

## 송유관 효율결정 지원시스템의 개발 및 활용

송성헌\* · 김우제\*\* · 이문배\*\*\*

### Development and Application of a Decision Support System for the Oil Pipeline Transportation and Storage Rates

Sung-Hun Song\* · Woo-Je Kim\*\* · Moon-Bae Lee\*\*\*

#### ■ Abstract ■

Pipeline is an important transportation mode for oil products. The pipeline transportation and storage rates affect the pipeline usage, and the pipeline usage also affects the transportation revenue and operating costs of the pipeline.

The purpose of our study is to develop a decision support system simulating pipeline transportation and storage rates for maximizing the utilization and profitability of the oil pipeline and apply it to the real situation. To do this, a simulation model to help the decision maker decide the rates of the oil pipeline is first proposed. Second, a simulation program is developed, which enables the user to evaluate the various scenarios of oil transportation and storage rates. Finally, this program is applied to the case study of oil industry in Korea.

## 1. 서 론

석유제품의 수송은 1차 수송과 2차 수송으로 구분할 수 있는데, 1차 수송은 저유공장에서 주요 소비지역에 위치한 저유소까지의 운송을 의미한다. 2차 수송은 저유소로부터 주유소, 판매소, 중

소 수요처까지의 운송을 의미하는데, 흔히 배송이라 한다. 그리고 정유공장 주변의 가까운 주유소나 화력발전소 등의 대 수요처는 저유소를 거치지 않고 정유공장에서부터 수요처로 직접 수송이 이루어진다. 정유사가 담당하는 1차 수송 및 대 수요처에 대한 직송은 유조선, 유조화차, 파이

\* 홍익대학교 산업공학과

\*\* 대전대학교 산업공학과

\*\*\* 에너지경제연구원

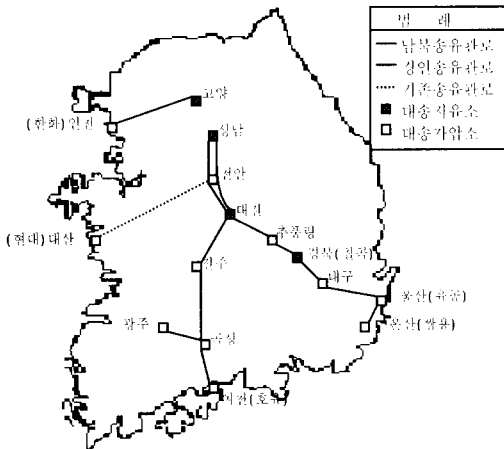
프라인, 탱크트럭을 수송수단으로 하며, 대리점이 담당하는 2차 수송은 대부분 탱크트럭을 수송수단으로 한다. 그런데 파이프라인에 의해 수송이 가능한 석유제품은 제품특성상 휘발유, 경유, 등유, 제트유 등의 경질제품 (이하 경질유)에 국한된다.

현재 우리나라의 경질유 수송은 유조선을 이용한 해상운송이 가장 큰 비중을 점하고 있으며, 해상운송이 비 경제적인 내륙지방에는 철도와 탱크트럭에 의해 수송이 이루어 지고 있다. 그런데 해상운송은 선박의 노후화와 인접연안항로의 운항으로 사고시 치명적인 해양오염의 원인을 유발시키는 요인으로 지적되고 있다. 탱크트럭에 의한 수송은 도로혼잡을 유발시키는 주요한 요인이 되고 있으며, 철도수송도 수송능력의 제약으로 한계에 다다르고 있다. 이와 같은 경질유 수송에 따른 문제점을 극복하고, 석유제품 수송으로 인한 사회적 비용 발생의 최소화와 경질유의 수급안정을 도모하기 위하여, 지난 1990년부터 정부와 민간이 공동출자로 대한송유관공사를 설립하여 송유관 건설을 추진하여, 현재는 경인송유관과 남북송유관을 운영하고 있다(<그림 1-1> 참조).

대한송유관공사에서는 송유관의 출구에 가압소와 저유소를 건설하여 저유운임을 받고 있다. 송유관을 운영하여 송유서비스를 제공하는 회사의 입장에서 중요한 의사결정 사항중의 하나는 적정 송유 및 저유요율의 결정이다. 특히, 우리나라의 경우, 남부지역 정유공장에서 수도권까지의 장거리 송유요율이 가장 큰 이슈로 부각되고 있다. 이는 유조선 등 수도권까지의 타 경쟁 수송수단이 존재하고, 유조선을 이용한 경질유의 연안운송 등으로 인한 사회적 비용이 존재하여 이들을 반영할 수 있는 수도권의 배럴-km당 송유요율을 수립하여야 한다. 또한, 공사형태로 운영되는 송유관 사업의 공익적 성격에 비추어 수도권의 배럴당 송유 수송비는 수도권 이하의 지역의 배럴당 송유 수송비보다는 비싸게 책정되도록 수도권 송유요율을 설정하여야 한다.

송유관의 요율은 송유관 이용량에 영향을 미치고, 송유관 이용량은 송유 및 지유 수입과 운영비에 영향을 미친다. 또한 송유관 요율과 이용량은 송유관 시설의 투자회수 정책에도 영향을 미친다. 송유요율을 너무 저렴하게 책정하면 타 경쟁적인 수송수단에 비해 송유관 이용 비중을 높일 수는 있으나 투자 수익을 기대하기 어렵게 만든다. 반면에 너무 비싸게 책정하면 송유관 이용 비중을 낮추게 되어 시설투자의 기본 취지에 부합되지 못할 뿐만 아니라, 전체적인 송유 및 저유수입의 저조로 투자수익이 오히려 적을 수도 있다. 따라서 송유관의 이용율 일정 수준이상으로 유지하면서 적정 투자수익을 확보할 수 있는 송유 및 저유요율을 책정하는 것이 중요하다.

캐나다의 경우 송유요율의 결정은 송유관사업자인 IPL사(Interprovincial Pipe Line Inc.)와 캐나다 석유생산자 협회(Canadian Association of Petroleum Producers)가 협의를 통하여 당해 년도의 총 요구수입, 처리량, 수익규모 등을 결정하고 당해년도 송유 및 시설운영 단가에 대한 합의를 체결하여 캐나다 연방정부 NEB(National Energy Board)의 승인을 받아 시행



<그림 1-1> 송유관 네트워크

운영한다. 미국의 송유요율은 송유관회사들이 FERC(Federal Energy Regulation Commission)의 승인을 받은 효율체계를 유지하고 있다. [11, 12]

한편, 국내에서의 송유관 효율결정에 관련된 기존 연구를 살펴보면, 강신민[1]과 한국동력자원연구소[10]는 송유관 건설의 투자타당성에 관한 연구를 수행한 바 있으며, 김종수[2], 대한송유관공사[3], 송선용[5], 정공모[9]는 공공 효율결정에 관한 연구를 하였다. 임재욱[8]은 석유제품 수송 최적화를 위한 선형계획법 모형을 개발 제시하였다. 그런데 그 모형은 범국가적 차원에서의 수송 최적화를 추구하였으나 개개의 정유사의 입장을 반영하지는 못했다. 성기석과 박순달[4]은 다수수송수단의 수송배분 관리용 패키지를 개발한 바 있는데, 이 패키지는 한 회사의 입장에서 수송수단별로 수송량계획을 수립하는 데 활용될 수 있다. 정공모[9]는 지식기반을 이용한 송유요율 산정하는 방안을 검토하였으나 구체적 방법을 제시하지는 않았다. 에너지경제연구원[6]은 적정 수송요율 결정모형을 개발하였다. 선형계획법 모형을 이용하여 송유물량을 산출하고, 장기 한계비용 원리를 이용하여 적정 송저유요율을 산출하는 방안을 제시하였다, 정유사 각사의 이해를 조정하는 과정에서 논의될 다양한 효율체제나 효율대안을 검토해 보기에는 미흡하다.

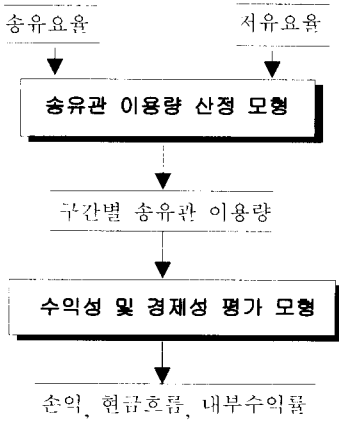
그러므로 본 연구의 목적은 경질유 수송시장에 대한 제약조건 하에서 송유관의 투자수익율과 설비가동률을 적정 수준으로 유지하기 위한 효율을 결정함에 있어서, 적정 효율의 결정을 지원하는 효율결정 지원시스템을 개발하는 것이다. 이를 위해 우선 적정 송저유 효율결정을 위한 효율결정 지원모형을 제시한다. 둘째, 주어진 여건하에서 다양한 효율 대안을 평가할 수 있는 송유관 효율평가 시뮬레이션 프로그램을 개발한다. 마지막으로 이 프로그램을 우리나라 송유관 상황에 적용하여 적정 송유 및 저유요율 대안을 분석하는 사례를 제시한다.

## 2. 송유관 효율결정 지원모형

본 연구에서는 송유 및 저유요율 구조에서 여러 가지 대안을 제시할 수 있는 송유관 효율결정 지원을 위한 시뮬레이션 모형을 구축하였다.

송유관 효율결정 지원모형은 송유관 이용량 산정 모형과 수익성 및 경제성 평가 모형으로 구성된다. 송유관 이용량 산정 모형은 외생변수로 선택된 송유료와 저유료에 대하여 각 정유사들의 송유관 이용량을 산출하는 모형이며, 수익성 및 경제성 평가 모형은 송유관 이용 산정 모형에서 산정된 송유관 이용량에 대해 송유 및 저유 요율을 부과할 경우, 송유관의 수익성 및 경제성을 평가하기 위한 평가 모형으로 해당기간 동안의 손익계산서와 현금흐름, 내부수익률을 추정하는 모형이다. 송유관 이용량 산정 모형은 송유관을 이용할 정유사들 간의 이해대립을 감안하여, 우선 각 정유사의 입장에서 최적 수송의 개념을 적용하여 송유관 이용량을 각 정유사 별로 개별적으로 산출한 후, 전체 정유사에 대해서 합산된 송유관의 각 구간별 이용량을 송유관 구간별 송저유능력에 맞추어 조정하는 과정을 거쳐서 송유관 이용량을 산정한다. 여기서 송유관의 구간별 이용량이란 <그림 1-1>에서 가압소와 가압소 사이의 구간과 가압소와 저유소 사이의 구간의 송유관 이용 물동량을 의미한다. 각 구간별로 송유관의 용량(Capacity)이 차이가 있으므로 구간별로 송유관 이용량을 산정한다. 수익성 및 경제성평가 모형은 계획기간에 걸쳐 적용된 여러가지 효율대안에 대해서 손익, 현금흐름, 내부수익률을 산출하고, 이 자료를 바탕으로 송유관 가동율과 수익성에 기초한 적정요율의 기준을 마련할 수 있다.

송유관 효율결정 지원모형은 여러가지 송저유요율의 시나리오에 대한 송유관 이용량과 수익성을 산정할 수 있어, 여러 형태의 송저유 효율 대안을 시뮬레이션으로 분석하여 평가할 수 있다. 송유관 효율결정 지원모형의 전체적인 흐름도는 <그림 2-1>과 같다.

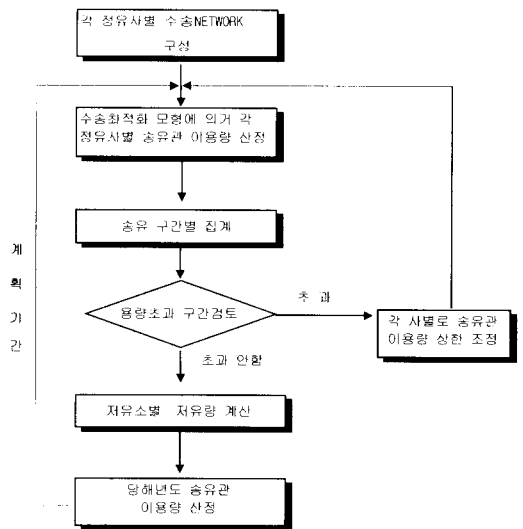


〈그림 2-1〉 송유관 요율결정 지원모형의 구성

### 2.1 송유관 이용량 산정 모형

송유관 이용량 산정은 <그림 2-2>에서와 같은 절차를 거쳐 산정된다. 첫째, 각 정유사별로 수송 네트워크를 구성한다. 수송 네트워크의 구성시 각 호(arc)에 대하여 상한과 하한이 도입되는데, 송유관의 경우에는 상한을 송유관의 용량으로 두고, 타 수송수단에 대해서는 기존 수송수단의 수송능력과 최소 수송량을 상한과 하한으로 설정한다. 둘째, 각 정유사별로 구성된 수송네트워크에 대해 수송최적화 모형을 적용하여 각 정유사별로 송유관 이용량을 산정한다. 셋째, 송유 구간별로 각 정유사들의 송유관 이용량을 합산한다. 넷째, 각 구간별로 전체 정유사들의 송유관 이용량의 합이 송유관의 용량을 초과하는지 검토한다. 다음으로, 만약 용량이 넘치는 구간이 있으면, 각 정유사의 송유관 구간별 이용가능 상한을 정유사별 송유관 이용량의 비율로 재조정하여 정유사별 송유관 이용량 산정절차를 다시 거치도록 한다. 용량이 넘치는 구간이 없으면, 각 저유소별로 저유량을 집계하여 당해년도의 송유관 이용량을 확정한다. 그리고 각 구간별로 송유관 가동율을 제공한다. 구간별 송유관 가동율은 구간별 송유관의 용량에 대한 송유관의 이용량의 비율로 산정된다. 이러한 과정을 계획기간에 걸쳐 모든 년도

에 대해 수행하여, 계획기간 동안의 모든 년도에 대해 송유관 이용량을 산정한다.



〈그림 2-2〉 송유관 이용량 산정 모형의 흐름도

### 2.2 수익성 및 경제성 평가 모형

수익성 및 경제성 평가 모형에서는 수익성분석과 계획기간동안의 경제성 분석을 수행한다.

수익성분석에서는 산출된 송유관 이용량에 대하여 계획기간동안의 년도별 수입과 지출 및 세금지출의 규모를 산정하여, 전체 계획기간동안의 손익계산서를 표로서 제공한다. 수익성분석에서 수입항목은 송유수입과 저유수입으로 구성되며, 비용항목은 감가상각비, 이자, 운영비(고정비, 변동비) 등으로 구성된다. 여기서 고정 운영비는 인건비, 일반경비, 보험료, 수선비, 경비용역비, 세금 및 공과비등으로 구성되며, 변동 운영비는 송유관의 가압 펌프를 작동하기 위한 가압소 전력비와 저유소 전력비로 구성된다. 세전 이익에 대한 세율은 34.25%가 적용된다.

경제성 분석에서는 계획기간동안의 현금흐름과 내부수익률(Internal Rate of Return:IRR)을 산출한다. 여기서는 계획기간동안의 년도별 현금흐름을 계산하여 순현금흐름과 누적현금흐름을 현금흐

를표로 제공하는데, 현금유입항목은 송유수입, 저유수입, 자기자본, 부채, 잔존가치로 구성되며, 현금유출항목은 건설비(건설이자 포함)와 운영비, 원리금 상환액(지급이자 포함), 세금등으로 구분된다. 내부수익률은 총투자에 대한 투자수익율로서 다음 관계식을 만족하는 이자율이 내부수익률이 된다.

$$\sum_{k=0}^{\text{계획년도}} (k\text{년도의 순현금흐름액}/(1+i)^k = 0$$

이것은 계획기간 동안의 현금유입의 현가와 현금유출의 현가가 같아지는 이자율을 의미하는데, 시행착오법과 보간법으로 산출된다.

### 3. 수송최적화 모형

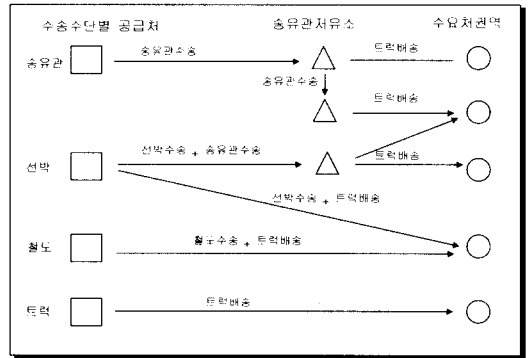
송유관 이용량 산정 모형에서는 각 정유사별로 수송 네트워크를 구축하여 수송최적화 모형을 수행하는데 각 정유사별 수송 네트워크를 구축하는 방법과 수송최적화 모형은 다음과 같다.

#### 3.1 정유사의 수송 네트워크

개별 정유사의 입장에서 본 수송 네트워크는 수송수단별로 다양하게 표현될 수 있다. 본 연구에서의 관심은 송유관의 구간별 이용량 산출에 있으므로 송유관에 대해서는 <그림 3-1>에서와 같이 경질유가 송유관을 통해 운송되는 실제 상황을 그대로 수송 네트워크 모형에 반영한다. 그렇지만 기타 수송수단 즉 선박, 철도, 탱크트럭에 대해서는 현실적 여건과 각 정유사의 자료를 토대로 하여, 정유사 공급처로 부터 수요처 권역까지 직송하는 것으로 간주하여 수송 네트워크 모형을 단순화하기로 한다.

각 정유사의 수송 네트워크 모형의 특징은 다음과 같다. 먼저, 현재 각 정유사는 공장을 1개만 가지고 있다. 따라서 각 정유사의 수송 네트워크에서

공급처의 수는 1곳이다. 공급처와 수요처 권역간에는 송유관을 제외한 기타 수송수단에 대해서는 현실적 여건과 각 정유사의 자료를 토대로 하여 수송수단별로 수송량의 상한과 하한, 그리고 단위당 수송요금을 설정할 수 있다. 송유관에 대해서는 구간별 송지유능력의 상한이 설정되어 있다. 송유관을 따라 석유제품은 공급처에서 여러 지점을 경유하여 최종 목적지까지 단일 방향으로 수송되는데, 송유관의 송유요금은 공급지에서 수요처 권역까지의 단위 요금으로 부과된다.



<그림 3-1> 정유사의 수송 네트워크

#### 3.2 수송최적화 모형

각 정유사별 수송최적화를 위한 수리모형은 다음과 같은 전형적인 최소비용 네트워크 흐름 모형 (Minimum Cost Network Flow:MCNF)[13]으로 표현될 수 있다.

- 수리모형(MCNF)

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} x_{ij} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{(i,k) \in A} x_{ik} - \sum_{(k,l) \in A} x_{kl} = r_i, \text{ for all } i \\ & \lambda_{ij} \leq x_{ij} \leq u_{ij}, \text{ for all } (i,j) \in A \end{aligned}$$

- 단,  $r_i = s_i$  if  $i$ : 공급지  
 $r_i = 0$  if  $i$ : 중개지  
 $r_i = -d_i$  if  $i$ : 수요지

여기서

- (i, j) : Network 상에서 Node i와 Node j를 연결하는 호(Arc)
- A : 수송 Network 상의 모든 Arc 집합
- $s_i$  : Node i에서의 공급량
- $d_i$  : Node i에서의 수요량
- $c_{ij}$  : Arc (i, j)의 단위수송비용
- $\lambda_{ij}$  : Arc (i, j)의 흐름량 하한
- $u_{ij}$  : Arc (i, j)의 흐름량 상한
- $x_{ij}$  : 결정변수로서 Arc(i, j)의 흐름량

수요처의 수요량과 공급처의 공급량은 에너지경제원[7]에서 분석한 장기 수급 전망 자료를 사용하였다. 그리고 각 호(arc)에 대한 상한과 하한은 송유관의 경우에는 상한을 송유관의 용량으로 두고, 타 수송수단에 대해서는 기존 수송수단의 수송능력과 최소 수송량을 상한과 하한으로 설정하였다.

이 모형에서 특이한 것은 각 거점간의 단위수송비용에 있다. 왜냐하면 송유관의 송유요율이 송유관 네트워크상의 구간별로 책정되는 것이 아니라, 공급지점인 정유공장과 최종수요지점인 수요처권역 (Origin-Destination) 별로 책정되기 때문이다. 따라서 이 수송모형에서 각 거점간 단위수송비용  $c_{ij}$ 는 다음과 같이 5가지 경우로 설정된다.

- (1) 호(i, j)가 송유관 수송에 대한 수송 구간이면,  
 $c_{ij} = 0$
- (2) 호(i, j)가 송유관 수송에 대한 배송 구간이면,  
 $c_{ij} =$  공급처에서 저유소 i까지의 송유요율(원/배럴-km) × 총 거리(km)  
 + 송유관 저유요율(원/배럴)  
 + 저유소 i에서 수요처권역 j까지의 탱크트럭 배송단가(원/배럴-km) × 배송 거리(km)
- (3) 호(i, j)가 선박과 송유관 수송에 대한 수송 구

간이면,

$$c_{ij} = 0$$

- (4) 호(i, j)가 선박과 송유관 수송에 대한 배송 구간 이면,  
 $c_{ij} =$  공급처에서 저유소 i의 인접항까지의 선박 수송요율(원/배럴-km) × 선박수송거리(km)  
 + 저유소 i의 인접항에서 저유소 i까지의 송유요율(원/배럴-km) × 총 거리(km)  
 + 송유관 저유요율(원/배럴)  
 + 저유소 i에서 수요처권역 j까지의 탱크트럭 배송단가(원/배럴-km) (배송 거리(km))

- (5) 호(i, j)가 기타 수송수단에 대한 수송 및 배송 구간 이면,  
 $c_{ij} =$  공급처에서 관련수송수단의 저유거점 i까지의 수송요율(원/배럴-km) × 수송거리(km)  
 + 저유거점 i에서 수요처권역 j까지의 탱크트럭 배송단가(원/배럴-km) × 배송거리(km)

여기서 수송 구간은 <그림 3-1>에서 공급처에서 송유관 저유소까지의 수송을 의미하며, 배송구간은 송유관 저유소에서 수요처 권역으로 탱크트럭에 의해 배송되는 것을 의미한다.

각 정유사별로 수송 네트워크를 <그림 3-1>과 같이 구축하고, 상기 수리 모형에 대해서 최소비용 네트워크흐름(Minimum Cost Network Flow) 기법을 적용하면, 수송수단별 공급처와 수요처권역간의 수송량과 송유관의 구간별 이용량을 산정할 수 있게 된다.

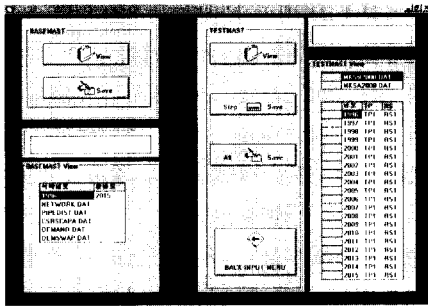
#### 4. 송유관 효율평가 시뮬레이션 프로그램

본 연구에서는 여러가지 송유 및 저유요율에 대해 송유관의 투자수익율을 분석해 보기 위하여 송유관 효율 결정 지원모형을 Visual BASIC으로 프

로그래밍하여 송유관 효율평가 시뮬레이션 프로그램(RATESIM)을 제작하였다. 본 프로그램은 송유관 이용량 산정 프로그램과 수익성 및 경제성 평가 프로그램으로 구성된다. Visual BASIC으로 제작되어 모든 화면이 메뉴 방식으로 제작되었으며, 사용자 편의성이 강조되었다.

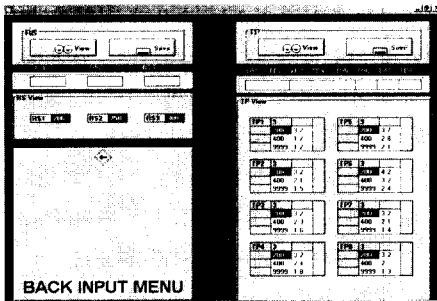
RATESIM의 입력화면과 출력화면은 다음 그림과 같다.

<그림 4-4> 내부수익률 출력 화면



<그림 4-1> 분석 기초정보 입력 화면

<그림 4-1>은 분석을 위한 기초정보를 입력하는 화면으로, 계획기간의 시작년도와 끝년도를 입력하고 있으며, 각 년도 마다 적용되는 송유 및 자유요율 시나리오가 있는 데이터 파일의 이름을 입력한다. <그림 4-2>는 송유 및 자유요율의 시나리오를 작성하여 파일로 보관하기 위한 시나리오별 요율 입력 화면이다. 예로서 <그림 4-2>에서는 송유요율 시나리오 TP1가 200Km 미만의 구간에서는 배럴-Km 당 3.2원, 200Km 이상 400Km 미만 일 경우에는 배럴-Km 당 1.7원, 400Km 이상의 거리에서는 배럴-Km 당 1.2원의 요율시나리오로 입력하였으며, 자유요율 시나리오 RS1은 배럴당 206원의 요율시나리오로 입력하였다.



<그림 4-2> 시나리오별 요율 입력 화면

<그림 4-3>은 송유관 이용량의 출력내용을 보여주는 화면이다. <그림 4-3>에서는 세 가지의 정보를 나타내고 있는데 첫번째 표에서는 각 행에서 송유관 구간별 이용량을 나타내고, 각 열에서는 각 정유사별 송유관 이용량을 나타낸다. 즉, 첫번째 표에서는 각 정유사별로 송유관 구간에 따른 송유관 이용량을 나타내고 있으며, 이를 집계하여 각 송유관 구간별 총 이용량을 나타낸다. 두번째 표에서는 공급처별로 송유관 출하처까지의 흐름량을 나타내고 있으며, 세번째 표에서는 저유소별로 저유소 이용량을 나타내고 있다. <그림 4-4>는 내부수익률에 대한 정보와 각 년도별 송유 및 자유 수입, 부채, 산손가치, 건설비, 운영비, 세금, 원리금 상환등의 정보를 나타내고 있다.

<그림 4-3> 송유관 이용량 출력 화면

## 5. 적정 송유요율의 분석

### 5.1 요율체계의 설정

요율체계는 단일요율 방식과 할인요율 방식으로 대별된다. 단일요율 방식은 송유관 거리에 대하여 단위물량당 동일하게 적용하는 요율 구조를 의미하는데, 이는 장거리일수록 누적적으로 높은 수송비용을 지불해야 하는 방식으로 경쟁 수송수단이 없는 지역에서 채택 가능한 요율 방식이다. 그런데 현재 우리나라 송유상황은 수도권에서 대형 유조선선을 이용하는 경쟁적인 수송수단이 존재하므로 단일요율 방식은 부적절한 방식이다. 할인요율 방식으로는 "거리에 비례하는 할인요율 방식"과 거리범위를 기준으로 할인요율을 차등화하는 "거리등급별 할인요율 방식"이 있다.

송유관의 내부 수익률을 극대화하기 위해서는 타 수송수단의 경쟁 상황이 치열할 것으로 예상되는 수도권에서는 송유요율을 저렴하게 공급하여 물량을 확보하고, 비교적 경쟁수단이 없는 지역에서는 수익률의 향상을 위해 송유요율을 상대적으로 비싸게 산정하는 방법이 적절할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 제반 송유상황을 고려하여 보면, "거리등급별 할인요율 방식"이 적절할 것으로 판단된다. 즉, 각 정유공장에서부터 송유관의 출하지점인 저유소까지의 송유관 길이를 기준으로 송유구간을 3등급으로 구분하였다. 정유공장으로의 송유관 길이가 짧을수록 등급이 낮다. 예를 들어, 그 길이가 0-200Km 미만이면 1등급, 200Km 이상-400Km 미만이면 2등급, 400Km 이상이면 3등급으로 분류한다. 등급이 높을수록 단위물량당 단위거리당 송유요율(원/배럴-Km)이 작게 책정되며, 동일 등급내에서는 같은 요율이 적용된다. 물론 동일 등급내에서는 거리가 멀면 배럴당 송유수송비가 크게 부과된다.

### 5.2 송유관 요율 분석

본 연구에서는 에너지경제원이 추정한 자료를

토대로 송유관 요율평가 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 송유관 요율 시나리오에 대해서 실험분석을 실시하였다.

본 실험분석에서는 송유관 요율 시나리오를 다음과 같이 구상하였다. 수도권에서는 대량의 물량을 저렴하게 공급할 수 있는 유조선이 경쟁수단으로 존재하므로 400Km 이상의 3등급 지역은 1.4원/배럴-Km에서 2.0원/배럴-Km의 저렴한 송유요율을 적용하였다. 그리고 400Km 이하의 1등급 및 2등급 지역에는 배럴-Km당 송유요율을 높게 책정하더라도 타 수송수단에 비하여 가격경쟁력이 충분히 있으므로, 2등급 지역에서는 1.9원/배럴-Km에서 2.7원/배럴-Km, 1등급 지역에서는 2.6원/배럴-Km에서 3.7원/배럴-Km의 송유요율을 적용하였다. 그런데 이렇게 되면 1등급과 2등급 지역에 대한 배럴-Km당 송유요율이 3등급 지역에 대한 송유요율 보다 높게 책정되므로, 1등급 또는 2등급 지역의 송유관 배럴당수송비가 3등급 지역의 배럴당수송비보다 높게 부과될 수 있다. 이러한 요율체계는 공사형태로 운영되는 송유관 사업의 공익적 성격에 비추어 바람직하지 않다. 수도권의 배럴당 송유수송비는 수도권 이하의 지역의 배럴당 송유수송비 보다는 비싸게 책정되도록 수도권 송유요율을 설정하여야 한다. 따라서 1등급과 2등급 지역에 대한 배럴당 송유비가 3등급 지역에 대한 배럴당 송유비보다 높게 부과되지 않도록, 각 등급 지역에 대한 배럴-km당 송유요율이 책정되도록 요율 시나리오를 작성하였다.

타 수송수단의 배럴-Km당 수송단가는 인천도착 기준 유조선의 경우는 1.0원/배럴-Km, 유조차의 경우는 7.14원/배럴-Km, 유조차의 경우는 11.51원/배럴-Km를 각각 적용하였다.[7] 그리고 본 연구의 계획기간은 2015년까지로 설정되었으며, 경질류의 2015년까지의 수요는 에너지경제연구원의 장기 수급 전망에 기초하였으며, 지역별 수요는 지역별 인구비중을 기준으로 산정하였다.[7]

수도권은 전국 경질유 수요의 약 50%를 차지하고 있고, 남부지역에 위치한 정유공장들은 수도권



의 공급거점인 인천항까지 대형 유조선에 이용한 수송시스템을 유지하고 있다. 따라서 경쟁수단이 존재하고 대규모 수요가 있는 수도권에 대한 송유관 효율은 송유관의 투자 수익율에 결정적인 역할을 한다. 그래서 본 연구에서는 수도권에 대한 송유관 효율을 중심으로 시뮬레이션 분석을 실시하였다.

우선 남북송유관을 이용하여 수도권에 소재한 성남저유소까지(송유관 길이 : 400km 이상)의 송유관 효율을 배럴-Km당 1.8원에서 0.1원씩 상하로 변화시켜 가면서, 20년의 계획기간(1996년-2015년) 동안의 자기자본 투자분에 대한 내부수익률(IRR)과 송유관 이용 물동량 변화를 분석하였다. 그 분석결과와 한 예로, 2000년도의 송유관 시나리오별 송유관 이용량은 <표 5-1>과 같다. <표 5-1>에서 총거리 이용량은 송유관 이용량 산정 모형에서 산출된 결과로서 각 구간별 송유관 이용량(배럴)(구간별 송유관 거리(Km)의 합을 일일 물동량으로 환산한 값이다. 그리고 저유소 출하량은 전국에서 대한송유관공사의 저유소를 통하여 출하되는 총 물동량을 의미하며, 고양저유소의 출하량은 정유공장에서 인천항까지는 유조선에 이용하여 수송되고, 인천항에서부터 고양저유소까지는 경인송유관을 이용하여 수송되어 고양저유소를 통해 출하되는 물량을 의미한다. 성남저유소의 출하량은 정유공장에서 성남저유소까지 남북송유관을 이용

하여 수송되어 성남저유소를 통해 출하되는 물량이다.

수도권의 배럴-Km당 송유관 효율이 낮게 책정되면, 유조선보다 송유관에 의한 1차수송비가 저렴하게 되므로, 유조선에 의한 수송량이 줄게 되어 경인송유관의 출하점인 고양저유소의 출하량은 감소하게 되며, 남북송유관의 이용량이 늘어나게 되어 전국 송유관 총거리이용량과 성남저유소의 출하량은 증가하게 된다. 그렇지만 송유관 효율이 지나치게 낮게 책정되면 수익성은 감소하게 된다. 특히 남북송유관의 수도권까지의 송유관 효율이 1.7원/배럴-Km일 때와 1.6원/배럴-Km일 때를 비교해보면, 1.6원/배럴-Km일 경우는 송유관 효율이 낮더라도 송유관의 이용량에 변화가 없어 수익성만 감소시킬 수 있다. 송유관 효율이 1.7원/배럴-Km보다 높게 책정되면, 남북송유관의 이용량이 줄고, 인천항의 우회루트를 통한 수송량이 많아져서 경인송유관의 물동량이 늘어나고 남북송유관의 물동량은 감소한다. 송유관 효율이 2.0원/배럴-Km이상일 경우에는 모든 송유관에서 물량감소현상이 발생되었다.

본 분석에서 적정 효율 대안 선택시 주요 고려사항들은 다음과 같다.

첫째, 송유관 건설 취지에 부합하기 위해서는 남북송유관의 수도권 가동률이 높아야 하며, 정상 가동 초기년도인 2000년의 가동률은 50% 이상 되

<표 5-1> 효율 시나리오별 2000년도 송유관 일평균 이용 물동량 및 수익률

시나리오	송유관길이 등급별 송유관 효율 (원/배럴-km)			총거리이용량 (천 배럴-Km/일)	저유소 출하량 (천 배럴/일)			내부수익률 (%)
	1등급	2등급	3등급		전국합계	고양	성남(가동률%)	
A	2.6원	1.9원	1.4원	132,938	559	54	237(58.8%)	3.12
B	2.7원	2.0원	1.5원	132,938	559	54	237(58.8%)	4.03
C	3.0원	2.2원	1.6원	132,125	553	55	230(56.4%)	5.13
D	3.2원	2.3원	1.7원	132,125	553	55	230(56.4%)	6.17
E	3.3원	2.4원	1.8원	120,474	542	73	201(49.3%)	5.81
F	3.6원	2.6원	1.9원	116,398	542	87	187(45.8%)	6.62
G	3.7원	2.7원	2.0원	111,791	525	80	177(43.3%)	6.69
송유능력				218587		130	408(100%)	

주 : 저유소의 배럴당 저유비는 아래와 같이 설정하였음.  
 대한송유관공사 저유비 : 173원/배럴    정유사 저유비 : 206원/배럴(전국), 180원/배럴(수도권)  
 송유관길이 등급은 다음과 같이 설정되었음.  
 1등급 : 200km 미만    2등급 : 200km 이상 400km 미만    3등급 : 400km 이상

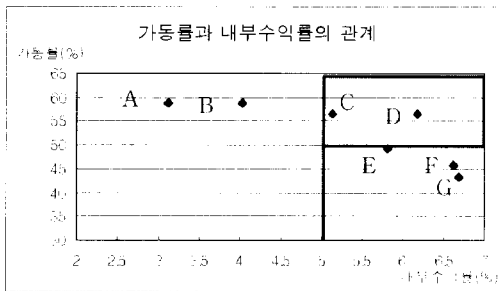
도록 하는 것이 바람직하다.

물론, 내부수익률이 송유관 사업의 수익성 측면에서 볼 때 너무 높아서도 안되지만, 최소한 5% 이상은 되어야 한다.

수도권 구간 가동률은 다음과 같이 산출된다.

남북 송유관의 수도권 구간 가동률

$$= \frac{\text{성남 저유소의 일일 출하량(배럴/일)}}{\text{송유관의 수도권 구간 송유 능력(배럴/일)}}$$



시나리오	(내부수익률, 가동률)
A	(3.12, 58.8)
B	(4.03, 58.8)
C	(5.13, 56.4)
D	(6.17, 56.4)
E	(5.81, 49.3)
F	(6.62, 45.8)
G	(6.69, 43.3)

〈그림 5-1〉 시나리오별 가동률의 내부수익률

〈그림 5-1〉에서와 같이 시나리오별로 남북송유관 수도권 가동률과 내부수익률을 살펴 본 결과, 상기 사항들을 만족하는 대안은 C와 D인데, C보다는 D가 수익률 면에서 우수한 것으로 나타났다. 즉, 남북송유관에서 수도권 구간 송유요율이 1.71원/배럴-Km의 경우가 송유관 가동률과 수익률 측면에서 가장 우수한 것으로 분석되었다.

대한송유관공사의 저유요율을 173원/배럴로 고정시켜 놓고, 송유요율을 보다 세분화하여 0.01원 단위까지 분석한 결과, 수도권까지의 남북송유관의 송유요율이 1.71원/배럴-Km일 때 내부수익률

이 극대화 되는 것으로 분석되었는데, 이때의 내부수익률은 6.44%이었다.

그 다음에는 수도권까지의 남북송유관의 송유요율을 1.71원/배럴-Km로 고정시키고 저유요율을 변경하면서 시뮬레이션한 결과, 저유요율이 185원/배럴일 때 수익률이 극대가 되는 것으로 분석되었다. 이때 내부수익률은 6.67%로 산정되었다. 그리고 이때의 200Km미만 구간에서의 송유요율은 3.29원/배럴-Km, 기타구간에서의 송유요율은 2.36원/배럴-Km이었다.

## 6. 결론

본 연구에서는 송유관 효율결정을 지원하는 시뮬레이션 모형을 구축하였다. 송유관 효율결정 지원모형은 송유관 이용량 산정 모형과 수익성 및 경제성 평가 모형으로 구성된다. 송유관 이용량 산정 모형은 송유관을 이용할 정유사들 간의 이해대립을 감안하였다.

수익성 및 경제성평가 모형은 계획기간에 걸쳐 적용된 여러가지 효율대안에 대해서 손익, 현금흐름, 내부수익률을 산출한다. 이 자료를 바탕으로 송유관 가동률과 수익성에 기초한 적정요율의 기준을 마련할 수 있다. 또한, 여러가지의 송유 및 저유요율에 대한 시뮬레이션을 시도해 볼 수 있도록 송유관 효율결정 지원모형을 Visual BASIC을 이용하여 시뮬레이션 프로그램화하였다.

에너지경제원이 추정한 자료를 토대로 송유관 효율평가 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 송유관 효율 시나리오에 대해서 실험분석을 하였다. 효율 체계로는 "거리등급별 할인요율 방식"을 적용하였다. 실험분석결과 수익성과 수익성을 모두 고려한 적정 송유관 효율로서, 정유공장에서 저유소까지 송유관길이가 200Km 미만인 구간에 대해서는 배럴-km당3.29원, 송유길이가 400km 이상인 수도권 구간에 대해서는 1.71원/배럴-Km, 기타 구간에 대해서는 2.36원/배럴-Km의 송유요율과 185원/배럴의 저유요율을 책정하는 것이 송유관 가동율을 높

이면서 적절한 수익률을 얻을 수 있는 것으로 평가되었다. 그런데 송유 및 저유효율의 결정은 정유사간에 이해가 대립되는 문제이고, 송유관 사업의 공익성 문제, 송유관 사용의 사회적 효과등이 있으므로, 송유관 효율의 최종결정은 대한송유관공사와 각 정유사가 참여하는 송유관 효율결정을 위한 위원회에서 결정하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

본 연구에서 구축된 송유관 효율평가 시뮬레이션 프로그램을 이용하면, 타 수송수단의 수송단가가 변경되거나 수송설비증설로 용량이 증가될 경우 등의 수송환경변화에 대해서도 여러가지 대안 분석을 손쉽게 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 강신민, 전국구간 송유관 건설사업의 투자 효율성 분석에 관한 연구, 고려대학교 석사학위논문, 1991.
- [2] 김종수, 공기업의 가격정책에 관한 연구, 연세대학교 석사학위논문, 1994.
- [3] 대한송유관공사, 전국 송유관 송저유효율 결정(안), 1995.
- [4] 성기석, 박순달, “다수수송 수단의 수송배분 관리용 Package(TRAMOP)의 개발”, 전산활용연구, 1988, pp.117-122.
- [5] 송선용, 지하철 요금 탄력성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문, 1988.
- [6] 에너지경제연구원, 적정송유효율 결정 모델 개발, 1992.
- [7] 에너지경제연구원, 전국송유관의 최적 요금체계 연구, 1996.
- [8] 임채욱, “선형계획법을 이용한 석유제품 수송 최적화 모형의 개발”, 한양대학교 석사학위논문, 1993.
- [9] 정궁모, 지식기반을 적용한 송유관 수요예측 및 송유효율 모형 설계, 숭실대학교 석사학위논문, 1995.
- [10] 한국동력자원연구소, 장거리 송유관 건설 경제성 및 시기에 관한 조사연구, 1985.
- [11] Mitchell, E.J., Oil Pipelines and Public Policy : Analysis of Proposal for Industry Reforms and Reorganization, American Enterprise Institute for Policy Research, Washington, D.C, 1979.
- [12] Office of the Federal Register, Title 18-Conservation of Power and Water Resources, National Archives and Record Administration, 1992.
- [13] Phillips, D.T. and Garcia-Diaz A., *Fundamentals of network analysis*, Prentice-Hall Inc., 1981.