



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

工學碩士 學位論文

해상교통 빅데이터를 활용한 GIS 환경에서의
항행공간계획에 관한 연구

A Study on Navigable Spatial Planning using Big Data on
Maritime Traffic in Geographic Information System Environment

指導教授 趙翼順

2020년 08월

한국해양대학교 대학원

해양플랜트운영학과

이정석

본 논문을 이정석의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 공학박사 공 길 영 (인)

위 원 공학박사 김 대 원 (인)

위 원 공학박사 조 익 순 (인)

2020년 07월 29일

한국해양대학교 대학원

목 차

Abstract	vii
국문초록	x
제 1 장 서론	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 연구 방법	4
제 2 장 국내외 항행공간계획 동향	6
2.1 해양공간계획(Marine Spatial Planning, MSP) 정의	6
2.2 항행공간계획 해외동향	7
2.2.1 영국	8
2.2.2 벨기에	12
2.2.3 미국	15
2.2.4 네덜란드	20
2.3 항행공간계획 국내동향	21
2.3.1 해양공간계획 수립 현황	21
2.3.2 항만 및 항행구역 한계점	23
제 3 장 수집 데이터 전처리 및 분석 프로그램	27
3.1 선박자동식별시스템 개요	27
3.2 AIS 데이터 특징 및 전처리 과정	30
3.3 분석 프로그램	35
3.3.1 지리공간정보시스템	35
3.3.2 공간정보 분류	35

제 4 장	항로 생성 알고리즘 적용	43
4.1	항로 생성 알고리즘	43
4.1.1	항로 생성 해석 모델링	43
4.1.2	항로 생성 알고리즘 개요	44
4.2	KDE(Kernel Density Estimation) 분석	46
4.2.1	KDE 개요	46
4.2.2	GIS 기반 KDE 분석	47
4.2.3	KDE 분석 결과	49
4.3	항로 생성 이미지 처리 기법	53
4.3.1	이미지 이진화 알고리즘	53
4.3.2	가장자리 추출 알고리즘	58
4.3.3	코너 탐지 알고리즘	64
4.4	항로 센터라인 추출 모델링	69
4.4.1	라인 스무싱 알고리즘	69
4.4.2	들로네 삼각분할 알고리즘	74
제 5 장	생성 항로의 비교 및 검증	80
5.1	항로 안전성 검증	80
5.1.1	굴곡도 검증	80
5.1.2	교각 검증	84
5.1.3	RCE 검증	87
5.2	생성 항로 항행공간계획 적용	92
제 6 장	결론	94
6.1	연구의 결론	94
6.2	향후 연구 과제	96
	참고문헌	98

List of Tables

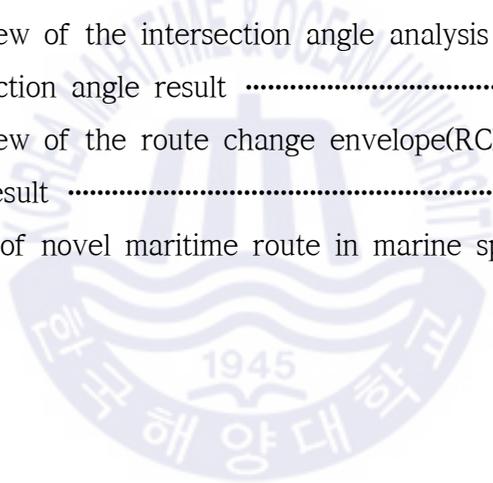
<Table 2.1> Tolerability based shipping route(90% of traffic)	11
<Table 3.1> Re-classification of ship' s type	29
<Table 3.2> Used AIS data before filtering	30
<Table 3.3> Used AIS data after filtering	30
<Table 3.4> AIS data characteristics	32
<Table 4.1> Analysis condition of KDE and Density	49
<Table 4.2> Analysis results KDE and density for class 1	50
<Table 4.3> Analysis results KDE and density for class 2	52
<Table 5.1> Difference among straight line, centerline, and sinuosity	83
<Table 5.2> Difference in intersection angle between the original route and the novel maritime route	86
<Table 5.3> The Result of RCE value in Seo sudo	88
<Table 5.4> The Result of RCE value in Dong sudo	89
<Table 5.5> The Result of RCE value in Fairway 1	90

List of Figures

⟨Fig. 1.1⟩ Marine spatial planning	7
⟨Fig. 2.1⟩ Shipping route width using 90% of maritime traffic	9
⟨Fig. 2.2⟩ Example of 20° deviation over 15NM	10
⟨Fig. 2.3⟩ Overview map of Belgium MSP	12
⟨Fig. 2.4⟩ Shipping, ports and dredging area of Belgium MSP	13
⟨Fig. 2.5⟩ Study workflow of NESERDA	16
⟨Fig. 2.6⟩ NESERDA' s AIS heat map of all vessels within the area 17	
⟨Fig. 2.7⟩ Percentage of vessel trips by each type of AIS-enabled ..	17
⟨Fig. 2.8⟩ Track plots of AIS-enabled vessel	18
⟨Fig. 2.9⟩ Main vessel traffic routes identified within the area of analysis	19
⟨Fig. 2.10⟩ Route area of Borssele offshore wind farm	20
⟨Fig. 2.11⟩ Marine spatial plan of Republic of Korea	22
⟨Fig. 2.12⟩ Marine spatial plan of Republic of Korea	23
⟨Fig. 2.13⟩ Harbour limit of Busan coastal area	24
⟨Fig. 2.14⟩ Designated area of Busan coastal area	25
⟨Fig. 2.15⟩ Plotting AIS point data around Busan coastal area	26
⟨Fig. 3.1⟩ Installed AIS receiver	27
⟨Fig. 3.2⟩ AIS receiver system	28
⟨Fig. 3.3⟩ AIS data Pre-Processing	33
⟨Fig. 3.4⟩ DIKW theory based AIS data processing	34
⟨Fig. 3.5⟩ The kind of GIS information	36
⟨Fig. 3.6⟩ Difference between raster and vector the letter “Y”	37
⟨Fig. 3.7⟩ Result of AIS plotting with point	38

<Fig. 3.8> Result of AIS plotting with line	39
<Fig. 3.9> Selection of analysis area with polygon	40
<Fig. 3.10> Result of AIS density analysis	41
<Fig. 3.11> Example of grid cell 5×5	42
<Fig. 4.1> Overview of the area for analysis	43
<Fig. 4.2> Flowchart of the novel maritime route extraction process	45
<Fig. 4.3> Kernel function is applied inside the search radius	48
<Fig. 4.4> Division of maritime traffic into 10 categories using the quantile method	50
<Fig. 4.5> Results of Class 1 analysis with the exclusion of the 0%~10% data	51
<Fig. 4.6> Results of Class 2 analysis with the exclusion of the 0%~10% data	52
<Fig. 4.7> Otsu binarization of Class 1	57
<Fig. 4.8> Otsu binarization of Class 2	57
<Fig. 4.9> Explanation of Image binarization principle	58
<Fig. 4.10> Description that sets the value of a pixel	61
<Fig. 4.11> Hysteresis thresholding description	62
<Fig. 4.12> Results of the boundary extraction using an edge extraction algorithm	63
<Fig. 4.13> Example of Harris corner detection algorithm	64
<Fig. 4.14> Selection corner, edge, flat of Harris algorithm	67
<Fig. 4.15> Result of Harris corner detection algorithm	68
<Fig. 4.16> Result of conversion raster data to vector data	69
<Fig. 4.17> Overview of the boundary smoothing process	71
<Fig. 4.18> Result of line smoothing operation	73
<Fig. 4.19> Result of Delaunay triangulation	75
<Fig. 4.20> Inserting the attributed values according to the number	

of neighboring triangles	76
<Fig. 4.21> Organization of the nodes, curves, and segments to create the centerlines	77
<Fig. 4.22> Centerline of Class 1 created through connecting nodes and curves	78
<Fig. 4.23> Centerline of Class 2 created through connecting nodes and curves	78
<Fig. 4.24> Centerline extraction of original route	79
<Fig. 5.1> Overview of sinuosity analysis	81
<Fig. 5.2> Sinuosity distance and index result	82
<Fig. 5.3> Overview of the intersection angle analysis	84
<Fig. 5.4> Intersection angle result	86
<Fig. 5.5> Overview of the route change envelope(RCE) analysis	87
<Fig. 5.6> RCE result	91
<Fig. 5.7> Result of novel maritime route in marine spatial	93



A Study on Navigable Spatial Planning using Big Data on Maritime Traffic in Geographic Information System Environment

Jeong Seok, Lee

Department of Offshore Plant Management
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

So far, various user using marine space around the world have been using it preemptively without a comprehensive management. Such practice has caused such social problems as increased conflicts between marine users and has led to excessive development of marine space. In an effort to resolve such issues, European countries, China, Japan, and the United States categorized marine space systematically and quantitatively prior to providing the area to the users. Especially, the navigation areas among the user using marine space are given priority over other purposes of marine use, and enables navigation routes to be secured.

In the Republic of Korea, the Ministry of Oceans and Fisheries and Busan Metropolitan City established and announced the Marine Spatial Management Planning for exclusive economic zones and territorial sea for the first time since the implementation of the Marine Spatial Planning Act. The planning divided marine-use areas into the following zones: fishery activity protection zone; aggregate, mineral resource development zone; marine tourism zone;

environment, ecosystem management zone; research and education conservation zone; port, shipping zone; military activity zone; and safety management zone. Here, the area covered by the port, shipping zone represents 17.36% of the territorial sea, and the figure stands at 1.07% in the exclusive economic zone. The designated territorial sea refers to the selected areas only inside the busan harbour limit and the traffic safety designated areas. The sea is not designated as a navigable area if it does not serve the purpose of the space required for sailing.

With the aid of a quantitative method, this study attempts to create novel maritime routes - while employing the big data of the maritime traffic to establish navigable areas - in the Marine Spatial Planning (MSP). To perform such task, the traffic density would be calculated based on the actual traffic data, while the safety of the novel maritime route would be verified by applying the new method of the route generating algorithms. Following the verification of the safety of the novel maritime route, this research will subsequently determine whether it can be applied to the navigable areas of the marine spatial planning, and then use it to the areas where the route is to be established or the areas requiring modification of the routes.

To apply the route generating algorithms, a one-year KDE (Kernel Density Estimation) analysis, based on the AIS (Automatic Identification System) marine traffic big data, was performed. The Quartic was used for Kernel function, and it was analyzed by applying overseas cases, in which 90% of the total sea traffic was selected as a navigation zone. The image processing algorithm based on the result of KDE analysis was conducted. Also, in order to separate the areas into the route part and the non-route part, the Otus binarization algorithm was used.

After performing the image binarization process, Sobel, Laplacian, and Canny's algorithms were applied to extract the boundary of the routes. As a result, Canny algorithm - the most accurate on obtaining boundaries - was used for the analysis. The boundary of the route consists of lines, and

the Harris detection algorithm was used to extract the corners where the lines meet one another. When the image processing algorithms are executed as above, it is possible to present the initial appearance of the generated route. However, the routes created by applying the image processing algorithms display some sections as uneven or cut off. The line smoothing operation could smoothen out the lines and combine cut-off parts. Then, the smoothened out route areas could be divided into triangles by applying the Delaunay triangulation. Depending on the number of triangles adjacent to the generated triangles, we can enter the attribute values from 1 to 3, and the individual attribute value can be composed of nodes, curves, and segments. When all segments are connected, it becomes finally possible to create the centerline of the route.

The generated centerline is compared with the centerline of the original route in terms of stability. To carry out the comparisons, the sinuosity verification, the intersection angle verification, and the route change envelope(RCE) are performed.

In the end, the centerline of the newly generated route, with few exceptions, achieved excellent results in terms of stability, and we intend to select it as a navigable area of the Marine Spatial Planning.

KEY WORDS: Maritime Traffic, Novel Maritime Route, Marine Spatial Planning, Kernel Density Estimation, Big Data, Image Processing Algorithm, Verification Route Stability

해상교통 빅데이터를 활용한 GIS 환경에서의 항행공간계획에 관한 연구

이 정 석

한국해양대학교 대학원
해양플랜트운영학과

초 록

최근 해양공간은 사용하는 주체들에 의해 구체적 관리체계 없이 선점식으로 이용되고 있다. 해양공간을 이용하는 주체들 간의 갈등이 심화되면서 해양 난개발이 발생하며 사회적인 문제가 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 영국, 벨기에, 미국, 네덜란드 등은 해양공간의 용도를 체계적, 정량적으로 분리하여 이용 주체들에게 제공하고 있다. 특히, 해양공간 이용 주체 중 항행구역은 다른 목적의 해양 용도보다 최우선시 되고, 항행을 확보할 수 있게 한다.

우리나라는 부산 인근 해역에 해양공간관리계획을 수립 및 발표하였다. 해양용도구역으로 어업활동보호구역, 골재·광물자원개발구역, 해양관광구역, 환경·생태계관리구역, 연구·교육보전구역, 항만·항행구역, 군사활동구역, 안전관리구역으로 분리하였다. 여기서 항만·항행구역이 포함하는 영역은 영해의 경우 17.36%이며, 배타적 경제수역에서는 1.07%로 나타난다. 영해 영역은 항계 내부, 교통안전특정해역으로만 선정되어 있으며, 선박이 항행하기 위한 이외의 해역에서는 항행구역으로 선정되어 있지 않다.

본 연구는 해양공간계획(Marine Spatial Planning, MSP)에서 정량적인 방법으로 항행공간계획의 수립 방법을 제시하고자 한다. 실측 해상교통 데이터 기반으로 선박의 항행 밀집도를 산출한 후, 새로운 방법의 항로 생성 알고리즘

을 적용하여 항로의 안전성을 검증한다. 생성된 항로의 안전성 검증 이후, 항행구역에 적용이 가능한지 파악하고 항로를 신설할 해역 또는 항로의 수정이 요구되는 해역에 적용하고자 한다.

항로 생성 알고리즘을 적용하기 위해 1년간의 선박자동식별시스템(Automatic Identification System, AIS) 해상교통 빅데이터 기반으로 KDE(Kernel Density Estimation)분석을 수행하였다. 사용된 Kernel 함수는 Quartic을 사용하였고, 전체 해상 교통량에서 90%를 항행구역으로 선정한 해외 사례를 적용하여 분석하였다. 90%의 KDE 분석 결과를 기반으로 이미지 처리 알고리즘을 수행하여 항로 부분과 그렇지 않은 부분으로 나누기 위해 Otsu 이진화 알고리즘을 수행하였다. 이진화 과정 수행 후, 항로의 가장자리를 추출하기 위해 Sobel, Laplacian, Canny의 알고리즘을 적용하였으며, 이 중 가장 정확하게 추출되는 Canny 알고리즘을 분석에 사용하였다. 항로의 가장자리는 선으로 이루어져 있으며 선과 선이 만나는 지점인 코너를 추출하기 위해 Harris 탐지 알고리즘을 사용하였다.

이와 같이 이미지 처리 알고리즘을 수행한다면 생성된 항로의 초기 모습을 나타낼 수 있다. 하지만, 생성된 항로의 초기모습은 일부 구간이 울퉁불퉁하며 끊어져 있는 부분이 존재한다. 이를 라인 스무싱 작업을 통해 항로를 부드럽게 만들어주고 끊어져 있는 부분을 연결한다. 부드럽게 생성된 항로 구역을 들로네 삼각분할을 적용하여 삼각형으로 분할한다. 생성된 삼각형에 이웃한 삼각형의 개수에 따라 속성값을 1 ~ 3까지 입력 하고, 개별 속성값은 노드, 커브, 세그먼트를 구성할 수 있다. 세그먼트를 모두 연결하면 최종적으로 항로의 센터라인을 생성할 수 있다.

생성된 센터라인은 항로 안전성 측면에서 비교하기 위해 기존 항로의 센터라인과 굴곡도 검증, 교각 검증, RCE(Route Change Envelope) 검증을 수행한다. 일부 구간을 제외하고, 생성된 센터라인은 안전성 측면에서 우수한 결과를 가져왔으며, 이를 해양공간계획의 항행구역으로 선정한다.

핵심용어: 해상교통, 항로생성, 해양공간계획, 커널 밀집 예측, 빅데이터, 이미지 처리, 항로 안전성 검증

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 다양한 주체들에 의해 해양공간을 구체적 관리체계 없이 선점식으로 이용해오면서 이용 주체들 간 갈등이 심화되고, 해양 난개발이 발생하는 등 사회적인 문제로 자리 잡았다. 이러한 사회적인 문제는 인적 피해, 물적 피해, 환경오염을 야기할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 영국, 벨기에, 미국, 네덜란드 등은 해양공간의 용도를 체계적, 정량적으로 분리하여 이용 주체들에게 제공하는 해양공간계획(Marine Spatial Planning, MSP)을 수립하고 있다. 해양공간을 구성하는 주체 중 항행구역은 다른 용도보다 최우선시되고, 자유를 보장함으로써, 선박의 안전한 항행에 도움을 주는 특징이 있다.

우리나라의 경우 부산에서 처음 해양공간계획이 수립되었으며 어업활동보호구역, 골재·광물자원개발구역, 해양관광구역, 환경·생태계관리구역, 연구·교육보전구역, 항만·항행구역, 군사활동구역, 안전관리구역으로 분리하였다. 이 중 항만·항행구역에 대해 영해의 경우 17.36%이며, 배타적 경제수역에서는 1.07%로 나타난다. 이와 같이 선정된 해역은 항계 내부와 교통안전 특정해역으로만 선정되어 있으며, 이외의 해역에서는 항행구역으로 선정되어 있지 않다. 이러한 한계점을 바탕으로, 다른 국가의 항행구역 선정사례를 적용하여 우리나라 인천항의 항행공간계획을 연구하였다. 인천항으로 선정된 이유는 항로가 구체적으로 계획되어 있고, 통항 선박에 따른 항로 생성이 적합하였기 때문이다. 항행공간계획을 나타내기 위해 해상교통 데이터 기반의 정량적인 방법으로 항로를 생성하였으며, 항로의 안전성 검증을 수행한 후 적용하고자 한다(Lee et al, 2020).

지난 30년간 선박의 대형화, 물동량의 증가로 인하여 급격한 산업발전을 이루었다(Jinxian et al, 2015). 이러한 변화에 따라 여러 국가와 기관에서 선박 사고 예방과 안전한 운항을 위한 항로를 설계한다(Debnath et al, 2010).

항로란 해상교통의 수단인 선박이 무역항에 출입하기 위한 통로로 사용되는 곳을 말한다. 항로를 설계하기 위해 여러 국가와 기관에서 정량적인 방법으로 설계 기준을 제시하고 있다. 대한민국의 경우 ‘항만 및 어항 설계기준’에 따라 항로 설계와 관련된 전체적인 기준을 제시하고 있다. 대한민국의 항만 및 어항 설계 기준 (2017)에서 항로 폭 설계는 선박의 길이와 교통상태를 고려하여 0.5L ~ 2.0L로 제시하고, 곡률도는 만곡부의 교각을 30° 를 넘지 않는 것이 바람직하다고 설명한다. PIANC(The World Association for Waterborne Transport Infrastructure) WG 121은 유럽 지역을 중심으로 하여 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 항로 설계 지침이다(박준모, 2011). PIANC WG 121 (2014)에서는 항로를 가능한 직선으로 배치하고, 항로 폭 설계는 선박 간 상호작용·자연현상·유체역학적 영향을 고려하여 제시하며, 곡률도는 선박의 선회성능 및 항로의 수심을 고려하여 제시하는 것으로 설명한다.

이를 제외하고도 많은 국가에서 항로 설계 기준을 제시하고 있으나, 항로의 안정성을 정량적으로 검증하는 방법은 없다. 항로의 안정성은 선박이 안전하게 운항하는 데 있어 항로의 굴곡도와 교각을 정량적으로 나타낸 방법을 말한다. 즉, 선박 운항 측면에서 항로의 폭이 넓거나 항로가 직선에 가까울수록 그리고 항로변경 각이 작을수록 항로의 안정성은 높아지는 것을 의미한다.

따라서 기존 항로의 안정성을 검증하기 위해, 실측 데이터를 기반으로 다양한 비교 방법을 적용하였으며, 해양공간에 항행구역을 적용하고자 이 연구를 시작하였다. 먼저, 실측데이터 기반의 새로운 항로를 만들기 위한 방법으로 육역의 도로 네트워크를 추출한 방법을 참조하였다.

Wei et al (2018)와 Zuchao et al (2014)는 육역의 자동차 주행 데이터와 클라우드 소싱을 이용한 방법으로 육역의 도로 가장자리를 추출하고 나타내었다. James et al (2012)와 Xuemei et al (2012)는 GPS(Global Positioning System) 기반 자동차 주행 경로를 사용하여 도로 Map을 생성하였다. Mohamad et al (1982)와 Volodymyr et al (2010)는 위성이미지를 이용하여 육역의 도로를 추출하고 설계하였다. 이와 같이 자동차의 GPS 정보와 자동차

주행 경로를 활용한 다양한 분석 기법으로 육역의 도로를 추출하고 네트워크를 설계하였다. 이러한 방법 기반으로 Guiling et al(2019)은 해상의 AIS(Automatic Identification System) 데이터를 이용하여 Novel Maritime Road Network를 추출하였다. 이 방법은 선박의 밀집도 데이터를 이미지 처리하고, 항로의 가장자리를 필터링하는 작업을 거쳐 새로운 방법의 Network를 생성한 것이다.

본 연구는 Novel Maritime Road Network를 참조하여 항로를 생성한 것이지만, 지리 정보 시스템(Geographic Information System, GIS)을 기반으로 새로운 방법의 항로 추출을 수행했다(Lee et al, 2020). 또한, 설계된 항로와 기존 항로를 정량적으로 비교하기 위해 새로운 방법을 적용하고 분석했다. 분석 해역은 대한민국의 인천항 접근을 위한 기존 항로를 대상으로 하고, AIS 데이터는 GIS 포인트 형태의 위도 및 경도 데이터를 포함한다(이정석 외, 2019). 여기에서 AIS 데이터 분류 기준은 해사안전법 제2조 7항(2011)에 따른 거대선 기준으로 선박 길이 200m 미만과 200m 이상으로 설정하였다. 이는 선박이 크기에 따라 다른 항해 패턴을 가지고 있기 때문에 시각적으로 쉽게 비교하고자 함이다. 또한, 밀집도 분석과 KDE(Kernel Density Estimation) 방법을 사용하여 포인트 형태의 AIS 데이터를 분석하고 KDE 분석 결과에 다양한 이미지 처리 기술을 사용하였다. 이어서, 실측 데이터 기반으로 생성된 새로운 항로의 센터라인이 라인 스무싱 및 들로네 삼각분할(Delaunay Triangulation)을 사용하여 생성되었다. 이처럼 생성된 새로운 항로의 센터라인은 항로 안전성 검증을 위하여 기존 항로의 센터라인과 비교했다. 센터라인 비교는 다양한 분석 기반의 항로 안정성의 효율 지수를 나타낸다. 기존 항로와의 안전성 검증을 위해 굴곡도(Sinuosity), 교각(Intersection Angle), 그리고 RCE(Route Change Envelope)를 분석했다. 새로운 항로가 안정성 측면에서 우수한 결과를 나타낼 경우, 새롭게 항로가 생성될 해역, 항로 수정이 필요한 해역 또는 해양공간계획 내 항행구역에 항로공간계획으로 적용하고자 한다.

1.2 연구 방법

본 논문은 5개의 장으로 구성되어 있다.

제2장은 해양공간계획의 정의와 국내외 항행공간계획 동향에 대한 분석에 관해 설명하였다. 영국은 해상풍력발전단지과 통항 선박 간의 이격거리를 전체 교통량의 90%로 선정하여 항행구역을 선정하였다. 벨기에는 전 세계에서 가장 체계적인 해양공간을 선정하였고, 항행구역을 최우선시하는 사례를 보여주었다. 미국은 연간 통항 척수에 따른 선종별 밀집도를 분석하여 정량적인 항행구역을 선정하였다. 네덜란드의 경우 해상풍력발전단지 내의 선박이 항행할 수 있는 구역을 일정한 거리를 기준으로 선정하였다. 하지만, 국내의 경우 실측 데이터 기반이 아닌 기존의 항계, 교통안전특정해역 등을 항행구역으로 선정하였다. 따라서 선진사례를 통한 실측 해상교통 데이터를 기반으로 항로를 설계하여 공간계획에 반영하는 중요성을 기술하였다.

제3장은 수집된 데이터 전처리와 분석에 사용된 프로그램의 설명을 기술하였다. AIS 데이터의 수집, 추출, 전처리 과정에 관해 설명하였고, 시각화와 분석에 사용된 GIS의 설명을 나타냈다. 공간분석에 사용되는 공간자료인 점·선·면 벡터 데이터의 정의와 이미지 형식의 래스터 데이터와의 차이점에 관해 설명하였고, 본 연구에서의 활용 방법에 대해 기술하였다.

제4장은 본 연구에서 도출하고자 하는 항로 생성 알고리즘에 대한 기본 설명을 하였다. AIS 데이터를 기반으로 KDE와 밀집도 분석 방법의 개념 설명과 분석을 수행하였다. KDE 분석 결과를 기반으로 이미지 이진화 작업, 항로 가장자리 추출, 항로 가장자리 코너 추출, 들로네 삼각분할과 필터링을 통한 항로의 노드와 커브 및 세그먼트를 생성하여 최종 결과물인 항로의 센터라인 추출에 대해 소개하였다.

제5장은 새롭게 생성된 항로의 센터라인과 기존 항로와 센터라인을 대상으로 굴곡도 비교, 교각 비교, RCE 분석을 통해 항로 안정성을 검증하고, 이를 해양공간계획 내 항행구역에 반영하는 최종 결과에 관해 설명하였다.

마지막으로 제6장에서는 제4장에서 도출된 KDE 분석 방법과 전체 교통량의 90% 적용, 이미지 처리 알고리즘에 따른 항로 추출과 라인 스무싱 및 들로네 삼각분할을 이용하여 생성된 항로의 센터라인 생성에 관해 설명하였다. 그리고 제5장의 생성된 항로의 센터라인을 기존 항로의 센터라인과 굴곡도, 교각, RCE로 비교 검증하여 생성된 항로 안전성을 종합한다. 종합 결과는 해양공간계획에서 항행구역으로의 선정 가능성에 관해 설명하였고, 항로 생성에 관련하여 다양한 분야에 적용할 수 있는 연구에 관해 설명하였다. 마지막으로 본 연구의 한계점과 향후 연구 과제를 제시하였다.



제 2 장 국내외 항행공간계획 동향

2.1 해양공간계획(Marine Spatial Planning, MSP) 정의

최근 해양공간은 다양한 주체들에 의해 사용되고 있다. 하지만, 종합적인 관점의 구체적 관리체계 없이 선점식으로 이용해오면서 이용 주체들 간의 갈등이 심화되고, 해양 난개발이 발생하는 등 사회적인 문제로 자리 잡았다. 해양에서 지속적으로 증가하는 해양공간정보는 수많은 갈등과 분쟁을 감당하기 어려워졌고, 해양공간에서의 인간의 지속가능한 이용을 위한 강력한 패러다임의 등장을 필요로 하게 되었다. 통합(integration) 개념에 기반하여 연안 해역을 관리하는 개념의 연안통합관리(integrated coastal zonemanagement)는 상기 이유로 등장한 기존 패러다임 중 가장 강력한 것이었다. 하지만, 연안통합관리도 생태적·사회적·경제적 분야의 다양한 목적을 위한 해양공간 이용 활동을 통합 관리하고 공간적으로 배분함으로써 갈등과 분쟁을 해결하기에는 실행적 수단이 되지 못한다는 평가를 받는다. 즉, 지속가능한 이용을 위해 적절한 해양공간관리 수단의 필요성이 제기되는 것이다(이문숙, 2011). 이러한 분쟁을 해결하기 위해 도입된 해양공간계획은 해양에서 이루어지는 모든 이해관계를 해결하기 위한 핵심적인 관리수단이다. 해양공간계획은 Fig. 1.1과 같이 해양환경·생태관리, 어업활동보호, 골재·광물자원개발, 해양에너지개발, 해양관광, 연구·교육보전, 항만·항행, 군사, 안전관리구역 등과 같이 다양한 분야를 포괄적으로 포함하는 9개의 구성으로 되어있다. 세부적으로, 해양공간계획 과정은 계획과 분석, 이행, 모니터링과 평가의 3단계로 구성되며, 이 과정에서 해양에서 일어나는 활동의 유형, 강도, 분포를 파악하기 위한 다양한 형태의 해양공간정보가 요구된다(최희정 외, 2016).



Source : KMI, 2016

Fig. 1.1 Marine spatial planning

해양공간계획의 중요성은 점점 대두되고 있고 국내의 항만·항행구역의 선정을 위한 적절한 방법 고안이 필요하다. 항행구역 선정을 정량적으로 적용하기 위해 해상교통 빅데이터 기반으로 항로를 설계하고, 더 나아가 항행공간계획으로 적용하여 해양공간계획 이외에 항로 생성해역, 항로를 수정할 해역에 적용하고자 한다.

2.2 항행공간계획 해외동향

세계적으로 신재생 에너지 자원개발, 발전단지 등 육상에서의 개발 한계점을 해양에서 해소하기 위해 기존 해양 이용자들(선박, 어업, 군사, 관광)과의 이해관계가 복잡한 상황이다. 이에 따라 해양공간을 다양한 용도로 사용하기 위해 각 이해 관계자들의 연구와 평가가 활발하게 진행되고 있다. 그 중 영국, 벨기에, 네덜란드, 독일, 미국 등은 이를 해결하기 위해 정량적으로 공간을 평가하여 계획하고 있다. 해양공간속 선박이 이용하는 항행구역에 대해 선박의 안전, 해양 시설물과의 보호 등 다양한 요소를 고려하여 선정하였고, 이 중 해상풍력발전단지와의 이격거리를 통한 선박의 통항로 선정 연구가 활발하게 진행

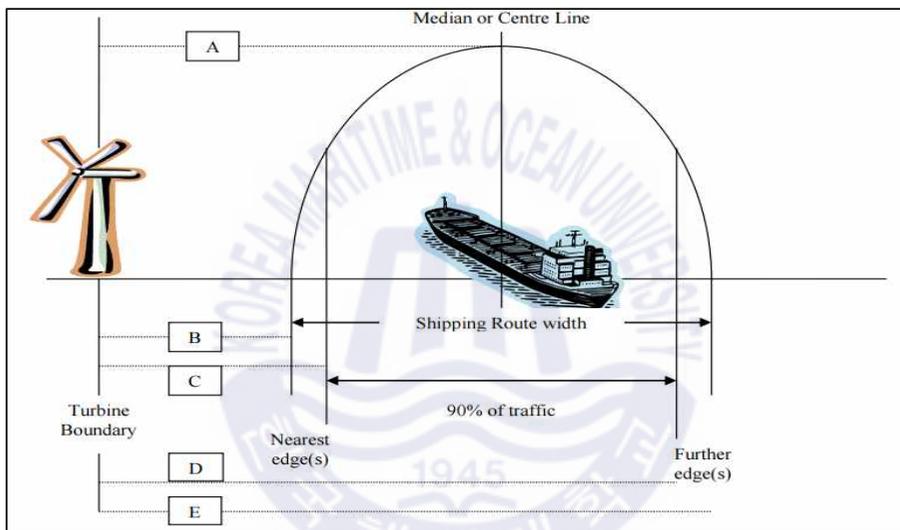
중에 있다(이정석 외 2019). UNCLOS (1982)는 선박의 안전한 항해와 해양시설 물과의 이격거리를 500m로 나타내고 있다. 그러나 이는 이격거리만 나타낼 뿐 선박의 항행구역을 정량적으로 정확하게 규명하고 있지 않다. PIANC WG 161(2018)은 IMO(International Maritime Organization)의 선박 조종성능기준인 5L, 선박 운항자의 심리적 요소를 고려한 1L, UNCLOS의 이격거리인 500m를 고려하여 6L + 500m를 선박과 해상풍력발전단지의 이격거리를 권장하고 있다. 기관에서는 선박과의 이격거리 산출 방법을 다양하게 제시하였으나, 정량적으로 항행구역의 선정은 수행되지 않았다.

2.2.1 영국

UK MCA MGN 543 (2016)은 영국의 대표적인 항행구역 선정연구이다. 영국 정부 주관의 신재생에너지 발전단지로부터 선박까지의 이격거리를 정량적으로 나타내고 항행구역을 선정하였다. 신재생에너지 중 해상에 설치되는 시설은 대표적으로 해상풍력발전단지가 있으며, 인근을 항행하는 선박과의 이격거리기반으로 항행구역을 나타냈다. 이와 같은 방법은 해상교통량을 대상으로 항로를 만들고, 교통량 분포인 90% 대상으로 해상풍력발전단지와 가까운 가장자리 및 바깥쪽 가장자리를 항로로 선정하는 방법이다. 이러한 방법은 AIS데이터 기반으로 수행하게 되며, 항로의 폭을 고려할 때 추가적인 요소가 고려된다. 항행구역을 생성하기 위한 주변 해역과 위치적 요소를 고려해야 하며, 해상풍력터빈의 개수가 2개 이상으로 구성되어 있을 경우에는 각 터빈의 거리를 고려하여 항로 폭을 선정하게 된다. 또한 선박이 항만인근 해역, 하천 등 제한적인 해양공간에서는 더 엄격한 기준을 적용해야하고, 선박의 크기, 배수량, 기동성을 모두 고려하여 선정해야한다.

Fig. 2.1은 UK MCA MGN 543의 전체 해상교통량 중 90%만을 사용하여 선박이 통행하는 항로를 선정하는 방법을 나타낸 것이다.

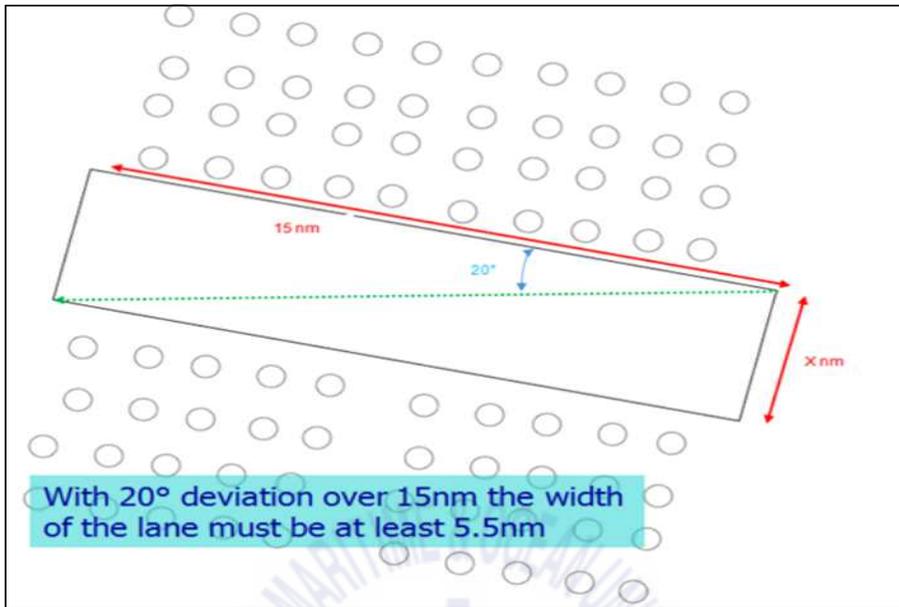
A는 선박 항로의 중심선과 해상풍력터빈의 중심선을 나타낸다. B는 선박 항로의 가장자리와 해상풍력터빈의 중심선을 나타낸다. C는 90%의 선박 항로의 가까운 가장자리와 해상풍력터빈의 중심선을 나타낸다. D는 90%의 선박 항로의 바깥쪽 가장자리와 해상풍력터빈의 중심선을 나타낸다. E는 100%의 선박 항로의 바깥쪽 가장자리와 해상풍력터빈의 중심선을 나타낸다.



Source : UK MCA MGN 543, 2016

Fig. 2.1 Shipping route width using 90% of maritime traffic

또한, Fig. 2.2와 같이 해상풍력발전단지와 항행구역 선정 해역에서의 예상되는 날씨, 해상 및 조석 조건의 제약을 고려해야 한다. 이는 선박 조종과 직접적인 영향을 가지게 되므로 항로로부터 이각이 20° 가 넘지 않도록 주의해야 한다.



Source : UK MCA MGN 543, 2016

Fig. 2.2 Example of 20° deviation over 15NM

Table 2.1은 UK MCA MGN 543의 항행구역과 풍력 단지의 거리에 대한 기준을 나타낸 것으로, 3가지의 허용 단계로 구분하여 권장하고 있다. 해상풍력터빈과 전체 해상교통량 90% 기준 항행구역 가장자리 거리를 3가지 허용 단계로 구분한 것으로, 거리가 <math><0.5\text{NM}</math>(Nautical Mile)의 경우에는 X-Band 레이더의 간섭영향으로 인해 받아들일 수 없는 조건(Intolerable)으로 나타내고 있다. $0.5\text{NM} - 3.5\text{NM}$ ($926\text{m} - 6,482\text{m}$)은 선박 운항자가 COLREG(Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea)를 준수하며 S-Band 레이더와 ARPA의 간섭 영향을 고려요인으로 보고, ALARP(As Low As Reasonably Practicable) 위험이 합리적으로 실행 가능한 최대한 낮게 해야 한다는 조건하에 허용하고 있다. 그리고 $>3.5\text{NM}$ ($>6,482\text{m}$)은 해상풍력 터빈과 항행구역 최소 이격거리를 말하며 넓게 허용되는 기준이다.

Table 2.1 Tolerability based shipping route(90% of traffic)

Distance of turbine boundary from shipping route (90% of traffic, as per Distance C)	Factors for Consideration	Tolerability
<p><0.5NM (<i><926m</i>)</p>	<p>X-Band radar interference Vessels may generate multiple echoes on shore based radars</p>	<p>Intolerable</p>
<p>0.5NM-3.5NM (<i>926m-6,482m</i>)</p>	<p>Mariners' Ship Domain (vessel size and manoeuvrability) Distance to parallel boundary of a TSS S-Band radar interference Effects on ARPA (or other automatic target tracking means) Compliance with COLREG</p>	<p>Tolerable if ALARP Additional risk assessment and proposed mitigation measures required</p>
<p>>3.5NM (<i>>6,482m</i>)</p>	<p>Minimum separation distance between turbines opposite sides of a route</p>	<p>Broadly Acceptable</p>

Source : UK MCA MGN 543, 2016

2.2.2. 벨기에

European MSP platform (2016)에 따르면 벨기에의 북해 해역은 세계에서 다양한 용도로 가장 많이 사용되는 바다 중 하나이다. 항행, 관광, 어업, 모래 개발, 풍력 등 모든 활동은 바다를 활용하고 있고, 이러한 활동 속에서 복잡한 이해관계가 발생하고 있다. 따라서 모든 관계의 균형을 맞추기 위해 벨기에는 정부차원에서 북해 해역에 해양공간계획을 수립하였다. 벨기에는 모든 해양 활동을 서로 연계시키는 것을 중요하게 판단하고 있고, 바다와 생명을 최적으로 보호하기 위한 공간계획 수립을 수행하였다. 이 계획은 6년 동안 시행되었고, 여러 국가들이 참조 할 수 있는 해양공간계획을 수행하였다. 벨기에의 북해 해역은 총 면적 $3,454\text{km}^2$, 육지로부터 가장 먼 해역의 거리는 45NM, 평균 수심은 20m, 가장 깊은 수심은 45m, 총 해안 길이 65km이며, 벨기에의 해양공간계획 전체 지도는 Fig. 2.3과 같다.



Source : European MSP platform, 2016

Fig. 2.3 Overview map of Belgium MSP

벨기에는 자연 보호구역(Nature Conservation), 에너지·케이블·파이프라인구역(Energy, Cable and Pipelines), 항행·항만·준설구역(Shipping, Ports and Dredging), 어업·양식(Fisheries and Aquaculture), 모래·자갈 개발 및 연안 보호(Sand and Gravel Exploitation, Coastal Protection), 군사구역(Military Use), 관광·문화·과학·연구(Tourism and Recreation, Cultural Heritage, Scientific and Measuring Poles)로 7개로 구성하여 나타내고 있다.

Fig. 2.4는 벨기에 북해의 항행구역을 나타낸 것으로 매일 상선, 어선, 순찰선, 여객선 및 유람선과 같이 모든 유형의 선박이 평균 400척 이상 통항한 것을 구획화 한 것이다.



Source : European MSP platform, 2016

Fig. 2.4 Shipping, ports and dredging area of Belgium MSP

벨기에의 항행구역 선정에는 ‘Free’, ‘Innocent’의 원칙이 적용된다 (European MSP platform, 2016). 이 원칙은 국제 해법에 관한 국제 협약인 UNCLOS에 명시되어 있다. 항행구역 A에서는 항행이 다른 활동보다 우선한다는

것을 나타내고 있으나, 선박은 이러한 항행구역을 따라할 의무는 없다. 즉, 선박의 자유로운 항행을 방해하진 않으나, 다른 해양활동에 대해서는 항행구역이 침해받지 않는 공간을 말한다. 또한, Zeebrugge와 Ostend의 항구 B 구역은 바다 쪽으로 더 확장될 수 있다. 게다가, 준설구역인 C에서는 선박이 항로를 통과하고 항구의 건설과 유지 보수가 가능하도록 필수적 나타내고 있다. 준설된 모래는 처리되기 위해 특별히 고안된 장소에 버려진다. 처분 장소는 E구역으로 선정되어 있으며, 이는 주변 어업활동에 적은 영향을 미친다. 하지만 F구역인 에너지 분야의 기존 풍력발전단지 주변에서는 선적 및 준설이 허용되지 않는다. 또한 선박의 정박지를 나타내는 Anchorage도 선정되어 있다.

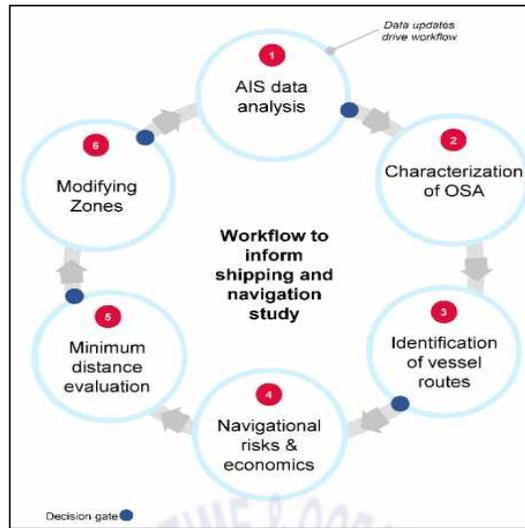


2.2.3. 미국

NESERDA(2017)는 미국 뉴욕 해안에서 설치되는 해상풍력발전단지와 항행 구역의 선정을 위해 유용한 정보를 제공하고자 수행된 연구이다. 뉴욕의 항구로 입출항하기 위한 상선 및 여객선의 안전한 통행을 보장하기 위한 3개의 항로는 이미 마련되어 있으나, 해상풍력발전단지 해역에는 고려되어 있지 않고 상선 이외 예인선, 어선 및 기타 선박에 대한 항로는 없다. 따라서 해상풍력발전단지 선정 과정에 항행구역이 많이 포함 되어야할 요소로 판단되어 본 연구가 수행되었다. 이 연구를 수행하기 위해 사용된 데이터는 AIS이며 GIS 기반으로 2011년, 2013년 그리고 2014년의 해양지리정보가 통합되어 사용되었다. 또한 연간 선박 21척 이상이 지나간 밀집도를 경계로 하여 항로를 생성하였으며, 그 결과 총 7개의 항행구역이 나타났다. 이 연구는 또한 다양한 항법을 고려하였으며, 유럽 사례 연구를 기반으로 항로의 폭을 선정하였다.

Fig. 2.5에서 항행구역을 나타내기 위한 방법 중 첫째, 가장 먼저 AIS 데이터 기반으로 히트맵 분석과 밀집도 분석을 수행한다. 둘째, GIS기반으로 선박 행동 및 항행 패턴에 대하여 정보 수집 및 특성을 확보한다. 셋째, 선박 항행구역을 정의하고, 주요 통항 구역을 결정한다. 넷째, 항행구역의 위험 가능성을 나타내고, 주요 선박사고가 발생한 곳인지 평가한다. 다섯 번째, 해외 사례의 적용을 통해 항로의 방법론은 적용한다. 마지막으로, 경제적 평가와 최종적 항행구역을 선정하고 기술 보고서를 제출한다.

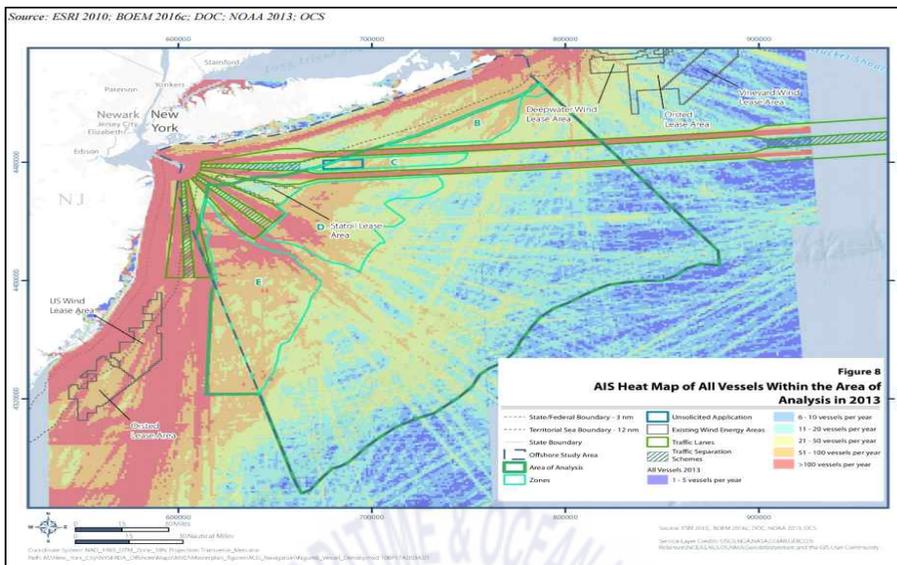
AIS 데이터 기반의 히트맵 분석 결과는 Fig. 2.6과 같다.



Source : NESERDA, 2017

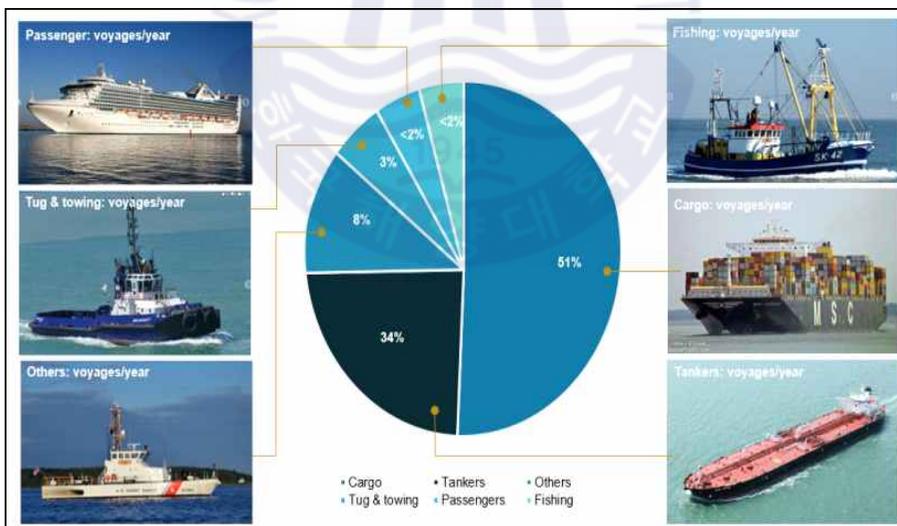
Fig. 2.5 Study workflow of NESERDA

Fig. 2.6은 AIS 데이터를 기반 히트맵으로 시각화 한 결과이다. 빨간색 부분이 선박의 밀집도가 가장 높은 구역이며 파란색에 가까울수록 선박 밀집도가 낮음을 의미한다. 이러한 방법은 고밀도에서 저밀도로 시각화 하는 것이 효과적이지만 주요 선박 항행구역을 명확하게 식별하는데 한계가 있다. AIS 데이터에 따르면 화물선, 유조선, 예인선, 여객선 및 어선은 해당 해역에서 가장 많은 데이터로 구성되어 있지만 다른 유형의 데이터인 군함, 미국해안경비대 (United States Coast Guard, USCG), WIG선, 고속선 및 요트 등과 같은 선박도 많이 통항하는 해역이다. 해당 해역의 이용선박을 백분율로 나타낸 결과는 Fig. 2.7과 같다. 분석 해역의 선박 유형 중 화물선은 전체 선박 중 약 51%를 차지했으며 유조선은 34%를 차지했다. 예인선 유형은 3%, 여객선 1.6% 및 어선 1.4%로 구성되었다. 나머지 군함, 미국해안경비대, WIG선, 고속선 및 요트 등과 같은 선박은 약 8%를 차지했다. Fig. 2.8은 모든 선박 유형에 대한 경로를 시각화하기 위해 5 ~ 20개의 선박, 21 ~ 50개, 51 ~ 100개 선박, 100개가 넘는 선박의 밀도 분류를 사용하여 각 범례에 대한 결과를 나타낸다.



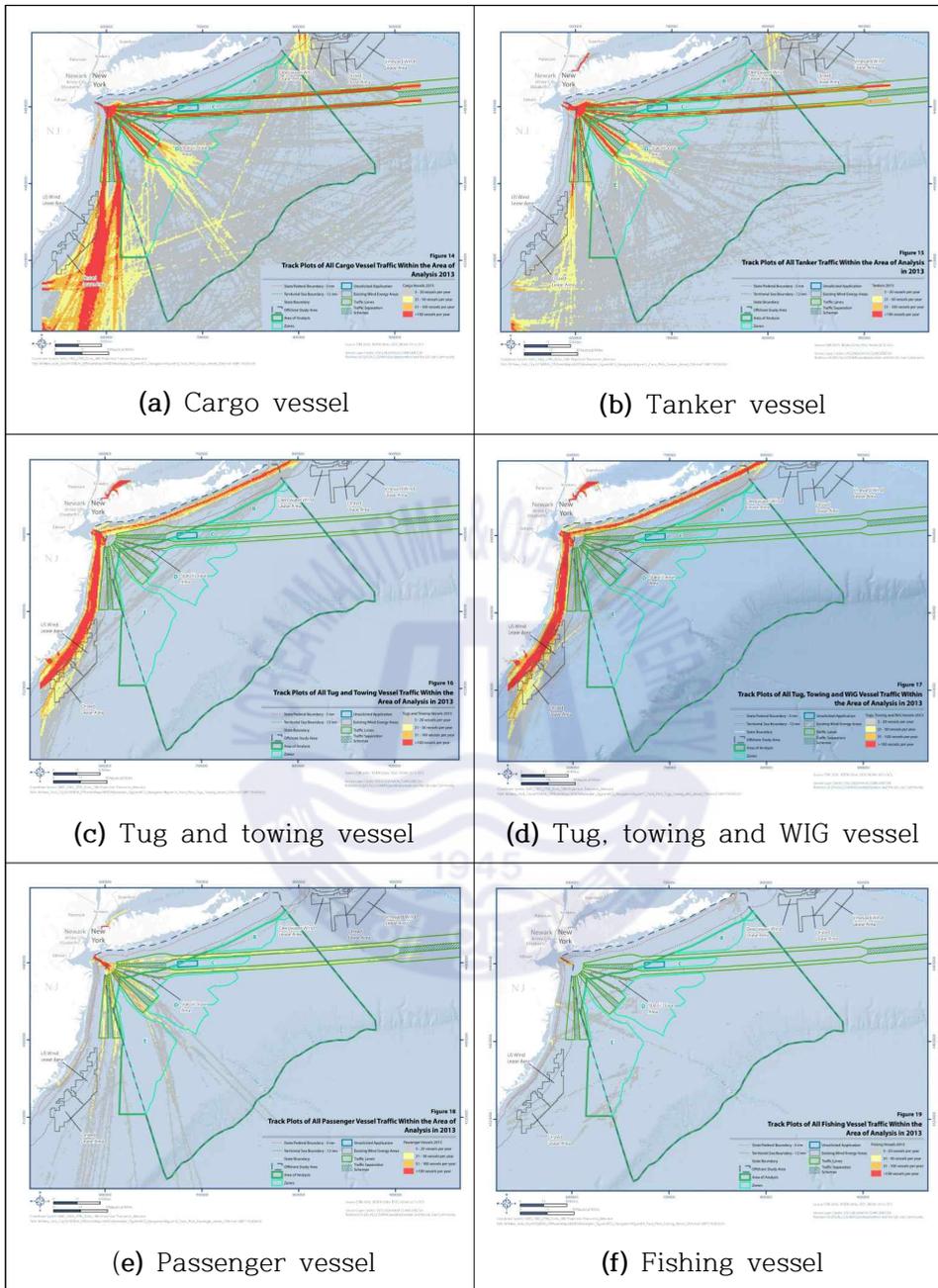
Source : NESERDA, 2017

Fig. 2.6 NESERDA ' s AIS heat map of all vessels within the area



Source : NESERDA, 2017

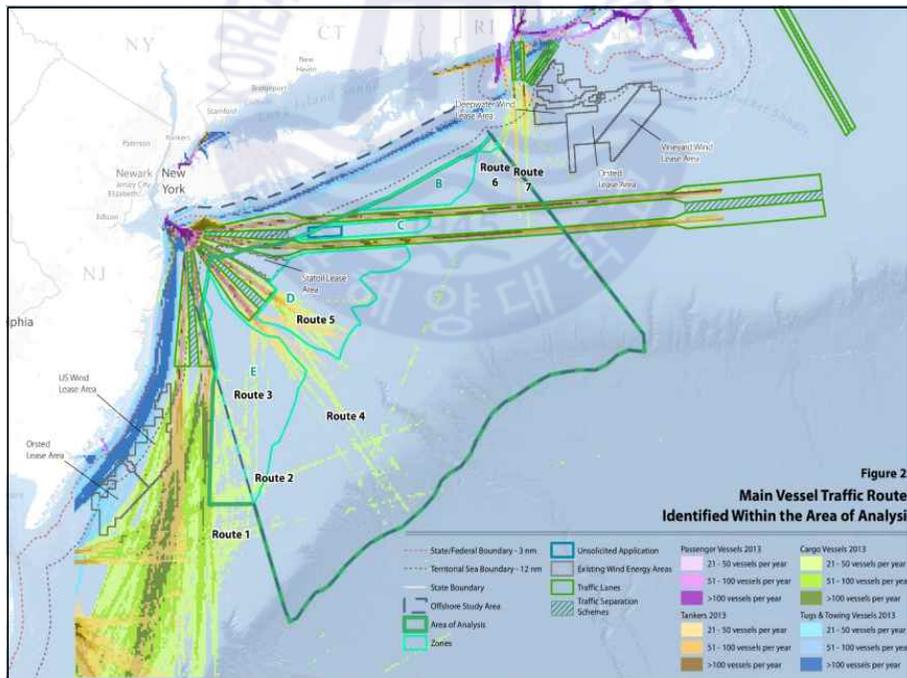
Fig. 2.7 Percentage of vessel trips by each type of AIS-enabled



Source : NESERDA, 2017

Fig. 2.8 Track plots of AIS-enabled vessel

Fig. 2.8은 AIS 정보획득이 가능한 선박을 대상으로 나타난 밀도 분석 결과이다. Fig. 2.8(a)는 화물선을 나타낸 것으로 주요 항로와 통항분리방식(Traffic Separation Scheme, TSS)을 따르며 밀도 분포가 나타나는 것으로 확인된다. Fig. 2.8(b)는 유조선의 분석 결과로 화물선과 유사한 패턴으로 나타난다. 다만 화물선과 이용하는 항구의 차이에 따라 밀도의 차이가 다르게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 2.8(c)는 예인선을 나타낸 것으로 연안 경로를 주로 사용하는 결과를 나타내며, Fig. 2.8(d)는 WIG선을 결합하여 나타낸 것으로 밀도의 변화량을 파악하였으나 실질적으로 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. Fig. 2.8(e)는 여객선의 분석 결과를 나타낸 것으로 주요 항로와 통항분리방식을 따르는 경향이 있음을 알 수 있다. Fig. 2.8(f)는 어선의 패턴을 나타낸 결과이며, 모든 결과를 종합하여 나타낸 주요 항행구역은 Fig. 2.9와 같다.

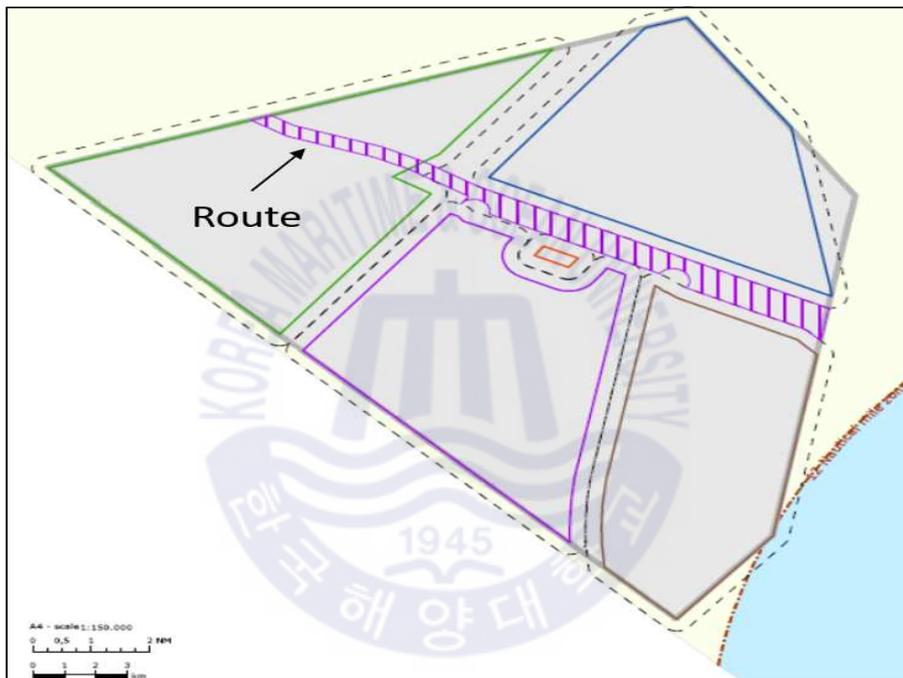


Source : NESERDA, 2017

Fig. 2.9 Main vessel traffic routes identified within the area of analysis

2.2.4. 네덜란드

NEA (2016)은 네덜란드의 Borssele 해상풍력단지의 조성을 위해 항행구역을 선정하여 나타냈다. 해상풍력발전단지 조성 지역 간의 최소 거리는 1.0NM(1,852m) ~ 1.1NM(2,037m)이지만 항행구역으로 제안된 거리는 3 cable (≒555m)로 나타나며 Fig. 2.10과 같다.



Source : NEA, 2016

Fig. 2.10 Route area of Borssele offshore wind farm

해상풍력발전단지의 유지 보수를 위해 단지 내에서의 특정 선박의 통항은 요구되어 진다. 따라서 해상풍력발전단지 내의 일정 해역을 선박이 통항하는 전용 구역으로 선정하여 해양시설물의 안전 및 안전한 선박의 통항을 확보한다.

2.3. 항해공간계획 국내동향

2.3.1. 해양공간계획 수립 현황

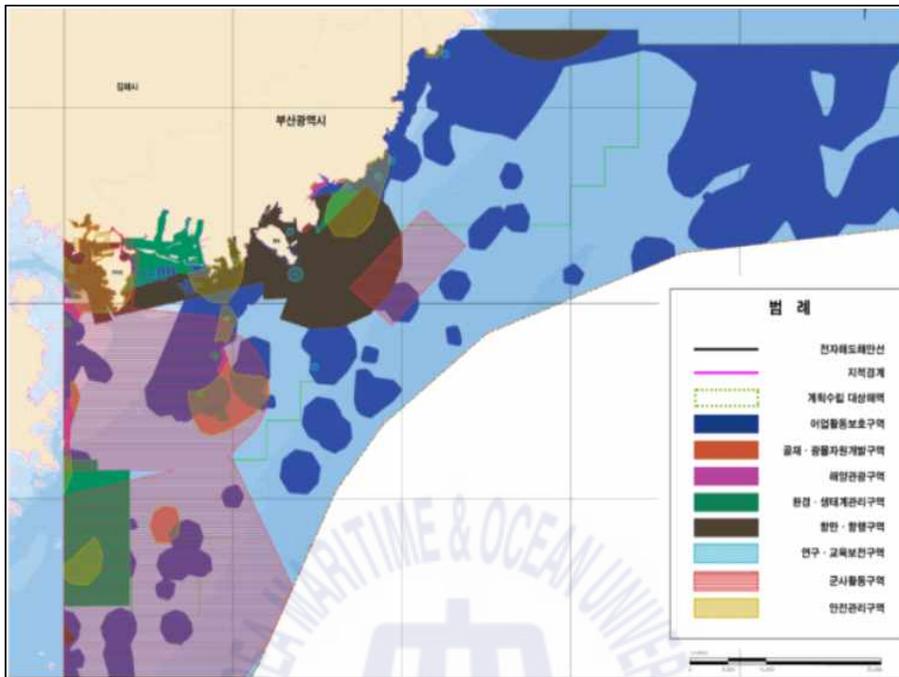
우리나라의 해양공간계획은 2017년 해양공간 통합관리와 계획적 이용체계 구축을 국정과제로 채택하였다. 2018년 4월에는 해양공간계획 및 관리에 관한 법률, 해양공간계획을 제정하였다. 해양수산부는 2019년 7월 24일 해양공간계획 체제 구현, 관리기반 구축 등 해양공간에 관한 기본정책 수립에 관한 제1차 해양공간 기본계획(2019~2028)을 발표하였다. 그간 체계적인 관리 없이 해양공간을 이용·개발하면서 주체 간 갈등이 심화되고 해양공간 난개발 우려 등 사회적 문제가 발생하였다. 이에 따라 정부는 해양공간계획 및 관리에 관한 법률(이하 해양공간계획법)을 제정(2018. 4. 17.)·시행(2019. 4. 18.)하여 해양공간 통합관리를 추진하고 있다(해양수산부, 2019). 또한, 해양수산부(2019)의 제1차 해양공간 기본계획(2019~2028)은 해양공간계획법 제5조에 따른 해양공간 관련 최상위 계획이다. 세부적으로 영해와 배타적 경제수역(Exclusive Economic Zone, EEZ), 대륙붕의 체계적인 관리와 정책 추진을 위한 중장기 계획이다. Fig. 2.11은 대한민국의 해양공간계획 수립 계획을 서해, 남해, 동해 배타적 경제수역별로 개발 구역을 나타낸 것이다. 세부적으로 2018년까지 경기인천·부산경남, 2019년은 울산·전남·제주를 계획 하였고, 2020년은 전북·충남 해역, 2021년은 강원·경북·해역이 계획 대상이다.



Source : 해양수산부, 2019

Fig. 2.11 Marine spatial plan of Republic of Korea

Fig. 2.12는 처음 해양공간계획이 수립된 부산의 해역용도 지정 내용이다. 이 계획에 따르면 부산 해역은 어업 활동 보호구역, 골재·광물자원 개발구역, 해양관광구역, 환경·생태계관리구역, 연구·교육보전구역, 항만·항행구역, 군사활동구역, 안전관리구역으로 구분되어있으며 연구·교육보전구역, 군사활동구역, 안전관리구역은 타 용도구역과 중첩이 가능하다. 해양공간계획은 영해와 배타적 경제수역으로 나누어 지정하였다. 영해의 경우 군사활동구역 비중(40.53%)이 가장 높고, 어업활동보호구역(29.71%), 항만·항행구역(17.36%), 안전관리구역(10.52%), 환경·생태계관리구역(6.72%), 해양관광구역(2.61%), 연구·교육보전구역(0.39%), 골재·광물자원개발구역(0.05%) 순이다. 배타적 경제수역은 어업활동보호구역(40.73%)과 군사활동구역(18.16%), 항만·항행구역(1.07%)에 대해서만 용도를 지정했으며, 43.51%는 용도를 지정하지 않았다. 부산권역 해양공간관리계획 범위는 영해 2,361.54km², 배타적 경제수역 3,164.9km² 등 총 5,526.44km²에 이른다.



Source : 해양수산부, 2020

Fig. 2.12 Marine spatial plan of Republic of Korea

2.3.2. 항만 및 항행구역 한계점

Fig. 2.12와 같이 해양수산부와 부산시가 2020년 1월에 발표한 부산권역의 해양용도구역 중 항만·항행구역은 짙은 회색으로 나타나 있다. 해당 구역은 교통특정해역과 항계를 나타낸 구역으로서 영해의 17.36%를 차지한다. 항해 중인 선박이 항구에 접근하기 위한 항로에 대해 고려되어있지 않고 일부 해역에 한하여 조성되어 있는 상황이다. Fig. 2.13은 부산 인근 해역의 항계 (Harbour Limit)를 해도상에 나타낸 곳이다. 항계는 항만의 경계, 개항 질서 법의 적용 대상 범위로 항만법에 의한 항만구역에 대한 규정이 적용되는 것이 특징이다(공길영, 2015).

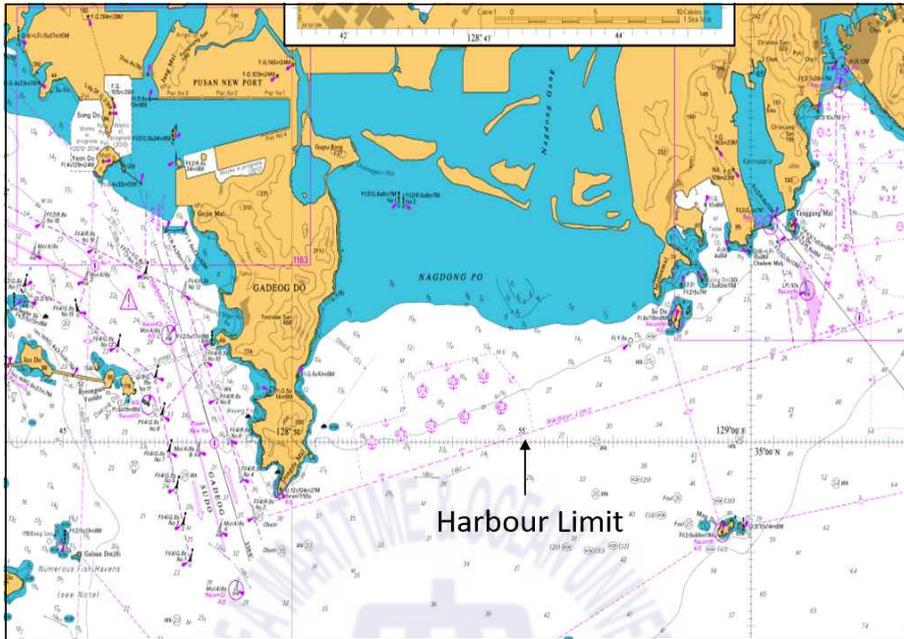


Fig. 2.13 Harbour limit of Busan coastal area

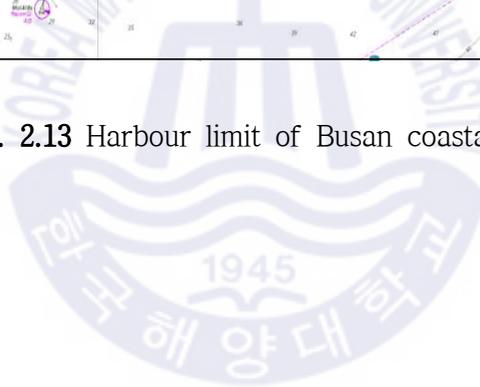


Fig. 2.14는 부산항 북항의 교통안전특정해역(Designated Area)을 나타낸 것으로 해상교통량이 폭주하거나 거대선·위험화물운반선 등의 통항이 빈번하여 대형 해양사고가 발생할 우려가 있어 해양경찰청장이 관리하는 해역을 말한다. 또한 교통안전특정해역은 임해공업의 발달 및 고속여객선의 빈번한 운항으로 연안해역의 운항환경이 변화하여 대형해양사고의 발생 가능성이 높아짐에 따라 해상교통을 관리하기 위해 지정된 해역이다. 해상교통관리방안으로는 항로지정방식 또는 해상교통관제방식 등이 있다. 동 해역에서는 선박 통항에 지장을 초래하는 어로행위·공사작업 등이 제한되는 것이 특징이다(공길영, 2015). 이와 같이 부산권역에는 항계와 교통안전특정해역을 대상으로만 항만·항행구역이 선정되어있다.

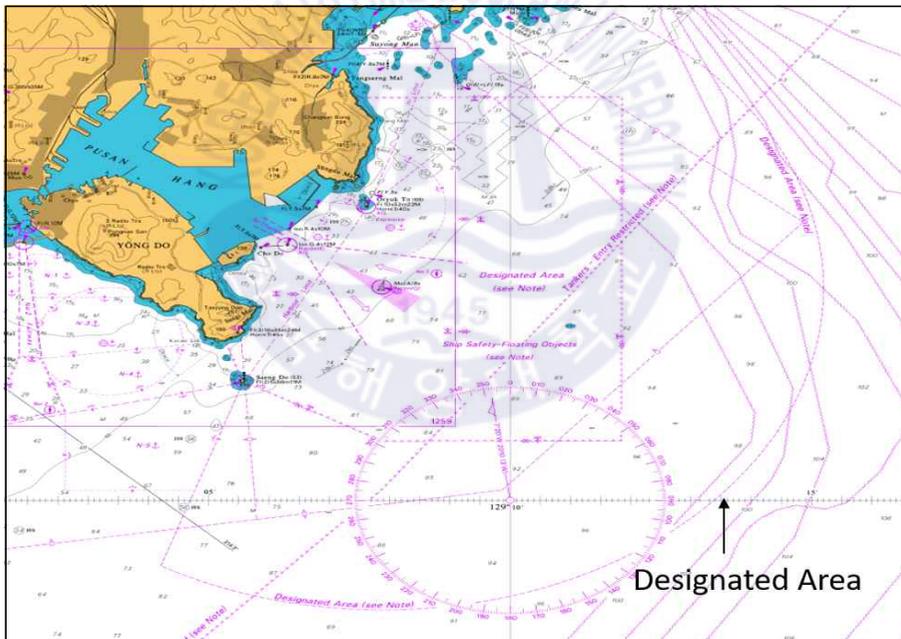


Fig. 2.14 Designated area of Busan coastal area

하지만, Fig. 2.15와 같이 부산의 항만을 이용 및 인근 해역을 통항하는 선박 AIS 데이터를 GIS 환경에서 나타낸 결과는 항행패턴이 매우 다양하고 광범위한 것을 알 수 있다. Fig. 2.15의 AIS 데이터는 2019년 3월 1일에 1일간 수집되었으며, AIS 정보 획득이 가능한 모든 선박을 대상으로 한 결과이다. 즉, 해양공간계획 내의 항만 및 항행구역으로 선정된 구역 이외의 해역을 이용하는 선박이 상당수 존재함을 알 수 있다. 이는 선박의 안전한 항행과 선박 사고 예방을 위해 항행구역이 증가 되어야 한다. 또한, 선박이 많이 통항하는 해역에 대해 다른 해양용도로 지정이 된다면 이는 큰 해양 사고를 초래할 수 있다. 그러므로 선진사례 기반의 정량적인 교통량 평가 기법을 활용하여 GIS 기반의 항행구역으로 선정하고, 해상교통분야에서 본 연구의 기법 적용이 가능한지 연구하였다.

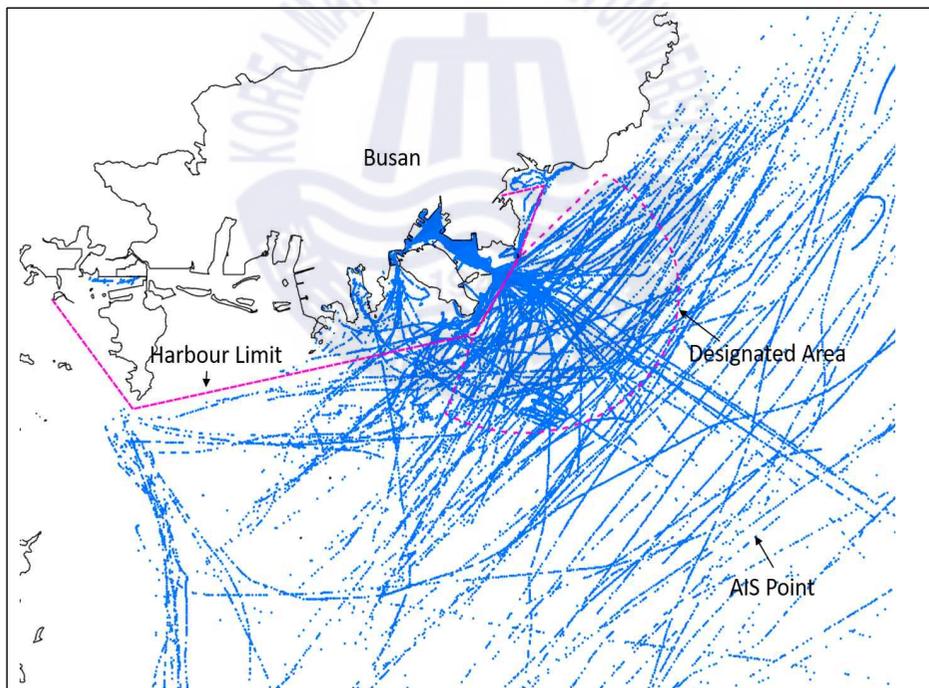


Fig. 2.15 Plotting AIS point data around Busan coastal area

제 3 장 수집 데이터 전처리 및 분석 프로그램

3.1. 선박자동식별시스템 개요

본 연구에 사용된 데이터는 선박자동식별시스템(Automatic Identification System, AIS)이다. AIS는 선박의 항해안전 및 보안강화를 위하여 선박의 선명, 제원, 속력 등의 정보를 무선통신을 통하여 선박과 선박, 선박과 육상 간 자동송수신할 수 있는 항해장비로 선박의 정확한 위치정보 수집 및 제공으로 항만관제에 활용되고 해양사고 발생 시 수색, 구조 등을 지원하는 시스템이다. 다음 Fig 3.1은 본 연구의 분석 해역의 AIS 데이터를 수집하기 위해 설치된 AIS 수신기이다.

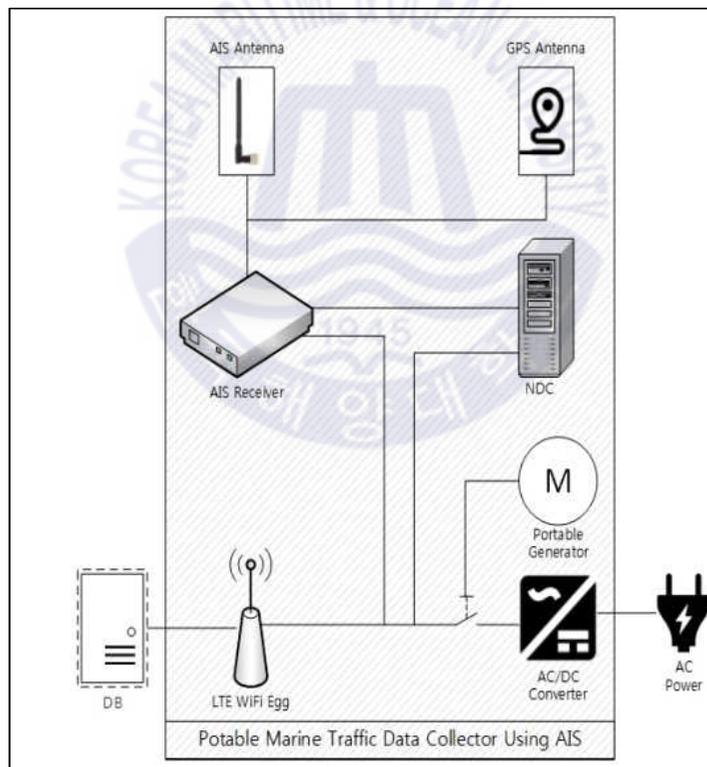


Fig. 3.1 Installed AIS receiver

본 연구에서 사용된 AIS 수집 장치는 선박의 표준 통신 프로토콜인 NMEA0183(The National Marine Electronics Association) 방식으로 데이터를 수집하였다. 이는 표준 포맷 데이터 전송을 따르는 다른 항해 장비와 데이터 인터페이스가 용이하다. 다만 통상의 AIS 장비는 수집된 정보를 저장하는 기능이 없어 개선된 AIS를 이용한 해상교통데이터 수집 장치를 이용하여 데이터를 수집하였다(이보경 외, 2018).

Fig. 3.2는 AIS 해상교통데이터 수집 장치로 가정 및 사무실에 보편적으로

사용되는 AC 전원은 AC/DC 컨버터를 통해 DC로 전환되어 AIS 수신기, 항해 데이터 수집 장치(NDC, Navigational Data Collector), LTE Wifi Egg에 전력을 공급하는 시스템으로 이루어져 있다. AIS 수신기에는 AIS와 GPS의 안테나가 장착되어 있으며 AIS 안테나는 다른 선박의 AIS 정보를 수신한다. 수신된 정보는 NDC를 통해 수집되어 LTE 통신망을 타고 데이터베이스에 적재된다. 수집된 정보는 약 6개월 이상 보관할 수 있도록 설계하였다. 이때 전원은 이동식 발전기를 통해 공급받을 수도 있다. Fig. 3.2에서 빗금으로 표시된 부분은 AIS 해상교통데이터 수집 장치로 원하는 장소에 휴대식으로 설치한다. 데이터베이스는 해상교통데이터 관측 현장 외에서도 접속 및 사용할 수 있도록 웹 클라우드 환경을 이용한다(이보경 외, 2018).



Source : 이보경 외, 2018

Fig. 3.2 AIS receiver system

기존 AIS 데이터에서는 선박의 종류를 총 90개의 식별번호로 분류한다 (ITU-R, 2014). 하지만 90개의 식별번호가 다 사용되고 있지 않으며 모든 선종을 구분하여 해상교통을 분석하는 것은 의미가 없기 때문에 Table 3.1과 같이 현재 사용되지 않는 36개의 식별번호를 제외하고 나머지 54개의 선박 종류를 8개로 재분류하였다(이보경 외, 2018).

Table 3.1 Re-classification of ship' s type

No	Ship's Type and ID specified by ITU
1	30 : Fishing
2	31, 32 : Towing 52 : Tugs
3	50 : Pilot vessel
4	55 : Law enforcement vessels 59 : Ships and aircraft of states not parties to an armed conflict
5	60 ~ 64, 69 : Passenger ships
6	70 ~ 74, 79 : Cargo ships
7	80 ~ 84, 89 : Tanker
8	20 ~ 24, 29 : Wig 33, 34 : Engaged in dredging or underwater operations 35 : Engaged in Military operations 36 : Sailing 37 : Pleasure craft 40 ~ 44, 49 : HSC(High Speed Craft) 51 : Search and rescue vessels 53 : Port tenders 54 : Vessel with anti-pollution facilities or equipment 56, 57 : Spare-for assignments to local vessels 58 : Medical transports 90 ~ 94, 99 : Other types of ship
Exemption : 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 26, 27, 28 , 38, 39, 45, 46, 47, 48, 65, 66, 67, 68, 75, 76, 77, 78, 85, 86, 87, 88, 95, 97, 98	

Source : 이보경 외, 2018

3.2. AIS 데이터 특징 및 전처리 과정

AIS로 수집되는 정보에는 동적 정보인 날짜와 시간, 정적 정보인 선박의 종류, 길이, 선폭, 그리고 흘수 등이 있다(정창현 외, 2016). 또한 AIS 동적 정보의 시간에 따른 위치 정보가 저장되고, 이 데이터를 기반으로 분석 대상 해역에 선박 통항량, 밀집도 등 다양한 해상교통분석을 가능하게 한다(이정석 외, 2020). 수집된 AIS 초기 데이터는 CSV(Comma-Separated Values)의 파일형태로 추출이 가능하고 Table 3.2와 같이 나타난다.

Table 3.2 Used AIS data before filtering

No	Station ID	MMSI	NAV-STATE	SOG	LAT	LONG	COG
1	KS-05	440118970	0	7.5	03506.4	012905.8	153.7
2	KS-05	312950000	0	3.9	03503.3	012904.6	221
3	KS-05	412049010	0	16.4	03505.3	012905.9	354.4
4	KS-05	353488000	0	18.1	03507.5	012903.6	158.1
5	KS-05	440111210	0	15.7	03454.8	012850.4	136.8
6	KS-05	636019085	0	1.6	03446.7	012850.3	140

하지만 추출된 초기 위치는 GIS 환경에서 사용이 불가능하므로, 사용 프로그램에 알맞게 위치를 변환하는 과정을 수행하고 결과는 Table 3.3과 같다.

Table 3.3 Used AIS data after filtering

No	Station ID	MMSI	NAV-STATE	SOG	LAT	LONG	COG
1	KS-05	440118970	0	7.5	35.06	129.05	153.7
2	KS-05	312950000	0	3.9	35.03	129.04	221
3	KS-05	412049010	0	16.4	35.05	129.05	354.4
4	KS-05	353488000	0	18.1	35.07	129.03	158.1
5	KS-05	440111210	0	15.7	34.54	128.50	136.8
6	KS-05	636019085	0	1.6	34.46	128.50	140

Table 3.3은 본 연구에서 사용된 데이터를 추출한 후 GIS 환경에 알맞게 필터링 및 변환한 값을 나타낸 것이다. Station ID는 수신기가 위치한 곳(인천)을 나타낸다. MMSI(Maritime Mobile Service Identity)는 선박의 번호를 고유하게 식별하여 통신하기 위한 번호를 나타낸다. NAV-STATE는 선박의 현재 항행상태, 정박상태, 표류상태 등 현재 운항 상황에 대한 정보를 나타내며 0 ~ 8까지의 숫자로 표시한다. SOG(Speed Over the Ground)는 선박의 대지속력을 의미한다. LAT는 선박위치의 위도, LONG은 선박위치의 경도, 그리고 COG(Course Over Ground)는 선박이 실제로 진행하는 방향을 나타낸다. 이외에도 선박의 길이, 선박의 폭, 선박의 흘수 등 다양한 정보들이 포함되어 있으나, 데이터의 용량을 줄이기 위해 필요한 정보로만 구성했다.

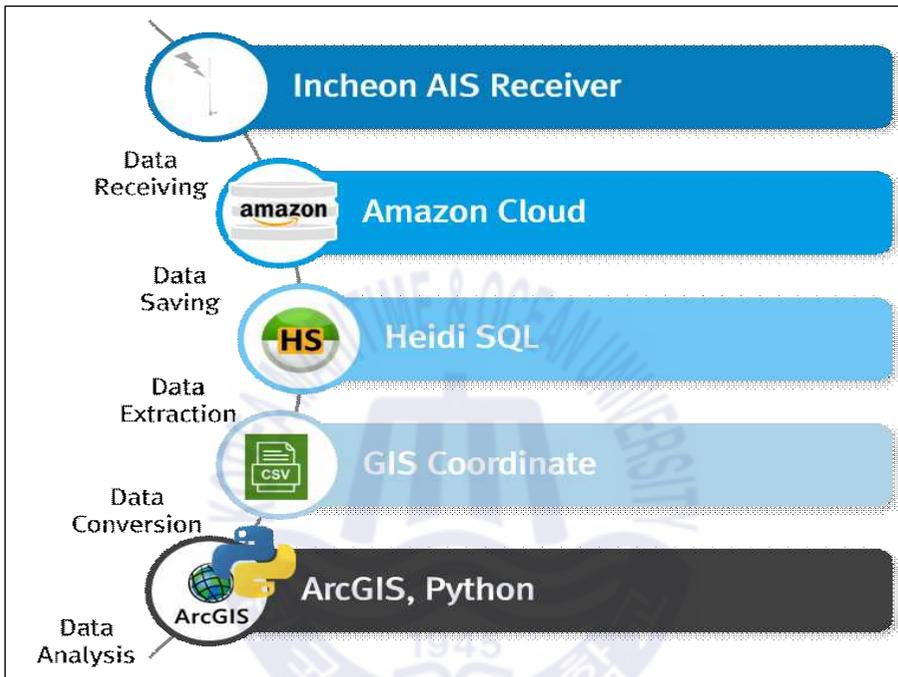
Table 3.4와 같이, AIS 데이터 수집기간은 2019년 03월 01일부터 2020년 02월 29일까지 1년이며 데이터 수집위치는 대한민국의 인천항의 모든 해역이다. 수집된 데이터의 용량은 2.98GB이며, 데이터의 총 개수는 약 2,500만개다. 인천 인근해역으로 분석한 이유는 설계되어 있는 항로가 많이 있고, 새로운 항로와 비교가 적절하여 선정하였다. 또한, 다른 해역보다 많은 항로가 설계되어 있어 다양한 선박의 항행패턴을 알 수 있다. AIS 데이터는 인천에 설치되어 있는 AIS 수신기에서 추출 했으며 수신된 데이터 중 항로를 이용하는 주요 선박인 Passenger Ship(60 ~ 64, 69) / Cargo Ship(70 ~ 74, 79) / Tanker(80 ~ 84, 89)를 분석하였고 선박의 크기에 따라 통항 패턴이 다르기 때문에 선박길이 200m를 기준으로 대형선과 그렇지 않은 선박인 Class 1, Class 2로 분석하였다(해사안전법, 2020). 또한, AIS 주파수는 161.975MHz, 162.025MHz이며, 탐지 거리는 50NM이고, 전송 간격은 선박 항행 상태와 속력에 따라 최소 2초에서 최대 3분까지 있다(이명기 외, 2020).

Table 3.4 AIS data characteristics

Categorization	AIS
Period	2019.03.01 ~ 2020.02.29. (1 year)
Area	Incheon, Republic of Korea
Volume of Data	2.98 Giga Byte(GB)
Number of Data	≒ 25 Million
Ship's Type	Passenger Ship (60 ~ 64, 69) Cargo Ship (70 ~ 74, 79) Tanker (80 ~ 84, 89)
Class 1	Under 200m of Ship's Type (< 200m)
Class 2	200m or Over of Ship's Type (≥ 200m)
Frequency	161.975MHz, 162.025MHz
Transmission distance	50NM(Nautical Miles)
Transmission period	2 sec to 3 min

수집된 AIS의 데이터 전처리 과정은 Fig. 3.3과 같다. 첫째, 수집된 데이터는 인터넷 아마존 클라우드 데이터 서버에 저장된다. 이때 저장된 데이터는 정제되어 있지 않은 데이터로 구성되어 있다. 둘째, 수집된 데이터는 아마존 클라우드 서버에 저장된다. 셋째, 클라우드 서버에 저장된 데이터를 추출하기 위해 SQL의 함수를 이용하여 추출한다. 넷째, 분석을 위해 선박 위치 정보를 분석 툴인 GIS에 알맞게 위치정보를 공간 좌표계로 변환하며 필요한 정보 이외의 것은 제거한다. 다섯째, 시각화와 분석을 위해 ArcGIS와 Python을 사용하

였다(이정석 외, 2019). 본 연구는 선박의 위치정보를 대상으로 밀집도 기반의 새로운 항로를 생성하였다. 따라서 위치정보를 분석 틀에 알맞은 변환 작업을 수행한다. 또한 데이터와 정보의 관계에 따른 추론이나 예측을 위한 근거로 기능하는 DIKW의 피라미드 법칙에 따라 진행했다(윤종식, 2019).



Source : 이정석 외, 2019

Fig. 3.3 AIS data Pre-Processing

Fig. 3.4는 DIKW 이론에 따른 데이터 처리 과정을 나타낸다. DATA(데이터)는 존재 형식을 불문하고 타 데이터와의 상관관계가 없는 가공하기 전의 순수한 수치나 기호를 의미하며 수집된 AIS 데이터를 말한다. INFORMATION(정보)은 데이터의 가공 및 상관관계 이해를 통해 패턴을 인식하고 그 의미를 부여한 데이터로써 선박위치, 밀집도 분석을 의미한다. KNOWLEDGE(지식)는 상호 연결된 정보 패턴을 이해하여 이를 토대로 예측한 결과물이고, 이미지 처리를 통한 항로 가장자리 추출과 Centerline을 의미한다. WISDOM(지혜)은 근본 원리에 대한 깊은 이해를 바탕으로 도출되는 창의적 아이디어를 말하고

새롭게 생성된 항로 가장자리와 Centerline은 항행구역에 사용 될 수 있다.

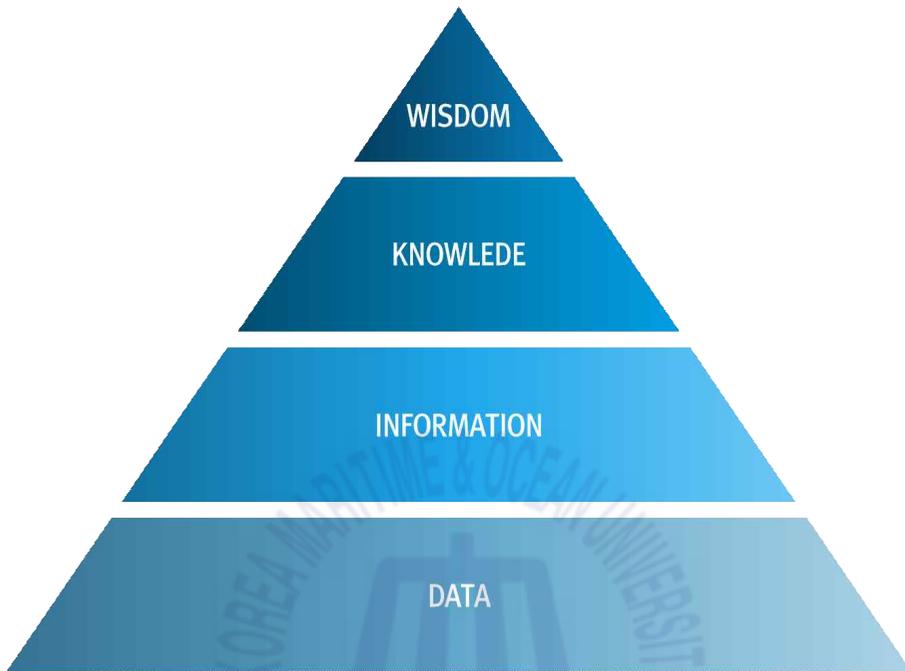


Fig. 3.4 DIKW theory based AIS data processing

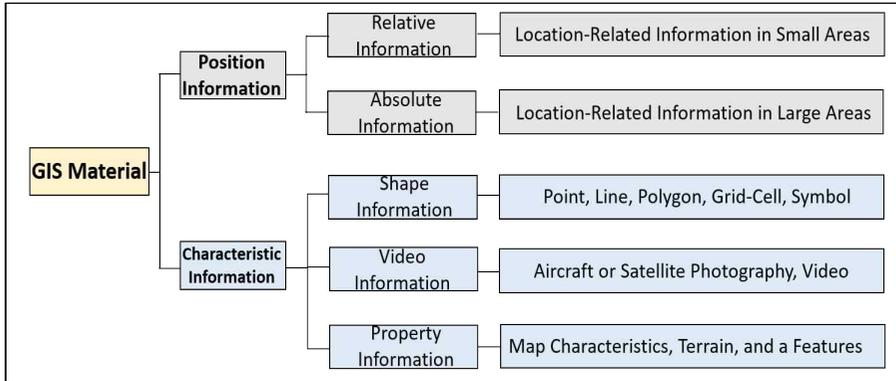
3.3. 분석 프로그램

3.3.1. 지리공간정보시스템

지리공간정보시스템(Geographic information system, GIS)은 GIS(Geo-Spatial Information System)로도 표현되며, 지구·지표·공간·우주 등 인간이 활동하는 모든 공간에서 다양한 자료를 수집하여 정보화하고, 이 정보를 컴퓨터에 입력하여 종합적·연계적으로 처리하는 시공간적 분석을 통해 그 자료의 효율성을 극대화하기 위한 정보 시스템이라고 할 수 있다(주현승, 2018). 또한 GIS는 해상에서 이루어지는 모든 현상을 공간 데이터로 분석할 수 있으며, 유용한 결과를 도출하는 공간분석(Spatial Analysis)도 수행이 가능하다. 본 연구의 범위는 인천 근해를 대상으로 하기 때문에 지리공간정보시스템에 기반한 ArcGIS Pro 프로그램을 활용하여 실측한 AIS 데이터를 선박 항로를 분석하였다. 밀집도 분석, 항로 필터링, 들로네 삼각분할, 노드와 세그먼트 등의 다양한 기능을 수행하였으며 최종적으로 시각화 하였다.

3.3.2. 공간정보 분류

GIS의 각종 정보의 효율적인 구성을 위해서는 다양한 종류의 자료가 조합이 되어 저장된다. GIS에서 사용하는 정보는 크게 위치정보와 특성정보로 대별할 수 있다. 위치정보는 다시 상대위치정보와 절대위치정보로 구분된다. 특성정보는 도형정보, 영상정보, 그리고 속성정보로 분류되며 이렇게 분류된 각각의 정보는 모두 고유한 특성을 가지고 있기 때문에 자료저장, 처리 및 표현에 각각 다른 과정이 필요하다(주현승, 2018). Fig. 3.5는 GIS정보를 위치정보와 특성정보로 구분한 것을 나타낸다.



Source : 주현승, 2018

Fig. 3.5 The kind of GIS information

위치정보는 지도나 영상 위의 점, 선, 면 등의 위치를 2차원이나 3차원 위치로 표현하여 취급하며 이를 기초로 다각형, 대상물 등 복잡한 지형을 나타낸다. 그리고 이는 다시 상대위치정보와 절대위치정보로 구분한다. 특성정보는 위치정보를 제외한 나머지 정보로 도형정보, 영상정보, 속성정보로 구분할 수 있다.

본 연구에서 사용된 정보는 도형정보의 점·선·면·영상소·격자셀이다. 이 정보들은 벡터(Vector)데이터, 래스터(Raster)데이터로 구분한다. 벡터 데이터는 수학 방정식에 기반하여 형성된다. 수학 함수를 바탕으로 점과 점의 좌표값을 계산해 선이 그려지고 면을 형성하게 된다. 이러한 방식으로 만들어진 벡터 이미지는 아무리 확대해도 깨지지 않아 자유롭게 크기를 조절해 정교한 편집할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이미지가 복잡할 경우 작업속도가 느려진다는 단점이 있다. Fig. 3.6은 벡터데이터와 래스터 데이터의 차이점을 나타낸 것이다.

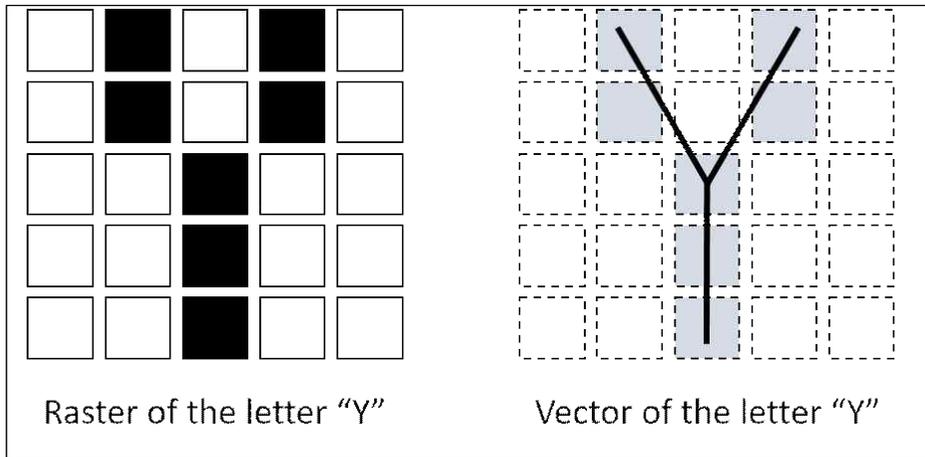


Fig. 3.6 Difference between raster and vector the letter "Y"

래스터 데이터는 비트맵 방식 기반의 이미지 정보들을 가진 정사각형들이 모여 하나의 래스터 이미지를 생성한다. 비트맵은 컴퓨터 정보량의 최소 단위인 비트에 이미지 정보를 저장해 지도처럼 늘어놓아 이미지를 완성하며, 비트맵을 픽셀(Pixel)이라고 부르는 컴퓨터 그래픽 최소 단위에 맞춰 이미지를 저장한다. 이는 확대하면 이미지를 깨진다는 단점이 있으나, 자유로운 편집과 비교적 적은 용량을 가지고 있는 장점이 있다. 다음 그림은 본 연구에서 사용된 데이터를 Vector 데이터와 Raster 데이터로 구분한 결과이다.

Fig. 3.7은 인천항에 입출항 하는 AIS 위도, 경도 데이터를 활용하여 점 기반으로 나타낸 결과이다. 인천항 인근으로 입출항하는 선박들의 AIS 점들이 나타나있다. 필터링 조건에서 화물선, 유조선, 여객선 기반의 항행중인 선박으로만 나타나며 정박 중인 선박은 항행조건에서 만족하지 않으므로 나타나지 않는다. 또한, MMSI의 기준으로 점의 분류를 통일하였다. 동일한 MMSI는 고유한 색을 갖고 있으며 타 선박과의 구분이 가능하다. 하지만 점 데이터만으로는 다양한 정보를 획득 할 수 없는 단점이 있어 선이나 면 또는 영상소와 같이 다양한 분석이 필요하다.

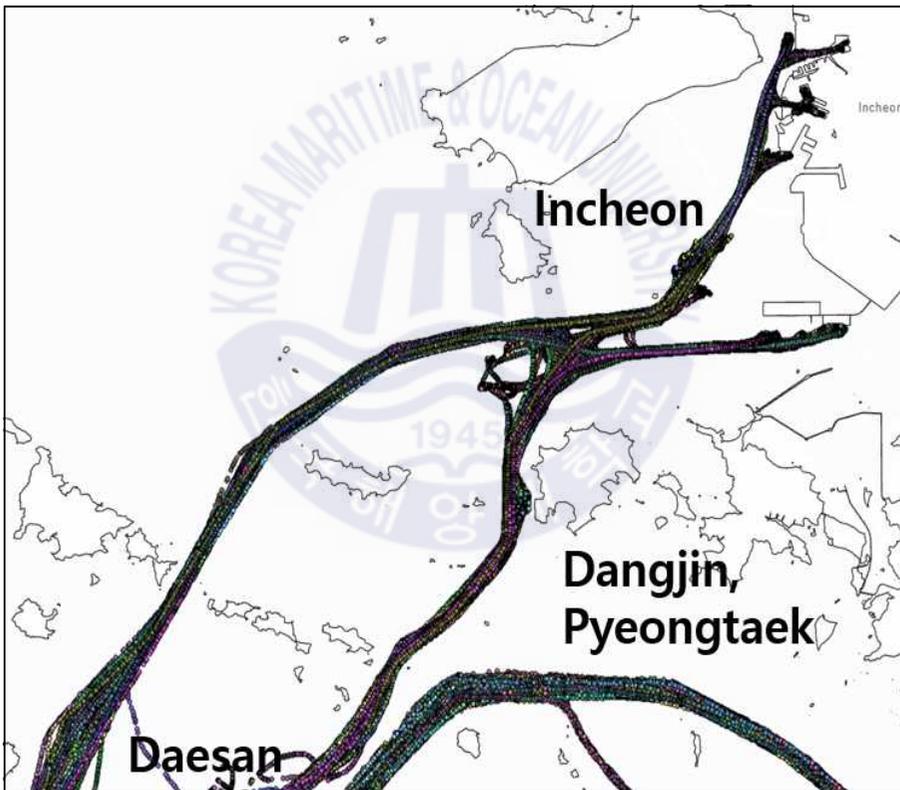


Fig. 3.7 Result of AIS plotting with point

Fig. 3.8은 AIS 점 데이터들을 동일한 MMSI를 연결한 선의 형태로 나타낸 것이다. 즉, 선박의 항적을 나타내는데 사용되며 특정 지점으로부터 선박이 통항한 척수를 알 수 있고 어떠한 통항 패턴을 갖는지 파악 가능하다. 점과 마찬가지로 개별 선의 데이터는 고유한 색의 값을 가지고 있으나, 선박의 특성을 고려한 범례를 설정하면 자유롭게 색을 지정할 수 있다.

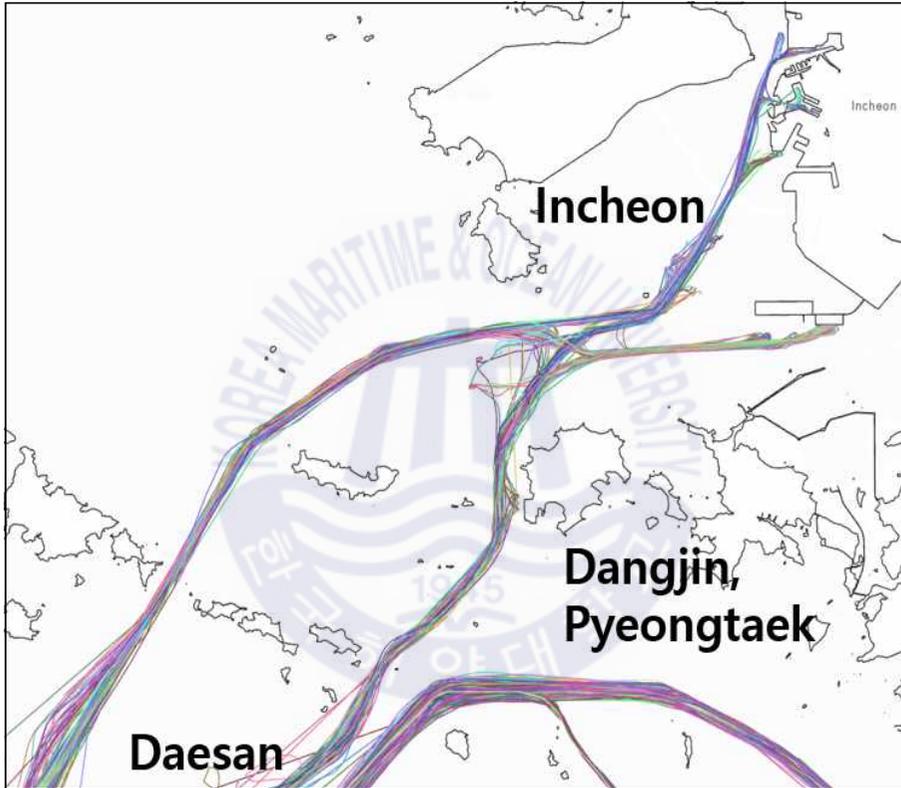


Fig. 3.8 Result of AIS plotting with line

Fig. 3.9는 GIS 환경에서 면의 공간 정보를 나타낸 것이다. 붉은색 영역은 본 연구에서 밀집도 분석을 수행하기 위한 세부 영역을 나타낸 것으로써 해당 영역 이외의 AIS 데이터는 항로 생성 분석에서 제외하였다. 자유롭게 분석할 공간을 선택 및 편집 할 수 있는 장점이 있다. 또한 지도의 섬, 항구 등 다양한 정보가 면의 형태로 표현이 가능하다. 점, 선, 면의 데이터는 모두 벡터 형식의 공간 정보로써 축적의 변화에 따라 선명도가 변화하지 않고 유지된다.

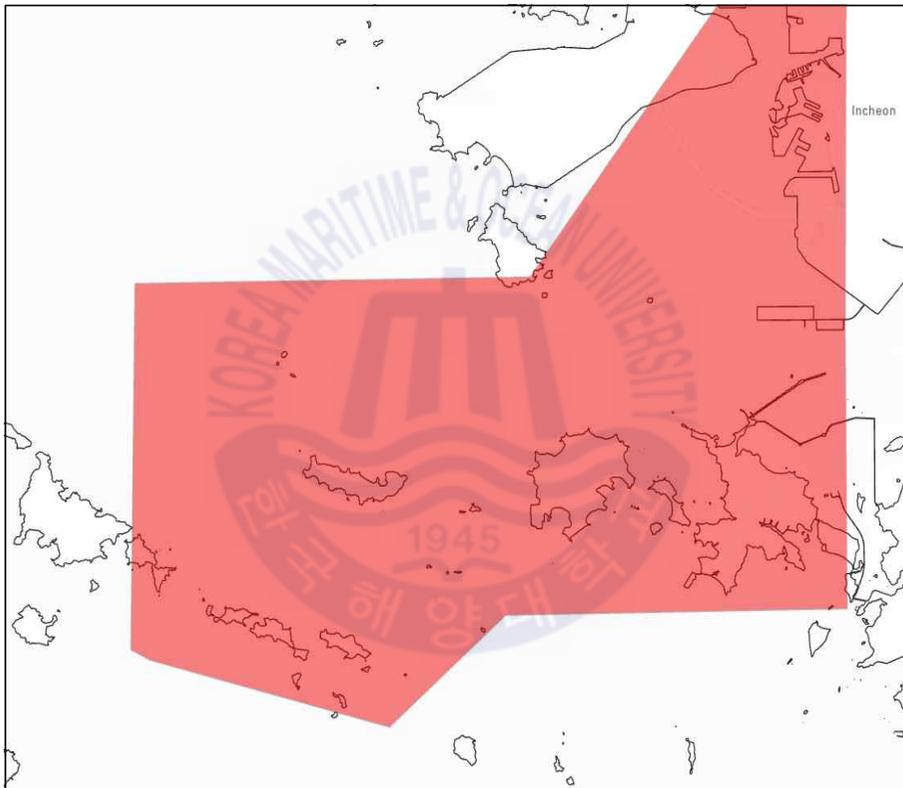


Fig. 3.9 Selection of analysis area with polygon

Fig. 3.10은 AIS 점 데이터를 밀집도 분석으로 나타낸 결과이다. 이 결과는 래스터 형식을 갖고 있는데, 결과물이 정해진 크기의 셀로 구성되어 있다. 이는 점점 확대할수록 셀의 개수에 따라 선명도가 달라질 수 있다. 하지만 밀집도 분석, 히트 맵 분석, KDE 분석 등 다양한 밀집 기반의 분석은 래스터 기반임을 확인해야 한다. 해외 선진 사례는 밀도 분석으로 항행구역을 선정한 결과를 바탕으로 한 점을 고려하여 본 연구에서는 밀도 분석을 대상으로 새로운 항로를 생성하고자 한다.

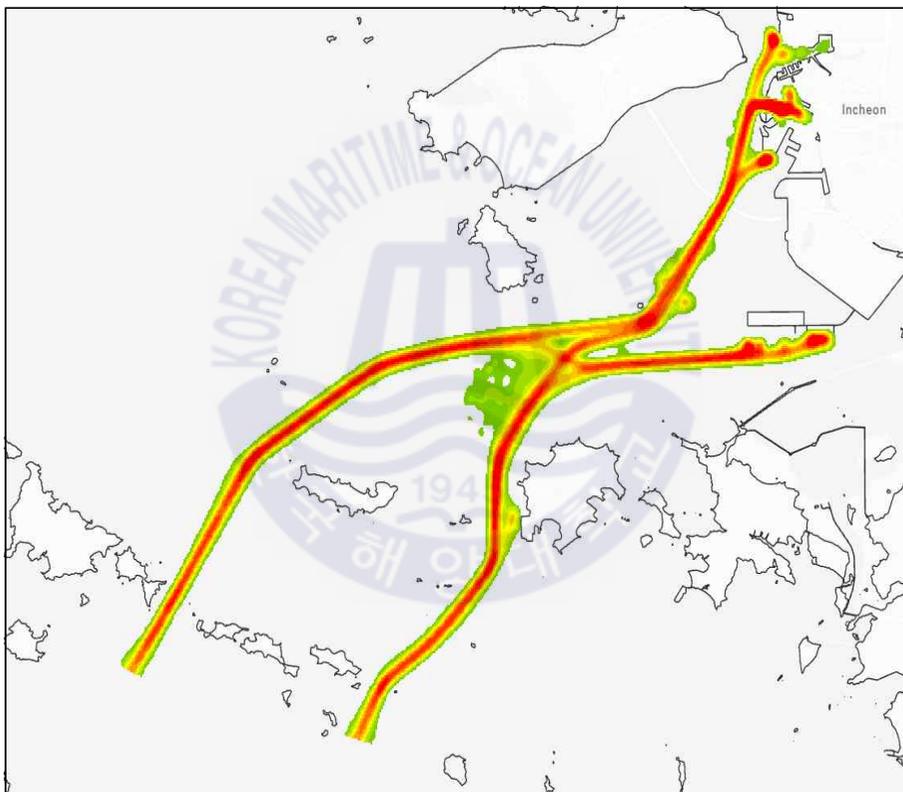


Fig. 3.10 Result of AIS density analysis

Fig. 3.11은 분석 해역을 대상으로 $5km \times 5km$ 크기의 격자셀로 나타낸 것이다. 기본적으로 격자셀은 벡터 데이터로 구성되어 있으며 선의 형태, 면의 형태로 다양하게 생성 가능하다. 격자셀을 구성하여 분석할 수 있는 방법은 개별 격자셀이 포함하는 점, 선의 데이터를 대상으로 개수를 집계하거나 평균, 최솟값, 최댓값 등 통계학적으로 분석할 수 있는 장점이 있다. 이는 해양이라는 공간에 다양한 공간 분석을 수행할 수 있음을 의미한다. 특히 공간적 자기상관성 분석은 격자끼리 인접한 가중치에 따라 공간 상관도를 정량적으로 나타낼 수 있다.

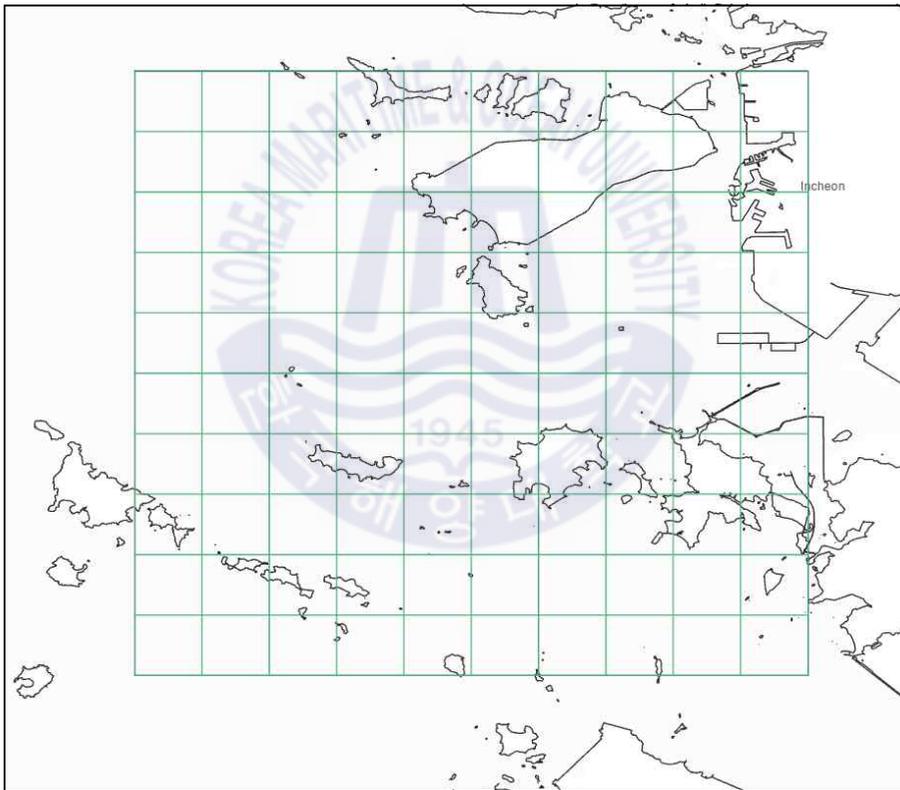


Fig. 3.11 Example of grid cell $5km \times 5km$

제 4 장 항로 생성 알고리즘 적용

4.1. 항로 생성 알고리즘

4.1.1. 항로 생성 해역 모델링

대한민국 인천항은 항계를 기준으로 항로가 생성되어 있다. 항계 내부와 항계 외부로 구분되며 각각 항로가 합류하는 지점은 복잡한 해상교통으로 인하여 주의가 요구되는 해역이고 다양한 교통 흐름이 생성된다. Fig. 4.1은 분석 해역인 인천항에 생성된 항로에 대한 설명이다.



Fig. 4.1 Overview of the area for analysis

Fig. 4.1에서 항계외부에는 입항 항로인 동수도(Dong sudo)를 통하여 인천 신항·인천항으로 접근 가능하며, 출항 항로인 서수도(Seo sudo)가 있다. 소형선박의 출항 항로인 중수도(Jung sudo)가 있고, Inbound No.1 Anchorage가 존재한다. 항계내부에는 1항로부터 4항로까지 총 4개의 항로가 있고, 연안여객항로와 항계 내 Anchorage가 있다.

4.1.2. 항로 생성 알고리즘 개요

Fig. 4.2는 아마존 웹 클라우드 서버에 저장되어 있는 1년 동안의 AIS 데이터를 기반으로 항로 생성 방법의 전체 개요를 나타낸 것이다. 웹 클라우드 서버로부터 분석할 해역의 데이터를 추출 한 후, GIS에서 사용할 공간 좌표계로 전환한다. 추출한 AIS 데이터를 GIS 기반의 밀집도 분석과 KDE 분석을 수행하고 격자셀 기반의 래스터로 변환한다. 래스터 데이터인 KDE 분석 결과를 이미지 처리 기법을 적용한다. 이 과정에는 이미지 이진화, 이미지 가장자리 추출, 이미지 코너 탐지를 이용한다. 이미지 처리가 끝난 항로의 가장자리를 벡터 데이터로 변환 후 라인 스무싱(Line Smoothing), 들로네 삼각분할(Delaunay triangulation)을 이용하여 센터 라인을 생성한다. 생성된 항로의 센터라인을 기존 항로의 센터라인과 굴곡도(Sinuosity), 교각(Intersection angle), RCE(Route Change Envelope)로 비교를 통해 결론을 도출한다. 마지막으로 항로의 안전성 효율성 검증 후 생성된 항로의 영역을 해양공간의 항행구역으로 나타내고자 한다.

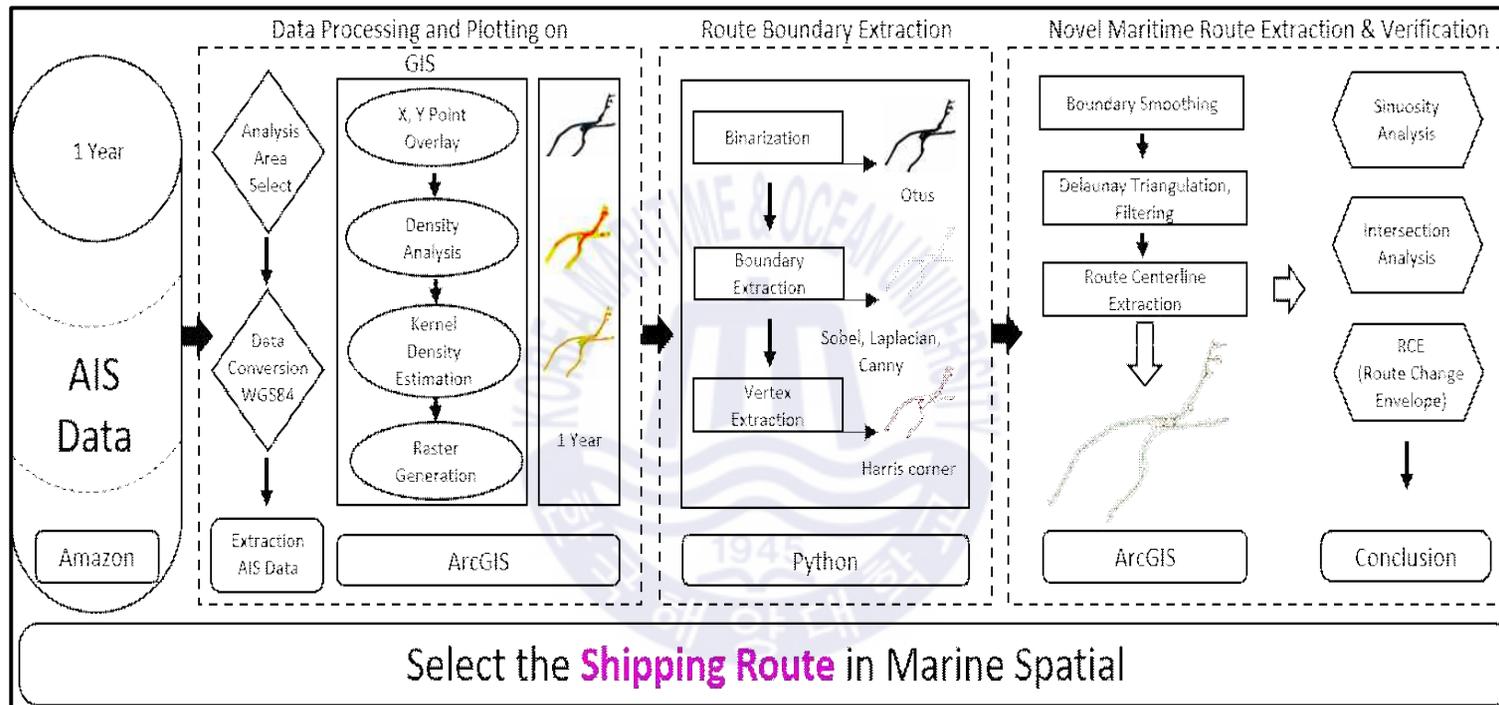


Fig. 4.2 Flowchart of the novel maritime route extraction process

4.2. KDE(Kernel Density Estimation) 분석

4.2.1. KDE 개요

수집된 선박 AIS의 GPS 위치 정보는 WGS84를 기반으로 생성되어 있다. 이를 GIS 환경에서 사용하기 위해 공간 좌표계를 일치 시킨다. 위 데이터는 벡터 형태의 점으로 나타난다. 벡터 데이터는 공간을 연속적인 2차원 공간으로 간주하고 좌표체계를 이용하여 점, 선, 면 생성이 가능하고, 더 나아가 격자셀 개념의 래스터 데이터 형태로 다양한 공간 분석, 밀집도 분석이 가능하다. 밀집도 분석이란 데이터로부터 확률변수에 대한 특성을 추정하는 방법을 말한다. 이를 위해 가장 파악하기 쉬운 방법은 히스토그램을 그리는 방법이다. 히스토그램은 모수적 방법으로 나타나며 단순 빈도만을 시각화하기에 적합하다. 하지만 이러한 방법은 각 bin의 경계에서 불연속 하며, bin의 폭에 따라 모습이 다른 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 Kernel 함수를 적용하는데, 식 (4.1)과 같이 모두 적분값이 1인 함수이며, 식 (4.2)는 모든 값이 대칭인 함수를 말한다.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} K(u)du = 1 \quad (4.1)$$

$$K(-u) = K(u) \text{ for all values of } u \quad (4.2)$$

즉, KDE(Kernel Density Estimation)는 자료의 분포를 비모수적으로 추정하는 방법으로 관측된 데이터 각각에 대하여 해당 데이터의 값을 중심으로 갖는 Kernel 함수를 생성한 뒤 만들어진 kernel 함수들을 모두 더한 후에 전체 데이터 개수로 나눈 값이며, 식 (4.3)과 같다(조현주, 2017).

$$\hat{f}(x,h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x-x_i) \quad (4.3)$$

식 (5.3)에서 x 는 확률변수, x_i 는 관측치, h 는 Bandwidth, Kernel width 또는 Smoothing 변수이다. K 는 Kernel 함수가 적용된 관측치의 합계를 전체 관측치 수로 나누어 준다. 즉, 식 (4.3)은 Kernel로 맵핑 후 분포의 평균을 구하는 과정이다. 또한, KDE는 h 의 값 설정에 따라 데이터의 밀집도가 큰 영역에서는 over-smooth가 발생할 수가 있고 데이터가 밀집도가 작은 영역에서는 under-smooth가 발생할 수 있기 때문에 적절한 Bandwidth 선택이 중요하다. 즉, 결과 대역폭은 결과 추정치에 큰 영향을 미치는 자유 매개 변수이다(Alexander et al, 2016).

4.2.2. GIS 기반 KDE 분석

GIS를 이용하여 point (x, y) 위치에서의 예측된 KDE는 다음 공식에 의해 결정된다.

$$Density = \frac{1}{(radius)^2} \sum_{i=1}^n \left[\frac{3}{\pi} \times pop_i \left(1 - \left(\frac{dist_i}{radius} \right)^2 \right)^2 \right] \quad (4.4)$$

식 (4.4)에서 $dist_i$ 는 $radius$ 보다 작아야하며, i 는 입력된 n 까지 포인트의 개수를 나타내고, pop_i 는 Vessel's speed, Vessel's length, Vessel's draft 등과 같이 AIS 데이터로부터 획득할 수 있는 선박 특성 가중치를 적용하여 점 밀집도 분석과 차이를 둔 것을 의미한다. $dist_i$ 는 점 i 와 (x, y) 위치 사이의 거리이다(Esri, 2020).

Fig. 4.3(a)는 임의의 점에 Kernel 함수가 적용된 예시를 나타낸 것이며, Fig. 4.3(b)는 임의의 점 검색반경 500m 안에 몇 개의 정보가 포함되어 있는지 주변 공간과 비교하여 단순히 그 수치의 변화를 나타낸 것이다.

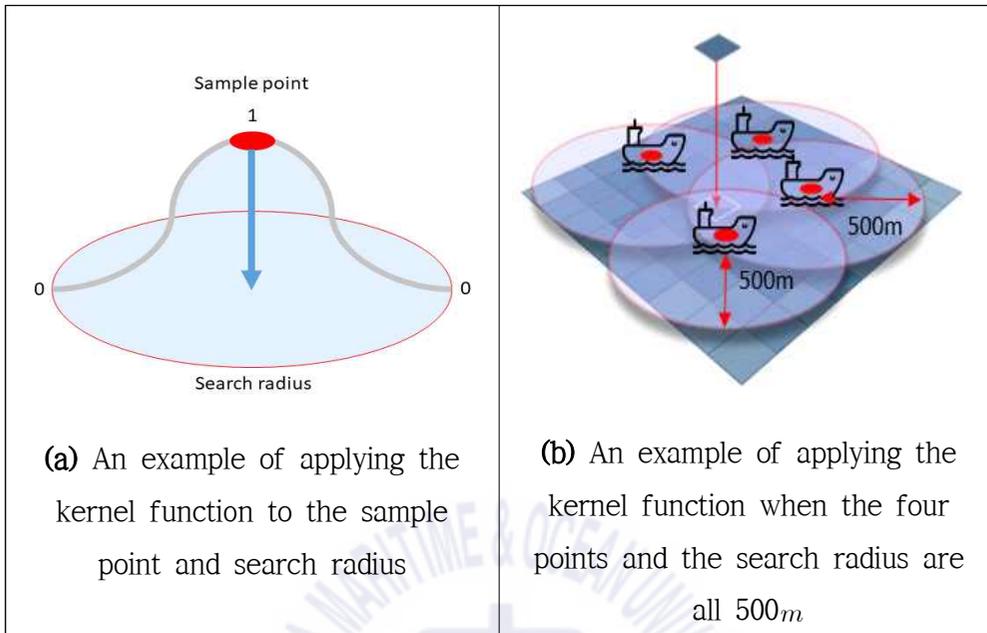


Fig. 4.3 Kernel function is applied inside the search radius

본 연구의 GIS를 이용한 KDE 구현에서는 유일하게 제공되는 Quartic Kernel을 사용한다(Silverman, 1986). Quartic Kernel의 계산은 식 (4.5)와 같다.

$$K(\mu) = \frac{15}{16}(1 - \mu^2)^2 \quad (4.5)$$

여기서, 식 (4.5)의 μ 는 ($|\mu| \leq 1$)의 조건을 따라야 한다. 즉, 모든 점의 위치에 대해 밀도 분석을 수행되고 Kernel 함수가 적용되어 경계선에서 부드러운 결과물을 생성하도록 한다.

4.2.3. KDE 분석 결과

본 연구에서는 선박 길이 Class 1과 Class 2로 분류한 데이터를 KDE, Density 분석을 수행 하였으며, 조건은 다음 Table 4.1과 같다.

Table 4.1 Analysis condition of KDE and Density

Categorization	KDE	Density
Data	(x, y)	(x, y)
Grid Cell	100m	100m
Radius	500m	500m
Method	Planar	Planar
Represent	90% of Total Traffic	90% of Total Traffic

동일한 데이터를 대상으로 KDE와 Density 분석을 수행 하였다. 격자셀의 크기는 100m의 값으로 동일하게 설정하였다. 임의의 점에서 탐색 반경은 500m의 값으로 동일하다. 탐색 반경을 500m로 선정한 이유로는 UNCLOS(United Nations Convention on the Law of the Sea) 제 60조 5항의 배타적 경제수역에 설치되는 인공섬, 해상설비, 해상 구조물 주위 반경 500 m 는 안전구역(Safety zones)으로 결정하고 그 이내로 접근을 금지하는 기준을 적용하였다(UNCLOS, 1982). 공간을 분석하는 방법으로는 Planar으로 동일하게 한다. 마지막으로 항로 구역을 선정한 해외 사례를 참조하여 총 해상교통량의 90%를 차지하는 부분을 항로로 선정하고 이를 해양공간에 항로구역으로 선정한다.

Fig. 4.4는 데이터 분포에서 등도수로 분할하는 방법을 나타낸 것이다. 이는 모든 교통량을 100%로 하였을 때, 90%의 데이터를 나타내는 방법이다. 즉, 모든 데이터를 같은 개수로 10개 구간으로 분할한 후, 하위 0-10% 구간을 제외하면 전체 교통량의 90%를 표현 할 수 있다. 이와 같은 방법으로 Class 1, Class 2로 KDE와 Density분석을 수행하였다. Table 4.2는 Class 1의 분석 결과를 나타낸 것이며, 이를 시각화 한 것은 Fig. 4.5와 같다.

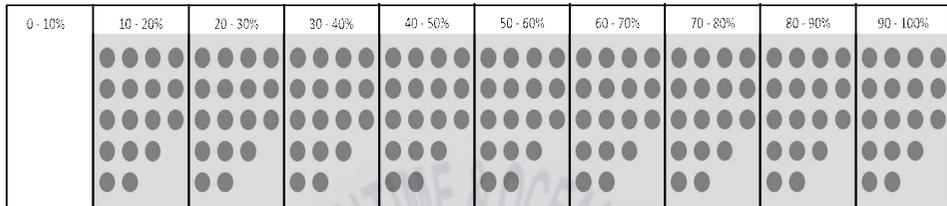


Fig. 4.4 Division of maritime traffic into 10 categories using the quantile method

Table 4.2 Analysis results KDE and density for class 1

No.	Percentage	Color	KDE	Density
1	0%~10%	None	≤ 1234051.0	≤ 3137150.2
2	10%~20%		≤ 2468102.5	≤ 6274300.5
3	20%~30%		≤ 4936205.0	≤ 9411450.7
4	30%~40%		≤ 7404307.5	≤ 15685751.2
5	40%~50%		≤ 11106461.3	≤ 21960051.7
6	50%~60%		≤ 16042666.4	≤ 31371502.4
7	60%~70%		≤ 23446973.9	≤ 43920103.4
8	70%~80%		≤ 33319384.0	≤ 56468704.3
9	80%~90%		≤ 45659896.7	≤ 72154455.6
10	90%~100%		≤ 314683072.0	≤ 799973312.0

Fig. 4.5(a)는 KDE 분석 결과를 보여주고, Fig. 4.5(b)는 Density 분석을 사용한 결과를 나타낸다. Fig. 4.5(b)에서 밀도 분석은 일부 구역에서 잘린 것을 알 수 있다. 또한 항로의 너비가 KDE 결과를 사용하여 얻은 간격보다 좁은 것이 특징이다. 이 결과는 총 교통량 하위 10%를 제거하고 나타낸 것이다. 모든 교통량을 포함시킬 경우 항로를 구분할 수 없게 되며, 교통량의 90%는 항로 추출에 적절한 영역으로 나타난다.

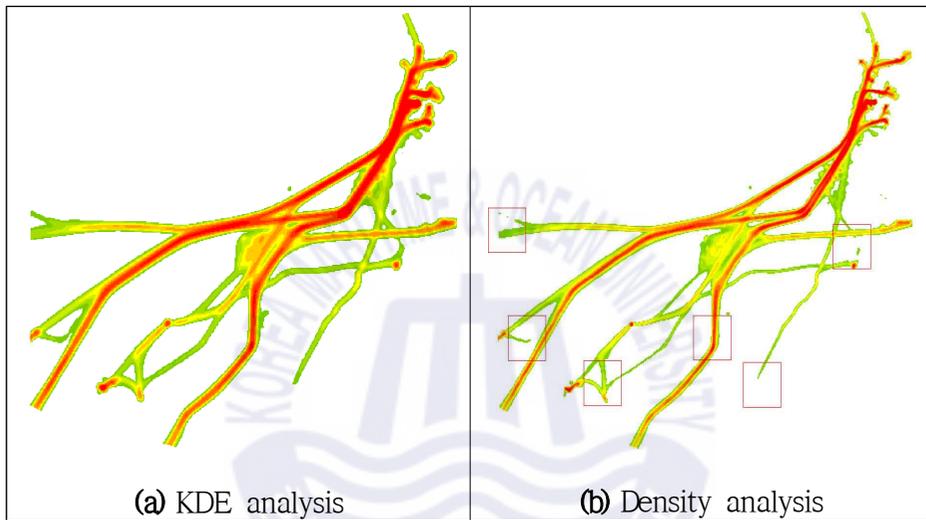


Fig. 4.5 Results of Class 1 analysis with the exclusion of the 0%~10% data

Table 4.3은 Class 2의 분석 결과를 보여 주며, 시각화결과는 Fig. 4.6과 같다. Fig. 4.6(a)는 KDE 분석 결과를 보여주고, Fig. 4.6(b)는 밀도 분석을 사용한 결과를 나타낸다. Fig. 4.5와 Fig. 4.6에서 밀도 분석의 일부 구역이 KDE 항로와 비교할 때 잘린 부분이 있으며, 이는 새로운 항로를 만드는 데 적합하지 않다. 또한 밀도 분석의 범례 간격이 KDE 범례의 두 배 이상인 결과를 알 수 있다. 즉, Class 1 및 Class 2의 KDE와 밀도 분석에 대해 동일한 조건을 사용하여 분석한 결과, 밀도를 분석 할 때 빈 경계가 시각화 될 때에 매끄럽지 않다는 것을 알 수 있다. 그러므로 이미지 처리 적용은 KDE를 기반으로 사용하고자 한다.

Table 4.3 Analysis results KDE and density for class 2

No.	Percentage	Color	KDE	Density
1	0%~10%	None	≤ 164983.1	≤ 301385.6
2	10%~20%		≤ 494949.3	≤ 904156.9
3	20%~30%		≤ 1154881.7	≤ 1808313.8
4	30%~40%		≤ 2144780.3	≤ 3013856.3
5	40%~50%		≤ 3464645.2	≤ 4520784.4
6	50%~60%		≤ 4949493.1	≤ 6329098.2
7	60%~70%		≤ 6269358.0	≤ 8137412.0
8	70%~80%		≤ 7754205.9	≤ 10247111.4
9	80%~90%		≤ 9239053.9	≤ 12658196.5
10	90%~100%		≤ 42070692.0	≤ 76853336.0

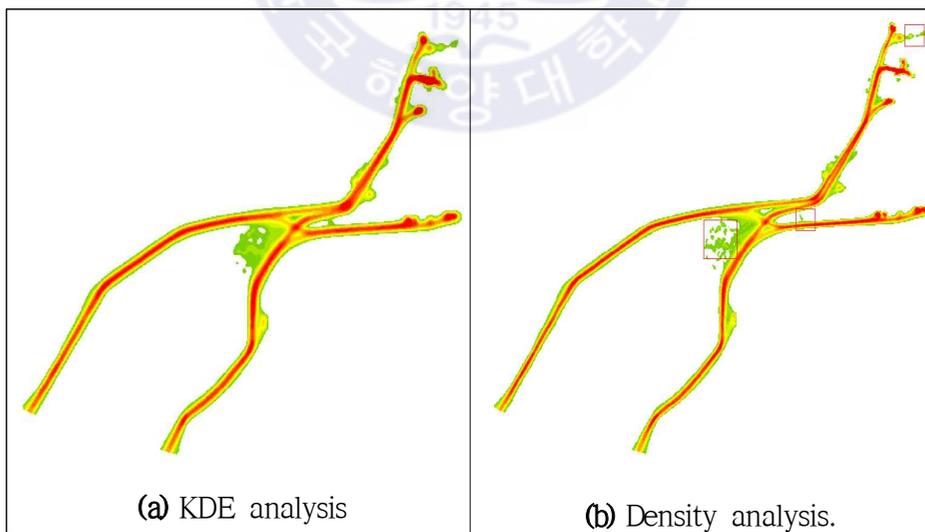


Fig. 4.6 Results of Class 2 analysis with the exclusion of the 0%~10% data

4.3. 향로 생성 이미지 처리 기법

이미지 처리 알고리즘을 활용한 육역의 도로 및 네트워크 추출 기법은 일반적으로 기본 이미지 처리 방법, 주파수 기반 추출, 지식 기반 방법, 감독 기술, 세분화 방법 및 기타 방법 등 6가지 범주로 분류된다(박창수 외, 2002). 본 연구에서는 KDE 분석 결과를 기반으로 이미지 처리 방법을 적용하였다. 이미지 처리 방법 중 향로구역과 그렇지 않은 구역을 흑과 백으로 나누는 이미지 이진화 작업, 향로의 가장자리를 추출하여 정확한 향로의 모습만을 추출하는 방법, 향로 가장자리를 구성하는 선과 선이 접하는 모든 부분을 추출하기 위한 향로 가장자리 코너 탐지방법을 사용하였다.

4.3.1. 이미지 이진화 알고리즘

KDE 분석으로 생성된 래스터 데이터를 대상으로 이진화 작업을 수행한다. 이진화란 각 화소의 밝기를 특정한 임계값을 기준으로 밝은 영역과 어두운 영역으로 이분하고, 각각 하나의 밝기값으로 변환하는 것을 말한다(김정훈 외, 2014). 본 연구에서는 다양한 이진화 방법 중 가장 널리 쓰이고, 하나의 문턱값을 이용하는 방법인 Otsu 알고리즘을 사용하였다(Otsu N, 1979). Gonzalez et al (2009)에 따르면 Otsu 계산은 식 (4.6)으로 표현 할 수 있다.

$$p_i = \frac{n_i}{MN}, p_i \geq 0, \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad (4.6)$$

주어진 그림의 픽셀은 0, 1, 2, 3, ..., L-1과 같이 총 L개의 이미지 강도 레벨을 가지고 있으며, $M \times N$ 개의 픽셀로 이루어진 이미지를 고려한다. 그렇다면 해당 이미지의 강도는 $MN = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_{L-1}$ 과 같다. 이미지 강도의 히스토그램 p_i 을 구하기 위해 개별 픽셀의 값인 n_i 을 전체 픽셀

의 개수인 MN 으로 나눈다. 그리고 이미지를 두 개의 클래스 C_1 와 C_2 로 분할하기 위해서는 적절한 역치값 $T(k) = k$, $0 < k < L-1$ 을 만족하는 값을 찾아야한다. 적절한 값을 찾게 되면 $(0, k)$ 내의 이미지 강도 값들을 가진 픽셀들은 C_1 으로 분류 되며, $(k+1, L-1)$ 내의 이미지 강도 값들을 가진 픽셀들은 C_2 로 분류될 것이다.

한 픽셀이 클래스 C_1 에 속하게 될 확률은 식 (4.7)과 같다.

$$P_1(k) = \sum_{i=0}^k p_i \quad (4.7)$$

동시에 한 픽셀이 클래스 C_2 에 속하게 될 확률 $P_2(k)$ 는 $1 - P_1(k)$ 가 된다. 모든 픽셀은 클래스 C_1 , C_2 에 속하므로 두 확률의 합은 1이다.

다음으로 클래스 C_1 에 속하는 픽셀들의 이미지 강도 평균값은 식 (4.8)과 같다.

$$m_1(k) = \sum_{i=0}^k iP(i|C_1) \quad (4.8)$$

$$= \sum_{i=0}^k \frac{iP(C_1|i)P(i)}{C_1} \quad (4.8.1)$$

$$= \frac{1}{P_1(k)} \sum_{i=0}^k ip_i \quad (4.8.2)$$

여기서 $P(i|C_1)$ 은 이미지 강도 값 i 가 클래스 C_1 에서 온 조건 하에 강도 값이 i 일 확률이다. 식 (4.8)에서 식 (4.8.1)으로의 전개는 베이즈 공식(Bayes'

formula)에 의해 이루어진다. 식 (4.8.1)에서 $P(C_1|i)$ 는 강도 값으로 i 가 주어졌을 때 클래스 C_1 인 확률을 의미하는데, 클래스 C_1 에서 나온 i 의 값을 다루고 있기 때문에 1의 값을 의미한다. 식 (4.8.1)에서 그 식 (4.8.2)으로의 전개는 $P(i)$ 는 픽셀의 강도 값이 i 일 확률이므로 P_i 와 동일하다. 그리고 $P(C_1)$ 는 클래스 C_1 이 나올 확률이므로, $P_{1(k)}$ 과 같다.

마찬가지로 한 픽셀이 클래스 C_2 에 속하는 평균 이미지 강도 값은 식 (4.9)와 같다.

$$\begin{aligned}
 m_2(k) &= \sum_{i=k+1}^{L-1} iP(i|C_2) \\
 &= \frac{1}{P_2(k)} \sum_{i=k+1}^{L-1} iP_i
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

이미지 강도 레벨 k 까지 평균 강도,

$$m(k) = \sum_{i=0}^k iP_i \tag{4.10}$$

전체 이미지의 평균 강도,

$$m_G = \sum_{i=0}^{L-1} iP_i \tag{4.11}$$

전체 이미지의 분산 강도는 식 (4.12)과 같다.

$$\sigma_G^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - m_G)^2 P_i \tag{4.12}$$

σ_B^2 는 최적의 역치값을 찾기 위해 두 개의 클래스 사이의 분리값을 나타내는 between-class variance라는 개념을 도입하는데 식 (4.13)과 같다.

$$\sigma_B^2 = P_1(m_1 - m_G)^2 + P_2(m_2 - m_G)^2 \quad (4.13)$$

between-class 분산은 식 $P_1P_2(m_1 - m_2)^2$ 에 m_1 과 m_2 의 차이가 클수록 between-class 분산이 커짐을 알 수 있다. 즉, between-class 분산이 커질수록 클래스 간 분리도가 커지며 이를 최대화 하는 k 값을 찾는 식은 (4.14)로 나타난다.

$$\begin{aligned} \sigma_B^2 &= P_1P_2(m_1 - m_2)^2 \\ &= \frac{(m_gP_1 - m)^2}{P_1(1 - P_1)} \end{aligned} \quad (4.14)$$

따라서, 다음 식 (4.15)로부터 구한 k 값을 기준으로 이미지를 분할한다.

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[m_gP_1(k) - m(k)]^2}{P_1(k)[1 - P_1(k)]} \quad (4.15)$$

이러한 이진화 과정을 거치면 이미지가 담고 있는 객체를 배경에서 분리할 수 있다. KDE 기반 Otus 알고리즘을 활용한 결과는 Fig. 4.7과 Fig. 4.8이다. Fig. 4.7은 Class1의 결과를 나타내며, Fig. 4.8은 Class2 결과를 나타낸다. 항로부분은 어두운 영역으로 나타나고 그 이외에 영역은 밝은 영역으로 구분된다.

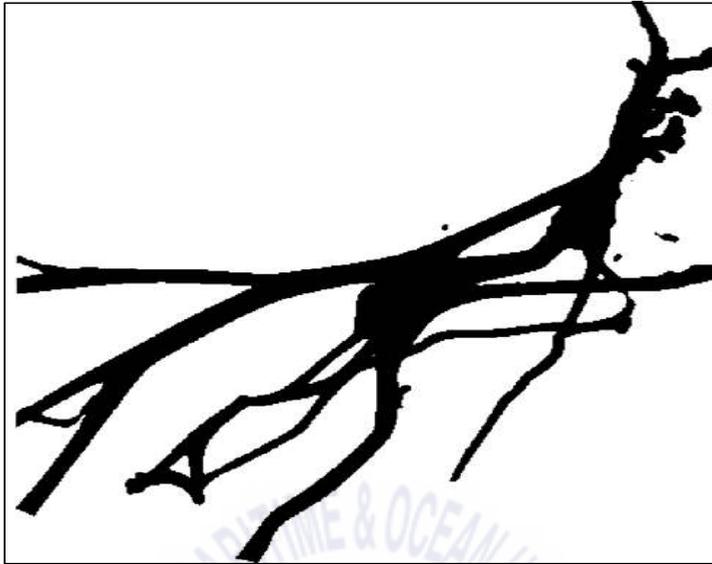


Fig. 4.7 Otsu binarization of Class 1



Fig. 4.8 Otsu binarization of Class 2

4.3.2. 가장자리 추출 알고리즘

앞서 추출한 항로 이미지에는 흑과 백의 두 개의 명암을 가진 것을 확인할 수 있다. 하지만 항로의 폭을 산출하고, 항로 코너 탐지를 수행하기 위한 기초 작업인 항로 가장자리 추출 알고리즘을 수행한다. 다음은 이미지 가장자리를 추출하는 원리는 Fig. 4.9와 같다.

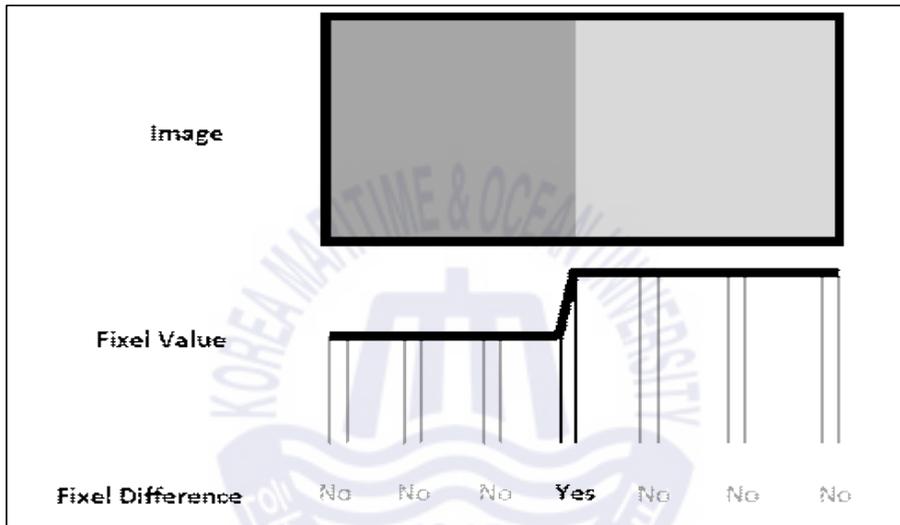


Fig. 4.9 Explanation of Image binarization principle

Fig. 4.9의 픽셀의 변화는 이미지 색의 경계선 부분에서 나타나는 현상이다. 이미지에서 가장자리를 추출하기 위해서는 이미지를 미분한 후, 미분 값이 특정 임계값보다 큰 부분을 찾으면 된다. 다음은 이미지 가장자리 추출 알고리즘의 종류에 대해 나열한다.

Sobel 분석 방법은 수평 및 수직방향으로 분석하고, 가장자리 검출식은 (4.16)이다. 또한, 가장자리를 검출하기 위한 선택 영역을 나타내는 윈도우는 (4.17)이다. Sobel은 비교적 간단한 알고리즘을 구성하고 있어 소요시간이 적게 든다는 장점이 있다(Jimin et al, 2016).

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4.16)$$

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

Laplacian 알고리즘은 2차 미분을 이용하여 가장자리를 검출하는 방법으로 식 (4.18)과 같다. 또한, 검출하기 위한 선택 영역을 나타내는 윈도우는 (4.19)다. Laplacian은 1차 미분에서 민감하게 반응하는 단점을 보완하기 위해 고안되었다(Gonzalez et al, 2009).

$$\Delta f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (4.18)$$

$$D_{xy}^2 = \begin{bmatrix} 0 & +1 & 0 \\ +1 & -4 & +1 \\ 0 & +2 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

Canny 알고리즘은 가우시안 필터를 사용하여 노이즈를 제거하고 가장 낮은 오류를 가지고 있으며, 가장자리 선들의 위치가 가능한 정확히 측정된다. 또한 algorithm 처리 구조가 복잡하여 실행시간이 오래 걸리는 단점이 있다 (Canny, 1987). Canny 알고리즘의 처리과정은 4가지 단계로 나눌 수 있다. 첫째, 노이즈를 제거하기 위해 가우시안 필터를 적용하여 이미지를 부드럽게 한다. 모든 가장자리 탐지 결과는 이미지의 노이즈에 쉽게 영향을 받기 때문에 노이즈를 필터링하여 잘못된 탐지를 방지해야 한다. 이미지를 부드럽게 만들기 위해 가우시안 필터 커널을 사용한다.

크기 $(2k + 1) \times (2k + 1)$ 회 가우시안 필터 커널의 경우, 식 (4.20)과 같다.

$$H_{ij} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(i-(k+1))^2 + (j-(k+1))^2}{2\sigma^2}\right), 1 \leq i, j \leq (2k+1) \quad (4.20)$$

그리고 식 (4.21)은 가우시안 필터 마스크 5×5 는 가장 적합한 크기이지만, 특정 상황에 따라 달라 질 수 있다.

$$B = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

둘째, 가우시안 필터로 노이즈가 제거된 이미지를 수평, 수직방향으로 각 방향의 이미지의 기울기를 획득한다. 이 방법은 Sobel과 동일한데, 수평방향의 기울기를 G_x , 수직방향의 기울기를 G_y 일 때 기울기는 $G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$ 와 같다. 이때, 기울기의 각도를 구하는 식은 (4.22)와 같다.

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (4.22)$$

셋째, 행로 가장자리 생성에 기여하지 아니한 픽셀을 제거하기 위해 이미 지 전체를 스캔한다. KDE 이미지를 스캔하는 동안 기울기 방향으로 스캔구 역에서 기울기의 최댓값을 가진 픽셀을 찾는다. Fig. 4.10에서 X_1 은 수직방 향의 가장자리에 있는 픽셀이고 기울기는 수평방향이다. X_2, X_3 는 기울기 방향에 놓인 픽셀이다. X_1 지점에서 기울기 값이 X_2, X_3 보다 값이 크지 아닌

지 검사하며 X_1 에서의 값이 가장 크면 다음 단계로 넘어가고 그렇지 않다면 0으로 만든다.

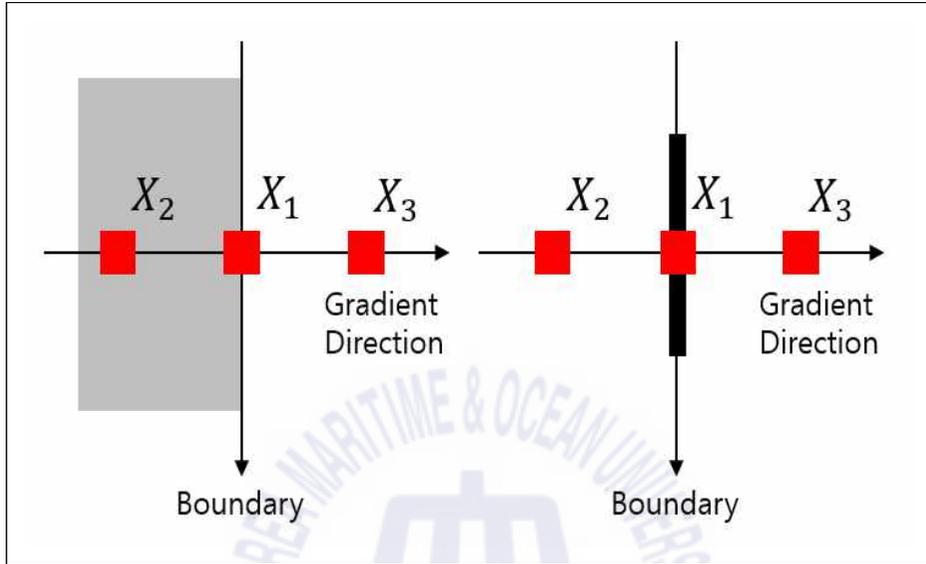


Fig. 4.10 Description that sets the value of a pixel

넷째, Hysteresis 임계값 선정 단계로서 바로 전 단계의 작업이 실제로 향로의 가장자리인지 아닌지 판단한다. 임계값을 MinVal, MaxVal 2개로 설정하고 MaxVal 보다 높은 부분은 확실한 가장자리이며 MinVal 보다 낮은 부분은 가장자리가 아니라고 판단한다. Fig. 4.11의 P_1 는 MaxVal 보다 위에 있으므로 확실한 가장자리이며 P_2 , P_3 는 MinVal과 MaxVal 사이에 있는 픽셀이다. 이곳에서 P_2 는 확실한 가장자리와 연결되어 있고, P_3 는 연결되어 있지 않아 P_3 는 제거하고 P_2 는 남겨둔다.

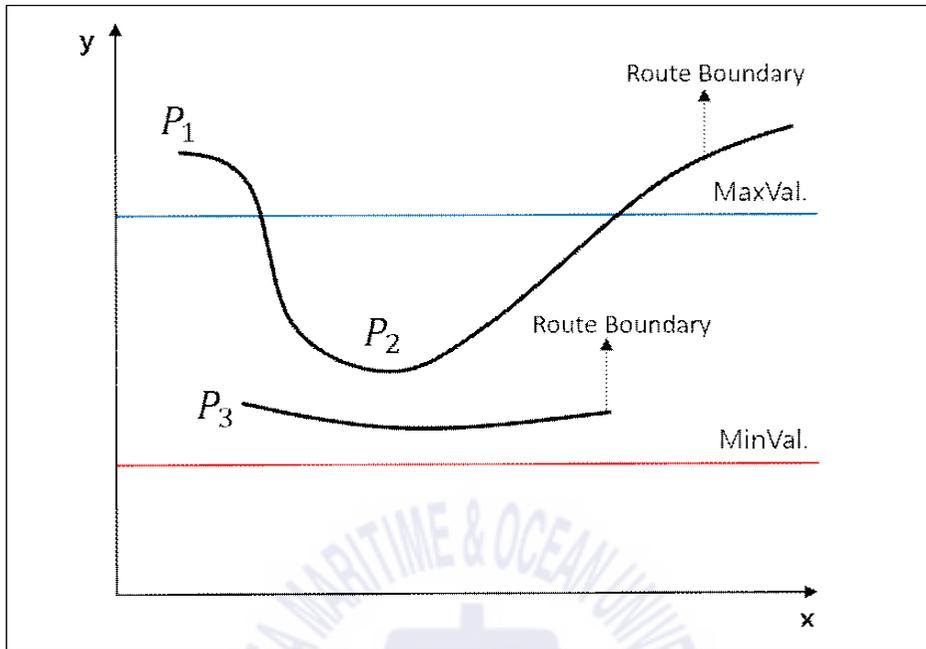


Fig. 4.11 Hysteresis thresholding description

이러한 단계를 모두 수행하면 KDE 이미지에서 항로의 가장자리로 판단된 부분만 남게 된다. Fig. 4.12는 앞서 나열한 항로 가장자리 추출 알고리즘을 적용한 분석 결과를 Sobel, Laplacian 그리고 Canny 으로 나타낸 것이다. Fig. 4.12에서 Sobel 알고리즘으로 추출한 결과 항로의 가장자리가 많이 제거되어 항로 생성에 적합하지 않음을 알 수 있다. Laplacian 알고리즘과 Canny의 분석 결과는 서로 유사한 결과를 보이지만, Canny 알고리즘이 노이즈 필터링과 항로 이외의 구역을 제외하는 등 보다 정확한 가장자리의 추출이 가능하므로 본 연구에서는 Canny 알고리즘 적용 결과를 기반으로 항로의 코너를 추출하고자 한다.

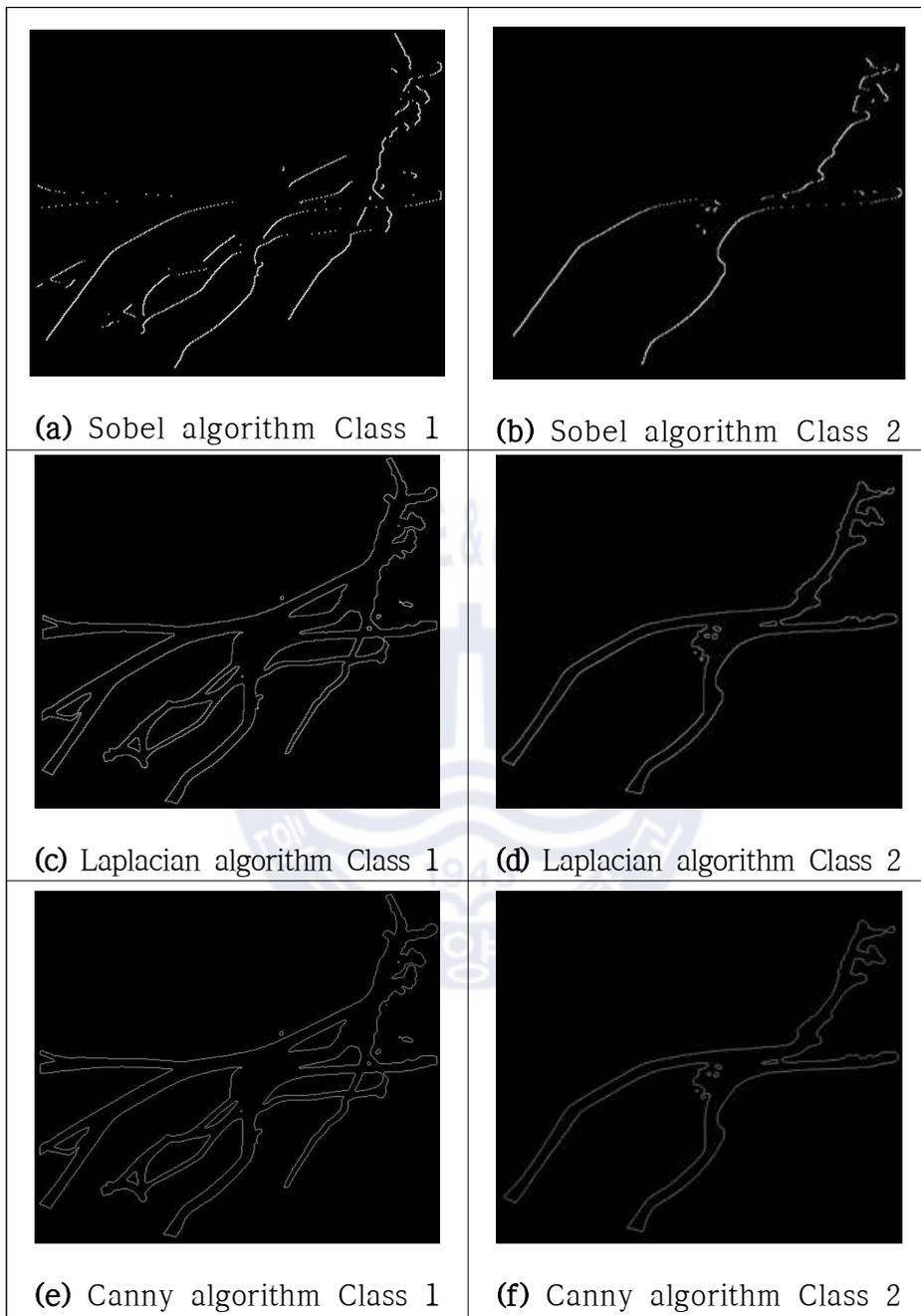


Fig. 4.12 Results of the boundary extraction using an edge extraction algorithm

4.3.3. 코너 탐지 알고리즘

Canny 알고리즘을 적용하여 추출한 향로의 가장자리 모습은 수많은 선들로 이루어져 있으며, 선과 선이 만나는 지점은 코너가 만들어진다. 즉, 향로에서 코너 부분을 찾기 위한 방법으로 Harris 코너 탐지 알고리즘을 사용하였다(Harris et al, 1988). 기본 개념으로 작은 윈도우를 사용하여 윈도우가 이리저리 움직였을 때, 그 윈도우 안의 이미지 강도 값들의 차이가 큰 점들을 코너로 사용한다. Fig. 4.13은 향로의 가장자리에서 코너를 추출하기 위한 예시를 나타낸 것이다.

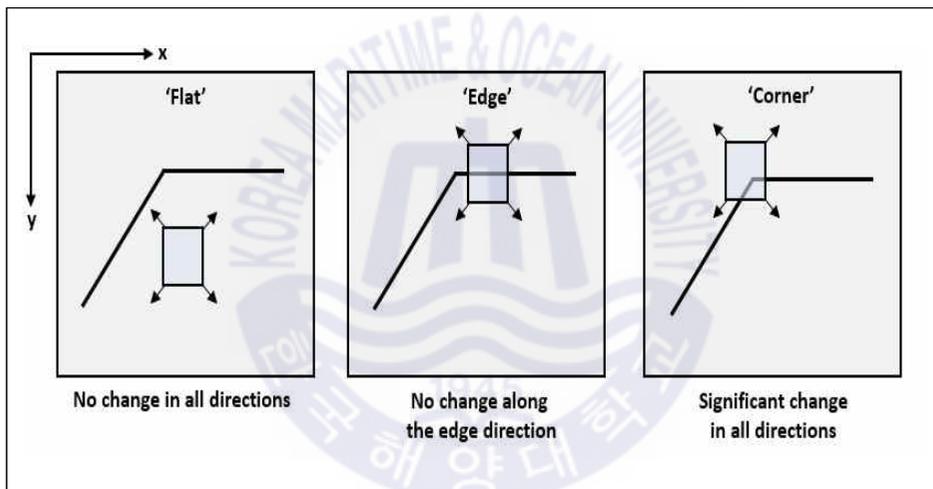


Fig. 4.13 Example of Harris corner detection algorithm

Fig. 4.13에서 윈도우 안에 어떠한 선이 탐지되지 않으면 평면을 의미하고, 평행한 직선이 탐지되면 가장자리로 의미한다. 하지만 선과 선이 만나는 다른 부분이 탐지될 경우에 이를 코너로 인식한다. Harris 코너 탐지 방법은 모든 방향에서 (u, v) 의 이동에 의한 이미지 강도의 차이를 찾는 방법으로 식 (4.23)과 같다.

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 \quad (4.23)$$

(u, v) = 임의 좌표 (x, y) 에서 이동한 좌표

$w(x, y)$ = 윈도우 함수(0, 1 의 값 또는 가우시안 함수)

$I(x + u, y + v)$ = 이동된 윈도우의 이미지 강도

$I(x, y)$ = 이동전 윈도우의 이미지 강도

$w(x, y)$ 는 윈도우 함수를 의미하는데 픽셀의 표면에 가중치를 주는 직사각형 윈도우 또는 가우시안 형태의 창을 말한다. 코너를 탐지하기 위해서 $E(u, v)$ 이 부분을 최대화해야 코너 값을 추출 할 수 있으므로, 테일러 확장에 의해 근사값으로 나타내야 한다. $I(x + u, y + v)$ 를 테일러 확장에 의해 1차 항을 변환한 결과는 다음 식 (4.24)와 같다.

$$I(x + u, y + v) \approx I(x, y) + [I_x(x, y) I_y(x, y)] \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

식 (4.24)를 식 (4.23)에 대입하면, 식 (4.25)가 나온다.

$$\begin{aligned} E(u, v) &\approx \sum_{x, y} [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 & (4.25) \\ &\approx \sum_{x, y} [I(x, y) + [I_x(x, y) I_y(x, y)] \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} - I(x, y)]^2 \\ &\approx \sum_{x, y} ([I_x(x, y) I_y(x, y)] \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix})^2 \end{aligned}$$

$$\approx [u \ v] \begin{bmatrix} \sum_{x,y} (I_x(x_i, y_i))^2 & \sum_{x,y} I_x(x_i, y_i) I_y(x_i, y_i) \\ \sum_{x,y} I_x(x_i, y_i) I_y(x_i, y_i) & \sum_{x,y} (I_y(x_i, y_i))^2 \end{bmatrix}$$

$$\approx [u \ v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

식 (4.25)에서 최종적으로 얻어진 M 은 식 (4.26)과 같다.

$$M = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} I_x I_x & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y I_y \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

식 (4.26)에서 I_x 와 I_y 는 이미지의 x, y 방향에 대한 이미지의 강도 값을 말한다. 여기서, M 의 값을 활용하여 항로 이미지 내의 코너를 검출하기 위한 점수를 생성한다. 즉, 윈도우가 코너를 포함하고 있는지 아닌지에 대해 결정하는 방법은 식 (4.27)과 같다.

$$R = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2 \quad (4.27)$$

$$\det(M) = \lambda_1 \lambda_2$$

$$\text{trace}(M) = \lambda_1 + \lambda_2$$

식 (4.27)의 2×2 행렬 M 의 두 고유치를 λ_1, λ_2 ($\lambda_1 \geq \lambda_2$)라고 했을 때, $\lambda_1 \lambda_2$ 이 작아서 $|R|$ 이 작으면 영역은 ‘Flat(평면)’, $\lambda_1 \gg \lambda_2$ or $\lambda_2 \gg \lambda_1$, $R < 0$ 일 경우 ‘Boundary(가장자리)’, λ_1 과 λ_2 가 크고 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 여서 R 이 클 경우 ‘Corner(코너)’로 나타내고, Fig. 4.14와 같이 표현 할 수 있다.

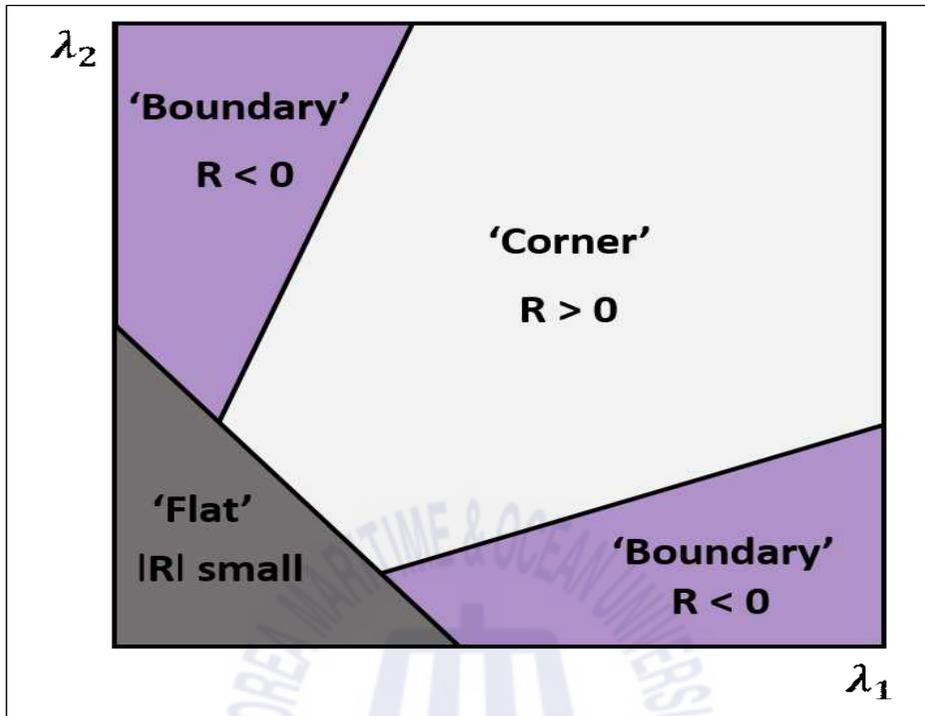


Fig. 4.14 Selection corner, edge, flat of Harris algorithm

최종적으로 Harris 코너 탐지 알고리즘을 사용한 향로 가장자리의 코너 추출은 Fig. 4.15와 같다. Fig. 4.15의 흰색 선은 Canny 알고리즘을 적용하여 향로의 가장자리 추출결과를 나타낸다. 가장자리는 선과 선들로 구성되는데 이들이 만나는 지점에 코너를 형성하고, 이 부분이 빨간색 점으로 탐지 된다. 이를 기반으로 새로운 향로 생성의 다음 단계로 넘어가고자 한다. 생성된 향로의 가장자리 선들을 부드럽게 처리하고, 들로네 삼각분할을 이용한 향로의 센터라인을 추출한 후 기존 향로의 센터라인과 비교하여 향로 안전성을 검증해보고자 한다.

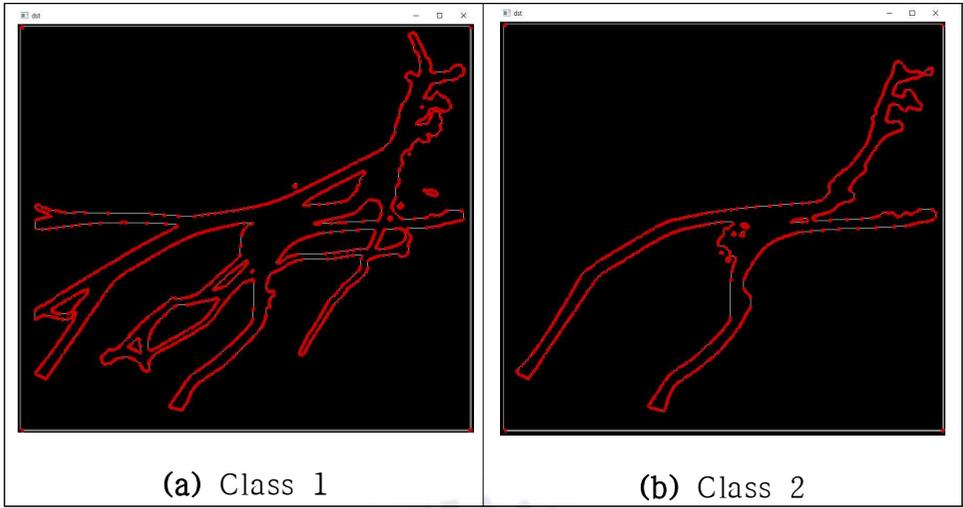


Fig. 4.15 Result of Harris corner detection algorithm



4.4. 향로 센터라인 추출 모델링

4.4.1. 라인 스무싱 알고리즘

향로 생성을 위한 래스터 데이터 기반의 이미지는 바로 향로 생성에 적용하기에는 많은 한계점을 갖고 있다. 향로로 생성된 일부 구역의 선이 연결되어 있지 않고 끊어져 있거나 선이 올바르게 끝지 못하고 울퉁불퉁한 곳이 생성되어 있다. 또한, 센터라인을 생성하기 위해서는 들로네 삼각분할 기법을 사용해야 하므로 향로의 가장자리 선을 필터링 하는 작업이 필요하다. 그러므로 추출된 향로의 가장자리는 라인 스무싱(Line Smoothing) 작업을 수행한다. 이미지 처리 기법인 이미지 이진화, 이미지 가장자리 추출, 이미지 코너 탐지 알고리즘을 사용하여 생성된 데이터를 벡터데이터로 변환한 후 나타낸 향로의 모습은 Fig. 4.16과 같다.

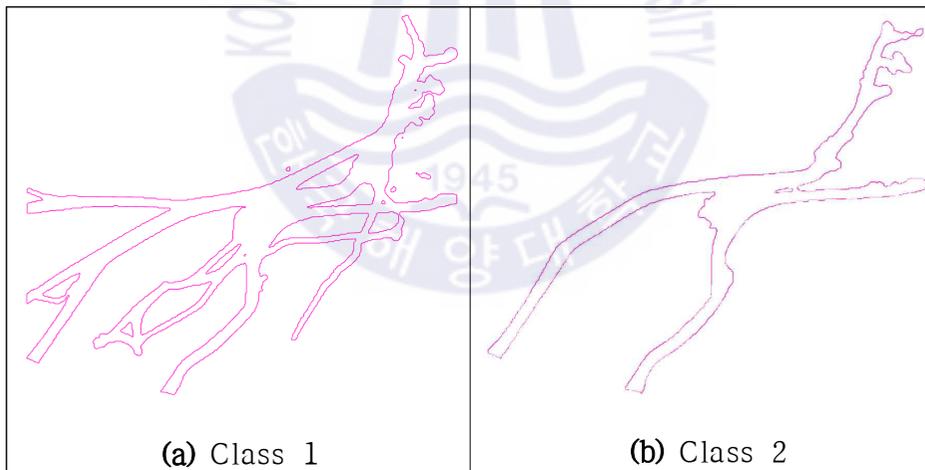


Fig. 4.16 Result of conversion raster data to vector data

Fig. 4.16은 벡터 데이터로 변환된 향로의 모습이다. Fig. 4.16(a)는 Class 1의 결과로써 향로 이외의 일부 구역에서 향로로 인식하고 있는 부분이 있다. Fig. 4.16(b)는 Class 2 결과로 일부 구역이 끊어져 나타난다. 또한, 이미지 처리 기법으로 생성된 향로는 래스터형식으로 추출되므로 부드럽게 연결되지

않는다. 이는 항로 안전성 측면에서 고려되는 선박의 변침각 및 항로의 곡률도는 낮은 효율성을 보일 것이며 선박의 안전 운항에 좋지 않을 것이다. 따라서 밀집도 기반으로 생성된 항로의 높이기 위해 항로의 가장자리의 항로를 부드럽게 처리하는 Guiling et al (2019)의 연구를 참조하였다. 본 연구에서 진행된 라인 스무싱 절차는 Fig. 4.17과 같다.



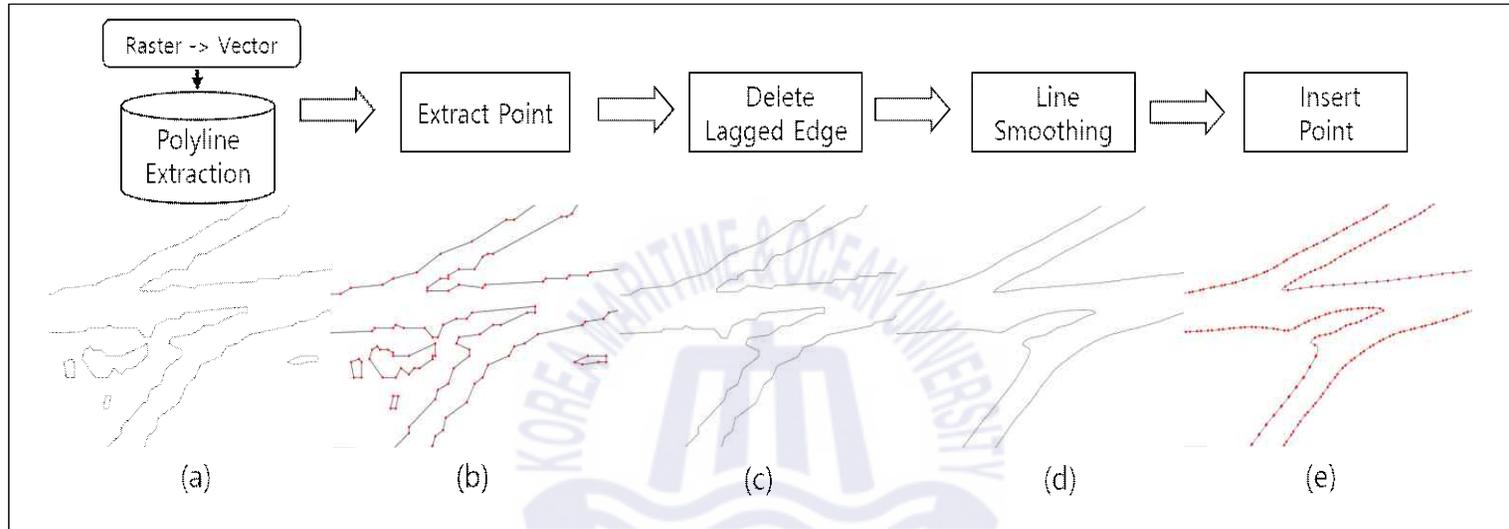


Fig. 4.17 Overview of the boundary smoothing process

(a) boundary of the route created by the image processing, **(b)** extraction of polyline vertices, **(c)** removing the jagged part, **(d)** line-smoothing operation, **(e)** inserted point inside the smoothly lines

Fig. 4.17(a)는 이미지 처리 과정으로 생성된 향로 가장자리 선의 래스터 데이터를 변환하는 과정을 거친다. KDE 기반으로 추출된 향로는 격자셀 기반의 래스터 이므로 이를 벡터 데이터인 폴리라인으로 추출한다. Fig. 4.17(b)는 생성된 폴리라인의 코너를 추출하는 과정이다. 이는 Harris 코너 탐지 알고리즘으로부터 추출된 점을 이용한다. Fig. 4.17(c)는 향로 생성의 들쭉날쭉한 부분과 향로와 떨어져 있는 부분을 제거하는 과정이다. 이는 향로 주변에 불규칙하게 생성된 밀집구역을 제거하는 과정으로써 향로 생성의 정확도를 높인다. Fig. 4.17(d) 벡터 면 또는 선의 데이터에서 각도가 있는 부분을 부드럽게 하는 작업인 라인 스무싱 작업을 수행한다. 선을 부드럽게 하는 방법은 2차 다항식 보간법으로 부터 결정된다. 보간법이란, 알려진 지점의 값 사이에 위치한 값을 알려진 값으로부터 추정하는 것을 말하며 2차 다항식 보간법은 세 개의 데이터가 주어졌을 때 사용한다. 또한, 근사값을 이용하여 선형을 부드럽게 하는 방법은 대표적으로 Polynomial Approximation with Exponential Kernel (PAEK), Bezier 보간법이 있으며 Fig. 4.18과 같다. Fig. 4.18에서 PAEK는 평활 허용 오차를 기반으로 라인을 부드럽게 한다. 이 방법은 이차 다항식을 사용한 근사 다항식이 사용되고, 일반적으로 Bezier 보간법보다 더 좋은 결과를 나타낸다(Esri, 2020). 본 연구에서는 PAEK 보간법을 이용하여 라인 스무싱 작업을 수행한다. 마지막으로 Fig. 4.17(e)은 부드럽게 생성된 향로 가장자리 선 내부에 일정 간격으로 점을 삽입한다. 점을 삽입하는 이유는 향로 안전성 검증에 필요한 센터라인을 생성하기 위한 기초 작업이다. 삽입된 점은 들로네 삼각분할을 수행하게 된다.

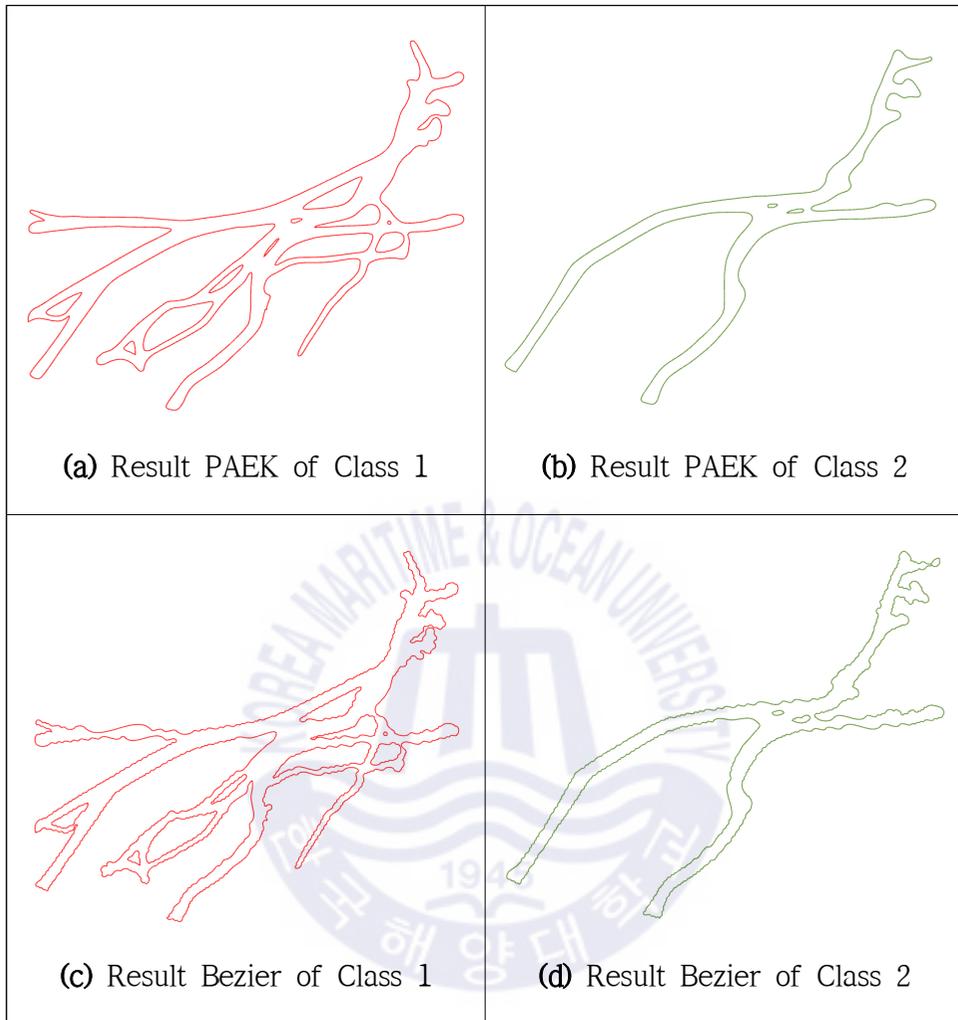


Fig. 4.18 Result of line smoothing operation

4.4.2. 들로네 삼각분할 알고리즘

들로네 삼각분할은 들로네 삼각망, 들로네 삼각형 등으로 불린다. 이 방법은 평면위의 점을 대상으로 삼각형을 만들 때 사용된 점 이외의 점을 포함하지 않게 삼각형을 만들어 분할하는 것을 말한다. 이러한 특징을 이용하여 가장 가까운 점을 찾을 수 있어 데이터 클러스터링, 밀집도 분석, 도로망 설계 등 유용하다(Lee et al. 1980). 따라서 라인 스무싱의 마지막 단계인 삽입된 점을 기반으로 들로네 삼각분할을 수행한다. 이 방법을 적용하면 항로 안전성 검증에 필요한 센터라인을 추출할 수 있다.

Fig. 4.19는 들로네 삼각분할을 이용한 결과이다. Fig. 4.19(a)는 Class 1을 대상으로 들로네 삼각분할을 적용하였을 때 초기 모습이고, Fig. 4.19(b)는 Class 2를 대상으로 들로네 삼각분할을 적용한 초기 모습이다. Fig. 4.19(c)는 Class 1을 대상으로 들로네 삼각분할 후 항로 이외의 지역을 필터링 한 결과이며, Class 2는 Fig. 4.19(d)와 같다. 들로네 삼각분할을 이용한 결과는 생성된 항로의 센터라인을 생성하기 위해 이웃한 가장자리의 면을 공유하는 삼각형의 개수에 따라 속성값을 입력한다.

Fig. 4.20은 Class 1의 들로네 삼각분할 필터링 결과를 기반으로 이웃한 삼각형 개수에 따른 분류 속성값 입력 결과이다.

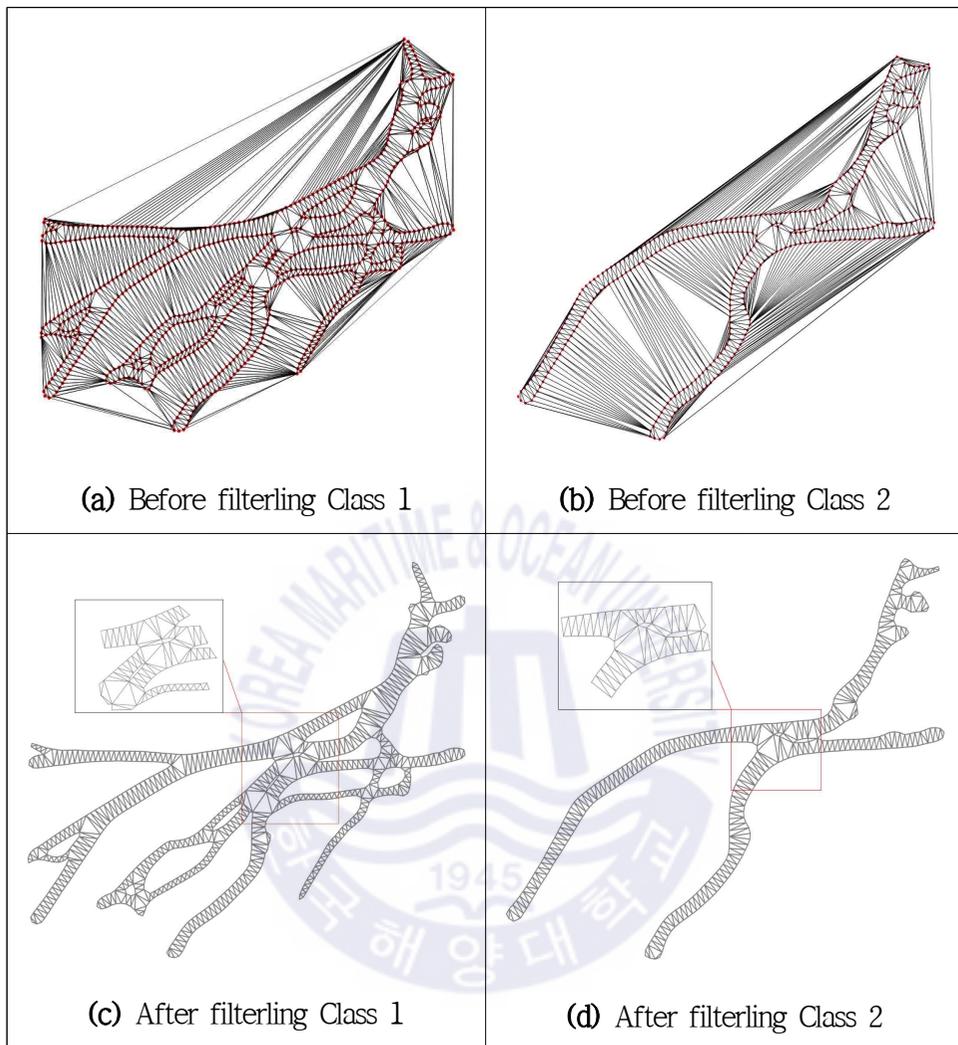


Fig. 4.19 Result of Delaunay triangulation

Fig. 4.20의 생성된 삼각형의 속성값 1은 한 개의 삼각형을 이웃한 곳을 의미하며, 2의 속성값은 두 개의 삼각형을 이웃한 삼각형, 3의 속성값은 세 개의 삼각형을 이웃한 삼각형을 나타낸다. 각 삼각형에 속성값을 입력하면 이웃한 삼각형의 개수에 따라 분류되며 이를 기준으로 센터라인과 네트워크 생성에 필요한 노드를 생성 할 수 있다. 삼각형의 분류 속성값 입력 후 항로 센터라인을 추출하기 위한 과정은 Fig. 4.21과 같다.

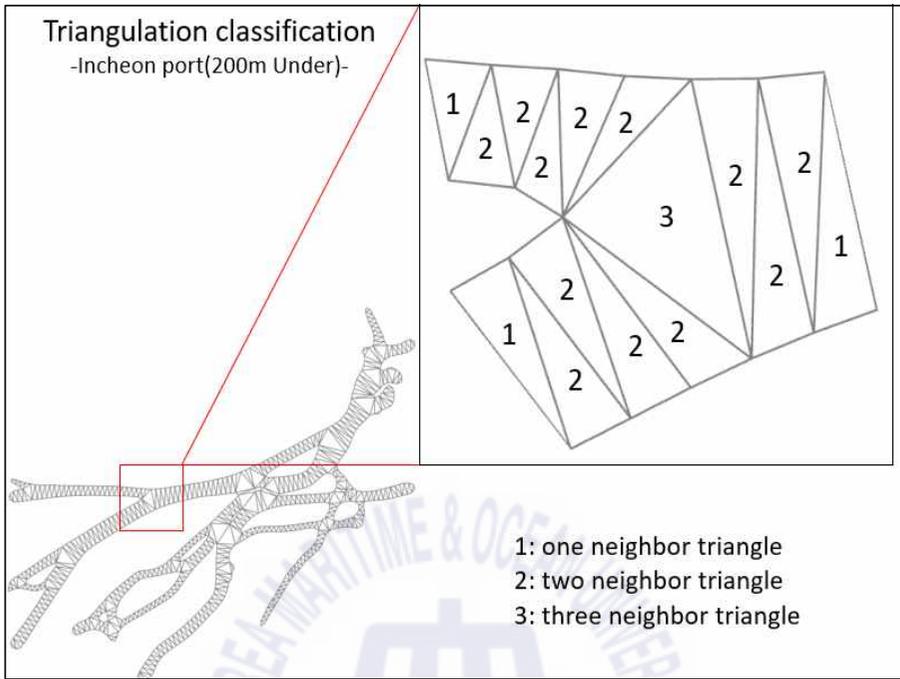


Fig. 4.20 Inserting the attributed values according to the number of neighboring triangles

Fig. 4.21은 개별 삼각형별로 속성값 1, 2, 3을 입력한 후 센터라인을 생성하기 위한 노드, 커브, 세그먼트를 생성하는 과정을 설명한다. 생성된 삼각형은 면의 형태를 이루고 있는데, 이를 선으로 개별 분할하고 백분을 기준 50%의 포인트를 형성하면 커브를 구성하는 중심점 $(c_1, c_2, \dots, c_{n-1}, c_n)$ 와 가장자리를 중심점 $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$ 이 모두 생성된다. 여기서, 가장자리의 중심점 $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$ 을 모두 제거한다. 노드 $(g_1, g_2, \dots, g_{n-1}, g_n)$ 을 생성하기 위한 방법은 분류 속성값 1, 3의 값을 갖는 삼각형에서 생성된다. 분류 속성값 1의 삼각형에서 시작되는 선의 중심선을 노드로 생성하며, 분류 속성값 3의 삼각형의 중앙값을 계산한다. 즉, 커브와 커브를 연결하는 세그먼트를 생성하고, 노드와 노드를 연결하는 세그먼트를 모두 생성하면 본 연구에서 기존 향로의 센터라인과 비교할 수 있는 새로운 향로의 센터라인이 생성된다.

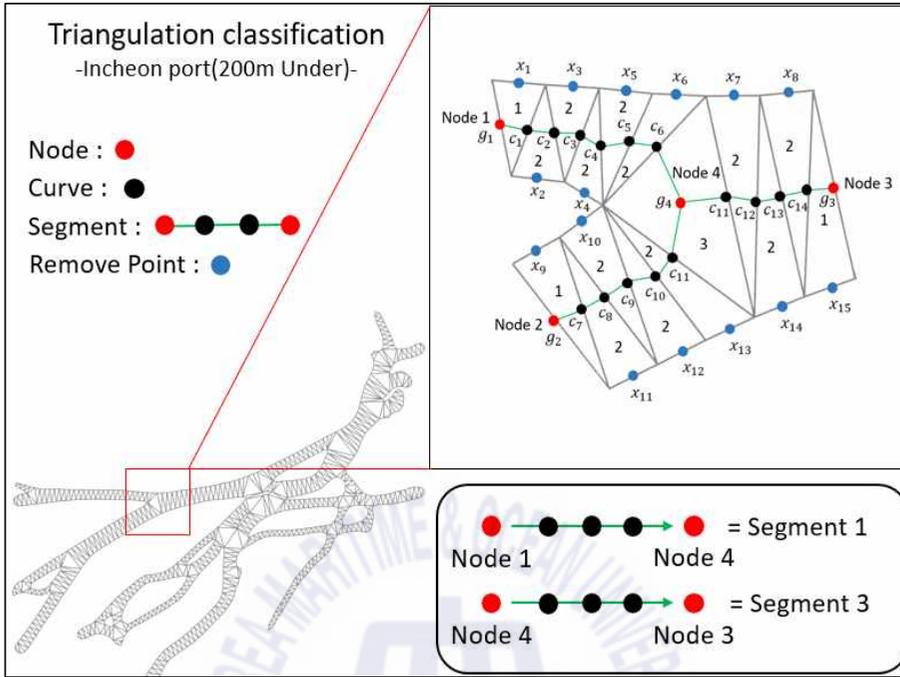


Fig. 4.21 Organization of the nodes, curves, and segments to create the centerlines

Fig. 4.22는 최종적으로 생성된 Class 1의 센터라인을 추출한 결과를 나타내며, Fig. 4.23은 최종적으로 생성된 Class 2의 센터라인 추출 결과를 나타낸다. 녹색으로 연결된 선은 생성된 항로의 중심을 나타내는 센터라인이며 Class 1과 Class 2의 결과 선박의 크기에 따른 항행 패턴은 확연히 다른 모습을 보이고 있다.

새롭게 생성된 센터라인은 기존 항로의 센터라인과 비교 검증하는 것에 사용되며, 기존 항로에서 센터라인 추출은 항로의 폭의 중심을 연결한 선을 의미한다.

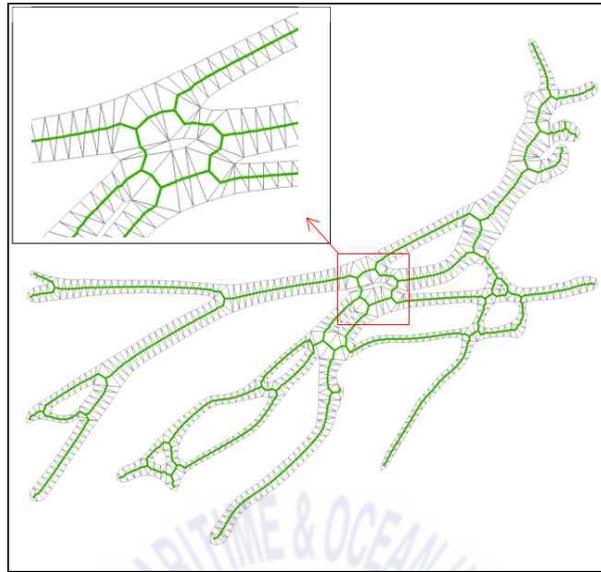


Fig. 4.22 Centerline of Class 1 created through connecting nodes and curves

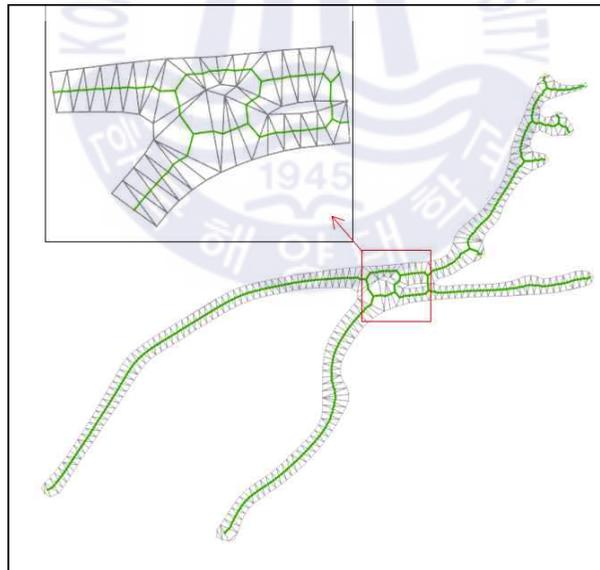


Fig. 4.23 Centerline of Class 2 created through connecting nodes and curves

새롭게 생성된 항로의 센터라인은 실제 선박이 항행한 패턴과 유사한 곡선으로 이루어져 있으나, 기존 항로의 센터라인은 직선으로 설계된 항로를

따라 직선으로 나타난다. 기존 항로 센터라인은 모든 선박이 이용되는 항로 이므로 Class를 구분할 필요가 없다.

Fig. 4.23은 인천에 입출항하는 기존 항로인 서수도, 동수도, 제1항로의 센터라인을 추출한 결과이다. 이 항로는 인천 항계를 중심으로 나뉘어져 있으며, 항계 내에는 많은 항로가 존재하나 거리가 매우 짧거나 직선에 가까워 센터라인 비교 의미가 없는 관계로 추출하지 않았다.

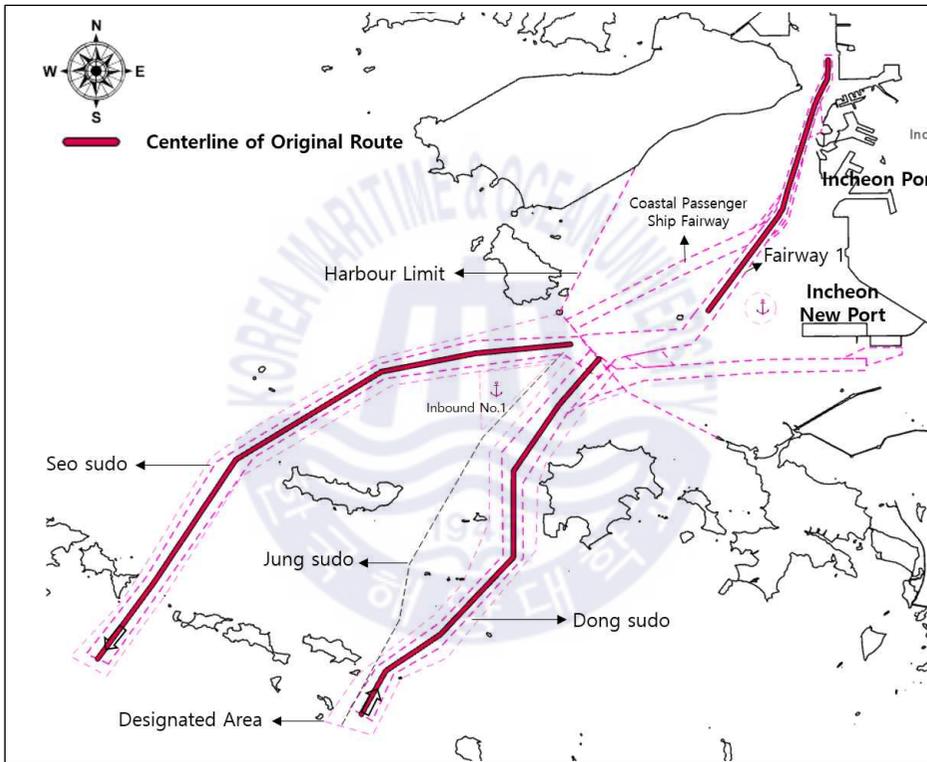


Fig. 4.24 Centerline extraction of original route

제 5 장 생성 항로의 비교 및 검증

5.1. 항로 안전성 검증

5.1.1. 굴곡도 검증

본 연구에서 생성된 항로의 안전성을 검증하기 위해 생성된 항로의 센터라인과 기존 항로의 센터라인을 대상으로 굴곡도(Sinuosity, \bar{S})를 비교 분석하였다. 비교에 사용된 항로는 제1항로, 동수도, 서수도이며 연안여객항로와 제 2~4항로는 굴곡도 비교가 불가능한 일직선 항로이므로 제외하였다. 굴곡도란 항로가 굽어져 있는 비율을 수치화 하여 사용되며 식 (5.1)과 같다.

$$\bar{S} = \frac{L_c}{L_s} \quad (5.1)$$

\bar{S} 는 굴곡도를 나타낸 수치로써, L_s 는 항로를 일직선으로 나타낸 길이를 말하며 분모로 선정하고, L_c 는 생성된 항로의 센터라인과 기존 항로의 센터라인을 말하고 이를 분자로 한다. 이 값은 1의 값에 가까울수록 직선에 가까운 의미를 뜻한다. 기존 항로와 새로운 항로의 비교값을 하나의 수치로 비교하기 위해 $\Delta\bar{S}$ 를 산출하게 된다. 기존 항로 센터라인 \bar{S} 값과 생성된 항로 센터라인 \bar{S} 의 값의 차이에 100을 곱한 값이 $\Delta\bar{S}$ 가 되고, 식 (5.2)와 같다.

$$\Delta\bar{S} = [\bar{S} \text{ of Original Centerline} - \bar{S} \text{ of Novel Centerline}] \times 100 \quad (5.2)$$

Fig. 5.1은 본 연구에서 분석 항로인 서수도, 동수도, 제1항로를 대상으로 기존 항로의 센터라인과 생성된 항로의 센터라인의 굴곡도를 비교하는 개요를 나타낸 그림이다.

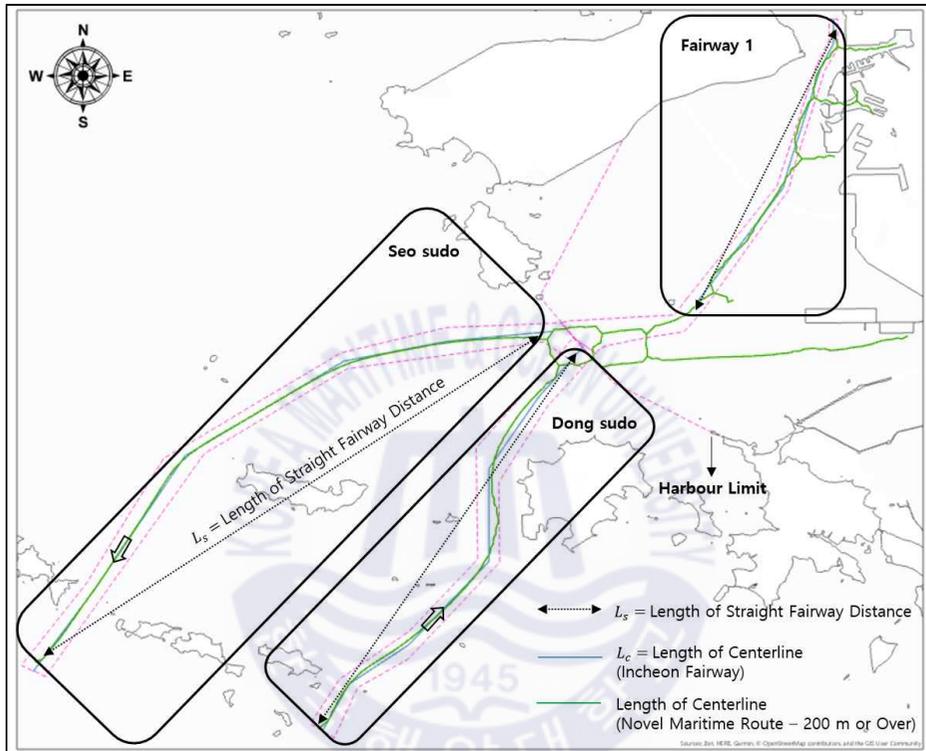


Fig. 5.1 Overview of sinuosity analysis

Table 5.1은 분석 대상인 항로의 일직선 거리 L_s 와 센터라인의 거리 L_c 의 차이를 분석하여 \bar{S} 결과를 나타냈다. 여기서, $\Delta \bar{S}$ 를 기반으로 값을 비교한다. Fig. 5.2(a)는 분석된 항로의 직선거리와 센터라인들의 굴곡도의 거리를 비교한 그래프이며, Fig. 5.2(b)는 $\Delta \bar{S}$ 의 값을 나타낸 그래프이다. 소형선인 Class 1의 서수도 + 0.8, 동수도 + 2.2 값으로 모두 굴곡도가 큰 결과를 가져왔다. 거대선인 Class 2는 서수도 - 0.4, 동수도 - 2.5의 값으로 작은 굴곡도가 나왔다. Class 1은 해상에서의 다양한 움직임이 보여주므로 센터라인의

굴곡도가 복잡한 모습을 보인다. 반면, Class 2는 선박 운항의 제약으로 인한 단순한 항적도, 입출항의 항로가 정해져 있으므로 굴곡도가 작게 나온다. 제 1항로에서 Class 1은 + 9.4, Class 2는 + 5.2로 큰 굴곡도를 가지고 있다. 그 이유로는 인천 북항, 남항 부분에 입출항하는 센터라인의 생성과 여객선 항로와의 입출항으로 인해 모두 큰 결과를 가져왔다. 또한 상대적으로 제 1항로는 동수도와 서수도 보다 길이가 짧으며 가장 직선에 가까운 형태를 가지고 있기 때문이다. 분석 결과, 항로의 길이가 길거나 주변에 항구가 적을수록 더 좋은 효과가 있는 것을 알 수 있다.

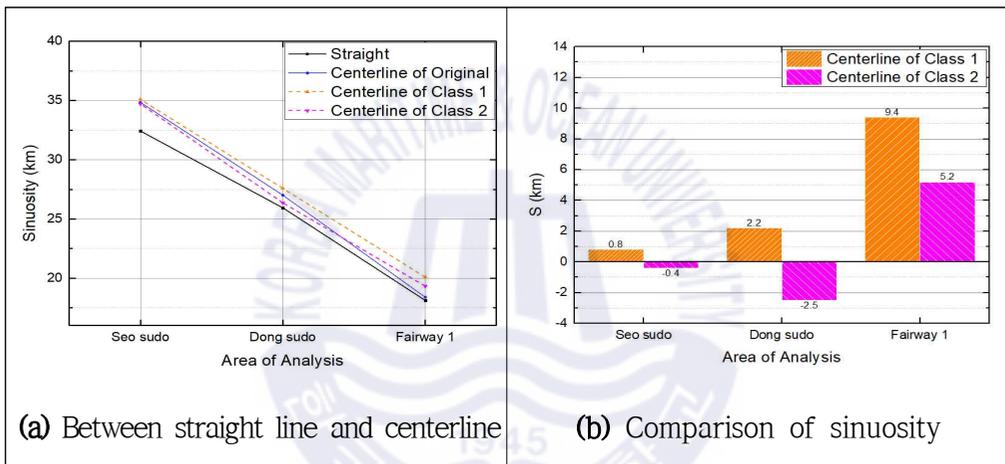


Fig. 5.2 Sinuosity distance and index result

Table 5.1 Difference among straight line, centerline, and sinuosity

Area	Category	Centerline of Original	Centerline of Class 1	Centerline of Class 2
Seo-sudo	L_s	32.42 km		
	L_c	34.84 km	35.09 km	34.71 km
	Difference	+ 2.42 km	+ 2.67 km	+ 2.29 km
	\bar{S}	1.074	1.082	1.070
	$\Delta \bar{S}$	-	+ 0.8	- 0.4
Dong-sudo	L_s	25.94 km		
	L_c	27.00 km	27.58 km	26.36 km
	Difference	+ 1.06 km	+ 1.64 km	+ 0.42 km
	\bar{S}	1.041	1.063	1.016
	$\Delta \bar{S}$	-	+ 2.2	- 2.5
Fairway 1	L_s	18.12 km		
	L_c	18.38 km	20.08 km	19.33 km
	Difference	+ 0.26 km	+ 1.96 km	+ 1.21 km
	\bar{S}	1.014	1.108	1.066
	$\Delta \bar{S}$	-	+ 9.4	+ 5.2

5.1.2. 교각 검증

분석 해역 내에서 선박이 변침하는 각이 가장 큰 5곳에서 생성된 항로의 센터라인과 기존 항로의 센터라인의 교각(Intersection angle)을 비교 분석하였다. 교각이란 두 직선이 만날 때 이 두 직선이 이루는 각을 말한다. 교각 분석 지점은 Point 1 ~ Point 5 까지 5곳을 선정하였다. 서수도 2곳, 동수도 2곳, 1항로 진입로에 1곳으로 선정하였고 위치는 다음 Fig. 5.3과 같다.

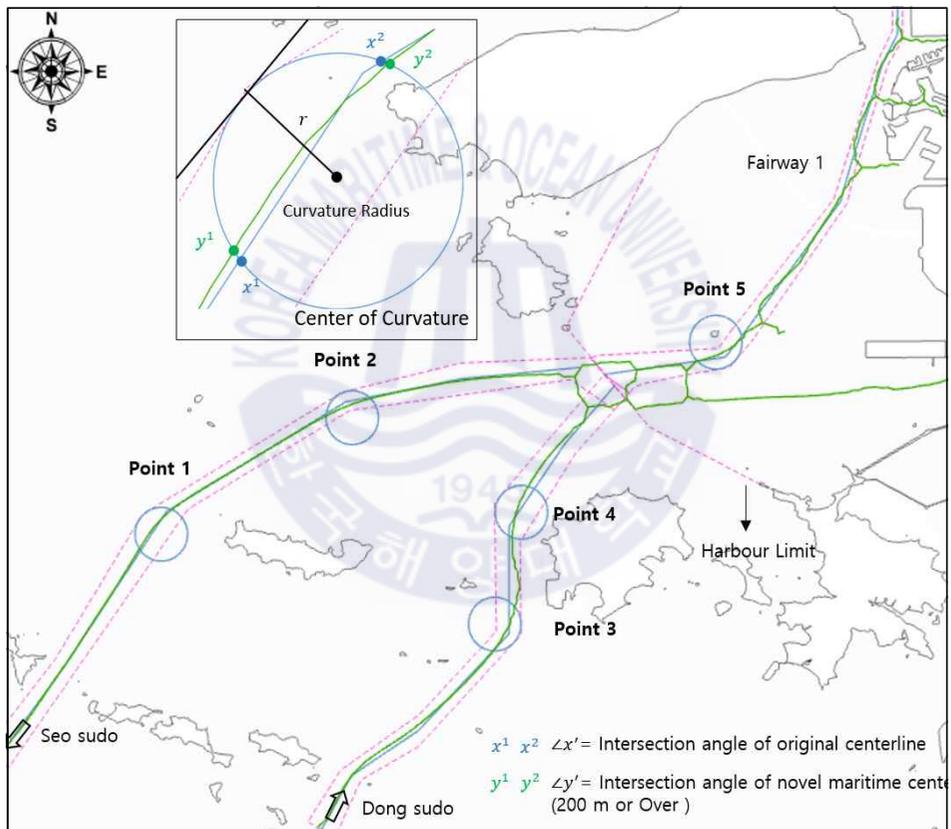


Fig. 5.3 Overview of the intersection angle analysis

교각 분석 지점은 선박이 변침하는 Waypoint로서 반지름 r 을 갖는 원에서 기존 항로 센터라인의 교각인 $\angle x^1x^2$, 생성된 항로의 센터라인 교각인 $\angle y^1y^2$ 를 분석한다. 특이점으로 Point 5는 입항로와 출항로 모두 포함되어있

는 향로이므로 구분하여 분석을 하였다. 기존향로의 센터라인과 생성된 향로의 센터라인의 교각을 비교한 후, 감소율을 $\Delta \bar{R}$ 로 정량적으로 나타내고 식 (5.3)과 같다.

$$\Delta \bar{R} = \frac{\angle x' - \angle y'}{\angle x'} \times 100 \quad (5.3)$$

식 (5.3)은 새로운 향로 센터라인의 교각 감소율을 나타낸다. 여기서, $\angle x'$ 는 기존 향로의 센터라인 교각으로써 분모로 하고, $\angle y'$ 는 생성된 향로의 교각을 의미하고 $\angle x'$ 의 차이값을 분자로 한다. 여기서 백분율로 나타내기 위해 100을 곱한 값이 교각 감소율 $\Delta \bar{R}$ 이 된다.

교각 분석 결과는 Table 5.3과 Fig. 5.4와 같다. Table 5.3에서 기존 향로의 교차 각은 최소 20° 에서 최대 53° 로 나타난다. 이 값은 우리나라의 향로 설계 방법으로 생성된 향로이다. 분석 대상인 선박의 변침 포인트 1부터 5는 교각 값이 낮을수록 향로의 안정성이 높다. 분석 결과에 따르면 기존 향로를 향행하는 선박은 실제로 서로 다른 교차 각을 만든다. Class 1의 교각 범위는 최소 10.8° 에서 최대 23.9° 로 분석된다. 교각 감소율인 $\Delta \bar{R}$ 의 값은 포인트 2의 값을 제외하고는 생성된 향로의 교각이 더 좋은 결과를 가져오는 것으로 나타난다. Class 2의 교각 범위는 최소 12.4° 에서 최대 32.4° 이다. 감소율 $\Delta \bar{R}$ 의 값이 54.8 %에서 66.6 %로 교각이 우수하게 감소한 것으로 나타난다. Class 2는 생성된 향로의 교각이 모두 매우 안정적임을 의미한다. Fig. 5.4(a)는 5개의 포인트의 교각을 그래프로 나타내고, Fig. 5.4(b)는 교각의 감소율을 나타낸다. 유일하게 Class 1의 포인트 2에서 교각 감소율이 더 좋지 않게 나타나는 이유는 다수의 소형 선박과 여객선이 서수도 끝까지 통항하지 않으며 향로 도중 이탈하기 때문이다. Class 2의 경우, 작은 교각을 나타내는 것으로 분석되며, 이는 선박의 크기에 따른 통항 패턴의 결과로 값

이 차이를 갖는 것으로 분석된다. 교각 측면에서 생성된 항로 센터라인은 한 지역을 제외하고 보다 안정적인 결과를 보여 주었다.

Table 5.2 Difference in intersection angle between the original route and the novel maritime route

Area	Intersection Angle of Original Route	Class 1		Class 2	
		Angle	$\Delta \bar{R}$	Angle	$\Delta \bar{R}$
Point 1	25°	16.3°	8.7(34.8%)	11.3°	13.7(54.8%)
Point 2	20°	21.8°	-1.8(-9.0%)	7.6°	12.4(62.0%)
Point 3	37°	19.7°	17.3(46.7%)	15.2°	21.8(58.9%)
Point 4	35°	10.8°	24.2(69.1%)	13.7°	21.3(60.8%)
Point 5	IN 48°	17.2°	30.8(64.2%)	16.0°	32.0(66.6%)
	OUT 53°	23.9°	29.1(54.9%)	20.6°	32.4(61.1%)

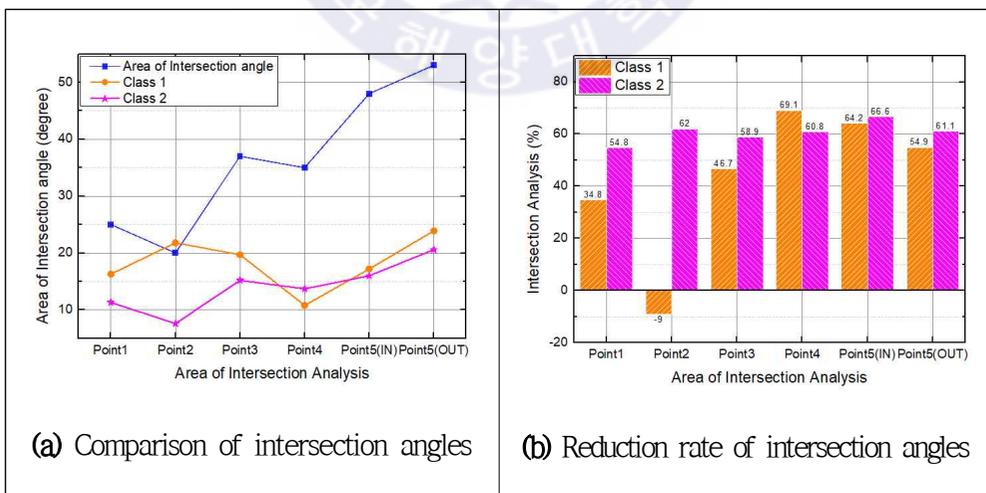


Fig. 5.4 Intersection angle result

5.1.3. RCE 검증

RCE(Route Change Envelope)는 기존 항로의 센터라인을 기준선으로 설정하고, 새롭게 생성된 항로의 센터라인 사이의 거리를 나타내는 값이다. 이 값은 시간과 무관하게 관측점(기준선)을 기준으로 총 이동거리만을 절댓값으로 계산하며 항상 양의 값을 가진다. Fig. 5.5는 RCE 분석결과의 전체적인 모습을 나타낸다.

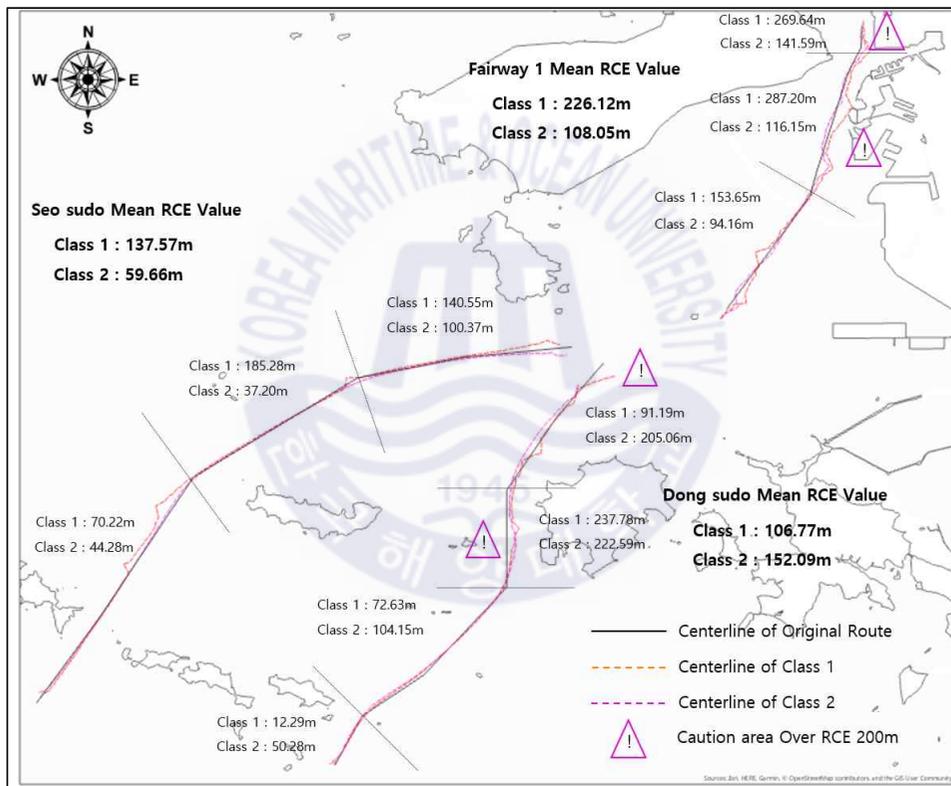


Fig. 5.5 Overview of the route change envelope(RCE) analysis

Fig. 5.6은 분석에 사용된 센터라인들의 RCE값을 나타낸다. Class 1의 서수도는 137.57m, 동수도의 경우 106.77m, 제 1항로는 226.12m의 RCE값을 가진다. Class 2의 서수도는 59.66m, 동수도의 경우 152.09m, 제1항로는 108.05m의 RCE값을 가진다.

Table 5.3은 서수도의 RCE 값을 3개의 구역으로 나누어 분석한 결과이다. 이를 통해 세부적으로 어느 섹터에서 큰 값이 나타났는지 확인할 수 있다. 서수도의 섹터 1에서 Class 1은 70.22m, Class 2는 44.28m로 산출되어 비교적 적은 값을 나타냈다. 섹터 2의 Class 1은 185.28m, Class 2는 37.20m로 선박의 크기에 따른 수치 차이가 많이 나는 것을 확인할 수 있다. 그 이유로는 서수도의 일부 구간에서 서해 해상으로 출항하는 소형선박의 영향으로 발생하기 때문이다. 섹터 3의 Class 1은 140.55m, Class 2는 100.37m로 항로들이 모이는 해역에서의 영향이 큰 것을 알 수 있다.

Table 5.3 The Result of RCE value in Seo sudo

Area	Analysis Sector	Analysis Class	RCE Value
Seo sudo	Sector 1	Class 1	70.22m
		Class 2	44.28m
	Sector 2	Class 1	185.28m
		Class 2	37.20m
	Sector 3	Class 1	140.55m
		Class 2	100.37m
	Average	Class 1	137.57m
		Class 2	59.66m

Table 5.4은 동수도의 RCE 값을 4개의 구역으로 나누어 분석한 결과이다. 동수도의 섹터 1에서 Class 1은 12.29m, Class 2는 50.28m로 산출되어 소형선박에 대해서는 기존 항로의 센터라인과 거의 일치하는 적은 값을 나타냈다. 섹터 2의 Class 1은 72.63m, Class 2는 104.15m로 섹터 1에 비해 많이 증가한 것을 확인할 수 있다. 이는 선박이 항로를 따라 진행 하는 데에 있어 안전이 확보되는 한에서 짧은 거리로 운항한 결과로 분석된다. 섹터 3의 Class 1은 237.78m, Class 2는 222.59m으로 모두 200m 이상의 값을 나타냈다.

그 이유로는 인천 용진군에 있는 영흥화력발전소에 입항 또는 출항하는 선박들의 항적으로 인해 새롭게 생성된 센터라인이 육지에 치우쳐 있기 때문이다. 이에 따라 해당 섹터는 교통안전주의구역으로 선정이 필요하다. 섹터 4에서 Class 1은 91.19m, Class 2는 205.06m으로 나타났다. 해당 섹터는 인천 항계 내부로 진입하는 곳으로 해상교통이 매우 혼잡한 곳이며 인천 신항, 인천항으로 분리되는 해역이기도 하다. 따라서 다양한 해역으로의 항로 생성을 위해 새롭게 생성된 항로는 교통안전주의구역으로 선정이 필요하다.

Table 5.4 The Result of RCE value in Dong sudo

Area	Analysis Sector	Analysis Class	RCE Value
Dong sudo	Sector 1	Class 1	12.29m
		Class 2	50.28m
	Sector 2	Class 1	72.63m
		Class 2	104.15m
	Sector 3	Class 1	237.78m
		Class 2	222.59m
	Sector 4	Class 1	91.19m
		Class 2	205.06m
	Average	Class 1	106.77m
		Class 2	152.09m

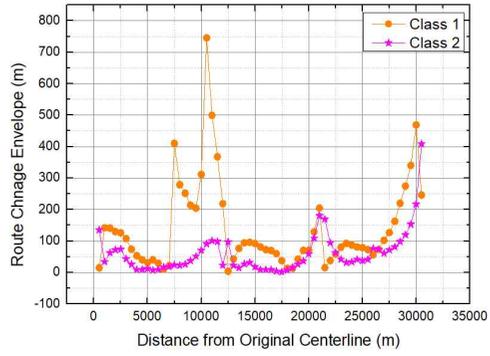
Table 5.5는 제 1항로의 RCE 값을 3개의 구역으로 나눈 후 분석한 결과이다. 제1항로의 섹터 1에서 Class 1은 153.65m, Class 2는 94.16m로 산출되었다. 제1항로의 시작점에서 큰 값을 갖는 것으로 나타나며 인천 대교부터는 적은 값을 나타낸다. 섹터 2의 Class 1은 287.20m, Class 2는 116.15m로 가장 큰 RCE 값이 존재한다. 그 이유로는 인천 남항에 입항하는 선박들의 항적으로 인해 센터라인이 항구와 가깝게 치우쳐 있기 때문이다. 마찬가지로 섹터

3의 Class 1은 269.64m, Class 2는 141.59m로 소형선박에 있어 2번째로 큰 RCE 값을 나타낸다. 이를 종합하여 섹터 2와 섹터 3은 항로 인근에 접안 시설, 항구가 위치할 경우 교통안전주의구역으로 선정할 수 있다.

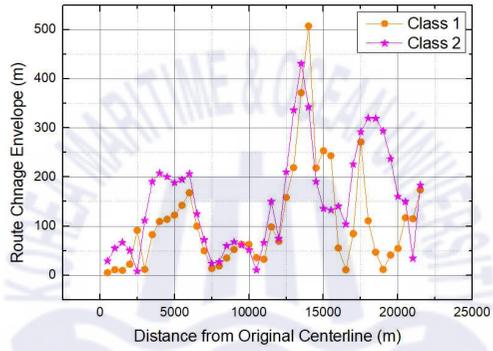
Table 5.5 The Result of RCE value in Fairway 1

Area	Analysis Sector	Analysis Class	RCE Value
Fairway 1	Sector 1	Class 1	153.65m
		Class 2	94.16m
	Sector 2	Class 1	287.20m
		Class 2	116.15m
	Sector 3	Class 1	269.64m
		Class 2	141.59m
	Average	Class 1	226.12m
		Class 2	108.05m

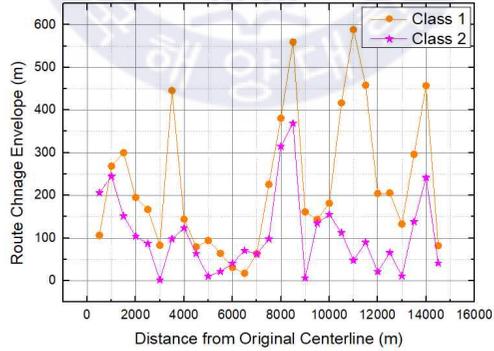
Fig. 5.6(a)는 서수도의 선박들이 출항하는 항로로써 Class 1은 해당 항로에서 다양한 곳으로 운항하는 선박들의 영향으로 기존 항로로부터의 센터라인과 생성된 센터라인의 RCE가 크며, 서수도 끝단까지 통항하는 Class 2는 59.66값으로 많은 차이를 보이고 있지 않다. Fig. 5.6(b)는 동수도의 결과로써 Class 2의 이격된 거리가 152.09m로 크게 분석된다. 이는 동수도 중간부분에서 가장 큰 RCE를 보여주고 있으며 해당해역에서의 안전운항이 요구된다. 제1항로의 경우 인천항에 입항하는 다양한 항로로 인하여 RCE가 큰 결과를 알 수 있다. 이와 같이 RCE값이 큰 곳은 센터라인의 거리 차이가 큰 곳이므로 항행 주의를 요하며 항로 안전성 검토가 요구된다.



(a) Seo sudo



(b) Dong sudo



(c) Fairway 1

Fig. 5.6 RCE result

5.2. 생성 항로 항행공간계획 적용

안정성 검증을 적용한 새로운 항로는 전체 해상교통량의 90% 통항량을 적용하였으며, 실제 선박이 상당수 통항한 해역이다. Fig. 5.7은 대한민국 인천항의 기존 항로와 본 연구에서 새롭게 생성된 Class 1, Class 2 항로 생성 결과를 모두 오버레이 한 결과이다. 기존 항로는 새롭게 생성된 항로의 내부에 대부분 포함되어 있다. 하지만 기존 항로 이외의 구역에도 많은 선박이 통항하여 새로운 항로가 생성됨을 알 수 있다. 거대선 기준에서는 기존 항로를 크게 벗어나지 않지만 이외의 선박은 인근 섬, 다양한 방향으로의 항해로 인하여 복잡한 모습을 보인다.

본 연구에서 항행구역으로 선정하기 위해 제안한 방법은 KDE 기반의 선박의 밀집도 분석이다. 이는 선박 교통량을 정량적으로 분석하였으며, Class 1에서 기존 항로 이외에 다양한 해역에 항로가 생성 되었고, Class 2는 기존 항로와 유사한 분석 결과를 나타냈다. 이는 항로를 설계하기 위해 최대크기의 선박길이를 기준으로 설정하는 부분을 선박 크기에 따라 고려해야 하는 것을 의미한다. 즉, 추후 새롭게 항로가 생성될 해역, 항로 수정이 필요한 해역에 주로 통항한 선박의 크기를 파악한 후 항로를 설계할 필요가 있다.

새롭게 생성된 모든 항로가 항행공간으로 선정되기란 현실적으로 많은 어려움이 따를 것으로 판단한다. 하지만 선박 통항량이 많은 해역에서 다른 용도로의 지정은 선박 사고를 유발 할 수 있다. 선박 사고는 규모나 환경 영향이 매우 크므로 선박의 안전한 운항을 위한 항행 구역은 충분한 해역을 확보해야 한다.

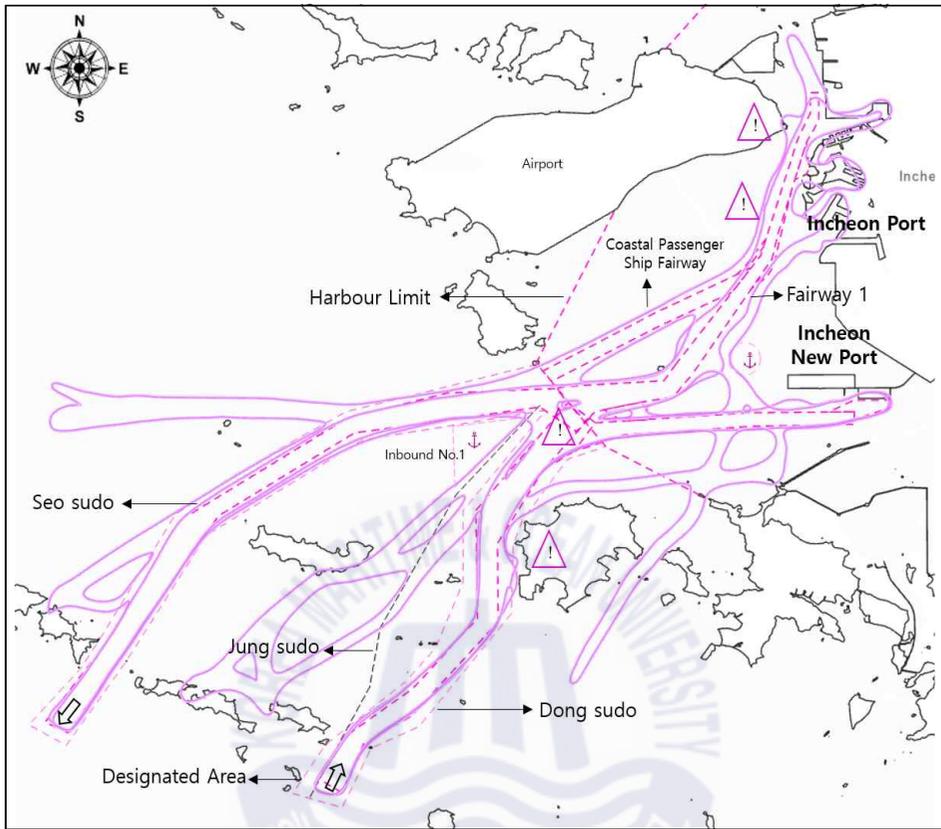


Fig. 5.7 Result of novel maritime route in marine spatial

제 6 장 결 론

6.1. 연구의 결론

본 연구는 최근 활발하게 진행되고 있는 해양공간계획을 대상으로 항행공간계획을 수립하고자 수행되었다. 해양공간계획은 해양을 이용하는 여러 관계자들의 복잡한 상황을 중재하기 위해 시작되었다. 영국, 벨기에, 미국, 네덜란드 등은 정부 차원에서 해양공간을 체계적, 정량적으로 나누고 있다.

본 연구는 해양공간계획에서 항행구역을 정량적으로 선정하기 위해 1년 동안 수집된 AIS 데이터를 사용하였다. 해상교통 빅데이터 기반으로 새로운 항로 생성 알고리즘을 수행하고, GIS 환경에서의 항행공간계획을 생성하였다. 항행공간계획은 크게 3단계로 나뉜다. 1) 수집 데이터 기반의 KDE 분석, 2) 이미지 처리 알고리즘, 3) 생성된 항로의 가장자리 라인 스무싱 및 센터 라인 추출로 진행된다. 그리고 생성된 항로의 센터라인과 기존 항로의 센터라인의 항로 안전성 측면에서 비교 및 검증은 하고 항행공간계획의 적용 가능성을 연구하였다.

본 연구의 분석 해역은 항로생성에 적합한 대한민국 인천으로 선정하였고 수집된 1년 동안의 AIS 데이터를 사용하여 KDE와 밀집도 분석을 수행하였다. 밀집도 분석은 각 범례의 경계에서 매끄럽지 못한 한계점을 가지고 있으므로 KDE 분석을 사용하였으며 여러 Kernel 함수들 중 Quartic 함수를 사용하여 분석 하였다. KDE 분석은 전체 교통량 중 90%만을 사용하였으며, 분석 결과물의 격자셀은 100m, 임의의 점에서 검색 반경은 500m로 하였다. 또한, 선박의 크기별로 항행패턴과 입출항하는 항로가 다르므로 선박길이 200m를 기준으로 2개의 Class로 분류하였다. 이렇게 분석된 KDE 결과물은 기존 항로와의 비교 검증하기 위해 이미지 처리 알고리즘을 사용하였다.

KDE 분석 결과물을 대상으로 이미지 처리 알고리즘을 수행한다. 이미지 처리 알고리즘은 이미지 이진화 알고리즘, 이미지 가장자리 추출 알고리즘

및 이미지 코너 탐지를 수행한다. 이진화 알고리즘은 KDE 분석결과에서 향로인 구역과 그렇지 않은 구역인 흑과 백으로 나누는 방법을 말한다. 이렇게 향로 구역을 흑과 백으로 나눈 이미지에서 향로의 가장자리를 추출하는 과정을 거친다. 본 연구에서는 다양한 가장자리 추출 방법 중 가장 정확한 방법으로 알려져 있는 Canny 알고리즘을 사용하였다. 그리고 선과 선이 만나는 코너를 추출하기 위해 Harris 코너 탐지 알고리즘을 사용하여 최종적으로 향로의 가장자리와 코너를 추출한다.

이미지 처리 알고리즘을 수행한 초기 향로는 래스터 데이터에서 벡터 데이터로 변환한다. 벡터 데이터로 변환한 이미지의 가장자리를 대상으로 라인 스무싱 과정을 수행한다. 라인 스무싱은 울퉁불퉁하게 생성된 향로를 부드러운 향로의 가장자리로 만들고, 들로네 삼각분할을 이용하여 향로 내부를 삼각형으로 분할한다. 분할한 삼각형은 개별 속성값을 입력하게 되는데, 인접한 삼각형의 개수를 대상으로 1부터 3까지의 값을 입력한다. 입력한 삼각형의 속성값에 따라 노드, 커브, 세그먼트를 형성하고 이를 각각 연결하면 새로운 향로의 센터라인을 생성할 수 있다.

이와 같이 새로운 향로의 센터라인을 기존향로의 센터라인과 비교하여 안전성을 검증하기 위해 $\Delta \bar{S}$ (굴곡도 분석), $\Delta \bar{R}$ (교각 감소율), RCE를 분석하였다. $\Delta \bar{S}$ 는 직선에 가깝지 않고, 인근 향구가 적을수록 생성된 향로의 센터라인 안전성이 더 우수한 것으로 판단되었으나 향구가 인접 구역의 향로에서는 한계점을 확인 할 수 있었다. $\Delta \bar{R}$ 는 1개 구역을 제외하고 생성된 향로의 센터라인이 더 안전성이 높은 결과를 알 수 있었다. RCE는 기준선인 기존 향로의 센터라인으로부터 새롭게 생성된 향로의 센터라인까지 떨어진 거리를 향로의 안전성 검토 측면에서 유용한 지표가 될 것으로 판단된다.

3가지의 검증법을 적용하여 생성된 향로를 정량적으로 안전성을 검증하였다. 기존 향로와의 비교 분석 결과 생성된 향로의 안전성이 더 우수한 결과를 나타냈다.

새롭게 생성된 모든 항로가 항행공간으로 선정되기란 현실적으로 많은 어려움이 따를 것이다. 하지만 선박 통항량이 많은 해역에서 다른 용도로의 지정은 신중하게 고려해야할 부분이라고 판단한다. 그 이유로는 선박 통항과 다른 용도로의 충돌로 인해 사고가 발생한다면, 그 규모나 환경에 미치는 영향은 매우 클 것이기 때문이다. 즉 선박이 안전하게 항행하기 위한 최소한의 공간 확보는 필수 불가결한 사항이다.

6.2. 향후 연구 과제

본 연구는 육역 도로를 추출하거나 자동차를 대상으로 도로 네트워크를 설계하는 방법에 기초하였다. 자동차 내비게이션에 활용되는 도로 네트워크는 자동차의 교통량과 교통 패턴을 분석 기반으로 한다. 이 방법은 자율주행 자동차의 네트워크 기술로 운행 시작과 끝을 나타낸다. 즉 해상에서 발생하는 해상 교통에도 위와 같은 방법을 적용하여 항로를 추출하거나 해상 네트워크를 생성할 수 있다. 이는 미래의 선박인 자율운항 선박 MASS(Maritime Autonomous Surface Ship)에 적용이 가능한 해상교통 네트워크에 기반이 될 것으로 판단한다.

또한 육역과 해상의 모든 공간은 특정한 패턴을 가지고 일정한 규칙을 따른다. KDE, 밀집도 분석은 모두 공간 분석 범주에 포함된다. 드넓은 공간에서 패턴을 찾고, 이를 인식할 수 있다면 해상교통과 다른 상관성이 있는 요소들을 쉽게 파악 할 수 있을 것이다.

해양이라는 공간을 이용하는 주체 중 하나인 선박은 그 규모가 크고, 사고가 발생할 경우 인적 피해, 물적 피해, 환경오염 등 매우 심각한 결과를 가져온다. 따라서 항구에 입항하기 위한 연안에서는 선박의 안전한 항행을 위해 항로를 설계하고 항행 안전에 도움이 되는 다양한 정보를 제공하게 된다. 하지만 항로가 존재하지 않더라도 선박이 실제 많이 통항하는 해역이 다른 용도의 해양공간 이용으로 지정된다면 선박의 안전운항에 좋지 않은 영향을 가져올 것이다.

본 연구는 모든 과정이 하나의 프로그램이 아닌 GIS와 Python을 사용했다는 점과 분석 해역이 인천연안으로 제한된 한계점이 존재한다. 따라서 향후 과제로 하나의 프로그램에서 일관성 있는 분석을 통해 분석해역을 대한민국 전 해역의 AIS 데이터 기반으로 항로를 생성하고자 한다. 이를 통해 해상교통을 활용한 해상교통 네트워크 개발에 기여하고 자율운항선박의 최단거리 파악 및 최적항로선정에 적용할 수 있을 것이다.



참고문헌

- [1] 공길영, 2015. 선박항해사전, 부산:다솜출판사.
- [2] 국가법령정보센터, 2011. 해사안전법. 제2조 7항. 세종:대한민국 법제처.
- [3] 김정훈, 김기백, 2013. 그림자가 있는 자동차 번호판을 위한 히스토그램 매칭 기법의 이진화. 방송공학회논문지, 19(1), pp.56~63.
- [4] 박준모, 2011. 우리나라 내륙수로 설계기준 설정에 관한 연구 - 경인 아라뱃길 선박조종시물레이션을 중심으로 -, 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.
- [5] 박창수, 2002. 도시교통공학론. pp.330~346. 서울:꾸벅출판사.
- [6] 이문숙, 2011. 지속가능한 해양이용을 위한 생태계기반 공간관리에 관한 연구 - 한반도 주변해역을 중심으로-, 박사학위논문. 서울:고려대학교.
- [7] 이보경, 조익순, 김대해, 2018. 해상풍력발전단지의 최적 위치 선정을 위한 Grid-cell 평가 시스템 개념 설계. 해양환경안전학회, 24(7), pp.848~857.
- [8] 이정석, 손우주, 이보경, 조익순, 2019. 유전 알고리즘을 활용한 부유식 해상풍력단지 최적위치 선정. 해양환경안전학회지, 25(6), pp.658~665.
- [9] 이정석, 손우주, 이형탁, 조익순, 2020. 공간분석을 활용한 해상교통관점의 해상풍력발전 최적지 영향요인 분석. 7(2), pp.85~96.
- [10] 윤종식, 2019. 데이터 분석 준전문가. p.64. 서울:데이터에듀.
- [11] 정창현, 박영수, 윤대근, 최명식, 2016. 선회조기감지시스템 개발에 관한 연구. 해양환경안전학회, 22(6), p.626.
- [12] 조현주, 2017. 커널 밀도 추정치를 이용한 모형 기반 군집분석의 초기화 방법 : 기업 부도 빅데이터를 이용하여. 석사학위논문, 서울:국민대학교.
- [13] 주현승, 2017. 지오인포매틱스, 파주:한국학술정보.
- [14] 최희정, 남정호, 최석문, 전현주, 2016. 해양공간관리를 위한 정보체계 확립방안 연구 보고서. 부산:한국해양수산개발원.

- [15] 해양수산부, 2014. 항만 및 어항 설계기준·해설(상권), 세종:해양수산부.
- [16] 해양수산부, 2019. 제1차 해양공간 기본계획(2019~2028) -해양공간계획 체제 구현, 관리기반 구축 등 해양공간에 관한 기본정책 수립-, 세종:해양수산부.
- [17] Alexander, B., Carl, J., & Ylva, R., 2016. *Modeling Bivariate Distributions Using Kernel Density Estimation*. In Project in Computational Science; Uppsala University: Uppsala, Sweden, pp.1-48.
- [18] Canny, J.A., 1987. Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 8, pp.184 - 203.
- [19] Debnath, A.K., & Chin, H.C., 2010. Navigational traffic conflict technique: a proactive approach to quantitative measurement of collision risks in port waters. *J. Navig.* 63, pp.137-152.
- [20] Esri., 2020. *How Kernel Density Works*. (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/cartography/how-smooth-line-and-smooth-polygon-work.htm>)
- [21] Gonzalez, R.C., & Woods, R.E., 2009. *Digital Image Processing(Third Edition)*. London: Pearson Education International.
- [22] Guiling, W., Jinlong, M., & Yanbo, H., 2019. Extraction of maritime road networks from large-scale AIS data. *IEEE Access* 2019, 7, pp.123035 - 123048.
- [23] Harris, C., & Stephens, M., 1988. A Combined Corner and Edge Detector. *Romey:Plessey Research Roke Manor*.
- [24] ITU-R(2014), *Radio communication Sector of International Telecommunication Union, ITU-R M.1371-5, Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band*, p.114.
- [25] James, B.M, & Jakob, E., 2012. *Inferring road maps from global positioning system traces*. J. Transp. Res. Board 2291, pp.61 - 71.
- [26] Jimin, S., Xiaoshuang, S., Tingting, Z., Hang, L., & Hailing, Z., 2016. Improved Otsu Segmentation Based on Sobel Operator. The 2016 3rd International Conference on Systems and Informatics. *IEEE*. pp.886~890.
- [27] Jinxian, W., & Dong, Y., 2015. *Investigation of shipping accident injury severity and mortality*. *Accid. Anal. Prev.* 76, pp.92 - 101.

- [28] Lee, D.T., & Schachter, B.J., 1980. Two algorithms for constructing a Delaunay triangulation. *International Journal of Computer & Information Sciences*. 9, pp.219-242.
- [29] Lee, J.S., Son, W.J., Lee, H.T., & Cho, I.S., 2020. Verification of Novel Maritime Route Extraction using Kernel Density Estimation Analysis with Automatic Identification System Data. *J. Mar. Sci. Eng.* 8, p.375.
- [30] Lee, M.K., & Park, Y.S., 2020. Collision prevention algorithm for fishing vessels using mmWAVE communication. *J. Mar. Sci. Eng.* 8, p.115.
- [31] European MSP platform, 2016. *Marine Spatial Plan for the Belgian part of the North Sea*, Brussels, Belgium, pp.42 - 43.
- [32] MCA (Maritime and Coastguard Agency). *MGN 543(M+F) Safety of Navigation: Offshore Renewable Energy Installations (ORELs), Guidance on UK Navigation Practice, Safety and Emergency Response*; MCA: Southampton, UK, 2016; p.18.
- [33] Mohamad,T.;Azriel,R. Building and road extraction from aerial photographs. *IEEE Trans. Sys. Man Cybern.* 1982, 12, pp.84 - 91.
- [34] NEA., 2016. *Borssele Wind Farm Zone –Wind Farm Sites I and II*. Hague: Netherlands.
- [35] NESERDA., 2017. *New York State Offshore Wind Master Plan Shipping and Navigation Study Final Report*. New York, NY, USA.
- [36] Otsu, N.A., 1979. Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Trans. Sys. Man. Cybern.* 9, pp.62 - 66.
- [37] PIANC (The world Association for Waterborne Transport Infrastructure), 2014. *MarCom Working Group 121: Harbour Approach Channels—Design Guidelines*.
- [38] PIANC, 2018. *Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation*.
- [39] Silverman, B. W., 1986 *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. In *Monographs on Statistics and Applied Probability*; Chapman and Hall: London, UK, pp.120 - 158.
- [40] UN (United Nations), 1982. *United Nations Convention on the Law of the Sea: UNCLOS*. New York, NY, USA, p.45.

- [41] Volodymyr, M.; Geoffrey, E.H. *Learning to Detect Roads in High-Resolution Aerial Images*, Department of Computer Science-ECCV. University of Toronto, 6 King's College Rd., Toronto, ON, Canada, 2010; pp.210-223.
- [42] Wei,Y., Ai, T., & Wei, L., 2018. *A method for extracting road boundary information from crowd sourcing vehicle GPS trajectories*. *Sensors* 18, 1261.
- [43] Xuemei, L., Yin, W., James, B., Jakob, E., & Yamin, Z., 2012. *Mining large-scale sparse GPS traces for map inference: Comparison of approaches*. New York, NY, USA, 12-16 August 2012, pp.669 - 677.
- [44] Zuchao, W., Tangzhi, Y., Min, L., Xiaoru,Y., Huamin, Q., Jacky, Y., & Qian li ng, W., 2014. Visual exploration of sparse traffic trajectory data. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 2014, 20, pp.1813 - 1821.

