

# 계층적 분할 방법과 최적화를 이용한 간호원 로스터링 해법연구

장윤희 · 김선훈<sup>†</sup> · 이영훈

연세대학교 정보산업공학과

## Hybrid Heuristic Using Hierarchical Decomposition and Optimization for the Nurse Rostering Problem

Yoon Hee Jang · Sun Hoon Kim · Young Hoon Lee

Department of Information and Industrial Engineering, Yonsei University

Numerous studies have been studied to provide an efficient solution for the Nurse Rostering Problem (NRP), most of which have suffered from its complexity arising from incorporating nurse's work shift and ability. The test-bed data for the NRP is released for the public Competition in 2010. This study suggests a new mixed integer programming for Nurse Rostering Problem and develops a hybrid approach, where a hierarchical decomposition and the corresponding optimization are combined. The computation experiment is performed to show that the suggested algorithms may give a better solution in various instances, compared to the one appeared in the literature.

**Keywords:** Nurse Rostering Problem, Optimization, Decomposition, Heuristic

### 1. 서론

사회의 발전과 고령화에 따라 헬스케어 서비스 산업의 중요성은 점차 주목되고 있다. 최근 헬스케어 분야에서는 경쟁력을 향상하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다(Sim *et al.*, 2012; Koo *et al.*, 2012). 그중 자원의 효율적 관리가 중요한 연구 분야로 다뤄지고 있다. 헬스케어 분야에는 침상, 설비, 인력 등이 핵심 관리 자원으로서 이 중 인적자원이 중요한 부분을 차지한다. 인적 자원은 병원에서 근무하는 모든 이들을 통칭하며 의사, 간호사 등을 포함하고 있다. 그중 간호사는 병원 서비스의 전반적인 부분에 참여하며, 일차적으로 환자에게 서비스를 제공하는 주체로서 이에 대한 인적관리는 환자와 병원, 간호사에게 큰 이익을 가져다줄 수 있다. 따라서 본 연구는 간호사 인력관리에 대한 연구를 다루고자 한다.

간호사 로스터링 문제(Nurse rostering problem, NRP)는 일정

기간 특정한 근무시간에 맞는 간호인력을 최적으로 배치하는 문제이다. 여기서 로스터링 특정한 시간대의 근무 당번 표를 의미한다. 간호인력은 인력에 대한 스케줄링 문제 중에서도 가장 다양한 형태의 제약사항을 가지고 있는 문제로 알려졌다. 이는 환자에 대한 서비스의 중요도 및 민감도가 높으며 근무환경에 대한 법적인 제약사항 및 간호사별 능력과 업무범위의 차이도 고려해야 하기 때문이다. 병원에서 존재하는 다양한 요구 조건과 제약조건을 가진 복잡한 문제로서 주어진 모든 조건을 만족하는 해를 구하는 것이 대부분 불가능하다고 알려졌다. 또한, 병원마다 제시하는 조건이 다양하여 NRP 문제 또한 매우 다양한 형태로 존재한다. 그러나 간호사에 대해 좋은 스케줄링 해는 재정적으로나 환자에 대한 서비스의 만족도 측면에서 중요성이 더욱 증가하고 있어 NRP 문제에 대한 해법연구가 더욱 활발히 이루어지고 있다. NRP 문제에서 보편적으로 고려되는 대부분의 제약조건을 포함하고 있는 테스트

<sup>†</sup> 연락저자 : 김선훈 교수, 120-749 서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 정보산업공학과, Tel : 02-364-0860, Fax : 02-364-7807,  
E-mail : misia789@hanmail.net

2013년 12월 3일 접수; 2014년 2월 7일 수정본 접수; 2014년 3월 26일 게재 확정.

베드 문제(INRC2010 : First International Nurse Rostering Competition 2010)가 2010년 제시되었다. INRC2010은 일정관리 경영 대회 시리즈인 ITC2003, ITC2007에 이은 세 번째 대회 형식의 학회로서, (Glass and Knight, 2010)은 이에 관련된 자료를 설명하고 있다. NRP에 관하여 실질적으로 병원에서 고려되는 가정 사항을 제시하였고, 이를 문제 정의에 도입하였다. 제시된 테스트베드 문제를 통해 Competition이 학술대회 및 논문을 통하여 이루어지고 있다.

테스트베드 문제는 규모에 따라 다양한 예제를 포함하고 있으며 특히 주어진 제약조건을 두 그룹으로 분류하여 반드시 만족해야 하는 강한 제약조건과 만족하지 않아도 좋지만, 만족하지 못했을 경우 이에 대한 비용을 고려하여 전체 비용을 최소화하도록 유도하는 문제 형식으로 구성되어 있다. 따라서 NRP의 기본 속성을 대부분 포함하면서 실용성을 높일 수 있도록 제시된 예제 문제이다. 본 연구는 2010년 제시되어 많은 연구가 이루어지는 있는 테스트베드 문제에 대해 최적화 수리모형을 제시하고 실용적인 수준의 적절한 계산 시간 내에 해를 구할 수 있는 휴리스틱 해법을 제시하고자 한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 기존에 연구되었던 간호사 로스터링 문제에 대해 검토를 한다, 제 3장에서는 문제의 특성을 정의하고, IP 모형 및 분할 기법을 제시한다. 제 4장에서는 실험 결과와 검증, 마지막 장에서는 결론 및 향후 연구에 대해 다룬다.

## 2. 기존연구 검토

NRP는 헬스케어 분야에 있어서 폭넓은 적용이 가능하여 40년 동안 많은 연구가 진행되었다. 그럼에도 불구하고 날짜와 근무 유형에 따라 간호사가 각기 다른 요구 조건을 갖고 있기 때문에 인적 일정관리 문제에 있어 어려운 문제로 알려졌다(Causmaker *et al.*, 2011).

NRP를 풀기 위한 방법론은 메타 휴리스틱 방법론과 수리계획법으로 크게 두 가지로 분류될 수 있다. 기존의 연구에서 가장 많이 쓰인 것은 메타 휴리스틱으로 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 모방 알고리즘(memetic algorithm), 타부서치(tabu search), 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing) 그리고 변수 이웃 검색(variable neighborhood search) 등 다양한 방법으로 NRP문제를 접근하고 있다(Dowland 1998, Burke *et al.*, 2001). 또한 Burke *et al.*(1999), Dowland and Thompson(2000), Valoux and Housos(2000)은 이러한 방법론들을 결합해 새로운 모형을 제시하였다. Burke *et al.*(2010a)은 분산 탐색법(scatter search)을 이용하였고, Burke *et al.*(2010b)는 하이브리드 접근법(hybrid approaches)을 사용하여 연구를 제안하였다. 복잡한 휴리스틱 방법론을 통한 문제풀이는 개발상의 어려움이 있으며, 혹은 특정한 문제엔 적합하나 다양한 문제에 적용하기에는 한계가 있다.

수리계획법을 이용하여 NRP를 풀기 위해 다양한 시도가 이루어지고 있다. 초기의 시도로서 Warner and Prawda(1972)는 수리계획법을 이용한 간단한 모델을 제시하였다. 또한, 선형 계획법과 정수계획법(Thornton and Satter, 1997), 네트워크 최적화(Millar and Kiragu, 1998), 제약 프로그래밍(Cheng *et al.*, 1997)을 이용한 시도가 이루어졌다. Maenhout and Vanhoucke (2010)은 최근에 브랜치 앤 프라이스(branch and price) 알고리즘을 사용한 모델을 제시하였다. 이러한 접근 방법들은 현장 사용자가 이용하기에 기술적, 이론적 복잡함이 있거나, 혹은 현장의 다양한 요구를 받아들이기 어려운 측면이 있다.

최근 INRC2010 테스트베드를 중심으로 많은 연구가 발표되고 있다. Valoux *et al.*(2012)은 INRC2010 경쟁에서 가장 우수한 결과값을 도출한 연구로서, 해당 문제를 기간에 대하여 주 단위로 분할 한 후, 주간 근무 패턴을 생성하여 이를 바탕으로 정수 수리 계획법을 이용하여 모형화하였다. 해당 수리 모형을 좀 더 자세히 설명하면, 간호사의 근무 여부를 나타내는 이진수의 배열을 0100110과 같이  $2^7$ 개 생성하여 간호사별로 근무 패턴에 대한 비용을 미리 산출하고, 간호사별로 하나의 근무 패턴을 선택하도록 수리 모형을 개발하였다. 본 연구와 같이 해당 연구에서도 문제의 크기를 줄이기 위하여 근무 여부와 근무유형을 분할하여 접근하였지만, 해당 연구에서는 근무 여부와 근무유형뿐만 아니라 기간 관점에서 주 단위로도 분할하였다는 점에서 차이점이 존재한다. 해당 문제는 간호사의 연속근무와 같이 기간의 관점에서 전체적으로 고려해야 하는 제약이 존재하므로 기간별 분할을 통한 접근에는 한계점이 존재한다. 예를 들면, 하나의 간호사에 대하여 주간별로 계획을 세우므로 첫째 주 일요일과 둘째 주 월요일 사이에 연속 근무 및 연속 휴일에 대한 제약이 고려되지 않는다. Valoux *et al.*(2012)은 이러한 문제점을 해소하기 위하여, 주간별로 수립된 간호사의 로스터를 서로 교차하는 국부적 휴리스틱을 이용하였다. 이러한 접근 방식은 해의 개선에 있어 한계가 존재하므로 최적화 모형에서 전체 기간에 대한 근무 계획을 수립하는 접근 방식이 필요하지만, 전체 기간에 대하여 간호사의 근무 패턴을 미리 생성하여 접근하는 방식은 문제의 크기를 급격히 증가시킨다는 한계점을 가지고 있다. Burke and Curtois(2010)은 큰 크기의 문제에 관해서는 브랜치 앤 프라이스 알고리즘을 이용하였고, 작은 크기의 문제에 관해서는 이젝션 체인(ejection chain)을 기반으로 한 방법론을 제시하였다. Burke *et al.*(2010)은 NRP를 풀기 위하여 정수계획법과 변수이웃검색을 결합한 다목적 모델을 제시하였다. Bilgin *et al.*(2010)은 그리디 셔틀 휴리스틱(greedy shuttle heuristic)을 결합한 하이퍼휴리스틱(hyper-heuristic)을 제안하였다. 해당 논문에서는 간호사들 사이 로스터를 교환함으로써 더욱 향상된 값을 보였다. INRC2010의 테스트베드는 규모에 따라 다양한 예제를 포함하며, 많은 연구에서 규모가 작은 형태의 예제는 최적값의 성취도가 높았지만, 규모가 큰 예제에서는 고전을 면치 못하고 있다. 본 논문에서는 직관적인 계층적 분할법을 이용하여 실험을 진행하였

고, 나아가 해당 모델은 빠른 시간 안에 기존 연구에 비해 좋은 해를 도출하였다.

### 3. 문제정의

NRP는 일정 기간 미리 정의된 여러 근무유형의 수요를 만족하게 하기 위하여 다양한 근로 계약 및 능력을 갖추고 있는 간호사의 일정을 수립하는 문제이다. <Figure 1>은 NRP 문제의 예시로서 요구되는 특정한 업무량과 그에 맞추어 특정한 날에 특정한 간호사를 배치한 것을 보여주고 있다.

day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
Nurse																														
1		D	E	E	N					D	D	E	E			D	D	E	E			E	N			D	D	E	N	
2			D	D	E			D	E	E	E	E								D	E	N	N							
3					D	D	N	N			D	D	E	E	E	E	E	E	E					E	E	N	N			
4		E				D	D	E	E											D	D	D	N			E	E	N	N	
5		D	D	D	D					E	E	E	E							D	D	D	N			E	E	N	N	
6			D	D	E																									
7						D	D	D	D																					
8		D	D	D																										
9			E	E	E	E																								
10		E	E	N	N																									
11		N	N			E	E	E	E																					
12		D	N	N	N																									
13		D	D	E	N																									
14		E				D	E																							
15		N				E	N	N	N																					
16		E	E	E	E																									
Shift type	D	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3
E	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3
N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Figure 1. NRP instance time table

위의 그림에서는 Day는 근무날짜를 뜻하고, Nurse는 간호사를 나타낸다. 간호사는 다양한 근무유형으로 일 할 수 있는데 Shift type은 요구하는 근무유형을 말한다. 예를 들어 <Figure 1>에서 간호사 1번은 1일에 휴일, 2일에 D 타입의 일, 3일에 E 타입의 일을 하고 있다. 하단의 Shift type은 날짜별 근무유형별 요구량을 보여준다. 간호사의 근무유형 총합은 요구량과 항상 맞아야 한다. 아래의 <Table 1>은 각 근무유형에 따른 근무시간과 요구되는 기술의 예시를 나타낸다.

Table 1. An example of shift type

근무유형	시작시간	종료시간	요구기술
L	14 : 30 : 00	22 : 30 : 00	간호사
D	08 : 30 : 00	16 : 30 : 00	간호사
E	06 : 30 : 00	14 : 30 : 00	간호사
N	22 : 30 : 00	06 : 30 : 00	간호사
DH	08 : 30 : 00	16 : 30 : 00	수간호사

근무유형은 여러 가지 형태로 정의될 수 있는데 이는 각각 시작시간, 종료시간 및 요구기술에 따라서 구분된다. 시작시간과 종료시간은 근무를 시작하여 종료하는 시간을 나타낸다. 요구기술은 해당 근무유형을 위해 필요한 기술로서 각각 간호사는 해당 기술을 보유하거나 혹은 보유하지 못할 수 있다. 해당 기술을 가지고 있지 않은 간호사가 해당 근무를 수행할 경

우, 추가적인 비용이 발생한다. 본 연구에서는 INRC2010에서 제시된 문제에 대한 최적화 수리 모델을 제시하고자 한다.

### 3.1 제약조건

NRP에서 제약조건들은 강한 제약조건과 약한 제약조건 2가지로 분류된다. 강한 제약조건은 로스터가 실행 가능하기 위해서 꼭 만족하게 해야 하는 조건이다. 강한 제약조건을 위반하게 되면 생성된 로스터가 실행 불가능이 된다. 반면에 약한 제약조건은 제약조건들의 복합성으로 인해 항상 모든 제약조건을 만족할 수 없고, 이를 만족하게 하지 못할 경우 제약조건에 해당하는 비용을 목적식에 고려하여 이를 최소화하도록 유도한다. 따라서 약한 제약조건은 의무적이지는 않지만 선호되는 요구조건들을 말한다.

강한 제약조건으로는 두 가지가 존재한다. 날짜별 근무유형별로 필요한 간호사의 수를 만족하게 해야 하며, 간호사들은 하루에 오직 한 근무유형만 일할 수 있다. 약한 제약조건은 간호사의 근로계약을 최대한 만족하게 하는 것으로 정의된다. 근무계약은 간호사와 병원 간에 맺어진 협약을 뜻하며, 최대 혹은 최소연속으로 일해야 하는 조건, 주말에 해당하는 조건, 특정한 날이나 특정한 근무유형에 관한 요구 등을 포함하고 있다. 또한, 간호사는 정확히 한 계약조건에 따라 일해야 한다. 그러므로 계약조건은 간호사의 근무규약을 나타내기도 한다. 간호사의 근무규약에는 다양한 계약조건이 존재하며 각 간호사의 근무계약을 최대한 지키며 일정을 수립해야 한다. 본 연구는 INRC2010에서 제안한 NRP문제에서 사용된 제약조건을 문제 정의에 도입하였다. <Table 2>는 제약조건의 내용을 보여준다.

Table 2. Constraints

- 강한 제약조건
  - H1 모든 요구된 근무유형은 간호사에게 할당한다
  - H2 간호사는 하루당 한 개의 근무유형만을 일할 수 있다
- 약한 제약조건
  - S1 한 달 기간 중 최대 근무일수를 초과하지 않는다
  - S2 한 달 기간 중 최소 근무일수 미달하지 않는다
  - S3 연속 근무 최대 일수를 초과하지 않는다
  - S4 연속 근무 최소 일수에 미달하지 않는다
  - S5 연속 휴일 최대 일수를 초과하지 않는다
  - S6 연속 휴일 최소 일수에 미달하지 않는다
  - S7 연속 주말 근무 최대 일수를 초과하지 않는다
  - S8 주말 근무 최대 일수를 초과하지 않는다
  - S9 N 근무 유형일 다음 휴일 근무를 제한한다
  - S10 주말 근무자는 주말 전부 일해야 한다.
  - S11 주말 근무 동안 같은 근무유형을 일해야 한다.
  - S12 원하지 않는 근무패턴을 고려한다.
  - S13 일하기를 원하거나 혹은 원하지 않는 날을 고려한다
  - S14 원하는 혹은 원하지 않는 근무유형을 고려한다
  - S15 간호사와 수간호사의 교대 근무 비용을 고려한다

### 3.2 목적식

목적함수는 모든 근무자 당번 표로부터 위반된 약한 제약조건들의 비용으로 산출한다. 다음의 <Table 3>은 하나의 예시로, 일부 근무계약의 조건을 나타낸다. 이 예시에서는 계약조건으로 세 가지가 존재하며, 간호사는 이 세 가지의 근무 규약 중 한 가지만을 반드시 따라야 한다.

**Table 3.** Work load by contract

계약 조건	최대 근무일수	최소 근무일수	최대연속 근무일수	최소연속 근무일수	주말정의
2	10	4	4	2	금, 토, 일
1	15	6	5	3	토, 일
0	20	10	5	3	토, 일

예를 들어 계약조건이 0인 간호사는 최대 근무일수가 20일, 최소 근무일수가 10일로 한 달 동안에 간호사는 최소 10일 최대 20일까지 일해야 한다. 이를 위반할 경우 위반된 날짜에 따라 해당하는 비용이 발생한다. 반면에 계약조건이 2를 따르는 간호사는 일정 기간 최소 4일 최대 10일을 일해야 한다. 또한, 계약조건 2를 가지는 간호사는 주말이 금, 토, 일요일, 3일로 정의되며, 나머지 간호사는 토, 일요일, 2일로 정의된다. 이와 같은 방식으로 발생한 비용은 모두 더해지고 이것이 제약조건 위반에 대한 벌금비용이 된다. 또한, 벌금비용은 또한 근무 규약에 따라 각기 달리 정의된다.

### 3.3 정수계획 모형

위에서 제시한 조건과 가정 사항, 제약을 바탕으로 정수 계획 모형을 수립하였다. 해당 모형은 INRC2010에서 제시한 요구 조건을 바탕으로 현장에서 요구되는 다양한 제약을 표현하였다. 모형을 통해 위반된 제약조건들의 비용 감소를 목적으로 수리 모델을 수립하였다. 해당 모델에 대한 인덱스 및 자료, 수식은 아래 나타나 있다.

# 인덱스

$i$ : 간호사 인덱스

$s$ : 근무유형 인덱스(근무유형 : L유형, E유형, D유형, DH유형, N유형)

$d$ : 날짜 인덱스

$j$ : 주말 인덱스

# 자료

$demand_{sd}$ :  $d$ 날  $s$  근무유형이 필요한 인원

$k1_i$ :  $i$  간호사의 최대 근무일수

$k2_i$ :  $i$  간호사의 최소 근무일수

$c1_i$ : 최대 연속 가능 일수

$c2_i$ : 최소 연속 가능 일수

$w1_i$ : 최대 허용 주말 근무일수

$w2_i$ : 최대 연속 허용 주말 근무일수

$w3_i$ : 최소 연속 허용 주말 근무일수

$w_{id}$ :  $d$ 날의 주말 인덱스(주말에 해당 안 되면 0)

$ws_{id}$ : 주말 정의(1인 경우 주말이 토, 일요일, 2인 경우 주말이 금, 토, 일)

$cf1_i$ :  $i$  간호사가 연속으로 최대 쉴 수 있는 날

$cf2_i$ :  $i$  간호사가 연속으로 최소 쉴 수 있는 날

$p1_{id}$ : 원하지 않는 근무 날

$p2_{isd}$ : 원하지 않는 근무 타입

$p3_{id}$ : 원하는 근무 날

$p4_{isd}$ : 원하는 근무 타입

T: 마지막 근무 날짜

# 결정변수

$x_{isd}$ : 간호사  $i$ 가 날짜  $d$ 날에 근무유형  $s$ 를 할당 여부

$z_{ij}$ : 간호사  $i$ 가  $j$ 번째 주말에 근무 할당 여부

$y1_i$ :  $i$  간호사가 최대 근무일을 초과로 근무하는 일수  
( $u1_i$ : 해당비용)

$y2_i$ :  $i$  간호사가 최소 근무일을 미만으로 근무하는 일수  
( $u2_i$ : 해당비용)

$y3_{id}$ : 최대 연속 근무일수를 초과로 근무하는 일수  
( $u3_{id}$ : 해당비용)

$y4_{id}$ : 최소 연속 근무일수 미만으로 근무하는 일수  
( $u4_{id}$ : 해당비용)

$y5_{id}$ : 최대 주말 근무할 때 초과로 근무하는 일수  
( $u5_{id}$ : 해당비용)

$y6_{id}$ : 최대 주말 연속근무일수를 초과로 근무하는 일수  
( $u6_{id}$ : 해당비용)

$y7_{id}$ : 최소 주말 연속근무일수를 미만으로 근무하는 일수  
( $u7_{id}$ : 해당비용)

$y8_{id}$ : 원하지 않는 근무 날에 근무하는 일수  
( $u8_{id}$ : 해당비용)

$y9_{isd}$ : 원하지 않는 근무 타입으로 근무하는 일수  
( $u9_{isd}$ : 해당비용)

$y10_{id}$ : 원하는 근무 날인데 근무하는 일수  
( $u10_{id}$ : 해당비용)

$y11_{isd}$ : 원하는 근무 유형으로 근무하는 일수  
( $u11_{isd}$ : 해당비용)

$y12_{id}$ : 연속주말근무를 위반하는 일수  
( $u12_{id}$ : 해당비용)

$y13_{isd}$ : 주말근무 동안 같은 근무유형을 위반하는 일수  
( $u13_{isd}$ : 해당비용)

$y14_{id}$ : 최대 연속 휴일수를 초과로 근무하는 일수  
( $u14_{id}$ : 해당비용)

$y15_{id}$ : 최소 연속 휴일수 미만으로 근무할 때 일수

(u15<sub>id</sub>: 해당비용)y19<sub>id</sub>: 간호사와 수간호사의 교대 근무일수(u19<sub>id</sub>: 해당비용)y16<sub>id</sub>: 근무유형양식 01(LD)을 위반하는 일수(u16<sub>id</sub>: 해당비용)y17<sub>id</sub>: 근무유형양식 02(DED)을 위반하는 일수(u17<sub>id</sub>: 해당비용)y18<sub>id</sub>: 근무유형양식 03(NAA)을 위반하는 일수(u18<sub>id</sub>: 해당비용)y21<sub>id</sub>: 근무유형양식 04(LE)을 위반하는 일수(u21<sub>id</sub>: 해당비용)y22<sub>id</sub>: 근무유형양식 05(DN)을 위반하는 일수(u22<sub>id</sub>: 해당비용)y23<sub>id</sub>: 근무유형양식 06(ND)을 위반하는 일수(u23<sub>id</sub>: 해당비용)y24<sub>id</sub>: 근무유형양식 07(NE)을 위반하는 일수(u24<sub>id</sub>: 해당비용)y25<sub>id</sub>: 근무유형양식 08(LDH)을 위반하는 일수(u25<sub>id</sub>: 해당비용)y26<sub>id</sub>: 근무유형양식 09(NDH)을 위반하는 일수(u26<sub>id</sub>: 해당비용)

\* 근무유형양식은 특정한 근무유형의 연속

## # 모델링

목적식

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_i (u1_i \cdot y1_i + u2_i \cdot y2_i) + \sum_d \sum_i (u3_{id} \cdot y3_{id} + \\ & u4_{id} \cdot y4_{id} + u5_{id} \cdot y5_{id} + u6_{id} \cdot y6_{id} + u7_{id} \cdot y7_{id} + u8_{id} \cdot \\ & y8_{id} + u10_{id} \cdot y10_{id} + u12_{id} \cdot y12_{id} + u14_{id} \cdot y14_{id} + u15_{id} \cdot \\ & y15_{id} + u16_{id} \cdot y16_{id} + u17_{id} \cdot y17_{id} + u18_{id} \cdot y18_{id} + u19_{id} \cdot \\ & y19_{id} + u21_{id} \cdot y21_{id} + u22_{id} \cdot y22_{id} + u23_{id} \cdot y23_{id} + u24_{id} \cdot \\ & y24_{id} + u26_{id} \cdot y26_{id}) + \sum_d \sum_s \sum_i (u9_{isd} \cdot y9_{isd} + u11_{isd} \\ & \cdot y11_{isd} + u13_{isd} \cdot y13_{isd}) \end{aligned} \quad (1)$$

강한 제약조건

$$\sum_s x_{isd} \leq 1 \quad \forall i, d \quad (2)$$

$$\sum_i x_{isd} = \text{demand}_{sd} \quad \forall s, d \quad (3)$$

약한 제약조건

$$y1_i \geq \sum_{s,d} x_{isd} - k1_i \quad \forall i \quad (4)$$

$$y2_i \geq k2_i - \sum_{s,d} x_{isd} \quad \forall i \quad (5)$$

$$\sum_s \sum_{d'=d}^{d+c1_i} x_{isd'} \leq y2_{id} + c1_i \quad \forall i, d (d \leq T - c1_i - 1) \quad (6)$$

$$c2_i (\sum_s x_{isd} - \sum_s x_{isd-1}) \leq k(1 - \sum_s x_{isd+k}) + c2_i \cdot$$

$$\sum_s x_{isd+k} + y4_{id} \quad \forall i, d (d > 1), k (1 \leq k \leq c2_i, k \leq T - d) \quad (7.1)$$

$$c2_i (\sum_s x_{isd}) \leq k(1 - \sum_s x_{isd+k}) + c2_i \cdot \sum_s x_{isd+k} + y4_{id}$$

$$\forall i, d (d = 1), k (1 \leq k \leq c2_i, k \leq T - d) \quad (7.2)$$

$$\sum_s x_{isd} \leq y8_{id} \quad \forall i, d (P1_{id} = 1) \quad (8)$$

$$x_{ids} \leq y9_{ids} \quad \forall i, d, s (P2_{isd} = 1) \quad (9)$$

$$1 - \sum_s x_{isd} \leq y10_{id} \quad \forall i, d (P3_{id} = 1) \quad (10)$$

$$1 - x_{ids} \leq y11_{ids} \quad \forall i, d, s (P4_{isd} = 1) \quad (11)$$

$$\sum_s x_{isd} - \sum_s x_{isd+1} \leq y12_{id} \quad \forall i, d (ws_{id} = 1) \quad (12)$$

$$\sum_s x_{isd+1} - \sum_s x_{isd} \leq y12_{id} \quad \forall i, d (ws_{id} = 1) \quad (13)$$

$$\sum_s x_{isd} \cdot 3 - \sum_s \sum_{d'=d}^{d+2} x_{isd'} \leq y12_{id} \quad \forall i, d (ws_{id} = 2) \quad (14)$$

$$\sum_s x_{isd+1} \cdot 3 - \sum_s \sum_{d'=d}^{d+2} x_{isd'} \leq y12_{id} \quad \forall i, d (ws_{id} = 2) \quad (15)$$

$$\sum_s x_{isd+2} \cdot 3 - \sum_s \sum_{d'=d}^{d+2} x_{isd'} \leq y12_{id} \quad \forall i, d (ws_{id} = 2) \quad (16)$$

$$2 \cdot (\sum_s x_{isd} + \sum_s x_{isd+2}) - 4 \cdot \sum_s x_{isd+1} \leq y12_{id} \quad \forall i, d (ws_{id} = 2) \quad (17)$$

$$z_{ij} \geq \sum_s x_{isd} \quad \forall i, d (w_{id} = j), j \quad (18)$$

$$z_{ij} \leq \sum_s \sum_{d(w_{id}=j)} x_{isd} \quad \forall i, j \quad (19)$$

$$y5_i \geq \sum_j z_{ij} - w1_i \quad \forall I \quad (20)$$

$$\sum_{j=j}^{j+w2_i} z_{ij} \leq y6_{ij} + w2_i \quad \forall i, j (j \leq T - w2_i - 1) \quad (21)$$

$$w3_i (z_{ij} - z_{ij-1}) \leq k(1 - z_{ij+k}) + w3_i \cdot z_{ij+k} + y7_{ij} \quad \forall i, j (j > 1), k (1 \leq k \leq w3_i, k \leq J - j) \quad (22.1)$$

$$w3_i (z_{ij}) \leq k(1 - z_{ij+k}) + w3_i \cdot z_{ij+k} + y7_{ij} \quad \forall i, j (j = 1), k (1 \leq k \leq w3_i, k \leq J - j) \quad (22.2)$$

$$\sum_{d=d}^{d+cf1_i} (1 - \sum_s x_{isd'}) \leq y14_{id} + cf1_i \quad \forall i, d (d \leq T - cf1_i - 1) \quad (23)$$

$$\begin{aligned} & cf2_i (1 - \sum_s x_{isd} - (1 - \sum_s x_{isd-1})) \leq k \\ & \times (1 - (1 - \sum_s x_{isd+k})) + cf2_i (1 - \sum_s x_{isd+k}) + y15_{id} \quad \forall i, d (d > 1), k (1 \leq k \leq cf2_i, k \leq T - d) \quad (24.1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & cf2_i (1 - \sum_s x_{isd}) \leq k \cdot (1 - (1 - \sum_s x_{isd+k})) + cf2_i \\ & (1 - \sum_s x_{isd+k}) + y15_{id} \quad \forall i, d (d = 1), k (1 \leq k \leq cf2_i, k \leq T - d) \quad (24.2) \end{aligned}$$

$$x_{isd} - x_{isd+1} \leq y13_{isd} \quad \forall i, d, s (ws_{id} = 1) \quad (25)$$

$$x_{isd+1} - x_{isd} \leq y13_{isd} \quad \forall i, d, s (ws_{id} = 1) \quad (26)$$

$$x_{isd} \cdot 3 - \sum_{d'=d}^{d+2} x_{isd'} \leq y13_{isd} \quad \forall i, s, d (ws_{id} = 2) \quad (27)$$

$$x_{isd+1} \cdot 3 - \sum_{d'=d}^{d+2} x_{isd'} \leq y13_{isd} \quad \forall i, s, d (ws_{id} = 2) \quad (28)$$

$$x_{isd+2} \cdot 3 - \sum_{d'=d}^{d+2} x_{isd'} \leq y13_{isd} \quad \forall i, s, d (ws_{id} = 2) \quad (29)$$

$$\sum_{rs(i,s)=0} x_{isd} \leq y19_{id} \quad \forall i, d \quad (30)$$

$$x_{iLd} + x_{iDl+1} \leq y16_{id} + 1 \quad \forall i, d \quad (31)$$

$$x_{iDl} + x_{iEl+1} + x_{iDl+2} \leq y17_{id} + 2 \quad \forall i, d \quad (32)$$

$$(1 - \sum_s x_{isd}) + \sum_s x_{isd+1} \leq y18_{id} + 1 \quad \forall i, d (d = \text{Friday}) \quad (33.1)$$

$$(1 - \sum_s x_{isd}) + \sum_s x_{isd+2} \leq y18_{id} \quad \forall i, d (d = \text{Friday}) \quad (33.2)$$

$$x_{iLd} + x_{iE1+1} \leq y_{21_{id}} + 1 \quad \forall i, d \quad (34)$$

$$x_{iD1} + x_{iN1+1} \leq y_{22_{id}} + 1 \quad \forall i, d \quad (35)$$

$$x_{iN1} + x_{iD1+1} \leq y_{23_{id}} + 1 \quad \forall i, d \quad (36)$$

$$x_{iN1} + x_{iE1+1} \leq y_{24_{id}} + 1 \quad \forall i, d \quad (37)$$

$$x_{iLd} + x_{iD1+1} \leq y_{25_{id}} + 1 \quad \forall i, d \quad (38)$$

$$x_{iN1} + x_{iD1+1} \leq y_{26_{id}} + 1 \quad \forall i, d \quad (39)$$

$$x_{isd} z_{ij} = 0 \text{ or } 1, y_{1_i}, \dots, y_{26_{id}} = \text{integer} \quad (40)$$

제한한 NRP의 목적식은 간호사들의 인력 배치로 발생하는 비용을 최소화하는 것이다. 즉, 약한 제약식들이 간호사의 근무 규약이 되고, 위반된 약한 제약식들의 비용의 합을 최소화하는 것이 이 모형의 목적식이다. 강한 제약식은 2가지로 모든 간호사는 매일 최대 1가지의 근무 유형으로 근무할 수 있다는 조건의 식 (2)와 식 (3)의 날짜별 근무 유형별 수요를 만족하게 해야 한다는 제약이다.

약한 제약식은 식 (4)~식 (39)에 나타나 있다. 제약식 (4), 제약식 (5)는 일정 기간을 기준으로 각 간호사가 일할 수 있는 최대와 최소 날짜를 제약하는 식이다. 제약식 (6), 제약식 (7.1), 제약식 (7.2)는 연속근무일수에 관한 제약식이다. 연속 근무일에 관한 제약은 최대 근무 가능 연속 일수에 대한 제약식 (6)과, 최소 필요 연속 근무일수에 대한 제약식 (7.1), 제약식 (7.2)로 구분된다. 예를 들어 최소 연속 근무일이 3일, 최대 연속 근무일이 5일로 정의될 때, 간호사는 적어도 3일 이상을 연속으로 일해야 하고 최대한 5일까지 연속으로 일할 수 있다. 만약 간호사가 하루 또는 이틀만 근무하고 쉬게 될 경우, 최소 연속의 제약을 만족하지 못했기 때문에 비용이 발생한다. 반대로 6~7일을 일할 경우 최대 연속 근무일을 어기므로 비용이 발생한다. 식 (7.1)과 식 (7.2)는 같은 의미를 나타내는 식으로서, 식 (7.2)는 첫 번째 날에 해당하는 제약식, (7.1)은 두 번째 날 이후에 해당하는 제약식이다. 해당 식의 좌변의 첫 번째 항은 d날에 일이 시작하는지를 나타낸다. 예를 들어, d날에 일을 하고 d-1날에 일을 하지 않을 경우 해당 값은  $c_{2_i}$ 가 되지만, 그렇지 않을 경우 모두 0이 된다. 해당 식의 우변의 첫 번째 항과 두 번째 항은 간호사가 연속근무 요구일 안에 쉬는지를 나타낸다. 만약 간호사가 연속근무 요구 날짜를 달성하지 못하고 근무 시작일부터 k번째 날에 쉬게 되면 해당 값은 k가 되며, 반대로 근무를 하면  $c_{2_i}$ 가 된다. 따라서 쉬게 될 경우 해당 제약은  $y_{4_i}$ 는  $c_{2_i}$ -k보다 커야 한다는 제약이 되며, 반대의 경우에는  $y_{4_i}$ 는  $0 (= c_{2_i} - c_{2_i})$ 보다 커야 한다는 의미 없는 제약이 된다. 해당 제약식은 최소 연속 근무 요구날짜만큼 생성된다. 예를 들어, 최소 연속근무 요구일이 3일이면 첫째 날, 둘째 날, 셋째 날에 해당하는 3개의 제약이 생성된다. 그중 쉬는 날이 가장 빨리 존재하는 제약이 제일 강한 제약이 되어  $y_{4_i}$ 의 값을 결정하도록 한다. 이후의 최소연속에 관한 제약식은 식 (7.1), 식 (7.2)와 비슷한 형태를 보이고 있다. 식 (8)~식 (11)은 각 간호사가 일하기를 원하는 근무 날짜와 근무 유형, 일하기를 원치 않는 근무 날짜와 근무유형에 대한 제약식이다. 식 (12)~식 (17)은 <Table

2>의 S10에 해당하는 제약식으로 정의된 주말을 기준으로, 간호사는 주말 동안 지속해서 근무하거나 혹은 근무를 하지 않아야 한다. 주말은 간호사의 계약 조건에 따라 ‘토, 일요일’ 혹은 ‘금, 토, 일요일’로 정의된다. 만일 간호사가 토요일에 근무하고 일요일에 근무하지 않는다면 S10 제약조건을 위반하여 높은 비용이 발생한다. 식 (12), 식 (13)은 주말이 2일인 간호사에 대한 제약이며, 식 (14)~식 (17)은 주말이 3일인 간호사에 관한 제약식이다. 주말이 3일인 경우, 해당 주의 주말에 하루라도 근무했을 시 쉬는 날만큼 비용이 발생한다. 주말이 3일이라는 가정을 가진 제약식 중 식 (17)의 제약 식은 금요일에 근무, 토요일에 휴일, 그리고 일요일에 근무하는 경우를 나타낸다. 이 같은 경우는 기존의 4배에 해당하는 비용이 발생한다. 식 (18), 식 (19)는 주말 결정변수  $z_{ij}$ 를 위한 식으로, 주말에 하루라도 근무했을 경우, 해당 주의 주말에 근무했음을 나타낸다. 식 (20)은 주말 결정 변수를 활용하여 식 (4)와 같이 최대 근무일에 대한 제약을 나타낸다. 식 (21)~식 (22.2)는 주말 연속 근무에 관한 제약을 나타내며, 제약식 (23)~제약식 (24.2)는 휴일 연속근무에 관한 제약을 나타낸다. 다음의 식 (25)~식 (29)의 제약은 주말에 일한다면 같은 근무유형의 일을 해야 한다는 제약식이다. 식 (30)은 각 간호사가 가지고 있는 기술에 대한 호환성을 나타내고 있다, <Table 1>에서 간호사는 해당하는 요구기술을 가지고 있고, 이 요구기술은 두 가지로 분류된다. 만약 특정 근무유형에 요구되는 기술이 간호사일 경우, 해당 업무를 간호사와 수간호사 모두 할 수 있다. 하지만 요구 기술이 수간호사일 경우, 해당 업무를 수간호사가 기술을 가지지 않은 간호사가 수행하면 비용이 발생한다. 식 (31)~식 (39)는 간호사들이 원치 않는 근무유형의 연속성을 가지는 패턴으로 총 9가지의 패턴이 있다. 예를 들면  $y_{23_{id}}$ 의 결정 변수에 해당하는 패턴은 ND란 제약을 가지고 있다. 근무일 중 N 유형의 근무를 했다면 연속으로 오는 다음의 D 유형의 근무일을 피해야 한다는 제약이다.

#### 4. 계층적 분할기법

간호사의 수와 요구하는 간호사의 기술 및 제약조건의 종류가 많아질 경우, 문제의 복잡성이 급격히 증가한다. 이러한 복잡성을 포함하는 문제에 대해 효율적으로 해를 구하기 위해 본 논문에서는 해당 문제에 대한 계층적 분할 기법을 제시한다. 해당 문제에 대한 일반적 분할 기법으로는 근무 인력에 관한 분할과 기간에 대한 분할이 존재한다. 근무 인력(간호사)에 관한 분할은 수요 만족에 대한 제약과 다양한 근로조건으로 인해 가능해를 찾는 것에 어려움이 존재한다. 또한, 기간에 관한 분할은 연속근무 제약이 존재하기 때문에 효과적이지 못하다. 이에 따라 본 연구는 두 단계의 계층적 분할 기법을 사용하였다. 첫 번째 단계(Step1)에서는 근무유형을 고려하지 않고 날짜마다 각 간호사에게 작업 일을 할당해 준다. 날짜별 근무유형별 수요 만족에 대한 강한 제약은 날짜별 수요 만족에 대한 제약

으로 변경된다. 또한, 약한 제약조건의 경우 근무유형별 제약이 포함되지 않은 제약만 첫 번째 단계에 포함된다. 두 번째 단계(Step2)에서는 첫 번째 단계에서 할당된 작업의 일에 근무유형 요구량을 할당해 주는 것이다. 두 번째 단계에서는 근무유형에 관한 제약조건만을 선택해 모형화하여 비용함수를 만들었다. <Figure 2>에서는 이러한 실험을 그림으로 나타내고 있다. 첫 번째 단계와 두 번째 단계는 비용에서 개별성을 유지하기 때문에 각각 발생하는 두 비용을 합친 것이 본 문제에 대한 최종 목적값이 된다.

4.1 근무여부 할당

첫 번째 단계에서는 근무유형을 고려하지 않고 날마다 요구된 근무 수를 간호사에게 작업 일을 할당해 준다. 이에 따라 근무유형의 제약을 받지 않도록 근무유형 인덱스를 제외한 결정 변수로 모형을 구성하였다. 근무유형을 고려하지 않고 모형을 구성하면 풀이 시간을 줄일수 있기 때문에 전체 시간을 분할하지 않고 한 번에 문제를 풀 수 있다. <Table 4>는 첫 번째 단계에서 고려되는 제약조건이다.

<Table 4>는 <Table 2>의 제약조건들을 근무유형이 고려되지 않은 제약조건으로 분류하여 나타낸 것이며, S12에 해당하는 약한 제약조건은 근무패턴에 근무유형이 고려되는 경우도 있어 두 단계에 모두 포함된다. 해당 모형화를 통해 근무 여부를 할당을 목적으로 모델을 수립하였다. 첫 번째 단계에서 기존의 정수계획법 모델과의 다른 점은 근무요구의 변화이다. 근무유형을 고려하지 않기 위해 다음 <Figure 3>과 같이 요구하는 근무유형에서 총 근무량의 수로 변환하여 연구를 진행하였다.

해당 모델에 대한 인덱스 및 자료, 수식은 위의 정수계획법

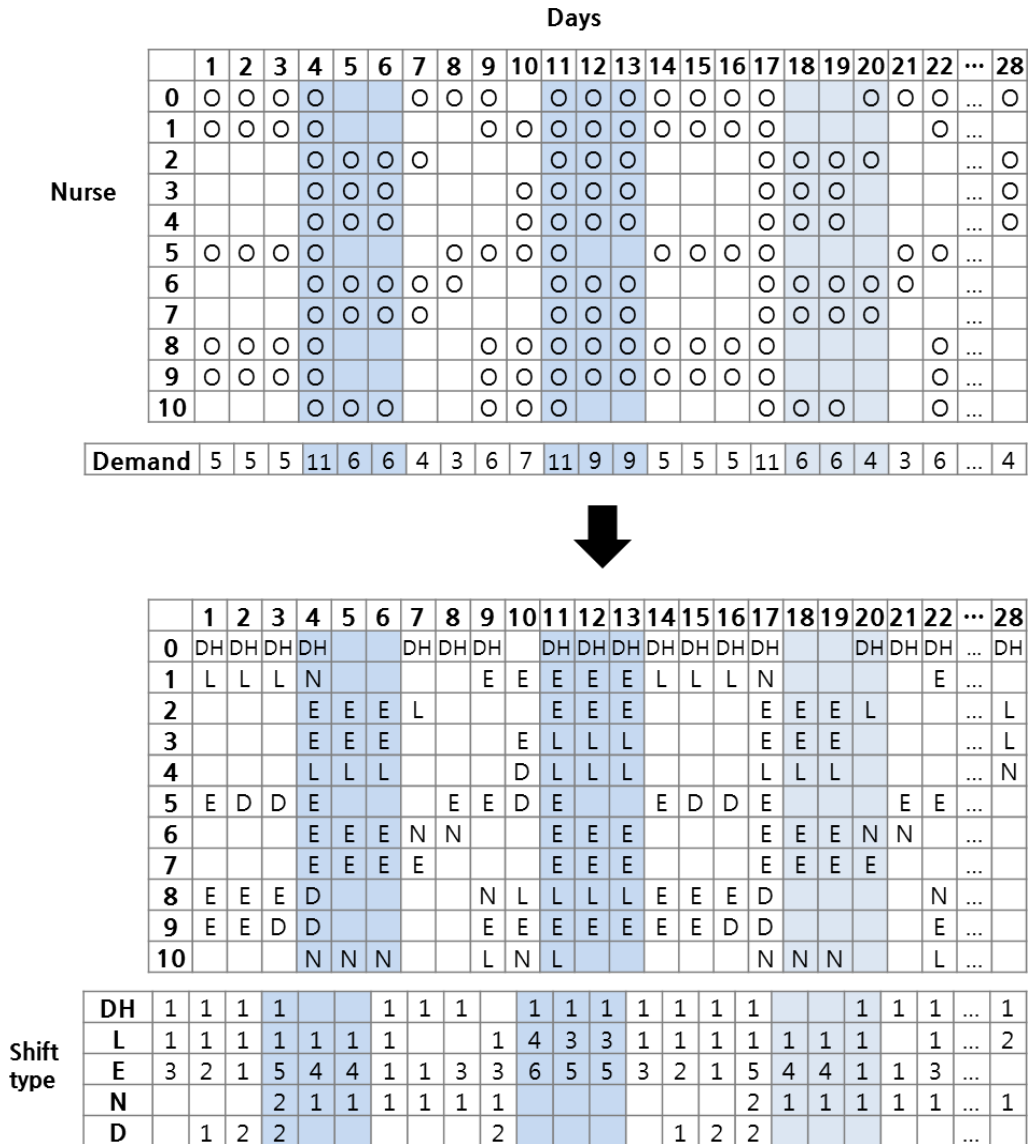


Figure 2. Step1 to step2

Table 4. Constraints in step1

• 제약조건	
H1	모든 요구된 근무 수는 간호사들에게 할당한다
H2	간호사는 하루당 한 개의 근무를 한다
S1	한 달 기간 중 최대 근무일수를 초과하지 않는다
S2	한 달 기간 중 최소 근무일수 미달하지 않는다
S3	연속 근무 최대 일수를 초과하지 않는다
S4	연속 근무 최소 일수를 미달하지 않는다
S5	연속 휴일 최대 일수를 초과하지 않는다
S6	연속 휴일 최소 일수를 미달하지 않는다
S7	연속 주말 근무 최대 일수를 초과하지 않는다
S8	주말 근무 최대 일수를 초과하지 않는다
S9	N근무유형일 다음 휴일 근무를 제한한다
S10	주말 근무자는 주말 내내 일해야 한다
S12	원하지 않는 근무패턴을 고려한다
S13	일하기를 원하거나 혹은 원하지 않는 날을 고려한다

DH	1	1	1	1			1	1	1			1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	...	1		
L	1	1	1	1	1	1	1					1	4	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	...	2
E	3	2	1	5	4	4	1	1	3	3	6	5	5	3	2	1	5	4	4	1	1	3	...				
N				2	1	1	1	1	1	1							2	1	1	1	1	1	1	...	1		
D		1	2	2						2						1	2	2							...		



Demand	5	5	5	11	6	6	4	3	6	7	11	9	9	5	5	11	6	6	4	3	6	...	4
--------	---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	-----	---

Figure 3. Changes in demand

과 같고, 변경사항은 다음과 같다.

#자료

$$demand_d : d\text{날 필요한 인원}(demand_d = \sum_s demand_{sd})$$

#결정변수

$$n_{id} : \text{간호사 } i\text{가 } d\text{날에 할당 여부}(n_{id} = \sum_s x_{isd})$$

#모델링

목적식

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_i (u1_i \cdot y1_i + u2_i \cdot y2_i + u5_{id} \cdot y5_{id}) + \sum_d \sum_i & \\ (u3_{id} \cdot y3_{id} + u4_{id} \cdot y4_{id} + u6_{id} \cdot y6_{id} + u7_{id} \cdot y7_{id} + u8_{id} \cdot & \\ y8_{id} + u10_{id} \cdot y10_{id} + u12_{id} \cdot y12_{id} + u14_{id} \cdot y14_{id} + u15_{id} \cdot & \\ y15_{id} + u18_{id} \cdot y18_{id}) & \quad (41) \end{aligned}$$

강한 제약조건

$$\sum_i n_{id} = demand_d \quad \forall d \quad (42)$$

약한 제약조건

$$(4) \sim (8), (10), (12) \sim (24), (33.1) \sim (33.2), (40)$$

식 (42)는 근무유형을 고려하지 않은 날짜별 요구 인원을 만족하게 하며, 나머지 식 (4)~식 (8), 식 (10), 식 (12)~식 (24), 식 (33.1)~식 (33.2), 식 (40)에서는  $\sum_s x_{isd}$ 가  $n_{id}$ 로 변경된다.

## 4.2 근무유형 할당

2단계에서는 각 간호사에게 요구된 근무일을 만족하게 한 후, 어떠한 근무유형을 할당해 줄 것인지 결정한다. 근무유형을 고려하는 제약만을 선택하여 모형을 구성하였다. 아래의 모형에서 제약식 (44)를 추가하여, 1단계에서 결정된 시간표에 따라 간호사들에게 어떤 근무유형을 할당할 것인지 결정한다. 근무 여부에 대한 고려 없이 근무유형에 관해서만 결정하기 때문에 빠른 시간 안에 해를 도출할 수 있다. <Table 5>는 두 번째 단계에서 고려되는 제약조건이다.

Table 5. Constraints in step2

• 제약조건	
H1	모든 요구된 근무유형은 간호사에게 할당한다
H2	간호사는 하루당 한 개의 근무유형만을 일할 수 있다
S11	주말 근무 동안 같은 근무유형을 일해야 한다
S12	원하지 않는 근무패턴을 고려한다
S14	원하는 혹은 원하지 않는 근무유형을 고려한다
S15	간호사와 수간호사의 교대근무 비용

해당 모형화를 통해 근무유형 할당을 목적으로 모델을 수립하였다. 해당 모델에 대한 인덱스 및 자료, 수식은 위의 정수계획법과 같고, 변경사항은 아래와 같다.

#모델링

목적식

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_d \sum_i (u16_{id} \cdot y16_{id} + u17_{id} \cdot y17_{id} + u19_{id} \cdot y19_{id} & \\ + u21_{id} \cdot y21_{id} + u22_{id} \cdot y22_{id} + u23_{id} \cdot y23_{id} + u24_{id} \cdot & \\ y24_{id} + u25_{id} \cdot y25_{id} + u26_{id} \cdot y26_{id}) + \sum_d \sum_s \sum_i & \\ (u9_{isd} \cdot y9_{isd} + u11_{isd} \cdot y11_{isd} + u13_{isd} \cdot y13_{isd}) & \quad (43) \end{aligned}$$

강한 제약조건

$$\sum_s x_{isd} = n_{id} \quad \forall i, d \quad (44)$$

(2)~(3)

약한 제약조건

$$(9), (11), (18) \sim (19), (25) \sim (32), (34) \sim (40)$$

식 (44)는 추가된 제약식으로 기존의  $n_{id}$ 를 바탕으로 간호사가 어떤 근무유형으로 일할지 결정하는 제약식이다. 또한, 근무유형이 고려된 식 (2), 식 (3), 식 (9), 식 (11), 식 (18)~식 (19), 식 (25)~식 (32), 식 (34)~식 (40)를 사용하였다.

## 5. 실험결과

본 연구에서는 INRC2010에서 제안한 60개의 경우를 실험자료로 사용하였다. 해당 실험 자료는 문제 크기에 따라 크게 3가지로 나눌 수 있으며, 각각 스프린트(Sprint), 미디엄(Medium),



롱(Long)으로 구분하였다. 또한, 각 문제 크기 안에서 제약의 고려 여부에 따라 얼리(early), 레이트(late), 히든(hidden) 3가지로 구분이 존재한다. 따라서 크기는 3종류 작게는 9종류로 문제가 구분된다. 본 연구에서는 제시한 휴리스틱을 ILOG사의 OPL studio6.3을 통해 구현하여 결과값을 생성하였다. 본 연구에서 다른 총 60개의 경우 중 스프린트와 미디엄 문제는 제시한 휴리스틱이 짧은 시간 내에 해답을 도출하는 반면, 롱 문제에 대해서는 첫 번째 단계인 근무 여부 할당에서 비교적 오랜 풀이시간이 발생하였다. 따라서 제안하는 해당 휴리스틱에 대하여 첫 번째 단계인 근무 여부 할당에서는 3시간의 시간제한

을 두었고, 두 번째 단계인 근무 유형 할당에서는 시간제한을 설정하지 않았다. INRC2010에서는 롱 문제에 대해 10시간의 제한 시간을 인정하였으나, 본 연구에서는 3시간으로 설정한 이유는 3시간 이후 가능해의 개선이 거의 미비했기 때문이다.

<Table 6>~<Table 8>에서는 (a)인 본 연구에서 제안한 모형을 포함하여 INRC(2010) Competition의 우승자였던 (b) C. Valouxix, C.Gogos, G.Goulas, P. Alefragis, E.Housos;를 포함하여 (c) E.K. Burke and T.Curtois; (d) K.Nonobe; (e) Z.Lu and J.K. Hao;(f) B.bilgin, P.Demeester, M. Misir, W.Vancroonenburg, G. Vanden Berghe, T.Wauters의 연구들과의 결과값을 비교한 것이다. 가장 좋은 값은 본 연구를 포함 6개의 연구 결과 중 가장 좋은 결과값을 표기하였고, 가장 좋은 값에 도달한 연구는 체크(✓) 표시를, 그렇지 못한 연구는 비공백 값을 표기하였다.

<Table 6>은 스프린트 문제의 결과값을 나타낸다. 30개의 실험 중 30개를 모두 가장 좋은 값에 도달하였다. 다음으로 실험 결과가 좋은 (b)연구는 21개의 좋은 값을 도출하였다. <Table 6>에서 보이는 공란은 실험에 해당하는 결과를 제시하지 않았다.

**Table 6.** Result for sprint instances

Instance	Best solution	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Sprint01	56	✓	✓	✓	✓	✓	
Sprint02	58	✓	✓	✓	✓	✓	
Sprint03	51	✓	✓	✓	✓	✓	
Sprint04	59	✓	✓	✓		✓	✓
Sprint05	58	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sprint06	54	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sprint07	56	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sprint08	56	✓	✓	✓	✓	✓	
Sprint09	55	✓	✓	✓	✓	✓	
Sprint10	52	✓	✓	✓	✓	✓	
Sprint_late01	37	✓	✓			✓	
Sprint_late02	42	✓	✓			✓	
Sprint_late03	48	✓	✓	✓		✓	
Sprint_late04	73	✓	76			75	
Sprint_late05	44	✓	✓			✓	
Sprint_late06	42	✓	✓	✓	✓	✓	
Sprint_late07	42	✓	43			✓	
Sprint_late08	17	✓	✓	✓	✓	✓	
Sprint_late09	17	✓	✓	✓	✓	✓	
Sprint_late10	43	✓	44			✓	
Sprint_hidden01	32	✓	33	33			
Sprint_hidden02	32	✓	33	✓			✓
Sprint_hidden03	62	✓	✓	✓			
Sprint_hidden04	66	✓	67	67			
Sprint_hidden05	59	✓	60				✓
Sprint_hidden06	130	✓	139	134			
Sprint_hidden07	153	✓	✓				
Sprint_hidden08	204	✓	220	209			
Sprint_hidden09	338	✓	✓				
Sprint_hidden10	306	✓	✓				

**Table 7.** Result for medium instances

Instance	Best solution	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
medium01	240	✓	✓	✓			✓
medium02	240	✓	✓	✓	✓		
medium03	236	✓	✓	✓	✓		
medium04	237	✓	✓	✓			
medium05	303	✓	✓	✓			
medium_late01	157	✓	159	158			
medium_late02	18	✓	20	✓			
medium_late03	29	✓	30	✓			
medium_late04	35	✓	36	✓			
medium_late05	107	108	113	✓			
medium_hidden01	127	✓	131			130	
medium_hidden02	221	226	✓				
medium_hidden03	36	✓	38			✓	
medium_hidden04	81	83	✓				
medium_hidden05	124	125	✓				

<Table 7>은 미디엄 문제에 대한 결과값을 보여준다. 본 연구인 (a)는 15개의 실험 중 11개의 가장 좋은 값을 도출하였다. 다음으로 우수한 결과를 보여주는 연구는 (c)로 9개의 좋은 값을 생산하였다.

<Table 8>은 롱 문제에 대한 결과값을 보여준다. 본 연구인 (a)는 15개의 실험 중 7개의 가장 좋은 값을 도출하였다. 본 결과값에서 가장 우수한 연구는 (c)로 9개의 좋은 값을 생성하였다. 다음 <Table 9>에서는 총 60개의 문제 중 가장 좋은 값에 도달한 성취도를 나타내준다.

Table 8. Result for long instances

Instance	Best solution	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
long01	197	✓	✓	✓	✓	✓	
long02	219	✓	✓	✓			
long03	240	✓	✓	✓	✓	✓	
long04	303	304	✓	✓	✓	✓	
long05	284	285	✓	✓	✓	✓	
long_late01	235	238	239	✓			
long_late02	229	234	231	✓			
long_late03	220	222	222	✓			
long_late04	221	223	228	✓			
long_late05	83	84	✓	✓			
long_hidden01	351	✓	363				
long_hidden02	90	✓	106		✓		
long_hidden03	38	✓	✓				
long_hidden04	22	✓	✓				
long_hidden05	41	43	✓				

Table 9. Comparison of Results

	(a)(%)	(b)(%)	(c)(%)	(d)(%)	(e)(%)	(f)(%)
Sprint	100.0	70.0	53.3	40.0	63.3	20.0
Medium	73.3	53.3	60.0	20.0	6.7	0.0
long	46.6	60	66.7	33.3	26.7	0.0
총	48/60	38/60	35/60	20/60	24/60	6/60

INRC2010는 제시한 문제에 대하여 가장 많이 최고값을 제시하는 연구를 우수한 모형으로 선정하였다. 따라서 본 연구에서도 최고값 제시 달성률 바탕으로 기존의 연구와 본 연구의 모형을 비교하였다. 본 연구인 (a)는 스프린트 문제에서 기존의 논문의 결과값과 비교하여 30개의 문제 중 30개의 경우에서 같거나 혹은 더 좋은 결과값을 도출하였다. 미디엄 문제에서는 총 15개의 경우 중 11개의 경우에서 같거나 혹은 더 좋은 결과값을 가지며, 기존 논문에 비하여 73.3%의 높은 최고값 성취도를 달성하였다. 롱 문제에 관하여는 (b)와 (c) 연구가 본 연구인 (a)의 성취도인 46.6% 비하여 상대적으로 더 좋은 값을 도출하였다. 하지만 본 연구는 총 60개의 실험 중 기존 논문에서 제시한 결과값보다 개선된 값을 포함하여 48개의 결과값을 가장 좋은 값으로 도출하며 <Table 9>에서 보이는 것처럼 가장 좋은 성취도를 달성하였다.

### 5. 결론

본 연구에서는 자원 할당 문제의 한 종류인 간호사 로스터링 문제에 대해 현장의 다양한 제약을 반영한 최적화 모형을 제

시하였고, 효율적인 해법을 위해 직관적인 계층적 분할 기법을 개발하였다. 분할 기법은 2단계로 진행되는데, 첫 번째 단계에서는 근무유형을 고려하지 않고 날마다 각 간호사에게 요구된 근무일을 만족하게 하고, 두 번째 단계에서는 근무일에 근무유형을 할당시킨다. 복잡한 메타 휴리스틱 기법과 수리계획법을 이용한 기존 연구보다 제안한 모형은 실용성이 높으며, 우수한 결과를 도출할 것으로 기대된다. 본 연구는 INRC2010에서 제안한 60개의 경우에 대해 결과값을 생성하였다. 스프린트 실험은 아주 빠른 시간 내에 최적 값에 도달함을 보였고, 30개의 실험 전부 가장 좋은 값을 생성했다. 상대적으로 문제의 크기가 큰 미디엄과 롱 실험에서도 다른 연구에 비해 우수한 결과를 보였으며, 총 60개의 실험 중 가장 많은 좋은 값을 찾았다. 추후 연구로는 더 좋은 목적값을 위해서 문제의 크기에 따라 최적화된 분할 기법을 적용하거나, 또는 문제의 크기를 감소시키는 하위문제단계를 생성하는 모형을 연구하고자 한다.

### 참고문헌

Bilgin, B., Demeester, P., Mısır, M., Vancroonenburg, W., Berghe, G. V., and Wauters, T. (2010), A hyper-heuristic combined with a greedy shuffle approach to the nurse rostering competition, *the 8th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*.

Burke, E. K., De Causmaecker, P., and Berghe, G. V. (1999), A hybrid tabu search algorithm for the nurse rostering problem, *Simulated Evolution and Learning, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, **1585**, 187-194.

Burke, E. K., Cowling, P., De Causmaecker, P., and Berghe, G. V. (2001a), A memetic approach to the nurse rostering problem, *Applied Intelligence*, **15**(3), 199-214.

Burke, E. and Curtois, T. (2010), An ejection chain method and a branch and price algorithm applied to the instances of the first international nurse rostering competition, 2010, *Proceedings of the 8th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling PATAT*, **10**, 13

Burke, E. K., Curtois, T., Qu, R., and Berghe, G. V. (2010a), A scatter search methodology for the nurse rostering problem, *Journal of the Operational Research Society*, **61**, 1667-1679.

Burke, E., Li, J., and Qu, R. (2010b), A hybrid model of integer programming and variable neighbourhood search for highly-constrained nurse rostering problems, *European Journal of Operational Research*, **203** (2), 484-493.

Causmaker, P. De, Vanden, G., and Erghe, B. (2011), A Categorization of Nurse Rostering Problem, *Journal of Scheduling*, **14**, 3-16.

Cheng, B. M. W., Lee, J. H. M., and Wu, J. C. K. (1997), A nurse rostering system using constraint programming and redundant modeling, *IEEE Transactions of Information Technology in Biomedicine*, **1**(1), 44-54.

Dowland, K. A. (1998), Nurse scheduling with tabu search and strategic oscillation, *European Journal of Operational Research*, **106**(2/3), 393-407.

Dowland, K. A. and Thompson, J. M. (2000), Solving a nurse scheduling problem with knapsacks, networks and tabu search, *Journal of the Operational Research Society*, **51**, 825-833.

- Glass, C. A. and Knight, R. A. (2010), The nurse rostering problem : A critical appraisal of the problem structure, *European Journal of Operational Research*, **202**(2), 379-389.
- 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*, **37**(4), 139-151.
- Millar, H. H. and Kiragu, M. (1998), Cyclic and non-cyclic scheduling of 12th shift nurses by network programming, *European Journal of Operational Research*, **104**(3), 582-592.
- Maenhout, B. and Vanhoucke, M. (2010), Branching strategies in a branch and price approach for a multiple objective nurse scheduling problem, *Journal of Scheduling*, **13**(1), 77-93.
- Sim, S., Choi, J., Kim, B., Oh, J., Kim, S., Park, Y., Park, I., Chung, T., Oh, K., Jeong, B., and Lee, Y. H. (2012), Healthcare Process Pattern Analysis with Triage in the Emergency Department, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, **37**(4), 111-124.
- Thornton, J. and Sattar A. (1997), Nurse rostering and integer programming revisited, *International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications*, 49-58.
- Valouxis, C. and Housos, E. (2000), Hybrid optimization techniques for the workshift and rest assignment of nursing personnel, *Artificial Intelligence in Medicine*, **20**(2), 155-175.
- Valouxis, C., Gogos, C., Goulas, G., Alefragis, P., and Housos, E. (2012), A systematic two phase approach for the nurse rostering problem, *European Journal of Operational Research*, **219**(2), 425-433.
- Warner, D. M. and Prawda, J. (1972), A mathematical programming model for scheduling nursing personnel in a hospital, *Management Science*, **19**(4), 411-422.