

## 海底資源 採掘 裝置

曹 奎 鍾\*

### 1. 序 論

過去 20年間 世界에서 大陸棚의 開發 作業은 눈부신 發展을 이루었다. 그 成長의 要因<sup>1)</sup> 하나는 實로 海底 資源 採掘裝置의 發展에 있다. 海底資源 掘削裝置는 使用하는 場所에 따라 各樣 各색의 型式이 있고 그 特性에 따라 여러가지 다른 問題들을 가지고 있다. 이들 裝置의 開發은 20世紀의 技術的인 成果의 하나이고 그들에 對해 많은 資金이 投入되고 있다. 近來 우리도 이 分野에 많은 關心을 가지게 되었으니 여기에 이 裝置의 發達結果를 돌이켜 보고 그들이 가진 問題點과 將來의 展望을 살펴 보기로 한다.

### 2. 海底資源掘削裝置의 分類와 現況

이 裝置는 여러가지 方法으로 分類할 수 있겠으나 여기서는 그 機能을 中心으로 分類하여 보면 表1과 같다.

表1 海洋掘削裝置의 分類와 그 性能

	機 動 性	安 定 性(作業可能限度) (風速×波高)	水 深
◎ 固定式掘削裝置			
1) 棧橋붙이 Platform (Connected by Bridge)	固 定	56m/sec × 16m	約 15m
2) 텐더붙이 Platform (Assisted by Tender)	"	"	" 60m
3) 自載式 Platform (Self Contained)	"	"	" 60m
◎ 可動式掘削裝置			
1) 有脚昇降式 (Leg Jack-up)	曳 航	56m/sec × 13m	" 90m
2) 着底式 (Submersible)	"	"	" 25m
3) 보어링 船 (Drilling Vessel)	自航 또는 曳航	크기 및 船型에 따라 다르 나 雙胴船 또는 大型船 에서는 21m/sec × 4.3m	錨碇止法 10m~180m 自動碇止法 10m 以上
4) 半潛水式 (Semi-Submersible)	曳 航	40m/sec × 10m	10m~180m

註: 安定性 및 水深은 그 型式에서 가장 性能이 높은 最大限度을 表示하는 數字임.

또 世界 各 地域의 掘削裝置의 類別 稼動狀況은 表2와 같다.

\* 正會員, 仁荷工科大学

表 2 世界各地의 海洋掘削裝置의 類別稼動(建造中包含)狀況

掘削裝置의 種類	美國 (1) Mexico灣		美國 (2) 太平洋岸		其他 西半球		歐羅巴		中東		Africa		極東		合計 (基數)
	基數	最大水深	基數	最大水深	基數	最大水深	基數	最大水深	基數	最大水深	基數	最大水深	基數	最大水深	
◎ 고정식 Platform (Fixed Platform)	76		1		12		2		5						99
1) 텐다마지붙이 Platform (Assisted by Tender)	40	44	1		3		2		5	47					51
2) 自載式 Platform (Self-Contained Platform)	39	60			9										48
◎ 可動式掘削裝置 (Mobil Unit)	60 (8)		15 (3)		9		10 (7)		11 (2)		12 (1)		4 (2)		121 (23)
1) 有脚승강식 굴삭장치 (Leg-Jack-up)	24 (3)	100	3	66	9	40	9 (4)	100 (100)	8 (2)	50 (66)	6	40		59 (10)	
2) 보어링 船 (Drilling Vessel)	3 (3)	11 (1)							3		3		3 (1)	23 (5)	
3) 着底式 굴삭장치 (Submersible)	28	48									2	19		30	
4) 半潛水深 굴삭장치 (Semi-Submersible)	5 (2)	200 (330)	1 (2)	330			1 (3)	200 (200)			1 (1)	200 (200)	1 (1)	9 (8)	
合計	139 (8)		16 (3)		21		12 (7)		16 (2)		12 (1)		4 (2)		220 (23)

註: ( )內 數字는 建造中인 것.

### 3. 海底資源掘削裝置의 發展過程

이 裝置는 처음 棧橋붙이 Platform(Platform Connected by Bridge)으로부터 始作되어 各種 固定式이 開發되고 이어 機動性을 가지고 보다 깊은 水域에서 掘削 할 수 있는 보어링船(Drilling Vessel), 有脚昇降式(Leg Jack-up), 及半潛水式(Semi-Submersible) 등의 可動式裝置가 出現하였다. 歷史적으로 볼때 이 裝置가 急速히 發展한 5年間이 두번 있는데 첫번은 1955年~1959年의 時期로서 주로 Mexico灣에서 使用하기 위해서 設計 建造된것으로 Submersible(着底式) 및 Jack-up(昇降式) 型式의 것이고, 두번째 時期는 1962年~1966年 사이로서 주로 Floating(浮動式)型和 Jack-up(昇降式)型이 發展되어 世界 各處에서 使用되고 있다.

水深의 傾向으로는 過去 3年間 水深 30m~100m 範圍의 裝置(主로昇降式)가 大幅 增加하고 있고 浮動式 및 半潛水式의 數도 많이 늘어나고 있다.

### 4. 稼動水深別로 본 各裝置의 特性

便宜上 稼動水深에 依해 大略的으로 區分하여 各裝置의 特性을 살펴보기로 한다.

#### (1) 50m 以內의 稼動水深

이 程度의 水深은 潛水夫의 活動範圍內고, 海底에다 構造物을 固定하는 方法 抗打作業이 容易한 것이 長點이다. 이런 水深에서 使用되는 것에 固定式 石油掘削裝置와 着底式 石油掘削裝置 등이 있다.

#### i) 固定式石油掘削裝置

固定式은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 脚 또는 그 一部分을 海底에 anchor, pile 등의 方法으로 固定한 것이다. 風浪, 潮流 등에 依한 自然力外에 流水이나 船舶等과의 衝擊, 或은 地震 등에 依한 여러가지 危險을 內包하고 있으나 波浪에 依한 周期運動의 影響이 적고 一般的으로 海中에서 安定된 構造物을 特徵으로 한다.

#### ii) 着底式 石油掘削裝置

着底式은 Fig. 2와 같이 操業時는 column에 注水함으로써 海底面에 常時 着床하고 採業地域을 移動할 때는

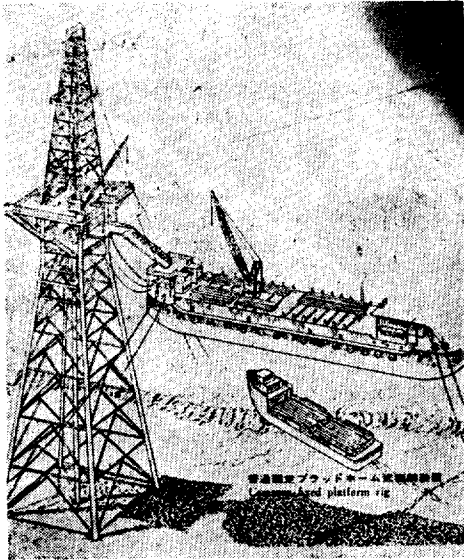


Fig. 1. 固定式石油掘削作業臺

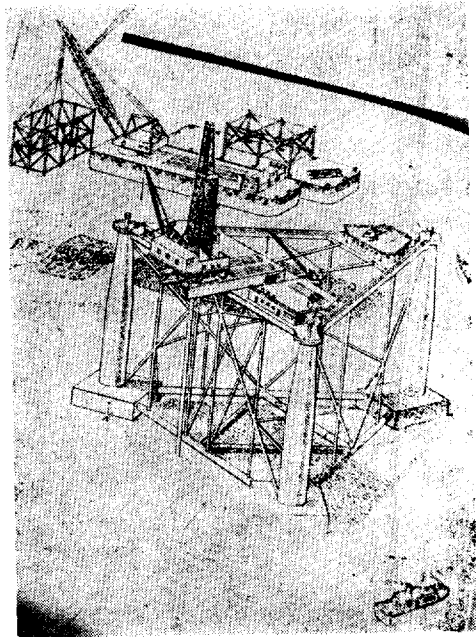


Fig. 2. 着底式石油掘削作業臺(三角脚)

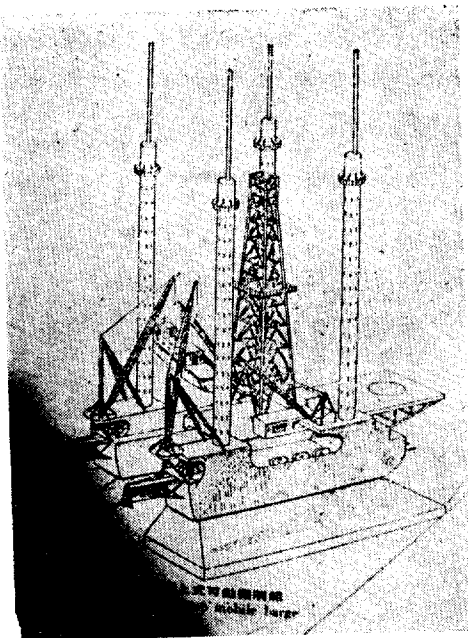


Fig. 3. 甲板昇降型石油掘削船

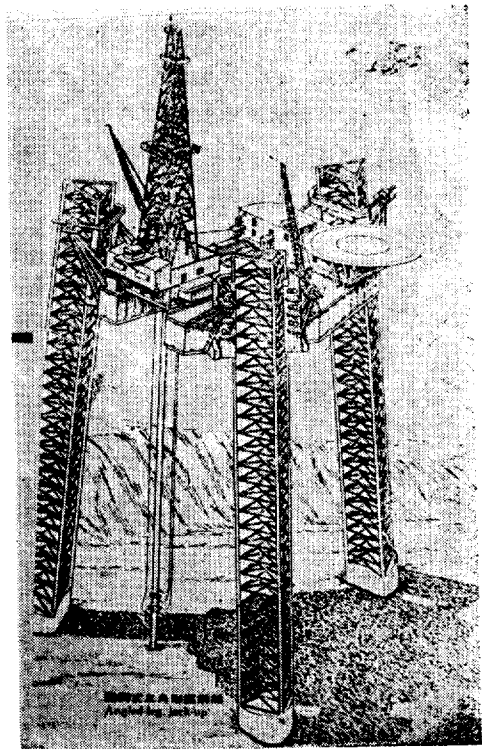


Fig. 4. 開脚式三角型石油掘削船

jet 噴射와 column 의 排水에 依해 浮上하여 曳航移動한다. 形狀의 性質上 海底面이 比較的 平滑함이 必要하게 되고 作業上 制限이 있다.

(L) 50m~100m 의 稼動水深

이 水深에서는 部分的으로 特殊한 潛水技術로서 海中에서 人間의 活動이 可能하나 長時間은 不可能하기 때문에 構造物은 pile에 依한 固定이 困難해지고 따라서 anchor 나 自身의 脚을 海底에 停立시켜 位置를 固定한다. 이에 屬하는 例로는 昇降型 石油掘削裝置가 있다.

i) 昇降型 石油掘削 裝置

이는 Fig. 3, Fig. 4 등에서 보는 바와 같이 稼動水深에서 海底에 甲板으로부터 脚을 세워 停止시키고, 脚先 端은 海底中에 適當히 埋入시켜 安定시키고, 作業甲板은 海面上 높이 올려서 直接 波浪의 影響을 받지 않도록 考慮되어 있다. 作業海域을 移動할때는 脚을 올려 作業甲板을 構成하는 浮船을 海中에 띄워 曳航 移動한다.

(C) 200 m 까지의 稼動水深

200 m 까지의 水深에서는 脚을 海底에 停立시키는 不可能하고 anchor에 依해 位置를 固定하는 方法밖에 없다. 一般으로 이 分類에 屬하는 것에 半潛水型 石油掘削作業臺와 船型을 가진 掘削作業臺가 있다.

i) 半潛水型 石油掘削 作業臺

이 作業臺는 Fig. 5, Fig. 6 등에서 보는 바와같이 水深이 낮은곳에서는 海底에 着床하여 操業하고 水深이 깊은 곳에서는 浮上하여 稼動한다. 一般적으로 이 型은 그림에서 보는 것처럼 巨大한 column 을 가지고 있는 수가 많다. 即 着底時에는 column 內의 ballast tank 에 물을 넣고 浮上時에는 물을 排除한다. 浮上時의 構造全體의 安定은 column 의 水線面積의 慣性 moment 가 利用되고 波浪中에서 運動하기 어려운 特徵을 가지고 있다. 浮上 狀態에서 作業할 때는 anchor에 依해서 位置를 固定하나 그때는 波의 影響을 直接 받게 되는고로 여러가지로 對策이 研究되어 있다. 또 잘 動搖되지 않도록 하기 위해서 幅方向으로 大型化되어가는 傾向이 있다. 이 型의 代表的인 例가 世界 最大規模의 SEDCO 135 이다. Fig. 6 에서 보는 바와 같이 이 裝置의 主要 構造部는 후우팅, 캐슨, 부레이싱, 主甲板, 掘削作業甲板, 居住區, 機關室, 펌프室 등으로 이루어진다. 캐슨과 후우팅은 正三角型의 各 頂點에 配置되고 主甲板, 부레이싱에 依해 結合되어 있다.

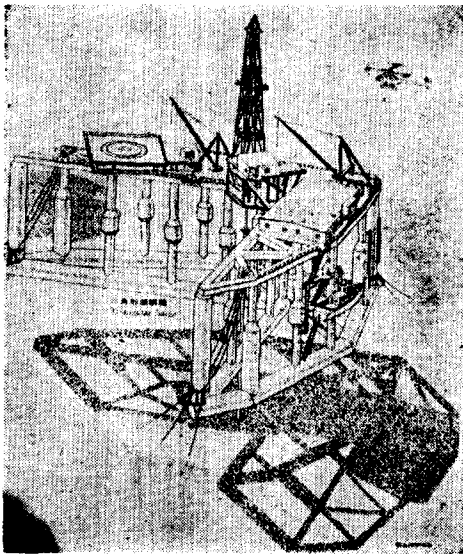


Fig. 5. 潛水型 石油掘削船

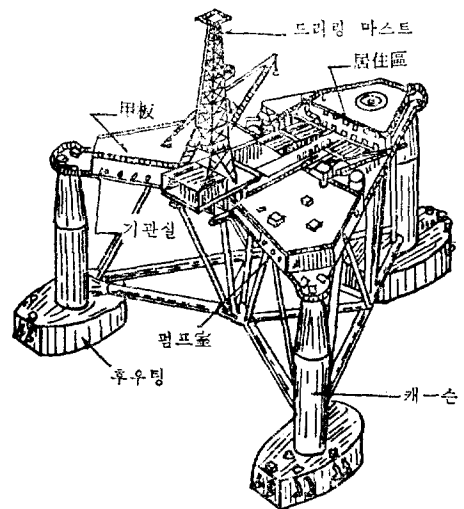


Fig. 6. 半潛水型 石油掘削作業臺(SEDCO 135)

長圓型의 후우팅의 内部에는 발라스트탱크, 燃料油탱크, 드리밍맛드탱크를 가지고 各各 浮上, 沈下, 燃料 및 掘削用으로 使用하고 있다. 후우팅甲板에는 繫留用의 앵커, 웨야리이다와 曳航用의 록크, 맛드아이 등이 取付 되어 있다. 캐슨의 上部는 발라스트용 燃料油, 드리밍맛드 등의 펌프室이고, 下部는 발라스트탱크로 되어 있다. 캐슨 頂部에는 繫船機가 各各 3 個式 取付되어 있다.

主甲板의 中央에는 大型의 북스가아다의 레일이 있다. 드리밍맛드와 掘削作業用의 플랫폼은 一體가 되어 이 레일 上을 移動할 수 있게 되어있다. 主甲板에는 居住區, 機關室 및 펌프室이 獨自의으로 各各 세모를 차지 하여 配置되어있다. 居住區는 略 80 名을 收容할 수 있고 그 위는 헤리포오트로 되어 있다. 機關室內에는 照明動力과 掘削用動力을 위한 發電機, 清水製造用의 에바퍼레이터 등이 裝備되어있다. 펌프室內에는 掘削用펌프, 原動機 맛드탱크 등이 놓여있다. 主甲板의 中央部는 掘削의 保管場所로 되어 있어 管이나 機器積込을 위해 起重機가 3 臺 主甲板과 機關室 頂部에 設置되어 있다. 이 裝置의 構造는 局部的으로는 殼構造이지만 全體로서는 大型의 骨結構로서 部間의 組立精度는 高度로 要求된다. 따라서 이것을 建造했던 造船所에서는 켓드독크를 建設하여 후우팅을 이 독크 內에 着底시키는 着底式建造方法을 取했다. 이 裝置의 主要치수 및 性能은 下記와 같다.

全 長		104,390m
全 幅		103,632m
高(主甲板)		50,597m
排水量(輕荷)		9,500tons
排水量(滿載)		15,900tons
후 우 티		
전 장		30,480m
幅(型)		18,288m
深(型)		7,661m
掘削能力	海底下 約	6,000m
着底水深	最 大	41m
浮上作業吃水	"	24m
曳航吃水		70m

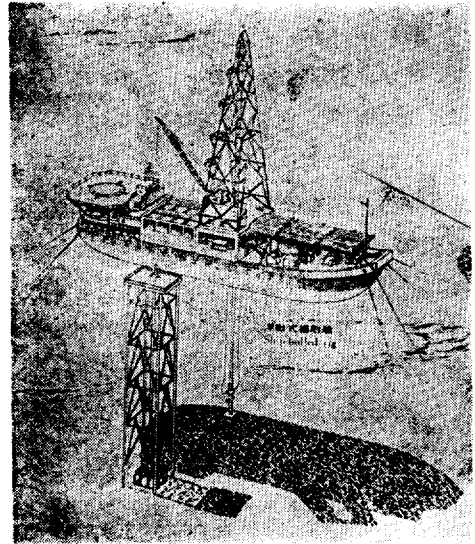


Fig. 8. 自航式 雙胴型 掘削船

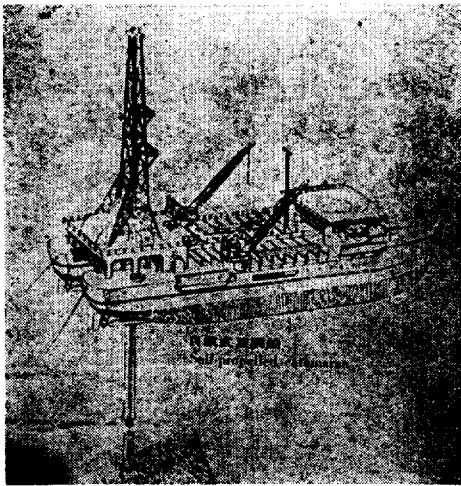


Fig. 7. 浮動式船型掘削船

ii) 船型을 가진 掘削作業臺  
 甲板昇降型이나 半潛水型에 비해 機動性이 좋아 脚光을 받고 있다. 普通의 船型으로서는 海洋中에서 定點作業에 맞지않아 雙胴型(Catamaran)等 特異한 型式으로 하여 稼動時의 安定을 얻으려고 하고 있다. Fig. 7, Fig. 8 들은 그 그림이고 그中 Fig. 8 은 自航式雙胴船으로 된 것이다.

5. 海底資源採掘裝置의 設計上의 問題點

前述한 바와 같이 같은 石油掘削에 從事하는 構造物이라도 그 稼動水深等에 따라 여러가지 型式이 考索되고 있음은 모든 操業海域에 對해서 萬能한 構造가 存在하지 않고 建造費, 曳航,

保險, 操業性 等 모든 면에서 그 海域에서 特色을 가지도록 檢討된 結果인 것이다. 操業海域別로 본 各 型式別 性能을 比較해 보면 表 3 과 같다.

表 3 稼動水域別 石油掘削作業臺의 比較

	建造費	保險料	移動性	操業度	深海域의 利用度	位置固定
固定式	A	A	D	A	D	A
甲板昇降型	C~B	D	B~C	B	C	B
半潛水型	D	D	B	A~B	A	C
船型	B	A	A	D	A	D

A……安價, 優秀, 容易 等 好條件의 評價

D……高價, 不良, 困難 等 惡條件의 評價

B, C……A, D의 中間에 該當하는 評價

上記 表와 같이 多樣한 長短을 가지고 있기 때문에 이들의 構造를 한 規程으로 處理할 수가 없어 現在 各 船級協會는 船舶처럼 完備된 規程이 없고 다만 美國船級協會가 1964 年에 從來의 船舶의 深水艙構造規程을 適用하여 構造의 一部에 對한 規程을 發行하고 있을 뿐이다. 그러나 作業環境의 特殊性, 船渠內에서의 定期檢査의 不可能, 特殊鋼材의 要求等 때문에 船舶의 그것과 同程度의 規程의 必要性이 切實하고, 이것이 없기 때문에 많은 문제의 解決에 奮기하고 있는 實情이다. 以下 各 型式에 對해 當面하고 있는 問題點의 몇가지를 들어본다.

(7) 流水의 衝擊과 構造

i) 固定式 作業臺는 선박처럼 豫期된 波向에 對해서 自身의 姿勢를 取할수 없어 必然的으로 海象 氣象의 條件을 100% 받게 된다. Alaska의 流水域인 Cook 灣에 設定된 것은 作業甲板을 支持할 支柱를 몇개로 할 것인가가 큰 問題이다.

現地에서는 이미 1脚, 3脚, 4脚의 作業臺가 設置되거나 또는 計劃되고 있어 各各 流水의 衝擊에 對해 脚 1本에 걸수있는 荷重과 그에 따르는 基礎費의 바란스를 考慮하여 設計되고 있다. 流水中의 衝擊에 依해 脚이 流水中에 埋込되는 깊이 C는 다음式으로 表示된다.

$$C = 1.65 \times 10^{-12} \times \frac{F^2}{D} \tag{1}$$

但 C: 流體中에 埋込되는 深 (ft)

F: 衝擊力 (lb)

D: 脚의 直徑 (ft)

即 脚 1本으로 하면 當然히 作業甲板荷重을 支持하는 column은 커지고 流水의 衝擊力에 對한 抗力은 커지나 水流抵抗과 基礎費가 커지고 構造上 作業甲板이 1本脚에 對하여 無理한 cantilever 構造로 되는 缺點이 있다. 他方 脚數를 複數로 하면 column은 적어져서 流水에 對한 抵抗은 減少한다. 固定式 掘削裝置의 設計者는 (1) 式에 表示된 直徑의 效果에 着眼하면서도 想像을 넘는 流水의 衝擊力(1本當 約 2T/cm)에 對한 安全性, 潮流壓, 作業面積의 擴大를 考慮하여 脚數를 決定하여야 한다.

ii) 昇降型 作業臺의 最大의 難點은 潮流가 빠른 海域에서의 脚下部의 scouring 現象이다. 이 現象은 Fig 9에 表示하는 것처럼 脚下部 周圍의 土砂가 潮流에 쓸려 내려가 脚의 安定을 위협하는 것으로 이때 문에 耐衝擊性이 極端的으로 나빠져서 쉽게 轉倒한다.

故로 流水域에서 25m를 넘는 水深에서는 使用할 수 없다. 이 現象이 生겨도 脚의 安定을 維持하려면 插入深度 h를 2D 以上으로 할수없

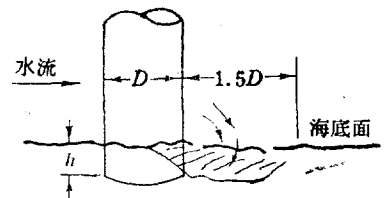


Fig. 9. Scouring 現象

으면 困難하다고한다. 一般으로 脚數를 적게하면 脚의 直徑 또는 斷面積은 커져 接地壓의 關係上 海底에 貫入하기 어려워지고 또 너무 많이 貫入하면 地切力을 얻는데 큰 馬力을 要하는 故로 여기서도 脚數와 形狀의 問題가 論議의 對象이 될것이다.

iii) 半潛水型 作業臺에서는 anchor로 位置를 固定하기 때문에 fairleader나 winch로부터 傳達되는 衝擊荷重을 받는 作業甲板은 船舶의 主機臺 下部와 同程度의 甚한 構造設計 및 熔接設計가 要求된다. 따라서 anchor의 設定時 發生하는 荷重의 算定은 船舶과 달리 重要한 要素가 된다. 그러나 anchor의 把持力은 海底土質에 따라 一定치 않으므로 많은 經驗에 依해서 把持力係數의 값의 解明을 위해 努力해야 할 것이다.

(L) 保險과 構造物의 信賴性

海底資源掘削裝置에는 船舶과 같은 完備된 規程이 없다. 따라서 로이드 保險會社가 定하는 保險料率은 그 構造物의 操業時 또는 曳航時의 安全性의 信賴度의 parameter라고도 할 수 있다. 1967年 6월에 調査한바에 依하면 各型式의 操業狀態 地域別의 年間料率은 建造費에 對해 表4와 같다. 이와 같은 莫大한 料率은 運營함에 是는 큰 負擔인바 이치럴 保險料가 높은 原因으로서는

- i) 構造物의 波浪中에서의 運動의 解析이 不充分하다.
- ii) 操業海域, 曳航海域의 調査가 完全치 못하다.
- iii) 部材에 걸리는 荷重, 應力의 解析이 不充分하다

는 點들을 들 수 있다. 構造物의 거의 全部가 作業甲板을 複數個의 column으로 支持하고 있으나 波浪中에 이들 各各이 받는 不平衡力은 moment로 되어 作用하고 되풀이 되면 共振의 原因이 되거나 疲勞 崩塌에 이른다. 不平衡力과 同調動搖周期의 發見을 爲해 努力해야 할 것이다.

表 4 石油採油作業臺의 保險料率 (1967)

操業海域	型 式	半潛水型 및 昇降型	船 型	備 考
Mexico 灣		9.75%		
北 海		13%	3%	操 業 中
Cook灣(Alaska)		15%		
Mexico 灣~北海		3.5%	1.5%	曳 航 中

(H) 曳航, 移動性

이들 裝置의 大部分이 自航能力을 갖지 못하므로 建造된 造船所로부터 操業海域까지의 移動은 曳船에 依存해야 한다. 曳航業者는 南支那海의 季節風時期나 冬期의 北太平洋에서의 曳航作業을 꺼리고 로이드 保險會社도 保險의 對象時期에 制限을 加하고 있다. 따라서 이들 構造物에 對해서도 높은 凌波性과 安全性을 가지고 적은 曳航抵抗을 갖도록 하는 것이 必須條件이 된다. 參考로 最近의 海難事故의 概況을 보면 表5와 같다.

表 5 最近의 海難事故 概況 (1949~1966)

構造物의 型式	事故發生時의 狀態			計	事故比率	稼動比率
	原油噴出	曳航中・移動中	颶 風 時			
着 底 式	1	2	2	5	20	38
甲板昇降型	3	10	2	15	60	40
船 型	1	1	1	3	10	20
半 潛 水 型	0	1	1	2	10	2
計	5	14	6	25	100	100

一般으로 船型을 가진 作業臺船을 제외하고 많은 이장치들이 넓은 作業甲板面積을 얻기 위해 矩形의 平面圖形을 가진 艇船을 採用하고 있어 曳航抵抗을 감소시키는 見地로 부터는 아주 相反되는 것이다. Robert H. Macy 에 依하면 矩形平面을 가진 艇船은 船型에 比해 約 9 倍의 抵抗値를 가지고 있고 比較的 曳航하기 쉬웠던 SEDCO 135 에서도 船型에 比해 約 4 倍의 抵抗이었다. 將次 曳船의 馬力의 增大와 더불어 적어도 曳航速力을 6 knot 以上 일도록 形狀의 選定과 曳航을 安全하게 하기 위한 曳航方法의 研究가 必要할 것이다.

#### (口) 操業性的의 向上

作業臺船의 操業性的의 良否의 條件에는 여러가지가 있으나, 既述한 바와 같이 作業甲板面積이 넓은것, 操業時 安定된 構造일것은 重要한 條件이다. 特히 後者는 固定式 以外의 全部에 要求되는 條件이다. 昇降型的의 것은 scouring 現象때문에 缺點이 있으나 100 m 程度까지의 水深에서 가장 安定된 構造로서 使用된다. 이것은 波浪의 影響을 직접 받지 않는다는 最大의 長點을 가지고 있기 때문이다. 一般으로 操業時的의 構造物은 作業水深의 5%의 位置移動밖에 許容되지 않는다고 하는데 半潛水型, 船型的의 것은 波浪의 影響을 圓柱 또는 船體에 直接 받기 때문에 anchor 로 位置를 固定해도 構造物의 重心, 周圍의 回轉運動이나 上下, 左右의 移動은 完全히 拘束할 수 없는 코르 이들 운동을 억제할 能力을 주려는 試圖가 자주 行해지고 있다. 即 半潛水型에서는

i) Column 의 水線附近의 直徑을 增加시켜 波와 쉽게 同調하지 못하도록 한다.

ii) Column 底部에 附加物을 붙여 上下動을 抑制한다.

iii) Anchor wire 의 錨鍊 角度, 單位長當의 重量의 調整에 依해 浮體의 波에 對한 同調動搖 및 水平移動을 抑制한다 等等을 들수 있으나 波中 운동에 對한 實驗研究와 그에서 얻어지는 固着度의 높은 構造形式의 開發이 要望되고 있다.

### 6. 船型作業臺의 展望

表 3 에서 明白하듯이 船型을 가진 作業臺는 操業上 많은 缺點을 가지고 있으나 他型式에서는 얻을 수 없는 經濟性과 機動性을 가지고 있다. 이 形式의 最大의 缺點은 波의 影響을 직접 받기 쉬운 점으로 操業時 5%의 移動까지로 制限하면 荒海中에서는 거의 使用不可能으로 年間 1/3 程度의 稼働率밖에 없다고 한다. 그러나 改善策으로서

i) 船型의 大型化

ii) 位置安定裝置에 依한 海域擴大 等を 試圖하고 있으니 앞으로 더 많이 建造될 公算이 크다.

### 7. 結 論

아직 海底資源採掘裝置는 發展過程에 있다. 構造, 強度, 曳航, 操業性, 經濟性 等 아직 많은 未解決點을 지니고 있다. 앞으로 보다 安定된 狀態에서 操業의 効率을 올리면서도 더욱 깊은 水深에서까지 稼働 할수있고 機動性을 갖는 裝置의 開發을 爲해 努力이 계속될 것이다.

### 參 考 文 獻

- [1] 濱田 昇: "大陸棚開發用大規模作業船について", 船舶 第 39 卷, 1966.
- [2] 日本造船學會: 海底油田掘削裝置 SEDCO 135A, 日本造船學會誌, 436 號, 1960.
- [3] 爲廣正起: "海洋構造物の展望". 日本造船學會誌, 466 號, 1968.
- [4] 科學技術處: 海底資源調査 및 開發方案研究, 1968.
- [5] 元良誠三, 小山健夫: "波による Heaving 及 び Pitching の強制力を受けない船について", 日本造船學會論文集, 第 117 號, 1966.