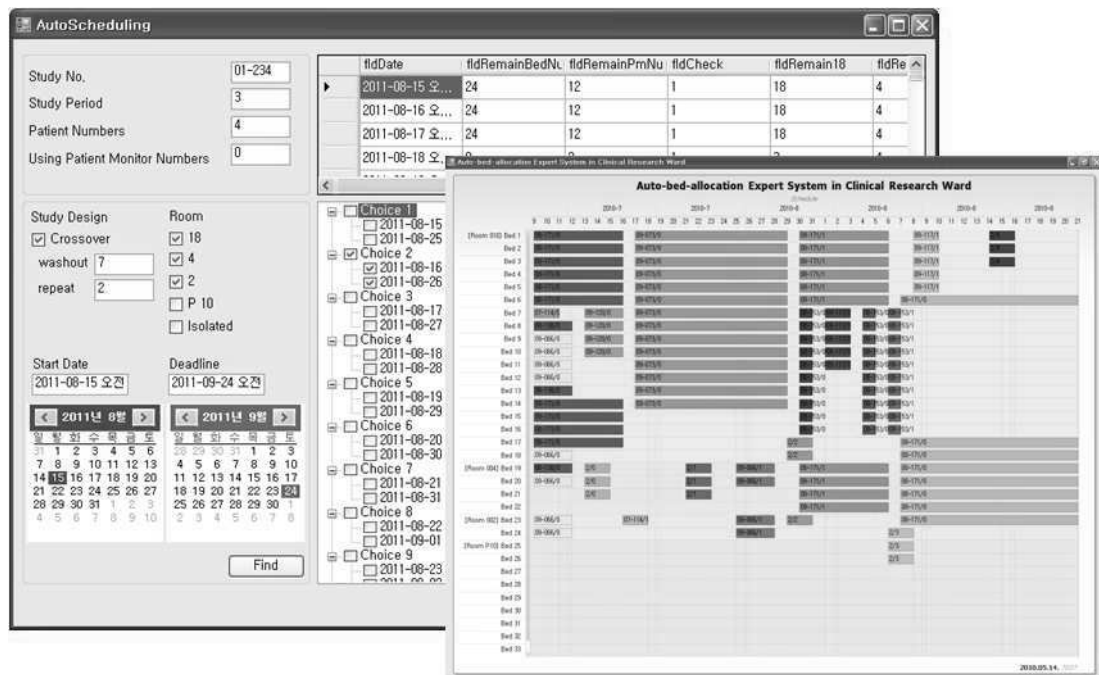
위의 Rule과 Algorithm을 바탕으로 개발한 임상시험 자동병실배정 전문가시스템의 전체적인 흐름은 아래와 같다(Figure 4). 기존 데이터베이스에서 Query와 Rule을 이용하여 데이터를 추출하고, 여기에 새로운 데이터를 입력받아 데이터베이스를 업데이트한다. 그리고 최종 자료는 XML 형태로 변환 후, Gantt chart 형태로 색채화 및 시각화하여 나타내게 된다.

시스템의 user interface (UI)를 보면, 사용자는 왼쪽 화면에서 과제 기본 정보와 과제 디자인 정

보, 사용 병실 정보 등을 입력한 후 검색 버튼을 누르게 된다(Figure 5). 그 후 시스템에서 임상시험 진행 가능한 일정 10개를 추천해주고, 사용자는 이중 하나를 골라 예약하게 된다. 현재 예약현황은 Gantt chart 형태로 볼 수 있다.

### 4. 평가

본 연구에서는 임상시험 자동 병실 배정에 관한 아이디어를 시스템으로 구현하는 것을 목표로 하였다. 그래서 시스템 최적화를 비롯하여 성능 평가 작업까지는 계획하지 않아, 기존에 수동으로 하는 방법과 정확한 성능비교를 하기는 어렵다. 그러나 시스템 개발을 위해 사용한 데이터(Table 1)를 이용하여 두 방법을 간단히 비교해 보았다.



**Figure 5.** The system allocates automatically the research bed and ward based on entering clinical trial information and visualizes the schedule on Gantt chart.

1상 임상시험 수행경력이 3년 차 이상인 임상시험코디네이터 3명이 일정을 잡는데 개인 차이는 있지만 보통 한 시간 반 정도의 시간이 걸렸으며, 다른 업무와 병행하며 작업한 경우에는 만나질 정도의 시간이 걸렸다. 그러나 시스템을 이용하여 작업한 경우에는 15분 내외로 마칠 수 있었다. 개발된 시스템을 사용하여 작업한다면, 개인이 가진 노하우, 경력 여부에 상관없이 짧은 시간에 임상시험 일정을 잡을 수 있으리라 생각된다.

## 고 찰

본 연구는 임상시험과 관련된 업무에 인공지능의 한 분야인 전문가시스템 개념을 결합하여 시스템을 개발한 것에 의의를 둘 수 있다. 전문가시스템이란 특정 분야의 전문가적 지식 및 경험을 가진 인간(또는 조직)의 판단과 행동을 흉내 내는 컴퓨터 프로그램을 말한다.<sup>3)</sup> 1960년대에 전문가시스템이 개발되기 시작했으며, 1980년대 들어서는 산업, 의학, 지질학 등 다양한 분야에서 전문가시스템이 적용된 응용프로그램이 나오기 시작했다.<sup>5)</sup> 잘 알려진 것으로는 화합물의 구조를 추정하는 시스템인 DENDRAL, 수학적 문제 해결에 도움을 주는 MACSYMA, 광물 저장 위치를 찾는 PROSPECTOR가 있으며,<sup>6)</sup> 공항의 비행기 착륙 게이트를 배정하는 프로그램 등도 있다.<sup>7,8)</sup> 의학 분야에서 개발된 전문가시스템으로는 ‘MYCIN’이 가장 잘 알려졌다. ‘MYCIN’은 감염성 질병을 진단하고, 항생제를 처방하여 그 추론을 자세히 설명할 수 있는 프로그램으로, 내과 의사를 위한 상담용으로 설계되었다. 이 프로그램은 실제로 사용되지는 않았지만, 인공지능 분야 연구에 큰 영향을 미쳤다.<sup>9)</sup> 임상시험에 사용할 수 있는 전문가시스템에 대한 연구도 찾아볼 수 있다. 임상시험에

참여할 피험자를 선정하기 위해서는 구체적인 선정·제외 기준을 이용하게 되는데, 이때 개발한 전문가시스템을 이용하여 이와 같은 일들을 돕는 것이다. 이 전문가시스템은 알고 있는 확률 변수를 가지고 알지 못하는 확률값을 구하는 베이즈안 네트워크(Bayesian networks)를 이용한다.<sup>10)</sup>

전문가시스템을 개발할 때 가장 중요한 것 중 하나는 개발할 분야의 전문가로부터 습득한 지식을 어떻게 표현하느냐 하는 것이다. 지식 표현방법으로는 Rule,<sup>11)</sup> Semantic Network,<sup>12)</sup> Fuzzy 이론<sup>13)</sup> 등 다양하다. 전문가시스템에서는 Rule을 기반으로 한 방법이 가장 널리 사용되고 있다. 인공지능에서 Rule은 지식을 표현하는 가장 일반적인 방법으로 IF-THEN 형식으로 표현한다. IF 부분에 주어진 정보나 사실을 THEN 부분에 기술한 어떤 행동과 연결하는 구조로 정의하는데, Rule은 비교적 만들고 이해하기 쉬워 접근하기 좋다. 따라서 본 연구에서는 Rule을 바탕으로 시스템을 개발하였다.

현재 개발된 시스템은 임상시험 과제를 하나씩 등록한 후 시스템에서 추천한 일정 중 하나를 선택하여, 임상시험 일정을 등록하는 순서로 되어 있다. 그러므로 임상시험 등록 순서에 따라 일정 및 사용 가능한 병실, 침대 등이 달라질 수 있다. 여기에 추가하여 여러 개의 과제 정보를 받고, 이들의 임상시험 일정을 동시에 잡는 기능을 구현 중이다. 이 버전은 동시에 날짜를 찾아 예약하는 것에 중점을 두었기 때문에, 사용자에게 각 과제의 일정을 추천해주고 선택받는 것이 아니라, 과제 정보를 입력한 순서대로 임상시험이 가능한 첫 번째 날짜를 찾아 예약한다. 여러 가지 제약 사항들이 아직은 반영되지 않았고, 시스템이 제시한 일정이 마음에 들지 않았을 때 재검색하는 기능 등은 미구현된 상태이다. 그리고 더 나아가 여



러 개의 임상시험의 우선 순위까지 고려하여 임상시험 일정을 자동으로 스케줄링할 수 있게 된다면 좀 더 유용한 시스템이 될 것이다.

개발된 임상시험 자동병실배정 전문가시스템을 이용하여, 임상시험 일정을 자동으로 잡을 수 있다면 수동으로 임상시험 일정을 잡는 방법에 비해 시간을 절약할 수 있고 한정된 공간을 더 효율적으로 사용할 수 있을 것이다. 또한 일정을 Gantt chart로 색채화하여 도식화함으로써 사용자가 한눈에 일정을 파악할 수 있게 만든 효율적인 프로그램이어서 실제 현장에서 사용하기에 유용할 것이라 생각된다. 개발된 프로그램은 임상시험 센터의 인프라가 되어 임상시험을 유치하는 홍보 효과가 있을 수 있을 것으로 생각하고, 개발된 프로그램을 병원시스템에 적용한다면 3, 4상 임상시험에도 사용할 수 있으리라 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. KFDA Press release. <http://www.kfda.go.kr/index.kfda?mid=56&seq=17098&cmd=v>. [Online] (last visited on 14 March 2012).
2. Association of Clinical Research Professionals (ACRP). CRC certificate guide. [http://www.acrpnet.org/pdf/crc\\_guide.pdf](http://www.acrpnet.org/pdf/crc_guide.pdf). [Online] (last visited on 14 March 2012).
3. Terms Korea. <http://www.terms.co.kr>. [Online] (last visited on 14 March 2012).
4. MSDN. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa286548.aspx>. [Online] (last visited on 14 March 2012).
5. Bose BK. Expert System, Fuzzy Logic, and Neural Network Applications in Power Electronics and Motion Control. *Proceedings of the IEEE*, 1994;82(8):1303-1323.
6. Shortliffe EH. Medical Expert Systems—Knowledge Tools for Physicians. *West J Med*, 1986;145(6): 830-839.
7. Jung JJ, Cho YR, Gu JH, Jo GS. Knowledge-based Ramp Scheduling Expert System. *Journal of KISS(C):Computing Practice*, 1997;3(3):285-294. (Korean)
8. Brazile RP, Swigger KM. GATES: An Airline Gate Assignment and Tracking Expert System. *IEEE Expert*, 1988;3(2):33-39.
9. Metaxiotis KS, Samouilidis JE. Expert systems in medicine: academic illusion or real power?. *Journal of Information Technology Theory and Application (JITTA)*, 2000;2(1):19-25.
10. Papaconstantinou C, Theocharous G, Mahadevan S. An Expert System for Assigning Patients into Clinical Trials Based on Bayesian Networks. *J Med Syst*, 1998;22(3):189-202.
11. Ajose S, Ezebuiro II, Adegoke AS. A Rule-Based Approach to Voltage Collapse Estimation: A Case Study of the National Electric Power Authority (NEPA) PLC, Egbin Thermal Station. *Pacific Journal of Science and Technology*, 2005;6(2):125-131.
12. Peters S, Shrobe HE. Using semantic networks for knowledge representation in an intelligent environment. *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'03)*, 2003;323-329.
13. Boegl K, Adlassnig K, Hayashi Y, Rothenfluh TE, Leitich H. Knowledge acquisition in the fuzzy knowledge representation framework of a medical consultation system. *Artif Intell Med*, 2004;30(1):1-26.