

화주 직접운항 선대의 운영 최적화 분석

김시화* · 이경근**

Operational Optimization Analysis of Industrial Operators' Fleet

Si-Hwa Kim* · Kyung-Keun Lee**

■ Abstract ■

The Industrial operation is one of the three basic modes of shipping operation with Liner and Tramp operations. Industrial operators usually control vessels of their own or on a time charter to minimize the cost of shipping their cargoes. Such operations abound in shipping of bulk commodities, such as oil, chemicals and ores. This work is concerned with an operational optimization analysis of the fleet owned by a major oil company, a typical Industrial operator. The operational optimization problem of the fleet of a major oil company is divided into two phase problem. The front end corresponds to the optimization problem of the transportation of crude oil, product mix, and the distribution of product oil to comply with the demand of the market. The back end tackles the scheduling optimization problem of the fleet to meet the seaborne transportation demand derived from the front end. A case study reflecting the practices of an international major oil company is demonstrated to make clear the underlying ideas.

1. 서 론

화주 직접운항(Industrial operation)이란 정기선 운항(Liner operation) 및 부정기선 운항(Tramp operation)과 함께 세계 상선대(World merchant

fleet)의 선박 운항의 세 가지 주요 유형 중에 하나를 일컫는다. 이는 20세기초에 독점 제조공업회사 및 석유회사들이 자사에서 필요로 하는 원자재와 자사의 완제품을 자기 소유선박으로 운송하기 위하여 해운업을 그 산하에 거느리게 된 것이 그

* 한국해양대학교 해사수송과학부 교수

** 부산대학교 산업공학과 교수

효시이다. 1, 2차 세계대전을 거치면서 세계적인 철강산업 및 석유산업 회사들은 점증하는 자사화물의 해상수송 수요를 충족시킬 선복량을 공개 해운시장에만 의존할 수 없게 되었으며, 특히 조선공업의 눈부신 발전은 더욱 화주 직접운항 해운의 선대확보를 촉진하였다.

화주 직접운항 해운의 등장과 발전은 관련 제조생산업이 해운시장을 주도하게 하였고, 상대적으로 해운의 자유시장의 폭이 좁아지게 하였으며, 해운의 기술혁신이 해운기업이 아닌 그 모기업의 유통비 및 생산비 절감을 위한 합리화 노력의 일환으로 진전하게 만드는 결과들을 가져왔다.

유조선 해운기업은 화주 직접운항의 대표적인 예가 된다. 흔히 메이저 석유회사(Major oil company)라 하면, 석유의 개발부터 생산, 정제, 판매에 이르기까지 석유산업의 일체 흐름을 다국적 산업화하여 카르텔을 형성하여 지배하였던 대규모의 석유회사들을 지칭한다. 유조선 해운기업은 자사화물을 적시에 수송할 선복량을 공개 해운시장에만 의존할 수 없게 된 메이저 석유회사가 경제적·안정적으로 원유 및 제품유를 수송하고자 직접 유조선(Tanker)을 보유하거나, 산하회사로 하여금 'Industrial operator'가 되어 유조선대(Tanker fleet)를 운항하게 한 형태로부터 발전하였다.

선대의 운영 최적화 분석에 관한 가장 고전적인 연구로는 주어진 수송수요를 충족시킬 수 있는 동형(Homogeneous) 유조선의 최소 척수를 결정하는 문제를 히치코크 수송 모형으로 해결한 Dantzig & Fulkerson(1954)의 연구를 들 수 있다. Briskin(1966)과 Bellmore(1968)는 이를 다시 일반화된 선형계획 모형으로 정식화하였다. 부정기선 운항의 선대 운영에 관한 연구로는 Laderman 등(1966)은 오대호의 다양한 항만 간 화물들을 수송하는 회사

가 최소의 선박으로 수송수요를 만족시키는 문제를 선형계획모형으로 정식화하였으며, Whiton(1967)은 이 모형에 항만 수용능력 및 화물 취급능력 등에 관한 제약조건을 추가하여 연구하였다. Appelgren(1969, 1971)은 전형적인 부정기선 운항 문제에 대하여 0-1 정수계획 모형으로 최적운항일정계획을 구하였다. Ronen(79)은 단일 지역에서 발생하는 화물의 수송을 위한 선대운영 문제를 비선형 정수계획법으로 정식화하였으며, Baker(1981)는 단일 정유공장에서 다수 수요항까지 석유제품 분배를 위한 선박 운항일정계획 문제를 선형계획모형으로 정식화하였다. 그리고 부정기선 운항의 경우에 대하여 Miller(1987), Brown 등(1987), Fisher & Rosenwein(1989), Bausch 등(1991)은 Mainframe, VAX, 그리고 마이크로 컴퓨터 등에 접목할 수 있는 대화형 선박 운항일정계획 시스템의 구축에 관하여 다루었으며, Kim & Lee(1997)는 최적화모형을 기반으로 하는 선박 운항일정계획 의사결정지원시스템을 개발하였다.

본 논문은 석유회사의 유조선 해운기업이 Industrial operator가 되는 화주 직접운항 선대 운영의 최적화문제를 다루고자 한다. 앞에서 말한 선행연구 중 Baker(1981)의 경우, 단일 정유공장에서 다수 수요항까지 석유제품 분배를 위한 선박 운항일정계획 문제를 다루었지만, 이 연구에서는 모기업인 석유회사의 원유의 도입과 정제 및 제품유의 판매에 이르는 과정에서 발생하는 원유 및 제품유에 대한 해상수송비의 절감을 위해, 산하의 유조선 해운기업 선대의 운영을 전사적으로 최적화하는 문제를 다룬다. 그리고 이 연구의 내용은 세계적 철강회사들이 그 산하에 해운기업을 보유하면서 원광의 도입 및 제련과 철강제품의 생산 및 판매과정에서 발생하는 해사수

송비의 절감을 추구하는 등의 일반적인 화주 직접운항 선대운영의 최적화 문제에 마찬가지로 적용할 수 있을 것이다.

2. 문제의 개요

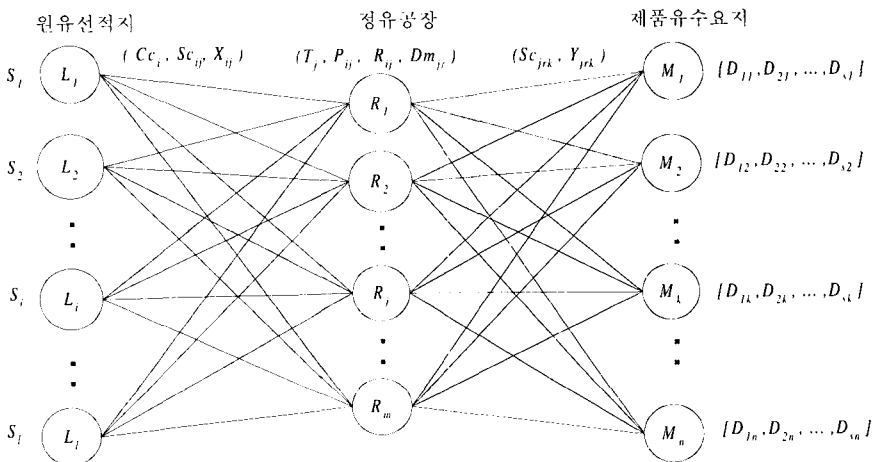
세계의 메이저 석유회사들은 원유의 생산 및 도입, 정제, 그리고 제품유의 판매 전 과정에 관여하며, 자사의 원유 및 제품유의 수송을 위한 유조선 해운기업을 산하에 두고 있다. 이들은 원유의 생산 또는 도입과 정제 여건, 자사 제품유의 주요 수요지 여건 등을 고려하여 세계의 도처에 정유공장을 둔다. 원유 도입의 대부분은 자사 제품유의 분기별 및 연간 수요와 전략적인 비축을 고려하여 산유지와 장기 원유수급 계약(Contract of affreightment)을 맺어 이루어진다. 메이저 석유회사는 도입 원유를 정제하여 제품유를 생산하고 배분하는 수송, 정제, 배분을 전사적으로 최적화하려 할 것이다. 결국, 메이저 석유회사의 유조선 해운 선대운영 최적화 문제는 메이저 석유회사의 전사적 수송, 생산, 배분의 최적화의 결과로 발생하는 원유 및 제품유의 해사수송을 최적화하는 것이다.

따라서 이 논문은 메이저 석유회사 또는 철강회사 등에서 유사한 사례가 발생하는 화주 직접운항 선대운영의 최적화 문제를 해결하기 위해 먼저 그 전반에 놓여 있는 모기업의 원자재 수송, 생산, 그리고 배분을 전사적으로 최적화하는 문제를 다루고 여기서 발생하는 원자재 및 제품의 수송수요를 해사수송의 특성을 고려하여 충족시키기 위한 화주 직접운항 선대의 최적 운항일정계획을 구하고자 한다.

2.1 모기업의 생산·운영최적화 문제

메이저 석유회사는 세계에 흩어져 있는 자사 제품유 시장에서의 예측수요, 원유 및 제품유의 안전재고 확보, 산유지로부터의 원유수급 가능량, 각 정유공장의 처리능력, 자사 보유선대의 규모, 저유시설의 저장능력, 그리고 경제적인 재고관리 등을 고려하여 장·단기별 원유 수급 전략과 정유공장의 연간 생산·운영계획을 수립하게 된다. 이러한 연간 생산계획은 세부적인 분기별 생산·운영계획의 기초가 된다.

[그림 1]은 이러한 메이저 석유회사의 원유 수송, 정제, 제품유 배분 네트워크를 보여주고 있다.



[그림 1] 메이저 석유회사의 수송, 정제, 배분 네트워크

메이저 석유 회사는 서로 다른 l 곳의 원유 선적지로부터 원유를 선적하여 m 개의 서로 다른 정유 공장으로 수송할 수 있고, 각 정유공장에서는 정제공정을 통하여 s 가지의 서로 다른 제품유를 종류별로 생산하여 n 개의 수요지까지 배분하여 판매한다. 이러한 수송-정제-배분 문제의 최적화 모형은 선형계획모형으로 구축할 수 있다. 뿐만 아니라, 메이저 석유회사의 전사적 생산·운영최적화를 위한 다양한 목표들을 고려하여 목표계획모형으로 문제를 해결할 수도 있다. [그림 1]에 나타난 기호와 이러한 문제의 정식화를 위해 필요한 기호 및 자료를 정리하면 다음과 같다.

[기 호]

- L_i : 원유 선적지 i ($i = 1, 2, 3, \dots, l$)
- R_j : 정유공장 j ($j = 1, 2, 3, \dots, m$)
- M_k : 제품유 해외 수요 시장 k ($k = 1, 2, 3, \dots, n$)
- r : 제품유의 종류 ($r = 1, 2, 3, \dots, s$)

[자 료]

- Cc_i : 원유 선적지 i 의 원유의 가격(\$/B)
- Sc_{ij} : 원유 선적지 i 로부터 정유공장 j 까지의 자사선대에 의한 원유의 수송비용(\$/B)
- Sc_{jrk} : 정유공장 j 로부터 제품유 r 을 수요지 k 까지 수송하는 비용(\$/B)
- S_i : 원유 선적지 i 에서 장기 원유수급 계약에 따른 원유의 최대 적재가능량(B/D)
- P_{ij} : 선적지 i 로부터의 원유를 정유공장 j 에서 정제하는 비용 (\$/B)
- T_j : 정유공장 j 에서의 원유 정제 처리 능력 (B/D)
- G_{rj} : 선적지 i 의 원유를 정유공장 j 에서 정제할 때, 제품유 r 의 원유 1배럴 당 생산

비율

- Hc_{ij} : 선적지 i 원유의 정유공장 j 에서의 재고비용(\$/B/D)
- Hp_{jr} : 정유공장 j 에서의 제품유 r 의 재고비용 (\$/B/D)
- Ico_{ij} : 선적지 i 원유의 정유공장 j 에서의 초기 재고량(B/D)
- Ipo_{jr} : 정유공장 j 에서의 제품유 r 의 초기 재고량(B/D)
- Stp_{jr} : 정유공장 j 에서의 제품유 r 의 안전재고 수준(B/D)
- Stc_j : 정유공장 j 에서의 원유의 안전재고 수준 (B/D)
- D_{rk} : 해외수요지 k 시장에서의 제품유 r 의 수요량(B/D)
- Dm_{jr} : 정유공장 j 에서의 제품유 r 의 내수 수요량(B/D)

2.1.1 선형계획모형[모형 P-1]

메이저 석유회사는 연간 생산·운영계획을 바탕으로 원유를 도입하고 각 정유공장에서 이를 정제 처리하여 제품유 시장의 수요를 만족시키면서 원유 및 제품유의 안전재고 유지하기 위해 분기별 생산·운영계획을 최적화하고자 한다. 이때, 원유의 도입비용 및 수송비용, 제품유 정제비용, 제품유 수송비용, 그리고 재고비용 등 비용의 총합을 최소화하고자 하는 선형계획모형을 수립하면 다음과 같다.

[의사결정변수]

- X_{ij} : 자사선대로 원유 선적지 i 로부터 정유공장 j 에 공급되는 원유의 양(B/D)
- R_{ij} : 선적지 i 의 원유가 정유공장 j 에서 정제 처리되는 양(B/D)

Y_{jrk} : 정유공장 j 에서 정제된 제품유 r 이 해외 수요시장 k 로 배분되는 양(B/D)

Ic_{ij} : 선적지 i 원유의 정유공장 j 에서의 재고량(B/D)

Ip_{jr} : 정유공장 j 에서의 제품유 r 의 재고량(B/D)

[모형 P-1]

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_i \sum_j (Cc_i + Sc_{ij})X_{ij} \\ & + \sum_i \sum_j P_{ij}R_{ij} + \sum_j \sum_r \sum_k Sc_{jrk} Y_{jrk} \\ & + \sum_i \sum_j Hc_{ij}Ic_{ij} + \sum_j \sum_r Hp_{jr}Ip_{jr} \end{aligned}$$

s. t.

$$\sum_j X_{ij} \leq S_i \quad (\text{for all } i)$$

$$\sum_i R_{ij} \leq T_j \quad (\text{for all } j)$$

$$\sum_j Y_{jrk} \geq D_{rk} \quad (\text{for all } k, r)$$

$$\begin{aligned} \sum_i G_{rij}R_{ij} - \sum_k Y_{jrk} + Ip_{jr} - Ip_{jr} \\ = Dm_{jr} \quad (\text{for all } r, j) \end{aligned}$$

$$X_{ij} - R_{ij} + Ico_{ij} - Ic_{ij} = 0 \quad (\text{for all } i, j)$$

$$\sum_i Ic_{ij} \geq Stc_j \quad (\text{for all } j)$$

$$Ip_{jr} \geq Stp_{jr} \quad (\text{for all } j, r)$$

$$X_{ij}, R_{ij}, Y_{jrk}, Ic_{ij}, Ip_{jr} \geq 0$$

(for all i, j, k, r)

2.1.2 목표계획모형[모형 P-2]의 구축

[모형 P-1]의 목적함수의 첫째 항과 셋째 항에는 원유 및 제품유의 해사수송 비용이 들어 있다. 이때 고려한 Sc_{ij} 및 Sp_{jrk} 는 유조선 운임시장에서 75,000 DWT의 표준 유조선을 기준으로 산정한 명목운임률 New World Scale (New Worldwide Tanker Nominal Freight Scale의 약어)을 지표로 삼아 대표적인 선적항과 양하항들을 기준으로 구한 값이다. 그러나 실제로 발생하는 원유 및 제품

유의 해사수송 비용은 선적화물 롯(lot)의 크기와 선적항 및 양하항이 정확히 정해질 때 알 수 있다. 그래서 해사수송 비용에 관한 문제는 계획기간 중의 수송량 X_{ij} 와 Y_{jrk} 를 적절한 해사수송 화물 롯으로 나누어 선적계획을 수립한 후에 다시 고려되어야 한다. 경우에 따라서는 [모형 P-1]이 실행 불가능일 수도 있다. 따라서 그림 1과 같은 수송-정제-배분 문제의 최적해를 [모형 P-1]에만 의존할 수 없다. 이러한 문제들을 보완하기 위하여 다음과 같은 메이저 석유회사의 생산·운영 최적화 목표들을 고려한 목표계획모형을 구축한다.

- 1) 제품유의 해외시장의 수요 충족
- 2) 계획 기간 중의 전사적 생산·운영 비용 통제
- 3) 장기 원유수급 계약에 따른 최대 원유 선적량 초과 억제
- 4) 정유공장의 정제처리 능력 초과 억제
- 5) 원유 및 제품유의 안전재고의 확보

이때, 목표 1)은 메이저 석유회사와 안정적인 수급계약을 맺은 고객들에 대하여 우선적으로 제품유를 공급하여야 하는 목표를 말한다. 목표 2)의 생산·운영 비용 통제를 위한 목표치는 계획 분기의 생산·운영 비용예산(\$/D)으로 둔다. 이 값은 [모형 P-1]이 실행 가능한 경우에는 그 최적 목적함수의 값에 대하여 이를테면 5-10% 증감한 비용예산액 등을 산정할 수도 있다. 목표 3)의 장기 원유수급 계약에 따른 최대 원유 선적량을 초과하는 경우에는 그 초과분을 현물시장(spot market)에서 조달하는 등 다른 원유도입 대책에 따르는 비용이 발생한다. 목표 4)의 정유공장의 정제처리 능력은 성수기와 비수기에 따라 다르며 비수기에는 가동률을 낮추고 정유시설의 보수 정비를 계획하게 된다. 정제처리 능력 초과분에 대하여는 특근에 의한 가동률 향상 또는 타사와의 위탁처리를 고려하여야 하며 이에 따르는 비용이 발생한다. 그리고 목

표 5)의 원유 및 제품유의 안전재고 확보의 목표는 미달일 때에 문제가 되며 초과인 경우는 재고비용의 요소를 목적함수에 추가함으로써 억제하도록 하였다. 이러한 목표들에 대한 미달치 또는 초과 달성치들에 대하여 적절한 가중치를 주고 가중합계모형의 목표계획법으로 전사적 생산·운영최적화 모형을 구축하면 다음과 같은 [모형 P-2]를 만들 수 있다.

[자 료]

- B : 계획 분기의 생산·운영 비용예산(\$/D)
 W_i : 원유 선적지 i 에서의 최대 원유 선적량 초과에 따르는 가중치(\$/B/D)
 W_j : 정유공장의 j 에서의 정제처리 능력 초과에 따르는 가중치(\$/B/D)
 Uc_j : 정유공장 j 에서의 원유의 안전재고 확보 부족에 따르는 가중치(\$/B/D)
 Up_{jr} : 정유공장의 j 에서의 제품유 r 의 안전재고에 확보 부족에 따르는 가중치(\$/B/D)

[모형 P-2]

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & dB^+ + \sum_j W_i dS_i^+ + \sum_j W_j dT_j^+ \\ & + \sum_j Uc_j dStc_j^- \\ & + \sum_j \sum_r Up_{jr} dStp_{jr}^- \\ & + \sum_i \sum_j Hc_{ij} Ic_{ij} + \sum_j \sum_r Hp_{jr} Ip_{jr} \end{aligned}$$

s. t.

$$\begin{aligned} \sum_j Y_{jrk} &= D_{rk} \quad (\text{for all } k, r) \\ \sum_i \sum_j (Cc_i + Sc_{ij}) X_{ij} + \sum_i \sum_j P_{ij} R_{ij} \\ &+ \sum_j \sum_r \sum_k Sc_{jrk} Y_{jrk} - dB^+ + dB^- = B \\ \sum_j X_{ij} - dS_i^+ + dS_i^- &= S_i \quad (\text{for all } i) \\ \sum_j R_{ij} - dT_j^+ + dT_j^- &= T_j \quad (\text{for all } j) \end{aligned}$$

$$\sum_j Ic_{ij} - dStc_j^+ + dStc_j^- = Stc_j \quad (\text{for all } j)$$

$$Ip_{jr} - dStp_{jr}^+ + dStp_{jr}^- = Stp_{jr} \quad (\text{for all } j, r)$$

$$X_{ij} - R_{ij} + Ico_{ij} - Ic_{ij} = 0 \quad (\text{for all } i, j)$$

$$\sum_r G_{rij} R_{ij} - \sum_k Y_{jrk} + Ipo_{jr} - Ip_{jr}$$

$$= Dm_{jr} \quad (\text{for all } r, j)$$

Nonnegativity constraints (for all variables)

[모형 P-2]의 목적함수에 사용되는 가중치들은 정확히 산정하기가 어려운 경우가 많다. 따라서 이러한 가중치를 적절히 조정하여 여러 가지 생산·운영 안을 만들어 최종적인 의사결정을 내리도록 경영의사결정을 지원하는 보조과정이 필요할 것이다. 가령, 위의 여러 목표들 중 우선적으로 만족시켜야 하는 것이 있다면 목표 초과치 및 미달치에 해당하는 변수를 모형에서 제거하고 그 목표계획 제약식을 등식으로 두면 된다. 생산·운영 비용 통제를 위한 목표계획 제약식에서 재고비용의 항을 제외시킨 것은 그것이 목적함수에 반영되어 있기 때문이다. [모형 P-1]이 실행가능일 경우에는 그 최적해의 사후분석 자료로부터 [모형 P-2]의 목적함수에 사용되는 가중치들을 조정하기에 유용한 정보들을 얻을 수도 있다.

2.2 선대의 운항일정계획 최적화 문제

[모형 P-1]과 [모형 P-2]를 이용하여 구한 원유 및 제품유의 수송량 X_{ij} , Y_{jrk} 를 계획기간 중의 수송수요로 보고 이들의 해상수송을 위한 발주비용과 재고비용을 고려하여 단순한 EOQ 모형으로 각 선적항과 도착항 간의 각 항만간의 해상수송 화물 룯을 구할 수도 있으나, 유조선의 특성상 화물 룯의 크기에 따라 운임률이 차이가 있어서 가격할인(Quantity discount)의 개념도 반영하여야 한다. 발주비용도 선적항과 도착항의 특성에 따라 서로 다

른 하역비 및 도선비를 포함하는 제항비와 선대 내의 선박의 제특성을 고려하여야 한다. 그리고 원유 선적지의 선적여건과 제품유 수요지에서의 수요여건을 보다 세밀하게 반영하여 선적계획을 수립하여야 하므로 적절한 선적계획을 위한 전문가시스템을 구축하는 것이 바람직하다. 선대운영 최적화 문제는 이처럼 각 선적항과 도착항 간의 해상수송 화물 뚫으로 나누어 수립한 선적계획으로부터 화물(Cargoes), 항만(Ports), 선박(Ships), 그리고 비용(Costs) 요소들을 고려하여 선대의 최적 선박운항일정계획을 구하는 것이다.

선박운항일정계획을 위한 연구로는 전형적인 부정기선 운항일정계획문제를 집합 분할 문제(Set Partitioning Problem) 또는 집합 패킹 문제(Set Packing Problem)와 같은 0-1 정수계획 모형으로 정식화한 Appelgren(1969, 1971)의 연구가 그 효시이며, Brown 등(1987)과 Fisher & Rosenwein (1989)이 유사한 선박운항일정계획 최적화모형을 제안하였다. Kim & Lee(1997)는 부정기선 운항 또는 화주 직접운항 유형의 선박 운항일정계획 최적화 문제에 함께 적용할 수 있는 일반화한 최적화모형을 제안한 바 있다. 전술한대로 메이저 석유회사의 계획 기간 중의 해상수송 수요로부터 화물, 항만, 선박, 그리고 비용요소들을 포함하는 선적계획이 수립되면, 선대내의 선박의 최적운항일정계획 문제는 다음과 같은 집합 패킹(Set Packing) 모형으로 표현할 수 있다.

2.2.1 선박 운항일정계획 최적화모형[모형-SPP]

화주 직접운항 선대 내의 선박의 운항일정계획 최적화모형을 위한 기호 및 자료들은 다음과 같이 정리한다.

[기 호]

- $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 선적 화물 뚫(lot)
- $k = 1, 2, 3, \dots, l$ 화주 직접운항 선대의 선박
- $J_k =$ 계획기간 중의 임의의 선박 k 의 운항가능 일정의 집합

[자 료]

$$q_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{만일 선박 } k \text{가 운항일정 } j \text{에} \\ & \text{따라 화물 } i \text{를 수송할 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우.} \end{cases}$$

$p_i =$ 타선박을 용선하여 화물 i 를 수송할 경우 지불하여야 할 운임

$h_{jk} =$ 선대내의 선박 k 를 운항일정 j 에 투입할 경우의 운항비

[의사결정 변수]

$$y_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{만일 선박 } k \text{가 운항일정} \\ & j \text{에 투입될 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우.} \end{cases}$$

[모형 SPP]

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_k \sum_{j \in J_k} h_{jk} y_{jk} \\ &+ \sum_i (1 - \sum_{j \in J_k} \sum_k q_{ijk} y_{jk}) p_i \\ \text{s. t. } &\sum_{j \in J_k} y_{jk} \leq 1 \quad \text{각 선박 } k \text{에 대하여} \\ &\sum_k \sum_{j \in J_k} q_{ijk} y_{jk} \leq 1 \quad \text{각 화물 } i \text{에 대하여} \\ &y_{jk} = \{0, 1\}, j \in J_k \quad \text{각 선박 } k \text{에 대하여} \end{aligned}$$

목적함수의 첫째 항은 Industrial operator의 입장에서 살펴보면 화물의 수송에 투입된 선박의 운항비에 해당되는 비용의 항이 되며, 둘째 항은 자사화물을 자사선대로 수송하지 못한 화물에 대하여 지출해야 할 운임 즉, 기회비용의 항이므로, 이 목적함수를 최소화하는 문제로 표현한 것이다. 그리고, 첫째 제약식은 계획기간 동안에 보유 선대의 각 선박은 운항에 투입되지 않거나 투입되어도 단

지 하나의 운항일정에 배정됨을 나타내며, 둘째 제약식은 각 화물은 보유선대의 선박에 의해 수송된다면 단지 하나의 선박에 의해 수송되도록 한다는 제약조건이다. 이 [모형-SPP]를 이용하여 Industrial operator인 메이저 석유회사는 원유선대 및 제품유선대를 이용하여 계획기간 중의 해상수송 수요를 가장 경제적으로 충족시키기 위한 선대운영 최적화문제를 해결할 수 있다.

2.2.2 선박 운항일정계획 최적화모형[모형-SPP]의 해

[모형-SPP]를 이용하여 메이저 석유회사의 원유선대 및 제품유선대의 최적운항일정계획을 구하려면, 먼저 [모형-SPP]의 의사결정변수 곧, 선대 내의 임의의 선박 k 에 대한 운항가능일정 집합 J_k 를 생성하여야 한다. Kim & Lee(1996)는 화물, 항만, 선박, 그리고 비용 요소들을 포함하는 선박운항일정계획 문제에 대하여, 선박의 운항가능일정생성 그래프를 정의하고 깊이 우선탐색 그래프 순회 알고리즘을 이용하여 각 선박의 모든 운항가능일정집합을 구하였으며, 또한 [모형-SPP]와 같은 최적화 모형을 기반으

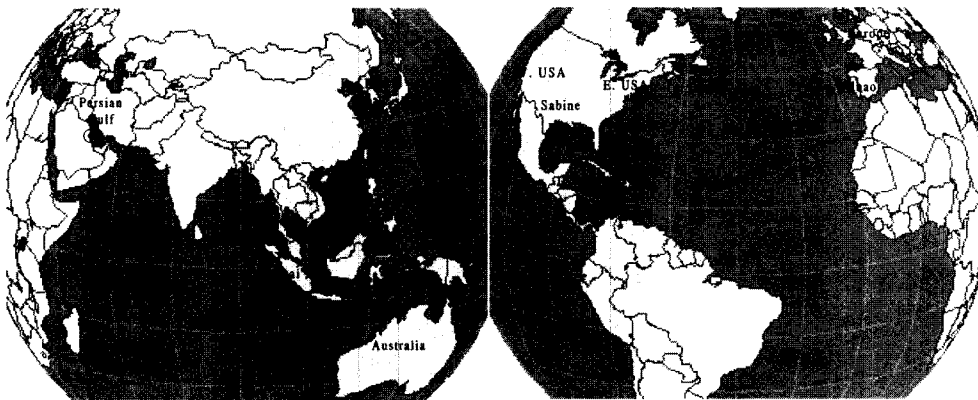
로 하는 선박운항일정계획 의사결정 지원시스템을 개발하였다. 메이저 석유회사의 원유선대 및 제품유선대의 최적운항일정계획은 이 시스템을 이용하여 구한다.

3. 사례 연구

3.1 LK-Petroleum사의 사례 자료

세계적인 메이저 석유회사인 LK-Petroleum사는 [그림 2]에 나타나 있는 것과 같이 North Sea, Caribbean Sea, Persian Gulf 등 세곳의 주요 원유 선적지로부터 장기운송계약에 따라 원유를 적재하여, 미국의 Sabine, 스페인의 Bilbao 및 인도네시아의 Dumai에 위치한 세 정유공장까지 수송하고, 이를 정제하여 네 종류의 주요 제품유(Morgas, Diesel, B-C, Naphtha)를 정유공장 현지의 내수시장에 판매할 뿐만 아니라, 해상수송을 통하여 미주 동, 서부, 유럽, 극동지역, 호주 등의 시장으로 판매하고 있다.

이러한 LK-Petroleum사의 1/4분기 계획을 위해 정리하여야 할 자료들은 다음과 같다.



[그림 2] LK-Petroleum사의 정유공장 및 주요 원유 선적지역
(★ : 정유공장, ⊙ : 원유 선적지역)

3.1.1 원유의 적재, 수송 및 정제에 관한 자료

원유 선적지 i 의 원유가격 C_i (\$/B), 원유 선적지와 정유공장 간의 원유 수송비 S_{Cij} (\$/B), 정유공장에서 정제처리 비용 P_{ij} (\$/B), 원유 선적지에서의 최대 적재가능량 S_i (B/D), 그리고 선적지별 원유 가격 (\$/B)에 관한 자료들이 필요하다. 원유 수송비의 경우 97년 1월 발행의 New World Scale을 참조하여 산정하였다. 그리고 각 정유공장에서 정제처리 공정을 통하여 제품유를 생산할 때, 제품유의 산지별 원유 배럴당 생산비율 G_{ij} 와 정유공장의 정제처리능력 T_j (B/D)에 관한 자료도 필요하다.

3.1.2 제품유의 해사수송 비용과 해외시장 및 내수 수요

정유공장에서부터 해외 수요시장 지역까지의 제품유의 해사수송 비용 S_{Crk} (\$/B), 제품유의 해외시장 수요 D_{rk} (B/D)와 내수수요 Dm_{jr} (B/D) 등의 자료도 정리하였다.

3.1.3 원유 및 제품유의 재고 관련 자료

각 정유공장에서의 원유의 안전재고 수준 Stc_j (B/D), 초기재고량 Ico_{vj} (B/D), 및 재고비용 Hc_{vj} (\$/B/D)에 관한 내용과 각 정유공장에서의 제품유의 안전재고 수준 Stp_{jr} (B/D), 초기 재고량 Ipo_{jr} (B/D), 및 재고비용 Hp_{jr} (\$/B/D)에 관한 내용

도 정리하였다.

3.1.4 목표계획모형 관련 자료

마지막으로, [모형 P-2]의 목표계획모형에 관련된 자료 중 제품유의 안전재고 확보 부족에 따르는 가중치 Up_{jr} (\$/B/D), 원유의 안전재고 확보 부족에 따르는 가중치 Uc_j (\$/B/D), 정유공장의 정제처리 능력 초과에 따르는 가중치 W_j (\$/B/D), 원유 선적지에서의 최대 원유 선적량 초과에 따르는 가중치 W_i (\$/B/D), 그리고 계획 분기의 생산·운영 비용 통제를 위한 목표액 B (\$/D)등의 예를 정리한 것이 <표 1>이다.

이상에서 설명한 모든 자료들은 지면 관계로 생략하였으나, 이를 필요로 하는 연구자들에게는 관련자료들을 제공할 수 있다.

3.2 LK-Petroleum의 생산·운영의 최적화

LK-Petroleum사의 1/4분기 생산·운영의 최적화를 계획할 위해 준비한 자료들을 바탕으로 [모형 P-1]을 구축하여 해를 구해 본 결과는 실행 불가능한 것으로 나타났다. 그래서 <표 1>에 나타나 있는 자료를 이용하여 [모형 P-2]의 해를 구한 것을 정리하면 <표 2>, <표 3>, 그리고 <표 4>과 같다.

<표 1> [모형 P-2]의 목적함수의 가중치 자료 및 생산·운영 비용 목표액 B

제품유 r 정유공장 j	가중치 Up_{jr} (\$/B/D)				가중치 W_j (\$/B/D)	가중치 Uc_j (\$/B/D)
	휘발유	경유	B-C	나프타		
USA(Sabine)	25	24	19	23	20.2	15.9
Spain(Bilbao)	25	23	17	22	20.4	16.4
Indonesia(Dumai)	25	24	18	22	21.7	16.4
원유산지 i	North Sea	Caribbean Sea	Persian Gulf	생산·운영비용 목표액 B (\$/D)		
가중치 W_i (\$/B/D)	23.9	24.6	24.6	9,000,000		

〈표 2〉 원유 선적지 i 와 정유공장 j 간의 원유 수송량 X_{ij} (B/D)와 정제 처리량 R_{ij} (B/D)

원유 수송량 X_{ij} (B/D)					정제 처리량 R_{ij} (B/D)						
i	j	USA (Sabine)	Spain (Bilbao)	Indonesia (Dumai)	Total S_i (B/D)	j	i	North Sea	Caribbean Sea	Persian Gulf	Total T_j (B/D)
North Sea	-	170,000	-	-	170,000	USA (Sabine)	4,000	185,500	10,500	200,000	200,000
					170,000					200,000	
Caribbean Sea	180,000	-	-	-	180,000	Spain (Bilbao)	172,500	3,000	4,500	180,000	180,000
					180,000					180,000	
Persian Gulf	20,500	9,000	163,127	163,127	192,627	Indonesia (Dumai)	-	-	-	163,127	160,000
					210,000					160,000	
Total	200,500	179,000	163,127	163,127	542,627	Total	176,500	188,500	178,127	543,127	540,000
					560,000					540,000	

〈표 3〉 정유공장과 해외 수요시장 간의 제품유 수송량 Y_{jrk} (B/D)

제품유 r	해외 시장 k 정유공장 j	제품유 수송량 Y_{jrk} (B/D)					해 내수 Dm_{jr} (B/D)
		West USA	East USA	Europe	Far East Asia	Australia	
휘발유	USA(Sabine)	17,400	7,957	-	-	6,616	9,800
	Spain(Bilbao)	-	2,243	19,000	-	-	8,600
	Indonesia(Dumai)	-	-	-	14,500	6,084	7,456
	해	17,400	10,200	19,000	14,500	12,700	25,856
	해외수요 D_{rk}	17,400	10,200	19,000	14,500	12,700	26,400
경유	USA(Sabine)	25,400	8,575	-	-	439	14,000
	Spain(Bilbao)	-	10,425	22,000	-	-	14,500
	Indonesia(Dumai)	-	-	-	18,000	13,761	11,600
	해	25,400	19,000	22,000	18,000	14,200	40,100
	해외수요 D_{rk}	25,400	19,000	22,000	18,000	14,200	40,900
B-C	USA(Sabine)	22,500	-	-	-	14,215	15,700
	Spain(Bilbao)	-	20,500	23,000	-	1,884	13,500
	Indonesia(Dumai)	-	-	-	26,500	1,401	16,800
	해	22,500	20,500	23,000	26,500	17,500	46,000
	해외수요 D_{rk}	22,500	20,500	23,000	26,500	17,500	46,000
나프타	USA(Sabine)	16,500	14,200	-	-	-	12,500
	Spain(Bilbao)	-	-	12,700	-	-	10,600
	Indonesia(Dumai)	-	-	-	17,000	12,700	9,800
	해	16,500	14,200	12,700	17,000	12,700	32,900
	해외수요 D_{rk}	16,500	14,200	12,700	17,000	12,700	33,900

<표 4> 원유 및 제품유의 재고수준 (B/D) 및 총 생산·운영비용(\$/D)

정유 공장 j	제품유의 재고 수준 (B/D)								원유의 재고 수준 (B/D)			
	현 재고 수준 Ip_{jr}				안전 재고 수준 Stp_{jr}				현 재고수준 Ic_{ij} (B/D)			안전 재고 수준 Stc_j
	휘발유	경유	B-C	나프타	휘발유	경유	B-C	나프타	원유선적지 i			
									North Sea	Carib. Sea	Persian Gulf	
USA (Sabine)	2,000	-	2,700	10,265	2,000	2,700	2,700	2,000	-	-	10,000	10,000
Spain (Bilbao)	10,722	-	2,400	8,075	1,600	2,400	2,400	1,800	-	-	9,000	9,000
Indonesia (Dumai)	1,500	-	801	14,201	1,500	2,500	2,700	2,500	1,500	-	6,500	8,000
생산·운영 비용목표 (\$/D)		9,000,000				목적함수 값 (\$/D)		311,656		총 생산·운영 비용 (\$/D)		9,311,656

[모형 P-1]의 해가 실행 불가능할 경우는 자주 발생할 수 있다. 왜냐하면 정유공장에서 원유 배럴 당 각 제품유를 생산하는 비율과 각 제품유의 실제 수요량의 비율이 다른 경우가 많고, 그 격차가 키질 때에는 [모형 P-1]의 여러 제약식들이 서로 상충할 수 있기 때문이다.

<표 2>, <표 3>, 그리고 <표 4>에 나타난 결과를 살펴보면 각 정유공장은 원유의 안전재고를 확보하고 있으며, 정제 처리능력의 경우 USA(Sabine)와 Spain(Bilbao)의 정유공장은 정상 정제 처리능력을 다 사용하고 있는 반면에 Indonesia(Dumai)의 정유공장은 계획 기간 중의 정상적인 처리능력보다 3,127(B/D)만큼 초과하였다. 그리고 각 정유공장 인근 지역의 내수수요는 Indonesia(Dumai)의 경우 외에는 다 충족되었으며, Indonesia(Dumai)지역 내수수요 중 휘발유, 경유 및 나프타의 수요를 다소 충족시키지 못하고 있다. 제품유 재고의 경우 나프타는 모든 정유공장에서 안전재고의 4-6배의 재고를 보유하고 있는 반면에, 경유는 모든 정유공장에서 안전재고를 확보하지 못한 채 바닥이 났으며, 휘발유는 Spain(Bilbao)의 정유공장에서 안전재고 수준의 4배 정도에 이르는 재고를 보유하고 있다. 이런 사후 분석의 문제들도 합리적인 의사결정 보조과정을 거치면 별 어려움이 없이 해결할 수

있다. 따라서, [모형 P-2]는 [모형 P-1]이 안고 있는 문제점들 뿐만 아니라, LK-Petroleum사와 같은 메이저 석유회사의 전사적 생산·운영최적화 문제를 해결하는 데 아주 유용한 모형임을 알 수 있다. LK-Petroleum사가 위와 같은 1/4분기 생산·운영 계획을 따를 경우, 그 총 생산·운영 비용은 [모형 P-2]의 생산·운영 비용 통제를 위한 목표액 9,000,000 (\$/D)에다 [모형 P-2]의 목적함수의 가중치 합계액 311,656(\$/D)를 더한 9,311,656 (\$/D)가 된다.

3.3 LK 해운(LK-Shipping)의 선대운영의 최적화

이제 LK 해운의 운항기획 팀에서는 [모형 P-1]과 [모형 P-2]를 이용하여 구한 원유 및 제품유의 계획기간 중의 수송량 X_{ij} , Y_{jrk} 를 계획기간 중의 수송수요로 보고, EOQ 모형과 해사수송의 제 특성을 고려하여 적절한 해사수송 화물 붓으로 나누어 선적계획을 수립하는 선적계획 전문가시스템으로 <표 5> 및 <표 6>과 같은 선적계획을 수립하였다. <표 5>는 원유의 선적계획을 양방향별로 구분하여 나타낸 것으로 Bilbao, Dumai, Sabine항에 양하될 원유 화물이 각각 11개, 9개, 12개이며 원유

〈표 5〉 원유의 양하항(정유공장)별 선적계획

Cargo ID	Size(MT)	WS	Freight(\$)	Load. Port	L. Date	Disch. Port	D. Date	Type
CB_01	110,160	10.90	960,595	Khafji	18	Bilbao	39	1
CB_02	200,000	4.30	688,000	Scapa Flow	38	Bilbao	44	1
CB_03	200,000	4.30	688,000	Scapa Flow	47	Bilbao	53	1
CB_04	200,000	4.30	688,000	Scapa Flow	56	Bilbao	62	1
CB_05	100,000	4.42	353,600	Sullom Voe	24	Bilbao	30	1
CB_06	300,000	4.42	1,060,800	Sullom Voe	65	Bilbao	71	1
CB_07	300,000	4.42	1,060,800	Sullom Voe	78	Bilbao	84	1
CB_08	300,000	4.42	1,060,800	Sullom Voe	91	Bilbao	97	1
CB_09	100,000	4.00	320,000	Teesport	16	Bilbao	21	1
CB_10	100,000	4.00	320,000	Teesport	20	Bilbao	25	1
CB_11	100,800	4.00	322,560	Teesport	29	Bilbao	34	1
CD_01	96,674	5.86	453,208	Dubai	11	Dumai	24	1
CD_02	100,000	5.86	468,800	Dubai	15	Dumai	28	1
CD_03	150,000	5.86	703,200	Dubai	19	Dumai	32	1
CD_04	150,000	5.86	703,200	Dubai	26	Dumai	39	1
CD_05	300,000	6.55	1,572,000	Khafji	44	Dumai	58	1
CD_06	300,000	6.55	1,572,000	Khafji	70	Dumai	84	1
CD_07	300,000	6.39	1,533,600	Ras Tanura	31	Dumai	45	1
CD_08	300,000	6.39	1,533,600	Ras Tanura	57	Dumai	71	1
CD_09	300,000	6.39	1,533,600	Ras Tanura	82	Dumai	96	1
CS_01	253,200	3.95	800,112	Curacao	13	Sabine	21	1
CS_02	300,000	3.95	948,000	Curacao	22	Sabine	30	1
CS_03	300,000	3.95	948,000	Curacao	33	Sabine	41	1
CS_04	150,000	5.73	687,600	Puerto La Cruz	42	Sabine	52	1
CS_05	150,000	5.73	687,600	Puerto La Cruz	48	Sabine	58	1
CS_06	150,000	5.73	687,600	Puerto La Cruz	53	Sabine	63	1
CS_07	150,000	5.73	687,600	Puerto La Cruz	59	Sabine	69	1
CS_08	100,920	15.92	1,285,317	Ras Tanura	40	Sabine	74	1
CS_09	150,000	15.92	1,910,400	Ras Tanura	44	Sabine	78	1
CS_10	250,000	4.51	902,000	Trinidad	73	Sabine	83	1
CS_11	250,000	4.51	902,000	Trinidad	83	Sabine	93	1
CS_12	250,000	4.51	902,000	Trinidad	89	Sabine	99	1

선적화물 량의 총수는 32개이다. 원유는 그 화물 유형(Type)을 1로 표시하였으며, 원유 1 배럴은 0.136 MT (Metric ton)으로 환산하였다.

〈표 6〉은 제품유의 선적계획을 선적항별로 구분하여 나타낸 것으로 Bilbao, Dumai, Sabine항에서 선적될 제품유 화물이 각각 24개, 27개, 21개이며 선적화물 량의 총수는 72개이다. 제품유의 화물 유형은 휘발유, 경유, B-C, 및 나프타(Naphtha)를 각각 2, 3, 4, 5로 구분하였으며, 제품유 1 배럴은

0.133 MT으로 환산하였다.

모든 화물의 선적일과 양하일은 1-99일의 날자로 표시하였는데, 원유의 경우 정유공장에서의 양하일을 기준으로 제 21일이 1/4분기 제 1일이며, 제품유의 경우 정유공장에서의 선적일을 기준으로 제 6일을 1/4분기 제 1일이다. 즉, 원유의 양하는 1/4분기 제 1일(21일)에서 79일(99일)까지 이루어지고 제품유의 선적은 1/4분기 제 1일(6일)에서 87(93일)일 사이에 이루어진다.

〈표 6〉 제품유의 선적항(정유공장)별 선적계획

Cargo ID	Size(MT)	WS	Freight(\$)	Load. Port	L. Date	Disch. Port	D. Date	Type
B_01	24,392	5.57	217,382	Bilbao	7	Halifax	17	2
B_02	70,000	3.39	355,950	Bilbao	8	Le Havre	12	3
B_03	39,649	3.22	178,738	Bilbao	12	Southampton	16	4
B_04	45,000	6.28	395,640	Bilbao	15	Boston	26	4
B_05	70,000	3.16	309,680	Bilbao	18	Rotterdam	22	4
B_06	48,665	6.28	427,863	Bilbao	22	Boston	33	4
B_07	65,000	3.16	308,100	Bilbao	25	Rotterdam	29	5
B_08	66,620	3.22	343,226	Bilbao	30	Southampton	34	2
B_09	65,000	6.28	612,300	Bilbao	34	Boston	45	3
중략								
B_17	43,000	3.39	204,078	Bilbao	66	Le Havre	70	4
B_18	45,000	6.28	395,640	Bilbao	69	Boston	80	4
B_19	45,000	3.22	202,860	Bilbao	72	Southampton	76	4
B_20	65,840	3.39	334,796	Bilbao	75	Le Havre	79	5
B_21	70,000	3.16	353,920	Bilbao	79	Rotterdam	83	2
B_22	70,000	3.22	338,100	Bilbao	84	Southampton	88	3
B_23	70,000	5.57	545,860	Bilbao	89	Halifax	99	4
B_24	45,000	3.39	213,570	Bilbao	93	Le Havre	97	4
D_01	50,000	5.60	448,000	Dumai	6	Dalian	16	2
D_02	65,000	8.18	797,550	Dumai	7	Sydney	22	3
D_03	90,000	7.51	946,260	Dumai	12	Yokohama	23	4
D_04	65,840	8.18	807,857	Dumai	18	Sydney	33	5
D_05	50,000	5.29	423,200	Dumai	23	Yosu	33	2
D_06	41,307	7.66	474,617	Dumai	26	Melbourn	40	3
D_07	50,000	5.60	420,000	Dumai	29	Dalian	39	3
D_08	19,044	7.66	204,228	Dumai	33	Melbourn	47	4
D_09	45,141	5.29	358,194	Dumai	34	Yosu	44	5
D_10	62,077	7.51	699,297	Dumai	37	Yokohama	48	3
중략								
D_16	90,000	5.29	666,540	Dumai	62	Yosu	72	4
D_17	60,000	5.60	504,000	Dumai	68	Dalian	78	5
D_18	66,162	8.18	865,928	Dumai	72	Sydney	87	2
D_19	62,000	5.29	491,970	Dumai	77	Yosu	87	3
D_20	70,000	5.60	548,800	Dumai	81	Dalian	91	4
D_21	70,000	7.51	788,550	Dumai	86	Yokohama	97	5
S_01	72,198	10.12	1,095,966	Sabine	6	Vancouver BC	24	3
S_02	49,221	10.16	800,137	Sabine	7	Seattle	25	2
S_03	70,000	16.00	1,568,000	Sabine	10	Sydney	38	4

이러한 계획기간은 직전 기간인 전년도의 4/4분기 및 다음 기간인 2/4분기와 'Rolling schedule'의 개념으로 연속성을 갖게 할 수 있다.

다음으로 LK 해운의 운항기획 팀은 12척의 원유선대 및 25척의 제품유선대의 선박들이 직전 계

획기간의 운항일정을 종료한 후에 1/4분기 계획기간의 운항일정에 투입될 수 있는 상태를 파악할 수 있다. <표 7>은 원유선대 및 제품유선대의 각 선박들의 규모, 운항비, 초기 상태, 적재가능한 화물 유형, 그리고 선명 등을 보여 준다.

<표 7> 원유선대 및 제품유선대의 운항일정 투입을 위한 초기 자료

유조선대						
Ship ID	Size(MT)	Op. Cost	Open Date	Init. Position	Cargo Type	Ship's Name
C_1	300	82	1	Bilbao	1	M/V Angel
C_2	200	41	1	Sabine	1	M/V Faith
C_3	200	43	1	Dumai	1	M/V Grace
C_4	260	55	1	Sabine	1	M/V Helper
C_5	120	24	1	Bilbao	1	M/V Hope
C_6	300	80	1	Dumai	1	M/V Kind
C_7	150	37	1	Bilbao	1	M/V Love
C_8	150	34	1	Sabine	1	M/V Mercy
C_9	300	76	1	Sabine	1	M/V Miems
C_10	260	59	1	Bilbao	1	M/V Shalom
C_11	260	58	1	Dumai	1	M/V Venus
C_12	200	44	1	Bilbao	1	M/V Victory

제품유선대						
Ship ID	Size(MT)	Op. Cost	Open Date	Init. Position	Cargo Type	Ship's Name
P_1	26	16	1	Halifax	2 3	M/V Brave
P_2	45	15	1	Le Havre	2 3	M/V Cosmos
P_3	45	15	1	Southampton	4	M/V Diamond
P_4	45	16	1	Boston	4	M/V Emerald
P_5	50	29	1	Halifax	2 3	M/V Fancy
P_6	50	31	1	Seattle	2 3	M/V Gold
P_7	50	32	1	Dalian	3 5	M/V Happy
P_8	50	33	1	Melbourn	3 5	M/V Jacob
P_9	50	30	1	Yosu	4	M/V James
P_10	65	33	1	Boston	2 3	M/V Joy
P_11	65	34	1	Yokohama	3 5	M/V King
P_12	65	35	1	Boston	3 5	M/V Lily
P_13	65	36	1	Seattle	3 5	M/V Lucky
P_14	65	37	1	Boston	4	M/V Luke
P_15	70	37	1	Dalian	2 3	M/V Marse
P_16	70	38	1	Le Havre	2 3	M/V Paul
P_17	70	39	1	Vancouver BC	2 5	M/V Peter
P_18	70	40	1	Yosu	2 5	M/V Pioneer
P_19	70	41	1	Halifax	4	M/V Poseidon
P_20	70	41	1	Vancouver BC	4	M/V Prince
P_21	70	42	1	Melbourn	4	M/V Queen
P_22	70	43	1	Rotterdam	4	M/V Rose
P_23	75	60	1	Sydney	2 3	M/V Rubicon
P_24	75	62	1	Boston	3 5	M/V Smile
P_25	90	55	1	Yokohama	4	M/V Yong

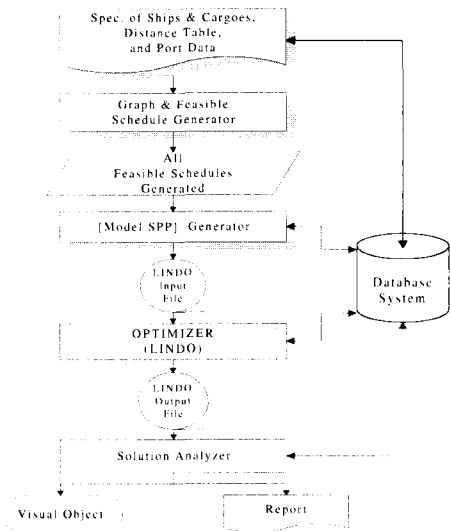
이상과 같은 화물, 선박, 항만, 그리고 관련 비용 요소들을 고려하여 LK 해운 선대의 선박운항 일정계획을 최적화하기 위한 것이 [모형-SPP]이다. [그림 3]은 [모형-SPP]를 기반으로 하는 선박운항 일정계획 의사결정지원시스템(MoDiSS: Model-

based DSS in Ship Scheduling)의 흐름도를 보여 주고 있다.

[그림 4]는 MoDiSS가 LK 해운 원유선대의 최적 운항일정계획을 출력하여 보여 주는 화면이다.

<표 8>과 <표 9>는 LK-Petroleum사 산하의 LK 해운의 원유선대 및 제품유선대의 1/4분기 최적운항일정계획을 정리한 것이다.

<표 8>에서 알 수 있듯이, 원유선대 내의 전 선박은 최적운항일정계획에 투입되어 <표 5>의 총 32개의 원유 선적화물 룫 중에서 CD_01, CD_08, CS_02, CS_04의 네 화물을 제외하고 28개의 화물을 전부 수송하고 있다. 이때, 원유선대의 최적운항일정계획에 대한 [모형-SPP]의 목적함수 값은 1,899.22(만불)이다. 그리고 M/V Grace, M/V Love, M/V Victory 등의 선박은 다음의 2/4분기 계획기간을 위한 운항일정계획에 차질이 없는 범위에서 항해용선을 주어 그 운항이익을 올릴 수 있을 것이다.



[그림 3] MoDiSS의 시스템 흐름도.

SHIP NAME	UTRL	CARGO	WS	LOADING	L DATE	DISCH. PORT
1 M/V Anopl	82	18	153.35	Ras Lanoua	31	Dumai
2	82	17	157.2	Khalj	70	Dumai
3 M/V Fath	41	10	32	Tecport	20	Bilbao
4	41	7	68.8	Scapa Flow	36	Bilbao
5	41	4	68.8	Scapa Flow	56	Bilbao
6 M/V Grace	43	14	70.32	Dubai	19	Dumai
7 M/V Helper	55	21	80.01	Curacao	13	Sabane
8	55	25	68.76	Puerto La Cruz	40	Sabane
9	55	30	90.2	Isendad	73	Sabane
10 M/V Hope	24	28	128.53	Ras Lanoua	40	Sabane
11 M/V Kind	80	13	46.88	Dubai	15	Dumai
12	80	16	157.2	Khalj	44	Dumai
13	80	20	153.35	Ras Lanoua	82	Dumai
14 M/V Love	37	15	70.32	Dubai	26	Dumai
15 M/V Mercy	34	5	35.36	Sullom Voe	24	Bilbao
16	34	25	68.76	Puerto La Cruz	53	Sabane
17 M/V Miems	76	23	94.8	Curacao	33	Sabane

Variable Name	Value
1	3.95
2	2511
3	544
4	665
5	708
6	812
7	912
8	920
9	1314
10	1465
11	1957
12	1658

[그림 4] LK 해운 원유선대의 최적운항일정계획을 보여 주는 MoDiSS 화면

〈표 8〉 원유선대의 최적운항일정계획

Ship's Name	Op. Cost(만불)	Cargo ID	Freight(만불)	Load. Port	L. Date	Disch. Port	D. Date
M/V Angel	82	CD_07	153.36	Ras Tanura	31	Dumai	45
		CD_06	157.20	Khafji	70	Dumai	84
M/V Faith	41	CB_10	32.00	Teesport	20	Bilbao	25
		CB_02	68.80	Scapa Flow	38	Bilbao	44
		CB_04	68.80	Scapa Flow	56	Bilbao	62
M/V Grace	43	CD_03	70.32	Dubai	19	Dumai	32
M/V Helper	55	CS_01	80.01	Curacao	13	Sabine	21
		CS_05	68.76	Puerto La Cruz	48	Sabine	58
		CS_10	90.20	Trinidad	73	Sabine	83
M/V Hope	24	CS_08	128.53	Ras Tanura	40	Sabine	74
M/V Kind	80	CD_02	46.88	Dubai	15	Dumai	28
		CD_05	157.20	Khafji	44	Dumai	58
		CD_09	153.36	Ras Tanura	82	Dumai	96
M/V Love	37	CD_04	70.32	Dubai	26	Dumai	39
M/V Mercy	34	CB_05	35.36	Sullom Voe	24	Bilbao	30
		CS_06	68.76	Puerto La Cruz	53	Sabine	63
M/V Miems	76	CS_03	94.80	Curacao	33	Sabine	41
		CB_06	106.08	Sullom Voe	65	Bilbao	71
		CB_07	106.08	Sullom Voe	78	Bilbao	84
		CB_08	106.08	Sullom Voe	91	Bilbao	97
M/V Shalom	59	CB_09	32.00	Teesport	16	Bilbao	21
		CS_09	191.04	Ras Tanura	44	Sabine	78
		CS_12	90.20	Trinidad	89	Sabine	99
M/V Venus	58	CB_01	96.06	Khafji	18	Bilbao	39
		CS_07	68.76	Puerto La Cruz	59	Sabine	69
		CS_11	90.20	Trinidad	83	Sabine	93
M/V Victory	44	CB_11	32.26	Teesport	29	Bilbao	34
		CB_03	68.80	Scapa Flow	47	Bilbao	53

Min Vaue Z = 1,899.22 (만불)

〈표 9〉의 제품유선대의 최적운항일정계획은 총 25척의 제품유 선대 중에서 23척이 투입되었으며, 을 보여주고 있다. 〈표 6〉의 총 72개의 제품유 선적화물 룫 중에서 54개를 수송하고 있다. 이때, 제품유선대의 최적운항일정계획에 대한 [모형-SPP]의 목적함수 값은 2,663.38(만불)이다. 수송하지 못한 18개의 화물들이 있음에도 불구하고 M/V Brave, M/V James 2척의 선박이 운항일정에 투입되지 못한 것은 그 수송화물

들의 일정에 맞출 수가 없었기 때문이다. 따라서 자사선대로 수송하지 못하는 18개의 화물들은 항해용선을 수배하여야 하며, M/V Brave와 M/V James 이외의 다른 선박들도 1/4분기의 운항일정에 여유가 있는 선박들은 항해용선을 주어 운항수익을 올리도록 해야 한다. 이러한 항해용선의 의사결정에도 [모형-SPP]를 활용할 수 있으며, MoDiSS가 그 의사결정을 지원할 수 있다.

<표 9> 제품유선대의 최적운항일정계획

Ship's Name	Op. Cost(만불)	Cargo ID	Freight(만불)	Load. Port	L. Date	Disch. Port	D. Date
M/V Cosmos	15	B_01	21.74	Bilbao	7	Halifax	17
		S_18	34.41	Sabine	59	Boston	67
		S_27	33.99	Sabine	87	Boston	95
M/V Diamond	15	B_03	17.87	Bilbao	12	Southampton	16
		B_11	73.53	Bilbao	42	Sydney	76
M/V Emerald	16	B_04	39.56	Bilbao	15	Boston	26
		B_18	39.56	Bilbao	69	Boston	80
		B_24	21.36	Bilbao	93	Le Havre	97
M/V Fancy	29	S_12	76.20	Sabine	38	Seattle	56
M/V Gold	31	D_06	47.46	Dumai	26	Melbourn	40
		D_14	39.68	Dumai	54	Yosu	64
M/V Happy	32	S_21	76.20	Sabine	68	Seattle	86
M/V Jacob	33	D_09	35.82	Dumai	34	Yosu	44
M/V Joy	33	S_06	39.27	Sabine	20	Boston	28
		B_10	32.48	Bilbao	38	Le Havre	42
		B_15	54.12	Bilbao	58	Halifax	68
M/V King	34	D_10	69.93	Dumai	37	Yokohama	48
		D_17	50.40	Dumai	68	Dalian	78
M/V Lily	35	S_04	76.20	Sabine	13	Seattle	31
		D_15	74.69	Dumai	58	Melbourn	72
M/V Lucky	36	B_09	61.23	Bilbao	34	Boston	45
		S_16	76.20	Sabine	53	Seattle	71
M/V Luke	37	B_06	42.79	Bilbao	22	Boston	33
		S_23	71.12	Sabine	75	Seattle	93
M/V Marse	37	D_07	42.00	Dumai	29	Dalian	39
		D_13	69.31	Dumai	50	Yokohama	61
		D_18	86.59	Dumai	72	Sydney	87
M/V Paul	38	B_02	35.60	Bilbao	8	Le Havre	12
		B_08	34.32	Bilbao	30	Southampton	34
		S_15	113.34	Sabine	49	Vancouver BC	67
		S_26	37.17	Sabine	84	Halifax	93
M/V Peter	39	D_05	42.32	Dumai	23	Yosu	33
		D_12	74.69	Dumai	46	Melbourn	60
		D_21	78.86	Dumai	86	Yokohama	97
M/V Pioneer	40	D_04	80.79	Dumai	18	Sydney	33
		S_24	106.24	Sabine	78	Vancouver BC	96
M/V Poseidon	41	S_03	156.80	Sabine	10	Sydney	38
		B_19	20.29	Bilbao	72	Southampton	76
		B_23	54.59	Bilbao	89	Halifax	99
M/V Prince	41	S_07	99.18	Sabine	23	Vancouver BC	41
		S_20	122.96	Sabine	65	Melbourn	94
M/V Queen	42	S_13	99.18	Sabine	41	Vancouver BC	59
		S_25	65.22	Sabine	81	Seattle	99
M/V Rose	43	B_05	30.97	Bilbao	18	Rotterdam	22
		S_17	161.70	Sabine	55	Melbourn	84
M/V Rubicon	60	S_11	184.18	Sabine	34	Sydney	62
		D_19	49.20	Dumai	77	Yosu	87
M/V Smile	62	B_07	30.81	Bilbao	25	Rotterdam	29
		S_14	50.68	Sabine	45	Halifax	54
		S_22	109.30	Sabine	71	Vancouver BC	89
M/V Yong	55	D_03	94.63	Dumai	12	Yokohama	23
		D_11	49.12	Dumai	41	Dalian	51
		D_16	66.65	Dumai	62	Yosu	72
		D_20	54.88	Dumai	81	Dalian	91

Min Vaue Z = 2,663.38 (만불)

4. 결 론

이 논문은 메이저 석유회사 또는 철강회사 등에서 유사한 사례가 발생하는 화주 직접운항 선대운영의 최적화 문제를 다루었다. 먼저 선대운영 최적화문제의 전반에 놓여 있는 모기업의 원자재 수송, 생산, 배분을 전사적으로 최적화하는 문제를 선형계획모형과 목표계획모형으로 정식화하였으며, 선형계획모형의 여러 문제점들을 밝히고 목표계획모형이 이를 합리적으로 해결하여 주는 것을 보였다. 다음으로 원자재 및 제품의 수송수요를 해상수송의 특성을 고려하여 충족시키기 위한 화주 직접운항 선대의 운항일정계획 최적화문제를 0-1 정수계획모형으로 정식화하여 해결할 수 있음을 보였고, 이 최적화모형을 기반으로 구축된 선박운항일정계획 의사결정지원시스템 MoDiSS를 소개하였다.

이러한 선대운영 최적화 분석의 타당성을 입증하기 위해 화주 직접운항의 대표적인 예로 꼽히는 메이저 석유회사의 유조선 해운선대의 사례를 구성하고, 제안한 최적화 분석을 적용하여 그 사례를 해결하는 과정을 보였다. 또한, 저자들의 선행연구에서 이미 밝힌 바 있듯이 MoDiSS는 메이저 석유회사의 유조선 해운 실무와 비슷한 규모의 사례에 대하여도 수분 내에 선대의 최적운항일정계획을 출력하여 주는 만족할 만한 시스템 수행도를 가지고 있다. 앞으로 보다 복잡한 선대운영실무의 요구를 수용할 수 있도록, 이러한 최적화 분석의 개념들을 전문가의 실무적인 문제해결지식을 갖춘 전문가시스템과 접목하는 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 민성규, 「해운경제학」, 한국해양대학교서출판부, 1973
- [2] 「월간 석유수급 통계」, 한국석유개발공사, 통권 144호(1998)
- [3] Appelgren, L. H., "A column generation algorithm for a ship scheduling problem," *Transportation Science* 3(1969), pp.53-68.
- [4] Appelgren, L. H., "Integer programming methods for a vessel scheduling problem," *Transportation Science* 5(1971), pp.64-78.
- [5] Baker T. E., "Interactive vessel scheduling at Exxon," Presented at CORS/TIMS/ORSA Joint National Meeting(1981), Toronto.
- [6] Bausch, D. O., G. G., Brown, and D. Ronen, "Elastic set partitioning-A powerful tool for scheduling transportation of oil and gas," *Advances in Operations Research in the Oil and Gas Industry*, Editions Technip(1991), Paris, pp.151-162.
- [7] Bellmore M., "A Maximum Utility Solution To A Vehicle Constrained Tanker Scheduling Problem," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.15, No.3(1968), pp.403-11.
- [8] Briskin Lawrence E., "Selecting Delivery Dates In The Tanker Scheduling Problem," *Management Science*, Vol.12, No.6 (1966), pp.224-34.
- [9] Brown, G. G., G. W. Graves, and D. Ronen, "Scheduling ocean transportation of crude oil," *Management Science*, Vol.33, No.3(1987), pp.335-446.
- [10] Dantzig, G. B. and D. R. Fulkerson, "Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.1(1954), pp.217-222.
- [11] Fisher, M. L., and M. B. Rosenwein, "An

- interactive optimization system for bulk-cargo ship scheduling," *Naval Research Logistics*, 36(1989), pp.27-42.
- [12] Laderman, J. and L. Gleiberman, J. F. Egan, "Vessel Allocation By Linear Programming," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.13, No.3(1966), pp.315-20, Sep. 1966.
- [13] Miller, D. M., "An interactive computer-aided ship scheduling system," *European Journal of Operational Research*, 32 (1987), pp.363-379.
- [14] Nemhauser, G. L. and L. A. Wolsey, *Integer and Combinatorial Optimization*, John Wiley & Sons., New York, 1988.
- [15] Ronen, D., "Scheduling of vessels for shipment of bulk and semi-bulk commodities originating in a single area," Unpublished Ph. D. Dissertation, The Ohio State University, 1979.
- [16] Ronen, D., "Ship Scheduling: The Last Decade," *European Journal of Operational Research*, Vol.71(1993), pp.325-333.
- [17] Si-Hwa Kim and Kyung-Keun Lee, "An Optimization-based Decision Support System for Ship Scheduling," *Computers & I.E., An Intl. Journal*, Vol.33(1997), pp. 689-692.
- [18] Whiton, J.C., "Some constraints on shipping in linear programming models," *Naval Research Logistics Quarterly* (1967), pp.257-260.
- [19] *Guide to Port Entry*, Shipping Guides Ltd., Reigate, England, Vol.1-2(1997).
- [20] *Lloyd's Shipping Economist*(1990-1997), Lloyd's of London Press Ltd.
- [21] *Shipping Statistics and Economics*(1989-1997), Drewry Shipping Consultants Ltd.
- [22] *New Worldwide Tanker Nominal Freight Scale: applying to the carriage of oil in bulk*, Code name "WORLDSCALE," As revised effective 1st JANUARY 1997, World-scale Association(London) Ltd. and World-scale Association(NYC) Inc., 1996.
- [23] *Worldwide Distance Chart*, 3rd ed., Japan Navigating Officer's Association, Kaibundo Publishing Co. Ltd., Tokyo, 1990.