

선박조종시뮬레이션을 이용한 북극해 안전 호송에 관한 연구

김원옥¹ · 김종수[†]

(Received August 2, 2016 ; Revised September 19, 2016 ; Accepted October 7, 2016)

A study on the northern sea route safety convoy using ship handling simulation

Won-Ouk Kim¹ · Jong-Su Kim[†]

요약: 지구 온난화 현상으로 2030년 정도에는 북극해 항로 이용이 연중 가능할 것으로 예상되고 있어 향후에 교통량이 증가할 것으로 판단된다. 하지만 현재는 쇄빙선 선장의 지시에 따라 운항하고 있어 안전 호송 속력 및 간격은 정량화되지 못하고 있다. 본 연구에서는 기존 연구인 최소 안전이격거리 및 최단 정지거리에 대하여 선박조종시뮬레이션 수행을 통해 검증하고 다음과 같은 결과를 얻었다. 정지거리 감소에 있어서 lead 간격이 선폭의 2~4배인 경우에 선속이 7 [kts] 이하인 경우 crash astern과 crash astern & hard rudder인 경우에서 유의적인 차이는 없었으나 선속이 10 [kts]인 경우는 3.5L에서 2.5L로 정지거리가 감소함이 확인되었다. 총 10척의 대상선박에 대하여 crash astern을 사용하여 최단 정지거리를 구한 결과 5 [kts]일 경우는 0.98L~1.8L, 8 [kts]에서는 1.9L~4.0L로 나타났다. 좁은 수로에서의 최소 안전이격거리는 6L이지만 북극해 항로는 전방만 해당하므로 3L이 필요하다. 이 결과를 적용하면 북극해 안전호송 속력은 5 [kt]이하이며, 8 [kts]이상으로 호송 시에는 crash astern & hard rudder를 이용하여 호송거리를 약 3.4L 이상은 유지하여야 한다.

주제어: 북극항로, 쇄빙선, 호송속력 및 거리, 최소 안전 이격거리, 최단 정지거리

Abstract: Due to global warming it is estimated that the arctic ocean route will be available and traffic will increase by approximately year 2030. However, most navigation in the arctic is based on the ice breaker captains' orders, there is no exact measurement of convoy speed and distance between ships. So, this research was conducted to find out the minimum safe separation distance and minimum breaking distance via ship controlling simulations, and the results are as stated. For breaking distances, for ships that have a lead distance which is 2~4 times the width of the ship and traveling less than 7 knots, crash astern and crash astern & hard rudder showed no significant difference. But ships traveling at 10 knots there was a decrease in breaking distance of 1L, from 3.5L to 2.5L. By analyzing 10 subject ships by crash astern the breaking distance for 5 knots is 0.98L~1.8L, for 8 knots is 1.9L~4.0L. The minimum safe separation distance in narrow sea-ways is 6L, but as the arctic sea-way is only one-way 3L is required. As the result, it is found that in the arctic the safe escort speed is less than 5 knots, if the escort speed is 8knots or more and by using crash astern & hard rudder to break the safe distance should be kept at 3.4L.

Keywords: Arctic ocean route, Ice breaker, Convoy speed and distance, Minimum safe separation distance, Minimum breaking distance

1. 서 론

최근 지구 온난화 현상으로 북극해의 빙하가 급속도로 녹고 있어 현재 북극해 항로 (NSR: Northern Sea Route, 이하 NSR)를 이용한 상업적 운항은 연중 약 4개월 정도 가능하다. 특히, 연구에 의하면 2020년에는 6개월, 2030년에는 연중 항해가 가능할 것으로 예상하고 있어 운항 선박이 증가할 것으로 예상된다. 이러한 이유로 북극해를 안전하게 통항 할 수 있는 운항기술이 필요하다. 현재 북극해를 통항

하는 일반적인 형태는 쇄빙선이 얼음을 부수면 그 뒤로 내빙선들이 따라가는 형태를 취하고 있다. 이런 경우 앞선 선박들과의 충돌을 방지하기 위해 충분한 간격을 두고 운항해야 하지만 북극해의 낮은 온도로 인해 쇄빙 후 짧은 시간에 다시 얼어 버리는 현상 때문에 실질적으로는 호송간격을 좁게 하여 운항하고 있다. 즉, 앞서 항해하는 선박의 갑작스런 정지에 의해 충돌 가능성이 높다는 것이다. 하지만 현재는 호송 속력 및 호송 간격에 대해 정량화된 것은

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7590-6585>): Division of Marine System Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: jongskim@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4367

¹ Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, E-mail: kwo0228@seaman.or.kr, Tel: 051-620-5816

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

없다. 단, 북극해 매뉴얼에 따르면 호송간격 및 속력은 쇠빙선 선장의 지시를 따르도록 하고 있다. 또, 전방 선박의 갑작스런 정지에는 crash astern 및 crash astern과 좌우 전타를 통해 얼음 속 통항로인 lead에 부딪쳐 속력을 줄이도록 하고 있다[1]. 이 연구에서는 북극해 매뉴얼의 내용을 선박 조종시뮬레이션을 통해 검증하고 기존 연구된 선박 충돌방지를 위한 범퍼영역, 기관 전속후진에 따른 최단 정지거리 이론식 및 시뮬레이션 수행 후 얻어진 데이터를 분석하여 적정 호송간격 및 속력을 제안하고자 한다.

2. 선행 연구

북극해 운항에 대한 선박 간 이격거리 및 호송거리에 대한 선행연구는 거의 없는 실정이다. 그러므로 이 장에서는 일반 운항 시 충돌방지를 위한 이격거리, 기관전속에 따른 최단 정지거리를 검토한다. 이렇게 검토된 내용과 선박조종 시뮬레이션 수행을 통한 데이터와 비교 분석하고자 한다.

2.1 범퍼영역

통항 선박간의 안전을 위한 이격거리는 선박의 출력 및 추진기의 종류, 전속, 타의 사용량 그리고 가시거리 등 다양한 조건이 있다. Fujii의 연구에 의하면 통한 안전을 위한 이격거리는 Figure 1에서 보는바와 같다[2].

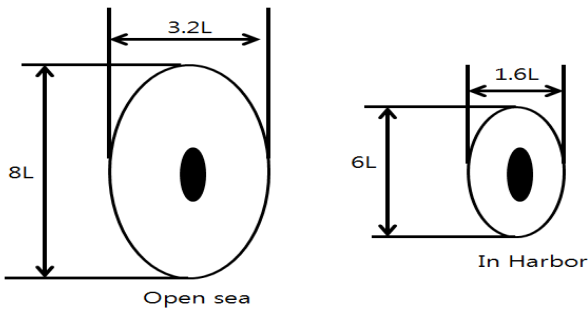


Figure 1: Bumper Model

그리고 Inoue의 연구에 의하면 통한 안전을 위한 이격거리는 식 (1)과 (2)와 같이 표현되며 Figure 2에서 보는바와 같이 FA는 선수미 방향의 확보거리, SP는 좌우방향의 확보거리이다[3]. 그리고 L_t 는 타선, L_o 는 자선을 말한다.

$$FA = (0.014L_t + 2.076)L_o \tag{1}$$

$$SP = (0.008L_t + 0.667)L_o \tag{2}$$

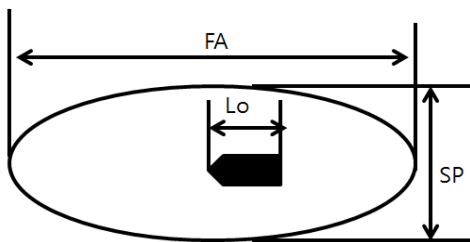


Figure 2: Safe distance in narrow waterways

또, 박 등의 연구에 의하면 최소 안전이격거리는 시정인 양호한 주간인 경우 선수전방 4.4L, 선미후방 3.1L, 정형 2.6L로 나타났다[4].

2.2 최단 정지거리

최단 정지거리는 최초의 전속에서 기관을 전속후진한 후 선박이 정지하기까지의 거리를 말한다. 하지만 최단정지거리는 최초 전속, 기관의 출력을 포함한 성능 등에 따라 다르지만 knight는 식 (3)과 같이 근사식으로 정리하였다[5].

$$S_0 = \left(\frac{1}{5}\right) u_0 t \tag{3}$$

여기서, u_0 = 속력(kts), t = 정지 시까지의 소요시간(s)이다. 그리고 디젤선박의 경우 전속후진 발령 후 선체 정지 시까지 전속 변화는 대략 일직선으로 감소하므로 식 (4)와 같이 정리될 수도 있다[5].

$$S_0 = \left(\frac{1}{2}\right) 0.514u_0 t \approx \left(\frac{1}{4}\right) u_0 t \text{ (단, } u_0 = \text{kts)} \tag{4}$$

IMO 정지시험(후진성능시험)에서는 만재상태인 경우 전진전속에서 후진전속을 발령하고 전진속력이 0이 되는 최단 정지거리를 15L이하로 정하고 있다[6].

3. NSR 향해 안전 기준

빙해역을 항해하는 선박은 적합한 ice class를 만족하여야 한다. Ice class란 북극해, 발틱해, 캐나다 주변 및 남극 지역 등 얼음으로 언 바다를 항해하는 선박들에 대한 안전규정이다. Table 1은 얼음의 두께에 따른 선급별 ice class로서 일반적으로 상선에는 Finnish-Swedish Rule이 사용된다[7].

Table 1: Ice Class Rules(Ice Thickness)

Class	Thickness (cm)	Finnish-Swedish	LR	DNV	ABS	NK	RS
Northern Baltic Service	more than 1m ice	ICE 1A*F					
	1m	1A SUPER	1 AS	ICE 1A*	1AA	1A SUPER	LU5
	0.8m	1A	1A	ICE 1A	1A	1A	LU4
	0.6m	1B	1B	ICE 1B	1B	1B	LU3
Basic ice Strength	0.4m	1C	1C	ICE 1C	1C	1C	LU2
			1D	ICE C		1D	LU1

내빙선박이 호송 선단에서 운항하기 위해서는 얼음 속 항행로인 lead를 운항해야한다. 즉, ice in channel 기능이 있

는 선박조종시물레이터를 사용하여야한다. **Table 2**는 이러한 기능을 가진 선박조종시물레이터의 ice in channel에서의 운항 능력을 보여준다.

Table 2: RS(Russian Maritime Register of Shipping) ice class

Ice class	In channel	
	Max. speed (kts)	Max. thickness(m)
LU1	3	0.3
LU2	3	0.5
LU3	3	0.7
LU4	3	0.7
LU5	4	0.9
LU6	4	1.2
LU7	4	2.0
LU8	5	3.0
LU9	6	4.0

특히, 주목할 점은 lead 내를 운항하는 선속은 3~6 [kts]로 제한됨을 알 수 있다. 쇄빙선의 일반적인 호송형태는 두꺼운 얼음 구역으로 내빙상선이 자체적으로 쇄빙이 어려운 경우이다. 즉, 기온이 아주 낮은 곳으로 이 구역의 호송은 좁은 간격을 유지하도록 하고 있다. 그 이유는 쇄빙 후 만들어진 lead가 금방 얼어 버려 호송 선박의 항해가 어려워지기 때문이다. 이러한 이유로 호송간격을 좁게 하는데 이 경우 앞 선박과의 충돌 위험이 높아지므로 최단정지거리를 줄이기 위해 선속을 낮게 하여 운항하기 때문이다. **Figure 3**은 일반적인 호송형태를 보여준다[8].



Figure 3: Type of convoy

4. 선박조종시물레이션 검토

이 연구에 사용된 simulator는 러시아 Transas사에 의해 개발된 ship handling simulator이며 DNV에 의해 ice navigation simulator로 인증을 받은 장비이다. 북극해 항로는 러시아 영해이므로 쇄빙선을 이용한 호송은 러시아 국적 쇄빙선이 담당하고 있다. 쇄빙선 선장 및 빙해역 항해사 교육은 현재 러시아 상트페테르부르크에 위치한 마카로프 해양대학 내 훈련센터에서 실시하고 있다. 이 교육센터에서 사용하는 장비도 Transas사 장비이므로 장비 자체의 신뢰도는 만족된다.

4.1 Lead 간격 및 속도별 시물레이션

빙해역 항해시 쇄빙선이 만들어 준 통항로를 lead 라고 한다. Lead는 호송 대상선박 선폭의 최소 두 배를 요구하고 있다[8]. 물론 넓은 통항로가 확보되면 운항하는데 도움이 되겠지만 쇄빙선의 능력에 한계가 있기 때문에 이 시물레이터에서도 최대 70 [m]로 제한하고 있다. 유조선과 같은 대형선을 호송할 경우 스러스트를 이용하여 선체를 돌려 넓게 쇄빙하는 경우도 있고 두 척이 동시에 쇄빙하는 경우도 그리고 특수한 선형의 쇄빙선을 이용하는 경우도 있다. **Table 3**은 lead 간격별로 전방의 선박과의 충돌을 방지하기 위해 기관 전속후진인 crash astern을 사용한 시물레이션 결과이다. 이 시물레이션에 사용된 선박은 화학제품운반선으로 전장은 110 [m], 선폭은 16 [m] 그리고 출력은 8,682 [kW]이다. **Table 3**에서 B는 선폭, L은 전장을 말한다.

Table 3: Crash astern

Lead width \ Speed	2B (32[m])	3B (48[m])	4B (64[m])
5 kts	127(1.2L)	131(1.2L)	131(1.2L)
7 kts	255(2.3L)	259(2.4L)	259(2.4L)
10 kts	410(3.7L)	385(3.5L)	385(3.5L)

Table 4는 전방의 선박과의 충돌 방지를 위해 기관 전속 후진인 crash astern과 좌우 전타를 동시에 사용한 시물레이션 결과이다.

Table 4: Crash astern & Hard rudder

Lead width \ Speed	2B (32[m])	3B (48[m])	4B (64[m])
5 kts	125(1.1L)	125(1.1L)	123(1.1L)
7 kts	231(2.1L)	240(2.2L)	233(2.1L)
10 kts	272[2.5L]	257[2.3L]	272[2.5L]

Table 3과 **Table 4**를 종합 분석하면 선속이 7 [kts]이하인 경우는 Crash astern과 Crash astern & Hard rudder인 경우에서 유의적인 차이가 없었다. 그러나 선속이 10 [kts]인 경우는 3.5L에서 2.5L로 정지거리가 1L이 감소함이 확인되었다.

4.2 최단 정지거리 시물레이션 검토

최단 정지거리는 기관의 출력뿐만 아니라 추진기의 종류에도 관련이 있다. C.P.P 혹은 Azipod 등은 후진 발령 속도가 빨라 동일한 출력에도 최단 정지거리가 짧아진다. 하지만 이 연구에서는 호송 선박에 주를 이루는 화물선을 기준으로 하였다. 즉, 북극해 항로를 주로 이용할 것으로 예상되는 벌크선, 탱커선, 케미컬선이며 기관의 추진방식은 일반적인 화물선에서 사용하는 F.P.P 방식을 선정하였다. 출력은 실제 선박을 모델로 제작된 시물레이션 선박을 이용하였으며 선속은 5kts와 8kts로 구분하여 시물레이션을 수

행하였다. 그 결과는 Table 5와 같고 세부적으로 분석된 내용은 Figure 4 & Figure 5와 같다. Figure 4는 정지시간에 따른 정지거리를 그래프로 나타낸 것으로 추세식에 의해 수식을 정리하면 식 (5)와 같다.

$$y = 0.0005x^2 + 0.9421x + 84.871 \quad (5)$$

여기서, x = 정지시간이다.

식 (5)와 식 (4)를 비교해 보면 정지거리가 거의 일치하며 시뮬레이션 값과는 추세식에서 얻어진 수식으로 구한 값이 더 일치함을 알 수 있었다.

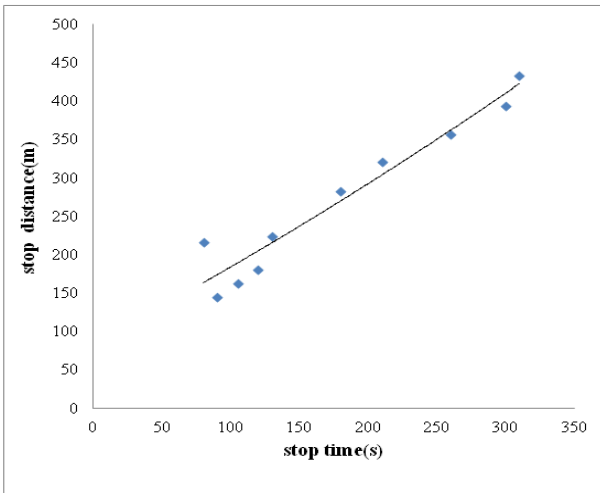


Figure 4: Stop distance per stop time(s)

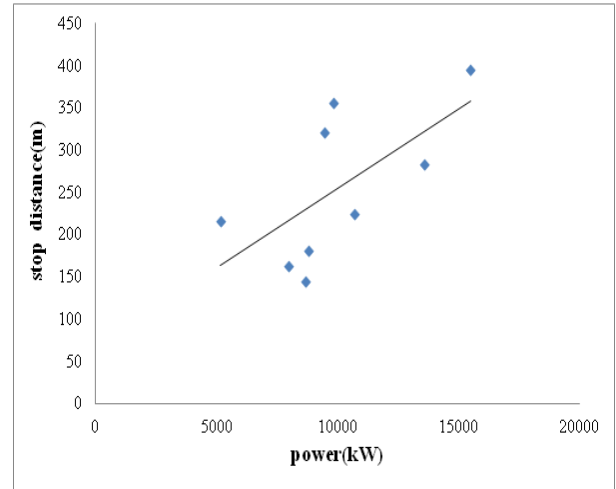


Figure 5: Stop distance per power [kW]

Table 5: Stop distance (Crash astern)

Ship type	Power [kW]	Speed [kts]	Stop time[s]	LOA[m]	Stop distance[m]	LOA/Stop distance	kW/Stop distance
Bulk	8,827	5 / 8	120/140	182.9	180/426	0.98L/2.3L	0.02/0.03
Tanker	15,500	5 / 8	300/438	261.3	394/981	1.5L/3.8L	0.02/0.06
Bulk	10,710	5 / 8	130/165	200	224/289	1.1L/1.9L	0.02/0.04
Tanker	13,610	5 / 8	180/265	242.8	283/574	1.2L/2.4L	0.02/0.04
Bulk	9,856	5 / 8	260/386	250	356/835	1.4L/3.3L	0.036/0.08
"	8,002	5 / 8	105/150	225	162/299	0.7L/1.3L	0.03/0.037
"	9856	5 / 8	310/464	230	433/928	1.9L/4.0L	0.04/0.09
Chemical	8,682	5 / 8	90/130	110	144/320	1.3L/2.9L	0.02/0.037
"	9,466	5 / 8	210/270	182.6	321/582	1.8L/3.2L	0.03/0.06
"	5,180	5 / 8	80/125	154	216/507	1.4L/3.3L	0.03/0.03

최단정지거리에 대한 기존 수식인 식 (4)와 (5)에서 보는 바와 같이 u_0 = 속력(kt/s), t = 정지시까지의 소요시간(s)을 나타내므로 기관 전속 후 정지하는 시간을 알고 있어야 정지거리를 알 수 있다. 그리고 기관의 출력은 정지거리를 정하는 가장 큰 요소이므로 전속 5[kts] 시 시뮬레이션 분석 자료에 따라 기관 출력별 정지거리를 수식으로 정리하면 식 (6)과 같다.

$$y = 0.0188x + 65.367 \quad (6)$$

여기서, x = 기관출력[kW]이다.

5. 결 론

일반적인 북극해 통항 형태는 쇄빙선이 선두에서 얼음을 깨면서 내빙선들을 호송하는 형태를 취하지만 북극해의 다양한 환경 변화 때문에 호송 속력 및 간격에 대한 기준은 없다. 하지만 일반적인 형태의 기준이 정해진다면 항해사에게 많은 도움이 될 것으로 판단된다. 이 연구에서는 기존 연구인 최소 안전이격거리 및 최단 정지거리에 대하여 선박조종시뮬레이션을 수행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 정지거리 감소에 있어서 선속 7 [kts] 이하에서는 crash astern과 crash astern & hard rudder인 경우에서 유의적인 차이가 없었다. 그러나 선속이 10 [kts]인 경우는 3.5L에서 2.5L로 정지거리가 1L이 감소함이 확인되었다.
- ② 기관 전속후진을 통한 최단 정지거리를 구한 결과 선속이 5 [kts]일 경우는 0.98L ~ 1.8L, 8 [kts]에서는 1.9L ~ 4.0L로 나타났다. 좁은 수역에서의 안전 이격거리는 3L ~ 4.4L임을 감안하면 북극해 안전호송 속력은 5 [kts]이하, 8 [kts] 호송 시에는 crash astern & hard rudder를 이용하여 감속을 할 경우 호송거리 최소 약 3.4L이상은 유지하여야 하는 것으로 확인되었다.

References

- [1] Seamanship International Ltd, The Ice Navigation Manual, Chapter 3, Edinburgh, UK, Witherbys Publishing, 2010.
- [2] Y. Fujii, H. Yamanouchi, and T. Matui, "Survey on vessel traffic management system and brief introduction to marine traffic studies," Electronic Navigation Research Institute Paper, no. 45, Ministry of Transportation, 1984.
- [3] K. Inoue, Theory and Practice of Ship Handling, Seoul, Korea: Sanghakdang, pp. 224-225, 2013.
- [4] Y. S. Kim, J. Y. Jeong, and J. S. Kim, "A study on the minimum safety distance between navigation vessels based on vessel operator's safety consciousness," Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, vol. 16, no. 4, pp. 401-406, 2010.
- [5] J. D. Yun, Theory and Practice of Ship Handling, p. 119, Busan, Korea: Sejong Publishing, 2011 (in Korean).
- [6] C. K. Lee, "A study on the evaluation and validation of IMO maneuverability standards of vessels," Journal of the Korean Institute of Navigation and Port Research, vol. 29, no. 5, pp. 365-370, 2005.
- [7] Korea Institute Maritime and Fisheries Technology, Ice Navigation Basic Course, Busan, Korea, KIMFT, 2013 (in Korean).
- [8] Makarov Training Center, Admiral Makarov State Maritime Academy Makarov Training Center Ice Navigation, Saint Petersburg, Russia, Makarov Training Center, 2013.