

우편집중국 소포구분 작업장 인력계획 수립모형

박철순* · 배성문** · 차병철*** · 차춘남**†

*창원대학교 산업시스템공학과
**경상대학교 산업시스템공학부/공학연구원
***한국전자통신연구원 우정기술연구센터

Workforce Planning Model for the Parcel Sorting Area in a Mail Processing Center

Chul-soon Park* · Sungmoon Bae** · Byung-Chul Cha*** · Chun Nam Cha**†

*Dept. of Industrial and Systems Engineering, Changwon National University
**Dept. of Industrial and Systems Engineering, Gyeongsang National University
***Postal Technology Research Center, ETRI

Processing mail objects in a mail processing center involves several steps and operations, in particular dispatching as well as sorting by destination. The purpose of this paper is to present a model for the part-time worker staffing and allocation problem as it arises at the parcel sorting area in a mail processing center. The problem is formulated as a mixed integer linear program model to minimize the variable part-time workforce related cost. Not only the characteristics of the sorting operations but also the dispatching requirements of the vehicles are reflected into the model. Six example problems with three different daily amounts of arriving mail are solved with LINGO to demonstrate the effectiveness of the 7-level induction option for the parcel sorting machine over the current 3-level one. The results indicate that measurable savings can be achieved by departing from current practice.

Keywords : Workforce Planning, Parcel Sorting Operation, Mixed Integer Program

1. 서론

우편집중국(이하 집중국)은 자동화된 우편물 구분기계와 물류설비를 구비하고 관할하는 권역에서 수집 혹은 배달되는 우편물을 배달지 주소에 따라서 구분하여 운송하는 역할을 수행한다. 집중국의 우편물 처리에 있어서 가장 중요한 특징 혹은 제약사항은 타집중국 혹은 수용국의 작업일정을 고려하여 설정된 차량의 운행 스

케줄에 맞추기 위해 제한된 작업시간 내에 처리를 완료해야 하는 시한성 작업이라는 점이다[2].

또한 우편사업은 총비용에서 인건비가 차지하는 비중이 60%~70%에 달할 정도로 노동집약도가 높은 산업이다[3]. 이런 이유로 집중국에서는 기간별로 변동성이 큰 우편물량을 정해진 시한 내에 처리하고 인건비를 절감하기 위해서 정원이 정해진 정규직 전일제(full-time) 작업자 이외에도 다양한 형태의 파트타임(part-time) 근무조를 편성하여

논문접수일 : 2009년 07월 29일 논문수정일 : 2009년 08월 30일 게재확정일 : 2009년 09월 14일

† 교신저자 cncha@gnu.ac.kr

※ 이 연구는 2008년도 경상대학교연구년제연구교수 연구지원비에 의하여 수행되었음.

탄력적으로 운용하고 있다. 그러나 국내의 경우 아직까지 담당자의 경험이나 직관에 의존하여 운영계획과 인력계획을 수립하고 있다. 집중국의 인력계획 수립을 지원하기 위한 기존의 연구로는 다음과 같은 것들이 있다.

미국의 USPS(united states postal service)에서는 자동화된 구분기계의 운영과 기술상의 제약을 고려하여 최적 운영계획을 수립하기 위한 ESO(equipment optimization system)[9] 및 ESO의 산출결과를 이용하여 정규직 작업자의 인력수급 계획을 수립하는 SOS(scheduling optimization system)[5]와 같은 의사결정지원 시스템을 구축하여 집중국 운영의 효율화 및 비용절감을 실현하고 있다. Bard 외 2인[5]는 USPS를 대상으로 1주일의 계획기간 동안 각 기간별로 필요한 인력이 주어졌을 때, 휴일과 휴식시간에 관한 제약을 만족하면서 총인건비를 최소화하는 작업자의 수를 결정하는 대규모 정수계획법 모형을 개발하였다. 그리고 Qi와 Bard[8]은 USPS의 우편물 취급 작업에 필요한 인력의 규모를 추정하기 위한 모의실험 모형을 개발하고 이를 ESO 및 SOS와 통합하는 방안을 제안하였다.

Judice 외 2인[6]은 포르투갈 집중국의 등기통상 우편물을 대상으로 로트크기 결정 문제와 유사한 형태의 혼합정수계획법 모형을 이용하여 인건비를 최소화하기 위한 처리량 및 근무조별 인원을 결정하는 방법을 제안하였다. 그러나 기존에 제안된 모형들은 타집중국 혹은 수용국으로 발송되는 차량의 스케줄과 물량을 고려하지 않기 때문에 집중국 우편물 처리작업의 시한적 특징을 반영하는데 한계가 있다.

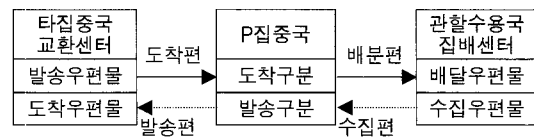
본 논문에서는 최근 택배 산업의 성장에 따라서 물량이 증가하고 있는 소포우편물을 대상으로 혼합정수계획법을 이용하여 파트타임 근무조의 편성 및 공정별 배치를 위한 최적화 모형을 개발한다. 모형에는 소포우편물 구분작업의 특징과 함께 우편물의 도착과 발송 일정을 명시적으로 반영하고자 한다. 모형의 개발에 필요한 구분작업 현황의 분석과 자료의 수집은 부산-경남지역에 소재한 P집중국을 중심으로 수행한다.

이를 위해 제 2장에서는 연구의 주요 대상인 소포우편물의 구분작업과 파트타임 근무조의 현황을 분석하고, 제 3장에서는 작업의 특성과 운송 물량을 고려하여 파트타임 근무조의 편성 및 공정별 배치를 위한 혼합정수계획법 모형을 개발한다. 제 4장에서는 세 가지의 물량 자료를 이용해서 구성된 여섯 개의 예제를 통하여 제시된 모형의 유용성을 살펴보고, 마지막으로 제 5장에서 추후의 과제를 살펴보고 결론을 맺는다.

2. 소포우편물 구분작업 현황

<그림 1>은 집중국에서 수행하는 우편물 구분작업과

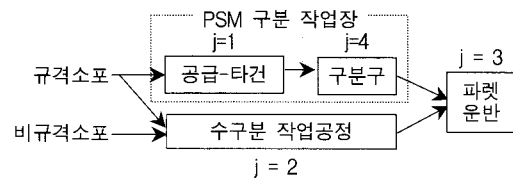
운송편의 관계를 보여주고 있다. 집중국의 구분작업은 관할 수용국에서 수집한 우편물을 배달지 관할 집중국으로 보내기 위한 발송구분과 타집중국에서 운송된 우편물의 배달을 위해 관할 집배센터별로 배분하기 위한 도착구분으로 나누어진다[4]. 도착편 혹은 수집편 차량으로 집중국에 도착하여 하차된 우편물은 우편물 종류별로 지정된 작업장에서 배달지역의 우편번호를 기준으로 구분된 후 송달증 작성 등의 과정을 거쳐서 각 행선지별로 지정된 시각에 출발하는 배분편 혹은 발송편 차량에 상차하여 발송되게 된다.



<그림 1> 우편물 구분작업 및 운송편

2.1 구분작업 프로세스

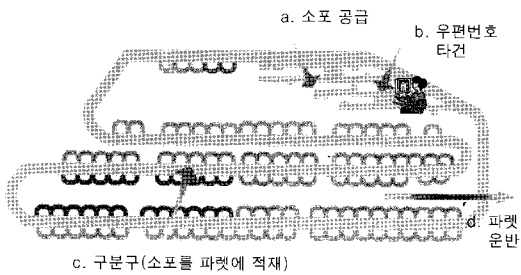
P집중국의 소포우편물 구분작업 공정은 <그림 2>와 같다. 집중국에 도착한 소포 중에서 규격 소포는 원칙적으로 PSM(parcel sorting machine)에 의한 기계구분, PSM 투입이 불가능한 비규격 소포는 수작업 구분에 의해 행선지별로 구분하여 우편물 운반용 파렛(pallet)에 적재한 후 작업자에 의해 발송장으로 운반되게 된다. 규격 소포들 중에서 일부는 PSM의 처리능력 부족 혹은 운송 스케줄 등의 사유로 수구분 작업으로 처리하는 경우도 발생하고 있다.



<그림 2> 소포 우편물의 구분작업 공정

<그림 3>은 P집중국에 설치된 Tilt-tray형 PSM 구분기의 배치와 운용 상황을 보여주고 있다. PSM은 소포를 공급하는 벨트 컨베이어와 배달지 우편번호를 타건(key-in)하는 타건식으로 구성된 4조의 투입장치(induction unit), 소포가 담긴 트레이(tray)를 운반하여 행선지별 구분구에 투하하는 폐쇄형 Tilt-tray 컨베이어, 그리고 52개(발송구분용 28개, 도착구분용 24개)의 슈트(chute)형 구분구로 이루어져 있다. PSM 구분구에 배치된 작업자는 PDA(personal digital assistant)를 이용하여 소포에 부착된 바코드

를 스캔하고 파렛에 적재한다. 적재가 완료된 파렛은 상자 및 발송을 위해 집중국 외부의 발송장으로 운반된다.



<그림 3> PSM 구분기의 배치 및 운용

PSM의 실제적인 처리능력은 컨베이어 속력 등 설비의 사양뿐만 아니라 시간당 투입물량에 따라서 결정된다. 즉, 총 4조의 투입장치 중에서 실제로 작업자를 배치하여 운용하는 타건석과 컨베이어에 소포를 공급하는 작업자의 수에 따라서 단위 시간 동안 PSM이 처리할 수 있는 물량이 달라진다. 본 논문에서는 PSM의 공급인력과 타건석의 수를 조합(<표 1>의 m_k)하여 투입유형(k)으로 정의하였다. <표 1>은 PSM의 투입유형별 처리능력(q_k)과 52개 구분구의 적재작업을 수행하기 위한 최소인력을 보여주고 있다. 총 7개의 투입유형들 중에서 P집중국에서 평시에 실제로 활용하고 있는 것은 2개 혹은 4개의 타건석을 가동하는 $k = 1, 2, 3$ 유형이고, 나머지 4개의 유형은 PSM의 타건석을 1개 혹은 3개 가동하는 것도 가능하다는 사실을 반영하여 본 논문에서 추가로 고려하는 대안들이다.

작업자 한 명이 PSM 구분구에서 PDA 스캔과 적재작업을 수행하는 처리능력(p_4)는 300통/hr, 파렛운반 작업의 처리능력(p_3)는 1,800통/hr이다. 비규격 소포의 수구분 작업에는 전용 벨트 컨베이어가 사용되며, 작업자 한 명의 처리능력(p_2)는 86통/hr이지만 컨베이어의 최대 처리능력(u_2)는 602통/hr으로 제한되어 있다. 또한 협소한 작업장의 여건상 발송장으로 운반하지 않고 대기할 수 있는 소포의 수량(u_3)은 3,000통으로 제한된다.

<표 1> PSM 투입유형별 처리능력 및 인력

k	1	2	3	4	5	6	7
q_k	1700	4000	4400	850	1000	2550	3000
m_k	(2, 2)	(8, 4)	(10, 4)	(1, 1)	(2, 1)	(3, 3)	(6, 3)
s_k	6	13	13	4	4	6	8

m_k : (공급인력, 타건인력), s_k : 구분구 최소인력.

2.2 파트타임 근무조 현황

<그림 4>는 P집중국의 표준 작업 스케줄을 보여주고 있다. 13:00~16:00에는 오전에 타집중국에서 도착한 우편물을 배분 2호편에 운송하기 위한 도착구분을 수행한다. 이후 16:00~23:00동안은 수용국에서 수집된 우편물을 타집중국별로 발송구분하는 작업을 수행하고, 23:30부터 익일 09:00까지는 오후에 도착한 타집중국의 우편물을 배분 1호편에 연결하기 위한 도착구분 작업을 수행한다.



<그림 4> 구분작업 및 운송 스케줄

P집중국에서는 총 5개의 시간급제 비정규직 근무조를 운용하고 있다(<표 2>의 1~5). <표 2>에 표시된 인원은 평시의 각 근무조별 편성 인원을 의미하며, 이는 우편물량의 증감에 따라서 탄력적으로 조정되게 된다[1]. 근무유형 6과 7의 정규직 지원조는 추석, 설날 등과 같이 우편물량이 급증하여 비정규직 근무조 만으로 모든 작업을 완료할 수 없을 때 한시적으로 작업을 지원하는 기술사무직 인력을 의미한다. 본 논문에서는 유형 6과 7의 지원조 인원도 계획수립의 대상에 포함시키고 있다. 지원조는 <표 3>에 제시된 계획기간 중에서 비정규직의 근무시간이 아니면서 기술사무직이 근무하는 기간에 해당하는 기간 1과 기간 2 각각에 대하여 필요한 지원인력의 수를 결정하기 위해서 지원 1과 지원 2로 구분하여 표시하였다.

<표 2> 파트타임 근무조 현황

근무조 유형	근무시간	인원	임금 (원/일)	
비정규직	1. 중근	16:00~20:00	19	19,040
	2. 석근 1	18:00~22:00	5	23,800
	3. 석근 2	19:00~23:00	6	26,180
	4. 심야	23:30~03:30	11	28,560
	5. 조근	04:00~07:00	19	19,040
정규직	6. 지원 1	13:00~15:00		25,000
	7. 지원 2	15:00~16:00		12,500

3. 인력계획 수립 모형

제 3장에서는 앞서 기술한 P집중국 소포우편물 구분작업의 특징과 도착 및 운송물량의 시간대별 분포를 반영하여 <표 2>의 각 근무조별 인원 편성과 공정별 배치를 최적으로 결정하기 위한 혼합정수계획법 모형을 개발한다. 최적화 모형의 수립에 사용되는 주요 가정은 다음과 같다.

- (1) 작업자는 근무조에 관계없이 각 기간별로 필요한 공정에 배치될 수 있다.
- (2) 정규직과 공익요원 등 구분작업을 수행하는 고정 인력은 미리 결정되어 있다.
- (3) 한 기간 동안에 PSM의 투입유형은 동일하다.
- (4) PSM의 구분구에는 재고가 허용되지 않으며 투입된 소포는 전량 파렛에 적재해야 한다.
- (5) 도착한 소포들 중에서 당일에 처리하지 못한 소포는 익일 작업시간으로 이월하여 처리한다.

최적화 모형에 사용되는 기호는 다음과 같다.

<입력자료>

- i : 파트타임 근무조, $i = 1, 2, \dots, I(=7)$
- j : 소포구분 작업공정, $j = 1, 2, 3, 4$
(1 : 공급-타건, 2 : 수구분, 3 : 파렛운반, 4 : 구분구)
- k : PSM 투입유형, $k = 1, 2, \dots, K(=3 \text{ or } 7)$
- t : 계획대상 작업기간, $t = 1, 2, \dots, T(=11)$
- c_i : 파트타임 근무조 i 의 임금(원/인일)
- a_{it} : t 가 근무조 i 의 작업시간이면, 1 그렇지 않으면, 0
- l_t : 계획기간 t 의 작업시간(hr)
- t_1 : 발송편 차량 운행시작 시간(= 5)
- t_2 : 발송편 차량 운행종료 시간(= 9)
- t_3 : 배분1편 차량 운행 시간(= 11)
- t_4 : 배분2편 차량 운행 시간(= 2)
- t_5 : 발송구분작업 시작 시간(= 3)
- t_6 : 도착구분작업 시작 시간(= 8)
- w_t : 계획기간 t 의 고정 작업인력(명)
- g_t : t 기간 수용국 수집분 도착 물량(통)
- h_t : t 기간 타집중국에서 도착한 물량(통)
- r_{jt} : t 기 도착 중 공정 j 물량 비율(%), $j = 1, 2$
- d_{jt} : t 기간 공정 j 의 도착물량(통), $j = 1, 2$
 $d_{jt} = r_{jt}(g_t + h_t)$, PSM($j = 1$), 수구분($j = 2$)
- o_t : t 기에 타집중국으로 발송되는 파렛 수(개)
- p_j : 공정 j 의 단위시간 당 처리능력(통/hr)

- q_k : PSM 투입유형 k 의 처리능력(통/hr)
- m_k : PSM 투입유형 k 의 공급 및 타건인력(명)
- s_k : PSM 투입유형 k 의 최소 구분구 인력(명)
- u_2 : 수구분 공정의 최대 능력(= 602통/hr)
- u_3 : 파렛운반 대기 물량의 상한(= 3,000통)
- u_6 : 지원 1조 정규직 인원의 상한(= 48명)
- u_7 : 지원 2조 정규직 인원의 상한(= 48명)
- u_{jt} : t 기말작업공정 j 의 재고의 상한(통)
- z_t : t 기말 누적 파렛운반 물량의 하한(통)

<결정변수>

- X_i : 파트타임 근무조 i 의 편성인원(명)
- M_{kt} : t 기간 동안 PSM 투입유형이 k 이면, 1 그렇지 않으면, 0
- Y_{jt} : t 기간 공정 j 의 배치인원(명), $j = 2, 3, 4$
- Z_{jt} : 기간 공정 j 의 처리물량(통), $j = 1, 2, 3$
- I_{jt} : t 기말 공정 j 의 재고(통), $j = 1, 2, 3$
- J_t : t 기 규격소포 중 수구분 처리 물량(통), $\forall t$

3.1 공정별 재고의 상한 및 처리량의 하한

PSM 및 수구분 작업과 파렛운반 공정의 작업계획은 발송편과 배분편 차량의 운송 스케줄 및 공정의 처리능력을 고려하여 수립되어야 한다. 그러나 구분작업이 완료되기 전에는 각 우편차량의 행선지별 물량을 파악하기 어렵기 때문에 모형에 개별 차량의 운송 스케줄과 물량을 정확히 반영하기는 어려운 것이 사실이다. 본 논문에서는 각 기간별로 발송편 차량들에 적재할 수 있는 물량(파렛수)의 분포를 이용하여 공정별로 허용 가능한 재고의 최대치와 파렛운반 물량의 최소치에 관한 제약조건을 도출하였다.

3.1.1 공정별 최대 재고량(u_{jt})

집중국에서 발송구분 작업이 완료된 우편물을 타집중국으로 발송하게 되는 $t \geq t_1$ 기간 말에 PSM 및 수구분 공정에는 가능하면 $(t + 1)$ 기간 이후에 출발하는 우편차량에 적재가 가능한 수량 이하의 재고를 유지해야 각 기간별 차량의 적재용량과 발송물량 간의 평준화를 이룰 수 있다.

식 (1-1)의 g_t^j 를 t 기간까지 수집편으로 도착되어 공정 j 에서 발송구분해야 하는 물량이라고 하자. 그러면 식 (1-2)는 t 기간 말에 공정 j 의 발송물량의 평준화를 위해 허용할 수 있는 발송구분작업 재고의 상한치라고 말할 수 있다.

$$g_t^j = \sum_{p=1}^t r_{jp} g_p \tag{1-1}$$

$$I_{jt}^g = g_t^j \times \sum_{p=t+1}^{t_2} o_p / \sum_{p=t_1}^{t_2} o_p \quad (1-2)$$

배달우편물을 수용국으로 운송하는 배분편 차량은 여러 기간에 걸쳐서 출발하는 발송편과 달리 특정 기간(1호편은 t_3 , 2호편은 t_4)에 출발하게 된다. 따라서 도착구분 작업의 재고는 차량의 적재용량을 이용한 평균화를 추구하기 어렵다. 본 논문에서는 원칙적으로 t_6 에 시작되는 도착구분작업 시간대 중에서 남아있는 작업가능 시간의 비율을 이용하여 재고의 상한치를 추정하였다.

식 (2-1)의 h_t^j 를 배분 1호편에 운송할 우편물이 타집 중국으로부터 도착하기 시작하는 (t_4+1)부터 $t \geq t_1$ 기간까지 공정 j 의 도착구분 물량이라고 하면, 식 (2-2)는 작업부하의 평균화를 위해 허용할 수 있는 도착구분 재고의 상한치라고 말할 수 있다.

$$h_t^j = \sum_{p=t_4+1}^t r_{jp} h_p \quad (2-1)$$

$$I_{jt}^h = h_t^j \times \min \left(\sum_{p=t+1}^{t_3} l_p / \sum_{p=t_6}^{t_3} l_p, 1.0 \right) \quad (2-2)$$

따라서 $t \geq t_1$ 에 발송편의 운송물량 혹은 구분작업 부하의 평균화를 위해서 PSM 구분과 수구분 공정의 재고는 ($I_{jt}^g + I_{jt}^h$) 이하가 되어야 한다.

그러나 구분 공정의 처리대상 물량이 보유능력을 초과하는 경우에는 앞서 기술한 것보다 많은 물량을 차기로 이월할 수밖에 없게 된다. 이러한 상황을 모형에 반영하기 위해서 p_{jt}^{\max} 를 기간 t 에 충분한 인력이 배치되는 경우 공정 j 의 최대 시간당 처리능력이라고 정의하자. PSM 구분공정의 p_{1t}^{\max} 는 $\sum a_{ti} > 0$ 인 기간의 경우에는 $\max(q_k)$ 로, 그렇지 않은 기간에 대해서는 ($m_k + s_k$)가 w_t 를 초과하지 않는 q_k 의 최대값으로 정의할 수 있다. 또한 수구분 작업공정의 p_{2t}^{\max} 는 전용 컨베이어의 시간당 처리능력인 u_2 와 같다. 식 (3)의 I_{jt}^c 는 처리대상 물량의 누적치가 보유능력보다 큰 경우에 불가피하게 이월할 수밖에 없는 재고량을 의미한다.

$$I_{jt}^c = \sum_{p=t_5}^t d_{jp} - \sum_{p=t_5}^t p_{jp}^{\max} l_p \quad (3)$$

따라서 각 공정에서 $t \geq t_1$ 기간 말에 구분을 완료하지 못하고 차기로 이월하는 재고는 식 (4)와 같이 결정되는 u_{jt} 보다는 작아야 한다.

$$u_{jt} = \max(I_{jt}^g + I_{jt}^h, I_{jt}^c), j = 1, 2 \quad (4)$$

3.1.2 파렛운반 공정의 최소 처리량(z_t)

발송편 운송물량의 평균화를 위해서는 발송작업이 시작되어(t_1) 종료(t_2)될 때까지 발송장으로 운반된 우편물의 누적치가 식 (7)의 z_t 보다는 커야 한다. 여기서 z_t 는 수집우편물 중에서 t 기간까지 발송해야 하는 최소 물량으로서 해당 기간까지의 발송 대상 물량(식 (5))와 구분 완료 수량의 하한치(식 (6)) 중에서 작은 값으로 정의할 수 있다.

$$z_t^g = (g_t^1 + g_t^2) \times \sum_{p=t_1}^t o_p / \sum_{p=t_1}^{t_2} o_p \quad (5)$$

$$z_t^c = \sum_{p=t_4+1}^t (d_{1p} + d_{2p}) - (u_{1t} + u_{2t}) \quad (6)$$

$$z_t = \min(z_t^g, z_t^c) \quad (7)$$

3.2 최적 인력계획 수립 모형

소포 처리를 위한 근무조별 인원 그리고 각 공정별 배치 인원 및 처리량을 결정하기 위한 최적화 모형은 다음과 같다.

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^I c_i X_i \quad (8)$$

subject to

$$I_{1,1} - I_{1,0} - I_{1,T} + Z_{1,1} + J_1 = d_{1,1} \quad (9-1)$$

$$I_{2,1} - I_{2,0} - I_{2,T} + Z_{2,1} - J_1 = d_{2,1} \quad (9-2)$$

$$I_{1t} - I_{1(t-1)} + Z_{1t} + J_t = d_{1t}, \forall t \geq 2 \quad (9-3)$$

$$I_{2t} - I_{2(t-1)} + Z_{2t} - J_t = d_{2t}, \forall t \geq 2 \quad (9-4)$$

$$I_{3t} - I_{3(t-1)} + Z_{3t} = Z_{1t} + Z_{2t}, \forall t \quad (9-5)$$

$$\sum_{k=1}^K M_{kt} \leq 1, \forall t \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^K (m_k M_{kt}) + \sum_{j=2}^4 Y_{jt} \leq \sum_{i=1}^I (a_{ti} X_i) + w_t, \forall t \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^K s_k M_{kt} \leq Y_{4t}, \forall t \quad (12-1)$$

$$Z_{1t} / l_1 p_1 \leq Y_{4t}, \forall t \quad (12-2)$$

$$Z_{1t} \leq \sum_{k=1}^K l_t q_k M_{kt}, \forall t \quad (13-1)$$

$$Z_{2t} \leq l_1 p_2 Y_{2t}, \forall t \quad (13-2)$$

$$Z_{2t} \leq l_t u_2, \forall t \quad (13-3)$$

$$Z_{3t} \leq l_1 p_3 Y_{3t}, \forall t \quad (13-4)$$

$$I_{jt} \leq u_{jt}, j = 1, 2, t \geq t_1 \quad (14-1)$$

$$I_{3t} \leq u_3, \forall t \quad (14-2)$$

$$\sum_{p=t_5}^t Z_{3p} \geq z_t, t_1 \leq t \leq t_2 \tag{15}$$

$$X_i \leq u_i, i = 6, 7 \tag{16}$$

$$I_{1,t_4} = I_{2,t_4} = I_{3,t_4} = I_{3,t_3} = 0 \tag{17}$$

$$\forall Z_{jt}, I_{jt}, J_t \geq 0$$

$$\forall M_{kl} \in \{0, 1\}, \forall X_i \text{와 } Y_{jt} \text{는 음이 아닌 정수}$$

식 (8)은 파트타임 근무조별 인건비의 합을 최소화하기 위한 목적함수이다.

식 (9)~(16)은 모형의 제약조건으로서 식 (9-1)~(9-4)는 각각 PSM 구분 및 수구분 공정의 처리량과 재고량간의 균형 방정식이다. 여기서 첫 번째 기간의 $I_{j,T}$ 은 각 공정에서 전일의 도착구분 물량 중에서 처리능력이 부족하여 다음 날로 이월되는 물량을 반영한 것이다. 또한 J_t 는 PSM 구분 대상인 규격 소포들 중에서 수구분 공정으로 이관하여 처리하게 되는 물량을 의미한다. 식 (9-5)는 PSM 구분 혹은 수구분이 완료된 소포가 적재된 파렛의 운반 물량과 재고 간의 균형 방정식을 나타낸다.

식 (10)은 PSM 구분공정은 각 기간별로 가능한 PSM 투입유형들 중에서 최대 한 개의 유형만을 운용할 수 있음을 나타내는 제약식이다. 식 (11)은 특정 기간에 각 공정에 배치하게 되는 인원이 총 가용인력을 초과할 수 없음을 나타내는 공정별 작업자 배치에 관한 제약식이다. 식 (12-1)과 (12-2)는 각각 PSM의 투입유형별로 구분구에 배치해야 하는 인원의 최소치와 구분구별로 분류가 완료된 물량을 모두 적재하기 위해 필요한 인력의 규모를 정의하기 위한 제약식이다. PSM의 공급 및 타건작업 인력은 최적해의 투입유형에 따라서 <표 2>를 이용하여 결정할 수 있다.

식 (13-1)~(13-4)는 작업시간과 처리능력을 고려하여 결정되는 PSM 투입, 수구분 그리고 운반 공정의 최대 처리 물량에 관한 제약조건이다. 여기서 식 (13-3)은 수구분 작업공정의 처리량이 작업자의 생산성 p_2 뿐만 아니라 컨베이어의 시간당 처리능력인 u_2 에도 영향을 받음을 나타낸다.

식 (14-1)과 (15)는 각각 제 3.1절에서 우편차량의 운송 스케줄과 구분공정의 처리능력을 고려하여 결정된 공정별 재고의 최대치와 누적 파렛운반 물량의 최소치에 관한 제약식이다. 식 (14-2)는 파렛에 적재되어 운반대기 상태로 잔류할 수 있는 물량의 상한에 관한 제약을 나타낸다.

식 (16)은 각각 지원 1조와 2조에 편성하여 구분작업에 활용할 수 있는 정규직 인원의 상한에 관한 제약식이다. 본 연구에서는 P집중국의 기술과와 지원과에 근무 중인 48명의 정규직원을 지원조 편성이 가능한 인력

의 상한으로 사용하였다.

식 (17)은 도착구분이 완료된 소포를 관할 수용국으로 운송하는 배분편 차량의 운행시간에 맞추어 필요한 작업을 완료하기 위한 제약식이다. t_3 기간 동안 출발하는 배분 1호편에는 구분작업이 완료된 모든 우편물을 발송장으로 운반하여($I_{3,t_3} = 0$) 발송함으로써 수용국이 당일 최대한 많은 우편물을 배달할 수 있도록 한다. 그러나 PSM과 수구분 공정에서는 작업 대상 물량이 처리능력보다 큰 경우, 배분 2호편으로 수용국에 운송하게 되는 재고가 발생할 수 있다. 한편 배분 2호편은 t_4 기간 동안 집중국을 출발한다. 따라서 이 기간 동안에는 당일 오전에 집중국에 도착한 우편물과 전일 도착하여 배분 1호편에 운송되지 못하고 이월된 모든 우편물의 처리를 완료함으로써($I_{1,t_4} = I_{2,t_4} = I_{3,t_4} = 0$) 수용국의 배달업무가 지연되지 않도록 해야 한다.

결과적으로 본 연구에서 제시하는 인력계획 및 공정별 배치 모형은 $7T$ 개의 비음인 실수형 변수, KT 개의 (0, 1) 이진 변수 및 $(I + 3T)$ 개의 비음인 정수형 변수 그리고 $(13T + t_2 - 2t_1 + 8)$ 개의 제약식으로 구성되는 혼합정수계획 모형이다.

4. 모형의 실행 예제

제 4절에서는 3가지의 물량 자료를 이용한 6개 예제의 최적해를 구하여 비교함으로써 본 연구에서 제시한 근무조 편성 및 공정별 배치를 위한 혼합정수계획 모형의 효과와 유용성을 살펴본다.

<표 3>은 예제에서 사용하고 있는 각 기간별 고정인력의 수, 발송편에 적재되는 파렛의 분포 및 근무조별 작업시간을 보여주고 있다. 예제에서는 <그림 4>의 작업 일정과 <표 2>의 조별 근무시간 그리고 시간별 고정 작업인력(w_t)의 변화를 반영할 수 있도록 13 : 00부터 익일 09 : 00까지를 11개의 시간대로 나누어 계획기간을 설정하였다. 여기서 비정규직 파트타임어의 근무시간 이전인 13 : 00~16 : 00구간은 P집중국의 소포구분작업 고정인력이 16명에서 15명으로 변하게 되는 15 : 00를 기준으로 기간 1과 2로 구분하였다.

P집중국에서 하루에 처리해야 하는 소포의 물량자료는 주간 평균물량(P1 ; 50,200 통), 주중 최대물량(P2 ; 64,000 통) 그리고 연중 최대물량(P3 ; 83,000 통) 등 세 가지(<표 4> 및 <표 5> 참조)를 고려하며 각각의 물량에 대해서 PSM 투입유형(<표 1> 참조)이 $K = 3$ 으로서 3-단계인 경우(a)와 $K = 7$ 로서 7-단계인 경우(b)로 나누어 총 6개의 문제를 구성하였다. 예제에서 시간대별 도착물량의 분포

<표 3> 고정인력, 발송파렛 및 조별 작업시간

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
시작 시각	09 : 00	13 : 00	15 : 00	16 : 00	18 : 00	19 : 00	20 : 00	22 : 00	23 : 30	01 : 00	04 : 00	07 : 00
l_t	4.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.5	2.5	3.0	2.0
w_t		16	15	15	15	15	15	10	0	0	11	11
o_t		0	0	0	0	28	194	80	28	14	0	0
a_{t1}		0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
a_{t2}		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
a_{t3}		0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
a_{t4}		0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
a_{t5}		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
a_{t6}		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a_{t7}		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<표 4> P1의 물량 및 제약조건 자료

t	g_t	h_t	d_{1t}	d_{2t}	u_{1t}	u_{2t}	z_t
0	0	4097	3892	205	-	-	-
1	0	0	0	0	-	-	-
2	0	0	0	0	-	-	-
3	7455	0	7082	373	-	-	0
4	1933	0	1836	97	-	-	0
5	18223	820	18090	953	24874	1309	2247
6	0	0	0	0	10082	531	17818
7	0	2458	2335	123	6317	332	24240
8	0	1639	1557	82	4960	261	26487
9	0	3512	3336	176	4449	234	27611
10	0	10067	9563	504	3905	206	-
11	0	0	0	0	0	0	-
합계	27610	22590	47691	2513	-	-	-

<표 5> P2와 P3의 물량자료

t	P2				P3			
	g_t	h_t	d_{1t}	d_{2t}	g_t	h_t	d_{1t}	d_{2t}
0	0	5078	4824	254	0	6347	6029	318
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	9720	0	9234	486	12960	0	12312	648
4	2520	0	2394	126	3360	0	3192	168
5	23760	1016	23537	1239	31680	1269	31302	1648
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	3047	2894	153	0	3808	3618	191
8	0	2032	1930	102	0	2539	2412	127
9	0	4353	4135	218	0	5440	5168	273
10	0	12477	11853	624	0	15596	14816	780
11	0	0	0	0	0	0	0	0
합계	36000	28000	60801	3202	48000	35000	78847	4153

는 P집중국에 도착하는 차량의 적재물량의 분포를 이용하여 추정하였다.

모든 문제의 최적해는 2.67GHz Pentium IV CPU를 탑재한 개인용 컴퓨터에서 LINDO Systems Inc.사의 LINGO 8.0[7] 패키지를 이용하여 구하였다. 각 예제의 최적해를 구하는데는 최소 1초(예제 P3(b))에서 최대 18초(예제 P1(b))가 소요되었다.

<표 4>는 P1의 기간별 물량과 제 3.1절에서 기술한 구분작업 공정별 재고의 상한 및 운반공정 처리량의 하한을 산출한 결과를 보여주고 있다. P1의 경우에는 처리대상 물량이 PSM의 최대 처리능력보다 작기 때문에 마지막 기간에 대한 PSM 공정 재고의 상한($u_{1,11}$)이 0으로

결정되어 당일 도착한 물량을 전량 처리하도록 제약조건이 설정되었다.

<표 6>은 예제 P1(a)의 최적해의 공정별 인원배치 및 처리량 그리고 재고량을 보여주고 있다. 각 공정의 초기 재고($I_{j,0}$)는 당일 09 : 00 ~ 13 : 00에 도착했거나 전일에 처리되지 못하고 이월된 물량을 의미한다. 최적해에

<표 6> P1(a)의 최적 인원배치 및 처리량

t	공정별 배치인원					처리량			재고량		
	공급	타건	구분구	수구분	운반	PSM	수구분	운반	PSM	수구분	운반
0	-	-	-	-	-	-	-	-	3892	205	0
1	2	2	9	2	1	3376	205	581	516	0	3000
2	-	-	-	6	2	0	516	3516	0	0	0
3	2	2	6	7	1	3400	1204	3006	2851	0	1598
4	10	4	15	2	3	4400	172	5400	212	0	770
5	10	4	14	5	3	4200	430	5400	14102	523	0
6	10	4	15	2	2	8784	338	7101	5318	185	2021
7	2	2	6	-	2	1700	0	3600	5953	308	121
8	2	2	6	1	1	2550	129	2700	4960	261	100
9	2	2	6	1	1	4197	203	4500	4099	234	0
10	8	4	13	3	2	10226	774	10800	3400	0	200
11	2	2	6	-	1	3400	0	3600	0	0	0

<표 7> P3(b)의 최적 인원배치 및 처리량

t	공정별 배치인원					처리량			재고량		
	투입	타건	구분구	수구분	운반	PSM	수구분	운반	PSM	수구분	운반
0	-	-	-	-	-	-	-	-	10202	318	0
1	8	4	13	2	2	7776	344	6920	2400	0	1200
2	3	3	8	-	2	2400	0	3600	0	0	0
3	10	4	15	7	2	8800	1204	7004	2522	434	3000
4	10	4	15	7	3	4400	602	5002	1314	0	3000
5	10	4	15	7	4	4400	602	7200	28216	1046	802
6	10	4	15	5	3	8800	860	10462	19246	356	0
7	10	4	15	-	2	4400	0	3239	18464	547	1161
8	10	4	15	7	3	6600	903	7669	14047	0	995
9	10	4	15	7	3	11000	1505	13500	6620	363	0
10	10	4	15	7	3	13200	1806	14806	7573	0	200
11	2	2	6	-	1	3400	0	3600	4173	0	0

서 규격소포 물량의 3.1%($\sum J_t$)에 해당하는 1,458통은 수구분 공정에서 처리하도록 결정되었으며, 발송편과 배분 1호 및 2호편에 운송해야 하는 물량을 전량 기간 내에 처리할 수 있음을 알 수 있다.

<표 7>은 가능한 PSM 투입유형을 7-단계로 확장하여 연중 최대 물량을 처리하기 위한 예제 P3(b)의 공정별 인원배치 및 처리량 그리고 재고량을 보여주고 있다. P3의 처리대상 물량은 PSM의 최대 처리능력보다 크기 때문에 마지막 기간의 재고의 상한($u_{1,11}$)이 7,820통으로 설정되었고, LINGO 최적해는 당일 도착한 물량 중에서 4,173통을 다음 날로 이월하도록 결정되었다. 또

한 규격소포 물량의 4.7%에 해당하는 3,673통은 수구분 공정에서 처리하게 된다.

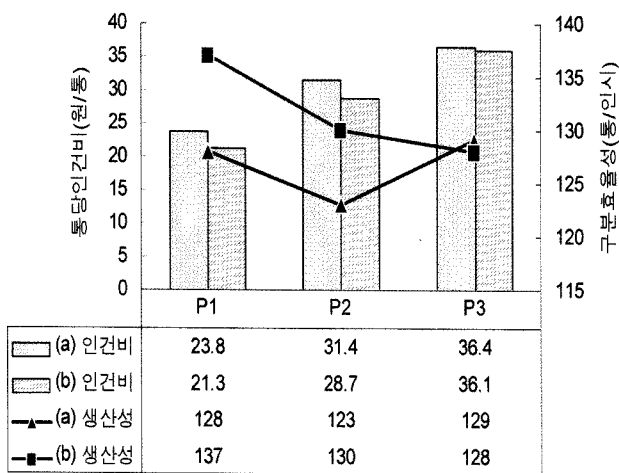
<표 8>은 소포구분 작업장의 평시 근무조별 인원 현황과 각 예제의 최적 인원 및 비용을 보여주고 있다. P집중국에는 평시를 기준으로 총 60명의 파트타임 근무조가 편성되어 있으며 인건비는 1,314천원/일이 발생되고 있다. 반면에 주간 평균물량을 3-단계의 PSM 투입유형을 이용하여 처리하는 P1(a)의 최적해에 의하면 총 52명의 파트타이머가 필요하고 1,195천원/일의 인건비가 발생하게 된다. 그러나 두 대안의 비교를 위해 필요한 평시 편성인원의 실제 처리물량을 정의하기 어렵기 때

<표 8> 근무조별 최적 인원 및 비용

결정 변수	평시 인원	P1		P2		P3	
		(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
X_1	19	3	3	15	14	23	23
X_2	5	16	9	0	1	1	1
X_3	6	2	8	28	23	21	21
X_4	11	12	16	18	19	34	39
X_5	19	19	7	25	21	29	28
X_6	0	0	0	0	0	13	13
X_7	0	0	0	0	0	13	1
C (천원)	1,314	1,195	1,071	2,009	1,835	3,022	2,996

문에 최적화 모형에 의한 비용절감 효과를 객관적으로 산출하기는 어려운 것이 사실이다.

<그림 5>는 각 예제의 최적해로부터 소포우편물 1통당 인건비와 인시(man-hour)로 측정된 투입 노동력 1단위당 처리량을 의미하는 구분효율성을 산출하여 비교한 결과를 보여주고 있다. 구분효율성은 비용생산성과 더불어 우정사업본부에서 집중국의 경영실적을 평가하는 주요 지표들 중의 하나로 활용되고 있다[3]. <그림 5>에서 PSM 투입유형을 7-단계로 확장하여 물량에 따라서 1~4개의 타건석을 탄력적으로 운용하는 방안이 2개 혹은 4개를 활용하는 기존의 3-단계 방식에 비하여 파트타임 근무자의 통당 인건비는 0.8%~10.5%, 인시당 구분효율성은 -0.8%~7.0% 개선할 수 있음을 알 수 있다.



<그림 5> 통당 파트타임인건비 및 구분효율성

5. 결 론

본 논문에서는 집중국의 소포우편물 구분작업을 대상으로 최적 파트타임 근무조의 편성과 공정별 인력배치를 위한 혼합정수계획 모형을 개발하고 예제를 통하여 유용성을 검증하였다. 개발된 모형은 PSM 투입유형과 우편물의 도착 및 발송 일정 등을 포함하고 있기 때문에 소포우편물 구분작업의 특징을 적절히 반영하고 있다고 말할 수 있다.

예제를 통해서 소포 물량의 변화에 대한 PSM의 대응 능력을 높이고 인건비를 절감하기 위해서는 타건석의 운영방식을 기존의 3-단계에서 7-단계 방식으로 변경하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 추후에 통상우편물 등 소포 이외의 우편물 처리를 위한 인력계획 최적화 모형 개발에도 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 또한 집중국의 모든 우편물 처리작업을 통합한 인력계획 수립 모형과 해법을 개발할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 부산우편집중국; 업무 프로세스 표준 매뉴얼, 부산우편집중국, 77-89, 2006.
- [2] 임상규, 차춘남; "Hub-spokes형 집중국망 운영에 따른 우편물 구분작업 인력절감 효과 분석", 한국 SCM 학회지, 7(2) : 111-120, 2007.
- [3] 임재민, 김완석, 차춘남; "우편집중국 구분작업의 노동생산성 평가모형에 관한 연구", 한국 SCM 학회지, 6(2) : 63-73, 2006.
- [4] 차병철, 김완석; "우편집중국 관할권역 조정 시뮬레이터 개발사례", IE Interfaces, 20(4) : 515-524, 2007.
- [5] Bard, J. F., Binici, C., and deSilva, A. H.; "Staff scheduling at the United States Postal Service," *Computers and Operations Research*, 30 : 745-771, 2003.
- [6] Judice, J., Martins, P., and Nunes, J.; "Workforce Planning in a lotsizing mail processing problem," *Computers and Operations Research*, 32 : 3031-3058, 2005.
- [7] Schrage, L.; *Optimization modeling with LINGO*, Lindo Systems Inc., 2003.
- [8] Qi, X., and Bard, J. F.; "Generating labor requirements and rosters for mail handlers using simulation and optimization," *Computers and Operations Research*, 33 : 2645-2666, 2006.
- [9] Zhang, X., and Bard, J. F.; "Equipment scheduling at mail processing and distribution centers," *IIE Trans. on Scheduling and Logistics*, 37(2) : 175-187, 2005.