

解 說

수색구조 작업에 사용되는 표류지점 추정 공식 분석⁺

강 신 영*

Analysis of Drift Prediction Formula Used in the Search and Rescue Mission

S. Y. Kang

Key Words : Search and Rescue(수색 및 구조), Drift(표류), Drift Prediction Model(표류지점 예측 모델), Leeway, Life Raft(구명뗏목), Small Craft(소형 선박), CASP

Abstract

In search and rescue mission the leeway formula based on the field experiments are utilized for the estimation of wind effect on distressed targets. This paper summarized the leeway formula from the available references. In the summary the environmental data collection method and experimental conditions are described along with the formula. Also the formula currently used in CASP of the U.S. Coast Guard and CANSARP of the Canadian Coast Guard are discussed.

1. 서 론

선박이나 구명뗏목 또는 사람 등의 조난물체가 해난사고로 인하여 표류하게 되는 경우 그 위치는 시간이 경과함에 따라 사고 발생지점으로부터 점점 멀어지게 된다. 이들을 구조하는데 있어서 가장 중요한 것은 조난물체의 위치를 신속하고 정확하게 추정하여 수색구역을 결정하는 것이다. 그러나 해난사고의 발생은 대개 폭풍이라는 자연적인 요인과 불가분의 밀접한 관계가 있고, 또한 조난목표물이 바람, 조류, 해류, 파도 등 여러 환경요인의 영향을

받기 때문에 정확한 표류지점의 예측은 매우 어려우며 이로 인해 해난구조의 임무를 수행하는데는 엄청난 위험이 따르게 되고 다양한 과학적인 기술을 필요로 한다.

최근 우리 나라에서도 연근해의 해상활동 증대로 인한 해난사고의 발생 빈도가 높아지고 있어 수색·구조 작업의 제도적인 체계확립에 대한 관심이 고조되고 있다. 그리고 SAR 협약에 가입하게 되면 우리 나라 국토로부터 200해리 내에서 발생하는 모든 선박에 대한 해난구조의 의무가 부여되므로, 이에 대비한 준비작업도 활발히 진행되고

⁺ 본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 지능형통합항만관리연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

* 정회원, 한국해양대학교 조선해양공학부 교수

있다.

이러한 배경으로 본 연구는 현재 각국에서 수색구조작업에 활용되고 있는, 혹은 개발중인, 표류지점 추정 방식을 비교 분석하였다. 그리고 이들 추정 방식에서 핵심 부분이라고 할 수 있는 leeway 산출 공식들은 그 오차가 매우 큰 것으로 보고되고 있는데, 그 이유는 과거 현장실험 당시 사용하였던 기기들의 오차와 현재의 상황에 맞지 않는 여러 가지 요인들 때문인 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 지금까지 각국에서 행하여진 실험방법들을 분류하고 그 결과를 형태별로 분석하여, 주어진 여건에서 표류지점에 대한 오차를 최대한으로 줄일 수 있는 방안을 제시하였다.

2. 표류지점 추정 방법

해난사고 발생시 표류지점을 추정하는데 현재 외국에서 사용되는 방법으로 국제해사기구(IMO)의 기법, U.S. Coast Guard의 CASP(Computer Aided Search Planning), Fleet Numerical Weather Center의 NSAR(Numerical Search and Rescue Model) 방식 등을 들 수 있다. 이들은 외형적으로 자료처리 및 입·출력 기법들이 모두 다르지만 표류지점 계산에 대한 기본 원리는 모두 같다고 할 수 있다. 즉 해류와 바람에 의한 영향을 벡터적으로 합성하여 추정점이나 수색범위를 결정하는데 표류물체에 미치는 해류의 영향은 100%라고 가정한다.

이들중 IMO의 방식은 대상물을 구명뗏목과 선박으로 크게 나누며, 표류에 영향을 미치는 인자로써는 해류(offshore sea currents), 조류(tidal current), 취송류(wind current), leeway로 구분하고 너울(swell)에 의한 영향은 무시한다. 해류나 조류에 의한 해수유동(sea current)은 해도, pilot chart, 조석표 등에 의해 결정한다. 취송류는 Beaufort scale을 사용하여 그 크기를 결정하고 취송류의 방향은 표류물의 위도좌표로 결정한다. 일반적으로 바람이 6-12 시간정도 일정 방향으로 불면 국지적으로 취송류가 발생한다고 간주되며, 대개 조난사고 발생 24-48시간 전부터의 풍속을 평균한다. 표류지점은 표류에

영향을 주는 위의 여러 요소들의 벡터합성으로 예측된다. 이때 표류에 영향을 주는 모든 요소는 표류물체에 동시에 작용하므로 물체가 실제 표류하는 방향은 합성된 벡터방향이다.¹⁾

NSAR model은 조난물체가 표류하고 있는 지점의 표층류와 조난물체의 해면돌출부에 작용하는 해상풍으로부터 표류치를 계산한다. 표류치 계산에는 표층류를 항상 100% 적용시키고, 바람은 물체의 특성에 따라 일부분만 적용시킨다. 따라서 모델의 입력자료로 표층류와 해상풍에 대한 두 가지 환경자료가 필요하다. 수색작업을 수행하는 본부에서는 표류치 계산을 위하여 목표물과 관련된 leeway code, 최종 확인위치, 출발점, 수색 개시시간, 오차 요소, 수색구역 확장지표 등의 자료를 입력시켜 추정위치, 오차, 수색반경 등에 관한 정보를 산출해 내어 현장에 제공한다.²⁾

반면 U.S. Coast Guard의 CASP는 Monte-Carlo Simulation 방식으로 표류물의 유형이 확인되면 기본변수들(시간, 위치, 조류의 방향 및 유속, 풍향 및 풍속, leeway 공식 등)에 얼마간의 확률오차를 적용시켜 반복하여 표류위치를 추정하는데, 매 반복시 풍향과 실제 표류방향의 사이각은 최대각과 최소각의 사이를 균일분포로 가정하여 무작위로 선택한다. 또한 leeway의 계산은 기본 공식(leeway rate)에 불확실성(rate uncertainty)을 적용하여 계산한다.³⁾

한편 Canada의 방식(CANSARP: Canadian Numerical Search and Rescue Planning)은 NSAR 방식과 유사하게 수색지역을 원으로 표시한다. 그러나 이 방식은 표류물을 26개로 세분시켜 모델에 적용시키고 있고 해묘(drogue)의 유무에 따라 leeway 공식도 다르게 사용하고 있다.⁴⁾

이들 추정 방식들에 대해 간단히 평가하면 우선 IMO의 방식은 2차대전 당시의 자료를 기초로 하였기 때문에 현재 사용되고 있는 선박이나 구명뗏목에 적용시키기에는 적합하지 않으며 실제 응용에서도 오차가 매우 크다. 그리고 U.S. Coast Guard의 CASP는 환경자료 및 표류공식의 불확실성을 어느 정도 고려한 모델이지만 정확한 환경자료로 수치실험을 해보면 대개가 실제의 표류위치보다 훨씬 먼

지역을 예측하는 경향이 있다.³⁾ 반면에 CANSARP 방식은 해상풍, 해조류 예측모델과 연계가 되어 정확한 환경자료를 입력시킬 수 있으므로 표류지점 예측도 비교적 정확하다고 평가되고 있다.⁴⁾

3. 표류 실험

물체의 표류는 해류, 조석, 취송류, 파도, 바람 등 여러 환경 인자들의 영향을 받는데, 이들중 해수 유동이 표류물에 미치는 영향은 100%에 가깝고 파도의 영향은 그렇게 크지 않은 것으로 알려져 있으므로 문제가 되는 것은 바람에 의한 표류이다. 표류지점을 계산할 때 바람에 의한 표류를 leeway라 하고, 표류방향과 풍향과의 사이각을 leeway angle이라 정의한다. 과거 표류에 관한 연구의 대부분이 바로 leeway와 leeway angle을 파악하는데 초점을 두었다. Leeway의 산출방법은 표류물체 주위의 유속을 알아낸 후 실제 표류속도에 벡터에 빼서 표류물체에 대한 바람의 영향을 계산해 내는 간접적인 방법과, 표류물체에 유속계를 부착하여 흐름에 대한 표류물체의 상대적인 속도를 측정하는 직접적인 방법으로 크게 나눌 수 있다.

한편, 미국 U.S. Coast Guard의 National Search and Rescue Manual에는 leeway를 "that movement of a craft through the water, caused by the wind acting on the exposed surface of the craft"라고 정의하고 있다.⁵⁾ 그러나 이 leeway를 실제 수색구조 작업에 사용하려면 두 가지 애매한 점이 있기 때문에 최근에는 leeway를 정의할 때 바람의 경우 10미터 높이의 풍속, 그리고 해류의 경우는 0.3미터에서 1.0미터 사이에서 측정된 유속을 사용하는 것이 제안되고 있다.⁶⁾ 이렇게 표준화시키면 실험으로부터 얻은 결과를 수색구조 작업에 잘못 적용시켜 발생하는 오차를 없앨 수 있다는 취지이다.

첫 leeway drift 실험은 1943년 Woods Hole Oceanographic Institution 에서 미해군 및 육군의 구명뗏목을 사용하여 실시하였으나 실험에 대한 자세한 기록은 없고 간단한 결과만 남아 있다.⁷⁾ 그 후 소형 선박에 관한 첫 실험은 1959년에서 와서야 실

시되었는데,⁸⁾ 하와이 근해에서 어부들의 도움으로 레이더와 육안을 이용하여 매 30분마다 위치가 기록되었다. 이때 표층류의 영향을 알기 위해 커다란 네트(300 ft x 15 ft)를 표류물체 2-3 miles 전방에 표류시켰다. 실험 결과는 leeway를 풍속에 대한 일정 비율로 가정하여 처리되었다. 한편 일본에서도 1967년에 어망을 사용한 표류실험이 보고된 바 있다.⁹⁾

1968년부터 1971년까지는 이와 유사한 방법으로 U.S. Coast Guard Oceanographic Unit에서 구명뗏목과 소형선에 대해 실험을 하였다. 이때 위치는 매 20분 간격으로 레이더상의 각도와 거리로 측정하였고, 표층류 측정을 위해 직경 8.5 미터의 낙하산 모양의 해묘(drogue)가 부착된 부표(buoy)를 사용하였다. 당시의 시험물체는 ballast와 canopy가 없는 7인승 구명뗏목(MK7), 그리고 16-feet 선외기용 보트, 18-feet와 30-feet의 소형 선박이 사용되었다.¹⁰⁾ 그 후 염료를 사용하는 기법이 개발되어 모든 표류물의 위치를 항공사진상으로 염료에 대한 상대위치로 leeway분석을 시도하였다.¹¹⁾ 1972년 U.S. Coast Guard Research and Development Center에서는 이 기법으로 여러 소형선에 대해 실험을 하였는데, 자료분석 결과 크기에 따른 leeway 변화가 심하지 않아 leeway 공식을 해묘의 설치여부에 따라서만 각각 5%와 7%로 구분하였다. 또한 해묘를 설치한 경우 leeway angle이 약 절반정도 줄었으나, 파고가 2 ft에서 4 ft로 증가한 경우 leeway speed가 약 15% 정도 증가한다고 보고하였다.¹²⁾

Scobie and Thompson¹³⁾은 1978년에 실시한 실험에서 표층류 측정을 위해 3 m 짜리 정사각형 해묘를 장착한 부표를 사용하고, 새로 개발된 ballast system 을 부착시킨 6인승, 20인승, 25인승의 구명뗏목을 시험하였다. 실험결과에 의하면 자료중 78%가 30도 이내의 leeway angle을 보였으며, leeway speed는 풍속의 약 4%라고 보고하였다. 1979년 이후에는 표류물체의 위치측정에 MTS(Microwave Tracking System)가 도입되었다.¹⁴⁾ MTS의 사용은 U.S. Coast Guard의 R & D Center가 1979년부터 1981년에 걸쳐 실시한 세차레의 실험중 마지막 실험에서인데, 4인승과 6인승 구명뗏목들에 대해 다양한

조건으로 실험을 하였으나 장비 문제로 인하여 정확한 자료를 확보하지 못하였고, 따라서 leeway에 대한 어떠한 결론에 이르지 못하였다. 그럼에도 불구하고 1983년에는 위치측정 뿐만 아니라 표층류의 측정에도 대대적으로 MTS가 사용되었다. 즉 모든 Lagrange Drifter에 MTS transponder를 장착하여 위치를 기록한 후 각 drifter의 속도를 계산하였다. 이 실험에는 주로 소형 구멍뿔목이 표류물로 사용되었는데, 6인승 MK3A 구멍뿔목(RFD), 원통형 ballast의 4인승 구멍뿔목(Switlik), 반구형 ballast의

6인승 구멍뿔목(Givens)의 3종류가 시험되었다.¹⁵⁾ 그후 1985년 실험에서는 4가지 형태의 구멍뿔목(Switlik, Givens, Avons, Winslow)과 3척의 소형선박(Beachcomber, Aqua-sports, Boston Whaler)을 대상으로 MTS를 본격적으로 사용하였다. 시험물체에는 풍향풍속계 및 기록장치, 위치를 알리는 각종 계측장비들이 부착되었고, 조난자를 대신하여 그 무게만큼의 커다란 물주머니들이 실렸다.¹⁶⁾

한편 일본에서는 Hiraiwa 등의 실험⁹⁾ 이후 1977년에 어선 및 해양관측선을 대상으로 표류 실험을

Table 1 Leeway Studies Using the Indirect Method

Study	Current Measurement	Wind Measurement	Navigation of Target
Pingree(1944)	upper 5 m	at 3 m	not reported
Chaplin(1960)	5x100 m drift net	Buoy tender	Radar & visual Bearing & range
Hiraiwa et al.(1967)	Gill net several miles long	Ship's anemograph	Bearing & range
Burke(1972)	Dye marker, aerial photography every 5 min.	Research vessel (Bellows)	Loran(Bellow) Aerial photographs
Hufford and Broida (1974)	Dye patch, aerial photography every 5 min.	Cup anemometer at 2 m reading at 5 min intervals	Scaling of aerial photographs by landmarks and altitude
Morgan et al.(1977)	8.5 m dia. parachute drogue, tracked by ship, 20 min sampling	USCG ships	Range(radar) Bearing(visual or radar)
Suzuki and Sato (1977)	3.9 m long drifter (bamboo pipe)	Research vessel	Radar
Scobie and Thompson(1979)	5 m buoy with 3x3 m window shade drogue	USCG ship, hourly reading	Visual & radar bearing, range from the ship
Osmer et al.(1982)	Buoy with window shade drogue	USCG ship, 15 min reading	MRS for range, visual bearing using ship's pelorouses, ship's position Loran A or C
Igeta et al.(1982)	Drifters(dia. 11.3 cm, length 2 m and 4 m)	at 3 m	Decca
Suzuki et al.(1984)	Same as above	at 3 m	Decca
Nash & Willcox (1985, 1991)	Surface drifters tracked by MTS at 2 min intervals	Anemometer, 2 m, 3 sec average, every 30 or 40 sec	Microwave Tracking System
Fitzgerald et al. (1990)	Surface drifter tracked by Loran-C	R.M.Young anemometer Ship and Life raft	Loran-C, 5 min
Su(1997)	Surface drifters(board)	C-MAN station anemometer, 7m hourly	Triangulization from shore using transit
Kang(1998)	surface drifters(vinyl)	Station anemometer, 3 m, 10 min	Triangulization from shore using sextant

Table 2 Leeway Studies Using the Direct Method

Study	Current Measurement	Wind Measurement	Navigation of Target
Fitzgerald et al. (1993)	EMCM at 0.7 m depth, 10 min average	R.M. Young anemometer 2 m or 3 m, 10 min average	Argos positions
Fitzgerald et al. (1994)	EMCM at 0.7 m depth, 10 min average	R.M. Young anemometer 2 m or 3 m, 10 min ave.	Data loggers stored GPS position, every 5 min
Kang(1995)	EMCM at 3 m depth, 5 min average	Cup anemometer at 2 m, reading at 5 min intervals	Loran C, every 10 min
Fitzgerald(1995)	EMCM at 0.7 m depth, 10 min average	R.M. Young anemometer 2 m or 3 m, 10 min ave.	Data loggers stored GPS position, every 5 min
Allen(1996)	EMCM at 0.7 m depth, 10 min average	R.M. Young anemometer 2 m or 3 m, 10 min ave.	Data loggers stored GPS position, every 5 min
Allen(1996)	EMCM at 0.7 m depth, 10 min average	R.M. Young anemometer 2 m or 3 m, 10 min ave.	Data loggers stored GPS position, every 5 min

하였는데 3.9 m 길이의 대나무 아래에 4.5 kg의 추를 달아 drifter로 사용하였다.¹⁷⁾ 그리고 1980년부터는 소형어선과 함께 구명동의, 유리구슬, 널빤지, 인체 등 여러 표류물체에 대해 실험을 하여^{18),19)} 수색구역을 결정하는 방법을 발표하기도 하였다.²⁰⁾ 그러나 표류물체의 종류에 비해 실험회수가 많지 않고 이해하기 어려운 자료도 포함되어 있어 수색구조 작업에 활용하기에는 부족하다고 판단되고 있다.

인체에 대한 실험도 Suzuki 등¹⁹⁾의 논문에 언급되고 있는데 이들은 실물 대신 마네킹에 구명동의를 입혀서 실험을 하였다. 그리고 1993년에는 미국의 Florida 주에서 역시 마네킹을 사용한 현장실험 결과가 보고되었는데 이때는 마네킹에 조종사의 구명복을 입혀 실험을 하였다.²¹⁾

이상이 간접적인 방법(Indirect method)으로 실험을 한 자료들인데 표 1에 이들이 정리되어 있다. 간접적인 방법은 실험자료를 수집할 때 피할 수 없는 근본적인 오차 발생요인을 갖고 있다. 우선 해수유동을 계산할 때 염료(dye)나 부표(drifter)를 사용하는데, 염료를 사용하는 경우에는 대개 항공사진을 일정 시간간격으로 찍어 해수유동을 관측한다. 이때 염료가 보이는 깊이를 확실할 수 없기 때문에 오차가 발생한다. 그리고 부표의 경우에는 부표의 위치를 나타내는 항법상의 오차가 항상 존재한다. 다음 이 방법은 표류물체와 부표 사이에 거리가 있기

때문에(염료도 마찬가지), 거리가 멀어질수록 계산된 유속이 표류물체가 있는 지점의 유속과 차이가 나게 된다. 또한 이 방법은 표류물체는 그대로 표류하게 두더라도 염료나 부표는 일정시간 후에 다시 표류시켜야 하므로 불연속적으로 자료를 수집하게 된다. 따라서 자료처리가 복잡해지는 단점도 내포하고 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 최근에 이르러서는 유속계를 표류물체에 직접 연결시켜 leeway 공식을 산출하는 직접적인 방법(direct method)이 선호되고 있는데, 캐나다에서는 이 방법으로 구명뿔목에 대한 표류실험을 하였고,^{5),22),23),24)} U.S. Coast Guard에서도 같은 방법으로 쿠바 난민들이 타고 온 뗏목에 대해 실험을 하였으며,²⁵⁾ 최근에는 침수된 선박들에 대한 연구를 한 바 있다.²⁶⁾ 국내에서도 이와 유사한 방법으로 한반도 연근해에서 사용되고 있는 소형어선의 표류특성을 규명하기 위해 실물을 사용한 현장실험을 하였다.²⁷⁾ 표 2는 이들 실험에서 사용한 관측장비 및 자료수집 방법에 대해 정리하였다.

직접적인 방법에 의한 실험은 유속계를 부착해도 표류물체가 그렇게 영향을 받지 않는 경우에 효과적이다. 따라서 현재 시판되고 있는 유속계의 크기를 고려할 때 직접적인 방법은 표류물체가 중·대형인 경우에 적합하다고 할 수 있다. 이 방법으로 인체,

구명대, 널빤지 등 소형물체에 대한 실험을 하기 위해서는 표류에 영향을 미치지 않을 정도의 소형 유속계를 사용하는 기법이 개발되어야 할 것이다.

한편 표 3에는 지금까지의 실험결과를 요약하여 정리하였다. 총 21회의 현장 실험에서 64종에 달하는 물체들이 실험되었는데, 그중 30종은 구명뗏목(life raft)에 대한 실험이고, 소형 선박이 23종, 그리고 11종은 surfboard, life jacket, 뗏목, 인체 등에 관한 실험이었다. 표에서 실험대상물의 이름은 대개 실험보고서에 묘사된 것을 따랐지만 Pingree,⁷⁾ Chaplin,⁸⁾ Hufford and Broida¹²⁾ 등은 실험대상물에 대한 설명이 제대로 되어 있지 않았다. 반면 Hiraiwa 등,⁹⁾ Morgan 등,¹⁰⁾ Scobie and Thomson 등¹³⁾은 실험대상물의 그림을 보고서에 그렸고, Osmer 등¹⁴⁾은 사진과 함께 치수를 기록하였다. 최근에는 대개 치수를 적은 단면도나 조감도를 많이 사용한다.^{6),15),16),23),24),25),26),27)}

4. 결 언

현재 수색작업에서 표류지점을 예측하기 위한 방법으로 가장 활발히 연구되고 있는 모델은 U.S. Coast Guard의 CASP(Computer Aided Search Planning) 방식과 CANSARP(Canadian Numerical Search Planning and Rescue Program) 방식이다. 두 방식 모두 실험결과에 근거를 둔 공식들을 활용하고 있지만 수색지역 결정 방법 및 대상 물체의 분류 방식은 다르게 하고 있다. 표 4에 CASP 1.1B version에 사용되고 있는 leeway 공식들이 나와 있고, 표 5에는 CANSARP의 것이 나와 있다.

위의 두 표에서 보는 것과 같이 아직까지도 1960년대의 실험 결과가 실제 상황에 활용되고 있다. 그 이유는 표 3에서 보는 것과 같이 표류물체의 종류가 너무 다양하고, 실험조건이나 실험에 사용되었던 측정장비들도 매번 달라졌기 때문에 정확한 묘사가 어려웠기 때문이라 사료된다. 공식을 너무 세분하여 복잡하게 분류를 하게 되면 현장 사용자에 의한 인위적인 오차를 피할 수 없게 된다. 더구나 이들 실험결과들을 실제 표류 상황에 적용시켜 그 결과를

비교하였을 때 경우에 따라 큰 오차를 보여주기 때문에 실험결과에 대한 신뢰성을 확신하기가 어려운 실정이다. 따라서 이들 공식들을 새로운 공식으로 바꾸기보다는 더 많은 실험자료들을 포용할 수 있는, 즉 더 큰 범위의 표현 방식이 선호되고 있다. 그러나 계측기기의 발달로 과거의 실험 결과보다는 최근의 결과들이 더 정확할 것이라 생각되는데 전반적으로 과거보다 leeway의 값이 약간씩 낮게 산출되고 있다.

U.S. Coast Guard에서는 개발중인 모델(CASP 2.0)에서 대상물을 15개로 분류하여 leeway 공식 적용에서 발생할 수 있는 오차요인을 최소화시키는 노력을 계속하고 있다. 그러나 어느 공식을 사용하더라도 해상환경자료들을 정확하게 제공할 수 없다면 현재와 같은 큰 오차는 피할 수 없게 된다. Leeway 공식을 산출할 때 사용한 해상환경자료들은 정확한 표류지점에서 실시간으로 관측하였기 때문에 기기 오차 외에는 오차가 거의 없다고 할 수 있다. 그런데 수색구조 작업에 사용할 수 있는 입력자료로는 대부분 광범위한 지역에 적용되는 일반적인 자료나 수년간의 자료를 기후별 또는 월별로 평균한 값이 사용되고 있다. 더구나 문제는 위치가 알려져 있지 않은 대상물의 위치를 추정하는 것이므로 처음부터 오차발생요인을 포함하고 시작한다고 할 수 있다. 어쨌든 정확한 예측을 위해서는 실시간 관측자료들이 모델의 입력자료로 제공될 수 있어야 하는데, U.S. Coast Guard의 경우에도 개선책으로 수색도중 몇 지점의 관측자료를 이용하여 평균값과 비교한 후 보정하여 사용하는 법, 수색도중 수색지역 부근의 많은 지점에서 관측하여 유동장을 구성하는 법, 해조류 순환 예측 수치모델의 초기조건과 경계조건에 이용할 수 있도록 필요한 자료들을 실제 관측하여 수치모델에 의한 계산된 값을 환경자료로 사용하는 법 등을 제시하고 있다.²⁸⁾

결론적으로 수색·구조작업을 원활하게 수행하기 위해서는 무엇보다도 실시간 환경자료나 수치모델로부터 정보를 제공받을 수 있는 해상환경자료 정보 시스템이 우선적으로 구축되어야 한다. 그리고 이외에도 항법오차 등 다른 부수적인 오차발생요인이 있

Table 3 Summary of the Leeway Experiments

Target Description	Ref.	Target Condition	Leeway Equation	Leeway Angle
Mark I life raft	7)	drogued & undrogued	Expressed with Graph	
Mark II life raft				
Mark IV life raft				
Mark VII life raft				
Army E I life raft				
Surfboard	8)	No mention was made use of the drogues	$L = 0.02 \cdot W$	
Heavy-displacement deep-draft sailing vessels			$L = 0.03 \cdot W$	
Moderate-displacement moderate-draft sailing vessels and fishing vessels such as trawlers, trollers, sampans, draggers, seiners, tuna boats, halibut boats, etc.			$L = 0.04 \cdot W$	
Moderate-displacement cruisers			$L = 0.05 \cdot W$	
Light-displacement cruisers, outboards, planing hull type, skiffs, etc.			$L = 0.06 \cdot W$	
60.5 m Fishery training vessel	9)			
33.0 m Fishery training vessel				
RFT-1 2/4-man life raft	11)	No differentiation between drogued & no drogued (data for wind 6~16 knots)	0.08~0.301 knots	-65° ~7°
RFT-2 7-man life raft			0.157~0.357 knots	-57° ~12°
RFT-3 25-man life raft			0.208~0.445 knots	-69° ~6°
16 ft Boston Whaler			0.325~0.371 knots	-85° ~32°
26 ft pleasure boat			0.22~0.353 knots	-85° ~24°
65 ft Research vessel(Bellows)			0.109~0.369 knots	-57° ~4°
21 ft Mariner	12)	drogued	$L_{knot} = 0.06 \cdot W_{knot} - 0.12$	-46° ~44°
		undrogued	$L_{knot} = 0.06 \cdot W_{knot} + 0.01$	
15.2 ft Glastron		drogued	$L_{knot} = 0.06 \cdot W_{knot} - 0.02$	-36° ~46°
		undrogued	$L_{knot} = 0.05 \cdot W_{knot} - 0.09$	
15 ft Barge		undrogued	$L_{knot} = 0.08 \cdot W_{knot} - 0.08$	-46° ~44°
		drogued	$L_{knot} = 0.04 \cdot W_{knot} - 0.07$	
12 ft Silver Skif		undrogued	$L_{knot} = 0.07 \cdot W_{knot} + 0.11$	-31° ~51°
		drogued	$L_{knot} = 0.04 \cdot W_{knot} - 0.20$	
12 ft Rubber raft		undrogued	$L_{knot} = 0.06 \cdot W_{knot} + 0.17$	-35° ~25°
		drogued	$L_{knot} = 0.05 \cdot W_{knot} - 0.12$	
Recommendation(Small craft)		undrogued	$L_{knot} = 0.07 \cdot W_{knot} + 0.04$	
61.8 m Fishing vessel	17)		$L_{knot} = 0.081 \cdot W_{m/s}$	
45.0 m Research vessel			$L_{knot} = 0.054 \cdot W_{m/s}$	

Table 3 Continued

Target Description	Ref.	Target Condition	Leeway Equation	Leeway Angle
Mark 7 7-man life raft	10)			
20 man life raft				
16 ft Outboard motor boat				
18 ft Outboard motor boat				
30 ft Utility boat				
Switlik oblong 6-man life raft	13)		$L_{knot} = 0.034 \cdot W_{knot} + 0.090$	
Givens 25 man life raft			$L_{knot} = 0.054 \cdot W_{knot} - 0.177$	
Goodrich circular 20 man life raft			$L_{knot} = 0.049 \cdot W_{knot} + 0.024$	
Recommendation(Life raft)			$L_{knot} = 0.042 \cdot W_{knot} + 0.060$	$\pm 45^\circ$
Avons 6-man canopy life raft	14)	drogued	$Y_{yard \text{ after } 15min} = 479 - 6.3X_{knot}$	$99 \pm 90^\circ$
Switlik 6-man canopy life raft		undrogued	$Y_{yard \text{ after } 15min} = 59.7 + 26.6X_{knot}$	$38.5 \pm 28^\circ$
Switlik 4-man canopy life raft		drogued	$Y_{yard \text{ after } 15min} = 559.2 - 1.4X_{knot}$	$133 \pm 103^\circ$
USCG Mark 7, 7-man non-canopy life raft		undrogued	$Y_{yard \text{ after } 15min} = -1303 - 109.6X_{knot}$	$98 \pm 21.5^\circ$
Life jacket	18)		Expressed with Graph	
Life ring(od 76 cm, id 42.5 cm)				
Glass ball with fishing net(4.6 kg)				
Glass ball(W 3.75 kg, d 30.25 cm)				
Fish box lid(121x61x10 cm)				
Bamboo(3.9 m long)				
Wooden board(152x9.5x2.3 cm)				
FRP boat(2.47x11.0x0.43 m)				
PIW				
MTB-8 4-man life raft & TRB-13B 6-man life raft & MTB-25 12-man life raft	19)	unloaded undrogued	$L_{knot} = 0.113 \cdot W_{m/s(10m)}$	
		unloaded drogued	$0.054 \cdot W_{m/s} < L_{knot} < 0.101 \cdot W_{m/s}$	
		loaded drogued	$L_{knot} = 0.084 \cdot W_{m/s(10m)}$	
		vertical	$L_{knot} = 0.01 \cdot W_{m/s(10m)} + 0.061$	
RFD 6-man MK3A life raft	15)	undrogued	$L_{knot} = 0.0568 \cdot W_{knot(10m)} + 0.145$	$-30^\circ \sim 75^\circ$
Switlik 4-man life raft	15)	undrogued	$L_{knot} = 0.0083 \cdot W_{knot(10m)} + 0.100$	$-43^\circ \sim 45^\circ$
Givens Buoy 6-man life raft		undrogued	$L_{knot} = 0.0064 \cdot W_{knot(10m)} + 0.100$	$-29^\circ \sim 49^\circ$
Beaufort 4-man life raft	22)	undrogued	$L_{knot} = 0.0471 \cdot W_{knot(10m)} - 0.1375$	$0^\circ \sim 50^\circ$
		drogued	$L_{knot} = 0.0338 \cdot W_{knot(10m)} - 0.1$	$0^\circ \sim 50^\circ$
Switlik 4-man life raft	16)	undrogued	$L(\text{downwind})_{knot} = 0.0183 \cdot W_{knot(10m)} + 0.0393$	
Givens Buoy 6-man life raft		undrogued	$L(\text{downwind})_{knot} = 0.0102 \cdot W_{knot(10m)} - 0.0023$	
Avons 4-man life raft		undrogued	$L(\text{downwind})_{knot} = 0.008 \cdot W_{knot(10m)}$	
Winslow 4-man life raft		drogued	$L(\text{downwind})_{knot} = 0.070 \cdot W_{knot(10m)}$	
14-ft Outboard (Boston Whaler-type)		undrogued	$L(\text{downwind})_{knot} = 0.0344 \cdot W_{knot(10m)} + 0.0427$	
19-ft Outboard (Center-console sport fisherman)		undrogued	$L(\text{downwind})_{knot} = 0.0602 \cdot W_{knot(10m)} - 0.0851$	
20-ft Cabin cruiser		undrogued	$L(\text{downwind})_{knot} = 0.0090 \cdot W_{knot(10m)} - 0.0813$	

Table 3 Continued

Target Description	Ref.	Target Condition	Leeway Equation	Leeway Angle
Beaufort 5-sided 4-man life raft	6), 23)	undrogued	$L_{knot} = 0.049 \cdot W_{knot(10m)} - 0.159$	-19° ~ -36°
Beaufort 5-sided 4-man life raft		drogued	$L_{knot} = 0.021 \cdot W_{knot(10m)} - 0.011$	-9° ~ -28°
Beaufort 6-sided 4-man life raft		undrogued	$L_{knot} = 0.034 \cdot W_{knot(10m)} - 0.028$	-15° ~ -11°
Beaufort circular 20-man life raft		undrogued	$L_{knot} = 0.039 \cdot W_{knot(10m)} - 0.059$	-21° ~ -19°
Beaufort circular 20-man life raft		drogued	$L_{knot} = 0.031 \cdot W_{knot(10m)} - 0.070$	-18° ~ -30°
5.6 m open plank boat		undrogued	$L_{knot} = 0.029 \cdot W_{knot(10m)} + 0.077$	-28° ~ -19°
SOLAS approved 22-man life raft		undrogued	$L_{knot} = 0.038 \cdot W_{knot(10m)} - 0.082$	-27° ~ -37°
L1011 Aircraft evacuation slide		undrogued	$L_{knot} = 0.028 \cdot W_{knot(10m)} - 0.011$	-35° ~ -17°
USCG sea rescue kit		undrogued	$L_{knot} = 0.025 \cdot W_{knot(10m)} - 0.044$	-12° ~ -9°
Tulmar 4-man life raft		undrogued	$L_{knot} = 0.032 \cdot W_{knot(10m)} + 0.035$	-27° ~ -18°
Tulmar 4-man life raft		drogued	$L_{knot} = 0.019 \cdot W_{knot(10m)} + 0.014$	-15° ~ -9°
Recommendation(Life raft)		undrogued	Model giving highest leeway speed: $L_{knot} = 0.049 \cdot W_{knot(10m)} - 0.159$ Model giving lowest leeway speed: $L_{knot} = 0.032 \cdot W_{knot(10m)} + 0.035$	-27° ~ -36°
		drogued	Model giving highest leeway speed: $L_{knot} = 0.031 \cdot W_{knot(10m)} - 0.070$ Model giving lowest leeway speed: $L_{knot} = 0.019 \cdot W_{knot(10m)} + 0.013$	-18° ~ -30°
Switlik 6-person life raft with 4 small ballast bags		24)	undrogued	$L_{knot} = 0.032 \cdot W_{knot(10m)} - 0.02$
	drogued		$L_{knot} = 0.019 \cdot W_{knot(10m)} + 0.035$	
12.5 m Korean fishing vessel	27)	undrogued	$L_{m/s} = 0.01 \cdot W_{m/s(10m)} + 0.061$	-65° ~ -15°
Cuban refugee raft with sail	25)		$L_{cm/s} = 8.0\%W_{m/s(10m)}$	0±45°
Cuban refugee raft without sail			$L_{cm/s} = 1.5\%W_{m/s(10m)}$	0±30°
15 m fishing vessel with rear-reel for net fishing			$L_{cm/s} = 4.0\%W_{m/s(10m)}$	30±15° -30±15°
5.5 m wooden-planked open boat: (upright and empty) and (swamped)		empty	$L_{cm/s} = 3.65 \pm 1.66\%W_{m/s} (W:0-10m/s)$	-6±11°
			$L_{cm/s} = 3.65 \pm 1.66\%W_{m/s} (W:10-20m/s)$	8±8° -8±8°
swamped		$L_{cm/s} = 1.73 \pm 0.46\%W_{m/s(10m)}$	0±10°	
	26)	empty	$L_{cm/s} = 1.95 \pm 0.42\%W_{m/s(10m)}$	8±5°
swamped		$L_{cm/s} = 0.79 \pm 0.17\%W_{m/s(10m)}$	0±10°	
Switlik 6-person life raft with 4 small ballast bags: (upright and empty) and (swamped)		empty	$L_{cm/s} = 2.82 \pm 0.44\%W_{m/s(10m)}$	0±10°
		swamped	$L_{cm/s} = 1.13 \pm 0.23\%W_{m/s(10m)}$	0±10°
Beaufort 5-sided 4-man life raft: (upright and empty) and (capsized)		empty	$L_{cm/s} = 1.93 \pm 0.58\%W_{m/s(10m)}$	12±8°
		swamped	$L_{cm/s} = 0.89 \pm 0.12\%W_{m/s(10m)}$	0±10°
PIW	21)		$L_{cm/s} = 0.0126(W_{air} - W_{water})$	
PIW in survival suit		horizontal	$L_{cm/s} = 0.0323(W_{air} - W_{water})$	18±45°
PIW with diving wetsuit	28)	vertical	$L_{cm/s} = 0.4\%W_{m/s(10m)}$	
PIW(Scuba diver)		horizontal	$L_{cm/s} = 1.3\%W_{m/s(10m)}$	

Table 4 USCG CASP 1.1B Leeway Target Classes and Leeway Formula

Type of Craft	Leeway in knots	Reference
Light displacement cruisers, outboards, rubber raft without drogue	$0.047 \cdot W_{knot}$ to $0.097 \cdot W_{knot}$	Hufford & Broida(1974)
Light displacement cruisers, outboards, rubber rafts with drogue	$0.034 \cdot W_{knot}$ to $0.067 \cdot W_{knot}$	Hufford & Broida(1974); Scobie & Thompson(1977)
Large cabin cruisers	$0.034 \cdot W_{knot}$ to $0.067 \cdot W_{knot}$	Chapline(1960)
Medium displacement sailboats, fishing vessels	$0.027 \cdot W_{knot}$ to $0.053 \cdot W_{knot}$	Chapline(1960)
Heavy displacement deep draft sailing vessels	$0.020 \cdot W_{knot}$ to $0.040 \cdot W_{knot}$	Chapline(1960)
Surfboards	$0.013 \cdot W_{knot}$ to $0.027 \cdot W_{knot}$	Chapline(1960)
PIW	0.00	

Table 5 Canadian Coast Guard Leeway Target Classes and Leeway Formula

Type of Craft	No Drogue	Reference	With Drogue	Reference
PIW	$L_{knot} = 2.0\%W_{knot}$		$L_{knot} = 2.0\%W_{knot}$	
PIW - PFD	$L_{knot} = 2.0\%W_{knot}$		$L_{knot} = 2.0\%W_{knot}$	
1 Person Raft	$L_{knot} = 4.3\%W_{knot} + 0.04$		$L_{knot} = 2.8\%W_{knot} - 0.12$	
4 Person Raft	$L_{knot} = 4.3\%W_{knot} + 0.04$	Fitzgerald(1993)	$L_{knot} = 2.8\%W_{knot} - 0.12$	Fitzgerald(1993)
6 Person Raft	$L_{knot} = 4.3\%W_{knot} + 0.04$		$L_{knot} = 2.8\%W_{knot} - 0.12$	
8 Person Raft	$L_{knot} = 4.3\%W_{knot} + 0.04$		$L_{knot} = 2.8\%W_{knot} - 0.12$	
10 Person Raft	$L_{knot} = 4.3\%W_{knot} + 0.04$		$L_{knot} = 2.8\%W_{knot} - 0.12$	
15 Person Raft	$L_{knot} = 4.3\%W_{knot} + 0.04$		$L_{knot} = 3.1\%W_{knot} - 0.12$	
20 Person Raft	$L_{knot} = 4.3\%W_{knot} + 0.04$		$L_{knot} = 3.1\%W_{knot} - 0.12$	Fitzgerald(1994)
25 Person Raft	$L_{knot} = 4.3\%W_{knot} + 0.04$		$L_{knot} = 3.1\%W_{knot} - 0.12$	
Power boat < 15 ft	$L_{knot} = 7.0\%W_{knot} + 0.04$	Hufford and	$L_{knot} = 5.0\%W_{knot} - 0.12$	Hufford and
Power boat 15-25 ft	$L_{knot} = 7.0\%W_{knot} + 0.04$	Broida(1974)	$L_{knot} = 5.0\%W_{knot} - 0.12$	Broida(1974)
Power boat 25-40 ft	$L_{knot} = 5.0\%W_{knot}$	Chapline(1960)	$L_{knot} = 5.0\%W_{knot}$	
Power boat 40-65 ft	$L_{knot} = 5.0\%W_{knot}$		$L_{knot} = 5.0\%W_{knot}$	
Power boat 65-90 ft	$L_{knot} = 4.0\%W_{knot}$	Chapline(1960)	$L_{knot} = 4.0\%W_{knot}$	Chapline(1960)
Sailboat 15 ft	$L_{knot} = 7.0\%W_{knot} + 0.04$	Hufford and	$L_{knot} = 5.0\%W_{knot} - 0.12$	Hufford and
Sailboat 20 ft	$L_{knot} = 7.0\%W_{knot} + 0.04$	Broida(1974)	$L_{knot} = 5.0\%W_{knot} - 0.12$	Broida(1974)
Sailboat 25 ft	$L_{knot} = 4.0\%W_{knot}$		$L_{knot} = 4.0\%W_{knot}$	
Sailboat 30 ft	$L_{knot} = 4.0\%W_{knot}$	Chapline(1960)	$L_{knot} = 4.0\%W_{knot}$	
Sailboat 35 ft	$L_{knot} = 4.0\%W_{knot}$		N/A	Chapline(1960)
Sailboat 40 ft	$L_{knot} = 4.0\%W_{knot}$		$L_{knot} = 4.0\%W_{knot}$	Chapline(1960)
Sailboat 50 ft	$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$		$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$	
Sailboat 65-75 ft	$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$	Chapline(1960)	$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$	Chapline(1960)
Sailboat 75-90 ft	$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$		$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$	
Ship 90-150 ft	$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$		$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$	
Ship 150-300 ft	$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$		$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$	
Ship > 300 ft	$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$		$L_{knot} = 3.0\%W_{knot}$	

는데 이들은 구조신호 접수체계와 각종 수색구조 관련 장비들의 성능 등 여러 사항을 검토하여 결론지어야 할 부분이다.

참고문헌

- 1) IMO, IMO Search and Rescue Manual, 1983.
- 2) Hubert, W. E., Hinman, K. G. and Mendenhall, B. R., "The FNWC Monterey Search and Rescue Planning Program (NSAR)", Fleet Numerical Weather Central, Monterey, California, Technical note No. 60., 1970.
- 3) Raunig D. L., Robe, R. Q. and Perkins, B. D., "Computer Aided Search Planning (CASP) Version 1.0 Validation", Interim Report, U.S. Coast Guard, 1995.
- 4) Niwinski, C. T. and Hodgins D. O., "Improved Canadian Search and Rescue Planning (CANSARP) Methods for B.C. Coastal Waters, Sea Consult Marine Research Ltd, 1985.
- 5) U.S. Coast Guard, Commandant Instruction MI6120.5A, "National Search and Rescue Manual", Washington D.C. 1 February 1991.
- 6) Fitzgerald, R. B., Finlayson, D. J. Cross, J. F. and Allen A., "Drift of Common Search and Rescue, Phase II", TP#11673, Canadian Coast Guard R & D Branch, 1993.
- 7) Pingree, F. deW., "Forethoughts on Rubber Rafts", Woods Hole Oceanographic Institution, 1944.
- 8) Chaplin, W. E., "Estimating the Drift of Distressed Small Craft", U.S. Coast Guard Academy, Coast Guard Alumni Association Bulletin, 22 (2), New London, 1960.
- 9) Hiraiwa, T., Fujii. T. and Saito S., "An Experimental Study of Drift and Leeway", The Journal of Navigation, London: Vol. 20, No. 2, 1967.
- 10) Morgan, C. W., "Experiments in Small Craft Leeway", U.S. Coast Guard Oceanographic Unit TR 77-2, Washington, 1977.
- 11) Burke, Jr. F. P., "Additional Leeway Experiments(leeway II)", Final Report Modification #1 to contract No. DOT-CG-13-506A, 1972.
- 12) Hufford, G. W. and Broida, S., "Determination of Small Craft Leeway", U.S. Coast Guard R & D Center RN No. 39/74, 1974.
- 13) Scobie, R. W. and Thompson, D. L., "Life Raft Study, February 1978", U.S. Coast Guard Oceanographic Unit Technical Report 79-1, Washington, D.C., 1979.
- 14) Osmer, S. R., Edwards, N. C. and Breiter, A. L., "An Evaluation of Life Raft Leeway", U.S. Coast Guard R & D Center RN No. CG-D-10-82, 1982.
- 15) Nash, L. and Willcox, J., "Summer 1983 Leeway Drift Experiment", U.S. Coast Guard R & D Center RN No. CG-D-35-85, 1985.
- 16) Nash, L. and Willcox, J., "Spring 1985 Leeway Drift Experiment", U.S. Coast Guard R & D Center RN No. CG-D-12-92, 1991.
- 17) Suzuki, T. and Sato H., "Measurement of the Drifting of a Fishing Boat or Research Vessel due to Wind and Wave", Journal of Japan Society of Navigation 57, 1977.
- 18) Igeta, Y. Suzuki T. and Sato H., "Experiment on the Sea Regarding Distress and Search of Small Fishing Boat - I", Journal of Japan Society of Navigation 68, 1983.
- 19) Suzuki, T., Sato H, Okuda, I. and Igeta, Y., "Experiment on the Sea Regarding Distress and Search of Small Fishing Boat - II", Journal of Japan Society of Navigation 71, 1984.
- 20) Suzuki, T., Sato H, and Igeta, Y. "Experiment on the Sea Regarding Distress and Search of

- Small Fishing Boat - III", Journal of Japan Society of Navigation 73, 1985.
- 21) Su, T. C., Robe, R. Q. and Finlayson, D. J., "On Predicting the Leeway and Drift of a Survival Suit Clad Person-in-Water", U.S. Coast Guard RN CG-D-14-97, 1997.
 - 22) Fitzgerald, R. B., Russel, J. and Bryant D., "Search and Rescue Experiment for Drive Leeway and Drift Rates for Common Search and Rescue Objects", Transportation Development Centre, Transport Canada, TP10221E, 1990.
 - 23) Fitzgerald, R. B., Finlayson, D. J. and Allen A., "Drift of Search and Rescue Objects, Phase 3", TP#12179, Canadian Coast Guard R & D Branch., Transport development Centre, 1994.
 - 24) Fitzgerald, R. B., "Target Detection Experiment Phase I - Experiment Planning", Transportation Development Centre, Transport Canada, TP12441, 1995.
 - 25) Allen A. A., "The Leeway of Cuban Refugee Rafts and a Commercial Fishing Vessel", U.S. Coast Guard RN CG-D-21-96, 1996.
 - 26) Allen A. A., "The Leeway of an Open Boat and Three Life Raft in Heavy weather", U.S. Coast Guard RN CG-D-03-98, 1997.
 - 27) 강 신영, 이 준, "소형선박의 표류특성 추정을 위한 현장실험", 해양안전학회지 1권 1호, 1995.
 - 28) 강 신영, "인체의 표류특성 추정을 위한 현장실험", 해양안전학회지(in press).
 - 29) Paskansky, D. F., "Surface Current Real-Time Prediction from Search and Rescue", Proc. Offshore Technology Conference Paper OTC 5213, 1986.