

선박조종시물레이션의 근접도 평가에서 연속 분석과 목표선 분석에 관한 비교 연구

† 정태권* · 이동섭**

* 한국해양대학교 항해시스템공학부, ** 한국해양수산연수원

Comparison of Goal-line and In-length Analyses in the Proximity Measures of Simulated Maneuvers

† Tae-Gweon Jeong* · Dong-Sup Lee**

* Division of Navigation System Engineering, Korea Maritime University, Pusan 606-791, Republic of Korea

** Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Pusan 608-080, Republic of Korea

요 약 : 우리나라의 경우 선박조종시물레이션을 이용한 선박 통항의 안전성 평가는 흔히 목표선 분석으로 이뤄지고 있다. 이 논문에서는 목표선 분석만으로 이뤄지는 통항 안전성 평가의 위험성을 경감할 목적으로 하나의 예로서 한국해양수산연수원의 선박조종시물레이터를 이용하여 15,000 TEU급 컨테이너 선박이 풍속 26노트 풍향 NW의 바람과 낙조류 2.2노트의 조류에서 광양항 항로를 따라 출항하는 시물레이션을 실시하고 그 결과에 대하여 목표선 분석과 연속분석을 실시하였다. 이들을 비교·분석한 결과 광양항 항로 중 굴곡부의 한곳에서는 목표선 분석에 의한 침범확률이 연속 분석에 의한 침범 확률보다 다소 크게 나타나고 있는데 이는 목표선 분석만으로도 통항 안전성 평가하는 것은 위험이 따를 수 있음을 제시하는 사례로 판단된다. 그 외에 이 논문에서는 현행의 연구의 항로중심에서 선박의 중심이 벗어난 값을 이용하지 않고 선측의 끝에서 항로경계까지를 최근접거리로 하는 근접도 평가를 제시하였다.

핵심용어 : 근접도 평가, 연속 분석, 목표선 분석, 복합 항적도 분석, 평균 최근접거리, 군평균 최근접거리, 군표준편차

Abstract : The evaluation of safety of simulated maneuvers is frequently analysed by so called goal-line or point of interest in Korea. For the purpose of warning the risk in the proximity measure composed of only the goal-line analysis, this paper utilized Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology(KIMFT) which houses a real-time, full-mission shiphandling simulator to examine the goal-line and in-length analyses in the outbound channel of Kwangyang port as an example. It used a 15,000 TEU container ship as a model under environmental conditions of the northwesterly 26-knot wind and 2.2-knot ebb current. The result of two analyses showed the probability invading the channel boundary obtained by the goal-line analysis is a little greater than that of the in-length analysis. Therefore it was acknowledged that the proximity measure by the goal-line analysis alone may be followed by some risk. In addition, this paper was to suggest the closest distance to channel boundary from the ship's edge as one of proximity measures, instead of using the ship's deviation from the centerline of channel.

Key words : Proximity measure, Continuous or in-length analysis, Goal line or line analysis, Composite track plot analysis, Average closest distance, Group average closest distance, Group standard deviation

1. 서 론

선박조종시물레이션을 실시하고 나서 그 결과를 분석하여 선박통항의 안전성을 평가하는데 그 방법은 통상 선박에 대한 근접도 평가, 제어도 평가, 그리고 조종자의 주관적 평가로 구성된다(CAORE, 1987). 근접도 평가는 통상 항로를 벗어난 횡수, 항로경계에서의 평균거리, 이 평균거리의 변동량 등으로 평가하며, 조종도 평가는 요레이트(yaw rate), 스윕트패스(swept path), 타의 사용, 예선 사용 등으로 평가한다. 마지막으로 주관적 평가는 조종자의 레이팅스케일(rating scale)을

활용한다. 예를 들어 선박 조종자의 부담, 스트레스, 업무의 난이도 등의 정도를 체크하여 평가한다.

근접도 평가는 항로의 경계의 침범이나 좌초, 교량 등과의 충돌 등의 여부를 나타내는데 비하여 제어도 평가는 단순히 선박의 제어 능력을 표시하므로 설사 항로경계를 침범하는 사태가 발생하더라도 요레이트나 스윕트패스 등이 작을 수 있다. 주관적 평가는 조종자 개인이 느끼는 부담도로서 항로 경계의 침범 여부를 결정하는 직접적인 요소라고 보기는 어렵다. 따라서 항로에 대한 통항 안전성 평가를 하는 경우 일반적으로 몇 개의 대안 항로를 설정하고 모델선박으로 시물레이션

† 교신저자 : 정태권(중신회원), tgjeong@mail.hhu.ac.kr 051)410-4246

** 정희원, dslee3196@hanmail.net 051)620-5826

을 한 후 그 중에서 근접도 평가가 좋은 것을 선택하고 근접도 평가가 거의 동일하면 제어도 및 주관적 평가가 좋은 항로를 선택하는 것이다. 이런 이유로 이 연구에서는 최근접거리에 의한 근접도 평가를 다루기로 한다.

그런데 이 평가에는 시물레이션의 구간을 몇 개로 나누어 각각 구간에서 선박과 항로경계와의 거리를 일정 시간(예, 10초) 측정 후 평균 근접거리를 구하여 평가하는 방법¹⁾(이하 '연속 분석'이라 함.)과 특정한 지점 혹은 선을 정하고 그 지점을 통과할 때의 근접거리를 구하여 평가하는 방법(이하 '목표선 분석'라 함.)이 있을 수 있다(Kuo, 1993; Witt, 1981).

이 목표선 분석은 시물레이터의 성격상, 아니면 데이터의 처리 및 분석 작업의 편리성 때문에 우리나라에서 많이 이용되어 왔다(이 외, 1994; 정과 홍 1998; Jeong et al., 1997). 이 방법은 그 위치에서 서로 다른 조종자들이 조종한 결과를 파악하는 점에서 장점이 있지만 목표선을 잘못 정하는 경우 평가가 잘못될 수 있는 결점이 있으며 여건상 조종자와 그 횡수를 충분히 확보하기 어려울 때도 있고 또 해당 구역 전체에 대한 조종성 결과를 파악하기 곤란한 점이 있다.

간의 전기능 선박조종시물레이터를 사용한다. 모델선박으로서 는 임의 선박도 가능하지만 15,000 TEU 컨테이너 선박이 출항하는 것으로 한다.

2. 광양항 출입항로 설계 및 모델선박

2.1 광양항 출입항로

목표선 분석과 마찬가지로 연속 분석은 어떤 항로(교량, 방파제 등이 있는 곳을 포함하여)에서든 적당 구간을 정하여 다 적용할 수 있고 두 분석 방법의 비교가 목적이므로 이 연구에서는 광양항 출입항로를 대상으로 하였다. 이 광양항 출입항로는 Fig. 1과 같다. 이 출입항로에 나타난 ①, ②, ③, ..., I, II, III, ..., 등은 항로의 변경점 및 교량 하부점을 나타내며 시물레이션 결과 분석에 사용하는 구간으로 이용된다. 광양항 출입항로는 Fig. 2와 같이 직선항로와 굴곡항로로 구성된다.

또 이 연구 대상인 광양항에서의 15,000TEU급 컨테이너선의 출항 표준조건은 다음과 같이 실시한다.

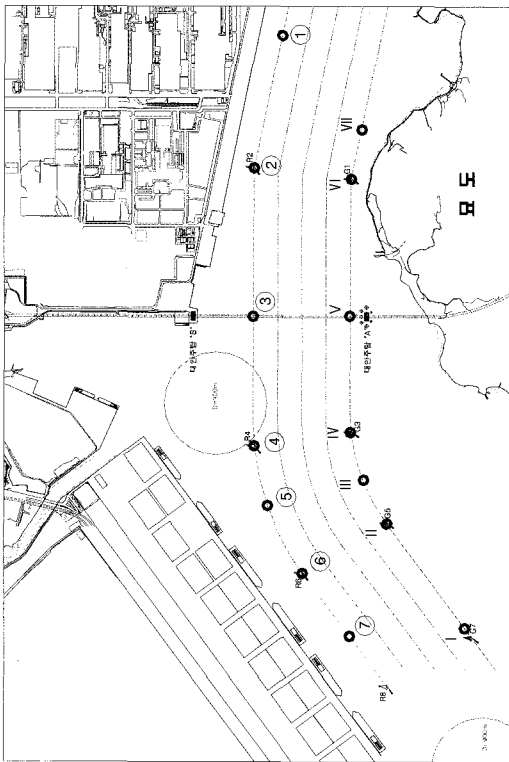


Fig. 1 Channel of Kwangyang Port

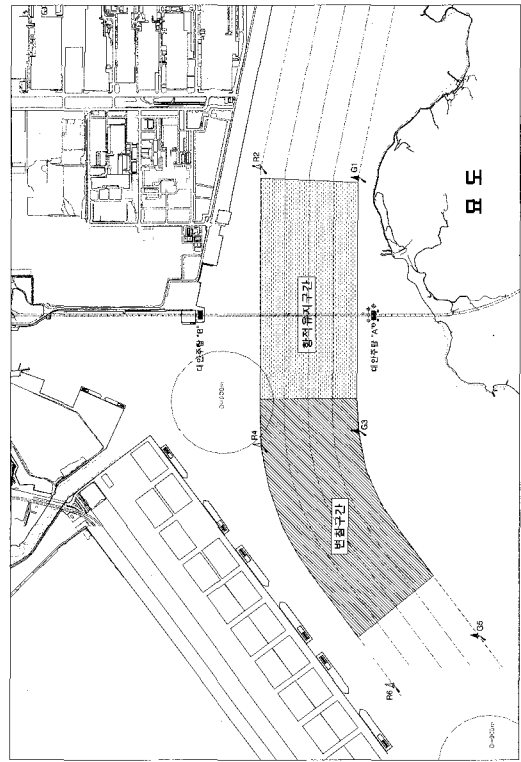


Fig. 2 Straight & Curved Area in Kwangyang Port

이 논문에서는 목표선 분석의 대안으로서 항로를 몇 개의 구간으로 나누어 그 구간에 대하여 연속 분석을 실시하고 그 결과를 목표선 분석과 비교하고자 한다. 이를 위하여 광양항 출항 항로를 대상으로 하고 한국해양수산연수원 소유의 실시

- ① 본선은 광양대교 1마일 전에서 침로 054°, 기관 미속(Dead Slow Ahead)으로 광양대교를 향하여 접근한다.
- ② 광양대교 접근하면서 침로를 054°로 정침하고 광양대교 통과시에 기관을 미속(Dead slow)이나 저속(Slow)으로 발령

1) 항로의 중앙에서의 선박 위치의 편위 분포를 구할 목적으로 연속 분석을 한 예는 있으나 항로 경계까지의 최근접거리를 연속 분석으로 한 것은 이 논문이 처음이다.

하고, 좌현/우현 선수미에 2척과 정선미에 1척의 약 3,000 마력급 이상의 전방향 추진예선(Reverse-tractor Tug) 총 3척을 잡는다. 가능하다면 정선미의 예선은 4,000 마력급 이상이 바람직하다.

- ③ 본선 선수부가 광양대교를 통과하면 기관미속 및 좌현타를 발령하고 필요시 예선을 사용하여 변침조선을 완료하면서 출항 신침로의 항로로 진입 정침한다.
- ④ 본선기관과 타 및 예선의 조종불능 상태로 인한 해양사고를 방지하기 위하여 좌현/우현선수 닻을 워크아웃(Walk-out) 또는 비상준비(Emergency standby)한다.

2.2 통항 조건의 설계와 모델선박

통항조건은 다음과 같이 설계한다.

- ① 출항선은 모델 선박인 15,000 TEU급 컨테이너 선박과 광양대교 아래서 조우하도록 설정한다.
- ② 광양항을 입·출항하는 모든 선박에 대해서는 철저한 VTS 통제를 실시한다.

한편 모델선박의 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 15,000TEU Container Ship's Particular

LOA	420 m	GRT	220,000 ton
Breadth	59.5 m	DWT	180,000 ton
Depth	30.5 m	Speed	25.5 kts
Draft	16.0 m	BHP	155,600 HP
Thruster	5,860 HP	Air draft	58.5 m

3. 선박조종시뮬레이션 및 결과 분석

광양항 출항시의 환경조건은 Table 2와 같이 바람은 통상 접·이안 허용 한계치에 해당하는 풍속 26 kts으로 풍향은 315도로 선박조종에 가장 불리한 조건으로 설정하였다. 조류는 통항조건에 가장 불리한 최강낙조류 2.2 kts로 하였다. 시뮬레이션 시간은 주간으로 하였다. 광양항 출입항로의 상세는 Table 3와 같다.

이 연구에서는 한국해양수산연수원이 보유하고 있는 실시간 전기능 선박조종시뮬레이터(real-time, full-mission ship handling simulator)를 사용하여 시뮬레이션을 실시하고 분석하였다.

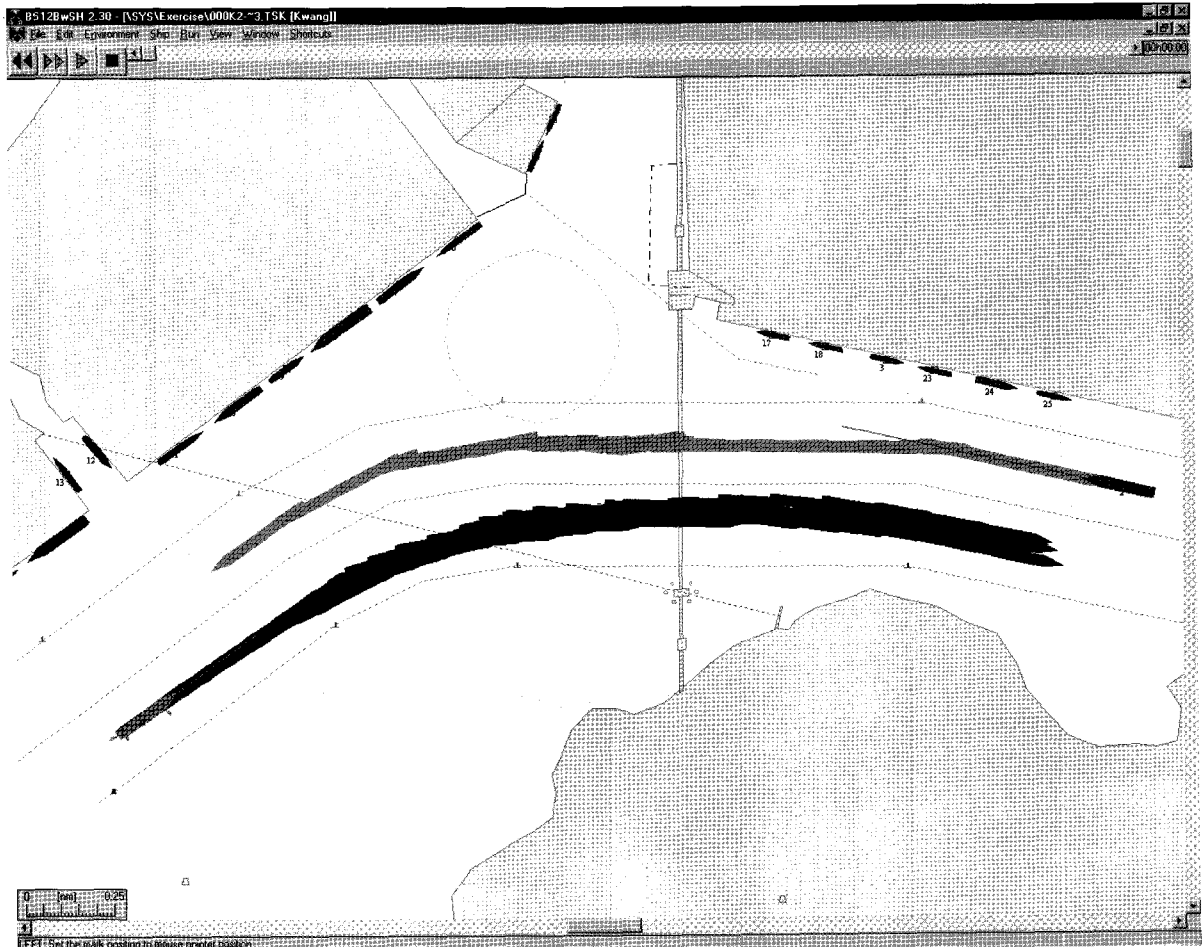


Fig. 3 Composite track plots of passages of leaving Kwangyang harbour

Table 2 Environmental condition

	Wind	Current
Direction	NW	Ebb tide
Speed	26 kts	2.2 kts

Table 3 Detail of Channel of Kwangyang Port

Channel Width		850 m
Straight Part	Inbound	2,169 m
	Outbound	2,125 m
Angle of Curved Part		37 °
Span of Bridge Piers		1,520 m

15,000TEU급 컨테이너선이 광양항을 출항하는 경우 선박 조종 시물레이션 결과에 대한 항적도는 Fig. 3과 같다.

한편, 이 연구에서 사용한 항로경계의 침범확률을 다음과 같다. 먼저 최근접거리의 분포가 정규분포를 이룬다고 가정하면 표준정규분포의 누적함수에 대한 상한값 z 를 식 (1)로 구할 수 있다.²⁾

$$z = -\frac{m}{\sigma} \quad (1)$$

단, m 는 최근접거리의 평균이고 σ 는 최근접거리의 표준편차이다. 그러면 식 (2)와 같이 표준정규분포 누적함수를 이용하여 침범확률 P 를 구할 수 있다(Jeong et al, 1997).

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2)$$

3.1 연속 분석

연속 분석을 하기 위해서는 시물레이션 구간이 굴곡부를 포함한 항로이므로 단일하게 분석을 할 수 없기 때문에 직선 구간, 굴곡 구간 등으로 나누어 실시한다. 또 시물레이션 후에 얻어진 선박의 위치는 10초 간격으로 샘플링한다. 분석 구간의 내용은 다음과 같다.

제1구간 : Fig. 1의 I 위치에서 II 위치까지(직선 부분)

제2구간 : Fig. 1의 II 위치에서 IV 위치까지(굴곡 부분)

제3구간 : Fig. 1의 IV 위치에서 VI 위치까지(직선 부분)

제4구간 : Fig. 1의 VI 위치에서 VII 위치까지(직선 부분)

분석 방법은 다음과 같다. 먼저 각각의 조종자가 시물레이션을 한 결과에 대하여 위에서 말한 구간별로 선박의 각각 위치에 대하여 선수방위 등을 고려하여 현측 끝(정선수, 선수부의 좌우현, 중앙부의 좌우현, 선미부의 좌우현, 정선미 등 8곳)에

서 항로 경계까지의 거리 중에서 가장 가까운 거리를 그 위치에서의 최근접거리로 하였다. 한사람의 조종자에 대하여 각 구간 별로 평균 최근접거리, 표준편차, 최소 최근접거리를 구하였다.

한편 시물레이션은 참여한 모든 조종자에 대하여서는 각 구간에서 균평균 최근접거리, 균표준편차 등으로 정의하여 분석한다.

제1구간에서의 시물레이션 결과는 Table 4와 같다. 6명의 조종자의 평균 최근접거리는 181.63~194.27 m이다. 표준편차가 작아 항로경계 침범 확률도 0.0000으로 나타나고 있다.

Table 4 Closest distance of each pilot in Segment 1

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Average CPA	194.27	187.47	181.63	183.20	182.57	183.54
CPA std	6.87	13.05	18.82	18.23	18.32	18.16
Min CPA	182.18	160.94	136.98	136.98	136.98	136.98
Invading Prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

또 제2구간에서의 시물레이션 결과는 Table 5와 같다. 6명의 조종자의 평균 최근접거리는 121.48~156.76 m이다. 조종자 2의 경우에는 표준편차가 커서 침범확률이 0.0037로 나타나 있다.

Table 5 Closest distance of each pilot in Segment 2

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Average CPA	156.76	121.48	129.05	132.79	143.72	136.65
CPA std	27.37	45.40	35.38	34.28	33.95	33.13
Min CPA	82.93	13.80	49.87	61.20	62.56	55.73
Invading Prob	0.0000	0.0037	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

제3구간에서의 시물레이션 결과는 Table 6과 같다. 6명의 조종자의 평균 최근접거리는 211.16~264.88 m이다. 조종자 6의 경우에는 표준편차가 커서 침범확률이 0.0013로 나타나 있다.

Table 6 Closest distance of each pilot in Segment 3

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Average CPA	264.88	260.26	224.23	211.16	231.14	259.66
CPA std	50.82	35.84	56.00	54.50	60.05	86.22
Min CPA	128.46	184.40	71.50	65.21	84.26	62.09
Invading Prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013

2) 실제로는 $z = \frac{x-m}{\sigma}$ 이지만 항로경계를 즉, $x=0$ 로 한다.

제4구간에서의 시뮬레이션 결과는 Table 7과 같다. 6명의 조종자의 평균 최근접거리는 188.93~274.86 m이다. 제1구간과 마찬가지로 표준편차가 작아 항로경계 침범 확률도 0.0000으로 나타나고 있다.

Table 7 Closest distance of each pilot in Segment 4

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Average CPA	274.86	188.93	227.40	226.81	225.49	266.58
CPA std	20.19	11.04	23.18	23.31	20.41	41.96
Min CPA	225.59	161.35	196.77	196.77	196.77	196.77
Invading Prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

한편 각 구간에서 군평균 최근접거리와 군표준편차 등을 구하면 Table 8과 같다.

군평균 최근접거리는 각각 구간에 대하여 138.11~240.85 m의 범위로 크게 변화하고 있다. 항로경계에 대한 침범확률은 구간 2에서 0.0001로 나타나고 있음을 알 수 있다.

Table 8 Group closest distance of each segment

	S1	S2	S3	S4
Group Average CPA	184.86	136.11	240.85	232.97
Group CPA std	17.06	37.13	63.06	37.66
Min CPA	136.98	13.4	62.09	161.35
Invading Prob	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000

3.2 목표선 분석

목표선 분석은 선박의 항적도를 살펴보고 관심이 되는 점 혹은 선을 선정하고 그 지점에서 선박의 통과할 때 최근접거리를 구하여 분석하는 방식이다. 이것도 연속 분석에서와 마찬가지로 선박의 현측과 목표점까지의 거리 중 가장 가까운 거리를 그 선박의 최근접거리로 하였다.

여기서는 목표점을 Fig. 1의 III, V, VI로 하였다. 분포의 적합성 검정에 관한 하나의 예로서 목표점 III에서 각 조종자의 최근접거리의 누적분포와 정규누적분포를 비교한 Fig. 4를 보면 6명 조종자의 최근접거리는 정규분포에 따르고 있음을 알 수 있다. 또 Table 9과 같이 KS³⁾ 양측 검정 결과를 살펴봐도 p 값은 0.94281로 유의수준 $\alpha = 0.05$ 보다 크고, 검정통계량이 0.202123로 한계치 0.51926보다 작으므로 6명 조종자의 최근접거리가 정규분포를 따른다는 귀무가설을 기각할 수 없다.

이에 따라 항로경계에서의 최근접거리분포를 정규분포로 가정하고 침범확률을 구하였다.

각 목표점에 대하여 구한 기술통계량을 정리하면 Table 10과 같다.

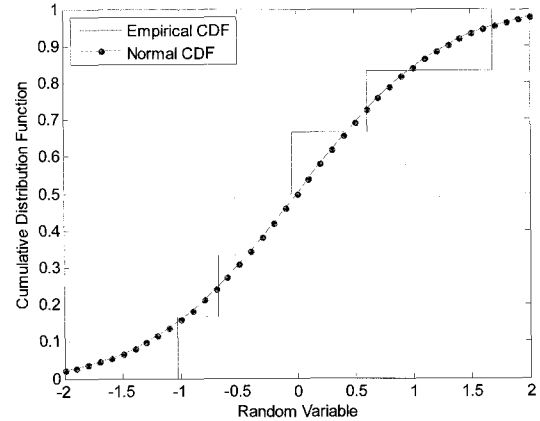


Fig. 4 Comparison of Empirical & Normal CDF

Table 9 Result of KS test

Null Hypothesis : Normal Distribution	No rejection
P-Value	0.94281
Test Statistics	0.20212
Critical Value	0.51926

Table 10 Closest distance of each goal line

	III	V	VI
Average CPA	138.73	282.33	216.84
CPA std	3.39	8.95	26.86
Min CPA	134.56	271.02	187.20
Invading Prob	0.0000	0.0000	0.0000

Table 10에서 보듯이 각 목표점에서의 평균 최근접거리는 138.73~282.33 m이다. 평균 최근접거리의 표준편차가 작아 목표점에서의 항로경계 침범확률은 0.0000으로 나타나고 있다.

3.3 연속 분석과 목표선 분석의 비교

Table 8, Table 10을 그림으로 표시하면 각각 Fig. 5, Fig. 6과 같다. 같은 구역을 표시하는 곳으로 구간 2와 목표점 3, 구간 3과 목표점 5를 비교하여 볼 수 있다. 이를 살펴보면 구간 2와 목표점 3은 거리의 차이가 별로 없지만 구간 3과 목표점

3) "Kolmogorov-Smirnov test"로 일명 KS 검정이라 한다.

5는 각각 240.85 m, 282.33 m로 차이가 크게 나타나고 있다.

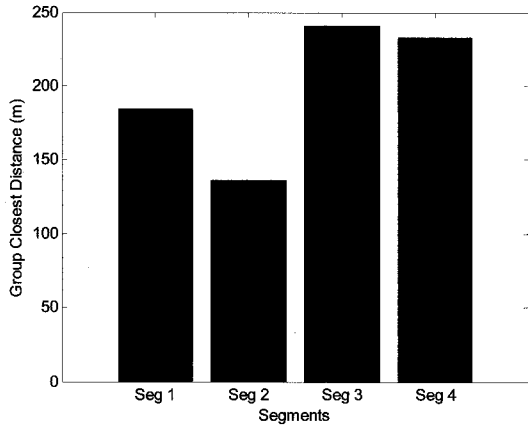


Fig. 5 Group closest distance of each segment

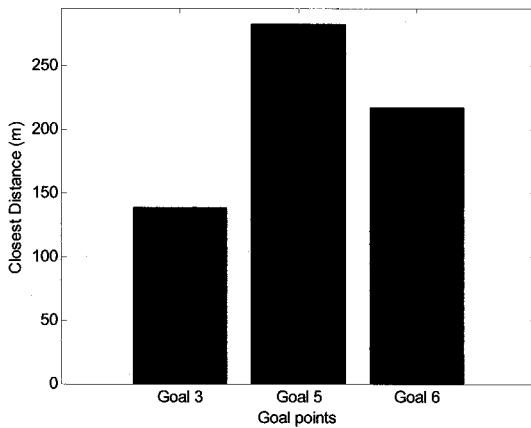


Fig. 6 Closest distance of each goal point

또 항로경계의 침범확률을 보면 Table 8의 구간 2에서는 0.0001인데 비하여 Table 10의 목표점 3에서는 0.0000으로 차이를 보이고 있다.

위와 같은 차이를 보이고 있는 것은 목표선 분석에서는 해당 목표점에서 조종자 6명이 시물레이션을 한 결과를 분석하는데 비하여 연속 분석에서는 한명의 조종자에 대하여 각각의 구간에서 많은 샘플링을 한 후 분석하고 그것을 다시 6명의 조종자에 대하여 재분석하는 과정을 거치므로 나타나는 현상으로 보인다.

위와 같이 목표선 분석은 적절한 위치를 선정하지 못하면 항로 경계를 침범하는 확률이 높음에도 불구하고 낮게 나타날 수도 있다. 또 유념할 사항으로는 목표선 분석에서 6명으로 그 분포를 정규분포 혹은 기타의 다른 분포로 항상 가정하는 것은 무리가 따르는 점이다.

4. 결 론

이 연구에서는 선박조종시물레이션의 결과에 대한 근접도 평가로서 15,000TEU급 컨테이너가 광양항에서 출항하는 경

우에 대하여 시물레이션을 실시하고 연속 분석과 목표선 분석을 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- ① 근접도 평가의 하나의 방법으로서 항로 경계와의 최근접 거리를 각각의 구간에 대하여 연속적으로 구하고 이를 평가 방법으로 제시하였다.
- ② 각각의 구간별로 구한 평균 최근접거리를 모든 조종자에 대하여 적용한 균평균 최근접거리를 제안하였다.
- ③ 목표선 분석에서는 복합 항적도 분석을 제대로 하지 못하여 목표점을 잘못 정하면 침범확률이 낮게 나타날 수 있다. 따라서 연속 분석을 병행하여 실시할 필요가 있다.
- ④ 목표선 분석은 데이터의 처리, 분석 작업상 용이한 점이 있으나 표본이 적으면 정규분포라는 가정에 무리가 따를 수 있다.

이 연구에서는 목표선 분석만으로 침범확률이 작게 나타날 수 있어 근접도 평가할 때의 잘못될 수 있다는 점에 목적을 두었고 분포에 대한 적합도 검정으로 KS 검정을 사용하였지만 다양한 적합성 검정이 필요할 것으로 보인다. 이런 분포에 대한 적합성 검정에 대하여서는 추후의 연구 과제로 남긴다.

참 고 문 헌

- [1] 이동섭·윤점동·정태권(1994), “아산항 계획 항로에서의 선박 통항의 안전성 평가검토”, 韓國航海學會誌, 第18卷, 第2號, pp.41~56.
- [2] 정태권·홍종해(1998), “광양항 LNG 터미널 접근항로 안전성에 관한 시물레이션 연구”, 海洋安全學會誌, 第4卷, 第2號, pp. 13~24.
- [3] CAORF(1987), “CAORF RESEARCH METHODOLOGY”, CAORF National Maritime Research Center, p. 28.
- [4] JEONG, T. G., Kim, H. S., Lee, J. W.(1997), “An Examination of the Safety of #2 Berth of the ‘HPC’ Pier using Port Design Simulator”, The Korean Institute of Navigation, Vol. 21/4, pp. 11~20.
- [5] Kuo Pi-Kuei(1993), “A Study on the Safety Evaluation of Ship Maneuvering in Ports -An Introduction of Ship Handling Simulator Studies in Taiwan-”, Japanese Journal of Navigation, No. 89, pp. 121~132.
- [6] Witt, F. G. J.(1981), “Analysis of Simulated Maneuvers”, 2nd International Conference on Marine Simulation, pp. A12-1~A12-17.

원고접수일 : 2006년 12월 28일

원고채택일 : 2007년 2월 26일