

# 우리나라 沿岸의 海上交通管制시스템 設置를 위한 基礎研究

## < I > 港灣間 交通量分布의 推定알고리즘

李 哲 榮\* · 具 滋 允\*\*

### < I > An Estimating Algorithm of the Trip Distribution of Ships between Harbours

*Cheol-Yeong Lee · Ja-Yun Koo*

#### < 目 次 >

Abstract

1. 序 論
2. 모델의 構成

3. 모델의 有效性 檢討

4. 結 論
- 參考文獻

### Abstract

Trip distribution plays an important role in the analysis and network evaluation phases of the transportation and the traffic planning process.

In this paper, the authors propose an algorithm for estimating the trip distribution between each pair of zones such as harbours and straits.

The algorithm is formulated by using the observed data and introducing the concept of entropy when observed data between harbours were not existed.

In order to examine the feasibility, the proposed algorithm is applied to ships on traffic route in Hanryu Sudo and in Korea costal waterway. And also, its validity is examined by comparing another algorithm through statistical test.

### 1. 序 論

一般的으로 海上交通량을 파악하고자 할 경우에는, 各 港灣 및 水路에 있어서의 船舶入出港

統計를 利用하거나, 部分的으로 그 交通량을 觀測하여 使用하여 왔다. 그러나 파악하여야 할 海域 및 水路가 매우 광범위할 경우에는 이러한 方法으로 交通량을 調査하는 데에는 時間, 費用 및 觀測方法 等に 있어서 많은 어려움이 수반되게

\* 正會員, 韓國海洋大學

\*\* " , 韓國海技研修院

된다. 그럼에도 불구하고 航路標識의 增設, 通航分離方式의 導入 및 交通管制시스템을 設置하기 위해서는 港灣 및 水路에 있어서의 交通量의 現況을 精確히 파악하고, 동시에 그 動的인 變化를 充分히 豫測할 必要가 있다.

以上과 같은 現實的인 問題를 해결하는 하나의 方法으로서, 最小限의 데이터를 利用하여 海域 또는 水路의 交通量을 推定하는 方法을 開發하는 일은 매우 중요한 意味를 갖는다고 할 수 있을 것이다.

本 研究에서는 이러한 問題를 解決할 수 있는 交通量 推定알고리즘을 開發하는 것을 그 目的으로 하고 있다.

지금까지 交通量을 推定하는 數學모델로는 여러가지가 제시되어 있다.<sup>1)</sup> 例를 들면 Hitchcock Model은 各 港灣間의 費用이 決定되어 있고 入出港 隻數의 制約條件下에서 總네트워크 費用을 最小化하도록 分布를 決定하는 方法이다. 그러나 이는 港灣間의 貨物種類가 多様할 경우에는 港灣間 運送費用을 確立적으로 決定하기에 어려운 問題가 따르기 때문에 同種貨物의 運送되지 않는 多數港灣間에는 適用하는데 어려움이 있다.

한편, Murchland 등이 發表한 Entropy Model은 制約條件에 따라 Proportional Model, Mean Trip Length Model, Gravity Model로 나뉠 수 있고, 특히 Hara<sup>2)</sup>는 Proportional Model을 확장하여 Entropy 最大로 한 條件下에 交通量分布를 推定하고 있다. 그러나 이 모델은 港灣間의 交通量이 小型船의 경우에 그 有效性이 認定되나 定期성이 강한 大型船舶이나 各 地域特性에 따라 交通量分布의 패턴이 特徵을 지니는 경우에는 實用上에 크다면 誤差가 생기게 된다.

本 研究에서는 이러한 問題點을 보완하기 위한 하나의 方法으로서 一定港灣間의 結合率을 데이터로서 決定하고, 이러한 데이터가 존재하지 않는 港灣間에는 Entropy 概念을 도입하여 모델을 構成하고 알고리즘을 提案하며, 그 有效性을 檢證하고자 한다.

## 2. 모델의 構成

Table(2-1)에서와 같이  $v$  隻의 船舶이  $N$  個의 港灣間 또는 水路間을 왕복하는 경우를 생각한다.

Table 2-1. Trip Distribution Matrix

		j						
		1	2	.....	j	.....	N	
출 항 ..... 항	1	$f_{11}$	$f_{12}$	.....	$f_{1j}$	.....	$f_{1N}$	$a_1$
	2	$f_{21}$	$f_{22}$	.....	$f_{2j}$	.....	$f_{2N}$	$a_2$
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	i	$f_{i1}$	$f_{i2}$	.....	$f_{ij}$	.....	$f_{iN}$	$a_i$
	N	$f_{N1}$	$f_{N2}$	.....	$f_{Nj}$	.....	$f_{NN}$	$a_N$
		$b_1$	$b_2$	.....	$b_j$	.....	$b_N$	$v$

- 단,  $a_i$ :  $i$  港으로부터 出港하는 交通量
- $u_i$ :  $i$  港으로부터 出港하는 交通量의 確率
- $b_j$ :  $j$  港으로 入港하는 交通量
- $v_j$ :  $j$  港으로 入港하는 交通量의 確率
- $f_{ij}$ :  $i$  港으로부터  $j$  港으로 航行하는 交通量
- $\rho_{ij}$ :  $i$  港으로부터  $j$  港으로 航行하는 交通量確率(joint probability)
- $k_{ij}$ : 最近調査에 의한,  $i$  港에서  $j$  港으로 航行하는 交通量 結合率

制約條件이 없는 경우, 即 船舶이 出港時 目的의 港에 대한 情報가 없이 同一確率로 各 目的의 港으로 航行한다면 그 不確定性의 程度는 다음 函數  $U$ 로 나타낼 수 있다.

$$U = f(n) \dots\dots\dots(2.1)$$

이때  $n$ 은 狀態의 數로서,  $a_i = m$  隻이 어느 目的의 港에도 같은 確率로 航行할 경우 出港地를 포함시켜  $N^m$ 이 되고, 이는 各船舶의 目的의 港數  $f(N)$ 의  $m$  次 冪이 되므로

$$f(N^m) = mf(N) \dots\dots\dots(2.2)$$

이 된다.

따라서 양변을 微分하면  $N^m f'(N^m) = N f'(N)$ 이 되고, 우변은  $m$ 을 포함하고 있지 않으므로 이를 常數  $K$ 로 잡으면  $f(N)$ 은 다음과 같다.

$$f(N) = K \ln N + \text{Const.} \dots\dots\dots(2.3)$$

式(2.3)이 式(2.2)의 關係를 만족하기 위해서는  $K \ln N^m = m K \ln N + m C$

이 된다.

그러므로 1 隻의 不確定性은 다음과 같아진다.

$$U = f(N) = K \ln N \dots \dots \dots (2.4)$$

그러나 一定 制約條件이 있는 경우에는  $N$ 개 港으로 가는 確率이 같지 않으므로  $a_i$  隻의 船舶을  $N$ 개 港에 random으로 配分하는 것으로 한다. 이 때 한 船舶이  $i$  港에서 出港하여  $j$  港으로 가는 경우의 수  $n_i$ 는  $a_i$ 로부터  $f_{ij}$  隻을 취하여 組合한 數와 같게 된다.

$$\begin{aligned} n_i &= a_i C_{f_{ij}} \\ &= \frac{a_i!}{(a_i - f_{ij})! f_{ij}!} \\ &= \frac{a_i!}{\prod_{j=1}^N f_{ij}!} \dots \dots \dots (2.5) \end{aligned}$$

式(2.5)로부터  $a_i$  隻中 1 隻이 任意의 港에 가게 될 不確定性을 나타내는 Entropy  $H_i$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H_i &= K \ln(n_i) \\ &= K \{ \ln(a_i!) - \sum_{j=1}^N \ln(f_{ij}!) \} \dots \dots \dots (2.6) \end{aligned}$$

$a_i \gg 1$ ,  $f_{ij} \gg 1$ 인 경우 Stirling 公式을 使用하여 (2.2)式을 變형시키면,

$$\begin{aligned} H_i &= K \{ a_i (\ln a_i - 1) - \sum_{j=1}^N f_{ij} (\ln f_{ij} - 1) \} \\ &= K \{ a_i \ln a_i - \sum_{j=1}^N \{ f_{ij} (\ln v + \ln \rho_{ij}) \} \} \\ &= K \{ a_i \ln \frac{a_i}{v} - v \sum_{j=1}^N \rho_{ij} \ln \rho_{ij} \} \\ &= -K' \sum_{j=1}^N \rho_{ij} \ln \rho_{ij} \dots \dots \dots (2.7) \end{aligned}$$

出港하는 港이  $N$ 개 있으므로 全體 Entropy는

$$\begin{aligned} H &= \sum_i H_i \\ &= -K' \sum_i \sum_j \rho_{ij} \ln \rho_{ij} \end{aligned}$$

가 된다.

그러나  $K'$ 는 常數이므로  $K'=1$ 로 두면, 海上 交通量의 Entropy를 最大로 하는 目的函數는 다음과 같아진다.

$$\text{Maximize } H = - \sum_i \sum_j \rho_{ij} \ln \rho_{ij} \dots \dots \dots (2.8)$$

한편, 各 港灣의 入出港 船舶隻數를 알고 있는 경우에는 保存法則에 따라 다음 條件이 성립한다.

$$\begin{aligned} \sum_j f_{ij} &= a_i, \\ \sum_i f_{ij} &= b_j, \\ \sum_i a_i &= \sum_j b_j = v \dots \dots \dots (2.9) \end{aligned}$$

이를 確率로서 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \rho_{ij} &= \frac{f_{ij}}{v}, \\ u_i &= \frac{a_i}{v}, \\ v_j &= \frac{b_j}{v}, \\ \sum_i u_i &= \sum_j v_j = \sum_i \sum_j \rho_{ij} = 1 \dots \dots \dots (2.10) \end{aligned}$$

(단,  $0 \leq \rho_{ij} \leq 1$ )

G. T. 300 噸 以上의 船舶이라면 一般적으로 하나의 港灣에서 다른 港灣으로 航海하므로,

$$i = j \text{ 일 때 } \rho_{ij} = 0 \dots \dots \dots (2.11)$$

한편, 事前調査에 의해  $i$  港에서  $j$  港으로 航行하는 交通量의 結合率을 알고 있는 경우에는 다음 式이 성립한다.

$$\begin{aligned} \rho_{ij} &= k_{ij} \dots \dots \dots (2.12) \end{aligned}$$

(단,  $(i, j)$ : 結合率을 알고 있는  $M$ 개의 港灣( $i, j$ ))

이들 制約條件을 고려하여 Entropy Model을 정리하면 다음과 같다.

Objective Function:

$$\text{Maximize } H = - \sum_i \sum_j \rho_{ij} \ln \rho_{ij}$$

Subject to:

$$\begin{aligned} \sum_j \rho_{ij} &= u_i \\ \sum_i \rho_{ij} &= v_j \\ \sum_i \sum_j \rho_{ij} &= 1 \\ \sum' \rho_{ij} &= 0 \quad (\text{단, } \sum' : i=j \text{인 것의 합}) \\ e_{ij} &= k_{ij} \quad (\text{단, } (i, j) : \text{結合率을 알고 있는 } M \text{개의 港灣}(i, j)) \dots \dots \dots (2.13) \end{aligned}$$

制約條件이 전혀 없는 경우에는 目的函數를 微分하여,  $\frac{\partial H}{\partial \rho_{ij}} = -1 - \ln \rho_{ij} = 0$ 로부터  $\rho_{ij} = e^{-1}$ 일 때  $H$ 가 最大가 되어 不確定性의 程度가 가장 강하게 된다.

그러나 式(2.13)에서와 같이 制約條件이 부과되는 경우에는 그만큼 不確定度가 낮아지므로 目的函數의 Entropy가 最大가 될 수 있게  $\rho_{ij}$ 를 정하여야 한다.

式(2·13)은 Lagrange 未定係數法으로 해석적으로 解를 구할 수 있으며, Lagrange 未定係數法으로 정리하면 다음과 같다.

$$L(\rho_{ij}, \lambda_i, \mu_j, \nu, \gamma_{ij}, \delta_{ij}) = -\sum_i \sum_j \rho_{ij} \ln \rho_{ij} - \sum_i \lambda_i (\sum_j \rho_{ij} - u_i) - \sum_j \mu_j (\sum_i \rho_{ij} - v_j) - \nu (\sum_i \sum_j \rho_{ij} - 1) - \gamma_{ij} \sum' \rho_{ij} - \sum_{i,j}'' \delta_{ij} (\rho_{ij} - k_{ij}) \dots (2·14)$$

(1)  $i=j$ 인 경우

$$\frac{\partial L}{\partial \rho_{ij}} = -1 - \ln \rho_{ij} - \lambda_i - \mu_j - \nu - \gamma_{ij}$$

(2)  $i \neq j$ , 港灣間 結合率을 아는 M 개의 港灣 ( $i, j$ )

$$\frac{\partial L}{\partial \rho_{ij}} = -1 - \ln \rho_{ij} - \lambda_i - \mu_j - \nu - \delta_{ij}$$

(3)  $i \neq j$ , 港灣間 結合率을 모르는 나머지 港灣 ( $i, j$ )

$$\frac{\partial L}{\partial \rho_{ij}} = -1 - \ln \rho_{ij} - \lambda_i - \mu_j - \nu$$

따라서, 最適인 港灣間 結合率  $\rho_{ij}^*$ 는 다음과 같이 된다.

(1)  $i=j$ 인 경우

$$\rho_{ij}^* = \exp(-1 - \lambda_i - \mu_j - \nu - \gamma_{ij})$$

(2)  $i \neq j$ , 港灣間 結合率을 아는 M 개의 港灣 ( $i, j$ )

$$\rho_{ij}^* = \exp(-1 - \lambda_i - \mu_j - \nu - \delta_{ij})$$

(3)  $i \neq j$ , 港灣間 結合率을 모르는 나머지 港灣 ( $i, j$ )

$$\rho_{ij}^* = \exp(-1 - \lambda_i - \mu_j - \nu) \dots (2·15)$$

그러나 이 未定係數를 해석적으로 구하는 것은 곤란하므로 iteration 에 의해 解를 구하는 방법을 고찰하기로 한다.

式(2·15)中  $\rho_{ij}^* = \exp(-1 - \nu - \lambda_i - \mu_j)$ 로부터,

$$u_i = \sum_j \rho_{ij}^* = \exp(-1 - \nu - \lambda_i) \sum_j \exp(-\mu_j) \dots (2·16)$$

$$v_j = \sum_i \rho_{ij}^* = \exp(-1 - \nu - \mu_j) \sum_i \exp(-\lambda_i) \dots (2·17)$$

$$1 = \sum_i \sum_j \rho_{ij}^* = \exp(-1 - \nu) \sum_i \sum_j \exp(-\lambda_i - \mu_j) \dots (2·18)$$

(2·16) × (2·17) ÷ (2·18)로부터

$$u_i v_j = \exp(-1 - \nu - \lambda_i - \mu_j) = \rho_{ij}^* \text{가 된다.}$$

따라서 式(2·15) 전체를 要約하면 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$\rho_{ij}^* = x_i w_{ij} y_j \dots (2·19)$$

$$\begin{cases} i=j \text{ 일 때 } w_{ij} = \exp(-\gamma_{ij}) \\ i \neq j, \text{ 港灣間 結合率을 알 때 } \\ w_{ij} = \exp(-\delta_{ij}) \\ i \neq j, \text{ 港灣間 結合率을 모를 때 } w_{ij} = 1 \end{cases}$$

또한 iteration 의 順序는 다음과 같이 구성된다.

I) 모든 港灣間에서  $i=j$ 일 때  $w_{ij}^{(0)} = 0$ ,  $i \neq j$ 일 때  $w_{ij}^{(0)} = 1$ 로 한다.

II) Step I) iteration 에서

$$y_j^{(1)} = v_j$$

$$x_i^{(1)} = u_i / \sum_j w_{ij}^{(0)} y_j^{(1)}$$

이후, 港灣間 結合率을 아는 M개의 港灣間에서는  $w_{ij}^{(1)} = \frac{k_{ij}}{x_i^{(1)} y_j^{(1)}}$  港灣間 結合率을 모르는 港灣間에서는 그대로  $w_{ij}^{(1)} = w_{ij}^{(0)}$

III) k回 iteration 에서

$$y_j^{(k)} = v_j / \sum_i x_i^{(k-1)} w_{ij}^{(k-1)}$$

$$x_i^{(k)} = u_i / \sum_j w_{ij}^{(k-1)} y_j^{(k)}$$

港灣間 結合率을 아는 M개 港灣間에서는  $w_{ij}^{(k)} = k_{ij} / x_i^{(k)} y_j^{(k)}$  港灣間 結合率을 모르는 港灣間에서는 그대로  $w_{ij}^{(k)} = w_{ij}^{(k-1)}$

$$\therefore \rho_{ij}^{(k)} = x_i^{(k)} w_{ij}^{(k)} y_j^{(k)}$$

IV)  $\sum_j \rho_{ij}^{(k)}$ 이  $u_i$ ,  $\sum_i \rho_{ij}^{(k)}$ 이  $v_j$ 에 만족할 정도로 접근하면 iteration 을 멈춘다.

解를 구하기 위한 Flow chart 는 Fig. (2-1)과 같다.

### 3. 모델의 有效性檢討

2章에서 構成한 數學모델을 利用하여 推定值를 구하고, 實際觀測調査值와의  $\chi^2$  檢定에 의해 이 모델의 有效性을 檢討하고자 한다.

觀測值는 1983年 1月부터 同年 7月까지 韓國 海洋大學 海事基礎科學研究所에 의해 觀測된 한려수도의 1日 平均 船舶交通量 및 1981年의 우리나라 主要 11개 港灣間의 交通量分布를 利用

하였다.<sup>23</sup>

먼저, 한려수도의 경우 1日 平均 船舶航行圖는 Fig. (3-1)과 같고, 1日 平均 交通量은 Fig. (3-2)와 같다.

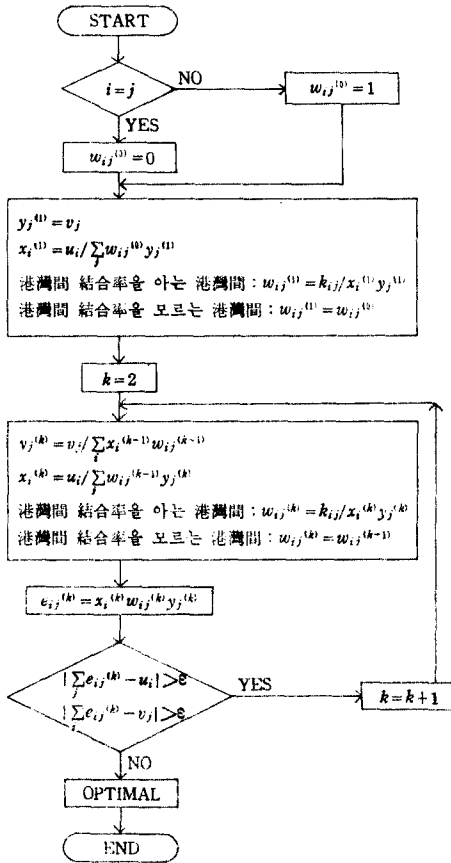


Fig. 2-1. Flow chart

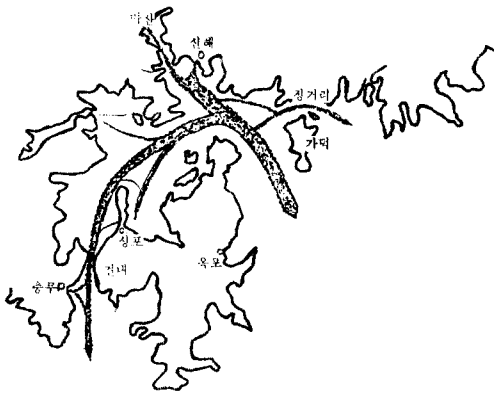


Fig. 3-1. Average Traffic Flow per Day in Hanryu Sudo

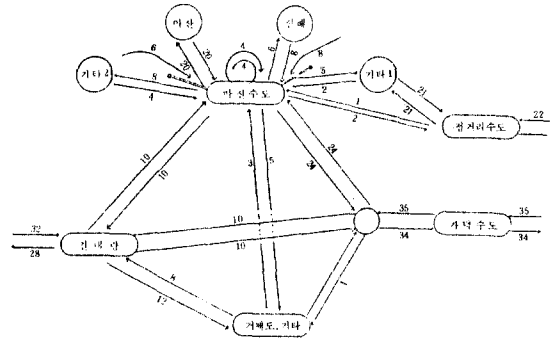


Fig. 5-2. Average Traffic Volume per Day in Hanryu Sudo

이 交通量을 정거리수도를 포함한 마산, 진해 등의 交通量을 마산수도로 모아 4개 港灣(水道를 포함)으로 單純化시켰을 때 港灣間 交通量分布 Matrix는 Table(3-1)과 같다.

Table 3-1. Average Traffic Distribution per Day in Hanryu Sudo

	1 가덕 수도	2 거제도 기타	3 진내량	4 마산 수도	
1 가 덕 수 도	0	1	10	24	35
2 거 제도, 기 타	0	0	8	3	11
3 진 내 량	10	12	0	10	32
4 마 산 수 도	24	5	10	0	39
	34	18	28	37	117

이때 Hara가 제안한 모델을 利用하였을 때의 交通量 分布는 Table(3-2)와 같고, 이의  $\chi^2$  檢定을 실시하면 自由度가 5이므로 有意水準 0.05에서  $\chi^2$  限界値는 11.070이나  $\chi^2$  檢定値는 35.878로 범의를 벗어나게 된다.

그러나 2章에서 構成한 모델을 利用하는 경우에는 入出港 結合率(i, j)중에서 (1, 4) 및 (4, 1)의 結合率을 미리 안다면 Table(3-3)의 分布를 推定할 수 있고, 이때  $\chi^2$  檢定値는 4.710(自由度 3에서  $\chi^2$  限界値 7.815)이 된다. (1, 4), (3, 2), (4, 1)의 結合率을 안다면 Table(3-4)의 分布를

가지고  $\chi^2$  檢定値는 4.753(自由度 2에서  $\chi^2$  限界値 5.991)이며, (1, 3), (1, 4), (3, 2), (4, 1)의 結合率을 안다면 Table(3-5)의 分布를 가지고  $\chi^2$  檢定値는 2.653(自由度 1에서  $\chi^2$  限界値 3.841)이 되므로서 그 有效性이 認定된다.

이들 結果를 要約하면 Fig. (3-3)과 같이 나타난다.

**Table 3-2.** Estimate of Trip Distribution by Hara's Model

	1 가덕 수도	2 거제도 기타	3 견내량	4 마산 수도	
1 가덕 수도	0	5.90	11.34	17.76	35
2 거제도, 기타	3.70	0	2.85	4.45	11
3 견내량	12.30	4.91	0	14.79	32
4 마산 수도	18.00	7.19	13.81	0	39
	34	18	28	37	117

**Table 3-3.** Estimate of Trip Distribution under the Two Known Traffic Co-efficients

	1 가덕 수도	2 거제도 기타	3 견내량	4 마산 수도	
1 가덕 수도	0	2.39	8.61	24	35
2 거제도, 기타	1.46	0	7.64	1.90	11
3 견내량	8.54	12.36	0	11.10	32
4 마산 수도	24	3.25	11.75	0	39
	34	18	28	37	117

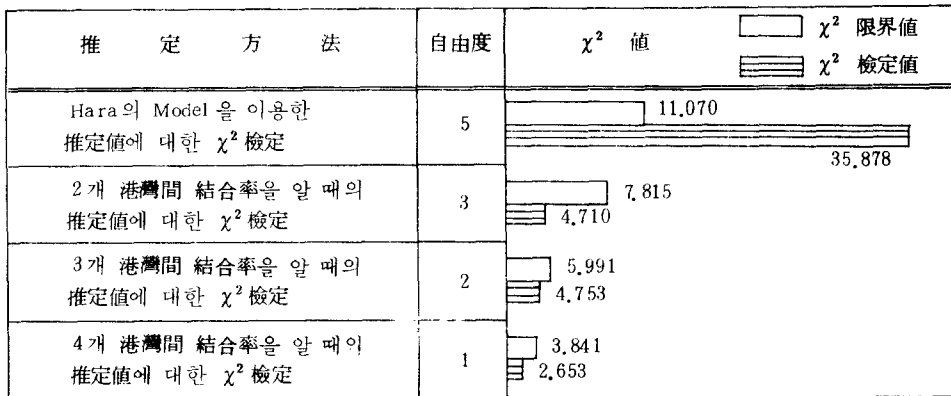
**Table 3-4.** Estimate of Trip Distribution under the Three Known Traffic Co-efficients

	1 가덕 수도	2 거제도 기타	3 견내량	4 마산 수도	
1 가덕 수도	0	2.54	8.46	24	35
2 거제도, 기타	1.3	0	8	1.7	11
3 견내량	8.7	12	0	11.3	32
4 마산 수도	24	3.46	11.54	0	39
	34	18	28	37	117

**Table 3-5.** Estimate of Trip Distribution under the Four Known Traffic Co-efficients

	1 가덕 수도	2 거제도 기타	3 견내량	4 마산 수도	
1 가덕 수도	0	1	10	24	35
2 거제도, 기타	1.3	0	8	1.7	11
3 견내량	8.7	12	0	11.3	32
4 마산 수도	24	5	10	0	39
	34	18	28	37	117

두번째로, 우리나라 主要 11개 港灣間 交通量 分布(1981年)는 Table(3-6)과 같다. Hara의 모델을 이용한 交通量 分布는 Table(3-7)과 같고, 이의  $\chi^2$  檢定値는 自由度 89, 有意水準 0.05에서  $\chi^2$  限界値는 112.02이나  $\chi^2$  檢定値는 308.82로 범위를 벗어나게 된다. 2章의 모델을 利用하기



**Fig 3-3.** Results of  $\chi^2$  Test in Hanryu Sudo

위하여 事前調査에 의해 9개의 結合率( $i, j$ )을 아는 경우, 즉 (1, 2), (1, 3), (1, 4), (2, 1), (2, 3), (2, 4), (3, 1), (3, 2), (3, 4)의 結合率을 아는 경우에는 Table(3-8)의 分布를 가지고  $\chi^2$ 檢定值 56.703(自由度 80에서  $\chi^2$ 限界值 101.879)이며, 20개 港灣間(1, 2), (1, 3), (1, 4), (1, 5), (2, 1), (2, 3), (2, 4), (2, 5), (3, 1), (3, 2), (3, 4), (3, 5), (4, 1), (4, 2), (4, 3), (4, 5), (5, 1), (5, 2), (5, 3), (5, 4)의 結合率을 아는 경우에는 Table(3-9)의 分布를 가지고  $\chi^2$ 檢定值는 19.196(自由度 69에서  $\chi^2$ 限界值 89.39)이 된다. 또한 34개 港灣間(1, 2), (1, 3), (1, 4), (1, 5), (1, 6), (1, 7), (1, 8), (1, 9), (1, 10), (8, 1), (8, 2), (8, 3), (8, 4), (8, 5),

(8, 6), (8, 7), (8, 9), (8, 10), (2, 1), (3, 1), (4, 1), (5, 1), (6, 1), (7, 1), (9, 1), (10, 1), (2, 8), (3, 8), (4, 8), (5, 8), (6, 8), (7, 8), (9, 8), (10, 8)의 結合率을 아는 경우에는 Table(3-10)의 分布를 가지며  $\chi^2$ 檢定值는 12.174(自由度 55에서  $\chi^2$ 限界值 73.29)이므로 이들 모두 그 有効性이 認定된다. 이들 結果를 要約하면 Fig. (3-4)와 같다.

특히 34개 港灣間의 경우 11개의 主要港灣에 대하여 오직 2개의 港灣-인천, 부산-에 대하여 집중적으로 O-D 調査를 시행하면 34개의 港灣間 結合率을 파악할 수 있으므로 時間 및 費用의 측면에서 매우 유리하고 그 結果 또한 實際의 交通量 分布와 거의 일치함을 알 수 있다.

Table 3-6. Trip Distribution among Major 11 Ports in 1981

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	인 천	목 포	여 수	계 주	군 산	다 산	총 무	부 산	울 산	포 향	삼 일	
1 인천	0	1,321	1,704	1,118	622	817	561	573	952	631	496	8,795
2 목포	1,156	0	991	894	564	737	560	538	920	572	490	7,422
3 여수	930	967	0	716	428	560	415	406	689	435	364	5,910
4 제주	1,091	947	762	0	425	575	387	411	673	443	344	6,058
5 군산	567	583	454	422	0	344	252	246	420	264	223	3,775
6 다산	741	761	593	568	342	0	336	326	554	347	293	4,861
7 총무	453	538	409	357	233	313	0	229	396	241	211	3,380
8 부산	514	553	427	403	244	324	244	0	403	251	213	3,576
9 울산	847	951	730	665	419	555	425	406	0	429	369	5,796
10 포향	572	583	454	434	260	342	255	249	422	0	222	3,793
11 삼일	436	502	384	339	221	292	225	213	367	225	0	3,204
	7,307	7,706	6,908	5,916	3,758	4,856	3,660	3,597	5,796	3,838	3,225	56,570

Table 3-7. Estimate of Trip Distribution by Hara's Model

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	인 천	목 포	여 수	계 주	군 산	다 산	총 무	부 산	울 산	포 향	삼 일	
1 인천	0	1,447	1,253	1,074	650	860	629	620	1,046	664	552	8,795
2 목포	1,197	0	1,061	910	551	728	533	525	886	563	468	7,422
3 여수	932	955	0	709	429	567	415	409	691	439	364	5,910
4 제주	937	960	831	0	431	570	417	411	694	441	366	6,058
5 군산	558	571	495	424	0	340	248	245	413	262	219	3,775
6 다산	734	752	652	558	338	0	327	323	544	346	287	4,861
7 총무	498	511	442	379	230	303	0	219	369	234	195	3,380
8 부산	527	540	467	400	243	320	235	0	390	248	206	3,576
9 울산	894	915	793	679	411	544	398	393	0	420	349	5,796
10 포향	561	575	498	427	259	342	250	246	416	0	219	3,793
11 삼일	469	480	416	356	216	285	208	206	347	221	0	3,204
	7,307	7,706	6,908	5,916	3,758	4,859	3,660	3,597	5,796	3,838	3,225	56,570

**Table 3—8.** Estimate of Trip Distribution under the 9 known Traffic Co-efficients

<i>j</i> \ <i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>i</i> \ <i>j</i>	인 천	목 포	여 수	제 주	군 산	마 산	충 무	부 산	울 산	포 항	삼 일	
1 인천	0	1,321	1,704	1,118	602	797	532	574	970	616	511	8,795
2 목포	1,156	0	991	894	587	750	548	541	913	580	482	7,422
3 여수	930	967	0	716	427	565	413	497	687	433	362	5,910
4 제주	942	978	761	0	437	573	423	417	704	447	371	6,058
5 군산	563	584	454	419	0	345	252	249	420	267	222	3,775
6 마산	741	769	598	552	344	0	333	323	553	351	292	4,861
7 충무	503	522	406	375	233	308	0	222	375	238	198	3,380
8 부산	531	551	429	336	247	326	238	0	397	252	209	3,576
9 울산	902	936	728	672	419	553	405	399	0	427	355	5,796
10 포항	566	588	457	422	263	347	254	251	422	0	223	3,793
11 삼일	473	490	382	352	219	290	212	209	353	224	0	3,204
	7,307	7,706	6,908	5,916	3,758	4,859	3,660	3,597	5,796	3,838	3,225	56,570

**Table 3—9.** Estimate of Trip Distribution under the 20 known Traffic Co-efficients

<i>j</i> \ <i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>i</i> \ <i>j</i>	인 천	목 포	여 수	제 주	군 산	마 산	충 무	부 산	울 산	포 항	삼 일	
1 인천	0	1,321	1,704	1,118	622	793	579	571	965	613	509	8,795
2 목포	1,156	0	991	894	564	751	549	541	914	580	482	7,422
3 여수	930	967	0	716	428	564	413	497	687	436	362	5,910
4 제주	1,091	947	762	0	425	557	407	402	676	430	358	6,058
5 군산	567	583	454	422	0	344	251	248	419	266	221	3,775
6 마산	711	756	598	552	343	0	337	332	561	356	295	4,861
7 충무	482	526	405	374	232	312	0	225	381	242	201	3,380
8 부산	509	556	428	395	246	331	242	0	402	255	212	3,576
9 울산	865	944	728	672	418	561	410	405	0	433	360	5,796
10 포항	543	592	457	421	282	352	257	254	429	0	226	3,793
11 삼일	455	494	381	352	218	294	215	212	358	227	0	3,204
	7,307	7,706	6,908	5,916	3,758	4,859	3,660	3,597	5,796	3,838	3,225	56,570

**Table 3—10.** Estimate of Trip Distribution under the 34 known Traffic Co-efficients

<i>j</i> \ <i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>i</i> \ <i>j</i>	인 천	목 포	여 수	제 주	군 산	마 산	충 무	부 산	울 산	포 항	삼 일	
1 인천	0	1,321	1,704	1,118	622	817	561	573	952	631	496	8,795
2 목포	1,156	0	988	906	563	745	551	538	916	576	483	7,422
3 여수	936	935	0	690	429	567	420	406	697	438	368	5,910
4 제주	1,091	949	739	0	421	557	412	411	685	431	362	6,058
5 군산	567	584	455	417	0	343	254	246	421	265	223	3,775
6 마산	741	770	599	550	342	0	335	326	556	349	293	4,861
7 충무	453	531	414	379	236	312	0	229	283	241	202	3,380
8 부산	514	553	427	403	244	324	244	0	403	251	213	3,576
9 울산	847	943	738	677	420	557	412	405	0	430	361	5,796
10 포항	572	587	457	420	260	345	255	249	424	0	224	3,793
11 삼일	436	493	387	356	221	292	216	213	359	226	0	3,204
	7,307	7,706	6,908	5,916	3,758	4,859	3,660	3,597	5,796	3,838	3,225	56,570



推 定 方 法	自由度	$\chi^2$ 值	$\chi^2$ 限界值	$\chi^2$ 檢定值
Hara의 Model을 이용한 推定値에 대한 $\chi^2$ 檢定	89	112.02	308.82	
9개 港灣間 結合率을 알 때의 推定値에 대한 $\chi^2$ 檢定	80	101.879	56.703	
20개 港灣間 結合率을 알 때의 推定値에 대한 $\chi^2$ 檢定	69	89.39	19.196	
34개 港灣間 結合率을 알 때의 推定値에 대한 $\chi^2$ 檢定	55	73.29	12.174	

Fig. 3-4. Results of  $\chi^2$  Test in Major 11 ports

#### 4. 結 論

지금까지 入出港 隻數를 알고 있고 特定港灣 間의 結合率을 事前調査에 의해 파악한 경우에 나머지 모든 港灣間의 交通量 分布를 Entropy 概念을 도입하여 推定할 수 있는 모델을 제안하였고, 이 모델을 우리나라 한려수도과 主要 11개 港灣에 대한 交通量의 觀測結果와 比較한 結果, 그 有效性이 확인되었다.

이 모델의 主要制約條件으로서, 時間, 經費 및 觀測의 容易性 등을 고려하여 定期船의 運航이 많은 大規模 港灣間을 우선적으로 선택하여 가능한 한 不確定性을 배제하는 것이 바람직하고, 多數港灣間의 경우 船舶通航量이 많은 大規模 港灣을 선택하여 집중적으로 그 港灣의 O-D 調査를 하는 것이 精度를 높일 수 있는 길이라 생각된다.

다른 方法으로서 推定對象海域에 대한 過去의 데이터로부터  $\chi^2$  值를 計算하여, 이를 기준으로 觀測할 對象海域을 선정하는 것도 매우 바람직한 것으로 생각된다.

本 모델은 交通量뿐만 아니라 船腹量과 物動

量의 推定에도 利用될 수 있어 海上交通管制 및 情報시스템 구축에 核이 되는 알고리즘의 하나로서 그 活用度가 매우 클 것으로 기대된다.

#### 參 考 文 獻

- 1) 林陽澤: 統計學, 大英社, 1984.
- 2) 韓國海洋大學 海事基礎科學研究所: 해난사고 발발해역 항력선박관제방안 조사연구, 海運港灣廳, 1983.
- 3) 原 潔: 港間交通量分布를推定する方法, 日本航海學會論文集, 第52號, 1974.
- 4) 李哲榮·文成赫·崔宗和·朴洋基: 韓國沿岸의 海上交通流分析(Ⅰ), 航海, 第18號, 1986.
- 5) 平野·榊·萩野·嶋田: 狹水道間交通係數, 日本航海學會論文集, 第48號, 1972.
- 6) 藤井彌平·卷島 勉·原 潔: 海上交通工學, 海文堂, 1981.
- 7) R. B. Potts·R. M. Oliver: Flows in Transportation Networks, Academic Press, 1972.
- 8) P. O'sullivan·G. D. Holtzclaw·G. Barber: Transport Network Planning, Croom Helm, 1979.