



# 현존선에 전기분해방식 선박평형수 처리장치 설치를 위한 위험도 평가 분석

지 재 훈<sup>†</sup>  
( (사)한국선급 )

## Risk Assessment for Retrofitting an Electrolysis Type Ballast Water Treatment System on an Existing Vessel

Jae-Hoon JEE<sup>†</sup>  
(Korean Register of Shipping)

### Abstract

Over the past several years, sea trade have increased traffic by ships which highlighted a problem of unwanted species invading the surrounding seas through ship's ballast water discharge. Maritime trade volume has continuously increased worldwide and the problem still exists. The respective countries are spending billions of dollars in an effort to clean up the contamination and prevent pollution. As part of an effort to solve marine environmental problem, BWM(Ballast Water Management) convention was adopted at a diplomatic conference on Feb. 13 2004. In order to comply harmoniously this convention by each country. This convention will be effective after 12 months from the date which 30 countries ratified accounting for more than 35% of the world merchant shipping volume. On Sep. 8 2016, Finland ratified this convention and effective condition was satisfied as 52 states and world merchant vessel fleet 35.1441%. Thus, after Sep. 8 2017, all existing vessels shall be equipped with BWTS(Ballast Water Treatment System) in accordance with D-2 Regulation, which physically handles ballast water from ballast water exchange system(D-1 Regulation). In this study, we analyzed in detail the optimal design method using the Risk Analysis and Evaluation technique which is mainly used in the manufacturing factory or the risky work site comparing with the traditional design concept method applying various criteria. The Risk Assessment Method is a series of processes for finding the Risk Factors in the design process, analyzing a probability of the accident and size of the accident and then quantifying the Risk Incidence and finally taking measures. In this study, this method was carried out for Electrolysis treatment type on DWT 180K Bulk Carrier using "HAZOP Study" method among various methods. In the Electrolysis type, 63 hazardous elements were identified.

**Key words : Ballast Water Treatment System, Ultra Violet, Bulk Carrier, Risk Assessment**

### I. 서론

해상을 이용한 무역과 선박 교통량이 팽창함에 따라 선박 평형수를 통해서 외래 침입종의 자국

내 번식에 대한 문제가 제기되었다. 세계의 많은 지역이 외래 침입종의 영향으로 자국의 바다는 황폐화되고, 생물학적 침입율은 놀랄만한 비율로 증대되고 있으며, 청정지역들이 이러한 위험에

<sup>†</sup> Corresponding author : +82-70-8799-8469, jhjee@krs.co.kr

지속적으로 노출되고 있다. 이러한 문제는 해상 무역량이 계속하여 증가함에 따라, 여전히 해결하여야 할 숙제로 남아있다(Kim E. C., 2012).

1988년도에 처음으로 캐나다와 호주는 자국 해역에 유해한 중의 출현문제를 경험하고 국제 해사기구(IMO)의 해양환경보호위원회(MEPC)에 이 문제를 제기하였고, 해사안전위원회(MSC) 및 산하 전문위원회(Sub-Committee)와 함께 이러한 문제를 해결하기 위해 심도 있는 논의를 진행하였고, 관련 협약과 지침의 개발에 노력하게 되었다(Kim E. C., 2012).

2004년 2월 13일 외교회의에서 “선박의 평형수와 침전물의 통제 및 관리를 위한 국제협약”(이하 “BWM 협약”이라 칭함)이 채택되었으며, 이 협약은 30개국 이상이 비준하고 세계상선 선박복량이 35% 이상을 만족하는 날로부터 12개월 후에 발효된다(Kim E. C., 2012).

최근에 핀란드가 9월 8일자로 BWM 협약을

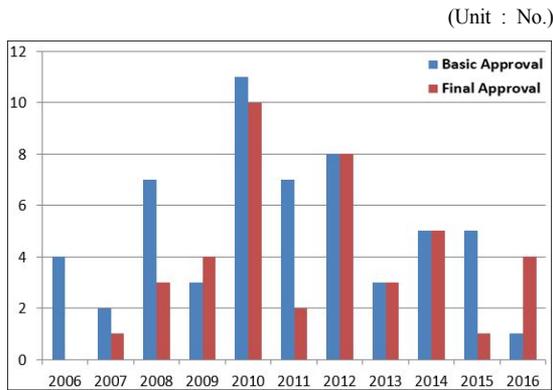
비준하였고, 2016년 9월 8일 기준으로 52개국이 비준한 상태이며, 상선 선박복량은 35.1441%로 BWM 협약의 발효요건을 만족하였다(KR, Technical Information, 2016).

2017년 9월 8일 이후부터 BWM 협약이 정식 발효되면서, 선박 평형수 처리방식 “D-1” 규정(평형수 교환을 수행하는 선박은 용적으로 95% 이상의 평형수 교환 효율이 이루어지도록 행하여야 함)에 따라 평형수를 교환하던 방식에서 “D-2” 규정(평형수 관리를 이행하는 선박은 1m<sup>2</sup> 당 50 $\mu$ m 이상인 생존 미생물이 10 개체수 미만 이 되도록 배출하고, 10 $\mu$ m 이상에서 50 $\mu$ m 미만인 생존 미생물은 1ml 당 10 개체수 미만으로 배출되어야 함)에 따른 강제적으로 선박 평형수 처리장치를 통하여 평형수를 처리하여야 한다. 설치일자는 <Table 1>을 참조한다(KR, Technical Information, 2016).

<Table 1> Schedules for the fitting a BWTS on board according to Reg.B-3

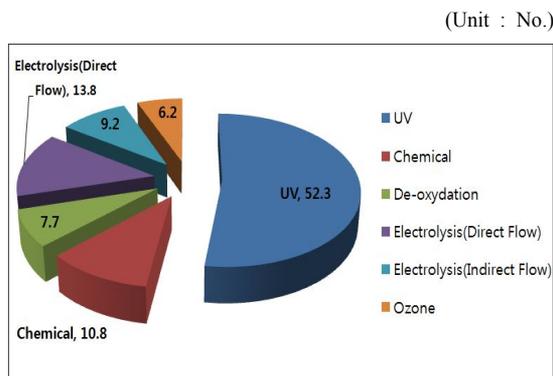
	Ship's Construction (Keel Laid) date	Type of Ship and Capacity of Ballast Water(m <sup>3</sup> )			Applicable date for fitting BWTS
Implementation schedules for fitting a BWTS	On or after the date of entry into force of the Convention	New Ships	B-3.5	All	Ship's Delivery
	before the date of entry into force of the Convention	Existing ships(ships Constructed before 2009)	B-3.1.1	1,500m <sup>3</sup> ~ 5,000m <sup>3</sup>	First IOPP renewal Survey following the date of entry into force of the Convention
			B-3.1.2	less than 1,500m <sup>3</sup> or greater than 5,000m <sup>3</sup>	
		Existing ships(ships constructed in or after 2009 and before the date of entry into force	B-3.2	less than 5,000m <sup>3</sup>	
		Existing ships(ships constructed in or after 2009, but before 2012	B-3.3	5,000m <sup>3</sup> or more	
Existing ships(ships constructed in or after 2012 and before the date of entry into force	B-3.4	5,000m <sup>3</sup> or more			

Source: www.krs.co.kr



[Fig. 1] Number of BA and FA for BWTS by year

[Fig. 1]은 2006년부터 2016년 11월 까지 국제해사기구로부터 BWTS 기본승인(Basic Approval) 및 최종승인(Final Approval)을 득한 건수를 년도별로 나타내고 있다. 국내에서는 2006년에 A사에서 개발한 “EletroCleen BWTS”가 국제해사기구로부터 기본승인을 받았다(KR, Technical Information, 2010).



[Fig. 2] Distribution Ratio(%) by Treatment type for Type Approved BWTS

[Fig. 2]에서는 2016년 11월까지 국제해사기구에 보고된 정부형식승인을 득한 선박 평형수 처리장치 69개 제품 대상으로 처리방식별 분포 현황을 보여주고 있다. 자외선 처리방식이 전체 대상의 52.3%인 절반 이상을 점유하고 있으며, 뒤를 이어 직접전기분해 처리방식 13.8%, 화학

약품 주입 처리방식 10.8%, 간접전기분해 처리방식 9.2%를 차지하고 있다.

BWM 협약이 정식 발효되는 2017년 9월 8일 이후부터는 현존선박에 선박 평형수 처리장치가 순차적으로 설치되어야 하고, 현재까지 개발된 69종의 선박 평형수 처리장치는 처리방식도 다양하다. 각각의 처리방식에는 위험성이 존재하고 있어 선박의 재산과 선원의 인명보호를 위해서는 처리방식에 대한 위험성 평가를 통해 선박 평형수 처리장치의 설치에 대한 안정성을 확보하여야 한다.

따라서 현존선박에 대한 평형수 처리장치의 탑재에 대한 여러 가지의 위험성 분석이 수행되어야 할 필요성과 선종마다 선박의 환경이 다르고, 고유 위험도도 다양하게 잠재되어있으므로 이러한 위험성 분석은 선박 평형수 처리장치의 설계 단계에서 반드시 수행되어야 한다.

이 논문에서는 직접전기분해방식의 선박 평형수 처리장치를 현존선에 설치하기 위해 선박 평형수 처리장치 및 선박의 다양한 환경에서 위험요소들을 사전에 식별하는 절차와 함께 육상 산업계에서 널리 사용되고 있는 위험도 분석 기반으로 하는 HAZOP(Hazard and Operability Study) 및 HAZID(Hazard Identification Study)의 분석기법을 이용하여 선박 평형수 처리장치를 설치하기 위해 식별되어야 할 위험성 분석을 수행하고 그 결과를 고찰하고자 한다.

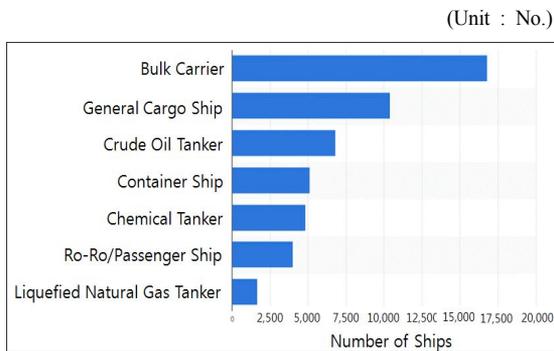
## II. 대상 선박 선정

2016년 1월까지의 세계상선 선대를 선종별 분류 현황을 [Fig. 3]에서 나타내고 있다. 산적형태 고체화물 운반선(Bulk Carrier)은 단일 선종으로 전 세계적으로 25%를 차지하고 있다. 대상 선박 선정 기준은 전 세계적으로 가장 많은 선종을 차지하고 있는 선박을 대상으로 하였고, 그 중에서 특정 선박을 지정하였으며, 그 선박에 대한 주요 제원은 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Main data of DWT 175K Bulk Carrier

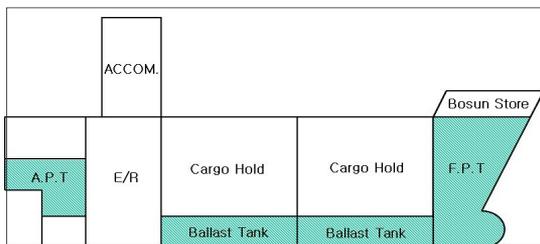
D.W.T	175,292	Delivery	12th April 2010
G.T	92,053	Generator Capacity(kW)	720kW × 3sets
LBD(m)	282.2 × 45 × 24.75	W.B.T(m <sup>3</sup> )	51,969.5
Speed(knot)	14.91	Ballast Pump(m <sup>3</sup> /h)	2,500m <sup>3</sup> /h × 2sets

Source : Korean Register of Shipping



[Fig. 3] Number of ships in world merchant fleet by type(source : www.statista.com)

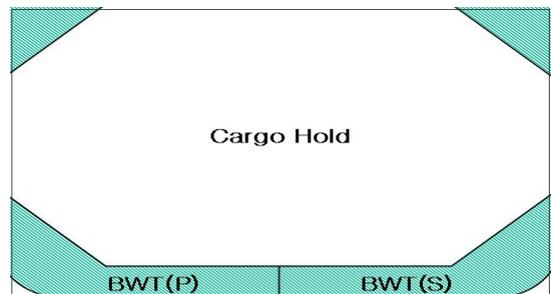
[Fig. 4]는 산적형태 고체화물 운반선의 전형적인 일반배치도, [Fig. 5]는 중앙단면도를 나타내고 있다. 두 개의 그림에서 알 수 있듯이, 평형수 탱크들은 화물창 주위에 배치되고 선수탱크(Fore Peak Tank) 및 선미탱크(Aft Peak Tank)도 평형수 탱크로 사용하고 있다.



[Fig. 4] Typical General Arrangement of DWT 175K Bulk Carrier

대상선박인 재화중량 180K 산적형태 고체화물 운반선은 2,500m<sup>3</sup>/h 용량을 가지는 주 평형수 펌프 2대가 설치되어 있으며, 이 펌프들을 통해 선박의 모든 평형수 탱크로 평형수를 주수 및 배수

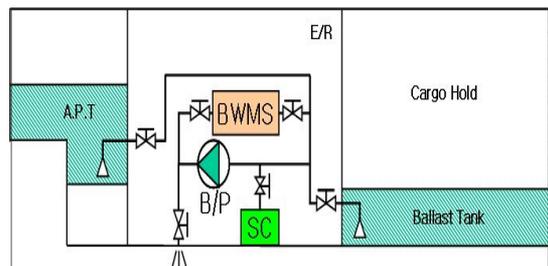
를 할 수 있도록 배관되어 있다. 선박 평형수 처리장치는 평형수 펌프가 위치한 장소와 동일한 공간에 설치하는 것으로 가정하였다.



[Fig. 5] Typical Midship of DWT 180K Bulk Carrier

[Fig. 6]은 직접전기분해방식 선박 평형수 처리장치를 기관실에 설치되는 경우에 대하여 설치 개념도를 나타내고 있다. 직접전기분해방식은 전기분해모듈이 직접 평형수관에 부착된다.

이 논문에서는 직접전기분해 처리방식의 선박 평형수 처리장치를 설치하기 위한 설계안에 대한 위험도 평가를 수행하고자 하고, 그 이외의 어떠한 개조 작업에 대하여 고려하지 않았다.



[Fig. 6] BWMS installed in Engine Room

### Ⅲ. 위험도 분석

#### 1. 위험도 분석 범위

위험성 평가(Risk Assessment)란 위험요소를 찾아내어 사고 발생확률과 사고크기를 분석하여 그때 발생하는 영향을 정량화하여 대책을 세우는 일련의 과정을 의미한다. 보통 Risk Assessment의 기법은 산업현장, 특히 위험한 기기를 조작하는 공장에서 수행한다. 이 논문은 위험성 평가 기법을 이용하여 현존 선박에 새로 탑재될 선박 평형수 처리장치에 대하여 선원의 인명안전과 선박의 재산 보호 측면을 위한 최적화 설계를 위한 가장 기초적인 위험성 식별을 위한 목적에 있다. 위험성 평가의 결과로 식별된 위험요소는 “Hazard”라 하며, 이것은 정성적 기법으로 찾아낼 수 있으며, 사고발생확률과 사고의 크기는 “Risk”로 정의된 정량적 기법으로 찾아내고자 한다.

위험도를 정량화하는 방안으로 2001년 6월에 국제해사기구의 해사안전위원회 74차 회의에서 채택한 “Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA) for use in the IMO Rule-Marking Process”와 이후 일부 개정되어 2006년 10월 동 위원회 81차 회의에서 채택한 “Amendments to the Guideline for Formal Safety Assessment(FSA) for use in the IMO Rule-Marking Process”에서 제시한 방법을 이용하여 위험도 분석에 대한 정량화 과정을 따랐다. 위험도를 분석하고 평가하여 전체적인 “평가 결과서(Work sheet)”를 작성에 대한 사항도 FAS 수행기법과 동일한 방법으로 진행하였다. 위험도를 정량화하여 그 위험도의 등급(Ranking)을 분석하기 위해 “Consequence” 인자와 “Frequency” 인자를 고려하여야 한다.

“Consequence”인자란 위험도 분석을 수행하기 위해 여러 시나리오를 설정하고 그 중에서 “Guideword”로 명시된 위험요소를 식별하고 위험요소에서 식별된 위험성의 위험정도로 나타낸 것이다.

“Frequency” 인자란 동일한 “Guideword”에서 식별된 위험성의 발생주기를 추론하여 그 정도를 나타낸 것이다.

위험도의 정도 또는 수치의 정량화는 각 위험 분석 구간의 시나리오에 대하여 수행하였고, 위험도의 값(R)은 “Logarithmic Scale” 방법으로 수행하였다. 아래 수식 (1) 및 (2)에서 언급하고 있는 “Frequency”의 위험도 발생빈도 값은 “L”로 표기하였고, “Consequence” 값은 “S”로 표기하였다. “L”값과 “S”값의 기준은 <Table 3> 및 <Table 4>를 참조한다.

$$Risk = Frequency \times Consequence \dots\dots\dots (1)$$

$$Log(Risk) = Log(Frequency) + Log(Consequence) \dots\dots\dots (2)$$

#### 2. 위험도 분석 방법

위험도 분석을 수행하기 위한 방법은 아래의 과정으로 수행하였다.

- 1) 선박 평형수 처리장치 운전구간에 대하여 “Node”로 구분함
  - 2) 위험도(Hazard)는 “Guidewords”로 명시함
  - 3) 식별된 위험도의 원인(Cause) 및 그에 따른 결과(위험식별, Consequence)를 명시
  - 4) 원인(Cause) 및 그에 따른 결과(위험식별, Consequence)에 대한 정량화
  - 5) 안전대책과 대체수단 제시
  - 6) 제안에 대한 기록
  - 7) 설계 변경에 대한 고려 및 추가 분석내용 식별
- <Table 5>에서 보는 바와 같이 위험도의 정량화를 수행하는 목적은 식별된 위험도를 “허용(Acceptance)” 수준, “고려대상(ALARP, as low as reasonably practicable)” 수준 및 “불가(Unacceptable)” 수준으로 결정하기 위한 것으로 이것은 각 구간에 대하여 위험도 분석(R)의 결과를 정량화를 통해서 구별된다.

<Table 3> Definition of Frequency Level “L”

Level	Definition
1	Less than once per 100,000 years
2	Between once per 10,000 year and once per 100,000 year
3	Between once per 1,000 year and once per 10,000 year
4	Between once per 100 year and once per 1,000 year
5	Between once per 10 year and once per 100 year
6	Between once per 1 year and once per 10 year
7	More than once per year

<Table 4> Definition of Consequence Level “S”

Level	Definition
1	Minor / Minor Injury / Equipment Damage
2	Significant / Severe Injury / Mild Ship Damage
3	Severe / 1 fatality / Severe Damage
4	Catastrophic / 10 fatality / Total Loss

<Table 5> Risk Matrix

FI	Frequency	/Ship year	SI			
			1	2	3	4
			Minor	Significant	Severe	Catastrophic
			Minor Injury Equipment Damage	Severe Injury Mild Ship Damage	1 fatality Severe Damage	10 fatalities Total Loss
7	Frequent	10	8	9	10	11
6		10 <sup>0</sup>	7	8	9	10
5	Reasonably Probable	10 <sup>-1</sup>	6	7	8	9
4		10 <sup>-2</sup>	5	6	7	8
3	Remote	10 <sup>-3</sup>	4	5	6	7
2		10 <sup>-4</sup>	3	4	5	6
1	Extremely Remote	10 <sup>-5</sup>	2	3	4	5

<Table 6> Specification of Electrolysis type BWTS

Item	Definition Specification
Capacity	2,600m <sup>3</sup> /h x 2sets
Filter	None
Power Consumption	abt. 240kW
Size	1.4m <sup>2</sup> at Capacity 1,000m <sup>3</sup> /h only module
Max. Operating Pressure	-

<Table 7> Specification of Nodes to Risk Assessment for Electrolysis type BWTS

Node	Definition Specification Description
1	Sea chest line before ballast pump
2	Ballast pump line before Electrolysis Module
3	Electrolysis module and flow line into ballast tank
4	Flow line involved in air venting unit

“R”값이 2~3의 값을 가지면 “허용(Acceptance)” 수준으로 결정되며, “R”값이 4~6의 값을 가지면 “고려대상(ALARP, as low as reasonably practicable)” 수준으로 결정되고, 그리고, “R”값이 7 이상의 값을 가지면 “불가(Unacceptable)” 수준으로 결정하였다. 이러한 위험도 구분에 대한 값의 정의는 “FSA 기법”에서 참조하였다.

### 3. 위험도 분석 및 평가 결과

위험성 평가 시 직접전기분해 처리방식의 선박 평형수 처리장치의 전체 시스템에 대한 평가 구획을 나눔으로서 분석의 효율성을 높일 필요가 있다. 일반적으로 선박 평형수 처리장치의 처리 공정별로 노드(Node)를 구분하는 방법이 가장 적합하다.

직접전기분해 처리장치의 설치에 대한 위험도 분석 결과는 <Table 3>에서 나타내고 있는 “위험발생빈도” 수준과 <Table 4>에서 나타내고 있는 “위험결과” 수준 그리고 이를 “Logarithmic Scale” 방법으로 위험도를 정량화하여 최종

<Table 5>에서 제시한 Risk Matrix에서 위험도의 수준을 도출할 수 있었다.

직접전기분해 처리방식의 선박 평형수 처리장치의 위험도 분석은 앞서 설명한 재화중량 175K 산적형태 고체화물 운반선에 설치함에 있어 위험도 분석을 수행하였고, 대상 선박에 탑재가 가능한 대표적인 직접전기분해 처리방식의 상세제원을 바탕으로 하였다. 자세한 제원은 <Table 6>과 같다.

이 논문에서는 4가지 노드로 구분하였고, 평형수가 씨체스트(Sea Chest)에서 유입되고 선박 평형수 처리장치를 통해 평형수 탱크로 주수되는 과정과 평형수 처리장치의 전기분해모듈에서 발생하는 수소가스의 처리공정을 단계별 기준으로 결정하였다. 단계별 노드에 대한 정보는 <Table 7>에서 나타낸다.

각 노드 구간에서 위험도 평가에 대한 분석 결과(Work Sheet)는 <Table 8>, <Table 9>, <Table 10> 및 <Table 11>에서 구체적으로 나타내고 있다.

<Table 8> Sea chest line before ballast pump(Node 1)

No.	Guide word	Possible causes	Consequence	Risk matrix			Recommend	Responsibility
				L	S	R		
101	No flow	Valves closing due to malfunction or mis-operation	Pump overrun, Sensor failure to detect flow conductivity	4	1	5	Maker Supply	
		Pump stopped	Sensor failure to detect flow conductivity	4	1	5		
		Sea chest blockage by foreign material or blanking device	Pump overrun, Sensor failure to detect flow conductivity	3	1	4		
		Piping rupture	Engine room flooding	2	3	5		
102	Less flow	Valves partially closing due to malfunction or mis-operation	Pump overrun, Sensor failure to detect flow conductivity	4	1	5	Maker Supply	
		Pump malfunction	Sensor failure to detect flow conductivity	4	1	5		
		Sea chest partial block by foreign material including ice debris or bio fouling	Pump overrun, Sensor failure to detect flow conductivity	2	1	3		
		Piping leakage	Level up in bilge well	5	0	5	Maker Supply	
103	More flow	Pump overrun	Pump overrun	4	1	5		
104	Reverse flow	Valve mis-operation	Instability of the ship	4	1	5		
105	More press.	Irrelevant		-	-	-		
106	Less press.	Valves closing due to malfunction or mis-operation while pump running	Sensor failure to detect flow conductivity	4	1	5	Maker Supply	
		Sea chest block by foreign material or blanking device while pump running	Sensor failure to detect flow conductivity	3	1	4		
		Piping leakage	Level up in bilge well	5	0	5	Maker Supply	
107	More temp.	Irrelevant		-	-	-		
108	Less temp.	Low temp. while winter	Insignificant	5	0	5		
109	No level	Piping rupture	Engine room flooding	2	3	5		
110	More level	Irrelevant		-	-	-		
111	Less level	Irrelevant		-	-	-		

<Table 9> Ballast pump line before Electrolysis Module(Node 2)

No.	Guide word	Possible causes	Consequence	Risk matrix			Recommend	Responsibility
				L	S	R		
201	No flow	Valves closing due to malfunction or mis-operation	Pump overrun	4	1	5	Maker Supply	
		Pump stopped		4	0	4		
		T-strainer block by foreign material	Pump overrun	4	1	5		
		Piping rupture	Engine room flooding	2	3	5		
202	Less flow	Valves partially closing due to malfunction or mis-operation	Pump overrun	4	1	5	Maker Supply	
		Pump malfunction		4	0	4		
		T-strainer partial block by foreign material	Pump overrun	4	1	5		
		Piping leakage	Level up in bilge well	5	0	5	Maker Supply	
203	More flow	Pump overrun	Pump overrun	4	1	5		
204	Reverse flow	Valve mis-operation	De-ballast operation	4	0	4		
205	More press.	Valves partially closing due to malfunction or mis-operation	Pump overrun	4	1	5	Maker Supply	
		Pump malfunction		4	0	4		
		T-strainer partial blockage by foreign material	Pump overrun	4	1	5		
206	Less press.	Piping leakage	Level up in bilge well	5	0	5	Maker Supply	
207	More temp.	Irrelevant		-	-	-		
208	Less temp.	Low temp. while winter	Insignificant	5	0	5		
209	No level	Piping rupture	Engine room flooding	2	3	5		
210	More level	Irrelevant		-	-	-		
211	Less level	Irrelevant		-	-	-		

<Table 10> Electrolysis module and flow line into ballast tank(Node 3)

No.	Guide word	Possible causes	Consequence	Risk matrix			Recommend	Responsibility
				L	S	R		
301	No flow	Valves closing due to malfunction or mis-operation	Electrolysis module overrun	1	1	2	Maker Supply	
		Piping rupture	Engine room flooding	2	3	5		
302	Less flow	Valves partially closing due to malfunction or misoperation	Electrolysis module overrun	1	1	2	Maker Supply	
		Electrolysis module partial block by foreign material	Electrolysis module decrease in electrolysis leading to overcurrent	2	0	2		
		Piping leakage	level up in bilge well	5	0	5	Maker Supply	
		Flow mis-distribution over the units	Temp. increase, decrease in electric consumption	2	1	3		
303	More flow	Flow mis-distribution over the units	Electric consumption increase	3	1	4		
304	Reverse flow	Valve mis-operation	De-ballast operation	4	0	4		
		Sudden pump stop cause reverse from the ballast tank around sea level		4	0	4		
305	More press.	Valves partially closing due to malfunction or mis-operation	Electrolysis module overrun	1	1	2	Maker Supply	
		Electrolysis module partial block by foreign material	Electrolysis module decrease in electrolysis leading to overcurrent	2	0	2		
306	Less press.	Piping leakage	Level rise in Electrolysis module, Level up in bilge well	5	0	5	Maker Supply	
307	More temp.	Valves partially closing due to malfunction or mis-operation	Electrolysis module overrun	1	1	2	Maker Supply	
		Electrolysis module partial block by foreign material	Electrolysis module decrease in electrolysis leading to overcurrent	2	0	2		
		Piping leakage	Level up in bilge well	5	0	5	Maker Supply	
		Flow mis-distribution over the units	Temp. increase, Electric consumption decrease	2	1	3		
308	Less temp.	Low temp. while winter	Decrease in electrolysis efficiency not leading to overcurrent	5	0	5		
309	No level	Piping rupture	Engine room flooding	2	3	5		
310	More level	Irrelevant		-	-	-		
311	Less level	Piping leakage	Level up in Electrolysis module, Level up in bilge well	5	0	5	Maker Supply	
312	Less current	Unstable electric supply	Not impact on residual oxydant concentration	4	0	4		

<Table 11> Flow line involved in air venting unit(Node 4)

No.	Guide word	Possible causes	Consequence	Risk matrix			Recommend	Responsibility
				L	S	R		
401	No flow	Valves closing due to malfunction or mis-operation	Incorrect gas detection	4	0	4		
		Floating ball in air vent block by foreign material	Incorrect gas detection	4	0	4		
		Piping rupture	No gas detection, Insignificant impact	4	0	4		
402	Less flow	Valves partially closing due to malfunction or mis-operation	Incorrect gas detection	4	0	4		
		Floating ball in air vent partial block by foreign material	Incorrect gas detection	4	0	4		
		Piping leakage	Level up in bilge well	5	0	5	Maker Supply	
403	More flow	High press. in the upstream	Seawater overflow, Gas detector damage	5	0	5		
404	Reverse flow	Irrelevant		-	-	-		
405	More pressure	Valves partially closing due to malfunction or mis-operation	Incorrect gas detection	4	0	4		
		Floating ball in air vent partial block by foreign material	Incorrect gas detection	4	0	4		
406	Less pressure	Irrelevant		-	-	-		
407	More temp.	Irrelevant		-	-	-		
408	Less temp.	Low temp. while winter	Insignificant	5	0	5		
409	No level	Piping rupture	No gas detection, Insignificant impact	4	0	4		
410	More level	Irrelevant		-	-	-		
411	Less level	Piping leakage	No gas detection, Insignificant impact	5	0	5		

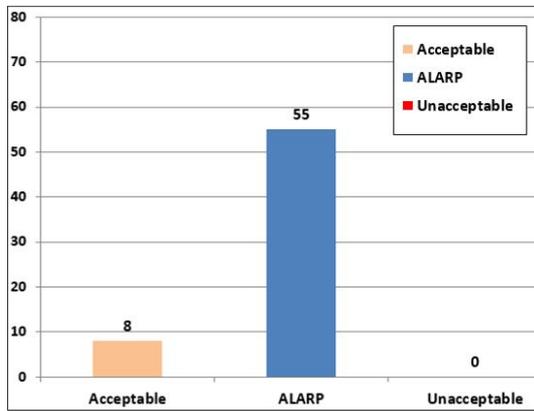
#### IV. 결론

이 논문에서는 직접전기분해 처리방식의 선박 평형수 처리장치를 대상 선박에 탑재하는 위험도 분석 연구를 통해 아래와 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 직접전기분해 처리방식의 선박 평형수 처리 장치에 대한 “Acceptable”, “ALARP” 및 “Unacceptable” Risk Level 항목의 수를 파악할 수 있었다.
2. 선박 평형수 처리장치 설치 설계도면에서 선원의 안전과 선박의 재산 보호의 목적으로 반

드시 설계 변경이 이루어져야 할 “Responsibility” 항목은 식별되지 않았다. 그 이유는 처리장치의 설계시에 예측된 위험인자를 고려한 “Safe Guard”가 이미 반영되었기 때문이다.

3. 직접전기분해 처리방식에서 식별된 제안사항들은 국내외 기관의 규정에서 요구하고 있지 않으므로 설치 설계에 반영할 의무는 없지만, 선원의 안전과 선박의 재산 보호 목적으로 수행되어야 할 최적 설계를 위해서 이러한 제안사항들이 고려되어야 함을 알 수 있었다.



[Fig. 7] Result of Risk Assessment for Electrolysis type BWTS

## References

Banerji. S. · Werschkun. B. · Hofer. T.(2012). Assessing the risk of ballast water treatment to human health. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 62(3), 513~522.

IMO(2015). List of ballast water management systems

that make use of Active Substances which received Basic and Final Approval. BWM.2/Circ.34/Rev.4" 2~13.

IMO.(2015). Considerated test of the Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA) for use in the IMO rule-marking process(MSC/Circ.1023 - MEPC/Circ.392).

Jee, J. H. & Oh. C.(2016). Risk Assessment for Retrofitting a Ballast Water Treatment System on an Existing Vessel. *JFMSE*, 28(6), 1602~1613.

Kim, E. C.(2012). Consideration on the Ballast Water Treatment System Technology and its Development Strategies. *Korean of Society Marine Environment and Energy*, 15(4), 349~356.

Korea Institute of Ocean Science and Technology (2008). Research and Development of Technology to Prepare for controlling Ship's Ballast. p.68.

Korean Register of Shipping(2010). Guideline for Retrofitting BWTS for Ships. 32~46.

Korean Register of Shipping(2016). Briefings of IMO Meeting MEPC 69.

Korean Register of Shipping(2016). Technical Information(No.2016-IMO-02).

Moon. K. T. et al.(2009). "The Study on Risk and Redundancy Assessment Methodology of Ship Machinery System", *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(1), 76~87.

"Number of ships in the world merchant fleet as of January 1, 2015 by type", <http://www.statista.com>  
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/BWM.2-CIRC.34-REV.4.pdf>

- Received : 31 January, 2017
- Revised : 10 March, 2017
- Accepted : 30 March, 2017