

사고선박의 다양한 예인계획에 따른 예인상태 추정 프로그램 개발

김은찬[†] · 최혁진 · 이승국
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

Development of Prediction Program for the Towing Condition Associated with Various Towing Operations of a Disabled Ship

Eun-Chan Kim[†], Hyuek-Jin Choi, and Seung-Guk Lee

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon 305-343, Korea

요 약

해상에서 사고선박을 예인하기 위해서는, 예상되는 바람과 조류 등의 해상상태에서, 선정된 예인선들의 예인력과 예인 방향을 이용하여 피예인선의 선속과 방향을 추정하여야 한다. 본 논문에서는 사고선박의 다양한 예인계획에 따른 예인 상태 추정 방법을 연구하였다. 기존 전산 프로그램을 사용하여 계산된 피예인선의 정면방향 선속과 저항을 가져오는 방법과, 초기 예인상태에서 선정된 예인선들에 의한 피예인선의 전진방향 선속과 저항을 계산하는 방법, 그리고 안정된 예인상태에서 피예인선의 전진방향 선속과 저항을 계산하는 방법을 제안하였다. 이들 계산 방법은 전산 프로그램으로 구현되었으며, 이 프로그램은 피예인선의 상태를 적절히 추정할 수 있는 유용한 프로그램으로 확인되었다.

Abstract – When a disabled ship is being towed in a seaway, the speed and direction of the towed ship are estimated by using the towing force and direction of the selected tug boats at the predicted sea conditions including the wind and currents. In this paper, prediction method at the towing conditions of the various towing operations for a disabled ship are studied. The proposed calculation method suggests firstly the method to import the speed and resistance of the forward direction of the towed ship calculated by the existing computer program, second, the method to calculate the speed and resistance of the towed direction of the towed ship acquired from the selected tug boats at the initial towing conditions and lastly, the method to calculate the speed and resistance of the towed direction for the towed ship at the stable towing conditions. These calculation methods have been applied to the computer program and this program has been approved to be a useful program, capable of appropriately predicting the towed ship's conditions.

Keywords: Towed ship(피예인선), Tug boat(예인선), Hull resistance(선체저항), Air resistance(공기저항), Current direction(조류방향), Wind direction(풍향)

1. 서 론

사고선박 즉 피예인선을 예인하기 위해서는 피예인선 자체의 정수중 선체 저항은 물론 각종 외력에 대한 부가저항을 고려해 주어야 한다. 최혁진 등은 사고선박의 선체 저항을 비교적 간단하면서도 정확히 추정하기 위해 도표나 경험식을 이용하는 방법을 발표한 바 있다(Choi *et al.*[2012]). 이 때의 저항이라 함은 피예인선이 선수 정면 방향으로 직진하는 경우에 대한 것이다. 그러나 피예인선을 항상 선수 정면방향으로만 예인하는 것은 아니므로, 피예인선의 전진 방향이 선수 정면방향이 아닌 경우에 대해서도 추정 방법이

필요하다.

피예인선이 선수 외의 방향으로 예인되는 경우, 특히 거의 측면 방향으로 예인되는 경우에는 매우 큰 선체 저항을 받게 될 것이다. 이러한 선수 정면 외의 기타 방향에 대해서는 선체 저항뿐만 아니라 조류 영향과 바람 영향에 따른 부가저항도 크게 증가할 것이므로, 이러한 선수 외의 기타 방향에 대한 저항 추정도 사고선박의 예인계획 수립에 중요한 요인이 될 것으로 판단된다.

피예인선이 여러 가지 예인계획에 따라 예인될 경우 피예인선과 예인선들의 예인상태를 추정하기 위해서는, 예상되는 해상상태에 대한 피예인선의 각종 저항을 정확하게 추정해야 하고, 한척 또는 여러 척의 예인선(Tugboat) 또는 푸셔선(Pusher)이 피예인선에 미

[†]Corresponding author: eckim@kriso.re.kr

치는 예인력을 정확하게 추정해야 하며, 나아가 예인선과 피예인선이 균형을 이루어 안정상태에 이르는 상황을 추정해야 한다. 이를 위해서는 사고를 당한 피예인선의 선체 주요 제원과 선속별 저항 자료가 있어야 하고, 예인하고자 하는 항로에 대한 풍속과 풍향 그리고 조류속도와 조류각도 등 해상상태 자료가 있어야 하며, 사용될 예인선 또는 푸셔선의 예인력과 예인 방향 등의 자료를 확보하여야 한다. 그러나 이들 자료들과 추정치들은 서로 밀접한 관계를 가지고 변동하는 것이므로, 주어진 자료로부터 안정된 상황을 찾아내고 그에 대한 각각의 추정치를 구하는 것은 쉬운 일이 아니라고 본다.

본 연구에서는 최혁진 등이 개발한 피예인선의 선수방향 저항 추정 프로그램 결과값으로부터 피예인선의 선수 정면방향 저항을 가져오도록 하고, 여기에 측면방향 선체저항과 공기저항 추정식을 도입하여 선수 외의 임의 방향에 대한 저항을 구하는 방법을 도출하고, 여러 척의 예인선 또는 푸셔선이 각각 지정된 예인력과 예인각을 가지고 예인할 때의 피예인선의 선속과 피예인 방향을 추정하는 방법을 도출하여, 이들 예인선과 피예인선이 안정적인 상태에 이르도록 하는 절차를 정립하였다. 또한 본 논문에서는 이들 방법을 적용하여 전산 프로그램을 개발하였으며, 실시 예를 통해 활용 가능성을 검토하였다.

2. 피예인선의 저항 추정 방법

피예인선의 저항을 추정하기 위해서는 피예인선이 임의의 방향으로 예인될 경우의 선체 저항과, 이 때 주어진 풍속과 풍향 그리고 조류속도와 조류각도 등 해상상태에 따른 부가저항을 함께 고려해야 한다.

대부분의 경우 피예인선은 선수 정면으로 예인되지만, 경우에 따라서는 피예인선이 선수 방향에서 임의의 각도만큼 돌아선 상태에서 예인되는 경우도 종종 발생하게 된다. 선체저항만을 생각해 볼 때, 횡방향 선체 저항은 정방향 선체 저항에 비해 매우 큰 값을 가지게 된다. 기존의 자료들을 이용하여 경험적 방법으로 선체 저항을 추정하고자 할 때, 정방향 선체 저항에 대해서는 많은 실험자료와 경험식이 공개되어 비교적 정확한 추정이 가능한 반면, 횡방향 선체 저항에 대해서는 발표된 것이 매우 적으므로 정확한 추정은 쉽지 않다고 판단된다.

본 논문에서는 정방향 저항은 최혁진 등이 개발한 프로그램을 이용하여 정확히 추정하되, 횡방향 저항은 간단한 경험식을 이용하여 추정하고, 그 사이의 예인 각도에 대해서는 주어진 각도에 대한 정면방향과 측면방향의 성분을 각각 계산하여 합산하여 추정하고자 한다.

2.1 정면방향 전체 선박 저항

피예인선의 정면방향 선박 저항은 최혁진 등이 개발한 PNT 프로그램을 이용하여 구하는데, 그 계산 내용은 다음과 같다(Choi *et al.*[2012]).

- 선체 저항

- 바람에 의한 저항
- 표류력에 의한 저항
- 선체 표면 거칠기에 의한 저항
- 선체 파손에 의한 저항
- 프로펠러 고착에 의한 저항
- 파랑에 의한 저항
- 천수효과에 따른 선속 감소
- 조류에 따른 선속 감소

그러나, 이 계산 결과를 활용하여 선속과 저항을 추정할 때, 조류에 따른 선속 감소는 제외한 값을 사용하고, 조류에 따른 영향은 다음 단계 즉 기타 전진방향에 대한 저항을 계산할 때 고려하기로 한다.

2.2 측면방향 선체 저항

측면방향 선체 저항을 추정할 때, 대상 선박에 대한 모형시험 결과를 사용하면 정확하게 추정할 수는 있으나 많은 비용과 시간이 필요하므로, 통계해석을 통해 간편하게 추정할 필요가 있다. 그러나 여러 가지 선박에 대해 간편하면서도 비교적 정확히 추정하는 방법은 아직 없다고 본다. 본 논문에서는 선체 횡방향의 형태를 하나의 판으로 가정하여 미국 해군의 예인 매뉴얼(US Navy[2002])에서 프로펠러 고착에 의한 저항 증가를 계산하는 방법을 참고하여 최혁진 등이 도출한, 식 (1)과 같은 경험식을 사용 하도록 하였다(Choi *et al.*[2012]).

$$R_{LH}(N) = 178.93 \cdot A_{LH} \cdot V_k^2 \quad (1)$$

한편, 국내 구난업계에서 경험적으로 사용하는 식은 식 (2)과 같다. 이 식은 출처가 불분명한 경험식이다. 식 (2)을 식 (1)과 동일한 단위로 환산하면 식 (3)과 같이 계수가 바뀌게 된다.

$$R_{LH}(t) = 73.2 \cdot A_{LH} \cdot V_s^2 \quad (2)$$

$$R_{LH}(N) = 189.95 \cdot A_{LH} \cdot V_k^2 \quad (3)$$

식 (1)은 계산식 도출 근거가 분명하고 식 (3)과 계수의 차이도 크지 않으므로, 실제 사용하는데 큰 문제가 없다고 판단되어 본 논문에서는 측면방향 선체 저항 추정식으로서 식 (1)을 사용하기로 하였다.

2.3 측면방향 공기 저항

측면방향 바람 저항을 정확히 추정하고자 할 때, 대상 선박에 대한 풍동시험 결과를 사용하면 정확하게 추정할 수는 있으나 이 또한 많은 비용과 시간이 필요하므로, 기존 자료들을 통해 간편하게 추정할 필요가 있다. 김은찬 등은 사고선박의 예인력 계산을 위한 공기저항 간편 추정법 연구를 통해 1978년 ITTC(국제수조회의) 추진성능해석법(ITTC[1978])에서 사용한 공기저항 추정식으로부터 식 (4)을 도출한 바 있다(Kim *et al.*[2014]).

$$R_{AA} = 0.82 \times \frac{1}{2} \rho_A A_T V_k^2 \quad (4)$$

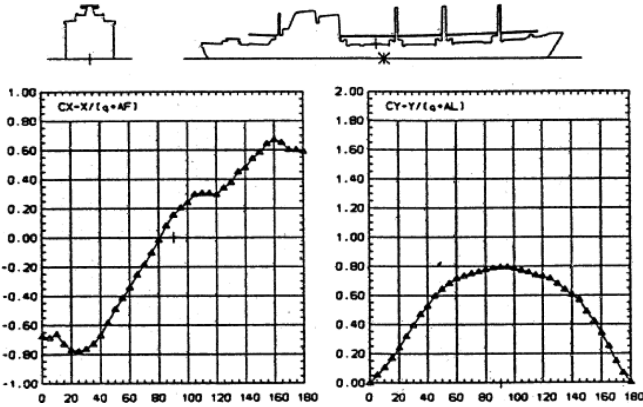


Fig. 1. An Example of the Blendermann's Air Resistance Coefficient Chart.

식 (4)은 선박의 정면방향에 대한 공기저항 식으로서, 측면방향에 대한 공기저항은 별도의 검토가 필요하다고 판단된다. Blendermann은 1990년과 1991년에 걸쳐서 22척 선박의 수면 위 선체 구조물에 대한 풍동시험 결과를 발표하였는데, 그 한 예로서, 127 m급 화물선의 만재상태에 대한 수면 위의 정면과 측면의 투영도와 정면과 측면의 풍동시험 결과를 보면 Fig. 1과 같다(Blendermann[1990-1991]; Kim *et al.*[2014]).

Fig. 1에서 측면의 풍동시험 결과는 식 (5)과 같이 무차원화 한 계수 C_Y 로 표시되어 있다. 이 때 측면방향 즉 선수로부터 90도 측면에서의 계수는 0.79 임을 알 수 있다.

$$C_Y = \frac{R_{AA}}{\frac{1}{2} \rho_A A_T V_R^2} \quad (5)$$

Blendermann이 발표한 22척의 풍동시험 결과로부터, 90도 측면 방향 계수에 대한 평균값을 구하면 0.87이며, 이 때의 표준편차는 0.098이다. 한편 ITTC 추진성능해석법의 추정법으로 도출한 식 (4)의 계수값 0.82와 Blendermann이 발표한 풍동시험 결과의 평균값 0.87은 비교적 유사한 값이라고 판단된다. Blendermann 자료의 평균값은 모든 종류의 선박을 대표하지도 못하고 각각의 선박에 해당 도표를 적용하기에는 너무나 적은 숫자이므로 참고만 할 뿐 직접 사용은 어렵다고 판단된다. 따라서 본 논문에서는 ITTC 해석법에서 사용한 공기저항 계수 0.82를 적용하여 측면방향 공기 저항 추정식으로서 식 (6)을 사용하도록 하였다.

$$R_{LA}(N) = \frac{1}{2} \cdot \rho_A \cdot A_{LA} \cdot V_{TOW}^2 \quad (6)$$

2.4 기타 전진방향 선박 저항

피에인선을 정면방향으로 예인할 경우에 대해서는 본 절의 (1)항에서 기술한 방법으로, 측면방향으로 예인할 경우에 대해서는 (2) (3)항에서 기술한 방법으로 계산을 하도록 하였다. 나아가 피에인선을 기타 임의의 각도로 비스듬히 예인할 경우에는 주어진 각도에 대한 정면방향과 측면방향의 성분을 각각 계산하여 합산하도록 하였다.

2.5 조류 저항

조류에 의한 영향을 추정할 때에는 일반적으로 저항의 증가로 계산되지 않고 이에 해당하는 선속의 감소로 계산되곤 한다. 본 연구에서는 조류에 의한 선속 영향은 피에인선이나 예인선이나 동일하다고 간주하여 예인력 계산시에는 고려하지 않고 피에인선의 이동 속력을 계산할 때에만 적용하도록 하였다. 또한 조류에 의해 선체가 받는 저항은 최종적으로 피에인선의 자세를 검토할 때만 참고 자료로 사용하도록 하였다.

2.6 예인삭 저항

예인선에서 사용하는 예인삭의 저항은 예인삭의 종류와 형상과 굵기, 물속에 잠기는 부분의 길이 등에 따라 달라지게 된다. 미국 해군의 예인 매뉴얼은 위와 같은 여러 가지 경우에 대한 경험값을 표로 만들었는데, 이를 현재의 상선에까지 사용하기에는 문제가 있다고 판단된다. 또한, 미국 해군의 예인 매뉴얼에서는 예인삭을 미리 지정하기 어려운 경우, 피에인선 선수방향 전체 저항의 10%를 사용할 것을 추천하고 있다.

본 연구에서는 예인삭의 저항을 사용자가 피에인선에 대한 비율로 입력하도록 하였다. 즉 예인삭이 대부분 물에 잠기는 경우 0.1 값을 입력하고, 예인삭이 물에 잠기지 않는 경우 0.0 값을 입력하며, 그 중간이라고 생각하는 경우 그 사이값을 적절하게 입력하도록 하였다.

3. 예인선 및 푸셔선의 예인력 추정 방법

피에인선을 임의의 전진 방향으로 예인하기 위한 예인선은 예인선(Tug)선 또는 푸셔(Pusher)선으로 구분하였다. 또한, 예인선 및 푸셔선이 한 척인 경우는 물론 여러 척이 예인하는 경우에도 추정이 가능한 방법을 도출하였다. 이 때 예인선이라 함은 예인삭을 이용하여 피에인선을 이동 방향으로 끌고 가는 경우로서, 피에인선의 전진방향이 변경될 경우 피에인선과의 방향과는 관계없이 그대로 이동 방향으로 예인하는 경우 즉, 피에인선과의 상대 각도는 수시로 변동하는 것으로 간주하였다. 푸셔선이라 함은 예인삭이 없거나 짧은 예인삭을 이용하여 선체에 붙여서 끌거나 밀고 가는 경우로서, 피에인선의 전진방향이 변경될 경우 동일한 각도만큼 함께 변동하여 예인하는 경우 즉, 피에인선과의 상대 각도는 고정된 것으로 간주하였다. 그 내용을 보면 Fig. 2와 같다.

Fig. 2는 한 척의 피에인선을 전진방향 A_{TOW} 로 예인할 경우, 예인선 1과 예인선 2는 각각 피에인선의 수선면 중심에서 종방향 거리 PL 과 횡방향 거리 PB 만큼 떨어진 위치에서 피에인선의 중심선과의 각도 PA 로 예인하는 경우이다. 이와 동시에 푸셔선 3이 피에인선 수선면 중심에서 종방향 거리 PL 과 횡방향 거리 PB 만큼 떨어진 위치에서 피에인선의 중심선과의 각도 PA 로 예인하는 경우이다. Fig. 2에서 좌측은 한척 또는 여러척의 예인선과 푸셔선의 예인 초기상태를 보여주고 있고, 우측은 전체 예인력과 피에인선의 저항이 균형을 맞춘 안정상태를 보여주고 있다. 우측의 안정상태는 전진방향

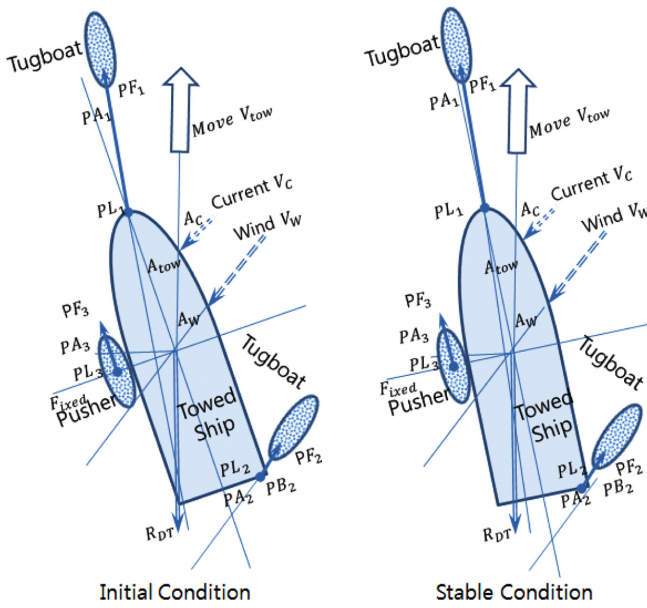


Fig. 2. Definition of the Initial and Stable Conditions of a Towed Ship by Tugboat and Pushers.

예인력 합계가 피예인선 저항과 동일해 지도록 예인 속력을 맞추고, 피예인선에 대한 요잉모멘트 합계가 0 이 되는 안정상태에 이르도록 피예인선의 방향을 바꾸어 적정 속력으로 예인되는 상태를 보여주고 있다. 이 때 예인선의 예인각 PA_1 과 PA_2 는 피예인선 전진 방향 A_{TOW} 의 변동량 만큼 함께 변동한 것을 보여주고 있다. 그러나 이 때 푸셔선의 예인각 PA_3 는 피예인선 전진방향 A_{TOW} 의 변동량과는 관계없이 고정된 것을 보여주고 있다. 한편 조류의 방향 A_c 와 바람의 방향 A_w 는 이동 방향을 기준으로 볼 때는 고정되었으나, 피예

인선을 기준으로 볼 때는 피예인선의 전진방향 A_{TOW} 의 변동량 만큼 함께 변동한 것을 보여주고 있다.

Fig. 2의 좌측 초기상태로부터 우측 안정상태로 가기 위해, 먼저 각각의 예인선 및 푸셔선이 피예인선에 미치는, 전진 방향에 대한 예인력의 합과 이에 대한 직각방향 예인력의 합과 피예인선 수선면 중심점에서의 요잉모멘트의 합을 계산하였다. 다음으로 요잉모멘트가 0 이 되는 상태와 전진방향 예인력 합과 피예인선 전체 저항이 동일해 지는 상태에 대한 피예인선 전진방향 A_{TOW} 와 피예인선 선속 V_{TOW} 를 반복 계산을 통해 찾아나가도록 하였다. 전진 방향과 직각인 방향의 예인력에 대한 균형은 사용자의 경험과 판단에 따라 초기값을 조정해 주는 것으로 하기로 하였다.

예인선 및 푸셔선이 피예인선에 미치는 전진 방향에 대한 예인력의 합은 식 (7), 이에 대한 직각 방향 예인력의 합은 식 (8), 피예인선 수선면 중심점에서의 요잉모멘트의 합은 식 (9)과 같이 계산하였다.

$$F_D = \sum_{n=1}^{N_{TOW}} PF_n \cdot \cos(A_{TOW} - PA_n) \quad (7)$$

$$F_L = \sum_{n=1}^{N_{TOW}} PF_n \cdot \sin(A_{TOW} - PA_n) \quad (8)$$

$$F_M = \sum_{n=1}^{N_{TOW}} PF_n \cdot (PL_n \cdot \sin PA_n - PS_n \cdot \cos PA_n) \quad (9)$$

4. 전산 프로그램 및 계산 예

본 연구에서는 피예인선 예인시 전체 저항을 종합적으로 추정하고, 이 피예인선을 한척 또는 여러척의 예인선 및 푸셔선으로 예인할 때의 여러 가지 예인력을 추정하며, 나아가 피예인선의 전진 방

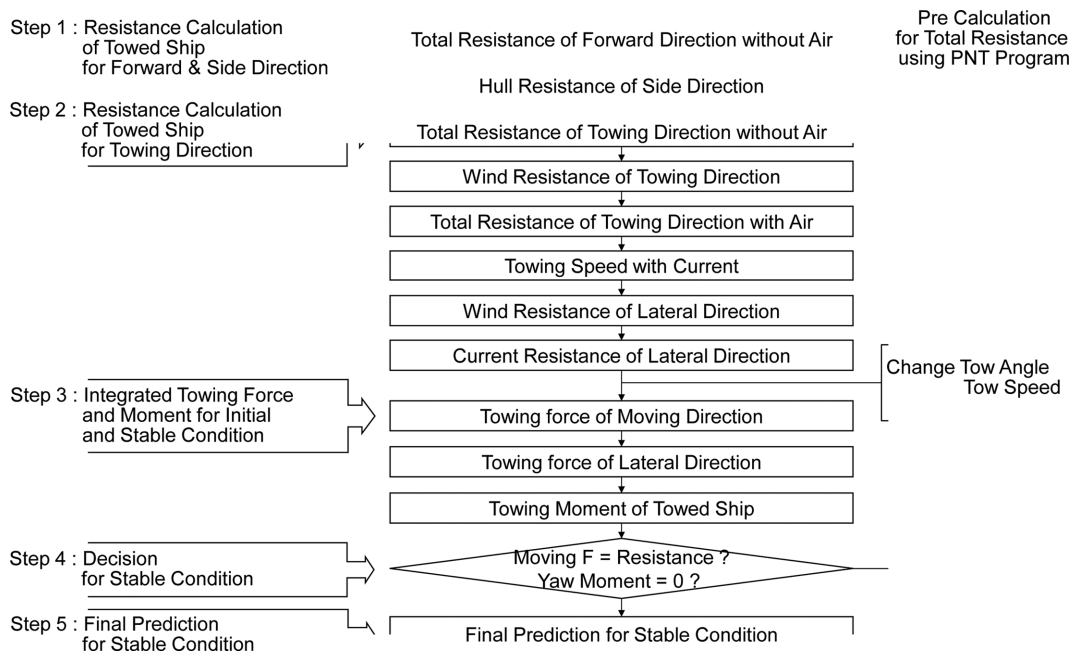


Fig. 3. Flow Chart of the Towing Condition Calculation associated with Various Towing Operations.

항 예인력이 피예인선의 저항과 같아지고 피예인선의 요잉모멘트가 0 이 되도록 선속과 예인방향을 추정하는 일련의 계산 과정을 전산 프로그램으로 만들었다. 전산 프로그램의 흐름도는 Fig. 3과 같다.

이렇게 만들어진 프로그램으로 2척의 예인선과 1척의 푸셔선으로 피예인선을 예인하는 예인상태를 추정하여 보았다. 예인선은 선수에서 선수 5도 방향으로 140톤의 힘으로 예인하되 예인삭이 반쯤 물에 잠기는 1번 예인선과, 선미 우측에서 선수 60도 방향으로 10톤의 힘으로 예인하되 예인삭은 물에 잠기지 않는 2번 예인선과 선체 중앙부 좌현에 바깥 붙어서 40톤의 힘으로 피예인선의 선수 방향으로만 밀어주는 3번 푸셔선으로 구성된다고 가정하였다. 이때 적용된 피예인선은 ISO 속력시운전 해석법 표준에 예제로 사용된 30만톤급 만재상태의 유조선으로서(ISO[2002]), 최혁진 등이 사고 선박의 예인력을 추정하는 프로그램을 검증하는데 사용했던 선박이며(Choi *et al.*[2012]), 본 프로그램에 입력된 각종 선형의 제원과 해상 상태 및 저항성능은 최혁진 등의 논문의 결과를 이용하였다. 단, 최

혁진 등의 논문에서는 최소 속력 3노트에서 추정하였으나, 본 논문에서는 횡방향 예인 등 다양한 상태에 대한 계산을 위해 최소 속력을 1노트까지 확대하였다. 이와 같은 예인 상태는 실제로 있지는 않을 것이나, 계산 결과의 검증을 위해 예인선과 푸셔선을 모두 사용하고 선수와 선미에서 각각 예인한다는 복합적인 상황을 구현하기 위한 것이다.

계산 결과는 Table 1과 같다. 상단은 입력값으로서 선박의 제원과 정면방향의 저항성능을 보여주고 있다. 중간은 초기 입력 상태에 대한 입력값과 각종 계산 결과를 보여주고 있는데, 이 때 표시된 선속은 목표로 하여 가정한 선속으로서 실제 예인 속력에 대한 값은 아니다. 하단은 계산을 통해 안정상태에 도달하였다고 판단되는 선속에 대한 각종 추정 결과를 보여주고 있다. 예인각에서 M으로 표시된 것은 피예인선의 전진 방향과 연동되는 예인선임을 나타내고, F로 표시된 것은 피예인선의 전진 방향과 연동되지 않는 푸셔선임을 나타낸다.

Table 1. An Example Output for the 300K VLCC Ship

MULTI-BARGE MULTI-DIRECTION SIMULATION [MTOW1]									
FILE NAME: mt1. eun								09-jul-14	
SHIP OWNER: KRISO-MARINE	LENGTH B P	(M): 320.000	LATERAL A HULL (M2):	6600.0					
SHIP NAME : ISO 300K	BREADTH	(M): 58.000	LATERAL A WIND (M2):	3900.0					
IMO NUMBER: IS00000000	DRAFT FWD	(M): 20.800	ADDED FACTOR RES	: 0.100					
	DRAFT AFT	(M): 20.800	NO OF PUSHER/BARGE	: 3					
TOTAL SPEED VKS (KNOT) :	1.000	2.894	3.859	4.824	5.788	6.753	7.718	11.576	
TOTAL RESIST. RTT (KN) :	50.0	155.7	253.2	375.9	523.5	695.7	892.5	1944.0	
WIND RESIST. DELWIN (KN) :	20.0	31.4	36.2	41.5	47.3	53.4	60.0	90.5	
INITIAL CONDITION									
WIND SPEED (M/S) :	4.500	TOWED SPEED (KNOT) :	5.000	SPEED W/CURR (KNOT) :	4.378				
WIND DIRECTION(DEG) :	25.00	TOWED ANGLE (DEG) :	10.00	HULL RES TOW (TON) :	614.33				
CURRENT SPEED(KNOT) :	0.800	TOTAL RES AHEAD (KN) :	398.0	WIND RES TOW (TON) :	10.38				
CURRENT DIRECT(DEG) :	39.00	WIND RES AHEAD (KN) :	42.5	TOTAL RES TOW (TON) :	624.71				
		HULL RES AHEAD (TON) :	39.88	WIND RES SIDE (TON) :	3.48				
		HULL RES LATER (TON) :	3311.61	CURRENT RES S (TON) :	40.27				
TOW LONGITUDINAL	LATERAL	TOWING	TOWING	CABLE	TOWING	LATERAL	CENTRAL		
NO POSITION (M)	POSITION (M)	ANGLE (DEG)	FORCE (TON)	RES	DRAG (TON)	DRAG (TON)	MOMENT (TON)		
1	160.000	0.000	M 5.00	140.0	0.05	132.49	11.59	1854.7	
2	-160.000	25.000	M 60.00	10.0	0.00	6.43	-7.66	-1510.6	
3	0.000	-29.000	F 0.00	40.0	0.00	39.39	6.95	1160.0	
TOTAL						178.31	10.88	1504.0	
STABLE CONDITION									
WIND SPEED (M/S) :	4.500	TOWED SPEED (KNOT) :	3.376	SPEED W/CURR (KNOT) :	2.754				
WIND DIRECTION(DEG) :	25.00	TOWED ANGLE (DEG) :	5.82	HULL RES TOW (TON) :	171.06				
CURRENT SPEED(KNOT) :	0.800	TOTAL RES AHEAD (KN) :	195.0	WIND RES TOW (TON) :	7.65				
CURRENT DIRECT(DEG) :	39.00	WIND RES AHEAD (KN) :	33.5	TOTAL RES TOW (TON) :	178.71				
		HULL RES AHEAD (TON) :	18.11	WIND RES SIDE (TON) :	2.22				
		HULL RES LATER (TON) :	1509.59	CURRENT RES S (TON) :	37.61				
TOW LONGITUDINAL	LATERAL	TOWING	TOWING	CABLE	TOWING	LATERAL	CENTRAL		
NO POSITION (M)	POSITION (M)	ANGLE (DEG)	FORCE (TON)	RES	DRAG (TON)	DRAG (TON)	MOMENT (TON)		
1	160.000	0.000	M 0.82	140.0	0.05	132.49	11.59	304.1	
2	-160.000	25.000	M 55.82	10.0	0.00	6.43	-7.66	-1464.1	
3	0.000	-29.000	F 0.00	40.0	0.00	39.79	4.06	1160.0	
TOTAL						178.72	7.99	0.0	

계산 결과를 볼 때, 초기 예인은 피예인선을 전진방향 10도 선속 5노트로 예인하고자 하였으나, 계산 과정을 통해 전진방향은 5.82도로 변경되었고 선속은 3.376노트로 조정되었으며, 이 때 조류속도까지 고려하면 선속은 2.754노트가 얻어짐을 알 수 있다. 이렇게 얻어진 안정상태에서의 예인력 합계는 178.72 톤으로서 피예인선의 전체 저항과 동일하고 요잉모멘트 합계는 0 임을 보여주고 있다.

5. 결 론

사고선박의 다양한 예인계획에 따른 예인상태 추정 프로그램 개발 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 한척 또는 여러척의 예인선 또는 푸셔선을 이용하여 피예인선을 예인할 때, 피예인선의 예인 방향과 예인 속력을 추정하는 방법을 정립하고 전산 프로그램을 개발하였다.
- (2) 피예인선에 대한 여러 가지 전진방향에 대한 저항을 추정하기 위해, 정면방향 선박저항과 측면방향 선박저항을 각각 추정한 후 이로부터 그 사이값을 추정하는 방법을 정립하였다.
- (3) 예인선 및 푸셔선의 예인위치와 예인방향 그리고 예인력 등을 정의하고 이로부터 피예인선에 대한 예인력과 요잉모멘트를 계산하는 방법을 정립하였다.
- (4) 예인선 및 푸셔선의 전진 방향 예인력 합과 피예인선 전체 저항이 동일해 지는 상태와, 예인선 및 푸셔선의 요잉모멘트 합이 0이 되는 안정상태를 찾아내서, 이 때의 피예인선 전진방향과 피예인선 선속을 추정하는 방법을 정립하였다.
- (5) 본 연구를 통해 개발된 프로그램에서는, 예인선 및 푸셔선의 직각방향 예인력 합이 조류 및 바람 등의 외력과 상쇄가 되는 평형상태를 자동으로 계산하는 과정은 포함시키지 않고, 사용자가 수동으로 조정하도록 하였다. 그러나 본 프로그램의 손쉬운 활용을 위해서는, 향후 구난 작업 전문가와의 협력을 통해 이 또한 자동으로 계산할 수 있는 방법을 개발해 나가야 할 것으로 보인다.

후 기

이 논문은 2013년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(지능형 해양사고 예방 및 구난기술 개발-사고선박 예인지원 요소기술 및 구난체계 개선 연구)의 결과물입니다.

사용기호

- A_C : 조류 유입 각도(deg)
- A_{LA} : 측면 수면상 투영면적(m²)
- A_{LH} : 측면 수면하 투영면적(m²)
- A_T : 정면 투영면적(m²)
- A_{TOW} : 피예인선 예인각(deg)

- A_W : 바람 유입 각도, 절대풍향(deg)
- C_X : 정면방향 공기저항 계수
- C_Y : 측면방향 공기저항 계수
- F_D : 피예인선 전진 방향 예인력의 합(ton)
- F_L : 피예인선 전진 직각 방향 예인력의 합(ton)
- F_M : 예인선에 의한 피예인선 요잉모멘트 합(ton-m)
- R_{AA} : 공기저항(N 또는 ton)
- R_{LA} : 측면방향 공기 저항(N 또는 ton)
- R_{LH} : 측면방향 선체 저항(N 또는 ton)
- PA : 선수 방향으로부터 예인방향까지의 각도(deg)
- PB : 선체중심으로부터 예인점까지의 횡방향 거리(m)
- PL : 선체중심으로부터 예인점까지의 종방향 거리(m)
- V_K : 선속(knot)
- V_R : 상대 풍속(m/s)
- V_{TOW} : 피예인선 예인속력(knot)
- ρ_A : 공기 밀도(kg/m³)

References

- [1] [1] Blendermann, W., 1990-1991, "Chapter 3.1 External Forces, Wind Forces of Manoeuvring Technical Manual", Schiff & Hafen 1990:2, 1990:3, 1991:4.
- [2] [2] Choi, H.J. and Kim, E.C., 2012, Development of the Ship Resistance Calculation Program for Prediction of Towing Forces for damaged Ships, Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, Vol.15 No.2 (Korean)
- [3] [3] ITTC, 1978. Report of Performance Committee, Proceedings 15th ITTC, pp388
- [4] [4] ISO, 2002, Guidelines for the Assessment of Speed and Power Performance by Analysis of Speed Trial Data, International Standard ISO 15016
- [5] [5] Kim, E.C., Choi, H.J. and Lee, S.G., 2013, A Study on the Hull Resistance Prediction Methods of Barge Ship for Towing Force Calculation of Disabled Ships, Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, Vol.16 No.3 (Korean)
- [6] [6] Kim, E.C., Choi, H.J. and Lee, S.G., 2014, A Study on the Simplified Prediction Method of Air Resistance for Towing Force Calculation of Disabled Ships, Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, Vol.17 No.3 (Korean)
- [7] [7] US Navy, 2002, U. S. Navy Towing Manual, SL740-AA-MAN-010, pp3_4

Received 31 July 2014

Revised 26 September 2014

Accepted 7 October 2014