

선박충돌회피지원을 위한 자동제어-3

임남균* , 박건일**

삼성중공업(주) 조선해양연구소

Automatic Control for Ship Collision Avoidance Support -3

Nam-Kyun Im , Gun-Il Park***

*Marine Research Institute, Samsung Heavy Industries Co., Ltd. Daejeon, 305-380, Korea

**Marine Research Institute, Samsung Heavy Industries Co., Ltd. Geoje-shi, 656-710, Korea

요약 : 저자는 선박충돌회피지원 자동제어라는 제목으로 몇 차례의 연구를 발표하였다. 이를 통하여, 선박충돌회피 시스템에 관한 과거에 수행된 연구의 흐름, 해결하지 못한 쟁점 및 새로운 충돌회피 지원을 위한 제어이론 등에 관하여 소개하였다. 이번 연구에서는, 그동안 새롭게 얻은 몇 가지 충돌회피에 관한 성과에 대하여 추가로 소개하려고 한다. 그 내용의 첫 번째는 그 동안 해결하지 못하였던, 집단 선박의 충돌 회피 이론이다. 이 이론은 선박이 무리를 지어 있는 어선군을 만났거나, 혹은 무리를 지어 접근하는 선박군에 대한 충돌회피 동작에 유용한 알고리즘이다. 두 번째로는 충돌위험도 계산의 통합화 모델 제시이다. 선박의 경우 유지선, 피항선, 추월선, 피추월선 등 상대선박과의 다양한 조우 상황에 따라, 항해사 느끼는 위험도 그리고 피항 의무 등에 조금씩 차이가 있다. 이러한 현상을 반영하기 위하여, 충돌회피 동작에 사용하는 위험도 계산을 수행할 때, 조우상황에 따라 적절히 차별을 주는 모델을 제시하였다. 마지막으로 이렇게 제시된 모델을 이용하여 다양한 상황에 따라 시뮬레이션을 통한 검증하여, 그 유효성을 살펴보았다.

핵심용어 : 선박충돌회피, 선박조종, 자동제어

ABSTRACT : Author presented some study with a title of "automatic control for ship collision avoidance system" in previous papers. The paper reported the tread of the study, un-sloved issues and outcome of the study. In this paper, some additional results will be reported. The first is the algorithm of avoidance of group ship that is one of the un-sloved issues. The algorithm is useful when a ship takes an avoiding action toward group fish boats and approaching group merchant vessel. The second is unified model for calculating ship collision risk. The collision risk changes with various meet type of ships. Therefor newly-developed model is suggested to take into account of these situations. Finally simulation is carried out to verify suggested algorithm and model in various ship encounter situations..

KEY WORDS : ship collision avoidance, ship manoeuvring, automatic control

1. 서 론

필자는 선박충돌회피지원 자동제어라는 제목으로 그동안의 연구 결과를 몇 차례에 걸쳐 발표하였다. 그 계재를 통하여, 선박충돌회피 시스템의 과거의 연구 흐름, 해결하지 못한 쟁점,

새롭게 제안된 충돌회피 지원 제어이론 등에 관하여 소개 하였다. 이번 연구에서는 이러한 연구의 일환으로, 그동안 새롭게 얻은 몇 가지 충돌회피에 관한 성과에 대하여 추가로 소개하려고 한다. 시스템 전체의 구성 보다는 내부 알고리즘의 새로운 모델에 대해서 설명하는 것에 초점을 맞추고 설명하기로 한다. 그 내용의 첫 번째는 그 동안 해결하지 못하였던, 집단 선박의 충돌회피 이론이다. 이것은 선박이 무리를 지어 있는 어선 무리를 만났거나, 혹은 무리를 지어 접근하는 선박 군에 대한 충돌회피 동작에 유용한 알고리즘이다. 이 이론은 그 동안 충돌

*정회원 namkyun.im@samsung.com 011)9802-0582

회피 제어 이론에서 조금씩은 언급되었으나, 실제 그 모델을 제시하고 시뮬레이션 등에 적용한 연구는 그리 많이 찾아 볼 수는 없는 내용이다. 본 연구에서는 이 이론에 대한 기존의 연구 내용을 간단히 소개하고, 본 연구에서 새롭게 제시한 알고리즘에 대한 설명 그리고 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과를 소개한다. 두 번째로는 위험도계산의 통합화 모델 제시이다. 선박의 경우 유지선, 피항선, 추월선, 피추월선 등 상대선박과의 조우 상황에 따라, 항해사 느끼는 위험도 그리고 충돌회피 의무 등의 조금씩 차이가 있다. 이러한 현상을 충돌회피동작 모델에 반영하기 위하여, 충돌회피 동작에 사용하는 위험도 계산을 수행할 때, 조우상황에 따라 적절히 차별을 주는 모델을 제시하였다. 특히 추월선, 피추월선의 경우 기존의 연구에서 제시한 위험도 계산만을 이용할 경우 두 선박이 너무 근접하는 현상이 발생하여, 두 선박 간의 거리를 이용한 충돌회피법이 제시되기도 하였다(임남균, 2003), 이 경우 두 선박이 너무 근접하여 위험상황이 발생하는 현상을 방지할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 검증하기도 하였다. 그러나 이 경우 수치화된 위험도와 두 선박의 상호 거리 등 두 가지 이상의 고려 요소가 발생하는 등의 계산상의 불편이 발생하는 것이 확인하기도 하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 추월 피추월선의 경우 두 선박의 거리를 이용하여 위험도계산에 적용하는 모델을 제시 하였다. 즉 모든 조우상황별로 최종 계산된 위험도를 사용하여 충돌회피 동작에 사용할 수 있는 모델을 제시하여, 피항 동작에 사용할 수 있는 획일화된 충돌 위험도계산 방법을 제시하였다. 마지막으로 이렇게 제시된 모델을 이용하여 다양한 상황에 따라 시뮬레이션을 통한 검증하여, 그 실효성을 살펴보았다.

2. 선박운동모델

시뮬레이션에 사용된 선박의 제원은 Table 1에 나타나 있다. 수치계산을 위한 운동방정식은 계산의 간편성을 위해 KT 모델(K. Nomoto,1956,1957)을 채용하였다. 이 모델은 비선형성이 강한 선박의 움직임을 충실히 표현하는 데는 많은 제한이 있다. 그러나 본 연구의 목적은 실선 적용 전 단계에서 선박충돌회피 동작에 대한 Rule을 작성해 보고 이를 적용하여 개략적인 타당성을 알아보는 목적으로 행하여진 연구이기 때문에, KT 모델 사용으로 인해 시뮬레이션상에서 발생하게 되는 선박 움직임의 다소 차이는, 피항 Rule을 적용해 보고 그 Rule의 타당성을 판단 하는데 있어서는 그리 큰 영향을 주지 않는다고 판단된다. 선회각속도, 선속, 조타 등을 식 (1)~(3)을 이용하여 표현하였다. 좌표계는 Fig.1에서처럼 지구 고정 좌표계 $O_0-x_0y_0$ 와 이동하는 선체 중앙에 원점을 둔 $O-xy$ 선체 고정 좌표계를 사용하였다.

$$T\ddot{r} + r = K\delta \quad (1)$$

$$T_V\dot{V} + V = V_{order} \quad (2)$$

$$T_E\dot{\delta} + \delta = \delta_{order} \quad (3)$$

여기서, V : 선속, V_{order} :명령타각, r :선회각속도, δ :타각, δ_{order} : 명령타각, K, T : 조종성능지수, T_E :조타 시정수, T_V :선속 시정수를 각각 의미한다. 조종성 지수 K, T 는 선형, 타면적, 조타각에 의해 변화하며, 실제 시뮬레이션에서는 $T' = (V/L)T$ 및 $K' = (L/V)K$ 로 각각 무차원화되어 사용되었다. 계수값들은 $T' = 6.0$, $K' = 3.395$, $T_E = 2.5$ 초, $T_V = 500$ 초를 각각 적용하였다.

Table 1 Particulars of the ship

Type	Tanker
Lpp (m)	325
B (m)	53
d (m)	21.8
Cb	0.8306

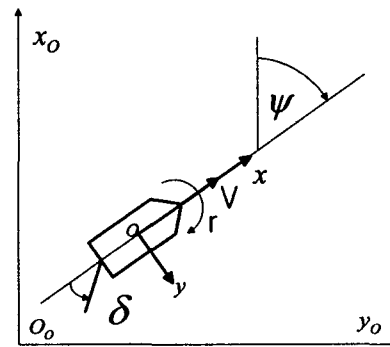


Fig. 1 The ship's coordinate

3. 집단선박에 대한 충돌회피 알고리즘

충돌회피지원시스템에서 통상 자선은 충돌위험도가 가장 높은 특정 선박에 대하여 충돌회피 동작을 한다. 이 경우 충돌 가능성이 있는 타선이 여럿 적 존재하면 그중 한 선박에 대한 충돌 회피 동작을 수행하게 되어, 결국 다른 선박과 충돌 위험도가 증가 하는 경우가 종종 발생한다. 예를 들면 작은 어선이 집단으로 분포하고 있을 경우에 해당된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 집단화 이론이 고안되었다.

이 이론을 선박 충돌회피 알고리즘에 적용한 연구는 (Kazuhiko Hasegawa,1996)에 찾아볼 수 있다. Fig. 2의 (a)와 같은 경우를 생각하자. 기존의 선박 피항 알고리즘에 의하면, 이때 자선은 충돌위험도가 가장 높은 타겟 1에 대하여서만 충돌회피 동작을 우선으로 하게 되고, 우선 변칙을 시작하면, 또 다시 타겟 2와의 위험도가 더 높아지게 되어 그

위험도가 타겟 1보다 높아지게 되면 또다시 타겟 2와 피항 동작을 제시하는 2중의 피항 동작을 하게 된다. 결국 타겟 1과의 충돌회피 동작이 오히려 타겟 2와는 충돌 위험성을 키우는 결과를 낳게 되는 불합리한 점이 발생하게 됨을 의미한다. 이러한 현상을 방지하기 위하여, 초기 충돌회피 동작의 대상이 되는 타겟 1과 유사한 선박 및 그 근방의 선박에 대하여 그룹화 작업을 하고, 그 그룹화에 포함되는 가상의 선박 군과 한번에 피항 동작을 하는 방법을 제시하는 연구(Kazuhiko Hasegawa,1996)가 있기도 하였다. 구체적인 집단화 방법은 충돌회피 동작을 해야 할 선박 군이 있을 때, 그림 Fig. 2(b)와 같이 그 집단의 움직임을 대표할 수 있는 가상의 선박을 설정하여, 그 가상의 선박에 대하여 충돌회피 동작을 수행한다. 이 가상의 선박은 집단에 포함되는 전 선박의 속도, 진행방향을 적절한 수단으로 대표하며, 또한 그 크기는 대체로 집단을 이루고 있는 선박의 분포에 따라 결정되어 넓은 지역에 선박이 분포하면 가상의 선박규모도 그만큼 커지게 되는 효과를 가져와 적절한 충돌회피 동작이 이루어지게 된다.

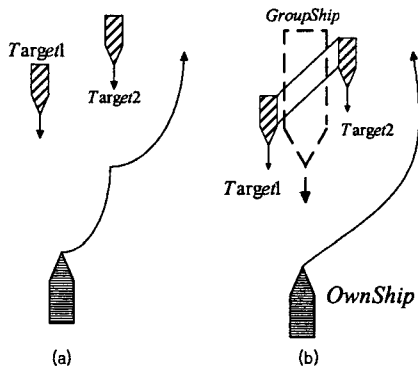


Fig. 2 Old model concept for multi-ship avoidance

3.1 새로운 집단 선박 피항 모델 소개

상기의 그룹화 방법은 어선 군과 같이 많은 선박이 집단을 이루며 정지해 있거나, 다수의 선박이 무리를 지어 다가오는 상황에서 유용한 방법의 하나이다. 그러나 무리를 이루고 있는 선박들의 집단화 형성 과정에 많은 어려움이 있는 것이 사실이다. 즉 얼마나 접근해 있는 선박끼리 집단화로 간주 할 것인지 그리고 서로 속도 차이가 많이 날 경우 적절히 대표 속도를 어떻게 도출해 낼 것인지에 대한 명확한 기준 마련에 어려움이 따른다.

기존의 연구(Kazuhiko Hasegawa,1996)는 이를 위해 퍼지 이론을 도입하여, 접근해 있는 선박 상호간의 속도 차이를 이용하여, 그룹화 지수란 개념을 도입하여, 접근한 선박 간에 그룹화가 될 수 있는 가능성을 계산하여, 이를 이용한 그룹화를 수행하고 있다. 하지만 이 과정에서 퍼지 멤버십 함수를 적절히 정의하기가 용이하지 않은 등 계산 과정에서 번거로움이 따르며 적당히 거리를 두고 떨어져 있는 상대선박의 경

우, 어떻게 처리할 것인지에 대한 많은 과제를 남기고 있다. 따라서 본 연구에서 채택하는 방법은 이러한 그룹화 문제를 근본적으로 고민하지 않아도 될 수 있도록 고안하였다.

Fig. 3과 같이 초기 충돌 회피 동작에서부터, 충돌 회피 방향을 정할 때 위험도가 가장 높은 선박만을 고려하지 않고, 모든 선박에 대하여 위험도를 계산하는 이른바 “multi-ship 위험도”를 도입하였다. 그림에서 처럼, 상대선박 T1에 대한 충돌 회피 동작으로 계산된 선수각을 ψ_1 이라 하면, 자신은 상대선박 전체인 T1에서 Tn까지 피항 동작을 계산하고 그중에 최종 피항각 ψ_n 을 최종 계산하여 선택하게 된다. 따라서 모든 선박에 대해 충돌회피 계산을 하게 되므로, Group 충돌 회피와 같은 효과를 가지며, 자신이 계산된 피항각 ψ_n 으로 진행할 경우 전 선박에 대하여 안전성을 확보할 수 있게 된다. 따라서 기존의 연구 등이 고려하고 있는 그룹화 방법도 필요없게 되며, 근본적인 차원에서 집단으로 이루고 있는 선박의 충돌회피에 대응 할 수 있게 된다.

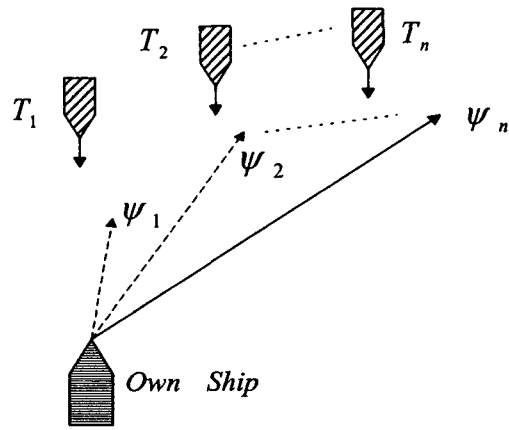


Fig.3 New model concept for multi-ship avoidance

3. 충돌 위험도 획일화 모델

충돌위험도를 이용하여 선박간의 충돌회피 동작이 수행되는 알고리즘에서는 충돌위험도 계산이 충돌위험 판단의 절대적인 위치를 차지한다. 따라서 본선이 유지선, 피항선, 추월선 또는 피추월선인지에 따라 절적인 충돌위험도가 계산되어야 한다. 이때 고려되어야 할 사항은 타 선박과 조우 형태에 따라 적절히 위험도가 차등 있게 계산되어, 항해사가 일반 항해시 느끼는 위험도처럼 상황에 따라 차등있게 구분하는 모델이 요구된다. 몇몇 연구(Cheng-Neng Hwang,2002, Tae-Gweon Jeong, 2003)가 이런 모델을 제시하고 있다. 본 연구에서는 과거의 제시된 모델을 더욱 발전시킨 모델을 제시하였다. 과거 연구의 경우, 본선의 상황이 유지선인지 아니면 피항선인지 여부에 따라 가중치를 부여 하여 적절히 위험도 차등을 시도 한다든지. Cheng-Neng Hwang의 연구(Cheng-Neng Hwang,2002)에서는 상대선박이 자선을 향

하고 진행하는 방향에 따라 적절히 수치를 가감하여, 다양한 상황을 고려하려는 노력을 하였다. 본 연구와 관련하여 전편 (Nam-Kyun Im, 2003)에 발표한 연구에서도 이런 유사한 고려가 피항 모델에 포함되었다고 발표하기도 하였다. 그러나 전 편의 연구에서 발표하였듯이, 추월 및 피추월의 경우 기존에 사용하는 TCPA/DCPA만을 이용한 위험도를 적용할 경우, 두 선박이 너무 접근하는 문제점이 발견되었다. 따라서 접근 거리를 이용하여, 피항 동작에 돌입하는 새로운 모델을 제시하였다. 그렇게 함으로써 두 선박이 너무 접근하는 문제를 해결하기도 하였다. 본 연구에서는 이를 더욱 발전시켜, 추월 및 피추월의 상황에서 두 선박이 너무 접근하는 것을 방지하며, 또한 기존에 사용하던 위험도 수치를 그대로 적용할 수 있는 방안을 강구하였다. 왜냐하면, 추월 및 피추월의 경우 기존에 연구에서 제시한 새로운 모델을 적용할 경우, 거리 근접의 문제를 해결하기는 하였지만, 충돌회피 동작의 기초가 되는 위험도를 사용하지 않고 단지 거리만을 이용하여, 충돌회피 동작 판단에 이용하게 되어, 충돌위험도와 두 선박의 접근 거리, 그리고 두 선박의 조우 형태(여기서는 추월 및 피추월) 등의 다양한 요소를 고려해야 하는 번거로움이 발생하게 되었다. 따라서 이런 요소를 고려하여 최종 충돌위험도 하나만 계산되면 이것을 이용하여 충돌회피 동작에 확일하게 사용할 수 있는 간단한 모델 작성을 시도하게 된 것이다. 즉 다양한 조우 형태와 관계없이 확일하게 계산된 최종 위험도만을 참조하면 충돌회피 동작에 사용할 수 있는 위험도계산 모델을 고안하였다.

4.1 확일화된 충돌 위험도 모델 수식화

식(4-6)은 유지선, 피항선, 추월선, 피추월선 등 각종 조우 상황에 따라 적절히 위험도를 달리 표현한 모델을 나타내고 있다. 식(4)는 기존의 위험도(CR')에 피항선, 유지선일 경우의 감소계수(t)를 감안한 위험도를 나타내고 있다. 즉 감소계수를 이용하여 피항선과 유지선의 경우 차별된 위험도 계산이 가능해진다. 식(5)는 추월선의 감소계수(t1)를 이용한 최종 위험도를 나타내고 있으며, 이를 이용하면, 피추월의 경우가 추월선일 경우 보다 일정 기간 코스를 유지하도록 충돌위험도가 계산된다. 여기서 CR_{over} 는 식(6)에 의해 구해진 추월선과 피추월선 경우의 1차 위험도를 나타낸다. 추월 및 피추월선의 경우, 기존에 사용하던 위험도와 달리, 두 선박의 근접 거리를 이용하여 위험도를 재 계산하고 있으므로, 근접 거리에 따라 새로운 위험도가 계산된다. 이렇게 구해진 CR_{over} 는 식(5)처럼 다시 추월선과 피추월선으로 구분되어 각각의 감소계수(t1)를 적용하여 그 위험도가 계산된다. 이와 같이 기존의 연구와 달리, 모든 선박의 조우 상황에 따라 차등있는 위험도 계산이 가능해졌으며, 최종 충돌 회피 동작의 판단 기준은 위험도 하나로 확일화 되어 계산되었다.

$$CR = CR'(1+t) \quad (4)$$

$$CR = CR_{Over}(1+t_1) \quad (5)$$

$$CR_{Over} = CR_{SET} + (1 - CR_{SET}) \left(\frac{d_1 - d}{d_1} \right) = CR' \quad (3)$$

t: 유지선, 피항선 일 때의 위험도 감소 계수

t1: 추월, 피추월선일 때의 위험도 감소 계수

CR_{over} : 추월, 피추월 때의 1차 충돌 위험도

CR_{set} : 사용자가 설정한 임계값

CR': Tcpa, dcpa를 이용해 계산한 기초 위험도

d: 두 선박간의 거리

d1: 추월, 피추월 상황에서 피항 개시로 설정된 거리

CR: 최종 계산된 충돌 위험도

단, 본 연구의 시뮬레이션에서는 t=0.1, t1=0.1, $CR_{set}=0.7$, d1=0.5마일로 설정하여 수행하였다.

4. 시뮬레이션 결과

위에서 제안한 알고리즘을 이용하여, 몇 가지 상황에 대하여 수치 시뮬레이션을 수행하고, 그 타당성을 검증하여 보았다. 우선 집단선박충돌회피 알고리즘을 적용한 결과가 Fig. 4이다. 그림에서 보는 바와 같이, 자선은 상대선박에 대하여 한번만에 충돌회피 동작을 완료함을 보여주고 있다. 자선에 대하여 접근하는 상대선박 3척에 대하여, 한번 만에 충돌회피 동작을 하기 위한 선수각을 결정하고 한번 만에 충돌회피하고 있음을 잘 보여주고 있다. 만일 기존의 충돌회피 알고리즘을 사용하였다면, 상대선박 중 중간 선박에 대하여 우선 충돌회피 동작을 하고, 그 선수각을 유지하다가 제일 오른쪽편의 상대선박에 대하여 2차 충돌회피 동작이 이루어지는 형태가 되었을 것이다.

Fig. 5는 충돌 회피 동작이 일어나는 동안의 선박이 나타내는 각종 정보를 나타내고 있다. 선수각의 경우 한번 만에 충돌 회피 선수각으로 변화되었음을 잘 보여주고 있다. 약 우현으로 60이상 회두하여 회두 하고 있음을 알 수 있다. 또한 선수각의 변화를 살펴보면, 충돌회피 동작이 시작된 이후에 또 다른 2차 피항 동작이 일어나지 않는 점 등이 보여지고, 초기 충돌회피 선수각을 유지하며 무사히 전 선박에 대하여 안전하게 동작하고 있음을 잘 보여주고 있다.

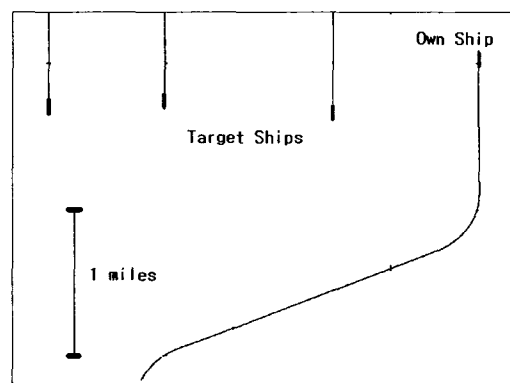


Fig. 4 Ship trajectories in multi-ship encounter

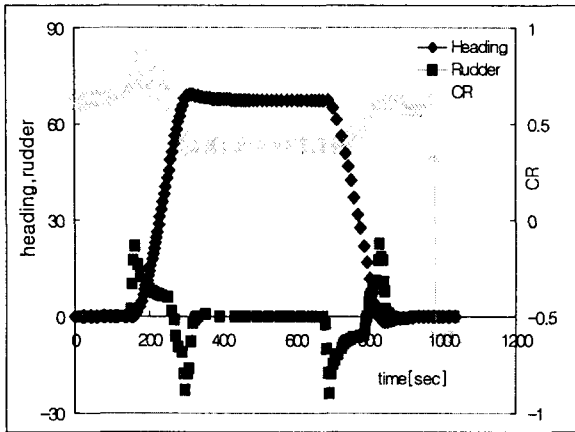


Fig. 5 Time history for ship data

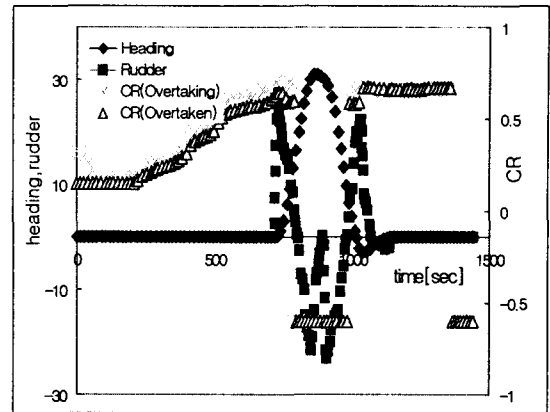


Fig. 7 Time history for overtaking situations

아울러, 확립화된 충돌위험도 계산 모델을 적용하여, 추월 및 피 추월선박의 피항 동작에 대한 시뮬레이션을 수행하여 보았다. Fig. 6,7에 그 결과를 나타내고 있다. Fig. 6은 추월하는 선박의 장면을 나타내고 있으며, Fig. 7은 추월하는 선박의 위험도(CR:Collision Risk), 타각 조작, 선수각 변화, 그리고 추월 당하는 선박의 충돌위험도를 각각 시간의 변화에 따라 나타내고 있다. 여기서 주목할 점은 상기 장에서 제안한 확립화된 충돌위험도 계산법을 사용하였기에, 추월하는 선박의 충돌위험도가 거리의 함수에 따라 완만하게 변화함을 알 수 있다. 또한 두 선박의 충돌위험도를 비교하여 보면, 추월선과 피추월선은 상호간의 운항 규약상, 통상 추월하는 선박이 미리 충돌회피 동작을 수행하도록 약속 되어 있으므로, 이를 반영할 수 있도록, 추월하는 선박이 추월당하는 선박에 비교하여 같은 시간에 조금씩 그 값이 크게 계산되어, 피추월선보다 앞서서 충돌 회피 동작을 하고 있음을 잘 보여주고 있다. 이는 유지선과 피항선과 관계 또한 같이 적용될 수 있으며, 피추월, 추월선의 경우, 현실을 잘 반영한 현상이라 생각된다.

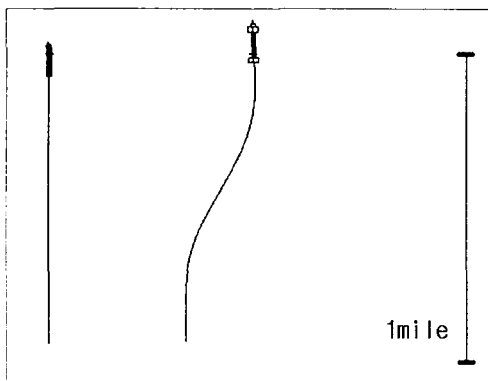


Fig. 6 Ship trajectories in overtaking situation

5. 결 론

지금까지 검토한 내용을 요약하여 보면 다음과 같다.

- 어선 군 혹은 집단화를 이루고 무리지어 다가오는 상대선박과의 새로운 충돌회피 동작에 대한 알고리즘을 제시하였다.

- 다양한 조우 형태와 관계없이 확립하게 계산된 최종 위험도만을 참조하면 충돌회피 동작에 사용할 수 있는 위험도계산 모델을 고안하였다. 특히 추월 및 피추월의 관계일 때, 거리를 이용한 위험도 계산법을 도용하여, 다양한 조우 형태에 대한 충돌위험도를 하나의 수치로 통일시키는 모델을 제시하였다.

- 또한 새롭게 제시된 모델을 이용하여, 수치 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과 각 모델의 유효성을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 선박 충돌회피 지원을 위한 다양한 제어 이론에서 새롭게 추가된 사항을 제시하고, 이를 시뮬레이션을 통하여 검증해 보는 소기의 성과를 얻었다. 하지만 현실의 선박은 충돌회피 동작 시 엔진을 사용한다든지 보다 적극적인 행동을 취하고 있는 것이 현실이다. 앞으로는 이러한 현실을 감안하는 것 또한 향후 추가될 연구의 한 부분이라 생각된다.

참 고 문 헌

[1] K. Nomoto (1956,1957): Study on ship's manoeuvrability, Journal of Japan Society of Naval Architecture, No.99 No.101

[2] Nam-Kyun Im (2004): Automatic Control for Ship Collision Avoidance Support, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol.28, No.1, pp 7-16

[3] Kazuhiko Hasegawa, et al(1995): Reconfiguration and Optimal Path Planning for

Multi-ship Encounter Problem in Automatic Ship Navigation System, Journal of The Kansai Society of Naval Architecture, No. 226 September 1996 pp163-168

[4] Cheng-Neng Hwang(2002):The Integrated Design of Fuzzy Collision_Avoidance and H_limite-Autopilots on Ships, The Journal of Navigation, vol.55 pp

117-136

[5] Tae-Gweon Jeong(2003):A New Approach to the Evaluation of Collision Risk using Sech Funtion, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol.27, No.2, pp 103-109