Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 26, No. 4, pp. 384-391, December 2000.

증식 및 진부화되는 제품을 취급하는 물류시스템의 최적 설비계획모델의 연구†

황 홍 석

동의대학교 기계산업시스템공학부

A Stochastic Facility Location Model for Both Ameliorating and Deteriorating Items in Two-Echelon Supply-Chain Management

Heung-Suk Hwang

Most of the previous works on classical location models are based on the assumption that the value(or utilities) of inventory remains constants over time. In this study a special case of location problem is studied for both ameliorating and deteriorating items in two-echelon supply-chain management such as agricultural and fishery products. The objective of this study is to determine the minimum number of storage facilities among a discrete set of location sites so that the probability for each customer to be covered is not less than a critical value. We have formulated this problem using stochastic set-covering problem which can be solved by 0-1 programming method. Also we developed a computer program and applied to a set of problems for fish culture storage and distribution centers and the sample results well show the impact of ameliorating and deteriorating rate on the location problem. For the further study, a graphical user-interface with visualization for input and output is needed to be developed.

1. 개 요

17세기 Fermat(Kuhn, 1973)의 설비계획모델이 제기된 이후 설비배치 분야의 많은 수리 모델들이 연구되어 왔다. 이들의 모델들이 대부분 공공설비 문제(Aly and White,1981), 물류네트워크(Beimore,1970), 차량계획, 제조공정의 균형문제(Gupta, 1982) 및 창고위치(Shannon, 1970) 등 다양한 관점에서 연구되었다. 이들의 대부분의 연구들은 확정적 재고관리모델(Deterministic Inventory Model)들을 사용하였으며 제품의 가치 및 효용(Utility)이 일정한 경우를 가정하고 있다. 그러나 일반적인 문제는 제품의 가치 및 효용이 증식(Ameliorating)되거나 감소(Deteriorating) 되며, 일정한 경우는 특수한 경우임을 알 수 있다. 이러한 증식 및 감소되는 재고문제에 관한 연구는 그렇게 많이 이루어지지 않았으며, 이중 주요 연구들은 다음과 같다. Ghare and Schrader(1983)는 지수분포에 따라 진부화되는 재고모델을 제안하였다. 이는 감소율이 일정한 경우이며, Raafat and Eldin (1991)은 이를 확장하여 진부화 재고모델을 제안하였으며, Hwang(1982) 및 Hwang and Hwang (1982)은 진부화되는 제품의 적정 재고정책(Issuing Policy)을 제안하였다. 최근의 Heung-Suk Hwang(1999)에 의한 Weibull 분포를 따르는 증식 및 진부화되는 제품의 재고모델을 제시하여 지금까지의 증식 및 감소되는 재고모델을 일반화하였다. 또한, Yaman and Balibek(1999)는 이러한 설비계획 문제와 제품의 특성을 고려한 재고관리 문제를 체계적으로 접근하는 방법을 연구하였다. 본 연구에서는 지금까지 고려하지 못하였던 증식 및 진부화되는 제품의 특성을 설비계획 문제와 연계하여 생산 단계에서의 증식과 유통 단계서의 진부화되는 특성을 고려한 2-단계 물류시스템의 설비계획모델을 개발하고, 예제를 통하여 그 결과를 비교하여 보았다.

- 2-단계 공급 체인(Supply-Chain) System의 설비배치 문제를 제안
- 증식 및 진부화 되는 제품을 취급하는 물류 설비를 위한 모델의 개발(농 · 수산물의 양식 및 유통설비)

† 본 연구는 동의대학교 물류시스템연구실 지원으로 이루어졌음.

- 설비 위치의 최적화를 위한 기준으로 물류비용(Logistic Cost)을 고려하였음
- 확률적인 요소들을 고려한 확률 Set-Covering 모델(Probabilistic Set Covering Model)
- 설비 위치 간의 거리를 일반적인 거리 측정방법(lp-Distance)을 고려하였다.

본 연구는 농・수산물과 같이 농장 및 양식장에서 증식되는 경우와 유통단계에서 진부화되는 경우를 함께 고려한 적정 물류 설비계획을 위한 모델로서 증식 및 감소되는 비율(Deteriorating Rate or Ameliorating Rate)에 따른 물류센터의 위치 및 최소 소요 수를 결정하였다. 이를 위한 시각화 전산프로그램을 개발하고 예제를 통하여 결과들을 비교하여 보였다.

2. 진부화 및 증식되는 제품의 물류 시스템 특성

2.1 증식 및 진부화 제품의 특성

본 연구는 물류센터(Supply Center)와 판매점(Retailer)으로 구성되는 2-단계 물류시스템에서 가능한 물류센터의 후보지로부터 수요자들의 수요를 만족하는 서비스수준(Service Level)으로 서비스할 수 있도록 물류센터의 위치와 최소 소요 수를 선정하는 문제를 다루었다. 이를 위하여 우선 증식 및 감소되는 제품의 특성과 일반적 거리측정 방법인 lp-Distance 방법과, 확률적 설비배치방법(Probabilistic Set-Covering)을 사용하였다. 본 연구에서 고려한 증식 및 진부화되는 제품의 시간에 따른 재고의 증감 추세를 기존의 증식 및 진부화되지 않는 제품의 경우와 비교하여 표시하면 <그림 1>과 같다.

특히 농・수산물과 같이 농장 및 양식장에서 재배 및 양식되는 기간에는 증식(Ameliorating)되며, 소비자에게 공급하는 유통 단계에서는 반대로 제품의 수량 및 효용 가치(Utility)가 감소하는 특성을 가지는 2-단계 Supply-Chain System의 최적 설비계획모델을 개발하였다. 이러한 2-단계 물류시스템에서 각 단계에서의 재고량의 변화 추세를 <그림 2>와 같이 요약하였다.

증식 및 진부화되는 제품의 재고수준은 일반적으로 증가 및 감소율과 경과시간에 따라서 변화된다. 예를 들면, t 기간 뒤에 소요되는 수요량 I_t를 만족시키기 위하여 t 기간의 재고의 증

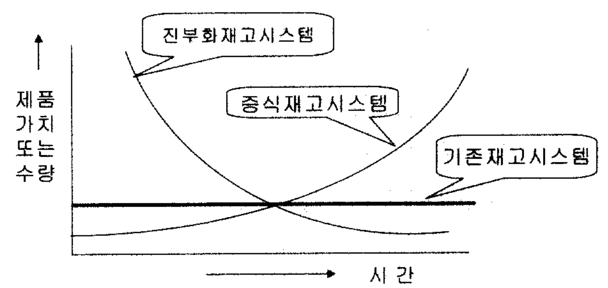


그림 1. 증식 및 진부화되는 제품의 재고변화 추세.

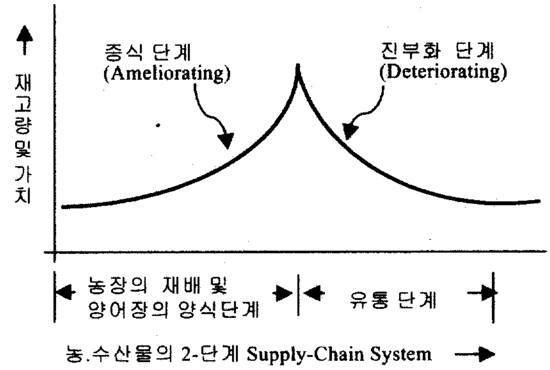


그림 2. 농・수산물의 2-단계 Supply-Chain System.

분 및 감소량을 고려하여 운반 시점의 재고수준 I_0량이 운반되어야 한다. Weibull 분포로 증감되는 경우 순간 진부화율 $D(t)$ 및 증식률 $A(t)$는 다음과 같이 산정된다. 즉, 진부화 및 증식되는 시간분포는 다음과 같다:

$$f(t) = \alpha\beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^{\beta}}$$

여기서, α, $\beta > 0$ 와이블 분포함수의 파라미터

$$A(t) = D(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \alpha\beta t^{\beta-1}$$

먼저 증식되는 경우를 고려하면, <그림 3>에서 시점 0에서 초기재고 I_0와 t_1시점의 재고수준 I_{t_1}는 다음과 같이 미분방정식으로부터 구할 수 있다. 즉 dt 동안의 재고의 증분 dI는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$+\,dI = I \cdot A(t) \cdot dt$$

여기서, $t > 0$, $A(t) = \alpha\beta t^{\beta-1}$ 이므로

$$dI/dt = I \cdot \alpha\beta t^{\beta-1} \tag{1}$$

식(1)로부터 $t=0$ 인 경우 $I_{t_1} = I_0$인 조건 하에서 I_{t_1}을 구하면,

$$I_{t_1} = I_0\, e^{\int_0^{t_1} \alpha\beta t^{\beta-1} dt}, \quad I_0 = I_{t_1}\, e^{-\int_0^{t_1} \alpha\beta t^{\beta-1} dt}$$

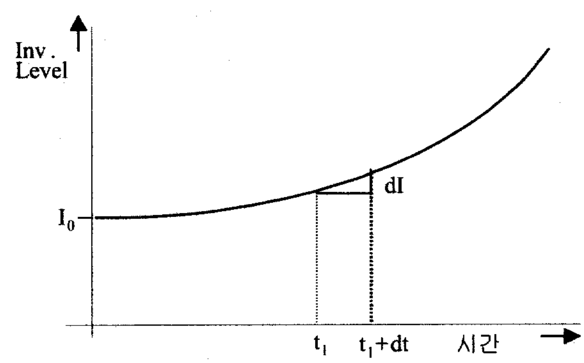


그림 3. 증식되는 재고시스템의 증분.

여기서, $\beta=1$일 경우는 재고의 증감률의 순간변화율이 일정한 경우로써,
$A(t)=D(t)=\alpha$이 되므로,

$$I_{t_1}=I_0\ e^{\alpha t_1},\quad I_0=I_{t_1}\ e^{-\alpha t_1}$$

마찬가지로 진부화되는 경우도 다음과 같이 구할 수 있다.

$$-dI=I\cdot D(t)\cdot dt$$

여기서 $t>0$,

$$D(t)=\alpha\beta t^{\beta-1}\ \text{이며}$$

$t=0$ 인 경우, $I_{t_1}=I_0$인 조건 하에서 I_{t_1}을 구하면,

$$I_{t_1}=I_0\ e^{-\int_0^{t_1}\alpha\beta t^{\beta-1}dt},\quad I_0=I_{t_1}\ e^{\int_0^{t}\alpha\beta t^{\beta-1}dt}$$

여기서, $\beta=1$일 경우 $D(t)=\alpha$ 이므로,

$$I_{t_1}=I_0\ e^{-\alpha t_1},\quad I_0=I_{t_1}\ e^{\alpha t_1}$$

이러한 진부화 및 증식되는 제품의 재고의 변화 추세를 초기재고 I_0=100, α=0.05, 및 β=1.3인 경우의 재고수준의 변화를 보면 <표 1> 및 <그림 4>와 같다.

계산의 간편성을 고려하여 본 연구에서는 증식 및 진부화율의 변화율이 일정한 경우, 즉 β=1을 가정하고 수식을 전개하였으며, <그림 5>와 같이 진부화 및 증식(Deteriorating and Ameliorating)되는 제품의 물류의 특성(재고의 변화, 운송비용 및 증식 · 증감률)을 고려한 2-단계 Supply-Chain System의 최적 설비계획 문제를 위한 모델의 개발로써, 단계 1은 증식되는 특성을 가지는 단계로써 농 · 수산물의 경우 농장 및 양식장에서 증식되는 단계를 표시하며, 단계 2는 진부화되는 특성을 가지는 유통 단계로써 유통기간 동안 진부화(숫자 감소 및 가치절하)가 계속되는 경우이다.

표 1. 증식 및 진부화 재고의 변화 추세

시간 (t_1)	재고수준(I_{t_1}) (진부화되는 경우)	재고수준(I_{t_1}) (증식되는 경우)	비 고
0	100.00	100.00	$I_0=100$,
1	95.12	105.13	$\alpha=0.05$
2	88.42	113.10	$\beta=1.3$
3	81.17	123.19	
4	73.85	135.41	
5	66.68	149.96	
6	59.83	167.11	
7	53.39	187.29	
8	47.41	210.94	
9	41.90	238.67	
10	36.70	271.80	

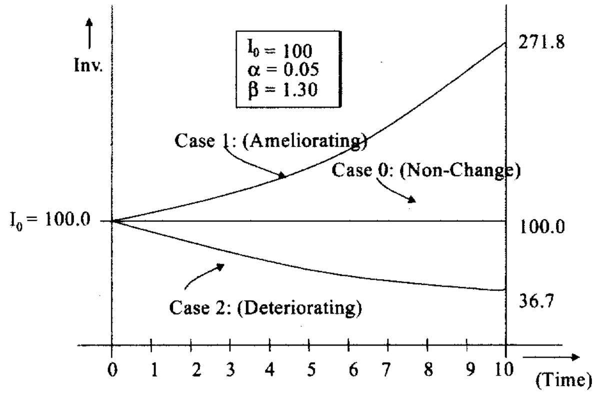


그림 4. 증식 및 진부화 재고의 변화 추세.

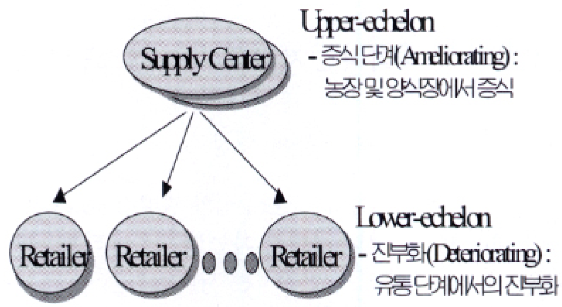


그림 5. 증식 및 진부화를 고려한 2-단계 Supply Chain System.

2.2 비용함수(Logistic Cost Function)

증식 및 진부화 제품의 서비스를 위한 비용함수(재고비용, 증식 · 증감 비용, 운반비용)를 산출하는 수식을 전개하였으며, 물류센터와 수요자 간의 거리 문제는 기존의 직선거리(Euclidean Distance) 및 직각거리(Rectilinear Distance)에서 확장된 일반 거리 측정방법인 l_p-Distance 방법을 사용하여 실제 물류환경에 적합한 방법을 사용하였다. 본 비용함수는 각 수요지에서 일정 수준의 서비스 수준으로 공급을 받을 수 있도록 물류센터의 최소 수와 이 경우의 대안의 수를 결정하는 설비계획모델에 활용하였다. 이를 위하여 다음과 같은 기호들을 사용하였다.

$R_i(XR_i, YR_i)$: 수요자(Retailer) i의 위치
$S_j(XS_j, YS_j)$: 물류센터(Supply Center) j의 후보위치
$F_{ij}(R_i, S_j)$: 물류센터에서 수요까지의 구간에서 진부화 및 증식비용을 고려한 비용함수
A_i : 수요자의 요망 물류서비스 수준 (수요자 R_i 의 요망 단위 물류비용)
D_i : 수요자 R_i 에서의 단위기간의 수요량
c_i : 수요자 R_i에 운송되는 단위 물류비용
$Dcost_i$: 수요자 R_i에서의 단위 진부화 비용

$Acost_i$: 수요자 R_i를 위한 보급기간의 단위 증식비용

$Dist(R_i, S_j)$: 물류센터 S_j에서 수요자 R_i까지의 거리

$Tim(R_i, S_j)$: 물류 구간의 소요시간

$$= K + Dist(R_i, S_j)/Vel$$

여기서, K는 거리로부터 시간 산출 시의 상수이며, Vel은 평균 속도이다.

위의 진부화 및 증식되는 제품의 시간에 따른 재고수준의 변화 및 각 운반지점 간의 거리 등을 고려하여 비용함수를 아래와 같이 구하였다.

1) 진부화 제품의 경우 :

$$F_{ij}(R_i, S_j) = c_i \cdot Dist(R_i, S_j) \cdot D_i \cdot \mathrm{Exp}(a_i \cdot Tim(R_i, S_j)) + Dcost_i \cdot (\mathrm{Exp}(a_i \cdot Tim(R_i, S_j)) - 1) \tag{2}$$

여기서, 거리 $Dist(R_i, S_j)$는 다음과 같은 일반거리식(lp-Distance)을 사용하였다.

$$Dist(R_i, S_j) = (|X S_j - X R_i|^p + |Y S_j - Y R_i|^p)^{1/p} \tag{3}$$

여기서 $p=1$인 경우는 직각거리이며, $p=2$인 경우는 직선거리가 된다.

2) 증식되는 제품의 경우 :

$$F_{ij}(R_i, S_j) = c_i \cdot Dist(R_i, S_j) \cdot D_i \cdot \mathrm{Exp}(-a_i \cdot Tim(R_i, S_j)) + Acost_i \cdot D_i(1 - \mathrm{Exp}(-a_i \cdot Tim(R_i, S_j))) \tag{4}$$

위의 식 (2) 및 (4)의 주요 차이점은 식 (2)는 진부화 비용을 고려하였으며, 식 (4)는 증식비용을 고려하였다. 식 (3)을 위의 식들에 대입하여 각 거리에 따른 물류비용을 산정하는 비용수식을 구하여 사용하였다.

3. 수리모델

본 연구는 일반적인 확정적 설비배치모델(Deterministic Set-covering Model)로부터 물류비용 및 서비스 수준과 물류설비의 가용률 등을 고려하여, 소비자가 요구하는 요망서비스 수준을 최소의 비용으로 만족시키기 위한 물류센터의 최소 소요수와 이의 경우의 수를 결정하는 문제를 정식화하였으며, 이를 위한 시각화 전산프로그램을 개발하고 그 응용 사례를 보였다. 우선 확정적인 모델로 다음과 같이 D1 문제로 정식화하였다.

$$\text{D1}: \ \mathrm{Min} \ \sum_{j=1}^{M} X_j$$

$$\text{s.t.} \ \sum_{j=1}^{M} a_i X_j \geq 1 \quad \text{for all} \ \ i = 1, \ldots, N$$

$$X_j = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all} \ \ j = 1, \ldots, M$$

여기서,

M: 물류센터(Supply Center)의 가용 후보지 수

N: 수요자(Retailer)의 수

a_{ij} : 서비스가능지 수(Covering Coefficient)

$$a_{ij} = 1, \quad \text{if } F_{ij} \leq A_i$$

$$a_{ij} = 0, \quad \text{otherwise}$$

A_i : 요망 서비스 수준 (요망 비용 수준, F_{ij})

위의 문제는 단위 물류비용이 수요자를 만족시키는 범위 내에서 후보지에 배치할 최소 물류센터의 수를 구하는 Set-Covering 문제이다.

그러나 여기서 비용 함수 F_{ij}가 확정적이고, 물류센터는 어떤 수요지든지 요구시에는 항상 가용상태에 있는 경우를 가정하고 있다. 그러나 실제 문제에서는 운반시간, 거리 및 설비의 가용성이 일정하지는 않다. 이 경우 위의 모델로는 적정 해를 구하기가 어렵다. 이를 위하여, 다음과 같이 확률적 설비배치 문제(Probabilistic Set-Covering Model) P1로 정식화하였다.

$$\text{P1}: \ \mathrm{Min} \ \sum_{j=1}^{M} X_j$$

$$\text{s.t.} \ \sum_{j=1}^{M} a_{ij} X_j \geq 1$$

$$X_j = 0 \text{ or } 1$$

$$a_{ij} = 1 \quad \text{if} \ \ \mathrm{Prob}(F_{ij} \leq A_i) \geq r_i$$

$$a_{ij} = 0 \quad \text{otherwise}$$

$$a_{ij} = j \in \theta(x),$$

$$\theta(x) = (j \mid X_j = 1, \quad j = 1, \ldots, M)$$

여기서, 확률적 요소는 수요자가 1개 이상의 물류센터로부터 요망 서비스 수준 이상의 확률로 서비스를 받을 수 있는 확률개념을 도입하였으며, r_i는 수요자 R_i가 한 개 이상의 물류센터로부터 서비스를 받을 최소 허용확률이다. 위의 모델에서 물류센터 S_j가 항상 수요자 R_i를 지원하기 위하여 가용상태에 있는 것은 아니다. 다른 수요자를 지원하고 있거나 고장 상태에 있어 수요자 R_i를 지원하지 못할 경우가 있을 수 있다. 여기서 물류센터 S_j가 가용상태에 있을 확률 b_j를 고려하기 위하여, 다음과 같이 수요자가 S_j에 의하여 서비스를 받을 수 있는 확률 p_{ij}를 본 모델에 고려하였다.

$$b_j = \mathrm{Prob.}(S_j \text{가 수요자 } R_i\text{를 지원})$$

$$p_{ij} = \mathrm{Prob.}(R_i \text{가 } S_j\text{에 의해서 서비스 받음}) = a_{ij} \cdot b_j$$

$$q_{ij} = 1 - p_{ij}$$

위의 식으로부터 일정 수요자 R_i가 가용한 모든 물류센터로부터 서비스를 받을 수 있을 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

Prob.(R_i가 가용한 물류센터로부터 서비스 받을 경우)

$$= 1 - \prod_{j \in \theta(x)} q_{ij} \tag{5}$$

여기서, $\theta(x) = (j \mid x_j = 1,\quad j = 1, \ldots, M)$
식 (5)로부터 P1문제는 다음과 같이 P2문제로 정식화하였다.

$$\text{P2}: \ \text{Min} \quad \sum_{j=1}^{M} X_j$$

$$\text{s.t.} \quad 1 - \Pi q_{ij} \geq r_i, \quad \text{for all} \quad i = 1, \ldots, N,$$

$$X_j = 0 \text{ or } 1, \quad \text{for all} \quad j = 1, \ldots, M$$

여기서, 조건 식을 다음과 같이 간편 식으로 전개하여 P3 모델을 정식화하였다.

$$1 - \prod_{j \in \theta(x)} q_{ij} = 1 - \prod_{j \in \theta(x)}^{M} q_{ij} \cdot X_j \geq r_i$$

위의 식으로부터, $\prod_{j \in \theta(x)}^{M} q_{ij} \leq 1 - r_i$
양변을 log을 취하면,

$$- \sum_{j=1}^{M} (\log q_{ij}) \cdot X_j \geq - \log(1 - r_i)$$

여기서 $S_{ij} = -\log q_{ij}$, $W_i = -\log(1 - r_i)$
P2 모델로부터 다음과 같은 P3 모델로 정식화 할 수 있다.

$$\text{P3}: \ \text{Min} \quad \sum_{j=1}^{M} X_j$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{M} S_{ij} X_j \geq W_i$$

$$X_j = 0 \text{ or } 1$$

위의 P3 문제는 표준 0-1 Programming의 문제이며, 이로부터 Min ΣX_j을 만족하는 최적 해를 구하였다. 본 연구의 주요 수식의 계산을 위하여 다음과 같이 2 단계의 시각화 전산프로그램을 개발하였으며, 본 프로그램의 주요 구성 내용을 <그림 6>과 같이 표시하였다.

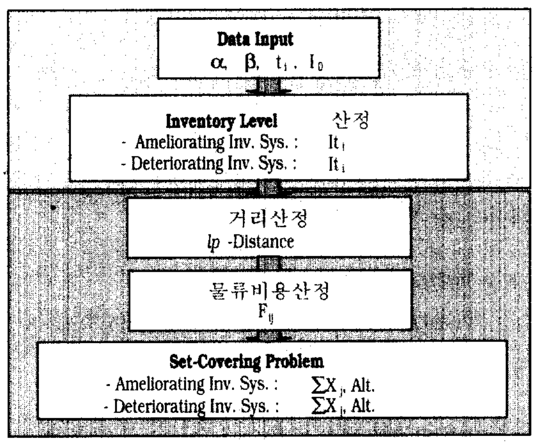


그림 6. 2-단계 전산프로그램.

단계 1 : 초기재고수준 I_0, α, 및 β로부터 증식 및 진부화의 경우, 시점 t_i에서 재고수준 I_{t_i}를 각각 산출.

단계 2 : 물류센터 및 수요자 간의 거리 및 물류비용 산출을 기반으로 수요자의 요망수준을 만족시키는 최적 물류 센터의 배치계획의 산출, Min ΣX_j 및 배치 대안의 수를 산출.

4. 모델의 응용

위의 모델을 응용하여 증식 및 진부화되는 2-단계의 Supply-Chain System에서 최적 설비위치 및 소요 설비의 수를 구하는 예를 보였다. 농・수산물을 취급하는 10개소의 물류센터 후보지와 15개소의 판매점(Retailer)의 위치 및 수요량이 주어질 경우, 최적 물류센터 위치를 결정하는 문제에 본 모델을 적용하였다. 일반성을 잃지 않기 위하여 각 설비의 위치는 (0, 50) 구간에서 균등분포로 가정하고 Random Sample하여 결정하고, 각 판매점의 수요량은 (5, 10)구간에서 Random하게 결정하였으며 기타 Data들은 다음과 같다.

단위수송비용 : $C_i = 3.00$ / unit per Travel
진부화비용 : $d_i = 50$ / unit Deteriorated
증식비용 : $a_i = 30$ / unit Ameliorated
운송속도 : $Vel = 30$,
진부화율(Deterioration Rate) = 0.00~0.15
수요자의 요망 서비스 수준(단위 물류비용 F_{ij})
$A_i = 0$~350
물류센터의 가용률 : $b_j = 0.9$
요망 서비스 수준(1개이상의 물류센터로부터 서비스 받을 확률) $r_i = 0.9$

본 연구에서 개발한 시각화 프로그램의 단계 1의 응용 결과를 <그림 7> 및 <그림 8>과 같이 Sample 예제를 통하여 보였다. 초기 재고수준 I_0를 100으로 하고 α 및 β를 각 각 0.05 및 1.3으로 주어질 경우 0 ~10까지의 각 시점에서 증식 및 진부화하는 경우의 재고수준 I_{t_i}를 각각 산출하였다.

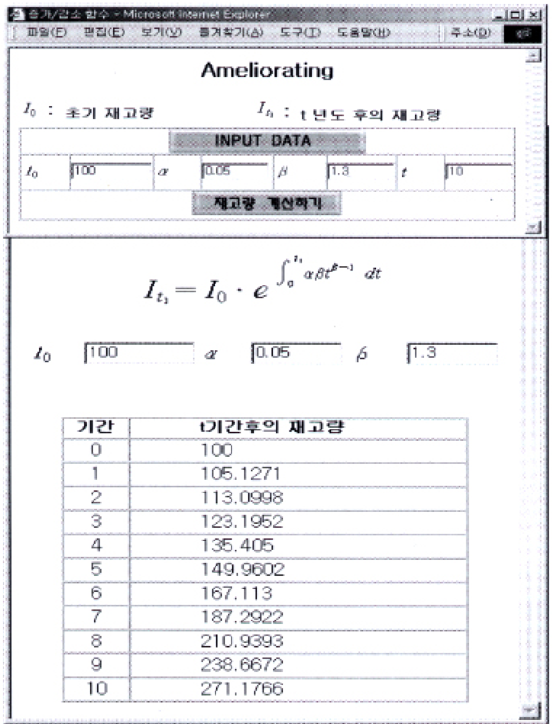
단계 1의 시각화 프로그램은 사용자를 위하여 α 및 β를 각각 0.10 및 1.0으로 주어지고, 수요자의 요망 서비스 수준 A_i를 250.0으로 주어질 경우 물류센터의 적정배치를 위한 출력을 <표 2>와 같이 요약하였다.

<표 2>에서 보면 수요자가 최소 250.0의 비용으로 서비스 받기 위한 물류센터의 최소 수량은 3이며, 최적 대안은 18가지임을 알 수있다.

단계 2의 시각화 프로그램의 Sample 출력을 <그림 9>와 같이 요약하였다. <그림 9>는 10개소의 가능한 물류센터의 후보 위치와 15개소의 수요자의 위치, 대안의 수는 18가지이다. 증식 및 진부화 파라미터 α, β 및 수요자의 요망 서비스 수준

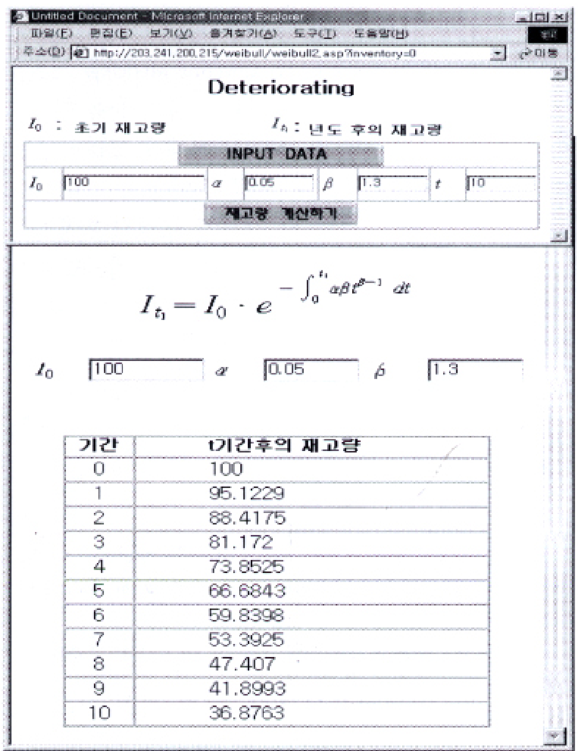
등의 Data입력 결과와 최종 해를 시각화하여 보였다.

위의 자료들을 이용하여 진부화되는 제품의 경우 약 35건, 증식되는 제품의 경우 약 30건의 예제에 시험 적용하여 보았다. 본 예제에서 증제품을 위한 적정 설비의 배치 결과를 <표 3> 및 <표 4>에서와 같이 보였다. 증식 및 증감 파라미터 α



기간	t기간후의 재고량
0	100
1	105.1271
2	113.0998
3	123.1952
4	135.405
5	149.9602
6	167.113
7	187.2922
8	210.9393
9	238.6672
10	271.1766

그림 7. 증식화 재고시스템의 재고수순 산정.



기간	t기간후의 재고량
0	100
1	95.1229
2	88.4175
3	81.172
4	73.8525
5	66.6843
6	59.8398
7	53.3925
8	47.407
9	41.8993
10	36.8763

그림 8. 진부화 재고시스템의 재고수준 산정 예.

표 2. 증식률이 0, 1인경우의 물류 센터의 최적배치

```
** AMELIORATING RATE α = 0.100
** FOR A CRITICAL VALUE A_i = 250.0
   NUMBER OF RETAILERS = 15
** NUMBER OF SUPPLY CENTERS = 10
** MATRIX OF COVER COEFFICIENTS
     0 1 0 1 0 1 1 0 0 1
     1 0 1 0 0 0 0 1 1 0
     1 1 0 1 0 1 1 0 0 1
     1 0 1 0 0 0 0 1 1 0
     1 0 1 0 0 0 0 1 1 0
     1 0 0 0 1 0 0 1 1 0
     1 1 1 1 0 0 1 0 0 0
     0 0 1 0 0 0 0 1 1 0
     1 0 1 0 0 0 0 1 1 0
     1 1 0 1 0 1 1 0 0 1
     1 1 1 1 1 1 1 0 0 1
     1 0 1 0 1 0 0 1 1 0
     0 0 1 0 1 0 0 1 1 0
     1 1 0 1 0 1 1 0 0 1
     1 1 1 1 1 1 1 0 0 1
```

*** $\sum_{j=1}^{M} X_j = 3$, Alt. = 18 ***

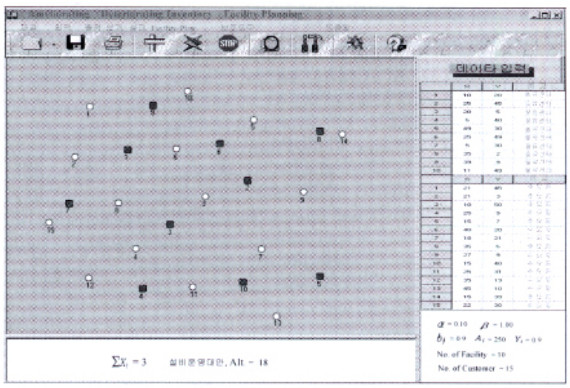


그림 9. Data입력 및 Set-Covering문제의 해.

표 3. 증식되는 제품의 물류센터의 최적배치
(ΣX_j, 물류센터의 수를 최소로 하는 대안의 수)

요망 서비스수준 \ 증식률	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
350	(3, 1)	(2, 8)	(2, 28)	(1, 1)	(1, 10)
300	(4, 1)	(3,24)	(2, 7)	(1, 1)	(1, 10)
250	(5, 6)	(4, 1)	(3, 18)	(2, 1)	(1, 10)
200	IF	(5, 3)	(5, 32)	(3, 24)	(2, 11)
150	IF	IF	IF	(4, 2)	(3, 11)
100	IF	IF	IF	IF	IF

표 4. 진부화되는 제품의 물류센터의 최적 배치
(예제: ΣX_j, 대안의 수)

요망 서비스수준 \ 진부화	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
400	(1,10)	(1,10)	(1, 6)	(2, 6)	(4,12)
350	(1,10)	(1,10)	(1, 5)	(3, 10)	(5, 9)
300	(1,10)	(1,10)	(1, 1)	(4, 18)	(6,12)
250	(1,10)	(1,10)	(1, 1)	(5, 20)	(7,10)
200	(1,10)	(2, 3)	(2, 6)	(6, 14)	IF
150	(2,10)	(2, 4)	(3, 6)	IF	IF
100	(2, 7)	IF	IF	IF	IF

가 0인 경우는 재고의 변화가 없는 경우이다. 증식 및 진부화되는 위의 예제를 통하여 같은 서비스 수준의 경우 증식모델의 경우 증식률이 증가함에 따라 소요 물류센터의 총수는 감소하게되며, 반대로 진부화 모델의 경우는 진부화률이 증가함에 따라 소요 물류센터의 총 수는 증가함을 볼 수 있다. 이는 증식률이 클 경우 수요지에서는 실제 소요량보다 적은 량으로 재고유지를 할 수 있으나, 반대로 진부화의 경우는 실제 소요량보다 많은 양이 운반되어야 하기 때문이다. 또한 두 경우 모두 수요자의 요망 서비스 율이 크게 될수록(A_i 값이 적을 수록) 물류센터의 총 소요 수는 증가됨을 볼 수 있다. 이를 그림으로 표시하면 <그림 10> 및 <그림 11>과 같다.

5. 결 론

본 연구는 진부화(Deteriorating) 및 증식(Ameliorating)되는 농・수산제품을 취급하는 2-단계 물류시스템의 최적 물류센터의 배치모델을 개발하고 이를 위한 전산프로그램을 개발하였다. 물류센터(Supply Center)와 판매점(Retailer)으로 구성되는 2-단계 물류 시스템에서 가능한 물류센터의 후보지에 판매점들의 수요자들이 요망되는 물류 서비스 수준(Service Level)으로 서비스를 받을 수 있도록 적정 설비의 위치 및 소요 수를 결정하는 문제를 정식화하였다. 이를 위하여, 우선 증식 및 감소되는 물류의 특성과 일반적 거리측정 방법(l_p-Distance)을 고려하여 확률적 설비배치모델(Probabilistic Set-Covering Model)을 개발하였다. 본 연구에서는 진부화 및 증식되는 제품의 물류 특성(재고의 변화, 물류비용, 증식 및 증감)을 본 모델에 고려하였으며, 제품의 물류비용(재고비용, 증식・증감 비용, 운반비용)을 산출하는 수식을 전개하여 사용하였다. 본 모델의 활용성을 위하여 약 65건의 예제를 통하여 결과를 비교 분석하였으며, 농・수산물과 같이 증식 및 진부화율이 큰 제품의 물류시스템의 최적화에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

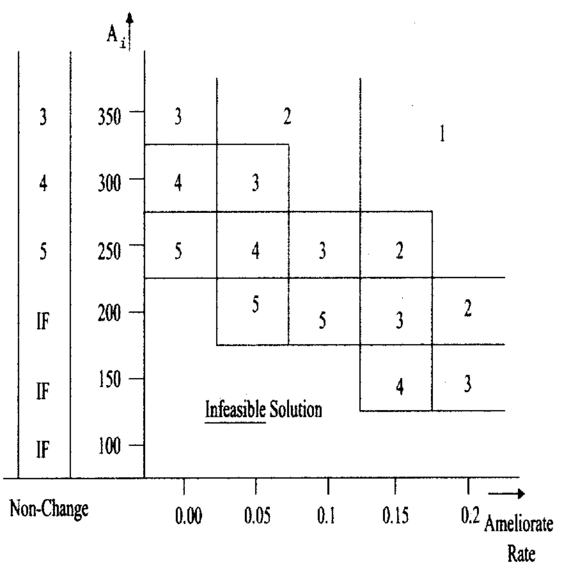


그림 10. 증식모델의 응용결과.
(설비 가용률 $b_j = 0.9, j = 1, \ldots, 10$,
요망서비스수준 $r_i = 0.9, i = 1, \ldots, 15$)

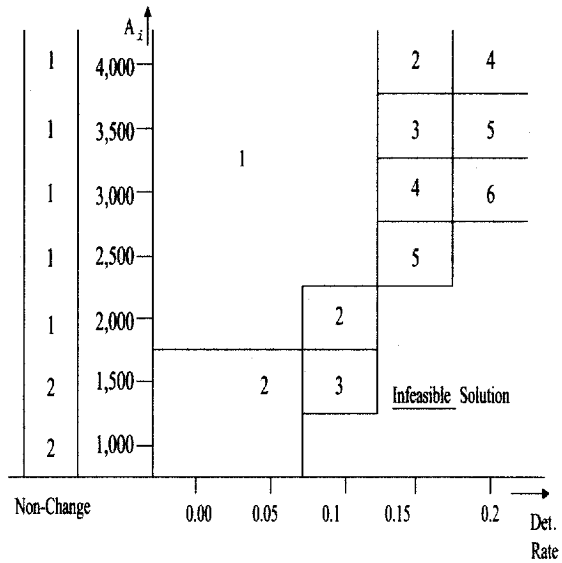


그림 11. 진부화 모델의 응용결과.
(설비 가용률 $b_j = 0.9, j = 1, \ldots, 10$,
요망서비스수준 $r_i = 0.9, i = 1, \ldots, 15$)

참고문헌

Aly, A. and White, J. A. (1981), Probabilistic Formulation of Emergency Service Facility Location Problem, *Journal of Operations Research Society*, 29, 1167-1179.

Beimore, M. S. and Goode, J. G. (1970), Multi-Commodity Networks, *Management Science*, **16**, 427-433.

Carl, Pearson, E. (1993), *Handbook of Applied Mathematics*, Van Nostrand, 746-814.

Ghare, P. M. and Schrader, G. G. (1983), A Model for an Exponentially

Decaying Inventory, *Journal of Industrial Engineering*, 5(4), 238～234.

Gupta, N. K. (1982), Effect of Lead Time on Inventory-A Working Result, *J. Opl. Res.*, 30(5), 477-481.

Hwang, H. and Hwang, H. S. (1982), Optimal Issuing Policy in Production Lot Size System for Items with Weibull Deterioration, *Int. J. Prod. Res.*, 20(1), 87-94.

Hwang, H. S. (1982), *Analysis of Some Decaying Inventory Systems with a Class of Issuing Policies*, KAIST, Ph. D. Dissertation.

Hwang, Heung-Suk (1999), Inventory Model for Both Deteriorating and Ameliorating Items, *Int. J. of Com. and IE*, 37(2), 257-260.

Raafat, F. and Eldin. H. (1991), An Inventory Model for Deteriorating Items, *Int. J. Comp. and Eng.*, 20(1), 89-94.

Shannon, R. F. and Igzino, J. P. (1970), A Heuristic Programming Algorithm for Warehouse Locations, *AIIE Transactions*, 2, 334-338.

Yaman, R. and Balibek (1999), Decision Making for Facility Layout Problem Solution, *Int. J. of Com. and IE*, 37(2), 319-322.