한국해양환경공학회지
Journal of the Korean Society
for Marine Environmental Engineering
Vol. 8, No. 1. pp. 17-22, February 2005

표류선박 거동특성 관측 및 분석

이문진[1†] · 강창구[1] · 윤종휘[2]
[1]한국해양연구원 해양시스템안전연구소
[2]한국해양대학교 해양경찰학과

Observation and Analysis of Movement Characteristics of Drifting Ships

Moonjin Lee[1†], Chang-gu Kang[1] and Jong-hwui Yun[2]
[1]*Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Korea Ocean Research and Development Insitute, Jang-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-343, Korea*
[2]*Department of Maritime Police, Korea Maritime University, 1 Donsam-dong, Youngdogu, Busan 606-791, Korea*

요 약

해난사고에 의한 선박 표류시 신속한 수색 구조를 지원하기 위한 실시간 표류선박 위치추정시스템 구축의 기초연구로서 실제 해상에서의 선박 표류 거동을 관측하였으며, 환경외력조건에 대한 선박의 규모별 거동특성을 분석하였다. 본 연구의 실험에서는 G/T 10톤급 선박, 20톤급 선박, 50톤급 선박, 80톤급 선박 그리고 구명정(life raft) 등 5종류의 선박을 대상으로 하였으며, 표류선박의 위치는 DGPS(Differential Global Positioning System)와 VHF 무전기를 이용한 자동위치발신기(APRS: Automatic Position Reporting System)를 자체 제작하여 측정하였다. 표류 대상선박 중 G/T 50톤급 선박에서는 위치 측정과 동시에 표류 경로상의 해수유동, 바람, 선수각(Heading angle) 등도 함께 측정하였다. 본 실험의 모든 관측에서 시간간격은 1분으로 동일하게 적용하였다. 실험결과에서 표류선박은 풍속의 3%~5%의 속도로 표류하는 것으로 나타났으며, 표류방향은 풍향의 법선방향으로 나타났다.

Abstract – The movement of drifting ships on the sea is closely related to marine environmental forces such as waves, currents, winds, etc. To develop a prediction model for trajectories of drifting ships, an experiment on the movement of drifting ships was carried out in the Southeastern Sea of Korea. Five types of ships including a life raft and four ships with G/T 10tons, G/T 20 tons, G/T 50 tons, and G/T 80 tons, were considered in the experiment. The G/T 50 ton class ship was used as a base ship for obtaining the currents, winds and heading angles of ship following the trajectory. The trajectory of each ship was measured by DGPS(Differential Global Positioning System) and collected using APRS(Automatic Position Reporting System) installed on the base ship. The error range in position fix of DGPS are approximately ±1 m. The drift speed of ship in the experiment was between 3% to 5% of wind speed and drift direction of ship was deflected by ±90° from wind direction. Also, the heading of drifting ship was normal to wind direction.

Keywords: DGPS(정밀위치측정시스템), APRS(자동위치발신시스템), drifting ship(표류선박), drift speed (표류속도), drift direction(표류방향), heading angle(선수각)

1. 서 언

조난선박은 바람이나, 파도, 조류, 해류 등과 같은 환경 외력의 영향에 의해 표류한다. 따라서 조난선박의 신속한 수색 및 구난(search and rescue)을 위해서는 환경 외력에 대한 선박의 표류거동을 정확하게 파악하는 것이 필수적으로 요구된다. 이러한 연구에서 도출된 결과는 표류선박 위치 추정을 위한 수치모델 개발에 활용될 수 있으며, 보다 정확한 결과를 제시하기 위한 검증자료로 활용될 수 있다. 선박 표류위치 추정을 위한 연구는 미국과 캐나다 해안경비대에서 수행되고 있으며, 표류지점 추정 및 수색전략에 관한 이론을 정리하여 현장의 실무 지침서로 활용하고 있다 (U.S. Coast Guard, [1986]; Canadian Coast Guard, [1996]). 미국

†Corresponding author: mjlee@kriso.re.kr

과 캐나다의 해안경비대에서는 주변해역에서 선박표류실험을 수행하고, 이 결과를 정리하여 표류지점 추정 이론 및 모델을 정립하고 있다. 국내에서도 미국과 캐나다의 연구를 활용하여 표류지점 추정모델을 수립한 예가 종종 보고되고 있으며, 이의 결과가 실제 현장에서 활용되고 있다. 국내의 연구로서 이 등[1999]은 한국 남해에서의 표류선박 추적모델을 개발하였으며, 강[2000]은 미국 해안경비대의 모델을 국내에 확장 적용하였다. 그러나 국내의 연구에서는 표류위치 추정 모델링에 필수적으로 요구되는 실해역에서의 선박 표류거동 특성에 관한 자료가 미흡하여 미국이나 캐나다에서 정립된 이론을 도입하여 적용하고 있다. 실해역에서 선박의 거동특성은 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 실제 해상에서의 선박 표류 거동을 관측하였다. 또한 실험 결과로부터 풍속 및 유속에 대한 선박 표류속도 변동, 풍향 및 유향에 대한 선수각 변동 등을 분석하였다.

2. 표류선박 거동 관측

2.1 실험개요

본 연구의 관측은 Table 1에 제시한 바와 같이 2000년 4월 26일부터 4월 28일까지 3일 동안 수행되었으며, 관측기간 동안 매 회 약 23분~1시간 2분씩 총 13회의 실험을 수행하였다. 실험에서 표류 대상선박은 Fig. 1에 제시한 G/T 10톤급 선박, 20톤급 선박, 50톤급 선박, 80톤급 선박 그리고 구명정(life raft) 등의 5종류이다. 본 연구에서는 표류 선박의 위치를 동시에 측정하기 위하여 DGPS(Differential Global Positioning System)와 VHF 무전기를 이용한 자동위치발신기(APRS: Automatic Position Reporting System)를 자체 제작하여 활용하였다. 표류 대상선박 중 G/T 50톤급 선박에서는 위치 측정과 동시에 표류 경로상의 해수유동, 바람, 선수각(Heading angle) 등도 함께 측정하였다. 본 실험의 모든 관측에서 시간간격은 1분으로 동일하게 적용하였다.

Table 1. Summary of experiments to observe the movements of drifting ship.

Date of experiment (Moon's age)	Numbers of experiment	Durations of each experiment	Tide levels of Busan Harbor
Apr. 26, 2000 (20.6)	4	12:22~13:22 (60 mins) 14:32~15:02 (30 mins) 15:26~15:51 (25 mins)	38 cm at 06:40 87 cm at 12:37 38 cm at 18:30
Apr. 27, 2000 (21.6)	5	12:06~12:29 (23 mins) 12:44~13:45 (61 mins) 14:07~14:37 (30 mins) 15:06~15:32 (26 mins) 16:22~16:45 (23 mins)	43 cm at 08:18 71 cm at 14:01 48 cm at 20:32
Apr. 28, 2000 (22.6)	4	11:24~12:25 (61 mins) 13:26~13:26 (60 mins) 14:32~15:34 (62 mins) 16:06~16:40 (34 mins)	41 cm at 09:56 74 cm at 16:14 43cm at 22:25

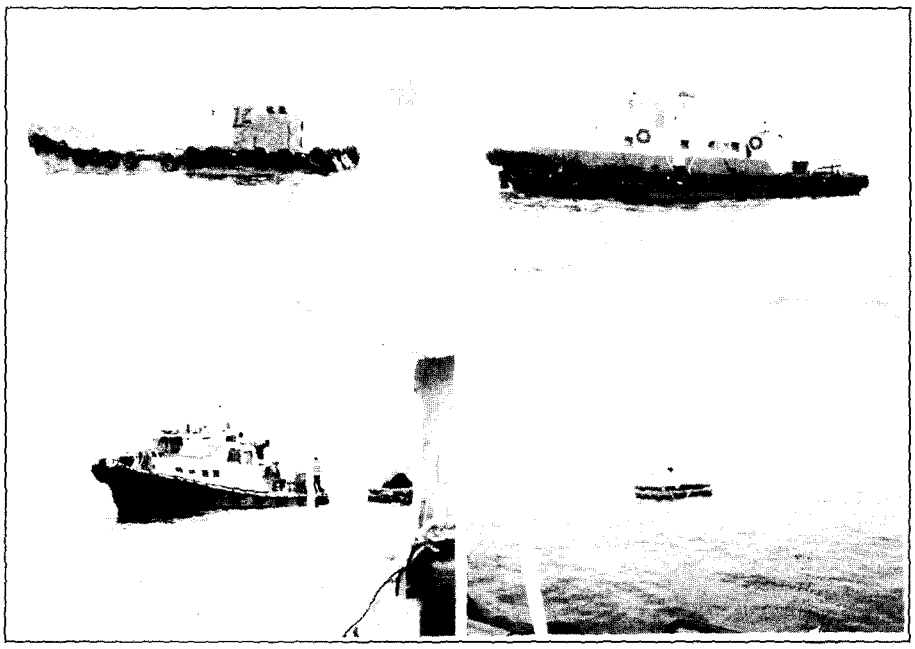

Fig. 1. Drifting ships for tracking in our experiments.

2.2 관측장비

선박 표류 위치 측정을 위한 자동위치발신기는 DGPS와 VHF 무전기를 조합하여 제작·사용하였다. 본 실험에서 DGPS는 미국 Garmin사의 제품을 이용하여 해양수산부의 영도 기지국(주파수: 300 kHz, 전송속도: 200 bps)에서 제공하는 정보를 이용하여 구현하였으며, DGPS의 정도는 1 m이다(Garmin, [1999]). 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)를 사용하여 관측하였다. ADP는 연직적으로 수심 250 m까지 최대 100개 층의 유속을 동시에 측정할 수 있으며, 10 Mb의 내부 메모리를 가지고 있어 10분 간격으로 약 1개월 동안 연속 측정이 가능한 유속계이다. 본 유속계는 0.5 cm/sec의 정도를 가지며, 1°~2°의 흔들림은 자동 보정한다(SonTek, [1998]). 본 실험에서 바람은 관측선의 선상에서 풍향풍속계(미국 Rainwise사의 Weatherview 32)를 이용하여 측정하였으며, 선박의 선수각은 나침반을 사용하여 측정하였다.

3. 표류선박 거동 분석

3.1 표류선박 이동경로

선박 표류실험 결과 중 4월 27일의 3차 실험인 15:06~15:32의 약 26분 동안 선박의 표류경로는 Fig. 2와 같으며, 선박의 표류기

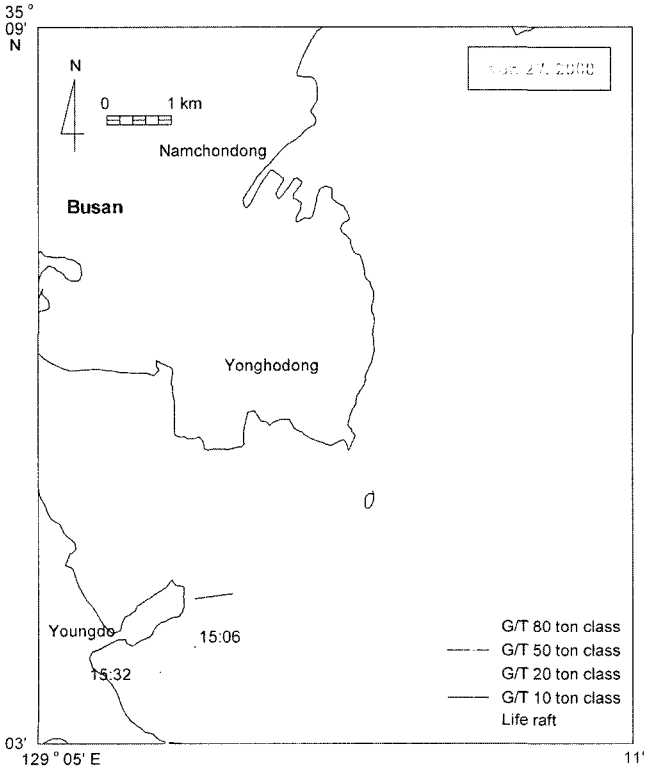

Fig. 2. Trajectories of drifting ships in the Southeastern Sea of Korea on Apr. 27, 2000.

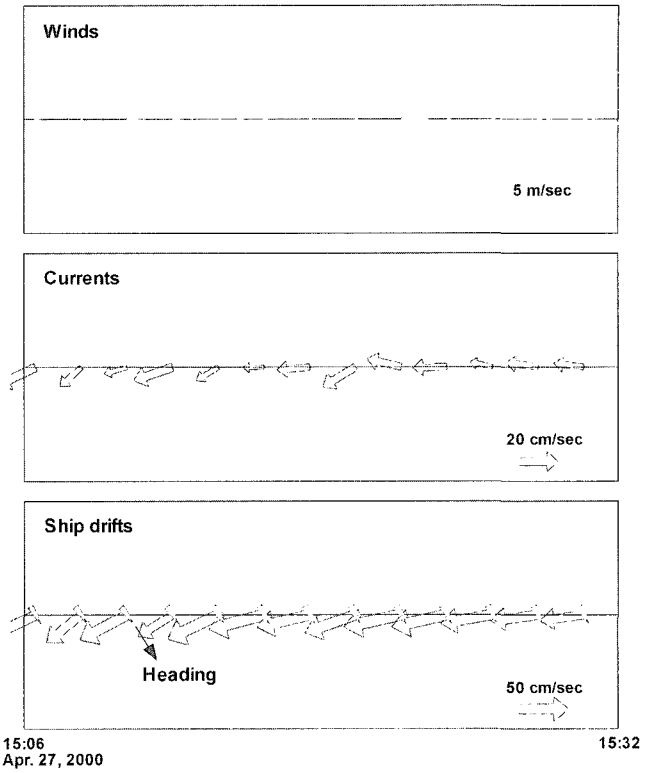

Fig. 3. Velocity of wind (*upper*), current (*middle*), and drift of G/T 50t class ship (*lower*) on Apr. 27, 2000 (Wedge in the bottom figure means the heading angle of drifting ship).

간 동안 관측한 바람, 해수유동 및 선수각은 Fig. 3과 같다. 관측기간 동안 바람은 북동풍을 보였으며, 약 8 m/sec 정도의 풍속을 보였다. 관측기간 동안 해수유동은 서향류가 우세하게 나타났으며, 약 30 cm/sec의 크기를 보였다. 선박의 표류는 해수유동과 바람의 영향이 합해져 서남서 방향을 보였으며, 약 60 cm/sec의 표류속도를 보였다(Fig. 3).

마지막 날인 4월 28일의 2차 실험은 13:26부터 14:26까지 약 1시간 동안 수행되었다. 관측기간 동안 선박의 표류경로는 Fig. 4와 같으며, 바람 및 해수유동의 분포는 Fig. 5와 같다. 관측기간 동안 바람은 남남서풍이 우세하게 나타났으며, 풍속은 10 m/sec 이상을 보였다. 해수유동은 바람의 직각방향인 북서향의 흐름을 보였으며, 약 20 cm/sec 정도의 세기를 보였다. 선박의 표류속도는 북향계열로 바람과 해수유동의 벡터합 형태의 방향을 보였으며, 약 40 cm/sec 정도의 세기를 보였다.

3.2 선박 표류속도의 특성

실험에서 측정된 선박의 이동경로로부터 추정한 선박 표류속도의 특성을 파악하기 위하여 유속과 풍속에 대한 상호상관관계 및 선형회귀관계를 분석하였다. 분석에서는 총 13회의 실험에서 측정된 매 1분간격의 선박 표류속도 자료 총 259개를 사용하였으며, 이와 동일시간에 측정된 바람 및 해수유동 자료를 사용하였다.

선박의 표류속도와 유속 및 풍속간의 상호상관계수는

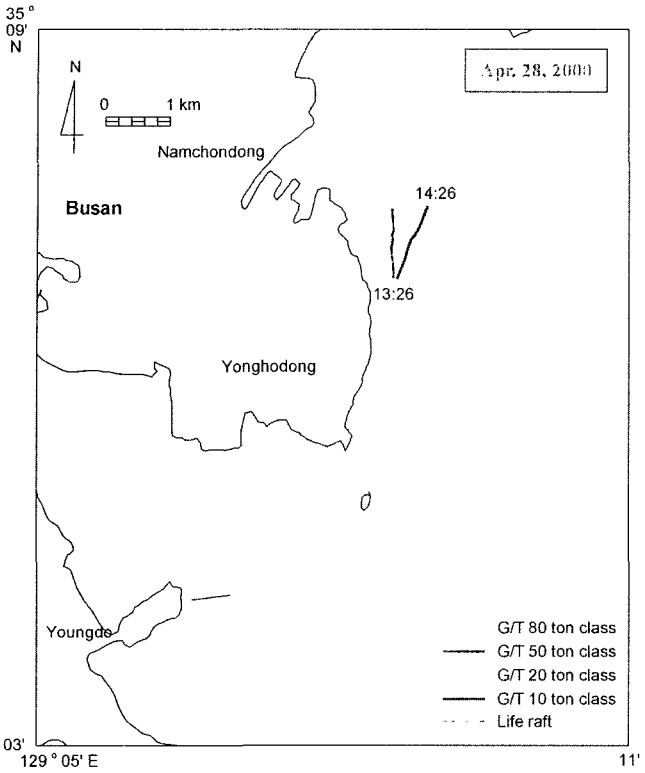

Fig. 4. Trajectories of drifting ships in the Southeastern Sea of Korea on Apr. 28, 2000.

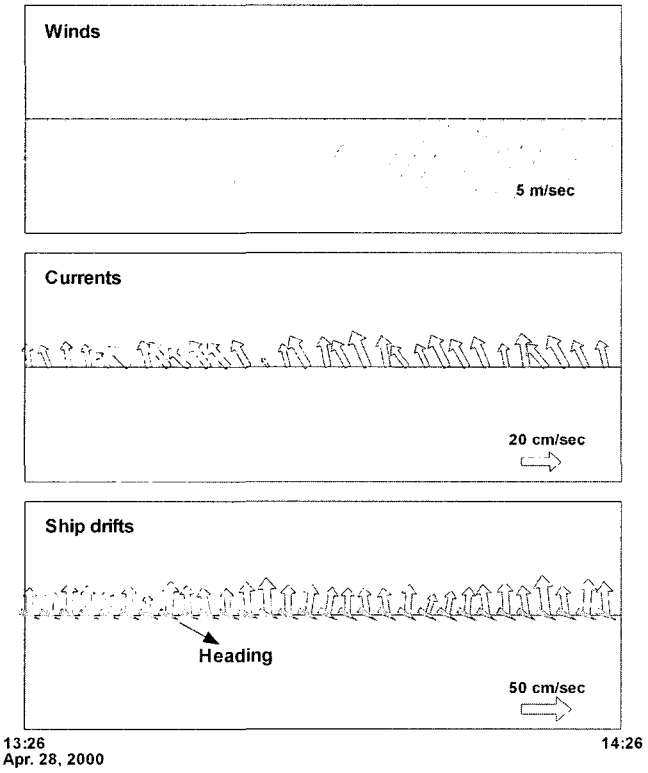

Fig. 5. Velocity of wind (*upper*), current (*middle*), and drift of G/T 50 ton class ship (*lower*) on Apr. 28, 2000 (Wedge in the lower figure means heading angle of drifting ship).

$$COR = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i' Y_i'}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} X_i'^2 \sum_{i=1}^{N} X_i' Y_i'^2}}$$

와 같이 계산하였다. 여기서 X'과 Y'은 각각 X와 Y의 평균치 $\bar{X}$와 $\bar{Y}$에 대한 변동치이다. 한편, 표류속도와 풍속 및 유속간의 선형회귀관계는

$$SDS = A \times X + B$$

의 관계에 근거하여 추정하였다. 여기서 SDS는 선박의 표류속도이고, X는 풍속 또는 유속이다. 상수 A와 B는 최소자승법을 이용하여 계산하였다. 상수 B는 풍속 또는 유속이 "0" 일 때 표류속도는 "0" 가 아님을 뜻하는데, 이는 분석에서 선박의 표류속도 성분을 유속에 의한 것과 풍속에 의한 것으로 분리할 수 없어 적용된 방법이다. 풍속과 표류속도간의 비교에서 는 풍속이외에 선박의 표류에 영향을 미치는 해양 환경외력에 의한 표류속도의 변동을 뜻하며, 유속과 표류속도간의 비교에서 B는 유속이외의 해양 환경외력에 의한 선박의 표류속도 변동을 의미한다. 이러한 분석방법은 향후 실험방법의 개선을 통하여 선박의 표류속도에서 바람에 의한 성분과 해수유동에 의한 성분을 분리할 수 있게 되면, 풍속과 유속 각각에 대해 독립적인 표류속도의 변동을 분석할 수 있도록 개선되어야 한다.

유속 및 풍속에 대한 실험선박 5척의 표류속도의 상호상관계수 및 선형회귀관계는 Table 2에 제시한 바와 같다. 실험선박 중 관측선의 표류속도는 풍속에 대해 Fig. 6과 같은 관계를 보였으며, 유속과 Fig. 7과 같은 관계를 보였다.

3.3 선박 표류방향의 특성

선박의 표류방향은 Fig. 8에 제시한 바와 같이 유향 및 풍향에 대한 차이로서 비교하였다. 실험선박 중 50톤급 선박의 표류방향은 풍향에 대해 -90°~70°의 범위에서 편향되는 것으로 나타났으며, 유향에 대해 ±45° 범위내에서 편향되는 것으로 나타났다. 풍향에 대한 50톤급 선박의 표류방향은 "-" 쪽으로 다소 치우치는 것으로 나타났는데, 이는 선박이 풍향의 왼쪽으로 표류하는 경향이 있음을 나타낸다. 바람 및 해수유동에 대한 선박의 선수각은 Fig. 9에 제시한 바와 같이 유향 및 풍향에 대해 90° 혹은 -90°의 차이를 갖는 것으로 나타났다.

4. 결 론

해난사고시 조난선박의 신속한 구조를 위한 표류지점 추정 모델 개발의 일환으로 한반도 주변해역에서의 선박 표류거동 특성을 관측하였으며, 동일시간에 관측된 환경외력으로서 해수유동 및 바람에 대한 선박의 규모별 거동특성을 분석하였다. 본 연구의 실험에서 표류 대상선박은 G/T 10톤급 선박, 20톤급 선박, 50톤급 선박, 80톤급 선박 그리고 구명정(life raft) 등의 5종류이다. 실험

Table 2. Ship Drift Speed related wind and current.

Type of Ship	Ship Drift Speed SDS (m/sec)	Correlation coefficient	
		Wind	Current
Life raft	SDS=0.05W+0.33 SDS=0.85C+0.46	0.25	0.04
G/T 10 ton class	SDS=0.03W+0.22 SDS=0.87C+0.28	0.25	0.11
G/T 20 ton class	SDS=0.03W+0.18 SDS=0.90C+0.23	0.26	0.13
G/T 50 ton class	SDS=0.04W+0.15 SDS=1.17C+0.22	0.33	0.16
G/T 80 ton class	SDS=0.05W+0.11 SDS=1.74C+0.12	0.44	0.39

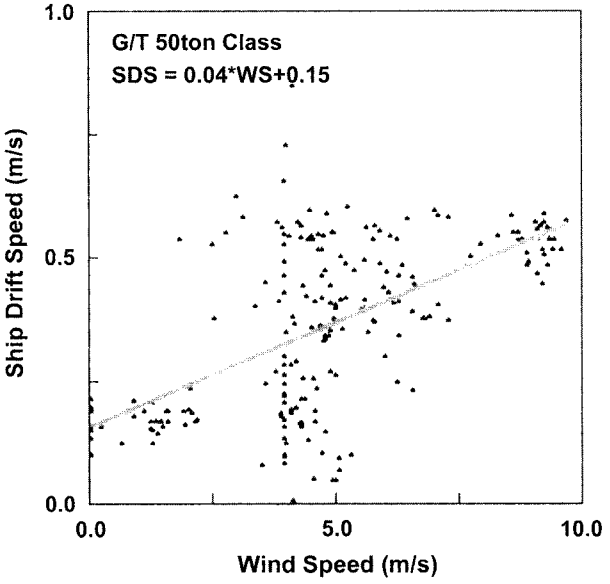

Fig. 6. Relationship between the speed of wind and drift speed of G/T 50 ton class ship.

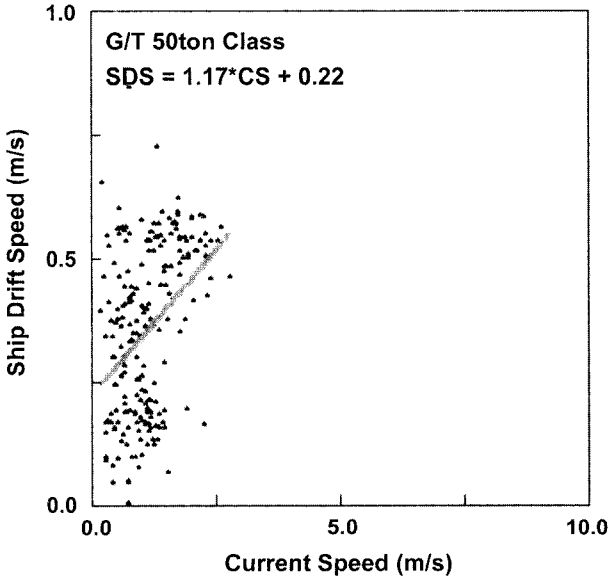

Fig. 7. Relationship between the speed of current and drift speed of G/T 50 ton class ship.

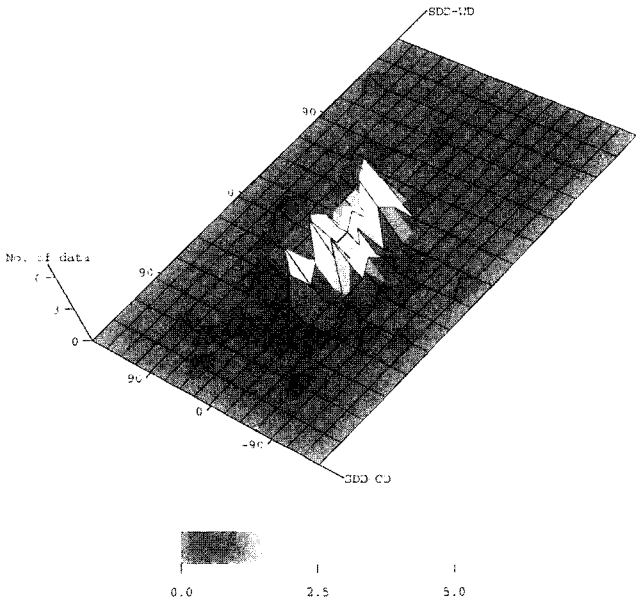

Fig. 8. Histogram of the differences of ship drift direction from the wind and current directions. The positive value means that the direction of drifting ship is deflected to the right from the wind and current directions.

의 결과로부터 선박의 거동특성은 풍속 및 유속에 대한 선박 표류속도의 상관관계, 풍향 및 유향에 대한 선수각 변동 등으로 구분하여 분석하였다.

본 연구의 결과에서 표류선박은 규모가 클수록 바람과 해수유동의 영향을 크게 받는 것으로 나타났으며, 변동의 상관성도 큰 것으로 나타났다. 환경외력에 대한 표류속도의 상관계수는 선박 규모에 따라 풍속에 대해 0.25~0.44, 유속에 대해 0.04~0.39의 범위를 각각 보였다. 환경외력에 대한 표류속도는 풍속에 대해 3%~5%의 비율을 가지며, 유속에 대해 8.5%~17.4%을 비율을 갖는 것으로 나타났다. 풍속에 대한 표류속도의 비율은 이와 강(2000)이 한반도 주변해역에서 관측한 해양 표면취송류 유속의 풍속에 대한 비율과 유사한 값을 갖는다. 선박의 표류방향은 풍향에 대해 -90°~90°의 범위에서 편향되는 것으로 나타났으며, 유향에 대해 ±45° 범위내에서 편향되는 것으로 나타났다. 바람 및 해수유동에 대한 선박의 선수각은 유향 및 풍향에 직교하는 것으로 나타났다.

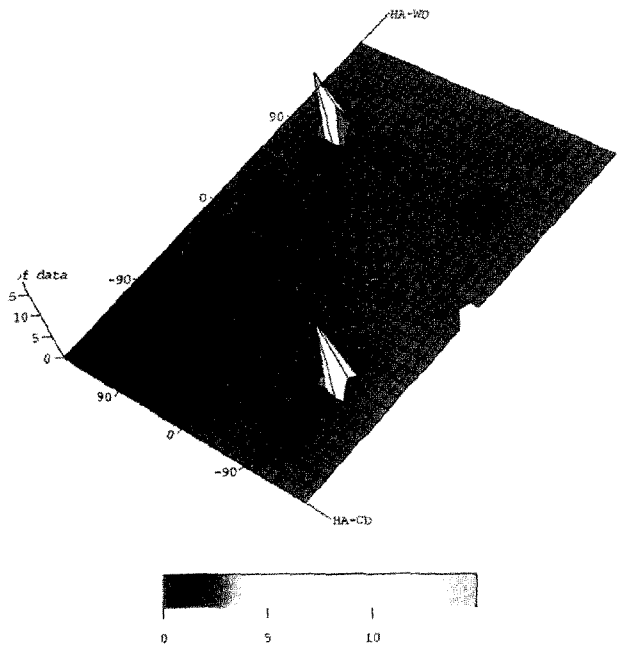

Fig. 9. Histogram of the differences of ship heading angle from the wind and current directions. The positive value means that heading angle is clockwise rotated from the wind and current directions.

본 연구는 조난선박의 수색구난을 위한 초기 실용화 연구이며, 이의 활용을 위해서는 보다 종합적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 동일한 시간에 대한 실험결과를 비교 분석하였는데, 외력에 대한 선박 표류의 시간지연에 대한 고려가 필요하다. 이를 위해서는 보다 장시간 동안 선박표류 및 환경외력의 관측이 필요하다. 또한 해수유동 및 바람을 복합적으로 작용했을 때의 표류거동 해석, 환경외력 중 표류방향 및 선수각 결정요인 등도 차후 연구되어야 한다. 본 연구에서 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 2004년도에 시행하고 있는 "인공위성 활용 해상 교통안전 정밀시스템 및 유출유 관측 경보시스템"의 연구결과 중 일부이다.

참고문헌

[1] 강신영, 2000, 조난물체의 표류지점 추정 모델, 해양환경?안전학회지, **6**, 111-120.

[2] 이문진, 공인영, 강창구, 1999, 해상 수색구조를 위한 표류지점 신속추정모델 연구, 한국해양환경공학회지, **2**, 78-85.

[3] 이문진, 강용균, 2000, 해양 표면취송류(skin drift)의 라그랑쥐 측류 및 모델링, 한국해양환경공학회지, **3**, 11-17.

[4] Canadian Coast Guard, 1996, *National Search and Rescue Manual TP 5421 B-GA-209-001/FP-001 English Version*, 299 pp.

[5] GARMIN, 1999, *Owner's Manual & Reference*, 96 pp.

[6] SonTek, 1998, *Acoustic Doppler Profiler Technical Documentation*.

[7] U.S. Coast Guard, 1986, *National Search and Rescue Manual*, COMDTINST M16120.5.

2004년 11월 26일 원고접수
2005년 2월 4일 수정본 채택