

유조선 운항 일정계획 의사결정 지원시스템의 개발에 관한 연구

김 시 화* · 이 회 용**

A Study on the Development of a Decision Support System for Tanker Scheduling

Si-Hwa Kim* · Hee-Yong Lee**

<목	차>
Abstract	4. TS-DSS의 개발
1. 서론	4.1 시스템 분석
2. 유조선 운항일정계획의 최적화 모형	4.2 시스템 설계
2.1 선박 운항일정계획에 관한 연구	4.3 시스템의 구현
2.2 유조선 운항일정계획의 최적화 모형	5. TS-DSS의 운용 및 수행도 분석
3. 최적화 모형의 구축과 해법	5.1 TS-DSS 입력 자료 준비
3.1 후보 운항일정의 생성과 최적화 모형의	5.2 TS-DSS 시험운용 및 결과분석
구축	6. 결 론
3.2 최적화 모형의 해법	참고문헌

Abstract

Vessels in the world merchant fleet generally operate in either liner or bulk trade. The supply and the demand trend of general cargo ship are both on the ebb, however, those trend of tankers and containers are in slight ascension. Oil tankers are so far the largest single vessel type in the world fleet and the tanker market is often cited as a textbook example of perfect competition.

Some shipping statistics in recent years show that there has been a radical fluctuation in spot charter rate under easy charterer's market. This implies that the proper scheduling of tankers under spot market fluctuation has the great potential of improving the owner's profit and economic performance of shipping.

This paper aims at developing the TS-DSS(Decision Support System for Tanker Scheduling) in the context of the importance of scheduling decisions. The TS-DSS is defined as the DSS based on the optimization models for tanker scheduling. The system has been developed through the life cycle of systems analysis, design, and implementation to be user-friendly system. The performance of the system

* 정희원, 한국해양대학교 해사수송과학과 교수

** 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과

has been tested and examined by using the data edited under several tanker scheduling scenarios and thereby the effectiveness of TS-DSS is validated satisfactorily. The authors conclude the paper with the comments on the need of appropriate support environment such as data-based DSS and network system for successful implementation of the TS-DSS.

1. 서 론

세계의 상선대는 크게 정기선 무역과 부정기선 무역으로 구분할 수 있는 해상무역에 투입되어 수송 서비스를 제공하고 있다. Fig. 1.1은 1992년 이후의 세계상선대의 공급에 관한 변화 추이를 보여주는 것으로 재래 화물선대의 완만한 퇴조와 유조선대, 컨테이너선대 및 특수 화물선대의 완만한 상승세를 나타내고 있다.

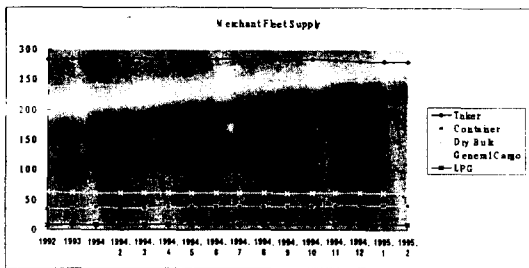


Fig 1.1 World Seaborne Trade Supply Trends
SOURCE : Lloyd's Shipping Economist, Vol. 17, NO. 6, June 1995.

그리고 Fig. 1.2는 선대의 공급의 경우와 매우 유사한 해상 수송 수요의 변화 추이를 보여주고 있으며 선대의 공급이 수송 수요를 약간 상회하고 있음을 알 수 있다. 다시 말하면, 세계의 상선대의 공급과 수요만으로 볼 때 미세하나마 대체로 용선자 우위의 시장(charter's market)을 형성하고 있다는 것이다.

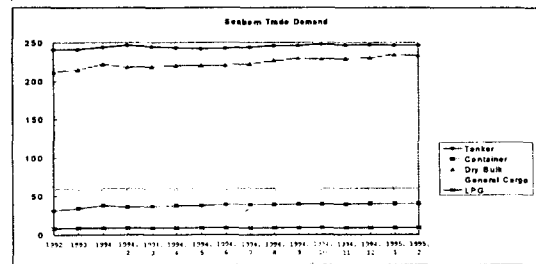


Fig. 1.2 World Merchant Fleet Demand Trends
SOURCE : Lloyd's Shipping Economist, Vol. 17, NO. 6, June 1995.

해운은 해상 수송 수요에 대하여 수송서비스를 생산, 공급하는 경제활동이라고 말한다. 정기선 무역의 경우 오랜 관행에 의한 해운동맹이 결성되어 있고 해운동맹에 가입된 정기선사는 공표되는 운항일정과 운임 요율에 따라 수요자에게 수송서비스를 제공하지만, 부정기선 무역의 경우는 이와 달리 해운 운임이 수요와 공급의 원리에 의해 결정된다. 특히, 유조선 용선 시장은 완전한 자유경쟁의 대표적인 예로 곧 잘 인용된다.¹⁾ 그런데 Fig. 1.3은 유조선대의 공급과 유조선 선복 수요의 완만한 변화에도 불구하고 유조선 용선 시장의 용선 요율은 대단히 첨예하게 변동하고 있음을 나타내고 있다.

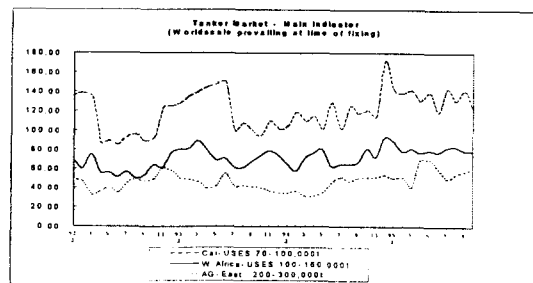


Fig. 1.3 Tanker Market Spot Rate
Source : Shipping Statistics and Economics Market Briefing, Dec. 1995.

이는 용선 시장의 용선 요율(spot rate)이 세계 상선대의 선복의 양적인 수요와 공급에 의해 영향을 받는 것보다는 임의의 시기에 발생하는 용선 시장의 선복 수요에 대하여 적시에 수송 서비스를 제공할 수 있는 선복의 공급량에 의해 더 결정적으로 영향을 받기 때문이다. 다시 말하면 유조선대의 공급이 유조선 선복 수요를 충족시키려면 그 선복 수요에 대하여 시의 적절하게 선박을 투입할 수 있어야 한다. 이러한 배경하에 유조선 운항일정계획은 유조선 영업 실무의 중요한 국면을 이루고 있으며 효율적인 유조선 운항일정계획의 수립은 유조선 운항의 경제성 향상 및 운항 이익의 극대화에 크게 기여한다.

흔히 해운 문제의 특징을 불확실성, 문제 구조의 다변성, 해운기업의 보수성, 해운시장의 국제성, 개방성, 불안정성 등으로 설명한다.²⁾ 문제의 성격이 불안정하고 불확실하여 그 문제의 구조가 다변성을 가질수록, 의사결정자가 보다 과학적이고 합리적인 의사결정을 내릴 수 있도록 지원하여 주는 시스템이 더 필요할 것이다. 이 연구는 이러한 점을 주목하여 특히, 유조선 및 살물선 등의 운항일정계획에 적용할 수 있는 유조선 운항일정계획 의사결정 지원시스템(TS-DSS : Decision Support System for Tanker Scheduling)을 개발하는 것을 그 목적으로 한다.

이 논문에서는 제1장 서론에 이어 제2장에서 유조선 운항일정계획의 최적화를 위한 수리모형들을 개괄하고 용선 시장 변동하의 유조선 운항일정계획에 적용할 수 있는 새롭게 보완된 수리모형을 제시한다. 제3장에서는 유조선 운항일정계획 문제를 해결하기 위한 절차를 후보 운항일정의 생성과 정수 계획 모형의 최적화로 나누어 서술하고 특히 가능한 모든 후보 운항일정의 생성을 위한 알고리즘을 제시한다. 제4장에서는 TS-DSS의 개발에 관하여 설명하고 제5장에서 개발된 TS-DSS의 운용 및 수행도를 분석·검토한 후 제6장에서 결론을 정리하고자 한다.

2. 유조선 운항일정계획의 최적화 모형

선박 운항의 기본적인 유형에는 정기선 운항, 부

정기선 운항, 그리고 화주 직접 운항 등이 있다. 유조선 운항의 경우는 부정기선 운항 또는 화주 직접 운항 또는 그 양자의 유형에 속한다고 할 수 있다. 부정기선 운항의 경우 선주는 단위 기간 당의 수익을 최대화하려는 목적으로 운항 일정계획을 수립하려 할 것이고, 화주 직접 운항의 경우 자사화물의 수송비용을 최소화하는 방향으로 선대를 운용하려 할 것이다.

이 장에서는 먼저 선박 운항일정계획에 관련된 기존의 연구를 개관하고 다음에 이 연구에서 다루고자 하는 유조선 운항일정계획의 최적화 모형의 구축에 관하여 서술하고자 한다.

2.1. 선박 운항일정계획에 관한 연구

선박 운항일정계획은 화물, 항만, 선박, 그리고 비용 등의 제 요소를 고려하여 수립된다. 선박 운항일정계획에 관련된 고전적인 연구로 Dantzig & Fullkerson (1954)이 발표한 히치코크 수송모형을 들 수 있으며 Briskin(1966)과 Bellmore(1968)는 이를 일반화한 선형계획모형으로 정식화한 바 있다.³⁾⁴⁾⁵⁾ 그리고 Laderman(1966)과 Whiton(1967)은 오대호의 여러 항만간의 화물을 수송하는 회사가 최소의 선박으로 수송 수요를 만족시키는 문제를 선형 계획법으로 모형화하여 연구하였다.⁶⁾⁷⁾

부정기선 운항일정계획 문제에 관한 전형적인 연구로는 0-1 정수 계획법으로 선박 운항일정계획을 최적화한 Appelgren(1969, 1971)의 연구를 들 수 있다.⁸⁾⁹⁾ Appelgren 이후의 선박 운항일정계획과 관련된 연구들로는 Bellmore(1971)등과 McKay & Hartley(1974)의 혼합 정수계획모형이 있으며, 기본적으로 Appelgren의 모형의 틀과 유사한 선박 운항일정계획 최적화 모형을 보여주는 것으로 Miller(1987), Brown(1987)등, Fisher & Rosenwein(1989), Bausch(1991)등의 연구가 있다.¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾ 여기서는 이러한 연구들의 흐름을 좇아 개관하여 소개한다.

2.1.1. Dantzig와 Fullkerson의 연구

유조선 운항일정계획과 관련된 Dantzig와 Ful-

kerson의 연구는 여러 화물의 수송 일정이 정해진 경우에 대하여 화물 수송 수요를 충족시킬 수 있는 최소 선박의 수를 구하는 문제를 연구하였다.

Dantzig와 Fulkerson은 어느 화물의 수송에 투입된 선박을 다른 화물의 수송에 다시 투입함으로써 전체 투입 선박의 수를 최소화할 수 있다는 것을 토대로, β 일에 j 양하항에 양하한 후 다시 α 일에 i 적하항에서 적하할 화물을 싣도록 재배치하는 선박수 $x_{\alpha i \beta j}$ 를 최대화하는 다음과 같은 선형 계획 모형을 제안하였다.

$$\begin{aligned} \text{Max } & \sum_{\alpha, i} \sum_{\beta, j} x_{\alpha i \beta j} \\ \text{s. t. } & \\ & \sum_{\alpha, i} x_{\alpha i \beta j} \leq N_{\beta j} \\ & \sum_{\beta, j} x_{\alpha i \beta j} \leq n_{\alpha i} \\ & x_{\alpha i \beta j} \geq 0 \end{aligned}$$

단, $N_{\beta j}$: β 일에 j 양하항에 도착하는 유조선의 수
 $n_{\alpha i}$: α 일에 i 적하항에서 적하할 화물의 수

이는 바로 히치코크 수송모형의 형태를 가지며 Dantzig와 Fulkerson은 간단한 표를 이용하여 이 문제의 최적해를 구할 수 있음을 보여 주었다.

2.1.2. Bellmore의 연구

Bellmore(1968)의 연구에서는 Dantzig와 Fulkerson의 유조선 운항일정계획 문제를 변형하여 주어진 선박을 이용하여 최대의 효율을 얻도록 선박의 운항일정계획을 수립하는 문제를 다루었다. Dantzig와 Fulkerson의 유조선 운항일정계획 문제는 주어진 화물 수송을 위한 일정에 차질이 없는 최소 선박의 수를 구하는 것이었다. 만약, Dantzig와 Fulkerson의 연구에서 구한 최소 선박의 수보다 적은 수의 선박으로 주어진 화물을 수송하여야 한다면, 어떤 화물의 수송은 취소될 수 밖에 없다. Bellmore가 제안한 모형은 제한된 선박으로 어떤 화물의 수송이 취소될 수도 있다는 가정하에 각 화물 수송의 효율성을 고려하여 그 효율을 최대화하는 선박 운항 일정계획을 수립하는 모형이다.

Bellmore는 s^* , s , X , Y , t 등의 마디들의 집합과

각 선박의 가능한 운항일정이 경로로 나타나는 Fig. 2.1과 같은 방향성 네트워크 G^* 를 정의하였다.

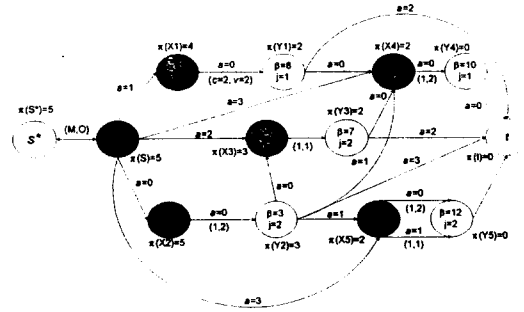


Fig. 2.1 Network Model of Bellmore

여기서 s^* 는 사용가능한 선박 M 척이 투입되는 것을 의미하는 가상의 시작마디이며 s 와 t 는 각각 시작마디와 종료마디이다. 그리고 α 일에 i 적하항에서 적하할 화물이 적어도 하나 있을 경우와 β 일에 j 양하항에서 양하를 마쳐야 할 화물이 적어도 하나 있을 경우에 대하여 각각 $x \in X$ 인 마디 $x \sim (\alpha, i)$ 와 $y \in Y$ 인 마디 $y \sim (\beta, j)$ 가 있다.

가지 (X, Y) 는 화물의 적양하일과 항구간의 항해 소요 일수를 고려하여 정의되며 두 항구간에 수송하여야 할 복수의 화물에 대하여는 마디간의 평행 가지들이 정의된다. 가지 (Y, X) 는 양하항에서 화물을 양하하고 다시 그 선박을 적하항으로 배정할 수 있을 경우에 정의된다. 이들 각 가지에는 수송화물, 항해자료 등에 의해 주어지는 용량 및 효율 (c, v) 가 정의되어 있으며 가지 (s^*, s) , 가지 (s, X) , 그리고 가지 (Y, t) 들 위에도 개념적으로 이해할 수 있는 용량 및 효율이 Fig. 2.1의 네트워크 상에 나타나 있다.

Bellmore는 이 방향성 비순환 네트워크에 최장 경로 알고리즘을 적용하여 최대흐름(최대효용) $\pi(s^*)$ 와 임의 마디 e 에서 종료마디 t 까지의 최대흐름 $\pi(e)$ 를 구하고 이로부터 각 가지의 비용 a 를 정의함으로써, 제한된 선박으로 화물 수송의 효율을 최대화하는 선박 운항일정계획 문제를 최소비용 최대흐름의 문제로 모형화하여 해결하였다.

이 연구의 결과는 이후의 선박 운항일정계획의 연구에서 선박의 후보 운항일정 생성을 위한 중요한 단서가 된다.

2.1.3. Appelgren 이후의 연구

Appelgren의 연구는 부정기선 운항일정계획 문제에 관한 전형적인 연구라 할 수 있다. Appelgren의 연구에 앞서 Laderman 등은 오대호의 다양한 항만간 화물들을 수송하는 회사가 최소의 선박으로 수송수요를 충족하는 문제를 선형계획법으로 모형화하였고, Whiton은 이 모형에 항만 수용능력 및 화물취급 능력 등에 관한 제약조건을 추가하여 연구한 바 있다.

그러나 Appelgren은 부정기선 무역의 성격을 잘 반영한 다양한 속성의 선박과 화물에 대하여 다양한 의사결정 준거에 따른 목적함수를 정의하고 0-1 정수 계획법으로 선박 운항일정계획을 최적화하고자 하였으며, 더우기 이 최적화 모형은 이후의 선박 운항일정계획 관련 연구에 결정적인 영향을 미쳤다고 할 수 있다.

Appelgren의 0-1 정수계획 모형 이후, 부정기선의 선박 운항일정계획 문제는 선박의 후보 운항일정을 구하는 문제와 이들 후보 운항일정의 선택 여부를 0-1 정수변수로 취한 정수계획모형의 최적해를 구하는 문제의 두 단계로 구분되고 있다. Appelgren은 이 연구에서 화물은 크기, 유형, 적양 하일, 적양하 항구, 적양하 시간, 운항비, 운임 등의 특성으로 구분하고 선박은 크기, 수송 가능 화물, 초기 위치, 초기 투입 날짜, 선속, 연료 소비량, 위치 비용 등의 속성으로 구분하여 이들 자료를 각 선박의 가능한 운항일정을 구하는 제약조건에 반영하였다.

$M(i)$ 는 선박 i 의 모든 가능한 운항일정의 집합이며, $v(i, j)$ 는 선박 i 가 운항일정 j 에 배정될 경우의 운항이익을 나타내는 목적함수의 계수이고, $a(i, j, k)$ 는 선박 i 의 운항일정 j 에 의해 화물 k 가 수송되면 1, 그렇지 않으면 0인 계수이다.

그리고 $x(i, j)$ 는 선박 i 가 운항일정 j 에 배정될 경우에는 1, 그렇지 않으면 0을 취하는 0-1 의사결정 변수라 하면 Appelgren의 선박 운항일정계획 최적

화 모형은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{Max } \sum_i \sum_{j=1}^{M(i)} v(i, j)x(i, j)$$

S.t.

$$\sum_{j=1}^{M(i)} x(i, j) = 1 \quad \text{모든 } i \text{ 선박에 대하여}$$

$$\sum_i \sum_{j=1}^{M(i)} x(i, j)a(i, j, k) \begin{cases} \leq 1 \\ = 1 \end{cases} \quad \text{모든 } k \text{ 화물에 대하여}$$

Appelgren의 모형에서 목적 함수는 모든 선박 i 의 운항일정에 대한 운항이익의 총합을 최대화하고자 하는 것이며, 첫번째 제약식은 각 선박이 단지 하나의 운항일정에 배정됨을 나타내고, 두번째 제약식은 각 화물이 단지 하나의 선박에 의해 수송되도록 한다는 제약 조건이다.

Appelgren 이후의 선박 운항일정계획과 관련된 연구들로는 Bellmore 등과 McKay & Hartley의 유조선 운항일정계획을 위한 혼합 정수계획모형이 있으며, Brown 등이 중동에서 유럽 및 북미 지역으로 원유를 수송하는 메이저 석유회사 화주 직접 운항의 유조선 운항일정계획 문제를 집합 분할 문제로 모형화한 연구와 Fisher & Rosenwein이 선박 운항일정계획 문제를 집합 패키징 문제로 모형화하여 이를 미 해군 MSC(Military Sea Lift) 휘하의 유조선 운항일정계획에 적용한 연구 등이 있다. 그리고 이 논문의 수리모형화에 관한 기본 골격을 다루고 있는 Lee & Kim(1994)의 연구들이 있다.¹⁶⁾

2.2. 유조선 운항일정계획의 최적화 모형

이 논문은 부정기 선대의 대표적인 예가 되는 유조선의 운항일정계획을 위한 의사결정 지원시스템의 개발을 다루고자 한다. 부정기선 무역에서의 선박 운항일정계획에 관한 연구에 자주 참조되는 대표적인 연구는 전술한 대로 Appelgren의 연구이다. 부정기선 운항 또는 화주 직접 운항의 형태를 취하는 유조선 운항일정계획의 최적화 모형은 Appelgren의 연구 이후 주로 집합 분할 또는 집합 패키징 문제와 같은 0-1 정수 계획법으로 모형화되

고 있다.

이 연구에서는 Fisher & Rosenwein의 선박 운항일정계획 문제를 변형하여 용선 시장의 침체한 변화에 대처하면서 화물의 운임수익과 선박의 효용성을 고려하여 계획기간 중의 단위 기간 당 경영이익 및 운항 경제성을 향상하기 위한 유조선 운항 일정계획 문제를 집합 패킹 문제로 모형화하여 이를 TS-DSS의 구축을 위한 최적화 모형으로 사용하고자 한다.

2.2.1. 최적화 모형의 표현

전장에서 언급한 것처럼 유조선 운항의 경우 부정기선 운항이든 화주 직접 운항이든 간에 용선 시장의 변화에 대처하면서 화물의 운임수익과 선박의 효용성을 고려하여 계획기간 중의 단위 기간 당 경영이익 및 운항 경제성을 향상하기 위한 일정계획 문제는 유조선 영업 실무에 있어서 매우 중요한 문제가 된다. 보다 높은 운임 수익은 경영이익의 증대를 가져오며 선박의 효용성을 고려하여 선박을 적절하게 투입하는 운항일정계획을 수립하면 운항 경제성이 제고된다. 이때, 화물의 운임수익과 관련된 지표로는 용선 시장의 용선 효율을 나타내는 Worldscale이 적용되며, 선박의 효용성은 선주의 관점에서 선박의 운항 특성, 선적화물의 운임, 선박의 운항비, 및 해당 시기의 용선 비용 등을 고려하여 산정될 수 있다. 이렇게 집합 패킹 문제로 모형화한 유조선 운항일정계획 최적화 모형은 다음과 같다.

[기 호]

$i = 1, \dots, n$ 화물

$k = 1, \dots, l$ 선박

$J_k =$ 선박 k 에 대한 후보 운항일정의 집합

[선박 및 화물 자료]

$$a_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{선박 } k \text{가 화물 } i \text{를 수송하는 운항일정} \\ & j \text{가 선택될 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$$

$d_{ik} =$ 선박 k 가 화물 i 를 수송하는 경우의 운임 지표

$h_{jk} =$ 선박 k 의 운항일정 j 에 대한 효용성(운항비용) 지표

[의사 결정변수]

$$y_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{만약 선박 } k \text{가 운항일정 } j \text{에 투입되면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

[최적화 모형]

$$\text{Max } \sum_k \sum_{j \in J_k} (\sum_i a_{ik} d_{ik}) y_{jk} - \sum_k \sum_{j \in J_k} h_{jk} y_{jk}$$

s.t

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

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

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

목적 함수는 보유 선대의 선박 k 를 계획기간 동안에 운항할 때 화물의 수송에 투입된 선박의 효용성의 총합에 대하여 산출되는 운임 수익이 최대화 되게 하고자 하는 것으로 $\sum_i a_{ik} d_{ik} = v_{jk}$ 라 두면 $Z = \sum_k \sum_{j \in J_k} (v_{jk} - h_{jk}) y_{jk}$ 가 된다.

그리고, 첫번째 제약식은 계획기간 동안에 보유 선대의 각 선박은 운항에 투입되지 않거나 투입되어도 단지 하나의 운항일정에 배정됨을 나타내며, 두번째 제약식은 각 화물은 보유선대의 선박에 의해 수송된다면 단지 하나의 선박에 의해 수송되도록 한다는 제약 조건이다.

2.2.2. 모형의 특징

세계의 유조선대의 공급과 수요의 현실은 미세하게 용선주 우위의 시장(charter's market)을 이루고 있다. 과거에 때때로 일시적인 선주 우위의 시장(owner's market)이 되기도 하였지만, 이럴 경우 선주들은 저마다 새로운 선대의 확보를 서둘러 길지 않은 기간 내에 곧 용선자 우위의 시장으로 전환되곤 하였다.¹⁷⁾ 현실적으로 미세한 용선자 우위의 시장세일지라도 용선 효율 기복이 매우 심한 것을 이미 살펴보았으며 이러한 사실은 해운시

장의 국제성 및 개방성, 해운 문제 구조의 불확실성 및 다변성 등을 보여주는 좋은 예가 될 것이다.

유조선 용선 시황이 급변하는 시기에 최적한 선박 운항일정계획에 관한 의사결정에는 여러 가지 선택적인 대안들이 포함된다. 예를 들면, 화주 직접 운항의 경우 자사의 모든 화물 수송에 자사선대를 이용할 것인지 아니면 화물의 일부를 용선하여 수송할 것인지 또는 투입되지 않은 자사선대의 여유 선박을 어떻게 용선 시장에 나와 있는 운임수익이 높은 화물을 수송하는 데 투입할 것인지 또는 타 회사에 여유 선박을 용선하여 줄 것인지 등의 경우이다. 현실적으로 이러한 경우의 대부분의 의사결정 문제는 뚜렷한 의사결정 준거에 의한 최적 의사결정으로 해결되기 보다는 유조선 영업 실무자의 경험적 의사결정으로 해결되고 있다.

TS-DSS에 적용될 전항의 최적화 모형의 목적함수에는 운임수익과 함께 선박의 효용성이라는 개념이 도입되었다. 운임수익의 항과 관련하여 이 모형은 용선 시황의 변화에 대한 신뢰성 높은 데이터베이스 구축의 중요성을 인식하게 한다. 또한 선박의 효용성은 선박의 운항 경제성 향상의 개념을 목적함수에 반영한 것이다. 모형의 목적함수를 살펴보면 효용성(운항비용)이 높은 선박의 투입은 목적함수를 감소시킴을 알 수 있다. 즉, 선박의 운항 경제성을 향상시키려면 효용성(운항비용)이 높은 선박은 아껴두는(투입하지 않는) 것이 바람직하다는 의미가 된다. 이처럼 이 모형의 h_{jk} 는 효용성의 개념으로도 사용될 수 있고 운항비용의 개념으로도 사용될 수 있다.

Fig. 2.2는 임의 선박 k 의 운항일정 j 에 대하여 정의되는 h_{jk} 의 개념을 운항비용의 관점에서 설명하기 위한 예시이다. $y_{jk} = 1$ 일 경우 즉, 선박 k 가 운항일정 j 에 배정될 경우에 선박 k 는 3개의 화물을 수송하게 되며, 이 운항일정은 선적항해와 공선항해 또는 Waiting으로 이루어져 있다. 이처럼 선박 k 의 운항일정 j 를 분석하면 그 운항비용을 산출할 수 있으며 h_{jk} 는 이렇게 산출된 운항비용으로 정의할 수도 있을 것이다. 다만, 이 연구에서 개발한 TS-DSS의 수행도 분석을 위한 수치실험에서는 임의 선박 k 에 대하여 동일한 h_k 를 적용

하였다.

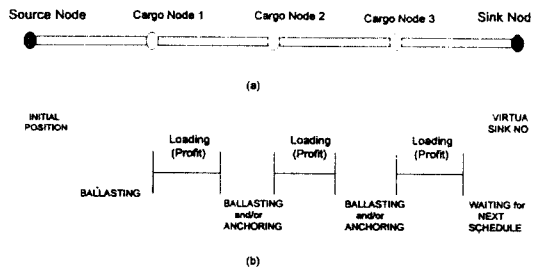


Fig. 2.2 Conceptual Diagram for Computing h_{jk}

TS-DSS의 개발을 위해 사용될 위의 최적화 모형은 이러한 의사결정이 필요한 상황에서 주어진 선박이나 화물자료로부터 화물의 운임수익과 선박의 효용성을 고려하여 보다 높은 경영이익과 운항 경제성을 달성하기 위한 탄력성 있는 유조선 운항 일정계획에 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한 이 모형은 용선 시황의 변화에 대한 통계적 예측 기법을 통하여 선대의 중·장기적인 운용 전략을 수립하는 데에도 사용될 수 있을 것이다.

3. 최적화 모형의 구축과 해법

3.1. 후보 운항일정의 생성과 최적화 모형의 구축

TS-DSS의 개발에 사용될 유조선 운항일정계획 최적화 모형은 집합 패킹 문제로 정식화된 0-1 정수계획 모형이다. 이 최적화 모형을 구축하기 위하여 선행되어야 할 것은 모형의 의사결정변수가 될 선박의 후보 운항일정을 찾아내는 일이다. 이 절에서는 먼저 Bellmore의 연구를 근간으로 하여 각 선박에 대하여 가능한 모든 후보 운항일정을 구하기 위해 정의할 운항 가능 일정 그래프를 구성하는 절차와 이 그래프로부터 각 선박의 가능한 후보 운항일정을 구하는 절차를 설명하고자 한다.

3.1.1. 운항 가능 일정 그래프 구성

여기서 운항 가능 일정 그래프란 임의의 선박에 대하여 그 선박의 모든 운항 가능한 모든 일정을 표현할 수 있는 그래프라고 정의한다. k 선박에 대하여 고유하게 정의되는 운항 가능 일정 그래프

$G_k(V, A)$ 는 Fig. 3.1과 같은 비순환 방향성 그래프이다.

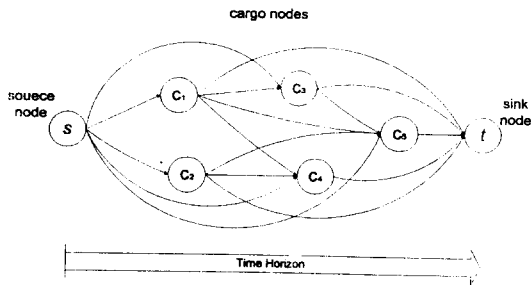


Fig. 3.1 A Directed Graph $G_k(V, A)$ Representing All Feasible Schedules for Ship k

이때, 마디들의 집합 V 는 k 선박의 초기 투입을 위한 대기상태를 의미하는 시작마디 s , k 선박에 의해 수송이 가능한 화물을 의미하는 화물 마디 집합 C , 그리고 k 선박의 계획 기간 중의 임무완료물을 의미하는 종료마디 t 로 이루어진다. 수송 가능한 임의의 화물 $c_i \in C$ 의 첨자 i 는 편의상 각 화물의 선적일에 관하여 이른 순서대로 정렬한 것이다.

가지들의 집합 A 는 시작마디 s 가 모든 화물 마디 집합 C 와 연결되어 k 선박의 최초 화물 수송을 위한 공선항해를 나타내는 방향성 가지 (s, C), 모든 화물 마디 집합 C 와 종료마디 t 가 연결되어 그 화물의 수송 이후에는 k 선박이 재배정되지 않음을 나타내는 방향성 가지 (C, t), 그리고 임의의 화물을 수송한 후에 또다른 화물의 수송을 위해 k 선박이 재배정되는 것을 의미하는 화물 마디 집합 C 간의 가지들로 이루어진다. 화물 마디 집합 C 간의 가지의 연결과 그 방향은 k 선박이 수송할 수 있는 임의의 화물의 양하일과 다른 화물들의 선적일 및 항구간의 공선 항해 시간이 고려되어 결정된다.

이렇게 구성된 임의의 선박 k 에 대한 운항 가능 일정 그래프 G_k 는 비순환 방향성 그래프가 됨을 쉽게 이해할 수 있다.

3.1.2. 후보 운항일정 생성

임의의 선박 k 에 대한 운항 가능 일정 그래프 G_k 에서 그 선박의 가능한 후보 운항일정은 시작 마디에서 종료마디에 이르는 경로에 의해 구할 수 있다. 따라서 임의의 선박 k 의 모든 후보 운항일정을 구하려면, 그래프 G_k 의 시작마디로부터 그래프 G_k 를 순회하는 깊이 우선 탐색 알고리즘을 적용하면서 각 마디를 방문하되, 그 마디가 종료마디이면 그때까지의 순회경로로 후보 운항일정을 만드는 일을 순회가 끝날 때까지 계속하면 된다. 그러므로 실행 가능한 임의의 선박 k 의 모든 후보 운항일정을 생성하는 알고리즘은 그래프 G_k 의 깊이 우선 탐색 순회 알고리즘(Depth-first traversal algorithm)에다 각 마디를 방문할 때마다 종료마디 여부를 검사하는 절차와 종료마디에 이를 때마다 시작마디에서 종료마디까지의 경로를 하나의 후보 운항일정으로 등록하는 하는 절차를 추가하여 구성할 수 있다.¹⁸⁾

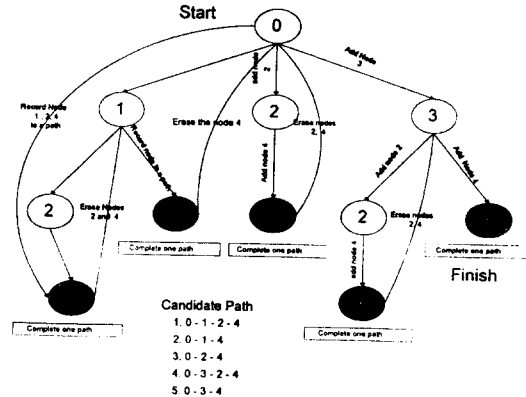


Fig. 3.2 Graph Traverse

Fig. 3.2는 이러한 후보 운항일정을 생성하는 알고리즘을 보여주고 있다. Fig. 3.2에서 회색으로 표시된 마디는 종료마디이며 시작마디(0번 마디)에서 출발하여 각 마디를 방문할 때마다 방문한 마디를 스택에 저장하고(Push) 종료마디에 이르면 그때까지 스택에 저장된 마디들로 하나의 후보 운항일정을 등록한다. 그 다음에는 스택상의 마디를 단계별로 삭제하고(Pop) 다음 마디를 방문하는 과정을 반복한다. 즉, 일반적인 깊이 우선 탐색 알고리즘에다 방문 마디를 스택에 Push하는 과정, 종료

마디 여부를 검사하여 종료마디에서 후보 운항일정에 등록하는 과정, 그리고 스택상의 마디를 Pop 하는 과정을 추가한 것이 후보 운항일정 생성 알고리즘이다.

3.2. 최적화 모형의 해법

TS-DSS의 개발에 사용될 유조선 운항일정계획 최적화 모형은 집합 패킹 문제로 정식화된 0-1 정수계획 모형이다. 경영과학의 최적화 모형들은 그 최적해를 구하기 위한 알고리즘의 계산상의 복잡성과 관련하여 크게 두 가지 유형의 문제로 분류되는데 그 하나는 다항식 알고리즘이 존재하는 P-문제이며 다른 하나는 다항식 알고리즘이 알려져 있지 않은 NP-문제(Nondeterministic Polynomial) 유형이다. 대부분의 정수 계획모형은 일반적으로 후자의 경우에 속한다.¹⁹⁾²⁰⁾

앞장의 집합 분할 또는 집합 패킹 모형들은 0-1 정수계획모형의 특수한 경우에 속하며 이러한 문제를 해결하는 방법은 해결이 쉬운 특수한 경우를 먼저 고려한 후 이를 일반화하는 방법, 근사 해법이나 발견적 기법을 사용하여 최적해에 가까운 해를 구하는 방법, 복잡한 문제를 분해하여 해결하는 방법, 그리고 완화법을 이용하여 최적해를 찾아가는 방법 등이 있다.²¹⁾

그러나, 이 연구에서 TS-DSS의 일부를 이루게 될 집합 패킹 문제의 최적해를 구하는 모듈에는 상용 프로그램인 Lindo 패키지를 사용하였다. 다만, 사용자 인터페이스로 구축된 모듈들이 Lindo에 입력할 파일을 자동 생성하게 하고 Lindo 출력파일을 가공하게 하여 사용자에게 친숙한 의사결정 지원환경을 제공하도록 시스템을 개발하였다. 실제로 이 연구에서 사용한 0-1 정수계획 모형의 크기가 커질 경우, 집합 패킹 문제의 최적해의 도출을 위한 효율적인 알고리즘을 적용한 모듈의 개발도 중요한 과제이나 이 과제는 차기 연구에서 확장하여 구현하고자 한다. 그리고 여기에서는 Lindo에 입력할 파일의 자동 생성 및 출력 파일의 가공 모듈에 관한 내용은 생략한다.

4. TS-DSS의 개발

이상적인 의사결정 지원시스템(DSS: Decision Support System)의 구조를 개념적으로 도시하면 Fig. 4.1과 같이 자료 기반, 모형 기반, 그리고 지식 기반 DSS가 보완적으로 결합되어 있는 IDSS(Intelligent DSS) 형태가 될 것이다.²²⁾²³⁾ 그러나 현재의 대부분의 DSS는 이러한 세 기능을 동시에 갖추고 있기보다는 그 중 한가지 기능을 중심으로 하고 다른 기능을 보완적으로 갖추고 있는 실정이다.

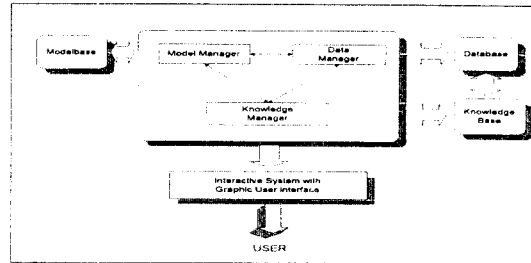


Fig. 4.1 Schematic Diagram of an Ideal DSS

일반적으로 DSS를 자료 기반 DSS, 모형 기반 DSS, 지식기반 DSS 등으로 구분하는데 TS-DSS는 모형 기반 DSS라 할 수 있다. 모형 기반 DSS에 사용되는 의사결정 모형에는 최적화 모형, 모의 실험 모형, 추계적 모형 등이 있다. TS-DSS는 유조선 운항일정계획을 위한 최적화 모형을 기반으로 하는 DSS이다.

DSS를 개발하는 단계는 크게 분석(Analysis), 설계(Design), 구현(Implementation)의 세 단계로 구분할 수 있다.²⁴⁾ 이 장에서는 TS-DSS의 개발을 위한 시스템 분석과 설계, 그리고 그래픽 사용자 인터페이스를 갖춘 사용자에게 친숙한 시스템의 구현에 관하여 설명한다.

4.1. 시스템 분석

TS-DSS의 개발을 위한 시스템 분석은 유조선 영업 실무 및 유조선 운항일정계획 실무를 분석하여 문제를 정의하고 TS-DSS의 사용자 요구를 분

석하는 것을 포함한다. 문제의 정의와 사용자 요구에 관한 시스템 분석은 시스템이 무엇을 할 것인가(What to do)를 명시하는 기능 명세서의 바탕이 된다. 따라서 시스템 분석의 과정은 컴퓨터 지향적이기보다는 문제해결 지향적이다.²⁵⁾ 여기서는 시스템 분석을 바탕으로 구성되는 TS-DSS의 계층구조 DFD와 주요 입출력 양식의 설계에 관하여 설명한다.

4.1.1. TS-DSS의 계층구조 DFD

TS-DSS의 기능 명세서의 바탕이 되는 문제의 정의 및 사용자의 요구의 분석은 앞장에서 경영 과학적인 분석을 통하여 이루어졌으며, TS-DSS는 그 결과로 구축된 유조선 운항일정계획 최적화 모형을 기반으로 한다.

TS-DSS는 사용자가 용선 시장의 변화에 대처하면서 화물의 운임수익과 선박의 효율성을 고려하여 계획기간 중의 단위 기간 당 경영이익 및 운항 경제성을 향상시킬 수 있도록 일정계획을 수립하는 유조선 영업 실무의 중요한 의사결정을 지원하는 기능을 가져야 한다.

이러한 시스템의 기능 명세서를 구조적으로 분석하여 그 결과를 표현하는 방법은 다양하다. 여기에서는 시스템 분석에 의한 기능 명세서를 바탕으로 Fig. 4.2와 같이 TS-DSS를 기능별로 계층화한 구조도를 제시하며 이는 앞으로 TS-DSS의 메뉴 구조를 설계하는 토대로 사용될 것이다.

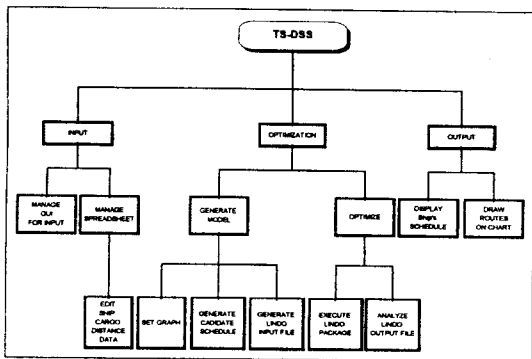


Fig. 4.2 The Hierarchical Structure of TS-DSS

4.1.2. 주요 입출력 양식설계

TS-DSS의 주요한 입력 자료는 용선 시장의 화물자료 및 유조선대의 선박자료들이며 주요 출력 정보는 각 선박의 운항일정계획이 될 것이다. 시스템 분석 과정에서는 시스템의 주요 입력 자료에 대한 입력양식의 설계 및 출력 정보에 대한 출력양식의 설계가 이루어져야 한다. 이러한 시스템의 입출력 양식은 사용자가 시각적, 직관적으로 이해하기 쉽도록 설계하여야 한다.

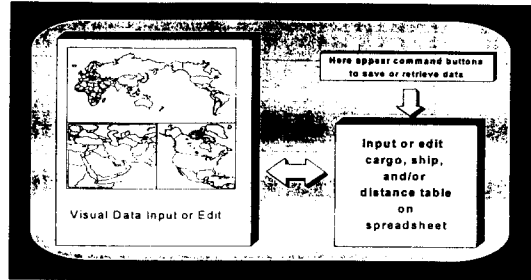


Fig. 4.3 Input Layout of TS-DSS

Fig. 4.3은 이러한 TS-DSS의 입력 양식의 개념적인 설계를 보여주고 있다.

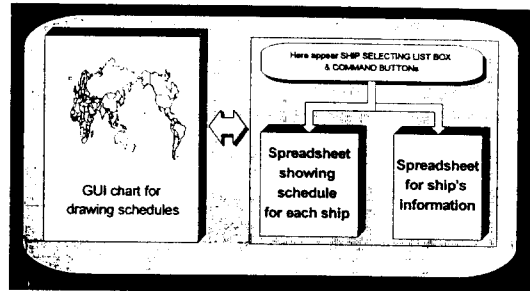


Fig. 4.4 Output Layout of TS-DSS

그리고 Fig. 4.4는 TS-DSS의 입력 양식 및 출력 양식의 개념적인 설계를 보여주고 있다.

4.2. 시스템 설계

시스템 설계의 과정에서 시스템 분석가의 관심의 초점은 문제해결 지향에서 컴퓨터 지향으로 옮겨가게 된다. 시스템 분석이 무엇을 할 것인가를

규명하는 것이라면 시스템 설계는 어떻게 할 것인가(How to do)를 규명하는 것이다. 어떻게 할 것인가에 관한 컴퓨터 지향적인 시스템 설계의 상제는 시스템 구현을 위한 프로그래밍의 바탕이 된다.²⁶⁾ 여기서는 시스템 분석의 결과를 바탕으로 시스템을 구현할 때 필요한 여러 가지 자료구조의 정의 및 자료기지의 설계, 시스템 흐름도 및 모듈화 설계 등을 설명한다.

4.2.1. 자료구조 정의 및 자료기지 설계

자료기지의 설계를 위한 자료구조의 정의는 자료 기반 DSS의 경우 시스템 설계의 핵심적인 기초가 된다. TS-DSS는 최적화 모형을 핵심 기반으로 하는 DSS이지만 자료 기반 DSS를 보완적으로 결합하여 구축하는 것이 더욱 바람직하다. 이 경우 자료기지 시스템은 변화하는 용선 시황과 화물 자료 및 선박 자료 기타 최적 운항일정계획을 위한 의사결정에 필요한 다양한 자료를 적시에 이용할 수 있도록 구축하여야 한다. 그러나 이 연구에서는 모형 기반 TS-DSS의 구축에 초점을 맞추어 특히 최적화 모형과 관련된 주요 자료구조의 정의에 관하여 설명하며, TS-DSS의 이상적인 자료기지의 설계 및 구축 그리고 더 나아가서 네트워크 설계 및 구축의 부분은 이 연구의 범위에서 제외하였다.

TS-DSS의 최적화 모형에 사용되는 원시 입력 자료는 선박 자료, 화물 자료, 그리고 항만간 거리 자료이다. 이러한 원시 입력 자료의 구조의 정의는 최적화 모형에 가장 알맞게 정의하면 되며 시스템의 구현자에 따라 다양한 방법이 있을 것이다. 그리고 이 최적화 모형의 의사결정 변수는 후보 운항 일정이므로 후보 운항일정의 생성을 위한 운항 가능 일정 그래프를 컴퓨터에 저장하는 문제는 중요하다. 따라서 여기에서는 Fig. 3.2의 운항 가능 일정 그래프 $G_k(V, A)$ 의 자료구조의 정의에 관하여 설명한다.

그래프 또는 네트워크를 컴퓨터에 저장하는 방법에는 여러 가지가 있다. 어느 한 방법이 최선이라고 일의적으로 판단할 수는 없으며 문제의 구조에 따라 알고리즘의 효율을 고려하여 최선의 방법을 선택하여야 한다.²⁷⁾²⁸⁾ 여기서는 Fig. 4.5에서

보여주는 것과 같이 그래프의 자료 구조 구현이 용이하고 유연한 연속 인접 리스트(Contiguous Adjacency Lists) 방식을 택하였다.

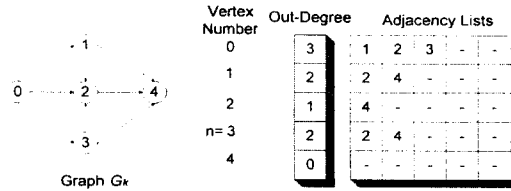


Fig. 4.5 Contiguous Adjacency Lists

Fig. 4.5와 같은 연속 인접 리스트 그래프 자료 구조를 파스칼 언어로 정의하면,

Type

```

vertex = 1 ... max;
counter = 0 ... max;
AdjacencyList = array[vertex] of vertex;
Graph = record
    n : counter;      {number of vertices in
                      the graph}
    OutDegree : array[Vertex] of counter;
    A : array[vertex] of AdjacencyList;

```

end;

와 같이 된다.²⁹⁾

4.2.2. 시스템 흐름도 및 모듈화 설계

TS-DSS의 개괄적인 시스템 흐름도는 Fig. 4.6과 같다. 시스템의 주요 원시 입력자료는 선박 자료, 화물 자료, 그리고 항만간 거리 자료들이다. TS-DSS는 입력된 원시 자료들을 바탕으로 운항 가능일정 그래프를 만들고 이로부터 후보 운항일정을 생성하여 최적화 모형을 구축한다. 모형의 최적해는 LINDO를 이용하여 구한다. 이를 위하여 TS-DSS가 외부 최적화 패키지를 사용할 수 있도록 적절한 인터페이스 모듈을 구축한다. 또한 LINDO 출력 파일을 분석하여 사용자가 잘 알 수 있는 정보로 가공하고 이를 보고서 또는 시각적인 정보로 출력해 주는 모듈들이 구축된다. 양방향 화살표에 의해 자료기지 시스템과 연결되어 있는 부

분은 이 연구의 범위에 들어 있지는 않으나, 앞으로 자료 기반 DSS의 보완이 필요함을 설명하고자 그림에 점선으로 표시하여 보았다.

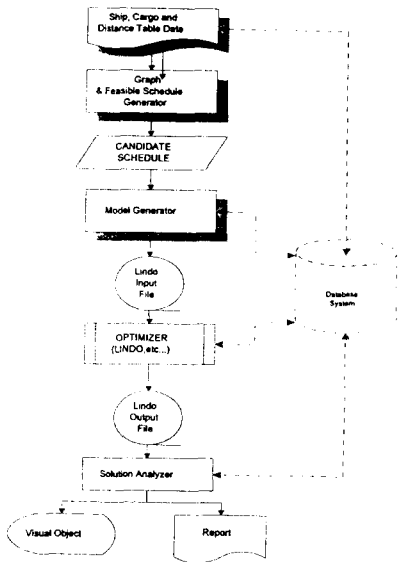


Fig. 4.6 The System Flowchart of TS-DSS

이상과 같은 시스템 흐름도를 바탕으로 TS-DSS의 모듈을 개괄적으로 설계한 결과는 Fig. 4.7에서 보여준다.

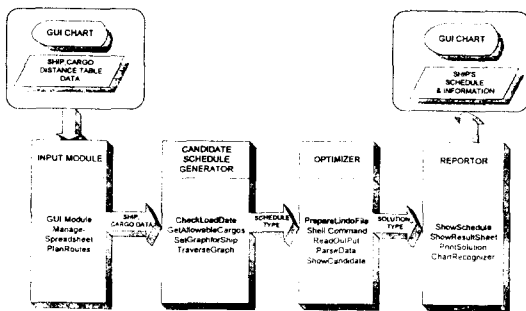


Fig. 4.7 Conceptual Flow Diagram of Modules in TS-DSS

Fig. 4.7의 각 모듈내에는 시스템을 구현할 때 사용된 함수들의 이름을 표시하여 보았다.

4.3. 시스템의 구현

TS-DSS는 Windows95 환경하에서 PC-Base로 구현하였다. 개발도구는 Microsoft사의 Visual Basic 4.0이다. 기본적인 화면은 주작업창(Main Window) 상의 여러 종속작업창(Child Window)에서 동시에 작업할 수 있는 MDI(Multiple Document Interface : 다중 문서 인터페이스) Windows System으로 구성되어 있으며 각각의 작업창은 자신의 메뉴와 명령 버튼을 가질 수 있다. 기본적인 작업은 메뉴 선택을 통해 이루어지며 자주 쓰이는 메뉴는 명령 버튼으로 배열하여 빠른 작업이 가능하도록 하였다. 이 절에서는 TS-DSS의 메뉴 구조와 명령 버튼 그리고 기본적인 입출력 화면의 구현에 관하여 설명한다.

4.3.1. 메뉴 구조

메뉴는 파일 메뉴, 편집 메뉴, 최적화 메뉴, 화면 메뉴, 도움말 메뉴로 구성되어 있으며 파일 메뉴는 자료 파일의 쓰기, 읽기, 인쇄기 관리 작업을 할 수 있게 구현하였고 편집 메뉴에서는 자료의 복사(Copy), 잘라내기(Cut), 붙이기(Paste) 등의 CLIPBOARD를 이용하는 작업을 할 수 있다. 실행 메뉴는 선형계획 모형, 정수계획 모형 등 최적화 모형의 선택기능을 가지고 있으며 정수계획 모형 중에도 집합 분할 문제, 집합 패키징 문제에 관한 선택기능을 가지고 있다. 이처럼 최적화 모형을 선택하여 실행시키면 TS-DSS는 모형의 생성 및 최적해 도출을 수행하며 또한 출력 최적해를 사용자가 알기쉬운 정보로 가공하여 보여주도록 구현하였다. 그리고 도움말 메뉴는 주요 작업은 아니지만 사용의 편리함을 제공해 주는 기능으로 구성하였다.

이러한 메뉴들 중 자주 쓰이는 메뉴는 명령 버튼으로 배열하여 빠른 작업이 가능하도록 하였다. 명령 버튼은 화물, 선박, 항간 거리표 파일 열기, 저장, 인쇄, 최적화 실행, 자료 입력표 보기, 항로 보기 등의 주요 부분으로 구성되어 있다.

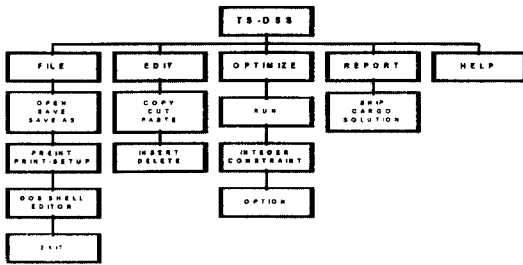


Fig. 4.8 Menu System of TS-DSS

TS-DSS의 메뉴 구성은 Fig. 4.8과 같으며 Fig. 4.9에 명령 버튼의 구성을 보인다.

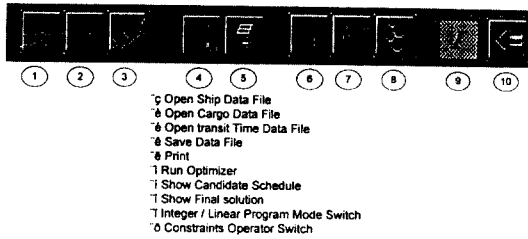


Fig. 4.9 The Arrangement of Command Buttons

이러한 메뉴 구조와 명령 버튼 구조를 가지는 TS-DSS의 시작 화면은 Fig.4.10과 같다.

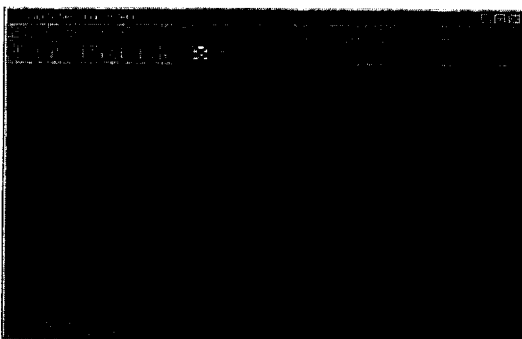


Fig. 4.10 The Initial Display Screen Layout of TS-DSS

4.3.2. 기본 입출력 사양

TS-DSS의 입력 화면은 그래픽 유저 인터페이스를 통해 주요 선적항 해역 및 양하항 해역의 항

만 자료를 마우스를 이용하여 입력할 수 있는 해도 창과 문서 형식으로 자료를 입력하는 스프레드쉬트 창으로 구성되어 있다. 두개의 창은 서로 연동하며 다른 창에서 변경된 내용들이 각각의 창에서 수정되어 나타난다.

입력의 기본 화면은 Fig. 4.11과 같다. 좌측 상단의 해도에서 주요 선적항 해역이나 양하항 해역을 마우스로 선택하면 좌측 하단의 분리창에 선택된 선적항 및 양하항 해역이 나타나고 각 분리창에서 선적지, 양하지별 항만을 선택하면 스프레드쉬트에 문자 자료로 기록된다.

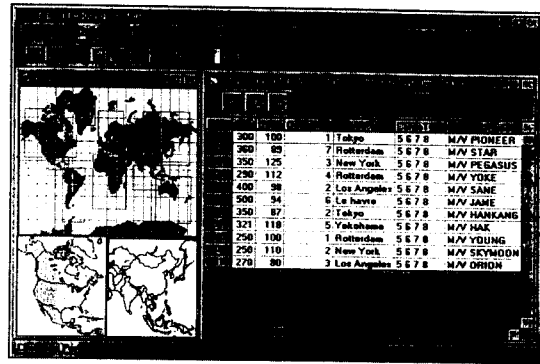


Fig. 4.11 Visual Display Screen Layout for Input System

TS-DSS의 출력 화면은 유조선 운항일정계획 최적화 모형의 의해 구한 선박별 운항일정을 Fig. 4.12와 같이 보여준다.

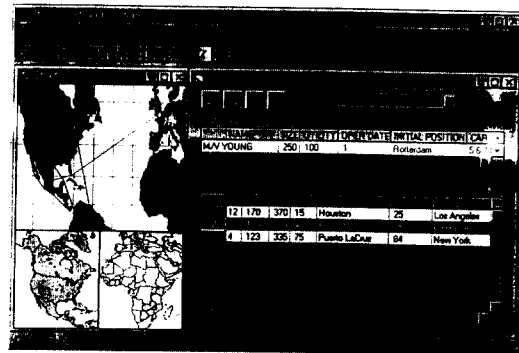


Fig. 4.12 Visual Display Screen Layout for Output System

출력화면은 좌측의 해도 창과 우측의 스프레드 시트 창으로 구분되어 있다. 스프레드시트 창은 선박 선택 리스트 박스, 선박 정보 시트, 운항일정 시트로 구성되어 있다. 스프레드시트 창의 선박 선택 리스트 박스에서 선박을 선택하면 해당 선박에 관한 정보와 운항일정이 해당 시트에 나타나며 또한 좌측 해도 창은 운항일정상의 화물 수송 항로를 순서대로 표시하여 준다.

5. TS-DSS의 운용 및 수행도 분석

이상과 같은 개발 과정을 거쳐 유조선 운항일정 계획을 위한 최적화 모형을 기반으로 TS-DSS를 구축하였다. TS-DSS의 수행도를 분석하려면 유조선 운항일정계획에 관련된 실무적인 자료가 뒷받침되어야 한다. 여기서는 용선 시황의 변화에 따른 화물 자료 및 선박의 효용성에 관한 자료들을 포함하는 시나리오를 만들고 이러한 자료들을 원시 입력자료로 하여 TS-DSS를 운용하고 그 결과를 바탕으로 TS-DSS의 수행도를 분석하고자 한다. 아울러 TS-DSS의 시험 운용 과정에서 검토된 계산 소요 시간에 관하여도 간단히 언급한다.

5.1. TS-DSS 입력 자료 준비

TS-DSS의 운용 시험과 그 수행도의 분석을 위한 유조선 운항일정계획 시나리오에는 다음과 같은 자료들이 준비되어야 한다. 우선 세계의 주요 원유 선적지역과 양하지역을 조사하여 항만간 거리표를 이용하여 원시 입력 자료들을 구성한다.³⁰⁾ Table 5.1은 세계 주요 원유 선적항과 양하항을 지역별로 구분하여 정리한 것이다.

Table 5.1 The World-wide Ports of Loading and Discharging

Loading Ports		Discharging Ports
AG RED SEA	Ras Tanura(Saudi Arabia),Khang Is(Iran)	East
	Yambu(Saudi Arabia)	West(Via Suez Canal)
	Mina Al Ahmadi(Kuwait)	West(Via Cape of Good Hope)
	Dubai(UAE), Das Is(UAE)	US East(Via Suez Canal)
	Bahrain(Bahrain), Ras Shukheir(Egypt)	US East(Via Cape of Good Hope)
CARIBBEAN SEA	Curacao(Netherland Antilles)	East(Via Panama Canal)
	Puerto La Cruz(Venezuela)	East(Via Cape of Good Hope)
	Pajantost(Mexico)	West
	Houston(USA)	US East
North South PACIFIC	Los Angeles(USA)	East
	Salina Cruz(Mexico)	West(Via Panama Canal)
	Esmeraldas(Ecuador)	US East(Via Panama Canal)
NORTH SEA AFRICA	Scapa Flow	East(Via Suez Canal)
	Teesport(UK)	East(Via Cape of Good Hope)
	Arzew(Algeria)	West
	Forcados(Nigeria)	US East
EAST ASIA AUS		East
	Dumai(Indonesia)	West(Via Suez Canal)
	Singapore(Singapore)	West(Via Cape of Good Hope)
	Dairen(China)	US East(Via Suez Canal)
		US East(Via Cape of Good Hope)

Table 5.2는 참고로 아랍만/홍해 선적 해역과 세계의 주요 원유 양하해역 간의 항만 간 거리를 해리로 나타낸 것이다.

Table 5.2 Distance Table from AG/RED SEA to World-wide Discharging Areas

Discharging Area Loading Area	East (TOKYO)	West (ROTTERDAM) (Via Suez Canal)	West (ROTTERDAM) (Via Cape of Good Hope)	US East (NEWYORK) (Via Suez Canal)	US East (NEW YORK) (Via Cape of Good Hope)
Ras Tanura (Saudi Arabia)	6700	3805	11168	6505	11708
Khang Is(Iran)	6744	3849	11212	6549	11912
Yambu (Saudi Arabia)	7328	6100	11498	6700	12198
Mina Al Ahmadi (Kuwait)	6824	3829	11292	6629	11902
Dubai (UAE)	6434	5539	10902	6139	11602
Das Is (UAE)	6546	5648	11014	6248	11714
Bahrain (Bahrain)	6638	5760	11126	6360	11826
Ras Shukheir (Egypt)	7500	3561	13488	4661	12788

항만간 거리표는 계산실험의 단순화를 위해 양하항에서 적하항까지의 거리를 공선항해 소요일수로 환산한 표는 Table 5.3과 같다.

Table 5.3 Table of the Transit Time Between Ports

DISCHARGING PORT	LOADING PORT	TME (day)
Tokyo	Ras Tanua	2.0
Tokyo	Dubai	1.9.7
Tokyo	Bahrain	2.0.3
Tokyo	Curacao	2.3.5
Tokyo	Puerto LaCruz	2.5.5
Tokyo	Pajaritos	2.5.5
Tokyo	Houston	2.5.3
Tokyo	Los Angeles	1.5.7
Tokyo	Salina Cruz	2.0.8
Tokyo	Esmeraldas	2.3.7
Tokyo	Sulbm Voe	3.3.6.9
Tokyo	Arzew	2.8.5
Tokyo	Forcados	3.8.2
Tokyo	Dumai	2.0.1
Tokyo	Singapore	1.0.5
Tokyo	dairen	5.5
Rotterdam	Ras Tanua	1.7
Rotterdam	Dubai	1.7.4
Rotterdam	Bahrain	1.7.3
Rotterdam	Curacao	1.2
Rotterdam	Puerto LaCruz	1.1.9
Rotterdam	Pajaritos	1.4
Rotterdam	Houston	1.4
Rotterdam	Los Angeles	2.3.5
Rotterdam	Salina Cruz	1.8.5
Rotterdam	Esmeraldas	1.6.5
Rotterdam	Sulbm Voe	
Rotterdam	Arzew	7.2
Rotterdam	Forcados	1.5.5
Rotterdam	Dumai	1.5.6
Rotterdam	Singapore	2.5.3
Rotterdam	dairen	3.5.2

그리고 선박 및 화물 자료는 전세계 선적항과 양하항간의 원유 화물의 흐름을 바탕으로 가상적인 원시입력 자료를 구성하였다. 선박자료는 선박 번호, 선박 크기,효용성, 초기 투입 가능일, 초기 위치, 수송가능 화물의 종류, 선박명 등의 속성을 가지며 선박에 관한 자료는 Table 5.4에 예시되어 있다.

Table 5.4 Ship Data Structure

ID	SIZE	UTIL	OPEN DATE	INITIAL POSITION	CARGO TYPE	NAME
1	300	100	1	Tokyo	5.6.7.8	M.V PIONEER
2	380	88	7	Rotterdam	5.6.7.8	M.V STAR
3	350	125	3	New York	5.6.7.8	M.V PEGASUS
4	290	112	4	Rotterdam	5.6.7.8	M.V YOKE
5	400	98	2	Los Angeles	5.6.7.8	M.V SANE
6	500	94	6	Le havre	5.6.7.8	M.V JANE
7	350	87	2	Tokyo	5.6.7.8	M.V HANKANG
8	321	118	5	Yokoham	5.6.7.8	M.V HAK
9	250	100	1	Rotterdam	5.6.7.8	M.V YOUNG
10	250	110	2	New York	5.6.7.8	M.V SKYMOON
11	270	80	3	Los Angeles	5.6.7.8	M.V ORION

화물 자료가 가지는 속성은 화물 번호, 화물의 크기, 운임, 선적일, 선적항, 하역일, 하역항, 화물 종류 등이며 이러한 화물 자료는 Table 5.5에 예시되어 있다.

Table 5.5 Cargo Data Structure

ID	SIZE	WORLDSCALE	LOADDATE	LOADPORT	DISCHDATE	DISCHPORT	TYPE
1	150	260	37	HOLSTON	63	YOKOHAMA	5
2	200	285	1	Arzew	46	New York	6
3	220	277	59	Curacao	75	Le havre	7
4	123	335	75	Puerto LaCruz	84	New York	8
5	155	350	4	Pajaritos	34	Yokohama	5
6	178	300	8	Houston	53	Los Angeles	6
7	138	250	25	Puerto LaCruz	37	Le Havre	7
8	189	289	64	Houston	70	New York	8
9	234	249	48	Curacao	72	Yokoham	5
10	120	230	55	Houston	69	Le Havre	7
11	150	350	21	Curacao	25	Le Havre	7
12	170	370	15	Houston	25	Los Angeles	5
13	130	300	43	Pajaritos	55	Le Havre	7
14	180	330	69	dairen	75	New York	8
15	230	360	30	Houston	56	Yokoham	5

물론 이상과 같은 입력 자료들은 자료기반 DSS가 보완적으로 구축이 될 경우 자료기지 시스템으로부터 실제 자료를 추출하여 사용할 수 있을 것이다.

5.2. TS-DSS 시험운용 및 결과분석

여기서는 먼저 앞절에서 준비된 유조선 운항일정계획을 위한 입력 자료들을 바탕으로 유조선 운항일정계획을 위한 기초 시나리오를 구성하여 그 입력 자료를 바탕으로 TS-DSS를 시험 운용하고, 그 결과를 검토·분석하여 단계적으로 시나리오를 수정하면서 시스템을 시험하고 그 결과를 분석하고자 한다.

5.2.1. 기초 시험운용

TS-DSS의 시험 운용을 위한 기초 시나리오의 선박 자료 및 화물 자료는 각각 Table 5.6과 Table 5.7에 나타나 있다.

Table 5.6 Ship Data Used in Basic Scenario

ID	Size	Utility	OpenDate	InitPos	CargoType	Name
1	300	100	1	Tokyo	5.6.7.8	M.V PIONEER
2	360	89	7	Rotterdam	5.6.7.8	M.V STAR
3	350	125	3	New York	5.6.7.8	M.V PEGASUS
4	290	112	4	Rotterdam	5.6.7.8	M.V YOKE
5	400	98	2	Los Angeles	5.6.7.8	M.V SANE
6	500	94	6	Le havre	5.6.7.8	M.V JANE
7	350	87	2	Tokyo	5.6.7.8	M.V HANKANG
8	321	118	5	Yokoham	5.6.7.8	M.V HAK
9	250	100	1	Rotterdam	5.6.7.8	M.V YOUNG
10	250	110	2	New York	5.6.7.8	M.V SKYMOON
11	270	80	3	Los Angeles	5.6.7.8	M.V ORION

Table 5.7 Cargo Data Used in Basic Scenario

I.D.	SIZE	WG	LoadDate	LoadPort	D Date	D Port	Type
1	150	260	37	HOUSTON	63	YOKOHAMA	5
2	200	285	1	Azaw	46	New York	6
3	220	277	59	Curacao	75	Le havre	7
4	123	335	75	Puerto LaCruz	84	New York	8
5	155	350	4	Pajaritos	34	Yokoham	5
6	178	300	8	Houston	53	Los Angeles	6
7	138	250	25	Puerto LaCruz	37	Le Havre	7
8	189	289	64	Houston	70	New York	8
9	234	249	48	Curacao	72	Yokoham	5
10	120	230	55	Houston	69	Le Havre	7
11	150	350	21	Curacao	25	Le Havre	7
12	170	370	15	Houston	25	Los Angeles	5
13	130	300	43	Pajaritos	55	Le Havre	7
14	180	330	49	dairon	75	New York	8
15	230	360	30	Houston	56	Yokoham	5

Table 5.8은 TS-DSS가 이러한 기초 시나리오에 의해 구한 최적한 유조선 운항 일정계획이다.

Table 5.8 Optimal Schedules under Basic Scenario

SHIP NAME	UTIL	CARGO	WG	L. PORT	L. DATE	D. PORT	D. DATE
M/V PIONEER	100	10	230	Houston	55	Le Havre	60
M/V STAR	89	7	250	Puerto LaCruz	25	Le Havre	37
M/V YOKO	89	8	289	Houston	64	New York	70
M/V SANE	98	1	260	HOUSTON	37	YOKOHAMA	63
M/V JANE	94	11	350	Curacao	21	Le Havre	25
M/V DUKE	87	15	360	Houston	30	Yokoham	56
M/V YOUNG	87	14	330	dairon	49	New York	75
M/V SKY	100	12	370	Houston	15	Los Angeles	25
M/V ORION	100	11	335	Puerto LaCruz	43	Le Havre	55
M/V PEGASUS	110	13	300	Pajaritos	75	New York	84
M/V YUKE	110	6	300	Houston	8	Los Angeles	53
M/V ORION	80	9	249	Curacao	18	Yokoham	72

Max Value Z = 3142

Table 5.8이 보여주는 기초 시나리오에 의한 최적 운항일정계획의 결과는 8척의 선박으로 13개의 화물을 수송하는 것이다. 주어진 11척의 선박으로도 다 수송하지 못한 화물은 2번 화물과 5번 화물이며 운항일정계획에 투입되지 않은 선박은 M/V Pegasus, M/V Yoke, 그리고 M/V Hak의 3척이다.

5.2.2. 단계적 시험운용 및 결과 분석

(1) 화물 적하일의 수정

기초 시나리오에 의한 최적 운항일정계획에서 투입되지 않은 선박은 모두 큰 효용성을 갖고 있다. 그러나 투입되지 않은 선박들의 효용성은 모두 수송하지 못한 화물의 운임 수익보다는 작다. 그럼에도 불구하고 수송하지 못한 화물이 발생한 까닭은 그 선박들의 초기 투입 가능일이 늦어서 그 화물의 적하일에 맞추어 선적항에 도착할 수 없었기

때문이다.

2번 화물의 적하일을 1일에서 21일로 변경하여 구한 최적 운항일정계획은 Table 5.9와 같다. Table 5.9의 운항일정계획에 의하면 2번 화물의 수송이 가능하여졌음을 알 수 있다.

Table 5.9 Optimal Schedules Changed by Modifying Loading Date(1)

SHIP NAME	UTIL	CARGO	WG	LOADING PORT	L. DATE	DISCH. PORT	D. DATE
M/V PIONEER	100	13	300	Pajaritos	43	Le Havre	55
M/V STAR	100	4	335	Puerto Laf	75	New York	84
M/V STAR	89	15	360	Houston	30	Yokoham	56
M/V YOKO	89	14	330	dairon	69	New York	75
M/V SANE	112	7	260	HOUSTON	37	YOKOHAMA	63
M/V SANE	98	21	250	Puerto Laf	25	Le Havre	37
M/V JANE	98	10	230	Houston	55	Le Havre	69
M/V JANE	94	2	285	Azaw	21	New York	66
M/V DUKE	87	8	289	Houston	64	New York	70
M/V YOUNG	100	12	370	Houston	15	Los Angeles	25
M/V YOUNG	100	9	249	Curacao	48	Yokoham	72
M/V SKY	110	6	300	Houston	8	Los Angeles	53
M/V ORION	80	11	350	Curacao	21	Le Havre	25
M/V ORION	80	3	277	Curacao	59	Le havre	75

Max Value Z = 3315

그런데 2번 화물은 새로이 투입된 M/V Yoke가 수송하는 것이 아니라 M/V JANE이 수송하고 M/V Yoke는 1번 화물을 수송한다는 것이다. 이 결과는 선적일의 수정에 의해 수송이 가능해진 화물이 하나 더 발생한 상황하에 정의된 모형에 대하여 새로운 최적 운항일정이 구해졌음을 알 수 있다.

다음에는 5번 화물의 적하일을 4일에서 14일로 수정하여 구한 새로운 최적 운항 일정이 Table 5.10에 나타나 있다.

Table 5.10 Optimal Schedules Changed by Modifying Loading Date(2)

SHIP NAME	UTIL	CARGO	WG	LOADING PORT	L. DATE	DISCH. PORT	D. DATE
M/V PIONEER	100	7	260	HOUSTON	37	YOKOHAMA	63
M/V STAR	89	13	300	Pajaritos	43	Le Havre	55
M/V PEGASUS	125	6	300	Houston	8	Los Angeles	53
M/V YUKE	112	2	285	Azaw	21	New York	66
M/V SANE	98	11	350	Curacao	21	Le Havre	25
M/V SANE	98	10	230	Houston	55	Le Havre	69
M/V JANE	94	8	289	Houston	64	New York	70
M/V DUKE	87	15	360	Houston	30	Yokoham	56
M/V YOUNG	87	14	330	dairon	69	New York	75
M/V YOUNG	100	9	249	Curacao	48	Yokoham	72
M/V YOUNG	100	12	370	Houston	15	Los Angeles	25
M/V SKY	110	5	350	Pajaritos	14	Yokoham	44
M/V SKY	110	4	335	Puerto LaCruz	75	New York	84
M/V ORION	80	7	250	Puerto LaCruz	25	Le Havre	37
M/V ORION	80	3	277	Curacao	59	Le havre	75

Max Value Z = 3540

이 결과에서도 마찬가지로 수송이 가능해진 화물이 하나 더 발생한 새로운 상황하에 정의된 모형에 대하여 새로운 최적 운항일정은 10척의 선박을 투입하여 15개의 화물을 모두 수송한다는 것이다. 이 운항일정계획에서 M/V HAK은 효용성이 가장 큰 선박은 아닌데도 투입되지 않았다. 이는 목적함수의 계수가 투입 선박의 효용성 뿐만 아니라 수송 화물의 운임수익을 함께 고려하여 결정된다는 점을 보여준다.

(2) 선박 효용성의 수정

이제는 선박 자료 중에서 M/V Hak의 효용성의 값을 118에서 100으로 변경하였더니 새로운 운항 일정계획은 Table 5.11에서 보듯이 M/V Yoke 대신에 M/V Hak을 투입한다. M/V Yoke의 효용성은 112이므로 M/V HAK의 투입에 의한 효용성 증감분은 -12이며 그 결과 목적함수의 값은 12만큼 늘어났다. 선박 M/V Pegasus의 효용성은 125로 제일 높지만 6번 화물의 적하일을 맞출 수 있는 유일한 선박이기에 효용성이 높음에도 불구하고 투입되었다. 이러한 점에서 효용성 또는 운항비용의 정확한 산정은 중요하며 그 산정방법의 하나를 제 2장에서 언급한 바 있다.

Table 5.11 Optimal Schedules Changed by Modifying Utility

SHIP NAME	UTIL	CARGO	WS	LOADING PORT	L. DATE	DISCH. PORT	D. DATE
M/V PIONEER	100	10	230	Houston	55	Le Havre	69
M/V STAR	89	11	350	Curacao	21	Le Havre	25
M/V STAR	89	13	300	Pajaritos	43	Le Havre	55
M/V PEGASUS	125	6	300	Houston	8	Los Angeles	53
M/V SANE	98	1	260	HOUSTON	37	YOKOHAMA	63
M/V JAME	94	1	285	Arsee	21	New York	66
M/V DUKE	87	14	330	Houston	30	Yokohama	56
M/V DUKE	87	14	330	dairen	69	New York	75
M/V HAK	100	8	289	Houston	64	New York	70
M/V YOUNG	100	12	370	Houston	15	Los Angeles	25
M/V YOUNG	100	9	249	Curacao	48	Yokohama	72
M/V SKY	110	5	350	Pajaritos	14	Yokohama	44
M/V SKY	110	4	335	Puerto LaCruz	75	New York	84
M/V ORION	80	7	250	Puerto LaCruz	25	Le Havre	37
M/V ORION	80	3	277	Curacao	59	Le Havre	75
Max Value Z =	3552						

(3) 선박 척수의 감소

다음에는 선박 자료 중에서 투입된 임의의 선박을 제외시켜 구한 운항일정계획을 살펴본다. 먼저 Houston에서 10번 화물을 55일에 적하하여 69일에 Le Havre항에 양하한 M/V PIONEER를 제외시켰다. Table 5.12는 이렇게 구한 운항일정계획을 보

여주는 것이다.

Table 5.12 Optimal Schedules Changed by Excluding M/V Pioneer(1)

SHIP NAME	UTIL	CARGO	WS	LOADING PORT	L. DATE	DISCH. PORT	D. DATE
M/V STAR	89	7	285	Arsee	21	New York	66
M/V PEGASUS	125	6	300	Houston	8	Los Angeles	53
M/V YOKE	112	15	360	Houston	30	Yokohama	56
M/V SANE	98	8	289	Houston	64	New York	70
M/V JAME	94	11	350	Curacao	21	Le Havre	25
M/V JAME	94	3	277	Curacao	59	Le Havre	75
M/V DUKE	87	7	250	Puerto LaCruz	25	Le Havre	37
M/V DUKE	87	10	230	Houston	55	Le Havre	69
M/V HAK	100	1	260	HOUSTON	37	YOKOHAMA	63
M/V HAK	100	14	330	dairen	69	New York	75
M/V YOUNG	100	12	370	Houston	15	Los Angeles	25
M/V YOUNG	100	13	300	Pajaritos	43	Le Havre	55
M/V SKY	110	5	350	Pajaritos	14	Yokohama	44
M/V SKY	110	4	335	Puerto LaCruz	75	New York	84
M/V ORION	80	9	249	Curacao	48	Yokohama	72
Max Value Z =	3540						

Table 5.12는 M/V PIONEER가 제외되자 M/V YOKE가 대신 투입되는 것을 보여준다. 여기서 다시 M/V ORION을 제외시켜 9척의 선박으로 운항 일정계획을 구한 것이 Table 5.13이다. 그 결과는 모든 선박을 투입하고 운임이 가장 낮은 10번 화물이 수송되지 않음을 알 수 있다. 뿐만 아니라, Table 5.13의 운항일정계획은 단지 M/V DUKE의 수송 화물 중 10번 화물의 수송이 빠지는 것이 아니라 일정계획이 전반적으로 바뀌었음을 주목해야 한다.

Table 5.13 Optimal Schedules Changed by Excluding M/V Orion(2)

SHIP NAME	UTIL	CARGO	WS	LOADING PORT	L. DATE	DISCH. PORT	D. DATE
M/V STAR	89	11	350	Curacao	21	Le Havre	25
M/V PEGASUS	125	6	300	Houston	8	Los Angeles	53
M/V YOKE	112	7	250	Puerto LaCruz	25	Le Havre	37
M/V YOKE	112	8	289	Houston	64	New York	70
M/V SANE	98	1	260	HOUSTON	37	YOKOHAMA	63
M/V JAME	94	2	285	Arsee	21	New York	66
M/V DUKE	87	15	360	Houston	30	Yokohama	56
M/V DUKE	87	14	330	dairen	69	New York	75
M/V HAK	118	9	249	Curacao	48	Yokohama	72
M/V YOUNG	100	12	370	Houston	15	Los Angeles	25
M/V YOUNG	100	3	277	Curacao	59	Le Havre	75
M/V SKY	110	5	350	Pajaritos	14	Yokohama	44
M/V SKY	110	4	335	Puerto LaCruz	75	New York	84
Max Value Z =	3372						

(4) 화물의 운임 조정

마지막으로 Table 5.13의 운항일정계획에서는 수송되지 않았던 10번 화물의 운임지표를 230에서

300으로 조정한 후에 구한 운항일정계획이 Table 5.14이다. Table 5.18에서는 운임 지표가 249인 9번 화물이 수송되지 않는 대신 10번 화물이 수송되는 것으로 나타난다. 따라서 이로 인한 운임 지표의 증감은 + 51이며 이 값은 목적함수의 증감치와 일치한다.

Table 5.14 Optimal Schedules Changed by Modifying Worldscales

SHIP NAME	UTIL	CARGO	WS	LOADING PORT	LDATE	DISCH. PORT	D. DATE
M/V STAR	89	3	277	Curacao	59	Le havre	75
M/V PEGASUS	125	5	350	Pajaritos	14	Yokohama	44
	125	14	330	daireu	69	New York	75
M/V YOKE	112	2	285	Arzew	21	New York	66
M/V SANE	98	15	360	Houston	30	Yokohama	56
M/V JAME	94	11	350	Curacao	21	Le Havre	25
	94	10	300	Houston	55	Le Havre	69
M/V DUKE	87	7	250	Puerto LaCruz	25	Le Havre	37
	87	8	289	Houston	64	New York	70
M/V HAK	118	1	260	HOUSTON	37	YOKOHAMA	63
M/V YOUNG	100	11	370	Houston	15	Los Angeles	25
	100	13	300	Pajaritos	43	Le Havre	55
	100	4	335	Puerto LaCruz	75	New York	84
M/V SKY	110	6	300	Houston	8	Los Angeles	53

Max Value 2 - 3423

이상과 같이 TS-DSS의 시험 운용을 위한 기초 시나리오의 선박 자료 및 화물 자료로부터 운항일정계획을 구한 후 단계적으로 여러 가지 시나리오에 따라 새로운 운항일정계획을 구하여 그 결과를 검토·분석 한 결과 TS-DSS는 만족스러운 수행도를 보여주는 것이 입증되었다.

5.2.3. 계산 소요 시간에 관한 검토

TS-DSS의 시험 운용의 결과는 최적 운항일정계획의 도출에 관하여 만족스러운 수행도를 보여주었다. 한편, 시스템의 계산 소요 시간은 TS-DSS의 응답성의 관점에서 매우 중요한 요소가 된다. Table 5.19는 선박 및 화물에 관한 원시 자료를 입력한 후 시스템을 실행시킨 때로부터 최적 운항일정계획의 출력화면이 나타나기까지의 계산 소요 시간을 관찰하여 정리한 표이다. 그런데 이러한 계산 시간의 대부분은 사용자에게 친숙한 환경을 제공하기 위한 GUI의 처리에 소요되었으며 LINDO에 의해 정수계획 모형의 최적해를 구하는 데 걸리는 시간은 수초에서 수십초에 불과 하였다.

Table 5.15 A Table of Some Computational Results (Time in seconds)

Number of ships	Number of cargos	Number of scheduled ships	Number of scheduled cargos	Number of variables	Computing time
10	20	10	17	275	12
15	20	12	19	641	16
15	25	15	23	851	19
20	25	17	25	1217	26
20	30	19	23	1369	35
20	35	20	31	1494	58
20	40	20	31	1992	70
30	40	29	40	3042	94
30	50	30	45	4418	147

그리고 문제의 크기가 커지면서 의사결정변수의 수가 증가할수록 LINDO 입력 파일의 생성, 출력 파일의 분석, 그리고 스프레드시트의 생성 등과 같은 GUI 처리에 소요되는 시간이 급증함을 관찰할 수 있었다. 따라서 이와 관련된 계산 소요 시간을 줄일 수 있는 알고리즘의 개선이 필요하다.

6. 결론

국제 물류시스템의 중요한 하부구조를 이루는 해운의 경영 및 운용은 막대한 자본의 투입을 요한다. 효율적인 선박 운항일정계획을 통한 해운의 경제성 향상 및 국제 경쟁력 제고의 문제는 해운의 경영과 운용에 있어서 대단히 중요하다. 일반적으로 해운 문제는 그 성격이 불안정하고 불확실하며 따라서 문제의 구조가 다변성을 가지고 있다. 해운 문제의 이러한 특징 때문에 해운경영 문제에 관한 보다 과학적이고 합리적인 의사결정을 지원하여 주는 시스템이 더욱 필요한 실정이다.

이 연구는 유조선 운항일정계획 의사결정 지원 시스템(TS-DSS)의 개발을 다루고 있다. 유조선 용선 시황의 참여한 변동에 대처하면서 운항의 경제성을 향상시키고 운항이익을 극대화하기 위한 운항일정계획의 수립에 관한 의사결정은 유조선 영업 실무의 중요한 국면을 이루고 있다. TS-DSS는 이러한 의사결정을 지원하기 위한 경영과학 최적화 모형을 기반으로 개발된 DSS이다.

TS-DSS는 구조적인 시스템 분석, 설계 및 구현의 단계를 거쳐 사용자에게 친숙한 환경으로 개발되었으며, 시험 운용 및 수행도 분석을 통하여 시

시스템의 유효성을 검토하였다. 아울러 TS-DSS의 시험 운용과 수행도 분석 과정에서 시스템의 계산 소요 시간에 관하여도 검토하였다. 이러한 연구의 결과로 얻은 성과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 선박 운항일정계획에 관한 주요 선행연구를 개관하고 용선 시황의 변동에 대처하면서 화물의 운임 수익 및 선박의 효용성을 고려한 유조선 운항일정계획 최적화 모형을 새롭게 제안하였다.

둘째, 제안된 최적화 모형을 기반으로 하는 TS-DSS를 구조적인 분석과 설계를 거쳐 사용자에게 친숙한 환경으로 구현하였다.

셋째, TS-DSS가 최적화 모형을 생성하는 과정에서 운항 가능 일정 그래프를 새롭게 정의하고 이 그래프로부터 후보 운항일정을 생성하는 알고리즘을 고안하였다.

넷째, 최적 운항일정계획을 도출하는 TS-DSS의 유효성을 시스템의 시험 운용 및 수행도 분석을 통하여 입증하였다.

다섯째, TS-DSS는 앞으로 자료기반 DSS 및 지식기반 DSS의 보완과 네트워크의 구축 등을 통해 선박 운항일정계획 의사결정에 실제적으로 유용하게 사용될 수 있는 시스템이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Marcus, Henry S., *Marine Transportation Management*, Auburn House, p. 6, 1987.
- [2] Ronen, D.(1993), "Ship scheduling: The last decade", *European Journal of Operational Research*, Vol. 71, pp. 325-333.
- [3] Dantzig, G. B. and D. R. Fulkerson(1954), "Minimizing the number of tankers to meet a fixed schedule", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 1, pp. 217-222.
- [4] Briskin, Lawrence E.(1966), "Selecting delivery dates in the tanker scheduling problem", *Management Science*, Vol. 12, No. 6, B-224-34.
- [5] Bellmore, M.(1968), "A maximum utility solution to a vehicle constrained tanker scheduling problem", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 15, No. 3, pp. 403-11.
- [6] Laderman, J. et al(1966), "Vessel allocation by linear programming.", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 13, No. 3, pp. 315-20.
- [7] Whiton, J. C.(1967), "Some constraints on shipping in linear programming models", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 14, pp. 257-260.
- [8] Appelgren, Lief H.(1969), "A column generation algorithm for a ship scheduling problem", *Transportation Science*, Vol. 3, No. 1, pp. 53-68.
- [8] Appelgren, Lief H.(1971), "Integer programming methods for a vessel scheduling problem", *Transportation Science*, Vol. 5, No. 1, pp. 64-78.
- [10] Bellmore, M. and G. Bennington(1971), "A multivehicle scheduling problem", *Transportation Science*, Vol. 5, No. 1, pp. 64-78.
- [11] McKay, M. D. and H. O. Hartley(1974), "Computerized scheduling of seagoing tankers", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 21, pp. 255-264.
- [12] Miller, David M.(1987), "An interactive, computer-aided ship scheduling system", *European Journal of Operational Research* Vol. 32, pp. 363-379.
- [13] Brown, G. et al(1987), "Scheduling ocean transportation of crude oil", *Management Science*, Vol. 33, pp. 335-446.
- [14] Fisher, Marshall L.(1989), "An interactive optimization system for bulk-cargo ship scheduling", *Naval Research Logistics*, Vol. 36, pp. 27-42.
- [15] Bausch, D. et al(1991), "Elastic set partitioning - A powerful tool for scheduling transportation of oil and gas", in: Breton, M.

- and G. Zaccour(eds.), *Advances in Operations Research in the Oil and Gas Industry*, Editions Technip, Paris, pp. 151-162.
- [16] Lee, K. and Si-Hwa Kim(1994), "A study on the optimization analysis of tactical ship scheduling", *Journal of The Korean Institute of Navigation*, Vol. 18, No. 2, pp. 57-67.
- [17] タンカー 研究會, *石油と液化ガスの海上輸送 - タンカーの營業實務*, 成山堂 書店, pp. 1-50.
- [18] Standish, Thomas A., *Data Structures, Algorithms & Software Principles in C*, Addison-Wesley Pub. Co., Inc., pp. 405-447, 1995.
- [19] Nemhauser, George L. and L. A. Wolsey, *Integer and Combinatorial Optimization*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 114-145, 1988.
- [20] Moret, B. M. E. and H. D. Saphiro, *Algorithms from P to NP - Volume 1 Design and Efficiency*, The Benjamin/Cummings Pub. Co., Inc., 1991.
- [21] *ibid* 19), pp. 296-424.
- [22] Sharda, R.(1984), "Linear programming on microcomputers: A survey", *Interface*, Vol. 14, No. 6, pp. 27-43.
- [23] Turban, E, *Decison Support system and Expert System: Management Support System*, Macmillan Pub. Co., New York, pp. 31-67, 1990.
- [24] Whitten, Jeffery L., et al, *Systems Analysis & Design Methods*, Richard D. Irwin, Inc., pp. 4-166, 1994.
- [25] *ibid* 24), pp. 250-700.
- [26] *ibid* 24), pp. 471-721.
- [27] Weiss, Mark Allen, *Data Structures and Algorithm Analysis*, The Benjamin/ Cummings Pub. Co., Inc., pp. 314-325, 1995.
- [28] Evans, Tames R. and E. Minieka, *Optimization Algorithms for Networks and Graphs*, Marcel Dekker Inc., pp 27-44, 1992.
- [29] Kruse, Robert L., *Data Structures and Program Design*, Prentice Hall Inc., pp. 398-411, 1987.
- [31] *ibid* 17), pp. 476-486.