creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

工學碩士 學位論文

우리나라 내륙수로 설계기준 설정에 관한 연구

- 경인 아라뱃길 선박조종시뮬레이션을 중심으로 -

A Study on the Establishing Methods of Design Criteria of Inland Waterways in Korea

- Focused on the Gyungin Waterway Simulation -

指導敎授 孔 吉 永

2011年 2月

韓國海洋大學校 大學院

航海시스템工學科

朴 俊 模

本 論文을 朴俊模의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長 : 工 學 博 士 金 世 源 (印)

委 員 : 地球環境科學博士 薛 東 一 (印)

委 員 : 工 學 博 士 孔 吉 永 (印)

2011年 2月

韓國海洋大學校 大學院

목 차

그 림 목 차 ····· iv
표 목 차 ····· vi
Abstract ····· ix

1장 서 론 ····· 1
1.1 연구의 배경 및 목적 ····· 1
1.2 연구의 범위 ····· 3
1.3 관련 연구 동향 ····· 3

2장 국내외 수로설계기준 분석 ····· 5
2.1 우리나라의 수로설계지침 ····· 5
2.1.1 수로의 폭 ····· 5
2.1.2 수로의 수심 ····· 6
2.1.3 만곡부 수로의 곡률반경 및 수로 폭 ····· 7
2.1.4 우리나라 항로설계지침의 분석 ····· 8
2.2 외국의 수로설계기준 분석 ····· 9
2.2.1 PIANC 지침 ····· 9
2.2.2 USACE 설계지침 ····· 18
2.2.3 네덜란드 수로설계지침 ····· 24
2.2.4 NAVFAC DM-26.1 지침 ····· 29
2.2.5 캐나다 수로설계지침 ····· 36

2.2.6 일본의 수로설계기준 ····· 47
2.3 외국의 내륙수로설계지침 비교 분석 ····· 50
2.3.1 내륙수로 설계지침 분석 ····· 51

3장 내륙수로 설계기준 제시를 위한 시뮬레이션 검토 ····· 58
3.1 시뮬레이션 방법 ····· 58
3.1.1 개요 ····· 58
3.1.2 선박조종시뮬레이션의 대상 수로 ····· 60
3.1.3 시뮬레이션 대상 선박 ····· 61
3.1.4 대상해역 자연환경 ····· 64
3.2 선박조종시뮬레이션 결과 분석 항목 ····· 65
3.2.1 주관적 운항 난이도 분석 ····· 65
3.2.2 안벽충돌 확률 및 교행선박 간 근접거리 분석 ····· 66
3.2.3 선박 운항자 의견수렴 분석 ····· 67
3.3 선박조종시뮬레이션 수행 및 분석 ····· 67
3.3.1 선박조종시뮬레이션 조건 설정 ····· 67
3.3.2 선박조종시뮬레이션 수행 및 결과 분석 ····· 68
3.3.3 선박조종시뮬레이션 결과 종합 분석 ····· 79
3.3.4 선박 운항자 의견수렴 분석 ····· 81

4장 우리나라 내륙수로 설계지침 제안 ····· 84
4.1 우리나라의 내륙수로 설계기준 제안 방법 ····· 84
4.1.1 수로의 폭 ····· 84
4.1.2 수로의 수심, 만곡부 수로의 곡률반경 및 폭 ····· 90
4.2 우리나라 내륙수로 설계기준 제시 ····· 90
4.2.1 수로의 폭 ····· 91

4.2.2 수로의 수심 ····· 93
4.2.3 만곡부 수로의 곡률반경 ····· 94
4.2.4 만곡부 수로의 폭 ····· 95

5장 결 론 ····· 96
5.1 연구의 결과 ····· 96
5.2 향후 연구과제 ····· 97

참 고 문 헌 ····· 99

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

그 림 목 차

[그림 2.1] 우리나라 만곡부 수로의 곡률반경 ····· 7
[그림 2.2] PIANC 지침의 조타각에 따른 곡률반경 그래프 ····· 16
[그림 2.3] 타각에 따른 Sweep path ····· 17
[그림 2.4] 수로의 횡방향 단면 ····· 19
[그림 2.5] 수심 허용치 ····· 21
[그림 2.6] 수로의 형태의 의한 선체침하 값 변화 ····· 22
[그림 2.7] 선박의 흘수 수심을 기준으로 한 수로 폭 ····· 25
[그림 2.8] 사면형태 수로의 수로 폭 산정 개념도 ····· 30
[그림 2.9] 직각형태 수로의 수로 폭 산정 개념도 ····· 31
[그림 2.10] NAVFAC DM-26.1 지침의 선체침하 값 산정 방법 ····· 32
[그림 2.11] 교행통항 수로의 폭 설계 ····· 37
[그림 2.12] 수로 수심 설계 시 고려사항 ····· 42
[그림 2.13] 만곡부 수로에서의 굴곡부 수로 설계 ····· 49
[그림 3.1] KRISIM의 시뮬레이터 ····· 59
[그림 3.2] 시뮬레이션 조종콘솔 ····· 59
[그림 3.3] 선박조종시뮬레이션 직선수로 - 72m ····· 60
[그림 3.4] 선박조종시뮬레이션 직선수로 - 112m ····· 60
[그림 3.5] 선박조종시뮬레이션 만곡부 수로 - 80m ····· 61
[그림 3.6] 선박조종시뮬레이션 만곡부 수로 - 100m ····· 61
[그림 3.7] 250TEU급 컨테이너선 설계도면 ····· 64
[그림 3.8] 교행선박과 항로표지 근접거리 개념도 ····· 66
[그림 3.9] 직선수로 일방통항 시뮬레이션 항적도 ····· 69

[그림 3.10] 수로 폭 확장구간 일방통항 시뮬레이션 항적도 ····· 70
[그림 3.11] 만곡부 수로구간 일방통항 시뮬레이션 항적도 ····· 72
[그림 3.12] 만곡부 수로 폭 확장구간 일방통항 시뮬레이션 항적도 ····· 73
[그림 3.13] 직선수로구간 교행통항 시뮬레이션 항적도 ····· 74
[그림 3.14] 직선수로의 수로 폭 확장구간 교행통항 시뮬레이션 항적도 ····· 75
[그림 3.15] 만곡부 수로구간 교행통항 시뮬레이션 항적도 ····· 76
[그림 3.16] 만곡부 수로의 수로 폭 확장구간 교행통항 시뮬레이션 항적도 78
[그림 3.17] 일방통항 시 직선수로와 곡선수로 운항난이도 분석 ····· 79
[그림 3.18] 교행통항 시 직선수로와 곡선수로 운항난이도 분석 ····· 80
[그림 3.19] 타선과의 교행가능성에 대한 주관적 평가 ····· 81
[그림 3.20] 타선과의 안전이격거리에 대한 주관적 평가 ····· 82
[그림 3.21] 측벽과의 안전이격거리에 대한 주관적 평가 ····· 83
[그림 4.1] 수로 폭에 대한 외국설계지침과 시뮬레이션 결과 비교 ····· 86
[그림 4.2] 우리나라 교행통항 수로 폭 ····· 93

표 목 차

[표 1.1] 연구수행 흐름표 ····· 2
[표 2.1] 어선을 대상으로 하는 수로 폭 (교행통항 수로) ····· 6
[표 2.2] 선박의 조종성능에 따른 기본수로 폭 ····· 10
[표 2.3] 교행통항 수로에서의 선박 간 이격거리 ····· 11
[표 2.4] 수로안벽의 영향으로 인한 추가 수로 폭 ····· 12
[표 2.5] PIANC 지침의 기타 추가 수로 폭 ····· 15
[표 2.6] PIANC 지침의 수로수심 설정 방법 ····· 15
[표 2.7] 일반통항 수로의 필요 수로 폭 ····· 19
[표 2.8] 교행통항 수로의 필요 수로 폭 ····· 20
[표 2.9] Variable Cross Section ····· 24
[표 2.10] 네덜란드 수로설계지침의 수로 폭 산정기준 ····· 25
[표 2.11] CEMT에 의한 선박의 분류 ····· 26
[표 2.12] 선박 분류에 따른 수로 폭, 수심, 횡풍으로 인한 추가수로 폭 ···· 27
[표 2.13] 수로의 형태에 따른 H/d(수심/흘수)비 ····· 28
[표 2.14] 선박의 조종성능에 따른 기본수로 폭 ····· 30
[표 2.15] 기준에 다른 만곡부 수로의 곡률반경 ····· 34
[표 2.16] 선박통항 수로 폭 ····· 37
[표 2.17] 교통의 혼잡도에 따른 추가 수로 폭 ····· 38
[표 2.18] 바람의 영향에 따른 추가 수로 폭 ····· 39
[표 2.19] 조류의 영향에 따른 추가 수로 폭 ····· 39
[표 2.20] 측벽현상에 따른 추가 수로 폭 ····· 40
[표 2.21] 항해보조 시설에 따른 추가 수로 폭 ····· 40

[표 2.22] 선적화물의 위험도에 따른 추가 수로 폭 ····· 41
[표 2.23] 수심/흘수비에 따른 추가 수로 폭 ····· 41
[표 2.24] 수로의 바닥 상태에 따른 추가 수로 폭 ····· 42
[표 2.25] 수로의 개방 정도에 따른 수심의 허용치 ····· 44
[표 2.26] 수로바닥 저질에 따른 수심의 허용치 ····· 44
[표 2.27] 만곡부 교각에 따른 만곡부 수로의 곡률반경 ····· 45
[표 2.28] 수로의 폭에 대한 외국의 지침별 비교 ····· 51
[표 2.29] 수로의 수심에 대한 외국의 지침별 비교 ····· 55
[표 2.30] 만곡부 수로의 폭, 곡률반경에 대한 외국의 지침 별 비교 ····· 55
[표 3.1] 대상 선박의 주요 제원 ····· 62
[표 3.2] Turning circle 시험 추정 결과 ····· 62
[표 3.3] Zig-Zag 시험 추정 결과 ····· 62
[표 3.4] 250TEU급 컨테이너선 조종성능 모델링과 IMO 기준 비교 ····· 63
[표 3.5] 서울 및 인천관측소 기상자료 ····· 64
[표 3.6] 풍향별 출현율(%) ····· 65
[표 3.7] 주관적 운항 난이도 7점 척도 ····· 66
[표 3.8] 시뮬레이션 조건 설정 ····· 68
[표 3.9] 직선수로 일방통항 시뮬레이션 결과 분석 ····· 70
[표 3.10] 직선수로 일방통항 시뮬레이션 결과 분석 ····· 71
[표 3.11] 만곡부 수로구간 일방통항 시뮬레이션 결과 분석 ····· 72
[표 3.12] 만곡부 수로 폭 확장구간 일방통항 시뮬레이션 결과 분석 ····· 74
[표 3.13] 직선수로구간 교행통항 시뮬레이션 결과 분석 ····· 75
[표 3.14] 수로 폭 확장구간 교행통항 시뮬레이션 결과 분석 ····· 76
[표 3.15] 만곡부 수로구간 교행통항 시뮬레이션 결과 분석 ····· 77
[표 3.16] 만곡부 수로의 수로 폭 확장구간 교행통항 시뮬레이션 결과 분석 78
[표 4.1] 선박조종시뮬레이션 수행 시 자연환경 조건 ····· 85
[표 4.2] 외국 수로설계지침과 시뮬레이션 결과 비교(교행통항 수로) ····· 85

[표 4.3] 각 지침별 안벽 간 이격 거리 비교 ····· 87
[표 4.4] 각 지침별 기본수로 폭 비교 ····· 88
[표 4.5] 각 지침별 선박 간 거리 비교 ····· 89
[표 4.6] 각 지침 별 추가수로 폭 비교 ····· 90
[표 4.7] 안벽 간 이격거리 ····· 91
[표 4.8] 기본수로 폭 ····· 91
[표 4.9] 선박 간 이격거리 ····· 92
[표 4.10] 추가수로 폭 ····· 92
[표 4.11] 만곡부 교각에 따른 만곡부 수로의 곡률반경 ····· 94

KOREA MARITIME UNIVERSITY
한국해양대학교
1945

A Study on the Establishing Methods of Design Criteria of Inland Waterways in Korea

- Focused on the Gyungin Waterway Simulation -

Park jun mo

Department of Navigation System Engineering

Graduate School of

Korea Maritime University

Abstract

The Inland waterways are waterway that need to consider the effect of environment such as wind and hydrodynamic impact. That has been well-developed in Europe.

Recently, The Korea is paying attention to use of Inland waterway such as Gyungin waterway and Four major river development project too.

But the Korea which has no experience with designing Inland waterway has problem about construction of Inland waterway such as Gyungin waterway due to not having design criteria.

So, the object of this study is to suggest method of establishing method of design criteria of Inland waterways considering ship's safety of navigators.

This study was drawn through the comparison and analysis of the existing guidelines of the USACE, Japan, PIANC, Canada, NAVFAC and Gyungin waterway simulation data. The simulation experiment was carried out using the "Full Mission Bridge Simulator" to find out optimal design

criteria of Inland waterways and navigator's opinion.

New guidelines considering the Korean condition, the result of the study, is expected to help safety navigation and cost-reduction.

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

1장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

내륙수로는 하천·운하·호수 등에서 선박이 항행할 수 있도록 정비된 수로를 말한다. 이것은 유럽국가에서 내륙운송 및 관광자원으로 활발하게 사용되고 있다. 최근 우리나라에서도 굴포천 방수로사업으로 형성된 수로를 내륙수로로 활용하여 내륙교통난 완화, 수송비 절감, 국가 경쟁력을 확보하기 위해 경인 아라뱃길 사업이 활발히 진행되고 있다. 또한 우리나라의 대표적인 4대강인 한강, 금강, 영산강, 낙동강의 개발을 통해 홍수를 예방하고 우리나라의 물 부족을 해결하고자 4대강사업을 진행 중이며, 이에 따라 내륙수로를 이용하고자 하는 사회적 관심이 증폭되고 있다.

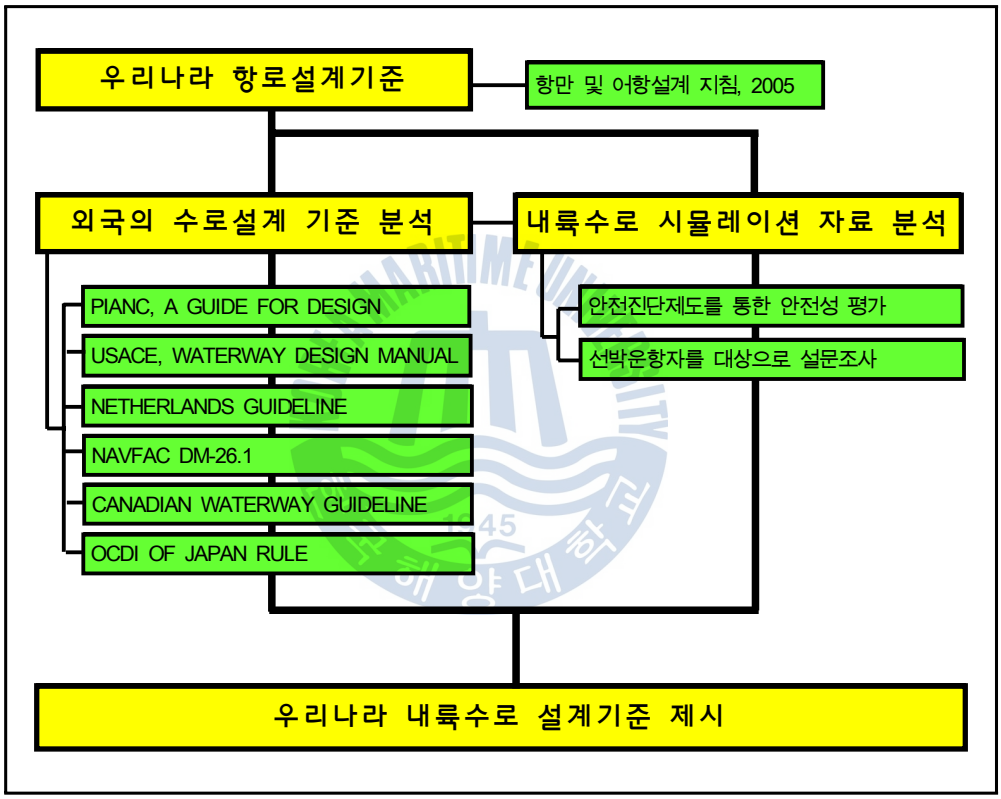
하지만 내륙수로에 관한 설계 및 건설 경험이 없는 우리나라는 경인 아라뱃길의 설계 때부터 선박 운항자와 운하건설사 및 운영자 간에 운하 설계에 대한 시각차를 보였다. 이것은 우리나라에서 사용하는 '항만 및 어항설계 지침'을 경인 아라뱃길과 같은 내륙수로에 적용하기 어렵고, 외국의 내륙수로 설계조건을 적용하기에는 그 기준이 국내의 특수한 상황을 반영하지 못할 뿐만 아니라 국가 간 설계기준의 차이로 인해 일관되게 적용하기도 어렵기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 선박 운항자의 안전적인 측면을 고려해서 우리나라 내륙수로 설계기준을 마련하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 본 연구의 연구방법은 [표 1.1]에 제시한 바와 같이 우리나라 내륙수로 설계기준 조사를 통해서 내륙수로 설계기준의 필요성을 파악하였다. 그리고 내륙수로 설계 시 고려해야 할 사항에 대해서 조사한 후, 내륙수로가 발달한 외국의 수로설계기준을 우리나라 내륙수로 설계기준 제시에 참고하기 위해 해양 선진국의 내륙수로 설계지침을 조사하였다. 다음으로 우리나라 최초의 내륙수로인 경인 아라뱃길의 실시설계 선박조종시뮬레이션 결과와 선박 운항자들을 대상으로 한 설문지를 통해

우리나라에 가장 적합한 내륙수로 설계기준을 제시하였다.

이 연구를 통해서 향후 우리나라의 내륙수로 설계 시 국내 현실을 감안한 안전한 수로를 설계함으로써 선박의 안전운항에 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 수로의 적정규모에 대한 건설사와 해상이용자의 갈등을 사전에 제거함으로써 불필요한 비용의 손실을 줄일 수 있다고 생각된다.

[표 1.1] 연구수행 흐름표



1.2 연구의 범위

수로란 선박의 입·출항 통로로 이용하기 위한 물길을 말한다. 이 수로의 형태는 일반적으로 Open channel형태와 제한수로 형태로 나눌 수 있다. Open

channel형 수로는 선체와 안벽간의 측벽현상을 고려할 필요가 없는 수로로 외해에서 내해로 접근하는 접근수로에서 쉽게 볼 수 있다. 그리고 제한수로형 수로는 선박과 수로 안벽 간에 측벽현상을 고려할 필요가 있는 수로로 인위적으로 물길을 만든 운하형태의 수로나 낮은 수심을 준설해서 선박이 항행이 가능하도록 만든 수로이다.

본 연구에서는 상기의 수로형태를 감안하여 사면형태의 내륙수로에 대한 설계기준을 제시하고자 한다. 여기에서 내륙수로란 조류 및 파랑의 외력조건을 고려하지 않으나, 선박 간 상호작용(Ship to ship interaction), 측벽현상(Bank effect), 천수현상(Shallow effect), 항주파 등의 영향을 고려해야 하는 수로를 말한다.

1.3 관련 연구 동향

지금까지 국내에서의 수로관련 연구는 선박의 안전 및 교통의 흐름을 고려한 수로의 배치 및 수로 폭, 주요 항만의 접근수로, 항내 선박의 통항로에 대한 안전성 평가 및 해상교량과 관련된 수로설계 지침 등에 관하여 이루어졌다.[1],[2],[13] ~ [16] 그러나 내륙수로에 대한 연구는 현재까지 매우 미약한 실정이다. 운하나 제한수로에서의 수로의 조건 등에 관한 연구들이 수행되었으나 이 연구들은 선박조종시뮬레이션 과정을 통한 검증을 거치지 않았거나, 선박조종시뮬레이션 수행자의 주관적 의견이 반영되지 않았다는 점에서 한계가 있다고 하겠다. 왜냐하면 수로설계 지침을 제시할 때는 수로설계에 대한 이론적인 고찰 후 반드시 선박조종시뮬레이션을 통해 수로를 이용하게 될 선박운항자의 의견이 반영되어야 하기 때문이다.[3],[4]

따라서, 본 연구에서는 우리나라의 내륙수로 설계지침을 선박조종시뮬레이션 실시 과정을 통해 제시함으로써 제시안의 객관성을 확보하고, 선박조종자의 의견수렴을 통해서 국내에 맞는 설계기준을 제시하였다.

이 설계지침을 통해 시공사와 사용자간에 마찰을 줄일 수 있을 뿐만 아니라,

내륙수로를 이용하는 선박의 안전성을 확보하는데 그 의미가 있다고 할 수 있다.

2장 국내외 수로설계 기준 분석

2.1 우리나라의 수로설계 지침

우리나라의 경우 수로를 설계할 때 국토해양부의 '항만 및 어항설계 지침'을 사용하고 있다. 이 지침서는 수로 설계지침 뿐만 아니라 항만 및 어항에 관련된 전체적인 기준을 제시하고 있다. 본 연구에서는 '항만 및 어항설계 지침'의 내용 중 '제6편 수역시설 및 준설·매립' 중 제1-2장의 수로에 대한 부분에 대해 분석하여 우리나라 수로 설계지침의 문제점을 제시하였다.

2.1.1 수로의 폭

수로 폭은 대상선박의 제원, 수로의 통행상황 및 수로 길이, 기상, 해상과 그 외의 자연 상황 등을 충분히 고려하여 정한다. 다만, 끌배의 이용, 대피수역의 설치 또는 수로 길이가 아주 짧은 경우 등에는 선박의 안전항행에 지장을 미치지 않은 정도 범위 내에서 수로 폭을 줄일 수 있다.

(1) 일반수로

일반수로는 교행 가능성이 있는 수로와 교행가능성이 없는 수로에 대해 나누어 제시하고 있다. 여기에서 교행이란 수로에서 선박이 양방향으로 다니는 것을 의미한다.

교행가능성이 있는 수로에서는 1.0L 이상의 적절한 폭으로 한다. 단, 수로의 길이가 비교적 긴 경우는 1.5L, 대상선박들이 수로 항행 중 빈번하게 교행 할

경우는 1.5L로 하며, 대상선박들이 수로 항행 중 빈번히 교행하고 수로의 길이가 비교적 긴 경우는 2.0L로 한다. 둘째, 선박이 운항 중 교행 가능성이 없는 수로에서는 0.5L 이상의 적절한 폭으로 한다. 그러나 수로 폭이 1.0L이 되지 않을 경우, 항행지원 시설의 정비 등에 대해 대비할 것을 제시하고 있다.

(2) 특수 수로

통행량이 아주 많은 수로, 수로를 횡단하는 선박이 예상되는 수로, 초 대형선을 대상선박으로 하는 수로, 기상 및 해상상태에 많은 영향을 받는 수로에 대한 폭은 일반수로의 표준값에 선박 운항자, 도선사 등 선박관계자의 의견을 청취하여 여유를 가산하는 폭으로 한다.

(3) 어선 또는 총톤수 500톤 미만인 선박을 대상으로 한 수로

대상선박 또는 어선의 크기, 통행량 및 지형, 자연조건 등을 고려하여 [표 2.1]의 값을 표준으로 하고 있다. 여기서 B는 대상선박의 폭이다.

[표 2.1] 어선을 대상으로 하는 수로 폭 (교행통항 수로)

항로의 위치	항로 폭	비고
외해에서 외항으로 들어오는 항로	6B~8B	악천후 파랑에 대한 여유를 고려
외항에서 내항으로 들어오는 항로	5B~6B	

2.1.2 수로의 수심

수로 수심은 저질, 선박의 동요, 트림, 선체침하, 해도오차, 측량오차, 준설정도 등을 고려한다. 특히 선박항행의 안전 확보를 위해서 최대흘수 시 선저와 해저 사이에 여유 수심을 확보할 필요가 있다.

일반적으로 수로의 계획수심은 출입하는 선박에 따라 대상선박의 만재흘수에 여유를 더하여 [식 2.1]과 같이 계산한다. 단, 어항을 대상으로 하는 수로에서는 대상어선의 만재흘수에 1.0m의 여유수심을 설정한다.

• **수로의 수심** : $H = D + D_s + D_r + D_t + D_w$ ---------- **[식 2.1]**

여기에서,

D : 선박의 만재흘수

D_s : 선박 항행 시 선체침하깊이(항행속도 8kts일 때 0.5m)

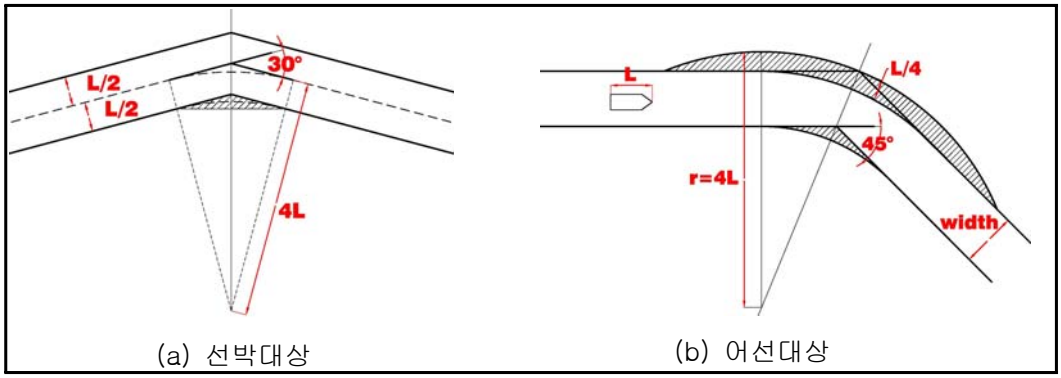
D_r : 해저 토질조건에 따른 여유수심(모래: 0.3m, 암반: 0.6m)

D_t : 선박의 선회에 따른 여유수심 (선장의 1/1000~1/2000)

D_w : 파고에 의한 여유수심 (파고의 1/2)

2.1.3 만곡부 수로의 곡률반경 및 수로 폭

만곡부 수로는 선박의 선회반경, 속도, 흘수/수심 비, 항로표지 등을 고려하여 결정해야 하며 만곡부 교각이 되도록 적어야 한다. 특히 바람이나 조류의 방향이 수로와 직각에 가까운 방향일 때에는 선박조종에 큰 영향이 미치므로 바람, 조류가 강한 곳에서는 이들의 영향을 충분히 고려할 필요가 있다.



(a) 선박대상 (b) 어선대상

[그림 2.1] 우리나라 만곡부 수로의 곡률반경

[그림 2.1]과 같이 만곡부 교각은 30°를 넘지 않는 것이 바람직하며, 30°를 넘을 경우 만곡부 수로의 곡률반경은 대상선박 길이의 4배 이상이 되게 하고, 수로 폭은 대상선박의 항적을 고려한 소요 폭 이상이 되어야 한다. 다만, 스포츠 또는 레크리에이션용 요트, 모터보트 등 선회성능이 좋은 선박이 대상인 경우나 표지·신호 등에 의하여 안전하고 원활한 조선이 가능한 경우는 이에 따르지 않아도 된다. 또한 만곡부 교각이 30°이상이고, 수로 폭이 1.0L(선박길이)인 교행통항 수로에서는 [그림 2.1(a)], 어선이 대상인 수로의 경우는 [그림 2.1(b)]와 같이 만곡부 수로의 폭을 넓힐 필요가 있다.

2.1.4 우리나라 수로설계지침의 분석

우리나라의 수로설계 지침을 간단하게 요약하면 다음과 같다.

만곡부 수로의 배치는 만곡부 교각이 30°를 넘기지 않는 것이 바람직하며, 30°를 넘었을 시 곡률반경이 4.0L이 되어야 한다. 교행 가능성이 있는 수로는 1.0L의 수로 폭이 필요하고, 수로의 길이가 비교적 길거나 교행가능성이 많은 수로는 1.5L의 수로 폭이 필요하다. 또한 수로의 길이가 길고 교행가능성이 빈번한 수로는 2.0L의 수로 폭이 필요하고 교행가능성이 없는 수로는 0.5L로 한다.

수로의 수심은 저질, 선박의 동요, 트림, 선체침하 등을 고려해야 한다.

이렇듯 우리나라의 수로설계 지침에는 수로설계 시 꼭 고려해야 할 요인을 포함하고 있지 않다. 특히 내륙수로와 같은 제한수로에서는 자연환경, 수로의 모양, 수로바닥의 형태, 측벽작용, 선체침하현상, 선박 간 상호작용 등 여러 가지 요인을 수로설계 시 반영해야 하나 우리나라의 수로설계 지침은 이러한 요인을 고려하지 않았다. 그러므로 내륙수로와 같은 특수한 수로를 설계할 때 현재 우리나라의 수로설계기준을 이용하면 안전적인 측면에서 문제가 발생할 수 있다.

2.2 외국의 수로설계기준 분석

2.2.1 PIANC 지침

PIANC 지침은 유럽 지역을 중심으로 하여 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 수로설계 지침이다. 주로 유럽 지역의 항만 및 항로 설계 전문가, 선체 운동에 관한 연구자 및 항해전문가들로 구성된 ICORELS(International Commission for the Reception of Large Ships)의 제4연구소위원회가 2년간의 연구를 거쳐 1980년도에 발표하였다.

PIANC 지침은 수로를 이용할 선박의 개념설계, 수로의 개념설계 및 분석설계, 항해 위험 및 안전을 규정한 지침서(Approach Channels A Guide for Design)로서 전 세계적으로 수로 설계 시 많이 사용하고 있다. 본 연구에서는 이 지침의 내용 중 「제6장: 수로의 수심, 폭, 배치」부분에 대해 분석하였다.

(1) 수로의 폭

수로설계 시 바닥 폭을 결정할 때는 여러 가지 요소를 고려해야 한다. 특히 바람, 조류 등과 같은 자연 환경적인 영향뿐만 아니라 선박 간 상호작용, 측벽 현상 등의 유체역학적 영향을 반드시 고려해야 한다.

수로 폭을 결정할 때는 [식 2.2]와 [식 2.3]의 계산식을 이용한다. 즉, W_{BM}(기본수로 폭), W_p(교행통항 선박 간 이격거리), W_{Br}(좌현안벽과의 이격거리), W_{Bg}(우현안벽과의 이격거리), W_i(기타 추가 수로 폭)을 합산해서 산정하는 것이다.

• 일방통항 수로 : $w = w_{BM} + \sum_{i=t}^{n} w_i + w_{Br} + w_{Bg}$ ---------- **[식 2.2]**

• 교행통항 수로 : $w = 2w_{BM} + 2\sum_{i=t}^{n} w_i + w_{Br} + w_{Bg} + \sum w_p$ ---------- [식 2.3]

여기에서,

w_{BM} : 기본수로 폭

w_i : 추가적으로 필요한 수로 폭

w_{Br} : 좌현 수로 안벽과의 이격거리

w_{Bg} : 우현 수로 안벽과의 이격거리

w_p : 교행통항 수로에서의 선박 간 이격거리

[식 2.2]와 [식 2.3]과 같이 수로 폭 계산식에 사용된 여러 가지 변수는 선박의 속도, 바람, 조류와 같은 자연환경적인 영향, 선박의 조종성능, 수로의 형태 등에 따라서 변하게 되는데 각 변수를 결정하는 방법은 다음과 같다.

① 기본수로 폭, W_{BM}

기본수로 폭은 선박이 안전하게 항행할 수 있도록 최소한으로 필요한 선박의 바닥 폭을 말한다. 이 폭은 [표 2.2]와 같이 선박의 조종성능에 따라 달라진다. 즉, 선박 조종성이 좋은 선박은 기본수로 폭이 1.3B(선박의 폭), 조종성능이 좋지 않은 선박은 1.8B(선박의 폭)만큼의 기본수로 폭이 필요하다.

[표 2.2] 선박의 조종성능에 따른 기본수로 폭

선박의 조종성능	좋음	보통	나쁨
기본수로 폭, W_{BM}	1.3B	1.5B	1.8B

하지만 선박의 조종성능에 있어서 좋고 나쁨을 각각의 상황에 따라 판단하기에는 상당히 어려움이 따른다. 그래서 PIANC 지침에서는 선박조종성능의 분류기준이 될 수 있는 가이드라인을 아래와 같이 제시하였다.

• 조종성능 우수 : L/B(선박의 길이/선박의 폭) > 6

- 조종성능 불량 : L/B(선박의 길이/선박의 폭) < 6
- 선회성능 불량 : H/d(수심/흘수) ≦ 1.5

② 교행통항 수로에서의 선박 간 이격거리, W_p

교행통항이 가능한 수로에서 선박이 서로 근접하면 선박 간 상호작용이 발생하여 수로를 통항하는 선박에게 영향을 미친다. 그래서 안전한 교행을 위해서 [표 2.3]과 같이 선박속도, 교통 밀집도, 파도 등의 영향을 고려한 이격거리가 필요하다.

[표 2.3] 교행통항 수로에서의 선박 간 이격거리

선박간 교행거리, Wp	파도의 영향이 있는 수로	파도의 영향이 없는 수로
선박 속도		
· 빠름 : 12kts 이상	2.0B	-
· 보통 : 8~12kts	1.6B	1.4B
· 느림 : 5~8kts	1.2B	1.0B
선박 교통량		
· 낮은 교통량	0.0	0.0
· 보통	0.2B	0.2B
· 매우혼잡	0.5B	0.4B

③ 좌현 수로 안벽과의 이격거리, W_{Br} 및 우현 수로 안벽과의 이격거리, W_{Bg}

선박이 수로를 통항할 때 수로 안벽으로 인한 측벽현상이 발생함으로서 안전항해에 영향을 미친다. 그래서 선박과 수로 안벽 간의 측벽현상으로 인한 선박 조종성능 저하를 고려하여 [표 2.4]와 같이 수로의 형태, 파도로부터의 영향, 선박속도에 따른 이격거리가 필요하다. 단, 선박의 속도에서 느림은 5kts ~ 8kts미만, 보통은 8kts ~ 12kts미만, 빠름은 12kts 이상을 나타낸다.

[표 2.4] 수로안벽의 영향으로 인한 추가 수로 폭

수로 안벽과의 추가 수로 폭 W_{Br} or W_{Bg}	선박속도	파도의 영향이 있는 수로	파도의 영향이 없는 수로
사면 또는 옅은 여울목형 수로	빠름	0.7B	0.5B
	보통	0.5B	0.3B
	느림	0.3B	
직각 또는 직립식 수로	빠름	1.3B	-
	보통	1.0B	1.0B
	느림	0.5B	0.5B

④ 기타 추가 수로 폭, W_i

기본수로 폭, 선박간의 이격거리, 수로 안벽간의 이격거리 이외에 [표 2.5]와 같이 선속, 바람, 조류, 파고, 항로표지시설, 해저지형, 수심, 위험화물의 종류에 따라 파도의 영향이 있는 수로와 파도의 영향이 없는 수로로 나누어 기타 추가 수로 폭을 제시하였다.

[표 2.5] PIANC 지침의 기타 추가 수로 폭

추가적으로 필요한 폭, W_i	선박 속도	파도의 영향이 있는 수로	파도의 영향이 없는 수로
• 선박 속력			
12kts 이상		0.1B	0.1B
8kts ~ 12kts		0.0	0.0
5kts ~ 8kts		0.0	0.0

추가적으로 필요한 폭, W_i	선박 속도	파도의 영향이 있는 수로	파도의 영향이 없는 수로
• **횡방향 바람 (1시간 평균값)**			
15kts 이하	all	0.0	0.0
	빠름	0.3B	-
15.0kts ~ 33.0kts	보통	0.4B	0.4B
	느림	0.5B	0.5B
	빠름	0.6B	-
33.0kts ~ 48.0kts	보통	0.8B	0.8B
	느림	1.0B	1.0B
• **횡방향 조류**			
0.2kts 이하	all	0.0	0.0
	빠름	0.1B	-
0.2kts ~ 0.5kts	보통	0.2B	0.1B
	느림	0.3B	0.2B
	빠름	0.5B	-
0.5kts ~ 1.5kts	보통	0.7B	0.5B
	느림	1.0B	0.8B
	빠름	0.7B	-
1.5kts ~ 2.0kts 이상	보통	1.0B	-
	느림	1.3B	-
• **종방향 조류**			
1.5kts 이상	all	0.0	0.0
	빠름	0.0	-
1.5kts ~ 3kts	보통	0.1B	0.1B
	느림	0.2B	0.2B
	빠름	0.1B	-
3.0kts 이상	보통	0.2B	0.2B
	느림	0.4B	0.4B

추가적으로 필요한 폭, W_i	선박 속도	파도의 영향이 있는 수로	파도의 영향이 없는 수로
• 유의파고 길이(λ), 높이(Hs)			
Hs ≤ 1 and λ ≤ L	all	0.0	0.0
	-	-	
	빠름	≈2.0B	
3 〉 Hs 〉 1 and λ = L	보통	≈1.0B	
	느림	≈0.5B	
	-	-	
	빠름	≈3.0B	
Hs 〉 3 and λ 〉 L	보통	≈2.2B	
	느림	≈1.5B	
• 항해 보조시설			
철저한 통항관제		0.0	0.0
양호		0.1B	0.1B
시계 제한이 보통인 경우		0.2B	0.2B
시계 제한이 빈번한 경우		≥ 0.5B	≥ 0.5B
• 해저지형			
수심 ≥ 1.5T(Draught)		0.0	0.0
수심 〈 1.5T 이고,		-	-
- 평평하고 부드러운 지형		0.1B	0.1B
- 부드럽거나 약간 울퉁불퉁		0.1B	0.1B
- 매우 울퉁불퉁하고 딱딱함		0.2B	0.2B
• 수심			
≥ 1.5T(Draught)		0.0	≥1.5T
1.5T ~ 1.25T		0.1B	0.0
〈 1.25T		0.2B	〉1.5T ~ 1.15T
			0.2B
			〉1.15T
			0.4B
• 위험화물 위험정도			
낮은 위험		0.0	0.0
보통		~0.5B	~0.4B
매우 위험		~1.0B	~0.8B

(2) 수로의 수심

수로의 수심은 대상선박의 흘수, 수로통과 시의 조석의 높이, 선체침하 현상, 파도, 해저지형에 따른 여유 흘수, 해수의 비중 및 그에 따른 흘수에 영향 등을 고려해야 한다. 그러나 위에 언급한 모든 요인을 고려해서 수로의 수심을 설계하기란 매우 어렵다. 그래서 일반적으로 [표 2.6]과 같이 수로설계 지역의 특성을 통한 수로의 수심과 [식 2.4]와 [식 2.5]를 통해 산출한 선체침하 예상 수치를 합산하여 산정한다.

[표 2.6] 수로의 수심 설정 방법

대상 해역	최소 H/d(수심/흘수)비
폐쇄된 해역	1.1 + Squat값
1.0m의 파도가 있는 수로	1.3 + Squat값
일정하지 않은 주기와 방향의 파도가 있는 수로	1.5 + Squat값

• Froude Depth Number $F_{nh} = V/(\sqrt{gh})$ ---------- **[식 2.4]**

여기에서,

V : 선속 (m/s)

h : 평수해역의 수심 (m)

g : 중력가속도 ($9.81 m/s^2$)

• 선체침하 값(m) = $2.4\frac{\Delta}{L_{pp}^2}\frac{F_{nh}^2}{\sqrt{(1-F_{nh}^2)}}$ ---------- **[식 2.5]**

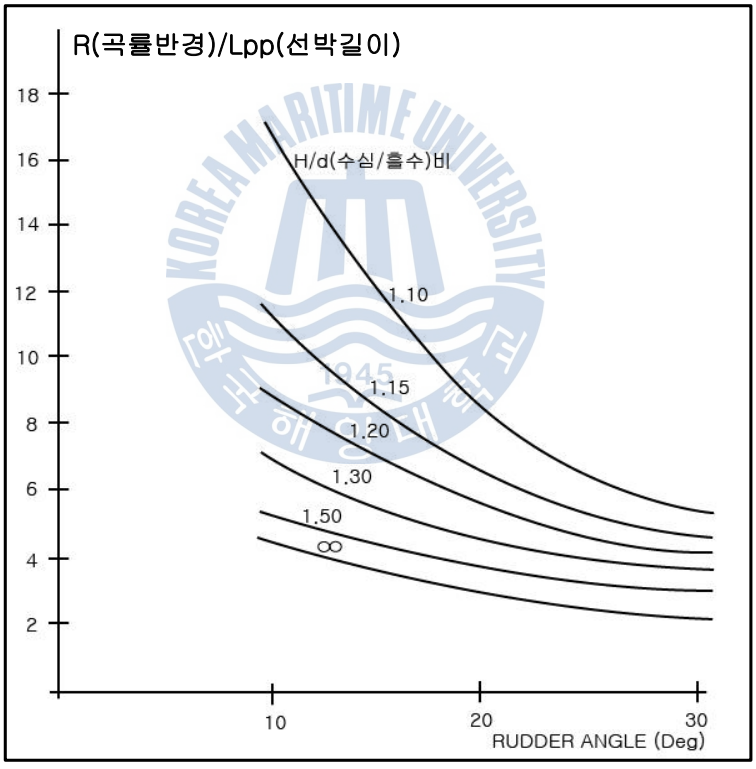
여기에서,

Δ : Displacement

(3) 만곡부 수로의 배치

① 만곡부 수로의 곡률반경

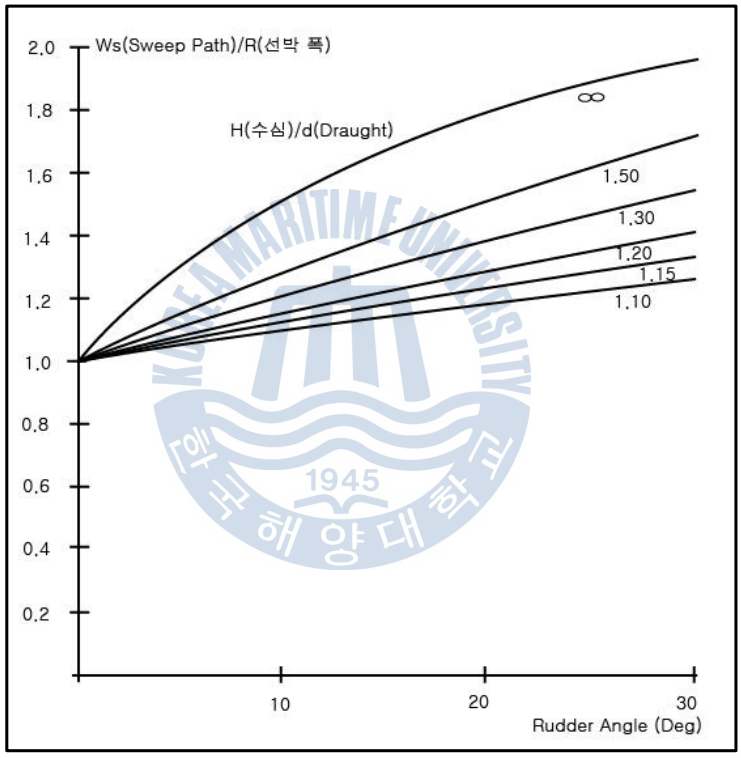
선박이 만곡부 수로를 항해할 때 안전한 통항을 위해 선박의 선회성능 및 만곡부 수로의 수심을 고려해야 한다. 왜냐하면 선박의 선회성능에 따라 만곡부 수로의 곡률반경 및 수로의 폭이 달라지고, 수심/흘수 비에 따라 선박조종성능에 있어서 많은 차이가 나기 때문이다. 그래서 PIANC 지침에서는 [그림 2.2]와 같이 바람이 없는 잔잔한 바다에서 조종성능이 뛰어난 선박을 서로 다른 수심/흘수 비에서 실험한 그래프를 통해 만곡부 수로의 곡률반경을 제시하였다.



[그림 2.2] PIANC 지침의 조타각에 따른 곡률반경 그래프

(2) 만곡부 수로의 폭

선박이 수로의 만곡부를 선회할 때 선박자체의 폭보다 큰 Sweep path를 가지게 된다. [그림 2.3]과 같이 Sweep path는 수심이 깊은 곳에서 100% ~ 160%정도이고 수심이 낮은 곳에서는 30% ~ 40%정도로 나타나는 등 다양하다. 즉, PIANC 지침에서는 [그림 2.3]과 서로 다른 수심/흘수 비에서 타각에 따른 Sweep path의 실험 그래프를 통해서 만곡부 수로의 폭을 제시하였다.



[그림 2.3] 타각에 따른 Sweep path

지금까지 알아본 PIANC 지침은 수로설계를 위해 많은 나라에서 이용하는 지침으로서 수로 폭, 수로 수심, 수로의 배치 등 자세한 설계지침을 제시하고 있다. 즉, 수로 폭에 대해서는 측벽현상, 선박 간 상호작용 등 내륙수로 설계 시 반드시 필요한 부분을 고려하였고, 수로의 폭은 수심/흘수 비와 선체침하량을 사용해서 실제 내륙수로에 간편하게 적용할 수 있도록 가이드라인을 제시하였

다. 그러나 선박이 내륙수로를 장기 운항할 경우 선박운항자의 피로도, 선박운항자의 안고로 인해 발생하는 맹목구간, 좁은 내륙수로로 인한 선박운항자의 심리적 안전거리 등을 고려하지 않았다는 점에서 보완할 필요성이 있다.

2.2.2 USACE 설계지침

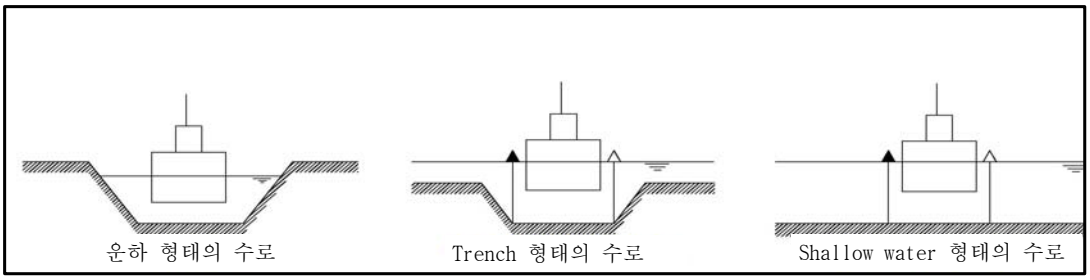
미국의 경우는 수로를 설계할 때 미공병단(United States Army Corps of Engineers_USACE)에서 1983년 발표하고 2006년 새롭게 개정한 가이드라인인 Hydraulic Design of Deep Draft Navigation Projects를 수로설계를 위한 지침으로 사용하고 있다. 이 수로설계 지침은 선박의 안전하고 효과적, 경제적 비용의 수로설계를 목표로 하는 가이드라인이다.

USACE의 Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects의 내용은 수로의 설계, 수로에서의 선박의 운항, 수역시설의 설계 및 관리, 항해보조시설의 설치 등에 관련한 가이드라인을 제시하고 있다.

본 연구에서는 2006년 발표된 MANUAL(No.1110-2-1613)의 내용 중 제6장의 수로의 수심, 제8장의 수로의 폭 및 배치에 관한 부분을 분석하였다.

(1) 수로의 폭

수로의 폭은 수로를 이용하게 될 선박이 안전하고 효율적으로 운항할 수 있도록 설계되어야 한다. 필요한 수로의 폭은 선박의 폭, 길이, 흘수, 조종성능, 수로의 형태와 배치, 조류, 교통 밀도, 바람과 파도의 영향, 시정, 항해장치의 성능, 해저 및 측벽의 형태, 선박의 속도 등에 따라 결정된다. 특별히 USACE의 설계기준은 항해기기의 성능, 수로의 변화성, 수로의 형태에 따라서 수로의 폭을 다르게 적용하고 있는 특징이 있다. 여기에서 수로의 형태는 [그림 2.4]와 같이 Shallow water 수로, Trench 수로, 운하 형태의 수로를 말한다.



[그림 2.4] 수로의 횡방향 단면

[표 2.7]은 최상의 항해보조시설 또는 보통의 항해보조시설이 지원되는 수로에서 선박이 일방통항 할 때 조류의 세기와 수로의 모양에 따른 필요수로 폭을 제시하였다. 즉, 조류의 세기가 센 수로일수록 약 1.5배 ~ 2.0배의 넓은 수로 폭이 필요하며, 수로의 형태에 있어서는 Shallow water 형태의 수로가 가장 많은 수로 폭을 필요로 하고, 운하 형태의 수로는 나머지 두 가지 형태의 수로와 비교했을 때 좁은 수로 폭을 필요로 한다. 또한 최상의 항해보조시설이 있는 수로 폭이 일반적인 항해보조시설이 있는 수로 폭보다 작은 것을 알 수 있다.

[표 2.7] 일반통항 수로의 필요 수로 폭

조류세기 / Channel Cross Section	0.0kt ~ 0.5kt미만	0.5kt ~ 1.5kt미만	1.5kt ~ 3.0kt
최상의 항해보조시설			
Shallow water 형태	3.0B	4.0B	5.0B
운하 형태	2.5B	3.0B	3.5B
Trench 형태	2.75B	3.25B	4.0B
보통의 항해보조시설			
Shallow water 형태	3.5B	4.5B	5.5B
운하 형태	3.0B	3.5B	4.0B
Trench 형태	3.5B	4.0B	5.0B

[표 2.8]은 선박이 교행통항 할 때 조류의 세기와 수로의 모양에 따른 필요 수로 폭 계수를 제시하였다. 그리고 [식 2.6]과 같이 선박의 폭과 교행통항 수로 폭 계수를 이용해서 교행통항에 필요한 수로의 폭을 산정할 수 있다. 즉, 조류의 세기가 셀수록 조류의 세기가 거의 없는 수로보다 약 1.3배 ~ 1.5배의 넓은 수로 폭이 필요하며, 수로의 형태에 있어서는 Shallow water 형태의 수로가 가장 넓은 수로 폭을 필요로 하고, 운하 형태의 수로는 나머지 두 가지 형태의 수로와 비교했을 때 좁은 수로 폭을 필요로 한다. 또한 최상의 항해보조시설이 있는 수로 폭이 일반적인 항해보조시설이 있는 수로 폭보다 작은 것을 알 수 있다.

[표 2.8] 교행통항 수로의 필요 수로 폭

조류세기 / Channel Cross Section	0.0kt ~ 0.5kt미만	0.5kt ~ 1.5kt미만	1.5kt ~ 3.0kt
Shallow water 형태	5.0	6.0	8.0
운하 형태	4.0	4.5	5.5
Trench 형태	4.5	5.5	6.5

- **교행통항 수로의 수로 폭 :** $(4.0 \sim 8.0) \times (\frac{B_d + B_t}{2})$ ---------- **[식 2.6]**

여기에서,

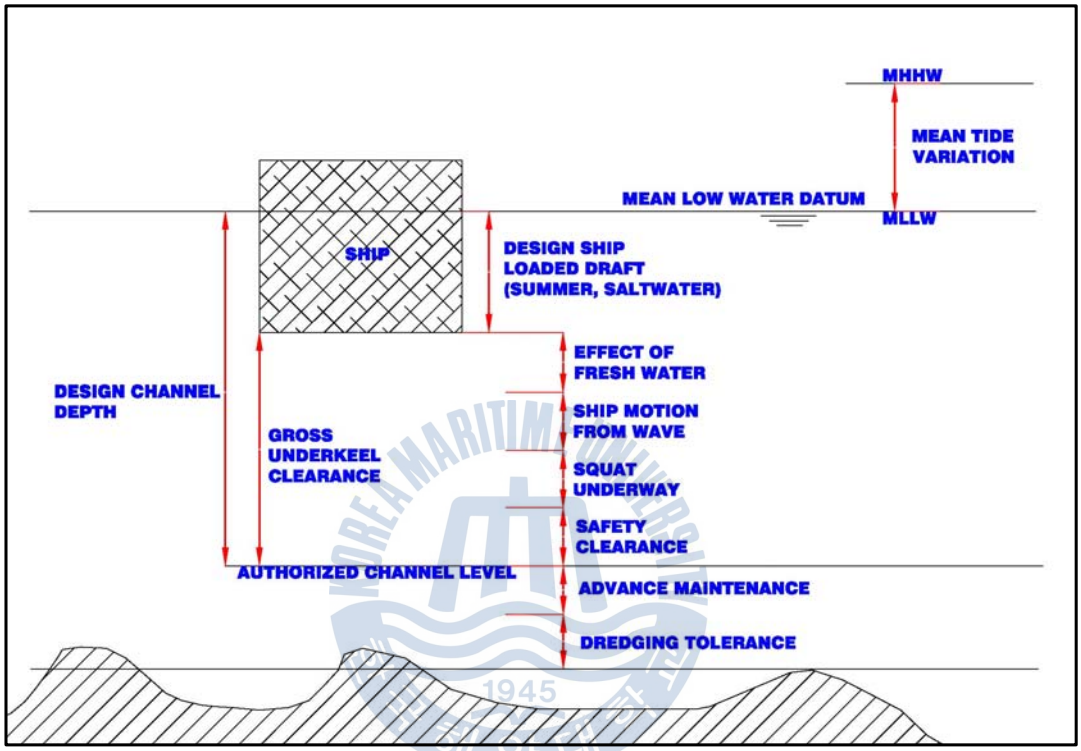
B_d : 교행통항선박의 폭

B_t : 교행통항선박의 폭

(2) 수로의 수심

수로의 수심은 수로를 이용하는 선박이 충분히 안전하도록 설계해야 한다. 그래서 USACE 설계지침은 [그림 2.5]와 같이 해수의 비중 차이, 선박의 흘수, 수

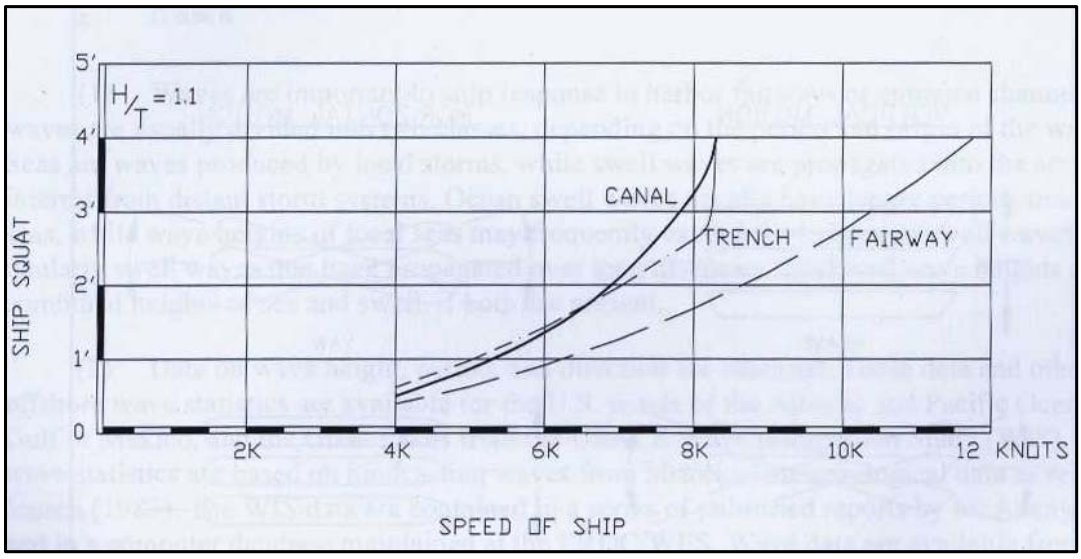
로통과 시 조석의 높이, 선체침하 현상, 파랑에 의한 선체동요, 해저지형에 따른 여유 흘수, 해수 비중의 영향, 최소 안전 이격거리 등을 고려하여 설계해야 한다.



[그림 2.5] 수심 허용치

① 선체침하 현상

선박이 항해할 때 선저와 해저면 사이에 유속이 증가함으로서 다른 부분보다 압력이 낮아지게 되어 선박의 흘수가 증가하게 된다. 이러한 현상은 [그림 2.6]과 같이 그 정도의 차이는 있지만 대양, 천수지역, 심 흘수 지역 등에서 모두 나타나는데 특히 천수지역, 제한수로, 운하형태의 수로에서 선체침하 현상이 크게 증가한다. 그래서 USACE 설계지침에서는 [식 2.7]과 같이 Huval 1980b, Balanin et al. 1977, Zernov 1970에 의해 정의된 제한수로에서의 선체침하 현상 계산식을 이용해서 값을 구한다.



[그림 2.6] 수로의 형태의 의한 선체침하 값 변화

• 선체침하 값(m) = $2.4\frac{\Delta}{L_{pp}^2}\frac{F_{nh}^2}{\sqrt{(1-F_{nh}^2)}}$ ---------- [식 2.7]

여기에서,

Δ : Displacement

F_{hL} : 수심 Froude 수 ($F_{nh} = V/(\sqrt{gh})$)

② 파도로 인한 선박의 동요

파도로 인한 선박의 동요는 수로의 폭과 수심을 설계할 때 꼭 고려를 해야 하는 요인이다. 왜냐하면 파도로 인한 선저의 움직임은 수로의 수심을 설계할 때 영향을 미치기 때문이다. 일반적으로 대양으로부터의 파도에 영향을 받는 수로에서는 특히 파도의 의한 영향을 고려해야 한다.

③ 해수의 비중 차이

선박이 담수지역에서 해수지역으로 이동하면 물의 비중차이로 인해 선박의 흘수가 감소하게 된다. 이렇듯 선박이 항해하는 지역의 해수비중 차이로 인해 선박의 흘수가 변하게 된다. 일반적으로 담수지역에서는 해수지역에서보다 흘수

가 2.619% 증가하기 때문에 적어도 0.25m 이상의 수심 허용치가 필요하다.

④ 안전상 허용치

선박이 수로를 항해할 때 수로의 바닥에 선박의 선저나 프로펠러, 타 등이 손상되지 않도록 선저와 수로의 바닥 사이에는 적어도 0.6m의 여유수심이 있어야 한다. 만약 수로의 바닥이 바위와 같이 딱딱한 물질일 경우에는 적어도 0.9m의 여유수심이 필요하다.

⑤ Advance Maintenance

수로를 준설할 때는 수로바닥에 침전물에 의한 수심의 감소 등을 고려하여 수로 설계 시 계획된 수심보다 깊게 준설해야 한다. 일반적으로 수로의 수심을 설계할 때 0.6m ~ 0.9m의 여유수심을 확보하는 것이 일반적이다.

⑥ Dredging Tolerance

수로를 준설할 때 수면의 파동으로 인해 일정한 준설이 어렵기 때문에 수로의 수심을 설계할 때는 0.3m ~ 0.9m의 여유수심을 확보해야 한다.

(3) 만곡부 수로의 배치

① 만곡부 수로의 곡률반경 및 폭

만곡부 수로의 곡률반경 및 폭을 정할 때는 [표 2.9]의 값을 사용한다. 즉, 만곡부 교각이 0°~ 10°일 때 선회반경 및 만곡부 수로의 추가 수로 폭도 필요하지 않다. 그리고 만곡부 교각이 35°~ 50°일 때는 선회반경/선박의 길이가 7 ~ 10, 추가 수로 폭/선박의 폭은 0.7 ~ 0.5이다. 즉, 만곡부 교각의 정도에 따라 곡률반경 및 추가 수로 폭을 산정할 수 있다. 단, 만곡부 수로의 곡률반경 및 폭에 대한 USACE 설계지침은 측벽현상을 고려하지 않았기 때문에 만곡부 수로를 설계할 때 선박조종시뮬레이션을 통한 검증이 필요하다.

[표 2.9] Variable Cross Section

만곡부 교각(°)	선회반경(m) / 선박길이(m)	추가 수로 폭(m) / 선박 폭(m)
0-10	0	0
10-25	3 - 5	2.0 - 1.0
25-35	5 - 7	1.0 - 0.7
35-50	7 - 10	0.7 - 0.5
>50	> 10	0.5

2.2.3 네덜란드 수로설계지침

내륙수로가 발달한 유럽의 국가 중 특히 네덜란드는 주운수로관리위원회(The ministry of transport and water management)에서 1996년에 내륙수로 설계에 대한 가이드라인을 발표하였으며, 2006년에 새롭게 개정하여 Guidelines Waterways RVW 2005를 발표하였다. 이 수로설계 지침은 네덜란드는 물론 내륙수로를 건설하는 나라에서 많이 사용하고 있으며, 특히 경인 아라뱃길의 설계기준으로도 사용되었다. Guidelines Waterways RVW 2005는 CEMT(Conference European Ministry of Transport)에서 규정하는 내륙수로 이용선박의 분류, 수로의 설계에 대한 지침, 갑문의 운영과 설계, 내륙수로를 가로 질러 설치되는 교량의 설계 및 규정, 항해 보조시설의 설계 및 설치 등을 기술한 지침서이다.

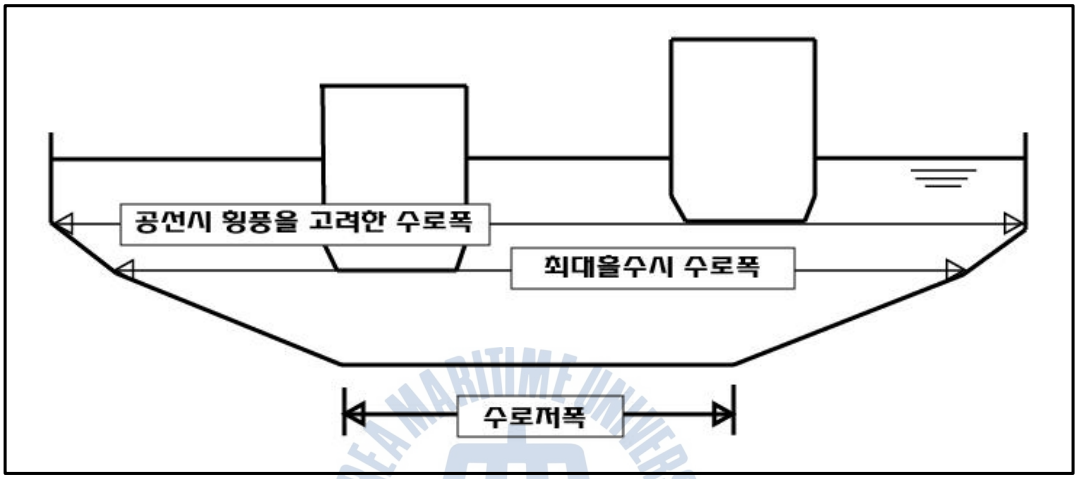
본 연구에서는 가이드라인의 내용 중 '제3장 수로의 수심, 폭 및 배치'에 관한 부분에 대해 분석하였다.

(1) 수로의 폭

네덜란드 수로설계지침은 수로의 폭을 산정할 때 안벽과의 이격거리, 선박통

항 수로 폭, 선박 간 안전이격거리를 고려해서 수로 폭을 산정한다.

네덜란드 수로설계 지침에서 권고하고 있는 수로 폭 산정기준은 [그림 2.7]과 같다. 즉, 수로 저폭, 최대흘수 시 수로 폭, 공선 시 횡풍으로 인한 추가수로 폭으로 분류해서 규정하고 있다.



[그림 2.7] 선박의 흘수 수심을 기준으로 한 수로 폭

수로 저폭 및 최대흘수 시의 수로 폭 산정기준 권고사항은 [표 2.10]과 같다. 즉, 교행 통항하는 일반수로나 매우 좁은 수로의 경우 수로 저폭은 적어도 대상선박에 대해서 2.0B(선박의 폭)는 되어야 하며, 일방통항 수로의 경우 적어도 1.0B는 되어야 한다. 또한, 만재상태의 대상선박이 수로통항을 위해 필요한 수로 폭은 교행통항하는 일반적인 수로에서 4.0B, 매우 좁은 수로에서 3.0B 그리고 일방통항 수로에서는 2.0B이다.

[표 2.10] 네덜란드 수로설계 지침의 수로 폭 산정기준

수로의 형태	수로 저폭	최대흘수 시 수로 폭
일반적인 수로 (교행통항)	2.0B	4.0B
매우 좁은 수로 (교행통항)	2.0B	3.0B
일방통항 수로	1.0B	2.0B

횡풍의 영향을 받으면서 선박이 공선상태로 항해할 때 필요한 수로 폭을 산정하는 방법은 선박이 최대흘수로 항해할 때 필요한 수로 폭과 횡풍으로 인해 추가로 필요한 수로 폭(ΔW)을 합산하는 것이다. 단, 횡풍으로 인한 영향은 공선상태이거나 풍압면적이 넓은 컨테이너선이나 자동차 운반선과 같은 선박에 적용이 되며, 만재상태의 선박에는 횡풍으로 인한 영향이 극히 미미하기 때문에 적용하지 않는다. 따라서 횡풍으로 인한 추가수로 폭(ΔW)은 CEMT에서 선박의 길이, 폭, 흘수, 톤수에 따라 분류한 선박별로 정해져 있으며 선박의 분류표는 [표 2.11]과 같다.

[표 2.11] CEMT에 의한 선박의 분류

선박의 분류	길이(m)	폭(m)	흘수(m)	톤수(G/T)
I	38.5	5.05	1.80~2.20	250~400
II	50~55	6.60	2.50	400~650
III	67~80	8.20	2.50	650~1000
IV	80~85	9.50	2.50	1000~1500
Va	95~110	11.40	2.50~2.80	1500~3000
Vb	172~185	11.40	2.50~4.50	3200~6000

[표 2.11]을 통해 수로를 이용할 선박의 CLASS를 파악하면 [표 2.12]로부터 횡풍으로 인한 추가수로 폭(ΔW)을 구할 수 있다. ΔW는 내륙과 연안지역으로 구분되어 있으며 내륙수로와 같은 연안지역의 수로에 대한 ΔW는 '내륙'의 수치를 이용해서 산정한다.

[표 2.12] 선박 분류에 따른 수로 폭, 수심, 횡풍으로 인한 추가수로 폭

선박의 분류	최소요구 수로 폭			횡풍으로 인한 추가수로 폭(m), ΔW	
	수심(m)	최대흘수 시 수로 폭	저폭(m)	내륙	연안
NORMAL					
I	3.1~3.5	20.4	10.2	2	4
II	3.5~3.6	26.4	13.2	3	6
III	3.5~3.8	32.8	16.4	4	8
IV	3.9~4.2	38.0	19.0	5	11
Va	4.9	46.0	22.8	5	11
Vb	5.6	46.0	22.8	9	18
NARROW					
I	2.9~3.3	15.3	10.2	3	5
II	3.3~3.4	19.8	13.2	4	7
III	3.3~3.5	24.6	16.4	5	10
IV	3.6~3.9	28.5	19.0	7	15
Va	4.6	34.0	22.8	7	15
Vb	5.2	34.0	22.8	12	24
SINGLE LANE					
I	2.9~3.3	10.2	5.1	0	0
II	3.3~3.4	13.2	6.6	0	0
III	3.3~3.5	16.4	8.2	0	0
IV	3.6~3.9	19.0	9.5	0	0
V	5.2	22.8	11.4	0	0

(2) 수로의 수심

네덜란드 수로설계 지침은 수로의 수심에 대해 [표 2.13]과 같이 간단하게 제시하고 있다. 즉, 수로의 수심은 대상선박이 만재흘수 상태에서의 흘수보다

1.4배가 되어야 하며, 제한되거나 일방통항 수로의 경우는 대상선박이 만재흘수 상태에서의 흘수보다 1.3배가 되어야 한다.

[표 2.13] 수로의 형태에 따른 수심/흘수 비

수로의 형태	수심/흘수 비
일반수로	1.4
매우 좁은 수로	1.3
일반통항 수로	1.3

(3) 만곡부 수로의 배치

만곡부 수로를 설계할 때는 만곡부 항해 시의 필요한 타각, 선박의 속도, 변침의 필요, 맹목구간 등을 고려해서 설계해야 한다.

① 만곡부 수로의 곡률반경

일반적으로 만곡부의 곡률반경은 일반적인 수로에서 6L, 매우 좁은 수로에서는 4L이 필요하다.

② 만곡부 수로 폭

선박이 만곡부를 항해할 때는 직선수로를 항해할 때보다 넓은 수로 폭이 필요하다. 그래서 만곡부의 수로 폭을 산정할 때는 만곡부 곡률반경 및 선박이 공선상태인지 만재상태인지에 고려해야 하고, [식 2.8]과 [식 2.9]를 사용해서 만곡부 수로 폭을 산정한다.

- 만곡부의 곡률반경이 10L(대상선박 길이)이 넘으면 추가수로 폭 필요 없음
- $\mathcal{E}>30^\circ : \Delta B = \frac{(C1+C2)\times L^2}{R}$ ---------- [식 2.8]

- $20^\circ < \varepsilon < 30^\circ : \Delta B = \frac{\varepsilon}{30} \times \frac{(C1 + C2) \times L^2}{R}$ ---------- [식 2.9]
- $\varepsilon < 20^\circ$:곡률반경이 항상 10L 이상이 되어야 하며 추가수로 폭 필요 없음

여기에서,

ε : 만곡부 교각

ΔB : 수로의 폭 확장

C1 : 공선상태의 선박계수 (0.50)

C2 : 만재상태의 선박계수 (0.25)

L : 선박의 길이

R : 곡률반경

2.2.4 NAVFAC DM-26.1 지침

NAVFAC(Naval Facilities Engineering Commend Manual) DM-26.1 지침은 미국의 해군 및 민간에서 부두, 수역시설의 설계 시 사용하는 것으로서 해안가 시설물 설치에 대한 평가, 최적의 시설 설계 등을 제시하고 있는 지침서이다. NAVFAC DM-26.1 지침의 Harbour Design Manual 26.1은 부두 및 수역시설의 설계, 항해보조 시설에 대한 설계 및 설치 등에 대한 지침을 제시하고 있다.

본 연구에서는 '제2장 수로의 수심', '제3장의 수로의 폭과 배치'에 대한 부분을 분석하였다.

(1) 수로의 폭

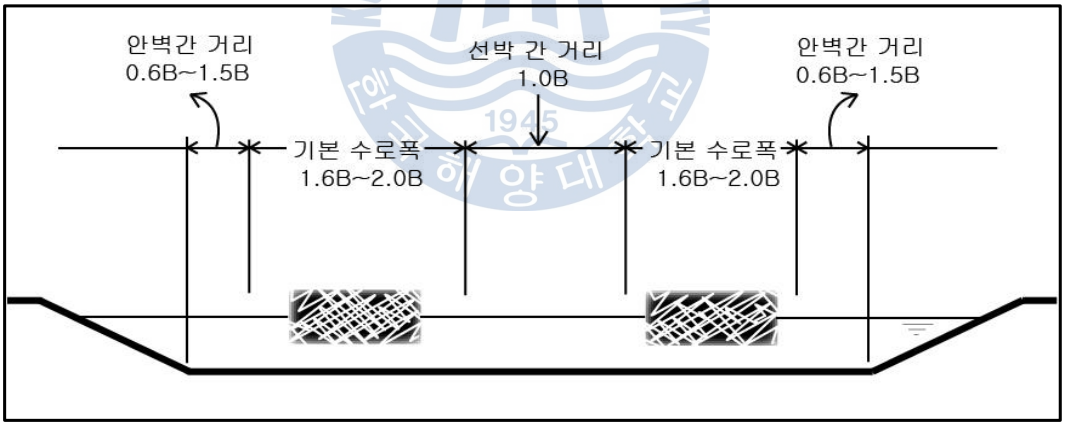
수로의 폭을 결정하는데 있어서 바람의 영향 및 조류, 선박의 조종성능, 측벽현상, 선박 간 간섭현상 등을 고려해야 한다.

기본수로 폭은 선박의 조종성능에 따라서 [표 2.14]와 같이 1.6B ~ 2.0B의 수로 폭이 필요하다.

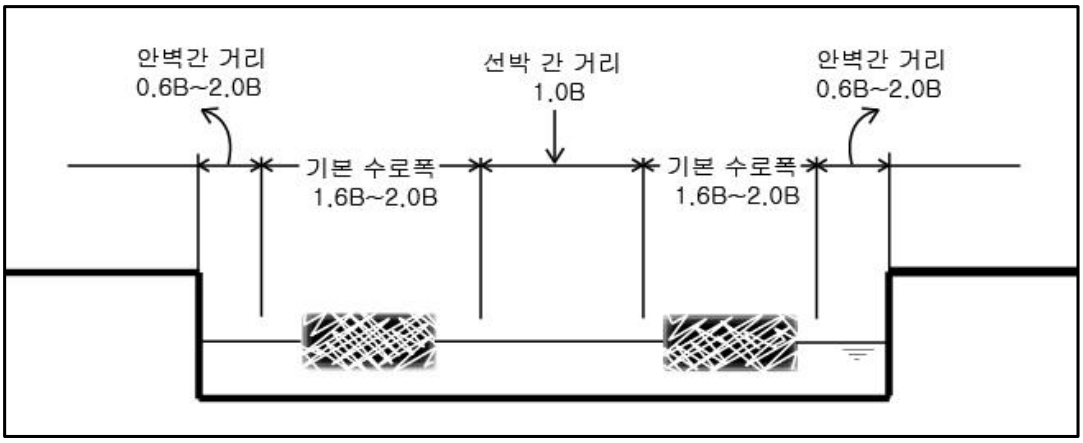
[표 2.14] 선박의 조종성능에 따른 기본수로 폭

선박의 조종성능	항해구간 수로 폭
좋음	1.6B
보통	1.8B
나쁨	2.0B

측벽의 영향에 따른 이격거리는 [그림 2.8]과 [그림 2.9]와 같이 측벽의 형태에 따라서 0.6B ~ 2.0B로 다양하게 적용된다. 일반적으로 선박의 안전성을 고려해서 최소한의 안벽과의 이격거리는 내륙수로의 경우 1.0B이며 Open channel의 경우 최소 1.2B가 필요하다. 또한 선박 간 상호작용을 고려한 이격거리는 모든 수로에서 1.0B가 필요하다.



[그림 2.8] 사면형태 수로의 수로 폭 산정 개념도



[그림 2.9] 직각형태 수로의 수로 폭 산정 개념도

그러므로 측벽의 형태가 경사면의 경우 최소의 수로 폭은 5.4B, 최대의 수로 폭은 8.0B이고, 측벽의 형태가 직각일 경우 최소의 수로 폭은 5.4B, 최대의 수로 폭은 9.0B이다. 단, 본 지침은 선속이 10.0kts, 조류는 3.0kts 이하, 시정 양호, 풍속 15kts 이하일 경우에 해당한다.

(2) 수로의 수심

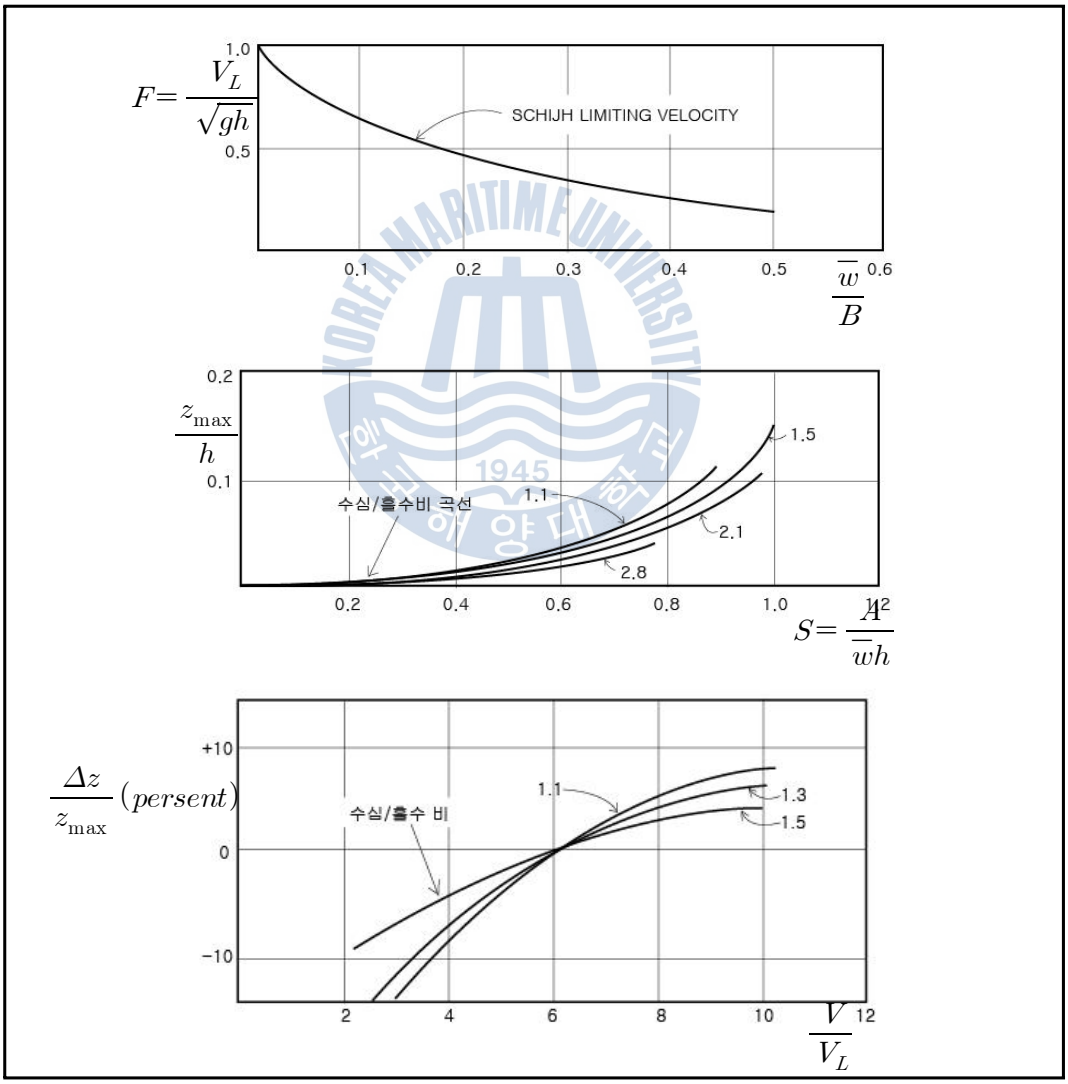
수로의 수심은 대상선박의 최대흘수, 선체 바닥과 수로 바닥과의 이격거리로 결정된다. 특히, 선박의 최대흘수 결정에는 해수 비중 차이, 화물적재 상태, 파도, 선체침하현상, 절대여유 수심, 수로 바닥 저질에 따른 수심 등을 고려해야 한다.

① 파도에 의한 영향

선박이 파도나 항주파에 의해 횡요, 종요 등 여러 방향으로 움직이게 되는데 이러한 선박의 운동으로 인해서 수심이 변하게 된다. 그러므로 안전한 수로의 수심을 설계할 때는 파도의 영향을 고려해서 일반적으로 파도 높이에 1/2 만큼의 여유 수심이 있어야 안전하다.

② 선체침하현상

선박이 수심이 낮은 곳이나, 제한수로를 항해할 때 선체 바닥과 수로 바닥 사이 유체의 작용으로 선박의 흘수가 증가하게 되는데, 이 현상을 선체침하현상이라고 한다. 이 작용은 선박의 속도, 선저와 수로바닥 사이의 거리, 선체의 트림, 수로의 중간으로부터 떨어진 거리 등에 영향을 받는다. 이러한 선체침하량은 [식 2.10]을 사용해서 구할 수 있으며, 여기에서 각각의 수치는 [그림 2.10]의 Sogreah Laboratory Squat Curve를 통해 산정한다.



[그림 2.10] NAVFAC DM-26.1 지침의 선체침하 값 산정 방법

여기에서,

V_L : Limiting vessel speed

$\overline{w}$: 수로 폭

h : 수로 수심

A : 선박의 수선하부 횡단면 넓이

V : 선박의 대수속력

B : 선박의 폭

• 선체침하량(m) = $z_{\max} + \Delta z$ ---------- [식 2.10]

③ 해수 비중차이로 인한 현상

선박이 해수비중이 서로 다른 지역을 항해하면 해수비중의 차이로 인해서 선박의 흘수가 변하기 때문에 수로의 수심을 설계할 때 해수비중 차이로 인한 흘수변화를 고려해야 한다. 일반적으로 해수보다 담수에서 0.5% ~ 2.0%의 흘수 증가가 나타나게 된다.

(3) 만곡부 수로의 배치

수로를 설계할 때 수로의 굴곡은 가능하면 피하는 것이 좋다. 만약 수로의 굴곡을 피할 수 없다면 선박의 선회로 인해 증가하는 Sweep path 만큼 수로의 폭을 넓혀야 한다.

① 만곡부 수로의 곡률반경

만곡부 수로의 곡률반경은 만곡부 교각을 기준으로 한 곡률반경과 선박의 길이를 기준으로 한 곡률반경으로 제시하였으며 그 산정기준은 [표 2.15]와 같다. 즉, 만곡부 교각을 기준으로 만곡부 교각이 25° 이하일 경우에는 곡률반경이 3.0L이 되어야 하며, 만곡부 교각이 35° 이상일 경우에는 10L의 곡률반경이 필요하다. 선박의 길이를 기준으로 선박의 길이가 150m 이하일 경우에는 곡률

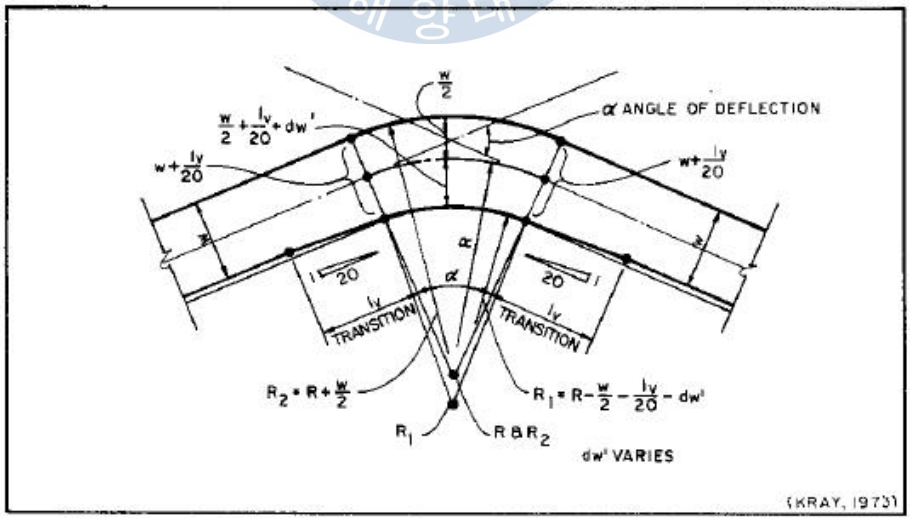
반경이 1,200m이어야 하며, 선박의 길이가 150m일 경우에는 곡률반경이 2,000m 필요하다.

[표 2.15] 기준에 다른 만곡부 수로의 곡률반경

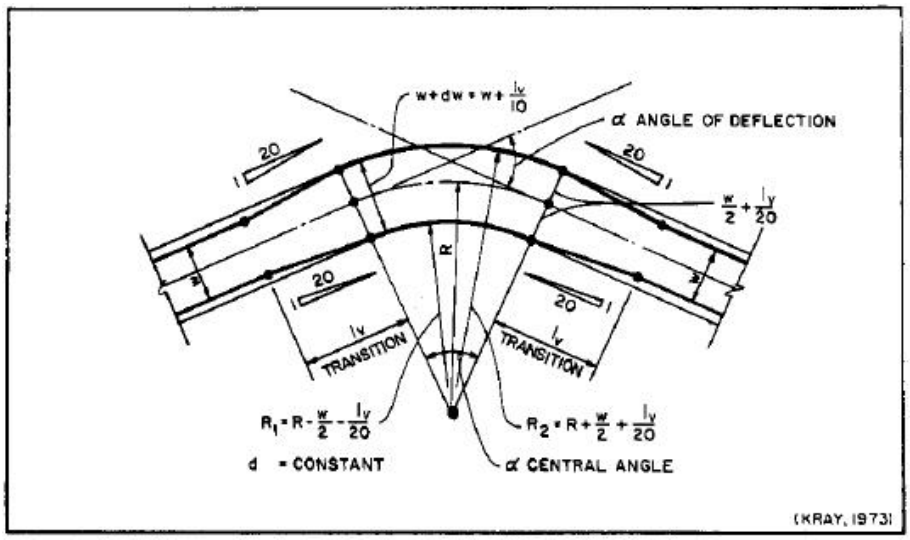
만곡부 교각을 기준	선박의 길이를 기준
R = 3L, 만곡부 교각 < 25°	R = 1,200m, L < 150m
R = 5L, 25° < 만곡부 교각 < 35°	R = 2,000m, L = 150m
R = 10L, 만곡부 교각 > 35°	2,100m < R < 3,000m, 150m < L < 210m

② 만곡부 수로의 폭

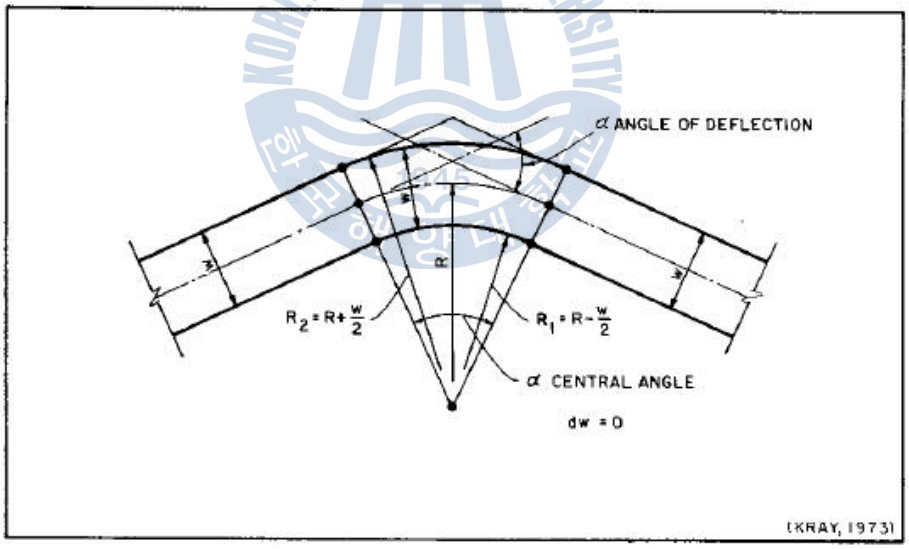
만곡부 교각이 10°를 넘으면 최소수로 폭에 더하여 추가수로 폭이 필요하다. 그러나 자연 환경적 영향으로 수로 폭의 확장이 불가능할 경우에는 만곡부 바깥쪽의 수로 폭 확장도 가능하다. 즉, 만곡부 수로의 수로 폭을 확장하는 방법은 수로 건설지역의 특징에 따라서 [그림 2.12-1] ~ [그림 2.12-4]와 같은 여러 가지 방법으로 수로 폭을 확장할 수 있다. 단, 수로 폭의 확장 정도는 만곡부 수로의 모양에 따라서 다르게 산정한다.



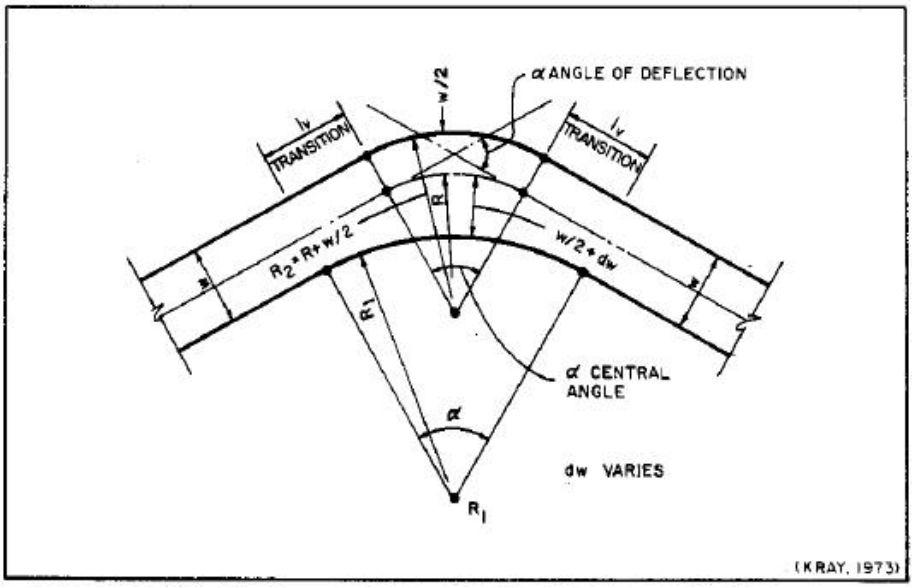
[그림 2.12-1] 만곡부 수로의 확폭 형태-1



[그림 2.12-2] 만곡부 수로의 확폭 형태-2



[그림 2.12-3] 만곡부 수로의 확폭 형태-3



[그림 2.12-4] 만곡부 수로의 확폭 형태-4

2.2.5 캐나다 수로설계 지침

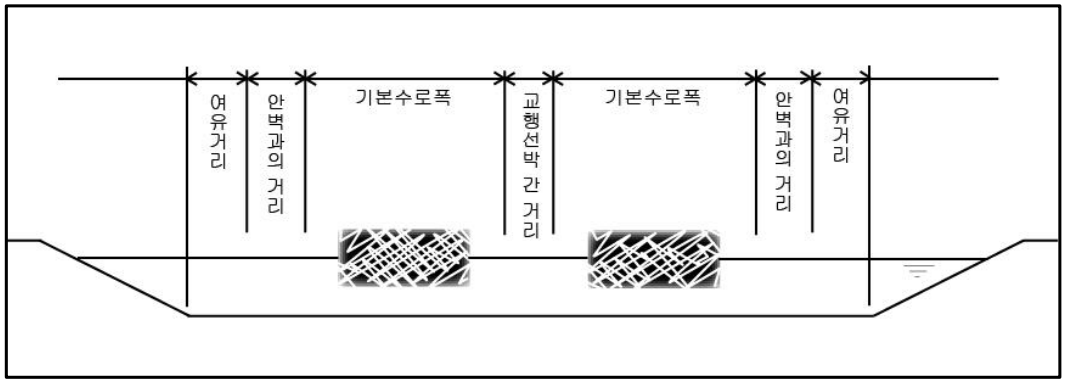
캐나다의 경우는 수로를 설계할 때 Waterways development, Marine navigation services, Canadian coast guard, Fisheries and oceans canada가 공동으로 만든 가이드라인인 Canadian Waterways National Maneuvering Guidelines 중 Channel Design Parameters를 수로설계를 위한 지침으로 사용하고 있다. 이 가이드라인에는 수로의 배치, 폭, 수심, 교량의 형하고 등에 대한 지침을 제시하고 있다.

본 연구에서는 1999년 발표된 Manual의 내용 중 '2장 수로의 폭', '3장 수로의 수심', '5장 수로의 배치' 부분에 대해 분석하였다.

(1) 수로의 폭

수로의 폭을 설계할 때는 [그림 2.11]과 같이 선박이 실제 통항하는 수로 폭,

선박 간 상호작용, 교통의 혼잡도, 바람 및 조류의 영향의 영향, 측벽현상, 항해보조시설 등의 영향을 고려한 설계 폭과 선적화물의 위험도, 수심/흘수의 비, 수로바닥의 상태 등을 고려한 여유 폭을 합산하여 결정한다.



[그림 2.11] 교행통항 수로의 폭 설계

① 기본 수로 폭

선박이 통항하는 기본 수로 폭은 선박의 조종성능에 따라 달라진다. [표 2.16]과 같이 조종성능이 좋은 선박일 경우에는 기본 수로 폭이 1.3B이지만 조종성능이 나쁜 선박의 경우에는 성능이 좋은 선박의 경우보다 큰 1.8B의 기본 수로 폭이 필요하다.

[표 2.16] 선박통항 수로 폭

조종성능	선박통항 수로 폭
좋음	1.3B
보통	1.5B
나쁨	1.8B

② 교행선박 간 거리

선박의 폭이 30m를 넘으면 1B의 선박간 거리가 필요하고, 선박의 폭이 30m를

넘지 않으면 30m의 선박간 거리가 필요하다.

③ 교통의 혼잡도

수로 내를 통항하는 선박이 많을 경우에는 그 교통의 혼잡도에 따라서 추가적인 수로 폭이 필요하다. [표 2.17]과 같이 시간당 1척 미만의 선박이 통항하는 수로의 경우는 추가적인 수로 폭이 필요 없지만 시간당 3척 이상의 선박이 통항하는 수로의 경우는 0.4B의 추가 수로 폭이 필요하다.

[표 2.17] 교통의 혼잡도에 따른 추가 수로 폭

교통의 혼잡도	추가 수로 폭
혼잡하지 않음 (> 0~1선박/h)	0.0B
보통 (> 1~3선박/h)	0.2B
매우 혼잡 (> 3선박/h)	0.4B

④ 바람의 영향

바람은 선박이 안전하게 내륙수로를 항해하는데 있어 큰 영향을 미치는 요소이다. 그러므로 바람의 영향이 큰 수로에서는 추가적인 수로 폭이 필요하다. [표 2.18]과 같이 바람의 세기가 약 15.0kts보다 약한 수로에서는 선박의 조종성능에 상관없이 추가적인 수로 폭이 필요 없지만 바람의 세기가 33.0kts보다 센 지역에서는 조종성능이 매우 좋은 선박이라 할지라도 0.6B의 추가 수로 폭이 필요하다.

[표 2.18] 바람의 영향에 따른 추가 수로 폭

바람의 세기	선박의 조종성능		
	좋음	보통	나쁨
약함 (< 15kts)	0.0B	0.0B	0.0B
보통 (15~33kts)	0.3B	0.4B	0.5B
강함 (>33kts)	0.6B	0.8B	1.0B

⑤ 조류의 영향

조류의 영향을 무시할 수 있는 내륙수로를 제외하고 개방된 수로의 경우 조류에 의한 영향이 선박의 안전운항에 많은 영향을 미치는 요소이다. [표 2.19]는 수로를 이용하는 선박의 조종성능에 따라 조류의 세기가 각각 0.2kts ~ 1.5kts일 때 필요한 추가 수로 폭을 나타내고 있다. 즉, 조류의 세기가 매우 약한 곳의 경우보다 매우 강한 곳일 경우 약 0.7B ~ 1.3B의 수로 폭이 더 필요하고, 선박의 조종성능이 좋은 선박보다 나쁜 선박이 약 0.2B~0.5B의 수로 폭이 필요하다.

[표 2.19] 조류의 영향에 따른 추가 수로 폭

조류의 세기	선박의 조종성능		
	좋음	보통	나쁨
매우 약함 (< 0.2kts)	0.0B	0.0B	0.0B
약함 (0.2 ~ 0.5kts)	0.1B	0.2B	0.3B
보통 (0.5 ~ 1.5kts)	0.5B	0.7B	1.0B
강함 (> 1.5kts)	0.7B	1.0B	1.3B

⑥ 측벽현상

운하나 제한수로 형태의 수로를 선박이 통과할 때 수로의 측벽과 선박 사이에 유체역학적 영향으로 선박의 안전한 운항을 저해할 수 있다. 그래서 [표 2.20]과 같이 측벽현상이 발생하는 정도와 선박의 조종성능에 따라 필요한 수로 폭을 제시하고 있다. 여기서 측벽현상의 발생정도는 측벽의 형태, 수심/흘수 비, 선박의 속도, 조종성능, 조류 및 바람의 영향을 고려해서 측벽현상이 발생할 수 있는 가능성에 따라 낮음, 보통, 높음의 세단계로 분류하였다.

[표 2.20] 측벽현상에 따른 추가 수로 폭

선박의 조종성능	측벽현상이 발생하는 정도		
	낮음	보통	높음
좋음	0.5B	0.75B	1.0B
보통	0.75B	1.0B	1.25B
나쁨	1.0B	1.25B	1.5B

⑦ 항해보조 시설

항로표지 등 선박이 항해할 때 수로에 설치하여 선박의 안전항해에 도움을 주는 항해보조 시설은 그 상태에 따라 추가적인 수로 폭이 필요하다. [표 2.21]은 수로에 설치되어 있는 항해보조 시설의 상태에 따른 추가 수로 폭을 나타내고 있다.

[표 2.21] 항해보조 시설에 따른 추가 수로 폭

항해보조 시설	추가 수로 폭
매우 좋음	0.0B
좋음	0.1B
보통	0.2B
나쁨	0.5B

⑧ 선적화물의 위험도

선박이 선적하고 있는 화물의 위험도가 높아지면 그에 따라 수로에서의 선박 항해의 위험도도 높아진다. 그러므로 [표 2.22]와 같이 선적화물의 위험도에 따른 추가 수로 폭이 필요하다.

[표 2.22] 선적화물의 위험도에 따른 추가 수로 폭

선적화물의 위험도	추가 수로 폭
낮음	0.0B
보통	0.5B
높음	1.0B

⑨ 수심/흘수 비

수심/흘수 비에 따라서 선박의 조종성능에 많은 영향을 미치게 된다. [표 2.23]과 같이 수심/흘수 비가 1.5 이상일 경우에는 추가적인 수로 폭이 필요 없지만, 수심/흘수 비가 1.15 이하일 경우에는 0.4B의 추가 수로 폭이 필요하다.

[표 2.23] 수심/흘수 비에 따른 추가 수로 폭

수심/흘수의 비	추가 수로 폭
D/d > 1.50	0.0B
1.15 ≦ D/d ≦ 1.50	0.2B
D/d < 1.15	0.4B

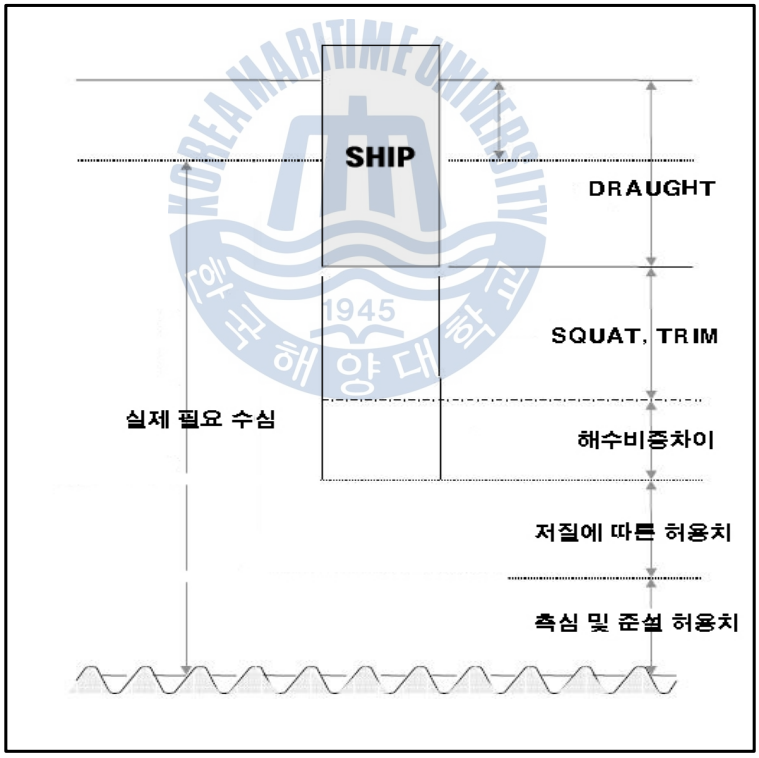
⑩ 수로의 바닥상태

수로를 이용하는 선박의 안전을 위해서 수로 바닥의 상태에 따라서 추가 수로 폭이 필요하다. [표 2.24]와 같이 안전한 수심이 확보된 수심/흘수 비 > 1.5의 경우에는 추가 수로 폭이 필요 없지만, 수심/흘수 비< 1.5인 경우에 수로의 바닥 상태에 따라서 0.1B에서 0.3B 정도의 추가 수로 폭이 필요하다.

[표 2.24] 수로의 바닥 상태에 따른 추가 수로 폭

수로의 수심	추가 수로 폭	
	H/d > 1.5	H/d < 1.5
평평하고 뻘로 이루어진 바닥	0.0B	0.1B
평평하고 약간 울퉁불퉁한 바닥	0.0B	0.1B
매우 울퉁불퉁한 바닥	0.0B	0.2B

(2) 수로의 수심



[그림 2.12] 수로의 수심 설계 시 고려사항

안전한 항해를 위한 수로의 수심을 산정할 때는 [그림 2.12]와 같이 선박의 흘수와 더불어 여러 가지 허용치를 고려해야 한다.

① 흘수

수로를 이용하게 될 선박의 흘수는 수로의 교통을 예측해서 결정해야 하며, 이 수치는 대상선박에 대한 경제적인 관점에서 평가가 이루어진 후에 결정해야 한다.

② 트림 및 선체침하현상

트림은 선박이 종방향의 기울어짐에 정도를 나타내는 것이며, 화물적재로 인해서 발생한다. 일반적으로 트림에 의한 허용치는 0.31m로 산정하는 것이 가장 적절하다. 선체침하현상은 선박이 천수지역을 항해할 때 선체 바닥과 수로 바닥 사이에 유체흐름으로 생기는 현상으로 캐나다 수로설계 지침에서는 선체침하현상을 [식 2.11]과 같이 계산한다.

- $Z(d/D^2) = a[V_s/\sqrt{gd}]^b[D/d]^c F_w$ ---------- **[식 2.11]**

여기에서,

Z : Squat

d : Draft

D : 수로 수심

V_s : 선박 속도

g : 중력가속도

W : 수로 폭

B : 선박 폭

F_w : 수로 폭 계수

- W > 9.61B 일 때 $F_w = 1$
- W < 9.61B 일 때 $F_w = \frac{3.1}{\sqrt{W/B}}$

a : 0.298

b : 2.289

c : -2.972

③ 파도의 영향에 의한 허용치

선박은 파도에 의한 영향으로 직선운동 및 회전운동을 하게 된다. 그래서 수로의 수심을 산정할 때, 이 선박의 운동에 의한 허용치를 고려해야 한다. 캐나다 수로설계 지침은 [표 2.25]와 같이 파도의 영향을 많이 받는 완전 개방되어 있는 수로의 경우 0.3m, 약간 개방된 수로의 경우 0.15m의 허용치가 필요하다.

[표 2.25] 수로의 개방 정도에 따른 수심의 허용치

수로의 개방 정도	수로 수심의 허용치
완전 밀폐된 수로	0.00m
약간 개방된 수로	0.15m
완전 개방된 수로	0.30m

④ 해수 비중에 따른 수심의 허용치

선박의 흘수는 해수의 비중에 따라서 차이가 난다. 즉, 유체의 비중이 낮은 담수지역에서는 비중이 높은 해수보다 선박의 흘수가 증가한다. 일반적으로 해수비중에 따른 허용치는 흘수의 2% ~ 3% 정도로 규정하고 있다.

⑤ 수로 바닥 저질에 따른 수심의 허용치

[표 2.26]과 같이 수로 바닥의 저질에 따라서 각각 다른 수심의 허용치를 제시하고 있다. 즉, 수로 바닥의 저질이 진흙일 경우에는 수심의 허용치가 0.25m, 모래의 경우 0.6m, 바위의 경우 0.9m의 여유수심을 가져야 한다.

[표 2.26] 수로바닥 저질에 따른 수심의 허용치

수로 바닥 저질	수로 수심의 허용치
진흙	0.25m
모래	0.60m
바위	0.90m

⑥ 측심 및 준설 허용치

수로를 측심할 때 발생할 수 있는 허용치와 수로 바닥의 상태와 준설장비의 성능에 따라 수로 바닥 준설의 정확도가 차이가 나므로 이에 따른 허용치를 산정해 줘야 한다. 일반적으로 측심 및 준설을 위한 허용치로서 0.3m의 추가 수심이 필요하다.

(3) 만곡부 수로의 배치

수로를 설계할 때 되도록 만곡부를 배치하지 않는 것이 바람직하지만 여러 가지 이유로 만곡부가 필요한 경우에 한하여 배치한다. 수로의 만곡부를 설계할 때에는 선박의 조종성능을 고려해야 하며, 선박의 조종이 어려운 만곡부의 경우에는 최소수로 폭에 추가수로 폭을 더하여 수로 폭 확장이 필요하다.

① 만곡부 수로의 곡률반경

선박의 선회 반지름은 만곡부의 교각에 따라서 다르다. [표 2.27]과 같이 만곡부 교각이 25°미만일 경우에는 3.0L의 선회반지름이 필요하고, 만곡부 교각이 55°이상일 경우에는 10L의 선회반지름이 필요하다. 즉, 만곡부 교각이 큰 만곡부 수로일수록 선회반지름이 커진다는 것을 알 수 있다.

[표 2.27] 만곡부 교각에 따른 만곡부 수로의 곡률반경

만곡부 교각	선회반지름
25° 미만	3L
25° ~ 35°	5L
35° ~ 55°	8L
55° 이상	10L

② 만곡부 수로의 폭

만곡부 수로를 통항할 시 직선수로보다 선박의 조종 상 어려움이 있다면 만곡부 수로에 대한 추가수로 폭이 필요하다. [식 2.12]는 추가수로 폭을 계산하는 식이다.

• $\Delta W = \frac{0.9144 \Phi V_s^2 L^2 F}{R_t C_c S}$ ----------[식 2.12]

여기에서,

ΔW : 만곡부에서 추가수로 폭 (m)

Φ : 만곡부 교각(°)

V_s : 만곡부에서의 선박의 통항 속도 (kts)

L : 선박의 길이 (m)

R_t : 선회 반지름 (m)

C_c : 선박의 조종성능 계수 (나쁨-1, 좋음-2, 매우 좋음-3)

S : 최소 시야거리 (2446m)

F : 1.0 (일방통항 수로), 2.0 (교행통항 수로)

2.2.6 일본의 수로설계 기준

일본은 WTO(세계무역협정) 가맹국으로서 TBT(무역 기술적 장벽에 관한 협정)에 의해 ISO(국제표준화기구) 등에서 책정하고 있는 국제규격을 준수하기 위하여 ISO2394(구조물의 신뢰성에 관한 일반 원칙)에 대응한 기술 기준을 수립할 필요성이 대두되어 1999년 이후부터 정부를 중심으로 해당 분야에 대한 전문연구를 본격적으로 시작하였다. 이러한 연구 결과는 2007년 5월 항만법(1951년 법률 제218호) 개정을 통해 항만 시설의 기술상 기준을 성능에 따라 규정화하

였다. 본 연구에서는 제4편 시설편의 제3장 수역시설에 기재된 수로, 수심 및 박지에 대한 개정된 설계 기준을 중심으로 분석하였다.

(1) 수로의 폭

수로의 폭은 대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우와 특정할 수 있는 경우로 나눈다.

① 대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우

대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우 아래와 같은 적절한 수로 폭을 설정해야 한다. 단, 수로 폭이 1.0L 미만의 경우에는 항해보조시설의 정비 등 안전상의 대책을 마련해야 한다.

- 선박의 교행이 예상되지 않는 경우: 0.5L
- 선박의 교행이 예상되는 수로: 1.0L
- 수로의 거리가 비교적 긴 경우: 1.5L
- 대상선박이 항로 항행 중에 빈번히 교행하는 경우: 1.5L

② 대상선박 및 항행환경을 특정할 수 있는 경우

- 일방통항 수로: $W_{B_1} + W_{M_0} + W_{B_2}$
- 교행통항 수로: $W_{B_1} + W_{M_1} + W_C + W_{M_2} + W_{B_2}$
- 교행통항 수로: $W_{B_1} + W_{M_{1-1}} + W_{OV_1} + W_{M_{1-2}} + W_C + W_{M_{2-1}} + W_{OV_2} + W_{M_{2-2}} + W_{B_2}$ (추월)

여기에서,

W_{B_1}, W_{B_2}	: 측벽영향 대응 수로 폭
W_{M_0}	: 일방통항 수로의 기본조선 수로 폭
W_{M_1}, W_{M_2}	: 교행통항 수로의 기본조선 수로 폭
W_C	: 교행조건 대응수로 폭

$W_{M_{1-1}}, W_{M_{1-2}}, W_{M_{2-1}}, W_{M_{2-2}}$: 추월 가능한 교행통항 수로의 기본수로 폭

W_{OV_1}, W_{OV_2} : 추월선박 간 거리

(2) 수로의 수심

수로의 수심은 대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우와 특정할 수 있는 경우로 나누며 조위, 수심 정확도 등을 고려해야 한다. 즉, 항해 시점의 조위는 일반적으로 최저수면을 초과하여, 이 최저수면상의 조위가 실제 수로의 이용에 있어 수심을 증가시키는 요소로 고려할 수 있다. 또한 해도 수심의 데이터 오차가 위험이 되는 가능성이 있지만, 준설이 실시된 경우에는 계획 수심에 대하여 일반적으로 수심에 여유가 있다. 따라서 수심이 충분하게 조사된 결과에 있어서의 해당 계획수심에 대한 여유 수심은 실제 운용에 있어 수심을 증가시키는 요소로 고려할 수 있다. 그리고 필요에 따라서 기압, 해저면의 저질, 해저의 장애물, 해수비중 등에 대해서도 고려하는 것이 바람직하다

① 대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우

- 너울 등의 파랑 영향이 예상되지 않는 항내 등의 수로 : D(수심)=1.10d(흘수)
- 너울 등의 파랑 영향이 예상되는 항외 등의 수로: D=1.15d
- 강한 너울과 같은 파랑이 예상되는 외해 등의 수로: D=1.20d

② 대상선박 및 항행환경을 특정할 수 있는 경우

대상선박 및 항행환경을 특정할 수 있는 경우는 [식 2.13]을 이용해 산정할 수 있다.

- D(수심): d(흘수) + Squat + MAX(D2, D3) + D4(여유수심) --------**[식 2.13]**

여기에서,

D2 : Heaving과 Pitching에 의한 선수침하량(λ>0.45Lpp 경우의 추가항목)

D3 : Heaving과 Rolling에 의한 선저 빌지부 침하량(TR≒TE의 경우)

λ : 너울 등과 같은 파랑의 파장

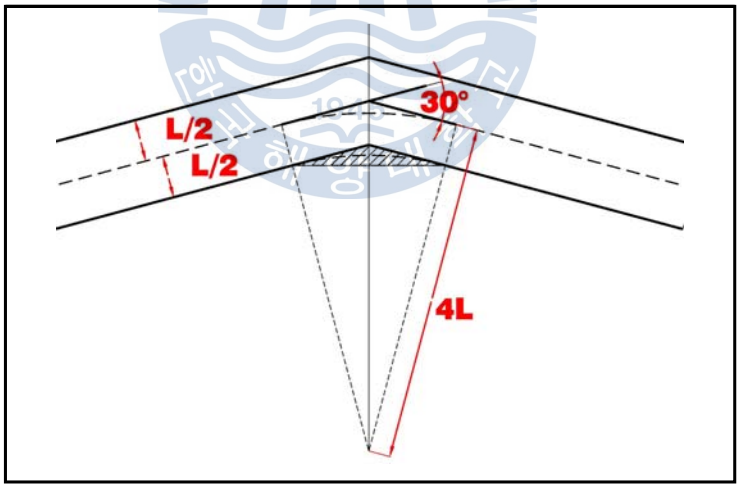
TR : 대상선박의 고유횡요주기(s)

TE : 검토 대상이 되는 너울 등의 파랑과 대상선박의 조우 주기(s)

(3) 항로 법선(만곡부 수로)

① 대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우

만곡부 교각이 30° 를 넘는 경우 만곡부 수로의 곡률반경은 대략 선박길이의 4배 이상이 되어야 하며, 수로 폭이 소요 수로 폭 이상이 되는 것이 바람직하다. 그리고 교행통항 수로에서 중심선의 교각이 30° 이상이면 [그림 2.13]과 같이 모서리를 절단하여 설정하는 것이 바람직하다. 또한 대상선박 및 항행환경에 따라서 선박길이(LOA)가 아닌 수선간장(LBP)을 적용할 수 있다.



[그림 2.13] 만곡부 수로에서의 굴곡부 수로 설계

② 대상선박 및 항행환경을 특정할 수 있는 경우

만곡부 교각이 30° 를 넘는 경우 선박의 선회성능을 나타내는 선회성지수를 기초로 곡률반경을 산정할 수 있다. 또한 만곡부 수로는 모서리를 절단하는 방

법을 사용하여 소요 수로 폭 이상으로 설계하는 것이 바람직하다. 그리고 만곡부 수로 폭의 확대는 해사관계자와의 의견조율을 통해 모서리 절단 이외에도 부이(Buoy)의 설치 등을 고려하여 곡선형상 등으로 할 수 있다. 특히 곡률반경이 큰 경우 만곡부 부분을 절단하는 방법보다 곡선형상이 선박안전성의 관점에서 더욱 유효할 수 있으므로 곡선형상에 대한 검토도 수행하는 것이 바람직하다.

2.3 외국의 내륙수로설계지침 비교 분석

지금까지 조사·분석한 PIANC 지침, USACE 설계지침, 네덜란드 수로설계 지침, NAVFAC DM-26.1 지침, 캐나다 수로설계 지침, 일본의 수로설계 지침을 수로의 폭, 수로의 수심, 만곡부 수로의 배치에 대해 간략하게 정리하면 다음과 같다.

2.3.1 내륙수로 설계지침 분석

(1) 수로의 폭

수로 폭에 대하여 [표 2.28]과 같이 외국의 수로설계 지침을 비교·분석하였다.

PIANC 지침은 일방통항 수로와 교행통항 수로를 나누어 제시하였으며 측벽현상, 선박 간 상호작용 등 내륙수로 설계 시 반드시 검토해야 할 사항을 고려했다는 점에서 가장 신뢰할 수 있는 가이드라인이라 할 수 있다. 또한 선박의 속도, 바람, 조류, 파고, 항로표지, 해저지형, 수심, 선적화물의 위험도에 따라 필요한 추가 수로 폭을 제시함으로써 안전적인 측면에서도 내륙수로의 설계지침으로 적절하다고 판단된다.

USACE 설계지침은 조류의 세기, 항해보조시설의 상태, 수로의 형태, 일방통항

수로와 교행통항 수로로 나누어 적정수로 폭을 규정하고 있다. 특히, Shallow water 수로, Trench 수로, Canal 수로로 나누어 가이드라인을 제시하였다는 특징이 있다. 그러나 내륙수로 설계 시 반드시 고려해야 할 측벽현상, 바람에 의한 영향을 지침에 반영하지 않았다는 한계가 있다.

네덜란드 수로설계지침은 수로 저폭의 수로 폭, 만재선박의 필요수로 폭, 횡풍의 영향을 고려한 공선선박의 필요수로 폭에 대해 일반수로와 매우 좁은 수로로 나누어 가이드라인을 제시하고 있다. 특히, PIANC 지침이나 USACE 설계지침은 수로 폭을 수로 저폭을 기준으로 가이드라인을 제시하고 있으나 네덜란드 수로설계지침은 선박흘수의 수심선을 기준으로 가이드라인을 제시하고 있다는 특징이 있다. 그러나 네덜란드 수로설계지침은 내륙수로 설계 시 반드시 고려해야 할 측벽현상, 선박 상호작용, 수로의 형태 등이 지침에 반영되어 있지 않다는 한계가 있다고 할 수 있다.

NAVFAC DM-26.1 지침은 수로의 형태, 선박의 조종성능을 고려하여 수로 설계에 대한 가이드라인을 제시하였다. 그러나 내륙수로에서의 안전운항에 매우 중요한 요소인 측벽현상, 선박 간 상호작용, 바람의 영향을 반영하지 않았다는 한계가 있다.

캐나다 수로설계 지침의 수로 폭은 PIANC 지침의 내용을 모두 반영하고 있으며, 교통의 혼잡도를 고려해서 추가적인 수로 폭을 산정하는 특징이 있다.

일본의 수로설계지침은 대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우와 특정할 수 있는 경우로 나누어 수로 폭에 대한 가이드라인을 제시하였다. 즉, 대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우 수로의 길이, 교행의 가능성으로 수로 폭을 산정할 수 있도록 하였으며, 특정할 수 있는 경우는 수로 안벽과의 거리, 교행선박 간의 거리 등 내륙수로에서 적용할 수 있는 가이드라인을 제시하였다.

[표 2.28] 수로의 폭에 대한 외국의 지침별 비교

설계기준	각 지침의 내용
PIANC 지침	◇ 일방통항 수로: $w = w_{BM} + \sum_{i=t}^{n} w_i + w_{Br} + w_{Bg}$ ◇ 교행통항 수로: $w = 2w_{BM} + 2\sum_{i=t}^{n} w_i + w_{Br} + w_{Bg} + \sum w_p$ ◆ **고려사항:** 조류세기, 수로의 형태, 항해보조시설, 해저지형, 선박속도 교통량, 선박의 조종성능, H/d, 선적화물의 위험도, 파도 ◆ **측벽현상, 선박 간 상호작용 검토** ◆ **운항자의 피로도, 맹목구간, 심리적 안전이격거리 미 검토**
USACE 설계지침	◇ 일방통항 수로 : $w = (2.5 \sim 4.0)B$ ◇ 교행통항 수로 : $w = (4.5 \sim 6.5)(\frac{B_d + B_t}{2})$ ◆ **고려사항:** 조류의 세기, 수로의 형태, 항해보조시설 ◆ **측벽현상, 선박 간 상호작용, 바람의 영향 미 검토** ◆ **운항자의 피로도, 맹목구간, 심리적 안전이격거리 미 검토**
네덜란드 수로설계 지침	◇ 일방통항 수로 : $w = (2.0 + \Delta w)B$ ◇ 교행통항 수로 : $w = [(3.0 \sim 4.0) + \Delta w]B$ ◆ **고려사항:** 수로의 형태, 바람 ◆ **측벽현상, 선박 간 상호작용 미 검토** ◆ **선박흘수 수심선을 기준으로 수로 폭 제시** ◆ **운항자의 피로도, 맹목구간, 심리적 안전이격거리 미 검토**
NAVFAC DM-26.1 지침	◇ 일방통항 수로 : $w = (2.8 \sim 6.0)B$ ◇ 교행통항 수로 : $w = (5.4 \sim 9.0)B$ ◆ **고려사항:** 수로의 형태, 선박의 조종성능 ◆ **측벽현상, 선박 간 상호작용, 바람의 영향 미 검토** ◆ **운항자의 피로도, 맹목구간, 심리적 안전이격거리 미 검토**

설계기준	각 지침의 내용
캐나다 수로설계 지침	◇ 일방통항 수로= 기본수로 폭 + 좌우현 안벽간 거리 + 추가수로 폭 ◇ 교행통항 수로= 기본수로 폭 + 좌우현 안벽간 거리 + 추가수로 폭 + 교행선박간 거리 ◆ **고려사항:** 교통의 혼잡도, 바람, 조류, 항해보조시설, H/d 선적화물의 위험도, 수로의 바닥상태 ◆ **측벽현상, 선박 간 상호작용 검토** ◆ **운항자의 피로도, 맹목구간, 심리적 안전이격거리 미 검토**
일본 수로설계 지침	◇ *대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우* - 선박의 교행이 예상되지 않는 경우: 0.5L - 선박의 교행이 예상되는 항로: 1.0L - 항로의 거리가 비교적 긴 경우: 1.5L - 대상선박이 항로 항행 중에 빈번이 교행하는 경우: 1.5L ◇ *대상선박 및 항행환경을 특정할 수 있는 경우* - $W_{B_1} + W_{M_0} + W_{B_2}$ (일방통항 수로) - $W_{B_1} + W_{M_1} + W_C + W_{M_2} + W_{B_2}$ (교행통항 수로) - $W_{B_1} + W_{M_{1-1}} + W_{OV_1} + W_{M_{1-2}} + W_C + W_{M_{2-1}} + W_{OV_2} + W_{M_{2-2}} + W_{B_2}$ (추월이 가능한 교행통항 수로) ◆ **고려사항: 항로의 길이, 선박의 교행여부, 선박의 추월여부** ◆ **측벽현상, 선박 간 상호작용 고려** ◆ **운항자의 피로도, 맹목구간, 심리적 안전이격거리 미 검토**

지금까지 PIANC 지침, USACE 설계지침, 네덜란드 수로설계 지침, NAVFAC DM-26.1 지침, 캐나다 수로설계 지침, 일본의 수로설계 지침에서 수로 폭 설계의 가이드라인에 대해 정리하였다. 각 지침 중 PIANC 지침과 캐나다 수로설계 지침이 수로 폭 설계에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 요인을 고려해서 가이드라인을 제시하였다. 또한 내륙수로 설계 시 중요한 사항인 측벽현상, 선박 간 상호작용, 바람 등에 의한 영향을 고려했다는 점에서 내륙수로 설계지침으로 사용하기에 적절하다고 사료된다. 그러나 조사·분석한 다섯 개의 지침 모두에서 좁은 내륙수로를 운항하면서 발생하는 선박운항자의 피로도, 맹목구간, 좁은 내륙수로 및 선박 간 교행통항 시의 심리적 안전이격거리를 고려하지 않

았다는 점에서 한계가 있다고 할 수 있다.

(2) 수로의 수심

수로의 수심에 대한 외국의 지침을 정리하면 [표 2.29]와 같다. 지침을 비교·분석해 보면 네덜란드 수로설계 지침을 제외하고 매우 유사하다는 것을 알 수 있다. 즉, 수로의 수심을 설계할 때는 선박의 흘수, 조석의 높이, 선체침하현상, 파도의 영향, 해저지형, 해수의 비중, 최소안전 수심을 모두 고려한다. 단 PIANC 지침에서는 수심/흘수 비를 이용해서 간단하게 수로의 수심을 설계할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 하지만 네덜란드 수로설계 지침은 수로의 수심을 설계할 때 필요한 여러 가지 요인에 대한 언급이 없으며, 단지 간단하게 수심/흘수 비를 이용해 일반수로, 매우 좁은 수로, 일방통항 수로에 일률적으로 적용 가능한 지침을 제시하고 있다.

[표 2.29] 수로의 수심에 대한 외국의 지침별 비교

설계기준	각 지침의 내용
PIANC 지침	◇ **고려사항**: 선박의 흘수 + 조석의 높이 + 선체침하현상 + 파도 + 해저지형 + 해수의 비중 ◆ 폐쇄된 해역 : H/d(수심/흘수) ≥ 1.0 ◆ 1.0m의 파도 해역 : H/d ≥ 1.3 ◆ 일정하지 않은 파도 해역 : H/d ≥ 1.5 ◆ Fuoude depth Number($F_{nh} = V/(\sqrt{gh})$)가 0.7보다 작아야 함
USACE 설계지침	◇ **고려사항**: 선박의 흘수 + 조석의 높이 + 선체침하현상 + 파도 + 해저지형 + 해수의 비중 + 절대여유 수심
네덜란드 수로설계 지침	◆ 일반수로 : 1.4 H/d(수심/흘수) ◆ 매우 좁은 수로 : 1.3 H/d(수심/흘수) ◆ 단독통항 수로 : 1.3 H/d(수심/흘수)
NAVFAC DM-26.1 지침	◇ **고려사항:** 선박의 흘수 + 조석의 높이 + Squat + 파도 + 해저지형 + 해수의 비중 +화물적재 상태 + 절대여유 수심

설계기준	각 지침의 내용
캐나다 수로설계 지침	◇ **고려사항:** 선박의 흘수 + 조석의 높이 + 선체침하현상 및 트림 + 해수비중 + 해저 지형 + 준설 측심의 오차
일본 수로설계 지침	◇ **고려사항**: 선박의 흘수 + 조석의 높이 + 선체침하현상 및 트림 + 해저지형 + 준설 측심의 오차 + 해저저질 + 해수비중 ◆ *대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우:* - 항내의 수로(파랑의 영향 없음) : H/d(수심/흘수)비= 1.1 - 항외의 항로(파랑의 영향 있음) : H/d= 1.15 - 외해의 항로(강한 파랑의 영향) : H/d= 1.20 ◆ *대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우:* d(흘수) + Squat + 선박운동으로 인한 흘수증가 + D4(여유수심)

(3) 만곡부 수로의 폭 및 곡률반경

만곡부 수로의 폭 및 곡률반경에 대한 외국의 지침을 정리하면 [표 2.30]과 같다. 지침을 비교·분석해 보면 PIANC 지침을 제외한 다른 지침은 만곡부 수로의 배치에 대해서 비교적 구체적인 가이드라인을 제시하고 있다. PIANC 지침은 수심/흘수 비에 따른 Sweep Path 값을 실험에 의한 그래프를 이용해서 곡선수로의 폭을 산정하였으며, 수심/흘수 비에 따른 곡률반경 그래프를 이용해 곡선수로의 곡률반경을 산정하였다.

[표 2.30] 만곡부 수로의 폭, 곡률반경에 대한 외국의 지침 별 비교

<table>
<tr><th rowspan="2">설계기준</th><th colspan="2">각 지침의 내용</th></tr>
<tr><th>곡선수로의 폭</th><th>곡률반경</th></tr>
<tr><td>PIANC 지침</td><td>◇ Sweep path + 직선수로 폭</td><td>◇ 선박의 타각에 따른 H/d 그래프 이용</td></tr>
<tr><td>USACE 설계지침</td><td>
<table>
<tr><th>만곡부 교각 (°)</th><th>추가 수로 폭 / 선박 폭</th></tr>
<tr><td>0-10</td><td>0</td></tr>
<tr><td>10-25</td><td>2.0-1.0</td></tr>
<tr><td>25-35</td><td>1.0-0.7</td></tr>
<tr><td>35-50</td><td>0.7-0.5</td></tr>
<tr><td>>50</td><td>0.5</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><th>만곡부 교각</th><th>곡률반경/ 선박길이</th></tr>
<tr><td>0-10</td><td>0</td></tr>
<tr><td>10-25</td><td>3-5</td></tr>
<tr><td>25-35</td><td>5-7</td></tr>
<tr><td>35-50</td><td>7-10</td></tr>
<tr><td>>50</td><td>>10</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>네덜란드 수로설계 지침</td><td>◇ 곡률반경>10L (불필요)
◇ $\mathcal{E}$>30° : $\Delta B = \frac{(C1+C2)\times L^2}{R}$
◇ 20° < $\mathcal{E}$ < 30° :
$\Delta B = \frac{\varepsilon}{30} \times \frac{(C1+C2)\times L^2}{R}$</td><td>◇ 일반적인 수로 : 6L
◇ 매우 좁은 수로 : 4L</td></tr>
<tr><td>NAVFAC DM-26.1 지침</td><td>◇ 만곡부 교각이 10° 이상이면 추가수로 폭 필요
◇ 만곡부 수로의 추가수로 폭은 수로의 형태에 따라 각각 상이</td><td>◇ 만곡부 각도를 기준으로 한 곡률반경
$\mathcal{E}$ < 25°, R=3L
25° < $\mathcal{E}$ < 35°, R=5L
$\mathcal{E}$ >35°, R=10L
◇ 선박길이를 기준으로 한 곡률반경
L<150m, R=1,200m
L=150m, R=2,100m
150m<L<210m, 2100m<R<3000m</td></tr>
<tr><td>캐나다 수로설계 지침</td><td>◇ $\Delta W = \frac{0.9144\Phi V_s^2 L^2 F}{R_t C_c S}$</td><td>
<table>
<tr><th>만곡부 교각</th><th>선회반지름</th></tr>
<tr><td>25° 미만</td><td>3L</td></tr>
<tr><td>25° ~ 35°</td><td>5L</td></tr>
<tr><td>35° ~ 55°</td><td>8L</td></tr>
<tr><td>55° 이상</td><td>10L</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

설계기준	각 지침의 내용	
	곡선수로의 폭	곡률반경
일본 수로설계 지침	◆ *대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우* - 소요수로 폭 이상의 폭을 설정 - 왕복수로의 경우 만곡부 내측에 수로 폭 확장 ◆ *대상선박 및 항행환경을 특정할 수 있는 경우* - 소요수로 폭 이상의 폭을 설정 - 왕복수로의 경우 만곡부 내측수로 폭 확장 - Buoy등을 설치한 곡선수로	◆ *대상선박 및 항행환경을 특정할 수 없는 경우* - 만곡부 교각이 30° 이상일 경우: 4L ◆ *대상선박 및 항행환경을 특정할 수 있는 경우* - 만곡부 교각이 30° 이상일 경우: 선박의 선회성 지수에 따라 결정

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

3장 내륙수로 설계기준 제시를 위한 시뮬레이션 검토

수로의 설계 시 고려해야 할 요인을 선박요인, 인적요인, 환경요인으로 나누어 볼 수 있다. 즉, 선박 건조 기술의 발달로 인해 신형 특수선 및 대형선들이 다량 출현함으로써 이들 대형선들의 사고로 야기될 수 있는 막대한 경제적, 환경적 피해에 대한 우려와 관심이 증대됨에 따라 선박의 요인을 고려해야 한다. 그리고 바람 및 조류, 파도 등과 같은 외부 환경적인 영향으로 인해 선박 항행에 영향을 미치기 때문에 환경적인 요인을 고려해야 한다. 또한 선박의 운항은 선박운항자의 경험과 기술을 이용한 상황 판단에 의해 이루어지기 때문에 인적요인을 고려해야 하는 것이다.

그래서 본 연구에서는 내륙수로설계 기준에 인적요인을 고려하기 위해서 선박조종시뮬레이션 자료를 활용하였다. 이 시뮬레이션 자료는 우리나라 선박 운항자를 대상으로 내륙수로에서의 다양한 시뮬레이션을 수행하였기 때문에 내륙수로 설계에 있어서 인적요인을 고려할 수 있는 적절한 자료라고 판단하였다.

본 연구에서 사용한 선박조종시뮬레이션 자료는 한국해양연구원에서 2009년에 실시한 경인 아라뱃길 대상선박 선박조종시뮬레이션 자료와 2010년에 실시한 경인 아라뱃길 시설공사 실시설계 선박조종시뮬레이션 자료를 활용하였다.

3.1 시뮬레이션 방법

3.1.1 개요

시뮬레이터란 일반적으로 어떤 특정한 물리적인 현상을 수학 모델화하여 수식으로 표현하고 이를 바탕으로 여러 가지 전자 장치나 계기를 이용하여 그 상황

을 재현하는 장치를 의미한다.

이러한 시뮬레이터 시스템은 여러 가지 특수한 상황에서의 선박의 조종성 특성에 관한 연구뿐만 아니라 입·출항 시의 안전성 검토, 사고 상황의 재현 및 원인 분석 등 선박의 안전 운항을 위하여 유용하게 사용될 수 있으며, 항만이나 수로의 설계 및 안전성 검토, 그리고 항만 관제 시스템 개발 등에도 활용되고 있다. 실험에는 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에서 개발하여 운용되고 있는 FMBS(Full Mission Bridge Simulator : 전기능 시뮬레이터 시스템) System인 KRISIM을 사용하였다.

본 시뮬레이터는 입력된 여러 항구 자료와 다양한 종류의 선박 제원 등의 데이터베이스를 이용하여 시뮬레이션을 수행할 수 있고 여러 가지 해상 상태(조류, 바람, 파도, 안개 등), 항행환경 조건(수심, 제한수로, 타선 운항과 같은 해상교통상황), 그리고 예선의 조력과 같은 효과를 시뮬레이션 시에 고려할 수 있다. 또한, [그림 3.1]과 같은 두 대의 시뮬레이터 시스템을 연동하여, 두 선박의 교행상황과 같은 복잡한 시뮬레이션도 [그림 3.2]의 시스템 통제 하에 수행이 가능하다. 이러한 기능을 사용함으로써 항로의 준설, 부두 확장이나 신설 등은 물론 새롭게 건설되는 항만이나 부두, 수로의 경우에도 예상되는 해역에서의 선박의 운항 안전성 평가 및 수역시설의 설계 적정 여부를 선박 운항자 관점에서 다양하게 미리 검토해 볼 수 있다. 또한 새롭게 건조되는 선박의 여러 가지 상황에서의 운항성능을 그 선박의 항행환경을 고려하여 건조 전에 미리 시뮬레이션을 수행함으로써 검토해 볼 수도 있다.

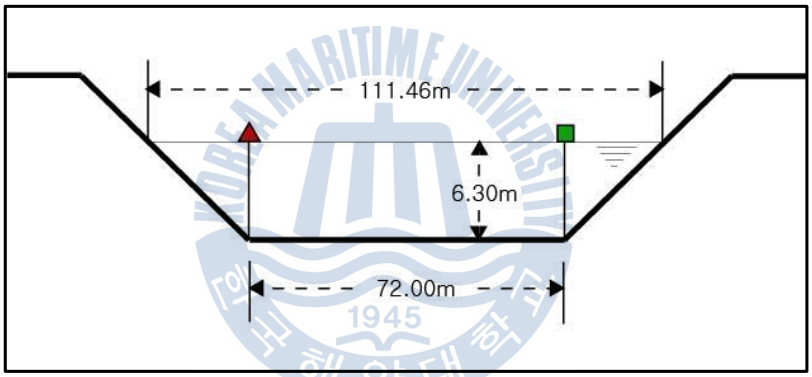
[그림 3.1] KRISIM의 시뮬레이터

[그림 3.2] 시뮬레이션 조종콘솔

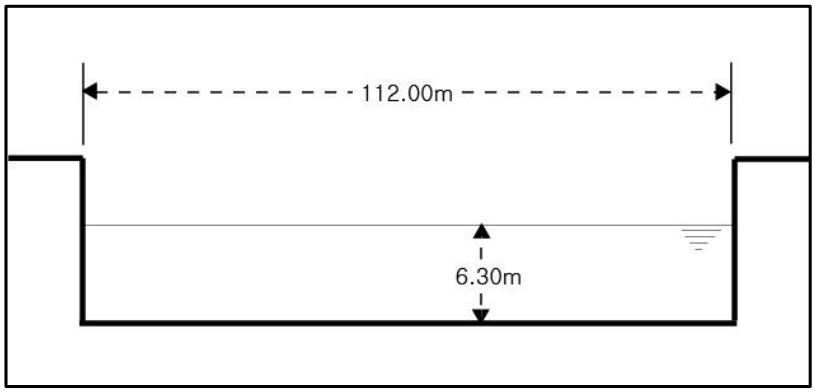
3.1.2 선박조종시뮬레이션의 대상 수로

경인 아라뱃길의 선박조종시뮬레이션의 대상수로로는 약 18㎞의 주운수로 구간이다. 이 주운수로 구간은 크게 세부분으로 나눌 수 있다. 첫째, 수로의 형태가 사면형으로 되어 있는 직선수로 구간, 둘째, 직립식 형태로 되어 있는 부분인 직립식 수로구간, 셋째, 만곡부 수로구간이다.

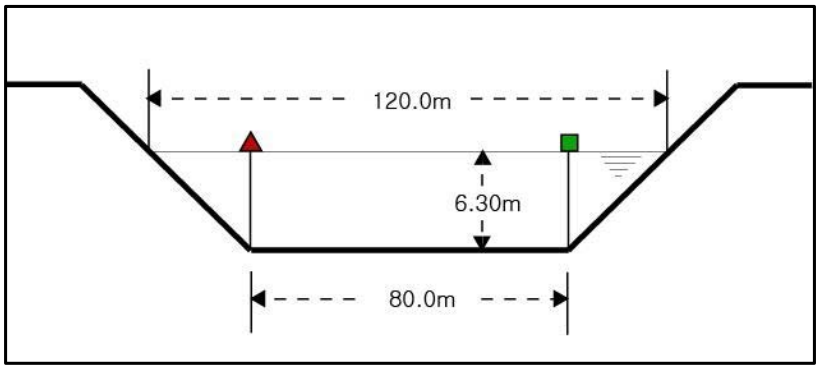
이 연구에서는 [그림 3.3]과 같이 수로 폭 72m의 사면형 직선수로, [그림 3.4]의 수로 폭 112m의 직립형 직선수로, [그림 3.5]의 80m의 만곡부 수로, [그림 3.6]과 같이 수로 폭 100m의 만곡부 수로에 대한 선박조종시뮬레이션을 실시하였다.



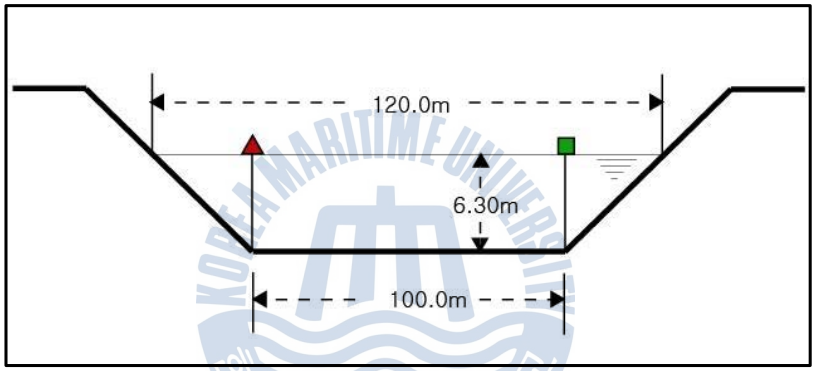
[그림 3.3] 선박조종시뮬레이션 직선수로 - 72m



[그림 3.4] 선박조종시뮬레이션 직선수로 - 112m



[그림 3.5] 선박조종시뮬레이션 만곡부 수로 - 80m



[그림 3.6] 선박조종시뮬레이션 만곡부 수로 - 100m

3.1.3 시뮬레이션 대상 선박

(1) 대상선박의 설정

본 연구에서는 경인 아라뱃길 주운수로의 운항계획에 따라 [표 3.1]과 같이 250TEU급 컨테이너선을 대상선박으로 하여 시뮬레이션을 수행한 자료를 조사·분석하였다. 이 시뮬레이션 대상선박인 250TEU급 컨테이너선은 한국해양연구원에서 관련 자료를 보유하고 있는 선박들 중 표준조종성능을 보유한 동급의 선박을 대상으로 하여 모델링한 것이다.

[표 3.1] 대상 선박의 주요 제원

구분	전장 (m)	선폭 (m)	흘수 (m)	선속 (knots)	엔진 대수	Bow Thruster
250TEU 급 컨테이너선	120.4	15.9	4.5	13.0	1기	선수 1

(2) 대상선박 모델링

대상선박인 250TEU급 컨테이너선에 대해 선박을 모델링 한 후 시험 한 결과에서 [표 3.2]와 같은 Turning circle 자료와 [표 3.3]과 같이 zig-zag 시험 결과를 얻었다.

[표 3.2] Turning circle 시험 추정 결과

Rudder Angle (deg.)	Advance (90 deg.) (L_{PP})	Transfer (90 deg.) (L_{PP})	Tact. Diam. (L_{PP})	Steady Drift Angle (deg.)	Final Speed (Knots)	비고
35.0	3.33	-1.56	3.56	-19.2	5.50	천수 지역
-35.0	3.33	1.56	3.56	19.2	5.50	

[표 3.3] Zig-Zag 시험 추정 결과

구분	1st Overshoot Angle (deg.)	2nd Overshoot Angle (deg.)	3rd Overshoot Angle (deg.)	비고
10/10	9.3	12.1	11.6	천수 지역
20/20	14.0	12.8	12.0	

(3) 자선(自船) 모델링 검증

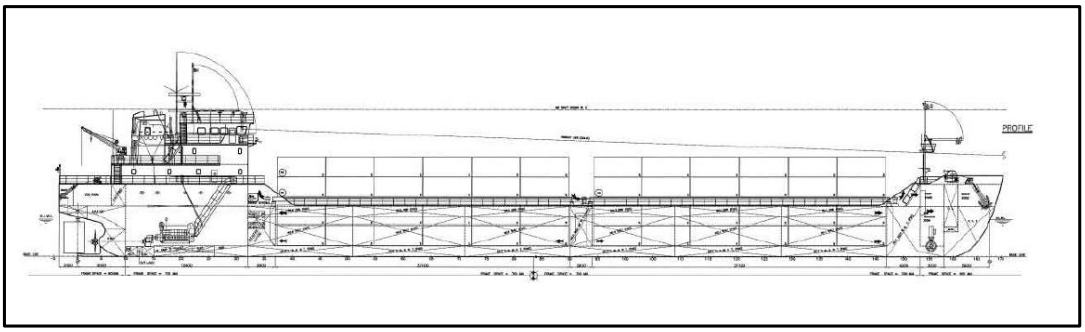
선박조종시뮬레이션에서 사용된 선박의 주요 조종성능 모델링 결과가 국제기준에 적합한지를 검증하기 위하여 국제해사기구(IMO)의 조종성능 기준(Maneuvering Standards)과 비교하였다. [표 3.4]에서 볼 수 있듯이 대상선박의 선회성능 및 Zig-Zag 성능은 모두 IMO의 조종성능 기준을 만족시키고 있음을 알 수 있다.

[표 3.4] 250TEU급 컨테이너선 조종성능 모델링과 IMO 기준 비교

Measure of Maneuverability	Criteria and Standard	Maneuver	IMO Standard	모델링 결과
Turning Ability	Tactical Diameter	Turning Circle	$TD < 5L$	$TD = 3.56L$
	Advance		$Ad < 4.5L$	$Ad = 3.33L$
Course Changing and Yaw Checking Ability	First Overshoot Angle	10/10 Zig-zag test	$a10_1 \leq f_{101}(L/V)$	$a10_1 = 9.32^\circ$ $f_{101}(L/V) = 14.9^\circ$
	Second Overshoot Angle		$a10_2 \leq f_{102}(L/V)$	$a10_2 = 12.14^\circ$ $f_{102}(L/V) = 32.4^\circ$
	First Overshoot Angle	20/20 Zig-zag test	$a20_1 \leq 25$	$a20_1 = 14.03^\circ$

(4) 3차원 형상 모델링

경인 아라뱃길 선박조종시뮬레이션 시 사용한 대상 선박의 3차원 모델링 결과는 [그림 3.7]과 같다.



[그림 3.7] 250TEU급 컨테이너선 설계도면

3.1.4 대상해역 자연환경

선박조종시뮬레이션을 수행할 때 대상해역의 자연환경을 파악하여 시뮬레이션 수행 시 반영함으로써 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 얻을 수 있다. 그래서 경인아라뱃길 선박조종시뮬레이션을 수행할 때 [표 3.5]와 같이 기상자료를 분석하였으며, [표 3.6]과 같이 내륙수로에서 가장 중요한 요소인 풍향, 풍속에 대해 분석하였다.

기상자료 분석은 경인 아라뱃길 사업구간이 서울 측 한강 하류에서 인천 영종도 앞바다 까지 이므로 서울 및 인천기상대의 관측 자료가 대표성이 있을 것으로 판단되어 이 두 관측소의 1977년부터 2007년까지의 관측기록을 분석, 검토하였다.

[표 3.5] 서울 및 인천관측소 기상자료

관측소	안개발생 시간 (hr)	상대습도 (%)	일조율 (%)	평균풍속 (m/sec)	최대풍속 (m/sec)	적설량 (cm)
서울	54.74	65.2	46.5	2.3	12.9	10.6
인천	261.53	69.3	51.7	3.0	16.4	8.1

[표 3.6] 풍향별 출현율(%)

구분	정온	북북동	북동	동북동	동	동남동	남동	남남동	남	남남서	남서	서남서	서	서북서	북서	북북서	북
서울	5.1	4.4	13.2	10.9	3.0	1.3	1.3	1.0	1.5	3.3	8.1	9.1	15.9	11.6	5.9	2.1	2.2
인천	3.4	5.3	3.5	3.5	4.1	3.9	4.9	6.1	6.6	6.8	6.7	6.1	7.4	7.7	9.1	8.4	6.7

[표 3.5]와 [표 3.6]의 자료를 통해 분석해 보면 서울지역에서의 최대풍속이 12.9m/s, 인천지역의 최대풍속이 16.4m/s였다. 그리고 풍향별로는 서울지역에서는 서북서계열, 인천지역에서는 북서계열의 풍향 출현율이 높았다.

3.2 선박조종시뮬레이션 결과 분석 항목

선박조종시뮬레이션 결과의 평가는 수로의 좌·우현측으로 설치된 항로표지 및 교행선박과 대상선박과의 근접 정도를 나타내는 근접도 평가 그리고 선박제어에 곤란함과 어려움을 판단하는 제어도 평가로 이루어진다. 또한 상선 선장 및 도선사로 구성된 선박운항자의 선박조종시뮬레이션 과정의 의견을 수렴한 선박조종자의 주관적 평가로 나누어 실시하였다. 이 결과 분석 항목은 2009년 11월에 발효된 국토해양부의 해상교통 안전진단제도 평가 기준에 의거하여 충돌(침범) 확률이 1×10^{-4} 미만이고, 타각 및 엔진의 여유 제어량이 50% 이상이며, 운항자의 주관적 평가가 평균 -2.0 이상인 경우, 선박이 수로를 교행통항하거나 일방통항할 때 안전성이 확보된다고 판단하도록 하고 있다.

3.2.1 주관적 운항 난이도 분석

각각의 시뮬레이션 종료 후, 선박운항 궤적과 Debriefing Sheet를 선박 운항자에게 제공하여 운항 시뮬레이션 당시 상황에 대한 주관적 의견을 각각 기술

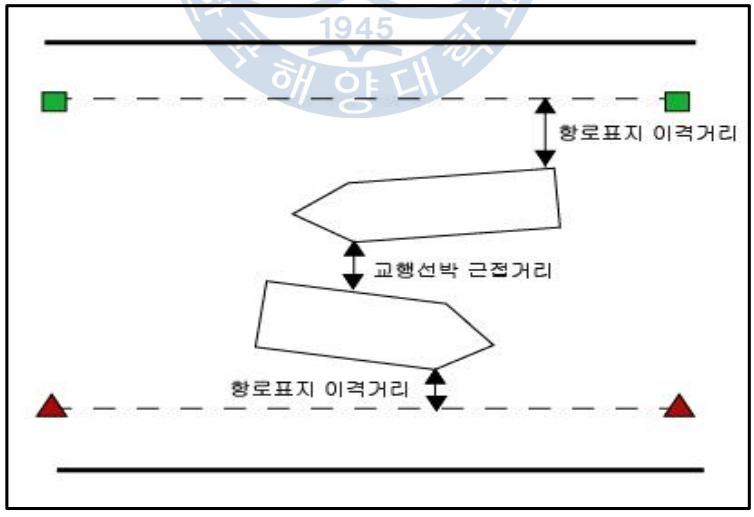
하게 하였으며(Debriefing), 이와 함께 당시 운항 상황에 대해 선박 운항자가 느낀 주관적 운항 난이도를 [표 3.7]과 같이 7점 척도로 나누어 기록하게 하였다.

[표 3.7] 주관적 운항 난이도 7점 척도

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
상당한 위험 존재	위험	약간 위험	안전하지도 위험하지도 않음	약간 안전	안전	확실한 안전이 보장됨

3.2.2 안벽충돌 확률 및 교행선박 간 근접거리 분석

주운수로구간에서 선박이 통항할 경우 수로 안벽 간 충돌 확률 및 선박 간 교행 시 근접거리를 [그림 3.8]과 같이 측정하였다.



[그림 3.8] 교행선박과 항로표지 근접거리 개념도

주운수로 안벽과의 충돌확률의 경우 선박의 궤적분포를 정규분포(Normal

Distribution)로 가정하여 각각의 시뮬레이션 결과로부터 궤적의 평균값(μ) 및 표준편차(σ)를 구하고, 이를 이용하여 선체와 주운수로 가항 수로 폭 끝단과의 접촉 확률을 추정하였다.

3.2.3 선박 운항자 의견수렴 분석

선박운항자의 의견수렴 분석 사항은 우리나라 현실에 맞는 내륙수로 설계기준을 제시할 때 매우 중요한 사항이기 때문에 네가지의 사항에 대해서 실시하였으며 항목은 아래와 같다.

- 선박간의 교행이 가능한가?
- 교행 시 타선과의 안전이격거리는 얼마가 적당한가?
- 교행 시 제방과의 안전이격거리는 얼마가 적당한가?
- 교행가능 최대 수로 폭은 얼마가 적당한가?

3.3 선박조종시뮬레이션 수행 및 분석

3.3.1 선박조종시뮬레이션 조건 설정

본 연구를 위해 선박조종시뮬레이션의 통항 및 환경조건을 [표 3.8]과 같이 구성하였다.

[표 3.8] 시뮬레이션 조건 설정

내용	시뮬레이션 조건	비고
대상 선박	- 250TEU급 컨테이너선	- 직선 수로구간 일방 및 교행통항 - 수로 폭 확장 구간 일방 및 교행통항 - 만곡부 수로구간 일방 및 교행통항 - 만곡부 수로의 수로 폭 확장구간의 일방 및 교행통항
풍향	- NW (315°), SE (135°)	- 통항 시 불리한 풍향조건 설정
풍속	- 10 ~ 20 kts	- 통항조선 한계치
시계	- 시정 약 5.0 mile	- 통상적인 시정 상황 부여

[표 3.8]과 같이 250TEU급 컨테이너선에 대해 직선 수로구간의 일방 및 교행통항, 직립식 수로구간의 일방 및 교행통항, 수로 폭 확장구간의 일방 및 교행통항, 만곡부 수로구간의 일방 및 교행통항 선박조종시뮬레이션을 실시하였다.

선박조종시뮬레이션 시 입력하는 자연환경 조건 중 바람은 통항 시 불리한 방향으로 풍향을 설정하였으며, 풍속은 일반적인 통항조선 한계치인 10kts ~ 20kts로 설정하였다. 또한 수로의 시계는 통상적인 시정 상황인 5마일(mile)로 설정하였다.

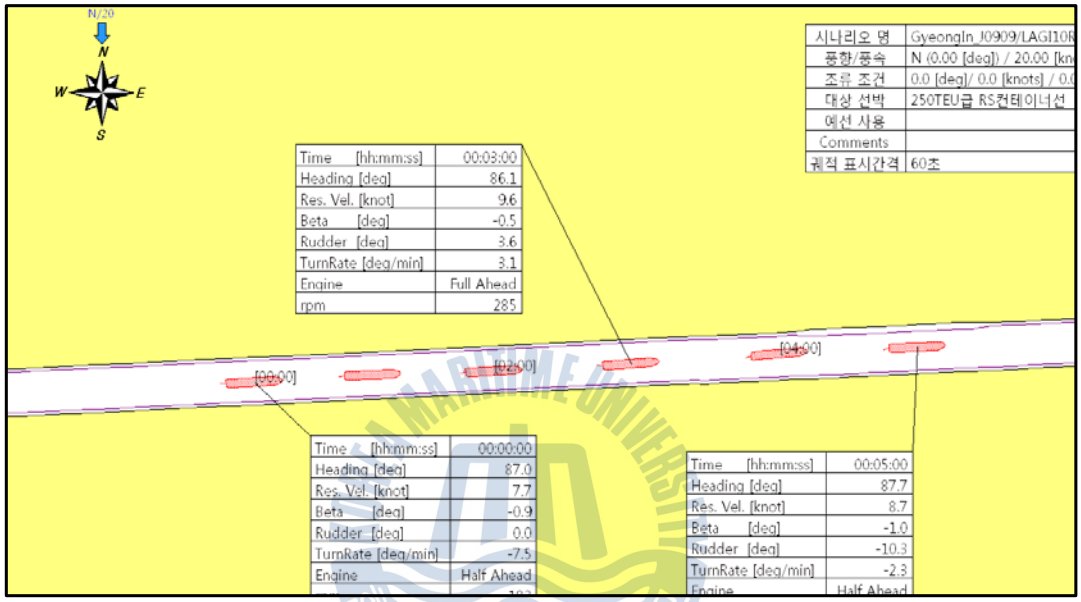
선박조종시뮬레이션에 참가한 선박조종자는 결과에 대한 신뢰도를 높이기 위해 인천항 도선사회 도선사 18명, 목포해양대학교 교수 6명, 한국해양대학교 교수 6명, 훼어선박 선장 1명, KMTC 선장 1명, 레이먼드 크루즈 선장 1명으로 총 33명의 연구원 및 관련 분야의 전문가들이 참가하였다.

3.3.2 선박조종시뮬레이션 수행 및 결과 분석

(1) 직선수로구간 일방통항

① 시뮬레이션 항적도

[그림 3.9]는 수로 폭 72.0m의 직선수로구간에서 일방통항 시뮬레이션을 실시한 항적도이다.



[그림 3.9] 직선수로 일방통항 시뮬레이션 항적도

② 시뮬레이션 결과 분석

[표 3.9]를 바탕으로 수로 폭 72m에서의 단독통항 선박조종시뮬레이션 결과를 분석해 보면 여유 제어력을 제외한 모든 항목에서 해상교통 안전진단제도 평가기준을 모두 만족한다는 결과가 나왔다. 여유 제어력이 평가기준을 만족하지 않은 이유는 수로에서 선박 운항자들이 선박조선에 큰 어려움을 느끼지 않아 선속을 증가시켰기 때문에 여유 기관 제어력이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 그러므로 대상선박의 4.5B(수로 폭 72m) 수로 폭에서의 선박 단독통항은 통항 안전성 측면에서 적절하다고 분석되었다.

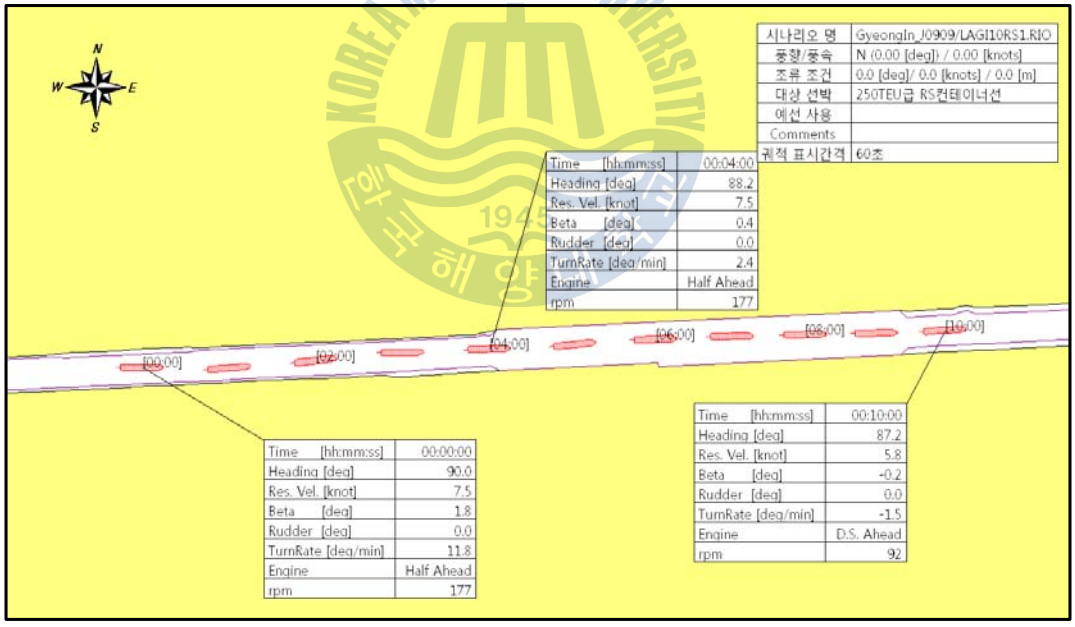
[표 3.9] 직선수로 일방통항 시뮬레이션 결과 분석

	여유 제어력	여유 조타력	안벽 간 최소 거리	안벽접촉 확률	운항 난이도
72m 수로 (4.5B)	28.8%	98.4%	20.1m (1.3B)	-	-1.0(약간위험)

(2) 직선수로의 수로 폭 확장 구간 단독통항

① 시뮬레이션 항적도

[그림 3.10]은 수로 폭 112.0m의 수로 폭 확장구간에서 일방통항 시뮬레이션을 실시한 항적도이다.



[그림 3.10] 수로 폭 확장구간 일방통항 시뮬레이션 항적도

② 시뮬레이션 결과 분석

[표 3.10] 직선수로 일방통항 시뮬레이션 결과 분석

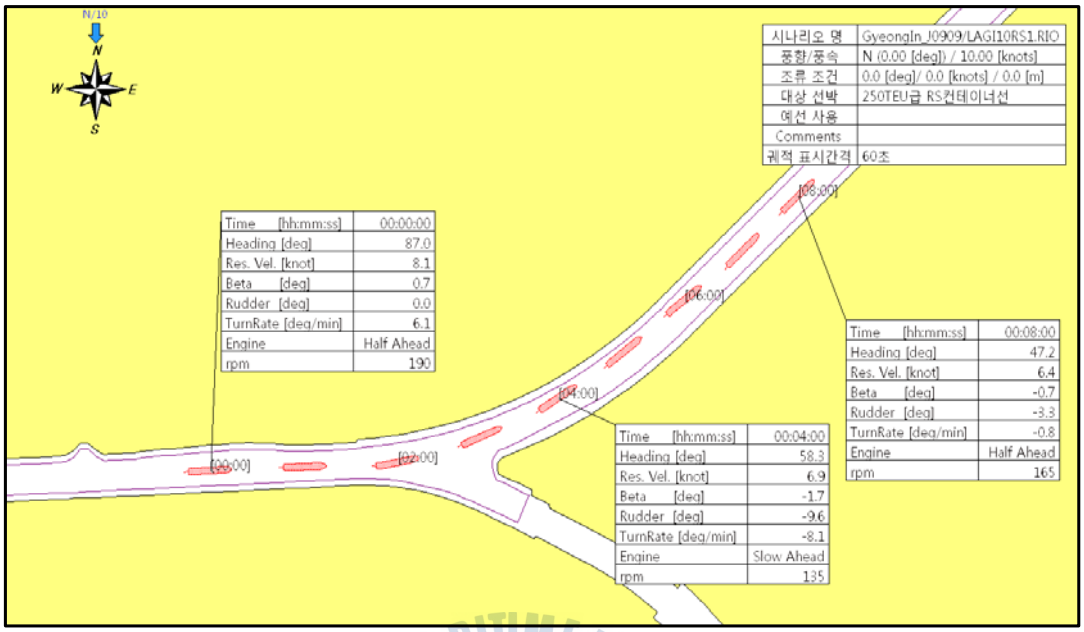
	여유 제어력	여유 조타력	안벽 간 최소 거리	안벽접촉 확률	운항 난이도
112.0m 수로 (7.0B)	27.0%	96.9%	27.5m (1.7B)	-	-0.8

[표 3.10]을 바탕으로 수로 폭 112.0m의 단독통항 선박조종시뮬레이션 결과를 분석해 보면 여유 제어력을 제외한 모든 항목에서 해상교통 안전진단제도 평가기준을 모두 만족한다는 분석결과가 나왔다. 여유 제어력이 평가기준을 만족하지 않은 이유는 수로에서 선박 운항자들이 선박조선에 큰 어려움을 느끼지 않아 선속을 증가시켰기 때문에 여유 기관 제어력이 낮게 나타난 것으로 분석된다. 그러므로 수로 폭 112.0m(7.0B)의 선박 단독통항은 통항 안전성 측면에서 적절하다고 분석되었다.

(3) 만곡부 수로구간 일방통항

① 시뮬레이션 항적도

[그림 3.11]은 수로 폭 80.0m의 만곡부 수로구간에서 일방통항 시뮬레이션을 실시한 항적도이다.



[그림 3.11] 만곡부 수로구간 일방통항 시뮬레이션 항적도

② 시뮬레이션 결과 분석

[표 3.11]을 바탕으로 수로 폭 80m에서의 만곡부 수로 단독통항 선박조종시뮬레이션 결과를 분석해 보면 여유 제어력을 제외한 모든 항목에서 해상교통 안전진단제도 평가 기준을 모두 만족하였다. 여유 제어력이 평가기준을 만족하지 않은 이유는 수로에서 선박 운항자들이 선박조선에 큰 어려움을 느끼지 않아 선속을 증가시켰기 때문에 여유 기관 제어력이 낮게 나타난 것으로 분석되었다. 하지만 운항 난이도 항목은 -1.7로써 250TEU급 컨테이너선이 통항하기에 우리나라 선박 운항자들은 위험성이 있다고 판단하였다.

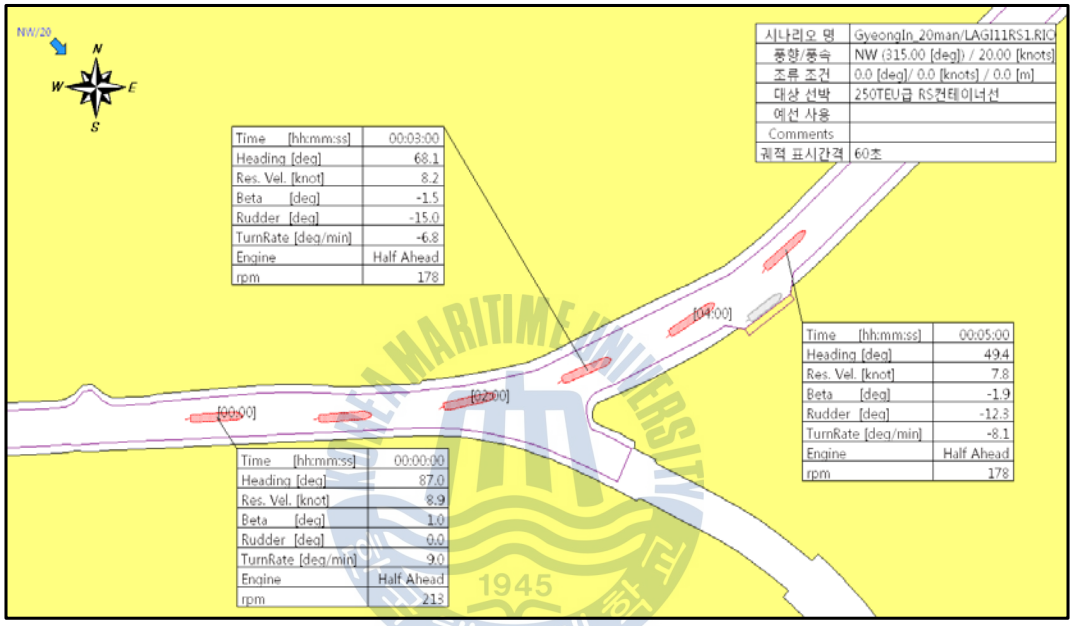
[표 3.11] 만곡부 수로구간 일방통항 시뮬레이션 결과 분석

	여유 제어력	여유 조타력	안벽 간 최소 거리	안벽접촉 확률	운항 난이도
80m 수로 (5.0B)	37.5%	92.3%	12.9m (0.8B)	-	-1.7

(4) 만곡부 수로의 수로 폭 확장 구간 일방통항

① 시뮬레이션 항적도

[그림 3.12]는 수로 폭 100.0m의 만곡부 수로구간에서 일방통항 시뮬레이션을 실시한 항적도이다.



[그림 3.12] 만곡부 수로 폭 확장구간 일방통항 시뮬레이션 항적도

② 시뮬레이션 결과 분석

[표 3.12]를 바탕으로 수로 폭 100m에서의 만곡부 수로 단독통항 선박조종시뮬레이션 결과를 분석해 보면 여유 제어력을 제외한 모든 항목에서 해상교통안전진단제도 평가 기준을 모두 만족하였다. 여유 제어력이 평가기준을 만족하지 않은 이유는 수로에서 선박 운항자들이 선박조선에 큰 어려움을 느끼지 않아 선속을 증가시켰기 때문에 여유 기관 제어력이 낮게 나타난 것으로 분석되었다.

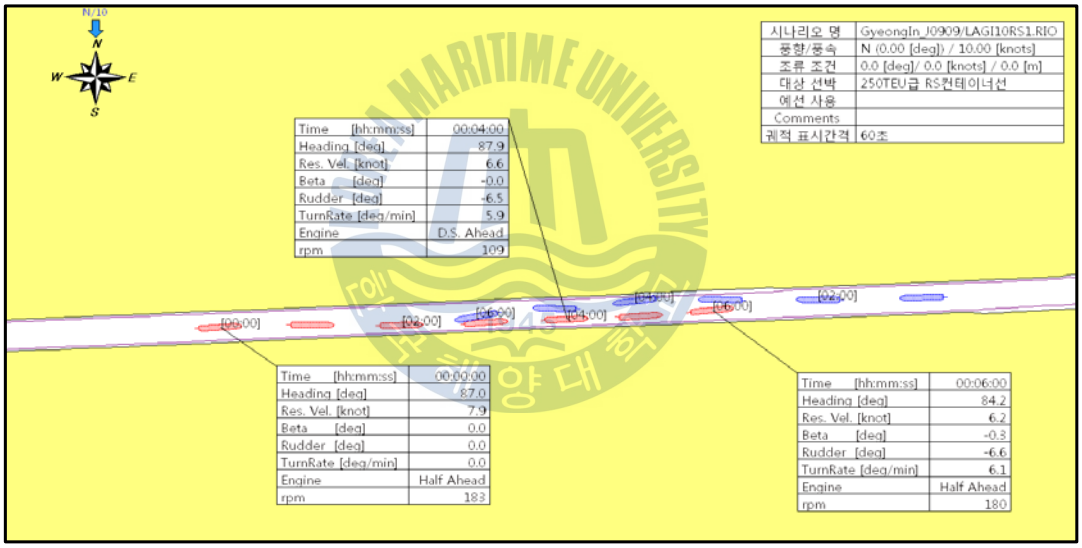
[표 3.12] 만곡부 수로 폭 확장구간 일방통항 시뮬레이션 결과 분석

	여유 제어력	여유 조타력	안벽 간 최소 거리	안벽접촉 확률	운항 난이도
100m 수로 (6.25B)	32.5%	89.1%	16.3	-	-0.8

(5) 직선수로구간 교행통항

① 시뮬레이션 항적도

[그림 3.13]은 수로 폭 72.0m의 직선수로구간에서 교행통항 시뮬레이션을 실시한 항적도이다.



[그림 3.13] 직선수로구간 교행통항 시뮬레이션 항적도

② 시뮬레이션 결과 분석

[표 3.13]을 바탕으로 수로 폭 72m의 직선수로 교행통항 선박조종시뮬레이션 결과를 분석해 보면 여유 제어력 및 운항 난이도, 안벽접촉 확률 부분에서 해상교통 안전진단제도를 만족시키지 못했다. 특히 운항 난이도 항목이 -2.6으로써 선박 운항자들이 통항안전성에 있어 상당한 위험성이 있다고 느낀다는 것을 알 수 있다.

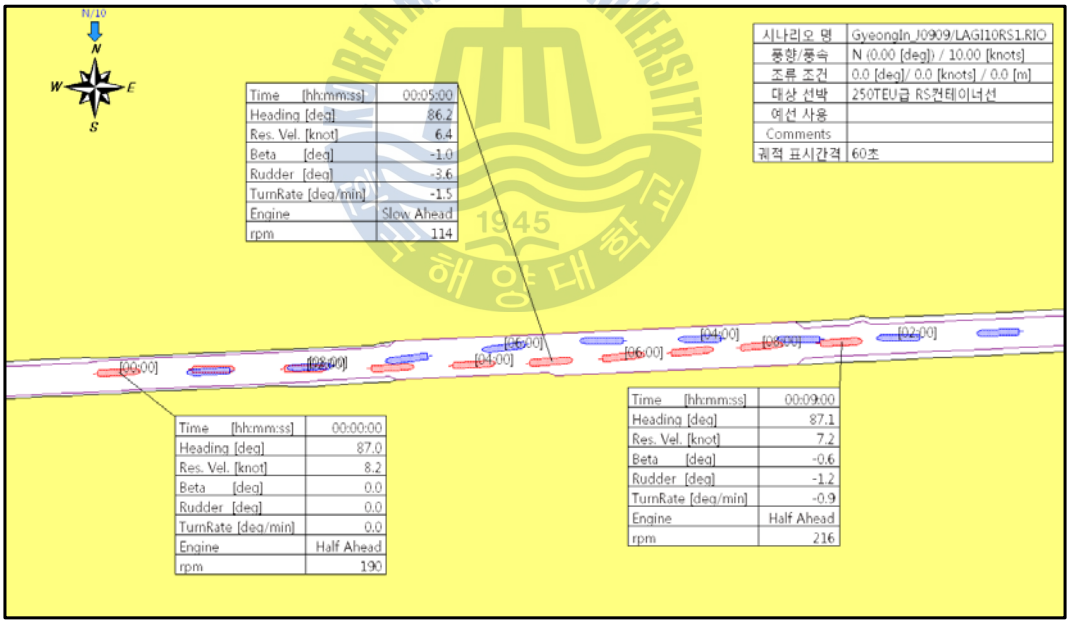
[표 3.13] 직선수로구간 교행통항 시뮬레이션 결과 분석

	여유 제어력	여유 조타력	최소 거리		안벽접촉 확률	운항 난이도
			안벽	선박		
72m 수로 (4.5B)	45.9%	93.3%	7.4m	17.8m	5.70×10^{-4}	-2.6

(6) 직선수로의 수로 폭 확장구간 교행통항

① 시뮬레이션 항적도

[그림 3.14]는 수로 폭 112.0m의 수로 폭 확장구간에서 교행통항 시뮬레이션을 실시한 항적도이다.



[그림 3.14] 직선수로의 수로 폭 확장구간 교행통항 시뮬레이션 항적도

② 시뮬레이션 결과 분석

[표 3.14]를 바탕으로 수로 폭 110m에서의 수로 폭 확장구간 교행통항 선박조종시뮬레이션 결과를 분석해 보면 여유 제어력을 제외한 모든 항목에서 해상교

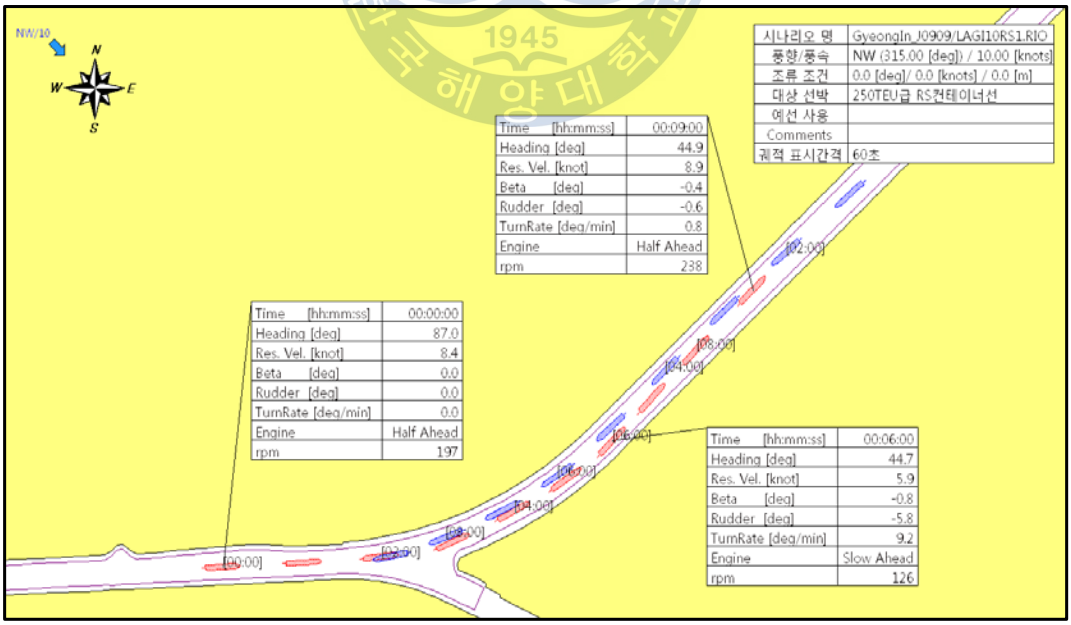
통 안전진단제도 평가 기준을 모두 만족하였다. 여유 제어력이 평가기준을 만족하지 않은 이유는 수로에서 선박 운항자들이 선박조선에 큰 어려움을 느끼지 않아 선속을 증가시켰기 때문에 여유 기관 제어력이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 하지만 운항 난이도 항목은 -1.7로써 선박 운항자들이 통항안전성에 있어 위험성을 느끼는 것으로 분석되었다.

[표 3.14] 수로 폭 확장구간 교행통항 시뮬레이션 결과 분석

	여유 제어력	여유 조타력	최소 거리		안벽접촉 확률	운항 난이도
			안벽	선박		
112m 수로 (7.0B)	42.3%	94.9%	15.8m	25.6m	0.24×10^{-4}	-1.7

(7) 만곡부 수로 교행통항

① 시뮬레이션 항적도



[그림 3.15] 만곡부 수로구간 교행통항 시뮬레이션 항적도

[그림 3.15]는 수로 폭 80.0m의 만곡부 수로구간에서 교행통항 시뮬레이션을 실시한 항적도이다.

② 결과 분석 항목

[표 3.15] 만곡부 수로구간 교행통항 시뮬레이션 결과 분석

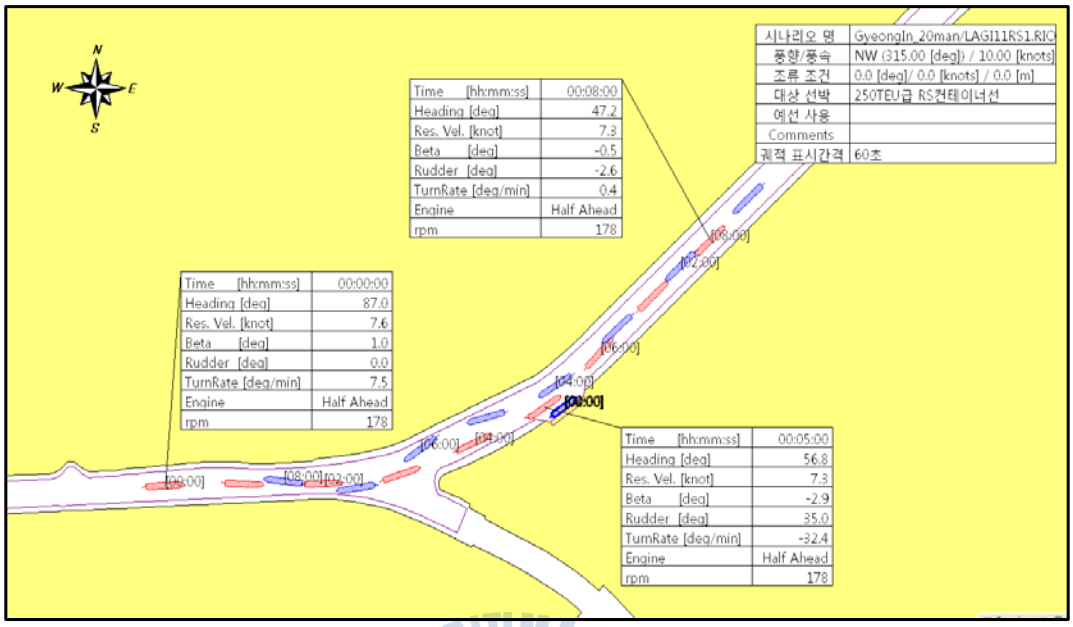
	여유 제어력	여유 조타력	안벽 간 최소 거리	안벽접촉 확률	운항 난이도
수로폭 80m (5.0B)	42.7%	85.1%	4.7m	-	-2.8

[표 3.15]를 바탕으로 수로 폭 80m의 만곡부 수로구간 교행통항 선박조종시뮬레이션 결과를 분석해 보면 여유 제어력 및 운항 난이도부분에서 해상교통 안전진단제도를 만족시키지 못했다. 특히 운항 난이도 항목이 -2.8로써 선박 운항자들이 통항안전성에 있어 상당한 위험성이 있는 것으로 분석되었다.

(8) 만곡부 수로의 수로 폭 확장구간 교행통항

① 시뮬레이션 항적도

[그림 3.16]은 수로 폭 100.0m의 만곡부 수로의 수로 폭 확장구간에서 교행통항 시뮬레이션을 실시한 항적도이다. 그림과 같이 만곡부 수로의 수로 폭 확장구간에서 교행통항을 할 경우 대부분의 선박조종시뮬레이션에서 교행통항하는 선박 간에 접촉사고가 발생하였다. 즉, 250TEU급 컨테이너선이 100m의 만곡부 수로를 교행통항하기에는 부적절 하다고 판단된다.



[그림 3.16] 만곡부 수로의 수로 폭 확장구간 교행통항 시뮬레이션 항적도

② 결과 분석 항목

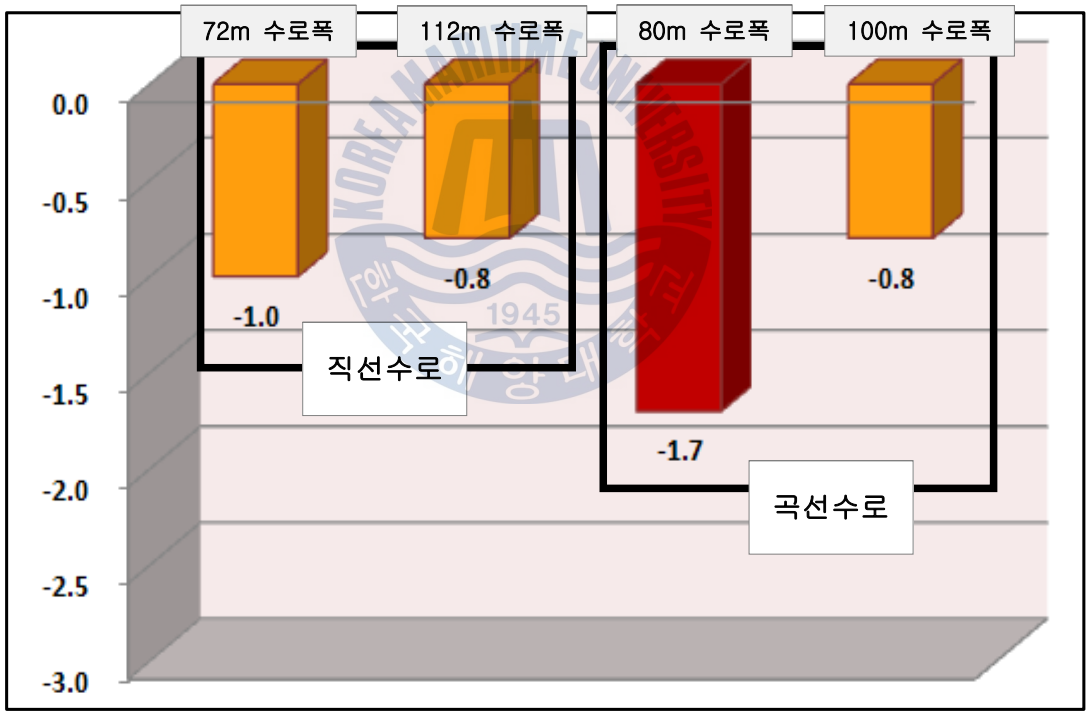
[표 3.16] 만곡부 수로의 수로 폭 확장구간 교행통항 시뮬레이션 결과 분석

	여유 제어력	여유 조타력	안벽 간 최소 거리	안벽접촉 확률	운항 난이도
수로폭 80m (5.0B)	46.0%	83.6%	-	-	-

[표 3.16]을 바탕으로 수로 폭 100m의 만곡부 수로의 수로 폭 확장구간 교행통항 선박조종시뮬레이션 결과를 분석해 보면 여유 제어력이 46.0%로 해상교통안전진단제도를 만족시키지 못했다. 또한 시뮬레이션 항적도와 데이터 분석 결과를 살펴보면 경인 아라뱃길 보고서에 분석되어 있지 않은 운항난이도 부분도 매우 높게 측정되었을 것으로 판단된다. 그러므로 우리나라는 100m의 만곡부 수로에서는 교행통항이 부적절하다고 판단된다.

3.3.3 선박조종시뮬레이션 결과 종합 분석

선박조종시뮬레이션 결과를 종합 분석하면 해상교통 안전진단제도의 통항 안전성에 관한 기준 요인인 여유 제어력, 여유 조타력, 안벽접촉 확률의 기술적 통계량은 대부분의 수로조건에서 안전한 것으로 도출되었다. 하지만 우리나라 선박운항자의 주관적인 의견이 반영된 운항 난이도 항목은 각각의 수로조건에서 많은 차이를 보였다. 그래서 운항 난이도에 대해 각 조건에서 시행한 시뮬레이션 분석자료를 일방통항조건과 교행통항조건, 직선수로와 만곡부 수로로 나누어 비교해 보면 [그림 3.17]과 [그림 3.18]과 같다.

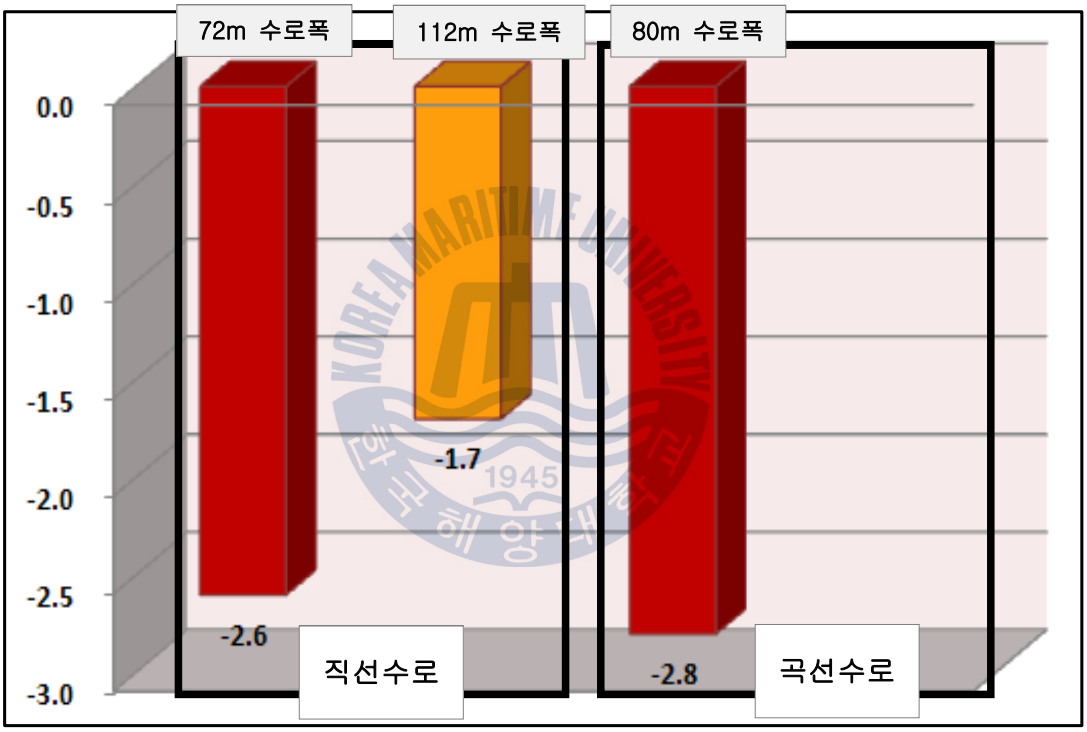


[그림 3.17] 일방통항 시 직선수로와 곡선수로 운항난이도 분석

[그림 3.17]과 같이 선박운항 난이도를 일방통항 시 직선수로와 곡선수로로 나누어 비교해 보면, 직선수로보다 곡선수로에서 선박 운항자들은 위험성을 더 느꼈으며, 특히 수로 폭이 80m(5.0B)인 만곡부 수로에서의 운항 난이도가 -1.7

로 수로 통항 시 약간의 위험성을 느끼는 것으로 분석되었지만 안전통항 상 문제가 없는 것으로 판단된다.

일방통항 시 72m 수로 폭의 직선수로, 112m 수로 폭의 직선수로, 100m 수로 폭의 곡선수로의 운항 난이도가 -1.0 ~ -0.8로 수로 통항 시 위험성을 약간 느끼거나 느끼지 못하는 것을 알 수 있다. 즉, 선박 운항 난이도 측면에서 볼 때 일방통항 수로에서 직선수로일 경우 72m(4.5B)의 수로 폭이 최소한으로 요구되는 수로 폭이라고 판단되었다.



[그림 3.18] 교행통항 시 직선수로와 곡선수로 운항난이도 분석

[그림 3.18]과 같이 선박운항 난이도를 교행통항 시 직선수로와 곡선수로로 나누어 비교해 보면, 직선수로보다 곡선수로에서 선박 운항자들은 위험성을 더 느꼈다. 112m(7.0B)수로 폭의 직선수로, 80m(5.0B)의 만곡부 수로에서 모두 선박운항 난이도가 -2.6 ~ -2.8로 수로 통항 시 상당히 위험성을 느끼는 것을 알 수 있다. 그러나 교행통항하는 112m(7.0B)수로 폭의 직선수로는 운항 난이도가 -1.7로 약간의 위험성을 느끼는 것을 알 수 있으나 안전통항 상에는 큰 문제가

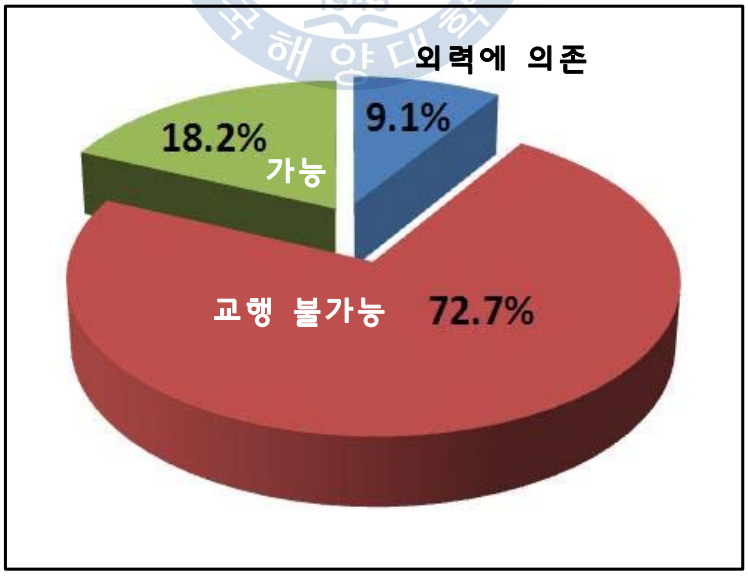
없는 것으로 판단된다. 따라서 교행통항 수로의 72m(4.5B) 직선수로, 80m(5.0B) 곡선수로 모두는 통항 안전성이 확보되지 않는다고 확인되었다.

3.3.4 선박 운항자 의견수렴 분석

선박조종시뮬레이션에 참가한 선박운항자(인천항 도선사협회 선장, 해운회사 선장, 한국해양대학교 및 목포해양대학교 선장)를 대상으로 실시한 조종자 의견서의 내용을 수렴한 결과를 종합하면 다음과 같다.

(1) 타선과의 교행 가능성

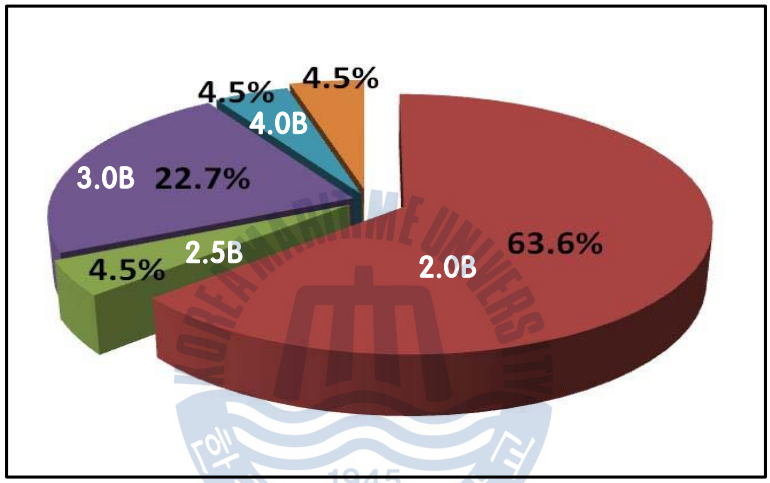
직선수로 72m 수로 폭 교행통항, 곡선수로 80m 수로 폭에 대한 교행통항 시뮬레이션 수행자의 조종자 의견서를 바탕으로 타선과 교행 가능성을 분석해 보면 [그림 3.19]와 같다. 즉, 교행 가능하다는 의견이 9.1%, 불가능하다는 의견이 72.7%, 외력에 의해 달라진다는 의견이 18.2%인 것으로 분석되었다. 특히 특정한 외력(풍속)이 작용할 경우에는 타 선박과의 교행이 더욱 곤란하기 때문에 교행 불가능으로 응답하는 비율이 높게 나타났다.



[그림 3.19] 타선과의 교행가능성에 대한 주관적 평가

(2) 타선과의 안전 이격거리

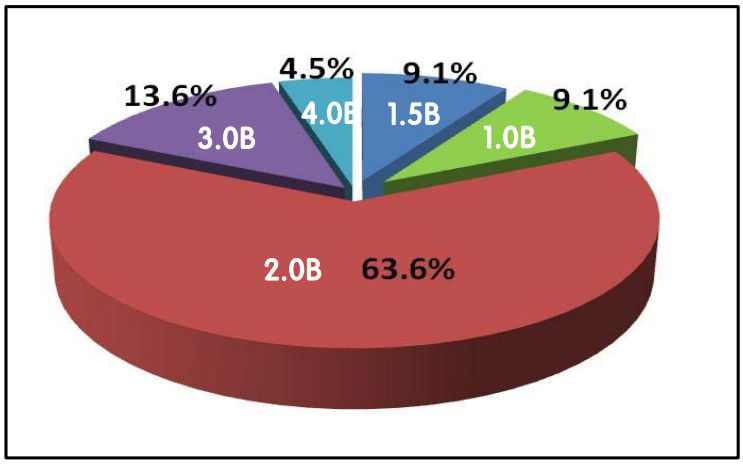
선박이 통항할 시, 타선과의 이격거리가 클수록 안전하지만 내륙수로라는 특성을 충분하게 감안하여 선속을 다소 감속하여 진행한다는 조건 하에서 선박 통항에 허용 가능한 최소 안전범위를 고려하여 응답하도록 했다. 그 결과 [그림 3.20]과 같이 타선박과의 최소 안전 이격거리가 최소 2.0B는 확보되어야 한다는 응답이 가장 많았다.



[그림 3.20] 타선과의 안전이격거리에 대한 주관적 평가

(3) 측벽과의 안전이격 거리

수로 내에서 교행시의 제방 측면과 적정 안전 이격거리에 대한 평가를 분석한 결과 [그림 3.21]과 같이 최소 2.0B 이상 되어야 안전한 통항이 가능하다는 의견이 63.6%로 가장 높았다.



[그림 3.21] 측벽과의 안전이격거리에 대한 주관적 평가

위의 결과를 기초로 측벽현상, 선박 간 상호작용 등을 고려하여 경인 아라뱃길의 적정 수로 폭을 도출하면 8.0B 이상은 되어야 안전교행이 확보될 것으로 사료된다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

4장 우리나라 내륙수로 설계지침 제안

우리나라 및 외국의 내륙수로 설계지침을 경인 아라뱃길 설계지침으로 사용하였을 때 필요한 수로의 폭을 산정하고, 실제 우리나라의 선박 운항자들에 의해 실시된 경인 아라뱃길 시뮬레이션 자료와 비교·분석을 통해서 우리나라 내륙수로 설계기준 제시에 활용하였다. 단, 본 연구에서는 특정한 H/d(수심/흘수)비로 수행된 시뮬레이션 결과와 안전성이 확보된 수로 폭에 대해 시뮬레이션을 수행한 선박운항자의 의견을 바탕으로 제시하였다. 또한 수로의 수심, 만곡부 수로의 곡률반경, 만곡부 수로의 폭에 대해서는 외국 지침들의 내용들을 조합하되 내용이 상치되는 부분의 경우 안전 확보라는 측면에서 보다 까다로운 기준을 택하여 제시하였다.

4.1 우리나라의 내륙수로 설계기준 제안 방법

4.1.1 수로의 폭

우리나라의 내륙수로 설계기준을 제안할 때 [표 4.2]와 같이 외국의 내륙수로 설계기준과 우리나라의 내륙수로 선박조종시뮬레이션 자료를 이용하였다. 즉, R/S-II급 컨테이너선이 [표 4.1]과 같은 환경조건 하에서 내륙수로를 항해할 때 외국 및 우리나라의 수로설계 기준을 적용하였을 경우의 적정 수로 폭을 산출한다. 또한 같은 환경조건 하에서 실시된 경인 아라뱃길 선박조종시뮬레이션 결과와 비교·분석함으로써 외국의 수로 폭에 대한 기준과 우리나라 선박 운항자들이 요구하는 수로 폭을 비교·분석하였다.

[표 4.1] 선박조종시뮬레이션 수행 시 자연환경 조건

자연환경	자연환경 조건
수로의 형태	사면형 수로
선박속도	5.0kts ~ 8.0kts
교통량	보통
선박조종성능	보통
선박화물의 위험도	낮음
자연환경	파고 1.0m이하, 조류 0.5kts이하, 바람 20.0kts이하

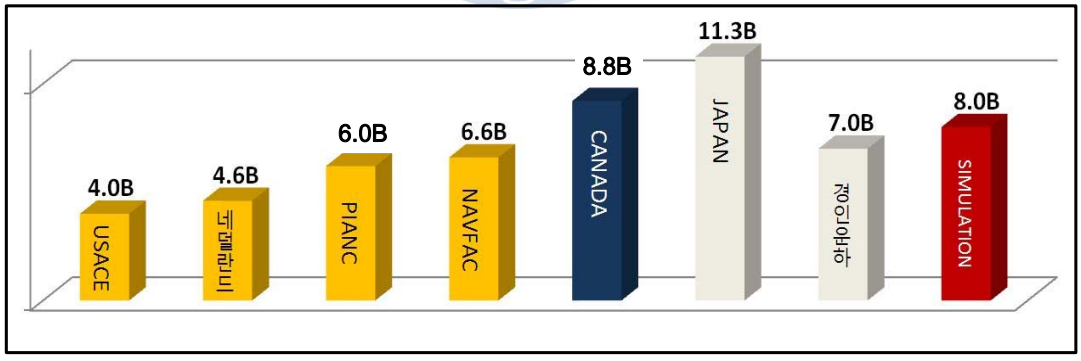
[표 4.2]를 통해 알 수 있듯이 내륙수로에 있어 중요한 사항인 안벽간 거리, 기본수로 폭, 교행통항 시 선박 간 거리를 분류해서 수로의 적정 폭을 제시한 것은 PIANC 지침, NAVFAC DM-26.1 지침, 캐나다 수로설계 지침이므로 우리나라의 내륙수로 폭을 제안할 때 이 세가지 지침을 토대로 하였다. 그리고 나머지 USACE 설계지침, 네덜란드 수로설계지침, 일본의 수로설계지침은 우리나라의 내륙수로 폭 제안 안에 대한 비교대상으로 활용하였다.

[표 4.2] 외국의 수로설계지침과 시뮬레이션 결과 비교 (교행통항 수로)

수로 폭 분류 / 외국의 지침	교행통항 수로 폭			
	안벽간 거리	기본수로 폭	선박 간 거리	총 수로 폭
국내 지침	11.25B			**11.25B**
PIANC 지침	0.5B x 2	(1.4B x 2)+ (0.4B x 2)	1.4B	**6.0B**
USACE 설계지침	4.0B			**4.0B**
네덜란드 수로설계지침	4.0B + 9m			**4.6B**
NAVFAC DM-26.1 지침	1.0B x 2	1.8B x 2	1.0B	**6.6B**

수로 폭 분류 / 외국의 지침	교행통항 수로 폭			
	안벽간 거리	기본수로 폭	선박 간 거리	총 수로 폭
캐나다 수로설계지침	(1.0B x 2)+ (0.9B x 2)	1.5B x 2	2.0B	8.8B
일본의 수로설계지침	11.25B			11.25B
경인 아라뱃길	7.0B			7.0B
시뮬레이션 결과 (선박운항자 의견)	2.0B x 2	1B	2B	8.0B

또한 [그림 4.1]과 같이 외국의 수로설계지침과 선박조종시뮬레이션에 대한 전체 수로 폭에 대하여 비교·분석해 보면 우리나라 선박조종자의 의견이 반영된 최저수로 폭인 8.0B에 비해 USACE 설계지침은 4.0B, 네덜란드 수로설계지침은 4.6B, PIANC 지침은 6.0B, NAVFAC DM-26.1 지침은 6.6B로 교행가능한 수로 폭을 좁게 제시하고 있다. 그러나 캐나다 수로설계지침 및 일본의 수로설계지침은 최저수로 폭인 8.0B보다 큰 수로 폭을 교행가능한 수로 폭을 제시하고 있다. 즉, 각 지침에서 제시하고 있는 교행가능한 안전수로 폭은 그 수치에 있어서 매우 큰 편차가 있는 것을 알 수 있다.



[그림 4.1] 수로 폭에 대한 외국설계지침과 시뮬레이션 결과 비교

(1) 안벽 간 거리

외국의 수로설계지침 중 안벽 간 거리에 대해 각각의 지침을 비교·분석하기

에는 상당히 곤란하다. 왜냐하면 각 지침에서 안벽 간 거리를 제시할 때 고려하고 있는 요인이 매우 다양하고 상이하기 때문이다. 그래서 일반적으로 안벽 간 거리를 제시할 때 중요하게 고려하는 요인인 수로 형태에 따라서 단순 비교하였고, 그 결과는 [표 4.3]과 같다. 단, 수로 폭에 대해서 안벽 간 거리를 분류해서 제시하지 않은 USACE 설계지침, 네덜란드 수로설계지침, 일본의 수로설계지침은 고려대상에서 제외하였다.

[표 4.3] 각 지침별 안벽 간 이격 거리 비교

설계지침 / 수로의 형태	PIANC 지침	NAVFAC DM-26.1 지침	캐나다 수로설계지침	시뮬레이션
사면형 수로	0.5B	1.0B	1.0B	2.0B
직각형 수로	1.0B	1.4B	1.25B	-

[표 4.3]과 같이 사면형 수로에 있어서의 필요수로 폭은 PIANC 지침의 경우 0.5B, NAVFAC DM-26.1 지침의 경우 1.0B, 캐나다 수로설계지침의 경우 1.0B, 선박조종시뮬레이션 결과의 경우 2.0B를 제시하였다. 여기에서 시뮬레이션 결과의 2.0B는 외력의 영향 및 선박의 조종성능에 따른 추가수로 폭이 포함된 수치인 것으로 판단된다.

직각형 수로에 있어서의 안벽 간 거리는 PIANC 지침이 1.0B로 가장 좁은 폭을, NAVFAC DM-26.1 지침이 1.4B로 가장 넓은 안벽 간 거리를 제시하였다. 그러므로 우리나라의 내륙수로 설계지침을 제시할 때는 안전적인 측면에서 까다로운 외국의 지침을 적용하여 사면형 수로의 경우 1.0B를, 직각형 수로의 경우 1.4B를 제시하였다.

(2) 기본수로 폭

외국의 수로설계지침 중 기본수로 폭에 대해 각각의 지침을 비교·분석하기에는 안벽 간 거리와 마찬가지로 상당히 곤란하다. 왜냐하면 각 지침에서 기본수로 폭을 제시할 때 고려하고 있는 요인이 매우 다양하고 상이하기 때문이다.

[표 4.4] 각 지침별 기본수로 폭 비교

설계지침 / 선박조종성능	PIANC 지침	NAVFAC DM-26.1 지침	캐나다 수로설계지침	시뮬레이션
나쁨	1.8B	2.0B	2.0B	-
보통	1.5B	1.8B	1.8B	1.0B
좋음	1.3B	1.6B	1.6B	-

그래서 일반적으로 기본수로 폭을 제시할 때 중요하게 고려하는 요인인 선박의 조종성능에 따라서 단순 비교하였고, 그 결과는 [표 4.4]와 같다. 단, 수로폭에 대해서 기본수로 폭을 분류해서 제시하지 않은 USACE 설계지침, 네덜란드 수로설계지침, 일본의 수로설계지침은 고려대상에서 제외하였다.

[표 4.4]와 같이 선박의 조종성능에 따라서 PIANC 지침은 1.3B ~ 1.8B, NAVFAC DM-26.1 지침은 1.6B ~ 2.0B, 캐나다 수로설계지침은 1.6B ~ 2.0B, 선박조종시뮬레이션 결과는 1.0B로 제시하였다. 그러므로 우리나라의 내륙수로 설계지침을 제시할 때는 안전적인 측면에서 까다로운 외국의 지침을 적용하여 선박의 조종성능에 따라 1.6B ~ 2.0B로 제시하였다.

(3) 선박 간 거리

외국의 수로설계지침 중 선박 간 거리에 대해 각각의 지침을 비교·분석하기에는 안벽 간 거리 및 기본수로 폭과 마찬가지로 상당히 곤란하다. 왜냐하면 각 지침에서 선박 간 거리를 제시할 때 고려하고 있는 요인이 매우 다양하고 상이하기 때문이다. 그래서 일반적으로 선박 간 거리를 제시할 때 중요하게 고려하는 요인인 선박교통의 밀집도에 따라서 단순 비교하였고, 그 결과는 [표 4.5]와 같다. 단, 수로 폭에 대해서 선박 간 거리를 분류해서 제시하지 않은 USACE 설계지침, 네덜란드 수로설계지침, 일본의 수로설계지침은 고려대상에서 제외하였다.

[표 4.5] 각 지침별 선박 간 거리 비교

설계지침 / 교통밀집도	PIANC 지침	NAVFAC DM-26.1 지침	캐나다 수로설계지침	시뮬레이션
매우 밀집	1.2B + 0.5B	1.0B	1.8B + 0.4B	-
보통	1.2B + 0.2B	1.0B	1.8B + 0.2B	0.0B
낮은 밀집도	1.2B + 0.0B	1.0B	1.8B + 0.0B	-

[표 4.5]와 같이 PIANC 지침의 경우 교통 밀집도에 따라 1.2B ~ 2.5B의 수로 폭을 제시하였으며, 캐나다 수로설계지침은 교통 밀집도에 따라 1.9B ~ 2.3B의 폭을 제시하였다. 또한 NAVFAC DM-26.1지침은 선박의 속도가 10.0kts일 때 1.0B의 선박 간 거리를 제시하였다.

그러므로 우리나라의 내륙수로 설계지침을 제시할 때는 안전적인 측면에서 까다로운 외국의 지침을 적용하여 선박의 조종성능에 따라 1.8B ~ 2.3B로 제시하였다.

(4) 추가수로 폭

내륙수로의 경우 바람에 따른 풍압력이 크지 않더라도 선종별로 침로안정성이 다소 열악한 선박의 경우 대응 타각에 따른 Yawing이 발생할 수 있어, 선박의 침로 유지에 필요한 추가 폭을 설정하였다. 추가수로 폭을 제시할 때 외국의 수로설계지침을 활용하였다. 하지만 추가수로 폭에 대해 각각의 지침을 비교·분석하기에는 안벽 간 거리, 선박 간 거리, 기본수로 폭과 마찬가지로 상당히 곤란하다. 왜냐하면 각 지침에서 추가수로 폭을 제시할 때 고려하고 있는 요인이 매우 다양하고 상이하기 때문이다. 그래서 일반적으로 추가수로 폭을 제시할 때 중요하게 고려하는 요인인 바람, 조류, H/d(수심/흘수)비에 따라서 단순 비교하였고, 그 결과는 [표 4.6]과 같다. 단, 수로 폭에 대해서 기본수로 폭을 분류해서 제시하지 않은 USACE 설계지침, NAVFAC DM-26.1 지침, 일본의 수로설계지침은 고려대상에서 제외하였다.

[표 4.6] 각 지침 별 추가수로 폭 비교

설계지침 / 요인	PIANC 지침	네덜란드 수로설계지침	캐나다 수로설계 지침
바람			
- 15kts ~ 33kts	0.4B	0.6B	0.4B
- 15kts 이하	0.0B		0.0B
조류			
- 0.5kts~1.5kts	0.7B	-	0.7B
- 0.2kts~0.5kts	0.2B		0.2B
- 0.2kts 이하	0.0B		0.0B
H/d (수심/흘수) 비	- 1.50 초과 : 0.0B - 1.25 ~ 1.50 : 0.1B - 1.25 미만 : 0.2B	-	- 1.50 초과 : 0.0B - 1.15 ~ 1.50 : 0.2B - 1.15 미만 : 0.4B

[표 4.6]과 같이 바람, 조류, H/d(흘수/수심)비에 따라서 PIANC 지침은 0.0B ~ 1.3B의 추가수로 폭을 제시하였으며, 캐나다 수로설계 지침은 0.0B ~ 1.5B를 제시하였다. 또한 네덜란드 수로설계 지침은 바람의 영향에 대한 추가수로 폭을 0.6B로 제시하였다. 그러므로 우리나라의 내륙수로 설계지침을 제시할 때는 안전적인 측면에서 까다로운 외국의 지침을 적용하여 각각 바람, 조류, H/d에 따라서 0.0B ~ 1.5B로 제시하였다.

4.1.2 수로의 수심, 만곡부 수로의 곡률반경 및 폭

수로의 수심에 대한 우리나라의 내륙수로 설계지침을 제시함에 있어서 H/d(수심/흘수)비 1.4에서 실시된 선박조종시뮬레이션 결과를 기초로 외국의 내륙수로 설계지침 중 안전적인 측면에서 까다로운 지침을 적용하여 제시하였다.

4.2 우리나라 내륙수로 설계기준 제시

4.2.1 수로의 폭

(1) 안벽 간 이격거리

선박이 수로를 통항할 때 수로 안벽으로 인한 측벽현상이 발생하여 안전항해에 영향을 미친다. 그러므로 [표 4.7]과 같이 안전한 수로의 통항을 위해서는 수로의 형태에 따라 적절한 안벽 간 이격거리가 필요하다.

[표 4.7] 안벽 간 이격거리

수로 폭 / 수로형태	안벽 간 이격거리
직각형 수로	1.4B
사면형 수로	1.0B

(2) 기본수로 폭

선박이 통항하는 기본수로 폭은 선박의 조종성능에 따라 달라지며, [표 4.8]과 같이 안전항해를 위한 적절한 기본수로 폭이 필요하다.

[표 4.8] 기본수로 폭

수로 폭 / 조종성능	기본수로 폭
좋음	2.0B
보통	1.8B
나쁨	1.6B

(3) 선박 간 이격거리

선박이 교행통항 할 때 선박이 서로 근접하면 Ship to ship interaction(선박 간 상호작용)이 발생하여 수로를 통항하는 선박에 영향을 미친다. 그러므로 [표 4.9]와 같이 안전한 선박 간 교행을 위해서 교통의 밀집도에 따라 적절한 선박 간 이격거리가 필요하다.

[표 4.9] 선박 간 이격거리

수로 폭 / 교통의 밀집도	기본수로 폭
매우밀집	1.8B + 0.5B
보통	1.8B + 0.2B
낮은 밀집도	1.8B + 0.0B

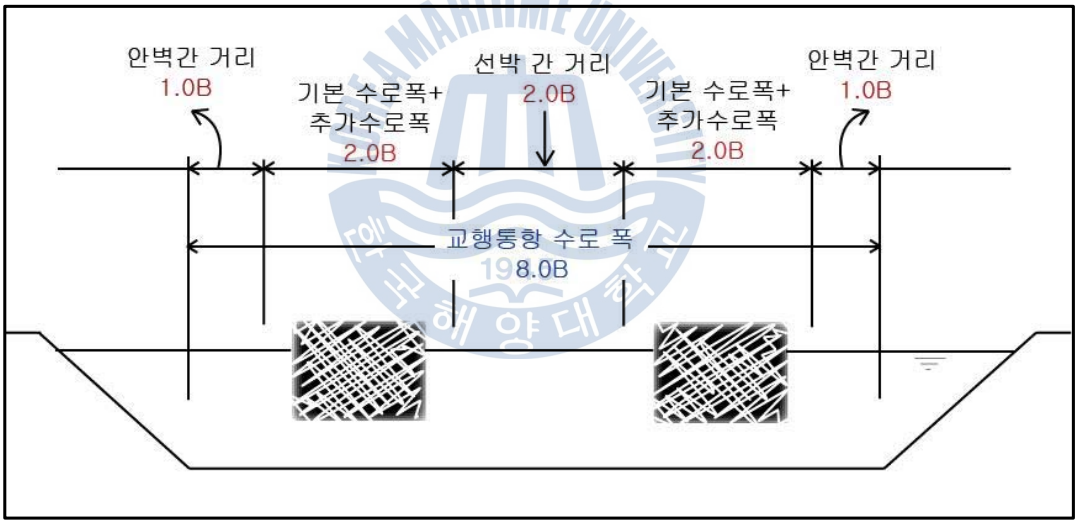
(4) 추가수로 폭

[표 4.10] 추가수로 폭

설계지침 / 요인	추가수로 폭
바람	
- 20kts ~ 33kts	0.4B
- 20kts 이하	0.0B
조류	
- 0.5kts ~ 1.5kts	0.7B
- 0.2kts ~ 0.5kts	0.2B
- 0.2kts 이하	0.0B
H/d(수심/흘수)비	
- 1.50 초과	0.0B
- 1.15 ~ 1.50	0.2B
- 1.15 미만	0.4B

(4) 우리나라 교행통항 수로 폭

본 연구에서는 우리나라의 선박운항자의 의견이 반영된 내륙수로 설계지침을 제시하는데 목적이 있다. 그래서 우리나라의 내륙수로 선박조종시뮬레이션 자료를 활용하고 외국의 내륙수로설계기준을 조사하여 우리나라의 내륙수로 설계기준을 제시하였다. [그림 4.2]는 우리나라의 내륙수로 설계기준 제시안을 기준으로 경인 아라뱃길 내륙수로 폭을 산정한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 선박 운항자들이 제시한 경인 아라뱃길의 교행통항 수로 폭(8.0B)과 외국의 설계지침과 선박조종시뮬레이션 자료를 바탕으로 제시한 우리나라의 내륙수로 설계 지침안(8.0B)과 같은 것을 알 수 있다.



[그림 4.2] 우리나라 교행통항 수로 폭

4.2.2 수로의 수심

수로의 수심을 산정할 때는 선박의 흘수, 조석의 높이, 선체침하현상, 파도, 해저지형에 따른 여유수심, 해수의 비중 등을 고려해야 한다. 단, 수심을 산정

할 때 고려해야 할 요인을 특정할 수 없는 경우 갈수기를 대비해 H/d(수심/흘수)비 1.5의 최소 수심을 확보하고 Squat(선체침하현상)에 의한 흘수증가 수심을 합산하여 수심을 산정한다.

• Froude Depth Number $F_{nh} = V/(\sqrt{gh})$ ---------- [식 4.1]

여기에서,

V : 선속 (m/s)

h : 평수해역의 수심 (m)

g : 중력가속도 ($9.81 m/s^2$)

• 선체침하현상(m) = $2.4\frac{\Delta}{L_{pp}^2}\frac{F_{nh}^2}{\sqrt{(1-F_{nh}^2)}}$ ---------- [식 4.2]

여기에서,

Δ : Displacement

4.2.3 만곡부 수로의 곡률반경

선박의 선회 반지름은 [표 4.11]과 같이 만곡부 교각에 따라 다르게 적용한다.

[표 4.11] 만곡부 교각에 따른 만곡부 수로의 곡률반경

만곡부 교각	선회 반지름
25° 미만	3L
25° ~35°	5L
35° ~55°	8L
55° 이상	10L

4.2.4 만곡부 수로의 폭

만곡부 수로를 통항할 때 직선수로에서보다 선박의 조종 상 어려움이 있기 때문에 만곡부 수로에 대한 수로 폭 확대가 필요하다. 일반적으로 만곡부 수로의 수로 폭은 최소 직선수로 폭에 대해서 1.0B의 수로 폭 확장이 필요하다. 단, 만곡부 인근의 위험요소(천수영역, 교각, 기타 장애물, Blind Area 등)가 존재하여 선박운항자의 심리적인 부담이 가중될 경우에는 선박조종시뮬레이션 등을 기초로 적정한 추가수로 폭을 유지해야 한다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

5장 결 론

5.1 연구의 결과

우리나라 최초의 내륙수로인 경인 아라뱃길은 외국의 수로설계기준을 기초로 설계되었다. 왜냐하면 우리나라의 수로설계지침인 '항만 및 어항설계지침'으로는 측벽현상, 선박 간 상호작용, 수심/흘수 비에 따른 선박의 조종성능 감소와 같은 내륙수로의 특수성을 반영하고 있지 않기 때문이다. 하지만 이러한 외국의 수로설계기준은 각 지침마다 상이하며 우리나라 선박운항자의 특성을 고려하지 않았다는 점에서 국내의 수로설계기준으로 적합하지 않다고 할 수 있다.

본 연구에서는 외국의 내륙수로 설계지침을 비교·분석하고 경인 아라뱃길 선박조종시뮬레이션 결과와 선박운항자의 의견을 종합해서 아래와 같이 우리나라 선박운항자의 안전의식에 입각한 내륙수로 설계기준을 제시하였다.

(1) 우리나라의 선박운항자 의견을 고려한 교행 통항하는 경인 아라뱃길의 최소수로 폭은 대상선박의 8.0B이고, 자연환경적인 영향을 고려해 수로 폭의 확장이 필요하다.

(2) 내륙수로의 최소 수심은 수심/흘수 비 1.5이고 선체침하현상을 고려해서 흘수증가량만큼의 여유수심을 더하여 산정한다.

(3) 만곡부 수로의 곡률반경은 만곡부 교각에 따라서 달라지며 만곡부 수로가 25° 이하일 경우 3L, 55° 이상일 경우 10L의 곡률반경이 필요하다.

(4) 만곡부 수로에 있어서 수로 폭은 일반적으로 최소 수로 폭에 최소 1B의 수로 폭 확장이 필요하다.

(5) 현재 추진 중인 경인 아라뱃길은, 가항수로 폭 72m의 직선수로에서는 개항 초기에 일방통행만으로 통항하고, 선박 운항자들의 수로특성에 대한 인지도 및 조종 숙련도가 축적되었을 때 교행통항을 시행하는 것이 통항안전성 확보 및 경제적인 운하이용에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

본 연구에서 도출된 결과를 바탕으로 우리나라 실정에 맞는 내륙수로 설계기준마련을 위한 기초모델로 사용할 수 있을 것이다. 또한 해상교통안전진단제도의 중요한 요소인 통항안전성 판정 시 기준자료로도 적용이 가능할 것으로 사료된다. 그리고 내륙수로와 같은 좁은 수로에서의 선박통항은 선박운항자의 심리적인 측면에서 많은 영향을 받기 때문에, 내륙수로의 설계기준이 여기서 제시한 기준보다 낮게 확정된 경우에는 선박 운항자들의 선박조선 숙련도가 높아졌다고 판단될 때까지 일방통행이나 시차제 통항을 시행하는 것이 수로의 안전성 향상에 크게 기여할 것으로 사료된다.

5.2 향후 연구과제

이 연구를 바탕으로 향후 계속되어야 할 연구과제로는 제시된 내륙수로 설계기준에 대한 다양한 환경 조건 하에서의 종합적인 선박조종시뮬레이션의 수행을 통한 검증이 요구된다. 또한 국내 도선사를 포함한 해상이용자의 의견 수렴과 함께 학계 전문가의 이론적인 연구 검토가 필요할 것으로 판단된다. 더불어 현재 실시되고 있는 해상교통안전진단제도 수행 과정에서 축척된 수로 설계 지침 등을 일반화한 후, 여기에 내륙수로의 조건에 필요한 추가적인 요소들을 고

려하는 방안도 적극적으로 검토할 필요가 있다고 사료된다. 끝으로, 현재 우리나라가 사용하고 있는 수로 설계 지침은 과거 일본의 수로 설계 지침을 사용하고 있을 뿐만 아니라 내륙 설계 지침이 전무하므로 우리나라 실정에 적합한 수로설계지침 작성을 위한 전문가 집단의 중장기적인 전문 연구가 반드시 수행되어야 할 것으로 판단된다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

참 고 문 헌

[1] 성유창, 김현욱, “선박의 교통 흐름을 고려한 항로 폭 결정에 관한 연구”, 2010년도 해양환경안전학회 춘계학술발표회 논문 (2010)

[2] 김환수, “선박의 안전을 위한 최적 항로배치 및 항로 폭 결정에 관한 연구”, 한국학술진흥재단 공모과제 논문 (1993)

[3] 장우종, 김영롱, 강성진, 김창제, “운하 등 제한수로에서의 항로조건에 관한 연구”, 2009년 해양환경안전학회 추계학술발표회 논문 (2009)

[4] Hossam El-Sersawy, A.F. Ahmed, "Inland Waterways Design Criteria and Its Applications in EGYPT (2005)

[5] 해양수산부, “항만 및 어항설계기준” (2005)

[6] PIANC, "Approach Channel a Guide for Design" (1997)

[7] US Army Corps of Engineers, "Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects" (2006)

[8] 한국수자원공사, “경인 아라뱃길 시설공사 실시설계 선박조종시뮬레이션 보고서” (2010)

[9] 한국선박기술, “경인운하 대상 선박 선박조종시뮬레이션 보고서” (2009)

[10] Fisheries and Oceans Canada, "Canadian Waterways National

Maneuvering Guidelines" (1999)

[11] The ministry of transport and water, "Guidelines Waterways RVW 2005" (2006)

[12] Department of Naval Facilities Engineering Commend, "NAVFAC DM-26.1" (1984)

[13] 목포해양대학교 SG연구사업단, “목포권 연안여객선의 최적항로 설계 및 효율적 운영방향에 관한 연구” (2007)

[14] 성정경, “부산 신항만 항로배치에 관한 연구, ”한국해양대학교 대학원 석사논문“ (2005)

[15] 정중식, 정재용, 김철승, “광양항의 항로설정에 관한 연구”, 2006년 해양환경안전학회지 (2006)

[16] 이윤석, 박영수, 이은, 정창현, 박진수, “해상교통안전을 고려한 해상교량의 적정 위치 및 규모에 관한 연구, 2009년 한국항해항만학회지 (2009)