

□ 論 文 □

××**精油社의 石油製品**  
**貯油 및 輸送政策評價模型의 開發**

**Development of an Appraisal Model for Petroleum Storage and  
 Transport Policy for a Petroleum Production Company**

**魯 正 鉉**  
 (漢陽大學校 都市工學科 教授)

**林 采 昱**  
 (國土開發研究院 研究員)

---

目	次
I. 序論	1. 基本假定
II. 石油製品 輸送體系의 特性	2. 入力資料 構成
III. 石油製品 貯油 및 輸送最適化 模型開發	3. 最適解의 解釋
1. 模型의 假定 및 考慮事項	4. 敏感度分析
2. 貯油 및 輸送最適化 模型開發	V. 結論
3. Dual의 經濟學的 意味	參考文獻
IV. 模型의 檢證	

---

ABSTRACT

The successful management of logistics in an organization requires the careful coordination and manipulation of both movement and storage.

In this study, we can show what is the most efficient and the cheapest method to transport the petroleum products under a few constraints with the model of linear programming.

And also, the model can give some important informations so as what is the best coverages of each terminals by types, how many products should be exchanged among each companies and which terminals or complexes are economically prior to the others.

Even we can understand that the duality is one of the useful measures to evaluate the economical efficiencies of transportation and storage related elements such as complex and terminal location, transport mode, storage tankage capacity and in/outflow facilities of terminals etc.

---

## I. 序論

산업이 발달되고 생활수준이 향상됨에 따라 석유제품의 수요는 폭발적으로 증가하고 있으나 석유제품의 공급을 담당하고 있는 기업은 이에 대처하기 어려울 정도로 시설이 크게 부족한 상황이다. 정유설비 뿐만 아니라 수송망, 저유설비 모두 포화상태에 이르러 석유를 기반으로 하는 국가경제의 존립마저 위태로운 실정이다. 또한 토지가격 및 임금의 상승, 그리고 교통체증의 심화로 인해 제품의 저유 및 수송관련 비용이 급증하여 제품의 안정공급에 상당한 어려움이 따르고 있다. 따라서 석유제품을싼 값에 지속적이고 안정적으로 공급하기 위해서는 생산설비의 확충 뿐만 아니라 석유제품의 전유통과정에 걸쳐 상당한 개선이 요구된다. 그러나 석유제품의 수송최적화뿐만 아니라 저유소 입지분석 등 전반적인 物流政策의 제량적 평가에 관한 기존의 연구는 매우 부족한 현실이다.

이에 본 논문에서는 석유제품의 유통과정에서 나타나는 수송 및 저유등 物流政策을 평가하고, 저유소 입지와 그 활용에 대한 경제성을 제량적으로 평가할 수 있는 기업의 經營政策 평가모형을 개발한다. 이 모형은 線型計画法(Linear Programming, 이하 LP라 함)을 이용하여 석유제품의 최적 수송조합(transport mix) 및 저유소의 경제성, 최적 입지 및 활용방안 등 기업의 經營政策을 제량적으로 평가하기 위한 것이다.

본 모형은 정유사의 수송 및 저유정책에 있어 유종별 물류권의 구성과 저유소의 입지, 그리고 제품별 수송조합에 대한 여러 정책대안들을 평가할 수 있다. 이 모형을 이용함으로써 석유제품의 최적 수송조합, 유종별 최적물류권 구성, 타사와의 제품 교환의 최적 규모 및 경제성, 저유소 입지 및 수송수단들의 경제성 분석과 저유소의 저유능력 평가가 가능하며, 나아가 수송 및 저유관련부문의 시설투자에 대한 우선순위를 제공할 수 있다.

## II. 石油製品 輸送體系의 特性

기업체는 이윤극대화를 목표로 경제활동을 하게 되며 소비자에게 최고의 서비스를 제공하여 이익을 구하려 한다. 따라서 기업은 양질의 제품을 대량 생산하는 것 뿐만 아니라 최종 생산물을 소비자에게 어떻게 얼마나 전달함으로써 소비자의 만족을 충족시키고 나아가 최대의 이윤을 확보할 것인가에 관심을 갖게 된다. 이에 제품의 생산에서부터 판매에 이르기까지 제품의 물리적 이동에 대한 경제적 분석이 필요하게 되며 物流(logistics)의 개념이 도입되었다.

物流(logistics)라 함은 화물유통 또는 물적유통의 준말로 생산과 소비를 연결하는 경제활동을 뜻한다. 즉 物流는 제품이 생산되어 최종소비자에게 전달되기까지 발생하는 수송(transportation), 창고보관(warehousing and storage), 포장(packaging), 하역(materials handling), 재고관리(inventory control), 주문(order processing) 및 이와 관련된 일련의 모든 경제적, 물리적 지원 활동을 포함하는 포괄적인 의미를 갖는다(Coyle 등, 1988).

석유제품에 있어서의 物流체계는 제품의 재고 및 주문관리 기능을 담당하는 貯油體系와 제품의 생산단계에서 최종소비단계까지의 물리적 흐름을 담당하는 輸送體系의 두 부분으로 대별될 수 있다.

貯油體系는 각 정유공장에서 생산된 제품을 각 수요처에 원활히 공급하기 위한 저유소의 운영과 관련된 것을 의미하며, 저유소는 공장에서 제품을 공급받아 적기에 공장, 주유소 등의 수요처에 제품을 공급하는 역할과 더불어 적정재고 유지의 기능을 담당한다.

輸送體系는 생산된 제품을 여러 수송수단을 이용하여 저유소나 각 수요처를 수송하는 것과 관련된 것을 의미하며 다음과 같은 특성을 갖는다.

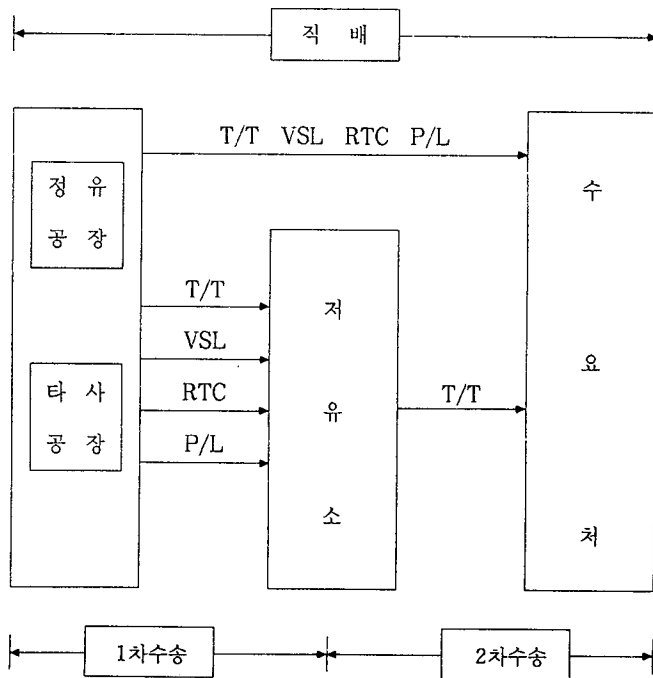
수송구조 및 수송수단 : 석유제품의 수송체계는 정유공장에서 저유소까지의 정유사 책임하에 이

루어지는 1차수송과 저유소에서 공장, 저유소 등의 수요처까지 대리점에 의해 이루어지는 2차수송으로 구성된다. 그리고 정유공장 주변의 가까운 수요처나 화력발전소 등의 대수요처는 저유소를 거치지 않고 정유공장에서부터 수요처로 직접 배송이 이루어진다. 제품수송은 1차수송의 경우 탱크트럭수송(T/T), 해상수송(VSL), 철도수송(RTC) 및 송유관수송(P/L)의 4가지 수송수단으로 이루어지며, 2차수송은 대부분 탱크트럭(T/T)으로 이루어진다.

**제품교환** : 석유제품은 다른 공산품에 비하여 각 정유사 제품간 품질차이가 심하지 않고 벌크(bulk) 상태로 제품이 수송, 판매되기 때문에 제품시장 확보를 위해 멀리 있는 자사 정유공장에서부터 저유소로 제품을 수송하는 것보다 상대적으로 수송거리가 짧아 수송비가 더 저렴한 타사 정유공장에서부터 제품을 공급받는 것이 더 유리

할 수 있다. 따라서 각 정유사들은 서로간 계약에 의해 일정량만큼 타사 저유소나 수요처에 제품을 공급하고 타사 정유공장에서부터 자사 저유소 및 수요처로 공급받는 정유사간 제품교환이 이루어진다는 특징이 있다.

**제품이관** : 일반적으로 저유소는 대수요처 주변에 자리잡고 제품의 저장과 공급을 담당하고 있다. 그러나 정유공장에서부터의 제품수송사고가 발생하거나 수요처의 수요급증, 저유소 재고부족 등으로 인하여 적기에 제품을 수요처에 공급하지 못하는 문제가 발생할 수도 있다. 또한 정유공장에서 저유소로의 1차수송능력이 부족하여 제품을 다른 방법에 의해 공급받아야 하는 문제가 나타나기도 한다. 따라서 이런 문제점을 해결하기 위해 1차수송이 유리한 저유소까지 제품을 대량수송하고, 그 저유소로부터 다른 저유소까지 제품을 다시 수송하는 저유소간 제품이관이 발생한다.



<그림 1> 석유제품 수송체계

### Ⅲ. 石油製品 貯油 및 輸送最適化 模型開發

#### 1. 模型의 假定 및 考慮事項

본 논문은 석유제품의 輸送政策 및 저유소 立地政策에 대한 계량적 평가를 위한 모형개발을 목적으로 한다. 따라서 모형의 개발에 있어 몇가지 전제할 사항은 우선 모든 정책의 수행기간을 연단위의 장기간으로 보도록 하는 것이다. 이에 따라 모형의 입력자료로 활용될 모든 변수는 연(年)단위로 한다. 이는 석유정책의 평가에 있어 일단위, 또는 주단위의 석유류 수급정책에 관한 단기평가 모형이 아닌 장기정책 평가모형을 개발하고자 함이다. 이에 본 모형은 시간변수를 고려한 동태적 모형(dynamic model)이 아닌 정태적 모형(static model)로 모형을 구축하기로 한다.

모형의 입력변수로 사용되는 모든 수송비는 현재 석유제품의 수송체제에서 이루어지는 수송비 구조를 따르도록 한다. 정유사가 부담하는 수송비는 대부분 수송시설에 대한 임차료이며, 이는 기본 운임이외에 수송상의 혼잡비용에 대한 별도의 고려를 필요로 하지 않는다. 물론 수송지역에 따라 기본 운임에 얼마의 혼잡비가 가산되어 있으나 수송시설을 대부분 임차로 이용하는 정유사에게는 매일매일 발생하는 수송상의 혼잡비용에 대한 부담이 발생하지는 않는다. 따라서 모형의 개발과 검증에 있어서 모든 수송비는 혼잡비가 고려되지 않은 현 수송체제의 수송 임차료를 따른다.

이 밖에 저유소의 운영상 지출되는 저유비에 관한 사항 역시 고려하지 않도록 한다. 이는 장기 석유정책에 관한 평가를 목적으로 하기 때문에 연간 발생하는 貯油費用은 결국 固定費로 볼 수 있기 때문이다.

본 모형은 장기적인 석유수급측면에서 정유공장에서 저유소로의 제품수송과 저유소에서 수요처로의 제품 분배(physical distribution)의 최적

화 방안에 연구의 초점을 맞춘다.

결국 본 모형은 석유제품의 흐름과 관련된 수송, 저장, 재고관리, 하역 등 많은 物流 관련부문 중 가장 많은 비용이 지출되고 있는 수송비의 최소화과 저유시설의 입지에 관한 경제성 평가를 대상으로 한다. 왜냐하면, 석유제품은 다양한 수송수단으로 수송이 이루어지는 바, 각 수송수단간 대체성이 용이하여 어떻게 수송수단을 구성하느냐에 따라 상당한 비용절감효과를 기대할 수 있기 때문이며, 저유소의 입지는 막대한 시설투자비용의 지출을 요할 뿐만 아니라 재고 관리기능, 소비자에 대한 제품공급서비스 기능 및 기업의 판매망 구축과 깊은 관계를 갖기 때문에 기업경영평가에서 반드시 고려되어야 할 부분이기 때문이다.

따라서 본 모형은 유종별 생산량, 정유공장의 제품출하능력, 저유소별 입출하능력, 저유소 탱크의 제품처리능력 및 수송수단별 수송능력 등의 제약조건아래 총수송비를 최소화하는 기존의 최적 수송조합모형과는 달리 저유소입지의 경제성을 평가할 수 있는 기틀을 마련하고 있다.

결국, 본 모형의 해를 통해서 얻을 수 있는 정보는 다음과 같다.

- 첫째, 제품의 최적수송경로 및 수송조합
- 둘째, 유종별 최적 물류권 구성
- 셋째, 타사와의 제품교환의 경제성과 규모의 적정성
- 넷째, 저유소 입지의 경제성과 적정규모
- 다섯째, 수송수단의 수송능력의 과부족과 기회비용(opportunity cost)
- 여섯째, 저유소별 취급유종의 적정조합
- 일곱째, 수송과 저유관련시설의 중장기 투자계획에 대한 투자우선순위

#### 2. 貯油 및 輸送最適化 模型開發

경영조직의 의사결정에 있어서 중요한 문제는 제한된 자원을 가장 효과적으로 배분하여 최대의

성과를 거두는 것인 바, 이러한 최적화 문제의 해를 찾는 계량적 방법으로 사용되고 있는 수학적 계획법(Mathematical Programming) 중에서 LP는 해를 찾기가 용이하므로 가장 일반적인 것으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 석유제품의 수송문제 및 저유소 입지문제를 평가하는 방법으로 LP를 이용한 최적 수송조합의 모형을 개발하였다. 단, 본 모형은 기존의 LP를 이용한 수송조합 모형과는 달리 저유소별 유종별 입 출하량의 균형조건을 추가도입함으로써, 저유소 입지의 경제성을 검토할 수 있다. 또한 본 모형에서는 타사와의 제품교환 문제는 교환량 만큼을 생산할 수 있는 별도의 정유공장이 존재한다고 가정하며, 저유소간 제품이관 문제는 그 특성에 따라 1차 수송 또는 2차 수송으로 간주한다.

결국 본 모형은 정유공장  $n$ 으로부터 저유소  $i$ 까지 수송수단  $k$ 를 이용하여 유종  $l$ 을 수송하는 1차수송비와 저유소  $i$ 로부터 수요처  $j$ 까지 유종  $l$ 을 수송하는 2차수송비의 총합을 최소화하는 것으로 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

Minimize

$$\sum_n \sum_i \sum_k \sum_l c'_{nik} X'_{nik} + \sum_j \sum_l \sum_i d'_{ij} Y'_{ij}$$

Subject to

$$\sum_j Y'_{ij} \leq \sum_n \sum_k X'_{nik} \quad \text{모든 } i, l \text{에 대하여} \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_k X'_{nik} \leq P'_n \quad \text{모든 } n, l \text{에 대하여} \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_l X'_{nik} \leq O_{nk} \quad \text{모든 } n, k \text{에 대하여} \quad (3)$$

$$\sum_{i=p}^q \sum_l X'_{nik} \leq S_{np} \quad \text{모든 } n, p \text{에 대하여} \quad (4)$$

(단,  $k$ 는 송유관)

$$\sum_n \sum_i X'_{nik} \leq I_{nk} \quad \text{모든 } i, k \text{에 대하여} \quad (5)$$

$$\sum_i Y'_{ij} \geq D'_j \quad \text{모든 } j, l \text{에 대하여} \quad (6)$$

$$\sum_n \sum_k X'_{nik} \leq K'_i \quad \text{모든 } i, l \text{에 대하여} \quad (7)$$

여기서,

$c'_{nik}$  : 정유공장  $n$ 에서 저유소  $i$ 까지 수송수단  $k$ 에 의한 유종  $l$ 의 단위 1차수송비

$d'_{ij}$  : 저유소  $i$ 에서 수요처  $j$ 까지 유종  $l$ 의 단위 2차 수송비

$X'_{nik}$  : 정유공장  $n$ 에서 저유소  $i$ 까지 수송수단  $k$ 에 의한 유종  $l$ 의 연간 1차 수송량

$Y'_{ij}$  : 저유소  $i$ 에서 수요처  $j$ 까지 유종  $l$ 의 연간 2차 수송량

$P'_n$  : 정유공장  $n$ 의 유종별 총생산량(제품교환의 경우 계약 교환량)

$O_{nk}$  : 정유공장  $n$ 의 수송수단별 연간 출하능력

$I_{nk}$  : 저유소  $i$ 의 수송수단별 연간 입하능력

$S_{np}$  : 정유공장  $n$ 으로부터 송유관의  $p$ 구간별 연간 수송능력

$D'_j$  : 수요처  $j$ 의 유종별 연간 수요량

$K'_i$  : 저유소  $i$ 의 유종별 연간 처리능력을 나타낸다.

위 목적함수(objective function)에서  $c$ 와  $d$ 는 유종별 단위량(BBL, 배럴)<sup>1)</sup>에 대한 1차 및 2차 수송비를 나타내며,  $X$ 와  $Y$ 는 1차 및 2차 최적수송량을 나타내는 결정변수이다.

각 제약조건의 의미는 다음과 같다.

1) 제품흐름량 균형의 조건

$$\sum_j Y'_{ij} \leq \sum_n \sum_k X'_{nik}$$

각 저유소의 제품입하량과 출하량의 균형에 관한 조건으로 각 저유소의 유종별 총입하량은 총출하량을 초과할 수 없다. 단, 본 모형에서는 저유소별 제품의 입출하에 있어서 전기의 재고와 차기의 재고가 동일하다는 것을 바탕으로 한다.

2) 유종별 총생산량의 제약 : 각 정유공장별, 유종별

$$\sum_i \sum_k X'_{nik} \leq P'_n$$

1) 1 BBL(배럴)=158.984 Liter

각 정유공장에서부터 모든 저유소까지의 유종별 총 1차수송량은 각 정유공장의 유종별 생산량을 초과할 수 없으며, 타사공장과 제품의 교환의 경우는 교환계약에 의해 이루어지는 유종별 교환량을 사용한다.

### 3) 수송수단별 출하능력의 제약 : 각 정유공장별, 수송수단별

$$\sum_i \sum_l X'_{nik} \leq O_{nk}$$

각 정유공장에서 출하되는 총제품량은 각 수송수단별 출하시설용량의 제약을 받는다. 제품수송에 있어 수송수단 자체의 수송능력에도 제약이 따르지만 각 수송수단으로 제품을 출하하는 정유공장의 출하시설용량이 충분하지 못하면 수송량은 제약을 받게 된다. 따라서 본 모형은 각 수송수단별 가용수송능력보다는 각 수송수단에 대한 정유공장의 출하시설용량 제약이 더 큰 것으로 보고 본 제약조건을 두며, 타사공장의 출하제약은 제품교환시 사용하는 수송수단에 대한 가용출하능력을 기준으로 한다.

### 4) 송유관의 송유능력 제약 : 정유공장별, 송유구간별

$$\sum_{i=p}^q \sum_l X'_{nik} \leq S_{np}$$

송유관 수송은 정유공장 출하시설이나 저유소의 송유관 입하시설용량에 비해 송유관의 구간별 송유능력이 가장 중요한 제약조건이다. 송유관 수송은 송유관이 연결된 수개의 저유소들을 지나 송유구간의 최종저유소까지 수송되므로 각 송유구간의 총수송량은 최종저유소가 연결된 마지막 구간까지의 누적 송유용량을 초과할 수 없는 제약식이다.

### 5) 저유소의 수송수단별 입하능력 제약 : 저유소별, 수송수단별

$$\sum_n \sum_l X'_{nik} \leq I_{ik}$$

각 저유소의 제품출하가 이어지기까지는 저유소로의 제품 입하, 저유, 출하의 단계를 거친다. 본 제약식은 각 저유소의 입하수단별 모든 유종의 1차 수송량의 총합은 각 저유소의 입하능력을 초과할 수 없다는 조건이다.

### 6) 수요존 수요량의 제약 : 수요존별, 유종별

$$\sum_j Y'_{ij} \geq D'_j$$

최종 수요존까지의 2차수송량은 수요존 수요량의 총합을 만족시켜야 하며 수요량은 각 수요존별 유종별 최종수요를 의미한다.

일반적으로 유류의 최종수요처는 각 지역에 분포되어 있는 주유소와 화력발전소, 대규모 공장등의 직접수요처를 말하나 본 모형에서는 일정규모의 지역을 묶어 하나의 수요존을 구성하다.

### 7) 저유소 유종별 저유능력 제약 : 저유소별, 유종별

$$\sum_n \sum_k X'_{nik} \leq K'_i$$

각 저유소의 유종별 저유능력은 저유탱크의 회전율과 운영방식에 따라 저유용량이 큰 편차를 보일 수 있다. 이 제약식은 각 저유소의 유종별 총 1차수송량은 유종별 저유능력을 초과할 수 없는 것으로 본 모형에서는 저유탱크에서 출하할 수 있는 최대 제품량을 사용한다.

## 3. Dual의 經濟學的 意味

일반적인 LP에서 어떤 극대(소)화문제는 반드시 같은 구성원소를 일정 원칙에 따라 내포하고 있는 극소(대)화문제와 긴밀한 관계를 갖고 있다. 주어진 LP문제가 있을 때 그것이 극대화문제 이면 극소화문제이건 이를 原本問題(dual problem)라 하고 그와 관련된 극소(대)화 문제를 雙

對問題(dual problem)라 한다(김기영·곽노균, 1990).

본 연구의 대상은 수송비를 극소화하는 문제로 최적해는 수송물량을 어느 수단에 어떻게 할당할 것인가 하는 문제이며, 그와 관련된 雙對問題(dual problem)는 그 제약조건에 따라 수송에 투입된 수송수단이나 각 저유소의 입지 또는 각 정유공장이나 저유소의 입출하 및 저유시설들이 가지는 경제적 가치를 의미하게 된다. 다시 말해 주어진 제약식의 우변에 해당하는 각 시설의 용량(capacity)을 상대적 손실이 최소가 되도록 활용

함으로써 수송량을 극대화하면서 수송비를 극소화하는 최적해를 찾게 된다.

따라서 각 제약식의 雙對變數(dual value)는 각 시설을 한단위 추가로 사용함으로써 총수송비의 극소화에 미치게 될 한계이득(marginal revenue), 즉 기회비용(opportunity cost)을 의미하며 이는 주어진 자원을 얼마나 효과적으로 활용할 것인가를 나타내는 활용가치를 의미한다. 본 모형의 제약식에서 나타나는 쌍대값(dual value)의 의미를 구체적으로 살펴보면 <표 1>과 같다.

<표 1> 제약식별 雙對變數(dual value)의 경제학적 의미

制約條件	殘餘變數 (slack variable)	雙對變數 (dual variable)	備 考
제 품 흐 름 량 균형조건	-	저유소가 입지하여 제품 1단위를 처리함에 따른 저유소 입지의 기회비용	(1) 제약식
유 종 별 총생산량 제 약	각 정유공장별 제품생산량(교환량)의 여유분	제품 1단위(1BBL) 추가 생산(교환)에 따른 총수송비 절감	(2) 제약식
수송수단 정유공장 출하제약	각 수송수단별 정유공장 시설의 과부족 및 제품교환에 따른 수송수단별 출하능력 여유분	제품출하시 공장의 출하시설 1단위(1BBL)추가 사용(교환)에 따른 총수송비 절감	(3) 제약식
송 유 관 송유능력 제 약	송유구간별 송유능력의 여유분	송유구간별 송유능력 1단위(1BBL) 증가에 따른 총수송비 절감	(4) 제약식
저 유 소 수송수단 입하능력 제 약	각 저유소까지의 1차수송에서 저유소 수송수단별 입하시설의 여유분	저유소 입하시설능력 1단위(1BBL) 증가에 따른 총수송비 절감	(5) 제약식
수 요 처 수요제약	수요처 유종별 수요량의 여유분을 나타내며 최적해에서는 여유분이 발생하지 않음	수요처 유종별 수요량의 1단위(1BBL)증가에 따른 총수송비 증가	(6) 제약식
저 유 소 유 종 별 저유능력 제 약	각 저유소 저유탱크의 유종별 저유능력 여유분	저유탱크의 저유능력 1단위(1BBL) 증가에 따른 총수송비 절감	(7) 제약식

결국 이 모형을 푸는 것은 주어진 제약식의 우변에 해당하는 각 시설의 용량을 상대적 손실이 최소가 되도록 활용함으로써 수송량을 극대화하면서 수송비를 극소화하는 최적해를 찾는 것이며, 정유공장의 출하시설이나 저유소의 입출하시설 및 저유탱크시설, 그리고 그 저유소가 가지는 입지우위성을 계량적으로 보여줌으로써 그 시설이 그곳에 있음으로서 가지는 경제적 가치를 보여주게 된다.

#### IV. 模型의 檢證

본 논문은 국내 정유회사인  $\times\times$ 사의 ' $\times\times$ 社 석유제품의 최적 저장 및 수송체계 연구'중 저유 및 수송최적화 모형의 개발과 그 해를 이용한 최적수송체계의 구성에 실제 사용된 자료를 재구성한 것이다.  $\times\times$ 사의 수송 및 저유 관련부문의 실질 자료를 바탕으로 전국 162개 수요존과 16개의 특별 수요존에 대해 가솔린, 경유, 등유 및 병커유의 수송체계를 현재와 장래에 대해 평가하고 최적 물류권의 구성,  $\times\times$ 사의 物流부문 중장기 시설투자계획에 따른 타당성을 검토하는 등 이미 모형의 유용성에 대한 검증을 마쳤다. 본 논문에서는 자료의 보안을 위해 실제 자료는 사용하지 않고, 현실성을 갖는 가상자료를 이용하여 모형의 유용성을 간단히 기술하도록 한다.

##### 1. 基本假定

모형의 검증을 위해 다음과 같은 시나리오를 구성하여 전국을 대상으로 하는 석유제품의 저유 및 수송 최적화 방안을 제시해 보도록 한다.

국내 최대 정유회사인  $\times\times$ 사는 석유시장의 대외 개방과 국내 정유사간의 경쟁격화로 고객에 대한 서비스 중요성이 부각되고, 수송비, 재고비 등 物流비용의 절감을 통해 기업 경영의 합리화를 이루기 위해 전국 시장을 대상으로 수송 및 貯油體系의 최적 대안을 마

련하고자 한다. 이 회사의 당면과제는 수송비 절감을 통한 物流비용의 절감, 저유소의 기능과 역할 조명, 타정유사와의 제품교환여부 및 경제성 검토, 그리고 각 저유소로부터 수요처를 연결하는 최적의 물류권을 파악함으로써 경쟁력 강화와 장기적인 기업목표의 설정의 토대를 마련하는 것이다.

이회사는 울산에 공장을 가지고 있으며 여수의 A社 및 대산의 B社와 제품교환을 한다고 한다. 또한 전국에 걸쳐 10개의 저유소를 운영중이고 경질유와 중질유의 2가지 유종을 취급하며, 특히 경질유 수송에는 울산-대구-대전-서울을 잇는 제1송유관과 여수-광주-전주-대전-서울을 잇는 제2송유관이 가동되고 있다고 한다.

이에 본 논문에서는 제품수송비, 정유공장 생산량, 제품교환량, 정유공장 출하량, 저유소 입하능력, 저유소 저유능력 및 수요처 수요량 등 모형 검증에 필요한 자료를 가상으로 구성하였다. 수요처는 전국을 생활권에 따라 <그림 2>에서와 같이 30개 수요지역으로 구분하고, 10개 저유소와 3개 정유공장에서 경질유와 중질유의 두가지 제품을 공급받는 것으로 한다.

1차수송은 탱크트럭(T/T), 선박(VSL), 철도(RTC) 및 송유관(P/L)으로 이루어지며 2차수송은 모두 탱크트럭이 담당하는 것으로 한다. 또한 모든 제품의 양은 연간 수송량(BBL/년)으로 하며 저유소의 저유비용은 별도로 고려하지 않는다.





〈그림 2〉 수요존의 구분

2. 入力資料 構成

송비와 제약조건의 우변값은 각각 〈표 2〉와 〈표 3〉과 같다.

각 정유공장에서 저유소까지의 수단별 수

〈표 2〉 1차수송의 수단별 수송비

(단위 : 원/BBL)

정유 공장	저유소	선		철		제1송유관	제2송유관	탱크트럭 전유종
		경질유	중질유	경질유	중질유			
울산	서울					400		2500
	인천	700	500	2000	2000			2600
	부산	250	250					600
	대구			700	700	100		900
	대전			1400	1400	200		1600
	군산	1000	1000					2200
	광주							2100
	원주			1300	1300			2100
	전주							2000
	제주	800	900					

정유장 유종	저유소	선박		철도		제1송유관	제2송유관	탱크트럭
		경질유	중질유	경질유	중질유	경질유	경질유	전유종
여수	울산 인천 부산 대구 광주 전주 제주	750	500				420	2600
		400	400					2700
				1200	1200		250	1500
		800	750					1700
				700	800		100	1300
대산	서울 인천 부산 대구 대전 제주						200	900
		700	650					1200
								1000
		350	350					1100
		800	800					2600
		500	450				1000	
		1000	1000					1200

〈표 3〉 모형 제약조건 구성

(단위 : 千BBL/년)

구분	내 용					
유종별 생산량 제약	정유공장	경질유	중질유			
	울산	13,000	50,000			
	여수	2,000	3,500			
정유공장 수송수단 출하제약	정유공장	탱크트럭	선박	철도	송유관	
	울산	20,000	70,000	10,000	9,000	
	여수	1,500	4,000	3,000	5,000	
송유관 구간별 수송량 제약	제 1 송유관		제 2 송유관			
	구간	송유능력	구간	송유능력		
	울산-대구	7,000	여수-광주	2,000		
	대구-대전	6,000	광주-전주	2,000		
	대전-서울	5,000	전주-대전	1,000		
			대전-서울	1,000		
저유소 입하능력 제약	저유소	탱크트럭	선박	철도	송유관	
	서울	1,000	-	-	5,000	
	인천	1,000	13,000	25	-	
	부산	1,000	5,000	-	-	
	대구	1,000	-	4,000	3,000	
	대전	1,000	-	2,000	2,000	
	군산	1,000	2,000	-	-	
	광주	1,000	-	1,500	3,000	
	원주	1,000	-	1,000	-	
	전주	1,000	-	1,000	2,000	
저유소 유종별 저유능력 제약	저유소	경질유	중질유	저유소	경질유	중질유
	서울	5,400	-	군산	450	1,400
	인천	1,500	11,000	광주	500	400
	부산	1,400	6,500	원주	600	300
	대구	2,000	4,300	전주	150	200
	대전	1,000	2,500	제주	200	150

### 3. 最適解의 解釋

진술한 입력자료를 바탕으로 LINDO Package 를 이용하여 최적해를 구한 결과 주어진 제약조건하에서 최적의 수송 및 저유체계는 다음과 같으며 이때의 총수송비는 43,704,180(천원/년)으로 공장으로 수요처까지의 평균수송비용은 861.8(원/BBL)로 산출되었다(표 4참조).

#### 1) 최적 수송조합 및 물류권구성

각 정유공장별 최적 제품출하량은 <표 5>와 같으며, 울산공장이 경질유 9,660(BBL/년)과 중질유 32,340(BBL/년)로 전체 물량의 78.1%와 84.4%를 차지하며, 최적교환량은 A社와 경질유와 중질유에 대해 각각 1,835(BBL/년)과 3,500(BBL/년), B社와는 880(BBL/년)과 2,500(BBL/년)으로 산출되었다.

1차수송에 대한 수송수단별 조합을 보면, 대량

수송이 가능하고 수송비가 저렴한 송유관과 선박 수송을 이용하는 것이 타당한 것으로 분석되었으며, 특히 경질유 수요가 집중되어 있는 서울지역은 송유관으로 직접 수송하는 것이 수송비를 최소화하는 방안으로 나타났다. 또한 경질유는 송유관 수송이 가능함으로 인해 공장에서 수요처로의 탱크트럭에 의한 제품 직배물량이 적은 반면, 송유관 수송이 불가능한 중질유는 공장직배가 많아 공장의 육상출하시설 기능의 대부분을 중질유 출하에 사용하는 것이 타당할 것으로 나타났다.

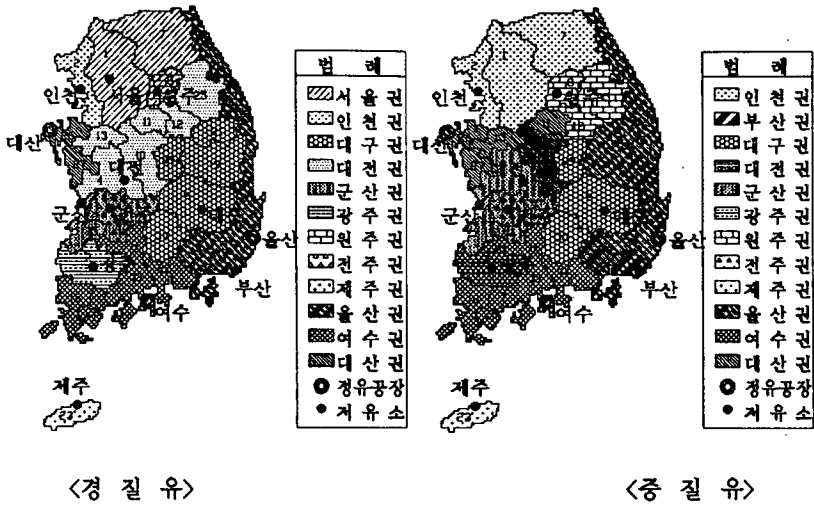
또한 최적물류권구성은 <그림 3>에서 나타난 바와 같이 경질유의 경우 인천저유소는 인천지역을, 서울은 서울·강원일부 지역을 물류권으로 하는 반면 중질유의 경우에는 인천저유소가 서울·강원일부지역을 물류권으로 하여 공급하는 것이 경제적이란 등 유종별로 다른 구성을 보이고 있다. 특히 서울저유소는 경질유만을 취급하는 저유소로 특화가 필요한 것으로 판단된다.

<표 4> 최적해 수송비 분석

구 분	수송수단	수 송 량 (千BBL/년)	수 송 비 (천원/년)	평균수송비 (원/BBL)
1 차 수 송 (공장 → 저유소)	T/T	-	-	-
	VSL	16,740	7,366,000	444.0
	RTC	4,440	3,843,000	865.5
	P/L	8,375	2,581,000	308.2
	소 계	29,555	13,790,000	466.6
2 차 수 송 (저유소 → 수요처)	T/T	29,555	18,485,904	625.5
공 장 직 배 (공장 → 수요처)	T/T	21,160	11,482,276	540.1
총 계		50,715	43,704,180	861.8

(표 5) 최적 수송조합

정공 유장	저유소	경 질 유			중 질 유		
		수송 수단	수송비 (원/BBL)	최적수송량 (千BBL/년)	수송 수단	수송비 (원/BBL)	최적수송량 (千BBL/년)
울 산	서 울	P/L	400.0	4,675			
	인 천	VSL	700.0		VSL	500.0	7,320
	부 산	VSL	250.0		VSL	250.0	5,000
	대 구	P/L	100.0	1,385	RTC	700.0	2,650
	대 전	P/L	200.0	940			
	원 주	RTC	1300.0	600	RTC	1300.0	300
	직 배	-	-	2,060	-	-	17,070
	소 계			9,660 (78.1%)			32,340 (84.4%)
여 수	서 울	P/L	420.0	725			
	인 천				VSL	500.0	1,740
	대 전				RTC	1250.0	290
	광 주	P/L	100.0	500	RTC	800.0	400
	전 주	P/L	200.0	150	RTC	850.0	200
	제 주	VSL	700.0	170	VSL	650.0	130
	직 배	-	-	290	-	-	740
소 계			1,835 (14.8%)			3,500 (9.1%)	
대 산	인 천	VSL	350.0	600	VSL	350.0	190
	군 산	VSL	500.0	190	VSL	450.0	1,400
	직 배	-	-	90	-	-	910
	소 계			880 (7.1%)			2,500 (6.5%)
총 계			12,375 (100.0%)			38,340 (100.0%)	



<그림 3> 유종별 최적물류권

2) 제품교환의 경제성 분석

모형의 제약식 (2)와 (3)에 해당하는 타사공장의 생산량 및 수송수단별 출하량 제약은 실질적으로 교환실적 또는 교환계획량을 의미한다. 이는 교환량 만큼 타사공장을 자사공장처럼 운영한다고 가정하는 것으로 이들 제약변수에 대한 여유변수 (slack variable)과 쌍대값(dual value)으로 나타나는 한계이득(marginal revenue)은 각각 타사공장과 교환에 대한 여유분과 경제적 가치를

의미한다.

<표 6>에서 보면 울산공장의 전유종 생산량과 전출하시설 능력, 그리고 여수공장의 전유종 교환량과 교환에 따른 출하시설 능력은 충분한 것으로 나타났다. 대산공장에 대한 교환조건은 중질유의 주어진 교환량을 최대로 사용해야 함을 보여주고 있으며, 교환량을 추가로 한단위 늘릴때 150(원/BBL)의 경제적 이득이 있음을 알 수 있다.

<표 6> 정유공장별 생산 및 교환의 경제성분석

유종	정유공장	생산(교환)량 (千BBL/년)	최적해 (千BBL/년)	여유용량 (千BBL/년)	한계이득 (원/BBL)
경질유	울산	13,000	9,660	3,340	0
	여수	2,000	1,835	165	0
	대산	1,000	880	120	0
	계	16,000	12,375	3,625	-
중질유	울산	50,000	32,340	17,660	0
	여수	3,500	3,500	0	0
	대산	2,500	2,500	0	150
	계	56,000	38,340	17,660	-

3) 송유관 구간별 송유능력 분석

송유관은 울산-대구 구간을 제외한 전구간에 걸쳐 충분한 여유가 있는 것으로 나타났으며 제1 송유관의 경우 울산공장에서 출하된 7,000千 BBL 중에서 66.8%인 4,675千BBL이 서울저유소까지 수송되는 양이며 대구저유소와 대전저유소는 각각 1,385千BBL과 1,060千BBL만을 공급받는 것으로 나타났다. 그러나 제1송유관의 첫

수송구간인 울산-대구 구간의 송유 여유용량이 없어 이 구간의 송유능력 부족이 전체적인 송유관 수송량의 감소를 야기시킨 것으로 나타났다. 또한 한계이득이 20(원/BBL)로 나타나 이 구간의 송유용량 증대가 필요함을 보여 주고 있다.

또한 교환계약에 의해 A社の 제2송유관을 일부 사용하는 경우 X×社에 할당된 각 구간별 송유능력은 충분한 것으로 나타났다.

〈표 7〉 송유관 구간별 최적수송 및 경제성분석

구 분	송 유 구 간	송유능력 (千BBL/년)	최 적 해 (千BBL/년)	여유용량 (千BBL/년)	한계이득 (원/BBL)
제1송유관	울산-대구	7,000	7,000	0	20
	대구-대전	6,000	5,615	385	0
	대전-서울	5,000	4,675	325	0
제2송유관	여수-광주	2,000	1,375	625	0
	광주-전주	2,000	875	1,125	0
	전주-대전	1,000	725	275	0
	대전-서울	1,000	725	275	0

4) 저유소 입하 및 저유시설의 경제성 분석

저유소의 수송수단별 제품입하시설은 부산저유소를 제외한 전체저유소가 충분한 시설용량을 갖추고 있는 것으로 나타났으며, 부산저유소의 선박 입하시설에 대한 한계이득은 337(원/BBL)으로 나타났다. 그러나 저유소의 유종별 저유능력은 경질유의 경우 서울, 광주, 원주 및 전주저유소, 중

질유는 군산, 광주, 원주, 전주저유소의 저유탱크 용량이 부족한 것으로 나타났다. 특히 광주저유소의 경질유 탱크와 원주저유소의 중질유 탱크에 대한 기회비용이 각각 714(원/BBL)과 144(원/BBL)로 나타나 시설확충시 최우선적으로 고려해야 할 것으로 판단된다.

〈표 8〉 저유소 유종별 저유능력

(단위 : 千BBL/년)

저유소	경 질 유				중 질 유			
	저유능력	최 적 해	여유용량	한계이득 (원/BBL)	저유능력	최 적 해	여유용량	한계이득 (원/BBL)
서울	5,400	5,400	0	53	-	-	-	-
인천	1,500	800	900	0	11,000	9,650	1,750	0
부산	1,400	1,200	1,400	0	6,500	6,430	1,500	0
대구	2,000	1,402	645	0	4,300	2,300	1,650	0
대전	1,000	820	60	0	2,500	0	2,210	0
군산	450	0	260	0	1,400	1,380	0	131
광주	500	500	0	714	400	400	0	129
원주	600	0	0	42	300	40	0	144
전주	150	150	0	523	200	0	0	104
제주	200	120	30	0	150	100	20	0

5) 저유소의 입지우위성 분석

저유소의 입지 자체가 가지는 경제적 이득, 즉 어떤 저유시설이 입지함으로서 총수송비의 절감을 가져다 주는데 있어 가장 큰 기회비용을 갖는 저유소는 원주저유소가 전유종에 가장 큰 값을

보이고 있다. 이는 원주저유소의 입지가 단위 수송비절감에 있어 가장 유리한 입지를 점하고 있음을 보여주는 것이며, 이것이 바로 저유소 입지의 경제성을 평가하는 기준을 제시하고 있다.

〈표 9〉 저유소 입지의 경제적 이득

저유소	한 계 이 득		저유소	한 계 이 득	
	경질유	중질유		경질유	중질유
서울	473	-	군산	500	731
인천	350	500	광주	814	929
부산	587	587	원주	1,342	1,444
대구	120	700	전주	723	954
대전	220	1,200	제주	700	650

4. 敏感度 分析(Sensitivity Analysis)

LP문제의 특징중의 하나는 목적함수의 계수 c 와 d, 그리고 제약조건의 상수 등이 모두 정해져 있는 상황에서 최적해를 구한다는 것이다. 따라서 최적해를 찾은 후에 장래 수송여건이 변화함에 따라 최적해가 어떻게 변할 것인가를 알 수 있기 위해 최적해가 불변하고 그대로 성립하는 목적함수의 계수의 변동범위 및 제약조건의 우변상수 범위를 알아보는 민감도 분석(sensitivity analysis)이 필요하게 된다.

앞서 雙對問題(dual problem)를 설명함에 있어 雙對變數(dual value)의 의미를 한계이득(marginal revenue) 또는 기회비용(opportunity cost)의 개념과 동일한 것으로 보았다. 즉 제약식의 우변상수가 한단위 변화함에 따른 총수송비의 변화를 설명하는 것이 바로 雙對變數(dual value)이며 이 값은 주어진 우변상수의 값을 모두 사용하고 여유분이 남아있지 않을 때만 正(positive)의 값을 갖게 된다. 따라서 어떤 제약

식의 우변상수 값이 부족하지 않은 경우에는 기회비용이 零(zero)이 되고 최적해 변화에 아무런 영향을 미치지 않게 된다.

〈표 10〉에서 보면 울산기점 서울저유소까지 송유관 수송비는 배럴당 400원이며 이 수송비가 배럴당 400.24원과 370원 사이에서 변동할 경우 최적해는 변하지 않게 되고, 이회사는 이 범위내에서 수송비가 변할 경우 현재의 최적 수송체계를 변화시킬 필요가 없게 됨을 알 수 있다. 본 모형의 결과 최적해를 변화시키지 않는 1차수송비의 수송비 범위는 다음과 같다.

〈표 10〉 최적해 민감도분석

(단위 : 원/BBL)

정유공장	저유소	수송수단	경질유			중질유		
			현재수송비	증가변위	감소변위	현재수송비	증가변위	감소변위
울산	서울 인천	P/L	400.00	0.24	30.00	-	-	-
		VSL	700.00	무한	350.00	500.00	10.96	0.00
		RTC	2000.00	무한	1650.00	2000.00	무한	1500.00
	부산	T/T	600.00	무한	82.79	600.00	무한	82.79
		VSL	250.00	82.79	.00	250.00	0.00	82.79
		T/T	900.00	무한	790.00	900.00	무한	210.00
	대구	RTC	700.00	무한	580.00	700.00	14.04	343.12
		P/L	100.00	59.08	33.56	-	-	-
		RTC	1400.00	무한	1180.00	1400.00	무한	200.00
	대전	P/L	200.00	30.00	0.24	-	-	-
		VSL	1000.00	무한	500.00	1000.00	무한	400.00
		T/T	2100.00	무한	2004.00	2100.00	무한	1304.00
	광주	RTC	1300.00	42.00	무한	1300.00	144.00	무한
T/T		2000.00	무한	1850.00	2000.00	무한	1200.00	
VSL		800.00	무한	100.00	900.00	무한	250.00	
여수	서울 인천	P/L	420.00	30.00	0.24	-	-	-
		VSL	750.00	무한	400.00	500.00	0.00	10.96
		VSL	400.00	무한	150.00	400.00	무한	150.00
	부산	RTC	1200.00	무한	980.00	1200.00	10.96	104.24
		P/L	250.00	무한	30.00	-	-	-
		T/T	1300.00	무한	812.00	1300.00	무한	712.00
	대전	VLS	800.00	무한	300.00	750.00	무한	150.00
		T/T	900.00	무한	888.00	900.00	무한	188.00
		VSL	700.00	무한	600.00	800.00	129.20	무한
	광주	T/T	100.00	600.00	무한	-	-	-
		RTC	750.00	무한	550.00	850.00	104.24	무한
		P/L	200.00	523.00	무한	-	-	-
	전주	VSL	700.00	100.00	700.00	650.00	250.00	650.00
T/T		1000.00	무한	995.04	-	-	-	
T/T		1100.00	무한	1113.04	1100.00	무한	1113.04	
대산	서울 인천	VSL	350.00	350.00	182.80	350.00	150.00	131.04
		VSL	800.00	무한	549.99	800.00	무한	699.99
		T/T	1000.00	무한	1159.04	1000.00	무한	329.04
	부산	T/T	1200.00	무한	1071.04	1200.00	무한	1121.04
		VSL	500.00	7.04	143.20	450.00	131.04	무한
		T/T	1200.00	무한	1431.04	1200.00	무한	931.04
	대전	VSL	1000.00	무한	300.00	1000.00	무한	500.00
		T/T	1000.00	무한	995.04	-	-	-
		VSL	750.00	무한	400.00	500.00	0.00	10.96
	광주	VSL	400.00	무한	150.00	400.00	무한	150.00
		RTC	1200.00	무한	980.00	1200.00	10.96	104.24
		P/L	250.00	무한	30.00	-	-	-
	전주	T/T	1300.00	무한	812.00	1300.00	무한	712.00
VLS		800.00	무한	300.00	750.00	무한	150.00	
T/T		900.00	무한	888.00	900.00	무한	188.00	
계주	VSL	700.00	무한	600.00	800.00	129.20	무한	
	T/T	100.00	600.00	무한	-	-	-	
	RTC	750.00	무한	550.00	850.00	104.24	무한	
계주	P/L	200.00	523.00	무한	-	-	-	
	VSL	700.00	100.00	700.00	650.00	250.00	650.00	
	T/T	1000.00	무한	995.04	-	-	-	



## V. 結論

본 논문은 LP를 이용한 계량적 모형의 개발과 모형의 개발과 검증을 통하여 한정된 자원을 가장 효과적으로 활용하는 석유제품의 최적 저유 및 수송체계의 정책수립에 대한 가능성을 보였고, 주어진 자원의 경제성을 쌍대값(dual value)으로 간단히 설명할 수 있었다는 데 의의가 있다. 또한 최적해를 통하여 석유제품의 최적수송경로 및 수송조합(transport mix), 유종별 최적물류권 구성, 타사와의 제품교환의 경제성 및 최적교환조건, 저유소 입지 및 저유관련시설의 중장기 투자계획에 대한 투자우선순위의 도출이 가능함을 알 수 있었다.

다양한 수송수단의 선택이 가능한 상황에서 주어진 석유제품의 수송비와 생산, 저유 및 수송조건들을 어떻게 활용할 것인가에 대한 합리적 판단은 기업의 이윤과 직결되는 문제이고 나아가 국가경제의 효율성 측면에서도 중요한 관심사가 아닐 수 없다.

그러나 석유제품은 계절마다 그 수요량의 차이가 심하고 전량 수입에 의존하기 문에 적정재고의 확보가 상당히 어렵고, 비포장제품으로 수송과정에서 상당한 양의 제품손실을 감안해야 하며, 제품의 계량단위가 부피로 기온에 따라 편차가 발생하여 제품의 생산, 재고관리 및 판매과정에서 정확한 계측이 어려운 문제점을 안고 있어 지속적인 제품생산과 판매를 위한 物流시스템의 효율적 운영이 어떤 산업보다 절실히 요구된다 하겠다.

본 논문은 LP의 쌍대성(duality)개념을 이용하여 주어진 자원의 제약조건속에서 각각의 기회비용을 산출해 내고 이를 토대로 기업의 경제성 평가 및 투자우선순위를 설정하는 근거를 제시하는 성과를 보였으나 대형수송수단의 이용 증대에 따른 수송비상의 규모의 경제(economies of scale)가 고려되지 않았고, 재고관리비용과 수요의 변동에 쉽게 대처할 수 있는 동태적(dynamic)개념을 배제하였다는 데 한계가 있다.

## 參考文獻

1. 國家計經濟研究所, 漢陽大學校 産業科學研究所, “油公 石油製品의 最適貯藏 및 輸送體系研究”, 國家計經濟研究所, 1993.
2. 林浩奎, “韓國의 流通經濟構造”, 韓國開發研究院, 1980.
3. 秋暉錫, 朴光一 共譯, “線型計劃法에 의한 石油製品 分配計劃시스템”, 線型計劃法(事例研究), 世經社, 1987.
4. 金基永, 郭魯均, “計量意思決定論”, 法文社, 1990.
5. Sheffi, Yosef. and Kocur, George. “A Review of Inventory/Transportation Tradeoffs and Flow Consolidation in a Logistics System”, Center for Transportation Studies, M.I.T., May 1984.
6. Sheffi, Yosef., Koutsopoulos, Haris. and Eskandari, Babak. “Total Logistics Cost with Shipment Size-Dependent Transportation Rates”, Center for Transportation Studies, M.I.T., Apr 1987.
7. Coyle, John., Bardi, Edward. and Langley, John, Jr. “The management of Business Logistics”, 4th Ed., West Publishing Company, 1988.