

기간별 수요가 변하는 상황에서의 입지선정 문제에 관한 연구

최순식 · 이영훈[†]

연세대학교 정보산업공학과

The Multi-period Demand Changing Location Problem

Soon-Sik Choi · Young-Hoon Lee

Department of Information and Industrial Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

A new location model, where the demand varies by periods, and the facility at each period can be open or closed depending on the demand, is discussed in this paper. General facility location problem is extended with the assumption that demands per period vary. A mixed integer programming is suggested and the solution is found for various instances which are randomly generated. Instances included various cases with respect to the length of periods, moving distance of customer locations, and cost structure. The characteristics of optimal solutions are analyzed for various cases, and it is shown that demand changing location model can be applied in a practical fields of supply chains.

Keywords: Facility Location Problem, Demand Changing Location Problem, Switching Cost

1. 서론

최근 기업의 경영환경은 급속도로 변화해왔으며 앞으로도 그 속도는 더욱 빠르게 진행될 것이다. 또한 인터넷의 발전으로 인하여 전자상거래환경이 급속히 확산되고 기업의 경영구조와 고객의 요구가 다양화됨에 따라 고객만족을 통한 기업의 경쟁우위 확보가 더욱 치열해지고 있다. 그 중에서도 수요의 불확실한 생성 및 변화는 기업이 직면하고 있는 커다란 이슈가 되고 있다. 예를 들어 계절별 수요의 지역차가 크게 발생하는 계절상품이나 특정 기간에 특정 지역으로의 수요 집중현상(명절 기간의 상품 배송, 자동차 이동정비 센터) 등이 이에 해당하는 대표적인 경우라 할 수 있다. 한국 등 아시아의 몇 개 국가의 특별한 경우로 명절 기간 짧은 기간 동안 수요의 대이동에 따른 지역별 수요 불균형적 발생은 보다 짧고 기민한 의사 결정을 필요로 하게 된다. 이러한 수요의 변화로 발생하는 기업의 경영환경의 변동성은 적지 않은 부담이 된다. 따라서 경영환경의 변화에 따라 공급사슬관리(Supply Chain Management : SCM)의 개념이 많은 기업들에 의해 빠르게 도입되고 있다. 이 개념은 1990년대 중반 이후 세계적으로 많은 반향을

일으키고 있는데, 그 이유는 현재 글로벌 기업들이 가지고 있는 많은 문제들을 포괄하고 있다는 점이다. 국내의 경우도 예외일 수 없으며, 실제로 많은 국내기업들이 기업 내외적으로 연결된 비즈니스 환경의 최적화에 현실적인 관심을 가지게 되었다(이영훈 외, 2002). 그러한 경영활동의 전체 최적화 노력에는 많은 중요한 의사결정 문제를 수반하고 있다. 이 때 고려되어지는 중요한 하나의 문제가 설비 입지 선정문제(Facility Location Problem : FLP)이다.

설비입지 선정문제(FLP)는 기업의 중요한 장기 의사결정문제 중의 하나로써 공장이나 창고와 같은 생산시설을 설치할 수 있는 후보입지가 주어지고 이러한 생산시설로부터 공급되는 제품에 대한 수요발생 지역이 주어지며 또한 생산시설 설치비용 및 운영비용, 제품 수요량, 그리고 각 시설로부터 각 수요발생지역으로 제품을 수송할 때 소요되는 수송비용 등이 있다고 가정할 때, 최소의 비용으로 모든 제품 수요량을 충족시키기 위한 생산시설들의 입지를 결정하는 문제이다. 이러한 기본적인 개념을 바탕으로 새로운 제한조건을 추가하여 다양한 많은 문제를 제시 및 고찰할 수 있다.

설비 입지 문제는 설치 목적 및 용도에 따라 공공부문(Public

[†] 연락저자 : 이영훈, 120-749 서울시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 정보산업공학과, Tel : 02-2123-4813, Fax : 02-364-7807

E-mail : youngh@yonsei.ac.kr

2007년 10월 접수; 2007년 11월 수정본 접수; 2007년 11월 게재 확정.

Sector)와 민간부문(Private Sector)로 구분할 수 있다. 실제로 공공부문에서도 다양하게 적용될 수 있다.

민간설비는 영리추구가 목적이기 때문에 의사결정의 주요 목표도 비용최소화, 이익최대화, 시장 점유율 최대화로 나타난다. 반면에 공공설비는 사회 복지의 최대화 또는 사회적 비용의 최소화에 중점을 두고 있다. 그러나 관공서, 소방서, 학교, 의료센터, 등 각종 대민관련 시설의 경우, 이윤을 추구하는 것은 아니지만 비용을 최소화하는 것을 목적으로 동일한 연구 유형으로 접근이 가능하다.

설비 입지 문제의 유형을 보다 명확하게 이해하는 것은 앞으로의 연구에 있어서 선행되어야 할 부분이다. 문제의 유형을 나누는 여러 가지 카테고리라 존재한다. 앞서 언급한 시설의 목적에 따른 구분, 의사결정의 목적(목적함수)에 의한 구분, 설비의 용량제한의 유무에 따른 구분, 전체 사용가능한 비용제한의 유무에 따른 구분, 설비의 크기차이의 유무에 따른 구분 등이 있다. 그 밖에도 특수한 제약조건을 추가하여 독특한 문제를 정의하고 해결하는 것이 가능하다. 아래 <Table 1>은 이러한 설비입지문제에 대한 개괄적인 분류를 보여준다.

Table 1. Classification of Facility Location Problem

Section	Division 1	Division 2	Division 3	Division 4
Application Field	Public	Civil	-	-
Number of Facility	Single FLP	Multi FLP	-	-
Demand Form	Deterministic	Stochastic	-	-
Demand Shifting	Demand Fixing	Demand Changing	-	-
Facility Shifting	Static	Dynamic	-	-
Capacity	UFLP	CFLP	-	-
Facility Level	Single Level	Hierarchic Level	Generalized Level	-
Product	Single Product	Multi Product	-	-
Cost	Opening Cost	Opening, Operating Cost	Opening, Closing, Operating Cost	Opening, Operating, Switching Cost
Budget Constraint	Consider	Not Consider	-	-
Service Distance Constraint	Consider	Not Consider	-	-
Special FLP	Competitive FLP, Military FLP, FLAP (Facility Location-Allocation Problem)			
Objective	1. Total cost minimize 2. Total service coverage maximize 3. Facilities' fluctuation minimize			

위 <Table 1>에서 볼 수 있듯이 입지선정문제는 상당히 복잡하고 다양한 요소에 의해 구분이 될 수 있다. Section은 기본적인 입지선정문제 반영될 수 있는 핵심 요소(구분기준)를 나타내는 것으로 대표적으로 몇 가지를 제시하였으며, Division은 그에 따른 문제를 구분해 놓은 문제의 영역을 나타낸 것이다. 물론 이러한 구분으로 모든 입지선정문제를 구분한다는 것은 많은 제한이 따른다. 그러나 대부분의 문제는 이러한 구분의 범위에서 크게 벗어나지 않으며, 위의 문제에 부가적인 개념을 추가하여 문제를 정의하고 있는 것이 연구 분야의 동향이다.

본 논문에서는 위에서 언급한 문제를 해결하기 위하여 변화하는 수요와 비용 구체화를 통하여 FLP 모델을 변형시켜 보다 현실적인 상황 하에서의 새로운 모델을 제시한다.

또한 이 모델을 이용하여 기존의 연구 사례와 비교해봄으로써 총비용과 계산시간이 얼마나 절감이 되는지 알아본다. 이러한 문제 해결 방법은 현재의 불확실하고 변동성이 큰 시장 환경 하에서 비용을 절감시키는데 크게 이바지 할 수 있을 것이고, 관련된 입지결정 의사결정시 참고가 될 수 있을 것이라 생각한다.

논문에서 해결하고자 하는 문제는 변형된 설비 입지 문제로 볼 수 있다. 즉, 기간별로 고객의 수요위치와 요구량이 변화하고, 설비의 운영여부의 변화에 따른 전환비용을 고려하였다. 또한, 설비 후보지들은 서비스를 하기 위한 용량의 제한이 있는 문제이다.

본 논문에서 다루는 문제는 또 다른 특성을 갖는 새로운 문제라 할 수 있으며 앞으로 이 문제를 DCLP(Demand Changing Location Problem)라 명명할 것이다. <Figure 1>은 그러한 분류에 의한 본 문제의 위치를 구분한 것이다. <Table 1>에서의 특성을 기초로 고려해 보면 새롭게 특성화된 문제라는 것을 알 수 있다.

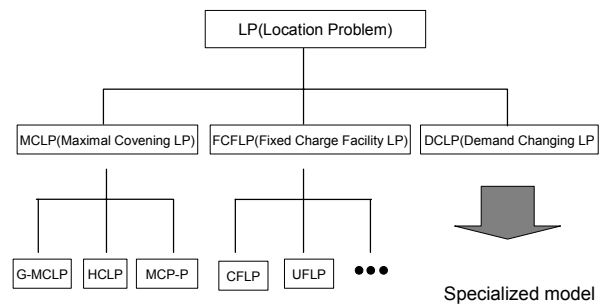


Figure 1. Location Research Categories

DCLP는 문제 특성상 기존의 입지문제가 가지는 여러 가지 특성을 가지지만, 기간에 따른 수요의 위치변화, 설비의 가동의 변화에 따르는 전환비용의 발생 등 추가적인 개념을 반영한 새로운 모델로써 또 하나의 연구영역을 보여주는 경우라 할 수 있다. 이러한 특성화된 문제의 연구는 보다 폭넓은 연구의 큰 바탕이 될 것이다.

입지 선정 문제(Facility Location Problem)는 Alfred Weber (1909)에 의해 최초로 제시되었으며 프로세스는 다음과 같다. 차량 적재용량이 동일하며 고객의 수요 위치와 요구량은 확정적이며, 설비의 설치비용만 가정했으며, 설비 후보지의 용량은 고려되지 않았다. 이러한 가정 하에 하나의 설비의 입지를 결정하는 문제로서 단일 설비입지문제(Single FLP)라고도 불린다. 이 문제의 목적함수는 총 비용을 최소화하는 것이다.

평면상에서의 1-median 문제는 Weber 문제로 알려져 있으며, 이 모델이 일반화되어 P-median 문제가 연구되었다. P-median 문제는 어떤 지역에 설치할 시설의 수가 정해져 있는 경우, 그 시설물을 사용하고자 하는 수요자의 평균거리(시간 또는 비용)를 최소화하는 설비의 적정 위치를 결정하는 문제이다. Hakimi(1964)는 최초로 이 문제를 모델로 제시하였으며 이후 많은 연구가 진행되었다.

Balinski(1963)는 용량제약이 미 고려된 설비 입지 문제(UFLP)인 단일 설비 입지 문제(SFLP)를 제시하였다. 이 모델은 입지 연구의 가장 중요한 모델로 분류되어 이후에 진행이 활발히 이루어졌다. Kuehn and Hamburger(1963)는 용량제약이 없는 설비 입지 문제를 해결하기 위해 처음으로 휴리스틱을 제안하였다. 이 휴리스틱은 greedy 방법과 local search 방법의 두 단계로 이루어져 있다. greedy 방법은 ADD 방법이라고도 불리는데, 최초로 모든 설비를 닫아두고 총 비용을 최대한 절약하는 결과를 가져오는 설비부터 하나씩 열어가는 방법이다. 또한, 더 이상 비용을 절약하는 설비가 없으면 중지하게 된다. 이와 반대로 최초로 모든 설비를 열어두고 하나씩 닫아가는 방법을 DROP 방법이라고 한다. local search 방법은 열린 설비와 닫힌 설비를 총 비용을 감소시키는 범위 안에서 교체를 해나가는 것이다. 이러한 초기의 휴리스틱 기법은 많은 이후 연구의 기초를 제공해 주었으며 정확한 해법이 개발되는 동기가 되었다.

Khumawala(1977)가 최초로 제시한 용량제약이 있는 문제(CFLP)는 지금까지 많은 관심을 받아왔고 관련연구도 활발히 진행되고 있다. Neebe and Rao(1983)는 Branch and Bound 과정을 이용하여 문제를 분할하는 해법을 제시하였다. Geoffrion and McBride(1978)가 처음으로 Lagrangean relaxation을 적용하여 해를 구함으로써 이후 이를 이용하여 가능 해를 찾는 연구진행이 활발해졌다. 이 해법은 많은 경우 최적 값에 근접한 하한 값을 제공해 줄 수 있고 Lagrangean dual 문제의 최종 해를 변형하는 Lagrangean 휴리스틱을 통해 얻어진 가능 해가 최적 해에 가까운 경우가 많다. Barcelo and Casanovas (1984)는 고객 할당 제약을 이완시킨 문제에 대한 Lagrangean 휴리스틱을 제시하였다.

Erlenkotter(1978)는 UFLP의 해법으로 Dual ascent 방법을 제시하였다. 이 해법은 원 문제의 쌍대문제(dual problem)의 구조를 탐색하여 최적에 가까운 가능 해를 빠른 시간 내에 찾아내며 UFLP와 CFLP에 모두 효과적으로 적용이 되고 있다.

Ndiaye(2006)는 인구집단의 이동을 고려한 건강지원센터의

입지선정문제를 제시하였다. 이 문제는 유목민의 경우를 예로 들면서 일 년 동안 여름과 겨울의 계절변화에 따라 인구의 이동이 발생하고 그에 따라 영향을 받는 공공의 서비스 지원의 입지 문제를 다루고 있다.

Hinojosa(2000)는 두 단계의 배송센터를 통한 여러 제품을 서비스하는 설비의 입지선정 문제를 제시하였다. 이 문제에서 고객이 특정기간에 특정 제품을 요구하는 상황이 가정되어 있어서 수요의 변화를 모델에 반영하였다. 이 문제는 용량제약이 있으며, 여러 제품의 배송, 여러 기간의 가정과 두 단계의 배송을 걸치는 문제로 매우 복잡한 문제이다. 이 문제를 풀기 위해 Lagrangean 이완 기법을 적용한 dual problem으로 문제를 해결하려 하였다.

Van Roy(1982)는 비 용량 동적 설비 문제를 제시하였다. 이 문제는 기간별로 고객의 수요와 각 비용들이 상이한 상황을 전제 한 상황 하에서 고객의 수요를 만족하는 설비를 최소의 비용으로 선정하는 문제이다.

2. 최적화 수리모델

본 모델에서 다루고자 하는 문제는 일정 지역에 위치하고 있는 고객을 서비스 하면서 총 비용을 최소화하기 위한 설비 입지 문제로서 기존의 연구와는 차별된 가정상황을 전제로 하였다. <Figure 2>는 모델의 가정과 특성을 나타낸 것이다. 일정 지역 내에 17개의 고객이 존재하며 그 고객들은 두 개의 기간에 걸쳐 다른 위치에 존재한다. 설비 후보지는 10개가 존재하며 이 중 3개의 설비를 선택하는 상황을 가정한 것이다. 여기서 설비 3, 7, 9가 설치되었으며 이중 설비 3, 9는 두 기간 모두 가동이 되는 반면 설비 7은 기간 2에서만 가동이 된다. 이는 비용의 최소화를 위해 발생하는 현상이다. 설비 7의 가동 상태가 변화될 때 발생하는 비용이 전환비용(Switching Cost)이다. 또한, 본 문제는 다음의 가정을 기본전제로 설정하여 정의하였다.

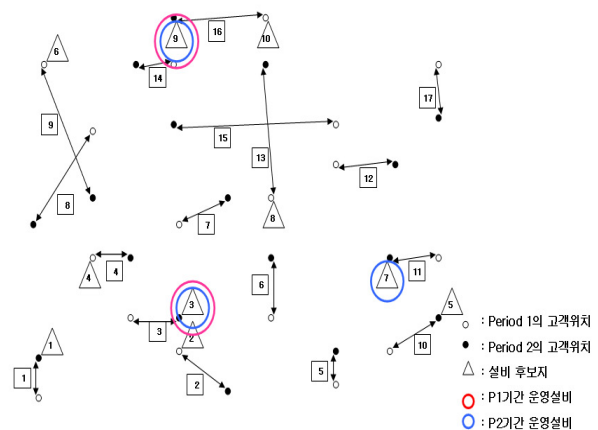


Figure 2. Facility and customer are randomly generated in fixed place

- (1) 일정 지역 내에 고객과 설비의 후보지가 무작위하게 존재한다.
- (2) 모든 고객은 기간별 다른 위치와 서비스 요구량을 갖는다.
- (3) 모든 고객은 설치되어 운영되는 한 개의 설비로부터 서비스를 받는다.
- (4) 모든 고객의 서비스 요구를 충족해야 한다.
- (5) 설치하고자 하는 설비의 개수는 알고 있는 것으로 가정한다.
- (6) 설비의 설치하는 기간과 무관하나 가동여부는 기간별로 고려된다.
- (7) 설비의 가동 상태 변동 시(가동 ↔ 비 가동) 전환비용이 발생한다.
- (8) 각 설비 후보지는 기간별 가능한 서비스 용량제한이 있다.

결정변수

X_{ijk} : 고객 i 가 기간 k 에서 설비 j 로부터 서비스를 받으면 1, 아니면 0.

Y_j : 설비 j 가 설치되면 1, 아니면 0.

U_{jk} : 설비 j 가 기간 k 에서 가동이 되면 1, 아니면 0.

Z_{jk} : 설비 j 가 기간 k 에서 가동상태가 전환되면 1, 아니면 0.

상수변수

P : 설치하고자 하는 설비의 개수.

W_{ik} : 기간 k 일 때, 고객 i 에서의 서비스 요구량.

L_{jk} : 기간 k 일 때, 설비 후보지 j 에서의 공급해 줄 수 있는 서비스량.

t_{ijk} : 고객 i 가 설비 j 로부터 서비스 받을 때 발생하는 단위 수요 당 거리비용.

f_j : 설비 후보지 j 에서의 설치비용.

o_{jk} : 설비 j 의 기간 k 에서의 가동비용.

g_j : 설비 j 의 가동상태가 변화될 때 발생하는 전환비용.

formulation

$$\min \sum_i \sum_j \sum_k w_{ik} t_{ijk} X_{ijk} + \sum_j f_j Y_j + \sum_j \sum_k o_{jk} U_{jk} + \sum_j \sum_{k=2}^K g_j Z_{jk} \quad (1)$$

$$\sum_j X_{ijk} = 1 \quad \forall i, k \quad (2)$$

$$X_{ijk} \leq U_{jk} \quad \forall i, k \quad (3)$$

$$U_{jk} \leq Y_j \quad \forall i, j, k \quad (4)$$

$$\sum_j Y_j = P \quad (5)$$

$$Z_{jk} = |U_{jk} - U_{j(k-1)}| \quad \forall j, k \quad (6)$$

$$U_{jk} \leq \sum_j w_{ik} X_{ijk} \quad \forall i, k \quad (7)$$

$$\sum_i w_{ik} X_{ijk} \leq L_{jk} U_{jk} \quad \forall j, k \quad (8)$$

$$X_{ijk}, Y_j, U_{jk}, Z_{jk} = 0 \text{ or } 1 \quad (9)$$

목적함수 (1)은 고객의 요구량을 충족시키는 상황에서 총비용을 최소화하는 것이다. 즉 설비 후보지 j 에서 서비스를 각 고객 i 로 제공할 때 발생하는 거리비용, 선택된 설비 j 를 설치할 때 발생하는 설치비용, 선택된 설비 j 가 해당 기간 k 동안 가동될 때 발생하는 운영비용, 그리고 설비의 가동상태가 바뀔 때 발생하는 전환비용을 최소화하는 것이다. 제약조건 (2)는 각 고객은 1개의 설비로부터만 서비스를 받음을 의미한다. 제약조건 (3)은 각 고객은 각 기간에서 가동 중인 설비로부터만 서비스를 받음을 의미한다. (4)는 설비의 가동은 설치된 설비 중에서만 발생한다는 제약이다. (5)는 설치하고자 하는 설비의 개수는 사전에 결정되어 있다는 제약이다. 제약조건 (7)은 식 (3)을 보강한 식으로 설비가 어떠한 고객도 서비스를 제공하지 않지만 가동이 되는 경우를 제거하기 위한 제약이다. 제약조건 (8)은 모든 설비가 기간별 가지고 있는 서비스 용량의 범위 내에서 서비스를 제공한다는 것이다. 제시된 최적화 수리모형은 선형계획법으로 모델링되었으며, 기간 별 발생하는 수요의 상황변화를 잘 고려한 것이다.

3. 실험

본 실험 전 모델의 검증을 위해서 기간을 2로 가정한 <Figure 2> 예제의 경우를 가지고 설비의 가동 상태 변화의 가정유무에 따른 결과 값의 차이를 알아보았다.

Table 2. Comparison of Optimal Value

Division	Optimal Value	Improved Gap
Original Model	255.4	1.33%
New Model	252.0	

<Table 2>는 설비의 수가 10개, 고객의 수가 17개, 기간을 2로 가정한 상태에서 결과 값의 차이를 비교한 것이다. 설치된 설비의 기간 별 가동상태 전환을 미 고려한 것이 Original 모델이고, 가동상태의 전환이 고려된 것이 New 모델이다. 실제로 두 값의 비교를 보면 수요의 변화에 대응하여 설비의 가동상태를 전환하여 1.33%의 비용이 절약되는 것을 알 수 있다. 이 비용의 절약 폭은 문제 사이즈와 비용의 절대 값이 커지면 더욱 커지기 때문에 보다 큰 비용의 절감효과를 얻을 수 있음을

증명해 주고, 새로운 모델의 적용의 타당성을 뒷받침해준다.

실험은 고객 수, 설비 수, 기간, 고객의 위치 분포, 비용의 비율을 달리해 가면서 결과 값의 변화를 비교한다. 본 실험의 구성은 총 세 부분으로 나누어 진행하였는데 첫 번째는, 기간을 일반화하기 위해서 10 기간으로 가정하여 실험을 진행하여 결과 값을 분석하였다. 이는 실험의 목적 상 각 기간 별 수요의 변화에 따른 설비운영이 어떻게 달라지는지를 확인하기 위함이다. 두 번째는 각 고객의 위치를 임의로 생성할 때, 일정지역에 고르게 분포되어 있을 경우와 어떤 일부지역에 대한 치우침이 있을 경우를 구분하여 실험을 진행하였다. 이 또한 고객의 지역 밀집도가 설비 선택에 있어 미치는 영향을 알아보기 위함이다. 마지막으로 각 설비에 의해 발생하는 설치비용과 운영비용의 비율을 조정해가며 실험을 진행하였다. 이는 설비의 가동의 실행과 정지를 결정하는데 비용 간의 민감도를 알아보기 위한 것이다. 각 실험의 입력 데이터 값은 일정한 값의 범위 안에서 임의로 생성한 데이터로 활용하였으며, 결과 값은 수리모델을 ILOG사의 OPL Studio를 이용해 계산한 것이다.

각 실험 별로 데이터는 200개의 노드에 대하여 설비의 수를 5, 10, 20로, 고객의 수를 30, 50, 100로 증가시켜 보면서 문제를 해결하였다. 실험 환경은 Pentium(R) CPU 2.80GHz, 512MB RAM을 사용하였으며, OPL Version 3.6.1을 이용하였다.

3.1 Period Generalization

정의한 모델의 특징이 기간별 수요의 변화를 고려하여 보다 실제적인 문제를 가정하였기 때문에 이러한 기간의 일반화(연장)는 실험의 결과에 중요한 영향을 미치게 된다. 따라서 적당히 큰 기간을 적용하기 위해 실험에서는 10기간을 설계하여 그 결과 값을 비교하였다. 기간이 진행됨에 따라 설비의 가동여부가 변화하게 될 경우 결과 값에 어느 정도 민감하게 반응되는지를 알아본다.

3.2 Cost Diversification

이 모델에서 다루는 비용은 설치비용, 가동비용, 전환비용, 수송비용의 네 가지이다. 특히 전환비용은 설비의 가동 상태의 전환에 따라 발생하는 비용으로 어떠한 값을 설정하느냐에 따라 결과 값에 영향을 주게 된다. 따라서 보다 다양한 비용의 설계는 실험 결과 값의 비교 시 보다 효과적이다. 비용의 다양화를 위해서 설치비용과 운영비용의 비율을 달리해가며 실험을 하였으며, 전환비용은 운영비용의 10%로 가정하고 실험을 진행하였다.

3.3 Control the Demand Changing Rate

모델에서 중요하게 다루는 부분은 고객의 수요에 대한 변화이다. 특히 기간별 고객의 위치가 변화된다는 것은 수요가 설

비의 설치 및 가동여부에 미치는 결정적 요소임을 볼 때, 고객의 수요의 변화정도를 보다 수치적으로 측정하여 변화를 주는 것이 필요하다. 이러한 고객 수요의 변화는 기본적으로 모든 고객이 일정지역 내에 균등하게 있음을 가정하고, 고객의 위치변화를 4단계 (0-0.25, 0.25-0.5, 0.5-0.75, 0.75-1)로 구분하여 실험하였다. 이 값은 다음과 같은 계산에 의해 구한 값이다.

$$DCR = \frac{\text{Customers' Moving Distance}}{\text{Maximum Boundary Distance}}$$

위 식에서 분모는 일정지역의 지름 반경의 최대크기를 나타내고, 분자는 각 고객들의 이동 거리를 나타낸 것으로 이 식으로 수요의 변화율을 조정할 수 있도록 설계를 하였다. 각 고객의 위치와 변화는 랜덤 생성기를 활용하여 실험을 할 수 있도록 구성하였다.

4. 실험결과

각 실험별로 파라미터 값의 변화에 따른 결과 값의 변화를 비교하여 어떠한 상관관계가 있는지 알아보았다.

노드의 크기, 비용의 비율, 고객의 변화정도에 따른 최적 값은 <Table 3>과 같다. 최적화 프로그램을 통하여 각 문제의 최적 해를 구하는 것 자체의 의미보다는 각 파라미터 값인 설비 후보지 수, 고객 수, 비용비율, 고객의 변화도의 변화에 따른 결과 값의 비교를 통한 특성을 파악하는 것이 더 중요한 의미를 갖는다. 노드의 크기는 설비와 고객의 증가로 살펴볼 수 있다. 서비스하고자하는 고객의 증가는 자연적으로 총 비용의 증가를 가져오지만, 설비 후보지의 증가는 반드시 그렇지 않다. 이는 데이터의 임의적 생성에 따른 설비의 위치가 유동적이기 때문이다. 설비 후보지의 증가는 선택될 수 있는 경우의 수가 많아짐을 의미할 뿐 비용의 직접적 영향을 주지 않는다. 그러나 고객의 증가는 제약조건으로서 만족해야할 서비스 요구량의 직접적인 증가를 의미하기 때문에 결과 값에 보다 민감하게 영향을 준다. 설비의 설치비용과 운영비용이 가까워지는 것은 운영비용의 상대적 증가를 나타낸다. 이것은 전체 비용의 측면에서 운영비용이 차지하는 비율이 커지는 것이기 때문에 가동설비의 선택에 있어서 보다 큰 비용을 기준으로 결정하게 되고 이는 총비용의 증가로 연결됨을 알 수 있다.

고객의 변화도에 있어서는 일정지역내의 고객의 불규칙한 위치이동이 있을 경우, 그 이동 범위가 커질수록 총 비용의 뚜렷한 증가가 나타남을 알 수 있다. 이는 고객의 이동에 따른 수송비용의 변화가 기간별로 크게 상승됨에 따라 총 비용의 증가를 가져온 것이다. 즉, 동일한 수요량이 발생하더라도 그 수요의 위치가 유동적이면 상대적으로 많은 비용이 발생함을 알 수 있다.

Table 3. Results of Optimal Value

Facility	Customer	Cost Rate	Changing Limit				
			0.25	0.5	0.75	1	
5	10	1 : 1	2265	4161	5052	6285	
		2 : 1	1890	3804	4698	5941	
		4 : 1	1702	3622	4521	5769	
	30	1 : 1	6791	9736	16061	23118	
		2 : 1	6416	9361	15686	22743	
		4 : 1	6229	9173	15498	22556	
	50	1 : 1	10374	17267	29164	41380	
		2 : 1	9999	16892	28789	41007	
		4 : 1	9811	16705	28601	40818	
10	10	1 : 1	2142	3415	5655	6906	
		2 : 1	1772	3138	5375	6639	
		4 : 1	1584	2972	5215	6484	
	30	1 : 1	5384	8237	14339	21513	
		2 : 1	5009	7862	13964	21138	
		4 : 1	4821	7675	13776	20951	
	50	1 : 1	8780	14455	24499	34112	
		2 : 1	8405	14080	24124	33737	
		4 : 1	8217	13898	23937	33550	
	20	10	1 : 1	1960	3560	5395	6492
			2 : 1	1647	3194	5083	6146
			4 : 1	1470	3006	4920	5964
30		1 : 1	5511	9102	15671	21628	
		2 : 1	5136	8727	15296	21243	
		4 : 1	4949	8539	15109	21056	
50		1 : 1	8086	16052	22829	30771	
		2 : 1	7711	15677	22454	30396	
		4 : 1	7524	15489	22266	30210	
20		100	5 : 2	21645	32671	48395	71072

Cost Rate : Proportion of Cost(Opening : Operating).
 Changing Limit : Customers' Moving Distance/Maximum Boundary Distance

<Table 4>는 최적 값을 계산하는데 걸리는 시간을 나타낸다. 계산시간은 임의적으로 생성된 데이터마다 다른 값을 갖지만 다수의 경우가 가지는 특징을 발견할 수 있다. 데이터의 노드가 커짐에 따라 계산시간도 급격히 커지며, 일정 수 이상이 되면 NP-hard한 문제가 되어 최적화프로그램으로 해결하는 것 자체가 어려워진다. 이는 대부분의 최적화 문제에서 발생하는 현상으로 이를 해결하기 위한 알고리즘의 개발이 필요한 부분이다. 설비의 설치비용과 운영비용의 값이 가까워질수록 계산 시간이 더 걸리는 것을 알 수 있다. 그것은 두 비용의 차이가 많이 날 경우보다 비슷해질수록 의사결정에 있어서 두비용의 중요도가 의사결정시 더 민감하게 영향을 주기 때문이다. 고

객의 변화도에 있어서는 위치변화가 커질수록 그에 따른 계산 시간도 많이 증가되어 나타남을 알 수 있다. 고객의 변화도가 크다는 것은 수요가 불확실하고 유동적이라는 것의 반증이므로 이에 대한 서비스 만족은 더 많은 시간의 지연이 발생하는 것이다.

Table 4. Computation Time

Facility	Customer	Cost Rate	Changing Limit				
			0.25	0.5	0.75	1	
5	10	1 : 1	2.52	0.09	2.14	0.95	
		2 : 1	1.13	0.06	0.11	0.20	
		4 : 1	0.11	0.08	0.11	0.14	
	30	1 : 1	0.25	6.16	7.61	4.72	
		2 : 1	0.48	5.50	6.75	2.00	
		4 : 1	0.47	5.86	5.55	1.97	
	50	1 : 1	1.28	1.64	300.09	84.45	
		2 : 1	1.28	1.75	67.44	43.23	
		4 : 1	1.30	1.78	343.08	49.88	
	10	10	1 : 1	1.95	2.30	0.22	0.19
			2 : 1	0.17	3.17	0.30	0.69
			4 : 1	0.17	2.45	0.36	0.17
30		1 : 1	0.64	1.05	15.27	24.19	
		2 : 1	0.66	1.09	24.63	35.58	
		4 : 1	0.72	1.03	12.63	30.83	
50		1 : 1	28.17	64.27	13.25	18.22	
		2 : 1	28.02	88.44	9.98	24.08	
		4 : 1	28.89	61.73	14.70	4.25	
20		10	1 : 1	18.14	3164.34	4683.98	187.88
			2 : 1	7.20	35.80	160.38	24.53
			4 : 1	1.55	26.33	61.91	15.88
	30	1 : 1	3.02	9.89	94.42	5.89	
		2 : 1	3.34	161.13	108.31	6.23	
		4 : 1	3.42	10.30	117.41	5.51	
	50	1 : 1	11.72	188.08	40.05	27.28	
		2 : 1	11.69	272.83	62.41	30.38	
		4 : 1	12.45	219.92	58.05	24.70	
	20	100	5 : 2	22.45	27.84	261.36	7996.70

Cost Rate : Proportion of Cost(Opening : Operating)
 Changing Limit : Customers' Moving Distance/Maximum Boundary Distance

위의 결과 값의 분석을 보다 가시적으로 확인하기 위해 그래프를 활용하면 특성이 보다 명확하게 나타난다. <Figure 3>은 각 파라미터 값의 변화에 따른 최적 값의 변화를 나타낸 것이고, <Figure 4>는 CPU Time의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 각 파라미터 값은 그래프 우측에 4가지(설비 증가, 비용 비

을, 고객 증가, 변화도 증가)로 표현되어 있다. <Figure 3>의 민감도를 보면 전체적으로 파라미터 값의 변화량이 클수록 결과 값이 커지는 것을 알 수 있다. 고객에 관련된 파라미터가 설비 관련 파라미터보다 더욱 민감하게 작용하는 것을 확인할 수 있다. <Figure 4>의 민감도에서도 유사한 현상을 나타내고 있다. 특히 시간의 급격한 증가는 파라미터 값이 일정 값 이상으로 커지면 계산 자체가 불가능해짐에 따라 이를 적절히 해결할 수 있는 해법이나 발전적 기법 등의 알고리즘이 필요함을 보여준다.

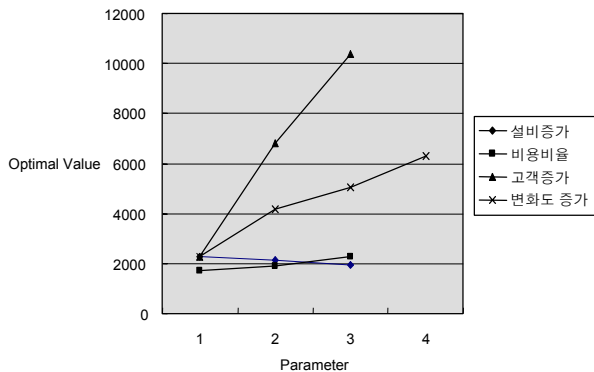


Figure 3. Performance Sensitivity of Each Parameter

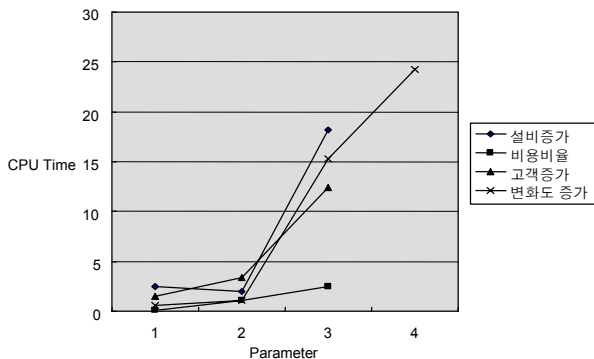


Figure 4. CPU Time Sensitivity of Each Parameter

5. 결론

본 연구에서는 기간별 수요의 위치와 요구량이 변화하는 상황 하에서 총 비용을 최소화하는 설비의 설치 및 운영에 관한 최적 해를 찾는 데 목적을 두었으며, 이 문제를 해결하기 위하여 새로운 수리모형을 제시하고, OPL을 통하여 모형을 검증하였으며, 사이즈를 달리해가며 보다 실제적인 결과를 제시하였다. 기본적으로 모델의 타당성은 입증되었으나 현실의 기업이나 상황에 대한 직접적 데이터가 아닌 임의로 생성된 입력 데이터를 활용한 것이 앞으로 더욱 연구가 진행되어야 할 부분이다.

본 논문에서 다룬 문제는 정적인 수요를 갖는 모델에 비해

보다 큰 최적해 도출 시간이 걸리므로 보다 효과적인 알고리즘의 개발의 연구가 필요하다. 기존의 입지선정문제에 대한 수많은 알고리즘들이 많이 제시되어 왔기 때문에 보다 직관적인 방법을 이용한 알고리즘의 개발이 효과적일 것으로 판단된다.

문제 특성상 기존에 동일한 문제가 아닌 새로운 모형으로 보다 실제적인 접근을 시도하여 매우 흥미로운 연구가 되었다. 수요의 변동성을 고려한 것은 현대사회의 불확실하고 변동성이 큰 시장 환경을 보다 적절하게 가정 고려요소라 생각된다.

참고문헌

Al-sultan, K. S. and Al-Fawzan, M. A. (1999). A tabu search approach to the uncapacitated facility location problem. *Annals of Operations Research*, **86**, 91-103.

Akinc, U. and Khumawala, B. M. (1977). An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Warehouse Location Problem. *Management Science*, **23**, 585-594.

Barcelo, J. and Casanovas, J. (1984). A heuristic lagrangean algorithm for the capacitated plant location problem. *European Journal of Operational Research*, **15**, 212-226.

Barreto, S., Ferreira, C., Paixao, J., and Santos, B. S. (2007). Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, **179**, 968-977.

Bektas, T. (2006). Capacitated facility location : Separation algorithms and computational experience. *Mathematical Programming*, **81**, 149-175.

Brandeau, M. L. and Chiu, S. S. (1989). An overview of representative problems in location research. *Management Science*, **35**, 645-674.

Captivo, M. E. (1991). Fast primal and dual heuristic for the p-median location problem. *European Journal of Operational Research*, **52**, 65-74.

Cho, G. (2006). A study on developing an integrated Model of facility location problems and safety stock optimization problems in supply chain management. *International Journal of Management Science*, **31**, 91-103.

Dobson, G. and Karmarkar, U. S. (1987). Competitive Location on a Network. *Operations Research*, **35**, 467-486.

Erlenkotter, D. (1978). A dual-based procedure for uncapacitated facility location. *Operations Research*, **26**, 992-1009.

Gamal, M. D. H. and Salhi, S. (2001). Constructive heuristics for the uncapacitated continuous location-allocation problem. *Journal of the Operational Research Society*, **52**, 821-829.

Geoffrion, A. M. and McBride, R. (1978). Lagrangian relaxation applied to capacitated facility location problems. *AIIE Transactions*, **10**, 40-47.

Ghosh, D. (2003). Neighborhood search heuristics for the uncapacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, **150**, 150-162.

Hinojosa, Y., Puerto, J., and Fernandez, F. R. (2000). A multiperiod two-echelon multicommodity capacitated plant location problem. *European Journal of Operational Research*, **123**, 271-291.

Hong, S. H. and Lee, Y. H. (2004). The Maximal Covering Location

- Problem with Cost Restrictions. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **30**, 93-106.
- Jin, H. W. (2006). A study on the Budget Constrained Facility Location Problem. *Journal Business Research*, **21**, 263-283.
- Kang, I. S. (1984). An heuristic algorithm for the location-routing problem. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **10**, 45-50.
- Kim, E. J., Kang, D. H., Lee, K. S., and Park, S. S. (2003). An Optimization Algorithm for the Two-Echelon Capacitated Facility Location Problem. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2003, 137-144.
- Kuen, A. A. and Hamburger, M. J. (1963). A Heuristic Program for Locating Warehouses. *Management Science*, **9**, 643-666.
- Lee, Y. H., Jong, B. J., and Park, K. T. (2002). Supply Chain Management : Strategy, Planning and Operation, book concern Sukjung.
- Megiddo, N., Zemel, E., and Hakimi, S. L. (1983). The Maximum Coverage Location Problem, *SIAM journal on Algebraic and Discrete Methods*, **4**, 253-261.
- Melkote, S. and Daskin, M. S. (2001). Capacitated facility location / network design problems. *European Journal of Operational Research*, **129**, 481-495.
- Ndiaye, M. and Alfares, H. (2006). Modeling health care facility location for moving population groups. *Computers and Operation Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 27 October 2006.
- Neebe, A. E. and Rao, M. R. (1983). An algorithm for the fixed charge assigning users to sources problem. *Journal of the Operational Research Society*, **34**, 1107-1113.
- Sankaran, J. K. (2007). On solving large instances of the capacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, **178**, 663-676.
- Sun, M. (2006). Solving the uncapacitated facility location problem using tabu search. *Computers and Operational Research*, **33**, 2563-2589.
- Van Roy, T. J. and Erlenkotter, D. (1982). A dual-based procedure dynamic facility location. *Management Science*, **28**, 1091-1105.
- Wang, Q., Batta, R., Bhadury, J., and Rump, C. M. (2003). Budget constrained location problem with opening and closing of facilities. *Computers and Operational Research*, **30**, 2047-2069.
- Webb, M. H. J. (1968). Cost Functions in the Location of Depots for Multi-Delivery journeys. *Opnl. Res. Q.*, **19**, 311-328.
- Wu, L. Y., Zhang, X. S., and Zhang, J. L. (2006). Capacitated facility location problem with general setup cost. *Computers and Operational Research*, **33**, 1226-1241.
- Yang, B. H. (1999). A study on Location-Allocation Problem with the Cost of Land. *Journal of Military Operations Research Society Of Korea*, **25**, 117-129.