



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

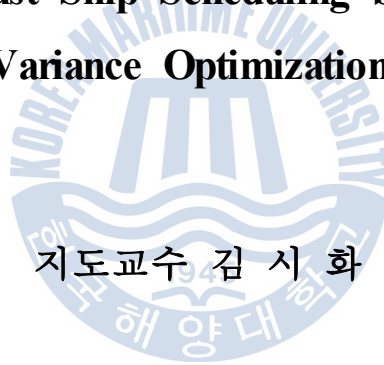
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경영학석사 학위논문

평균-분산 최적화 모형을 이용한
로버스트 선박운항일정계획

**A Robust Ship Scheduling based on
Mean-Variance Optimization Model**



지도교수 김 시 화

2014년 2월

한국해양대학교 대학원

해운경영학부

박 나 래

본 논문을 박나라의 경영학석사 학위논문으로 인준함.



위원장
위원
위원

조 성 철
김 길 수
김 시 화



2014년 2월 일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	v
Abstract	vi

1. 서 론

1.1 연구의 범위	2
1.2 연구의 방법	4

2. 부정기선 운항의 선박운항일정계획 문제

2.1 선행연구	6
2.2 부정기선 해사수송 집합패킹 모형 연구 [SPK 모형]	8

3. 위험을 고려한 평균-분산(Mean-variance) 모형

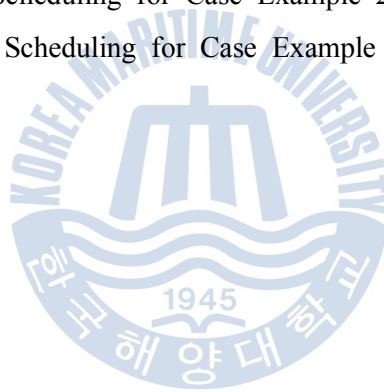
3.1 평균-분산 모형 (Mean-Variance Model)	10
3.2 단일지수모형 (Single Index Model)	12

4. 이차계획법을 이용한 로버스트 선박운항일정계획 모형	
4.1 이차계획법을 이용한 로버스트 선박운항일정계획모형 [ROQ 모형]	16
4.2 수송, 정제, 배분 네트워크	18
4.3 항해용선계약 (Voyage Charter)의 과정	20
4.4 유조선의 시장지표	22
5. 계산실험	
5.1 [SPK 모형]에 의한 계산 결과	25
5.2 [ROQ 모형]에 의한 계산 결과	31
6. 결과 및 검토	37
감사의 글	39
참고문헌	40



List of Tables

Table 1	Development in international seaborne trade, selected years	1
Table 2	Reduction of input parameters used Single Index Model	14
Table 3	Baltic Dirty Tanker Index 2011	23
Table 4	Route Description for Baltic Dirty Tanker Index	24
Table 5	Ship Sets for Case Example 1	28
Table 6	Cargo Sets for Case Example 1	28
Table 7	All Feasible Schedules by utilizing MoDiSS	30
Table 8	Robust Tanker Scheduling for Case Example 1	33
Table 9	Robust Tanker Scheduling for Case Example 2	34
Table 10	Robust Tanker Scheduling for Case Example 3	36



List of Figures

Fig. 1 Baltic Dry Index for 3 years	3
Fig. 2 Shanghai Containerized Freight Index for 3 years	3
Fig. 3 Major OPEC Flows of Crude and Refined Oil (2012)	18
Fig. 4 Transportation-Refinery-Distribution Network	19
Fig. 5 Voyage Charter Contracting Process	21
Fig. 6 A Feasible Schedule Generating Graph $G_i(N,A)$ for ship i	26
Fig. 7 Contiguous Adjacency List Implementation of Graph G_i	27
Fig. 8 The Visual Screen Displaying for Case Example 1 by utilizing MoDiSS	29
Fig. 9 The Variance-Covariance Matrix for Case Example 1 by utilizing Excel	31



A Robust Ship Scheduling based on Mean-Variance Optimization Model

Park, Na Reh

Department of Shipping Management
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

Given a set of available carriers under control, and a set of cargoes to be transported from origin to destination, a robust ship scheduling to minimize a mean-variance objective function with a required level of profit can be modeled as a quadratic programming problem. The Single index model is used to calculate the variance-covariance matrix efficiently. Computational experiments concerning relevant maritime transportation problems are performed on randomly generated configurations of tanker scheduling in bulk trade and some significant results are reported. The results of experiments confirm that the model is validated and its effectiveness is satisfactorily demonstrated.

KEY WORDS: maritime transportation problem, 해상수송문제, robust ship scheduling, 로버스트 선박운항일정계획, mean-variance, 평균-분산, quadratic programming problem, 이차계획문제

제 1 장 서 론

21세기 들어 교통수단과 정보통신의 발달로 세계화는 급속도로 진행되고 있다. 국가 간의 교역은 증가하고 국제적인 재화이동이 일반화되어 감에 따라 재화운송의 중요성은 점점증하고 있다. 국제 교역에서 해상운송은 여타의 운송수단과 비교할 때 일시에 대량으로 장거리를 운송할 수 있다는 경제성 때문에 절대적인 비중을 차지하고 있으며 그 양은 점점 증가하고 있다. 2013년 국제연합무역개발협의회 (UNCTAD)의 해상운송 보고서 중 표 1에서 보여주는 국제 해상운송의 발전에 관한 자료에 의하면 세계 해상교역량은 1970년 26억 톤에서 2012년 91억 톤으로 증가했음을 볼 수 있다. 따라서 해상운송은 세계경제 전반에 영향을 미치는 중요한 운송수단이라고 할 수 있다.

Table 1 Development in international seaborne trade, selected years
(Millions of tons loaded)

Year	Oil and gas	Main bulks	Other dry cargo	Total (all cargoes)
1970	1,440	448	717	2,605
1980	1,871	608	1,225	3,704
1990	1,755	988	1,265	4,008
2000	2,163	1,295	2,526	5,984
2005	2,422	1,709	2,978	7,109
2006	2,698	1,814	3,188	7,700
2007	2,747	1,953	3,334	8,034
2008	2,742	2,065	3,422	8,229
2009	2,642	2,085	3,131	7,858
2010	2,772	2,335	3,302	8,409
2011	2,796	2,477	3,475	8,748
2012	2,836	2,665	3,664	9,165

세계 금융위기 뒤에 해운업계의 불황은 계속되고 있고 운임은 세계 경기 흐름에 따라 매일 변동하고 있다. 해상운송으로 장소적인 효용을 극대화시키기

위하여, 선박운항담당자는 운항 가능한 선박의 집합과 수송 가능한 화물의 집합이 주어졌을 때 선박운항일정계획을 어떻게 수립하느냐의 문제에 직면한다. 기존의 선박운항일정계획에 관한 최적화 모형의 경우 보통 선박의 운항수익의 최대화 또는 운항비용의 최소화 문제로 다루는 것이 대부분이었으나, 변화하는 환경 속에서 안정적인 수익을 기대하는 로버스트(robust) 선박운항일정계획에 관한 최적화 모형을 세우는 문제에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 이 논문에서는 최소한의 기대수익률을 만족시키면서 동시에 수익률의 변동성 곧 위험도를 제어하여 위험에 강인한 로버스트 선박운항일정계획문제를 정식화한 새로운 최적화 모형을 제시하고자 한다.

1.1 연구의 범위

해운업은 선박의 운항형태에 따라 크게 정기선(Liner) 운항, 부정기선(Tramper) 운항, 화주직접(Industrial Carrier) 운항으로 나눌 수 있다. 정기선 운항은 정해진 항로를 정해진 운항일정에 따라 화물의 유무 여부와 상관없이 규칙적으로 운항하는 운항 형태로 주로 다종의 일반 화물을 운송하는 것이다. 반면 부정기선 운항은 불규칙적으로 화주가 요구하는 시기와 장소에 맞춰서 선복을 제공하는 형태의 운송서비스로 주로 대량의 살화물(Bulk cargoes)을 다루고 있다. 화주 직접운항은 자기 화물을 운송하기 위하여 전용선이나 겸용선을 화주 자신이 직접 소유하여 운항하는 형태를 말한다. 부정기선 운항과 화주 직접운항의 경우는 대량의 살화물을 대상으로 하는데, 살화물 시장은 불특정다수의 수요자와 공급자가 모여서 시장의 수급에 따라 운임을 결정하고 계약을 체결하기 때문에 완전경쟁시장의 구조로 되어 있다고 할 수 있다. 반면 정기선 운항은 일반화물을 컨테이너로 운송하는 서비스를 제공하는데, 서비스 유지를 위해서는 대형선사, 해운동맹 또는 전략적 제휴 같은 기업 활동을 하므로 과점시장이 형성된다. 그림 1은 부정기선의 대표지수인 발틱 운임 지수(Baltic Dry Index)의 최근 3년간 측정 자료이고, 그림2는 정기선의 대표지수인

상해 컨테이너 지수 (Shanghai Containerized Freight Index)의 최근 3년간 측정 자료이다.

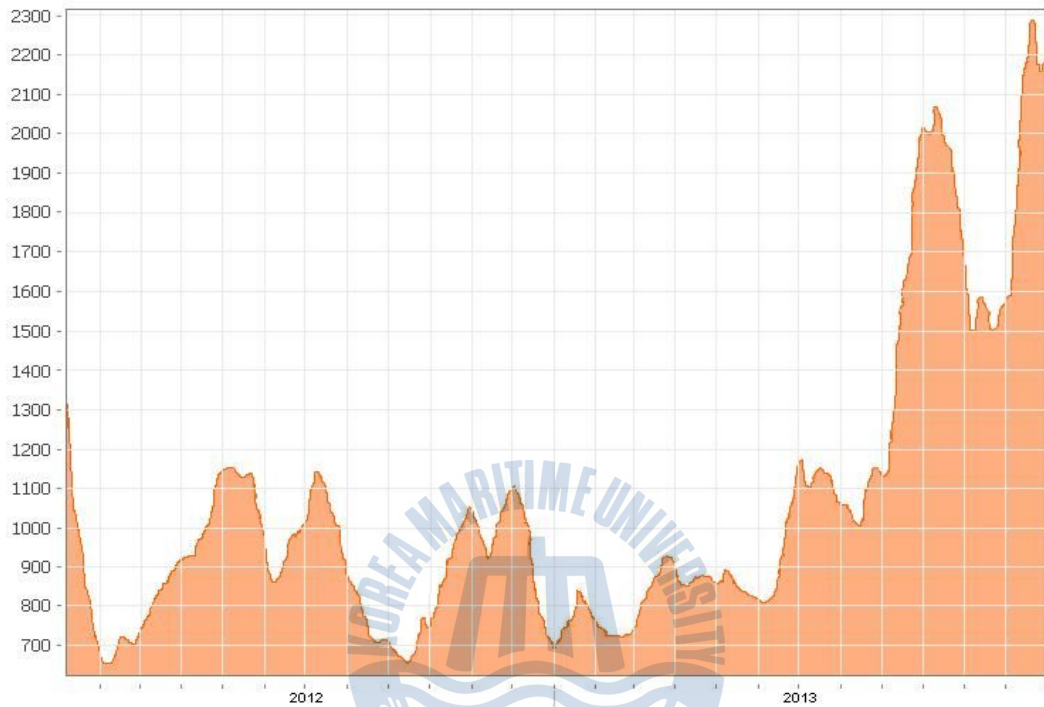


Fig.1 Baltic Dry Index for 3 years

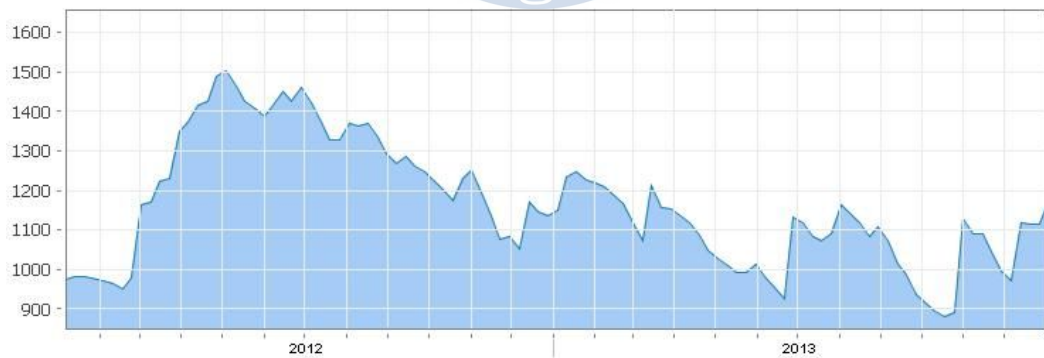


Fig.2 Shanghai Containerized Freight Index for 3 years

두 그림을 비교해보면 부정기선 운임의 변동 폭은 정기선 운임의 변동 폭보다 크고 변동주기가 짧은 것을 알 수 있다. 따라서 부정기선 운항이 정기선 운항보다 운임 변동 폭 측면에서 위험이 크다고 말할 수 있으며, 선박운항담당자의 입장에서 운임의 변동에도 강인한 로버스트 선박운항일정계획을 수립할 필요성이 커진다고 할 수 있다. 이 논문은 해상운송의 형태 중에서 화주직접 운항을 포함하는 부정기선 운항형태를 연구 대상으로 한다. 사례연구로는 메이저 석유회사의 해사수송 실무에서 전형적으로 발생하는 유조선 운항일정계획 문제를 다루었다. 계산실험에서는 운항 가능한 선박의 집합과 수송 가능한 화물의 집합이 주어져 있다고 가정하고 해운 시황의 운임 변동의 위험을 제어할 수 있는 로버스트 운항일정계획을 수립할 수 있음을 보이고자 한다.

1.2 연구의 방법

기존의 부정기선 해사수송 문제의 최적화를 다룬 선행 문헌 조사를 통하여 최적화 모형의 수립 과정과 해법에 관한 연구 및 이와 관련된 의사결정지원 시스템에 관한 연구를 살펴본 결과, 기존의 연구들은 선박 운항수익의 최대화 또는 운항비용의 최소화를 목적으로 최적화 모형을 수립하는 것이 대부분이었다. 그러나 해운시황의 변동으로 인한 불확실성이 증대되면서 최근에는 리스크를 고려한 로버스트 선박운항계획 모형에 대한 연구가 이루어지기 시작하고 있다. 대표적인 연구로 볼 수 있는 Hee-su, Hwang(2008)의 논문은 변동하는 시장에서 강인한 선박운항계획 모형을 이차 제약식을 포함하는 최적화 모형으로 다루고 있다.

이 논문은 앞선 모형의 한계점을 해결하기 위한 또 다른 방향으로 마코위츠가 제시한 분산투자의 효율성을 증명하는 현대 투자이론인 평균-분산 모형(Mean-Variance Model)의 아이디어를 사용하였다. 즉 일정한 기대이익률을 만족시키면서 운항이익의 분산-공분산을 최소화하는 로버스트 선박운항일정계획 모형을 도출하고 이를 2차계획모형(Quadratic Programming Model)으로 정식화

한 최적화 모형을 제안한다. 이러한 로버스트 선박운항일정계획 모형의 수행도를 평가하고 분석하기 위해 메이저 석유회사의 가상적인 해사수송 문제를 랜덤하게 생성하여 계산실험을 수행하고자 한다.

총 6장으로 구성된 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제1장의 서론에 이어 제2장에서는 부정기선 운항의 선박운항일정계획 문제에 대한 선행연구를 살펴본 후 부정기선 해사수송 최적화 모형에 대하여 간략하게 정리한다. 제3장에서는 마코위츠의 평균-분산 모형을 설명한다. 계산과정 중 발생하는 분산-공분산 행렬의 계산을 간략하게 하도록 사용될 단일지수모형(Single Index Model)을 함께 설명한다. 제4장에서는 앞장의 이론을 포괄한 이차계획법을 이용한 로버스트 선박운항일정계획 모형을 정식화하고 사례연구에 사용될 메이저 석유회사의 유조선 운항일정계획 문제에 관한 배경을 서술한다. 제5장에서는 가정한 사례연구를 통한 계산실험을 수행하고 그 결과를 분석한다. 마지막 6장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 과제를 제시한다.



제 2 장 부정기선 운항의 선박운항일정계획 문제

이 장에서는 부정기선 운항에서 발생하는 해사수송문제의 이정표가 되는 선행연구를 살펴본다. 부정기선 운항에서 해사수송 문제의 중요한 의사결정은 단위 기간당 선박운항 이익을 극대화할 수 있도록 시장에 통제 가능한 선박을 투입하여 운항하는 문제이다. 이 장에서는 선행 연구들이 연구 목적에 따라 어떻게 문제를 풀이하였는지에 대해 분석을 통하여 검토하고 이를 토대로 선박운항 이익을 극대화할 수 있는 일반적인 부정기선 해사수송 집합패킹 모형을 정리한다. 이 모형을 4장에서 도출한 로버스트 선박운항일정계획 수리 모형의 기초연구로 사용하고자 한다.

2.1 선행연구

부정기선 운항 시 발생하는 해사수송문제를 최적화한 시초는 Dantzig와 Fulkerson(1954)의 연구로 해군의 연료유를 수송하는 문제에 최소 투입 선박의 수를 결정하는 문제였다. 이 문제는 동형의 유조선과 단위 선박의 정수배 크기의 화물을 가정하고 양하작업을 마친 선박을 최대한으로 재배선하여 선적작업을 할 수 있게 하여서 전체 투입되는 선박의 수를 최소화하는 선형계획모형이다. 선형계획모형은 간단한 알고리즘으로 해결할 수 있었다. 그 후 이 연구를 바탕으로 부정기선 운항의 해사수송문제에 많은 학문적 노력이 있었다.

Appelgren (1969 and 1971)은 이전의 연구들과는 다르게 집합패킹(Set-packing) 혹은 집합 분할(Set-partitioning)모형으로 현대 선박운항일정계획 최적화 문제모형의 원형을 확립하였다. 스웨덴의 해운회사를 가정하여 선박이 수송 가능한 모든 운항일정을 구하고 운항일정의 선택 여부를 0-1 정수변수로 사용함으로써 문제를 해결하였다. 이후 부정기선 혹은 화주직접운항 선박운항 일정계획 문제는 거의 모두 집합패킹모형의 형식을 취하고 있다.

Appelgren의 선행연구를 바탕으로 McKay and Hartley (1974)는 유조선의 분할선적을 가정한 혼합정수계획모형을 발전시켰다. 분할선적과 분할양하를 가정하기 위하여 정수제약을 무시한 선형계획모형의 해를 구하고 이를 바탕으로 근사 정수해를 구하는 방식의 해법을 구현하였다. Brown 등(1989) 역시 기본 집합 분할 모형에서 체선과 용선에 대한 논리변수에 탄력적 가중치(elastic penalties)를 부여한 모형을 만들었다. 이 모형은 논리변수의 사용으로 체선료(demurrage)나 선박항차시간을 최적화하는 선박의 경제속력과 운항계획을 도출해낼 수 있다. 같은 해 Fisher and Rosenwein (1989)은 화물의 용선요율과 계선 없이 운항할 경우 운항 비용을 고려하여 듀얼 알고리즘(dual algorithm)을 활용한 모형을 만들고 해군 해상수송사령부(Military Sealift Command of the U. S. Navy) 산하의 유조선에 관한 실제 자료를 이용한 컴퓨터 계산 실험을 통하여 모형을 증명하였다.

Kim(1999)은 현대의 선박운항계획일정 모형이 Appelgren의 모형으로부터 변형되었음을 지적하고 이를 바탕으로 일반화된 부정기선 운항의 해사수송 집합패킹 모형을 기반으로 구축된 선박운항일정계획 의사결정지원시스템 MoDiSS(Model based Decision Support System in Ship Scheduling)를 도출하였다. 시스템 안에 운용 가능한 선박과 수송 가능한 화물 상세와 항구간 거리표를 입력하면 모든 가능한 일정을 생성하고 이 중에서 최대 이익을 창출할 수 있는 일정을 선택함으로써 최적 선박운항일정계획을 수립하는 데 도움을 준다. Hee-su, Hwang(2008)은 Kim(1999)의 모형이 시장의 변동이 심한 상황에서 안정성을 고려하지 않음에 의문을 제기하였다. 따라서 이러한 점들을 보완하고자 로버스트 선박운항일정계획을 도출하기 위하여 Branch-and-Price-and-Cut 방법을 이용하였다. 기대위험도를 낮추기 위해 분산을 제한하는데 이차제약식(quadratic constraint)을 사용하였고 해법으로 Kelly's cutting plane algorithm과 Column-and-cut generation algorithm을 적용하였다. 본 논문은 Hee-su Hwang(2008)의 접근방식에서 착안하여 로버스트 선박운항일정계획 모형을 다른 방법으로 정식화하였다. Hee-su Hwang(2008)의 최적화해법은 이차제약식을 복잡한 과정의 알고리즘을 거쳐서 변형하여 계산한다.

2.2 부정기선 해사수송 집합패킹 모형 연구 [SPK 모형]

운용 가능한 선박의 집합과 선적지부터 양하지까지 수송해야 할 화물의 집합이 주어졌을 때, 선박의 운항이익을 극대화할 수 있는 선박운항일정계획을 최적화시키는 Kim(1999)이 정식화한 부정기선 해사수송 최적화 모형은 다음과 같다.

[기호]

$i = 1, \dots, m$ 선박

$k = 1, \dots, n$ 화물

J_i = 선박 i 의 후보 운항일정 집합

J = 모든 운항일정 집합

[자료]

$q_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{만일 선박이 운항일정 } j \text{에 투입되어 화물 } k \text{를 수송할 경우,} \\ 0, & \text{그 외의 경우,} \end{cases}$

$$r_j = \sum_{k=1}^n q_{jk} p_k - h_j$$

p_k = 화물 k 를 수송할 경우의 운임수익

h_j = 운항일정 j 에 투입된 운항비용

[의사결정변수]

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{만일 선박 } i \text{가 운항일정 } j \text{에 투입될 경우,} \\ 0, & \text{그 외의 경우,} \end{cases}$

[모형]

$$\text{Max} \sum_{j \in J} r_j x_j \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j \in J_i} x_j \leq 1, \text{ 모든 선박 } i \text{에 대해} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} q_{jk} x_j \leq 1, \text{ 모든 화물 } k \text{에 대해} \quad (3)$$

$$x_j = \{0, 1\}, \quad j \in J_i, \text{ 모든 선박 } i \text{에 대해, } J = \bigcup_{i=1}^m J_i \quad (4)$$

목적함수 (1)이 의미하는 것은 운용 가능한 선박을 계획된 기간 운항할 때 화물 수송의 운임수익(revenue) 총합에서 투입된 선박의 운항비용(operating cost) 총합을 뺀 총 선박의 운항이익(profit)이 최대화된다는 것을 목적으로 한다는 것이다. 제약식 (2)는 각 선박은 화물수송에 투입되지 않거나 정확히 하나의 운항일정만을 선택하도록 하고 있고, 제약식 (3)은 각 화물이 수송되지 않거나 정확히 하나의 선박, 하나의 일정에 의해 수송되는 조건을 의미한다. 제약식 (4)는 의사결정 변수가 0 또는 1인 이진변수(binary variable)로 나타나는 정수계획문제를 알 수 있다.

이 논문에서는 위의 모형을 기본으로 하여 평균-분산 모형의 개념을 적용하여 로버스트 선박운항일정계획 모형을 도출하려고 한다. 편의상 간략하게 부정기선 해사수송 집합패킹 모형을 [SPK 모형]이라 칭한다.

제 3 장 위험을 고려한 평균-분산(Mean-variance) 모형

부정기선 혹은 화주직접운항 선대로 운항하는 경우 매일 불확실한 운임변동을 마주하게 된다. 운항담당자의 경우 선박을 운용하여 최대의 수익을 얻고 싶은 의사결정문제에 직면하는 동시에 운임변동의 위험을 회피하여 더 안정적인 수익을 얻을 수 있는 의사결정을 하고자 한다. 수익과 안정을 동시에 달성하려는 성질의 문제는 선박운항에 있어서 뿐만 아니라 다른 의사결정과정 전반에 나타나는 문제로 늘 어려운 일이다. 현대 투자이론 중에 수익과 안정을 동시에 고려한 주목할 만한 연구가 있다. 바로 마코위츠의 포트폴리오 선정(Portfolio Selection)으로 개별투자자가 그 자신의 위험선호도를 알 수 있을 때, 그가 선호하는 위험 수준 하에서 최대의 기대수익률을 가져다주는 효율적인 포트폴리오 구성하는 것이 최적 자산배분이라는 것이다. 투자자는 자신이 선호하는 기대 수익률 제약 하에 자산 간에 상관계수가 낮은 종목들로 선택하여 위험을 최소화할 수 있다. 이 장에서는 마코위츠의 포트폴리오 선정의 기본 원리인 평균-분산 모형을 알아본다.

마코위츠의 평균-분산 모형은 목적함수가 분산-공분산 행렬로 이차함수인 이차계획법(Quadratic Programming)이다. 분산-공분산 행렬 계산의 복잡성에 대하여 살펴보고 계산의 편리를 도모하기 위하여 탄생한 단일지수모형(Single Index Model)을 살펴본다.

3.1 평균-분산 모형 (Mean-Variance Model)

마코위츠가 1952년 발표한 투자안의 수익률분포의 평균과 분산을 기반으로 하는 투자안 선택이론인 현대 포트폴리오 이론은 오늘날까지 표준적인 불확실성하의 투자의사결정 지표로 받아들여져 왔다. 평균-분산 모형에서는 평균수익을 나타내는 평균(mean)과 위험을 나타내는 분산(variance) 간의 상호교환적인

관계가 있음을 고려하여 최적의 포트폴리오 자산을 선택한다. 여기서 최적의 포트폴리오는 수많은 조합 중에서 동일한 위험성 하에 기대수익률이 제일 높거나, 혹은 동일한 기대수익률 하에 위험이 가장 낮은 포트폴리오를 말한다. 여기서 정리할 평균-분산 모형은 투자자가 요구하는 최저기대수익률을 달성하면서 위험의 수준을 나타내는 개별 종목 수익률 간의 공분산을 최소화하는 모형이다. 본 연구에 사용된 마코위츠 분산-평균 모형에 사용된 변수와 상수는 다음과 같다.

[기호와 자료]

$i = 1, \dots, N$ 주식

R_i = 주식 i 의 수익률

σ_{ij} = R_i 와 R_j 의 공분산

V = 포트폴리오의 분산 - 공분산(기대위험도)

$E(R_i)$ = 주식 i 에 대한 기대수익률

K = 최저 요구 기대수익률

[의사결정변수]

x_i = 투자자의 자산 중 주식 i 에 투자하는 비율

[모형]

$$\text{Min } V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^N x_i E(R_i) \geq K \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1 \quad (3)$$

$$x \geq 0 \quad (4)$$

목적함수 (1)은 포트폴리오의 개별 종목의 수익률 간 공분산을 최소화시키는 것을 목적으로 한다. 여기서 중요한 점은 제약식 (2)에 나오는 K 값으로 최저 요구 기대수익률을 뜻하며 총 포트폴리오의 기대수익률이 정해진 최저기대수익률을 달성해야 한다. (3)은 투자금을 모두 포트폴리오에 투자한다는 의미이며 (4)를 통해 공매도는 없다고 가정한다. 다시 말해 공매도가 없다는 가정에 따라 최저기대수익률을 만족시키면서 포트폴리오의 공분산을 최소화하여 안정적이고 효율적인 최적의 투자 비중을 구하는 이론이 마코위츠의 평균-분산 모형이다. 본 모형은 비선형계획법으로 목적함수가 이차함수이고 제약조건식이 모두 선형인 이차계획법이므로 마이크로소프트 엑셀의 솔버나 WIN QSB의 Quadratic Programming 같은 사용프로그램으로 풀이할 수 있다.

3.2 단일지수모형 (Single Index Model)

마코위츠의 평균-분산 모형을 사용하여 목적함수의 공분산을 계산할 경우 개별종목 간 모든 조합의 공분산을 계산해야 하므로 주식 수의 증가에 따라 입력변수가 기하급수적으로 증가한다. 이러한 계산의 복잡성을 해소하기 위하여 Sharpe는 1963년 단일지수모형(Single Index Model)을 개발하였다. 단일지수 모형은 시장 전체 수익률의 변동을 적절하게 나타내주는 하나의 시장지표가 존재하고 각 증권의 수익률과 이 시장지표 사이에 선형의 관계가 존재한다는 추정에서 출발한다. 각 증권의 수익률과 시장지표 사이를 회귀방정식으로 나타내면 다음 (5)와 같다.

[기호와 자료]

$$i = 1, \dots, N \text{ 주식}$$

R_i = 정해진 기간동안 주식 i 의 수익률

R_m = 정해진 기간동안 시장지표의 수익률

α_i = 시장성과로부터 독립적인 수익률

β_i = 시장지표 수익률에 대한 개별증권 i 의 수익률의 민감도, 베타계수

ϵ_i = 잔차(오차항)

[회귀방정식]

$$R_i = \alpha_i + \beta_i R_m + \epsilon_i \quad (5)$$

시장에 대한 민감도를 나타내는 β_i 는 시스템적인 요소 혹은 시장위험 요소로 분리하고 나머지 시장에서 독립적인 α_i , ϵ_i 는 비시스템적인 요소로 분리할 수 있다.

다음의 3가지 가정을 전제로 한다.

$$E(\epsilon_i) = 0 \quad (6)$$

$$E(\epsilon_i \epsilon_j) = 0 \quad (7)$$

$$COVAR(\epsilon_i, R_m) = E(\epsilon_i [R_m - E(R_m)]) = 0 \quad (8)$$

(6)은 잔차의 기대수익률은 0에 수렴하며 (7)은 각각의 잔차는 다른 개별주식의 잔차와 상관없이 고유함을 말하며 마지막으로 (8)은 잔차는 시장지표의 수익률과 상관없이 고유하다는 가정을 의미한다. 이 3가지 가정을 토대로 하면 예상 수익률, 분산, 공분산에 관하여 다음과 같은 식으로 요약할 수 있다.

$$E(R_i) = E(\alpha_i + \beta_i R_m + \epsilon_i) \quad (9)$$

$$= \alpha_i + \beta_i E(R_m) + E(\epsilon_i)$$

$$= \alpha_i + \beta_i E(R_m)$$

$$VAR(R_i) = \sigma_i^2 = E[R_i - E(R_i)]^2 \quad (10)$$

$$= E[\{\alpha_i + \beta_i R_m + \epsilon_i\} - \{\alpha_i + \beta_i E(R_m)\}]^2 = E[\beta_i \{R_m - E(R_m)\} + \epsilon_i]^2$$

$$= E[\beta_i^2 \{R_m - E(R_m)\}^2] + 2\beta_i E[\epsilon_i \{R_m - E(R_m)\}] + E(\epsilon_i)^2$$

$$= \beta_i^2 E[R_m - E(R_m)]^2 + E(\epsilon_i)^2$$

$$= \beta_i^2 \sigma_m^2 + \sigma_{\epsilon_i}^2$$

$$COVAR(R_i, R_j) = \sigma_{ij} = E[\{R_i - E(R_i)\}\{R_j - E(R_j)\}] \quad (11)$$

$$= E[\{\alpha_i + \beta_i R_m + \epsilon_i\} - \{\alpha_i + \beta_i E(R_m)\}] \times E[\{\alpha_j + \beta_j R_m + \epsilon_j\} - \{\alpha_j + \beta_j E(R_m)\}]$$

$$= \beta_i \beta_j E[R_m - E(R_m)]^2 + \beta_j E[\epsilon_i \{R_m - E(R_m)\}] + \beta_i E[\epsilon_j \{R_m - E(R_m)\}] + E(\epsilon_i \epsilon_j)$$

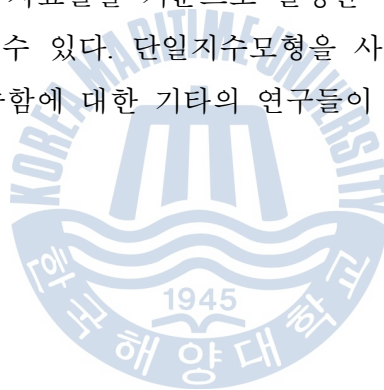
$$= \beta_i \beta_j \sigma_m^2$$

따라서 (9), (10), (11)의 결과 값을 통하여 단일지수모형을 적용하였을 때 평균-분산 모형이 어떻게 나타나는지를 알 수 있다. 표2는 단일지수모형을 적용하지 않을 때와 할 때 입력변수의 개수 차이를 보여준다.

Table 2 Reduction of input parameters used Single Index Model

Mean-Variance model		Single Index Model	
		N	mean $E(R_i)$
N	expected returns	N	sensitivity coefficient β_i
N	variance	N	firm-specific variance $\sigma_{\epsilon_i}^2$
$\frac{N(N-1)}{2}$	covariance	1	market mean $E(R_m)$
		1	market variance σ_m^2
$\frac{N^2+3N}{2}$		$3N+2$	

평균-분산모형에서 $\frac{N^2+3N}{2}$ 개였던 입력변수는 단일지수모형을 적용하면 $3N+2$ 개의 입력변수로 그 수가 현저하게 줄어들었음을 알 수 있다. 이 경우 간단한 계산으로 얼마나 정확하게 예측을 할 수 있는지는 점이 문제가 될 수 있다. $\frac{N^2+3N}{2}$ 개의 입력변수는 역사적 실적자료다. 반면 $3N+2$ 개의 입력변수는 역사적 실적자료에 수정을 가하여 생성된 변수이다. 과거의 수익률과 위험으로부터 미래를 예측할 때 과거의 현상이 미래에도 계속된다는 가정이 있다. 다만 미래 예측에서 유의할 점은 과거가 단순하게 반복되는 것이 아니라 기저에 깔린 구조적인 근간을 파악하여 예측에 적용하는 것이 더 정확한 예측이 가능하다는 점이다. 따라서 평균-분산 모형에서 입력변수는 과거의 모든 자료를 추출하기보다는 과거 자료들을 기준으로 일정한 방법으로 변형해서 사용하는 것이 예측력을 높일 수 있다. 단일지수모형을 사용하였을 때 간단한 계산으로 정확한 예측이 가능함에 대한 기타의 연구들이 있다.



제 4 장 이차계획법을 이용한 로버스트 선박운항일정계획 모형

오늘날 세계 금융시장은 급속도로 변화하고 있으며 국제 경제 전반의 불확실성은 증가하고 있다. 부정기선 운항은 자본 집약적이고 공급이 비탄력적이며 수요변동이 심하여 경영상 위험이 크다. 극심한 운임 변동으로 현금 흐름의 예측이 불가능하므로 선박 운항담당자는 위험을 회피하려는 성향이 강해진다. 그러한 경우 앞에서 살펴본 최대수익 달성을 목적으로 하는 부정기선 해사수송 집합패킹 모형으로 운항일정계획을 세우기에는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 2장에서 살펴본 부정기선 해사수송 집합패킹 모형과 3장에서 살펴본 평균-분산모형을 바탕으로 불확실한 상황 속에서 강인한 로버스트 선박운항일정계획 모형을 제시한다. 모형의 원리는 먼저 부정기선 해사수송 집합패킹 모형을 통하여 실현 가능한 모든 운항일정(feasible schedule)을 도출해낸다. 이 운항일정끼리의 공분산을 제어하여 위험을 최소화시키면서 최저 요구기대수익률을 만족한다면 의사결정자의 위험회피 정도에 따라 여러 운항일정계획의 대안을 마련할 수 있다.

로버스트 선박운항일정계획 문제를 위해 고안된 모형의 수행도를 알아보기 위하여 랜덤하게 생성된 메이저 석유회사의 선박과 화물을 가정하여 실험을 진행한다. 메이저 석유회사의 문제를 해결하기 위하여 원유의 수송, 정제, 배분 네트워크 과정과 특성을 이해할 필요가 있다. 아울러 부정기선 용선계약의 체결 과정을 배경지식으로 알아본다. 마지막으로 실험진행과정 중 단일지수 모형을 적용하기 위하여 타당한 유조선의 시장지표를 함께 알아본다.

4.1 이차계획법을 이용한 로버스트 선박운항일정계획모형 [ROQ 모형]

운항일정끼리의 공분산을 최소화하며 최저 수익률을 만족하게 하는 로버스트 선박운항일정계획 모형의 기호는 다음과 같다.

[자료]

σ_{ij} = 운항일정 r_j 와 r_m 의 공분산

r_j = 운항일정 j 의 수익률

K = 최저 요구 기대수익률

V = 기대수익률의 분산(위험)

[모형]

$$\text{Min } V = \sum_i \sum_j x_i x_j \sigma_{ij} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_j r_j x_j \geq K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J_i} x_j \leq 1, \text{ 모든 선박 } i \text{에 대해} \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} q_{jk} x_j \leq 1, \text{ 모든 화물 } k \text{에 대해} \quad (4)$$

$$x_j = \{0, 1\}, \quad i, j \in J_i, \text{ 모든 선박 } i \text{에 대해}, \quad J = \bigcup_{i=1}^m J_i \quad (5)$$

목적함수 (1)과 제약식 (2)는 평균-분산 모형을 응용한 것으로 최저 요구기대 수익률을 달성하는 범위 내에서 각 일정 간의 공분산을 최소화한다는 내용이다. 제약식 (3), (4), (5)는 부정기선 해사수송 집합패킹 모형을 응용한 것으로 의사결정 0-1 변수를 이용하여 각 화물당 오직 한 선박, 각 선박당 오직 한 화물을 선택함을 제약하였다. 이 식을 통하여 불확실한 상황에서 최저 요구 기대수익률 K 를 운항담당자가 원하는 대로 조정하여 K 를 달성하는 범위 내에서 분산을 최소화한 안전한 로버스트 운항일정계획을 세울 수 있다. 이 모형을 앞으로 [ROQ 모형]이라 칭한다.

4.2 수송, 정제, 배분 네트워크

메이저 석유회사는 원유를 수송하거나 정제된 제품유를 수송하기 위한 선박 운항일정계획을 최적화하는 문제에 직면한다. 석유는 연료뿐만 아니라 플라스틱 용기와 같은 각종 생활필수품에 이르기까지 광범위하게 쓰이고 있다. 석유는 크게 천연으로 산출된 원유와 이 원유를 납사, 휘발유, 등유, 경유, 아스팔트 등으로 석유제품으로 정제한 것으로 분류된다. 원유를 생산할 수 없는 한국은 원유의 전량을 수입해서 사용한다. 반대로 원유를 비축하고 있는 나라에서도 정제 시설이나 기술이 부족하면 원유를 수출하고 해외에서 정제를 시킨 후 다시 석유제품을 수입한다. 그림3은 주요 석유수출국 기구 OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries)의 2012년 원유와 정제유의 흐름을 나타낸 그림이다. 2012년 원유와 정제유가 생산국과 소비국의 수요와 공급에 따라 국가 간에 활발하게 거래되고 있음을 알 수 있다. 그리고 그러한 거래로 인하여 원유와 정제유가 이동될 때마다 부정기선의 해상수송문제가 발생하고 있음을 알 수 있다.

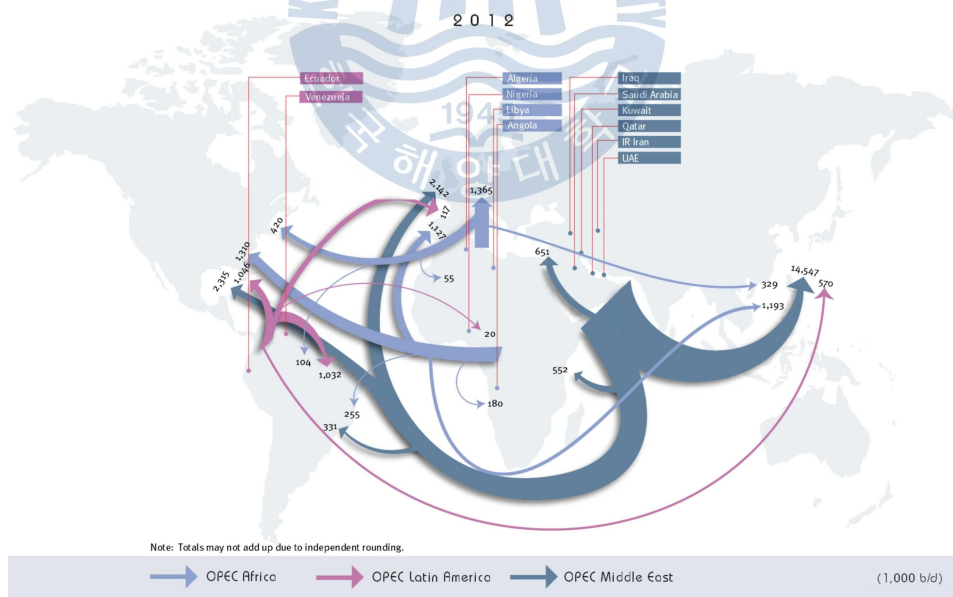


Fig.3 Major OPEC Flows of Crude and Refined Oil (2012)

그림4는 원유를 선적해서 정제한 후 석유제품을 시장에 배분하기까지의 과정을 나타냈다. Transportation-Refinery-Distribution Network(이하 TRD 네트워크)는 서로 다른 i 곳의 원유 선적지로부터 원유를 선적하여 m 개의 서로 다른 정유 공장으로 수송하여 제품으로 정제한 후 n 개의 소비지까지 배분하는 네트워크를 표시한 것이다. 이동과정에서 수송이 필요하고 이 수송의 대부분을 유조선이 담당하고 있다. 원유를 수송하는 유조선은 대부분 대량의 화물을 수송해서 정유공장으로 보내는데 수송비용 절감을 위하여 유조선에 실린 원유가 정유공장이 있는 항구에 도착하면 파이프라인을 통하여 지상의 원유탱크로 옮겨진다. 공장에서 정제과정을 거친 석유제품들은 비교적 다양한 경로를 통하여 이동한다. 국외로 수출되는 경우에는 당연히 다시 항구 파이프라인을 통하여 석유제품전용선에 보내진다. 국내에서 소비되는 석유제품은 유조선이나 송유관, 유조선을 이용하여 소비지에 보내지게 되는데 이중 유조선이 역시 가장 많은 양을 저렴하게 수송할 수 있다.

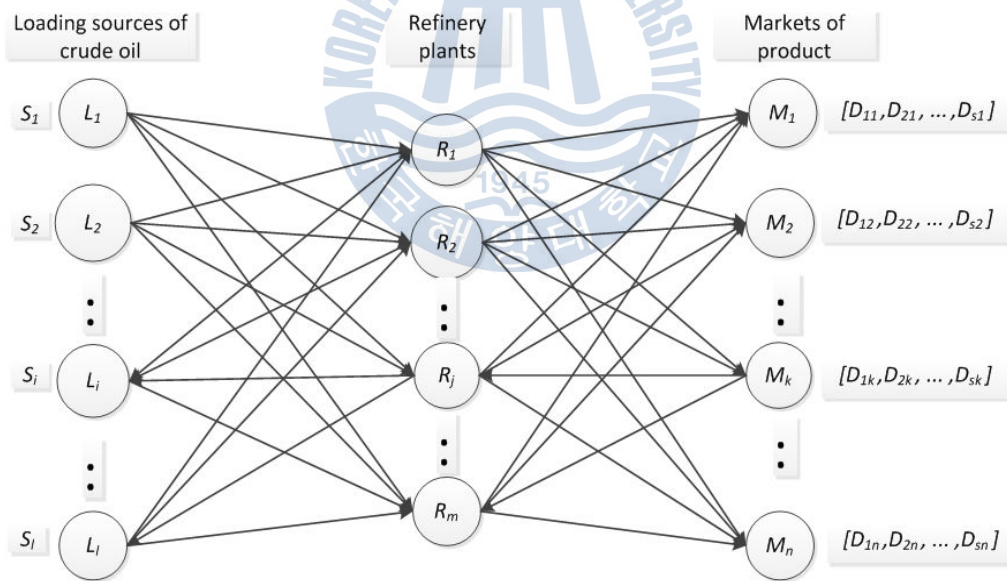


Fig.4 Transportation-Refinery-Distribution Network

여기서 석유의 탐사부터 생산에서 정유공장까지의 이동과정을 상류

(upstream)이라고 하고 원유를 가공하여 상품화하여 시장에 판매하기까지를 하류(downstream)이라고 한다. 해사수송은 상류와 하류 모두에서 나타난다. 해사수송을 포함한 TRD 네트워크를 효율적으로 관리하게 되면 총 네트워크 운영시간이 단축되고 이윤을 창출할 수 있다. 특히 TRD 네트워크에서 가장 큰 부분을 차지하는 해상운송을 효율적으로 관리하는 것이 중요하다.

TRD 네트워크 관리는 공급망 관리(Supply Chain Management)의 측면에서도 살펴볼 수 있다. 메이저 석유 회사들은 전 세계에 자사의 제품유를 판매 배분하는 유통망을 가지고 있고 산유지로부터 안정적인 원유수급을 위하여 수급지에 터미널을 가지고 있다. 또한, 선대를 보유하는 경우도 적지 않은데 각 정유공장의 처리능력, 자사 보유 선대의 규모, 저유시설의 저장능력 등을 고려하여 생산운영계획을 수립한다. 원유가 운송되어 정제를 거치고, 제품이 유통을 거쳐서 최종 소비자까지 가는 모든 자원을 통합 관리하여 공급망 전체 흐름을 통합하고 연계하여 최적화한다면 효율적인 생산운영을 할 수 있다.

4.3 항해용선계약 (Voyage Charter)의 과정

유조선은 포함한 부정기선 해사수송의 경우 계약기간의 길이에 따라 COA(Contract of Affreightment)와 같이 장기로 계약하는 경우와 짧은 항차 혹은 시간만을 계약하는 단기계약이 있다. 또한, 계약의 형태에 따라 항해용선계약(Voyage Charter)과 정기용선계약(Time Charter)으로 나누어진다. 항해용선계약은 한 항차 혹은 여러 항차를 어느 항에서 어느 항까지 화물을 수송하기로 선주와 화주 사이에 계약하는 것이고 기간용선계약은 선주가 선박을 즉시 가동할 수 있는 상태로 일정 기간 용선주에게 빌려주고 용선료를 받는 것이다. 항해용선계약이 화물을 대상으로 하고 항해를 기준으로 한다면 정기용선계약은 선박을 대상으로 하고 기간을 기준으로 한다. 여기에서 운임의 변동성이 가장 강한 시장은 단기계약시장으로 항해용선계약과 매우 짧은 기간의 기간용선계약을 포괄한다. 운임의 변동성이 큰 단기계약에서 운항담당자는 위험성을

고려하여 선박운항일정계획을 세우려고 노력한다.

계약이 이루어지는 과정은 다음과 같다. 선주와 화주가 각각 거래하는 브로커를 통하여 시장에 나온 적합한 선박과 화물의 상세를 알아보는 Pre-fixture 분석과정을 거친다. 이 과정에서 화주는 화물의 종류, 수량, 선적지, 양하지, 선적시기, 정박기간을 제시하고 선주는 선박의 유무를 알아보는데 이를 조회 (Inquiry)라고 한다. 적합한 선박이나 화물을 찾았다고 생각되면 계약의 기초가 되는 협상(Negotiation)을 거친 후 그중에서 어떤 조항을 용인하고 어떤 조항을 제외시킬지를 확정 신청(Firm Offer)과 반대확정 신청(Firm Counter Offer) 형식으로 주고받기를 반복하여 의견을 조율한다. 합의된 사항은 요약된 성약각서 (Fixture Note, Recapitulation)로 정해진다. 서로 모든 조항을 만족했다고 생각하면 계약은 이루어지고 최종 용선계약서(Charter Party)를 준비하고 서명한다. 앞서 설명한 일반적인 항해용선계약의 계약과정은 다음 그림 5와 같다.

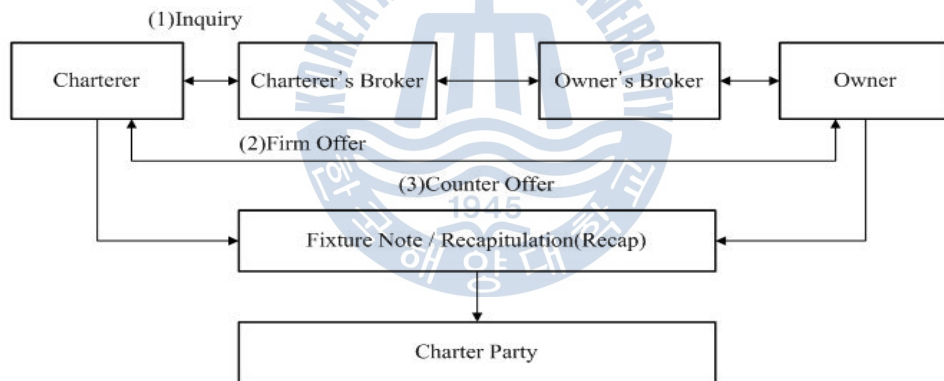


Fig.5 Voyage Charter Contracting Process

단기계약의 경우 이 모든 과정이 짧고 빈번하게 이루어진다. Pre-fixture단계에서 [ROQ모형]으로 위험에 강인한 운항일정계획을 단시일 내 세울 수 있다. 운항 가능한 선박의 집합을 가지고 단기계약 시장에 나오는 수송 가능한 화물들을 재빨리 대입하여 운항일정계획을 수립하는 가정으로 계산 실험을 진행한다.

4.4 유조선의 시장지표

항해용선계약을 통하여 유조선을 원유 및 제품유의 해상수송에 투입하는 사례에 관해 연구할 경우, 로버스트 선박운항일정계획을 수립하기 위하여 [ROQ 모형]으로 계산실험을 실행한다. 복잡한 계산을 효율적으로 하기 위해 3장 3절의 단일지수모형을 통하여 [ROQ 모형]의 분산-공분산 행렬을 생성할 수 있는데 계산에는 시장을 잘 나타낼 수 있는 시장지표와 항로별 지표가 필요하다. 정해진 기간 동안 시장의 수익률을 나타내는 $E(R_m)$ 과 정해진 기간 동안 주식 i 의 수익률을 나타내는 $E(R_i)$ 은 타당하고 객관적인 자료로 선정해야 한다.

유조선 시장 전체의 움직임을 잘 반영한 지표로 발틱유조선지수(Baltic Dirty Tanker Index, BDTI)를 시장 전체의 수익률 $E(R_m)$ 로 사용하기로 하고 함께 발표되는 TD로 표시된 18개의 개별 항로별 값을 $E(R_i)$ 로 사용하기로 한다. 19세기 중반 런던의 커피하우스에 선주와 화주가 모여 이야기를 나누고 계약을 하던 것을 시초로 발전한 발틱해운거래소(The Baltic Exchange)는 현재까지 선주, 용선주, 화주, 선박중개업자들을 위해 일반 거래뿐만 아니라 정보의 통계 수집, 국제 분쟁 조정, 규정 제정 등 국제적인 마켓플레이스의 역할을 하고 있다. 부정기선의 종합운임지수로 사용되는 발틱운임지수(Baltic Dry Index, BDI)는 1985년 1월 4일을 기준으로 하여 세계 주요 26개 항로를 운항하는 부정기선의 항로별 톤마일의 비중에 따라 가중치를 적용하여 산정된 운임지수로 1999년 11월 1일부터 발틱해운거래소에서 발표하고 있다. 발틱운임지수는 선종별, 선박 크기별, 항로별로 세분되어 있는데 선종별로 구분된 지수중에 발틱유조선지수 BDTI와 발틱제품선지수 BCTI(Baltic Clean Tanker Index)가 메이저 석유회사의 의사결정과정에 관계있다. BDTI는 유조선의 운임지수인 월드스케일(Worldscale)뿐만 아니라 거래소와 주요회원인 메이저 선박 중개업 회사가 수집한 다양한 현물 운임의 움직임을 평균화한 지수이기 때문에 월드스케일보다 시장지표로 사용하기 알맞다.

다음 장의 표3은 한국해양수산개발원에서 제공하는 해운통계요람(2012)의

BDTI 자료이다.

Table 3 Baltic Dirty Tanker Index 2011

Weekly	Date(Y.M.D)	Index	TD1	TD2	TD3	TD4	TD5	TD6	TD7	TD8	TD9	TD10D	TD11	TD12	TD14	TD15	TD16	TD17	TD18
1	2011. 01. 08	808	30.5	50.2	49.8	56.2	68.5	83.0	87.4	95.9	139.6	197.0	71.9	151.7	88.0	51.7	198.5	76.2	201.3
2	2011. 01. 15	737	30.1	47.4	47.0	50.9	59.9	66.5	83.6	91.2	129.1	157.9	70.1	143.9	84.3	50.9	174.8	69.4	192.0
3	2011. 01. 22	680	31.7	46.9	46.6	49.5	58.9	61.5	81.4	92.2	111.0	135.4	72.6	121.1	83.6	50.2	153.9	66.8	166.8
4	2011. 01. 29	660	32.0	46.2	45.8	49.4	63.3	65.4	82.2	94.1	92.0	121.2	78.1	115.2	83.6	49.8	145.1	65.3	158.9
5	2011. 02. 05	661	34.3	48.4	48.0	50.4	67.2	73.2	84.0	94.9	82.5	109.2	88.6	111.9	86.4	50.3	139.7	66.6	154.3
6	2011. 02. 12	695	39.8	63.8	63.3	56.9	74.4	86.0	88.6	99.3	82.1	103.8	85.0	107.0	90.2	56.8	138.7	77.9	148.2
7	2011. 02. 19	752	44.4	80.5	80.0	67.6	75.3	85.8	104.0	101.5	91.9	100.3	86.7	106.2	90.6	71.3	144.8	100.2	148.6
8	2011. 02. 26	804	39.6	65.7	65.3	61.7	80.3	95.2	111.2	101.3	115.6	106.5	114.8	113.5	90.5	60.4	154.1	135.8	178.7
9	2011. 03. 05	993	40.2	61.1	60.8	71.1	100.0	115.8	147.4	104.8	156.0	167.0	184.2	142.3	93.8	65.3	167.6	219.1	190.0
10	2011. 03. 12	1,047	45.2	69.1	68.8	79.4	106.1	142.0	138.9	109.4	157.8	188.2	117.1	155.4	98.4	73.5	189.0	244.3	217.7
11	2011. 03. 19	1,021	43.4	65.4	65.2	77.5	110.7	135.6	110.5	115.8	112.6	186.3	99.9	156.9	104.8	68.6	194.6	257.7	239.5
12	2011. 03. 26	992	42.4	62.1	61.5	73.8	110.7	124.4	103.2	119.8	107.4	193.5	121.0	159.2	111.6	62.6	192.4	185.0	254.4
13	2011. 04. 02	935	37.3	54.4	54.0	68.3	93.2	102.6	101.6	130.2	112.3	180.9	104.8	148.7	121.9	59.0	192.7	138.6	264.3
14	2011. 04. 09	893	37.5	52.8	52.6	61.0	78.4	89.7	103.1	133.0	119.5	167.8	94.7	139.6	122.4	54.7	199.0	124.4	245.4
15	2011. 04. 16	844	38.7	54.4	54.0	56.3	80.0	81.5	99.9	130.0	128.2	155.1	89.7	138.5	118.0	52.6	195.3	83.8	218.3
16	2011. 04. 23	840	38.3	50.4	49.8	55.5	83.8	87.5	109.9	125.4	120.3	152.3	100.7	136.8	111.8	51.7	188.0	100.1	201.8
17	2011. 04. 30	827	37.5	49.3	48.7	55.2	85.7	98.2	111.9	121.9	114.8	151.0	95.3	135.2	109.4	50.1	186.4	99.9	188.5
18	2011. 05. 07	808	37.4	49.1	48.8	56.7	87.9	91.1	109.4	118.6	106.0	148.4	88.0	132.1	105.8	52.0	186.7	102.0	178.1
19	2011. 05. 14	783	37.1	49.2	48.9	57.5	84.8	87.6	106.1	115.9	100.9	139.8	86.4	135.1	101.9	52.4	179.3	91.2	170.7
20	2011. 05. 21	782	36.5	49.7	49.3	57.4	86.8	89.1	106.1	114.0	100.3	131.6	109.5	136.7	100.1	51.1	168.8	87.6	169.3
21	2011. 05. 28	779	37.0	52.1	51.8	55.9	77.3	81.7	106.6	114.1	105.2	119.5	128.0	133.4	98.7	51.9	169.9	83.7	169.8
22	2011. 06. 04	751	37.5	54.2	53.9	55.2	73.3	74.8	100.6	114.5	100.6	118.7	105.1	121.3	98.3	54.6	168.2	79.4	168.6
23	2011. 06. 11	737	39.1	57.1	56.9	55.3	68.1	73.7	97.4	115.4	100.0	116.2	97.0	119.2	97.4	54.7	161.3	77.1	163.7
24	2011. 06. 18	734	39.2	58.8	58.5	54.4	67.7	72.5	97.6	114.8	100.0	116.2	102.9	116.5	96.7	53.0	157.6	77.2	160.0
25	2011. 06. 25	755	40.1	58.8	58.4	52.9	67.2	70.0	97.5	116.0	99.0	138.8	106.9	119.6	96.6	52.3	172.3	76.5	163.3
26	2011. 07. 02	747	38.2	51.5	51.0	49.8	67.6	70.3	97.7	117.4	94.1	145.0	92.2	122.2	97.0	47.8	179.3	78.1	170.0
27	2011. 07. 09	752	37.7	49.5	49.1	49.7	67.7	72.3	105.2	116.8	92.7	142.0	91.9	116.6	97.0	47.5	183.7	93.3	166.8
28	2011. 07. 16	744	37.5	49.5	49.3	49.7	72.5	81.5	102.1	116.7	97.2	128.4	91.7	115.3	97.4	47.6	177.7	86.8	162.3
29	2011. 07. 23	740	37.6	50.4	50.0	50.1	75.8	84.1	103.0	115.7	110.1	118.5	91.2	115.1	97.3	47.6	167.2	82.7	158.7
30	2011. 07. 30	725	37.3	49.5	49.2	48.9	70.8	76.0	102.1	114.9	114.7	116.1	87.6	119.0	97.1	45.4	157.9	80.0	157.1
31	2011. 08. 06	717	37.1	47.5	47.3	48.0	70.4	73.6	100.9	114.5	122.3	115.4	87.3	118.5	97.1	44.9	149.4	78.5	153.3
32	2011. 08. 13	705	36.1	46.3	45.9	47.3	69.5	71.8	98.5	114.2	122.7	116.8	88.4	115.0	97.0	44.4	140.6	77.5	148.8
33	2011. 08. 20	692	34.8	46.1	45.9	47.1	66.8	72.5	97.5	112.6	115.8	115.7	91.7	113.5	96.0	43.3	133.0	75.3	146.3
34	2011. 08. 27	691	34.8	47.3	47.4	47.3	65.9	71.9	96.0	109.8	100.9	130.0	95.6	114.2	94.9	43.3	136.1	75.0	141.9
35	2011. 09. 03	679	34.5	47.0	47.0	47.3	65.0	69.4	95.5	105.6	93.8	122.6	92.7	115.7	94.6	43.1	139.0	74.9	138.9
36	2011. 09. 10	674	33.9	45.7	45.6	46.6	64.0	69.1	95.1	103.1	90.0	123.6	..	115.5	93.3	42.5	139.9	74.9	134.9
37	2011. 09. 17	680	33.9	45.0	44.8	46.4	68.0	84.7	96.5	101.5	90.1	123.9	..	114.9	92.7	42.4	137.9	73.6	133.8
38	2011. 09. 24	693	34.0	45.3	45.1	49.1	79.2	88.7	97.4	100.4	90.0	124.2	..	115.2	92.0	44.3	139.0	72.8	140.7
39	2011. 10. 01	694	33.6	43.1	42.9	47.3	74.3	85.7	97.5	98.7	90.0	124.3	..	114.5	90.6	42.9	147.7	73.7	150.8
40	2011. 10. 08	744	32.4	41.9	41.5	54.6	83.6	98.3	103.5	97.4	92.0	121.7	..	112.5	89.0	46.7	158.9	83.7	159.0
41	2011. 10. 15	814	32.6	43.4	43.1	60.4	102.4	133.2	114.2	98.0	108.9	120.3	..	114.0	88.9	47.4	172.4	92.2	158.3
42	2011. 10. 22	842	32.7	48.7	48.4	56.5	92.8	145.2	128.1	106.3	113.7	120.0	..	124.0	97.6	46.6	183.9	107.9	165.8
43	2011. 10. 29	808	34.6	53.9	53.7	56.5	79.1	117.8	114.1	110.8	107.6	120.2	..	127.1	99.9	53.7	185.7	97.5	168.3
44	2011. 11. 05	766	33.8	49.5	49.2	56.2	78.0	89.8	101.2	109.4	97.3	133.4	..	129.6	96.9	54.3	184.4	80.0	163.7
45	2011. 11. 12	769	39.0	54.9	54.6	57.3	76.6	79.8	98.3	109.3	93.5	149.3	..	129.0	97.7	56.9	182.4	79.8	159.0
46	2011. 11. 19	785	42.5	63.6	63.2	61.6	73.4	75.4	97.3	112.8	116.8	142.7	..	122.3	103.1	61.3	178.3	80.0	157.4
47	2011. 11. 26	785	42.6	65.7	65.2	62.2	73.9	75.7	97.0	113.7	122.3	131.5	..	118.8	103.1	61.1	179.8	78.5	158.3
48	2011. 12. 03	783	38.2	59.6	59.2	61.9	84.3	82.8	95.4	116.3	116.6	129.0	..	118.6	104.0	60.1	181.5	75.5	160.3
49	2011. 12. 10	796	38.4	58.9	58.7	60.0	78.4	88.1	110.4	116.8	100.3	124.8	..	118.2	103.5	58.3	179.6	87.2	156.3
50	2011. 12. 17	865	37.3	57.4	57.0	60.4	86.9	94.3	135.6	118.1	126.9	136.0	..	128.6	103.8	57.7	186.9	116.5	158.0
51	2011. 12. 24	906	37.1	58.2	57.8	67.2	91.0	112.8	124.3	120.0	118.8	138.5	..	134.2	105.4	60.8	221.6	98.8	181.7
	연평균	782	37.1	53.3	53.0	56.4	78.2	88.3	103.4	110.8	108.2	135.2	97.6	125.3	98.2	52.9	169.2	97.5	171.6

2011년도 발틱유조선지수 표에서 Index는 $E(R_m)$ 이 되고 TD1부터 TD18까지 표시된 항로별 개별 값은 $E(R_i)$ 가 된다. 표4는 18개로 세분된 항로에 관한 설명이다. 설명된 항로는 18페이지 그림3의 화살표의 방향과 대부분 일치한다.

Table 4 Route Description for Baltic Dirty Tanker Index

Route	Description	DWT
TD1	M.E. Gulf to US Gulf	280,000
TD2	M.E. Gulf to Singapore	260,000
TD3	M.E. Gulf to Japan	250,000
TD4	W. Africa to US Gulf	260,000
TD5	W. Africa to USAC	130,000
TD6	Cross Mediterranean	135,000
TD7	North Sea to Continent	80,000
TD8	Kuwait to Singapore (Crude and/or DPP Heat 135F)	80,000
TD9	Caribs to US Gulf	70,000
TD10	Caribs to USAC - Double hull vessel	50,000
TD11	Cross Mediterranean	80,000
TD12	Trial ARA(Antwerp, Rotterdam, Amsterdam) to US Gulf	55,000
TD14	Trial Indonesia to Japan	80,000
TD15	W. Africa to China	260,000
TD16	Black Sea to Mediterranean	30,000
TD17	Baltic to UK-Cont	100,000
TD18	Baltic to UK-Cont	50,000

제 5 장 계산 실험

이 장에서는 앞서 정리한 내용을 바탕으로 메이저 석유회사에서 유조선을 항해용선계약으로 수송에 투입하는 경우를 사례로 계산실험을 실행한다. 투입 가능한 선박의 집합과 수송이 필요한 화물의 집합을 임의로 설정한다. 부정기선 해상수송 집합패킹 모형문제로 정식화된 0-1 정수계획모형인 [SPK 모형]은 MoDiSS 프로그램을 활용하여 풀이할 수 있다. 여기서 사용된 운항 가능 일정 생성 알고리즘을 서술하고 알고리즘을 바탕으로 MoDiSS 프로그램을 구현하는 원리를 간단하게 알아본다. 프로그램은 임의로 설정한 선박과 화물을 가지고 최대 수익을 창출할 수 있는 최적의 운항일정계획과 운항 가능한 일정 전체를 생성한다. 생성된 운항 가능한 전체 일정을 가지고 평균-분산 모형의 개념을 활용하여 앞장에서 새롭게 제안한 [ROQ 모형] 문제를 풀이한다. 목적함수에 사용된 분산-공분산 행렬은 단일지수모형을 활용하여 엑셀에서 구현한다. 완성된 이차계획문제를 WIN QSB의 Quadratic Programming을 통하여 계산하고 그 수행도를 평가하여 [ROQ 모형]의 적합성을 알아본다.

5.1 [SPK 모형]에 의한 계산 결과

[SPK 모형]을 프로그램으로 구축하기 위하여 선박의 가능한 모든 운항일정을 찾아내는 일이 선행되어야 한다. 그래프이론(Graph Theory)을 통하여 해당 선박의 가능한 모든 운항일정을 생성할 수 있는 알고리즘을 간략히 서술한다. 여기서 운항가능일정 그래프는 임의의 선박에 대하여 선박의 모든 운항 가능한 일정을 표현할 수 있는 그래프로 정의된다. 선박은 초기의 투입을 위해 그래프의 시작마디에서 대기한다. 화물을 수송한 후 임무를 완료하고 그것을 종료마디로 설정한다. 따라서 운항가능일정 그래프는 시작마디에서 종료마디로 이르는 경로를 나타낸 것으로 비순환 방향성 그래프라고 할 수 있다. 임의의

화물을 수송하게 될 경우 각 화물마디와 연결된 방향성 가지를 통하여 나타낼 수 있다. 그림6은 설명한 운항가능일정그래프를 나타낸 것이다.

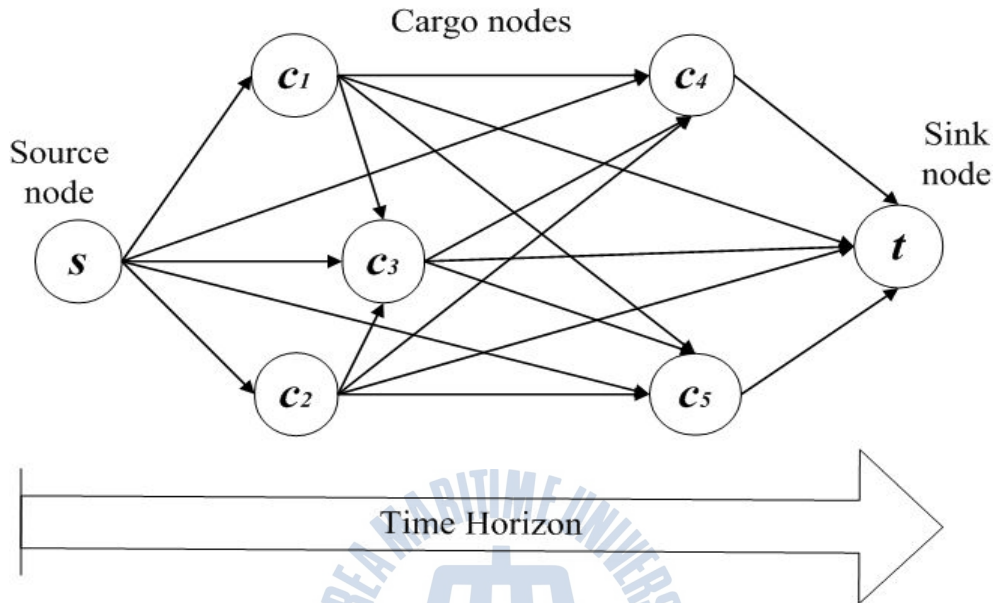


Fig.6 A Feasible Schedule Generating Graph $G_i(N,A)$ for ship i

각 선박 i 에 대하여 s 는 시작마디, c 는 화물마디 집합, t 는 종료마디이다. 그래프 G_i 의 시작마디부터 종료마디까지 깊이우선탐색(Depth First Search, DFS) 알고리즘을 통하여 그래프를 순회한다. 시작마디를 시작으로 각 마디를 방문하되 그 마디가 종료마디이면 저장된 마디를 나열하여 하나의 운항가능일정으로 저장한다. 모든 운항가능일정을 찾아낼 때까지 순회를 계속한다.

MoDiSS(Model-based DSS in Ship Scheduling) 시스템으로 운항가능일정 생성 알고리즘을 구현할 수 있다. MoDiSS 프로그램은 이미 개발된 부정기선 해사 수송문제를 최적화 모형을 기반으로 해결할 수 있도록 의사결정을 지원하는 시스템이다. 항구간 거리 측정표와 수송 가능한 화물상세 및 운항 가능한 선박의 상세를 입력하면 실현 가능한 모든 운항일정계획과 함께 선택된 최적의 운항일정계획을 출력한다. 입출력 자료는 적절한 GUI(Graphical User Interface)

를 통하여 손쉽게 접근할 수 있다. [SPK 모형]의 해법을 구할 때 의사결정 변수는 모든 운항 가능 일정이므로 운항가능일정 그래프를 컴퓨터에 저장하는 방법을 적절하게 선택하여야 한다. 시스템의 설계 목적과 문제의 구조에 따라 최선의 방법을 선택해야 하는데 이 프로그램은 자료 구조 구현이 용이하고 유연한 연속 인접 리스트(Contiguous Adjacency Lists) 방식을 택한다. 연속 인접 리스트 방식으로 Graph G_i 를 표현하면 그림7과 같다. 그래프의 각 마디에 대하여 정점끼리 연결된 간선을 하나의 연결리스트에 저장하고 연결리스트를 찾아낼 때까지 반복한다.

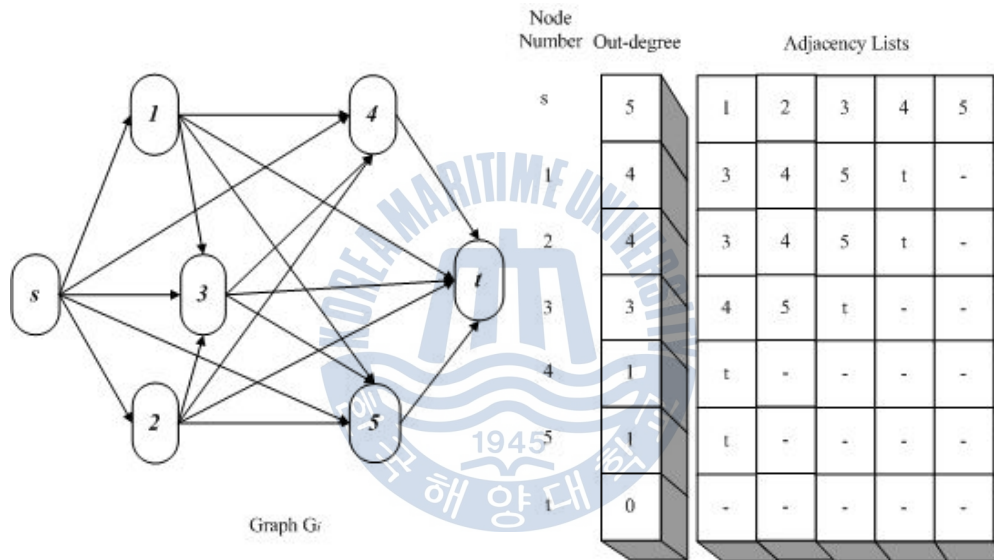


Fig.7 Contiguous Adjacency List Implementation of Graph G_i

프로그램 안에서 운항가능일정을 생성한 후 선형 0-1 정수계획모형인 [SPK 모형]으로 최적화 스케줄을 선택하는데 모형의 최적 해를 구하는 해법 모듈로 LINDO 패키지를 사용한다. MoDiSS는 Windows 기반의 PC에서 MS Visual Basic 4.0을 사용하여 구현하였다. 정리하자면 MoDiSS를 구축하기 위하여 운항가능일정의 생성은 깊이 우선 탐색 알고리즘을 적용하여 생성하고 최적화 모형의 해법은 상용 프로그램인 LINDO 패키지를 이용한다.

MoDiSS를 이용한 [SPK 모형]의 계산실험과 수행도 분석을 위하여 항구간 거리표, 선박의 집합, 화물의 집합과 같은 입력 자료들을 준비하여야 한다. 표 5는 계산실험의 예시1번의 투입 가능한 선박집합을 보여준다. 표5는 3척의 선박의 크기, 운항비용, 투입가능시작일, 초기 설정 항구, 수송 가능한 화물의 종류, 선박명을 보여준다. 수송 가능한 화물의 종류 5~8은 원유로 원유 성상에 따라 구분하였다.

Table 5 Ship Sets for Case Example 1

ID	Size	Utility	Open Date	Initials Port	Cargo Type	Name
1	275	50	3	Singapore	5678	G.Glory
2	314	44	5	Basrah	5678	M.Star
3	297	37	7	Bonga	5678	New Creation

표6은 계산실험의 예시1번에 수송 가능한 화물의 집합을 나타낸다. 5개의 화물에 대하여 화물량, 운임인 월드스케일, 적하일, 적하일 허용간격, 적하항, 양하일, 양하항, 화물의 종류를 보여준다. 화물은 랜덤하게 생성하였지만, 그림 3에서 확인한 원유의 수송 흐름을 참조하여 실제 수요가 많이 발생하는 구간을 위주로 하였다.

Table 6 Cargo Sets for Case Example 1

ID	SIZE	World Scale	Load Date	Load Interval	Load Port	Disch Date	Disch Port	Type
1	265	368	22	1	Djeno	34	Houston	6
2	245	165.5	60	1	Fujairah	66	Singapore	8
3	155	201.5	18	1	Kharg Island	42	Dalian	5
4	215	259.5	13	1	Al Shaheen	25	Ulsan	7
5	235	309	40	1	Dalia	52	Houston	7

프로그램에 항구간 거리표와 함께 표5번과 표6번을 입력하면 최대 수익을 낼 수 있는 최적의 운항일정 계획이 출력된다. 항구간 거리표는 각 항구사이의 거리에 따라 소요되는 날짜와 구간별 월드스케일이 운임으로 입력되어 있다. 입력 자료를 바탕으로 프로그램을 시험 운용할 경우 최고의 이익을 달성

할 수 있는 운항일정을 선박별로 도출해 낼 수 있다.

그림8은 MoDiSS 프로그램으로 부정기선 해사수송 문제를 최적화시켰을 때 스크린에 도출하는 화면이다. 최대 이익을 얻을 수 있는 최적의 일정뿐만 아니라 모든 운항일정도 함께 살펴볼 수 있다. 로버스트 선박운항일정계획을 구하기 위해서는 여기서 생성된 모든 일정끼리의 분산-공분산 행렬을 도출해내고 목적함수로 공분산을 최소화시키면서 최저요구기대수익률을 제약조건으로 만족해야 한다. 따라서 Candidate Schedule 항목에 생성된 모든 운항일정을 주목해서 계산 실험을 진행한다.

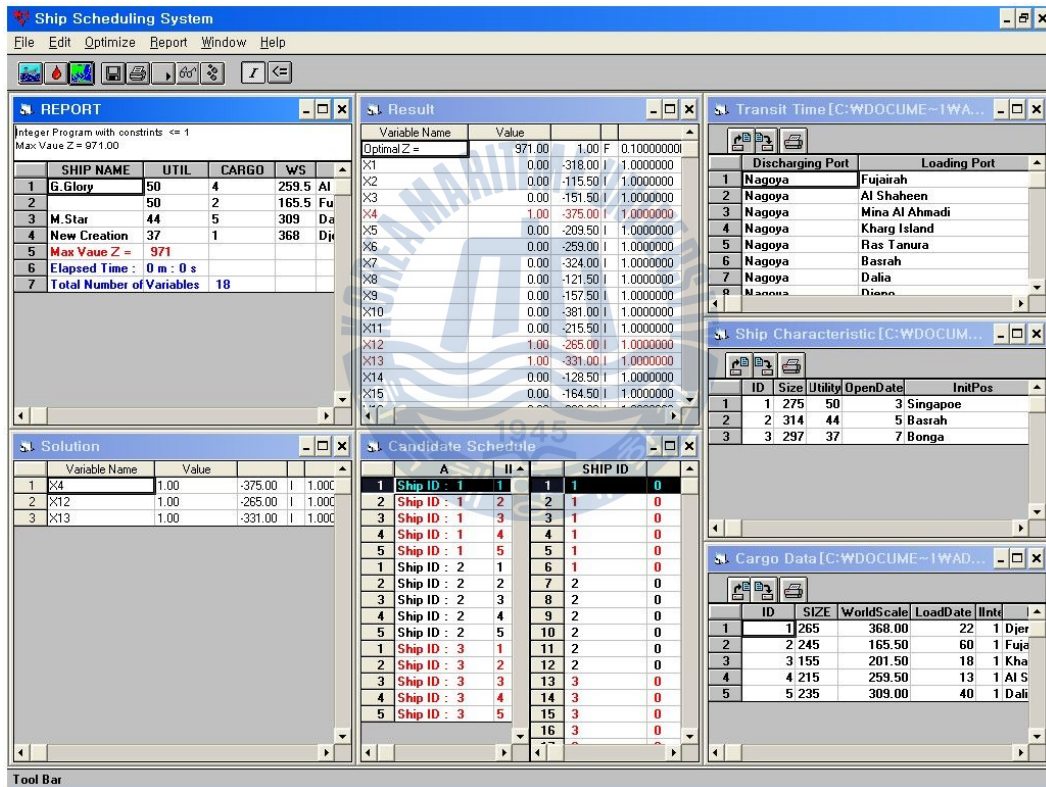


Fig.8 The Visual Screen Displaying for Case Example 1 by utilizing MoDiSS

다음 장의 표7은 여러 가지 선박과 화물의 조합을 가지고 얻어낸 최적의 수익과 모든 운항가능일정의 값을 나타낸다. 화물과 선박의 숫자가 증가함에 따

라 얻을 수 있는 모든 일정의 수가 매우 증가함을 알 수 있다. 일정의 수가 증가할수록 분산-공분산 행렬의 규모가 커지고 계산상에 불편함이 문제가 될 수 있다.

Table 7 All Feasible Schedules by utilizing MoDiSS

Case Example		Number of Ship Sets	Number of Cargo Sets	Max Value (10 Thousand dollars)	Number of Feasible Schedules
1	SHIP SET 1	3	5	971	18
	CARGO SET 1				
2	SHIP SET 2	3	6	1009	23
	CARGO SET 2				
3	SHIP SET 3	6	8	1650	53
	CARGO SET 3				
4	SHIP SET 4	8	15	2357	300
	CARGO SET 4				
5	SHIP SET 4	8	15	2415	270
	CARGO SET 5				
6	SHIP SET 4	8	15	2640	270
	CARGO SET 6				
7	SHIP SET 4	8	15	2595	284
	CARGO SET 7				
8	SHIP SET 4	8	15	2629	286
	CARGO SET 8				
9	SHIP SET 5	11	15	3032	279
	CARGO SET 4				
10	SHIP SET 5	11	15	2805	166
	CARGO SET 5				
11	SHIP SET 6	11	15	3232	167
	CARGO SET 6				
12	SHIP SET 7	11	15	3123	183
	CARGO SET 7				
13	SHIP SET 8	11	15	2900	196
	CARGO SET 8				
14	SHIP SET 9	15	25	5044	167
	CARGO SET 9				
15	SHIP SET 9	15	30	4981	714
	CARGO SET 10				
16	SHIP SET 10	15	25	5044	520
	CARGO SET 9				
17	SHIP SET 10	15	30	4981	713
	CARGO SET 10				
18	SHIP SET 11	20	30	5467	1036
	CARGO SET 11				
19	SHIP SET 11	20	35	6855	1695
	CARGO SET 12				
20	SHIP SET 12	20	30	5467	890
	CARGO SET 11				
21	SHIP SET 12	20	35	7212	2123
	CARGO SET 12				
22	SHIP SET 13	30	40	7838	2432
	CARGO SET 13				

엑셀에서는 해찾기를 이용하여 이차계획법 문제를 풀이할 수 있게 만들어놓았다. 엑셀을 이용하여 최종 해찾기를 시도하였으나 엑셀에서는 해찾기를 실행할 때 최대 2,000개의 변수를 사용하는 것을 기본 프로그램에 탑재하였고 그 이상의 경우 프리미엄 프로그램을 구매하여 계산할 수 있게 설정해놓았다. 따라서 구비된 WIN QSB의 Quadratic Programming라는 상용 프로그램을 이용하여 엑셀에서 계산한 분산-공분산 매트릭스와 제약식을 가지고 이차계획법 문제를 풀이하였다. WIN QSB는 2차계획법에 대하여 Wolf가 제시한 해법을 따른다. 쿤-터커 조건은 라그랑주 함수에 대하여 모든 변수들이 비음인 최적해를 갖기 위한 필요조건이다. Wolf의 해법은 2차계획문제를 쿤-터커 조건을 만족하는 해를 얻을 수 있는 선형계획 모형을 만들고 상보여유정리를 내재적으로 반영하는 기저 진입규칙을 적용하며 심플렉스 해법으로 풀이하는 것이다.

다음 표 8~10은 사례 1~3번을 [ROQ 모형]을 이용하여 계산한 값이다. [SPK 모형]으로 계산한 각 사례의 최대수익률을 100%의 최저요구기대수익률이라고 가정하고 그에 만족하는 최소 분산 값을 가지는 운항 경로를 보여준다. 최저요구기대수익률을 100%부터 70%까지 5% 간격으로 조정하여 설정하는 경우 달라지는 최소 분산 값과 선택 경로를 표시하였다.

표8에서 보는 바와 같이 아래쪽으로 갈수록 수익률은 줄어들고 있으나 설정한 최저 요구 기대수익률을 만족하고, 위험을 대변하는 일정끼리의 공분산 값도 줄어들고 있다. 최저요구 기대수익률이 최대 수익률의 100%부터 90%까지 수립한 선택되는 일정 총 수익률과 분산 값은 같다. 하지만 최대수익의 100%인 경우 경로와 95%~90%인 경우 경로가 투입되는 일정이 달라지는 것을 알 수 있다. 85% 수준에서 G. Glory 선박은 화물4와 2를 나르는 대신 화물 3을 운송하고, M. Star는 화물 5 대신 화물 4와 2를 운송한다. 화물 5가 탈락하였음은 화물 5의 운항 경로가 운임이 높지만 2012년 BDTI를 통하여 유추한 변동성이 다른 구간보다 높거나 최대요구기대수익률 하에서 다른 화물과의 상관성이 높음을 알 수 있다. 따라서 의사결정자는 최대 수익률을 도출해낼 수 있는 운항일정계획 뿐만 아니라 목표하는 최저요구 기대수익률에 따라 안전한

다른 프론티어 값을 선택할 수 있다.

Table 8 Robust Tanker Scheduling for Case Example 1

Required Level of Profit	Ship Name	Op. Cost	Cargo ID	Freight	Loading Port	Loading Date	Discharging Port	Disch. Date	Total Profit	Variance of Profit
100% (971)	G.Glory	50	CD_4	259.5	Al Shaheen	13	Ulsan	25	971	702
			CD_2	165.5	Fujairah	60	Singapore	66		
	M.Star	44	CD_5	309	Dalia	40	Houston	52		
	New Creation	37	CD_1	368	Djeno	22	Houston	34		
95% (922.45)	G.Glory	50	CD_1	368	Djeno	22	Houston	34	971	702
	M.Star	44	CD_4	259.5	Al Shaheen	13	Ulsan	25		
			CD_2	165.5	Fujairah	60	Singapore	66		
	New Creation	37	CD_5	309	Dalia	40	Houston	52		
90% (873.9)	G.Glory	50	CD_1	368	Djeno	22	Houston	34	971	702
	M.Star	44	CD_4	259.5	Al Shaheen	13	Ulsan	25		
			CD_2	165.5	Fujairah	60	Singapore	66		
	New Creation	37	CD_5	309	Dalia	40	Houston	52		
85% (825.35)	G.Glory	50	CD_3	201.5	Kharg Island	18	Dalian	42	863.5	599.88
	M.Star	44	CD_4	259.5	Al Shaheen	13	Ulsan	25		
			CD_2	165.5	Fujairah	60	Singapore	66		
	New Creation	37	CD_1	368	Djeno	22	Houston	34		
80% (776.8)	G.Glory	50	CD_1	368	Djeno	22	Houston	34	805.5	404.55
	M.Star	44	CD_4	259.5	Al Shaheen	13	Ulsan	25		
	New Creation	37	CD_5	309	Dalia	40	Houston	52		
75% (728.25)	G.Glory	50	CD_1	368	Djeno	22	Houston	34	805.5	404.55
	M.Star	44	CD_4	259.5	Al Shaheen	13	Ulsan	25		
	New Creation	37	CD_5	309	Dalia	40	Houston	52		
70% (679.7)	G.Glory	50	CD_1	368	Djeno	22	Houston	34	698	328.27
	M.Star	44	CD_3	201.5	Kharg Island	18	Dalian	42		
	New Creation	37	CD_4	259.5	Al Shaheen	13	Ulsan	25		

Table 9 Robust Tanker Scheduling for Case Example 2

Required Level of Profit	Ship Name	Op. Cost	Cargo ID	Freight	Total Profit	Variance of Profit
100% (1009)	M/V James	65	CD_2	305	1009	1606.8
			CD_5	314		
	M/V Grace	80	CD_1	285		
	M/V Duke	70	CD_3	320		
95% (958.55)	M/V James	65	CD_1	285	959	1104.43
			CD_3	320		
	M/V Grace	80	CD_4	298		
	M/V Duke	70	CD_6	271		
90% (908.1)	M/V James	65	CD_1	285	959	1104.43
			CD_3	320		
	M/V Grace	80	CD_4	298		
	M/V Duke	70	CD_6	271		
85% (857.65)	M/V James	65	CD_1	285	959	1104.43
			CD_3	320		
	M/V Grace	80	CD_4	298		
	M/V Duke	70	CD_6	271		
80% (807.2)	M/V James	65	CD_1	285	959	1104.43
			CD_3	320		
	M/V Grace	80	CD_4	298		
	M/V Duke	70	CD_6	271		
75% (756.75)	M/V James	65	CD_1	285	758	768.43
			CD_3	320		
	M/V Grace	80	CD_4	298		
70% (706.3)	M/V James	65	CD_1	285	741	509.83
			CD_3	320		
	M/V Duke	70	CD_6	271		

표9는 사례2가 다르게 설정된 최저요구기대수익률에 따라 어떤 경로에 선박을 투입해 최소 분산 값을 도출해내는지를 보여준다. 최저요구기대수익률이 최대수익률의 100%일 경우 M/V James는 화물 2와 화물5의 운송에 투입되고 M/V Grace는 화물1, M/V Duke는 화물3에 각각 투입된다. 95%에서 80%까지는 같은 일정값을 보여주는데 M/V James는 화물 1과 화물3의 운송에 투입되고 M/V Grace는 화물4, M/V Duke는 화물6에 각각 투입된다. 100% 수준보다 수익률은 감소했지만 분산값도 감소함을 볼 수 있다. 이 경우 운항담당자가 최대수익률의 80% 이상 얻을 수 있으면서도 운임변동에 대비하는 해를 선택하려고 한다면 95%에서 80% 수준의 일정이 같은 값이므로 수월하게 선택 가능하다. 75% 수준에서는 M/V Duke의 투입을 포기한 경로값을 보여주고 70%에서는 M/V Grace의 투입을 포기하고 있다. 변동이 심한 시장 상황에서 운항비용이 높은 선박의 계선이 하나의 위기타개 방안임을 제시한다.

다음 장에 표시된 표10은 사례3의 운항 가능한 6개의 선박과 수송 가능한 8개의 화물을 가지고 실험한 결과 값이다. 95%에서 90%까지 동일한 경로를 선택하고 있고 80%에서 75% 수준까지 동일한 경로를 채택하고 있다. 100%일 때는 화물3의 수송을 포기하고 95%에서 90%까지는 화물6의 수송을 포기한다. 85%에서는 화물2와 화물6의 수송을 포기하고 80%에서 75%까지는 화물6과 7의 수송을 포기하는 동시에 OS Arcadia를 계선시키는 선택을 한다. 70% 수준에서는 OS Concord와 OS Arcadia를 계선시키며 화물 3, 화물6, 화물7의 수송을 포기하는 선택을 한다.

Table 10 Robust Tanker Scheduling for Case Example 3

Required Level of Profit	Ship Name	Op. Cost	Cargo ID	Freight	Total Profit	Variance of Profit
100% (1650)	G.Glory	50	CD_2	165.5	1650	1691.91
			CD_8	258		
	M.Star	44	CD_5	309		
	New Creation	37	CD_7	311		
	New Resource	33	CD_1	368		
	OS Arcadia	50	CD_4	259.5		
95% (1567.5)	G.Glory	50	CD_1	368	1602.5	1581.1
			M.Star	44		
			CD_4	259.5		
	New Creation	37	CD_5	309		
	New Resource	33	CD_8	258		
	OS Arcadia	50	CD_3	201.5		
90% (1485)	G.Glory	50	CD_1	368	1602.5	1581.1
			M.Star	44		
			CD_4	259.5		
	New Creation	37	CD_5	309		
	New Resource	33	CD_7	311		
	OS Arcadia	50	CD_3	201.5		
85% (1402.5)	G.Glory	50	CD_1	368	1437	1352.45
			M.Star	44		
	New Creation	37	CD_4	259.5		
	New Resource	33	CD_5	309		
	OS Arcadia	50	CD_7	311		
	OS Concord	56	CD_8	258		
80% (1320)	G.Glory	50	CD_1	368	1341.5	1198.13
			M.Star	44		
			CD_4	259.5		
	New Creation	37	CD_5	309		
	New Resource	33	CD_3	201.5		
	OS Concord	56	CD_8	258		
75% (1237.5)	G.Glory	50	CD_1	368	1341.5	1198.13
			M.Star	44		
			CD_4	259.5		
	New Creation	37	CD_3	201.5		
	New Resource	33	CD_5	309		
	OS Concord	56	CD_8	258		
70% (1155)	G.Glory	50	CD_1	368	1196	807.32
			M.Star	44		
			CD_4	259.5		
	New Creation	37	CD_8	258		
			New Resource	33	CD_5	309

제 6 장 결과 및 검토

오늘날의 글로벌 경제는 과거보다 훨씬 복잡하며 그 예측이 점점 어려워졌고 교통과 통신의 발달은 세계 각국의 서로에 대한 영향력을 증대시켰다. 2008년 미국발 금융위기는 적합한 예라고 할 수 있다. 이 금융위기로 미국뿐만 아니라 전 세계적 금융위기가 도래하였고 이는 실물경제 위축을 가져왔으며 실물의 해상수송을 담당하던 해운은 그 여파로 아직 위기에서 벗어나지를 못하고 있다. 경제는 유기체적으로 끊임없이 변화하고 있고 그 변화에 발맞추지 못하면 도태된다.

이 논문은 예측하기 어려울 정도로 변화하는 해운 시장에서 위험에 견디는 로버스트 선박운항일정계획을 수립하는 문제를 다루었다. 연구를 위해 부정기선 운항 및 화주 직접 운항 유형의 해상수송문제의 선박운항일정계획에 관한 선행 연구를 살펴보았다. 기존의 부정기선 운항일정계획의 최적화 문제는 운항이익의 최대화 또는 운항비용의 최소화를 목적으로 0-1 정수계획 모형인 집합 패킹 문제로 정식화되어 있음을 확인할 수 있었다. 그런데 글로벌 경기의 흐름을 반영하는 해운운임은 과거보다 큰 변동 폭과 짧은 변동주기를 보이고 있음에도 불구하고 부정기선 선박운항일정계획을 수립을 하는 연구에서 운임 변동을 고려한 연구는 매우 부족하다.

이 논문은 기존 연구의 이러한 한계점을 해결하기 위해 마코위츠가 투자이론에서 제시한 평균-분산 모형 (Mean-Variance Model)의 아이디어를 사용하여, 일정한 기대이익률을 만족시키면서 운항이익의 분산 공분산을 최소화하는 로버스트 선박운항일정계획 모형을 2차계획모형으로 정식화한 최적화 모형을 제안하였다. 분산 공분산의 계산에는 단일지수모형을 사용하였다. 제안한 로버스트 선박운항일정계획의 타당성을 입증하기 위하여 무작위로 생성한 유조선 운항일정계획 사례문제를 대상으로 계산 실험을 수행하였다. 계산실험에는 부정기선 해운의 해상수송 문제에 대한 최적화 기반 의사결정 지원시스템으로 개

발된 MoDiSS와 Excel, 그리고 Win QSB를 사용하였다.

계산실험 결과 제안된 최적화 모형은 해운시황의 변동에 견디는 로버스트 선박운항일정을 도출해 주었고, 안정성과 수익성을 고려한 선박운항일정계획 의사결정에 매우 중요한 효율적인 프론티어를 제공할 수 있음을 입증하였다. 이러한 최적화 모형은 실제의 선박운항일정계획문제에 유용하게 적용할 수 있으리라 사료된다.

향후 다양한 선박과 화물의 조합으로 계산실험을 실행하여 의사결정변수의 규모가 매우 커질 때 제안된 최적화 모형의 수행도를 살펴볼 필요가 있다. 또한, 이 논문이 제시한 최적화 모형과 Hee-su, Hwang(2008)의 최적화 모형을 계산실험을 통하여 비교하는 연구가 이루어져야 할 것이다.



감사의 글

처음 논문을 쓰겠다고 마음먹고 주제를 정하고 논문을 완성하기까지의 순간순간이 감사의 글을 쓰기에 앞서 주마등처럼 스쳐 지나갑니다. 학문은 어렵다는 것을 절실히 깨달았고 늘 시간에 쫓겼지만, 한 편의 논문을 완성할 수 있었다는 자체가 매우 보람됩니다. 이 논문의 완성은 많은 분의 도움의 손길이 있었기에 가능했습니다. 넘치는 감사에 이렇게나마 지면으로 마음을 전합니다.

학부 시절부터 여러 가지로 부족한 저를 하나부터 열까지 가르쳐주신 김시화 교수님께 먼저 감사의 인사를 올립니다. 교수님의 맑고 깊고 신실한 마음은 연구뿐만 아니라 제 삶에 언제나 큰 힘이 됩니다. 제 존경의 마음을 담아 진심으로 교수님의 앞날에 주님의 은총이 가득하시길 기도드립니다.

학문적으로 미숙한 저의 논문 수역을 위해 따뜻한 격려와 조언을 보내주신 조성철 교수님, 김길수 교수님 감사드립니다. 교수님들 덕에 부족한 점을 많이 보완할 수 있었습니다.

이 논문은 MIEMS 연구실에서 열심히 공부한 선배님들의 바탕이 없었다면 탄생하지 못했을 것입니다. 연구실의 기틀을 닦고 후배들을 위한 연구의 기초를 세워 놓으신 이희용, 황희수, 광민석 선배님께도 감사드리며 함께 같은 연구실에서 같이 수학하며 늘 응원해주시고 조언해주신 김창수, 오동건, 임상섭 선배님, 김정민 후배님께도 깊은 감사의 말씀을 전합니다.

개인적인 욕심으로 시작한 석사 공부과정에서 항상 나에게 아낌없는 지원과 격려를 아끼지 않았던 어머니, 나수, 고인이 되신 아버지, 그리고 성철에게 깊은 감사와 사랑 전합니다.

한정된 지면에 모두 언급하진 못하지만 나를 사랑해주시는 모든 분에게 감사를 전합니다. 석사과정을 돌아보면 좋은 분들에게 은혜만 입고 지낸 행복한 날들이었습니다. 여러분이 주신 사랑에 보답할 수 있도록 더 열심히 멋지게 살아갈 것을 약속드리며 건강과 행복이 함께하기를 기원합니다.

참고문헌

[국내문헌]

- 김기석, 주재훈, 1991, 유조선의 최적 운항일정계획, 한국경영과학회, 제8권 1호, pp 91-108
- 김세헌, 현대경영과학, 무역경영사, 2008
- 김시화, 살림경영경제수학, 세종출판사, 2013
- 김시화, 이희용, 1996. 유조선운항일정계획 의사결정지원시스템의 개발에 관한 연구, 한국항해학회지, 제20권 제1호, pp 27-46
- 김시화, 곽민석, 1998. 인더스트리얼 캐리어를 위한 통합선대운영의 최적화에 관한 연구, 한국항해학회지, 제22권 제4호, pp 1-14
- 김시화, 1999. 부정기선 해운의 해사수송 문제에 대한 최적화 기반 의사결정 지원시스템. 박사학위논문. 부산대학교
- 김홍선, 2008. 한국 주식시장의 삼성그룹주펀드들과 비선형계획법을 이용한 마코위츠의 포트폴리오 선정 모형의 투자 성과 비교. 한국경영과학회 2008 년 추계학술대회 및 정기총회, pp 79-94
- 박구현, 송한성, & 원중현, 경영과학 엑셀활용, 교보문고, 2012
- 최은정, 이경식, & 박성수, 2001. 해양수송에 의한 원유도입 일정계획 문제의 정수계획 해법. 대한산업공학회 춘계학술대회 논문집, pp 247-250
- 최재호, 정종빈, & 김성문, 2013. 마코위츠 포트폴리오 선정 모형을 기반으로 한 투자 알고리즘 개발 및 성과평가 : 미국 및 홍콩 주식시장을 중심으로. 한국경영과학회지 제30권 제1호, pp 73-89
- 한국해양수산개발원, 2012. 해운통계요람
- 황희수, 2000. 집합 패킹 문제에 적용된 컬럼 서브트랙션 해법구현에 관한 연구. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.

[국외문헌]

- Alexander, G. J. (1977). Mixed security testing of alternative portfolio selection models. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 12(05), 817-832.
- Appelgren, L. H. (1969). A column generation algorithm for a ship scheduling problem. *Transportation Science*, 3(1), 53-68.

- Appelgren, L. H. (1971). Integer programming methods for a vessel scheduling problem. *Transportation Science*, 5(1), 64-78.
- Barlow, J. (2005). *Excel models for business and operations management*. Wiley. com.
- Bellmore, M., Bennington, G., & Lubore, S. (1968). A maximum utility solution to a vehicle constrained tanker scheduling problem (No. MTP-319). MITRE CORP MCLEAN VA.
- Briskin, L. E. (1966). Selecting delivery dates in the tanker scheduling problem. *Management Science*, 12(6), B-224.
- Brown, G. G., Graves, G. W., & Ronen, D. (1987). Scheduling ocean transportation of crude oil. *Management Science*, 33(3), 335-346.
- Christiansen, M., & Nygreen, B. (1998). Modelling path flows for a combined ship routing and inventory management problem. *Annals of Operations Research*, 82, 391-413.
- Dantzig, G. B., & Fulkerson, D. R. (1954). Minimizing the number of carriers to meet a fixed schedule (No. P-569). RAND CORP SANTA MONICA CALIF.
- Elton, E. J., & Gruber, M. J. (1997). Modern portfolio theory, 1950 to date. *Journal of Banking & Finance*, 21(11), 1743-1759.
- Fan, S., Ji, T., & Gordon, W. (2013). Forecasting Baltic Dirty Tanker Index by Applying Wavelet Neural Networks. *Journal of Transportation Technologies*, 3, 68-87.
- Fisher, M. L., & Rosenwein, M. B. (1989). An interactive optimization system for bulk cargo ship scheduling. *Naval Research Logistics (NRL)*, 36(1), 27-42.
- Hwang, H. S., Visoldilokpun, S., & Rosenberger, J. M. (2008). A branch-and-price-and-cut method for ship scheduling with limited risk. *Transportation science*, 42(3), 336-351.
- Gkanatsas, E. (2005). *Designing robust shipping schedules*. Erasmus University.
- Kim, S. H., & Lee, K. K. (1997). An optimization-based decision support system for ship scheduling. *Computers & industrial engineering*, 33(3), 689-692.
- Korn, E., & Korn, R. (2001). Portfolio-optimization by the mean-variance approach. EU Socrates Project.
- Laderman, J., Gleiberman, L., & Egan, J. F. (1966). Vessel allocation by linear programming. *Naval Research Logistics Quarterly*, 13(3), 315-320.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection*. *The journal of finance*, 7(1), 77-91.
- McKay, M. D., & Hartley, H. O. (1974). Computerized scheduling of seagoing tankers. *Naval Research Logistics Quarterly*, 21(2), 255-264.
- Omar, A. M., et al. (2013) *Annual Statistical Bulletin (ASB)*, OPEC

Asariotis, Regina, et al.(2013) Review of Maritime Transport, UNCTAD

Stopford, M. (2008). Maritime Economics 3e. Routledge.

Sharpe, W. F. (1963). A simplified model for portfolio analysis. Management science, 9(2), 277-293.

Wolfe, P. (1959). The simplex method for quadratic programming. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 382-398.

