

論 文

人體의 漂流特性 推定을 위한 現場實驗

姜 信 榮*

A Field Experiment for the Determination of Drift Characteristics of Person-in-Water

*Sin-Young Kang**

〈 目 次 〉	
Abstract	4. 결과 분석
1. 서론	5. 결론
2. 표류 실험	요지
3. 자료 처리	참고문헌

Abstract

A field experiment of the leeway of person-in-water(man with wetsuit) was conducted during October 1997~April 1998. The experiment area was northeast side of Cho Do island in Pusan. The college students whose weight ranges 60~87 kg, height 170~178 cm were actually drifted for the experiment. The person-in-water wore 5 mm neoprene diving wetsuit to prevent heat loss of the body. The current near the target was measured using a colored vinyl bag. To compare the result a scuba diver equipped with scuba gear and with his BC(buoyancy compensator) fully inflated was drifted alongside. The average leeway speed of man with wetsuit and that of scuba diver were about 0.4 percent and 1.3% of the 10 m wind speed above the water respectively.

* 한국해양대학교 조선해양공학부 교수

1. 서 론

해양의 표면은 바람, 해류, 파도, 조석 등의 영향으로 항상 불규칙하게 움직이고 있다. 이러한 환경 속에 떠있는 인체의 표류는 해난사고와 관련이 되어 해상중사자들의 관심의 대상이 되어왔지만 해난사고의 발생이 대개 폭풍이라는 자연적인 요인과 불가분의 관계가 있고, 또한 조난목표물이 여러 해상환경요인의 영향을 받기 때문에 표류지점을 예측하는 것은 거의 불가능한 것으로 여겨왔다. 그 예로 1993년 10월에 발생한 서해 페리호 사고와 94년 8월에 제주도 근해에서 발생한 해난사고(해모, 삼화, 금성호 침몰사건)에서 보듯이 사체 표류에 관한 정확한 지식과 해상환경에 대한 정보가 부족하여 막연히 주변해역을 많은 선박 및 항공기로 무작위로 탐색할 수밖에 없었다. 해난사고의 수색작업은 시간이 진행됨에 따라 수색할 지역이 넓어지고 더욱 많은 인원과 경비가 소요된다.

본 연구는 해난사고 발생시 사고 발생지점으로 부터 떨어진 조난자의 위치를 좀더 정확히 추정함으로써 수색 및 구조작업을 효과적이며 신속하게 수행할 수 있도록 하는데 그 목적을 두었다. 본 연구는 수색작업의 시간 및 경비절감의 측면으로 보아서도 필요하지만 해상중사자들이 실수나 사고로 인해 바다에 표류하게 되었을 때 생존자의 인명을 구할 수 있는 확률을 높이려는 시도라는 측면에서 매우 중요하다.

수색 및 구조작업에 있어서 바람에 의한 표류를 leeway라 부르고 표류방향과 풍향과의 사이각을 leeway angle이라 정의한다. 과거 표류에 관한 연구의 대부분이 현장실험을 통하여 leeway와 leeway angle을 파악하는데 초점을 두었다. Leeway의 산출방법은 표류물체 주위의 유속을 알아낸 후 실제 표류속도 벡터에 빠져 표류물체에 대한 바람의 영향만을 계산해 내는 간접적인 방법과 표류물체에 유속계를 부착하여 흐름에 대한 표류물체의 상대적인 속도를 측정하는 직접적인 방법으로 크게 나눌 수 있다. 표류에 관한 실험이 시작된 이래 최근에 이르기까지 이러한 실험의 기본 원리는 변함이 없고 단지 전자계측 장비의 발달로

관측기술 및 자료처리 방법만 바뀌어 왔다고 해도 과언이 아니다(Chaplin, 1960; Burke, 1972; Hufford and Broida, 1974; Morgan, 1977; Scobie and Thompson, 1979; Osmer et al., 1982; Nash and Willcox, 1985; Fitzgerald et al., 1990; Fitzgerald et al., 1993; Fitzgerald et al., 1994; Fitzgerald et al., 1995; Allen, 1996; Allen, 1997). 이들 현장실험을 통하여 얻어진 결과는 IMO의 구조지침서(IMO, 1983), U.S. Coast Guard의 SAR Manual(U.S. Coast Guard, 1991) 등에 적용되고 있다. 최근에는 소형컴퓨터의 사용이 보편화됨에 따라 CASP(Computer Aided Search Planning) 모델(Raunig et al., 1995)과 CANSARP(Canadian Search and Rescue Planning; Niwinski and Hodgins, 1985), Fleet Numerical Weather Central의 NSAR(Hubert et al., 1970) 등의 수치모델이 활용되고 있는데 여기에서도 이 결과들을 기초자료로 사용하고 있다.

표류실험에서는 위치측정장비, 유속계, 풍향풍속계 및 기록장치 등 여러 계측장비들을 실험대상물에 부착하여 대개 조난자의 역할로는 무게가 비슷한 물주머니나 마네킹을 사용한다. 이런 실험은 해상상태가 거칠어지면 실험자들이 도리어 조난의 위험에 처하기 때문에 상당히 주의를 해야 하고 안전을 위한 추가적인 인력과 장비도 많이 필요로 한다. 더구나 인체를 표류물체로 하는 경우는 조난자의 열손실로 실험을 장시간 할 수가 없고, 해상상태나 기타 환경적인 요인에 의한 위험이 몇 배나 더 커지기 때문에 함부로 해상에서 할 수가 없다. 지금까지 표류물체가 구멍정이나 소형선박에 대해서는 많이 실험이 되어왔지만 인체의 경우는 자료를 거의 찾아 볼 수 없는 것이 바로 이런 이유에 기인한다.

현재 수색구조작업에서 인체의 표류지점을 추정할 때 U.S. Coast Guard는 막연히 해류와 같은 속도로 표류할 것으로 가정하고, Canadian Coast Guard는 풍속의 2%를 leeway speed로 추정하고 있다. 이들에 대한 근거는 두 기관 모두 제시하지 않고 있다. 인체를 대상으로 한 연구는 구명복을 입힌 모형(마네킹)에 대한 실험과(Suzuki et al.,

1984; Su et al., 1997) 수조에서 인형을 사용하여 항력을 측정함으로써 인체에 대한 표류특성 추정을 시도한 것이 있는 정도이다(강과 Su, 1997). 이러한 사정으로 볼 때 본 연구는 실물을 사용한 최초의 현장실험이다.

2. 표류 실험

실험은 1997년 10월 30일부터 1998년 4월 25일 까지 16회에 걸쳐 실시되었고, 실험해역은 조난자의 안전을 고려하여 한국해양대학교가 위치한 조도 내항측 직선해안(Fig. 1) 부근으로 하였다. 실험에는 조난자의 역할로 인체의 모형이나 마네킹을 사용하지 않고 실제 사람을 표류시켰는데 조난자의 열손실이 심할 것에 대비하여 조난자에게 보온효과가 높은 5 mm 습식잠수복을 착용시켰다. 그리고 조난자가 중성부력을 유지하도록 납벨트를 착용시켰고 가능한 한 수면과 직각으로 선 자세를 유지하도록 하였다. 이와는 별도로 스쿠버 다이버의 표류를 알아보기 위하여 스쿠버 세트를 완전히 착용한 다이버로 하여금 누운 자세를 취하게 하여 조난자와 함께 표류시켰다. 이때 다이버들은 보통 수면에서 부력확보를 위해 부력조절기에 공기를 많이 넣고 떠있게 되므로 본 연구에서도 스쿠버 다이버의 경우는 부력조절기에 공기를 가득 넣은 상태로 실험을 하였다. 조난자의 역할은 10명의 대학 재학생들이 번갈아 가며 맡았는데 이들의 몸

무게는 60~87 kg, 키가 170~178 cm이었다.

전형적인 실험의 진행은 다음과 같다: 실험 준비가 완료되면 먼저 육상에서 풍향 및 풍속을 측정하고, 조석표를 참조하여 대략적인 흐름의 방향을 예측한다. 그래서 실험 시작지점을 결정하고 고무보트에 표류대상물들(조난자, 다이버, 비닐주머니(부피 약 5리터))을 싣고 시작지점으로 출발한다. 일단 시작지점에 도착하면 무전으로 위치 측정자들과 교신을 하여 시작점을 확인하고 표류대상물을 투하함으로써 실험이 시작된다. 이들의 위치는 육분의(sextant)로 5~10분 간격으로 측정되는데, 육상의 두 지점(직선거리 370미터)과 보트에서 무전으로 동일 물체를 서로 확인하고 동일 시각에 표류물체와 기준선 사이의 각도를 측정함으로써 위치를 계산하였다. 이때 수면에 떠있는 표류대상물은 위치 측정자들에게 잘 보이지 않기 때문에 보트로 이들에게 최대한 가까이 접근하게 하여 보트 깃발의 위치를 대신 측정하였다.

실험 당시 풍향·풍속은 육상에서 측정하였으며 풍속은 최대 13 m/s에 이른 날도 있었으나 해상상태는 실험장소가 내항에 위치한 관계로 파도는 무시해도 좋을 정도로 작았다. 실험은 표류물체가 육지 부근에 도달하기까지 계속되었는데 바람이 센 날의 1회 표류시간은 약 20분 정도이고 대개 30~50분 정도 실험을 할 수 있었다.

3. 자료 처리

먼저 두 지점에서 육분의(sextant)로 측정된 각도 값을 사용하여 전방교회법으로 각 대상물의 위치를 환산한다. 그리고 각 표류대상물들을 측정할 시간이 약간씩 차이가 나기 때문에 내삽법(interpolation)을 사용하여 동일한 시각에서의 표류지점으로 환산하였다. Fig. 2에 대상물들의 시간별 표류궤적을 그린 한 예가 도시되어 있다. 실험 당일 풍속은 8~9 m/s, 풍향은 북동풍으로 거의 해안선과 평행으로 불었다.

물체의 표류와 관련된 실험에서는 바람의 경우 수면위 10미터 높이, 그리고 해류의 경우는 수면에서 0.3~1.0미터 깊이의 자료를 사용하기로 제안

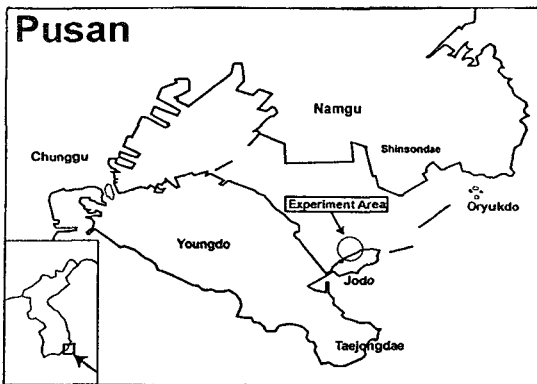


Fig. 1 Experiment Area.

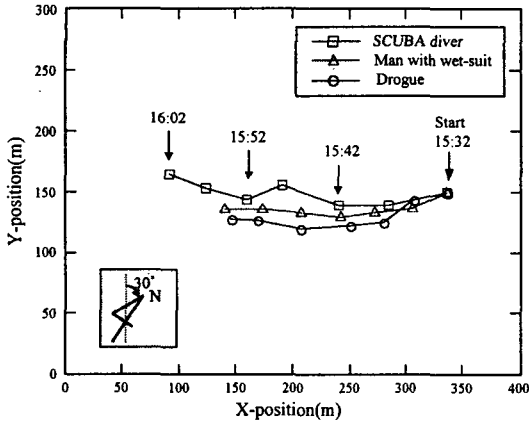


Fig. 2 Track of the Drifting Objects.

된 바 있다(Fitzgerald et al., 1993). 따라서 본 연구에서 풍속은 해수면위 약 3미터 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 풍속이며 V_{10} 은 10미터 높이에서의 풍속이다.

한편 표류물체의 속도는 Lagrangian 방법으로 위치 자료에서 차분법으로 계산하였다. 그래서 해수 유동의 경우 물주머니의 이동이 해수 흐름과 같다고 가정하여 물주머니의 위치 자료로부터 유속과 유향을 계산한 다음, 조난자와 다이버의 표류속도에 물주머니의 속도벡터를 각각 빼서 순수하게 바람의 영향으로 표류한 속도벡터를 구하였다. 이 속도벡터의 크기가 바로 해당 풍속에 대한 leeway speed이다.

Leeway speed는 물체의 수면상 노출된 부분에 작용하는 바람의 영향으로 인하여 물체가 이동한 속도이기 때문에 항상 양의 값을 가져야 한다. 다시 말해서 leeway speed는 물체의 이동을 속도벡터로 표현한 속도의 크기(magnitude)이다. 물론 leeway를 분석할 때 바람의 방향과 평행한 성분(downwind component)과 수직인 성분(crosswind component)으로 구분하여 각각 계산하는 방법도 있으나 이 방법을 사용하면 leeway speed 값이 음

의 값이나 영이 되는 경우도 발생하기 때문에 기본 개념과 맞지 않다고 판단되어 본 연구에서는 이 방법을 택하지 않았다. 그리고 표류물체의 이동방향에 바람이 불어 가는 방향(downwind direction)을 빼면 leeway angle이 계산된다(Fig. 3). 즉 leeway angle 값이 양이면 바람이 불어 가는 방향의 오른쪽으로 표류하는 것이고, 음의 값인 경우는 왼쪽으로 표류한다는 의미이다.

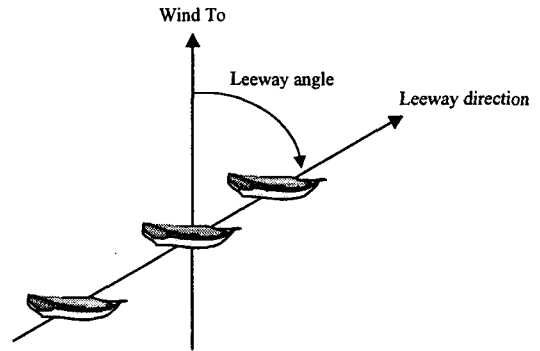


Fig. 3 Definition of Leeway Angle.

4. 결과 분석

표류 현상을 설명할 때 1970년초 이전에는 주로 leeway rate라는 용어를 많이 사용하였다. 이것은 leeway speed를 수면위 10미터 지점 풍속의 크기로 나눈 값으로 정의되는데, 일반적으로 leeway speed는 cm/s 그리고 풍속은 m/s로 단위로 하여 leeway speed가 풍속의 약 몇 %라고 표현한다(Chaplin, 1960; Burke, 1972). Fig. 4와 Fig. 5에 각각 조난자와 스쿠버 다이버에 대한 leeway rate가 나와있고 Table 1에 이 자료들에 대한 평균값과 표준편차가 나와있다.

Fig. 6과 Fig. 7에는 풍속과 leeway speed에 대한 자료가 도시되어 있고 Table 2에 이 자료들에 대한 통계치가 나와있다. 여기서 계수 a 와 b 는 leeway speed를 직선의 방정식 $U_L = a \cdot W + b$ 로 표현하기 위해 최소자승법으로 구한 값이고, r^2 은 결정계수(coefficient of determination) 그리고

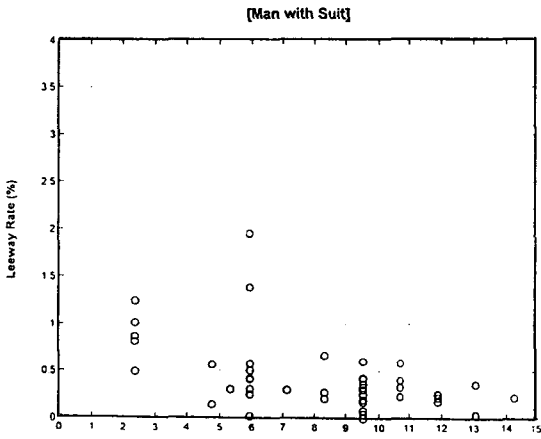


Fig. 4 Leeway Rate versus Wind Speed(Man with Suit).

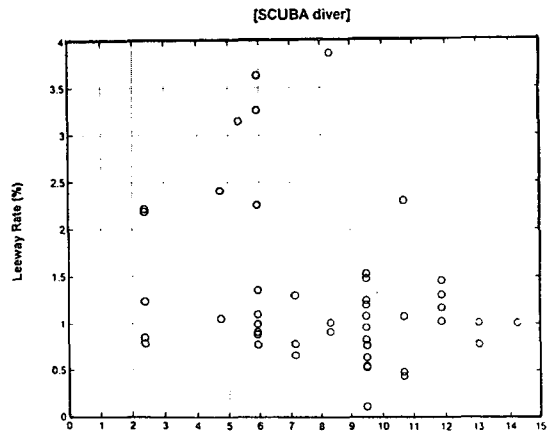


Fig. 5 Leeway Rate versus Wind Speed(SCUBA diver).

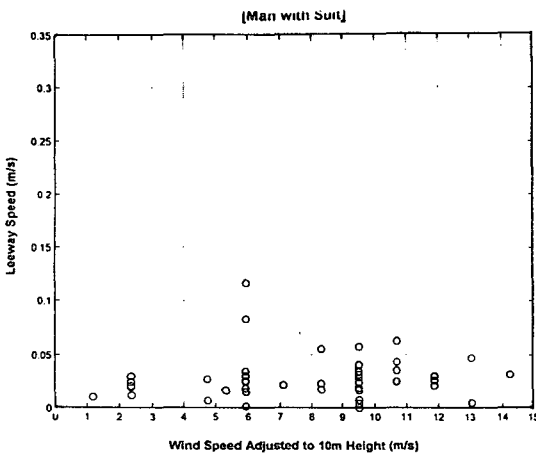


Fig. 6 Leeway Speed versus Wind Speed(Man with Suit).

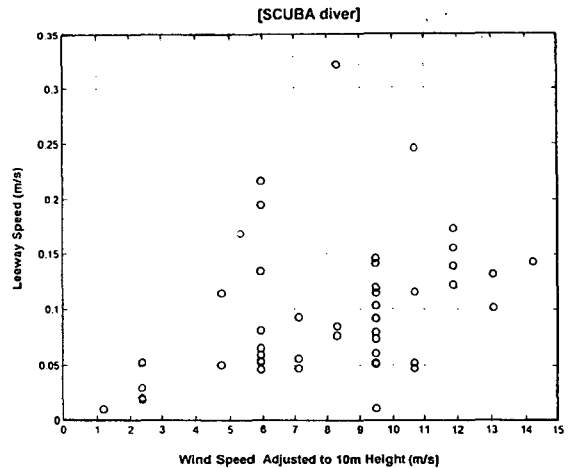


Fig. 7 Leeway Speed versus Wind Speed (SCUBA diver).

Table 1 Summary of the Leeway Rate vs. Wind Data.

Target Type	# of Data	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum	W _{10m} (m/s)
Man with suit	47	0.42	0.37	0.00	1.95	2~15
Scuba Diver	47	1.31	0.84	0.11	3.87	2~15

Table 2 Summary of the Leeway Speed vs. Wind Data.

Target Type	# of Data	a	b	r ²	Sy/x	W _{10m} (m/s)
Man with suit	47	0.0005	0.0248	0.0052	0.0207	2~15
Scuba Diver	47	0.0069	0.0429	0.1149	0.0592	2~15

Table 3 Summary of the Leeway Angle vs. Wind Data.

Target Type	# of Data	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum	W _{10m} (m/s)
Man with suit	47	34.95	77.27	-130	169	2~15
Scuba Diver	47	45.45	52.70	-142	114	2~15

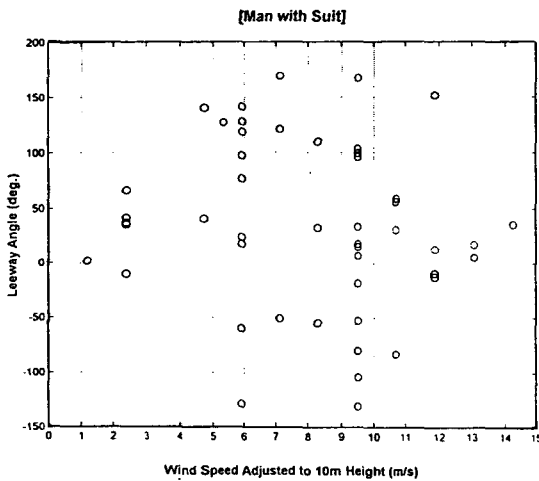


Fig. 8 Leeway Angle versus Wind Speed(Man with Suit).

S_{y/x}는 추정치에 대한 표준 오차(standard error of estimate)이다(Allen, 1996). 일반적으로 r²의 값이 0.4보다 작은 경우는 회귀분석의 결과가 실험자료를 잘 대표하지 못하는 것으로 여긴다. 따라서 본 연구의 결과는 직선의 방정식으로 표현하는 것보다 leeway rate로 표현하는 것이 더 적절하다고 분석된다.

Fig. 8과 Fig. 9에는 leeway angle에 대한 자료가 도시되어 있다. 그리고 이 자료들에 대한 통계

치가 Table 3에 정리되어 있다.

수색구조 작업에서 인체(PIW)의 표류지점을 예측할 때 Canadian Coast Guard와 U.S. Coast Guard 양측 모두 leeway speed를 풍속의 0.0%로 하고 있다. 그러나 어느 쪽도 그 근거에 대해서는 정확히 밝히고 있지 않다. 최근 발표된 Su(1997)의 보고서에 의하면 leeway speed를 계산할 때 구명복(survival suit)을 입은 경우는 $U_L = 0.0323(U_{air} - U_{water})$ 식을, 맨몸의 경우는 $U_L = 0.0126(U_{air} -$

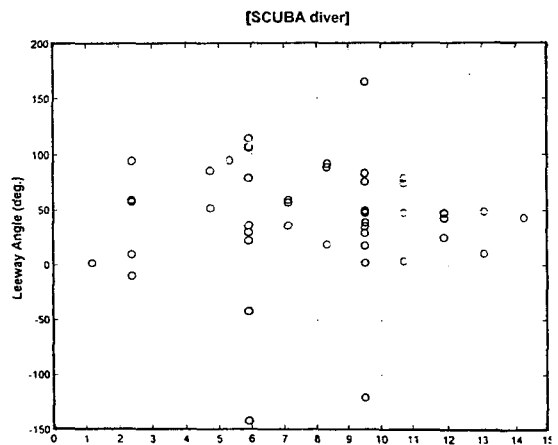


Fig. 9 Leeway Angle versus Wind Speed (SCUBA diver).

U_{water}) 식을 추천하고 있다. 한편 Suzuki 등(1984)은 $U_L = 0.01 \cdot W + 0.061$ (여기서 U_L 의 단위는 knot, W의 단위는 m/s) 식을 제시하였다.

Su의 결과와 본 연구에 의한 결과를 비교해 보면, 구명복의 경우 수밀처리가 되었기 때문에 몸 주위를 둘러싼 공기로 인하여 수면위 돌출면적이 크게 증가하는 것을 고려할 때 본 연구 결과보다 leeway speed가 높게 산출되는 것이 당연하다고 생각된다. 그리고 맨몸의 경우에는 Su의 결과보다 낮은 값이 나왔는데, 이는 Su의 경우 마네킹을 사용하였기 때문에 표류물체의 자세를 본 연구처럼 직립자세로 하기 어려울 뿐만 아니라 수면돌출부도 본 실험보다는 훨씬 많을 수밖에 없는 점을 고려할 때 이것도 역시 설명이 가능하다. 그리고 Suzuki 등의 실험에서는 마네킹에 구명등을 입혀 직립자세로 실험을 하였으므로 본 연구의 습식 잠수복만 입은 경우와 비슷한 조건이라고 할 수 있다. 그들의 결과는 본 연구에 의한 결과(0.4%)보다 약간 높지만 매우 비슷하다고 할 수 있다.

일반적으로 조난자가 표류할 때는 평상복을 입은 채이거나 나무판자나 스티로폼 등 부유물체를 붙잡은 상태로 표류하게 된다. 평상복만 입거나 맨몸인 경우는 leeway rate가 본 연구의 실험조건 중 잠수복만 입은 상태와 비슷하거나 더 작을 것이라 추측할 수 있다. 그러나 부유물체를 잡고 있는 경우는 수면위 돌출면적이 커지기 때문에 바람의 영향도 그 만큼 커지게 되어 본 연구의 스쿠버 다이버보다 더 큰 leeway rate가 될 것이라 예상된다. U.S. Coast Guard에서 surfboard의 경우 풍속의 2.0%로 정하고 있는 것을 참조할 때 본 연구의 결과는 매우 타당한 것으로 사료된다.

5. 결 론

인체의 표류특성을 규명하기 위해 실물을 표류시키는 현장실험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 스쿠버 다이빙용 잠수복(wet suit)만 착용하고 다른 잠수장비를 착용하지 않은 상태에서 leeway speed는 풍속의 약 0.4%이었다. 이때

조난자의 자세는 직립자세로 거의 중성부력 상태를 유지하였다.

2. 스쿠버 다이빙용 잠수복과 실린더를 포함한 기본 잠수장비를 착용한 상태에서의 leeway speed는 풍속의 약 1.3%이었다. 이때 조난자는 BC에 공기를 가득 넣고 누운 자세를 취하였다.

비록 충분하지 못한 자료로부터 도출한 결론이지만 본 연구의 결과는 지금까지 막연히 적용해오던 leeway 공식에 대한 지침이 될 수 있을 것이라 생각된다. 본 연구에서는 실험 회수가 많지 않았고 자료가 분산되어 통계적인 처리가 미흡하였다고 생각되는데 향후 외해에서 보다 장기간에 걸친 실험을 하여 많은 자료를 확보해야 할 것이다. 또한 널빤지나 구명대와 같은 부유물체를 붙잡고 표류하는 경우와 같이 실제 상황과 비슷한 조건에 대한 실험도 추가되어야 할 것이다.

요 지

인체의 표류특성을 규명하기 위해 1997년 8월부터 1998년 4월까지 실물을 이용한 현장실험을 실시하였다. 실험은 부산 영도구에 위치한 조도 부근해역에서 행하여졌고, 조난자로는 체중 60~87 kg, 키 170~178 cm의 대학생들이 역할을 대신하였다. 실험중 조난자의 과도한 열손실을 방지하기 위해 네오프렌 재질의 5 mm 잠수복을 착용하였다. 그리고 표류물체 주위의 유속 측정을 위해서는 비닐 백을 사용하였다. 결과 비교를 위해 조난자 옆에 스쿠버 장비를 갖추고 부력조절기에 바람을 가득 넣은 다이버를 함께 표류시켰다. 자료를 분석한 결과 잠수복만 입은 조난자 및 스쿠버 다이버의 평균 leeway rate는 각각 수면상 10 m 높이 풍속의 약 0.4%와 1.3%이었다.

사 사

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었습니다. 상기 재단에 감사사를 드립니다.

참고문헌

- [1] Allen A. A., 1996. "The Leeway of Cuban Refugee Rafts and a Commercial Fishing Vessel", U.S. Coast Guard RN CG-D-21-96.
- [2] Allen A. A., 1997. "The Leeway of an Open Boat and Three Life Raft in Heavy weather", U.S. Coast Guard RN CG-D-03-98.
- [3] Burke, Jr. F. P., 1972. "Additional Leeway Experiments (leeway II)", Final Report Modification #1 to contract No. DOT-CG-13-506A.
- [4] 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.
- [5] Fitzgerald, R. B., 1995. "Target Detection Experiment Phase I - Experiment Planning", Transportation Development Centre, Transport Canada, TP12441.
- [6] Fitzgerald, R. B., Finlayson, D. J. and Allen A. A., 1994. "Drift of Search and Rescue Objects, Phase 3", TP12179, Canadian Coast Guard R & D Branch.
- [7] Fitzgerald, R. B., Finlayson, D. J. Cross, J. F. and Allen A. A., 1993. "Drift of Common Search and Rescue, Phase II", TP11673, Canadian Coast Guard R & D Branch.
- [8] Fitzgerald, R. B., Russel, J. and Bryant D., 1990. "Search and Rescue Experiment for Drive Leeway and Drift Rates for Common Search and Rescue Objects", Transportation Development Centre, Transport Canada, TP10221E.
- [9] Hubert, W. E., Hinman, K. G. and Mendenhall, B.R., 1970. "The FNWC Monterey Search and Rescue Planning Program (NSAR)", Fleet Numerical Weather Central, Monterey, California.
- [10] Hufford, G. W. and Broida, S., 1974. "Determination of Small Craft Leeway", U.S. Coast Guard R & D Center RN No. 39/74.
- [11] Morgan, C. W., 1977. "Experiments in Small Craft Leeway", U.S. Coast Guard Oceanographic Unit TR 77-2, Washington.
- [12] Nash, I. and Willcox, J., 1985. "Summer 1983 Leeway Drift Experiment", U.S. Coast Guard R & D Center RN No. CG-D-35-85.
- [13] Niwinski, C. T. and Hodgins D. O., 1985. "Improved Canadian Search and Rescue Planning (CANSARP) Methods for B.C. Coastal Waters, Sea Consult Marine Research Ltd.
- [14] Osmer, S. R., Edwards, N. C. and Breiter, A. L., 1982. "An Evaluation of Life Raft Leeway", U.S. Coast Guard R & D Center RN No. CG-D-10-82.
- [15] Raunig D. L., Robe, R. Q. and Perkins, B. D., 1995. "Computer Aided Search Planning (CASP) Version 1.0 Validation", Interim Report, U.S. Coast Guard.
- [16] 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.
- [17] Suzuki, T., Sato, H., Okuda, I. and Igeta, Y., 1984. "Experiment on the Sea Regarding Distress and Search of Small Fishing Boat - II", Journal of Japan Society of Navigation 71.
- [18] Su, T. C., Robe, R. Q. and Finlayson, D. J., 1997. "On Predicting the Leeway and Drift of a Survival Suit Clad Person-in-Water", U.S. Coast Guard RN CG-D-14-97.
- [19] 강 신영, Su T. C., 1997. "인체의 표류특성에 관한 연구", 해양안전학회지 3권 1호.