



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](#)

工學碩士 學位論文

노후화된 해양 설비의 해체 및 재활용  
방안에 관한 연구

A Study on Decommissioning and  
Reutilization of Abandoned Offshore Facilities



2018年 8月

韓國海洋大學校 大學院

기 관 공 학 부

郭 珉 瑛

本 論文을 郭珉英의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長 柳 熙 漢



委員 吳 珍 錫



委員 李 明 鎬



2018 年 06 月 22 日

韓國海洋大學校 大 學 院

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
Abstract .....	v
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 해양플랜트 해체(Decommissioning) .....	3
2.1 해양플랜트 해체의 개념 .....	3
2.2 해양플랜트 해체시장 현황 .....	5
2.3 해양플랜트 해체산업 성장 및 저해요인 .....	9
제 3 장 노후화된 해양설비의 해체 관련 규정 .....	13
3.1 국제 협약 .....	13
3.2 지역 협약 .....	17
3.3 지역별 해체규정 비교 .....	19
제 4 장 해양설비의 해체 및 재활용 방법 .....	22
4.1 통상적인 해양설비의 해체 절차 .....	22
4.2 구조물 제거 방법 .....	24
4.3 구조물 처리 방법 .....	32
4.4 구조물 재활용 사례 .....	35

제 5 장 노후화된 해양 설비의 해체 및 재활용 방안 분석 ..... 40

    5.1 분석 대상 플랫폼 선정 및 해체 방안 분석 ..... 40

    5.2 재활용 방안 분석 및 평가 ..... 45

    5.3 경제적 효과 ..... 51

    5.4 종합 평가 ..... 57

제 6 장 결 론 ..... 59

참고문헌 ..... 60



## List of Tables

<b>Table 1</b>	Decommissioning process (general) .....	4
<b>Table 2</b>	Decommissioning options (general) .....	5
<b>Table 3</b>	Decommissioning activity across the North Sea, 2017 - 2025 ...	6
<b>Table 4</b>	Offshore installations over 20 years in Southeast Asia .....	8
<b>Table 5</b>	IMO decommissioning guideline .....	15
<b>Table 6</b>	Table of international convention .....	16
<b>Table 7</b>	Table of decommissioning regulation comparison .....	20
<b>Table 8</b>	Comparative assessment framework .....	26
<b>Table 9</b>	Material disposal regulation .....	33
<b>Table 10</b>	Steel scrap price in USA .....	34
<b>Table 11</b>	Specification of A platform .....	40
<b>Table 12</b>	Structure lifting method .....	44
<b>Table 13</b>	Structure disposal method .....	45
<b>Table 14</b>	Specification of aquaculture cage .....	51
<b>Table 15</b>	The facilities investment costs of tiger grouper offshore aquaculture ...	52
<b>Table 16</b>	Summary of the expenditure of tiger grouper offshore aquaculture	53
<b>Table 17</b>	The estimation of cash flow .....	56
<b>Table 18</b>	The estimation of NPV, IRR and BCR .....	56
<b>Table 19</b>	Comparison of R2R and offshore aquaculture project .....	57

## List of Figures

<b>Fig. 1</b> Decommissioning facilities .....	3
<b>Fig. 2</b> Statistics for platforms on expired or terminated leases .....	7
<b>Fig. 3</b> Global floating and fixed platforms by region in 2015 .....	9
<b>Fig. 4</b> Diagram national assets transfer/deletion process in Indonesia .....	12
<b>Fig. 5</b> Decommissioning process .....	22
<b>Fig. 6</b> Decommissioning options under IMO guideline .....	25
<b>Fig. 7</b> Consideration of structure cutting .....	27
<b>Fig. 8</b> Template removal by explosives .....	28
<b>Fig. 9</b> Internal abrasive cutter .....	29
<b>Fig. 10</b> Buoyancy tank assembly and tanks in Frigg cessation project .....	31
<b>Fig. 11</b> Waste management process .....	32
<b>Fig. 12</b> Marine habitat surrounding platform .....	36
<b>Fig. 13</b> USS Oriskany diving point .....	37
<b>Fig. 14</b> Seaventures Dive Rig .....	38
<b>Fig. 15</b> Global capture fisheries and aquaculture production to 2025 .....	39
<b>Fig. 16</b> Platform A layout .....	42
<b>Fig. 17</b> Location of A platform .....	42
<b>Fig. 18</b> SACS model with weights .....	43
<b>Fig. 19</b> Rig-to-Reef process and options .....	46
<b>Fig. 20</b> Concept drawing of auto feeding & monitoring system .....	48
<b>Fig. 21</b> A field layout .....	49
<b>Fig. 22</b> Decommissioning and reutilization process .....	50

# **A Study on Decommissioning and Reutilization of Abandoned Offshore Facilities**

Kwak, Min Yeong

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



## **Abstract**

Thousands of offshore facilities are approaching obsolescence and will require to be removed within the next decades. The decommissioning of offshore facilities are unavoidable issues at some point in the future as the platform reach end of their useful production lifetimes. Since the decommissioning project is not a business that generates economic benefits compared to the massive decommissioning cost, it can not easily be undertaken by companies and governments. Also, decommissioning of offshore oil and gas platforms raises many complex issues including regulatory requirements, technical feasibility, health, safety, socio-economic, environmental impacts, economics and strategies.

The first objective of this study is to investigate international and

regional regulations and decommissioning procedures in order to strategically develop the rapidly growing offshore decommissioning market. The second is to propose 'rig-to-reef' option and 'offshore aquaculture' option, which are methods to reduce the cost of decommissioning and create economic and environmental benefits by reutilizing the structures. Finally, this study analyzes business feasibility for two reutilization options by conducting a legal, technical and economic assessments of the abandoned offshore platform in Indonesia.

**KEY WORDS:** Decommissioning, Rig-to-reef, Offshore facilities, 해양플랜트 해체, 해양플랜트 재활용.



## 제 1장 서론

인류는 석유 및 가스 자원의 확보를 위하여 육상에서 해상으로 더 나아가 심해까지 영역을 확장하기 시작하였다. 2015년 기준으로 약 7,600 여기의 고정식 해양플랫폼이 전 세계 해역에 설치되어 있으며, 이를 통해 인류는 지속적으로 석유 및 가스 자원을 확보할 수 있었다. 하지만 해양플랜트는 기계설비로 가동수명이 존재하고 해수의 영향으로 부식이 되며 태풍 등의 자연재해에 노출되어 있다. 고정식 해양플랫폼의 수명은 약 30년으로 30년이 지나면 제 기능을 하지 못하는 상태 즉 고물이 된다. 이미 약 50%의 고정식 해양플랫폼의 수명은 거의 다하였으며, 나머지 50%도 언젠가는 수명을 다하여 해상 위의 쓰레기로 취급될 것이다.

세계적으로 자원 확보를 위한 무분별한 환경오염에 대하여 경각심을 가지기 시작하였으며, 환경 보존을 위하여 석유 및 가스설비에서 발생하는 폐기물 처리에 대한 규제가 만들어지기 시작하였다. 1958년 대륙붕조약에서 최초로 버려지거나 폐기된 해양 설비의 '제거'를 언급한 이후, 해상 설비의 해체를 다루는 다양한 국제 및 지역 협약이 채택되었다. 고의적 폐기를 목적으로 해상에서 플랫폼이나 기타 인공구조물을 무분별하게 방치하는 것을 '투기(dumping)'로 규정하였으며 더 이상 운용되지 않는 해상 설비에 대해서는 완전히 또는 부분적으로 '제거(removal)' 되도록 하였다.

해양플랜트 해체산업은 해양플랜트 산업의 수명주기(life cycle) 중에서 설치산업 부분과 흡사하나 해양플랜트 설치사업은 1920년대 초부터 시작하여 활성화되었던 것에 비해 노후화된 해양 설비에 대한 철거 및 제거에 대하여 구체적으로 논의한 것은 한참 뒤였으며, 본격적인 해체사업은 90년대부터 시작되었다. 해체사업은 막대한 해체공사 비용에 비하여 경제적 이익을 창출하는 공사가 아니기 때문에 기업 및 정부에서는 쉽게 착수하지 못하고 있으며 노후화된 해양

구조물 절단으로 발생할 수 있는 해양환경오염 문제 및 각 국가별 상이한 해체 관련 규정 등의 기술적, 제도적 고려 사항으로 인하여 복잡한 양상을 보인다.

따라서 선진국을 중심으로 노후화된 해양설비를 단순 제거하기보다는 장비를 유지·보수하여 재사용을 하거나, 구조물을 다른 목적으로 재활용하는 사업을 권장하기 시작하였다. 전 세계적으로 노후화된 해양설비를 효과적으로 해체하는 방법을 도출하고자 다양한 재활용 방안을 제시하기 시작하였지만 인공어초 재활용 방법을 제외하고는 일회성으로 그쳤으며, 2014년 하반기부터 시작된 석유가격의 하락으로 인하여 해양플랜트 해체사업은 정체되었다. 하지만 전 세계 수역에 설치되어 있는 해양설비는 언젠가는 해체되어야 할 대상이며, 제거되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 경제적·환경적인 효과를 얻을 수 있고 장기적으로 활성화할 수 있는 재활용 방안을 제시하고자 한다.



## 제 2 장 해양플랜트 해체(Decommissioning)

### 2.1 해양플랜트 해체의 개념

해양플랜트 해체(decommissioning) 산업이란 유정의 채산성이 낮거나 플랫폼의 노후화로 인하여 더 이상의 플랫폼 운영이 불가할 때 해양플랫폼 및 해저장비의 일부 또는 전부를 해양자원 개발 현장에서 철거 또는 처리하는 사업을 의미한다. 해체 대상으로는 Fig. 1과 같이 고정식 해양플랫폼(topside, jacket), 파이프라인, 해저장비 및 컨덕터(conductor) 등을 포함한다. 해상에서 제거된 구조물은 인근 육지로 이송되어 폐기물로 처리되거나, 일부는 고철로 판매된다. 최근에는 해체 비용의 절감을 위하여 구조물 일부분을 타 목적으로 재활용하는 사례도 증가하고 있는 추세이다.



(a) Topside

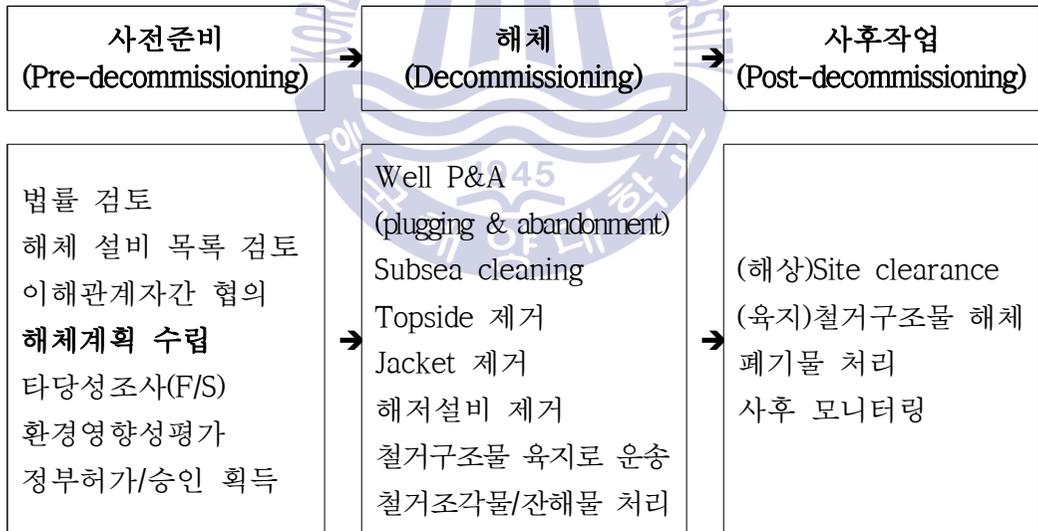
(b) Jacket

Fig.1 Decommissioning facilities (source : [www.shell.co.uk](http://www.shell.co.uk))

### 2.1.1 해체 절차

해체를 위해서는 크게 사전준비 - 해체 - 사후작업으로 나뉘며 각 단계에서의 세부단계는 **Table 1**과 같다. 사전준비 작업의 경우, 먼저 해당 구역의 해체 관련 법률과 기준 등을 검토하고 해체대상 설비의 구조물 특성, 크기에 따른 최적의 해체계획을 수립하는 단계이다. 해체공사를 수행하기 위해서는 타당성 조사 및 환경영향성평가를 실시하여 법적, 기술적, 경제적 및 환경적 타당성을 검토하여 가장 적합한 해체계획을 수립하고 최종적으로 정부의 승인을 얻어야 한다. 해양설비의 제거를 위해서 가장 먼저 필요한 공사는 유정 봉쇄(well plugging&abandonment)이다. 원유 유출은 세계적으로 해체 공사 시 가장 우려하는 부분으로, 제거 대상인 모든 유정을 봉쇄한 후 제거 공사를 실시해야 한다.

Table 1 Decommissioning process (general)

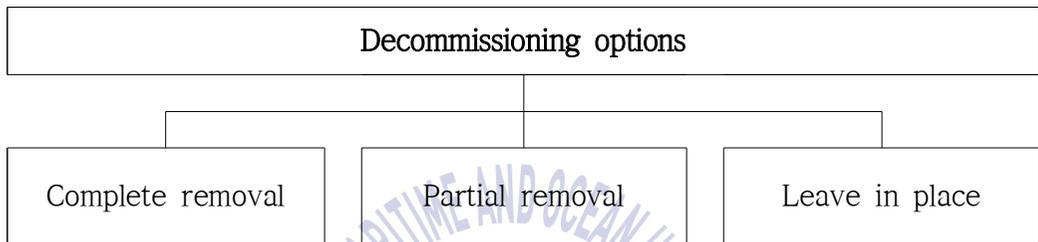


### 2.1.2 해체 방법

해체의 방법은 **Table 2**와 같이 complete removal (전체제거), partial removal (부분제거) 및 leave in place (그 자리에 남겨두는 것)으로 분류한다. complete removal은 하부구조물을 해저면 아래까지 절단하여 해체하는 방법이며, partial

removal은 하부구조물 중 일부분을 남겨두고 부분적으로 제거할 수 있는 방법이다. 해체 방법은 구조물의 무게와 수심에 따라 결정되며, 기준은 국가마다 상이하다. 따라서 해체 공사를 진행하기 이전에 각 국가에서 적용하고 있는 해체 규정과 구조물의 무게 및 수심을 종합적으로 검토하여 적합한 해체 방법을 선택해야 한다.

Table 2 Decommissioning options (general)



## 2.2 해양플랜트 해체시장 현황

국제사회에서는 노후화된 석유 및 가스 설비의 방치를 해양 환경오염의 주요 요인으로 인식하기 시작하였다. 특히, 해양에서 어로 행위와 선박의 항해를 방해하고 해양환경오염을 유발하는 해양 설비를 제거해야 한다는 국제 협약으로 인하여 해양플랜트 해체사업은 성장하기 시작하였다. Douglas-Westwood사의 보고서에 따르면 2015년 기준 fixed platform의 수는 약 7600 여기로 [1], fixed platform의 가동 수명을 최대 30년으로 가정했을 때, 대부분의 플랫폼은 향후 10년 이내로 해체되어야 하는 것으로 판단된다. 영국의 리서치사인 Visiongain에서는 해양플랜트 해체시장에서 2018년 CAPEX(Capital Expenditures)는 6,551.9백만 달러가 될 것으로 예측하였으며 이는 2013년 CAPEX 3946.8백만 달러와 비교하면 약 66% 상승한 수치이다 [2]. 또한 리서치사 Market Research Future에서 발간한 ‘Offshore Decommissioning Market Research Report - Forecast to 2023’에서는 2017년도부터 2023년까지 해양플랜트 해체시장은 연평균 6.93%씩 성장할 것으로 예측하였다.

### 2.2.1 북해 시장 현황

Table 3은 2017년부터 2025년까지 수행 예정인 해체대상 필드의 수와 플랫폼의 수를 나타낸 표이다. 북해 지역에서는 2025년 까지 563개의 필드에서 304기의 플랫폼을 해체할 예정이며, 영국 대륙붕에서는 98기의 플랫폼을 해체할 예정이다 [3]. 영국 해체시장은 2010년 세계 해체시장 지출경비의 2%에서 2016년에는 7%(12억 파운드)로 상승하였으며, 향후 2025년 까지 영국 대륙붕에 설치된 해상 설비 해체를 위하여 약 170억 파운드를 지출할 것으로 예상하고 있다. 노르웨이 해체시장은 2010년 세계 해체시장 지출경비의 2%(4억 파운드) 규모이며 [3], 노르웨이 석유 이사회(The Norwegian Petroleum Directorate)에서는 2021년까지 해체 비용이 8억 파운드까지 증가할 것으로 예측하였다 [4]. 북해지역은 해체 관련 전문 기술을 보유하고 있으며 정부차원에서 정책 지원 및 재정적 인센티브를 제공함으로써 해양설비의 해체를 장려하고 있으며, 이는 북해지역의 해체시장 성장의 주 요인으로 작용하고 있다.

**Table 3** Decommissioning activity across the North Sea, 2017 - 2025 [3]

Coastal States	Number of fields with decommissioning activities	Number of platforms for removal
Northern North Sea and West of Shetland	45	12
Central North Sea	77	19
Southern North Sea and Irish Sea	92	67
Total UKCS	214	98
Norwegian Continental Shelf	23	14
Danish Continental Shelf	6	17
Dutch Continental Shelf	106	77
<b>Total</b>	<b>563</b>	<b>304</b>

### 2.2.2 멕시코만 시장 현황

멕시코만(Gulf of Mexico) OCS(Outer Continental Shelf)에는 약 2,996개(2012년 기준)의 생산(production) 플랫폼이 설치되어 있으며, 설치된 지 25년이 넘는 노후화된 생산 플랫폼이 전체의 40% 이상을 차지하고 있다. 멕시코만 지역에서는 해양설비에서의 석유 및 가스 생산량이 감소함에 따라 1980년대부터 해체사업을 시작하였으며 현재까지 절반이상의 해양 설비가 폐쇄되거나 제거되었다. 멕시코만 지역은 전 세계의 32%의 해양플랫폼이 설치되어 있는 지역으로 해체 시장이 가장 활발한 지역이며, 1년 평균 130기의 플랫폼을 해체하고 있다. 미국 안전 및 환경집행국(Bureau of Safety and Environmental Enforcement)에 따르면 2015년 2월 이후 더 이상 “경제적으로 운영 가능” 하지 않거나 심각한 손상으로 인하여 해체되어야 하는 플랫폼의 수는 약 535기이며, 수심에 따른 해체대상 플랫폼의 수는 Fig 4와 같다 [5].

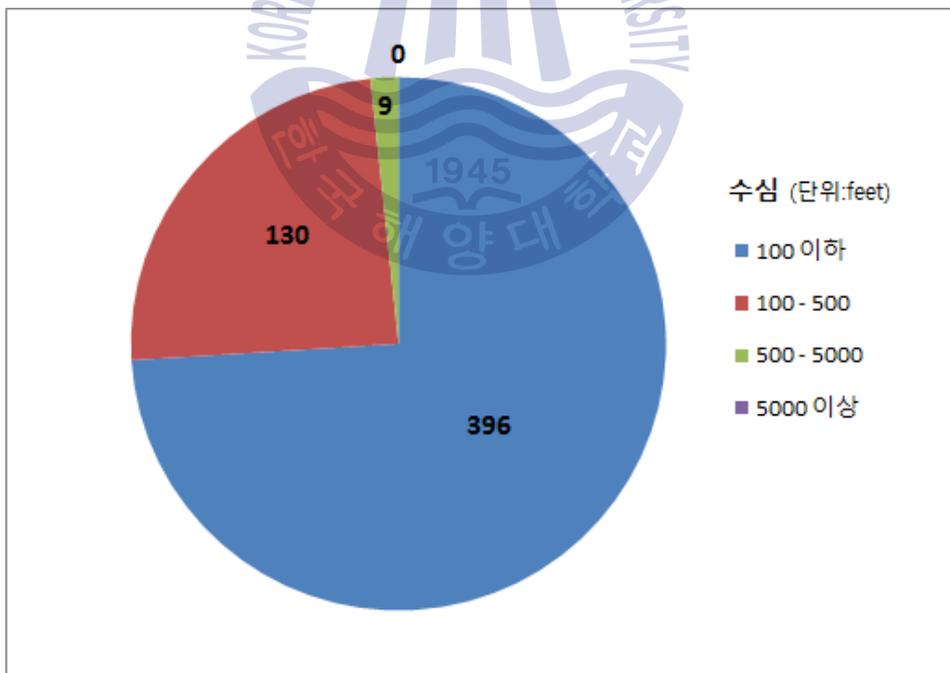


Fig. 4 Statistics for platforms on expired or terminated leases [5]

### 2.2.3 아시아 시장 현황

아시아 지역의 해체시장은 떠오르는 블루오션으로 평가받는다. 석유 및 가스 시설의 대부분이 해양에 설치되어 있으며, 전 세계의 26%의 해양플랫폼이 설치되어 있는 지역이기 때문이다. 동남아시아의 경우, 약 800 여기의 해양설비가 설치기간이 20년 이상인 것으로 파악되며 [6], 그 중 인도네시아 및 말레이시아 지역이 가장 많은 수를 차지하고 있다. 또한 아시아 지역에 설치되어 있는 해양설비는 멕시코만과 달리 얕은 수심에 설치되어 있으며 북해에 비해 기후는 상대적으로 평온하다. 이와 같이 아시아 지역의 해체 물량과 해양 환경조건은 해체시장의 성장 요인으로 작용하여 2023년까지 연평균 15.1%씩 성장할 것으로 예상하고 있으며 이는 타 지역보다 2배 이상인 수치이다 [2]. **Table 4**는 2010년 기준 아시아 지역의 설치 연수가 20년 이상인 플랫폼 현황을 나타낸다.

**Table 4** Offshore installations over 20 years in Southeast Asia [6]

Coastal States	Installations > 30 years	Installations 20-30 years	Total
Indonesia	169	187	356
Malaysia	110	99	209
Brunei	87	59	146
Thailand	16	64	80
Philippines	6	-	6
Vietnam	-	12	12
China	1	23	24

## 2.3 해양플랜트 해체산업 성장 및 저해요인

### 2.3.1 성장요인

#### (1) 노후화된 해양설비 수의 증가

Fig. 3의 세계 고정식 플랫폼의 설치 현황(2015년 기준)에서 알 수 있듯이 전 세계 수역에는 약 7,600기의 고정식 플랫폼이 설치되어 있다. 그중 설치된 지 20여 년이 넘는 플랫폼의 수가 대부분이며, 향후 10년간 약 50%(추정치) 이상의 플랫폼이 해체되어야 하는 것으로 파악된다. 해양설비는 해수의 영향으로 부식이 되어 구조물의 내구성이 약해지며, 멕시코만의 허리케인이나 북해의 높은 파도 및 바람 등의 자연 재해로 인해 구조물이 손상될 수도 있다. 이처럼 구조물이 노후화될수록 구조물이 약해져 사고의 위험성에 노출될 확률이 크다.

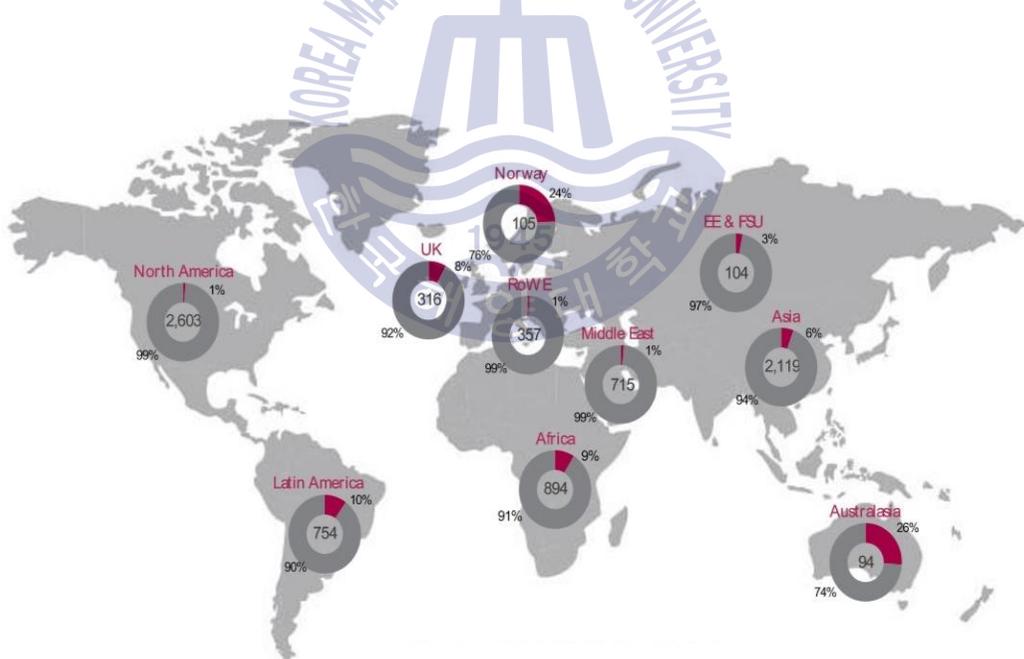


Fig. 3 Global floating and fixed platforms by region in 2015 [1]

## (2) 제거 및 폐기의 강제화

세계적으로 자원 확보를 위한 무분별한 환경훼손에 대하여 경각심을 가지기 시작하였으며, 해양 환경보존을 위하여 더 이상 운영하지 않는 해양설비의 제거 및 폐기에 대한 규제가 생겨나기 시작하였다. 각 국가에게 해체의 당위성을 부여하는 국제협약을 시작으로 주변 국가들이 모여 지역협약을 체결하였으며 이를 바탕으로 개별국가에서는 해체 관련법을 제정하였다. 정부는 해양설비 운영회사에게 임대계약(또는 생산물분배계약) 만료 후 노후화된 해양설비를 반드시 해체하도록 하는 법을 강제화하여 노후화된 해양설비가 방치되지 않도록 하였다.

## (3) 해체기술의 발전

해체장비 및 선박의 기술적인 발전은 해체 프로젝트의 기간 및 비용을 줄여 공사를 효율적으로 수행할 수 있는 원동력이 되었다. 하부구조물 및 해저설비를 절단할 시 해저의 상황을 잘 파악하여 정확하게 제거해야 하지만 다이버가 할 수 있는 작업에는 한계가 있다. 육상에서 원격으로 조정되는 무인잠수정인 ROV(Remotely Operated Vehicle)를 개발하여 다이버들이 작업하기 힘든 해저 환경 속에서 지체 없이 작업할 수 있도록 하였다. 또한 diamond wire cutting saw, internal cutting tool 등의 커팅장비의 개발은 구조물 절단시간을 절약할 수 있었으며, 깊은 수심에서도 정교하게 절단할 수 있게 하였다. 대형화된 해양구조물의 설치 및 해체 시간을 단축하기 위하여 Allseas사에서는 OCDV(Offshore Construction and Decommissioning Vessel)인 ‘Pioneering Spirit’ 를 개발하였으며, Pioneering Spirit은 상부구조물을 최대 48,000톤을 들어 올릴 수 있고 하부구조물은 25,000톤까지 들어 올릴 수 있도록 설계되었다. 세계적으로 대형화된 플랫폼의 해체 공사를 수행할 때 비교적 적은 인력으로 단시간에 수행하기 위하여 Pioneering Spirit을 활용하는 것을 고려하고 있는 추세이다.

## 2.3.2 저해요인

### (1) 높은 비용

해체비용은 수심, 설치연도, 플랫폼의 종류, 계절 및 육지와와의 거리에 따라 가격변동이 큰 편이다. 또한 1998년 이후 설치된 해양설비에 대해서는 완전히 제거되도록 설계되었지만, 그 이전에 건조된 해양설비의 대부분은 설계단계에서 해체를 고려하지 않아 복잡한 해체 설계 시 많은 비용이 소요될 수 있다. 특히 오늘날에 해체대상 해양설비의 대부분이 70~80년대 건조된 해양설비인 만큼 건조하는 단계에서 해체를 고려하지 않고 설치된 경우가 많다. 복잡하고 비용이 많이 소요되는 해체공사는 해체시장의 성장을 저해하는 요인으로 작용한다. 특히 해양설비를 국영석유회사에 의해 관리하고 있는 아시아 지역의 경우 예산부족으로 인해 전 세계적으로 두 번째로 많은 해양 설비가 설치되어 있음에도 불구하고 현재 해체공사의 실적은 저조한 편이다.

### (2) 복잡한 허가 절차

해체공사의 경우 이미 시추된 유정을 봉쇄하고 원유의 이동경로인 컨덕터 및 파이프라인을 절단해야 하는 등 원유 유출의 위험성이 큰 공사이므로, 공사의 착수를 위해서는 정부의 엄격한 승인절차를 거쳐야 한다. Shell에서 운영한 Brent 필드의 플랫폼 해체는 석유 및 가스 해체 산업에서 가장 널리 알려진 사례 중 하나이다. 1976년부터 생산하기 시작한 Brent 필드는 1982년 기준 하루 석유 생산량은 504,000 bbl/d였으며 하루 가스 생산량은 26.6M<sup>3</sup>/d로 북해의 거대 유전 중 하나였다. Brent 필드에 설치되어 있는 4개의 해양플랫폼을 해체하기 위하여 약 8년간 정부, 운영회사, 비정부기관, 학계 및 지역 사회 등 약 200여개의 기관에서 토론, 해체 엔지니어링 연구 등을 수행하였으며 해외 전문가 자문 및 환경평가 등을 고려한 후 해체공사를 착수할 수 있었다 [7]. 또한 인도네시아의 경우, 동남아시아 지역에서 가장 많은 해양플랫폼이 설치되어 있지만 복잡한 정부승인절차로 인하여 해체공사를 착수하지 못하고 있는 실정이다. Fig. 4은 인도네시아에서 해체공사를 착수하기 위해 거쳐야 하는 승인절차를 나타낸다.

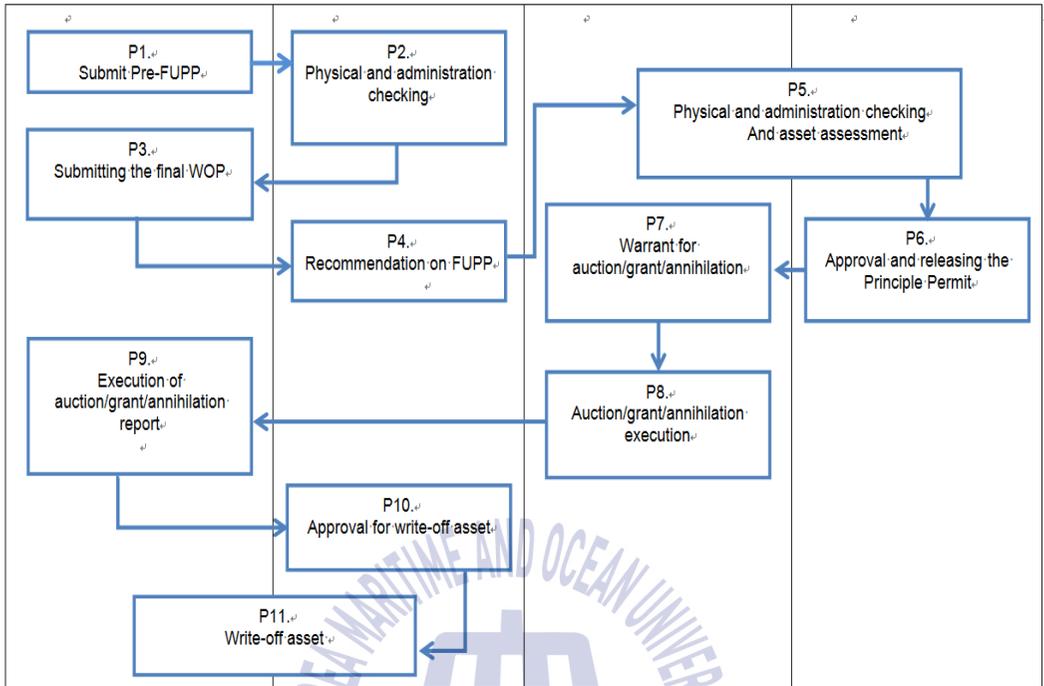


Fig. 4 Diagram national assets transfer/deletion process in Indonesia

### (3) 각 국가별 정책 및 관련법의 부재

전 세계적으로 해체 시장이 활발한 지역은 멕시코만 지역과 북해 지역이며 주로 해체 관련 협약과 지침은 두 지역에 포커스를 맞추어 마련되었다고 해도 과언이 아니다. 하지만 두 지역의 거친 해양환경과 깊은 수심 등의 환경요건을 고려한 해체지침은 적도 부근의 평온한 바다에 설치되어 있는 해양설비에 적용하기엔 비용적인 측면이나 실용적인 측면에서 비효율적이다. 그러나 아직 해체 경험이 부족한 국가에서는 OSPAR Decision 98/3, 30 CFR(Code of Federal Regulations) part 250 등 선진국에서 마련한 해체기준을 그대로 따르고 있다. 각 국가별 해양환경을 고려한 해체 지침이 부재할 경우 해양설비를 전체적으로 또는 부분적으로 제거되어야 하는가, 아니면 그 자리에 남겨두는 것이 허용 될 수 있는가 등을 결정하는데 어려움이 따른다.

## 제 3 장 노후화된 해양설비의 해체 관련 규정

국제적으로 해양 환경 보존을 위하여 폐기물 처리 및 구조물 투기에 대한 심각성을 인지하고 해양오염방지를 위해 각국의 권리와 의무를 부여하기 시작하였다. 1958년 대륙붕조약에서 최초로 버려지거나 폐기된 해양 설비의 '제거'를 언급한 이후, 해상 설비의 해체를 다루는 다양한 국제 및 지역 협약이 채택되었다. 공통적으로 해양 환경의 보존을 위한 각 국가의 정책 강화를 강조하고 있으며, 고의적 폐기를 목적으로 해상에서 플랫폼이나 기타 인공구조물을 무분별하게 방치하는 것을 '투기(dumping)'로 규정하고 있으며 더 이상 운용되지 않는 해상 설비에 대해서는 완전히 또는 부분적으로 '제거(removal)' 되어야 한다고 명시하고 있다.

해체 공사 절차 중 사전준비(pre-decommissioning)단계에서 제거대상설비에 적용되는 해체 관련 규제 및 지침을 가장 먼저 분석하여야 한다. 해양 설비의 해체와 관련된 협약과 규정은 국제 협약(international convention) - 지역 협약(regional convention) - 국내법(national law) 순서로 검토되어야 한다. 전체를 제거해야 하는지, 일부분은 그대로 두어도 되는지, 해수면 아래 몇 미터 기준으로 jacket 및 conductor를 절단해야 하는지 등의 요소로 인하여 해체방법이 결정되고 해체비용이 산정된다. 하지만 국가별 근해 해양구조물의 제거 및 폐기에 적용되는 주요 국제 협약의 지침은 지역적 환경요소에 따라 불필요하거나 비효율적인 규제까지 포함되어 다소 모순될 수 있다. 해양공사의 특성상 주변 환경에 따라 공사 기간 및 공사 금액이 큰 폭으로 차이 나는 점을 감안할 때 선진국의 지침을 무분별하게 수용하기 보다는 각 국가별 해양환경 및 정책에 따른 해체지침을 수립하여 적용할 필요가 있다.

### 3.1 국제 협약

### 3.1.1 1958 대륙붕조약

해양 설비 해체와 관련한 최초의 주요 국제 협약은 1958 대륙붕조약(Convention on the Continental Shelf : Geneva Convention)이다. 해양구조물의 제거 및 처리 관련 조항은 제5조 5항에 명시되어있다. 대륙붕조약에서는 폐기되거나 더 이상 운영하지 않는 해양설비에 대하여 완전히 제거해야 한다고 명시되어 있으며, 본 협약을 시발점으로 하여 노후화된 해양설비의 제거 및 처리 관련 국제 협약을 맺기 시작하였다.

### 3.1.2 1972 런던협약

해양 구조물의 처리와 관련한 두 번째 주요 협약은 1972년 채택된 런던협약이며 공식 명칭은 ‘폐기물 및 기타 물질의 투기에 의한 해양오염방지에 관한 협약’(Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter : London Dumping Convention)이다. 런던협약에서는 무분별한 폐기물 처리와 구조물 해양투기에 대한 심각성을 인지하고 해양오염방지를 위하여 선박, 항공기 및 해양설비 등 인공구조물에서 발생하는 폐기물 및 기타 물질의 투기를 금지하고 있다. 또한 고의적 처리를 목적으로 플랫폼이나 기타 인공구조물을 포기하는 경우도 규제 대상으로 포함하고 있어 더 이상 가동하지 않는 해양설비에 대하여 완전히 또는 부분적으로 처리해야 한다.

### 3.1.3 1982 UN해양법협약

세계 해양의 사용과 관련하여 국가의 권리와 의무를 규정하고 해양자원 관리에 대한 지침 마련을 위하여 1982년 유엔해양법협약(UN Convention on the Law of the Sea : UNCLOS)을 수립하였다. 유엔해양법협약 제60조 3항에서는 배타적 경제 수역에서 버려지거나 폐기된 설비 또는 구조물은 항해의 안전을 보장하기 위하여 제거되어야 한다고 언급하였다. 또한 이를 제거하기 위해서는 어로 행위, 해양 환경 보호 및 타국의 권리와 의무를 적절히 고려하여 수행하여야 하며, 완전히 제거하지 않은 구조물에 대해서는 구조물의 위치, 크기 및

수심 등에 대한 홍보가 이루어져야 한다고 명시되어 있다.

### 3.1.4 1989 IMO 지침

국제해사기구(International Maritime Organization)에서는 유엔해양법협약 제 60조를 근거로 하여 1989년 대륙붕 및 배타적 경제 수역에 대한 해양 구조물의 철거에 관한 지침 및 기준(1989 Guidelines and Standards for the Removal of Offshore Installations and Structures on the Continental Shelf and in the Exclusive Economic Zone (IMO Resolution A. 672 (16)))을 마련하였다.

IMO 지침에 따르면 1998년 1월 1일 이전에 설치된 해양플랫폼에 대해서는 수심이 75m 이하 그리고 플랫폼의 무게가 4,000톤 이하일 경우 해양설비를 완전히 제거해야 한다고 규정하였으며 1998년 1월 1일 이후에 설치된 플랫폼의 경우, 수심 100m 이하 그리고 플랫폼의 무게가 4,000톤 이하일 경우 완전히 제거해야 한다고 규정하였다. 더욱이 1998년 1월 1일 이후 대륙붕이나 배타적 경제 수역에 설치된 모든 해양설비에 대해서는 전체적으로 제거가 가능하도록 설계해야 한다고 명시되어 있다. Table 5은 IMO 지침에서 언급한 해체 기준을 정리한 표이다.

Table 5 IMO decommissioning guideline

Date		Installation and Structures Size	Guideline
Installation time	before 1998.1.1	Depth ≤ 75m Weight ≤ 4,000ton	Entirely removed
	after 1998.1.1	Depth ≤ 100m Weight ≤ 4,000ton	Entirely removed
After 1998.1.1		Design and construct to be able to entirely remove	

IMO 지침에 따르면 기술적으로 가능하지 않거나 수용할 수 없는 범위의 해체비용이 발생하거나 인력 또는 해양 환경에 위험을 수반하는 경우, 각 국가의 정부에서는 플랫폼을 전체적으로 제거하는 대신 다른 해체 방법을 결정할 수 있다고 명시되어 있다. IMO 지침 제3조 5항 및 6항에서는 부분적으로 제거하는

경우, 구조물의 정보를 항해 차트에 표시해야 하며 항해 안전을 보장하기 위하여 해수면 아래 55m 이상의 항해구간을 보장해야 한다는 내용을 포함한다. 또한, 제거된 구조물을 인공어초 등으로 재활용할 경우 타 선박의 항로나 해상안전에 저촉이 되지 않는 선에서 가능하다고 명시되어 있다.

### 3.1.5 국제협약 분석 및 정리

Table 6은 노후화된 해양설비의 해체와 관련된 국제협약을 해체방법에 따라 정리한 표이다. 1958 대륙붕조약 제5조 5항에서는 폐기되거나 더 이상 운영하지 않는 해양설비에 대하여 ‘완전히 제거(entirely removal)’ 되어야 한다고 명시되어 있다. 하지만 그 이후에 체결된 국제협약에서는 ‘entirely’ 단어를 생략하거나 일정 기준을 부합하는 구조물을 대상으로 부분적인 제거도 가능하도록 규정을 완화하였다. 부분제거를 허용함으로써 위험한 해체공사로 인해 발생할 수 있는 사고를 방지할 수 있으며 해체 비용을 절감시킬 수 있도록 하였다. 또한 일부 국제협약에서는 구조물의 재활용에 대한 조항을 별도로 마련하여 폐기에 대한 규정도 완화하였다. 런던협약 제3조 (b)항 (ii)에서는 협약의 목적을 위해하지 않는 선에서 단순 폐기 이외의 타 목적을 위한 배치(placement)는 투기로 규정하지 않았으며, IMO 지침 제3조 12항에 따르면 제거된 구조물을 인공어초로 재활용할 수 있다고 명시되어 있다.

Table 6 Table of international convention

International convention	Entirely removal	Partial removal	Reuse
1958 Geneva Convention	article 5 (5)	-	-
1972 London Dumping Convention	article III (a) (ii)	article III (a) (ii)	article III (b) (ii)
1982 UNCLOS	article 60 (5)	article 60 (5)	-
1989 IMO guideline	article 3.13	article 3.1 article 3.2 article 3.5 article 3.6	article 3.12

## 3.2 지역 협약

### 3.2.1 북해 지역

북해 지역에서 적용하고 있는 대표적인 협약은 1992 OSPAR 협약이다. 1992 OSPAR 협약의 정식 명칭은 북동대서양의 해양 환경 보호를 위한 협약 (Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic)으로, 1972년 해양 폐기물 투기에 관한 오슬로 협약(1972 Oslo Convention on dumping waste at sea)과 1974년 육상으로부터의 해양오염 방지를 위한 파리협약(1974 Paris Convention on land-based sources of marine pollution)을 통합한 협약이다. 1992 OSPAR 협약은 북동대서양 인근의 15개국이 가입한 지역차원에서 협약으로, 위험물 또는 폐기물의 투기를 금지하는 등 북동대서양의 해양환경보존을 위하여 각국의 노력을 요구한다. 특히, 노후화된 해양설비의 재활용, 재사용 및 폐기에 대한 구체적인 제도적 장치를 마련하기 위하여 OSPAR Decision 98/3을 마련하였다.

OSPAR Decision 98/3에서는 해양설비의 제거대상으로 10,000톤 이상의 철골 구조물 및 콘크리트 구조물로 분류하였으며, 상부구조물은 범주에서 제외하였다. 또한 제 3 항 및 부속서 2에는 적절한 평가절차에 따라 구조물을 재활용 및 재사용이 가능할 수 있는 예외규정을 별도로 마련하였다. (가입국 : 덴마크, 독일, 아일랜드, 네덜란드, 노르웨이, 스페인 및 영국)

### 3.2.2 멕시코만 지역

1953년 8월 제정된 외변대륙붕법안(The Outer Continental Shelf Lands Act : OCSLA) 및 시행규칙에 따라 OCS에서 자원개발을 위한 임대(lease) 계약 체결 시 설비에 대한 해체의무도 포함되어야 한다. 일반적으로 임대 만료일로부터 1년 이내 또는 운영자 혹은 정부관계자가 구조물이 안전하지 못하다고 판단되는 경우에는 임대 만료일 이전에 해양설비를 제거하기 위한 작업에 착수해야 하며 더 이상 운영하지 않는 유정의 경우, 생산 종료 시점으로 부터 3년 이내에 폐

기해야 한다.

멕시코만 지역에서 더 이상 운영하지 않는 해양 설비의 제거 및 처리를 관리하는 기관으로는 해양에너지관리청(Bureau of Ocean Energy Management : BOEM) 및 안전 및 환경집행국(Bureau of Safety and Environmental Enforcement : BSEE)등이 있다. 멕시코만 지역은 2010년 ‘딥워터 호라이즌(Deepwater Horizon)’ 사건 이후 해양안전 및 환경에 대하여 엄격하게 관리하기 위하여 전신인 Minerals Management Service을 모태로 해양에너지관리청과 안전 및 환경집행국을 신설하였으며, 특히 해양구조물의 해체 관련 제거 및 처리 방법에 대한 사전승인을 위해서는 안전 및 환경집행국을 통해야 한다.

### 3.2.3 아시아 지역

아시아 지역은 북해 및 멕시코만 지역과 달리 더 이상 운영하지 않는 해양설비의 제거 및 처리에 대한 지역 협약이 이루어지지 않았다. 대신 ASEAN 지역의 국영 석유 회사 연합체인 아세안 석유 위원회(ASEAN Council on Petroleum : ASCOPE) 에서 아세안 지역의 노후화된 해양설비의 효과적인 처리를 위하여 석유 및 가스 시설에 대한 해체 가이드라인(ASCOPE decommissioning guideline for oil and gas facilities : ADG)을 발표하였다. ASCOPE의 해체 가이드라인은 해체 절차, 해체 기술, 재활용 옵션을 포함한 다양한 제거방법 등의 내용을 포함하고 있으며, IMO 지침, 북해 및 멕시코만의 지역협약에 명시되어 있는 해체 지침 및 규제를 참조하여 제작하였다. 하지만 단순 지침서로 활용되고 있을 뿐 법적 구속력이 있다고 보기 어렵다.

대부분의 아시아 지역은 노후화된 해양설비의 해체와 관련된 법률이 마련되어 있지 않다. 국가에서 제정한 규제 및 지침이 있더라도 각 국가별 해체 공사의 데이터 부족으로 법의 실효성을 입증하지 못하고 있다. 아시아 국가에서는 노후화된 해양설비의 해체를 위하여 중앙정부, 지역정부 및 기업 등이 모여 효과적인 해체방법에 대하여 강구하고 있으나 아직까지는 각 국가별로 가입한 국제 협약에 의존하고 있는 실정이다.

### 3.3 지역별 해체규정 비교

북해, 멕시코만 및 아시아 지역별 해체 규정을 종합적으로 분석하기 위하여 영국, 미국 및 인도네시아의 해체 규정을 비교하였다. 국가 선정 기준은 2.2장에서 조사한 데이터를 바탕으로, 해당 지역에서 가장 많은 해체대상 플랫폼을 보유하고 있는 국가로 선정하였다.

영국은 OSPAR Decision 98/3 및 The Petroleum Act 1998의 해체 당위성을 충분히 수용하여 UKCS(United Kingdom Continental Shelf)에 설치되어 있는 해양설비의 해체공사를 담당하는 기관인 OPRED(Offshore Petroleum Regulator for Environment and Decommissioning)을 신설하였으며 UKCS 해체 가이드라인을 제공하기 위하여 ‘Decommissioning of offshore oil and gas installations and pipelines - Guidance Notes’ 를 제작하였다 [8].

미국은 OCS에서의 석유 및 가스사업 운영 및 시설의 해체와 관련된 규제와 요구사항을 반영한 미국 행정법규 30 CFR part 250이 있으며, BSEE에서 해체공사를 관리하고 있다.

인도네시아는 해체 프로젝트를 진행한 경험이 없으며, 노후화된 해양설비를 관리하고 해체공사를 전담하는 별도의 기관이 없다. 인도네시아 에너지광물자원부에서는 해양설비의 해체와 관련하여 Permen ESDM 1/2011 - Technical guidelines for dismantling of oil and natural gas offshore installation을 제정하였으나 법의 실효성을 입증하지 못하고 있는 실정이다. 해체설비에 대한 명확한 기준이 없고 규정의 내용도 영국과 미국의 규정에 비하여 부실하다. 해체 방법에 대한 기준이 불명확하고 complete removal에 대한 예외규정이 별도로 제정되어 있지 않다. 또한 해체 가이드라인에는 재활용 관련 내용이 언급되어 있지 않다. Table 7은 영국, 미국 및 인도네시아 국가의 해체 규정을 비교한 표이다.

**Table 7** Table of decommissioning regulation comparison

Category	United Kingdom	United States	Indonesia
Planning of Decomm-issioning	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Two to five years in advance of cessation of production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Within 1 year after the lease or pipeline right-of-way terminates</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installations that are no longer in use should be demolished entirely within a certain period as defined by the Director General</li> </ul>
Competent authority	<ul style="list-style-type: none"> <li>- OPRED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BSEE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No competent authority</li> </ul>
Approval process	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5 stages</li> <li>- Summit decommissioning programme(DP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Get approval from the appropriate District Manager(BSEE officer) and Regional Supervisor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 11 stages</li> <li>- National assets transfer/deletion process</li> </ul>
Cost	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Decommissioning securities agreement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surety bond</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ASR obligation</li> </ul>
Facilities to be dismantle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fixed steel</li> <li>- Concrete(gravity, floating, subsea)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Platform</li> <li>- Pipeline</li> <li>- Other facilities(including templates and pilings)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Offshore installation</li> </ul>
Method	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Complete removal to land</li> <li>- Partial removal to land</li> <li>- Leave wholly in place</li> <li>- Reuse</li> <li>- Disposal at sea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Complete removal</li> <li>- Partial structure removal</li> <li>- Toppling in place</li> <li>- Alternate Use RUE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dismantling is a work of partial or total cutting of the installation and moving /transporting the dismantled parts to the predetermined location.</li> </ul>

**Table 7** Table of decommissioning regulation comparison (continue)

Category	United Kingdom	United States	Indonesia
Complete removal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Steel installations weighing less than 10,000 tonnes</li> <li>- Cut depth of 3m below the natural seabed level</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- At least 15 feet below the mud line</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cut the conductors, piles and the guides five (5) feet below the mudline or parallel to the sea floor if the distance between mudline and the seabed is less than 5 (five) meters</li> <li>- Cut conductors into segments with maximum segments length of twelve (12) feet</li> </ul>
Partial removal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 'Footings' of large steel jackets weighing more than 10,000 tonnes</li> <li>- Minimum water clearance of 55 metres required</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Would not become an obstruction to other users</li> <li>- Must use divers and the seafloor sediment stability poses safety concerns</li> <li>- Water depth is greater than 800 meters(2,624 feet)</li> <li>- Structure becomes part of a State artificial reef program</li> </ul>	-
Reutilization	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No regulation for reutilization</li> </ul>

## 제 4 장 해양설비의 해체 및 재활용 방법

### 4.1 통상적인 해양설비의 해체 절차

해체공사는 해양에서 작업하는 공사로 육상에서 진행되는 공사 대비 인건비, 용선료 및 장비대여료 등의 비용이 상당하므로 공사의 기간을 단축시키는 것이 매우 중요하다. 따라서 본격적인 해체 공사 이전에 프로젝트 관리(project management)를 통해 절차를 수립하고 각 단계별 해체 공사에 필요한 인력, 장비, 선박 등이 차질 없이 투입될 수 있도록 일정을 조율해야 한다. 해양설비의 해체공사 절차는 Fig. 5와 같이 일반적으로 well plugging & abandonment, structure removal (topside removal, jacket removal), onshore disposal, site clearance 마지막으로 monitoring 순으로 진행된다.

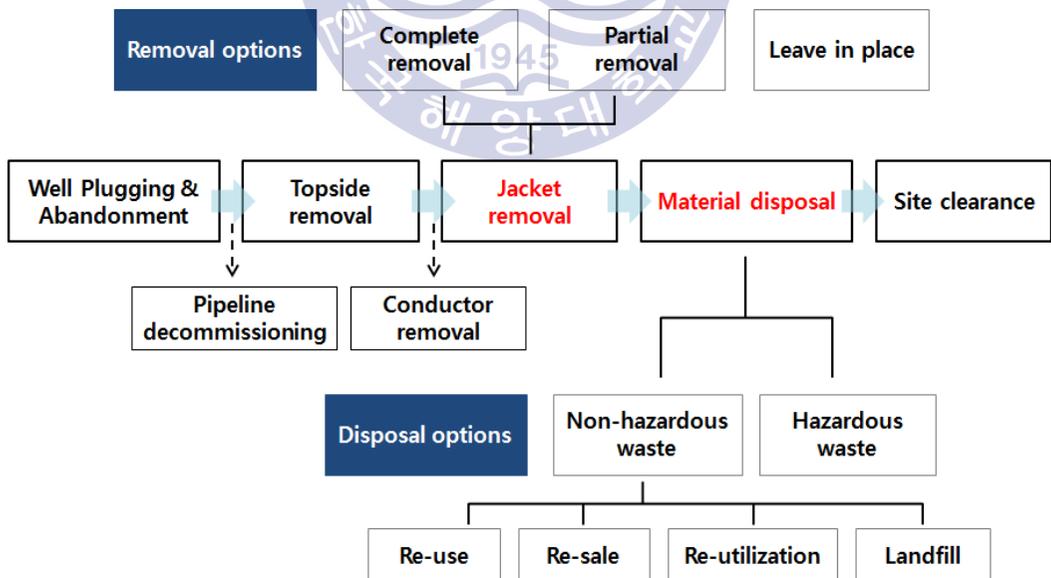


Fig. 5 Decommissioning process

#### 4.1.1 Well plugging & abandonment

Well P&A 단계는 본격적인 구조물의 철거 공사 이전에 유정의 표면을 봉쇄함으로써 해수충과 격리시키는 공사이다. 해저의 케이싱 상단부에 시멘트를 주입시켜 단계적으로 밀봉하여야 하며, 가장 상단부(해저면)에는 -100ft (-30m)까지 시멘트를 주입하여 봉쇄하여야 한다. Well P&A의 경우 본격적인 해체공사 착수 이전에 독립적으로 진행되기도 한다. 전체 해체공사 중 가장 고난이도의 기술을 요하는 공사이며, 가장 많은 비용이 발생한다.

#### 4.1.2 Structure removal

유정을 봉쇄한 후 절단 공사를 실시하기 이전, 컨덕터 및 파이프라인 등 유체의 이동이 있었던 라인을 'hydro-carbon free' 상태로 청소한 후 철거 공사를 실시해야 한다. 또한 구조물 제거 단계를 진행하기 이전에 구조해석을 통하여 구조물의 상태를 파악하여 절단할 부분을 설계하고 절단된 구조물의 무게를 고려하여 HLV(Heavy Lift Vessel)을 준비해야 한다. 절단한 구조물은 중량물 운반선이나 바지선을 통해 육지로 운반된다. 해양에서의 공사는 가능한 빠른 시일 이내로 작업을 완료하는 것이 중요하며, 이를 위해서는 안전에 유의하여 공사를 진행해야 한다. 또한 해체한 구조물을 육지로 이송하여 폐기물 처리할 수 있는 야드(yard)의 위치와 규모도 고려하여야 한다.

##### (1) Topside removal

상부구조물인 topside의 무게, 상태 및 모듈의 위치를 고려하여 한 번에 철거할 수도 있고, 모듈별로 절단하여 여러 피스로 철거할 수도 있다. 철거 시 상부 구조물과 연결되어 있는 각종 라인과 설비들의 상태를 파악해야 한다.

##### (2) Jacket removal

하부구조물인 jacket의 철거는 주로 해저에서 이루어지는 공사로 다른 단계에 비해 복잡하다. 각 지역의 규정에 따라 제거 방법이 달라지며, 해저의 구조물을 절단하기 위해서 diamond wire cutting saw, internal cutting tool등의 절단장비,

다이버 및 ROV가 투입되어야 한다.

#### 4.1.3 Onshore disposal

철거한 구조물을 중량물 운반선을 또는 바지선을 통해 육지로 운송하여 마지막 해체작업을 실시한다. 구조물은 주로 플랫폼 설치수역에서 가장 가까운 scrap yard로 운반한다. Scrap yard는 해체구조물을 처리할 수 있는 크기의 부지로 선택해야 하며 처리장비 및 보관시설이 구축되어 있어야 한다. 육지로 옮겨진 철거 구조물은 재활용 및 재사용이 가능한 생산설비의 일부분을 제외하고는 스크랩 처리하거나 폐기물로 처리된다.

#### 4.1.4 Site clearance

모든 철거작업을 종료한 후 trawlers dragging net 등을 활용하여 플랫폼 500m 구역 내 흩어져있는 파편이나 해저면에 남아있는 drill cuttings를 제거해야 한다. 회수된 파편 및 drill cuttings는 해당국에서 채택하고 있는 폐기 방법에 따라 처리한다 [9].

#### 4.1.5 Monitoring

해체작업이 완료한 후에도 각 지역의 규정에 따라 사후 모니터링을 실시하여야 한다. 탄화수소, 중금속 및 기타 오염 물질의 수준을 모니터링할 뿐만 아니라 플랫폼의 일부분만 제거할 경우, 해저에 남겨진 플랫폼의 상태 및 해양자원 등의 상태를 확인하여 쾌적한 상태를 유지시켜야 한다.

### 4.2 구조물 제거 방법

본격적인 해체공사를 시작하기 전 각 국가 및 지역 정부에서 규정하고 있는 해체 기준에 따라 complete removal, partial removal 및 leave in place 중 한 가지 방법을 결정한다. Fig. 6은 1989 IMO 지침에 따른 다양한 구조물 제거 방법이며, 대부분의 국가에서 고려하고 있는 해체 방법이다. 구조물 제거 방법을 결정하기 위한 세부 고려사항으로는 하부구조물의 절단 위치, piece large/small,

lifting 방법이 있다. 구조물 해체 방법을 결정하기 위해서 구조물 해체 관련 이해관계자 및 정부관계자들이 참여하는 회의를 개최하여 다양한 요인들을 분석·평가하여 가장 적합한 구조물 제거 방법을 선정한다.

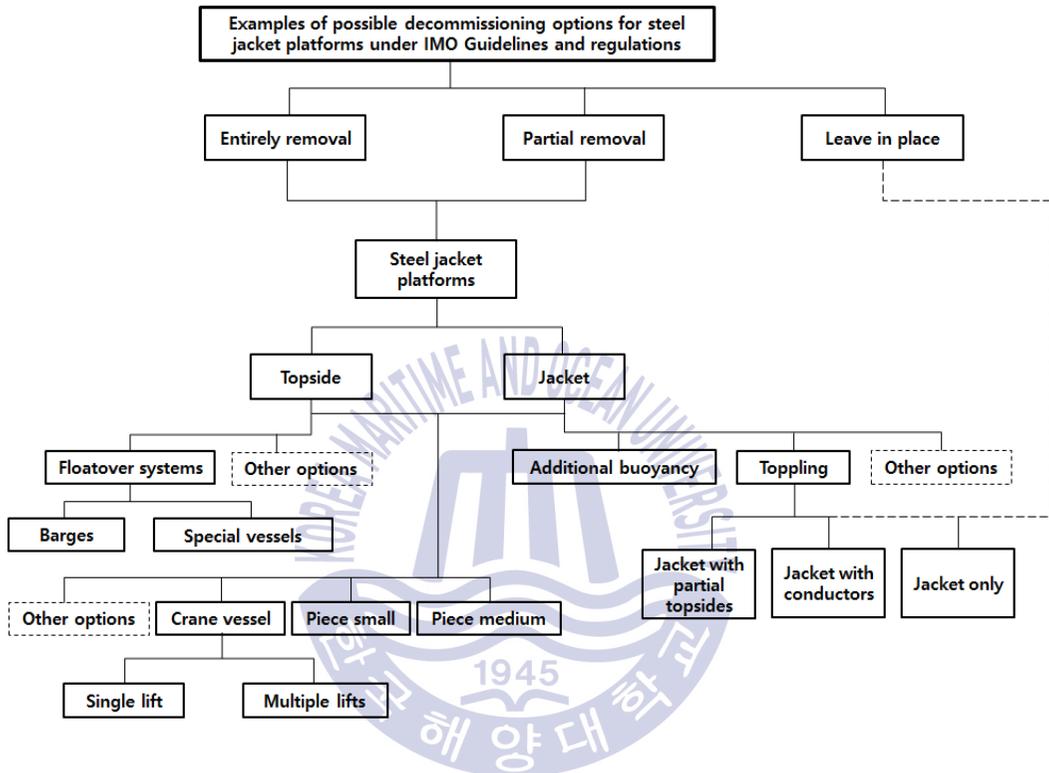


Fig. 6 Decommissioning options under IMO guideline [10]

북해 지역은 구조물 제거 방법을 결정하기 위하여 비교평가방법(comparative assessment)을 사용하고 있다. OSPAR Decision 98/3에 따라, 해양설비 운영자는 해체 방법을 결정하기 위하여 객관적인 평가를 수행해야할 의무가 있으며, 비교평가방법을 통하여 객관적인 지표를 제시하여 적절한 해체방법을 결정해야 한다. 비교평가방법은 기본적으로 complete removal to land를 기준으로 비교하며, 비교항목은 안전(safety), 환경(environmental), 기술(technical), 사회(societal) 및 경제(economic)이다. 각 항목에 대한 평가는 각 항목의 이해관계자들이 참여하여 결정되어야 하며, 비교평가를 수행하기 위한 평가지표는 Table 8과 같다.

**Table 8** Comparative assessment framework (source : OPRED)

Assessment criteria	Matters to be considered	Decommissioning options											
		Complete removal to land			Partial removal to land			Leave wholly in place			Disposal at sea		
		Red	Yellow	Green	Red	Yellow	Green	Red	Yellow	Green	Red	Yellow	Green
Safety	risk to personnel												
	risk to other users of the sea												
	risk to those on land												
Environmental	marine impacts												
	other environmental compartments (including emissions to the atmosphere)												
	energy/resource consumption												
	other environmental consequences (including cumulative effects)												
Technical	risk of major project failure												
Societal	fisheries impacts												
	amenities												
	communities												
Economic													
		Red	Yellow	Green	Red	Yellow	Green	Red	Yellow	Green	Red	Yellow	Green
			HIGH			MEDIUM			LOW				

## 4.2.1 구조물 절단 방법

### (1) 하부구조물의 절단 위치 선정

Fig. 7과 같이 구조물 절단방법을 결정하기 위해서는 절단 위치와 절단할 구조물의 크기를 고려하여야 한다. 구조물의 전체를 제거하기 위해서는 해저면에 박혀있는 파일(pile) 및 컨덕터를 절단하여 분리시켜야 하며, 부분적으로 제거하기 위해서는 하부구조물 하단부인 footing 및 drilling template를 제외한 부분을 제거하거나 [11] 해수면 아래 55m 지점을 절단하여 제거해야 한다. 따라서 구조물의 절단 위치에 따라 해체 방법이 결정된다. 최하단의 절단 위치가 결정되면 구조물을 한 번에 완전히 제거할 것인지, 부분적으로 섹션(section)을 나누어 제거할 것인지 고려하여 한다. 전자의 경우에는 구조물 제거를 위해 소요되는 시간을 줄일 수 있지만 구조물을 들어올리기 위해서는 용량이 큰 크레인이 필요하다. 후자의 경우에는 구조물의 절단작업량이 증가하므로 일정이 지연될 가능성이 높다는 단점이 있다. 하부구조물 절단에 있어서 가장 중요한 요소는 하부구조물의 안팎에서 안전하게 접근할 수 있고 구조물을 한 번에 절단할 수 있는 정확한 커팅 포인트를 결정하는 것이다. 구조물의 강도, 두께 및 비용적인 부분을 검토하여 적절한 절단장비를 선택하여야 하며, 절단 과정에서 하부구조물의 고유 진동수, 응력, 변형률 및 안정성 등을 고려해야 한다.

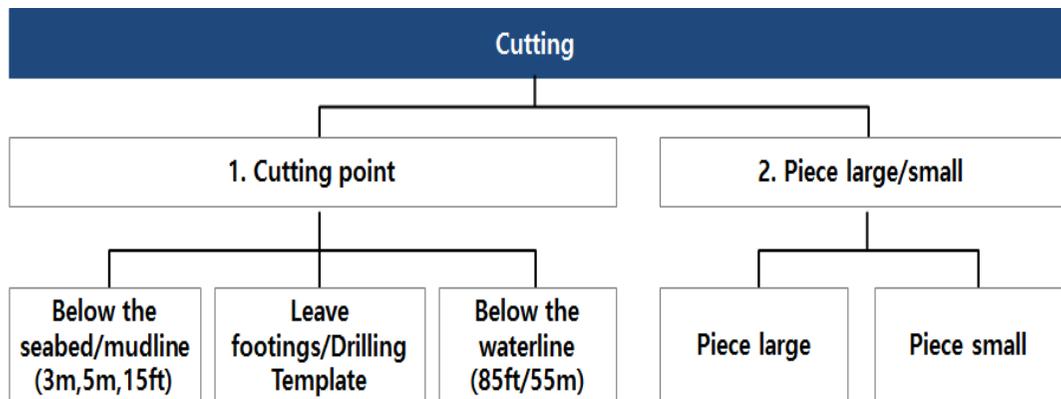


Fig. 7 Consideration of structure cutting

## (2) 절단 기술 및 장비 선정

구조물 절단 위치가 결정되었다면 절단부위에 알맞은 절단장비를 선택하여야 한다. 만일의 사고에 공사가 지연되어 발생하게 되는 추가비용은 육지의 공사보다 상당하므로 비교적 빠른 시간 내에 정교하고 정확하게 절단할 수 있는 장비를 선택하는 것이 중요하다. 절단장비는 절단 위치 및 jacket leg의 두께(thickness), 접근제약(access constraint) 및 절단시간에 따라 결정된다. 또한 심해수역인 경우 ROV의 지원이 필요하므로 함께 고려되어야 한다,

과거, 멕시코만 지역에서는 약 67%의 플랫폼 해체공사에서 하부구조물을 절단 방법으로 폭발물(explosives) 공법 사용하였다 [12]. 폭발물 공법은 Fig. 8과 같이 폭발물을 구조물 최하단부에 삽입하여 폭발시키는 방법으로 인력 및 장비 투입을 최소화하여 안전하고 비용이 적게 소요된다는 장점이 있다. 하지만 해저 생태계 파괴의 위험성이 있어 비중이 점차 줄어들고 있는 실정이며, 미국의 타 지역에서는 거의 사용하지 않는다.



Fig. 8 Template removal by explosives  
(source : Demex International)

Abrasive 절단 공법은 연마재를 활용한 절단방법으로 water jet 내 연마재를 혼합하여 고압수를 소재 표면에 분사하여 절단하는 공법이다. 기존 워터젯 절단공법보다 두껍고 단단한 소재 절단이 가능하며 Fig. 9 (a)와 같이 절단면이 깔끔하다. 또한 internal abrasive cutter는 해저면 아래의 jacket leg등을 절단하기 위하여 사용되는 장비이며 Fig. 9 (b)와 같다. Internal abrasive cutter를 파일 내부로 투입시켜 해저면(mudline) 아래 15ft에 위치시킨 뒤 centralizer arm을 확장시켜 연마제가 혼합된 고압수를 분사시켜 절단한다. Oil&Gas UK의 보고서에 따르면 abrasive 절단공법은 외부에서 최대 1.8m까지 절단할 수 있으며, tubular의 경우 내부 직경 2.3m까지 절단 가능하다(2012년 기준) [13].



(a) water abrasive cutting internal manipulators      (b) internal abrasive cutter

**Fig. 9** Internal abrasive cutter (source : Oceaneering)

Diamond wire cutting 공법은 일련의 폴리를 사용하여 다이아몬드 비즈가 박힌 와이어를 고속 회전시켜 강재를 절단하는 해체공법이다. 수심이나 각도에 제한이 없으며 고속절단이 가능하여 작업시간을 절감시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 일반 절단 공법보다 장비를 대여하는 비용이 높은 편이다. Oil&Gas UK의 보고서에 따르면 diamond wire cutting 공법은 최대 직경 3m(120인치)에서 최소 0.45m(18인치)까지 절단 가능한 것으로 파악된다(2012년 기준) [13].

절단 장비 검토 결과, 기계 및 연마 절단 장비의 경우 상대적으로 얇은 수심에서는 효과를 입증할 수 있으나, 수심이 깊은 곳에서의 절단효율은 100% 신뢰할 수 없다. 가장 확실한 절단 방법은 폭발물을 이용한 방법이지만 해저환경 파괴 등의 이유로 폭발물 사용에 대한 부정적인 여론으로 제약이 많아지고 있으며, 일부 지역에서는 금지하고 있다. 따라서 현재 가장 신뢰할 수 있는 절단 기술은 심층수에서 절단효율이 높고 설치도 비교적 간단한 diamond wire cutting 기술로 판단된다.

#### 4.2.2 구조물 lifting 방법

해상에서 구조물을 철거하기 위해서는 절단된 하부구조물 섹션을 해수면 위로 들어 올려 cargo barge에 적절히 배치하여 육상으로 운반해야 한다. 이 때 구조물의 크기와 무게 등을 고려하여 적절한 lifting 방법을 결정해야 한다. 구조물 무게는 직접 측정하는 것이 불가하므로 도면에 명시되어 있는 무게에서 그라우팅(grouting)의 여부와 marine growth의 양에 따라 추가적인 무게를 고려하여 산정해야 한다. 대표적인 lifting 방법으로는 buoyancy 방법, heavy lift vessel 사용 방법 및 single lift vessel 사용 방법 등이 있다. 해체 비용 중 lift vessel 용선료와 육상으로의 운반을 위한 mobilization/demobilization 비용이 차지하는 비중이 크므로 신중하게 결정해야 하며 ‘안전(safety)’의 측면도 고려해야 한다.

##### (1) Lifting 기술 옵션 - Buoyancy

Buoyancy 방법은 상당한 크기의 부력 탱크를 jacket leg에 부착하는 방법으로, CVBS(Controlled Variable Buoyancy System) 및 BTA(Buoyancy Tank Assembly) 방법 등이 있다. BTA 방법은 부력 탱크로 인해 하부구조물이 de-ballast 되었을 때 부력의 힘이 적용되어 부력 탱크가 부착된 하부구조물은 수직 방향으로 떠오른다. 떠오른 하부구조물은 터그보트를 통해 예인되어 Fig. 10와 같이 육상으로 옮겨지며 육지에서 나머지 해체작업을 실시하게 된다. 2008년 Total사의 Frigg cessation project에서 채택한 lifting 방법으로, DP2 steel jacket(8,200톤)과 module support frame(3,400톤)에 적용하여 성공적으로

수행한 경험이 있다. Buoyancy 방법은 비교적 비용이 저렴하고 유지보수가 간단하다는 장점이 있으나, 날씨, 해류 등의 영향으로 육지로의 이동이 어려울 수 있으며, 부력 탱크의 오작동으로 인한 위험성이 있다.



(a) buoyancy tank assembly



(b) buoyancy tanks attached DP2 jacket

**Fig. 10** Buoyancy tank assembly and tanks in Frigg cessation project  
(source : Frigg field cessation plan close out report, Total)

## (2) Lifting 기술 옵션 - heavy lift vessel

Heavy lift 기술은 가장 보편화된 lifting 기술이며, 구조물 섹션 상단에 리깅 (rigging) 장치(lift clamp 등)를 부착하여 크레인 후크와 연결한 상태에서 구조물을 절단하여 들어 올리는 기술이다. Heavy lift 기술은 각 섹션을 크레인을 이용하여 cargo barge(CB)에 선적하므로 섹션의 사이즈와 무게를 고려하여 적합한 크레인 용량을 결정하는 것이 중요하다. HLV 및 CB를 용선하기 위해서 각 국가별 cabotage rule을 검토해야 하며, HVL을 타 국가에서 용선할 경우 mobilization/demobilization 비용을 정확하게 검토하여야 한다.

## (3) Lifting 기술 옵션 - single lift vessel

Single lift 기술은 대형 구조물을 소수의 인력과 장비를 투입하여 단기간에 처리할 수 있는 기술로 대표적인 SLV는 Allseas사의 ‘Pioneering Sprit’이다.

SLV는 대형 해양설비의 설치 및 해체작업에 동원되는 선박으로 구조물을 절단한 뒤 바지선으로 선적할 필요가 없이 본선에서 바로 육지로 운반할 수 있다. 하지만 해양에서 대형구조물을 들어 올릴 때의 하중과 선박의 롤링을 견뎌야 하며, 검증되지 않은 추가 위험요소들이 발생할 수 있다는 단점이 있다.

### 4.3 구조물 처리 방법

육상으로 운반된 구조물을 처리하기 위하여 최종적으로 Fig. 11와 같은 프로세스를 거쳐야 한다. 각각의 구조물의 종류를 분류하고 위험(risk), 안전(safety), 환경(environmental) 및 품질(quality) 조사를 수행하여 최종 처리방법을 결정하며 처리방법으로는 재사용(reuse), 재판매(resale), 재활용(reutilization) 및 매립(landfill) 등이 있다.

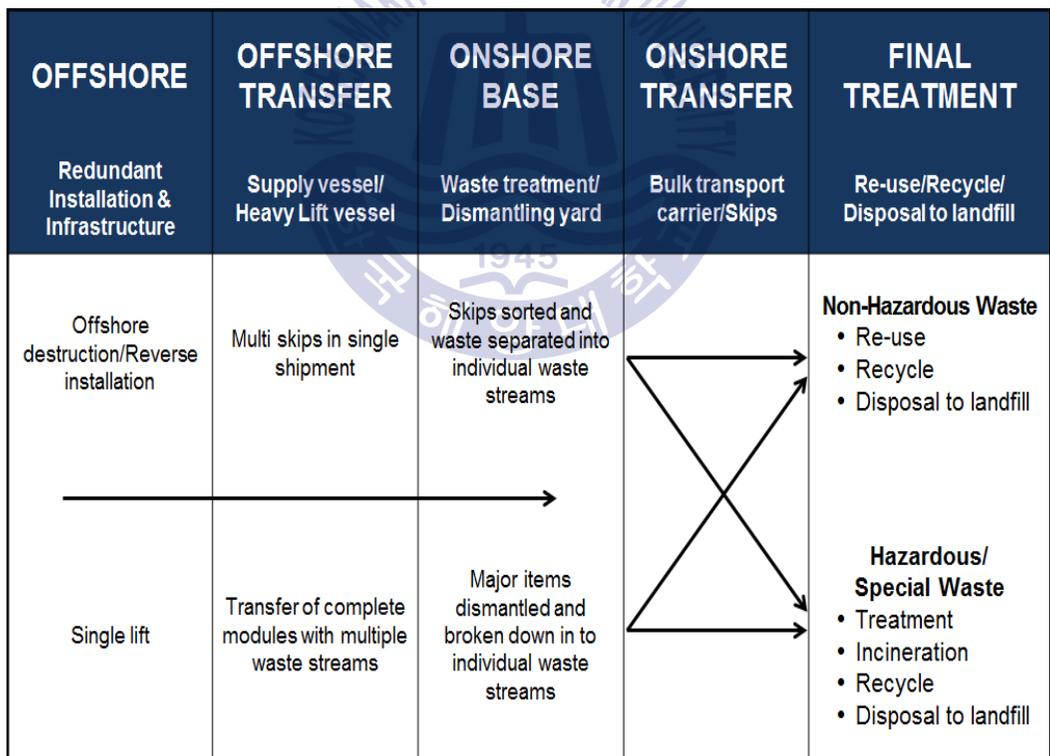


Fig. 11 Waste management process (source : Chevron)

상부구조물(topside)의 경우 탑재되어 있는 장비 중 일부는 재정비하여 재사용(reuse)하는 것을 권고하고 있으며, 하부구조물의 경우 주로 스크랩(scrap) 처리를 하거나 다른 목적으로 사용하기 위해 재활용하고 있다. 각 국가별 구조물 처리에 대한 규정은 각각 다르며, **Table 9**는 각 국가별 구조물 처리 관련 규정을 정리한 표이다.

**Table 9** Material disposal regulation [12]

Country	Material disposal
미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 CFR 250.1726. Platform or other facility disposal plans must be submitted during initial removal application</li> </ul>
멕시코	<ul style="list-style-type: none"> <li>• National Agency for Industrial Safety and Environmental Protection for the Hydrocarbon's Sector Act. "Secondary Laws" of Energy Reform 2014, created National Agency for Industrial Safety and Environmental Protection, which will grant environmental impact authorization</li> </ul>
호주	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The Environment Protection (Sea Dumping) Act 10B, 10C, 10D. Operators may not dispose of materials without the required permits.</li> </ul>
브라질	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ordinance 422/2001. An EIA must be prepared for offshore oil and gas activities. Specificity of the EIA will vary depending on the sensitivity of the area being developed.</li> </ul>
캐나다	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SOR/2009-315 #6. Submit application for authorization with a description of equipment and procedures</li> </ul>
덴마크	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chemical Substances and Products Act. Soil Contamination Act. Environmental Liability Act. Waste is regulated in integrated environmental permits by Environmental Protection Agency. Special Rules - Statutory order no. 1502 of 2004, Consolidated Act no. 1072 of 2010, Directive 2012/19/EU, &amp; Directive 2000/53/EC.</li> </ul>
뉴질랜드	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maritime Transport Act 1994 - Submit request to Environmental Protection Authority</li> </ul>
노르웨이	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The Petroleum Act Section 5.3: The Ministry will determine the appropriate disposal method and the time frame in which the operator must carry it out. The operator is then responsible for ensuring that disposal is carried out as directed. Section 44: Provides specific requirements for decommissioning plan's Disposal.</li> </ul>
영국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The Petroleum Act 1998 (Guidance Notes). Platform or other facility disposal plans must be submitted with decommissioning programme</li> </ul>

### 4.3.1 하부구조물 처리방법 - 스크랩(scrap)

하부구조물을 폐기하기 위해서는 폐기물 처리장 선정이 필요하다. 선박을 통해 육지로 운반된 하부구조물 섹션을 육지로 하역(offloading)할 수 있는 하역설비가 설치되어 있고 대형 하부구조물을 스크랩 처리할 수 있는 대규모의 야적장으로 선정해야 하며, 루트는 최소화하여야 한다. 해양플랜트 해체산업에서 하부구조물을 스크랩 처리할 경우, 철스크랩을 재판매하여 발생하게 되는 판매수익을 회수한다. 미국에서의 고철 가격은 2018년 5월 기준으로 **Table 10**과 같다. 유럽은 2018년 5월 기준 structural steel scrap 1톤당 180달러이며, 중국의 경우 1톤당 약 2150위안, 인도네시아 고철가격은 1톤당 220달러로 추정된다. 하지만 각 지역별 고철시장은 시장변동성이 심하며 해체공사를 수행한 국가 및 지역에서 처리 및 판매를 하지 못할 경우 운송비용이 추가로 발생하게 된다. 최악의 경우, 스크랩 비용보다 고철판매가격이 낮을 수 있으며 이 경우에는 스크랩 비용이 추가로 발생하게 된다.

**Table 10** Steel scrap price in USA (source : [www.rockawayrecycling.com](http://www.rockawayrecycling.com))

	Metal/Material	Price
Steel		\$0.05 - \$0.085/lb
Light iron		\$0.06/lb
Cast iron		\$0.11/lb
Brake rotors		\$0.11/lb

### 4.3.2 하부구조물 처리방법 - 재활용(reutilization)

미국 BSEE에서 발간한 Decommissioning Cost Update for Pacific OCS Region Facilities 보고서에 따르면 전체 해체비용 중 구조물 제거 및 처리 비용은 50%를 차지하고 있으며, material disposal 비용은 12%를 차지하고 있다 [12]. 전 세계적으로 폐기물 처리 비용을 줄이기 위해 1972 런던협약, 1989 IMO 지침 등의 국제협약에서 구조물의 처리이외에 타 목적을 위한 재배치(replacement)를 허용하고 있으며, 이를 근거로 하여 하부구조물을 재활용(reutilization)하는 사업이 성장하기 시작하였다. 상부구조물의 경우 크레인, 컴프레서 및 터빈 등의 장비 중 각각의 상태에 따라 재사용이 가능하다. 하부구조물은 단순 철골 구조물로 하부구조물의 고철 100%를 재활용할 수 있다 [13].

하부구조물을 재활용하는 방법은 인공어초, 양식, 해양 연구지원설비, 다이브 포인트 개발 및 다이브 리그 등 다양하다. 세계적으로 노후화된 해양설비의 해체공사를 최소한의 금액으로 안전하고 효율적으로 수행하기 위하여 여러 방안을 연구하고 있는 가운데 재활용 사업은 정부차원에서 해체계획 수립 시 권장하고 있는 방법이다. 미국의 경우 USCG navigational requirement를 만족하는 경우 하부구조물을 artificial reef로 재활용하는 프로그램을 권장하고 있으며, 인공구조물을 해안가에 투하하여 다이브 포인트로 개발하는 사업도 진행 중에 있다. 해양플랜트 해체사업이 활발하게 이루어지고 있지 않은 아시아 지역에서도 해체비용의 최소화를 위하여 노후화된 해양설비를 단순히 제거하여 처리하기보다 해양 관광, 해양 연구 및 수산업 등의 타 산업군과 연계하여 재활용할 수 있는 방안을 모색하는 연구가 활발히 진행 중이다.

## 4.4 구조물 재활용 사례

### 4.4.1 인공어초

인공어초란 인공적으로 해저나 해중에 구조물을 설치하여 대상 해양생물을 정착시키거나 끌어 모으고, 그에 대한 보호와 배양하는 것을 목적으로 하는 어

장시설로 해양생물의 생활환경과 특성을 활용한 대표적인 수산자원 조성 방법이다.(한국수산자원관리공단) 인공어초 사업은 콘크리트, 철골 등으로 인공어초를 제작하여 바다에 투입함으로써 바다숲, 바다목장 등을 조성하는 사업으로 세계적으로 해양 수산자원을 활성화시키기 위하여 투자하고 있다.

Fig. 12와 같이 멕시코만 지역의 해양설비 주변에는 계절에 따라 10,000에서 20,000마리의 어류가 서식하고 있으며, 이는 인근의 해역보다 20~50배 높은 수치이다 [18]. 따라서 미국 정부에서는 해양설비의 제거는 암초 및 어류 서식지가 손실된다고 판단하였으며, 1998년 미국 MMS는 석유 및 가스 구조물의 재사용을 지원하는 National Artificial Reef 정책을 개정하였다. Rig-to-reef(R2R)는 하부구조물을 인공어초로 재활용하는 사업을 의미하며, 해양플랫폼의 하부구조물이 인공어초와 유사하다는 점, 플랫폼 해저에 해양생물 번식이 활발하다는 점 등을 착안하여 개발되었다. 멕시코만 지역에서는 2018년 4월 기준 약 532기의 플랫폼이 인공어초로 재활용되었으며 [5] 아시아 지역에서는 브루나이, 말레이시아에서 Rif-to-Reef사업을 진행한 경험이 있다.

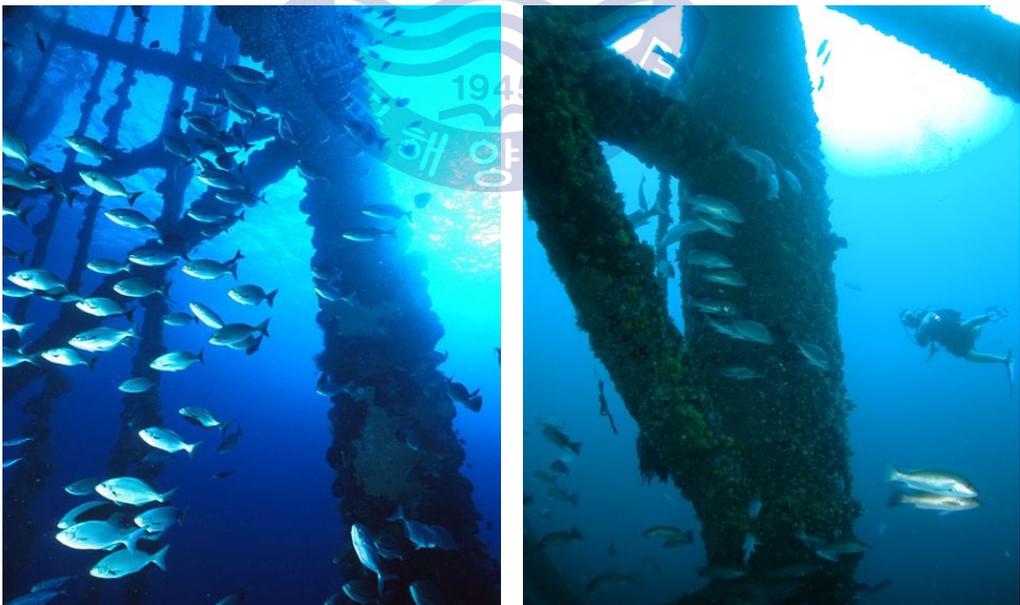


Fig. 12 Marine habitat surrounding platform (source : www.bsee.gov)

#### 4.4.2 다이빙 포인트 개발

Fig. 13은 미국 플로리다 주의 USS Oriskany 다이브 포인트로, 2006년 플로리다 주에서는 퇴역 항공기 수송선인 USS Oriskany를 인근 Pensacola 해안가에서 약 36km 떨어진 수심 64m 지점에 가라앉혀 다이빙 포인트로 개발하였다. 2013년 미국 알라바마(Alabama) 지역에서는 길이 82m 퇴역화물선인 LuLu선을 해안선 인근 바다에 침몰시켜 신규 다이빙 포인트로 개발하였다. 이처럼 인공 구조물을 활용하여 신규 다이빙 포인트로 개발하였으며, 이를 통하여 지역 해양관광업을 활성화 시키는 효과를 얻었다. 플로리다 주에서는 다이빙 포인트 개발을 통하여 다이빙 여행 관련 지출 220만 달러, 경제적 이익효과 360만 달러, 67개의 일자리 창출 및 140만 달러의 현지 수입이 발생했다고 발표하였다 [14].



Fig. 13 USS Oriskany diving point  
(source : [www.gigglinmarlin.com](http://www.gigglinmarlin.com))

#### 4.4.3 Seaventures Dive Rig

1985년까지 석유 및 가스 설비로 활용된 플랫폼을 개조하여 jack-up accommodation module로 활용하고 있는 Seaventures dive rig는 해체된 해양설

비를 해양관광 설비로 재활용하고 있는 대표적인 사례이다. Seaventures dive rig는 Fig. 14와 같이 말레이시아 보르네오 Sipadan 인근 Mabul 바다에 설치되어 있으며, 리조트 겸 다이브 플랫폼으로 사용되고 있다. 리그의 상부에는 리조트 겸 휴양시설을 설치하여 관광객들이 쉴 수 있도록 하였으며, 하부는 리그를 지탱하는 6개의 leg를 활용하여 다이빙 스팟으로 이용하고 있다.



Fig. 14 Seaventures dive rig (source : [www.seaventuresdive.com](http://www.seaventuresdive.com))

#### 4.4.4 외해양식

연간 1인당 어류소비량은 1990년대 평균 14.4kg에서 2013년 19.7kg으로 증가하였으며, 2013년 기준 개발도상국의 1인당 어류소비량은 18.8kg, 선진국은 약 26.8kg으로 추정된다. Fig. 15과 같이 세계 경제와 시장이 성장함에 따라 1인당 연간 어류소비량이 증가하는 추세이며, 수요를 맞추기 위해서 어업과 함께 양식업 시장도 성장하였다. 세계 수산물 시장에서 양식업 시장은 지난 20년 동안 성장하여 양식어류량은 2014년 전체 어업생산량의 약 44%인 7,380만 톤에 달한다 [15].

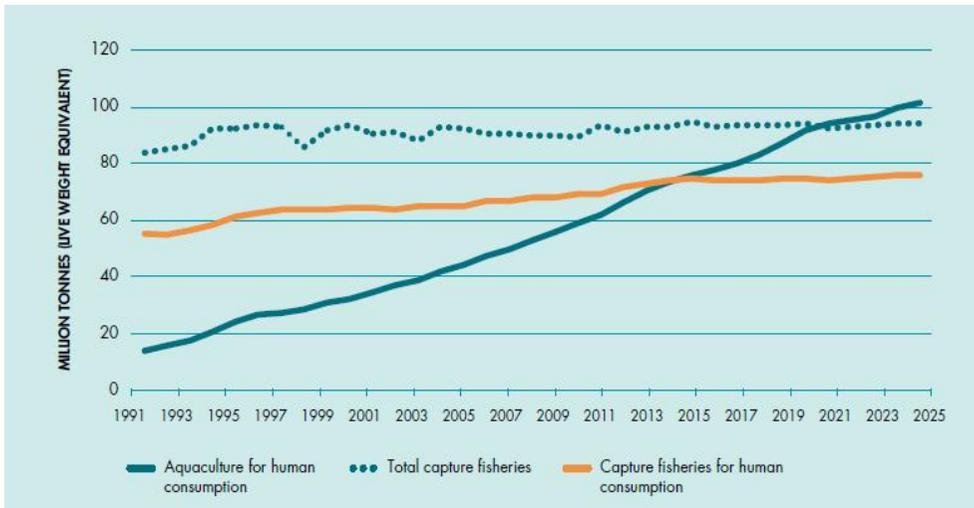


Fig. 15 Global capture fisheries and aquaculture production to 2025 (OECD and FAO) [15]

세계 수산시장에서 우위를 차지하고 있는 아시아 지역은 어업뿐 아니라 양식장의 개발과 성장에도 관심이 높다. 그 중 외해 양식(offshore aquaculture)은 연안에서 수 킬로미터 떨어진 곳에 위치하여 연안의 영향과 자연재해를 적게 받는 양식 방법이며, 최근 근해의 해양환경이 악화되면서 양식장 공간 확보를 위하여 점차 외해로 이동시키고 있는 추세에 부합하는 양식 방법이다. 외해양식을 효과적으로 관리하기 위해 양식장 주변에 모니터링 시스템과 자동먹이공급시스템을 설치하여 육상에서도 원격으로 관리할 수 있도록 한다. 외해양식장 근처에 설치하는 부대설비는 주로 부유식 장비로 안정성 및 정확성을 확보하는 것이 어렵다는 단점이 있다. 또한 외해양식은 높은 파도와 자연재해로 인하여 시설물이 파손될 위험성이 크다는 단점이 있다 [16]. 이러한 단점들을 보완하기 위하여 노후화된 해양설비의 하부구조물을 외해양식업과 결합하여 안정성을 확보하는 방법이 개발되고 있다. 북해 지역을 중심으로 다목적 해양 플랫폼 개발 사례로 해상 풍력 발전소와 외해양식을 결합하는 프로젝트에 대한 연구를 수행하였으며, 이를 통하여 공간 효율성과 해양자원 확보 등 경제적 효과를 입증하는 연구결과가 있다 [17].

## 제 5 장 노후화된 해양설비의 해체 및 재활용 방안 분석

### 5.1 분석 대상 플랫폼 선정 및 해체 방안 분석

#### 5.1.1 개요

본 연구에서 노후화된 해양설비의 해체 및 재활용 방안을 분석하기 위한 플랫폼으로 인도네시아 ‘A’ 필드에 설치되어 있는 ‘A’ 플랫폼으로 설정하였으며, A 플랫폼의 도면, 구조해석 및 선행연구 결과를 사용하여 해체 및 재활용 방안에 대하여 고찰하였다. 5.1장에서는 A 플랫폼의 제거 방법과 처리방법에 대하여 분석하고 그 결과 값을 5.2장의 재활용 방안 분석 및 평가에 대한 기초 자료로 사용하였다.

#### 5.1.2 플랫폼 제원

인도네시아 칼리만탄 지역에 설치되어 있는 A 플랫폼은 1976년 설치되었으며 수심은 약 221ft(67.4m)이다. Table 11은 A플랫폼의 제원을 나타내는 표이다. 하부구조물의 무게는 그라우팅, marine growth 등의 무게가 포함된 무게이다. A 플랫폼의 레이아웃은 Fig. 16와 같으며 본 연구에서는 conductor, riser 등의 설비는 제거하는 것으로 고려하였으며, 과정 및 절차에는 포함하지 않았다.

Table 11 Specification of A platform

Platform	production platform
Water depth	221ft(67.4m)
Topside size	21.64m × 20.73m × 8m
Topside weight	539.7 ton
Jacket size	top : 12.19m × 12.19m base : 23.8m × 23.8m × 70m
Jacket weight	844.7 ton
Leg	4

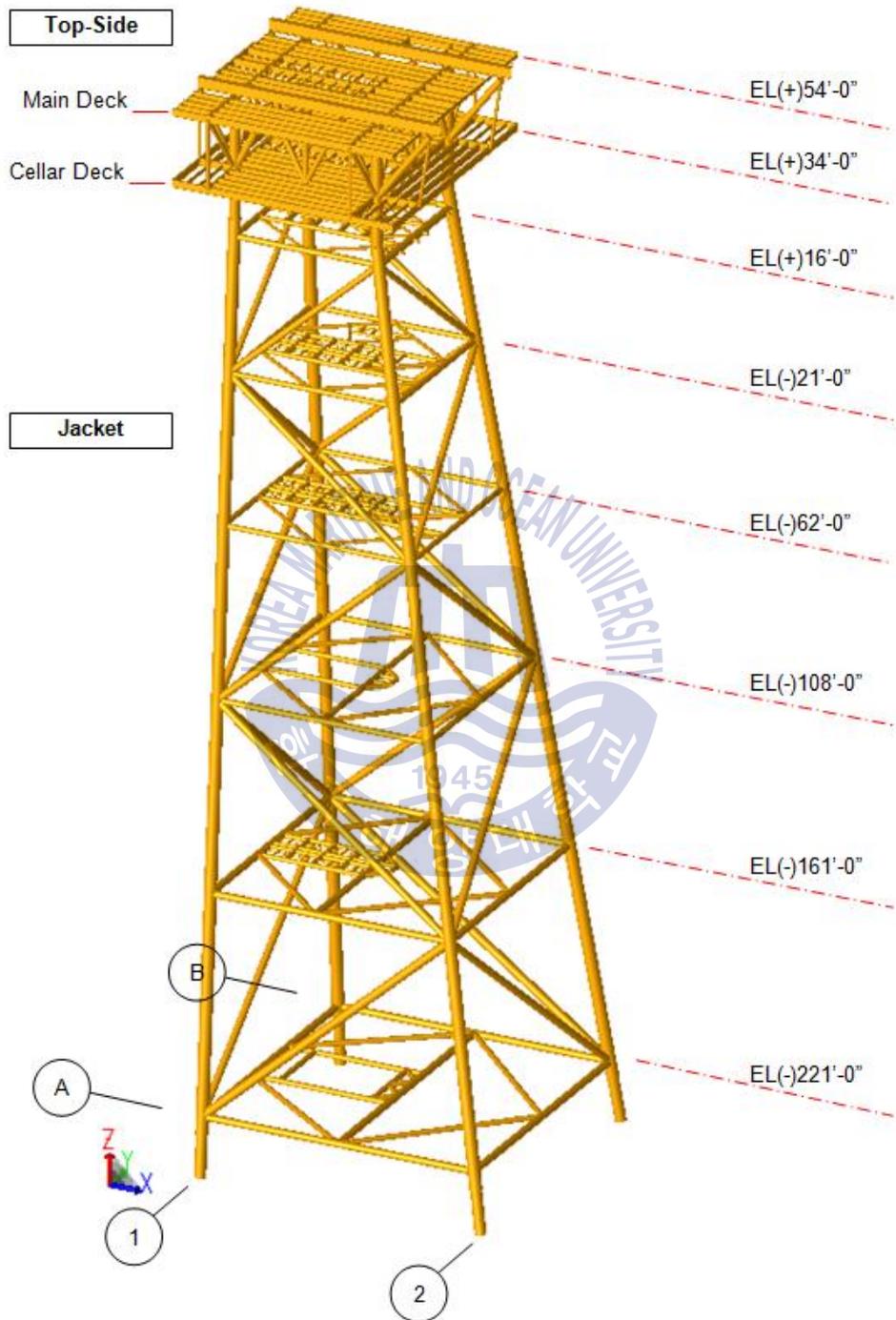


Fig. 16 Platform A layout

A 플랫폼은 Fig. 17의 지도와 같이 칼리만탄(보르네오) 섬 동쪽의 Makassar 해협에 위치하고 있으며 Bontang에서 약 36km 떨어진 곳에 위치한다. 플랫폼에서 가까운 서비스 베이스는 Santan 지역에 위치한 B 터미널을 이용하고 있다.



Fig. 17 Location of A platform

### 5.1.3 A 플랫폼 제거 방법

A 플랫폼은 1998년 1월 1일 이전에 설치되었으며 수심이 75m 이하, 구조물 무게가 4,000톤 이하이므로 1989 IMO 지침에 따라 전체적으로 제거해야 한다. 또한 상부구조물을 제거한 후 하부구조물을 그 자리에 두는 방법도 가능하다. 따라서 A플랫폼에 적용 가능한 해체 방법은 complete removal과 leave in place이며, 해체방법별 세부 제거 방법을 결정하기 위하여 아래의 세부 고려사항을 고려하였다.

#### (1) Complete removal

- 하부구조물의 절단 위치 : A 플랫폼의 전체를 제거할 경우 인도네시아 Permen ESDM 1/2011에 따라 하부구조물의 절단 위치는 ‘Below the mudline(5m)’로 결정된다.

- Piece large/small : Fig. 18와 같이 선행연구 결과 하부구조물을 구조 해석 자료를 바탕으로 하부구조물을 2 부분으로 나누어 제거하는 것으로 간주한다.

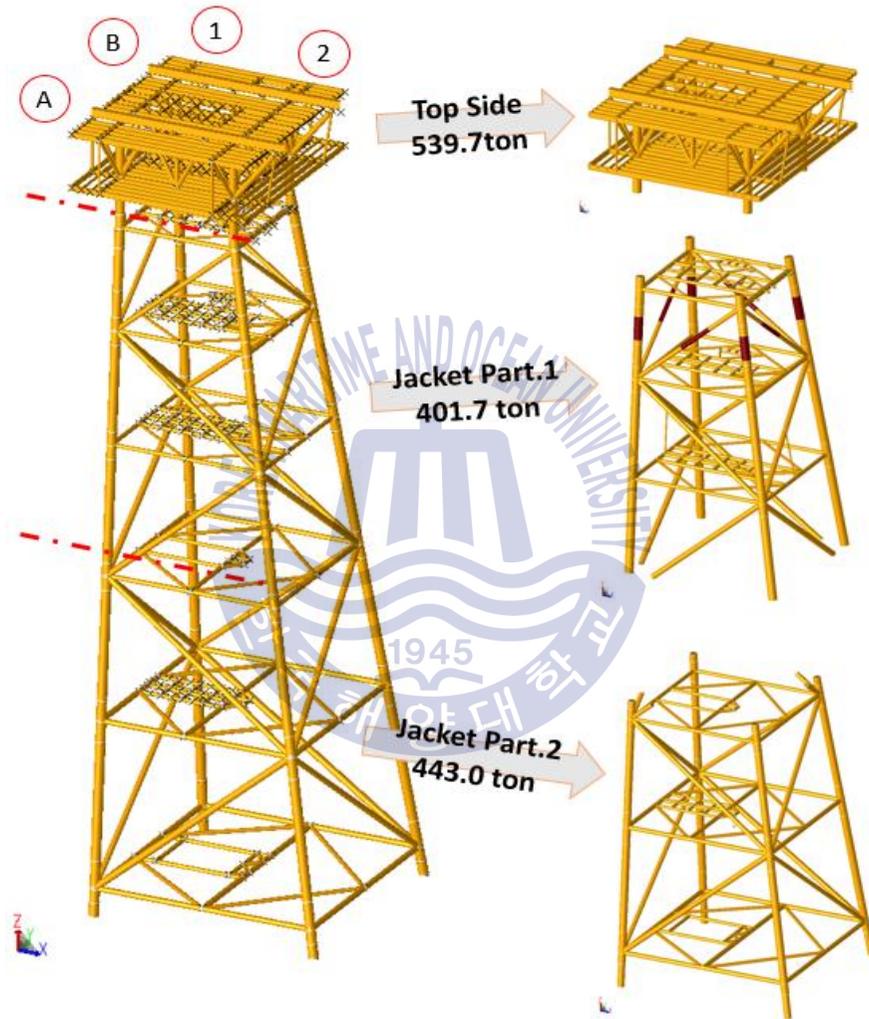


Fig. 18 SACS model with weights

- Lifting 방법 : Table 12는 플랫폼 A의 구조물 lifting 방법을 분석한 표이며, 가장 적합한 lifting 방법으로는 HLV와 crane barge를 이용하여 절단된 구조물을 들어 올린 후 바지선에 선적하여 운반하는 방법이다. 크레인 용량

은 구조물의 길이, 너비, 높이 및 무게를 고려하여 선정해야 하며 구조물 무게를 계산할 때에는 최대 무게를 기준으로 하고 miscellaneous 무게로 10%의 허용오차를 추가한다.

(2) Leave in place

- 상부구조물의 절단 위치 : 상부구조물만 절단하여 제거한 뒤 하부구조물은 제거하지 않는다.
- Piece large/small : 선행연구 결과 상부구조물을 구조 해석하였을 때 상부 구조물 전체를 한 번에 제거한다.
- Lifting 방법 : 상부구조물의 무게와 miscellaneous 무게를 고려하여 Table 12와 동일한 방법으로 결정한다.

Table 12 Structure lifting method

Methods Results	Buoyancy	HLV	SLV
분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구조물을 2 부분으로 나누어 제거해야 함</li> <li>• 부력탱크를 이용할 경우 같은 작업을 2번해야 하므로 비효율 적임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상부구조물, 하부 구조물 2 부분 중 최대 무게는 상부 구조물 539.7톤임.</li> <li>• miscellaneous 무게로 허용오차 10% 등을 추가하여 크레인 용량을 여유롭게 준비해야 함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A 플랫폼의 경우 대형구조물이 아니므로 SLV은 효율성이 떨어짐</li> </ul>
적격여부	부적합	적합	부적합

5.1.4 A 플랫폼 처리 방법

A 플랫폼의 해체 및 재활용 방안을 분석하기 위하여 상부구조물의 처리 방법은 전량 폐기물 처리하는 방법으로 동일하게 설정한다. 하부구조물의 경우 야적장에서 스크랩 처리하여 재판매하는 방법과 재활용하는 방법 중 선택할 수

있으며, 국가 및 지역의 니즈를 반영하여 결정해야 한다. Table 13은 A 플랫폼의 처리 방법에 대하여 분석한 표이다.

Table 13 Structure disposal method

Methods Results	Scrap	Reutilization
분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>하부구조물 1384.4톤의 고철을 처리할 수 있는 규모의 야적장을 선정</li> <li>바지선에 선적되어 있는 구조물을 육지로 하역할 수 있는 설비의 유무 파악</li> <li>구조물의 이동을 최소화하고 충분한 이동공간을 확보하고 있는 야적장 선정(위치적 조건)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인도네시아 양식업은 아시아 국가 중 3위를 차지하고 있으며 [20], 해양수산업이 국가의 주력사업이므로, 해양수산 관련 재활용 방안은 국가 및 지역사회에 긍정적임</li> <li>칼리만탄 지역은 관광도시가 아니므로 해양관광 관련 재활용 방안은 실효성이 떨어짐</li> </ul>
적격여부	Santan 지역의 야적장 중 조건에 부합하는 야적장 선정	해양수산 관련 재활용 방안

## 5.2 재활용 방안 분석 및 평가

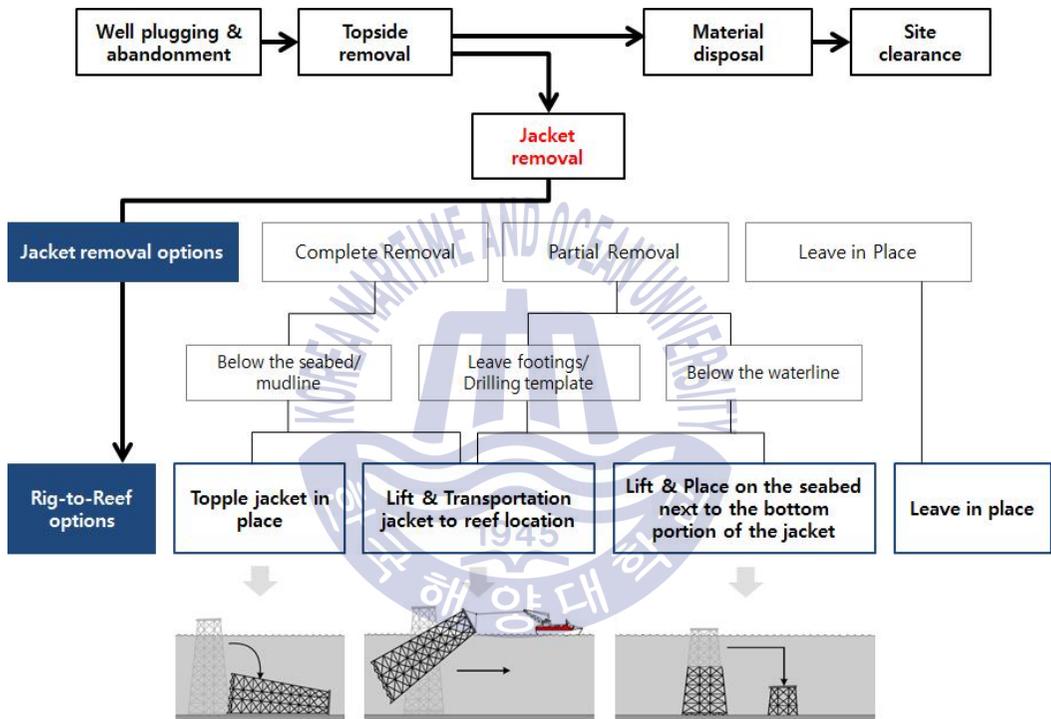
### 5.2.1 개요

5.1.4장에서 재활용 방법을 분석한 결과 해양수산 관련 재활용 방안이 니즈에 적합하다는 결과가 도출되었다. 5.2장에서는 A 플랫폼 하부구조물을 재활용하는 방안으로 해양 수산 관련 2가지 모델을 제시하고 2 가지 방안에 대하여 분석 및 평가하였다.

#### (1) Case 1 : Rig-to-Reef(R2R)

R2R 방법은 해양수산 관련 재활용 방안으로 가장 흔한 방법이며 R2R 절차 및 방법은 Fig. 19와 같다. A 플랫폼은 전체적으로 해체되어야 하고 절단 위치는 ‘5m below the mudline’ 으로 제거되어야 하므로 R2R 방법으로는 Fig. 19에 따라 Topple jacket in place와 Lift & Transportation jacket to reef location

을 적용할 수 있다. Topple jacket in place 방법은 하부구조물을 절단한 뒤 크레인을 활용하여 수평방향으로 넘어뜨리는 방법이며, Lift and Transportation jacket to reef location 방법은 플랫폼 주변에 다른 해양설비가 복잡하게 설치되어 있거나 파이프라인 또는 해저설비로 인해 그 자리에 두지 못할 경우, 인근의 해양보존구역(conservation area)이나 전문가를 통해 reefing point를 결정하여 이동시키는 방법이다.



Source : Les Dauterive, 2000, Rigs-to-Reefs Policy, Progress, and Perspective

Fig. 19 Rig-to-Reef process and options

하부구조물을 인공어초로 활용하기 위해서는 해양환경, 해저지형, 저질, 수심, 어업여건 등을 조사하여 적지를 선정하는 절차가 필요하다. Bontang 지역에는 석유 및 가스 시설의 무분별한 설치를 제한하고 해양자원을 보호하기 위하여 5,121.38헥타르에 달하는 해양보존구역이 설정되어 있다. A 플랫폼을 인공어초로 재활용하는 방안에서 reefing 장소는 Bontang 해양보존구역으로 설정하였으며, 최종 수행방법으로 Lift & Transportation jacket to reef

location 방법을 적용하였다.

## (2) Case 2 : 외해양식

인도네시아 해양수산업에서 떠오르는 사업인 외해양식업과 연계하여 재활용 방안을 연구하였다. 2017년 인도네시아 해양수산부는 어류 생산량을 증가시키기 위해 정부를 중심으로 양식장 관련 연구 및 사업에 투자하고 있다. 그 예로 해양수산부는 외해양식장 연구개발을 위하여 Sabang-Aceh, Karimun Jawa-Central Java 및 Java Pangandaran 남부 해안을 시범 지역으로 선정하여 외해 양식 시설을 설치하였다. 총 투자비는 USD 10.5 million이며, 이로 인해 인도네시아는 매년 1,500톤의 seabass를 생산할 것으로 기대하고 있다.

외해양식장을 설치하기 위해서는 양식장과 더불어 자동먹이공급시스템, 모니터링시스템 및 계류시스템 등이 설치되어야 한다. 자동먹이공급시스템은 대규모의 양식장에서 제 시간에 사료를 공급할 수 있도록 하는 자동제어 시스템이다. 양식 산업에서 사료의 적정공급은 양식 사업의 성패를 가름할 만큼 중요한 요소이다. 하지만 자동먹이공급시스템은 주로 외해양식장과 호스로 연결되어 있는 부유식 장비로 바람과 파도 등으로 유실되거나 손상될 수 있는 위험성이 있다. 외해양식장 사업의 성공률은 먹이공급시스템의 정확성에 달려 있으며 이를 위해 노르웨이, 일본 등에서는 안정적인 급이장치의 설치를 위한 연구를 진행 중에 있다 [16].

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 부유식 부대설비를 해상에 방치되어 있는 노후화된 해양플랫폼에 설치하여 외력의 영향을 최소화하고 부대설비의 안정성을 확보할 수 있는 방안을 도출하였다. 플랫폼의 상부구조물을 제거하고 하부구조물을 보강한 뒤 하부구조물의 최상단에 상판을 설치하여 자동먹이공급시스템과 모니터링시스템 등의 부대설비를 설치하는 방법으로 기존의 부유식 설비를 고정식 설비로 전환하여 안정성을 높일 수 있다. Fig. 20은 A 플랫폼의 하부구조물을 외해양식장으로 재활용하는 사업의 개념설계도면이다. 외해양식장은 미국 OceanSpar(현재 Innovasea)사의 반잠수식 양식장(submersible cage)인 Sea-Station 5400 모델로 설정하였다. Sea-Station 5400은

지름 33.45m, 높이 20.70m이며 총 용적은 5400m<sup>3</sup>이며, 200ton의 어류를 양식할 수 있는 크기이다.

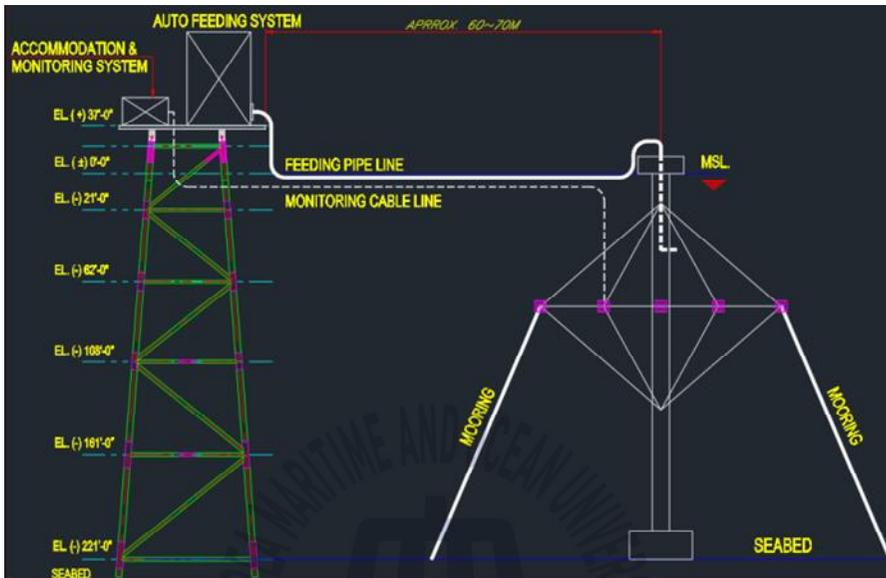


Fig. 20 Concept drawing of auto feeding & monitoring system

## 5.2.2 법적 고려 사항

### (1) Case 1 : Rig-to-Reef(R2R)

인도네시아에 설치되어 있는 모든 석유 및 가스 설비는 국유자산(BMN)으로 규정되어 있으며, 인도네시아 재무부에서 관리한다. 해양설비의 해체 및 재활용을 위해서는 국유 자산(BMN)을 처분하거나 양도하는 절차를 수행해야 한다. BMN 처분 절차는 재무부 규정 No. 96/PMK06/2007에 따라 규정되며 특히 석유 및 가스 산업과 관련된 BMN은 재무부 규정 135/PMK.06/2009 the Management of state property originating from the contractor of cooperation contract에 따른다. 인도네시아는 R2R관련 규정이 별도로 없으며 reefing 장소 선정, 인공어초 크기, 인공어초 관리 등의 세부 기준이 마련되어 있지 않다. 따라서 재활용 측면에서 R2R 사업을 수행하기 위해서는 인도네시아 해양수산부 및 지역정부와의 긴밀한 협조가 필요하다.

## (2) Case 2 : 외해양식

Indonesian continental shelf 관련 규정인 Indonesian Law No 1 of 1973에 따르면 인도네시아 정부는 석유 및 가스 생산 플랫폼 주변에 제한 지역(500m 이하) 및 금지 지역(1,250m 이하)을 설정하여 관계 외 선박의 출입을 금지하고 있다. 따라서 외해양식 재활용 방안을 적용하기 위해서는 플랫폼의 위치가 주변 석유 및 가스 생산 활동에 방해가 되지 않고 외해양식장의 관리 선박이 자유롭게 통항할 수 있는 항로가 확보되어야 한다. A 플랫폼은 Fig. 21의 A 필드의 레이아웃에서 알 수 있듯이 A 필드의 가장자리에 위치하고 있으므로 외해양식장 설치 조건에 만족하는 것으로 판단된다.

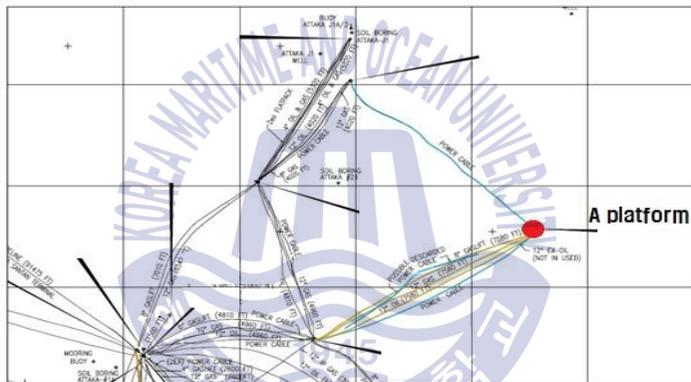


Fig. 21 A field layout

### 5.2.3 절차 분석

Fig. 22은 인도네시아 A 플랫폼을 대상으로 해체, 인공어초 및 외해양식장 방안에 대한 수행절차를 도식화한 그림이다.

#### (1) Case 1 : Rig-to-Reef(R2R)

R2R공사 수행절차와 통상적인 해체공사의 수행절차와 비교하였을 때, R2R 수행절차는 하부구조물을 절단한 후 육지로 운반하여 처리하는 단계를 제외할 수 있는 것으로 파악된다. A 플랫폼의 하부구조물은 최종적으로 인공어초로 활용하기 위하여 인도네시아 Bontang 수역의 해양보존구역으로 이동시켜 수평방

향으로 넘어뜨리는 작업(toppling)을 수행한다. 따라서 R2R공사 수행 방법은 단순 해체공사보다 육지로의 운반비용, 하부구조물 하역비용, 하부구조물 처리비용을 절감시킬 수 있다.

**(2) Case 2 : 외해양식**

외해양식으로 재활용할 경우 하부구조물을 제거하지 않고 그대로 재사용하므로 하부구조물 제거, 하부구조물 운반 및 처리 단계가 생략된다. 추가적으로 외해양식장을 설치하기 위하여 하부구조물 일부분을 보강하는 작업을 수행한 후 하부구조물 상단에 상판을 제작 및 설치하여 모니터링 시스템과 자동먹이공급장치를 설치할 공간을 확보한다. 외해양식장 방안의 경우 재활용 측면에서 하부구조물 제거 및 처리에 관련된 비용을 절감시키는 효과를 볼 수 있다.

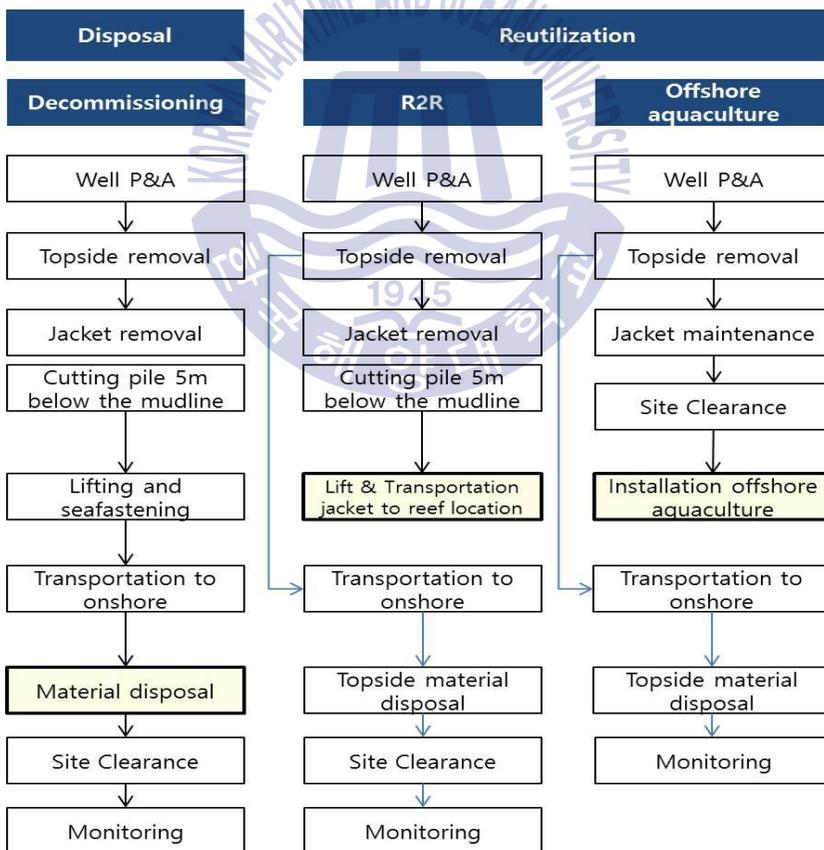


Fig. 22 Decommissioning and reutilization process

### 5.3 경제적 효과

하부구조물의 재활용 방안으로 제시한 외해양식장 방안의 경제적 효과를 입증하기 위하여 인도네시아 타이거 그루퍼를 대상으로 한 외해양식 모델을 설정하여 재무적 타당성을 분석하였다. 경제적 효과를 도출하기 위해서는 조사대상인 그루퍼 외해양식장에서의 어획활동을 통해 얻어 지는 편익과 관련 어업비용, 시설투자 및 관리비용 등의 자료들을 바탕으로 비용편익 분석기법을 이용하여 분석하였으며 [22], 경제적 효과의 실증적 분석은 편익/비용비율(B/C ratio), 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR)기법 등을 적용하여 추정하였다.

외해양식 대상어종으로는 타이거 그루퍼(tiger grouper)를 선정하였다. 인도네시아는 세계적으로 가장 큰 그루퍼 양식국가로, 타이거 그루퍼는 인도네시아 양식 산업의 주요 품목 중 세 번째로 큰 어종이다 [23]. 타이거 그루퍼의 출하중량은 400 - 800g이며 [24], 인도네시아에서의 평균 양식기간은 12개월 미만이다 [25]. 외해양식장으로 미국 OceanSpar(현재 innovasea)사의 반잠수식 양식장(submersible cage)인 Sea-Station 5400 모델로 설정하였다. Table 14은 Sea-Station 5400 모델의 제원을 나타내는 표이다.

Table 14 Specification of aquaculture cage

aquaculture cage	size	volume	farming scale	service life
Sea-Station 5400	33m×20m	5,400m <sup>3</sup>	120ton	10y

본 연구에서는 외해양식장(Sea-Station 5400) 2조에 총 300,000마리의 타이거 그루퍼 치어(평균 중량 25g)가 입식되어 700g일 때 출하하는 것으로 설정하였으며, 총 양식기간은 12개월로 적용하였다. 할인율(discount rate)은 미래의 가치를 현재가치로 변환하는 시간선호율을 의미하여 기획재정부 예비타당성조사 수행 총괄지침(2017)에서 제시한 4.5%를 적용하였다. KRW기준은 환율 USD 1 = KRW 1,100으로 하였다.

### 5.3.1 비용 분석

#### (1) 시설투자비용

Sea-Station 5400 시설비용은 국회입법조사처에서 발간한 외해양식어업의 현황과 활성화를 위한 추진과제에서 명시되어 있는 구조물 시설단가를 반영하였다. 하부구조물 상부에 설치할 자동먹이공급시스템 및 모니터링 시스템 비용은 국내 외해양식 기업인 노아외해양식영어조합법인에서 받은 견적과 운송비용을 추정하여 100,000천원으로 산정하고 외해양식장의 부력재 비용은 4,400천원으로 산정하였다. 발전기 설치비용은 국내 발전기공급업체인 s기업에서 받은 견적을 기준으로 산정하였다. Table 15는 타이거 그루퍼 외해양식장의 초기 시설투자비용을 나타내는 표이다.

**Table 15** The facilities investment costs of tiger grouper offshore aquaculture

Description	Q'ty/unit	Price (KRW 1,000)	Amount (KRW 1,000)
Sea-Station 5400	2 set	400,000	800,000
Feeding and Monitoring system	1 set	100,000	100,000
Buoyance	4 set	1,100	4,400
Generator (main + emergency)	1 set	83,300	83,300
<b>Total</b>			<b>987,700</b>

#### (2) 치어비

타이거 그루퍼 치어는 주로 인도네시아 정부에서 운영하는 부화장에서 공급하고 있으며, 치어의 시장가격은 0.06 USD/cm이다. 치어비는 총 300,000마리의 10cm 타이거 그루퍼 치어를 12개월마다 구입하는 것으로 산정한다 [26].

#### (3) 사료비

인도네시아에서는 타이거 그루퍼의 사료로 주로 trash fish를 사용하고 있으

며, trash fish의 FCR(Feed Conversion Ratio)는 6.26이며, 1kg당 가격은 USD 0.42/kg이다 [27]. 타이거 그루퍼의 증체량이 675g이고 사료계수(FCR)가 6.26을 반영하면 12개월 동안 사료량은 약 4,226kg이고, 1마리 당 사료비용은 USD 1.78로 추정할 수 있다.

#### (4) 운영비

외해양식장을 관리하는 인부의 인건비는 외해양식장 시설 관리자, 급이 관리자 등 상시인력의 인건비와 타이거 그루퍼의 입식과 출하, 양식장 수리 시 고 용되는 인부들의 인건비가 포함되어 있다. 정기적으로 외해양식장을 점검하기 위해서 입차하는 supply vessel의 용선비용, 사무실 운영비용 및 고정운영비용 은 인도네시아 타이거 그루퍼 양식 경제성 분석 관련 논문과 인도네시아-키리 바시의 밀크피쉬에 대한 상업적 이용방안 연구 보고서의 비용분석 내용을 반영 하여 추정하였다. 물류비는 운송, 저장, 통관 및 유통을 포함하며, 물류 부문은 인도네시아 수산 양식 공급망 분석 내용을 반영하여 총 비용 지출의 10%로 추 정한다 [28]. Table 16은 그루퍼 외해양식장을 운영하기 위해 소요되는 연간비 용을 나타낸다.

Table 16 Summary of the expenditure of tiger grouper offshore aquaculture

Description	Breakdown	Amount (KRW 1,000)
Fingerling	<ul style="list-style-type: none"> <li>• USD 0.6 × 300,000ea = USD 180,000 × KRW 1,100 = KRW 198,000,000</li> </ul>	198,000
Feed	<ul style="list-style-type: none"> <li>• USD 1.78 × 300,000ea = USD 534,000 × KRW 1,100 = KRW 587,400,000</li> </ul>	587,400

**Table 16** Summary of the expenditure of tiger grouper offshore aquaculture  
(continue)

Description	Breakdown	Amount (KRW 1,000)
Labor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• manager(senior Engineer) USD 5,000 × 12month × 2 = USD 120,000 × KRW 1,100 = KRW 132,000,000</li> <li>• engineer(Indonesian) [29] USD 5,200 × 1year × 10 = USD 52,000 × KRW 1,100 = KRW 57,200,000</li> <li>• technician(Indonesian) [30] USD 247 × 12month × 8 = USD 23,712 × KRW 1,100 = KRW 26,083,200</li> </ul>	215,283
Fixed operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• maintenance [28] KRW 987,700,000(facilities investment cost) × 5% = KRW 49,385,000</li> <li>• medication [29] USD 250 × KRW 1,100 = KRW 275,000</li> <li>• others [29] USD 2,000 × KRW 1,100 = KRW 2,200,000</li> </ul>	51,860
Office operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• office rental, permit, management cost and others [29] USD 20,000 × 1year = USD 20,000 × KRW 1,100 = KRW 22,000,000</li> </ul>	22,000
Supply vessel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fuel &amp; vessel = USD 1,000 × 12month = USD 12,000 × KRW 1,100 = KRW 13,200,000</li> </ul>	13,200
Logistic	<ul style="list-style-type: none"> <li>• total cost expenditure × 10%</li> </ul>	108,774
<b>Total</b>		<b>1,196,517</b>

KOTRA에서 발간한 2018 인도네시아 진출전략 보고서에 따르면 2014년에서 2015년의 인도네시아 물가상승률은 6~8%였으며, 2016년에서 2017년의 물가상승률은 3~4%대로 점차 하락하였다. KOTRA 자료와 OECD 소비자 물가상승률 추이 등 자료를 종합적으로 검토하여 향후 인도네시아 물가상승률을 3.5%로 추정하였다.

### 5.3.2 편익 분석

인도네시아 타이거 그루퍼 양식의 평균 생존율은 약 70%로 조사되었으나, 본 연구는 하부구조물의 재활용 방안으로 자동먹이공급장치를 부유식이 아닌 고정식으로 설치하여 정기적인 사료 공급을 가능하게 하는 방안을 도출하였다. 이를 반영하여 생존율을 90%로 추정하였다. 따라서 치어 270,000마리를 입식할 경우 연간 생산량은 189,000kg으로, 여기서 시장가격(USD 8.77/kg)을 곱한 연간 외해양식 수익은 USD 1,657,530로 나타났다.

### 5.3.3 비용과 편익의 현금 흐름 분석 및 경제성 평가 결과

타이거 그루퍼의 외해양식장 사업으로 기대되는 현금흐름의 추정결과는 Table 17에 나타나고 있다. 비용과 편익의 현재가치는 본 사업의 실시연도인 2019년을 기준으로 산정하였다. 10년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과 불변가치 3,880,184,690원 순편익, 현재가치 2,549,778,402원 순편익이 추정된다. 2019년 초기 시설투자로 인하여 비교적 큰 현금유출이 발생하게 되며, 외해양식으로 인한 수익이 없어 순수익이 마이너스(-)이지만 2020년부터 수익이 지속적으로 발생하고 있음을 보여준다.

Table 17 The estimation of cash flow

연도	불변가치			할인율 4.5%	현재가치		
	비용	편익	편익-비용	할인지수	편익	비용	편익-비용
합계	15,024,517,451	18,904,702,141	3,880,184,690	4.5%	14,464,188,916	11,914,410,514	2,549,778,402
2019	2,184,217,520	0	-2,184,217,520	0.957	0	2,090,160,306	-2,090,160,306
2020	1,238,395,633	1,823,283,000	584,887,367	0.916	1,669,634,853	1,134,035,973	535,598,880
2021	1,281,739,480	1,887,097,905	605,358,425	0.876	1,653,657,486	1,123,183,954	530,473,532
2022	1,326,600,362	1,953,146,332	626,545,970	0.839	1,637,833,012	1,112,435,782	525,397,230
2023	1,373,031,375	2,021,506,453	648,475,078	0.802	1,622,159,969	1,101,790,464	520,369,505
2024	1,421,087,473	2,092,259,179	671,171,706	0.768	1,606,636,907	1,091,247,014	515,389,893
2025	1,470,825,535	2,165,488,250	694,662,716	0.735	1,591,262,391	1,080,804,459	510,457,932
2026	1,522,304,428	2,241,280,339	718,975,911	0.703	1,576,035,000	1,070,461,833	505,573,167
2027	1,575,585,083	2,319,725,151	744,140,068	0.673	1,560,953,325	1,060,218,179	500,735,146
2028	1,630,730,561	2,400,915,531	770,184,970	0.644	1,546,015,973	1,050,072,550	495,943,423

Table 18와 같이 할인율 4.5%, 사업기간 10년, 물가상승률 3.5%을 반영할 때, 비용의 현재가치는 11,914,410,514원, 편익의 현재가치는 14,464,188,916원으로 순현재가치(NPV)는 2,549,778,402원인 것으로 파악되며 내부수익률(IRR)은 25.58%로 나타난다. 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.21으로 경제적 타당성 기준인 '1'을 충족하여 하부구조물을 재활용한 타이거 그루퍼 외해양식장 사업은 경제성이 있는 것으로 분석된다.

Table 18 The estimation of NPV, IRR and BCR

구분	결과값	기준
편익의 현재가치	14,464,188,916원	
비용의 현재가치	11,914,410,514원	
NPV	2,549,778,402원	NPV > 1원
IRR	25.58%	
B/C Ratio	1.21	B/C ≥ 1

## 5.4 종합 평가.

국내 해양플랜트 해체사업은 초기사업인 만큼 전략적인 시장진입을 위하여 진입장벽이 비교적 낮고 해체물량이 많은 아시아지역을 공략할 필요가 있다고 판단하였다. 따라서 본 연구에는 아시아 지역 중 해체 대상 플랫폼이 가장 많은 인도네시아에 설치되어 있는 플랫폼을 대상으로 하였다.

인도네시아에 A 필드에 설치되어 있는 A 플랫폼을 대상으로 노후화된 해양설비의 재활용 방안으로 2가지 모델을 제시하였으며, 구조물 상태, 경제성, 법적 타당성 등을 종합적으로 검토하였을 때 Table 19와 같은 결과가 도출된다.

Table 19 Comparison of R2R and offshore aquaculture project

	R2R	Offshore Aquaculture
PROS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공어초를 설치하여 어업자원의 서식환경을 개선하는 방안으로 활용할 수 있음</li> <li>- 해체 비용 중 하부구조물 운반비용, 하역비용 및 처리비용 등을 절감시킬 수 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동먹이공급시스템과 모니터링 시스템의 안정성을 확보하여 일정한 먹이를 공급할 수 있음</li> <li>- 하부구조물을 그대로 재사용함으로써 해체 공정을 줄이고 비용을 절감시킬 수 있음</li> </ul>
CONS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양환경생태 및 수산생물의 특성 등을 고려하여 인공어초를 설치할 적지를 선정해야 하며, 플랫폼 위치와 reefing 장소가 먼 경우, 일반 해체공사와 절차 및 비용 측면에서 차이가 없을 수도 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하부구조물의 안정성이 확보되어야 함</li> <li>- 석유 및 가스 생산구역에서 떨어져있고, 일반 어선이 접근할 수 있는지 등의 조건에 부합하는 플랫폼이어야 함</li> </ul>

**Table 19** Comparison of R2R and offshore aquaculture project (continue)

	R2R	Offshore Aquaculture
<b>PROFIT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공어초를 통하여 직접적인 효과(이익창출)보다는 간접적인 효과(환경개선)가 있을 것이라고 추정됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 외해양식을 통한 추가적인 경제적 이익을 창출하는 사업이며 경제성 분석을 통하여 외해양식사업은 경제성이 있는 것으로 판단됨</li> </ul>
<b>RISK</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- R2R 관련법이 구체적으로 제정되어 있지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 아직 수행한 경험이 없으므로 사업의 실효성이 검증되지 않음</li> </ul>
<b>Recommendation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 외해양식장 설치 조건에 부합하지 않는 경우 R2R로 재활용하는 방안을 적용하는 것이 바람직하다고 판단됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 외해양식장 사업의 경우, 플랫폼의 위치가 타 석유가스설비에 방해가 되지 않고 관련법에 저촉이 되지 않는 조건에 부합한다면 추가적인 이익을 창출하는 재활용 사업으로 바람직하다고 판단됨</li> </ul>

## 제 6 장 결론

본 연구에서는 해양플랜트 건조사업에만 치중되어 있는 우리나라 해양플랜트 시장에서 세계적으로 성장하고 있는 해양플랜트 해체시장으로 진출하기 위해 해양플랜트 해체 관련 규정과 해체 방법을 비교 조사하여 전략적인 해체 방안에 대하여 고찰하였다.

전략적인 해체 방안으로 기존의 폐기 처리하는 해체 방안보다는 구조물을 재활용하여 부가가치를 창출할 수 있는 방안인 인공어초 사업과 외해양식장 사업을 제안하였고, 또한 인도네시아에 위치한 노후화된 플랫폼을 대상으로 제도적, 기술적 및 경제적인 측면에서 분석 평가하여 사업의 타당성을 확보하였다.

인공어초 및 외해양식장 재활용 방안의 수행 절차를 통상적인 해체절차에 따라 검토한 결과, 인공어초 공사의 경우, 하부구조물 운반비용, 하역비용 및 처리비용 등을 절감시킬 수 있으며, 외해양식장 공사의 경우, 하부구조물을 그대로 재사용함으로써 하부구조물을 제거하는데 소요되는 제반비용을 절감시킬 수 있다. 또한 외해양식장 방안은 세계적으로 성장하고 있는 해체시장과 외해양식시장의 결합한 시장형태이며, 타이거 그룹과 외해양식사업으로 경제성 분석을 수행한 결과 경제성이 높은 사업으로 판단된다. 따라서 플랫폼의 위치가 타 석유가스설비에 방해가 되지 않고 구조물의 안정성이 확보된 플랫폼을 대상으로 외해양식장 방안을 적용하면 해체비용을 절감할 수 있을 뿐 아니라 추가적인 경제적 이익을 창출할 수 있을 것으로 판단된다. 외해양식장 조건에 부합하지 않는 경우 R2R 방안을 적용하는 것이 단순 해체사업 대비 효율적인 것으로 판단된다.

본 연구를 바탕으로 노후화된 해양설비를 외해양식장의 구조물로 재활용하는 방안을 적용하면 경제적인 측면에서 타당한 것으로 판단되며, 나아가 플랫폼 주변의 해양환경에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면 사업의 타당성을 입증할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- [1] Douglas-Westwood, 2015, *World Offshore Maintenance, Modifications and Operations Market Forecast 2015-2019*
- [2] Visiongain, 2013, *The Offshore Oil and Gas Decommissioning Market 2013-2023*
- [3] Oil&Gas UK, 2017, *Decommissioning Insight 2017*
- [4] Norwegian Petroleum Directorate [Online] available at: [www.npd.no/en](http://www.npd.no/en)
- [5] BSEE(Bureau of Safety and Environmental Enforcement) [Online] available at: <http://www.BSEE.gov>
- [6] Youna Lyons, 2013, *Abandoned Offshore Installations in Southeast Asia and the Opportunity for Rigs-to-Reefs*
- [7] Decommissioning The Brent Field [Online] available at [www.shell.co.uk/brentdecomm](http://www.shell.co.uk/brentdecomm)
- [8] Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2018, *Decommissioning of Offshore Oil and Gas Installations and Pipelines - Guidance Notes*
- [9] Marathon Oil, 2016, *Brae Area Decommissioning Overview 2016*
- [10] ASCOPE, 2012, *ASCOPE Decommissioning Guideline for Oil and Gas Facilities*
- [11] BP, 2011, *Miller Decommissioning Programme*
- [12] ICF Incorporated, LLC with the Bureau of Safety and Environmental Enforcement, *Decommissioning Methodology and Cost Evaluation*
- [13] Oil&Gas UK, 2012, *The Decommissioning of Steel Piled Jackets in the North Sea regions*
- [14] Chuck Adams, Bill Lindberg, & John Stevely, *The Economic Benefits Associated with Florida's Artificial Reefs*
- [15] FAO, 2016, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016*

- [16] 전라남도 해양수산과학원진도센터, 2013, *외해 가두리양식장용 지능형 자동먹이공급시스템 개발*
- [17] Tanja Michler-Cieluch, Gesche Krause, Bela, H. Buck, 2009, *Marine Aquaculture within Offshore Wind Farms : Social Aspects of Multiple-Use Planning*
- [18] Les Dauterive, 2000, *Rigs-to-Reefs Policy, Progress, and Perspective*
- [19] 한국해양수산개발원, 2012, *동남아 해양플랜트 해체시장 진출 타당성 및 기본계획 수립 연구*
- [20] 한국해양대학교, 2015, *인도네시아 해양플랜트 수리해체시장 진출 및 DRE서비스 기반 구축 연구용역 결과 보고서*
- [21] John Chandler, David White, Erika J. Techera\*, Susan Gourvenec, Scott Draper, 2017, *Engineering and legal considerations for decommissioning of offshore oil and gas infrastructure in Australia*
- [22] 최중두, 2012, *해면 중간육성 생산방식의 경제성 분석 -갯벌 참굴 산업을 중심으로-*
- [23] Directorate General of Aquaculture, 2013, *Marine and Fisheries in Figures 2013*
- [24] MB Surtida, 1999, *Grouper culture I. In ponds*
- [25] Cheng-Ting Huang, Suraiya Nazlia, Shin-Chang Chen, 2014, *Economic Analysis of Tiger Grouper(Epinephelus fuscoguttatus) Cage Farming in Aceh, Indonesia*
- [26] Farok Afero, Sha Miao and Cheng Ting Huang, 2009, *Bioeconomic Analysis of the Tiger Grouper Cage Farming in Indonesia*
- [27] N N Palinggi, K Williams, 2009, *Formulated Feed for Tiger Grouper Grow-Out*
- [28] Spire, 2014, *Value Chain Analysis of Marine Fish Aquaculture in Indonesia*
- [29] 해외어업협력센터, 2007, *인도네시아-키리바시의 밀크피쉬에 대한 상업적 이용방안 연구*
- [30] Sara Miñarro, Gabriela Navarrete Forero, Hauke Reuter, Ingrid E. van Putten, 2016, *The role of patron-client relations on the fishing behaviour of artisanal fishermen in the Spermonde Archipelago (Indonesia)*

- [31] Erika J. Techeran, John Chandler, 2015, *Offshore installations, decommissioning and artificial reefs: Do current legal frameworks best serve the marine environment?*
- [32] Tim Martin, 2003, *Decommissioning of International Petroleum Facilities Evolving Standards & Key Issues*
- [33] Twomey Brian G. *Reverse Engineering Services Ltd International Documents and Training Materials 1992 to 2012*
- [34] TSB Offshore, Decommissioning & Mature Wells Management Conference 2015, *Asset Retirement Case Study Workshop*
- [35] BSEE. 2016, *Decommissioning Cost Update for Pacific OCS Region Facilities*
- [36] Salin K R, Gabriel Arome Ataguba, 2018, *Aquaculture and the Environment: Towards Sustainability*

