港湾荷役勞動力의 最適配分에 關한 硏究
(Ⅰ) 單一船舶의 境遇

李哲榮* · 禹炳久**

Optimum Allocation of Port Labor Gangs
(Ⅰ) In the case of single ship

Cheol-Yeong Lee · Byung-Goo Woo

目　　次

Abstract

Nowdays much efforts for evaluating the productivity of port physical distribution system to meet the rapid change of the port and shipping circumstances has been made continuously all over the world.

The major part of these efforts is the improvement of the productivity of cargo handling system. The cargo equipment system as infrastructure in the cargo handling system is organized well in some degrees, but the management system of manpower as upper structure

* 正會員. 韓國海洋大學

** 正會員 韓國海技硏修院

is still remained in an insufficient degree. There is little study, so far, on a systematic research for the management of port labor gang, and even those were mainly depended on a rule of thumb.

The object of this study is to introduce the method of optimal allocation and assignment for the labor gang in single ship, which was suggested as a first stage in dealing with them generally.

The problem of optimal allocation and assignment of the labor gang can be

(Ⅰ)formalized with multi-stage decision process in form of difference equation,

(Ⅱ)dealt with two stages in form of hierarchic structure and moreover,

(Ⅲ)The optimal size of labor gang was obtained through dynamic programming from the point of minimizing the summation of labor gang in every stage,

(Ⅳ)For the problem of optimal assignment, the optimal policy was determined at the point of minimizing the summation of movement between hatches.

1. 序 論

오늘날 港湾 및 海運環境의 급격한 변화에 대처하기 위하여 港湾物流시스템의 生産性을 재고하기위한 노력이 전세계적으로 진행되고 있다. 이러한 노력중 그 주요한 부분을 차지하고 있는 것이 하역시스템의 生産性 向上에 관한 것으로, 荷役시스템중 그 下部構造라고 할 수 있는 荷役機械시스템에 대해서는 어느 정도 성과를 거두고 있으나 上部構造라고 할 수 있는 人力管理시스템의 경우에는 아직도 미미한 수준에 머물고 있는 실정이다.

뿐만 아니라, 港湾運送事業의 危機라고 까지 일컬어지고 있는 우리나라 港湾運送事業分野의 입장에서 보더라도, 港湾運送事業의·主宗이라고 할 수 있는 荷役分野의 효율성 제고를 위한 노력이 제실히 요청되고 있다. 勞動集約的인 특성을 지닌 荷役事業에 있어서, 需要에 해당되는 물동량의 波動性, 大量性과 노동서비스의 非貯藏性 등을 고려하면 荷役勞動力의 효율적인 관리는 荷役事業의 존폐를 좌우하는 관건이 되고 있음은 말할 필요도 없을 것이다. 그럼에도 불구하고, 지금까지 荷役勞動力의 管理는 비교적 경험적인 측면에서 다루어져 왔으며, 학술적인 연구는 거의 없는 실정이다.

筆者들은, 이러한 점에 주목하여, 文獻(1)의 연구성과를 바탕으로, 일반적인 관점에서 荷役勞動力의 最適配分 및 配置問題를 다루고자 한다. 荷役勞動力의 配分 및 配置문제는 그 대상으로 하는 단위가 船舶인가, 埠頭인가 또는 港湾인가에 따라, 또한 추구하는 목적이 公共性인가 營利性인가에 따라 특성을 달리하고 있다.

본 論文에서는 이러한 광범위한 문제를 다루기위한 첫 단계로서 單一船舶을 대상으로 荷役勞動力의 配分 및 配置問題를 體系的으로 檢討 하

고 定式化하여 荷役勞動力을 最適으로 配分하고 配置하는 方案을 제시하고자 한다.

본 論文은 제2장에서 다루고자하는 문제의 성질을 기술하고, 문제를 定式化하며, 荷役勞動力의 最適配分 및 配置의 기준이 되는 評價函數를 선정하여 그 構造를 파악하고, 제3장에서는 應用例를 통하여 제안한 모델의 有效性을 檢證하기로 한다.

2. 問題의 定式化

2.1 基本性質 및 問題의 定式化

임의의 船舶이 埠頭에 접안하여 荷役作業을 할 경우 勞動力을 어떻게 配分하고 配置할 것인가는 화물의 종류, 화물량, 선창의 수, 각 선창의 화물량분포 등에 따라 달라지게 된다. 뿐만 아니라, 이러한 문제는 추구하는 目的에 따라 勞動力의 配置패턴이 달라지게 될 것이며, 이 목적은 港湾當局, 船舶會社 및 荷役會社 등의 관리주체의 입장에 따라 달라질 것이다.

아래에서는 이러한 여러가지 문제들을 포함하여 먼저 單一船舶인 경우에 대하여 勞務組를 最適으로 配分하는 문제를 다루기로 한다.

먼저, 勞務組의 最適配分問題를 定式化하는데에 필요한 기초개념을 설명하기로 한다.

모든 화물량은 단위gang당 작업량으로 표시하기로 하고, 하나의 선창에는 하나의 gang만이 작업하는 것으로 한다. 현실적으로는 荷役裝備 또는 선박의 종류나 화물의 종류에 따라 하나의 선창에 복수의 gang이 작업하거나 복수의 선창에 하나의 gang이 작업하는 경우도 있다. 그러나,

(Ⅰ)복수의 창구에 하나의 gang이 작업하는 경우에는 복수의 선창을 하나의 선창으로 취급하거나,

(Ⅱ)하나의 선창에 복수의 gang이 작업하는 경우에는 gang수만큼 선창을 나누어 취급하면 되므로 실질적으로는 문제가 발생하지 않는다.

임의의 船舶의 선창수를 S, 전체화물량을 W, i 단계에 있어서의 j선창의 화물량을 xij, 이 경우 각 선창에 配分되는 勞動量을 uij라 두고, PHI(Principle Hatch Index)P를 다음과 같이 定義하기로 한다.

$$P = \operatorname*{Max}_{j}\ x_{1j}(j=1, 2\cdots\cdots, s) \qquad (2.1)$$

(定理 1) 可用勞動力을 R라 할 때 荷役作業完了時間 n는, n≧P 이다.

(證明) P는 화물양이 가장 많은 선창의 작업 shift를 나타내고 있으며, 선창당 한gang 만이 작업가능하므로 可用勞動力이 아무리 많더라도 P shift에 해당되는 작업시간이 소요되며, 만일 可用勞動力이 불충분한 경우에는, n=〔W/R〕+1 (단,〔〕는 gaussianbracket를 의미하며, W/R의 값이 정수인 때에는 n=W/R이 된다.)이다.

(定理 2) 荷役作業이 완료할 때까지의 總所要勞動力과 매 shift별 可用勞動力 의 크기는 다음과 같다.

(Ⅰ)總所要勞動力은

$$\sum_i \sum_j U_{ij} = w\ (i=1, 2. . . , n, j=1, 2, . . . , s)$$

(Ⅱ)매 shift별 可用勞動力

$$R은\ 0 \leq \sum_i u_{ij} \leq R \leq s$$

(證明)총화물량이 gang단위로 표시되어 있으므로 總所要勞動力은 총화물량과 같으며, 매shift별 配分이 가능한 최대의 노동력은 선창수와 같으므로 (Ⅱ)가 성립한다.

아래에서는 지금까지의 기본적인 성질을 이용하여 荷役作業課程을 定式化하기로 한다. 먼저, 임의의 段階 k에 있어서의 貨物分布狀態를 나타내는 벡터를 x(k), 노동력의 配置狀態를 나타내는 벡터를 U(k)라 두면,

$$X(k) = [x_{k1},\ x_{k2}\cdots\cdots x_{ks}]\ (k=1, 2\cdots\cdots n)$$

$$U(k) = [u_{k1},\ u_{k2}, \cdots\cdots u_{ks}] \qquad (2.2)$$

荷役作業時에는 매 shift별로 勞動力을 配置하여 작업을 행하기 때문에 선창의 화물분포량은 단위 gang분에 해당하는 양만큼 감소하게 되므

로, 이러한 狀態의 변화는 다음과 같은 差分方程式으로 나타낼 수 있다.

$$X(k+1) = X(k) - U(k)$$

$$x_{i+1,j+1} = x_{i,j} - u_{i,j} \quad (j = 1, 2 \cdots\cdots s \; ; \; i = 1, 2 \cdots\cdots n) \qquad (2.3)$$

따라서, 荷役作業은 狀態變數를 貨物分布量, 勞動力의 配置狀態를 政策決定으로 하는 多段決定過程으로 定式化할 수 있다.

다음에는 이러한 多段決定過程의 制限條件에 대하여 살펴보기로 한다.

(Ⅰ) 상태벡터 X(k)는, k =1일 때가 최초의 貨物分布狀態와 동일한 값을 지니고, 作業完了時가 最終狀態가 되므로 $X(n+1)=0$)이므로, 그 요소 x_{ks} 는 $x_{ks} \geq 0$ 정의의 정수값을 갖는다.

(Ⅱ) 하나의 선창에는 하나의 gang만이 配置가 가능하므로, 임의의 Uks는 0 또는 1의 값을 갖으며, PHI의 선창번호를 c라 할 때 Ukc=1이다.

(Ⅲ) $Yk = \sum_t u_{kt}$ 라 하면, 최초에 配分된 勞動力의 범위내에서 荷役作業을 완료해야 하므로 $Yk \geq Y_{k+1}$이다,

(Ⅳ) (定理2)에서 證明한 바와 같이 k 段階에서 배치가능한 勞動力의 총합은 다음의 관계를 만족한다.

$$1 \leq Y_k \leq R \leq s$$

(Ⅴ) 문제의 성질로 부터

$$\sum_k Y_k = \sum_k \sum_t u_{kt} = \sum_t x_{1t}, \quad \sum_k u_{kt} = x_{1t} \text{ 이며,}$$

$$x_{k+1,t} \leq x_{k,t} \text{ 이다.}$$

(Ⅵ) 段階 n은 (定理1)에 의하여

만일 $n \leq P$ 이면 $n=P$

$n > P$ 이면 $n = [W/R] + 1$

한편, 이 문제는 조건(i)로 부터 $X(n+1)=0$) 이므로, 이 결과를 식(2.3)에 대입하면,

$$X(n+1) = X(n) - U(n) = 0$$

$$X(n) = U(n)$$

의 관계를 만족한다.

2.2 評價函數 및 解의 構造

이상의 多段決定課程에 대하여 아래에서는 적정한 評價函數를 選定하고, 그 解의 기본적인 성질에 대하여 살펴보기로 한다.

일반적으로, 荷役作業을 행할 경우에 고려해야 할 문제로서는

(Ⅰ) 매shift별 所要勞動力과 總所要勞動力을 최소로 하는 관점에서 勞動力의 配分問題

(Ⅱ) 勞動力의 이동을 최소로 하는 관점에서의 勞動力配置問題를 들 수 있다.

荷役作業에 있어서는, 일반적으로 勞動力의 配分問題가 결정된 연후에 配分된 勞動力을 配置하게 되므로, 위의 (Ⅰ), (Ⅱ) 문제는 階層的인 성질을 지니고 있다는 것을 알 수 있으며, 解를 구하는 과정 또한 階層的으로 다룰 필요가 있다.

먼저, (Ⅰ)의 配分問題에 대한 評價基準으로서는, 總所要勞動力 및 shift별 所要勞動力을 고려한 아래의 評價函數를 채용하기로 한다. 즉,

$$f'(W) = \sum_k \Big(\sum_t u^2_{kt} + \big(\sum_t u_{kt} \big)^2 \Big) \rightarrow \min \qquad (2.5)$$

그러나, 식(2.5)의 제1항은, 조건(Ⅱ)로 부터, $\sum \sum_t u^2_{kt} = \sum_k \sum u_{kt} = W$이므로, (2.5)의 評價函數는,

$$f(W) = \sum_k \Big(\big(\sum_t u_{kt} \big)^2 \Big) \rightarrow \min \qquad (2.6)$$

으로 대표할 수 있음을 알 수 있다.

따라서, 勞動力의 配分問題는 식(2.3)의 과정에 대하여 조건 (Ⅰ), (Ⅱ), (Ⅲ), (Ⅳ), (Ⅵ)을 만족하면서 評價函數(2.6)을 최소로 하는 문제로 귀착된다.

다음에는, 이 配分函數의 解의 構造에 대하여 살펴보기로 한다. 식(2.3)의 多段決定課程의 解를 구할 경우, 상태벡터 x(・)는 결정벡터 U(・)보다는 더욱 복잡한 형태를 취하므로, 이 문제를 결정백터 U(・)에 주목하여 변환하면 문제의 構造가 매우 간단해진다.

결정벡터 $U(K) = [u_{k1}, u_{k2} \cdots\cdots u_{ks}]$ $(k = 1, 2 \ldots m)$에 대하여, $Y(k) = \sum_t u_{kt}$라 두면 勞動力의 配分問題는,

$$\sum_k Y_k = W > 0$$

$$1 \leq Y_k(\text{정의 정수}) \leq R \leq s$$

$$g_k(Y_k) = Y'_k$$

$$Y_k \geq Y_{k+1}$$

의 조건 아래에서

$$\sum_k g_k(Y_k) \rightarrow \min \qquad (2.7)$$

의 문제로 변환되며, 이 문제의 函數再歸方程式은,

$$fm(Wm) = \min_{0 \leq Ym \leq W} [gm(Ym) + fm\text{-}1(Wm - Ym)] \quad (m = 1, 2 \ldots n) \qquad (2.8)$$

단, $f1(W1) = \min[g1(Y1)] = g1(W1)$

이다. 또한, 이 문제는, 조건(Ⅱ)로 부터, $Y'_k = Y_{k-1}$, $W' = W - 1$, $R' = R - 1$, $S' = S - 1$로 치환한 문제와 同型임을 알 수 있다.

특히, W/n가 정수일 경우에는 다음의 定理를 얻는다.

(定理3) 총화물량 W. shift수(단계수)n이고, W/n가 정수일 경우에는, 매 shift별 最適配分勞動力은 W/n, 즉 $Y(1) = Y(2) = \ldots\ldots Y(m) = W/n$이다.

(證明) 생략

따라서, 특수한 경우에 한해서는 最適配分勞動力을 (定理3)으로 부터 간단히 결정할 수 있게 된다.

한편, 最適配置問題에 있어서는 最適配分된 勞動力을 勞動力의 이동을 가능한 한 최소로 하면서 配置하고자하므로, 고려하여야 할 기준으로서는 勞動力의 선창별 이동량을 들 수 있다.

$$U(k, k\text{-}1) = U(k) - U(k\text{-}1) \qquad (2.9)$$

$$= [u(k, k\text{-}1)_1, u(k, k\text{-}1)_2, \ldots\ldots u(k, k\text{-}1)_s]$$

단, $u(\cdot)$는, 0, 1, -1의 값을 갖는다.

라 定義하면, $U(k, nk)$은 k에서 k-1단계로 변할 경우의 勞動力의 配置變化量을 나타낸다. 또한, $U(k, k\text{-}1)$에 있어서 +1과 -1의 값을 가지는 요소들을 각각 u^*, $u^\wedge$라 표기하기로 하고, u^*, $u^\wedge$로 이루어지는 組$(u^*, u^\wedge)$의 집합 Q_q를 다음과 같이 定義한다.

$$Q_q(k, k-1) = ((u^*(k, k-1)_t, u^\wedge(k, k-1)_p \cdots\cdots (u^*(k, k-1)_r, u^\wedge(k, k-1)^f))_q \qquad (2.10)$$

단, t, p, r, f. . . . (p>t, f>r)는 선창의 번호를 나타낸다.

그리고, u^*의 갯수를 v라 하면, 勞動力의 선창으로의 이동량 $Dq(k, k\text{-}1)$는,

$$Dq(k, k\text{-}1) = dq1 + \ldots\ldots + dqv \qquad (2.11)$$

단, $dq1 = p\text{-}t, \ldots, dqv = f\text{-}r$

또한, v개의 組로 생성되는 Dq의 종류의 수 q는 $q = \prod_{r=1}^{v} rC1$이다. v는 홀수로서 항상 u^*와 $u^\wedge$는 한쌍의 組를 구성할 수 있게 된다. 그러나, 예외적으로 잉여노동력이 발생한 때에는, $u^\wedge$가 한 개 또는 짝수개가 나타나는 경우가 있으나, 한개의 경우에는 이를 무시하면 되며, 짝수개의 경우에는 u^*, $u^\wedge$로 구성되는 組중에서, 식(2.12)에 따라 처리하면 된다.

식(2.10)으로 표시되는 q개의 이동량 중 최소가 되는 값을 $d(k, k\text{-}1)$이라 定義한다.

$$d(k, k\text{-}1) = \min Dq(k, k\text{-}1) \qquad (2.12)$$

식(2.10), (2.12)으로 부터 선창의 이동량을 고려한 評價函數는 다음과 같이 된다

$$h = \min_j\left(\sum_k d(k, k-1)j\right) \quad (k = 2, 3, \ldots n) \quad (j = 1, 2, \ldots r) \qquad (2.13)$$

여기에서, r는 허용결정벡터열의 개수를 나타낸다.

따라서, 이 문제는 식(2.3)의 과정 및 제한조건, 그리고, 식(2.7)에 의하여 구한 最適配分勞動力을 제한조건으로 하여 식(2.13)을 만족하는 最適決定벡터열을 구하는 문제로 귀착된다.

3. 應 用 例

지금까지의 定式化過程을 실제예에 적용하기로 한다.

(예1) 선창수가 4, 總貨物量이 8이며, 각 선창의 貨物分布量이 $x_{11}=2$, $x_{12}=4$, $x_{13}=1$, $x_{14}=1$인 경우

總貨物量이 8, p = 4이므로, 각 shift의 最適配分勞動量은 (定理3)에 의해 2gang이며 모든 단계에서의 허용결정벡터는, 표1과 같다.

허용결정벡터
1100
0110
0101

Table 1. feasible policy Vectors

이상의 허용벡터로 부터 생성되는 결정벡터를 각 단계별로 정리하고 勞動力의 선창이동량을 계산하여 그림2에 보인다.

허용결정벡터				평가함수
1100	1100	0110	0101	3*
		1010	0110	4
	0110	1100	0101	7
		0101	1100	8
	0101	1100	0110	8
		0110	1100	6
0110	1100	1100	0101	5
		0101	1100	8
	0101	1100	1100	4
0101	1100	1100	0110	5
		0110	1100	7
	0110	1100	1100	3*
* 는 최적정책 벡터열을 나타낸다				

Table 2. Optimum Policy

이상의 계산결과로 부터, 최적해는, (1100)-(1100)-(0110)-(0101), (0101)-(0110)-(1100)-(1100)의 2가지이며, 이들은 모두 (1100), (0110), (0101)의 3가지 결정벡터를 조합하여 사용하고 있음을 알 수 있다.

(例2) 선창수가 5, 總貨物量 13, 각 선창의 貨物分布量이 $x_{11}=2$, $x_{12}=3$, $x_{13}=2$, $x_{14}=5$, $x_{15}=1$ 인경우.

단계수 n=5이고, 動的計劃法으로 구한 最適配分勞動力은 $Y_1=Y_2=Y_3=3$, $Y_4=Y_5=2$이었다. 이 결과를 이용하여, 最適政策벡터열을 구하기로 한다.

먼저 각 단계별 허용결정벡터는, 1, 2, 3단계가 같고, 4, 5단계가 같으며 이를 표3에 보인다.

허용결정벡터	
1, 2, 3 단계	4, 5 단계
01110	10010
00111	01010
01011	00110
10011	00011
10110	
11010	

Table 3. Feasible Policy Vectors

이상의 허용결정벡터를 사용하여 最適政策벡터열을 계산하여 評價函數의 값이 큰 벡터열과 대비하여 표4에 보인다.

결정벡터열	평가함수
01110-01110-01011-10010-10010	3*
01011-01110-01110-10010-10010	3*
10011-10110-01110-01010-01010	3*
10110-10110-01011-01010-01010	3*
11010-00111-11010-01010-00110	11
11010-00111-11010-00110-01010	12
* 는 최적정책 벡터열을 나타낸다	

Table 4. Optimum Policy

例2에 있어서는 선창수 및 단계수가 증가하였기 때문에 계산량이 대폭적으로 증가하고 있다. 실제로 船舶의 荷役作業에 있어서는 선창수 및 작업단계의 수가 적기 때문에 별 문제가 없으나, 일반적으로 動的計劃法을 사용할 경우에는 차원이 증가하면 급속도로 계산량이 많아지는 이른바 高次元의 咀呪(The Curse of Dimensionality)현상이 발생하게 된다. 본 硏究와 관련된 次元의 증가문제는 따로 다루기로 한다.

4. 結 論

본 論文에서는, 荷役勞動力의 最適配分 및 配置問題를 통일적으로 다루기위한 첫단계로서 單一船舶에 荷役勞動力을 配分하고 配置하는 문제를 定式化하고, 應用例를 보였다.

荷役勞動力의 配分問題는,

(Ⅰ) 差分方程式 형태의 多段決定課程으로 定式化하고,

(Ⅱ) 勞動力의 最適配分課程 및 最適配置過程을 階層的인 구조로 파악하여 2단계로 분리하여 다루었으며,

(Ⅲ) 勞動力의 最適配分課程은 각 단계별 配分勞動力 및 總所要勞動力 最小라는 관점에서 動的計劃法에 의해 解를 구할 수 있음을 보였으며,

(Ⅳ) 최적배치문제 最適配分勞動力을 선창별 이동량을 최소로 한다는 관점에서 最適勞動力 配置列을 구하였다.

荷役勞動力의 管理問題는, 관점에 따라 그 특성이 달라지므로 앞으로 이러한 문제에 대하여 더욱 더 확장하여 다루어가야 할 것이다.

참 고 문 헌

1) 李哲榮, 禹柄久 : 港湾荷役勞動力의 効率的인 配分에 關하여, 韓國港湾學會誌 1-1, 1987

2) 李哲榮 : 港湾運送社業의 現況과 展望, 海運港湾 88, 1988

3) 李哲榮 : 發展的 港湾荷役技法 硏究, 港湾荷役會報, 22, 1987

4) 李哲榮 : 產業環境의 變化와 港湾運送社業, 港湾荷役會報(揭載豫定)

5) H. R. Howson et. al : A New Algorithm for the Solution of Multi-Stage Dynamic Programing Problems, Mathematical Programing 8, 1975

6) K. Ogata : Dynamic Programing, Prentice-Hall, 1973