인더스트리얼 캐리어를 위한 선대운영의 최적화에 관한 연구

곽 민 석[1], 김 시 화[2]

A Study on the Optimization of Fleet Operation for Industrial Carriers

Min-Seok Kwak, Si-Hwa Kim

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 cost of shipping 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 of an international major oil company. The results are summarized and examined in the point of optimization for the total operation of the

1) 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과 석사과정 해사산업공학 전공
2) 한국해양대학교 해사수송과학부 교수

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.

제 1 장 서 론

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, 건살물선 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, 광석 등의 원료품의 수요가 급증하게 되었다. 이러한 원자재의 대량 수요에 부응하고 경제적으로 수송하기 위하여 선박의 대형화, 전용선화 및 고속화가 이루어졌다. 또한, 대기업들은 자기 기업내의 회사들에게 필요로 하는 원자재 및 생산품의 원활한 수송을 위하여, 주력기업 산하에 선박회사를 두고 그 선박들을 직접 운항시키게 되는데, 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 것이다. 이러한 화주 직접운항 형태인 인더스트리얼 캐리어는 현대 해운의 주요한 부분을 차지하고 있는 유형이라 할 수 있다. 국제적인 메이져 석유회사의 경우, 자기 그룹 내 정유회사들에게 필요한 원유와 정제된 제품유를 최소의 비용으로 적절한 시기에 수송할 수 있도록 선대운영을 최적화하는 문제는

dCollection

자사의 해운경영상에 있어 매우 중요한 사항이라 하겠다. 본 논문에서는 이러한 인더스트리얼 캐리어를 위한 선대운영의 최적화 문제를 다루고자 한다.

제 2 장 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.

대부분의 메이저 석유회사가 해결하지 않으면 안 되는 이 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 생산, 수송, 배분 문제가 혼합된 최적화 문제이고, 후자는 메이저 석유회사가 인더스트리얼 캐리어로서 자사선대를 이용하여 자사화물인 원유 및 제품유를 경제적으로 수송하는 선대운영 최적화 문제가 된다.

본 논문에서는 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.

제 3 장 정유회사의 운영최적화 문제

메이저 석유 회사는 중·장기 혹은 단기계약을 통하여 원유 선적지로부터원유를 도입하고 이를 정제하여 그 제품유들을 저장, 수송, 판매하는 전과정을 경영하게

dCollection

된다. 이러한 전 과정에서 메이져 석유회사는 제품유의 정확한 수요 예측, 정유공장의 처리능력, 자사보유선대의 규모, 저유시설의 저장능력, 그리고 경제적인 재고관리 등을 고려하여 장·단기 원유 수급 전략을 세우고, 이를 바탕으로 정유공장의 연간 생산계획을 수립한다. 이 연간 생산계획에 근거하여, 반기별·분기별 세부적인 생산계획을 세워 정유공장을 가동하여 정유회사의 운영최적화를 이룬다. 그림 2는 이러한 메이져 석유회사의 수송, 정제, 배분 네트워크를 보여주고 있다.

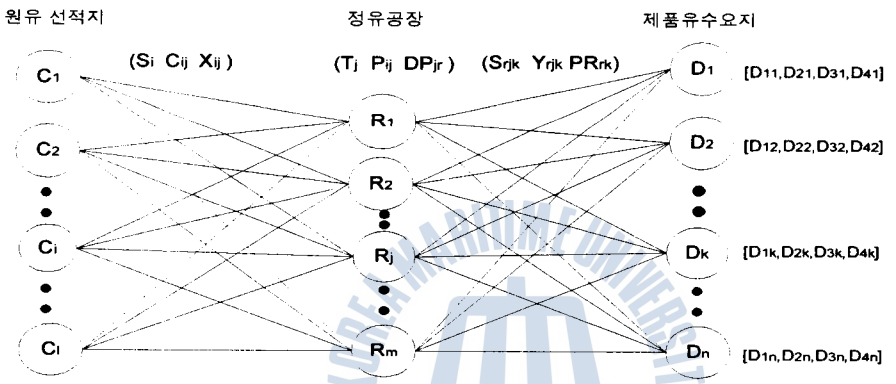

그림 1. 메이져 석유회사의 수송, 정제, 배분 네트워크

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

[모형 P-1]

[기 호]

i = 1, 2, 3,..., l 원유 선적지

j = 1, 2, 3,..., m 정유공장

k = 1, 2, 3,..., n 제품유 수요지

dCollection

r = 1, 2, 3,..., s 제품유 종류

[사 로]

C_{ij} : 자사선대로 원유 선적지 i에서 정유공장 j까지 수송하는데 드는 비용 (\$/B)

P_{ij} : 정유공장 j에서 상압정제공정을 통해 원유 선적지 i로 부터의 원유를 정제하는데 드는 비용 (\$/B)

S_{rjk} : 제품유 r를 정유공장 j에서 수요지 k까지 수송하는데 드는 비용(\$/B)

H_{jr} : 정유공장 j에서의 제품유 r의 재고비용(\$/B/D)

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

T_j : 정유공장 j에서의 1일 원유 정제처리 능력(B/D)

PR_{rk} : k 수요지에서의 제품유 r의 수요량(B/D)

G_{rij} : i 원유선적지의 원유를 j 정유공장에서 정제할 때, 제품유 r의 원유 1배럴당 생산비율

DP_{jr} : j 정유공장지역에서의 제품유 r의 수요량(B/D)

ST_{jr} : j 정유공장의 제품유 r의 저장 능력(B/D)

[의사결정변수의 정의]

X_{ij} : 자사선대로 원유 선적지 i로부터 정유공장 j에 공급되는 원유의 량(B/D)

Y_{rjk} : 정유공장 j에서 정제되어 수요지 k로 공급되는 제품유 r의 량 (B/D)

I_{jr} : 정유공장 j에서의 제품유 r의 재고량(B/D)

[목적함수의 정의]

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

[제약식의 정의]

(1) 원유선적 제약식

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

(2) 정유공장의 정제 처리 능력에 관한 제약식

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

(3) 제품유의 해외 수출 제약식

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

dCollection

(4) 제품유의 내수 제약식

$$\sum_i G_{rij} X_{ij} - \sum_k Y_{rjk} - I_{jr} = DP_{jr} \quad (\text{for } all\ r, j)$$

(5) 제품유 재고 저장능력에 관한 제약식

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

이 모형에서 목적함수의 제 1 항은 원유의 수송비용 및 정제 비용의 항을 나타내며, 제 2 항은 제품유의 수송비용, 그리고 마지막 항은 해외 수요 및 내수를 초과하여 정제된 제품유에 대한 재고비용을 나타낸다.

제 4 장 선대운영 최적화 문제

메이저 석유회사는 앞의 정유회사 운영최적화 문제에서 도출된 최적해를 바탕으로 자사보유선대를 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 용선 시장의 용선 요율을 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 운항 일정계획의 최적화 모형은 [모형 P-2]와 같다.

[기 호]

i = 1, 2, 3,..., n 화물(인더스트리얼 캐리어의 자사 화물)

k = 1, 2, 3,..., l 선박(인더스트리얼 캐리어의 자사 선박)

J_k = 선박 k에 대한 후보 운항일정의 집합

dCollection

[데이타]

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

p_i = 화물 i를 수송할 경우의 운임

h_{jk} = 선대내의 선박 k를 운항일정 j에 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 P-2]

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

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

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

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

목적함수의 첫 번째 항은 인터스트리얼 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 인터스트리얼 캐리어가 자사 화물을 가장 경제적으로 운항하기 위한 선대운영 최적화문제를 해결할 수 있다.

제 5 장 사례 연구(Case Study)

5.1 H 메이저 석유회사의 사례

그림 3은 H 메이저 석유회사가 세곳의 원유 선적지 North Sea, Caribbean Sea,

dCollection

Persian Gulf로부터 원유를 도입하여, 미국의 Mobile, 파나마의 Colon 및 말레이시아의 Bintulu 세 정유공장까지 원유를 수송하고, 정유공장에서 정제된 네 종류의 제품유(Morgas, Diesel, B-C, Naphtha)를 미국(정유공장 근처), 파나마, 말레이시아의 국내시장뿐만 아니라, 미국 서부 및 동부, 캐나다 동부, 일본, 호주 등으로도 수송함으로써 각 판매시장의 수요를 충족시키기 위한 문제를 도식화한 것이다.

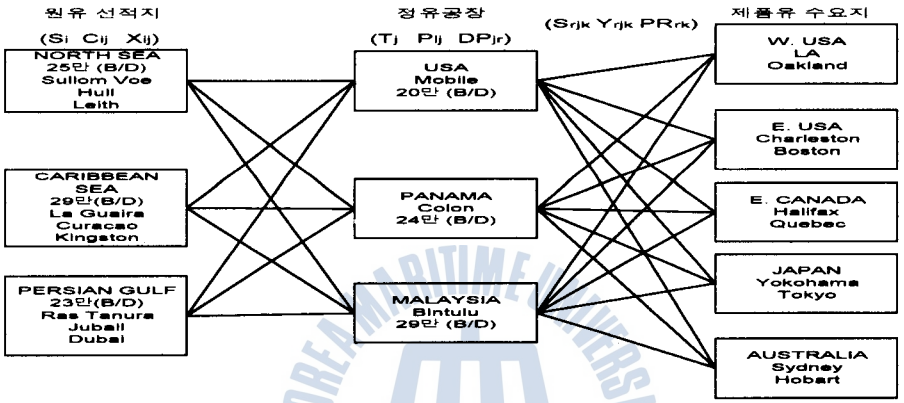

그림 3. H 메이져 석유회사의 원유 수송, 제품정제 및 배분 네트워크

H 메이져 석유회사의 원유 선적지, 정유공장, 제품유 수요지의 분포 현황을 나타내면 그림 4와 같다.

(1) 원유 산지에서 원유 적재 및 수송

North Sea에서 적재할 수 있는 원유의 양은 최대한 250,000(B/D)까지, Caribbean Sea에서는 최대한 290,000(B/D)까지, Persian Gulf에서는 최대한 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.

<표5-1> 원유선적지의 적재가능 원유량 및 수송비

정유공장 j / 원유 산지 i	수 송 비 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

dCollection

(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 <표5-2>와 같다.

<표5-2> 정유공장의 산지별 원유 배럴당 제품유의 생산비율 G_{ip}

정유공장 j / 원유산지 i / 제품유 p	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
경 유	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_{ip} ($/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_{ip}, 및 처리능력 T_j를 정리하면 <표5-3>과 같다.

<표5-3> 정유공장의 산지별 원유 배럴당 공정비용 P_{ip}, 및 처리능력 T_j

정유공장 j / 원유산지 / 구분	USA			Panama			Malaysia		
	North sea	Carib. sea	Persian Gulf	North sea	Carib. sea	Persian Gulf	North sea	Carib. sea	Persian Gulf
정제공정비용 P_{ip}($/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		

(4) 제품유에 대한 수요

USA, Panama 및 Malaysia 세 정유공장에서 생산된 제품유에 대하여, 각 정유공장의 국내시장 및 해외시장에서의 수요량을 예측한 것을 정리하면 <표5-4>와 같다.

dCollection

<표5-4> 제품유의 내수 수요 DP_{jr} 및 해외 수요 PR_{rk} (단위:B/D)

시장 \ 제품유 r		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

(5) 제품유의 수요지별 수송비용

USA, Panama, Malaysia 세 정유공장에서 생산된 제품유를 해외시장으로 수송할 경우의 단위 수송비용 S_{rjk}를 정리하면 <표5-5>와 같다.

<표5-5> 제품유의 수송비용 S_{rjk} ($/B)

정유공장 j \ 수요지 k		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

(6) 제품유의 재고 비용 및 재고 저장 능력

각 정유공장에서 정제된 제품유의 가격을 정리하면 <표5-6>과 같다. 이는 월간 석유수급통계를 참고하였다.

dCollection

<표5-6> 제품유 가격 ($/B)

제품유 r / 정유공장 j	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

정제된 제품유중 일부를 저유시설에 재고로 비축할 경우 발생하는 1일 재고비용은 연간 제품유 가격의 10% 정도로 보고 정리하면 <표5-7>과 같다.

<표5-7> 제품유의 1일 배럴당 재고비용 H_{jr} ($/B/D)

제품유 r / 정유공장 j	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

정유회사의 제품유의 재고 저장 능력은 보통 제품유 총 생산량의 20% 정도로 가정하여 이를 정리한 것이 <표5-8>이다.

<표5-8> 제품유의 재고 저장 능력 ST_{jr} (B/D)

제품유 r / 정유공장 j	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

5.2 수송계획, MoDiSS 실행

H 메이저 석유회사는 자사 제품유에 대한 내수시장의 수요와 미국 서부 및 동부, 캐나다 동부, 일본, 호주 등지의 해외 수요를 만족시키기 위하여 North Sea, Caribbean Sea, Persian Gulf등 세 원유 선적지로부터 USA, Panama, Malaysia에 위치한 세 정유공장으로 원유를 수송하여 이를 정제하는 정유회사들의 운영을 전사적으로 최적화하고자 한다. 이 문제를 앞 절에서 정리한 자료를 바탕으로 하여 제3장에서 제안한 최적화 모형으로 정리한 후, 이를 LINDO의 입력화일로 정리하여

dCollection

실행하면 원유산지에서 정유공장까지의 원유 수송량, 정유공장에서 각 제품유 수요지까지의 제품유별 수송량을 구할 수 있다. 이 수송량을 근거로하여 원유 및 제품유의 분기별 수급계획을 간트도표를 이용하여 분기내 고르게 수송할 수 있도록 수립하였다. 위 수급계획을 바탕으로, 원유산지에서 정유공장까지 및 정유공장에서 제품유 수요지까지의 transit time table로 만들고, 원유 및 제품유의 화물자료, 유조선 및 제품유 운반선의 선박자료를 선박운항 일정계획 의사결정 지원시스템(MoDiSS)을 이용하여 인더스트리얼 캐리어가 보유한 선대, 유조선과 제품유 운반선의 최적 운항일정계획을 수립하였다. 이 결과에 대하여 검토·분석하면 아래와 같다.

제 6 장 결과 및 검토

6.1 H 메이저 석유회사의 전사적 운영 최적화의 결과 분석

사례연구에 선형계획모형인 [모형 P-1]을 적용하여 구한 최적해의 결과를 분석하기 위하여, 잠재가격(Shadow price)과 수정비용(Reduced cost)을 조사하고 목적함수와 제약조건 등의 변화에 따라 현재의 최적해가 어떻게 변하는지를 민감도 분석(Sensitivity analysis)을 통하여 의사결정환경의 변화에 따른 사후적 분석이 가능하다. 아래에서는 이에 관하여 살펴본다.

6.1.1 수정비용

사례연구에 [모형 P-1]을 적용하여 구한 최적해에서 X11, X23, X31, X32는 0의 값을 갖는다. 즉, North Sea에서 USA에 있는 정유공장 Mobile까지, Caribbean Sea에서 Malaysia에 있는 정유공장 Bintulu까지, Persian Gulf에서 USA에 있는 정유공장 Mobile과 Panama에 있는 정유공장 Colon까지는 원유를 수송하지 않는 것으로 나왔다. X11, X23, X31, X32의 수정비용은 0.16, 10.8, 11.3, 7.8이다.

또한 제품유의 수송량에 해당하는 변수들 중 수정비용이 10이상 되는 것을 정리하면 Y415, Y425, Y131, Y132, Y133, Y231, Y232, Y233, Y331, Y332, Y333, Y432, Y433이며, 이 변수들은 최적해에서 0이었으며 그 수정비용은 각각 11.5, 10.4, 12.7, 16.5, 15.8, 12.7, 16.5, 15.8, 11.5, 14.8, 15.3, 10, 10.5이다. 즉, USA의 정유공장 Mobile에서 정제된 화학제품을 호주로 수송할 경우, Panama의 정유공장

Collection

Colon에서 정제된 화학제품을 호주로 수송할 경우, Malaysia의 정유공장 Bintulu에서 정제된 제품유 Morgas, Diesel, B-C, Naphtha들 미 서부지역과 동부지역, 캐나다 동부지역으로 수송한 경우 단위 수송량에 대하여 수정비용 만큼의 목적함수를 증가시킨다.

6.1.2 잠재가격

제약식의 우변항을 변화시킬 때, 목적함수의 값, 즉 비용을 감소시키는 제약식 중 잠재가격이 40이상 되는 제약식은 [모형 P-1]이 적용된 사례연구의 10번, 14번, 18번, 22번, 26번, 30번, 34번, 38번 제약식들이다. 이는 관련된 제품유의 해외 수요량 및 제품유의 내수 수요량의 단위 증가에 따라 목적함수는 잠재가격만큼 감소시켜 준다는 것을 의미한다.

또한 잠재가격이 0인 2번, 7번 제약식에 대한 여유변수의 값은 각각 North Sea에서 1일 원유적재 가능량에 55,152배럴의 여유가 있고, Malaysia의 정유공장 Bintulu의 1일 정제처리능력은 15,152배럴의 여유가 있다는 것을 보여 준다.

6.1.3 민감도 분석

1) 목적함수의 계수 변화

현재의 최적해를 유지하기 위한 목적함수의 계수들의 허용 증가치와 허용 감소치의 범위는 부록에 있는 것과 같다. 이 중 허용 범위의 폭이 좁아 그 계수의 변화에 따라 최적해에 민감하게 영향을 주는 것을 정리하면 다음과 같다.

변수	현재의 계수	A.I.	A.D.	비고
Y113	3.97	1.24	0.20	
Y213	3.97	1.26	0.20	
Y312	4.75	1.14	0.05	
Y413	5.04	0.05	0.29	
Y123	5.23	0.20	1.24	
Y223	5.23	0.20	1.26	
Y322	5.22	0.05	1.14	
Y422	5.22	0.05	1.75	

2) 제약식의 우변항의 변화

현재의 최적해를 결정짓는 제약식의 종류가 바뀌지 않도록 하기 위한 제약식의 우변항들의 허용 증가치와 허용 감소치의 범위는 부록에 있는 것과 같다. 이 중

dCollection

허용범위의 폭이 좁아 우변항의 변화에 따라 최적해에 민감하게 영향을 주는 것을 정리하면 다음과 같다.

Row	현재의 우변항	A.I.	A.D.	비 고
10	27,000	700.0	200.5	
14	25,000	700.0	200.5	
18	22,000	700.0	200.5	
22	31,000	700.0	200.5	
26	38,000	700.0	200.5	
30	16,000	700.0	200.5	
34	13,000	700.0	200.5	
38	31,000	700.0	200.5	

6.2 H 메이져 석유회사 선대의 최적운항 일정계획의 결과 분석

사례연구에 [모형 P-1]을 적용하여 최적해를 얻은 결과로부터 [모형 P-2]를 기반으로 개발된 MoDiSS에 원유 및 제품유에 관한 수송 화물자료 및 보유선대의 선박자료들을 입력한 결과 구한 바 있는 <표5-28>의 원유선대의 최적운항 일정계획과 <표5-29>의 제품유선대의 최적운항일정 계획의 결과를 분석한다.

6.2.1 원유선대의 최적운항일정 계획의 분석

원유선대의 최적운항일정 계획의 결과는 10척의 자사보유 선대로 30개의 화물 중 23개의 화물을 수송하는 것으로 나타났다. 수송되지 못한 화물은 1번, 9번, 10번, 12번, 19번, 22번, 24번 화물, 모두 7개이다.

수송되지 못하는 화물이 발생하는 이유는 화물의 선적일에 맞추어 선적항에 도착할 수 있는 선박이 없거나 수송 가능 화물이 있더라도 운임이 높은 화물 쪽으로 먼저 선박이 투입되기 때문이다. 예를 들면, 9번 화물과 19번 화물은 선적일이 다른 동일 지역의 화물이지만, 자사 보유 선대중 이 화물의 선적일을 맞추어 투입 가능한 선박이 없어서 수송되지 않았다. 이와 같이, 수송하지 못한 화물을 수송하기 위해서는 spot-charter 시장에서 선박을 용선하여 화물을 수송하도록 하여야 한다.

6.2.2 제품유선대의 최적운항 일정계획의 분석

제품유 수송을 위한 최적 운항일정계획의 결과는 30척의 자사 보유 제품 유 수송선대, Clean cargo carrier(13척), B-C carrier(10척의), Chemical carrier(7척) 를 활용

dCollection

하여 90개의 제품유 화물 중 77개의 화물을 수송하는 것이다. 수송되지 못하는 화물은 1번, 10번, 18번, 19번, 52번, 56번, 61번, 67번, 71번, 78번, 84번, 85번, 86번 화물, 모두 13개의 화물이다.

수송되지 못하는 화물이 발생하는 이유는 화물의 선적일에 맞추어 선적항 에 도착할 수 있는 선박이 없거나 수송 가능 화물이 있더라도 운임이 높은 화물 쪽으로 먼저 선박이 투입되기 때문이다. 이런 경우, 수송하지 못한 화물을 수송하기 위해서는 spot-charter 시장에서 선박을 용선하여 화물을 수송하도록 하여야 한다.

또한, 1/4분기 기간 내에 화물을 수송하고 다음 분기의 화물을 수송하기 위하여 대기하는 선박의 대기일수가 긴 선박의 경우, 즉 M/V Love(Crude oil Carrier), M/V Kwangju, M/V Tongyoung, M/V Kangwhado(Product oil Carrier)은 해당 분기 내 화물 수송을 완료하고 대기하므로, 용선 시장에 단기간 용선을 주어 용선료를 획득하는 것도 인더스트리얼 캐리어의 입장에서는 수익성 제고의 효과가 있다고 할 수 있다.

제 7 장 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 판매 전 과정에 관여하는 국제적인 기업으로, 자사의 원유 및 제품유의 수송에 화주 직접운항 형태를 도입하고 있는 대표적인 인더스트리얼 캐리어라 할 수 있다.

본 논문에서는 메이저 석유회사가 인더스트리얼 캐리어가 되어 선대운영을 최적화하는 문제를 다루어 보았다. 메이저 석유회사의 선대운영 최적화문제의 전반에 놓여 있는 메이저 석유회사의 전사적 운영 최적화 문제는 선형계획 모형으로 정식화하였으며 이를 바탕으로 자사의 원유 및 제품유의 수송수요를 도출할 수 있음을 보았다. 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 일정 계획을 최적화 모형을 기반으로 개발된 선박운항 일정계획 의사결정 지원시스템

(MoDiSS)을 사용하여 구할 수 있음을 보였다.

사례연구를 통하여 메이져 석유회사의 전사적 운영 최적화 문제의 해를 구하고 그 결과에 대한 민감도 분석과 사후분석을 통해 제품유의 수요와 원유 및 제품유 수송비의 변화가 최적해에 미치는 영향을 검토하였다. 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 경영정보시스템을 구축하는 문제는 차후의 연구과제로 삼고자 한다.

Reference

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

Lawrence E. Briskin, "Selecting Delivery Dates In The Tanker Scheduling Problem.", Management Science, Vol 12, No. 6, pp. 224-34, Feb. 1966

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.

J.C. Whiton, "Some constraints on shipping in linear programming models", Naval Research Logistics Quarterly, pp. 257-260, 1967

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

M.R. Rao and S. Zionts, "Allocation of transportation units to alternative trips - A column generation scheme with out-of-kilter subproblems", Operations Res Vol.

dCollection

16. pp. 52-63. 1968

T.E. Baker. "Interactive vessel scheduling at Exxon". Presented at CORS/TIMS/ORSA Joint National Meeting. Toronto. 1981

David Ronen. "Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems". European Journal of Operational Research Vol. 12. pp. 119-126. 1983

Gerald G. Brown. "Scheduling Ocean Transportation of Crude Oil". Management Science. Vol 33. No. 3. March 1987

David Ronen. "Ship Scheduling: The Last Decade". Europerean Journal of Operational Research Vol. 71 pp. 325-333. 1993

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.

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.

김세헌. 현대 경영 과학. 무역경영사 1994

기회원. 해운경영학. 해문출판사 1995

민성규. 해운경제학. 한국해양대학도서출판부 1973

Collection