

내빙선과 유빙의 충돌을 가정한 예인수조실험 및 머신비전검사를 이용한 유빙의 운동 계측

김효일* · † 전승환

*오사카대학교 대학원, † 한국해양대학교 항해학부 교수

Towing Tank Test assuming the Collision between Ice-going Ship and Ice Floe and Measurement of Ice Floe's Motion using Machine Vision Inspection

Hyo-Il Kim* · † Seung-Hwan Jun

* Graduate school of Engineering, Osaka University, Osaka 565-0871, Japan

† Division of Navigation System, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요약 : 북극항로(NSR)를 통항하는 상선과 화물량이 매년 증가추세에 있다. 쇄빙선의 도움을 받아 북극항로를 통항하는 상선의 안전한 항해를 위협하는 가장 큰 요인은 얼음과의 충돌이다. 따라서 선박과 얼음의 충돌 메커니즘을 규명하기 위한 노력이 관련 연구자들에 의해서 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 북극항로를 운항하는 내빙선과 유빙의 충돌을 가정한 예인수조실험을 실시하며, 충돌 후 얼음의 운동(속력, 궤적)을 머신비전검사를 통해서 계측한다. 아울러 오차계산을 통해서 머신비전검사 기법의 정밀도를 검증한다.

핵심용어 : 북극항로, 내빙선, 유빙, 머신비전검사, 얼음의 운동

Abstract : The voyage and cargo volume passing through the Arctic route (NSR) have been gradually increased. The ship-ice collision is one of the most biggest factors threatening the safety navigation of ice-going ships. A lot of researchers are trying to reveal the ship-ice collision mechanism. In this study, some tests that a model ship is forced to collide with disk-shaped synthetic ice are carried out in a towing tank. Then, ice floe's motion (velocity and trajectory) is measured by machine vision inspection.

Key words : Arctic route, Ice-going ship, Pack ice, Machine vision inspection, Ice floe's motion

1. 서 론

최근 지구온난화의 영향으로 북극항로의 연간통항가능일수가 증가하면서, 북극항로(NSR)를 통항하는 상선 및 화물량이 2010년 이후 꾸준한 증가추세에 있다. 따라서 북극항로에서 선박과 얼음의 충돌사고의 가능성도 높아질 것이다. 선박과 얼음과의 충돌은 선체구조의 손상과 더불어 조종운동성능을 악화시킨다. 그래서 선박과 얼음의 충돌 메커니즘을 규명하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

본 연구에서는 쇄빙선의 도움을 받아 북극항로를 통항하는 내빙선이 유빙(ice floes in pack ice region)과 충돌하는 상황을 가정한 모형선과 합성얼음(synthetic ice)의 충돌실험을 예인수조에서 실시하였으며, 충돌 후 합성얼음의 운동(속도 및 궤적)을 머신비전검사(machine vision inspection) 기법을 이용하여 계측하였다. 아울러 본 연구에서 제시한 기법의 정밀도를 검증하기 위해서 오차를 계산하였다.

2. 예인수조실험

Fig. 1과 같이 실험장치를 구성한 후 모형선박을 원반모양의 합성얼음(Polypropylene, $\rho=910\text{kg/m}^3$)과 충돌시키는 실험을 2015년 5월 15일 오사카대학의 예인수조에서 실시하였다. 모형선은 3가지 예인속력(0.1, 0.2, 0.3%)으로 각 2회씩 실시하였으며, 합성얼음의 운동을 머신비전검사로 계측하기 위해서 동영상으로 촬영하였다.

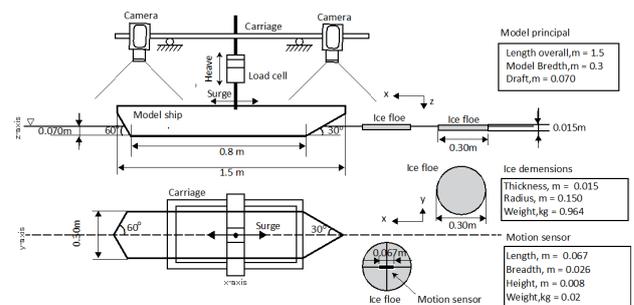


Fig. 1 Configuration for towing tank test

† 교신저자 : 종신회원, korjun@kmou.ac.kr

* 연회원 : Kim_Hyoil@naoe.eng.osaka-u.ac.jp

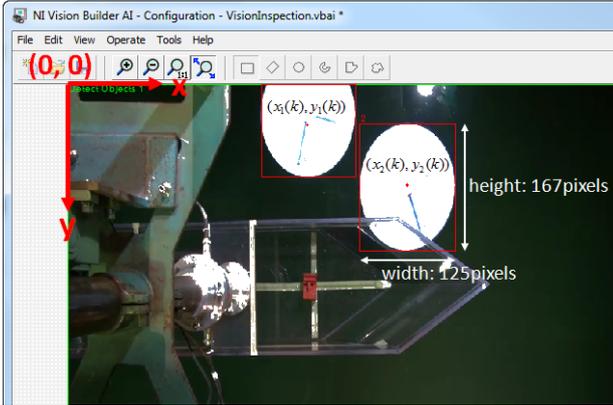


Fig. 2 Object detection by machine vision system

3. 머신비전검사 기법과 검증

3.1 머신비전검사 기법

머신비전검사를 위해서 Fig.2와 같이 NI사의 NI Vision Builder AI 2014를 이용하였다. 해당 소프트웨어는 RGB 파라미터 설정만으로 특정 색상의 물체 탐지가 가능하며, 동시에 탐지된 물체의 중심좌표 및 좌우상하 경계 값을 알려준다.

머신비전검사 기법을 이용한 얼음의 운동 계측은 실제 합성 얼음의 크기와 영상속 합성얼음의 픽셀크기는 서로 비례한다는 가정에서 출발한다. 이 때 합성얼음의 실제크기(지름)를 알고 있기 때문에 실제크기와 픽셀크기 사이의 변환비율은 아래 식과 같이 정의된다.

$$\alpha(k) = W(k)/D, \quad \beta(k) = H(k)/D \quad (1)$$

여기서, $W(k)$ 와 $H(k)$ 는 k 번째 프레임 영상에서 합성얼음의 폭과 높이에 대한 픽셀크기를 나타낸다. D 는 합성얼음의 실제 크기로 본 실험에서는 30cm이다. $\alpha(k)$ 와 $\beta(k)$ 는 k 번째 프레임 영상에서 폭과 높이에 대한 변환 비율을 의미하며, 단위는 [pixel/cm]이다. 예를 들어, Fig. 2에서 $\alpha(k)$ 와 $\beta(k)$ 는 각각 125/30 [pixel/cm]와 167/30 [pixel/cm]이다.

최초 가정에 의해서 영상속에서 합성얼음의 변위는 합성얼음의 실제 변위와도 비례한다. 따라서 다음 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} \Delta x_{real}(k) &= (x_{pixel}(k) - x_{pixel}(k-1))/\alpha(k) \\ \Delta y_{real}(k) &= (y_{pixel}(k) - y_{pixel}(k-1))/\beta(k) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $x_{pixel}(k)$ 와 $y_{pixel}(k)$ 는 k 번째 프레임 영상에서 탐지된 합성얼음의 중심좌표를 나타낸다. $\Delta x_{real}(k)$ 와 $\Delta y_{real}(k)$ 는 k 번째 프레임에서 실제 합성얼음의 x, y 변위량을 의미한다. 따라서 합성얼음의 속도는 식 (2)의 변위량을 촬영된 동영상의 frame rate를 곱하여 얻어질 수 있다.

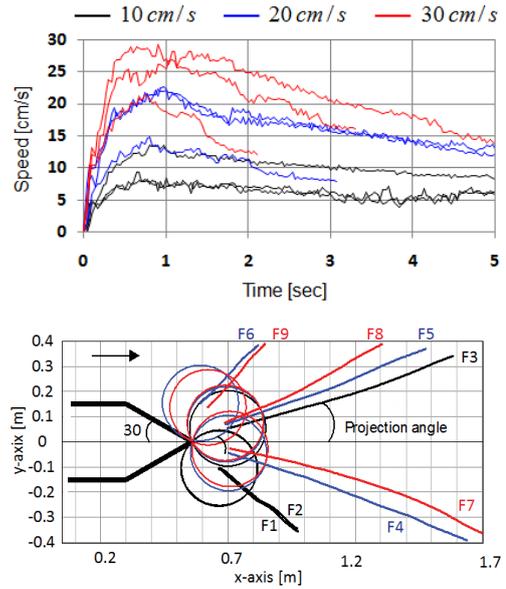


Fig. 3 Ice floe's speeds and trajectories calculated by vision inspection

Table 1 Accuracy of ice floe's speed [Unit: cm/s]

Carriage Speed	10.0	20.0	30.0
Average	0.58	0.84	0.81
Std.	0.44	0.53	0.67

$$\begin{aligned} V_x(k) &= \Delta x_{real}(k) \times f_R - V_C \\ V_y(k) &= \Delta y_{real}(k) \times f_R \\ |V(k)| &= \sqrt{(V_x(k))^2 + (V_y(k))^2} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 f_R 은 frame rate(fps)이며 본 연구에서 동영상은 29fps로 촬영되었다. V_C 는 모형선의 예인속력이다. Fig. 3은 식 (1) ~ (3)을 이용하여 계산한 합성얼음의 속력변화를 예인속력별로 나타낸 것이다.

3.2 머신비전검사 기법의 검증

본 연구에서 제안한 머신비전검사 기법의 정밀도를 검증하기 위해서 합성얼음이 모형선박과 충돌하기 전 정지상태일 때의 속도($V_x=V_y=0$)를 계측하여 Table 1에 정리하였다. 모형선박의 예인속력이 빠를수록 오차가 증가하는 경향이 있었지만 초당 1cm 이내의 오차를 보였다.

5. 결 론

내빙선이 유빙과 충돌하는 상황을 가정하여 모형선박과 합성얼음의 충돌실험을 예인수조에서 실시하였다. 또한 충돌 메카니즘의 규명을 목적으로 충돌 후 유빙의 운동(속도, 궤적)을 머신비전검사 기법으로 계산하기 위한 방법을 제시하였으며, 초당 1cm 이내의 오차로 유빙의 운동을 계측할 수 있었다.