

# 부산항 연안해역에서의 소형선박 표류 거동특성 관측 및 분석

강 신 영\* · 이 문 진\*\*

\*한국해양대학교 해양관리기술대학원, \*\*한국해양연구원 해양시스템안전연구소

## Field Experiments and Analysis of Drift Characteristics of Small Vessels in the Coastal Region off Busan Port

Sin-Young Kang\* · Mun-Jin Lee\*\*

\*Graduate School of Maritime Management & Technology, Korea Maritime University, Busan, Korea

\*\*Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, KORDI, Daejeon, Korea

**요 약** : 표류지점 추정 모델의 환경 입력자료를 확보하기 위해 부산항 연근해에서 표류실험을 실시하였다. 실험에는 크기가 다른 4척의 선박(10, 20, 50, 90톤급)이 사용되었다. 그중 50톤급 선박에는 해류, 바람, 위치를 자동적으로 기록하는 계기들을 장착하였고, 나머지 선박들에서는 부산각 추정 연구를 위해 위치자료만 기록하였다. 각 선박들의 위치는 DGPS와 자동위치발신기(APRS)를 사용하여 기록하였다. 실험은 풍속 2~10m/s, 유속 0.5~1.5m/s의 환경에서 행하여졌으며, leeway는 선박 표류속도에서 표층의 유속성분을 제거하여 구하였다. 50톤급 선박의 leeway rate는 풍속의 약 3.6%인 것으로 분석되었으며, leeway 방정식은  $U_L = 0.042W - 0.034$ 로 표현되었고 leeway angle은  $-30^\circ \sim 40^\circ$ 의 범위였다.

**핵심용어** : 표류실험, Leeway, 수색 구조, DGPS, APRS, 소형 선박

**Abstract** : To provide reliable data for drift prediction models, field experiments were carried out in the coastal region off Busan port. Four different size of vessels(10, 30, 50, 90G/T ton) were deployed for the experiment. Among them G/T 50ton class vessel was equipped with instruments measuring the currents, winds, headings and trajectory data. In the rest of vessels only the position data were recorded for the purpose of target divergence study. The trajectories of each vessel were measured by DGPS(Differential Global Positioning System) and collected by APRS(Automatic Position Reporting System). The experiment was done in wind of 2~10m/s and current of 0.5~1.5m/s. The leeway was derived by subtracting surface current velocity from target drifting velocity. The leeway rate of G/T 50ton vessel was found to be about 3.6% and the computed leeway speed equation was  $U_L = 0.042 W - 0.034$ . The processed leeway angle data were deflected by  $-30^\circ \sim 40^\circ$  from the direction of ship drift.

**Key words** : Drift experiment, Leeway, Search and Rescue, DGPS, APRS, Small Vessels

## 1. 서 언

조난선박은 바람이나, 파도, 조류, 해류 등의 환경 외력에 의한 영향에 의해 표류한다. 그러므로 조난선박의 신속한 수색 및 구난(search and rescue)을 위해서는 환경 외력에 대한 선박의 표류거동을 정확하게 파악하는 것이 필수적으로 요구된다. 표류선박의 거동분석에 도출된 결과는 표류선박 위치 추정을 위한 수치모델 개발에 활용될 수 있으며, 보다 정확한 결과를 제시하기 위한 검증자료로 활용될 수 있다.

선박의 표류지점 추정을 위한 연구는 미국과 캐나다 연안경비대에서 주로 수행되고 있다[1]. 그들은 주변해역에서 다양한 형태의 표류물체에 대해 표류실험을 수행하고 이 결과를 정리하여 표류지점 추정 이론 및 모델 개발에 활용하고 있으며, 실제 사고 현장의 실무 지침서로 활용하고 있다[2,3]. 국내에서도

미국과 캐나다의 연구를 활용하여 표류지점 추정모델을 수립한 예가 보고되고 있는데, 이 등[4]의 표류선박 추적모델과 강[5]의 모델이 그것이다. 그러나 국내의 연구에서는 표류위치 추정 모델링에 필수적으로 요구되는 실험해역에서의 선박 표류거동 특성에 관한 자료가 미흡하여 미국이나 캐나다에서 분석한 결과들을 그대로 도입하여 적용하고 있다. 실험해역에서 선박의 거동 특성은 해역특성이나 선박의 특성에 따라 크게 달라질 수 있으므로, 이에 대한 자료는 대상으로 하는 해역에서 대상선박을 선정하여 정립하여야 한다.

본 연구에서는 표류 선박의 위치를 실시간으로 예측하기 위한 시스템 구축의 기초연구로서 부산항 부근 해상에서 선박 표류 거동을 관측하였다. 그리고 실험의 결과로부터 풍속에 대한 선박 표류속도 변동을 다양한 방식으로 분석하여 현재 활용되고 있는 여러 형태의 표류지점 추정 모델에 활용될 수 있도록 실험자료를 정리하였다.

\* 종신회원, sykang@kmaritime.ac.kr, 051)410-4323

\*\* 비회원, mjlee@kriso.re.kr, 042)868-7300

## 2. 표류선박 거동 관측

### 2.1 실험개요

본 연구의 관측은 2001년 5월 8일부터 5월 10일까지 3일 동안 수행되었다. 실험에서는 1시간~5.2시간씩 총 5회의 표류실험을 수행하였다. 실험에 사용된 선박은 Fig. 1에 제시한 G/T 10톤급 선박, 30톤급 선박, 50톤급 선박, 90톤급 선박의 4종류이다. 본 연구에서는 표류 선박의 위치를 동시에 측정하기 위하여 DGPS와 VHF 무전기를 이용한 자동위치발신기(APRS)를 자체 제작하여 활용하였다. 표류 대상선박 중 G/T 50톤급 선박에서는(그림에서 좌측 하단) 위치 측정과 동시에 표류 경로상의 해수유동, 바람, 선수각(Heading angle) 등도 함께 측정하였다. 또한 해수유동은 수층별 유속과 수면하 70cm에서의 유속을 동시에 측정하였다. 본 실험의 모든 관측에서 시간간격은 1분으로 동일하게 적용하였다.

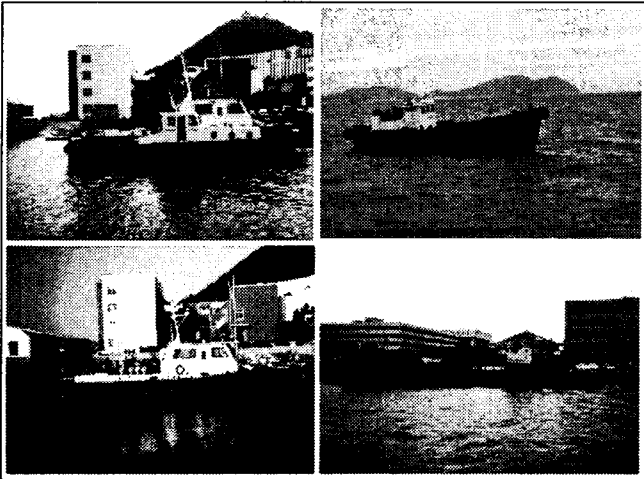


Fig. 1 Drift vessels used in tracking experiments of May 8-10, 2001

Table 1 Summary of drift experiments

Date of experiment (Moon's age)	Durations of each experiment	Tide levels of Busan Harbor
May 8, 2001 (16.7)	13:15~14:54 (1.7 hr) 15:46~16:46 (1 hr)	119cm at 08:50 -2cm at 14:37 128cm at 21:12
May 9, 2001 (17.7)	10:58~13:08 (2.2 hr) 13:29~15:03 (1.6 hr)	116cm at 09:25 1cm at 15:11 125cm at 21:46
May 10, 2001 (18.7)	10:40~15:49 (5.2 hr)	111cm at 09:59 8cm at 15:44 119cm at 22:20

### 2.2 관측장비

선박 표류 위치 측정을 위한 자동위치발신기는 GPS와 VHF 무전기를 조합하여 제작·사용하였다. GPS는 미국 Garmin사의 제품으로 DGPS 정보수신기(Beacon Receiver)와 연결하면 DGPS로 활용할 수 있다. 본 연구에서는 DGPS를 구성하여 사용하였으며, DGPS 정보는 해양수산부의 영도 기지국(주파수: 300, 전송속도: 200)에서 제공하는 정보를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 DGPS의 정도는  $\pm 1m$  이다[6]. 한편 VHF 무전기는 일본 Kenwood사 제품이며, TNC(Terminal Node Controller)를 내장하고 있어 무선 데이터 통신이 가능하다. 선박의 표류 경로 상 해수유동은 도플러(doppler)식 유속계 ADP(Acoustic Doppler Profiler, 미국 SonTek사 제품)와 DCS(Doppler Current Sensor, 노르웨이 Aanderaa사 제품)를 사용하여 관측하였다. ADP는 연속적으로 수심 250m까지 최대 100개 층의 유속을 동시에 측정할 수 있으며, 10Mb의 내부 메모리를 가지고 있어 10분 간격으로 약 1개월 동안 연속 측정이 가능한 유속계이다[7]. DCS는 특정 수심의 유속을 실시간으로 간편하게 측정할 수 있는 장비이다. 본 실험에서 사용된 유속계는 각각  $\pm 0.5cm/sec$ 의 정도를 가지며,  $\pm 1^\circ \sim 2^\circ$ 의 흔들림은 자동 보정한다. 그리고 본 실험에서 바람 및 선박의 선수각은 풍향풍속계(R. M. Young anemometer)와 항해용 나침반을 이용하여 각각 측정하였다.

### 2.3 표류실험

3일 동안의 실험중 첫째 날인 5월 8일의 표류실험은 ① 13:15~14:54, ② 15:46~16:46의 2회에 걸쳐 수행하였다. 5월 8일의 1차 실험인 13:15부터 14:54까지 약 1시간 40분 동안 대상 선박의 표류 경로는 Fig. 2와 같다. 그리고 그림에 제시한 바와 같이 조사기간 동안 바람은 8~10m/sec 정도의 세기를 보였으며, 해수유동의 유속은 약 80cm/sec 정도의 크기를 보였다.

5월 8일의 2차 실험은 15:46~16:46의 약 1시간 동안 수행되었으며, 선박의 표류경로는 1차 실험과 유사하였다. 관측기간 동안 바람은 약 5~8m/sec 정도로 북동풍이었으며, 해수유동은 서향으로 약 1m/sec 정도의 세기를 보였다. 선박의 표류는 남서향으로 진행하였으며, 약 75cm/sec 정도의 세기를 보였다.

실험 둘째 날인 5월 9일의 1차 실험은 10:58~13:08의 약 2시간 10분 동안 수행되었으며, 선박의 표류경로는 Fig. 3과 같다. 관측기간 동안 바람은 약 8~10m/sec 정도로 남서풍이었으며, 해수유동은 북동향으로 약 1.2m/sec 정도의 세기를 보였다. 선박의 표류는 북동향으로 진행되었으며, 약 1.5m/sec 정도의 세기를 보였다.

5월 9일의 2차 실험은 13:29~15:03의 약 1시간 34분 동안 수행되었다. 관측기간 동안 선박의 표류경로는 1차 실험과 비슷하였다. 관측기간 동안 바람은 남서풍이 우세하였으며, 약 8~10m/sec 정도의 세기를 보였다. 바람과 해수유동이 비교적 유사한방향으로 작용한 영향으로 선박의 표류속도는 다소 빠르게 나타났으며, 표류는 북동향으로 진행하였다

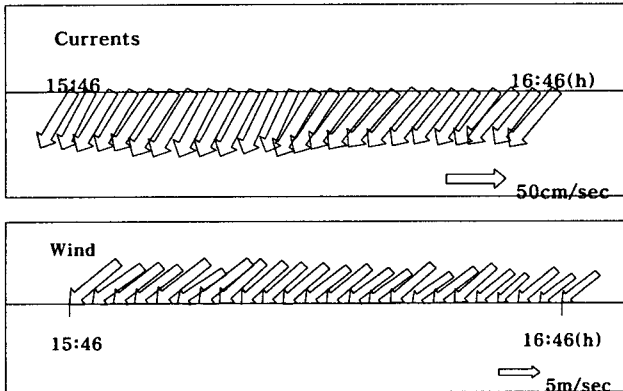
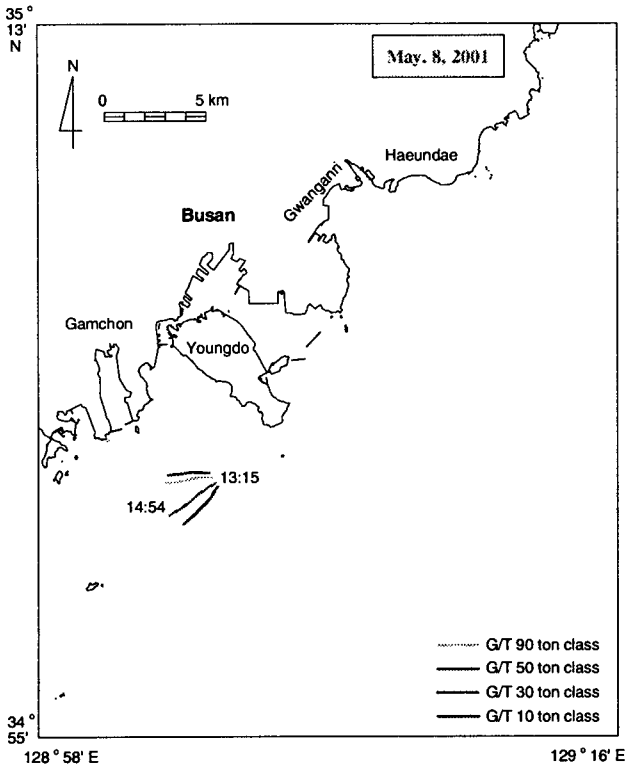


Fig. 2 Trajectories of drifting vessels and environmental conditions of May 8, 2001(1st run)

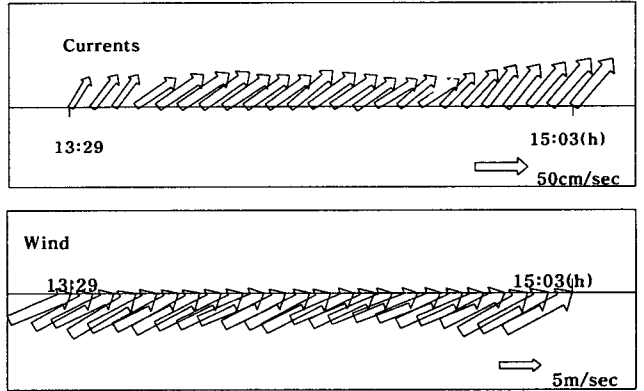
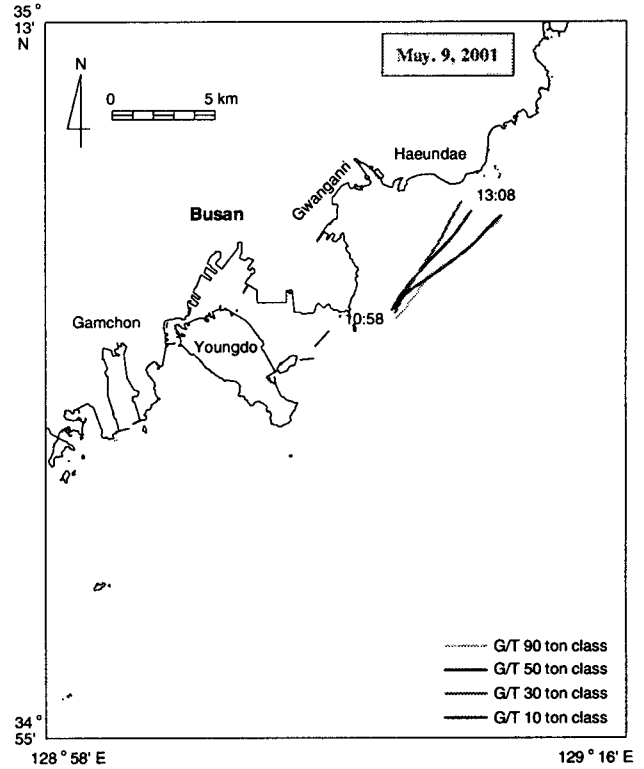


Fig. 3 Trajectories of drifting vessels and environmental conditions of May 9, 2001(1st run)

마지막 날인 5월 10일 실험은 10:40~15:49의 약 5시간 9분 동안 수행되었다. 실험기간 동안 선박의 표류경로 및 표류기간 중 바람 및 해수유동의 변동은 Fig. 4와 같다. 관측기간 중 바람은 북서풍에서 남서풍으로 변동하였으며, 해수유동은 동향류에서 북동향류로 변동하였다. 풍향과 해수유동의 방향이 다소 차이를 보인 실험초기에 선박의 표류는 동향으로 다소 미약하게 나타났으나, 풍향과 유향이 거의 유사하게 나타난 후반부에는 표류속도가 비교적 크게 나타났다.

### 3. 실험자료 분석

#### 3.1 표류특성 표현 방식

표류실험 결과를 표현하는 방식은 (1) 풍속에 대한 표류속도

의 비율(leeway rate), (2) leeway speed와 leeway angle, (3) 표류방향에 대한 직선방향 성분(downwind component)과 수직방향(crosswind component) 성분으로 표시하는 방식 이 세 가지 형태로 분류할 수 있다(Fig. 5). 이들을 계산할 때 흐름이 표류물체에 미치는 영향은 100%라고 가정한다.

1970년대 이전에는 실험결과를 간단하게 풍속의 몇 %라고 leeway rate로 정리하였지만[8], 차츰 leeway speed는 최소자승법을 사용하여 10미터 높이 풍속에 대한 직선 방정식의 형태로, 그리고 leeway angle은 평균값으로 표현하는 것이 일반화되었다. Leeway angle은 표류물체의 이동방향에 바람이 불어가는 방향(downwind direction)을 빼면 계산된다. 여기서 leeway angle 값이 양이면 바람이 불어 가는 방향의 오른쪽으로 표류하는 것이고, 음의 값인 경우는 왼쪽으로 표류한다는 의미이다.

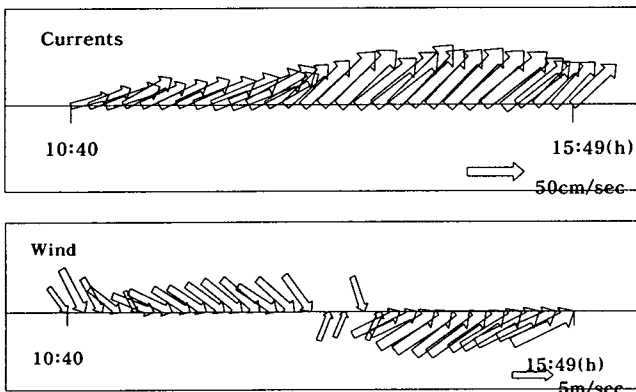
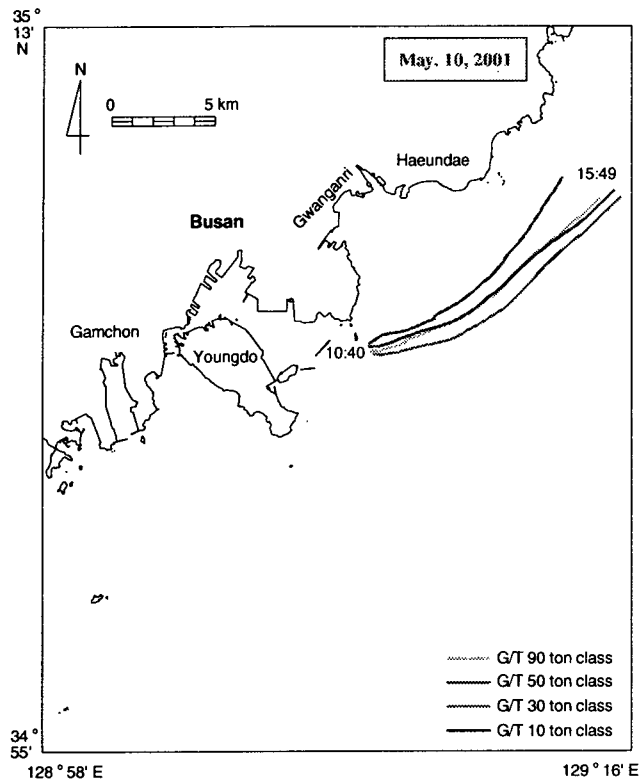
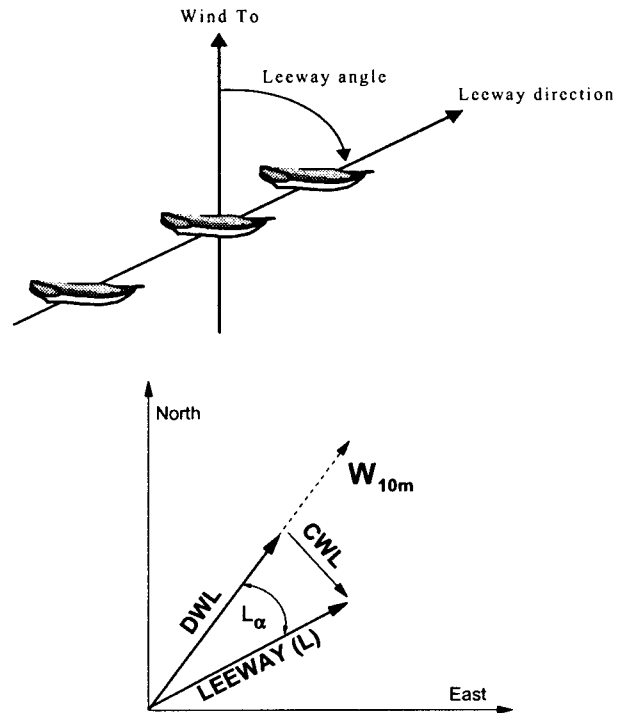


Fig. 4 Trajectories of drifting vessels and environmental conditions of May 10, 2001

그러나 최근에 와서는 leeway 방향의 접선방향 성분과 수직 방향 성분으로 표현하는 세 번째 방식이 제시되고 있고 이 표현 방식을 사용하는 모델[10]도 개발되었다. Leeway speed의 경우 두 번째 방식으로 계산한 leeway speed는 항상 양의 값을 가진다. 즉 수면상 노출된 부분에 작용하는 바람의 영향으로 인하여 물체가 이동한 속도의 크기이다. 그러나 세 번째 방식과 같이 바람의 방향과 평행한 성분과 수직인 성분으로 구분하여 계산하면 leeway speed 값이 음의 값이나 영이 되는 경우도 발생한다.

참고로 첫번째의 leeway rate는 현재 IMO 및 미국의 National SAR manual에서 채택하고 있으며, 미연안경비대의 CASP (Computer Aided Search Planning) 모델은 두 번째 방식을 활용하고 있고 AP98 모델은 세 번째 방식을 사용한다[5]. 본 논문의 결과들은 이 세가지 방식에 모두 활용될 수 있을 것이다.



$W_{10m}$  = Wind velocity adjusted to 10m height

$L$  = Leeway vector

$L_a$  = Leeway angle

$$\frac{|L|}{|W_{10m}|} = \text{Leeway Rate}$$

DWL = Downwind Leeway Component

CWL = Crosswind Leeway Component

Fig. 5 Relationship between the leeway speed & angle and the downwind & crosswind components of leeway

### 3.2 선박 표류 특성

실험에서 측정된 유속과 풍속은 선박에서 측정된 상대값이다. 따라서 이들 자료는 선박의 위치 자료로부터 계산된 선박 표류속도와 벡터합성하여 절대값으로 환산하였다. 분석에는 총 5회의 실험에서 측정된 매 1분간격의 선박 표류속도 자료 총 520개를 사용하였으며, 이와 동일시간에 측정된 바람 및 해수 유동 자료를 사용하였다.

물체의 표류와 관련된 실험에서는 바람의 경우 수면위 10미터 높이, 그리고 해류의 경우는 수면에서 0.3~1.0미터 깊이의 자료를 사용하기로 제안된 바 있다[9]. 따라서 본 연구에서 풍속은 해수면위 약 5미터 지점에서 측정하였기 때문에 자료 처리시 다음의 식을 사용하여 10미터 높이에서의 풍속으로 환산하였다.

$$V_z = V_{10} \left( \frac{z}{10} \right)^{\frac{1}{7}}$$

여기서  $V_z$  는 높이  $Z$  미터에서의 풍속

$V_{10}$  은 10미터 높이에서의 풍속

Fig. 6에는 풍속과 leeway rate에 관한 상관관계, Fig. 7과 8에는 각각 leeway speed와 leeway angle, 그리고 Fig. 9와 10에는 downwind와 crosswind leeway component에 대한 자료가 도시되어 있다. 각 그림의 자료들은 통계치를 사용하여 표로 정리하였다. 표에서 계수 a와 b는 leeway speed를 직선의 방정식  $U_L = a \cdot W + b$ 로 표현하기 위해 최소자승법으로 구한 값이고,  $r^2$ 은 결정계수(coefficient of determination) 그리고  $S_{y/x}$ 는 추정치에 대한 표준오차(standard error of estimate)이다.

분석 결과에 의하면 바람에 의한 표류는 풍속의 약 3.6% 정도인 것으로 나타났고(Fig. 6), 이를 Leeway 방정식으로 표현하면  $U_L = 0.042 W - 0.034$ 로 정리되었다(Fig. 7). 한편 선박의 표류방향은 풍향에 대해  $-30^\circ \sim 40^\circ$ 의 범위에서 편향되어(Fig. 8) 약  $5^\circ$  정도 "+"쪽으로 치우치는 것으로 나타났는데, 이는 선박이 풍향의 오른쪽으로 표류하는 경향이 있음을 나타낸다. 또한 AP98 모델에서 풍향과 평행한 방향의 방정식은  $U_L = 0.024 W - 0.007$ 로 표현되고, 추정점들의 분산 정도를 나타내는 표준오차  $S_{y/x}$ 는 약 9cm/s 인 것으로 정리되었다.

그리고 본 실험에서 표류 특성중 분산각 추정 연구를 위해 50톤 선박 외에 크기와 형태가 다른 선박들을 동일지점에서 출발시켜 실험을 하였으나 자료가 충분치 않아 이에 대한 분석은 시도하지 않았다. 또한 바람 및 해수유동에 대한 선박의 선수각은 유향 및 풍향에 대체적으로 직교하는 것으로 나타났는데 jiving에 대한 민감도 등에 대한 분석도 본 연구에서 다루지 않았다.

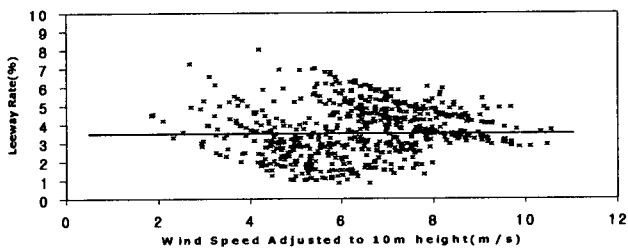


Fig. 6 Leeway rate vs. wind speed

Table 2 Summary of the leeway rate vs. wind data

Target type	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum
G/T 50t	3.6593	1.3408	0.8426	8.0143

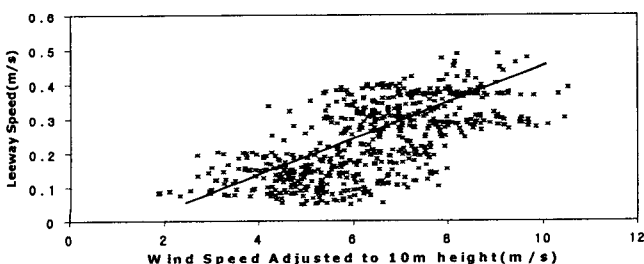


Fig. 7 Leeway speed vs. wind speed

Table 2 Summary of the leeway speed vs. wind data

Target type	a (slope)	b (y-intercept)	$r^2$	$S_{y/x}$
G/T 50t	0.04229	-0.03426	0.41255	0.08108

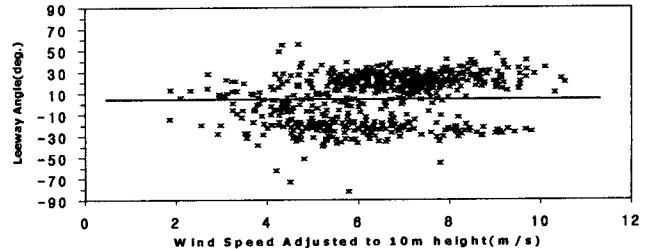


Fig. 8 Leeway angle vs. wind speed

Table 3 Summary of the leeway angle vs. wind data

Target type	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum
G/T 50t	5.5995	22.2792	-82.0165	55.7356

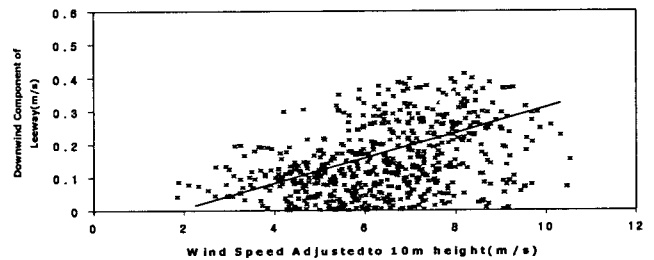


Fig. 9 Downwind leeway component vs. wind speed

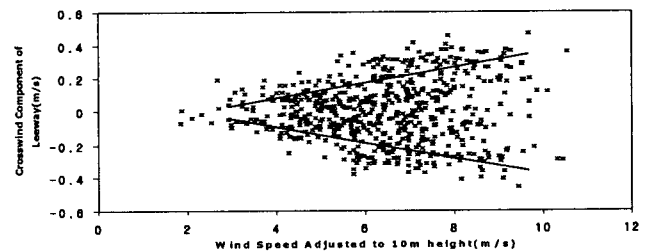


Fig. 10 Crosswind leeway component vs. wind speed

Table 4 Summary of the downwind and crosswind component of leeway values

Data type	a (slope)	b (y-intercept)	$r^2$	$S_{y/x}$
Downwind component	0.02425	-0.00690	0.14393	0.09500
+Crosswind component	0.03093	-0.04901	0.21027	0.09686
-Crosswind component	-0.02799	0.02345	0.18682	0.09340

#### 4. 결 론

해난사고시 조난선박의 신속한 구조를 위한 표류지점 추정 모델 개발의 일환으로 부산항 주변해역에서의 선박 표류거동 특성을 관측하였으며, 동일시간에 관측된 환경외력으로부터 바람에 대한 선박의 표류특성을 분석하였다.

분석 결과 선박은 풍속의 약 3.6% 정도의 속도로 표류하는 것으로 나타났다. Leeway 방정식의 형태로는  $U_L = 0.042 W - 0.034$  로 표현되었으며, 선박의 표류방향은 자료의 대부분이 풍향에 대해  $-30^\circ \sim 40^\circ$ 의 범위에서 편향되었다. 그리고 풍향과 평행한 방향 성분의 방정식은  $U_L = 0.024 W - 0.007$  로 표현되었고, 표준오차  $S_{y/x}$ 는 약 9cm/s 인 것으로 분석되었다. 이 결과는 다른 실험의 결과들과 비슷하다고 할 수 있는데, leeway rate를 보면 한국 어선의 경우 3.6%, 하와이 어선 4.0%, 일본 어선 3.7~4.2%, 연안화물선 2.8% 등으로 보고된 바 있다[10].

본 연구는 조난선박의 수색구난을 위한 초기 실용화 연구이며, 이의 활용을 위해서는 보다 종합적인 연구가 필요하다. 해수유동 및 바람을 복합적으로 작용했을 때의 표류거동 해석, 환경 외력에 대한 반응시간 지연, 환경외력 중 표류방향 및 선수 각 결정요인, 해수의 확산에 의한 영향, 파도의 영향 등도 차후 연구되어야 하는데, 이를 위해서는 여러 해역에 대한 장시간 반복적인 실험이 필요하다. 본 연구에서 도출된 결과는 표류선박 위치 추정을 위한 수치모델 개발에 활용될 수 있으며, 보다 정확한 결과를 제시하기 위한 검증자료로 활용될 수 있다.

#### 후 기

본 논문은 과학기술부에서 2001년도 시행한 “해난 사고 대응 기술 개발”의 위탁과제 “해상 표류물체의 표류특성에 관한 실험적 연구”에서 지원을 받은 연구결과이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 강신영(1998), “수색구조 작업에 사용되는 표류지점 추정 공식 분석”, 한국항만학회지 12권 2호:373-384.
- [2] U.S. Coast Guard(1991), Commandant Instruction M16120.5A, “National Search and Rescue Manual”, Washington D.C.
- [3] Canadian Coast Guard(1996), “National Search and Rescue Manual”, TP 5421 B-GA-209-001/FP-001, English Version. 299pp.
- [4] 이문진, 공인영, 강창구(1999), “해상 수색구조를 위한 표류지점 신속추정모델 연구”, 한국해양환경공학회지, 2:78-85.
- [5] 강신영(2000), “조난물체의 표류지점 추정 모델”, 해양환경·안전학회지, 6:111-120.
- [6] GARMIN(1999), Owner’s Manual & Reference, 96pp.
- [7] SonTek(1998), Acoustic Doppler Profiler Technical Documentation.
- [8] Chaplin, W. E.(1960), “Estimating the Drift of Distressed Small Craft”, U.S. Coast Guard Academy, Coast Guard Alumni Association Bulletin, 22 (2), New London.
- [9] Fitzgerald, R. B., Finlayson, D. J. Cross, J. F. and Allen A.(1993), “Drift of Common Search and Rescue, Phase II”, TP#11673, Canadian Coast Guard R & D Branch.
- [10] Allen, A. A. and Plourde, J. V(1999), “Review of Leeway: Field Experiments and Implementations”, U.S. Coast Guard RN CG-D-08-99.

원고접수일 : 2002년 04월 22일

원고채택일 : 2002년 06월 02일