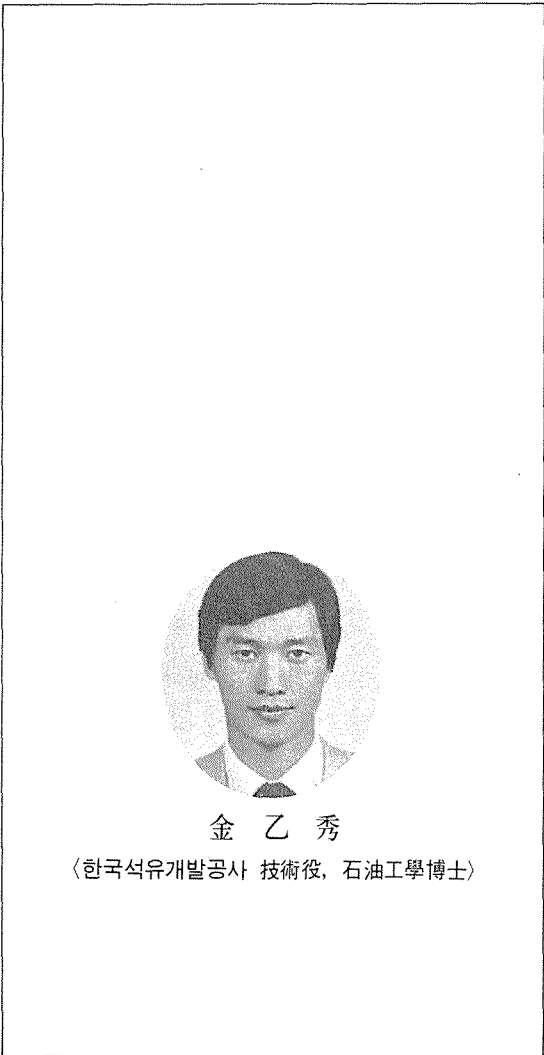


석유산업은 지하에 매장되어 있는 석유 자원을 발견하여 지상까지 생산하는 사업과 생산된 석유를 정제하고 제품화하여 판매하는 사업으로 대별되는데, 전자를 상류부문(Up stream), 후자를 하류부문(Down stream)으로 부른다(그림-1). 또한 광의적으로 상류부문을 탐사, 개발, 생산을 포함하여 석

석유개발의 알파와 오메가



金 乙 秀

〈한국석유개발공사 技術役, 石油工學博士〉

유개발사업으로 하류부문을 수송, 정제, 판매를 포함하여 석유유통사업으로 구분할 수 있으며, 본고에서는 석유개발사업만을 살펴 보고자 한다.

전세계적으로 탐사시추정에서의 석유발견 성공률이 3~5%로 나타나는 바와 같이, 석유개발사업은 위험부담이 매우 큰 사업인 반면에, 일단 발견되면 95~97%의 실패율을 보상할 수 있을 정도로 수익성이 큰 사업이다. 따라서 위험부담을 분산시키기 위하여 한개 광구에 여러 당사자가 참여하는 것이 일반적이며, 높은 수익성을 배경으로 각 분야의 첨단기술들이 석유개발에 활용되고 있다.

인류의 문명활동에 필요한 여러가지 지하자원중 석유와 천연가스는 유체자원이라는 독특한 특성이 있어서 이를 탐사하고 개발하고 생산하는데도 특수한 기법을 사용한다. 다른 자원은 일단 자연계에서 생성되면 지층 속에 고정되어 그 위치가 변화하지 않지만, 석유나 천연가스는 유체이기 때문에 생성되어 수 백만년 또는 수 억년의 시간 사이에 지층 속에서 어딘가로 이동될 수 있으며, 또한 다른 자원은 발견 후의 개발, 생산은 노천에서,

〈그림-1〉 석유산업의 구조

상 류 부 문	탐사(지질조사, 물리탐사, 탐사시추)	석유개발사업
	개발(생산정굴착, 생산시설설비)	
	생산(석유생산, 유전관리)	
하 류 부 문	수송(파이프라인, 탱커수송)	석유유통사업
	정제(원유정제, 제품제조)	
	판매(제품판매)	

또는 갯도를 통하여 생산하게 되지만, 석유나 천연가스는 자체가 보유하고 있는 압력이라는 에너지를 이용하여 지하에 삽입된 철관을 통하여 생산된다. 이와 같이 생산 방법이 다르기 때문에 다른 자원에서는 개발심도가 수백 미터 정도인데 대하여 석유나 천연가스는 수천 미터에 달하기도 한다.

석유개발의 첫 단계인 석유탐사는 석유가 보존되어 있을 가능성이 있는 지질구조인 트랩을 지질조사 및 물리탐사를 통하여 찾아내고 시추작업을 통해 그 속에 채산성이 있는 원유나 천연가스를 확인하는 작업이다. 석유의 성인은 아직 정확히 밝혀지지는 않았으나, 유기물이 바다나 호수로 유입되는 진흙과 모래에 섞여 퇴적된 것이 산소의 공급이 적은 환원환경하에서 박테리아에 의해 분해된 후 오랜 시간에 걸쳐 지하에 매몰되면서 온도와 압력의 영향을 받아 탄화수소로 변화되었다고 보는 유기성인설이 지배적이다. 이와 같은 근원물질을 다량으로 함유하고 그것을 보존한 암석을 근원암이라고 부른다. 근원암에서 생성된 석유물질은 유체의 특성을 갖고 있어서 압력차이에 따라 상하 또는 좌우의 인접지층으로 이동하면서 공극이 많은 암석 속을 지나게 되며, 이 때 이동을 차단시키는 치밀한 암석을 만나면 그 곳에 집적되게 된다. 이와 같이 이동된 석유물질을 다량 저장하고 있는 암석을 저류암, 이동을 차단하는 치밀한 암석을 덮개암이라고 부르며, 이 요소들을 갖춘 지질구조를 덩 또는 울무의 뜻인 트랩(trap)이라 하고 석유가 가행할 수 있을 정도로 충분히 매장되어 있는 트랩을 광상이라 한다. 트랩의 종류에는 여러가지가 있으나, 우리에게 잘 알려진 낙타등 모양의 배사구조가 전세계 석유광상의 70% 이상을 차지하고 있다. 트랩속에는 부력차이에 의하여 가스가 제일 위에, 그 다음에 원유가 위치하며 맨 밑에는 물이 존재하는 경우가 일반적이지만, 트랩에 따라 물과 가스, 물과 원유만 있는 경우가 있으며, 또는 원유나 가스는 없고 물만 채워져 있는 수도 있다. 지질조사와 물리탐사는 이러한 트랩을 찾는 작업이며, 그 속에 석유나 가스가 있는지 물로만 채워져 있는지는 시추를 해보기 전까지는 알 수가 없다.

지질조사 및 물리탐사를 통해 트랩이 나타나면 시추위치를 선정하여야 한다. 석유광상에서 가장 많이 나타나는 배사구조에 시추하는 경우, 첨단부에 첫 시추정을 잡는 것이 보통이다. 그러나 첨단부를 굴착하여 석유를 발



견하여도 유전규모를 파악할 수 없는 경우가 많아 유전의 연장한계를 규명하기 위해 다시 구조적으로 하부에 시추할 필요가 있다. 경제성한계의 범위에 있는 소규모 유전의 경우 그 위치까지 석유가 존재하지 않으면 채산성이 없는 지점까지 구조적으로 내려서 시추위치를 잡으면 1개공으로도 판단이 가능하여 소규모유전에 대한 과잉투자를 피할 수 있다.

시추위치가 선정되면 시추예정심도와 지리적조건에 적당한 리그를 선정하게 된다. 리그의 굴착능력은 2,000미터급, 5,000미터급등으로 분류한다. 굴착능력은 주로 파이프를 내렸다 올렸다 할 수 있는 윈치의 능력과 갱정내로 이수를 순환시키는 펌프의 능력에 의해 결정된다. 리그에는 육상시추리그와 해양시추리그로 나누어지며, 해양시추리그로는 해양환경별로 착저식(Submersible), 갑판양강식(Jack-up), 반잠수식(Semisubmersible) 및 굴착선(Drillship)등의 이용된다. 해양의 경우 특히 수심, 해저면의 질, 기상, 해상등이 리그선정의 요인이 된다.

현재 석유탐사에 쓰이는 굴착법은 로타리식으로 맨 밑에 지층을 굴진하는 비트(Bit)를 부착한 수심내지 수백개의 연결된 드릴파이프(Drill pipe)위에 켈리(Kelly)라고하는 각주형의 철관을 연결하여 지상에서 켈리를 로타리테이블(Rotary table)이라고 하는 회전판에 끼워 회전시킴으로써 비트를 돌려 굴착하는 방법이다. 비트는 분당 수심내지 수백회의 고속으로 회전하기 때문에 지층과의 사이에 마찰열이 발생한다. 이 마찰열을 냉각시키기 위하여 드릴파이프를 통해 이수라고 하는 진흙물을 투입하여 비트의 끝 부분에서 분사시키며, 분사된 이수는 드릴파이프와 공벽사이의 공간인 애눌러스(Annulus)를 통하여 지표에서 회수된다. 이수는 냉각작용 이외에도 공저를 세척하고 파쇄된 암편을 지표까지 운반하며 윤활작용을 하고

공벽을 보호하는 구실을 하는 등 시추작업에 없어서는 안될 필수물질이다.

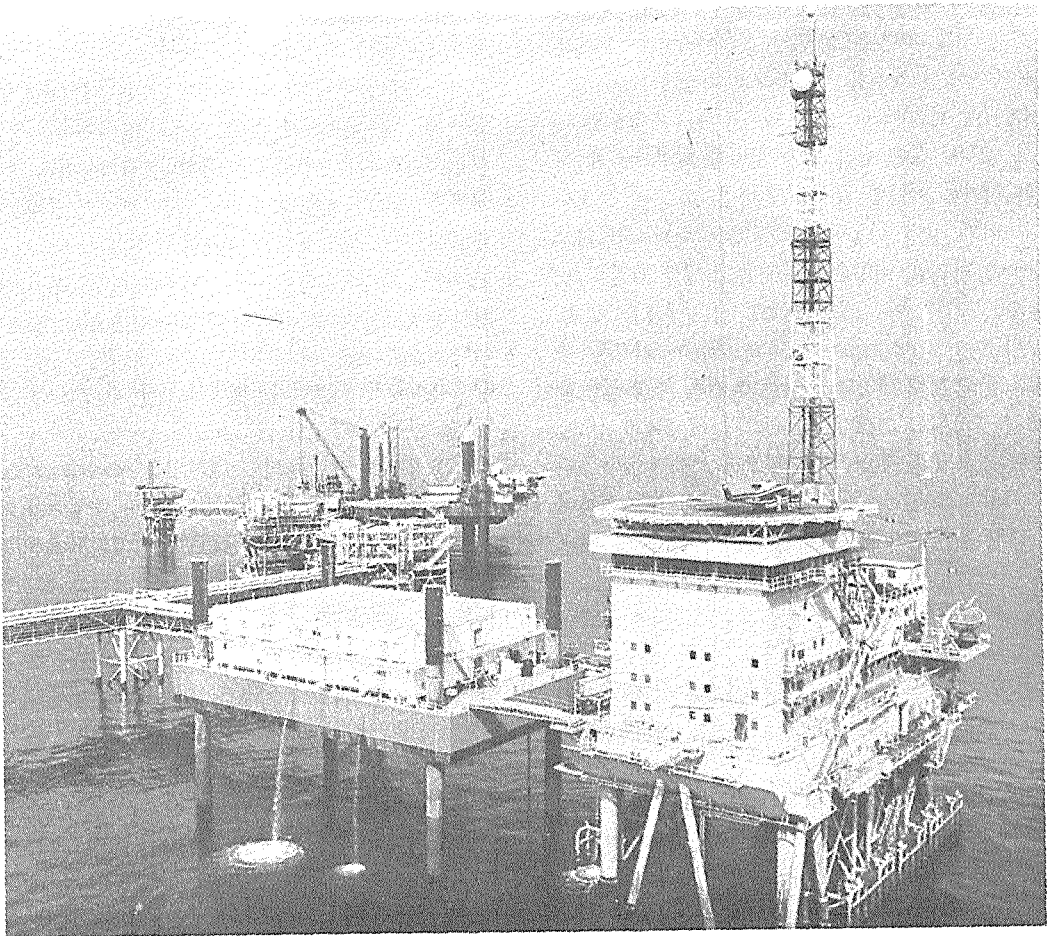
그러나 아무리 이수관리를 잘 하여도 장시간 굴착을 계속하게 되면 공벽은 점점 약해져서 허물어 지게 된다. 또한 석유나 가스층이 있는 경우 이수가 그 속으로 깊이 침투되어 나중에 산출시험을 할 때 장애를 받게 되며, 이상압력대를 만나 이수의 조절이 어렵게 될 경우가 있다. 이러한 경우 지표에서 적당한 지점까지 케이싱(Casing) 이라고 하는 공벽보호관을 삽입하고 그 밑에서 부터 굴진을 계속하게 된다.

저류층의 가행가치의 여부는 산출능력시험을 실시하여야만 알 수 있지만, 산출능력시험은 시간과 경비가 많이 소요되기 때문에 산출시험의 필요가 있는 구간을 결정하여야 한다. 이와 같은 목적을 위하여 시추현장에서는 굴진중이나 굴진후 케이싱을 삽입하기전 각종 개정조사가

실시된다. 개정조사에는 암질조사 고생물조사, 이수검층, 굴진률측정, 유가스징조사, 물리검층등이 있다.

암질조사와 고생물조사는 이수에 의해 운반된 암편에서 행해지며, 육안 및 현미경등으로 암질 및 굴진중인 지층의 시대등을 조사한다. 비트가 수층에 도달하면 지층수가 이수와 섞여 이수의 비중이 낮아지고 염분농도가 변하게 된다. 또한 유가스층을 만나는 경우에도 이수의 비중이 달라지며, 원유와 가스가 이수에 혼합되어 나타난다. 한편 암질의 변화가 굴진물의 변화로 표시되는 수가 많이 있으며, 어느 구간에서의 굴진물이 상하구간 보다 월등히 높은 경우를 드릴링브레이크(Drilling break)라고 하는데, 이 때는 유가스층의 징조로 주목된다. 또한 유가스징조사도 굴진중에 실시되며, 이수나 암편에 나타나는 형광반응으로 석유의 부존여부를 조사한다.

그러나 위와 같은 굴진중 조사법으로는 원유나 가스층



의 정확한 심도나 두께 및 수포화율등을 알 수 없으므로 물리검증을 실시하게 된다. 이것은 지층의 각종 성질을 측정하는 기구를 와이어라인에 달아 공내에 내려서 지층이 갖고 있는 성질을 측정하여 그 신호를 전기적인 신호로 변환하여 와이어라인속에 있는 전선을 통해 지표에서 기록하는 방법이다.

갱정조사를 통하여 원유나 가스의 부존이 유망한 지층이 확인되면 산출능력을 시험하게 된다. 통상적인 산출시험을 하기 위하여는 갱정을 시험할 수 있도록 상태를 정비하는 유정완결작업이 선행되어야 하는데, 이에 상당한 경비와 시간이 소요되기 때문에 탐사정의 경우 유정완결작업 없이 간단히 DST라고 하는 시험으로 대신하는 경우가 많다. DST란 드릴스텝테스트(Drill stem test)의 약어로서 드릴파이프내에서 실시되는 산출시험이라는 의미이다. DST는 물리검층이나 코어(core)분석으로 석유부존의 가능성이 확인된 지층구간에 드릴파이프를 통해 특수한 장비를 강하하여 지층을 밀고 있는 이수의 압력을 일시적으로 차단함으로써 지층유체를 시추공내로 유입하도록 하여 지층유체를 채취하고 압력변화를 측정하여 지층의 산출능력을 시험하는 방법이다.

탐사정에서의 산출테스트로 원유나 가스가 원활히 산출되면 평가정을 몇 개 굴착하여 원유나 가스의 부존범위를 조사하게 된다. 탐사정에서 얼마나 떨어져서 굴착할 것인가는 때와 경우에 따라 다르지만 그 곳까지 원유나 가스전이 분포되어 있으면 경제성이 있을 것으로 보이는 지점에 평가정의 위치를 정하는 것이 효율적이다.

유전전체의 규모가 밝혀지면 어떤 방법으로 개발하는 것이 가장 합리적인가 또한, 어느 정도의 산출량을 얼마 동안 유지할 것인가 등의 유전개발계획을 수립하여야 한다. 이를 위하여는 유전의 범위와 층후, 공극률, 수포화율, 유가스의 성질등을 종합하여 정확한 매장량추정이 이루어져야 하며, 압력과 투수도로부터 산출능력이 계산되어야 한다. 특히 해양가스전의 경우는 막대한 초기 시설투자가 필요하기 때문에 장기수요자의 확보 및 수요자측의 요구에 상응하는 압력과 물량이 정확히 예측되어야 한다.

원유의 개발, 생산은 본질적으로 유층내의 유체가 스스로 갖고 있는 압력이라 하는 물리적에너지로 인위적으로 조절하여 원유가 유정을 통해 지표로 분출되도록 하여 채취하는 방법을 이용한다.

그러나 원유는 그의 지하부존상태와 그 자신의 물성으로 인해 자체가 원시적으로 갖고 있는 에너지로써 지상에 배출되는 것은 지하의 원시부존량의 20~30퍼센트에 지나지 않는다. 이 때문에 유층내에 인위적으로 다른 유체를 압입하거나 열을 부여하거나 하여 에너지를 추가하여 배출시키는 방법을 적용하여 채수율을 높이는 증진회수법(Enhanced oil recovery)도 사용되게 되었다. 에너지를 추가하는 방법은 아니지만, 원유나 지층유체의 물성을 변화시키기 위해 화학물질을 투입하는 화학공법(chemical flooding)도 증진회수법의 한 분야이다.

천연가스의 경우는 일반적으로 회수율이 70~80% 정도로 높은 편이지만, 증진회수법을 적용할 수 없기 때문에 가스전수명 전체기간동안 스스로가 지니고 있는 압력으로만 생산하여야 한다. 따라서 개발단계에 들어가기 전에 반드시 조달능력시험(Deliverability test)을 통해 생산능력을 예측하여야 한다.

석유를 발견하고 유전을 개발하여 생산단계에 들어간 경우, 생산관리 여하에 따라 동일 유전에서도 회수율은 크게 달라질 수 있다. 이것은 각 유체의 점성이 다르고 수포화율에 따라 물과 가스와 원유의 상대적 투수도가 변화하기 때문이다. 상당량의 원유가 남아 있는 경우에도 유량 및 압력조절에 실패하여 물과 가스만 생산하고 유전을 버리는 경우도 있을 수 있다.

이와 같이 석유개발사업은 탐사부터 개발, 생산단계까지 각 분야의 첨단기술들이 제 단계에 있어서 사용되고 있으며, 매우 광범위한 분야의 기술과 장비가 집합적으로 구사되고 있다. 이 때문에 세계적으로 대규모의 석유개발사업을 전개하고 있는 국제석유회사들도 각종 필요 기술을 자체내에 보유하여 자체기술진으로 각종 사업을 수행하기 보다는 각 기술분야마다 전문기술을 갖는 용역청부기업을 활용하고 있다. 특히 물리탐사와 시추관련용역회사들은 각각 첨단기술을 경쟁적으로 개발하고 있다. 이와 같이 석유의 탐사 및 개발기술의 분야는 광범위하지만, 핵심을 이루는 기술분야, 즉 석유지질학, 저류공학은 어디까지나 석유회사 자체에서 보유하고 있다. 또한 석유회사는 개개의 작업은 용역업체를 사용하여도 그것을 감독하고 그 결과를 해석, 판단하는 능력을 보유하고 있으며, 복잡다기한 각 분야의 요소기술을 효과적으로 구사, 활용할 수 있는 기술적, 경영적 능력을 갖고 석유개발사업을 수행하는 것이다. □