

혈액 물류센터 위치 선정 문제

Facility Location Problem for Blood Logistics Center

이상운*

Sang-Un Lee

요약 본 논문은 혈액의 총 배송비용 최소화과 배송 허용시간 T^* 조건을 만족시키는 최적의 물류센터 위치를 결정하는 알고리즘을 제안하였다. Zhang과 Yang은 각 지역에서 최대 거리에 위치한 2개 지점의 평균값이 배송제한시간보다 작은 지점의 위치를 이동시키는 방법을 제안하였으나 최단거리 계산 오류로 인해 물류센터 위치를 잘못 선정하였다. 제안된 알고리즘은 지역 간 최단거리 l_{ij} 를 구하여 $\max l_{ij} \leq L^*$ 인 지점과 $l_{ij} > L^*$ 인 경로 $p_{ij} = v_i, v_k, \dots, v_l, v_j$ 에 대해 (v_i, v_k) 와 (v_j, v_l) 로 $l_{ij} - L^*$ 위치를 이동시킨 지점들 중에서 $\max l_{ij} \leq L^*$ 인 지점들을 최종 후보 물류센터 위치로 결정하였다. 이들 후보 지점들 중 총 배송비용이 최소가 되는 지점을 최적의 물류센터 지점으로 결정하였다.

Abstract This paper suggests the optimal blood distribution center algorithm that satisfies the minimum total transportation cost and within the allowable distribution time T^* . Zhang and Yang proposes shifting the location of each point that has less than the average distance of two maximum distance points from each point. But they cannot decide the correct facility location because they miscompute the shortest distance. This algorithm computes the shortest distance l_{ij} from one area to another areas. Then we select the v_i area to the candidate distribution center location such that $\max l_{ij} \leq L^*$ and the $v_{i'}$ such that $l_{ij} - L^*$ area that locates in (v_i, v_k) and (v_j, v_l) from $p_{ij} = v_i, v_k, \dots, v_l, v_j$ path and satisfies the $\max l_{ij} \leq L^*$ condition. Finally, we decide the candidate distribution area that has minimum transportation cost to optimal distribution area.

Key Words : 변질 상품 (Perishable Commodity), 배송 허용시간 제약사항 (Allowable Transportation Time Constraints), 시설 위치 결정 문제 (Facility Location Problem), 최단거리 (Shortest Distance)

1. 서론

운송 중 고온, 고습 등의 영향으로 제품이 변질 (또는 부패)될 위험이 있는 제품을 “변질 상품 (perishable Commodity)”이라 한다.^[1] 이러한 종류의 대표적인 상품으로는 혈액, 육류와 수산물 등이 있다. 이와 같이 변질 상품들은 다양하게 존재하며, 다양한 종류의 물류센터에

적용할 수 있으나 본 논문에서는 혈액 분야에 초점을 맞춘다.

혈액 운송체제는 헌혈한 혈액을 혈액원까지 운송하는 체혈액 운송과정과 혈액원에서 제제한 혈액을 실 사용자인 의료기관까지 운송하는 혈액공급과정으로 분류할 수 있다.^[2] 본 논문은 2 가지 운송과정 모두에 적용할 수 있으나 혈액공급과정에 서 특히, 혈액원과 의료기관간의

*정회원, 강릉원주대학교 과학기술대학 멀티미디어공학과
접수일자 2012년 2월 18일, 수정완료 2012년 3월 26일
게재확정일자 2012년 4월 13일

Received: 18 February 2012 / Revised: 26 March 2012 /

Accepted: 13 April 2012

**Corresponding Author: sulee@gwnu.ac.kr

Dept. of Multimedia Eng., Gangneung-Wonju National University,
Korea

중개 역할을 수행하는 물류센터를 다룬다.

혈액과 같이 변질 상품을 지역 의료기관 들에 배송하기 위해서는 양질의 상태를 유지시킬 수 있는 최대 허용 배송시간 (T^*)내에 중앙집중형 물류센터가 위치해야 하며, 이 물류센터는 또한 모든 해당 의료기관 들에 최소의 비용으로 배송할 수 있는 지점에 위치해야 한다.^[1,3] 결국, 최적의 혈액 물류센터 위치를 결정하기 위해서는 배송 허용 가능시간 (T^*) 제약조건과 더불어 총 배송비용 (F_j)을 최소화시킬 수 있어야만 한다. 여기서, 총 배송비용은 변질로 인한 손실비용과 배송비용의 합으로 계산된다.^[3]

최적의 혈액 물류센터 위치를 선정하는 것이 중요한 이유는 다음 사례로 고찰해 볼 수 있다. 식품의약품안전청은 “혈액은 체혈 후 상온에서 4시간이상 경과할 수 없다.”는 혈액생물학 제재기준을 제정하고 있다. 그럼에도 불구하고, 현실적으로는 국내에서 매년 수십만 명 이상이 현혈한 혈액이 처리시간 지연으로 폐기 처리되고 있는 실정이다. 이러한 현상은 혈액운송차량이 긴급차량으로 지정돼 있지 않아 현실적으로는 시내의 극심한 교통정체현상으로 인해 발생하기 때문이다.^[4]

혈액 물류센터 위치를 결정하는 방법은 중심 (Center) 또는 중앙 문제 (Median Problem) 방법으로 해결할 수 있다.^[4] 그러나 이들 방법은 단지 배송비용 조건만을 최소화시키기 위해 0-1 정수계획법 (0-1 Integer programming)을 적용한 선형계획법 (Linear programming)으로 문제를 해결한다.^[5,6] 또한, 물류센터 위치는 기존에 존재하는 지점들에 한정시키며, 지점들 간의 경로 상에 있는 임의의 위치가 최소의 배송비용이 소요되는 지점일지라도 이러한 위치를 선정하지 못하는 단점이 있다.

Zhang과 Yang^[3]은 각 지역에서 최대 거리에 위치한 2개 지점의 평균값이 배송제약시간보다 작은 지점에 대해 위치를 이동시키는 방법으로 경로상의 총 배송비용을 최소화시키는 지점을 물류센터 위치로 결정하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 최소의 배송비용 위치를 결정하는 새로운 방법임에도 불구하고 후보 물류센터에서 각 요구 지점들 간의 최단거리 계산 오류로 인해 물류센터 위치를 잘못 선정하였다.

본 논문은 배송 허용 가능시간 제약조건 (T^*)과 총 배송비용 (F_j)최소화 조건을 만족시키는 최적의 혈액 물류센터 위치를 결정하는 알고리즘을 제안한다.

2장에서는 Zhang과 Yang^[3]이 제안한 방법을 고찰한

다. 3장에서는 최적의 물류센터 위치를 결정하는 알고리즘을 제안하고, 선정된 위치가 최적인지 여부를 검증해 본다.

II. 관련 연구와 문제점

그림 1은 Zhang과 Yang^[3]이 제시한 상품의 지역별 요구량과 거리를 표현한 망이다. 이 사례는 8개 지역으로 구성된 분배망에서 각 지역 간 이동할 수 있는 도로의 거리 (Km)와 지역별 요구량 (demands) d_j 가 주어졌다. 여기서 상품의 단가 (c)는 5, 배송 속도는 40 Km/Hour, 변질 상수 (θ)는 0.01, 배송단가 (h)는 3.0112, 최대 허용 배송시간 (T^*)은 4시간이다.

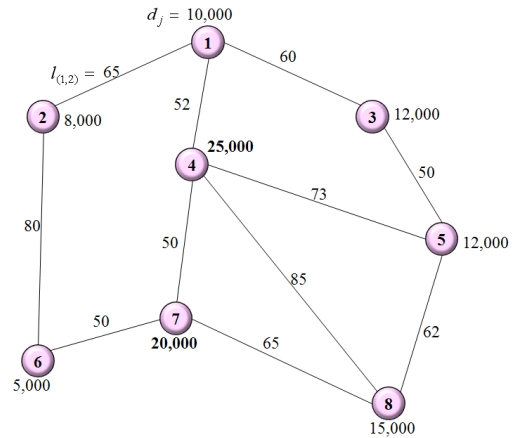


그림 1. 상품 분배 망
Fig. 1. Distribution Network for Commodities

물류센터에서 모든 지역 j 까지의 총 배송비용 F_j 를 다음과 같이 구한다.^[3]

상품을 v_i 에서 v_j 로 배송하는 경우, 상품의 초기수량을 $W_{ij}(0)$, 변질 속도는 일정하며, 변질율은 식 (1)의 미분방정식을 따른다.^[5]

$$\frac{dW_{ij}(t)}{dt} = -\theta W_{ij}(t) \quad (1)$$

여기서 W_{ij} 는 t 시점에서 물류센터 v_i 에서 요구 지역 v_j 로 배송하는 변질되지 않은 상품 수량이며, θ 는 변질

속도 계수이다. 차량 속도를 v_{ij} , $\alpha = \frac{1}{v_{ij}}$, 최단 거리를 l_{ij} 라 하면 v_i 에서 v_j 까지의 소요시간 (t_{ij})은 $t_{ij} = \alpha l_{ij}$ 가 된다. 따라서 v_j 지역에서의 요구량은 식 (2)로 표현된다.

$$W_{ij}(t_{ij}) = d_j \tag{2}$$

식 (1)과 (2)로부터 $W_{ij}(0) = e^{\theta t_{ij}} d_j$ 가 되며, h 를 단위 수량당 배송비용이라 하면 배송비용 (transportation cost)은 식 (3)과 같이 계산된다.

$$Ft_{ij} = \sum_{j=1}^n e^{\theta t_{ij}} h d_j l_{ij} \tag{3}$$

다음으로 상품의 단가를 c 라 하면 변질로 인한 손실 비용 (Perishability lost) Fd_{ij} 는 식 (4)로 계산된다.

$$Fd_{ij} = \sum_{j=1}^n c d_j (e^{\theta t_{ij}} - 1) \tag{4}$$

총 배송비용은 $F_j = Ft_{ij} + Fd_{ij}$ 로 식 (5)로 계산된다.^[5]

$$F_j = \sum_{j=1}^n [e^{\theta t_{ij}} h d_j l_{ij} + c d_j (e^{\theta t_{ij}} - 1)] \tag{5}$$

그림 1의 예제에서 $\alpha = 1/40 = 0.025$ 가 되며, 물류센터에서 모든 지역으로 최단거리로 배송한다고 가정하면 최대 허용 거리 L^* 는 $L^* = T^*/\alpha = 160$ Km이다.

Zhang과 Yang^[3]은 이 예제에 대해 Dijkstra 알고리즘^[8]을 적용하여 표 1의 최단거리를 구하였다.

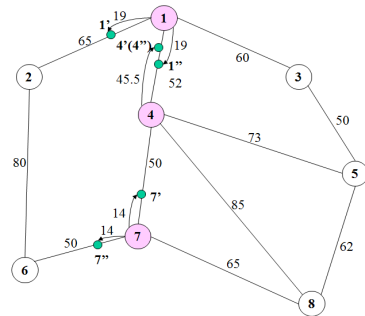
1-Center와 1-Median Problem은 주어진 요구 지역들 중에서 어느 한 곳에 한정시켜 임시 물류센터를 설치하는 방법으로, 만약, 이 지점에서 모든 요구 지점까지의 최대 허용 거리 $L^* = 160$ Km를 만족시키지 못할 경우에는 적용이 불가능하다. 반면에, 1-Absolute Center Problem은 주어진 요구지역이 아닌 임의의 도로상에 물류센터를 설치할 수 있는 장점이 있는 반면에 모든 요구 지점까지의 최대 허용 거리 $L^* = 160$ Km와 총 배송비용의 합이 최소가 되는 조건을 만족시켜야만 한다.

표 1. Zhang-Yang의 최단거리와 경로

Table 1. Shortest Distance and Path of Zhang-Yang

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
|---|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| ① | 0 | 65 (1,2) | 60 (1,3) | 52 (1,4) | 110 (1,5) | 145 (1,6) | 102 (1,7) | 137 (1,8) |
| ② | 65 (2,1) | 0 | 125 (2,3) | 117 (2,4) | 175 (2,5) | 80 (2,6) | 130 (2,7) | 195 (2,6,7,8) |
| ③ | 60 (3,1) | 125 (3,2) | 0 | 112 (3,4) | 50 (3,5) | 205 (3,2,6) | 162 (3,1,4,7) | 112 (3,5,8) |
| ④ | 52 (4,1) | 117 (4,2) | 112 (4,3) | 0 | 73 (4,5) | 100 (4,7) | 50 (4,7) | 85 (4,8) |
| ⑤ | 110 (5,3,1) | 175 (5,3,1,2) | 50 (5,3) | 73 (5,4) | 0 | 173 (5,4,7,6) | 123 (5,4,7) | 62 (5,8) |
| ⑥ | 145 (6,2,1) | 80 (6,2) | 205 (6,2,1,3) | 100 (6,7,4) | 173 (6,7,4,5) | 0 | 50 (6,7) | 115 (6,7,8) |
| ⑦ | 102 (7,4,1) | 130 (7,6,2) | 162 (7,4,1,3) | 50 (7,4) | 123 (7,4,5) | 50 (7,6) | 0 | 65 (7,8) |
| ⑧ | 137 (8,4,1) | 195 (8,7,6,2) | 112 (8,5,3) | 85 (8,4) | 62 (8,5) | 115 (8,7,6) | 65 (8,7) | 0 |

Zhang과 Yang^[3]은 1-Absolute Center Problem 방법을 변형시킨 p -Center 방법을 적용하였다. 여기서 $p \geq 1$ 이다. 모든 지역에서의 최단거리가 최대값인 2개 지점 v_{i1} 과 v_{i2} 까지의 최단거리 값을 l_{i1} 와 l_{i2} 로 하여 $r(o_i) = (l_{i1} + l_{i2})/2$ 로 한다. $r(o_i) = (l_{i1} + l_{i2})/2 < L^*$ 인 지역 v_i 를 선택하여 (v_i, \dots, v_{i1}) 경로와 (v_i, \dots, v_{i2}) 경로에 대해 v_i 에서 $L^* - r(o_i)$ 만큼 떨어진 지점을 v_i' 와 v_i'' 로 임시 물류센터의 후보를 결정한다. 이 방법으로 계산된 결과는 그림 2에 제시되어 있다.



| 지역 | l_{i1} | l_{i2} | $r(o_i)$ | $L^* - r(o_i)$ | 후보 물류센터 위치 |
|-------|----------|----------|--------------|----------------|--|
| v_1 | 145 | 137 | 141 | 19 | $v_1' = (v_1, v_2, v_6), v_1 + 19$ $v_1'' = (v_1, v_4, v_8), v_1 + 19$ |
| v_2 | 195 | 175 | 185 | - | - |
| v_3 | 205 | 162 | 188.5 | - | - |
| v_4 | 117 | 112 | 114.5 | 45.5 | $v_4' = (v_4, v_1, v_2), v_4 + 45.5$ $v_4'' = (v_4, v_1, v_3), v_4 + 45.5$ |
| v_5 | 175 | 173 | 174 | - | - |
| v_6 | 205 | 173 | 189 | - | - |
| v_7 | 162 | 130 | 146 | 14 | $v_7' = (v_7, v_4, v_1, v_3), v_7 + 14$ $v_7'' = (v_7, v_6, v_2), v_7 + 14$ |
| v_8 | 195 | 137 | 166 | - | - |

그림 2. 지역 반경과 후보 물류센터 위치

Fig. 2. Local Radius and Candidate Distribution Center Location

Zhang과 Yang^[3]은 그림 2로부터 얻은 $v_1, v_1', v_1'', v_4', (v_4'')$, v_7, v_7', v_7'' 에서의 최단거리를 표 2로 제시하였다. 이 데이터들 중 v_4 가 누락되어 있고, 최단거리 계산이 잘못 계산된 부분이 다수 존재하여 다시 계산한 결과도 함께 제시하였다.

표 2에서 후보 물류센터 위치 7과 7''는 ③과의 거리가 각각 162와 176 Km로, 이는 $L^* = 160$ Km를 초과하여 후보 위치에서 삭제되어야만 하나 Zhang과 Yang^[3]은 이러한 위치도 후보지로 고려하여 총 배송비용을 계산하였다. 표 2의 각 후보 위치에 대해 식 (5)의 총 배송비용을 계산하여 최적의 위치를 결정한 결과는 표 3과 같다.

표 2. 후보 물류센터에서의 최단거리
Table 2. Shortest Distance from Candidate Distribution Centers

| | | | | | | | | | |
|------|---------|-----|------|------|------|------|-------|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| L' | 1' | 19 | 46 | 79 | 71 | 129 | 126 | 121 | 156 |
| | 1 | 0 | 65 | 60 | 52 | 110 | 145 | 102 | 137 |
| | 1'' | 19 | 84 | 79 | 43 | 91 | 133 | 83 | 118 |
| | 4'(4'') | 6.5 | 71.5 | 65.5 | 45.5 | 79.5 | 145.5 | 95.5 | 130.5 |
| | 7' | 88 | 142 | 148 | 36 | 109 | 50 | 14 | 65 |
| | 7 | 102 | 130 | 162 | 50 | 123 | 50 | 0 | 65 |
| | 7'' | 102 | 116 | 176 | 64 | 137 | 36 | 14 | 65 |

↓ (정정)

| | | | | | | | | | |
|------|---------|-----|------|------|------|-------|-------|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| L' | 1' | 19 | 46 | 79 | 71 | 129 | 126 | 121 | 156 |
| | 1 | 0 | 65 | 60 | 52 | 110 | 145 | 102 | 137 |
| | 1'' | 19 | 84 | 79 | 33 | 106 | 133 | 83 | 118 |
| | 4'(4'') | 6.5 | 71.5 | 66.5 | 45.5 | 118.5 | 145.5 | 95.5 | 130.5 |
| | 4 | 52 | 117 | 112 | 0 | 73 | 100 | 50 | 85 |
| | 7' | 88 | 144 | 148 | 36 | 109 | 64 | 14 | 79 |
| | 7 | 102 | 130 | 162 | 50 | 123 | 50 | 0 | 65 |
| | 7'' | 116 | 116 | 176 | 64 | 137 | 36 | 14 | 79 |

표 3. 후보 물류센터의 총 배송비용
Table 3. Total Transportation Cost of Candidate Distribution Center

| 후보 물류센터 | Zhang과 Yang ^[3] | | 수정된 결과 | |
|---------------|----------------------------|--------|----------------------|--------------|
| | F_j | 최적해 | F_j | 최적해 |
| v_1' | 3.1669×10^6 | v_7' | 3.1669×10^6 | v_4 |
| v_1 | 2.6823×10^6 | | 2.6823×10^6 | |
| v_1'' | 2.4861×10^6 | | 2.4663×10^6 | |
| $v_4'(v_4'')$ | 2.5012×10^6 | | 2.6530×10^6 | |
| v_4 | - | | 1.9859×10^6 | |
| v_7' | 2.3186×10^6 | | 2.4110×10^6 | |
| v_7 | 2.4632×10^6 | | 2.4632×10^6 | 후보지에 서 제외 |
| v_7'' | 2.7079×10^6 | | 2.8180×10^6 | |

Zhang과 Yang^[3]은 $v_1'', v_4'(v_4''), v_7', v_7''$ 의 최단거리 계산 오류와 v_4 누락으로 인해 임시 물류센터의 위치를 v_7' 로 결정하였다. 결국, v_7' 는 v_3 과의 거리가 $L^* = 160$ Km 조건을 초과하여 후보 위치가 되지 못한다. 표 3에서는 총 배송비용을 정정한 값을 적용하고, ④ 위치도 고려한 결과 최적의 위치는 v_4 임을 보였다. 즉, 수정된 결과는 v_4 를 최적 후보지로 결정되었으며, 이 지점은 $L^* = 160$ Km 조건도 충족시키면서 v_7' 의 총 물류비용도 $4,251 \times 10^6$ 감소시키는 결과를 얻었다.

III. 물류센터 위치 결정 알고리즘

본 장에서 제안하는 후보 물류센터 위치 알고리즘은 2부분으로 구분된다. 첫 번째 부분은 $L^* = 160$ Km 제약 조건을 만족하는 후보 물류센터 위치를 결정하는 과정이며, 두 번째 부분은 후보 물류센터 위치들 중에서 총 배송비용 F_j 가 최소인 지점을 결정하는 과정이다.

첫 번째로, L^* 제약조건을 만족하는 후보 물류센터 위치는 다음과 같이 4단계로 수행한다.

Step 1. 각 요구지역 $(v_i, v_j), 1 \leq i \leq 8, 1 \leq j \leq 8$ 간 최단거리를 Dijkstra 알고리즘^[8]으로 계산한다.

Dijkstra 알고리즘^[8]으로 구한 각 지점 (v_i, v_j) 간 최단거리와 경로는 표 4와 같다.

표 4. 최단거리와 경로
Table 4. Shortest Distance and Path

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ① | 0 | 65 (1,2) | 60 (1,3) | 52 (1,4) | 110 (1,5) | 145 (1,6) | 102 (1,7) | 137 (1,8) |
| ② | 65 (2,1) | 0 | 125 (2,3) | 117 (2,4) | 175 (2,5) | 80 (2,6) | 130 (2,7) | 195 (2,8) |
| ③ | 60 (3,1) | 125 (3,2) | 0 | 112 (3,4) | 50 (3,5) | 205 (3,6) | 162 (3,7) | 112 (3,8) |
| ④ | 52 (4,1) | 117 (4,2) | 112 (4,3) | 0 | 73 (4,5) | 100 (4,6) | 50 (4,7) | 85 (4,8) |
| ⑤ | 110 (5,1) | 175 (5,2) | 50 (5,3) | 73 (5,4) | 0 | 173 (5,6) | 123 (5,7) | 62 (5,8) |
| ⑥ | 145 (6,1) | 80 (6,2) | 205 (6,3) | 100 (6,4) | 173 (6,5) | 0 | 50 (6,7) | 115 (6,8) |
| ⑦ | 102 (7,1) | 130 (7,2) | 162 (7,3) | 50 (7,4) | 123 (7,5) | 50 (7,6) | 0 | 65 (7,8) |
| ⑧ | 137 (8,1) | 195 (8,2) | 112 (8,3) | 85 (8,4) | 62 (8,5) | 115 (8,6) | 65 (8,7) | 0 |

후보 물류센터는 다음과 같이 결정한다.

Step 2. 기본적으로, 최단거리 행렬 L 의 각 행에 대해 최대값 $\max_{ij} l_{ij} \leq L^*$ 인 지점을 후보 물류센터로 선택한다.

표 3의 최단거리 데이터에서 $\max l_{ij} \leq L^*$ 을 만족하는 지점은 v_1, v_4 로 기본적 후보 물류센터는 {1,4}가 된다.

Step 3. 추가적으로, $l_{ij} > L^*$ 인 지점에 대해 $l_{ij} > L^*$ 양 끝단 (v_i, v_j) 을 기점으로 하는 경로를 선택한다. $l_{ij} > L^*$ 인 값의 경로 $(p_{ij} = v_i, v_k, \dots, v_l, v_j)$ 에 대해 v_i 에서 v_k 방향으로 $m_{ij} = l_{ij} - L^*$ 만큼, v_j 에서 v_l 방향으로 $m_{ij} = l_{ij} - L^*$ 만큼 이동시킨 위치를 후보 물류지점에 추가로 포함시킨다.

표 4의 최단거리 데이터에서 $l_{ij} > L^*$ 을 선택하고, 이동된 후보 지점들은 그림 3과 같다. 즉, 추가 후보 물류센터는 $\{2', 2'', 3', 3'', 5', 5'', 6', 6'', 7', 8'\}$ 가 된다.

Step 2와 Step 3에서 얻은 최종 후보 물류센터 위치는 그림 4와 같이 $\{1, 2', 2'', 3', 3'', 4, 5', 5'', 6', 6'', 7', 8'\}$ 가 된다.

Step 4. Step 3에서 결정된 후보 물류센터 각 지점으로부터 모든 요구지역까지의 최단거리 l_{ij} 를 계산하여 $l_{ij} > L^*$ 이면 후보 집합에서 삭제한다.

각 후보 물류센터 $\{1, 2', 2'', 3', 3'', 4, 5', 5'', 6', 6'', 7', 8'\}$ 에서 배송을 할 지점들 간의 최단거리를 결정할 결과는 그림 5와 같다.

v_2 는 양쪽 끝단인 v_5 와 v_8 이 $L^* = 160$ 을 초과하여 어느 쪽으로 이동하던지 간에 $L^* = 160$ 이하를 만족시키지 못해 $2'$ 와 $2''$ 는 후보에서 삭제된다. 이와 같은 현상은 $5', 5''$ 와 $6', 6''$ 에서도 발생한다. $3', 3''$ 는 특이하게 (v_3, v_1) 의 동일한 방향으로 2개 지점으로 이동하는 형태로, $3'$ 는 45 Km를, $3''$ 는 2 Km를 이동하게 되어 있다. 이 경우 $3'$ 는 $L^* = 160$ 이하를 만족시키거나 $3''$ 는 ⑥이 만족시키지 못하여 후보 물류센터에서 삭제된다. 결국, 후보 물류센터는 $\{1, 2', 2'', 3', 3'', 4, 5', 5'', 6', 6'', 7', 8'\}$ 에서 $\{2', 2'', 5', 5'', 6', 6''\}$ 가 삭제되고 그림 6과 같이 $\{1, 3', 4, 7', 8'\}$ 로 결정된다.

두 번째로, 총 배송비용 F_j 가 최소인 지점을 최적의 위치로 결정하는 과정은 다음과 같이 2단계로 수행한다.

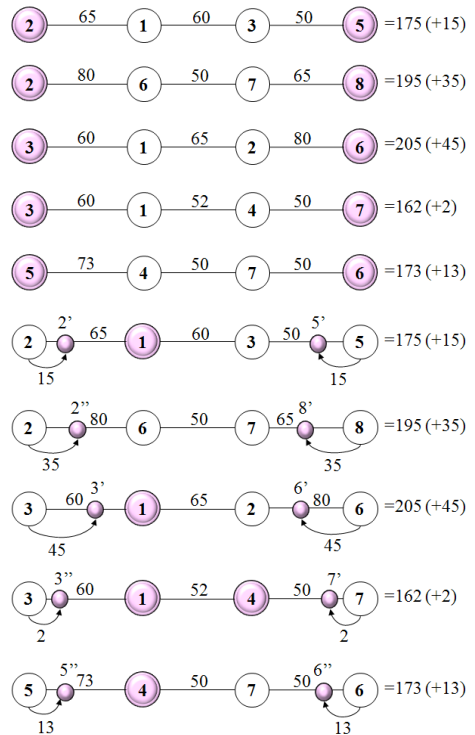


그림 3. $l_{ij} > L^*$ 의 후보 물류센터 위치
Fig. 3. Candidate Distribution Center Location for $l_{ij} > L^*$

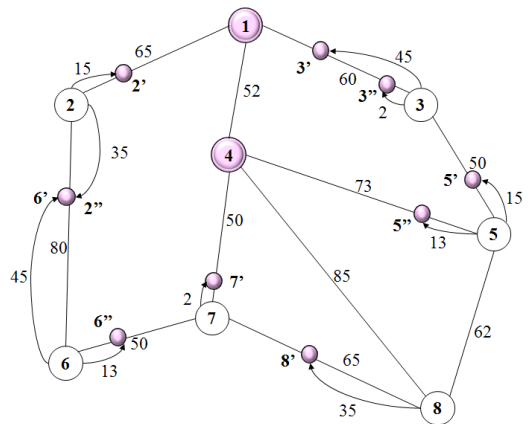
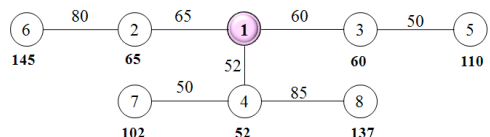


그림 4. 후보 물류센터 위치
Fig. 4. Candidate Distribution Center Location



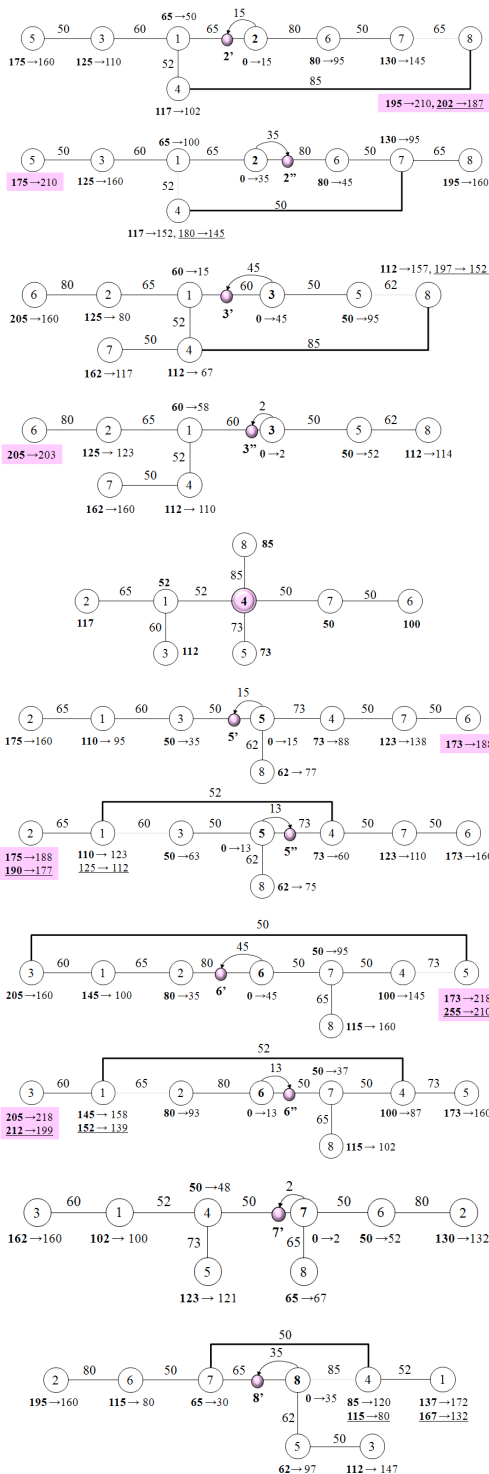


그림 5. 후보 물류센터 위치들의 최단거리
Fig. 5. Shortest distance for Candidate Distribution Center

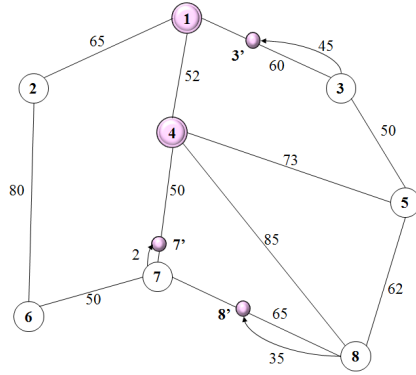


그림 6. 최종 후보 물류센터 위치
Fig. 6. Final Candidate Distribution Center Location

Step 1. 최종 후보 물류센터들 각각의 총배송비용 F_j 를 계산하여 최소값을 가진 지역 2곳을 선택한다.

결정된 후보 물류센터 위치들 각각에서 요구 지역까지의 최단 거리 L' 를 구한 결과는 표 5와 같다.

표 5. 후보 물류센터의 최단거리
Table 5. Shortest Distance for Candidate Distribution Centers

$$L' = \begin{bmatrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 1 & 0 & 65 & 60 & 52 & 110 & 145 & 102 & 137 \\ 3' & 15 & 80 & 45 & 67 & 95 & 160 & 117 & 152 \\ 4 & 52 & 117 & 112 & 0 & 73 & 100 & 50 & 85 \\ 7' & 100 & 132 & 160 & 48 & 121 & 52 & 2 & 67 \\ 8' & 132 & 160 & 147 & 80 & 97 & 80 & 30 & 35 \end{bmatrix}$$

{1, 3', 4, 7', 8'} 후보지들에 대한 총 배송비용을 계산하여 최소값을 가진 2개 후보지를 결정한 결과는 표 6과 같다.

표 6. 후보 물류센터의 총 배송비용
Table 6. Total Transportation Cost of Candidate Distribution Center

| 후보 물류센터 | $v_4(25,000), v_6(5,000)$ | 최적해 후보지 | $v_4(5,000), v_6(25,000)$ | 최적해 후보지 |
|------------|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| | F_j | | F_j | |
| v_1 | 26,823,527 | (v_7', v_4) | 32,708,124 | (v_4, v_7') |
| $v_{3'}$ | 29,614,340 | | 35,542,655 | |
| v_4 | 19,859,499 | | 26,036,888 | |
| $v_{7'}$ | 24,556,089 | | 24,803,165 | |
| $v_{8'}$ | 28,020,881 | | 28,020,881 | |

Step 2. Step 1에서 얻은 $v_4(25,000), v_6(5,000)$ 인 경우의 최적해 후보지 (v_7', v_4)와 $v_4(5,000), v_6(25,000)$ 인 경우의 (v_4, v_7') 경로상에서 1 Km 간격으로 F_j 를 계산하여 최소값 지점을 최종 물류센터 위치로 결정한다.

$v_4(25,000), v_6(5,000)$ 인 경우의 최적해 후보지 (v_7', v_4)와 $v_4(5,000), v_6(25,000)$ 인 경우의 (v_4, v_7') 경로상에서 1 Km 간격으로 F_j 를 계산한 결과는 각각 그림 7과 그림 8에 제시되어 있다. 여기서 x 축은 ④ 위치에서 ⑦ 위치까지의 1Km 간격의 거리를 나타내고 있으며, y 축은 각 지점에서 모든 다른 모든 지점들까지의 총 수송비용을 표현하고 있다. 결국, $v_4(25,000), v_6(5,000)$ 인 경우의 최적 물류센터 위치는 v_4 로 결정되었으며, $v_4(5,000), v_6(25,000)$ 인 경우 v_7' 로 결정되었다.

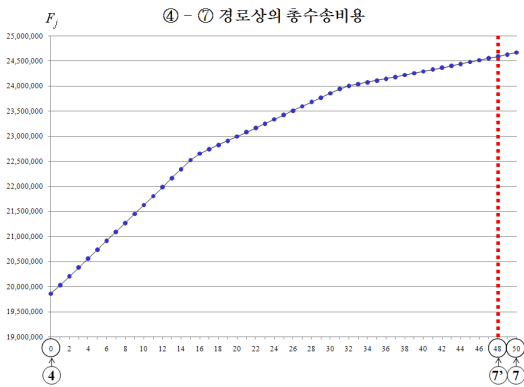


그림 7. $v_4(25,000), v_6(5,000)$ 인 경우 최적위치 v_4 결정
Fig. 7. Optimal Location v_4 for $v_4(25,000), v_6(5,000)$

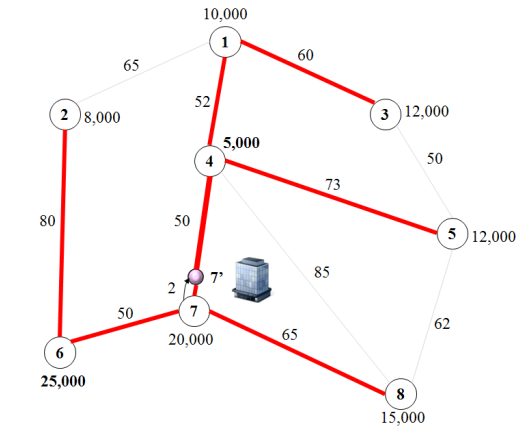
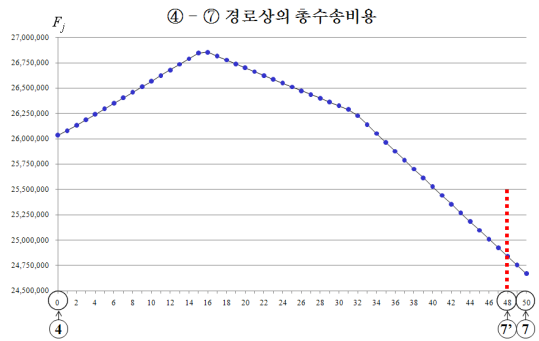
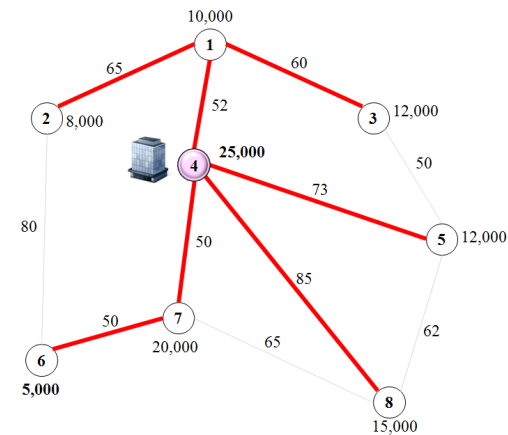


그림 8. $v_4(5,000), v_6(25,000)$ 인 경우 최적위치 결정
Fig. 8. Optimal Location v_7' for $v_4(5,000), v_6(25,000)$

지금까지는 각 요구지역에서 독립적으로 혈액운송차량을 운영하는 배송하는 “개별 배송 체계”인 경우를 고찰하였다. 이 경우 배송차량 대수는 7대 또는 8대가 소요된다.

만약, 중간 경로에 있는 지점들은 원거리 지점 배송차량을 활용하는 “공동 배송 체계”라고 가정하여 보자. 이 경우 그림 9와 같이 물류센터 v_1 과 v_3 는 v_5, v_6, v_7, v_8 까지 운행하는 4대가 필요하며, v_4 는 v_2, v_3, v_5, v_8, v_6 까지 배송하는 5대의 차량, v_7 는 v_2, v_3, v_5, v_8 까지 배송하는 4대의 차량이, v_8 는 v_1, v_2, v_3 의 3대가 필요하다. 이러한 결과에 기반하여 총 수송비용을 계산한 결과는 표 7에 제시되어 있다.

표 7은 표 6의 결과에 비해 배송비용이 감소하는 효과뿐 아니라 차량운영대수도 줄일 수 있는 효과를 얻었다. 추가적으로, 보다 효율적인 위치 선정 문제로 발전시키기 위해서는 차량 운영 대수 감소로 인한 운영 비용 측면의 효율성과 운송비용 증가의 교환 (trade-off)을 적용할

수 있는 이론 정립과 더불어 알고리즘 개발이 요구된다. 예로, 그림 9에서 물류센터가 v_4 에 위치한 경우 현재는 5대의 운송차량이 필요함을 알 수 있다. 여기서 $v_4 \rightarrow v_5, v_4 \rightarrow v_8$ 의 2대 운송차량을 $v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_8$ 로 1대로 감소시키면 $(v_4, v_8) = 85 \text{ Km}$ 가 $73 + 62 = 135 \text{ Km}$ 로

변경되어 50 Km가 증가함으로 인해 운송비용이 증가한다. 이 경우 운송비용은 19,782,740에서 22,064,097로 2,281,357이 증가한다. 이 증가된 비용이 운송차량 1대를 감소시키는 효과보다 큰지 여부에 따라 교환을 적용할 수 있다.

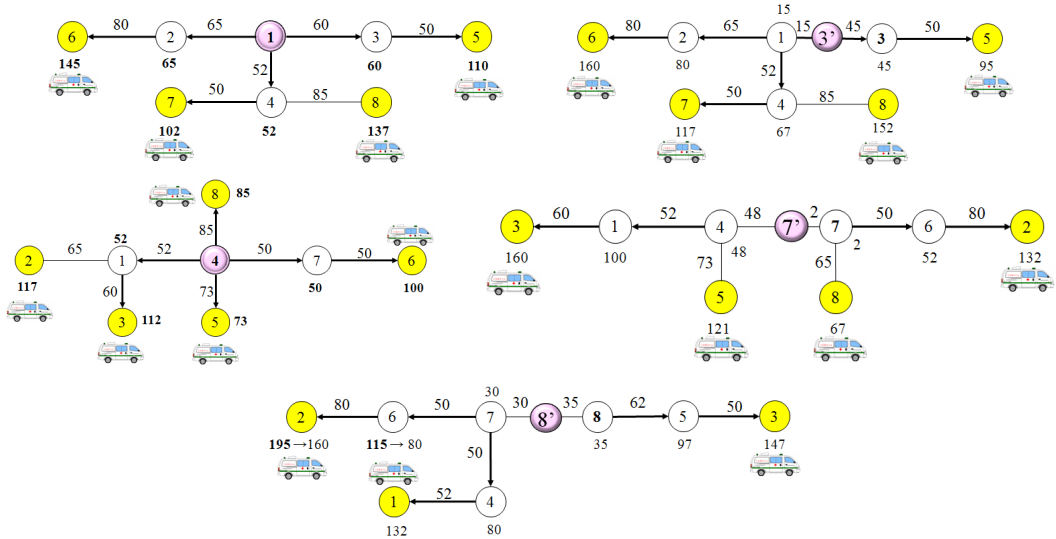


그림 9. 공동배송체계의 물류센터 차량 대수

Fig. 9. The number of vehicles in distribution center for common distribute system

표 7. 공동배송체계의 후보 물류센터의 총 배송비용

Table 7. Total transportation cost of candidate distribution center for common distribute system

| 물류센터 | v_1 | v_2 | v_3 | v_4 | v_5 | v_6 | v_7 | v_8 | F_j |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|------------|
| | 10,000 | 8,000 | 12,000 | 25,000 | 12,000 | 5,000 | 20,000 | 15,000 | |
| v_1 | 10,000 (0) | 13,000 (65) | 23,000 (60) | 45,000 (52) | 12,000 (50) | 5,000 (80) | 20,000 (50) | 15,000 (137) | 26,648,130 |
| $v_{3'}$ | 23,000 (15) | 13,000 (65) | 24,000 (45) | 45,000 (67) | 12,000 (50) | 5,000 (80) | 20,000 (50) | 15,000 (152) | 29,400,781 |
| v_4 | 22,000 (52) | 8,000 (117) | 12,000 (60) | 25,000 (0) | 12,000 (73) | 5,000 (50) | 25,000 (50) | 15,000 (85) | 19,782,740 |
| $v_{7'}$ | 22,000 (52) | 8,000 (80) | 12,000 (60) | 47,000 (48) | 12,000 (121) | 13,000 (50) | 33,000 (2) | 15,000 (67) | 24,306,750 |
| $v_{8'}$ | 10,000 (52) | 8,000 (80) | 12,000 (50) | 35,000 (80) | 24,000 (62) | 13,000 (50) | 33,000 (30) | 39,000 (35) | 27,677,440 |

| 물류센터 | v_1 | v_2 | v_3 | v_4 | v_5 | v_6 | v_7 | v_8 | F_j |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|------------|
| | 10,000 | 8,000 | 12,000 | 5,000 | 12,000 | 25,000 | 20,000 | 15,000 | |
| v_1 | 10,000 (0) | 33,000 (65) | 24,000 (60) | 25,000 (52) | 12,000 (50) | 25,000 (80) | 20,000 (50) | 15,000 (137) | 32,371,795 |
| $v_{3'}$ | 43,000 (15) | 33,000 (65) | 24,000 (45) | 25,000 (67) | 12,000 (50) | 25,000 (80) | 20,000 (50) | 15,000 (152) | 35,100,656 |
| v_4 | 22,000 (52) | 8,000 (117) | 12,000 (60) | 5,000 (0) | 12,000 (73) | 25,000 (50) | 45,000 (50) | 15,000 (85) | 25,883,409 |
| $v_{7'}$ | 22,000 (52) | 8,000 (80) | 12,000 (60) | 27,000 (48) | 12,000 (121) | 33,000 (50) | 53,000 (2) | 15,000 (67) | 24,550,786 |
| $v_{8'}$ | 10,000 (52) | 8,000 (80) | 12,000 (50) | 15,000 (80) | 24,000 (62) | 33,000 (50) | 53,000 (30) | 39,000 (35) | 27,631,580 |

제안된 알고리즘은 $v_4(25,000), v_6(5,000)$ 인 경우, Zhang과 Yang[3]의 결과에 비해 $L^* = 160$ Km의 조건도 만족시키면서 총 물류비용도 $4,251 \times 10^6$ 감소시키는 결과를 얻었으며, 추가적으로 $v_4(5,000), v_6(25,000)$ 으로 변경되는 경우에도 최적의 위치를 결정할 수 있었다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 논문은 변질 상품의 총 배송비용 최소화와 배송시간 제약조건을 만족시키는 최적의 물류센터 위치를 결정하는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 단순히 $\max l_{ij} \leq L^*$ 인 v_i 와 $l_{ij} > L^*$ 인 경로 $p_{ij} = v_i, v_k, \dots, v_p, v_j$ 에 대해 (v_i, v_k) 와 (v_j, v_i) 에서 $l_{ij} - L^*$ 위치를 후보 물류센터 위치로 결정하였다. 후보 물류센터 v_i 와 요구 지역간의 최단거리 l_{ij} 를 구하여 $\max l_{ij} \leq L^*$ 인 위치들을 최종 후보로 선정하였다. 최종 후보들 중에서 총 배송비용이 최소가 되는 지점을 최적의 물류센터 위치로 결정하였다.

제안된 알고리즘은 최대 운영 차량 대수 제약조건과 배송을 종료하고 물류센터로 복귀하는 과정의 차량운행비용은 고려하지 않았다. 만약, 이 조건들까지 고려하여 문제를 풀고자 하면 NP-완전 (NP-Complete)로 다항시간 알고리즘이 알려져 있지 않은 Routing Problem으로 해결해야 한다. 따라서, 추후 이러한 조건도 고려한 최적 위치 결정 문제를 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] K. H. Hahn, H. Hwang, and S. W. Shinn, "A Returns Policy for Distribution Channel Coordination of Perishable Items", *European Journal of Operational Research*, Vol. 152, pp. 770-780, 2004.

[2] Korean Red Cross Blood Services, "Blood information: Blood supply chain", http://www.bloodinfo.net/blood_supply_process.do, 2011.

[3] M. Zhang and J. Yang, "Optimization Modeling and Algorithm of Facility Location Problem in

Perishable Commodities Emergency System", *The International Conference on Natural Computation (ICNC)*, IEEE Computer Society, pp. 246-250, 2007.

[4] The Internet Hankyoreh "Hundreds of thousands of blood donation cause delay in processing discarded", <http://www.hani.co.kr/section-003000000/2001/08/p003000000200108131115471.html>, The Hankyoreh. 2001.8.13

[5] O. Berman, Z. Drezner, and G. O. Wesolowsky, "Locating Service Facilities Whose Reliability is Distance Dependent," *Computers and Operations Research*, Vol. 30, pp. 1683-1695, 2003.

[6] H. A. Eiselt and C-L, Sandblom, "Decision Analysis, Location Models, and Scheduling Problems, Part II: Location and Layout Decisions, Chapter 2. Location Models on Networks", pp. 169-210, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.

[7] H. S. Hwang, "A Stochastic Set-covering Location Model for Both Ameliorating and Deteriorating Items", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 46, No. 2, pp. 313-319, 2004.

[8] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein, "Introduction to Algorithms (2nd ed.), Section 24.3: Dijkstra's algorithm", MIT Press and McGraw-Hill. pp. 595 - 601, 2001.

저자 소개

이 상 운



- 1987년: 한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)
 - 1997년: 경상대학교 컴퓨터학과 (석사)
 - 2001년 : 경상대학교 컴퓨터학과 (박사)
 - 2003년 : 강원도립대학 컴퓨터응용과 전임강사
 - 2004년 ~ 2007.2 : 국립 원주대학 여성교양과 조교수
 - 2007.3 ~ 현재 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 부교수
- <관심분야 : 소프트웨어 프로젝트 관리, 개발 방법론, 소프트웨어 척도, 분석과 설계 방법론, 시험 및 품질보증, 소프트웨어 신뢰성, 신경망, 뉴로-퍼지, 그래프 알고리즘>
- e-mail : sulee@gwnu.ac.kr