

가변범퍼영역모델을 이용한 항로설계기법(II)

정대득* · 이종우**

*목포해양대학교 해상운송시스템공학과 교수, **한국해양대학교 건설환경공학부 교수

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

Dae-Deug Jeong* · Joong-Woo Lee**

* Department of Maritime transportation system, Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

** Division of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 항만의 계획 및 개발단계에서 중요한 요소 중 하나는 항로의 설계이다. 항로를 설계할 때 가능한 한 만곡부를 피해야 하지만, 그렇지 못할 경우에는 변침과정에서 추가적으로 발생하는 항과면적의 증가를 고려하여 항로의 폭을 확장하고 항로를 배치하는 것이 선박의 안전한 통항에 필수적이다. 본 연구에서는 가변범퍼영역모델을 이용하여 만곡부의 항로의 폭과 항로의 배치를 결정하는 기법을 다룬다. 모델실험결과 만곡부 중심교각이 30도 미만인 경우 만곡부의 항로의 폭을 직선구간에서의 항로의 폭과 동일하게 설계할 수 있지만, 만곡부 중심교각이 60도 인 경우에는 만곡부의 항로의 폭을 대상선박의 길이와 만곡부의 중심교각에 따라 확장해야 할 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 항로설계, 항로의 만곡부, 가변범퍼영역모델, 선박조종시뮬레이터

Abstract : To design ship channels is one of important factors for planning and developing a port. Bends in channels should be avoided if possible, but the channel should be widened, if channel bend is unavoidable, considering the swept path of a ship for safe passage. In this study, Variable Bumper Area(VBA) model is applied to determine the channel widths in bends. The result of this study shows that the width of the bend may be designed as nearly same size of that in straight channel in case that the angle of deflection is less than 30 degrees, and that of the bend with 60 degrees deflection should be widened based on the length of the largest ship using the channel and the angle of deflection

Key words : Ship channel design, Bend in channel, Ship Domain, Variable bumper area model, Ship handling simulator

1. 서 론

항로를 설계할 때 가장 핵심이 되는 것은 수역의 특성, 선박의 특성, 해상교통 특성 및 항해지원시설 등을 고려하여 항로의 배치와 항로의 폭을 결정하는 것이다. 특히 항해 중 위험요소가 많이 발생하는 만곡부를 가지는 항로의 폭과 배치를 결정하는 것은 선박의 안전통항에 매우 중요하다. 항로를 설계할 때에는 가능하다면 만곡부를 피해야 하지만, 그렇지 못할 경우에는 만곡부의 중심교각을 최소화 하고, 변침과정에서 선박의 항과면적이 직선항로에서보다 넓어지기 때문에 항로의 폭을 넓혀야 한다. 만곡부의 항로의 폭을 결정할 때에는 만곡부의 중심교각, 선박의 항과 속력과 조종특성, 수로의 특성, 항해의 장애요소 및 항해보조시설 등을 고려해야 한다.

특히 주변 여유수역이 갖추어지지 않은 수역, 준설 등에 의해 최소한의 항로의 폭을 확보해야 하는 수역, 선박교통량이

많은 수역 및 항로의 폭을 최소로 설정해야 하는 수역에서 만곡부를 가지는 항로를 설계하는 경우 항로의 배치와 항로의 폭의 최소 확장 정도에 관한 기준은 매우 중요한 설계인자가 된다.

PIANC 규칙에는 만곡부의 배치와 확장해야할 항로의 폭을 곡률반경과 대상선박의 길이에 의해 정량적으로 권고하고 있으며, 미국의 규정에는 만곡부 중심교각이 크지 않을 경우에는 항로의 폭을 확장하는 대안들을 제시하고 있고 중심교각이 클 경우에는 만곡부의 곡률반경에 의한 항로의 배치뿐만 아니라 항로의 폭을 확장하는 방법과 그 정도를 규정하고 있다. 우리나라 항만 및 어항설계기준(이하 설계기준)에는 항로 만곡부의 곡률반경에 의해 항로의 배치와 항로의 폭을 확장해야 하는 필요성을 명시하고 있지만 그 방법 및 소요폭이 명시되어 있지 않다.

한편 이러한 각국의 규정과 선행연구에서는 만곡부의 배치와 항로의 폭을 결정할 때 고려해야 할 중요 인자들과 규격을

* 대표저자: 정대득(종신회원), ddjeong@mmu.ac.kr 051)410-4461

** 종신회원, jwlee@mail.hhu.ac.kr 051)410-4461

제시하고 있으나 그 정도는 서로 다르며, 따라서 결과값은 큰 차이를 보인다. 여기에는 여러 가지 요인이 있으며 가장 중요한 것은 선박의 조종특성에 영향을 주는 외력, 선박제어, 해상교통환경, 안전을 위한 여유값 등에 의한 변화를 정량적으로 산정하기 곤란하기 때문으로 사료된다.

본 연구에서는 항로의 배치와 항로의 폭에 영향을 주는 여러 가지 인자를 정량적으로 고려할 수 있는 가변범퍼영역모델을 이용하여 항로의 만곡부에서 항로의 배치와 항로의 폭을 확장하는 방법 및 그 정도를 산정하는 기법을 제시하고 이에 대해 고찰한다.

2. 항로설계기준

만곡부의 항로 배치와 항로의 폭에 관련한 PIANC 규칙, 미국의 규정 및 설계기준의 주요내용은 다음과 같다(항, 2000; PIANC, 1980, NAVFAC).

2.1 만곡부 항로의 배치

만곡부 항로의 배치는 만곡부 전후 항로를 완만하게 연결하기 위해 곡선형으로 연결했을 때의 곡률반경을 기준으로 한다.

■ PIANC 규칙

- (1) 대각도 변침이 요구되면, 방사형조선이 이루어지도록 하나의 만곡이 좋다. 방사형조선을 위해서는 많은 시간의 소요 없이 위치확인이 가능하도록 항로표지를 설치한다.
- (2) 만곡부는 가장 큰 선박의 길이의 최소한 5배의 곡률반경을 갖추어야 한다.

■ 미국 기준

- (1) 개방형 수로의 만곡부에서 조우하는 선박들의 조종성능이 양호하고, 만곡부의 중심교각이 너무 크지 않으면 만곡부를 직선형으로 설계할 수 있다.
- (2) 제한된 수로의 만곡부를 설계하거나, 만곡부의 중심교각이 너무 크거나, 수로를 빈번하게 이용하는 선박의 조종특성이 좋지 않을 경우에는 만곡부를 곡선형으로 할 필요가 있다. 곡률반경을 결정하는 일반적인 규칙은 다음과 같다.

- 만곡부의 중심교각에 의한 곡률반경
 - 중심교각 $10 < \alpha < 25$: 최소곡률반경 $R = 3 \cdot l_v$
 - 중심교각 $25 < \alpha < 35$: 최소곡률반경 $R = 5 \cdot l_v$
 - 중심교각 $\alpha > 35$: 최소곡률반경 $R = 10 \cdot l_v$
- 선박의 길이에 의한 곡률반경
 - 선체길이 $l_v < 500ft$: 최소곡률반경 $R = 4,000ft$
 - 선체길이 $l_v = 500ft$: 최소곡률반경 $R = 7,000ft$
 - 선체길이 $500ft < l_v < 700ft$:
최소곡률반경 $R = 7,000 \sim 10,000ft$

■ 설계기준

- (1) 항로 만곡부는 항로중심선의 교각이 가능하면 적어야 한다.
- (2) 만곡부 중심교각은 선박의 선회지름, 속도, 흘수/수심비, 항로표식 등을 고려하여 결정할 필요가 있다.
- (3) 만곡부에 대한 항로중심선의 교각은 30도를 넘지 않는 것이 바람직하다. 30도를 넘을 경우 만곡부의 중심선은 곡률반경이 대상선박전장의 4배 이상의 원호가 되어야 한다.

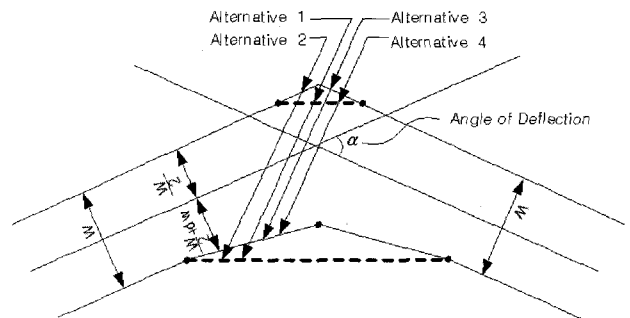
2.2 만곡부 항로의 폭

■ PIANC 규칙

만곡부에서 항로의 폭은 직선항로의 폭에 선체길이에 따른 항적의 증가에 기인한 값 $L^2/8R$ (여기서 L 는 선체길이, R 는 만곡부 곡률반경)과 추가적인 여유폭을 고려한다.

■ 미국 기준

- (1) 직선형 만곡부에서 항로의 폭을 넓히는 방법은 Fig. 1과 같다. 여기서 α 는 만곡부 중심교각, w 는 항로의 폭, dw 는 항로확장폭이다.



(1) (Fig. 1) Methods of widening channel (USA)

Fig. 1 Methods of widening channel (USA)

- (2) 곡선형 만곡부에서 항로의 폭을 확장하는 방법은 곡률반경을 결정한 이후에 만곡부의 안측만 확장하는 방법(Fig. 2)과 양측을 동일하게 확장하는 방법(Fig. 3)이 있다. 여기서 R, R_1, R_2 는 곡률반경, l_v 는 선체길이, α 는 만곡부 중심교각, w 는 항로의 폭, dw 는 항로확장폭이다. R_1 는 소요 항로폭 dw 가 만들어지도록 임의로 정할 수 있다.

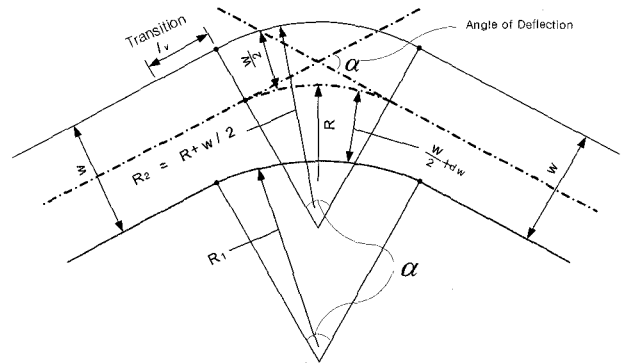


Fig. 2 Unsymmetrically widened turn in channel

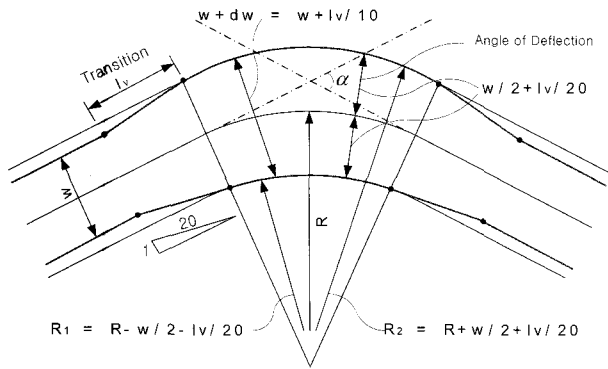


Fig. 3 Parallel widened turn in channel

■ 설계기준

- 만곡부에서 항로중심선의 교각이 30도를 넘을 경우 곡률반경으로 결정되는 항로의 배치에 의한 소요폭은 Fig. 4와 같다.

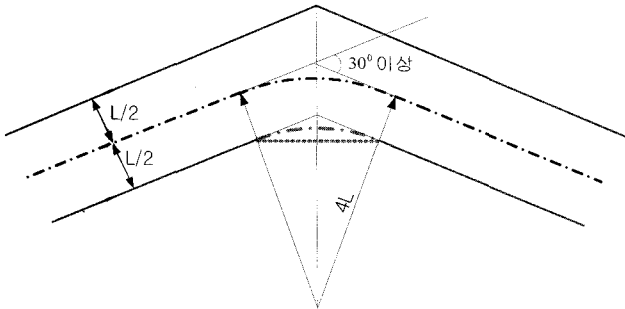


Fig. 4 Methods of widening channel (Korea)

3. 가변범퍼영역 모델의 실험

3.1 모델의 개요

선박의 명세에 의해 결정되는 수선면적, 외력에 의한 선체의 동요와 선박제어에 의해 확장된 항과영역과 선박의 전장파선속도에 의해 결정되는 범퍼영역의 합을 가변범퍼영역으로 정의하고, 가변범퍼영역 내에서도 항해하는 선박이 수역을 실제적으로 점용하는 정도는 지점에 따라 다르므로 가변범퍼영역을 세분하여 선박이 수역을 점용하는 수준을 점용도로 정의한다.(정, 2005).

항로의 배치와 폭을 결정할 때 당해수역의 설계조건에서 대상선박이 항해하였을 때 나타나는 가변범퍼영역에서 임의의 점용도 이상을 가지는 영역을 기준으로 활용할 수 있을 것이다. 또한 만곡부에서 항로의 배치와 항로의 폭이 어느 정도 확장되어야 하는지 결정할 수 있다. 본 논문에서는 만곡부 항로의 배치와 항로폭의 확장 범위를 산출하기 위해 선박의 중심점에서부터 외력에 의한 선체의 동요와 선박제어에 의한 편각으로 완전히 점용되는 항과영역의 끝점(a)까지의 수역에 점용도 1.0, a점에서부터 선체의 정횡 방향의 양현으로 선폭 지점(b)까지의 수역은 잠정적인 항로이탈로 간주하여 점용도 0.9,

b점에서 선체의 정횡 방향의 양현으로 대상선박길이의 절반 지점(c) 사이의 수역에 대한 점용도는 0.9에서 0.0으로 선형적으로 감소하는 것으로 설정한다<Fig. 5>.

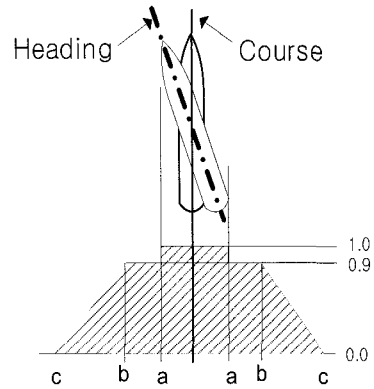


Fig. 5 Domain degree

3.2 실험조건

가변범퍼영역모델을 이용하여 만곡부를 가지는 항로를 설계하기 위해 Fig. 6과 같이 항로를 설계하였다. 항로의 폭은 설계기준의 “항로의 길이가 길지 않고, 통항 선박들이 빈번하게 만나지 않는”에 의거하여 대상선박의 전장(\$L_v\$)로 설정하였으며, 만곡부의 중심교각은 설계기준에서 만곡부에서 항로의 폭 확장이 요구되지 않는 최대 중심교각인 30도와 대각도 변침 상황을 실험하기 위해 60도로 설정하였다.

대상 선박은 6만톤급 일반화물선으로 선박의 전장은 206m, 선폭은 32m 이다. 실험에서 적용하는 외력의 크기는 풍속 10 노트, 조류 1.5노트 및 파고 1.5미터이고, 외력의 방향은 Table 1과 같이 만곡부의 중앙에서 정횡으로 작용하여 가변범퍼영역이 가장 넓게 확장되고 변침조건이 가장 곤란한 상황으로 설정하였다(정, 2005).

당해수역의 특성을 면밀히 알고 있으며 선박조종시물레이터 사용에 친숙한 선장이 선박조종시물레이션 실험을 수행하였으며, 실험조건에 따른 결과를 상호비교하기 위해 반타 변침 조선법(Half-Rudder Turning Maneuvers)을 표준 변침방법으로 선정하였다.

Table 2 Simulation conditions

Case No.	Angle of deflection	Direction (°)	
		Wind	Current
1	30	NIL	NIL
2		135	315
3		315	135
4	60	NIL	NIL
5		135	315
6		315	135

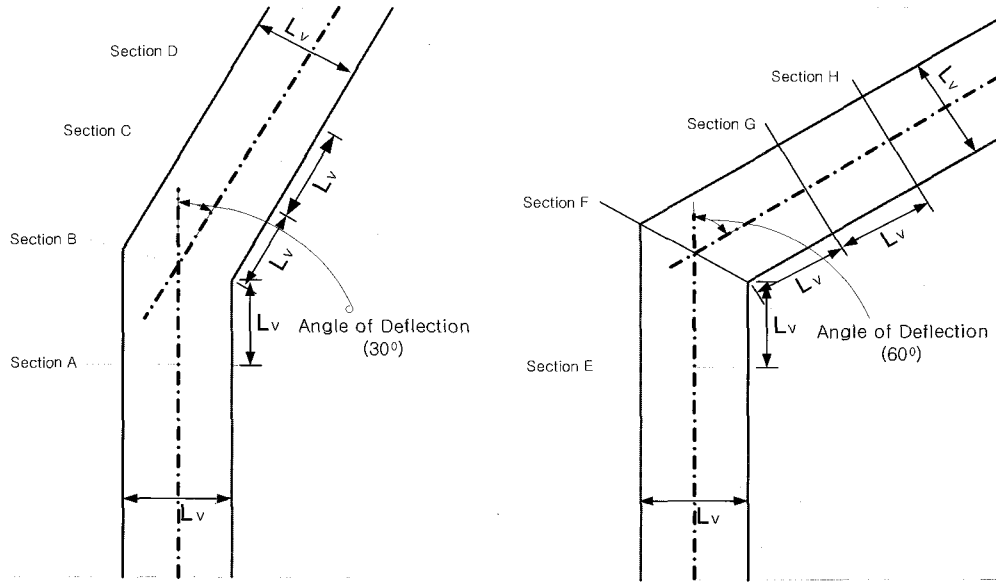


Fig. 6 Ship lane for simulation

3.3 모델실험 결과 및 분석

각각의 실험조건에 대해 선박조종실험을 실시하고 점용도를 분석한다. 또한 만곡부 부근의 항로 정황 단면에서의 점용도 분포를 분석하기 위해 Fig. 6과 같이 만곡부 안쪽 항로경계선 상에서 만곡부로부터 선박의 길이 이전(section A, E), 굴곡 지점(section B, F), 만곡부로부터 선박의 길이 이후(section C, G) 및 선박의 길이의 두 배 이후(section D, H) 지점에 단면을 설정하였다.

Fig. 7~Fig. 9는 만곡부의 중심교각이 30도 일 때 실험조건별 점용도 분포이다. 변침 전의 직선항로에서는 모든 실험조건에서 점용도 0.3 이상인 영역이 항로의 경계선 내에 분포하였고, 변침 후의 직선항로에서는 점용도 0.3 이상인 영역이 실험조건에 따라 오른쪽 또는 왼쪽으로 편향되었다. 만곡부에서는 점용도 0.3 이상인 영역이 항로의 안쪽 경계선을 약간 벗어났다. 그러므로 중심교각이 30도인 만곡부를 가지는 항로의 직선구간에서는 점용도 0.3 이상인 영역이 설계기준의 항로의 폭과 잘 일치하고, 만곡부에서는 설계기준보다 약간 확장된다고 할 수 있다.

Fig. 10~Fig. 12는 만곡부의 중심교각이 60도 일 때 실험조건별 점용도 분포이다. 변침 전의 직선항로와 변침 후의 직선항로에서는 만곡부의 중심교각이 30도 일 때의 결과와 유사하게 나타났다. 그러나 만곡부에서는 점용도 0.3 이상인 영역이 모든 실험조건에서 항로의 안쪽 경계선을 크게 벗어났으며, 만곡부의 중앙구간에서는 점용도 0.9 이상인 영역까지 항로의 안쪽 경계선을 벗어났다. 점용도 0.3 이상인 영역이 항로를 이탈한 지점부터 항로에 재 진입한 지점까지의 항로의 안쪽 경계선 상에서의 거리는 실험조건에 따라 410m~902m로 나타났다. 따라서 중심교각이 60도인 만곡부를 가지는 항로에서는 만곡부에서 항로의 폭을 크게 확장할 필요가 있다.

Fig. 13~Fig. 16은 만곡부의 중심교각이 30도 일 때 각 단

면에서 점용도 분포를 나타내고 있다. 점용도의 단면분포는 만곡부 진입 전과 만곡부에서 항로의 변침 방향으로 편향되었으며, 변침 이후에는 실험조건에 따라 편향되는 방향이 결정되는 것을 알 수 있다. 그러나 항로의 경계선을 벗어난 영역의 점용도는 낮게 나타났다.

Fig. 17~Fig. 20은 만곡부의 중심교각이 60도 일 때 각 단면에서 점용도의 분포를 나타내고 있다. 모든 실험조건에서 점용도의 단면분포는 항로의 변침방향으로 크게 편향되었으며, 점용도 0.3 이상인 영역이 항로의 경계를 벗어난 거리는 만곡부 전후 단면에서는 실험조건에 따라 41~48m, 만곡부에서는 최대 95m로 나타났다.

Table 2는 실험조건별 편각과 항과면적의 변화를 나타내고 있다. 편각은 외력이 없을 경우 일반상선의 편각 범위인 5~15° 사이값으로 나타났으며, 편각과 항과면적은 중심교각이 커질수록 크게 나타났으며, 외력이 작용할 때에는 외력이 없을 경우에 비해 2~3배 증가하였으며, 외력이 작용하는 방향이 항로 만곡부의 안쪽에서 바깥쪽으로 작용할 때 더욱 크게 나타났다.

Table 3 Leeway and swept area

Case No.	Leeway		Swept Area Half Width	
	MAX	AVG	MAX	AVG
1	5	1.01	24.92	17.80
2	12	8.39	37.07	28.87
3	9	5.47	31.92	23.28
4	9	2.04	31.92	19.64
5	18	9.88	47.05	33.37
6	8	5.77	30.18	23.83

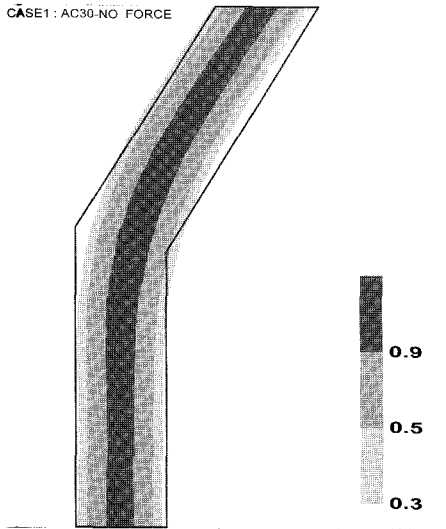


Fig. 7 Domain degree (Case 1)

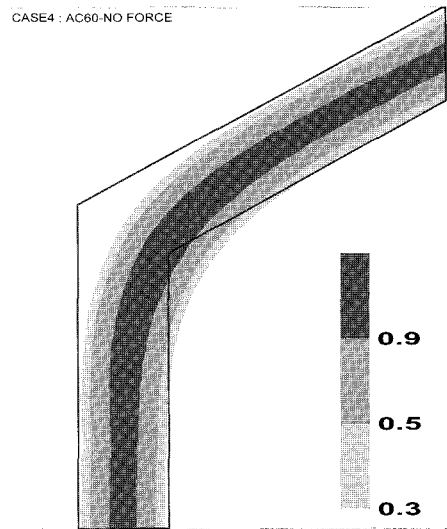


Fig. 10 Domain degree (Case 4)

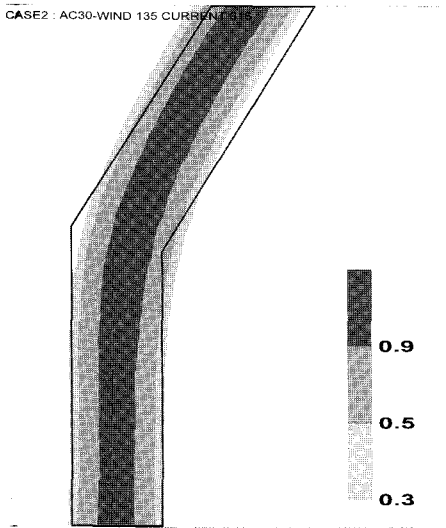


Fig. 8 Domain degree (Case 2)

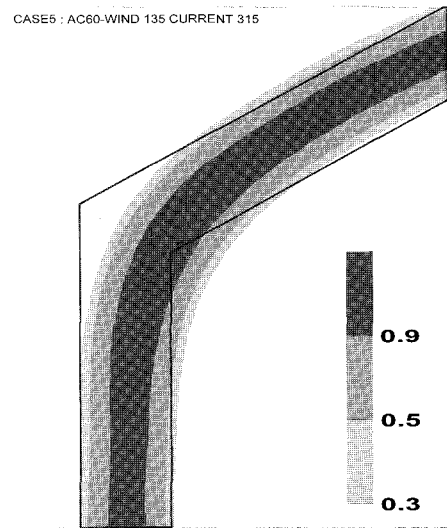


Fig. 11 Domain degree (Case 5)

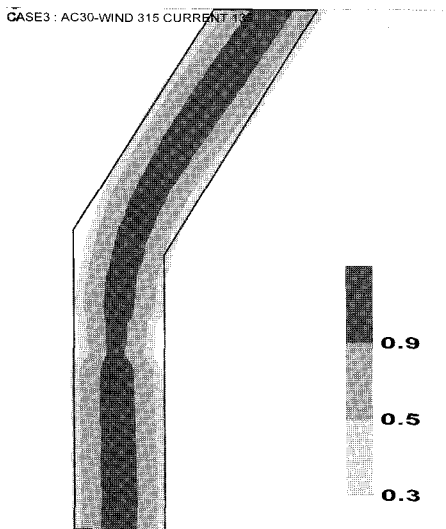


Fig. 9 Domain degree (Case 3)

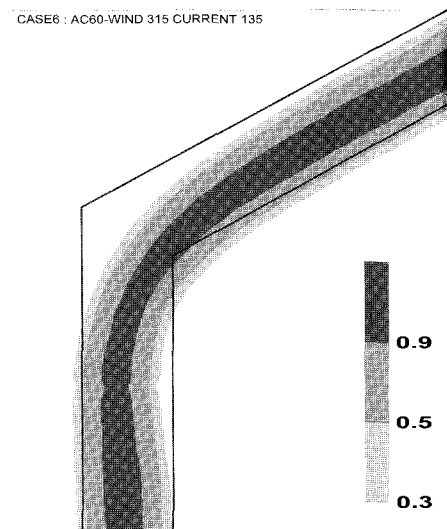


Fig. 12 Domain degree (Case 6)

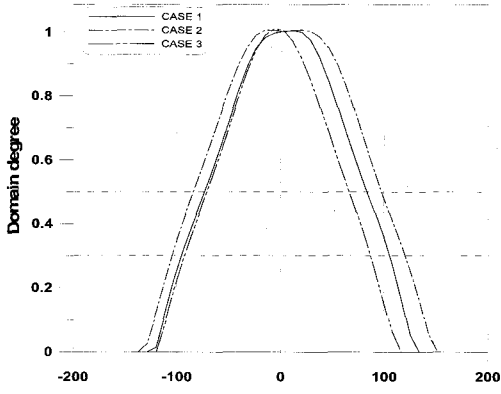


Fig. 13 Domain degree (Section A)

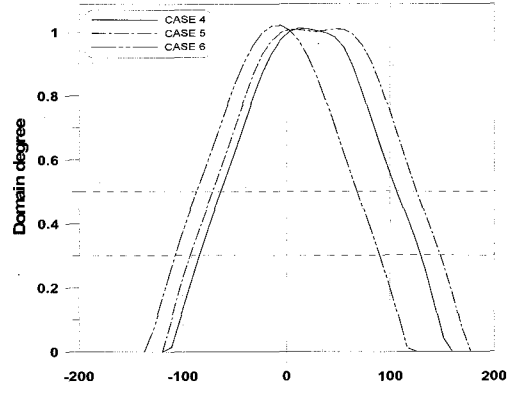


Fig. 17 Domain degree (Section E)

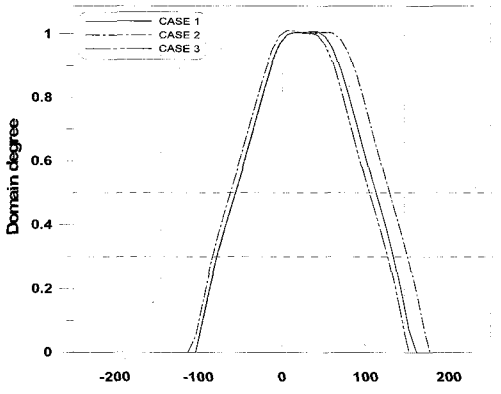


Fig. 14 Domain degree (Section B)

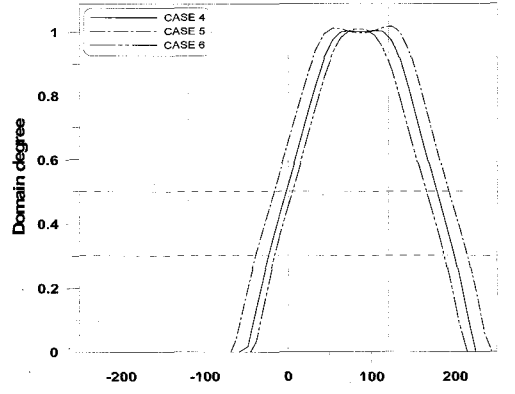


Fig. 18 Domain degree (Section F)

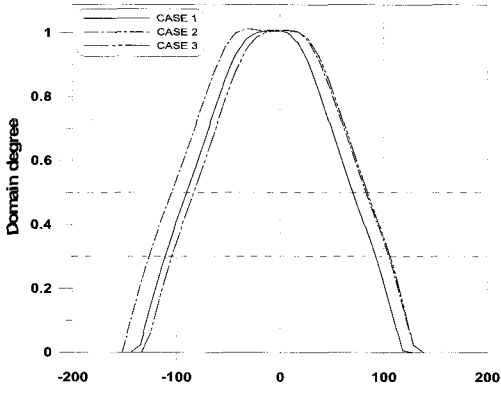


Fig. 15 Domain degree (Section C)

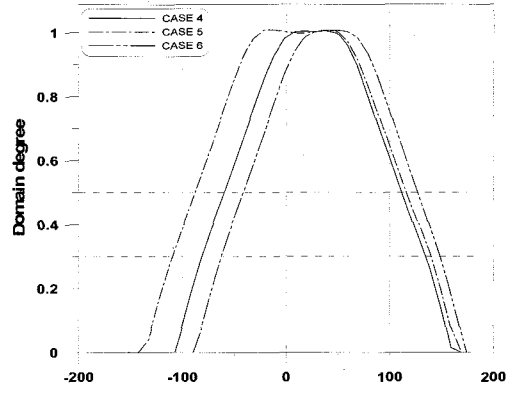


Fig. 19 Domain degree (Section G)

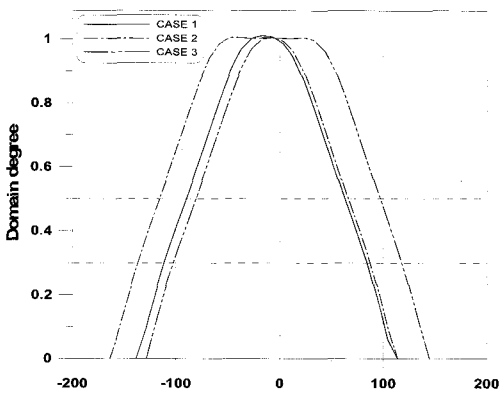


Fig. 16 Domain degree (Section D)

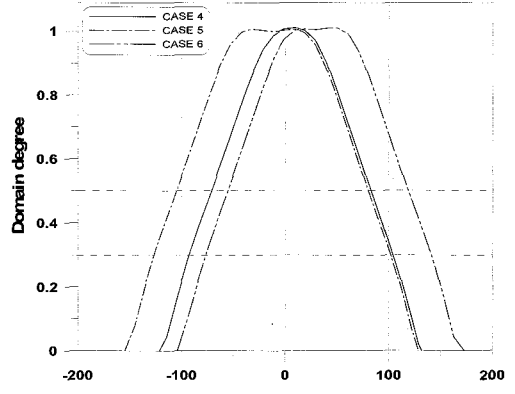


Fig. 20 Domain degree (Section H)

5. 결 론

본 연구에서는 가변범퍼영역모델을 이용하여 설계기준에는 명시되어 있지만 실제적으로 고려하기 불가능하거나 매우 곤란한 설계인자를 고려하여 만곡부에서 항로의 배치와 확장해야 할 항로의 폭에 대해 정량적으로 평가하였다.

중심교각이 각각 30도와 60도인 만곡부를 가지는 항로에 대한 모델실험결과 항로의 직선구간에서는 점용도 0.3 이상인 영역이 설계기준에 의한 항로의 폭(대상선박 전장의 1배)과 잘 일치하였다. 이를 근거로 만곡부에서의 항로의 배치와 확장해야 할 항로의 폭을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

중심교각이 30도인 만곡부를 가지는 항로에 대한 모델실험에서 점용도 0.3 이상인 영역이 만곡부에서 항로의 안쪽 경계를 약간 벗어났다. 이것은 설계기준에 의해 중심교각이 30도인 만곡부를 가지는 항로의 폭을 확장할 때(곡률반경 $4.0L_V$), 항로의 폭이 확장되기 시작하는 지점이 항로의 안쪽 경계선의 교점으로부터 $0.94L_V$ 인 것과 유사한 결과이다. 그러므로 중심교각이 30도보다 작은 만곡부에 대해서도 항로의 폭을 확장하는 것을 고려해야 할 것이다.

중심교각이 60도인 만곡부를 가지는 항로에 대한 모델실험에서 점용도 0.3 이상인 영역이 항로를 이탈한 항로의 안쪽 경계선 상에서 거리는 실험조건에 따라 $410\text{m} \sim 902\text{m}$ ($2.0 \sim 4.4L_V$)이다. 이것은 설계기준(곡률반경 $4.0L_V$)에 의해 중심교각이 60도인 만곡부를 가지는 항로의 폭이 확장되는 구간의 거리가 항로의 안쪽 경계선 상에서 약 $4.1L_V$ 인 것과 유사한 결과를 나타냈다. 그러므로 중심교각이 30도~60도인 경우에는 중심교각의 크기에 따라 항로의 폭을 결정할 필요가 있다.

지금까지의 모델실험결과로부터 만곡부를 가지는 항로의 배치와 항로의 폭 확장에 관한 기준에 다음과 같은 내용을 포함하면, 중심교각 30도 미만인 만곡부를 가지는 항로에 대해서는 안전성을 확보할 수 있으며, 중심교각 30도 이상인 만곡부를 가지는 항로에 대해서는 중심교각의 크기를 고려할 수 있다.

■ 항로 만곡부의 안쪽으로 항로의 폭을 직선형으로 확장하는 경우 다음의 4지점이 항로에 포함되도록 한다.

- 만곡부 안쪽 항로경계선의 교점부터 양측으로 대상선박 전장 만큼 떨어진 두 지점
- 항로 중심선에 접하는 곡률원 중심에서 호의 중심각을 항로 만곡부의 중심교각과 동일하게 하였을 때 원호의 반지름이 만곡부 안쪽 항로 경계선과 만나는 두 지점

이상의 결과로부터 가변범퍼모델을 이용하여 대상선박의 조선특성과 외력조건 등을 고려하여 항로의 폭과 배치를 결정할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 해상교통환경, 여유수역 과 안전을 위한 여유값과 같이 정량적인 산정이 곤란한 설계인자들에 대해서는 점용도를 다르게 적용하여 그 영향을 고려할 수 있을 것이다.

추후 연구에서는 다양한 대상선박 및 만곡부 중심교각에 대한 실험을 수행하여 보다 일반적으로 적용 할 수 있는 항로설계지침을 제시할 필요가 있다. 또한 모델의 확장을 위해 각종 설계인자에 대한 점용도의 산정방법 및 두 선박이 조우하였을 때 중첩되는 점용도 평가에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 정대득, 이중우(2005), "가변범퍼영역모델을 이용한 항로설계기법(I)", 한국항해항만학회지, 제29권 제1호, pp. 9~15.
- [2] 한국항만협회(2000), 항만및여항설계기준
- [3] NAVFAC "Harbor and coastal facilities design manuals 26.1", Department of the navy naval facilities engineering command.
- [4] PIANC(1980), "International Commission for the Reception of Large Ships", Report of Working Group IV

원고접수일 : 2005년 4월 6일

원고채택일 : 2005년 10월 28일