The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 21, No. 5, pp.181-188, Oct. 31, 2021. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.5.181
JIIBC 2021-5-24

# 운송 문제의 최소비용 우선 배정 알고리즘을 적용한 총괄계획

# Aggregate Planning Using Least Cost First Assignment Algorithm of Transportation Problem

이상운*

Sang-Un Lee*

**요 약** 총괄생산계획을 작성하는데 있어 운송법은 일반적으로 운송문제에 특화된 NCM, LCM, VAM 중 어느 하나로 초기 해를 구하고 SSM, MODI 중 어느 하나로 최적화를 수행하는 TSM에 대해 선형계획법 소프트웨어 패키지를 활용하고 있다. 반면에, 본 논문에서는 소프트웨어 패키지 도움 없이도 총괄생산계획을 쉽고 빠르며, 정확하게 작성하는 운송법을 제안한다. 제안된 알고리즘은 단순히 최소비용 우선 배정법을 적용하고, 재고기간을 최소화하는 방법을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 6개의 실험데이터에 적용한 결과 VAM이나 LP에 비해 4개 데이터에 대해서는 보다 좋은 결과를, 나머지 2개 데이터에 대해서는 동일한 결과를 얻었다.

**Abstract** In preparing a aggregate production plan(APP), the transportation method generally uses a linear planning(LP) software package for TSM(transportation simplex method), which seeks initial solutions with either NCM, LCM, or VAM specialized in transportation issues and optimizes them with either SSM or MODI. On the other hand, this paper proposes a transportation method that easily, quickly, and accurately prepares a APP without software package assistance. This algorithm proposed simply assigned to least cost-first, and minimized the inventory periods. Applying the proposed algorithm to 6-benchmarking data, this algorithm can be obtained better optimal solution than VAM or LP for 4 data, and we obtain the same results for the remained 2 data.

**Key Words :** Aggregate planning, Transportation problem, VAM, LCM, Minimum inventory period

## Ⅰ. 서 론

총괄계획(aggregate planning, AP)은 특정 기간(specific span of time)동안에 걸친 정규근무시간, 초과근무와 하도급 등 다양한 패턴을 충족하는 조직의 생산계획문제(production plan problem, PPP)를 찾고자 한다. 생산능력은 장기, 중기와 단기의 3단계 수준으로 결정된다[1].

총괄생산계획을 수립하는 전략에는 수요대응전략(chase strategy), 고정수량 생산전략(level strategy)과 수학적

*정회원, 강릉원주대학교 과학기술대학 멀티미디어공학과
접수일자 2021년 4월 2일, 수정완료 2021년 9월 2일
게재확정일자 2021년 10월 8일

Received: 2 April, 2021 / Revised: 2 September, 2021 / Accepted: 8 October, 2021
*Corresponding Author: sulee@gwnu.ac.kr
Dept. of Multimedia Eng., Gangneung-Wonju National University, Korea

기법인 운송방법(transportation method, TM)이 있다[2]. AP를 푸는 기법으로는 시행착오법(trial-and-error)으로 푸는 차트/그래프 방법, 선형계획법(linear programming, LP) 소프트웨어 패키지를 이용해 최적화를 시키는 운송법(TM)과 관리자의 결정 과정을 모방하거나 회귀분석 등의 휴리스틱 방법을 이용한 관리계수법(management coefficient model, MCM) 등이 있다[2]. 이들 중에서 TM이 가장 쉬운 방법이다.

AP를 푸는 TM은 대부분 LP 소프트웨어 패키지인 CPLEX를 적용하고 있다[3-8]. LP는 다항시간으로 해를 구하는 알고리즘이 알려져 있지 않은 NP-완전(NP-complete)으로 분류된 난제[9]이며, Gonzaga[10]는 $O(n^4)$ 복잡도의 다항시간 알고리즘을 제안하였다.

운송문제(transportation problem, TP)는 일반적으로 NWCM(north- west corner method), LCM(least cost method) 또는 VAM(Vogel's approximation method) 등의 정규방법(regular method)으로 초기 실현가능 해를 구하고, 이 해를 SSM(stepping-stone method)이나 MODI(modified distribution) 법으로 개선하는 2단계로 문제를 푼다[11-14].

Sultana et al.[1]은 VAM을 적용하여 TP를 푸는 방법을 제안하였다. 반면에, Mouli et al.[15]은 NP-완전으로 메타휴리스틱 기법의 일종인 유전자 알고리즘(genetic algorithm, GA)을 적용하기도 하였다.

본 논문에서는 AP를 TP로 변환시키고, VAM보다 쉬운 LCM을 적용하여 $O(mn)$ 수행 복잡도의 다항시간으로 간단히 풀 수 있는 방법을 제안한다. 2장에서는 AP를 TP로 변환시켜 해를 구하는 방법을 고찰한다. 3장에서는 AP를 TP로 변환시켜 LCM으로 간단히 푸는 알고리즘을 제시하고, 4장에서는 실험 데이터에 대해 제안 알고리즘과 기존 알고리즘들의 성능을 비교하여 본다.

## II. 관련 연구와 문제점

AP는 TP로 변환시켜 선형계획법의 식 (1)의 최적 해를 얻고자 한다[1].

$$\text{Minimize } z=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}c_{ij}x_{ij} \tag{1}$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^{m}x_{ij}=d_j;\ j=1,2,\cdots,n$$

$$\sum_{j=1}^{n}x_{ij}=s_i;\ i=1,2,\cdots,m$$

$$x_{ij}\ge 0, i=1,2,\cdots,m; j=1,2,\cdots,n$$

$$\text{where } \sum_{i=1}^{m}s_i=\sum_{j=1}^{n}d_j$$

Stevenson과 Ozgur[4]는 Erengue와 Tufekei[16]가 제안한 방법에 기반하여 주어진 AP를 그림 1의 TP의 운송표(transportation table)로 변환시키는 방법을 제안하였다.

| $c_{ij}$ | | Period P1 | P2 | P3 | ⋯ | Ending Inventory | Capacity |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beginning Inventory | | *0* | *h* | *2h* | ⋯ | nh | $I_0$ |
| Period 1 | Regular time($RT_1$) | *r* | *r+h* | *r+2h* | ⋯ | r+nh | $R_1$ |
| | Overtime($OT_1$) | *l* | *l+h* | *l+2h* | ⋯ | l+nh | $O_1$ |
| | Subcontract($ST_1$) | *s* | *s* | *s+h* | ⋯ | s+nh | $S_1$ |
| Period 2 | Regular time($RT_2$) | *r+b* | *r* | *r+h* | ⋯ | r+(n-1)h | $R_2$ |
| | Overtime($OT_2$) | *l+b* | *l* | *l+h* | ⋯ | l+(n-1)h | $O_2$ |
| | Subcontract($ST_2$) | *s+b* | *s* | *s+h* | ⋯ | s+(n-1)h | $S_2$ |
| Period 3 | Regular time($RT_3$) | *r+2b* | *r+1b* | *r* | ⋯ | r+(n-2)h | $R_3$ |
| | Overtime($OT_3$) | *l+2b* | *l+1b* | *l* | ⋯ | l+(n-2)h | $O_3$ |
| | Subcontract($ST_3$) | *s+2b* | *s+1b* | *s* | ⋯ | sr+(n-2)h | $S_3$ |
| Demand | | $d_1$ | $d_2$ | $d_3$ | ⋯ | | Total |

**그림 1. 전형적인 AP-TP 변환 데이터**
**Fig. 1. Traditional AP-TP transformed data**

여기서 표기된 기호들에 대한 용어 의미는 다음과 같다.

$RT_i$ : Regular time
$OT_i$ : Overtime
$ST_i$ :Subcontract
$d_i$ : Demand during period $i$
$I_i$ : Inventory at the end of period $i$
$r$: Regular time production cost per unit
$l$: Over time production cost per unit
$s$: Subcontract production cost per unit
$h$: Cost of carrying the inventory(holding) per unit per period
$b$: Backorder cost per unit per period
$n$: Number of periods in planning horizon

Stevenson과 Ozgur[4]와 Chen[17]으로 부터 인용된 그림 2의 (a) APTP-1 총괄계획 정보는 그림 1의 TP 변환법에 기반하여 (b)와 같이 변환되며, 여기서는 총괄생산계획도 함께 제시하였다.

| Demand /Capacity | Period | | |
|---|---|---|---|
| | P1 | P2 | P3 |
| Demand | 550 | 700 | 750 |
| Capacity | | | |
| Regular | 500 | 500 | 500 |
| Overtime | 50 | 50 | 50 |
| Subcontract | 120 | 120 | 100 |

| Beginning inventory | 100 |
|---|---|
| Cost | |
| Regular time | \$60 per unit |
| Overtime | \$80 per unit |
| Subcontract | \$90 per unit |
| Inventory carrying cost | \$1 per unit per month |
| Backorder cost | \$3 per unit per month |

(a) Given information

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | Period | | | Ending Inventory | Capacity |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P1 | P2 | P3 | | |
| Beginning Inventory | | 0(100) | 1( 0) | 2( 0) | - | 100/ 0 |
| Period 1 | $RT_1$ | 60(450) | 61( 50) | 62( 0) | - | 500/ 0 |
| | $OT_1$ | 80( 0) | 81( 50) | 82( 0) | - | 50/ 0 |
| | $ST_1$ | 90( 0) | 91( 30) | 92( 0) | - | 120/90 |
| Period 2 | $RT_2$ | 63( 0) | 60(500) | 61( 0) | - | 500/ 0 |
| | $OT_2$ | 83( 0) | 80( 50) | 81( 0) | - | 50/ 0 |
| | $ST_2$ | 93( 0) | 90( 20) | 91(100) | - | 120/ 0 |
| Period 3 | $RT_3$ | 66( 0) | 63( 0) | 64(500) | - | 500/ 0 |
| | $OT_3$ | 86( 0) | 83( 0) | 80( 50) | - | 50/ 0 |
| | $ST_3$ | 96( 0) | 93( 0) | 90(100) | - | 100/ 0 |
| Demand | | 550/0 | 700/0 | 750/0 | - | 2,000\2,090 |

(b) Transportation table

**그림 2. APTP-1 데이터**
**Fig. 2. APTP-1 data**

추가적으로, Sultana et al.[1]가 제시한 그림 3의 APTP-2 예제 데이터에 대해 최적 해를 고찰해 보자.

그림 3은 방글라데시 전선제조사(Bangladesh Cable Shilpa limited, Khunna)의 전년도 9개월에 대한 실제 요구량에 기반하여 금년도 9개월의 예상 수요량을 예측한 자료를 TP로 변환한 APTP-2 데이터이다. 여기서, $s_i(R_i)$=41,600Km(41.6), $s_i(O_i)$=20,800Km(20.8), $r$=5TK(5.00), $l$=7.25TK (7.25), $h$=0.25TK (0.25), $b$= 3TK(3.00)이다. Period별 예상 수요량은 P1=39,773.00(39.8), P2=39,076.19(39.0), P3=42,378.56(42.3), P4=43,081.05(43.0), P5=45,476.04(45.5), P6=42,975.63(42.9), P7=45,941.11(45.9), P8=43,511.29(43.5)이다.

Sultana et al.[1]은 그림 3의 (a) APTP-2 데이터에 대해 VAM을 적용한 TORA 소프트웨어로 (b)의 해를 구하였다. 여기에서 배정된 $x_{ij}$는 정수값을 구한 관계로, 실제의 요구량을 충족시키지 못하고 있음을 알 수 있다. 즉, 341.9Km의 전선을 생산해야 함에도 불구하고, 4.4Km가 부족한 양을 생산하는 계획을 작성하였다. 이 부족분을 추가로 생산할 경우 총비용 $C$=1736.300 TK(in thousands)이 소요된다.

## Ⅲ. 최소비용 우선 배정 알고리즘

본 장에서는 AP를 TP로 변환시킨 $m \times n$의 $c_{ij}$ 운송표에 대해 VAM보다 단순한 비용 오름차순으로 $x_{ij} = \min\{s_i, d_j\}$를 배정하는LCM을 적용하여 해를 구한다. 제안된 알고리즘을 최소비용 우선 배정 알고리즘(least cost first assignment algorithm, LCFAA)이라 하며, 다음과 같이 수행된다.

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period demands | | | | | | | | $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | |
| Serial | S1 | RT1 | 5.00 | 5.25 | 5.50 | 5.75 | 6.00 | 6.25 | 6.50 | 6.75 | 41.6 |
| | | OT1 | 7.25 | 7.50 | 7.75 | 8.00 | 8.25 | 8.50 | 8.75 | 9.00 | 20.8 |
| | S2 | RT2 | 8.00 | 5.00 | 5.25 | 5.50 | 5.75 | 6.00 | 6.25 | 6.50 | 41.6 |
| | | OT2 | 10.25 | 7.25 | 7.50 | 7.75 | 8.00 | 8.25 | 8.50 | 8.75 | 20.8 |
| | S3 | RT3 | 11.00 | 8.00 | 5.00 | 5.25 | 5.50 | 5.75 | 6.00 | 6.25 | 41.6 |
| | | OT3 | 13.25 | 10.25 | 7.25 | 7.50 | 7.75 | 8.00 | 8.25 | 8.50 | 20.8 |
| | S4 | RT4 | 14.00 | 11.00 | 8.00 | 5.00 | 5.25 | 5.50 | 5.75 | 6.00 | 41.6 |
| | | OT4 | 16.25 | 13.25 | 10.25 | 7.25 | 7.50 | 7.75 | 8.00 | 8.25 | 20.8 |
| | S5 | RT5 | 17.00 | 14.00 | 11.00 | 8.00 | 5.00 | 5.25 | 5.50 | 5.75 | 41.6 |
| | | OT5 | 19.25 | 16.25 | 13.25 | 10.25 | 7.25 | 7.50 | 7.75 | 8.00 | 20.8 |
| | S6 | RT6 | 20.00 | 17.00 | 14.00 | 11.00 | 8.00 | 5.00 | 5.25 | 5.50 | 41.6 |
| | | OT6 | 22.25 | 19.25 | 16.25 | 13.25 | 10.25 | 7.25 | 7.50 | 7.75 | 20.8 |
| | S7 | RT7 | 23.00 | 20.00 | 17.00 | 14.00 | 11.00 | 8.00 | 5.00 | 5.25 | 41.6 |
| | | OT7 | 25.25 | 22.25 | 19.25 | 16.25 | 13.25 | 10.25 | 7.25 | 7.50 | 20.8 |
| | S8 | RT8 | 26.00 | 23.00 | 20.00 | 17.00 | 14.00 | 11.00 | 8.00 | 5.00 | 41.6 |
| | | OT8 | 28.25 | 25.25 | 22.25 | 19.25 | 16.25 | 13.25 | 10.25 | 7.25 | 20.8 |
| $d_j$ | | | 39.8 | 39.0 | 42.3 | 43.0 | 45.5 | 42.9 | 45.9 | 43.5 | 341.9\499.2 |

(a) Transportation table for APTP-2

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period demands | | | | | | | | $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 | D8 | |
| Serial | S1 | RT1 | 5.00 (39) | 5.25 (2) | 5.50 (-) | 5.75 (-) | 6.00 (-) | 6.25 (-) | 6.50 (-) | 6.75 (-) | 41.6/2.6 |
| | | OT1 | 7.25 (-) | 7.50 (-) | 7.75 (-) | 8.00 (-) | 8.25 (-) | 8.50 (-) | 8.75 (-) | 9.00 (-) | 20.8/20.8 |
| | S2 | RT2 | 8.00 | 5.00 (37) | 5.25 (4) | 5.50 (-) | 5.75 (-) | 6.00 (-) | 6.25 (-) | 6.50 (-) | 41.6/0.6 |
| | | OT2 | 10.25 (-) | 7.25 (-) | 7.50 (-) | 7.75 (-) | 8.00 (-) | 8.25 (-) | 8.50 (-) | 8.75 (-) | 20.8/20.8 |
| | S3 | RT3 | 11.00 (-) | 8.00 (-) | 5.00 (38) | 5.25 (3) | 5.50 (-) | 5.75 (-) | 6.00 (-) | 6.25 (-) | 41.6/0.6 |
| | | OT3 | 13.25 (-) | 10.25 (-) | 7.25 (-) | 7.50 (-) | 7.75 (-) | 8.00 (-) | 8.25 (-) | 8.50 (-) | 20.8/20.8 |
| | S4 | RT4 | 14.00 (-) | 11.00 (-) | 8.00 (-) | 5.00 (40) | 5.25 (1) | 5.50 (-) | 5.75 (-) | 6.00 (-) | 41.6/0.6 |
| | | OT4 | 16.25 (-) | 13.25 (-) | 10.25 (-) | 7.25 (-) | 7.50 (-) | 7.75 (-) | 8.00 (-) | 8.25 (-) | 20.8/20.8 |
| | S5 | RT5 | 17.00 (-) | 14.00 (-) | 11.00 (-) | 8.00 (-) | 5.00 (41) | 5.25 (-) | 5.50 (-) | 5.75 (-) | 41.6/0.6 |
| | | OT5 | 19.25 (-) | 16.25 (-) | 13.25 (-) | 10.25 (-) | 7.25 (3) | 7.50 (-) | 7.75 (-) | 8.00 (-) | 20.8/17.8 |
| | S6 | RT6 | 20.00 (-) | 17.00 (-) | 14.00 (-) | 11.00 (-) | 8.00 (-) | 5.00 (41) | 5.25 (-) | 5.50 (-) | 41.6/0.6 |
| | | OT6 | 22.25 (-) | 19.25 (-) | 16.25 (-) | 13.25 (-) | 10.25 (-) | 7.25 (1) | 7.50 (-) | 7.75 (-) | 20.8/19.8 |
| | S7 | RT7 | 23.00 (-) | 20.00 (-) | 17.00 (-) | 14.00 (-) | 11.00 (-) | 8.00 (-) | 5.00 (41) | 5.25 (-) | 41.6/0.6 |
| | | OT7 | 25.25 (-) | 22.25 (-) | 19.25 (-) | 16.25 (-) | 13.25 (-) | 10.25 (-) | 7.25 (4) | 7.50 (-) | 20.8/16.8 |
| | S8 | RT8 | 26.00 (-) | 23.00 (-) | 20.00 (-) | 17.00 (-) | 14.00 (-) | 11.00 (-) | 8.00 (-) | 5.00 (41) | 41.6/0.6 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | OT8 | 28.25 (-) | 25.25 (-) | 22.25 (-) | 19.25 (-) | 16.25 (-) | 13.25 (-) | 10.25 (-) | 7.25 (2) | 20.8/18.8 |
| $d_j$ | | | 39.8 /0.8 | 39.0 /0.0 | 42.3 /0.3 | 43.0 /0.0 | 45.5 /0.5 | 42.9 /0.9 | 45.9 /0.9 | 43.5 /0.5 | -4.4 |
| $C_j$ | | | 195. 000 | 195. 500 | 211. 000 | 215. 750 | 232. 000 | 212. 250 | 234 .000 | 219. 500 | 1,715.000 |
| $d_j$ shortage $C_j$ | | | 4.450 | 0.000 | 1.500 | 0.000 | 2.500 | 5.175 | 5.175 | 2.500 | 21.300 |
| Total $C_j$ | | | 199. 450 | 195. 000 | 212. 500 | 215. 750 | 234. 500 | 217. 425 | 239. 175 | 222. 000 | 1736.300 |

(b) Solution of APTP-2

**그림 3. APTP-2에 대한 VAM의 해**
**Fig. 3. Solution of VAM for APTP-2**

Step 1. AP를 TP로 변환시킨다.

Step 2. TP의 $c_{ij}$운송행렬에서 $c_{ij}$의 최소치부터 $x_{ij} = {}_{\min}\{s_i, d_j\}$를 배정한다.

Step 3. 각 행에서 선택된 두 셀이 불연속적인 경우(재고기간이 2개월 이상), $x_{ij} > 0$인 우측 (1,2)셀과 (1,1)인 좌측 셀을 대상으로, 다음 $x_{ij} > 0$인 좌측 셀 (2,1)과 우측 셀(2,2)에 대해, $c_{12} - c_{11} = c_{22} - c_{21}$인 경우 ${}_{\min}\{x_{12}, x_{21}\}$을 이동시킨다. /*재고기간을 최소로 단축시킬 목적이 있는 경우에 한해 수행.*/

Step 4. 총 비용 $C = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} \times x_{ij}$를 계산한다.

제안된 알고리즘은 $c_{ij}$ 오름차순으로 $x_{ij}$ 배정에 $O(mn)$의 수행 복잡도가 요구되며, 총 비용계산에 $O(mn)$이 소요되어 전체적인 알고리즘 복잡도는 $O(mn)$이다.

그림 2의 APTP-1에 대해 제안된 LCFAA를 적용한 과정은 그림 4에, 그림 3의 APTP-2에 대해서는 그림 5에 제시되어 있다. $c_{ij}(x_{ij}, \Sigma f_i)$에서 $\Sigma f_i$는 $x_{ij} \times f_i$로 $g_j$(Max Sulphur)와 비교하기 위해 제시하였다.

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | Period P1 | Period P2 | Period P3 | Ending Inventory | Capacity |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Beginning Inventory | | 0(100) | 1( 0) | 2( 0) | - | 100/ 0 |
| Period 1 | RT1 | 60(450) | 61( 50) | 62( 0) | - | 500/ 0 |
| | OT1 | 80( 0) | 81( 50) | 82( 0) | - | 50/ 0 |
| | ST1 | 90( 0) | 91( 30) | 92( 0) | - | 120/90 |
| Period 2 | RT2 | 63( 0) | 60(500) | 61( 0) | - | 500/ 0 |
| | OT2 | 83( 0) | 80( 50) | 81( 0) | - | 50/ 0 |
| | ST2 | 93( 0) | 90( 20) | 91(100) | - | 120/ 0 |
| Period 3 | RT3 | 66( 0) | 63( 0) | 64(500) | - | 500/ 0 |
| | OT3 | 86( 0) | 83( 0) | 80( 50) | - | 50/ 0 |
| | ST3 | 96( 0) | 93( 0) | 90(100) | - | 100/ 0 |
| Demand | | 550/0 | 700/0 | 750/0 | - | C=126,730 |

**그림 4. APTP-1에 대한 LCFAA의 최적 해**
**Fig. 4. Optimal solution of LCFAA for APTP-1**

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period demands D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 | D8 | $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SerIal | S1 | RT1 | 5.00 (39.8) | 5.25 (0.0) | 5.50 (0.0) | 5.75 (0.0) | 6.00 (1.8) | 6.25 (0.0) | 6.50 (0.0) | 6.75 (0.0) | 41.6/0.0 |
| | | OT1 | 7.25 (0.0) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 8.00 (0.0) | 8.25 (0.0) | 8.50 (0.0) | 8.75 (0.0) | 9.00 (0.0) | 20.8/20.8 |
| | S2 | RT2 | 8.00 (0.0) | 5.00 (39.0) | 5.25 (0.7) | 5.50 (1.4) | 5.75 (0.5) | 6.00 (0.0) | 6.25 (0.0) | 6.50 (0.0) | 41.6/0.0 |
| | | OT2 | 10.25 (0.0) | 7.25 (0.0) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 8.00 (0.0) | 8.25 (0.0) | 8.50 (0.0) | 8.75 (0.0) | 20.8/20.8 |
| | S3 | RT3 | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 5.25 (0.0) | 5.50 (0.0) | 5.75 (0.0) | 6.00 (0.0) | 6.25 (0.0) | 41.6/0.0 |
| | | OT3 | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (0.0) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 8.00 (0.0) | 8.25 (0.0) | 8.50 (0.0) | 20.8/20.8 |
| | S4 | RT4 | 14.00 (0.0) | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 5.25 (0.0) | 5.50 (0.0) | 5.75 (0.0) | 6.00 (0.0) | 41.6/0.0 |
| | | OT4 | 16.25 (0.0) | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (0.0) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 8.00 (0.0) | 8.25 (0.0) | 20.8/20.8 |
| | S5 | RT5 | 17.00 (0.0) | 14.00 (0.0) | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 5.25 (0.0) | 5.50 (0.0) | 5.75 (0.0) | 41.6/0.0 |
| | | OT5 | 19.25 (0.0) | 16.25 (0.0) | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (1.6) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 8.00 (0.0) | 20.8/19.2 |
| | S6 | RT6 | 20.00 (0.0) | 17.00 (0.0) | 14.00 (0.0) | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 5.25 (0.0) | 5.50 (0.0) | 41.6/0.0 |
| | | OT6 | 22.25 (0.0) | 19.25 (0.0) | 16.25 (0.0) | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (1.3) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 20.8/19.5 |
| | S7 | RT7 | 23.00 (0.0) | 20.00 (0.0) | 17.00 (0.0) | 14.00 (0.0) | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 5.25 (0.0) | 41.6/0.0 |
| | | OT7 | 25.25 (0.0) | 22.25 (0.0) | 19.25 (0.0) | 16.25 (0.0) | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (4.3) | 7.50 (0.0) | 20.8/16.5 |
| | S8 | RT8 | 26.00 (0.0) | 23.00 (0.0) | 20.00 (0.0) | 17.00 (0.0) | 14.00 (0.0) | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 41.6/0.0 |
| | | OT8 | 28.25 (0.0) | 25.25 (0.0) | 22.25 (0.0) | 19.25 (0.0) | 16.25 (0.0) | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (1.9) | 20.8/18.9 |
| $d_j$ | | | 39.8 /0.0 | 39.0 /0.0 | 42.3 /0.0 | 43.0 /0.0 | 45.5 /0.0 | 42.9 /0.0 | 45.9 /0.0 | 43.5 /0.0 | -0.0 |
| $C_j$ | | | 199. 000 | 195. 000 | 211. 675 | 215. 700 | 233. 275 | 217. 425 | 239. 175 | 221. 775 | 1,733.025 |

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period demands D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 | D8 | $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SerIal | S1 | RT1 | 5.00 (39.8) | 5.25 (1.8) | 5.50 (0.0) | 5.75 (0.0) | 6.00 (0.0) | 6.25 (0.0) | 6.50 (0.0) | 6.75 (0.0) | 41.6 |
| | | OT1 | 7.25 (0.0) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 8.00 (0.0) | 8.25 (0.0) | 8.50 (0.0) | 8.75 (0.0) | 9.00 (0.0) | 20.8 |
| | S2 | RT2 | 8.00 (0.0) | 5.00 (37.2) | 5.25 (0.7) | 5.50 (1.4) | 5.75 (2.3) | 6.00 (0.0) | 6.25 (0.0) | 6.50 (0.0) | 41.6 |
| | | OT2 | 10.25 (0.0) | 7.25 (0.0) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 8.00 (0.0) | 8.25 (0.0) | 8.50 (0.0) | 8.75 (0.0) | 20.8 |
| | S3 | RT3 | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 5.25 (0.0) | 5.50 (0.0) | 5.75 (0.0) | 6.00 (0.0) | 6.25 (0.0) | 41.6 |
| | | OT3 | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (0.0) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 8.00 (0.0) | 8.25 (0.0) | 8.50 (0.0) | 20.8 |
| | S4 | RT4 | 14.00 (0.0) | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 5.25 (0.0) | 5.50 (0.0) | 5.75 (0.0) | 6.00 (0.0) | 41.6 |
| | | OT4 | 16.25 (0.0) | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (0.0) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 8.00 (0.0) | 8.25 (0.0) | 20.8 |
| | S5 | RT5 | 17.00 (0.0) | 14.00 (0.0) | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 5.25 (0.0) | 5.50 (0.0) | 5.75 (0.0) | 41.6 |
| | | OT5 | 19.25 (0.0) | 16.25 (0.0) | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (1.6) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 8.00 (0.0) | 20.8 |
| | S6 | RT6 | 20.00 (0.0) | 17.00 (0.0) | 14.00 (0.0) | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 5.25 (0.0) | 5.50 (0.0) | 41.6 |
| | | OT6 | 22.25 (0.0) | 19.25 (0.0) | 16.25 (0.0) | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (1.3) | 7.50 (0.0) | 7.75 (0.0) | 20.8 |
| | S7 | RT7 | 23.00 (0.0) | 20.00 (0.0) | 17.00 (0.0) | 14.00 (0.0) | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 5.25 (0.0) | 41.6 |
| | | OT7 | 25.25 (0.0) | 22.25 (0.0) | 19.25 (0.0) | 16.25 (0.0) | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (4.3) | 7.50 (0.0) | 20.8 |
| | S8 | RT8 | 26.00 (0.0) | 23.00 (0.0) | 20.00 (0.0) | 17.00 (0.0) | 14.00 (0.0) | 11.00 (0.0) | 8.00 (0.0) | 5.00 (41.6) | 41.6 |
| | | OT8 | 28.25 (0.0) | 25.25 (0.0) | 22.25 (0.0) | 19.25 (0.0) | 16.25 (0.0) | 13.25 (0.0) | 10.25 (0.0) | 7.25 (1.9) | 20.8 |
| $d_j$ | | | 39.8 | 39.0 | 42.3 | 43.0 | 45.5 | 42.9 | 45.9 | 43.5 | 1,733.025 |

**그림 5. APTP-2에 대한 LCFAA의 최적 해**
**Fig. 5. Optimal solution of LCFAA for APTP-2**

APTP-1에 대해서는 VAM과 동일한 결과를 얻은 반면에, APTP-2에 대해서는 LP 소프트웨어 패키지가 정수를 배정하지 못하는 단점을 보완하였으며, 총비용도 1736.300을 1733. 025로 3.275 절감시킬 수 있었다.

그림 5에서 (RT1,D1)=39.8, (RT1,D5)=1.8로 RT1은 41.6을 정규근무시간에 생산하여 해당 월(D1)에 39.8을 납품하고, 나머지 1.8은 4개월간 재고로 저장하였다가 D5월에 납품함을 의미한다. 만약, 창고 용량 부족이 발생한다면, 재고기간을 최소화시키는 것이 목적일 수 있다. 이 경우에 대해 제안된 알고리즘의 Step 3을 수행하여 (RT1,D5)=1.8을 (RT1,D2)=1.8로 변경시키는 최적화를 수행하였다. 만약, 창고 용량이 충분하여 이 경우를 고려할 필요가 없다면 Step 3을 생략할 수 도 있다. 그러나 본 논문에서는 재고물량 최소화의 현실성을 반영하여 Step 3을 수행하는 방법을 제시 하였다.

## Ⅳ. 실험 및 결과 분석

본 장에서는 그림 6의 4개 실험 데이터에 대해 제안된 LCFAA를 적용하여 본다. 여기에서는 LCFAA와 총비용을 비교할 목적으로 원문에서 제시한 해를 함께 제시하였다.

| $c_{ij}$ | | | Demands | | | | Available capacity $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | D1 | D2 | D3 | Ending inventory | |
| Period | I | | 0 | 2 | 4 | 6 | 50 |
| | P1 | RT1 | 10 | 12 | 14 | 16 | 350 |
| | | OT1 | 16 | 18 | 20 | 22 | 90 |
| | P2 | RT2 | 16 | 11 | 13 | 15 | 350 |
| | | OT2 | 23 | 18 | 20 | 22 | 90 |
| | P3 | RT3 | 22 | 17 | 12 | 14 | 300 |
| | | OT3 | 30 | 25 | 20 | 22 | 75 |
| $d_j$ | | | 400 | 300 | 400 | 75 | 1175＼1305 |

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Demands | | | | Available capacity $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | D1 | D2 | D3 | Ending inventory | |
| Period | I | | 0( 0) | 2( 25) | 4( 25) | 6( 0) | 50 |
| | P1 | RT1 | 10(350) | 12( 0) | 14( 0) | 16( 0) | 350 |
| | | OT1 | 16( 50) | 18( 0) | 20( 0) | 22( 0) | 90 |
| | P2 | RT2 | 16( 0) | 11(275) | 13( 0) | 15( 75) | 350 |
| | | OT2 | 23( 0) | 18( 0) | 20( 0) | 22( 0) | 90 |
| | P3 | RT3 | 22( 0) | 17( 0) | 12(300) | 14( 0) | 300 |
| | | OT3 | 30( 0) | 25( 0) | 20( 75) | 22( 0) | 75 |
| $d_j$ | | | 400 | 300 | 400 | 75 | 13,750 |

(a) APTP-3

| $c_{ij}$ | | | Period | | | Available capacity $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | P1 | P2 | P3 | |
| Period | Beginning Inventory | | 0 | 2 | 4 | 100 |
| | P1 | RT1 | 40 | 42 | 44 | 700 |
| | | OT1 | 50 | 52 | 54 | 50 |
| | | ST1 | 70 | 72 | 74 | 150 |
| | P2 | RT2 | X | 40 | 42 | 700 |
| | | OT2 | X | 50 | 52 | 50 |
| | | ST2 | X | 70 | 72 | 150 |
| | P3 | RT3 | X | X | 40 | 700 |
| | | OT3 | X | X | 50 | 50 |
| | | ST3 | X | X | 70 | 150 |
| $d_j$ | | | 800 | 1000 | 750 | 2550＼2800 |

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period | | | Available capacity $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | P1 | P2 | P3 | |
| Period | I | | 0(100) | 2( 0) | 4( 0) | 100/ 0 |
| | P1 | RT1 | 40(700) | 42( 0) | 44( 0) | 700/ 0 |
| | | OT1 | 50( 0) | 52( 50) | 54( 0) | 50/ 0 |
| | | ST1 | 70( 0) | 72(150) | 74( 0) | 150/ 0 |
| | P2 | RT2 | X | 40(700) | 42( 0) | 700/ 0 |
| | | OT2 | X | 50( 50) | 52( 0) | 50/ 0 |
| | | ST2 | X | 70( 50) | 72( 0) | 150/100 |
| | P3 | RT3 | X | X | 40(700) | 700/ 0 |
| | | OT3 | X | X | 50( 50) | 50/ 0 |
| | | ST3 | X | X | 70( 0) | 150/150 |
| $d_j$ | | | 800/0 | 1000/0 | 750/0 | $105,900 |

(b) APTP-4

| $c_{ij}$ | | | Period of use | | | | Available capacity $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | U1 | U2 | U3 | U4 | |
| Period of production | I | | 0 | 3 | 6 | 9 | 300 |
| | P1 | RT1 | 20 | 23 | 26 | 29 | 1000 |
| | | OT1 | 25 | 28 | 31 | 34 | 100 |
| | | ST1 | 28 | 31 | 34 | 37 | 500 |
| | P2 | RT2 | X | 20 | 23 | 26 | 1200 |
| | | OT2 | X | 25 | 28 | 31 | 150 |
| | | ST2 | X | 28 | 31 | 34 | 500 |
| | P3 | RT3 | X | X | 20 | 23 | 1300 |
| | | OT3 | X | X | 25 | 28 | 200 |
| | | ST3 | X | X | 28 | 31 | 500 |
| | P4 | RT4 | X | X | X | 20 | 1300 |
| | | OT4 | X | X | X | 25 | 200 |
| | | ST4 | X | X | X | 28 | 500 |
| $d_j$ | | | 900 | 1500 | 1600 | 3000 | 7000＼7750 |

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period of use | | | | Available capacity $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | U1 | U2 | U3 | U4 | |
| Period of production | I | | 0( 300) | 3( 0) | 6( 0) | 9( 0) | 300 |
| | P1 | RT1 | 20( 600) | 23( 300) | 26( 100) | 29( 0) | 1000 |
| | | OT1 | 25( 0) | 28( 0) | 31( 0) | 34( 100) | 100 |
| | | ST1 | 28( 0) | 31( 0) | 34( 0) | 37( 0) | 500 |
| | P2 | RT2 | X | 20(1200) | 23( 0) | 26( 0) | 1200 |
| | | OT2 | X | 25( 0) | 28( 0) | 31( 150) | 150 |
| | | ST2 | X | 28( 0) | 31( 0) | 34( 250) | 500 |
| | P3 | RT3 | X | X | 20(1300) | 23( 0) | 1300 |
| | | OT3 | X | X | 25( 200) | 28( 0) | 200 |
| | | ST3 | X | X | 28( 0) | 31( 500) | 500 |
| | P4 | RT4 | X | X | X | 20(1300) | 1300 |
| | | OT4 | X | X | X | 25( 200) | 200 |
| | | ST4 | X | X | X | 28( 500) | 500 |
| $d_j$ | | | 900 | 1500 | 1600 | 3000 | 153,550 |

(c) APTP-5

| $c_{ij}$ | | | Period demands D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | Ending inventory | $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Period of production | I | | 0.0 | 0.6 | 1.2 | 1.8 | 2.4 | 3.0 | 0 |
| | P1 | RT1 | 9.3 | 9.9 | 10.5 | 11.1 | 11.7 | 12.3 | 57,200 |
| | | OT1 | 10.0 | 10.6 | 11.2 | 11.8 | 12.4 | 13.0 | 11,700 |
| | | ST1 | 10.5 | 11.1 | 11.7 | 12.3 | 12.9 | 13.5 | 26,000 |
| | P2 | RT2 | X | 9.3 | 9.9 | 10.5 | 11.1 | 11.7 | 57,200 |
| | | OT2 | X | 10.0 | 10.6 | 11.2 | 11.8 | 12.4 | 11,700 |
| | | ST2 | X | 10.5 | 11.1 | 11.7 | 12.3 | 12.9 | 26,000 |
| | P3 | RT3 | X | X | 9.3 | 9.9 | 10.5 | 11.1 | 57,200 |
| | | OT3 | X | X | 10.0 | 10.6 | 11.2 | 11.8 | 11,700 |
| | | ST3 | X | X | 10.5 | 11.1 | 11.7 | 12.3 | 26,000 |
| | P4 | RT4 | X | X | X | 9.3 | 9.9 | 10.5 | 57,200 |
| | | OT4 | X | X | X | 10.0 | 10.6 | 11.2 | 11,700 |
| | | ST4 | X | X | X | 10.5 | 11.1 | 11.7 | 26,000 |
| | P5 | RT5 | X | X | X | X | 9.3 | 9.9 | 57,200 |
| | | OT5 | X | X | X | X | 10.0 | 10.6 | 11,700 |
| | | ST5 | X | X | X | X | 10.5 | 11.1 | 26,000 |
| $d_j$ | | | 45,000 | 75,000 | 85,000 | 42,000 | 95,000 | 0 | |

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period demands D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | Ending inventory | $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Period of production | I | | 0.0 (0.0) | 0.6 (0.0) | 1.2 (0.0) | 1.8 (0.0) | 2.4 (0.0) | 3.0 (0.0) | 0 |
| | P1 | RT1 | 9.3 (45000) | 9.9 (12200) | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 12.3 (0.0) | 57200/0 |
| | | OT1 | 10.0 (0.0) | 10.6 (0.0) | 11.2 (0.0) | 11.8 (0.0) | 12.4 (0.0) | 13.0 (0.0) | 11700/11700 |
| | | ST1 | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 12.3 (0.0) | 12.9 (0.0) | 13.5 (0.0) | 26000/26000 |
| | P2 | RT2 | X | 9.3 (57200) | 9.9 (0.0) | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 57200/0 |
| | | OT2 | X | 10.0 (5600) | 10.6 (0.0) | 11.2 (0.0) | 11.8 (0.0) | 12.4 (0.0) | 11700/6100 |
| | | ST2 | X | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 12.3 (0.0) | 12.9 (0.0) | 26000/26000 |
| | P3 | RT3 | X | X | 9.3 (57200) | 9.9 (0.0) | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 57200/0 |
| | | OT3 | X | X | 10.0 (11700) | 10.6 (0.0) | 11.2 (0.0) | 11.8 (0.0) | 11700/0 |
| | | ST3 | X | X | 10.5 (16100) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 12.3 (0.0) | 26000/9900 |
| | P4 | RT4 | X | X | X | 9.3 (42000) | 9.9 (15200) | 10.5 (0.0) | 57200/0 |
| | | OT4 | X | X | X | 10.0 (0.0) | 10.6 (0.0) | 11.2 (0.0) | 11700/11700 |
| | | ST4 | X | X | X | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 26000/26000 |
| | P5 | RT5 | X | X | X | X | 9.3 (57200) | 9.9 (0.0) | 57200//0 |
| | | OT5 | X | X | X | X | 10.0 (11700) | 10.6 (0.0) | 11700/0 |
| | | ST5 | X | X | X | X | 10.5 (10900) | 11.1 (0.0) | 26000/15100 |
| $d_j$ | | | 45,000 | 75,000 | 85,000 | 42,000 | 95,000 | 0 | 3,249,740 |

(d) APTP-6

**그림 6. 실험 데이터**
**Fig. 6. Experimental data**

APTP-3은 Alneder[6]에서, APTP-4는 Aziz[3]에서, APTP-5는 Russell과 Taylor[7]에서, APTP-6은 Erdoğan et al.[8]에서 인용되었다. 여기서, 'X'는 재 주문으로 인한 입고대기비용(backorder cost)이 매우 고비용이 소요되어 이들 셀은 금지된 경우를 의미한다.

그림 6의 실험 데이터에 대해 제안된 LCFAA를 적용한 결과는 그림 7에 제시하였다.

제안된 알고리즘으로 얻은 총비용 $C$를 기존의 알고리즘으로 얻은 값들과 비교한 결과는 표 1에 제시되어 있다. 표로부터 LCFAA를 벤치마킹 데이터들에 적용한 결과 모든 데이터들에 대해 최적 해를 쉽게 구할 수 있음을 보였다.

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Demands D1 | D2 | D3 | Ending inventory | Available capacity $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Period | I | | 0( 50) | 2( 0) | 4( 0) | 6( 0) | 50/00 |
| | P1 | RT1 | 10(350) | 12( 0) | 14( 0) | 16( 0) | 350/00 |
| | | OT1 | 16( 0) | 18( 0) | 20( 50) | 22( 0) | 90/40 |
| | P2 | RT2 | 16( 0) | 11(300) | 13( 50) | 15( 0) | 350/00 |
| | | OT2 | 23( 0) | 18( 0) | 20( 0) | 22( 35) | 90/55 |
| | P3 | RT3 | 22( 0) | 17( 0) | 12(300) | 14( 0) | 300/00 |
| | | OT3 | 30( 0) | 25( 0) | 20( 0) | 22( 40) | 75/35 |
| $d_j$ | | | 400/0 | 300/0 | 400/0 | 75/0 | 13,700 |

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Demands D1 | D2 | D3 | Ending inventory | Available capacity $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Period | I | | 0( 50) | 2( 0) | 4( 0) | 6( 0) | 50 |
| | P1 | RT1 | 10(350) | 12( 0) | 14( 0) | 16( 0) | 350 |
| | | OT1 | 16( 0) | 18( 50) | 20( 0) | 22( 0) | 90 |
| | P2 | RT2 | 16( 0) | 11(250) | 13(100) | 15( 0) | 350 |
| | | OT2 | 23( 0) | 18( 0) | 20( 0) | 22( 0) | 90 |
| | P3 | RT3 | 22( 0) | 17( 0) | 12(300) | 14( 0) | 300 |
| | | OT3 | 30( 0) | 25( 0) | 20( 0) | 22( 75) | 75 |
| $d_j$ | | | 400 | 300 | 400 | 75 | 13,700 |

(a) APTP-3

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period P1 | P2 | P3 | Available capacity $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Period | I | | 0(100) | 2( 0) | 4( 0) | 100/ 0 |
| | P1 | RT1 | 40(700) | 42( 0) | 44( 0) | 700/ 0 |
| | | OT1 | 50( 0) | 52( 50) | 54( 0) | 50/ 0 |
| | | ST1 | 70( 0) | 72( 50) | 74( 0) | 150/100 |
| | P2 | RT2 | X | 40(700) | 42( 0) | 700/ 0 |
| | | OT2 | X | 50( 50) | 52( 0) | 50/ 0 |
| | | ST2 | X | 70(150) | 72( 0) | 150 0 |
| | P3 | RT3 | X | X | 40(700) | 700/ 0 |
| | | OT3 | X | X | 50( 50) | 50/ 0 |
| | | ST3 | X | X | 70( 0) | 150/150 |
| $d_j$ | | | 800/0 | 1000/0 | 750/0 | $105,700 |

(b) APTP-4

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period of use U1 | U2 | U3 | U4 | Available capacity $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Period of production | I | | 0( 300) | 3( 0) | 6( 0) | 9( 0) | 300/0 |
| | P1 | RT1 | 20( 600) | 23( 300) | 26( 100) | 29( 0) | 1000/0 |
| | | OT1 | 25( 0) | 28( 0) | 31( 0) | 34( 100) | 100/0 |
| | | ST1 | 28( 0) | 31( 0) | 34( 0) | 37( 0) | 500/500 |
| | P2 | RT2 | X | 20(1200) | 23( 0) | 26( 0) | 1200/0 |
| | | OT2 | X | 25( 0) | 28( 0) | 31( 150) | 150/0 |
| | | ST2 | X | 28( 0) | 31( 0) | 34( 250) | 500/250 |
| | P3 | RT3 | X | X | 20(1300) | 23( 0) | 1300/0 |
| | | OT3 | X | X | 25( 200) | 28( 0) | 200/0 |
| | | ST3 | X | X | 28( 0) | 31( 500) | 500/0 |
| | P4 | RT4 | X | X | X | 20(1300) | 1300/0 |
| | | OT4 | X | X | X | 25( 200) | 200/0 |
| | | ST4 | X | X | X | 28( 500) | 500/0 |
| $d_j$ | | | 900/0 | 1500/0 | 1600/0 | 3000/0 | 153,550 |

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period of use | | | | Available |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | U1 | U2 | U3 | U4 | capacity $s_i$ |
| Period of production | I | | 0( 300) | 3( 0) | 6( 0) | 9( 0) | 300 |
| | P1 | RT1 | 20( 600) | 23( 400) | 26( 0) | 29( 0) | 1000 |
| | | OT1 | 25( 0) | 28( 100) | 31( 0) | 34( 0) | 100 |
| | | ST1 | 28( 0) | 31( 0) | 34( 0) | 37( 0) | 500 |
| | P2 | RT2 | X | 20(1000) | 23( 200) | 26( 0) | 1200 |
| | | OT2 | X | 25( 0) | 28( 150) | 31( 0) | 150 |
| | | ST2 | X | 28( 0) | 31( 250) | 34( 0) | 500 |
| | P3 | RT3 | X | X | 20(1000) | 23( 300) | 1300 |
| | | OT3 | X | X | 25( 0) | 28( 200) | 200 |
| | | ST3 | X | X | 28( 0) | 31( 500) | 500 |
| | P4 | RT4 | X | X | X | 20(1300) | 1300 |
| | | OT4 | X | X | X | 25( 200) | 200 |
| | | ST4 | X | X | X | 28( 500) | 500 |
| $d_j$ | | | 900 | 1500 | 1600 | 3000 | 153,550 |

(c) APTP-5

| $c_{ij}(x_{ij})$ | | | Period demands | | | | | Ending inventory | $s_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | | |
| Period of production | I | | 0.0 (0.0) | 0.6 (0.0) | 1.2 (0.0) | 1.8 (0.0) | 2.4 (0.0) | 3.0 (0.0) | 0 |
| | P1 | RT1 | 9.3 (45000) | 9.9 (12200) | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 12.3 (0.0) | 57200/0 |
| | | OT1 | 10.0 (0.0) | 10.6 (0.0) | 11.2 (0.0) | 11.8 (0.0) | 12.4 (0.0) | 13.0 (0.0) | 11700/11700 |
| | | ST1 | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 12.3 (0.0) | 12.9 (0.0) | 13.5 (0.0) | 26000/26000 |
| | P2 | RT2 | X | 9.3 (57200) | 9.9 (0.0) | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 57200/0 |
| | | OT2 | X | 10.0 (5600) | 10.6 (0.0) | 11.2 (0.0) | 11.8 (0.0) | 12.4 (0.0) | 11700/6100 |
| | | ST2 | X | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 12.3 (0.0) | 12.9 (0.0) | 26000/26000 |
| | P3 | RT3 | X | X | 9.3 (57200) | 9.9 (0.0) | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 57200/0 |
| | | OT3 | X | X | 10.0 (11700) | 10.6 (0.0) | 11.2 (0.0) | 11.8 (0.0) | 11700/0 |
| | | ST3 | X | X | 10.5 (16100) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 12.3 (0.0) | 26000/9900 |
| | P4 | RT4 | X | X | X | 9.3 (42000) | 9.9 (15200) | 10.5 (0.0) | 57200/0 |
| | | OT4 | X | X | X | 10.0 (0.0) | 10.6 (0.0) | 11.2 (0.0) | 11700/11700 |
| | | ST4 | X | X | X | 10.5 (0.0) | 11.1 (0.0) | 11.7 (0.0) | 26000/26000 |
| | P5 | RT5 | X | X | X | X | 9.3 (57200) | 9.9 (0.0) | 57200//0 |
| | | OT5 | X | X | X | X | 10.0 (11700) | 10.6 (0.0) | 11700/0 |
| | | ST5 | X | X | X | X | 10.5 (10900) | 11.1 (0.0) | 26000/15100 |
| $d_j$ | | | 45,000 | 75,000 | 85,000 | 42,000 | 95,000 | 0 | 3,249,740 |

(d) APTP-6

**그림 7. 실험 데이터에 대한 LCFAA의 최적 해**
**Fig. 7. Optimal solution of LCFAA for experimental data**

또한, APTP-1, APTP-2, APTP-3과 APTP-4에 대해서는 VAM과 LP에 비해 보다 비용을 절감하는 결과를 얻었다. 결론적으로, 제안된 알고리즘은 복잡한 계산과정을 거치는 VAM이나 선형계획법의 소프트웨어 패키지를 적용하지 않고, 단순히 최소비용 $_{\min}c_{ij}$셀부터 $x_{ij}=\{s_i,d_j\}$를 배정하는 방법을 적용하였음에도 불구하고 최적 해를 쉽게 구하는 장점을 갖고 있다.

**표 1. 알고리즘 성능 비교**
**Table 1. Comparison of algorithm performance**

| Data | Planning total cost of Algorithms | | |
|---|---|---|---|
| | VAM | LP (CPLEX) software | LCFAA |
| APTP-1 | - | 126,730 | 126,730 |
| APTP-2 | 1,736,300 | - | 1,733,025 |
| APTP-3 | - | 13,750 | 13,700 |
| APTP-4 | - | 105,900 | 105,700 |
| APTP-5 | - | 153,550 | 153,550 |
| APTP-6 | - | 3,249,740 | 3,249,740 |

# V. 결 론

본 논문에서는 총괄계획을 작성하는데 있어, 주어진 문제를 TP의 운송표로 변환시키고, 수학적 소프트웨어 패키지 도움 없이 단순히 최소비용 우선 배정법으로 최적 해를 빠르게 구할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 방법을 6개의 실험 데이터에 적용한 결과 APTP-1, APTP-2, APTP-3과 APTP-4의 4개 데이터에 대해서는 VAM과 LP에 비해 해를 개선하는 결과를 얻었으며, APTP-5와 APTP-6의 2개 데이터에 대해서는 LP와 동일한 결과를 얻었다.

또한, 기존의 VAM이나 LP는 특정 시기에 생산된 제품을 몇 개월 동안 재고로 보관하는 방법을 적용하였으나, 본 논문에서 제안된 알고리즘은 보관창고의 용량 부족이 발생할 가능성을 사전에 차단할 목적으로 재고기간을 최소로 하는 방법을 추가로 제안하여 보다 현실성이 있는 총괄생산계획임을 알 수 있다.

제안된 알고리즘은 LP 소프트웨어 패키지 도움 없이도 실무자가 수기식으로도 간단히 총괄생산계획을 작성할 수 있는 매우 단순한 방법을 제시한 관계로 생산현장에 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

## References

[1] M. Sultana, S. Shohan, and F. Sufian, "Aggregate Planning using Transportation Method: A Case Study in Cable Industry," International Journal of Managing Value and Supply Chains, Vol. 5, No. 3, pp. 19-35, Sep. 2014, https://doi.org/ 10.5121/ijmvsc.2014.5302

[2] W. J. Stevenson, "Production Operations Management," Boston: McGraw-Hill Irwin, 2004.

[3] M. H. Aziz, "Transportation Method," http://web.ettaxila.edu.pk/CMS/meIE2bs/notes5C01D_Aggregate Planning Transportation Method.pdf, Department of

Industrial Engineering, University of Engineering and Technology, Taxila, 2007.

[4] W. Stevenson and C. Ozgur, "Introduction to Management Science with Spreadsheets; Chapter 6. Transportation, Transshipment, and Assignment Problems," McGraw-Hill, 2007.

[5] N. Madadi and K. Y. Wong, "A Deterministic Aggregate Production Planning Model Considering Quality of Products," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 46, No. 1, pp. 1-11, Jun. 2013, https://doi.org/10.1088/ 1757-899X/46/1/012015

[6] C. Alneder, "Production Management; Chapter 5. Aggregate Planning," http://www.univie.ac.at/prolog/teaching/LVAs/KFK-PM/SS08/pm_ch5.pdf, Mar. 2006.

[7] R. Russell and B. W. Taylor, "Operations Management; Chapter 13. Aggregate Planning," 5th ed., John Wiley & Sons, 2006.

[8] M. Ç. Erdoğan, G. A. Şen, and Ö. Yücel, "Determining the Product Cost using the Transportation Method in Clothing Production," Tekstil ve Konifeksiyon, Vol. 17, No. 2, pp. 132-139, Apr. 2007.

[9] S. I. Gass, "Linear Programming: Methods and Applications," Courier Corporation, 2003.

[10] C. C. Gonzaga, "On the Complexity of Linear Programming," Resenhas IME-USP, Vol. 2, No. 2, pp. 197-207, Jun. 1995.

[11] M. S. Gaglani, "A study on Transportation Problem, Transshipment Problem, Assignment Problem and Supply Chain Management, Chapter 3. New Alternate Methods of Transportation Problem," Thesis Ph. D, Saurashtra University, pp. 20-55, Oct. 2011.

[12] U. K. Das, M. A. Babu, A. R. Khan, M. A. Helal, and M. S. Uddin, "Logical Development of Vogel's Approximation Method(LH-VAM): An Approach to Find Basic Feasible Solution of Transportation Problem," International Journal of Scientific & Technology Research, Vol. 3, No. 2, pp. 42-48, Feb. 2014.

[13] S. Korukoğlu and S. Balli, "An Improved Vogel's Approximation Method for the Transportation Problem," Mathematical and Computational Applications, Vol. 16, No. 2, pp. 370-381, Apr. 2011, https://doi.org/10.3390/mca16020370

[14] SlideShare, "The MODI and VAM Methods of Solving Transportation Problems," Pearson Education Inc., Prentice Hall, pp. 100-105, Oct. 2014.

[15] K. V. V. C. Mouli, K. V. Subbaiah, and S. G. Acharyulu, "Optimal Production Planning Under Resource Constraints," Journal of Scientific & Industrial Research, Vol. 65, No. 12, pp. 966-969, Dec. 2006, http://hdl.handle.net/123456789/4992

[16] S. S. Erengue and S. Tufekci, "A Transportation Type Aggregate Production Model with Backordering," European Journal of Operational Research, Vol. 35, No. 3, pp. 414-425, Jun. 1988, https://doi.org/10.1016/0377-2217(88)90231-7

[17] Y. Chen, "Operations Management; 3. Aggregate/ Production Planning," http://mcu.edu.tw/~ychen/op_mgm/ notes/prod_planning.html, 2016.

## 저 자 소 개

**이 상 운(정회원)**

- 1987년 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)
- 1997년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (석사)
- 2001년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (박사)
- 2003년 : 강원도립대학 컴퓨터응용과 전임강사
- 2004년 ~ 2007년 2월 : 국립원주대학 여성교양과 조교수
- 2007년 3월 ~ 2015년 3월 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 부교수
- 2015년 4월 ~ 현재 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 정교수
- 관심분야 : 소프트웨어 프로젝트 관리, 개발 방법론, 분석과 설계 방법론, 시험 및 품질보증, 소프트웨어 신뢰성, 인공지능과 빅데이터 분석, 최적화 알고리즘
- e-mail : sulee@gwnu.ac.kr