

# 인더스트리얼 캐리어를 위한 통합 선대관리 지원시스템

김 시 화\*·허 강 이\*\*

Integrated Fleet Management Support System for Industrial Carrier

*Si-Hwa Kim\*·Kang-Yi Heo\*\**

〈목 차〉	
Abstract	3.2 시스템 설계
1. 서 론	3.3 시스템 구현
2. 인더스트리얼 캐리어의 통합 선대관리 문제	4. 시스템 운용 예
2.1 모기업의 생산·운영 최적화	4.1 메이저 석유회사의 가상 사례
2.2 유조선대의 운영·관리 최적화	4.2 시스템의 운용
3. 통합 선대관리 지원시스템의 구현	5. 결 론
3.1 시스템 분석	참고문헌

## Abstract

This paper aims at developing an integrated fleet management support system for industrial carriers who usually control the vessels of their own or on a time charter to minimize the cost of shipping their cargoes. The work is mainly concerned with the operational management problem of the fleet owned by a major oil company, a typical industrial carrier.

The optimal fleet management problem for the major oil company can be divided into two phase problem. The front end corresponds to the production operation problem of the transportation of crude oil, the refinery operation, and the distribution of product oil to comply with the demand of the market. The back end is to tackle the fleet scheduling problem to meet the seaborne transportation demand derived from the front end.

Relevant optimization models for each phase are proposed and described briefly. Then a user-friendly integrated fleet management support system is built based on the proposed optimization models for both ends under Windows environment. A case study reflecting the practices of fleet management problem for the major oil company is carried out by using the system.

\* 정희원, 한국해양대학교 해사대학 해사수송과학부 교수

\*\* 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과 졸업(공학석사)

## 1. 서 론

인더스트리얼 캐리어(Industrial carrier)란 화주 직접운항 유형으로 선박을 운항하는 해운 경영자를 가리킨다. 화주 직접운항 해운은 두 차례에 걸친 세계 대전 이후 세계 경제가 크게 성장하면서 세계적인 대기업들이 자사 화물의 안정적인 해상수송을 위해 직접 자사 선대를 보유하며 운항하게 된 것이 그 효시이다. 특히, 세계적인 석유산업 및 철강산업 회사들은 급증하는 해상수송 수요를 충족시킬 선박량을 공개 해운시장에만 의존할 수 없게 되었으며, 조선공업의 발전은 화주 직접운항 해운의 선대확보를 더욱 촉진하였다.

인더스트리얼 캐리어의 대표적인 예는 세계적인 메이저 석유회사(Major oil company)가 원유 및 제품유와 같은 자사화물을 적시에 경제적·안정적으로 수송하기 위해 그 산하에 보유하고 있는 유조선 해운을 들 수 있으며, 이와 유사한 사례로는 세계적인 철강회사의 경우에도 발생한다. 이 논문은 이러한 인더스트리얼 캐리어를 위한 통합 선대관리 지원시스템의 개발에 관한 주제를 다루고자 한다.

지금까지 선박운항일정계획을 다룬 연구들은 주로 선박, 화물, 항만에 관한 자료와 그 비용요소들을 알고 이를 바탕으로 최적한 선박운항일정계획을 수립하는 문제들이었다. 인더스트리얼 캐리어의 선대관리 문제를 다룬 초기의 연구로는, Bethlehem 제철회사의 원광 수송을 위한 선대운항일정계획의 사결정지원시스템을 다룬 Stott와 Douglas(1981)의 연구가 있다. 그후 Miller(1987)는 케미컬 탱커(Chemical tanker) 선대를 이용하여 최소의 비용으로 세계 도처의 터미널의 재고요구를 만족시키면서 여러 종류의 가솔린 엔진노크제를 수송하는 에틸(Ethyl)사의 선대관리 문제에 대하여, 대화형 컴퓨터 지원 선박운항일정계획시스템을 적용하는 연구를 다루었다. Fisher와 Rosenwein(1989)은 미 해군의 MSC(Military Sealift Comand) 휘하의 유조선대를 이용하여 각 저유시설의 수요를 충족하도록 선대의 운항일정계획을 수립하는 문제를 PASCAL 언어로 구축한 대화형 선박운항일정계획시스템으

로 해결한 바 있다. 그리고 Kim & Lee(1997)는 선박운항일정계획을 위한 최적화 기반 의사결정지원시스템의 개발에 관한 연구를 다루었다.

그러나 위와 같은 선행연구들은 대부분 인더스트리얼 캐리어의 모회사의 생산·운영최적화 문제는 고려하지 않은 채, 선대의 운영·관리최적화 문제에만 그 초점을 두고 있다. 이 논문의 연구 목적은 메이저 석유회사 산하의 유조선 해운의 통합 선대관리 문제를 메이저 석유회사의 생산·운영최적화 단계와 선대의 운영·관리최적화 단계의 2단계 문제로 구분하고, 두 단계를 통합하여 인더스트리얼 캐리어를 위한 최적 선대관리 지원시스템을 구축하는데 있다.

이 논문은 제 1장 서론에 이어 제 2장에서 통합 선대관리 문제에 관한 최적화 모형을 서술하고, 제 3장은 통합 선대관리 지원시스템의 개발을 위한 시스템 분석, 설계 및 구현의 문제를 다루며, 제 4장에서는 구현된 통합 선대관리 지원시스템의 운용사례를 소개하고, 제 5장은 결론을 다루는 것으로 구성되어 있다.

## 2. 인더스트리얼 캐리어의 통합 선대관리 문제

메이저 석유회사들은 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 및 배분 과정을 전사적으로 최적화하려 할 것이다. 그림 2.1에서는 메이저 석유 회사가 서로 다른  $l$ 개의 원유선적지로부터 원유를 선적하여  $m$ 개의 서로 다른 정유 공장으로 수송할 수 있으며, 각 정유공장은 정제공정을 통하여  $s$ 가지의 서로 다른 제품유를 종류별로 생산하여  $n$ 개의 수요지까지 배분하여 판매하는 수송, 정제, 배분 네트워크를 보여주고 있다.

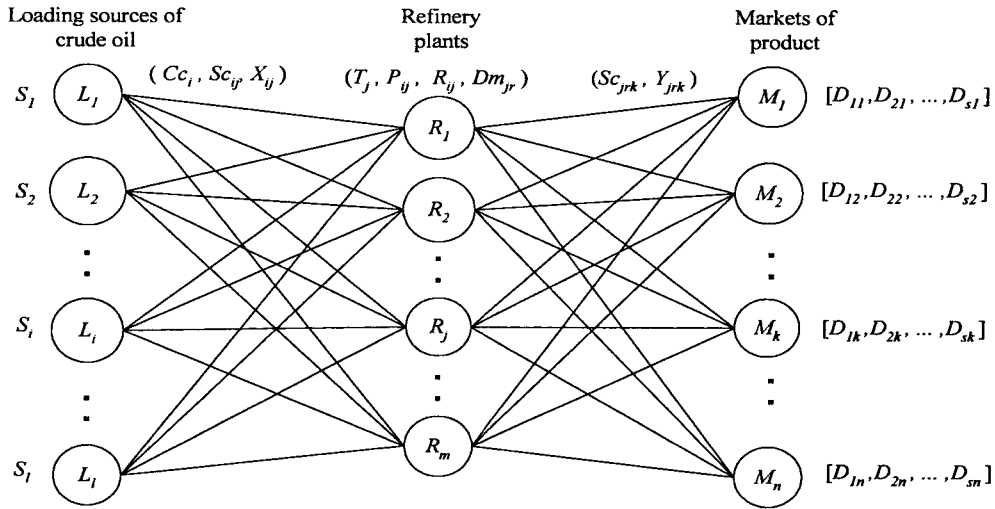


Fig. 2.1 Transportation-Refinery-Distribution Network(Major Oil Co.)

메이저 석유회사 산하의 유조선 해운은 메이저 석유회사의 전사적 수송, 정제, 배분의 최적화의 결과로 발생하는 원유 및 제품유에 대한 해상수송 수요를 최소의 비용으로 충족시킬 수 있도록 그 선대의 운영을 최적화하려 할 것이다. 따라서, 이러한 유조선 해운과 같은 인더스트리얼 캐리어의 최적 선대관리 문제는 모기업의 생산·운영 최적화와 선대의 운영·관리 최적화의 2단계 문제로 이루어져 있음을 알 수 있다.

2.1 모기업의 생산·운영 최적화

먼저, 모기업의 전사적 생산·운영 최적화를 위해 그림 2.1에 나타난 기호 및 관련 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 해의 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)
- $G_{rij}$  : 선적지  $i$ 의 원유를 정유공장  $j$ 에서 정제할 때, 제품유  $r$ 의 원유 1배럴 당 생산비용
- $Hc_{ij}$  : 선적지  $i$  원유의 정유공장  $j$ 에서의 재고 비용(\$/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 수량(B/D)  
 $Dm_{jr}$  : 정유공장  $j$ 에서의 제품유  $r$ 의 내수 수요량(B/D)  
 (\$: US \$, B Barrel, D Day)

인더스트리얼 캐리어의 모기업의 전사적 생산·운영을 최적화하기 위한 수리모형으로 Kim & Lee(1998)는 다음과 같은 선형계획모형과 목표계획모형을 모형을 제시하였다.

2.1.1 선형계획모형[모형 P-1]

[의사 결정 변수]

$X_{ij}$  : 원유선적지  $i$ 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 해외수요시장  $k$ 까지의 제품유  $r$ 의 배분량(B/D)  
 $Ic_{ij}$  : 정유공장  $j$ 에서의 선적지  $i$ 원유의 재고량 (B/D)  
 $Ip_{jr}$  : 정유공장  $j$ 에서의 제품유  $r$ 의 재고량 (B/D)

[모형 P-1]

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

s.t.

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

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

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

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

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

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

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

$$X_{ij}, R_{ij}, Y_{jrk}, Ic_{ij}, Ip_{jr} \geq 0 \quad (\text{for all } i, j, k, r)$$

2.1.2 목표계획모형[모형 P-2]

모기업의 전사적 생산·운영을 최적화하기 위한 선형계획모형[모형 P-1]은 종종 실행불가능으로 될 경우가 있다. 이는 각 제품유 간의 실제 수요량의 비율이 정유공장에서 원유 배럴당 각 제품유를 생산하는 비율과 다른 경우가 많고, 그 격차가 커질 때에는 재고량의 완충에도 불구하고 여러 제약식들 간에 서로 상충할 수 있기 때문이다.

이러한 문제들을 보완하기 위하여 다음과 같은 메이저 석유회사의 생산·운영 최적화 목표들을 고려한 목표계획모형[모형 P-2]을 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

[모형 P-2]

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

s.t.

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

$$\sum_j \sum_r (Cc_i + Sc_{ij})X_{ij}$$

$$+ \sum_j \sum_r P_{jr}R_{jr} + \sum_j \sum_r \sum_k Sc_{jrk}Y_{jrk} - dB^+ + dB^- = B$$

$$\sum_j X_{ij} - dS_i^+ + dS_i^- = S_i \quad (\text{for all } i)$$

$$\sum_j R_{ij} - dT_j^+ + dT_j^- = T_j \quad (\text{for all } j)$$

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

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

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

$$\sum_r G_{ri} R_{ij} - \sum_k Y_{irk} + Ipo_{jr} - Ip_{jr} = Dm_{jr} \text{ (for all } r, j)$$

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 유조선대의 운영·관리 최적화

선대운영 최적화 문제는 [모형 P-1]과 [모형 P-2]를 이용하여 구한 원유 및 제품유의 수송량  $X_{ij}$ ,  $Y_{irk}$ 를 계획기간 중의 해상수송 수요로 보고, 이를 바탕으로 수립된 선적계획으로부터 화물(Cargoes), 항만(Ports), 선박(Ships), 그리고 비용(Costs) 요소들을 고려하여 선대의 최적 선박운항 일정계획을 구하는 것이다. 이러한 화주 직접운항의 선박운항일정계획 최적화 모형은 집합 패킹 모형 또는 집합 분할 모형으로 정식화할 수 있다.

### 2.2.1 집합 패킹 모형[모형 SPK]

[기호]

$i = 1, \dots, m$  인더스트리얼 캐리어 통제하의 유조선,

$k = 1, \dots, n$  선적화물 로트,

$J_i =$  유조선  $i$ 에 대한 운항가능일정의 집합,

[자료]

$$q_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{만약 유조선 } i \text{의 운항일정 } j \text{가} \\ & \text{화물 } k \text{를 수송할 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우.} \end{cases}$$

$p_k =$  화물  $k$ 의 용선시장 운임률

$h_{ij} =$  유조선  $i$ 의 운항일정  $j$ 에 대한 운항비용

[의사결정 변수]

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{만약 유조선 } i \text{가 운항일정} \\ & j \text{에 투입되면,} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우.} \end{cases}$$

[모형 SPK]

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_{j \in J_i} h_{ij} y_{ij} + \sum_k (1 - \sum_{j \in J_i} \sum_i q_{ijk} y_{ij}) p_k$$

s. t.

$$\sum_{j \in J_i} y_{ij} \leq 1 \text{ for each tanker } i$$

$$\sum_i \sum_{j \in J_i} q_{ijk} y_{ij} \leq 1 \text{ for each cargo } k$$

$$y_{ij} = \{0, 1\}, \quad j \in J_i, \text{ for each tanker } i$$

이 집합패킹 최적화 모형[모형 SPK]의 목적함수는 화주 직접운항 선대의 선박  $i$ 를 계획 기간 동안 운항할 때, 자사화물의 수송에 투입된 선박의 운항비의 총합과 자사선대로 수송하지 못하는 화물들을 수송하기 위하여 지불하여야 할 용선비용의 총합을 최소화하고자 하는 것이다. 그리고, 이 모형의 첫째 제약식은 계획기간 동안에 보유 선대의 각 선박은 자사화물의 수송에 투입되지 않거나 투입되어도 단지 하나의 운항일정에 배정됨을 나타내며, 둘째 제약식은 각 화물은 보유선대의 선박에 의해 수송된다면 단지 하나의 선박에 의해 수송되도록 한다는 제약조건이다.

### 2.2.2 집합 분할 모형[SPT]

집합 패킹 모형 [모형 SPK]에 대하여 화주 직접 운항 선대의 운영과 관련된자료와 변수들을 추가하여 정의하면 다음과 같은 집합 분할 모형 [SPT]로 쉽게 변형할 수도 있다.

[기호]

$i = 1, \dots, m$  인더스트리얼 캐리어 통제하의 유조선,  
 $k = 1, \dots, n$  선적화물 로트,  
 $J_i$  = 유조선  $i$ 에 대한 운항가능일정의 집합,

[자료]

$a_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{만약 유조선 } i \text{의 운항일정 } j \text{가} \\ & \text{화물 } k \text{를 수송할 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우.} \end{cases}$   
 $p_k$  = 화물  $k$ 의 용선시장 운임률  
 $h_{ij}$  = 유조선  $i$ 의 운항일정  $j$ 에 대한 운항비용  
 $L_i$  = 운항일정에 투입되지 않은 유조선  $i$ 의 계선비용

[의사결정 변수]

$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{만약 유조선 } i \text{가 운항일정 } j \text{에 투입되면,} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우.} \end{cases}$   
 $u_i = \begin{cases} 1, & \text{만약 선박 } i \text{가 운항되지 않을 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우.} \end{cases}$

$v_k = \begin{cases} 1, & \text{만약 화물 } k \text{가 자선대에 의해} \\ & \text{수송되지 못할 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우.} \end{cases}$

[모형 SPT]

$$\text{Min } \sum_i \sum_{j \in J_i} h_{ij} y_{ij} + \sum_i L_i u_i + \sum_k D_k v_k$$

s. t.

$$\sum_{j \in J_i} y_{ij} + u_i = 1 \quad \text{for each ship } i$$

$$\sum_i \sum_{j \in J_i} a_{ijk} y_{ij} + v_k = 1 \quad \text{for each cargo } k$$

$$y_{ij} = \{0, 1\}, \quad j \in J_i, \quad \text{for each ship } i$$

[모형 SPT]의 목적함수는 화주 직접운항 선대의 선박  $i$ 를 계획 기간 동안 운항할 때, 자사화물의 수송에 투입된 선박의 운항비, 운항일정에 투입되지 못한 선박의 계선비용, 그리고 자선대로 수송하지 못하는 화물들을 수송하기 위하여 지불하여야 할 용선비용의 총합을 최소화하고자 하는 것이다.

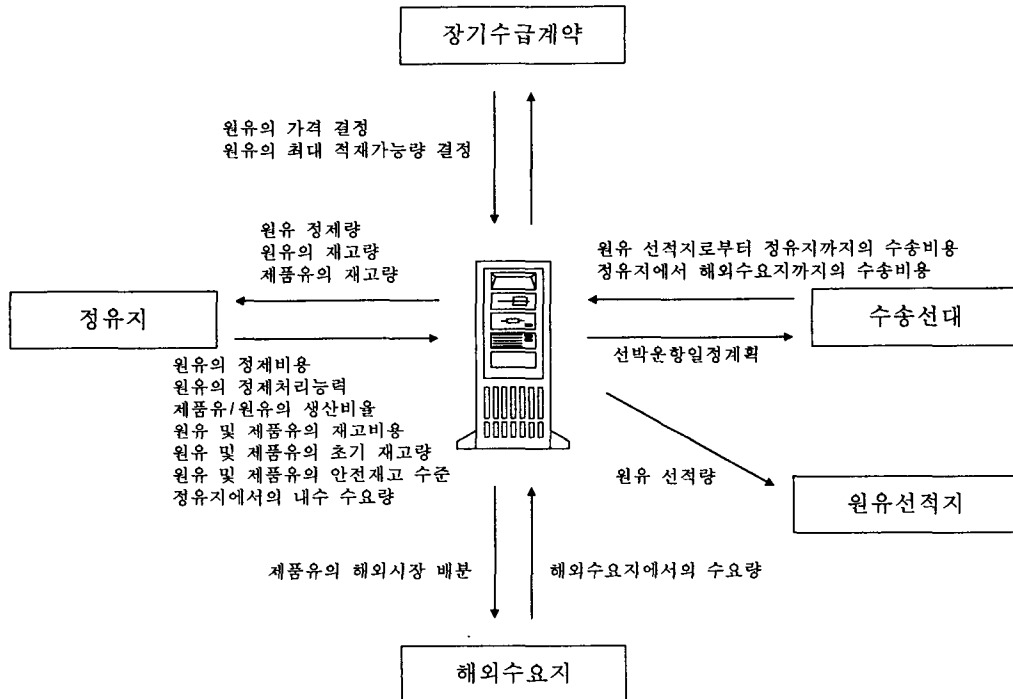


그림 3.1 통합 선대관리 지원시스템과 외부환경 간의 자료 흐름도

그리고, 이 모형의 첫째 제약식은 계획기간 동안에 보유 선대의 각 선박은 자사화물의 수송에 투입되지 않거나 투입되어도 단지 하나의 운항일정에 배정됨을 나타내며, 둘째 제약식은 각 화물은 보유선대의 선박에 의해 수송되지 못하거나 수송된다면 단지 하나의 선박에 의해 수송되어야 한다는 제약 조건이다.

### 3. 통합 선대관리 지원시스템의 구현

앞서 우리는 유조선 해운과 같은 인더스트리얼 캐리어의 최적 선대관리 문제는 모기업의 생산·운영 최적화와 선대의 운영·관리 최적화의 2단계 문제로 이루어져 있음을 살펴보았다. 이 논문에서 구현하고자 하는 통합 선대관리 지원시스템은 메이저 석유회사의 생산·운영 최적화 단계와 선대의 운영·관리 최적화 단계를 통합함으로써, 메이저 석유회사의 생산-정제-배분과정을 전사적으로 최적화하면서 그 산하의 유조선 선대의 최적 운항일정 계획 의사결정문제를 지원하기 위한 시스템이다.

그림 3.1은 이러한 통합 선대관리 지원시스템과 외부환경 간의 주요 자료 흐름을 보여주고 있다. 이 장에서는 이러한 시스템의 분석, 설계 및 구현을 다루고자 한다.

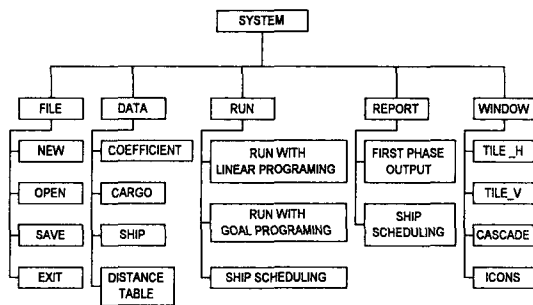


그림 3.2 시스템 메뉴 구조

#### 3.1 시스템 분석

제2 장에서 다룬 경영 과학적인 분석과 시스템 분석의 기법을 이용하여 시스템 사용자의 요구를

분석하고 이를 바탕으로 시스템의 계층구조 DFD(Data Flow Diagram)와 시스템 메뉴의 구조 그리고 입·출력 양식을 설계하였다. 그림 3.2는 시스템 메뉴 구조를 보여준다.

#### 3.2 시스템 설계

앞부분에서 설명했던 시스템 분석이 우리에게 무엇을 할 것인가(what to do)에 대한 설명을 명시한 부분이었다면, 시스템 설계는 어떻게 할 것인가(how to do)에 대해 규명하는 부분이다. 시스템 설계 과정에서의 매크로 N-S Chart는 본문의 내용에서 생략한다.

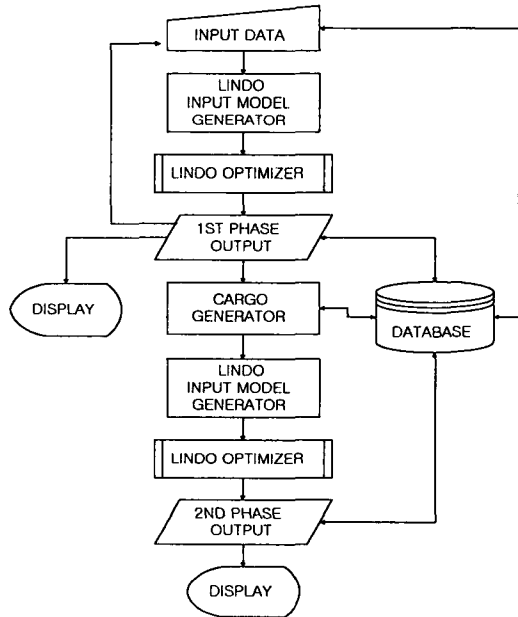


그림 3.3 시스템 흐름도

그림 3.3은 시스템 설계의 결과로 작성된 시스템 흐름도인데, 자료의 입력에서부터 2단계에 걸친 최적화 과정 및 결과 화면의 표시에 이르는 시스템 흐름을 보여주고 있다. 입력 및 출력시에 저장되는 자료의 형태는 'Formula One'이라는 'Visual Basic Component'를 이용한 자료 저장방식을 사용하고 선형계획 모형 및 집합패킹 모형의 최적해는 상용

의 LINDO를 사용하여 구하기로 하였다.

그림 3.4는 이러한 시스템을 구현하기 위한 프로그래밍에 사용될 함수들의 이름을 나열한 모듈화 설계도를 보여준다.

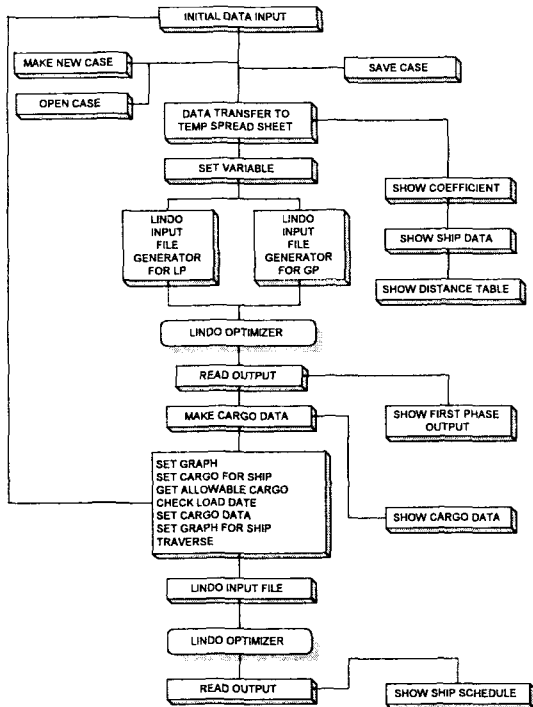


그림 3.4 모듈화 설계도

### 3.3 시스템 구현

이상의 시스템 분석과 설계를 바탕으로 Visual Basic 5.0 Professional Edition을 이용하여 통합 선대관리 지원시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 'Formula One'이라는 'Visual Component'를 사용함으로써 복잡한 형태의 자료와 정보들을 사용자가 보기 쉽게 각 입출력 화면으로 표시하게 되어 있으며, MDI(Multi Document Interface) 환경에서 다양한 입력 화면들과 결과 화면들이 작동하도록 되어 있다.

그림 3.5는 통합 선대관리 지원시스템이 모기업의 생산·운영 최적화 모형의 해를 LINDO가 구하는 과정을 보여주고 있다.

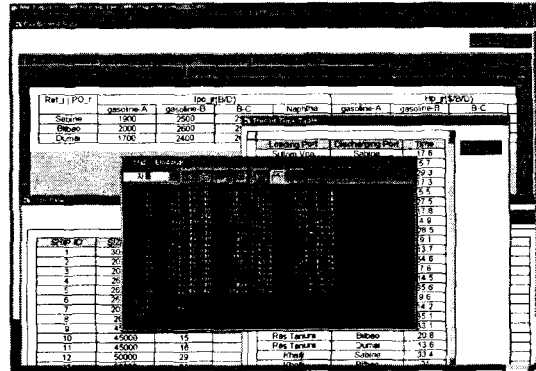


그림 3.5 통합 선대관리 지원시스템의 최적화 실행 화면 예

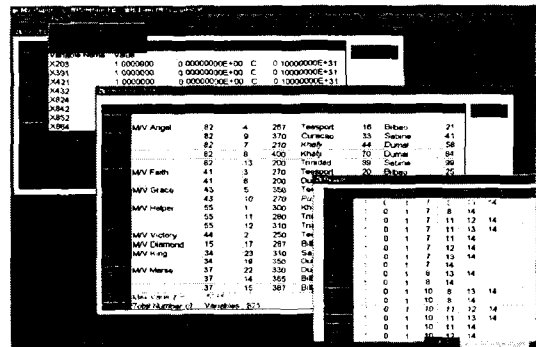


그림 3.6 선대 최적 운항일정계획 출력 화면 예

현재의 통합 선대관리 지원시스템에서는 모기업의 생산·운영 최적화 모형의 해를 바탕으로 적절한 해상운송 화물 룬으로 나누어진 계획 기간중의 해사수송 수요를 사용자 인터페이스를 통하여 입력하도록 되어 있다. 이렇게 입력된 화물 자료와 선대 내의 선박 자료 및 항만과 관련된 자료가 준비되면 다시 LINDO를 이용하여 선대의 최적운항 일정계획을 위한 집합 패키징 모형의 해를 구하게 된다. 그림 3.6은 이렇게 구한 선대의 최적 운항일정계획을 출력하여 주는 화면의 예이다.

## 4. 시스템의 운용 예

### 4.1 메이저 석유회사의 기상 사례

북해(North Sea), 카리브 해(Caribbean Sea), 페



르시아 만(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, 해사수송을 통하여 미주 동, 서부, 유럽, 극동지역, 호주 등의 시장으로 판매하고 있는 세계적인 메이저 석유회사가 있다고 하자. 다음은 이러한 메이저 석유회사의 1/4분기 운영 계획을 위한 자료들이다.

4.1.1 원유의 적재, 수송 및 정제에 관한 자료

원유 선적지  $i$ 의 원유가격  $C_i$ (\$/B), 원유 선적지와 정유공장 간의 원유 수송비  $Sc_{ij}$  (\$/B), 정유공장에서 정제처리 비용  $P_{ij}$  (\$/B), 원유 선적지에서의 최대 적재가능량  $S_i$  (B/D), 그리고 선적지별 원유가격 (\$/B)에 관한 자료들은 <표 1>과 같다.

또한 <표 2>는 각 정유공장에서 정제처리 공정

을 통하여 제품유를 생산할 때, 제품유의 산지별 원유 배럴당 생산비율  $G_{rij}$ 와 정유공장의 정제처리 능력  $T_j$  (B/D)에 관한 내용을 정리한 것이다.

4.1.2 제품유의 해상운송 비용과 해외시장 및 내수 수요

정유공장에서부터 해외 수요시장 지역까지의 제품유의 해상운송 비용  $Sc_{rjk}$ (\$/B), 제품유의 해외시장 수요  $D_{rk}$ (B/D)와 내수수요  $Dm_{jr}$ (B/D) 등의 내용을 정리한 것이 <표 3>이다.

4.1.3 원유 및 제품유의 재고 관련 자료

각 정유공장에서의 원유의 안전재고 수준  $Stc_j$ (B/D), 초기재고량  $Ico_{ij}$ (B/D), 및 재고비용  $Hc_{ij}$ (\$/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 내용을 <표 4>에 정리하였다.

<표 1> 원유 수송비  $Sc_{ij}$ , 정제 비용  $P_{ij}$ , 산지별 적재가능 원유량  $S_i$  및 원유가격  $C_i$

정유공장 $j$ 원유산지 $i$	원유 수송비 $Sc_{ij}$ (\$/B)			정제 비용 $P_{ij}$ (\$/B)			최대적재가 능량 $S_i$ (B/D)	원유가격 $C_i$ (\$/B)
	USA (Sabine)	Spain (Bilbao)	Indonesia (Dumai)	USA (Sabine)	Spain (Bilbao)	Indonesia (Dumai)		
North Sea	1.29	0.58	2.01	0.32	0.27	0.30	170,000	15.90
Caribbean Sea	0.68	1.00	2.51	0.24	0.26	0.29	180,000	15.25
Persian Gulf	2.15	1.44	0.85	0.23	0.29	0.31	210,000	12.56

<표 2> 정유공장의 산지별 원유 배럴당 제품 생산비율  $G_{rij}$  및 정제처리 능력  $T_j$

정유공장 $j$ 원유산지 $i$ 제품유 $r$	USA(Sabine)			Spain(Bilbao)			Indonesia(Dumai)		
	North Sea	Caribbean Sea	Persian Gulf	North Sea	Caribbean Sea	Persian Gulf	North Sea	Caribbean Sea	Persian Gulf
휘발유	0.186	0.213	0.154	0.215	0.173	0.213	0.216	0.235	0.174
경유	0.227	0.230	0.223	0.247	0.235	0.225	0.225	0.257	0.256
B- C	0.245	0.265	0.236	0.327	0.318	0.316	0.264	0.165	0.263
나프타	0.205	0.254	0.336	0.160	0.254	0.225	0.275	0.325	0.320
정제처리능력 $T_j$ (B/D)	200,000			180,000			160,000		

〈표 3〉 제품유의 해상운송 비용  $SC_{jr}$ , 해외시장 수요  $D_{rk}$ , 내수수요  $Dm_{jr}$

제품유 $r$	정유공장 $j$	해외시장 $k$					내수수요 $Dm_{jr}(B/D)$
		West USA	East USA	Europe	Far East Asia	Australia	
휘발유	USA(Sabine)	2.70	1.27	2.43	4.48	4.32	9,800
	Spain(Bilbao)	4.04	1.58	0.87	4.80	5.09	8,600
	Indonesia(Dumai)	3.18	4.24	3.75	1.63	2.11	8,000
	해외시장 수요 $D_{rk}$	17,400	10,200	19,000	14,500	12,700	73,800 / 26,400
경유	USA(Sabine)	2.56	1.21	2.31	4.26	4.11	14,000
	Spain(Bilbao)	3.84	1.50	0.82	4.56	4.83	14,500
	Indonesia(Dumai)	3.02	4.03	3.57	1.55	2.00	12,400
	해외시장 수요 $D_{rk}$	25,400	19,000	22,000	18,000	14,200	98,600 / 40,900
B-C	USA(Sabine)	2.02	0.95	1.82	3.36	3.24	15,700
	Spain(Bilbao)	3.03	1.18	0.65	3.60	3.81	13,500
	Indonesia(Dumai)	2.39	3.18	2.81	1.22	1.58	16,800
	해외시장 수요 $D_{rk}$	22,500	20,500	23,000	26,500	17,500	110,000 / 46,000
나프타	USA(Sabine)	2.43	1.14	2.19	4.03	3.89	12,500
	Spain(Bilbao)	3.64	1.42	0.78	4.32	4.58	10,600
	Indonesia(Dumai)	2.86	3.81	3.38	1.47	1.90	10,800
	해외시장 수요 $D_{rk}$	16,500	14,200	12,700	17,000	12,700	73,100 / 33,900

〈표 4〉 원유 및 제품유의 초기재고량, 재고비용, 및 안전재고 수준

원유	초기재고량 $I_{coij}$ (B/D)			재고비용 $H_{ci}$ (\$/B/D)				정유공장 $j$	안전재고수준 $Stc_j$ (B/D)				
	정유공장 $j$	원유산지 $i$	USA (Sabine)	Spain (Bilbao)	Indonesia (Dumai)	USA (Sabine)	Spain (Bilbao)			Indonesia (Dumai)			
North Sea	USA(Sabine)	4,000	2,500	1,500	0.008	0.008	0.009	USA(Sabine)	10,000				
Caribbean Sea	Spain(Bilbao)	5,500	3,000	-	0.008	0.008	0.009	Spain(Bilbao)	9,000				
Persian Gulf	Indonesia(Dumai)	-	4,500	6,500	0.007	0.007	0.007	Indonesia(Dumai)	8,000				
제품유	초기재고량 $I_{pojr}$ (B/D)				재고비용 $H_{pj}$ (\$/B/D)				안전재고 수준 $Stp_{jr}$ (B/D)				
제품유 $r$	정유공장 $j$	정유공장 $j$				정유공장 $j$				정유공장 $j$			
		휘발유	경유	B-C	나프타	휘발유	경유	B-C	나프타	휘발유	경유	B-C	나프타
USA(Sabine)	USA(Sabine)	1,900	2,500	2,500	2,000	0.012	0.012	0.009	0.011	2,000	2,700	2,700	2,000
Spain(Bilbao)	Spain(Bilbao)	2,000	2,600	2,500	2,000	0.012	0.011	0.009	0.011	1,600	2,400	2,400	1,800
Indonesia(Dumai)	Indonesia(Dumai)	1,700	2,400	2,600	2,500	0.013	0.012	0.009	0.011	1,500	2,500	2,700	2,500

4.1.4 목표계획모형 관련 자료

이 외에도 [모형 P-2]의 목표계획모형에 관련된 자료 중 제품유의 안전재고 확보 부족에 따르는 가중치  $U_{pj}$ (\$/B/D), 원유의 안전재고 확보 부족에 따르는 가중치  $U_C$ (\$/B/D), 정유공장의 정제처리 능력 초과에 따르는 가중치  $W_i$ (\$/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 자료를 준비한다.

이하에서는 지면 관계상 이러한 메이저 석유회사의 가상사례에서 발생하는 원유화물의 해상수송을 위해, 이 연구에서 구현한 통합 선대관리 지원시스템이 메이저 석유회사 산하의 원유 선대의 최적 운항일정계획을 출력하는 것에 초점을 두고 시스템의 운용사례를 간략히 소개하고자 한다.

구성된 화물 자료와 초기 자료입력 과정에서 입력되는 선대 내의 선박 자료 및 항만 관련 자료들이다. 그림 4.2는 이러한 입력 자료들에 의해 준비된 자료들 중 계획기간에 발생하는 원유 수송 화물자료를 'Load' 버튼으로 불러 올린 화면 예이다.

ID	Date	Value	Location	Ship	Type
1	110160	200	18	15	Libao
2	110160	250	16	20	Libao
3	110160	210	20	25	Libao
4	110160	180	15	21	Libao
5	110000	150	20	25	Libao
6	110000	150	20	25	Libao
7	110000	210	44	58	Osaka
8	110000	150	20	25	Libao
9	110000	150	20	25	Libao
10	110000	210	42	52	Sabine
11	110000	200	15	20	Sabine
12	110000	210	63	83	Sabine
13	110000	150	20	25	Sabine
14	110000	150	20	25	Sabine
15	110000	150	20	25	Sabine
16	110000	150	20	25	Sabine
17	110000	150	20	25	Sabine
18	110000	150	20	25	Sabine
19	110000	150	20	25	Sabine
20	110000	150	20	25	Sabine

그림 4.2 선대 운영·관리 최적화를 위한 화물 자료예

4.2 시스템의 운용

4.2.1 생산·운영 최적화를 위한 자료 입력

그림 4.1은 시스템의 메이저 석유회사의 생산·운영 최적화와 관련된 자료 입력을 위한 4가지 화면 중의 하나인데, 원유 선적지와 정유공장, 제품유의 해외 수요지와 제품유의 종류 등에 관한 자료들을 대화식으로 입력할 수 있는 화면을 보여주고 있다.

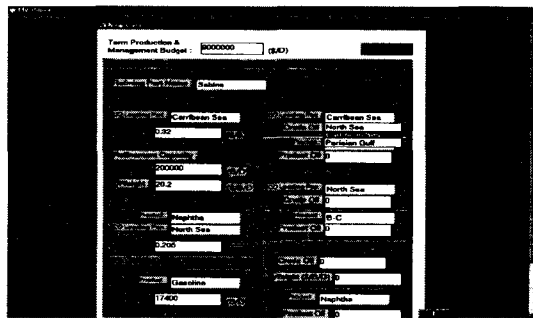


그림 4.1 생산 운영 최적화를 위한 대화식 입력 화면

4.2.3 선대의 최적 운항일정계획 출력

그림 4.3에는 선대 내의 선박의 모든 운항가능일정을 생성하여 주는 창, LINDO가 선대의 최적 운항일정계획을 위한 집합 패키징 모형의 최적해를 출력해 주는 창, 그리고 선대 내의 선박별 최적운항일정계획을 보여주는 가장 전면의 창들이 예시되고 있다.

Variable Name	Value	Constraint	Upper Bound	Lower Bound
X210	1.0000000	0.0000000E+00	0	0.10000
X211	1.0000000	0.0000000E+00	0	0.10000
X212	1.0000000	0.0000000E+00	0	0.10000
X213	1.0000000	0.0000000E+00	0	0.10000

Ship Name	Port	Value	Ship Type	Destination
MV Arger	18	25.1	Libao	41
MV Arger	15	31.0	Osaka	33
MV Arger	16	31.0	Osaka	41
MV Arger	17	31.0	Osaka	41
MV Arger	18	31.0	Osaka	41
MV Arger	19	31.0	Osaka	41
MV Arger	20	31.0	Osaka	41
MV Arger	21	31.0	Osaka	41
MV Arger	22	31.0	Osaka	41
MV Arger	23	31.0	Osaka	41
MV Arger	24	31.0	Osaka	41
MV Arger	25	31.0	Osaka	41
MV Arger	26	31.0	Osaka	41
MV Arger	27	31.0	Osaka	41
MV Arger	28	31.0	Osaka	41
MV Arger	29	31.0	Osaka	41
MV Arger	30	31.0	Osaka	41
MV Arger	31	31.0	Osaka	41
MV Arger	32	31.0	Osaka	41
MV Arger	33	31.0	Osaka	41
MV Arger	34	31.0	Osaka	41
MV Arger	35	31.0	Osaka	41
MV Arger	36	31.0	Osaka	41
MV Arger	37	31.0	Osaka	41
MV Arger	38	31.0	Osaka	41
MV Arger	39	31.0	Osaka	41
MV Arger	40	31.0	Osaka	41

그림 4.3 선대 최적 운항일정계획 출력 화면

4.2.2 선대의 운영·관리 최적화를 위한 자료

선대의 운영·관리 최적화를 위해 필요한 자료는 메이저 석유회사의 생산·운영 최적화의 결과로 구한 계획 기간중의 수송량  $X_{ij}$ ,  $Y_{jk}$ 를 바탕으로

이러한 시스템 화면의 스프레드시트들은 사용자에게 편리한 형태의 정보로 출력할 수 있다. <표 5>는 계획기간 중의 원유 수송 화물을 보여 준다.

〈표 5〉 계획 기간 중의 원유 수송 화물자료

ID	SIZE	WS	LoadDate	LoadPort	LI	DischDate	DischPort	Type
1	110160	300	18	Khafji	1	39	Bilbao	1
2	100000	250	16	Teesport	1	21	Bilbao	1
3	100000	270	20	Teesport	1	25	Bilbao	1
4	100000	267	16	Teesport	1	21	Bilbao	1
5	100000	350	20	Teesport	1	25	Bilbao	1
6	150000	200	26	Dubai	1	39	Dumai	1
7	300000	210	44	Khafji	1	58	Dumai	1
8	300000	400	70	Khafji	1	84	Dumai	1
9	300000	370	33	Curacao	1	41	Sabine	1
10	150000	270	42	Puerto La	1	52	Sabine	1
11	250000	280	73	Trinidad	1	83	Sabine	1
12	250000	310	83	Trinidad	1	93	Sabine	1
13	250000	200	89	Trinidad	1	99	Sabine	1
14	70000	365	79	Bilbao	1	83	Rotterdam	2
15	70000	387	84	Bilbao	1	88	Southampt	3
16	70000	301	89	Bilbao	1	99	Halifax	4
17	45000	287	93	Bilbao	1	97	Le Havre	4
18	90000	283	62	Dumai	1	72	Yosu	4
19	60000	350	68	Dumai	1	78	Dalian	5
20	70000	210	86	Dumai	1	97	Yokohama	5
21	72198	260	6	Dumai	1	24	Vancouver	3
22	49221	330	7	Dumai	1	25	Seattle	2
23	53000	310	20	Sabine	1	28	Boston	3
24	70000	278	23	Sabine	1	41	Vancouver	4

〈표 6〉 원유 선대의 최적운항일정계획

Ship Name	Utility	Cargo ID	WS	Load Port	Load Date	Disch Port	Disch Date
M/V Angel	82	4	267	Teesport	16	Bilbao	21
	82	9	370	Curacao	33	Sabine	41
	82	7	210	Khafji	44	Dumai	58
	82	8	400	Khafji	70	Dumai	84
	82	13	200	Trinidad	89	Sabine	99
M/V Faith	41	3	270	Teesport	20	Bilbao	25
	41	6	200	Dubai	26	Dumai	39
M/V Grace	43	5	350	Teesport	20	Bilbao	25
	43	10	270	Puerto La Cruz	42	Sabine	52
M/V Helper	55	1	300	Khafji	18	Bilbao	39
	55	11	280	Trinidad	73	Sabine	83
	55	12	310	Trinidad	83	Sabine	93
M/V Victory	44	2	250	Teesport	16	Bilbao	21
M/V Diamond	15	17	287	Bilbao	93	Le Havre	97
M/V King	34	23	310	Sabine	20	Boston	28
	34	19	350	Dumai	68	Dalian	78
M/V Marse	37	22	330	Dumai	7	Seattle	25
	37	14	365	Bilbao	79	Rotterdam	83
	37	15	387	Bilbao	84	Southampton	88
Max Value	Z=	5355					
Total	Number of	Variables	871				

<표 6>은 이 화물들을 수송하기 위한 인더스트리얼 캐리어의 원유 선대의 최적 운항일정계획을 보여주고 있다.

### 5. 결 론

화주 직접운항 유형으로 선박을 운항하는 해운 경영자를 가리키는 인더스트리얼 캐리어의 대표적인 예로는 세계적인 메이저 석유회사 산하의 유조선 해운을 들 수 있으며, 유사한 사례로는 세계적인 철강회사의 경우에도 발생한다. 이 연구는 이러한 인더스트리얼 캐리어를 위한 통합 선대관리 지원시스템의 개발에 관한 주제를 다루었다.

인더스트리얼 캐리어의 선대는 모회사의 생산·운영최적화의 결과로 발생하는 해사 수송 화물을 적시에 경제적·안정적으로 수송하기 위해 존재한다. 이 연구는 메이저 석유회사 산하의 유조선 해운의 사례를 중심으로 하여, 통합 선대관리 문제를 메이저 석유회사의 생산·운영최적화 단계와 선대의 운영·관리최적화 단계의 2단계 문제로 구분하고, 각 단계의 최적화 분석을 바탕으로 두 단계를 통합하여, 인더스트리얼 캐리어를 위한 통합 선대관리 지원시스템을 구현하고자 하였다.

시스템은 시스템 분석 및 설계를 바탕으로 Windows환경하에서 사용자의 편의성을 고려하여 Visual Basic 5.0으로 구현하였다. 구현된 시스템의 운용 사례를 보여주기 위해, 먼저 북해, 카리브 해, 페르시아 만 등 세곳의 주요 원유 선적지로부터 장기운송계약에 따라 원유를 적재하여, 미국의 Sabine, 스페인의 Bilbao 및 인도네시아의 Dumai 에 위치한 세 정유공장까지 수송하고, 이를 정제하여 네 종류의 주요 제품유(Morgas, Diesel, B-C, Naphtha)를 정유공장 현지의 내수시장에 판매할 뿐만 아니라, 해사수송을 통하여 미주 동, 서부, 유럽, 극동지역, 호주 등의 시장으로 판매하고 있는 세계적인 메이저 석유회사의 가상사례를 구성하였다. 그리고, 이러한 사례에서 발생하는 화물유의 해사수송을 위해, 이 연구에서 구현한 통합 선대관리 지원시스템이 인더스트리얼 캐리어 선대의 최

적 운항일정계획을 출력하는 것에 초점을 맞추어 시스템의 운용사례를 소개하였다. 지면 관계상 운용사례의 전과정을 다 서술하지는 못하였으나 이러한 운용사례를 통하여 개발된 시스템이 인더스트리얼 캐리어의 선대 운영·관리에 관한 의사결정을 효과적으로 지원할 수 있음을 살펴 보았다.

향후의 연구과제로는 이러한 통합 선대관리 지원시스템을 실제의 해운경영정보시스템에 접목하여 인더스트리얼 캐리어의 선대 운영·관리의 실무에 적용하는 연구들이 이루어져야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] David M. miller "An interactive computer-aided ship scheduling system", European Journal of Operational Research 32 p 363-379, 1987
- [2] David Ronen "Ship scheduling: The last decade", European Journal of Operational Research 71 p 325-333, 1993
- [3] G.B. Dantizg and D.R. Fulkerson, "Minimizing the number of tankers to meet a fixed schedule", Nav. Res. Log. Quart. pp217-222, 1954
- [4] Gerald G. Brown, Glenn W. Graves and David Ronen "Scheduling ocean transportation of crude oil", Management Science, Vol. 33, No. 3, 1987
- [5] Kenneth L. Stott, Jr. and Burine W. Douglas "A model-based decision support system for planning and scheduling ocean-borne transportation", Interfaces, Vol. 11, No. 4, 1981
- [6] Kim, Si-Hwa and Hee-Yong Lee, "A Study on the development of a decision support system for tanker scheduling", Korea Institute of Navigation, Vol 20., No 1., pp.27-46, 1996
- [7] Kim, Si-Hwa and Kyung-Keun Lee, "An

- optimization-based decision support system for ship scheduling”, *Computers & I.E., An Intl. Journal*, Vol. 33, 689-692, 1997
- [8] Kim, Si-Hwa and Kyung-Keun Lee, “Operational optimization analysis of industrial operators’ fleet”, *J. of Korean Operations Research and Management Science Society*, Vol. 23, No. 4., pp. 33-51, 1998
- [9] Kwak, Min-Seok, “A Study on the optimization of fleet operation for industrial carriers”, M.E. Thesis, K.M.U., 1998
- [10] Lawrence E. Briskin, “Selecting delivery dates in the tanker scheduling problem”, *Management Science*, 12, No. 6, B-224-34, 1966
- [11] M. Bellmore “A maximum utility solution to a vehicle constrained tankers scheduling problem”, *Nav. Res. Los. Quart*, Vol 5 p 403-411, 1968
- [12] Marshall L. Fisher “An Interactive Optimization for Bulk-Cargo Ship Scheduling”, *Nav. Res. Los. Vol. 36*, 1989
- [13] Turban, E., *Decision Support system and Expert System: Management Support System*, Macmillan Pub. Co., New York, 1990.
- [14] Whitten, Jeffery L., Lonnie D. Bentley, and Victor M. Barlow, *Systems Analysis & Design Methods*, 3rd Edition, Irwin Inc., 1994.
- [15] Winston, Wayne L., *Operations Research Applications and Algorithms*, 3rd Edition, International Thomson Pub., 1994
- [16] *Guide to Port Entry*, Shipping Guides Ltd., Reigate, England, Vol. 1-2, 1997.
- [17] *New Worldwide Tanker Nominal Freight Scale: applying to the carriage of oil in bulk, Code name “WORLDSCALE”*, As revised effective 1st JANUARY 1997, Worldscale Association(London) Ltd. and Worldscale Association(NYC) Inc., 1996.
- [18] *Shipping Statistics and Economics*, Drewry Shipping Consultants Ltd., June, 1998.
- [19] *Worldwide Distance Chart*, 3rd ed., Japan Navigating Officer’s Association, Kaibundo Pub. Co. Ltd., Tokyo, 1990.