

## 해양 시추시스템 구성요소에 대한 이해 및 동향분석<sup>§</sup>

우남섭\* · 권재기\* · 박종명\* · 김상식\*\* · 김영주\*†

\* 한국지질자원연구원, \*\* 경상대학교

### Understanding of Offshore Drilling System and Trend Analysis

Nam-Sub Woo\*, Jae-Ki Kwon\*, Jong-Myung Park\*, Sang-Shik Kim\*\* and Young-Ju Kim\*†

\* Exploration Geophysics and Mining Engineering Dept., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

\*\* Dept. of Materials Science and Engineering, ReCAPT, Gyeongsang Nat'l Univ.

(Received May 6, 2013 ; Revised June 5, 2013 ; Accepted June 5, 2013)

**Key Words:** Offshore Installation(해양플랜트), Offshore Drilling(해상시추), Drillship(시추선), Offshore Drilling System(해양 시추시스템)

**초록:** 해상에서의 시추작업은 해저면을 통해서 시추되는 유정에서 이루어지는 일련의 기계적 프로세스라 할 수 있다. 해양 시추설비는 해저에 매장된 석유나 가스의 매장량 확인을 위한 테스트 유정(well)과 이를 경제성 있는 생산용 유정으로 만들기 위해 사용되는 시설로 해양에서의 시추작업은 대부분 타 지역으로의 이동을 위해 이동식으로 제작되며, 작업 해역의 수심에 따라 크게 리그(jack-up, semi-submersible)와 드릴십(drillship)으로 구분할 수 있다. 최근에는 석유와 가스의 개발을 위한 시추작업이 급진적으로 심해로 옮겨가고 있으며 작업 가능 수심이 3,000 m에 이르고 있다. 본 논문에서는 이러한 해상 시추설비에 탑재되는 대표적 해양플랜트 기자재인 시추시스템을 소개하고 최근의 기술개발 동향을 알아보하고자 한다.

**Abstract:** Offshore drilling refers to a mechanical process where a wellbore is drilled through a seabed. It is typically carried out in order to explore for and subsequently extract petroleum which lies in rock formations beneath the seabed. There are many different type of facilities from which offshore drilling operations take place. These include bottom founded drilling rigs, combined drilling and production facilities either bottom founded or floating platforms, and deepwater mobile offshore drilling units including semi-submersibles and drillships. These are capable of operating in water depths up to 3,000 m. In this paper, we introduce the drilling system, which is mounted on the offshore drilling facilities.

### 1. 서론

해저에 매장된 석유나 가스가 존재하는지를 확인하는 일을 시추작업이라 하며, 투입되는 설비를 시추설비라 한다. 최근에는 석유와 가스의 개발을 위한 시추작업이 급진적으로 심해로 옮겨가고 있으며, 작업 가능 수심이 3,000 m에 이르고 있다. 심해저 해양플랜트에 관련된 기술은 수심 3,000 m 이하의 극한 환경에서 유전 및 가스전의 개발을 위한 탐사, 시추 기술과 시추 후의 상용 생산을 위해서 원유나 가스의 해저 생산, 이송 및 해상 생산 기술 등으로 구성된다.

심해저 원유 생산 플랜트는 2000년대 들어서 그 적용이 활발해졌으며, 많은 관련 기술들이 최근 상용화되거나 사용화를 위한 테스트 단계에 있다. 즉, 기존 선진 연구기관 및 선진업체들 역시 기술개발에 많은 노력을 투입하고 있는 기술 성장기 단계로 판단된다. 심해저 해양플랜트 산업은 현재 경쟁력을 갖춘 소수의 전문 기업만이 전 세계 시장을 지배하고 있으며 국내에서는 기존 조선해양 및 기자재 관련

§ 이 논문은 대한기계학회 플랜트부문 2013년도 춘계학술강연회(2013. 6. 4.-5., 한국수자원공사 교육원) 발표논문임.

† Corresponding Author, kyjp7272@kigam.re.kr

업체들이 이 산업에 진출하고자 시도는 하고 있으나 독자 모델 개발 및 기본 설계 능력의 부족, 엔지니어링 기술 및 기자재 국산화 수준의 미흡 등의 문제를 비롯하여 개발한 제품들의 기술 수준이 각 선급 기준 및 엄격한 환경기준 등에 이르지 못한 실정이다.

시추선을 포함한 해양구조물은 심해 자원 개발을 위해 대형화되면서 고난도의 심해기술, IT기술, 환경오염방지 및 안전을 고려한 기술집약적인 융합기술제품으로 해양구조물의 전체 공정을 EPCI (engineering, procurement, construction, installation) 단계로 구분할 때 엔지니어링 단계에서 가장 큰 이익이 창출되는 대표적인 엔지니어링 기술주도 산업이다.

우리 조선업체가 세계 1위의 조선해양 건조기술을 보유하고 있으나, 시추선의 시추시스템은 전량 턴키 베이스인 패키지로 외국의 독과점 업체로부터 수입하고 있어, 시추시스템 납기 여부가 드릴십과 반잠수식 시추선(semi-rig) 수주에 중요한 요인으로 작용하는 등 시추시스템과 관련된 핵심 기자재와 시스템 엔지니어링 기술 분야의 기술자립이 필요한 시점이다.

해상 및 해저 생산, 장비 등 향후 고부가가치 해양 산업 분야에 진출하기 위해서도 가장 기본적이고 핵심이 되는 시추시스템에 대한 기술이 반드시 선행하여 개발되어야 하며, 개별 구성 시스템에 대한 최적 배치 인터페이스 및 통합 엔지니어링과 같은 원천기술 확보가 우선적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 대표적인 해양플랜트 시스템 중의 하나인 해양 시추시스템을 소개하고 국내의 기술개발 동향을 분석하여 기계공학을 포함한 다양한 분야에서 해양플랜트분야에 진출할 수 있는 기회를 제공하고자 한다.

## 2. 해양 시추시스템 소개

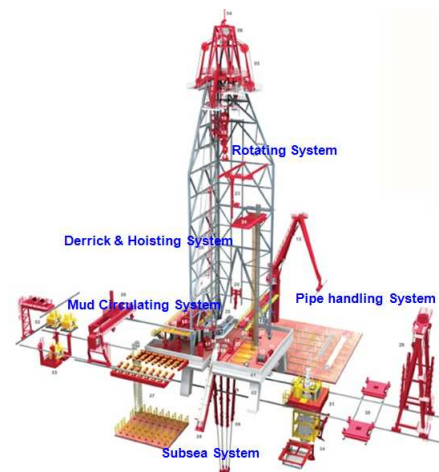
해양 시추시스템은 해저에 매장된 석유나 가스의 매장량 확인을 위한 테스트 유정(well)과 이를 경제성 있는 생산용 유정으로 만들기 위해 사용되는 시설로 해양에서의 시추작업은 대부분 타 지역으로의 이동을 위해 이동식으로 제작되며, 작업 해역의 수심에 따라 크게 리그(jack-up, semi-submersible)와 드릴십으로 구분할 수 있다.<sup>(1,2)</sup>

시추시스템은 시추설비의 핵심부분으로 전체적인 구성은 아래 Fig. 1과 같이 구분할 수 있다. 즉 위치에 따라서는 크게 상부(topside)와 해저(subsea) 부분으로 구분할 수 있으며, 해저 부분은 시추 라이저(drilling riser) 부분과 BOP(blowout preventer)를 포함한 아래의 유정 부분으로 구분할 수 있는데 BOP 이하의 부분은 시추시스템에 포함되지 않는다.

또한 시추시스템은 기능별로 분류할 수 있으며 Fig. 1에 보이는 바와 같이 Derrick & hoisting system, Pipe handling system, Rotating system, Mud circulation system, Subsea system, Power system 및 Well control



(a) Drillship



(b) Offshore drilling system

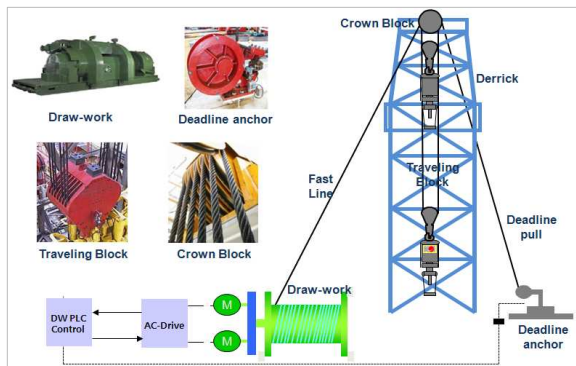
Fig. 1 Drillship and offshore drilling system (from the website of google)

system으로 구분할 수 있다.<sup>(3)</sup>

**Derrick & hoisting system :** Derrick은 드릴 파이프, 라이저, 케이싱 등의 설치 및 회수에 필요한 공간과 기능을 제공하는 시추탑으로서 Draw-work, Crown block, Traveling block, Deadline anchor, Wire rope 등의 Hoisting 장비와 함께 구성된다.

**Pipe handling system :** 드릴 파이프, 케이싱, 라이저 등을 Deck storage area로부터 Handling crane을 이용하여 Catwalk machine을 통해 Derrick area로 운반한 후 Racking system을 이용하여 시추 작업을 위해 운반해주는 시스템이다.

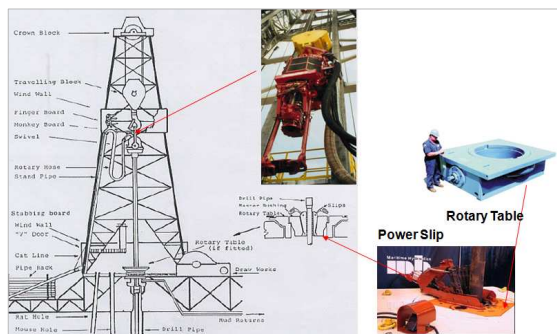
**Rotating system :** Rotating system은 시추작업을 위해 드릴 파이프를 회전시키는 장치로, Rotary equipment는 드릴 비트에 회전력을 공급하기 위한 장비이고 Top drive는 회전 운동을 드릴 파이프에 전달하는 수단으로 사용되며 전기나 유압으로 작동되는 구동장치가 탑재된다. 기존의 방식에서는 Rotary



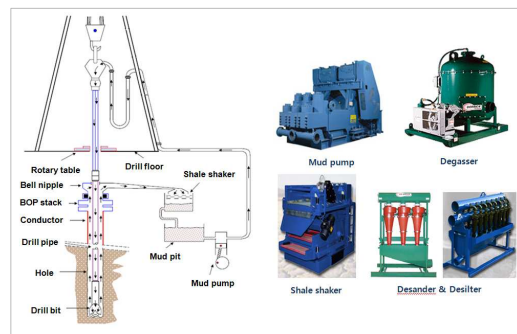
(a) Derrick & Hoisting system



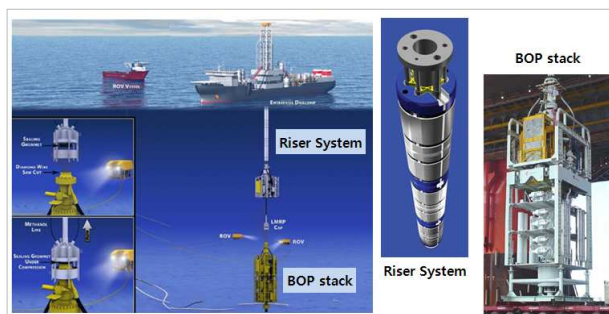
(b) Pipe handling system



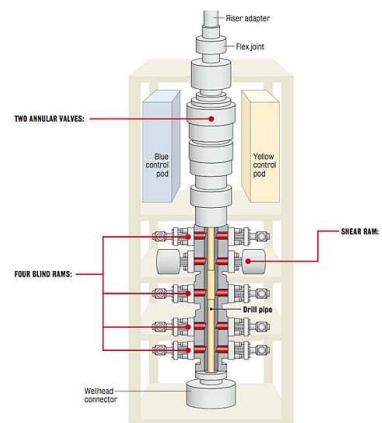
(c) Rotating system



(d) Mud circulation system



(e) Subsea system



(f) BOP stack

Fig. 2 Configuration of offshore drilling system<sup>(3)</sup>

table이 회전력을 Kelly를 통해서 드릴 파이프를 전달했으나 최근에는 Traveling block의 Hook에 매달린 Top drive system의 모터의 회전을 통해 드릴 파이프를 회전시키며 이때 Rotary table은 회전하지 않고 드릴 파이프의 추가나 해체 시에 파이프를 잡아주는 역할을 한다.

**Mud circulating system** : 시추 시 굴착된 잔재물의 이송, 유정 내부 압력 제어 및 드릴 비트의 냉각 등을 위해서 유체를 순환시키는 역할을 수행하는 시스템으로 Mud pit and ditch, Mud conditioning equipment, Mud mixing equipment, Mud pump 등의 장비로 구성되어 있다.

**Subsea system** : Subsea system은 해저에서 이루어지는 작업을 위한 시스템을 총칭하며 대표적으로 BOP는 시추작업 중 갑자기 고압의 지층유수가 분출될 위험이 있는데 이러한 분출을 저지하기 위하여 케이싱 바로 위에 설치됨. 또한 안전성을 위해 여러 층으로 겹쳐서 사용하는데 이것을 BOP stack이라고 한다.

**Power system** : 동력시스템은 시추시스템이 작동할 수 있는 에너지를 공급하며 보통 2~6대의 주엔진으로 구성된다. 시추시스템의 구성에 따라 보조엔진을 추가할 수 있으며, 규모가 클수록 더 큰 동력시스템이 필요하다. 주엔진은 디젤엔진으로 일반적으로 500~8,000 마력의 출력을 가지며 시추시스템의 규모와 시추 깊이에 따라 사용되는 엔진의 수가 결정된다.<sup>(4)</sup>

**Well control system** : 유정제어시스템은 시추작업이 진행되는 유정에서 제어되지 않은 킥(kick) 유체의 유동을 방지하는 역할을 수행한다. 킥이란 의도하지 않은 상황에서 지층으로부터 유체가 유정으로 유입되는 현상을 말한다. 시추작업 중 킥이 발생하면 이를 감지하여 안전하게 제거하는 과정이 유정제어이다. 유정제어에 실패하면 유정폭발(blowout)로 이어져 시설물 피해는 물론 인명피해까지 동반할 수 있다.

### 3. 해양 시추시스템 기술개발 동향

최근에 심해 석유자원 개발의 수요 증가로 관련 기술의 확보 및 개발이 다양하게 진행되고 있으며, 특히 기존의 하나의 기능만을 갖춘 단순 목적용에서 시추생산·저장 등이 동시에 가능한 다목적용 해양 구조물 개발이 큰 기술적 흐름이라 할 수 있다.

시추시스템은 2011년 기준으로 세계시장 규모가 23억 불 정도로<sup>(3)</sup> 미국의 NOV(National Oilwell Barco)사와 노르웨이의 AKMH (Aker Kvaerner MH)가 Single 타입과 Dual derrick 타입을 턴키 베이스로 독과점적으로 공급하고 있으며, Maritime Hydraulics 등과 같은 후발업체들이 시장 진입을 시도하고 있다. 시추시스템의 구동 타입에 따라 전기식과 유압식으로 구분되며, 각각 전기식의 경우 NOV에서 유압식의 경우 AKMH에서 공급하고 있으며, 세계시장의 구동시스템 선호도에 따라 70%는 NOV에서 30%는 AKMH에서 독점적으로 공급하고 있다.

최근에는 시추공의 불안정이나 유정제어의 어려움 또는 과도한 시추비용으로 인하여 전통적인 시추기술을 이용하기 어려운 시추환경도 증가하고 있다. 따라서 비용절감뿐만 아니라 목표심도에 도달하기 위하여 많은 신기술들이 개발되어 현장에 적용되고 있으며 그 기술도 빠르게 안정화되고 있다.<sup>(4)</sup>

#### ① 압력제어시추(Managed-pressure drilling)

압력제어시추는 유정을 시추하는 동안 압력의 변화를 좀 더 잘 제어하기 위해서 개발된 시추기법이다. 압력제어시추의 목적은 시추과정에서 발생할 수 있는 문제들을 줄임으로써 시추효율을 향상시키고자 하는 것이다.<sup>(5)</sup>

이를 위해서 압력제어시추는 배압, 유체의 밀도 및 유변학적 특성, 시추공 내 유체 수위, 유체 순환 마찰 및 시추공 형상 등을 종합적으로 고려하여 시추공저압력(bottom hole pressure, BHP)를 조정함으로써 시추작업 중 발생할 수 있는 유체유입, 이수손실, 시추공 불안정성 문제 등을 최소화한다.

#### ② 방향성시추(directional drilling)

방향성시추는 지하의 목표지점에 도달하기 위하여 의도적으로 수직이 아닌 궤도로 시추하는 기법이다. 방향성시추는 20세기 중반에 처음으로 시도되었는데 초기에는 Whipstock이라는 긴 쇠기 모양의 장비를 사용하여 시추 방향을 제어하였다. 기존의 수직 시추에서는 시추파이프 전체를 회전시켜 비트를 회



전시켰지만 방향성 시추에서는 이수모터를 이용하여 비트만 회전시켜 시추작업을 진행한다. 대표적인 이수모터는 용적형 모터 방식으로 내부에 나선형 홈과 내부 코어가 있어 이수의 유동에 의해 회전력을 얻으며 방향조정 능력을 제공하여 시추 제어를 수행한다. 최근에는 최첨단 기술인 RSS(rotary steerable system)가 도입되어 임의로 시추궤도를 변경하면서 시추작업을 진행할 수 있다.

③ 케이싱시추

케이싱 시추(casing drilling)는 시추 파이프 대신 케이싱을 이용하여 시추하는 방법으로 기존 시추 과정에서 발생하는 시추 파이프와 관련된 문제점들을 제거하여 시추 시간과 비용을 절약할 수 있다. 즉, 케이싱 하단에 설치된 비트를 이용하여 시추를 진행한 후 케이싱을 바로 설치하는 방식으로 시간을 절약한다. 이를 위해서 시추 비트와 확장 가능한 확공기(under reamer) 등으로 구성된 시추공저장비(bottom hole assembly, BHA)를 사용하여 케이싱이 지날 수 있는 크기로 시추작업을 진행한다.<sup>(6)</sup>

④ 소구경시추

일반적으로 처음 굴진되는 시추공의 크기는 목표 심도에서의 시추공 크기보다 2~3배 정도 크다. 따라서 소구경시추는 시추 시작부터 작은 크기로 시추하면서 시추 시 제거하여야 할 지층의 부피와 시추 장비의 용량을 줄여 시추시간과 비용을 줄이고자 하는 시추기법이다. 소구경시추는 1950년대에 제안되었지만 시추공과 시추파이프 사이의 작은 간극으로 인하여 킥과 유동제어의 어려움이 있어 널리 사용되지 못하다가 최근 시추 문제의 관리가 용이해지고 확장가능 케이싱 기술이 발달하면서 활발하게 사용되고 있다.<sup>(4)</sup>

⑤ 이중 데릭시스템

이중 데릭시스템(dual activity derrick system)은 완전히 독립적인 기능을 가지는 두 데릭을 사용하여, 기존에 순차적으로 진행되던 시추 공정을 병렬로 진행시키고자 하는 개념으로 시추작업 시간을 줄이는 것이 목표이다. 즉, 다중 유정(multi-well)에서 해저에서의 작업을 동시에 진행할 수 있는데 메인 리그가 BOP/라이저 시추 모드에 있는 동안 보조 리그는 다음 유정에서 케이싱 작업을 진행하는 방식이다. 이 방법은 작업효율을 향상시키고 비생산시간을 줄여 시추시간을 30% 정도 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다.

⑥ Seabed 시추

Seabed 시추 기술은 석유 개발이 심해로 이동해 가면 시추 라이저 등의 사용량이 증가하면서 시추선의 용량도 역시 증가하게 되는 문제점을 해결하기 위해 개발이 진행되고 있는 기술이다. 이 기술은 원격으로 운전되는 Vehicle과 시추시스템을 이용하여 심해의 해저 면에서 시추 작업을 진행하는 것인데, StatoilHydro사와 Shell사의 지원으로 개발 프로젝트가 진행 중에 있으며 직접 개발을 진행하고 있는 영국의 Maris International사의 보고에 의하면 수심 2,000 미터에서 작업할 경우 기존에 비해 최대 32%까지 시추 비용을 절감할 수 있는 것으로 보고되었다. 앞에 언급된 기술들 외에도 시추 시간과 비용을 줄이고 안전성을 높이기 위한 다양한 기술들이 개발 및 적용되고 있다.



Fig. 3 Seabed drilling technology (from the website of StatoilHydro)

#### 4. 결 론

본 논문에서는 대표적인 해양플랜트 시스템 중의 하나인 해양 시추시스템을 소개하고 국내외 기술개발 동향을 분석하여 기계공학을 포함한 다양한 분야에서 해양플랜트분야에 진출할 수 있는 기회를 제공하고자 하였다.

우리 조선업체가 세계 1위의 조선해양 건조기술을 보유하고 있으나 시추선의 시추시스템은 전량 턴키 베이스인 패키지로 외국의 독과점 업체로부터 수입하고 있어, 시추시스템 납기 여부가 드릴십과 반잠수식 시추선의 수주에 중요한 요인으로 작용하는 등 시추시스템과 관련된 핵심 기자재와 시스템 엔지니어링 기술 분야의 기술자립이 필요한 시점이다. 이에 국내에서도 시추시스템의 주요 기자재에 대한 국산화 개발 연구가 산·학·연 중심으로 활발하게 진행되고 있다.

또한 최근에는 시추공의 불안정이나 유정제어의 어려움 또는 과도한 시추비용으로 인하여 전통적인 시추기술을 이용하기 어려운 시추환경도 증가하면서 비용절감뿐만 아니라 목표심도에 도달하기 위하여 많은 신기술들이 개발되어 현장에 적용되고 있는데, 본 논문에 주요 신기술들을 소개하였다.

#### 후 기

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 산업원천기술개발사업의 'Drill Riser 시스템 기술개발 (13-9220)' 과제에서 지원되었습니다.

#### 참고문헌

- (1) Leffler, W. L., Pattarozzi, R., and Sterling, G., 2003, "Deepwater Petroleum Exploration & Production - A Nontechnical Guide," PennWell, pp. 77~104.
- (2) Charrabarti, S. K, 2005, "Handbook of Offshore Engineering," ELSEVIER, Vol. 1, pp. 15~38.
- (3) Park, S. J. Kim, Y. J., and Ha, J. H., 2011, Technical Trend and Prospect of Offshore Drilling System, *KIET PD ISSUE*, Vol. 11, No. 10, pp. 163~189.
- (4) Choe, J. G., 2011, Offshore Drilling Engineering, CIR, Seoul, pp. 295~327.
- (5) Rohani, M. R., 2012, "Managed-Pressure Drilling; Techniques and Options for Improving Operational Safety and Efficiency," *Petroleum & Coal*, Vol. 54, No. 1, pp. 24~33.
- (6) Medimurec, N. G., 2005, "Casing Drilling Technology," *Rudarsko-geolosko-naftni zbornik*, Vol. 17, pp. 19~26.