



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

항만 유도성 향상을 위한 섹터라이트 설계에 관한 연구

A Study on the Design of Sector Lights for Directional
Function Enhancement in Port Entry

The seal of Korea Maritime & Ocean University is a circular emblem. It features a stylized ship's hull and mast in the center, with the year '1945' below it. The text 'KOREA MARITIME & OCEAN UNIVERSITY' is written in a circle around the central image, and '한국해양대학교' is written in Korean at the bottom.

指導教授 鞠 承 淇

2020年 2月

韓國海洋大學教 大學院

海 洋 警 察 學 科

李 鍾 鐵

본 논문을 이종철의 공학석사 학위논문으로 인준함

위원장 이 은 방 (인)

위 원 하 민 재 (인)

위 원 국 승 기 (인)



2019년 12월 26일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	viii

제 1 장 서론	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 연구 방법 및 범위	3
제 2 장 항만 유도시설	6
2.1 항만 유도시설 개요	6
2.2 입항침로 표시용 유도시설	10
2.2.1 도등(Leading Lights)	11
2.2.2 섹터라이트(Sector Lights)	12
제 3 장 섹터라이트 설계요소 분석	16
3.1 설치사례 분석	16
3.1.1 국내 설치사례	16
3.1.2 외국 설치사례	23
3.2 설계요소 분석	38
3.2.1 섹터라이트 설치기준	38

3.2.2 기술적 고려사항	38
3.2.3 섹터라이트 종류	52
3.2.4 설계 절차 및 방법	74
제 4 장 섹터라이트 설계 및 검증	79
4.1 섹터라이트 설계	79
4.1.1 부산항 북항 섹터라이트	79
4.1.2 부산항 신항 섹터라이트	92
4.2 섹터라이트 설계 검증	104
4.2.1 항로표지 시뮬레이터	104
4.2.2 부산항 북항 섹터라이트	106
4.2.3 부산항 신항 섹터라이트	108
제 5 장 결론	110
5.1 결 론	110
5.2 향후 과제	111
참고문헌	113

List of Tables

Table 1 Number of AtoNs in S. Korea	8
Table 2 Pohang new port Sector Light in List of Light	17
Table 3 Dangjin Hwaryeok Sector Light in List of Light	20
Table 4 Samcheok-Hang Sector Light in List of Light	22
Table 5 Number of Sector Lights in 2017	23
Table 6 Typical transmittance for various light sources	42
Table 7 Night time nominal range table	48
Table 8 Day time nominal range table	50
Table 9 Chromaticity Corner Coordinates	52
Table 10 Comparison of the difference technologies of sector lights	53
Table 11 Busan north port Leading Light in List of Light	80
Table 12 Horizontal beam width of white Sector at each point of Passage 1	87
Table 13 Required Luminous Intensity of Busan north port Sector Light	89
Table 14 Design results of Busan north port Sector light	91
Table 15 Horizontal beam width of white Sector at each point of Passage 5	99
Table 16 Required Luminous Intensity of Small ship's pier Sector Light	102
Table 17 Design results of Busan new port Sector light	103

List of Figures

Fig. 1 Pictogram of Sector Lights	4
Fig. 2 Application example of IALA MBS	10
Fig. 3 Concept figures of Leading Lights	11
Fig. 4 Concept figures of Sector Lights	13
Fig. 5 Several applications for sector lights	14
Fig. 6 Multiple sectors arrangement marking a channel	15
Fig. 7 Position of Pohang new port Sector Light	16
Fig. 8 View of Pohang new port Sector Light	17
Fig. 9 Position of Dangjin Hwaryeok Sector Light	19
Fig. 10 View of Dangjin Hwaryeok Sector Light	19
Fig. 11 Position of Samcheok Hang Sector Light	21
Fig. 12 View of Samcheok Hang Sector Light	22
Fig. 13 Position of Woodman Point Lighthouse	24
Fig. 14 View of Woodman Point Lighthouse	25
Fig. 15 Woodman Point Lighthouse in List of Lights	26
Fig. 16 Position of Buckland Hill Lighthouse	26
Fig. 17 View of Woodman Point Lighthouse	27
Fig. 18 Buckland Hill Lighthouse in List of Lights	28
Fig. 19 Position of Trubaduren Beacon	28
Fig. 20 View of Trubaduren Beacon	29
Fig. 21 Sectors composition of Trubaduren Beacon	30
Fig. 22 Trubaduren Beacon in List of Lights	31
Fig. 23 View of Portsmouth Harbour Entrance	31
Fig. 24 Position of Portsmouth Harbour & Approaches	32

Fig. 25 View of Southsea Castle Lighthouse	32
Fig. 26 View of Fort Blockhouse and sector light	33
Fig. 27 Portsmouth Harbour Sector Lights in List of Lights	33
Fig. 28 Position of Kashima Ko Sector Light	34
Fig. 29 View of Kashima Ko Sector light	35
Fig. 30 Kashima Ko Sector Light in List of Lights	36
Fig. 31 Position of Chikura Ko Sector Light	36
Fig. 32 View of Chikura Ko Sector light	37
Fig. 33 Chikura Ko Sector Light in List of Lights	37
Fig. 34 Angle of uncertainty	41
Fig. 35 Plot of intensity against vertical angle with the 50% intensity points marked in red	43
Fig. 36 Influence of observer height	44
Fig. 37 Compensation for earth curvature	45
Fig. 38 Luminous Range Diagram(night time)	47
Fig. 39 Luminous range diagram(day time)	49
Fig. 40 CIE 1931 Chromaticity Chart	51
Fig. 41 IALA Chromaticity Chart	51
Fig. 42 Single light source sector light with drum lens	54
Fig. 43 Basic operating principle of Point Source Sector Lights	54
Fig. 44 Internal filters in a light house	55
Fig. 45 External filters on a small lantern	55
Fig. 46 Factors that determine the angle of uncertainty in point source type of sector lights	57
Fig. 47 Observer's View at the Assumed Nominal Sector Boundary	58
Fig. 48 Plan View of the Drum Lens	58
Fig. 49 Filter offset applied on both sector boundaries	60
Fig. 50 Example of Single source multiple tier sector light	61

Fig. 51 Principle of a multiple source sector light	62
Fig. 52 An omnidirectional sector light with 5 sectors	63
Fig. 53 Example of a Multiple source LED sector light with four vertical tiers	63
Fig. 54 Multiple LED sector light with cut screens	64
Fig. 55 Basic operating principle of Slot Sector Lights	66
Fig. 56 Light Source Array	66
Fig. 57 Basic operating principle of Slot Sector Lights (3 light sources and 3 sectors)	67
Fig. 58 Rotating Fresnel Lens	68
Fig. 59 Top view Rotating Colour Switching Sector Light	70
Fig. 60 Example operation mode for single flashing light of 3 sectors ...	70
Fig. 61 Basic operating principle of Projector Sector Lights	72
Fig. 62 Multiple beam LED projector sector light	73
Fig. 63 Single beam LED projector sector light with mirrors	74
Fig. 64 Reduction of the optical white sector	76
Fig. 65 Re-evaluation of the white sector	77
Fig. 66 Transit Line of Busan north port	80
Fig. 67 Blind zone of Busan north port Leading Light(side view)	81
Fig. 68 Blind zone of Busan north port Leading Light(ground view)	81
Fig. 69 Position of Busan north port Sector Light	83
Fig. 70 Ground plan of Busan north port cruise wharf	84
Fig. 71 Dimension of MSC SPLENDIDA	85
Fig. 72 Diagram of Passage 1 information	86
Fig. 73 Sector composition and Horizontal beam width	88
Fig. 74 Aerial view of Busan new port	93
Fig. 75 Busan new port passage and status of AtoNs	94
Fig. 76 View of CMA CGM JEAN MERMOZ	96

Fig. 77	Position of Busan new port Sector Light	97
Fig. 78	Diagram of Passage 5 information	98
Fig. 79	Sector composition and Horizontal beam width of Busan new port sector light	100
Fig. 80	Initial screen of AtoN Simulator	105
Fig. 81	Simulation image(2.5M from Sector Light)	106
Fig. 82	Simulation image(Starting point of blind sector)	107
Fig. 83	Simulation image(Near end of channel)	107
Fig. 84	Simulation image(3M from sector light)	108
Fig. 85	Simulation image(2M from sector light)	109
Fig. 86	Simulation image(0.5M from sector light)	109



항만 유도성 향상을 위한 섹터라이트 설계에 관한 연구

이 중 철

한국해양대학교 대학원
해양경찰학과

초 록

일반적으로 국제항해에 종사하는 선박의 항해는 대양항해, 연안항해, 항만 접근항해 및 제한수역항해의 네 가지 단계로 나눌 수 있다.

선박은 대양을 거쳐 연안항해 단계까지는 비교적 제한이 없는 수역을 항해하게 되지만 항만에 접근하면서부터 선박 통항이 많은 수역으로 이동하게 되고 항로 폭이 좁은 해협이나 저수심 지역, 수중암초 등 위험물에 접근하여 항해하게 된다.

항만접근 및 제한수역 항해 단계에서 선박의 항해자는 충돌, 좌초 등 사고를 회피하기 위하여 빈번하게 선박의 위치를 측정하여야 한다.

또한, 항해자는 주변의 선박통항 상황과 지형지물을 살피면서 동시에 계획된 침로(Course, 針路)를 유지하고 있는지 여부를 지속적으로 확인하는 것이 매우 중요하며, 이러한 경우 선박을 안전하게 유도하기 위해 설치하는 항로표지를 유도표지라고 한다.

유도표지의 종류 중 도등(Leading Lights)과 섹터라이트(Sector Lights)는 고정된 위치에서 안전한 입항침로를 시각적인 방법으로 제공해 주기 때문에 항해자가 전방을 주시하면서 시야를 빼앗기지 않고 자연스럽게 이용할 수 있어 심리적 안정감까지 주는 매우 유용하고 효과적인 항로표지이다.

본 연구 논문에서는 유도표지 중 섹터라이트에 대한 국제기준과 국내·외 설치사례 등의 분석을 통해 소요의 목적에 적합한 섹터라이트 설치에 필요한 설계 절차와 방법을 제시하였다.

제시된 설계 절차와 방법을 기존 도등의 맹목구간 해소를 위한 섹터라이트 설치가 필요한 부산항 북항과 토도 제거로 선박 통항 여건이 바뀌어 항로표지 정비에 필요한 부산항 신항에 섹터라이트 설치를 위한 설계에 각각 적용하였다.

또한, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 섹터라이트 설계 결과를 검증해본 결과 두 경우 모두 섹터라이트가 항해자에게 안전한 입항침로와 항해가능 구역의 범위를 충실하게 알려주고 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구 논문은 섹터라이트의 활용도가 낮은 우리나라에서 향후 선박의 항만 유도성 향상을 위해 섹터라이트 설치가 필요하거나 기존 광과표지의 주변에 암초, 저수심 지역 등이 존재하여 항로표지 기능보강 또는 신설이 필요한 경우 매우 유용하게 활용될 수 있으리라 판단된다.

KEY WORDS: A Guidance Aids to Navigation 유도표지; Sector Lights 섹터라이트; Leading Lights 도등; Guide the Vessel to Port Safety 항만 안전유도; AtoN Simulation 항로표지 시뮬레이션

A Study on the Design of Sector Lights for Directional Function Enhancement in Port Entry

Lee, Jong Cheol

Department of Coast Guard Studies
Graduate School of Korea Maritime & Ocean University

Abstract

Typically, navigation is divided into four phases such as ocean navigation, coastal navigation, harbour approach navigation and restricted waters navigation. And the vessel pass through the ocean to the coastal navigation phase with relatively unrestricted water.

However, from approaching harbour the vessel moves from the relatively unrestricted waters into more restricted and more heavily used waters and also navigate closely to danger areas like a narrow channel, shallow water and underwater reefs.

At the phase of harbour approach and restricted waters navigation, the navigator is confronted with a requirement for more frequent position fixing and manoeuvring the vessel to avoid collision with other traffic and grounding dangers.

In addition, it is very important for the navigator to observe vessel traffic conditions and features in the adjacent area, while keep tracking on the planned course. In this case, we install a

facility, called as a guidance aids to navigation, to lead vessel safely.

As the Leading Lights and Sector Lights of guidance aids to navigation provide a safe entrance course in a visual mean via in a fixed position, the navigator can keep eyes on the front and use them naturally without losing sight. They serve the mental stability and are very useful and effective aids to navigation.

This paper suggests the design procedure and method for the installation of Sector Lights suitable for its purpose by analyzing the international standards and the cases of domestic and overseas installation.

The proposed design procedures and methods were applied to install Sector Lights in Busan North Port to remove the blind zones of the existing leading lights and also in Busan New Port to adapt the aids to navigation following the navigation condition change due to the removal of Todo.

As a result of verifying the design of the Sector Lights through AtoN simulations, the both cases certified that the lights faithfully informed to the navigator of the safe entrance course and the range of navigable waters.

This paper is expected to be very useful for installing Sector Lights to guide the vessel to port safely in Korea with low deployment of it, or to build a new one or make reinforcement of it owing to the reefs, shallow waters around the existing light aids in the future.

KEY WORDS: A Guidance Aids to Navigation 유도표지; Sector Lights 섹터라이트; Leading Lights 도등; Guide the Vessel to Port Safety 항만 안전유도; AtoN Simulation 항로표지 시뮬레이션

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

해양수산부는 2017년 8월 바다의 무한한 가능성에 대한 국민의 관심을 높이기 위해 ‘거꾸로 세계지도’를 제작·배포하였다.

이 지도는 북반구를 아래쪽으로 남반구를 위쪽으로 배치하여 제작한 지도로, 한반도를 중심으로 넓은 태평양이 지도 중심에 펼쳐져 바닷길을 통해 세계로 뻗어나가는 우리나라의 진취적인 해양 정책을 담고 있으며, 대륙 중심이 아닌 지구 표면적의 70% 이상을 차지하는 바다를 중심으로 하는 관점의 대전환을 유도하였다.

이처럼 우리나라는 지리적으로 대륙과 해양이 만나는 동북아시아의 전략적 요충지에 위치하고 있고, 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 삼국시대부터 바다를 통한 국제무역과 교류가 활발히 이루어져 왔다.

한국무역협회와 국제통화기금(IMF) 및 통계청에서 발표한 “2018년도 우리나라의 무역의존도”는 70.4%로 우리 경제에서 수출입이 차지하는 비중이 높고, 대외무역을 위한 수출입 화물의 99.7%가 선박을 통해 운송되고 있다고 한다.

선박을 이용한 해상운송은 철도나 항공에 비해 안전성과 신속성은 떨어지지만 대량운송이 가능하고, 원거리 운송에 따른 단위비용이 타 운송수단에 비해 저렴하기 때문에 국제무역거래에 가장 많이 이용되고 있다.

그러나 선박을 이용한 해상운송은 광활한 해상을 교통로로 사용하고 변화가 많은 자연환경에서 운항되기 때문에 타 운송수단에 비해 위험도가 높은 단점이 있다.

해양수산부 중앙해양안전심판원에서 발간한 “2018년 해양사고 통계와 사고사례”에 따르면, 2018년 발생한 해양사고 건수는 전년대비 3.4% 증가한 총 2,671건이 발생했으며 하루 평균 7.3건이 발생하고 있는 셈이다.

해양사고로 인한 인명과 재산 그리고 해양환경의 피해를 줄이고 예방하기 위해 3E(Education, Engineering, Enforcement) 원칙에 입각한 다양한 해상교통 안전관리 대책을 추진하고 있다.

한국선주협회에서 발행한 “2018년 해사통계”에 따르면, 2017년 세계해상물동량은 11,587백만 톤으로 10년 전인 2007년 8,479백만 톤에 비해 약 1.4배 증가한 것으로 나타났다. 해상물동량의 증가에 따라 더 많은 물동량을 더 빠르게 운송하기 위하여 선박은 대형화, 고속화 및 다양화되고 있다.

이러한 추세에 발맞춰 우리나라도 이들 선박을 위한 새로운 항만개발과 부두시설의 정비가 추진되고 있으며, 해상교통 안전관리를 위한 기술적 대책으로 국제기준에 적합한 다양한 항로표지의 확충을 추진하고 있다.

일반적으로 국제항해에 종사하는 선박의 항해단계는 대양항해, 연안항해, 항만접근항해 및 제한수역항해 단계로 구분하고 있다. 선박이 대양을 지나 연안항해 단계까지 비교적 제한이 없는 수역을 항해하지만 항만접근항해 단계부터 선박 통항이 많은 수역으로 이동하게 되고, 항로 폭이 좁은 해협이나 저수심 지역, 수중암초 등 위험물에 접근하여 항해하게 된다.

항만접근항해와 제한수역항해 단계에서 선박의 항해자는 충돌, 좌초 등 사고를 회피하기 위하여 다양한 항로표지와 항해 장비를 이용하여 빈번하게 선박의 위치를 측정하여야 한다. 그리고 항해자는 주변의 선박통항 상황과 지형지물을 살피면서 동시에 계획된 침로(Course, 針路)로 항해하고 있는지 여부를 지속적으로 확인하는 것이 매우 중요하다.

이와 같이 선박 통항이 곤란한 해협, 수도, 소해수로, 관제항로(준설항로 포함), 항만 등 협소하고 위험한 해역을 항해하는 선박을 안전하게 유도하기 위해 설치한 항로표지를 유도표지라고 한다(국승기, 정태권, 2013).

유도표지의 종류에는 항로의 입구나 좌·우측 한계를 표시해주는 등부표, 두개의 구조물(또는 등화)이 일직선으로 겹쳐 보일 때 만들어 지는 중시선(重視線, Transit Line)을 제공해 주는 도등(導燈, Leading Lights) 그리고 하나의 구조물에서 여러 가지 색상의 등화(燈火)를 비추어 가항수역, 가항수역의 좌·우

측 한계, 위험지역 등을 표시해 주는 섹터라이트(Sector Lights) 등이 있다.

도등과 섹터라이트는 고정된 위치에서 안전한 침로정보를 시각적인 방법으로 제공해 주기 때문에 항해자가 전방을 주시하면서 시야를 빼앗기지 않고 자연스럽게 이용할 수 있어 심리적 안정감까지 주는 매우 유용하고 효과적인 유도표지이다.

2015년 해양수산부에서 발간한 “항로표지 업무편람”에 “섹터라이트는 도등의 설치가 불가능한 때 적용할 수 있다.”고 명시하고 있다. 이 업무편람의 영향 때문인지, 2019년 7월말 현재 우리나라 주요 항만에 도등은 12기(국유 9, 사설 3)가 설치되어 있으나 섹터라이트는 3기(국유 1, 사설 2)에 불과하다(해양수산부, 2019).

그러나 섹터라이트는 도등에 비해 구조적으로 간단하여 설치나 유지보수 측면에서 유리한 점이 있고, 등대의 불빛이 단순히 등대의 위치를 알려주는 역할 뿐만 아니라 주변의 항로여건에 따라 수평 360°로 비추지는 등대의 불빛을 몇 개의 분호(arcs)로 나누어 안전항로, 위험구역 등을 구분하여 동시에 표시해줄 수 있는 장점이 있다.

따라서 섹터라이트의 설치 및 활용이 매우 제한적인 국내 현실을 감안하여, 섹터라이트를 적극 활용함으로써 항만 유도성을 향상시켜 해상교통 환경을 개선할 수 있도록 실무에 쉽게 적용 가능한 섹터라이트 설계에 관한 연구를 실시하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 범위

전 세계 항로표지의 조화와 향상을 통한 선박의 안전과 경제적인 항행지원 및 해양환경 보호를 목적으로 1957년 7월 1일 설립된 국제항로표지협회(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, 이하 “IALA”라 한다.)에서 제정한 IALA 해상부표식(Maritime Buoyage System, 2017.6)에서 섹터라이트의 정의와 용도를 다음과 같이 규정하

고 있다.

- (정의) 섹터라이트는 <Fig. 1> 픽토그램과 같이 특정한 분호(arcs)에 다른 색상이나 주기를 갖는 등화를 비춰주는 고정된 항로표지이고, 등화의 색상은 항해자에게 방향성 정보를 제공해 준다.
- (용도) 섹터라이트는 가항수로에서 방향성 정보를 제공하고, 변침점이나 다른 항로와 합류지점, 위험물과 항해상 중요한 다른 사항을 표시해 주며, 반드시 피해 가야 할 위험지역에 대한 정보를 제공하는데 사용할 수 있다.

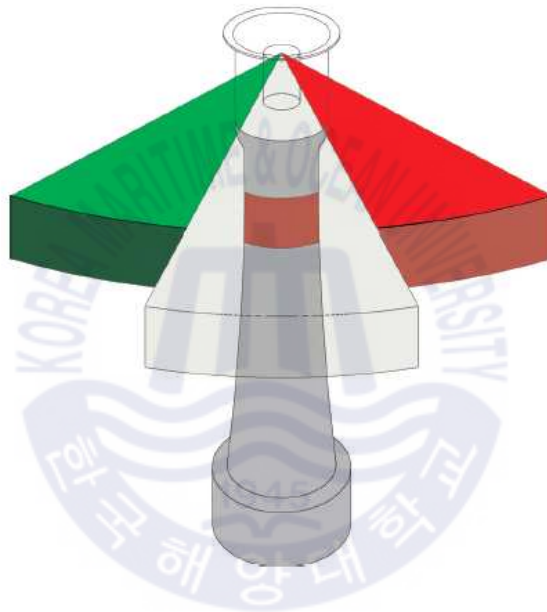


Fig. 1 Pictogram of Sector Lights

항만안전 유도를 위한 섹터라이트 설계에 관한 연구를 위하여, 먼저 우리나라의 다양한 해상교통 안전시설 현황과 대표적인 항만안전 유도시설인 도등과 섹터라이트에 대해 알아본다.

다음은 국내 및 외국의 섹터라이트 설치사례를 분석하여 섹터라이트가 설치된 항로여건, 섹터라이트의 섹터 구성, 광달거리, 운영방법 등을 살펴본다.

섹터라이트에 대한 국내 기술기준은 「항로표지법」에 따라 해양수산부에서 고시한 「항로표지 기능 및 규격에 관한 기준」(제2019-64호, 2019.5.13.) 제11장

에서 섹터라이트의 설치기준, 설치방법, 기술적 고려사항 및 종류에 대해 규정하고 있다.

국내 기술기준은 IALA에서 발간한 각종 지침과 매뉴얼 등을 국내법령에 일부 수용하여 제정하였으나 충분하지 않아 국내 기술기준 만으로는 섹터라이트를 설계하는데 부족함이 있다.

섹터라이트의 사용분야가 항로표지에 한정되어 있기 때문에 국제적으로도 섹터라이트에 대한 선행연구는 “IALA Guideline 1041(Sector Lights)”가 유일하며, IALA에서 발간한 항로표지 매뉴얼인 “NAVGUIDE 2018” 제3장에서 섹터라이트에 대한 일반적인 사항과 설계 시 고려사항 등을 규정하고 있다.

따라서 본 연구 논문에서는 섹터라이트와 관련된 IALA 각종 발간물을 토대로 섹터라이트의 종류, 작동원리, 설계절차 및 방법 등 대하여 집중 분석을 실시한다.

마지막으로, 항만개발에 따른 선박 통항여건 변화로 항만안전 유도를 위하여 섹터라이트 설치가 필요한 곳에 설계 절차 및 방법을 실제 적용하여 섹터라이트를 설계해 보고 그 효과를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증해 보고자 한다.

제 2 장 항만 유도시설

2.1 항만 유도시설 개요

‘항만 유도시설’이란 선박이 천소, 암초 등 항행위험요소를 피해 목적 항만까지 항로를 따라 안전하게 항해하는데 필요한 각종 정보를 제공해주는 시설로서, 항로표지의 종류 중 유도표지에 해당한다.

선박은 여객이나 화물을 운송하는 타 운송수단에 비해 위험성이 높은 것으로 알려져 있으며, 이러한 위험성을 낮추어 인명과 재산을 보호하기 위하여 세계 각국은 국제해사기구(IMO)를 중심으로 선박의 구조와 설비, 행해의 안전 등에 관하여 국제적으로 통일된 기준을 마련하는데 노력하고 있다.

1912년 4월 14일 북대서양에서 발생한 영국의 호화여객선 “타이타닉호”의 침몰사고에 대한 대책으로 1914년 영국 런던에서 개최된 해상인명 안전에 관한 국제회의에서 최초로 “해상인명안전협약(Safety of Life At Sea, 이하 “SOLAS”라 한다.)”이 체결되었다.

SOLAS는 선박의 안전에 관한 모든 국제적인 조약들 중에서 가장 중요한 것으로 인식되고 있으며, SOLAS 협약(1974) 제5장제13절에서 “항로표지의 설치와 운영”에 대해 다음과 같이 규정하고 있다.

- 각 당사국은 실행 가능하고 필요하다면 개별적 또는 타 당사국과 협력하여 해상교통량 및 위험정도에 따라 항로표지를 설치한다.
- 당사국은 항로표지의 최대한 통일성을 유지하기 위해 항로표지 설치 시 국제권고와 지침에 적합하도록 설치한다.

항로표지에 대한 국제권고 및 지침은 IALA에서 제정하고 있으며, 각 당사국은 이를 국내법령에 수용하여 국제기준에 적합한 항로표지를 설치·관리하고 있다. 우리나라의 항로표지는 해상교통의 안전을 도모하고 선박 운항의 능률을 향상시키기 위하여 1961.12.6. 제정된 「항로표지법」(법률 제16286호,

2019.1.15., 일부개정)에 따라 해양수산부장관이 설치·관리하고 있다.

「항로표지법」 제2조제1호에서는 항로표지를 “항행하는 선박에 대하여 등광(燈光)·형상(形象)·색채·음향·전파 등을 수단으로 선박의 위치·방향 및 장애물의 위치 등을 알려주는 항행보조시설을 말한다.”라고 정의하고 있다.

선박이 목적지까지 안전하게 항해하기 위하여 항해자는 선박이 어디에 있는지 위치를 확인하는 것이 무엇보다 중요하다.

선박이 연안을 항해할 때나 항만에 입·출항할 때에는 육상의 뚜렷한 물표 예를 들면 섬, 갑(岬), 산봉우리, 굴뚝 등을 이용하지만 뚜렷한 물표가 없는 곳이나 야간에 항해할 때에는 이들 자연물표만으로는 만족스런 위치의 확인이 곤란하다.

그래서 선박의 교통량이 많은 항로, 항만의 입구, 만, 해협 그리고 암초나 저수심 구역이 많은 곳에서는 등광(燈光), 형상(形象), 색채(色彩), 음향(音響), 전파(電波) 등의 수단에 의하여 선박의 항행을 돕기 위한 인공적인 시설을 필요로 하게 되며 이러한 목적을 달성하기 위하여 설치된 시설을 항로표지(航路標識)라고 한다.

항로표지의 종류는 「항로표지법 시행규칙」(해양수산부령 제353호, 2019.7.2.) 제2조제1항에 따라 형상, 색채 및 등광을 이용하는 광파표지, 형상과 색채만을 이용하는 형상표지, 음향(소리)을 이용하는 음파표지, 전파를 이용하는 전파표지 그리고 해양기상이나 조류신호와 같은 정보를 제공하는 특수신호표지로 구분하고 있다.

2019년 7월말 현재 우리나라에는 <Table 1>과 같이 총 5,288기의 항로표지 설치되어 있으며, 이중 국유항로표지는 3,180기이고 나머지 2,108기는 해양수산부장관 이외의 자가 설치·관리하는 사설항로표지이다(해양수산부, 2019).

Table 1 Number of AtoNs in S. Korea

Div.		Total	National	Private	비고
Total		5,288	3,180	2,108	
Visual Marks	Manned LH	35	35		
	Unmanned LH	304	289	15	
	Breakwater LH	994	819	175	
	Lighted Beacon	493	470	23	
	Leading Lights	12	9	3	
	Illuminating Light	11	9	2	
	Sector Lights	3	1	2	
	Lighted Pole	413	318	95	
	Lighted Buoy	1,760	667	1,093	
	Lights on Bridges	182	5	177	
	Port Traffic signals	20		20	
	Offshore structure	32	3	29	
	Subtotal	4,259	2,625	1,634	
Day Marks	Unlighted beacon	20	20		
	Unlighted buoy	205	31	174	
	Daymark on bridge	182	5	177	
	Port Traffic signals	38		38	
	Subtotal	445	56	389	
Audible Marks	Air siren	4	4		
	Electric horn	102	44	58	
	Subtotal	106	48	58	
Elec. Marks	DGPS	17	17		
	RACON	118	98	20	
	LORAN-C	1	1		
	Subtotal	136	116	20	
Special signal Marks	Tidal signal	4	4		
	Marine weather	84	84		
	AtoN AIS	254	247	7	
	Subtotal	342	335	7	

일반적으로 항로표지는 사용목적에 따라 항양표지, 육지초인표지, 연안표지, 항만인지표지, 유도표지 그리고 장애표지로 분류하고 있으며 종류별 기능 및 종류는 다음과 같다(국승기, 정태권, 2013).

항양표지는 해안선에서 50마일 이상 떨어진 해양을 항해하는 선박이 육상의 목표물을 이용하여 위치측정이 불가능할 때 선위를 정확하게 결정할 수 있도록 설치하는 장거리용 항로표지를 말한다. 주로 전파를 이용한 항로표지로서 출력 200W 이상의 전파표지, 장거리항법시스템(Loran-C), 위성항법시스템(GNSS), 위성항법보정시스템(DGNSS) 등이 이에 속한다.

육지초인표지는 해안선에서 20마일 이상의 해양을 항해하는 선박에게 육지를 초인하게 하거나 선위를 구하는데 이용할 수 있는 항로표지를 말한다. 광달거리 30마일 이상, 광력 80만cd 이상의 등광, 출력 100~200W의 전파표지 등이 이에 속한다.

연안표지는 해안선에서 20마일 이하의 해양을 항행하는 선박이 선위를 구하는데 필요한 항로표지를 말한다. 광달거리 20마일 이상, 광력 20만cd 이상의 등광, 회전식 무선표지(Rotating Radio Beacon), 레이마크 비콘, 음달거리 5마일 정도의 음파표지 등이 이에 속한다. 항만인지표지는 선박에서 항만의 소재를 확인할 수 있도록 설치하는 항로표지를 말하며, 항만인지표지에 사용되는 항로표지의 종류는 연안표지와 동일하다.

유도표지는 해협, 수도, 소해수로, 관제항로(준설항로 포함), 항만 등 협소하고 위험한 해면을 항해하는 선박을 안전하게 목적지에 유도하기 위하여 설치하는 항로표지를 말한다. 유도표지에 사용되는 항로표지에는 도등(導燈), 도표(導標), 섹터라이트(指向燈), 등부표(燈浮標) 등이 있는데 측방표지, 항로우선표지, 통항 분리표지 등과 50W 이하의 초단파와 극초단파를 이용한 코스비콘(Course beacon) 등이 있다.

장애표지는 선박이 항해에 장애가 되는 천소, 암초, 침몰선박 등을 표시하기 위하여 설치하는 항로표지를 말한다. 등표, 등부표 등을 이용한 방위표지, 고립 장애표지, 특수표지 및 측방표지와 전파표지로 레이콘 등이 이에 속한다.

2.2.1 도등(Leading Lights)

도등은 <Fig. 3> 개념도에서 보여주는 것과 같이 고저차가 있는 등화를 갖춘 2기의 탑 모양의 구조물로서, 주간에는 2기의 구조물을 야간에는 2개의 등화를 일직선상으로 보고 진입하게 함으로써 선박이 안전하게 항로를 통항할 수 있도록 해주는 항로표지 이다.

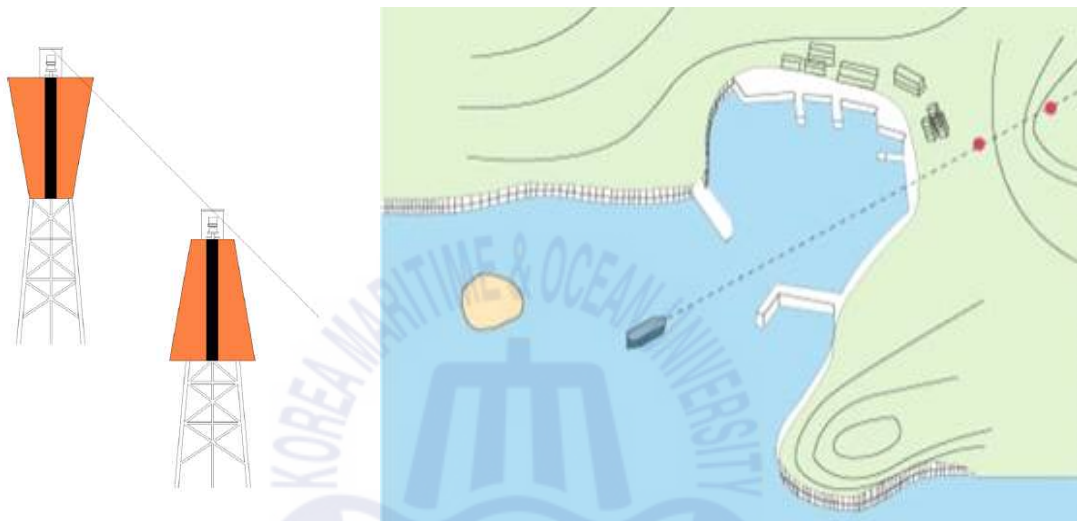


Fig. 3 Concept figures of Leading Lights

도등은 분명하지 않은 가항수로의 표시, 수로의 가장 깊은 곳의 수심 표시, 고정 또는 부유식 항로표지를 이용할 수 없는 가항수역의 표시, 항만 또는 강 어귀 특히 역류지역을 안전하게 접근하기 어려운 곳, 양방향 통항로의 분기점 표시 등에 사용한다.

2019년 7월말 현재 우리나라에는 12기의 도등이 설치되어 있으며, 9기는 국유항로표지이고 나머지 3기는 사설항로표지이다(해양수산부, 2019).

도등은 항해자가 위험물로부터 충분히 멀리 떨어진 지점에서 인지하여 중시선을 따라 항해할 수 있도록 하여야 하며, 항해자가 선박이 중시선의 축에서 편향되는 경향과 그 경향의 정도 및 방향을 신속하게 인지할 수 있도록 하여야 한다.

이것은 침로의 안정성과 속력의 결과에 따라 효율적인 조타를 가능하게 하며, 선저 여유수심이 별로 없는 협수로에서 특히 효과가 있다. 이러한 경우 예상하지 못한 편향은 선박의 안전한 조종성 유지를 위하여 요구되는 속력보다 느린 속도의 결과일 수 있다.

도등을 설치할 때 기술적으로 고려해야 할 사항은 도등의 등질(燈質)은 항상 동시에 관측될 수 있도록 동기(同期)시켜야 하며, 소형선박이 전(前) 도등을 후(後) 도등으로 오인할 수 있으므로 전 도등의 등고(燈高)를 너무 높지 않게 설치하여야 한다. 또한, 도등을 주야간 이용하는 경우 야간에 눈부심이 발생하지 않도록 적절히 광도를 조절할 수 있어야 한다.

2.2.2 섹터라이트(Sector Lights)

섹터라이트는 <Fig. 4> 개념도에서 보여주는 것과 같이 지정된 분호(分戶, arcs)에 대하여 서로 다른 등색(燈色)과 등질(燈質)을 사용하는 고정 항로표지로서 등화의 색상으로 항해자에게 방향성 정보를 알려주는 항로표지이다.

섹터라이트의 백색구간은 선박이 가장 안전하게 접근할 수 있는 안전항로를 표시해 주고, 녹색과 홍색 등화는 안전항로의 좌·우측 한계를 표시해 준다.

IALA 해상부표식(MBS)의 B지역의 경우 좌측은 녹색으로 우측은 홍색으로 표시해 주고, A지역의 경우에 좌·우측은 반대 색상을 사용한다.

2019년 7월말 현재 우리나라에는 3기의 섹터라이트가 설치되어 있으며, 이중 국유표지는 포항신항 제1부두에 설치되어 있는 섹터라이트가 유일하다(해양수산부, 2019).

섹터라이트는 항행 가능 수로 내에서 수심이 얕은 곳, 사주, 정박지 등의 위치, 수로의 가장 깊은 수심구역, 부표의 설치 위치, 그리고 항행 가능한 수로의 경계 등을 표시해 준다.

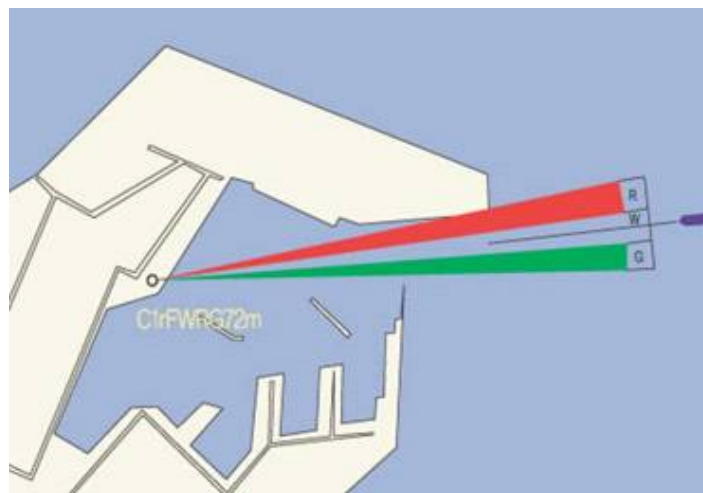
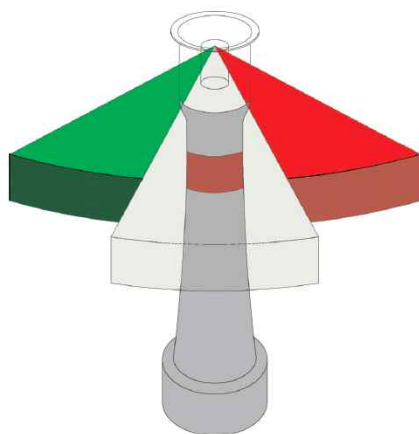


Fig. 4 Concept figures of Sector Lights

“섹터라이트에 대한 IALA GUIDELINE 1041”에서는 <Fig. 5>와 같이 섹터라이트를 적용한 몇 가지 예를 보여주고 있고, <Fig. 6>은 항로를 표시하는 다중 섹터배열을 보여주고 있으며 각 섹터라이트의 기능은 다음과 같다.

- 등화 I은 암초 등 위험지역을 나타내는 홍색 구역이 있는 연안 백색등화이다. 이러한 경우는 높은 경계 정확도가 요구되지 않는다.
- 등화 II는 육지 쪽이 차폐된 섹터라이트이며, 두 개의 백색 섹터는 안전한 수로를 나타내고, 또한, 녹색과 적색 섹터의 경계는 건너편 저수심 암초지역 표시를 위해 설치된 등부표의 위치를 나타내고 있다.
- 등화 III은 4개의 묘박지 위치를 나타내는 백색 섹터와 홍색 섹터가 있는 섹터라이트의 경우이고 육지 쪽은 해안가에 가려져 있다.
- 등화 IV는 안전한 수로를 나타내는 백색 섹터가 있는 섹터라이트를 설치한 사례를 보여주고 있다.

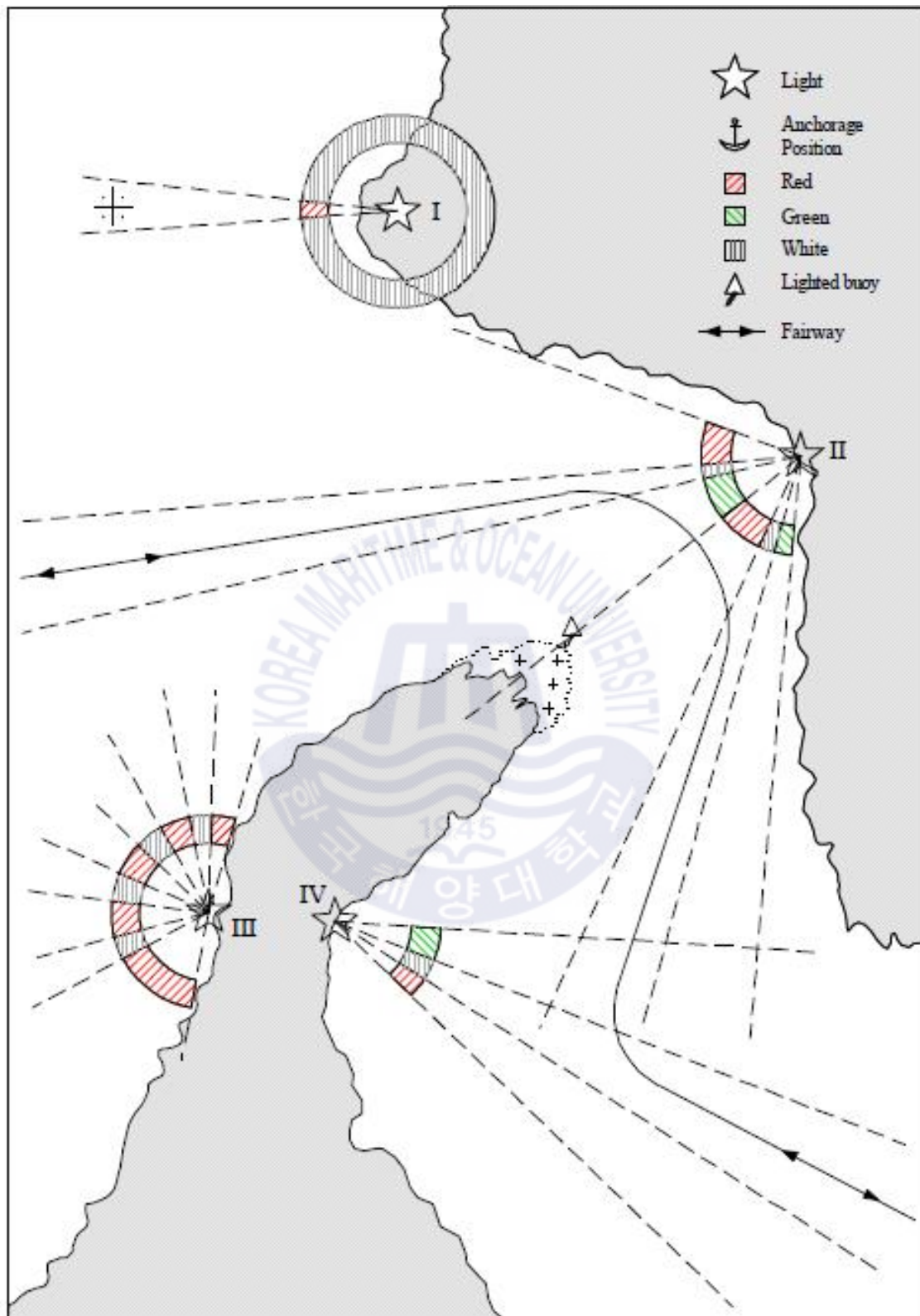


Fig. 5 Several applications for sector lights

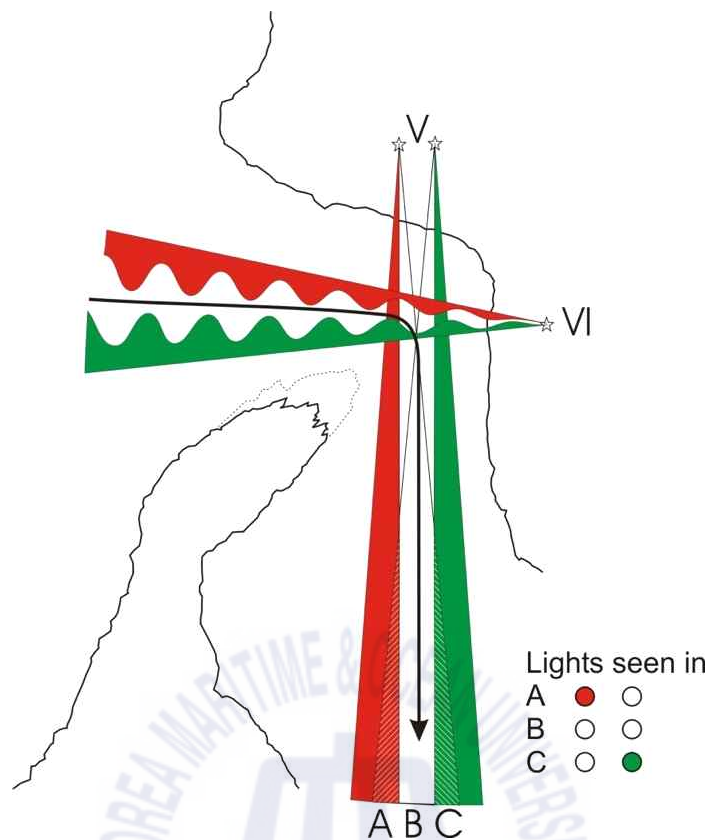


Fig. 6 Multiple sectors arrangement
marking a channel

- 등화 V는 다중 섹터라이트 시스템을 만들기 위해 배열 된 2 개의 섹터라이트 설치 예이고, 이 배열은 5개의 섹터를 가진다. 각 섹터는 고유 한 점멸주기와 색상을 가질 수 있다.
- 등화 VI은 5개 또는 7개의 섹터로 구성된 섹터라이트의 설치 예이고, 선박의 측면 위치식별을 향상시키는데 사용될 수 있는 진동경계를 나타낸다.

제 3 장 섹터라이트 설계요소 분석

3.1 설치사례 분석

3.1.1 국내 설치사례

2019년 7월말 현재 우리나라에 설치·운영 중인 섹터라이트는 3기이며, 모두 입항침로를 알려주기 위하여 설치하였다(해양수산부, 2019).

국유항로표지는 경북 포항시 포항신항에 설치된 '포항신항 제1부두 섹터라이트'가 유일하며, 사설항로표지는 충남 당진군에 설치된 '당진화력 섹터라이트'와 강원도 삼척시에 설치된 '삼척항 제1부두 섹터라이트'가 있다.

가. 포항신항 제1부두 섹터라이트

이 섹터라이트는 포항지방해양수산청에서 <Fig. 7>과 같이 포항신항에 입항하는 선박이 남·북방파제 사이를 안전하게 통과할 수 있도록 입항침로 263.7°를 알려주기 위하여 1985년 9월에 설치하였다.

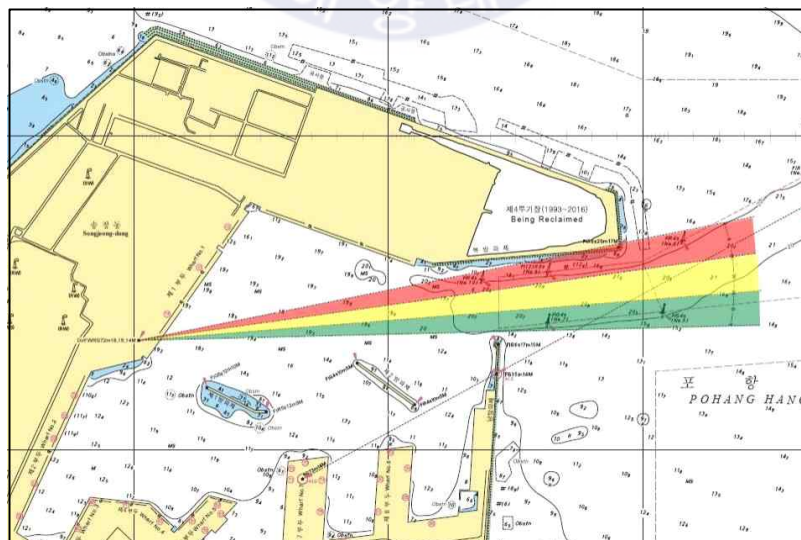


Fig. 7 Position of Pohang new port Sector Light

포항신항 제1부두 섹터라이트는 <Fig. 8>과 같이 지상 69m 높이로 설치된 백색 사각철탑 상부에 섹터라이트용 랜턴이 설치되어 있다.



Fig. 8 View of Pohang new port Sector Light

국립해양조사원에서 발간한 등대표(2018)에 게재된 포항신항 제1부두 섹터라이트의 설치위치, 등질, 등고, 광달거리, 도색·구조·높이 및 각 섹터의 방위각은 <Table 2>와 같다.

Table 2 Pohang new port Sector Light in List of Light

Location (WGS-84)	Characteristic	Height (m)	Range (M)	Structure	Remarks
36-01.20N 129-24.02E	FW	72	18	White square frame tower · 69	W 262°~265.3°(3.3°)
	FR		15		R 258.7°~262.0°(3.3°)
	FG		14		G 265.3°~268.6°(3.3°)

이 섹터라이트는 안전한 입항침로를 표시해주는 백색섹터와 백색섹터의 좌우 측에 녹색과 홍색 섹터로 구성되어 있다. 등질은 각각 부동광을 사용하고 있으며, 각 섹터의 폭은 3.3° 로 동일하고 백색섹터의 중심선 방위각은 263.7° 이다.

이 섹터라이트의 랜턴은 Vega사의 PEL-6 모델로 24V250W 텅스텐 할로젠램프를 사용하는 프로젝터 타입으로, 두 가지 색상의 경계에서 색상이 서로 겹쳐지는 불명료 각도(angle of uncertainty)가 $1'$ 이내로 매우 정밀하다.

이 섹터라이트는 포항신항 도등(242°)을 이용해서 항만 입구까지 접근한 선박이 침로를 변경하여 좁은 항만입구(300m)를 안전하게 통과하는데 필요한 입항침로를 제공해주고 있다.

그런데 24시간 운영하고 있지만 주·야간 광도를 조절하고 있지 않아 주간에는 등대표에 게재된 광달거리를 달성할 수 없다. 또한, 야간에 섹터라이트를 이용해야 하는 구간이 섹터라이트 설치위치로부터 약 2M에 불과하지만 실제 광달거리를 14M~18M로 운영하고 있어 항해자의 눈부심이 발생할 수 있다.

나. 당진화력 섹터라이트

이 섹터라이트는 한국동서발전(주) 당진화력본부에서 <Fig. 9> 위치도와 같이 당진화력발전소에 입항하는 선박이 지정된 항로를 따라 항해할 수 있도록 입항침로를 알려주기 위해 대산지방해양수산청장의 허가를 받아 1988년 11월에 사설항로표지로 설치하였다.

이후 당진화력본부에서는 시설물 보호 및 연료운송 선박의 안전을 강화하기 위하여 2004년 8월에 동일 항로에 당진화력 전(후) 도등을 추가로 설치하였고, <Fig. 10> 섹터라이트 전경에서 보여주는 것과 같이 섹터라이트가 설치된 철탑에 전도등(표)를 함께 설치하여 운영하고 있다.

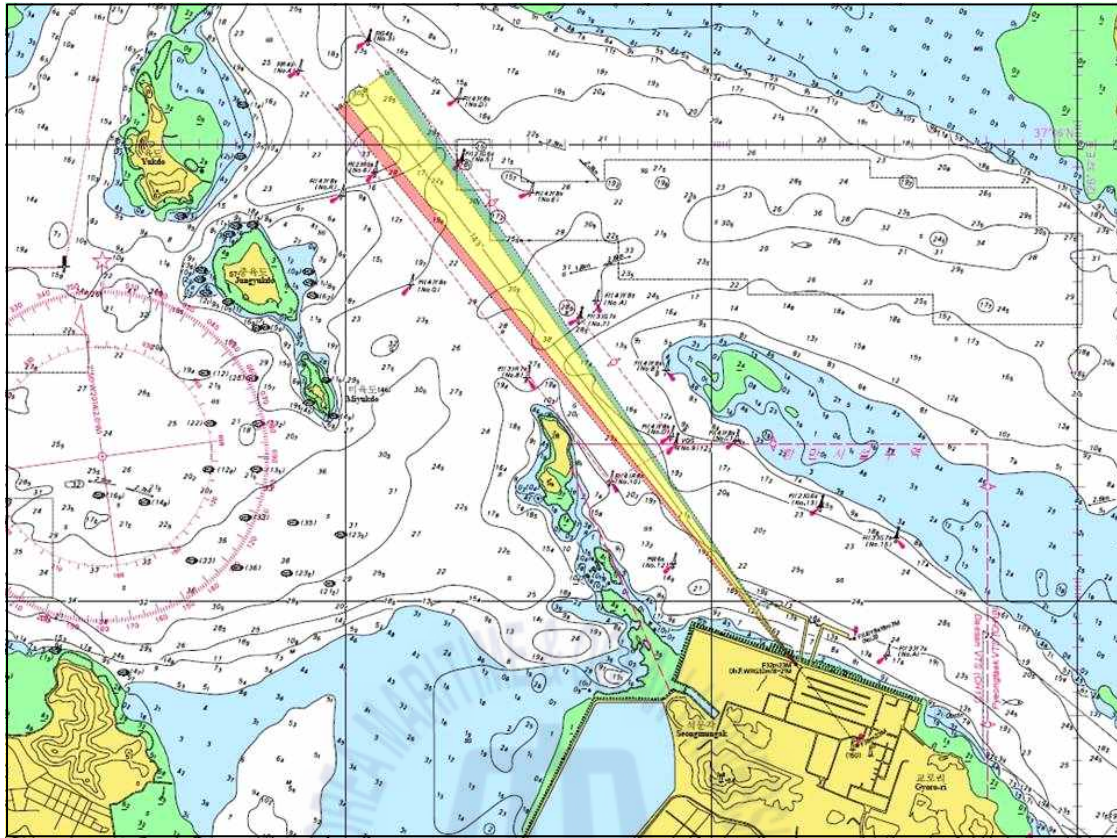


Fig. 9 Position of Dangjin Hwaryeok Sector Light



Fig. 10 View of Dangjin Hwaryeok Sector Light

국립해양조사원에서 발간한 등대표(2018)에 게재된 당진화력 섹터라이트의 설치위치, 등질, 등고, 광달거리, 도색·구조·높이 및 각 섹터의 방위각은 <Table 3>과 같다.

Table 3 Dangjin Hwaryeok Sector Light in List of Light

Location (WGS-84)	Characteristic	Height (m)	Range (M)	Structure	Remarks
37-03.72N 126-30.50E	FW FR FG	32	21 18 18	White square frame tower · 27	W 141.4° ~ 144.9°(3.5°) R 140.4° ~ 141.4°(1.0°) G 144.9° ~ 145.9°(1.0°)

이 섹터라이트는 안전한 입항침로를 표시해주는 백색섹터와 백색섹터의 좌우측에 녹색과 홍색 섹터로 구성되어 있다. 각 섹터의 등질은 부동광을 사용하고 있고 각 섹터의 폭은 백색은 3.5°(중심선 방위각 143.15°)이며, 홍색과 녹색은 각각 1.0°이다.

당진화력발전소 입항항로는 총 길이가 약 7.3km이고, 이중 발전소로 향하는 직선항로는 약 4.3km이며 항로 폭은 600m 이다.

당진화력 섹터라이트는 직선항로 구간에서 안전한 입항침로를 제공해주고 있었으나 섹터라이트 이용구간에 도등을 추가로 설치한 것으로 미루어 볼 때 안전한 입항침로를 나타내는 백색등화의 섹터 폭이 너무 넓은 경향이 있으므로 섹터 폭을 좀 더 좁힐 필요가 있어 보인다.

또한, 24시간 운영하고 있지만 주·야간 광도를 조절하고 있지 않아 주간에는 등대표에 게재된 광달거리를 달성할 수 없으며, 섹터라이트를 이용하는 구간이 섹터라이트 설치위치에서 약 3.5M에 불과하지만 실제 야간에 광달거리를 18M~21M로 운영하고 있어 항해자의 눈부심이 발생할 것으로 추정된다.

다. 삼척항 제1부두 섹터라이트

이 섹터라이트는 동양시멘트(주)에서 <Fig. 11> 위치도와 같이 강원도 삼척시 정리동에 위치한 삼척항 제1부에 입항하는 선박이 삼척항 북방파제와 삼척항 방사제 사이 좁은 항만입구를 안전하게 통과할 수 있는 최적 입항침로(321.2°)를 알려주기 위해 동해지방해양수산청장의 허가를 받아 1992년 6월에 사설항로 표지로 설치하였다.

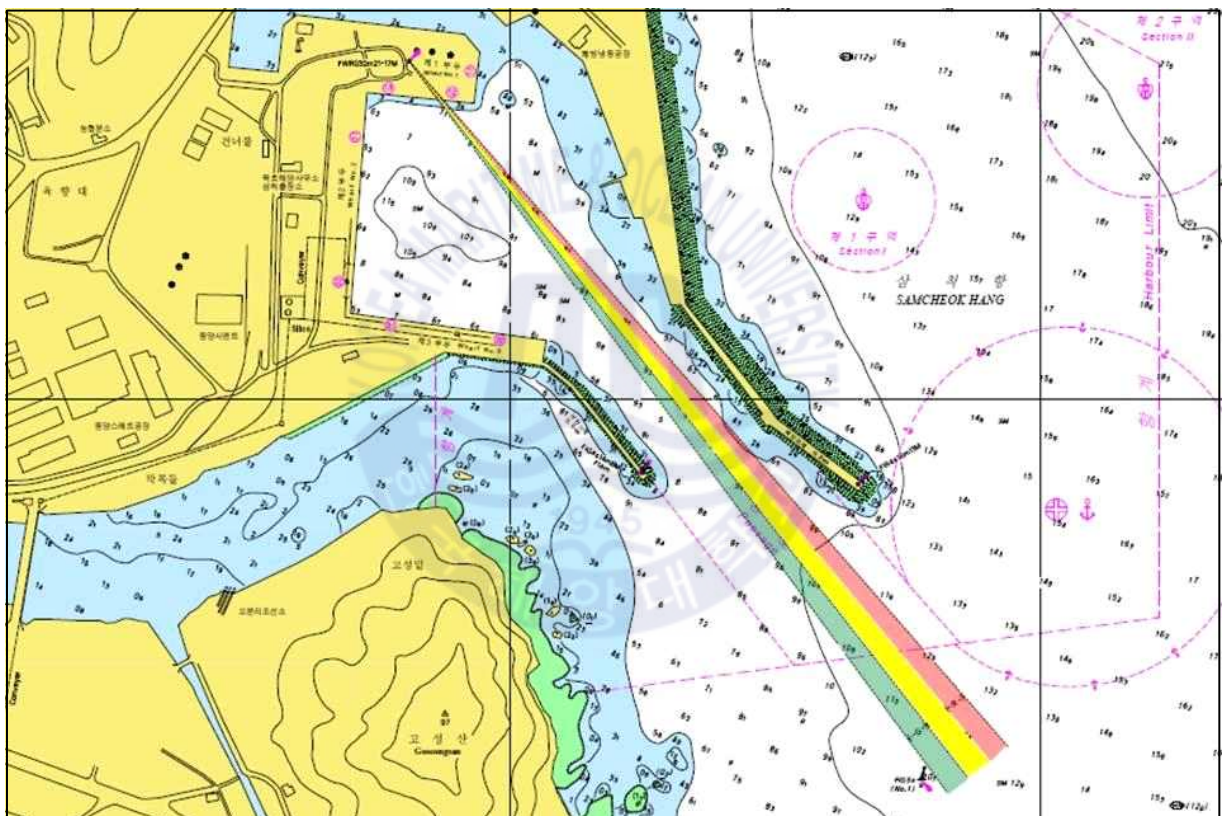


Fig. 11 Position of Samcheok Hang Sector Light

삼척항 제1부두 섹터라이트는 <Fig. 12>와 같이 지상 31m 높이로 설치된 백색 사각철탑 상부에 섹터라이트용 랜턴이 설치되어 있다.



Fig. 12 View of Samcheok Hang Sector Light

국립해양조사원에서 발간한 등대표(2018)에 게재된 삼척항 제1부두 섹터라이트의 설치위치, 등질, 등고, 광달거리, 도색·구조·높이 및 각 섹터의 방위각은 <Table 4>와 같다.

Table 4 Samcheok-Hang Sector Light in List of Light

Location (WGS-84)	Characteristic	Height (m)	Range (M)	Structure	Remarks
37-26.25N 129-11.41E	FW FR FG	32	21 17 17	White square frame tower · 31	W 320.4° ~ 322.0°(1.6°) R 318.8° ~ 320.4°(1.6°) G 322.0° ~ 323.6°(1.6°)

이 섹터라이트는 안전한 입항침로를 표시해주는 백색섹터와 백색섹터의 좌우에 녹색과 홍색 섹터로 구성되어 있으며, 등질은 각각 부동광을 사용하고 있고, 각 섹터의 폭은 1.6°로 동일하며, 백색섹터의 중심선 방위각은 321.2°이다.

삼척항 항로는 길이 약 370m, 폭 약 220m로 지정되어 있으나 삼척항 북방파제와 삼척항 방사제 사이의 항로 폭은 약 120m로 매우 좁다.

삼척항 제1부두 섹터라이트는 24시간 운영하고 있지만 주·야간 광도를 조절하고 있지 않아 주간에는 등대표에 게재된 광달거리를 달성할 수 없으며, 섹터라이트를 이용해야 하는 구간이 약 3M에 불과하지만 실제 야간에 광달거리를 17M~21M로 운영하고 있어 야간에 항해자의 눈부심이 발생할 것으로 추정된다.

3.1.2 외국 설치 사례

가. IALA 회원국의 섹터라이트 설치 현황

IALA는 전 세계 항로표지 설치 현황 및 경향을 파악하기 위하여 2014년까지는 매년, 이후에는 매 4년마다 회원국을 대상으로 설문조사를 실시하고 있다.

IALA에서 2010년부터 2017년까지 실시한 설문조사 결과를 토대로 작성한 항로표지 통계 보고서(2018.12.10)에 따르면, 설문에 응한 회원국 25개국 중 21개국에서 <Table 5>와 같이 1,557기의 섹터라이트를 설치·운영하고 있다.

Table 5 Number of Sector Lights in 2017

Country	Qty	Country	Qty	Country	Qty	Country	Qty
Argentina	29	Croatia	0	Greece	0	Sweden	718
Belgium	13	Denmark	37	Ireland	26	Turkey	3
Bermuda	1	Ecuador	4	Italy	0	Ukraine	17
Brazil	10	England	1	Japan	17	USA	18
Bulgaria	0	Finland	367	Latvia	3		
Canada	73	France	16	Russia	101	Total	1,557
Chile	4	Germany	49	Scotland	50		

섹터라이트 설치 기수가 많은 국가는 스웨덴, 핀란드, 러시아, 캐나다, 스코틀랜드, 독일, 덴마크 순이며, 북유럽 국가인 스웨덴, 핀란드 덴마크 3개국에서 전체 설치기수의 72%인 1,122기를 설치·운영하고 있다.

나. 호주

(1) 우드맨 포인트 등대(Woodman Point Lighthouse)

이 등대는 1902년에 섹터라이트로 설치되었으며, <Fig. 13> 위치도에 나타난 것과 같이 호주 서부에 있는 Cockburn 시의 Woodman Point에 위치하고 있다.



Fig. 13 Position of Woodman Point Lighthouse

설치 당시에는 등대원이 상주하며 관리하였으나 1921년에 무인화 되었고 현재 Fremantle 항만청에서 순회점검 방법으로 관리하고 있다. 이 등대는 등대의 NNW쪽에 위치한 Fremantle 항에 입항하는 선박과 등대의 SW쪽에서 Woodman 해협으로 접근하는 선박에게 각기 다른 등질의 분호를 이용해서 안전한 침로를 제공해 주고 있다.

이 등대의 등탑은 <Fig. 14>에서 보여주는 것과 같이 지상 7.9m 높이의 원형석조로 만들어져 있으며 바다 쪽은 백색으로 도장이 되어 있다. 등탑의 상부에 설치된 등룡은 <Fig. 14>와 같이 두 방향으로 각기 다른 등질의 등화를 비출 수 있도록 만들어져 있으며, 등광을 비추지 않는 부분은 차폐되어 있다.

등대의 북서쪽 방향으로는 등룡 파리판에 설치된 착색필터와 회전식 프리즘 등명기로 30초 주기의 홍·백·녹색 명암광을 비추고, 남서쪽 방향은 프로젝터 타입의 섹터라이트를 이용하여 5초 주기의 녹색 명암광을 비추고 있다.

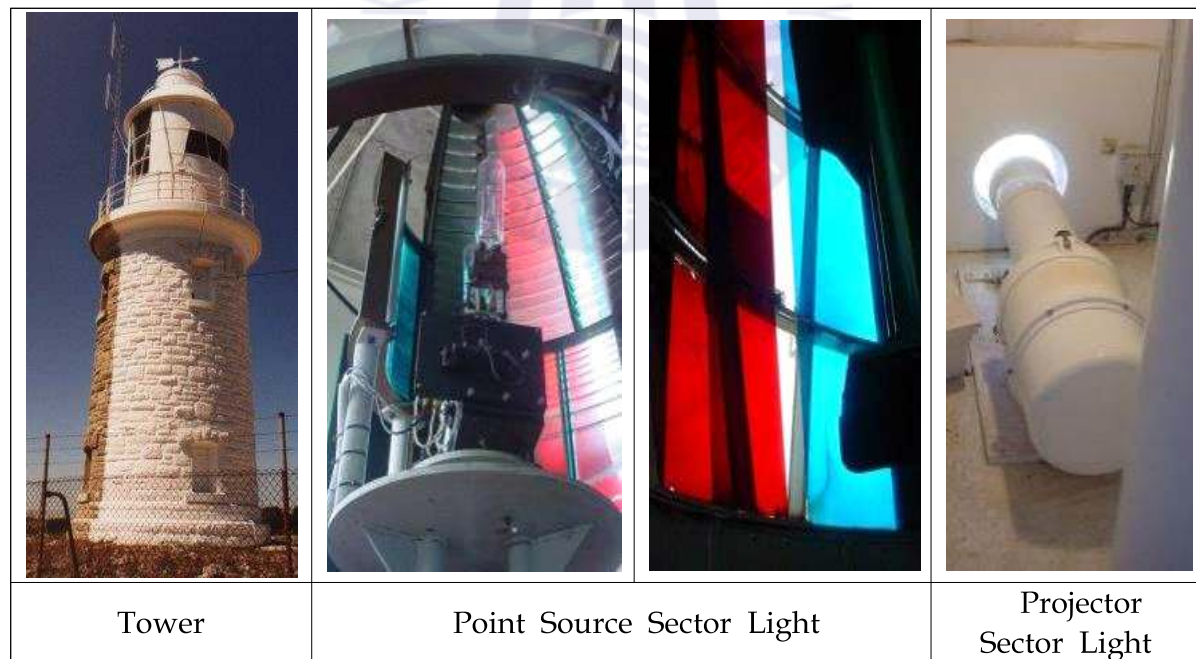


Fig. 14 View of Woodman Point Lighthouse

미국 국립지리정보국(National Geospatial-Intelligence Agency)에서 발간한 등대표(2019, PUB. 111)에 게재된 우드맨 포인트 등대의 위치, 등질, 등고, 광달거리, 도색·구조·높이 및 각 섹터의 방위각은 <Fig. 15>와 같다.

(1) No.	(2) Name and Location	(3) Position	(4) Characteristic	(5) Height	(6) Range	(7) Structure	(8) Remarks
AUSTRALIA-WEST COAST							
9004 Q 1774	-Woodman Point.	32° 07.9' S 115° 46.2' E	Oc.W.R.G. period 30s lt. 20s, ec. 10s Oc.G. period 5s lt. 3s, ec. 2s	123 37	W. 22 R. 8 G. 8	White round stone tower.	R. 132°-145°, W.-150°, G.-160°. Visible 051°06'-051°54'.

Fig. 15 Woodman Point Lighthouse in List of Lights

(2) 버클랜드 힐 등대(Buckland hill Lighthouse)

이 등대는 1970년대에 설치된 섹터라이트으로, <Fig. 16> 위치도에 나타난 것과 같이 호주의 서부의 Mosman Park 시의 버클랜드 힐 정상에 위치하고 있다.

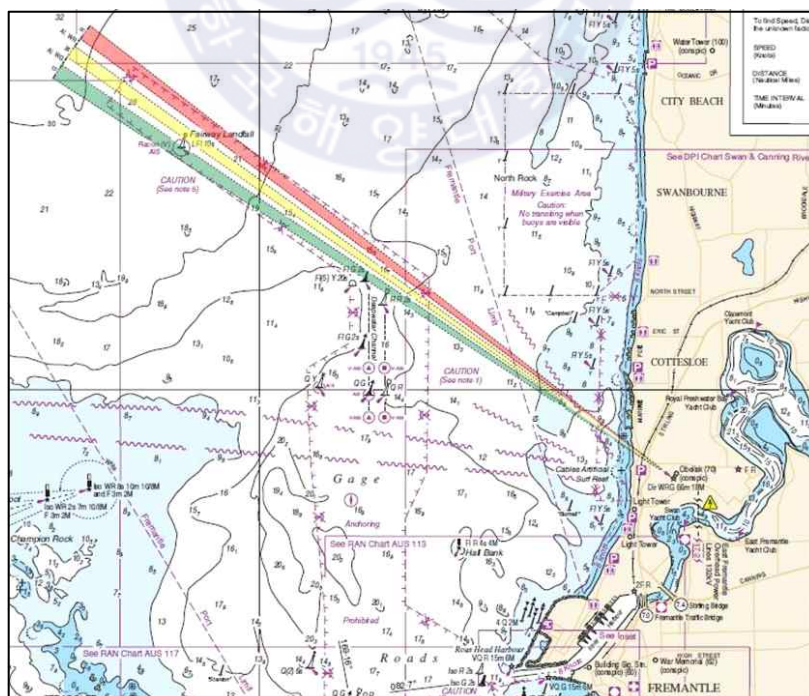


Fig. 16 Position of Buckland Hill Lighthouse

이 등대는 호주 서부에서 가장 큰 항구인 Fremantle 항의 북측에 위치하고 있어 등대의 북서쪽에서 Fremantle 항으로 접근하는 선박에게 안전한 침로를 제공해 주고 있다. 등탑은 <Fig. 17>에서 보여주는 것과 같이 정사각형 벽돌조로 만들어져 있고, 등탑의 높이는 지상 10m이다.



Fig. 17 View of Woodman Point Lighthouse

미국 국립지리정보국(National Geospatial-Intelligence Agency)에서 발간한 등대표(2019, PUB. 111)에 게재된 버클랜드 힐 등대의 위치, 등질, 등고, 광달거리, 도색·구조·높이 및 각 섹터의 방위각은 <Fig. 18>과 같다.

이 섹터라이트의 등질은 백·홍·녹색 부동광을 사용하고 있으며, 등화의 색상이 백색에서 홍색 또는 녹색으로 바뀌는 경계 부분에 각각 두 가지 색상의 등화가 동시에 보이는 섹터를 별도로 지정하고 있다.

(1) No.	(2) Name and Location	(3) Position	(4) Characteristic	(5) Height	(6) Range	(7) Structure	(8) Remarks
AUSTRALIA-WEST COAST							
9044 Q 1762.8	Buckland Hill.	32° 01.0' S 115° 45.7' E	Dir.W.R.G.	216 66	18	White house; 33.	F.G. 122°42.5'-123°57.5', Al.W.G.-124°42.5', F.W.- 125°42.5', Al.W.R.- 126°27.5', F.R.-127°42.5'. Shown 24 hours.

Fig. 18 Buckland Hill Lighthouse in List of Lights

다. Trubaduren 등표(스웨덴)

예테보리(Goteborg)는 스웨덴에서 두 번째로 큰 도시이고 스칸디나비아 최대의 조선업 중심지이며, 덴마크 북단과 마주보는 예타강 하구에 위치한 항구도시이다. Trubaduren 등표는 <Fig. 19>와 같이 예테보리항으로 들어가는 입구에 있다.



Fig. 19 Position of Trubaduren Beacon

이 등표는 <Fig. 20>과 같이 1965년에 설치되었으며, 육지에서 해저케이블로 전기를 공급하고 있으며 3대의 비상발전기가 설치되어 있다. 등탑의 높이는 수

면상 45.5m이고, 하부의 수중 기초바닥 직경은 19m이며 등탑 상부에는 헬리포트가 설치되어 있다.



Fig. 20 View of Trubaduren Beacon

이 등표에는 레이더 비콘이 병설되어 있으며, <Fig. 21>에서 보여주는 것과 같이 7개의 분호등을 제공해주고 있다.

등표 주변에 묘박지와 항로가 지정되어 있으며, 묘박지 A는 대형선박, B는 중형선박 대기장소이고, C는 병커링이나 선용품 공급 등을 위한 묘박지 이다.

이 등표에는 2개의 섹터라이트가 설치되어 있으며, 등고 24m 섹터라이트는 30초 주기의 백·홍·녹색 장섬광(LFI(3)WRG) 등질로 360° 등화를 6개의 섹터로 나누어 제공하고 있다.

또한, 등고 18m 높이의 섹터라이트는 6초 주기의 홍색 등명암광(Iso.R) 등질로 67°의 섹터폭을 갖는 분호등을 이용해서 등표 주변수역의 항로, 측방한계, 묘박지, 위험구역 등을 각각 나타내고 있다.

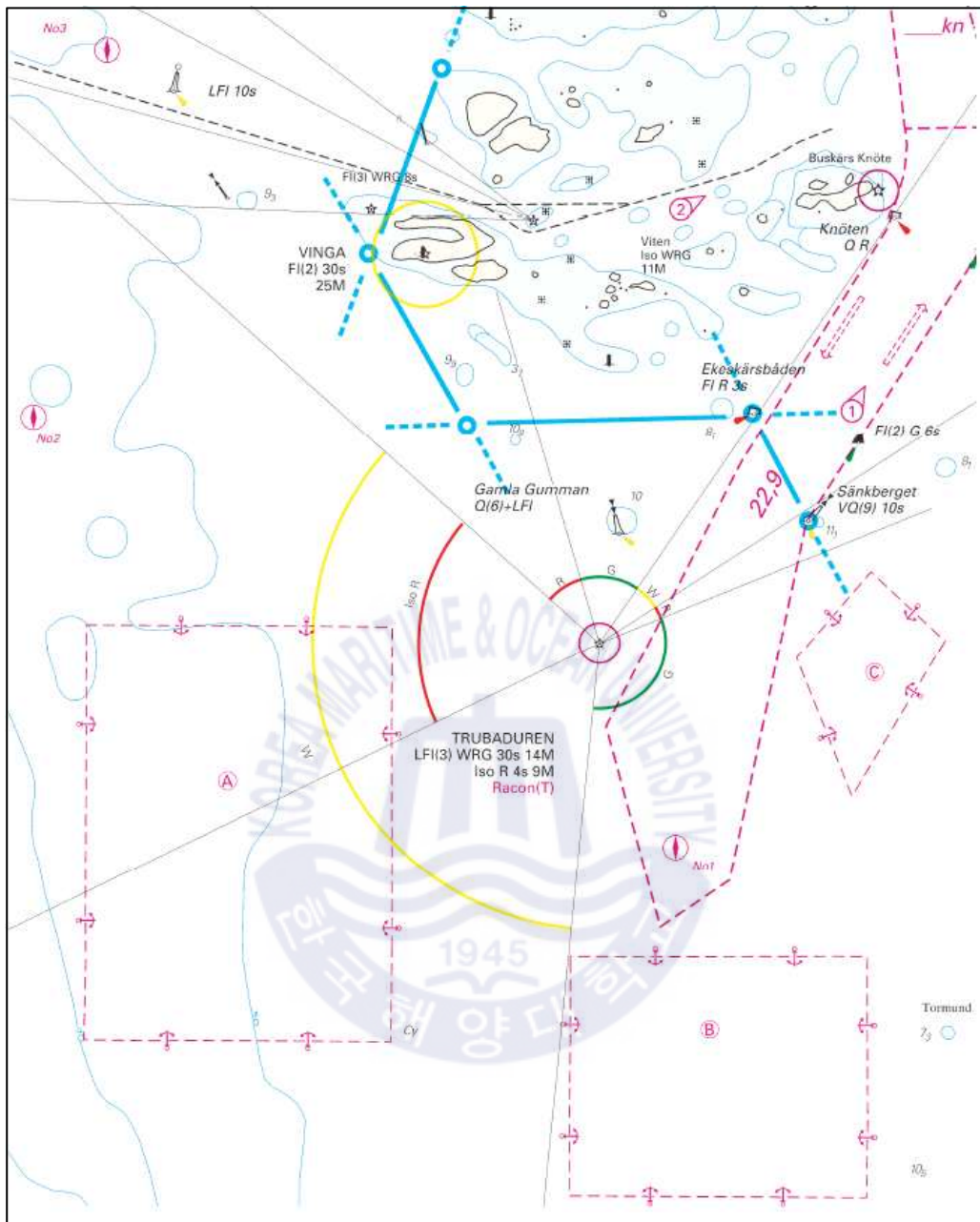


Fig. 21 Sectors composition of Trubaduren Beacon

미국 국립지리정보국(National Geospatial-Intelligence Agency)에서 발간한 등대표(2019, PUB. 116)에 게재된 Fort Blockhouse 섹터라이트와 Fort Blockhouse 섹터라이트의 위치, 등질, 등고, 광달거리, 도색·구조·높이 및 각 섹터의 방위각은 <Fig. 22>와 같다.

(1) No.	(2) Name and Location	(3) Position	(4) Characteristic	(5) Height	(6) Range	(7) Structure	(8) Remarks
SWEDEN-KATTEGAT							
GOTEBORG APPROACH:							
1024 C 0569	-Trubaduren.	57° 35.7' N 11° 38.0' E	L.Fl.(3)W.R.G. period 30s fl. 3s, ec. 3.5s fl. 3s, ec. 3.5s fl. 3s, ec. 14s	79 24	14	Black tower, orange top, gray base; 82. Helicopter platform.	W. 005°30'-131°36', R.-163°30', G.-214°24', W.-237°12', R.-247°48', G.-005°30'.
			Iso.R. period 4s	59 18	9		Visible 064°-131°.
	-RACON		T(-)		14		(3 & 10cm).

Fig. 22 Trubaduren Beacon in List of Lights

라. 영국

포츠머스항은 잉글랜드 남부 햄프셔주에 위치하고 있으며, 영국 본토와 와이트 섬을 분리하는 솔렌트(Solent) 해협에 접해있는 천혜의 자연항구이다.

<Fig. 23>과 같이 항만 입구가 좁아 주변에 요새를 구축하여 오래 전부터 영국의 가장 중요한 해군기지이었으며, 요즘은 주요 상업 페리항구로 이용되고 있다.



Fig. 23 View of Portsmouth Harbour Entrance

솔렌트 해협을 통해 포츠머즈 항으로 입항하는 선박에게 안전한 침로를 알려 주기 위해 <Fig. 24>와 같이 포츠머즈항 접근항로 우측에는 “Southsea Castle 등대”가 좌측에는 “Fort Blockhouse 섹터라이트”가 설치되어 있다.

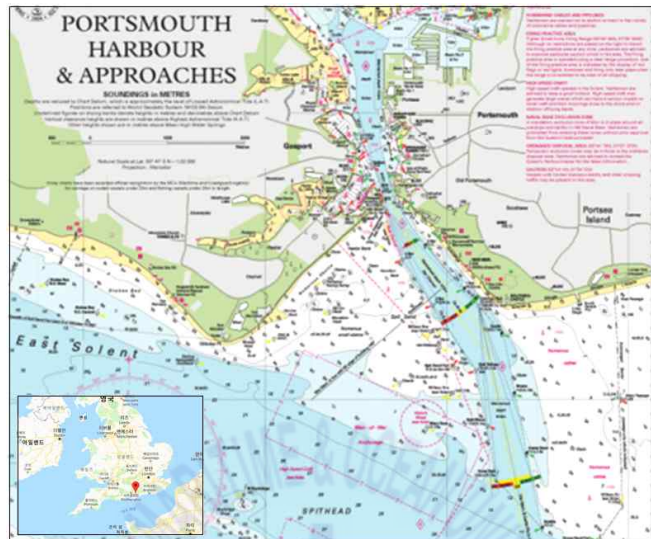


Fig. 24 Position of Portsmouth Harbour & Approaches

Southsea Castle 섹터라이트는 Southsea 남단에 <Fig. 25>와 같이 1828년 설치된 지상 16m 높이의 백색 바탕에 흑색 횡대를 가진 석조등대에 병설되어 있으며, 백·홍·녹색 섹터를 이용한 부동광으로 침로 001°30′을 나타내고 있다.



Fig. 25 View of Southsea Castle Lighthouse

Fort Blockhouse 섹터라이트는 <Fig. 26>과 같이 포츠머스 항 입구 좌측에 있는 Fort Blockhouse 군사기지 건물 위에 설치되어 있으며, 백·홍·녹색 섹터를 이용한 명암광으로 안전침로 320°를 나타내고 있다.



Fig. 26 View of Fort Blockhouse and sector light

미국 국립지리정보국(National Geospatial-Intelligence Agency)에서 발간한 등대표(2019, PUB. 112)에 게재된 Southsea Castle 등대와 Fort Blockhouse 섹터라이트의 위치, 등질, 등고, 광달거리, 도색·구조·높이 및 각 섹터의 방위각은 <Fig. 27>과 같다.

(1) No.	(2) Name and Location	(3) Position	(4) Characteristic	(5) Height	(6) Range	(7) Structure	(8) Remarks
ENGLAND-SOUTH COAST							
PORTSMOUTH:							
956 A 0601	--Southsea Castle, N. corner.	50° 46.7' N 1° 05.3' W	Iso.W. period 2s	52 16	11	White stone tower, black band; 33.	Visible 337°-071°.
	--001°30'.		Dir.W.R.G.	36 11	W. 13 R. 5 G. 5		F.G. 351°30'-357°30', Al.W.G.-000° (W. phase increasing with bearing), F.W.-003° Al.W.R.- 005°30' (R. phase increasing with bearing), F.R.-011°30'. Shown 24 hours.
960 A 0692.5	-Fort Blockhouse, 320°.	50° 47.4' N 1° 06.7' W	Dir.W.R.G.	19 6	W. 13 R. 5 G. 5	Base of mast.	Oc.G. 310°-316° Al.W.G.- 318°30' (W. phase increasing with bearing), Oc.W.-321°30', Al.W.R.- 324° (R. phase increasing with bearing), Oc.R.-330°. Shown 24 hours. Traffic signals. 2 F.R. (vert.) 20 meters E.

Fig. 27 Portsmouth Harbour Sector Lights in List of Lights

두 섹터라이트의 섹터 구성은 동일하며, 색상별 섹터 폭은 백색은 3°이고 홍색과 녹색은 각각 6°이다. 백색섹터의 좌우 경계에는 홍색과 녹색이 백색과 함께 보이는 섹터를 각각 2°30' 씩 가지고 있으며, 24시간 운영하고 있다.

마. 일본

(1) 가시마항 섹터라이트(鹿島港 指向燈)

이 섹터라이트는 <Fig. 28> 위치도와 같이 일본 이바라키현 가시마항 북쪽의 스미모토 금속공장 안에 설치되어 있다.



Fig. 28 Position of Kashima Ko Sector Light

가시마항은 일본 관동지방의 동부 가시마 임해공업지대에 있는 공업항구로

해외에서 원자재 등의 수출입량이 많은 항구이다. 항만의 정온도 유지를 위해 방파제(남쪽 3,940m, 중앙 675m)가 설치되어 있고, 이 섹터라이트는 가시마항의 북동쪽에서 입항하는 선박이 양 방파제 사이를 통과하는데 필요한 안전한 침로($222^{\circ}18'$)를 제공해 주고 있다.

등탑은 <Fig. 29>에서 보여주는 것과 같이 백색에 2개의 적색 횡대를 가진 탑형 구조물로 높이는 지상 16m이다.



Fig. 29 View of Kashima Ko Sector light

미국 국립지리정보국(National Geospatial-Intelligence Agency)에서 발간한 등대표(2019, PUB. 112)에 게재된 가시마항 섹터라이트의 위치, 등질, 등고, 광달거리, 도색·구조·높이 및 각 섹터의 방위각은 <Fig. 30>과 같다.

이 섹터라이트의 등질은 백·홍·녹색 부동광을 사용하고 있으며, 주·야간 광도를 조절하고 있다.

(1) No.	(2) Name and Location	(3) Position	(4) Characteristic	(5) Height	(6) Range	(7) Structure	(8) Remarks
JAPAN-HONSHU-EAST COAST							
4741 M 6492.4	-Kashima Ko.	35° 57.2' N 140° 41.4' E	Dir.W.R.G.	56 17	13	White tower, two red bands; 52.	FR. 218°18'-220°18', FW.- 224°18', FG.-226°18', Range W. 5M, R. 4M, G. 4M by day.

Fig. 30 Kashima Ko Sector Light in List of Lights

(2) 치쿠라항 섹터라이트(千倉港 指向燈)

이 섹터라이트는 <Fig. 31> 위치도와 같이 일본 치바현 미나미보소시에서 가장 큰 어항인 치쿠라항에 위치하고 있다.

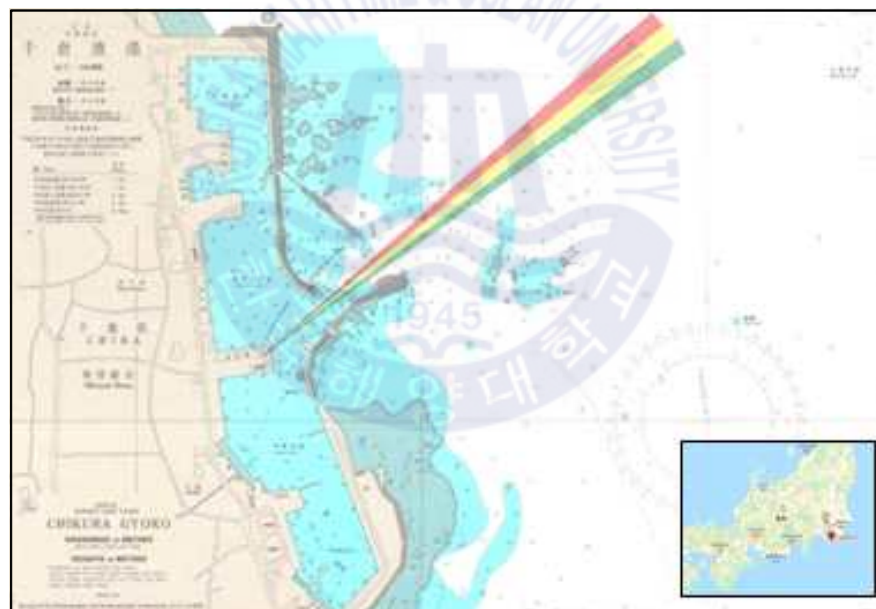


Fig. 31 Position of Chikura Ko Sector Light

이 섹터라이트는 치쿠라항에 입항하는 선박이 남쪽과 북쪽에 설치되어 있는 방파제 사이를 통과하는데 필요한 안전한 침로(231°30')를 제공해 주고 있다.

등탑은 <Fig. 32>에서 보여주는 것과 같이 백색탑형 구조물로 1993년 2월에 설치되었으며, 등탑의 높이는 지상 13m이다.



Fig. 32 View of Chikura Ko Sector light

미국 국립지리정보국(National Geospatial-Intelligence Agency)에서 발간한 등대표(2019, PUB. 112)에 게재된 치쿠라항 섹터라이트의 위치, 등질, 등고, 광달거리, 도색·구조·높이 및 각 섹터의 방위각은 <Fig. 33>과 같다. 이 섹터라이트의 등질은 백·홍·녹색 부동광을 사용하고 있으며, 보조 섹터라이트와 섹터라이트의 위치를 표시하기 위해 등탑 상부에 황색 등명암광을 사용하는 비상용 등명기가 설치되어 있다.

(1) No.	(2) Name and Location	(3) Position	(4) Characteristic	(5) Height	(6) Range	(7) Structure	(8) Remarks
JAPAN-HONSHU-EAST COAST							
4904 M 6462	-Chikura.	34° 57.4' N 139° 57.8' E	Dir.W.R.G.	39 12	W. 8 R. 7 G. 8	White round concrete tower; 43.	F.R. 228°30'-230°30', F.W.- 232°30', F.G.-234°30'. Iso.Y. 4s above main light. Emergency light W. 2M, R. 1M, G. 2M.

Fig. 33 Chikura Ko Sector Light in List of Lights

3.2 설계요소 분석

3.2.1 섹터라이트 설치기준

해양수산부에서 고시한 「항로표지 기능 및 규격에 관한 기준」(제2019-64호, 2019.5.13.) 제11장에서 규정하고 있는 섹터라이트 설치기준은 다음과 같다.

- 섹터라이트는 항해자에게 안전수로, 변곡점, 합류점, 경고 또는 기타 중요한 항행 정보를 제공하기 위하여 설치한다.
- 섹터라이트는 항행 가능 수로 내에서 수심이 얕은 곳, 사주, 정박지 등 위치, 수로의 가장 깊은 수심구역, 부표의 설치 위치, 그리고 항행 가능 수로의 구역 등이 있음을 나타낸다.
- 등화의 백색구간은 선박이 가장 안전하게 접근할 수 있는 안전수로를 표시하며, 백색등화의 전구간이 항상 안전하다고 할 수 없으며 안전수역은 등부표나 도등과 함께 표시할 수 있다.
- IALA 해상부표식(MBS)의 B지역에서 등화의 녹색구간은 항로의 좌측을 표시하며, 홍색 구간은 항로의 우측을 표시한다.
- 안전수로를 설계할 때 특별한 지역을 위한 가장 최선의 해결책을 강구하기 위하여 모든 가능한 종류의 항로표지 설치를 고려하여야 한다.
- 섹터라이트는 이용하는 해역의 가장 최신의 해도를 참조하여 조석과 유속의 흐름 및 배후광과 같은 지역적인 특성을 고려하여 설계하여야 한다.

3.2.2 기술적 고려사항

가. 일반적 고려사항

해양수산부에서 고시한 「항로표지 기능 및 규격에 관한 기준」(제2019-64호, 2019.5.13.) 제11장에서 규정하고 있는 섹터라이트 설치 시 일반적 고려사항은

다음과 같다.

- 섹터라이트에서 나누어지는 각 등화의 범위(이하 "분호등" 이라 한다)는 안전한 항로를 유지하기 위한 필수적 요구사항을 충족하여야 한다.
- 섹터라이트는 등화의 색상이 분명하고, 요구되는 범위 내에서 충분한 광력을 확보하여야 하며, 요구사항에 적합한 광력과 정확한 각도로 나타내어야 한다.
- 섹터라이트에 유색 필터를 사용할 때에는 광원의 스펙트럼 분배와 필터를 통하여 빛을 적절하게 전송할 수 있도록 설계되어야 하며, 설계 과정에서 항해자의 눈부심 문제도 검토하여야 한다.
- 섹터라이트에 섬광등을 사용할 경우에는 항해자가 판별하기 쉽도록 충분한 섬광주기를 선택하여야 한다.(명암광 또는 등명암광을 선택)
- 섹터라이트의 미치는 범위가 변동되는 구역에는 부정확한 신호가 발생할 수 있으므로 주기가 있는 섬광등을 사용하여서는 안된다.
- 섹터라이트의 백색등화는 일반적으로 등대나 등표의 백색등화에 비해 우선적으로 이용되며, 만일 하나의 유색 범위를 추가할 때에는 홍색을 우선적으로 사용하여야 한다.
- 백색 섹터를 항행가능 수역 표시로 사용하게 되면, 유색등화는 측방한계 표시에 사용되며, 이런 경우 홍색 및 녹색 등화는 IALA 해상부표식에 따라 사용되어야 한다.
- 복합 섹터라이트는 수로 내에서 운항하는 선박의 측방위치 한계를 보다 분명하게 표시하기 위하여 사용되어야 한다.
- 도선과 섹터라이트의 경계에 있어서의 방위와 방향은 항해자가 일정한 각도로 선수방향을 유지할 수 있도록 하여야 하며, 방위는 바다에서 바라보는 진방위로 나타낸다.
- 유색 필터를 사용할 때 홍색과 녹색등화는 광원이나 필터의 재질에 따라 다르지만 대체적으로 백색등화 이용범위의 4분의 3정도이다.

- 유색 필터의 재료는 유색 섹터라이트에 요구되는 색상과 광력의 제공을 위한 광원의 분광특성에 맞추어 고안된 재질을 사용하여야 한다.
- 홍색과 녹색 섹터라이트의 탐지범위는 드럼렌즈를 추가하는 등의 프리즘 설계에 따라 증가될 수 있으며, 홍색과 녹색 섹터라이트의 탐지범위는 백색 섹터라이트의 탐지범위와 동일하여야 한다.
- 섹터라이트에 차양을 씌우거나 곡선 창호 또는 차폐막 등을 설치하여 빛의 반사와 흡수를 최소화하여야 한다.

나. 불명료 각도(Angle of uncertainty)

불명료 각도는 “섹터라이트에 대한 IALA GUIDELINE 1041(2016)”에서 다음과 같이 규정하고 있다.

불명료 각도는 등화의 색상과 섬광주기가 바뀌는 영역을 말하며, 일반적으로 항해자는 두 섹터의 등질이 혼합되는 해역에서 두 섹터를 명확하게 구분할 수 없게 된다. 이 부분에 대한 이해는 섹터라이트를 설계하는데 매우 중요하며 대부분의 경우 불명료 각도는 가능한 작거나 항행요구사항에 의해 정의되어야 한다. 달성 가능한 최소 불명료 각도를 결정하는 기본적인 메커니즘은 <Fig. 34>에서 보여주는 것과 같으며, 섹터라이트의 종류에 따라 달라진다.

다. 섹터라이트에 사용되는 필터

섹터라이트에 사용되는 필터는 “섹터라이트에 대한 IALA GUIDELINE 1041(2016)”에서 다음과 같이 규정하고 있다.

단일 광원의 광학필터가 사용되는 섹터라이트에서, 각 섹터의 광도 및 범위는 광학 필터의 투과율이 다르기 때문에 상당히 달라질 수 있다. 광원의 스펙트럼 특성은 컬러 필터를 통과해서 비추지는 등화에 큰 영향을 미친다.

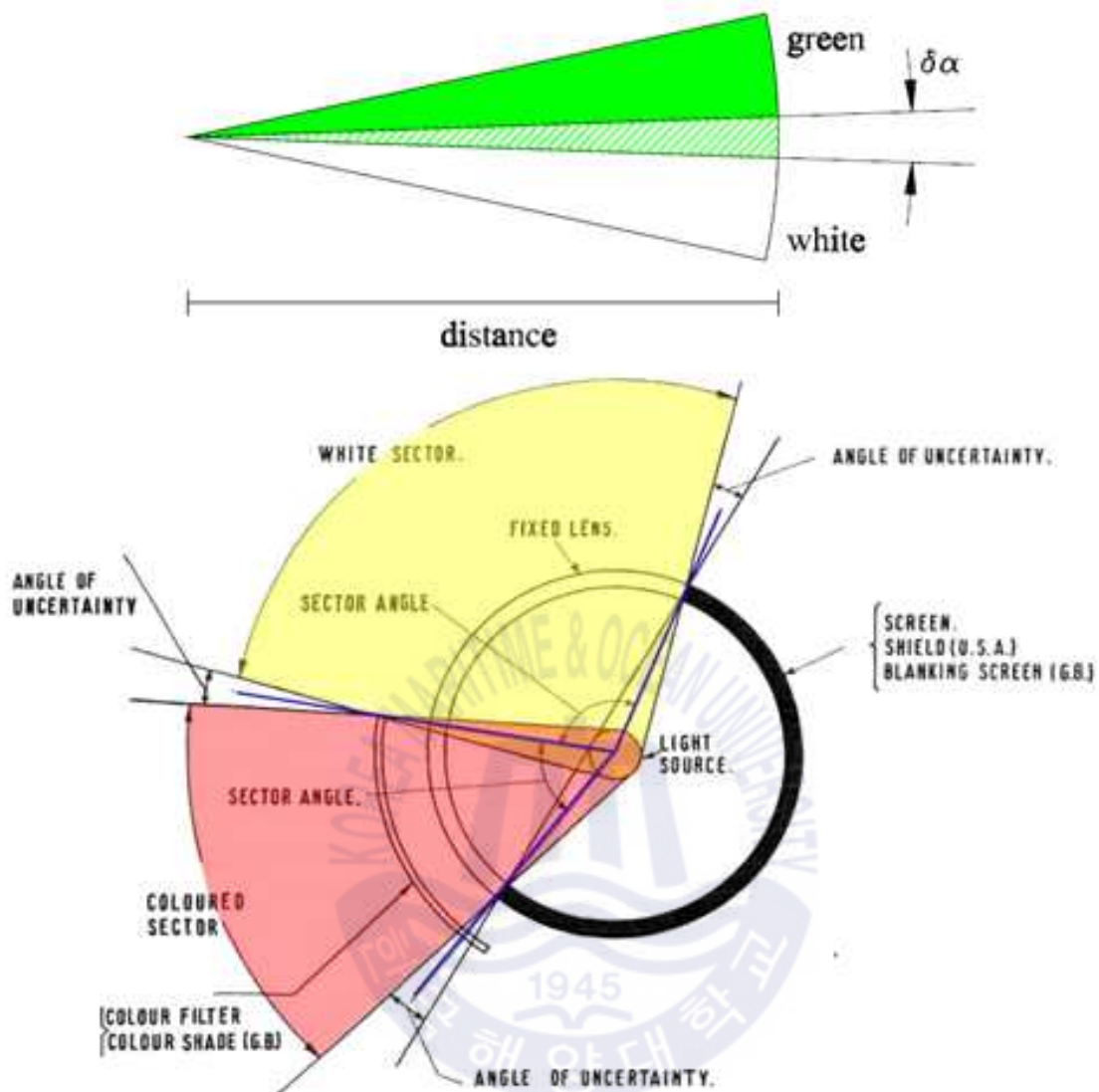


Fig. 34 Angle of uncertainty

광원을 적합한 스펙트럼 투과율을 갖는 필터 재료와 일치시킬 필요가 있고, 제공하는 등화의 색도는 IALA 권고 색상영역 내에 있어야 한다.

컬러 필터의 투과율은 광도와 컬러 섹터의 범위를 결정하며, <Table 6>은 광원의 종류에 따른 각 색상별 투과율을 보여주고 있다.

Table 6 Typical transmittance for various light sources

Colour	Light Source/(Colour Temperature)			
	Filament (3000K)	Discharge (5800K)	LED (4000K)	LED (6500K)
Red	8 ~ 25%	~ 13%	~ 10%	~ 8%
Green	8 ~ 25%	~ 22%	~ 17%	~ 20%
Yellow	50 ~ 70%	~ 55%	~ 50%	~ 45%

필터의 재료는 유리 및 플라스틱을 포함하여 여러 가지가 있으며, 일반적으로 유리보다는 플라스틱으로 더 큰 필터를 만들 수 있다. 플라스틱 필터를 사용할 때는 필터 재료가 자외선에 안정적이어야 하고 램프에서 발생하는 열에 변형이 발생하지 않도록 적절히 장착해야 한다.

라. 수직 발산각(Vertical Divergence)

고정된 항로표지의 수직 발산각은 “항로표지용 등화의 수직발산(AtoN Signal Light Beam Vertical Divergence)에 대한 IALA GUIDELINE G1065(2018)”에서 다음과 같이 규정하고 있다.

수직 발산각은 등화의 광도가 최대광도의 50%로 떨어지는 두지점 사이의 각도를 말하며, <Fig. 35>는 수직축에 대한 광도의 분포를 보여주고 있다. 이 경우 최대광도가 절반으로 떨어지는 지점은 $+ 1.03^\circ$ 와 $- 1.35^\circ$ 이고, 수직 발산각은 2.38° 가 된다.

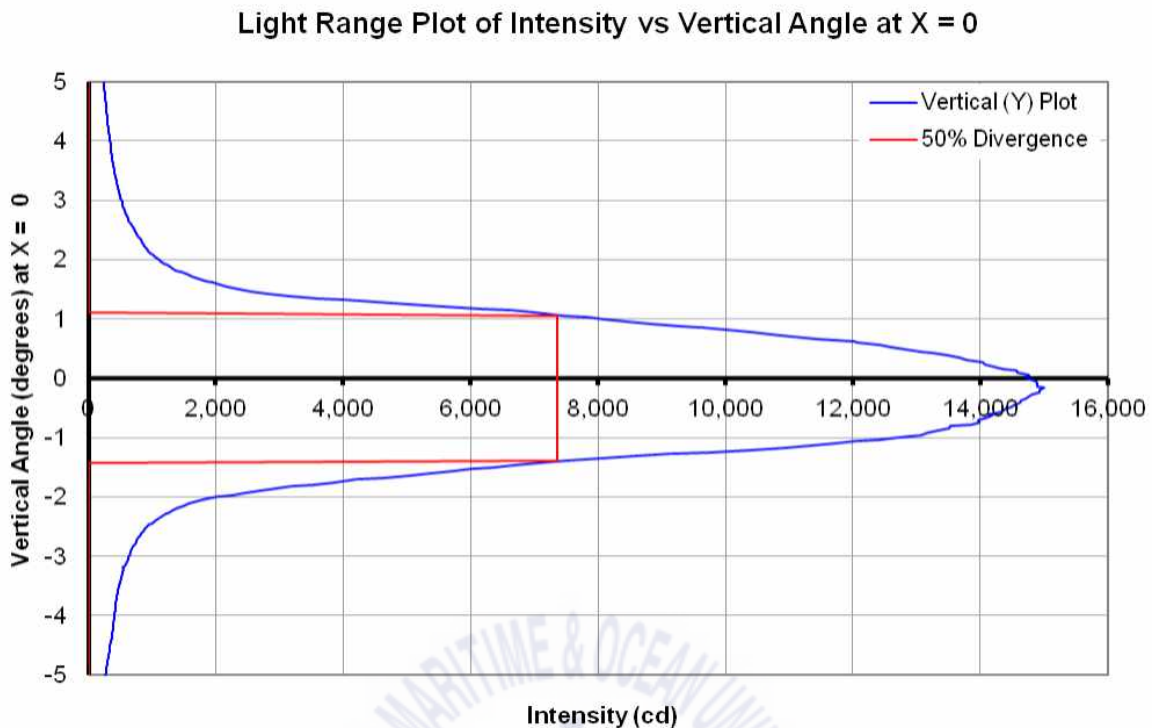


Fig. 35 Plot of intensity against vertical angle with the 50% intensity points marked in red

고정된 구조물의 경우 조수, 바람 및 파도의 영향은 무시할 수 있으므로 불빛과 관찰자의 상대 높이와 그 거리에서 발생하는 기하학적 효과만 고려하면 된다. 예를 들어 높은 절벽에 설치되어 있는 등대의 경우에 드물게 등대와 가까운 곳을 지나가는 작은 선박도 사용하게 된다. 또 다른 일반적인 경우는 벌크 광석 운반선과 같이 대형선박이 좁은 수로에서 등표에 가깝게 통과하는 경우도 한다.

후자의 경우 선박이 등표를 지나가거나 한 쌍의 등표로 표시하는 항로의 출입구를 통과할 때 선박의 선교나 윈 브릿지에서 등화를 볼 수 있는 것이 중요하다. 이 예에서, 등대의 등화는 대기 투과율이 좋지 않는 상황에서도 선박의 선교에서 예각(銳角)으로 볼 수 있어야 한다. 그러나 거리가 짧기 때문에 필요한 광도는 크지 않을 수 있다.

많은 등대의 불빛(예: 섹터라이트, 분호등)의 경우 최소 접근거리는 등화나 관찰자의 높이보다 훨씬 크다. 이 경우 최소 수직 발산각은 <Fig. 36>에서 보여주는 것과 같이 주로 관찰자의 눈높이에 따라 달라진다.

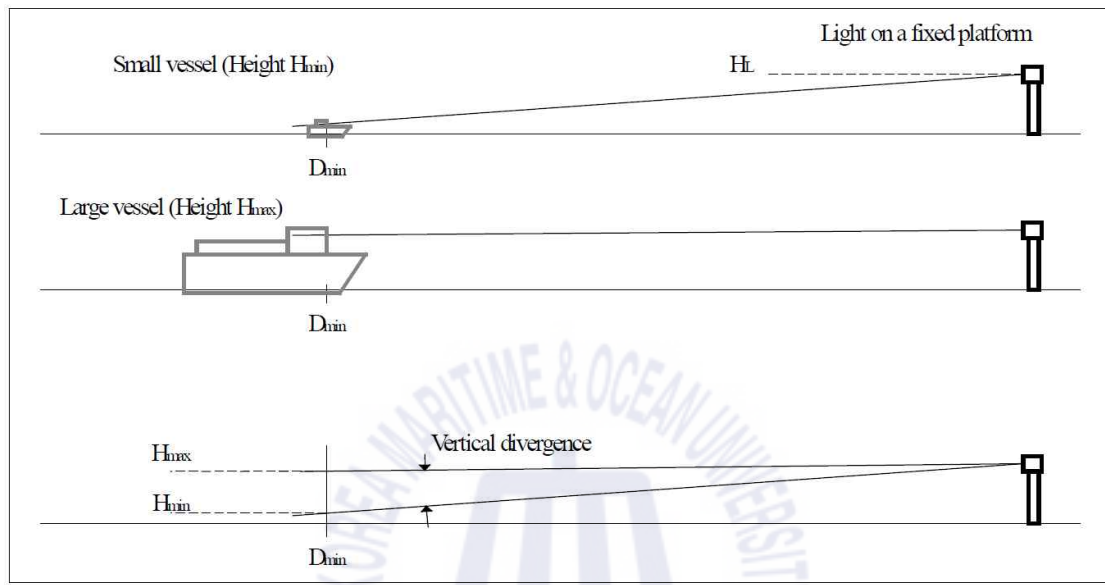


Fig. 36 Influence of observer height

필요한 수직 발산각은 식 (1)과 같은 방법으로 계산할 수 있다.

$$a_r = \arctan\left(\frac{H_{max} - H_{min}}{D_{min}}\right) \quad (1)$$

여기서:

a_r : 필요한 발산 각도

H_{max} : 가장 가까운 접근에서 관찰자의 최대 높이(m)

H_{min} : 가장 가까운 접근에서 관찰자의 최소 높이(m)

D_{min} : 가장 가까운 접근에서 불빛과 관찰자의 거리(m)

관찰자가 등화에 가장 가까이 접근했을 때의 거리(D_{min})에서 수직각도가 계산되기 때문에 필요한 발산각도 전체에 대해 완전한 광도를 가질 필요는 없다.

필요한 광도 범위 또는 등화의 수직위치가 매우 높은 경우, <Fig. 37>에서 보여주는 것과 같은 지구의 곡률효과를 보상하기 위해 등화의 기준 축(또는 가능한 경우 기준평면)을 기울여 주는 것이 좋다.

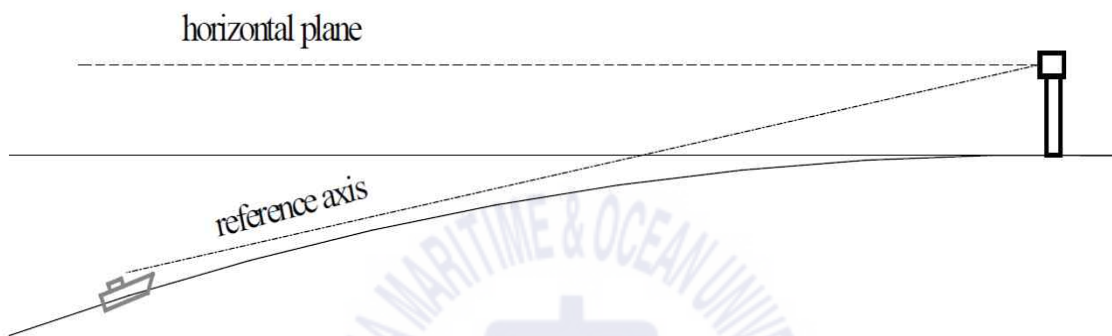


Fig. 37 Compensation for earth curvature

마. 광달거리(Luminous Range)

“항로표지용 등화의 광달거리 계산, 정의 및 표기법(MARINE SIGNAL LIGHTS - Calculation, Definition and Notation of Luminous)에 대한 IALA Recommendation R0202(E200-2, 2017. 12)”에서 광달거리에 대해 다음과 같이 규정하고 있다.

모든 광달거리는 식 (2)의 Allard 법칙에 따라 계산한다.

$$I = E_r * D^2 * 0.05^{-D/v} \quad (2)$$

여기서

I : 등화의 광도 [cd],

E_r : 관찰자의 각막조도 [lx],

D : 광달거리[m], V 는 기상학적 가시거리 [m] 이다.

항로표지에 사용되는 해상용등명기의 명목적 광달거리는 기상학적으로 시정(視程)이 10해리(18,520m) 이고, 관찰자의 각막 조도가 야간의 경우는 2×10^{-7} [lx], 주간은 1×10^{-3} [lx]일 때를 기준으로 계산해서 등대표에 게재하여야 한다.

기상학적 시정에 따른 광도와 광달거리의 상관관계를 나타내는 그래프는 야간의 경우 <Fig. 38>과 같고, 주간에는 <Fig. 39>와 같다. 광도에 따른 명목적 광달거리는 야간의 경우 <Table 7>과 같고, 주간은 <Table 8>과 같다.



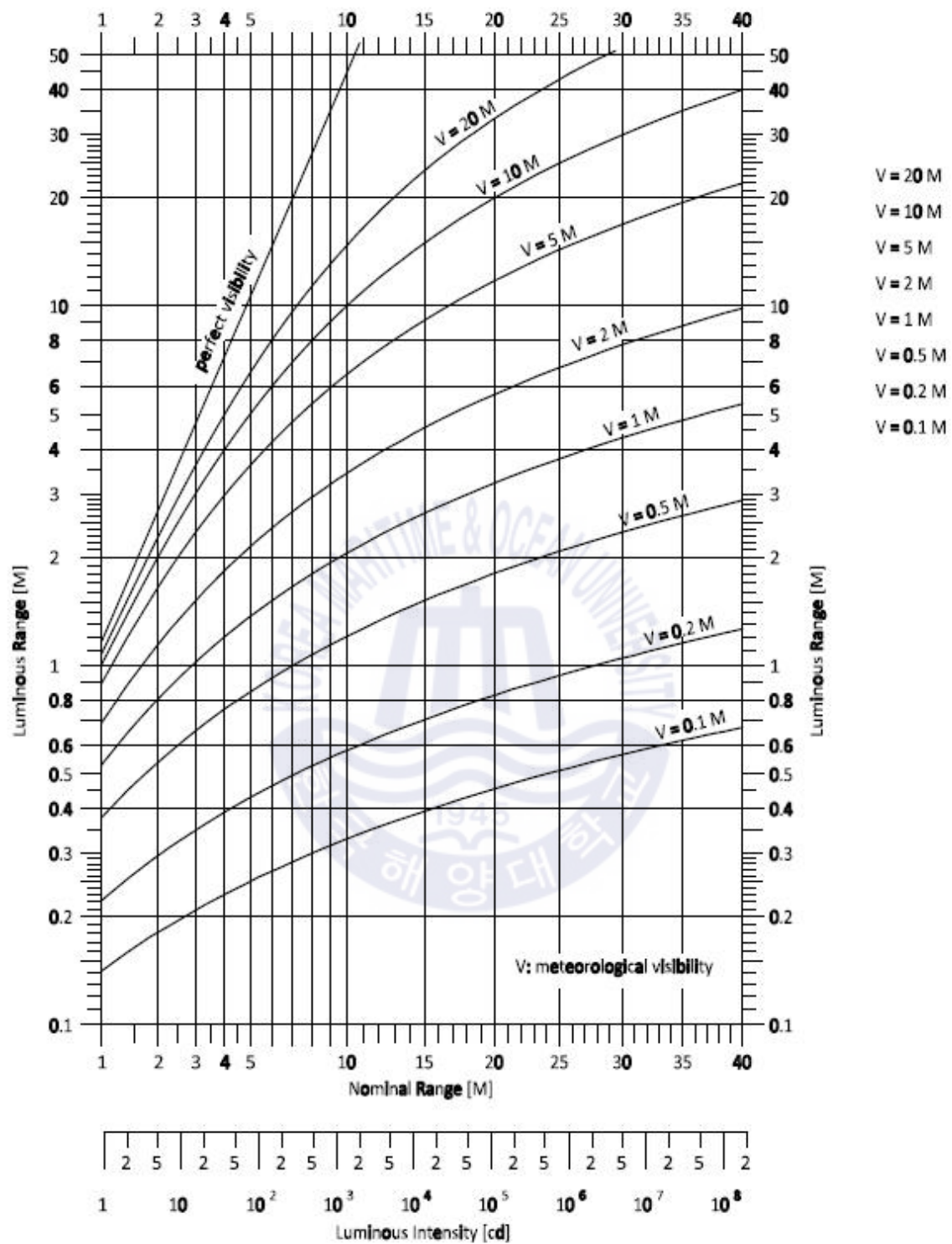


Fig. 38 Luminous Range Diagram(night time)

Table 7 Night time nominal range table

Luminous intensity	Nominal range (rounded)	Luminous intensity	Nominal range (rounded)	Luminous intensity	Nominal range (rounded)
candelas (cd)	nautical miles (M)	kilocandelas (10^3 cd)	nautical miles (M)	Megacandelas (10^6 cd)	nautical miles (M)
1 - 2	1	0.633 - 1.06	9	0.927 - 1.35	26
3 - 9	2	1.07 - 1.75	10	1.36 - 1.96	27
10 - 23	3	1.76 - 2.84	11	1.97 - 2.84	28
24 - 53	4	2.85 - 4.53	12	2.85 - 4.11	29
54 - 107	5	4.54 - 7.13	13	4.12 - 5.93	30
108 - 203	6	7.14 - 11.1	14	5.94 - 8.53	31
204 - 364	7	11.2 - 17.1	15	8.54 - 12.2	32
365 - 632	8	17.2 - 26.1	16	12.3 - 17.5	33
		26.2 - 39.7	17	17.6 - 25.1	34
		39.8 - 59.9	18	25.2 - 35.9	35
		60.0 - 89.8	19	36.0 - 51.2	36
		89.9 - 133	20	51.3 - 72.9	37
		134 - 198	21	73.0 - 103	38
		199 - 293	22	104 - 147	39
		294 - 432	23	148 - 209	40
		433 - 634	24		
		635 - 926	25		

* rounded off to the nearest nautical mile

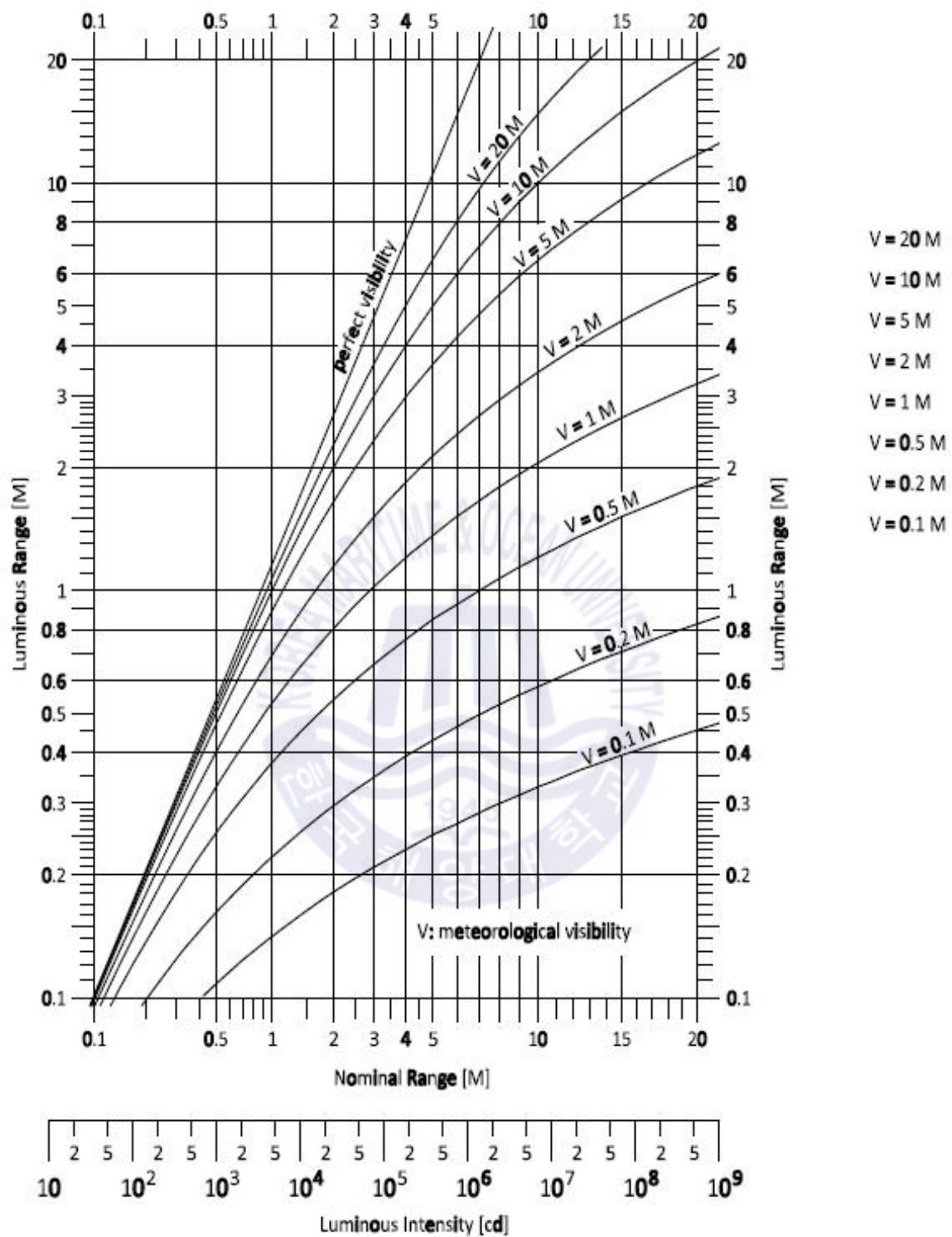


Fig. 39 Luminous range diagram(day time)

Table 8 Day time nominal range table

Luminous intensity	Nominal range (rounded)	Luminous intensity	Nominal range (rounded)
kilocandelas (10 ³ cd)	nautical miles (M)	Megacandelas (10 ⁶ cd)	nautical miles (M)
1 – 12.0	1	1.02 – 1.82	7
12.1 – 45.3	2	1.83 – 3.16	8
45.4 – 119	3	3.17 – 5.32	9
120 – 267	4	5.33 – 8.78	10
268 – 538	5	8.79 – 14.2	11
539 – 1010	6	14.3 – 22.6	12
		22.7 – 35.6	13
		35.7 – 55.5	14
		55.6 – 85.6	15
		85.7 – 130	16
		131 – 198	17

* rounded off to the nearest nautical mile

바. 등화의 색상(Marine Signal Lights Colours)

“해상 신호등 색상에 대한 IALA Recommendation R0201(E200-1, 2018. 12)”에서 항로표지에 사용하는 등화의 색상에 대해 다음과 같이 규정하고 있다.

IALA는 항로표지용 등화의 모호한 색상으로 인한 항해자의 혼돈을 방지하기 위하여 전 세계적으로 통일된 색상의 등화를 사용하도록 권고하였다. 국제조명위원회(CIE)에서 채택한 표준 색도도(色度圖, CIE 1931)는 <Fig. 40>과 같으며, 이 색도도 상에서 항로표지에 사용하는 등화의 5가지 색상의 범위를 정한 IALA 색도도는 <Fig. 41>과 같다.

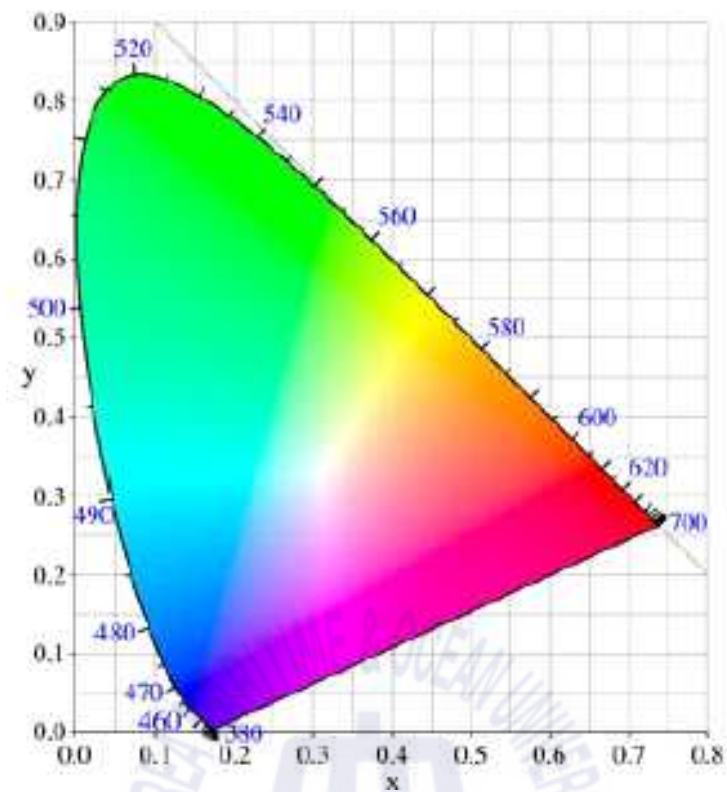


Fig. 40 CIE 1931 Chromaticity Chart

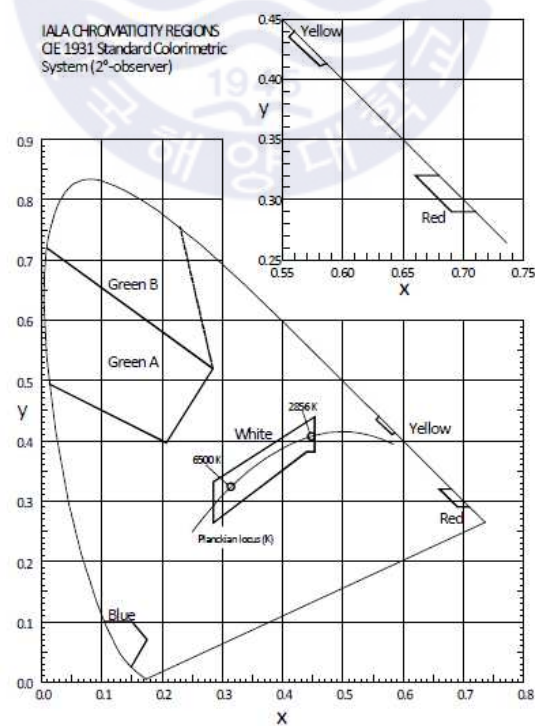


Fig. 41 IALA Chromaticity Chart

<Fig. 41>에서 Green A는 모든 녹색등화에 사용되는 영역이고, Green B는 Green A로 필요한 광도를 달성할 수 없을 때 허용되는 영역이다. 항로표지에 사용되는 등화의 색상을 좌표로 표시하면 <Table 9>와 같다.

Table 9 Chromaticity Corner Coordinates

Colour	1		2		3		4		5	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
Red	0.710	0.290	0.690	0.290	0.660	0.320	0.680	0.320		
Yellow	0.5865	0.413	0.581	0.411	0.555	0.435	0.560	0.440		
Green A	0.009	0.720	0.284	0.520	0.207	0.397	0.013	0.494		
Green B	0.2296	0.7543	0.284	0.520	0.207	0.397	0.013	0.494		
White	0.440	0.382	0.285	0.264	0.285	0.332	0.453	0.440	0.453	0.382
Blue	0.104	0.100	0.150	0.100	0.175	0.070	0.149	0.025		

3.2.3. 섹터라이트의 종류

“섹터라이트에 대한 IALA GUIDELINE 1041(2016)”에서 섹터라이트의 종류를 다음과 같이 구분하고 있다. 섹터라이트는 무지향성과 지향성의 두 가지 기본 유형이 있으며, 무지향성은 최대 360도를 커버하고 지향성은 상대적으로 작은 각도만 커버한다. 분호를 만들기 위한 다양한 기술적 방법이 있으며 그중 하나는 적용된 광학적 방법에 의해 나누어진다.

섹터라이트의 분호를 만드는 가장 일반적인 두 가지 기술은 ‘점광원 섹터라이트’(큰 섹터각도 또는 전 방향)과 ‘프로젝터 섹터라이트’(작은 섹터각도)이 있으며, 점광원 섹터라이트의 종류에는 ‘단일광원과 필터’와 ‘다중광원 섹터라이트’가 있다.

그리고 좀 오래된 기술에는 ‘슬롯 섹터라이트’, ‘회전식 광학장치에 컬러필터를 사용한 섹터라이트’가 있고, 최근 새롭게 개발된 것은 ‘회전식 색 절환 섹터라이트’가 있다.

<Table 10>은 섹터라이트의 종류별 야간 이용거리, 정밀도/불명료 각도와 섹터 폭의 특성을 보여준다.

Table 10 Comparison of the difference technologies of sector lights

Type	Practical Night Time Range	Precision/ Angle of uncertainty	Maximum Sector width	Typical Minimum Sector width
Point source	Up to 20M	Medium (0.25°~0.75°)	360°	1°
Slot	Up to 30M	Low Boundary width is constant with range	45°	1°
Colour filters in rotating optics	Up to 20M	1°~20°	360°	7°
Rotating colour switching sector light	Up to 15M	1°~2°	360°	8°
Projected	Up to 30M	Very High (1 minute of arc, 0.017°)	25°	0.2°

가. 점광원 섹터라이트(Point Light Source Sector Lights)

(1) 단일광원 및 필터

이러한 유형의 섹터라이트는 19세기부터 사용되어 왔기 때문에 ‘전통식 섹터라이트’라고도 한다. 또 다른 이름은 ‘그림자 방식 섹터라이트’ 이라고도 하며, 색상이 있는 섹터는 등롱 또는 등명기 자체에 착색유리 또는 플라스틱 조각(예: 폴리카보네이트 또는 아크릴)을 설치하여 만든다.

이것은 필요한 섹터의 수면 위에 착색 그림자를 비춘다. <Fig. 42>는 드럼 렌즈형 단일광원 섹터라이트의 예를 보여주고 있다.



Fig. 42 Single light source sector light with drum lens

점광원 섹터라이트는 일반적으로 단일광원을 가지며, <Fig. 43> 에서 보여주는 것과 같이 통상 드럼렌즈 안에 광원용 램프가 있고 하나 이상의 광학필터가 일정한 거리에 배치되어 각 섹터를 원하는 색상의 불빛으로 만든다.

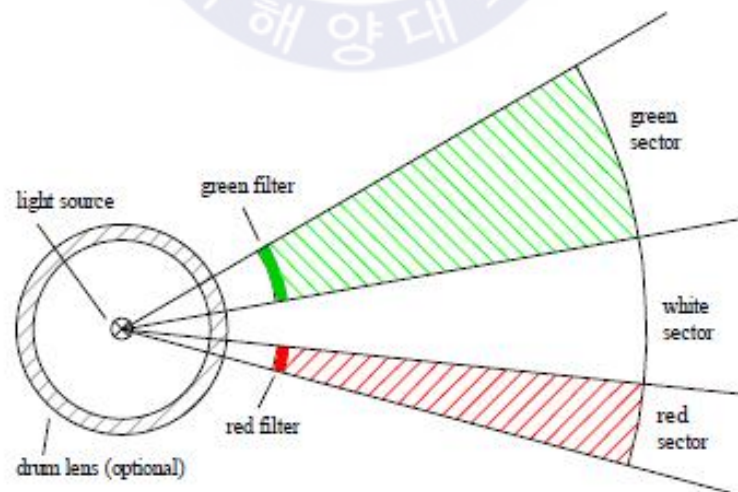


Fig. 43 Basic operating principle of Point Source Sector Lights

광원과 함께 사용되는 광학 필터의 물리적 위치는 개별 섹터와 섹터 경계의 정렬을 위해 기계적으로 조정 가능해야 한다. 섹터와 섹터 사이에 충분히 작은 불명료 각도를 보장하기 위해, 광원으로부터 충분한 방사상 거리에 광학 필터를 배치하는 것이 중요하다.

광학 필터는 대형등명기의 경우 <Fig. 44>와 같이 등롱(燈籠) 내부에, 소형등명기의 경우 <Fig. 45>와 같이 등명기의 외부에 위치 할 수 있다.

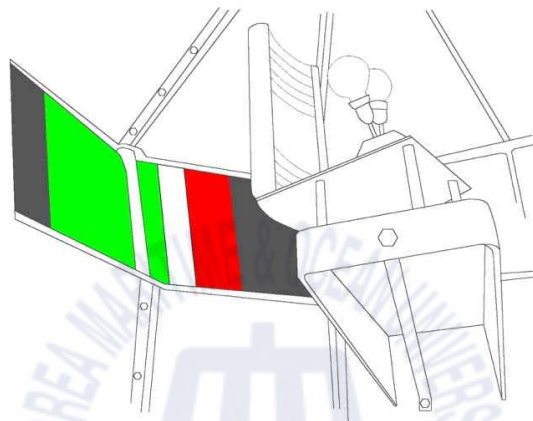


Fig. 44 Internal filters in a light house

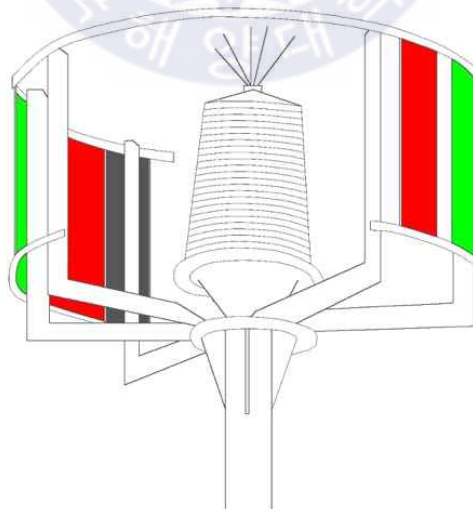


Fig. 45 External filters on a small lantern

등명기만으로 구성된 소형 섹터라이트는 랜턴 내부에 고정된 필터를 설치할 수 있으며, 이 경우에는 섹터 경계를 조정할 수 없으며 불명료 각도가 상당히 클 수 있다. 점광원 섹터라이트에서 광원의 수평 치수는 불명료 각도에 큰 영향을 미친다.

작은 어긋남으로 인해 섹터 경계가 변경 될 수 있으므로 광학장치 내에서 광원의 초점을 정확하게 맞추는 것이 중요하다. 이 문제는 미리 초점이 맞춰진 광원을 사용하거나 각각의 새로운 램프가 설치 될 때 광원을 정확하게 정렬하는 수단을 통해 극복 할 수 있다.

광원의 스펙트럼 특성은 각 컬러 섹터의 원하는 스펙트럼과 일치해야 하며, 이것은 광원의 스펙트럼에 충분한 적색과 녹색이 포함되어 있음을 의미한다.

일반적으로 할로젠(halogen) 및 메탈하라이드(metal halide) 램프는 이와 같은 측면에서 양호한 결과를 달성한다. 매우 날카로운 섹터 경계가 필요하지 않은 경우 그림자 방법을 사용할 수 있다.

불명료 각도는 $0.25^{\circ} \sim 0.75^{\circ}$ 정도이며 광도는 다를 수 있고, 모든 광학장치와 마찬가지로 광원인 램프를 정확하게 배치해야 한다. 램프를 교체했을 때와 같이 램프 필라멘트가 움직이면 섹터 경계가 이동된다.

점광원 타입의 섹터라이트에서 광원의 수평치수(d)와 광원과 광학 필터 사이의 거리(D)의 비는 <Fig. 46>에서 보여주는 것과 같이 섹터라이트로 부터의 주어진 거리에서의 경계영역의 폭인 불명료 각도 ($\delta\beta$)를 결정한다.

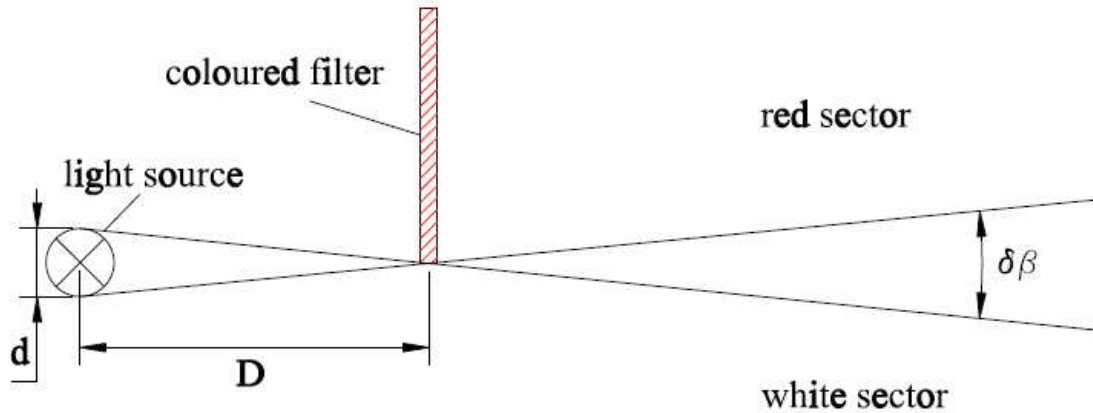


Fig. 46 Factors that determine the angle of uncertainty in point source type of sector lights

이 경우 각 요소들 간의 수학적 관계는 식 (3) 및 식 (4)와 같다.

$$\delta\beta = d/D [\text{radians}] \quad (3)$$

$$\delta\beta = d/D \times 57.3 [\text{degrees}] \quad (4)$$

여기서,

d : 광원의 수평 치수(너비)

D : 필터에서 광원까지의 거리

불명료 각도는 광원의 폭을 줄이거나 유색 필터까지의 거리를 늘림으로써 줄일 수 있다. AtoN 구조물의 공간이 제한요소가 아닌 경우 일반적으로 이러한 유형의 섹터라이트로 약 0.5° 의 불명료 각도를 달성 할 수 있으며, 식 (3)은 다소 보수적인 것으로 알려져 있다.

먼 거리에서 보이는 색상은 관찰자가 식 (3)에 의해 정의 된 불명료 섹터에 들어가면 즉시 변하지 않는다. 컬러 섹터가 필요한 경우, 필터의 크기는 <Fig. 47>에서 보여주는 것과 같이 주어진 섹터 각도 이상으로 확장되어야 한다.

백색 섹터는 백색 섹터 광도의 일부를 이용해서 보여 지는 착색 섹터보다 더 강하다. 결과적으로 두 섹터 사이의 전환 영역에서 백색광이 지배적이므로 결국 색상은 여전히 백색 영역에 있게 되므로 이를 피하려면 컬러 필터를 필터 오프셋만큼 크게 만들어야 한다.

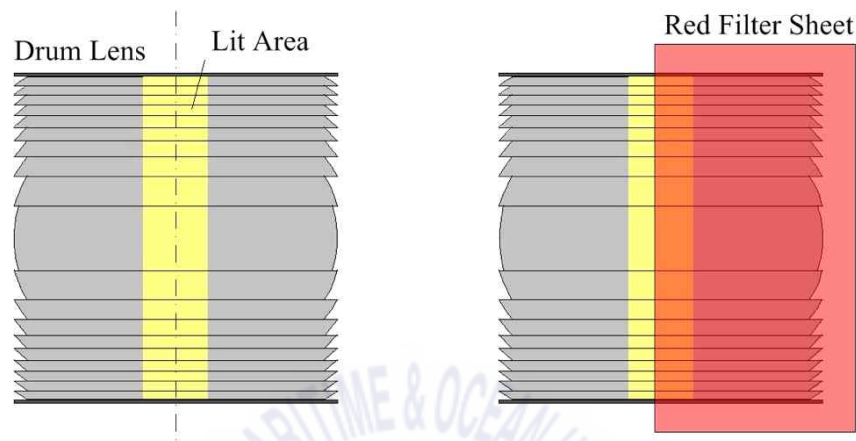


Fig. 47 Observer's View at the Assumed Nominal Sector Boundary

이러한 방법으로 <Fig. 48>에서 보여주는 것과 같이 섹터 경계에서 유색 및 백색 등화의 광도가 동일해 진다.

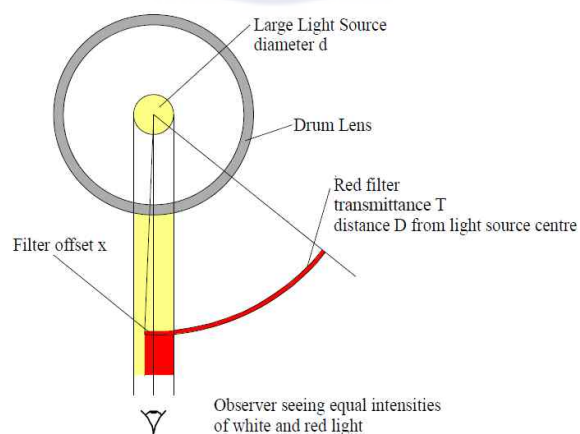


Fig. 48 Plan View of the Drum Lens

필터 가장자리와 공칭 섹터경계 사이의 거리인 필터 오프셋 거리는 식 (5)에 의해 결정될 수 있다.

$$x = \frac{d}{2} - \frac{d^* T}{1 + T} \quad (5)$$

여기서 :

T는 하나의 계수로서 필터 투과율이고;

d는 광원의 수평 폭(또는 직경)을 밀리미터 단위로 나타낸다.

필터의 가장자리와 관찰 된 섹터 경계 사이의 각도 인 필터의 각도 오프셋 Φ 는 식 (6) 및 식 (7)에 의해 결정될 수 있다.

$$\Phi = \frac{x}{D} \text{ measured radians} \quad (6)$$

또는

$$\Phi = \frac{x}{D} \times \frac{180}{\pi} \text{ measured} \in \text{degrees} \quad (7)$$

여기서:

Φ : 필터 에지의 필터 수평 각도 오프셋이다.

x : 밀리미터 단위의 필터 수평 오프셋이며;

D : 광원의 중심에서 필터 가장자리까지의 거리이다.

필터 오프셋은 <Fig. 49>에 나타나는 것과 같이 필터의 양쪽 가장자리에서 발생하므로 필터의 필요한 각도 너비는 항상 해당 필터가 적용하는 섹터의 각도보다 크다. 따라서 한 장의 필터 재료에 대해 시트의 너비는 항상 수평필터 오프셋의 두 배인 섹터(섹터 폭 + 2 x / 섹터 각 + 2 Φ)의 너비보다 커야한다.

실제 섹터 중심에서 겹쳐지는 두 조각의 필터 재료를 사용하는 것이 점검과 정에서 약간의 조정을 할 수 있기 때문에 유용하다.

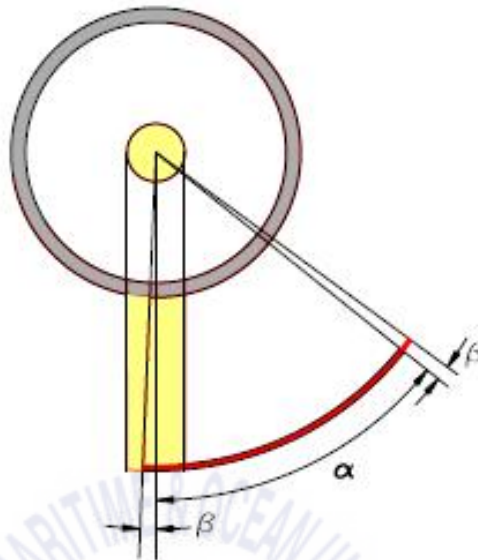


Fig. 49 Filter offset applied on both sector boundaries

이 섹터라이트의 장점은 디자인이 견고하고 새로운 광원으로 개조 할 수 있으며, 상대적으로 설치 및 유지보수에 비용이 적게 들고, 단점은 불명료 각도가 크고 큰 광달거리를 가질 수 없으며 시간의 경과에 따라 필터의 성능이 떨어진 다.

(2) 단일광원 다층 섹터라이트(Single Source Multiple Tier Sector Lights)

단일 점광원 방식을 LED로 복제하려면 각 색상마다 별도의 단이 필요하고, 불투명 스크린을 사용하면 각 단의 등화가 차폐되어 섹터 경계가 만들어진다.

<Fig. 50>은 단일광원 다층 섹터라이트의 실례를 보여준다. 단일광원 다층 계층 섹터라이트에는 필요한 각 색상마다 하나의 LED가 있다.



Fig. 50 Example of Single source multiple tier sector light

2차 렌즈는 수평면에서 각 개별 LED의 광 출력을 발산하는데 사용되고 불투명한 차폐 막은 필요한 섹터를 만들기 위해 광 출력을 차단하는데 사용된다. 이 유형의 섹터라이트는 LED용으로 특별히 설계되었다.

불명료 각도를 결정하는 방법은 단일 점광원 섹터라이트와 유사하며 비슷한 불명료 각도가 예상 될 수 있다.

이 유형의 섹터라이트는 디자인이 견고하고 상대적으로 저렴한 설치 및 유지 관리 비용이 소요되며, 동일한 기본 장치에서 다른 블랭킹 차폐 막을 사용하여 다른 용도로 사용할 수 있다. 단점은 광달거리에 제한이 있고 무지향성 랜턴에 차폐 막을 설치해서 섹터를 만들기 때문에 전력소모가 많다.

(3) 다중 광원 섹터라이트(Multiple Source Sector Light)

점광원 섹터라이트의 원리는 광원으로 LED와 함께 사용될 수 있다. 그러나 대부분의 응용에서 고전적인 점광원 섹터라이트는 수평 360°를 커버하는 전 방향성 광원을 필요로 한다.

단일 LED의 명호는 최대 180°로 제한된다. 단일 LED에 특수 고안된 렌즈 등을 사용하여 전 방향 등화를 만들 수 있지만 전 방향 LED 섹터라이트에 여러 개의 LED를 사용하는 것이 훨씬 쉽다.

다중 광원 섹터라이트(MSSL)을 개발하는 또 다른 이유는 녹색과 적색 LED는 매우 포화된 색상으로 IALA 색상 영역에 완벽하게 일치한다는 것이다. 대신 LED와 함께 광학필터를 사용하는 것은 그다지 효율적이지 않으므로 각 섹터에 해당하는 색상의 LED를 사용한다. 또한 넓은 범위와 고 광도를 달성하려면 여러 개의 LED를 수직 계단식 배열로 쌓아야 한다.

다중 광원 섹터라이트의 원리는 <Fig. 51>에서 보여주고 있는 것과 같이 수평면에 중심에서 벗어난 지점으로 분배되는 개별 렌즈와 분호를 만들어 주는 컷 스크린이 장착된 여러 개의 LED 광원을 사용하여 섹터 신호를 만든다.

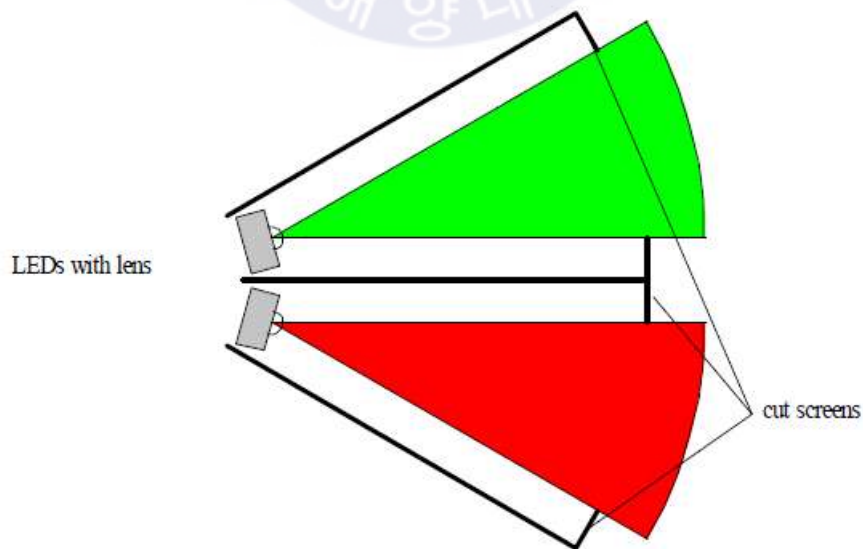


Fig. 51 Principle of a multiple source sector light

<Fig. 52>는 크기는 같지만 색상이 다른 5개의 섹터가 있는 전방향 섹터라이트의 배열을 보여주고 있으며, 전체 광도를 높이기 위해서는 <Fig. 53>과 같이 수직으로 여러 단 적층(積層)해서 사용한다.

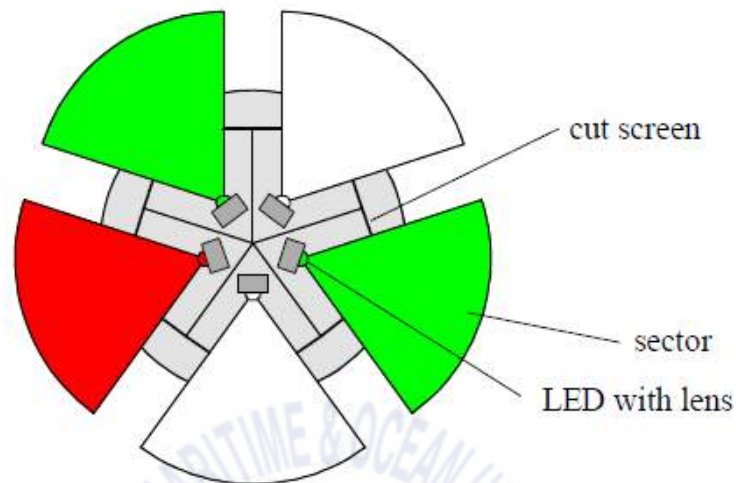


Fig. 52 An omnidirectional sector light with 5 sectors

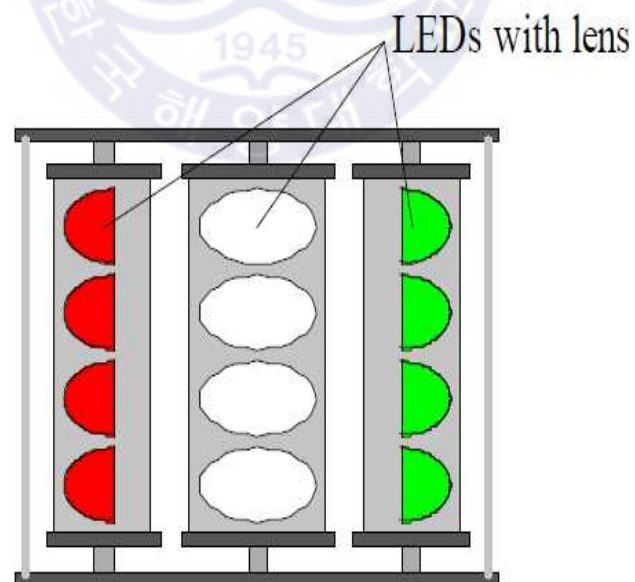


Fig. 53 Example of a Multiple source LED sector light with four vertical tiers

이론적으로 백열전구와 필터를 사용하여 다중 광원 섹터라이트를 만들 수 있지만, 이 기술은 현재 LED 광원을 사용해서 구현되고 있다.

다중광원 섹터라이트 내부에 사용되는 광 신호 모듈은 단일 비보호 LED/렌즈 어셈블리부터 여러 개의 수직 LED 어레이가 있는 완전 내후성 LED/렌즈 모듈, 중복회로 및 섬광 제어를 위한 저수준 변조 입력에 이르기까지 다양한 복잡성을 가질 수 있다.

작은 불명료 각도를 달성하기 위해서는 발광 영역이 작은 LED를 사용해야 하고, 많은 새로운 고전력 LED(> 50W)는 큰 발광 칩을 가지므로 다중광원 섹터라이트에 사용할 수 없다.

섹터 신호를 분리하기 위해 설치된 광원 및 컷 스크린 구조에 따라 다중광원 섹터라이트에 사용 가능한 세그먼트는 <Fig. 54>와 같이 일반적으로 섹터라이트가 설치된 위치에서 수십 미터에서 수백 미터에 떨어진 거리 L 에서 시작한다. 컷 스크린 크기의 블라인드 패치(일반적으로 100mm를 초과하지 않는)가 무한대로 확장되어 섹터의 경계영역이 약간 증가한다.

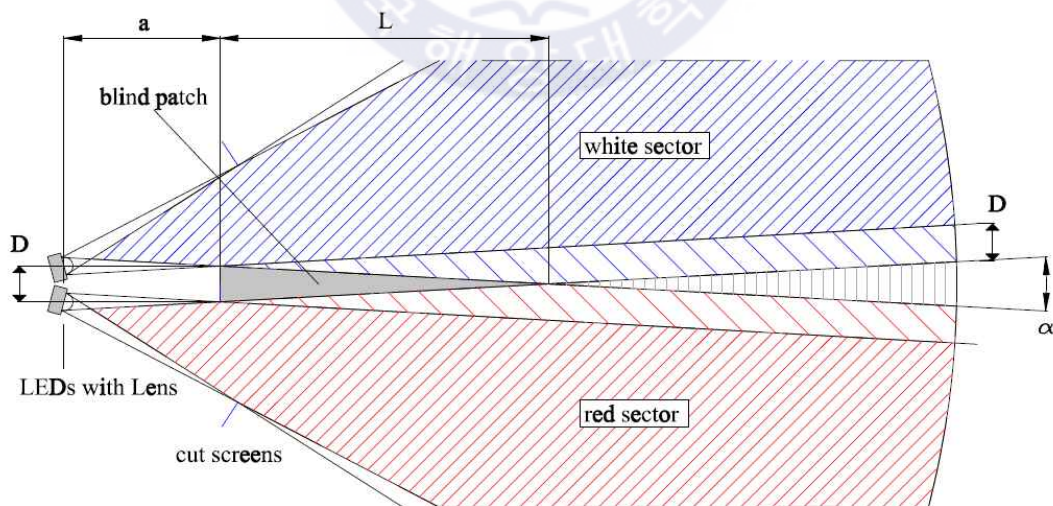


Fig. 54 Multiple LED sector light with cut screens

다중광원 섹터라이트의 사용 가능한 세그먼트의 시작까지의 거리는 식 (8)을 사용하여 추정 할 수 있다.

$$L = \frac{a \times D}{d} \quad (8)$$

여기서:

L : AtoN에서 다중광원 섹터라이트의 사용 가능한 세그먼트 시작까지의 거리

a : 광원에서 컷 스크린까지의 거리

D : 섹터 광원들 사이의 절단 스크린의 수평 범위

d : 광원의 수평 치수

다중광원 섹터라이트는 매우 정밀한 섹터 경계가 필요하지 않은 곳에 적합하다. 불명료 각도는 $0.2^{\circ} \sim 0.6^{\circ}$ 범위의 일반적인 값을 가지고, 광원에서 컷 스크린(더 큰 외함 직경)까지 거리를 더 길게 해서 해상도를 개선하면 달라질 수 있다. 불명료 각도는 다중광원 섹터라이트를 적용하는 타당성을 미리 추정하기 위한 섹터라이트 설계의 입력 매개변수 이어야 한다.

다중 광원 섹터라이트의 장점은 사이트 사양에 맞게 제조하면 AtoN 사이트에 쉽게 설치할 수 있으며, 광도가 매우 다양한 섹터를 단일 등명기 내부에서 구현할 수 있고 서로 다른 섹터에 서로 다른 등질을 사용할 수 있다.

그리고 다중계층 구조를 사용하여 경계에서 등명암광 등질로 색상신호가 변하는 섹터를 만들 수 있으며, 이중(중복) 회로를 갖춘 LED 모듈을 사용하여 신뢰성을 높일 수 있다. 또한 서로 다른 섹터의 최적 조합 LED 어레이의 소모전력은 일반적으로 단일광원 계층으로 차폐된 전 방향 솔루션의 경우보다 낮다.

분산 모듈 식 설계로 AtoN 사이트에서 기존 등룡을 활용하여 등룡 프레임의 그림자 효과를 피할 수 있으며, 모듈 식 구조의 경우, 필요 시 현장에서 효율적으로 광원 교체를 수행 할 수 있고 섹터를 다시 조정할 필요가 없으며 모듈 식

설계로 여분의 모듈을 구입할 수 있다. 다중소스 섹터라이트의 단점은 한번 사이트 사양으로 만들어지면 섹터 구성을 변경할 수 없다.

나. 슬롯 섹터라이트(Slot Sector Lights)

슬롯 섹터라이트는 <Fig. 55>와 같이 일정한 거리에서 초점 조리개(슬롯)로 향하는 하나 또는 그 이상의 광원으로 구성된다. 초점 조리개 너비와 광원(점광원으로 가정) 그리고 슬롯 조리개 사이의 거리 간의 비율이 섹터의 수평 각도를 정한다.



Fig. 55 Basic operating principle of Slot Sector Lights

<Fig. 55>에는 하나의 섹터 만 있다. 그러나 이 원리는 다른 등질이 필요한 경우 <Fig. 56>과 <Fig. 57>에서 보여주는 것과 같이 다른 색상의 광원을 사용해서 다른 색상의 여러 가지 섹터를 만들 수 있으며, 컬러 섹터는 전구 앞에 컬러유리를 장착하여 만든다.

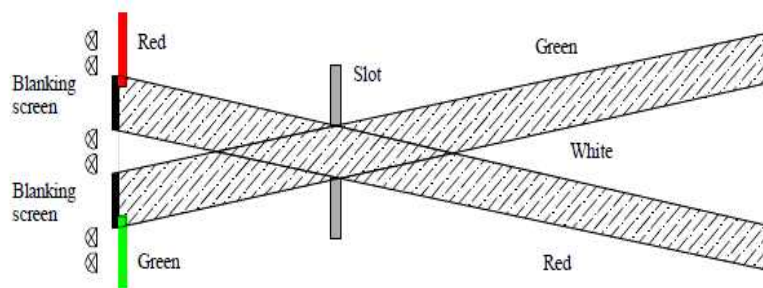


Fig. 56 Light Source Array

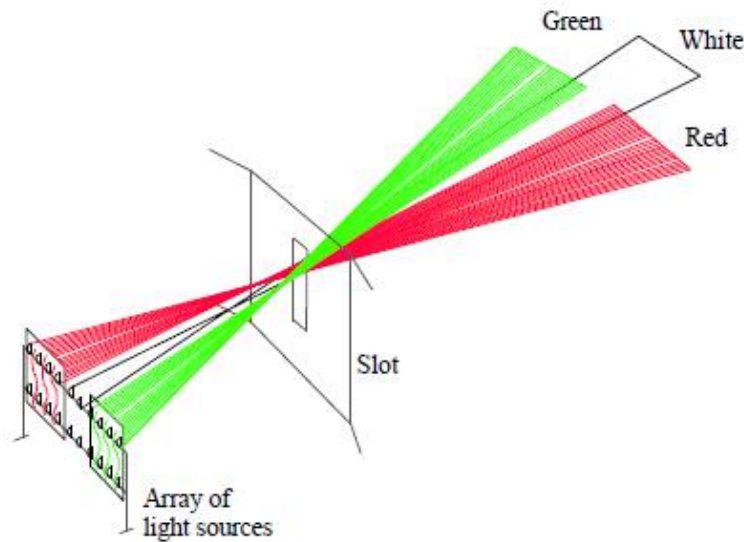


Fig. 57 Basic operating principle of Slot Sector Lights (3 light sources and 3 sectors)

경계는 칸막이 판(baffle plates)으로 분명히 구분된다. 칸막이 판은 랜턴 하우스의 초점 조리개보다 몇 밀리미터 넓어 칸막이 판 가장자리 주변의 빛의 굴절을 보상하고 경계 교차점에서 정확하게 빛을 제공한다.

칸막이 판은 필터 유리와 같은 방식으로 장착된다. 광원으로 램프 어레이를 사용하면 해당 섹터에 사용되는 램프 수에 따라 다른 섹터의 광도를 변경할 수 있다. 램프는 여러 개의 개별그룹으로 연결되어 순서대로 켜지므로 안정적인 전력 부하와 회전하는 조명과 같은 특성을 제공한다.

슬롯 섹터라이트를 사용하면 램프가 슬롯에서 먼 거리에 배치되는 경우 매우 뚜렷한 경계와 섹터를 만들 수 있다. 광원은 응용 프로그램에 따라 다르며, 간단한 스탠드에 장착된 밀폐형 빔 램프, PAR 56 200W 30V가 많이 사용되지만 LED도 사용할 수 있다.

최대 2 x 96 개의 램프가 장착된 시스템이 구축된 사례가 있지만 몇 개의 경계와 3~6 개의 램프만 사용된 경우도 있다.

이러한 램프 어레이의 장점은 소손된 램프가 경계 또는 섹터에서 등화의 전체 손실을 초래하지 않고, 경계가 여러 개의 중첩된 램프에 의해 조명될 때 섹터의 해당 부분에서 광도의 감소만을 초래한다는 것이다. 슬롯 섹터라이트의 불명료 각도는 약 1° 이상이며, 기존 등대에서 사용될 수 있지만 새로 설치할 때는 권장하지 않는다.

슬롯 섹터라이트는 디자인이 견고하고 유지관리가 용이한 장점이 있지만 등명기의 크기가 크고 광도와 정밀도가 낮다.

다. 회전식 광학계에 컬러필터 사용(Use of Colour Filters in Rotating Optics)

고전적인 회전식 펜슬 빔으로 정확한 컬러 섹터를 적용하는 것은 쉽지 않기 때문에 이러한 유형의 섹터라이트는 새로 설치하지 않는 것이 좋다. 그러나 많은 경우에 기존 등대의 기능을 보완하기 위해 이 방식을 사용하는 것은 유리하다.

회전식 광학계 섹터라이트는 <Fig. 58>에서 보여주는 것과 같이 프레넬 렌즈 패널(펜슬빔 투사)의 원형배열 내부의 중심광원으로 구성되고, 프레넬 렌즈 패널은 회전 중심에서 광원을 중심으로 회전한다. 전체 광학계는 하나 이상의 필터 또는 불투명 스크린으로 둘러싸여 있다.

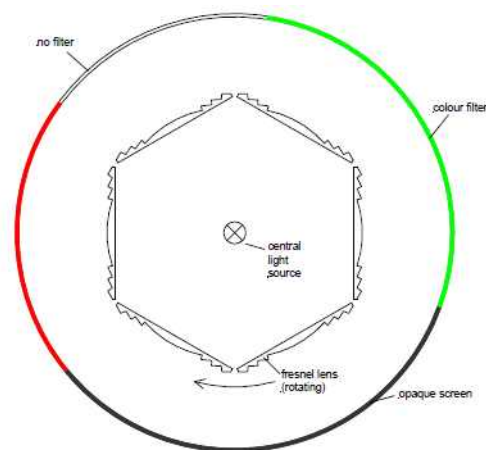


Fig. 58 Rotating Fresnel Lens

고전적인 회전식 펜슬빔 등명기는 각 프레넬 렌즈 패널에 대해 단일 섬광을 확보하기 위해 소형 광원이 필요하다. 색상은 필터를 사용해서 만든다. 바람직한 광원은 할로겐 백열전구, 메탈하라이드전구, 짧은 아크방전전구(예: 크세논 램프)가 있다.

광원으로서 LED를 사용하는 경우 일반적으로 하나 이상의 LED가 있는 배열을 사용해야 하므로 이 배열의 크기는 각 프레넬 렌즈마다 단일 섬광을 만들 수 있도록 작아야 하며, 그에 따른 광도와 색상을 수용 할 수 있도록 LED와 필터 재료를 선택해야 한다.

이러한 유형의 섹터라이트는 높은 광도를 사용할 수 있고 기존 광학장치를 사용할 수 있는 장점이 있다. 하지만 정밀도가 낮고 불명료 각도가 크며 섬광 시간이 짧은 경우 색상의 인식이 곤란해지는 단점이 있다.

라. 회전식 색 절환 섹터라이트(Rotating Colour Switching Sector Light)

회전식 LED 광원은 특정 응용분야에서 요구되는 바와 같이 섹터에 공간 분포를 갖는 상이한 색상의 여러 가지 등화를 만드는데 사용될 수 있다.

LED와 렌즈의 조합은 회전 중에 시간을 정확하게 제어 할 수 있는 각기 다른 등화를 만들고, 각 섹터 신호는 지정된 섹터를 통과하는 특정 시각에 LED와 렌즈 시스템에 의해 생성된다.

이러한 광 섹터 시스템의 기본적인 등질은 선택된 회전 속도에 따라 달라진다.

<Fig. 59>는 6개의 렌즈(백색 2, 녹색 2, 홍색 2)가 있는 예를 보여주고 있으며, 이 섹터라이트는 각각 2개씩의 백·녹·홍색 등화를 만들고 있다.

회전할 때 전자제어 장치가 광학장치의 각도 위치를 감지하고 필요한 섹터를 통과하는 동안 해당 LED를 켜준다.

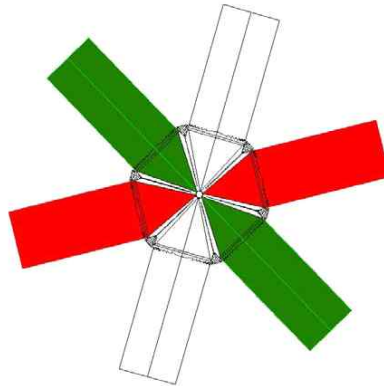


Fig. 59 Top view
Rotating Colour
Switching Sector Light

예를 들어, <Fig. 60>과 같이 백색 LED가 있는 렌즈가 백색 섹터의 방향을 가리킬 때 스위치가 켜지도록 설정되어 백색 섹터의 한계 내에서만 백색광을 제공한다. 녹색 및 적색 섹터에도 동일하게 적용되고, 블랙 섹터의 경우 모든 LED가 꺼진다.

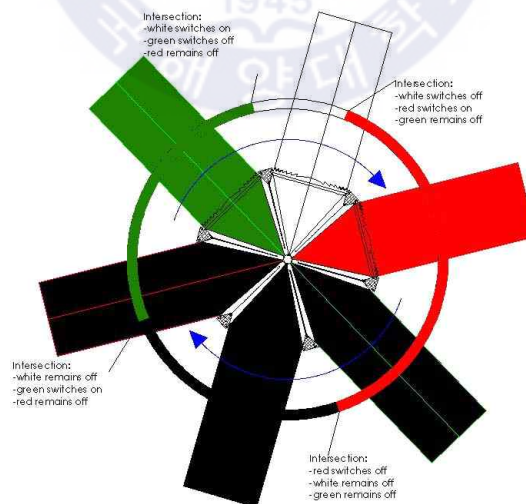


Fig. 60 Example operation mode
for single flashing light of 3
sectors

회전식 색 절환 섹터라이트의 불명료 각도는 일반적으로 $1^{\circ}\sim 4.7^{\circ}$ 를 가지며 단일 빔의 수평 발산각에 따라 달라진다. 이런 유형의 섹터라이트의 섹터 구성은 단일 색상의 한 섹터에서 다른 색상의 복잡한 여러 섹터에 이르기까지 모든 종류의 구성이 프로그래밍으로 가능하며, 모든 섹터 폭의 수정은 장비를 물리적으로 처리하거나 수정하지 않고 프로그래밍을 통해 수행 할 수 있다.

전체 섹터를 비추는 섹터라이트에 비해 높은 광도를 달성 할 수 있으며, 전력 소비는 일반적으로 각 단에 한 개의 광원이 있는 전방향 섹터라이트의 경우보다 낮다. 하지만 이러한 섹터라이트는 각도 정밀도가 낮고 기계적인 가동부분을 가지며 전자제어 부분에서 고장이 발생할 수 있고 주로 짧은 주기의 점멸용으로 사용된다.

마. 프로젝터 섹터라이트(Projector Sector Lights)

투사된 등화가 명확하게 정의된 섹터 경계를 생성할 수 있는 특수한 형태의 섹터라이트이다. 이 기능은 하나 이상의 좁은 섹터가 필요한 곳에 특히 유용하다. 단일광원 방식과 LED 프로젝터 방식이 있으며, 동작원리는 다음과 같다.

단일광원을 사용하는 방식은 원하는 섹터의 모양이 만들어지면 렌즈를 통해 투사된다. 원하는 섹터의 모양은 일반적으로 정밀하게 가공된 광학필터로 만들어 진다. 프로젝터 섹터라이트의 원리는 <Fig. 61>에서 보여주는 것과 같이 무한대에 초점을 맞춘 슬라이드 또는 오버헤드 프로젝터(OHP)와 동일하다.

광학적으로 연마되고 가장자리가 서로 잘 맞도록 만들어진 컬러필터 유리의 수직 조각은 빔을 다른 섹터로 나누기위한 '슬라이드' 또는 '필름'으로 사용된다. 집광렌즈 시스템은 전구에서 방출되는 빛을 모아 컬러필터 전체에 균일하게 분산시키며, 필터 모양이 무한대로 투영된다.

초점이 맞지 않아 처음 몇 백 미터 내에서는 섹터 경계가 흐리게 보일 수 있지만 동작거리에서는 매우 선명해진다. 램프 필라멘트 위치의 작은 변화는 빔 내에서 약간의 광도변화를 일으킬 수 있지만, 투사(또는 대물)렌즈 시스템에 의

해 고정되는 경계 위치에는 영향을 미치지 않을 것이다.

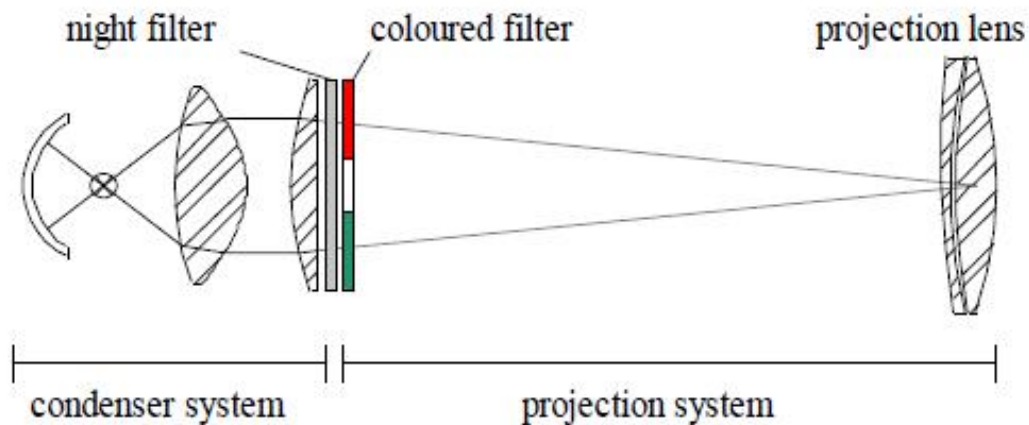


Fig. 61 Basic operating principle of Projector Sector Lights

대물렌즈와 필터 어셈블리가 분호를 결정한다. 최적의 효율로 모든 다른 분호를 얻기 위해 다른 대물렌즈 시스템이 사용된다. 일반적으로 더 작은 분호는 더 큰 대물렌즈와 더 긴 원통(barrel)의 길이가 필요하며, 동일한 크기의 램프를 사용하는 작은 분호는 더 큰 광도와 광달거리를 제공한다.

프로젝터 섹터라이트는 항해자에게 등화와 관련된 각도위치 정보를 전달하기 위해 색상을 사용하며, 빔을 채색하는 과정에는 많은 색상을 걸러 내고 원하는 색상 만 통과시킨다. 필요한 크기의 광원을 작동하기에 충분한 전력을 사용할 수 있는 경우 이 섹터라이트는 주간에도 사용하기에도 충분히 밝다. 장착 할 수 있는 광원의 크기는 광학장치의 물리적 크기에 의해 제한된다.

가장 큰 광원으로 달성 할 수 있는 것보다 더 넓은 범위가 필요한 경우 두 개의 광투사 장치를 이중으로 배열하여 운영할 수 있다. 더 큰 광달거리는 더 작은 분호 투사기의 사용으로 달성할 수 있다.

LED 프로젝터 방식에서 LED 광원은 다양한 단색 색상으로 제공되며 컬러 필터를 사용할 필요가 없다. 빛은 원하는 색으로 직접 생성되고 섹터 필터의

흡수에 의해 빛이 낭비되지 않기 때문에 유색 섹터라이트에 에너지 효율적인 광원을 제공 할 수 있다. 필터 설치와 관련된 청소 문제와 필터 비용이 필요 없으며, 백색 LED 조명의 스펙트럼 특성으로 인하여 컬러필터를 함께 사용해서는 아니 된다.

모든 섹터에 개별 컬러 LED 프로젝터를 사용하면 <Fig. 62>와 같이 다중 빔 LED 프로젝터 섹터라이트가 된다.

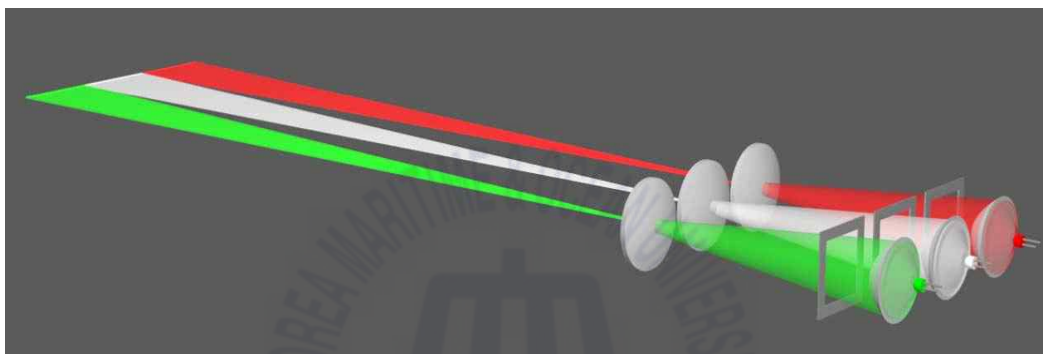


Fig. 62 Multiple beam LED projector sector light

단일 빔 LED 섹터라이트는 <Fig. 63>과 같이 3개의 LED광원과 거울 그리고 하나의 프로젝션 렌즈를 사용하는 방법으로 만들 수 있으며, 섹터 한계를 매우 조심스럽게 조정하여야 한다. 이 프로젝터 섹터라이트는 매우 정밀하기 때문에 섹터 경계에서 완전한 색상 변경이 대부분의 모델에서 1분(0.02°) 미만의 각도에서 발생하며, 이것은 3.5km의 가시거리에서 단 1m의 폭에 해당한다.

그럼에도 불구하고, 광도가 높거나 더 넓은 섹터를 가진 특정 프로젝터 섹터라이트의 정밀도는 6분(0.1°)을 초과할 수 있다. 또한, 광도는 빔의 가장자리까지 정확히 유지되며 관찰자가 축에서 멀어져도 감소되지 않는다.

프로젝터 섹터라이트는 주간에도 사용할 수 있는 높은 광도를 낼 수 있고, 불명료 각도가 작으며 크기도 작다. LED 프로젝터의 경우 소모 전력이 작고 효율적으로 주야간 모드 전환이 가능한 장점이 있다.

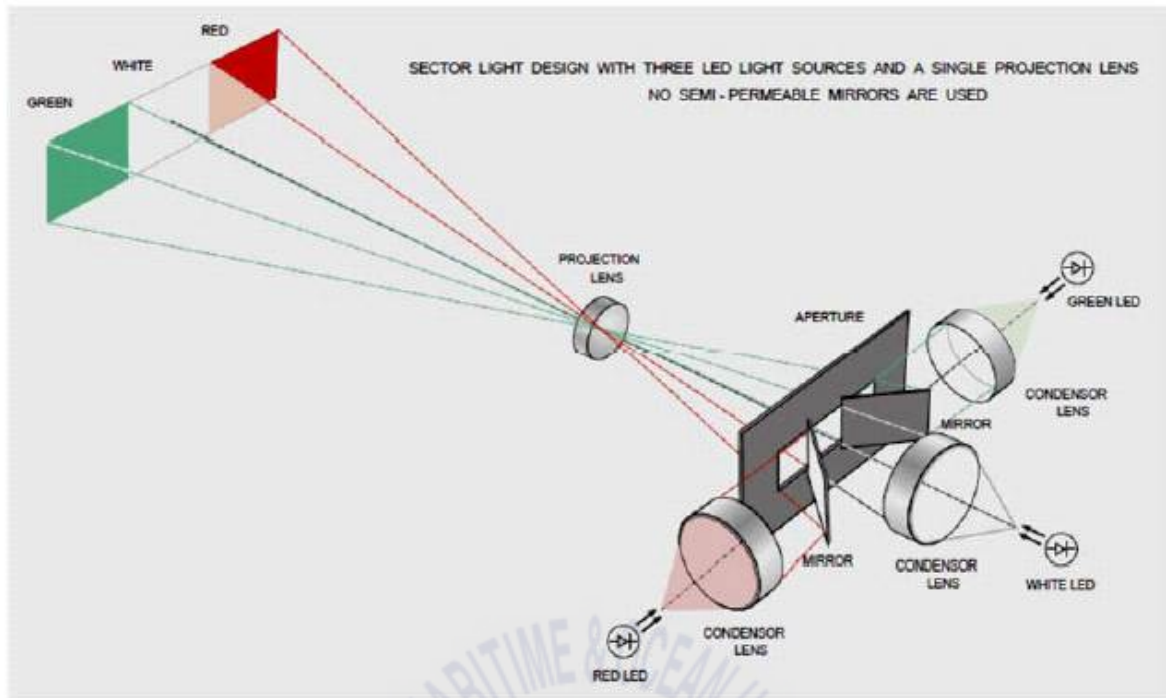


Fig. 63 Single beam LED projector sector light with mirrors

그러나 섹터라이트를 설치하는 구조물이 외력에 의한 변위가 최대한 발생하지 않도록 매우 견고해야 하고, 한번 섹터가 만들어지면 섹터 크기를 변경하기 어려운 단점이 있다.

3.2.4 설계 절차 및 방법

섹터라이트에 관한 IALA GUIDELINE 1041(2016. 6.)에서 소요의 기능에 적합한 섹터라이트를 설계하는 절차와 방법을 다음과 같이 규정하고 있다.

- (1단계) 필요한 섹터를 결정한다.

이때 각 섹터의 폭은 항해요건에 의해 주어진다.

섹터라이트의 설계 절차는 섹터를 지나갈 개연성이 있는 선박의 속도 및 기동성과 선박이 섹터 경계를 넘어 다른 선박이 근처에 있을 때 발생할 수 있는 상황에 대해 얼마나 빨리 반응할 수 있는지 고려해야 한다.

각 경계에 대한 불명료 각도는 요구되는 지침의 정밀도에 따라 고려해야 한다.

- (2단계) 요구되는 광달거리를 결정한다.

일반적으로 광도의 계산은 명목적 광달거리(시정 10M, 배후광 없음)를 기반으로 하지 않는다. 광달거리 계산에서 선택된 기상학적 시정 값은 2~5M 이다.

- (3단계) 야간만 필요한지 아니면 주·야간 사용이 필요한지 결정한다.
- (4단계) 요구되는 광도 분포의 수직 발산각을 결정한다.

발산각은 불빛이 항해에 사용되는 가장 낮은 범위, 최대 및 최소 교량높이, 등화의 높이 및 조석 범위에서 끌어낼 수 있다.

- (5단계) 각 섹터에 요구되는 광도를 계산한다.

해상 신호등에 대한 IALA 권고 E-200, Part 2 - 광달거리의 계산, 정의 및 표기법을 사용한다.

- (6단계) 섹터라이트의 등질을 결정한다.

근처의 다른 AtoN의 등질을 고려하여 섹터라이트 또는 각 섹터의 등질을 결정한다. 항해자가 섹터 경계(더 긴 섬광 길이)에서 발생하는 전이 단계를 인식할 수 있는 충분한 시간을 제공하기 위해 명암광 또는 등명암광을 주로 사용한다. 재생 에너지 시스템의 경우, 긴 섬광 길이로 인한 추가 전력소비는 전력시스템의 용량과 균형을 이루어야 한다.

섬광식 등질은 진동경계와 함께 사용하기에 적합하지 않으므로 고정섹터의 배경 조명을 고려해야 한다. 교호의 섬광을 사용할 때 등질은 등명암광이 적합하다. 6단계 이후에, 등화에 대한 광학 파라미터를 알게 되고 다음 단계에서 광학 장치가 선택된다. 그러나 이러한 단계에서는 특히 불명료 각도에 대한 해상 평가를 고려해야 한다.

<Fig. 64>는 불명료 각도로 인하여 시각적인 백색 섹터의 감소를 보여주고 있으며, 이 섹터라이트의 공칭 경계는 30°, 65°, 105° 및 130° 이다. 광학 장치의 불명료 각도가 고려 될 때, 안전섹터는 불명료 각도를 포함해야 한다. 이를 통

해 위험부분이 명확하게 식별되고 선박이 불명료 각도에 있을 때 여전히 안전한 섹터에 있게 된다.

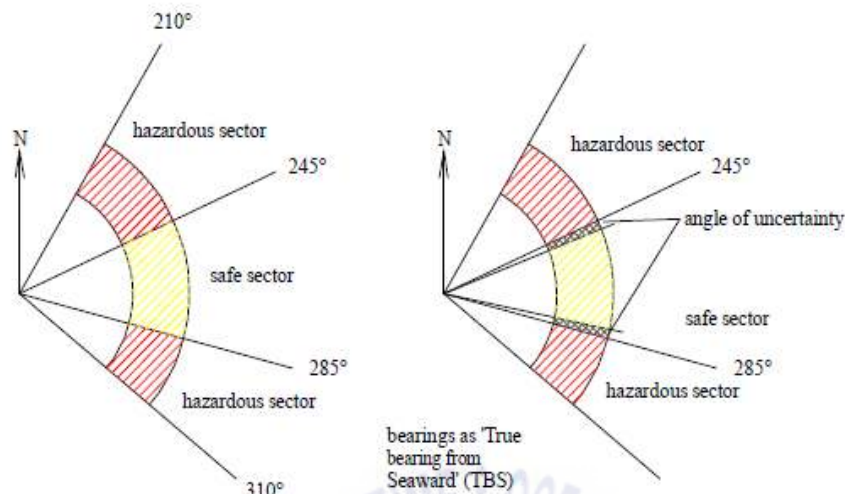


Fig. 64 Reduction of the optical white sector

작은 항로는 프로젝터 섹터라이트로 표시되어야 한다. 안전한 섹터에 대한 첫 번째 평가는 항로의 수심과 너비에서 도출된다. 재평가는 선박의 너비, 속도 및 기동성, 광학 장치의 불명료 각도를 고려한다. 이렇게 하면 <Fig. 65>에서 보여주는 것과 같이 백색 섹터는 더 작아진다. 이 경우 시각적 탐색 기능을 향상시키려면 번갈아 가며 점멸하거나 진동하는 경계가 있는 추가 섹터를 고려해야 한다.

- (7단계) 섹터라이트의 종류를 선택한다.

큰 각도의 대변과 중간 정확도가 필요하면 점광원 섹터라이트를, 작은 수로에서 높은 정확도 및 광도가 필요할 때는 프로젝터 섹터라이트를, 큰 각도의 대변과 높은 광도가 필요할 때는 회전식 절환 섹터라이트를 선택한다.

만약 전체 대변이 크고 섹터에 높은 광도와 정확도가 필요한 경우 다중 프로젝터 또는 점광원 섹터라이트의 배열을 고려해야 한다.

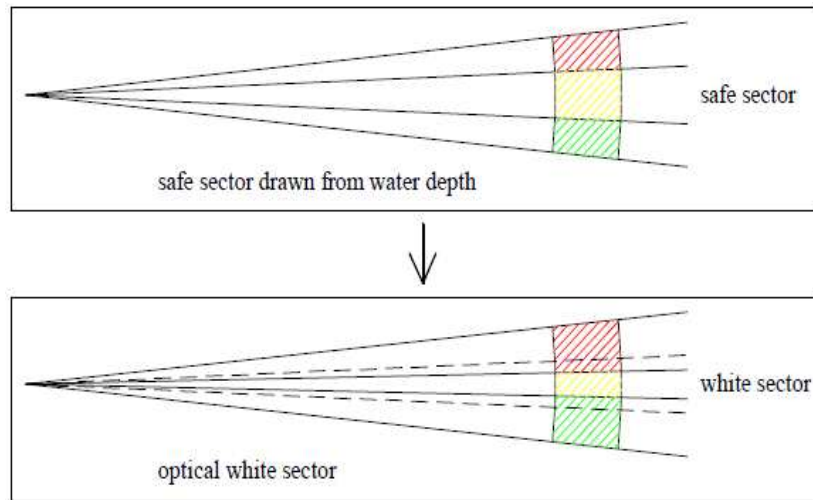


Fig. 65 Re-evaluation of the white sector

- (8단계) 주 · 야간 광도 범위를 계산한다.

주간에 사용하는 경우 주간 광달거리를 달성 할 수 있는지 확인한다. 주간에 수로 경계를 표시하기 위한 부표 등 추가적인 항로표지가 필요한지 확인한다. 야간에 광도 감소는 주간 광도의 1%~10% 사이여야 한다. 그러나 낮과 밤의 광도 범위를 계산하여 각각의 경우에 개별적으로 고려해야 한다.

야간에 사용하기 위해 광도를 감소시키는 방법은 펄스폭 변조(PWM, LED 만 해당), 광학 회색필터, 야간모드 전류가 축소된 PWM의 조합(LED 만 해당)이 사용된다. 때로는 백열 램프가 있는 등기구는 입력전압을 축소해서 사용할 수 있고, 이 경우 색터의 색상이 적정한지 확인해야 한다.

녹색 및 적색 색터가 해양 신호등에 대한 IALA 권고 E-200, Part 1 색상을 충족 할 수 있는 반면, 백색 색터에는 해당되지 않을 수 있다.

- (9단계) 추가적으로 필요한 장치 및 기능을 고려한다.

전원 공급 장치, 원격 모니터링, 원격제어, 유지보수 등

- (10단계) 기타 고려사항

색터라이트는 작은 변화에 매우 민감하므로 설계단계에서 다음 사항을 면밀

히 검토할 필요가 있다.

① 섹터 정확도

섹터 경계는 광원의 이동, 차단 또는 필터 스크린 이동 및 랜턴 또는 지지 구조물을 회전시켜 원하는 위치로 이동시킬 수 있다. 섹터라이트는 방위가 중요하기 때문에, 섹터라이트가 설치되는 구조물은 바람 등 외력의 영향에도 섹터라이트가 정확한 상태를 유지할 수 있도록 특히 비틀림에 강해야 한다.

광원을 교체할 때는 정확히 광학 초점에 맞춰져야 한다. 램프 교환기를 사용하는 경우 각 램프의 위치를 정확하게 재현해야 한다. 그리고 정렬을 틀어지게 할 수 있는 요소를 표시해 두어야 한다. 유지보수 직원은 섹터 경계의 정확한 정렬을 관리하도록 훈련되어야 한다.

② 반사

등롱 유리, 새시 바, 등대의 장애물 등으로 인해 원하지 않는 반사가 발생할 수 있다. 이러한 반사로 인해 섬광 오류, 색상이 변하거나 섹터가 잘못 될 수 있다. 유리를 기울이거나 곡선 형 판유리 사용 또는 섹터 스크린을 사용하여 이러한 예외를 최소화 할 수 있다. 유리창은 단일 판으로 만들어야 하고 이중 창은 반사를 증가 시키므로 사용하지 않아야 한다. 등화의 경로 상에 있을 수 있는 장애물을 피해야하며 필요한 경우 검은색 무광택 마감으로 처리해야 한다.

③ 광학 경로의 정리

얼음, 수증기가 응축하여 생기는 물 또는 등대의 유리나 섹터 라이트의 광학 구성요소에 때나 얼룩이 생기면 색상이 있는 섹터가 백색으로 보일 수 있다. 또한 빛이 희미해지거나 보이지 않게 될 수 있다. 등대의 유리나 섹터 라이트의 광학부품은 표면을 청소할 수 있는 공간이 확보되어 한다.

등롱의 파리판에 얼음, 응축 된 물 및 때를 피하기 위해 섹터라이트가 설치된 곳에 작은 지붕이나 창문을 설치하거나 서리제거 장치를 설치하여 해결할 수 있다.

제 4 장 섹터라이트 설계 및 검증

4.1 섹터라이트 설계

제3장에서 살펴본 섹터라이트 설계 요소와 절차 및 방법과 섹터라이트를 설치할 장소의 환경적 특성(항로 및 항로표지, 통항선박, 설치위치, 장애물 등)을 고려하여, 부산항 북항과 부산항 신항에 입항하는 선박의 안전유도를 위한 섹터라이트를 설계하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 섹터라이트 설계결과를 검증해 보고자 한다.

4.1.1 부산항 북항 섹터라이트

가. 배 경

부산항 항만수역 내 안전 위해요소를 종합적으로 파악하여 개선함으로써 해양안전을 도모하고 항만운영의 효율성을 제고하기 위해 부산지방해양수산청에서 수립한 “부산항 항만수역 안전관리 대책(‘02.8)”에 따라 부산항 북항 제1항로에 대형 컨테이너선 입항 시 중시선(重視線, Transit line)으로 사용할 물표가 없어 부산항 북항에 도등(導燈, Leading light)을 설치하기로 하였다.

부산항 북항 접근 수역은 입출항 선박의 교통량이 많고 바람으로 인한 풍압력과 조류의 영향으로 횡압류가 작용하여 대형선박 운항자가 항행에 큰 부담을 느끼는 해역이다.

부산지방해양수산청에서는 도등을 설치하기 위한 설계용역을 2009년 7월에 완료 하였고, 2014년 6월에 약 21억원을 투입하여 부산항 도등을 설치하였다. 부산항 도등의 전도등은 부산항 북항 배면에 위치한 수정산에 후도등은 엄광산에 각각 설치되어 있다.

국립해양조사원에서 발간한 등대표(2018)에 게재된 부산항 도등의 설치위치, 등질, 등고, 광달거리, 도색·구조·높이는 <Table 11>과 같다.

Table 11 Busan north port Leading Light in List of Light

Name	Location (WGS-84)	Characteristic	Height (m)	Range (M)	Structure	Remarks
Busan port Leading Light (Front)	35-07.67N 129-01.55E	FG	366	25	Square metal tower · 42	
Busan port Leading Light (Rear)	35-07.98N 129-01.02E	FG	461	25	Square metal tower · 60	

부산항 도등은 <Fig. 66>과 같이 고저차가 있는 전·후 도등이 일직선상에 겹쳐 보이는 중시선을 만들어 부산항 제1항로(약 5.5km)로 입항하는 선박에게 안전한 입항 침로(針路, Course)인 304.8°를 주·야간 제공해 주고 있다.



Fig. 66 Transit Line of Busan north port

해양수산부에서는 부산항 북항의 항만기능을 물류중심에서 시민과 상업·문화 중심의 항만으로 개편하기 위해 2008년부터 2022년까지 정부 및 부산항만공사와 민간사업자의 자본 약 9조원을 투입하여 북항 재개발사업을 추진하고 있다.

그런데 2017년 3월부터 부산항 북항 재개발부지(D-1 블록)에 지상 61층(약 200m) 규모의 고층건물 신축공사가 시작되었다. 이 건축물이 완공되면 부산항 제1항로를 입항하는 선박이 부산항 도등의 불빛을 볼 수 없게 되는 맹목구간(盲目區間, Blind zone)이 <Fig. 67> 및 <Fig. 68>과 같이 약 1.28km가 발생하게 된다.

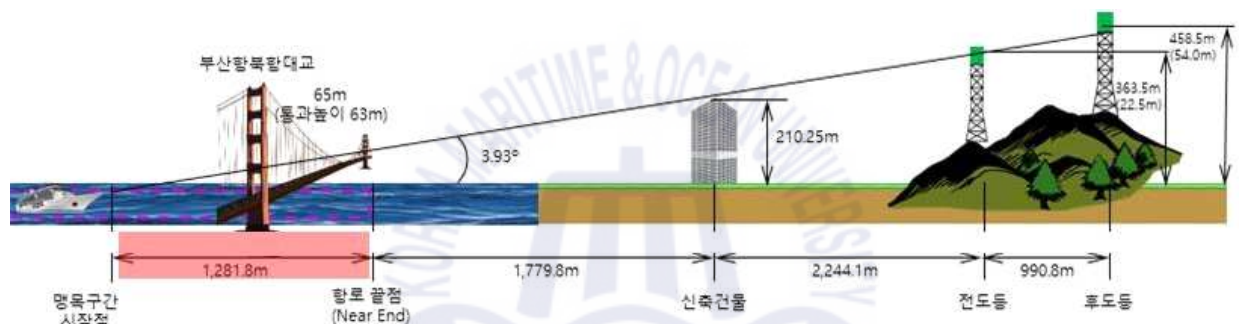


Fig. 67 Blind zone of Busan north port Leading Light(side view)



Fig. 68 Blind zone of Busan north port Leading Light(ground view)

부산지방해양수산청에서는 부산항 도등의 맹목구간을 해소하기 위해 몇 가지 방안을 검토하였다. 먼저, 현 도등의 높이를 높이는 방안을 검토하였으나 전도등은 약 100m, 후도등은 약 130m를 높여야 하고, 공사비(약 67억원)도 과다하게 소요되어 현실적 대책이 되지 못했다.

두 번째로 검토한 방안은 신축건물 전면의 북항재개발사업 부지 내에 보조도등 1조(전도등 67m, 후도등 98m)를 설치(약 32억원)하는 것이었다. 그러나 북항을 공공 및 관광기능 목적으로 개발을 추진 중에 있어 보조도등을 설치하면 주변경관을 저해하고 불빛 공해로 민원발생 소지가 있다는 사유로 부지이용 협의가 불가해서 또 다른 대안마련이 필요했다.

그래서 부산항 도등의 맹목구간 해소에 필요한 구조물 설치 부지사용 여건, 소요예산, 이용자 의견 등을 종합 검토하여 가장 경제적이고 효율적인 방법인 섹터라이트를 설치하기로 하였다.

나. 부산항 북항 섹터라이트 설계

(1) 항로 및 항로표지 현황

부산항 제1항로의 총 길이는 약 8.7km, 수심은 DL(-) 15m 이며, 제1항로 입구부터 약 3.2km 구간은 통항분리항로로 지정되어 있고, 이후 약 5.5km는 폭 340m의 직선허로 구간으로 이루어져 있다.

직선허로의 중심선의 방위각은 입항 시 305° 이고, 도등의 중시선 방위각은 항로의 우측으로 약간 치우친 304.8° 이다.

부산항 제1항로에 설치된 항로표지는 제1항로의 통항분리 항로 입구에 부산항유도등부표(Mo(A)W8s)가 설치되어 있으며, 직선허로 구간에는 좌·우 측방한계를 나타내는 등부표 7기(IsoG(R)4s)가 설치되어 있다.

항로를 횡단하는 부산항대교에는 교량표지인 좌·우측단등(IsoG(R)4s)과 중앙등(IsoW4s)이 설치되어 있으며, 입항침로를 알려주는 부산항 도등(전·후, FG)이 설치되어 있다.

(2) 통항선박 현황

부산항 북항에는 컨테이너 부두, 양곡부두, 일반부두, 국제크루즈 부두와 국제여객터미널 등이 위치하고 있어 컨테이너선, 일반화물선, 유람선, 크루즈 선박, 관광선 등 다양한 종류의 선박이 입출항하고 있다.

부산항대교를 통과해서 북항 크루즈 부두(길이 360m)에 접안할 수 있는 최대 선박은 크루즈선 “MSC SPLENDIDA(G/T 137,936)”로 전장은 333m이고, 폭은 40m, 수면상 최고 높이는 58.1m이며, 선교에서 항해자의 안고는 수면상 45m이다.

제1항로를 이용하는 가장 작은 선박은 항로표지 업무용 선박 “광성호(G/T 70톤)”로 전장은 29.25m이고 폭은 6.0m이며, 선교에서 항해자의 안고는 수면상 5m이다

(3) 섹터라이트 설치위치 선정

섹터라이트는 <Fig. 69> 위치도와 같이 부산항 도등의 중시선 상에 위치하면서 북항 크루즈부두 운영과 북항 재개발 사업에 영향을 최소화 할 수 있도록 크루즈부두 끝단(N 35° 06' 47.0", E 129° 03' 06.7")으로 계획한다.

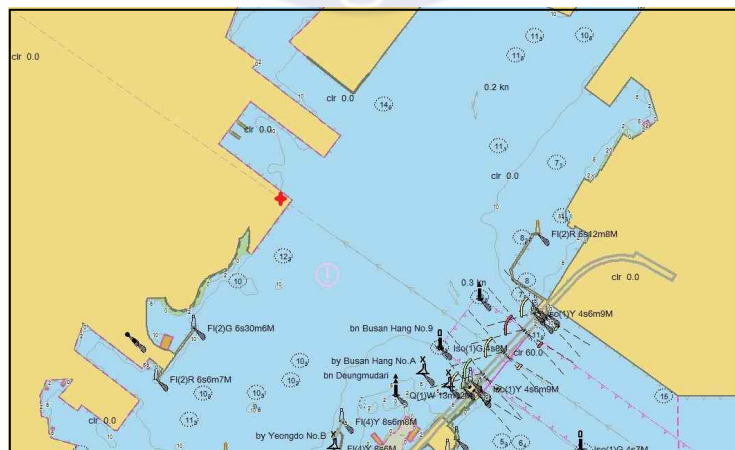


Fig. 69 Position of Busan north port Sector Light

섹터라이트 설치위치 인근에 상용전원과 유·무선 통신망을 사용하는 국제여객터미널과 대합실이 있고, 주변에 부두 조명탑들이 설치되어 있어 상용전원 및 유·무선 통신망을 이용할 수 있는 환경은 매우 양호하다.

(4) 섹터라이트 경로상 장애물의 종류 및 높이

섹터라이트 등화의 경로상 장애물은 2014년 5월에 설치된 부산항대교와 크루즈부두에 접안하는 크루즈선박이 있다. 부산항대교는 제1항로를 가로질러 부산시 영도구와 남구 감만동을 연결하는 총 연장 길이는 3.3km이고, 교량 상판의 형하고는 65m이며 최대 통과선박 높이는 63m이다. 부산항대교는 섹터라이트 설치위치로부터 약 1.4km 떨어져 있다.

섹터라이트 설치위치가 크루즈부두에 인접해 있고, <Fig. 70>과 같이 크루즈부두의 길이가 360m에 불과하므로 전장이 300m 이상인 크루즈선이 접안하는 경우 접안형태에 따라 섹터라이트의 불빛을 가릴 수 있다.



Fig. 70 Ground plan of Busan north port cruise wharf

부산항 북항에 입항하는 가장 큰 선박인 “MSC SPLENDIDA”호(G/T 137,936, 전장 333m)가 크루즈부두에 접안했을 때 도등의 중시선 상에 걸리는 선박의 높이를 일반배치도(GA)를 참고하여 실측한 결과 <Fig. 71>와 같이 선미부는 평균수면상 약 45m이고, 선수부는 평균수면상 약 22m이다.



Fig. 71 Dimension of MSC SPLENDIDA

크루즈부두를 이용하는 최대 선박의 접안방향에 따라 섹터라이트 등화의 장애물의 높이 차이가 약 23m 발생하게 된다. 크루즈부두와 인접한 곳에 섹터라이트 철탑을 설치해야 함으로 부두의 미관과 철탑설치의 경제성 그리고 유지관리 편의성 등을 고려 시 섹터라이트 철탑은 가능한 낮아야 한다.

대형 크루즈선 접안 방향에 대해 부산항만공사와 협의 결과 필요 시 좌현접안 시키는 것이 가능하므로, 본 설계에서는 크루즈부두 접안선박에 의한 장애물의 높이를 MSL(+22m)로 적용한다.

(5) 광달거리 결정

섹터라이트 설치위치에서 항로가 끝나는 지점간 거리는 1,137m 이고, 항로가 끝나는 지점에서 맹목구간이 시작되는 지점간 거리는 1.282m 그리고 도등의 중시선을 보면서 입항중인 선박이 맹목구간 진입 전에 섹터라이트로 전환하는데 필요한 여유구간 약 580m를 고려하면 섹터라이트 설치위치에서 섹터라이트 이용이 시작되는 지점간 거리는 약 3,000m가 된다. 이와 같은 거리관계를 그림

으로 표시하면 <Fig. 72>와 같다.

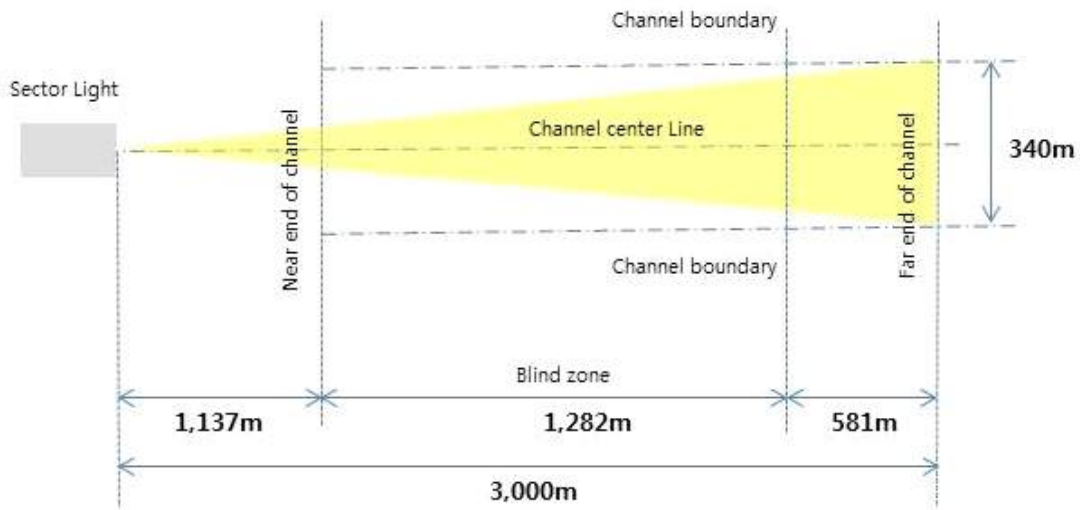


Fig. 72 Diagram of Passage 1 information

이 섹터라이트에 필요한 광달거리는 항해자가 등화를 시인하는데 지장을 주는 기상학적 시정을 고려한 상황에서도 3km이상 되어야 하므로 광달거리는 2M로 계획한다.

(6) 수평 발산각 산출

항로의 안전한 구역을 나타내는 백색 등화는 도등의 중시선을 포함해야 하며, 수평 발산각은 외력에 의한 선박의 움직임을 감안한 상황에서도 안정적으로 등화를 시인할 수 있는 필요 최소한의 각도로 결정할 필요가 있다.

따라서 백색등화의 수평 빔폭은 맹목구간이 시작되는 지점에서 최대 통항선박 선폭의 2배($2 \times 40 = 80\text{m}$)가 되도록 계획한다. 이 경우 수평발산각 θ 는 식 (9)와 같이 계산하면 1.9° 가 나온다.

$$\theta = 2 \times \arctan \frac{40}{2,419} = 1.89^\circ \approx 1.9^\circ \quad (9)$$

백색등화의 수평 발산각을 1.9° 로 했을 때 항로상 각 지점별 백색등화의 수평 빔폭은 <Table 12>와 같으며, 부산항 제1항로 어느 지점에서든 백색 등화가 항로를 벗어나지 않음을 알 수 있다.

Table 12 Horizontal beam width of white Sector at each point of Passage 1

Distance from sector light	Near end of channel	Starting point of blind zone	Starting point of sector light use	Starting point of straight channel
	1,137m	2,419m	3,000m	5,500m
Width of white sector	37.6m ($\approx 1B$)	80m (2B)	99.2m ($\approx 2.5B$)	181.9m ($\approx 4.5B$)

(7) 수직 발산각 산출

수직 발산각은 섹터라이트를 이용해야 하는 가장 가까운 지점에서 모든 통항선박이 안정적으로 섹터라이트의 불빛을 시인할 수 있도록 결정해야 한다.

관찰자가 섹터라이트를 시인해야 하는 가장 가까운 지점은 제1항로가 끝나는 지점이므로, 이 지점과 섹터라이트간 거리(D_{min})는 1,137m, 최대 통항선박의 안고(H_{max})는 45m 그리고 최소 통항선박의 안고(H_{min})는 5m 이므로, 필요한 수직 발산각(α_r)은 식 (10)와 같이 2.0° 가 된다.

$$\alpha_r = \arctan\left(\frac{H_{max} - H_{min}}{D_{min}}\right) = \arctan\left(\frac{45 - 5}{1,137}\right) = 2.014 \approx 2.0^\circ \quad (10)$$

(8) 섹터라이트의 섹터 구성

섹터라이트의 섹터 구성은 IALA 해상부표식의 B지역 기준에 따라 안전한 항로의 중앙을 표시해 주는 백색섹터와 백색섹터의 좌·우측에 입항침로 한계를

표시해주기 위해 우측은 홍색, 좌측은 녹색의 동일한 빔폭을 갖는 섹터로 계획한다.

백색섹터의 중심선 방위각을 도등의 Transit line 방위각과 동일한 304.8° 로 계획하면, 백색섹터의 수평발산각이 1.9° 이므로 각 섹터별 방위각은 홍색은 $301.95^\circ \sim 303.85^\circ$, 백색은 $\sim 305.75^\circ$, 녹색은 $\sim 307.65^\circ$ 가 되고, 전체 섹터 폭은 5.7° 가 된다. 부산항 북항 섹터라이트의 섹터구성과 수평 빔폭을 평면에 그려보면 <Fig. 73>과 같다.

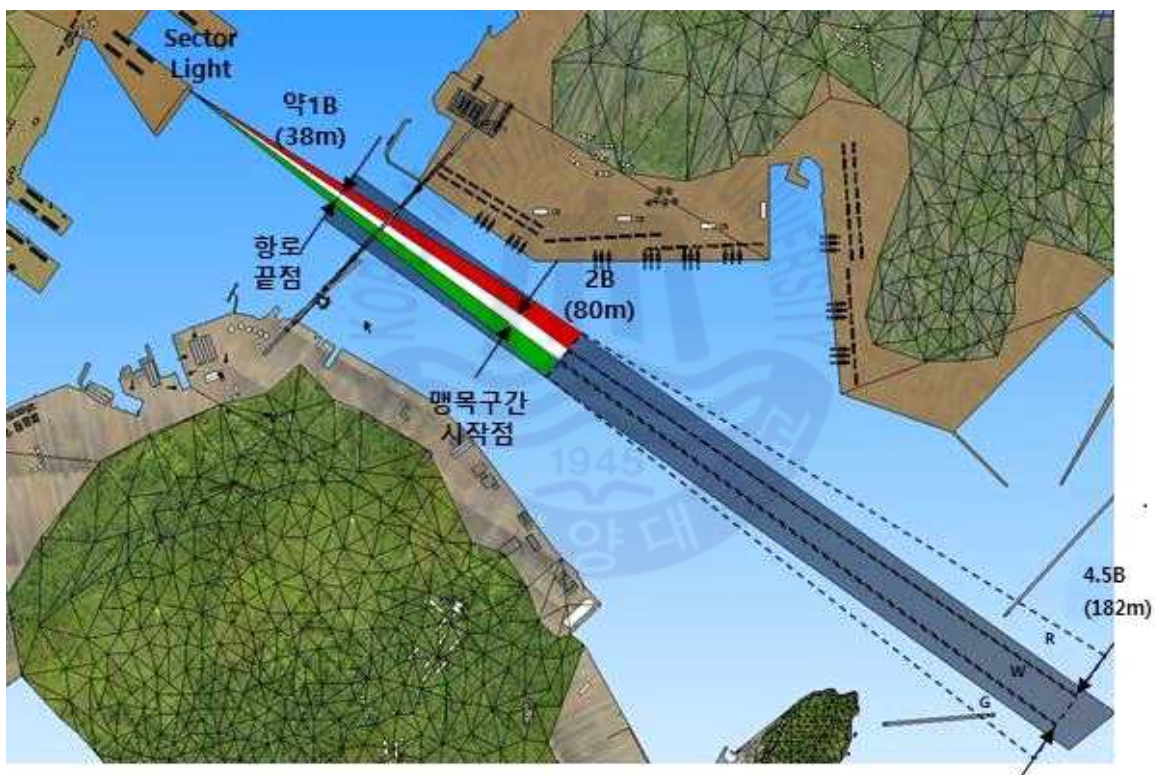


Fig. 73 Sector composition and Horizontal beam width

(9) 섹터라이트의 등고(燈高) 결정

북항 섹터라이트는 크루즈부두에 최대 선박이 접안했을 경우에도 기능을 유지해야 함으로 섹터라이트 등화의 경로상 장애물이 되는 최대 선박의 선수부

높이 보다 높아야 한다.

부산항의 조위는 국립해양조사원에서 관측 고시한 기본수준점 성과표(관측기간 2012.1.1.~2012.12.31.)를 적용하면, 자갈치시장 일대의 약최고고조위는 127.0cm, 평균해수면은 63.5cm이며, 대조차는 113.9cm이고 소조차는 40.5cm이며 평균조차는 77.2cm이다.

섹터라이트의 등고는 최대 선박의 선수부 높이 MSL(+)22m에 크루즈 부두의 약최고고조위와 평균해수면의 차인 약 0.7m와 여유고 2.3m를 더해서 MSL(+)25m로 한다. 섹터라이트가 설치되는 부두의 높이가 MSL(+)2.7m이므로 섹터라이트 철탑의 지면상 높이는 22.3m가 된다.

(10) 광도 결정

광달거리 2M을 달성할 수 있는 소요광도를 “IALA Recommendation R0202 (E200-2, 2017)의 광달거리 그래프 및 명목적 광달거리 표”를 이용하여 산출하면 <Table 13>과 같다.

Table 13 Required Luminous Intensity of Busan north port Sector Light

Time	Visibility [M]	Luminous Intensity [cd]	
		Luminous Range diagram	Nominal range table
Night time	V=10	5	3 ~ 9
	V=5	10	
	V=2	50	
Day time	V=10	30,000	12,1001 ~ 45,300
	V=5	50,000	
	V=2	300,000	

일반적으로 광달거리를 고시할 때는 기상학적 시정(V)이 10M 일 때를 기준으로 하여야 한다. 그러나 기상학적 시정이 좋지 않은 상태에서도 섹터라이트를 이용할 수 있어야 하므로 3.2.4. 설계절차 및 방법, (2) 2단계에서 살펴보았듯이 기상학적 시정이 2~5M 일 때 필요한 광도를 검토할 필요가 있다.

부산항 섹터라이트는 주간에도 운영해야 하므로, $V=2M$ 을 적용할 경우 너무 높은 광도가 필요하므로 본 설계에서는 $V=5M$ 을 적용해서 필요한 광도를 결정한다. 따라서 광달거리 2M을 충족할 수 있는 섹터라이트의 광도는 야간에 10[cd], 주간에 50,000[cd] 이상이 되어야 하며, 주야간 광도는 자동으로 절환되어야 한다.

(11) 등질 결정

부산항 섹터라이트의 배면에는 도심의 배후광이 있고, 제1항로에 설치된 등부표와 교량표지는 모두 등명암광(Iso)을 사용하고 있으며, 부산항 도등은 녹색 부동광(FG)을 사용하고 있다.

따라서, 부산항 섹터라이트는 전력이용 상태가 양호하므로 항해자의 혼돈을 최소화 할 수 있도록 3가지 섹터 모두 부동광(Dir.W.R.G)을 사용하거나 배후광의 영향을 고려하여 명암광(Oc.W.R.G., 6초주기, 4초 on 2초 off)을 사용하는 것으로 계획한다.

(12) 섹터라이트의 종류 선택

부산항 섹터라이트는 소요 광달거리가 2M로 짧고, 색상별 섹터 폭이 1.9° 로 좁은 편이므로 정밀도가 높고 섹터 경계에서 불명료 각도가 작아야 하므로 프로젝터 섹터라이트가 가장 적합하다.

프로젝터 섹터라이트의 불명료 각도는 1분(0.017°) 미만이므로 섹터라이트에서 3km 떨어진 지점에서 각 섹터의 경계에서 등화의 색상이 겹쳐 보이는 거리가 약 90cm로 크지 않으므로 섹터라이트 이용에 영향을 미치지 않는다.

(13) 설계 결과

부산항 북항 섹터라이트의 설계결과를 정리하면 <Table 14>와 같다.

Table 14 Design results of Busan north port Sector light

No.	Design elements	Results		Remarks
1	Position	N: 35° 06 ' 47.0 " E: 129° 03 ' 06.7 "		
2	Required Luminous Range	2M		
3	Observer Height	Hmax: 45m Hmin: 5m		
4	Distance from Sector Lights	Dmax: 3,000m Dmin: 1,137m		
5	Horizontal divergence angle of white sector	1.9°		
6	Vertical divergence angle	2.0°		
7	Bearing of white sector center line	304.8°		
8	Sector composition	Red	301.95° ~ 303.85°	
		White	~ 305.75°	
		Green	~ 307.65°	
9	Height of sector lights	MSL(+) 25m		
10	Luminous Intensity	Night time: 10cd Day time: 50,000cd		Automatic switching
11	Characters of lights	Dir.W.R.G Oc.W.R.G. 6s(on 4s, off 2s)		
12	Type of sector lights	Projector		

4.1.2 부산항 신항 섹터라이트

가. 배 경

부산항 신항은 부산시 강서구와 창원시 진해구 경계에 위치한 항만으로, 동북아 물류중심의 항만기능과 상업·주거 등 도시기능이 융합된 종합공간을 조성하기 위하여 총사업비 약 19조 3천억 원을 투입하여 1995년 착공하여 2030년에 준공할 계획으로 개발사업을 추진하고 있다.

2019년 9월 현재 부두 44선석 중 22선석(컨부두 21, 다목적 1)을 운영 중이며, 6개 선석은 공사 중이고 나머지 16개 선석은 향후 공사를 추진할 계획이다.

부산항 신항은 4,000~7,000TEU급 선박을 기준으로 설계되었으나 컨테이너선의 대형화에 따라 최고 1만 9,000TEU급 선박까지 부산항 신항에 입항하면서 해상교통 환경이 매우 열악해 졌다.

2013년 부산항만공사(BPA)에서 실시한 부산항신항 해상교통안전진단 및 기초조사 용역 결과 신항 통항선박 안전을 위해 부산항신항 항로 입구부에 위치한 토도 제거 필요성이 제기되었다.

이에 따라 부산지방해양수산청에서는 2017년부터 총사업비 3,031억원을 투입하여 항만구역 내에 위치한 토도를 제거하는 공사를 추진하고 있으며 2020년 4월에 완료할 계획이다. 토도제거 공사가 완료되면 최대 2만 TEU급 대형선박의 통항 안전성도 확보할 수 있게 된다.

토도는 <Fig. 74> 항공사진에서 보여주는 것과 같이 항만 출입구에 위치하고 있어 자연스럽게 입·출항선박의 통항을 분리하는 역할을 수행해 왔으나 토도가 제거되면 항내 장애물이 없어져 통항이 자유로울 수 있으나 입·출항 선박 간 충돌 등 사고가 발생할 우려가 있다.

그래서 부산지방해양수산청에서는 토도 제거에 따른 부산항 신항 항내 통항여건 변화에 대응하기 위하여 2019.1.31. 부산항 신항 VTS 관제사, 부산항 도선사회 도선사와 토도제거 시공사 관계자가 참석한 가운데 대책회의를 개최하였고, 회의결과를 토대로 “부산항 신항 항로표지 재배치 계획”을 수립하였다.

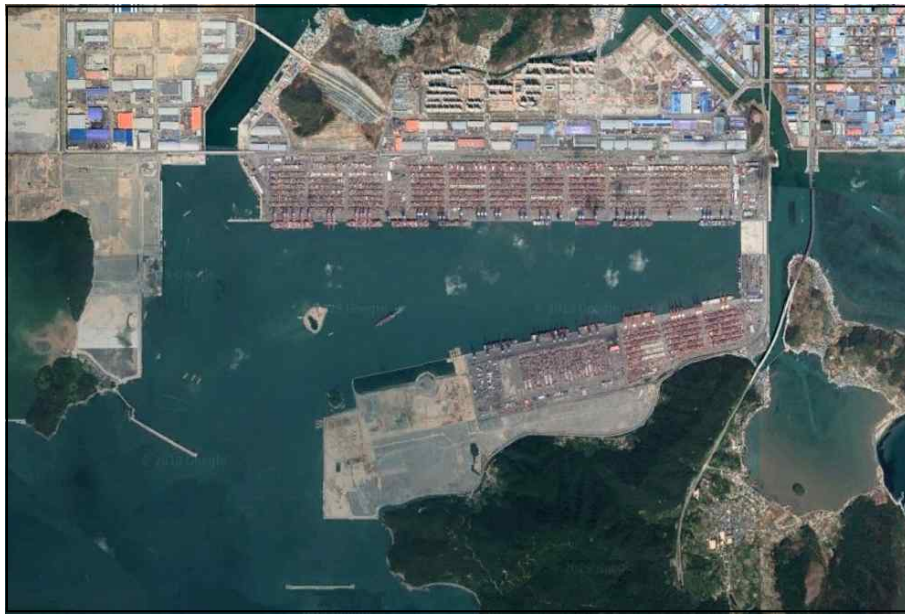


Fig. 74 Aerial view of Busan new port

이 계획의 주요내용은 <Fig. 75> 부산항 신항 항로 및 항로표지 현황도에서 보여주는 것과 같이 부산항 신항에 설치된 도등 3기 중 ①부산항 신항 도등은 가덕수도를 통해 입항하는 선박에게 중시선을 제공하기 위해 계속 유지하고, 토도로 인하여 항내 통항선박의 안전유도를 위해 설치한 ②부산항신항 내항도등과 송도도등은 토도가 제거되면 설치목적이 소멸되므로 폐지하기로 하였다.

그리고 제5항로를 통해 입항하는 선박이 부산항신항 동·서방파제 사이를 통과하는데 필요한 안전한 입항침로를 제공주기 위하여 북컨테이너부두와 접해있는 ③소형선부두에 섹터라이트를 신설하고, 항내에 들어와서 남컨테이너부두에 접안하는 선박과 북컨테이너부두로 항해하는 선박이 상호 간섭을 일으키지 않도록 수역을 나누어 사용할 수 있도록 ④다목적부두에 섹터라이트를 신설하는 것이다. 또한, 제거된 토도를 대신해서 입·출항 선박의 통항을 분리하기 위하여 기존 토도가 위치했던 지점 인근에 ⑤ 가상 AtoN AIS를 설치하는 것이다.

본 연구 논문에서는 부산항 신항 내에 위치한 토도 제거로 인하여 신설이 필요한 섹터라이트 2기 중 신항 입항선박에게 안전침로를 알려주기 위해 소형선부두에 설치예정인 섹터라이트를 설계해 보고자 한다.



Fig. 75 Busan new port passage and status of AtoNs

나. 부산항 신항 섹터라이트 설계

(1) 항로 및 항로표지 현황

부산항 신항에 입항하는 선박은 가덕수로를 경유하여 「부산항 항법 등에 관한 규칙」(부산지방해양수산청 고시 제2017-259호, 2017.12.27.) [별표 2]에 따라 지정된 부산항 제5항로(신항항로)에 진입한 후 침로를 변경하여 항만 안으로 진입하게 된다.

제5항로의 총 길이는 약 2.95km이고, 수심은 DL(-)17m 내외이며, 항로 폭이 일정하지 않은 사다리꼴 모양의 항로로 가장 좁은 곳은 약 0.77km 이다. 가덕수도는 통항분리 항로로 직선구간의 입항항로 중심선과 부산항 신항 도등의 중시선 방위각은 338.6°이다.

부산항 신항의 조위는 국립해양조사원 실시간해양관측정보시스템의 기본수준점 성과표에 따르면 약최고고조위는 184.4cm, 평균해면은 92.2cm이고 약최저저조위는 0.0cm이다.

가덕수도 통항분리 항로 입구에 “부산항 신항 유도등부표(Mo(A)W8s)”가 설치되어 있으며, 중앙 분리대에는 등부표 5기(Mo(A)W8s, 항로의 좌·우 측방한계에는 등부표 19기(FI(4)G(R)8s, FI(2)G(R)6s, FIG(R)5s)가 설치되어 있고, 입항항로의 중시선을 보여주는 부산항 신항 전·후 도등(FG)이 설치되어 있다.

제5항로에는 우항로 우선표지용 등부표 1기(FI(2+1)G6s), 측방표지용 등부표 14기(IsoR(G)4s, QG), 동·서방파제 끝단에 방파제등대 2기(FIG(R)4s)가 설치되어 있다. 항내에는 저수심구역 표시용 등부표 5기(QG, FI(2)R6s), 소형선부두 끝단에 등대 1기(FIR6s), 호란도 끝단에 등표 1기(FI(2)R6s), 송도도등((FG, Dir 270°)과 내항도등(FG,)이 설치되어 있다. 또한, 토도 제거 및 남·서 컨테이너부두 공사로 인한 공사구역 표시용 등부표 14기(FI(4)Y8s) 14기가 설치되어 있다.

(2) 통항선박 현황

부산항 신항은 컨테이너부두 21선석과 자동차 및 잡화를 처리하는 다목적 부

두 1선석을 운영 중이다. 따라서 통항선박은 컨테이너선이 주를 이루고 자동차 운반선과 일반화물선 등이 입·출항하고 있다.

또한 부산항신항 안쪽에 소형선부두가 있어 관공선, 예·부선 등이 통항하고 있으며, 웅천대교를 통과해서 낙동강 하구 쪽으로 운항하는 5톤미만 소형 어선의 통항도 빈번히 발생하고 있다.

제5항로를 이용해서 부산항 신항에 입항하는 최대선박은 <Fig. 76>과 같이 컨테이너선 “CMA CGM JEAN MERMOZ”로 전장은 399m, 폭은 60m이고 선교에서 항해자 안고는 수면상 60m이다.



Fig. 76 View of CMA CGM JEAN MERMOZ

5톤미만 소형어선도 통항하고 있으나 설계에 사용할 가장 작은 통항선박은 항로표지 업무용 선박 “비추미호”(G/T 51톤)로 전장은 23.95m이고 폭은 5.40m이며, 선교에서 항해자의 안고는 수면상 5m 이다.

(3) 섹터라이트 설치위치 선정

부산항 신항 섹터라이트는 가덕수도를 통과해서 제5항로 진입한 입항선박이 부산항 신항 입구로 진입하는데 필요한 안전한 입항침로를 보여주어야 하므로 <Fig. 77> 부산항 신항 섹터라이트 위치도에서 보여주는 것과 같이 항만입구와

마주보이는 위치에서 부두이용에 지장이 없고 섹터라이트 철탑을 설치할 수 있는 소형선부두 끝단(N 35-4-39.4, E 128-47-6.7)에 설치하는 것으로 계획한다. 섹터라이트를 설치하는 소형선부두 근처에 동해부표관리소와 부산항신항 해양교통시설관리 센터가 있어 상용전원과 유·무선 통신망을 이용하는 환경은 매우 양호하다.

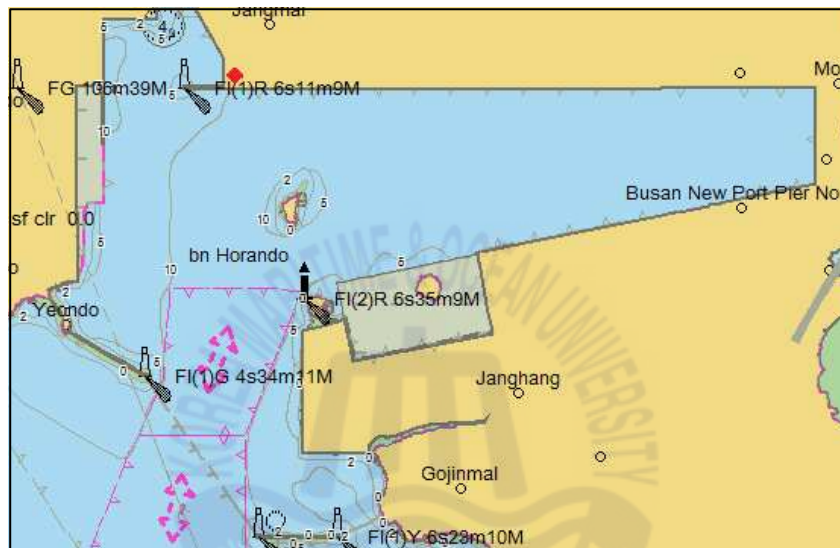


Fig. 77 Position of Busan new port Sector Light

(4) 섹터라이트 경로상 장애물의 종류 및 높이

섹터라이트의 설치 위치는 선박이 접안하는 장소가 아니고, 소형선 부두 끝단에 설치하게 되므로 제5항로 방향으로 섹터라이트의 등화를 가리는 장애물은 전혀 없다.

(5) 광달거리 결정

이 섹터라이트는 부산항 신항으로 입항하는 선박이 가덕수도에 진입하여 부산항 신항 도등의 중시선을 보고 항해하다 신항 입구방향으로 변침을 실시한 후

제5항로를 이용해서 항내로 진입하는데 필요한 안전한 침로를 제공해 주어야 한다. 따라서, 섹터라이트를 이용해야 하는 구간은 제5항로가 끝나는 지점부터, 가덕수도에서 분기하여 제5항로가 시작되는 지점까지로 계획한다.

섹터라이트 설치위치에서 제5항로가 끝나는 지점 까지 거리는 1,460m이고, 제5항로가 시작되는 지점까지의 거리는 4,500m이다. 제5항로는 양방향 통항 항로이나 가덕수도 입항항로를 통해 제5항로에 진입한 선박의 변침점인 “부산항 신항 내항항로 제106호 등부표” 위치에서 항로폭이 약 1,200m이므로 이 폭의 절반인 600m를 소형선부두 섹터라이트로 표시해줄 항로 폭으로 계획한다. 이와 같은 거리관계를 그림으로 표시하면 <Fig. 78>과 같다.

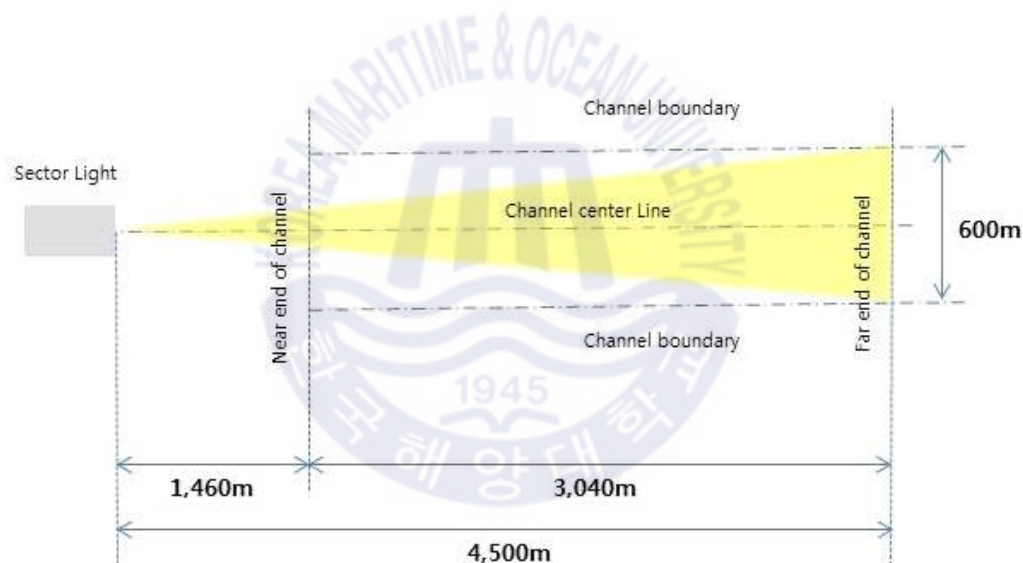


Fig. 78 Diagram of Passage 5 information

이 섹터라이트에 필요한 광달거리는 기상학적 시정을 고려한 상황에서도 4,500m 이상 되어야 하므로 광달거리는 3M로 계획한다.

(6) 수평 발산각 산출

부산항 신항 도등의 중시선을 보면서 입항하는 선박이 소형선부두 섹터라이

트의 백색섹터를 시인하고 변침해서 안전한 입항침로를 유지할 수 있도록 수평 빔폭은 외력에 의한 선박의 움직임을 감안해서 안정적으로 등화를 식별할 수 있는 필요 최소한으로 결정할 필요가 있다.

따라서 백색등화의 수평빔 폭은 도등의 중시선과 섹터라이트의 등화가 교차하는 지점(설치위치에서 약 2M 지점)에서 최대 통항선박 선폭의 2배 (2*61=122m)로 계획한다. 이 경우 수평발산각 θ 는 식 (11)과 같이 1.9°가 된다.

$$\theta = 2 \times \arctan \frac{61}{3,704} = 1.86^\circ \approx 1.9^\circ \quad (11)$$

백색등화의 수평발산각을 1.9°로 했을 때 제5항로 각 지점별 백색등화의 수평 빔폭은 <Table 15>와 같다.

Table 15 Horizontal beam width of white Sector at each point of Passage 5

Distance from sector light	Near end of channel	Turning point	Starting point of channel
	1,460m	3,700m	4,500m
Width of white sector	48m ($\approx 0.8B$)	122m (2B)	149m ($\approx 2.5B$)

(7) 수직 발산각 산출

수직 발산각은 섹터라이트를 이용해야 하는 가장 가까운 지점에서 제5항로를 통항하는 최대 및 최소 통항선박이 모두 시인할 수 있도록 결정해야 한다.

섹터라이트 설치위치에서 항로가 끝나는 지점간 거리(D_{min})는 1,460m, 최대 통항선박의 안고(H_{max})는 60m 그리고 최소 통항선박의 안고(H_{min})는 5m이므로, 필요한 수직 발산각(α_r)은 식 (12)와 같이 2.2°가 된다.

$$\alpha_r = \arctan\left(\frac{H_{max} - H_{min}}{D_{min}}\right) = \arctan\left(\frac{60 - 5}{1,460}\right) = 2.15 \approx 2.2^\circ \quad (12)$$

(8) 섹터라이트의 섹터 구성

섹터라이트의 섹터 구성은 IALA 해상부표식의 B지역 기준에 따라 안전한 항로의 중앙을 표시해 주는 백색섹터와 백색섹터의 좌·우측 한계를 표시해 주기 위해 백색섹터의 우측은 홍색, 좌측은 녹색 섹터로 계획한다.

녹색과 홍색 섹터의 수평 발산각을 백색섹터와 동일하게 계획하면, 입항항로의 중심선 방위각이 001.9° 이고 백색섹터의 수평발산각이 1.9° 이므로, 각 섹터별 방위각은 홍색은 $350.05^\circ \sim 000.95^\circ$, 백색은 $\sim 002.85^\circ$, 녹색은 $\sim 004.75^\circ$ 가 되고, 전체 섹터 폭은 5.7° 가 되며, 해도에 섹터구성과 수평 빔폭을 그려보면 <Fig. 79>와 같다.

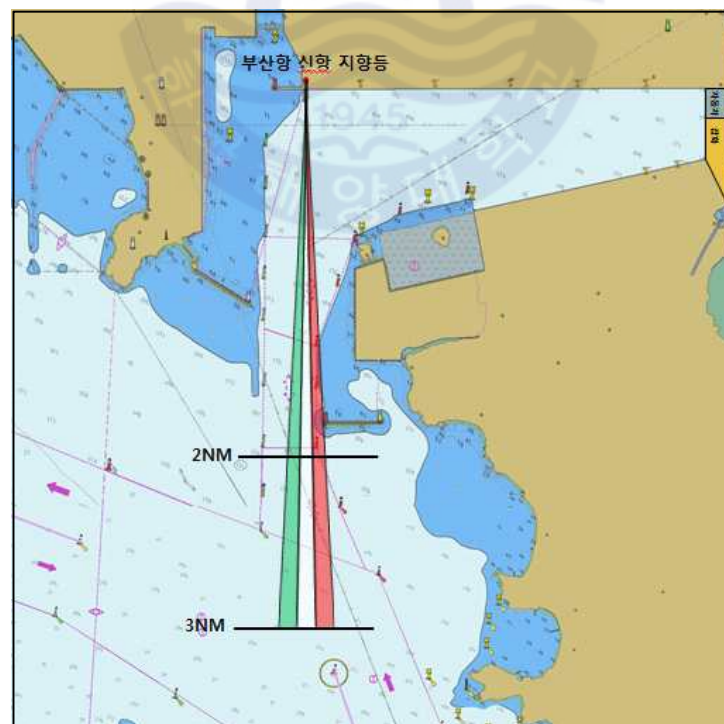


Fig. 79 Sector composition and Horizontal beam width of Busan new port sector light

(9) 섹터라이트의 등고 결정

섹터라이트 등고는 요구되는 수직발산각을 충분히 달성 가능하고, 바람 등 외력에 의한 변위, 유지보수 편의성, 경로상 장애물의 높이 등을 감안해서 결정해야 한다.

소형선부두 섹터라이트는 경로상 장애물이 없으므로 섹터라이트를 수평으로 설치했을 때 섹터라이트의 등고는 최대 통항선박의 안고(60m)의 50%에 해당하는 높이면 충분하다.

따라서, 섹터라이트의 등고는 MSL(+30m)로 계획한다.

(10) 광도 결정

광달거리 3M을 달성할 수 있는 주·야간 소요광도를 IALA 권고 R0202(E200-2, 2017)의 광달거리 그래프 및 명목적 광달거리 표를 이용하여 산출하면 <Table 16>과 같다.

일반적으로 광달거리를 고시할 때는 기상학적 시정(V)이 10M 일 때를 기준으로 하여야 한다. 그러나 기상학적 시정이 좋지 않은 상태에서도 섹터라이트를 이용할 수 있어야 하므로 3.2.4. 설계절차 및 방법, (2) 2단계에서 살펴보았듯이 기상학적 시정이 2~5M 일 때 필요한 광도를 검토할 필요가 있다.

소형선부두 섹터라이트는 주간에도 운영해야 하므로, V=2M을 적용할 경우 너무 높은 광도가 필요하므로 본 설계에서는 V=5M을 적용해서 필요한 광도를 결정한다.

따라서 광달거리 3M을 달성할 수 있는 광도는 야간에 40cd, 주간에 150,000cd 이상이 되어야 하며, 주야간 광도는 자동으로 절환되어야 한다.

Table 16 Required Luminous Intensity of Small ship's pier Sector Light

Time	Visibility [M]	Luminous Intensity [cd]	
		Luminous Range diagram	Nominal range table
Night time	V=10	17	10~23
	V=5	40	
	V=2	600	
Day time	V=10	80,000	45,400~119,000
	V=5	150,000	
	V=2	3,500,000	

(11) 등질 결정

부산항 신항 소형선부두 배면에는 배후광이 약간 있고, 제5항로에 설치된 등부표와 방파제등대 및 등표는 복섬광, 등명암광, 급섬광 등을 사용하고 있으며 부산항신항, 송도 및 내항 도등은 모두 녹색 부동광(FG)을 사용하고 있다.

따라서, 소형선부두 섹터라이트는 항해자의 혼돈을 최소화 할 수 있도록 3가지 섹터 모두 동일하게 부동광(Dir.W.R.G)을 사용하거나 배후광의 영향을 고려하여 명암광(Oc.W.R.G., 6초주기, 4초 on 2초 off)을 사용하는 것으로 계획한다.

(12) 섹터라이트의 종류 선택

소형선부두 섹터라이트는 소요 광달거리가 3M로 짧고, 색상별 섹터 폭이 1.9°로 좁은 편이므로 정밀도가 높고 섹터 경계에서 불명료 각도가 작아야 하므로 프로젝터 섹터라이트가 가장 적합하다.

프로젝터 섹터라이트의 불명료 각도는 1분(0.017°) 미만이므로 섹터라이트에서 4.5km 떨어진 제5항로 시작 지점에서 두 섹터의 경계에서 등화의 색상이 겹쳐 보이는 거리가 약 1.3m로 크지 않으므로 섹터라이트 이용에 영향을 미치지 않는다.

(13) 설계 결과

부산항 신항 섹터라이트의 설계결과를 표로 정리하면 <Table 17>과 같다.

Table 17 Design results of Busan new port Sector light

No.	Design elements	Results		Remarks
1	Position	N: 35° 04 ' 39.4 '' E: 128° 47 ' 06.7 ''		
2	Required Luminous Range	3M		
3	Observer Height	Hmax: 60m Hmin: 5m		
4	Distance from Sector Lights	Dmax: 4,500m Dmin: 1,460m		
5	Horizontal divergence angle of white sector	1.9°		
6	Vertical divergence angle	2.2°		
7	Bearing of white sector center line	001.9°		
8	Sector composition	Red	350.05° ~ 000.95°	
		White	~ 002.85°	
		Green	~ 004.75° '	
9	Height of sector lights	MSL(+) 30m		
10	Luminous Intensity	Night time: 40cd Day time: 150,000cd		Automatic switching
11	Characters of lights	Dir.W.R.G Oc.W.R.G.6s(on 4s, off 2s)		
12	Type of sector lights	Projector		

4.2 섹터라이트 설계 검증

부산항 북항과 부산항 신항에 설치하는 섹터라이트 설계 결과를 해양경찰학과 연구실에서 보유하고 있는 항로표지 시뮬레이터를 활용하여 검증을 실시하였다.

4.2.1 항로표지 시뮬레이터

항로표지(AtoN) 시뮬레이터는 해상교통안전진단 등에 사용되는 Full Mission Ship Handling Simulator가 아닌 규모가 작은 컴퓨터 기반 Ship Handling Simulator 이다.

이 시뮬레이터는 선박의 운동과 그 운동에 대한 선박의 움직임 등을 그래픽으로 구현하여 실제 선박에서 느낄 수 있는 환경을 3차원 영상정보로 제공한다.

항로표지 시뮬레이터의 구성은 다음과 같다.

- 조종상황 지시기: 선속 지시기, 풍향 및 풍속 지시기, 기관상태 지시기, 타각 지시기, 선회율 지시기, 횡 이동상황 지시기, 예선의 사용지시기 등
- 영상시스템: 3-Dimension 수평시야 90°, 수직시야 30°, 전방위 확장 가능
- 수학모델: Hydro Dynamic Force Model로서 천수효과, 뱅크 이펙트(bank effect), 가변조류, 선박 상호간섭, 닻 장력, 예선의 영향
- Printer 및 전자해도(ENC) 변환기

섹터라이트 설계결과 시뮬레이션을 위하여 사용된 데이터베이스는 다음과 같다.

- 2차원 Map 데이터베이스: 국립해양조사원에서 보급하는 전자해도 데이터를 시뮬레이터 환경에 적합하도록 변환된 해도 데이터베이스

- 3차원 Map 데이터베이스: 해당수역의 육상 지형물, 부두 시설, 하역시설 및 항로표지와 기타 주변 경관을 3차원 그래픽으로 재현하기 위한 데이터베이스로 섹터라이트 설계결과에 따른 설치위치, 섹터라이트 섹터 구성 및 섹터별 수평발산각 등을 그래픽으로 표현함
- 수심 데이터베이스: 최신판 전자해도의 수심자료를 기초로 만든 데이터베이스
- 조류 데이터베이스: 조류도 자료를 기준으로 구축했으며 원하는 조류 속도 및 방향은 수정이 가능하도록 프로그램 되어 있음

항로표지 시뮬레이터의 초기 화면은 <Fig. 80>과 같다.

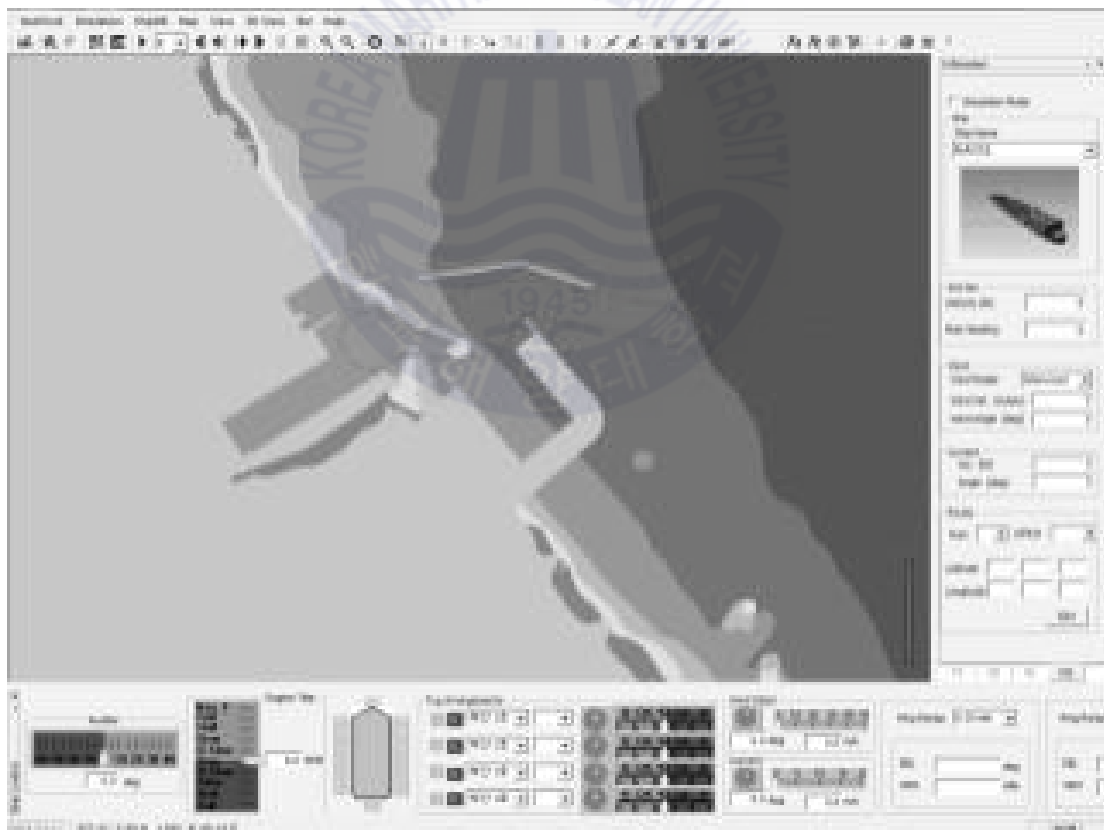


Fig. 80 Initial screen of AtoN Simulator

4.2.2 부산항 북항 섹터라이트

부산항 북항 섹터라이트의 녹·백·홍색 섹터의 수평발산각을 각각 1.9°로 설정하고, 최대입항 선박이 제1항로를 통해 입항하면서 섹터라이트의 백색 섹터를 효과적으로 시인할 수 있는지 여부를 검증하였다.

부산항 북항에 입항하는 최대 선박은 “MSC SPLENDIDA”호(LOA 333m, B 40m, 안고 45m) 이나 연구실에서 보유하고 있는 선박모델 중 항해자의 안고가 동일하고 제원이 가장 유사한 크루즈선박(LOA 300m, B 38) 모델을 이용하여 검증을 실시하였다.

입항 선박이 부산항 도등의 맹목구간에 진입하기 전(약 2.5M 지점)에서는 <Fig. 81>과 같고, 맹목구간이 시작되는 지점에서는 <Fig. 82>와 같으며 제1항로가 끝나는 지점에서는 <Fig. 83>과 같이 모든 지점에서 양호하게 백색섹터를 시인할 수 있음을 알 수 있었다.



Fig. 81 Simulation image(2.5M from Sector Light)

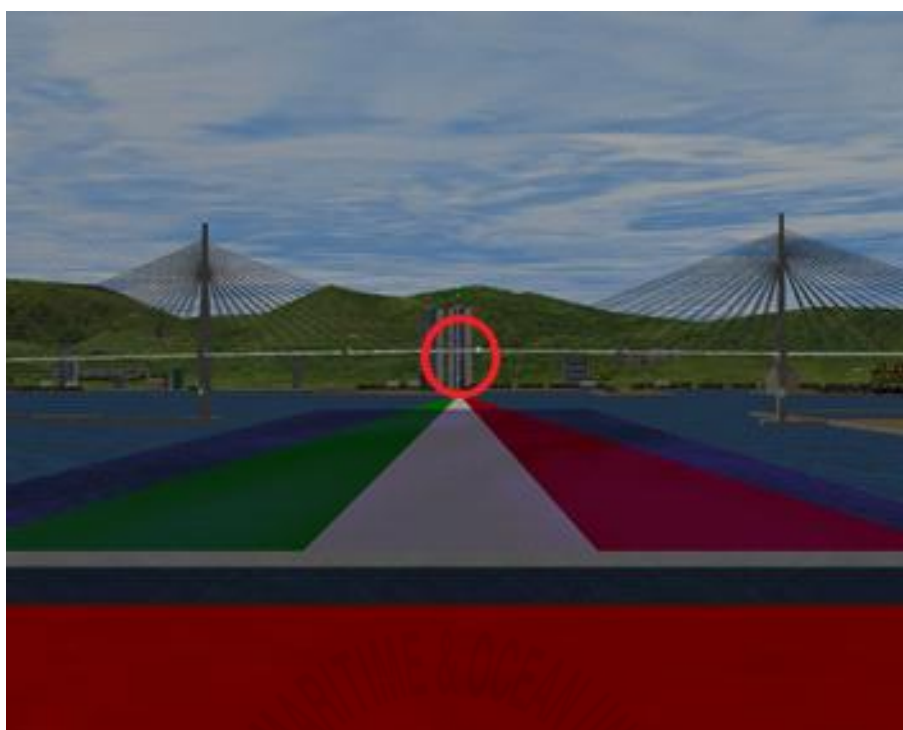


Fig. 82 Simulation image(Starting point of blind sector)



Fig. 83 Simulation image(Near end of channel)

4.2.3 부산항 신항 섹터라이트

부산항 신항 소형선부두 섹터라이트의 녹·백·홍색 섹터의 수평발산각을 각각 1.9° 로 설정하고, 최대입항 선박이 제5항로를 통해 입항하면서 섹터라이트의 백색 섹터를 효과적으로 시인할 수 있는지 여부를 검증하였다.

부산항 신항에 입항하는 최대 선박은 컨테이너선 “CMA CGM JEAN MERMOZ”(LOA 399m, B 60m, 안고 60m) 이나 해양경찰학과 연구실에서 보유하고 있는 선박모델 중 항해자의 안고가 동일하고 제원이 가장 유사한 컨테이너선박(LOA 400m, B 60) 모델을 이용하여 검증을 실시하였다.

소형선부두 섹터라이트의 소요 광달거리를 3M로 계획했으므로 섹터라이트 설치위치로부터 3M 지점, 2M 지점 및 0.5M 지점에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증한 결과는 각각 <Fig. 84>, <Fig. 85> 및 <Fig. 86>과 같이 모든 지점에서 양호하게 백색섹터를 시인할 수 있음을 알 수 있었다.

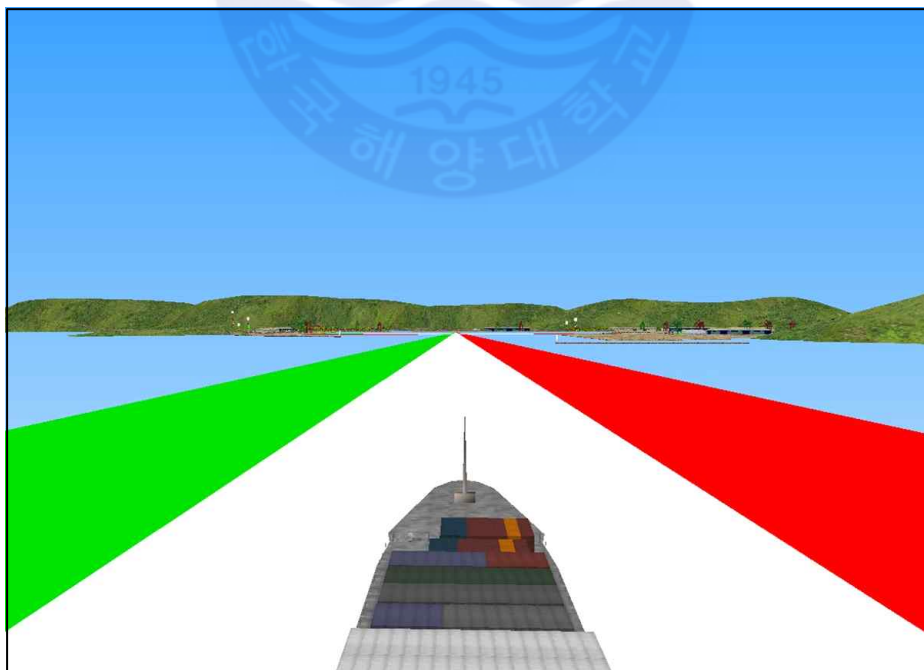


Fig. 84 Simulation image(3M from sector light)

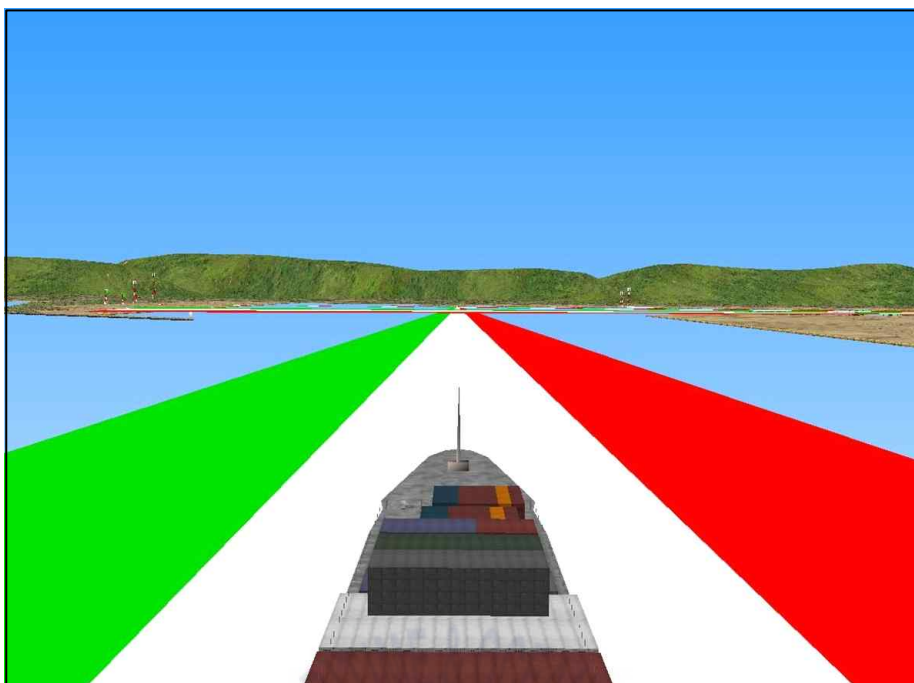


Fig. 85 Simulation image(2M from sector light)

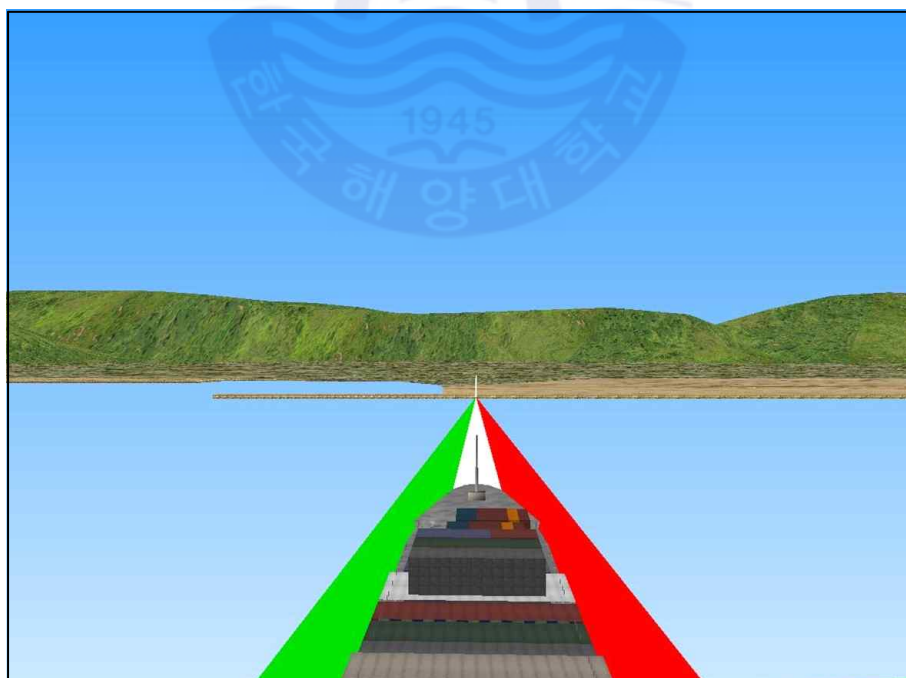


Fig. 86 Simulation image(0.5M from sector light)

제 5 장 결 론

5.1 결 론

본 연구 논문에서는 항만안전 유도를 위해 설치하는 다양한 항로표지 중 섹터라이트에 대한 국내·외 기술기준과 설치사례 등의 분석을 통해 소요의 목적에 적합한 섹터라이트 설치에 필요한 설계절차와 방법을 제시하였다.

제시된 설계절차와 방법을 기존 도등의 맹목구간 해소를 위한 섹터라이트 설치가 필요한 부산항 북항과 토도 제거로 선박 통항여건이 바뀌는 부산항 신항에 실제 적용하여 섹터라이트를 설계하였다.

또한, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 설계 결과를 검증한 결과 두 가지 사례 모두 섹터라이트가 선박의 입항 안전침로를 알려주는 역할을 충실히 수행함을 검증하였다.

도등은 두 개 이상의 철탑과 등명기가 필요하지만, 섹터라이트는 하나의 철탑과 등명기를 이용하여 도등과 동일한 안전한 입항침로를 제공해 줄 수 있는 장점이 있다.

또한, 하나의 무지향성 등화를 작은 분호로 나누고 각기 다른 등질을 적용함으로써 안전침로 뿐만 아니라 암초나 저수심 구역 등 위험구역, 묘박지 등에 대한 정보를 동시에 제공해 줄 수 있음을 알 수 있었다.

섹터라이트는 기존 등대의 등명기에 간단하게 필터를 추가로 설치하거나, 동일한 등탑에 프로젝터형 섹터라이트를 병설하는 등의 방법으로 간단하게 구현할 수 있다.

섹터라이트는 불빛을 이용해서 항해자에게 안전정보를 제공해 주는 광파표지 중 매우 효율적이며 경제적인 항로표지라고 할 수 있다. 따라서 섹터라이트는 도등의 보조수단이 아니고 섹터라이트 만으로도 항만 안전유도를 위하여 다양한 용도로 적용 가능한 매우 유용한 유도표지임을 알 수 있었다.

그리고 현행 섹터라이트 관련 국내 법령과 기술기준만 가지고는 섹터라이트를 설계하고 설치하는데 부족함이 있음을 알 수 있었다.

항로표지 종사자를 위한 지침서인 업무편람에 “섹터라이트는 도등 설치가 불가능할 때 적용할 수 있다.”라고 규정하고 있고, 섹터라이트의 기능 및 규격이 구체적이지 않아 실무에서 섹터라이트를 설치하고 활용하는데 장애요인이 되어 왔다.

그러므로 “섹터라이트에 대한 IALA GUIDELINE 1041”에서 규정하고 있는 내용을 좀 더 충실하게 국내 법령에 수용할 필요가 있으며, 항로표지 업무편람 중 섹터라이트에 관한 내용도 구체적이고 바르게 개정할 필요가 있다.

본 연구 논문은 섹터라이트의 활용도가 낮은 우리나라에서 향후 선박의 항만 안전유도를 위해 섹터라이트 설치가 필요하거나 기존 광파표지의 주변에 암초, 저수심 지역 등이 존재하여 기능보강이 필요한 경우 매우 유용하게 활용될 수 있으리라 판단된다.

5.2 향후 과제

우리나라 서·남해안은 대표적인 리아스식 해안으로 섬이 많고 해안선의 굴곡이 심하여 연안에서 항만으로 접근하는 항로가 대부분 좁고 복잡하여 선박의 안전운항에 장애요소로 작용하고 있다.

또한, 항내 정온도 유지를 위해 방파제나 수중방파제 설치가 확대되고 있으므로 좁은 항만입구로 선박을 안전하게 유도하기 위한 유도시설의 확충이 필요한 실정이다.

현재 우리나라에 설치된 광파표지는 입항침로를 알려주는 섹터라이트 3기를 제외하고는 등대의 위치를 알려주는 단순 기능만 수행할 뿐 분호등을 이용하여 등대 주변의 위험물이나 위험구역을 표시해 주는 곳은 전무한 실정이다.

본 연구논문에서 살펴보았듯이 섹터라이트는 항만 유도표지로서 여러 가지 장점이 있으므로 항만접근 및 제한수로 항해단계에서 선박 항해자가 위험지역

을 피해 안전한 침로를 유지할 수 있도록 섹터라이트의 확대 적용을 위한 추가 연구가 필요하다.

주요항만 입출항 항로나 연안의 주요지점의 고정된 장소에 설치된 광파표지 중 주변에 항로, 저수심 지역, 암초 등이 존재하고 있어 기능보강이나 추가로 항로표지 설치가 필요한 곳에 대한 일제조사가 이루어져야 한다.

추가로 항로표지 설치가 필요한 경우 인근에 설치된 기존 등대의 무지향성 등화에 필터를 설치하여 분호등을 만들거나 기존 등탑에 방향성을 갖는 섹터라이트를 병설하는 방법으로 항행 위해요소를 제거한다면 국가 예산절감은 물론 해상교통 환경도 크게 개선될 것으로 기대된다.



참고문헌

- [1] 국립해양조사원, 2018. 등대표
- [2] 법제처, 2019. 항로표지법
- [3] 법제처, 2019. 항로표지법 시행규칙
- [4] 법제처, 2019. 항로표지 기능 및 규격에 관한 기준
- [5] 부산지방해양수산청, 2018. 부산항북항 보조도등 설치공사 기본조사 및 시설설계 용역 보고서
- [6] 부산지방해양수산청, 2019. 부산항신항 섹터라이트 설치 기본설계용역 보고서
- [7] 부산지방해양수산청, 2019. 부산항신항 섹터라이트 설치에 관한 시뮬레이션 용역 보고서
- [8] 정태권, 국승기, 2013. 항로표지론, 세종출판사
- [9] 해양수산부, 2015. 항로표지 업무편람
- [10] 해양수산부 중앙해양안전심판원. 2019, 2018 해양사고 통계와 사고사례
- [11] 한국선주협회, 2018. 2018 해사통계
- [12] IALA, 2018. NAVGUIDE
- [13] IALA, 2017. Recommendation R1001 - The IALA Maritime Buoyage System
- [14] IALA 2018. Recommendation R0201 - Marine Signal Lights Colours
- [15] IALA, 2016. Guideline 1041 - SECTOR LIGHTS
- [16] IALA, 2008. Recommendation E-200-3 - Maritime Signal Lights Part 3 - Measurement
- [17] IALA, 2017. Recommendation E200-2 - Marine Signal Lights - Calculation, Definition and Notation of Luminous Range
- [18] IALA, 2018. Marine Aids to Navigation Statistics IALA Questionnaire 2017
- [19] IMO, 1974. 해상인명안전협약(SOLAS)
- [20] National Geospatial Intelligence Agency, 2019. List of Lights