



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사 학위논문

위험도 평가(Risk Assessment) 기법을 이용한  
현존선 대상 선박 평형수 처리장치(BWTS) 설치를  
위한 최적 설계 연구

A Study for Optimized Design to Retrofit BWTS using  
Risk Assessment Method on an Existing Vessel



2017년 2월

한국해양대학교 대학원

기관시스템공학과

지재훈

본 논문을 지재훈의 공학박사 학위논문으로 인준함.

|     |       |     |
|-----|-------|-----|
| 위원장 | 윤 석 훈 | (인) |
| 위 원 | 이 영 호 | (인) |
| 위 원 | 이 철 재 | (인) |
| 위 원 | 김 경 석 | (인) |
| 위 원 | 오 철   | (인) |

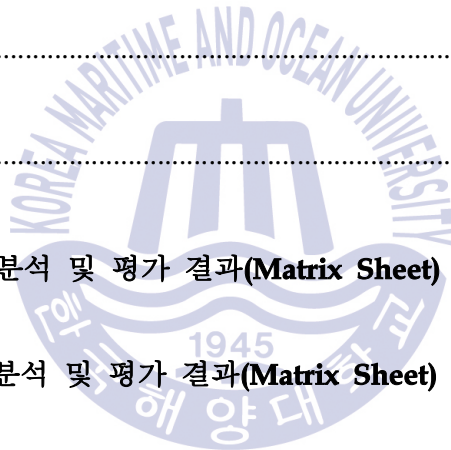
2016년 12월 26일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

|   |     |
|---|-----|
| <b>List of Tables</b> .....                 | v   |
| <b>List of Figures</b> .....                | vii |
| <b>Abstract</b> .....                       | x   |
| <br>  |     |
| <b>1. 서 론</b> .....                         | 1   |
| 1.1 연구의 배경 .....                            | 1   |
| 1.2 종래의 연구 .....                            | 13  |
| <br>  |     |
| <b>2. 연구의 범위 및 방법</b> .....                 | 16  |
| 2.1 연구 분석 대상 및 범위 .....                     | 16  |
| 2.2 선박 평형수 처리장치 .....                       | 21  |
| 2.3 선박의 종류 .....                            | 28  |
| <br>  |     |
| <b>3. 선박 평형수 처리장치의 특성분석</b> .....           | 35  |
| 3.1 국내 선박 평형수 처리장치 .....                    | 35  |
| 3.2 국외 선박 평형수 처리장치 .....                    | 42  |
| <br>  |     |
| <b>4. 평형수 처리장치의 설치에 따른 설계 및 규정 분석</b> ..... | 47  |
| 4.1 선박 특성에 대한 고려사항 .....                    | 47  |
| 4.2 처리장치 특성에 대한 고려사항 .....                  | 50  |
| 4.3 선체구조강도 고려사항 .....                       | 52  |
| 4.4 선박 복원성(안정성) 고려사항 .....                  | 57  |
| 4.5 전기설비 및 전력부하 고려사항 .....                  | 63  |
| 4.6 배관시스템 고려사항 .....                        | 71  |

|   |     |
|---|-----|
| <b>5. 위험도 분석(Risk Assessment)</b> ..... | 81  |
| 5.1 위험도 분석 방법 및 범위 .....                | 81  |
| 5.2 자외선 처리방식 평형수 처리장치 위험도 분석 .....      | 87  |
| 5.3 전기분해 처리방식 평형수 처리장치 위험도 분석 .....     | 96  |
| 5.4 오존가스 처리방식 평형수 처리장치 위험도 분석 .....     | 106 |
| 5.5 위험도 분석 평가 .....                     | 114 |
| <br>                                    |     |
| <b>6. 결론</b> .....                      | 116 |
| <br>                                    |     |
| 감사의 글 .....                             | 118 |
| <br>                                    |     |
| 참고문헌 .....                              | 120 |
| <br>                                    |     |
| 부록 A 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet) ..... | 123 |
| <br>                                    |     |
| 부록 B 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet) ..... | 139 |
| <br>                                    |     |
| 부록 C 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet) ..... | 162 |



## List of Tables

|   |    |
|---|----|
| <b>Table 1</b> BWM Convention .....   | 4  |
| <b>Table 2</b> BWM Convention Guidelines .....  | 6  |
| <b>Table 3</b> Standard of Ballast Water Discharge on BWM Convention D-2<br>.....   | 7  |
| <b>Table 4</b> Implementation Schedule of D-1 and D-2 Requirement for ships<br>on BWM Convention .....  | 9  |
| <b>Table 5</b> Vessel Type by Estimated Ballast Capacity .....  | 10 |
| <b>Table 6</b> Vessel Type by Deadweight Tonnage .....  | 11 |
| <b>Table 7</b> Vessel Age by Ship Type .....  | 12 |
| <b>Table 8</b> Technical Classification and Comparison of Each BWTS .....   | 25 |
| <b>Table 9</b> Specification of Subject Vessel .....  | 34 |
| <b>Table 10</b> BWTS approved by Korea Government .....   | 36 |
| <b>Table 11</b> Electric Power Consumption and Size for Electrolysis Type ·   | 41 |
| <b>Table 12</b> Electric Power Consumption and Size for Ozone Type .....  | 41 |
| <b>Table 13</b> Electric Power Consumption and Size for UV Type .....   | 41 |
| <b>Table 14</b> BWTS approved by Other Governments .....  | 43 |
| <b>Table 15</b> Fire Integrity of Bulkheads Separating Adjacent Spaces .....  | 53 |
| <b>Table 16</b> Fire Integrity of Decks Separating Adjacent Space .....   | 53 |
| <b>Table 17</b> Electric Load Analysis of DWT 180K Bulk Carrier .....   | 67 |
| <b>Table 18</b> Definition of Goods by Class .....  | 67 |
| <b>Table 19</b> Application of the requirements to different modes of carriage<br>of dangerous goods in ships and cargo spaces .....                                  | 68 |
| <b>Table 20</b> Application of the requirements to different classes of<br>dangerous goods for ships and cargo spaces carrying solid dangerous<br>goods in bulk ..... | 69 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Table 21</b> Activity of Control by Cases .....                                  | 70  |
| <b>Table 22</b> Risk Matrix .....   | 85  |
| <b>Table 23</b> Concordance Coefficient .....                                       | 85  |
| <b>Table 24</b> Definition of Consequence Levels "S" .....                          | 86  |
| <b>Table 25</b> Definition of Frequency Levels "L" .....                            | 86  |
| <b>Table 26</b> Specification of Subject UV Type BWTS .....                         | 89  |
| <b>Table 27</b> Nodes to Analyze Risk for UV Type BWTS .....                        | 89  |
| <b>Table 28</b> Specification of Subject Electrolysis Type BWTS .....               | 98  |
| <b>Table 29</b> Nodes to Analyze Risk for Electrolysis Type BWTS .....              | 98  |
| <b>Table 30</b> Specification of Subject Ozone Type BWTS .....                      | 108 |
| <b>Table 31</b> Specification of Nodes to Analyze Risk for Ozone Type BWTS<br>..... | 108 |



## List of Figures

|  |    |
|--|----|
| <b>Fig. 1</b> Current Status of B/A and F/A for BWTS .....               | 7  |
| <b>Fig. 2</b> Current Status of Development by Nation(unit : %) .....    | 8  |
| <b>Fig. 3</b> Current Status of BWTS by Treatment Method(unit : %) ..... | 8  |
| <b>Fig. 4</b> HAZOP Process .....  | 20 |
| <b>Fig. 5</b> Treatment Method for General BWTS .....                    | 25 |
| <b>Fig. 6</b> Treatment Method for Photo-catalytic BWTS .....            | 26 |
| <b>Fig. 7</b> Treatment Method for Cavitation BWTS .....                 | 26 |
| <b>Fig. 8</b> Treatment Method for Inert Gas Injection Type BWTS .....   | 26 |
| <b>Fig. 9</b> Treatment Method for Electrolysis Type BWTS .....          | 27 |
| <b>Fig. 10</b> Treatment Method for Magnetism BWTS .....                 | 27 |
| <b>Fig. 11</b> Treatment Method for UV BWTS .....                        | 27 |
| <b>Fig. 12</b> General Photograph of Crude Oil Tanker .....              | 32 |
| <b>Fig. 13</b> General Photograph of LPG Tanker(Pressure Type) .....     | 32 |
| <b>Fig. 14</b> General Photograph of LPG Tanker(Low Temp. Type) .....    | 32 |
| <b>Fig. 15</b> General Photograph of LNG Tanker(Moss Type) .....         | 33 |
| <b>Fig. 16</b> General Photograph of LNG Tanker(Membrane Type) .....     | 33 |
| <b>Fig. 17</b> General Photograph of Bulk Carrier .....                  | 33 |
| <b>Fig. 18</b> Number of Ships in World Merchant Fleet .....             | 34 |
| <b>Fig. 19</b> Configuration of Electrolysis Type BWTS .....             | 40 |
| <b>Fig. 20</b> Configuration of Ozone Type BWTS .....                    | 40 |
| <b>Fig. 21</b> Configuration of UV Type BWTS .....                       | 40 |
| <b>Fig. 22</b> Seat for Supporting on Deck .....                         | 52 |
| <b>Fig. 23</b> Seat directly Supported on Deck .....                     | 52 |
| <b>Fig. 24</b> Detail Penetration of Duct .....                          | 54 |



|                |   |     |
|----------------|---|-----|
| <b>Fig. 25</b> | Detailed Penetration of Single Pipe .....                                     | 55  |
| <b>Fig. 26</b> | Detailed Penetration of Single Cable .....                                    | 55  |
| <b>Fig. 27</b> | Detailed Penetration of Multi Cables .....                                    | 56  |
| <b>Fig. 28</b> | Deviation of Hogging Moment before Installed BWTS .....                       | 59  |
| <b>Fig. 29</b> | Deviation of Hogging Moment after Installing BWTS .....                       | 60  |
| <b>Fig. 30</b> | Deviation of Sagging Moment before Installed BWTS .....                       | 61  |
| <b>Fig. 31</b> | Deviation of Sagging Moment after Installing BWTS .....                       | 62  |
| <b>Fig. 32</b> | Classification of Dangerous Zone when Loading Goods as Class<br>6.1 & 8 ..... | 70  |
| <b>Fig. 33</b> | Typical Midship of Bulk Carrier .....   | 76  |
| <b>Fig. 34</b> | Typical General Arrangement of Bulk Carrier .....                             | 77  |
| <b>Fig. 35</b> | BWTS Installed in Engine Room .....   | 77  |
| <b>Fig. 36</b> | BWTS Installed except Engine Room .....                                       | 77  |
| <b>Fig. 37</b> | Diagram of BWTS Connecting Main Ballast Pipe System .....                     | 78  |
| <b>Fig. 38</b> | Ballast Piping Diagram Installed Stripping Eductor .....                      | 79  |
| <b>Fig. 39</b> | Ballast Water System by Gravity .....   | 80  |
| <b>Fig. 40</b> | Ballast System for UV Type BWTS(Node 1) .....                                 | 90  |
| <b>Fig. 41</b> | Ballast System for UV Type BWTS(Node 2) .....                                 | 91  |
| <b>Fig. 42</b> | Ballast System for UV Type BWTS(Node 3) .....                                 | 92  |
| <b>Fig. 43</b> | Ballast System for UV Type BWTS(Node 4) .....                                 | 93  |
| <b>Fig. 44</b> | Ballast System for UV Type BWTS(Node 5) .....                                 | 94  |
| <b>Fig. 45</b> | Ballast System for UV Type BWTS(Node 6) .....                                 | 95  |
| <b>Fig. 46</b> | Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 1) .....                       | 99  |
| <b>Fig. 47</b> | Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 2) .....                       | 100 |
| <b>Fig. 48</b> | Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 3) .....                       | 101 |
| <b>Fig. 49</b> | Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 4) .....                       | 102 |
| <b>Fig. 50</b> | Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 5) .....                       | 103 |

|                |   |     |
|----------------|---|-----|
| <b>Fig. 51</b> | Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 6) ..... | 104 |
| <b>Fig. 52</b> | Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 7) ..... | 105 |
| <b>Fig. 53</b> | Ballast System for Ozone Type BWTS(Node 1) .....        | 109 |
| <b>Fig. 54</b> | Ballast System for Ozone Type BWTS(Node 2) .....        | 110 |
| <b>Fig. 55</b> | Ballast System for Ozone Type BWTS(Node 3) .....        | 111 |
| <b>Fig. 56</b> | Ballast System for Ozone Type BWTS(Node 4) .....        | 112 |
| <b>Fig. 57</b> | Ballast System for Ozone Type BWTS(Node 5) .....        | 113 |
| <b>Fig. 58</b> | Result of Risk Analysis for Each BWTS .....             | 115 |
| <b>Fig. 59</b> | Comparison of Recommendation and Additional Cost .....  | 115 |



# **A Study for Optimized Design to Retrofit BWTS using Risk Assessment Method on an Existing Vessel**

Jee, Jae Hoon

Department of Marine Engineering System  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## **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. A specific case is the influx of European zebra mussels in the Great Lakes between Canada and the United States of America. These species are responsible for the underwater pollution of structures and waterways. As a result, 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, IMO has enacted 15 Guidelines to uniformly apply internationally. 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). They have been developed since 2004 which is adopted from this Convention. UV type was given basic approval from IMO for the first time in 2006. Since then, the number of them developments has continued to increase and in 2010 most of them have received basic and final approval from IMO. Up until now, about 70 Systems have received type approval. The number of vessels to be equipped with BWTS worldwide is about 69,000 as of 2015. Thus various ships and Systems have been developed around the world. To retrofit BWTS on existing ships basic regulations such as Classification Regulations, Flag Regulations and Port Regulations were applied to Retrofit Design. However, when considering the purpose of the design is to protect safety of crew and ship, it is questioned as to whether these criteria can only achieve a such purposes. 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 three(3) treatment type such as Ultra Violet, Electrolysis and Ozone Gas injection Type on DWT 180K Bulk Carrier using “HAZOP(Hazard and Operability) Study” method among various Methods. In the UV Type, 113 hazardous elements were identified. There were 49 points as "Negligible(Acceptable)" Risk Level, 64 points as "ALARP" Risk Level. But “Unacceptable” Risk Level were nothing. It is shown Appendix A for a more detailed matrix of Risk Assessment of this Type. In the Electrolysis Type, 93 hazardous elements were identified. There were 20 points as "Negligible(Acceptable)" Risk Level, 73 points as "ALARP" Risk Level. But “Unacceptable” Risk Level were nothing. It is shown Appendix B for a more detailed matrix of Risk Assessment of this Type. In the Ozone Gas Type, 123 hazardous elements were identified. There were 75 points as "Negligible(Acceptable)" Risk Level, 48 points as "ALARP" Risk Level. But “Unacceptable” Risk Level were nothing. It is shown Appendix C for a more detailed matrix of Risk Assessment of this Type. In this study, Risk Assessment was used to identify Risk Factors for BWTS Retrofit respectively and it was found that the Risk Factors should be considered on the optimum retrofit design for crew’s safety and ship protection. To improve the identified these items for each treatment type on the Retrofit Design is additionally costed. However, these costs were independent of the number of identified hazards and the performance of three treatment type. The cost to improve the identified Risk Factors for each treatment type on the retrofit design is charged additionally comparing with original retrofit cost.

**KEY WORDS: BWTS, BWTS Retrofit, Bulk Carrier, Risk Assessment, Risk Matrix, HAZOP, "Negligible(Acceptable)" Risk Level, "ALARP" Risk Level, "Unacceptable" Risk Level**

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경

과거 수년 간 해상을 이용한 무역과 교통량이 팽창함에 따라 선박 평형수를 통한 침입종의 문제가 제기되었다. 세계의 많은 지역이 침입종의 영향으로 자국의 바다는 황폐화되고 있고, 생물학적 침입율은 놀랄만한 비율로 증대되고 있으며, 새로운 지역들이 이러한 위험에 지속적으로 노출되고 있습니다. 해상무역량이 전반적으로 계속 증가되고 있어 이 문제는 아직도 계속 진행 중에 있다.[18]

구체적인 예는 캐나다와 미국사이에 있는 오대호(Great Lakes) 내에 유럽 얼룩말홍합의 유입이며, 이로 인한 수중 구조물과 수로관이 오염되었고 오염된 곳을 청소하고, 오염방지를 위한 노력에 수십억 달러가 소요되고 있다. 또한 아메리카 빗 해파리의 흑해(Black Sea) 및 아조프해(Azov Sea)로 유입은 멸치류 및 청어류를 거의 고사시키고 있다. 1988년 처음으로 캐나다와 호주는 자국 해역에 유해한 종의 출현문제를 경험하고 국제해사기구(IMO)의 해양환경위원회(MEPC)에 이 문제를 제기하였다. 선박 평형수내에 유기체 존재 문제가 국제해사기구에 제기된 이후 해양환경위원회는 해상안전위원회(MSC) 및 산하 전문위원회와 함께 이 문제를 다루었으며, 지침 및 새 협약을 개발하게 되었다.[18]

1991년에 해양환경위원회는 결의서 Res.50(31) “선박의 평형수로부터 유해 유기체 및 병원체의 유입방지를 위한 지침”을 채택하였으며, 1992년 리오 데 자네이루(Rio de Janeiro)에서 개최된 국제연합환경개발(UNCED)

회의에 이 문제가 제기되었고 국제적인 관심을 가지게 되었다. 1993년 11월 국제해사기구 총회는 결의서 Res.A.774(18) “선박의 평형수 및 침전물의 배출로부터 유해한 유기체 및 병원체의 유입방지를 위한 지침”을 채택하였고, 1997년 11월 동 기구 제 20 차 총회는 결의서 Res.A.868(20) “유해한 수중 생물체 및 병원체의 이송을 최소화하기 위하여 선박의 평형수의 통제 및 관리를 위한 지침”을 채택하였다. 이러한 노력으로 2004년 2월 13일 외교회의에서 선박 평형수 관리협약(Ballast Water Management Convention)이 채택되었으며, 이 협약은 세계상선선복량의 35% 이상의 30개국이 비준한 날로부터 12개월 후에 발효될 예정이다.[18]

Table 1과 같이 선박 평형수 관리협약은 전문(Preamble), 본문(Article) 및 부속서(Annex)로 구성되어 있다. 본문은 22개의 조, 부속서는 24개의 규칙과 부록으로 구성되어 있고, 부록은 “국제 선박 평형수 관리증서” 및 “선박 평형수 관리기록부”로 구성되어 있다. Table 2에서는 평형수 관리 협약의 통일된 지침을 적용하기 위해 제정된 지침서 17종을 보여주고 있다.

평형수 관리협약 부속서 D절의 D-2 요건 “선박 평형수 성능기준(Ballast Water Performance Standard)” 만족여부를 검증하고 증서를 발행하기 위한 절차는 G8 및 G9 지침서에 규정되어 있다. 특히, G9 지침서는 활성물질을 이용하는 선박 평형수 처리장치에 대한 선박의 안전, 안전건강과 방류수역의 생태계 및 환경보호를 위한 구체적인 절차를 제시하고 있다. 아울러, D-2 배출성능 기준에 대하여 Table 3에서 언급하고 있다.

2016년 9월 8일 핀란드가 평형수 관리협약을 비준함으로써, 협약을 비준한 국가의 총수는 52개국이며, 세계상선 선복량은 35.1441%로 협약의 비준 요건을 충족하게 되어, 12개월 후인 2017년 9월 8일부터 선박 평형수 관리 협약은 발효가 된다.[17]

Table 5, 6 및 7에서 보여주고 있듯이, 2015년 국제해사기구에 보고된 전 세계의 현존선은 68,190척에 달하고 있으며, 2017년 9월 8일 기준으로 현존선의 수는 더욱 더 증가할 것으로 예상된다.[4]



Table 4에서 보는 바와 같이, 2017년 9월 8일 이전에 건조된 현존선은 선박 평형수 처리장치를 발효일 이후 첫 번째 도래하는 국제기름오염방지 (IOPP) 정기검사 시까지 탑재하여야 한다.[16]

신조선의 경우 선박 평형수 처리장치의 설계 도입 단계부터 이것을 반영하여 배관, 전력계통 및 선박의 안전성 부분을 검증하고 있으나, 현존선의 경우 선박 평형수 처리장치를 설치하기 위해 여러 가지 시스템에서 새로운 설치공법 개념이 도입되어야 한다. 선박 평형수 처리장치 설치공정 과정에서 평형수 처리장치 제조사의 지침 또는 권고사항이 반영되어야 하고, 평형수 관리협약의 규정, 선박의 주관청의 지침, 조선소의 설치관습, 선급의 규정 및 기타 사항 등이 반영되어야 한다.

Fig. 1에서는 2016년 4월까지 국제해사기구에 보고된 선박 평형수 처리장치 기본승인 및 최종승인 현황을 보여주고 있으며, Fig. 2에서는 선박 평형수 처리장치 정부 형식승인 획득 비율을 보여주고 있다. 대한민국 정부는 12개 제품에 대하여 형식승인을 하였고, 전 세계적으로 15.5%의 점유율을 차지하고 있다.[13]

Fig. 3에서는 정부 형식 승인을 득한 선박 평형수 처리장치를 처리방식 별로 분류된 현황을 보여주고 있으며, 전기분해방식을 채택하고 있는 평형수 처리장치는 23%를 차지하고 있으며, 자외선 처리방식은 52.3%를 차지하고 있다.[13]



**Table 1** BWM Convention

|     |      |                                     |        |                     |
|-----|------|-------------------------------------|--------|---------------------|
| 본문  | 제1조  | 용어의 정의                              | 제12조   | 선박의 부당한 지연          |
|     | 제2조  | 일반적 의무사항                            | 제13조   | 기술지원, 협력 및 지역협력     |
|     | 제3조  | 적용                                  | 제14조   | 정보의 교환              |
|     | 제4조  | 평형수 및 침전물을 통한 유해 수중생물 및 병원균의 이동의 통제 | 제15조   | 분쟁해결                |
|     | 제5조  | 침전물의 수용시설                           | 제16조   | 국제법 및 그 밖의 협정과의 관계  |
|     | 제6조  | 과학적 기술적 연구와 감시                      | 제17조   | 서명, 비준, 수락, 승인 및 가입 |
|     | 제7조  | 검사 및 증서                             | 제18조   | 발효                  |
|     | 제8조  | 위반행위                                | 제19조   | 개정                  |
|     | 제9조  | 선박의 점검                              | 제20조   | 폐기                  |
|     | 제10조 | 위반행위의 발견 및 선박의 통제                   | 제21조   | 기타                  |
|     | 제11조 | 통제행위의 통지                            | 제22조   | 언어                  |
| 부속서 | 제A절  | 일반규정                                | 제A-1규칙 | 용어의 정의              |
|     |      |                                     | 제A-2규칙 | 일반 적용               |
|     |      |                                     | 제A-3규칙 | 적용 제외               |
|     |      |                                     | 제A-4규칙 | 면제                  |
|     |      |                                     | 제A-5규칙 | 동등한 준수              |

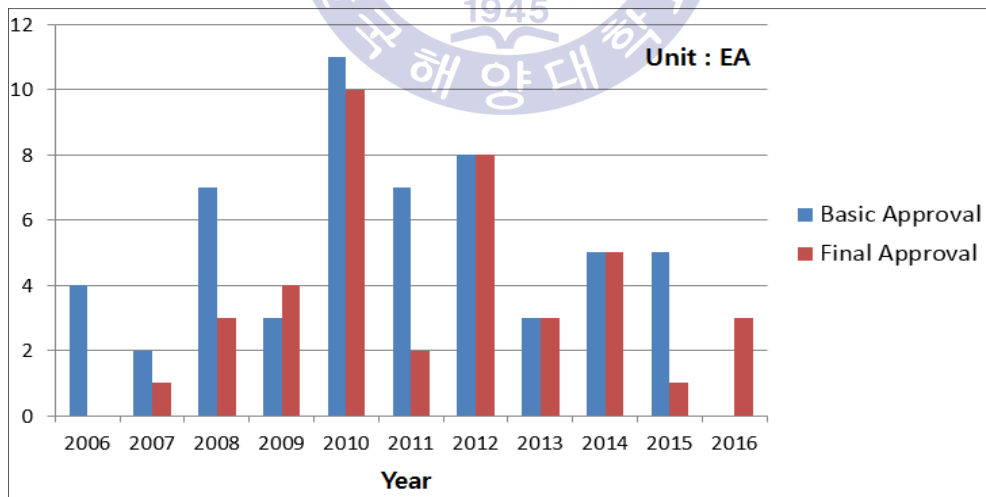
|       |     |                       |                 |                                    |
|-------|-----|-----------------------|-----------------|------------------------------------|
|       | 제B절 | 선박에 대한 관리 및 통제요건      | 제B-1규칙          | 평형수 관리계획서                          |
|       |     |                       | 제B-2규칙          | 평형수 관리기록부                          |
|       |     |                       | 제B-3규칙          | 선박의 평형수 관리                         |
|       |     |                       | 제B-4규칙          | 평형수 교환                             |
|       |     |                       | 제B-5규칙          | 선박의 침전물 관리                         |
|       |     |                       | 제B-6규칙          | 사관과 부원의 직무                         |
|       | 제C절 | 특정해역에 대한 특별요건         | 제C-1규칙          | 추가조치                               |
|       |     |                       | 제C-2규칙          | 특정해역에서 평형수 주입과 관련한 경고 및 관련된 기국의 조치 |
|       |     |                       | 제C-3규칙          | 정보의 교환                             |
|       | 제D절 | 평형수관리에 관한 기준          | 제D-1규칙          | 평형수 교환기준                           |
|       |     |                       | 제D-2규칙          | 평형수 성능기준                           |
|       |     |                       | 제D-3규칙          | 평형수 관리 시스템 승인 요건                   |
|       |     |                       | 제D-4규칙          | 시험용 평형수 처리기술                       |
|       |     |                       | 제D-5규칙          | 기구에 의한 기준 검토                       |
|       | 제E절 | 평형수 관리를 위한 검사 및 증서 요건 | 제E-1규칙          | 검사                                 |
|       |     |                       | 제E-2규칙          | 증서의 발급 또는 이서                       |
|       |     |                       | 제E-3규칙          | 타 당사국에 의한 증서의 발급 또는 이서             |
|       |     |                       | 제E-4규칙          | 증서의 양식                             |
|       |     |                       | 제E-5규칙          | 증서의 유효기간 및 효력                      |
|       | 부록  |                       | 부록 I            | 국제선박평형수 관리증서의 서식                   |
| 부록 II |     |                       | 선박평형수 관리기록부의 서식 |                                    |

**Table 2** BWM Convention Guidelines

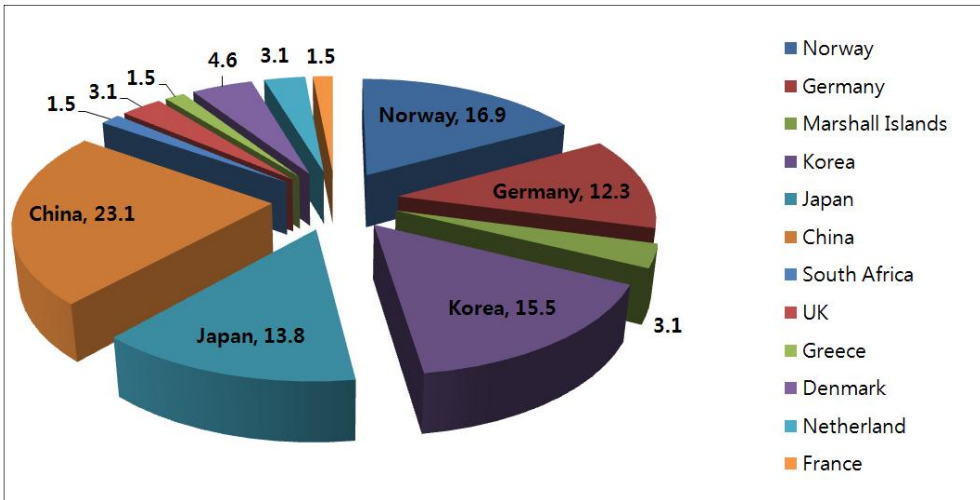
|     |  |                  |
|-----|--|------------------|
| 번호  | 평형수 관리 협약 이행을 위한 지침서                         | MEPC 결의서         |
| G1  | 침전물 수용시설을 위한 지침서                             | Res.MEPC.152(55) |
| G2  | 평형수 시료채취를 위한 지침서                             | Res.MEPC.173(58) |
| G3  | 평형수 관리의 동등한 준수를 위한 지침서                       | Res.MEPC.123(53) |
| G4  | 평형수 관리 및 계획서 개발을 위한 지침서                      | Res.MEPC.127(53) |
| G5  | 평형수 수용시설을 위한 지침서                             | Res.MEPC.153(55) |
| G6  | 평형수 교환을 위한 지침서                               | Res.MEPC.124(53) |
| G7  | 협약의제 A-4규칙에 따른 위해도 평가를 위한 지침서                | Res.MEPC.162(56) |
| G8  | 평형수 관리 시스템의 승인을 위한 지침서                       | Res.MEPC.174(58) |
| G9  | 활성물질 사용 평형수 관리시스템 승인을 위한 절차 지침서              | Res.MEPC.169(57) |
| G10 | 시제품 평형수 처리기술 프로그램의 승인 및 감독을 위한 지침서           | Res.MEPC.140(54) |
| G11 | 평형수 교환 설계 및 구조 기준 지침서                        | Res.MEPC.149(55) |
| G12 | 선박의 침전물 관리를 위한 설계 및 건조기준 지침서(2012년 3월 2일 폐기) | Res.MEPC.150(55) |
| G13 | 비상상황을 포함한 평형수 관리에 관한 추가적인 조치를 위한 지침서         | Res.MEPC.161(56) |
| G14 | 평형수 교환 지역의 지정에 관한 지침서                        | Res.MEPC.151(55) |
| -   | 남극조약지역에서 평형수 교환을 위한 지침                       | Res.MEPC.163(56) |
| -   | 2012 선박의 침전물 관리를 위한 설계 및 건조기준 지침서            | Res.MEPC.209(63) |
| -   | 평형수 관리 협약의 PSC 검사 지침                         | Res.MEPC.252(67) |

**Table 3** Standard of Ballast Water Discharge on BWM Convention D-2

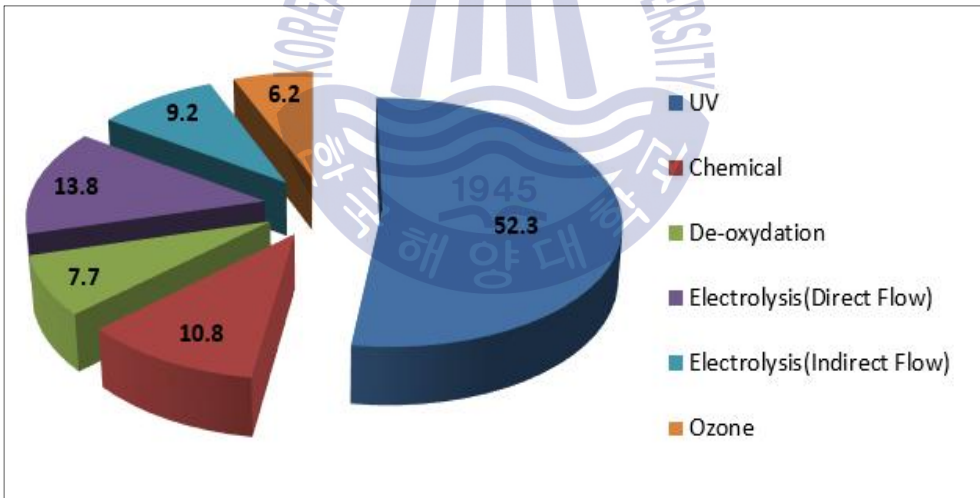
| Organisms          |  | Standard   |
|--------------------|--|--|
| Organisms          | $\geq 50\mu\text{m}$ Min. Dim                  | less than 10 viable Organisms per $\text{m}^3$   |
|                    | $10\mu\text{m} \sim < 50\mu\text{m}$ Min. Dim. | less than 10 viable Organisms per $\text{m}\ell$ |
| Indicator Microbes | Vibrio Cholera                                 | 1cfu/100 $\text{m}\ell$ or 1cfu/1g(wet weight)   |
|                    | Escherichia coli                               | 250cfu/100 $\text{m}\ell$                        |
|                    | Intestinal Enterococcus                        | 100cfu/100 $\text{m}\ell$                        |



**Fig. 1** Current Status of B/A and F/A for BWTS



**Fig. 2** Current Status of Development by Nation(unit : %)



**Fig. 3** Current Status of BWTS by Treatment Method(unit : %)

**Table 4** Implementation Schedule of D-1 and D-2 Requirement for ships on BWM Convention

|                   | 선박 건조일자<br>(Keel Laid) | 선박의 분류와 평형수 용량<br>(Cubic meters, m <sup>3</sup> ) |                    |   | 선박 평형수<br>처리장치 적용일자                             |
|-------------------|------------------------|---|--------------------|---|---|
| 평형수 관리<br>협약 이행시기 | 협약 발효일자<br>이후(After)   | 신조선   | 협약 규정<br>(B-3.5)   | 탱크용량  | 인도시점  |
|                   | 협약 발효일자<br>전(Before)   | 현존선(2009년 전에<br>건조된 선박)                           | 협약 규정<br>(B-3.1.1) | 1,500m <sup>3</sup> ~5,000m <sup>3</sup>            | 협약의 발효일자<br>후에 도래하는<br>첫 번째<br>국제기름오염방지<br>정기검사 |
|                   |                        |   | 협약 규정<br>(B-3.1.2) | 1,500m <sup>3</sup> 미만 또는<br>5,000m <sup>3</sup> 초과 |   |
|                   |                        | 현존선(2009년에서 협약의<br>발효일 사이에 건조된<br>선박)             | 협약 규정<br>(B-3.2)   | 5,000m <sup>3</sup> 미만                              |   |
|                   |                        | 현존선(2009년에서 2011년<br>사이에 건조된 선박)                  | 협약 규정<br>(B-3.3)   | 3,000m <sup>3</sup> 이상                              |   |
|                   |                        | 현존선(2012년에서 협약의<br>발효일 사이에 건조된<br>선박)             | 협약 규정<br>(B-3.4)   | 5,000m <sup>3</sup> 이상                              |   |

**Table 5** Vessel Type by Estimated Ballast Capacity

| Sub-type                          | Count  | Ballast capacity of<br>< 1,500m <sup>3</sup> | Ballast Capacity of<br>1,500m <sup>3</sup> ~ 5,000m <sup>3</sup> | Ballast Capacity of<br>> 5,000m <sup>3</sup> |
|-----------------------------------|--------|--|--|--|
| Barge                             | 574    | 0  | 0  | 574  |
| Bulk Carriers                     | 8,110  | 0  | 0  | 8,110  |
| Containership                     | 4,724  | 0  | 0  | 4,724  |
| Crude Oil Tanker                  | 2,160  | 0  | 0  | 2,160  |
| Chemical Tanker                   | 1,474  | 0  | 0  | 1,474  |
| Chemical/Oil Products Tanker      | 9,323  | 0  | 0  | 9,323  |
| General Cargo Ship                | 18,187 | 0  | 16,535   | 1,652  |
| Fishing Vessels                   | 8,001  | 7,970  | 30   | 1  |
| LNG Tanker                        | 327    | 0  | 0  | 327  |
| LPG Tanker                        | 1,194  | 540  | 0  | 654  |
| OSVs                              | 2,000  | 1,923  | 0  | 77   |
| Passenger(Cruise) Ship            | 515    | 0  | 479  | 36   |
| Passenger-Passenger/Cargo (Ro-Ro) | 3,359  | 3,324  | 35   | 0  |
| Passenger Ship                    | 2,942  | 2,941  | 1  | 0  |
| Refrigerated Cargo Ship           | 2,542  | 0  | 2,538  | 4  |
| Ro-Ro ship                        | 1,873  | 0  | 1,700  | 173  |
| Livestock Carrier                 | 101    | 0  | 90   | 11   |
| Vehicle Carrier                   | 784    | 0  | 196  | 588  |
| Total                             | 68,190 | 16,698                                       | 21,604   | 29,888                                       |

**Table 6** Vessel Type by Deadweight Tonnage

| Sub-type                          | World Fleet DWT |                  |                    |                    |                    |         | Total  |
|-----------------------------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|--------|
|                                   | 0 ~ 999         | 1,000 ~<br>9,999 | 10,000 ~<br>29,999 | 30,000 ~<br>49,999 | 50,000 ~<br>69,999 | ≥70,000 |        |
| Barge                             | 274             | 275              | 15                 | 8                  | 0                  | 2       | 574    |
| Bulk Carriers                     | 392             | 878              | 1,703              | 1,743              | 1,264              | 2,130   | 8,110  |
| Containership                     | 6               | 789              | 1,628              | 1,013              | 812                | 477     | 4,724  |
| Crude Oil Tanker                  | 16              | 112              | 37                 | 163                | 120                | 1,712   | 2,160  |
| Chemical Tanker                   | 423             | 805              | 164                | 79                 | 1                  | 1       | 1,474  |
| Chemical/Oil Products Tanker      | 1,665           | 4,621            | 1,206              | 1,249              | 245                | 337     | 9,323  |
| General Cargo Ship                | 5,921           | 10,612           | 1,409              | 223                | 22                 | 0       | 18,187 |
| Fishing Vessels                   | 7,395           | 604              | 2                  | 0                  | 0                  | 0       | 8,001  |
| LNG Tanker                        | 1               | 5                | 12                 | 11                 | 36                 | 262     | 327    |
| LPG Tanker                        | 193             | 678              | 154                | 71                 | 98                 | 0       | 1,194  |
| OSVs                              | 600             | 1,399            | 1                  | 0                  | 0                  | 0       | 2,000  |
| Passenger(Cruise) Ship            | 243             | 227              | 45                 | 0                  | 0                  | 0       | 515    |
| Passenger-Passenger/Cargo (Ro-Ro) | 2,327           | 997              | 35                 | 0                  | 0                  | 0       | 3,359  |
| Passenger Ship                    | 2,883           | 58               | 1                  | 0                  | 0                  | 0       | 2,942  |
| Refrigerated Cargo Ship           | 832             | 1,453            | 254                | 3                  | 0                  | 0       | 2,942  |
| Ro-Ro ship                        | 840             | 726              | 292                | 15                 | 0                  | 0       | 1,873  |
| Livestock Carrier                 | 22              | 68               | 9                  | 2                  | 0                  | 0       | 101    |
| Vehicle Carrier                   | 13              | 183              | 558                | 28                 | 2                  | 0       | 784    |
| Total                             | 24,046          | 24,490           | 7,525              | 4,608              | 2,600              | 4,921   | 68,190 |



**Table 7** Vessel Age by Ship Type

| Sub-type                          | World Fleet DWT |                 |                  |              |                | Total  |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------|----------------|--------|
|                                   | 0 ~ 4<br>years  | 5 ~ 14<br>years | 15 ~ 24<br>years | 25+<br>years | 2009<br>Builds |        |
| Barge                             | 27              | 30              | 125              | 387          | 5              | 574    |
| Bulk Carriers                     | 1,892           | 2,328           | 1,894            | 1,938        | 358            | 8,110  |
| Containership                     | 1,650           | 1,881           | 675              | 323          | 195            | 4,724  |
| Crude Oil Tanker                  | 624             | 788             | 473              | 127          | 148            | 2,160  |
| Chemical Tanker                   | 281             | 278             | 501              | 338          | 76             | 1,474  |
| Chemical/Oil Products Tanker      | 2,088           | 1,781           | 1,748            | 3,283        | 423            | 9,323  |
| General Cargo Ship                | 1,705           | 2,692           | 3,779            | 9,794        | 217            | 18,187 |
| Fishing Vessels                   | 283             | 1,119           | 2,454            | 4,132        | 13             | 8,001  |
| LNG Tanker                        | 18              | 78              | 151              | 52           | 28             | 327    |
| LPG Tanker                        | 217             | 322             | 289              | 320          | 46             | 1,194  |
| OSVs                              | 491             | 245             | 220              | 889          | 155            | 2,000  |
| Passenger(Cruise) Ship            | 58              | 157             | 109              | 183          | 8              | 515    |
| Passenger-Passenger/Cargo (Ro-Ro) | 287             | 674             | 670              | 1,702        | 26             | 3,359  |
| Passenger Ship                    | 222             | 788             | 776              | 1,128        | 28             | 2,942  |
| Refrigerated Cargo Ship           | 62              | 298             | 945              | 1,232        | 5              | 2,542  |
| Ro-Ro ship                        | 283             | 441             | 333              | 785          | 31             | 1,873  |
| Livestock Carrier                 | 0               | 7               | 6                | 88           | 0              | 101    |
| Vehicle Carrier                   | 221             | 213             | 191              | 117          | 42             | 784    |
| Total                             | 10,109          | 14,120          | 15,339           | 26,818       | 1,804          | 68,190 |

## 1.2 종래의 연구

과거 평형수 관리협약이 발효되기 전부터 선박 평형수 처리장치는 꾸준히 개발되어 왔으며, 관련된 연구 내용은 생물학적 관점에서 생태계 위해성 평가를 수행하였다. 선박 평형수 처리장치는 선박 평형수 내의 생물들을 제거하기 위해 고안된 장비이기 때문에 선박 평형수 처리장치에 의해 처리된 배출수는 해양생태계에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 잠재력을 가지고 있음은 분명하였다. 그리하여, 전기분해로 처리한 선박 평형수가 해양생태계에 미치는 영향을 평가하기 위한 다양한 연구가 시도되었고, 이를 평가하기 위해 처리된 배출수에 대한 해양생태 독성실험을 실시하였고, 생성된 화학물질을 토대로 해양에서의 지속성과 생물 농축성 및 생태독성을 이용하여 해양생태위해성을 평가하였다.[24]

처리장치의 성능에 관한 연구내용으로써, 환경적 수용성과 안전성이 확보된 자외선 램프(UV Lamp)를 이용한 살균 처리시스템에 대한 연구를 진행하였다. 선박의 배관상에 설치가 용이한 중압 자외선 램프(UV Lamp)와 아크(Arc) 방전에 의해 구동되는 안정기를 설계 제작하여 시 제작 램프와 안정기에 대한 스펙트럼, 자외선 강도, 전압-전류 특성을 분석하였고, 국제해사기구 규정에 따라 살균 전후의 생존 플랑크톤(Plankton)을 계수함으로써 살균 효율을 평가하였다.[22]

또한, 오존을 이용한 선박 평형수 처리장치에 대한 성능에 관한 연구를 진행하였다. 오존처리장치는 설치구조가 간편하지만, 오존처리방식에 사용되는 이젝터(Ejector)에 대한 효율적인 부분이 검증되지 않았다. 종래에 연구되었던 이것의 해석과 실험적 연구와의 관계를 파악하기 위해 이것의 형상, 작동 유체 및 작동 환경에서 각 조건에 대하여 유동 해석을 수행하였고, 유동 해석을 통해 예측된 이젝터(Ejector)의 성능을 실제 실험 데이터와 비교하였다.[21]

선박 평형수 처리장치를 현존선에 신속하고 경제적으로 설치할 수 있는 방안 중에 3차원 레이저 스캐너(3D Laser Scanner)와 3차원 측정(3D Scanning) 역설계 소프트웨어를 활용하는 방법에 대하여 연구가 진행되었으며, 설계자에게 효율적인 선박 평형수 처리장치 배치도를 제공하는 알고리즘 및 소프트웨어가 개발된다면 작업의 소요시간을 더욱 절감하여 설치작업으로 인한 손실비용을 최소화할 수 방안으로 고려되었다. 설계자가 요구하는 조건에 맞는 배치는 하나가 아닌 여러 개의 배치 방법을 제시하여 보다 많은 기회와 선택권을 갖게 한다. 정밀한 수치로 배치 방법을 제공하기보다는 설계자에게 선박 평형수 처리장치 설치에 참고가 되도록 대략적인 설치 위치와 설계 방향을 설계자에게 제안하기 위해 이러한 연구를 계속적으로 진행하고 있다.[19]

선박 평형수 처리장치의 선정 및 설치위치에 관한 연구(Lee, 2012)에서는 선박 평형수 처리방법의 종류에 대하여 오존을 이용한 방법, 전기분해를 이용한 방법 및 자외선을 이용한 방법에 대하여 기술적인 내용을 설명하였으며, 선박의 종류에 따른 선박 평형수 처리장치의 선정 및 설치위치에 대한 연구가 수행되었다. 이때 연구대상의 선종으로 건화물선(Dry Cargo), 원유 운반선(Oil Tanker) 및 화학제품 운반선(Chemical Tanker) 및 가스 운반선(Gas Carrier)을 대상으로 하였다. 다양한 처리장치 설치를 위한 설계 조건으로 선박 설계 측면에서의 고려사항에 대하여 연구가 되었다.[20]

과거, 선박 평형수 처리장치의 선내 배치를 위한 경제성 평가 연구를 진행한 바가 있으며, 선박의 수명주기를 고려하여 선박 평형수 처리를 위해 개발되는 장치들에 적용할 수 있는 경제성 평가의 기본적인 틀을 제시하는데 목표를 둔 논문으로써, 경제성 평가 기준, 방법, 인자, 인자의 가정 및 방법으로 수행하는 경제성 평가 이론을 제시하였다. 이를 바탕으로 선종별, 톤수별 최적 경제성을 갖는 선박 평형수 처리장치의 선정에 주안점을 두고 연구를 진행하였다.[34]

과거, 위험성 평가에 대한 부분은 건설업 및 제조업 등 위험한 인자를 내포하고 있는 작업 장소에서 작업자들의 안전을 확보하기 위해 수행된 방법 이었으며, 종래에 이러한 위험성 평가에 대한 최적화 연구 진행 사례를 살펴보면, 위험성 평가 제도를 통해 산업안전보건 정책과 제도의 패러다임 전환 필요성, 제도의 최적화를 위한 전략과 구체적인 방안을 수립하기 위한 목적이다. 아울러 이러한 연구는 조선/해운 산업이 아닌 건설업 및 제조사업장에 국한되어 연구된 바가 있다.[25]

이처럼 과거의 연구 내용에서 알 수 있듯이, 평형수 처리장치의 설치와 관련하여서는 주로 평형수 처리장치의 성능에 관한 효율성 검증과 평형수 처리장치에 사용되는 활성물질이 해양 생태계에 미칠 수 있는 영향에 대한 평가에 한정되었다. 현존선에 설치되는 평형수 처리장치의 설계에 관한 부분은 국내외 규정을 분석하여 각각의 처리장치의 처리방식별로 선종마다 가지는 특성을 고려한 적절한 지침의 분석에 그쳤다.

아울러, 위험성 분석 평가는 주로 육상의 작업 현장에 대한 작업자로 하여금 위험성이 존재할 수 있는 환경에 대하여 적절한 위험성 분석 평가 방법을 도출하는 연구 내지는 위험성 평가를 통해서 식별한 인자를 바탕으로 작업 근로자의 안전 대책 방안에 대한 연구를 진행하였다.

전 세계적으로 다양하게 개발된 선박 평형수 처리장치는 처리방식 별로 고유 특성과 구조가 상이하다. 고전적으로 현존선에 선박 평형수 처리장치를 설치함에 있어 국내외 다양한 기술기준 및 규정들이 적용되어 설계안을 작성하고 있다. 하지만 이러한 설계방식은 선원의 인명 안전과 선박의 재산을 고려한다면 현재의 규정만을 적용하는 방식은 안전을 보장할 수 있는 최적화된 설계로 판단할 수 없다.

이 연구에서는 육상의 산업 안전 분야 평가에 사용되는 위험성 평가를 이용하여 선원의 안전과 선박의 재산을 고려한 최적화된 설계 요소를 분석하고 평가하여 그 결과를 도출하고자 한다.

## 제 2 장 연구의 범위 및 방법

### 2.1 연구 분석 대상 및 범위

위험도 평가(Risk Assessment)란 작업 공정에서 위험요소를 찾아내어 사고 발생확률과 사고크기를 분석하고 위험이 발생하는 영향을 정량화하여 안전 대책을 세우는 일련의 과정을 말한다. 보통 위험도 평가의 기법은 위험요소가 주변에 항상 존재할 수 있는 산업현장에서 수행하고 있다.

위험성 평가를 이용하여 2가지의 식별된 위험요소를 분류할 수 있는데, 하나는 "Hazard"라고 하며 일반적으로 정성적 기법으로 위험성을 식별하는 기법이며, 다른 하나는 발생 확률과 사고의 크기를 "Risk"로 식별하여 정량적으로 위험도를 측정하는 기법이다.

“Hazard” 정성적 기법은 주위환경으로부터 어떠한 상태로 존재할 수 있는 폭발성, 독성 및 유해성 등의 잠재적 위험성으로부터 사람, 재산 또는 그 주위의 환경에 손상을 입힐 가능성을 화학적 또는 물리적 상태로 측정하는 기법이며, 이러한 기법에는 What-if, Check list 및 이상 위험도 분석법 등이 있다.[23]

사고 발생빈도는 “사상수분석법(ETA, Event Tree Analysis)” 또는 “결함수분석법(FTA, Fault Tree Analysis)” 방법에 의해 평가되며, 사고 영향은 “위험성분석법(CA, Criticality Analysis)” 등의 방법에 의해 분석된다. 정성적 평가기법(HAZID, Hazard Identification)은 위험요소의 존재여부를 규명하고 확인하는 절차로 이용하고 있으며, 이러한 정성적 평가방법에는 다음과 같다.[23]

1) 체크리스트 법(Process Check List) : 미리 준비한 체크리스트를 활용하여 최소한의 위험도를 인지하는 방법으로 미숙련 기술자도 적용 가능하고 이용하기 쉬우며 상대적으로 빨리 결과를 제공해 준다는 장점이 있으나, 체크리스트는 작성자의 경험, 기술수준, 지식을 기반으로 작성되므로, 작성자의 주관적인 평가가 반영되는 경향이 있다.

2) 안정성 검토법(Safety Review) : 기기의 운전과 유지절차가 설계목적과 기준에 부합되는지 확인하는 기법으로, 일반적으로 이 방법은 “체크리스트 법”이나 “사고예상 질문법” 등과 병행하여 실시된다.

3) 상대위험순위 분석법(Relative Ranking) : 사고에 의한 피해 정도를 나타내는 상대적 위험순위와 정성적인 정보를 얻을 수 있는 방법으로 “Dow and Mond Indices”를 사용한다. “Dow and Mond Indices”는 제조공장 등에 존재하는 위험인자를 간단하게 상대적으로 위험순위를 파악할 수 있음이 가능케 해주는 지표로서 평가되는 공장 등의 주위환경에 따라 “Penalty”와 “Credit”를 부여하는 방법이다.

4) 예비위험 분석법(Preliminary Hazard Analysis) : 예비위험 분석법의 주목적은 위험인자를 조기에 발견하여 나중에 발견되었을 때 소요되는 비용을 절약하고자하는 방안에서 기인한 것으로 공장 등의 건설 초기단계에서 부터 적용할 수 있어 유용하게 활용할 수 있다.

5) 이상위험도 분석법(Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) : 보통 “FMECA”라고 불리며 이는 공정이나 기기장치가 어떻게 고장 났는가에 대하여 분석하고 고장에 대해 어떤 결과가 발생할 것인가에 대하여 분석한 다음 그 결과를 얼마나 치명적인가를 분석하여 위험도 순위를 만들어서 고장(Failure Mode)의 영향을 파악하는 방법이다.

6) 작업자 실수 분석법(Human Error Analysis) : 작업자 실수 분석법은 공장의 운전자, 보수반원, 기술자 그리고 그 외의 다른 사람들의 작업영향을 미칠 수 있는 위험요소들을 평가하는 방법으로 사고를 일으킬 수 있는 실수가 생기는 상황을 분석한다.



7) 사고예상 질문법(What if) : 사고예상 질문 분석법은 정확하게 구체화 되어 있지는 않지만 바람직하지 않은 결과를 초래할 수 있는 사건을 세심하게 고려해 보는 목적을 가지고 있으며, 설계, 건설, 운전단계, 공정의 수정 등에서 생길 수 있는 바람직하지 않은 결과를 조사하는 방법이다.

8) 위험과 운전성 분석법(Hazard & Operability Study) : 이 방법은 “HAZOP Study” 또는 “Process Hazard Analysis(PHA)”라고도 일컬어지고 있으며, 작업 공정의 설계단계, 설비의 개조 또는 설비의 추가설치 작업을 위한 설계단계에서 위험 인자를 분석하여 개선사항을 설계에 반영하도록 조치하는 방법이다.

일반적으로, 평형수 처리장치를 설치하기 위한 설계 단계에서 설계도면의 오작부분을 선별하는 과정에서 각 분야의 전문적인 지식을 가지는 설계자가 체크하지만, 전문가 그룹의 토론에 의한 체계적인 체크가 아니고 전문가 개개인의 체크로 그친다면, 설계도면의 결함을 인지하지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 심지어, 평형수 처리장치는 드물지 않게 장치의 일부가 계획대로 운전되지 않고 어느 정도의 “이탈(벗어남)”을 일으켜, 프로세스에 큰 영향을 미치는 위험성이 잠재되어 있을 경우도 있다.[23]

이러한 위험성을 방지하기 위해서는 설비의 이상이나 운전조건 변화 등에 의해 예기치 않았던 비정상적인 운전이 발생할 염려가 있고, 이로 인한 잠재적 문제점 및 위험성을 명확히 하여 평형수 처리장치의 전체 공정에 미치는 영향을 단계적, 체계적 및 비판적 시각으로 체크하여 필요한 안전대책을 세우는 것이 필요하다.[23]

이러한 목적으로 과거, 1968년 ICI사의 Elliott과 Owen에 의해 최초로 보고된 후 시행착오를 거듭하며 발전시켜 유용한 프로세스 안전대책 방법을 만들었다. 이러한 기법이 “위험과 운전성 분석법(HAZOP Study)”이며, 이후 이 연구는 플랜트의 신설, 증설, 개조시의 프로세스의 안전성 체크, 기존 플랜트의 잠재적 위험원의 적출, 기존 플랜트의 가상 재해발생시 대처법 등에 유효하게 도입하고 있다.[23]

상기 8가지 위험도의 정성적 기법 중에서 이 논문에서 가장 적합하게 사용될 수 있는 기법으로 8)항의 “위험과 운전성 분석법”으로 선정하였다. 선정 이유는 새롭게 탑재되는 기기들이 기존의 시스템과 결합하는 일련의 개조작업과 그 이후의 설비의 운영, 작동불량 등으로 선원과 선박에 미치는 영향을 세밀하게 검토 및 진단을 수행할 수 있는 가장 적합한 방법이며, 분석의 수행은 관련 분야에서 경험이 풍부한 숙련자 또는 전문가들에 의해 수행되므로, 결과의 신뢰성도 검증할 수 있다. Fig. 4는 “위험과 운전성 분석법” 프로세스(Process)를 나타낸다.

프로세스 내용은 분석할 기기의 위험도 평가 구간을 선정하고 해당 구간에서 “Guidewords”를 선정하여 원인을 식별한다. 그리고 위험원인에 대한 결과를 추론하며, 위험도 등급을 결정한다. 도출된 위험도 평가 결과에 대하여 적절성을 검증하고 이를 바탕으로 개선안을 도출한다.

여기서 위험도 “Risk”에 대하여 정량적인 평가를 통해서 그 크기의 기준을 결정하고 최종적으로 설계에 반영 유무를 결정하여야 한다. 이처럼 “Risk”의 정량적 평가는 사고 발생 확률과 사고영향분석에 대한 관계에서 사고 발생 빈도와 사고발생 피해크기의 관계에서 정량적으로 평가하는 방법을 도입하였다. 이와 관련한 일련의 과정은 제5장 “위험도 분석”에서 다루고 있다.





**Fig. 4** HAZOP Process

## 2.2 선박 평형수 처리장치

평형수 관리협약의 성능기준 D-2 규정이 확정되기 전부터 “IMO GloBallast” 회의에서 선박 평형수 처리장치의 처리기술이 소개되고 있었고, 분명하게 성능 기준이 확정되기 이전에 개발된 제품이므로, 생물의 사멸 효율성은 현저히 낮았다. 평형수 관리협약의 성능기준이 확정된 이후, 2004년 5월 싱가포르에서 개최된 제2차 “국제선박평형수관리(ICBWM)” 컨퍼런스에서는 화학약품과 해수의 전기분해 방법을 이용하는 복합시스템에 대하여 소개되었다. 그 이후, 선박 평형수 처리장치의 개발 방향은 생물의 사멸성을 높이기 위한 활성물질의 사용에 따른 처리방식의 개발에 집중하고 있었다.[32]

활성물질을 이용한 평형수 처리장치는 사용하지 않는 방식에 비해 생물의 사멸성이 우수하다는 사실은 여러 문헌을 통해서도 검증되고 있는 상황이다. 2010년 이후 환경에 대한 심각성이 제기되면서 활성물질의 규제가 강화되는 추세로 흘러갔으며, 이에 따라 친환경적인 평형수 처리장치의 개발이 급부상하였다. 아울러, 2010년 이전의 평형수 처리장치의 처리기술은 생물의 사멸성에 주안점을 두었으며, 전기분해 방식과 같은 장치의 운영효율 측면에서 지나치게 많은 비용이 투입되는 경향이 있었다.

이에 따라 운영효율 측면을 고려한 전력소비량이 적고, 규모가 작은 대신에 고효율을 발휘할 수 있는 처리장치의 개발이 주도되었다. 과거에 개발된 제품 중에서도 이러한 추세에 맞추어 시스템을 개선하여 재 승인을 받는 경우도 더러 발생하고 있으며, 크기를 축소하여 다양한 선박에 탑재가 가능하도록 기술개발을 진행하고 있다.

Table 8에서는 현재까지 국제해사기구로부터 형식승인을 득한 선박 평형수 처리장치의 처리방식(공정)에 따라 분류한 것으로 대표적인 제조자와 특성에 대하여 간단하게 소개하였다.

## 2.2.1 일반적인 선박 평형수 처리장치 처리방식

선박 평형수 처리장치의 일반적인 시스템은 Fig. 5와 같다. 선박 평형수는 물리적 처리를 위해 필터 등을 거치게 되고, 필터의 메쉬크기(Mesh Size)에 따라 차이가 있지만, 통상  $50\mu\text{m}$  사이즈 이상의 생물이나 침전물을 걸러 낸 후, 약품 등의 화학적 처리를 통해 평형수 속의 생물군을 살균처리를 하고, 처리된 평형수를 평형수 탱크에 주입한다.

선외로 배수하는데 평형수의 재처리나 중화처리가 필요한 시스템에서는 처리 후에 선외로 배수하도록 되어 있다. 대부분의 선박 평형수 처리장치는  $50\mu\text{m}$  이상 크기의 생물이나 침전물을 걸러내기 위해 필터나 캐비테이션 등의 물리적 처리장치를 시스템에 도입하고 있다. 이를 통해 침전물의 억제에 도움이 된다. 미생물이나 세균 등의 살균 처리는 주로 화학적 방법을 통하여 이루어진다.

이 방법으로는 자외선을 이용하는 방법, 수중의 산소량을 감소시키는 방법, 오존 등의 살균력이 강한 화학 물질을 첨가하는 방법 등이 있다.

## 2.2.2 광촉매를 이용한 선박 평형수 처리장치의 처리방식

이 방식은 별도의 화학 약품을 사용하지 않는 장점이 있다. 우선 필터를 통해  $50\mu\text{m}$  이상 크기의 수중 생물을 제거하고, 이산화티타늄에 빛을 쬐어 발생하는 라디칼로 수중 생물 및 균류를 살균 처리한다. 라디칼은 홀 전자를 가진 원자나 분자이다. Fig. 6은 광촉매 작용을 이용해 평형수를 처리하는 과정을 개념도로 표현한 것이다.

이산화 티타늄은 백색 물감, 식품 첨가물 및 치약 등의 원료로 사용되고 이산화 광촉매는 특정 파장의 빛을 쬐면 활성 산소나 수산화기(Hydroxyl Radical) 등이 발생하고 이 물질은 소독이나 살균 시에 널리 사용되고 있는 염소나 차아염소산, 과산화수소, 오존 등 보다 훨씬 강한 산화력을 가지고 있다. 평형수의 배수 시에 평형수 처리장치를 통해 재차 처리한다.

### 2.2.3 캐비테이션을 이용한 선박 평형수 처리장치의 처리방식

캐비테이션(Cavitation)을 이용한 선박 평형수 처리장치의 가장 큰 특징은 별도의 화학약품을 사용하지 않고 평형수를 처리하는 방식이다. Fig. 7은 캐비테이션 방식을 이용해 평형수를 처리하는 과정을 개념도로 표현한 것이다.

주입된 평형수는 필터를 통과하여, 50 $\mu$ m 이상의 수중생물과 침전물을 제거하고 캐비테이션 장치로 유입된다. 캐비테이션 장치에서 평형수내 생물 일부는 걸러지고, 이후 평형수는 질소발생장치 및 전기분해로 생성된 수산화 이온이 첨가되어 평형수와 함께 평형수 탱크로 유입된다.[32]

### 2.2.4 불활성가스를 이용한 선박 평형수 처리장치의 처리방식

해수를 평형수 탱크로 주입과정에서 벤트리(Venturi) 관에 해수가 유입되고, 동시에 불활성가스를 해수와 함께 평형수 탱크로 주입된다. 평형수 내에 존재하는 산소의 농도를 5%이하로 유지시키면서 평형수 탱크 내부도 불활성화 상태로 유지된다.

평형수 탱크에 불활성화 정도에 따라 항행중일지라도 불활성 기체를 계속적으로 주입시켜 산소 농도를 유지시킨다. 배출 시에는 별도의 처리장치를 통과하지 않고 평형수 펌프를 통해 직접 해양으로 배출된다. Fig. 8은 불활성가스를 이용해 선박 평형수를 처리하는 과정을 개념도로 표현한 것이다.[32]

### 2.2.5 전기분해를 이용한 선박 평형수 처리장치의 처리방식

전해장치에서 해수가 전기분해되어 차아염소산나트륨(Hypochlorite) 및 수산화기는 세포핵을 파괴하고, 동시에 산화 환원 전위(ORP)를 이용해 세포막을 파괴하여 살균 처리를 한다. 평형수 탱크 내에서 처리된 생물균의 증식을 방지하기 위해, 이 물질은 평형수중에 잔류하게 한다.

차아염소산나트륨은 해양에 배출될 시에 2차 해양오염의 원인이 될 수 있어 배출되는 처리된 평형수중의 차아염소산나트륨 농도에 따라 티오황산나트륨을 섞어 중화된 상태로 배출하도록 한다. Fig. 9는 전기분해방식을 이용해 평형수를 처리하는 과정을 개념도를 표현한 것이다.[32]

## 2.2.6 자기분리를 이용한 선박 평형수 처리장치의 처리방식

해수를 평형수 탱크로 주입 시에 해수에 자성분을 넣어 교반 및 자기분리시켜 수중 생물이나 미생물, 세균을 처리하는 시스템이다. 살균을 위해 약품을 사용하지 않으며 평형수의 수성 성분도 변화하지 않아 배수 시에 중화 처리 등의 재처리 과정이 불요하다. Fig. 10은 자기분리방식을 이용해 평형수를 처리하는 과정을 개념도로 표현한 것이다.[32]

## 2.2.7 자외선을 이용한 선박 평형수 처리장치의 처리방식

수중 생물의 살균 처리 시에 외부에서 가져온 화학약품을 사용하지 않고 우선 필터를 통해 50 $\mu$ m 이상의 수중 생물을 침전물과 함께 제거하고 그 후 자외선 처리 모듈에서 자외선을 이용해 미생물과 세균 등을 살균한다. 배수 시에도 자외선 처리장치를 다시 통과시켜 평형수 탱크 내의 생존한 미생물과 세균 등을 살균한다. Fig. 11은 자외선을 이용해 평형수를 처리하는 과정을 개념도로 표현한 것이다.[32]

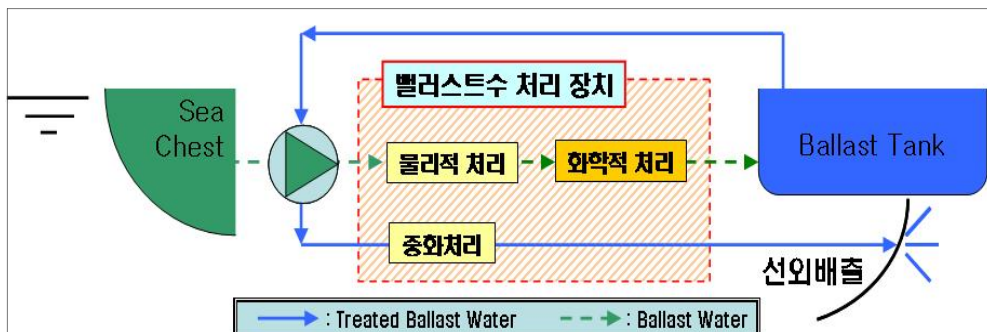
## 2.2.8 대상 선박 평형수 처리장치의 선정

Fig. 3에서 알 수 있듯이, 자외선을 이용한 평형수 처리장치가 세계적으로 52.3%로 절반 이상을 점유하고 있으며, 다음으로 전기분해 타입이 23%를 차지하고 있다. 두 가지 처리방식을 합치면 전체의 75.3%로 전 세계적으로 3분의 4 이상을 차지하고 있다. 또한, 오존처리방식의 처리장치의 경우 세계적으로 6.2%를 차지하고 있다.

이 연구에서는 선박 평형수 처리장치를 현존선박에 설치하기 위해 설계 부분에서 위험도 평가 기법을 이용하는 것으로 위험도 평가를 위한 대상 선박 선정과 대상 선박 평형수 처리장치 선정이 필요하므로, 전기분해 처리방식, 자외선 처리방식 및 오존가스 처리방식 선박 평형수 처리장치를 위험도 평가를 위한 대상 기종으로 선정하였다.

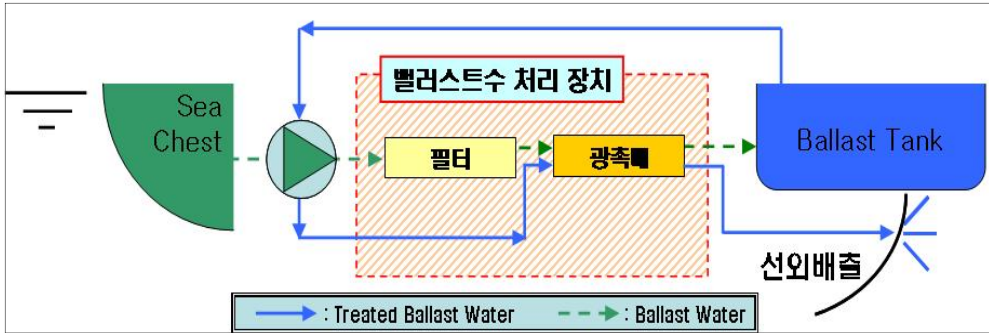
**Table 8** Technical Classification and Comparison of Each BWTS

| 번호 | 처리기술        | 대표적인 제조사                      | 특성                       |
|----|-------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1  | 전기화학+중화     | Techcross                     | - 화학물 적재 불필요             |
| 2  | 필터+전기화학     | EctoSys, RBT, GreenShip Meyer | - 화학물 적재 불필요             |
| 3  | 필터+전기분해 +중화 | Severn, Mitsubish, Electrivor | - 화학물 적재 불필요             |
| 4  | 필터+전기화학+무산소 | OceanSaver, NEI               | - 화학물 적재 불필요             |
| 5  | 필터+AOT      | PureBallast                   | - 화학물 적재 불필요             |
| 6  | 필터+UV       | Panasia, OptiMar              | - 부산물 적음<br>- 화학물 적재 불필요 |
| 7  | (필터+)오존     | Special Pipe, NK              | - 화학물 적재 불필요             |
| 8  | 필터+이산화염소    | EcoChlor                      | - 성능 우수                  |
| 9  | 필터+화학약품     | Peraclean                     | - 초기 설치비 최소              |
| 10 | 응집제+필터      | Hitachi                       | - 부산물 적음                 |

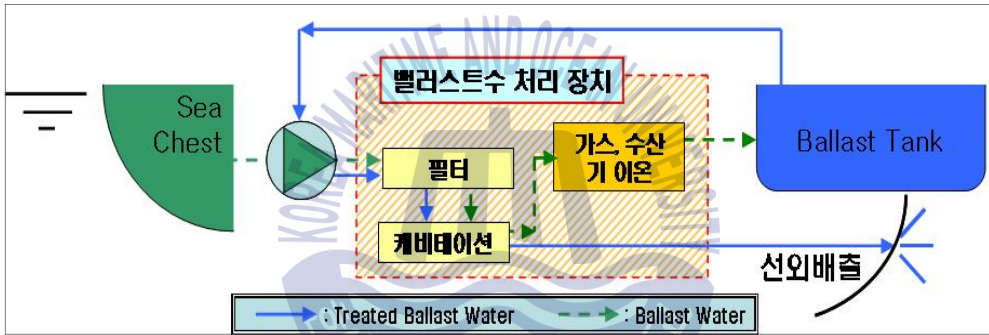


**Fig. 5** Treatment Method for General BWTS

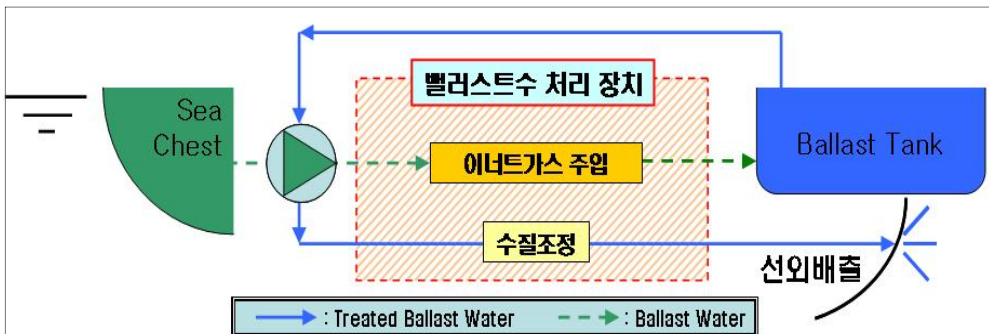




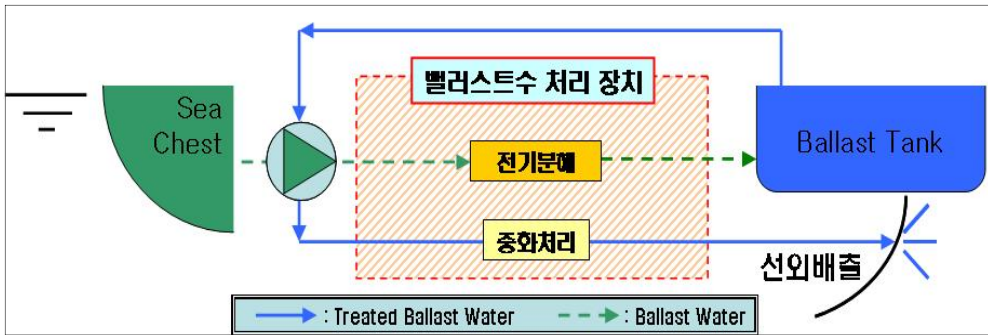
**Fig. 6** Treatment Method for Photo-catalytic BWTS



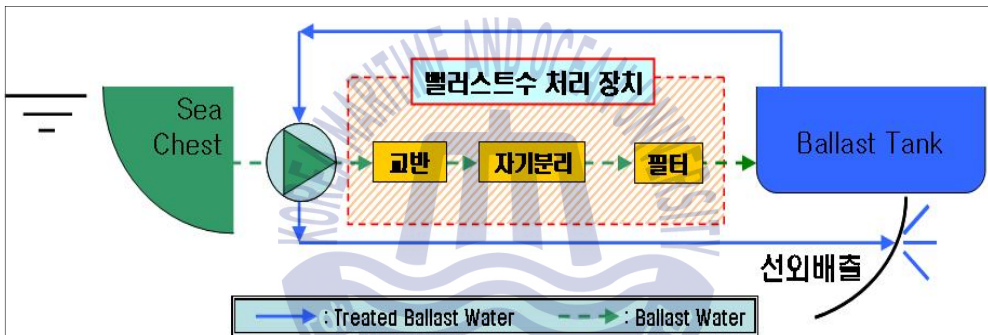
**Fig. 7** Treatment Method for Cavitation BWTS



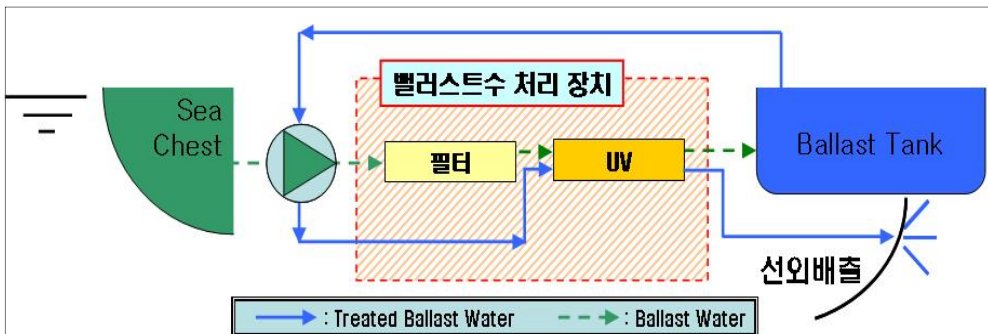
**Fig. 8** Treatment Method for Inert Gas Injection Type BWTS



**Fig. 9** Treatment Method for Electrolysis Type BWTS



**Fig. 10** Treatment Method for Magnetism BWTS



**Fig. 11** Treatment Method for UV BWTS



## 2.3 선박의 종류

화물선은 화물의 운송을 목적으로 하는 선박으로 거주설비를 간소화 하고 화물창을 크게 하여 하역설비에 중점을 두어 일시에 대량의 화물을 안전하고 신속하게 운반할 수 있도록 설계되어 있다. 또한, 화물선은 운송화물의 종류에 따라 크게 원유와 석유 화학 물 등을 운송하는 유조선과 철광석, 곡물 등을 운송하는 건화물선으로 나뉜다.

원유를 운송하는 원유운반선, 원유를 정유한 석유제품을 운송하는 석유제품운반선이 있으며, 특정 화학제품을 운송하는 화학제품운반선, 가스를 액화시켜 운송하는 가스운반선 등이 있다.

가스 수송선은 액화석유가스, 에틸렌, 액화 암모니아 등을 주로 운송하는 선박이다. 액화천연가스를 수송하는 선박의 경우 화물의 특수성 때문에 이 화물을 전용으로 운송하는 선박으로 건조한다.

건화물선 종류에는 곡물이나 광석 등의 비 포장된 건화물을 운송하는 산적화물선, 여러 가지 물품을 함께 운송할 수 있는 일반화물선, 각종 건화물과 컨테이너를 함께 운송할 수 있는 다목적 운반선 외에 차량운반선, 냉동선 등 각종 특별한 목적의 선박들이 있다.

### 2.3.1 원유운반선

원유운반선은 천연의 가공하지 않은 원유를 용기에 넣지 않은 상태로 배에 직접 적재하여 수송하는 배이다. 1989년 알래스카 연안에서 발생한 초대형 유조선 “M/V EXXON VALDEZ”의 좌초사고에 의한 다량의 기름 유출 이후, 1990년 미국 연안을 항해하는 유조선에 대해 이중선체화를 의무화시키는 법안이 제정되었고, 국제해사기구에서도 새로 건조하는 유조선의 경우 이중 선체구조 방식이 의무화되었다.[30]

유조선은 전방과 중앙부에는 화물 탱크들을 배치하고, 이 화물구역의 최전방과 최후방에는 안전상 공실(Cofferdam)을 설치하거나 빈 공간을 만들어 다른 구역과 격리시킨다. 선수부에는 창고, 평형수 탱크 등을 배치하고, 선체 중앙부에는 전용 평형수 탱크를 배치하여 만재 시 선체의 굽힘 모멘트를 감소시키고, 공선 항해 시는 이 탱크에 바닷물을 채워 필요한 흘수를 얻으며, 또한 선체의 굽힘 모멘트를 줄인다.[30]

화물구역은 보통 종격벽에 의해서 3열로 나누어져 중앙의 센터 탱크 열과 좌우의 우이 탱크 열로 구분되고, 이들 탱크 열은 다시 몇 개의 횡격벽에 의해 구획되어 각각 독립된 센터 탱크들과 워 탱크들이 된다. 화물용 펌프는 보통 2~4개를 가지며, 이들은 총 합계능력이 만재 화물유를 20시간 내외에 하역할 수 있는 대형 펌프들이다. 유조선은 소송화물의 청결 상태에 따라 원유나 중유를 수송하는 더티탱커(Dirty Tanker)와 가솔린, 경유 등을 수송하는 클린탱커(Clean Tanker)로 구분하기도 한다. 또한 유조선은 운항해역에 따라 내항 유조선과 외항 유조선으로 분류하기도 한다. Fig. 12는 대표적인 원유운반선의 모습을 보여주고 있다.[30]

### 2.3.2 가스운반선

액화 암모니아, 액화석유가스(LPG), 에틸렌 등을 운송하는 가스운반선은 가스를 비등점 이하의 온도로 낮춰서 액화하여 운송하는 배이다. 암모니아의 비등점은  $-33^{\circ}\text{C}$ , 액화석유가스의 비등점은  $-42^{\circ}\text{C}$ , 에틸렌의 비등점은  $-104^{\circ}\text{C}$ 이므로, 이보다 낮은 온도를 유지하기 위해 여러 가지 장치가 필요하다.[30]

액화석유가스 운반선은 석유가스를 액화시키는 방법에 따라 저온식형 운반선과 가압식형 운반선이 있다. 오늘날 6만 톤 정도의 수송능력을 가진 저온식형 운반선이 많이 취항하고 있으며, 대형화 되고 있다. Fig. 13은 대표적인 가압식형 운반선의 모습을 보여주고 있으며, Fig. 14는 대표적인 저온식형 운반선의 모습을 보여주고 있다.[30]

액화천연가스(LNG) 운반선은 천연으로 생산되는 비석유계 천연가스를 액화한 것을 운반하는 선박이다. 액화천연가스는 메탄(Methane) 성분이 90%, 이상을 차지하며, 메탄은 비등점이  $-162^{\circ}\text{C}$ 이기 때문에 냉각하여 액화된 메탄을 운반한다. 액화천연가스는 초저온 탱크 안에 저장해야하므로, 탱크 주위를 두꺼운 방열재로 보호해 주어야 한다. 액화천연가스 운반선에서 액화천연가스를 저장하는 화물창의 종류에 따라 모스(Moss)형식과 멤브레인(Membrane) 형식이 있는데, 모스 형식은 직경 40m 가량의 둥근 공 모양의 탱크를 두꺼운 알루미늄으로 별도로 만들어 선박 위에 설치하는 형태이다. 멤브레인 형식은 별도의 탱크를 만드는 것이 아니고, 화물창 벽에 보온을 잘한 후 그 보온 표면에 특수한 금속판을 붙이는 것이다. Fig. 15는 대표적인 모스 형식의 액화천연가스 운반선의 모습을 보여주고 있으며, Fig. 16은 대표적인 멤브레인 형식의 액화천연가스 운반선의 모습을 보여주고 있다.[30]

### 2.3.3 고체산적화물선

산적화물선은 화물을 포장하지 않은 채 그대로 싣고 수송하는 화물선이다. 기름을 싣는 배를 산적 액체화물선이라고 부르기도 하나 이는 일반적으로 유조선이라 부르고, 대부분의 경우 산적화물선이라 하면 곡물과 광석들을 싣는 건화물선만을 산적화물선이라 부르고 있다. 보통의 배에서는 하층의 화물이 짓눌리지 않도록 중갑판으로 사이를 막지만 벌크 화물선에는 칸막이가 없는 것이 특징이며, 선박 구조가 간단하여 선박의 가격도 상대적으로 저렴하다.[30]

대부분의 산적화물선은 곡물, 광석 또는 석탄 등의 화물을 함께 취급한다. 곡물의 경우 연중 일정한 화물이 나오지 않고 수확시기에 따라 곡물 양이 변동되므로, 한 종류의 특정화물에 제한을 두지 않고 다양한 산적화물의 물동량에 맞추어 운송한다. 화물의 특성에 따라 양하 및 적하를 위한 특수 기기 등의 설치를 특별히 고려할 필요가 있다. Fig. 17은 대표적인 고체산적화물선의 모습을 보여주고 있다.[30]

### 2.3.4 컨테이너선

컨테이너선은 선박의 갑판 아래와 갑판 위에 컨테이너를 적재하여 수송하는 선박이다. 컨테이너선의 종류로는 컨테이너를 전문으로 수송하는 특수한 구조의 풀컨테이너선과 선창의 일부를 컨테이너 전용으로 만든 세미컨테이너선의 두 종류가 있다. 컨테이너를 적재하는 방법에 따라서 적재한 차량이 선박의 측면 또는 선미에 설치한 현문을 통해서 선내로 들어와 짐을 부리는 롤온 롤오프(Roll-On Roll-Off) 방식의 선박과 컨테이너를 선박 또는 안벽에 장치한 기중기를 이용하여 선박에 적재하는 리프트온 리프트오프(Lift-On Lift-Off) 방식의 선박으로 나뉜다.[30]

### 2.3.5 대상선박 선정

2.2.8항에서는 현존하는 선박에 평형수 처리장치 설치를 위한 최적설계 연구에서 위험도 평가 기법 적용을 위한 대상의 평형수 처리장치를 선정하였다. 2.3.1항 내지 2.3.4항에서 선박의 종류에 대하여 언급하였으며, 주요하게 액체류의 화물을 운송하는 선박과 건화물을 운송하는 선박으로 구분할 수 있다.

Fig. 18에서 알 수 있듯이 2016년 4월까지의 전 세계 상선 선대를 보여주고 있는 것으로 건화물을 주로 운송하는 산적화물 운반선과 일반건화물선 합계는 전체 상선 선대의 38%를 차지하고 있다. 다음으로 유해액체화물 및 기름 운반선이 13% 및 어선은 10%를 차지한다.

따라서, 이 연구에서 “BWTS Retrofit”의 최적 설계를 위한 위험도 평가 수행 대상 선박을 산적화물 운반선으로 정하였다. 대상 선박은 (사)한국선급에 입급된 선박 중에서 선정하였으며, 대상선박의 사양은 Table 19를 참조한다.



**Fig. 12** General Photograph of Crude Oil Tanker



**Fig. 13** General Photograph of LPG Tanker(Pressure Type)



**Fig. 14** General Photograph of LPG Tanker(Low Temp. Type)





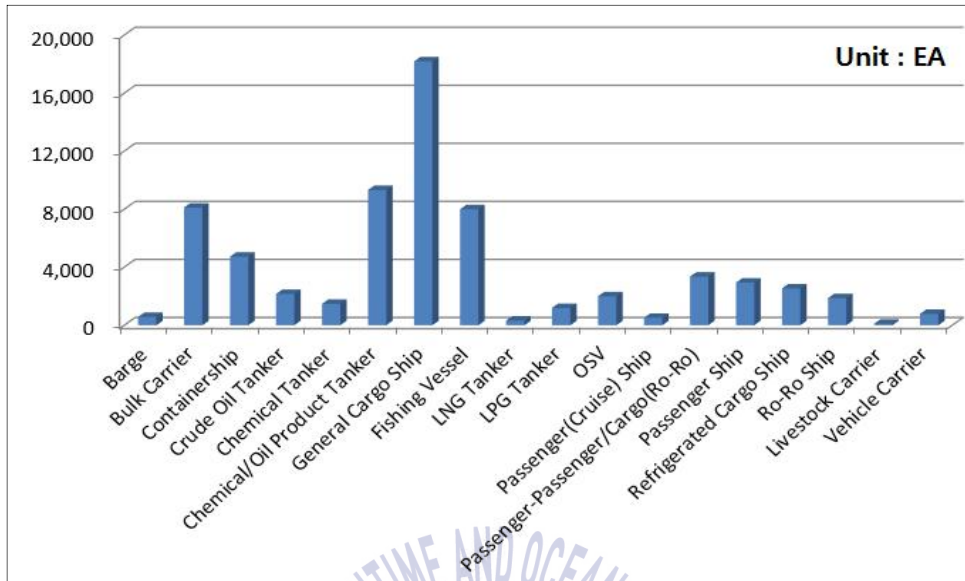
**Fig. 15** General Photograph of LNG Tanker(Moss Type)



**Fig. 16** General Photograph of LNG Tanker(Membrane Type)



**Fig. 17** General Photograph of Bulk Carrier



**Fig. 18** Number of Ships in World Merchant Fleet

**Table 9** Specification of Subject Vessel

|          |                                 |           |                |
|----------|---------------------------------|-----------|----------------|
| LxBxD(m) | 284.23 x 45 x 24.7              | Hull No.  | S4xx           |
| D.W.T    | 179,283                         | G/T       | 93,152         |
| B.W.P    | 2,500m <sup>3</sup> /h x 2 sets | Gen. Cap. | 750kW x 3 sets |
| K/L Date | 2010. 4. 26                     | Nav. Area | Ocean Going    |
| IMO No.  | 9xxxxxxx                        | Flag      | Pxxxxx         |
| Manager  | Hxxxxxx                         | Shipyard  | "H" Shipyard   |



## 제 3 장 선박 평형수 처리장치의 특성분석

### 3.1 국내 선박 평형수 처리장치

2016년 10월까지 대한민국 정부(해양수산부)로부터 형식승인을 득한 선박 평형수 처리장치는 총 14개로 Table 10에서 열거하고 있다. Table 10에서 알 수 있듯이, 2008년도에 “A”사에서 개발한 선박 평형수 처리장치가 처음으로 대한민국 정부로부터 형식승인을 취득한 이래로 2016년까지 꾸준히 대한민국 정부로부터 형식승인을 취득하고 있다.[13]

형식승인을 득한 14개 선박 평형수 처리장치 중 전기분해방식의 선박 평형수 처리장치는 8개로 절반 이상을 차지하고 있으며, 자외선을 이용한 처리방식 선박 평형수 처리장치도 4개가 개발되었다. 나머지 2개 제품은 오존가스를 이용한 처리방식을 채택하고 있다. 분석 결과에서 보여주고 있듯이 국내에서 개발되고 있는 선박 평형수 처리장치는 주로 전기분해방식과 자외선 처리방식 2가지 방식으로 개발이 이루어지고 있다.

본 장에서는 국내에서 개발된 선박 평형수 처리장치 중에서 주요하게 차지하고 있는 전기분해방식, 자외선 처리방식 및 오존처리방식을 채택하고 있는 제조사별로 선박 평형수 처리장치의 특성 및 성능에 대하여 분석하였다. 관련 분석 자료는 제조사의 홈페이지 및 홍보책자를 이용하였다.

**Table 10** BWTS approved by Korea Government

| 번호 | Approval Date | Name of the BWTS                | Copy of Type Approval Cert. | MEPC report granting Final Approval |
|----|---------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1  | 31 Dec. 2008  | Electro-Cleen System            | Provided (MEPC59/INF.6)     | MEPC 58/23, paragraph 2.8           |
| 2  | 24 Nov. 2009  | NK-O3 BlueBallast System(Ozone) | Provided (MEPC60/INF.14)    | MEPC 59/24, paragraph 2.8           |
| 3  | 4 Dec. 2009   | GloEn-Patrol BWMS               | Provided (MEPC61/2/19)      | MEPC 60/22, paragraph 2.7           |
| 4  | 16 Mar. 2011  | EcoBallast BWMS                 | Provided (MEPC63/INF.5)     | MEPC 60/22 paragraph 2.13           |
| 5  | 31 Oct. 2011  | Purimar System                  | Provided (MEPC63/INF.6)     | MEPC 62/24, paragraph 2.5           |
| 6  | 30 Dec. 2013  | Neo-Purimar System              | -                           | -                                   |
| 7  | 11 Nov. 2011  | HiBallast BWMS                  | Provided (MEPC63/INF.4)     | MEPC 62/24, paragraph 2.5           |
| 8  | 27 Sep. 2013  | SMART Ballast BWMS              | -                           | -                                   |
| 9  | 15 Jun. 2012  | AquaStar BWMS                   | Provided (MEPC64/INF.18)    | MEPC 63/23, paragraph 2.7           |
| 10 | 12 Jul. 2012  | ARA PLASMA BWMS                 | Provided (MEPC64/INF.33)    | MEPC 61/24, paragraph 2.7           |
| 11 | 8 May 2015    | EcoGuardian BWMS                | Provided (MEPC69/INF.31)    | MEPC.65/22, paragraph 2.8           |
| 12 | 8 May 2015    | BlueZone BWMS                   | Provided (MEPC69/INF.32)    | MEPC67/20, paragraph 2.6            |
| 13 | 3 Apr. 2015   | BioViolet BWMS                  | -                           | -                                   |
| 14 | 28 Mar. 2016  | MARINOMATE BWMS                 | -                           | -                                   |

### 3.1.1 전기분해방식 선박 평형수 처리장치

A 제조사에서 개발한 전기 화학적 처리장치는 해수를 전기분해하여 발생하는 화학물질을 이용하는 장치로써, 이 제품은 2006년 3월 MEPC 54차 회의에서 활성물질 기본승인을 받았고, 2008년 10월 MEPC 58차 회의에서 최종 승인을 받았다.

해수를 전기분해 과정에서 복합적 소독기 작용을 하는 화학물질이 생성된다. 전해장치(Electrolysis Module) 내부의 양(+)극과 음(-)극으로부터 양자이온(Proton Ion)과 수산화 이온(Hydroxide Ion)이 방출된다. 양극 주변에는 생물을 사멸시킬 수 있는 충분한 잠재적 에너지가 형성되어 있으며, 음극에서 방출되는 수산화 이온은 유기물질을 가수분해하는 역할을 한다.

해수를 전기분해하면 수산화기(Hydroxyl Radical), 과산화기(Hydroperoxide Radical), 초산화기(Superoxide Radical) 과산화수소수( $H_2O_2$ ), 오존( $O_3$ ) 및 차아염소이온( $OCl$ )등의 다양한 기(Radical)들이 발생되며, 기들은 높은 전위차를 가지므로, 대부분의 유기물과 빠른 속도로 반응한다.

발생된 기(Radical)는 몇 초간 짧게는 수억 분의 1초 동안 존재하는 불안정한 물질이지만, 이온교환을 통해 생물을 순간적으로 사멸시키는 기능을 가지고 있다. 또한 부수적으로 생성되는 차아염소산은 선박 평형수 탱크 내에서 지속적으로 생물을 사멸시킨다. 또한, 평형수 탱크 내에 잔존하는 차아염소산을 배출직전에 중성화를 위해 별도의 중화장치를 설치한다.

Fig. 19는 A 제조사에서 개발한 평형수 처리장치 시스템을 보여주고 있다. 시스템을 제어하기 위한 중앙 제어 장치(Control PC), 시스템에 전원을 분배하기 위한 전원 분배기(PDE : Power Distributor Equipment), 전원 분배기로부터 전원을 공급받아 높은 전압의 전류로 변환하여 ECU에 공급하는 정류기(Rectifier), 정류기로부터 높은 전압의 전류를 가지고 전기분해가 이루어지는 전기분해 챔버(ECU : Electro-Chamber Unit), 배수 시에 평형수에 잔존하는 차아염소산 농도를 측정하는 TSU(TRO

Sensor Unit) 및 TRO를 중화시키기 위한 중화장치(Auto Neutralization Unit)로 구성되어 있다. Table 11은 처리장치의 용량별 전력소모량 및 크기에 대한 상세 내용을 보여주고 있다.

### 3.1.2 오존처리방식 선박 평형수 처리장치

B사에서 개발한 평형수 처리장치는 대기중의 공기를 압축하여 산소만 채취한 후 이를 오존가스로 변환하고 변환된 오존가스를 생물을 멸균하는데 사용하는 기술을 채택하고 있다. 2007년 7월 MEPC 56차 회의에서 활성물질 기본승인을 받았고, 2009년 8월 MEPC 59차 회의에서 최종승인을 받았다.

오존가스는 자연적으로 발생하는 강한 자극성 냄새를 갖는 무색의 불안정한 기체로써 쉽게 대기 중에서 산소로 분해된다. 오존은 매우 강한 산화제이므로 대부분의 세균, 독소, 곰팡이와 효모의 포자, 유기물 및 바이러스를 산화시킬 수 있다.

산소가 오존으로 전환되는 것은 대기 중 공기와 에너지를 사용하여 전기적 방전에 의해 이루어진다. 고농도의 산소를 발생시킨 후 이를 고전압 또는 고전류의 전기장을 통과시킴으로써 상업적으로 사용되는 고농도의 오존을 얻을 수 있다. 해양 침입종 중 일부는 오존과 직접 접촉하여 사멸되고 대부분은 오존과 다른 화합물이 반응하여 생성되는 차아브롬산에 의해 사멸된다.

Fig. 20은 B 제조사에서 개발한 평형수 처리장치 시스템을 보여주고 있다. 주요 장비로는 대기의 공기를 압축시키는 공기 압축기와 압축된 공기에서 99%의 순수 산소만을 채취하는 산소재생기, 압축된 산소를 오존가스로 변환하는 오존생성기 및 오존가스를 선박의 평형수관에 연결하는 오존 투입기가 있다.

Table 12는 처리장치의 용량별 전력 소모량, 오존 발생률 및 크기에 대한 상세 내용을 보여주고 있다.

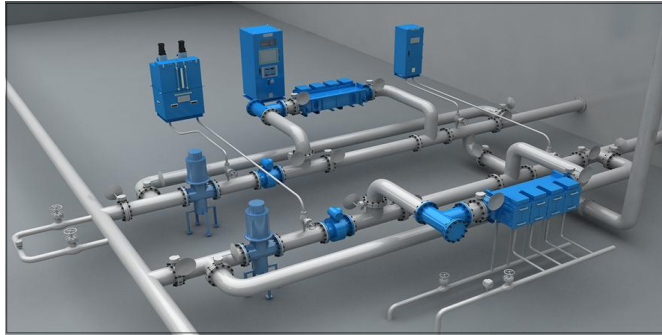
### 3.1.3 자외선처리방식 선박 평형수 처리장치

C 제조사에서 개발한 평형수 처리장치 시스템은 자외선 모듈(Ultra Violet Module)내의 자외선 램프(UV Lamp)로부터 발생하는 자외선을 이용하여 생물을 멸균한다. MEPC 57차 회의에서 활성물질을 사용하는 것에 대한 기본승인을 받았으며, MEPC 60차 회의에서 최종승인을 취득하였다.

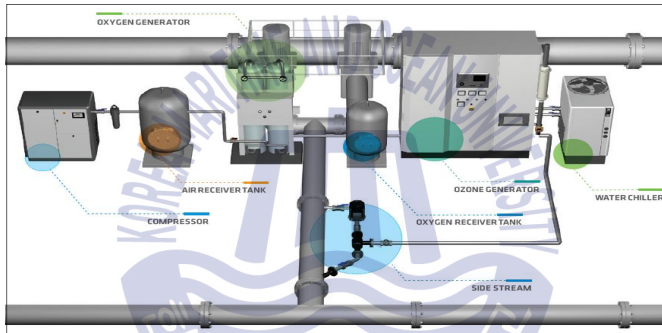
이 처리장치에 사용되는 필터의 경우 망 크기(Mesh Size)가  $50\mu\text{m}$ 이고, 해양의 해수를 취수하는 과정에서  $50\mu\text{m}$  이상 크기를 가지는 생물들은 필터에서 1차적으로 걸러지게 된다. 필터의 작용압력은 1.5bar에서 최대 작용압력은 10.0bar로 설계되어 있다.

Fig. 21은 C 제조사에서 개발한 평형수 처리장치 시스템을 보여주고 있으며, 자동세척 장치와 각종 센서 및 감시 장치를 갖추고 있다. 이 장치는 자외선을 이용한 방식이기에 해양의 2차 오염으로 간주될 수 있는 화학물질과 활성물질을 사용하지 않고, 이에 따라 독성과 부식 등의 위험성에 대한 우려도 없다.

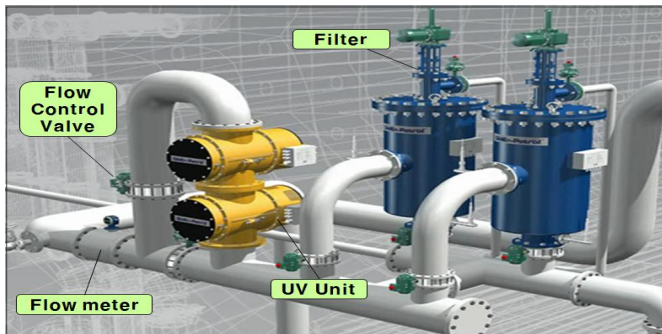
Table 13은 처리장치의 용량 별 전력소모량 및 크기에 대한 상세내용을 보여주고 있다.



**Fig. 19** Configuration of Electrolysis Type BWTS



**Fig. 20** Configuration of Ozone Type BWTS



**Fig. 21** Configuration of UV Type BWTS

**Table 11** Electric Power Consumption and Size for Electrolysis Type

| Model | Capacity(m <sup>3</sup> /h) | Power Consumption(kWh) | Foot Print(m <sup>2</sup> ) |
|-------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1200  | 1,200                       | 72~120                 | 2.8                         |
| 1800  | 1,800                       | 108~180                | 4.4                         |
| 2400  | 2,400                       | 144~240                | 5.64                        |
| 3000  | 3,000                       | 180~300                | 6.5                         |

**Table 12** Electric Power Consumption and Size for Ozone Type

| Model | Capacity(m <sup>3</sup> /h) | Power Consumption(kWh) | Foot Print(m <sup>2</sup> ) |
|-------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 050   | 1,000                       | 69.4                   | 8.3                         |
| 075   | 1,500                       | 95.8                   | 9.5                         |
| 100   | 2,000                       | 150.2                  | 11.5                        |
| 150   | 3,000                       | 199.9                  | 15.9                        |

**Table 13** Electric Power Consumption and Size for UV Type

| Model | Capacity(m <sup>3</sup> /h) | Power Consumption(kWh) | Foot Print(m <sup>2</sup> ) |
|-------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1000  | 1,000                       | 70                     | 5.1                         |
| 1500  | 1,500                       | 105                    | 9.8                         |
| 2000  | 2,000                       | 140                    | 14.9                        |
| 3000  | 3,000                       | 210                    | 20.5                        |



### 3.2 국외의 선박 평형수 처리장치

2016년 10월까지 한국정부를 제외한 타국의 정부로부터 52개의 평형수 처리장치가 형식승인을 취득하였다. 형식승인을 취득한 평형수 처리장치에 대한 상세 정보는 Table 14를 참조한다.

타정부로부터 형식승인을 취득한 제품 중에는 G8 지침서에 따라 국제해사기구로부터 기본승인 및 최종승인을 득할 필요가 없는 처리방식 즉, 자외선 처리방식의 평형수 처리장치가 다수를 차지하고 있다.

한국정부를 제외하고 선박 평형수 처리장치에 대하여 형식승인을 가장 많이 발급한 국가는 순위별로 중국, 일본 그리고 노르웨이 이다. 선박 평형수 처리장치 처리방식 별로 구분하고 또한 정부의 형식승인 별로 구분한 자료는 Fig. 2 및 Fig. 3을 참조한다.

국외에서 개발된 선박 평형수 처리장치를 처리방식 별로 구분하면 국내의 상황과 비슷한 경향을 보여주는데, 전기분해방식의 처리장치와 자외선을 이용한 처리방식이 대다수를 차지하고 있다.

**Table 14** BWTS approved by Other Governments

| Num. | Approval Date | Name of the BWTS                   | Copy of Type Approval Cert.  | Active Substance employed | MEPC report granting Final Approval |
|------|---------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 1    | June 2008     | PureBallast System                 | MEPC 61/INF.3                | MEPC 56/2/2, annex 5      | MEPC 56/23 Paragraph 2.8            |
| 2    | 10 June 2008  | SEDNA                              | MEPC 58/INF.17               | MEPC 57/2/10, annex 7     | MEPC 57/21, paragraph 2.16          |
| 3    | 2 Sep. 2008   | NEI treatment system VOS-2500-101  | BWM.2/Circ.25                | No.                       | Not applicable                      |
| 4    | 17 April 2009 | OceanSaver                         | MEPC 59/INF.17 and 62/INF.15 | MEPC 58/2/8               | MEPC 58/23, paragraph 2.10          |
| 5    | 5 March 2010  | ClearBallast(Hitachi)              | MEPC 61/INF.21               | MEPC 59/2/19, annex 4     | MEPC 59/24, paragraph 2.8           |
| 6    | 25 March 2011 | JFE Ballast ACE                    | MEPC 62/INF.25               | MEPC 60/2/12, annex 5     | MEPC 60/22, paragraph 2.7           |
| 7    | 1 Sep. 2010   | CleanBallast                       | MEPC 67/INF.29               | MEPC 59/2/19, annex 5     | MEPC 59/24, paragraph 2.8           |
| 8    | 28 Jan. 2011  | BalClor                            | MEPC 62/INF.29               | MEPC 61/2/15, annex 9     | MEPC 61/24, paragraph 2.7.3         |
| 9    | 19 April 2011 | Resource Ballast Technology System | MEPC 62/INF.18               | MEPC 60/2/11, annex 7     | MEPC 60/22, paragraph 2.7           |
| 10   | 29 April 2009 | Hyde HUARDIAN                      | MEPC 59/INF.20               | No                        | Not applicable                      |

| Num. | Approval Date | Name of the BWTS              | Copy of Type Approval Cert. | Active Substance employed | MEPC report granting Final Approval |
|------|---------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 11   | 12 Nov. 2009  | OptiMarin Ballast System      | MEPC 61/INF.4               | No                        | Not applicable                      |
| 12   | 16 Feb. 2011  | Blue Ocean Shield Ballast M.S | MEPC 62/INF.28              | No                        | Not applicable                      |
| 13   | 10 Mar. 2011  | PureBallast 2.0 and 2.0Ex     | MEPC 62/INF.14              | No                        | Not applicable                      |
| 14   | 28 Mar. 2011  | BSKY BWMS                     | MEPC 62/INF.30              | No                        | Not applicable                      |
| 15   | 29 April 2011 | Ocean Protection System       | MEPC 67/INF.27              | No                        | Not applicable                      |
| 16   | 6 June 2011   | FineBallast OZ                | MEPC 63/INF.12              | MEPC 61/2/15, annex 6     | MEPC 61/24, paragraph 2.7           |
| 17   | 27 July 2011  | BalPure                       | MEPC 64/INF.20              | MEPC 61/2/21, annex 7     | MEPC 61/24, paragraph 2.7           |
| 18   | 6 August 2011 | NEI, VOS-500~6,000            | No                          | No                        | Not applicable                      |
| 19   | 7 Nov. 2011   | OceanGuard                    | MEPC 65/INF.2               | MEPC 61/2/21, annex 5     | MEPC 61/24, paragraph 2.7           |
| 20   | 4 Nov. 2011   | Ecochlor                      | MEPC 67/INF.26              | MEPC 61/2/21, annex 6     | MEPC 61/24, paragraph 2.7           |
| 21   | 22 Dec. 2011  | OceanSaver                    | MEPC 64/INF.4               | MEPC 58/2/8, annex 4      | MEPC 58/23, paragraph 2.10          |
| 22   | 10 May 2012   | ERMA FIRST BWTS               | MEPC 64/INF.26              | MEPC 63/2/11, annex 5     | MEPC 63/23, paragraph 2.7           |
| 23   | 30 May 2012   | MICROFADE                     | MEPC 64/INF.17              | MEPC 63/2/11, annex 6     | MEPC 63/23, paragraph 2.7           |

| Num. | Approval Date  | Name of the BWTS           | Copy of Type Approval Cert. | Active Substance employed | MEPC report granting Final Approval |
|------|----------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 24   | 12 June 2012   | Cyeco BWMS                 | MEPC 64/INF.12              | No                        | Not applicable                      |
| 25   | 27 August 2012 | AquaTriComb BW250          | MEPC 67/INF.28              | No                        | Not applicable                      |
| 26   | 20 Sep. 2012   | Crystal BWMS               | MEPC 65/INF.13              | No                        | Not applicable                      |
| 27   | 7 Nov. 2012    | DESMI Ocean Guard OxyClean | MEPC 65/INF.5               | MEPC 64/2/6, annex 4      | MEPC 64/23, paragraph 2.6           |
| 28   | 12 Dec. 2012   | MMC BWMS                   | MEPC 66/INF.9               | No                        | Not applicable                      |
| 29   | 20 Dec. 2012   | Wartsila AQUARIUS UV       | MEPC 65/INF.11              | No                        | Not applicable                      |
| 30   | 5 Feb. 2013    | BALWAT BWMS                | MEPC 66/INF.15              | No                        | Not applicable                      |
| 31   | 5 June 2013    | BIO-SEA BWMS               | MEPC 66/INF.10              | No                        | Not applicable                      |
| 32   | 26 June 2013   | JFE BallastAce             | MEPC 66/INF.30              | MEPC 64/2/7, annex 5      | MEPC 64/23, paragraph 2.6           |
| 33   | 22 August 2013 | HY-BWMS                    | MEPC 66/INF.14              | No                        | Not applicable                      |
| 34   | 10 Oct. 2013   | NiBallast                  | MEPC 66/INF.12              | No                        | Not applicable                      |
| 35   | 4 Nov. 2013    | Cyeco BWMS                 | MEPC 66/INF.16              | No                        | Not applicable                      |
| 36   | 5 Nov. 2013    | FineBallast MF             | MEPC 66/INF.28              | No                        | Not applicable                      |
| 37   | 14 Nov. 2013   | KBAL BWMS                  | MEPC 65/INF.12              | No                        | Not applicable                      |
| 38   | 2 Dec. 2013    | Seascape BWMS              | MEPC 66/INF.13              | No                        | Not applicable                      |

| Num. | Approval Date | Name of the BWTS                  | Copy of Type Approval Cert. | Active Substance employed       | MEPC report granting Final Approval |
|------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 39   | 20 Dec. 2013  | Trojan Marinex                    | MEPC 67/INF.6               | No                              | Not applicable                      |
| 40   | 27 Mar. 2014  | Miura BWMS                        | MEPC 67/INF.20              | No                              | Not applicable                      |
| 41   | 30 April 2014 | Cathelco BWMS                     | MEPC 67/INF.30              | No                              | Not applicable                      |
| 42   | 18 June 2014  | ECOMARINE                         | MEPC 67/INF.21              | No                              | Not applicable                      |
| 43   | 30 June 2014  | PureBallast 3.0                   | MEPC 67/INF.5               | No                              | Not applicable                      |
| 44   | 11 July       | PACT marine                       | MEPC 68/INF.5               | No                              | Not applicable                      |
| 45   | 5 Sep. 2014   | RayClean BWTS                     | MEPC 68/INF.10              | No                              | Not applicable                      |
| 46   | 21 Oct. 2014  | SKY-SYSTEM                        | MEPC 68/INF.28              | MEPC 66/2/7, annex 4 and Corr.1 | MEPC 66/21, paragraph 2.5           |
| 47   | 17 Nov. 2014  | OceanDoctor BWMS                  | MEPC 68/INF.4               | MEPC 65/2/19, annex 7           | MEPC 65/22, paragraph 2.8           |
| 48   | 5 Jan. 2015   | Bawat BWMS                        | MEPC 68/INF.9               | No                              | Not applicable                      |
| 49   | 6 Feb. 2015   | Coldharbour GLD BWMS              | MEPC 68/INF.27              | No                              | Not applicable                      |
| 50   | 12 Sep. 2015  | NiBallast Ballast Water Treatment | MEPC 69/INF.3               | No                              | Not applicable                      |
| 51   | 19 Nov. 2015  | Van Oord BWMS                     | MEPC 69/INF.15              | No                              | MEPC 65/22 paragraph 2.5            |
| 52   | 21 Dec. 2015  | Seascape BWMS                     | MEPC 69/INF.4               | No                              | Not applicable                      |

## 제 4 장 선박 평형수 처리장치 설치 설계 및 규정

### 4.1 선박 특성에 대한 고려사항

현재까지 개발된 평형수 처리방식 및 제조사에 따라 시스템의 특성과 사양이 상이하어, 종류별로 평형수 처리장치가 특정 선종에 적합할 수 있으나 다른 선종에는 부적합 할 가능성이 잠재한다.

그러므로 선박의 선령, 선박의 종류, 항해패턴, 평형수 처리장치 설치 및 운전 시 필요 요건 등을 다양한 측면에서 고려하여 본선에 가장 적합한 시스템을 선정하는 것이 중요하다.

2017년 9월 8일 이후 건조되는 신조선의 경우 선박 평형수 처리장치를 건조 당시 조선소에서 평형수 처리장치의 탑재를 반영하여 직접 설치할 것이며, 그 이전에 건조된 선박의 경우는 때때로 추후 설치를 위하여 시스템 선정 및 설치 공간 확보 등을 사전에 검토하여 협약 발효 시점에 맞춰 사전에 설계된 방식에 따라서 설치를 고려할 수도 있다.

반면에, 현존선의 경우 선박의 종류 별 특성, 선박의 운항 및 구조적 특성 등에 따라 평형수 처리장치를 적용함에 있어 신조선에 비해 보다 많은 요건들이 검토되어야 한다.

현존선에 평형수 처리장치를 설치하기 위하여 고려되어야 하는 필수 사항들을 <선박의 특성 파악>, <선박 평형수 처리장치 특성 파악>, <제조자의 신뢰성 확인> 및 <설치계획수립>의 4 단계로 나누어 특성에 따라 정리하였다.

#### 4.1.1 선박특성 분석

최적의 평형수 처리장치를 선정하기 위해 가장 먼저 선행되어야 할 단계로 대상선박의 상태 및 특성을 면밀히 파악하여야 한다. 선령 또는 운항조건 등이 선박의 평형수 탱크의 부식정도, 도장 상태, 평형수 펌프 성능, 배관의 마찰 손실 등에 영향을 미치므로 설치 전 이와 같은 사항들을 반드시 확인하여 향후 설치 시 문제가 발생하지 않도록 해야 한다.

또한, 대상선박의 평형수 처리장치의 설치 가능한 장소 및 최대 이용 가능한 면적등도 식별되어야 한다. 설치 장소의 선정과 관련하여, 수두 손실 등을 고려하여 선정된 장소에 적절한 배관이 가능한지 여부도 확인해보아야 한다.

또한, 대상선박의 발전기 부하를 고려하여, 최대 활용 가능한 선박 전력이 산정되어야 하며 화물 적/양하 시간 및 대상선박에 설치된 평형수 펌프 용량 등을 고려하여 필요한 평형수 처리용량 등이 확인 되어야 한다.

#### 4.1.2 선박운항 분석

활성물질을 사용하는 평형수 처리장치를 적용할 경우 부적합한 평형수 탱크의 내부 도장 상태는 평형수의 처리 효율 및 평형수 탱크의 부식에 영향을 미칠 수 있으므로 평형수 탱크 내부의 도장상태 및 부식정도 등을 사전에 확인하여 추후 설치 시 이러한 부분을 고려하여야 한다.

또한, 항해구역 및 운항 패턴에 따라 평형수의 교환 빈도 및 처리 시간이 달라지므로 항차별 교환 빈도 및 기간을 파악하여 실제 본선에 적합한 평형수 처리장치의 용량 및 필요 유량을 파악하여야 하며, 선박이 기항하는 항만의 추가 요건을 확인하여야 한다.



### 4.1.3 설치장소(Space)

선박의 평형수 처리장치는 평형수 펌프가 설치된 기관구역, 펌프실 또는 폭로 갑판상의 폐위 구역 등에 설치될 수 있다. 처리장치의 소요 면적에 따른 설치 가능성 여부를 확인하기 공간 및 면적을 식별하여야 한다.

또한 활성 물질을 사용하는 처리장치 또는 추가의 화학약품을 촉매제로 사용하는 경우 관련 화학물질을 저장하기 위한 탱크의 설치공간도 함께 고려한다. 기관구역에 설치하는 경우, 장치의 점검, 운전 및 보수공간도 함께 고려하여 검토해야 한다.

화학약품을 사용하는 장치의 경우에는, G9 및 G8에서 규정한 화학약품의 저장 요건을 따라야 하므로 승인 받은 장치는 저장 용기의 열원 관리나 환기 등의 요건도 만족할 수 있는 저장장소를 선정하여야 한다. 추가로, 평형수 처리 시 요구되는 평형수 시료 채취 설비의 위치 선정도 함께 고려한다.

### 4.1.4 평형수 펌프의 용량

기본적으로 평형수 처리장치의 용량은 평형수 펌프 용량에 의해 결정된다. 일반적인 경우 기존에 설치된 평형수 펌프 용량 이상의 평형수 처리장치를 설치하여야 하나, 일반화물선과 같이 실제 운항 시 평형수 펌프가 최대용량으로 사용되지 않는 경우에는 운항에 지장이 없는 범위 내로 적절한 용량의 평형수 처리장치를 설치하는 것이 경제적이다.

평형수 처리 장치를 통과하여 발생하는 압력손실도 고려 요소로 분류된다. 평형수 처리장치에서 발생하는 압력손실 값은 처리장치별로 차이가 나므로, 선박 평형수 처리장치의 설치 시 이러한 부분도 함께 고려하여 설계하여야 한다.

#### 4.1.5 발전기의 용량

선박의 발전 용량을 고려하여 처리장치의 소비전력을 분석하여 적합한 평형수 처리장치를 선정하여야 한다. 입출항 시의 평형수 처리를 계획하는 선박의 경우, 입출항시 선박의 부하를 고려하여 최대 사용 가능한 소비 전력을 파악하여 통상 항구에서 화물의 적하와 양화 시 발생하게 되는 전력 부하에 추가적으로 평형수 처리장치로 발생하게 되는 전력부하를 검토하여, 발전기 용량이 운항 상에 문제가 없는지를 확인하여야 하며 필요시 추가 발전기 설치 여부를 검토한다.

#### 4.2 처리장치 특성에 대한 고려사항

현존선에 평형수 처리장치 설치를 위해 처리장치 측면에서 고려되어야 할 사항 5가지에 대하여 검토하여야 한다.

##### 4.2.1 소요면적

평형수 처리 장치 및 부속 기기의 소요 면적을 확인하여 설치하고자 하는 장소에 적합한지 확인하여야 한다. 필요시, 기존 기기의 재배치를 통한 공간의 확보등과 같은 사항도 고려되어야 하며, 공간 배치의 심각성이 발생하는 경우, 격벽에 지지하는 방식의 설치를 고려할 수도 있다. 이러한 경우 지지대의 강도 및 작업성 등을 고려하여야 한다.

##### 4.2.2 배관

평형수 처리장치와 연결되는 평형수 관은 기존의 평형수 관의 개조가 필수적으로 수반되어야 하며, 배관 경로 지정 작업 시에 기존 배관위치와의 간섭부분을 확인하여야 한다. 화학약품 주입관 또는 시료채취 관과 평형수관의 연결은 평형수 관리협약의 G8 및 G9 지침서의 규정에 적합하게 시공되어야 한다.

아울러, 배수시에도 평형수를 처리하여야 하는 평형수 처리장치에 있어서는 선측의 선외밸브 조작도 간섭이 없고 접근이 용이하게 설치할 수 있도록 설계 시에 고려되어야 한다. 또한, 평형수 처리장치의 처리용량에 따른 최소 또는 최대 유량과 장치의 성능 등이 설치 선박에 적합한지 검토되어야 한다.

#### 4.2.3 안전성

현재 개발된 평형수 처리장치 중에는 처리 과정에서 염소(Chlorine), 오존가스(Ozone) 및 과초산(Per-Acetic Acid) 등의 화학물질을 이용하는 방식을 채택한 경우가 있으며, 이러한 화학물질 등을 평형수 처리과정에 직접 사용하기 위해서 약품을 선내에 저장하여야 한다. 선원들이 화학물질을 취급함에 있어 화학약품으로부터 위험성에 노출될 수 있어 평형수 처리장치의 운전을 위한 특별한 교육 및 훈련이 제공되어야 한다.

#### 4.2.4 성능 및 소요 전력량

요구되는 평형수 처리용량을 확인하여 평형수 처리장치의 용량, 처리 방법, 효율성 및 기존의 발전기 부하 등이 확인 되어야 한다. 또한, 평형수 주입 및 배수 시의 전력량이 상이하므로 이러한 부분을 고려하여야 한다.

#### 4.2.5 제조자 신뢰성

제조자 신뢰성은 제품 선정 시 중요한 인자이다. 제조자의 실적이 얼마나 되는지 기국 및 국제해사기구의 승인을 득한 제품을 사용하는지 등이 검토 되어야 하며, 향후 유비보수를 위한 예비품 등의 공급이 원활히 이루어 질 수 있는지 여부 및 장비의 보증 기간, 수리, 보수, 훈련 등의 서비스(Service) 실시 여부도 평형수 처리장치의 선정 시 고려할 대상이다.

## 4.3 선체구조강도 고려사항

### 4.3.1 선체구조 측면

처리장치 거치대의 치수는 장치의 크기, 중량, 설치위치 등을 고려하여 결정하여야 하며, 장치 하중은 효율적으로 선체구조에 전달될 수 있어야 한다. 무거운 장치의 경우, 충분한 크기의 시트(Seat) 구조로 하여야 하나, 작거나 가벼운 장치의 경우, 지지대를 선체에 직접 취부 할 수 있다. 장비 거치대는 설치되는 갑판 하부구조와 일치되도록 설치하여야 하며, 하부에 선체구조가 없을 경우에는 추가의 보강재(Stiffener)를 설치하여 장비의 하중이 효율적으로 선체구조에 전달될 수 있도록 한다.

장비 거치대의 선체보강구조 예는 Fig. 22 및 Fig. 23을 참조한다. 장비 거치대에 사용되는 강재는 용접에 적합한 구조용 강재 즉, 탄소함유량 0.23% 이하로 사용하여야 한다.

### 4.3.2 방화구조 측면

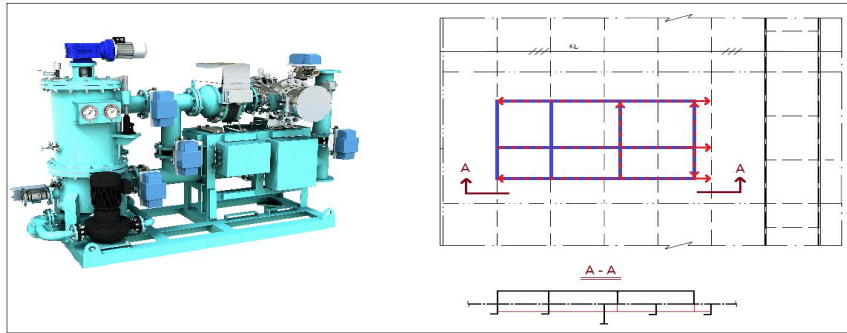
평형수 처리장치가 설치되는 구역은 “해상인명 안전국제 협약”(이하 “SOLAS”로 칭함)의 2-2장의 방화구조 요건 상 “범주(7) - 기타 기관구역”으로 고려되어야 하며, 인접구역과의 격벽 또는 갑판은 Table 15 및 Table 16에서 보여주는 바와 같이 방열구조로 시공되어야 한다. 다만, 평형수 처리장치가 기관실 내부에 설치되는 경우에는 “범주(6) - A류 기관 구역”으로 고려하여야 한다. 덕트(Duct), 관 및 전선 등이 격벽 또는 갑판을 관통하는 경우 그 부위는 해당 격벽/갑판에 요구되는 보존 방열성에 적합하여야 한다. 관통부의 두께는 3mm 이상이고 길이 900mm 이상(구획 양측으로 450mm)인 강 또는 이와 동등한 재료의 것이어야 한다. 해당 격벽/갑판에 방열이 요구되는 경우, 관통부는 격벽/갑판으로부터 최소 450mm 이상 떨어진 범위까지 방열 조치하여야 한다. 관통부 상세 규정은 Fig. 24, 25, 26 및 27에서 보여주고 있다.

**Table 15** Fire Integrity of Bulkheads Separating Adjacent Spaces

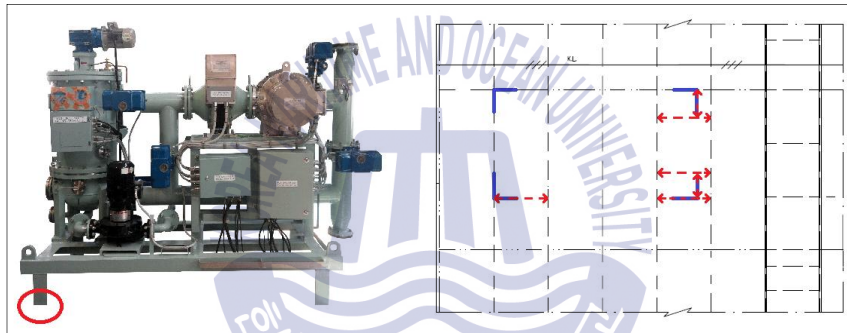
| 구역          |   | ①    | ②   | ③    | ④           | ⑤           | ⑥    | ⑦    | ⑧    | ⑨    | ⑩ | ⑪     |
|-------------|---|------|-----|------|-------------|-------------|------|------|------|------|---|-------|
| 제어장소        | ① | A-0e | A-0 | A-60 | A-0         | A-15        | A-60 | A-15 | A-60 | A-60 | * | A-60  |
| 복도          | ② |      | C   | B-0  | B-0<br>A-0c | B-0         | A-60 | A-0  | A-0  | A-0  | * | A-30  |
| 거주구역        | ③ |      |     | Ca,b | B-0<br>A-0c | B-0         | A-60 | A-0  | A-0  | A-0  | * | A-30  |
| 계단          | ④ |      |     |      | B-0<br>A-0c | B-0<br>A-0c | A-60 | A-0  | A-0  | A-0  | * | A-30  |
| 업무구역 (저위험)  | ⑤ |      |     |      |             | C           | A-60 | A-0  | A-0  | A-0  | * | A-0   |
| A류 기관구역     | ⑥ |      |     |      |             |             | *    | A-0  | A-0g | A-60 | * | A-60f |
| 기타 기관구역     | ⑦ |      |     |      |             |             |      | A-0d | A-0  | A-0  | * | A-0   |
| 화물구역        | ⑧ |      |     |      |             |             |      |      | *    | A-0  | * | A-0   |
| 업무구역 (고위험)  | ⑨ |      |     |      |             |             |      |      |      | A-0d | * | A-30  |
| 개발갑판        | ⑩ |      |     |      |             |             |      |      |      |      | - | A-0   |
| 로로구역 및 차량구역 | ⑪ |      |     |      |             |             |      |      |      |      |   | A-30i |

**Table 16** Fire Integrity of Decks Separating Adjacent Space

| 상부구역 \ 하부구역 |   | ①    | ②    | ③    | ④    | ⑤    | ⑥    | ⑦     | ⑧    | ⑨    | ⑩    | ⑪     |
|-------------|---|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| 제어장소        | ① | A-0  | A-0  | A-0  | A-0  | A-0  | A-60 | A-0   | A-0  | A-0  | *    | A-60  |
| 복도          | ② | A-0  | *    | *    | A-0  | *    | A-60 | A-0   | A-0  | A-0  | *    | A-30  |
| 거주구역        | ③ | A-60 | A-0  | *    | A-0  | *    | A-60 | A-0   | A-0  | A-0  | *    | A-30  |
| 계단          | ④ | A-0  | A-0  | A-0  | *    | A-0  | A-60 | A-0   | A-0  | A-0  | *    | A-30  |
| 업무구역 (저위험)  | ⑤ | A-15 | A-0  | A-0  | A-0  | *    | A-60 | A-0   | A-0  | A-0  | *    | A-0   |
| A류 기관구역     | ⑥ | A-60 | A-60 | A-60 | A-60 | A-60 | *    | A-60h | A-30 | A-60 | *    | A-60  |
| 기타 기관구역     | ⑦ | A-15 | A-0  | A-0  | A-0  | A-0  | A-0  | *     | A-0  | A-0  | *    | A-0   |
| 화물구역        | ⑧ | A-60 | A-0  | A-0  | A-0  | A-0  | A-0  | A-0   | *    | A-0  | *    | A-0   |
| 업무구역 (고위험)  | ⑨ | A-60 | A-0  | A-0  | A-0  | A-0  | A-60 | A-0   | A-0  | A-0d | *    | A-30  |
| 개발갑판        | ⑩ | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *     | *    | *    | -    | A-0i  |
| 로로구역 및 차량구역 | ⑪ | A-60 | A-30 | A-30 | A-30 | A-0  | A-60 | A-0   | A-0  | A-30 | A-0i | A-30i |



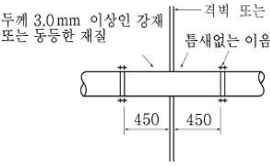
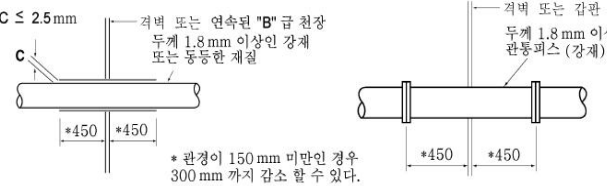
**Fig. 22** Seat for Supporting on Deck



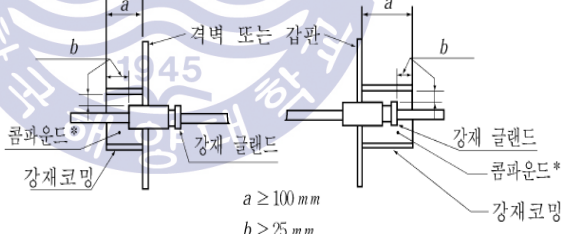
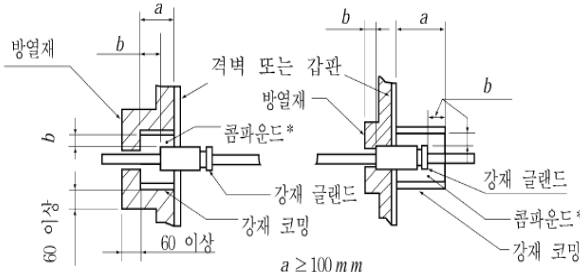
**Fig. 23** Seat directly Supported on Deck

| 구분  | 통풍 덕트의 관통부   |
|-----|--|
| A 급 | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>** 자동 방화담피</p> <p>*450 *450</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>격벽 또는 갑판</p> <p>두께 4.5mm 이상인 강판</p> <p>두께 3.0mm 이상인 관통피스(강제)</p> <p>** 자동 방화담피</p> <p>*450 *450</p> <p>두께 3.0mm 이상인 강재슬리브</p> </div> </div> <p>* 관통부 덕트의 단면적 <math>\leq 0.02 \text{ m}^2</math> 일 때는 100 mm<br/>( 단, 갑판의 경우 갑판하부로 전체가 관통되도록 한다. )</p> <p>** 관통부 덕트의 단면적 <math>&gt; 0.075 \text{ m}^2</math> 일 경우</p> |

**Fig. 24** Detail Penetration of Duct

| 구분 | 관 또는 트렁크의 관통부   |
|----|---|
| A급 |  <p>두께 3.0mm 이상인 강재 또는 동등한 재질</p> <p>격벽 또는 갑판</p> <p>틈새없는 이음</p> <p>450 450</p>  |
| B급 |  <p><math>C \leq 2.5\text{mm}</math></p> <p>격벽 또는 연속된 "B" 급 천장</p> <p>두께 1.8mm 이상인 강재 또는 동등한 재질</p> <p>450 450</p> <p>* 관경이 150mm 미만인 경우 300mm 까지 감소 할 수 있다.</p> <p>격벽 또는 갑판</p> <p>두께 1.8mm 이상인 관통피스 (강재)</p> <p>450 450</p> <p>격벽 또는 연속된 "B" 급 천장</p> <p><math>a \geq 50\text{mm}</math></p> <p>불연성 폼파운드 또는 A 급 전선 관통의 폼파운드로서 인정되는 것이어야 한다. 폼파운드는 진동에 의해 박리, 탈락하지 않는 것으로 코팅 속으로 완전히 충진되어야 한다.</p> |

**Fig. 25** Detailed Penetration of Single Pipe

|             |  |
|-------------|--|
| A-0급인 경우    |  <p>격벽 또는 갑판</p> <p>a</p> <p>b</p> <p>폼파운드*</p> <p>강재코팅</p> <p>강재 글랜드</p> <p><math>a \geq 100\text{mm}</math></p> <p><math>b \geq 25\text{mm}</math></p> <p>강재코팅</p> <p>폼파운드*</p>  |
| A-0급 이외인 경우 |  <p>방열재</p> <p>격벽 또는 갑판</p> <p>a</p> <p>b</p> <p>폼파운드*</p> <p>강재코팅</p> <p>강재 글랜드</p> <p>60 이상</p> <p>60 이상</p> <p><math>a \geq 100\text{mm}</math></p> <p><math>b \geq 25\text{mm}</math></p> <p>강재코팅</p> <p>폼파운드*</p> <p>강재 글랜드</p> |

**Fig. 26** Detailed Penetration of Single Cable



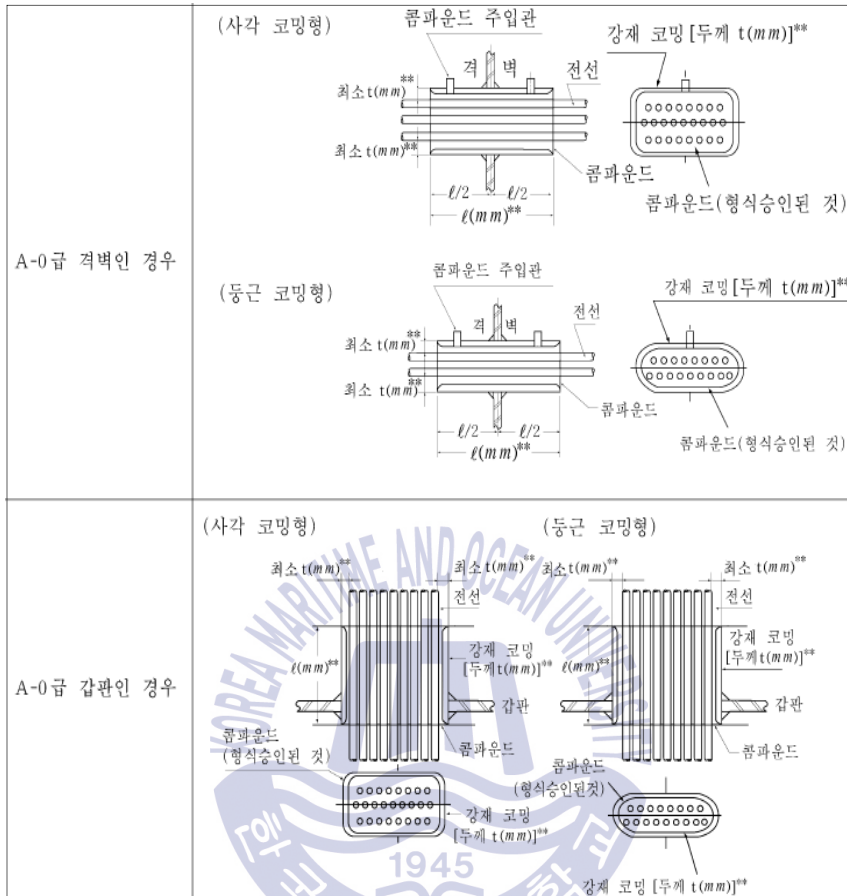


Fig. 27 Detailed Penetration of Multi Cables

## 4.4 선박 복원성(안전성) 고려사항

선박 평형수 처리장치를 선박에 설치할 경우 선박 총톤수가 증가하게 되며, 추가로 적용되는 요건이 있으므로 이러한 사항을 고려하여야 한다.

### 4.4.1 경사시험 관련

평형수 처리장치를 설치하면서 기존의 선박 경하상태가 변경될 수 있으므로, 경하중량산정계산표를 재작성하여 기국 또는 선급 (현장)검사원의 확인을 받아야 한다.

선박 안전법 시행규칙 별표 15의 3항 (라)의 2 및 국제해사기구의 회람 문서 MSC/Circ.1158에 따라 계산된 경하중량산정계산으로부터 경하중량 변화량이 기존 경하중량의 2% 이상이거나 길이방향 무게중심 변화량이 선박길이의 1% 이상일 경우, 경사시험이 실시되어야 하며, 그 결과를 반영한 복원성자료의 재작성이 요구된다.

### 4.4.2 선박 안전법 대상선박

선박 평형수 처리장치를 설치할 선박이 한국적 선박 또는 국적취득조건 부나용선(BBCHP) 외국적 선박일 경우에는 선박 안전법을 적용받으므로, 경하중량산정계산 결과 경하중량 및 무게중심의 변화량이 상기의 기준 값 이내이어서 경사시험이 실시가 면제된다 하더라도, 선박 안전법 시행규칙 별표 15의 5항에 따라 경하상태의 무게중심 높이가 증가할 경우에는 경하중량 변화량이 0.5% 이상인 경우 또는 경하상태의 무게중심 높이가 감소할 경우에는 경하중량 변화량이 1.5% 이상인 경우 어느 하나의 경우에 선택이 될지라도 경하중량산정계산 결과를 반영한 복원성자료를 재승인 받아한다.

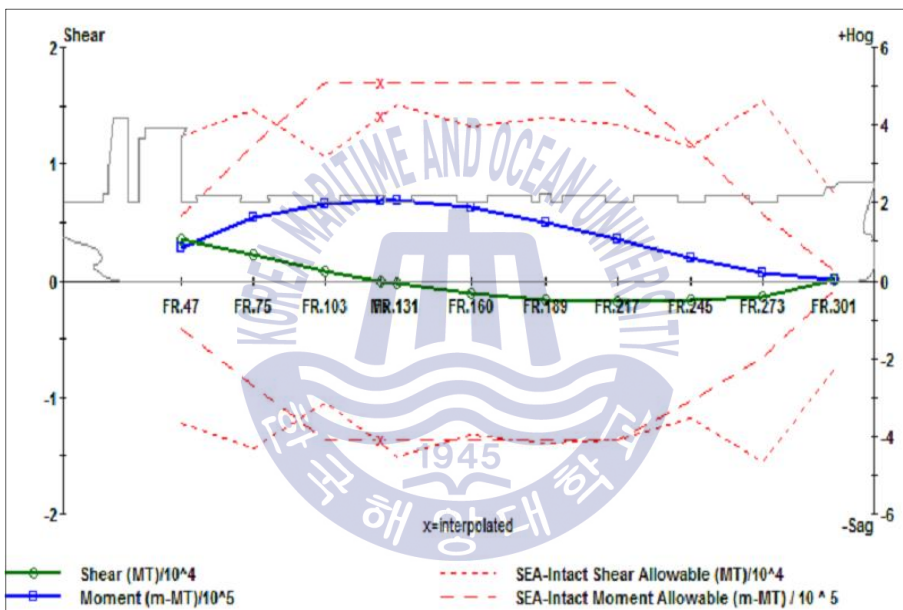
#### 4.4.3 종강도(Bending Moment & Shear Force)

대형 선박일수록 선박 평형수 처리장치가 선박에서 차지하는 중량이 감소하여 선박 평형수 처리장치 설치 자체로 인한 종강도에 영향 미치는 영향이 크지는 않지만, 선박 평형수 처리장치 설치위치에 따라 최소한 다음의 경우에 대한 종강도가 검토되어야 한다.

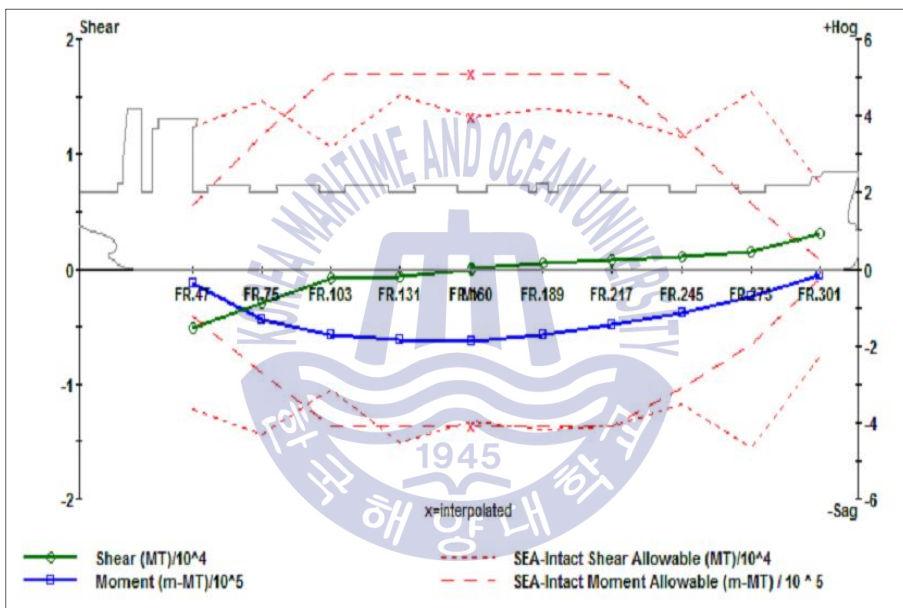
선박 평형수 처리장치를 기관실 또는 펌프룸(Pump Room) 등의 선미부나 혹은 선수부에 설치할 경우에는 화물 양하(Normal Ballast Condition) 상태에서 호깅모멘트(Hogging Moment)를 더 크게 발생시킬 수 있으므로 이에 대한 검토가 이루어져야 한다.

Fig. 28 및 29는 이 연구의 위험도 평가 대상 선박인 재화중량 180K 산적화물 운반선에서 "HECSALV" 프로그램을 이용하여 화물이 완전히 양하(Normal Ballast Condition)된 상태에서 호깅모멘트(Hogging Moment)의 변화 값을 비교한 것으로, 결과 값이 허용제한(Allowable Limit) 범위 내에 있지만  $50,000\text{m} \cdot \text{mt}$  만큼 값이 상승하였음을 알 수 있다.

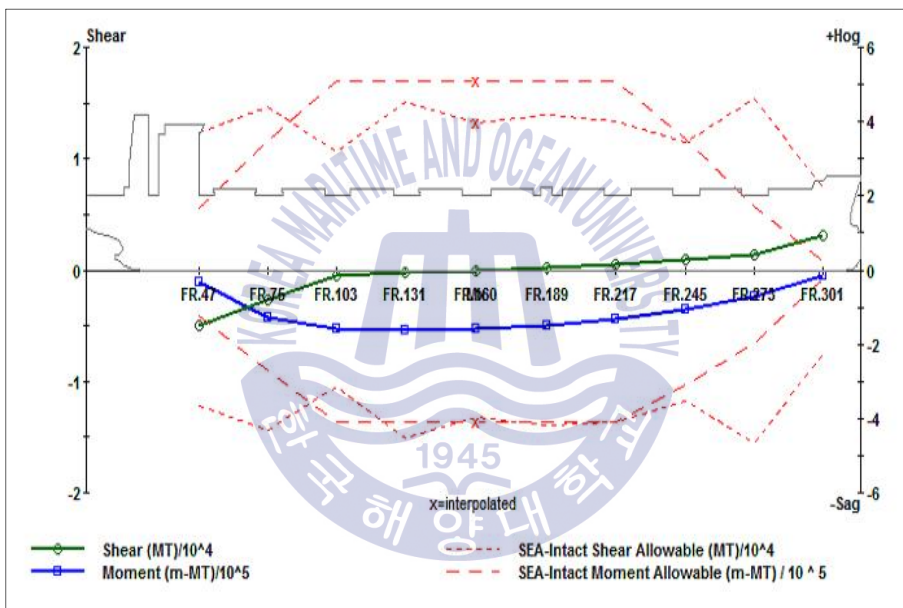
선박 평형수 처리장치를 중앙부 부근에 설치하는 경우에는 화물적하(Homo Full Load Condition) 상태에서 새깅모멘트(Sagging Moment)를 더 크게 발생시킬 수 있으므로 이에 대한 검토를 수행하여야 한다. Fig. 30 및 31은 동등한 선박을 대상으로 "HECSALV" 프로그램을 이용하여 화물이 완전히 적하(Homo Full Load Condition)된 상태에서 새깅모멘트(Sagging Moment) 변화 값을 비교한 것으로, 결과 값이 허용제한(Allowable Limit) 범위 내에 있지만  $20,000\text{m} \cdot \text{mt}$  만큼 값이 상승하였음을 알 수 있다.



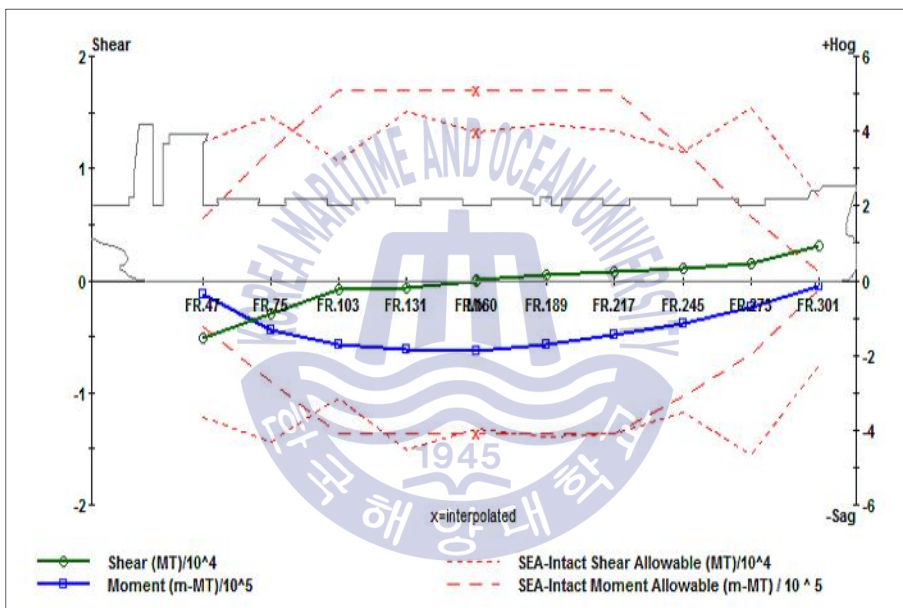
**Fig. 28** Deviation of Hogging Moment before Installed BWTS



**Fig. 29** Deviation of Hogging Moment after Installing BWTS



**Fig. 30** Deviation of Sagging Moment before Installed BWTS



**Fig. 31** Deviation of Sagging Moment after Installing BWTS



## 4.5 전기설비 및 전력부하 고려사항

선박 평형수 처리장치 운전을 위해 추가로 소요되는 전력을 고려하여, 추가 발전기의 설치, 배전반 모선의 정격전류 용량 확인 및 선박 평형수 처리장치에 전원을 공급하기 위한 여분의 차단기(Breaker)를 주배전반(Main Switch Board)에서 사용할 수 있는지를 확인하여야 한다.

### 4.5.1 선박 평형수 처리장치의 부하에 대한 고려사항

현존선에 설치된 배전반내의 모선 정격전류는 설치하고자 하는 선박 평형수 처리장치 사용 정격전류를 허용할 수 있어야 하고, 또한 발전기의 용량이 선박 평형수 처리장치의 부하를 안전하게 분담할 수 있는지를 확인하여야 한다.

Table 17은 이 연구의 대상 선박인 재화중량 180K 산적화물 운반선의 전력조사표이다. 선박은 적하 또는 양하 작업을 수행하는 동안에 평형수 작업이 이루어진다. 즉, 이 작업 구간에서 선박 평형수 처리장치가 작동하게 되며, 적하 또는 양하 구간에서 63.4%의 부하를 사용하고 있고 심지어 2대의 발전기에서 나오는 출력이므로, 전체 발전 부하율이 90%를 넘지 않는 이상 별도의 발전기의 추가를 고려하지 않아도 된다.

### 4.5.2 산적화물 운반선에 대한 고려사항

국제해상고체산적화물코드(IMSBC Code)에 따른 인화성 위험이 있는 화물 즉, SOLAS 협약의 2-2장 19규칙을 적용받는 화물을 적재하는 경우, 국제전기전자표준위원회(IEC)의 60092-506규정에 따라 방폭형 장비를 사용하여야 하는 위험구역이 지정되며, 지정된 위험구역별 요구되는 방폭 및 전기적 설비의 요건들이 강화된다. Table 19 및 20은 선박 및 화물구역에서 위험물을 운송할 경우 적용되는 요건에 대해서 설명하고 있다. Table 18은 위험화물의 분류코드에 따른 방폭 장비의 등급을 보여주고 있다.

Table 34는 SOLAS 협약 2-2장 19규칙 3.2항의 발화원과 관련한 규정에서 주관청의 견해로 운항 목적 상 필수적이지 아니한 한 폐위된 화물구역 또는 차량갑판구역에 전기설비 및 전선이 설치되어서는 아니 된다. 다만, 전기설비가 이와 같은 화물구역에 부착된 경우 당해 전기설비가 완전하게 분리되는 것이 가능하지 아니한 한(예, 휴즈 이외의 것으로 장치에서 연결을 제거함으로써) 노출될 수 있는 위험환경에서 사용하기에 안전한 증명된 안전형 이어야 한다.

갑판 및 격벽의 전선 관통부는 가스 또는 증기가 통과되지 않도록 밀폐되어야 한다. 관통하는 전선 및 화물구역 내의 전선은 충격으로 인한 손상으로부터 보호되어야 하며, 가연성 증기의 발화원이 될 수 있는 여하한 다른 설비도 허용되지 아니한다.

특히, “6.1” 및 “8”로 분류된 화물을 운송하는 경우에 위험구역 지정과 관련하여 조사할 필요가 있다. 위험구역 등급 1(Zone 1)은 화물구역 및 화물구역과 연결된 통풍장치 내부를 말하며, 화물구역과 연결된 통풍장치 외부 개구로부터 1.5m 이내 지역을 말한다. Fig. 32에서는 “6.1” 및 “8”로 분류된 화물을 적재하는 화물창의 통풍구와 이격 거리에 따른 방폭 요건을 보여주고 있다.

위험구역 등급 2(Zone 2)는 화물구역과 연결된 통풍장치 외부 개구로부터 1.5m로부터 1.5m 이내 지역을 말한다. 화물구역과 연결된 통풍장치 내부는 위험구역 등급 1(Zone 1)로 분류되기 때문에 선박 평형수 처리장치와 관련된 전기장비가 설치될 경우, 승인된 방폭형의 전기장비가 사용되어야 한다. 통풍장치 개구로부터 반경 3m까지는 위험구역으로 분류된다. 만약 갑판상부에 선박 평형수 처리장치가 설치되는 구역을 별도로 설치할 경우, 위험반경을 피해서 설치하는 것이 이상적이다. 만약 위험구역 내에 선박 평형수 처리장치가 설치된다면 승인된 방폭형의 전기장비가 사용되어야 한다.

#### 4.5.3 위험구역에 설치되는 전기기기 및 케이블

단로장치(Disconnection Switch)의 경우 위험장소에 설치되는 전기기기의 배전회로에는 회로마다 다극연결식의 단로장치를 안전장소에 설치하여야 한다. 또한 이 단로장치에 접속된 전기기기를 확실히 식별하기 위한 표시 이외에 잘못된 조작에 따른 위험을 방지하기 위한 유효한 수단을 갖추어야 한다.

절연레벨 감시(Monitoring of Insulation Level)는 본질 안전회로를 제외하고 위험장소내의 전기기기에 접속되거나 혹은 위험장소를 통과하는 급전회로 및 배전회로에는 절연 레벨을 항상 감시하고 절연저항이 설정된 값 보다 낮아질 경우에는 경보를 울려야 한다.

위험구역 내에 포설되는 케이블이 그 장소에서의 전기적 사고로 인해 화재 또는 폭발을 일으킬 우려가 있는 경우에는 적절히 방호하여야 하며, 우선 원칙적으로 금속외장의 것으로 하여야 한다. 필요에 따라 기계적 손상을 받지 않도록 보호한다.

다만, 케이블의 외장 또는 금속피복이 부식할 염려가 있을 경우에는 외장 또는 금속피복 외에 임피어비스(Impervious) 피복을 시공하여야 한다. 위험구역 내에 포설되는 케이블은 갑판, 격벽, 탱크 및 각종 배관장치로부터 충분히 격리하여 포설하여야 한다. 또한, 화물유 펌프실의 입구를 통과시켜 케이블을 포설할 경우에는 가스밀인 두꺼운 강관 또는 강재 덕트 내에 포설하여야 한다. 무기절연 케이블을 사용할 경우는 확실하게 끝단처리를 하도록 특히 주의하여야 한다.

본질 안전형 전기기기의 본질 안전회로 케이블은 전용인 것으로 하고 일반 회로용 케이블과 분리하여 포설하여야 한다. 위험장소를 통과 또는 이 장소에 접속하는 동력 및 조명용 케이블의 모든 금속피복은 적어도 양단을 접지하여야 한다. 종류가 다른 본질 안전형 전기기기의 본질 안전회로는 원칙적으로 각각 별개의 케이블로 배선하여야 한다.

부득이 다심케이블을 공용하는 경우는 각 다심마다 차폐를 시공한 케이블을 사용하고 차폐는 유효하게 접지하여야 한다. 상설보행로 및 갑판상에 포설하는 케이블은 기계적 손상을 받지 아니하도록 적절히 보호하여야 한다.

또한 케이블 및 그 지지물은 반복되는 선체 구조물의 신축작용에 견딜 수 있도록 붙여야 한다. 케이블이 또는 파이프 격벽 또는 갑판을 관통하는 경우의 관통부는 관통되는 격벽 또는 갑판과 동일한 방화구조와 수밀구조를 갖도록 시공하여야 한다.

#### 4.5.4 경보장치 및 자동화 고려사항

선박 평형수 처리장치의 운전과 관련된 모든 설비는 자동화 되어야 하며, 연속적인 자기감시기능을 갖추어야 한다. 평형수 처리장치의 기기 측에는 다음을 확인할 수 있는 지시기를 설치하여야 한다. 아울러, 자기감시 기능에는 기기의 보호를 위한 장치도 함께 제공되어야 하며, 이러한 안전요건에 대한 통제기능은 Table 21에서 보여주고 있다.

- 1) 평형수 펌프의 작동상태
- 2) 평형수 처리장치의 작동상태
- 3) 원격제어밸브가 설치된 경우, 밸브의 개폐상태

**Table 17** Electric Load Analysis of DWT 180K Bulk Carrier

|                               | <b>Normal<br/>Sea<br/>Going</b> | <b>At Port<br/>In/Out</b> | <b>At<br/>Load/<br/>Unload</b> | <b>At<br/>Harbor</b> |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------|
| <b>Continuous Load</b>        | 503.0                           | 671.7                     | 817.0                          | 227.0                |
| <b>Total Load</b>             | 618.2                           | 1,046.5                   | 950.9                          | 365.5                |
| <b>No. of D/G<br/>(750kW)</b> | 1                               | 2                         | 2                              | 1                    |
| <b>Load Factor</b>            | 82.4                            | 69.8                      | 63.4                           | 48.7                 |

**Table 18** Definition of Goods by Class

| <b>Class</b> | <b>Definition</b>   |
|--------------|---|
| <b>4.1</b>   | Flammable solids  |
| <b>4.2</b>   | Substances liable to spontaneous combustion   |
| <b>4.3</b>   | Substances which, in contact with water, emit flammable gases   |
| <b>5.1</b>   | Oxidizing substances  |
| <b>6.1</b>   | All toxic substances having a flash point below 23°C  |
| <b>8</b>     | All corrosive liquids having a flash point 23°C and below   |
| <b>9</b>     | Miscellaneous dangerous substances, that is, any other substance which experience has shown, or may show, to be of such a dangerous character that the provisions of this part will apply to it |

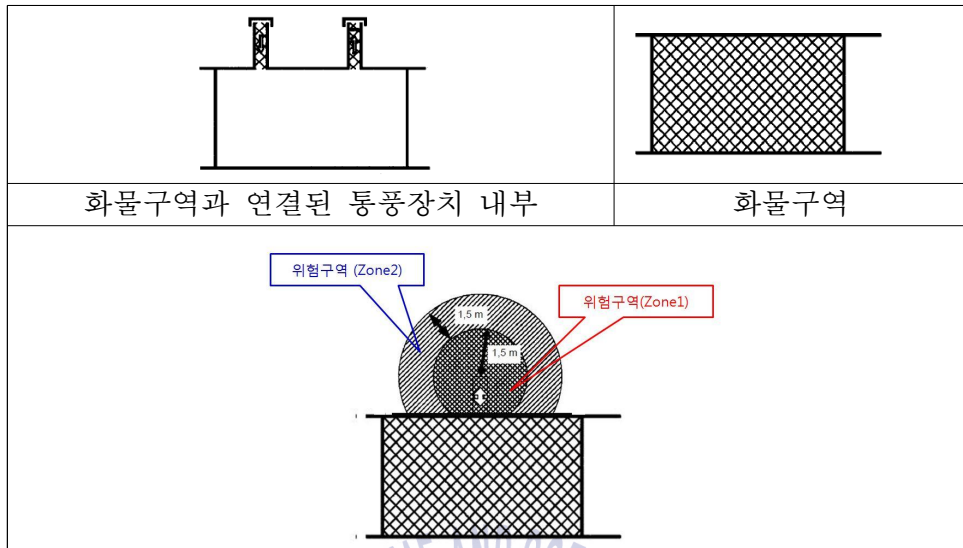
**Table 19** Application of the Requirements to Different Modes of Carriage of Dangerous Goods in Ships and Cargo Spaces

| 제19.2.2규칙 | 폭로갑판,<br>1-5<br>포함 | 1 특별한<br>설계 없음 | 2 컨테이너<br>화물구역 | 3              |             | 4 산적 고체<br>위험물   | 5 선박<br>적부 바지  |
|-----------|--------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|--|----------------|
|           |                    |                |                | 폐위된<br>로로구역    | 개방된<br>로로구역 |  |                |
| 3.1.1     | x                  | x              | x              | x              | x           | 상이한 분류의<br>위험물에 대한<br>제19규칙의<br>적용인 경우<br><br>Table 19를<br>참조할 것 | x              |
| 3.1.2     | x                  | x              | x              | x              | x           |  | -              |
| 3.1.3     | -                  | x              | x              | x              | x           |  | x              |
| 3.1.4     | -                  | x              | x              | x              | x           |  | x              |
| 3.2       | -                  | x              | x              | x              | x           |  | x <sup>4</sup> |
| 3.3       | -                  | x              | x              | x              | -           |  | x <sup>4</sup> |
| 3.4.1     | -                  | x              | x <sup>1</sup> | x              | -           |  | x <sup>4</sup> |
| 3.4.2     | -                  | x              | x <sup>1</sup> | x              | -           |  | x <sup>4</sup> |
| 3.5       | -                  | x              | x              | x              | -           |  | -              |
| 3.6.1     | x                  | x              | x              | x              | x           |  | -              |
| 3.6.2     | x                  | x              | x              | x              | x           |  | -              |
| 3.7       | x                  | x              | -              | -              | x           |  | -              |
| 3.8       | x                  | x              | x <sup>2</sup> | x              | x           |  | -              |
| 3.9       | -                  | -              | -              | x <sup>3</sup> | x           |  | -              |
| 3.10.1    | -                  | -              | -              | x              | -           |  | -              |
| 3.10.2    | -                  | -              | -              | x              | -           |  | -              |

**Table 20** Application of the Requirements to Different Classes of Dangerous Goods for Ships and Cargo Spaces Carrying Solid Dangerous Goods in Bulk

| Class<br>제 19규칙 | 4.1      | 4.2      | 4.3      | 5.1      | 6.1      | 8        | 9        |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3.1.1           | X        | X        | -        | X        | -        | -        | X        |
| 3.1.2           | X        | X        | -        | X        | -        | -        | X        |
| <b>3.2</b>      | <b>X</b> | <b>X</b> | <b>X</b> | <b>X</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>X</b> |
| 3.4.1           | -        | X        | X        | -        | -        | -        | -        |
| 3.4.2           | X        | X        | X        | X        | -        | -        | X        |
| 3.4.3           | X        | X        | X        | X        | X        | X        | X        |
| 3.6             | X        | X        | X        | X        | X        | X        | X        |
| 3.8             | X        | X        | X        | X        | -        | -        | X        |





**Fig. 32** Classification of Dangerous Zone when Loading Goods as Class 6.1 & 8

**Table 21** Activity of Control by Case

| No. | Case  | Activity                      |
|-----|---|-------------------------------|
| 1.  | 정상운전을 방해하는 고장이 생긴 경우  | 가시각경보<br>(평형수 작업이 통제되는 모든 구역) |
| 2.  | 소제, 교정 또는 수리를 위한 모든 운전이 이루어지는 경우  | 가시경보<br>제어장치 자동기록             |
| 3.  | 평형수 관리시스템의 어떠한 경우의 바이패스가 발생하는 경우<br>(비상시 선박 및 선원의 안전을 보호하기 위한 적절한 바이패스나 오버라이드가 설치되어야 함) | 경보<br>제어장치 자동기록               |

## 4.6 배관시스템 고려사항

### 4.6.1 일반사항

Fig. 34는 산적화물 운반선의 전형적인 일반배치도를 보여주고 있다. 또한 Fig. 33은 동 선의 전형적인 중앙단면도를 보여주고 있다. Fig. 33 및 Fig. 34에서 보는 바와 같이, 평형수 탱크들은 화물창 주위의 이중선체 또는 이중저(Double Bottom)에 배치되어 있으며, 또한 선수탱크 및 선미탱크를 평형수 탱크로 사용한다.

일반적으로 컨테이너선의 평형수 탱크 배치와 유사한 구조를 가지고 있으며, 로로화물선(Ro-Ro Ship), 여객선 등과 같은 선박도 hull수를 조절하기 위하여 별도의 평형수 탱크를 배치하고 있다.

일반적으로 평형수 탱크의 주수 및 배수는 본선의 운항 목적에 따라 기관실에 설치된 평형수 펌프를 주로 이용하고 있다. 평형수 펌프는 통상 2대가 설치되어 있다. 아울러, “빌지, 소화 및 잡용 펌프(Bilge, Fire & G/S Pump)” 또는 “빌지, 소화 및 평형수 펌프(Bilge, Fire & Ballast Pump)”들은 소화수 공급 및 빌지 배출 등 잡용으로 사용하고 있으나, 필요시 주 평형수관에 연결되어 평형수를 조절하는 목적으로 사용된다.

대형 산적화물 운반선의 경우에는 화물창이 완전히 적하된 상태, 또는 부분적으로 적하된 상태에서 선박의 복원성과 선체강도를 유지하기 위해서는 화물창에도 부분적인 평형수를 주입하여야 할 필요성이 있고, 이 때문에 별도의 평형수 관이 화물창과 연결되기도 한다.

### 4.6.2 선박 평형수 처리장치의 설치

본 항에서는 선박 평형수 처리장치를 기관실 내부에 설치하는 경우에 대하여 관련 사항을 분석하였다. Fig. 35는 기관실 내부에 선박 평형수 처리장치를 설치한 개념도이다.

탱커선을 제외한 대부분 화물선의 평형수 탱크는 안전구역으로 분류되므로 선박 평형수 처리장치를 기관실 내부에 설치하는 방안이 가장 적합하다.

평형수를 처리하면서 오존 가스, 수소가스 및 염화가스를 생산하는 장치가 설치된 장소에는 가스검지를 설치하여 누출 시 경보를 발하도록 조치하여야 한다. 또한, 발생된 오존 가스, 수소가스 및 염화가스를 이송하는 관은 이중관이나 또는 완전 용접이음 스테인레스재질(SUS)의 관을 사용하여 배관하는 등의 누설에 대한 특별한 조치를 하여야 한다.

선박 평형수 처리장치를 통해 해수가 처리되면서 발생하는 수소가스 및 기타 위험 가스는 기관실 내부로 유출되지 않도록 조치하여야 하며, 위험 가스 배출관은 기관실 밖의 안전한 장소로 유도하여야 한다.

기관실이 협소하거나 관 배치의 어려움 등의 이유로 때론 선박 평형수 처리장치가 기관실 이외의 장소에 설치되는 경우도 있다. Fig. 36은 기관실 외부에 선박 평형수 처리장치를 설치한 개념도이다.

화물 갑판 상부와 같은 기관실 외부에 선박 평형수 처리장치를 설치할 경우에는 추가적으로 고려하여야 할 사항들이 있다. 화물 갑판 상부와 같이 선저로부터 높은 위치에 선박 평형수 처리장치가 설치된다면 평형수관을 갑판 상부까지 유도하여 평형수를 처리하여야 하므로, 평형수 펌프의 수두를 고려하여야 하고, 높은 위치에서 낮은 위치로 연결되는 관 내부에 평형수가 떨어지면서 평형수관에 과도한 진공 압력이 발생할 수 있으므로 이를 예방할 수 있는 진공차단밸브를 설치하는 적절한 조치를 취하여 평형수관을 보호하여야 한다.

선박 평형수 처리장치를 기관실 이외의 장소에 설치 시 가능한 한 위험 구역 밖에 설치하여야 한다. 다만, 부득이하게 위험구역으로 고려되는 화물창 구역 등과 같은 장소 내부에 설치할 경우, 전기 설비의 방폭 및 형식에 대하여 특별히 고려하여야 한다. 또한, 하역 작업등으로 인하여 물리적 충격을 받기 쉬운 장소에 설치하는 경우에는 추가적인 보호 조치가 필요하다.

노출갑판 상에 별도의 폐위구역을 만들어 선박 평형수 처리장치를 설치한 경우, 별도의 폐위구역은 선박 총톤수 증가의 원인이 될 수 있다. 특히 선박 총톤수 증가로 인해 기존의 선박 설비에 대한 현저한 변경 및 추가의 안전설비의 설치를 요구할 수 있으므로, 총톤수 변경에 대한 적절한 조치는 본장의 “선박 안정성 검토” 부분을 참조한다.

평형수 처리를 위해 오존가스, 수소가스 및 염화가스를 발생시키는 평형수 처리장치가 폐위구역에 설치되는 경우 시간당 6회 환기를 할 수 있는 기계식 통풍장치를 설치하여야 한다.

선박 평형수 처리장치를 노출 갑판상에 설치하는 경우, 각 장비에 적합한 각 장비에 적합한 보호등급(IP Grade)를 고려하여 선정하여야 하며, 또한 화물로 부터 물리적 손상을 방지할 수 있도록 보호된 장소에 배치하여야 한다.

#### 4.6.3 설치 장소 고려

2대 이상의 평형수 펌프의 각각 출구 측에 1개의 주 배관을 통하여 평형수 탱크로 주수하거나 배수한다. 소형선의 경우 설치장소의 협소함 등을 이유로 평형수 펌프 출구 측 단 1개의 주 배관에만 선박 평형수 처리장치를 설치하는 경우가 있으므로, 이러한 경우 평형수 처리장치 용량과 바이패스(By-Pass) 부분을 고려하여 설계하여야 한다. Fig. 37은 평형수 주 배관에 선박 평형수 처리장치가 설치된 선박의 예이다.

선박 평형수 처리장치를 통하지 않고 주수 또는 배수될 수 있는 모든 관을 철거하거나 또는 조작을 함으로써 바이패스 상황이 되는 모든 밸브들에 바이패스 상황이 될 경우 자동으로 가시각경 경보를 발하도록 시스템이 구성되어야 하며, 또한 제어장치에 기록되어야 한다.

또한, 배관의 유속증가로 인해 관내 과압이 형성되거나 또는 설계유속보다 빠른 유속이 선박 평형수 처리장치를 통과할 수 있으므로 설계 시 이를 고려하여야 한다.

#### 4.6.4 선박 평형수 처리장치 초기작동

초기 평형수 주수 및 배수 시 일정 시간동안 바이패스 또는 재순환이 요구되는 자외선 처리방식의 선박 평형수 처리장치의 경우, 대부분 평형수 주수 또는 배수와 관련한 밸브들이 자동으로 인터록 되도록 설계되어 있으며, 처리되지 않은 평형수가 주수 또는 배수되지 않도록 하고 있다.

이러한 배치는 대부분 형식승인 조건이나 또는 형식승인 시의 도면에 명기되어 있으므로 이를 참조하여야 한다. 특히 현존선에 이러한 특성을 가진 선박 평형수 처리장치를 설치하는 경우, 자동제어 밸브 또는 인터록 밸브의 배치와 형식이 적절한지를 확인하여야 하며, 유압구동밸브의 조작용을 위한 유압 동력발생 장치의 용량도 충분한지 고려하여야 한다.

#### 4.6.5 평형수 스트리핑 이덕터

대용량의 평형수 탱크를 가지는 산적화물 운반선은 평형수 탱크의 스트리핑(Stripping)용으로 전용의 이덕터(Eductor)를 설치하는 경우가 많다. 이 설비를 가지는 선박이 배수 시 평형수를 추가로 처리해야 하는 형식의 선박 평형수 처리장치가 설치되는 경우, 스트리핑용 관을 통해 배출되는 모든 평형수가 선박 평형수 처리장치에 의해 처리되도록 고려하여 설계하여야 한다.

또한 선박 평형수 처리장치를 통하지 않고 주수 또는 배수될 수 있는 모든 관을 철거하거나 또는 스트리핑용 관에 부착된 밸브에 바이패스 시 경보를 발하도록 시스템을 구성하고 또한 이것이 제어장치에 기록되어야 한다. Fig. 38은 스트리핑 이덕터(Stripping Eductor)가 설치된 평형수 관장치를 보여주고 있다.

#### 4.6.6 중력 주수 및 배수

평형수 탱크 내부에 씨체스트(Sea Chest)를 설치하고 중력으로 주수 및 배수를 행할 수 있도록 설계된 선박의 경우 씨체스트(Sea Chest)에는 일반조작밸브를 2중으로 설치하고 밸브는 건현갑판 상에서 조작할 수 있어야 한다. Fig. 39는 중력으로 주수 또는 배수를 행하는 선박의 예이다.

평형수를 주수 시에만 평형수를 처리하는 방식의 선박 평형수 처리장치를 설치한 선박에는 평형수 주수 시 탱크 내부에 설치된 씨체스트(Sea Chest)에 부착된 밸브를 반드시 폐쇄하여야 한다. 또한 동 밸브는 바이패스가 가능한 밸브이므로 상기 요건을 만족하여야 한다. 배수 시 별도로 처리를 요구하지 않는 처리장치를 설치한 선박에 대하여 배수는 중력으로 가능하다.

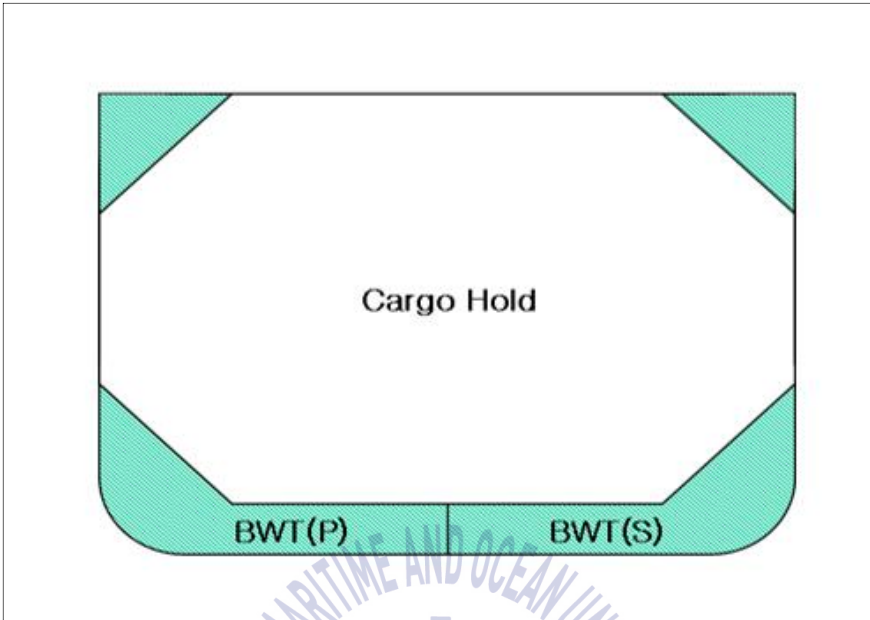
배수 시에 평형수를 추가로 처리해야 하는 방식의 선박 평형수 처리장치가 설치된 선박에는 배수 시도에 평형수를 처리해야 하므로 씨체스트(Sea Chest)에 부착된 밸브를 반드시 폐쇄하여야 한다. 또한 동 밸브는 바이패스가 가능한 밸브이므로 상기 요건을 만족하여야 한다.

#### 4.6.7 다른 목적의 펌프와 겸용

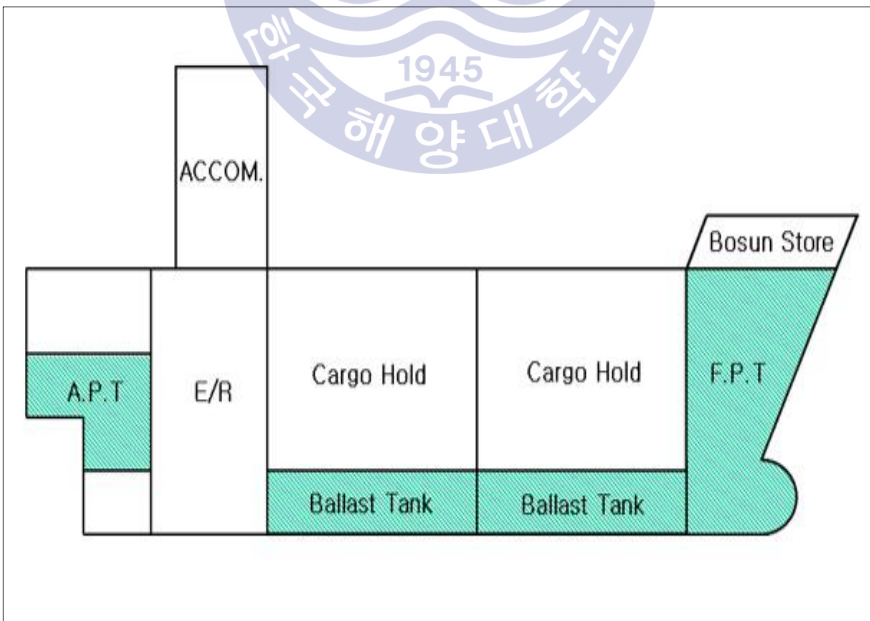
본선의 소화펌프가 평형수 펌프와 겸용으로 사용되는 선박에 선박 평형수 처리장치가 원격으로 조작되도록 설계된 경우에는 소화펌프를 고유 목적으로 사용할 수 있도록 소화펌프의 소화주관 입구 및 출구 측에 부착된 밸브도 원격조작이 가능하여야 한다.

또한 선박 평형수 처리장치와 빌지펌프(Bilge Pump)가 겸용으로 사용되는 경우에도 동일하게 고려하여 시스템을 설계하여야 한다.



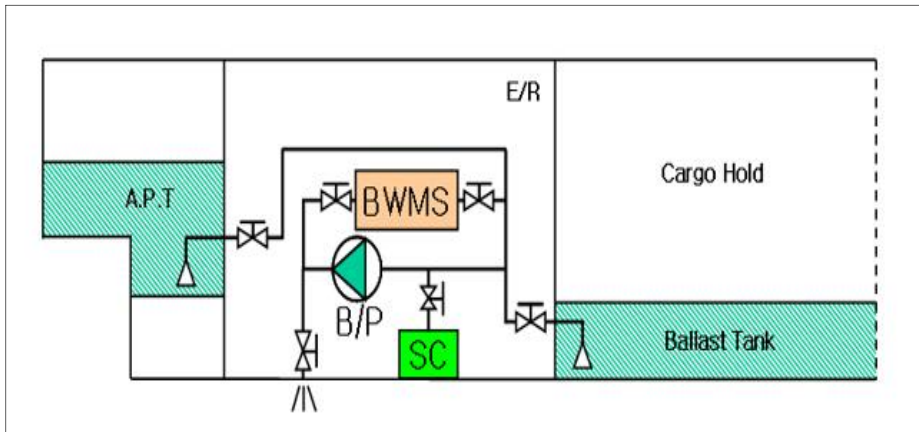


**Fig. 33** Typical Midship of Bulk Carrier

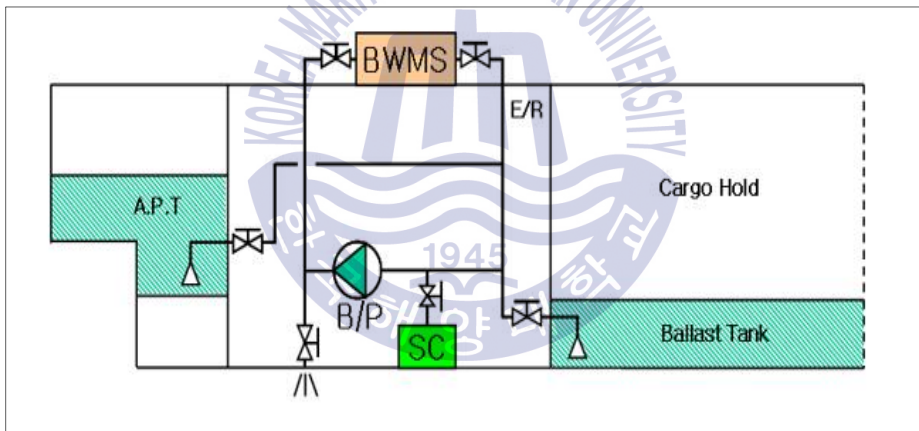


**Fig. 34** Typical General Arrangement of Bulk Carrier

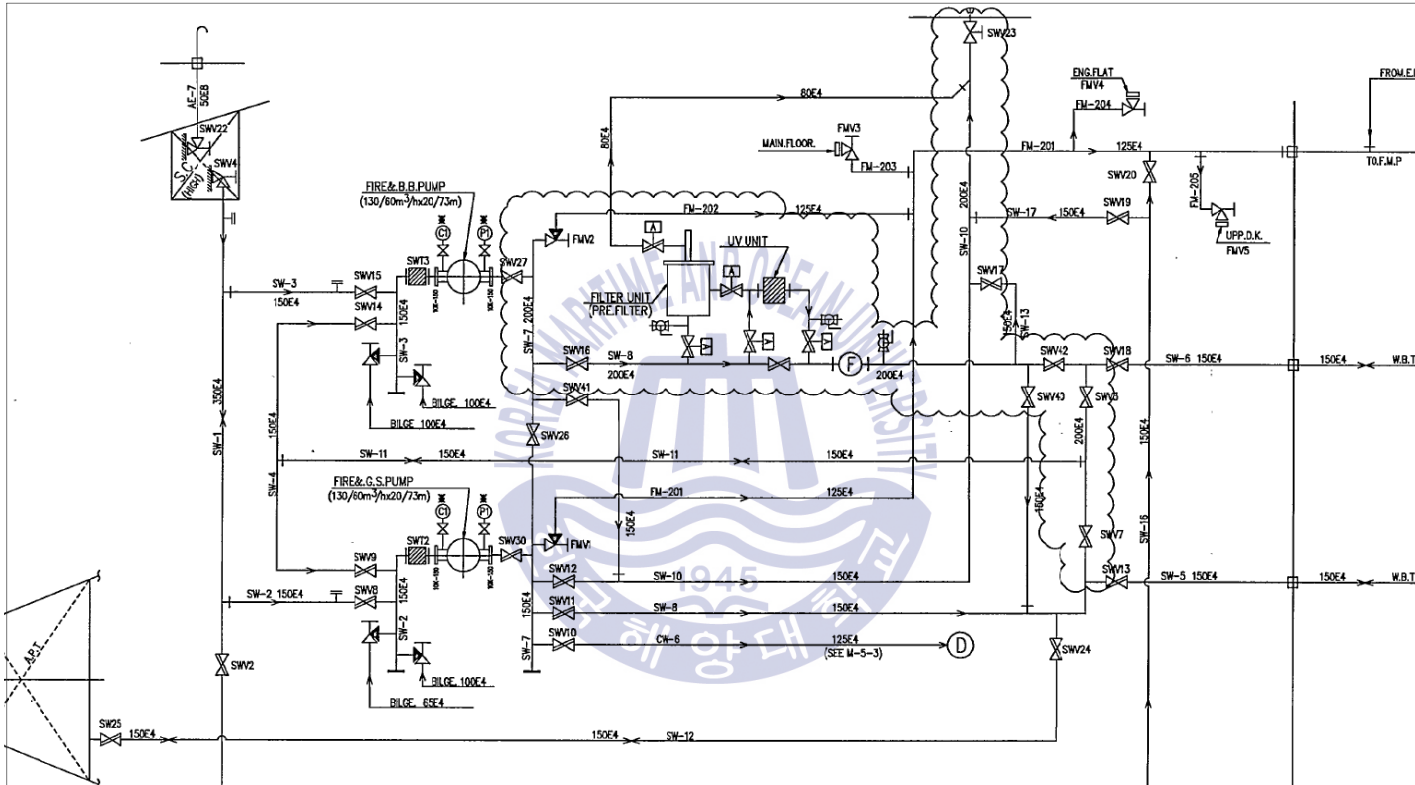




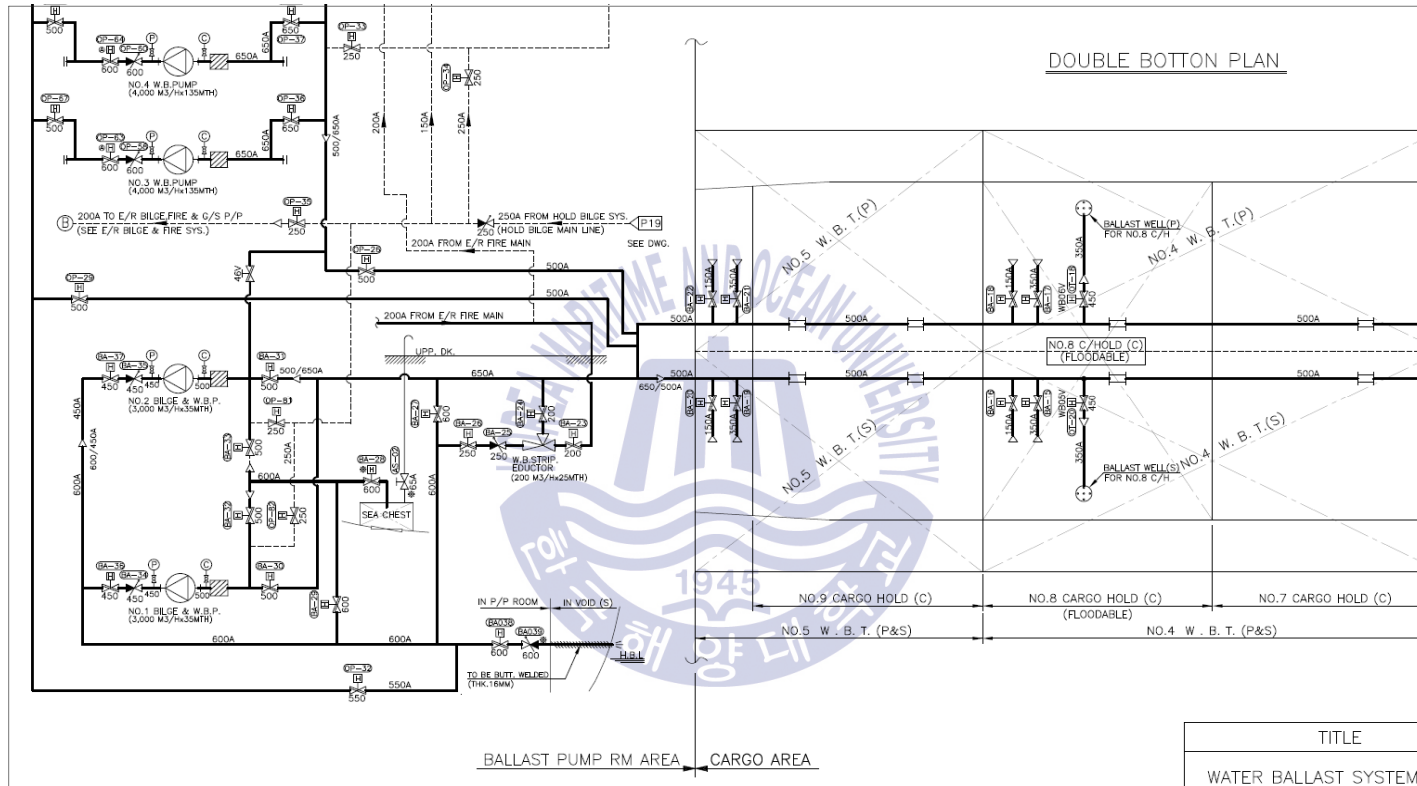
**Fig. 35** BWTS Installed in Engine Room



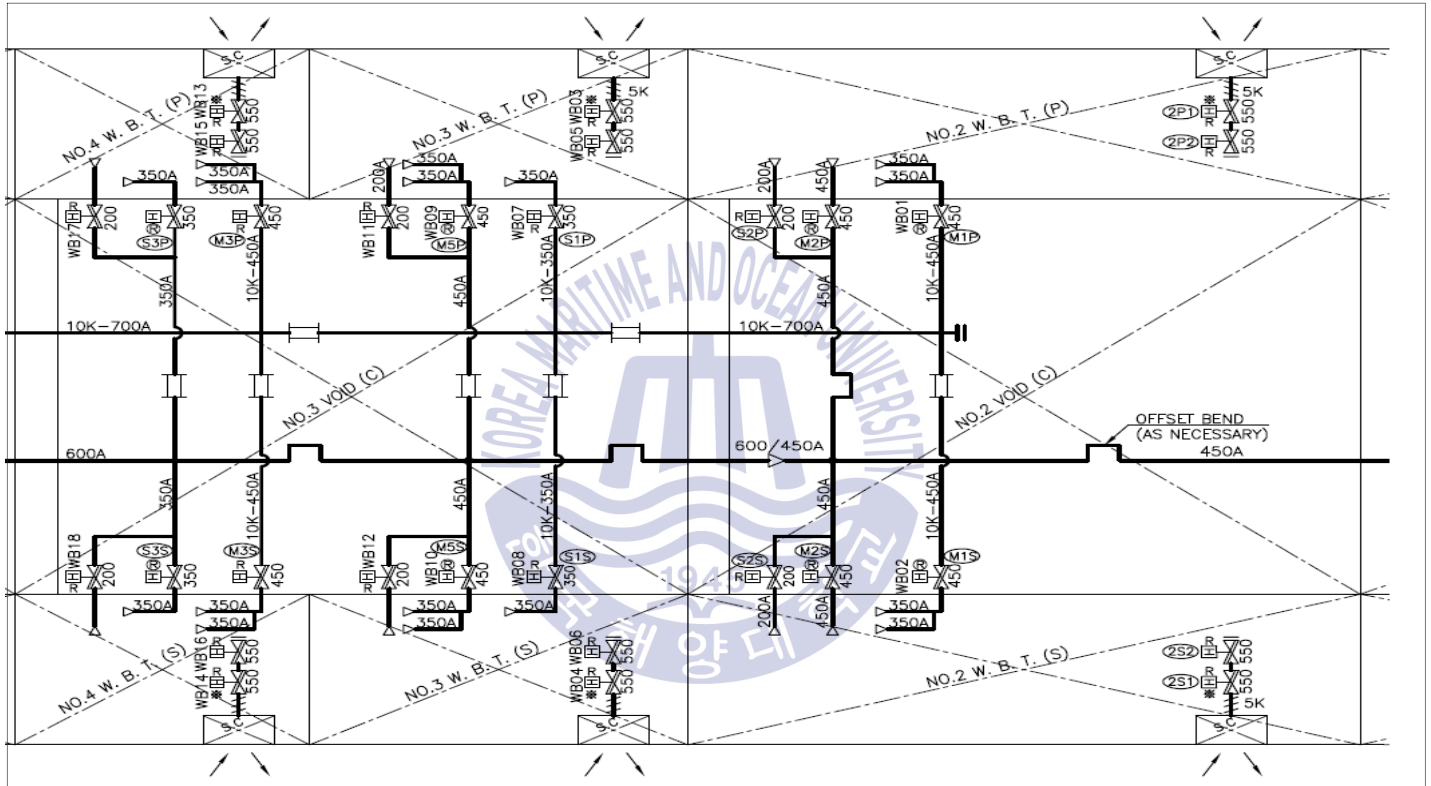
**Fig. 36** BWTS Installed except Engine Room



**Fig. 37** Diagram of BWTS Connecting Main Ballast Pipe System



**Fig. 38** Ballast Piping Diagram Installed Stripping Eductor



**Fig. 39** Ballast Water System by Gravity

## 제 5 장 위험도 분석(Risk Assessment)

### 5.1 위험도 분석 방법 및 범위

현존선에 선박 평형수 처리장치를 설치하기 위해서는 선원의 안전과 선박의 재산 보호를 고려한 최적화된 방안으로 설계를 진행하여야 한다. 설계는 기본적으로 1장 “서론”에서 언급하였다시피 국내외 규정과 지침을 준용하여 작성하지만, 이러한 규정은 최소한의 규정이고 환경측면을 고려한 최적의 설계 방안이 될 수 없다.

따라서, 최적의 설계 방안을 강구하기 위해 과거의 논문을 대상으로 조사를 수행하였고, 마찬가지로 1장에서 언급하였다시피 육상의 산업 현장에서의 환경과 근무자들의 위험요소 식별과 안전 환경을 분석하기 위해 위험도 분석 기법을 선박 평형수 처리장치의 현존선 설치 최적화 설계 방법으로 접목하여 수행하고자 하였다.

이 논문의 2장 “연구의 범위 및 방법”에서 설명하고 있듯이 위험도 평가 기법의 종류를 설명하여, 가장 적합하게 사용될 수 있는 위험성 평가 기법을 선정하였고, 위험도 평가 기법을 수행하기 위한 대상 선박의 선정과 대상 선박 평형수 처리장치의 종류를 선정하는 과정을 설명하였다.

더욱이, 이 논문의 3장 “선박 평형수 처리장치의 특성분석”을 통해서 기본적으로 대상 선박에 설치하고자 하는 3가지 처리방식의 선박 평형수 처리장치에 대한 특성을 분석하였고, 4장 “평형수 처리장치의 설치에 따른 설계 및 규정 분석”에서 대상 선박에 대하여 평형수 처리장치를 설치하기 위한 기본적인 규정을 제시하고 있다.

이 연구에서 위험도 분석을 평가하여 위험도의 정도 또는 수치를 정량화하는 방안이 고려되어야 한다. 위험도의 정량화 분석의 방안으로 2001년 6월에 국제해사기구의 해사안전위원회 74차 회의에서 채택한 MSC/Circ.1023-MEPC/Circ.392 문서의 "Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA) for use in the IMO Rule-Making Process"와 이후 일부 개정되어 2006년 10월 동기구의 동위원회 81차 회의에서 채택한 MSC-MEPC.2/Circ.5 문서의 "Amendments to the Guideline for Formal Safety Assessment(FSA) for use in the IMO rule-Making Process"를 준용하였다. 아울러, 위험도 평가 결과서(Work sheet)를 작성함에 있어 FAS 수행기법과 동일한 방법으로 수행하였다.[38]

위험도를 정량화하여 그 위험도의 등급(Ranking)을 선정하는 분석을 수행하기 위해 "Consequence" 인자와 "Frequency"/"Probability" 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. 또한, "Frequency"/"Probability" 인자란 동일한 "Guideword"에서 식별된 위험성의 발생주기를 추론하여 그 정도를 나타낸 것이다.[38]

위험도의 정도 또는 수치의 정량화는 각 위험 분석 구간의 시나리오에 대하여 수행하였고, 위험도의 값(R)은 "Logarithmic Scale" 방법으로 수행하였다. 수식 (1) 및 (2)에서 언급하고 있는 "Frequency"/"Probability"의 위험도 발생빈도 값은 "L"로 표기하였고, "Consequence" 값은 "S"로 표기하였다. "L" 값과 "S" 값의 기준에 대하여 Table 24 및 25를 참조한다.[38]

$$Risk = Frequency(Probability) \times Consequence \quad (1)$$

$$Log(Risk) = Log(Frequency(Probability)) \times Log(Consequence) \quad (2)$$

위험도 분석을 수행하고 평가하기 위해 관련 산업계에 종사하는 전문가 Pool을 활용하였다. 각각의 위험도 시나리오 별로 각 전문가들의 위험도 평가 결과보고서(Work Sheet)를 작성 및 분석하는 방법을 채택하였다. 각 시나리오 별 위험도 분석 위험도 평가 결과보고서(Work Sheet)는 부록 A, B 및 C에 첨부하였다.

위험도 분석 수행이 종료되고, 그 결과를 검증하는 방법을 도입하였으며, 검증 방법으로 Concordance Coefficient 값을 이용하였다. 1970년 Kendall 및 David 등이 "Rank Correlation Methods" 논문에서 처음으로 발표한 것으로 통계처리과정에서 조사결과의 타당성을 검증하기 위해 고안한 산식(3)이며, 이 연구에서도 각 전문가들로부터 도출된 위험도 평가의 결과를 이 방법으로 검증하고자 한다.[29]

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^I [\sum_{j=1}^J X_{ij} - \frac{1}{2} J(J+1)]^2}{J^2(J^3 - 1)} \quad (3)$$

$I$  = Scenario Total Number

$J$  = Expert Total Number

$X_{ij}$  = Ranking of "j" expert regarding "i" Scenario

$\sum X_{ij}$  = Ranking of Expert Total Number(J) regarding "i" Scenario

상기 산식에서 도출된 결과 값 "W, Concordances Coefficient"가 0.7 이상이면 전문가 그룹에서 평가된 결과가 "Good Agreement"이고, 0.5에서 0.7 사이 내에 값이 존재하면 "Medium Agreement"이고, 0.5 이하이면 "Poor Agreement"로 전문가 그룹 내에서 위험도 평가가 적절하게 수행되지 않은 것이다. 자세한 내용은 Table 23을 참조한다.



위험도 분석과 평가를 수행하고 그 값을 정량화하는 일련의 전체 과정은 아래의 절차를 통해 수행하였다.

- 1) 각각의 3가지 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

상기 절차에 따라 선박 평형수 처리장치를 대상 선박인 재화중량 180K 고체산적운반선에 탑재하기 위한 위험도 평가를 분석하였고 위험도 정량화 수치(R) 값을 도출하였다. 아울러, 도출된 위험도 정량화 수치(R) 값을 바탕으로 구체적으로 "허용(Acceptance) 또는 무시대상(Negligible)", "고려대상(ALARP, as low as reasonably practicable)" 및 "불가(Unacceptable)"의 3가지 단계로 설정하였다.

3가지 단계로 설정하는 기준이 되는 값의 정의가 중요한데, 이 기준에 대하여는 Table 22에 보여주고 있듯이 Risk matrix를 기준으로 선정하였다. Risk matrix에서 3 이하 값에 대하여는 허용(acceptance) 또는 무시대상(Negligible), 3 에서 6 이하 값에 대하여는 고려대상(ALARP, as low as reasonably practicable), 7을 초과하는 값에 대하여는 불가(Unacceptable)로 구분하였다.

**Table 22** Risk Matrix

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

**Table 23** Concordance Coefficient

|   |         |                  |
|---|---------|------------------|
| W | > 0.7   | Good Agreement   |
| W | 0.5~0.7 | Medium Agreement |
| W | < 0.5   | Poor Agreement   |

**Table 24** Definition of Consequence Levels "S"

| <b>Level</b> | <b>Definition</b>                              |
|--------------|--|
| <b>1</b>     | Minor / Minor injury / Equipment damage        |
| <b>2</b>     | Significant / Severe injury / Mild ship damage |
| <b>3</b>     | Severe / 1 fatality / Severe damage            |
| <b>4</b>     | Catastrophic / 10 fatalities / total loss      |

**Table 25** Definition of Frequency Levels "L"

| <b>Level</b> | <b>Definition</b>                                       |
|--------------|---|
| <b>1</b>     | Less than once per 100,000 years                        |
| <b>2</b>     | Between once per 10,000 year and once per 100,000 years |
| <b>3</b>     | Between once per 1000 year and once per 10,000 years    |
| <b>4</b>     | Between once per 100 year and once per 1000 years       |
| <b>5</b>     | Between once per 10 year and once per 100 years         |
| <b>6</b>     | Between once per year and 10 years                      |
| <b>7</b>     | More than once per year                                 |

## 5.2 자외선 처리방식 평형수 처리장치 위험도 분석

자외선 처리방식의 평형수 처리장치의 위험도 분석은 앞서 설명한 Table 9에서 설명하고 있는 대상선박에 설치하는 것으로 설계된 내용에 대하여 위험도 분석을 수행하였고, 아울러, 대상선박에 탑재가 가능한 자외선 처리방식 평형수 처리장치 제원을 바탕으로 하였다. 관련 자세한 제원은 Table 26을 참조한다.

본 항에서는 자외선 처리방식의 선박 평형수 처리장치가 대상 선박에 설치되어 선박의 평형수 주입 및 배수 계통을 6가지 노드(Node)로 공정별로 나누어 분석함으로써 전체 분석의 효율성을 높였으며, 관련 노드에 대한 상세한 내용은 Table 27에서 언급하고 있다.

Node 1은 평형수를 주입하는 동안 씨체스트(Sea Chest)와 평형수 펌프 사이에서 처리되지 않은 평형수의 유입 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 40의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있으며, Node 1의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 A에 첨부하였다.

Node 2는 평형수를 주입하는 동안 평형수 펌프와 필터 사이에서 선박 평형수 처리장치가 이용되는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 41의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있으며, Node 2의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 A에 첨부하였다.

Node 3은 평형수를 주입하는 동안 필터와 자외선 챔버(UV Chamber) 사이를 통과하는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 42의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있으며, Node 3의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 A에 첨부하였다.

Node 4는 처리된 평형수를 배출하는 동안 평형수 탱크에서 평형수 펌프 사이에서 선박 평형수 처리장치가 이용되는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 43의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있으며, Node 4의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 A에 첨부하였다.

Node 5는 처리된 평형수를 배출하는 동안 자외선 챔버(UV Chamber)를 통과하는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 44의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있으며, Node 5의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 A에 첨부하였다.

Node 6은 처리된 평형수를 배출하는 동안 평형수 탱크의 잔류물을 배출하기 위해 스트리핑 이덕터(Stripping Eductor)를 운영하고 있으며, 이것을 통해 평형수를 배출하는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 45의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있으며, Node 6의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 A에 첨부하였다.

자외선 처리방식의 위험도 분석을 수행한 결과 대상 선박에 자외선 처리방식의 선박 평형수 처리장치를 탑재하는 경우 총 113개에 대한 위험인자를 식별하였다. Fig. 58에서 알 수 있듯이 "Negligible(Acceptable)"의 Risk Level로 분석된 것은 49개, "ALARP"의 Risk Level로 분석된 것은 64개 이지만, "Unacceptable"의 Risk Level은 분석되지 않았다.

각 노드에서 분석된 위험인자 중에서 반드시 설계 변경을 요구하는 "Responsibility" 항목에 해당하는 위험인자는 식별되지 않았으나, 제안사항 "Recommendation"은 아래와 같이 3가지가 식별되었다.

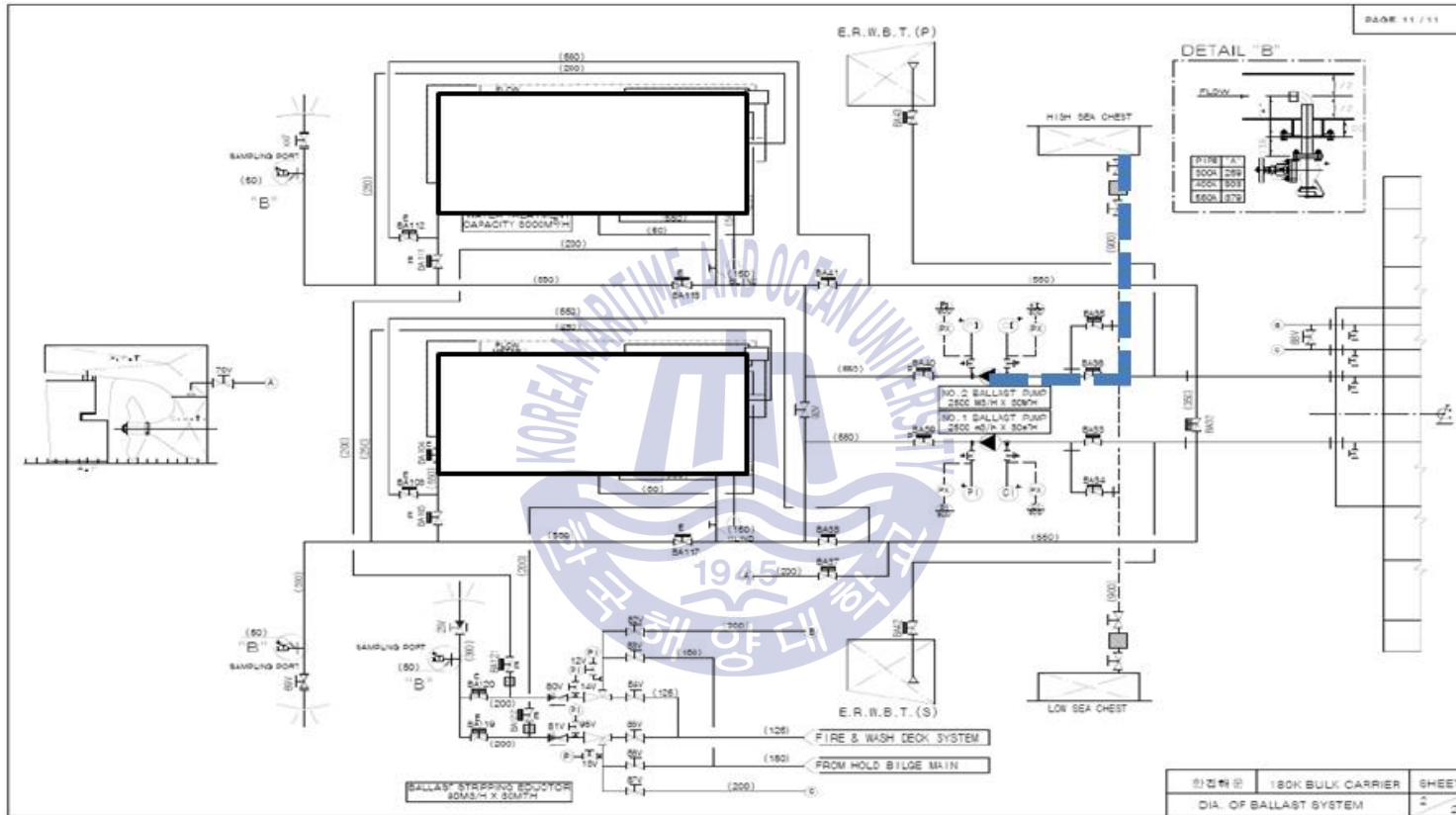
- 1) No. 311 구간에서 분석된 위험인자를 고려한 "Installation Manual 또는 Retrofit Plan" 준비
- 2) No. 509 구간에서 분석된 위험인자를 고려한 선박 정기검사 후 "Ballast Tank" 내부 청결 상태 확인
- 3) No. 510 구간에서 분석된 위험인자를 고려한 "Operating Manual 및 Warning Signal" 준비

**Table 26** Specification of Subject UV Type BWTS

| <b>Item</b>                    | <b>Specification</b>                               |
|--------------------------------|--|
| <b>Capacity</b>                | 2,500m <sup>3</sup> /h x 2sets                     |
| <b>Filter</b>                  | Use, mesh size 50μm, 2sets                         |
| <b>Power consumption</b>       | 131kW x 2 sets                                     |
| <b>Size</b>                    | 9.83m <sup>2</sup> at Capa. 3,000m <sup>3</sup> /h |
| <b>Max. Operating Pressure</b> | 10bar  |

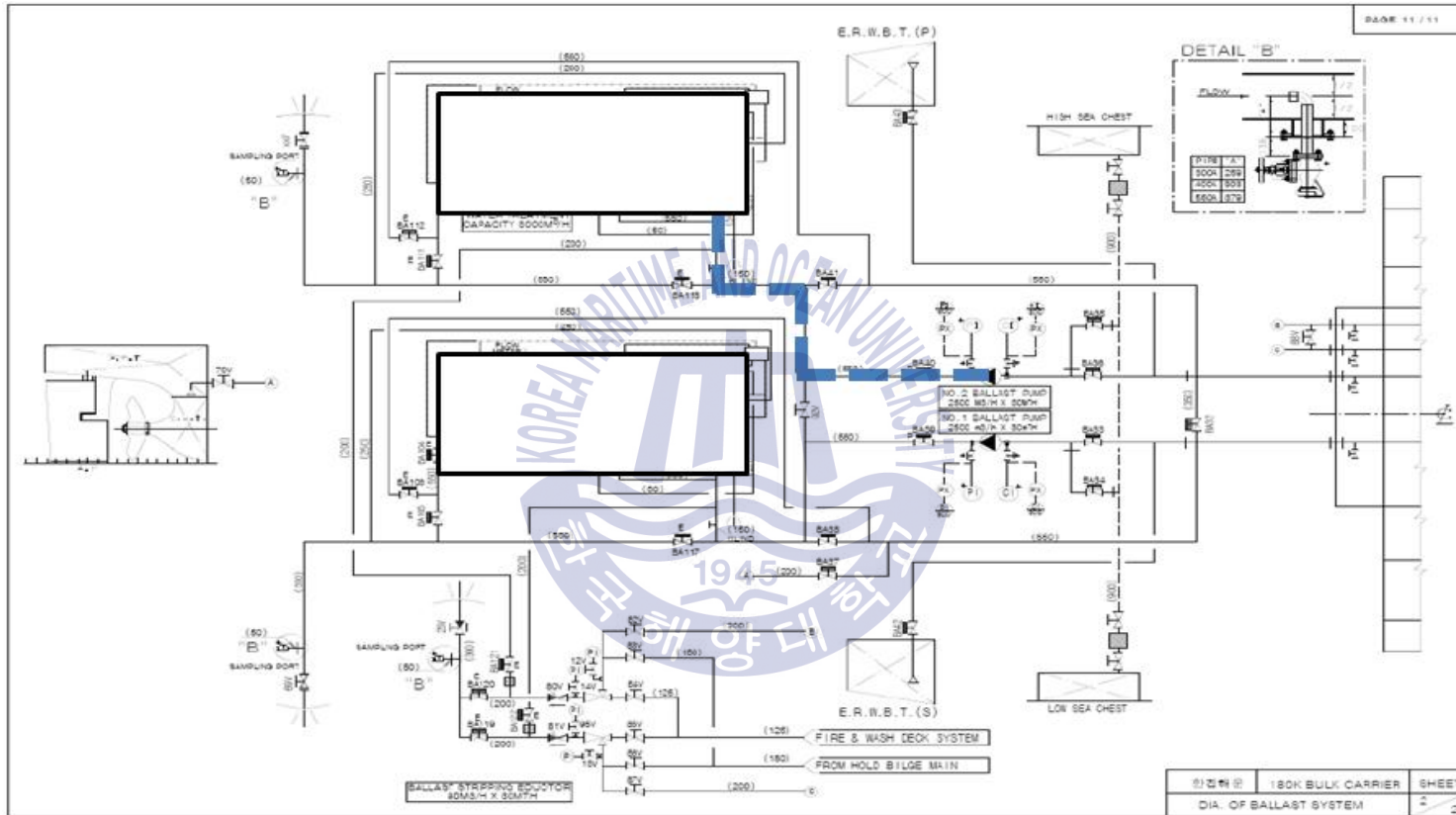
**Table 27** Nodes to Analyze Risk for UV Type BWTS

| <b>Node</b> | <b>Description</b>                                |
|-------------|---|
| <b>1</b>    | Sea Chest line and ballast pump during ballasting |
| <b>2</b>    | Flow line and filtration unit during ballasting   |
| <b>3</b>    | UV chamber and flow line into ballast tank        |
| <b>4</b>    | WBT and ballast pump during de-ballasting         |
| <b>5</b>    | UV chamber and flow line during de-ballasting     |
| <b>6</b>    | System stripping mode during de-ballasting        |

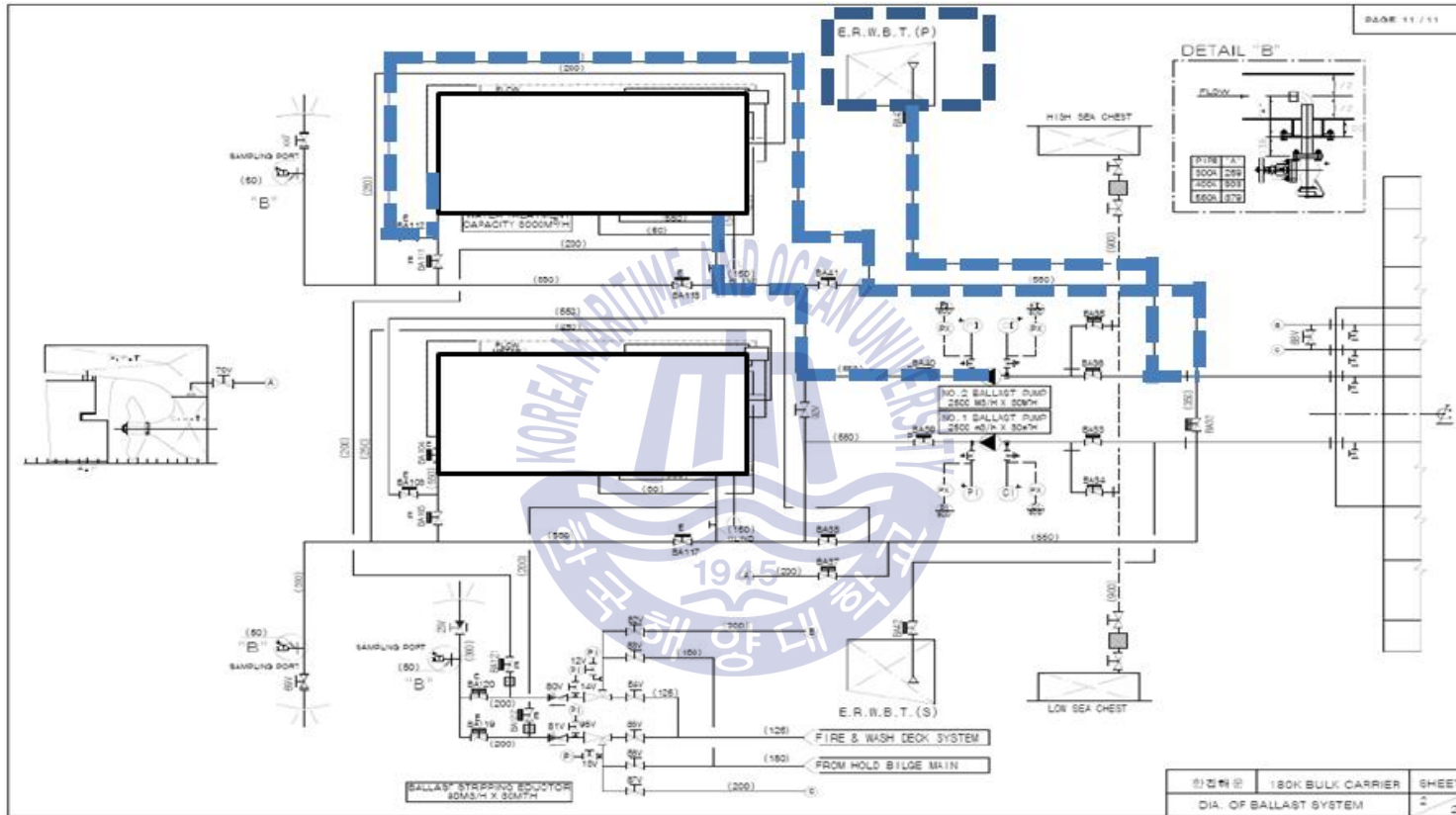


**Fig. 40** Ballast System for UV Type BWTS(Node 1)

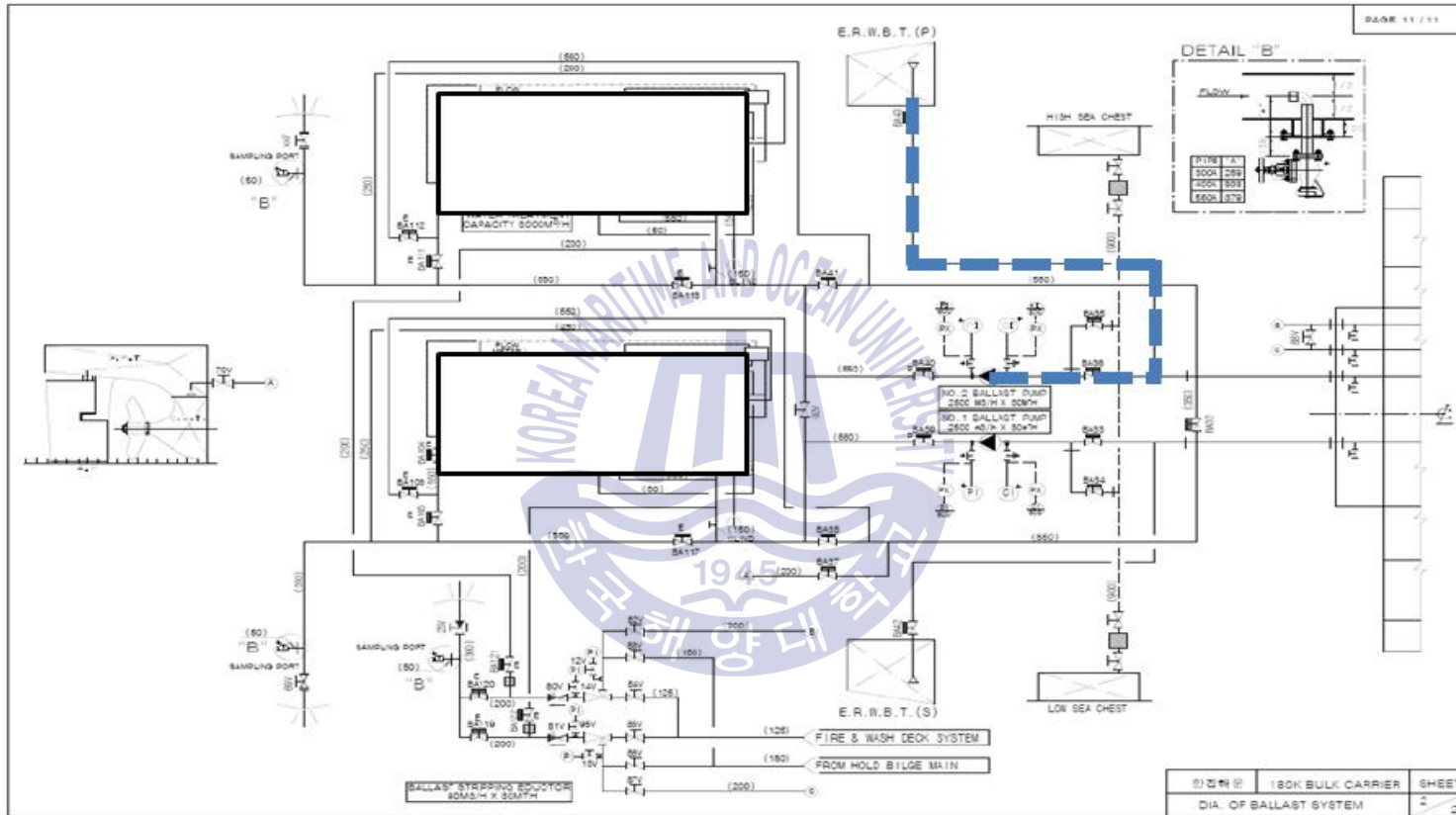




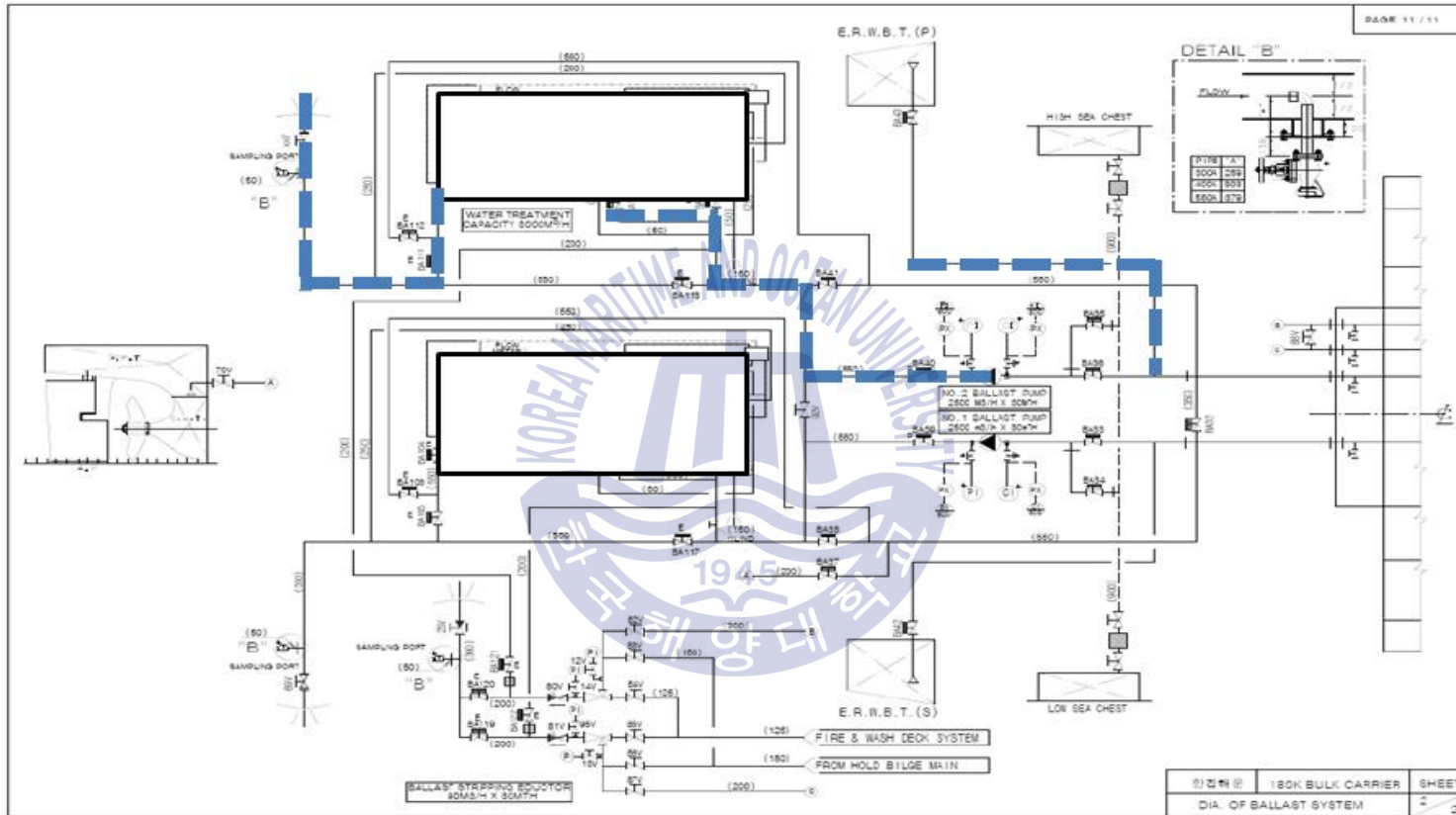
**Fig. 41** Ballast System for UV Type BWTS(Node 2)



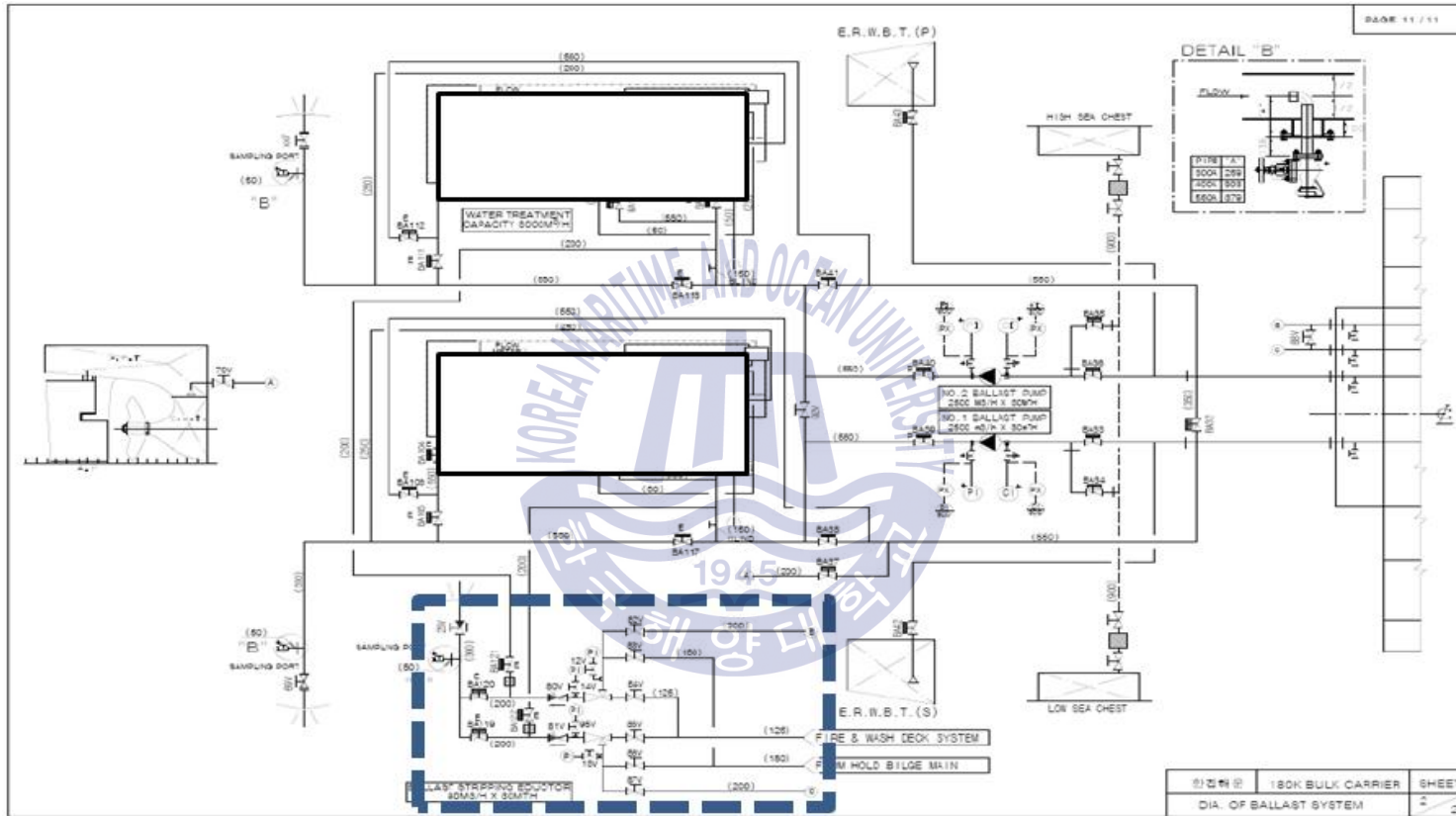
**Fig. 42** Ballast System for UV Type BWTS(Node 3)



**Fig. 43** Ballast System for UV Type BWTS(Node 4)



**Fig. 44** Ballast System for UV Type BWTS(Node 5)



**Fig. 45** Ballast System for UV Type BWTS(Node 6)

### 5.3 전기분해방식 평형수 처리장치 위험도 분석

전기분해방식의 평형수 처리장치의 위험도 분석은 앞서 설명한 Table 9에서 설명하고 있는 대상선박에 설치하는 것으로 설계된 내용에 대하여 위험도 분석을 수행하였다. 아울러, 전기분해방식 평형수 처리장치의 제원은 Table 28을 참조한다.

본 항에서는 전기분해 처리방식의 선박 평형수 처리장치가 대상 선박에 설치되어 선박의 평형수 주입 및 배수 계통을 7가지 노드(Node)로 공정별로 나누어 분석함으로써 전체 분석의 효율성을 높였으며, 관련 Node에 대한 상세한 내용은 Table 29에서 언급하고 있다.

Node 1은 평형수를 주입하는 동안 씨체스트(Sea Chest)와 평형수 펌프 사이 부분에서 처리되지 않은 평형수가 유입되는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 46의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있으며, Node 1의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 B에 첨부하였다.

Node 2는 처리되지 않은 평형수가 전기분해장치 모듈(Module)로 유입되기 전에 평형수 펌프를 이용하여 평형수를 이송하는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 47의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있다. Node 2의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 B에 첨부하였다.

Node 3은 전기분해장치 모듈(Module)에서 평형수가 처리되는 공정에서 평형수 탱크로 처리된 평형수가 유입되는 이송 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 48의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있다. Node 3의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 B에 첨부하였다.

Node 4는 전기분해장치 모듈(Module)에서 평형수를 처리하는 동안 발생하는 수소가스를 제거하기 위한 가스벤트유닛(Gas Vent Unit)에서의 처리공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 49의 평형수관 계통도에서 해당 노드



구간을 보여주고 있다. Node 4의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 B에 첨부하였다.

Node 5는 평형수가 전기분해장치 모듈을 통과하면서 발생하는 활성물질의 양을 측정하는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 50의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있다. Node 5의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 B에 첨부하였다.

Node 6은 처리된 평형수를 배출하는 과정에서 평형수에 잔류된 활성물질의 양을 측정하고 중화제를 투입하는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 51의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있다. Node 6의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 B에 첨부하였다.

Node 7은 평형수 탱크에 잔류된 평형수를 배출하기 위해 스트리핑 이덕터(Stripping Eductor)를 운용하고 있으며, 이것을 이용한 평형수를 배출하는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 52의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있다. Node 7의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 B에 첨부하였다.

전기분해방식의 위험도 분석을 수행한 결과 대상 선박에 전기분해 처리방식의 선박 평형수 처리장치를 탑재하는 경우 총 93개에 대한 위험인자를 식별하였다. Fig. 58에서 알 수 있듯이 "Negligible(Acceptable)"의 Risk Level로 분석된 것은 20개, "ALARP"의 Risk Level로 분석된 것은 73개이지만, "Unacceptable"의 Risk Level은 분석되지 않았다.

각 노드에서 분석된 위험인자 중에서 반드시 설계의 변경을 요구하는 "Responsibility"에 해당하는 위험인자는 식별되지 않았으나, 제안사항 "Recommendation"은 아래와 같이 26가지가 식별되었다.

1) No. 101, 102, 106, 201, 202, 205, 301, 302, 305 및 307 구간에서 분석된 위험인자를 고려한 "Ballast Pump Stop" 기능과 "Flowmeter" 작동 사이에 인터락(Interlock) 시스템 구축이 요구



2) No. 102, 106, 202, 206, 302, 306, 307, 311, 402, 606, 702 및 706 구간에서 분석된 위험인자를 고려한 평형수관 내부를 “Galvanizing” 처리를 요구

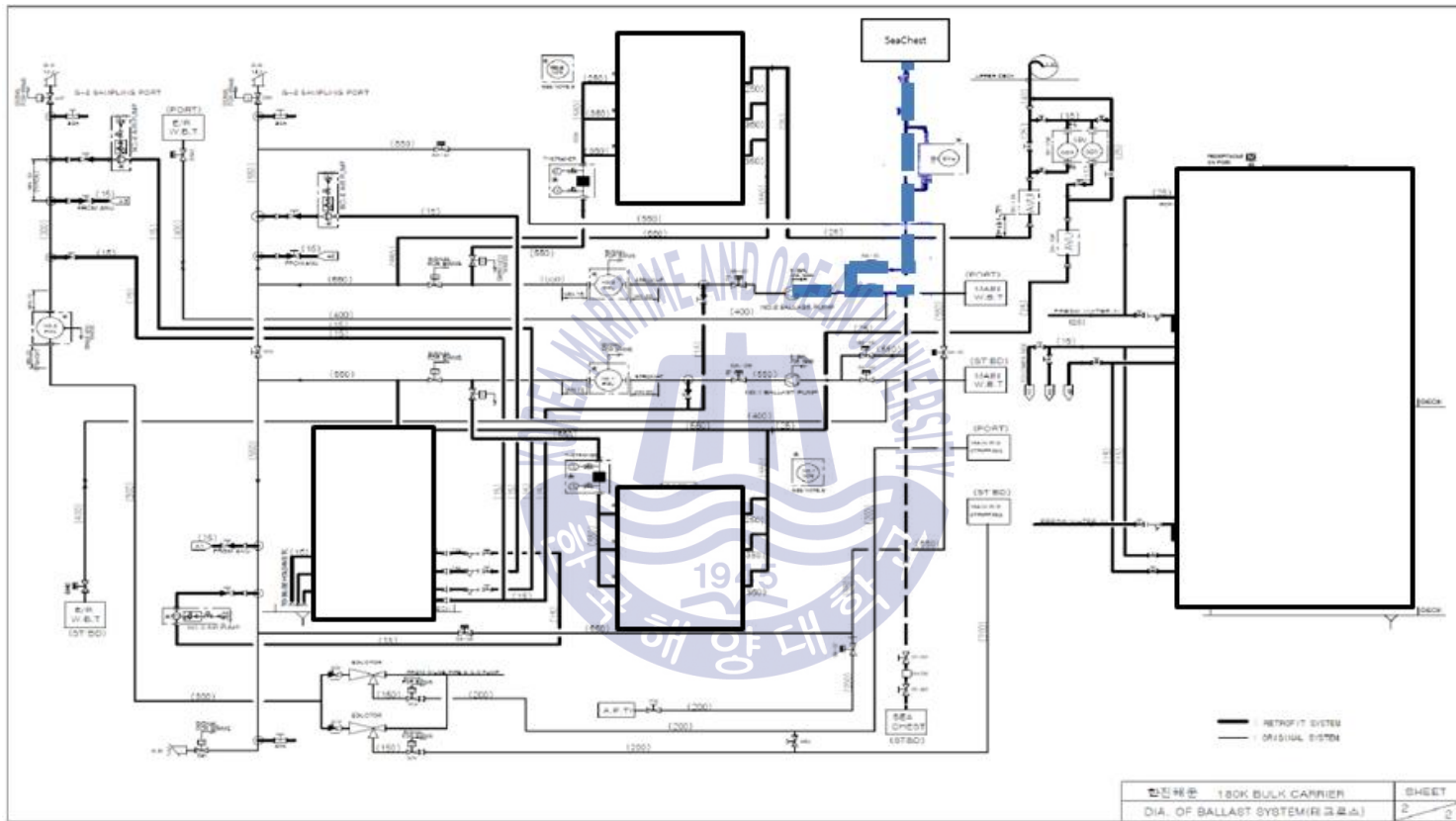
3) No. 301, 302, 305 및 307 구간에서 분석된 위험인자를 고려한 P&ID 도면에서 High Temp. Switch 표기 요구

**Table 28** Specification of Subject Electrolysis Type BWTS

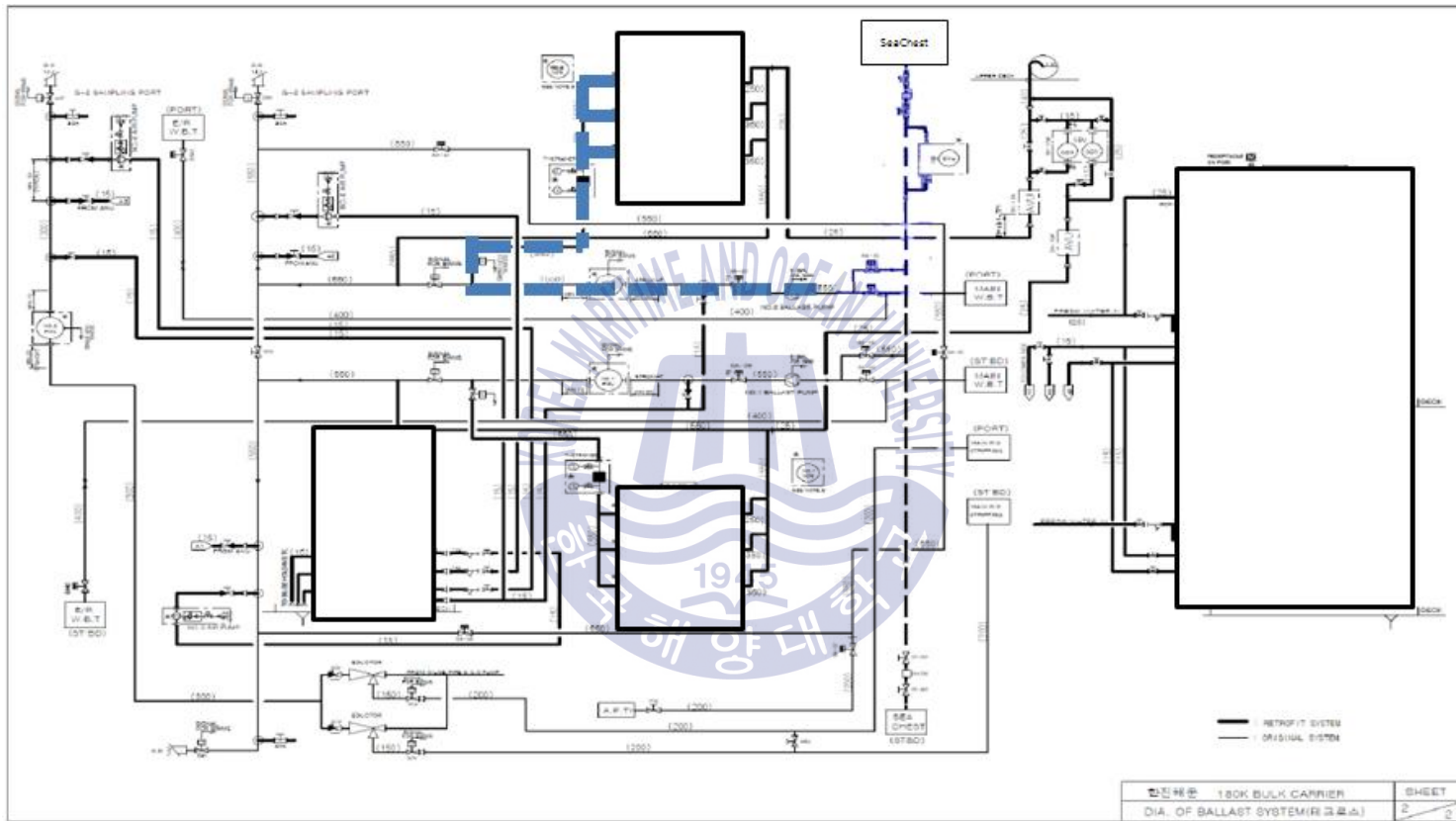
| Item                    | Specification   |
|-------------------------|---|
| Capacity                | 2,600m <sup>3</sup> /h × 2sets                                |
| Filter                  | None  |
| Power consumption       | abt. 240kW  |
| Size                    | 1.4m <sup>2</sup> at Capa.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

**Table 29** Nodes to Analyze Risk for Electrolysis Type BWTS

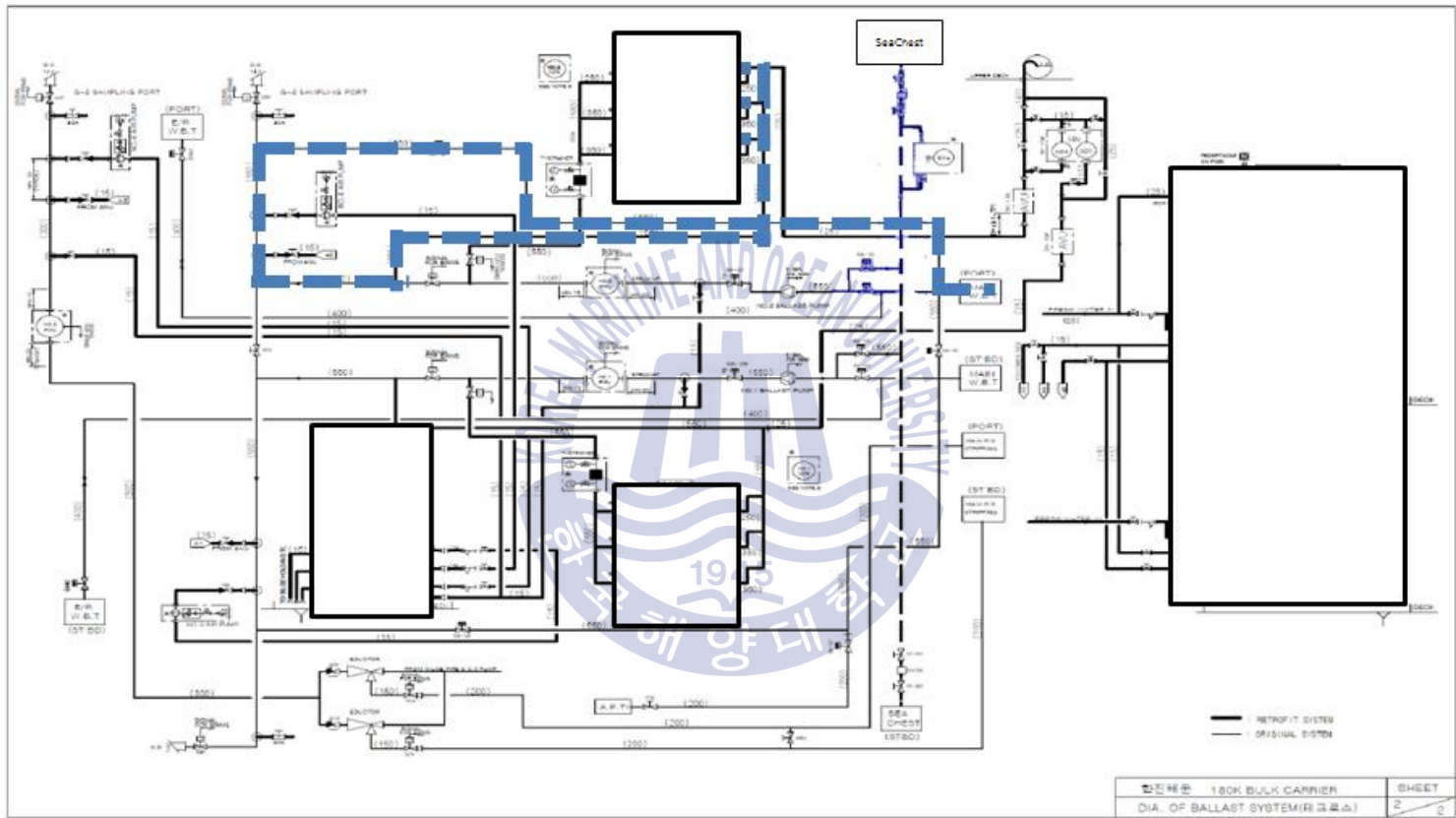
| Node | Description   |
|------|---|
| 1    | Sea Chest line before ballast pump                        |
| 2    | Ballast pump line before Electrolysis Module              |
| 3    | Electrolysis module and flow line into ballast tank       |
| 4    | Flow line involved in air venting unit                    |
| 5    | Flow line involved in total residual oxidants sensor unit |
| 6    | Flow line involved in auto neutralization unit            |
| 7    | Stripping line of ballast tank                            |



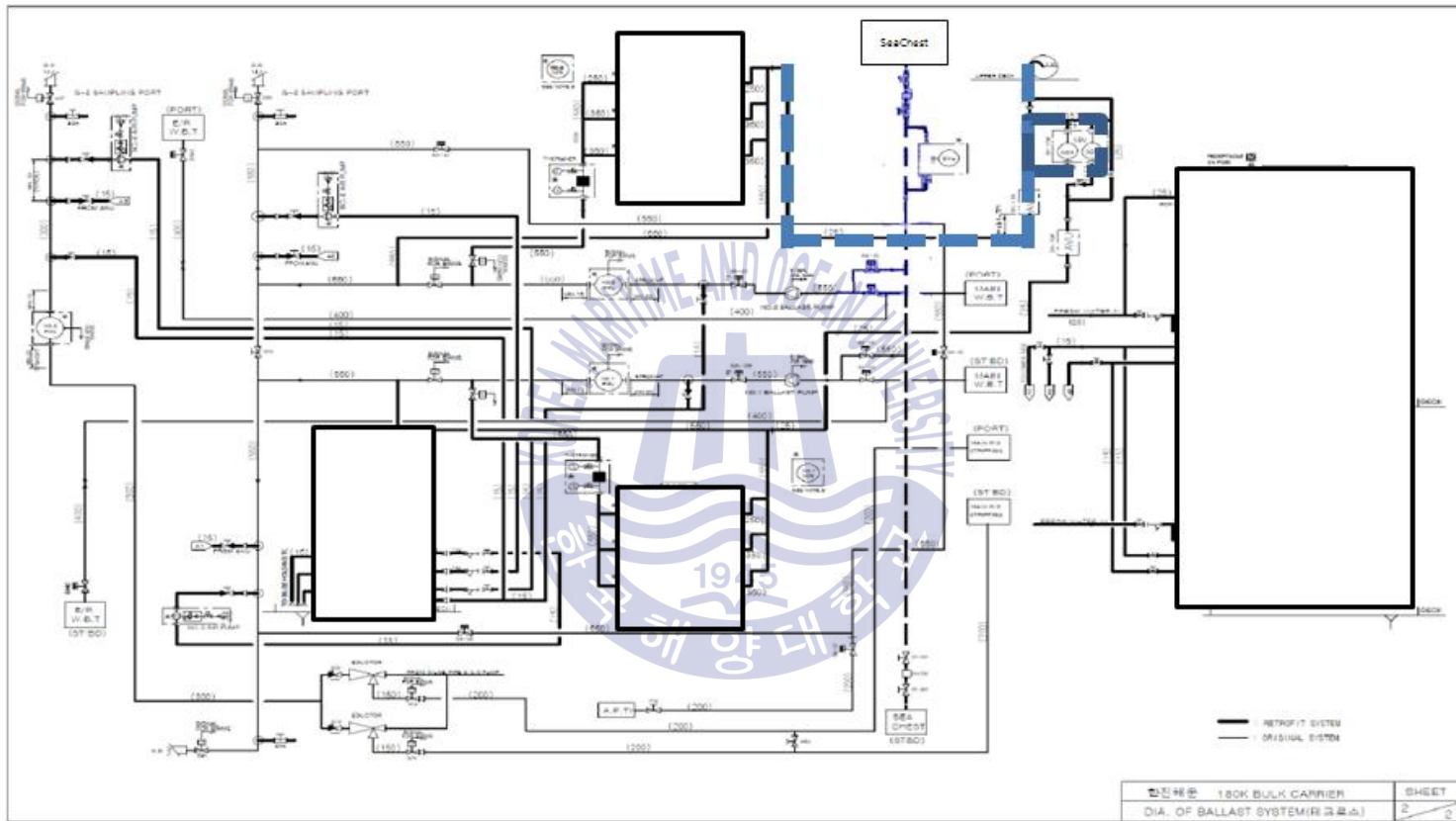
**Fig. 46** Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 1)



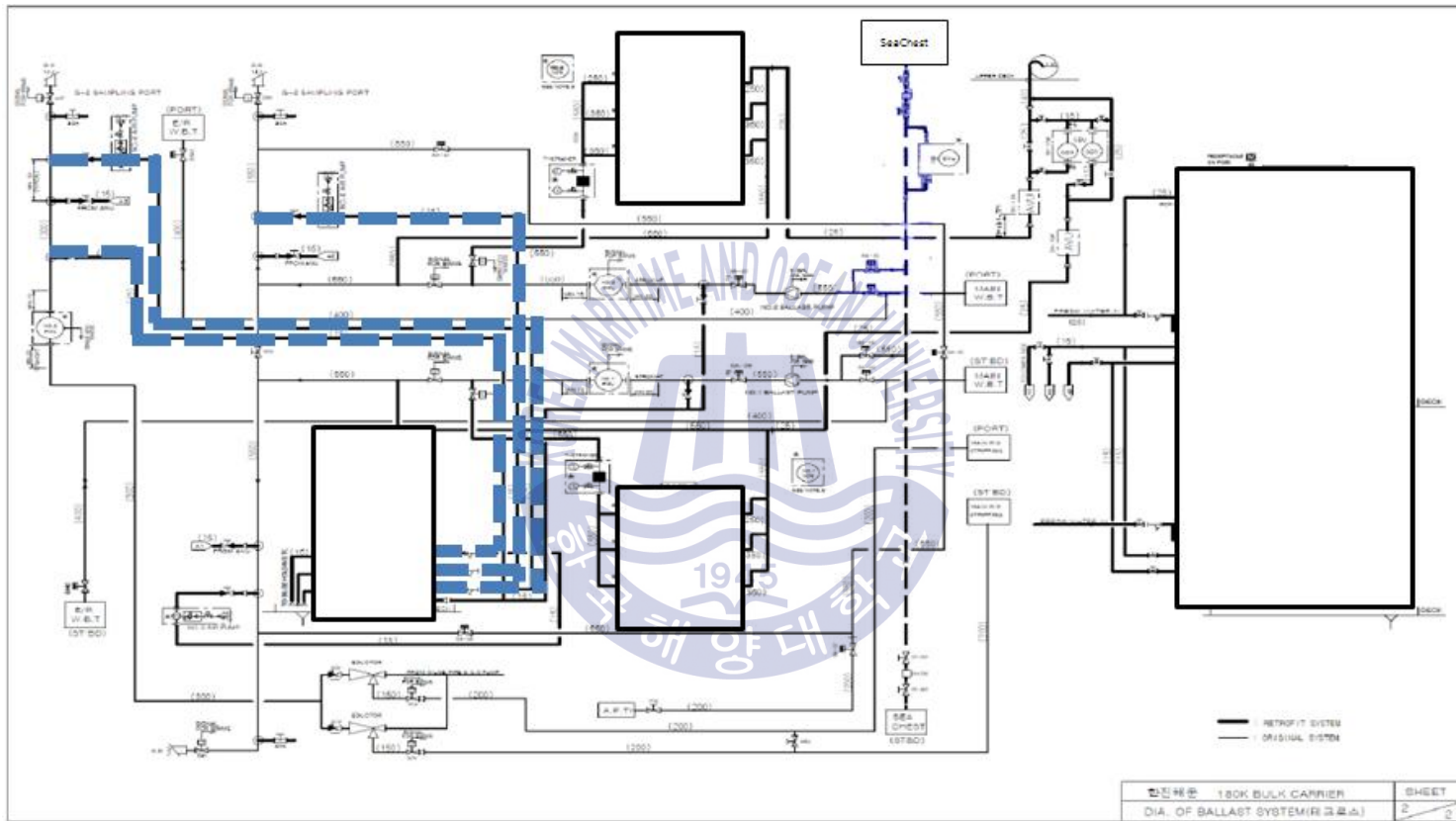
**Fig. 47** Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 2)



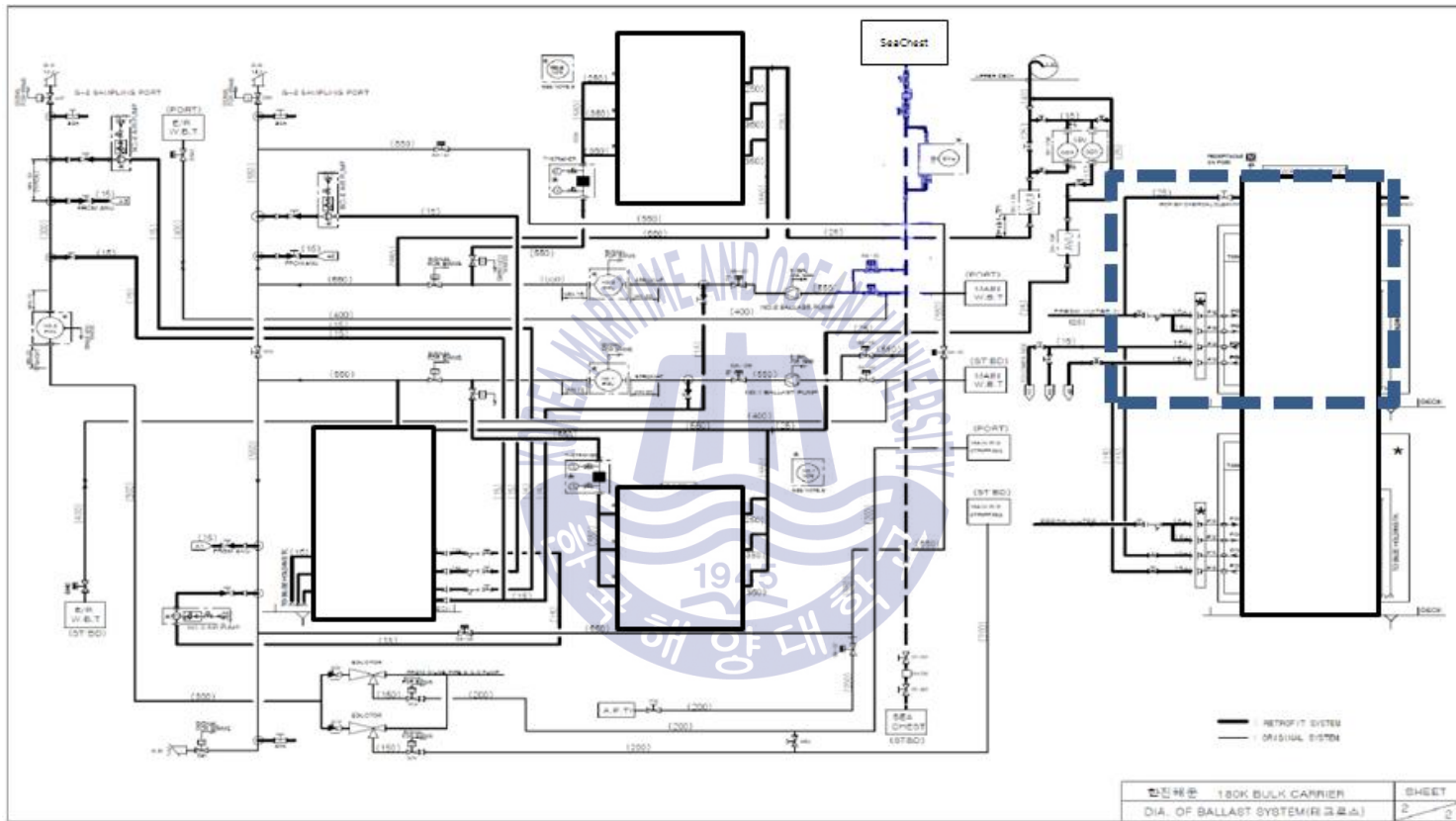
**Fig. 48** Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 3)



**Fig. 49** Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 4)

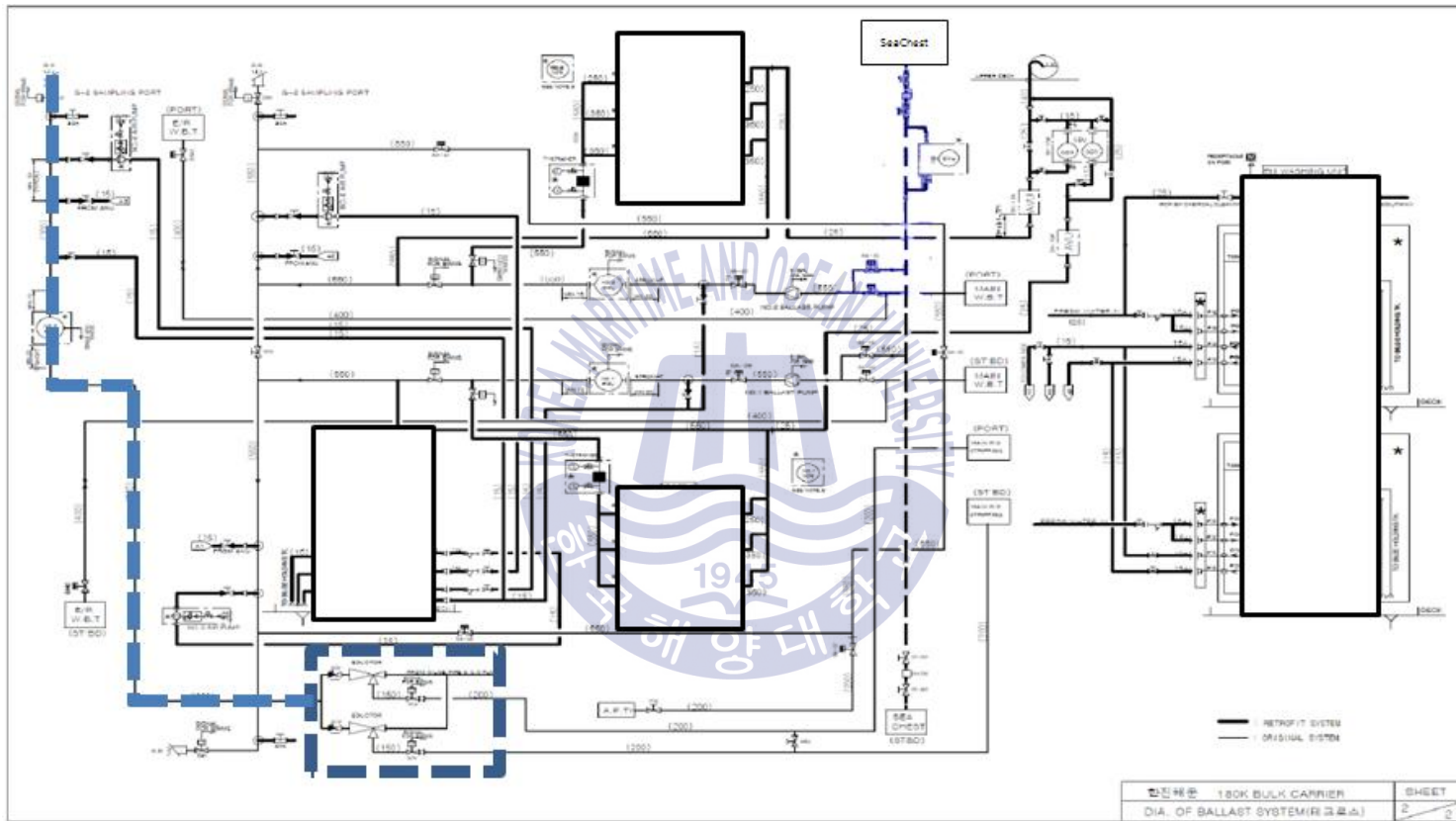


**Fig. 50** Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 5)



**Fig. 51** Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 6)





**Fig. 52** Ballast System for Electrolysis Type BWTS(Node 7)

#### 5.4 오존가스처리방식 평형수 처리장치 위험도 분석

오존가스 처리방식의 평형수 처리장치의 위험도 분석은 앞서 설명한 Table 9에서 설명하고 있는 대상선박에 설치하는 것으로 설계된 내용에 대하여 위험도 분석을 수행하였다. 아울러, 오존가스 처리방식 평형수 처리장치의 제원은 Table 30을 참조한다.

본 항에서는 오존가스 처리방식의 선박 평형수 처리장치가 대상 선박에 설치되어 선박의 평형수 주수 및 배수 계통을 5가지 노드(Node)로 공정별로 나누어 분석함으로써 전체 분석의 효율성을 높였으며, 관련 노드에 대한 상세한 내용은 Table 31에서 언급하고 있다.

Node 1은 처리되지 않은 평형수를 평형수 탱크로 주수하는 동안 오존가스를 평형수관에 주입하는 공정과정에서 압축공기의 생성과 이송의 전체 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 53의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있다. Node 1의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 C에 첨부하였다.

Node 2는 처리되지 않은 평형수를 평형수 탱크로 주입하는 동안 오존가스를 평형수관에 주입하는 공정과정에서 압축공기탱크에서 산소 발생기까지 압축공기 흐름의 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 54의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있다. Node 2의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 C에 첨부하였다.

Node 3은 처리되지 않은 평형수를 평형수 탱크로 주입하는 동안 오존가스를 평형수관에 주입하는 공정과정에서 오존가스처리장치의 냉각을 위한 냉각수 공급 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 55의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있다. Node 3의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 C에 첨부하였다.

Node 4는 처리되지 않은 평형수를 주입하는 동안 오존가스처리장치에서 발생한 오존을 평형수관에 주입하는 공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 56의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있다. Node 4의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 C에 첨부하였다.

Node 5는 처리된 평형수를 배출하는 동안 평형수 탱크와 중화제 공급 유닛 및 평형수 펌프에서의 처리공정에 대한 분석 구간으로 Fig. 57의 평형수관 계통도에서 해당 노드 구간을 보여주고 있다. Node 5의 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)는 부록 C에 첨부하였다.

오존처리방식의 위험도 분석을 수행한 결과 대상 선박에 오존처리방식의 선박 평형수 처리장치를 탑재하는 경우 123개에 대한 위험인자를 식별하였다. Fig. 58에서 알 수 있듯이, "Negligible(Acceptable)"의 Risk Level로 분석된 것은 75개, "ALARP"의 Risk Level로 분석된 것은 48개이지만, "Unacceptable"의 Risk Level은 분석되지 않았다.

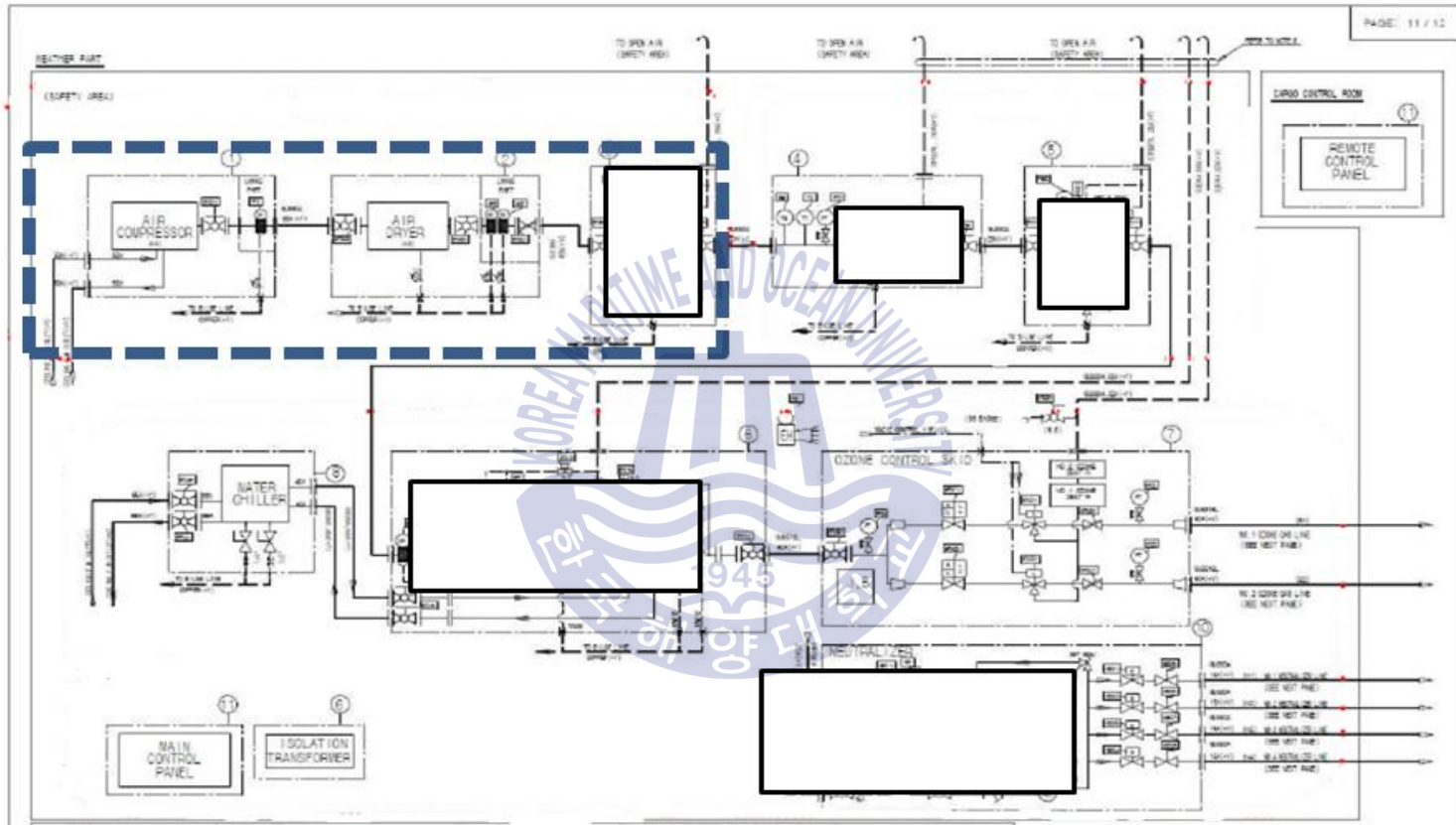
각 노드에서 분석된 위험인자 중에서 반드시 설계의 변경을 요구하는 "Responsibility"에 해당하는 위험인자는 식별되지 않았을 뿐만 아니라, 제안사항 "Recommendation"도 식별되지 않았다.

**Table 30** Specification of Subject Ozone Type BWTS

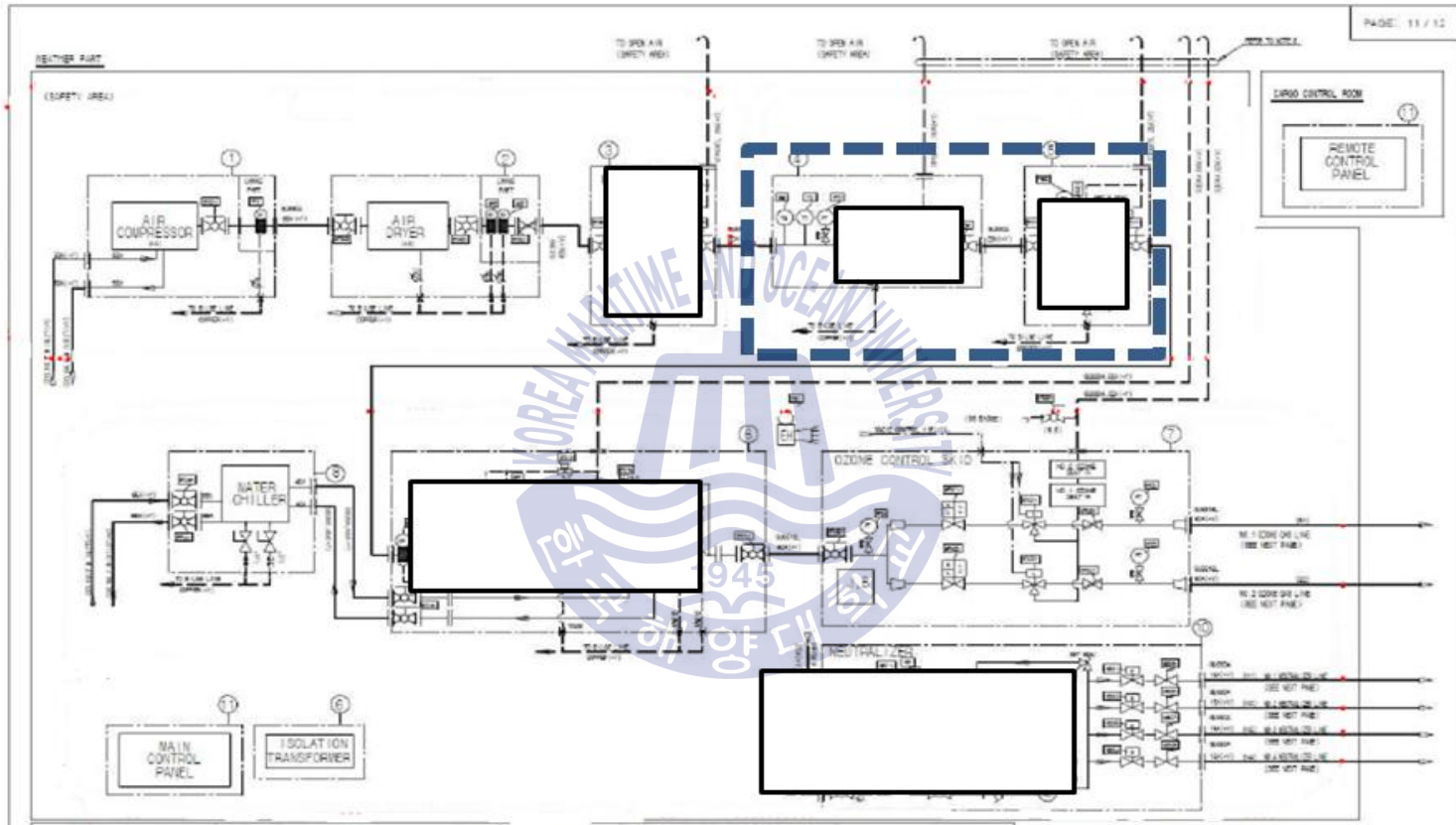
| <b>Item</b>                    | <b>Specification</b>  |
|--------------------------------|---|
| <b>Capacity</b>                | 2,500m <sup>3</sup> /h x 1sets                                  |
| <b>Filter</b>                  | None  |
| <b>Power consumption</b>       | abt. 452.9kW  |
| <b>Size</b>                    | 27.5m <sup>2</sup> at Capa. 2,500m <sup>3</sup> /h total system |
| <b>Max. Operating Pressure</b> | -   |

**Table 31** Specification of Nodes to Analyze Risk for Ozone Type BWTS

| <b>Node</b> | <b>Description</b>   |
|-------------|--|
| <b>1</b>    | Air inlet to valve after air receiver tank during ballasting               |
| <b>2</b>    | Oxygen generator and valve after oxygen receiver tank during ballasting    |
| <b>3</b>    | Ozone generator to reducing valve including water chiler during ballasting |
| <b>4</b>    | Ozone injection nozzle and flow line into WBT during ballasting            |
| <b>5</b>    | WBT, neutralizer unit and ballast pump during de-ballasting                |

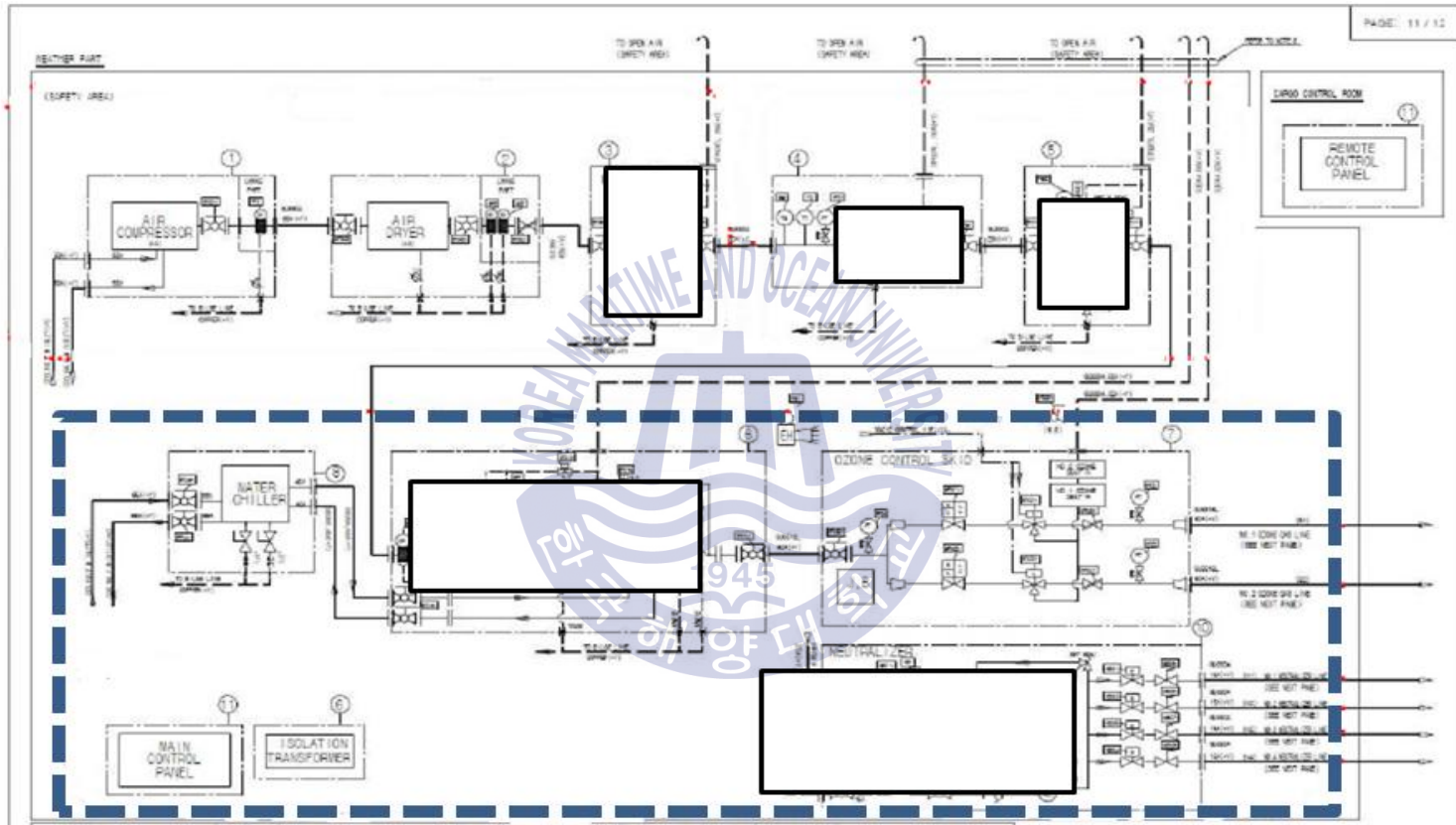


**Fig. 53** Ballast System for Ozone Type BWTS(Node 1)



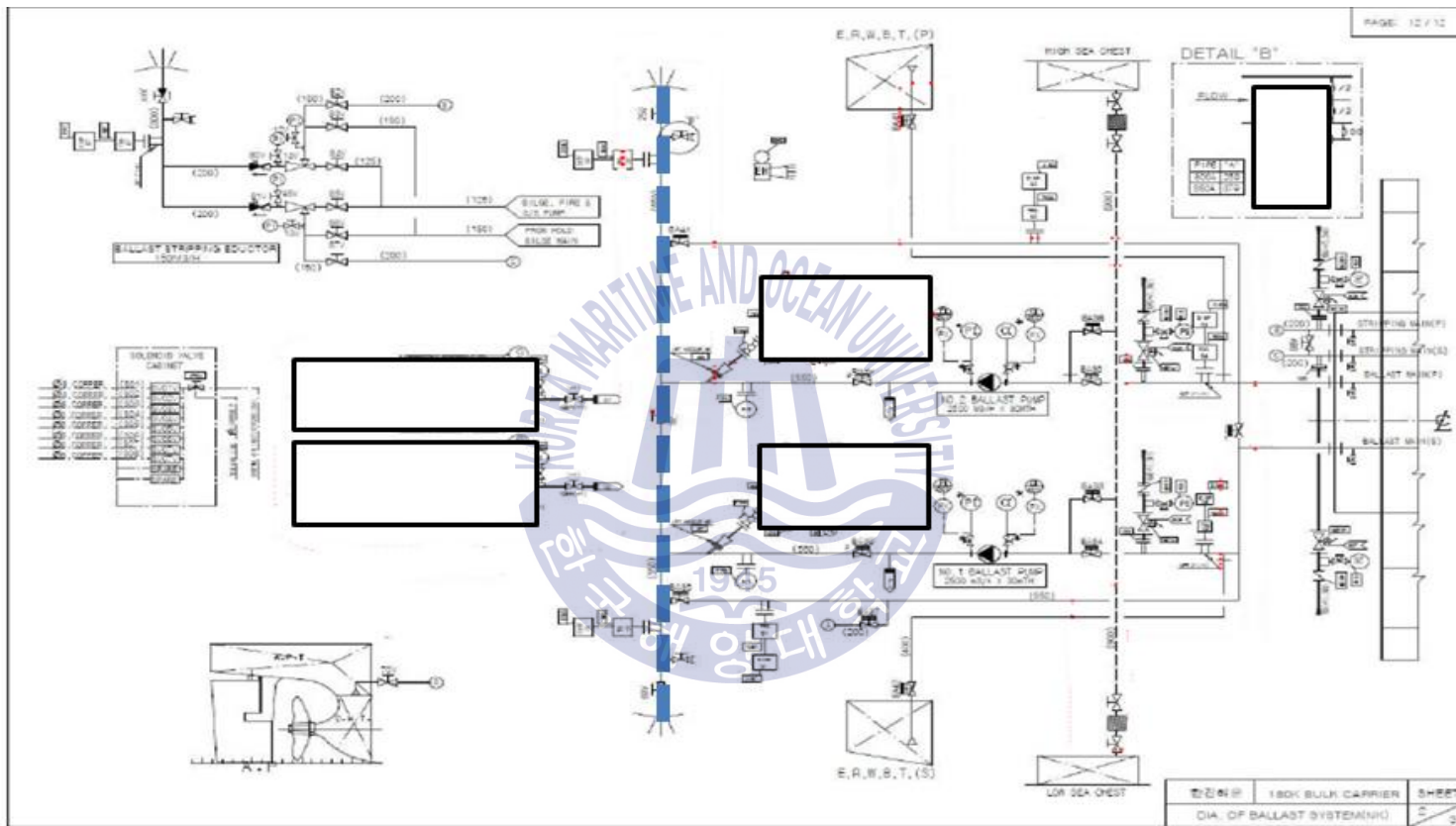
**Fig. 54** Ballast System for Ozone Type BWTS(Node 2)



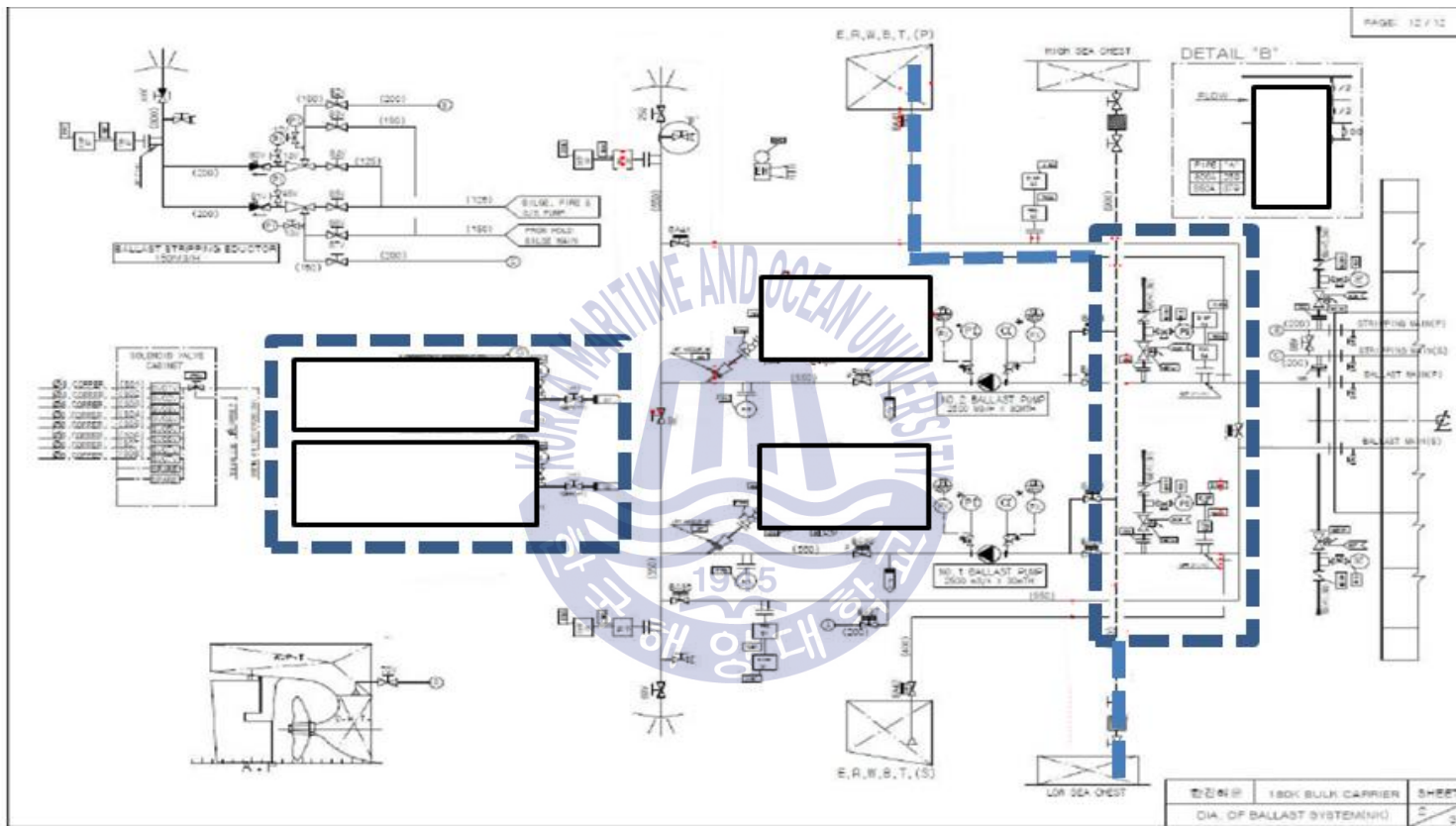


**Fig. 55** Ballast System for Ozone Type BWTS(Node 3)





**Fig. 56** Ballast System for Ozone Type BWTS(Node 4)



**Fig. 57** Ballast System for Ozone Type BWTS(Node 5)

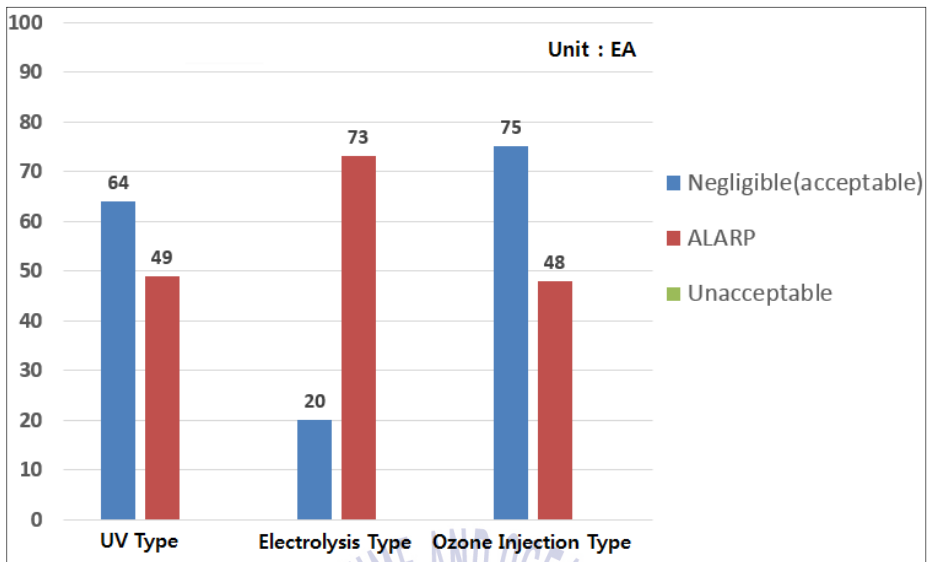
## 5.5 위험도 분석 평가

5.2항, 5.3항 및 5.4항에서 수행한 각각의 자외선 처리방식, 전기분해 처리방식 및 오존가스 처리방식의 선박 평형수 처리장치를 대상 선박에 설치하는 것에 대한 위험도 분석에서 알 수 있듯이, 3가지 처리방식 모두 “Unacceptable”의 Risk Level로 평가된 항목이 존재하지 않았을 뿐만 아니라 설계 변경을 요구하는 “Responsibility”에 조치사항도 식별되지 않았다. 이러한 위험도 분석의 결과를 보았을 때 대상선박에 전기분해방식 평형수 처리장치를 설치함에 있어 선박 구조의 변경이나 평형수 처리장치의 설계를 변경할 만큼의 위험인자는 식별되지 않았을 뿐만 아니라 설계 변경도 필요하지 않았음을 알 수 있다.

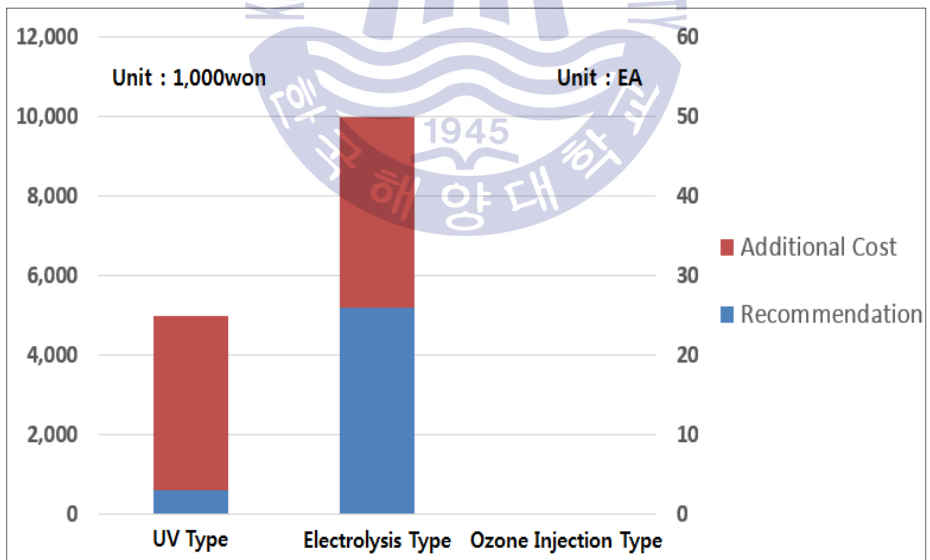
그러나 자외선 처리방식의 선박 평형수 처리장치가 대상선박에 설치하기 위해 식별된 위험성 분석결과 3가지 제안사항이 식별되었고, 전기분해 처리방식의 경우 26가지이지만, 오존가스 처리방식의 경우 제안사항이 식별되지 않았다.

제안사항에 따라 추가 설치할 안전장치, 평형수관 내부 코팅(Coating), 설치계획서 및 운전 지침서에 대한 가격은 제조사에 따라 책정된 값을 기준으로 하였으며, 종합적으로 산출한 추가적인 비용과 제안사항의 수를 비교한 그래프는 Fig. 59를 참조한다.

Fig. 58 및 Fig. 59에서 알 수 있듯이, 오존가스 처리장치의 경우에는 위험성이 123개로 다른 두 개의 처리방식보다 많은 위험성이 식별되었음에 불구하고 별도의 제안사항이 식별되지 않아 추가의 비용은 발생하지 않았고, 반면에 전기분해 처리장치의 경우에는 위험성이 93개로 다른 두 개의 처리방식보다 가장 적은 위험성이 식별되었음에도 불구하고 제안사항이 26개로 식별되었고, 아울러 설계 변경에 따른 추가이 비용이 소요되는 것을 알 수 있다.



**Fig. 58 Result of Risk Analysis for Each BWTS**



**Fig. 59 Comparison of Recommendation and Additional Cost**

## 제 6 장 결 론

이 연구에서는 자외선 처리방식, 전기분해 처리방식 및 오존 가스 처리 방식의 평형수 처리장치를 현존선에 설치하기 위한 최적 설계연구를 진행하였다. 대상 선박으로 재화중량 180K 산적화물운반선을 선정하였다. 국내외 규정만을 적용한 각각의 처리장치 설치 설계도면을 바탕으로 위험도 평가 기법을 이용하였다. 그 분석 결과를 바탕으로 아래의 결론을 얻었다.

1. 각각의 선박 평형수 처리장치에 대한 "Negligible(Acceptable)" Risk Level 항목, "ALARP" Risk Level 항목 및 "Unacceptable" Risk Level 항목의 수를 파악하였다.

2. 각각의 선박 평형수 처리장치 설치 설계도면에서 선원의 안전과 선박의 재산 보호의 목적으로 반드시 설계 변경이 이루어져야 할 "Responsibility" 항목은 식별되지 않았다. 그 이유는 처리장치 설계도입시에 예측된 위험인자를 고려한 "Safe Guard"가 이미 반영되었기 때문임을 알았다.

3. 각각의 선박 평형수 처리장치의 위험성 평가결과 자외선 처리방식은 3가지 제안사항이 식별되었고, 전기분해 처리방식은 26가지 제안사항이 식별되었다. 하지만, 오존가스 처리방식은 제안사항이 식별되지 않았다.

4. 각각 처리장치의 제안사항들은 국내외 기관의 규정에서 요구하고 있지 않는다. 따라서 설치설계에 반영할 의무는 없지만, 선원의 안전과 선박의 재산 보호 목적으로 수행되어야 할 최적 설계를 위해서 이러한 제안사항들이 고려되어야 함을 알았다.

5. 각각의 제안사항들이 설계에 반영하면서 기존의 설치비용에서 추가 비용이 소요됨을 알았다. 하지만 추가 비용은 각 처리장치에서 식별된 위험인자 수와 각 처리장치의 성능과는 무관함을 알았다.

6. 각각의 평형수 처리장치의 위험도 평가 결과를 Concordance Coefficient(W) 수식을 이용하여 적절성을 검증하였다. 결과적으로 W 값은 자외선 처리방식의 경우 0.902, 전기분해 처리방식의 경우 0.942 및 오존처리방식의 경우 0.934 로 평가는 적절하게 수행되었음을 알았다.



## 감사의 글

2006년도에 석사학위 취득 후 쉴 새 없이 박사과정에 바로 진학하였습니다. 목표는 3년 내에 박사학위를 취득하고자 하였지만, 2007년 10월에 (사)한국선급으로 입사하면서 학문의 연구보다는 회사의 업무에 치중하게 되었고, 자연스럽게 박사논문 작성은 늦어지고 말았습니다. 우여 곡절 끝에 2016년에 박사논문을 제출하였고, 2017년 2월에 박사학위를 수여받게 되었습니다. 이 영광과 고마움을 “감사의 글”을 통해 전해드리고자 합니다.

2011년에 사랑하는 저의 아내 안 하영님과 결혼하여 슬하에 1남 1녀를 두었습니다. 연구와 논문 작성 때문에 우리 가정 일에 소홀할 수 밖에 없었던 환경에서 홀로 아이들을 보살피며, 가정의 대소사를 챙겨왔던 사랑하는 저의 아내 안 하영님께 이 영광을 받칩니다. 그리고 아빠의 사랑이 필요한 시기에 많은 시간을 아이들과 함께 하지 못하여 늘 미안한 마음이 듭니다. 우리 딸 지 민서양과 우리 아들 지 현대군! 정말 사랑하고 앞으로 우리 아이들 곁에서 늘 함께 하며, 자랑스러운 아빠가 되도록 노력하겠습니다.

사랑하는 장인어른 안 희갑 어르신과 장모님 이 복자 여사님!

저의 사랑하는 아내를 낳으시고, 바르게 잘 키워주셔서 감사드립니다. 그리고 아프신 몸으로 아이들 곁에서 아빠의 빈자리를 채워주셨습니다. 한 없이 감사드리고, 지금까지 제대로 효도를 하지 못했는데, 앞으로 항상 효도하면서 살겠습니다.

사랑하는 어머니 최문자 여사님!

저를 낳으시고, 지금까지 아들의 행복과 건강, 결혼 후에는 아내와 눈에 넣어도 안 아플 손자, 손녀의 행복과 건강만을 바라며 사셨습니다. 제 인생에서 어머니는 든든한 존재, 때론 친구처럼 제 곁에 항상 계셨습니다. 너무나 고맙고, 고생하셨습니다. 어머니! 사랑하고 항상 효도하고, 좋은 아



들, 좋은 아빠가 되도록 하겠습니다. 그리고 하늘에 계신 아버지와 함께 이 영광을 같이 나누고 싶습니다.

늘 존경에 마지않는 저의 큰 처형 안 영미님, 동서 형님 범 재식님, 작은 처형 안 소정님, 사랑하는 우리 조카 범 주원군, 늘 항상 친구처럼 곁에 있어준 저의 누나 지 민정님과 여동생 지 현정님, 늘 존경하고 든든한 우리 매형 이 해창님과 매제 김 정배님 그리고 사랑하는 우리 조카 이 재혁군, 김 도연양, 김 민석군!

가족의 대소사를 제대로 챙기지 못하여 늘 미안했고, 죄송하였습니다. 앞으로 항상 가족들과 함께 하며 살겠습니다.

그리고 항상 저의 곁에서 많은 지도와 배려를 아낌없이 주셨던 사랑하는 저의 지도 교수님이신 오철 교수님께 이 영광을 받칩니다. 1999년도에 처음 오철 교수님 연구실에 연구생으로 입문하여 교수님으로부터 많은 가르침을 받아왔지만, 지금도 항상 부족하고 모자라 교수님께 늘 죄송한 마음만 있습니다. 사랑하는 교수님의 사제로써 항상 교수님을 보필하며 교수님에게 누가 되지 않도록 최선을 다하겠습니다.

한국선급에서 10년간 근무하면서 많은 시간동안 동고동락한 우리 팀의 동료 선후배님께도 이 영광을 받칩니다. 특히, 입사이후 늘 함께하며 외로울 때나 즐거울 때나 인생의 선배로써 많은 가르침을 주신 존경하는 김정훈 팀장님, 장재식 파트장님, 중국지역본부에서 고생이 많으신 이 상수 팀장님, 인생의 선배이자 많은 교훈을 주신 배 상진 책임님 그리고 항상 힘이 되어준 진 재호 책임님, 하 승만 책임님, 예 성원 선임님, 유 휘상 책임님, 조 성태 선임님, 전 원호 선임님, 박 미호 선임님 그리고 입사 후 직장 생활에 많은 도움을 주신 유 진혜 계장님께 고마움을 전하고 싶습니다.

또한, 항상 제 옆에서 아낌없는 충고와 항상 위로가 되어준 대학 친구 정 윤영님, 김 언우님 그리고 조 정환님에게 고마움을 전하고 싶습니다.

그 외에도 많은 도움을 주신 분들이 계시지만, 일일이 열거하지 못한 부분에 대하여 사과의 말씀을 전해드립니다. 그분들께도 항상 고맙고 이 영광을 함께 나누고 싶습니다. 감사합니다.

## 참고문헌

- [1] (사)한국선급, 2011a. 미국의 선박 평형수 관련 규정.
- [2] (사)한국선급, 2011b. *Briefings of IMO Meeting MEPC 62.*
- [3] (사)한국선급, 2012a. *Briefings of IMO Meeting MEPC 64.*
- [4] (사)한국선급, 2012b. *Briefings of IMO Meeting MEPC 63.*
- [5] (사)한국선급, 2012c. 미국의 선박 평형수 관련 규정(USCG BWM Final Act).
- [6] (사)한국선급, 2013a. *Briefings of IMO Meeting MEPC 65.*
- [7] (사)한국선급, 2013b. *Briefings of IMO Meeting BLG 16.*
- [8] (사)한국선급, 2013c. *Briefings of IMO Meeting BLG 15.*
- [9] (사)한국선급, 2014a. *Briefings of IMO Meeting MEPC 67.*
- [10] (사)한국선급, 2014b. *Briefings of IMO Meeting MEPC 66.*
- [11] (사)한국선급, 2014c. *Briefings of IMO Meeting MEPC 66.*
- [12] (사)한국선급, 2014d. *Briefings of IMO Meeting PPR 1.*
- [13] IMO, 2016. Table of BA FA TA updated April 2016(BWM.2/Circ. 34.Rev.4).
- [14] (사)한국선급, 2015a. *Briefings of IMO Meeting MEPC 68.*
- [15] (사)한국선급, 2015b. USCG BWM 규정의 이행을 위한 고려사항(입거수리 및 수중검사의 정의 및 적용).
- [16] (사)한국선급, 2016a. IMO 선박평형수 관리협약의 이행을 위한 준비.
- [17] (사)한국선급, 2016b. IMO 선박평형수 관리협약의 발효.
- [18] 한국해양연구소, 2008. 선박 평형수 배출규제 대응기술 개발연구.

- [19] 전승권, 2015, *BWMS 설치 공간 확보를 위한 검색 연구*. 석사학위논문. 서울:중앙대학교.
- [20] 이성인, 2012, *선박평형수 처리 장치의 선정 및 설치 위치에 관한 연구*. 석사학위논문. 울산:울산대학교.
- [21] 김경훈, 2011, *CFD를 이용한 선박평형수 이젝터의 유로설계 및 유동 특성에 대한 연구*. 석사학위논문. 부산:동아대학교.
- [22] 표태성, 2008, *자외선을 이용한 선박평형수 처리시스템 개발*. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.
- [23] 이준석, 2009, *HAZOP을 활용한 가스공급관리소 안전성 향상 방안*에 관한 연구. 석사학위논문. 서울:연세대학교.
- [24] 손명백, 2012, *선박 평형수관리장치 배출수의 해양생태위해성평가 연구*. 박사학위논문. 부산:부경대학교.
- [25] 최수환, 2013, *건설업 위험성평가 실무적 적용을 위한 최적화연구*. 박사학위논문. 인천:인천대학교.
- [26] 정환팔, 2014, *제조사업장 위험성평가의 효율적 실시*에 관한 조사 연구. 석사학위논문. 대구:영남대학교.
- [27] 전보현, 박재현, 김정환, 배재환, 전영훈, 2015. BWTS용 대용량 필터에 따른 유량 비교 연구. 2012년도 유체기계 연구개발 공동학술대회.
- [28] 김은찬, 오정환, 이승국, 2014. 선박평형수 관리협약 이행을 위한 정보 시스템. 2014년도 한국해양환경공학회 학술대회.
- [29] Slotta, D., 2005. *New Evaluating biological data using rank correlation methods*. Ph.D. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [30] 정해규, 2015. (실용)선박의장. 세종출판인쇄사
- [31] 김명훈, 유정석, 2003. 발라스트수 처리기술에 대한 고찰. 2003년도 한국해양환경공학회 학술대회.

- [32] 지재훈, 2010. 선박평형수관리장치 국외 제품 소개. 2010년도 한국마린 엔지니어링학회 학술대회.
- [33] 문경태, 양영순, 윤여표, 유원선, 2009. 선박의 의장시스템에 대한 안전성 및 Redundancy 평가 방법론 연구. 대한조선학회논문집, 47(1), pp.76-87.
- [34] 김수영, 신성철, 정보영, 조정화, 강병운, 2010. 선박 평형수 처리 장치의 선내 배치를 위한 경제성 평가 연구. 대한조선학회논문집, 47(2), pp.258-264.
- [35] 이승국, 강원수, 김은찬, 신경순, 2011. GloBallast 선박평형수 위해도 평가 방법의 개선방안에 관한 연구. 한국해양환경공학회, 14(4), pp.224-229.
- [36] David. M., Gollasch, S. & Leppokoski, E. 2013. Risk assessment for exemptions from ballast water management, *Journal of Marine Pollution Bulletin*, 75(2), pp.208-217.
- [37] 오정환, 김은찬, 이승국, 2014. 국내외 선박평형수 위해도 평가 방법 고찰. 2014년도 한국해양환경공학회 학술대회.
- [38] IMO, 2015. Considered test of the Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA) for use in the IMO rule-marking process(MSC/Circ.1023, MEPC/Circ.392).
- [39] Kim, E.C., 2012. Consideration on the ballast water treatment system technology and its development strategies. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, 15(4), pp.349~356.
- [40] Barry, S. C., Hayes, K. R., Hewitt, C. L., Behrens, H. L., Dragsund, E. & Bakke, S. M. 2008. Ballast water risk assessment ; principles, processes, and methods, *ICES journal of Marine Science*, 65(2), pp.121-131.

## 부록 A 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)



### A.1 Sea Chest Line and Ballast Pump During Ballasting(Node 1)

| No. | Guideword | Possible cause                     | Consequence                            | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|------------------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |           |                                    |  | L           | S | R |  |           |                |
| 101 | No flow   | B/V Closed                         | Pump motor over current                | 1           | 1 | 2 | System trip  |           |                |
|     |           | Pipe rupture                       | Engine room flooding                   | 1           | 2 | 3 | Level sensor, Bilge alarm, GS (General Service)pump start  |           |                |
|     |           | High sea chest                     | Pump over current                      | 1           | 1 | 2 | System trip, seachest change over                          |           |                |
|     |           | Sea chest strainer clogging        | Pump over current                      | 1           | 1 | 2 | System trip, seachest change over                          |           |                |
|     |           | Sea chest masking                  | Pump over current                      | 1           | 1 | 2 | System trip, seachest change over                          |           |                |
| 102 | Less flow | B/V partially open                 | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |
|     |           | Pipe leakage                       | Water spray, Electric Equipment damage | 5           | 1 | 6 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) pump start |           |                |
|     |           | Sea chest                          | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |
|     |           | Seachest strainer partial clogging | Pump damage                            | 4           | 1 | 5 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |

| No. | Guideword     | Possible cause                      | Consequence                            | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|-------------------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |               |                                     |  | L           | S | R |  |           |                |
|     |               | Seachest partial masking            | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |
| 103 | More flow     | Pump overrun                        | N/A                                    | 0           | 0 | 0 | N/A  |           |                |
| 104 | Reverse flow  | Pump malfunction                    |  | 1           | 1 | 2 | Test operate, System trip                                  |           |                |
|     |               | Valve miss operation                | N/A                                    | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
| 105 | Less pressure | B/V partially open                  | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |
|     |               | Pipe leakage                        | Water spray, Electric Equipment damage | 5           | 1 | 6 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) pump start |           |                |
|     |               | Pump damage                         | Pump damage                            | 5           | 1 | 6 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |
|     |               | Seachest                            | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |
|     |               | Sea chest strainer partial clogging | Pump damage                            | 4           | 1 | 5 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |
|     |               | Sea chest partial masking           | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |
| 106 | High Temp.    | High water Temperature              | N/A                                    | 0           | 0 | 0 |  |           |                |



| No. | Guideword | Possible cause                     | Consequence                            | Risk matrix |   |   | Safeguards                                     | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|------------------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |           |                                    |  | L           | S | R |  |           |                |
|     |           | Steam blow valve open              | N/A                                    | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
|     |           | Pump overrun                       | N/A                                    | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
| 107 | Low Temp. | Low water Temperature.             | Seachest/ pipe frozen                  | 3           | 0 | 3 | Steam blow line                                |           |                |
| 108 | No level  | B/V partially open                 | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over |           |                |
|     |           | Pipe leakage                       | Water spray, Electric Equipment damage | 5           | 1 | 6 |  |           |                |
|     |           | Pump damage                        | Pump overheating and overrunning       | 5           | 1 | 6 |  |           |                |
|     |           | Above seachest                     | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over |           |                |
|     |           | Seachest strainer partial clogging | Pump damage                            | 4           | 1 | 5 | Manual stop, System trip, seachest change over |           |                |
|     |           | Seachest partial masking           | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over |           |                |

## A.2 Flow Line and Filter Unit Ballasting(Node 2)

| No. | Guideword     | Possible cause                  | Consequence                            | Risk matrix |   |   | Safeguards  | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|---------------------------------|--|-------------|---|---|---|-----------|----------------|
|     |               |                                 |  | L           | S | R |   |           |                |
|     |               |                                 |  |             |   |   |   |           |                |
| 201 | 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,<br>G/S(General Service) pump start |           |                |
| 202 | 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,<br>G/S(General Service) pump start |           |                |
| 203 | More flow     | Valve mis-operation (two pumps) | Pressure increase                      | 0           | 0 | 0 | Alarm. System trip  |           |                |
| 204 | More pressure | Valve closed                    | N/A                                    | 0           | 0 | 0 |   |           |                |
|     |               | Filter clogging                 | N/A                                    | 0           | 0 | 0 |   |           |                |
|     |               | Valve mis-operation (two pumps) | N/A                                    | 0           | 0 | 0 |   |           |                |

| No. | Guideword     | Possible cause                 | Consequence                            | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|--------------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |               |                                |  | L           | S | R |  |           |                |
| 205 | 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 (mis-assembly)  | 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, G/S(General Service) pump start |           |                |

### A.3 UV Chamber and Flow Line into Ballast Tank(Node 3)

| No. | Guideword     | Possible cause             | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|----------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |               |                            |  | L           | S | R |  |           |                |
| 301 | No flow       | Valve Closed               | UV Temp. increase  | 1           | 1 | 2 | System trip  |           |                |
|     |               | Pipe rupture               | Engine room flooding   | 1           | 2 | 3 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) 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, G/S(General Service) pump start |           |                |
|     |               | Frequent back flushing     | Flow down  | 6           | 0 | 6 |  |           |                |
| 303 | More flow     | Valve mis-operation        | Pressure slightly increase, UV reactor efficiency down                       | 3           | 0 | 3 | Alarm, System trip   |           |                |
| 304 | More pressure | Valve mis-operation        | Pressure slightly increase, UV reactor efficiency down, Quartz sleeve damage | 3           | 0 | 3 | Alarm, System trip   |           |                |

| No. | Guideword     | Possible cause             | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|----------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |               |                            |  | L           | S | R |  |           |                |
|     |               | Valve Closed               | Pressure slightly increase,<br>UV reactor efficiency down,<br>Quartz sleeve damage | 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                                   |           |                |
|     |               | Pipe leakage               | Flow decrease afterward flow meter<br>Water spray, Electric Equipment damage       | 5           | 1 | 6 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) pump start |           |                |
| 306 | High Temp.    | UV reactor over heating    | 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(General Service) pump start |           |                |
| 308 | Less level    | Valve closed               | UV Temperature increase  | 1           | 1 | 2 | System trip  |           |                |
| 309 | UV reactor    | Over heat                  | Temperature increase<br>Packing quality down                                       | 1           | 1 | 2 | Temperature transmitter, switch, alarm, system trip        |           |                |

| No. | Guideword                   | Possible cause                  | Consequence                | Risk matrix |   |   | Safeguards  | Recommend                            | Responsibility |
|-----|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------|---|---|---|--------------------------------------|----------------|
|     |                             |                                 |                            | L           | S | R |   |                                      |                |
|     |                             | 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           | 0 | 5 | Alarm   |                                      |                |
|     |                             | Wiper Limit switch malfunction  | Motor overheating          | 5           | 0 | 5 | Circuit breaker, alarm                              |                                      |                |
| 310 | Flow meter malfunction      | False high flow                 | UV reactor overheating     | 3           | 1 | 4 | Temperature transmitter, switch, alarm, system trip |                                      |                |
| 311 | Single/multiple malfunction | Electric/physical/fire damage   |                            | 0           | 0 | 0 |   | Installation manual, retrofit design |                |

#### A.4 WBT and Ballast Pump During De-Ballasting(Node 4)

| No. | Guideword    | Possible cause             | Consequence                            | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|--------------|----------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |              |                            |  | L           | S | R |  |           |                |
| 401 | No flow      | Other valve Closed         | Pump motor over current                | 1           | 1 | 2 | System trip  |           |                |
|     |              | Pump failed                | N/A                                    | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
|     |              | Pipe rupture               | Engine room flooding                   | 1           | 2 | 3 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) pump start |           |                |
|     |              | Bell mouth end blockage    | Pump motor over current                | 3           | 1 | 4 | System trip  |           |                |
| 402 | 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, G/S(General Service) pump start |           |                |
|     |              | Bell mouth clogging        | Pump damage                            | 3           | 1 | 4 | System trip  |           |                |
| 403 | Reverse flow | Pump malfunction           | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Test operate, System trip                                  |           |                |
|     |              | Valve mis-operation        | N/A                                    | 0           | 0 | 0 |  |           |                |



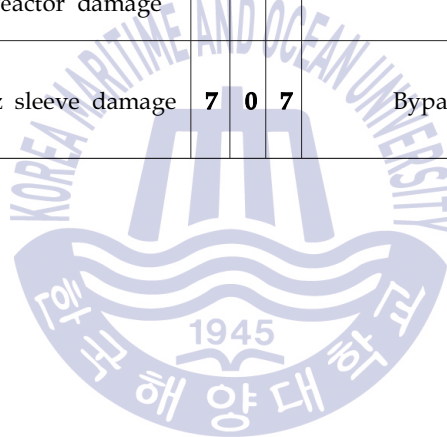
| No. | Guideword     | Possible cause     | Consequence                            | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|--------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |               |                    |  | L           | S | R |  |           |                |
| 404 | Less pressure | B/V partially open | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |
|     |               | Pipe leakage       | Water spray, Electric Equipment damage | 5           | 1 | 6 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) pump start |           |                |
|     |               | Pump damage        | Pump damage                            | 5           | 1 | 6 | System trip  |           |                |
| 405 | Low Temp.     |                    | Seachest/pipe frozen                   | 3           | 0 | 3 | Steam blow line  |           |                |
| 406 | No level      | Other valve open   | Pump damage                            | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, seachest change over             |           |                |
|     |               | Pipe leakage       | Water spray, Electric Equipment damage | 5           | 1 | 6 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) pump start |           |                |
|     |               | Pump damage        | Pump damage                            | 5           | 1 | 6 | System trip  |           |                |

### A.5 UV Chamber and Flow Line During De-ballasting(Node 5)

| No. | Guideword     | Possible cause             | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|----------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |               |                            |  | L           | S | R |  |           |                |
|     |               |                            |  |             |   |   |  |           |                |
| 501 | No flow       | Valve Closed               | UV Temperature increase  | 1           | 1 | 2 | System trip  |           |                |
|     |               | Pipe rupture               | Engine room flooding   | 1           | 2 | 3 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) pump start |           |                |
| 502 | 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, G/S(General Service) pump start |           |                |
| 503 | More flow     | Valve mis-operation        | Pressure slightly increase, UV reactor efficiency down                       | 3           | 0 | 3 | Alarm, System trip   |           |                |
| 504 | More pressure | Valve mis-operation        | Pressure slightly increase, UV reactor efficiency down, Quartz sleeve damage | 3           | 0 | 3 | Alarm, System trip   |           |                |

| No. | Guideword     | Possible cause             | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|----------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |               |                            |  | L           | S | R |  |           |                |
|     |               | Valve Closed               | Pressure slightly increase, UV reactor efficiency down, Quartz sleeve damage | 3           | 0 | 3 | Alarm, System trip   |           |                |
| 505 | 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<br>Water spray, Electric Equipment damage | 5           | 1 | 6 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) pump start |           |                |
| 506 | High Temp.    | UV Reactor over heat       | Temperature. increase, Packing quality down                                  | 1           | 1 | 2 | Temperature transmitter, switch, alarm, system trip        |           |                |
| 507 | 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(General Service) pump start |           |                |
| 508 | 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(General Service) pump start |           |                |

| No. | Guideword                              | Possible cause         | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards       | Recommend   | Responsibility |
|-----|--|------------------------|--|-------------|---|---|------------------|---|----------------|
|     |  |                        |  | L           | S | R |                  |   |                |
| 509 | Unidentified materials in ballast tank | Dock retrofit work     | Ballast pump damage, valve damage, UV reactor damage | 7           | 1 | 8 | Bypass operating | Check cleaning in ballast tank after special survey |                |
| 510 | Dirty ballast discharge in cargo       | Bulk carrier operation | Quartz sleeve damage                                 | 7           | 0 | 7 | Bypass operating | Prepare the manual and warning signal               |                |



## A.6 System Stripping Mode During De-ballasting(Node 6)

| No. | Guideword | Possible cause                           | Consequence   | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|--|---|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |           |  |   | L           | S | R |  |           |                |
|     |           |  |   |             |   |   |  |           |                |
| 601 | No flow   | Valve Closed                             | Pump damage   | 1           | 1 | 2 | System trip  |           |                |
|     |           | Pipe rupture                             | Engine room flooding                                | 1           | 2 | 3 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) pump start |           |                |
| 602 | 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, G/S(General Service) pump start |           |                |
|     |           | Lack of driving water                    | Increasing de-ballast time, upper UV lamp over heat | 2           | 1 | 3 | Temperature transmitter, switch, alarm, system trip        |           |                |
|     |           | Lack of ballast water                    | Increasing de-ballast time, upper UV lamp over heat | 5           | 1 | 6 | Temperature transmitter, switch, alarm, system trip        |           |                |
|     |           | Eductor failure (leakage, clogging, ETC) | Increasing de-ballast time, upper UV lamp over heat | 2           | 1 | 3 | Temperature transmitter, switch, alarm, system trip        |           |                |

| No. | Guideword     | Possible cause             | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|----------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |               |                            |  | L           | S | R |  |           |                |
| 603 | More pressure | Valve partially Closed     | Pressure slightly increase, UV reactor efficiency down, Quartz sleeve damage | 3           | 0 | 3 | Alarm, System trip   |           |                |
| 604 | Less pressure | Other valve partially open | Flow decrease afterward flowmeter  | 1           | 1 | 2 | Manual stop, System trip, sea chest change over            |           |                |
|     |               | Pipe leakage               | Flow decrease afterward flowmeter, Water spray, Electric Equipment damage    | 5           | 1 | 6 | Level sensor, Bilge alarm, G/S(General Service) pump start |           |                |
|     |               | G/S Pump malfunction       | Flow decrease  | 3           | 0 | 3 | Alarm, System trip   |           |                |
| 605 | 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(General Service) pump start |           |                |
| 606 | 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(General Service) pump start |           |                |

부록 B 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)





### B.1 Sea Chest Line before Ballast Pump(Node 1)

| No. | Guideword | Possible causes   | Consequence   | Risk matrix |   |   | Existing safeguards                     | Recommend                              | Responsibility |
|-----|-----------|---|---|-------------|---|---|---|--|----------------|
|     |           |   |   | L           | S | R |   |  |                |
| 101 | No flow   | Valves closed due to malfunction or mis-operation           | Pump overrun, CSU failure to detect flow conductivity | 4           | 1 | 5 | Flow meter installed downstream of pump | Pump stop interlock with the flowmeter |                |
|     |           | Pump stopped  | CSU failure to detect flow conductivity               | 4           | 1 | 5 | Over-current relay on the pump          |  |                |
|     |           | Sea chest blockage by foreign material or blanking device   | Pump overrun, CSU failure to detect flow conductivity | 3           | 1 | 4 |   |  |                |
|     |           | Piping rupture  | Engine room flooding                                  | 2           | 3 | 5 | Emergency and bilge pump                |  |                |
| 102 | Less flow | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation | Pump overrun, CSU failure to detect flow conductivity | 4           | 1 | 5 | Flowmeter installed downstream of pump  | Pump stop interlock with the flowmeter |                |

| No. | Guideword     | Possible causes  | Consequence   | Risk matrix |   |   | Existing safeguards  | Recommend                 | Responsibility |
|-----|---------------|--|---|-------------|---|---|--|---------------------------|----------------|
|     |               |  |   | L           | S | R |  |                           |                |
|     |               | Pump malfunction   | CSU failure to detect flow conductivity               | 4           | 1 | 5 | Over-current relay on the pump   |                           |                |
|     |               | Sea chest partial blockage by foreign material including ice debris or bio fouling | Pump overrun, CSU failure to detect flow conductivity | 2           | 1 | 3 |  |                           |                |
|     |               | Piping leakage   | Level rise in the bilge well                          | 5           | 0 | 5 | Emergency and bilge pump   | Galvanizing or PE coating |                |
| 103 | More flow     | Pump overrun   | Pump overrun  | 4           | 1 | 5 | Flowmeter installed downstream of pump, Over-current relay on the pump |                           |                |
| 104 | Reverse flow  | Valve mis-operation  | Instability of the ship                               | 4           | 1 | 5 |  |                           |                |
| 105 | More pressure | Irrelevant   |   | -           | - | - |  |                           |                |

| No. | Guideword     | Possible causes   | Consequence                             | Risk matrix |   |   | Existing safeguards                    | Recommend                              | Responsibility |
|-----|---------------|---|---|-------------|---|---|--|--|----------------|
|     |               |   |   | L           | S | R |  |  |                |
| 106 | Less pressure | Valves closed due to malfunction or mis-operation while pump running        | CSU failure to detect flow conductivity | 4           | 1 | 5 | Flowmeter installed downstream of pump | Pump stop interlock with the flowmeter |                |
|     |               | Seachest blockage by foreign material or blanking device while pump running | CSU failure to detect flow conductivity | 3           | 1 | 4 |  |  |                |
|     |               | Piping leakage  | Level rise in the bilge well            | 5           | 0 | 5 | Emergency and bilge pump               | Galvanizing or PE coating              |                |
| 107 | More temp.    | Irrelevant  |   | -           | - | - |  |  |                |
| 108 | Less temp.    | Low temp. in the winter   | Insignificant                           | 5           | 0 | 5 |  |  |                |
| 109 | No level      | Piping rupture  | Engine room flooding                    | 2           | 3 | 5 | Emergency and bilge pump               |  |                |
| 110 | More level    | Irrelevant  |   | -           | - | - |  |  |                |
| 111 | Less level    | Irrelevant  |   | -           | - | - |  |  |                |

## B.2 Ballast Pump Line before Electrolysis Module(Node 2)

| No. | Guideword | Possible causes   | Consequence          | Risk matrix |   |   | Existing safeguards                                     | Recommend                              | Responsibility |
|-----|-----------|---|----------------------|-------------|---|---|---|--|----------------|
|     |           |   |                      | L           | S | R |   |  |                |
|     |           |   |                      |             |   |   |   |  |                |
| 201 | No flow   | Valves closed due to malfunction or mis-operation           | Pump overrun         | 4           | 1 | 5 | Flowmeter installed downstream of pump                  | Pump stop interlock with the flowmeter |                |
|     |           | Pump stopped  |                      | 4           | 0 | 4 | Over-current relay on the pump                          |  |                |
|     |           | T-strainer blockage by foreign material                     | Pump overrun         | 4           | 1 | 5 | Differential pressure, Flowmeter detection and shutdown |  |                |
|     |           | Piping rupture  | Engine room flooding | 2           | 3 | 5 | Emergency and bilge pump                                |  |                |
| 202 | Less flow | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation | Pump overrun         | 4           | 1 | 5 | Flowmeter installed downstream of pump                  | Pump stop interlock with the flowmeter |                |

| No. | Guideword     | Possible causes   | Consequence                  | Risk matrix |   |   | Existing safeguards  | Recommend                               | Responsibility |
|-----|---------------|---|------------------------------|-------------|---|---|--|---|----------------|
|     |               |   |                              | L           | S | R |  |   |                |
|     |               | Pump malfunction  |                              | 4           | 0 | 4 | Over-current relay on the pump   |   |                |
|     |               | T-strainer partial blockage by foreign material             | Pump overrun                 | 4           | 1 | 5 | Differential pressure, Flowmeter detection and shutdown                |   |                |
|     |               | Piping leakage  | Level rise in the bilge well | 5           | 0 | 5 | Emergency and bilge pump   | Galvanizing or PE coating               |                |
| 203 | More flow     | Pump overrun  | Pump overrun                 | 4           | 1 | 5 | Flowmeter installed downstream of pump, Over-current relay on the pump |   |                |
| 204 | Reverse flow  | Valve mis-operation   | De-ballast operation         | 4           | 0 | 4 |  |   |                |
| 205 | More pressure | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation | Pump overrun                 | 4           | 1 | 5 | Flowmeter installed downstream of pump                                 | Pump stop interlock with the flow meter |                |
|     |               | Pump malfunction  |                              | 4           | 0 | 4 | Over-current relay on the pump   |   |                |

| No. | Guideword     | Possible causes                                 | Consequence                  | Risk matrix |   |   | Existing safeguards                                     | Recommend                 | Responsibility |
|-----|---------------|---|------------------------------|-------------|---|---|---|---------------------------|----------------|
|     |               |   |                              | L           | S | R |   |                           |                |
|     |               | T-strainer partial blockage by foreign material | Pump overrun                 | 4           | 1 | 5 | Differential pressure, Flowmeter detection and shutdown |                           |                |
| 206 | Less pressure | Piping leakage                                  | Level rise in the bilge well | 5           | 0 | 5 | Emergency and bilge pump                                | Galvanizing or PE coating |                |
| 207 | More temp.    | Irrelevant                                      |                              | -           | - | - |   |                           |                |
| 208 | Less temp.    | Low temperature in the winter                   | Insignificant                | 5           | 0 | 5 |   |                           |                |
| 209 | No level      | Piping rupture                                  | Engine room flooding         | 2           | 3 | 5 | Emergency and bilge pump                                |                           |                |
| 210 | More level    | Irrelevant                                      |                              | -           | - | - |   |                           |                |
| 211 | Less level    | Irrelevant                                      |                              | -           | - | - |   |                           |                |

### B.3 Electrolysis Module and Flow Line into Ballast Tank(Node 3)

| No. | Guideword | Possible causes  | Consequence          | Risk matrix |   |   | Existing safeguards  | Recommend   | Responsibility |
|-----|-----------|--|----------------------|-------------|---|---|--|---|----------------|
|     |           |  |                      | L           | S | R |  |   |                |
|     |           |  |                      |             |   |   |  |   |                |
| 301 | No flow   | Valves closed due to malfunction or mis-operation          | ECU overrun          | 1           | 1 | 2 | Valve position interlock, High pressure and temp. interlock from ECU, Overcurrent detection and shutdown | Pump stop interlock with the flowmeter, To denote high temp. switch on the P&ID |                |
|     |           | Piping rupture   | Engine room flooding | 2           | 3 | 5 | Emergency and bilge pump   |   |                |
| 302 | Less flow | Valves partially closed due to malfunction or misoperation | ECU overrun          | 1           | 1 | 2 | Valve position interlock, High pressure and temp. interlock from ECU, Overcurrent detection and shutdown | Pump stop interlock with the flowmeter, To denote high temp. switch on the P&ID |                |



| No. | Guideword | Possible causes                          | Consequence  | Risk matrix |   |   | Existing safeguards   | Recommend                 | Responsibility |
|-----|-----------|--|--|-------------|---|---|---|---------------------------|----------------|
|     |           |  |  | L           | S | R |   |                           |                |
|     |           | ECU partial blockage by foreign material | ECU decrease in electrolysis leading to overcurrent    | 2           | 0 | 2 | Temperature interlock from ECU, Overcurrent detection and shutdown, T-strainer installed, Cleaning every 200 operating hour |                           |                |
|     |           | Piping leakage                           | level rise in the bilge well                           | 5           | 0 | 5 | Emergency and bilge pump  | Galvanizing or PE coating |                |
|     |           | Flow mis-distribution over the units     | Temperature increase, decrease in electric consumption | 2           | 1 | 3 | Temperature interlock from ECU, Overcurrent detection and shutdown, Orifice installation, CFD simulation conducted          |                           |                |
| 303 | More flow | Flow mis-distribution over the units     | Increase in electric consumption                       | 3           | 1 | 4 | Overcurrent detection and shutdown, Orifice installation, CFD simulation conducted  |                           |                |

| No. | Guideword     | Possible causes   | Consequence   | Risk matrix |   |   | Existing safeguards   | Recommend  | Responsibility |
|-----|---------------|---|---|-------------|---|---|---|--|----------------|
|     |               |   |   | L           | S | R |   |  |                |
|     |               |   |   |             |   |   |   |  |                |
| 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 pressure | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation           | ECU overrun   | 1           | 1 | 2 | Valve position interlock, High pressure and temp. interlock from ECU, Overcurrent detection and shutdown                    | Pump stop interlock with the flow meter, To denote high temp. switch on the P&ID |                |
|     |               | ECU partial blockage by foreign material                              | ECU decrease in electrolysis leading to overcurrent | 2           | 0 | 2 | Temperature interlock from ECU, Overcurrent detection and shutdown, T-strainer installed, Cleaning every 200 operating hour |  |                |

| No. | Guideword  | Possible causes   | Consequence   | Risk matrix |               |                | Existing safeguards   | Recommend   | Responsibility |
|-----|------------|---|---|-------------|---------------|----------------|---|---|----------------|
|     |            |   |   | L           | S             | R              |   |   |                |
|     |            |   |   | 306         | Less pressure | Piping leakage |   |   |                |
| 307 | More temp. | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation | ECU overrun   | 1           | 1             | 2              | Valve position interlock, High pressure and temp. interlock from ECU, Overcurrent detection and shutdown                    | Pump stop interlock with the flowmeter, To denote high temp. switch on the P&ID |                |
|     |            | ECU partial blockage by foreign material                    | ECU decrease in electrolysis leading to overcurrent | 2           | 0             | 2              | Temperature interlock from ECU, Overcurrent detection and shutdown, T-strainer installed, Cleaning every 200 operating hour |   |                |
|     |            | Piping leakage  | Level rise in the bilge well                        | 5           | 0             | 5              | Emergency and bilge pump  | Galvanizing or PE coating   |                |

| No. | Guideword    | Possible causes                      | Consequence  | Risk matrix |   |   | Existing safeguards  | Recommend                 | Responsibility |
|-----|--------------|--------------------------------------|--|-------------|---|---|--|---------------------------|----------------|
|     |              |                                      |  | L           | S | R |  |                           |                |
|     |              | Flow mis-distribution over the units | Temperature increase, decrease in electric consumption         | 2           | 1 | 3 | Temperature interlock from ECU, Overcurrent detection and shutdown, Orifice installation, CFD simulation conducted |                           |                |
| 308 | Less temp.   | Low temp. in the winter              | Decrease in electrolysis efficiency not leading to overcurrent | 5           | 0 | 5 |  |                           |                |
| 309 | No level     | Piping rupture                       | Engine room flooding   | 2           | 3 | 5 | Emergency and bilge pump   |                           |                |
| 310 | More level   | Irrelevant                           |  | -           | - | - |  |                           |                |
| 311 | Less level   | Piping leakage                       | Level rise in the ECU unit, Level rise in the bilge well       | 5           | 0 | 5 | Emergency and bilge pump   | Galvanizing or PE coating |                |
| 312 | Less current | Unstable electric supply             | Electric shock decrease, Not impact on TRO concentration       | 4           | 0 | 4 |  |                           |                |

#### B.4 Flow Line involved in Air Venting Unit(Node 4)

| No. | Guideword | Possible causes   | Consequence                            | Risk matrix |   |   | Existing safeguards | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|---|--|-------------|---|---|---------------------|-----------|----------------|
|     |           |   |  | L           | S | R |                     |           |                |
| 401 | No flow   | Valves closed due to malfunction or mis-operation           | Incorrect gas detection                | 4           | 0 | 4 |                     |           |                |
|     |           | Floating ball in AVU blockage by foreign material           | Incorrect gas detection                | 4           | 0 | 4 |                     |           |                |
|     |           | Piping rupture  | No gas detection, Insignificant impact | 4           | 0 | 4 |                     |           |                |
| 402 | Less flow | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation | Incorrect gas detection                | 4           | 0 | 4 |                     |           |                |
|     |           | Floating ball in AVU partial blockage by foreign material   | Incorrect gas detection                | 4           | 0 | 4 |                     |           |                |

| No. | Guideword     | Possible causes   | Consequence                            | Risk matrix |   |   | Existing safeguards            | Recommend                 | Responsibility |
|-----|---------------|---|--|-------------|---|---|--------------------------------|---------------------------|----------------|
|     |               |   |  | L           | S | R |                                |                           |                |
|     |               | Piping leakage  | Level rise in the bilge well           | 5           | 0 | 5 | Emergency and bilge pump       | Galvanizing or PE coating |                |
| 403 | More flow     | High pressure in the upstream                               | Seawater overflow, Gas detector damage | 5           | 0 | 5 | Water protector for GDS sensor |                           |                |
| 404 | Reverse flow  | Irrelevant  |  | -           | - | - |                                |                           |                |
| 405 | More pressure | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation | Incorrect gas detection                | 4           | 0 | 4 |                                |                           |                |
|     |               | Floating ball in AVU partial blockage by foreign material   | Incorrect gas detection                | 4           | 0 | 4 |                                |                           |                |
| 406 | Less pressure | Irrelevant  |  | -           | - | - |                                |                           |                |
| 407 | More temp.    | Irrelevant  |  | -           | - | - |                                |                           |                |
| 408 | Less temp.    | Low temp. in the winter                                     | Insignificant                          | 5           | 0 | 5 |                                |                           |                |

| No. | Guideword  | Possible causes | Consequence                               | Risk matrix |   |   | Existing safeguards | Recommend | Responsibility |
|-----|------------|-----------------|---|-------------|---|---|---------------------|-----------|----------------|
|     |            |                 |   | L           | S | R |                     |           |                |
| 409 | No level   | Piping rupture  | No gas detection,<br>Insignificant impact | 4           | 0 | 4 |                     |           |                |
| 410 | More level | Irrelevant      |   | -           | - | - |                     |           |                |
| 411 | Less level | Piping leakage  | No gas detection,<br>Insignificant impact | 5           | 0 | 5 |                     |           |                |





### B.5 Flow Line involved in Total Residual Oxidants Sensor Unit(Node 5)

| No. | Guideword | Possible causes                                   | Consequence  | Risk matrix |   |   | Existing safeguards             | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|---|--|-------------|---|---|---------------------------------|-----------|----------------|
|     |           |   |  | L           | S | R |                                 |           |                |
|     |           |   |  |             |   |   |                                 |           |                |
| 501 | No flow   | Valves closed due to malfunction or mis-operation | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 4           | 0 | 4 | Crew training                   |           |                |
|     |           | Y-strainer blockage                               | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 4           | 0 | 4 | Regular inspection              |           |                |
|     |           | Sensor's internal blockage                        | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 3           | 0 | 3 | No flow alarm within the sensor |           |                |
|     |           | Piping rupture                                    | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 4           | 0 | 4 |                                 |           |                |

| No. | Guideword | Possible causes   | Consequence  | Risk matrix |   |   | Existing safeguards             | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|---|--|-------------|---|---|---------------------------------|-----------|----------------|
|     |           |   |  | L           | S | R |                                 |           |                |
| 502 | Less flow | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 4           | 0 | 4 | Crew training                   |           |                |
|     |           | Y-strainer partially blockage                               | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 4           | 0 | 4 | Regular inspection              |           |                |
|     |           | Sensor's partially internal blockage                        | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 3           | 0 | 3 | No flow alarm within the sensor |           |                |
|     |           | Piping leakage  | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 5           | 0 | 5 |                                 |           |                |
|     |           | High pressure air loss                                      | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 3           | 0 | 5 |                                 |           |                |

| No. | Guideword     | Possible causes               | Consequence  | Risk matrix |   |   | Existing safeguards    | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|-------------------------------|--|-------------|---|---|------------------------|-----------|----------------|
|     |               |                               |  | L           | S | R |                        |           |                |
| 503 | More flow     | Excessive high pressurize     | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 3           | 0 | 3 | Regulator installation |           |                |
| 504 | Reverse flow  | Irrelevant                    |  | -           | - | - |                        |           |                |
| 505 | More pressure | Excessive high pressurize     | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 3           | 0 | 3 | Regulator installation |           |                |
| 506 | Less pressure | Piping leakage                | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 5           | 0 | 5 |                        |           |                |
| 507 | More temp.    | Irrelevant                    |  | -           | - | - |                        |           |                |
| 508 | Less temp.    | Low temperature in the winter | Insignificant  | 5           | 0 | 5 |                        |           |                |

| No. | Guideword  | Possible causes                                   | Consequence  | Risk matrix |   |   | Existing safeguards             | Recommend | Responsibility |
|-----|------------|---|--|-------------|---|---|---------------------------------|-----------|----------------|
|     |            |   |  | L           | S | R |                                 |           |                |
| 509 | No level   | Valves closed due to malfunction or mis-operation | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 4           | 0 | 4 | Crew training                   |           |                |
|     |            | Y-strainer blockage                               | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 4           | 0 | 4 | Regular inspection              |           |                |
|     |            | Sensor's internal blockage                        | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 3           | 0 | 3 | No flow alarm within the sensor |           |                |
|     |            | Piping rupture                                    | Incorrect TRO detection leading to ballast and de-ballast operation stop | 4           | 0 | 4 |                                 |           |                |
| 510 | More level | Irrelevant  |  | -           | - | - |                                 |           |                |
| 511 | Less level | Irrelevant  |  | -           | - | - |                                 |           |                |

### B.6 Flow Line involved in Auto Neutralization Unit(Node 6)

| No. | Guideword | Possible causes   | Consequence                  | Risk matrix |   |   | Existing safeguards                   | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|---|------------------------------|-------------|---|---|---------------------------------------|-----------|----------------|
|     |           |   |                              | L           | S | R |                                       |           |                |
| 601 | No flow   | Valves closed due to malfunction or mis-operation           | No neutralization            | 3           | 0 | 3 | TRO measurement                       |           |                |
|     |           | Pump stopped  |                              | 3           | 0 | 3 | TRO measurement                       |           |                |
|     |           | Piping rupture  | Level rise in the bilge well | 4           | 0 | 4 | TRO measurement                       |           |                |
| 602 | Less flow | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation | No neutralization            | 3           | 0 | 3 | TRO measurement                       |           |                |
|     |           | Piping leakage  | level rise in the bilge well | 4           | 0 | 4 | TRO measurement                       |           |                |
|     |           | Chemical deposition on the pipeline                         |                              | 4           | 0 | 4 | Fresh water flushing, TRO measurement |           |                |
| 603 | More flow | Pump overrun  | Pump overrun                 | 4           | 1 | 5 |                                       |           |                |

| No. | Guideword     | Possible causes   | Consequence   | Risk matrix |   |   | Existing safeguards   | Recommend                 | Responsibility |
|-----|---------------|---|---|-------------|---|---|---|---------------------------|----------------|
|     |               |   |   | L           | S | R |   |                           |                |
| 604 | Reverse flow  | Irrelevant  |   | -           | - | - |   |                           |                |
| 605 | More pressure | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation | Pump overrun  | 4           | 1 | 5 |   |                           |                |
|     |               | Pump malfunction  |   | 4           | 0 | 4 |   |                           |                |
| 606 | Less pressure | Piping leakage  | Level rise in the bilge well  | 5           | 0 | 5 | Emergency and bilge pump  | Galvanizing or PE coating |                |
| 607 | More temp.    | Irrelevant  |   | -           | - | - |   |                           |                |
| 608 | Less temp.    | Irrelevant  |   | -           | - | - |   |                           |                |
| 609 | No level      | Fresh water supply shortage                                 | No neutralization, Insignificant damage on the pump(magnetic solenoid type) | 3           | 0 | 3 | Level sensor in the chemical tank, Low level alarm, TRO measurement |                           |                |
| 610 | More level    | Fresh water overflow  | Level rise in the bilge   | 4           | 0 | 4 | Level sensor, Chemical injection after water filing                 |                           |                |
| 611 | Less level    | Level switch malfunction                                    | No neutralization, Insignificant damage on the pump(magnetic solenoid type) | 5           | 0 | 5 | TRO measurement   |                           |                |

## B.7 Stripping Line of Ballast Tank(Node 7)

| No. | Guideword | Possible causes   | Consequence                             | Risk matrix |   |   | Existing safeguards   | Recommend                 | Responsibility |
|-----|-----------|---|---|-------------|---|---|---|---------------------------|----------------|
|     |           |   |   | L           | S | R |   |                           |                |
| 701 | No flow   | Valves closed due to malfunction or mis-operation           | No stripping, Pump overrun              | 4           | 0 | 4 | Flowmeter installed, Overrun protection for the fire and G/S pump       |                           |                |
|     |           | Fire and G/S pump stopped                                   | No stripping                            | 5           | 0 | 5 | Flowmeter installed   |                           |                |
| 702 | Less flow | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation | No stripping, Pump overrun              | 4           | 0 | 4 | Flowmeter installed, Overrun protection for the fire and G/S pump       |                           |                |
|     |           | Insufficient water from fire and G/S pump                   | No stripping                            | 4           | 0 | 4 | Flowmeter installed   |                           |                |
|     |           | Piping leakage  | No stripping<br>Level rise in the bilge | 5           | 0 | 5 | Emergency and bilge pump  | Galvanizing or PE coating |                |
| 703 | More flow | Pump overrun  | Pump overrun                            | 4           | 1 | 5 | Flow meter installed downstream of pump, Over-current relay on the pump |                           |                |

| No. | Guideword        | Possible causes   | Consequence                  | Risk matrix |   |   | Existing safeguards  | Recommend                 | Responsibility |
|-----|------------------|---|------------------------------|-------------|---|---|--|---------------------------|----------------|
|     |                  |   |                              | L           | S | R |  |                           |                |
| 704 | Reverse flow     | Reverse flow from sea   | Insignificant                | 4           | 0 | 4 | Check valve installed<br>manual block valve                                |                           |                |
| 705 | More pressure    | Valves partially closed due to malfunction or mis-operation while fire and G/S pump running | No stripping, Pump overrun   | 4           | 0 | 4 | Flow meter installed downstream of pump,<br>Over-current relay on the pump |                           |                |
| 706 | Less pressure    | Piping leakage  | Level rise in the bilge well | 5           | 0 | 5 | Emergency and bilge pump   | Galvanizing or PE coating |                |
| 707 | More temperature | Irrelevant  |                              | -           | - | - |  |                           |                |
| 708 | Less temp.       | low temperature in the winter   | Insignificant                | 5           | 0 | 5 |  |                           |                |
| 709 | No level         | Irrelevant  |                              | -           | - | - |  |                           |                |
| 710 | More level       | Irrelevant  |                              | -           | - | - |  |                           |                |
| 711 | Less level       | Irrelevant  |                              | -           | - | - |  |                           |                |



부록 C 위험도 분석 및 평가 결과(Matrix Sheet)



### C.1 Air Inlet to Valve after Air Receiver Tank During Ballasting(Node 1)

| No. | Guideword | Possible cause   | Consequence            | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|--|------------------------|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |           |  |                        | L           | S | R |  |           |                |
| 101 | No flow   | Influent blockage<br>(No Air flow)                     | Compressor overheating | 3           | 1 | 4 | Air compressor alarm, trip   |           |                |
|     |           | Valve blockage<br>(No Air flow)                        | Compressor overheating | 3           | 1 | 4 | Shut off by pressure sensor<br>in air compressor                     |           |                |
|     |           | Discharge filter<br>blockage<br>(No Air Filter)        | Compressor overheating | 3           | 1 | 4 | Shut off by pressure sensor<br>in air compressor                     |           |                |
|     |           | Air compressor<br>malfunction (stop)<br>Air compressor | N/A                    | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
|     |           | Pipe rupture   | Compressor overheating | 3           | 1 | 4 | Pressure Transmitter<br>(3.5 bar), Alarm, air<br>compressor shutdown |           |                |
|     |           | Supply stop of<br>cooling water                        | Compressor overheating | 0           | 0 | 0 | Air compressor alarm<br>(40°C), trip                                 |           |                |

| No. | Guideword    | Possible cause                                      | Consequence                  | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|--------------|---|------------------------------|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |              |   |                              | L           | S | R |  |           |                |
| 102 | Less flow    | Pipe and tank leakage                               | Compressor overheating       | 3           | 1 | 4 | Air compressor alarm (40°C), trip                        |           |                |
|     |              | Valve malfunction (partially closed)                | N/A                          | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
|     |              | Air compressor failure                              | N/A                          | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
|     |              | Air filter partial clogging                         | Compressor overheating       | 3           | 1 | 4 | Air compressor alarm, trip                               |           |                |
|     |              | Leak supply of cooling water                        | Compressor overheating       | 3           | 1 | 4 | Air compressor alarm, trip                               |           |                |
| 103 | More flow    | Compressor malfunction                              | System overpressure increase | 2           | 0 | 2 | Air receiver tank safety valve, Air compressor shut down |           |                |
| 104 | Reverse flow | Compressor malfunction                              | Compressor overheating       | 2           | 1 | 3 | Check valve of compressor, installation manual           |           |                |
|     |              | All system shutdown + compressor check valve failed | N/A                          | 2           | 0 | 2 | Check valve of receiver valve, Check valve of compressor |           |                |

| No. | Guideword     | Possible cause              | Consequence                  | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|-----------------------------|------------------------------|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |               |                             |                              | L           | S | R |  |           |                |
| 105 | More pressure | Compressor malfunction      | System overpressure increase | 2           | 0 | 2 | Air receiver tank safety valve, Air compressor shut down |           |                |
|     |               | Control loop error          | System overpressure increase | 2           | 0 | 2 | Air receiver tank safety valve, Air compressor shut down |           |                |
| 106 | Less pressure | Compressor malfunction      | System overpressure increase | 2           | 0 | 2 | Air receiver tank safety valve, Air compressor shut down |           |                |
|     |               | Control loop error          | System overpressure increase | 2           | 0 | 2 | Air receiver tank safety valve, Air compressor shut down |           |                |
|     |               | Air Compressor malfunction  | N/A                          | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
|     |               | Pipe and tank leakage       | Compressor overheating       | 3           | 1 | 4 | Air compressor alarm, trip                               |           |                |
|     |               | Air filter partial clogging | Compressor overheating       | 3           | 1 | 4 | Air compressor alarm, trip                               |           |                |

| No. | Guideword  | Possible cause   | Consequence                                  | Risk matrix |   |   | Safeguards  | Recommend | Responsibility |
|-----|------------|--|--|-------------|---|---|---|-----------|----------------|
|     |            |  |  | L           | S | R |   |           |                |
|     |            |  |  |             |   |   |   |           |                |
| 107 | More temp. | Pressure sensor error (compressor malfunction)         | Compressor overheating                       | 2           | 0 | 2 | Air compressor alarm(40℃), trip by Temperature sensor |           |                |
|     |            | Pressure transmitter malfunction (leakage)             | Compressor overheating                       | 2           | 0 | 2 | Air compressor alarm(40℃), trip by Temperature sensor |           |                |
|     |            | Supply leak of cooling water                           | Compressor overheating                       | 3           | 0 | 3 | Air compressor alarm(40℃), trip by Temperature sensor |           |                |
|     |            | Air cooler fan malfunction during cooling dryer system | Temperature increase of cooling dryer system | 3           | 0 | 3 | Pressure sensor, alarm, System trip                   |           |                |
|     |            | Leakage of cooling water                               | Compressor overheating                       | 2           | 0 | 2 | Air compressor alarm(40℃), trip by Temperature sensor |           |                |

| No. | Guideword  | Possible cause                                   | Consequence                            | Risk matrix |   |   | Safeguards  | Recommend | Responsibility |
|-----|------------|--|--|-------------|---|---|---|-----------|----------------|
|     |            |  |  | L           | S | R |   |           |                |
| 108 | No level   | Depletion and leakage of air dryer cooling water | Dryer and receiver tank of overheating | 2           | 0 | 2 | Pressure sensor, system trip, manual                        |           |                |
|     |            | Air compressor oil depletion and leak            | Air compressor overheating             | 1           | 0 | 1 | Level sensor, alarm, trip<br>Pressure sensor, manual        |           |                |
| 109 | More level | Repair failure (overdose)                        | N/A                                    | 0           | 0 | 0 | Pressure sensor, trip, manual                               |           |                |
|     |            | Repair failure (overdose)                        | N/A                                    | 0           | 0 | 0 | level sensor, alarm, trip<br>Pressure sensor, manual        |           |                |
| 110 | Less level | Repair failure (cooling dryer)                   | Dryer overheating                      | 2           | 0 | 2 | Pressure sensor, trip, repair manual                        |           |                |
|     |            | Repair failure (less dose)                       | Air compressor overheating             | 1           | 0 | 1 | level sensor, alarm, trip<br>Pressure sensor, repair manual |           |                |
|     |            | Blow   | Air compressor overheating             | 1           | 0 | 1 | Level sensor, alarm, trip<br>Pressure sensor                |           |                |

| No. | Guideword | Possible cause          | Consequence                | Risk matrix |   |   | Safeguards                                   | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|-------------------------|----------------------------|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |           |                         |                            | L           | S | R |  |           |                |
|     |           | leakage (cooling water) | Dryer overheating          | 3           | 0 | 3 | Pressure sensor, trip                        |           |                |
|     |           | leakage (oil)           | Air compressor overheating | 1           | 0 | 1 | Level sensor, alarm, trip<br>Pressure sensor |           |                |



## C.2 Oxygen Generator and Valve after Oxygen Receiver Tank During Ballasting(Node 2)

| No. | Guideword    | Possible cause                   | Consequence                 | Risk matrix |   |   | Safeguards  | Recommend | Respons |
|-----|--------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------|---|---|---|-----------|---------|
|     |              |                                  |                             | L           | S | R |   |           |         |
| 201 | No flow      | Valve blockage                   | O2 generation stop          | 3           | 0 | 3 | Pressure Transmitter Alarm, system shutdown               |           |         |
|     |              | Pipe rupture                     | O2 leakage                  | 2           | 0 | 2 | Pressure Transmitter, O2 detector, Alarm, system shutdown |           |         |
| 202 | Less flow    | Pipe and tank leakage            | O2 leak, O2 generation stop | 2           | 0 | 2 | Pressure Transmitter, O2 detector, Alarm, system shutdown |           |         |
|     |              | Valve malfunction                | O2 generation stop          | 2           | 0 | 2 | Pressure Transmitter Alarm, system shutdown               |           |         |
| 203 | More flow    | Pressure transmitter malfunction | O2 generation stop          | 2           | 0 | 2 | Pressure Transmitter Alarm, system shutdown               |           |         |
| 204 | Reverse flow | All system shutdown and          | N/A                         | 2           | 0 | 2 | Pressure Transmitter Alarm, system shutdown               |           |         |



| No. | Guideword     | Possible cause                   | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards                                  | Recommend | Respons |
|-----|---------------|----------------------------------|--|-------------|---|---|---|-----------|---------|
|     |               |                                  |  | L           | S | R |   |           |         |
|     |               | compressor check valve failed    |  |             |   |   |   |           |         |
|     |               | Valve control error              | O2 generation stop                                       | 2           | 0 | 2 | Pressure Transmitter Alarm, system shutdown |           |         |
| 205 | More pressure | Pressure transmitter malfunction | O2 generation stop                                       | 2           | 0 | 2 | Pressure Transmitter Alarm, system shutdown |           |         |
|     |               | Control loop error               | O2 generation stop                                       | 2           | 0 | 2 | Pressure Transmitter Alarm, system shutdown |           |         |
|     |               | Receiver tank valve closed       | Pressure increase of receiver tank<br>O2 generation stop | 2           | 0 | 2 | Pressure Transmitter Alarm, system shutdown |           |         |
| 206 | Less pressure | leakage                          | N/A  | 0           | 0 | 0 |   |           |         |
|     |               | Valve partially closed           | N/A  | 0           | 0 | 0 |   |           |         |
| 207 | More temp.    | N/A                              |  | 0           | 0 | 0 |   |           |         |
| 208 | Less temp.    | N/A                              |  | 0           | 0 | 0 |   |           |         |

### C.3 Ozone Generator to Reducing Valve including Water Chiller During Ballasting(Node 3)

| No. | Guideword | Possible cause                  | Consequence                 | Risk matrix |   |   | Safeguards  | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|---------------------------------|-----------------------------|-------------|---|---|---|-----------|----------------|
|     |           |                                 |                             | L           | S | R |   |           |                |
| 301 | No flow   | Blockage of cooling water valve | Ozone generator overheating | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor, Ozone analyzer, system trip                       |           |                |
|     |           | Blockage of O2 valve            | Ozone generation stop       | 1           | 1 | 2 | Pressure transmitter, Temperature sensor, Ozone analyzer, O2 analyzer |           |                |
|     |           | Blockage of drive water valve   | Unable ozone injection      | 3           | 1 | 4 | Pressure transmitter, system trip                                     |           |                |
|     |           | Blockage of O3 valve            | Ozone injection stop        | 1           | 1 | 2 | Pressure transmitter, O3 analyzer, O3 flow meter, Alarm, system trip  |           |                |
|     |           | Drive water pump malfunction    | Unable ozone injection      | 3           | 1 | 4 | Pressure transmitter, system trip                                     |           |                |
|     |           | Cooling water pump malfunction  | Ozone generator overheating | 3           | 1 | 4 | Tamp sensor, trip   |           |                |

| No. | Guideword | Possible cause                        | Consequence   | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|---------------------------------------|---|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |           |                                       |   | L           | S | R |  |           |                |
| 302 | Less flow | Pipe leakage of O <sub>2</sub>        | Decrease of ozone generation  | 3           | 1 | 4 | O <sub>2</sub> analyzer, Pressure transmitter, warning, system shutdown              |           |                |
|     |           | Pipe leakage of O <sub>3</sub>        | Leakage of ozone in ship<br>Human injure (intoxication)             | 1           | 3 | 4 | Ozone analyzer,<br>Automatic leakage test<br>Installation manual<br>Operating manual |           |                |
|     |           | Pipe and tank leakage (chilled water) | Ozone generator overheating<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor,<br>Ozone analyzer, system trip                                   |           |                |
|     |           | pipe leakage (drive water)            | Ozone injection stop  | 3           | 1 | 4 | Pressure transmitter, system trip  |           |                |
|     |           | pipe & tank leakage (cooling water)   | Ozone generator overheating<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor, system trip, Ozone analyzer                                      |           |                |

| No. | Guideword | Possible cause                     | Consequence   | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|------------------------------------|---|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |           |                                    |   | L           | S | R |  |           |                |
|     |           | Valves malfunction (O2)            | Ozone generation efficiency decrease                              | 2           | 1 | 3 | Pressure transmitter, Ozone analyzer, O2 analyzer, system trip                 |           |                |
|     |           | Valves malfunction (ozone)         | Ozone injection efficiency decrease                               | 3           | 1 | 4 | Pressure transmitter, Ozone analyzer, , system trip                            |           |                |
|     |           | Valves malfunction (chilled water) | Ozone generator overheating, Ozone generation efficiency decrease | 3           | 1 | 4 | Temperature sensor, system trip, Ozone analyzer                                |           |                |
|     |           | Valves malfunction (drive water)   | Ozone injection efficiency decrease and stop                      | 2           | 1 | 3 | Pressure transmitter, Ozone analyzer, ozone flowmeter, PT, alarm, O3 flowmeter |           |                |
|     |           | Valves malfunction (cooling water) | Ozone generator overheating Ozone generation efficiency decrease  | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor, system trip, Ozone analyzer                                |           |                |

| No. | Guideword     | Possible cause                                | Consequence                                | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|---|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |               |   |  | L           | S | R |  |           |                |
| 303 | More flow     | Pressure transmitter malfunction (ozone)      | N/A  | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
|     |               | Pressure transmitter malfunction(drive water) | N/A  | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
|     |               | Flowmeter malfunction (ozone)                 | Ozone injection increase<br>Ozone overdose | 3           | 2 | 5 | TRO analyzer, ozone control valve, flow control, system trip |           |                |
| 304 | Reverse flow  | Check valve malfunction                       | N/A  | 0           | 0 | 0 |  |           |                |
| 305 | More pressure | Discharge valve closed                        | N/A  | 0           | 0 | 0 | Check valve, Pressure transmitter                            |           |                |
| 306 | Less pressure | Pipe leakage (O2)                             | Ozone generation efficiency decrease       | 3           | 1 | 4 | O2 analyzer, pressure transmitter, warning, system shutdown  |           |                |

| No. | Guideword | Possible cause                      | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|-------------------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |           |                                     |  | L           | S | R |  |           |                |
|     |           | pipe leakage(ozone)                 | Ozone leakage in ship<br>Human injure (intoxication)                 | 1           | 3 | 4 | Ozone analyzer,<br>Automatic leakage test<br>Installation manual<br>Operating manual |           |                |
|     |           | Pipe & tank leakage (chilled water) | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor,<br>system trip, Ozone analyzer                                   |           |                |
|     |           | Pipe leakage (drive water)          | Ozone injection stop   | 3           | 1 | 4 | Pressure transmitter,<br>system trip   |           |                |
|     |           | Pipe & tank leakage (cooling water) | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor,<br>ozone analyzer  |           |                |
|     |           | Valves malfunction(O2)              | Ozone generation efficiency decrease                                 | 2           | 1 | 3 | O3 analyzer, pressure transmitter , trip, O2 analyzer                                |           |                |
|     |           | Valves malfunction (ozone)          | Ozone generation efficiency decrease                                 | 3           | 1 | 4 | O3 analyzer, pressure transmitter , trip,  |           |                |

| No. | Guideword        | Possible cause                     | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards   | Recommend | Responsibility |
|-----|------------------|------------------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |                  |                                    |  | L           | S | R |  |           |                |
|     |                  | Valves malfunction (chilled water) | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 3           | 1 | 4 | Temperature sensor, ozone analyzer, system trip        |           |                |
|     |                  | Valves malfunction (drive water)   | Ozone injection efficiency decrease and stop                         | 2           | 1 | 3 | Pressure transmitter, Ozone analyzer, ozone flow meter |           |                |
|     |                  | Valves malfunction (cooling water) | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor, ozone analyzer, system trip        |           |                |
| 307 | More temperature | Valves malfunction (chilled water) | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 0 | 0 | Temperature sensor, ozone analyzer, system trip        |           |                |
|     |                  | Valves malfunction (cooling water) | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 0 | 0 | Temperature sensor, ozone analyzer, system trip        |           |                |

| No. | Guideword | Possible cause                         | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards                                      | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|--|--|-------------|---|---|---|-----------|----------------|
|     |           |  |  | L           | S | R |   |           |                |
|     |           | Pipe and tank leakage (cooling water)  | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor, ozone analyzer, system trip |           |                |
|     |           | Valve blockage of cooling water valves | Ozone generator overheating  | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor, ozone analyzer, system trip |           |                |
| 308 | No level  | Valve blockage of cooling water valves | Ozone generator overheating  | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor, ozone analyzer, system trip |           |                |
|     |           | Blockage of drive water valve          | Ozone injection stop   | 3           | 1 | 4 | Pressure transmitter, system trip               |           |                |
|     |           | Drive water pump malfunction           | Ozone injection stop   | 3           | 1 | 4 | Pressure transmitter, system trip               |           |                |
|     |           | Cooling water pump malfunction         | Ozone generator overheating  | 3           | 1 | 4 | Temperature sensor, system trip                 |           |                |



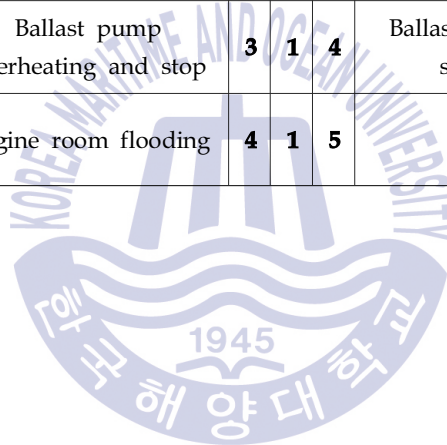
| No. | Guideword  | Possible cause                        | Consequence  | Risk matrix |   |   | Safeguards                                       | Recommend | Responsibility |
|-----|------------|---------------------------------------|--|-------------|---|---|--|-----------|----------------|
|     |            |                                       |  | L           | S | R |  |           |                |
| 309 | Less level | Pipe & tank leakage (chilled water)   | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor, system trip, ozone generator |           |                |
|     |            | Pipe leakage (drive water)            | Ozone injection stop   | 3           | 1 | 4 | Pressure transmitter, system trip                |           |                |
|     |            | Pipe and tank leakage (cooling water) | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor, system trip, ozone generator |           |                |
|     |            | Valves malfunction (chilled water)    | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 3           | 1 | 4 | Temperature sensor, system trip, ozone generator |           |                |
|     |            | Valves malfunction (drive water)      | Ozone injection efficiency decrease and stop                         | 2           | 1 | 3 | Pressure transmitter, ozone flow meter           |           |                |
|     |            | Valves malfunction (cooling water)    | Ozone generator overheating,<br>Ozone generation efficiency decrease | 2           | 1 | 3 | Temperature sensor, system trip, ozone analyzer  |           |                |

#### C.4 Ozone Injection Nozzle and Flow Line into WBT During Ballasting(Node 4)

| No. | Guideword | Possible cause              | Consequence                       | Risk matrix |   |   | Safeguards                      | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------|---|---|---------------------------------|-----------|----------------|
|     |           |                             |                                   | L           | S | R |                                 |           |                |
| 401 | No flow   | Blockage of seachest        | Ballast pump overheating and stop | 3           | 1 | 4 | Ballast pump alarm, system trip |           |                |
|     |           | Blockage of strainer        | Ballast pump overheating and stop | 3           | 1 | 4 | Ballast pump alarm, system trip |           |                |
|     |           | Blockage of valves          | Ballast pump overheating and stop | 3           | 1 | 4 | Ballast pump alarm, system trip |           |                |
|     |           | Ballast pump stop           | N/A                               | 0           | 0 | 0 |                                 |           |                |
|     |           | Flowmeter error             | Ozone injection stop              | 3           | 1 | 4 | Alarm, system trip              |           |                |
|     |           | Pipe rupture (ballast line) | Engine room flooding              | 4           | 1 | 5 | Alarm                           |           |                |
| 402 | Less flow | Blockage of seachest        | Ballast pump overheating and stop | 3           | 1 | 4 | Ballast pump alarm, system trip |           |                |
|     |           | Blockage of strainer        | Ballast pump overheating and stop | 3           | 1 | 4 | Ballast pump alarm, system trip |           |                |

| No. | Guideword     | Possible cause                      | Consequence                       | Risk matrix |   |   | Safeguards                      | Recommend | Responsibility |
|-----|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------|---|---|---------------------------------|-----------|----------------|
|     |               |                                     |                                   | L           | S | R |                                 |           |                |
|     |               | Valves blockage                     | Ballast pump overheating and stop | 3           | 1 | 4 | Ballast pump alarm, system trip |           |                |
|     |               | Ballast pump efficiency decrease    | N/A                               | 0           | 0 | 0 |                                 |           |                |
|     |               | flowmeter error                     | Ozone injection stop              | 3           | 1 | 4 | Ballast pump alarm, system trip |           |                |
|     |               | Pipe rupture (ballast line)         | Engine room flooding              | 4           | 1 | 5 | Alarm                           |           |                |
| 403 | More flow     | Pump overrun                        | Ozone concentration decrease      | 3           | 1 | 4 | Alarm, system trip              |           |                |
| 404 | Reverse flow  | Valve operation error (human error) | N/A                               | 0           | 0 | 0 |                                 |           |                |
| 405 | More pressure | Pump over running                   | Ozone concentration decrease      | 3           | 1 | 4 | Alarm, system trip              |           |                |
| 406 | Less pressure | Sea chest blockage                  | Ballast pump overheating and stop | 3           | 1 | 4 | Ballast pump alarm, system trip |           |                |

| No. | Guideword | Possible cause              | Consequence                       | Risk matrix |   |   | Safeguards                      | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------|---|---|---------------------------------|-----------|----------------|
|     |           |                             |                                   | L           | S | R |                                 |           |                |
|     |           | Strainer blockage           | Ballast pump overheating and stop | 3           | 1 | 4 | Ballast pump alarm, system trip |           |                |
|     |           | Valve partially blockage    | Ballast pump overheating and stop | 3           | 1 | 4 | Ballast pump alarm, system trip |           |                |
|     |           | Pipe leakage (ballast line) | Engine room flooding              | 4           | 1 | 5 | Alarm                           |           |                |



### C.5 WBT, Neutralizer Unit and Ballast Pump During De-ballasting(Node 5)

| No. | Guideword | Possible cause                                   | Consequence          | Risk matrix |   |   | Safeguards      | Recommend | Responsibility |
|-----|-----------|--|----------------------|-------------|---|---|-----------------|-----------|----------------|
|     |           |  |                      | L           | S | R |                 |           |                |
|     |           |  |                      |             |   |   |                 |           |                |
| 501 | No flow   | Valve closed due to malfunction 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 |           |                |
| 502 | Less flow | Valve partially closed due to malfunction        | 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 overdose | 3           | 0 | 3 | TRO measurement |           |                |

| No. | Guideword        | Possible cause                          | Consequence                  | Risk matrix |   |   | Safeguards         | Recommend | Responsibility |
|-----|------------------|---|------------------------------|-------------|---|---|--------------------|-----------|----------------|
|     |                  |   |                              | L           | S | R |                    |           |                |
| 504 | More pressure    | Neutralizer pump malfunction            | Pump overrun                 | 3           | 1 | 4 | Alarm, system trip |           |                |
|     |                  | Valve partially closed                  | Pump overrun                 | 3           | 1 | 4 | Alarm, system trip |           |                |
| 505 | More temperature | Neutralizer pump valve partially closed | Neutralizer pump overheating | 3           | 1 | 4 | System trip        |           |                |

