

국제 석유산업의 사이클

시장에서 가격은 살아서 움직인다는 점에서 예측하기 어렵다. 더구나, 수많은 불확실성을 가진 국제석유 시장에서 가격예측은 더욱 어렵다. 그럼에도 불구하고, 석유산업은 물론 에너지산업에서 유가는 투자를 결정하는 바로미터가 된다. 석유산업투자의 경우 규모가 크고, 리드타임이 길다는 점에서 장기간의 유가 추이는 투자의 성패에 결정적인 영향을 미친다. 대부분의 경우 유가가 석유산업투자의 수익률을 결정하는데 결정적 영향을 미친다. 때문에 석유나 에너지 산업 투자 의사결정을 고려 시, 유가 가정은 필수적이다. 이런 이유로 그 본질적인 예측의 어려움에도 불구하고 과거의 유가변동을 설명해보고, 더 나아가서 유가의 향방을 가늠해 보려는 시도는 수없이 이루어지고 있다.

90년대 말 국제유가는 한국의 IMF도래 및 사우디의 생산 조절실패 등으로 유가 대폭락 상황을 맞았고, 석유사들은 출구가 보이지 않는 절망에 빠졌다. 20세기 석유산업과 세계정치경제를 좌우하던 세븐시스템즈라고 일컫던 메이저석유사들마저 살아남기 위하여 짝짓기에 나선다. Exxon이 Mobil사와 합병하고, BP사가 Amoco사와 합병했으며, Chevron사와 Texaco사가 합병하였다. 그러나 이들 회사들이 한치 앞만 내다볼 수 있었다면 합병하지 않고 독자생존에 나섰을 것이다. 1998년 10달러 이하로 떨어졌던 국제유가는 2000년 들어 20달러 이상으로 회복되었고 이후 지속적으로 상승하여 2008년 140달러를 돌파하게 된다. 그만큼 유가의 향방을 정확히 예측하기는 어렵다는 것이다. 1986년 이후 15년간 10~20달러대의 저유가시대를 견뎠지만 1998년 마지막 놀림 목을 견디지 못한 것이다. 1998년 이후부터 유가는 10년 이상 급등하는 대 상승기를 맞게 되었던 것이다. 그 쟁쟁한 메이저회사들마저 1~2년 앞을 못 내다보고 굴욕적인 합병의 길로 나서게 된 것이 예측의 어려움을 잘 말해준다.

그러나, 이러한 어려움에도 불구하고, 70년대부터 현재에 이르기까지의 극적인 유가 변동을 “석유산업의 사이클” 관점에서 한번 살펴보는 것은 가치 있는 시도가 될 것이다.

물론 석유산업이 어떤 정형적인 사이클을 갖는가하는 점에는 많은 이론과 논쟁이 있을 수 있다. 그러나 가격상승은 수요를 감소시키고, 공급을 증가시켜(초과 공급으로 인한) 가격하락을 가져온다는 단순한 경제논리는 석유산업에도 적용된다. 석유산업의 경우, 유가는 투자의 수익률을 결정한다는 점에서, 고유가 시기에는 공급설비에 대한 투자를 크게 증가시키고, 이는 결국 과잉공급능력을 야기하여 결국 유가하락을 가져온다. 저유가 시기에는 반대로 낮은 기대 수익률로 설비에 대한 투자가 줄어드는 반면, 저유가로 인한 수요증대로 잉여공급능력이 감소하면서 유가상승반전의 압력이 증가하게 된다.

70년대 초 1차 석유위기 전 석유시장은 국제메이저들이 전 석유산업 밸류체인(value chain)을 지배하던 시기로 유가는 이들 메이저에게는 산유국 조세산정기준이면서 내비전기가격의 의미밖에 없었다. 따라서 이들은 산유국 조세를 낮추기 위하여 유가를 \$1~2 수준으로 터무니없이 낮게 유지하였다, 그러나, 1~2

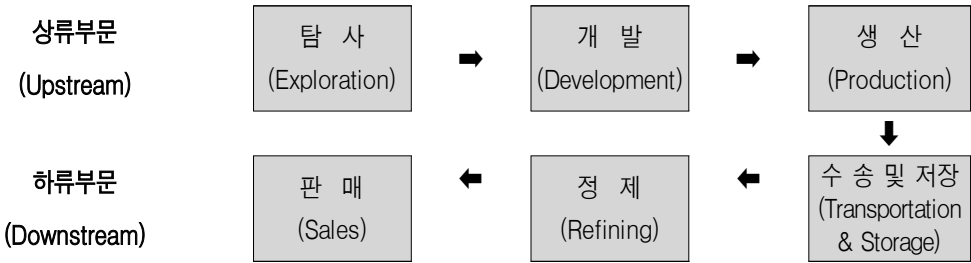
차 석유위기를 거치면서 국제유가는 \$40 수준으로 수십 배나 급등하였다. 시장에서는 유가급등으로 인한 세계경제침체에 따른 석유수요 감축은 물론, 석탄, 원자력 등의 타 에너지로의 석유대체가 발생하면서 수요는 감소하였다. 반면, 유가의 급등으로 경제성이 부족했던 유전들이 속속 공급에 참여하면서 석유공급은 크게 늘어나게 된다. 또한 70년대 유가급등으로 공급투자에 대한 기대수익률이 높아지면서 석유생산설비는 물론 정제설비, 저장설비 등 석유공급설비에 대한 막대한 투자가 이루어지고, 잉여공급능력이 크게 증가하게 된다. 이에 따라 국제유가는 1986년 \$10 이하로 폭락한 이래 \$10~20대의 지루한 저유가 시대가 2000년까지 15년간 계속된다. 70년대 고유가에 따른 높은 기대 수익률을 배경으로 막대한 석유공급설비투자가 이루어져 과도한 잉여공급능력이 발생했으나, 이후 수요 감소로 인해 잉여생산능력이 소진되지 못한 것이 저유가시대 지속의 근본원인이라고 할 수 있다.

그러나, 1986~2000년 사이의 저유가시대가 지속되면서 석유산업은 새로운 사이클에 진입할 준비를 다지게 된다. 즉, 저유가가 지속되면서 석유수요는 꾸준히 증가하게 되고, 반면 저유가 지속으로 공급에 대한 투자는 거의 중단되었다. 더구나 당시에는 IT 등 신경제가 태동하던 시기였다. 결국 돈은 높은 수익률을 쫓아 석유같은 구경제에서 IT같은 신경제로 이동하였다. 결국 석유산업에 대한 투자는 매우 부진하여, 공급능력은 증가하지 않았다. 반면, 수요가 증가하면서 잉여공급능력은 점차 소진되기 시작하였고, 2000년대 초에 이르러서는 여유생산능력이 거의 소진되는 상황에 이르렀다. 뿐만 아니라 때마침 중국경제가 태동하면서 개도국의 석유수요는 급증세를 타기 시작하였고, 여기에 2002년 베네수엘라 국영석유사 노조 파업 및 2003년 이라크 전쟁 등의 공급 압박 돌발 변수를 맞으면서, 공급능력이 병목현상에 이르게 되었다. 이러한 석유공급능력 병목현상은 공급증대에 소요되는 오랜 리드타임, 넘비 및 환경문제제약, 투자주체들의 소극적 자세 등 여러 가지 투자 제약 요인이 겹치면서 구조적 상승 요인으로 작용하였다. 결국 이러한 석유산업의 사이클 변화로 2000년대 유가는 급등 국면을 맞게 되었던 것이다.

향후 유가를 정확히 예측하기는 어렵지만, 이러한 석유산업의 구조적 변화는 앞으로도 반복해서 발생할 가능성이 높다는 점에서 유념할 필요가 있다. 석유산업 투자의 경우 대부분 10~20년 이상의 장기간이 지나야 성패가 결정된다. 따라서 단기적인 안목에 매몰되지 말고, 이러한 사이클에 관한 관점에서 장기적인 안목을 가질 필요가 있다. 단기적인 안목은 치명적인 실패를 가져올 수 있다. 많은 석유사들이 저유가 사이클의 마지막인 1998년 IMF당시를 넘기지 못하고 석유 투자를 줄인 아픈 경험은 그 한 사례가 될 수 있다.

가. 석유산업의 흐름

○ 석유산업은 상류부문(Upstream)과 하류부문(Downstream)으로 구분



○ 석유 상류부문 사업 단계

사업단계	목적	주요 작업
광구 취득 단계	탐사권리 확보	입찰, 지분참여계약, 직접협상, 자산매입
탐사 단계	석유부존 가능성 및 매장량 확인	지질조사, 물리탐사, 탐사정·평가정 시추
개발 단계	생산준비	개발계획 수립, 생산정 시추, 생산시설 건설
생산 단계	최적생산/최대회수, 수익극대화	저류층·생산시설 관리, 생산정·주입정 시추

ExxonMobil은 정유사인가?

ExxonMobil사는 매해 포춘지(Fortune) 기업 순위 상위에 오르는 초대형 다국적 기업이다. 그런데, 석유산업에 대한 이해가 부족한 일부 언론에서는 ExxonMobil을 “정유사” 라고 표기하고 있다. 이게 맞는 말일까?

결론부터 이야기하자면 석유산업을 제대로 이해하는 사람들에게는 우스갯소리로 들릴 것이다. ExxonMobil사는 대표적인 메이저 회사로서 석유개발에서 생산 판매 정제 수송 유통까지 석유산업 전 분야를 비즈니스대상으로 하는 일관조업석유회사이다. 동사가 정유업도 영위하는 것은 틀림없다. 그러나 정유업은 동사의 전 사업영역에서 일부분을 차지할 뿐이며, 전체 사업구조에서 정유업이 차지하는 비중이 큰 것도 아니다.

오히려 동사의 순이익 중 대부분(70%)은 석유개발 등 상류부문에 발생하고, 정유업 등 하류부문의 기여도는 미미한 수준이다. 동사가 국제 석유메이저로서 명성과 영향력을 행사하는 것은 사업의 일부로서 정유업을 영위하기 때문이 아니라, 높은 수익성과 강력한 경쟁력을 갖춘 상류부문을 보유한데 기인한다. ExxonMobil사는 정유사(refiner)가 아닌 “석유회사” 로 표기하는 것이 당연하다.

왜 이런 오해가 생겼을까. 아마 우리나라 석유산업 때문에 생겼을 수 있다. 우리나라는 상류부문 석유산업은 일천한 반면, 정유업은 크게 발달하였다. 우리나라의 경제성장, 특히 석유화학 산업의 발전과 함께 석유소비규모도 크게 증대하였다. 석유가 생산되지 않는 우리나라로서는 소비자 정제주의를 기반으로 이러한 경제성장에 따른 석유수요증대에 맞추어 정제규모를 크게 증대시켜왔다. 이에 따라 우리나라 석유산업은 정유업은 불균형적으로 크게 성장한 반면, 상류부문은 상대적으로 크게 부진한 형편이다.

우리나라에는 4개의 대형 정유사가 있는데 규모로나 경쟁력 측면에서 세계적 수준이다. 이 때문인지, 일부에서는 석유산업의 일부분인 정유산업을 우리나라 석유산업 자체로 오해하는 경향이 있는 것 같다. 이에 따라, 석유회사도 정유사로 오해하는 일이 발생하는 것 같다. 그러나 20세기 세계 경제와 정치를 좌우하는 석유산업의 핵심은 정유업이 아니라 석유개발을 중심으로 하는 상류 부문이다.

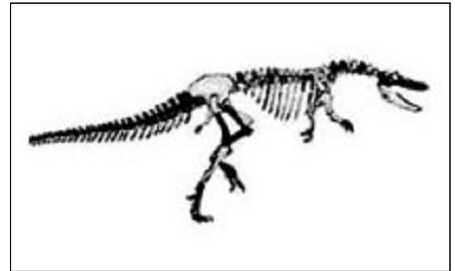
정유업이란 장치산업을 기반으로 하는 밸류체인(value chain)의 조그만 일부분에 불과하며, 사업의 본질적인 리스크가 큰 것도 아니며 이에 따른 보상이 큰 분야도 아니다. 예를 들어 시장에서 판매하는 석유제품가격(value)이 100달러라면, 이 중 90달러는 정유공장에 투입한 원유가격(value)이고 정유업이 부가한 가치는 10달러에 불과하다. 90달러의 원유가 시장에서 판매되기까지의 前 단계에서 부가된 가치는 바로 석유 상류(탐사개발)부문에서 막대한 발견 리스크 등을 매개로 창출된 것이다. 상류부문은 탐사리스크는 크지만, 성공 시 엄청난 보상을 가져올 수 있고, 이러한 상류부문이야말로 역동적인 석유산업의 핵심이고, 21세기에도 수많은 국가들이 치열한 자원 전쟁을 벌이는 원천이다. 자, 이제 ExxonMobil을 정유사로 착각하지도 말고 정유사와 석유회사를 착각하는 우는 범하지 말자.

나. 석유의 생성과 매장구조

1) 석유의 생성

○ 석유의 생성기원에 대한 학설은 유기물이 탄화수소로 변화하였다는 유기성인설(Organic Theory)이 우세함

- 유기성인설은 태고에 지하에 매몰된 유기물이 지열과 지압, 토양의 촉매작용으로 탄화수소로 변성했다는 학설임
- 현재 석유가 발견되는 곳은 대부분 과거 얕은 바다나 호수 밑의 퇴적암이라고 주장
- 석유성분 속에 질소, 황 등 불순물을 함유하고 있으며, 이 불순물은 유기물인 단백질 분해에 의해 생성된다고 주장



▶ 석유는 주로 백악기 및 쥐라기 지층에서 발견되는 것으로 보아 그 기원이 대략 1억 년 전으로 추정

- 한 때, 지하의 금속탄화물과 물이 고온고압 하에서 반응하여 탄화수소가 되었다거나, 지하에서 탄소, 수소, 물, 황 등이 섞이면서 고온고압으로 반응하여 탄화수소가 발생했다는 무기성인설(Inorganic Theory)이 있었으나 보편적 지지를 받지 못하고 있음

○ 근원암(Source rock)에서 유기물이 압력과 온도에 의해 석유, 가스가 생성됨

- 미세한 생물 사체인 유기물은 대부분 빠르게 부패하여 분해되나, 산소가 부족한 해저면에 가라앉은 점토에 묻히는 경우(퇴적) 공기가 없는 곳에 활동하는 혐기성 박테리아가 작용하며, 이에 더해 수압과 퇴적층 자체 무게가 작용하여 석유기원 물질이 밀폐되며 이에 따라 석유, 가스 형성 조건을 갖춘 암석(kitchen)이 형성됨
- 고온, 고압 환경에서 석유기원 물질인 케로젠(Kerogen)으로부터 석유, 가스가 생성되는 과정을 성숙(mature 또는 cooking이라고도 칭함)이라고 하며, 이 작용이 일어나는 암석을 근원암(source rock)이라고 칭함
- 케로젠이 100℃ 이상에서 수소, 탄소 분자가 긴 체인으로 변화하여 왁스 성분이 많고(waxy) 점도가 높은(viscous) 중질(重質) 석유가 생성되며, 100~160℃에서는 경질

석유를, 160℃ 이상에서는 가스가 형성됨

- 케로젠(Kerogen)은 탄수화물과 단백질이 부패한 후 남은 물질이 유기물과 작용하여 형성된 물질임
- 단, 육상 식물로부터 기원한 케로젠의 경우 탄소원자가 하나인 메탄가스를 형성되는 경우가 많음

2) 석유의 이동과 집적

○ 생성된 석유, 가스는 근원암과는 다른 암석으로 이동(Migration)함

- 근원암에서 성숙된 석유, 가스는 암석 내부의 압력에 의해 암석 내 미세 공극¹⁾ 또는 틈새를 따라 압력이 낮고 공극이 큰 공간으로 이동함
- 대부분의 경우 석유와 같이 존재하는 물의 압력에 의해 상향함
- 이동 거리는 수 내지 수십 km이나, 시간은 수백만 년 이상 소요됨
- 만일 이동이 지속되어 지표면 가까이까지 올라오는 경우 석유, 가스 내 포함된 물이 증발하면서 점성이 매우 강한 타르만 남게 됨

○ 저류암(Reservoir rock)에 이동된 석유가 집적됨

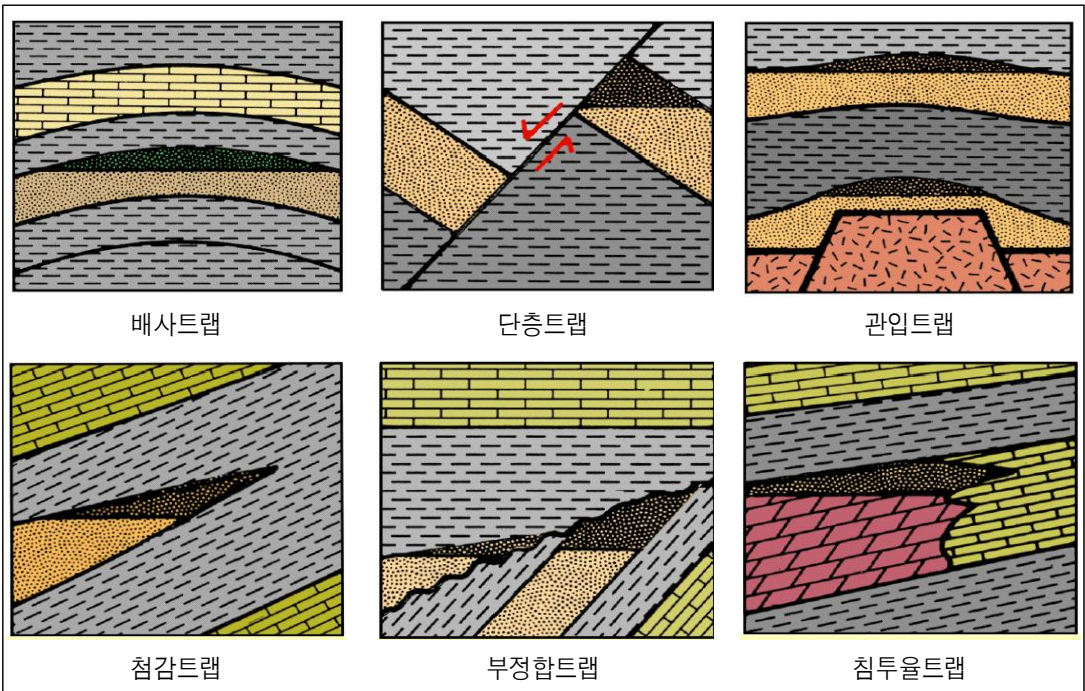
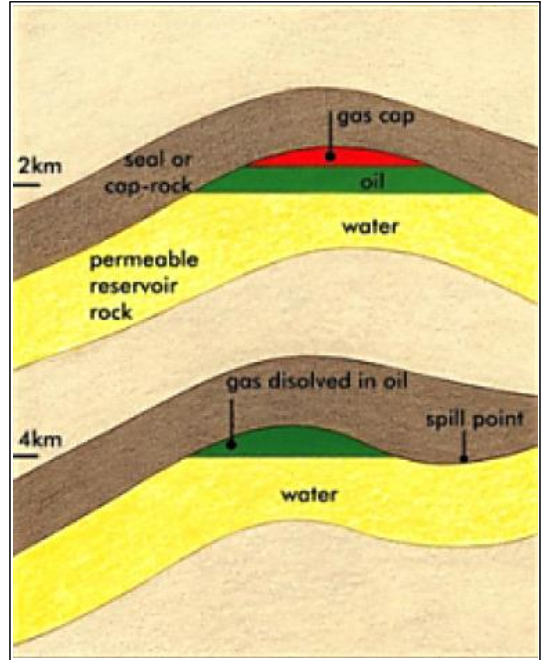
- 근원암에서 생성된 석유, 가스가 투과율이 높은 지층(주로 사암, 균열이 있는 석회암 등)을 통한 상향 이동은 투과율이 낮은(치밀한) 지층(주로 점토, 암염 등)을 만날 때까지 지속됨
- 투과율이 낮은(impermeable) 암석이 석유, 가스의 이동을 막는 덮개 역할을 하기 때문에 이를 덮개암(cap rock)이라고 함
- 덮개암 아래에는 이동된 석유, 가스가 집적되어 있는데, 집적되어 있는 지층을 저류층(reservoir)이라고 하며, 이 암석을 저류암(reservoir rock)이라고 함
- 저류암에는 비중이 큰 물이 가장 아래 부분을 차지하며, 그 위에 석유, 가스 순으로 부존되어 있음

1) 공극(Pore) : 단단한 암석 입자사이의 공극. 공극은 물이나 가스, 석유 등에 의해 침적암에 생김. 1차 공극은 침적암이 처음으로 침적될 때 생기며 2차 공극은 표면에서 나타남. 공극형태는 기하학적(geometry), 기원(origin), 위치(location)에 따라 표현.

○ 트랩(Trap)은 석유가 매장되어 있을 만한 지질구조를 칭함

- 일반적으로 석유가 발견되는 배사(背斜) 트랩은 퇴적 당시에는 수평이었던 지층이 지각의 변동으로 밀리고 구부러져 아치모양의 구조를 가지게 된 트랩을 일컬음 (대부분의 전통적인 석유가 이 구조에서 발견됨)
- 이외에 단층트랩(단층에 의해 저류층이 절단되고 그 절단부를 정점으로 석유가 집적된 구조), 관입트랩(암염과 용암이 지층에 관입하여 형성된 구조), 층위트랩(침감(尖滅)트랩, 부정합트랩, 침투윌트랩) 등이 있음

석유저류층(배사트랩)의 구성



다. 상류부문 단계

○ 석유 상류부문은 광구취득단계, 탐사단계, 개발단계, 생산단계로 구분됨

석유개발 과정



1) 광구취득 단계

○ 광구취득단계에서는 석유가 발견될 만한 광구를 탐색하고 이에 대한 탐사권 및 생산권을 확보하는 것을 목표로 수행하는 단계임

- 광구를 취득하기 전 유망성 여부를 판단하기 위한 방법으로 해당 또는 인근 지역의 기존 조사 결과 등을 분석
- 또한 경제성 여부 및 정치적 리스크 여부를 평가하기 위해 다양한 정보를 수집, 분석

- 광구를 취득하는 방법에는 해당 소유권자와 직접 거래조건에 대한 협상을 통해 취득하는 방법과 사전에 정해진 일정한 규칙을 공표하고 공개입찰을 통해 취득하는 방법이 있음
 - 직접 협상의 경우 비공개적으로 이루어지기 때문에 해당 광구 소유권자(주로 정부)는 특정기업을 유치할 수 있고, 참여기업은 유망 광구를 불확실성 없이 취득할 수 있는 장점이 있으나, 적정 가격에 대한 불확실성이 존재하는 단점이 있음
 - 반면, 공개입찰의 경우 투명성을 확보할 수 있으나, 유찰될 가능성도 있음
- 광구에 대한 탐사, 개발, 생산 권리를 이미 다른 주체가 소유하고 있는 경우 해당 자산 또는 권리 일부 내지 전부를 사는 방법(자산인수)이 있으며, 해당 자산을 보유하고 석유 개발 활동을 수행하는 기업을 인수(기업인수)하는 방법이 있음

2) 탐사(Exploration) 단계

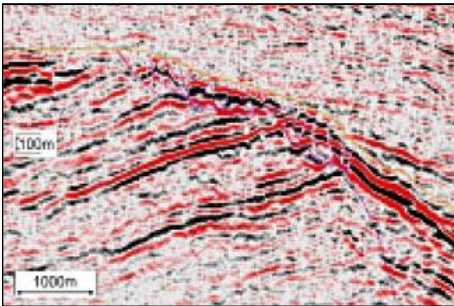
- 탐사(Exploration)단계는 석유 부존이 가능한 지역을 탐색한 후 탐사정과 평가정 시추를 통해 실제 매장량과 경제성 여부를 확인하는 과정임
 - 대표적인 작업으로는 지질지표조사, 물리탐사, 탐사시추, 평가시추 등이 있음
- 지표지질조사 작업은 지층의 형성시기, 근원암 및 저류층의 발달가능성, 지각운동의 흔적(습곡, 단층, 화산활동 등) 및 지층의 형태 등을 조사하여 지하지질구조 및 석유부존 가능성을 예측하는 작업 단계임
 - 지질조사는 항공사진 등을 통해 지표사진을 판독한 후 직접 탐사를 통해 퇴적분지를 구성하는 암석층의 종류, 지층의 층서관계, 근원암 및 저류암의 발달 정도 등을 파악
 - 원격탐사 결과 인지된 지형과 이와 관련된 지하 지질구조를 암시하는 습곡, 단층, 균열대 등을 직접 탐사
 - 지질학자들의 현장답사 결과 확보된 각종 지질 정보와 각종 조사 보고서 및 도면 등을 활용
- 물리탐사는 대상물의 여러 가지 물리 현상을 측정하여 지하의 암석분포나 퇴적분지의 존재여부 판단을 통한 석유부존 가능성이 높은 유망구조를 도출하는 작업임

- 주요 방법으로는 중자력탐사, 탄성파탐사 등이 있으며, 자료를 취득(acquisition)하고 전산처리(processing) 및 해석(interpretation)하는 과정을 거침
- 중자력탐사는 지하에 분포하는 암석의 밀도와 자력의 물성차이를 이용, 중력 및 자력 값을 측정하여 지하의 암석분포(퇴적암·화성암)나 퇴적분지의 존재 여부를 판단하는 탐사방법으로 항공기나 탐사선에 장비 탑재
- 탄성파 탐사는 지표 또는 해상에서 인위적으로 탄성파를 발사하고 지하지층의 경계면에서 반사되어 돌아오는 반사파를 기록한 후 전산처리 및 해석 작업을 거쳐 석유부존 가능성이 높은 유망구조의 이미지를 도출하는 작업

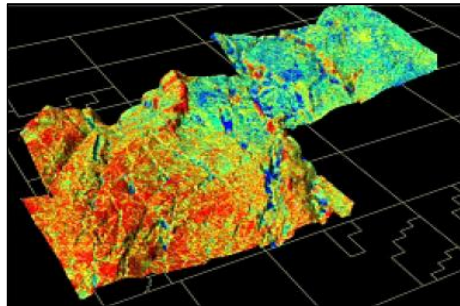
탄성과 탐사 자료 취득 방법

- 탄성과 탐사는 최종 도출 도면에 따라 2차원 탐사와 3차원 탐사로 구분됨
 - 2차원 탐사는 최종적으로 수직방향의 지층 단면도를 구하며, 3차원 탐사에서는 수직 및 수평방향의 단면도를 구함

2차원 탄성과 탐사 결과

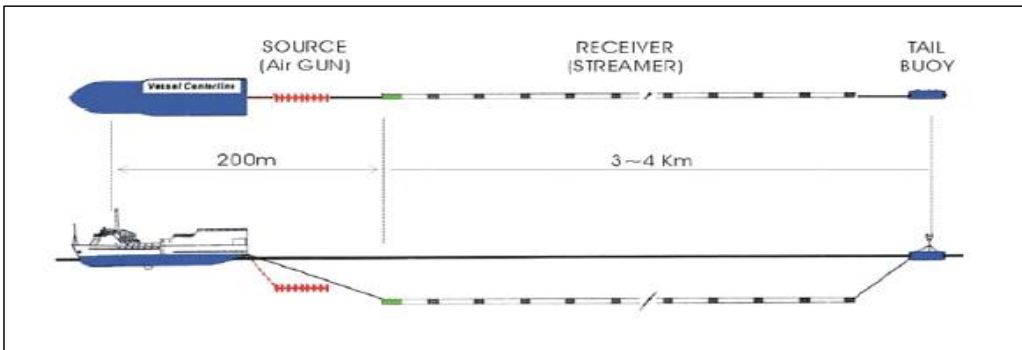


3차원 탄성과 탐사 결과



- 탄성과 탐사는 자료 취득(Acquisition), 자료처리(Process), 해석(Interpretation) 과정을 통해 최종 단면도를 도출
- 탄성과 자료 취득(Acquisition)을 위한 장비는 탄성파를 발생시키는 음원(Source)²⁾, 탄성과 신호를 수신할 수 있는 수신기(Receiver)³⁾ 및 자료를 처리하여 저장하는 시스템 장비⁴⁾로 구성
 - 2차원 탄성과 탐사는 탄성파 음원으로부터 일정방향으로 동일간격의 수신기가 달린 1개 line의 streamer⁵⁾를 설치하여 자료를 획득하는 기법으로 수직방향의 지층 단면도를 구할 수 있음
 - 2차원 탄성과 탐사는 주로 광역탐사에 행해지며 축선 간격이 보통 1km 이상에서 수십km까지 다양

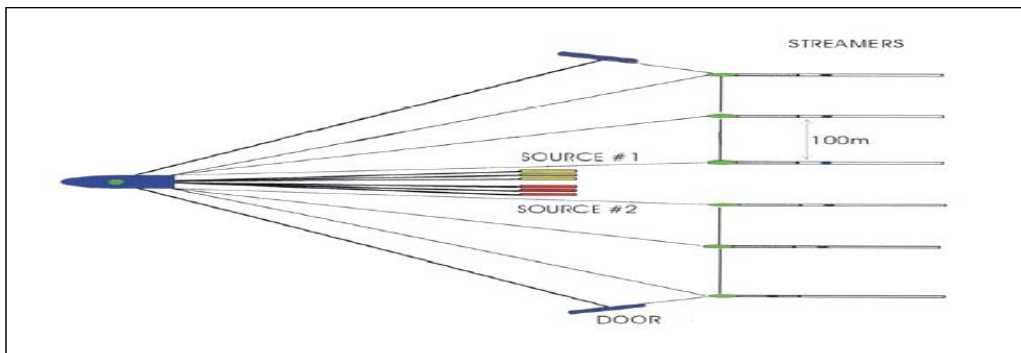
2차원 탐사



* Air Gun : 탄성과 탐사 시, 음파를 발생시키는 음파발생기. 수초에 한 번씩 일정한 간격으로 압축공의 파열음 발생

- 3차원 탄성과 탐사는 탄성과 음원으로부터 여러 개 line의 streamer를 설치하여 자료를 획득하는 기법으로 수직 및 수평 단면도를 구할 수 있어, 주로 시추위치 선정 및 매장량 평가 등 정밀탐사를 위해 행해짐
- 탐사축선 간격은 경우에 따라 다르나 최대 50m를 넘지 않음

3차원 탐사



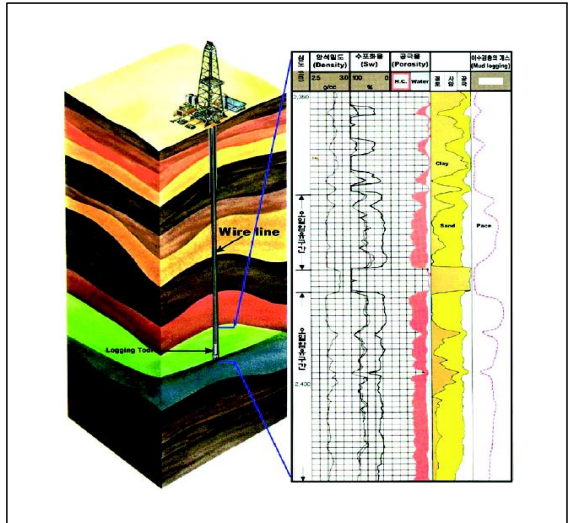
- 탄성과 탐사 자료의 처리 및 해석
 - 탄성과 탐사장비에 의해 수집된 신호는 지구물리학적 처리를 거쳐 지하구조를 영상화하는 자료 처리(processing) 과정을 거침
 - 지하 내부의 형태를 이미지화하여 이를 해석(interpretation)한 후 저류층 및 저류암의 존재가치를 확인하고, 층서 및 구조해석, 유망구조 도출, 매장량 평가, 위험도 분석, 시추위치 선정 등에 핵심 자료로 활용

- 2) 음원(Source) : Vibrosis(육상), Air-Gun(해상)
- 3) 수신기 : 크게 Geophone과 Hydrophone으로 나누며 Geophone은 육상탐사에, Hydrophone은 해상탐사에 사용됨
- 4) 시스템장비 : 수신기에 수신된 탄성과 신호는 전산시스템으로 실시간 전송되어 디지털플렉싱 처리되어 seismogram이라는 탄성과 자료로 저장됨
- 5) streamer : 탄성과 탐사선으로 예인하는 긴 케이블로 수중청음기와 기타 음파기기들이 부착되어 있음

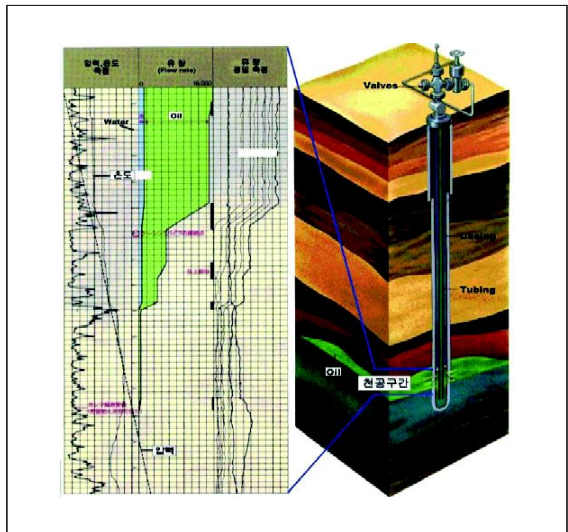
○ 탐사시추는 탄성파탐사에 의해 도출된 유망구조에 대하여 직접 굴착하여 석유의 부존 및 상업성 여부 등 개발(Development) 단계 진행을 위한 핵심 정보를 수집하는 작업임

- 탐사시추로 부존여부를 확인해야 부존된 석유, 가스를 매장량(reserve) 항목으로 분류할 수 있으며, 탐사시추가 수행되지 않을 시에는 자원량(resource) 항목으로 분류
- 탐사시추 후에는 물리검층을 수행하여 저류 구간 및 물리적 특성을 판단
- 시추공 내 측정 장비를 투입하고 지층에서 자연적으로 발생하는 물리현상이나 인공적 음파, 중성자, 전자, 감마선 등을 방사하여 이에 대한 반응을 기록하여 해석하는 작업을 말함
- 암상판별(감마검층, 자연전위검층), 공극률 측정(음파검층, 밀도검층, 중성자 검층), 수포화도 측정(비저항검층), 기타(경사검층, 압력측정, 시멘트본드검층 등) 작업 수행

물리검층



산출시험

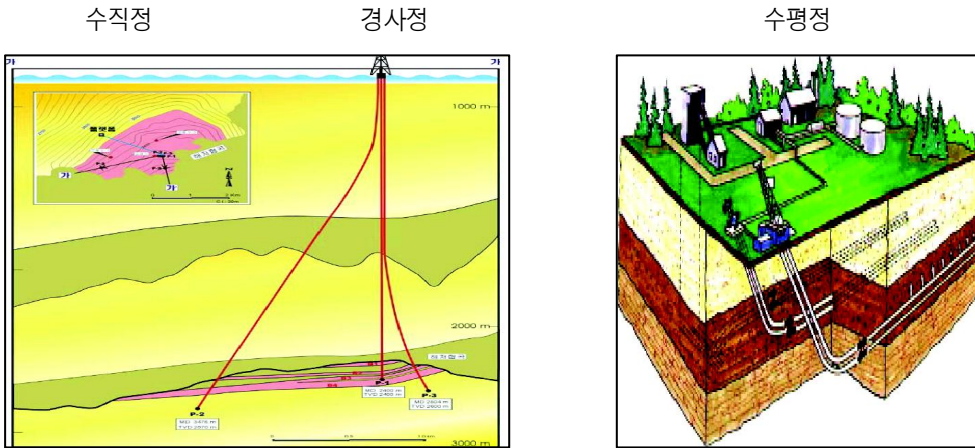


베트남 15-1광구 SD-X공 산출시험 장면



시추정의 분류

- 시추정은 석유개발 단계에 따라 탐사정, 평가정⁶⁾, 생산정(주입정)으로 구분됨
 - 탐사정(Exploration Well) : 새로운 탄화수소원을 찾기 위하여 굴착한 유정으로 새로운 유전의 와일드 캣(Wild Cat) 유전이나 기존 유전에서 새로운 유층을 찾기 위하여 굴착하는 유정도 포함. 이런 의미에서 평가정(Delineation Well) 역시 탐사정
 - 평가정(Appraisal Well) : 발견된 석유·가스의 가치를 위하여 굴착하는 일종의 탐사정으로 유전의 개략적인 윤곽을 평가하고 매장량 규모를 산정하기 위해서 굴착
 - 생산정 : 기발견되고 평가가 완료된 유정에서 최대한 석유, 가스를 생산하기 위해 굴착
 - 주입정 : 최초 생산 이후 유정의 압력이 하락하면 압력을 유지하기 위해 물이나 가스 등을 주입
- 시추각도에 따라 수직정, 경사정, 수평정으로 분류

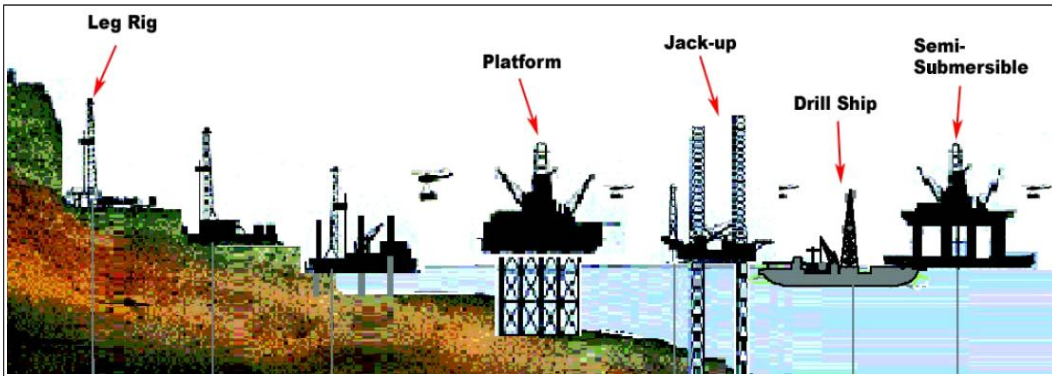


6) 평가정(Appraisal Well) : 발견된 석유·가스의 가치를 위하여 굴착하는 일종의 탐사정으로 유전의 개략적인 윤곽을 평가하기 위하여 굴착

시추선의 종류

- 시추를 위한 시추선은 플랫폼(Platform), 승강식(Jack-up), 반잠수식(Semi-submersible), 드릴십(Drill Ship) 등으로 구분할 수 있음
 - 플랫폼은 해저면에 설치된 철골구조물이 해수면 상의 Derrick⁷⁾을 지탱, 위치를 고정시켜 시추를 진행하는 시추선을 말함
 - 승강식 시추선은 낮은 수심의 천해에서 주로 작업하며, 3~6개의 Leg를 해저면에 고정시켜 시추를 진행
 - 반잠수식 시추선은 Lower Hull⁸⁾의 빈 공간에 해수를 유입 또는 배출하여 Draft⁹⁾를 조정하고 8~10개의 Anchor를 전개하여 위치 고정 및 시추 진행
 - 드릴십은 자항(Self Propelling)이 가능한 선박에 시추장비를 탑재한 형식의 시추선으로, 8개의 Anchor, Dynamic Positioning 또는 양자를 병행하여 시추선 고정하여 시추를 진행하는데, 주로 심해시추용으로 건조됨

시추선 종류



7) Derrick(시추탑) : 시추선 갑판에 세워진 탑으로, 드릴스트링(Drill String)을 인양 또는 하강시키는데 사용되는 권양장비를 지지함.

8) Hull(선체) : 선박의 뼈대 또는 동체, 반잠수식에서는 안정각주를 지지하는 부분으로 작업 시에는 완전히 잠수됨. 선체의 형태 중에는 단순히 부선형, 작업을 좀 더 효율적으로 하기 위한 선박형, 추진 장치가 있는 혼합형 등이 있음.

9) Draft(흘수) : 선박이나 시추선이 물속에 침수된 깊이

시추 시 위험요소

- 시추작업 진행 중 발생할 수 있는 시추공 지질 여건에는 일수현상(Lost Circulation), 시추관 고착(Stuck Pipe), 유해가스, 유정폭발(Blowout) 등이 있음
 - 특히 시추 시 시추정 내 압력 관리에 문제가 있을 시 지층압이 정저압보다 높아지면 지층 유체가 시추정 안으로 유입되는 킁(kick)이 발생하며, 이를 통제하지 못할 경우에는 유정폭발(Blowout)이 발생함
 - 시추작업 중 주요 위험요소인 kick의 발생을 인지하고 통제하는 작업을 유정통제(well control)이라고 하며, 대표적인 장비로 방폭장치(BOP, Blowout Preventer)를 설치
 - Blowout 발생 시에는 인력 및 재산 손실, 법적·재정적 제재 등 큰 문제를 가져옴

3) 개발(Development) 단계

- 개발(Development) 단계는 상업성이 확인된 유가스전에 대해 생산시설 건설 등을 통해 본격적 생산을 준비하는 단계임
 - 탐사단계에서 취득한 정보를 종합 분석하여 유전평가, 개발계획 수립, 생산시설 건설, 생산정 시추 등의 작업을 통해 최적생산조건으로 부존된 석유를 최대한 생산하도록 준비하는 단계임
- 유전평가는 유전 및 가스전 평가로 탐사단계에서 취득한 지질, 지구물리 및 시추 결과 등 모든 자료를 이용하여 저류층의 특성을 파악하여 다양한 개발 시나리오에 따른 매장량 및 생산량을 예측하는 작업임
 - 저류층 특성화
 - 저류층 모델, 매장량 평가 및 생산성 분석에 필요한 저류층 인자 도출
 - 지구통계적 기법을 이용하여 저류층 특성 규명
 - 저류층 시뮬레이션
 - 가상의 저류층 모델을 구성하고 이 모델을 이용하여 가상의 생산 시나리오 속에서 시간대별 생산량을 예측
 - 유전평가 결과를 토대로 유전 개발계획(개발 시나리오 및 생산 예측 등) 수립

- 개념설계 : 기술 및 경제적 타당성을 비교하여 최적의 개발옵션 선정
- 기본설계 : 전체적인 타당성을 점검하고 보다 구체적인 계획 수립
- 세부설계 : 기본설계를 토대로 각 생산시설별 세부 설계 실시

○ 최대생산을 목적으로 최적 지점에 생산정 시추

- 생산정 시추 : 석유의 생산을 위한 시추공으로 시추 후 유정완결 작업 수행
- * 유정완결 : 시추 후 튜빙¹⁰⁾, 스크린 등 생산설비를 설치하는 작업

○ 생산정 시추작업과 함께 개발단계의 주요 작업인 생산시설을 제작하고 제작된 생산설비를 현장에서 조립·설치 작업이 병행됨

- 해저에는 크리스마스 트리(Christmas Tree, 또는 생산 트리), 플로우라인(Flowline), 생산제어시스템(Master Control Station), 해저주통제선(Umbilical) 등이 설치됨
- 크리스마스 트리는 생산정두에 설치되어 석유의 생산량을 조절하고 온도 및 압력을 측정하는 장치임
- 해상의 경우 플랫폼을 설치하며, 플랫폼 위에는 생산과 관련된 처리시설과 거주시설, 갑판(Deck)¹¹⁾으로 구성됨
- 해상 플랫폼은 자켓(jacket)식, 중력식, TLP(Tension Leg Platform), 부유식 생산저장 하역시설(FPSO, Floating Production, Storage, and Offloading) 등으로 구분
- 처리시설에서는 생산된 석유와 가스, 물의 분리 및 처리 공정이 이루어지며, 발전시설, 가압기 등의 시설이 설치됨
- 천해의 경우 해상 플랫폼에서 처리된 1차 처리(수분제거)된 유체를 해저 파이프라인을 통해 육상으로 이송하여 다시 가스와 컨덴세이트를 분리 후 파이프라인 또는 유조선 등을 통해 수송할 준비를 완료
- 심해에서 FPSO를 이용하는 경우에는 FPSO에서 처리 공정을 수행하며, 하역 작업까지 수행

10) 튜빙(Tubing) : 석유 또는 가스를 지표로 유출시키기 위하여 유정 내에 설치한 소구경 강관으로 보통 외경 3/4" ~ 4 1/2" (19.05~114.3mm), 중량 1~12 lbs/ft(1.5~18kg/m)의 것을 많이 사용.

11) Deck(갑판) : 해상 플랫폼의 평면 작업구역을 지칭하는 일반적인 용어. 그러나 특별히 잭업리그(Jack-up Rig)의 수평바지(Barge), 반잠수식 시추선의 선복 위의 플랫폼, 자켓(Jacket) 위에 설치되어서 데크모듈(Deck Module)이나 시추장비 및 생산시설 등을 설치하는 영구 플랫폼의 사전 조립된 부분 등을 지칭하기도 함

X-mas 트리



해상처리시설 (플랫폼 상부)



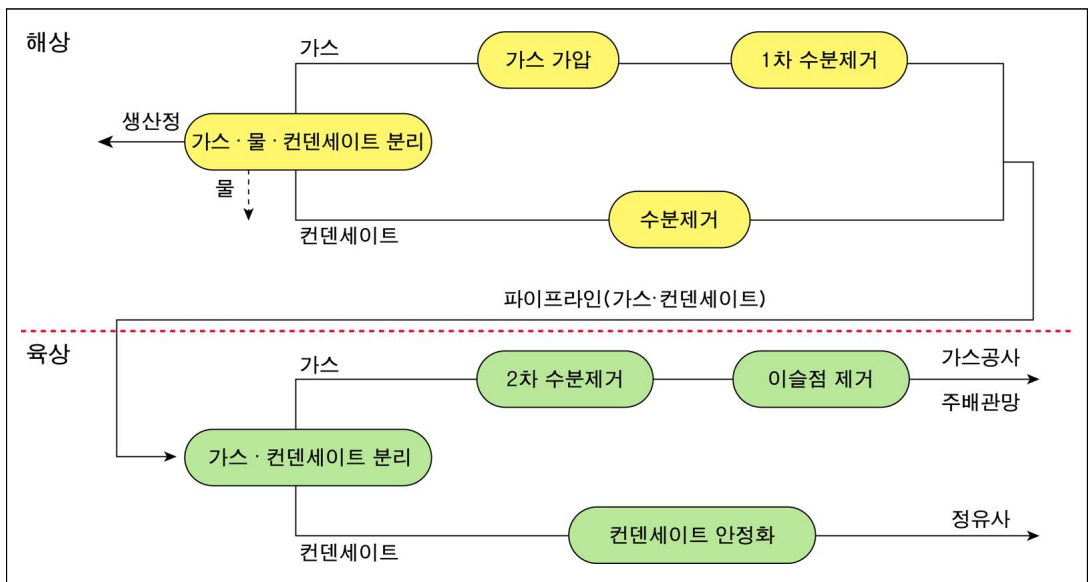
파이프라인



육상처리시설



동해-1 가스전의 생산처리 공정 개략도



4) 생산(Production) 단계

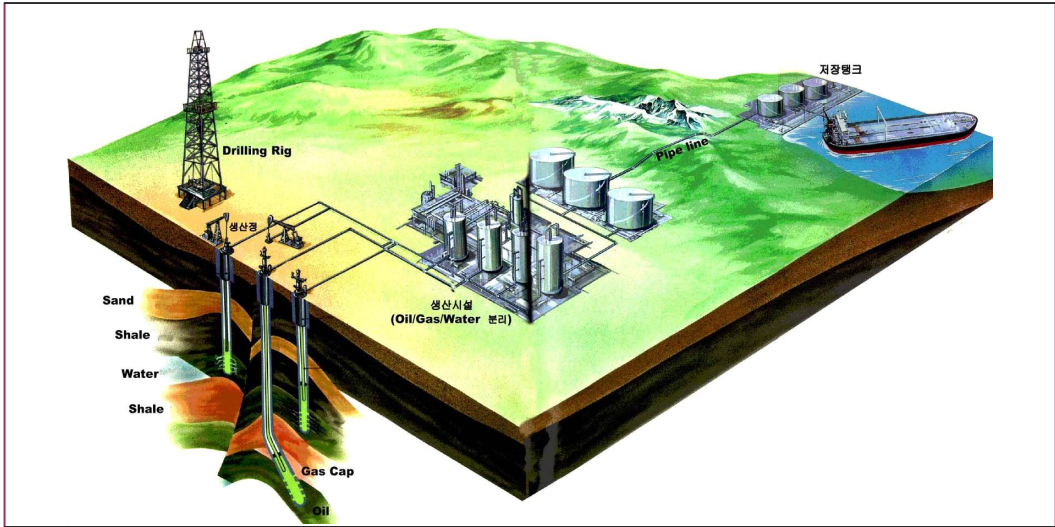
- 개발단계가 완료되면서 본격적인 석유생산단계에 돌입하는데, 생산단계는 최적생산조건을 유지하여 부존된 석유자원의 총 회수량을 최대한 끌어올리고, 석유생산량 예측 및 최적 생산을 위한 저류층 관리, 회수증진, 생산시설 유지관리 등을 의미함
 - 생산 초기에는 석유층 밑에 존재하는 물의 압력에 의해 석유가 자연히 지상으로 분출하게 되나, 이러한 자연적인 압력차로 생산되는 석유의 회수율은 20% 내외에 불과

- 저류층 관리
 - 생산예측 : 생산정 및 저류층의 동향을 지속적으로 관찰·분석하여 장단기 생산량 예측
 - 생산최적화 : 저류층 동향 및 생산 시스템을 종합적으로 분석하여 생산량 최적화

- 회수증진(EOR : Enhanced Oil Recovery)
 - 생산이 개진된 유전은 시간이 갈수록 지하의 자연압력이 감소하여 생산량이 감소함
 - 이에 따라 생산이 일정 수준 이상 이루어진 후에는 다양한 방법을 통해 생산량을 증대하는 회수증진 기술이 필요함
 - 추가시추 : 생산정간 추가적인 시추를 통해 생산량 증진
 - 수 공 법 : 생산정으로 물 주입을 통한 석유 회수율 증대
 - 화 공 법 : 주입유체의 화학적 성질을 이용한 석유 회수율 증대
 - 인공채유법 : 공저펌프 등을 이용하여 생산량 증대

- 생산시설 유지관리
 - 생산물 처리 시설 유지 보수 및 환경오염 방지
 - 이상 징후 감지 및 설비 최적 상태 유지
 - 노후 설비 교체

석유 생산 현장 조감도



라. 비전통석유 개발 단계

1) 비전통석유 프로젝트의 특징(전통석유와 비교)

- (매장량) 일반적으로 지질 조사를 통해 셰일 부존을 확인한 상태
 - Pilot test(시추)를 통해 회수가능성(초기 생산량, 공당 생산량, 생산정수, 생산반경, 감퇴율 등) 입증(test 전은 발견잠재자원량, 전통석유 매장량 분류와 동일)
- (사업 단계) 전통석유 분류와 동일하게 상업성 확인 전은 탐사단계

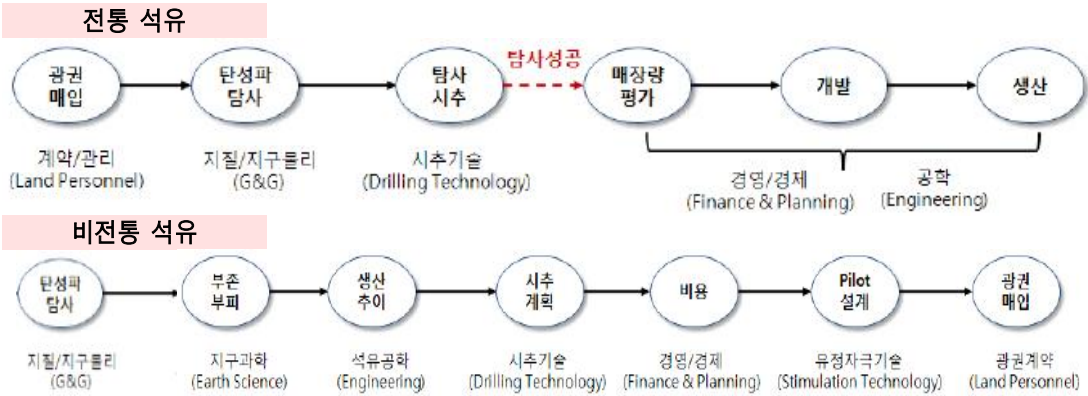
비전통석유의 개발 단계

전통 석유자원	비전통 석유자원	
	분류	내용
탐사 단계	파일럿 생산 단계	파일럿 시추공 시추 (단위 생산정의 생산 특성 파악)
개발 단계	개발 계획 단계	유가스전 내에 시추 가능한 최적의 시추 공수와 fairway(개발지역) 파악
생산 단계	생산 단계	본격 생산 단계

* 자료 : (사)한국지구시스템공학회, 국내 유가스 매장량 평가기준 표준화 연구, p.36, 2009.6월

○ (사업 참여) 충분한 매장량과 회수율을 사전에 확인하는 것이 중요

- pilot 생산단계에서 파악된 정보(생산추이, 시추계획, 비용 등) 종합 평가후 개발 여부 광권 매입 결정(전통 석유 : 탐사시추 성공률이 중요 인자)



* 수정인용 : 이근상, 매장량 평가-비전통 자원, 2013년 자원개발아카데미, 2013.9월

2) 오일샌드(Oil sands)의 생산 공정 및 프로세스

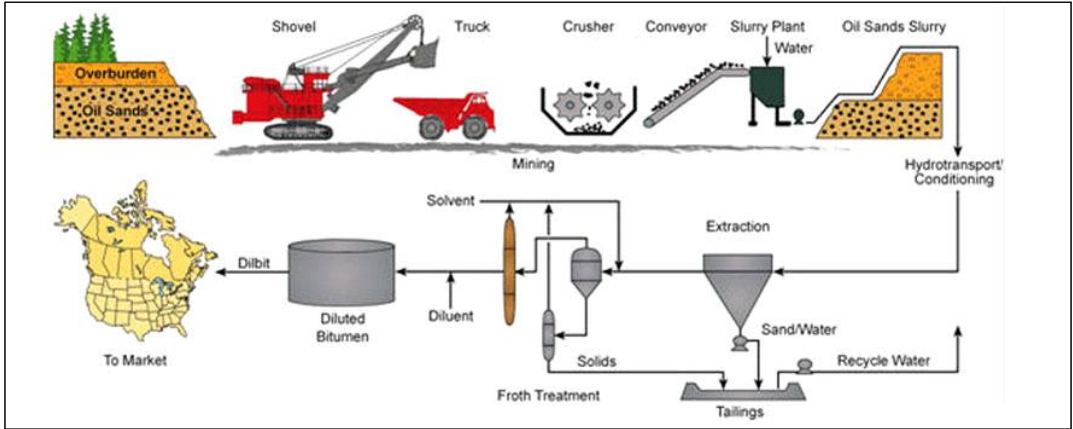
○ 고체상태인 오일샌드에서 비튜멘을 분리·생산하여 경질원유와 희석하여 중질원유로 판매하거나, 개질공정을 거쳐 합성원유(SCO : Synthetic Crude Oil)를 생산



○ 오일샌드는 매장되어 있는 심도와 부존상태에 따라 생산방식이 노천채굴, 지하회수(또는 열 회수)로 대별됨

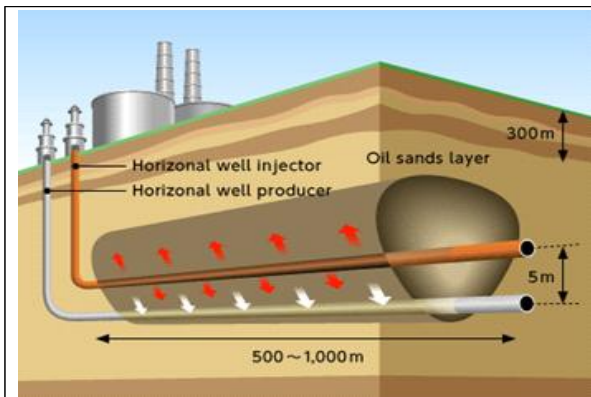
- 노천채굴(open pit mining)은 대형트럭과 셔블로 채굴하여 뜨거운 물과 혼합하여 슬러리(slurry) 상태로 만들어 송유관을 통해 분리공장으로 수송

오일샌드 노천채굴 처리과정 (Imperial사의 Kearl Oil Sands Project)

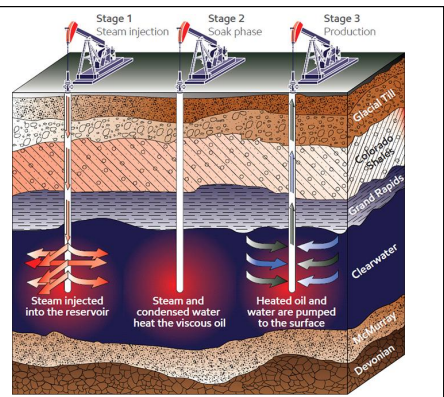


- 지하회수(in situ) 생산 방식으로는 SAGD(Steam Associated Gravity Drainage), CSS(Cyclic Steam Stimulation) 등이 있음
- SAGD는 수평정 2공(스팀 주입정, 생산정)을 시추하여 스팀을 주입 후 중력에 의해 흘러 내리는 비튜멘을 생산하는 방식으로 가장 널리 사용되고 있음
- CSS 방식은 스팀 주입정과 생산정이 동일하며, 스팀을 대상 저류층에 주입하여 스팀이 완전히 포화될 때까지 shut-in 후 생산을 하는 방식

오일샌드 지하회수 방식(SAGD)



오일샌드 지하회수 방식(CSS)



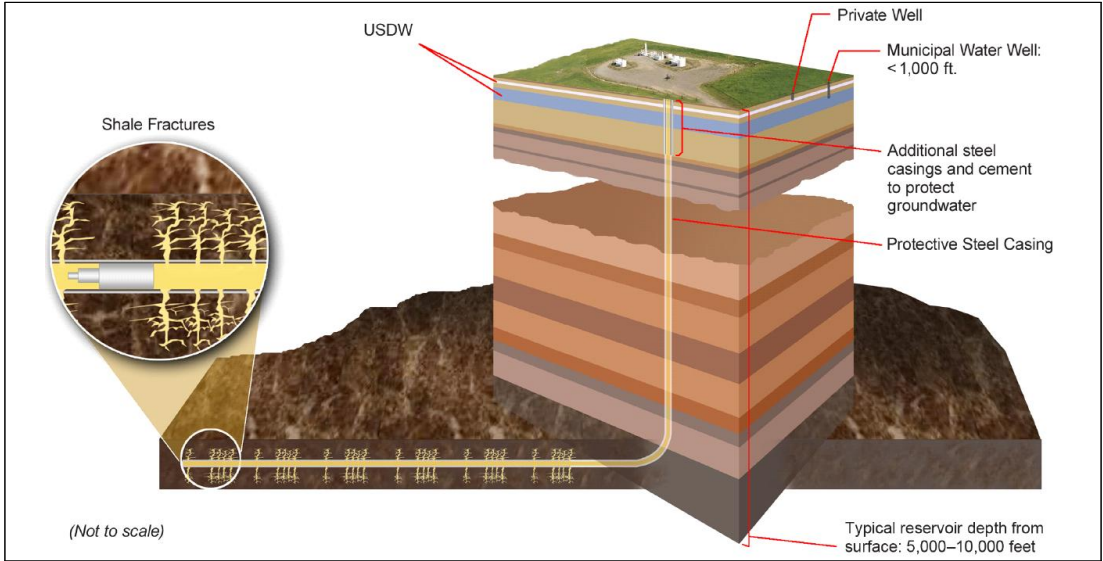
3) 셰일의 생산 공정 및 프로세스

- 퇴적암의 일종인 셰일층에 수평정 시추와 수압파쇄(Hydraulic fracturing) 유정자극을 통해 이동 없이 부존되어 있는 원유와 가스를 생산
 - 일반적으로 사암층과 탄산염층에서 생산되는 전통가스층과는 달리 투과율이 낮아, 인위적으로 자극을 주어 투과율과 유동성을 부여하여 생산

- 셰일 생산 기술과 공법은 크게 수평정 시추와 수압파쇄를 결합한 것으로, 60년 전부터 전 통석유 생산을 위해 사용하던 기법
 - 목표 셰일층에 수평정을 시추한 후 셰일층에 천공 후 물, 모래(프로판트) 등을 고압으로 주입하여 셰일층에 crack을 만들고 원유와 가스가 새어 나오도록(유동성 부여) 하여 생산



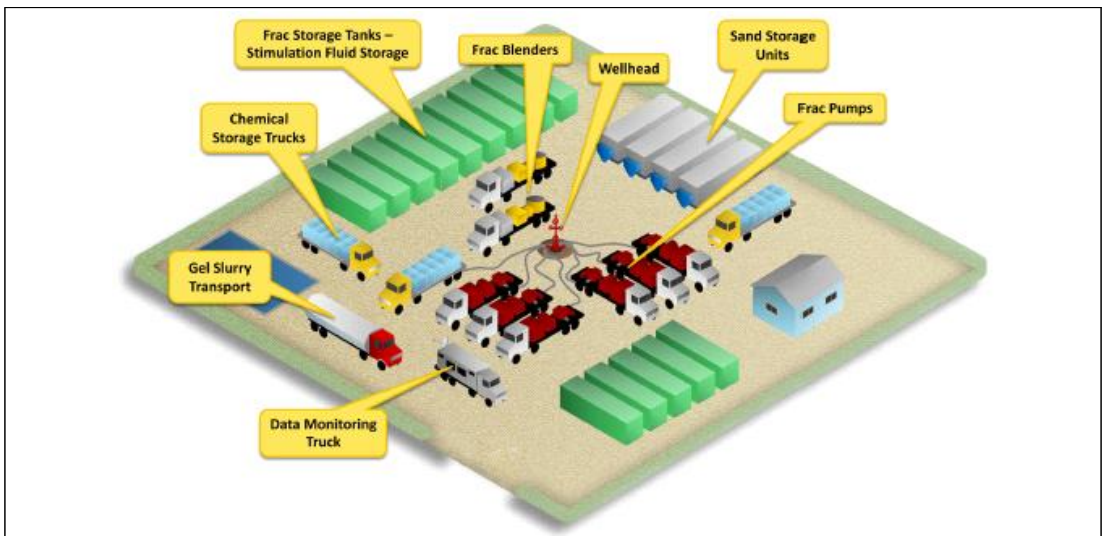
세일 수평정 시추 및 수압파쇄 모식도



* 자료 : 미국 에너지부

- 지하에 흐르지 않는 원유가스를 인위적으로 생산하기 위해 지상에는 여러 대의 가압펌프 트럭, 수압파쇄 혼합장치, 물과 모래 등 저장소 등이 밀집해 있고 효율적 운영 필요

세일 수압파쇄 현장 지상시설 모식도



* 자료 : 미국 에너지부

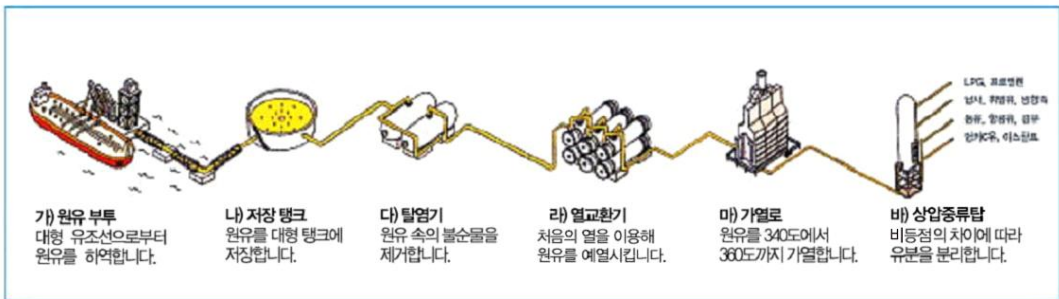
- 셰일 오일 · 가스도 비전통석유 중 하나로 비용이 많이 소요되지만, 비용과 시간을 줄이고 단위당 생산성을 향상시키는 노력을 통해 경제성이 높아짐
 - 최근에는 유정마다 시추기를 이동하지 않고 한 지점에서 여러 유정을 시추하는 pad drilling이 보편화되고 있으며 수평정의 길이도 지속 연장 되고 있음
 - 수압파쇄에 사용되는 물과 모래(또는, 인공모래 proppant)의 사용량 증가 등 생산성이 지속 향상(bigger fracs)되고 있음

마. 하류부문 개요

< 석유정제 >

1) 제품 전 처리 단계

석유제품이 나오기까지



- 가) 보통 중동에서 우리나라까지 약 2만 5천 킬로미터를 달려온 원유는 정유공장 앞바다에 도착한 후 하역시설을 거쳐 원유저장탱크로 이동
- 나) 가압펌프를 거쳐 원유 저장탱크로 이동된 원유와 탱크지붕 사이의 공간에 유증기가 차 있을 경우 폭발할 위험성이 있기 때문에 유증기는 탱크 상단의 파이프를 통해 배출
- 다) 저장탱크를 떠난 원유는 염분을 포함하므로 그대로 증류하면 염이 분해되어 염산과 같은 산을 생성하여 장치를 부식시키고, 가열로나 열교환기, 증류탑 내부 등에 달라붙어 장애를 일으키므로 탈염과정을 거침

- 라) 탈염기에서 나온 원유는 고온의 유체흐름을 이용해서 원유를 예열하는 열 회수시설인 열교환기를 거치면서 240~260℃ 정도로 온도가 높아짐
- 마) 예열을 마친 원유는 가열로로 보내지는데, 가열로에는 파이프가 직렬 또는 병렬로 연결되어 전열면적을 넓게 하여 열을 충분히 흡수할 수 있게 되어 있음. 열교환기를 통과한 원유는 가열로에서 340~360℃ 까지 가열되어 원유증류장치에 투입
- 바) 원유는 처음으로 투입되는 원유증류장치(CDU ; Crude Distillation Unit)에 의해 원유를 가열되어 끓는점 차에 따라 LPG, 나프타, 등유, 경유, 중유, 잔사유로 분리. 정제능력이란 CDU에서 하루 동안 처리하는 물량을 기준 삼은 것. 이는 BPCD(Barrel Per Calender Day) 또는 BPSD(Barrel Per Stream Day)로 표시하는데, 흔히 B/D라고 약칭하여 표기. CDU의 핵심시설은 단연 상압증류탑. 상압증류탑으로부터 분리된 유분으로부터 완제품을 얻기 위한 여러 후속 공정으로는 가스회수시설, 휘발유를 얻기 위한 개질시설, 등·경유에서 황 성분을 제거하는 수소첨가탈황시설, 찌끼유(잔사유)를 다시 한 번 처리하는 감압증류공정(VDU), 항공유 제조시설(Merox) 등이 있음

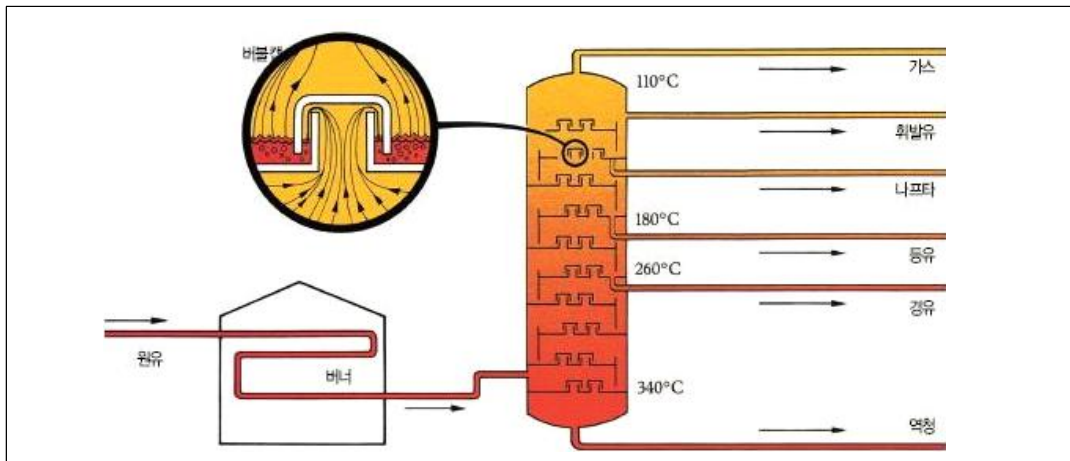
2) 석유정제 개요

- (상압증류 Atmospheric Distillation)¹²⁾ 석유정제 공정의 제1단계로서 원유를 증류 가열, 냉각 및 응축과 같은 물리적 변화과정을 통해 일정한 범위의 비점을 가진 석유 유분을 분리하는 공정으로서 ‘Topping’ 공정이라고도 불림
 - 증류탑에서 석유를 가열하면 LPG는 -42~1도, 휘발유 및 납사는 30~120도, 등유 및 항공유는 150~280도, 경유는 230~350도, 아스팔트 및 상압잔사유는 300도 이상에서 생산
 - 생산된 석유제품들은 실사용에 적합한 환경기준 등을 충족시키기 위해 Sweetening (MEROX 공정) 및 HydroTreating 과정을 거쳐 유황 등 불순물 제거
- (감압증류 Vacuum Distillation) 상압잔사유와 같은 중질 유분을 350도 이상의 고온으로 증류하면 분리가 일어나는 것이 아니라 코크스가 생성되어 반응기가 손상됨에 따라

12) 상압증류 : 원유를 대기압과 비슷한 약 2기압의 상압에서 증류하기 때문에 상압증류라고 불린다

- 30~80mmHg 정도로 압력을 낮추고 150도 정도의 비교적 낮은 온도로 상압잔사유를 증류
- 감압증류의 결과 감압경질유(Vacuum Gas Oil)와 감압잔사유(Vacuum Residue)가 생성
 - 감압경질유는 재처리 후 윤활기유 제조 또는 B-C유 블렌딩에 활용
 - 감압잔사유는 탈황 후 저유황 B-C를 생산하거나 바로 아스팔트용으로 사용

원유 정제과정



* 자료 : 대한석유협회

3) 고도화 공정

- 고도화 공정이란 고유황 B-C유를 원료로 다시 한 번 가공, 분해, 탈황 등의 공정을 통해 휘발유, 등유, 경유, 저유황 B-C유 등 고부가가치 석유제품을 생산하는 과정으로서 ‘중질유 분해공정’과 ‘중질유 탈황공정’이 있음
 - ‘중질유 분해공정’은 수소와 촉매를 이용해 고유황 B-C유에 화학반응을 일으켜 고부가가치 석유제품을 생산하는 공정인 수첨분해¹³⁾(Hydrocracking) 및 촉매접촉분해¹⁴⁾(Catalytic Cracking)와 열분해 공정인 Delayed Coke 방식 등이 있음
 - ‘중질유 탈황공정’은 고유황 B-C유에 함유된 황 등 각종 불순물을 제거하는 공정

13) 수첨분해란 고온고압 촉매 하에서 수소를 첨가하여 B-C 등 중질유분을 분해하여 납사, 등유, 경유 등을 만드는 공정으로서 HOU(Heavy Oil Upgrade)라고 불린다

14) 촉매접촉분해란 고온, 촉매 하에서 중질유분을 접촉시켜 휘발유 등을 생산하는 것으로 RFCC(Residue Fluid Catalytic Cracking)라 하며 수소 첨가 과정이 없으므로 중질유분을 탈황하여 반응기에 공급해야 한다

< 석유제품의 종류 >

1) 경질유분(Light Ends)

- **(LPG 액화석유가스)** 상압증류 시 증류탑의 탑정에서 추출되며 세정장치를 거쳐 황 등의 불순물을 제거한 후 LPG 회수장치에서 프로판과 부탄으로 분리하여 생산
 - 상온, 상압에서는 기체이지만 적당한 압력을 가하면 쉽게 액체 상태로 변하며 부피가 줄기 때문에 저장과 수송이 용이해 공업용, 도시가스용, 열처리용, 용접절단용, 자동차용 연료, 석유화학 연료, 용제 등으로 사용됨
 - 주성분 함량에 따라 프로판(탄소수 3개 순도 : 95% 이상)과 부탄(탄소수 4개 순도 : 95% 이상)으로 구분

- 연료로 쓰이는 가스류에는 LPG 이외에 도시가스와 천연가스(액화천연가스, LNG)가 있음
 - 도시가스 : LPG나 납사유분을 원료로 하여 도시가스공장에서 제조
 - LNG : 지하 또는 해저 가스전(석유광상)에서 뽑아낸 것. 습성가스와 건성가스로 구분. 이중 건성가스를 액화한 것이 액화천연가스임

- **(납사 Naphtha)** 납사는 원유를 증류할 때 LPG와 등유 유분 사이에 유출되는 것으로 일반적으로 경질납사와 중질납사로 구분
 - 경질납사(Light Straight Run Naphtha, LSR) : 끓는 점 100℃ 이하. 용제 및 석유화학(NCC)의 원료
 - 중질납사(Heavy Straight Run Naphtha, HSR) : 끓는 점 100℃ 이상. 개질시설(Reformer)을 통해 휘발유 제조나 B.T.X 생산에 사용

- 납사의 용도로는 연료용과 원료용으로 구분
 - 연료용 : 휘발유, 제트유 등의 제조원료
 - 원료용 : 석유화학공업용으로 사용. 암모니아 비료용과 용제용 원료로 사용

※ 납사를 원료로 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔, 벤젠, 톨루엔, 자일렌 등을 생산하고 이를 기초로 다시 농업용 필름, 인쇄잉크, 합성고무, 합성수지, 염료, 의약품 등 광범위한 분야의 제품을 생산

○ **(휘발유 Gasoline) 중질납사(Heavy Straight Run Naphtha) 유분을 개질한 접촉개질유 (Reformate)와 B-C유를 촉매 분해하여 생산한 FCC Gasoline 유분 등에 직류가솔린(Light Straight Run), MTBE, 부탄 및 석유화학 부산물 등의 반제품을 블렌딩하여 규격에 맞도록 제조**

○ 휘발유 성능의 요구조건

- 충분한 안티노크성(노킹을 억제하는 성능)을 가질 것(옥탄가가 높을 것)
- 휘발성이 양호하여 시동이 용이하고 가속성이 양호할 것
- 연료소비가 적을 것(연비)
- 실린더 내에서 연소하기 어려운 비휘발성 유분이 적을 것(청정성)

[노크와 안티노크]

- 점화성이 높은 휘발유는 엔진 내부의 고열 및 고압에 견디지 못해 적절한 연소 타이밍이 아닌 시점에 자연발화 가능성이 높는데 이것을 ‘노킹’ 현상이라 부름
- 레이싱용 자동차나 고급차들은 특성상 고출력의 엔진을 장착, 엔진 내부에 고열 및 고압 발생하게 되는데 ‘노킹’이 발생할 경우 엔진 성능 저하
- ‘안티노크’란 휘발유가 엔진 내부의 고압 및 고열에 잘 견디 자연발화되지 않는 성능을 의미, ‘안티노크’를 높이기 위해 휘발유의 옥탄가를 높임

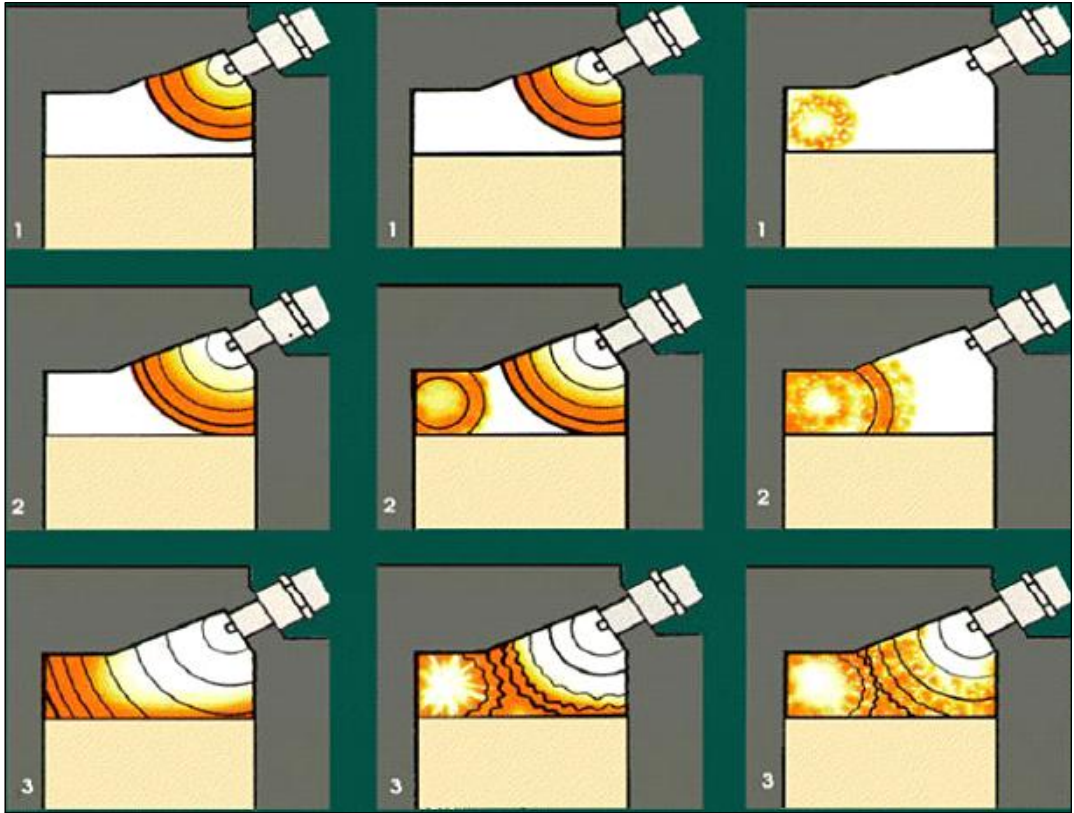
[옥탄가 : RON(Research Octane Number)]

- 휘발유의 안티노크성을 평가하는 수치
- 헵탄의 노킹 저항능력 “0%”, 이소옥탄의 노킹 저항 능력 “100%”
- 옥탄가가 92라는 것은 이소옥탄 92%와 헵탄 8%를 혼합한 연료의 안티노크 강도만큼의 성능이 나온다는 것을 의미

엔진의 정상 착화

노크

엔진의 조기 착화(노크의 일종)



○ 휘발유 종류

- 자동차용 휘발유는 옥탄가에 따라 고급휘발유(옥탄가 94 이상, 녹색)와 보통휘발유(옥탄가 91 이상 94 미만, 노란색)로 분류되며, 납 함유 여부에 따라 무연 및 유연 휘발유로 구분
- 기타 프로펠러 추진식 경비행기용 휘발유, 공업용 휘발유 등이 있음

2) 중간유분(Middle Distillates)

- (등유 Kerosene) 상압증류 공정에서 생산된 조등유(Raw Kerosene)를 후처리 공정(메톡스, 수첨탈황 공정 등)에서 탈황처리하여 생산하거나 수첨분해 공정에서 생산되는 유분을 블렌딩하여 생산

- 인체에 해가 없도록 황 함량 및 그을음이 없어야 하고 불쾌한 냄새가 나지 않아야 함
 - 주로 팬히터 등 실내 보조 난방용으로 사용되며 페인트 용매 등으로도 사용됨
- (난방유 Heating Oil) 등유 유분인 조등유(Raw Kerosene)에 경유 유분인 경질가스유(LGO; Light Gas Oil)를 적정하게 탈황처리 후 블렌딩하여 생산
- 연소 상태가 균질하고 그을음이 적어야 하며 혹한 시에 대비하여 저온 성능이 충분해야 함
 - 가정용 및 산업체의 보일러 연료, 일부 농기계 연료로도 사용됨
- (경유 Diesel/Gasoil) 비등점 170~370℃ 범위에 속하며 석유를 증류할 때 등유 다음으로 유출되는 경질가스유(LGO ; Light Gas Oil)에 조등유 및 중질가스유(HGO : Heavy Gas Oil)를 적절히 블렌딩하여 생산
- 주로 자동차와 건설기계 등 고속 디젤엔진에 사용되기 때문에 착화성이 양호해야 하고 점도와 휘발성을 일정수준으로 유지하여야 함
 - 유해한 불순물이 없어야 하고 특히 저온에서 사용상 문제가 없어야 함

[세탄가(Cetane Number)]

- 경유의 자연착화성을 나타내는 수치
- 경유의 세탄가가 높을수록 낮은 온도와 낮은 압축비로도 디젤엔진의 착화 가능
- 경유 차량은 엔진내부의 압축열에 의해 점화되는 자연착화 방식, 연료분사로부터 자연착화까지 시간지연(착화지연)이 발생하게 되면 시동 곤란 등 ‘디젤노크’ 발생
- 세탄의 디젤노크 저항능력 100%, 알파메틸나프탈렌의 디젤노크 저항능력 0%

- (항공유 Jet Oil) JP-4는 인화성이 높아 군용기에 투입되는 항공유로서 가솔린형 항공유로 불리며 휘발유 유분과 등유 유분을 블렌딩하여 생산(생산수율 큰 편)
- Jet A-1은 안정성이 높아 민간용 항공기에 투입되는 항공유로서 인화성이 낮은 등유 유분으로 되어 있음(생산수율은 적음)
- ※ 항공유는 고공의 저온, 저압에서도 결빙되지 않고 증기 폐쇄를 일으키지 않아야 하므로 빙점(Freezing Point)이 중요하며, 제품 정상 보안을 위해 부식방지제, 결빙 방지제, 정전기방지제, 산화방지제 등의 첨가제를 투입

3) 중질유분(Heavy Ends)

- **(중유 Fuel Oil)** 원유 증류 시 가장 많이 생산되는 제품으로서 상압증류 시 증류탑의 탑저에서 나오는 상압잔사유나 감압증류 과정에서 생산된 유분을 경유 유분과 블렌딩하여 생산
 - 점도가 높을 뿐만 아니라 유동점도 높으며, 비중이 무겁다는 의미에서 중유로 통칭
 - 점도에 따라 B-A유, B-B유, B-C유로, 황 함량에 따라 고유황(B-A 2.0%, LRFO 3.0%, B-C 4.0%), 저유황(0.5%), 초저유황(0.3%) 등으로 구분
 - ※ B-A는 연소 시 예열이 필요 없으며 LRFO와 B-C는 연소 시 예열 필요
 - ※ B-A는 선박용 소형 엔진기관, LRFO는 선박용 중형 엔진기관 및 보일러, B-C는 일반 보일러 및 대형 저속기관의 연료로 사용

- **(아스팔트 Asphalt)** 상압잔사유를 다시 감압증류하여 경질유분을 분리시킨 감압잔사유로부터 생산. 용도에 따라 경질유 블렌딩이나 산화 재처리 등의 과정을 통해 다양한 제품으로 생산
 - 직류 아스팔트(Straight Run) : 잔사유를 감압증류하여 얻은 잔류분 중 역청질이 가장 많이 함유되어 있는 제품으로서 각종 아스팔트 제품의 원료
 - 아스팔트 시멘트(Asphalt Cement) : 아스팔트 산화공정에서 침입도를 조절하여 제조한 제품으로 도로 포장용으로 사용
 - 컷백 아스팔트(Cutback Asphalt) : 직류 아스팔트와 아스팔트 시멘트에 등유, 경유 등을 블렌딩하여 생산, 노면 처리용 결합재 및 골재 혼합용 결합재로 사용됨
 - 폴리머 아스팔트(Polymer Asphalt) : 아스팔트 시멘트에 고분자 개질제를 혼합하여 생산한 제품으로 교량/고가도로 등의 포장에 사용

- **(부생연료유)** 석유화학공정에서 납사 및 콘덴세이트를 원료로 하여 석유화학제품을 생산하는 과정에서 발생하는 부산물로서, 주로 보일러(가정용 제외) 또는 용광로(爐, furnace)의 연료로 사용
 - Heavy Ends : 등유의 대체유로 사용, C9+ : 중유의 대체유로 사용

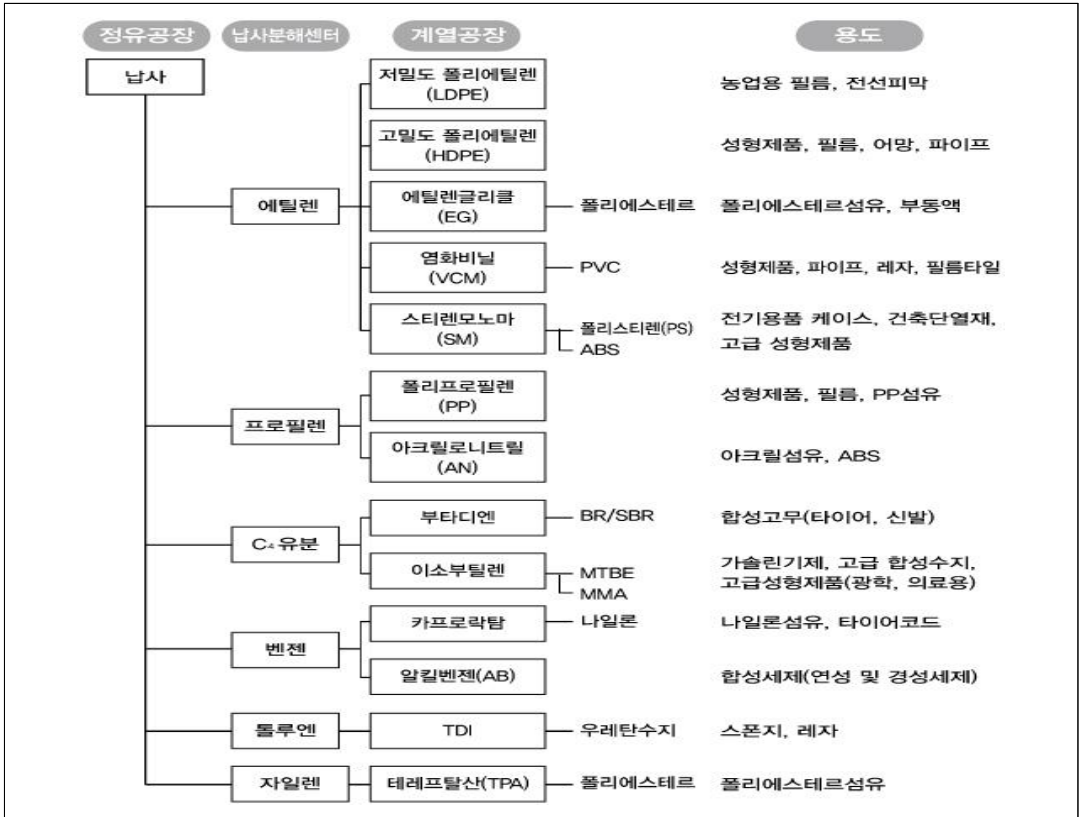
4) 윤활유(Lubricating Oil)

- 기계의 활동부분에 윤활을 위해 사용되는 액상의 물질로, 상온에서 반고체상태의 그리스와 고체분말상의 흑연 및 이황화 몰리브덴과 같은 윤활성을 가진 모든 물질
 - 자동차 엔진용 모터오일, 디젤엔진오일 등 각종 기계류나 엔진의 윤활제로 이용

< 석유화학산업 >

- 석유화학산업이란 납사, 천연가스를 원료로 하여 에틸렌, 프로필렌, 벤젠, 톨루엔 등 기초유분을 생산하고 이들 제품을 원료로 하여 합성수지, 합성섬유, 합성고무, 기타 정밀화학 중간재 및 화성품을 제조하는 산업
- 석유화학산업의 원료로는 납사와 천연가스(Ethane), NGL(Natural Gas Liquid), LPG (Liquified Petroleum Gas) 등이 있는데, 가장 많이 사용되는 원료는 납사이며 미국 및 중동 산유국들은 주로 Ethane과 LPG를 석유화학의 주원료로 사용

석유화학 계통도



* 자료 : 한국산업안전공단

1) 석유화학산업의 원료

- (납사 Naphtha) 납사는 C₄~C₁₂를 주성분으로 하는 탄소화합물로, 탄소의 개수에 따라 경질납사와 중질납사로 구분, 납사의 물성은 균일화되어 있지 않고 원유의 성상과 정유 방법에 따라 차이
- (천연가스 Natural Gas) 천연가스는 메탄(C₁)에서부터 C₇, 혹은 그 이상의 무거운 탄화수소로 이루어진 혼합물로, 가스전에서 생산되는 천연가스와 석유의 생산 시 동시에 생산되는 수반가스(Associated Gas)가 있으며, 천연가스의 성분 중 에탄, 프로판, 부탄 등이 석유화학제품의 원료가 됨

- **(NGL Natural Gas Liquid)** 가스전 또는 유전에서 천연가스 생산에 수반되는 것으로서 보통 콘덴세이트(Condensate) 혹은 천연가솔린이라 불림
 - 천연가스 성분에는 상온·상압 하에서 액체 상태의 탄화수소가 포함되어 있는 경우가 있는데, 이때의 액체탄화수소를 NGL이라고 함
 - NGL은 주로 펜탄 이상의 중질 탄화수소로 구성, 석유화학 원료로 사용되고 있음

- **(LPG Liquefied Petroleum Gas)** 상압증류 시 증류탑의 탑정에서 추출되며 세정장치를 거쳐 황 등의 불순물을 제거한 후 LPG 회수장치에서 프로판과 부탄으로 분리하여 생산, 석유화학 원료로 활용

2) 석유화학제품의 제조과정

- 석유화학산업은 탄소화합물의 탄소 고리를 분해하는 공장을 모체로 하는 산업으로 이때 원료로 사용되는 것이 납사이며, 납사를 분해하는 설비를 ‘납사분해설비(NCC, Naphtha Cracking Center)’라고 함
 - 납사의 분해는 「분해공정 → 급랭공정 → 압축공정 → 분리정제공정」 단계를 거침

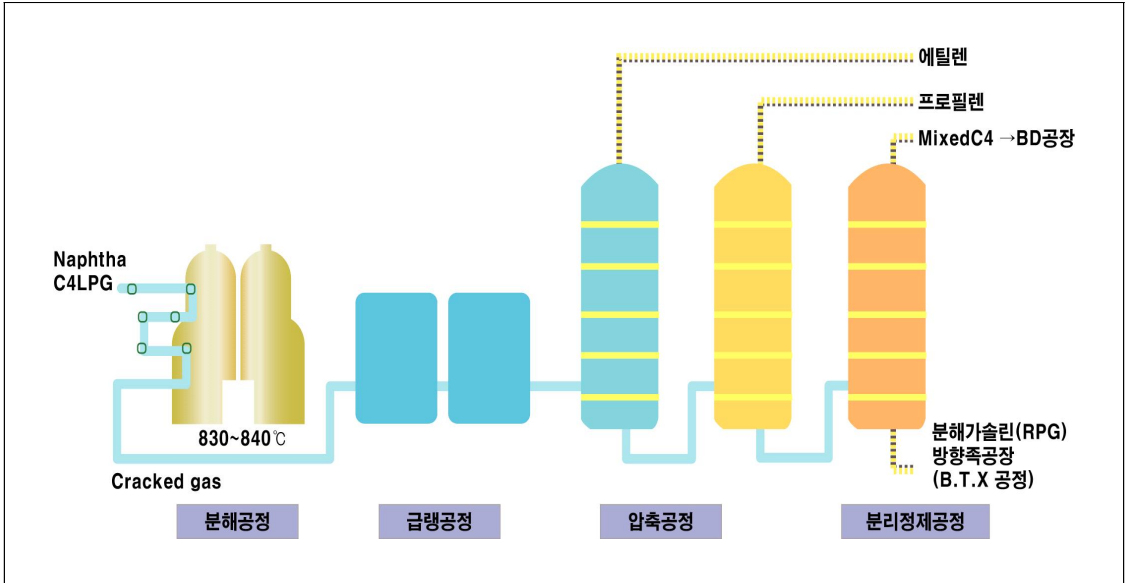
- 납사분해설비에서 탄소 개수가 둘인 에틸렌에서부터, 탄소가 셋인 프로필렌, 넷인 C4 유분 등의 올레핀 류¹⁵⁾와 방향족 제품¹⁶⁾의 원료가 되는 열분해가솔린(RPG : Raw Pyrolysis Gasoline)을 생산하여 석유화학제품의 원료를 공급
 - 납사분해설비에서는 보통 에틸렌 31%, 프로필렌 16%, C4유분 10%(부타디엔 원료), RPG(벤젠, 톨루엔, 자일렌 원료) 14%, 메탄·수소·LPG 등 기타제품이 29% 생산됨

- **(분해공정)** 분해공정에서는 납사에 열을 가하여 탄소수가 적은 탄화수소로 분해, 액상원료인 납사와 순환 에탄은 희석증기(DS)와 혼합된 후 고온(약 800~850℃)의 분해로에서 분해

15) 올레핀 류 : 고리부분을 이루는 탄소원자들 사이에 이중결합이 있거나, 열린 사슬로 이루어져 있는 탄소원자들 사이에 이중결합이 있는 것을 총칭

16) 일명 BTX(벤젠, 톨루엔, 자일렌)로 일컬어짐

납사 분해 공정



* 자료 : 한국석유화학공업협회

- **(급랭공정)** 분해로에서 나오는 물질은 열교환기(Transfer Line Exchanger)를 거치면서 약 400℃로 급랭, 열교환기를 통과한 물질은 다시 냉각유로 약 200℃로 급랭한 후 가솔린 정류탑으로 보내짐
 - 가솔린 정류탑의 탑저에서는 타르 등 열분해 연료유(RFO)가 생성되며, 탑정에서 생성된 가스는 급랭탑으로 보내져 열분해가솔린(RPG)과 경질 유분으로 분리

- **(압축공정)** 분해가스의 경제적인 분리를 위해 압축하여 부피를 감소시키는 공정으로서 분해 가스 압축기로 급랭탑 탑정의 경질 유분을 약 36기압까지 압축
 - 이 과정에서 3, 4단 사이에 있는 가성소다 용액 세척탑에서 산성 가스를 제거하고, 압축과정에서 응축된 1, 2, 3단의 탄화수소는 가솔린 정류탑 및 급랭탑으로 보내지며, 5단 출구에서 나온 분해가스는 프로필렌 냉매에 의해 15℃까지 냉각되어 응축물 제거 후 건조기로 투입

- **(냉동공정)** 압축기에서 나온 가스는 건조기에서 수분이 제거된 후 프로필렌 냉매 및 에틸렌 냉매에 의해 단계적으로 냉각되어 응축물이 분리됨
 - 응축물은 탈메탄탑으로 보내져 탑정에서 메탄을 분리하고, 나머지 경질유분은 탑저로 분리
 - 탈메탄탑 탑저 생성물인 메탄가스는 저온 회수과정에서 가열된 후, 연료가스로 사용되고 일부는 액체 상태로 빠져나와 저온 냉매로서 탈메탄탑 순환
 - 탈메탄탑 탑저에서 생성되는 기타 물질들은 열교환기에서 가열되어 탈메탄탑으로 이송

- **(분리정제공정)** 마지막으로 분리정제공정을 거쳐 생산되는 에틸렌과 프로필렌은 바로 유도품 생산 공정으로 가고, C4유분과 열분해가솔린은 추가로 추출·정제하는 공정을 거쳐 부타디엔과 벤젠, 톨루엔, 자일렌 등 석유화학 기초유분의 원료가 됨
 - 에틸렌과 프로필렌, 부타디엔은 상온에서 기체이기 때문에 실체를 보기 어렵고, 벤젠, 톨루엔, 자일렌은 액체로 휘발유에도 포함되어 있고 ‘신나’라는 이름으로 통칭

- 기타 석유화학 최종제품은 폴리에틸렌과 폴리프로필렌과 같이 기초유분 하나만을 가지고 중합반응을 통해 만들어지기도 하고, 스티렌모노머와 같이 기초유분 두개(에틸렌과 벤젠)를 반응시켜 만들기도 하며, AN이나 PVC처럼 다른 화학제품과의 반응을 통해 만들기도 함
 - 이때 반응은 주로 열과 촉매에 의해서 진행되는데, 보통반응온도는 200~300℃ 수준

< 저장/비축 >

1) 저장/비축 부문 개요

- 저장/비축은 수급위기에 대응하는 공공적 목적 또는 중간 및 최종 소비자에게 상업적으로 공급하기 위한 목적으로 원유나 석유제품을 저장/비축하는 것을 의미

2) 상업저장

- 상업적 저장은 저장시설을 활용해 트레이딩, 병커링 사업 등 수익을 창출하기 위한 목적으로 수행하는 비축

- 상업적 저장시설이 밀집해 석유 트레이딩이 활발한 지역들은 ‘오일허브’로 불리며 현재 세계적으로 3곳의 오일허브 존재
- 한국의 활용가능 저장시설은 기존 80.5백만 B(석유공사 보유 45백만 B, 민간 35.5백만 B)에 울산 북항(1.7백만 B) 및 남항(16백만 B) 완공시, 총 98.2백만 B 규모

3대 오일허브

구 분	상업적저장시설 (백만 배럴)	정제능력 (백만 b/d)	저장능력/ 정제능력	대상지역	특 징
싱가포르	77.8*	1.5	51.9배	동남아, 중국	중계수출형
ARA**	173.5	2.1	82.6배	서유럽	배후지역수출형
미국걸프연안	266.8	18.6	14.3배	미국 전역	내수/수출형
한국***	35.5	3.2	11.1배	동북아 등	중계수출형

* 싱가포르, 말레이시아, 인도네시아를 아우르는 Greater Singapore 개념 적용시 106.7백만B

** ARA : Amsterdam, Rotterdam, Antwerp

*** 한국(35.5백만B) : OKYC(8.2백만B) 포함

3) 전략비축

- 석유수급 위기에 대응하기 위해 국가적 차원에서 시행하는 비축을 전략적 비축(SPR : Strategic Petroleum Reserve)이라고 부르고 있음
 - 국제에너지기구(IEA)는 30개 회원국에게 전년도 일순수입량의 90일분의 비축유 보유 권고
 - 비상비축유 범위에는 정부비축, 기관비축, 민간비축(운영재고) 포함됨

IEA 순수입량기준 국별 비축일수 변화

국가	2019.3	2019.6	2019.9	2019.12	2020.3	2020.6	2020.9
미국	379	710	697	690	714	3,752	3,610
일본	180	187	189	190	183	198	200
한국	185	173	178	181	174	186	193
호주	58	58	57	54	55	60	60
뉴질랜드	984	1,630	1,604	2,051	1,533	530	118

< 석유수송 >

1) 세계의 석유수송 현황

- 석유생산은 주로 중동, 아프리카, 구소련연방, 남미 등지에 한정되어 있는 반면, 석유의 소비는 미국, 서부 유럽, 아시아·태평양 등 대부분의 지역에서 이루어지고 있어 석유 생산지에서 소비지로의 수송이 활발
 - 생산지에서 소비지로의 석유수송은 대부분 송유관(파이프라인)과 유조선(탱커)에 의해 이루어지고 있음

	송유관 수송	유조선 수송
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 내륙 정제시설로 직접 전달되어 수송비 절감 효과 - 수송거리 단축 가능 - VLCC, Suezmax급의 유조선 사용 불가할 경우 보충수단 이용가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 저렴한 비용 - 매우 유동적이며 효율적 사용(수송 중 언제라도 석유트레이딩 가능)
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 유연성 부족(루트변경 불가) - 융통성 부족(사전에 물량 결정되어 추가 트레이딩 매우 제한적) - 특정 지점의 사고 발생 시 전체 수송 중단 - 정치적 이유로 이용이 불가할 가능성 상존 - 유종 간 혼유 현상으로 다양한 유종 수송 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> - 운하나 해협자체문제(수심이 얕고 통과지역이 좁음) - 정치적 문제, 해적, 선박 충돌 등 위험 상존 - 선박충돌이나 좌초 시 막대한 해양 오염 유발

< 석유 유통 >

1) 석유 유통 일반

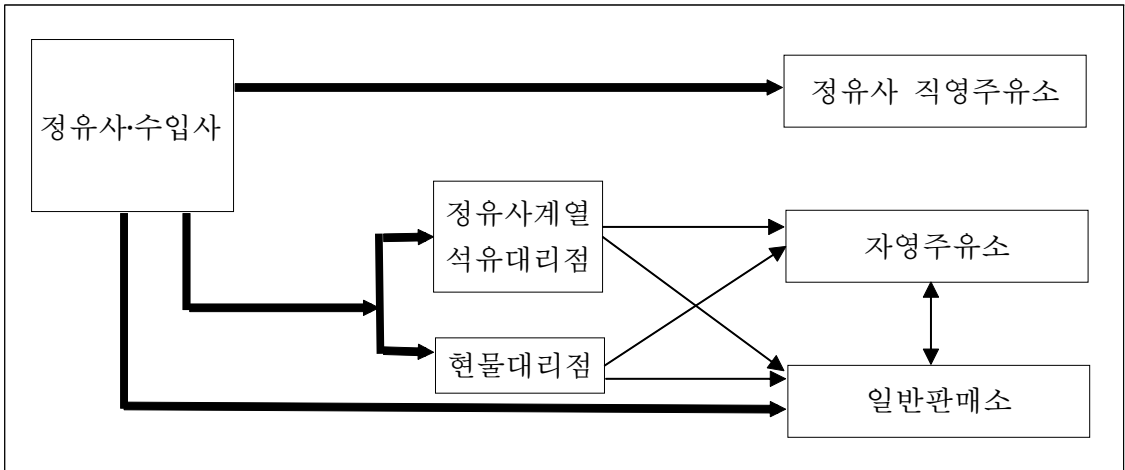
- 일반적으로 석유의 유통이란 원유를 수입, 석유제품을 생산하여 국내외 최종 소비자에게 도달하기까지의 물류 흐름을 의미
 - 석유의 유통 중 조달유통은 원유를 수입하여 정유사의 원유저장탱크까지의 과정이며, 대부분 송유관과 유조선을 통해 수송

- 생산유통은 정제시설에서 정유사의 제품저장탱크까지의 과정을 의미하며 자체 송유관으로 수송
- 판매유통은 정유사 제품저장탱크에서 저유소를 거쳐 소비자(대리점, 주유소 등)까지의 과정을 일컬으며 유조차(T/T), 유조차(RTC) 등으로 수송

2) 한국 석유 유통

- 우리나라는 석유유통구조 개선 정책 영향으로 수평적 거래 규제 완화가 추진되면서 도매 단계간, 소매단계간 수평거래가 허용되는 등 변화에 따라 공급단계는 물론 도매와 소매단계까지 경쟁이 심화
- 우리나라의 유통구조는 정유사와 석유수입사가 공급단계에 참여자로 그 역할을 하고 있음
석유수입사의 경우 한전이나 발전사 등의 중질유 자가소비 수입사가 대부분이고 휘발유와 경유를 수입하여 석유대리점이나 주유소에 공급 또는 판매하는 수입사는 거의 역할을 못하고 있음
- 도매단계는 500여개의 석유대리점이 그 역할을 담당하고 있으며 80여개의 정유사 계열 대리점, 정유사와 수입사의 석유제품을 취급하는 현물대리점으로 구분되며, 정유사 계열 대리점은 직영 및 자영주유소, 일반판매소를 타깃으로 석유제품을 공급하고, 현물대리점은 자영주유소, 논브랜드주유소, 일반판매소 등에 공급
- 소매단계인 주유소는 12,000여개 정도로 직영과 자영주유소, 논브랜드주유소로 구분되고 이 중에서 논브랜드주유소는 정유사는 물론 석유수입사, 석유대리점 등 모든 유통라인에서 석유제품을 공급받아도 되는 점이 특징
- 일반판매소는 도시가스의 사용이 늘면서 폐업 등으로 6,000여개소가 2,700여개소로 급속한 감소세에 있는데 정유사와 수입사, 석유대리점으로부터 등유와 경유를 공급받아 가정 난방용 및 건설장비 등에 석유제품을 공급하고 있음

한국의 유통구조



* 자료 : 석유유통협회