

小型船舶의 漂流特性 推定을 위한 現場實驗

姜 信 榮* · 李 準**

Drift Experiments for the Determination of Small Boat Leeway

Sin-Young Kang · Jun Lee***

〈 목 차 〉

Abstract	3. 자료처리
1. 서론	4. 결과분석
2. 표류실험	5. 결론
2.1 배경	參考文獻
2.2 1994년 제주해역 실험	

요 지

해난사고의 발생으로 표류중인 조난선박을 구조하는데 있어서 가장 중요한 작업은 조난선박의 현재 표류 위치를 정확하게 추정하는 것이다. 표류지점을 예측하는데 현재 사용되고 있는 방법들은 기본적으로 해류와 바람의 영향을 벡터적으로 합성하여 수색범위를 결정한다. 여기서 해류보다 바람의 영향에 의한 표류(leeway)를 예측하기가 어려운데 leeway는 주로 실물을 이용한 현장실험을 통하여 결정한다.

본 연구에서는 우리 나라의 연안용 소형선박을 대상으로 제주 북방해역에서 실제 표류실험을 하였는데, leeway 산출에는 지금까지의 기법과는 달리 표류선박에서 측정된 상대유속과 유향 그리고 상대풍속과 풍향을 사용하였다. 실험자료로부터 산출된 leeway는 풍속의 약 3% 부근이며 leeway angle은 자료중 80%가 -65° 에서 -15° 사이였다.

Abstract

The vital element of successful search and rescue mission is accurately predicting present position of the boat in distress. The basic principle of drift prediction methods currently in use is adding the

* 한국해양대학교 해양공학과 교수.

** 한국해양대학교 대학원.

effects of current and wind on drifting objects vectorially and then decide the search area. The movement of a drifting object due to wind (leeway) is more difficult to predict than due to current. Typically the leeway is determined from field experiments.

In this research, drift experiments are conducted at the north of Cheju island to determine the leeway of Korean fishing boats. A new method using the relative quantities measured on board the boat is applied for the determination of leeway. The leeway was found to be approximately 3 % of the wind speed and leeway angle was between -65° and -15° for 80 % of all drifts.

1. 서 론

항해중인 선박이 해난사고로 인하여 표류하는 경우 선박의 위치는 시간이 경과함에 따라 사고 발생지점으로부터 점점 멀어지게 된다. 조난선박을 구조하는데 있어서 가장 중요하고 핵심적인 작업은 조난선박의 현재 표류위치를 추정하는 것인데 해난사고의 발생은 대개 폭풍이라는 자연적인 요인과 불가분의 관계가 있고 또한 조난선박이 여러 환경요인들의 영향을 받기 때문에 표류지점을 정확히 예측하기는 매우 어렵다.

최근 우리 나라에서도 연근해의 해상활동 증대로 인한 해난사고의 발생 빈도가 높아지고 있으며(해양경찰청, 1993), 또한 국제적으로는 IMO(International Maritime Organization)에서 채택·발효중인 "해상수색 및 구조에 관한 협약(SAR 협약)"(IMO, 1979)에 곧 가입할 예정이어서 수색·구조 작업의 제도적인 체계확립에 대한 관심이 고조되고 있다. SAR 협약에 가입하게 되면 우리나라 국토로부터 200해리 내에서 발생하는 모든 선박에 대한 해난구조의 의무가 부여된다. 이에 대비한 준비작업으로는 해양연구소(강, 1988; 박, 1988), 해양경찰청(고, 1991), 해운산업연구원(최, 1993) 등의 연구활동이 있었고, 구체적으로 조난선박의 표류지점 추정을 위한 전산모델도 제시된 바 있다(강, 1993).

해난사고 발생시 표류지점을 추정하는데 현재 외국에서 사용되는 방법으로 IMO(International Maritime Organization)의 기법, 미연안경비대(U.S. Coast Guard)의 CASP(Computer Aided Search Planning), FLENUMWEACEN(Fleet

Numerical Weather Center)의 방식 등을 들 수 있다. 이들은 외형적으로 자료처리 및 입출력 기법들이 모두 다르지만 표류지점 계산에 대한 기본 원리는 모두 같다고 할 수 있다. 즉 해류와 바람에 의한 영향을 벡터적으로 합성하여 추정점이나 수색범위를 결정하는데 보통 해류의 영향은 100 %라고 가정한다. 또한 바람에 의한 표류를 leeway라 하고 표류방향과 풍향과의 사이 각을 leeway angle이라 정의하는데, 각 방법마다 환경자료의 입력, 구난 대상물의 분류 등은 약간씩 다르지만 핵심적인 부분인 leeway에 관한 식들은 전부 형태와 수치가 같다. 이 leeway 공식들은 주로 현장실험을 통하여 얻어진 결과인데, 지금까지의 전형적인 leeway의 산출방법은 표류물체 주위의 유속을 알아낸 후 실제 표류속도에 벡터적으로 빼서 표류물체에 대한 바람의 영향만을 계산해 내는 것이다. 이러한 실험의 기본 원리는 표류실험이 시작된 이래 최근에 이르기까지 변함이 없고 단지 전자계측장비의 발달로 관측기술 및 자료처리 방법만 바뀌어 왔다고 해도 과언이 아니다.

이러한 배경으로 본 연구에서는 우리 나라의 연안용 소형선박으로 실제 표류상황을 시뮬레이션하여 leeway 공식을 산출하였는데, 실험은 제주도 북방해역에서 시행하였다. 해상환경자료는 표류류의 경우 자체 제작한 drifter를 사용하여 이동거리로부터 그 크기 및 방향을 계산하였고, 풍향과 풍속은 표류물체의 선상에서 측정하였다. 이번 실험에서는 과거의 leeway 산출방법과는 달리 표류선박에서 유속계로 상대유속을 측정하여 풍속과 leeway와의 관계를 산출해 보았다. 그리고 이들 공식은 강(1993)이 제시한 전산모델에 보완되어

실제 표류지점과 모델에 의한 추정점을 비교하였다.

2. 표류실험

2.1 배경

첫 leeway drift 실험은 1943년 실시되었으나 실험에 대한 자세한 기록이 없다. 소형선박을 대상으로 한 실험은 1959년에서 와서야 처음 실시되었는데(Chapline, 1960), 하와이 근해에서 레이더와 육안을 이용하여 매 30분마다 위치를 기록하였다. 이때는 표층류를 측정하기 위해 커다란 네트(300 ft x 15 ft)가 사용되었고, 실험 결과는 leeway를 풍속에 대한 일정 비율로 가정하여 처리되었다. 그후에도 이와 유사한 방법으로 직경 8.5m의 낙하산이 부착된 부표를 사용하여 구멍정과 소형선에 대해 실험을 한 기록이 있다(Morgan, 1977).

1970년 이후에는 표류물체의 위치와 표층류 측정을 위해 다양한 방법들이 동원되었다. Hufford and Broida(1974)는 항공기를 사용하여 일정 시간 간격으로 사진을 찍은 후 항공사진상에서의 표류물체와 염료 분사장치를 갖춘 drifter 와의 상대 위치를 측정하여 leeway를 산출하였고, Scobie and Thompson(1979)은 표층류 측정에 3m 짜리 정사각형 드로그를 장착한 부표를 사용하였다. 그후 1979년에는 표류물체의 위치측정에 MTS (Micro-wave Tracking System)가 도입되었으나(Osmer et al., 1982), 이 실험에서는 장비 결함으로 인하여 정확한 자료를 확보하지 못하였다. 따라서 leeway 에 대한 어떠한 결과를 얻지 못하였으나 1983년에 재개된 실험에서는 위치측정 뿐만 아니라 표층류의 측정에도 MTS가 사용되었다. 즉 모든 drifter에 MTS transponder를 장착하여 위치를 기록한 후 각 drifter 의 속도를 계산하였는데, 이 실험에는 주로 소형 구멍정이 표류물로 사용되었다(Nash and Willcox, 1985). 그후 MTS 를 사용한 실험 기법은 4가지 형태의 구멍정과 3척의 소형선박을 실험대상으로 한 1985년 표류실험에 본격적으로 사용되었다. 향후 미연안경비대에서는

보다 정확한 leeway 공식을 산출하기 위하여 인공 위성(Murphy and Allen)의 사용도 검토하고 있다(Paskansky, 1986).

2.2 1994년 제주해역 실험

한반도 연근해에서 사용되고 있는 소형어선의 표류특성을 규명하기 위해 실물을 사용한 현장실험이 시도되었다. 표류실험은 1994년 1월 24일부터 3일간 북위 126° 32' 와 126° 40' 사이 그리고 동경 33° 40' 와 33° 50' 사이의 제주도 북방 연안해역에서 실시되었다. 실험에 사용된 연안유자망 소형선박 측면도가 Fig. 1에 도시되어 있다. 실

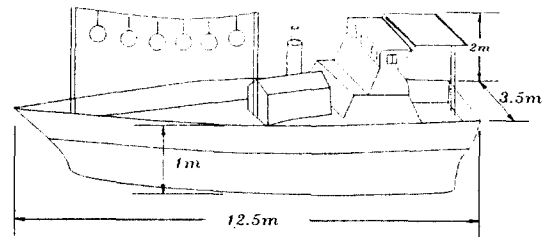


Fig. 1 Dimension of fishing boat(test vessel).

험은 일출전 항구를 출발하여 가능한 육지에서 멀리 떨어져 시작한 후 당일의 실험을 종료할 시간에는 출발 항구에서 가까운 지점으로 표류되도록 해상과 기상상태를 분석하여 표류 시작지점을 결정하였다.

입출항 시간을 제외한 실제 표류는 대개 오전 10:00 경부터 약 6시간동안 가능하였다. 표류중인 선박의 위치측정에는 선상에 설치된 LORAN C 와 GPS를 사용하였고, 표류선박과 표층류간의 상대유속 측정을 위해 ball type Electro-Magnetic 유속계를 사용하였다. 그리고 표류선박에서는 프로펠러형 풍향풍속계로 해면 5m 위의 풍속과 풍향을 측정하였고, 유속계는 수심 3m에서 위치시켜 5초간 평균한 값을 기록하였다. 이들 자료는 모두 약 10분 간격으로 기록하였다. 그리고 표류물체 주위의 표층류 계산을 위해 2개의 drifter를 사용하여 1개는 표류물체 앞쪽에 다른 1개는 뒤쪽에

놓이도록 하였다. 이들 drifter는 약 10~30분간 표류한 후 표류물체로부터 떨어진 것은 회수되어 다시 반대쪽에 갖다 놓여지는데, drifter의 시작지점 및 회수지점의 위치는 GPS 를 사용하여 기록하였다.

3. 자료처리

실험에서 기록된 위치자료는 screening 작업을 거쳐 불량자료를 제거한 후 재정리하였다. 우선 표류선박의 경우 GPS보다 LORAN에 의한 자료가 어느 순간 위치가 급격히 변하는 jumping 현상이 적어 LORAN 자료로부터 선박의 표류속도를 구하였다. Drifter의 경우에는 GPS 자료로부터 유속을 계산할 수밖에 없었는데 불합리하게 유속의 크기가 급변하는 자료를 기록에서 제외시켰다.

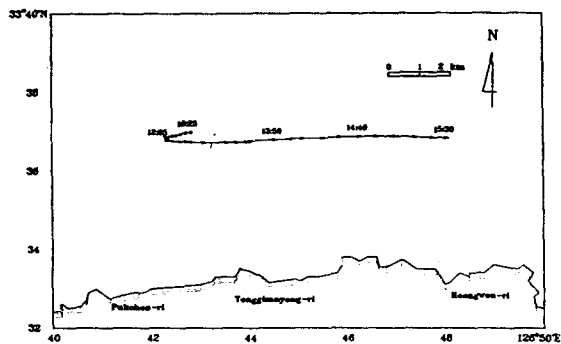


Fig. 2 Track of the test vessel(Jan. 24, 1994).

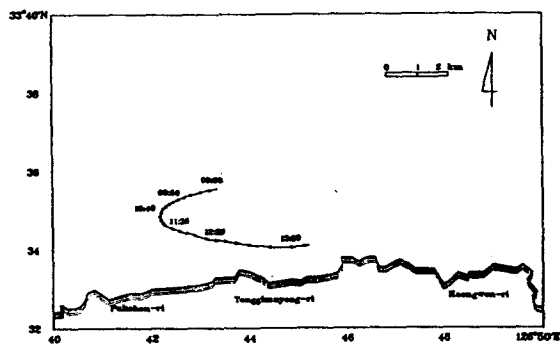


Fig. 3 Track of the test vessel(Jan. 25, 1994).

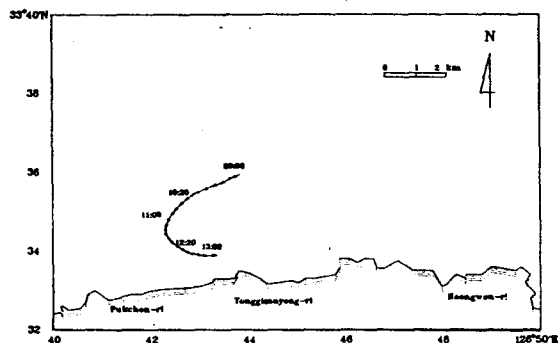


Fig. 4 Track of the test vessel(Jan. 26, 1994).

Fig. 2에서 Fig. 4까지는 각각 LORAN 자료를 사용하여 도시한 선박의 표류궤적을 보여주고 있다. 세번의 실험 모두 실험초기에는 서쪽으로 표류하다가 방향을 바꾸어 동쪽으로 표류하는 양상을 보

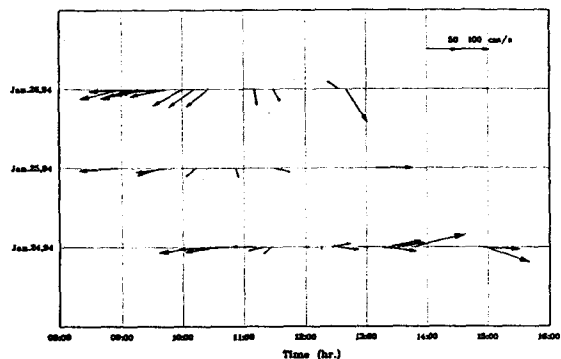


Fig. 5 Currents computed from the positions of drifters.

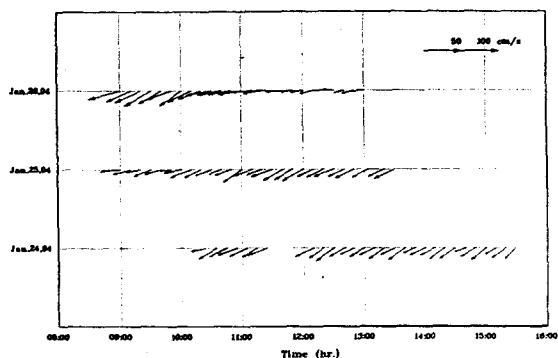


Fig. 6 Relative drift velocity of the test vessel.

여주었다. 그리고 Fig. 5는 실험기간 동안 drifter의 이동거리로부터 계산된 표층류인데, 표층류도 선박처럼 서쪽으로 흐르다가 강도가 약해지면서 방향을 바꾸어 동쪽으로 점점 강하게 흘렀다. Fig. 6에는 표류하는 동안 선상에서 유속계로 측정된 상대유속을 도시하였다. Fig. 7과 Fig. 8에는 풍속과 풍향자료인데 이들은 표류선상에서 측정된 상대풍향 및 상대풍속을 선박의 표류속도와 벡터적으로 합성하여 얻은 결과이다. 실험기간 동안 대개 이와 같은 남서-북서풍이 지배적이었는데 여기서 풍향은 북쪽을 기준으로 시계방향으로 회전한 각도이다.

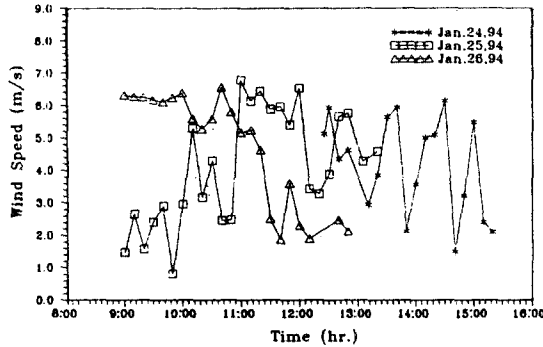


Fig. 7 Processed wind speeds from measured data.

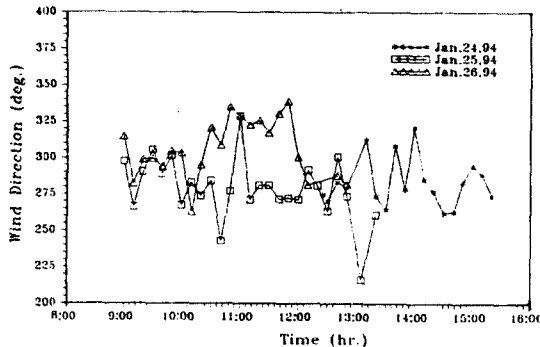


Fig. 8 Processed wind directions from measured data.

Fig. 9는 표류선박에서 측정된 상대유속을 사용하여 풍속과 leeway와의 상관관계를 도시한 결과

이다. 여기서의 풍속은 다음의 식을 사용하여 10m 높이의 풍속으로 환산한 값이다.

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

여기서 V_z = 높이 z 에서의 풍속

V_{10} = 높이 10m에서의 풍속

한편 Fig. 10은 풍속과 leeway angle과의 상관관계를 보여주는 그림인데 여기서 leeway angle은 Fig. 11에 도시된 것과 같이 표류방향과 풍향과의 사이 각으로 정의된다.

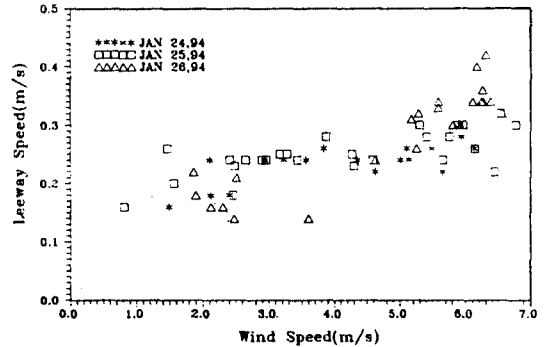


Fig. 9 Leeway vs. wind speed.

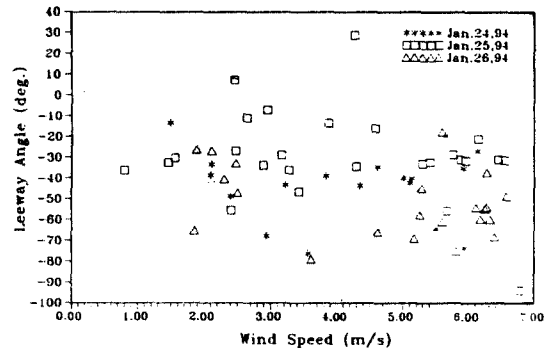


Fig. 10 Leeway angle vs. wind speed.

4. 결과분석

Table 1.에는 과거 외국의 선박들을 대상으로

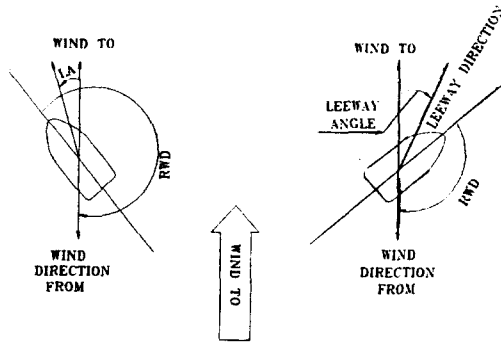


Fig. 11 Leeway angle vs. wind speed.

하여 표류실험을 한 결과가 비교되어 있다. 형태별 분류에서 두 번째의 Moderate displacement boat 에는 trawler, troller, tuna boat 등의 상업용 어선들이 여기에 속한다. 그리고 다섯 번째 이하의 Light displacement craft 중 Boston Whaler

와 Aquasports 는 선외기(outboard) 엔진을 사용하는 소형 boat들이고 그 외에는 오락용으로 사용되는 선박들이다. Table 에서 보는 바와 같이 leeway는 선박의 형태에 따라 풍속의 1%에서 7%까지 다양한 값을 보여주고 있지만 대략 배수용적이 큰 선박들은 leeway가 풍속의 3~5%, 배수용적이 작은 선박들은 5~7%의 범위라고 할 수 있다.

그리고 실험결과의 표현 방식에 있어서 1974년 이후부터는 풍속의 몇 %라고 하는 leeway rate 를 사용하지 않고 두개의 상수 a와 b를 사용하여 $U_L = aU_w + b$ 의 형태로 표현하기 시작했는데 이는 자료의 수학적인 통계처리에 정확도를 높이기 위한 표현방식이다. 이 표현방식의 타당성과 수치모델에의 적용에 대해서는 아직 검토단계이므로 본 연구에서는 두 가지를 모두 구하였다.

따라서 Fig. 9의 자료를 최소자승법으로 직선의

Table 1. Results of the drift experiment

TYPE OF CRAFT	LEEWAY FORMULA	LEEWAY ANGLE	REFERENCE
Heavy displacement Sail boats	$0.03 U$	$\pm 45^\circ$	Chaplin(1960)
Moderate displacement boats	$0.04 U$	$\pm 60^\circ$	Chaplin(1960)
Large Cabin cruiser	$0.05 U$	$\pm 60^\circ$	Chaplin(1960)
Light displacement craft (16' Boston Whaler)	$0.014 U \sim 0.059 U$	$-57^\circ \sim -4^\circ$	Burke(1972)
Light displacement craft (26' pleasure boats)	$0.007 U \sim 0.062 U$	$-85^\circ \sim -24^\circ$	Burke(1972)
Light displacement Cabin cruiser	$0.07 U + 0.04$	$\pm 35^\circ$	Hufford & Broida (1974)
Light displacement craft (14' Boston Whaler)	$0.0344 U + 0.0427$	$-45^\circ \sim 30^\circ$	Nash & Willcox (1985)
Light displacement craft (17' Aquasports)	$0.06 U - 0.085$	$\pm 30^\circ$	Nash & Willcox (1985)
Light displacement craft (20' Beachcomber)	$0.07 U - 0.081$	$\pm 30^\circ$	Nash & Willcox (1985)

방정식으로 표현하면

$$U_L = 0.0266 U_w + 0.049$$

가 되는데 여기서 U_L 과 U_w 는 각각 leeway 속도 및 풍속이며, 단위는 m/s이다. 또한 이 자료로 원점을 통과하는 직선의 식을 구하면

$$U_L = 0.0364 U_w$$

로 표현할 수 있다. 한편 Fig. 10의 자료로 leeway angle 을 구하면 약 -40° 가 평균값이고 자료중 60 % 가 -55° 에서 -25° 이고, 80 % 가 -65° 에서 -15° 사이였다.

참고로 강(1993)이 제시한 전산모델에서 leeway를 3%라고 하여 시뮬레이션해 본 결과를 Fig. 12에서 Fig. 14까지 도시해 보았다. 현장에서 실측한 환경자료를 입력자료로 사용한 원인도 있겠지

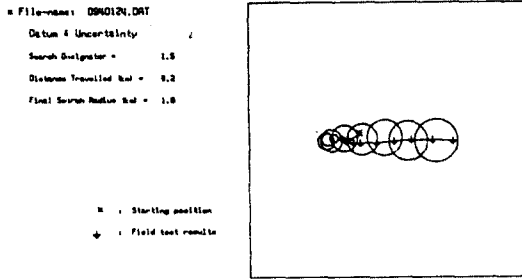


Fig. 12 Model verification using the data of Che-ju experiment(Jan. 24, 1994).

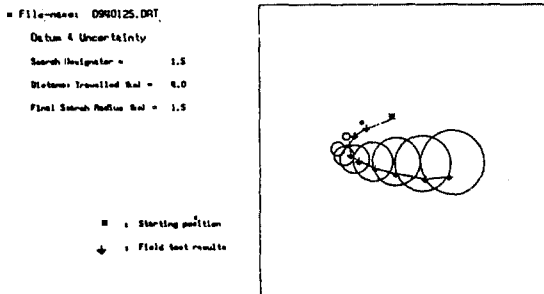


Fig. 13 Model verification using the data of Cheju experiment(Jan. 25, 1994).

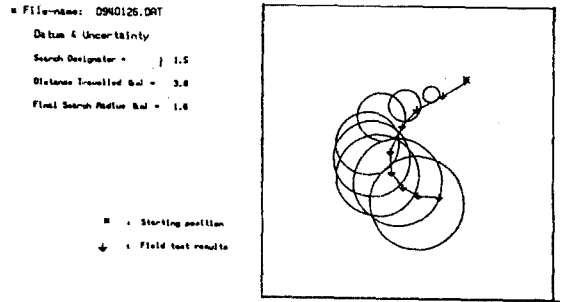


Fig. 14 Model verification using the data of Cheju experiment(Jan. 26, 1994).

만 표류 궤적과 시뮬레이션 결과가 전반적으로 잘 맞음을 알 수 있다. 모델이 필요로 하는 환경입력 자료는 매 1시간마다 제공하였고, 유속과 유향의 경우 drifter로 측정한 자료를 사용하였다. 그리고 풍향과 풍속은 해당 시간대의 실측치의 평균값을 사용하였다.

5. 결 론

우리 나라의 연안에서 많이 사용되는 선박을 사용하여 표류실험을 한 결과 다음과 같은 leeway formula를 얻었다.

$U_L = a U_w + b$ 의 형태 :

$$U_L = 0.0266 U_w + 0.049$$

$U_L = a U_w$ 의 형태 :

$$U_L = 0.0364 U_w$$

leeway angle : $-65^\circ \sim -15^\circ$

우리 나라의 연안용 선박들은 형태상으로 외국의 선박들보다 대개 상부 구조물이 작으며 비교적 무거운 재질로 제작되어 배수용적이 큰 편이라고 할 수 있다. 따라서 외국의 실험자료 분석결과에 의한다면 leeway를 풍속의 3~5% 범위라고 하는 것이 타당한데 본 연구에서도 이를 뒷받침하는 결과를 얻었다.

參 考 文 獻

- Burke, Jr. F. P., 1972. Additional Leeway Experiments(leeway II), Final Report Modification #1 to contract No.DOT-CG-13-506A.
- Chapline, W. E., 1960. Estimating the Drift of Distressed Small Craft, U.S. Coast Guard Academy, Coast Guard Alumni Association Bulletin, 22(2), New London.
- Hufford, G. W. and Broida, S., 1974. Determination of Small Craft Leeway, U.S. Coast Guard R & D Center RN No. 39/74.
- IMO, 1979. Final Act of the Conference, International Convention on Maritime Search and Rescue.
- IMO, 1983. IMO Search and Rescue Manual.
- Morgan, C. W., 1977. Experiments in Small Craft Leeway, U.S. Coast Guard Oceanographic Unit TR 77-2, Washington.
- Nash, L. and Willcox, J., 1985. Summer 1983 Leeway Drift Experiment, U.S. Coast Guard R & D Center RN No. CG-D-35-85.
- Osmer, S. R., Edwards, N. C. and Breiter, A. L., 1982. An Evaluation of Life Raft Leeway, February 1982, U.S. Coast Guard R & D Center RN No. CG-D-10-82.
- Paskansky, D. F., 1986. Surface Current Real-Time Prediction from Search and Rescue, Proc. Offshore Technology Conference Paper OTC 5213.
- Scobie, R. W. and Thompson, D. L., 1979. Life Raft Study, February 1978., U.S. Coast Guard Oceanographic Unit Technical Report 79-1, Washington, D.C.
- 고 경옥, 1991. 한국 근해에서의 해난사고와 대책, 수색구조 및 유류오염 대책 예보시스템 구축을 위한 워크샵, 인천, 해양경찰청.
- 강 시환 외 16명, 1988. 해난, 재해 예보 시스템 연구 IV, 한국과학기술원 해양연구소 연구 보고서 BSPG 00061-203-1.
- 강 신영, 1988. Leeway Drift 실험의 소개, 해양공학연구회 제 21차 Workshop 논문집.
- 강 신영, 1993. 수색구조 작업에 있어서 표류지점 추정의 전산화, 한국해안해양공학회지, 5권 1호, p.11-18.
- 박 광순, 강 시환, 강 신영, 1988. 수색구조를 위한 표류치 추정, 해양연구, 10(2) : 69-72.
- 해양경찰청, 1993. 해난사고통계분석(1992).
- 최 동현, 1993. 우리 나라 해상수색구조 제도 개선 방향, 해운산업연구원.
- 사사 : 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의해 연구되었습니다.