

## 현존선에 선박 평형수 처리장치를 설치를 위한 위험도 평가 분석

지재훈 · 오 철\*

((사)한국선급 · \*한국해양대학교)

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

Jae-Hoon JEE · Cheol-OH\*

(Korean Register of Shipping · \*Korea Maritime and Ocean University)

#### Abstract

Since Ballast Water Management Convention has been adopted, Ballast Water Management Convention is not effected yet. This convention will only enter into force 12 months after its ratification by 30 states, collectively representing 35% of world merchant shipping tonnage. Morocco, Indonesia and Ghana have ratified this convention during last 29th IMO Assembly meeting which was held in November 2015. In 2016, Belgium, Fiji, Saint Lucia and Peru have become the latest countries to ratify the convention. As of now, 51 states and 34.87% combined merchant fleets are being calculated. BWM convention will be applied to not only new ships but also, existing ships after it is effected. Thus, existing vessel will be retrofitted a Ballast Water Treatment System according to D-2 Requirement until first IOPP renewal survey after date of entry into force of the convention. Currently, about 65 BWTSs certified by Administration will be reported to IMO, even type of BWTSs is very various. Thus, a risk of each BWTS can be existed, and this existed risk can be also effected to ship's crew safety and protection of ship's own property. Therefore, we have evaluated a risk assessment for an existing vessel retrofitting an ultra violet type Ballast Water Treatment System which is mostly developed in the world. And we described the procedure of selecting a sample vessel, consequently, bulk carrier is selected because this vessel kind is mostly charged in the world. Especially, DWT 175K size is selected. Risk Assessment is using a HAZID and HAZOP method, evaluation method is referred to IMO Document "Considerated test of the Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-marking process(MSC/Circ.1203-MEPC/Circ.392)". The Risk Assessment Section is decided to 3 Nodes, Consequently, total risks have evaluated 51 items.

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

#### I. 서론

과거 수년 간 해상을 이용한 무역과 교통량이 팽창함에 따라 선박 평형수를 통한 침입종의 분

제가 제기되었다. 세계의 많은 지역이 침입종의 영향으로 자국의 바다는 황폐화되고 있고, 생물학적 침입율은 놀랄만한 비율로 증대되고 있으며, 새로운 지역들이 이러한 위험에 지속적으로

\* Corresponding author : 051-410-4268, ohcheol@kmou.ac.kr

노출되고 있다. 해상무역량이 전반적으로 계속 증가되고 있어 이 문제는 아직도 계속 진행 중에 있다.(Kim E. C. 2012).

1988년 처음으로 캐나다와 호주는 자국 해역에 유해한 종의 출현문제를 경험하고 IMO의 MEPC에 이 문제를 제기하였고, 선박 평형수내의 유해수중 유기체의 문제는 IMO에 제기된 후 MEPC는 MSC 및 산하 전문위원회와 함께 문제 해결을 위해 논의가 진행되었고, 지침 및 새 협약 개발에 노력하게 되었다.(Kim E. C. 2012).

그 이후, 이러한 노력의 일환으로 2004년 2월 13일 외교회의에서 “선박의 평형수와 침전물의 통제 및 관리를 위한 국제협약(International Convention for the Control and Management of Ship’s ballast water and Sediments, 2004)”(이하 ‘BWM 협약’)이 채택되었으며, 이 협약은 30개국 이상이 비준하고 세계상선 선복량이 35% 이상을 만족하는 날로부터 12개월 후에 발효될 전망이

다.(Kim E. C. 2012).

IMO Homepage를 통해 알 수 있듯이, 최근에 페루(Peru)는 6월 10일자로 BWM 협약을 비준하였고, 2016년 6월 기준으로 51개국이 비준한 상태이며, 상선 선복량은 34.86%로 비준국가의 수는 만족하였으나, 상선 선복량이 0.14%가 부족한 상황이다.(MEPC 69, KR)

BWM 협약이 발효되면 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 50µm 이상인 생존 미생물이 10 개체수 미만인 되도록 배출하고, 10µm 이상에서 50µm 미만인 생존 미생물은 1ml 당 10 개체수 미만으로 배출되어야 함)에 따른 선박 평형수 처리장치를 통하여 평형수를 처리하여야 한다.

<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
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.google.com

<Table 1>에서 보는 바와 같이, BWM 협약은 발효와 동시에 신조선 뿐만 아니라 현존선에도 적용된다. 탑재시기와 관련한 기존의 BWM 협약의 B-3 규정에 대하여 탑재일정에 대한 개정의 필요성에 따라 IMO 총회 28차에서 개정에 대한 논의가 있었고, 최종 탑재시기와 관련한 개정된 규정을 문서 (Res.A.1088(28))로 채택하였다.

BWM 협약에서의 신조선은 협약의 발효일 이후에 건조되는 선박을 의미하여 D-2 성능 요건을 만족하는 선박 평형수 처리장치의 탑재는 현존선에 대하여 해당년도의 인도연차일 후에 도래하는 첫 번째 정기검사까지 선박 평형수 처리장치를 탑재하는 것으로 개정되었다. 따라서, 선박 평형수 처리장치의 탑재의 유예시간이 최장 3년에서 5년으로 연장되었다.

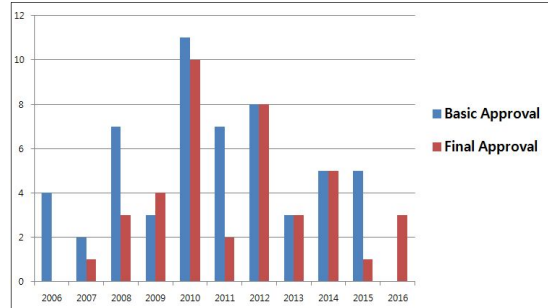
또한, 협약이 발효된다면 협약을 적용받는 모든 선박들이 협약의 발효일부터 5년의 유효기간을 지나는 “국제 선박평형수 관리증서 (International Ballast Water Management Certificate)”를 보유하게 되므로 5년 이후 정기검사 도래시점에 선박 평형수 처리장치 설치의 수요가 증폭될 것이 예상됨에 따라 5년간 적절히 분산시키기 위하여 IOPP 정기검사의 만료일까지 선박 평형수 처리장치를 탑재하는 것으로 결정되었다.

평형수를 처리하기 위해 활성물질을 이용하는 선박 평형수 처리장치에 대하여 BWM 협약 지침 G9에 따라 IMO로부터 BA(Basic Approval, 기본승인) 및 FA(Final Approval, 최종승인)를 받아야 하는 것으로 규정하고 있다.

[Fig. 1]은 2006년부터 2016년 6월 까지 IMO로부터 BA 및 FA 받은 건수를 년도 별로 보여주고 있는 것으로, 세계에서 처음으로 Alfa Laval 제조사에서 개발한 PureBallast System이 2006년도에 IMO로부터 BA를 받았고, 이후로 BWTS는 다양한 방식으로 개발이 되어왔고, 2010년도에 가장 많은 BWTS가 IMO로부터 BA 및 FA를 받았다. 2011년부터는 선박 평형수 처리장치의 개발

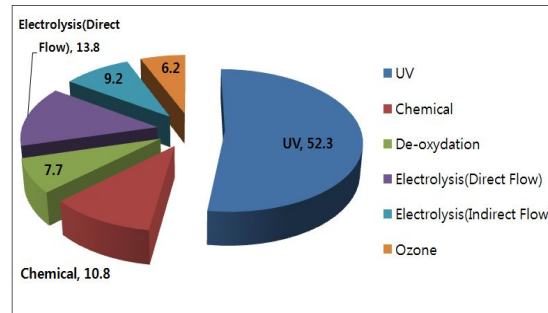
증가세가 감소하고 있지만 개발 누적 수는 계속적으로 증가하고 있다.

(Unit : No.)



[Fig. 1] Number of BA and FA for BWTS by year. (source : <http://www.imo.org>)

(Unit : No.)



[Fig. 2] Distribution Ratio(%) by Treatment type for Type Approved BWTS. (source : <http://www.imo.org>)

[Fig. 2]에서는 2016년 6월까지 IMO에 보고된 정부형식승인을 받은 선박 평형수 처리장치 65개 제품을 대상으로 처리방식별로 분포도를 조사한 그래프이다. UV(Ultra Violet, 자외선) 방식이 전체 대상의 52.3%인 절반 이상을 점유하고 있으며, 뒤를 이어 직접전기분해방식이 13.8%, 케미컬 주입 방식이 10.8%, 간접전기분해방식이 9.2%의 점유율을 보이고 있다.

BWM 협약이 발효요건을 충족한 날로부터 1년 뒤부터 현존선에 선박 평형수 처리장치를 순차적으로 설치하여야 하는 상황에서, 현재까지 개발된 선박 평형수 처리장치는 65종에 달하고 있다.

선박 평형수 처리장치는 다양한 종류로 개발되고 있지만, 각각의 처리방식에 따른 위험성에 대한 분석이 제대로 수행되지 않아 발생한 사고도 빈번이 발생하고 있는 가운데, 현존선박에 대한 평형수 처리장치의 탑재에 대한 여러 가지의 위험성 분석이 수행되어야 할 필요성이 있다. 그리고 기기들이 가지고 있는 고유의 위험성도 있지만, 선박의 환경에 따른 위험성도 존재할 수 있기 때문에 이러한 위험성 분석을 통해 선원들의 안전과 선박 자산의 보호를 가져올 수 있다는 점에서 큰 의미를 가지고 있다. 심지어, 인체에 유해한 화학물질(가스류 포함)을 이용한 처리장치도 개발되고 있으며, 현존선에 설치함에 있어 안전에 관한 다양한 문제가 제기될 수 있다. 또한, 폭발성 가스류(수소)가 부산물로 생성되는 처리장치도 있어, 폭발에 관한 안전 부분도 함께 고려하여야 할 필요가 있다.

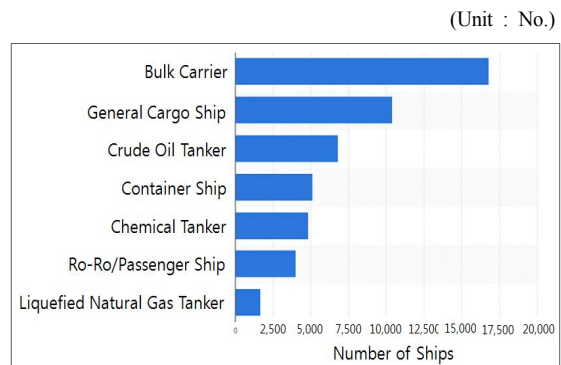
이처럼 선박 평형수 처리장치를 현존선에 설치하기 위한 다양한 환경적 요인들이 존재하고 있는 상황에서 그 위험요소들을 사전에 식별하는 절차가 필요하고, 이를 위해 산업계에서 널리 사용되고 있는 위험도 분석을 기반으로 하는 HAZOP(Hazard and Operability Study) 및 HAZID(Hazard Identification Study)의 분석을 수행할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 현재까지 개발된 선박 평형수 처리장치 중 가장 많은 비율을 차지하고 있는 자외선 처리방식의 선박 평형수 처리장치를

대상 선박에 탑재하는 위험도 기반 분석을 수행하여 그 결과를 도출하고자 한다.

## II. 대상 선박 선정

2016년 1월까지의 세계상선 선대를 선종별로 분류한 그림을 [Fig. 3]에서 알 수 있듯이, Bulk



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

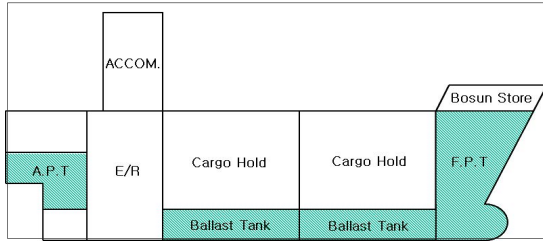
Carrier는 단일 선종으로 전 세계적으로 25%를 차지하고 있다.

대상 선박 선정 기준은 전 세계적으로 가장 많은 선종을 차지하고 있는 선박을 대상으로 하였고, 그 중에서 특정 선박을 지정하였으며, 그 선박에 대한 주요 Specification에 대하여 <Table 2>와 같다.

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

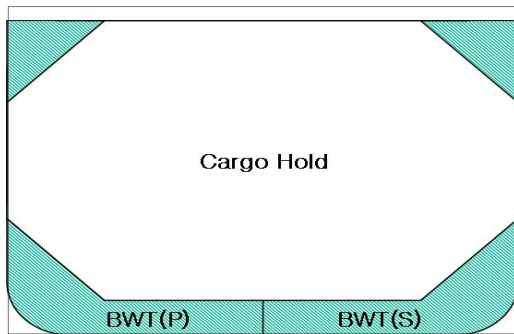
D.W.T	175,292	Delivery	12th April 2010
G.T	92,053	Generator Capacity(kW)	
LBD(m)	282.2 x 45 x 24.75	W.B.T(m <sup>3</sup> )	51,969.5
Speed(knot)	14.91	Ballast Pump(m <sup>3</sup> /h)	2,500m <sup>3</sup> /hx2sets

Source : Korean Register of Shipping



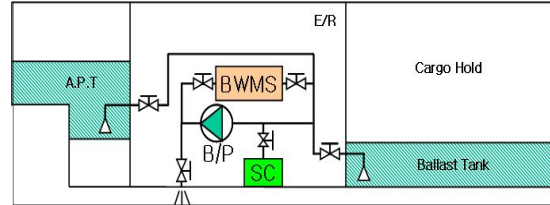
[Fig. 4] Typical General Arrangement of DWT 175K Bulk Carrier

[Fig. 4]는 Bulk Carrier의 전형적인 일반배치도를 나타내었다. 또한 [Fig. 5]에서는 Bulk Carrier의 전형적인 중앙단면도를 나타내었다. [Fig.4] 및 [Fig. 5]에서 알 수 있듯이 평형수 탱크는 화물창 주위의 이중선체 또는 이중저에 배치되어 있으며, 또한 F.P.T 및 선미 A.P.T를 평형수 탱크로 사용하고 있다.



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

대상선박 DWT 180K Bulk Carrier는 2,500m<sup>3</sup>/h 용량을 가지는 Ballast Pump가 2대가 설치되어 있으며, 이 펌프를 통해 선박의 모든 평형수 탱크로 평형수를 주수 및 배수를 할 수 있도록 배관되어 있다. Ballast Pump는 기관실에 설치되어 있으므로 선박 평형수 처리장치도 펌프와 근접한 공간에 설치되는 것으로 가정하였다. [Fig. 6]은 자외선 처리방식의 선박 평형수 처리장치를 기관실에 설치하였을 때의 구성도를 보여주고 있다.



[Fig. 6] BWTS installed in Engine Room

또한, 사용가능한 전력은 대상 선박에서 보유하고 있는 발전기의 예비전력이 충분하다는 것을 가정하였고, 선박 평형수 처리장치를 설치함에 있어 평형수 배관의 변경, 전력계통의 변경 그 이외에 대하여 변경사항은 없는 것으로 가정하였다.

[Fig. 7]은 대상 선박과 동형의 사이즈를 가지는 선박의 그림을 보여주고 있다.



[Fig. 7] Picture of Subject Bulk Carrier  
(source : www.google.com)

### 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.

본 논문은 Risk Assessment 기법을 이용하여

현존선 설치를 위한 선박 평형수 처리장치에 대한 위험도 평가 분석

선박에 새로 탑재될 선박 평형수 처리장치의 최적화 설계를 연구하는 것으로, 선원들의 안전과 선박의 재산을 보호하기 위한 목적에 있다. 위험성 평가를 도출 식별된 위험요소는 Hazard라 하며 정성적 기법으로 찾아내고 사고발생확률과 사고의 크기는 Risk로 표현하며 정량적인 기법으로 찾아내고자 한다.

Risk 정량적 위험성 기법은 Risk의 사고발생 확률과 사고영향분석에 곱으로 나타낸다. 즉, 사

고 발생빈도와 사고발생으로 나타내는 크기를 말한다. 정성적 평가기법(HAZID, Hazard Identification)은 위험요소의 존재여부를 규명하고 확인하는 절차로서 정성적 평가방법을 이용하고 있다. 본 논문에서는 “위험과 운전성 분석법(Hazard & Operability Study)기법을 이용하여 선박 평형수 처리장치의 Retrofit에 대한 위험분석을 수행하였다.

<Table 3> Risk Matrix

FI	Frequency	/Ship year	SI			
			1	2	3	4
			Minor Minor Injury Equipment Damage	Significant Severe Injury Mild Ship Damage	Severe 1 fatality Severe Damage	Catastrophic 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 4> 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 5> 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 6> Specification of UV type BWTS

Item	Definition Specification
Capacity	2,500m <sup>3</sup> /h x 2sets
Filter	Use, mesh size 50 $\mu$ m, 2sets
Power Consumption	131kW x 2sets
Size	9.83m <sup>2</sup> at Capacity 3,000m <sup>3</sup> /h
Max. Operating Pressure	10 bar

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

Node	Definition Specification Description
1	Flow line and Filtration Unit during Ballasting
2	UV Chamber and Flow line into Ballast Tank
3	UV Chamber and Flow line during De-ballasting

2. 위험도 분석 방법

자외선 처리방식의 선박 평형수 처리장치를 탑재에 따른 위험도 분석을 위한 대상선박은 DWT 175K Bulk Carrier로 선정하였다. 그리고, 위험도 분석을 수행하기 위한 방법은 아래의 과정을 통해 수행하였다.

- 1) 선박 평형수 처리장치에 대하여 “Node”로 구분함
- 2) 위험도(Hazard)는 Guidewords로 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) 안전대책(Safeguard)과 대체수단(Counter Measures) 제시
- 6) 제안에 대한 기록
- 7) 설계 변경에 대한 고려 및 추가 분석내용 식별

<Table 3>에서 보는 바와 같이 위험도의 정량화를 수행하는 목적은 식별된 위험도를 “허용(Acceptance)” 또는 무시대상(Negligible), “고려대

상(ALARP, as low as reasonably practicable)” 및 “불가(Unacceptable)”의 수준을 정량적으로 규명하기 위한 것으로, 초록색으로 표시된 부분이 허용(Acceptance)” 또는 “무시대상(Negligible)”으로 표시된 것이며, 노란색으로 표시된 부분이 “고려대상(ALARP, as low as reasonably practicable)” 그리고, 적색으로 표시된 부분이 “불가(Unacceptable)”임을 나타내고 있다.

본 논문에서의 위험도 평가는 2007년 IMO에서 채택한 문서 “Considerated test of the Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-marking process(MSC/Circ.1023-MEPC/Circ.392)” 문서를 근간으로 하였다. FSA 수행방법에서 다루고 있는 것은 정량적 위험 분석의 필요성에서 대두된 것으로 전문가그룹에서 세부사항에 대한 위험성을 식별한 값을 표시하였다.

아울러 본 논문에서 위험도 분석에 대한 Work Sheet(Risk Matrix)는 FSA 수행기법과 동일하게 작성하였다. 위험도를 평가하는 방법으로 수치를 정량화 하는 방법은 “Logarithmic Scale”을 이용하였으며, 위험도의 값(R)은 발생빈도(Frequency) 값

"L"과 위험도의 level에 따른 값 "S"를 더한 것으로 수치화하였다. "L" 값과 "S" 값에 대한 정의는 <Table 4> 및 <Table 5> 에서 참조한다.

### 3. 위험도 분석 및 평가

자외선 처리방식의 평형수 처리장치의 위험도 분석은 앞서 설명한 DWT 175K Bulk Carrier에 설치하는 것으로 하여 수행하였고, 대상 선박에 탑재가 가능한 Specification을 바탕으로 하였다. 관련 자세한 Specification은 <Table 6>을 참조한다.

위험성 평가 시 자외선 처리방식의 평형수 처리장치의 전체 시스템에 대한 평가 구획을 나눔으로서 분석의 효율성을 높일 필요가 있다. 일반적으로 Node를 구분하는 방법은 공정별로 하는 것이 가장 적합할 수 있으나, 본 논문에서는 3가지 Node로 구분하였고, 평형수 주입과 배수동안을 기준으로 하여 평형수 유입의 단계별 기준으로 결정하였다. 단계별 Node에 대한 정보는 <Table 8, 9 및 10>을 참조하길 바라며, 구간별 위험인자(Guideword)를 초래할 가능성 원인(Possible cause)과 그에 따른 결과를 정량적 위험도로 나타내었다.

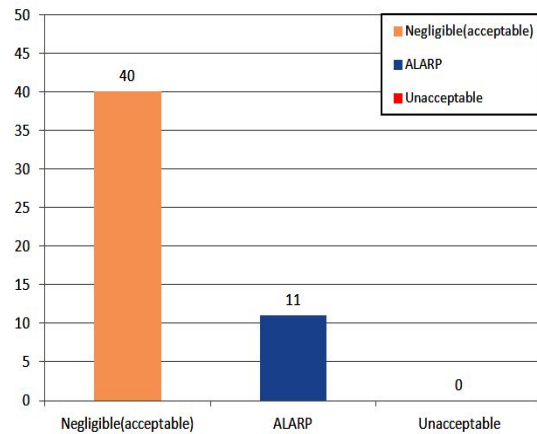
## IV. 결론

위험도 분석에서 <Table 5>에서 위험결과에 대한 Level과 Table 4에서 제시한 위험결과의 발생 빈도에 대한 Level을 <Table 3>에서 제시한 Risk Matrix 기법을 이용하여 각 Node간에서 발생한 위험도를 정량화하였다. 각 Node 구간에서 위험도 평가를 분석한 결과(정량화 수치)에 대한 내용은 <Table 8, 9 및 10>에서 각각 구체적으로 보여주고 있다.

자외선 처리방식의 선박 평형수 처리장치의 위험도 분석을 수행하였고, 결론적으로 51개에 대

한 처리장치의 운전에 관한 위험인자를 식별할 수 있었으며, [Fig. 7]에서 알 수 있듯이, "Negligible" Level로 40개가 식별되었고, 11개에 대하여 "ALARP"의 Risk Level로 분석되었다.

따라서, 대상선박 DWT 175K Bulk Carrier에 대하여 자외선 처리방식 선박 평형수 처리장치를 설치함에 있어 선원의 안전과 선박의 자산 보호를 위한 특별히 구조의 변경을 고려할 필요성은 없으며, 이에 따른 자외선 처리방식 선박 평형수 처리장치의 설계 변경도 고려할 필요성이 없음을 확인하였다.



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

참고로, 위험도 평가를 통해 관찰된 사항(Recommendation)으로 대상 선박에 탑재하기 위한 자외선 처리방식의 평형수 처리장치의 경우 우선 평형수 처리장치의 Retrofit Plan에 대한 Manual의 준비가 요구되고, Special Survey(정기검사) 후 평형수 탱크내의 Cleaning 상태를 검사하는 것이 제안되었다. 그리고, 처리장치의 운전상에 선원들이 인지하여야 할 사항에 대한 Warning Signal을 처리장치 주변으로 게시하는 것이 필요하다고 본다.



<Table 8> Flow line and Filtration unit Ballasting(Node 1)

No.	Guideword	Possible cause	Consequence	Risk matrix			Safeguards	Rec.	Respon.
				L	S	R			
101	No flow	Valve closed	N/A	0	0	0			
		Filter clogging	N/A	0	0	0			
		Pipe rupture	Engine room flooding	1	2	3	Level sensor, Bilge alarm, GS(General service pump) pump start		
102	Less flow	Valve partially open	N/A	1	1	2	Manual stop, System trip		
		Pipe leakage	Water spray, Electric Equipment damage	5	1	6	Level sensor, Bilge alarm, GS (General service pump) pump start		
103	More flow	Valve misoperation (two pumps)	Pressure increase	0	0	0	Alarm. System trip		
104	More pressure	Valve closed	N/A	0	0	0			
		Filter clogging	N/A	0	0	0			
		Valve misoperation (two pumps)	N/A	0	0	0			
105	Less pressure	Pipe leakage	Water spray, Electric Equipment damage	5	1	6	Level sensor, Bilge alarm		
		Filter leakage (Housing damage)	Water spray, Electric Equipment damage	0	0	0	Level sensor, Bilge alarm		
		Filter leakage (misassembly)	Water spray, Electric Equipment damage	3	1	4	Human observe, visual inspection		
		Drain valve open	Bilge well level up	1	0	1	Bilge tank alarm		
		Pipe rupture	Engine room flooding	1	2	3	Level sensor, Bilge alarm, GS (General service pump) pump start		

<Table 9> UV Chamber and Flow line into Ballast Tank(Node 2)

No.	Guideword	Possible cause	Consequence	Risk matrix			Safeguards	Rec.	Respon.
				L	S	R			
201	No flow	Valve Closed	UV Temperature increase	1	1	2	System trip		
		Pipe rupture	Engine room flooding	1	2	3	Level sensor, Bilge alarm, GS (General service pump) pump start		
202	Less flow	Other valve partially open	Pump damage	1	1	2	Manual stop, System trip, sea chest change over		
		Pipe leakage	Water spray, Electric Equipment damage	5	1	6	Level sensor, Bilge alarm, GS (General service pump) pump start		
		Frequent back flushing	Flow down	6	0	6			
203	More flow	Valve misoperation	Pressure increase slightly UV reactor efficiency down	3	0	3	Alarm, System trip		
204	More pressure	Valve misoperation	Pressure increase slightly Quartz sleeve damage UV reactor efficiency down	3	0	3	Alarm, System trip		
		Valve Closed	Pressure increase slightly Quartz sleeve damage UV reactor efficiency down	3	0	3	Alarm, System trip		
205	Less pressure	Other Valve partially open	Flow decrease afterward flow meter	1	1	2	Manual stop, System trip		
		Pipe leakage	Flow decrease afterward flow meter Water spray, Electric Equipment damage	5	1	6	Level sensor, Bilge alarm, GS (General service pump) pump start		
206	High Temperature	UV reactor over heating	Temperature increase, packing quality down	1	1	2	Temperature transmitter, switch, alarm, system trip		
207	No level	Valve closed	UV Temperature increase	1	1	2	System trip		
		Pipe rupture	Engine room flooding	1	2	3	Level sensor, Bilge alarm, GS (General service pump) pump start		
208	Less level	Valve closed	UV Temperature increase	1	1	2	System trip		
209	UV reactor	Over heat	Temperature increase Packing quality down	1	1	2	Temperature transmitter, switch, alarm, system trip		
		Temperature sensor malfunction	Overheating	1	1	2	Temperature switch, alarm, system trip		
		Temperature switch malfunction	Overheating	1	1	2	Temperature transmitter, alarm, system trip		
		UV Transmitter	Max power input	3	1	4	Circuit breaker, system trip		
		Under current detector	Shutdown(System trip)	3	1	4	Alarm, system trip		
		EPDM wiper motor	UV reactor efficiency down	5	1	6	Alarm		
		Wiper Limit switch malfunction	Motor overheating	5	1	6	Circuit breaker, alarm		

<Table 10> UV Chamber and Flow line into Ballast Tank(Node 3)

No.	Guideword	Possible cause	Consequence	Risk matrix			Safeguards	Rec.	Respon.
				L	S	R			
301	No flow	Valve Closed	UV Temperature increase	1	1	2	System trip		
		Pipe rupture	Engine room flooding	1	2	3	Level sensor, Bilge alarm, GS(General service pump) pump start		
302	Less flow	Other valve partially open	Pump damage	1	1	2	Manual stop, System trip, sea chest change over		
		Pipe leakage	Water spray, Electric Equipment damage	5	1	6	Level sensor, Bilge alarm, GS(General service pump) pump start		
303	More flow	Valve misoperation	Pressure increase slightly UV reactor efficiency down	3	0	3	Alarm, System trip		
304	More pressure	Valve misoperation	Pressure increase slightly Quartz sleeve damage UV reactor efficiency down	3	0	3	Alarm, System trip		
		Valve Closed	Pressure increase slightly Quartz sleeve damage UV reactor efficiency down	3	0	3	Alarm, System trip		
305	Less pressure	Other Valve partially open	Flow decrease afterward flow meter	1	1	2	Manual stop, System trip, sea chest change over		
		Pipe leakage	Flow decrease afterward flow meter Water spray, Electric Equipment damage	5	1	6	Level sensor, Bilge alarm, GS pump start		
306	High Temperature	UV Reactor over heat	Temperature. increase, Packing quality down	1	1	2	Temperature transmitter, switch, alarm, system trip		
307	No level	Valve Closed	UV Temperature increase	1	1	2	System trip		
		Pipe rupture	Engine room flooding	1	2	3	Level sensor, Bilge alarm, G/S pump start		
308	Less level	Valve Closed	UV Temperature increase	1	1	2	System trip		
		Pipe leakage	Water spray, Electric Equipment damage	5	1	6	Level sensor, Bilge alarm, G/S pump start		
309	Unidentified materials in ballast tank	Dock retrofit work	Ballast pump damage, valve damage, UV reactor damage	5	1	6	Bypass operating	Recommend the check cleaning in ballast tank after special survey	
310	Dirty ballast discharge in cargo	Bulk carrier operation	Quartz sleeve damage	5	1	6	Bypass operating	Prepare the manual and warning signal	

## 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
- International Maritime Organization(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)
- Korean Register of Shipping(2016). "Briefings of IMO Meeting MEPC 69", 1~2.
- Korean Register of Shipping(2010) "Guideline for Retrofitting BWTS for Ships" 32~46.
- 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", 68.
- Moon. K. T. et al. "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 : 19 August, 2016
  - Revised : 20 September, 2016
  - Accepted : 27 September, 2016