

현존선에 오존 처리방식 선박평형수 처리장치 설치를 위한 위험도 평가 연구

지 재 훈[†]
(목포해양대학교)

Research of Risk Assessment for Retrofitting an Ozone Treatment Type Ballast Water Treatment System on an Existing Vessel

Jae-Hoon JEE[†]
(Mokpo National Maritime University)

Abstract

Since the Ballast Water Management Convention was adopted in Feb. 2004, this convention has come into effect on Sep. 8th 2017. This convention should be originally entered into force after twelve months from the date satisfying effective conditions. However, various discussions have been held regarding the timing of the effective date, and the time for the MEPC 71 meeting, which was held in Oct. 2017, was confirmed. In case of new built ships, when the date of construction is later than the date of fermentation, these vessels shall install the ballast water treatment system while proceeding. In case of the existing ships, ballast water treatment system should be installed sequentially from Sep. 8th 2019 based on the IOPP periodic inspection date. As of December 8th 2017, 67 countries have ratified the Ballast Water Management Convention, and the world merchant vessel fleet is 74.91%. Currently, about 73 Ballast Water Treatment System certified by Administration will be reported to IMO, even type of Ballast Water Treatment System is very various. Thus, a risk of each Ballast Water Treatment System 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 Ozone type BWTS which is existed generally dangerous risk 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 43 items.

Key words : BWM convention, BWTS, Ozone, Bulk carrier, Risk assessment

I. 서론

선박을 이용하여 국제간 무역이 계속적으로 증가하면서 해상 교통량은 점차 증가하고 있는 상

황이다. 해상 교통은 대부분 선박을 이용하게 되고, 선박 화물의 적하 및 양하에 따른 선박 복원성 유지를 위해 해수를 이용한 평형수를 사용하고 있다. 해수에는 각 해역마다 보호 생물군들

[†] Corresponding author : 061-240-7208, jhjeel@mmu.ac.kr

이 형성되어 있어 자국에서 보호대상으로 지정되고 있는 상황과 자국 해역의 오염에 따른 외부 침입종들이 타국 해역으로 이동하면서 해양 생태계를 파괴시킴으로써 황폐화되고 있다. 이러한 생물학적 침입율은 계속해서 증가하고 있으며, 이동 평형수를 통해 새로운 지역들이 외부 침입종에 의한 생태계 교란 위험에 노출되고 있다 (Kim E. C. 2012).

선박평형수관리협약은 2004년 2월경 외교회의에서 채택되었고, 협약의 발효 기준은 국제해사기구 회원국 중에서 30개국 이상이 비준하고 동시에 세계상선 선박량이 35% 이상을 만족하여야 한다. 이 기준을 만족하는 날로부터 12개월 후에 발효되는 것이었다(BWM Convention).

2017년 9월 8일 핀란드가 이 협약을 최종 비준하였고, 원래의 협약 발효 요건에 따라서 향후 2018년 9월 7일에 발효되는 것이어야 하지만, 협약의 발효 요건을 충족시키기 위한 기간이 10여 년이 지났고, 협약의 적용 기준들이 조금씩 개정되면서 새로운 발효 시기의 논의 필요성이 제기되었다.

참고로, 국제해사기구 통계에 따르면, 2017년 12월 8일 기준으로 선박평형수관리협약은 67개 국가가 비준한 상태이고, 세계상선선박량은 대략 75%를 기록하고 있다(Briefings of MEPC 71_KR).

신조선과 현존선에 대하여 선박평형수관리협약의 발효 및 적용시기와 관련하여 2017년 7월에 개최된 해양오염방지위원회(MEPC) 71차 회의에서 논의가 있었다. 논의 결과에 따라 선박평형수관리협약의 이행과 관련한 B-3 규정전면 수정하기로 결정한 바 있다(Briefings of MEPC 71_KR).

신조선의 정의는 2017년 9월 8일 이후로 건조되는 선박을 의미하며, 그 선박들은 건조과정에서 선박평형수처리장치를 설치토록 규정하였다.

현존선의 정의는 2017년 9월 8일 이전에 건조된 선박을 의미하며, 그 선박들에 대한 선박평형수처리장치의 설치 시기는 우선 국제해양오염방지(IOPP) 정기검사가 2014년 9월 8일에서 2017년 9월 7일 사이에 있었던 선박들은 2017년 9월 8일 이후 첫 번째 국제해양오염방지 정기검사 시에 선박평형수처리장치를 탑재하여야 한다.

<Table 1> Amended schedules to Retrofit a BWTS onboard in accordance with MEPC 71

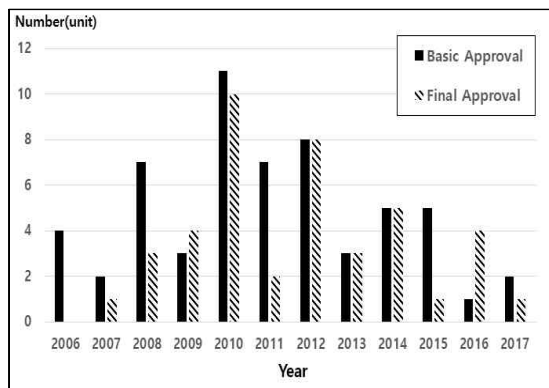
	Keel Laid date	Subject ships		Date to be newly installed BWTS	Date to be retrofitted BWTS
Schedules to new-install / retrofit BWTS	On or after the date of 8 th September 2017(Effecting BWM Convention)	ships constructed on or after 8 th September 2017	All (International voyage)	Ship's Delivery	-
	Before the date of 8 th September 2017(Effecting BWM Convention)	Case that previous IOPP renewal survey had been completed between 8 th Sep. 2014 and 7 th Sep. 2017	All (International voyage)	-	First IOPP renewal Survey following the date of 8 th September 2017
		Case that previous IOPP renewal survey had been completed between 8 th Sep. 2012 and 7 th Sep. 2014	All (International voyage)	-	Second IOPP renewal Survey following the date of 8 th September 2017

Source: www.krs.co.kr

반면, 2012년 9월 8일에서 2014년 9월 7일 사이에 있었던 선박들은 2017년 9월 8일 이후 두 번째 국제해양오염방지 정기검사 도래 시에 선박 평형수처리장치를 탑재하여야 한다. 신조선 및 현존선 대상 선박평형수처리장치 설치 시기는 <Table 1>에서 구체적으로 제시하고 있다.

선박평형수관리협약은 2017년 9월에 이미 발효되었다. 개정된 B-3 규정에 따라 현존선의 경우가 협약의 D-1 규정(교환기준)을 D-2(처리기준)에 따른 선박평형수처리장치를 설치하기 이전까지 발효일 이후부터 준수하여야 한다. D-1 규정은 평형수 교환을 수행하는 선박에 대하여 적재된 평형수 용적의 95% 이상의 교환 효율을 이루어 지도록 평형수를 교환하는 것이며, D-2 규정은 평형수를 관리하는 방식으로 평형수 1m³당 50 μ m 이상인 생존 미생물이 10 개체 미만인 되도록 배출하여야 하고, 10 μ m 이상에서 50 μ m 미만인 생존 미생물은 1ml 당 10 개체 미만으로 배출되어야 하므로 선박 평형수 처리장치를 통하여 평형수를 처리하여야 한다(BWM Convention).

자외선 처리방식과 달리 평형수를 처리하기 위해 오존과 같은 활성물질을 사용하는 선박평형수 처리장치는 국제해사기구로부터 기본승인과 최종 승인을 받아야 한다.

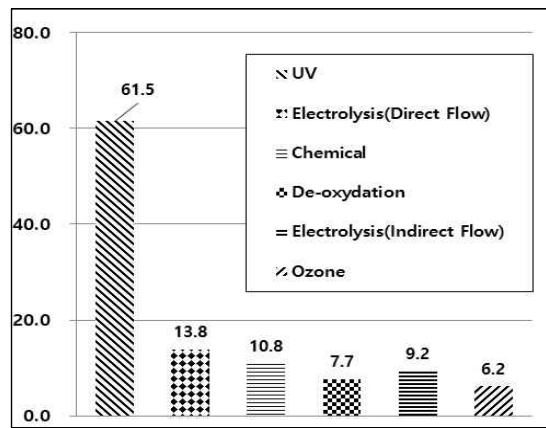


[Fig. 1] Status of Basic & Final Approval for BWTS by year(source : www.imo.org)

[Fig. 1]에서는 2006년 1월부터 2017년 7월까지 국제해사기구로부터 기본승인과 최종승인을 받은 건수를 년도별로 보여주고 있다. 2010년에 가장 많은 선박평형수처리장치가 국제해사기구로부터 기본 및 최종승인을 받았지만, 2011년 이후부터는 선박평형수처리장치 개발 증가세는 감소한 반면 누적 수는 계속적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

[Fig. 2]에서는 2017년 8월까지 국제해사기구에 보고된 정부형식승인을 득한 선박평형수처리장치 73개 제품에 대하여 처리방식별 분포 현황을 보여주고 있다. 자외선 처리방식이 전체 방식중에서 61.5%를 차지하면서 절반 이상을 점유하고 있으며, 다음으로 직접전기분해 처리방식이 13.8%를 차지하고 있다. 오존처리방식은 전체 처리방식중에서 6.2%를 차지하면서 가장 낮은 점유율 현황을 보여주고 있다.

오존가스는 전통적으로 산업 전반으로 멸균을 위해 사용하는 강한 살균제로 이용되면서 오존 흡입량에 따라 인체에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 위험성이 존재하기에 선박의 특수적인 환경을 고려하여 개발 시도가 상대적으로 소극적인 측면이 있었다.



[Fig. 2] Status(%) of Treatment Type for Administration Type BWTS (source : www.imo.org)

과거 유사한 연구내용으로는 생물학적 관점에서 해양 생태계 위해성 평가가 연구된 바가 있으며, 이는 전기분해로 처리한 선박 평형수가 해양 생태계에 미치는 영향에 대하여 평가 분석한 것이다(Son, 2012).

또한, 자외선 처리방식 평형수 처리장치에서 자외선 램프에서 발산되는 빛이 해양에 환경적 수용성과 안전성 관점에서 미치는 영향을 연구한 사례가 있다(Pyo, 2008).

위험성 평가는 건설업 또는 제조업 등 고 위험 환경에 노출된 사업장에서 노동자의 위험 인자를 식별하고 안전을 확보하기 위한 방법에 사용된 것으로, 종래 위험성 평가제도를 통해 산업안전 보건 정책과 제도의 최적화 전략을 수립하는데 목적을 두었다(Choi, 2013).

오존가스는 자연적으로 발생하는 강한 자극성 냄새를 갖는 무색의 불안정한 기체이며, 매우 강한 산화제로 산업계에서는 살균제로 사용되고 있다. 오존의 생성은 주위 대기로부터 고농도의 순수 산소만을 포집하여 고전압 또는 고전류의 전기장울 통과시켜 고농도의 오존을 얻는다. 이렇게 생성된 오존은 해양 유해종과 직접 접촉하여 사멸되고 대부분은 오존과 다른 화합물이 반응하여 생성되는 차아브롬산에 의해 사멸된다. 0.3~0.6 ppm 오존가스가 3~6시간 인체에 노출되면 시각이 떨어지며, 그 이상의 농도로 장시간 노출되면 인체에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

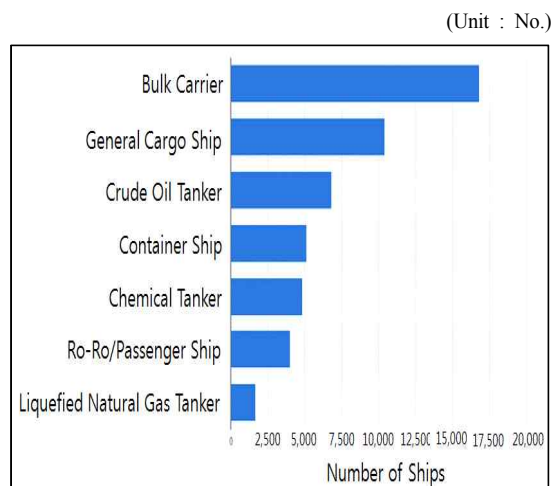
이처럼 오존방식의 선박 평형수 처리장치는 활성물질로 오존을 사용하므로 선박평형수처리장치를 현존선에 설치하기 위한 다양한 환경적 요인들을 고려한 선원의 안전과 선박의 안전을 위한 최적의 설계를 수행할 필요가 있다.

본 연구에서는 산업계에서 널리 사용되고 있는 위험도 분석을 기반으로 하는 HAZOP(Hazard and Operability Study) 및 HAZID(Hazard Identification Study)의 평가 기법을 이용하여 오존방식의 선박

평형수 처리장치를 대상선박인 DWT 175K 산적 화물선을 대상으로 연구를 수행하고 그 결과를 도출하고자 한다.

II. 대상 선박 선정

[Fig. 3]에서는 2017년 8월까지 세계상선 선대 분포를 선종 별로 분류한 것을 보여주고 있으며, 산적화물선(Bulk Carrier)은 전체 선종에서 25%의 비중을 차지하고 있는 것을 알 수 있다.



[Fig. 3] Status of Ships in World Merchant Fleet (source : www.statista.com)

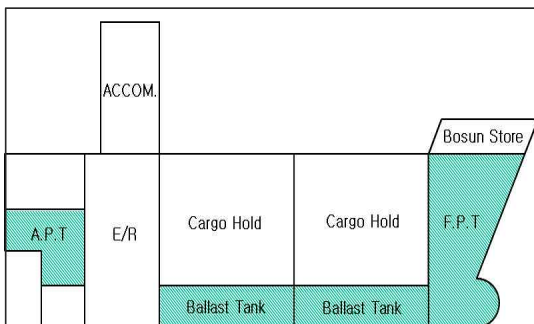
위험도 평가 연구의 대상 선박은 세계적으로 가장 많은 선종을 차지하고 있는 산적화물선으로 정하였고, 이 선종에서 재화중량 175K 산적화물선을 대상으로 하였으며, 주요 제반 사항은 <Table 2>에서 보여주고 있다.

[Fig. 4]에서는 대상선박인 재화중량 175K 산적 화물선의 전형적인 일반배치도(General Arrangement)를 보여주고 있으며, [Fig. 5]에서는 동일 선박의 전형적인 중앙횡단면도(Midship)를 보여주고 있다.

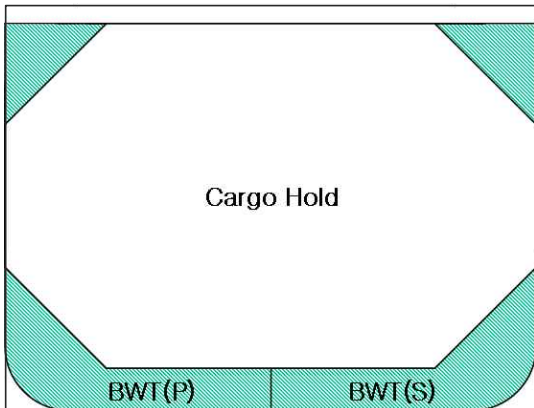
<Table 2> Main Specification of D.W.T. 175K Bulk Carrier

Dead Weight Tonnage	175,292(ton)	Delivery Date	12 th April 2010
Gross Tonnage	92,053	Generator Total Output(kW)	2,100
Length(m) x Breath(m) x Depth(m)	282.2 x 45 x 24.75	Total Ballast Tank Cap.(m ³)	51,969.5
Ship's Normal Speed(knot)	14.91	Ballast Pump Capacity(m ³ /h)	2,500m ³ /hx2sets

Source : Korean Register of Shipping



[Fig. 4] Schematic Design of General Arrangement for D.W.T. 175K Bulk Carrier



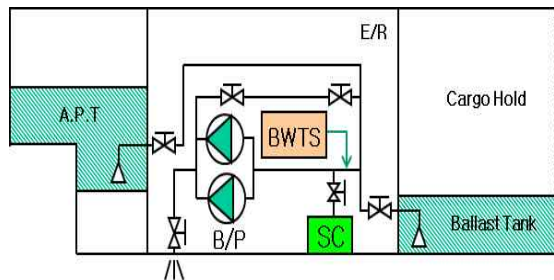
[Fig. 5] Schematic Design of Midship for D.W.T. 175K Bulk Carrier

[Fig. 4] 및 [Fig. 5] 그림에서 알 수 있듯이 평형수 탱크는 화물창을 주위로 이중선체 또는 이중저 구조로 배치되어 있으며, 선수탱크 및 선미

탱크를 평형수 탱크 용도로 사용하고 있다.

본 논문에서 위험도 평가 연구를 위한 대상선박인 재화중량 175K 산적화물선의 평형수 시스템을 살펴보면 각 2,500m³/h 용량의 평형수 수송 펌프 2대가 설치되어 있으며, 이들 펌프를 통해 평형수 탱크로 평형수를 주수 및 배수할 수 있도록 관들이 배치되어 있다. 평형수 수송펌프들은 기관실에 설치되어 있으므로 선박평형수처리장치는 이들 펌프와 근접한 위치에 설치하는 것으로 가정하였다. [Fig. 6]에서는 오존처리방식의 선박평형수처리장치를 기관실에 설치한 사례의 개략적 장치배관도를 보여주고 있다.

선박평형수처리장치를 구동하기 위한 추가 전력은 대상선박의 발전기들로부터 생산되는 전력으로 충분한 것으로 가정하였고, 이 장치를 설치함에 있어서 기존 평형수 배관 및 전력계통의 변경은 없는 것으로 가정하였다.



[Fig. 6] Schematic Diagram of Ozone Type BWTS in Engine Room

Ⅲ. 위험도 평가 연구 범위 및 방법

선박평형수처리장치를 현존선에 선원의 인명 안전과 선박의 보호를 위한 최적의 설계 방안을 위험도 평가 기법을 이용하여 연구하는데 목적을

두고 있다.

위험도 평가를 통해서 설치 설계안에서 식별된 위험요소(HAZARD)를 정성적 기법으로 찾아내고, 사고발생확률과 사고의 크기의 관계(RISK)를 정량적 기법으로 찾아내고자 한다.

<Table 3> Risk Matrix

FI	Frequency("L")		Consequence("S")			
			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 ⁰	7	8	9	10
5	Reasonably Probable	10 ⁻¹	6	7	8	9
4		10 ⁻²	5	6	7	8
3	Remote	10 ⁻³	4	5	6	7
2		10 ⁻⁴	3	4	5	6
1	Extremely Remote	10 ⁻⁵	2	3	4	5

<Table 4> Level of Frequency("L") for "RISK"

Level	Definition
1	Less than one time per 100,000 years
2	One time per 10,000 ~ per 100,000 year
3	One time per 1,000 year ~ per 10,000 year
4	One time per 100 year ~ 1,000 year
5	One time per 10 year ~ per 100 year
6	One time per 1 year ~ per 10 year
7	More than one time per year

<Table 5> Level of Consequence("S") for "RISK"

Level	Definition
1	Minor Injury and Equipment Damage concluded from minor case
2	Severe Injury and Mild Ship Damage concluded from significant case
3	1 fatality and Severe Damage concluded from severe case
4	Catastrophic and 10 fatality concluded from total loss case

<Table 6> Data of Ozone type BWTS

Item	Specification
Capacity	2,500m ³ /h x 1set
Required Power	abt. 452.9kW
Dimension	27.5m ² at Capacity 2,500m ³ /h total system

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

Node	Specification
1	Oxygen generator and valve after oxygen receiver tank during ballasting
2	Ozone injection nozzle and flow line into W.B.T. during ballasting
3	W.B.T., neutralizer unit and ballast pump during de-ballasting

본 논문에서의 위험도 평가는 2007년 국제해사기구에서 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)”를 바탕으로 수행하였다. 위험도의 정량화는 아래의 “Logarithmic Scale” 방법에 의해 수행하였다.

$$\text{Risk} = \text{Frequency} \times \text{Consequence} \text{ ----- (1)}$$

$$\text{Log(Risk)} = \text{Log(Frequency)} + \text{Log(Consequence)} \text{ - (2)}$$

위험도의 정량적 수치(R)는 상기의 (2)식에 따라 발생빈도(Frequency) 값 “L”과 위험도 level에 따른 값 “S”를 더한 것으로 수치화하였다. “L” 값과 “S” 값에 대한 자세한 내용은 <Table 4> 및 <Table 5> 에서 참조한다.

<Table 3>에서는 Risk Matrix를 보여주고 있으며, 정량화된 위험도의 수치에 따라 “허용(Acceptance)” 또는 “무시대상(Negligible)”, “고려대상(ALARP, as low as reasonably practicable)” 및 “불가(Unacceptable)”의 수준으로 구분하였다.

위험도 수치가 2 내지 3인 경우 “허용(Acceptance)” 또는 “무시대상(Negligible)”에 해당되며, 그 위험 인자는 설계에 반영할 필요가 없

다. 4 내지 6인 경우 “고려대상(ALARP, as low as reasonably practicable)”에 해당되며, 그 위험 인자는 설계 반영에 권고할 만한 수준이고, 7 내지 11인 경우 “불가(Unacceptable)”에 해당되며, 반드시 설계에 반영하여야 한다.

정성적 평가기법(HAZID, Hazard Identification)은 위험요소의 존재여부를 규명하고 위험성을 식별하는 기법으로, 본 논문에서는 정성적 평가기법 중 “위험과 운전성 분석법(Hazard & Operability Study)”을 이용하여 선박 평형수 처리장치 설치에 대한 위험도 평가 연구를 수행하였다.

오존처리 선박평형수처리장치 설치에 따른 위험도 평가 연구는 재화중량 175K 산적화물선을 대상으로 진행하였다. 그리고, 위험도 평가 연구는 아래의 방법에 따라 수행하였다.

- 1) 평형수 처리 구간을 “Node”로 구분
- 2) 위험도는 “Guideword”로 명시
- 3) 위험도의 원인과 결과를 명시
- 4) 원인과 결과에 대한 정량화
- 5) 결과에 대하여 안전대책과 대체수단 제시
- 6) 제안에 대한 기록
- 7) 설계 변경에 대한 고려 사항 분석내용 식별

<Table 8> Oxygen generator and valve after oxygen receiver tank during ballasting(Node 1)

No.	Guideword	Possible cause	Consequence	Risk matrix			Safeguards	Rec.	Respon.
				L	S	R			
101	No flow	Valve blockage	O ₂ generation stop	3	0	3	Pressure transmitter alarm and system stopped		
		Pipe rupture	O ₂ leakage	2	0	2	Pressure transmitter, O ₂ detector, alarm, system stopped		
102	Less flow	Pipe and tank leakage	O ₂ leak, O ₂ generation stop	2	0	2	Pressure transmitter, O ₂ detector, alarm, system stopped		
		Valve mal-function	O ₂ generation stop	2	0	2	Pressure transmitter alarm and system stopped		
103	More flow	Pressure transmitter mal-function	O ₂ generation stop	2	0	2	Pressure transmitter alarm and system stopped		
104	Reverse flow	All system shutdown and compressor check valve failed	N/A	2	0	2	Pressure transmitter alarm and system stopped		
		Valve control error	O ₂ generation stop	2	0	2	Pressure transmitter alarm and system stopped		
105	More pressure	Pressure transmitter mal-function	O ₂ generation stop	2	0	2	Pressure transmitter alarm and system stopped		
		Control loop error	O ₂ generation stop	2	0	2	Pressure transmitter alarm and system stopped		
		Receiver tank valve closed	Pressure increase of receiver tank O ₂ generation stop	2	0	2	Pressure transmitter alarm and system stopped		
106	Less pressure	Leakage	N/A	0	0	0			
		Valve partially closed	N/A	0	0	0			
107	More temp.	N/A	N/A	0	0	0			
108	Less temp.	N/A	N/A	0	0	0			

<Table 9> Ozone injection nozzle and flow line into W.B.T. during ballasting(Node 2)

No.	Guideword	Possible cause	Consequence	Risk matrix			Safeguards	Rec.	Respon.
				L	S	R			
201	No flow	Blockage of seachest	Ballast pump overheating and stop	3	1	4	Ballast pump alarm and system trip		
		Blockage of strainer	Ballast pump overheating and stop	3	1	4	Ballast pump alarm and system trip		
		Blockage of valves	Ballast pump overheating and stop	3	1	4	Ballast pump alarm and system trip		
		Ballast pump stop	N/A	0	0	0			
		Flowmeter error	Ozone injection stop	3	1	4	Alarm and system trip		
		Pipe rupture (Ballast line)	Engine room flooding	4	1	5	Alarm		
202	Less flow	Blockage of seachest	Ballast pump overheating and stop	3	1	4	Ballast pump alarm and system trip		
		Blockage of strainer	Ballast pump overheating and stop	3	1	4	Ballast pump alarm and system trip		
		Valve blockage	Ballast pump overheating and stop	3	1	4	Ballast pump alarm and system trip		
		Ballast pump efficiency decrease	N/A	0	0	0			
		Flowmeter error	Ozone injection stop	3	1	4	Ballast pump alarm and system trip		
		Pipe rupture (Ballast line)	Engine room flooding	4	1	5	Alarm		
203	More flow	Pump overrun	Ozone concentration decrease	3	1	4	Alarm and system stopped		
204	Reverse flow	Valve operation error (human error)	N/A	0	0	0			
205	More pressure	Pump over running	Ozone concentration decrease	3	1	4	Alarm and system stopped		
206	Less pressure	Sea chest blockage	Ballast pump overheating and stop	3	1	4	Ballast pump alarm and system trip		
		strainer blockage	Ballast pump overheating and stop	3	1	4	Ballast pump alarm and system trip		
		Valve partially blockage	Ballast pump overheating and stop	3	1	4	Ballast pump alarm and system trip		
		Pipe leakage (Ballast line)	Engine room flooding	4	1	5	Alarm		

<Table 10> W.B.T., neutralizer unit and ballast pump during de-ballasting(Node 3)

No.	Guideword	Possible cause	Consequence	Risk matrix			Safeguards	Rec.	Respon.
				L	S	R			
301	No flow	Valve closed due to mal-function or mis-operation	No neutralization	3	0	3	TRO measurement		
		Pump stopped		3	0	3	TRO measurement		
		Pipe rupture	No neutralization	4	0	4	TRO measurement		
302	Less flow	Valve partially closed due to mal-function	No neutralization	3	0	3	TRO measurement		
		Pipe leakage		4	0	4	TRO measurement		
		Chemical deposition on the pipe		4	0	4	TRO measurement		
503	More flow	Neutralizer pump overrun	Neutralizer overclose	3	0	3	TRO measurement		
504	More pressure	Neutralizer pump mal-function	Pump overrun	3	1	4	Alarm, system trip		
		Valve partially closed	Pump overrun	3	1	4	Alarm, system trip		
505	More temp.	Neutralizer pump valve partially closed	Neutralizer pump overheating	3	1	4	System trip		

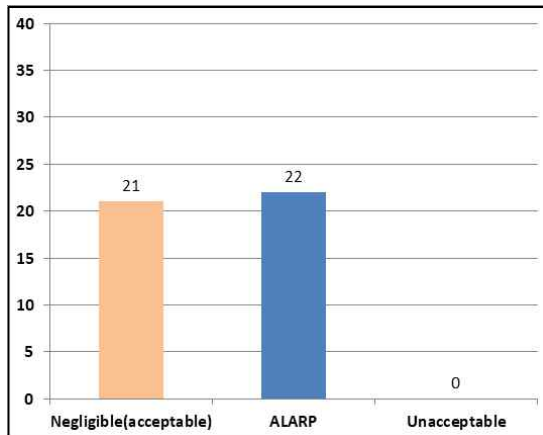
오존가스 처리방식의 선박평형수처리장치의 전체 시스템에 대한 위험도 평가 구간을 3가지 노드로 구분함으로써 평가 효율을 높이고자 하였

다. 일반적으로 노드를 구분하는 방법은 공정별로 하는 것이 가장 적합할 수 있으나, 본 논문에서는 3가지 노드로 구분하였고, 평형수 주입과

배수동안을 기준으로 하여 평형수 유입의 단계별 기준으로 결정하였다. 단계별 노드에 대한 정보는 <Table 7>을 참조한다.

IV. 결론

오존처리방식 선박평형수처리장치를 대상선박에 설치하는 최적 설계 방안으로 위험도 평가 기법을 이용한 연구를 진행하였다. 위험도 평가 연구는 선박평형수처리장치의 대표적인 3가지 처리 구간(노드)에 대하여 <Table 4>에서 제시한 위험 발생 빈도와 <Table 5>에서 제시한 위험 결과 레벨을 바탕으로 위험도의 정량화를 위해 “Logarithmic Scale” 방법을 이용하였다. 정량화된 위험도는 <Table 3>에서 제시한 “Risk Matrix” 기법을 이용하여 수치화된 위험도를 “Negligible (acceptable)”, “ALARP” 및 “Unacceptable” 범위로 구분하였다. 각 노드 구간에서 위험도 평가를 분석한 결과(정량화 수치)에 대한 내용은 <Table 8, 9 및 10>에서 각각 구체적으로 보여주고 있다.



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

오존가스 처리방식의 선박평형수처리장치의 위험도 평가 연구를 수행한 결과를 [Fig. 7]에서 보여주고 있다. 결론적으로 43개에 대한 처리장치

의 운전에 관한 위험인자를 식별할 수 있었으며, [Fig. 7] 에서 알 수 있듯이, “Negligible” 위험도가 21개가 식별되었고, “ALARP” 위험도가 22개가 식별되었다. “Unacceptable” 위험도는 식별되지 않았다.

따라서, 대상선박 재화중량 175K 산적화물선에 대하여 오존가스 처리방식 선박평형수처리장치를 설치함에 있어 선원의 안전과 선박의 자산 보호를 위한 특별히 구조 변경을 고려할 필요성은 없으며, 이에 따른 오존 처리방식 선박평형수처리 장치의 설계 변경도 고려할 필요성이 없음을 확인하였다.

References

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

Choi, Su-Hwan(2013). A Study on the Optimized Practical Application of Risk Assessment in Construction Industry, Incheon University.

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)

International Maritime Organization(2017). “Table of BA FA TA updated August 2017”, [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Ballast WaterManagement/Documents/Table of BA FA TA updated August 2017.pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/Table%20of%20BA%20FA%20TA%20updated%20August%202017.pdf)

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

Jee, J. H.(2017). Risk Assessment for Retrofitting an Electrolysis Type Ballast Water Treatment System on an Existing Vessel. *JFMSE*, Vol.29(3), 665~676.

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

- Korean Register of Shipping(2010). "Guideline for Retrofitting BWTS for Ships", 32~46.
- Korean Register of Shipping(2017). "Briefings of IMO Meeting MEPC 71", 1~2.
- Moon. K. T. et al.(2010). "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/Ballast>
- WaterManagement/Documents/BWM.2-CIRC.34-REV 4.pdf
- Son, Myung-Back(2012). The Study on Marine Ecological Risk Assessment of Discharged Ballast Water from BWMS, Pukyung University.
-
- Received : 27 February, 2018
 - Revised : 29 March, 2018
 - Accepted : 25 April, 2018