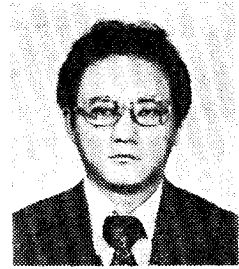


海洋石油開發에 對하여

高 王 仁*



序 論

今世紀에 들어 운반 및 사용의 容易性으로 말미암아 人類生活에 「에너지」源으로 큰 役割을 擔當하여온 石油은 世界的으로 기간산업의 燃原料로서의 依存度가 漸高함에 따라 여러가지 問題點을 露出시켜 왔다. 따라서 74年 石油禁輸와 같은 「에너지」危機를 招來하였고 연쇄적인 世界經濟 沈滯의 誘因이 되었을 뿐아니라 앞으로 2000年代까지 代替에너지 資源의 本格的인 活用이 現實化되기까지는 우리생활에 直接的인 不安要素로서 常存하리라 豫想되고 있다.

最近 美中央情報局에서 發表된 石油報告書를 살펴보면 世界石油埋藏量의 75% 以上을 점유하는 巨大油田의 資料들을 綜合分析한바 있다. 同報告는 世界的 殘存可採埋藏量은 「타르샌드」나 「오일셸」 등을 除外한 在來式의 石油資源만으로도 現消費水準의 60~90年間 供給이 可能하리라 判斷하고 있다.

따라서 石油情勢에 影響이 미칠 「이란」事態와 類似的 深刻한 政治的 要因이 作用하지 않는限 큰 混亂없이 石油外的 「에너지」源으로 主力을 代替할 수 있는 時間餘有를 얻을 수 있으리라 思料된다. 이와같이 絶對量 供給이 면에서는 多分히 安定되어 있다고 볼 수 있는 原油問題가 實際로 괴로움을 生活에 던져주는 理由는 價格問題가 介在되어 있기 때문이다.

그러므로 世界는 供給을 爲한 石油探査보다 價格上界의 완화를 爲하여도 새로운 石油埋藏量을 確保하여야 되고 이에 따른 石油探査가 要求되고 있는 것이다. 世界的 石油埋藏量은 一般的으로 볼 때 巨大油田의 新發見과 廻收可能率의 提高에 憑하여 主로 增加하여 왔다고 볼 수 있으며 이러한 巨大油田의 新發見을 爲하여는 探査努力이 새로운 石油地帶(oil province)로 기울어지는 것이 바람직하다고 말할 수 있다.

近來 北海의 油田이 開發되기 爲하여는 油價의 앙동이 主因으로 作用하여 探算性의 問題가 解決되었기 때문이며 따라서 石油의 探査는 陸上에만 아니라 北極에 이르기까지 海洋에서도 活潑한 樣相을 보이고 있다.

韓國의 大陸棚도 이와같은 努力이 傾注되고 있는 좋은 實例라 볼 수 있으며 油田發見에 對한 國民의 興望은 絶실한바 있다 하겠다. 이와같이 世界經濟와 庶民生活에 모두 큰 影響을 미치는 石油의 探査와 開發이 海洋에서 이루어지는 境遇에 어떠한 節次가 必要하며 그 概略이 어떠한가를 本考에서 살펴보기로 한다.

本 論

1. 世界 海洋石油 賦存現況

世界的으로 보아 天然 炭化水素 總埋藏量의 5분의 1이 海洋地域에 賦存되어 있다. 이는 BTU基準으로 보아 약 2千億 바렐의 石油에 해당하는 것이다. 알려진 바로는 世界原油 埋藏量의 23%와 천연가스 매장량의 14%가 海洋에 賦存되어 있다는 말이다. 生産基準으로 살펴보면 1976年度에 海洋油田에서의 產出이 世界生産量의 15%線(8.6百萬 Bop D와 1兆 8千億 CFD)에 지나지 않는데 埋藏량과 生産量의 격차는 主로 油田容量에 未達하는 生産水準을 보이는 中東의 海洋油田 開發現況과 아직도 賦存確認에 그치고 있는 未開發의 油田이 世界도처에 있기 때문이다. 代表的인 未開發油田들에는 北海, 브라질, 카스피海 및 카라海, 인도, 濠州의 北西邊, 캘리포니아 沿岸, 캐나다의 Sverdrup盆地 등이 있다. 이러한 地域들에서의 發見으로 因해 지난 10年동안 海洋石油 埋藏量을 거의 2倍로 증가 시켰던 것이다. 그리고 1977년에는 陸上에서 發見된 可採埋藏量의 약 43%에 달하는 生産記錄을 보인 反面 海洋에서는 단지 18%만이 生産되었다. 그러나 90%경도의 海洋石油은 內海와 灣內 大陸棚(Interior Shelf)에 偏在하고 있으며 絶반경도의 海洋石油 埋藏량이 陸上油田과 연결된 海洋油田에 賦存되어 있다. 探査와 開發에 소요되는 期間은 새로운 有望地域으로 指目되는 時期로부터 7年~12年の 時日이 걸리는데 現在 世界에서 深海를 除外하고 探査의 대상이 되지 못했던 地域에 대하여만 現在の 探査進陞 狀態로 예상할 때에 약 30~50年 이상의 探査期間이 걸릴 것으로 보고 있다. 또한 이 期間 동안에 科學技術의 발달로 새로운 低價의 에너지源이 이

* 韓國石油開發公社(開發部長, 工博)

1979. 4. 21. 大韓造船學會 春季學術講演會에서 發表

용되게 된다면 石油의 開發은 大規模의 開發이 용이한 油田에 국한될 可能性이 있는 것이다. 現存의 資料로 판단할 때 石油과 天然가스의 40%가 海洋에서 發見되리라 보며 海洋石油 開發은 經濟的, 政治的으로 상당히 고무적인 狀況에 있다고 볼 수 있다. (Govett). 世界的으로 石油의 有望地域의 60%가 陸上에 있으며 40%가 海洋에 위치하고 있는데 이런 海洋石油의 重要도가 高潮됨에 따라 國家間 海洋境界, 鑛業權, 環境問題 등에 國際的인 論爭을 불러일으키고 있으나 아직도 어떠한 公認된 基準이 設定되지 못하고 있는 실정이다.

2. 海洋石油開發의 特殊性 및 趨勢

海洋石油開發에 있어서 陸上에서의 開發技術과 다른 점은 여러가지를 들 수 있다. 물론 海洋에서의 技術은 陸上에서의 經驗을 토대로 이룩된 것이지만 作業, 環境上의 特殊條件이 어느정도의 變形을 가져온 것이다.

우선 海洋에서는 作業의 環境條件에 對한 基礎調査가 必要하다. 이러한 條件은 대체로 과거 長期間에 걸친 作業海域에서의 災害要因을 分析하여 同 海域에 設置 또는 配置될 海洋 施設에 대한 안전을 도모하기 위하여 긴요하다. 또한 海底地形에 대한 精密調査를 遂行하여 海上施設, 海底施設, 油送「파이프·라인」의 設置를 위한 基礎資料들이 蒐集되어야 할 것이다. 原則的으로 보아 海洋開發體制는 O.R技法(操業度 調査)에 依存하여 總體的인 作業效率을 염두에 두고 各 部門의 工學的 要素를 集成하여 계측하는 것이며 이때에 가장 중요한 判斷基準은 收益性 提高가 될 것이다. 試錐 및 굴착에 있어서만 볼 때에도 陸上에서와 다른 工學的인 側面은 Marine Riser(platform에서 海床까지 掘鑿流體를 流送하고 굴착「파이프」의 通路가 되는 大口經「파이프」인)를 사용한다는 點, 試錐般을 200~300ft 이상의 海深에서 사용할 때는 Riser의 붕괴를 막기 위해서 tensioning system을 쓴다는 點, BOP(Blow-out preventer)가 海床에 있다는 點, 固定式 platform에서는 境斜 굴착法이 이용되어 한 場所에서 20~40개의 굴착孔을 뚫을수 있다는 點, 油井에서 再開 施設(Reentry Device)이 附設되고 또는 試錐船을 이용하는 경우 般體運動 緩衝器(Motion compensator)를 掘鑿機에 裝置한다는 點 등 여러가지가 있을 수 있다. 그러나 海洋石油 開發技術에 있어서 먼저 周知하여야 할 사실은 租鑛權者는 下請者들을 선정하여 開發을 추진하게 되므로 開發事業의 各 段階에서 租鑛權者는 세세한 作業에 대한 知識보다 全般的 監督機能에 더 큰 力點을 두게 된다는 것이다. 따라서 作業上 投資規模가 一定水準 이상의 것, 油井 폐기의 危險이 있는 作業, 油田의 수명期

間內에 收益性を 크게 左右하게 되는 油井의 위치와 生産計劃 등에 대하여 調整할 수 있는 工學 및 經營의 能力이 갖추어져야 한다. 租鑛權者가 아닌 資源保有國 政府로서도 이러한 監督 및 調整機能만 아니라 環境問題와 收益性的의 問題, 나아가서는 開發費用에 대하여 間接的으로 규제할 수 있는 機能까지도 갖출 必要가 있다. 이를 위해서는 租鑛權者와의 契約에서 安全핀의 役割을 할 수 있는 條項들이 반드시 挿入되어야 할 것이다. 현재 世界的인 추세로 보아 深度 2,500ft에 이르는 海域에까지 探查試錐가 試行되고 있으며 1978年 까지는 1,000ft 深度에까지 사용될 platform이 建造될 것으로 예상되고 있다. (圖 1)

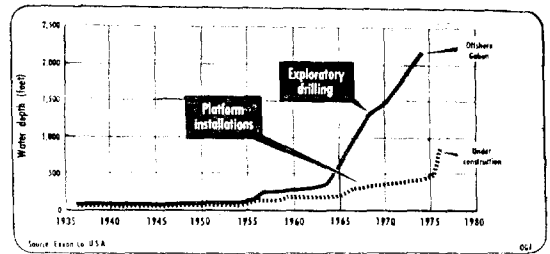


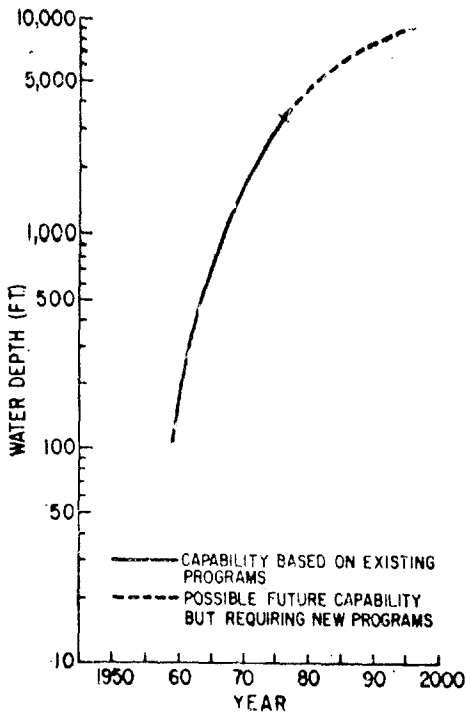
圖-1. 世界探查試錐와 固定式 Platform 및 海上石油生産施設의 使用深度 (Exxon, 1975)

海洋 石油 굴착「리그」의 種類는 크게 세가지로 나뉘어 있는데 世界的으로 大略 300ft 미만에서는 固定式 platform을, 300~500ft에서는 半潛水式(Semi submersible)을, 500ft 이상에서는 試錐船(Floater)을 쓰는 경향이 있다. 이것은 固定式 platform이 1,000ft까지 使用深度가 연장되었다는 것을 생각할 때 技術上의 理由에서 라기보다 經濟性的의 問題로 因한 것이라 보아야 할 것이다. 圖 2에서 圖 3까지 海洋石油 開發에 쓰이는 各 施設과 그 使用深度에 대한 趨勢가 소개되어 있다. 이를 보면 1990年代까지는 약 10,000ft까지의 海深에서도 石油을 生産할 수 있는 技術이 開發될 것이지만 世界的으로 大規模 油田이 大陸棚에 偏在하여 있고 代替에너지源이 1990年代까지는 開發될 것으로 보이므로 이역시 經濟性的의 問題로 남겨지는 것이다.

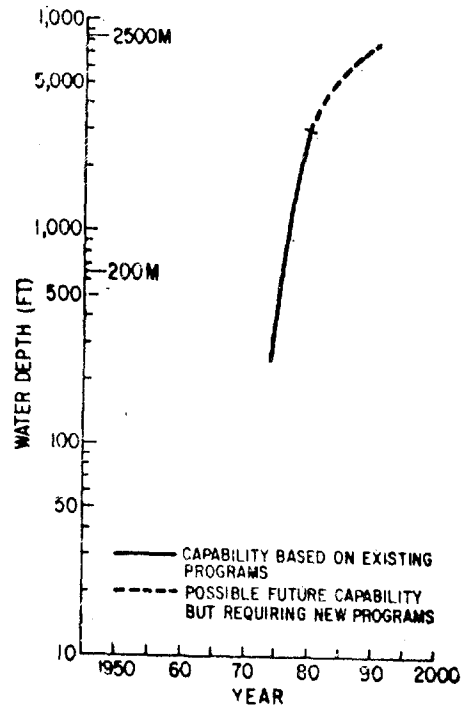
3. 游動式 海洋 鑿井構造物

海洋構造物은 陸地로부터 沿海로 石油開發 범위가 擴大되면서 鑿井用으로 構造物上에 設置된 陸上리그에 由來하며 이것이 開發되어 오늘날 볼 수 있는 游動式 沿海 構造物(海洋石油 굴착「리그」)로 發展하였다.

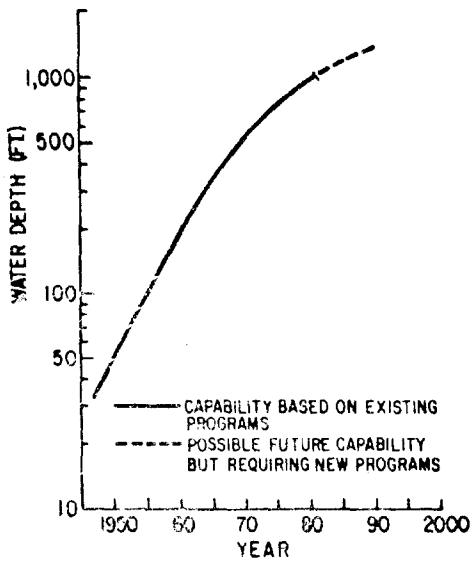
海洋石油 굴착「리그」의 네가지 基本形으로는 潛水式(Submersible) 제크·업(Jack-up) 半潛水式(Semisub



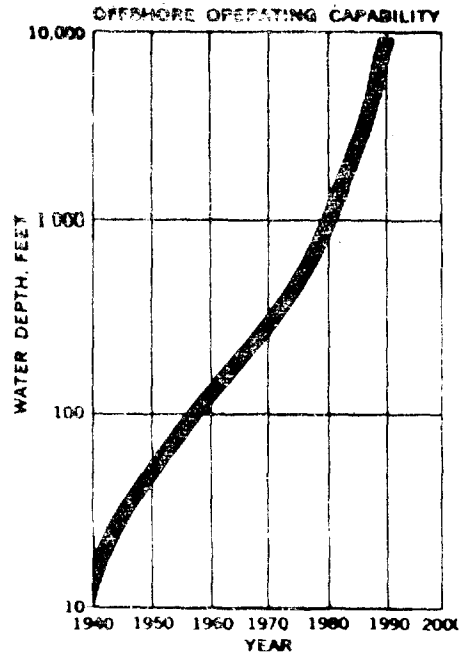
■ 2-1. 試錐「리그」使用과 海底油井完結作業 可能深度(Geer, 1973)



■ 2-2. 海底生産과 分岐管(Manifold) 使用 可能深度 (Geer, 1973)



■ 2-3. 固定式 Platform 使用深度 (Geer, 1973)



■ 3. 經濟性있는 探査試錐와 海底生産을 위한 技術能力 豫測(Ocean Industry, 1974/9)

mersible) 및 試錐船(Drill ship)이 있으며 典型的 發達過程을 보면 (圖 4)와 같다.

가. 潛水式 굴착리그(Submersible Drilling Rigs) 이는 江 및 灣 같은 淺水나 水深 50ft 以上の 淺海에

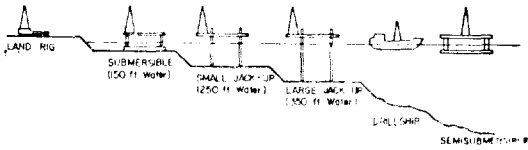


圖 4. 海洋굴착「리그」의 변천과정 (McTaggart, 1976)

사용되는 굴착「리그」이다.潛水式에는 上下에 2개의 胴體(Hull)가 있는데 「텍사스 테크」라고도 불리우는 上部胴體는 作業要員 및 裝備를 保護하는 지붕役割을 하며 海底에 位置한 下部胴體는 全構造物의 重量과 鑿井荷重을 支撑할 수 있도록 設計된다. 오늘날 沿海鑿井作業은 보통 깊은 深度에서 遂行되고 있기 때문에 水深의 增加를 堪當할 수 없는 이 潛水式은 자취를 감추어 버리고 있다.

나. 「재크·업」 構造物(Jack-up Units)

一般的으로 「재크·업」 構造物은 獨立脚柱「재크·업」(Independent leg jack-up)과 板支保「재크·업」(Mat supported Jack-up)의 두가지 基本範疇로 分類할 수 있다. 獨立脚柱「재크·업」은 어느 場所이든 作動이 可能하나 보통 堅固한 土壤, 珊瑚礁 或은 平坦치 않은 海底에 使用된다. 各脚柱가 놓이게 되는 받침대(Spudcan)는 約 5,000~6,000 psf의 壓力을 支撑할 수 있어야 한다. 板支保「재크·업」은 壓力지탱이 어려운 무른 土壤에 使用되는데 海底面의 傾斜는 1.5°이하이어야 하고 平坦해야 한다. 板支保「재크·업」의 利點은 海底盤으로의 浸透가 작기 때문에 (보통 5~6ft, 獨立脚柱「재크·업」의 境遇, 40ft) 同一深度에 對해 獨立脚柱「재크·업」보다 脚柱의 길이가 짧다는 것이다. 오늘날 「재크·업」의 一般의 設計基準의 例는 다음 表 1과 같다.

表 1. 「재크·업」 設計基準 및 適用範圍

地域別	水深 250ft에 對한 基準			水深 300ft에 對한 基準		
	波高 (ft)	風速 (mph)	海流速度 (knot)	波高 (ft)	風速 (mph)	海流速度 (knot)
美國墨西哥灣	55	125	最小	65	125	1~1.5
北 海	75	115	1~2	90	125	2~2.5
東南아시아	30	100	最小	50	115	0.5~1

「재크·업」은 自己推進型, 補助推進型, 推進不能型, 中 하나에 屬하게 되는데 대부분 推進不能型이다.

「재크·업」에 作用하는 主要한 힘은 波濤 및 海流로부터 發生되므로 波濤와 海流에 露出되는 部分이 적을

수록 힘은 덜 받게 된다. 이 觀點에서 보면 最適의 「재크·업」은 單脚柱型(Monopod)으로 볼 수 있다. 「재크·업」選擇時 考慮事項은 다음과 같다.

- a. 水深 및 環境基準
 - b. 海床의 型 및 密度
 - c. 必要한 굴착深度
 - d. 대풍기에 移動의 必要性
 - e. 最小의 支保로써 作動할 수 있는 能力
 - f. 必要한 移動의 頻度
 - g. 移動에 要하는 損失期間
 - h. 構造物의 作動 및 曳引限界
- 다. 半潛水式 굴착「리그」(Semisubmersible Drilling Rigs)

半潛水式은 潛水式에서 發展된 것으로 深海에서 鑿井이 可能하며 海底에 基盤을 두거나 或은 全的으로 浮遊狀態에서 作動된다.

碇泊方法으로는 從來의 碇泊系統(Conventional mooring System) 및 逆推進 位置固定法(Dynamic positioning)이 있다.

從來의 碇泊系統은 海底面에 닿을 四方으로 내려 構造物을 固定시키는 方法이며 逆推進 位置固定法은 海風, 波濤, 海流 등에 逆方向으로 推進力을 加함으로써 닿이 없이 떠 있는 構造物의 位置를 規定된 許容限界內에서 自動的으로 緊持시키는 技術이다. 一般的으로 水深 1,000ft 以下에서는 後者의 方法이 利用된다.

半潛水式은 潛水部分의 質量이 크기 때문에 롤링(Rolling) 및 피칭(Pitching)은 작다. 半潛水式에서 問題가 되는 運動은 히빙(Heaving) 즉 上下運動이다.

船體가 上下運動할때 井管線(drill string)에 힘이 作用하게 되므로 히브反應(Heave response)이 작은 것이 가장 適當할 것이다.

水面과 接觸되는 部分이 적을수록 히브反應이 작아 지므로 下部의 胴體들은 潛水시키고 構造物을 脚柱나 潛函(caisson) 높이에서 浮遊시킴으로써 히브反應을 減少시킬 수 있다. 그러나 水面과의 接觸面이 작아지면 安定性이 減少되므로 히브反應의 許容度와 適切한 安定性을 同時에 考慮해야 한다. 半潛水式 選擇時에는 다음 基準이 考慮되어야 한다.

- a. 水深
- b. 必要한 鑿井深度
- c. 環境基準
- d. 運動의 特性
- e. 消耗物品의 容量
- f. 移動能力

라. 試錐船(Drill ships)

一般적으로 深度 1,000ft 以下에서 使用되고 있는 試錐船은 鑿井構造物中에서 가장 큰 移動性을 갖지만 鑿井能力은 대단히 떨어진다. 水面과의 接觸面이 크기 때문에 半潛水式에 비해 히브反應이 크다. 安定用탱크 등을 달아 불링은 減少시킬 수 있지만 히브反應은 減少시킬 수가 없다. 따라서 作業停止期間이 增加하게 되어 緩衝補助裝置가 크게 要求되고 있다.

試錐船의 碇泊方法은 반잠수식과 매우 類似하나 다만 터릿設備(Turret system)라고 하는 裝置가 더 附隨되게 된다. 간단히 말해 試錐船은 融通性이 있는 構造物이지만 波高가 작고 風速이 낮은 地域에서만 使用을

考慮하여야 한다.

마. 「리그」의 損傷(Rig Casualties)

유동식 沿海鑿井構造物의 事故率은 「재크·업」이 最高이며 다음 반잠수식, 試錐船 順으로 이어진다. 그러나 1974년까지 建造된 總「리그」數와 事故數를 「리그」型別로 比較해 보면(圖 5-1, 2) 事故率은 「재크·업」과 반잠수식 間에 큰 差異를 보이고 있지는 않다. 表 2의 比較에 依하면 「재크·업」은 3個中 하나, 반잠수식은 5個中 하나의 比率로 傷害가 發生하고 있다.

또한 總損傷額을 損傷數로 나누어 볼 때 平均損傷額은 「재크·업」이 \$2.76百萬이고 반잠수식이 \$5.66百萬이다. 結果적으로 「재크·업」은 반잠수식에 비해 거의 2배의 높은 損傷率을 보이지만 單位損傷額에 있어서는 約 0.6배의 작은 값으로 나타나 있다.

한편 리그의 損傷은 全般的으로 해마다 減少하고 있다. 卽 1957년에 7%의 頻度率을 보였던 것이 1973년에는 1.47% 1974년에는 1.2%로 떨어졌다.

바. 「리그」建造(Rig construction)

1985년까지 各種 鑿井構造物의 需要는 繼續 增加할

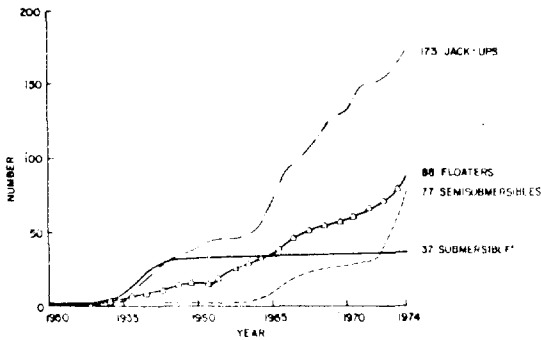


圖 5-1. 年度別, 「리그」型別 建造累計

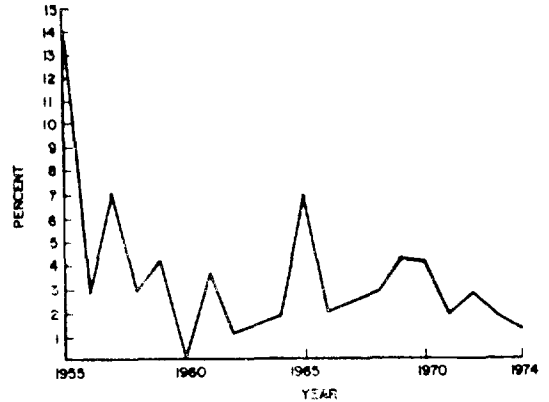


圖 6. 操作「리그」數에 對한 事故率

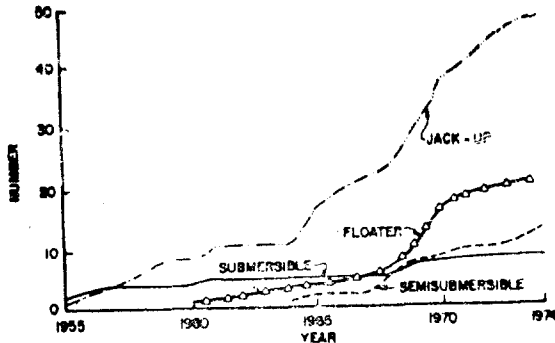


圖 5-2. 리그型別 事故累計

表 2. 리그損傷

	Total Number (1955~1974)	Total Number Built (Through 1974)	Estimated Total Value of Damages (1955~1974)
Jack-up	47	143	\$122 million
Semisubmersible	12	72	\$50 million

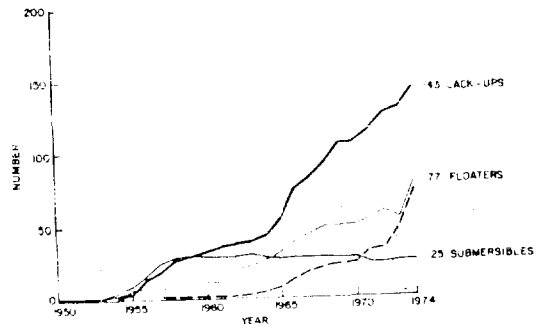
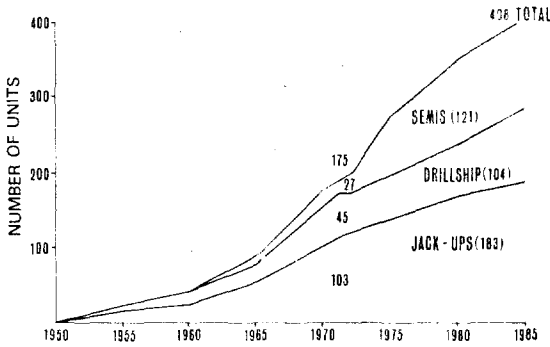
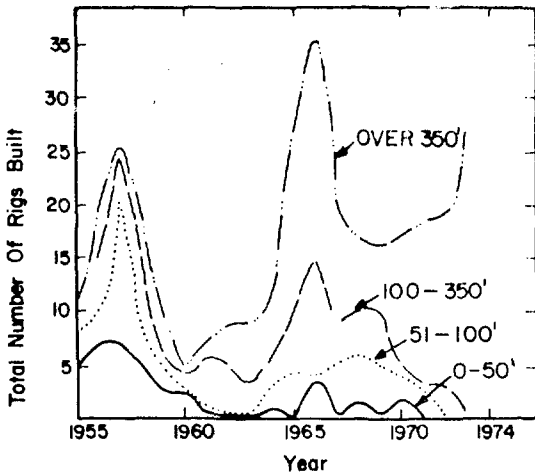


圖 7. 海洋操作中인 「리그」型別累計



■ 8. 遊動式海洋 굴착 「리그」



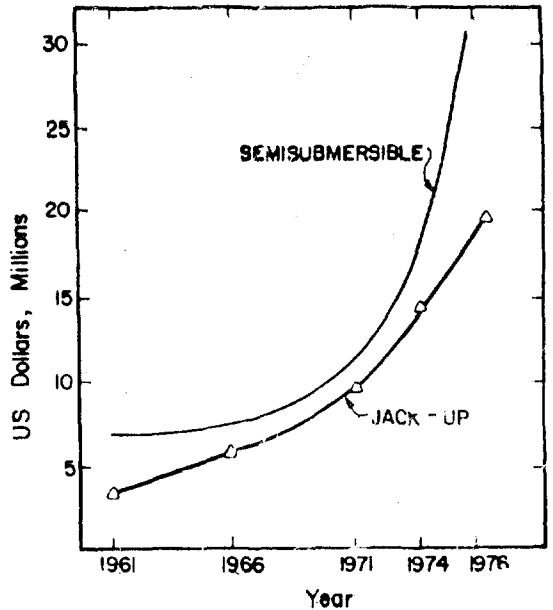
■ 9. 「리그」可用水深에 따른 年度別建造

것이다. 「재크·업」이 數에 있어서 여전히 1位를 維持할 것이고 그 다음이 반잠수식이며 試錐船은 이들에 훨씬 未達할 것이다.

1974년에 全世界에서 操業中인 沿海 굴착 「리그」數는 總 317個이며 內容別로는 「재크·업」 413個, 半潛水式 72個, 潛水式 25個 및 試錐船 77個이었다. (圖 7) 한편 1985년에는 總 408個에 達할 것으로 豫想되며 內容別로는 「재크·업」 183個, 半潛水式이 121個, 試錐船 104個가 될 것이다. (圖 8)

앞으로는 점점 깊은 곳에서 作業이 可能하도록 더욱 嚴格한 基準下에 建造된 것이므로 리그建造費는 繼續增加할 것이 分明하다. (圖 9)를 보면 水深 350ft 以下用의 리그에 對해서만 建造數가 增加하고 있는 것을 알 수 있다.

또한 (圖 9)는 參考로 「재크·업」과 반잠수식에 對한 建造費 增加를 보여 주고 있다.



■ 10. 年代順 「리그」建造費 比較

表 3. 平均 建造費用

(單位: 百萬弗)

	1961	1966	1971	1974	1976
재크·업	3.3	5.15	9.75	14.5	19.65
반잠수식	6.67	7.57	13.2	20.5	30.76

註: Mctaggart. 1976

表 3에서 보여 주는 바와같이 「재크·업」과 반잠수식의 建造費用은 1976年 基準으로 各其 2,000萬弗과 3,000萬弗臺에 이르는 것을 알 수 있다.

4. 海洋石油開發의 體制

海洋石油開發의 技術의 作業順序를 整理하면 圖 11과 같다. 實際로 海洋石油開發作業은 「探鑛」 및 「開發」의 段階로 나누어지며 作業順序에 對하여는 陸止油田의 境遇와 本質의 으로 다른 것이 없다. 다만 水域으로 隔離되어 있는 地下의 石油를 開發한다는 點에서 特別現場作業에 있어서는 陸上의 境遇에 比해 數倍의 惡條件이 따르는 境遇가 많다. 따라서 費用이 많이 드는 海洋石油開發을 成就 하고자 하면 一層 合理的인 技術經營을 할 必要가 있다. 探鑛의 最終的 評價는 試錐에 依하여 하여지는 것이 現實이지만 수百萬弗 規模의 資金을 必要로 하는 試錐에서 最少의 井數로써 最大의 效果를 얻고자 하는 것, 즉 試錐成功率의 向上이 探鑛技術의 當面 目標이며 이러한 理由로 石油地質學 및

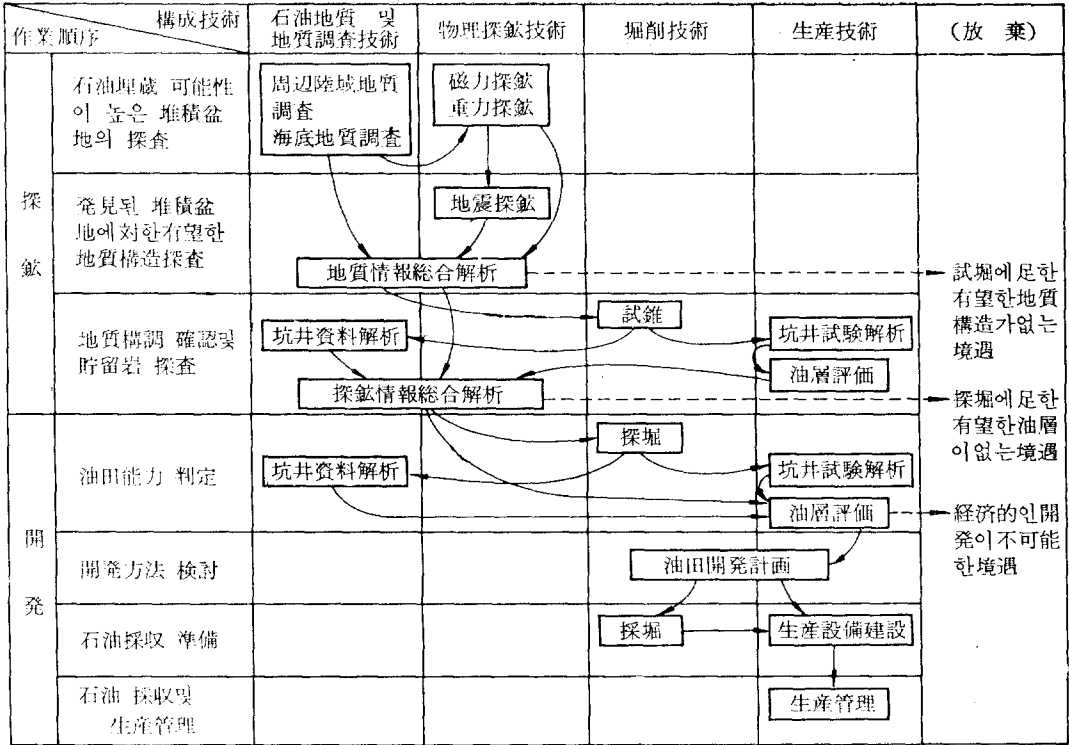


圖 11. 海洋石油開發順序와 構成技術

物理探鉞技術에 依한 試錐地點 選定의 精度 向上에 많은 努力이 기울여지고 있다. 한편 掘擊技術의 研究開發에 依하여 低廉한 試錐가 可能하게 된다면 實質的인 投資効率의 上昇을 招來하는 것이 되기 때문에 同一한 目的이 達成된다고 본다.

地質調查로부터 얻어지는 地質情報로는 沿岸 또는 海底의 直接調查에 依해 얻어지는 地質資料, 旣存資料를 整理하여 얻어지는 廣域의 構造 및 推積資料 등이 있다. 이 資料들을 綜合하여 地質資料解析이 遂行된다.

一般的 順序로서는 地質資料解析의 結果를 바탕으로 하여 다음의 物理探査計劃이 樹立되어, 物理探査의 種類, 範圍가 決定된다. 物理探査로는 通常 短時間에 比較的 低廉한 經費로써 廣範圍한 地質情報를 얻을 수 있는 航空磁力探査가 先行된다. 航空探査結果 堆積盆地의 大體的인 形態가 알려지면 이것에 依해 石油賦存의 可能性이 높은 地域을 選定하여 그곳에 對한 海上 彈性波 探査를 實施한다. 海洋의 境遇는 重力探査가 반드시 行하여지는 것은 아니고 航空 磁力探査 結果 解釋이 어려운 境遇에 利用된다. 石油는 地質學的으로

도 어떤 一定한 形態의 地質構造中에 貯溜되어 있지만 이것에 對應하는 石油探査는 理論的으로 地下에 對한 特定地質構造形態의 存在與否를 探査하는 構造探査와 그 地質構造中의 石油賦存의 可能性을 調查하는 貯留岩探査의 두 가지로 크게 나누어 진다. 上述한 地表 調查 및 物理探査는 主로 構造探査를 目的으로 하는 것이다. 특히 海洋에서는 彈性波探査가 重要한데 이 構造探査는 主로 磁力, 重力 等의 情報로부터 組立되는 比較的 概略的인 第一次 構造探査와 彈性波探査 等으로부터 組立되는 좀더 精密한 第二次 構造探査로 나누어 생각하는 것이 便利하다.

이와같이 構造探査의 프로그램이 進行되어 第一次로부터 第2次까지의 物理探査의 現場作業이 끝나고 얻어진 物探資料의 解析이 完了되면 이것과 前의 地質解析結果를 合하여 最終的 綜合解析을 遂行하고 構造의 豫想圖를 作成하게 되며 試錐位置를 決定하게 된다. 試錐結果 얻어진 地質情報는 먼저 얻어진 地表 調查 및 物理探査로부터의 地質情報와 綜合處理하여 試錐地點 選定의 修正에 利用된다. 試錐非數는 期待되는 成果와 의 밸런스에 따라 判斷된다.

試錐 結果 發見된 油層에 對하여는 本格的인 開發에 着手한다는 前提下에 油層의 特性을 調査할 目的으로 適當한 位置에 試錐가 實施되어 開發試錐 油田으로서의 能力(埋藏量 및 適正 生産能力)이 判定된다.

油田評價의 結果 收益이 높은 開發方法이 確定되면 油田開發計劃을 세우고 이것에 基準하여 開發에 着手한다. 開發作業은 採掘 및 生産設備의 設置에 依한 採收準備 段階와 經常的인 採油段階로 나누지만 實際에는 多少 重複되게 進行하는 수가 많다. 이상 開發技術體系에 依한 採業 順序에 對하여 日本 石油開發公團編「海洋石油開發」의 一部를 빌어 論議하였으나 平常人의 言語에 가깝게 再次 풀어서 說明해 보자면 다음과 같다.

즉 陸上에서와 마찬가지로 海洋 石油의 開發을 위해서는 採油, 採油, 選油의 세가지 과정을 거쳐야만 한다. 陸上에서는 探查過程에서 地質調査가 物理探查 이전에 차지하는 比重이 크지만 海上 探查에서는 沿岸 地質調査의 特殊例(海洋과 陸上의 油田이 連結된 境邊)를 除外하고는 소규모의 浚渫(Dredging)이나 海床「보링」을 통한 基盤岩 調査 等に 국한되며 따라서 物理探查에 큰 比重이 가게 된다. 그러나 海洋石油 地質調査는 探查試錐 및 開發試錐 時에 石油工學 및 物理探查 要員과의 協力으로 海底 地質解析을 내리는 중요한 역할을 담당하게 된다. 한편 物理探查는 地質構造의 概略을 조사하는 磁探과 重力探查 및 地質構造의 精密調査를 주목적으로 하는 彈性疲探查로 나뉘는데 海洋의 경우에는 주로 海洋探查를 사용한다. 이러한 物理探查 이후 石油 賦存의 最終確認을 위하여 探查試錐(Exploration drilling)을 하게 된다. 探查 試錐의 成功率은 約 2~5%(보통 3%)로 잠으며 이렇게 발견된 經濟性 있는 油田 地域에 대하여 그 賦存規模를 알기 위한 開發試錐 또는 評價試錐(Deineation drilling)를 평하게 된다.

원래 人個의 油田은 一個 이상의 貯溜地層으로 구성되는데 各 貯溜層의 地壓, 地熱, 透水性, 孔隙率, 岩質 流體特性等 開發計劃에 요구되는 主要資料들을 수집하게 된다. 이렇게 하여 生産方式 및 年限의 決定, 油田 評價 等を 통한 油田開發 計劃을 세우게 된다. 油田開發의 評價를 위해서는 圖 12에서 보는 바와 같이 우선 工學的인 收益性判斷(總 總收入基準)과 二次로 經營적인 收益性判斷(純收入의 現在價)을 거쳐 終結되게 된다. 圖 12에서 立地條件이라 함은 대체로 네가지를 들 수 있는데 含油層 深度, 海深, 陸地로 부터의 距離, 氣候가 가장 중요한 條件으로 꼽힌다.

生産設備 計劃은 海洋開發 規模를 決定하는데 가장

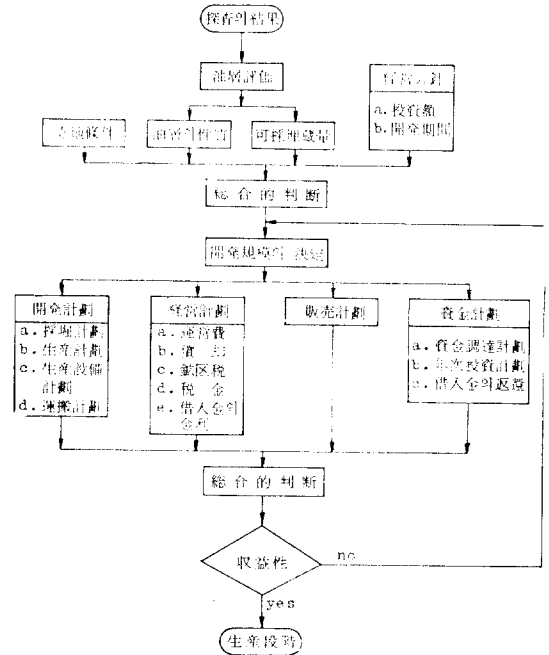


圖 12. 油田開發에 대한 評價(藤井清光 1977)

중요한 要素로 간주되는데 이에 의해 收益性이 크게 영향을 받게 된다. 이러한 設備들은 海上 掘鑿 및 生産 platform들, 油田內 海底送油「파이프·라인」(Flow

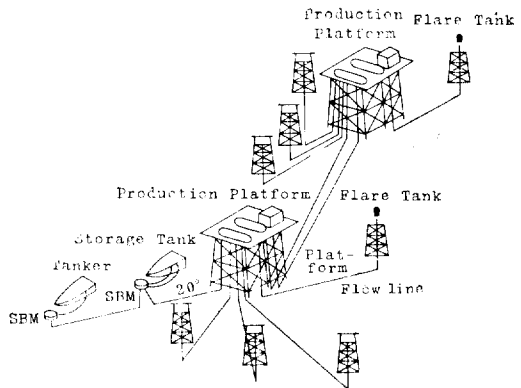


圖 13. 海洋生産 施設 조경도(日本石油技術協會誌 1977)

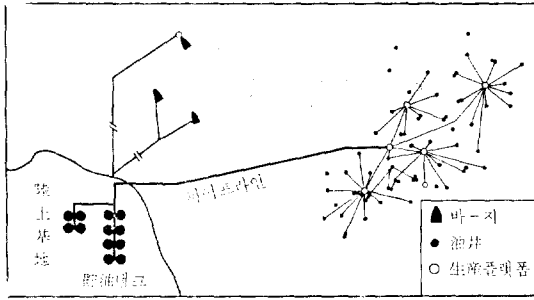


圖 14. 原油生産系統圖(藤井清光, 1975)

line), 항만시설, 陸上施設, 送油 및 기타 必要한 플랜트 施設, 海上前進基地, 油井施設, 기타 必要한 탱커나 特殊 船舶 등을 들 수 있다. 이들의 간략한 原油生産系統에 대하여 圖 13, 圖 14에 소개되어 있다.

이러한 海洋施設에 있어서 특히 試錐 單位施設에 대해서는 政府 또는 代行機關에서 外國의 先例를 따라 操業 安全度, 財政的 損失의 豫防, 人命被害의 방지를 目的으로 하여 等級 許可制를 採擇하게 된다. 이 方法에 世界的인 權威를 가진 機關으로는 ABC(美, American Bureau of Shipping), BV(佛, Bureau Veritas), DNV(노, Det Norske Veritas), JMC(日, Japanese Marine Corporation) 등이 있다. 이러한 等級制度는 保險額水

準에 直結되게 된다. 한편 海底施設에 있어서 이는 密閉施設이므로 宇宙産業과 聯關되며 아직도 少費費用이 크므로 처음에는 될 수 있는한 最低의 費用으로 불가피한 海底生産 施設에만 한정하여 投資하는 것이 바람직 하다.

한편 油田의 評價段階에서 技術的으로 資料를 解析하는 과정은 圖 15에서 볼 수 있는 바와 같다.

한편 租業權者(Concessioner)로서는 여러 部分으로 操業을 나누어서 下請을 주어야하는데 이러한 下請部分으로는 試錐, 基地, 掘鑿流體, 「세멘팅」作業, 檢層作業(logging), 井頭作業, 潜水, 供給, 「헬리콥터」, 調達(Catering) 등으로 나누어 볼 수 있다. 따라서 이러한 各 作業段階에서의 事項보다 더 成敗를 左右하는 것은 全體的인 事業計劃과 工學的인 Master plan이 明細事項까지 빈틈없이 또는 유연성 있게 잘 짜여 있는가(Alternative의 문제)에 달려 있는 것이다.

기타 開發의 附帶施設로는 特殊 船舶들이 문제가 되는데 Workover船舶(油井完結後 井當生産 增加를 위하여 再作業하는 것), pipe부設用 船舶이나 「바-지」等 新겨을 써야될 분야이며 電力이나 燃料의 供給問題 海上 및 海底施設의 遠隔操作으로 流量, 壓力, 溫度를 自動的으로 記錄하고 조절하는 문제도 해결하여야 할 것이다. 通信技術도 極히 重要하며 衛星을 이용한 航測도 역시 海洋에서의 探查와 開發에 사용되고 있다.

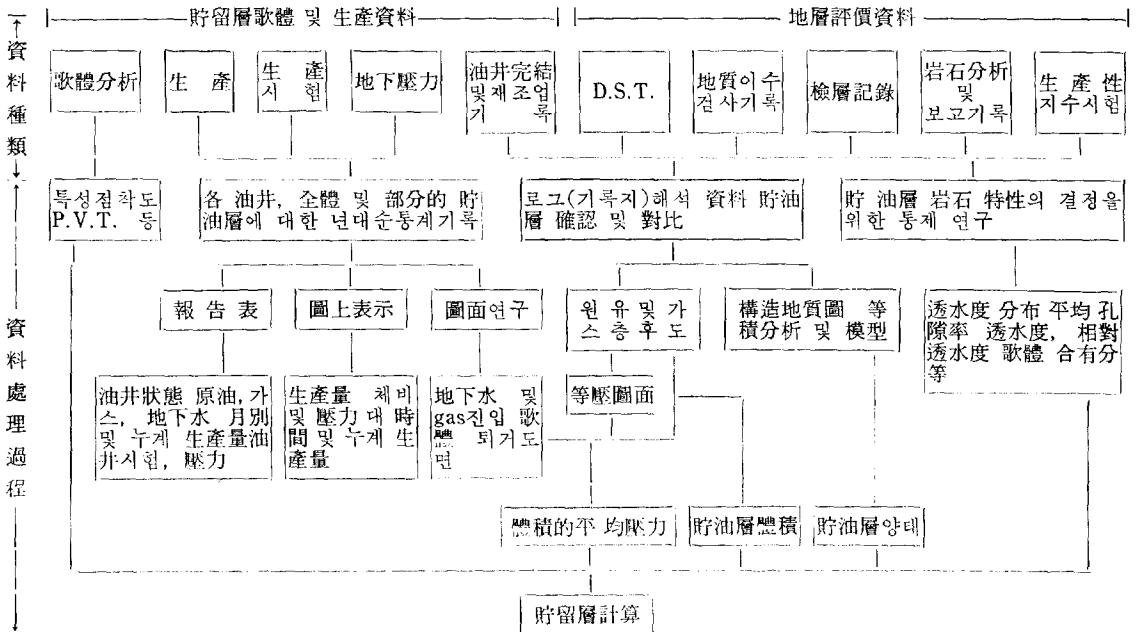


圖 15. 石油工學資料의 處理過程(Guthrie)

한편 가스 생산井에서 산출된 天然 炭化水素는 가스와 天然가스液이 분리되어 計量을 거쳐 脫水過程을 지나는데 이때에는 脫水劑를 사용하게 된다. 가스 「파이프·라인」은 脫水된 가스를 流送하게 된다. 또한 石油 生産井에서 나온 天然 炭化水素는 石油과 가스를 분리하여 計量하고 石油 「탱크」에 貯藏된 후 「컴푸」에 의해 石油 「파이프·라인」으로 流送된다. 勿論 이 選油 과정은 生産된 天然 炭化水素의 特性에 크게 左右되고 이 特性은 C, (Methane)에서 C7+(Heptance plus)까지의 含量比率에 의해서 決定되게 되는 것이다.

5. 開發費用에 對한 考察

海洋 石油開發에 있어서는 거대한 資金이 소요되는 바는 既知의 사실이며 대체로 好條件 海域에서는 油田 當 10億弗(5,000億원)이 必要하고 惡條件 海域에서는 20億弗線까지 요구된다.

海洋試錐에 있어서는 試錐船을 이용하는 경우 費用 分析을 위하여 支出分野를 대개 三分하게 되는데 이는 表 4에서 細分되어 있는 項目들이 참고가 될 것이다.

危險費用(Venture Cost)이라 함은 試錐井數에 關聯없이 作業을 準備하기 위한 基本費用이며 井當費用(well cost)이라 함은 시간에 관계없이 各試錐井에 대하여 소요된 것이고 日當費用(Daily cost)이라 함은 單純히 作業日數에 의거하여 支出되는 費用이다.

表 5와 表 6에 보면 1974年度에 NPC (National Petroleum Council)에서 集計된 各 海洋과 天候條件에 대한 海洋 石油探査 試錐費用과 海洋 石油開發 生産費用이 나와있다. 1974년도 基準으로 만일 黃海에서 操業하였다면 井當 270萬弗의 探査試錐費用(Exploration Drilling Cost)이 必要하였을 것이며 探油和 送油을 위한 하나의 system當 9,500萬弗이 소요 되었을 것이다.

開發費用을 크게 左右하는 油田의 조건으로는 前述한 바와 같이 合油層의 深度, 海深, 海岸에서의 距離, 天候를 들 수 있다. 油層의 賦存深度가 깊을수록 費用은 올라가게 마련인 바 地層이 굳어지고 異常地壓帶를 만날 確率이 높으며 掘整流體의 使用量 및 井正當消耗

表 4. 試錐費用 分析要素 (L.M. Harris)

Venture Costs	Well Costs	Daily Costs
Rig transportation	Site preparation	Rig rental
Rig modifications	Tugboat services	Insurance
Preparation of:	Well equipment:	Fuel and water
Shore facilities	Wellhead	Service boats:
Office	Casing	Crew
Warehouse	Well supplies:	Supply
Docks	Cement	Helicopters
Heliport	Packers	Tool rental:
Mobilization	Well services	Bits
Personnel	Logging	Drill pipe
Services	Perforating	Special tools
Demobilization	Testing	Television
	Fishing	Radio
	Cementing	Services:
		Mud loggers
		Transportation
		Divers
		Roustabout labor
		Drilling fluid
		Rig supplies, repairs
		Company overhead:
		Personnel Office
		Office
		Hdqrs. overhead
		Miscellaneous

表 5. 海洋石油 探査試錐 費用(National Petroleum Council, 1974)

(해양探査 지출지수; 0.1=井當)
\$ 2.7 million (1974 dollars)

기후조건 1					
海 深 (m)	온 화 (1)	보 통 (2)	악천후 (3)	氷 山	
				75%	100%
200	0.8	1.0	1.8	2.3	4.6
500	1.0	1.3	2.1	2.8	5.4
800	2.3	2.6	3.3	4.0	6.1
4,000	3.8	4.0	4.3	5.6	7.5

註 1. 기후 조건상의 分類

- (1) Senegal, Gabon, Honduras, Mediterranean, Java Sea, Persian Gulf.
- (2) Gulf of Mexico, South Atlantic, South Pacific*, North west Australia*, Sea of Japan*, Yellow Sea:
- (3) North Sea, Bay of Biscay, South Australia, Gulf of Alaska*, North Atlantic, North Pacific West Coast of Canada, Nova Scotia.
- (4) Bristol Bay*, West Greenland**.
- (5) Arctic Ocean, Chukchi Sea**.

* 地震, ** 氷山

表 6. 海洋石油 開發生産 費用(National Petroleum Council, 1974)

(개발 및 생산비용 예산; 1.0=시스)
\$ 95 million (1974 dollars)

기후조건 1					
深 海 (m)	온 화 (1)	보 통 (2)	악천후 (3)	氷 山	
				75%(4)	100%(5)
200	0.9	1.0	2.8	악천후 조건지역	
300	—	—	6.2	보다 상당히 비싸	
500	2.7	3.0	—	리라고 예상됨.	
1,000	4.3	4.8	10.2		

註 1. (表 5)의 註를 볼것.

施設材가 많이 들게되어 대체로 1萬 ft 내지 12,000ft 가 넘으면 비용이 급상승 하게되며 技術的으로도 深部 油井으로 간주한다. 또한 海深이 作業 및 施設費用에 미치는 影響도 커서 30m때 보다 180m에서는 전체 비용이 2배 이상이 들게되고 300m海深인 경우 30m내인 경우보다 探査에 있어서 2배, 試錐에 있어서 2.5~3배, 生産設備은 3~8배, 「파이프·라인」은 2~3배의 增加를 고려해야 한다. 뿐만 아니라 海岸에서의 距離는 資

材의 運搬, 人員輸送, 「파이프·라인」의 부설, 電力의 供給等 開發費가 增大되는 主要 要因이 되고 天候도 作業日數, 能率, 危險率 等に 影響을 주어 費用을 높이는 구실을 하게 된다.

表 7에는 1970년에 발견되어 1975年 말에 8萬 BOPD 를 생산하고 77년에는 最大 40萬 BOPD를 생산 하기 위하여 1973~1974년에 걸쳐 計劃된 北海의 Forties Field의 예상비용이 나와있다. 同 유전의 豫想 可採 石油量은 40% 回收率로 보다 18億 「바렐」로 推算되었는데 四基의 Platform을 包含하여 總 11億弗의 投資所要額을 推定 하였던 것이다. 同 油田을 위한 海低 「파이프·라인」은 約 1億 7千萬弗이 들었으며 陸上의 「파이프·라인」까지 合하면 總 2億弗 정도가 소요되었다. 가스 「파이프·라인」의 경우에도 1974年度에 美 「루이지아나」州 海岸에서 約 230「마일」의 距離에 12「인치」와 36「인치」 「파이프」를 놓는데 1億 5千萬弗이 소요되었다 한다.

表 7. Forties 油田 開發豫算(M.M. Linning)

Items	Estimated cost, \$ million
Four platforms, equipped and installed	648.0
Submarine lines, complete	168.0
Cruden Bay installation	2.4
Land pipeline, complete	33.6
Oil/gas separation and treatment facilities, Kerse of Kinnell	33.6
Forth marine terminal	38.4
Drilling 100 development wells	120.0
Other costs, provisions	84.0
Total	1,128.0

6. 韓國의 大陸棚 開發 狀況

오래 前부터 과연 韓半島에 石油의 賦存이 全無할 것이냐 하는것은 論議의 對象이 되어 왔다. 비록 經濟性은 없는 것으로 判名 되었으나 浦項에서 產出된 原油는 國民에게 希望을 던져 주었으며 大陸棚 石油의 賦存確認 및 開發에 큰 期待를 걸게 하였던 것이다.

이러한 大陸棚 石油問題에 對하여 開限이 있는 것은 1966年度の 일로써 「에카페」에서 延日灣 一帶를 調査하여 石油의 賦存可能性이 높다고 알려진 第3期 地層이 約 1,000m의 厚로써 存在하고 있다고 確認했을 때 부터였다. 이어서 1968年에서 1972年에 이르기 까지 美海軍海洋研究所 및 西獨地質調査所에서 韓國地質調査所와 合同으로 黃海, 南海의 觀心地域에 物理探査를

行하게 되었고 地域에 따라 相當한 堆積層의 두께도 確認하게 되었다.

이에 따라 政府에서도 1970年 1月 1日字로 海底鑛物 資源開發法을 制定公布 하였고 施行令과 同 規則도 制定하게 되었을 뿐 아니라 政府와 外國會社(「걸프」, 「셸」, 「텍사코」, 「코암」)間에 石油探查 및 生産에 關한 協約을 締結하게 되었다.

「걸프」와 「셸」會社は 各其 상당량 的 개략 및 정밀 탐사 성과 탐사 와 2~3個孔 的 探查 試錐 를 行한 結果 滿足 할 만한 油徵 을 發見 하지 못하고 1976年 및 1977年 에 租 鑽 區域 全體 를 政府 에 反換 하였으며 「텍사코」의 境遇 개략 및 정밀 탐사 성과 탐사 와 1個孔 的 探查 試錐 를 完了 하였고 「코암」會社は 개략 및 정밀 탐사 만을 實施 하였고 繼續 租鑽 權을 維持 하고 있다. 後者 의 두 會社 는 7鑽區 全體 와 5鑽區 一部 가 韓日 共同 開發 區域 으로 決定 됨에 따라 1979年 부터 本格 的인 探查 가 實施 될 것으로 展望 된다.

韓日 共同 開發 은 1672年 9月 兩國 定期 閣僚 會議 에서 原則 에 合議 하고 1974年 1月 30日 서울 에서 協定 이 署名 되었다. 이는 다시 1974年 12月 17日 韓國 國會 同意, 1977年 6月 9日 日本 國會 同意 를 얻어 1978年 6月 22日 協定 비준 서가 交換 됨에 따라 協定 이 發効 하게 된 것이다. 한편 同 發効 協定 에 따라 「텍사코」 및 「코암」 會社 와 의 協約 書를 修正 하였으며 同時 에 共同 開發 區域 中 反還 小區域 2, 4, 6小區 에 對한 租鑽 權이 「텍사코」 에 주어지게 되었다.

1979年 에 들어와 3月 16日 韓日 兩國 은 추첨 을 통하여 共同 開發 各小區域 的 運營者 를 選定 하였는데 1) 試錐 運營者 와 生産 運營者 의 分離

2) 小區域 들을 二大別 하여 七小區域 對 其他 區域 으로 分離

3) 同 兩大 區分 區域 에서의 試錐 生産 的 交換 操業 的 原則 下에 圖 16과 같이 運營者 가 決定 되었다. 남은 問題 는 小區域 別 租鑽 權者 間의 運營 協約이 兩國 政府 的 承認 을 받는 것이며 現在 로 보아서는 試錐 開始 가 今年 9~10月 程度 가 되지 않을까 豫想 된다.

지금까지 共同 開發 區域 內 石油 可採埋藏量 에 對하여 25億 「바렐」說 50億 「바렐」說 等 多樣한 見解 가 있으나 試錐 를 통한 地層 特性 과 流體 特性 等을 把握 치 못한 狀態 에서는 지나친 發言 들이라 보는 것이 專門 的 立場 에서는 가장 妥當한 것이다.

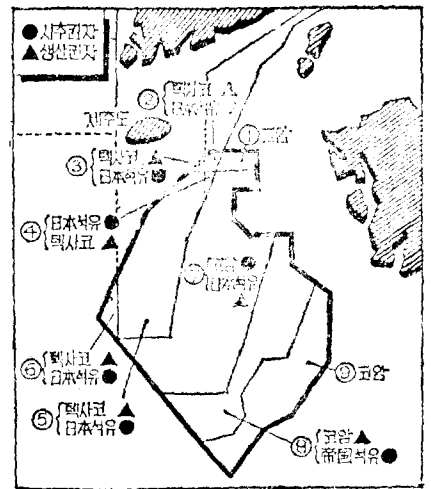


圖 16. 韓日 共同開發 區域圖 (朝鮮日報)

表 8. 北海油田의 開發資料

國 名	油 田	水 深 (m)	發 見	生産開始	準備年數	最大生産能力 (百萬t/年)	可採確定埋藏量 (百萬t)
英 國	Forties	122	1970	1975	5	20	240
	Brent	145	1971	1976	5	22	195
	Pipen		1973	1976	3	11.9	85
	Benyl	117	1972	1976	4	4	70
	Dunlin		1973	1978	5	5	58
	Thistle	175	1973	1977	4	8.8	50
	Ninian	137	1974	1978	4	15	130
	Chaymare		1974	1977	3	8.5	50
노르웨이	Ekofish	69	1969	1971	2	15	200
	West Ekofish		1970	1975	5	5	70
	Eldfisk		1970			10	140

生産準備를 爲하여 걸리는 期間에 對하여는 參考로 는 表 8에 北海의 油田들을 증산으로 그 開發로 부터 生産에 이르는 準備期間이 명시되어 있다.

結 論

現在 우리나라는 南海의 大陸棚에 큰 期待를 걸고 이에 對備한 모든 準備를 段階의 으로 추진하여 왔다. 前述한 바와 같이 韓日 大陸棚共同開發도 日本側의 行政 立法의인 措置가 마무리되어 今年 九月頃에 一次 試鑿에 들어 가리라 한다.

石油가 發見 生産되어도 우리나라의 收入은 石油可 採量의 量에도 미치지 못하겠지만 경기상승效果는 相當하리라 豫想되며 經濟的으로 「인플레이션」에 對한 警戒와 産業的으로는 연계적인 波扱效果 등에 留意하여 他産業의 參與를 誘導하는 方向으로 政策의 配慮가 있을 것으로 생각되며 特히 鐵剛 造船等 分野에 있어 參與의 餘地가 크리라 豫측된다.

石油開發의 技術 및 經營技法은 七鑛區의 開發에 不可缺의 요소가 될 것이며 따라서 外國의 경우에서와 같이 合理的인 經營을 위하여 工學的 知識을 갖춘 技術者들이 經營의 核心에 參與할 수 있어야 할 것이다. 石油工學의 技法은 石油의 開發에만 국한되어 쓰이는 것이 아니라 石油의 自然狀態 備蓄 陸上 및 海底의 石炭氣化, 地熱利用 및 그 發電 地下水開發 等에 없어서

는 안될 技術이며 現代의인 大規模 鑛山을 開發하는 데에도 石油企業 經營에서 얻어진 經驗과 技法들이 많이 보이고 있는 만큼 우리나라에서도 이 方面에 充分한 人力을 양성하여 現在의 大陸棚 開發만 아니라 後日의 海外 石油資源 開發參與나 其他 上記한 分野에 사용될 수 있도록 豫備해 놓아야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. *World Mineral Supplies*: Govett and Go vett, Elsevier Scientific Publishing Co, 1976.
2. *The Technology of Offshore Drilling, Completion and Production*: ETA Offshore Seminars, Inc, 1976.
3. *Offshore Platforms Pipelining*: Petr Oleum Publishing Co, 1976.
4. *Deep water Floating Drilling Operations*: L.M. Harris, 1976.
5. O G J, *Petroleum/2000*: 1977.
6. *Petroleum Reservoir Engineering*: Amyx, Bass and Whiting, Mc Graw-Hill Co, 1976.
7. 海底石油: 藤井清光, 日本放送出版協會 1975.
8. 日本海底大油田: 田丸博文, Kanki Book Co, 1977.
9. 石油開發概論: 藤井清光, 東京大學出版會, 77.
10. 海底石油開發: 日本石油開發公團篇