

가변범퍼영역모델을 이용한 항로설계기법(Ⅱ)

정대득*, 이중우**

*목포해양대학교 해상운송시스템공학과 교수, **한국해양대학교 토목환경시스템공학부 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

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

요약 : 항만의 계획 및 개발단계에서 중요한 요소 중 하나는 항로의 설계이다. 항로를 설계할 때 가능한 한 굴곡부를 피해야 하지만, 그렇지 못할 경우에는 변침과정에서 추가적으로 발생하는 항과면적의 증가를 고려하여 항로의 폭을 확장하고 항로를 배치하는 것이 선박의 안전한 통행에 필수적이다. 본 연구에서는 가변범퍼영역모델을 이용하여 굴곡부에서의 항로의 폭과 항로의 배치를 결정하는 기법을 다룬다. 모델실험결과 굴곡부 중심교각이 30도 미만인 경우 굴곡부 항로의 폭을 확장할 필요가 없는 것으로 분석되었으며, 굴곡부 중심교각이 60도 인 경우에는 대상선박의 길이와 굴곡부의 중심교각에 따라 항로의 폭을 확장해야 할 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 항로설계, 항로의 굴곡부, 가변범퍼영역모델, 선박조종시뮬레이터

Abstract : To design ship channel is one of important factors for planning and developing a port. Bends in channel should be avoided if possible, but the channel should be widened, if channel bend is unavoidable, to account widened path of a ship in bend for the safe passage of a ship. In this study, Variable Bumper Area(VBA) model is applied to determine ship channel width in bend and channel-bend geometry. The result of this study shows that the width of a channel in bend may be designed as wide as the width in straight lane provided the angle of deflection is less than 30 degree, should be widened for 60degree deflection 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. 서론

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 항로 굴곡부의 폭과 배치를 결정하는 것은 선박의 안전통항에 매우 중요하다.

항로를 설계할 때에는 가능하다면 굴곡부를 피해야 하지만, 그렇지 못할 경우에는 굴곡부의 중심교각을 최소화 하고, 변침과정에서 선박의 항과면적이 직선항로에서보다는 넓어지기 때문에 항로의 폭을 넓혀야 한다. 굴곡부의 항로의 폭을 결정할 때에는 굴곡부의 중심교각, 선박의 항과 속력과 조종 특성, 수로의 특성, 항해의 장애요소 및 항해보조시설 등을 고려해야 한다.

PIANC 규칙에는 굴곡부의 항로의 배치와 확장해야 할 항로의 폭을 곡률반경과 대상선박의 길이에 의해 정량적으로 권고하고 있으며, 미국의 규정에서는 굴곡부 중심교각이 크

지 않을 경우에는 항로의 폭을 확장하는 대안들을 제시하고 있고 중심교각이 클 경우에는 굴곡부의 곡률반경에 의한 항로의 배치뿐만 아니라 항로의 폭을 확장하는 방법과 그 정도를 규정하고 있다. 우리나라 항만및항설계기준(이하 설계기준)에는 항로 굴곡부의 곡률반경에 의해 항로의 배치와 항로의 폭을 확장해야 하는 필요성을 명시하고 있지만 그 방법 및 소요폭이 명시되어있지 않다.

한편 이러한 각국의 규정과 선행연구에서는 항로 굴곡부의 배치와 항로의 폭을 결정할 때 고려해야 할 중요 인자들과 규격을 제시하고 있으나 그 정도는 서로 다르며, 따라서 결과값은 큰 차이를 보인다. 여기에는 여러 가지 요인이 있으며 가장 중요한 것은 선박의 조종특성에 영향을 미치는 외력, 선박제어, 해상교통환경, 안전을 위한 여유값 등에 의한 변화를 정량적으로 산정하기 곤란하기 때문으로 사료된다.

본 연구에서는 항로의 배치와 항로의 폭에 영향을 미치는 여러 가지 인자를 정량적으로 고려할 수 있는 가변범퍼영역모델을 이용하여 항로의 굴곡부에서 항로의 배치와 항로의

폭을 확장하는 방법 및 그 정도를 산정하는 기법을 제시하고 이에 대해 고찰한다.

2. 항로설계기준

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

2.1 굴곡부 항로의 배치

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

■ PIANC 규칙

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

■ 미국 기준

- (1) 개방형 수로의 굴곡부에서 조우하는 선박들의 조종성능이 약호하고, 굴곡부의 중심교각이 너무 크지 않으면 굴곡부를 직선형으로 설계할 수 있다.
- (2) 제한된 수로의 굴곡부를 설계하거나, 굴곡부의 중심교각이 너무 크거나, 수로를 빈번하게 이용하는 선박의 조종 특성이 좋지 않을 경우에는 굴곡부를 곡선형으로 할 필요가 있다. 곡률반경을 결정하는 일반적인 규칙은 다음과 같다.

- 굴곡부의 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 $l_v < 150m$: 최소곡률반경 $R = 1200m$
- 선체길이 $l_v = 150m$: 최소곡률반경 $R = 2100m$
- 선체길이 $150m < l_v < 210m$:

$$\text{최소곡률반경 } R = 1200 - 3000m$$

■ 설계기준

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

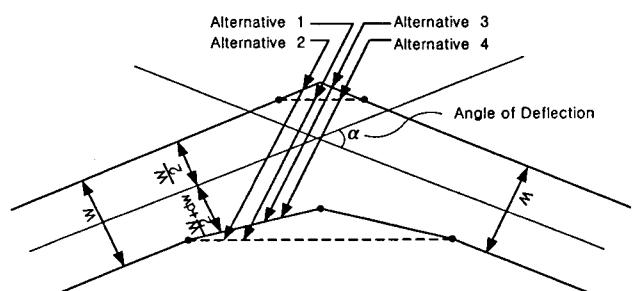
2.2 굴곡부 항로의 폭

■ PIANC 규칙

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

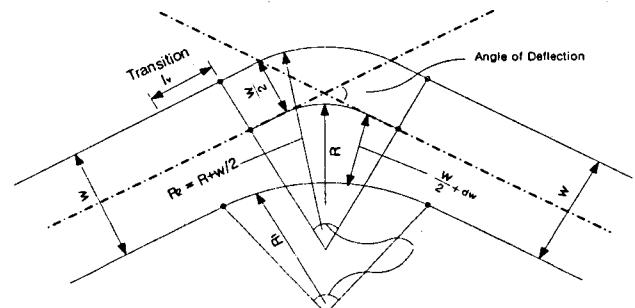
■ 미국 기준

- (1) 직선형 굴곡부에서 항로의 폭을 넓히는 방법은 <Fig. 1>과 같다.

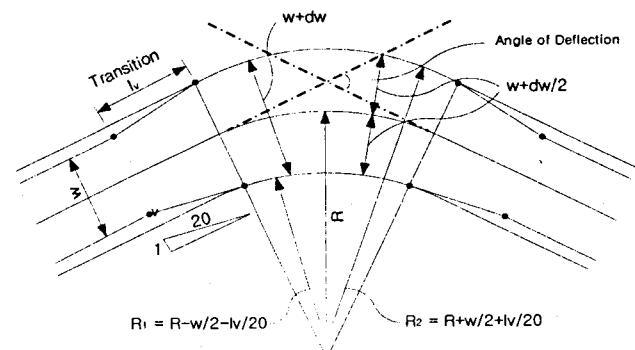


<Fig. 1> Methods of widening Channel(USA)

- (2) 곡선형 굴곡부에서 항로의 폭을 확장하는 방법은 곡률반경을 결정한 이후에 굴곡부의 안측만 확장하는 방법(<Fig. 2>)과 양측을 동일하게 확장하는 방법(<Fig. 3>)이 있다.



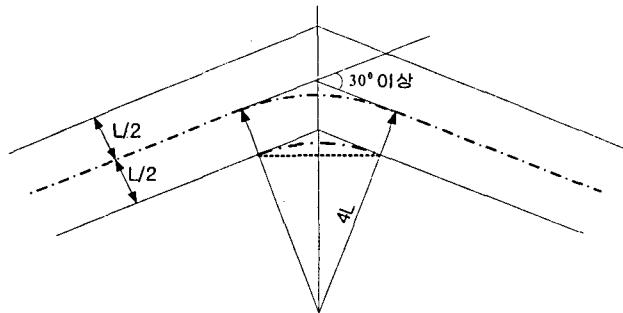
<Fig. 2> Unsymmetrically widened turn in channel



<Fig. 3> Parallel widened turn in channel

■ 설계기준

- 굴곡부에서 항로중심선의 교각이 30도를 넘을 경우 곡률반경으로 결정되는 항로의 배치에 의한 소요폭(<Fig. 4>)



<Fig. 4> Methods of widening Channel(Korea)

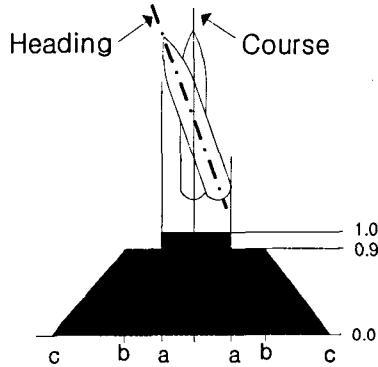
3. 가변범퍼영역 모델의 실험

3.1 모델의 개요

선박의 명세에 의해 결정되는 수선면적, 외력에 의한 선체의 동요와 선박제어에 의해 확장된 항과영역과 선박의 전장과 선속에 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 굴곡부에서 항로의 배치와 항로의 폭이 어느 정도 확장되어야 하는지 결정할 수 있다. 본 논문에서는 굴곡부 항로의 배치와 항로폭의 확장 범위를 산출하기 위해 선

박의 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>.

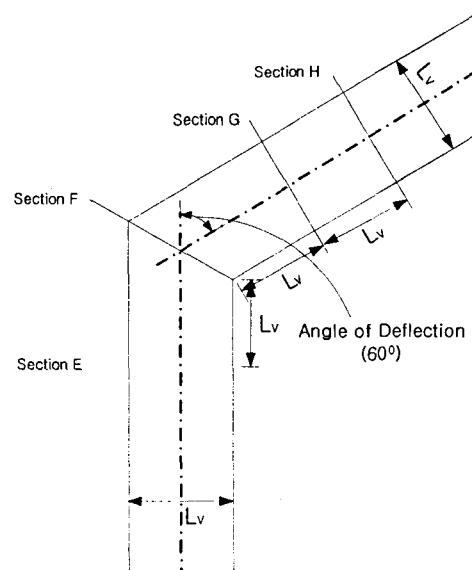
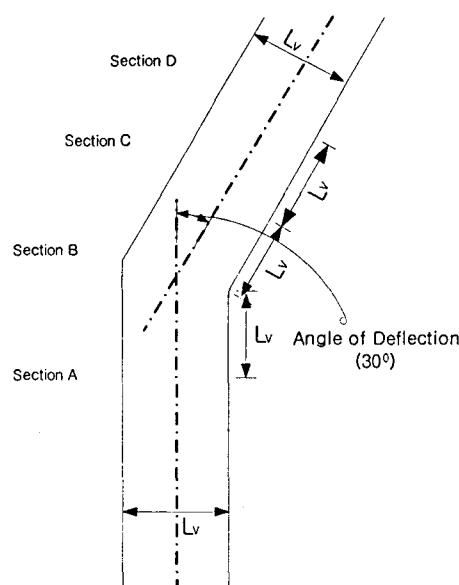


<Fig. 5> Domain Degree

3.2 실험조건

가변범퍼영역모델을 이용하여 항로 굴곡부의 설계하기 위해 <Fig. 6>과 같이 항로를 설계하였다. 항로의 폭은 설계기준 상의 “항로의 길이가 길지 않고, 통항 선박들이 빈번하게 만나지 않는”에 의거하여 대상선박의 길이(L_v)로 설정하였으며, 굴곡부에 대한 항로중심선의 교각은 설계기준에서 굴곡부에서 항로의 폭 확장이 요구되지 않는 최대 중심교각인 30도와 대각도 변침 상황을 실험하기 위해 60도로 설정하였다.

대상 선박은 6만톤급 일반화물선으로 선박의 전장은



<Fig. 6> Ship lane for simulation

206m, 선폭은 32m이다. 실험에서 적용하는 외력의 크기는 풍속 10노트, 조류 1.5노트 및 파고 1.5미터이고, 외력의 방향은 굴곡부의 중앙에 대해 정횡으로 작용하여 가변범퍼영역이 가장 넓게 확장되고 변침조선이 가장 곤란한 상황(정, 2005)으로 설정하였다 <Table 2>.

당해수역의 특성을 면밀히 알고 있으며 선박조종시뮬레이터 사용에 친숙한 선장이 선박조종시뮬레이션 실험을 수행하였으며, 실험조건에 따른 결과를 상호비교하기 위해 반대변침 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

3.3 모델실험 결과 및 분석

각각의 실험조건에 대해 선박조종실험을 실시하고 점용도 분포를 분석한다. 선박에 의해 완전히 점용되는 것으로 간주되는 점용도 0.9 이상인 영역, 설계기준에 의한 항로의 폭에 가장 근접한 값을 나타내는 점용도 0.3 이상인 영역 및 그 중간값인 0.5이상인 영역에 대해 분석한다. 또한 항로의 정횡단면에서의 점용도 분포를 분석하기 위해 <Fig. 6>과 같이 굴곡부 안쪽 항로경계선 상에서 굴곡부로부터 선박의 길이 이전(section A, E), 굴곡 지점(section B, F), 굴곡부로부터 선박의 길이 이후(section C, G) 및 선박의 길이의 두 배 이후(section D, H) 지점을 설정하였다.

<Fig. 7>~<Fig. 9>는 굴곡부의 중심교각이 30도 일 때 실험조건별 점용도 분포이다. 변침 전의 직선항로에서는 모든 실험 조건에서 점용도 0.3 이상인 영역이 항로 내에 분포하였고, 굴곡부에서부터 변침 후의 직선항로에서는 점용도 0.5 이상인 영역이 대부분 항로 경계선 내측에 분포하였으나 외력의 영향으로 항로중심으로부터 약간 벗어났다.

<Fig. 10>~<Fig. 12>는 굴곡부의 중심교각이 60도 일 때 실험조건별 점용도 분포이다. 대각도 변침조선으로 모든 실험조건에서 점용도 0.9 이상인 영역이 굴곡부 안쪽 항로경계를 벗어났다. 점용도 0.5 이상인 영역이 항로를 이탈한 지점부터 항로에 재 진입하는 지점까지의 굴곡부 안쪽 항로 경계선 상에서 거리는 Case 4에서 403m, Case 5에서 522m, Case 6에서 284m이며, 점용도 0.3이상인 영역의 경우에는 Case 4에서 659m, Case 5에서 902m, Case 6에서 410m로 나

타났다.

<Fig. 13>~<Fig. 16>는 굴곡부의 중심교각이 30도 일 때 각 단면에서 점용도 분포를 나타내고 있다. 굴곡부 전과 굴곡부에서 점용도 분포는 굴곡부 안쪽 영역에서 높게 나타났으며, 굴곡부 이후 단면에서는 외력의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 그러나 점용도 0.5 이상인 영역이 항로 경계선을 벗어나지 않았다.

<Fig. 17>~<Fig. 20>는 굴곡부의 중심교각이 60도 일 때 각 단면에서 점용도의 분포를 나타내고 있다. 모든 단면에서 점용도 0.5 이상인 영역이 굴곡부 안쪽 항로 경계를 벗어났으며, 벗어난 거리는 항로에 정횡 방향으로 굴곡부에서는 73m, 굴곡부에서 선박의 길이만큼 이격된 단면에서는 25~27m, 굴곡부에서 선박의 길이의 2배 이격된 단면에서는 5~18m 벗어났다. 점용도 0.3 이상인 영역을 기준으로 할 때 굴곡부 전후 각 단면에서 41~48m이고, 굴곡부에서 95m 항로의 경계를 벗어났다.

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

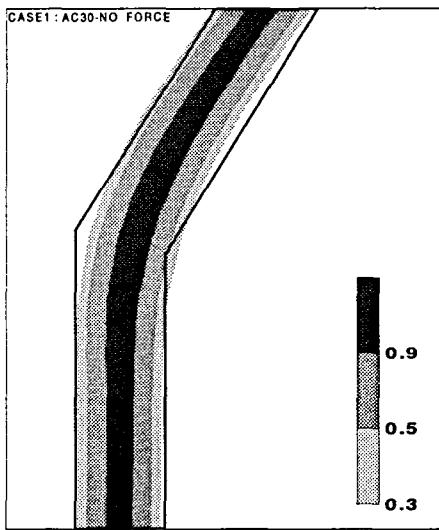
<Table 3> Leeway and swept area

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

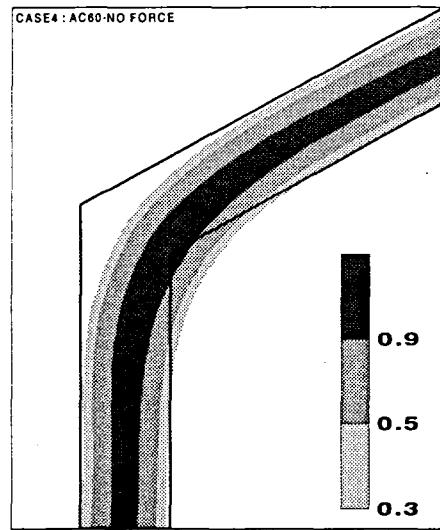
5. 결론

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

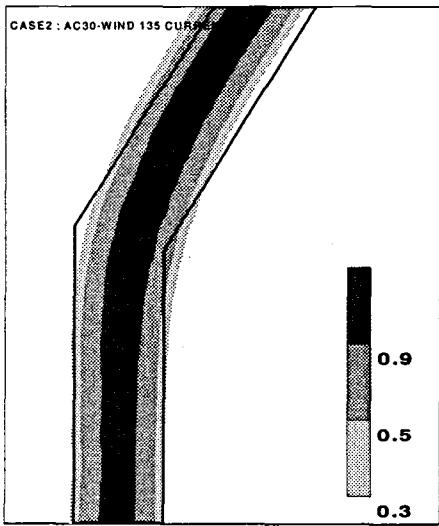
범퍼영역의 범위를 선박의 양현으로 선박의 길이의 절반으로 설정하고, 이 영역에서의 점용도를 0.9에서 0.0으로 선형적으로 감소하는 것으로 설정하였을 때, 직선항로에서는 점용도 0.3이상인 영역이 설계기준에서 “항로의 길이가 길지 않고 통항하는 선박이 빈번하지 않을 때” 항로의 폭과 잘 일치하였다.



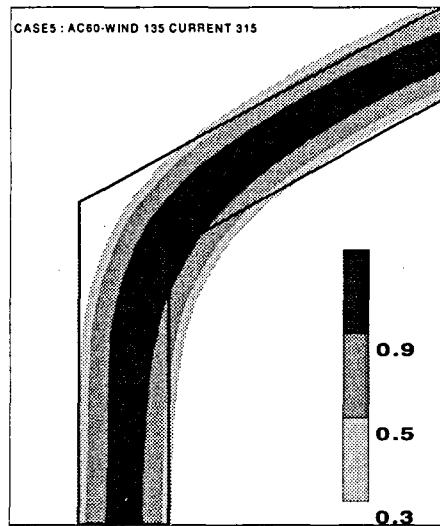
<Fig. 7> Domain degree(CASE 1)



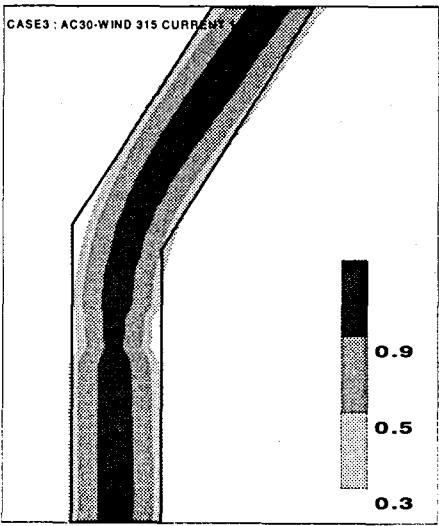
<Fig. 10> Domain Degree(Case4)



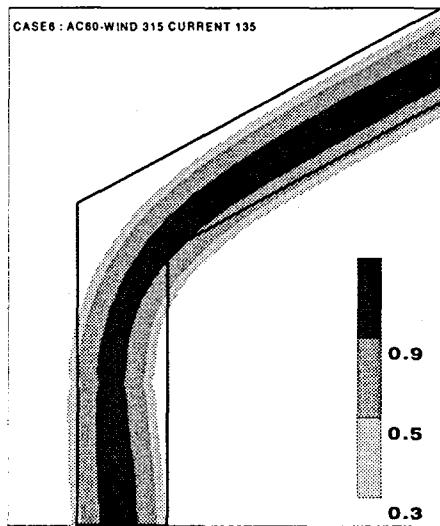
<Fig. 8> Domain degree(CASE 2)



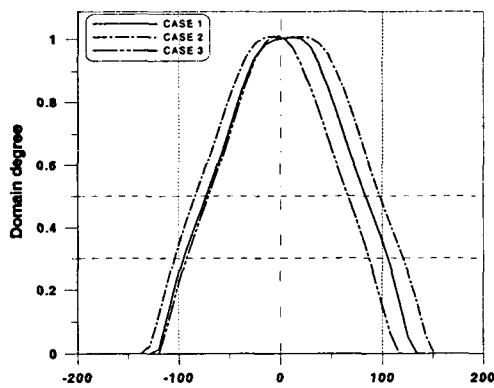
<Fig. 11> Domain Degree(Case5)



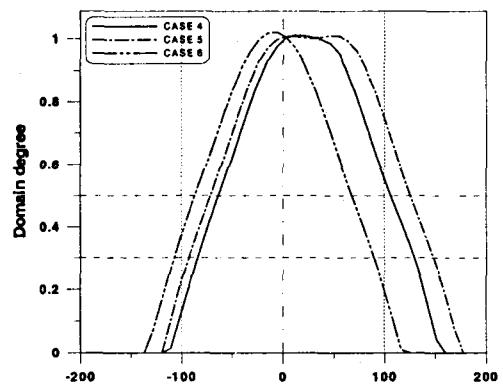
<Fig. 9> Domain degree(CASE 3)



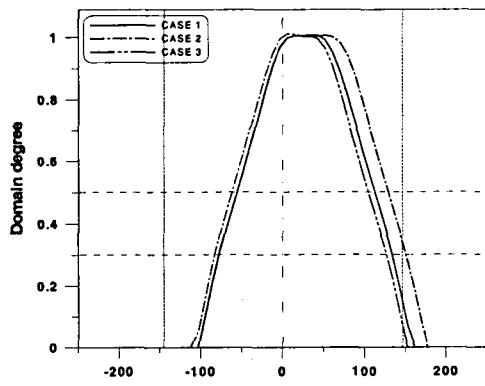
<Fig. 12> Domain Degree(Case6)



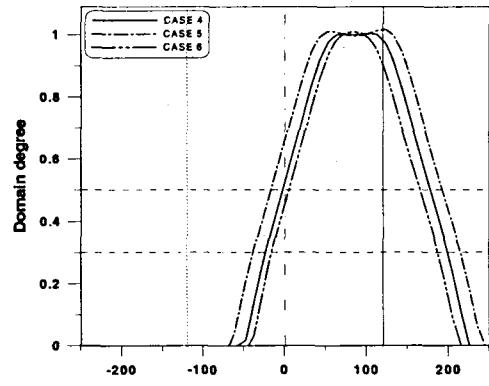
<Fig. 13> Domain degree(section A)



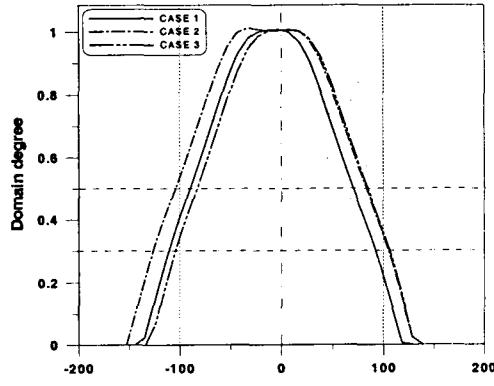
<Fig. 17> Domain degree(section E)



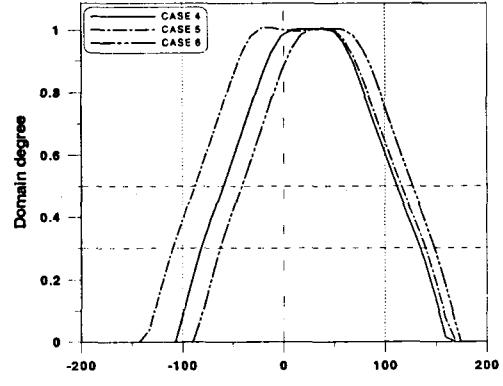
<Fig. 14> Domain degree(section B)



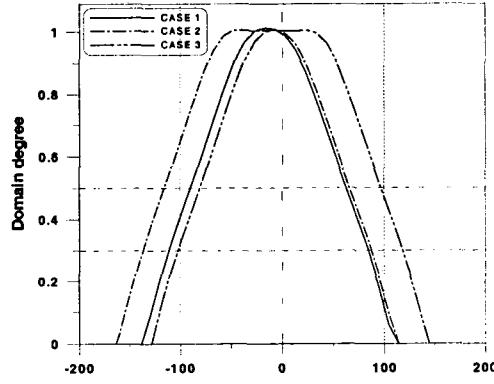
<Fig. 18> Domain degree(section F)



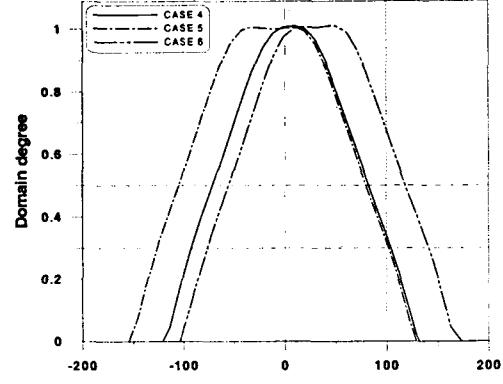
<Fig. 15> Domain degree(section C)



<Fig. 19> Domain degree(section G)



<Fig. 16> Domain degree(section D)



<Fig. 20> Domain degree(section H)

그러므로 이를 근거로 굴곡부에서의 항로의 배치와 확장해야 할 항로의 폭을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

모델실험결과 항로의 폭을 대상선박길이와 동일하게 설계한 경우 굴곡부의 중심교각이 30도 미만이면 굴곡부에서 항로의 폭을 확장하는 것을 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다. 그러나 외력이 작용하면 항과면적이 증가하고, 굴곡부에서는 변침하는 과정에서는 타선박이나 위험물을 회피하기 위한 선박조종성능이 현저하게 낮아지므로 가능하면 굴곡부에서의 항로의 폭 확장을 고려할 필요가 있을 것이다.

굴곡부의 중심교각이 60도인 경우 요구되는 항로의 폭 확장의 정도는 굴곡부에서는 $0.4L_V$, 굴곡부로부터 선체길이 만큼 이격된 지점에서 $0.25L_V$, 굴곡부로부터 신침로 방향으로 선체길이의 2배 이격된 지점에서는 $0.1L_V$ 로 나타났다. 그러므로 굴곡부에서는 이들 지점들이 항로 내에 포함되도록 항로의 폭을 확장할 필요가 있다.

우리나라 주요 항만 부근 수역에 설정되어 있는 항로는 가항수역에서 항로의 폭을 최대로 확보하는 형태이므로 굴곡부에서 항로의 폭을 확장할 여지가 거의 없는 실정이다. 그러나 주변 여유수역이 갖추어지지 않은 수역, 준설 등에 의해 최소한의 항로의 폭을 확보해야 하는 수역, 선박교통량이 많은 수역 및 항로의 폭을 최소로 설정해야 하는 수역에서 굴곡부를 설계하는 경우 항로의 배치와 항로의 폭의 최소 확장 정도에 관한 기준을 설정할 필요가 있다.

본 연구의 결과 항로의 폭이 대상선박 길이와 동일하고, 굴곡부 중심선의 곡률반경이 대상선박전장의 4배 일 때, 중심교각이 30도 이하인 경우 접용지수 0.3, 60도인 경우 접용

지수 0.5이상인 영역이 항로의 경계를 벗어나지 않도록 굴곡부를 설계하기 위해서는 다음과 같이 굴곡부를 설계해야 할 것으로 나타났다.

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

- 굴곡부 안쪽 항로경계선의 교점부터 양측으로 대상선박 전장 길이 만큼 떨어진 두 지점
- 굴곡부 중심선의 곡률원 중심에서 호의 중심각을 항로 굴곡부의 중심교각과 동일하게 하였을 때 원호의 반지름이 굴곡부 안쪽 항로 경계선과 만나는 두 지점

추후 연구에서는 다양한 대상선박, 외력상태 및 굴곡부 중심교각에 대한 실험을 수행하여 일반적으로 적용 할 수 있는 항로설계지침을 제시할 필요가 있다.

참고문헌

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