

港灣荷役勞動力의 最適配分에 關한 研究  
(Ⅱ) 船舶群의 境遇

李 哲 榮\* · 禹 柄 久\*\*

OPTIMUM ALLOCATION OF PORT LABOR GANGS  
IN CASE OF MULTIPLE SHIPS

*Cheol-yeong, Lee · Byung-goo, Woo*

..... 目 次 .....

ABSTRACT

序 論

問題의 定式化

2.1. 一般의인 境遇에 對한 最適勞動力 配分

2.2. 最適配分勞動力의 簡略解法

船舶의 特性을 考慮한 最適勞動力 配分

3.1. 勞動力이 不充分한 境遇의 最適配分

3.2. 平均 荷役 作業時間을 最小化한 配置問題

3.3. 在港費用을 考慮한 勞動力 配置問題

結 論

參考文獻

.....

Abstract

Recognizing the labor productivity of port physical distribution system in the  
ding areas, Much Efforts for evaluating this productivity has been made  
but still there is little study, so far, on a systematic research for the  
of port labor gangs, and even those were mainly depended on a rule of

해양대학

해기연수원

Especially the object of this study is to introduce the method of optimal allocation and assignment for the labor gangs per pier unit in the multiple ships berthed at an arbitrary pier or port. In case the multiple ships have a homogeneous cargoes or do not have sufficient labor gangs to be assigned.

The problem of optimal allocation and assignment of the labor gangs to be

i) formalized with multi-stage decision process in form of difference equation as the pattern which converted the independent multiple ships into a single ship with the intra-multiple ships, and

ii) the optimal size of labor gangs could be obtained through the simple mathematical method instead of complicated dynamic programming, and

iii) In case of shortage of labor gangs available the evaluation function considering the labor gangs available and total shift times was introduced, and

iV) the optimal allocation and assignment of labor gangs was dealt at the point of minimizing the summation of the total shift times and at the point of minimizing the total cost charged for the extra waiting time except PHI time during port times for the multiple ships combinations.

## 1. 序 論

最近 港灣 및 海運分野에서도 港灣物流시스템의 生産性的 重要性을 인식하면서 이에 대한 노력이 進行되고 있다. 이 중에서 주요한 部分을 차지하고 있는 것이 港灣荷役시스템의 生産性 向上에 관한 것이다. 그러나 勞動 집약적인 特性을 지닌 荷役 事業에 있어서 物動量의 波動性, 大量性和 노동싸이버스의 비저장성등을 考慮하여 荷役勞動力을 효율적으로 관리하지 않고, 主로 經驗的인 측면에서 다루어졌으며 더우기 지금까지 學術的인 研究는 거의 없는 실정이다. 필자들은 이런점에 主目하여 參考文獻(1)의 研究成果를 바탕으로 複數船舶의 船舶群에 있어서 一般的인 경우의 最適配分 勞動力의 配分 및 配置問題를 다루고자 한다. 可用勞動力이 充分한 경우에는 모든船舶에 順序대로 平均勞動力을 配置시켜 원활한 荷役作業

을 할수 있다.

그러나, 可用勞動力이 不充分한 境遇에 埠頭 또는 港灣에 接岸한 船舶群에 埠頭를 基本單位로 勞動力을 最適配分하는 방법을 기술하고자 한다. 그리고, 港灣物流시스템의 生産性 向上과 시스템 관리를 위하여 港灣管理側面에서 船舶群의 埠頭 占有 時間을 考慮하여 平均荷役作業時間이 最小가 되는 관점에서도 問題를 다룰 것이며, 또한 船主 또는 貨主側面에서도 荷役に 필요한 實時間을 제외하고 勞動力 不充分으로 야기되는

追加 待機時間에 대한 在港費用의 總合이 最小가 되는 觀點에서도 荷役勞動力을 最適配置하는 問題를 고찰하기로 한다.

따라서 本論文의 제2장에서는 一般的인 境遇에 대한 最適勞動力 配分과 配置를 定式化하고, 복잡한 動的計劃法 대신에 最適配분에 관하여 간단한 簡略解法을 記述하고자 한다. 그리고, 제3장에서는 可用勞動力

이 不充分한 경우에 作業段階數와 勞動力을 고려한 評價函數를 도입하고, 港灣管理 측면에서 作業시간을 最小化시키는 배치문제 그리고 船舶群의 最小在港費用側面에서도 配置問題를 다루고자 한다.

## 2. 問題의 定式化

### 2.1 一般的인 境遇에 대한 最適勞動力 配分

論文(1)에서는 單一船舶에 대하여 港灣荷役 勞動力을 最適으로 배분하는 문제를 다루었으나, 여기서는 同一한 종류의 貨物이나 各船舶에 배분할 平均勞動力 以下の 노동력이 不充分한 경우에 對備하기 위한 조치로서 勞動力 配分을 埠頭 또는 港灣을 基本單位로하여, 單一船舶의 경우를 확장한 船舶群에 대하여 살펴보기로 한다.

任意的 埠頭に P척의 船舶이 接안하여 가용노동력 Rgang으로 作業을 하는 경우를 가정한다. 各船舶의 선창수를 각각  $S_i (i=1, 2, \dots, P)$ , 貨物량을 각각  $W_i$ , 총 貨物량을  $W$ , 貨物량의 分布狀態 및 노동력의 배치상태를  $X_{ij}, U_{ij}$  라 두기로 한다. 그리고 各船舶의 PHI(Principal Hatch Index)를  $P_i$ 라 둔다.

埠頭에서는 隣接하고 있는 船舶끼리 荷役 勞動力을 이동하면서 배치할수 있는 特性을 지내고 있으므로 이러한 상황에서는 船舶群에 대한 하역작업과정 論文(1)에서 다른 差分方程式의 형태로 나타낼수 있다.

$$X_{(K+1)} = X_{(K)} - U_{(K)} \dots \dots \dots (2.1)$$

단,  $X_{(K)} = [X_{K1}, X_{K2}, \dots, X_{Kq}]$  貨物상태의 Data Vector

$U_{(K)} = [U_{K1}, U_{K2}, \dots, U_{Kq}]$  노동력 배치의 Binary Vector 이다.

$$(K=1, 2, \dots, n, q = \sum si)$$

따라서 식(2.1)의 各段階別 最適配分 解는,

$$\sum Y_k = W$$

$$g_k(Y_k) \rightarrow \text{minimize} \dots \dots \dots (2.2)$$

단,  $1 \leq Y_k \leq R \leq q$ ,  $Y_k$ 는 정의 정수로 船舶群의 最適配分勞動力

$$g_k(Y_k) = Y_k^2, Y_k \geq Y_{k+1}$$

$$(Y_k - Y_{k+1} \leq 1)$$

로 되어 動的計劃法에 의하여 解를 求할 수 있음을 나타내고 있다.

한편, 船舶群과 各船舶의 最適勞動力은 作業完了時間이 달라서 일률적으로 비교할 수는 없으나 各段階別로 投入되는 平均勞動力  $W/n$ 을 기준으로 살펴보면 다음의 定理가 成立된다.

(定理1) 船舶群의 平均배분노동력의 全合計와 任意的 i선박의 平均배분노동력을 各各  $N, N_i$ 라 두면,  $N \leq \sum N_i$ 의 關係가 成立한다.

(證明) 船舶群의 PH1 P는  $\max P_i$ 이고  $N = \sum W_i/P$  이며,  $\sum N_i = \sum (W_i/P) = \sum a_i \cdot W_i/P$ 이므로  $(a_i = P/P_i \geq 1) N \leq \sum N_i$ 가 成立한다. 이상의 定理로 부터 다음의 系를 얻는다.

(系) 船舶群의 最適配分勞動力  $Y_k$ , 任意的 i선박의 最適配分勞動力을  $Y_{K(i)}$ 라 하면  $Y_k \leq Y_{K(i)}$ 이다. 단,  $K=1, 2, \dots, P_i$

(例題1) 任意的 埠頭に 3척 船舶 A船(2, 3, 2), B船(2, 4, 1) 그리고 C船(2, 3, 5)이 接岸하여 荷役을 하고자 한다. 船舶群의 경우와 複數의 個別船舶의 경우에 있어서,

#### (1) 船舶群의 境遇

$$W=24, PH1=5, \text{ 단계수}$$

$$n=W/PH1=5, \text{ 平均배분노동력}$$

$$N=W/n=(24/5) + 1=5(\text{gang})$$

#### (2) 個別船舶의 境遇

A 船舶의 平均배분노동력

$N_a = (7/3) + 1 = 3\text{gang}$ , B船舶의 평균배분 노동력  $N_b = (7/4) + 1 = 2\text{gang}$ , C船舶의 평균배분 노동력  $N_c = (10/5) = 2\text{gang}$  이므로  $\sum N_i = 7\text{gang}$ 이다.

따라서,  $N \leq \sum N_i$ 이다.

以上の定理로부터 勞動力 配分을 船舶群으로 생각할 경우가 최적노동력 크기가 적어진다는 것을 알 수 있으며 이는 隣接한 船舶間에는 勞動力이동이 가능하기 때문이다.

2.2. 最適 配分勞動力의 簡略解法

船舶群의 경우, 式(2.2)에 따라 動的計劃法으로 最適配分勞動力을 求하도록 定式化하고 있으나, 아래에서는 보다 간단한 方法과 解를 求하는 問題에 대하여 살펴보기로 한다.

最適解는 平均荷役勞動力  $W/n$ 이 정수가 아닌 경우에는  $W/n$ 주위의 적당한 정수를 선정하면 되므로 결국,  $Y_k$ 는  $[W/n]$  또는  $[W/n]+1$ 중의 어떤 값을 취하게 된다. 단,  $( )$ 는 gaussian bracket

따라서 評價函數  $\sum Y_k^2$ 은,

$$\begin{aligned} \sum Y_k^2 &= Y_i^2 + Y_{j(k=i+j)}^2 \\ &= p(W/n+ei)^2 + q(W/n-ej)^2 \\ &= p(W^2/n^2 + 2W/n \cdot ei + ei^2) + q(W^2/n^2 - 2W/n \cdot ej + ej^2) \\ &= (p+q)W^2/n^2 + 2W/n(pe_i - qe_j) + (pe_i^2 + qe_j^2) \\ &= n \cdot W^2/n^2 + 2W/n(pe_i - qe_j) + (pe_i^2 + qe_j^2) \\ &= W^2/n + 2W/n(pe_i - qe_j) + (pe_i^2 + qe_j^2) \dots \dots \dots (2.3) \end{aligned}$$

따라서, 式(2.3)을 最小로하기 위한 조건은,  $pe_i = qe_j \dots \dots (2.4)$

$(ei + ej = 1)$ 이며,  $ei$ 와  $ej$ 는  $0 < ei < 1$ ,  $0 < ej < 1$  범위의 값을 가진다. 따라서,

$$\begin{aligned} \sum Y_k^2 &= W^2/n + pe_i(qe_j) \\ &= W^2/n + q(W/n - [W/n]) \dots (2.5) \end{aligned}$$

으로 되어 平均 노동력과  $pe_i (= qe_j)$ 인 한 차이가 생기게 된다.

$$\begin{aligned} \text{한편, } \sum Y_k &= p(W/n + ei) + q(W/n - ej) \dots \dots \dots (2.6) \\ &= W \end{aligned}$$

$$\text{이므로, } p + q = n \dots \dots \dots (2.7)$$

그러므로, 式(2.4), (2.7)로부터  $p$  및  $q$ 의 값을 求할 수 있게 된다.

따라서 最適配分 勞動力은 동적계획법을 이용하지 않고 다음 順序에 따라서 簡略하게 求할 수 있다.

- 段階1.  $W/n$ 을 求한다.
- 段階2.  $ei = ([W/n] + 1) - W/n$ ,  $ej = W/n - [W/n]$ 을 구한다.
- 段階3. 式(2.4), (2.7)을 연립하여  $p, q$ 를 구한다.
- 段階4.  $q$ 개의  $[W/n]$ ,  $p$ 개의  $[W/n] + 1$ 을 解로 한다.

(例題1)에 對하여 段階別 最適配分 勞動力을 求하면,  $W=24$ ,  $n=5$ ,  $PH1=5$ ,  $W/n = 24/5 = 4.8$ 이고,  $ei=0.2$ ,  $ej=0.8$ 이며 단 계수  $n=5$  이므로,

$$\begin{aligned} p + q &= 5 \\ 0.2p &= 0.8q \dots \dots \dots (2.8) \end{aligned}$$

$p=4$ ,  $q=1$ 이다. 따라서 式(2.6)으로부터 總投入勞動力과 評價函數값은  $\sum Y_k = 24$ ,  $\sum Y_k^2 = 116$ 로 된다.

### 3. 船舶의 特性을 考慮한 最適 勞動力 配分

3.1 勞動力이 不充分한 境遇의 最適配分  
지금까지는 可用노동력이 充分할 경우의 勞動力의 最適配分문제를 다루었으나, 一般의으로는 可用勞動力이 不充分할 경우도 많으며 複數船舶을 대상으로 불충분한 노동력을 配分하고자 할 경우에는 可用노동력에

따라 荷役完了時間 즉 단계수  $n$ 가 달라지며 이러한 단계수  $n$ 에 따라 식(2.5)의 評價函數값도 달라지게 된다. 따라서, 이러한 일반적인 경우에 대비하기 위해서는 단계수  $n$ 을 同時に 고려한 새로운 형태의 評價函數를 導入할 필요가 있다.

一般的으로 단계수  $n$ 은 각선박의 PH1와 같은 크기를 갖는 것이 가장 바람직하고 勞動力 또한 이러한 경우를 기준으로 결정하는 것이 바람직하므로 이러한 基準을 고려하여 노동력의 배분문제를 다음과 같이 변형한다.

$$\sum Y_k = W$$

$$1 \leq Y_k \leq R \leq S \text{에서 단계수 } n \text{을 고려하여}$$

$$\sum (n Y_k)^2 \longrightarrow \text{minimiz} \dots \dots \dots (3.1)$$

式(3.1)은 단계수  $n$ 과 勞動力  $Y_k$ 를 同時に 고려한 점이 형태를 달리하고 있어서 지금까지 評價函數와는 그 形態가 다르다. 最適勞動力의 크기에는 영향을 미치지 않으나 단계수가 증가함에 따라 평가함수가 달라진다고 하는 特徵을 지니고 있다.

단계수  $n$ 은 可用勞動力  $R$ 이 결정되면 자동적으로 定해지므로 정수로 간주할 수 있으므로,

最適인 境遇의 評價函數 값은,

$$f = (n Y_k)^2$$

$$= n^2 Y_k^2$$

$$= n^2 \{W^2/n + q(W/n - [W/n])\}$$

$$= n^2 \cdot W^2/n + n^2 \cdot q(W/n - [W/n])$$

$$= n \cdot W^2 + n \cdot q \cdot n(W/n - [W/n])$$

$$= n \cdot W^2 + nq \cdot e \dots \dots \dots (3.2)$$

단,  $e = n(W/n - [W/n])$

으로 되어,  $n$ 가 증가하면 당연히 평가함수의 값이 증가하는 것으로 된다.

따라서 단계수를 고려하여 最適勞動力을 결정하고자 할 경우에는 式(3.2)를 채용하는 것이 바람직하다.

### 3.2. 平均 荷役 作業 時間을 最小化한 配置 問題

輸出入 貨物の 陸上運送과 海上輸送을 連結시켜주는 주요한 기능을 갖고 港灣의 物流시스템의 生産性은 원활한 內陸연계시스템과 船舶의 부두점유시간을 효율적으로 통제관리하는데 크게 의존된다. 따라서 선박의 부두점유 시간의 효율적관리는 港灣荷役 시스템 생산성에 영향을 끼치게 된다. 이는 港灣管理上의 問題로서, 同一한 物動량을 처리함에 있어서 接岸한 複數의 船舶群의 埠頭占有時間을 最小로 하는 荷役勞動力 配置問題가 된다. 즉, 任意의  $i(i=1, 2, \dots, q)$  船舶의 荷役完了時間을  $T_i$ 라 할때 평균하역 作業완료시간(Average Shift Time : AST)

$$AST는, AST = \sum T_i / q \dots \dots \dots (3.3)$$

단,  $T_i = PH1 + \Delta t_i$ 이며,  $\Delta t_i$ 는 待機時間의 숨이다.

그러나 船舶群을 대상으로 할 경우에 최적배분노동력이 구하여 졌다할지라도 配分方法을 노동력의 이동에 重點을 두지 않고 AST와 관련시켜 이를 最小化 하는데 우선하고자 한다. 아래에서는 이 問題에 대하여 살펴보기로 한다.

船舶群에 대하여  $Y_k$ 를 各船舶의 特性을 고려하여 배분하고자 할 경우에 AST를 最小로 하는 配分方法에 대하여 다음의 定理가 성립한다.

(定理2)  $q$ 隻의 船舶을 PH1가 큰 順序로 번호를 부쳤을 경우 AST를 最小로 하는 勞動力 配分은 번호가 작은순서로 各船舶에 最適配分 勞動力을 配分하는 것이다.

(證明)  $E_{k(i)} = Y_k - \sum Y_{k(j)} (i \neq j)$  라두어, 各船舶에 勞動力을 配分하여 소요되는 시간을 살펴보기로 한다.

(1) 番號의 逆順인 경우의 소요시간은  $T_i (i \neq 1) + W1/E_{k(i)}$  이 되나 선박군의 PH1

P는  $P=P_1$ 이므로,  $W_1/E_{K(1)}=P$ 를 만족해야 한다. 따라서 이 경우의 총하역작업소요시간은  $\sum T_i$ 이다.

(2) 一般的인 境遇에는 제일마지막에 어떤번호의 선박에 나머지 잔유노동력  $E_{K(i)}$ 를 配分할 것인가에 따라, 소요시간은  $\sum P_j(i \neq j) + W_i/E_{K(i)}$ 로 되며,  $W_i/E_{K(i)} > P_1$ 이므로 (1)의 경우보다 총소요시간은 길어지게 된다.

以上の 定理로부터 다음의 系를 얻는다.

(系)  $E_{K(i)} \geq W_i/P$

(例題2) 3척선박 A(1, 2, 3), B(2, 3, 4),

C(4, 5, 6)가 接岸하여 있는 경우 선박군의  $Y_k$ 로 부터 各船舶의 平均노동력을 먼저 配分하고 총작업완료시간의 AST를 구한다.  $W=30, PH_1=6, Y_k=5(\text{gang})$ 이다.

(例題2)의 3척 A, B, C를 6가지 허용결정 조합군으로 나누어 AST를 求하면 Table 1과 같다. AST가 最小가 되는 船舶群組合은 [ABC], [BAC] 2가지이다. 이는 선박군  $Y_k=5(\text{gang})$ 이므로 A, B 두선박에  $PH_1$  순서에 관계없이 모두 平均 노동력을 배치할 수 있기 때문이다.

구분 번호	조합군	선박	$T_i$	$\sum T$	AST	비고
1	[ABC]	A	3	15	5	*
		B	4			
		C	8			
2	[ACB]	A	3	16	16/3	
		C	6			
		B	7			
3	[BAC]	B	4	15	5	*
		A	3			
		C	8			
4	[BCA]	B	4	16	16/3	
		C	6			
		A	6			
5	[CAB]	C	6	16	16/3	
		A	3			
		B	7			
6	[CBA]	C	6	18	6	
		B	5			
		A	7			
* Minimum Total Average shift Time						

Table 1. Allocation and assignment of labor gangs and total average shift time per combinations of three ships

구분 번호	조 합	선 박	$a_i$	$\Delta t_i$	$a_i \times \Delta t_i$	$\sum(a_i \times \Delta t_i)C^*$	비 고
1	[ABC]	A	1	0	0	3C*	**
		B	2	0	0		
		C	1.5	2	3		
2	[CAB]	C	1.5	0	0	6C*	
		A	1	0	0		
		B	2	3	6		
3	[CBA]	C	1.5	0	0	6C*	
		B	2	1	2		
		A	1	4	4		
4	[BAC]	B	2	0	0	3C*	**
		A	1	0	0		
		C	1.5	2	3		
5	[BCA]	B	2	0	0	3C*	**
		C	1.5	0	0		
		A	1	3	3		
6	[ACB]	A	1	0	0	6C*	
		C	1.5	0	0		
		B	2	3	6		
** 優先 配置 船舶群 組合							

Table 2. Feasible policy Combinations and their costs

3.3 在港費用을 考慮한 勞動力 配置問題

海上運送은 自己運送이든지 他人運送이든 지간에 해상운송서비스를 生産하기 위하여는 선박에 關해 각종비용이 발생하게 되는데, 예를 들자면 間接선비의 감가상각비, 金利, 선박보험료, 직접선비의 一般管理費, 선원비, 수리비, 선용품비, 運轉유비 그리고, 運航費로서 연료비, 항비 및 貨物비등의 製비용이다.

이들 費用은 船舶의 크기, 형태 및 승무원 수에 따라서 차이가 있는것이다. 따라서, 荷役勞動力을 배치시키는데 있어서 단순히

부두점유시간의 最小만을 고려하여서는 아니되고 선주 또는 회주측면에서도 PHI시간을 제외하고 追加로 발생하는 대기시간의 在港費用을 最小化하는데도 高찰하여야 한다. 우선, 埠頭에 接岸하고 있는 船舶群에 勞動力을 배치할 수 있는 수의 船舶군 조합을 구한다. 이 허용결정선박군 조합수의 追加待機時間의 총재항비용을 구하여, 最小가 되는 船舶群組合에 우선적으로 노동력을 배치시키는 것이다.

各船舶의 shift당 單位在港費用을  $C_i$ , 在港期間을  $T_i$ 라하면, 총재항비용은, Total

$$\text{cost} = C_i \times T_i \\ = (C_i \times \text{PHI})$$

+ (C\_i \times \Delta t\_i)이다. 여기서 追加 대기 시간의 재항비용은 (C\_i \times \Delta t\_i)항이다. 그런데 C\_i값중에 min C\_i=C\*라 두면

$$C_i = a_i \times C^* \text{로 표시할 수 있다.}$$

결국, 구하고자하는 선박군 조합의 비용은,

$$\sum C_i \times \Delta t_i = \sum (a_i \times C^*) \Delta t_i \\ = \sum (a_i \times \Delta t_i) C^* \dots \text{minimize} \\ \dots \dots \dots (3.4)$$

이 된다.

앞의 (例題2)의 3隻 A, B, C선의 경우를 Table 2와 같이 6가지 허용결정선박군 조합으로 구분하여 Y\_k 5(gang)을 선박순서대로 평균노동력을 배치시켜 추가재항비용을 구하고자 한다.

단, A선의 a\_1=1, B선 a\_2=2, C선 a\_3=1.5라 둔다.

Table 2에서 보인것처럼 상대적으로 비용이 最小가 되는 船舶群의 조합은 [ABC], [BAC], [BCA]의 3가지다.

#### 4. 結 論

本論文에서는 港湾荷役 勞動力의 最適配分 및 配置問題를 통일적으로 다루기 위한 2번째 段階로서 취급하는 貨物이 同一한 종류이거나 可用노동력이 各선박에 配分할 平均 勞動力 보다 不充分경우에도 대비하기 위한 조치로서 埠頭 또는 항만을 基本단위로 하여 船舶群에 荷役勞動力을 배분하고 배치하는 문제를 定式化하고 응용예를 보였 다.

荷役 勞動力의 배분 및 배치문제는,

i) 複數 船舶의 船舶群을 單一船舶으로 확장하여 差分方程式 형태의 다단결정과정

의로 定式化하고,

ii) 하역노동력의 최적배분과정을 各 段階別 배분노동력 및 총소요 노동력 最小화라는 관점에서 복잡한 동적계획법으로 解를 구하 는 대신에 簡略解法으로도 求할 수 있음을 보였으며,

iii) 可用勞動力이 平均勞動力 數보다 不 足한 경우에는 荷役종료시간인 단계수가 달 라지므로 이런 경우에 대비해서 단계수와 노동력을 同時에 考慮한 評價函數를 도입하 였고,

iv) 항만관리측면에서 최적배분 노동력 을 平均荷役作業時間을 最小化 시키는 관점 에서도 다루었고,

v) 선주또는 회주측면에서 在港費用을 고려하여 추가대기시간으로 발생된 총추가 재항비용이 最小가 되는 선박군 조합부터 우선적으로 노동력을 배분시키는 관점에서 도 다루었다.

앞으로, 더 연구되어야 할 것은, 可用勞 動力이 不充分한 경우에 노동력의 최적배분 및 배치문제, 그리고 港湾荷役勞動力의 常 用雇傭制度和 노무공동공급제(Labor Pool System) 또는 노무분산제(Distributed System of Labor gangs)에 대해서도 比較 研究 되어야 할 것이다.

#### 參 考 文 獻

港湾荷役 勞動力의 最適配분에 關한 研究 [1], 韓國航海學會誌 1989年, 第13卷 第1號