

# 인더스트리얼 캐리어를 위한 통합 선대관리 지원시스템

허 강 이\* · 김 시 화\*\*

## Integrated Fleet Management Support System for Industrial Carrier

Kang-Yi Heo · Si-Hwa Kim

### Abstract

This paper aims at developing an integrated fleet management support system for industrial carriers who usually control the vessels of their own. 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 phases, the production operation of product oil and fleet scheduling problem. Relevant optimization models for each phase are proposed and then a user-friendly integrated fleet management support system is built based on the proposed optimization models for both ends under Windows environment.

### 1. 서 론

화주 직접운항이란 화주가 직접 자사 화물과 함께 이 화물을 수송할 수 있는 자사 선대를 보유하고 있어서 선박의 운항 시에 최적의 선대 운영 계획으로 자사화물의 수송 비용을 최소화하려는 선박 운항의 형태이다. 두 차례에 걸친 세계 대전 이후 세계 경제는 급격한 성장을 이룩해 왔고 철강 및 석유화학공업의 발달에 따라 원유, 광석 등 원료의 수요가 급증하게 되었다. 또한 각국의 대기업들은 자기 기업내의 원자재 및 생산품의 원활한 수송을 위해 주력 기업 산하에 선박회사를 두고 그 선박들을 직접 운항시키게 되는데, 이와 같은 화주 직접운항 형태의 선박운항 유형을 주도하는 선주들을 가리켜 인더스트리얼 캐리어(Industrial carrier)라고 한다. 이 논문에서는 이미 연구

\* 한국해양대학교 해사수송과학과 석사과정 경영과학 전공

\*\* 한국해양대학교 해사수송과학과 교수

가 이루어진 화주직접운항 유형의 선박 운항일정 계획 최적화 모형을 바탕으로 하여 인더스트리얼 캐리어를 위한 통합 선대관리 지원시스템을 개발하는 문제를 다루고자 한다.

## 2. 최적화 모형

### 2.1 문제의 정의

메이저 석유 회사란 원유의 수송 및 정제 그리고 제품유의 판매에 이르기까지의 모든 과정에 참여해야 하는 다국적 기업으로 보통 자사의 원유와 제품유 수송을 위해 자체 선대를 운영하는 해운 회사를 계열사로 두고 있다.

<그림 1>은 메이저 석유회사의 원유 수송 및 정제·배분 그리고 제품유 배분 네트워크를 나타내는 것이다. 메이저 석유회사는  $l$ 곳의 원유선적지  $L_i$  ( $i=1,2,\dots,l$ )로부터 원유를 선적하여,  $m$ 곳의 정유공장  $R_j$  ( $j=1,2,\dots,m$ )로 원유를 수송하여 서로 다른  $s$ 가지의 제품유  $r$  ( $r=1,2,\dots,s$ )을 정제한다. 이렇게 정제된 제품유들은 세계의 도처에 흩어져 있는  $n$ 곳의 해외 수요시장  $M_k$  ( $k=1,2,\dots,n$ )로 배분된다.

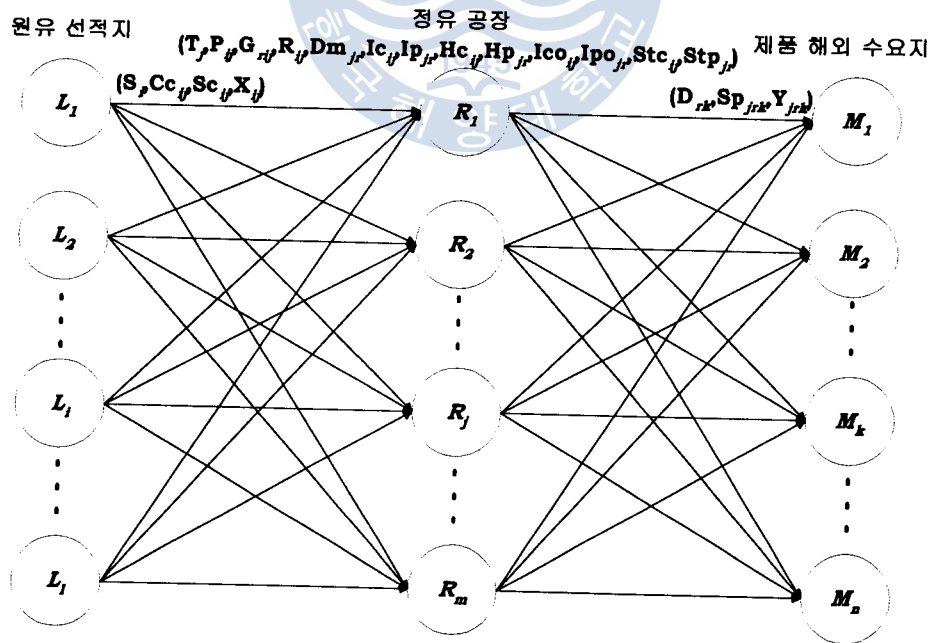


그림 1. 메이저 석유회사의 수송, 정제, 배분 네트워크

[기 호]

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

[자 료]

- $Cc_i$  : 원유선적지  $i$ 의 원유가격(\$/B)
  - $Sc_{ij}$  : 원유선적지  $i$ 로부터 정유공장  $j$ 까지의 원유수송비용(\$/B)
  - $Sp_{jrk}$  : 정유공장  $j$ 로부터 해외수요지  $k$ 까지 제품유  $r$ 의 수송비용(\$/B)
  - $S_i$  : 원유선적지  $i$ 로부터 장기 원유수급계약에 따른 일일 최대 적재 가능량(B/D)
  - $P_{ij}$  : 선적지  $i$ 로부터의 원유를 정유공장  $j$ 에서 정제 처리하는데 드는 비용(\$/B)
  - $T_j$  : 정유공장  $j$ 에서의 원유 정제처리 능력(B/D)
  - $G_{mj}$  : 선적지  $i$ 로부터의 원유를 정유공장  $j$ 에서 정제할 때 원유 1배럴당 제품유  $r$ 의 생산비용
  - $Hc_{ij}$  : 정유공장  $j$ 에서의 선적지  $i$ 원유의 재고비용(\$/B/D)
  - $Hp_{jr}$  : 정유공장  $j$ 에서의 제품유  $r$ 의 재고비용(\$/B/D)
  - $Ico_{ij}$  : 정유공장  $j$ 에서의 선적지  $i$ 원유의 초기재고량(B/D)
  - $Ipo_{jr}$  : 정유공장  $j$ 에서의 제품유  $r$ 의 초기재고량(B/D)
  - $Stc_j$  : 정유공장  $j$ 에서의 원유의 안전재고수준(B/D)
  - $Stp_{jr}$  : 정유공장  $j$ 에서의 제품유  $r$ 의 안전재고수준(B/D)
  - $Dm_{jr}$  : 정유공장  $j$ 에서의 제품유  $r$ 의 내수 수요량(B/D)
  - $D_{rk}$  : 해외 수요지  $k$ 에서의 제품유  $r$ 의 수요량(B/D)
- (\$ : US \$, B : Barrel, D : Day)

## 2.2 최적화 모형

원유의 수송, 정제 및 제품유의 배분에 이르기까지 전 과정을 최적화 하기 위한 수리모형으로 Kim & Lee(1998)는 다음과 같은 선형계획모형과 목표계획모형을 모형을 제시하였다.

### 2.2.1 선형계획모형(모형 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 1]

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j (C_{ci} + S_{cj}) X_{ij} + \sum_i \sum_j P_{ij} R_{ij} + \sum_j \sum_r \sum_k Sp_{jrk} Y_{jrk} + \sum_i \sum_j Hc_{ij} Ic_{ij} + \sum_j \sum_r Hp_{jr} Ip_{jr}$$

s. t.

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

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

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

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

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

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

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

nonnegative constraints ( for all variables )

### 2.2.2 목표계획모형(모형 2)

[모형 1]의 경우 해가 구해지지 않는 경우가 생기게 되는데 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. 이 문제를 해결하기 위해 목표 계획법을 이용하여 [모형 2]를 만들어 내었다.

## [복 표]

- ① 해외 시장에서의 제품유에 대한 수요 충족
- ② 계획 기간중 생산·운영 비용 통제
- ③ 장기 원유수급 계약에 따른 최대 원유 선적량 초과 억제
- ④ 정유공장의 정제처리 능력 초과 억제
- ⑤ 원유 및 제품유의 안전재고 확보

## [식 3]

$R_i$ : 계획 분기의 생산운영 비용예산(\$·D)

$W_s$ : 원유선적량  $i$ 에서 최대 원유선적량 초과에 따른 가중치(\$·B·D)

$W_h$ : 정유공장  $j$ 에서 정제처리 능력 초과에 따른 가중치(\$·B·D)

$Uc_j$ : 정유공장  $j$ 에서 원유의 안전재고 부족에 따른 가중치(\$·B·D)

$Up_{jr}$ : 정유공장  $j$ 에서 제품유  $r$ 의 안전재고 부족에 따른 가중치(\$·B·D)

## [모형 2]

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

s. t.

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

$$\sum_i \sum_j (Cc_i + Sc_{ij}) X_{ij} + \sum_i \sum_j P_{ij} R_{ij} + \sum_j \sum_r \sum_k Sp_{jrk} Y_{jrk} - dB^+ + dB^- = B$$

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

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

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

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

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

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

nonnegative constraints (for all variables)

[모형 2]는 [모형 1]에 추가하여 가중치와 예산의 개념을 새로이 도입했다. 첫 번째 식은 해외수요에 관한 제약을 두 번째 식에서는 총비용이 예산과 일치하도록 하였고 그 이후의 식들은 [모형 1]의 제약식에서 우변항에 대한 초과분과 미달시의 상태를 나타내는 의사결정변수들을 도입한 형태로 이 의사결정변수들이 바로 새로운 목적식에서 각각의 가중치에 따라 정도의 차이를 두고 최소화해야 할 대상이 된다.

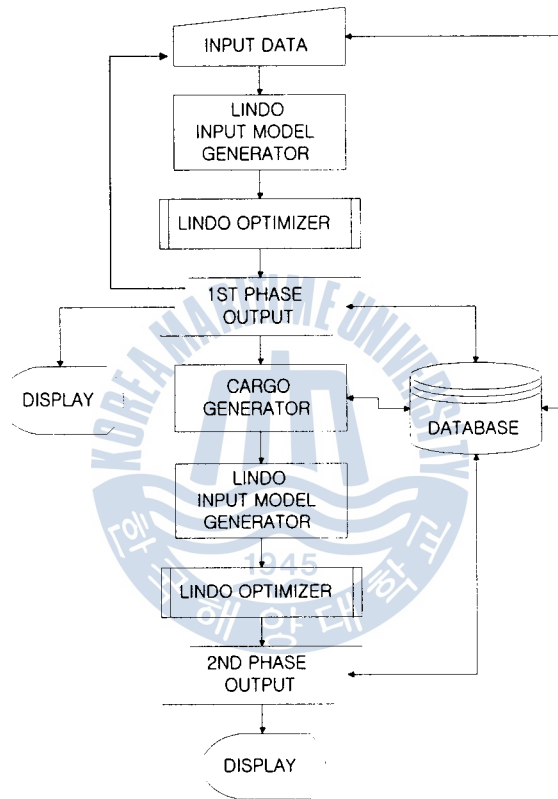


그림 2 시스템 흐름도

### 3. 시스템 분석 및 설계

이 논문에서 개발하고자 하는 통합 선대관리 지원시스템은 우선 메이저 석유회사의 생산 및 정제·배분 최적화 문제를 전사적으로 해결하고 이를 바탕으로 인더스트리얼 캐리어의 선대 운항일정 계획을 최적화할 수 있도록 지원하기 위한 시스템이다. 따라서 이 장에서는 이러한 시스템의 분석, 설계 및 구현을 다루고자 한다.

### 3.1 시스템 분석 및 설계

시스템 분석이 우리에게 무엇을 할 것인가(what to do)에 대한 설명을 명시한 부분이였다면, 시스템 설계는 어떻게 할 것인가(how to do)에 대해 규명하는 부분이다. 시스템은 크게 2단계에 걸쳐서 실행된 끝에 최종 결과인 선대 운항일정 계획을 얻을 수 있게 된다. <그림 2>는 전체적인 시스템의 흐름도를 간략하게 나타낸 것이다.

### 3.2 시스템 구현

시스템은 MDI(Multi Document Interface) 화면 안에서 다양한 입력 화면들과 결과 화면들이 작동하게 되어 있고, 복잡한 형태의 자료를 보기 쉽게 정리하여 표시하기 위해, 각 입출력 화면들에는 'Formula One' 이라는 'Visual Component'를 사용하여 초기 자료 및 결과 자료들을 사용자가 한 눈에 알아볼 수 있도록 하였다. <그림 3>은 생산·운영 최적화를 위한 기초 자료 입력 후 인콰 파일을 이용하여 Lindo를 실행시키고 외부파일을 만들어 내는 과정이다.

Ref. J   P.C.	Ipo. J(B/C)			Hp. J(\$/B/D)		
	gasoline-A	gasoline-B	B-C	gasoline-A	gasoline-B	B-C
Sabine	1300	2500	2			
Bilbao	2000	2600	2			
Duma	1700	2400	2			

SHIP ID	SIZE
1	30
2	20
3	20
4	26
5	26
6	26
7	20
8	26
9	45
10	45000
11	45000
12	50000

Shipping Schedule	From	To	Ship
1	Ras Tanura	Bilbao	208
2	Ras Tanura	Duma	136
3	Khafji	Sabine	334
4	Khafji	Bilbao	31

그림 3 Lindo 실행 파일 처리 화면

이렇게 해서 만들어진 생산 운영 최적화 결과 자료 가운데 해상 수송에 관련된 결과 값들이 선대 운영 최적화를 위한 화물 자료 구성의 바탕이 된다.

화물 자료와 선박 자료, 그리고 항간 거리 자료가 준비되면 선형 계획 모형을 사용하여 한번 더 LINDO PACKAGE를 이용한 최적 해를 구하게 된다. <그림 4>는 LINDO PACKAGE를 이용한 선대 운영 최적 해의 결과 화면을 보여주는 그림이다

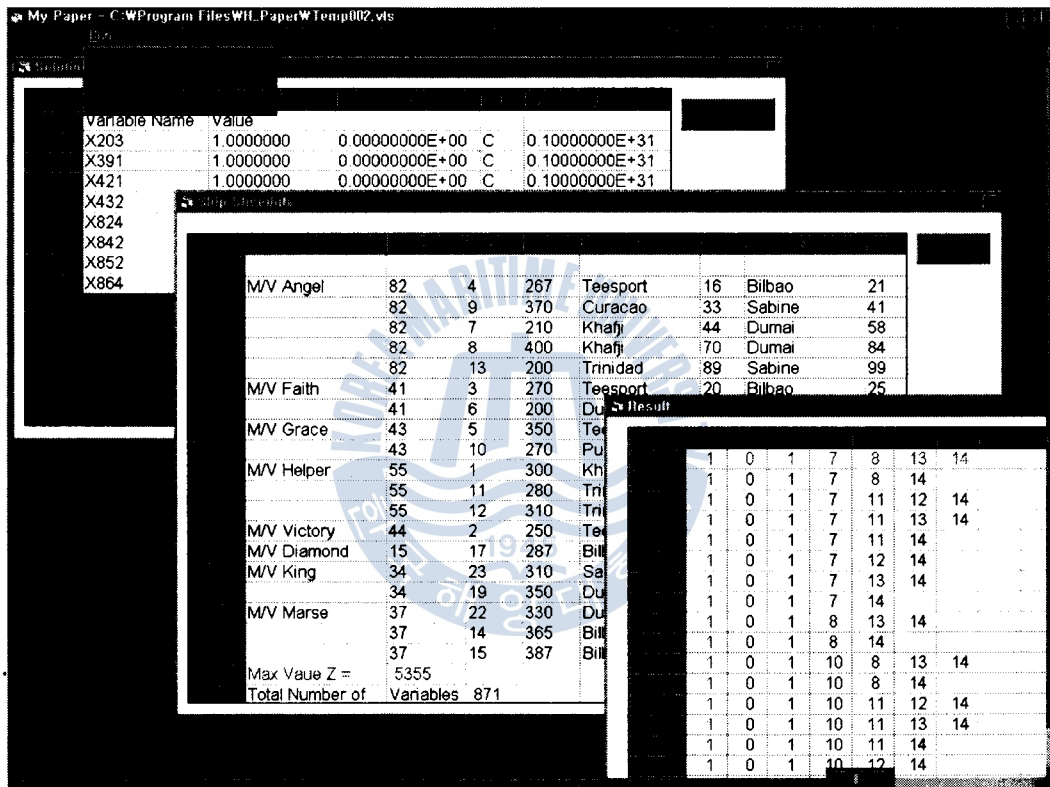


그림 4 선대 운영 최적해 결과 화면

## 4. 시스템 운용사례

### 4.1 생산 운영 최적화

다음의 표들은 생산 운영 최적화를 위해 실제 시스템 운용에 사용된 가상의 자료들이다.



〈표 1〉  $Sc_{ij}$ ,  $P_{ij}$ ,  $S_i$  및  $Cc_i$  에 관한 자료

CO <sub>j</sub>   Ref <sub>j</sub>	Sc <sub>ij</sub> (\$/B)			P <sub>ij</sub> (\$/B)			S <sub>i</sub> (B/D)	Cc <sub>i</sub> (\$/B)
	Sabine	Bilbao	Dumai	Sabine	Bilbao	Dumai		
North Sea	1.29	0.58	2.01	0.32	0.27	0.3	170000	15.9
Caribbean Sea	0.68	1	2.51	0.24	0.26	0.29	180000	15.25
Persian Gulf	2.15	1.44	0.85	0.23	0.29	0.31	210000	12.56

〈표 2〉  $G_{rij}$  및  $T_j$  에 관한 자료

Ref <sub>j</sub> PO <sub>r</sub>   CO <sub>l</sub>	Sabine			Bilbao			Dumai		
	North Sea	Caribbean Sea	Persian Gulf	North Sea	Caribbean Sea	Persian Gulf	North Sea	Caribbean Sea	Persian Gulf
gasoline-A	0.186	0.213	0.154	0.215	0.173	0.213	0.216	0.257	0.256
gasoline-B	0.227	0.23	0.223	0.247	0.235	0.225	0.225	0.165	0.263
B-C	0.245	0.265	0.236	0.327	0.318	0.316	0.264	0.325	0.32
Naphtha	0.205	0.254	0.336	0.16	0.254	0.225	0.275		
T <sub>j</sub> (B/D)	200000			180000			160000		

〈표 3〉  $Sp_{jrk}$ ,  $D_{rk}$  및  $Dm_{jr}$  에 관한 자료

PO <sub>r</sub>	Ref <sub>f</sub>   Dem <sub>l</sub>	West USA	East USA	Europe	Far East	Asia	Australia	Dm <sub>jr</sub> (B/D)
		gasoline-A	Sabine	2.7	1.27	2.43		4.48
	Bilbao	4.04	1.58	0.87		4.8	5.09	8600
	Dumai	3.18	4.24	3.75		1.63	2.11	8000
	D <sub>0k</sub>	17400	10200	19000		14500	12700	
gasoline-B	Sabine	2.56	1.21	2.31		4.26	4.11	14000
	Bilbao	3.84	1.5	0.82		4.56	4.83	14500
	Dumai	3.02	4.03	3.57		1.55	2	12400
	D <sub>1k</sub>	25400	19000	22000		18000	14200	
B-C	Sabine	2.02	0.95	1.82		3.36	3.24	15700
	Bilbao	3.03	1.18	0.65		3.6	3.81	13500
	Dumai	2.39	3.18	2.81		1.22	1.58	16800
	D <sub>2k</sub>	22500	20500	23000		26500	17500	
Naphtha	Sabine	2.43	1.14	2.19		4.03	3.89	12500
	Bilbao	3.64	1.42	0.78		4.32	4.58	10600
	Dumai	2.86	3.81	3.38		1.47	1.9	10800
	D <sub>3k</sub>	16500	14200	12700		17000	12700	

〈표 4〉  $Stp_{jr}$  및  $Stc_j$  에 관한 자료

Ref <sub>j</sub>   PO <sub>r</sub>	Stp <sub>jr</sub> (B/D)				Stc <sub>j</sub> (B/D)
	gasoline-A	gasoline-B	B-C	Naphtha	
Sabine	2000	2700	2700	2000	10000
Bilbao	1600	2400	2400	1800	9000
Dumai	1500	2500	2700	2500	8000

<표 5>  $Ico_{ij}$ ,  $Hc_{ij}$ ,  $Ipo_{jr}$  및  $Hp_{jr}$ 에 관한 자료

Co_i   Ref_j	lco_ij(B/D)			Hc_ij(\$/B/D)		
	Sabine	Bilbao	Dumai	Sabine	Bilbao	Dumai
North Sea	4000	5500	0	0.008	0.008	0.007
Carribbean Sea	2500	3000	4500	0.008	0.008	0.007
Persian Gulf	1500	0	6500	0.009	0.009	0.007

PO_r   Ref_j	lpo_jr(B/D)			Hp_jr(\$/B/D)		
	Sabine	Bilbao	Dumai	Sabine	Bilbao	Dumai
gasoline-A	1900	2000	1700	0.012	0.012	0.013
gasoline-A	2500	2600	2400	0.012	0.011	0.012
B-C	2500	2500	2600	0.009	0.009	0.009
Naphtha	2000	2000	2500	0.011	0.011	0.001

후      락

<표 6> [모형 2]의 목적함수의 가중치 및 B에 관한 자료

Ref_j   PO_r	Up_jr(\$/B/D)				Wt_j(\$/B/D)	Uc_j(\$/B/D)
	gasoline-A	gasoline-B	B-C	Naphtha		
Sabine	25	24	19	23	20.2	15.9
Bilbao	25	23	17	22	20.4	16.4
Dumai	25	24	18	22	21.7	16.4

Co_i	North Sea	Carribbean Sea	Persian Gulf	B(\$/D)
Ws_i(\$/B/D)	23.9	24.6	24.6	9000000

위의 자료를 바탕으로 [모형 1]의 선형계획 모형을 적용하여 해를 구한 결과는 실행불가능으로 나타났다. 그래서 <표 6>과 같은 가중치를 이용한 목표 계획 모형을 구축하여 그 해를 구하였으며 그 결과를 정리하면 다음의 <표 7>과 같다.

<표 7> [모형 2]의 해  $X_{ij}$ (B/D),  $R_{ij}$ (B/D) 및  $Y_{jrk}$ (B/D)

CO_i   Ref_j	Xij			Rij		
	Sabine	Bilbao	Dumai	Sabine	Bilbao	Dumai
North Sea	0	170000	0	4000	175500	0
Carribbean Sea	180000	0	0	182500	3000	0
Persian Gulf	22000	10500	159951	13500	1500	162951

PO_r	Ref_j   Dem_k	Yjrk				
		West USA	East USA	Europe	Far East Asia	Australia
Gasoline-A	Sabine	17400	7749	0	0	6646
	Bilbao	0	2450	19000	0	0
	Dumai	0	0	0	14500	6053
Gasoline-B	Sabine	25400	8509	0	0	484
	Bilbao	0	10490	22000	0	0
	Dumai	0	0	0	18000	13715

후      락

## 4.2 선대 운영 최적화

목표 계획 모형으로 얻은 계획 기간중의 수송량  $X_{ij}$ ,  $Y_{jrk}$ 를 바탕으로 구성된 화물 자료와 초기 자료입력 과정에서 입력된 선박 자료 및 항간 거리 자료로 <표 8>과 같은 선대 운영 최적해를 얻어낼 수 있었다.

<표 8> 선대 운영 최적화 결과

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
중 략							
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

## 5. 결 론

이 논문은 인더스트리얼 캐리어를 위한 화주 직접 운항 최적 선대운영 및 생산 및 분배 계획에 대한 의사결정 지원 시스템의 개발에 관해서 다루었고 화주 직접 운항 모기업의 생산 운영에 대한 최적화 시스템을 개발하였으며, 여기서 얻어진 결과가 최적 선대 운항 일정 계획에까지 연장될 수 있도록 통합된 시스템 개발을 꾀하였다. 이 과정에서 시스템의 설계 및 분석과정을 서술하였고 이를 구현하고 준비된 자료로 시험 운용된 결과들을 소개했다.

시스템을 개발하는 중에 생산 운영 최적화의 결과 자료를 이용한 화물자료의 구성 과정에서 대화식 입력을 통한 사용자의 참여를 유도했는데, 차후 이 부분을 적절한 방법으로 컴퓨터가 해결하게 할 수 있다면 더욱 완성도 높은 시스템이 만들어질 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김세현, “현대 경영 과학”, 무역경영사, 1994
- [2] Winston Wayne L., “Operations Research Applications and Algorithms”, 3rd Edition, International Thomson Pub., 1994
- [3] Kim, Si-Hwa and Kyung-Keun, Lee, “Operational optimization analysis of industrial operators’ fleet”, J. of Korean Operations Research and Management Science Society, 1998

