

류머티스 환자 이력 데이터에 기반한 환자 플로우 모니터링 시스템

Patient Flow Monitoring System based on Rheumatic Patient History Data

김준우*, 이상철**, 박상찬***

동아대학교 산업경영공학과*, 그리스도대학교 경영학부**, 경희대학교 의료경영학과***

Jun Woo Kim(kjunwoo@dau.ac.kr)*, Sang Chul Lee(leecho@kcu.ac.kr)**,
Sang Chan Park(sangchan@khu.ac.kr)***

요약

최근 병원에서 수집되는 데이터를 전자적으로 저장, 관리 및 공유하기 위하여 병원정보시스템이 널리 활용되고 있다. 이러한 시스템들은 현대 병원들의 업무 효율성 제고에 크게 기여해왔으나, 건강관리 서비스 제공자들의 의사 결정을 지원하기 위해서는 수집된 환자 관련 데이터를 적절히 가공하고 재사용하는 것이 필요하다. 특히, 본 논문은 만성 질환과 관련된 외래진료과 운영관리를 위한 환자 플로우 모니터링을 제안하고, 이와 관련된 사항들에 대해 토의하고자 한다. 제안하는 시스템은 환자 이력 데이터에 프로세스 마이닝 기법을 적용하여 추출한 표준 프로세스 모형 및 여러 가지 평가 지표들을 시각화하며, 이를 통해 관리자들은 외래진료과의 운영을 평가하고 개선할 수 있다. 본 논문에서는 환자 플로우 모니터링 시스템을 류머티스 진료과에 적용하였으며, 아이패드 기기에 최적화된 프로토타입 시스템을 예시로 보이고자 한다.

■ 중심어 : | 환자 이력 | 환자 플로우 | 프로세스 마이닝 | 병원정보시스템 | 만성 질환 |

Abstract

In recent, hospital information systems are widely used to electronically record, manage and share the data collected in hospitals. Such systems have contributed greatly to improving the work efficiency in modern hospitals, however, the collected data concerning the patients should be appropriately processed and reused to provide the healthcare service providers with decision supports. Especially, this paper proposes the patient flow monitoring system for the operations management of the outpatient department for patients with chronic diseases, and discusses the related issues. The proposed system visualizes the standard process model extracted from the patient history data and various performance measures, and this enables the managers to evaluate and enhance the operations of the outpatient clinic. In this paper, the patient flow monitoring system is applied to the rheumatology clinic, and the prototype system optimized for I-pad is illustrated.

■ keyword : | Patient History | Patient Flow | Process Mining | Hospital Information System | Chronic Disease |

* 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2013년 산학연협력 기술개발사업(No.C0103854)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

접수일자 : 2014년 09월 02일

수정일자 : 2014년 09월 15일

심사완료일 : 2014년 09월 15일

교신저자 : 박상찬, e-mail : sangchan@khu.ac.kr

I. 서론

병원에서는 진단 및 처방 등과 관련된 다양한 데이터가 발생한다. 이들은 전통적으로 수기로 기록되어 보관 및 공유에 비효율성이 존재하였으나, 최근 OCS(order communication system), EMR(electronic medical record), PHR(personal health record), PACS(picture archiving and communication system) 등과 같은 다양한 HIS(hospital information system)들이 도입되어 관리 효율성이 향상되었다[1][2]. 아울러, 이러한 HIS 도입을 통해 병원 내 지원 업무 효율성 향상[3], 개인화된 서비스 제공[4], 의료진 업무 만족도 제고[5] 등과 같은 부가 효과를 얻을 수도 있다.

나아가, 상기 HIS들이 주로 전산화된 데이터의 기록, 관리 및 공유 자체에 초점을 맞추었던 반면, 최근에는 의료 서비스의 표준화, 생산성 향상 및 오류 방지를 위한 CDSS(clinical decision support system)의 개발 및 활용도 늘어나고 있다[6]. CDSS는 일반적으로 의료진의 업무 수행 중, 특정 질환에 대한 진단 및 처방 절차를 표준화시킨 지침(guideline)이나 CP(clinical pathway) 등의 준수를 유도하거나[7-9], 환자 개인의 특성이나 이력을 고려하여 중복 투약이나 조치 또는 부작용을 경고하고 방지해주는 기능을 수행한다[10][11].

그러나, 최근 검사, 처방, 투약 등 다양한 데이터 소스로부터 방대한 데이터가 축적되고 있음에도 불구하고, 상기 시스템들은 간단한 통계량이나 비교적 단순한 경고 메시지 제공 등의 기능을 주로 수행하여, 축적한 데이터를 충분히 활용하지 못하고 있다는 지적이 있다[1][10]. 특히, 의료 서비스 종사자들에게 보다 포괄적인 의사결정지원을 제공하는 것이 중요하며, 이를 위해 HIS에서 축적한 데이터들을 적절히 가공 및 분석하는 것이 필요하다. 나아가, 일반적으로 환자들에 대한 장기적인 이력을 포함하는 병원 데이터의 특성 상, 데이터의 시간적인(temporal) 특성을 고려하는 분석 방법 및 이에 기반한 시스템이 요구된다[12][13].

이러한 맥락에서 본 논문은 외래환자들의 이력 데이터를 분석하여, 진료과 운영을 평가하고 개선하는데 활용할 수 있는 환자 플로우 모니터링 시스템을 제안하고

자 한다. 제안하는 시스템은 만성 질환 관련 진료과 환자들의 내원 행태(behavior)와 관련된 프로세스 모형 및 평가 지표들을 도출하여 병원 조직의 운영 관리 평가 및 개선을 지원하는데 목적을 둔다. 이를 위해 제안하는 시스템은 [그림 1]에서 보듯이 이력 데이터의 통합, 프로세스 마이닝[14] 기법을 통한 플로우 모형 추출, 운영 관리 평가 지표 산출 및 시각화 기능을 갖는다. 아울러, 본 논문에서는 이러한 시스템을 설계 및 개발하는데 필요한 사항들을 논의하고, 류머티스 진료과를 대상으로 개발한 프로토타입을 소개하고자 한다.

본 논문의 2장에서는 로그(log) 형태의 이력 데이터의 특성과 이를 분석하기 위한 프로세스 마이닝 기법 등 본 논문의 연구 배경에 대해 간단히 소개하고, 3장에서는 데이터 분석 방법과 평가 지표 등 환자 플로우 모니터링 시스템의 세부 사항들에 대해 설명한다. 이어 4장에서는 제안하는 시스템을 국내 K대학 병원 류머티스 진료과에 적용한 프로토타입 개발 사례를 소개하며, 5장에서 결론 및 추후 연구 주제에 대해 논의한다.

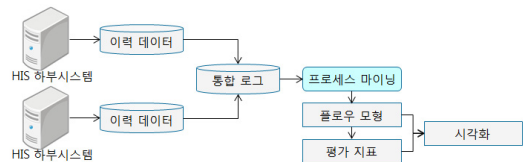


그림 1. 시스템 전체 기능 흐름

II. 연구 배경

데이터 마이닝은 대용량의 데이터를 분석하여 유용한 지식이나 패턴을 추출하는 기법들을 지칭하며, 의학 분야에도 활발히 적용되어 왔다[15-17]. 하지만, 기존의 데이터마이닝 기법들이 테이블 형태의 데이터를 다루는데 반해, 최근 병원에서는 정보통신 및 컴퓨터 기술의 발달로 인해 개별 환자에 대한 이력 데이터가 로그 형태로 축적되고 있는 상황이다[12]. 이러한 로그 데이터는 시간적 의미나 행들 간 연관성 등으로 인해 종래 기법으로 분석하는 것이 곤란하며, 프로세스 마이닝[14]이나 은닉 마코프 모형(hidden markov model)[18]

과 같이 로그 데이터에 맞는 분석 방법이 필요하다.

최근에는 의료 분야에서도 업무 프로세스를 관리하고 개선하기 위하여 로그 데이터에 대한 분석이 시도되고 있다[14][19]. 대표적으로는 최근 표준화된 의료 프로세스가 강조되면서 특정 질환에 대한 의료진의 처리 과정을 로그 데이터에서 도출하여 CP 등과 비교해보거나 현행 프로세스의 비효율 요소 또는 빈번한 오류 등을 파악하고자 하는 연구들이 수행되었으며, 이러한 예로는 은닉 마코프 모형을 이용한 복강경 담낭절제술 수술 프로세스 도출[20], 프로세스 마이닝을 이용한 뇌졸중 처리 프로세스 도출[21], 프로세스 마이닝을 이용한 부인과 중앙 처리 프로세스 도출[22], 은닉 마코프 모형을 이용한 유방암 환자 처리 프로세스 도출[23], 프로세스 마이닝을 이용한 방사선과 환자 응대 프로세스 도출[19] 등의 사례들을 찾아볼 수 있다. 이들은 의료 행위 종류를 이벤트 식별자(classifier)로 사용하고, 특정 질환 발생부터 상황 종료까지의 과정을 다루어왔다.

반면, 병원에서는 의료진의 행위 이외에도 다양한 이벤트와 관련된 이력들을 수집하여 활용하는 것도 가능하다. 예를 들어, Günther et al.[24]은 Philips 사에서 전세계 병원에 판매한 X-ray 기기의 사용 로그를 분석하여 현장에서의 기기 사용 패턴을 도출하고, 이를 제품 사용성 개선에 활용하고자 하였으며, Perimal-Lewis et al.[25]은 입원 환자들의 이동 패턴을 도출하여 병원 내 자원 관리에 활용하고자 하였다. 이러한 연구들은 의료 프로세스에 비해 이벤트를 정의하는 것이 까다롭고, 적절한 활용 방안이 별도로 필요한 특성이 있다.

본 논문에서는 만성 질환을 다루는 진료과 외래 환자들에 대한 이력 데이터에서 병원 방문과 관련된 환자 플로우를 추출하고, 이를 모니터링하는 시스템을 설계 및 개발하고자 한다. 만성 질환의 경우, 환자들이 병원을 지속적으로 방문하면서 검사 및 처방 등이 발생하나, 한 번의 응대가 비교적 단조롭다. 이로 인해 이러한 진료과에서 축적하고 있는 환자 이력의 기록은 데이터의 단위 크기(granularity)가 크고 의료 프로세스 도출에 적합하지 않는 특성을 갖는다. 반면, 지속적인 외래 환자 응대가 필요하다는 점에서 해당 진료과들의 경우, 재진 간격이나 환자 1인당 응대 횟수 등에 대한 모니터

링 및 평가와 같은 운영 관리 활동이 중요하다. 이에 본 논문은 만성 질환 환자 이력 데이터의 특성을 살펴보고, 환자 플로우 추출을 위한 프로세스 마이닝 기법 적용 방법을 제안하며, 환자 플로우와 관련된 평가 지표들을 정의한다. 나아가 만성 질환 진료과 운영 관리를 위한 환자 플로우 모니터링 시스템을 제안하고, K대학 류머티스 진료과에 적용한 사례를 소개하고자 한다.

III. 만성질환 환자 플로우 모니터링 시스템

1. 만성 질환 환자 이력 데이터

만성 질환은 장기적으로 경과를 관찰하면서 약물 투여나 물리 치료 등과 같은 지속적인 관리를 하게 되는 경우가 많다. 따라서 관련 진료과에서는 개별 환자에 대해 동일하거나 유사한 검사 및 조치가 반복되는 특성이 있다. 이들에 대한 이력은 HIS를 통해 기록되나, 일반적으로 각 의료 행위에 대한 이력이 별도의 공간에 분산되어 저장되기 쉽다. 예를 들어, K대학 류머티스과의 경우, 검사 이력 데이터와 처방 이력 데이터가 구분되며, 각각이 포함하는 필드들은 [표 1]과 [표 2]에 요약되어 있다.

[표 1]의 검사 이력 데이터는 총 14개의 필드들을 가지고 있다. 이 중, 환자번호와 일자를 제외한 나머지 12개 항목들이 검사를 통해 측정되는 값들로, 이들은 모두 수치형 값을 갖는다. [표 2]의 처방 이력 데이터는 총 10개의 필드들을 가지며, 환자번호와 일자를 제외한 나머지 8개 항목들이 처방 내역을 의미한다. 이 중, 투약을 제외한 나머지 필드들은 이진(binary)값을 가져, 해당 항목이 처방에 포함되는지 여부만을 나타낸다.

[표 1]과 2의 데이터는 해당 진료과 HIS에서 추출하였으며, 다음 특성들을 갖는다. 첫째, 데이터가 영역 별로 분산되어 있고, 이들이 필드 구조가 일치하지 않는다. 둘째, 각 이력에 여러 개 항목들이 포함되어 있어 기록의 단위 크기가 크고, 동일 의료 행위 내에서 이벤트가 세분되지 않는다. 셋째, 수집된 데이터에서 null 값을 갖는 항목이 많아, 전체적으로 희소성(sparsity)을 갖는다. 즉, 어떤 환자에 대해 1회의 검사가 수행되어도

[표 1]의 12개 항목이 모두 기록되는 것이 아니고, 그 중 실제 검사가 실시된 일부에 대해서만 측정값이 기록된다.

상기한 특성들은 기존의 HIS가 데이터의 입출력 자체에만 초점을 맞추고, 데이터의 분석이나 활용을 충분히 고려하지 않아 발생하는 것으로써, 프로세스 마이닝 등의 기법을 통해 업무 프로세스를 파악하는 것을 어렵게 하는 요인들로 작용한다. 특히, 프로세스 마이닝 기법 적용을 위해서는 통합된 로그 데이터에 사례(환자) 식별자, 각 이력 발생 시간(time stamp) 및 이벤트 식별자의 3개 필드가 필수적으로 포함되어 있어야 하나[14], [표 1]과 [표 2]에서는 개별 환자에 대한 이력이 분산되어 있고, 이벤트 식별자가 모호하다. 이에, 먼저 이벤트 식별자를 정의하고, 각 이력을 통합하는 작업이 필요하다.

표 1. 검사 이력 데이터 구조

항목	내용
환자번호	환자 식별자
일자	이력 발생 날짜 및 시간
WBC	백혈구 수치
Hb	빈혈 수치
PLT	혈소판 수치
ESR	적혈구 침강 속도
C3	C3 보체 검사
C4	C4 보체 검사
CRP	C-반응성단백질 혈중 수치
IgE	면역글로불린E 수치
RF	관절염검사 수치
T3	갑상선 호르몬 수치
FT4	유리 T4 수치
TSH	갑상선 자극 호르몬 수치

표 2. 처방 이력 데이터 구조

항목	내용
환자번호	환자 식별자
일자	이력 발생 날짜 및 시간
BMD	골밀도 검사 여부
BoneScan	뼈 스캔 여부
Ultra	초음파 촬영 여부
CT	CT 촬영 여부
MRI	MRI 촬영 여부
물리치료	물리치료 여부
방사선	방사선 촬영 여부
투약	약 처방 내역

2. 이력 데이터 통합과 환자 플로우 추출

일반적으로 프로세스 마이닝에서 이벤트 식별자가 지나치게 많거나 이질적인 로그 데이터가 섞여 있는 경우, 복잡하게 얽힌(spaghetti-like) 프로세스 모형이 추출되어 활용하기 어려워진다[14]. 반면, [표 1][표 2]의 분산 이력 데이터의 경우, 단순하게 각 의료 행위 이름을 이벤트 식별자로 사용할 수 있으나, 이 경우 ‘검사’와 ‘처방’ 두 가지 이벤트만을 갖는 단순한 프로세스 모형이 생성된다. 즉, 이러한 분산 이력 데이터를 다루는 경우에는 적절한 이벤트 식별자를 정의하는 것이 중요하다.

만성 질환의 경우, 반복적인 검사나 처방이 지속되므로, 이들의 횟수 정보가 유용할 수 있다. 예를 들어, 치료 중단까지 소요되는 처방 횟수, 초기 검사 이후 2회 처방까지 소요되는 기간 등을 운영 관리에 활용할 수 있을 것이다. 이에, 본 논문에서는 각 의료 행위 명칭에 회차를 덧붙인 문자열을 이벤트 식별자로 사용하여 개별 이력 데이터를 통합하고자 한다. 이를 위하여 다음과 같은 절차를 통해 초기 데이터를 가공하였다.

절차 1) 최대 회차 n 을 결정한다.

절차 2) 각 이력 데이터에 문자열 항목 ‘이벤트회차’를 추가한다.

절차 3) 이력 데이터 D_i 의 레코드 d_{ij} 에 대하여, d_{ij} 가 해당 사례(환자)에 대한 몇 번째 회차 이력인지를 의미하는 $t(d_{ij})$ 를 조사한다.

절차 4) 각 d_{ij} 에 대하여 $t(d_{ij}) \leq n$ 인 경우, ‘이벤트회차’ 항목으로 $D_i \& t(d_{ij})$ 를 부여하고, 그렇지 않은 경우 모두 $D_i \& n$ 을 부여한다.

절차 5) 각 이력 데이터 D_i 에서 사례 식별자, 이력 발생 시각 및 ‘이벤트 회차’를 추출 및 병합하여 통합된 로그 데이터를 형성한다.

단, 절차 5)에서 $\&$ 는 문자열 연결을 의미하며, 통합 로그 데이터는 제한된 회차 n 의 범위 내에서 원래 데이터 명칭 뒤에 회차가 붙은 이벤트 식별자를 포함하게 된다. 나아가, 절차 1)에서 최대 회차 n 이 너무 작은 경

우, 제한된 정보만을 갖는 단순한 프로세스 모형이 추출될 수 있고, 반대로 너무 큰 경우, 지나치게 복잡한 모형이 만들어질 수 있으므로, 적절한 수준의 값을 갖도록 하는 것이 필요하다. 또한, 위 절차 5)에서는 프로세스 마이닝을 위해 필요한 최소한의 3가지 필드만을 명시하였으나, 데이터의 특성이나 분석의 목표에 따라 기타 추가적인 항목들도 통합 로그 데이터에 포함시킬 수 있다.

이렇게 통합된 로그 데이터에 프로세스 마이닝 기법을 적용할 경우, [그림 2]와 같이 ‘이벤트 회차’ 항목을 이벤트 식별자로 하는 네트워크 형태의 프로세스 모형을 얻게 되고, 이를 통해 환자 플로우를 파악할 수 있다.

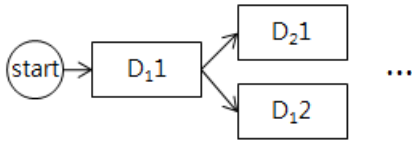


그림 2. 만성 환자 플로우 모형 개념

3. 환자 플로우 평가 지표

프로세스 마이닝 기법을 적용하기 위한 도구로는 proM[26]이나 Disco[27]와 같은 소프트웨어들이 공개되어 있으며, 본 논문에서는 프로세스 마이닝 기법 중에서도 간략화된 모형을 추출하는데 강점을 가진 퍼지 마이닝 알고리즘[28]에 기반한 Disco를 사용하였다. 이러한 프로세스 마이닝 도구들은 [그림 1]과 같은 프로세스 모형을 추출하는 것 이외에도 다양한 분석을 지원하며, 특히, 모형 내 아크(전이)와 관련된 소요 시간(재진 간격)이나 분기 확률 등이 함께 도출된다. 추가적으로, 본 논문에서는 환자 플로우 모형에서 추출가능한 몇 가지 평가 지표들을 다음과 같이 정의한다.

먼저, 이벤트 i 의 인입률 $P_a(i)$ 는 단위 기간 당 해당 이벤트에 진입한 환자들의 수를 의미하며 최초 이벤트 S 의 인입률은 HIS에서 산출되고 이후 이벤트들의 인입률은 (1)을 이용하여 산출된다. 단, $PD(i)$ 는 이벤트 i 의 인접 선행 이벤트들의 집합이고, $P_b(j,i)$ 는 이벤트 j 에서 이벤트 i 로 전이할 확률이다.

$$P_a(i) = \sum_{j \in PD(i)} (P_a(j) \times P_b(j,i)) \quad (1)$$

이벤트 i 의 컨버지(converge)율 $P_c(i)$ 는 개별 환자가 프로세스 시작 후, 해당 이벤트까지 도달할 확률이며, $P_c(S)=1.0$, 이후 이벤트들은 (2)와 같이 산출된다.

$$P_c(i) = \frac{P_a(i)}{P_a(S)} \quad (2)$$

개별 환자가 이벤트 i 에서 이벤트 j 로의 전이 (i,j) 를 경험할 확률을 전이 지지도 $Sup(i,j)$, 이벤트 i 에 도달한 환자가 이벤트 j 로 전이할 조건부 확률을 전이 신뢰도 $Conf(i,j)$ 로 정의하며, 각각 식 (3), (4)를 통해 산출한다. 이들은 특정 이벤트에 진입한 환자들의 다음 이벤트에 대한 정보를 나타낸다.

$$Sup(i,j) = P_c(i) \times P_b(i,j) \quad (3)$$

$$Conf(i,j) = P_b(i,j) \quad (4)$$

이벤트 i 이후 환자 플로우 모형에서 명시된 이벤트로 전이하지 않거나 치료 과정에서 이탈할 확률을 이벤트 이탈률 $P_l(i)$ 로 정의하며, (5)와 같이 산출한다. 단, $FL(i)$ 는 이벤트 i 의 인접 후속 이벤트 집합이다. 이탈률이 특별히 높은 이벤트의 경우, 원인을 파악하여 적절히 제거함으로써 병원 내 수익을 증가시키거나, 이탈의 원인이 완치 또는 호전인 경우에는 해당 이벤트로의 전이를 유도하는 등의 방안을 적용하는 것이 가능하다.

$$P_l(i) = 1 - \sum_{j \in FL(i)} P_b(i,j) \quad (5)$$

이벤트 i 의 유효 도달기간 $D_e(i)$ 는 개별 환자가 환자 플로우 시작 후, 해당 이벤트에 도달하기까지 필요한 기간을 의미하며, $d(i,j)$ 가 프로세스 마이닝을 통해 추출한 환자 플로우 모형 상에서 전이 (i,j) 의 평균 소요 기간을 나타낼 때, (6)과 같이 산출된다. 단, 이벤트 j 에서 i 로의 유효 분기확률 $P_e(j,i)$ 는 (7)을 통해 계산

한다.

$$D_e(i) = \sum_{j \in PD(i)} \{(D_e(j) + d(j,i)) \times P_e(j,i)\} \quad (6)$$

$$P_e(j,i) = \frac{P_b(j,i)}{\sum_{k \in FL(i)} P_b(j,k)} \quad (7)$$

유효 도달기간의 경우, 개별 환자 치료 기간 등을 알 수 있어, 병원의 수익성을 예측하거나, 환자에게 앞으로의 치료 계획을 조언하는 등의 목적에 활용할 수 있다.

IV. 적용 사례

제안하는 데이터 분석 방법 및 평가 지표들은 실제로 국내 K병원 류머티스과에서 2008년부터 2011년에 걸쳐 축적한 환자 이력 데이터에 적용하여 그 유용성을 검증하고, 관련 프로토타입 시스템 개발을 진행하였다. 수집된 데이터는 [표 1][표 2]와 같은 구조의 검사 이력과 처방 이력이며, 검사 이력은 총 1022명의 환자에 대한 1688개 레코드를, 처방 이력은 총 1240명의 환자에 대한 5937개 레코드를 포함하고 있었다.

먼저, 분산 이력 데이터에 적절한 이벤트 식별자를 부여하기 위해 본 논문에서는 [표 3]과 같이 기준 회차를 1, 2, 3, ... 으로 증가시키면서 각 이력에서 기준 회차 이상의 이력을 갖는 환자 인원수를 집계하였다. 예를 들어, [표 3]은 검사 이력이 있는 환자 1022명 중, 195명이 2회 이상의 검사 이력을 갖고 있음을 나타내고 있다.

표 3. 기준 회차 이상 이력 기록된 환자수

기준 회차	1	2	3	4	5
검사 이력	1022	195	113	79	58
처방 이력	1240	932	613	487	383

나아가, 본 논문에서는 간단히 기준 회차 이상을 갖는 환자수가 50%이하로 감소하는 시점의 값을 최대 회차로 사용하였으며, 이에 따라 [표 3]에서 검사 이력 기준 회차는 2, 처방 이력 기준 회차는 3이 되며, 검사 이력 이벤트 식별자는 Test1, Test2를 부여하고, 처방 이

력 이벤트 식별자는 Order1, Order2, Order3을 부여하였다.

[그림 3]과 [그림 4]는 이벤트 식별자가 부여된 이력 데이터들을 통합한 로그 데이터에서 Disco를 이용하여 추출한 환자 플로우 모형을 보여준다. 먼저, [그림 3]의 빈도수 view에는 각 이벤트 노드와 전이 아크에 해당 항목이 기록된 횟수가 표시되며, 현재 대부분의 환자가 Test1을 거쳐 Order1~Order3으로 진행하고, 이후 3회차 이상의 처방을 반복하는 경우가 많음을 보여준다. 한편, Test1 이후 약 10%의 환자는 Test2로 바로 전이하고 있다.

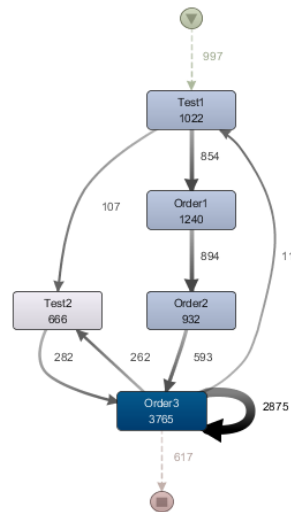


그림 3. 류머티스과 환자 플로우 모형 (빈도수 View)

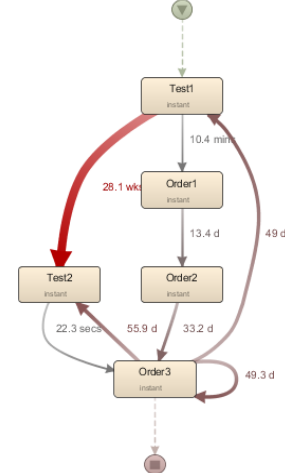


그림 4. 류머티스과 환자 플로우 모형 (기간 View)

[그림 4]의 기간 view에는 각 이벤트 노드와 전이 아크의 소요 시간의 중위수가 표시되어 있으며, 여기서 Test1과 Order1은 약 10분 간격으로 같은 날 수행되는 경우가 많은 반면, Order1, Order2, Order3에는 각각 13.4일, 33.2일 정도의 간격이 있다. 이후 Order3의 반복 시에는 약 49.3일의 간격이 있어 재진 간격이 점차 늘어남을 볼 수 있다. 따라서, 환자들에게 일반적으로 3회 처방까지는 계속할 것을 권유하고, 재진 간격은 점차 늘어나도 무방함을 알리는 등의 활용이 가능하다. 아울러, Test1과 Test2 사이에는 28주가 소요되는데, [그림 2][그림 3]에서 첫 번째 검사를 거친 환자 중, 약 87%(854/1022)는 Order1으로 진행하나, 나머지 13%는 검사 결과가 양호하거나 기타 다른 이유로 인해 치료를 시작하지는 않음을 알 수 있었다. 그러나 이들 중 상당수가 증상 재발 등의 이유로 Test2를 거치는데 이 때 약 28주가 소요되는 것으로 추정해볼 수 있다. 따라서, 초기 검사 이후 치료를 받지 않더라도 28주 정도까지는 병중에 신경을 쓰면서 이상 징후가 있을 시, 내원을 권하도록 하는 등의 활용이 가능하다.



그림 5. 조회 기간 설정 화면

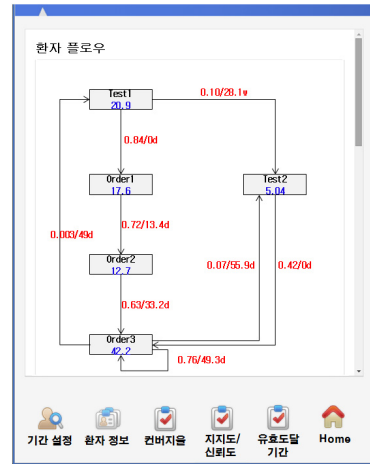


그림 6. 환자 플로우 조회 화면

앞에서 본 바와 같이, 환자 플로우 모형은 외래 환자들의 장기적 내원 행태를 보여주며, 이를 오프라인 방식으로 관찰하여 현재 병원의 특성을 파악할 수 있다. 반면, 환자 플로우 모형 관련 정보를 실시간으로 모니터링하는 데에는 (1)~(7)을 통해 산출되는 평가 지표들이 활용된다. 특히, 본 논문에서는 모바일 환경에서 의료진이나 경영자에게 이러한 기능을 제공할 수 있도록, 아이패드용 최적화된 프로토타입 시스템을 설계하였다.

시스템에 로그인할 경우, 최초에는 [그림 5]와 같이 조회 기간을 선택할 수 있는 화면이 나오고, 시작 및 종료 일자를 따로 설정하지 않는 경우에는 저장된 전체 이력을 이용하여 환자 플로우 정보를 조회한다. [그림 6]은 실제 환자 플로우 조회 화면을 나타내고 있으며, 처음에는 각 이벤트 노드와 전이 아크에 인입률, 분기 확률 및 전이기간을 표시하고 있으나, 하단의 버튼을 통해 다른 지표들도 선택하여 조회할 수 있다.

V. 결론 및 추후 연구 과제

기존 HIS들은 주로 전산화된 데이터의 입출력 및 공유에 중점을 두었던 반면, 간단한 통계량 모니터링 정도만을 제공하는 경우가 많아 분석 및 의사결정 기능에 대한 보완이 필요하다. 특히, 최근에는 병원에서 축적하고 있는 로그 데이터를 이용하기 위한 연구가 활발하다.

병원 내 로그 데이터와 관련된 기존 연구들은 일반적으로 병증 발생부터 조치 완료까지의 명확한 범위 내에서 다양한 종류의 의료 행위가 발생하는 경우를 다루었으며, 이를 통해 지침이나 CP 등과 같은 역할을 할 수 있는 프로세스 모형을 추출하고자 하였다. 그러나, 비교적 단순한 이벤트들이 지속적으로 발생하는 만성 질환 진료과에서 이러한 방법을 활용하기 곤란하였다.

이에, 본 논문에서는 만성 질환 진료과에서 축적되는 환자 이력 데이터의 특성을 살펴보고, 환자 플로우 모형을 추출하기 위한 분석 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 적절한 이벤트 식별자를 부여하고, 통합 로그 데이터를 생성한 다음, 프로세스 마이닝 기법을 적용하여 환자 플로우 모형을 추출한다. 아울러, 본 논문에서는 추출된 모형에서 산출가능한 평가 지표들을 정의하고, 이들을 모니터링할 수 있는 환자 플로우 모니터링 시스템을 설계하였다. 나아가, 국내 K병원 류머티스과에서 수집된 데이터에 적용한 결과, 제안하는 분석 방법을 통해 유의미한 환자 플로우 모형이 산출되었고, 프로토타입 시스템을 통해 사용자에게 편리하게 관련 정보를 제공할 수 있었다. 종래 병원 정보 시스템에 비해 제안하는 시스템은 환자 이력 데이터를 통해 프로세스 관점의 정보를 플로우 모형이라는 형태로 추출하여, 환자들의 동적인 특성을 이해하는데 도움을 준다는 장점을 갖는다. 아울러, 단순한 통계량이 아닌 플로우 모형 관련 평가 지표들을 산출하여 병원 운영 관리에 대한 유의미한 평가 및 개선을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

반면, 복잡한 플로우 모형이 산출될 경우, 일부 평가 지표들의 산출에 시간이 소요되고, 산출된 환자 플로우 모형을 따르지 않는 환자들에 대한 정보 제공이 미흡하며, 다른 병원 환자의 이관이나 개별 환자 이력의 단절 후 재시작 등을 고려하지 않은 점 등에서 본 연구의 한계점들도 분명히 존재한다. 이에 앞으로도 다양한 진료과에 대한 환자 이력 데이터 수집 및 분석, 프로토타입 시스템의 기능 보완 등을 통해 이러한 점들을 해결하고, 제안하는 시스템의 실용성을 높이고자 한다.

참고 문헌

- [1] C. Lovis, "Clinical Information Systems: Cornerstone for an Efficient Hospital Management," *Studies in Health Technology and Informatics*, Vol.169, pp.992-995, 2011.
- [2] D. K. Park, E. Y. Jung, B. H. Jeong, B. C. Moon, H. W. Kang, H. Tchah, G. S. Han, W. S. Cheng and Y. H. Lee, "Smart Information System For Gachon University Gil Hospital," *Healthcare Informatics Research*, Vol.18, No.1, pp.74-83, 2012.
- [3] 조광문, 한군희, "병원 업무 효율화를 위한 원무 시스템 설계", *한국콘텐츠학회 2005 추계종합학술대회 논문집*, Vol.3, No.2, pp.616-621, 2005.
- [4] 김귀정, "의료기관 전문 의료용 CRM 프레임 설계," *한국콘텐츠학회논문지*, Vol.8, No.12, pp.20-27, 2008.
- [5] 유영미, 유일, 김소라, "간호사의 병원정보시스템(HIS) 만족도 영향요인 - 지각된 HIS 품질과 개인 및 조직특성을 중심으로", *한국콘텐츠학회논문지*, Vol.13, No.6, pp.438-449, 2013.
- [6] B. Martinez-Pérez, I. de la Torre-Díez, M. López-Coronado, B. Sainz-de-Abajo, M. Robles and J. M. Garcia-Gómez, "Mobile Clinical Decision Support Systems and Applications: A Literature and Commercial Review," *Journal of Medical Systems*, Vol.38, No.1, pp.1-10, 2014.
- [7] M. Prior, M. Guerin, and K. Grimmer-Somers, "The Effectiveness of Clinical Guideline Implementation Strategies-A Synthesis of Systematic Review Findings," *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, Vol.14, No.5, pp.888-897, 2008.
- [8] T. Rotter, L. Kinsman, E. James, A. Machotta, H. Gothe, J. Willis, P. Snow, and J. Kugler, "Clinical Pathways: Effects on Professional

- Practice, Patient Outcomes, Length of Stay and Hospital Costs,” *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Vol.3, No.3, pp.1-163, 2010.
- [9] S. M. Naureckas, R. Zweigorn, H. K. Susan, E. O. B. Kaleba, S. J. Pohl, and A. J. Ariza, “Developing an Electronic Clinical Decision Support system to Promote Guideline Adherence for Healthy Weight Management and Cardiovascular Risk Reduction in Children: A Progress Update,” *Translational Behavioral Medicine*, Vol.1, No.2, pp.103-107, 2011.
- [10] M. J. Romano and R. S. Stafford, “Electronic Health Records and Clinical Decision Support Systems: Impact on National Ambulatory Care Quality,” *Archives of Internal Medicine*, Vol.171, No.10, pp.897-903, 2011.
- [11] G. W. Procop, L. M. Yerian, R. Wylie, A. M. Harrison, and K. Kottke-Marchant, “Duplicate Laboratory Test Reduction Using a Clinical Decision Support Tool,” *American Journal of Clinical Pathology*, Vol.141, No.5, pp.718-723, 2014.
- [12] S. Tsumoto, S. Hirano, and Y. Tsumoto, “Information Reuse in Hospital Information Systems: A Data Mining Approach,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Information Reuse and Integration*, pp.172-176, 2011.
- [13] R. S. Mans, W. M. P. van der Aalst, R. J. Vanwersch, and A. J. Moleman, “Process Mining in Healthcare: Data Challenges When Answering Frequently Posed Questions,” In *Process Support and Knowledge Representation in health Care*, Springer Berlin Heidelberg, pp.140-153, 2013.
- [14] W. M. P. van der Aalst, *Process Mining*, Springer, 2011.
- [15] P. N. Tan, M. Steinbach and V. Kumar, *Introduction to Data Mining*, Addison-Wesley, 2005.
- [16] M.K. Obenshain, “Application of Data Mining Techniques to Healthcare Data,” *Infection Control and Hospital Epidemiology*, Vol.25, No.8, pp.690-695, 2004 .
- [17] H. C. Koh and G. Tan, “Data Mining Applications in Healthcare,” *Journal of Healthcare Information Management*, Vol.19, No.2, pp.65-72, 2011.
- [18] L. Rabiner, “A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition,” *Proceedings of the IEEE*, Vol.77, No.2, pp.257-286, 1989.
- [19] Á. Rebuge and D. R. Ferreira, “Business Process Analysis in Healthcare Environments: A Methodology based on Process Mining,” *Information Systems*, Vol.37, No.2, pp.99-116, 2012.
- [20] T. Blum, N. Padoy, H. Feußner and N. Navab, “Workflow Mining for Visualization and Analysis of Surgeries,” *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol.3, No.5, pp.379-386, 2008.
- [21] R. S. Mans, M. H. Schonenberg, G. Leonardi, S. Panzarasa, A. Cavallini, S. Quaglini, and W. M. P. van der Aalst, “Process Mining Techniques: An Application to Stroke Care,” *Studies in Health Technology and Informatics*, Vol.136, pp.573-578, 2008.
- [22] R. S. Mans, M. H. Schonenberg, M. Song, W. M. P. van der Aalst, and P. J. Bakker, “Application of Process Mining in Healthcare - A Case Study in a Dutch Hospital,” In *Biomedical Engineering Systems and Technologies*, Springer, pp.425-438, 2009.
- [23] J. Poelmans, G. Dedene, G. Verheyden, H. van der Mussele, S. Viaene, and E. Peters,

“Combining Business Process and Data Discovery Techniques for Analyzing and Improving Integrated Care Pathways,” In Advances in Data Mining: Applications and Theoretical Aspects, Springer, pp.505-517, 2010.

[24] C. W. Günther, A. Rozinat, W. M. P. van der Aalst, and K. van Uden, “Monitoring Deployed Application Usage with Process Mining,” BPM Center Report BPM-08-11, pp.1-8, 2008.

[25] L. Perimal-Lewis, S. Qin, C. Thompson, and P. Hakendorf, “Gaining Insight from Patient Journey Data Using a Process-Oriented Analysis Approach,” Proceedings of the Fifth Australian Workshop on Health Informatics and Knowledge Management, Vol.129, pp.59-66, 2012.

[26] <http://www.promtools.org>

[27] <http://www.fluxicon.com>

[28] C. W. Günther and W. M. P. van der Aalst, “Fuzzy Mining - Adaptive Process Simplification based on Multi-Perspective Metrics,” In Business Process Management, Springer, pp.328-343, 2007.

저 자 소 개

김 준 우(Jun Woo Kim)

정회원



- 2001년 2월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학사)
- 2003년 8월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학석사)
- 2009년 8월 : 한국과학기술원 산업및시스템공학과(공학박사)
- 2009년 9월 ~ 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 산업경영학부 대우교수
- 2011년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 산업경영공학과 교수

<관심분야> : 데이터마이닝, 지능형 시스템, 서비스관리, Operations Research, 조합 최적화

이 상 철(Sang-Chul Lee)

정회원



- 1995년 : 아세아연합신학대학교 아세아학과졸업(문학사)
 - 1998년 : 경희대학교 경영학과 졸업(경영학석사)
 - 2004년 : 경희대학교 경영학과 졸업(경영학박사)
 - 2004년 : 한국과학기술원 경영공학 위촉연구원
 - 2005년 ~ 2012년 : 그리스도대학교 경영학부 조교수
 - 2013년 ~ 현재 : 그리스도대학교 경영학부 부교수
- <관심분야> : 경영정보시스템, 데이터마이닝, 전자상거래, 품질경영

박 상 찬(Sang-Chan Park)

정회원



- 1984년 : 서울대학교 경영학과 졸업(학사)
 - 1985년 : 미국 미네소타 주립대학 졸업(경영학석사)
 - 1991년 : 미국 일리노이 주립대학 졸업(경영학박사)
 - 1989년 ~ 1995년 : 미국 위스컨신 주립대학 조교수
 - 1995년 ~ 2009년 : 한국과학기술원 산업공학과 교수
 - 2009년 ~ 현재 : 경희대학교 의료경영학과 교수
- <관심분야> : 경영정보시스템, 데이터마이닝, 전자상거래, 품질경영