

해운산업 슬롯교환방식 전략적 제휴 를 위한 수리적 모형

2017. 6. 2

정기호 (경성대학교 경영학과)
고창성 (경성대학교 산업경영공학과)

세계 해운산업 현황

■ 장기적 불황의 악순환

- 2000년대 중후반 미국/유럽지역 경제불황으로 인한 세계 교역량의 감소
- 해운사들간 과당 경쟁으로 화물운임 하락
- 운송비용을 낮추어 경쟁우위를 점하기 위한 수송선박의 대형화
- 공급과잉으로 인한 운임 하락의 지속
- 전세계 해운불황 장기화

■ 선복량 증가추이 : 운임인하 경쟁의 주원인

- 2013년 4.8%(1936만TEU), 2014년 5.6%(2044만TEU), 2015년 7.2%(2192만TEU) 증가
- 선복량 증가는 해운선사들간 출혈경쟁과 운임하락으로 이어져 해운사들 실적에 심각한 타격을 미침
- 소석유 감소
- 2016년 8월 국내 최대해운사 한진해운 도산

전략적 제휴를 위한 해운동맹 재편

■ 제휴 목적

- 운송서비스 범위의 세계화를 위한 글로벌 서비스망 구축
- 과당경쟁 환경하에서 선박의 효율적 운항을 통한 비용절감

■ 전략적 제휴 형태

- 터미널 공동사용
- 하역부두 공동활용
- 동일 항로를 운항하는 선박들의 공동 이용

전략적 제휴를 위한 해운동맹 재편 (2017년)

Before

Alliance	Companies
2M	MAERSK MSC
Ocean Three	CMA CGM UASC China Shipping
G6	NYK Line OOCL APL MOL Hapag-Lloyd HMM
CKYHE	K Line COSCO HANJIN Evergreen Yang Ming



After

Alliance	Companies
2M	MAERSK MSC
Ocean Alliance	CMA CGM China Shipping APL OOCL Evergreen
The Alliance	K Line Yang Ming MOL Hapag-Lloyd NYK Line UASC

선박 공동이용을 통한 전략적 제휴

- 동일 항로를 운항하는 해운사들간의 전략적 제휴
- 제휴사들이 선박 일부 공간을 상호 임대하여 컨테이너를 수송하는 방식
- 과당 경쟁을 피하고 운송합리화를 통한 비용 절감
- 경쟁사간 선박 공동이용을 통한 전략적 제휴 모형
 - Slot Chartering Problem
 - Slot Exchange Problem

선행 연구

▪ Lei et al.(2008)

- 제휴를 맺은 두 정기선사들 사이에 선박 공간 임대와 관한 두 가지 제휴 모델을 제시. 첫 번째 제휴 모델로는 제휴사 선박 공간 임대 규모를 사전에 미리 정해 놓고, 각 선사들의 입장에서 최적의 할당방법을 찾는 전략이고, 두 번째 모델은 두 제휴사 간 수송물동량을 혼합하여 마치 하나의 회사가 수송물동량을 운영하는 것처럼 해서 할당 방법을 찾는 것임.
- 이 두 가지 제휴 모델과 기존의 제휴하지 않는 모델을 비교분석함

▪ Chen and Zhen(2009)

- 제휴사 선박 공간 임대 협약을 맺고 컨테이너 수송 물동량을 최소의 비용으로 수송하는 수학적 모형을 제시.
- 자사 선박과 제휴사 선박 모두 선박 크기별로 몇 가지 유형이 있다고 가정하고, 비선형계획 모형을 사용하여 항로별 수송 물량을 자사 선박과 제휴사 선박에 할당하는 방법을 찾는 문제

▪ Chen and Zhen(2010)

- 이전 연구를 조금 더 확장하여 두 해운사가 슬롯 교환하는 방식의 협약을 맺은 경우의 수학적 모형을 비선형계획법 형태로 제시

▪ 정기호(2014)

- Chen and Zhen(2009)의 연구를 개선하여 제휴사 슬롯 임대 모형에 대한 선형계획법 모형을 제시
- 현실 문제에 대한 적용 가능성을 높임

선행 연구

- **Wang et. al(2014)**

- 컨테이너를 수송선박에 싣기 전 대기하는데 소요되는 비용을 줄이기 위해 항로별 컨테이너의 선박할당 및 선박 일정관리를 위한 수리모형 제시

- **정기호(2015)**

- 경쟁 해운사의 슬롯을 임대하는 경우, 자사 선박 단독으로 운송할 때에 비해 얼마나 비용 절감효과가 있는지 알봄
- 운송요율이 지속적으로 하락하는 추세에서 이익의 변화 추이를 알아보기 위한 민감도분석 수행

- **Chung and Ko(2015)**

- 제휴사 선박의 슬롯임대 규모를 1000, 1500, 2000TEU 등 3가지 유형으로 구분하여 제휴사 선박 각각에 대해 임대유형별로 슬롯을 빌릴지 여부를 결정하는 선형 모형 제시

- **Chung and Ko(2016)**

- 두 개의 해운사가 슬롯교환 방식의 제휴를 맺은 경우 최적 할당방법을 찾기 위한 선형계획법 모형 제시
- 슬롯교환 허용 비율을 변화시켜 나갈 때 비용 절감액이 어떻게 변하는지 알아보고 비용절감 효과의 재할당 방법을 제시

선박 공동이용을 통한 전략적 제휴 선행연구

Paper	Chartering/ Exchange	LP/NLP	# of participants	# of obj. fn	
Chen & Zhen(2009)	Chartering	NLP	2	1	
정기호(2014)	Chartering	LP	2	1	
Chen & Zhen(2010)	Exchange	NLP	2	1	
정기호(2015)	Chartering	LP	2	1	Sensitivity analysis
Chung & Ko(2015)	Chartering	LP	2	1	space type selection
Chung & Ko(2016)	Exchange	LP	2	2	

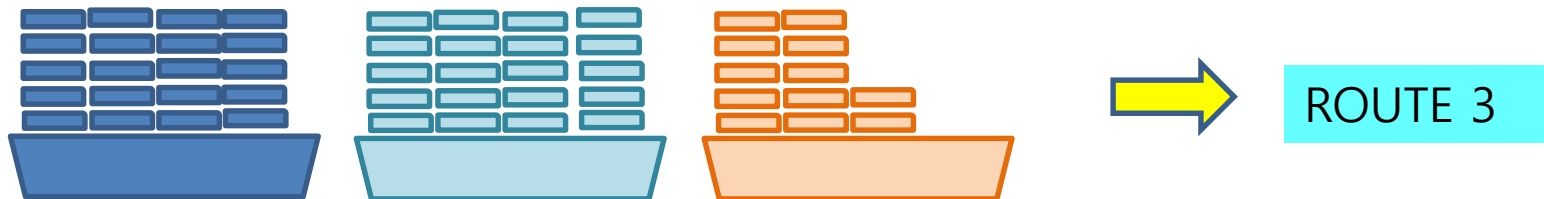
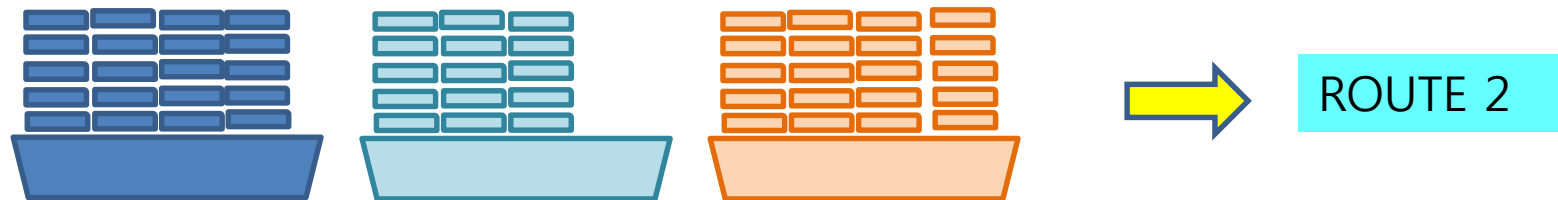
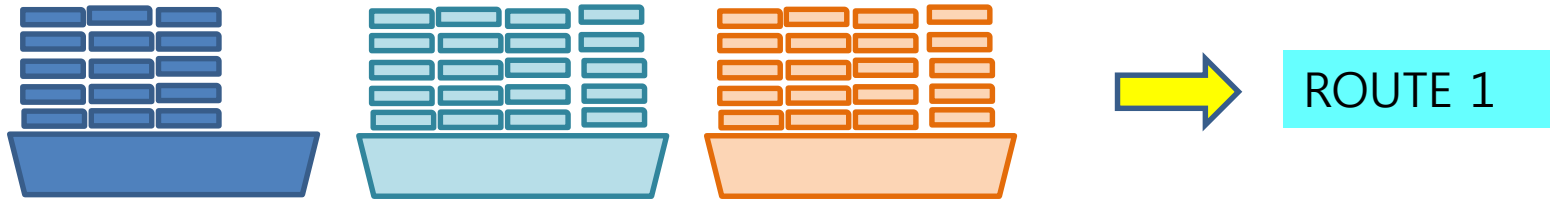
(본 연구) Slot Exchange Model

- 제휴기업 수 : 3개 이상
- 제휴사 선박 공간 상호이용 가능
- 목적함수식 : 참여기업별 각 1개씩 존재
- 3개 이상 기업들이 서로 제휴를 맺고 슬롯을 상호 교환함으로써 전체비용을 최소화할 수 있는 수리모형 제시
- 엑셀 Premium Solver Platform을 이용하여 해를 구할 수 있는 해법 개발

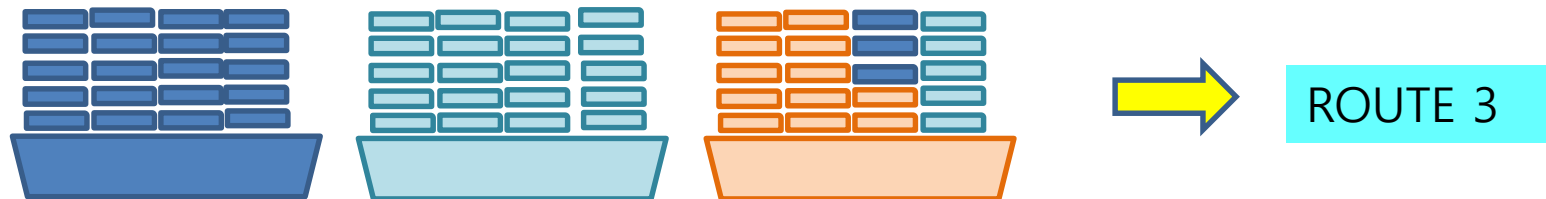
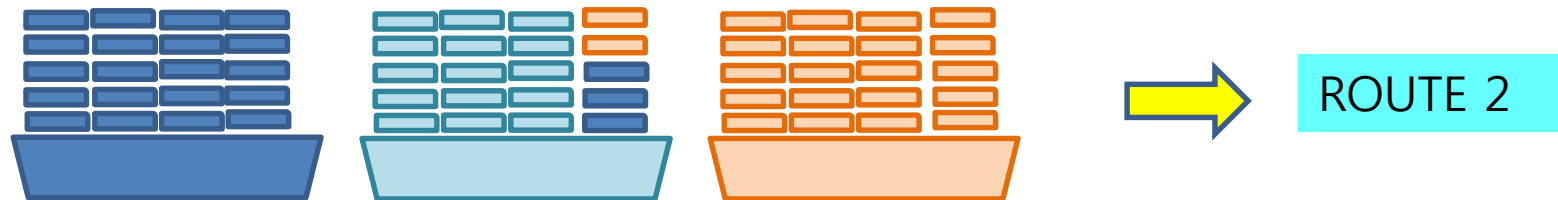
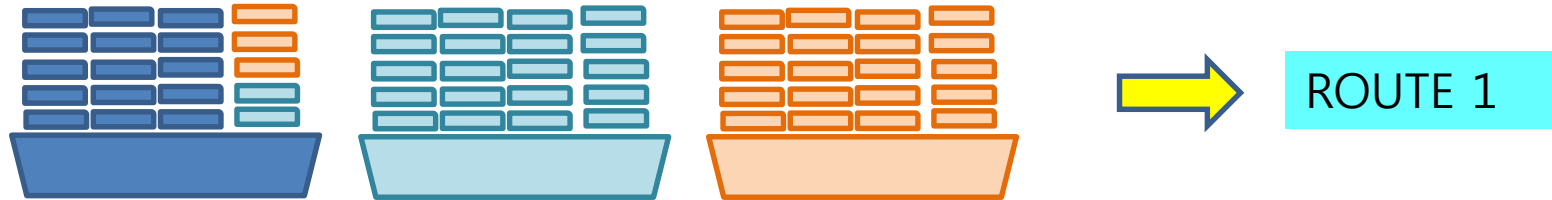
Problem Definition

1. 동일 항로를 운항하는 해운사들이 서로 제휴를 맺고, 제휴사 선박의 일정 공간을 빌려 자사 컨테이너를 실어 수송할 수 있다.
2. 제휴를 맺은 컨테이너 해운사의 수는 3개 이상이며, 이들이 컨테이너를 수송해야 할 항로들이 알려져 있다.
3. 계획기간 동안 각 해운사들이 항로별로 수송해야할 컨테이너 수요량이 정해져 있다.
4. 제휴에 참여하는 해운사들은 다수의 선박을 보유하고 있으며, 각 선박은 컨테이너 수송용량이 정해져 있다.
5. 제휴사의 선박에 컨테이너를 실어 수송할 경우 고정비와 변동비가 발생한다. (고정비는 제휴사 선박까지 컨테이너를 옮겨 실는데 발생하는 비용으로 순수한 비용으로 처리. 반면에, 변동비는 컨테이너를 제휴사 선박에 실어 수송하는 대가로 제휴사에게 지불하는 운송비로서, 적재하는 컨테이너 대수에 비례하여 지불. 제휴사 입장에서는 수익으로 간주)

Before Alliance



After Alliance



Issues

1. Applicability to real world problem
2. Large scaled problem
3. Multi-objective Problem
4. Reasonable method for allocation of cost reduction obtained from collaboration

Notations

- S : 전략적 제휴 맺은 기업 집합
- K_i : 기업 i 의 소유 선박 집합
- L : 계획기간 동안 컨테이너 수송할 항로 집합
- U_{ikl} : l 항로를 운항하는 기업 i 의 선박 k 에 다른 기업들
컨테이너를 적재할 수 있는 컨테이너 수 상한값
- D_{il} : 계획기간 동안 기업 i 가 l 항로에 수송해야 할
컨테이너 물동량
- c_{ikl} : 기업 i 의 선박 k 가 l 항로를 1회 운항할 때 수송비
- e_{ijkl} : l 항로를 운항하는 기업 j 의 선박 k 에 기업 i 의 컨테이
너를 적재할 때, 기업 i 가 기업 j 에 지불하는 컨테이너
TEU당 운송비용

Notations

f_{ijkl} : l 항로를 운항하는 기업 j 의 선박 k 에 기업 i 가 컨테이너를 적재할 때 발생하는 고정비용

m_{ikl} : 계획기간 동안 기업 i 의 선박 k 의 l 항로 최대 운항횟수

Q_{ik} : 기업 i 의 선박 k 에 실을 수 있는 컨테이너 수량

Decision Variables

x_{ikl} : 계획기간 동안 기업 i 의 선박 k 의 l 항로 운항횟수

w_{ijkl} : l 항로를 운항하는 기업 j 의 선박 k 를 이용하여 수송하는 기업 i 의 컨테이너 수량

y_{ijkl} : 기업 i 가 l 항로를 운항하는 기업 j 의 선박 k 를 이용하는 횟수

Formulation

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_i = & \sum_{k \in K_i} \sum_{l \in L} c_{ikl} x_{ikl} - \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} \sum_{k \in K_i} \sum_{l \in L} e_{jkl} w_{jkl} \\ & + \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} \sum_{k \in K_j} \sum_{l \in L} f_{ijkl} y_{ijkl} + \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} \sum_{k \in K_j} \sum_{l \in L} e_{ijkl} w_{ijkl}, \quad i \in S \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{s.t } \sum_{l \in L} \frac{1}{m_{ikl}} x_{ikl} \leq 1, \quad i \in S, k \in K_i \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K_i} Q_{ik} x_{ikl} - \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} \sum_{k \in K_i} w_{jkl} + \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} \sum_{k \in K_i} w_{ijkl} = D_{il}, \quad i \in S, l \in L \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} w_{jkl} \leq U_{ikl} x_{ikl}, \quad i \in S, k \in K_i, l \in L \quad (4)$$

$$y_{ijkl} \leq x_{jkl}, \quad i, j \in S, i \neq j, k \in K_j, l \in L \quad (5)$$

$$w_{ijkl} \leq M y_{ijkl}, \quad i, j \in S, i \neq j, k \in K_j, l \in L \quad (6)$$

$$x_{ikl} \geq 0, \quad x_{ikl} : \text{integer}, \quad i \in S, k \in K_i, l \in L \quad (7)$$

$$w_{ijkl} \geq 0, \quad i, j \in S, i \neq j, k \in K_j, l \in L \quad (8)$$

$$y_{ijkl} \geq 0, \quad y_{ijkl} : \text{integer}, \quad i, j \in S, i \neq j, k \in K_j, l \in L \quad (9)$$

Numerical Example

항로 수 : 4
기업 수 : 3

D_{il}

$i \backslash l$	1	2	3	4
A	40,000	80,000	20,000	50,000
B	40,000	20,000	30,000	40,000
C	50,000	40,000	20,000	40,000

m_{ikl}

기업	TEU	선박 대수	항로			
			1	2	3	4
A	6,000	5	3	2	3	1
	4,000	8	4	3	3	2
	3,000	7	5	5	5	2
B	4,000	8	3	2	1	3
	3,000	7	3	4	2	3
C	6,000	5	3	2	2	3
	4,000	10	2	3	3	4

Numerical Example

선박운항비용 c_{ikl}

기업	TEU	선박 대수	항로			
			1	2	3	4
A	6,000	5	1050	1100	1200	1400
	4,000	8	850	900	1000	1000
	3,000	7	600	800	800	900
B	4,000	8	900	1000	1100	1200
	3,000	7	700	850	900	950
C	6,000	5	1000	1100	1200	1300
	4,000	10	900	950	1000	1050

Numerical Example

공간임대비용(per TEU) e_{ijkl}

기업	TEU	선박 대수	항로			
			1	2	3	4
A	6,000	5	0.8	0.5	0.7	0.6
	4,000	8	0.9	0.6	0.8	0.7
	3,000	7	1.0	0.7	0.9	0.8
B	4,000	8	1.3	0.3	0.7	0.9
	3,000	7	1.5	0.4	0.8	0.7
C	6,000	5	1.1	0.6	0.6	0.8
	4,000	10	1.2	0.7	0.9	0.9

Numerical Example

Fixed cost f_{ijkl}

기업	TEU	선박 대수	항로			
			1	2	3	4
A	6,000	5	63	66	72	84
	4,000	8	51	54	60	60
	3,000	7	36	48	48	54
B	4,000	8	54	60	66	72
	3,000	7	42	51	54	59
C	6,000	5	60	6	72	78
	4,000	10	54	57	60	63

Results

		Opt. obj. cost	costs for each companies					Cost reduction	Marginal Contribution		
			A	B	C				A	B	C
No Collaboration	A	41,700	41,700			No Collaboration	A	0	0		
	B	35,600		35,600			B	0		0	
	C	32,550			32,550		C	0			0
	Total	109,850					column average		0	0	0
Minsum for two companies	A,B	76,766	35,300	41,466		Collaboration between two companies	A,B	534	534	534	
	A,C	73,372	42,684		30,688		A,C	878	878		878
	B,C	66,711		45,331	21,380		B,C	1,439		1,439	1,439
							column average		706.0	986.5	1,158.5
Minsum for three companies	A,B,C	107,482	44,880	38,852	23,750	Full Collaboration	A,B,C	2,368	929	1,490	1,834
							column sum		1,635.0	2,476.5	2,992.5
							Shapley Value		545.0	825.5	997.5

Conclusion

- 3개 이상 기업이 참여하는 Slot exchange model 제시
- LP 모형 제시함으로써 현실문제 적용가능성 높임
- Multi-objective Problem : Minmax, Minsum 기준
- 해운사 단독으로 운영할 경우에 비해 전체 비용이 감소
- Minmax기준에 비해 Minsum 기준이 비용절감 효과 더 큼
- Minsum 기준 적용 결과 : Game 이론에 근거하여 제휴를 통한 비용절감효과의 합리적 배분방법 제시