

## 유체역학 이론에 근거한 조난물체의 위치 추정 모델

강 신 영\*

A Prediction Model of Distressed Craft Drift Using Fluid Dynamics Analysis

*S. Y. Kang*

**Key Words** : 수색 및 구조(Search and Rescue, SAR), 표류(Drift), 수치모델(Numerical Model), 표류 실험(Leeway Experiment)

### Abstract

In this study a drift prediction model based on fluid dynamics theory is introduced. The essential effects of environmental loads and target characteristics are taken into account from a fluid dynamics point of view. The governing equations of motion are derived from Newton's law of dynamics. In the mathematical formulation only three degrees of freedom(surge, sway, yaw) of the drifting object are assumed and the environmental loads considered are the forces and moments by wind and current. A computer algorithm for this model is implemented to obtain the numerical result in the time domain. The preliminary tests for model verification are conducted and the results are compared with the field experiment data as well as leeway formula suggested from the field test data.

+ 본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 지능형통합항만관리연구센터의 지원에 의한 것입니다.

\* 정희원, 한국해양대학교 해양관리기술대학원 교수

## 1. 서론

해양의 표면은 바람, 해류, 파도 등의 영향을 받아 항상 출렁이며 움직이고 있다. 이러한 복잡한 환경 속에서 해난사고로 선박이나 구명정 또는 사람 등이 표류하게 되는 경우 그 위치를 정확하게 추정하는 것은 매우 어렵다. 특히 해난사고의 발생은 대개 폭풍이라는 자연적인 요인과 불가분의 밀접한 관계가 있고, 또한 조난물체가 여러 환경요인의 영향을 받아 침수, 변형되기도 하기 때문에 더욱 그러하다.

수색 및 구조 작업에서 가장 중요한 것은 조난물의 위치를 신속하고 정확히 추정하는 것이다. 현재 각국에서 활용중인 추정 방식들은 포장은 약간씩 다르게 하고 있지만 내부의 핵심적인 부분은 현장실험 결과들을 토대로 한 표류 공식의 사용이다. 즉 사고 발생지점으로부터 시간이 지남에 따라 점점 멀어지는 조난물체의 위치를 추정하기 위해 각 방식마다 약간은 다르지만, 대개는 어떤 추정점에서부터 시작하여 해류의 영향은 100%로 가정하고, 풍속을 표류 공식에 대입하여 표류지점을 계산한 후, 수색구역의 범위가 시간이 경과할수록 점점 넓어지는 형태로 결정해 준다. 이 방식은 계산과정이 간단하여 매우 짧은 시간에 수색구역을 결정할 수 있으나 이들 추정 방식은 오차가 매우 큰 것으로 보고되고 있다. 최근 본 연구자에 의해 지금까지 각국에서 행하여진 실험 방법들을 분류하고 그 결과를 형태별로 분석하여, 주어진 여건에서 표류지점에 대한 오차를 최대한으로 줄일 수 있는 방안이 제시된 바 있다(강, 2000).

이들 방법과는 달리 본 연구에서는 표류지점을 예측하는데 뉴턴의 운동 역학과 유체역학적인 이론에 근거하여 방정식을 유도하고 수치해석적인 방법으로 방정식의 해법을 구하였다. 해양공학 분야에서 본 연구와 비슷한 접근 방식은 통과하는 선박에 의해 발생하는 유체력 계산(Remery, 1974), 계류 시스템 설계(Owens and Linfoot, 1976; Molin and Bureau, 1980; Wichers, 1978), 손상 선박의 침로 안정성에 관한 연구(손 등, 2000) 등에 적용된 바 있고 빙산의 표류 문제(Mountain, 1980)에도 시도된 바

있다. Hoof(1986)는 해양구조물의 거동 해석에 적용되는 다양한 수학적인 모델들에 대해 그의 논문에서 소개하였다.

해상환경에 의한 외력으로 바람, 해류, 파도에 의한 유체력을 들 수 있는데, 본 연구에서는 파도에 의한 표류력은 작다고 가정하여 바람과 해류에 의한 유체력만을 고려하였다. 유체력 산정을 위해 구, 실린더, 직육면체, 평판 등의 다양한 물체에 대한 항력 계수들이 참조되었고(Hoerner, 1965; Blevins, 1984), Houghton and Carruthers(1976)와 Simiu and Scalan(1978) 등의 풍력 분석도 참조되었다. 한편 비정상유동의 관성력 계산에 사용되는 부가질량 계수는 Sarpkaya and Isaacson(1981)과 Kennard(1967)의 출판물 등에서 인용되었다.

본 연구에서는 표류물체의 surge, sway, yaw 3자유도 운동만 고려하였는데 제외된 나머지 3자유도의 운동과 파도에 의한 영향은 추후 보완되어야 할 과제로 남아있다.

## 2. 적용방정식 및 모델링

### 2.1. 적용방정식

본 연구에서는 문제를 단순화시키기 위하여 표류물체의 운동을 3자유도(surge, sway, yaw)의 평면 운동으로 제한하였다. Roll, pitch, heave 운동은 선박설계나 선박전복 등과 관련된 연구 분야(손 등, 2000)에서 중요하지만 표류 문제에서의 이들 운동으로 인한 위치 변화는 다른 운동에 비해 작으므로 본 연구에서는 이들 3자유도 운동을 제외시켰다. 더구나 이들의 운동을 고려한 유체력 계산은 상당히 복잡하고 계산시간이 많이 필요하므로 신속한 위치 추정이 요구되는 수색구조 작업에 활용될 본 모델의 단순화 작업은 필수적이고 실질적이라 할 수 있다.

Fig. 1에 표류물체의 운동을 묘사하기 위한 좌표계가 도시되어 있다. 운동좌표계의 원점은 표류물체의 무게중심에 일치시키고, x축은 선수 방향, y축은 좌현 방향으로 하였다. 그리고 물체의 위치와 해상

환경조건들은 고정좌표계로 표현되는데, X축이 동쪽, Y축이 북쪽이 된다. 두 좌표계에서 각도를 표시할 때는 X(또는 x)축을 시작으로 반시계 방향이 양(+)의 값이 되도록 하였다.

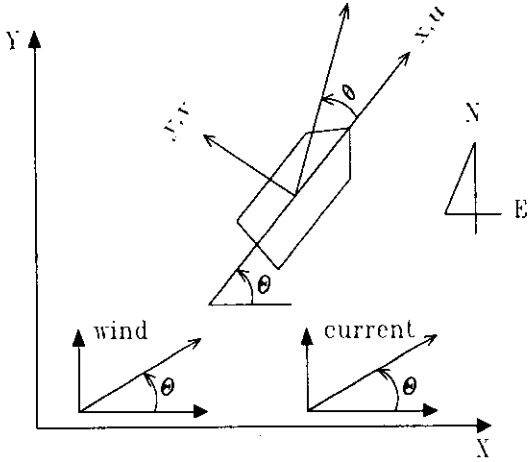


Fig. 1 The coordinate systems.

이들 좌표계를 사용하여 표류물체의 운동방정식을 표현하면 다음과 같다.

$$\text{surge: } (M + m_x) \frac{du}{dt} - (M + m_y) v \theta' = F_x$$

$$\text{sway: } (M + m_y) \frac{dv}{dt} + (M + m_x) u \theta' = F_y$$

$$\text{yaw: } (I_{zz} + J_{zz}) \frac{d\theta}{dt} = M_z$$

$$\frac{dX}{dt} = u \cos \theta - v \sin \theta$$

$$\frac{dY}{dt} = u \sin \theta + v \cos \theta$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \theta'$$

여기서  $M$  은 표류물체의 질량 그리고  $m_x, m_y$  는 각각  $x$ 와  $y$ 축 방향의 부가질량,  $I_{zz}$ 와  $J_{zz}$ 는 관성모멘트와 부가관성모멘트,  $u$ 와  $v$ 는 각각  $x$ 와  $y$ 방향의 속도, 그리고  $\theta'$ 는 회두각속도이다.  $F_x, F_y, M_z$ 는 바람과 해류에 의한 각 방향의 외력성

분을 선형적으로 합성한 것이다.

## 2.2. 표류물체의 단순화

표류물체의 질량  $M$ 과 관성모멘트  $I_{zz}$ 는 수면상의 길이( $L$ ), 폭( $B$ ) 그리고 평균흘수( $T$ )를 사용하여  $M = \rho_w C_B LBT$ ,  $C_B$ 의 식으로부터 계산하였다. 여기서와  $C_1$ 는 각각 block coefficient와 관성모멘트 계수이다. 그리고 선체의 높이  $H$ 는 갑판과 용골 사이의 수직거리로 표현하였고 선체와 수중에 잠긴 부분들은 모두 직육면체로 가정하였다. 또한 상부구조물의 모양은 매우 복잡하고 다양하지만 한 개의 직육면체로 단순화시켰다. 이를 위해  $x$ 와  $y$ 방향의 투영면적  $A_{sx}$ 와  $A_{sy}$ , 그리고 최대 높이  $h_m$ , 최대 폭  $b_m$ , 최대 길이  $l_m$ 를 사용하여 수정된 높이  $h$ 를 다음 식으로부터 먼저 구하고,

$$h = 0.5 [h_m + \max(\frac{A_{sy}}{l_m}, \frac{A_{sx}}{b_m})]$$

수정된 폭  $b = \frac{A_{sx}}{h}$ 와 길이  $l = \frac{A_{sy}}{h}$ 를 구하였다. 상부구조물의 위치는  $x$ 와  $y$ 방향 투영면적의 중심 위치( $e_x, e_y$ )로 표현하였다.

## 2.3. 환경 외력

본 연구의 적용방정식에 있어서 각 방향의 외력 성분  $F_x, F_y, M_z$ 는 바람과 해류에 의한 영향을 선형적으로 합성한다. 그리고 바람과 해류에 의한 힘의 계산에는 항력과 관성력에 의한 힘을 선형적으로 합성하는데, 이들 힘의 계산에는 유체역학 이론에 근거한 실험식이 활용되었다. 이 모델은 외력 산정에 필요한 각종 계수들에 대한 정확한 자료 확보가 필수적이다.

### 2.3.1. 실험식과 각종 계수들

정상 흐름에 있어서 흐름에 의해 물체에 작용하는 힘은 보통 흐름에 평행한 성분인 항력(  $F_D$  )과 흐름에 수직인 성분인 양력(  $F_L$  )으로 구분하는데, 이들은 평면상에 투사된 면적  $A$  와 항력계수  $C_D$ , 양력계수  $C_L$  을 사용하여 각각 다음의 식으로 표현한다.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V^2 C_D A$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho V^2 C_L A$$

그러면 Fig. 1의  $x$ 와  $y$ 방향의 힘  $F_x$  와  $F_y$  는 입사각  $\theta$  를 사용하여

$$F_x = F_D \cos \theta - F_L \sin \theta$$

$$F_y = F_D \sin \theta + F_L \cos \theta$$

이 되고, 직육면체의 경우 흐름 방향에 수직인 면에 투사한 면적  $A$  는  $y$ 축 상에 투사한 면적  $A_x$  와  $x$ 축 상에 투사한  $A_y$  를 이용하면

$A = A_x \cos \theta + A_y \sin \theta$  로 표현된다. 그리고  $x$ 와  $y$ 방향의 힘은 각각의 계수  $C_x = C_D \cos \theta - C_L \sin \theta$ ,

$C_y = C_D \sin \theta + C_L \cos \theta$  를 사용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_x = \frac{1}{2} \rho V^2 C_x A$$

$$F_y = \frac{1}{2} \rho V^2 C_y A$$

한편 선박과 같이 몸체가 가는 물체의 회전 모멘트는 다음의 식으로 계산될 수 있다.

$$M_z = F_y e_y L = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_y e_y L$$

본 연구에서 항력 성분을 계산하는데 사용된 공식들은 위의 표현 방식에 근거를 둔 것으로 다음의 형태로 변형된 식들이 사용되었다.

$$F_{xD} = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{fx} f(\theta) A_x$$

$$F_{yD} = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{fy} g(\theta) A_y$$

$$M_{zD} = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{mz} h(\theta) L A_y$$

여기서  $C_{fx}$ ,  $C_{fy}$ ,  $C_{mz}$ 는 물체의 형상에 의해 정해지는 상수이고,  $f(\theta)$ ,  $g(\theta)$ ,  $h(\theta)$ 는 흐름의 입사각에 따라 변하는 형상함수이다. 윗식의 타당성은 간단하게 증명될 수 있는데, 예를 들어  $x$ 방향의 외력  $F_x$  는 윗식의 형태로 만들기 위해 다음과 같이 변형하면,

$$F_x = \frac{1}{2} \rho V^2 A_x \frac{[A(\theta)C_x(\theta)]_m}{A_x} \frac{A(\theta)C_x(\theta)}{[A(\theta)C_x(\theta)]_m}$$

가 되고

$$C_{fx} = \frac{[A(\theta)C_x(\theta)]_m}{A_x}$$

$$f(\theta) = \frac{A(\theta)C_x(\theta)}{[A(\theta)C_x(\theta)]_m} \text{ 가 됨을 알 수 있다.}$$

한편 비정상 흐름으로 인한 관성력의 계산에는 다음의 식이 사용되었다. 단 관성력에 의한 회전 모멘트는 대칭으로 가정한 헤수면 아래 부분에 대해서는 적용되지 않는다.

$$F_{xi} = (M + m_x) \left[ \frac{\partial}{\partial t} (U_x) + (U_x - u) \frac{\partial}{\partial x} (U_x) \right] - m_x \frac{du}{dt}$$

$$F_{yi} = (M + m_y) \left[ \frac{\partial}{\partial t} (U_y) + (U_y - u) \frac{\partial}{\partial y} (U_y) \right] - m_y \frac{du}{dt}$$

$$M_{zi} = -F_{xi} \times d_y + F_{yi} \times d_x$$

여기서  $d_x$ ,  $d_y$  는 상부구조물의 비대칭성으로부터 환산된 거리이다.

### 2.3.1. 풍력

풍속과 풍향에 대한 자료가 주어지면 우선 물체의 운동에 의한 상대풍속 및 상대풍향을 계산한다. 이

를 위해 먼저 수면위 선체 부분과 상부구조물의 면적중심에 작용하는 절대풍속  $Q_H$ ,  $Q_S$  을 각각 계산하고, 절대풍속과 풍향 그리고 물체의 속도 벡터로부터 각각의 상대풍속  $R_H$ ,  $R_S$  및 상대풍향을 구한다. 그리고 나서 면적의 크기 정보로부터 힘을 합성하여 유효상대풍속  $q_{xr}$ ,  $q_{yr}$  을 구한다. 즉,

$$q_{xr} = \frac{B(H-T)}{A_x} R_H^2 + \frac{bh}{A_x} R_S^2$$

$$q_{yr} = \frac{L(H-T)}{A_y} R_H^2 + \frac{lh}{A_y} R_S^2$$

여기서  $A_x = B(H-T) + bh$ ,  $A_y = L(H-t) + lh$  이다. 그 다음 유효절대풍속  $q_x$ ,  $q_y$  를 다음의 관계식으로부터 구하는데,

$$(q_x \cos \theta - u)^2 + (q_x \sin \theta - v)^2 = q_{xr}^2$$

$$(q_y \cos \theta - u)^2 + (q_y \sin \theta - v)^2 = q_{yr}^2$$

이 식은 2개의 실근을 가지지만 그중 한 개가 다음의 관계식을 만족한다.

$$Q_S > q_x > Q_H, \quad Q_S > q_y > Q_H$$

그러면 이들로부터 다음과 같이 유효상대풍향을 계산할 수 있다.

$$\theta_{xr} = \tan^{-1} \left[ \frac{q_x \sin \theta - v}{q_x \cos \theta - u} \right]$$

$$\theta_{yr} = \tan^{-1} \left[ \frac{q_y \sin \theta - v}{q_y \cos \theta - u} \right]$$

풍력 계산을 위한 모든 공식에는 이 유효상대풍속 및 유효상대풍향이 사용된다.

바람에 의한 항력 계산의 경우 항력계수와 형상함수는 Owens and Palo(1982)의 제안(일반 선박의 경우  $C_{fx} = 0.6$ , 상부구조물이 작은 경우  $C_{fx} = 0.4$ , 상부구조물이 많은 경우  $C_{fx} = 0.8$ )을 참고하여 다음과 같이 계산한다.

$$C_{fx} = 0.6 + 0.2 \left[ 3 \min \left( \frac{A_{sx}}{A_x}, 0.7 \right) - 1.0 \right]$$

$$f(\theta) = \cos \phi_x$$

여기서

$$\phi_x = \left( \frac{\theta_{xr}}{\theta_{zc}} \right) \frac{\pi}{2}, \quad |\theta_{xr}| \leq \theta_{zc}$$

$$= \left[ \left( \frac{\pi/2}{\pi - \theta_{zc}} \right) (|\theta_{xr}| - \theta_{zc}) + \frac{\pi}{2} \right] \frac{\theta_{xr}}{|\theta_{xr}|}, \quad |\theta_{xr}| > \theta_{zc}$$

이고,  $\theta_{zc}$  는 zero crossing angle로 항력의 크기가 영이 되는 각도이다. Fig. 2에 형상함수의 모양이 도시되어 있다. Owens and Palo는 현장 실험자료의 분석으로부터 상부구조물의 위치가 전방에 치우쳐졌을 때는  $100^\circ$ , 중앙에 위치한 경우는  $90^\circ$ , 후방에 치우친 경우는  $80^\circ$  를 제안하였다. 그리고 y 방향의 힘과 z 방향의 모멘트의 계산에도 Owens and Palo의 제안에 따른 계수값들과 형상함수들이 사용되었다. 구멍뿔목의 경우도 같은 값을 사용하였다.

$$f(\theta) = \cos \phi_x$$

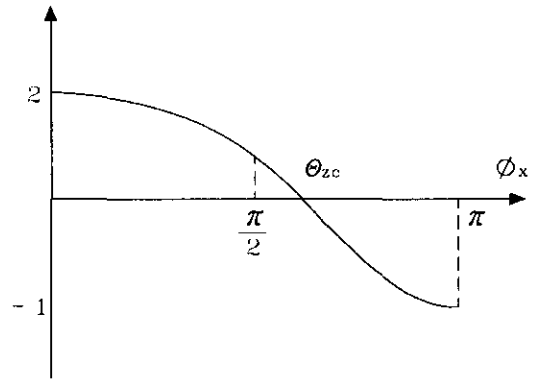


Fig. 2 Longitudinal shape function and its zero crossing angle.

### 2.3.2. 해류력

해류에 의한 힘과 모멘트도 2.3.1절의 공식들의 형태로 표현된다. 즉 해류에 의한 항력과 관성력이 고려되었는데, x 방향의 항력에는 형상항력 외에도 표

면마찰로 인한 마찰저항이 추가되었다. 형상함수  $f(\theta)$  를  $\cos^3\theta$  의 형태로 가정하고(Cox, 1982), 상대유속  $q_r$  과 상대유향  $\theta_r$  을 사용하여 항력을 표현하면 다음과 같다.

$$F_{xD} = \frac{1}{2} \rho_w q_r^2 (C_x A_x + C_f S) \cos^3 \theta_r$$

여기서  $C_x$  의 값은 선박의 경우 Palo and Owens(1982)가 제시한 값 0.1을 사용하였고, 구멍뿔목의 경우 벨러스트가 반구형인 경우는 0.4, 실린더형인 경우는 0.75를 사용하였다(Blevins, 1984). S는 물속에 잠긴 부분의 표면적으로 다음의 공식을 사용하여 대략적인 계산하였다.

$$S = 1.7 LT + LB \max(C_B, 1 - C_B)$$

그리고 마찰항력은 평판의 마찰계수를 참조하였는데(Blevins, 1984), 6개 구간의 레이놀드수로 나누어 계산하였다.

한편 y방향의 해류력에는 형상항력만 고려하였다.

$$F_{yD} = \frac{1}{2} \rho_w q_r^2 C_y A_y$$

여기서  $C_y = C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha$  이고,  $C_L$  과  $C_D$  는 Hooft(1982)의 값을 참조하여 다음의 식으로 대치하였다.

$$C_L = 0.1238 \sin(2\alpha)$$

$$C_D = -0.14634 \cos(2\alpha)$$

그리고 해류력에 의한 회전모멘트는 y방향의 해류력으로 구하였는데 다음과 같다.

$$M_{zD} = F_{yD} \cdot e_y L = \frac{1}{2} \rho_w q_r^2 A_y C_y e_y L$$

여기서 선박의 경우 Hooft(1982)의 식  $e_y = 0.33(1 - 2|\pi - \theta_r|/\pi)$ 를 사용하였고, 구멍뿔목의 경우는  $e_y = 0$  으로 하였다.

### 2.3.3. 항력계수에 대한 레이놀드수 효과

앞 절에서 사용한 항력계수들의 값은 대부분  $10^5$

이상의 높은 레이놀드수에서 얻은 자료들이다. 실험시 대개는 물체를 고정시키고 흐름을 유발시켜 항력을 측정하는데 일반적으로 낮은 레이놀드수에서의 자료들은 취득하기도 힘이 들지만 분산 정도가 매우 심하다. 유체의 흐름과 물체의 운동이 거의 같은 속도로 어울릴 수도 있는 물체의 표류에 대한 연구에서는 낮은 레이놀드수에서의 항력계수 값들이 매우 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 낮은 레이놀드수에서의 계산을 위해 다음의 공식을 고안하였다.

$$C_D = \frac{24}{R} \exp\left[\left(\frac{\ln R}{11.513}\right)^2 \left(\ln\left(\frac{C_{D\infty}}{24}\right) + 11.513\right)\right], \quad R < 10^5$$

$$= C_{D\infty}, \quad R \geq 10^5$$

여기서  $R$  은 레이놀드수이며,  $C_{D\infty}$  는 높은 레이놀드수에서의 물체의 항력계수이다. 윗식은 항력계수  $\ln(C_D)$  와 레이놀드수  $\ln(R)$  의 관계식이 다음의 세 가지 조건을 만족시키도록 하여 이차방정식의 형태로 표현한 식이다.

$$(1) C_D = C_{D\infty}, \quad R \geq 10^5$$

$$(2) \frac{d(\ln C_D)}{d(\ln R)} = 1, \quad R = 1$$

$$(3) C_D = 24, \quad R = 1$$

위의 조건들중 (2)와 (3)은 낮은 레이놀드수에서 Stoke's 해(White, 1974)를 활용한 것이다. 물론 이해는 물체의 형상이 구(sphere)인 경우에 한정된 것이지만 낮은 레이놀드수에서는 속도의 크기가 작을 것이므로 이에 대한 오차가 그렇게 큰 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

### 3. 모델 검증

개발된 모델을 검증하기 위해서는 표류물체에 대한 정확한 크기 자료와 함께 표류실험 당시 시간별로 측정된 표류물체의 위치, 풍향과 풍속, 유속과 유향 등에 대한 자료들이 필요하다. 과거 많은 실험들이 행하여졌지만(강, 1998) 대부분이 Leeway 공식

을 산출하는 것이 목적이었기 때문에 모델 검증에 활용할 수 있는 자료는 많지 않다. 따라서 모델의 검증은 1994년 본 연구자에 의해 제주도에서 실시된 실험의 자료(강과 이 1995)와 비교하는 수준에 그칠 수밖에 없었다. Fig. 3에 당시 사용된 선박의 사진이 나와 있는데 연안유자망 어선으로 무게 4.95GT, 길이 12.5m, 폭 3.5m이다.

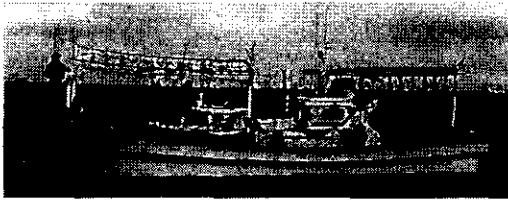


Fig. 3 Test craft used in the experiment.

Fig. 4에서 6에는 현장실험과 수치실험에 의한 표류궤적을 비교한 결과가 나와있다. 세번의 실험 모두 초기에는 서쪽으로 표류하다가 방향을 바꾸어 동쪽으로 표류하는 양상을 보여주었다.

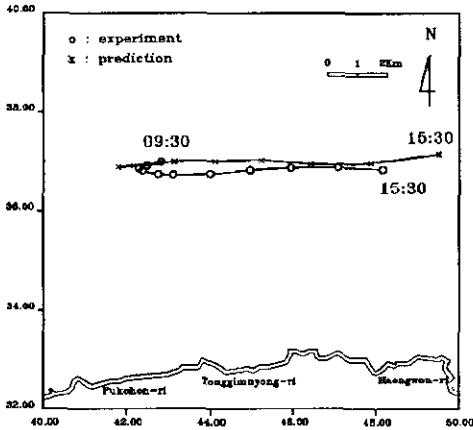


Fig. 4 Comparison of vessel trajectory (Dec. 24, 1994)

Fig. 4는 12월 24일의 결과이다. 당시 서풍이 약 5 m/s로 지속적으로 불었고, 표류류가 처음 1시간 동안은 서쪽으로 흐르다가 강도가 약해지면서 곧 해안선을 따라 동쪽으로 방향을 바꿨으며 시간이 지날수

록 점점 강하게 흘렀다. 그리고 12월 25일과 26일의 경우 표류류의 방향은 전날과 비슷하였으나 강도가 약해지는 추세였으며 바람은 북서풍이 우세하였다.

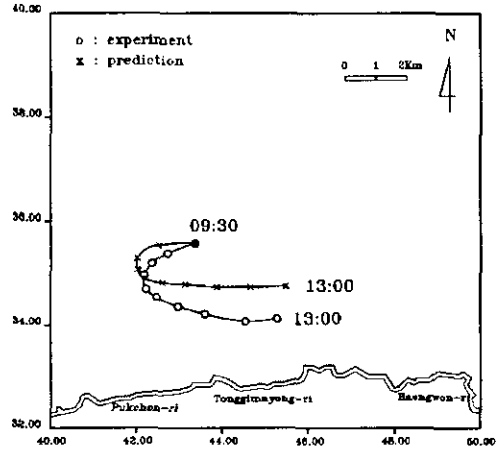


Fig. 5 Comparison of vessel trajectory (Dec. 25, 1994).

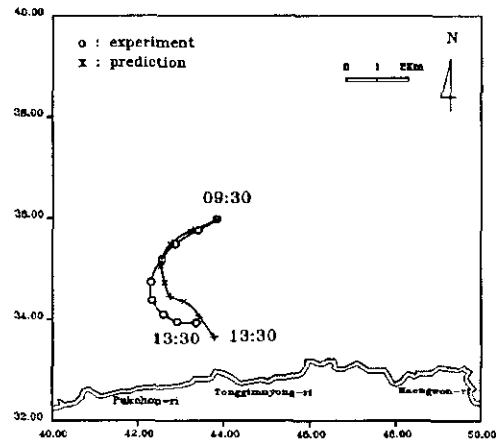


Fig. 6 Comparison of vessel trajectory (Dec. 26, 1994).

Table 1에 이들 실험 결과를 비교하였다. 표에서 오차율은 벗어난 거리를 현장실험의 총 표류거리로 나눈 값이다.

일시	표류 시간	총 표류거리(m)		벗어난 거리(m)	오차율 (%)
		현장실험	수치실험		
24일	6시간	8,824	10,886	1,219	13.8
25일	4.5시간	6,456	6,782	1,244	19.3
26일	4시간	5,244	5,177	819	15.6

Table 1 Comparison of the results between numerical and field experiments.

이와는 별도로 본 모델과 현재 수색구조 작업에 사용되고 있는 위치 결정 방법과 비교하기 위해 해류만 존재할 때와 바람만 불고 있을 때를 가정하여 수치실험을 해 보았다. 그 결과 실험에 사용된 선박의 경우 해류는 거의 100 % 가까이 영향을 미치는 것을 알 수 있었고, 바람에 의한 표류속력(leeway rate)은 풍속의 약 3.2 % 정도로 계산되었다. 1994년 당시 현장실험 자료들로부터 산출된 leeway 공식은  $U = 0.0266 U + 0.049$ 이고 leeway rate는 3.64 %이었는데, 이들과 비교할 때 매우 타당한 결과를 얻었다고 할 수 있다.

#### 4. 결론

수색구조 작업에서 표류지점을 예측하는데 기존의 현장실험 결과에 의존하는 방법들과는 달리 뉴턴의 운동 역학과 유체역학적인 이론에 근거한 모델을 개발하였다. 문제를 단순화시키기 위하여 표류물체의 운동을 3자유도(surge, sway, yaw)의 평면운동으로 제한하여 방정식을 유도하고, 수치해석적인 방법으로 방정식의 해법을 구하였다. 이 과정에서 유체력 계산에 필요한 각종 계수들은 기존에 발표된 값들을 활용하였다.

모델의 검정을 위해서 5톤 정도의 소형 선박에 대한 실험자료와 수치실험 결과를 비교하였다. 실험횟수 및 표류시간이 짧아 포괄적인 검증을 할 수 없었으나 표류궤적에 대한 비교로부터 판단할 때 전체적인 추세는 비슷하다고 할 수 있어 개발된 모델을 잘 수정·보완을 하면 앞으로 현장에서 활용할 수 있을

것이라는 확신을 할 수 있었다.

향후 현재의 모델을 개선하기 위해서는 몇 가지 보완이 필요하다. 가장 시급한 것은 유체력을 계산할 때 사용되고 있는 항력계수와 형상함수에 대한 정확한 값들인데, 이는 풍동실험이나 회류수조 실험으로 가능하지만 현장 실험 자료만 많이 확보가 되면 수치실험을 통하여 거꾸로 그 값들을 결정할 수도 있다. 그 다음이 파도에 대한 영향을 보완하는 것으로 2차원 운동으로 가정하여 표류력만 고려하는 방법과 물체의 3차원 운동을 고려하여 운동방정식 전체를 수정하는 방법 등을 생각할 수 있다.

본 모델의 개발은 표류물의 형상 및 해상환경 변화에 대한 표류특성 분석을 쉽게 할 수 있는 가능성을 보여 주었다. 물론 앞으로 많은 검증 단계를 통해 모델에 대한 수정·보완이 필요하겠지만 일단은 해난사고 발생시 조난 물체의 표류지점을 예측할 수 있는 또 하나의 도구를 가지게 되었다고 할 수 있다.

#### 참고문헌

- 1) 강신영, "조난물체의 표류지점 추정 모델", 해양환경·안전학회지 6권 1호, 2000.
- 2) Remery, G.F.M., "Mooring forces induced by passing ships", OTC paper No. 2066, 1974.
- 3) Owens, D.G. and Linfoot, B.T., "The development of Mathematical Models of SPM installations", OTC paper No. 2490, 1976.
- 4) Molin, B. and Berau, G., "A simulation model for the dynamic behavior of tankers moored to SPM's", International Symposium on Ocean Engineering and Ship Handling, SSPA, Gothenburg, Sweden, 1980.
- 5) Withers, J.E.W., "On the slow motions of tankers moored to SPM systems", Journal of Petroleum Technology, 1978.
- 6) 손경호, 김용기, 이상갑, 최경식, "풍압하에서 피예항중인 손상 선박의 침로안정성에 관한 연구", 대한조선학회 논문집 37권 2호, p46-56,



- 2000.
- 7) Mountain, D.G., "On predicting iceberg drift", Cold Region Science and Technology, 1980.
  - 8) Hooft, J.P., "Computer simulation of the behavior of maritime structures", Marine Technology, Vol. 23, 1986.
  - 9) Hoerner, S.F., "Fluid-Dynamics Drag", 1965.
  - 10) Blevins, R.D., "Applied Fluid Dynamics Handbook", Van Nostrand Reinhold Co., 1984.
  - 11) Houghton, E.L. and Carruthers, N.B., "Wind Forces on Buildings and Structures", John Wiley & Sons, 1976.
  - 12) Simiu, E. and Scanlan, K.H., "Wind Effects on Structures", John Wiley & Sons, 1978.
  - 13) Sarpakaya, T. and Isaacson, M., "Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures", Van Nostrand Reinhold Co., 1981.
  - 14) Kennard, E.H., "Irrotational flows of frictionless fluids, mostly of invariable density", David Taylor Model Basin Report No. 2299, 1967.
  - 15) Owens, R. and Palo, P.A., "Wind-induced steady loads on ships", Technical note No. N-1628, Naval Civil Engineering Laboratory, 1982.
  - 16) Cox, J.V., "STARMOOR-A single point mooring static analysis program", Technical note No. N-1634, Naval Civil Engineering Laboratory, 1982.
  - 17) Palo, P. and Owens, R., "An assessment of state of the art methods for calculating current loads on moored ships", Technical note, Naval Civil Engineering Laboratory, 1982.
  - 18) Hooft, J.P., "Advanced Dynamics of Marine Structures", John Wiley & Sons, 1982.
  - 19) White, F.M., "Viscous Fluid Flow", McGraw-Hill Book Co., 1974.
  - 20) 강신영, "수색구조 작업에 사용되는 표류지점 추정 공식 분석", 한국항만학회지 12권 2호, 1998.
  - 21) 강신영, 이 준, "소형선박의 표류특성 추정을 위한 현장실험", 해양안전학회지 1권 1호, 1995.