

김 영 주	한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터 책임연구원	e-mail : kyjp7272@kigam.re.kr
우 남 섭	한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터 선임연구원	e-mail : nswoo@kigam.re.kr
한 상 목	한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터 선임연구원	e-mail : smhan@kigam.re.kr
김 성 필	한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터 센터장	e-mail : spkim@kigam.re.kr

이 글에서는 최근 관심이 증가하고 있는 셰일가스를 포함한 비전통 자원과 기존의 석유·가스 개발을 위한 자원플랜트 기술에 대해서 소개하고자 한다.

2016년 국제유가는 산유국 생산 동결 기대감, 미국의 원유생산 감소 등으로 상승세를 유지하다가 하반기에 브렉시트, OPEC 감산 등으로 등락을 반복하였다. 2017년 이후 국제유가 전망은 중국과 인도 등의 비 OECD 국가 중심으로 증가하는 원유수요에 따라서, 캐나다와 미국을 중심으로 원유공급이 증가되고 OPEC의 감산효과가 제한적일 것으로 예상되어 국제유가는 전년대비 상승할 것이나 저유가 기조가 지속될 것으로 전망되고 있다. 이러한 상황이 국내 자원플랜트산업에는 악영향을 미치고 있지만, 자원플랜트 관련 기술을 개발하는 국내 R&D 환경에는 유리한 조건을 제공하는 측면도 있기 때문에 관련 기술 개발에 지속적인 관심과 노력이 필요하다.

2016년 1월 기계저널에서는 자원플랜트의 시추시스템과 운영기술에 대해서 간략하게 소개하였다. 이 글에서는 석유·가스 개발을 위한 자원플랜트를 분류하고, 석유·가스 탐사 및 개발과 관련된 시추시스템과 운영기술 특히 방향성 시추기술과 최근의 연구 동향에 대해서 좀더 자세하게 소개하고자 한다.

자원플랜트 분류

자원플랜트는 육상과 해상에 부존하는 기존의 석유·가스를 포함해서 셰일가스와 같은 비전통 자원 개발을 위한 각 시스템과 장비 및 운영기술을 포함하는 것으로 정의할 수 있다.

자원플랜트의 개념을 이해하기 위해서는 석유·가스 개발 과정을 이해할 필요가 있다. 석유·가스는 그림 1에 보이는 바와 같이 지질조사 및 물리탐사, 시추, 지층평가, 개발, 생산 및 수송의 단계로 진행된다. 크게 탐사-개발-생산으로 구분할 수 있는 위의 과정은 해상의 경우 10년 이상 소요되는 장기 프로젝트이다.

육상에서의 석유·가스 개발을 위한 시스템과 장비

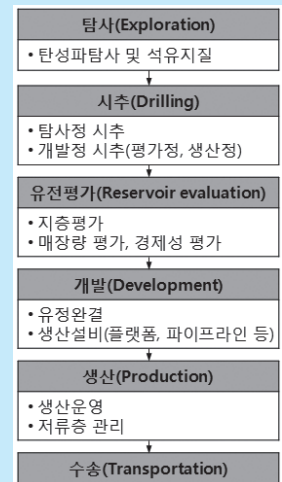


그림 1 석유개발 단계 (석유스공학, 성원모, 2009)

는 육상용 시추리그와 방향성 시추장비이며, 셰일가스의 경우에는 수압파쇄장비가 추가적으로 필요하다. 운영기술인 탐사단계에서는 수직 및 방향성 시추 기술, 물리검층 및 산출시험 기술이 필요하며, 개발단계에서는 수직 및 방향성 시추, 유전평가, 개발계획수립, 유정완결 수압파쇄 기술 등이 필요하다. 생산 단계에서는 저류층 관리, 생산증진 및 생산시설물 관리 기술 등이 필요하다.

해상에서의 석유·가스 개발에 필요한 시스템과 장비는 생산과 개발단계에서 Jack-up Rig, Semi-Rig, Drillship과 방향성 시추장비 등이 필요하며, 생산단계에서는 FPSO(Floating Production Storage Offloading), FLNG(Floating Liquefied Natural Gas), FPU(floating production unit), TLP (Tension Leg Platform), SPAR(Submersible Pipe Alignment Rig), Fixed Platform 등의 장비가 투입되는데, 각 장비는 여러 문헌과 인터넷 등에서 쉽게 찾아볼 수 있으며 기계저널에도 관련 기술들이 여러 번 소개되었다

(기계저널 2016년 1월호, 2013년 10월호). 운영기술은 육상의 경우와 거의 유사하며 다만 해상에서의 작업 특성상 시추선의 위치를 유지하기 위한 DP(Dynamic Positioning) 기술, 해양 환경에 따른 시추선의 움직임을 보상하기 위한 컴펜세이션 기술이 필요하다.

생산과 개발단계의 핵심기술 중의 하나인 시추시스템은 육상과 해상 사이에 큰 차이가 없다. 그림 2에 시추시스템의 주요 구성기기와 위치 및 기능별 구분을 보여주고 있다. 해상용 시추시스템의 경우 그림 중간 부분의 Subsea(marine riser system) 부분이 추가되어 시추선의 시추시스템과 해저면의 유정(well)을 연결시키는 역할을 수행한다.

석유·가스 개발을 위한 시추시스템은 대부분 로터리 시추리그(rotary drilling rig)가 사용된다. 시추리그 구성은 동력시스템, 회전시스템, 이수순환시스템, 권양시스템, 유정제어시스템 및 모니터링시스템으로 크게 구분할 수 있다.(해양시추공학, 최종근, 2011)

시추 원리는 그림 3을 통해서 간략하게 설명할 수

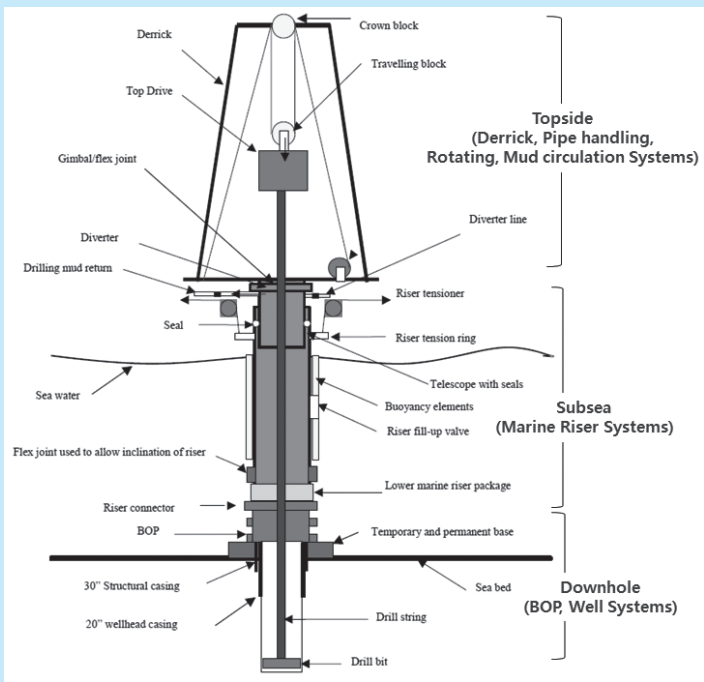


그림 2 시추시스템 구성

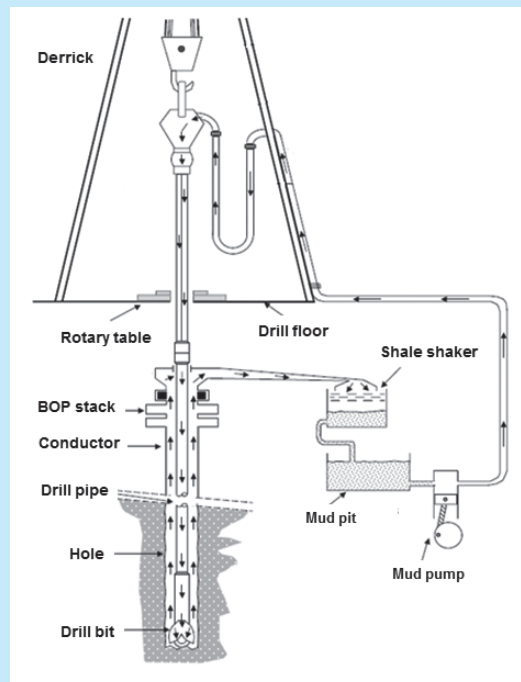


그림 3 이수순환시스템(시추 원리)

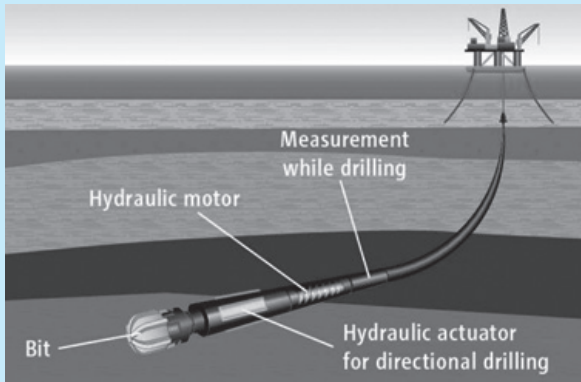


그림 4 방향성 시추

있다. 시추는 시추비트(drill bit)가 굴착하고자 하는 지층면에 압축력을 가한 상태에서 회전하여야 한다. 회전력은 회전시스템에 의해 공급되는데, 예전에는 로터리 테이블(rotary table)이 사용되었지만, 최근에는 TDM(Top Drive Machine)이 많이 사용되고 있다.

시추 시 이수(mud)를 순환시켜 암편(굴착 잔재물)을 제거해주는 역할을 수행하는 부분이 이수순환시스템이다. 이수는 시추작업 전반에서 중요한 역할을 수행하는데 앞에서 언급한 암편 제거 외에도 시추공 압력유지, 비트의 윤활과 냉각, 시추공 벽면 보호, 시추 정지 시 암편 침전방지, 시추 정보전달 매개체 등의 기능을 수행한다.

최근 북미를 중심으로 셰일가스와 셰일오일의 개발이 활성화되면서 전 세계 에너지 패러다임이 바뀌고 있다. 셰일가스는 지하 셰일층에 부존하는 천연가스로 성분은 대략 메탄 80%, 에탄 5%, 프로판 및 부탄 10%로 구성되며, 전통 천연가스와 유사하나 초경질유가 함께 생산되는 것이 주요한 특징이다.(기계저널 2014년 11월호)

셰일가스의 개발은 그림 4에 보이는 방향성 시추기술이 발전하면서 본격화 되었다. 방향성 시추는 육상과 해상에서 모두 가능하며, 그림에 보이는 바와 같이 시추 파이프의 하부에 연결된 부분인 시추 공저장비(BHA: Bottom Hole Assembly)에 방향제어가 가능



그림 5 셰일가스 개발기술

한 장비와 공저 장비 부분만 회전시키는 이수 모터(mud motor) 등을 장착하여 진행한다.

셰일가스 개발은 방향성 시추의 수평시추기술과 수압파쇄 기술을 결합하여 진행된다(그림 5 참조). 수평시추는 지상에서 수직으로 시추하다가 발기점(KOP: Kick Off Point)에 도달하면 일정한 방향으로 방향시추를 수행한 후, 최종적으로 목표지점까지 수평으로 시추하는 것을 말한다.

수압파쇄는 셰일층 내에 시추된 수평 시추공에 고압의 물과 지지체(proppant)를 주입하여 균열을 생성시키고, 시추공의 안정적 유지를 통해 셰일가스를 최대한 생산하는 기술이다. 최근 이 분야의 기술개발은 하나의 수평정을 여러 개의 단위 구역으로 구분하여 수압파쇄를 연속적으로 시행하는 다단계 수압파쇄 기술로 발전하고 있다.

방향성 시추기술의 발달은 방향제어 기술의 발전과 함께 진행되고 있다. 방향성 시추는 시추시스템의 공저 장비(BHA: Bottom Hole Assembly)에 특수한 장비를 장착하여 시추를 수행한다. 이중 대표적인 장비를 그림 6과 8에 보여주고 있다.

그림 6의 조정기능 공저 장비(steerable downhole assembly)는 비트 후단에 안정기(stabilizer), 벤트하우징, 이수 모터, MWD(Measurement While Drilling) 장비 등이 결합되어 시추 궤도의 각도 변화

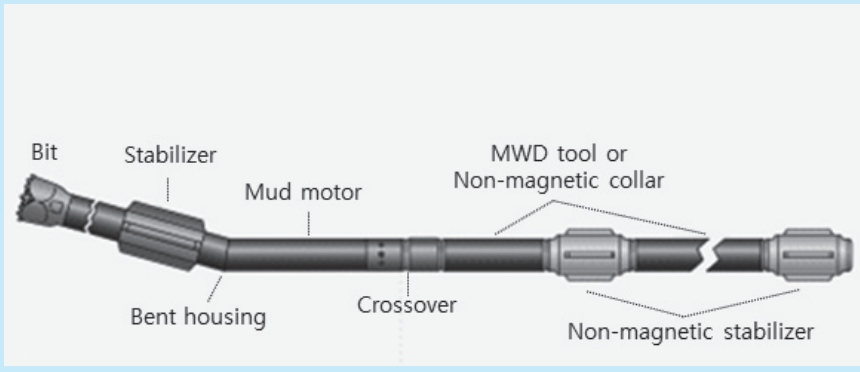


그림 6 Steerable downhole assembly

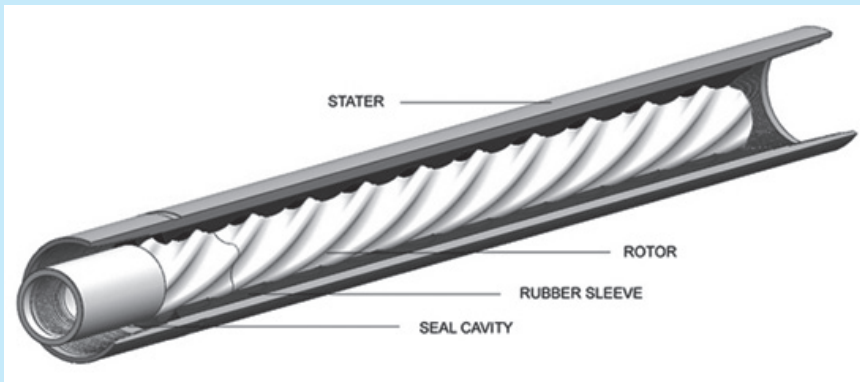


그림 7 이수 모터(mud motor)

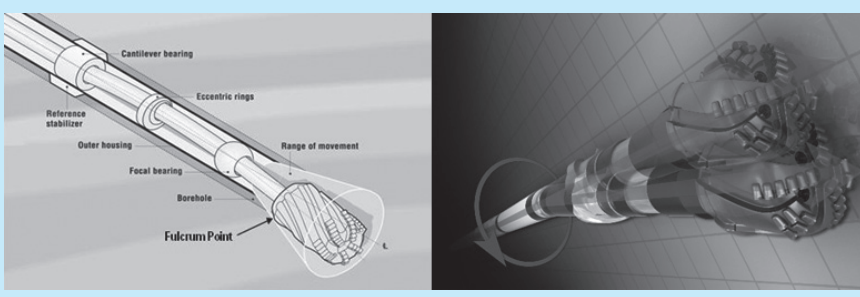


그림 8 Rotary steerable system(자료: Halliburton Energy Service)

를 가능하게 하는 장비 모듈이다. 시추 궤도의 각도를 변화시킬 때에는 시추 스트링(결합된 시추 파이프) 전체가 회전하는 것이 아니라 이수모터를 이용하여 공저 장비 부분만 회전시킨다.

이수 모터는 고압으로 이송되는 이수의 유동을 이용하여 비트를 회전시키는 장비이다(그림 7 참조). 일반적인 시추는 TDM을 이용하여 시추 스트링 전체를 회

전시키지만 이수 모터는 이수의 유동을 이용하여 비트만 회전시킨다. 이수 모터는 파이프 내부에 나선형 홈(stator)과 내부 코어(rotator)로 구성되어 순환하는 이수에 의해 내부 코어가 회전하고 이 회전력이 비트에 전달된다.(그림 7 참조)

1990년대에 도입되기 시작한 방향제어기 법인 RSS(Rotary Steerable System)는 지상에서 실시간으로 시추위치를 파악할 수 있는 통신장비와 방향제어가 가능한 장비가 결합된 최신 기술로서 획기적인 방향성 시추가 가능하게 되었다. 하지만 RSS도 방향시추에서는 압편이 시추공 내에 잔존하는 등의 문제점이 있으며 아직은 타 방식에 비해서 시추 비용이 고가이다.

자원플랜트 산업은 안전하고 경제적인 자원개발 기술을 위한 노력을 계속해서 진행하여 왔다. 특히 최근 전 세계적인 저유가 상황이 한동안 지속될 것으로 전망되기 때문에 자원플랜트 관련 기업들은 개발 비용을 줄이기 위한 노력을 더욱 더 지속하고 있다.

이에 국내에서도 관심이 증가하고 있는 시추와 관련된 몇 가지 신 기술을 소개하고자 한다. 연속 이수순환시스템(continuous circulation system)은 시추 파이프의 연결 작업 중에도 이수순환시스템이 정지하지 않고 연속적으로 이수를 순환시키는 기술이다(그림 9 참조, 자료: NOV). 이수를 연속적으로 순환시킴으로써 시추공의 안정성과 시추 효율을 향상시킬 수 있으며, kick 발생 위험을 낮출 수 있다. 작동 원리는 시추 파

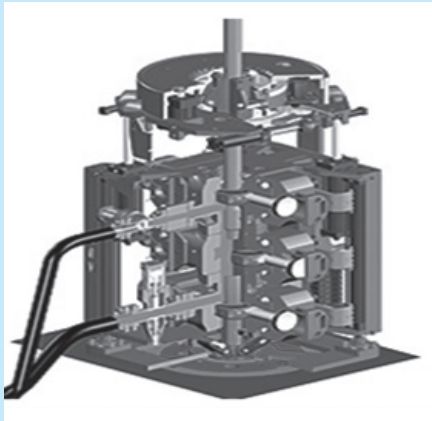


그림 9 연속 이수순환시스템

이프의 연결 및 해체 작업 시 연속 이수순환시스템을 통해서 이수의 순환 방향을 변경하여 이수를 계속 순환시키는 것이다.

또한, 작업 인원의 감축, 작업자의 안전과 시추효율 향상 등을 위해서 시추리그에 대한 자동화 시스템 개발도 진행되고 있다. 그 일환으로 최근 ICT 기술의 발달에 힘입어 그림 10과 같은 실시간 시추 운영센터(real-time drilling operation center, 자료: Kongsberg) 개발 및 구축이 시도되고 있다. 실시간 시추 운영센터에서는 시추와 관련된 각종 정보를 실시간으로 취합 및 분석하고, 신속한 의사결정을 통해서 시추효율을 높이고자 하는 기술이다.

2000년대 중반 이후 국내 조선 3사를 중심으로 해양플랜트산업이 활성화 되면서 조선 산업에 비해 기자재 국산화율이 현저히 낮은 문제를 해결하기 위해서 정부와 산·학·연 모두 많은 연구개발을 진행하였다. 하지만 조선 산업과는 현저하게 다른 해양플랜트산업의 특성을 간과한 부분과 여러 가지 문제로 인해 해양플랜트 기자재 개발을 통한 국산화율 제고와 세계시장 진입 목표에 대한 가시적인 성과를 내지 못하고 있다.

석유·가스 개발을 위한 자원플랜트 관련 기술의 시장진입을 위해서는 Track record 확보가 필수적이다. 이를 위해, 먼저 국내 실증을 위한 테스트 베드의



그림 10 실시간 시추 운영센터

구축이 필요한데, 가장 현실적인 방안으로 국내에 구축되어 있는 인프라를 활용할 수 있는 방법의 검토가 필요하다. 그 예로, 현재 포항시에서는 MW급 지열발전 상용

기술개발사업을 위해서 지하 4km 이상 시추가 가능한 시추리그가 투입되어 시추작업이 진행되고 있어, 향후에 이를 활용할 수 있는 방안을 다각도로 검토하는 것이 필요하다.

또한, 국내에서 검증된 기술을 바탕으로 해외 광구에서도 석유·가스 개발 실증연구를 수행하여 Track record를 확보하는 전략도 병행되어야 할 것이다. 자원플랜트 관련 기자재를 생산하고 있는 국내 기업이 2016년에 캐나다 앨버타주 에드먼턴시의 웨스트 펨비나 지역에 1,024ha(약 300만 평)의 유전 광권을 확보하였다. 위 기업은 국내 전문 기관들과 컨소시엄을 구성하여 광구 운용방안을 수립하고 있으며, 향후 국내에서 개발되는 기자재의 성능검증과 실증을 통해서 사업화를 추진하고자 한다.

최근의 세계적 저유가 상황이 국내 자원플랜트산업에는 악영향을 미치고 있지만, 자원플랜트 관련 기술을 개발하는 국내 R&D 환경에는 유리한 조건을 제공하는 측면도 있다. 우리나라 자원플랜트 산업이 저유가 상황과 일부 해외자원개발사업의 문제로 인해서 어려움에 처해 있지만, 에너지·자원개발 기술의 자립화는 반드시 필요하며, 또한 국가적 차원의 협력이 필요한 분야이기 때문에 여러 관련 분야의 많은 관심과 협조가 필요하다.