

인더스트리얼 캐리어를 위한 선대운영의 최적화에 관한 연구

김 시 화* · 곽 민 석**

A Study on the Optimization of Fleet Operation for Industrial Carriers

Si-Hwa Kim · Min-Seok Kwak***

〈 목 차 〉	
Abstract	5.1 H 메이저 석유회사의 사례
제1장 서 론	5.2 LINDO를 이용한 최적해의 도출
제2장 문제의 개요	5.3 MoDiSS를 이용한 최적 운항일정 계획의 출력
제3장 정유회사의 운영최적화 문제	제6장 결 론
제4장 선대운영 최적화 문제	Reference
제5장 사례 연구(Case Study)	

Abstract

There are three basic modes of operation of ships: liner, tramp and industrial operations. Industrial operations, where the owner of the cargo, i.e. the industrial carrier controls the ships, abound in the shipment of bulk commodities, such as oil, chemicals and ores. Industrial carriers strive to minimize the shipping cost of their cargoes.

This paper is concerned with the operational optimization problem of a fleet owned by major international oil company. The major oil company is a holding corporation for a group of oil producing, transporting, refining, and marketing companies located in various countries throughout the world. The operational optimization problem of the fleet is divided into two-phases. The front end corresponds to the optimization of transporting crude oil, product mix, and the distribution of product oil to meet market demand. The back end tackles the operational optimization problem of the fleet to meet the transportation demand derived from the front end.

A case study is carried out with the H major oil company problem composed by reflecting the practices

* 정희원, 한국해양대학교 해사대학 교수
** 정희원, 한국해양대학교 대학원

of an international major oil company. The results are summarized and examined in the point of optimization for the total operation of the H major oil company and the operational optimization problem of the fleet. The paper concludes with the remark that the results of the study might be useful and applicable in practices of these related decision problems.

제1장 서론

선박 운항의 기본 유형은 정기선 운항(Liner operation), 부정기선 운항(Tramp operation), 화주 직접운항(Industrial operation)으로 구분된다. 정기선 운항자는 정해진 일정과 운항계획에 따라 단위 기간 당 수익을 최대화하고 선대 활용을 최적화하기 위하여 선박을 운항하며, 이를 위해 주로 컨테이너선과 잡화선이 투입된다. 부정기선 운항자는 장기운송계약(Contract of affreightment)에 따라 단위 기간 당 수익을 최대화하기 위하여 선박을 운항하며, 부정기선으로는 유조선, 전설물선 및 냉동선 등이 있다. 한편, 인더스트리얼 캐리어(Industrial carrier)는 화주로서 대개 자사 화물과 이 화물을 수송할 수 있는 자사 선대를 보유하고 있어 선박 운항시에 자사화물을 안정적이고 경제적으로 수송할 수 있도록 선대를 최적으로 운영하려 한다.

20세기에 들어와 1~2차 세계대전을 거치는 동안 조선공업 및 선박운항기술에 있어서 현저한 발전이 이루어졌다. 특히 1950년대 후반부터 세계경제가 급속하게 성장하면서 철강산업 및 석유화학공업이 비약적으로 발전하였으며, 이에 따라 원유, 철광석 등의 원자재와 제품유, 철강제품 등의 화물 수송 수요가 급증하게 되었다. 이러한 자사화물들을 안정적이고 경제적으로 수송하기 위하여 세계의 메이저 석유회사들이나 철강회사들은 주력기업 산하에 해운 선사를 두고 자사 선대 직접 운항하게 되었는데, 이와 같은 화주 직접운항 형태의 선박운항 유형을 주도하는 선주들을 가리켜 인더스트리얼 캐리어라 부른다. 이들의 목적은 첫째, 대기업에서 필요로 하는 원자재나 완제품을 원활히 공급하고 둘째, 중간 유통과정을 제거함으로써 해상수송비를 절감하며 셋째, 모회사에 특별한 이해관계가 있는 화물을 효율적으로 수송하는 것이

다. 이러한 화주 직접운항 형태인 인더스트리얼 캐리어는 현대 해운의 주요한 부분을 차지하고 있다. 국제적인 메이저 석유회사의 경우, 자기 그룹 내 정유회사들에게 필요한 원유와 정제된 제품유를 최소의 비용으로 적절한 시기에 수송할 수 있도록 선대운명을 최적화하는 문제는 매우 중요한 의사결정 문제가 된다. 본 연구에서는 이러한 인더스트리얼 캐리어를 위한 선대운명의 최적화 문제를 다루고자 한다.

제2장 문제의 개요

메이저 석유회사는 원유생산, 수송, 정제 및 판매 전 과정에 관여하는 국제적인 기업으로, 자사의 원유 및 제품유 수송에 화주 직접운항 형태의 해운을 도입하고 있는 대표적인 인더스트리얼 캐리어라 할 수 있다. 이러한 메이저 석유회사는 원유의 생산, 수송, 제품유의 분배 문제를 최적화하기 위하여 자사의 제품유에 대한 수요를 예측하고, 이를 바탕으로 산유국과 장기 원유 수급 계약을 맺어 원유의 도입, 정제, 출하, 수송, 저장, 판매에 이르기까지 안정된 시스템을 구축함과 동시에, 가장 경제적이고 안정적인 방법으로 원유 및 제품유를 수송함으로써 회사의 전사적 운영을 최적화하려 할 것이다.

이러한 메이저 석유회사 문제는 첫째로, 자사의 제품유에 대한 전세계 주요 수요지의 수요를 예측하여 그 예측을 바탕으로 메이저 석유회사의 전사적인 운영을 최적화하는 문제와 둘째로, 이를 바탕으로 도출된 원유 및 제품유의 수송수요를 충족시키기 위하여 보유하고 있는 선대를 최적으로 운영하는 문제로 나눌 수 있다. 즉, 전자는 원유의 수송, 정제, 배분 문제가 혼합된 최적화 문제이고, 후자는 메이저 석유회사가 인더스트리얼 캐리어로서 자사 선대를 이용하여 자사화물인 원유 및 제품유를 경

제적으로 수송하는 선대운영 최적화 문제가 된다.

본 연구에서는 메이저 석유회사가 인더스트리얼 캐리어가 되어 그 선대운영을 최적화하는 문제에 초점을 두었으며, 메이저 석유회사의 원유 및 제품유의 수송수요는 개별 정유회사의 운영 최적화 문제가 아닌 전사적 운영의 최적화를 바탕으로 도출된다는 가정하에 메이저 석유회사의 전사적 운영 최적화 문제도 함께 다루고자 한다.

제3장 정유회사의 운영최적화 문제

메이저 석유 회사는 중·장기 혹은 단기계약을 통하여 원유 선적지로부터 원유를 도입하고 이를 정제하여 그 제품유들을 저장, 수송, 판매하는 전과정을 경영하게 된다. 이러한 전 과정에서 메이저 석유회사는 제품유의 정확한 수요 예측, 정유평장의 처리능력, 자사보유선대의 규모, 저유시설의 저장능력, 그리고 경제적인 재고관리 등을 고려하여 장·단기 원유 수급 전략을 세우고, 이를 바탕으로 정유평장의 연간 생산계획을 수립한다. 이 연간 생산계획에 근거하여, 반기별·분기별 세부적인 생산계획을 세워 정유평장을 가동하여 정유회사의 운영 최적화를 이룬다. 그림 1은 이러한 메이저 석유회

사의 수송, 정제, 배분 네트워크를 보여주고 있다.

메이저 석유 회사는 l 개의 원유 선적지에서 원유를 도입하여 m 개의 정유 공장으로 수송하고 이 정유평장에서 정제공정을 통하여 s 개의 서로다른 제품유를 종류별로 생산하여 n 개의 수요지까지 안정적으로 수송 및 판매한다. 이 때, 위에서 서술한 모든 고려사항들을 만족시킬 수 있도록 정유회사를 최적으로 운영하게 된다. 이러한 메이저 석유회사의 전사적 운영 최적화 문제를 선형계획모형으로 정식화하면 다음의 [모형 P-1]과 같다.

[모형 P-1]

[기 호]

- $i = 1, 2, 3, \dots, l$ 원유 선적지
- $j = 1, 2, 3, \dots, m$ 정유평장
- $k = 1, 2, 3, \dots, n$ 제품유 수요지
- $r = 1, 2, 3, \dots, s$ 제품유 종류

[자 료]

- C_{ij} : 자사선대로 원유 선적지 i 에서 정유평장 j 까지 수송하는데 드는 비용 (\$/B)
- P_{ij} : 정유평장 j 에서 상압정제공정을 통해 원유 선적지 i 로 부터의 원유를 정제하는데 드는 비용 (\$/B)

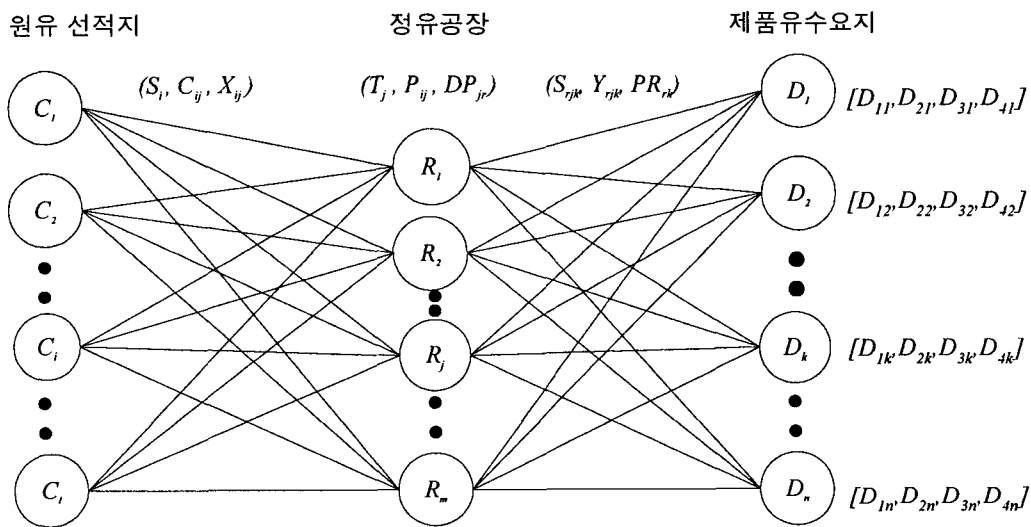


그림 1. 메이저 석유회사의 수송, 정제, 배분 네트워크

S_{rk} : 제품유 r 를 정유공장 j 에서 수요지 k 까지 수송하는데 드는 비용(\$/B)

H_{jr} : 정유공장 j 에서의 제품유 r 의 재고비용 (\$/B/D)

S_i : 원유선적지 i 에서 1일 적재할 수 있는 원유의 최대 적재량(B/D)

T_j : 정유공장 j 에서의 1일 원유 정제처리 능력 (B/D)

PR_{rk} : k 수요지에서의 제품유 r 의 수요량(B/D)

G_{rj} : i 원유선적지의 원유를 j 정유공장에서 정제할 때, 제품유 r 의 원유 1배럴당 생산비용

DP_{jr} : j 정유공장지역에서의 제품유 r 의 수요량 (B/D)

ST_{jr} : j 정유공장의 제품유 r 의 저장 능력(B/D)

[의사결정변수의 정의]

X_{ij} : 자사선대로 원유 선적지 i 로부터 정유공장에 공급되는 원유의 량(B/D)

Y_{rk} : 정유공장 j 에서 정제되어 수요지 k 로 공급되는 제품유 r 의 량 (B/D)

I_{jr} : 정유공장 j 에서의 제품유 r 의 재고량(B/D)

[목적함수의 정의]

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j X_{ij} (C_{ij} + P_{ij}) + \sum_r \sum_j \sum_k S_{rk} Y_{rk} + \sum_j \sum_r H_{jr} I_{jr}$$

[제약식의 정의]

(1) 원유선적 제약식

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

(2) 정유공장의 정제 처리 능력에 관한 제약식

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

(3) 제품유의 해외 수출 제약식

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

(4) 제품유의 내수 제약식

$$\sum_j G_{rj} X_{ij} - \sum_k Y_{rk} - I_{jr} = DP_{jr} \quad (\text{for all } r, j)$$

(5) 제품유 재고 저장능력에 관한 제약식

$$I_{jr} \leq ST_{jr} \quad (\text{for all } j, r)$$

(6) 모든 변수에 대한 비음제약조건(Nonnegativity

constraints)

이 모형에서 목적함수의 제 1 항은 원유의 수송 비용 및 정제 비용의 항을 나타내며, 제 2 항은 제품유의 수송비용, 그리고 마지막 항은 해외 수요 및 내수를 초과하여 정제된 제품유에 대한 재고비용을 나타낸다. 이 때, 이 모형에 사용된 달러(\$) 단위는 US 달러이며, (B/D)는 (Barrel/Day)를 나타낸다.

제4장 선대운영 최적화 문제

메이저 석유회사는 앞의 정유회사 운영최적화 문제에서 도출된 최적해를 바탕으로 자사의 보유 선대를 활용하여 원유 및 제품유 각각의 수요를 충족시킬 수 있도록 선대를 최적으로 운영한다. 화물의 운임과 선박의 운항비를 고려하여 계획기간 동안에 단위 기간 당 경영이익 및 운항 경제성을 향상시킬 수 있는 운항 일정계획을 수립하게 된다. 선대 운영시 자사화물의 용선시장에서의 운임 지표와 자사선대의 선박 운항비를 고려하여 선박을 적절하게 투입하는 운항 일정 계획을 수립하면 운항 경제성이 제고된다.

이때, 화물의 운임과 관련된 지표로는 탱커 용선시장의 용선 효율을 나타내는 Worldscale이 적용되며, 선박의 운항비는 인더스트리얼 캐리어의 관점에서 선박의 운항 특성, 선적화물의 운임 및 해당 시기의 용선 비용 등을 고려하여 산정될 수 있다. 선대 운영 최적화를 이루기 위하여 집합 패킹 문제로 모형화한 선박의 운항일정계획의 최적화 모형은 [모형 P-2]와 같다.

[기 호]

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 화물(인더스트리얼 캐리어의 자사 화물)

$k = 1, 2, 3, \dots, l$ 선박(인더스트리얼 캐리어의 자사 선박)

J_k = 선박 k 에 대한 후보 운항일정의 집합

[데이터]

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

p_i = 화물 i 를 수송할 경우의 운임

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

[의사결정 변수]

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

[모형 P-2]

$$\text{Min } Z = \sum_k \sum_{j \in J_k} h_{jk} y_{jk} + \sum_i (1 - \sum_{j \in J_k} \sum_k a_{ijk} y_{jk}) p_i$$

s. t. $\sum_{j \in J_k} y_{jk} \leq 1$ 각 선박 k 에 대하여

$\sum_k \sum_{j \in J_k} a_{ijk} y_{jk} \leq 1$ 각 화물 i 에 대하여

$y_{jk} \in \{0, 1\}, j \in J_k$ 각 선박 k 에 대하여

목적함수의 첫 번째 항은 인더스트리얼 캐리어의 입장에서 살펴보면 화물의 수송에 투입된 선박의

운항비에 해당되는 비용의 항이 되며, 두 번째 항은 자사화물을 자사선대로 수송하지 못한 화물에 대하여 지출해야 할 운임 즉, 기회비용의 항이므로, 이 목적함수를 최소화하는 문제로 표현한 것이다. 그리고, 첫 번째 제약식은 계획기간 동안에 보유 선대의 각 선박은 운항에 투입되지 않거나 투입되어도 단지 하나의 운항일정에 배정됨을 나타내며, 두 번째 제약식은 각 화물은 보유선대의 선박에 의해 수송된다면 단지 하나의 선박에 의해 수송되도록 한다는 제약조건이다. 이 [모형 P-2]를 이용하여 인더스트리얼 캐리어가 자사 화물을 가장 경제적으로 운항하기 위한 선대운영 최적화문제를 해결할 수 있다.

제5장 사례 연구(Case Study)

5.1 H 메이저 석유회사의 사례

그림 2는 H 메이저 석유회사가 세곳의 원유 선적지 North Sea, Caribbean Sea, Persian Gulf로부터

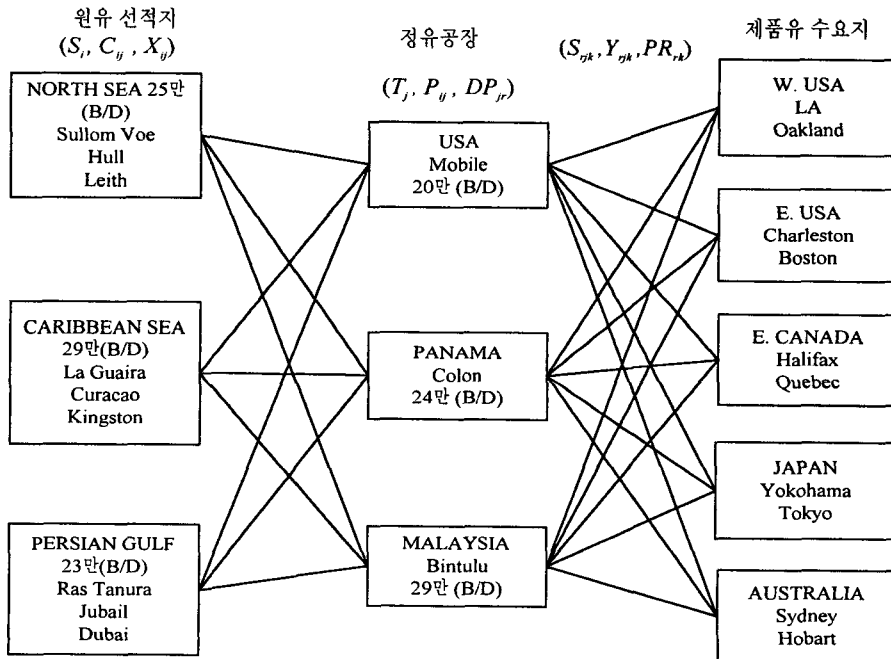


그림 2. H 메이저 석유회사의 원유 수송, 제품정제 및 배분 네트워크

터 원유를 도입하여, 미국의 Mobile, 파나마의 Colon 및 말레이시아의 Bintulu 세 정유공장까지 원유를 수송하고, 정유공장에서 정제된 네 종류의 제품유 Morgas, Diesel, Bunker-C(B-C), 그리고 Naphtha를 미국(정유공장 인근 내륙 수요시장), 파나마, 말레이시아의 국내시장뿐만 아니라, 미국 서부 및 동부, 캐나다 동부, 일본, 호주 등으로도 수송함으로써 각 판매시장의 수요를 충족시키기 위한 문제를 그림으로 나타낸 것이다.

(1) 원유 산지에서 원유 적재 및 수송

North Sea에서 적재할 수 있는 원유의 양은 최대 250,000(B/D)까지, Caribbean Sea에서는 최대 290,000(B/D)까지, Persian Gulf에서는 최대 230,000(B/D)까지 원유를 적재할 수 있다. 그리고, 각각의 원유 산지에서의 원유가격과 USA, Panama, Malaysia에 위치한 세 정유공장으로 수송할 때의 비용 등을 정리하면 <표 5-1>과 같다.

여기에서 원유 및 제품유의 수송비용은 Worldscale을 참고하였다.

(2) 정유공장의 제품유 생산

USA 및 Panama, Malaysia 세 정유공장에서 상압정제공정을 통하여 생산되는 제품유에 대하여 원유의 산지별 배럴당 제품유의 생산량 비율 및 공정비용에 관한 내용을 정리하면 <표 5-2>와 같다.

<표 5-1> 원유선적지의 적재가능 원유량 및 수송비

정유공장 j 원유 산지 i	수송비 C_{ij} (\$/B)			적재가능원유량 S_i (B/D)	원유가격 (\$/B)
	USA (Mobile)	Panama (Colon)	Malaysia (Bintulu)		
North Sea	9.15	9.5	15.23	250,000	14.90
Caribbean Sea	5.8	4.87	16.38	290,000	15.75
Persian Gulf	13.1	10.3	8.73	230,000	12.56

<표 5-2> 정유공장의 산지별 원유 배럴당 제품유의 생산비율 (G_{rij})

정유공장 j 원유산지 i 제품유 r	USA			Panama			Malaysia		
	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	0.253	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
공정비용 P_{ij} (\$/B)	0.32	0.24	0.23	0.27	0.26	0.29	0.30	0.29	0.31

(3) 정유공장의 정제공정비용 및 정제처리능력
정유공장의 산지별 원유 배럴당 공정비용 P_{ij} , 및 처리능력 T_j 를 정리하면 <표 5-3>과 같다.

(4) 제품유에 대한 수요

USA, Panama 및 Malaysia 세 정유공장에서 생산된 제품유에 대하여, 각 정유공장의 국내시장 및 해외시장에서의 수요량을 예측한 것을 정리하면 <표 5-4>와 같다.

(5) 제품유의 수요지별 수송비용

USA, Panama, Malaysia 세 정유공장에서 생산된 제품유를 해외시장으로 수송할 경우의 단위 수송비용 S_{rjk} 를 정리하면 <표 5-5>와 같다.

(6) 제품유의 재고 비용 및 재고 저장 능력

각 정유공장에서 정제된 제품유의 가격을 정리하면 <표 5-6>과 같다. 이는 월간 석유수급통계를 참고하였다.

정제된 제품유중 일부를 저유시설에 재고로 비축할 경우 발생하는 1일 재고비용은 연간 제품유 가격의 10% 정도로 보고 정리하면 <표 5-7>과 같다.

정유회사의 제품유의 재고 저장 능력은 보통 제품유 총 생산량의 20% 정도로 가정하여 이를 정리한 것이 <표 5-8>이다.

〈표 5-3〉 정유공장의 산지별 원유 배럴당 공정비용(P_{ij}), 및 처리능력(T_j)

정유공장 j 구분	USA			Panama			Malaysia		
	North Sea	Carib. Sea	Persian Gulf	North Sea	Carib. Sea	Persian Gulf	North Sea	Carib. Sea	Persian Gulf
정제공정비용 P_{ij} (\$/B)	0.32	0.24	0.23	0.27	0.26	0.29	0.30	0.29	0.31
정제처리능력 T_j (B/D)	200,000			240,000			290,000		

〈표 5-4〉 제품유의 내수 수요(DP_{jr}) 및 해외 수요(PR_{rk})

(단위:B/D)

시 장	제품유 r	수요			
		휘발유	경 유	B-C	나프타
해외 시장 k	West USA	22,000	31,000	27,000	22,000
	East USA	13,000	24,000	25,000	18,000
	East Canada	15,000	16,000	22,000	16,000
	Japan	25,000	27,000	31,000	18,000
	Australia	18,000	27,000	38,000	22,000
내수 시장 j	USA	9,000	15,000	16,000	13,000
	Panama	9,000	11,000	13,000	9,000
	Malaysia	13,000	22,000	31,000	20,000

〈표 5-5〉 제품유의 수송비용(S_{rjk})

(\$/B)

정유공장 j	수요지 k	수송비용				
		West USA	East USA	East Canada	Japan	Aust.
휘발유	USA	7.52	3.02	3.97	13.04	15.4
	Panama	5.89	4.48	5.23	12.63	14.83
	Malaysia	12.43	14.6	14.84	6.45	3.53
경 유	USA	7.52	3.02	3.97	13.04	15.4
	Panama	5.89	4.48	5.23	12.63	14.83
	Malaysia	12.43	14.6	14.84	6.45	3.53
B-C	USA	8.74	4.75	5.04	14.1	16.3
	Panama	6.78	5.22	5.56	13.43	15.67
	Malaysia	13.76	15.25	16.03	8.63	5.27
나프타	USA	8.74	4.75	5.04	14.1	16.3
	Panama	6.78	5.22	5.56	13.43	15.67
	Malaysia	13.76	15.25	16.03	8.63	5.27

〈표 5-6〉 제품유 가격 (\$/B)

정유공장 j \ 제품유 r	휘발유	경유	B-C	나프타
USA	25.2	23.9	18.5	22.8
Panama	24.8	22.9	17.4	21.9
Malaysia	25.4	23.5	18.2	22.6

〈표 5-7〉 제품유의 1일·배럴당 재고비용 (H_{jr}) (\$/B/D)

정유공장 j \ 제품유 r	휘발유	경유	B-C	나프타
USA	0.007	0.007	0.005	0.006
Panama	0.007	0.006	0.005	0.006
Malaysia	0.007	0.006	0.005	0.006

〈표 5-8〉 제품유의 재고 저장 능력 (ST_{jr}) (B/D)

정유공장 j \ 제품유 r	휘발유	경유	B-C	나프타
USA	1,800	3,000	3,200	2,600
Panama	1,800	2,200	2,600	1,800
Malaysia	2,600	4,400	6,200	4,000

〈표 5-9〉 1일 원유 수송량 (단위 : B/D)

Disch. port \ Load. port	Mobile	Colon	Bintulu	Total
North Sea	-	150,000*	44,849	194,849
Caribbean Sea	200,000	90,000	-	290,000
Persian Gulf	-	-	230,000	230,000
Total	200,000	240,000	274,849	714,849

5.2 LINDO를 이용한 최적해의 도출

앞 절에서 정리한 자료를 바탕으로 <부록>에 나타나 있는 선형계획모형을 구축하여 상용의 패키지 LINDO로 최적해를 구한 내용을 정리하면 다음과 같다.

5.2.1 원유 수송량

최적해의 의사결정 변수값을 근거로 하여 원유 선적지 North Sea, Caribbean Sea 및 Persian Gulf에서 세 정유공장 USA(Mobile), Panama(Colon), Malaysia(Bintulu)으로 수송되어야 할 1일 수송수요량을 정리하면 <표 5-9>와 같다.

*는 원유선적지 North Sea에서 정유공장 Colon까지 수송되는 원유량이 하루에 150,000배럴임을 나타낸다.

5.2.2. 제품유의 수송량

3곳의 정유공장에서 상압정제공정을 통하여 정제된 제품유(Morgas, Diesel, B-C, Naphtha)를 미국 서부 및 동부, 캐나다 동부, 일본, 호주 5곳의

수요지까지 제품유별 수요를 만족시키기 위해 수송해야 할 제품유의 양을 정리하면 <표 5-10>과 같다. 여기서 고려할 사항은 Morgas와 Diesel유는 한 척의 제품유 운반선에 혼재가 가능하므로, Clean cargo로 분류하여 1종의 화물로 취급한다.

*는 정유공장 Colon에서 제품유 수요지 W. USA까지 수송되는 Clean cargo(Morgas + Diesel)량이 하루에 53,000배럴임을 나타낸다.

5.3 MoDiSS를 이용한 최적 운항일정계획의 출력

상기 원유 및 제품유의 1일 수송량을 근거로하여 각 정유공장의 분기별 수급계획 및 각 수요지별 제품유의 분기별 수급계획을 수립하였다. 또한 이를 적기에 연중 고르게 각각의 수요지에 안정적으로 화물을 수송할 수 있도록 원유 산지로부터 정유공장까지 및 정유공장에서부터 제품유 수요지까지의 항만간 거리, 원유 및 제품유의 수송운임을 포함하는 화물자료, 선박의 운항비를 포함하는 선박에 관한 자료들을 정리하였으나 이는 지면관계로

<표 5-10> 제품유의 수송량

(단위 : B/D)

수요지 \ 정유공장		Mobile	Colon	Bintulu	total
W. USA	Clean cargo	-	53,000*	-	53,000
	B-C	-	27,000	-	27,000
	Naphtha	-	22,000	-	22,000
E. USA	Clean cargo	55,227	-	-	55,227
	B-C	15,000	10,000	-	25,000
	Naphtha	19,200	14,060	-	33,260
E. Canada	Clean cargo	7,573	23,430	-	31,003
	B-C	22,000	-	-	22,000
	Naphtha	16,000	-	-	16,000
Japan	Clean cargo	-	13,322	38,678	52,000
	B-C	-	27,670	3,330	31,000
	Naphtha	-	-	18,000	18,000
Australia	Clean cargo	-	-	45,000	45,000
	B-C	-	-	38,000	38,000
	Naphtha	-	-	43,933	43,933
Total		135,000	190,482	186,941	

약하였다. 이와 같은 자료를 선박의 운항일정 계획을 위하여 일반화한 최적화 모형인 집합패킹 모형을 기반으로 Kim과 Lee(1997)에 의해 개발된 MoDiSS(Model-based DSS in Ship Scheduling)에 입력하여, 선대운영을 최적화하여 주는 선박 운항일정계획을 구하였다.

5.3.1 원유선대의 최적운항일정 계획

MoDiSS가 출력한 원유 산지로부터 정유공장까지의 화물수송을 위한 원유선대의 최적운항일정 계획은 <표 5-11>과 같다.

*M/V Mercy은 25번 원유화물을 34일 Jubail항에서 선적하여 49일 정유공장 Bintulu까지 수송하여 양하한 후, 다시 공선으로 Dubai항에 입항하여 64

일 28번 원유화물을 선적하여 79일 정유공장 Bintulu까지 수송하는 것을 나타낸다.

5.3.2 제품유선대의 최적운항일정 계획

MoDiSS가 출력한 제품유 선적지로부터 수요지까지의 화물수송을 위한 제품유선대의 최적운항일정 계획은 <표 5-12>와 같다.

*M/V Pusan은 3번 제품유 화물을 26일 정유공장 Colon에서 선적하여 37일 제품유 수요지인 LA까지 수송하여 양하한 후, 다시 공선으로 Colon항에 입항하여 49일 54번 제품유 화물을 선적하여 71일 제품유 수요지 Tokyo까지 수송하는 것을 나타낸다.

<표 5-11> 원유선대의 최적운항일정 계획

Ship's Name	Op.Cost	CARGO	W.S.	L. PORT	L. DATE	D. PORT	D. DATE
M/V Vision	95	13	132	La Guaira	11	Colon	14
	95	5	156	La Guaira	22	Mobile	29
	95	6	156	Curacao	41	Mobile	48
	95	3	143	Leith	73	Mobile	90
M/V Dream	93	14	132	La Guaira	20	Colon	23
	93	11	171	Leith	55	Colon	72
	93	18	107	Kingston	92	Colon	94
M/V Hope	87	4	156	La Guaira	11	Mobile	18
	87	27	193	Jubail	52	Bintulu	67
	87	30	175	Dubai	82	Bintulu	97
*M/V Mercy	100	25	236	Jubail	34	Bintulu	49
	100	28	193	Dubai	64	Bintulu	79
M/V Peace	87	21	274	Leith	70	Bintulu	99
M/V Love	84	7	156	Curacao	65	Mobile	72
M/V Faith	96	23	157	Ras Tanura	14	Bintulu	27
	96	26	236	Jubail	43	Bintulu	58
	96	29	148	Dubai	73	Bintulu	88
M/V Grace	97	2	183	Hull	50	Mobile	66
	97	8	102	Kingston	87	Mobile	91
M/V Green	94	20	274	Hull	41	Bintulu	70
M/V Moon	94	15	132	Curacao	40	Colon	43
	94	16	107	Curacao	61	Colon	64
	94	17	107	Kingston	75	Colon	77

〈표5-12〉 제품유선대의 최적운항일정 계획

Ship's Name	Op.Cost	CARGO	W.S.	L. PORT	L. DATE	D. PORT	D. DATE
*M/V Pusan	190	3	263	Colon	26	LA	37
	190	54	265	Colon	49	Tokyo	71
	190	66	235	Bintulu	80	Tokyo	87
M/V Seoul	197	48	240	Colon	11	Quebec	19
	197	49	231	Colon	33	Quebec	43
	197	50	229	Colon	56	Halifax	66
	197	8	241	Colon	77	Oakland	89
M/V Masan	169	39	220	Mobile	27	Quebec	36
	169	40	231	Mobile	62	Quebec	71
	169	9	250	Colon	83	LA	94
M/V Daegu	175	23	254	Mobile	48	Charleston	52
	175	6	220	Colon	57	LA	68
	175	51	268	Colon	80	Quebec	88
M/V Incheon	200	79	220	Bintulu	21	Hobart	36
	200	60	255	Colon	71	Tokyo	93
M/V Daejun	188	34	235	Colon	27	Boston	34
	188	29	270	Mobile	46	Boston	52
	188	35	268	Colon	69	Charleston	74
M/V Kwangju	183	89	224	Bintulu	66	Sydney	79
M/V Ulsan	169	31	234	Mobile	17	Charleston	21
	169	46	239	Mobile	51	Halifax	58
	169	38	267	Colon	69	Charleston	74
M/V Kynggi	190	53	235	Colon	26	Yokohama	48
	190	64	270	Bintulu	57	Tokyo	64
	190	77	219	Bintulu	75	Hobart	90
M/V Kangwon	188	41	260	Mobile	10	Halifax	17
	188	12	235	Colon	59	Oakland	71
M/V Chungbuk	200	68	233	Bintulu	17	Yokohama	24
	200	69	241	Bintulu	41	Yokohama	48
	200	88	216	Bintulu	55	Hobart	70
M/V Chungnam	210	87	220	Bintulu	43	Sydney	56
	210	70	258	Bintulu	76	Tokyo	83
M/V Kyungbuk	186	11	258	Colon	25	Oakland	37
	186	13	249	Colon	66	LA	77
M/V Kyungnam	190	42	251	Mobile	33	Quebec	42
	190	43	254	Mobile	56	Quebec	65
	190	44	250	Mobile	79	Halifax	86
M/V Chunnam	186	62	251	Bintulu	20	Yokohama	27
	186	74	240	Bintulu	40	Yokohama	53
	186	65	251	Bintulu	70	Yokohama	77
M/V Chunbuk	200	80	223	Bintulu	36	Sydney	49
	200	82	216	Bintulu	66	Hobart	81
M/V Cheju	210	21	209	Mobile	27	Charleston	31
	210	5	218	Colon	45	LA	56
	210	26	261	Mobile	79	Charleston	83

제6장 결 론

선박 운항의 기본 유형은 정기선 운항, 부정기선 운항, 화주 직접운항 형태가 있다. 화주 직접운항 유형은 현대 선박 운항 형태의 주요한 부분을 차지하고 있는데, 이는 대화주인 인더스트리얼 캐리어가 대자본을 바탕으로 자사 선대를 보유하면서 자기 화물을 안정적이고도 경제적으로 수송하기 위하여 선대를 운영하는 것을 말한다. 메이저 석유회사는 원유생산, 수송, 정제 및 판매의 전 과정에 관여하는 국제적인 기업으로, 자사의 원유 및 제품유의 수송에 화주 직접운항 형태를 도입하고 있는 대표적인 인더스트리얼 캐리어라 할 수 있다.

본 연구에서는 메이저 석유회사가 인더스트리얼 캐리어가 되어 선대운명을 최적화하는 문제를 다루어 보았다. 메이저 석유회사의 선대운영 최적화 문제의 전반에 놓여 있는 메이저 석유회사의 전사적 운영 최적화 문제는 선형계획 모형으로 정식화하였으며, 이를 바탕으로 자사의 원유 및 제품유의 수송수요를 도출할 수 있음을 보였다. 메이저 석유회사의 선대운영 최적화 문제는 이러한 원유 및 제품유의 수송을 위해 원유선대와 제품유선대의 최적운항 일정 계획을 각각 수립하는 것이다. 이 문제는 0-1 정수계획법으로 모형화할 수 있었으며, 그 최적 운항 일정계획은 최적화 모형을 기반으로 개발된 선박운항 일정계획 의사결정 지원시스템(MoDiSS)을 사용하여 구할 수 있음을 보였다.

사례연구를 통하여 메이저 석유회사의 전사적 운영 최적화 문제의 해를 구하였으며, 사후분석을 통하여 제품유의 수요와 원유 및 제품유 수송비의 변화가 최적해에 미치는 영향도 검토하였으나 지면관계로 그 내용은 약하였다. 그리고 MoDiSS를 사용하여 구한 선대 내의 선박의 최적운항 일정계획으로 수송할 수 없는 원유 및 제품유는 용선시장에서 선박을 용선하여 그 화물을 수송하고, 반대로 최적운항 일정계획에 투입되지 않은 선박이나 다음 화물을 수송하기 위해 오랫동안 대기하는 선박이 있을 경우에는 용선시장에 용선을 주어 용선료 수입을 획득할 수 있도록 의사결정을 신속하게 할

수 있음을 보여주었다.

이상과 같은 연구 결과들은 인더스트리얼 캐리어의 선대운영 최적화와 관련된 실무적인 의사결정에 매우 유용하게 적용될 수 있으리라 사료되며, 이러한 연구 결과들을 보완하여 해운의 경영정보 시스템을 구축하는 문제는 차후의 연구과제로 삼고자 한다.

Reference

- 1) 김세현, 현대 경영 과학, 무역경영사, 1994.
- 2) 기획원, 해운경영학, 해문출판사, 1995.
- 3) 민성규, 해운경제학, 한국해양대학교출판부, 1973.
- 4) David Ronen, "Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems", European Journal of Operational Research Vol. 12, pp. 119-126, 1983.
- 5) David Ronen, "Ship Scheduling: The Last Decade", European Journal of Operational Research Vol. 71 pp. 325-333, 1993.
- 6) G. B. Dantzig and D. R. Fulkerson, "Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule", Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 1, pp. 217-222, 1954.
- 7) Gerald G. Brown, "Scheduling Ocean Transportation of Crude Oil", Management Science, Vol 33, No. 3, March 1987.
- 8) J. C. Whiton, "Some constraints on shipping in linear programming models", Naval Research Logistics Quarterly, pp. 257-260, 1967.
- 9) J. Laderman and L. Gleiberman, J. F. Egan, "Vessel Allocation By Linear Programming.", Naval Research Logistics Quarterly, Vol 13, No. 3, pp. 315-20, Sep. 1966.
- 10) Lawrence E. Briskin, "Selecting Delivery Dates In The Tanker Scheduling Problem.", Management Science, Vol 12, No. 6, pp.

- 224-34, Feb. 1966.
- 11) LINDO Systems, Inc., LINDO User's Manual, 1996.
 - 12) M. Bellmore, "A Maximum Utility Solution To A Vehicle Constrained Tanker Scheduling Problem", Naval Research Logistics Quarterly, Vol 15, No. 3, pp. 403-11, Sep. 1968.
 - 13) M.R. Rao and S. Zions, "Allocation of transportation units to alternative trips - A column generation scheme with out-of-kilter subproblems", Operations Res Vol. 16, pp. 52-63, 1968.
 - 14) Si-Hwa Kim, Kyung-Keun Lee, "An Optimization-based Decision Support System for Ship Scheduling", Computers & I.E., An Intl. Journal, Vol. 33, pp. 689-692, December, 1997.
 - 15) Si-Hwa Kim, Jung-Man Kim, Hee-Yong Lee, "A Tanker Scheduling Decision System for Ship Owners in the Spot Charter Market", The Research Institute of Maritime Industry, Vol. 7, pp. 91-106, January, 1998.
 - 16) T.E. Baker, "Interactive vessel scheduling at Exxon", Presented at CORS/TIMS/ORSA Joint National Meeting, Toronto, 1981.

<부록> Lindo 프로그램 실행을 위한
입력파일

Min 9.47 X11 + 9.77 X12 + 15.53 X13 +
6.04 X21 + 5.13 X22 + 16.67 X23 +
13.33 X31 + 10.59 X32 + 9.04 X33 +
7.52 Y111 + 3.02 Y112 + 3.97 Y113 +
12.61 Y114 + 15.4 Y115 + 7.52 Y211 +
3.02 Y212 + 3.97 Y213 + 13.04 Y214 +
15.4 Y215 + 8.74 Y311 + 4.75 Y312 +
5.04 Y313 + 14.10 Y314 + 16.30 Y315 +
8.74 Y411 + 4.75 Y412 + 5.04 Y413 +

14.10 Y414 + 16.30 Y415 + 5.89 Y121 +
4.48 Y122 + 5.23 Y123 + 12.63 Y124 +
14.83 Y125 + 5.89 Y221 + 4.48 Y222 +
5.23 Y223 + 12.63 Y224 + 14.83 Y225 +
6.78 Y321 + 5.22 Y322 + 5.56 Y323 +
13.43 Y324 + 15.67 Y325 + 6.78 Y421 +
5.22 Y422 + 5.56 Y423 + 13.43 Y424 +
15.67 Y425 + 12.43 Y131 + 14.60 Y132 +
14.84 Y133 + 6.45 Y134 + 3.53 Y135 +
12.43 Y231 + 14.60 Y232 + 14.84 Y233 +
6.45 Y234 + 3.53 Y235 + 13.43 Y331 +
15.25 Y332 + 16.03 Y333 + 8.63 Y334 +
5.27 Y335 + 13.43 Y431 + 15.25 Y432 +
16.03 Y433 + 8.63 Y434 + 5.27 Y435 +
0.007 I11 + 0.007 I12 + 0.005 I13 +
0.006 I14 + 0.007 I21 + 0.006 I22 +
0.005 I23 + 0.006 I24 + 0.007 I31 +
0.006 I32 + 0.005 I33 + 0.006 I34

S.T.

1) 원유선적 제약식

X11 + X12 + X13 <= 250000
X21 + X22 + X23 <= 290000
X31 + X32 + X33 <= 230000

2) 정유공장의 정제 처리 능력에 관한 제약식

X11 + X21 + X31 <= 200000
X12 + X22 + X32 <= 240000
X13 + X23 + X33 <= 290000

3) 제품유 해외 수출 제약식

Y111 + Y121 + Y131 >= 22000
Y211 + Y221 + Y231 >= 31000
Y311 + Y321 + Y331 >= 27000
Y411 + Y421 + Y431 >= 22000
Y112 + Y122 + Y132 >= 13000
Y212 + Y222 + Y232 >= 24000
Y312 + Y322 + Y332 >= 25000
Y412 + Y422 + Y432 >= 18000
Y113 + Y123 + Y133 >= 15000

$$\begin{aligned}
 Y213 + Y223 + Y233 &\geq 16000 \\
 Y313 + Y323 + Y333 &\geq 22000 \\
 Y413 + Y423 + Y433 &\geq 16000 \\
 Y114 + Y124 + Y134 &\geq 25000 \\
 Y214 + Y224 + Y234 &\geq 27000 \\
 Y314 + Y324 + Y334 &\geq 31000 \\
 Y414 + Y424 + Y434 &\geq 18000 \\
 Y115 + Y125 + Y135 &\geq 18000 \\
 Y215 + Y225 + Y235 &\geq 27000 \\
 Y315 + Y325 + Y335 &\geq 38000 \\
 Y415 + Y425 + Y435 &\geq 22000
 \end{aligned}$$

4) 제품유 의 내수 제약식

$$\begin{aligned}
 0.186 X11 + 0.213 X21 + 0.154 X31 - Y111 \\
 -Y112 - Y113 - Y114 - Y115 - I11 &= 9000 \\
 0.227 X11 + 0.230 X21 + 0.223 X31 - Y211 \\
 Y212 - Y213 - Y214 - Y215 - I12 &= 15000 \\
 -0.245 X11 + 0.265 X21 + 0.236 X31 - Y311 \\
 Y312 - Y313 - Y314 - Y315 - I13 &= 16000 \\
 -0.205 X11 + 0.254 X21 + 0.336 X31 - Y411 \\
 Y412 - Y413 - Y414 - Y415 - I14 &= 13000 \\
 -0.253 X12 + 0.173 X22 + 0.213 X32 - Y121 \\
 Y122 - Y123 - Y124 - Y125 - I21 &= 9000 \\
 -0.247 X12 + 0.235 X22 + 0.225 X32 - Y221 \\
 Y222 - Y223 - Y224 - Y225 - I22 &= 11000 \\
 -0.327 X12 + 0.318 X22 + 0.316 X32 - Y321 \\
 Y322 - Y323 - Y324 - Y325 - I23 &= 13000
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0.160 X12 + 0.254 X22 + 0.225 X32 - Y421 \\
 -Y422 - Y423 - Y424 - Y425 - I24 &= 9000 \\
 0.216 X13 + 0.235 X23 + 0.174 X33 - Y131 \\
 -Y132 - Y133 - Y134 - Y135 - I31 &= 13000 \\
 0.225 X13 + 0.257 X23 + 0.256 X33 - Y231 \\
 -Y232 - Y233 - Y234 - Y235 - I32 &= 22000 \\
 0.264 X13 + 0.165 X23 + 0.263 X33 - Y331 \\
 -Y332 - Y333 - Y334 - Y335 - I33 &= 31000 \\
 0.275 X13 + 0.325 X23 + 0.320 X33 - Y431 \\
 -Y432 - Y433 - Y434 - Y435 - I34 &= 20000
 \end{aligned}$$

5) 제품유 재고 저장 능력에 관한 제약식

$$\begin{aligned}
 I11 &\leq 1800 \\
 I12 &\leq 3000 \\
 I13 &\leq 3200 \\
 I14 &\leq 2600 \\
 I21 &\leq 1800 \\
 I22 &\leq 2200 \\
 I23 &\leq 2600 \\
 I24 &\leq 1800 \\
 I31 &\leq 2600 \\
 I32 &\leq 4400 \\
 I33 &\leq 6200 \\
 I34 &\leq 4000
 \end{aligned}$$