

技術報告

조난물체의 표류지점 추정 모델

강 신 영*

Prediction Model of Distressed Craft Drift

*Sin-Young Kang**

| 〈 목 차 〉 | |
|-----------------------------|------------|
| Abstract | 4. 개발중인 모델 |
| 1. 서론 | 5. 수색구역 비교 |
| 2. 표류지점 예측 모델 | 6. 결언 |
| 3. Leeway 실험자료 분석 및 결과 표현방식 | 참고문헌 |

Abstract

In this study the drift prediction models currently used in search and rescue(SAR) operations are introduced and the basic differences among them are analyzed by comparing the target classification, the treatment of environmental conditions, leeway equations and the determination of search area. In addition the new methods under development including AP98 of U.S. Coast Guard are compared and studied to improve the efficiency of SAR operation.

1. 서론

수색 및 구조 작업에 사용되는 조난물체의 표류지점 예측모델은 사고 발생지점으로부터 시간이 지남에 따라 점점 멀어지는 조난물체의 위치

를 추정하기 위해 대개는 어떤 추정점에서부터 시작하여 바람과 해류의 영향을 계산하여 시간이 경과함에 따라 점점 넓어지는 형태로 수색구역의 범위를 결정해준다. 이 수색구역의 범위는 모델의 종류, 표류물체의 형태, 해상 환경상태에

* 한국해양대학교 해양개발공학부

따라 달라지는데 현재 사고현장에서 실제로 활용되고 있는 모델은 1) 미국의 National SAR manual, 2) GDOC(Geographic Display Operation Computer) AMM(Automated Manual Method), 3) CASP(Computer Aided Search Planning) version 1.1X, 그리고 4) CANSARP(Canadian Search And Rescue Planning) 이 4가지이다.

그런데 이들 모델에 사용되고 있는 공식들은 대개가 1960년 Chaplin[1]의 연구 결과를 근본으로 하여 1970년대와 1980년대의 연구 결과들을 추가로 보완시킨 것이다. 따라서 이들 모델의 핵심 부분이라고 할 수 있는 leeway 공식들도 현장 실험 당시 사용하였던 계측 오차와 현재의 상황에 맞지 않는 여러 가지 요인들 때문에 부정확하고 결과적으로 수색구역에 대한 오차도 매우 큰 것으로 보고되고 있다. 이러한 오차를 줄이려는 노력의 일환으로 최근에는 현장 실험과 더불어 새로운 이론에 근거한 모델들이 제시되고 있고, 유체역학적인 이론에 바탕을 둔 모델들도 꾸준히 연구되고 있다. 이들 모델들은 아직 검증 단계이지만 장차 이들이 실제 상황에 활용될 것이라는 것은 자명한 사실이다.

본 연구에서는 현재 각국에서 사용중인 모델에 대해 표류물체의 분류 방식, 해상 환경자료 입력

방법, leeway 방정식, 수색구역 결정방법 등에 대해 살펴보고, 현재 개발중인 CASP 2.0, AP98 모델, 부유체 역학이론에 근거한 수치모델 등을 간단히 소개하였다. 국내에서도 현재 몇 가지 모델들이 운용되고 있는 바 외국에서 개발중인 모델들의 특성과 연구 방향을 분석하여 국내의 모델들도 이들의 연구를 활용하여야 할 것이다.

2. 표류지점 예측 모델

해난사고 발생시 표류지점을 추정하는데 현재 사용되고 있는 방법으로 서론에서 언급한 4가지 모델로 구분할 수 있다. 이들은 외형적으로 자료 처리 및 입·출력 기법들이 모두 다르지만 표류지점 계산에 대한 기본 원리는 모두 같다고 할 수 있다.

National Search and Rescue Manual[2]에는 U.S. Coast Guard의 공식적인 표류지점 예측방법이 기술되어 있다. 여기에는 표류물체들이 6개의 그룹으로 나누어져 있고 이들에 대한 leeway speed를 계산하는 공식들이 도표와 그림으로 제공되어 있다. 그런데 표 1에서 보는 바와 같이 2개 그룹[3,4]을 제외한 나머지 그룹에서는 1960년

Table 1 National SAR Manual Target Classes, Values and References

| Type of Craft | National SAR Manual Leeway Speed(knots) (U is wind speed in knots) | Reference |
|--|--|--|
| Light displacement cruisers, outboards, rubber raft without drogue | $0.07 \cdot U + 0.04$ | Hufford & Broida(1974) |
| Light displacement cruisers, outboards, rubber rafts with drogue | $0.05 \cdot U - 0.12$ | Hufford & Broida(1974); Scobie & Thompson(1977) |
| Large cabin cruisers | $0.05 \cdot U$ | Chapline(1960) |
| Medium displacement sailboats, fishing vessels | $0.04 \cdot U$ | Chapline(1960) |
| Heavy displacement deep draft sailing vessels | $0.03 \cdot U$ | Chapline(1960) |
| Surfboards | $0.02 \cdot U$ | Chapline(1960) |

Chapline의 자료가 아직도 활용되고 있다. 물론 1983년과 1991년에 구명뗏목(life raft)에 대한 보충 설명이 첨가되기 하였지만 기본적인 틀은 그대로 유지되고 있다.

Manual에서 표류에 영향을 미치는 인자로써는 leeway, 해류(sea currents), 취송류(wind current), 조류(tidal current)로 구분하고 너울(swell)에 의한 영향은 무시한다. 해류나 조류에 의한 해수유동(sea current)은 해도, pilot chart, 조석표 등에 의해 결정하며, 취송류의 크기와 방향은 도표를 사용하여 표류물의 위도좌표로 결정한다. 표류지점은 표류에 영향을 주는 위의 여러 요소들의 벡터 합성으로 예측된다. 이때 표류에 영향을 주는 모든 요소는 표류물체에 동시에 작용하므로 물체가 실제 표류하는 방향은 합성된 벡터방향이다. IMO(International Maritime Organization)[5]도 이와 거의 같은 방식을 채택하고 있다.

GDOC(Geographic Display Operations Computer) AMM(Automated Manual Method)에는 National SAR Manual의 6개 그룹 외에 PIW(Person in Water)와 Anchored to Land가

추가되어있다. GDOC는 leeway speed 방정식과 최대분산각(leeway divergence angle)으로부터 수색구역을 결정한다. 표류거리의 계산에는 표층류를 항상 100% 적용시키고, leeway drift의 계산에는 표 2의 값을 사용한다. 수색작업을 수행하는 본부에서는 수색구역의 계산을 위하여 목표물과 관련된 leeway code, 최종 확인위치, 수색개시시간, 오차 요소, 수색구역 확장지표 등의 자료를 입력시켜 추정위치, 오차, 수색반경 등에 관한 정보를 산출해 내어 현장에 제공한다.

수색구역을 결정하는 방법은 그림 2에서 보는 것과 같이 양쪽 최대분산각 방향으로 leeway 방정식을 적용시킨 표류거리 d_{max} , d_{min} 을 구하고, 그 끝점에서 표류거리의 0.3배를 한 값을 반경으로 하여 원을 그린다. 그러면 두 작은 원의 중심을 연결시킨 직선상의 가운데 지점이 수색지역의 중심(center of search)이 되고 이 지점을 중심으로 다시 큰 원을 그리는데, 첫 번째 수색구역 결정시는 확장지표 1.1을 곱하므로 반경 및 수색구역의 면적은 그림과 같이 정사각형으로 표시된다. 한편 1999년 1월에 발표된 IAMSAR(International

Table 2 USCG GDOC AMM Leeway Target Classes and Values.

| Type of Craft | GDOC Automated Manual Method | |
|--|---|--------------------------|
| | Leeway Speed(knots) (U is wind speed in knots) | Divergence Angle(degree) |
| Light displacement cruisers, outboards, rubber raft without drogue | $0.07 \cdot U + 0.04$ | ± 35 |
| Light displacement cruisers, outboards, rubber rafts with drogue | $0.05 \cdot U - 0.12$ | ± 35 |
| Large cabin cruisers | $0.05 \cdot U$ | ± 60 |
| Medium displacement sailboats, fishing vessels | $0.04 \cdot U$ | ± 60 |
| Heavy displacement deep draft sailing vessels | $0.03 \cdot U$ | ± 45 |
| Surfboards | $0.02 \cdot U$ | ± 35 |
| PIW | 0.00 | |
| Anchored to Land | 0.00 | |

Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual[6]에는 분산각을 사용하지 않고 조난물체가 바람이 불어 가는 방향과 같은 방향으로 표류한다고 가정하여 수색구역을 결정하는 방법이 사용되고 있다.

U.S. Coast Guard의 CASP는 Monte-Carlo Simulation 방식으로 표류물의 유형이 확인되면 기본변수들(시간, 위치, 조류의 방향 및 유속, 풍향 및 풍속 등)이 어떤 확률분포를 가진다고 가정하여, 표 3에서 나와있는 것같이 leeway rate에 불확실성 계수(rate uncertainty) 0.33을 적용하여 표류위치를 반복하여 계산한다[7]. 수색구역은 부채꼴(arc) 모양으로 표시될 수 있다.

한편 Canada Coast Guard의 CANSARP (Canadian Numerical Search Planning)도 수색구역을 원으로 표시한다. 그러나 이 방식은 최근의 연구 결과들[8,9,10]을 많이 반영시켜 표류물을 28개로 세분시키는데 drogue의 유무에 따라 leeway 공식도 다르게 사용하고 있다[11].

3. Leeway 실험자료 분석 및 결과 표현방식

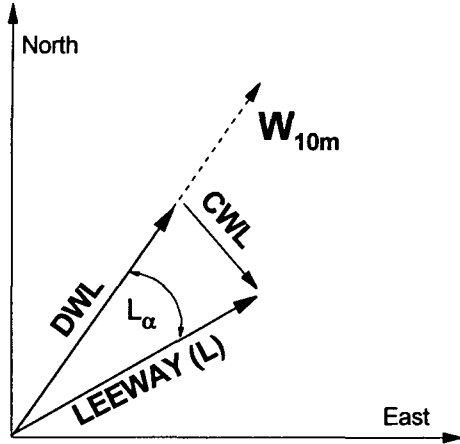
표류실험 결과를 표현하는 방식은 (1) 풍속에 대한 표류속도의 비율(leeway rate)로 표시, (2) leeway speed와 leeway angle로 표시, (3) 표류방향에 대한 접선방향 성분(downwind component)과 수직방향(crosswind component) 성분으로 표시하는 방식 이 세 가지 형태로 분류할 수 있다 (Fig. 1). 초기에는 실험결과를 간단하게 풍속의 몇 %라고 leeway rate로 정리하였지만, 차츰 leeway speed는 최소자승법을 사용하여 10미터 높이 풍속에 대한 직선 방정식의 형태로, 그리고 leeway angle은 평균값으로 표현하는 것이 일반적으로 되었다. 그러나 최근에 와서는 leeway 방향의 접선방향 성분과 수직방향 성분으로 표현하는(그림 1) 세 번째 방식이 제시되고 있고 이 표현방식을 사용하는 모델도 개발중에 있다.

Table 3 USCG CASP 1.1X Leeway Target Classes and Values.

| Type of Craft | CASP 1.1X | |
|--|---|--------------------------|
| | Leeway Speed(knots) (U is wind speed in knots) | Divergence Angle(degree) |
| Light displacement cruisers, outboards, rubber raft without drogue | $0.07 \cdot U(0.047 \cdot U \text{ to } 0.097 \cdot U)$ | ± 35 |
| Light displacement cruisers, outboards, rubber rafts with drogue | $0.05 \cdot U(0.034 \cdot U \text{ to } 0.067 \cdot U)$ | ± 35 |
| Large cabin cruisers | $0.05 \cdot U(0.034 \cdot U \text{ to } 0.067 \cdot U)$ | ± 60 |
| Medium displacement sailboats, fishing vessels | $0.04 \cdot U(0.027 \cdot U \text{ to } 0.053 \cdot U)$ | ± 60 |
| Heavy displacement deep draft sailing vessels | $0.03 \cdot U(0.020 \cdot U \text{ to } 0.040 \cdot U)$ | ± 45 |
| Surfboards | $0.02 \cdot U(0.013 \cdot U \text{ to } 0.027 \cdot U)$ | ± 35 |
| PIW | 0.00 | 0 |
| Anchored/Land | 0.00 | 0 |
| User defined leeway | | |

Table 4 CANSARP Leeway Target Classes, Leeway Speed & References.

| Type of Craft | Leeway Speed(knots) (U is wind speed in knots) | | | | Leeway Divergence Angle(deg.) | Reference |
|------------------------------------|---|----------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | No Drogue | Reference | With Drogue | Reference | | |
| PIW | 0.0%U | | 0.0%U | | 0 | None |
| Surfboard | 2.0%U | Chapline(1960) | 2.0%U | | 0 | None |
| Raft(any size) capsized or swamped | 1.3%U-0.12 | Allen and Fitzgerald(1997) | 1.3%U-0.12 | Allen and Fitzgerald(1997) | 0 | None |
| 1 Person Raft | 3.7%U+0.04 | | 2.8%U-0.12 | | 35 | Hufford and Broida(1974) |
| 4 Person Raft | 3.7%U+0.04 | Fitzgerald(1994) | 2.8%U-0.12 | Fitzgerald(1993) | 35 | |
| 6 Person Raft | 3.7%U+0.04 | | 2.8%U-0.12 | | 35 | |
| 8 Person Raft | 3.7%U+0.04 | | 2.8%U-0.12 | | 35 | |
| 10 Person Raft | 3.7%U+0.04 | | 2.8%U-0.12 | | 35 | |
| 15 Person Raft | 3.7%U+0.04 | | 3.1%U-0.12 | | 35 | |
| 20 Person Raft | 3.7%U+0.04 | | 3.1%U-0.12 | Fitzgerald(1994) | 35 | |
| 25 Person Raft | 3.7%U+0.04 | | 3.1%U-0.12 | | 35 | |
| Power boat < 15 ft | 7.0%U+0.04 | Hufford and Broida(1974) | 5.0%U-0.12 | Hufford and Broida(1974) | 35 | |
| Power boat 15-25 ft | 7.0%U+0.04 | | 5.0%U-0.12 | | | |
| Power boat 25-40 ft | 5.0%U | Chapline(1960) | 5.0%U | | 45 | |
| Power boat 40-65 ft | 5.0%U | | 5.0%U | | | |
| Power boat 65-90 ft | 4.0%U | Chapline(1960) | 4.0%U | Chapline(1960) | 45 | |
| Sailboat 15 ft | 7.0%U+0.04 | Hufford and Broida(1974) | 5.0%U-0.12 | Hufford and Broida(1974) | 45 | |
| Sailboat 20 ft | 7.0%U+0.04 | | 5.0%U-0.12 | | | |
| Sailboat 25 ft | 4.0%U | Chapline(1960) | 4.0%U | | 45 | |
| Sailboat 30 ft | 4.0%U | | 4.0%U | | 45 | |
| Sailboat 35 ft | 4.0%U | | N/A | Chapline(1960) | 45 | |
| Sailboat 40 ft | 4.0%U | | 4.0%U | Chapline(1960) | 45 | |
| Sailboat 50 ft | 3.0%U | Chapline(1960) | 3.0%U | Chapline(1960) | 45 | |
| Sailboat 65-75 ft | 3.0%U | | 3.0%U | | | |
| Sailboat 75-90 ft | 3.0%U | | 3.0%U | | | |
| Ship 90-150 ft | 3.0%U | | 3.0%U | | 45 | |
| Ship 150-300 ft | 3.0%U | | 3.0%U | | 45 | |
| Ship > 300 ft | 3.0%U | | 3.0%U | | 45 | |



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. 1 Relationship between the Leeway Speed & Angle and the Downwind & Crosswind Components of Leeway

4. 개발중인 모델

(1) Mathematical Model

앞의 방법들과는 달리 뉴턴의 운동 역학과 유체역학적인 이론에 근거하여 유도된 방정식을 수치해석적인 방법으로 해법을 구하는 방식이 있다. 이 방법은 1986년에 처음 시도되었는데 현장실험에 비해 매우 경제적이고 표류물의 형상 및 해상환경 변화에 대한 분석이 아주 쉽다는 장점 때문에 최근에 이르기까지 계속 연구가 되고 있다. 그러나 이 방법도 유체력 계산에 필요한 각종 계수들을 실험으로 정확히 결정해주어야 한다는 근

본적인 난제를 내포하고 있다.

이 방법은 보통 수학적 모델(Mathematical model) 또는 이론적 모델(Theoretical model)이라 부른다. 보통 표류물체의 운동을 3자유도(surge, sway, yaw)로 제한하고 운동방정식을 세운 다음 해상환경조건으로부터 외력을 계산하여 각 운동 방향에 대한 미분방정식을 풀음으로써 이동거리를 계산한다. 이 방법에 사용되는 운동방정식은 다음과 같다.

$$\text{surge: } M \left(\frac{du}{dt} - v \dot{\theta} \right) = F_x$$

$$\text{sway: } M \left(\frac{dv}{dt} + u \dot{\theta} \right) = F_y$$

$$\text{yaw: } I_{zz} \frac{d\dot{\theta}}{dt} = M_z$$

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

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

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

여기서 M 은 표류물체의 질량, I_{zz} 는 관성모멘트, u 와 v 는 속도, 그리고 $\dot{\theta}$ 는 yaw velocity이다. 한편 각 방향의 외력성분 F_x , F_y , M_z 는 바람과 해류 그리고 파도에 의한 영향을 선형적으로 합성하는데 외력 산정에는 유체역학 이론에 근거한 실험식을 활용하고 있다. 이 모델은 외력 산정에 필요한 각종 계수들에 대한 정확한 값과 표류물체의 질량과 부가질량 그리고 관성모멘트와 부가관성모멘트 등 형태적인 특성에 대한 자료만 충분히 확보 되면 여러 상황에 대한 수치 시뮬레이션을 쉽게 할 수 있어 표류실험에 필요한 막대한 예산을 줄일 수 있는 장점이 있다. 이에 대한 자세한 내용은 Kang[12]의 논문, Su[13]와 Hodgins and Mak[14]의 보고서를 참조할 수 있다.

(2) CASP 2.0

한편 CASP는 Wagner Associates에서 1.1X판을 2.0판으로 수정중이다. 최근까지 알려진 바에

의하면 표류물체를 15개로 분류하고 있으며, leeway angle 값을 주고 풍속의 상한값(Upper Leeway Tacking Threshold)과 하한값(Lower Leeway Tacking Threshold)을 주고 있다. 만일 풍속이 두 값 사이에 있으면 tacking 방향을 변경시키지 않고 계속 동일한 leeway angle로 표류하고, 풍속이 변하여 그 경계값을 넘어서면 표류방향이 바람이 불어 가는 방향으로 바꾼다고 가정하고 있다. 그리고 반복할 때는 tacking 방향을 양 분산각(여기서는 Leeway Angle)의 사이값을 균일한 분포로 무작위하게 선택한다. 표 6에 이들 값이 나와있다. 표에서 하한값이 0.0이고 상한값이 999인 경우는 표류방향이 바람이 불어 가는 방향과 같다는 뜻이다.

(3) AP98

표 5는 Allen and Plourde[15]가 현장 실험자료로부터 63종류의 표류물체에 대한 leeway를 접선 방향 성분과 수직방향 성분으로 표시한 자료의 일부이다. 63종류중 25종류는 실험자들이 자체적

으로 이 방법으로 분석한 보고서로부터 발췌한 결과이고, 나머지 38종류는 leeway speed 표현식의 slope와 분산각(divergence angle)으로부터 최적의 보정계수(adjustment factor)를 구해 변환시킨 값이다. 이 방식은 다음과 같이 각 성분별로 직선방정식의 기울기(slope)와 y축과의 교점(y-intercept)을 사용하여 표류거리를 계산한다.

$$\begin{aligned} \text{Downwind Leeway(cm)} &= [\text{Slope}(\%) \times W_{10m}(\text{m/s})] + y\text{-intercept}(\text{cm}) \\ \text{Positive Crosswind Leeway(cm)} &= [\text{Slope}(\%) \times W_{10m}(\text{m/s})] + y\text{-intercept}(\text{cm}) \\ \text{Negative Crosswind Leeway(cm)} &= [\text{Slope}(\%) \times W_{10m}(\text{m/s})] + y\text{-intercept}(\text{cm}) \end{aligned}$$

표에는 또한 standard error of estimate $S_{y/x}$, 두 수직방향(Crosswind component) 성분의 교차점, 수직방향 성분을 적용시키는 원칙, jibing 빈도 등이 표기되어 있다. Allen and Proude는 이 자료를 운용하는 모델을 시험중에 있는데 본인들의 이름을 붙여 AP98 모델이라 부르고 있다.

Table 5 Leeway Classes and Value Proposed for CASP 2.0

| Class | Leeway Rate | Leeway Angle | Lower Leeway Tacking Threshold | Upper Leeway Tacking Threshold |
|------------------|-----------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Anchored on Land | Default to zero | 0.0 | 0.0 | 999 |
| Empty PFD | Default to zero | 0.0 | 0.0 | 999 |
| Flotsam | Default to zero | 0.0 | 0.0 | 999 |
| Surfboard | Default to zero | 5.0 | 10.0 | 40.0 |
| Oil Slick | Default to zero | 0.0 | 0.0 | 999 |
| PIW w/PFD | Default to zero | 0.0 | 0.0 | 999 |
| PIW w/o PFD | Default to zero | 0.0 | 0.0 | 40.0 |
| Raft w/ Canopy | Default to zero | 5.0 | 10.0 | 40.0 |
| Raft w/o Canopy | Default to zero | 5.0 | 10.0 | 40.0 |
| Power Boat | Default to zero | 10.0 | 10.0 | 40.0 |
| Sail Boat | Default to zero | 15.0 | 10.0 | 40.0 |
| Fishing Vessel | Default to zero | 15.0 | 10.0 | 40.0 |
| Ship | Default to zero | 20.0 | 10.0 | 40.0 |
| User Defined | Default to zero | 0.0 | 0.0 | 999 |

Table 5 Downwind and Crosswind Component of Leeway Values for AP98 Model

| Leeway Target Category | | | | DWL | | | +CWL | | | -CWL | | | J | R | Jib | |
|------------------------|---------|---------------------------------|---------|-------|-------|------------------|-------|------|------------------|-------|-------|------------------|------|------|-----|---|
| Level 1 | Level 2 | Level 3 | Level 4 | Slope | Y | S _{y/x} | Slope | Y | S _{y/x} | Slope | Y | S _{y/x} | | | | |
| PIW | | | | 0.96 | 0.0 | 12.0 | 0.54 | 0.0 | 9.4 | -0.54 | 0.0 | 9.4 | 0 | 0 | 1 | |
| | Verti. | | | 0.48 | 0.0 | 8.3 | 0.15 | 0.0 | 6.7 | -0.15 | 0.0 | 6.7 | 0 | 0 | 1 | |
| | Sitting | | | 1.60 | -3.98 | 2.42 | 0.13 | 0.33 | 2.11 | -0.13 | -0.33 | 2.11 | 0 | 0 | 1 | |
| | Horiz | Survival Suit | | | 1.71 | 1.12 | 3.93 | 1.36 | -3.30 | 1.71 | -0.13 | -2.65 | 1.62 | 0 | 0 | 1 |
| | | Scuba Suit | | | 0.63 | 0.0 | 5.3 | 0.31 | 0.0 | 4.5 | -0.31 | 0.0 | 4.5 | 0 | 0 | 1 |
| Deceased | | | 1.30 | 0.0 | 8.3 | 0.74 | 0.0 | 6.7 | -0.74 | 0.0 | 6.7 | 0 | | 1 | | |
| Maritime | No | | | 3.70 | 0.0 | 12.0 | 1.98 | 0.0 | 9.4 | -1.98 | 0.0 | 9.4 | 0 | 0 | 1 | |
| | Ballast | no can no dro | | 5.34 | 9.91 | 9.82 | 2.26 | 1.04 | 9.08 | -2.26 | -1.04 | 9.08 | 0 | 0 | 1 | |
| | | no can w/ dro | | 3.15 | -4.47 | 4.0 | 1.51 | 0.0 | 5.0 | -1.51 | 0.0 | 5.0 | 0 | 0 | 1 | |
| | System | can no dro | | 3.39 | 0.0 | 2.4 | 1.49 | 0.0 | 2.4 | -1.49 | 0.0 | 2.4 | 0 | 0 | 1 | |
| | | can no dro | | 2.65 | 0.0 | 12.0 | 1.42 | 0.0 | 9.4 | -1.42 | 0.0 | 9.4 | 0 | 0 | 1 | |
| Life | Shallow | | | 2.68 | 0.0 | 12.0 | 1.10 | 0.0 | 9.4 | -1.10 | 0.0 | 9.4 | 0 | 0 | 1 | |
| | Ballast | no dro | | 2.96 | 0.0 | 1.5 | 1.21 | 0.0 | 1.7 | -1.21 | 0.0 | 1.7 | 0 | 0 | 1 | |
| | | w/dro | | 2.31 | 0.0 | 4.0 | 0.95 | 0.0 | 3.5 | -0.95 | 0.0 | 3.5 | 0 | 0 | 1 | |
| Rafts | Canopy | capsized | | 1.68 | 0.0 | 2.4 | 0.24 | 0.0 | 2.4 | -0.24 | 0.0 | 2.4 | 0 | 0 | 1 | |
| | | Deep Ballast Systems & Canopies | | | 3.52 | -2.5 | 6.1 | 0.62 | -3.0 | 3.5 | -0.45 | -0.2 | 3.6 | 2.62 | -1 | 2 |

Slope=Slope of W_{10m}(%); Y=Y-intercept(cm/s); S_{y/x}=Std. Error of Estimate(cm/s);

J=Junction W_{10m}(m/s)for +/- CWL equations;

R=Rule(-1, 0, +1) for applying CWL equation below Junction W_{10m};

5. 수색구역 비교

AP98 모델과 현재 가동중인 몇 가지 모델들과 비교 분석을 위해 해류가 없는 일정한 풍향과 풍속의 해상상태를 가정하고 어느 한 지점에서 표류를 시작했을 때 각 모델에 의한 수색구역을 도시해 보면 다음과 같다.

(1) GDOC AMM(Geographic Display Operation Computer Automated Manual Method)

이 방법은 사실상 U.S. Coast Guard에서 발행한 National Search and Manual에 기술되어 있는 방법을 전산화시킨 것으로 AMM(Automated Manual Method) 혹은 AMS(Automated Manual Solution)이라고 부른다. 그림 2에 수색구역이 도시되어 있다.

이 방법으로 표류거리가 10해리인 경우 분산각이 35도이면 수색구역이 369평방해리가 되고, 분산각이 45도이면 490평방해리, 60도이면 658평방해리가 된다. 한 가지 흥미있는 점은 발산각이 어느 각도 이상이 되면 그림 2의 [B]에서 보는 것과 같이 수색지역에 출발지점이 포함된다는 것이다.

(2) CASP(Computer Aided Search Planning)

CASP는 실종된 위치가 불확실하다고 가정하여 가능성이 있다고 판단되는 지점을 중심으로 여러 지점에서 몬테카를로(Monte Carlo) 기법으로 반복적으로 추정점을 결정한다. CASP의 경우 초기 위치와 해상환경자료에 대한 불확실성을 가정해야 하지만 모델간의 공정한 비교를 위해 leeway와 직접 관련이 되지 않는 변수들은 전부 오차가 없다고 가정한다. 즉 초기 위치는 한 지점, 해류는 없고 풍향과 풍속이 일정하다고 가정하면 수색구역은 부채꼴 모양이 된다. 그림 3에 분산각이 35° 인 경우[A]와 60° 인 경우[B]가 도시되어 있다.

(3) AP98 모델

AP98 모델은 CASP 모델과 유사하게 반복적으

로 예측지점을 계산하지만 계산 방법은 CASP와 다르다. AP98 모델에서는 leeway의 접선 성분과 수직성분에 대한 오차($S_{y/x}$)로부터 예측지점에 변경된다. 즉 표류거리 계산 방정식의 계수 slope와 y-intercept 값을 반복적으로 변경시켜 적용하는데, 그 값은 표 5에서의 y-intercept 값을 중심으로 하고 표준편차가 $S_{y/x}$ 인 정규분포로 가뺄하여 무작위하게 선택한다.

한편 Allen and Proude는 실험자료를 정리하면서 표류물체 63종에 대한 자료들중 접선 및 수직방향 성분으로 자료변환이 필요한 38종의 자료를 변환하기 위하여 분산각에 대한 조정계수(Adjustment Factor)를 방정식에 삽입하여 최적의 조정계수 값을 구하였다. 여기에는 기존의 leeway speed와 분산각을 사용한 방법과 접선 및 수직방향 성분으로 표현한 방법, 이 두 가지 방법으로 처리된 25종의 자료가 사용되었다. 그 결과 조정계수는 1.35가 최적인 것으로 나타났고 이를 기존의 표류지점 예측 모델에 활용하여 수색구역을 줄일 것을 제안하고 있다.

6. 결론

해난사고 발생시 현재 사고현장에서 실제로 활용되고 있는 모델은 1) 미국의 National SAR manual, 2) GDOC(Geographic Display Operation Computer) AMM(Automated Manual Method), 3) CASP(Computer Aided Search Planning) version 1.1X, 그리고 4) CANSARP(Canadian Search And Rescue Planning) 이 4가지이다. 이 모델들은 수색구역을 표시하는 방식은 약간씩 다르지만 가장 핵심적이라 할 수 있는 leeway에 의한 표류거리 계산방법은 거의 같다고 할 수 있다.

한편 현재 개발중인 모델은 1) CASP 2.0, 2) AP98, 3) Mathematical model 등이 있는데 이중 Mathematical model을 제외한 다른 모델들은 모두 현재 활용중인 모델과 같이 현장실험 결과를 기본 공식으로 사용하는 방식이다. Mathematical model은 틀은 잡혀있으나 외력 계산을 위한 실험

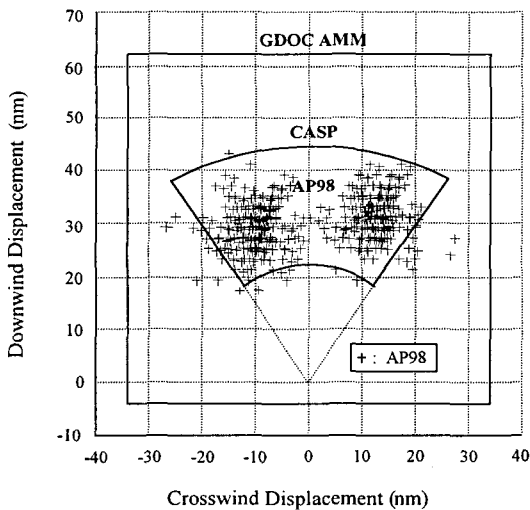


Fig. 4 The Leeway Drift Areas for AMM, CASP1.1X and AP98.

자료들이 아직 부족한 상태이며 정확도를 평가중이다.

개발중인 모델중 표류지점을 예측할 때 풍향의 접선 방향 및 수직 방향으로 표현하는 방식인 AP98 모델은 수색구역의 범위를 크게 줄일 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 따라서 향후 실시되는 모든 표류실험의 결과는 이 방식에 따라 정리될 것이며, 개발중인 모델들도 이 방식을 따르거나 이 방식을 활용할 수 있는 방향으로 연구가 진행될 것으로 예상된다. 그러므로 현재 국내에서 가동중인 모델들도 표류지점 예측 확률을 높이고 수색구역의 범위를 줄일 수 있도록 이들 연구결과를 참조하여 모델을 수정·보완하여야 할 것이다.

사 사

본 연구에 도움을 준 U. S. Coast Guard의 Mr. Arthur A. Allen에게 감사를 드립니다. 본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 지능형통합항만관리연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] U.S. Coast Guard, Commandant Instruction M16120.5A, "National Search and Rescue Manual", Washington D.C. 1 February 1991.
- [3] Hufford, G. W. and Broida, S., "Determination of Small Craft Leeway", U.S. Coast Guard R & D Center RN No. 39/74., 1974.
- [4] 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.
- [5] IMO, IMO Search and Rescue Manual, 1983.
- [6] IMO, IAMSAR Manual, 1999.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Fitzgerald, R. B., "Target Detection Experiment Phase I - Experiment Planning", Transportation Development Centre, Transport Canada, TP12441, 1995.
- [10] Allen A. A. and Fitzgerald, R. B., "The Leeway of an Open Boat and Three Life Raft in Heavy weather", U.S. Coast Guard RN CG-D-03-98, 1997.
- [11] 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.
- [12] Kang S. Y., "Mathematical Modeling of Craft Drift in an Ocean Environment", Ph.D. dissertation, Florida Atlantic University, 1986.
- [13] Su, T. C., "On Predicting the Boat's Drift for Search and Rescue", U.S. Department of Transportation, RN DOT/OST/P-34/87/059.
- [14] Hodgins, D. O. and Mak., R. Y., "Leeway Dynamic Study Phase I Development and Verification of a Mathematical Drift Model for Four-person Liferrafts", Transport Canada Report #TP 12309E, 1995.
- [15] Allen, A. A. and Plourde, J. V., "Review of Leeway: Field Experiments and Implementations", U.S. Coast Guard RN CG-D-XX-99, 1999.