

# 다수제품의 수익성 최대화를 위한 설비입지선정 문제

이상헌\*† · 백두현\*

## The Maximal Profiting Location Problem with Multi-Product

Sang-Heon Lee\* · Doo-Hyeon Baek\*

### ■ Abstract ■

The facility location problem of this paper is distinguished from the maximal covering location problem and the fixed-charge facility location problem. We propose the maximal profiting location problem (MPLP) that is the facility location problem maximizing profit with multi-product. We apply to the simulated annealing algorithm, the stochastic evolution algorithm and the accelerated simulated annealing algorithm to solve this problem. Through a scale-down and extension experiment, the MPLP was validated and all the three algorithm enable the near optimal solution to produce. As the computational complexity is increased, it is shown that the simulated annealing algorithm is able to find the best solution than the other two algorithms in a relatively short computational time.

Keyword : Maximal Covering Location Problem, Fixed-Charged Location Problem, Maximal Profiting Location Problem, Simulated Annealing, Stochastic Evolution

## 1. 서론

설비입지선정문제(facility location problem)는 설치후보지역에 목적을 극대화 할 수 있는 가장 적합한 설비의 수나 위치를 결정하는 문제로서 문제

의 목적에 따라 최대지역커버문제(Maximal Covering Location Problem, 이하 MCLP)와 고정비를 가지는 설비입지선정문제(Fixed-Charge Facility Location Problem, 이하 FCLP)로 분류된다.

MCLP는 최초 Church and ReVelle[8]에 의해 제

논문접수일 : 2006년 4월 19일      논문게재확정일 : 2006년 11월 24일

\* 국방대학교 운영분석학과

† 교신저자

안되어졌고 서비스 거리 내에 최대 수요량을 커버하는 정해진  $p$ 개의 설비위치를 결정하는 문제이다 [4, 7, 10, 16].

FCLP는 모든 수요지를 커버하면서 서비스 비용을 최소화하는 설비후보지를 선정한다[5, 9, 11, 15, 21]. 설비계층이 공장과 창고, 창고와 고객, 공장과 고객 등 물류 흐름이 단일계층이 아닌 두 가지 이상의 단일계층을 고려한 이계층 이상과 다수제품을 고려하는 FCLP도 연구되고 있다[2, 13, 18].

MCLP가 서비스 질에 초점을 맞춘다면 FCLP는 비용에 초점을 맞춘다. MCLP는 적어도 하나의 설비로부터 커버가능거리 이내에 있는 수요지의 수요량을 최대화하는  $p$ 개의 위치를 선정하는 문제이므로  $p$ 개의 설비수는 MCLP를 위한 입력 파라미터인 반면 FCLP는 이 파라미터를 최적화하는 것이다.

대부분의 연구에서 커버가능거리  $S$ 에 대해 설비 설치위치에서  $S$  이내에 수요지가 있으면 그 수요는 완전하게 커버되고 그렇지 않으면 커버되지 못하는 극단적인 상황을 고려하고 있다. 실제 상황에서는 특정 고객과의 거리가 일정수준을 초과하면 운송량의 손실이나 제품가치 하락으로 서비스의 손실이 발생할 수 있음을 고려하여 Infante-Macias and Munoz-perez[12]는 설비로부터 거리에 따라 full, half, none의 3단계 서비스 레벨을 고려하였고, Berman and Krass[7]와 이계종 외[4]는 설비를 기준으로 거리가 멀수록 0과 1사이의 실수값을 부여함으로써 부분 커버리지(partial coverage)를 일반화하였다. 이 후 Orhan and Esra[16]는 최소(최대) 중요거리(critical distance)를 도입하여 이러한 부분 커버리지 적용에 대해 약간의 변형을 시도하였는데, 부분 커버되는 지역인 최소중요거리와 최대중요거리 사이의 거리가 증가하면서 급격히 감소되는 S자 모양의 함수(sigmoid shape function)를 적용하였다.

본 논문은 앞서 설명한 문제의 목적에 따른 두 가지 분류와는 다른, 기업가(혹은 생산자)의 입장에서 수익성을 최대화하는 설비입지선정 문제(Maximal Profiting Location Problem, 이하 MPLP)에 관한 연구이다. MCLP는 정해진  $p$ 개의 설비로서 서

비스 수준을 최대화하는 문제이기 때문에 비용에 대한 고려요소가 빠져있으며 FCLP는 최소한의 비용으로 모든 수요를 만족시키는 설비의 수를 결정하는 문제로서 기업가 입장보다는 고객의 입장을 더 반영시켰다는 사실이다.

즉, MCLP는 정해진 설비수로서 어디에 배치하면 최대의 수요량을 커버할 것인지에 관한 것이고 FCLP는 정해지지 않은 설비수로서 어디에 몇 개의 설비를 배치하면 모든 수요량을 커버하면서 비용을 최소화 할 수 있는가에 관한 문제이다. 그러나, 이 두 가지 문제는 몇 가지 비현실적인 문제점을 갖고 있다. MCLP는 비용과 이익이라는 요소를 고려하지 않고 있는 점과 정해진 설비수 모두를 배치해야 한다는 점이다. 또한, FCLP는 비용 요소를 고려하고 설비수도 비용이 최소화하는 방향으로 설계되었지만 실제 현실세계에서는 이익 창출이라는 목적을 더 우선시 한다는 점을 간과하였다. 이에 비해 본 논문의 모형인 MPLP는 정해지지 않은 설비수로서 일정한 기간 내에 수요지의 제품별 고객 수요량에 대한 여러 가지 비용요소와 이익금을 고려하여 순이익금을 최대화 방향으로 설비수와 위치를 결정하는 모형이다. 즉, 수익성이 없으면 설비를 설치하지 않는다는 것이 이전 모형과 다르다고 할 수 있다.

본 논문문제의 해법으로 계산 복잡도가 높은 조합 최적화 문제(combinatorial optimization problem)에서 최적해에 가까운 근사해를 신속하게 산출하는 메타 휴리스틱(meta heuristic)의 일종인 SA(Simulated Annealing) 알고리즘과 이에 파생된 SE(Stochastic Evolution), ASA(Accelerated Simulated Annealing) 알고리즘[1]을 적용하였는데, 설비입지선정 문제에도 상당한 효과가 있음을 증명해 보였다.

이 후 본 논문의 구성으로서 2장에서는 MPLP 모형을 제시하고, 3장에서는 SA, SE, ASA 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 축소실험을 통해 본 논문 모형을 검증하고 기존 논문에서 휴리스틱을 적용한 커팅알고리즘과 본 논문에서 제시한 알고리즘의 성

능을 비교 분석하였다. 5장에서는 수요지수, 제품수, 커버가능거리를 증가시킨 확대실험을 통해 세 가지 알고리즘의 계산 수행시간과 순이익금 결과를 확인 하였다.

## 2. MPLP 모형

본 논문의 모형은 고객과 설비와의 단일계층과 복수제품을 고려하였고 어느 한 고객은 하나의 설비로부터만 커버받는 것을 가정하였다. 고객에 대한 커버는 고객과 설비간의 거리로서 규정하였고 커버가능거리  $S$ 는 실제 현실상황을 고려한 Orhan and Esra[16]의 부분 커버리지를 반영하였다. 설비 설치시 고려되는 고정비는 제품의 설비 설치에 따른 설치비, 부지 임대비(또는 매입비), 장비 설치비 등이 있다. 통상적인 연구에서 이 고정비는 위요인들의 총합으로 가정하지만 본 연구에서는 설치비와 부지 임대비를 분리시켰다. 왜냐하면 같은 조건하에서 부지 임대비에 따른 설비입지선정에 미치는 영향이 있기 때문이다. 또한 설비 설치비 외에 제품별 운송비와 이익금을 고려하였는데 운송비는 제품별 단위수요 당 거리비용으로, 이익금은 판매금액에서 생산비를 제외한 순이익금액을 적용하였다. 입력 및 결정변수와 수리모형은 다음과 같다.

- $i$  : 수요지
- $j$  : 설비지
- $k$  : 제품종류
- $h_{ik}$  : 수요지  $i$ 에서 제품  $k$ 에 대한 수요량
- $P_k$  : 제품  $k$ 에 대한 순 이익금
- $f_k$  : 제품  $k$ 의 설비를 설치하는데 필요한 설치비 및 일정기간 운영비
- $S_j$  : 설비 후보지  $j$ 의 일정기간 부지 임대비
- $C_k$  : 제품  $k$ 의 단위 수요 당 거리비용
- $d_{ij}$  : 수요지  $i$ 에서 설비지  $j$ 까지의 거리
- $R_{ij}$  : 수요지  $i$ 에서 설비지  $j$ 까지의 거리에 따른 커버리지 비율

$X_{jk}$  : 설비 후보지  $j$ 에 제품  $k$ 의 설비를 설치하면 1, 아니면 0(결정변수)

$Y_{ijk}$  : 설비지  $j$ 가 수요지  $i$ 에 대해 커버가능 거리에 있고 제품  $k$ 를 담당하면 1, 아니면 0(결정변수)

$$\max \sum_i \sum_j \sum_k h_{ik} R_{ij} Y_{ijk} P_k - \sum_j \sum_k (f_k + S_j) X_{jk} - \sum_i \sum_j \sum_k C_k h_{ik} d_{ij} R_{ij} Y_{ijk} \quad (1)$$

$$s.t. \quad \sum_j Y_{ijk} \leq 1 \quad \forall i, k \quad (2)$$

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

$$X_{jk} = 0, 1 \quad \forall j, k \quad (4)$$

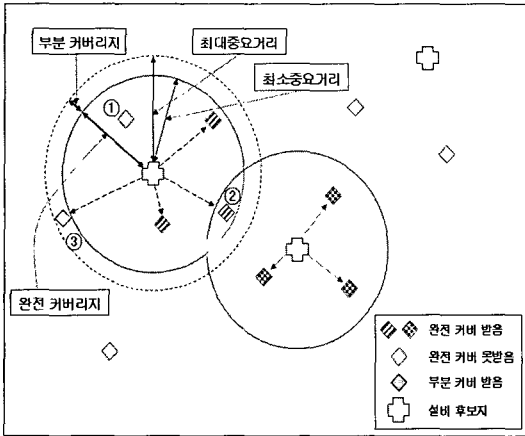
$$Y_{ijk} = 0, 1 \quad \forall i, j, k \quad (5)$$

식 (1)은 일정기간 동안에 제품을 팔고 남은 이익금에서 최초 설비 설치 및 운영비와 운송비를 제외한 순이익금을 최대화하는 목적함수를 의미한다. 이는 서비스 수준을 최대화하거나 일정 서비스 수준을 유지하기 위한 비용을 최소화하는 것이 아니라 생산자의 입장에서 이윤을 최대화하는 것이 목적이다. 식 (2)는 어느 한 수요지의 단일제품에 대한 수요량은 하나의 설비에 의해서만 커버가능하다는 것을 표현한 제약식이다. 부등호의 의미는 이익을 고려하여 담당하지 않을 수도 있다는 융통성 있는 표현이다. 식 (3)은 설비 후보지에 설비가 설치되어야만 해당 수요지의 제품을 담당한다는 표현식이고 식 (4), 식 (5)는 설비를 설치하고 설치된 설비에서 수요지의 제품을 커버하는 이진조건의 결정변수이다.

[그림 1]은 MPLP 모형을 나타내 주는 개념도이다. 수요지 ①은 설비 설치지역에서 커버가능거리 내에 있지만 식 (3)에 의해 설비 설치지역에서 담당하지 않을 수도 있다는 것을 나타낸다. 수요지 ②는 식 (2)에 의해 두 개의 설비 설치지역 중 하나의 설비로부터 서비스를 받는다는 것이다. 수요지 ③은 커버가능거리 내에 있지만 완전 커버리지비율( $R_{ij} = 1$ )이 아닌 Orhan and Esra[16]가 제안한 식 (6)에 의해 부분 커버리지비율( $0 < R_{ij} < 1$ )을 적용받는다.

$$R_{ij} = 1 / (1 + e^{5(d_{ij} - (S+T)/2)}) \quad (6)$$

(S : 최소중요거리, T : 최대중요거리)



[그림 1] MPLP 모형 개념도

```

Algorithm SA
begin ;
Initialize(X, T, L) ; ❶
Distance_Coverage(X) ; ❷
Xbest = X ; ❸
Pbest = P(X) ; ❹
repeat
for i = 1 to L do
Xneighbor = Perturb(X) ; ❺
Distance_Coverage(Xneighbor) ; ❻
if P(Xneighbor) ≥ P(X) or exp((P(Xneighbor)
- P(X))/T) > random(0, 1) ❼
then X = Xneighbor ;
if P(X) ≥ Pbest ❸
then Xbest = X, Pbest = P(X),
endif ;
endif ;
endfor ;
Update(T) ; ❾
until (Stop-criterion) ❿
end
    
```

[그림 2] SA 알고리즘

### 3. 알고리즘

본 장에서는 모형의 해법을 위해 적용한 SA 알고리즘과 이를 변형한 SE, ASA 알고리즘에 대한 인코딩 절차와 파라메타 설정방법 및 적용치 등을 상세히 소개한다.

본 논문의 모형은 수익금을 최대화하는 문제이기 때문에 세 가지 알고리즘 모두 목적함수의 최대화에 기준을 두고 설명한다.

#### 3.1 SA 알고리즘

조합 최적화 문제의 한 해법으로서 제안된 SA는 기존의 반복적인 개선에 근거한 발견적 기법들이 국부 최대점에 빠져버리는 단점을 개선한 범용의 최적화 기법이다. SA의 원리는 반복적 개선법을 기본으로 하되 목적함수값 감소의 이동을 확률적으로 허용함으로써 국부 최대점을 빠져나올 수 있게 하여 전체 최대점을 찾아갈 가능성을 주게 되는 것이다[1].

[그림 2]는 본 연구에 적용된 SA 알고리즘이다. 알고리즘 수행 도중 가장 좋은 해와 목적함수의 값을 기억할 수 있는 변수를 추가하였다.

❶은 초기화 과정에서 초기온도 T와 내부루프 반복수 L을 충분히 높은 값(T: 1,000~10,000, L: 1,000~3,000)으로 설정하였고 초기해 X는 무작위로 선정하였다.

❷과 ❸ 함수는 현재해  $X_{jk}$ 가 선정됨에 따라 설비지와 수요지간의 거리를 구하고 그 거리가 주어진 커버가능거리 내에 있으면 [0, 100] 사이의 난수를 생성하여 5이하 일 때는  $Y_{ijk}$ 의 값을 변경하고, 그렇지 않으면 변경하지 않는다. 그러나  $X_{jk}$ 가 0이거나, 또는 1이더라도 수요지가 커버가능거리 내에 없으면  $Y_{ijk}$ 는 0이 된다.  $Y_{ijk}$  값이 1이면 완전 커버리지 또는 부분 커버리지 비율이 적용된다.

❹과 ❺는 일단 현재해와 현재해의 목적함수값을 가장 좋은 값으로 대입하는 것이다. 여기서 목적함수값에는 Aarts and Korst[8]가 제안한 제약식에 대한 벌금항을 두어 점차 비가능해의 범위를 벗어나게 하였다. 목적함수를 최대화하기 위하여 제약 위반횟수에 큰 수(150,000~200,000)를 곱하여 감해 주는 방식을 취하였다.

❻은 이웃해를 생성하는 함수로서 [0, 100] 사이의 난수를 생성하여 5이하일 때는 현재해  $X_{jk}$ 의 값

을 변경하고, 그렇지 않으면 변경하지 않는다.

⑦은 이웃해를 현재해로 받아들이기 위한 수락조건으로서, 현재해와 근접한 새로운 해 Xneighbor를 만들어서 새로운 해의 목적함수의 값이 현재해의 그것보다 크면 무조건 새로운 해를 현재해로 받아들이고, 그렇지 않을 경우에도 무조건 기각하지는 않고 적절한 확률로 새로운 나쁜 해를 현재해로 받아들인다. 목적함수를 최대화하는 조건이므로 이웃해가 현재해보다 크거나, 작더라도 수락확률값이 [0, 1]사이의 난수보다 크면 받아들인다.

⑧은 만약 현재해의 목적함수값이 기존의 최고 목적함수값보다 우수하면 기존값을 현재해와 현재해의 목적함수값으로 대체된다.

⑨는 외부루프에서 T를 낮추는 콜링스케줄 함수이다. SA 알고리즘에는 2개의 반복루프를 가지고 있는데, 초기값들이 설정된 후 외부루프에서 우선 T를 고정시키고 내부루프에서 적절한 방법으로 L회 반복하게 된다. 그 후 외부루프에서 T를 약간 낮추고 다시 내부루프의 과정을 반복하게 되는데 외부루프에서 T를 낮추는 과정이 바로 어닐링에서의 냉각과정에 해당된다. T는 대체적으로 많이 사용하는 기하스케줄( $T_k = a \times T_{k-1}$ )을 적용하였으며 이때 a 값은 0.95를 사용하였다.

⑩은 종료조건으로서 외부루프의 종료시점은 어닐링에서 충분히 냉각된 기저상태(ground state)에 해당하는 최대 목적함수값이 얻어졌을 때로 설정해야 하지만 이 상태를 판정하기가 불가능하므로 T가 일정한도 이하로 내려가면 종료하는 조건을 취하였는데 일정한도는 0에 가까운 실수(0.01)를 적용하였다.

### 3.2 SE 알고리즘

SE는 기존의 SA와 크게 해의 수락기준과 컨트를 파라미터인 온도 T를 통제하는 두 가지 측면에서 차이가 난다. SE는 목적함수값의 차이가 너무 큰 하강이동은 최적화로의 진행과정을 혼란시키고 계산시간만 증가시킨다고 파악하였기 때문에 작은

하강이동만 받아들이다가 필요할 때에만 증가함수를 사용하여 0에 가까운 초기온도 T를 올려서 국부 최대점에서 빠져 나올 수 있도록 한 것이다[20].

```

Algorithm SE
begin ;
Initialize(X, T, L, R) ; ❶
Distance_Coverage(X) ;
Xbest = X ;
Pbest = P(X) ;
Counter = 0 ;
repeat
    Profitold = P(X) ;
    for i = 1 to L do
        Xneighbor = Perturb(X) ;
        Distance_Coverage(Xneighbor) ;
        Gain(m) = P(Xneighbor) - P(X) ;
        if Gain(m) > Ranint(-T, 0) ❷
            then X = Xneighbor ;
        endif ;
    endfor ;
    Profitnew = P(X) ;
    if Profitold = Profitnew ❸
        then T = f(T) ;
    else
        then T = T0 ;
    endif ;
    if P(X) > Pbest ❹
        then Xbest = X, Pbest = P(X),
            Counter = Counter - R ;
    else
        then Counter = Counter + 1 ;
    endif ;
until (Counter > R) ; ❺
end ;
    
```

[그림 3] SE 알고리즘

[그림 3]은 본 연구에 적용된 SE 알고리즘이다. 앞서 소개한 SA 알고리즘과 반복되는 내용은 생략하였다.

❶의 초기화과정에서 초기해 X는 무작위로 정하였고 하강이동을 받아들이는 확률을 담당하는 컨트를 파라미터 T를 초기에 0에 가까운 작은 값 T0(1)를 적용하였다. 또한 L과 R값은 적절한 상수(L : 100~300, R : 50~100)로 설정하였다.

❷는 현재해와 이웃해의 목적함수값을 비교하여

목적함수값의 상승이동은 무조건 받아들이고 하강 이동은 목적함수값의 차이가  $[-T, 0]$  사이의 난수보다 크면 받아들인다. 즉, 목적함수값의 차이가  $T$ 보다 큰 하강이동은 받아들이는 확률이 0이 된다.

③은 연속되는 반복에서 목적함수의 변화가 없으면 그 점이 국부 최대점일 가능성이 높기 때문에  $T$ 를 증가함수  $f(T)$ 에 따라 증가시켜줌으로써 국부 최대점에서 빠져나올 수 있는 기회를 제공하고 그렇지 않으면 항상  $T$ 를  $T_0$ 로 유지하게 된다.  $f(T)$ 는 기하 스케줄( $T_k = a \times T_{k-1}$ )을 적용하였고 이때  $a$ 는 3으로 설정하였다.

④는 현재해의 목적함수값이 현재까지의 가장 우수한 해의 목적함수값과 비교하여 더 좋으면 이를 현재해 및 현재해의 목적함수값으로 대체한다. 이때 현 Counter값에서 미리 설정해 놓은 R값만큼 빼어 보너스를 주는 방식으로 진행하다가 현재까지의 가장 우수한 해의 목적함수값보다 좋지 못하면 Counter를 1씩 증가시킨다.

⑤는 종료조건으로서 Counter값이 R보다 커면 알고리즘을 종료한다.

### 3.3 ASA 알고리즘

ASA는 SA와 마찬가지로 내부루프 종료 후 온도를 낮추는 것은 동일하나 온도를 내리는 조건이 다르다. SA에서는 고정된 T값에서 내부루프가 종료되면 무조건 온도를 적정스케줄에 의해 감소시키지만 ASA에서는 내·외부 루프에서 해가 개선되면 온도를 낮추고 그렇지 않으면 카운트가 증가되어 일정횟수를 초과하면 종료하는 방식을 채택한다[3]. [그림 4]는 본 연구에 적용된 ASA 알고리즘이다. 앞서 소개한 SA 알고리즘과 반복되는 내용은 생략하였다.

①의 초기화 과정에서 초기해  $X$ 는 무작위로 선정하고 초기온도  $T$ , 내부루프 반복수  $L$ , 종료조건인  $M$ 과  $N$ 값은 적절한 상수( $T: 100 \sim 1,000$ ,  $L: 50 \sim 100$ ,  $M: 2,000 \sim 5,000$ ,  $N: 8,000 \sim 20,000$ )로 설정하였다.

```

Algorithm ASA
begin ;
Initialize(X, T, L, M, N) ; ①
Distance_Coverage(X) ;
Xbest = X ;
Pbest = P(X) ;
Counter1 = 0 ;
Counter2 = 0 ;
repeat
  Profitold = P(X) ;
  Check = 0 ;
  for i = 1 to L do
    Xneighbor = Perturb(X) ;
    Distance_Coverage(Xneighbor) ;
    if P(Xneighbor) ≥ P(X) or
       exp((P(Xneighbor) - P(X))/T) > random(0, 1)
    then X = Xneighbor ;
  endif ;
  if P(X) > Pbest ②
    then Xbest = X, Pbest = P(X),
         Counter2 = 0, Check = 1 ;
  else
    then Counter2 = Counter2 + 1 ;
  endif ;
endfor ;
Profitnew = P(X) ;
if Check = 1 or Profitnew > Profitold ③
  then T = aT ;
endif ;
if Profitnew = Profitold ④
  then Counter1 = Counter1 + 1 ;
else
  then Counter1 = 0 ;
endif ;
until (Counter1 > M or Counter2 > N) ; ⑤
end ;
  
```

[그림 4] ASA 알고리즘

③은 SA와 마찬가지로 기하스케줄을 사용하는 것은 동일하나 온도를 내리는 조건이 다르다. SA에서는 고정된 T값에서 내부루프가 종료되면 무조건 온도를 기하스케줄에 의해 감소시키지만 ASA에서는 Check변수와 Profitold 및 Profitnew변수에 의해 기하스케줄을 적용한다. Check변수는 최초 0값이 주어지고 내부루프에서 한번이라도 개선된 해가 존재하면 1값으로 변한다. 또한 Profit변수는 이전 온도 T에서 내부루프를 종료한 후 최상의 값 Profitnew를 비교하여 개선여부를 확인한다. 즉, 내부루프에서 Check변수의 값이 1이거나 Profitnew값

이 Profitold값보다 크면 해의 개선이 한 번이라도 있었다는 것을 나타내기 때문에 고정온도 T값에서의 평형상태에 도달했다고 판단하고 기하스케줄에 의해 다음 온도 T를 산출한다. 그러나 Check변수의 값이 0이거나 Profitnew값이 Profitold값보다 작으면 내부루프를 돌고 난 후에도 목적함수값이 개선되지 않아 아직도 현재온도 T에서 안정상태에 도달하지 못했다고 간주하고 현재온도 T를 고정시킨 채 내부루프를 계속 돌리게 된다.

②, ④, ⑤는 종료조건으로서 복수의 기준이 적용된다. 고정온도 T에서 내부루프가 진행되는 동안 해를 개선시키지 못하여 Counter2가 증가되는 경우(②)와 외부루프에서 가장 좋은 해를 개선시키지 못하여 Counter1이 증가되는 경우(④) 두 가지이다. ⑤는 미리 초기에 설정한 M과 N값보다 Counter1과 Counter2의 값이 커져 이 두 조건 중 어느 하나가 먼저 만족되면 알고리즘이 종료하는 방식을 따른다. 이렇게 하는 이유는 일반적으로 목적함수의 변화여부를 검사하여 외부루프를 임의의 M번 동안 목적함수값의 변화가 없을 경우만을 종료조건으로 사용하면 해의 개선 없이 낮은 컨트를 파라미터에서 헛되이 보내는 시간이 너무 길기 때문이다.

#### 4. 실험결과 및 분석

본 알고리즘은 마이크로소프트사의 비주얼 C++로 구현하였으며 팬티엄 1.6GHz PC에서 실험되었다.

##### 4.1 축소실험

30×30상에서 무작위로 수요지 노드수 30개를 생

성하였으며 노드당 수요량은 평균이 100, 표준편차 10인 정규분포를 적용하였다. 설비후보지는 무작위로 노드수 15개를 생성하였다.

##### 4.1.1 MPLP 모형 검증

이 실험은 본 연구에서 제시한 MPLP 수리모형이 수익성 최대화의 방향으로 타당성있게 공식화되는지 검증하는 실험으로서 SA 알고리즘을 적용하였다.

제품은 제품별로 판매 이익금, 설비 설치비, 운송비 등의 정보를 가지고 있는데, 3가지 제품별로 이러한 입력정보가 다른 조건에서 설비입지선정에 대한 실험을 하였다.

실험의 입력정보로서 설비후보지에 대한 부지 임대비는 600, 부분 커버리지는 커버가능거리 5.0에 20%를 적용한 5.0~6.0 구간으로 설정하였다.

제품의 분포는 하나의 수요지에 한 가지 제품만이 수요되고 30×30상의 중앙부분 수요지에 제품 3을, 그 주위 수요지에 제품 2, 최외곽 수요지에 제품 1을 배치하였다. <표 1>은 제품별 세부 입력정보로서 설비 설치비가 높은 제품은 단위거리 당 운송비와 판매이익금도 높다는 가정이다. 알고리즘 수행 횟수는 10번 반복실험에서 최고 및 평균값을 산출하였으며 최고값을 토대로 설비지에서 수요지에 대한 제품의 순이익금을 분석하였다

실험결과는 <표 2> 및 [그림 5]와 같이 제품 3이 설비 설치비와 단위 거리 당 운송비가 타제품보다 많이 소요되지만 제품당 이익금이 훨씬 높아 제품 3을 커버하는 방향으로 설비입지가 선정되었다. 수요지 14번 노드는 설비지 2번에서 커버가능거리 내에 있지만 제품 1에 대한 이익금이 설비 설치비보

<표 1> 입력정보

구분	제품 1	제품 2	제품 3
설비 설치비	5,000	10,000	15,000
단위거리 당 운송비	1	2	3
제품당 판매이익금	20	40	70
수요지	1, 2, 7, 9, 14, 16, 20, 23, 24, 25, 29	6, 8, 10, 11, 12, 15, 17, 22, 27, 28	0, 3, 4, 5, 13, 18, 19, 21, 26

<표 2> 실험결과

구분	판매 이익금	설비 설치비	운송비	순 이익금	커버비율(%)			설비 설치지역
					제품 1	제품 2	제품 3	
최고값	76,489	41,800	10,224	24,465	0	50.3	89.4	2, 5, 8
평균값	63,763	32,440	8,561	22,762	0	50.2	69.1	-

다 적기 때문에 순이익금을 증가시키지 못하여 커버되지 못했다. 설비지 7번에서는 제품 1에 대한 수요지 2번, 제품 2에 대한 수요지 10, 11, 22번이 커버가능거리 내에 있지만 순이익금이 감소되어 설비 입지가 선정되지 못했다.

결론적으로 MPLP 모형이 다수제품의 정보에 따라 순이익금을 증가시키는 방향으로 설비입지가 선정됨을 알 수 있다.

를 만족시키기 위해서 본 논문의 수리모형 식 (2)에서 부등호를 등호로, 목적함수식도 비용만을 고려하여 식 (7)과 같이 변경하였다.

$$\min \sum_j \sum_k (f_k + S_j) X_{jk} + \sum_i \sum_j \sum_k C_k h_{ik} d_{ij} R_{ij} Y_{ijk} \quad (7)$$

또한 커버가능거리를 7.0으로 두어 설비후보지에서 수요지를 모두 커버할 수 있게 하였으며 비교를 위해 MCLP와 MPLP도 같은 값을 적용하였다.

MCLP는 정해진 p개의 설비로 수요량을 최대화하는 문제이기 때문에 입력 파라미터인 p의 개수를 정해야 한다. 여기서 MPLP 최적해의 설비 설치개수가 7개소이므로 식 (8)을 제약식에 추가하였다.

$$\sum_j X_{jk} = 7 \quad \forall k \quad (8)$$

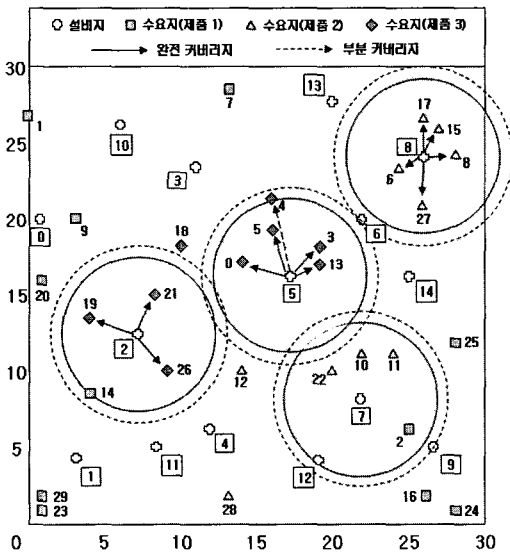
또한 MCLP는 비용이나 이익금과는 관계가 없고 수요량과 관계있기 때문에 목적함수를 식 (9)로 변경하여 비교분석하였다.

$$\max \sum_i \sum_j \sum_k h_{ik} R_{ij} Y_{ijk} \quad (9)$$

<표 3>은 상기 실험을 위한 입력정보이다.

<표 3> 입력정보

설비 후보지	제품			커버리지			
	제품수	설비 설치비	단위 거리당 운송비	제품당 순이익금	커버 가능거리	부분 커버리지	
부지 임대비	600	1	10,000	1	60	7.0	미적용



[그림 5] 실험결과 설비배치 현황

4.1.2 기존 모형과 MPLP 모형 비교

이 실험은 본 논문모형인 MPLP가 기존의 대표적인 설비입지선정 모형인 FCLP 및 MCLP와 어떻게 차별화되는지 목적함수식 및 제약식을 변형해가면서 상호 비교 분석하였다.

FCLP의 가장 큰 특징은 모든 수요지를 커버하면서 비용을 최소화하는 것이다. 따라서 전체 수요량에 대한 커버하는 비율이 100%가 되어야 한다. 이

최고해 산출을 위해 SA 알고리즘을 10회 반복하여 실험하였으며 최고해 판단을 위해 설비지에서 수요지에 대한 순이익금을 분석한 결과, <표 4>와



〈표 4〉 실험결과

( ): 평균값

실험	판매 이익금	총비용	순이익금	커버비율(%)	설비 설치지역	담당 수요지역
①	181,320 (181,320)	117,278 (117,490)	64,042 (63,831)	100 (100)	0, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 14	30개소
②	163,860 (160,278)	85,025 (85,535)	78,835 (74,743)	90.37 (88.41)	1, 2, 5, 8, 9, 10, 14	27개소
③	163,440 (163,608)	84,308 (84,595)	79,132 (79,013)	90.14 (90.23)	0, 1, 2, 5, 8, 9, 14	27개소

같은 결과값을 얻었다. 이때 실험 ①(FCLP)의 판매 이익금, 순이익금과 실험 ②(MCLP)의 판매이익금, 총비용, 순이익금은 설비입지선정 결과에 따른 실제 계산한 결과값이다.

실험 ①(FCLP)은 제약조건에서와 같이 수요량이 커버되는 비율이 100%이고 설비 설치지역은 총 10개소, 커버되는 수요지역은 전 지역(30개소)이다. 그리고 총 비용은 117,278, 순이익금은 64,042이다. 반면 수익성을 고려하는 실험 ③(MPLP)은 설비 설치지역 7개소, 커버되는 수요지역은 27개소이고 커버되는 수요량 비율이 90.14%이지만 총 비용은 실험 ①(FCLP)보다 32,970만큼 적은 84,308, 순이익금은 15,090만큼 많은 79,132이다.

실험 ②(MCLP)는 7개의 설비를 가지고 최대한의 수요량을 커버해야 한다는 조건하에 선정된 7개의 설비지와 실험 ③(MPLP)의 7개 설비지와는 다른 결과값을 도출하였으며 제품의 수요량을 커버하는 비율이 실험 ③(MPLP)보다 0.23% 높지만 순이익금은 297만큼 적다. 즉, 모든 수요를 커버한다고 해서 많은 수익금을 얻는 것은 아니며 최대의 수익성을 고려한다면 판매이익금 대비 비용측면(설치비, 운송비)을 반드시 고려해야 함을 알 수 있다.

위 실험결과를 통해 본 논문모형인 MPLP는 기존의 FCLP 및 MCLP 모형과는 확연히 구분되는 수익성을 최대화하는 모형임을 알 수 있다.

### 4.1.3 알고리즘 성능평가

#### (1) 기존 논문 실험과의 비교

본 논문의 해법으로 적용한 SA, ASA, SE 알고

리즘의 성능확인을 위해 발견적 기법의 커팅알고리즘을 적용한 홍성학 외[5]의 모형 결과값과 상호 비교하였다. 이 모형은 변형된 MCLP 모형으로서 제한된 비용 범위 내에서 최대의 수요량을 커버하는 문제이다.

입력 및 결정변수와 수리모형은 다음과 같다.

- $i$  : 수요지
- $j$  : 설비지
- $h_{ik}$  : 수요지  $i$ 에서 제품  $k$ 에 대한 수요량
- $f_j$  : 설비지  $j$ 에 설비를 설치하는데 필요한 고정비
- $C$  : 단위 수요 당 거리비용
- $d_{ij}$  : 수요지  $i$ 에서 설비지  $j$ 까지의 거리
- $V$  : 최대 투자 가능 비용(총비용의 한계)
- $a_{ij}$  : 설비지  $j$ 에 세워진 설비가 수요지  $i$ 에 있는 수요를 커버하면 1, 아니면 0
- $X_j$  : 설비 후보지  $j$ 에 설비를 설치하면 1, 아니면 0(결정변수)
- $Y_{ij}$  : 설비지  $j$ 에 있는 설비가 수요지  $i$ 의 수요를 담당하면 1, 아니면 0(결정변수)

$$\max \sum_i \sum_j h_{ij} g_{ij} Y_{ij} \tag{10}$$

$$s.t. \sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j$$

$$\sum_j f_j X_j + c \sum_i \sum_j h_{ij} d_{ij} Y_{ij} \leq V$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j$$

$$Y_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j$$

홍성학 외[5]의 논문과 동일한 실험조건을 위해

100×100상에서 임의의 50개 노드를 생성하였으며 수요지의 수요량은 정규분포  $N(5, 1^2)$ 를 따르며 기타 입력정보는 <표 5>와 같다.

<표 5> 입력정보

설비 고정비	단위 거리당 운송비	비용한도	커버가능거리
10,000	1	50,000	10~100

주어진 비용한도 내에서 커버가능거리를 증가시키면서 최소한의 비용으로 최대한의 수요량을 커버하는지에 대한 알고리즘의 수행능력을 확인하였다.

홍성학 외[5]의 논문에서 적용한 최적해 산출을 위한 발견적 기법의 커팅 알고리즘과 공정한 비교 평가를 위해 노드생성과 각 수요지의 수요량을 3회 임의 생성하였고 각 커버가능거리당 5회 반복실험을 통해서 평균값과 최고값을 산출하여 비교하였다 (커버가능거리당 15회 반복 실험). 실험결과는 <표 6>과 같다.

수요지 커버량(목적함수)에 대한 해의 질은 SA 알고리즘의 평균값이 홍성학 외[5]의 값보다 약간 낮지만 최고값은 거의 비슷하게 산출되었다. 해의 산출 소요시간 면에서 비교하여 보면 홍성학 외[5]

의 할당이완은 커버가능거리 50이하, 분할이완은 30이하부터 급격히 증가되는 반면, SA 알고리즘은 커버가능거리에 관계없이 5초대의 일정한 시간이 소요되었다.

상기 실험을 통해 SA 알고리즘은 최적해에 가까운 근사최적해 산출이 가능하며 계산복잡도가 높아 최적해 알고리즘으로 많은 시간이 소요되는 경우에도 짧은 시간에 근사최적해 산출이 가능함을 알 수 있다.

(2) SA, ASA, SE 알고리즘 비교

본 실험에서는 SA에서 파생된 SE와 ASA 알고리즘 성능을 상호간의 비교를 통해 평가하였다.

알고리즘 성능평가를 위해 제품수를 추가시키면서 계산 복잡도를 증가시켰다. 커버가능거리 50에 부분 커버리지는 20%를 적용하였으며 설비후보지의 부지 임대비는 600으로 고정시켰고 수요지의 제품에 대한 입력정보는 <표 7>과 같다.

실험규모는 총 4가지로써 제품수를 1개부터 4개까지 증가시켰다. 예를 들어 제품수 1개는 제품 1을, 제품수 4개는 제품 1, 2, 3, 4를 포함한다.

<표 8>은 제품수별로 SA, SE, ASA를 각각 10번 수행한 결과의 평균값이다. 표에서 알 수 있듯이

<표 6> 알고리즘 성능평가 결과

커버가능거리	커팅 알고리즘(홍성학 외[5])				SA 알고리즘			
	할당이완		분할이완		평균해		최고해	
	커버비율 (%)	시간 (초)	커버비율 (%)	시간 (초)	커버비율 (%)	시간 (초)	커버비율 (%)	시간 (초)
100	100.00	0.00	100.00	0.00	99.93	5.26	100.00	5.21
90	100.00	0.00	100.00	0.00	98.11	5.25	100.00	5.28
80	100.00	0.00	100.00	0.00	97.57	5.70	100.00	5.27
70	100.00	1.79	97.93	0.00	98.01	5.32	100.00	5.30
60	100.00	1.69	100.00	0.00	94.32	5.36	99.30	5.38
50	100.00	132.93	100.00	0.15	94.62	5.43	100.00	5.50
40	98.35	59.16	98.35	0.22	90.55	5.52	97.60	5.44
30	90.50	647.80	90.50	20.51	84.21	5.45	87.20	5.63
20	64.88	1,003.14	64.88	1,594.62	59.23	5.40	64.30	5.30
10	32.64	728.62	32.64	1,599.42	30.10	5.38	34.80	5.28

목적함수값은 제품수 3에서 SE가 저조하여 많은 차이가 났으나 전체적으로 상호 비슷한 결과값을 도출하였으며 SA는 모든 실험에서 해의 질이 가장 우수하였다. 수행 속도 면에서는 계산 복잡도가 낮을 때는 SE와 ASA가 우수하였으나 계산 복잡도가 높을수록 오히려 SA가 빠른 결과를 산출하였다. 이와 같은 결론에 통계적 유의성 보장을 위한 검증으로서 각 알고리즘 상호간의 목적함수값, 수행시간에 대해 t-test를 수행하였다. 유의수준은 5%로 하였고 그 결과는 <표 9>와 같다.

<표 7> 제품별 입력정보

제품 종류	설치비	운송비	판매 이익금	수요량
제품 1	5,000	1	20	정규분포 $N(100, 10^2)$
제품 2	10,000	2	40	정규분포 $N(100, 10^2)$
제품 3	15,000	3	70	정규분포 $N(100, 10^2)$
제품 4	20,000	4	110	정규분포 $N(100, 10^2)$

<표 8> 알고리즘 성능평가 결과(평균)

제품 수	SA		SE		ASA	
	Profit	Time (sec)	Profit	Time (sec)	Profit	Time (sec)
1	3,181.6	13.1	3,181.6	4.0	2,910.4	2.9
2	12,674.6	38.7	11,161.7	18.4	12,116.7	21.6
3	45,926.7	94.4	37,955.4	104.6	43,612.3	131.7
4	103,3139.7	157.7	99,065.6	369.9	100,515.0	159.3

<표 9> t-test 수행결과

제품수	SA vs. ASA		ASA vs. SE		SA vs. SE	
	Profit	Time	Profit	Time	Profit	Time
1	×	○	×	○	×	○
2	×	○	×	×	×	○
3	×	○	×	×	○	×
4	×	×	×	○	×	○

주) 유의한 차이 있음 : ○, 유의한 차이 없음 : ×

<표 9>에서 SA와 ASA, ASA와 SE, SA와 SE는 각각 수행시간에서 유의한 차이가 있었고 목적

함수값에는 제품수 3의 SA와 SE가 유의한 차이가 났을 뿐 나머지는 차이가 발생하지 않았다. 따라서 앞서 설명한 대로 계산 복잡도가 증가하면서 근사 최적해를 산출하기 위하여 ASA와 SE는 SA보다 알고리즘 처리시간이 더 우수하다고 할 수 없어 확대실험을 통해 이를 재확인하였다.

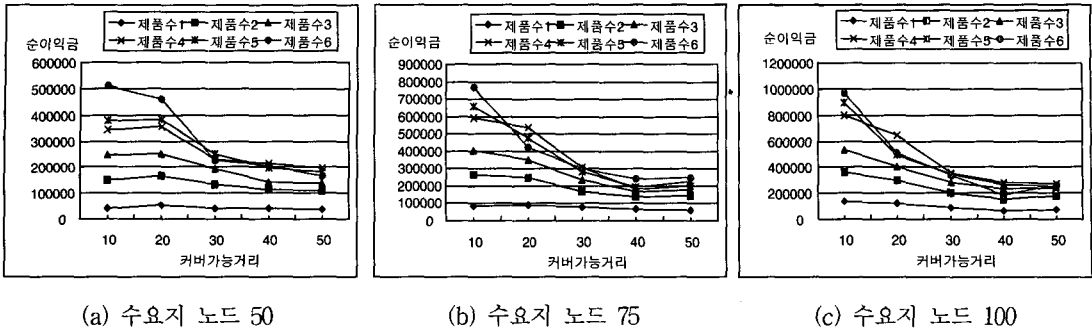
#### 4.2 확대 실험

설비후보지 노드수는 50×50상에서 [5, 45]사이의 수를 무작위로 생성하여 20개로 고정하였으며 수요지 노드수는 [0, 49]사이의 수를 무작위로 생성하여 50, 75, 100개로 늘려가면서 각각에 제품수를 1, 2, 3, 4, 5, 6개로 증가시키고 커버가능거리 또한 각각의 경우에 10, 20, 30, 40, 50으로 증가시키면서 실험하였다. 이 때 수요지 노드수는 이전 단계의 노드수에 25개씩 추가하였으며 설비후보지 20개의 부지 임대비는 노드 중앙부분은 1800, 그 주위는 1,200, 최외곽은 600으로 산정하였다. 제품수를 1에서 6까지 증가시킬 때 <표 10>에 있는 제품 순서대로 추가하였고(예를 들어 제품수 2개는 제품 1, 2를, 제품수 6개는 제품 1, 2, 3, 4, 5, 6을 포함) 제품수가 증가되면서 설치비 및 운송비는 높아지고 수요량은 적어지면서 제품 당 판매수익금은 증가한다. 제품에 따른 입력정보는 <표 10>과 같고 부분 커버리지는 10%를 적용하였다.

<표 10> 제품별 입력정보

제품종류	설치비	운송비	판매 이익금	수요량
제품 1	5,000	1	20	정규분포 $N(150, 20^2)$
제품 2	7,500	2	40	정규분포 $N(150, 20^2)$
제품 3	10,000	3	60	정규분포 $N(125, 15^2)$
제품 4	12,500	4	80	정규분포 $N(125, 15^2)$
제품 5	15,000	5	100	정규분포 $N(100, 10^2)$
제품 6	17,500	6	120	정규분포 $N(100, 10^2)$

축소실험에서 SA 알고리즘이 최적해를 산출하였기 때문에 확대실험에서도 근사 최적해 도출이 가



(a) 수요지 노드 50

(b) 수요지 노드 75

(c) 수요지 노드 100

[그림 6] 수요지 노드별 순이익금

능하다고 판단하였다. 각 알고리즘에 대한 입력 파라메타는 초기 실험에서 우수한 결과를 산출한 값을 적용하였다.

확대실험 결과는 <부록>에 첨부하였다.  $N$ 은 수요지 노드수,  $P$ 는 제품수,  $S$ 는 커버가능거리를 나타낸다. 각 수요지수/제품수/커버가능거리/알고리즘별 순이익금은 5회 반복실험에서 산출된 최고의 해이고 소요시간은 그 최고해에 대한 결과값이다.

[그림 6]은 수요지 노드 및 제품수별로 커버가능거리가 증가함에 따른 최고해에 대한 순이익금의 변화를 나타내 준다. 대체적으로 모든 수요지 노드에서 감소되는 경향이 있다. 이는 커버가능거리가 증가되면 설치되는 설비수는 감소하지만 수요지에 대한 총거리가 증가되어 전체 운송비가 높아지게 된다. 본 논문의 데이터는 전자의 설치비용 감소량보다 후자의 운송비용 증가량이 더 크다고 볼 수 있어 점점 감소되는 경향을 보이는 것이다. 즉, 생산자 입장에서 커버가능거리를 크게 한다고 해서 설비 설치비용을 줄여 순이익금을 많이 얻는다고 볼 수 없고 반드시 운송비용을 고려해서 판단해야 함을 알 수 있다. 또한 [그림 6]에서 같은 커버가능거리라도 제품수가 많으면 순이익금이 증가됨을 알 수 있다. 노드 50에서는 뚜렷하지만 노드 75와 100의 일부 커버가능거리에는 순이익금의 증가순서가 바뀌어 있음을 알 수 있다.

알고리즘별 성능을 평가하기 위해 수요지 노드수별로 최고의 해를 산출한 알고리즘의 횟수를 측정

했다. 측정결과 SA가 최고해를 산출할 확률이 가장 크고 그 다음은 ASA, SE 순이다. 노드수별 결과에 대한 세부사항은 <표 11>과 같다.

<표 11> 최고해 산출 횟수

(단위 : 회)

구분	SA	SE	ASA
50 노드	18	2	10
75 노드	17	1	12
100 노드	16	0	14
계	51(56.7%)	3(3.3%)	36(40.0%)

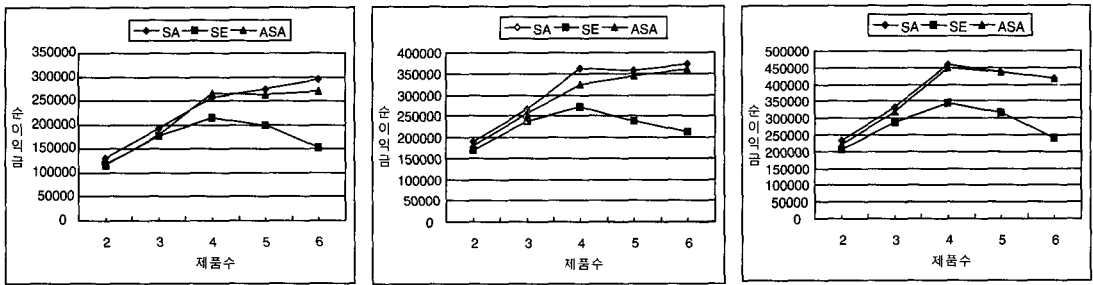
또 다른 측면에서 알고리즘 성능평가를 실시하였는데, 수요지 노드별로 제품수를 증가시키면서 알고리즘별 평균 순이익금으로 해의 질을 비교분석하였다. [그림 7]에서 보듯이 SA와 ASA는 제품수가 증가하면서 순이익금의 증가를 보였지만 SE는 제품수 4개부터 감소하는 추세를 보였다. 즉, SE는 계산복잡도가 증가하면서 목적함수를 개선시키지 못하고 지역 최적해에 빠진다는 것을 알 수 있으며 SA와 ASA는 별다른 차이점 없이 거의 비슷한 값을 도출하였으나 노드수 100의 제품수 5, 6에서는 감소하는 추세를 보였다.

알고리즘별 소요시간 측정을 위해 <부록>의 결과를 바탕으로 노드수 및 제품수별로 커버가능거리 10부터 50까지의 5개 수행시간 데이터를 이용하여 평균과 표준편차를 확인하였다. 결과분석은 [그림 8]에서 나타나듯이 SE의 수행시간이 비교적 적게

소요되지만 SE는 해의 질이 SA와 ASA에 비해 많이 떨어지므로 효과적이라 할 수 없다. 반면 SA는 제품수가 증가하면서 계산복잡도가 증가되어 거의 선형의 증가형태를 띄고 있지만 SE와 ASA는 기복이 심하고 오히려 반대현상도 나타나는 것을 볼 수 있다. 이에 따른 평균 소요시간에 대한 표준편차를 확인해 본 결과([그림 9] 참조), SA 알고리즘은 낮은 수치에서 거의 평형상태를 이루지만 SE와

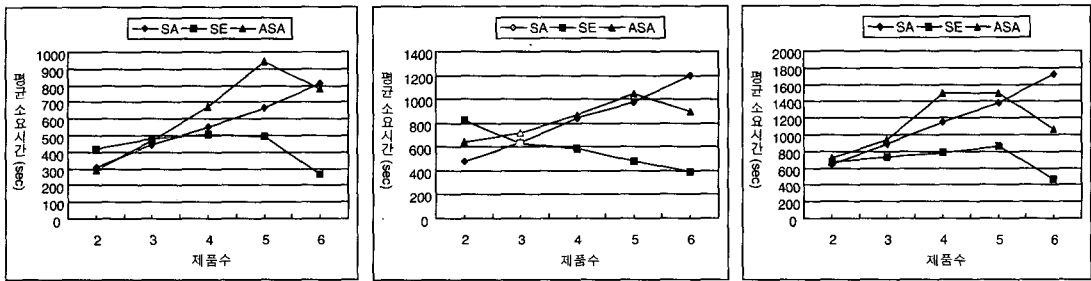
ASA는 높은 수치에서 기복이 심한 형태를 띄었다.

윤복식, 조계연[3]은 ASA를 SA와 비교했을 때, 해의 질은 떨어지지 않고 수행시간이 줄어든다고 하였으나 본 논문문제에서는 별다른 차이가 없었고 오히려 SA가 더 빠른 수행시간을 산출할 경우가 많았다(<부록>에서 수요지 노드수/제품수별 평균 순이익금 및 수행시간을 확인해 본 결과, SA가 ASA보다 더 우수한 해를 더 빠른 수행시간에 산출



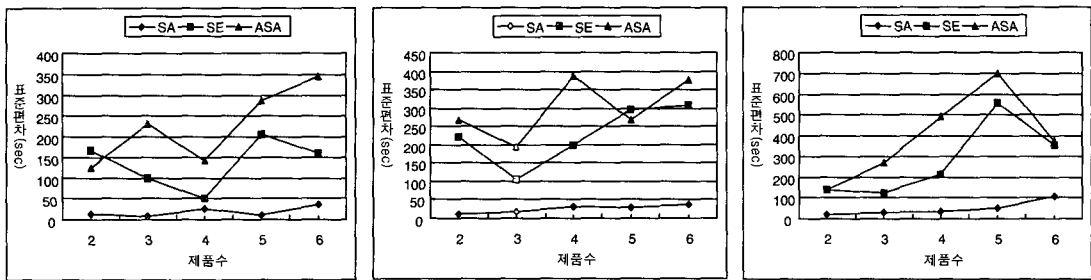
(a) 수요지 노드 50 (b) 수요지 노드 75 (c) 수요지 노드 100

[그림 7] 수요지 노드별 평균 순이익금



(a) 수요지 노드 50 (b) 수요지 노드 75 (c) 수요지 노드 100

[그림 8] 수요지 노드별 평균 소요시간



(a) 수요지 노드 50 (b) 수요지 노드 75 (c) 수요지 노드 100

[그림 9] 수요지 노드별 평균 소요시간 표준편차

한 비율이 61.1% : 총 18개중 11개). SE는 윤복식, 조계연[3]이 보고한 내용과 마찬가지로 해의 질이 SA와 ASA에 비해 많이 떨어지기 때문에 수행시간의 비교는 의미가 없다고 판단하였다.

종합적으로 본 논문모형에 대한 축소 및 확대실험을 통해 계산 복잡도가 증가하면서 SA가 해의 질이나 속도면에서 SE 및 ASA보다 더 우수하게 나타났다.

따라서 SA는 안정된 알고리즘 처리시간으로 양질의 해를 보장한다고 할 수 있고 계산 복잡도가 높은 조합 최적화문제에서 최적해 및 근사 최적해 산출이 가능함을 알 수 있다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 기존의 설비입지선정 문제인 MCLP 및 FCLP와는 다른 생산자 또는 기업가의 입장에서 수익성을 고려하는 설비입지선정 모형(MPLP)을 개발하였다.

다양한 상황에서 본 논문의 MPLP 모형을 메타 휴리스틱의 한 종류인 SA알고리즘으로 적용한 결과, 수익성을 최대화하는 방향으로 근사최적해를 도출할 수 있었으며 기존 논문(홍성학 외[5])의 커팅 알고리즘에 비해 계산복잡도가 높아질수록 훨씬 짧은 시간에 근사최적해를 도출할 수 있었다. 또한 SA 알고리즘과 이에 파생된 SE, ASA 알고리즘을 비교해 본 결과, 윤복식, 조계연[3]의 결과값과는 다르게 도출되었다. 해의 질 측면에서 SA가 가장 우수한 결과값을 도출하였고 계산 수행시간에 있어 계산 복잡도가 낮을 경우에는 SE 및 ASA가, 높을 경우에는 SA가 짧게 소요되었다.

설비를 설치함에 있어 수익성을 최대화하기 위해서는 단위제품 종류별로 운송비와 설비 설치비, 판매수익금을 고려한 적정 커버가능거리의 산정과 비용 대비 판매 이익금이 높은 제품을 선정하는 것이 중요함을 알 수 있었다.

본 논문의 MPLP 모형은 생산자나 기업가의 입장에서 회사의 수익을 최대한 보장할 수 있는 설비입지선정 문제에 대해 전략적인 마인드 제공이 가

능한 활용가치가 있는 모형이라 할 수 있다. 기존의 설비입지선정 문제인 FCLP와 MCLP 문제와 달리 현실세계를 좀 더 반영한 차별화되는 모형이라는 점을 들 수 있다.

향후 연구과제로서 좀 더 다양하고 양질의 현실성 있는 입력데이터 확보 및 본 연구에서 제시한 수리모형에 2계층 설비문제로의 확장과 설비의 용량제약조건을 추가하는 문제연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 SA, SE, ASA 알고리즘은 해의 질과 처리시간에 많은 영향을 주는 입력 파라미터 및 조합 최적화 문제의 종류와 계산 복잡도에 따른 알고리즘별 성능평가에 대한 심도 있는 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- [1] 김여근, 윤복식, 이상복, 「메타휴리스틱」, 영지문화사, 1997.
- [2] 김은정, “용량제약 있는 이계층 설비 입지선정 문제의 최적화 해법”, 석사학위논문, KAIST, 2002.
- [3] 윤복식, 조계연, “Simulated Annealing의 가속화와 ATM 망에서의 가상경로 설정에의 적용”, 「한국경영과학회지」, 제21권, 제2호(1996), pp.125-140.
- [4] 이계종, 이병기, 이영훈, “서비스 레벨에 따른 용량제한 하에서의 입지선정문제”, 「한국공급망경영학회지」, 제3권, 제2호(2003), pp.43-50.
- [5] 홍성학, 이영훈, “비용제약하에서 서비스 수준을 최대화 하는 설비입지선정에 관한 연구”, 「대한산업공학회지」, 제30권, 제2호(2003), pp.93-106.
- [6] Aarts, E.H.L. and J.H.J. Korst, *Simulated Annealing and Boltzmann Machines*, John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [7] Berman, O. and D. Krass, “The Generalized Maximal Covering Location Problem,” *Computers & Operations Research*, Vol.29(2002),

- pp.563-581.
- [8] Church, R.L. and C.S. ReVelle, "The Maximal Covering Location Problem," *Papers of the Regional Science Association*, Vol.32 (1974), pp.101-108.
- [9] Daskin, M., *Network and Discrete Location : Models, Algorithms, and Applications*, Wiley, New York, 1995.
- [10] Galvao, R.D., L.G.A. Espejo, and B. Boffey, "A Comparison of Lagrangean and Surrogate Relaxations for the Maximal Covering Location Problem," *European Journal of Operational Research*, Vol.124(2000), pp. 377-389.
- [11] Holmberg, K., M. Ronnqvist and D. Yuan, "An Exact Algorithm for the Capacitated Facility Location Problems with Single Sourcing," *European Journal of Operational Research*, Vol.113(1999), pp.544-559.
- [12] Infante-Macias, R. and J. Munoz-perez "Competitive Location with Rectilinear Distances," *European Journal of Operational Research*, Vol.80(1995), pp.77-85.
- [13] Joseph, B.M. and W.N. Alan, "Lagrangian-relaxation-based Solution Procedures for a Multi-Product Capacitated Facility Location Problem with Choice of Facility type," *European Journal of Operational Research*, Vol.115(1999), pp.285-299.
- [14] Nozick, L. and M. Turnquist, "Integrating Inventory Impacts into a Fixed-Charge Model for Location Distribution Centers," *Logistics and Transpn Rev.*, Vol.34(1998), pp.173-186.
- [15] Nozick, L., "The Fixed Charge Facility Location Problem with Coverage Restrictions," *Transportation Research Part E*, Vol. 37(2001), pp.281-296.
- [16] Orhan, K. and K.K. Esra, "A Maximal Covering Location Model in the presence of Partial Coverage," *Computer & Operations Research*, Vol.31(2004), pp.1515-1526.
- [17] Pirkul, H., "Production, Transportation, and Distribution Planning in a Multi-Commodity Tri-Echelon system," *Transportation Science*, Vol.30(1996), pp.291-302.
- [18] Pirkul, H. and V. Jayaraman, "A Multi-Commodity, Multi-Plant, Capacitated Facility Location Problem : Formulation and Efficient Heuristic Solution," *Computers Operations Research*, Vol.25(1998), pp.869-878.
- [19] Ronnqvist, M., S. Tragantalerngsak, and J. Holt, "A Repeated Matching Heuristic for the Single-Source Capacitated Facility Location Problem," *European Journal of Operational Research*, Vol.116(1999), pp.51-68.
- [20] Saab, Y.G. and V.B. Rao, "Combinational Optimization by Stochastic Evolution," *IEEE trans. On Computer Aided Design*, Vol.10 (1991), pp.55-535.
- [21] Xu, G. and J. Xu, "An LP Rounding Algorithm for Approximating Uncapacitated Facility Location Problem with Penalties," *Information Processing Letters*, Vol.94(2005), pp.119-123.

〈부록〉 확대실험 실험결과

Value : Best(average)

N	P	S	순이익금			Time(sec)			N	P	S	순이익금			Time(sec)		
			SA	SE	ASA	SA	SE	ASA				SA	SE	ASA	SA	SE	ASA
50	1	10	39,149 (37,581)	39,146 (37,369)	38,412 (35,193)	297 (237)	121 (100)	134 (105)	50	4	10	344,258 (328,677)	326,724 (310,368)	332,855 (290,895)	576 (573)	492 (495)	496 (408)
		20	51,990 (47,600)	49,817 (42,781)	40,852 (39,939)	209 (208)	111 (109)	92 (139)			20	337,742 (318,397)	278,796 (261,346)	353,131 (315,975)	581 (589)	464 (421)	728 (617)
		30	41,316 (35,178)	42,117 (28,922)	40,849 (38,412)	206 (205)	168 (119)	83 (159)			30	201,963 (184,784)	178,200 (157,080)	230,683 (193,737)	538 (541)	451 (310)	697 (593)
		40	39,167 (35,320)	30,540 (25,947)	35,015 (33,508)	199 (200)	136 (87)	111 (228)			40	210,781 (175,523)	139,091 (131,285)	214,107 (163,771)	521 (542)	553 (380)	564 (525)
		50	30,425 (28,810)	32,330 (27,639)	35,015 (30,788)	199 (200)	139 (120)	120 (128)			50	191,561 (177,040)	151,923 (131,230)	195,467 (164,414)	547 (535)	561 (393)	855 (549)
		평균	40,409.4 (36,897.8)	38,790.0 (32,531.6)	38,028.6 (35,568.0)	222.0 (209.9)	135.0 (107.0)	108.0 (151.7)			평균	257,261.0 (237,084.1)	214,946.8 (198,261.8)	265,248.6 (225,758.3)	552.6 (555.8)	504.2 (399.8)	668.0 (538.3)
		50	2	10	142,766 (135,701)	149,449 (138,401)	122,242 (118,639)	323 (316)			291 (269)	167 (122)	50	5	10	378,686 (377,084)	366,196 (336,984)
20	165,594 (138,490)			156,049 (146,321)	133,706 (127,440)	309 (308)	706 (465)	220 (172)	20	380,811 (254,096)	298,187 (256,548)	380,820 (344,678)			679 (639)	458 (432)	799 (783)
30	132,668 (123,014)			101,952 (96,011)	116,182 (108,739)	300 (303)	388 (368)	234 (258)	30	247,938 (197,819)	136,077 (107,772)	220,520 (189,573)			665 (619)	430 (329)	738 (635)
40	113,099 (98,994)			91,575 (87,225)	94,162 (89,193)	299 (305)	339 (305)	388 (253)	40	187,139 (150,916)	99,028 (72,100)	197,687 (170,640)			661 (687)	371 (263)	665 (686)
50	102,044 (90,904)			87,365 (83,023)	107,364 (82,938)	327 (311)	349 (267)	462 (270)	50	179,545 (124,708)	97,722 (69,768)	177,728 (145,585)			650 (659)	346 (259)	1,273 (975)
평균	131,234.2 (117,421.6)			117,278.0 (110,196.2)	114,731.2 (105,389.8)	311.6 (308.6)	414.6 (334.8)	294.2 (215.0)	평균	274,823.8 (220,924.4)	199,442.0 (168,634.1)	263,333.0 (228,386.9)			664.4 (646.0)	491.2 (424.1)	940.0 (773.3)
50	3			10	244,050 (236,830)	233,852 (232,057)	216,706 (197,929)	449 (453)	574 (532)	310 (186)	50	6			10	511,010 (489,171)	352,687 (337,858)
		20	251,376 (225,702)	240,891 (231,745)	249,175 (226,089)	447 (445)	501 (572)	465 (451)	20	459,876 (359,164)			166,760 (141,605)	352,586 (281,235)	856 (825)	227 (222)	562 (419)
		30	195,051 (162,736)	149,226 (140,686)	179,265 (154,847)	440 (438)	410 (424)	861 (462)	30	224,379 (142,396)			127,901 (63,920)	212,028 (192,014)	787 (804)	273 (178)	1,028 (763)
		40	141,303 (123,045)	137,362 (114,582)	118,782 (110,088)	429 (433)	347 (317)	306 (294)	40	137,299 (109,976)			50,173 (28,863)	206,770 (161,640)	842 (815)	154 (87)	414 (682)
		50	135,642 (115,569)	128,170 (113,542)	127,936 (112,833)	435 (431)	566 (528)	388 (451)	50	138,304 (110,099)			63,519 (33,164)	166,068 (147,705)	778 (786)	150 (100)	645 (689)
		평균	193,484.4 (172,776.4)	177,900.2 (166,522.4)	178,372.8 (160,357.3)	440.0 (440.0)	479.6 (474.4)	466.0 (368.6)	평균	294,173.6 (242,161.2)			152,208.0 (121,081.8)	270,684.6 (223,824.8)	811.4 (811.1)	268.2 (242.3)	777.8 (704.9)
		75	1	10	83,309 (79,541)	83,024 (77,940)	81,815 (76,004)	285 (286)	415 (275)	167 (159)			100	1	10	133,907 (128,881)	131,859 (129,072)
20	87,609 (81,295)			91,316 (86,662)	85,203 (79,820)	281 (283)	421 (454)	262 (279)	20	120,425 (105,474)	119,647 (105,291)	102,924 (97,209)			365 (367)	484 (539)	847 (487)
30	76,525 (72,854)			61,263 (55,437)	77,338 (72,240)	290 (289)	361 (314)	1,112 (551)	30	86,771 (82,764)	80,125 (74,493)	89,512 (80,266)			358 (359)	446 (512)	479 (549)
40	54,177 (50,948)			51,692 (49,825)	68,188 (62,088)	285 (284)	409 (364)	141 (220)	40	67,357 (63,292)	61,073 (56,042)	67,364 (66,536)			358 (357)	408 (389)	838 (771)
50	53,156 (48,348)			44,847 (36,364)	57,639 (49,215)	289 (284)	280 (201)	281 (289)	50	69,498 (58,280)	57,883 (49,155)	66,591 (63,491)			355 (354)	369 (357)	570 (854)
평균	70,955.2 (66,597.2)			66,428.4 (61,245.6)	74,036.6 (67,873.5)	286.0 (285.1)	377.2 (321.6)	392.6 (299.5)	평균	95,591.5 (87,738.1)	90,117.4 (82,810.5)	86,806 (81,461.8)			361.0 (373.8)	415.8 (453.5)	612.6 (585.8)



N	P	S	순이익금			Time(sec)			N	P	S	순이익금			Time(sec)		
			SA	SE	ASA	SA	SE	ASA				SA	SE	ASA	SA	SE	ASA
75	2	10	263,835 (246,503)	262,784 (244,263)	232,257 (214,471)	499 (431)	1,067 (895)	185 (266)	100	2	10	363,609 (338,739)	338,655 (325,150)	318,439 (301,180)	669 (671)	766 (799)	531 (516)
		20	245,969 (231,828)	223,907 (214,712)	223,448 (220,794)	485 (431)	1,023 (736)	823 (804)			20	295,012 (289,838)	273,734 (267,287)	288,901 (299,955)	662 (664)	677 (650)	825 (791)
		30	166,307 (156,851)	151,270 (143,470)	164,399 (161,473)	479 (422)	799 (700)	622 (788)			30	186,073 (165,535)	162,337 (156,897)	204,984 (181,609)	639 (642)	622 (507)	864 (664)
		40	125,402 (117,325)	109,933 (99,848)	140,934 (105,323.3)	465 (495)	719 (497)	831 (515)			40	153,470 (142,620)	124,379 (115,817)	156,307 (140,227)	627 (633)	464 (430)	622 (507)
		50	142,426 (124,921)	104,172 (93,633)	129,558 (109,320)	481 (468)	531 (431)	748 (604)			50	176,737 (145,135)	126,076 (116,899)	146,328 (131,221)	628 (629)	820 (570)	736 (784)
		평균	188,787.8 (175,485.5)	170,413.2 (159,185.0)	180,119.2 (165,323.3)	481.8 (449.2)	827.8 (651.9)	641.8 (595.4)			평균	234,980.2 (216,373.2)	205,036.2 (196,409.9)	222,991.8 (202,838.3)	645.0 (647.7)	669.8 (590.9)	715.6 (652.3)
75	3	10	403,410 (387,926)	376,492 (361,199)	369,100 (349,767)	659 (670)	756 (774)	419 (461)	100	3	10	531,090 (492,967)	487,407 (464,079)	518,753 (494,541)	928 (948)	689 (609)	1,133 (842)
		20	349,171 (326,215)	326,560 (305,311)	351,946 (290,484)	654 (661)	585 (573)	745 (509)			20	398,840 (357,671)	385,501 (361,628)	354,905 (361,628)	925 (917)	566 (665)	969 (665)
		30	238,084 (215,655)	203,199 (181,586)	225,206 (188,466)	629 (634)	732 (513)	958 (596)			30	271,424 (207,348)	215,156 (203,797)	279,406 (233,614)	878 (881)	717 (629)	892 (538)
		40	160,036 (146,121)	161,822 (136,917)	171,926 (157,349)	624 (623)	555 (454)	710 (503)			40	237,286 (210,030)	177,962 (170,176)	197,054 (177,654)	863 (864)	892 (756)	503 (451)
		50	173,636 (155,250)	122,515 (113,814)	165,971 (147,753)	623 (618)	524 (425)	748 (507)			50	229,218 (199,279)	168,418 (164,319)	241,431 (204,641)	867 (875)	794 (694)	1,182 (779)
		평균	264,867.4 (246,233.1)	238,115.6 (219,765)	256,829.8 (226,763.6)	637.8 (641.1)	630.4 (547.8)	716.0 (515.1)			평균	333,571.6 (293,459.2)	286,888.8 (272,799.7)	318,309.8 (294,415.4)	892.2 (896.8)	731.6 (670.6)	935.8 (654.6)
75	4	10	589,493 (538,221)	473,842 (470,883)	525,087 (461,549)	890 (873)	902 (814)	993 (623)	100	4	10	799,993 (728,523)	627,986 (617,352)	779,681 (674,430)	1,201 (1,199)	1,108 (878)	1,744 (1,552)
		20	538,854 (471,582)	339,099 (307,992)	460,907 (421,485)	861 (862)	426 (370)	951 (565)			20	592,829 (475,401)	420,809 (326,288)	640,275 (458,016)	1,161 (1,180)	769 (485)	2,112 (1,204)
		30	307,152 (225,566)	210,839 (188,869)	257,284 (239,091)	841 (848)	628 (466)	1,380 (891)			30	355,145 (322,397)	216,266 (189,850)	288,131 (255,712)	1,148 (1,140)	532 (436)	927 (7,940)
		40	181,674 (171,410)	163,179 (133,684)	177,682 (167,886)	819 (822)	545 (472)	353 (687)			40	265,792 (243,515)	214,446 (179,710)	281,328 (226,218)	1,100 (1,112)	664 (727)	1,070 (842)
		50	187,335 (175,483)	164,162 (149,726)	199,120 (176,571)	812 (818)	419 (471)	650 (515)			50	273,358 (243,380)	245,860 (213,242)	264,127 (195,834)	1,136 (1,112)	830 (910)	1,621 (1,087)
		평균	360,901.6 (31,6452.3)	270,206.2 (250,230.5)	324,016.0 (293,316.3)	844.6 (844.5)	534.0 (518.6)	865.4 (666.2)			평균	457,423.4 (402,643.0)	345,073.4 (305,284.1)	450,708.4 (362,042.1)	1,149.2 (1,148.5)	780.6 (687.1)	1,494.8 (1,095.6)
75	5	10	657,314 (623,810)	540,522 (503,892)	606,807 (550,216)	1,007 (1,015)	974 (911)	1,109 (887)	100	5	10	866,500 (787,152)	721,840 (653,137)	895,713 (785,087)	1,440 (1,441)	1,843 (1,067)	2,394 (2,123)
		20	448,239 (359,144)	290,838 (256,982)	474,181 (454,591)	1,001 (1,015)	448 (354)	989 (868)			20	492,667 (367,818)	449,044 (342,941)	435,729 (343,693)	1,410 (1,412)	620 (494)	1,127 (725)
		30	255,463 (199,973)	125,822 (92,371)	281,587 (240,988)	967 (982)	242 (226)	1,466 (882)			30	323,125 (252,749)	162,914 (82,132)	345,639 (269,236)	1,367 (1,361)	763 (389)	2,090 (1,029)
		40	193,141 (160,749)	79,181 (56,747)	152,367 (142,193)	956 (958)	261 (231)	877 (668)			40	256,274 (223,733)	116,689 (82,132)	264,025 (195,462)	1,338 (1,336)	496 (424)	955 (993)
		50	226,078 (158,708)	156,443 (105,136)	209,509 (175,801)	943 (956)	461 (377)	778 (823)			50	248,555 (196,464)	135,756 (110,425)	235,555 (177,846)	1,326 (1,346)	575 (523)	884 (841)
		평균	356,047.0 (300,476.6)	238,561.2 (203,025.7)	344,800.2 (312,757.8)	974.8 (985.1)	477.2 (419.8)	1,043.8 (825.6)			평균	437,424.2 (365,583.2)	317,248.6 (264,165.9)	435,332.2 (354,264.9)	1,376.2 (1,379.0)	859.4 (579.3)	1,490.0 (1,142.0)
75	6	10	677,900 (650,063)	605,782 (559,251)	764,603 (612,497)	1,238 (1,249)	934 (1,035)	1,476 (1,306)	100	6	10	965,782 (931,951)	683,286 (652,936)	847,409 (728,879)	1,827 (2,022)	1,085 (1,060)	1,284 (808)
		20	424,693 (243,851)	207,861 (130,699)	287,400 (268,472)	1,234 (1,255)	216 (163)	429 (525)			20	431,648 (268,727)	281,579 (190,096)	507,449 (257,652)	1,736 (1,803)	252 (176)	852 (411)
		30	292,437 (149,401)	99,694 (76,675)	302,700 (207,615)	1,193 (1,207)	313 (229)	806 (551)			30	318,245 (211,437)	126,616 (96,798)	339,212 (189,296)	1,791 (1,683)	417 (285)	1,035 (609)
		40	240,738 (151,549)	84,580 (18,504)	192,620 (140,120)	1,159 (1,198)	230 (85)	896 (888)			40	183,725 (153,803)	59,257 (31,781)	134,909 (116,311)	1,553 (1,622)	390 (250)	586 (811)
		50	224,009 (109,403)	59,874 (34,596)	246,873 (134,176)	1,161 (1,177)	251 (178)	857 (580)			50	194,142 (140,762)	49,969 (40,167)	258,895 (169,991)	1,725 (1,622)	204 (188)	1,553 (940)
		평균	371,955.4 (260,853)	211,558.2 (163,945.0)	358,839.2 (272,576.0)	1,197.0 (1,217.0)	388.8 (337.9)	892.8 (769.9)			평균	418,708.4 (341,336.1)	240,141.4 (202,355.4)	417,574.8 (292,425.7)	1,726.4 (1,750.3)	469.6 (391.8)	1,062.0 (715.5)