



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



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

현장적응형 소형선박 계선부표
개발에 관한 연구

A Feasible Study on the Development
of Field Adaptive Mooring Buoy for Small Vessel



2014年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科

朴 惠 俐

본 논문을 박혜리의 공학석사 학위논문으로 인준함.



2013 년 12 월 12 일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	v
List of Figures	vii
Abstract	ix

1. 서 론

1.1 연구배경	1
1.2 연구목적 및 방법	2

2. 계선부표 관련 기준 및 국내의 동향 분석

2.1 국내 표준형 등부표 및 계선부표 관련 기준 동향	3
2.1.1 표준형등부표의 제작 및 운영	3
2.1.2 우리나라 계선부표 설치·운영 기준	5
2.2 국외 표준형 등부표 및 계선부표 운영 동향	7
2.2.1 미국의 표준형 등부표	7
2.2.2 유럽의 표준형 등부표	9
2.2.3 국외 계선부표 운영사례	11
2.3 부표류 표체 재질 동향	14
2.3.1 플라스틱 부표류	15
2.3.2 고무 부표류	19

3. 현장적응형 소형선박 계선부표의 개발

3.1 우리나라 계선부표 운영현황 및 운영상 문제점	21
3.1.1 계선부표 운영현황	21
3.1.2 계선부표 운영상 문제점	25
3.2 소형선박 계선부표 개발요소	32
3.2.1 소형선박 계선부표 개발 목표	32
3.2.2 작업환경	33
3.2.3 표체재질	38
3.2.4 계류 장치	40
3.2.5 침추	41
3.3 소형선박 계선부표 설계	42

4. 현장적응형 소형선박 계선부표 안정성 평가

4.1 소형선박 계선부표 설치해역별 특성	43
4.1.1 해양기상요소	43
4.1.2 해저저질 및 수심요소	48
4.2 현장적응형 소형선박 계선부표 설치해역에 대한 안정성 평가	50
4.2.1 등부표의 안정성	51
4.2.2 정적안전성 계산	51
4.2.3 동적안전성 계산	58
4.2.4 소형 선박 계선부표의 안정성 평가결과	61

5. 결 론

참고문헌	65
------------	----

List of Tables

Table 1	표준형 등부표 제작 규정	3
Table 2	표준형 등부표의 제원 - 1	4
Table 3	표준형 등부표의 제원 - 2	5
Table 4	해양경찰 계선부표 관리 규칙에 따른 계선부표 평가 기준	6
Table 5	미국 등부표 명칭	7
Table 6	미국 (등)부표 설치 위치 및 재질	8
Table 7	독일 플라스틱 부표	9
Table 8	독일 플라스틱 부표	10
Table 9	Ocean Guard Mooring Buoy 기본 제원	12
Table 10	외국 계선부표 분석 결과	13
Table 11	플라스틱 부표 설계 및 설치에 필요한 기초 구성품 (IALA)	15
Table 12	철재부표와 플라스틱부표의 비용분석(TIDELAND사 제품)	16
Table 13	폴리우레아의 특성	19
Table 14	해양경찰함정용 계선부표 설치 현황	22
Table 15	해군함정용 계선부표 설치 현황	24
Table 16	기타 계선(등)부표 설치 현황	24
Table 17	설문조사 개요	25
Table 18	현장적응형 소형선박 계선부표 개발에 관한 항목 설문 결과	30
Table 19	설문조사 결과 분석	30
Table 20	해경함정용 계선부표 운영상의 문제점	31
Table 21	해군함정용 계선부표 운영상의 문제점	32
Table 22	소형선박 계선부표 개발조건	32
Table 23	상부구조물의 배치 내용	34
Table 24	표준형 등부표 제원	34
Table 25	표체 크기 결정 요소	35

Table 26	소형선박 계선부표에 대한 표준형 등부표의 표체직경 적합성 판단	36
Table 27	등명기 설치 기준	37
Table 28	표체 재질 선정 기준	38
Table 29	표체재질별 특징	39
Table 30	계류 장치	40
Table 31	표준형 등부표 침추무게 및 개수	41
Table 32	소형선박 계선부표 개발요소	42
Table 33	우리나라 해역별 월별평균 풍속(kts)	44
Table 34	우리나라 해역별 월별 강풍 일수(일)	45
Table 35	우리나라 해역별 월별 안개 발생 일수(일)	46
Table 36	우리나라 해역별 월별 평균 파고(m)	47
Table 37	해경 계선등부표 위치별 특징	50
Table 38	현장적응형 소형선박 계선부표 부재목록	51
Table 39	소형선박 계선부표 배수체적과 1차모멘트	54
Table 40	소형선박 계선부표 풍력 및 풍력모멘트	56
Table 41	소형선박 계선부표 조류력 및 조류력모멘트	56
Table 42	심해파의 수심과 파장과의 관계	57
Table 43	소형선박 계선부표 풍력 및 풍력모멘트(기준풍속 15m/s 가정)	59
Table 44	소형선박 계선부표 풍력 및 풍력모멘트(기준풍속 17m/s 가정)	59
Table 45	소형선박 계선부표 조류력 및 조류력모멘트(유속 3kts 가정)	60
Table 46	환경조건별 안정성 계산결과	61
Table 47	안정성 계산결과 비교	62

List of Figures

Fig. 1	계선표지의 형상	6
Fig. 2	프랑스의 플라스틱부표 형태	10
Fig. 3	Quick Release Mooring Buoy	11
Fig. 4	Mooring Hook	11
Fig. 5	MB-19	12
Fig. 6	표체 재질 구성	12
Fig. 7	HNG Mooring Buoy	13
Fig. 8	해체조립형 플라스틱부표	14
Fig. 9	폴리에틸렌(PE) 표체	17
Fig. 10	폴리우레탄(PU) 충전	18
Fig. 11	폴리스티렌(PS) 충전	18
Fig. 12	이오노머(Ionomer) 부표류	18
Fig. 13	폼필드+폴리우레아 부표	19
Fig. 14	고무 및 폼필드의 반력	20
Fig. 15	고무재질의 착색 사례	20
Fig. 16	해양경찰함정용 계선부표 형태	21
Fig. 17	해군함정용 계선부표 모습	23
Fig. 18	해군함정용 계선부표 설치 위치	23
Fig. 19	설문조사 내용 1	26
Fig. 20	설문조사 내용 2	27
Fig. 21	계선부표 개선의 필요성	28
Fig. 22	계선부표 개선이 필요한 특정부분	28
Fig. 23	계선부표의 pick up 부이 필요성	29
Fig. 24	계선부표의 계류 시 작업자의 안전성	29
Fig. 25	상부구조물 배치도	33
Fig. 26	부표상의 실작업공간	35

Fig. 27 LDA-400H 축전지 설치 모습 및 제원	37
Fig. 28 일체형 등명기의 적용	38
Fig. 29 계류방법 2 - pick up 부이를 이용한 계류방식	40
Fig. 30 계류장치의 적용	41
Fig. 31 현장적응형 소형선박 계선부표 배치도	42
Fig. 32 해경함정용 계선등부표 위치도	48
Fig. 33 흘수면의 결정	54



A Feasible Study on the Development of Field Adaptive Mooring Buoy for Small Vessel

Park, Hye Ri

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

Abstract

Mooring buoys are special purpose aids to navigation to moor vessels such as oil tanker in accordance with the law of Aids to Navigation in Korea. Specially, The Korea Coast Guard uses these buoys to moor its small vessels, which are 150 gross tonnage and less, when it patrols Korean coastal waters. However, many mooring buoys have problems that result from their structure and materials, and from the difficulties of managing them. From the perspective of navigators, they cause some confusion and there is some risk of collisions because of their position. From the perspective of administrators, they create too much work and overspending due to their structure and material. For the purpose of solving these and other problems, the Republic of Korea needs to develop field adaptive mooring buoys in consideration of the meteorological elements of Korean coastal waters and the vessels which use the mooring buoy.

This paper studies the development of field adaptive mooring buoys for small vessels in consideration of the meteorological elements of Korean coastal waters, the vessels which use the mooring buoys, and the recent trends of special buoys.

To analyze operation states and improvements to mooring buoys, the mooring buoys of Korea Coast Guard and Korea Navy are surveyed, and so an optimized field adaptive mooring buoy is proposed. The paper also evaluates the stability of developed mooring buoy in the meteorological elements of Korean coastal waters and standardizes the field adaptive mooring buoy for small vessels. The paper will describe the advantages in terms of maritime safety and the efficient management of aids to navigation.

KEY WORDS: the development of field adaptive mooring buoy, 현장적응형 계선부표 개발; mooring buoys for small vessel, 소형선박 계선부표; the stability of mooring buoy, 부표 안정성



제 1 장 서 론

1.1 연구배경

계선부표는 특수목적항로표지의 하나로 유조선 등 특정선박을 계류하기 위한 목적의 표지이다(해양수산부, 2013c). 우리나라의 경우 대표적으로 해양경찰함정용 및 해군함정용 계선부표 약 47기가 연안 해역에 설치되어 운영 중에 있으며, 그 외 기타목적용 계선부표 4기(2011년 12월 기준)가 운영 중에 있다(국립해양조사원, 2011).

가장 많은 계선부표를 운영 중인 해양경찰의 경우 해양경찰계선부표 관리규칙을 두어 ‘연안 해역 거점감시를 위하여 해양경찰청 소속의 경비함정의 계선을 목적으로 설치하는 부표’라 정의하고 있으며, 150ton 이하의 소형 해양경찰함정을 계류시키는 목적으로 경비 기간 중 항해로 인한 승조원의 피로도 감소 및 유류절감 등의 효과를 가진다.

그러나 각 기관별 계선부표 설치해역 및 이용선박의 규모 등이 달라 부표의 형태 및 크기가 매우 다양한 실정이다. 이에 항해자의 측면에서 항해정보 혼란의 우려와 계선부표의 목적 상 대다수가 우리나라 연안 해역에 설치되어 있어 연안을 항해하는 소형 어선 및 기타선박 등의 항해 시 충돌의 위험을 가지고 있으며, 관리자의 측면에서 통항선박과의 잦은 충돌로 부표손상 및 유실 등의 재정낭비 및 업무과중의 문제가 제기되고 있다.

또한 현재 운영 중인 계선부표는 표준형 등부표의 구조에 기초한 원통형 철탑구조물 형태로 표체재질 및 구조상의 이유로 관리자의 안전사고 발생 등의 문제를 가진다. 이에 우리나라 항만설계기준(해양수산부, 2005) 및 항로표지업무편람(해양수산부, 2006) 등에 기초하여 계선부표 설치해역조건 및 이용선박 규모 등을 고려한 현장적응형 소형선박 계선부표 개발 연구가 필요한 실정이다.

1.2 연구목적 및 방법

이 논문에서는 우리나라 해상여건 및 이용선박을 고려하고 소형등부표의 국내외 동향 및 운영 실태를 분석하여 우리나라 해상여건에 적합한 현장적응형 소형선박 계선부표 개발에 관한 연구를 하고자 한다. 본 연구에서는 다음과 같은 방법에 의한 연구를 실시한다.

첫째, 기존의 국내 계선부표 설치·운영현황 및 이와 관련된 국내외 규정을 조사하고, 국외 특수용도부표 및 표준형 등부표 동향을 바탕으로 전반적인 소형등부표의 국내외 동향을 조사·분석한다.

둘째, 국내 계선부표 현황 분석을 위하여 실사용자인 해양경찰 및 해군을 대상으로 한 설문조사 및 의견수렴을 실시하고 운영 중인 계선부표에 기초한 운영실태 및 개선방안을 연구한다.

셋째, 최적화된 현장적응형 소형선박 계선부표의 안정성 연구를 위하여 우리나라 해상기상요소 및 설치예상해역에 대한 해상조건을 조사하고, 항로표지업무편람(해양수산부, 2006)에 따른 등부표 안정성 검토 연구를 한다.

이러한 연구를 통하여 기존의 우리나라 계선부표 설치해역 해상조건 및 이용선박을 충분히 고려하여 우리나라 해상 여건에 적합하도록 개발된 현장적응형 소형선박용 계선부표는 우리나라 연안의 항해안전 및 항로표지 관리 측면의 이점뿐만 아니라 국내 운영상 문제점 및 국외 특수등부표 동향을 반영한 부표의 표체재질 및 구조 등을 표준화하고자 한다.

제 2 장 계선부표 관련 기준 및 국내외 동향 분석

2.1 국내 표준형 등부표 및 계선부표 관련 기준 동향

우리나라는 모든 항로표지용 등부표 제작 시 ‘표준형 부표제작 및 품질관리 기준에 관한 규정(해양수산부, 2013a)’에서 정하는 표준형 등부표를 기반으로 하여 제작하도록 하고 있으며, 기존에 운영 중인 계선부표 역시 표준형 등부표 LL-24를 기초로 제작되었다.

2.1.1 표준형 등부표의 제작 및 운영

항로표지에 있어서 ‘표준’이라 함은 항로표지용품의 성능, 능력, 배치, 상태, 동작, 절차, 방법, 수속, 책임, 의무, 권한, 사고방법, 개념 등에 대하여 통일하고 단순화하기 위한 기준을 말하며, 우리나라 표준형 등부표의 제작 기준은 ‘표준형부표제작 및 품질관리 기준에 관한 규정(해양수산부, 2013a)’에 따라 Table 1과 같이 규정하고 있다.

Table 1 표준형 등부표 제작 규정

구분	단서조항	주요 내용	
몸체 재질	제5조 (표준부표의 몸체재질)	- 몸체 주된 재질 : 강재 - 알루미늄 등 비철금속 - 합성물질(GRP, 폴리에틸렌, 우레탄수지, FRP, Form 등)	
금속 계류구	제7조(부표의 금속 계류구 기준)	- 계류구 : 한국 산업 규격 중 적합한 기준 적용 - 체인 : (원칙)스터드 없는 체인, 필요 시 적용 가능	
로 프	부표와 침추 연결 계류목적 (섬유 재질의 로프사용)	제9조	- 섬유재질 (나이론, 폴리에스테르, 폴리프로필렌, 첨단섬유)
			- 해면에 부류하지 않는 로프
침추의 종류와 무게	제11조 (침추의 종류와 규격)	- (원칙) 콘크리트 타설 제작(4톤/개당) - 필요 시 철제침추, 앵카 등 가능	
두표	제12조 (두표 제작 설치)	- 특수표지 X 형, 진한노랑	
부속장비	제13조 (부표의 부속장비)	- 등명기, 전원시설, 레이더반사기, 항로표지용 AIS, 레이콘 - 기타 필요 장비	
전원시설	제14조 (부표의 전원설비)	- 축전지와 태양전지 - (병행) 파력발전기, 풍력발전기	

부표류 몸체재질, 계류구 및 부속장비 등의 제작기준을 기반으로 하여 부표 설치 시 설치 해역의 수심, 해저지형, 조류 및 파고 등 해상여건 및 이용선박의 규모 등을 충분히 고려하여 표준형 등부표의 종류 및 규격을 결정하도록 한다. ‘항로표지 장비 및 용품의 표준화 규정(해양수산부, 2013b)’에 따라 현재 운영되고 있는 표준형 등부표는 11종류의 등부표로 Table 2, 3과 같이 구분된다.

Table 2 표준형 등부표의 제원 - 1

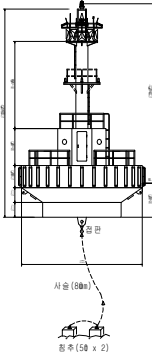
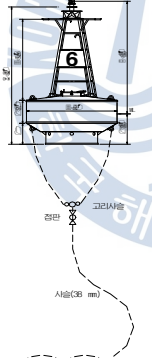
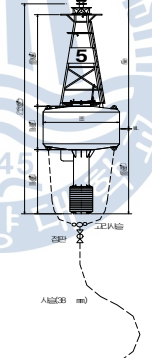
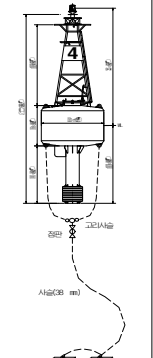
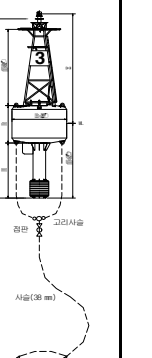



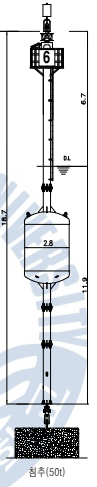
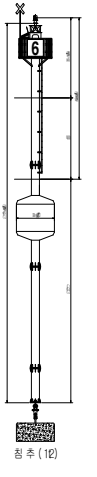

형 식	등 부 표				
	LANBY-100	LS-35	LL-30	LL-28	LL-26
표준 설치장소	전 해역 주요 통항로, 강조류	전 해역, 주요 통항로, 강조류 (7kt이하)	전 해역, 주요 통항로, 강조류 (7kt이하)	전 해역, 강조류 (7kt이하)	전 해역, (5kt이하)
수심	40m 이상	10 ~ 40 m	10 ~ 50 m	10 ~ 40 m	10 ~ 30 m
등명기	300mm 250mm LED-200 /LED-200HI	LED-200 또는 LED-200HI	LED-200 또는 LED-200HI	LED-200 또는 LED-200HI	LED-200 또는 LED-200HI
표 준 설 치 도					

Table 3 표준형 등부표의 제원 - 2

형식	등 부 표					
	LL-26(M)	LL-24	LS-24	LSP-28	LSP-24	LT-10
표준 설치장소	전 해역 (3kt 이하)	내해역 (3kt이하)	천수해역, 내해역 (3kt이하)	내해역 (2kt이하)	내해역 (1kt이하)	내해역 (3kt이하)
수심	10 ~ 30 m	10 ~ 20 m	2 ~ 20 m	13 ~ 17 m	13 ~ 17 m	10 m 전후
등명기	LED-200 또는 LED-200HI	LED-200 또는 LED-200HI	LED-200 또는 LED-200HI	LED-200 또는 LED-200HI	LED-200 또는 LED-200HI	LED-200 또는 LED-200HI
표 준 설 치 도						

2.1.2 우리나라 계선부표 설치·운영 기준

‘항로표지법 시행규칙(해양수산부, 2013c)’에 의거하여 항로표지의 기능에 따라 특수항로표지로 구분하며, 그 중 계선표지(Mooring Buoys)는 유조선 등 특정선박을 계류하기 위하여 설치하는 특수표지로 정의한다.

또한 계선표지 설치 시 항로 또는 항로부근이나 항만에 위치하여 다른 선박의 항행 안전에 지장을 초래할 우려가 있거나 다른 항로표지와 혼동할 가능성이 있는 경우 계선표지의 성능 기준을 적용하도록 하고 있다. 부표형상은 Fig. 1과 같이 원통형 또는 원추형으로 백색바탕에 청색 수평 띠(부표상단과 수선 사이의 중간위치)를 두고, 등부

표의 경우 주기가 늦은 백색섬광을 사용하지만 항로상에 위치하여 야간에 다른 선박의 통항에 지장을 초래할 우려가 있을 때에는 급섬광을 사용하도록 한다. 또한 계선용 부표에는 소유자를 명기하고, 명기의 방법과 위치는 색상 또는 문자에 의해 표시할 수 있으나 그 뜻이 왜곡되지 않도록 해야 한다.



Fig. 1 계선부표의 형상

특히 해양경찰함정용 계선부표(이하 “해경함정용 계선부표”라 함)의 경우 해양경찰 계선부표 관리 규칙(해양경찰청, 2010)에 따라 운영되도록 규정하고 있으며, 동 규칙 제 2조에 따르면 ‘연안해역 거점감시를 위하여 해양경찰청 소속 경비함정 계선을 목적으로 설치하는 부표’를 계선부표라 정의한다. 설치 기준은 동 규칙 제4조에 따라 Table 4와 같은 기준으로 해경함정용 계선부표의 배치 적정성 및 구조물의 안전성 등을 검토하도록 한다.

Table 4 해양경찰 계선부표 관리 규칙에 따른 계선부표 평가 기준

계선부표의 평가 기준	
1	계선부표가 항로표지법 제5조제3항에 따른 기준에 맞는지 여부
2	계선부표의 배치가 적절한지 여부
3	계선부표의 구조물이 안전한지 여부
4	계선부표 설치 해저의 수심, 저질 등 안전성에 미치는 영향
5	계선부표의 설치 해역에 어업권이 설정되어 있는지 여부
6	계선부표의 설치가 인근 해상교통에 미치는 영향

또한 운영 중인 해경함정용 계선표지에 대하여 항로표지관리원을 지정하고 부표의 설치, 정기교체 및 평상 시 안전관리 업무를 수행하도록 한다. 계선부표 정기교체의 경우 해양경찰서장이 계선부표의 지속적 기능유지를 위해 여수·부산해양항만청장의 지원을 받아 2년마다 정기적으로 부표(표체, 사슬, 침추 등 일체) 교체작업 실시해야 한다. 또한 계선부표의 안전관리의 경우 계선할 함정의 크기를 제한하는 등 설치된 계선부표의 특성을 감안하여 사고가 발생하지 않도록 안전하게 관리해야 하며, 함·정장은 사고 예방을 위해 위성항법장치 등을 이용하여 부표의 위치를 확인하여 위치이동여부를 항박 일지에 기록하도록 하고, 연간 1회 이상 부표의 수중점검을 실시하여 부표사슬 및 침추 등의 상태를 확인해야 한다.

2.2 국외 표준형 등부표 및 계선부표 운영 동향

미국 및 유럽 등의 표준화 등부표 현황 및 국외 계선부표 설치사례를 조사하여 특수 등부표에 대한 국제동향을 분석하고자 한다. 특히 표체 재질에 대한 국내외 동향의 경우 ‘2.3 부표류 표체 재질 동향’에서 자세히 분석한다.

2.2.1 미국의 표준형 등부표

미국의 표준형 등부표의 종류는 그 특징에 따라 Table 5와 같이 10가지 등부표로 나누어 등부표의 고유번호 부여하고, 부표설치해역을 완전개방해역(Exposed, 육지나 섬에 의해 폐쇄되지 않은 해역), 반개방해역(Semi-exposed, 일부 육지나 섬에 의해 폐쇄된 해역), 폐쇄해역(Protected, 대부분이 육지나 섬에 의하여 폐쇄된 해역)으로 구분하여 해상 조건에 따라 적절한 등부표를 설치·운영하도록 한다(해양수산부, 2012a).

Table 5 미국 등부표 명칭

명칭	속성	명칭	속성
L	Lighted	R	Radar Reflector
B	Bell	G	Gong
W	Whistle	H	Horn
C	Can-Shaped Radar Reflector	N	Nun-Shaped Radar Reflector
F	Foam	I	Ice

가장 많이 사용되는 등부표는 레이더리플렉터 형으로 내해에 사용되는 5 x 11 LR, 전해역 및 폐쇄해역에서 사용되는 3.5 x 8 LR, 폐쇄해역에서 사용되는 5 x 9 LFR로 구분할 수 있다. 미국의 경우 부표류 설치 및 유지관리 업무를 미국해양경찰(USCG)에서 담당하고 있으며, 대부분 표체재질은 에틸렌 혼성 중합체인 이오노머(Ionomer)를 사용한다. 현재 미국에서 사용되는 등부표를 설치위치와 재질에 대해 정리하면 Table 6과 같다.

Table 6 미국 (등)부표 설치 위치 및 재질

구 분		설치위치	재 질(표체 + 상부재질)
등부표	5 x 11 LR	내 해	
	3.5 x 8 LR	전해역 및 폐쇄해역	
	5 x 9 LFR	폐쇄해역	이오노머 폼
부표	2급 FR	개방해역	이오노머 폼 + 철재
	3급 FR	반개방해역	이오노머 폼 + 철재
	4급 FR	반개방해역	이오노머 폼 + 철재
	5급 FR	폐쇄해역	이오노머 폼 + 철재
	5급 PR	폐쇄해역	플라스틱(내부 폴리우레탄)
	6급 FR	폐쇄해역	이오노머 폼 + 철재





미국은 친환경 소재로 재활용이 가능하고 부분적으로 탈착이 가능한 구조의 플라스틱 조립식부표(modular buoy)를 검토하여 미국해양경찰의 표준형 부표인 8×26형(지름: 2.44m, 길이: 7.92m)의 철재 부표를 표본으로 개발 목표를 선정하였다. 제작된 조립식부표의 현장적응성 및 실용성을 분석하기 위하여 미국해양경찰과 일반 항해자들이 요구하는 필요성에 대해 의견을 수렴하고 항해용부표로 적당한 형상유지와 현장의 적응성, 기능성 및 관리유지 등을 검토하였다. 많은 형태의 플라스틱 부표는 소규모 항구 혹은 강 등 내륙수로에 사용하는 항로표지에서 대규모 해안부표까지 사용할 수 있도록 하여 경량화, 부식저항, 경제적인 유지보수 비용 측면에서 기존의 강철 부표보다 많은 이점을 가지고 이용도 또한 다양한 것이 확인되었다.

2.2.2 유럽의 표준형 등부표

가. 독일

독일은 플라스틱 부표류를 연안해역 등에서 보편적으로 사용하고 있으며 내륙수로에서 집중적으로 플라스틱 부표를 사용한다. 내륙수로의 특성상 소형화된 항로표지선(크레인)을 활용해야하므로 내륙수로에 설치되는 부표류의 경우 경량화 될 필요가 있기 때문이다. 또한 수로내의 조류 등에 견딜 수 있도록 다양한 모양으로 제작하고, 유지관리의 편리성 등을 고려하였다. 플라스틱 부표의 경우 이러한 환경에 적합하도록 제작이 가능하며, 현재 독일에서 사용 중인 플라스틱 등부표의 경우 Table 7과 같이 총 4가지로 구분할 수 있다.

Table 7 독일 플라스틱 부표

구분	spar buoy (green)	oval buoy B5 (red)	oval buoy B7 (green)	standard buoy (red)
형태				
무게	159.1kg	136.7kg	170.7kg	85.5kg
부표무게 (PE)	56.5kg	36.7kg	51.2kg	61.1kg
높이	3255mm	21400mm	2310mm	2047mm
직경	Φ 400mm	Φ 500mm	Φ 700mm	Φ 1050mm
freeboard	1200mm	1100-1300mm	1200-1400mm	1050-1160mm

보편적으로 35kg~60kg 정도로 소형화·경량화된 플라스틱부표를 사용하고 있으며 가장 일반적인 ‘standard buoy’의 경우 조류가 약하고 수심이 일정하게 확보되는 지점에 설치하는 것이 특징이며 타원형 부표에 비해 시인성이 우수하고 제작이 용이한 장점을 가진다. 반면 타원형태의 ‘oval buoy’의 경우 B7 및 B5로 나누어 설치 목적 및 해역의 특징에 따라 부표크기를 고려하여 적용한다. ‘spar buoy’의 경우 수심이 얇고 조류가 강하지 않은 지역에 사용하기 적합한 형태이다.

나. 프랑스

프랑스 정부는 기존에 사용하던 철재등부표의 단점 및 제작·유지비용을 고려하여 철재부표를 플라스틱으로 대체하는 프로젝트를 추진하였다. 1995년 부유식 항로표지의 개선 프로그램을 시행하여 400여기의 플라스틱 부표류의 도입 및 항로표지선박의 재료를 철재에서 알루미늄으로 대체하여 경량화를 추진하였다. 현재 프랑스에서 운영 중인 표준형 등부표는 Fig. 2와 같다(국토해양부, 2010).

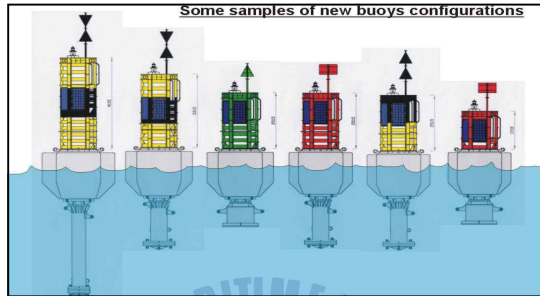


Fig. 2 프랑스의 플라스틱부표 형태

철탑부분은 알루미늄, 표체는 플라스틱, 미통의 경우 철재로 설계한 형태로 철탑 하부인 표체의 경우 시인성에 실제로 영향을 거의 미치지 못함을 고려하여 전체 회색으로 제작하여 부표의 기능에 관계없이 모든 종류의 부표 수리 시 재사용이 가능하도록 하여 경제성을 높였다. 플라스틱의 표체의 경우 Table 8과 같이 1세대부터 3세대까지 단계적으로 발전된 형태이다.

Table 8 독일 플라스틱 부표

	표체 외부	표체 내부
1세대	폴리에틸렌 1.0cm	폴리우레탄
2세대	폴리에틸렌 1.0cm	폴리스티렌
3세대	폴리에틸렌 1.5cm	폴리스티렌

1세대 플라스틱 표체의 경우 내부에 폴리우레탄으로 충진하고 외부에 1.0cm의 폴리에틸렌을 적용한 것으로 폴리우레탄의 특성 상 시간이 지남에 따라 황색으로 변하는 단점을 가지고 있다. 반면 2세대 플라스틱 표체의 경우 내부에 폴리스티렌 폼을 충진하여 1세대 표체의 단점을 보완하였으며, 최근 3세대 플라스틱 표체의 경우 충격력을 고려하여 외부에 1.5cm의 폴리에틸렌을 적용하였다.

2.2.3 국외 계선부표 운영사례

가. Quick Release Mooring Buoys

현재 네덜란드에서 운영되고 있는 계선부표로 선박 계류 시 선박과의 충돌에 의한 손상을 최소화하기 위하여 Fig. 3과 같이 표체 외부에 폼 필드를 적용하였다. 부표의 운영은 원격 부표운용시스템을 설치하여 최대 4마일 내 선박 시스템(휴대용) 및 해안에서 원격으로 부표 운용이 가능하도록 하고, 부표 상부구조물의 경우 등명기를 위한 기본 포스트와 작업자의 안전을 위한 안전가드레일만을 설치하여 최소화 시켰다.



Fig. 3 Quick Release Mooring Buoy

또한 선박 계류를 위한 2개의 계류 고리를 Fig. 4와 같이 설치하여 각 계류 고리에 적용된 하중을 시각화하고 부하 모니터링 시스템을 설치하였다. 표준 Quick Release Buoy Hooks는 수동으로 작동되며 특수 잠금 장치가 설치되어 부표의 움직임에 의한 계류 고리 풀림을 방지 하였고, 동시에 사용자가 선박에서 수동으로 계류 고리를 풀 수 있도록 하여 안전성을 확보하였다.



Fig. 4 Mooring Hook

나. Ocean Guard Mooring Buoys

이 부이는 Fig. 5와 같이 상부에 계류를 위한 계류 고리와 등명기 설치를 위한 1개의 포트만 설치하여 간단하게 제작한 것으로 포트의 위치가 한쪽으로 치우쳐 제작되기도 하나 필요시 중앙에 설치 가능하다. 또한 표체 재질은 Fig. 6과 같이 3중으로 구성하여 중심은 철(Steel)로 구성하고 최 내각에는 우레탄 폼, 내각은 폴리에틸렌 폼, 최 외부에 나일론 폼 순으로 처리하였다.



Fig. 5 MB-19

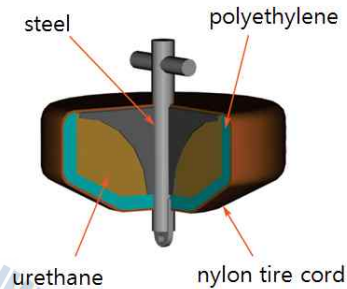


Fig. 6 표체 재질 구성

또한 계류 목적에 따라 다양하게 적용하도록 Table 9와 같이 표체 크기를 세분화 시켜 두었다.

Table 9 Ocean Guard Mooring Buoy 기본 제원

구분	부이무게(kg)	직경(m)	높이 (m)	
			표체	전체
MB-5	862	6.1	1.3	2.3
MB-15	1,860	2.7	1.5	2.6
MB-20	2,313	3.0	1.7	2.7
MB-50	3,946	3.7	2.5	3.5
MB-100	7,711	4.1	3.9	5.1

종류 : MB - 5, 8, 11, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 55, 60, 75, 100

다. HNG Mooring Buoys

이 부이의 표체는 Fig. 7과 같이 폴리에틸렌 폼으로 채워진 폴리우레아와 스테인리스를 표면에 사용하여, 직경 3600mm, 높이 3,000mm, 무게 3450kg로 설계하였다. 이러한

신소재를 사용으로 부표부식 및 고온 및 해양 생태계에 의한 피해를 억제하고, 충돌 시 충격 흡수력을 높여 덜 선박 및 부표 손상을 최소화 하였다. 또한 부표 조립이 간편하고 중량이 가벼워 편리하게 운송할 수 있어 해안 및 강가에서 사용되고 있다.



Fig. 7 HNG Mooring Buoy

라. 외국의 계선부표 사례 분석

계선부표는 설치해역의 특징 및 기상요소, 이용선박 크기 및 형상 등에 의해 결정된다. 앞에서 살펴본 국외 계선부표를 종합해보면 Table 10과 같이 표체 재질은 선박 등과의 충돌 시 손상을 최소화하기 위해 플라스틱류 재질로 구성하여 경제성을 높이고, 상부구조물의 경우 최소화하여 작업자의 충분한 작업 공간 및 업무의 효율성을 확보하였다. 또한 작업자의 안전을 위해 표체 상부에 안전가드레일 및 계선을 위한 별도의 계류 고리를 설치하였다. 우리나라 역시 이와 같은 조건을 고려하여 경제적, 효율적이고 안전성을 확보한 형태 및 재질의 계선부표를 개발 할 필요성이 있다.

Table 10 외국 계선부표 분석 결과

구분	Quick Release Mooring Buoys	Ocean Guard Mooring Buoys	HNG Mooring Buoys
등명기	○	○	○
안전가드레일	○	X	○
상부구조물	등명기용 포스트	등명기용 포스트	등명기용 포스트
표체재질	폼 필드	폴리에틸렌, 나이론 폼	폴리에틸렌 폼
Mooring hook	2개(좌우회전 가능)	1개	1개
작업공간	확보	확보	확보
작업자 안전성	○	△	○

2.3 부표류 표체 재질 동향

우리나라의 경우 1908년 압록강 서수도의 부표설치를 시작으로 다양한 변화를 가져왔다. 1970년 초기 철재부표를 사용하다 콘크리트로 성형한 MRC 부표 및 유리섬유를 이용한 강화플라스틱으로 성형한 GRP 부표 등을 개발 하였다. 그러나 설치 해역의 조건 및 부표성질 등을 이유로 부표 기능적 측면 및 관리유지측면에서 문제를 초래하게 되었다. 결국 모든 부표는 다시 철재를 적용하여 설치·운영함에 따라 새로운 소재를 적용하여 발전시키려는 정책개발에 저해요인이 되기도 하였다. 이처럼 대다수의 부표 표체가 철재로 제작되어 해수에 의한 부식 및 충돌, 파손 등의 문제로 인해 자체 부력을 상실하여 유지보수의 어려움 및 재정낭비 등이 발생하게 되었으며, 대형화된 등부표로 인해 설치·점검 시 반드시 크레인 등의 장비를 동원하도록 하여 안전사고의 위험이 높아지게 되었다.

반면 외국의 경우 현존의 철재부표에서 재사용이 가능하고 경량화 된 소재를 적용하는 것이 국제적 추세이며 이는 경제적인 문제 이전에 환경적 차원에서 반드시 적용해야 할 필수적인 과제로 판단되고 있다. 또한 내륙수로용 부표를 시작으로 대항 및 외해에 이르기까지 소형 부표를 실용화 할 수 있는 방안을 마련하고 있으며 부표제작 역시 IALA 지침서에 따라 Fig. 8과 같이 일체형에서 조립 및 분해(탈착)형으로 모양 및 크기를 다양화 하였다(IALA, 2008).

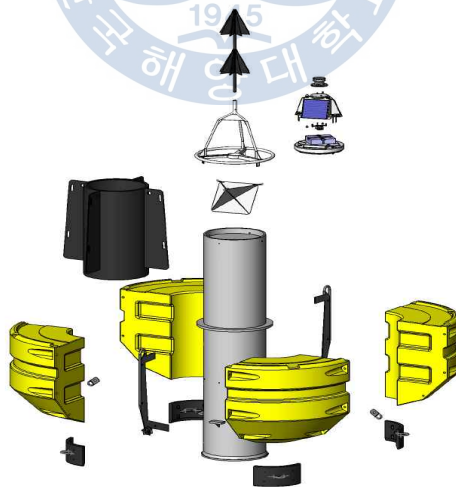


Fig. 8 해체조립형 플라스틱부표

부표 설치 및 유지관리를 위한 경제적 측면뿐만 아니라 지구환경 및 해양오염예방 차원에서 현재 사용하고 있는 철재부표의 경우 계속적인 사용이 어려운 것으로 분석되며, 관련 규정을 만족할 수 있는 새로운 재질의 부표 제작이 필요하다. IALA(2004, 2008)는 IALA Green Guidelines No.1036(Environment Consideration in Aids to Navigation Engineering)과 IALA Guideline No.1006(Plastic Buoys)에서 완전하게 재활용 가능한 물질로 만들어진 부표와 계류물을 이용하도록 하여, 그 자체로 완전하게 재활용 가능한 물질들로 제작되었어도 분리할 수 없는 방법으로 연결되어 있다면 재활용이 불가능하게 될 수 있다는 것을 고려하여야 제작하도록 권고하고 있다. 또한 합성부표를 가능한 필수품으로 감안하여 버려지는 대신에 재구성 또는 치환되는 좀 더 견고한 부표들로 대체하여 폐기물 발생이 최소화하도록 하고 있다.

2.3.1 플라스틱 부표류

가. 플라스틱부표 개요

플라스틱 부표는 최소 부표 표면이 플라스틱으로 구성된 부유표지로 다양한 재질 및 디자인으로 제작이 가능하다. 플라스틱 부표 설계 및 설치에 필요한 4가지 기초 구성품은 Table 11과 같다(IALA, 2008).

Table 11 플라스틱 부표 설계 및 설치에 필요한 기초 구성품 (IALA)

기초구성품	특징
폴리에틸렌	<ul style="list-style-type: none"> - 폴리우레탄폼 및 폴리스티렌폼과 함께 플라스틱 부표류 제작 시 가장 많이 사용하는 재료로 회전성형 혹은 압축성형기술을 적용한다. - Filling(채움) : 부표가 가라앉는 것을 방지하기 위하여 부표를 방수부분으로 나누고 폼(Foam)을 채워 밀폐시킨다.
유리강화 플라스틱 (GRP)	<ul style="list-style-type: none"> - 폴리에스테르수지와 결합된 유리로 구성되며 몰드를 사용하여 원통형 부표의 반쪽짜리 형태 두 개를 결합하여 제작한다. - Filling(채움) : 철재부표와 유사한 강도로 철재부표를 손상시킬만한 충격에 의해 손상될 수 있으며 부표가 가라앉는 것을 방지하기 위하여 부표를 방수부분으로 나누고 폴리우레탄폼이나 폴리에스테르폼으로 채워 밀폐시킨다.
폴리우레탄/ 엘라스토머 코팅폼	<ul style="list-style-type: none"> - 부표 중앙에 폴리우레탄 물질을 분사하고 해양용 폴리우레탄 엘라스토머폼으로 표면을 구성하여 유연함과 탄력성을 모두 가지도록 제작한다.
모든 종류의 폼	<ul style="list-style-type: none"> - 부표 중앙구조물을 밀폐된 폼으로 감싸는 것으로 이오노머 폼을 많이 사용한다. - 폼의 경우 충격에 우수한 유연성을 가지지만 과격한 마모에는 효과적이지 못하며 무게가 가벼워 급류에서 좋은 성능을 나타낼 수 있다.

나. 플라스틱부표 특징

플라스틱은 다른 재질에 비해 경량성(비중이 낮고, 금속에 비해 약 1/5 - 1/6 경량), 절연성(전기저항이 크고, 절연성이 뛰어나), 내식성(내식성에 뛰어나며, 녹·부식 걱정이 없음), 단열성(열전도율이 적고, 단열성이 뛰어나), 비자기성(자성을 띠지 않음)에서 뛰어난 것이 대표적인 특징이다.

이러한 재질의 적용한 플라스틱부표의 경우 철재에 비해 가벼워 취급이 용이하고 IALA(2008) 권고와 같이 부표의 해체·조립이 가능하여 현장에서 부표 교환이 가능하도록 한다. 부분적인 부품교환을 통해 부표자체의 예비품이 아닌 파트별 예비품만 확보하여 유지보수 비용을 절감을 통해 서비스 수준을 향상시킬 수 있다. 또한 표체가 자체적으로 부력을 가지고 있어 외부 충격에 의한 손상에 의한 침수 및 균형 상실 등의 문제를 해결할 수 있다. 플라스틱 부표의 경우 핵심부재인 부체가 몰딩 성형으로 초기투자 후에는 적은 비용으로 생산 및 부품구매가 가능하며 기능이 폐지되는 부표를 재사용하여 폐기물의 발생을 최소화 할 수 있다. Table 12는 영국 TIDELAND 사가 자사 제품의 플라스틱 부표와 철재부표의 편익비용에 대한 개략적인 결과(국토해양부, 2010)이다.

Table 12 철재부표와 플라스틱부표의 비용분석(TIDELAND사 제품)

비용 요소	철재 부표	플라스틱 부표	절감율(%)
구입비	40,500	31,680	-22
설치비	1,500	1,080	-28
유지보수비(연간)	2,760	420	-85
20년간 총비용	97,200	41,160	-58
NPV(10%)	35,210	8,490	-76

다. 플라스틱 재료

현재 부표류에 적용되는 고분자의 종류는 90%이상이 폴리에틸렌(PE)계 수지를 적용하고 있으며, 부표류의 파손을 방지하기 위하여 폴리우레탄(PU)계 수지 또는 폴리스티렌(PS)계 수지를 부표 내부에 발포형태로 충전하거나 이오노머 고분자를 직접 발포시켜 사용하고 있다.

1) 폴리에틸렌(PE)계 수지

폴리에틸렌(PE)는 대표적인 플라스틱의 하나로 가공이 용이하고 기계적 물성 또한 우수하여 폭넓은 분야에서 사용되고 있다. 일반적으로 내부가 빈 형태를 제조할 경우 사용되는 회전성형 공정방식을 적용하게 되며 Fig. 9와 같이 거대한 부표의 부력요소로서 이용되는 벽두께 10-20mm정도의 큰 부표(직경 3m)의 생산이 가능하다.



Fig. 9 폴리에틸렌(PE) 표체

2) 폴리우레탄(PU)계 및 폴리스티렌(PS)계 수지

폴리스티렌(PS)계 수지의 경우 가격이 저렴하고 강한 플라스틱으로 폴리에틸렌(PE) 다음으로 일상에서 흔히 접할 수 있는 수지이다. 프랑스는 표준형등부표 제작 시 외부에 폴리에틸렌(PE)과 내부에 폴리우레탄(PU) 또는 폴리스티렌(PS)을 충전하여 Fig. 10 및 Fig. 11과 같이 제작한다. 또한 등부표를 제작할 경우 유연성 및 완충성 등을 고려하여 발포형태인 발포폴리스티렌(EPS, Expanded PolyStyrene)를 부표재료로 많이 사용하고 있으며 흔히 생산제품 상표명인 스티로폴(독일, Styropor) 또는 스티로폼(미국, Styrofoam)으로 불리고 있다. 공정과 발포 비율에 따라 EPS(Expanded PS, 50배 내외)와 PSP(PS Paper, 10배 내외)로 세분화되며 완충성, 방수성, 위생성, 열차단성, 경량성, 성형성, 경제성 등의 특징을 가진다. 또한 폴리우레탄(PU)으로 만든 부표의 경우 유연한 밀폐기포 폼 중심에 유연한 폐쇄 전형적으로 두껍고 유연한 해양용 폴리우레탄 엘라스토머 표면으로 구성된다. 이것은 유연함과 탄력성을 모두 가지며 유연성은 또한 부표가 악천후에서 들어 올려야 할 때 혹은 서비스되어야 할 때 장점을 가진다. 그러나 재활용 할 수 없고 친환경적이지 않은 단점이 있다.



Fig. 10 폴리우레탄(PU) 충전

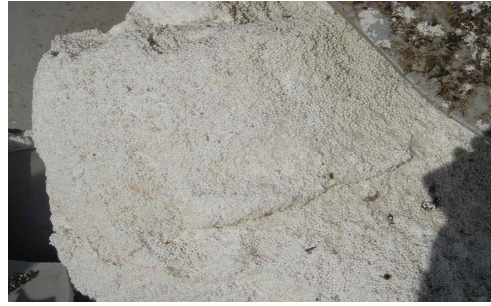


Fig. 11 폴리스티렌(PS) 충전

3) 이오노머

미국 부표류에서 주로 사용하는 이오노머(Ionomer) 재질의 부표(Fig. 12 참조)는 미국 해양경찰의 R&D Center의 주관으로 연구가 시작되었다. ‘Short Range Aids to Navigation Research’ 에서 철재로 된 큰 부표보다 합성소재와 주요부품별 탈착구조(Modular Construction)를 사용하게 된다면 유지보수가 용이하고 해양오염 피해를 절감할 수 있다는 목표로 연구가 시작되었다. 연구팀은 수개월 동안 연구 분석 및 평가에서 이오노머-폼(ionomer-foam)의 재질로 부표를 제작할 경우 철재부표의 대체가능성이 있음을 밝혀냈으며, 미국해양경찰은 이오노머-폼 부표의 장점은 첫째 철재 및 플라스틱 재질의 부이보다 색상 유지 편함(remain bright), 둘째 부이가 작고 가벼워 다루기에 편리함(suitable handling), 셋째 자체부력 유지 가능함(do not sink or slush), 외부의 에너지 흡수력이 높아 손상이 적음(energy absorption)으로 보고하고 있다.



Fig. 12 이오노머(Ionomer) 부표류

라. 폴리우레아

폴리우레아(Polyurea)는 1980년대 초 미국 Texaco사에서 개발한 최첨단 재료로써 반응구조상 Pure Polyurea, Hybrid Polyurea 등으로 구분되며 Table 13과 같은 특성을 가진다.

Table 13 폴리우레아의 특성

	특 성
우수한 물성	뛰어난 물리적 성질(인장, 인열, 내충격, 내마모성, 내구력 등)
	접착력, 방식성, 내약품성, 내산성, 내한성 등의 우수한 물성.
	100% 고형분의 무용제 타입으로 VOCs가 없음.(용제, 희석제 사용 없음)
광범위한 적용성	방식, 방수용 : 약품탱크, 배관, 파이프, 강관용, 선박, 각종 구조물(철근, 콘크리트, 해양플랜트, 산업시설 등)
	바닥재 : 산업시설, 물류창고, 체육시설(인라인 스케이트장), 도로 표지 등
	특수용: 각종 조형물, 철도차량 라이닝, 트럭 적재함, 무대 세트장 등등

이러한 재질을 부표에 적용할 경우 Fig. 13과 같이 기본 표체 내부를 폼 형태로 충전하고 폴리우레아로 외부 코팅하여 플라스틱의 장점 및 폴리우레아의 장점을 모두 적용한 표체를 제작할 수 있다.



Fig. 13 폼필드+폴리우레아 부표

2.3.2 고무 부표류

충격흡수성이 우수한 고무소재는 플라스틱 부표류를 대신하여 적용되는 경우도 있다. 부표류 이외에 고무의 탄성을 이용하여 선박 접안을 위한 선체·부두안벽 보호 시

설 등 사례가 있으며 대부분 배합고무로 이루어져 있다. 고무는 다양한 형태 및 크기로 제작 가능하여 사용폭이 넓고 소형선박접안을 위한 대표적인 형태로 사용된다. 그러나 고무를 노화는 열, 태양광, 오존, 피로 및 미생물 등에 의해 촉진되어 내구성이 취약하고 착색이 심하며, 충돌 시 최고 반력값을 가짐에 따라 선체에 높은 압력을 가하는 단점을 가진다. 반력이란 동일한 외력이 물체에 가해졌을 경우 외력에 대한 저항력으로서 충돌지점에서 생기는 힘을 말하며, 반력이 클수록 충돌 물체에 전달되는 힘은 커지게 되어 손상도가 커질 우려가 있다. Fig. 14는 고무와 폼필드(외부 폴리우레아 코팅)의 압축률 및 반력을 비교한 그래프이다(신용주와 정태권, 2011).

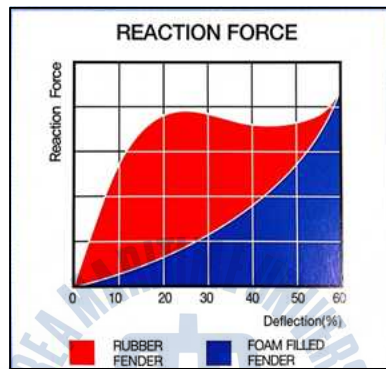


Fig. 14 고무 및 폼필드의 반력

고무의 경우 압축률이 45-52.5%로 다른 재질에 비해 충격력 흡수가 우수하지만 Fig. 14에서와 같이 고무에 25-28%의 하중이 작용하여 변형될 경우 최고치에 근접한 반력이 발생되는 것을 알 수 있다. 이는 부표 표체를 제작할 경우 부표표체 및 충돌물체인 선박 등에 큰 피해를 예상 할 수 있다. 또한 고무 방충재 적용 사례를 살펴보면 선체와 직접 접촉 시 Fig. 15와 같이 검정색 고무 재질이 선체에 그대로 착색되어 선박 및 부표 유지보수 비용이 많이 발생하게 되는 문제를 가진다.



Fig. 15 고무재질의 착색 사례

제 3 장 현장적응형 소형선박 계선부표의 개발

3.1 우리나라 계선부표 운영현황 및 운영상 문제점

3.1.1 계선부표 운영현황

가. 해양경찰합정용 계선부표 운영현황

해양경찰은 우리나라 연안 해역 거점감시를 위해 운영되는 해양경찰청 소속 경비함정 계선을 목적으로 하여 총33기의 해경합정용 계선부표를 두고 있으며, 이를 설치·운영하기 위하여 해양수산부와 해양경찰청은 2009년 12월 계선부표 설치 지원에 대한 양해 각서를 체결하였다. 해양수산부는 계선부표의 제작, 설치, 정기교체 및 사고복구 등을 담당하고 있으며 해양경찰은 등화설치 및 기능관리 등 해양수산부의 허가를 받아 사설 항로 표지로 관리하고 있다. 현재 운영 중인 해경합정용 계선부표의 경우 우리나라 표준형 등부표 LL-24를 기본으로 하여 설계된 것으로 Fig. 16과 같이 지름 2.4m의 철재 원통형 구조이다. 부속장비는 등명기 레이더 리플렉터, 축전지 등으로 표체 상부에 위치하였으며, 부표 정착 방법은 콘크리트 침추(4톤/5톤) 2개를 체인으로 연결하는 침추식 형태이다.

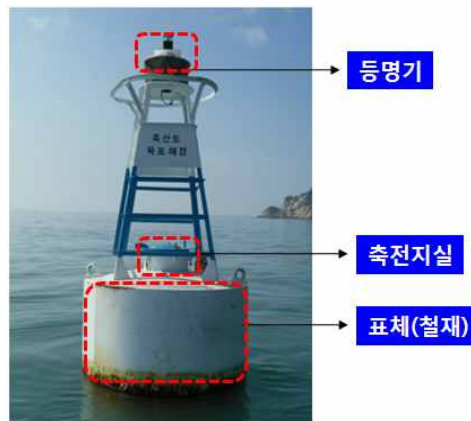


Fig. 16 해양경찰합정용 계선부표 형태

현재 해양합정용 계선부표는 Table 14와 같이 우리나라 연안 해역에 동해 8기, 서해 16기, 남해 9기 총 33기가 설치되어 운영 중이며 부표관리소에 예비품 6기를 두고 있다. 각 해역별 조건은 제4장 현장적응형 소형선박 계선부표 안정성 연구에서 자세히 분석하였다.

Table 14 해양경찰합정용 계선부표 설치 현황

소 관	표지명	수량	관리청
동해청	저진항해양경찰계선등부표	1	속초해양경찰서
	수산항해양경찰계선등부표	1	
	주문진항해양경찰계선등부표	1	
	옥계항해양경찰계선등부표	1	동해해양경찰서
	삼척항해양경찰계선등부표	1	
포항청	월포해양경찰계선등부표	1	포항해양경찰서
	구룡포해양경찰계선등부표	1	
울산청	길천항해양경찰계선등부표	1	울산해양경찰서
인천청	덕적도해양경찰계선등부표	1	인천해양경찰서
	인천항무의제2호등부표	1	
	중문도해양경찰계선등부표	1	
대산청	민어포해양경찰계선등부표	1	대안해양경찰서
	거아도해양경찰계선등부표	1	
	삼시도해양경찰계선등부표	1	
군산청	군산항군산해양경찰계선등부표	1	군산해양경찰서
	파장금항군산해양경찰계선등부표	1	
목포청	수도목포해양경찰계선등부표	1	목포해양경찰서
	거사도해양경찰계선등부표	1	
	평사도해양경찰계선등부표	1	
	후산도목포해양경찰계선등부표	1	
부산청	운촌항해양경찰계선등부표	1	부산해양경찰서
	부산남항해양경찰계선등부표	1	
마산청	사랑하도해양경찰계선등부표	1	통영해양경찰서
	망치포해양경찰계선등부표	1	
	통영해만해양경찰계선등부표	1	
여수청	둔평탄해양경찰계선등부표	1	여수해양경찰서
	소리도해양경찰계선등부표	1	
	나로도해경제A호등부표	1	
	나로도해경제B호등부표	1	
진도소	팽목항목포해양경찰계선등부표	1	완도해양경찰서
	신지도완도해양경찰계선등부표	1	
	어룡도완도해양경찰계선등부표	1	
	백일도완도해양경찰계선등부표	1	
평택청/부산청/여수청	예비품	6	부표관리소
합계		39	설치 33기, 예비품 6기

나. 해군함정용 및 기타 계선부표 운영현황

대한민국 해군함정용 계선부표의 경우 Fig. 17과 같이 태풍 등의 자연재해에 대비하여 해군 함정의 안전한 피항을 목적으로 육상에서 약 500m 떨어진 지점에 설치하여 부표 및 군함정의 안정성을 확보하도록 운영되고 있다. 표체는 직경 약 5-6m 정도로 흰색 철재 원통형 구조이며, 표체 상부에 고무 테두리를 설치하여 군함정과의 충돌 시 피해를 최소화 시켰고, 표체 상부에 어떠한 구조물(등명기 및 축전지 등)도 없이 계류 고리만을 두어 충분한 작업자의 작업공간을 확보하였다.



Fig. 17 해군함정용 계선부표 모습

현재 해군함정용 계선부표는 Fig. 18 및 Table 15와 같이 마산항 인근 덕동 4개소(덕동해군 계선 제A - D호 부표)와 도내포 10개소(도내포해군 계선 제1 - 10호 부표) 총 14기(국립해양조사원, 2011)의 해군함정용 계선부표를 운영하고 있다(2011년 12월 기준).

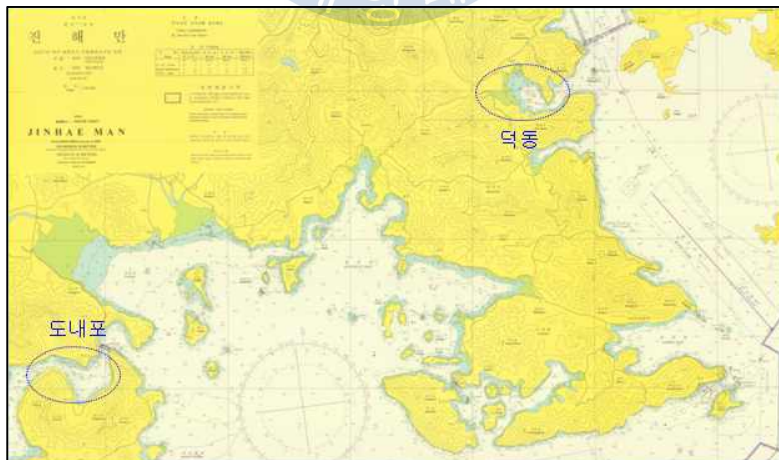


Fig. 18 해군함정용 계선부표 설치 위치

Table 15 해군함정용 계선부표 설치 현황

표지명	위치	도색	구조
덕동해군계선 A부표	35-07.82N, 128-35.05E	백	원통형
덕동해군계선 B부표	35-07.87N, 128-34.93E	백	원통형
덕동해군계선 C부표	35-07.98N, 128-34.92E	백	원통형
덕동해군계선 D부표	35-07.92N, 128-35.02E	백	원통형
도내포해군계선제1호부표	35-04.05N, 128-27.68E	백청백	원통형
도내포해군계선제2호부표	35-04.15N, 128-27.62E	백	원통형
도내포해군계선제3호부표	35-04.20N, 128-27.48E	백	원통형
도내포해군계선제4호부표	35-04.28N, 128-27.42E	백	원통형
도내포해군계선제5호부표	35-04.35N, 128-27.30E	백	원통형
도내포해군계선제6호부표	35-04.23N, 128-26.82E	백	원통형
도내포해군계선제7호부표	35-04.17N, 128-26.67E	백	원통형
도내포해군계선제8호부표	35-04.10N, 128-26.58E	백	원통형
도내포해군계선제9호부표	35-04.02N, 128-26.52E	백	원통형
도내포해군계선제10호부표	35-03.87N, 128-26.45E	백	원통형

해경함정용 및 해군함정용 계선부표 이외에 우리나라에서 운영 중인 계선부표는 등대표(국립해양조사원, 2011)를 통해 확인한 결과 Table 16과 같이 7기의 부표가 추가로 설치·운영 중에 있는 것이 확인 되었다.

Table 16 기타 계선(등)부표 설치 현황

명칭	위치	등질	광달거리	도색/구조	기타
미조라유공 계선등부표(무신호)	34-49.30N 128-44.10E	Fl Y 6s	6	황/특대형	Radar reflector Air Siren
소야리 제1호 계선등부표	37-13.60N 126-09.84E	Q Y	7	백청백/망대형	항로표지선 계류용
소야리 제2호 계선등부표	37-13.62N 126-09.87E	Q Y	7	백청백/망대형	항로표지선 계류용
안정항 SPP 계선 제A - D호부표	34-55.24N 128-25.96E	-	-	백청백/원통형	-

3.1.2 계선부표 운영상 문제점

가. 설문조사개요

현재 운영 중인 계선부표의 운영상의 문제점 및 개선사항을 파악하기 위하여 대다수의 계선부표를 운영 중인 해경합정 근무자를 대상으로 Table 17과 같이 설문을 실시하였으며, 설문내용은 Fig. 19 및 Fig 20와 같다.

Table 17 설문조사 개요

구분	내 용		
설문목적	현재 해양경찰에서 운영 중인 계선부표의 문제점을 확인하고 이를 개선·보완하여 현재 보다 성능 및 안전성이 우수한 현장적응형 소형선박 계선부표 개발을 위해 실시		
설문기간	2013년 1월 4일 ~ 2013년 1월 16일		
설문방법	해양경찰 관계부서에 의뢰 후 해경합정 근무자 e-mail 활용		
설문대상	13개의 해양경찰서 해경합정 근무자 중 계선부표 이용자 1,089명		
		설문인원(명)	비 고
1	속초해양경찰	41	
2	동해해양경찰	38	소형정
3	포항해양경찰	40	
4	울산해양경찰	67	
5	인천해양경찰	174	
6	태안해양경찰	136	
7	군산해양경찰	98	
8	목포해양경찰	131	중형합정 및 소형합정(100톤, P정)
9	부산해양경찰	112	
10	통영해양경찰	34	
11	여수해양경찰	32	100톤급(131, 115), P정(P-55, P-76)
12	완도해양경찰	93	
13	평택해양경찰	93	
	계	1,089명	

계선부표 형상변경을 위한 설문조사

○ 목적 : 본 설문서는 현재 해경함(정)에서 운영 중인 계선부표의 문제점을 확인하고 이를 개선·보완하여 현재 보다 성능 및 안전성이 우수한 부표를 제작하기 위해 실시하는 설문입니다.

1. 계선부표 운영

1-1. 현재 운영 중인 계선부표는 개선이 필요합니까?

가. 필요하다. 나. 필요없다. 다. 모르겠다.

1-2. 개선이 필요하다면 어느 부분입니까(복수응답 가능)?

가. 표체 재질 나. 축전지 다. 등탑 라. 등명기

1-3. 현재 운영중인 pick up 부이는 반드시 필요합니까?

가. 필요하다. 나. 불필요하다. 다. 모르겠다.

1-4. 계선부표에 직접 로프를 이용하여 계류할 때(pick up 부이 이용 제외)

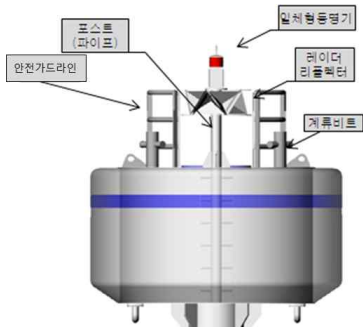
계선부표에 로프를 거는 작업자는 안전합니까?

가. 안전하다. 나. 안전하지 않다. 다. 모르겠다.

1-5. 계선부표의 운영상 문제점 및 개선사항은 무엇입니까?

Fig. 19 설문조사 내용 1

2. 계선부표 형상 및 재질을 다음과 같이 변경하고자 합니다.



주요 변경 내용

- 표체직경 : 240 → 280cm
- 표체재질 : 철재 → 폴리에우레아(표체전체)
또는 철재 + 고무테두리(표체 상단)
- 축전지(철거) → 일체형 등명기 설치
- 작업자의 안전을 위한 안전가드레일 설치
- 계류비트 및 Pick up 부이용 고리 설치

2-1. 변경된 표체 직경(280cm)은 적당합니까?

가. 적당하다. 나. 더 커야 한다. 다. 더 작아야 한다.

2-2. 변경된 표체 재질은 어느 것이 적절합니까?

*** 해경함(정)과 계선부표의 충돌에 의한 상호간 손상방지를 목적으로 변경**

가. 폴리에우레아 나. 철재 + 고무테두리 다. 철재(현상태 유지)

2-3. 작업자의 안전을 위한 안전가드레일 설치는 적절합니까?

가. 적절하다. 나. 불필요하다. 다. 모르겠다.

2-4. 계선부표의 주요변경 사항에 잘못된 곳이나 추가적인 사항이 있으면 기술하여 주십시오.

- 감사합니다 -

Fig. 20 설문조사 내용 2

나. 설문조사결과

위와 같이 해경함정 근무자를 대상으로 설문한 결과 다음과 같다.

‘현재 운영 중인 계선부표는 개선이 필요합니까?’ 라는 질문은 현재 운영되고 있는 계선부표의 문제점 인식에 대한 항목으로 Fig. 21과 같이 전체 1,089명 중 805명(73.9%)이 현재 사용 중인 계선부표의 개선이 필요하다고 응답하였으며, 198명(18.2%)은 개선이 필요 없다, 86명(7.9%)은 잘 모른다고 응답하였다.

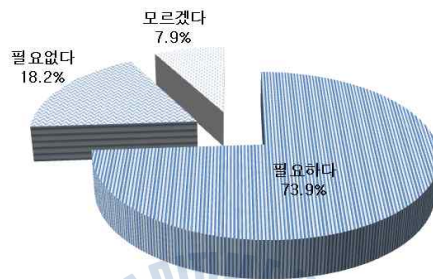


Fig. 21 계선부표 개선의 필요성

‘개선이 필요하다면 어느 부분입니까(복수응답 가능)?’ 라는 질문은 현재 운영되고 있는 계선부표의 개선이 필요할 경우 구체적인 문제점을 파악하기 위한 항목으로 Fig. 22와 같이 전체 1,089명 중 11명이 복수응답을 하여 총 1,100개의 응답 중 598명(54.4%)이 현재 사용 중인 계선부표의 표체재질의 개선이 필요하다고 응답하였으며, 189명(17.2%) 등명기, 175명(15.9%) 등탑, 138명(12.5%) 축전지 순으로 응답하였다.



Fig. 22 계선부표 개선이 필요한 특정부분

‘현재 운영 중인 pick up 부이는 반드시 필요합니까?’ 라는 질문은 현재 해경함정이 계선부표와 일정한 거리를 유지하면서 계류할 수 있는 방법으로 pick up 부이를 사용하고 있으나 통항선박에 의한 pick up 부이 로프 절단 및 작업자의 안전사고 등의 문제가 있어 그에 대한 유효성을 평가하기 위한 항목으로 Fig. 23과 같이 전체 1,089명 중 822명(75.5%)이 현재 사용 중인 계선부표 pick up 부이가 필요하다고 응답하였으며, 140명(12.9%) 불필요하다, 127명(11.7%) 모르겠다고 응답하였다.

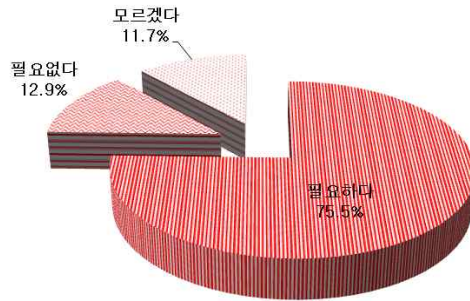


Fig. 23 계선부표의 pick up 부이 필요성

‘계선부표에 직접 로프를 이용하여 계류할 때(pick up 부이 이용 제외) 계선부표에 로프를 거는 작업자는 안전합니까?’ 라는 질문은 현재 해경함정용 계류 시 작업자의 안전성 평가를 위한 항목으로 Fig. 24와 같이 계류부표를 사용하고 있는 작업자 1,089명 중 533명(48.9%)이 해경함정 계류 시 안전상의 문제가 있는 것으로 생각하였으며, 375명(34.4%)만이 안전하다고 응답하였다.

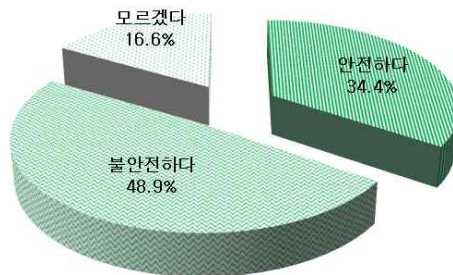


Fig. 24 계선부표의 계류 시 작업자의 안전성

또한 새롭게 설계되는 현장적응형 소형선박 계선부표에 대한 내용으로 주요 변경 내용을 제시하여 실사용자의 의견은 반영하기 위한 목적으로 현장적응형 소형선박 계선부표 개발에 관한 항목을 조사하였으며 그 결과 Table 18과 같다.

Table 18 현장적응형 소형선박 계선부표 개발에 관한 항목 설문 결과

질문	설문결과		
	가. 적당하다	나. 더커야한다.	다. 더작아야한다.
2-1 변경된 표체직경(280cm)은 적당합니까?	가. 적당하다	나. 더커야한다.	다. 더작아야한다.
	64.8%	30.8%	4.4%
2-2 변경된 표체 재질은 어느 것이 적절합니까?	가. 폴리우레아	나. 철재+고무테두리	다. 철재(현재와 동일)
	36.5%	57%	6.5%
2-3 작업자의 안전을 위한 안전가드레일 설치는 적절합니까?	가. 적절하다.	나. 불필요하다.	다. 모르겠다.
	74.8%	16.3%	8.9%

해양경찰함정 근무자 중 1,089명의 설문 내용을 분석한 결과 Table 19와 같이 전반적으로 해경함정용 계선부표의 개선이 필요하며, 특히 계선부표 표체 재질 및 작업자의 안전을 고려한 표체 상부의 재설계를 필요로 하였다. 또한 현재 사용 중인 계류방식 중 pick up 부이의 경우 작업의 효율성 및 작업자의 안전성을 고려하여 반드시 필요한 것으로 확인되었다.

Table 19 설문조사 결과 분석

구분	설문결과	설계 시 반영 내용
계선부표의 개선	개선이 필요함 73.9%	- 관리 및 운영 효율성 확대를 목적으로 개선
개선내용	- 표체재질 54.4% - 등명기 17.2% - 등탑 15.9% - 축전지 12.5%	- 표체재질 : 충격을 완화시킬 수 있는 재질선택 - 등명기 및 등탑 : 수리요소 최소화 및 작업공간을 고려하여 배치 - 축전지 : 관리비용 최소화 및 사용자의 편의성 고려
pick up 부이의 필요성	필요함 75.5%	- pick up 부이 유지
작업자의 안전성	불안전함 48.9%	- 작업자를 위한 충분한 작업공간 확보 및 기타 구조물 배치

다. 운영상 문제점

현재 설치되어 운영 중인 해경함정용 계선부표의 경우 설치 이후 유실사고 4건, 위치이동 사고 2건 등이 발생하였으며 기타소형선박과의 잦은 충돌로 인한 부표사슬절단 및 해저 저질(모래)로 인한 부표 이동·유실 등의 문제가 발생하였다. 이것은 계선부표 설치 해역조건 및 이용선박 규모 등을 고려하지 않은 부적절한 설계로 부표의 안정성 미확보 등이 원인인 것으로 판단된다. 또한 현재 철제 재질의 부표로만 구성되어 계선부표와 선박이 부딪혔을 경우 선박 및 부표 외형 손상뿐만 아니라 작업자의 안전사고 문제가 발생된다. Table 20은 현재 해경함정용 계선부표 운영상의 문제점을 정리한 것이다.

Table 20 해경함정용 계선부표 운영상의 문제점

구분	내용
작업 환경상의 문제	<ul style="list-style-type: none"> - 표준형 등부표(LL-24)를 적용한 철재구조로 작업자를 위한 충분한 공간 확보가 어려움 - 협소한 상부공간으로 인해 등명기 및 축전지 교체·정비 시 작업자에게 안전사고 발생이 우려됨
표체재질(철제)로 인한 문제	<ul style="list-style-type: none"> - 표체가 탄성이 적은 철재로 이루어져 해경함정 계류 시 부표와의 충돌로 인해 함정 및 부표가 손상됨 - 부표 손상에 따른 부표유실 및 이동의 문제가 발생하고 예산이 낭비됨 - 육상에서 보수할 경우 부표 자체의 무게가 커서 이동 및 관리상의 위험과 어려움이 따름 - 철제인 표체 외부의 경우 다른 재질에 비해 많은 해중 생물로 인한 오손도가 높음 - 철제부표 유지보수에 많은 비용이 소요됨
계류방법으로 인한 문제	<ul style="list-style-type: none"> - Pick-up 부이를 활용하여 계류를 하고 있으나, 주변을 통항하는 기타소형선박에 의해 Pick-up 부이 및 로프가 훼손되는 경우 발생 - Pick-up 부이용 로프의 경우 항상 해수에 잠겨있어 부식에 의한 로프 장력 감소 - 작업자가 부표에 직접 승선해서 계류할 경우 안전사고 발생 가능성 높음

또한 해군함정용 계선부표의 경우 표체에 등명기 및 기타 장비가 설치되어 있지 않아 작업 공간은 충분히 확보할 수 있으나 야간에 기타 소형 선박이 인지하기에 어려움이 따른다. 해군함정이 계류할 시 작업자가 로프를 던지거나 직접 표체에 올라 작업해야 하므로 안전시설이 없는 계선부표 상부에서 작업하는 작업자의 안전성 문제가 제기된다. 현재 해군함정용 계선부표 운영상의 문제점은 Table 21과 같다.

Table 21 해군함정용 계선부표 운영상의 문제점

구분	내용
작업 환경상의 문제	<ul style="list-style-type: none"> - 작업자가 승선할 경우 지지할 곳이 없어 작업자 안전상의 문제 발생 - 등명기 등 야간에 부표의 위치를 표시할 장비가 없어 통항선박과의 충돌이 발생할 수 있음
표체재질(철제)로 인한 문제	<ul style="list-style-type: none"> - 표체가 탄성이 적은 철재로 이루어져 해군함정 계류 시 부표와의 충돌로 인해 함정 및 부표가 손상됨 - 표체 주변에 고무테두리를 두었으나 고무의 특성 상 해수에 의한 부식이 빠르기 때문에 유지 관리의 어려움이 따름 - 철재인 표체 외부의 경우 다른 재질에 비해 많은 해중 생물로 인한 오손도가 높음
계류방법으로 인한 문제	<ul style="list-style-type: none"> - 특수한 계류방법이 없어 함정계류 시 작업자의 부상 및 사고 등이 우려됨

3.2 소형선박 계선부표 개발요소

3.2.1 소형선박 계선부표 개발 목표

현재 계선부표를 운영 중인 해양경찰·해군을 대상으로 한 설문조사 결과 및 국외등 부표동향 등을 바탕으로 하여 현장적응형 소형선박 계선부표를 개발 시 Table 22와 같은 3가지 요소를 기준을 적용한다.

Table 22 소형선박 계선부표 개발조건

구분	내용
1. 작업의 편의성을 고려한 작업환경	<ul style="list-style-type: none"> - 효율적인 상부구조물 배치 : 실질적 작업내용을 고려하고 상부구조물 재배치 - 소형선박 계선부표 표체 크기 : 작업자가 부표에 올라 작업할 때 안전성을 고려하여 충분한 작업 공간 확보 - 일체형 등명기 적용 : 현재 사용 중인 등명기 및 축전지실을 폐쇄하고 유지보수의 용이성 및 효율성을 고려하여 일체형 등명기 적용
2. 유지관리를 고려한 표체재질	<ul style="list-style-type: none"> - 선박계류 시 충돌로 인한 손상 방지를 고려한 신소재 재질 적용 - 해수에 의한 부식 및 해양생물 부착을 방지하기 위한 재질 적용
3. 관리자의 안전성 및 효율성을 고려한 계류방법	<ul style="list-style-type: none"> - 선박계류 시 기상상태의 영향을 많이 받으므로 작업자가 직접 부표에 올라가 계류하는 방법 및 pick-up 부이를 활용한 계류방법을 적용 - pick-up 부이의 효율적인 관리를 위한 부이 배치 및 로프 적용

3.2.2 작업환경

가. 상부구조물 재배치

현재 운영 중인 계선부표의 경우 원통망대형 구조로 작업자가 작업해야할 상부공간이 매우 협소하고 등부표 중앙에 위치한 맨홀 내에 있는 등명기용 축전지관리 상의 어려움이 나타났다. 국외 계선부표 운영 사례를 살펴보면 상부구조물을 최소화하기 위하여 등명기 설치를 위한 중앙 포스트만 두어 작업자의 충분한 작업공간을 확보하였으며, 작업자의 안전을 위해 부표 외곽에 안전가드레일을 설치하였다. 또한 관리자의 업무과중을 해소하고 부표를 경량화하기 위하여 태양전지판을 활용한 일체형 등명기를 설치하여 부표 중앙에 위치한 축전지실을 폐쇄하였다. 등부표내 부속 장비를 최소화하고 작업 시 작업자의 안전을 확보하기 위한 효율적 상부구조물 배치하여 Fig. 25와 같이 구성하였다.



Fig. 25 상부구조물 배치도

등부표에 설치되는 부속장비의 경우 ‘표준형부표제작 및 품질관리 기준에 관한 규정(해양수산부, 2013a)’ 제 13조(부표의 부속장비) 1항에 따라 해상교통환경 등 제반 여건을 고려하여 설치하도록 하고 있으며, 이에 현재 중앙 상부에 위치한 등명기 및 레이더리플렉터를 중심으로 하여 Table 23과 같이 효율적으로 상부구조물을 배치한다.

Table 23 상부구조물의 배치 내용

상부구조물	배치 내용
철재 망대형 구조물	중앙 포스트로 전환하여 작업공간 확보
등명기	일체형 등명기로 전환하여 등명기용 축전지 등 부속장비 최소화
레이더리플렉터	유지
안전가드레일	작업자의 안전을 고려하여 등부표 외곽으로 신설
계류고리	작업 시 작업자의 동선을 고려하여 안전가드레일 외곽으로 재배치
축전지실 폐쇄	일체형 등명기 전환에 따라 축전지를 제거하고 중앙 포스트 및 계류고리 배치를 고려하여 재배치하고 저장공간으로 활용

나. 표체 크기

현재 해경함정용 계선부표의 경우 표준형 등부표 LL-24를 적용한 것으로 표체 직경이 2.4m이다. 그러나 작업자가 부표에 계류하거나 등명기 및 축전기 정비를 위해 부표 상부에서 작업을 할 경우 협소한 작업공간으로 인해 부표에 매달려 작업하는 등 작업자의 위험성이 커지며, 실사용자 대상의 설문조사 결과 표체 크기의 확대 필요성이 확인되었다. 이에 우리나라 표준형 등부표의 설치기준을 바탕으로 Table 24와 같이 수심, 조류, 해역의 특성 등을 고려하여 적합한 크기의 부표로 개발하도록 한다(해양수산부, 2013b).

Table 24 표준형 등부표 제원

구분	설정기준			표체직경 (mm)	등고 (m)
	해역	수심(m)	조류(kt)		
LS-35	전해역 주요통항로	10-40	강조류(7이하)	3,500	5.38
LL-30	전해역 주요통항로	10-50	강조류(7이하)	3,000	6.97
LL-28	전해역	10-40	강조류(7이하)	2,800	6.52
LL-26	전해역	10-30	5 이하	2,600	6.03
LL-24	내해역	10-20	3 이하	2,400	5.37
LT-10	내해역	10m 전후	3 이하	1,000	2.30

현재 운영 중인 LL-24의 경우 수심 10~20m, 조류 3kt이하인 내해역에 설치하도록 하고 있으나 실제 다수의 계선부표인 해경함정용 계선부표가 설치되어 있는 해역의 경우 연안 1마일 이내 해역으로 수심이 약 5~25m정도이다. 이에 표준형 등부표의 해역특성에 따른 설치기준 및 Table 25와 같은 요소를 고려하여 표체 크기를 결정 하였다.

Table 25 표체 크기 결정 요소

상부구조물	표체 크기 결정 요소
안전공간	작업자가 표체에서 이동할 경우 필요한 최외곽 공간 (600mm)
포스트	등명기설치를 위하여 표체 중심부에 세워질 기둥 (100mm)
크로스 비트	계류장치로 포스트를 기준으로 하여 양쪽으로 배치 (170mm×2)
안전가드레일	안전가드레일로서 안전사고 방지용 (32mm×2)
인양고리	선체 설치 및 정비 시 사용 (220mm×2)
맨홀	기존 축전지실 공간 활용 (510mm)
실작업공간	작업이 가능한 나머지 공간 (성인의 신발 크기를 300mm로 가정)

새롭게 설계된 상부구조물의 배치 및 작업자의 안전을 고려하여 부표 상부 내 ‘실작업공간’을 충분히 확보할 필요가 있으며 계선부표 표체 크기 결정 시 중요한 요소가 된다. ‘실작업공간’이란 Fig 26에서와 같이 상부구조물인 포스트, 크로스비트, 안전가드레일, 맨홀 등의 공간 및 최외곽공간 등을 제외한 잔여공간(A+B)을 의미하는 것으로 작업자 1인이 부표 상부에서 작업할 공간을 성인 신발크기 300mm로 가정하고 부표 상부의 작업공간을 계산한다.

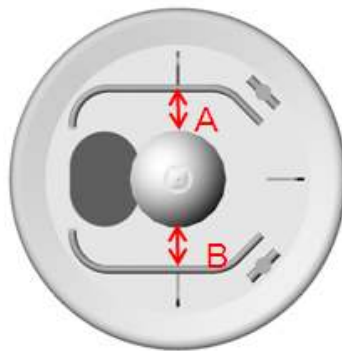


Fig. 26 부표상의 실작업공간

현재 LL-24의 경우 실작업공간이 256mm로 중앙포스트를 기준으로 약 128mm 정도의 공간만 남게 된다. 이처럼 불충분한 작업공간으로 인해 작업자의 안전사고가 지속적으로 발생하고 있는 것으로 판단되며 확대 필요성이 제기된다. 그러므로 표준형 등부표의 표체 크기의 적합성을 판단한 결과 Table 26과 같다. 설치해상여건 측면에서 계선부표 설치해역의 수심 및 조류 등을 고려한 결과 LL-24, LL-10이 부적합한 것으로 판단되고, 관리자의 안전성(실작업공간 고려) 측면에서 작업공간을 성인 신발크기 300mm로 가정하여 계산한 결과 LL-26, LL-24, LL-10의 경우 부적합한 것으로 판단된다. 또한 관리의 효율성(유지보수 비용 등 고려) 측면에서 현재 운영 중인 LL-24를 기준의 운영 필요인력 및 설치장비를 분석한 결과 LS-35, LL-30의 경우 추가적인 인원배치 및 운영비가 필요하여 관리 효율측면에서 부적합한 것으로 판단되므로 현장적응형 소형선박 계선부표 개발 시 LL-28 부표가 가장 적합하다.

Table 26 소형선박 계선부표에 대한 표준형 등부표의 표체직경 적합성 판단

구분	표체직경 (mm)	설치해역조건		실작업공간 (mm)		유지보수의 효율성	적합성
		설치해역 수심	적합성				
LS-35	3,500	약 5-25m	설정 수심 충분	1356	확보	설치 장비 및 필요인력 다수	부적합
LL-30	3,000		설정 수심 충분	856	확보	설치 장비 및 필요인력 다수	부적합
LL-28	2,800		설정 수심 충분	656 (A:328)	확보	현재 유지	적합
LL-26	2,600		설정 수심 충분	456 (A:228)	불충분	현재 유지	부적합
LL-24	2,400		설정 수심 불충분	256 (A:128)	불충분	현재 유지	부적합
LT-10	1,000		설정 수심 불충분	-1144	불충분	-	부적합

다. 일체형 등명기 적용

부표의 전원설비의 경우 ‘표준형 부표제작 및 품질관리 기준에 관한 규정(해양수산부, 2013a)’에 따라 축전지와 태양전지를 기본으로 하고 있으며, 현재 해경함정용 계선부표의 경우 축전지(LDA-400AH x 6개)를 사용 중이다. 현재의 축전지는 Fig. 27과 같이 6개 직렬(6V x 2V, 등명기 소요전압 12V)을 연결하여 등명기에 전원을 공급하고 있으며 이를 보관하기 위해 부표 중앙 맨홀에 축전지실을 둔다.



구분	LDA-400
용량	2V 400h
비중	1.280
치수	L195, W195, H450
무게	31kg x 6개

Fig. 27 LDA-400H 축전지 설치 모습 및 제원

현재 축전지는 부표관리자에 의해 정기점검 및 축전지 충전 업무 등이 이루어지고 있으나 약 186kg의 축전지 무게로 인해 부표 전체 중량이 증가하여 정기교체작업 시 어려움이 있고, 해상에서 축전지 점검을 위한 작업원의 확대가 불가피하다. 또한 축전지실이 망대형 구조인 부표의 중앙에 위치함에 따라 축전지 유지보수를 위한 작업이 비효율적인 실정이다.

최근 항로표지 등명기 표준기종에 대하여 LED 등명기 사용범위 확대 등을 목적으로 개선 부표 등에 일체형-LED 등명기를 설치하도록 Table 27과 같이 개정하였다.

Table 27 등명기 설치 기준

구분	항로표지 목적별	표준기종	비고
소형 등명기	유도표지, 장애표지	일체형-LED	개선부표 포함
	유도표지, 항만인지표지, 장애표지, 연안표지	LED-200	교량표지 사용
		LED-200HI	교량표지 사용
		250mm(백적녹황)	

일체형-LED는 해상용등명기(일체형-LED) 표준규격서(해양수산부, 2012b)에 따라 Fig. 28과 같이 상부등체(상부고정판, 렌즈, LED 모듈, 모듈 지지대), 하부등체(하부등체함, 섬광기, 축전지), 태양전지 일광감지기 등으로 구성되며 특히 일체형등명기의 전원장치는 태양전지와 소형 고효율 축전지로서 기존에 사용되는 LDA-400AH 축전지 없이 급섬광 등질을 충족하고 소요기능 발휘에 이상이 없도록 규정하고 있다.

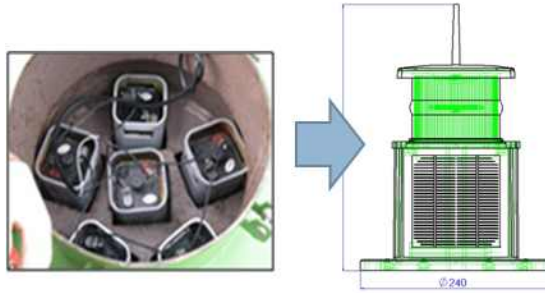


Fig. 28 일체형 등명기의 적용

따라서 소형선박 계선부표의 등명기를 일체형 등명기로 적용하여 기존의 축전지를 제거하고 축전지 충전업무 등 계선부표 유지보수의 편의성 및 효율성을 위해 부표를 경량화 한다.

3.2.3 표체재질

현재 계선부표의 표체는 철재로 이루어져 선박 계류 시 충돌로 인한 상호 손상 및 유실, 잦은 정비 등의 문제를 가지고 있으며, 해수 및 조폐류 등에 의한 표체부식 등으로 추가적인 유지보수 비용이 필수적이다. 그러나 기존 철재부표의 문제점에도 불구하고 제2장 부표 표체 재질 동향에서와 같이 우리나라 항로표지의 표체 개발에 관한 다수의 정책개발저해요소로 인하여 관련연구개발에 어려움을 가진다. 따라서 기존의 철재부표가 가진 문제점을 보완하고 국제동향에 맞춰 경제적이고 친환경적인 신소재 재질의 표체를 개발하고자 Table 28과 같이 4가지 기준을 고려하여 분석하였다.

Table 28 표체 재질 선정 기준

구분	기 준 내 용
내마모성 및 완충성	표체 재질은 외부충격에 강하고, 선박 등 다른 물체와 충돌 시 충돌에너지를 흡수하여 상호 손상이 없도록 한다.
자체부력성	선박 등 다른 물체와의 충돌에도 부표 자체 부력을 가지고 있어 해수유입 등에 의한 부표유실이 없도록 한다.
내식성 및 방식성	부표에서 해수에 잠기는 부분의 경우 해수 및 조폐류 등에 의한 표체부식을 최소화하여 추가적인 유지보수 비용을 최소화하도록 한다.
경량성 및 경제성 등	부표 제작 및 유지보수를 고려하여 관리비용을 최소화 하고 정기교체 및 안전관리 등의 편의성을 고려하여 가벼운 재질을 적용하도록 한다.

우리나라의 경우 ‘표준형 부표제작 및 품질관리 기준에 관한 규정(해양수산부, 2013a)’ 제5조(표준부표의 몸체 재질)에 의해 주된 재질은 강재를 사용하도록 하고 있으며, 단, 설치 시 해역의 자연환경, 선박 교통량, 이용선박의 크기 및 사용용도 등을 감안하여 알루미늄 등 비철금속 또는 합성 물질(GRP, 폴리에틸렌, 우레탄수지, FRP, Foam 등)의 재질을 사용할 수 있도록 규정하고 있다. 제2장의 국외 계선부표 설치사례 및 국제동향을 살펴보면 부표자체의 충격흡수, 침몰방지, 표체부식 최소화 등의 목적으로 내충격성이 강하고 자체부력을 가질 수 있는 표체를 제작하도록 하고 있다. 이에 기존의 철재를 대신하여 플라스틱, 고무, 폴리우레아 등을 적용한 연구 및 설치사례를 볼 수 있다. 각 재질별 주요특징을 살펴보면 Table 29와 같다.

Table 29 표체재질별 특징

	내마모성 및 완충성	자체부력성	내식성 및 방식성	경량성 및 경제성 등
철재 (기준)	×	×	×	×
플라스틱	○	○	○	○
폴리우레아 (외부코팅)	○	-	○	-
고무	×	-	○	△

플라스틱(외부 폴리우레아 코팅)을 이용하여 부표를 제작할 경우 기존의 철재부표는 물론 고무부표에 비해 유지보수 및 안전성 측면에서 많은 장점을 가지게 된다. 부표 제작 시 부력이 발생할 수 있는 주체를 내구성이 강한 플라스틱 폼으로 구성하고, 외부에 보강사로 강화한 폴리우레아를 코팅하여 내구성을 증대시켜 형태 유지를 가능하게 하고, 완충성이 뛰어나 선박이 부딪쳤을 경우 부표자체 및 선박에 파손이 생기지 않고 오히려 에너지를 흡수하여 부표 및 선박의 손상을 방지할 수 있다. 또한 기존의 철재부표 및 고무 부표에 비해 경량화 되어 정기교체 및 안전관리에 편리하며, 유지보수 비용의 경우 기존의 철재부표에 비해 연간 85%의 절감효과를 가지게 된다.

특히 제2장 부표류 표체 재질 동향에서와 분석한 같이 고무와 플라스틱 및 폴리우레아(외부코팅)부표를 비교할 경우 플라스틱(외부 폴리우레아 코팅) 표체가 고압축력 및 저반력의 특징을 가진다. 즉 고무의 경우 압축률 약 25-30%에 비해 폴리우레아의 경우 약 70%이상의 높은 압축률을 가지고 있어 선박과 부표와의 충돌로 인한 선박 또는 부표의 손상 및 작업자 안전상의 문제 등을 해결 할 수 있다. 또한 동일한 힘에 대하여

고무의 경우 강한 반력을 가지고 있어 부표 표체를 제작할 경우 플라스틱(외부 폴리우레아 코팅)으로 제작된 표체에 비해 선박 등의 더 큰 피해가 예상 된다.

그러므로 현장적응형 소형선박 계선부표 표체재질은 플라스틱(외부 폴리우레아 코팅)을 적용하는 것은 적절할 것으로 판단된다. 그러나 기존 소형선박 계선부표의 운영상 문제점 분석하기 위한 설문조사 결과 93.5%의 응답자가 표체재질 개선의 필요성은 충분히 인식하였으나, 철재&고무테두리 57%, 폴리우레아 36.5%로 응답하였다. 이는 새로운 재질에 대한 연구 및 적용이 부족한 실정으로 앞으로 다양한 재질의 부표적용을 위하여 지속적인 연구와 대중화를 위한 노력이 필요하다.

3.2.4 계류 장치

현재 해경함정용 계선부표 및 해군함정용 계선부표의 경우 계류 시 작업자가 부표위에 직접 올라가 계류하거나 Pick-up 부이(Fig. 29 참조)를 활용하여 원거리에서 계류한다.



- 부표 계류고리에서 로프 연결(길이 30 - 40m)
- 로프의 위치를 표시하기 위한 로프 끝 1/5 지점에 Pick-up 부이 설치
- 로프 재질 : 해수에 의한 부식방지용 로프

Fig. 29 계류방법 2 - pick up 부이를 이용한 계류방식

Pick-up 부이를 활용하여 계류하는 방법은 설문조사 결과 75.5%가 해경함정이 계선을 하기위해서는 반드시 필요한 방법으로 인식하고 있으며, ‘가급적 Pick-up 부이를 활용하여 계류를 하는 것이 안전하다.’ 는 등의 의견이 있었다. 그러나 작업자가 직접 부표위에 올라가 계류하는 경우 부표 상 안전시설이 부족하고 기상의 영향으로 안전사고발생 위험이 높아 문제가 따른다. 따라서 Table 30과 같이 현장적응형 소형선박 계선부표에 두가지 계류방식을 두어 작업조건에 따라 선택적으로 사용하도록 한다.

Table 30 계류 장치

구분	계류 방법	내용
계류방법 1	부표 상부의 크로스비트를 이용한 계류방식	pick up 부이의 유실 등의 문제에 대비하고 작업자의 안전을 고려하여 선박에서 로프를 던져 크로스비트에 계류하는 방식
계류방법 2	pick up 부이를 이용한 계류방식	기상 등의 이유로 선박과 부표의 직접적 접촉이 어려울 경우 pick up 부이(Fig. 29 참조)를 회수하여 계류하는 방식

현장적응형 소형선박 계선부표 계류장치는 Fig. 30과 같이 적용한다.

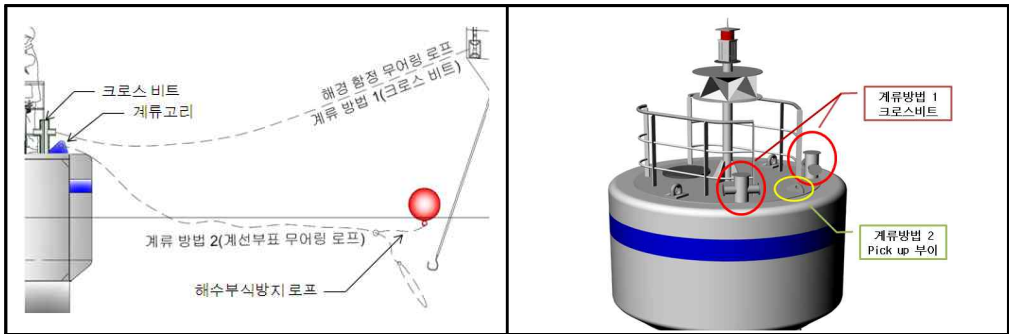


Fig. 30 계류장치의 적용

3.2.5 침추

표준형 등부표의 침추의 경우 ‘표준형 부표 제작 및 품질관리 기준에 관한 규정(해양수산부, 2013a)’ 제11조에 의거하여 콘크리트 침추(4톤/개)를 기준으로 Table 31과 같이 부표의 종류 및 설치해역 환경조건에 따라 제작하도록 하고 있다.

Table 31 표준형 등부표 침추무게 및 개수

구분	침추무게	개수	설치수심
LANBY-100	50ton	2	40m 이상
LS-35	4ton	3	10 - 40m
LL-30	4ton	2	10 - 50m
LL-28	4ton	2	10 - 40m
LL-26	4ton	2	10 - 30m
LL-26(M)	4ton	2	10 - 30m
LL-24	4ton	2	10 - 20m
LS-24	4ton	2	20 - 20m
LSP-24	12ton	1	13 - 17m
LT-10	1/2ton	1	10m 전후

현장적응형 소형선박 계선부표와 가장 유사한 LL-28의 경우 수심 10-20m 해역에서 4톤짜리 침추 2개를 설치하도록 하고 있으며, 현재 해경함정용 계선부표의 경우 역시 콘크리트침추(4톤/5톤) 2개를 사용하고 있다. 이에 현장적응형 소형선박 계선부표의 경우 콘크리트 침추 4톤 2개를 기준으로 하고, 제4장 정적·동적 안정성 계산에서 소형

선박 계선부표 예상설치 해상 여건에 따른 적합한 침추무게를 계산하여 적용하도록 하였다. 그러나 계선부표의 경우 다른 부표와는 다르게 선박의 계류 시 선체저항을 고려하여 침추무게 계산이 이루어져야 하므로, 계선부표 설치 시 설치해역의 환경조건 및 이용선박에 따라 정확한 침추무게 계산이 이루어져야 필요가 있다.

3.3 소형선박 계선부표 설계

부표의 사용목적 및 사용자의 편의성, 사용선박의 특성 등을 고려하여 설계한 소형선박 계선부표의 표체크기, 재질, 계류장치 등을 검토한 결과 Table 32와 같으며, Fig. 31과 같이 배치된다.

Table 32 소형선박 계선부표 개발요소

구분	개발요소
작업의 편의성을 고려한 작업 환경	<ul style="list-style-type: none"> - 표준형등부표 LL-28 적용 : 상부구조물의 배치 및 작업자의 실작업공간을 고려한 설계 - 효율적인 상부구조물 배치 : 등명기 및 레이더 리플렉터 설치를 위한 중앙포스트 및 작업자의 안전을 고려한 안전가드레일 설치 - 일체형 등명기 적용 : 축전지실 폐쇄 및 유지보수의 용이성을 고려한 일체형 등명기 적용
유지관리를 고려한 표체 재질	<ul style="list-style-type: none"> - 폴레우레아의 표체재질 적용 : 계류선박 및 계류부표를 보호하기 위한 설계, 해수에 의한 부식 및 해양생물 부착 방지
작업환경을 고려한 계류방법	<ul style="list-style-type: none"> - 크로스비트를 이용한 계류방식 적용 : 작업자의 안전을 고려하여 직접 부표에 올라가 계류하는 방법 대신 원거리에서 선박 내 계류용 로프를 던져 계류하는 방식 적용 - pick-up 부이를 이용한 계류방식 적용 : 계류부표와 연결된 pick-up 부이를 활용하여 원거리에서 계류하는 방식 적용

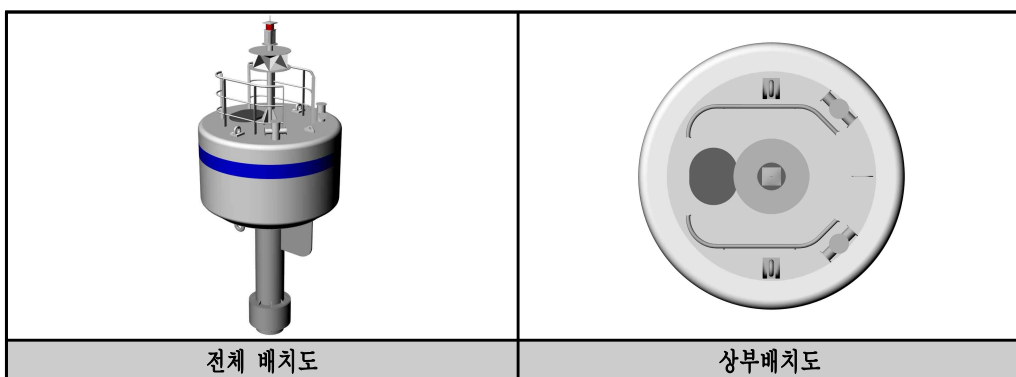


Fig. 31 현장적응형 소형선박 계선부표 배치도

제 4 장 현장적응형 소형선박 계선부표 안정성 평가

4.1 소형선박 계선부표 설치해역별 특성

새롭게 설계된 소형선박 계선부표에 대한 안정성 평가를 위하여 우리나라 해상기상 요소 및 예상설치해역별 특성을 분석한다. 우리나라 주요 13개의 항구를 대상으로 하여 최근 10년간의 기상통계 자료(기상청, 2013)를 분석하고, 현재 해경함정용 계선부표가 설치된 해역에 현장적응형 소형선박 계선부표의 설치를 가정하여 부표 안정성을 검토 한다.

4.1.1 해양기상요소

우리나라는 중위도에 위치하고 있어 편서풍의 영향으로 이동성 고기압과 저기압 및 전선의 통과가 빈번하여 날씨의 변화가 심하게 일어나며 유라시아 대륙의 동쪽 가장자리에 위치하여 남동쪽으로는 일본열도를 넘어서 북태평양 서부와 인접하고 있다. 또한 겨울에는 대륙성 기단인 시베리아 기단의 영향을 받고 여름에는 해양성 기단인 북태평양 기단의 영향을 받는 것이 특징이다. 이에 우리나라는 겨울과 여름의 기온차가 심하고 여름에 강우가 집중되며, 계절에 따라 풍향·속이 변하는 등 뚜렷한 계절적 차이를 나타낸다. 한반도 주변해역에는 해역별로 물리적 특성이 서로 다른 해류가 존재하고 지형적인 요인으로 인해 우리나라 연근해의 기상조건의 서로 차이를 보인다. 따라서 우리나라에 나타나는 기상조건 중 계선부표에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 바람, 파고, 안개, 조류의 기상요소에 대한 현재 계선부표 설치해역별 조건을 분석하고자 한다.

가. 평균풍속

우리나라는 지리적 특징으로 인해 계절풍이 뚜렷한 해역으로 겨울에는 대륙이 냉각되어 해양에 비해 기압이 높아져 서고동저형의 기압배치가 나타나고, 여름에는 대륙이 가열되어 해양에 비해 기압이 낮아져서 남고북저 지형의 기압배치가 나타난다. 이와 같은 계절에 따른 기압배치의 변동으로 인해, 겨울에는 북서-북풍이 불고, 여름에는 남

동-남서풍이 분다. 또한 기압배치의 변동에 의한 대륙과 해양간의 기압차로 인해 여름에 비해 겨울에는 풍속이 강하다. 봄과 가을은 계절풍이 서서히 바뀌는 계절로 뚜렷한 탁월풍은 없이 바람도 약한 편이다. Table 33은 우리나라 해역별 월별 평균 풍속으로 지난 10년간의 통계자료이다.

Table 33 우리나라 해역별 월별평균 풍속(kts)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
동해	6.7	6.0	6.0	6.2	5.2	4.2	3.8	3.9	4.1	4.8	6.1	7.0	5.33
포항	13.3	11.2	9.8	10.5	9.3	8.2	7.9	7.8	8.3	9.1	10.5	12.3	9.85
속초	14.7	14.2	14.0	13.2	11.5	10.3	10.0	10.1	10.6	11.4	13.5	15.1	12.38
인천	5.5	5.4	6.5	6.1	5.3	4.9	4.9	5.1	5.2	5.2	6.0	6.0	5.51
평택	5.5	5.7	6.9	6.4	5.0	4.6	4.3	4.6	4.7	4.8	5.7	5.8	5.33
태안	17.6	16.1	16.8	15.2	13.9	11.8	12.3	12.0	12.4	13.5	16.6	18.1	14.69
군산	10.4	8.6	8.9	7.7	7.1	6.3	7.3	6.7	7.0	7.8	9.9	11.0	8.23
목포	9.1	8.7	8.6	7.1	6.5	5.8	6.0	5.9	6.2	6.8	7.7	8.4	7.23
부산	8.6	7.6	7.8	7.2	6.3	5.9	5.8	6.4	6.7	6.4	7.2	8.7	7.05
마산	6.0	5.6	5.8	6.0	5.4	5.2	5.1	6.3	6.2	5.6	5.3	5.8	5.69
통영	11.5	11.1	10.4	10.7	10.2	9.7	10.6	10.8	11.0	9.1	10.0	10.6	10.48
여수	13.2	12.2	11.4	10.5	9.7	8.5	8.6	8.7	9.8	9.2	10.1	12.1	10.33
완도	14.7	13.1	12.9	11.5	10.2	10.1	10.2	11.2	11.4	11.0	12.5	14.2	11.92
평균	9.84	9.11	9.20	8.74	7.90	7.25	7.41	7.68	8.04	8.19	9.44	10.51	8.77

자료 : 기상통계(2002 - 2011)

월별 평균 풍속은 대체로 12월 - 3월에 강하고, 6 - 9월에 약하게 나타난다. 특히 태안의 경우 여름(7월, 8월)에 풍속 12.3kts로 다른 해역의 겨울 풍속만큼 강하며, 반면 인천, 마산의 경우 풍속의 연교차가 연중 거의 균일한 값으로 나타났다. 연평균 풍속은 태안에서 14.69kts로 가장 강하고 속초, 완도, 여수 순으로 평균풍속(8.77kts)에 비해 비교적 강하다. 반면 평택 5.33kts로 평균풍속(8.77kts)에 비해 비교적 약하다.

나. 월별 강풍

강풍이란 풍속이 13.9m/s (30kts)이상을 의미하는 것으로 Table 34는 지난 10년간 우리나라 해역별 강풍 평균 일수를 나타낸 것이다.

Table 34 우리나라 해역별 월별 강풍 일수(일)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
동해	0.8	0.3	0.7	1.2	0.6	0.3	0	0.1	0.8	0.4	1.1	1.0	0.61
포항	1.7	0.6	1.0	0.7	0.4	0	0.6	0.8	0.9	0.4	0.6	1.0	0.73
속초	3.7	2.0	2.5	2.7	1.8	0.7	0.4	0.2	0.5	1.0	2.3	4.8	1.88
인천	0.1	0.1	0.1	0.3	0	0.1	0.2	0.4	0.1	0.3	0.3	0.2	0.18
평택	0.1	0.5	0.4	0.3	0.1	0	0.1	0.2	0.2	0	0.1	0.2	0.18
태안	3.7	3.6	5.2	4.0	1.7	1.5	1.1	1.2	1.6	2.4	5.3	5.5	3.07
군산	1.2	0.9	1.0	0.4	0	0.2	0.4	0.2	0.6	0.6	1.4	3.2	0.84
목포	2.4	2.0	2.8	1.1	0.1	0.3	0.3	0.4	1.0	0.5	2.4	3.8	1.43
부산	2.0	1.3	1.3	1.2	0.7	0.3	0.8	0.6	1.0	0.5	1.5	2.1	1.11
마산	0.2	0.4	0.4	1.4	0.3	0.2	1.0	1.4	1.1	0.2	0.1	0.5	0.60
통영	2.5	1.6	1.6	1.0	0.7	0.2	1.3	1.7	2.9	0.8	0.4	1.4	1.34
여수	2.6	2.0	1.4	1.6	1.0	0.6	1.5	2.1	2.8	0.5	1.6	3.5	1.77
완도	3.3	2.4	2.3	1.7	1.3	0.7	0.2	1.1	1.6	0.5	2.1	4.5	1.81
평균	1.87	1.36	1.59	1.35	0.67	0.39	0.61	0.80	1.16	0.62	1.48	2.44	1.20

자료 : 기상통계(2002 - 2011)

월별 발생일수는 대체적으로 겨울철(12월)에 집중되어 있으며 특히 태안, 속초, 완도, 여수 순으로 평균발생일수에 비해 빈번하게 발생하는 것으로 나타났다. 지역별 연 강풍일수에 의하면 여수 및 완도에서 연 21일 이상, 속초에서 연 22회의 폭풍이 발생하여 우리나라의 남해서부와 동해중부가 강풍대에 속하며, 인천 및 평택에서는 연 폭풍 일수 3일 이하로 폭풍이 거의 발생하지 않는 지역이다.

다. 안개 발생일수

우리나라 연안 해역에서 발생하는 안개의 경우, 서해는 봄부터 대륙방면의 기온은 상승하는데 해수 온도는 아직 저온인 때에 대륙으로부터 따뜻한 기류가 저온 수역으로 흘러 들어와 발생하며, 발생 시기는 3월 - 7월이며, 특히 5월 -7월에 집중된다. 남해는 봄부터 여름까지 남쪽에서 유입되는 고온 건조한 기류가 남해상의 저온 수역을 통과하면서 발생하고, 동해는 안개 출현기가 4월 - 8월이며, 7월이 최성기이다. Table 35는 지난 10년 간 우리나라 해역 월별 안개발생 평균 일수를 나타낸 것으로 평균 시정 1마일이하만을 포함하였다.

Table 35 우리나라 해역별 월별 안개 발생 일수(일)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균	발생일수 (1년)
동해	1.2	0.8	1.1	0.6	3.6	5.4	7.6	3.8	1.4	0.2	0.3	0.4	2.20	26.4
포항	0.8	1.3	1.3	0.8	3.1	3.3	5.6	2.9	2.0	0.1	0.2	0.2	1.80	21.6
속초	1.6	1.3	2.5	1.9	6.6	8.3	11.0	4.5	2.2	0.7	0.8	0.7	3.51	42.12
인천	5.9	8.4	8.7	8.3	11.4	14.4	18.3	8.3	4.4	5.4	5.8	4.6	8.66	103.92
평택	6.2	7.6	7.4	7.2	10.0	13.7	15.9	8.2	6.6	6.0	5.2	6.1	8.34	100.08
태안	8.3	8.8	10.4	13.2	14.6	20.8	22.8	11.0	5.0	6.8	5.3	5.8	11.07	132.84
군산	1.7	3.5	4.3	5.0	6.9	10.0	12.2	3.5	1.1	2.2	1.3	1.6	4.44	53.28
목포	4.3	4.0	4.6	5.0	7.5	7.4	6.9	4.6	2.3	1.6	1.8	3.8	4.48	53.76
부산	0.5	0.5	1.7	3.2	5.4	7.7	10.6	3.4	0.7	1.1	0.3	0.1	2.93	35.16
마산	0.9	1.0	2.6	2.1	3.9	6.1	9.4	2.4	1.3	0.7	0.8	0.1	2.61	31.32
통영	1.8	1.4	3.4	5.4	7.1	12.1	15.0	6.1	4.3	1.8	1.6	0.2	5.02	60.24
여수	0.7	1.0	1.7	4.4	7.0	12.3	14.6	3.8	1.3	0.9	0.3	0.2	4.02	48.24
완도	1.0	2.0	2.3	5.7	8.4	14.7	15.6	4.5	1.3	0.9	0.6	0.6	4.80	57.6
평균	2.68	3.20	4.00	4.83	7.35	10.48	12.73	5.15	2.61	2.18	1.87	1.88	4.91	58.92

자료 : 기상통계(2002 - 2011)

연 안개 발생일수는 대체적으로 여름철(7월)에 집중되어 있으며 인천, 평택, 태안의 경우 1년에 평균 100일 이상 안개가 발생하는 것으로 나타났으며 포항이 21.6일 정도로 가장 적게 나타났다. 우리나라 해역별로 비교해 보면 대체로 서해에서 안개가 가장 많이 발생하며 특히 6월과 7월에 집중되고 있다.

라. 파랑

해상에서 파를 일으키는 기파력으로 바람, 조석 및 해저 화산 등을 들 수 있다. 이들 기파력 중에서, 우리나라 부근 해역에서 발생하는 해파는 주로 바람에 의해 발생한 파로 파랑은 선박의 안전 운항뿐만 아니라 해안선 부근 및 해상에 설치된 항로표지에도 크게 영향을 준다. Table 36은 지난 10년간 우리나라 해역별 월별 평균파고를 나타낸 것이다.

Table 36 우리나라 해역별 월별 평균 파고(m)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
동해	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.4	1.6	1.26
포항	2.0	1.9	1.8	1.7	1.5	1.3	1.3	1.4	1.7	1.7	1.9	2.0	1.68
속초	2.2	2.1	2.0	1.8	1.5	1.3	1.4	1.4	1.7	1.8	2.2	2.3	1.81
인천	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.50
평택	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.35
태안	2.1	1.9	1.9	1.6	1.4	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.9	2.2	1.69
군산	1.9	1.7	1.7	1.5	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7	2.0	1.54
목포	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.52
부산	1.3	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.5	1.3	1.3	1.3	1.26
마산	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.35
통영	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.7	1.7	1.9	1.8	1.8	2.0	1.82
여수	2.1	1.9	1.9	1.8	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	1.8	1.8	2.0	1.83
완도	2.1	1.9	1.9	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	2.1	1.82
평균	1.47	1.35	1.34	1.24	1.12	1.05	1.10	1.13	1.25	1.25	1.36	1.49	1.26

자료 : 기상통계(2002 - 2011)

해역별 월별 파고의 경우 대체로 12월-1월에 높았고, 지역별로는 통영, 여수, 완도, 속초의 경우 평균 1.8m이상으로 가장 높으며 평택, 마산의 경우 0.3m로 가장 낮았다. 해역별로는 동해전반, 서해중부, 남해서부가 높았다.

4.1.2 해저저질 및 수심요소

해경함정 계선부표는 현재 최북단 저진항에서 서해 주문도까지 우리나라 연안에 설치되어 있다. 위치는 대다수 연안 1마일 이내 또는 도서 인근에 설치되어 있으며, 설치 위치는 Fig. 32와 같다.

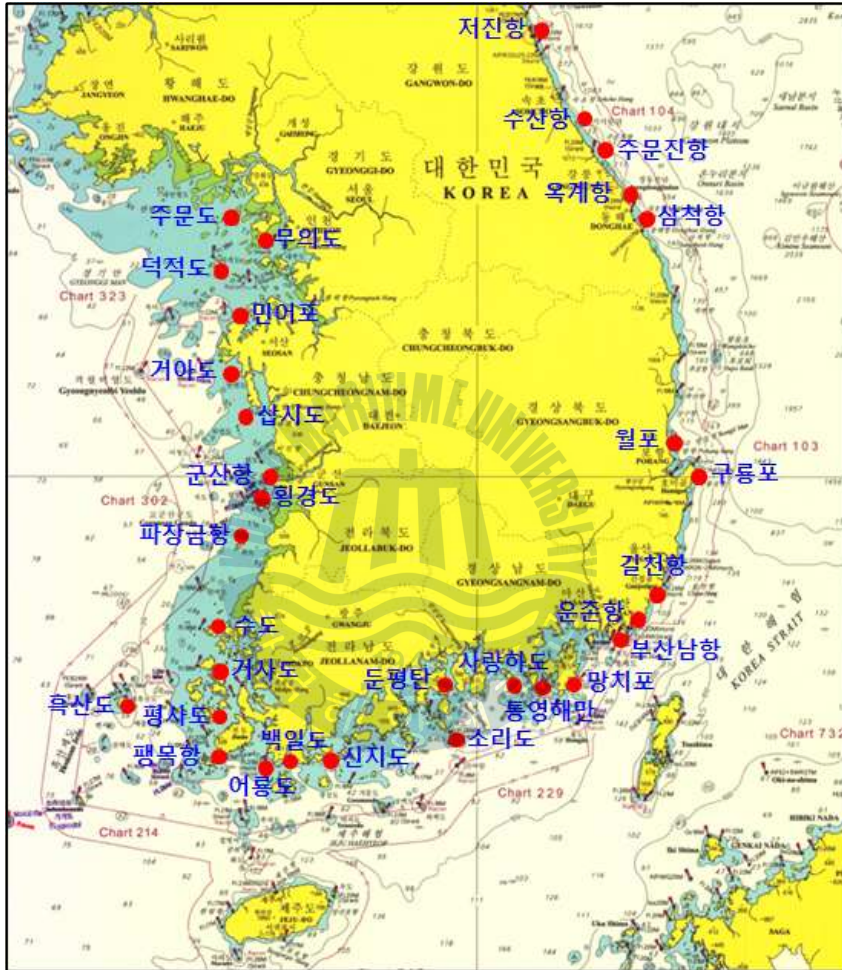


Fig. 32 해경함정용 계선등부표 위치도

해경함정용 계선부표 설치 해역별 특징(국립해양조사원, 2011)은 Table 37과 같으며, 등질은 Fl W 6s, Fl(3) W 7s, QW의 세 종류로 광달거리는 2 - 3마일이다. 계선부표 설치해역의 수심은 최저 4.4m(파장금항)에서 최대 24.9m(어룡도)이고 저질은 빨, 모래가 주류를 이루고 있다.

Table 37 해경 계선등부표 위치별 특징

표지명	위 치	등질	도색	수심(m)	저질	특징
저진항	38-33.09N 128-24.97	Fl W 6s	백청백	13.2	rocky	하계절 너울이나 파도에 의해 영향을 받음
수산항	38-04.14N 128-40.91E	Fl W 6s	백청백	10	rocky	외해부터의 강파 및 파도에 대해 보호를 받지 못함
주문진항	37-53.42N 128-50.08E	Fl W 6s	백청백	10.9	sand	-
옥계항	37-37.77N 129-03.31E	Fl W 6s	백청백	11.2	sand	연안으로부터 최단거리 0.25마일
삼척항	37-25.18N 129-12.27E	Fl W 6s	백청백	10	sand /mud	연안으로부터 최단거리 0.3마일, 삼척항 통항로 근처에 위치하여 내해쪽으로 다소 이동을 요함
월포	36-12.16N 129-23.17E	Fl W 6s	백청백	16.4	sand /mud	-
구룡포	35-58.91N 129-33.79E	Fl W 6s	백청백	18.7	sand	-
길천항	35-19.03N 129-16.91E	Fl W 6s	백청백	13.2	mud	-
덕적도	37-12.85N 126-09.20E	Fl(3) W 7s	백청백	20	sand	-
주문도	37-31.97N 126-15.69E	Fl(3) W 7s	백청백	2.9	sand	저수심 지역으로 타 선박의 접근은 곤란함
무의도	37-22.41N 126-27.31E	Fl(3) W 7s	백청백	20	sand /mud	-
민어포	36-55.18N 126-15.76E	Fl W 6s	백청백	6.3	mud /sand	-
거아도	36-36.77N 126-15.90E	Fl W 6s	백청백	6	sand	-
삼시도	36-19.63N 126-22.03E	Fl W 6s	백청백	8.8	sand /mud	-
군산항	35-59.18N 126-30.42E	Fl W 6s	백청백	7.8	mud /sand	-
파장금항	35-37.22N 126-17.83E	Fl W 6s	백청백	4.4	mud	-
횡경도	35-51.28N 126-24.29E	Fl W 6s	백청백	8.3	gravel /shell	-
수도	35-04.87N 126-08.18E	Fl W 6s	백청백	20	mud	-

표지명	위 치	등질	도색	수심(m)	저질	특징
거사도	34-46.83N 126-10.57E	Fl W 6s	백청백	10	mud /shell	-
평사도	34-35.70N 126-08.70E	Fl W 6s	백청백	10	mud	-
흑산도	34-38.08N 125-25.17E	Fl W 6s	백청백	10.4	mud /sand	흑산도 바당섬에서 0.1마일에 위치하여 육지와 다소 근접함
운촌항	35-09.00N 129-08.30E	Fl W 6s	백청백	8.5	mud /sand	수영만어항의 통항로 인근에 위치하여 통항선박에 영향을 줄 수 있음
부산남항	35-04.95N 129-01.75E	Fl W 6s	백청백	8.5	mud /sand	-
사랑하도	34-47.75N 128-14.00E	Fl W 6s	백청백	16.8	mud	-
망치포	34-47.40N 128-41.20E	Fl W 6s	백청백	20.9	mud	-
통영해만	34-45.90N 128-27.90E	Q W	백청백	14.4	mud	-
둔평탄	34-47.13N 127-45.90E	Fl W 6s	백청백	11.9	mud	-
소리도	34-26.80N 127-46.80E	Fl W 6s	백청백	24.5	mud	-
팽목항	34-22.27N 126-07.32E	Fl W 6s	백청백	21.5	rocky	-
신지도	34-19.24N 126-55.18E	Fl W 6s	백청백	15.2	shells	-
어룡도	34-16.42N 126-26.45E	Fl W 6s	백청백	24.0	gravel	-
백일도	34-17.31N 126-35.04E	Fl W 6s	백청백	10	rocky	-

4.2 현장적응형 소형선박 계선부표 설치해역에 대한 안정성 평가

등부표 설치에 앞서서 등부표의 복원성 계산, 체인의 해석, 침추의 저항력 및 안정성 계산, 표체의 구조강도 해석 등 과정이 설계단계에서 정확히 선행되어야 한다. 이를 위하여 항로표지 업무편람(해양수산부, 2006)에서 제시한 기본 안정성 계산 기준을 적용하며 현장적응형 소형선박 계선부표를 평가하고, 위에서 분석한 설치예상해역별 특성 및 기상 조건 등을 기반으로 하여 새롭게 설계된 소형선박 계선부표의 안정성을 검증하였다.

4.2.1 등부표의 안정성

자연환경요소를 설치해역의 외부영향 요소로 정의하고 실제 설치될 등부표의 안정성을 검증한다. 이때 시정, 천기, 온도 및 습도에 대한 부분은 동적 안정성에 큰 영향이 없으므로 제외하였다.

계선부표의 안정성은 정적안정성 및 동적안정성으로 구분할 수 있다. 정적 안정성의 경우 부표의 구조 및 하중에 의한 해석으로서 기본전제인 중력과 부력만을 감안하여 계산하고 다른 외력의 영향이 없다는 가정을 전제로 한다. 정적 안정성의 주요 요소인 부력과 중력이 부표에 작용하는 힘의 원점이 되는 부심과 무게중심간의 거리인 GM의 크기 여부를 이용하여 분석한다. 또한 동적 안정성의 경우 바람, 파도, 조류 및 조석에 대한 영향을 모두 고려하여 시간의 정점에서 계산되어지는 결과가 아닌 동적인 시간의 흐름 속에서 작용하는 외력의 복합적인 영향력을 고려한 안정성에 대한 계산을 수행하는 것이다.

새롭게 설계된 현장적응형 소형선박 계선부표의 정적안정성은 항로표지업무편람(해양수산부, 2006)에서 제시한 기상 조건에 따라 파고 5m, 조류 3kts, 풍속 45m/s를 가정하여 계산하였으며, 동적안정성은 현재 해경함정용 계선부표 설치해역 기상조건을 고려하여 계산하였다.

4.2.2 정적안정성 계산

가. 중심(center of gravity)

부표의 중심위치는 Table 38과 같이 표체, 미통, 중추, 철탑, 등명기 등 모든 부재에 대하여 중량분포를 구하여 산정하며, 이 연구에서는 미통과 연결되는 표체의 경사부하단을 기준선으로 정하여 식(1)과 같이 부표의 중심위치(KG)를 계산하였다.

$$KG = M_c / W = -0.350m \quad (1)$$

$$* 1\text{kgf} = 1\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2$$

* 부표의 총 중량을 계산할 때 작업원의 중량은 고려하지 않는다.

Table 38 현장적응형 소형선박 계선부표 부재목록

명 칭	수량	중량 (kgf)	기준선에서 각부중심까지거리	중량의1차 모멘트(kgf-m)	각부중심까지 거리제곱(m ²)	질량의 관성 모멘트(kgf-m ²)
일체형등명기	1	5.000	3.920	19.600	15.366	76.830
등명기 취부판	1	3.090	3.690	11.402	13.616	42.073
레이더 리플렉터	1	11.180	3.370	37.677	11.357	126.971
리플렉터 취부판	2	46.280	3.370	155.964	11.357	525.602
등명기용 포스트	1	37.860	2.845	107.712	8.094	306.439
수직 지지재 하부브라켓	4	9.540	2.100	20.034	4.410	42.071
안전가드레일 상부 파이프	2	12.440	3.150	39.186	9.923	123.442
안전가드레일 중간환봉	4	16.380	2.600	42.588	6.760	110.729
안전가드레일 지주재	8	56.330	2.560	144.205	6.554	369.187
맨 홀	1	33.600	2.000	67.200	4.000	134.400
무링로프 고리	1	4.470	2.100	9.387	4.410	19.713
크로스 비트	2	66.000	2.300	151.800	5.290	349.140
인양고리	2	38.200	2.100	80.220	4.410	168.462
표체 상판	1	298.400	2.000	596.800	4.000	1193.600
표체 측판	1	940.900	1.000	940.900	1.000	940.900
표체 하판	1	298.400	0.000	0.000	0.000	0.000
폼필드 표체내부	1	367.450	1.000	367.450	1.000	367.450
폼필드 표체표면	1	191.100	1.000	191.100	1.000	191.100
표체내부 중앙관	1	44.350	1.000	44.350	1.000	44.350
내부 중앙관 상부 브라켓	8	10.170	1.800	18.306	3.240	32.951
내부 중앙관 하부 브라켓	8	16.960	0.200	3.392	0.040	0.678
표체 상판 하부 보강재	8	34.410	1.980	68.132	3.920	134.887
표체 측판 수직 보강재	8	55.950	1.000	55.950	1.000	55.950
표체 측판 상부 브라켓	8	7.630	1.900	14.497	3.610	27.544
표체 측판 하부 브라켓	8	7.630	0.150	1.145	0.023	0.175

명 칭	수량	중량 (kgf)	기준선에서 각부중심까지거리	중량의1차 모멘트(kgf-m)	각부중심까지 거리제곱(m ²)	질량의 관성 모멘트(kgf-m ²)
표체 측판 수평 보강재	2	59.290	1.000	59.290	1.000	59.290
표체 하판 보강재	8	40.690	0.040	1.628	0.002	0.081
표체 하판 보강팅	1	16.810	0.040	0.672	0.002	0.034
사다리 측판	2	13.420	1.030	13.823	1.061	14.239
사다리 발판	6	5.350	1.030	5.511	1.061	5.676
사다리 지지대	4	1.550	1.030	1.597	1.061	1.645
계류 고리	2	68.000	-0.100	-6.800	0.010	0.680
미통	1	426.860	-1.600	-682.976	2.560	1092.762
미통 상부 연결용 브라켓	8	29.800	-0.140	-4.172	0.020	0.596
중추 고정 브라켓	16	5.700	-2.680	-15.276	7.182	40.937
방향타판	1	52.220	-0.480	-25.066	0.230	12.011
중추	6	1551.36	-2.680	-4157.645	7.182	11141.868
중추 고정판	2	38.730	-2.680	-103.796	7.182	278.159
소계		W =4923.5		M_c = -1724.213		18032.622
작업원 2명		140.000	4.448	622.720	19.785	2769.900
작업원 포함 소계		5063.5		-1101.493		20802.522

나. 배수체적(displacement)

배수체적(V)은 부표(수면하부)가 밀어낸 해수의 체적으로 식(2)와 같다.

$$V = W / \gamma_w = 4923.5 / 1025 = 4.803m^3 \quad (2)$$

* γ_w : 해수의 단위부피당 중량 (= 1025 kgf/m³)

다. 흘수(draft)

흘수의 경우 Fig. 33과 같이 표체 하부의 경사부 높이(d_1) 및 수직부표체의 수면 아래 쪽 깊이(d_2)의 합으로 나타낼 수 있다.

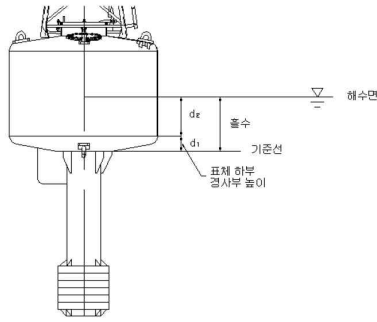


Fig. 33 홀수면의 결정

소형선박 계선부표의 홀수는 식(3)과 같다.

$$d = d_1 + d_2 = 0.3 + 0.488 = 0.788 \quad (3)$$

라. 복원모멘트

등부표의 복원성은 중심, 경심, 부심에 따라 물체가 제자리로 돌아가려는 복원모멘트가 작용하게 된다.

1) 부심(center of buoyancy)

부심은 물속에 잠긴 체적의 중심으로 소형선박 계선부표의 부심을 구하기 위해 배수체적 및 각 배수체적의 1차 모멘트를 계산해본결과 Table 39와 같다.

Table 39 소형선박 계선부표 배수체적과 1차모멘트

명칭	배수체적 (m ³)	기준선에서 각 배수체적의 중심까지 거리 (m)	각배수체적의 1차모멘트 (m ⁴)
표체	4.531	0.416	1.884
미통	0.054	-1.593	-0.086
중추	0.198	-2.682	-0.531
계류고리	0.009	-0.111	-0.001
방향타판	0.007	-0.429	-0.003
미통 연결보강재	0.004	-0.250	-0.001
소계	$V = 4.803$		$M_B = 1.262$

따라서 소형선박 계선부표의 기준선에서 부심까지의 거리(KB)는 식(4)과 같다.

$$KB = M_B / V = 0.263m \quad (4)$$

2) 경심(metacenter)

부심에서 경심(메타센터, metacenter)까지의 높이(BM)는 식(5)와 같으며, 이 값은 부체의 횡동요 주기를 결정하고 복원력 특성을 좌우하는 중요한 인자이다.

$$BM = I_x / V = 0.628m \quad (5)$$

I_x 는 표체 흘수면의 단면2차모멘트로 원형단면이므로 $\frac{\pi R^4}{4}$ 값(흘수면의 반지름 : R)을 가진다. 또한 중심에서 메타센터(metacenter)까지의 높이(GM)는 식(6)과 같이 계산된다.

$$GM = BM + KB - KG = 1.241 \quad (6)$$

마. (등)부표의 진동주기

부표의 진동주기(t_o)란 표체가 무게중심을 중심축으로 1주기 동요하는 데 걸리는 시간으로 부표의 무게중심에 대한 질량관성모멘트(I_v)를 고려하여 식(7)과 같다.

$$t_o = 2\pi \sqrt{\frac{I_v}{W \cdot GM}} = 2\pi \sqrt{\frac{1954}{4923.5 \cdot 1.241}} = 3.551\text{sec} \quad (7)$$

이때 I_v 는 수중에서의 운동임을 고려하여 질량관성모멘트의 10%의 부가질량관성모멘트로 고려하여 식(8)과 같이 계산하여 적용한다.

$$I_v = (I_o - W/g \cdot \overline{KG^2}) \times 1.1 = (1838 - 4924/9.81 - 0.35^2) \times 1.1 = 1954\text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad (8)$$

바. 외력에 의한 경사각

1) 바람에 의한 경사각

바람에 의한 등부표의 최대 경사각은 식(9)와 같이 풍력 모멘트(M_a)가 등부표의 복원 모멘트(M_R)와 같을 경우 발생한다. 풍력 모멘트는 기준풍속 45m/s을 적용하여 Table 40과 같이 계산 하였다.

$$M_R = W \cdot G_M \cdot \sin\theta = M_a \quad (9)$$

Table 40 소형선박 계선부표 풍력 및 풍력모멘트

부재명	풍력면적 계수 C_D	투영면적 A_a (m ²)	풍속 V_a (m/s)	풍력 F_a (kgf)	중심으로부터 거리(m)	풍력모멘트 M_a (kgf-m)
일체형등명기	1	0.066	38.123	5.995	4.27	25.599
레이더 리플렉터	0.8	0.24	37.086	16.504	3.72	61.396
등명기용 포스트	0.5	0.15276	35.901	3.076	3.195	9.829
안전가드레일 수평재	0.25	0.19908	35.186	3.851	2.925	11.265
안전가드레일 수직재	0.7	0.286	35.186	15.491	2.925	45.312
브라켓	0.7	0.045	33.667	3.188	2.45	7.810
크로스비트	0.6	0.2112	34.356	7.790	2.65	20.644
표체	1	3.3656	30.114	190.754	1.739	331.722
소계		4.56564		$F_a = 246.651$		513.577

따라서 바람에 의한 등부표의 최대 경사각은 식(10)과 같다.

$$\sin\theta = M_a / W \cdot G_M = 0.084 \quad (10)$$

바람에 의한 최대경사각 $\theta_{\max} = 4.819^\circ$

2) 조류에 의한 경사각

조류에 의한 등부표의 최대 경사각은 식(11)과 같이 조류력 모멘트(M_c)가 등부표의 복원모멘트(M_R)와 같을 경우 발생한다. 조류력 모멘트는 기준유속 3kts를 적용하여 Table 41과 같이 계산하였다.

$$M_R = W \cdot G_M \cdot \sin\theta = M_c \quad (11)$$

Table 41 소형선박 계선부표 조류력 및 조류력모멘트

부재명	투영면적 A_c (m ²)	조류와 부표의 상대속도 V_c (m/s)	조류력 F_c (kgf)	중심으로부터의 거리(m)	조류력 모멘트 M_c (kgf-m)
표체	2.206	1.08	135.087	-0.75	-101.315
미통	1.952	1.08	119.533	1.25	149.416
중추	0.54	1.08	33.067	2.33	77.046
미통연결보강재	0.16	1.08	9.798	-0.21	-2.058
소계	4.858		297.485		123.089

따라서 조류에 의한 등부표의 최대 경사각은 식(12)와 같다.

$$\sin\theta = M_c / W \cdot G_M = 0.02 \quad (12)$$

조류에 의한 최대경사각 $\theta_{\max} = 1.146^\circ$

3) 파도에 의한 경사각

파도에 의한 경사각은 앞서 바람 및 조류에 의한 경사각 계산과는 다른 방법을 사용해야하며, 등부표의 경우 파력에 의한 직접적 운동보다 파도의 경사면을 따라 기울어지는 효과가 크므로 파도의 기울기에 의해 등부표의 경사각이 결정된다고 볼 수 있다.

등부표의 최대 경사각(θ_{\max})은 식(13)과 같다.

$$\theta_{\max} = \frac{\alpha}{1 - t_o^2/T^2} = \frac{0.129}{1 - 3.585^2/10^2} \quad (13)$$

$$\theta_{\max} = 0.148 \text{ rad} = 8.48^\circ$$

이때, 계수 α 는 유한수심에서의 파장을 심해파의 파장(λ_o)과 수심(d)과의 관계인 Table 42를 이용하며, 파주기(T) 10초, 수심(d) 20m, 파고(H) 5m을 적용하여 식(14)와 같이 계산한다.

$$\alpha = \frac{\pi H}{\lambda} = 3.14 \times 5 / 121.29 = 0.129 \quad (14)$$

Table 42 심해파의 수심과 파장과의 관계

(출처 : U.S. Army Coastal Engineering Research Center)

d/λ_o	d/λ
0.1200	0.1581
0.1210	0.1590
0.1220	0.1598
0.1230	0.1607
0.1240	0.1615
0.1250	0.1624
0.1260	0.1632
0.1270	0.1640
0.1280	0.1649
0.1290	0.1657
0.1300	0.1665

사. 침추 해석

침추(sinker)의 파주력은 계류삭에 걸리는 수평력(F_H)보다 커야 한다. 이때 부표에 작용하는 수평력은 바람과 조류 그리고 파도에 의한 모든 힘을 합친 것으로 식 (15)와 같고, 침추의 파주력은 침추의 수중 중량에 지반과의 마찰계수(혹은 부착계수)를 곱하여 식(16)과 같이 계산한다. 이때 마찰계수는 해저지반의 종류에 따라 다르나 통상 암반상에서의 마찰계수 0.4를 적용한다.

$$F_H = (246.651 + 297.485) \times 1.2 = 652.963 \text{ kgf} \quad (15)$$

$$W_{eff} = \frac{1385.268}{0.4} = 3463.17 \text{ kgf} \quad (16)$$

여기서 콘크리트 침추의 비중이 2.4로, 공기 중의 침추 중량(W_s)은 식(17)과 같다.

$$W_s = 3463.17 \times \frac{2.4}{(2.4 - 1.025)} = 6043.927 \text{ kgf} \quad (17)$$

따라서 설계외력 조건인 풍속 45m/s 조류 5knots 에 대하여 소형선박 계선부표는 침추(4톤) 2개를 적용한다.

4.2.3 동적안정성 계산

현재 해경함정용 계선부표 설치 해역 조건 수심 20m, 파고 2.5m, 조류 3kts, 풍속 15m/s 또는 17m/s를 기준으로 부표 설치 가정 하에 소형선박 계선부표의 동적안정성을 계산하였다. 동적안정성 계산 시 중심위치, 배수체적, 흘수, 부심, 경심 등은 정적안정성 계산값과 동일하여 생략하고, 외부 환경조건의 변경에 따른 외력에 의한 부표의 경사각만을 계산한다. 소형선박 계선부표 설치예상해역 환경 조건은 일반적으로 150톤 이하의 함정의 경우 파고 2.5m이상, 풍속 15m/s 이상이면 항내로 피항하게 되어 계선부표의 계류가 제한되게 점을 고려하여 최대파고, 최대풍속을 적용하였다.

가. 바람에 의한 경사각

1) 환경조건 1 : 풍속15m/s(수심 20m, 파고 2,5m, 조류 3knots)

환경조건 1에서 풍압 중심의 경우 Table 43의 요소를 고려하여 계산한 결과 식(18)과 같다.

$$C_a = M_a / F_a = 57.064 / 27.406 = 2.082 \quad (18)$$

이때 최대 경사각은 $\theta_{max} = 0.516^\circ$ 이다.

Table 43 소형선박 계선부표 풍력 및 풍력모멘트(기준풍속 15m/s 가정)

부재명	풍력면적 계수 C_D	투영면적 A_a (m ²)	풍속 V_a (m/s)	풍력 F_a (kgf)	중심으로부터 거리(m)	풍력모멘트 M_a (kgf-m)
일체형등명기	1	0.066	12.708	0.666	4.27	2.844
레이더 리플렉터	0.8	0.24	12.362	1.834	3.72	6.822
등명기용 포스트	0.5	0.15276	11.967	0.342	3.195	1.092
안전가드레일 수평재	0.25	0.19908	11.729	0.428	2.925	1.252
안전가드레일 수직재	0.7	0.286	11.729	1.721	2.925	5.035
브라켓	0.7	0.045	11.222	0.354	2.45	0.868
크로스비트	0.6	0.2112	11.452	0.866	2.65	2.294
표체	1	3.3656	10.038	21.195	1.739	36.858
소계		4.56564		27.406		57.064

2) 환경조건 2 : 풍속17m/s(수심 20m, 파고 2.5m, 조류 3knots)

환경조건 2에서 풍압 중심의 경우 Table 44의 요소를 고려하여 계산한 결과 식(19)와 같다.

$$C_a = M_a / F_a = 73.296 / 35.201 = 2.082 \quad (19)$$

이때 최대 경사각은 $\theta_{max} = 0.688^\circ$ 이다.

Table 44 소형선박 계선부표 풍력 및 풍력모멘트(기준풍속 17m/s 가정)

부재명	풍력면적 계수 C_D	투영면적 A_a (m ²)	풍속 V_a (m/s)	풍력 F_a (kgf)	중심으로부터 거리(m)	풍력모멘트 M_a (kgf-m)
일체형등명기	1	0.066	14.402	0.856	4.27	3.653
레이더 리플렉터	0.8	0.24	14.010	2.355	3.72	8.762
등명기용 포스트	0.5	0.15276	13.562	0.439	3.195	1.403
안전가드레일 수평재	0.25	0.19908	13.293	0.550	2.925	1.608
안전가드레일 수직재	0.7	0.286	13.293	2.211	2.925	6.467
브라켓	0.7	0.045	12.719	0.455	2.45	1.115
크로스비트	0.6	0.2112	12.979	1.112	2.65	2.946
표체	1	3.3656	11.376	27.224	1.739	47.342
소계		4.56564		35.201		73.296

나. 조류에 의한 경사각

조류력 중심의 경우 Table 45의 요소를 고려하여 계산한 결과 식(20)과 같다.

$$C_c = M_c / F_c = 123.089 / 297.485 = 0.414m \quad (20)$$

이때 최대경사각은 $\theta_{\max} = 1.146^\circ$ 이다.

Table 45 소형선박 계선부표 조류력 및 조류력모멘트(유속 3kts 가정)

부재명	투영면적 A_c (m ²)	조류와 부표의 상대속도 V_c (m/s)	조류력 F_c (kgf)	중심으로부터의 거리(m)	조류력 모멘트 M_c (kgf-m)
표체	2.206	1.08	135.087	-0.75	-101.315
미통	1.952	1.08	119.533	1.25	149.416
중추	0.54	1.08	33.067	2.33	77.046
미통연결보강재	0.16	1.08	9.798	-0.21	-2.058
소계	4.858		297.485		123.089

다. 파도에 의한 경사각

파주기를 10초, 파고(H)를 2.5m로 가정하여 식(21), 식(22)와 같이 계산한 결과 파도에 의한 부표의 최대 경사각은 식(23)과 같다.

$$\lambda_o = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9.8 \times 10^2}{2\pi} = 156.131m \quad (21)$$

$$\alpha = \frac{\pi H}{\lambda} = 3.14 \times 2.5 / 121.286 = 0.065 \quad (22)$$

$$\theta_{\max} = \frac{\alpha}{1 - t_0^2 / T^2} = 4.262^\circ \quad (23)$$

라. 침추 해석

1) 환경조건 1 : 풍속15m/s(수심 20m, 파고 2.5m, 조류 3knots)

침추의 수중중량은 식(24)와 같으며, 공기 중의 침추 중량(W_s)은 식(25)와 같다.

$$W_{eff} = \frac{2547.836}{0.4} = 6369.59kgf \quad (24)$$

$$W_S = 6369.59 \times \frac{2.4}{(2.4 - 1.025)} = 11117.83 \text{ kgf} \quad (25)$$

따라서 소형선박 계선부표는 침추(4톤) 3개를 적용해야 한다.

2) 환경조건 2 : 풍속17m/s(수심 20m, 파고 2.5m, 조류 3knots)

침추의 수중중량은 식(26)과 같으며, 공기 중의 침추 중량(W_S)은 식(27)과 같다.

$$W_{eff} = \frac{2929.19}{0.4} = 7322.975 \text{ kgf} \quad (26)$$

$$W_S = 7322.975 \times \frac{2.4}{(2.4 - 1.025)} = 12751.92 \text{ kgf} \quad (27)$$

따라서 소형선박 계선부표는 침추(5톤) 3개를 적용해야 한다.

4.2.4 소형 선박 계선부표의 안정성 평가결과

소형선박 계선부표 설치 예상해역 조건의 정적, 동적안정성 계산 결과 Table 46과 같다.

Table 46 환경조건별 안정성 계산결과

구분	항목	단위	정적	동적(해경함정 계류)	
			부표단독	환경조건 1	환경조건 2
조건	수심	m	20	20	
	풍속	m/s	45	15	17
	조류속도	knots	3.0	3.0	
	파고	m	5.0	2.5	
	계선력	kgf	-	1245.0	1555.0
결과	중심위치	m	-0.350		
	배수체적	m ³	4.803		
	흘수	m	0.788		
	부심	m	0.263		
	경심	m	0.628		
	GM	m	1.241		
	부표의 진동주기	sec	3.551		
	바람에 의한 경사각	도	4.819	0.516	0.688
	조류에 의한 경사각	도	1.146	1.146	1.146
	파도에 의한 경사각	도	8.525	4.262	4.262
	침추수량	개	2 (4ton)	3 (4ton)	3 (5ton)

현장적응형 소형선박 계선부표 안정성 계산 결과에 따른 안정성평가를 위하여 현재 표준형등부표 중 가장 유사한 형태인 LL-28의 안정성 평가 내용과 비교해 본 결과 Table 47과 같다.

Table 47 안정성 계산결과 비교

구 분		부 호	값		비교(LL-28)	
중심위치		KG	-0.350m		3.401	
부심위치		KB	0.263m		3.674	
경심(METACENTER)		GM	0.628m		0.61	
고유진동주기		t_o	3.551sec		6.63	
홀수심		d	0.788m		4.37	
구 분			정적안정성	동적안정성		부표단독
			부표단독	환경조건 1	환경조건 2	
외력에 의한 경사각	바람에 의한 경사각	θ_1	4.819°	0.516°	0.688°	-
	조류에 의한 경사각	θ_2	1.146°	1.146°	1.146°	6.5°
	파도에 의한 경사각	θ_3	8.525°	4.262°	4.262°	12.2°

현장적응형 소형선박 계선부표의 경우 외력에 의한 경사각이 10도 미만으로 LL-28의 안정성 계산값과 비교 했을 때 더 작은 값으로 계산되어 설치예상해역 환경조건하에 현장적응형 소형선박 계선부표의 안정성이 충분히 확보된다고 할 수 있다. 또한 실제 150톤 이하의 해경함정의 경우 규정에 따라 해상 조건이 최대파고 2.5m이상 또는 최대 풍속 15m/s이상일 때 항내로 이동하도록 하고 있어 운영 시 외력에 의한 경사각에 의한 영향은 더 낮을 것으로 판단된다.

제 5 장 결 론

계선부표는 유조선 등 특정선박을 계류하기 위한 특수목적표지로 현재 우리나라의 경우 해양경찰 및 해군 등에서 연안 해역에 특수목적용으로 설치하여 운영하고 있다. 그러나 각 기관마다 설치목적 및 설치해역, 이용선박 등이 달라 대다수가 통일되지 않은 형태로 운영되고 있으며, 계선부표의 목적 상 우리나라 연안 해역에 설치되어 연안을 항해하는 소형 어선 및 기타선박 등과의 충돌 위험뿐만 아니라 항해자의 정보 혼란의 문제가 제기되고 있다. 또한 관리자 측면에서 부표 구조 및 표체재질 상의 이유로 관리자의 안전사고 발생과 감시업무 이외에 항로표지 장비 수리·교체업무 등의 업무 과중 문제로 인해 항로표지 관리의 비효율성 문제가 제기되고 있다.

그러므로 우리나라 해상여건 및 이용선박 등을 고려하여 우리나라에 최적화된 현장 적용형 소형선박 계선부표 개발하여 표준화할 필요성이 있다. 이 논문에서는 국외 특수용도부표 및 표준형 등부표 동향을 바탕으로 전반적인 소형등부표의 국외 동향을 조사하고, 기존의 국내 계선부표 설치·운영현황 및 관리상의 문제점 등을 분석하기 위하여 실사용자인 해양경찰 및 해군 대상의 설문조사 및 의견수렴을 실시하였다. 이러한 내용을 바탕으로 4가지의 개발조건을 고려하여 소형선박 계선부표 개발하였다.

첫째, 작업자의 편의성을 고려한 작업환경 마련을 목적으로 한다. 기존의 해경함정용 및 해군함정용 계선부표를 중심으로 부표 상부의 충분한 작업공간 확보 및 장비배치의 효율성 등을 고려하여 기존 계선부표의 상부구조물을 최소화 하고 재배치하였다. 또한 기존 LL-24 형태(해경함정용 계선부표 기준)의 계선부표에서 협소한 상부공간으로 표체 크기의 확대의 필요성을 인식하고, 설치해역조건 및 실작업공간을 고려하여 비용적 측면, 관리적 측면 및 안전성측면에 적합한 표준형 등부표 LL-28를 적용하였다. 관리자의 측면에서는 항로표지 관리의 효율성을 최대화하기 위해 등명기용 축전지 충전·관리 업무로 인한 관리자 업무과중 및 안전사고발생 우려 등의 문제를 해소할 필요가 있으며 이에 일체형 등명기를 적용(축전지 제거)하여 부표에서의 작업 시간을 최소화할 수 있도록 하였다.

둘째, 항로표지 유지관리를 고려하여 표체재질로 신소재를 적용 한다. 기존의 철재부

표의 문제점 및 국외동향을 반영하여 4가지 적용기준을 마련하였으며 내마모성 및 완충성, 자체부력성, 내식성 및 방식성, 경량성 및 경제성 등을 고려하여 플라스틱 충전(외부 폴리우레아 코팅) 형태의 신소재를 적용하였다.

셋째, 관리자의 안전성 및 편리성을 고려하여 2가지의 계류방법을 적용한다. 우선 크로스비트를 이용한 계류방식의 경우 pick up 부이의 유실 등 특수한 경우의 문제에 대비하고 작업자가 부표에 직접 올라 계류할 경우 발생할 수 있는 안전사고에 대비한 계류 장치이다. 또한 pick up 부이를 이용한 계류방식의 경우 기상 등의 이유로 인해 선박과 부표의 직접적 접촉이 어려울 시 계선부표와 연결된 pick up 부이를 원거리에서 회수하여 계류할 수 있도록 하였다.

넷째, 침추는 설치해역조건 및 이용선박을 고려하여 정적·동적 안정성 평가 계산 결과에 따라 적용한다. 우선 부표 단독 안정성(기준풍속 45m/s, 조류 3kts) 계산을 기준으로 하여 기본적으로 침추(4톤) 2개를 적용하도록 하고, 선박계류시 안정성 계산을 기준으로 하여 환경조건 1(풍속 15m/s, 조류 3kts)의 경우 침추(4톤) 3개 적용, 환경조건 2(풍속 17m/s, 조류 3kts)의 경우 침추(5톤) 3개를 적용하도록 하였다.

이와 같이 새롭게 설계된 소형선박 계선부표에 대한 현장적응성 평가를 위하여 우리나라 주요 13개의 항구를 대상으로 우리나라 해상기상요소 및 예상설치해역별 특성을 분석하고 현장적응형 소형선박 계선부표의 설치를 가정하여 부표 안정성을 검토 하였다. 정적·동적 안정성 평가 결과 외력에 의한 경사각이 10도 미만으로 기존의 LL-28의 안정성 계산 값과 비교 했을 경우 더 작은 값으로 계산되어 설치예상해역 환경조건 하에 현장적응형 소형선박 계선부표의 안정성이 충분히 확보된다고 판단되었다. 실제 150톤 이하의 해경함정의 경우 규정에 따라 해상 조건이 최대파고 2.5m이상 또는 최대 풍속 15m/s이상일 때 항내로 이동하도록 하고 있는 점을 고려할 경우 운영 시 외력에 의한 경사각에 의한 영향은 더 낮을 것으로 판단되었다.

현재 우리나라는 계선부표에 대한 구체적인 설계 및 평가기준이 표준화되어 있지 않은 실정이다. 또한 국외 사례에 비하여 신소재 적용 및 부표구조개선 등의 부표 개발 등과 관련된 실질적 연구 및 국가적 개발 필요성 인식이 낮아 어려움을 겪고 있다. 이에 기존의 계선부표 설치해역 해상조건 및 이용선박을 충분히 고려하여 우리나라 해상 여건에 적합한 형태로 국외 특수등부표 동향에 따른 최적화된 현장적응형 소형선박 계선부표 표준(안)을 제시함에 따라 우리나라 연안의 항해안전 및 항로표지 관리의 효율적 측면에서 많은 이점을 가질 것으로 기대된다.

참고문헌

- 국립해양조사원, 2011. 등대표 : 한국연안. 2011
- 국토해양부, 2010. 경량저비용 부표개발 기본조사 설계용역.
- 기상청, 2013. <http://sts.kma.go.kr/>
- 신용주, 정태권, 2011. 안벽 방충재의 개선에 관한 연구(1). *한국항해한만학회 학술대회 논문집*, 2011(4), pp.354-357.
- 해양경찰청, 2010. 해양경찰계선부표관리규칙
- 해양수산부, 2005. 항만 및 어항설계기준
- 해양수산부, 2006. 항로표지업무편람
- 해양수산부, 2012a. 계선부표 및 기타 특수부표류 연구개발 기본 및 실시설계 용역
- 해양수산부, 2012b. 해상용 등명기(일체형-LED) 표준규격서
- 해양수산부, 2013a. 표준형 부표제작 및 품질관리 기준에 관한 규정
- 해양수산부, 2013b. 항로표지 장비 및 용품의 표준화규정
- 해양수산부, 2013c. 항로표지법 시행규칙
- IALA, 2004. Guideline No. 1006 Plastic Buoys.
- IALA, 2008. Guidelines No. 1036 Environment Consideration in Aids to Navigation Engineering.