

# 海上 交通量の 效率的 管理 方案에 관하여

—(1) 交通 管制 海域의 경우—

尹 明 五\* · 李 哲 榮\*\*

## A Study on Optimum Control of Marine Traffic

—In The Domain of Control Sector—

*Myung-Ou Yun · Cheol-Yeong Lee*

### 〈目 次〉

- |               |                         |
|---------------|-------------------------|
| 1. 序 論        | 3.1 理論的 利用度の 均等配分       |
| 2. 問題의 定式化    | 3.2 實際的 利用度の  계산 및 均等配分 |
| 2.1 基本 概念의 定義 | 3.3 待機時間의  계산           |
| 2.2 定式化       | 4. 適用 例                 |
| 3. 發見的 알고리즘   | 5. 結 論                  |

### Abstract

As per the rapid development of world economics the marine traffic volume was increased accordingly and caused frequent disasters in human lives and natural environment in the consequence of accidents.

As the result of the above they started to establish Vessel Traffic System(VTS) and separation scheme in waterway from 1960' to prevent the marine traffic accident but the problem of safety at sea appears now as neither fully defined nor sufficiently analysed.

At the present, the dominant factor in establishing the strategy of marine traffic has been safety of navigation concerning only with the ship, but the risk of society derives almost wholly from the nature of cargo. To measure the degree of danger for each ship there is suggested concept of safety factor numbers denoting the level of latent danger in connection with ship and her cargo.

In this paper, where the strategy of VTS is put on controlling density of safety factor for control area, it suggested algorithms how to assign the vessels and also to get optimal sequence of vessels allocated to a sector in the sense of minimizing the passage delay.

For the formulation of problem, min max and 0-1 programming methods are applied and developed heuristic algorithm is presented with numerical example to improve the efficiency of calculation.

\* 正會員, 木浦海洋專門大學  
\*\* 正會員, 韓國海洋大學

## 1. 序 論

現代에 들어 경제성장의 高度化에 따른 物動量의 증가로 선박의 大型化와 船腹量의 확대가 이뤄지면서 海上衝突 사고의 발생 빈도와 피해의 정도가 급증하게 되었으며 이에 따라 海難의 발생을 방지하는데 세계적 주의와 관심이 높아지게 되었다. 그 결과 1960년대에 들어 북유럽 海域을 중심으로 하여 레이더와 VHF 및 도선사를 기본 요소로 한 船舶 交通 管理 시스템(VTS: Vessel Traffic System)이 설치되기 시작한 것을 시초로 하여 通航分離制度를 비롯한 海上安全을 위한 制度的 장치 마련되어 왔으며<sup>1)</sup> 오늘날에는 세계 여러나라가 海上 交通 管理 시스템의 도입을 통하여 해상교통의 안전 확보를 위해 노력하고 있으며 국제적 기술협조도 이뤄지고 있는 실정이다.

海上 交通管理의 개념은 그 관리 방법에 따라 여러가지로 생각할 수 있으나 첫째, 선박의 특성과 위치 이동에 관한 情報의 수집 둘째, 交通流의 감시 셋째, 선박의 水路割當 및 이동에 관한 統制의 세가지로 나눌 수 있으며 현재의 수준은 위의 첫째, 둘째가 주종을 이루고 있는 실정이다.<sup>2)</sup>

지금까지 海上交通과 관련한 이론적 연구의 動向은 주로 통항 水路의 실제에 있어서 水路의 교차각도<sup>3)</sup>, 水路 交通의 안전에 관한 규칙의 제정과 검토<sup>4)</sup>, 교통관리 시스템의 구성과 관리에 따른 경제성 평가<sup>5)</sup> 등을 들 수 있으나 전반적으로 다른 분야에 비하여 研究 水準이 빈약하다 할 수 있으며 특히 海上交通의 관리 방법에 관해서는 발표된 論文이 많지 않다.

海上交通의 관리방안에 대한 지금까지의 연구는 주로 管制의 대상이 되는 선박의 척수, 속도 및 크기를 기준으로 한 交通量 密度를 감시, 관리하여 水路通航의 안전성을 높이고 交通流의 원활한 흐름을 유지하는데 觀點을 둔 것이 대부분이며 그 연구의 기반은 선박의 크기, 속도 등 物理的 특성에 있었다고 할 수 있다.

그러나 海難 事故가 발생하면 그 결과로서 人命 및 환경에 미치는 피해는 선박 자체의 특성에 의한 것 보다는 積載貨物의 특성에 의한 것이 더 큰 요인이 될 수 있으므로 交通管制에 있어서 선

박의 이동에 관한 것 뿐만 아니라 화물이 갖는 위험성에도 주의를 기울여야 할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 交通量 密度에 대응하는 개념을 도입하여 보다 적극적인 管制를 통해 대상 交通量이 갖는 위험 수준을 管制海域에 分散 시킴으로써 전체적인 안전수준을 높이고 나아가 보다 원활히 交通流를 관리할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 한다.

## 2. 問題의 定式化

### 2.1 基本 概念의 定義

일반적으로 交通量의 폭주가 예상되는 海域에서는 管制海域이 설정되어 있고 이러한 海域에서는 폭주하는 交通量을 어떻게 효율적으로 관리할 것인가가 관심의 대상이 된다.

交通管制의 목적과 방식은 여러가지가 있겠으나 아래에서는 災害 발생시의 위험수준을 전체 管制海域에 대해 가급적 均等하게 分散시킨다는 管制 목적을 취하였을 경우를 대상으로 하여 문제를 정식화 하는데 필요한 몇가지 개념을 정의하고 정리하기로 한다.

災害 발생시의 危險水準이란 사고가 발생하였을 경우 그 결과가 인명 및 환경에 미치는 피해의 정도를 計量化한 것으로 임의의 선박에 대해 그 조종성능과 적재화물의 특성을 고려하여 사고 결과의 심각성이 클수록 높은 값을 갖도록 등급화한 것이며 이것을 安全計數(safety factor)라 하기로 한다.

安全計數의 설정기준에 관해 연구, 발표된 논문<sup>6)</sup>에 의하면 모든 선박에 대해 0-6 사이의 정수 값을 安全計數로 부여할 것을 제안한 것이 있으며 그 내용을 보면 표2-1과 같다.

본 논문에서는 여기에서 제안된 安全計數값을 그대로 이용하기로 한다.

또한 水路도 水路의 폭, 깊이 및 만곡도 등의 지형적 여건과 水路 인접구역에서의 인구의 密集度, 특수 시설 등의 사회적 여건을 고려하여 보다 엄밀한 管制이 이뤄져야 하는 管制海域(control sector)과 그 사이를 연결하는 海域으로 水路 통항에 대해 제약이 해제되는 완충해역(buffer zone)으로

Table.2-1 Safety factor numbers by type of ship

TYPE OF SHIP	SIZE	SAFETY FACTOR NO.
general cargo & dry bulk vessel	small & medium	0
	large	1
	very large	2
Tankers	small	1
	medium	2
	large	3
	very large	4
passenger vessels	small	3
	large	4
Chemical tankers & LNG/LPG carriers	small	3
	medium	4
	large	5
	very large	6

구분하기로 하고 管制海域 내에서는 어떠한 경우에도 그 海域 내에 진입한 선박들의 安全計數 합이 일정치를 넘을 수 없는 것으로 한다. 이 한계 수치를 그 管制海域의 용량이라 하기로 하며 j 管制水域의 용량을  $C_j$ 로 나타내기로 한다.

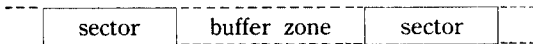


Fig.2.1 Separation scheme divided into control sector and buffer zone

한편 각 水路에서 交通流의 흐름이 연속성이 지켜져야 하는 일련의 水路를 獨立水路(lane)라 하고 獨立水路 내에서 分枝되어 서로 영향을 미치는 개개의 水路를 從屬水路라 정의한다. 管制海域에 진입한 모든 선박에 대한 安全計數의 합은 항상 水路의 용량을 초과할 수 없으므로 각 管制海域의 이용정도를 나타내기 위하여 이론적인 이용율을 다음과 같이 정의한다.

i선박의 安全計數를  $S_i$ 라 하고 管制水域 j의 용량을  $C_j$ 라 하면 k 척의 선박이 통항하는 管制水域 j의 이론적인 이용율  $U_j$ 는

$$U_j = \sum_{i=1}^{i=k} S_i / C_j \quad (2.1)$$

이론적인 이용율  $U_j$ 는 管制海域을 통과하는 모든 交通量에 대한 거시적인 이용정도를 나타내는 척도가 되나 실제로 管制海域에 선박을 配分하는 경우에는 管制海域의 용량 범위내에서 선박을 配分해야 하므로  $U_j \leq 1$ 이 되도록 선박을 그룹화 할 필요가 있다. 그룹의 갯수를 N이라 하면 실제적 이용율  $R_j$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$R_j = (N-1) + (U_j)_N \quad (2.2)$$

단  $(U_j)_N$ 는 N번째 그룹의 이론적 이용도 따라서 이론적인 이용도  $U_j$ 와 실제적 이용도  $R_j$  사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$R_j \geq U_j \quad (2.3)$$

한편 임의의 선박이 管制海域을 항해할 경우에 항해 목적지와 水路條件에 따라 통과해야 하는 管制海域이 미리 정해질 수 있으며 이를 나타내기 위해 航路指定行列  $P=(P_{ij})$ 를 사용한다. 이때  $P_{ij}$ 의 값은 i 선박이 j 管制海域을 통과할 경우에는 1의 값을 취하고 그렇지 않으면 0의 값을 취한다.

### 2.2 定式化

交通管制의 기본 목적은 교통 폭주를 해소하는데 있으며 이를 위해서는 交通管制海域을 통과하는 모든 선박을 각 管制海域에 대해 이용도가 均等하도록 配分하고 이 配分된 交通量이 최소의 시간내에 管制海域을 통과할 수 있도록 배치할 필요가 있다. 따라서 이러한 목적을 달성하기 위해 본 논문에서는 다음과 같이 “配分 問題”와 “配置 問題”의 2단계의 문제로 나누어 정식화 하기로 한다.

1) 複數개의 管制海域에 대하여 실제적 이용도가 均等하도록 交通量을 配分하고

2) 配分된 交通量이 管制海域에 진입하는데 소요되는 시간이 최소가 되도록 배치한다.

그리고 이 문제를 해결해 나가는데 있어서 문제의 單純化를 위하여 다음과 같은 제한 조건을 설정하기로 한다.

- 1) 水路를 항해하는 모든 선박의 속도는 일정하다.
- 2) 水路내의 교통류는 一方向의 單線 通航流이다.
- 3) 선박과 선박간의 간격은 일정하다.
- 4) 獨立水路에서 水路 진입시의 통항순서는 水路를 완전히 벗어날 때까지 유지된다.

2.2.1 管制海域에 대한 交通量의 均等配分

대상 交通量을 水路통항의 연속성을 유지한다는 조건과 航路指定行列  $P=(P_i)$ 의 조건을 만족시키면서 管制水路에 配分하는 방법은 여러가지 다양한 경우가 발생할 수 있다. 발생 가능한 모든 경우의 집합을 B라 하고 그중의 한 원소를 Bt라 한다.  $b_j$ 를 Bt의 부분집합으로서 管制海域 j에 배정된 선박 통항렬이라 하면 모든 管制水路에 대한 실제적 이용도가 均等하도록 配分하는 목적함수는  $\min \max$ 를 사용하여

$$\min \max R^0(b_j) \tag{2.4}$$

단  $R^0(b_j)=\min R(b_j)$ 이다.

$R(b_j)$ 는 다음과 같이 定數 計劃法 중 0-1 계획법<sup>8)</sup>을 사용하여 구할 수 있다.

管制水路 j에 배정된 k척의 선박을 그룹화하여 실제적 이용도 R을 구하고자 할 때 그 그룹수를  $N(N=1 \cdots N)$ 개라 하면  $[Y_{mn}]$ 을 그룹 配分行列로 하여 선박 m이 그룹 n번째 배정되면  $[Y_{mn}]=1$  그렇지 않으면 0으로 나타내기로 한다.

각 그룹의 安全計數의 합은 水路容量을 넘지 못하므로

$$\sum_m S_m Y_{mn} \leq C_j \tag{2.5}$$

단  $C_j \geq S_m > 0$

또한 각 선박은 그룹중 하나에만 배치될 수 있으므로

$$\sum_n Y_{mn} = 1 \tag{2.6}$$

한편  $R^0(b_j)$ 를 구하기 위해서는 그룹의 갯수 N을 최소화해야 하므로 벌금  $V_j$ 를 도입하면 목적함수는

$$\text{Minimize } Z = \sum(V_j \sum Y_{mn}) \tag{2.7}$$

단  $V_{j+1} \gg V_j$ 이며 만일 그룹이 갯수가 N을 넘지 않으면

$V_{j+1} > NV_j, V_1 = 1$ 로 하면 된다.

2.2.2 水路内에서의 通航順序 배치

각 管制海域에 대하여 대상 交通量을 均等配分하는 문제는 식(2.4)에 의해 해집합이 결정되며 이 결과 임의의 水路 j를 통과하게 될 船舶列 집합은  $b_j$ 로 주어진다. 이  $b_j$ 는 생성과정에서  $\min R(b_j)$ 에 의해 결정되었으므로 실제로는 통항 선박을 水路容量을 단위로 하여 그룹화한 船舶列을 의미하는 것이며 이 船舶列이 水路에 진입함에 있어서 水路容量의 초과로 인하여 水路 입구에서 대기하게 되는 시간을 최소로 하기 위해서는 이 그룹 배치들이 깨지지 않는 범위 내에서 그룹의 배치 순서 및 개개의 그룹 내에서 선박의 배치 과정이 있어야 한다. 이러한 조건을 만족시키는 통항 순서열을  $d_j$ 라 하고 이 순서열 중에서 통항 대기시간이 최소가 되는  $d_j^*$ 를 구하는 문제를 생각해 본다. 水路 내에 있는 임의의 선박 i가 일정한 속도로 j 管制海域의 최종지점에 이르는 데 걸리는 시간을  $T_j$ , 선박간의 출발간격을 a, i 선박이 j 管制海域에 진입하기 위하여 대기하는 시간을  $W_i$ 라 하면 통항열의 순번을 정하는 목적함수는

$$d_j^* = \text{minimize } \sum W_i(d_j) \tag{2.8}$$

단  $d_j$ 는  $R(b_j)$ 를 만족하는 배치순서열이다.  $d_j$ 는  $b_j$ 로부터  $\min R(b_j)$ 를 만족하는 그룹화 된 船舶列의 집합으로서 그룹의 수를 N이라 하고 그룹이 생성되는 순서대로 번호를 부친다면

$$d_j = \{(x_m)^1, (x_n)^2, \dots, (x_k)^N\}_j$$

이므로 最適 船舶列을 구하는 문제는 그룹 내의 선박 및 그룹의 배치 순서를 조정하는 것으로 변환된다.

즉 예를 들어 용량이 10인 管制海域 j에 배정된 선박 그룹의 安全計數 집합이

$$b_j = \{3,4,3,5,6,2\}$$

로 주어지면  $R^0(b_j) = \{(3,5,2) (4,6) (3)\} = 2.3$ 이 되며  $d_j = 3,5,2/4,6/3$ 으로 주어지면 둘째 그룹의 첫 선박(4)은 첫째 그룹의 첫 선박(3)이 管制海域을 벗어난 시점에서 管制水路에 진입하면 安全計數의 합이  $5+2+4=11$ 로 되어 水路 용량을 초과하게 되므로 선박(5)가 水路를 벗어날

때까지 水路 入口에서 대기하지 않으면 안된다.

그러나 선박 그룹 및 그룹 내의 선박 배치 순서를 조정하여

$d_j=6,4/5,3,2/3$ 으로 통항 순번을 배치하면 이러한 대기가 발생치 않으므로 이러한 통항열이  $d_j^*$ 가 된다.

$d_j$ 의 각 그룹의 요소수 즉  $k$ 번째 그룹의 선박 척수를  $W(k)$  ( $k=1,2,\dots,N$ )라 하면 배치 문제의 성질로부터 다음의 정리를 얻는다.

(정리1)  $j$  管制海域에 配分된 모든 선박이 대기 시간이 없이 管制海域에 진입하는데 걸리는 시간  $T$ 는

$$T=(N-1)T_j+\{W(N)-1\}a+\sum C(k)a \quad (2.9)$$

$$\text{단 } C(k) \text{는 } \begin{cases} \{W(k)-1\}a=C_j, \text{면 } 1 \\ \{W(k)-1\}a<C_j, \text{면 } 0 \end{cases}$$

(증명) 한 선박그룹이 일정 속도로  $j$  管制海域에 진입하면 그 最先頭에 있는 선박이 管制海域의 종점에 도달하는데 걸리는 시간이  $T_j$ 이므로  $(N-1)$ 개의 그룹에 대해서는  $(N-1)T_j$  시간이 소요된다. 또한  $N$ 번째 그룹의 선박 척수는  $W(N)$ 이므로  $N$ 번째 그룹 전체가 진입을 완료하는데에는 선박간의 간격이 있으므로  $\{W(N)-1\}a$  만큼 소요된다.

한편 연이은 그룹과 그룹과의 간격은 앞에 진입되는 그룹에서  $\{W(N)-1\}a=C_j$ 이면  $a$ 만큼의 간격이 발생되고  $\{W(N)-1\}a<C_j$ 이면 그룹간의 간격을 발생치 않는다.

(정리2)  $d_j$ 의  $m$  및  $m+1$ 번째 그룹의  $i$ 번째에 위치하는 선박의 安全計數를 각각  $S_i(m)$ ,  $S_i(m+1)$ 이라 두면 두 그룹 사이에 대기시간이 발생하지 않도록 선박을 배치하는 必要充分 條件은  $W(m)\leq W(m+1)$ 이고  $S_i(m) \geq S_i(m+1)$ 이다.

(증명)  $m+1$  그룹의 선박이 管制海域에 진입하기 위해서는  $m$  그룹의 모든 선박이 管制海域을 벗어나야 하므로 이 과정은 順次的으로 이루어지게 된다.

지금  $\Delta C_j(m)=C_j-\sum S_i(m)$ ,  $\Delta S_i=S_i(m)-S_i(m+1)$ 라 두면, 순차적으로  $m+1$  그룹이 管制海域에 대기없이 진입하기 위해서는, 첫번째 선박의 경우

$\Delta C_j(m)+S_1\geq 0$  2번째 선박의 경우,  $C_j(m)+S_1+S_2\geq 0$ ,  $N$ 번째 선박의 경우  $C_j(m)+\sum \Delta S_i\geq 0$ 의 조건을 만족하지 않으면 안된다. 또한  $W(m)<W(m+1)$ 인 경우  $W(m+1)-W(m)=W^*$ 라 두면  $C_j(m)+\sum_{i=1}^m \Delta S_i=\sum_{i=1}^m W^* S_i$ 가 성립한다. 따라서  $\Delta C_j(m)=0$ 인 경우까지를 고려한다면, 필요충분 조건은 그룹에 대해서는  $W(m)\leq W(m+1)$ , 그룹내의 선박에 대해서는  $S_i(m)\geq S_i(m+1)$ 를 만족하도록 배치하면 대기 시간은 발생하지 않는다.

### 3. 發見的 알고리즘

다양한 형태로 구성된 각 管制海域에 대해 對象 交通量を 最適으로 均等配分하는 문제는 전술한 바와 같이 管制海域에 대해 配分 가능한 선박의 부분 집합이  $B_t$ 로 주어지면 이를 대상으로 하여 실제적인 이용도를 균분하는 船舶列의 집합  $R^0(b_j)$ 를 구하고 모든 가능한 경우에 있어서 각 管制海域에 대해 실제적 이용도를 최소로 하는 解의 集合  $\min \max R^0(b_j)$  구한 후 대기 시간이 최소로 되도록 그룹 및 선박의 배치를 조정하여 최적 船舶列  $d_j^*$ 를 구함으로써 해결될 수 있다. 그러나 交通量이 증가하면 配分 가능한 선박의 부분 집합  $B_t$ 의 수는 指數函數의으로 증가하며  $d_j$ 를 구하기 위해 소요되는 0-1 계획법에 의한 계산 시간 또한 급증하여 계산량이 방대해진다. 따라서 아래에서는 이러한 문제를 개선하기 위해 발견적인 방법을 도입하여 계산 시간을 단축하는 알고리즘을 제시하며 그 내용을 간단히 요약하면 다음과 같다.

1) 각 lane에 대해 이론적 이용도가 가급적 均等해 지도록 기초배정  $b_j$ 를 구한다. 從屬水路가 있는 lane에서는 이  $b_j$ 를 같은 요령으로 再配分한다.

2)  $b_j$ 에 대해 실제적 이용도  $R$ 를 구한다.

3) 기초배정  $b_j$ 를 항로지정행렬  $P$ 와  $U_j$ 의 범위 안에서 재조정된  $b_j'$ 를 구하고 동시에 실제적 이용도를 구한다.

4)  $b_j'$ 에 대해 3)의 과정을 재조정 가능 경우가 있는 한 반복한다.

5)  $\min \max R(b_j)$ 이 되는 配分  $B_t$ 를 찾아내고

그때의 각 管制水域의 船舶列  $b_j^*$ 를 최적 배정으로 한다.

6)  $b_j^*$ 에 대해 통항시간이 최소화 되도록  $d_j^*$ 를 구하고 이에 다른 지체시간을 계산한다.

이상의 과정을 수행하기 위한 알고리즘을 이론적 이용도, 실제적 이용도 및 最適 船舶列을 구하는 문제 순으로 설명하기로 한다.

### 3.1 이론적 이용도의 均等 配分

管制水路의 배치형태는 單線形으로 배치되어 있는 형태와 從屬水路가 있어 서로간의 영향을 미치는 경우로 크게 분류해 볼 수 있다. 이론적인 이용도를 均等화 하는데 있어서는 각 獨立水路에 있어  $U_j$ 가 최대가 되는 값들간의 차를 최소화 하는 것이며 따라서 각 lane에서  $U_j$ 가 최대가 되는 管制海域을 그 lane의 代表海域으로 하면 전 管制海域은 이러한 代表海域이 병렬로 배치된 것으로 단순화 할 수 있다.

단선형의 水路에서는 水路 内の 管制海域 中 용량이 가장 작은 곳이 代表海域이 되며 從屬水路가 있는 경우에는 幹線이 되는 水路의 용량을  $C_j$ 라 하고 分枝를 이루는 水路의 용량을  $C_{jk}$ 라 하면

$C_j(=, <, >) \Sigma C_{jk}$ 의 관계가 성립한다.

管制海域  $C_j$ 를 통과하는 전 交通量의 安全計數 합을  $\Sigma S$ 라 하면

$$1) C_j < \Sigma C_{jk} \text{ 이면 } \Sigma S / C_j > \Sigma S / \Sigma C_{jk} \text{므로} \quad (3.1)$$

max  $U$ 가 발생하는 管制海域은  $C_j$ 가 된다.

$$2) C_j > \Sigma C_{jk} \text{ 이면 } \Sigma S / C_j < \Sigma S / \Sigma C_{jk} \text{므로} \quad (3.2)$$

max  $U$ 가 발생하는 管制海域은  $C_{jk}$ 가 된다.

이상과 같은 방법으로 구한  $x$ 개의 lane별 代表 管制海域의 용량  $C_{Lx}$ 에 대해 전체 對象 交通量을 이론적 이용도가 均等하도록 기초 配分하고 從屬的인 管制海域에 대해서는 이 lane별 기초배분을 再配分하는 2단계의 과정을 거침으로써 交通量의 均分 문제를 해결할 수 있다.

이상의 내용을 이용하여 발견적으로 최적의 配分列을 구하는 과정을 정리하면 다음과 같다.

1) 각 lane별 代表 管制海域을 찾아 그 용량

$C_{Lx}$ 를 그 水路의 代表용량으로 하여 전체 水路를 병렬형으로 간략히 한다.

2) 管制海域 전체의 이론적인 이용도의 평균치  $U^* = \Sigma S / \Sigma C_{Lx}$ 의 값을 獨立水路  $L_x$ 의 配分 交通量으로 하여 初期 配分 선박 집합  $b_j$ 를 구한다.

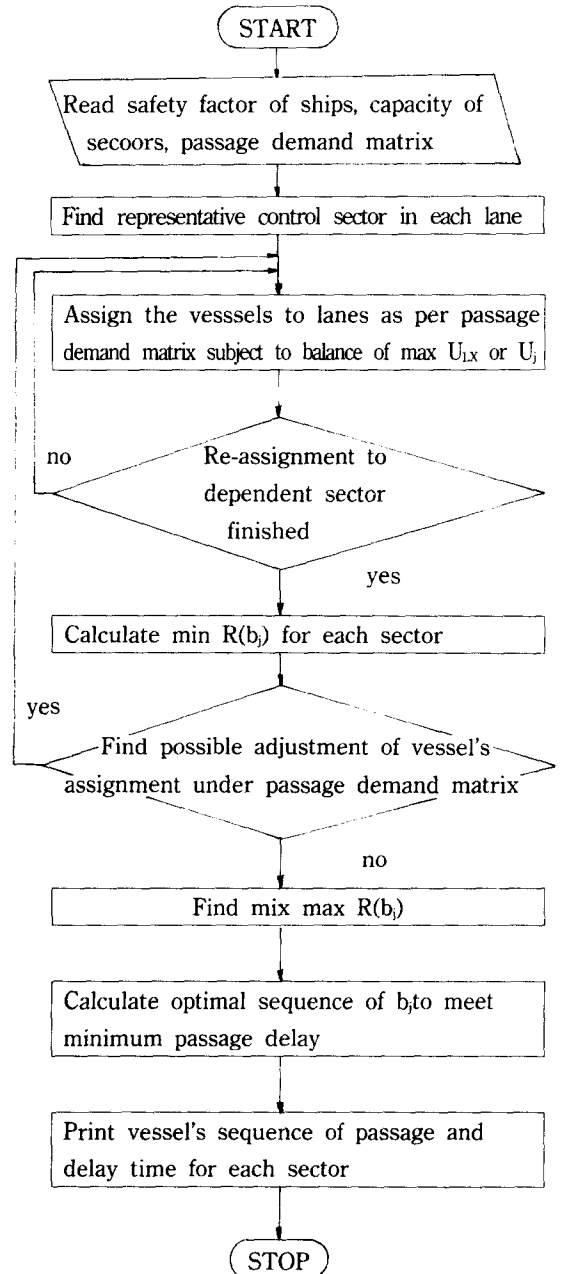


Fig. 3.1 Flow chart of heuristic algorithm

3) 종속적인 管制海域에 대해서는 配分된 초기  $b_j$ 를 기초로 하여 2)의 과정을 반복한다.

### 3.2 실제적 이용도의 계산 및 그룹화

水路의 실제적 이용도  $R$ 은 그 管制海域에 배당된 對象 交通量を 정해진 水路容量을 넘지 않는 범위 내로 그룹화하기 위해 계산되는 것이며 이 그룹의 갯수  $N$ 의 최소화를 통하여 통항 시간을 최소화할 수 있다. 발견적 방법에 의해 對象 交通量を 그룹화하는 과정은 다음과 같다.

i) 배정된 對象交通量を 安全計數의 크기에 따라 내림차순으로 배열한다.

ii) 첫째 선박을 그룹(1)에 배정하고 나머지 배열에서  $\sum Si = C_j$ 가 되는 조합이 있는가 탐색하여 만일 있으면 이들을 한 그룹으로 묶어 배열에서 제거한다.

iii) ii)의 과정을 다음 그룹에 대해 내림차 순으로 시행한다.

iv) 각 그룹의 여분  $(C_j - \sum Si)$ 의 크기에 따라 올림차 순이되게 그룹을 배열한다.

v) 남은 배열의 첫째 선박은 그것을 수용할 수 있는 첫째 그룹에 배치한다.

vi) v)의 작업이 적용된 그룹에 대해 ii)작업을 수행한다.

vii) iv)의 작업을 반복시행

viii) 배열에 모든 선박이 배치 완료될 때까지 v) vi) vii) 작업을 반복한다. 이렇게 하여 얻어진 그룹의 갯수를  $N$ 이라 하고  $N_0$ 를 배치된 선박을 그룹화할 때 가능한 최소의 그룹수라 하면  $N_0$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$N_0 = \lceil \sum Si / C_j + 0.999 \rceil \quad (3.3)$$

단 [ ] : gaussian bracket

따라서  $N = N_0$ 이면 最適解임이 분명하나  $N > N_0$ 이면  $N$ 은 最適解가 아닐 수 있다. 따라서 이 경우는 위의 알고리즘의 일부를 변경하여 다음과 같은 재조정 작업을 수행함으로써 最適解를 얻을 수 있다.

1) 알고리즘의 i)-iv)까지를 수행한다.

2) 한 그룹에 두번째의 선박이 배치되는 시점에서 이 선박을 이 그룹이 아닌 배치 가능한 다음 그룹에 배치한다.

3) 모든 선박이 배치 완료될 때까지 알고리즘에 따라 반복적으로 배치를 계속한다.

4)  $N$ 값을 구하여  $N = N_0$ 이면 여기에서 얻어진 배열이 최적이다.  $N > N_0$ 이면 단계 2)에서 다른 방안을 택하여 재조정 작업을 한다.

### 3.3 待機時間의 계산

3.2 과정을 통하여 실제적 이용도  $R$ 을 최소화하는 과정에서 각 그룹의 밀도를 최대화 함으로써 그룹의 갯수  $N$ 을 최소화 할 수 있다.

이와 같이 管制海域에 같이 진입할 수 있는 선박그룹의 대기 시간을 최소화함으로써 水路 통항 시간을 최소화하는 문제는 그룹의 통항순서와 각 그룹내의 선박 배치가 가능하면 정리 2)에 따라 이뤄지도록 조정하지 않으면 안된다.

이와 같은 조정 작업의 순서를 정리하면 다음과 같다.

1)  $N$ 개의 그룹 내의 선박을 安全計數의 크기순으로 배열한다.

2) 그룹을 선박척수의 순서로 배열한다.

3) 정리 2)에 따라 순차적으로 계산하여 이 조건을 만족하지 않는 횟수가 대기시간이 된다.

## 4. 適用 例

### 4.1 管制海域의 배치 형태와 對象交通量の 조건

그림 4-1의 형태로 8개의 管制海域이 배치된 경우에 있어서 각 管制海域의 집합을  $C_j$ , 管制對象이 되는 선박의 집합을  $S_i$ 로 나타내기로 하고  $i$ 번째 선박의 安全計數가  $s_i$ 인 경우  $V^*$ 로 이 선박을 나타내기로 하고 통항지정 행렬을  $P$ 로 하여 다음과 같이 주어진다고 하자.

$$C = \{C_j\} = [8, 10, 7, 6, 10, 6, 7, 7] \quad j = 1, 2, \dots, 8$$

$$S = \{S_i\} = [4, 3, 3, 4, 5, 6, 3, 2, 6, 4, 4, 3, 2, 3, 2, 3, 3, 4, 5]$$

$$i = 1, 2, \dots, 20$$

$$P = \{P_{ij}\} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

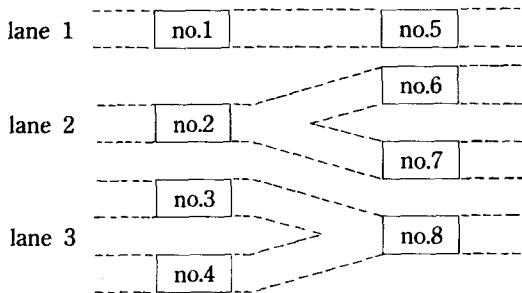


Fig. 4.1 Distribution of control sectors in numerical example

4.2 對象交通量の 管制水路 배정

(1) 管制海域의 單純化

從屬水路를 갖는 水路를 포함하여 각 Lane별 代表水路를 찾아내고 전체 管制海域은 이 代表水路가 병렬로 배치된 것으로 단순화 한다.

1) Lane 1의 代表水路는  $\min C_j = \text{No.1}$  水路가 된다.

2) Lane 2의 代表水路는  $C_2 < C_5 + C_6$ 이므로 No.2 水路가 代表水路가 된다.

3) Lane 3의 代表水路는  $C_3 + C_4 < C_8$ 이므로 (No.3 + No.4) 水路가 代表水路이다.

(2) 각 Lane별 配定 交通量の 결정

전체 Lane의 이론적 이용도  $U_{Lx}$ 의 평균  $U^*$ 는

$$U^* = \frac{\sum Si}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} = 2.15$$

$U^*$ 를 근거로 한 Lane별 交通量の 결정 결과

lane	formula	配定 交通量 $\sum S(Lx)$	max $U_{Lx}$
$L_1$	$[C_1 + U^*]$	18	2.25
$L_2$	$[C_2 + U^*]$	23	2.3
$L_3$	$[C_3 + C_4] \times U^*$	30	2.3

[ ] :  $\sum S(i) = \sum Si$ ,  $\min \max U_{Lx}$ 가 되게 조정함을 의미

(3) 從屬 水路가 있는 lane에서의 交通量 再配定

$$U_{L2}^* = \frac{\sum S(L2)}{C_6 + C_7} = 1.77$$

$$\text{No.6 水路 } [U_{L2}^* \times C_6] = 11 : U_6 = 1.6$$

$$\text{No.7 水路 } [U_{L2}^* \times C_7] = 12 : U_7 = 1.86$$

$$U_{L3}^* = \frac{\sum S(L3)}{C_3 + C_4} = 2.3$$

$$\text{No.3 水路 } [U_{L3}^* \times C_3] = 16 : U_3 = 2.23$$

$$\text{No.4 水路 } [U_{L3}^* \times C_4] = 14 : U_4 = 2.23$$

(4) 각 管制海域에 대한 對象 交通量の 基本 配定

통항 지정 행렬 P 및 水路通航의 연속성을 고려하여 각 水路별로 交通量を 배정하고 발전적 방법에 의해 그룹화한 결과는 다음과 같다.

基本配定 1)

水路番號	$d_j$	$R^0(d_j)$
No.1	$(V^4_1 V^4_{10})(V^5_{20} V^3_3)(V^2_8)$	2.25
No.2	$(V^4_{11} V^6_6)(V^2_{13} V^2_2 V^5_5)(V^3_{12})$	2.3
No.3	$(V^3_7 V^2_{15} V^2_{16})(V^6_9)(V^3_{12})$	2.42
No.4	$(V^3_{17} V^3_{18})(V^4_4)(V^4_{19})$	2.66
No.5	$(V^5_{20} V^3_3)(V^4_1 V^4_{10} V^2_8)$	2.0
No.6	$(V^6_6)(V^5_5)$	1.83
No.7	$(V^4_{11} V^2_2)(V^3_{12} V^2_{13})$	1.7
No.8	$(V^6_9 V^4_4 V^3_{17} V^2_{15})$ $(V^3_{18} V^3_7 V^4_{19} V^2_{16} V^3_{14})$	2.0

\* 基本配定 2 : (기본배정 1의 조정)

$L_1$ 의  $V^5_{20}$ 와  $L_3$ 의  $V^3_{14} V^2_{15}$ 를 교환 배치하는 경우

$$R^0(b_1) = (V^4_1 V^4_{10})(V^3_3 V^3_{14} V^2_{18})(V^2_{15}) = 2.25$$

$$R^0(b_3) = (V^6_9)(V^4_{19} V^3_{17})(V^3_{17}) = 2.42$$

$$R^0(b_4) = (V^5_{20})(V^4_4 V^2_{16})(V^3_{18}) = 2.50$$

$$\text{따라서 } \max R^0(b_j) = R^0(b_4) = 2.50$$

이와 같은 요령으로 基本 配定の 조정작업을 계속 시행한 결과  $\min \max R^0(b_j)$ 는 기본배정 2임을 발견하였다.



4.3 通航 待機 時間의 계산

정리2)에 따라  $R^0(b)$ 에 의한 그룹을 재배치하여 통항 순번을 결정하고 대기 시간을 계산한 결과는 다음과 같다.

Lane	水路番號	$d_j^*$	delay
L1	No.1	$V_1V_{10}/V_3V_{14}V_8/V_{15}$	0
	No.4	$V_1VV_{10}/V_3V_{14}V_8V_{15}$	0
L2	No.2	$V_6V_{11}/V_5V_2V_{13}V_{12}$	0
	No.6	$V_6/V_5$	0
	No.7	$V_{11}V_2/V_{12}V_{13}$	0
L3	No.3	$V_9/V_{19}V_7/V_{17}$	0
	No.4	$V_{20}/V_4V_{16}/V_{18}$	0
	No.8	$V_9V_{20}V_{19}/V_4V_7V_{16}V_{18}$	0

5. 結 論

本 論文에서는 交通 管制의 목적을 管制海城 内에서 海難 事故가 발생한 경우 피해를 최소화하기 위한 한 방안으로 선박에 대해서는 사고의 발생시 선박 자체 및 화물의 특성에 의한 危險 水準을 등급화한 安全計數를 부여하고 각 管制海城에 대해서는 최대한 수용할 수 있는 安全計數를 그 水路의 용량으로 하였을 때, 다양한 형태로 배치된 각 管制海城에 대해 對象交通量을 最適 配置하여 危險 水準이 최저가 되도록 하고, 또한 通航 順序를 管制하여 水路 容量 초과에 의한 선박 待機 時間을 최소화하는 알고리즘을 개발하였다.

문제를 定式化 하는 방법으로 min max 수법과 定數 計數法을 사용하였으며 이때에 발생하는 계산량 및 계산 시간이 과도하게 소요되는 문제를 개선하기 위해 발견적 알고리즘을 개발, 제시하고 예제를 통하여 그

유용함을 보였다.

선박과 水路에 대해 부여하는 安全計數의 算定 基準에 대해서는 앞으로 좀 더 體系의인 연구가 있어야 할 과제로 생각하며 본 논문에서 제시한 알고리즘은 여기서 다른 문제 뿐 아니라 부두의 길이와 선박의 길이가 다양하게 주어진 경우 부두의 이용율을 최대화하기 위한 선박의 배치 문제 등에서도 活用될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 우리나라 沿岸의 海上 交通 管理시스템 設置를 위한 기초 연구: 韓國海洋大學 附設 海事 基礎科學研究所, 1988.
- 2) Wlodzimierz Filipowicz : Traffic Control in Sparation schemes, Journal of Navigation, Vol. 36.
- 3) Micael D. clittk : Traffic Models for use in Vessel Traffic System, Journal of Navigation, Vol. 35.
- 4) K. Glas : Crossing Traffic Separation Schemes, Journal of Navigation, Vol. 31.
- 5) Kostas Giakis : Economic Aspects of Marine Navigational Casualties, Journal of Navigation, Vol. 35.
- 6) Dr. Elisabeth Goodwin and R. B. Richardson : Stratege for Marine Traffic, Journal of Navigation, Vol. 33.
- 7) 李哲榮 : 시스템 工學概論, 文昌出版社, 釜山, pp. 190~196.
- 8) Ronald V. Hartly : Operation Research, Good Year Publishing company, 1976, pp. 473~486.