

가변범퍼영역모델을 이용한 항로설계기법(I)

정대득*, 이중우**

*목포해양대학교 해상운송시스템공학과 교수, **한국해양대학교 토목환경시스템공학부 교수

A Study on the Ship Channel Design Method using Variable Bumper Area Model(I)

Dae-Deug Jeong*, Joong-Woo Lee**

* Department of Maritime transportation system, Mokpo Maritime University

** Division of Civil and Environmental System Engineering, Korea Maritime University

요 약 : 항만의 계획 및 개발단계에서 중요한 요소 중 하나는 항로의 설계이다. 수심이 확보되어 있는 수역이라면 항로의 설계에서 가장 핵심이 되는 요소는 항로의 배치와 항로폭의 결정이 될 것이다. 본 연구에서는 가변범퍼영역모델을 이용하여 항로를 설계하고 평가하는 것이다. 이 기법에서는 가변범퍼영역을 이용하여 선박의 주요치수, 선박점용이론, 선박의 속력, 선박지휘자의 조선기술과 경험 등을 고려할 수 있으며, 특히 선박에 작용하여 선박의 운동 및 조종특성에 영향을 미치는 모든 외력을 고려할 수 있다. 이를 위해 선박조종자의 선박제어와 외력 등에 의한 선박의 동적데이터를 분석하기 위해 전기능선박조종시뮬레이터를 이용하였다. 이 기법에서는 항로의 적정성과 안전성을 평가하기 위해 점용지수를 이용한다. 항로설계기법을 울산신항개발계획에 적용하였다. 이 계획에서는 항로의 폭은 전장의 1.5배, 만곡부의 곡률반경은 전장의 5.0배로 설계되었으며, 항로부근에는 SBM이 위치하고 있다. 대상선박에 대해서는 항로의 폭과 곡률반경이 적절하지만, 대각도 변침과 항로부근에 위치한 SBM에 의해 선박조선상의 어려움이 야기되는 것으로 분석되었다.

Abstract : To design ship channel is one of important factors for planning and developing a port. In most case, the core factors for designing ship channel are the layout and width of channel provided the net underkeel clearance is assessed as safety. In this study, Variable Bumper Area(VBA) model is applied to design and assess ship channel. This model reflects ship's principle dimension, ship domain theory, ship speed, conning officer's ship handling skill and experience and all external forces which cause leeway, set and drift and the change of ship maneuvering characteristics. Full Mission Ship Handling Simulator is used to analyze ship dynamic data according to conning officer's ship control, external forces. etc. This model uses Domain-index for assessing the efficiency and safety of the channel. The proposed model is applied to Ulsan new port plan which has a channel width of 1.5 times the length of the largest vessel, a radius of 5 times the length of the largest vessel in a curve of 57 degree centerline angle and SBM facility adjacent to the lateral edge of channel. The result of this study shows that the width and radius of channel curve are suitable for the target ship but the difficulty of ship handling is caused by the large course change and SBM located in the vicinity of channel.

1. 서 론

항로를 설계할 때 가장 핵심이 되는 것은 수역의 특성, 선박의 특성, 해상교통특성 및 항해지원시설 등을 고려하여 항로의 배치와 항로의 폭을 결정하는 것이다. 항로의 배치와 폭은 선박의 신속한 안전통행에 매우 중요하며, 항만입구의 폭과 관련되므로 항만정온도 확보와 절충되어야 하는 매우 중요한 사항으로 항만운영에 직접적인 영향을 미친다.

PIANC Rule에서는 설계를 위한 방법론과 선체의 폭을 기

준으로 권고사항을 제시하고 있으며 우리나라 설계기준에서는 선체길이에 따른 항적의 변화를 고려하여 선체의 길이를 기준으로 최저기준을 명시하고 있다. 이러한 기준 및 권고사항과 선행연구결과에서는 항로를 설계할 때 고려해야 할 중요한 인자들과 규격을 제시하고 있으나 그 결과는 서로 다르다. 여기에는 여러 가지 요인이 있으며 가장 중요한 것은 선박의 조종특성에 영향을 미치는 외력, 선박제어 및 해상교통의 영향, 안전을 위한 여유값의 크기를 정확히 고려할 수 없기 때문으로 사료된다. 최근에는 설계기준에 의해 항로를 설계하

고 선박조종시뮬레이터를 이용하여 이를 평가하고 보안하는 과정을 주로 이용하고 있으나, 일반화된 평가절차나 평가방법이 확립되어있지 못하고 선박조종자의 주관적 의견에 크게 의존하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 새로운 항로설계기법을 개발하는 것을 목표로 하여 기존의 설계기준에 대해 검토하고, 기존의 항로설계기법에서 주요인자로만 제시하였으나 실제적으로는 고려하기 매우 곤란했던 사항들을 설계인자로 도입할 수 있는 방안을 모색하고자 한다. 전기능선박조종시뮬레이터를 이용하여 외력에 의한 영향과 선박조종특성을 분석하며, 선박접용이론에 의해 해상교통환경을 고려한다. 새로운 항로를 설계하고 평가하며 안전을 위한 여유값을 정량적으로 제시하기 위해 가변범퍼영역을 설정하고 이 영역을 세분하여 선박이 실제 수역을 점용하는 정도를 나타내는 점용지수를 정의하여 여러 가지 설계조건 변화에 따른 영향을 비교 검토할 수 있도록 한다.

2. 항로설계기준

항로를 설계하거나 기존의 항로를 평가할 경우 PIANC Rule의 권고사항과 항만 및 어항 설계기준을 주로 적용한다. 이들 권고사항과 설계기준에 명시된 수역시설에 관한 내용 중 항로의 배치와 항로의 폭에 대한 주요내용은 다음과 같다.

2.1 수로의 배치

■ PIANC Rule 권고사항

- (1) 선박의 조종성능은 횡방향 흐름과 바람에 의해 크게 영향을 받기 때문에 선박의 최소속력을 고려하여 편각이 10-15도를 초과되지 않도록 해야 한다. 그러므로 흐름을 가능한 한 선수에서 받도록 하는 것이 좋다.
- (2) 변침이 주된 위험이기 때문에 직선형태의 수로를 우선해야 한다.
- (3) 대각도 변침이 요구되면, 방사형조선을 이루어지도록 하나의 만곡이 좋다. 방사형조선을 위해서는 많은 시간의 소요 없이 위치확인이 가능하도록 항로표지를 설치한다.
- (4) 만곡부는 가장 큰 선박의 길이의 최소한 5배의 곡률반경을 갖추어야 한다.
- (5) 만곡부와 만곡부사이의 중간 직선항로는 최소한 선박의 길이의 10배이어야 한다.
- (6) 수로의 중간에서 협수로(교량 등)가 있으면 협수로의 양측으로 최대선박 길이의 최소 5배의 표식이 잘된 직선조종항로가 필요하다.

■ 항만및어항설계기준

항로를 계획할 때에는 안전한 항해, 조선의 용이함, 지형, 기상과 해상조건 및 관련시설들과의 조화를 고려해서 계획하여야 한다.

- (1) 항행기능상 다음과 같은 조건을 충족하는 경우 양호하다고 할 수 있다.
 - 법선이 직선에 가까울 것.
 - 폭이 넓고, 수심이 충분할 것
 - 바람, 조류, 그 밖의 기상 및 해상조건이 양호할 것
 - 항로표지 및 신호설비 등이 잘 정비되어 있을 것
- (2) 항로의 굴곡부는 항로중심선의 교각이 가능하면 적어야 한다.
 - 굴곡부 각도는 선박의 선회지름(TD), 속도, 흘수/수심비, 항로표식 등을 고려하여 결정할 필요가 있다.
 - 바람이나 조류의 방향이 항로와 직각에 가까운 방향일 때는 조건에 큰 영향을 미치므로 이를 충분히 고려할 필요가 있다.
 - 굴곡부에서 항로중심선의 교각이 30도를 넘지 않는 것이 바람직하다. 30도를 넘을 경우 항로굴곡부의 중심선은 곡률반경이 대상선박전장의 4배 이상이 되어야 하고 따라서 항로의 폭은 소요폭 이상이 되어야 한다.

2.2 항로의 폭

■ PIANC Rule

항로의 폭을 결정하는 방법으로 실용주의적 방법, 최대이로 방법, 시뮬레이션터를 이용한 확률방법 및 축척모델을 제시하였으며 다음과 같이 권고되어있다.

- (1) 편도항로의 폭은 지역적인 조건과 환경에 따라 대상선박의 폭의 4, 8 혹은 10배 범위이며, 일반적으로 항로 폭이 가장 큰 선박의 선평의 5배 이상으로 한다.
- (2) 횡방향 흐름이 있을 경우 $L/2 \cdot \sin\beta$ (L = 선박의 길이, $\beta = \tan^{-1}$ (유속의 횡방향성분/선박의속력) 만큼 항로폭을 증가한다.
- (3) 만곡부에서는 $L^2/8R$ (여기서 R 는 만곡부 곡률반경)과 추가적인 여유폭을 고려한다.
- (4) 왕복 항로의 경우 편도 항로 폭에 큰 선박의 선평의 3~5배를 추가하며, 조류나 바람에 의한 편위값(큰 선박 길이 $\times \sin$ (최대 편각))을 더해 주어야 한다.

■ 항만및어항설계기준

항로의 폭은 대상선박의 제원, 항로의 통행상황 및 연장거리, 기상 및 해상 상황 등을 충분히 고려하여 결정되어야 한다. 일반항로에서의 항로의 폭은 <Table 1>의 값을 표준으로 한다. 특수한 항로에서는 실태에 따라 여유를 포함시킨 폭으로 정한다.

<Table 1> Width of fairway

항로의 길이	통행 상황	항로 폭
비교적 긴 항로	통행 선박들이 빈번하게 만날 경우	2.0L
	상기 이외의 경우	1.5L
상기 이외의 항로	통행 선박들이 빈번하게 만날 경우	1.5L
	상기 이외의 경우	1.0L

3. 모델수립

3.1 모델의 개념

본 모델에서는 대상선박의 크기와 정적인 외력특성 뿐만 아니라 외력에 의한 선체운동특성, 해상교통류특성 및 선박 조선자의 조종특성을 고려하여 가변범퍼영역을 설정하고 이 영역 내에서 선박이 수역을 점용하는 정도를 나타내는 점용지수를 도입하여 수역시설을 설계하고 정량적으로 평가한다.

선박이 항해할 때 선체의 진행방향과 선수방위는 거의 일치하지 않는다. 이것은 흐름에 의한 압류(Set and Drift), 바람에 의한 풍압차(Leeway) 및 조타기를 사용할 때 편각(Drifting Angle)이 발생하기 때문이다. 따라서 수역시설을 설계하고 평가할 때 기초적인 자료가 되는 선박의 크기인 선폭과 진장 이외에 외력과 조종에 의한 실제적인 본선의 항과 면적(Swept Area)을 고려하는 것이 바람직할 것이다. 이러한 영향은 외력이 선박의 진행방향에 직각으로 작용하는 경우와 변침 과정에서 현저하게 나타나게 된다.

선박이 해상에서 항주하는 경우 선박조선자는 항행 안전을 도모하기 위해서 타선박, 위험물, 천수, 항로의 경계 등으로부터 어느 정도의 이격거리를 유지하려고 노력한다. 이 이격거리는 자선의 크기, 선박의 속도, 바람과 흐름과 같은 외력, 시정상태, 대상 위험의 종류 및 선박조선자의 능력 및 해상해역에 대한 경험 등 여러 가지 요인에 의해 달라진다. 선박이 항해하면서 타 선박 또는 위험물과 유지하는 이격거리 이내의 영역을 범퍼영역이라 한다. 선박이 항해하는 동안 타선박, 항만시설, 천수, 항로의 경계와 같은 위험물이 범퍼영역 이내에 진입하면, 선박조선자는 최소이격거리를 확보하기 위한 변침 또는 감속 등의 회피조치를 수행하게 된다. 결과적으로 보다 넓은 여유수역이 요구되므로 수역시설의 배치와 규모는 달라져야 할 것이다.

선박의 항해 중 타선박과의 항과거리, 위험물 또는 항로경계와의 이격거리의 적정성과 안전성을 정량적으로 평가하는 것은 매우 어려운 문제이다. 본 모델에서는 외력과 선박제어 과정에서 형성되는 편각에 의한 확장된 항과영역과 범퍼영역을 고려하여 가변범퍼영역을 설정하고, 이 영역 내에서 선박이 수역을 점용하는 정도를 나타내는 점용지수를 도입하여 항과거리 또는 이격거리를 정량적으로 평가하고 이를 근거로 항로의 폭과 배치를 계획하고 평가한다.

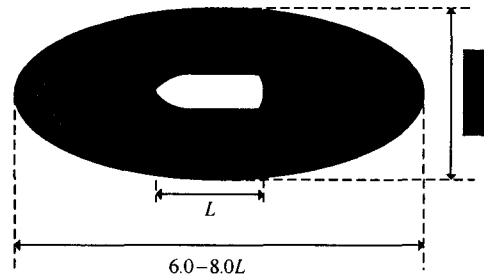
3.2 모델수립

가변범퍼영역은 선박의 수선면적, 외력에 의한 선체의 동요와 선박제어에 의해 확장되는 영역과 선박의 진장과 선속에 의해 결정되는 범퍼영역으로 구성된다.

선박의 수선면적은 선박의 길이와 폭으로 산정하며, 외력에 의한 선체의 동요와 선박제어에 의한 확장되는 영역을 선박조종시뮬레이션의 결과로 도출한다. 항해 거동 특성을 나타내는 범퍼영역은 해상교통환경, 선박의 크기, 선박의 항행

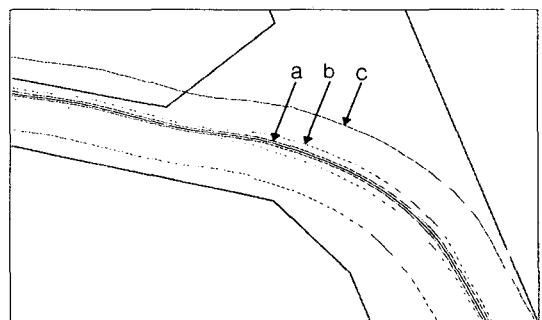
속력 등에 의해 결정된다. 일반적으로 교통밀도가 높고, 소형선박이 많은 수역의 경우 범퍼영역의 크기는 다음과 같이 산정한다. 여기서 L는 선박의 진장이다<Fig. 1>.

- 충분한 수역이 갖추어져 있어 최대속력(5-8m/sec)으로 자유롭게 항해할 수 있고, 수로에 장애물(섬, 천수 등)이 없을 경우, 타원형으로 표현한 범퍼영역의 평균 크기는 선박의 진행방향으로 8L, 진행방향의 측면으로 3.2L이다.
- 상황에 따라 선박은 감속(3-4m/sec)하여 진행하여야 하고 마주치는 상황, 추월 및 횡단하는 선박이 없는 좁은 수로나 항내에서는 범퍼영역의 평균 크기는 다음과 같다. 선박의 진행방향으로 6L, 진행방향의 측면으로 1.6L이다.
- 해상교통환경(개방수역, 외력)등에 의해 이 영역의 값은 변경된다.



<Fig. 1> Bumper Area

<Fig. 2>는 대각도 변침점에서 가변범퍼영역의 개념을 나타낸 것이다. 중앙의 선체중심 궤적의 양측으로 각각 선박의 현측끝단(a), 선박의 수선면적과 선체의 동요와 선박제어에 의해 확장된 영역의 끝단(b)과 범퍼영역을 포함한 가변범퍼영역의 끝단(c)을 항로경계선에 대해 나타내고 있다.



<Fig. 2> Variable Bumper Area

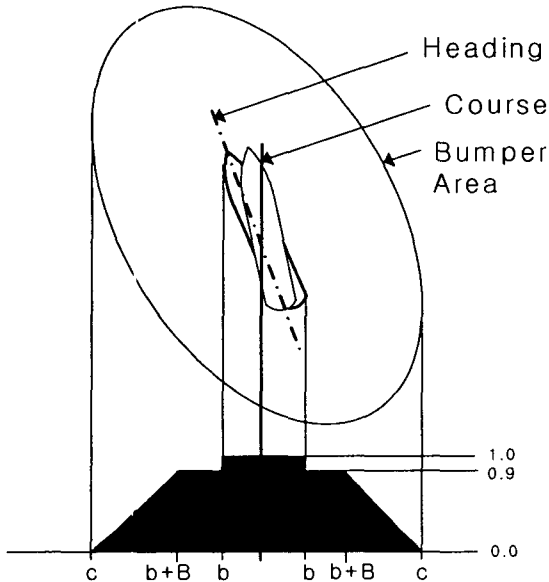
가변범퍼영역에 타선박, 항만시설 또는 항로경계선 등이 있을 때 선박조종자가 느끼는 위험감과 대응방식은 동일하지 않을 것이다. 그러므로 가변범퍼영역을 세분하여 선박이 수역을 점용하는 수준을 달리하고 그 수준을 점용도로 정의하면, 위험감을 초래한 대상이 점용도가 높은 수역에 위치할수록 위험도가 높고 이에 따른 대응수준도 달라질 것이다. 또한 항로의 폭이 대상 선박에 비해 좁거나 선박이 항로중심에

서 벗어나 항로의 경계선이 점용도가 높은 수역과 중첩할수록 그 항로는 적합하지 않다고 할 수 있다.

점용도를 선박의 중심에서부터 정황으로 외력에 의한 선체의 동요와 선박제어에 의해 편각으로 완전히 점용되는 b지점까지의 수역에서는 1.0, b점에서 선폭(b) 지점까지의 영역에서는 0.9, 그 이후부터 가변범퍼영역의 끝단(c)까지는 선형적으로 감소하여 (이 되는 것으로 정의한다<Fig. 3>).

선박이 특정 항로를 항해할 때 점용도의 전체합계를 다음 식으로 계산할 수 있다. 여기서 D는 항정이다. 점용도의 전체합계를 단위항정으로 무차원화 한 것을 점용지수로 정의한다.

$$TD = \int_0^D \{1.0 \times 2(b) + 0.9 \times [1.5(b+B) + c]\} dD$$



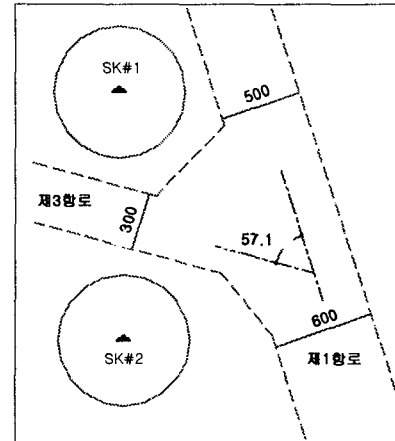
<Fig. 3> Domain Degree

4. 모델실험

가변점용모델을 울산신항개발계획의 기존 온산항 및 북쪽 신항만 항로계획에 적용하여 항로의 적합성 및 안전성을 정량적으로 평가한다.

4.1 울산신항 항로계획 및 실험조건

울산신항만의 항로계획은 울산 본항 입·출항을 위한 기존의 울산항 제1항로가 변경되며, 신항만항로는 제3항로로 계획되었다. 제1항로는 항로폭 600~500m, 거리 4.6마일이고, 제3항로는 항로폭 300m, 거리 1.6마일이다. 제1항로와 제3항로 사이의 굴곡부는 중심교각은 57.1°, 곡률반경 1,000m로 설계되어 있으며, 제3항로의 북측에는 SK#1 원유부이, 남측에는 SK#2 원유부이가 위치하며 항로경계와 원유부이 제한수역과의 이격거리는 각각 150m이다<Fig. 4>.



<Fig. 4> Ship's Route Plan

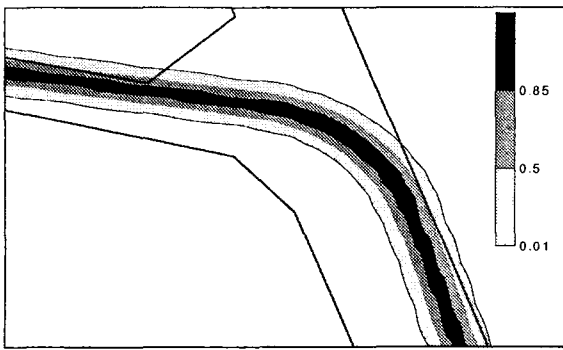
실험 선박은 제3항로 설계 대상선박인 2만톤급 일반화물선으로 하였으며 전장은 193m, 선폭은 21m 이다. 모델 적용 시 외력의 작용방향은 제1항로와 제3항로의 정황에서 작용하는 경우와 선박이 굴곡부 중앙부에서 위치할 때 정황에서 작용하는 것으로 설정하였으며, 외력의 강도는 풍속 25노트, 조류 2.7노트 및 파고 1.5미터로 설정하였다. 외력조건에 따른 실험조건은 <Table 2>와 같다. 선박조종시물레이터의 실험조건은 당해수역의 특성을 면밀히 파악하고 있으며, 시물레이션에 친숙한 선장이 수행하였으며, 변침방식은 반타 변침조선법(Half-Rudder Turning Maneuvers)을 표준으로 하였다.

<Table 2> Simulation Conditions

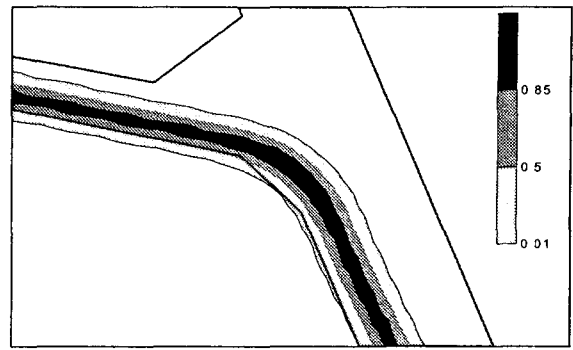
Sailing	Direction (°)		Case No.
	Wind	Current	
Inbound	NIL	NIL	1
	252	072	2
	195	015	3
	223	043	4
Outbound	NIL	NIL	5
	252	072	6
	195	015	7
	223	043	8

4.2 모델실험 결과 및 분석

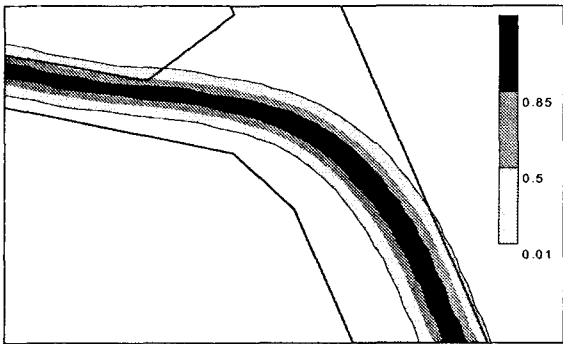
외력조건에 따른 가변범퍼영역, 점용도 분포와 점용지수를 입항조선과 출항조선에 대해 실험하고 그 결과를 분석하였다. <Fig. 5>~<Fig. 12>는 실험조건별 가변범퍼영역과 점용도 분포를 나타낸 것이다. 외력이 작용하지 않는 경우에는 선회조선의 편각에 의해 굴곡부에서만 가변범퍼영역이 확대되었으며, 제1항로와 제3항로에서는 거의 동일하게 나타났다. 외력의 방향이 제1항로 또는 제3항로의 정황인 경우 가변범퍼영역은 풍압차와 흐름에 의한 압류로 현저하게 확대되었으며, 굴곡부에서는 편각의 영향이 가중되어 가장 많이 확대되



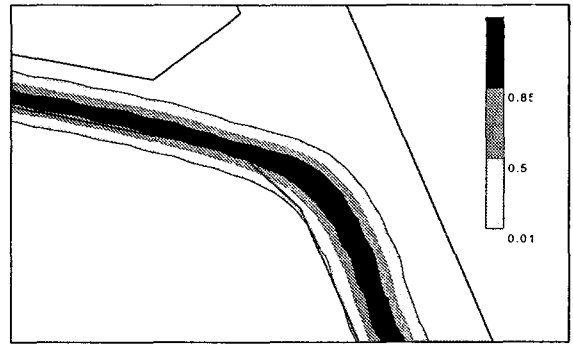
<Fig. 5> Domain Degree(Case 1)



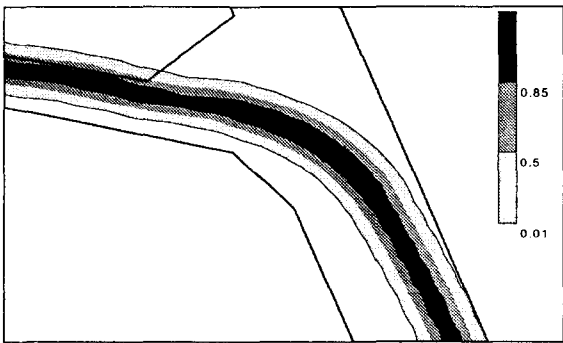
<Fig. 6> Domain Degree(Case 2)



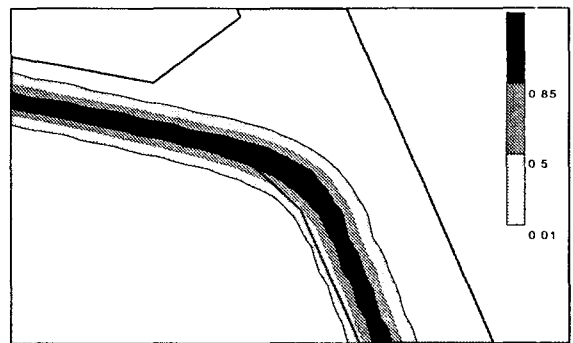
<Fig. 7> Domain Degree(Case 3)



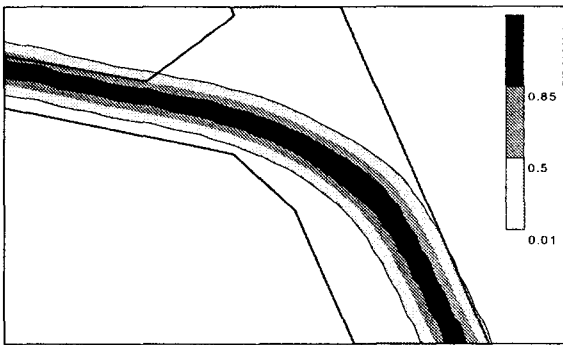
<Fig. 8> Domain Degree(Case 4)



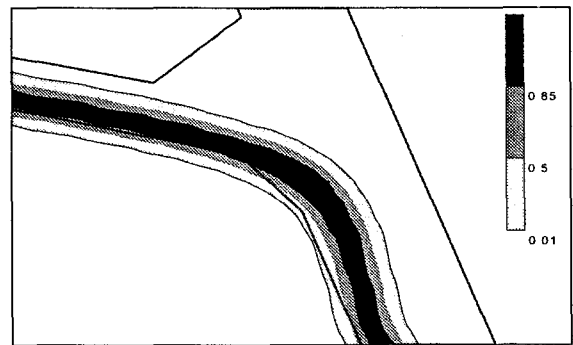
<Fig. 9> Domain Degree(Case 5)



<Fig. 10> Domain Degree(Case 6)



<Fig. 11> Domain Degree(Case 7)



<Fig. 12> Domain Degree(Case 8)

었다. 외력의 방향이 굴곡부의 중앙부에서 선박에 정횡으로 작용하는 경우에서는 제1항로 및 제3항로에서도 외력의 영향이 크게 나타났으며, 특히 굴곡부에서는 선체 선회운동에서 발생하는 편각과 바람에 의한 풍압차가 동시에 작용하여 가변범퍼영역의 범위가 가장 넓게 확대되었다.

입항조선의 경우 제1항로에서 제3항로를 변침하여 진입할 때, 어떤 외력조건에서든지 점용지수 0.5이상의 영역이 항로의 북측 경계를 넘어서는 것으로 나타났으며, 외력이 제3항로의 정횡방향에서 작용할 때 가장 크게 넘어서는 것으로 나타났다. 그러므로 SK#1원유부이에 계류중인 선박의 선미가 제3항로로 향해 있을 경우 선박조선자는 위험감을 느낄 것을 판단된다. 또한 항로의 대부분 수역을 점용지수 0.5이상의 영역이 점용하므로 항해의 안전을 도모하기 위해서는 항해보조시설, 교통관제 등과 같은 지원이 필요할 것으로 판단되며, 대각도변침이 이루어지는 과정에서 항과면적이 매우 넓어지므로 항로의 경계를 표시하는 항로표지는 적절하지 않을 것으로 판단된다. 출항조선의 경우는 변침 이후 진입하게 될 제1항로의 폭이 충분히 넓기 때문에 항로의 경계선이 점용지수 0.5이상인 영역과 중첩되지 않아 굴곡부 변침조선이 입항에 비해 용이한 것으로 나타났지만, 입항조선에 비해 굴곡부의 곡률반경이 상대적으로 작아져 가변범퍼영역이 크게 나타났다. 외력이 작용할 때에는 점용지수 0.5이상인 영역이 Cut-off 끝단과 중첩되는 경우가 발생하므로 Cut-off에 대해 면밀히 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

<Table 3>은 실험조건별 선체운동과 점용지수에 관련된 모델실험 결과를 나타내고 있다. 선수방위와 선체 진행방향의 차이는 외력이 없을 경우 일반상선의 편각 범위인 5~15°의 중앙값인 7~8°로 나타났으며, 외력이 선회 전후의 직선항로에 정횡으로 작용할 때에는 외력이 없을 때에 비해 실험조건에 따라 2~3배 증가하였다. 굴곡부의 중앙부에서 선체에 정횡으로 외력이 작용하는 실험조건에서 선수방위와 선체 진행방향의 차가 가장 높게 나타났다. 이것은 선체 선회운동에서 발생하는 편각과 바람에 의한 풍압차가 동시에 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

<Table 3> Results of model analysis

Case No.	Leeway		Swept Area Half Width		Total Domain Degree	Domain Index
	MAX	AVG	MAX	AVG		
1	7	1.45	22.18	13.26	597300	135.94
2	15	10.19	35.12	27.35	658729	162.53
3	20	10.90	42.87	28.47	659076	162.09
4	19	11.87	41.35	30.09	669756	166.23
5	8	1.65	23.83	12.93	516671	135.86
6	22	11.46	45.88	29.39	608568	164.43
7	22	11.28	45.88	29.08	606308	163.12
8	24	13.95	48.84	33.37	622997	172.81

점용지수는 외력이 없을 때에 비해 외력이 제1항로 또는 제3항로에 정횡으로 작용할 때 20%정도 증가하였으며, 외력이 굴곡부 중앙부에서 선체에 정횡으로 작용할 때 최대로 27.2% 증가하였다. 출항조선과 입항조선의 비교에서는 선회 곡률반경이 상대적으로 작은 출항조선의 전체평균이 입항조선에 비해 14.3% 높게 나타났다. 한편 항과면적도 외력이 작용할 경우 선평의 2배 이상으로 넓어졌으며 최대 2.38배 증가하는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 항로설계에 대한 권고사항과 설계기준에는 명시되어있지만 실제적으로 감안하기 불가능하거나 매우 곤란한 설계인자를 고려하여 정량적으로 평가할 수 있는 기법을 개발하였다. 이러한 설계인자에는 조종성능과 같은 선박요인, 외력과 해상교통특성과 같은 환경요인, 선박조선자의 조선특성과 같은 인적요인 및 안전을 위한 여유폭 등이 있다.

수립한 모델을 항만및어항시설설계기준 및 PIANC 권고사항에 적합하게 설계한 울산신항 항로계획에 적용하여 항로의 폭과 배치에 대해 검토하였다. 제3항로의 폭은 설계기준에는 충족하지만, 외력이 작용할 경우 대각도 변침 이후에 점용지수 0.5이상의 영역이 항로의 대부분을 차지하며, 항로 굴곡부 부근에서는 항로경계선을 넘어서는 것으로 분석되었다. 그러므로 선박통항관제와 같은 적극적인 조치로 굴곡부에서 변침조선을 수행할 때 타선박의 간섭이 없도록 해야 할 것이다. 또한 항로주변에 위험시설물이 있으므로 항해안전을 도모하기 위해서는 항해보조시설이 필요할 것으로 판단되지만, 항로경계를 표시하는 항로표지는 적절하지 않을 것이다.

모델 수행결과 외력조건, 항해조건에 따라 항로의 폭과 배치 및 안전을 위한 여유를 조정할 필요가 있으며, 점용지수에 근거하여 그 정도를 결정할 수 있을 것이다. 해역별 해상교통통사를 통해 당해수역에서의 해상교통특성을 파악하여 범퍼영역을 설정할 필요가 있으며, 선박조선자의 설문조사를 통해 항해에 위험을 야기하는 대상에 대한 위험감 즉 점용도를 조정할 필요가 있다.

참고문헌

1. (주)한국항만협회(2000), 항만 및 어항 설계기준
2. 해양수산부(2003), 울산신항 개발계획 정비용역 보고서
3. PIANC(1980), International Commission for the Reception of Large Ships, Report of Working Group IV
4. William C. Webster(1992), Shiphandling Simulation Application to Waterway Design