



# THEME 03

## 해저 생산용 다상유동펌프 동향

유 일 수 | 한국기계연구원 극한기계부품연구본부 선임연구원 | e-mail : isyoo@kimm.re.kr

이 글에서는 해저에서 채굴된 다상의 가스 및 원유를 처리하고 정제하는 해저플랜트 공정처리장비의 핵심 기자재인 다상유동펌프에 대해 소개하고자 한다.

대표적인 부존자원인 석유는 2000년 이후 급격한 수요 증가로 인해 고유가 현상이 지속되고 있기 때문에, 앞으로 다가올 자원 부족 문제를 해결하기 위한 방안으로 심해저 자원 개발에 세계적인 관심이 집중되고 있다. 해양은 지구 표면의 70%를 차지하고 있고 석유, 구리, 망간, 니켈, 코발트, 금, 아연 등의 주요 광물 자원 매장량이 상당하다. 미국, 노르웨이, 독일, 프랑스와 같은 해양 분야 선진국들은 30여 년 전부터 근해 및 천해를 비롯해 심해에 부존되어 있는 가스 및 원유 채굴에 사용되는 해양플랜트 기술 개발에 집중하여 왔다. 우리나라 역시 최근 세계적인 해양 자원 개발에 부응한 해양플랜트 산업의 확대에 발맞추어 정부, 연구소, 산업체에서 심해저플랜트 기자재 및 설치 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

### 해저 생산 플랜트 산업 동향

현재 세계는 산업 및 생활 여건의 발전으로 인하여 에너지 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 세계 각국은 이러한 자원수급문제를 해결하기 방안으로 해양 자원 개발에 집중하고 있다. 해양자원은 오일쇼크 등을 계기로 1980년대부터 본격적으로 개발되기 시작하였으며, 해저 석유 매장량은 약 1조 6,000억 배럴 이상으로 세계 매장량의 32.5%를 차지하는 것으로 조사되고 있다.

해양자원의 개발은 탐사, 시추, 플랫폼 건설, 생산 등의 가치사슬이 육상자원 개발과 동일하며, 탐사 및 시추기술이 발달함에 따라 천해에서 심해로 개발이 확장되는 추세이다. 심해유전개발에 따라 석유나 가스를 생산하는 해역이 멕시코 만과 북해에서 아프리카, 호주, 브라질, 극지 등으로 다변화하고 있으며, 이에 따라 산유국의 세력 판도도 변화되고 있다.

해양플랜트 관련 업체들은 플랜트 엔지니어링에 대한 기득권을 유지하기 위해 노력하고 있다. 미국은 오일 메이저를 중심으로 새로운 개념의 해양플랜트와 심해유전개발에 박차를 가하고 있다. 특히 브라질은 국가 프로젝트로 플랜트 자국건조주의원칙을 적용해 자체기술 확보에 전력을 기울이고 있으며, 일본은 국가적으로 많은 예산을 해양개발에 투입하여 기술과 실적 확보에 노력하고 있다. 우리나라도 경제 위기 이후에 해양플랜트산업에 적극적으로 뛰어들어 대규모 프로젝트를 수주하고는 있지만, 해양플랜트산업의 보수적이고 발주자 위주의 시장구조로 인해 설치나 해양플랜트 기자재 등의 고부가가치 산업은 대부분 외국 업체에 빼앗기고 있다. 따라서 경쟁력 확보 차원의 자체 기술력 축적과 기자재의 국산화가 매우 시급한 실정이다.

지금까지 한국 조선업체는 FPSO 및 석유 시추선 등 전 세계 바다 위 해양시설물 제조에 큰 비중을 차지하



면서도 해저플랜트 기자재 분야에는 아직 진출하지 못했다. 해저 플랜트 산업시장 규모에서 기자재 분야의 시장 규모는 FPSO와 같은 해상 구조물 산업보다 2~3배 크다. 실제 시장조사기관인 더글라스-웨스트우드(Douglas-Westwood)는 수심 500m 이하의 심해 기자재 사업규모가 2013년에는 250억 달러에 이를 것이라고 전망하고 있다.

향후 해양조선분야는 심해저플랜트 장비산업의 진출 여부가 조선산업의 성장성을 좌우할 것으로 사료된다. 따라서 국내 기업들도 심해저플랜트 시장 진출을 본격화하고 있으며, 심해저플랜트 기자재 분야에 연구개발 투자를 늘리고 있는 상황이다.

### MPP의 분류

심해저 공정처리장비는 심해에서 채굴된 원유나 가스를 심해저에서 처리하고 정제하여 운반하는 기자재로서 다상유동펌프, 압축기, 분리기 등으로 구성된다. 여기서 다상유동 펌프시스템(Multi-phase pump system, 이하 MPP)은 유정 내의 원유 또는 가스 등의 다상 혼합물을 해상 플랫폼이나 FPSO 등의 원유처리 플랜트로 이송시키는 역할을 한다. MPP는 원유생산 원가를 절감시킬 수 있으며 다양한 적용이 가능하기 때문에 육상 및 해상 모두에서 그 사용 범위가 확대되고 있어, 미래산업 응용 및 시장 증대, 가치 창출 면에서 우선적으로 개발되어야 한다.

MPP의 형식은 용적형과 회전형으로 분류할 수 있다. 용적형 MPP로는 TSP(Twin-screw pump)가 가장 대표적이며, PCP(Progressing cavity pump)와 피스톤 펌프, 다이어프램 펌프 등이 있다. 회전형 MPP로는 다단축류 펌프인 HAP(Helico-axial Pump)와 다단원심

**최근에는 해상장치를 해저 설비화하면서 가스 및 원유 생산 효율의 극대화 및 친환경 생산을 위해 심해저플랜트 공정처리장비 기술의 상용화가 시도되고 있어, 향후 심해저 생산 플랜트 시장의 규모는 지속적인 확대가 예상된다.**

펌프인 ESP(Electrical Submersible Pump)가 대표적이다.

### MPP의 특징

#### PCP의 특징

스크류 펌프는 회전체, 즉 로터의 개수에 따라 구조가 다르다. PCP는 하나의 로터가 스크류 형태로 굴곡이 있으며, 하우징은 스크류 로터가 돌아갈 수 있는 구조

를 가지고 있다. 로터가 돌아가면 로터와 하우징 사이의 용적이 점차 앞으로 이동하게 되어 결국 토출구를 통해서 토출되는 형태를 가지고 있다. PCP의 장점은 하우징의 재질을 필요에 따라 금속대신 고무라이닝과 같은 재질로 바꾸면 다양한 유체이송 및 걸림이나 마모 등을 최소화 할 수 있다. 따라서 유체의 점도가 높거나 이물질이 있는 경우에도 큰 어려움 없이 이송이 가능하다.

#### TSP의 특징

TSP는 두 개의 스크류가 맞물려 돌아가는 형태의 펌프이며, 두 개의 스크류의 형상이 동일하게 생긴 것

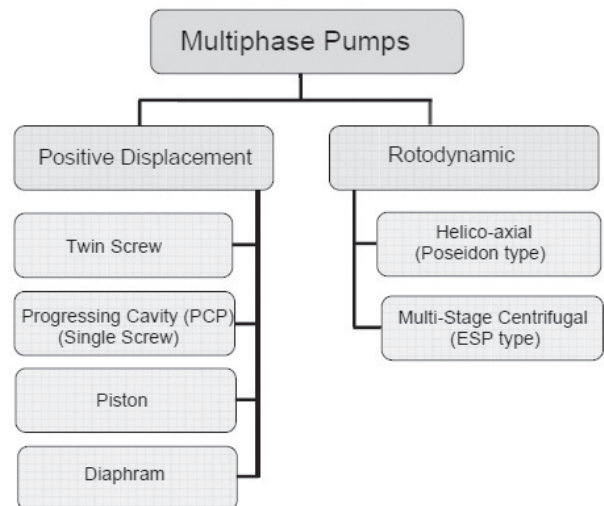


그림 1 MPP 형식 분류

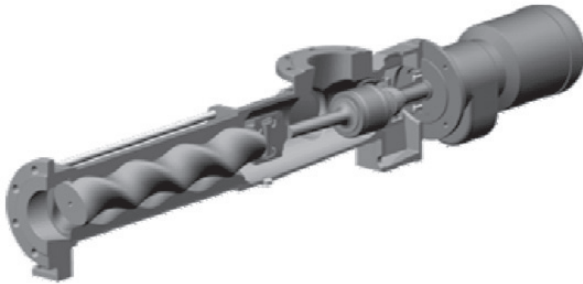


그림 2 PCP 내부 형상

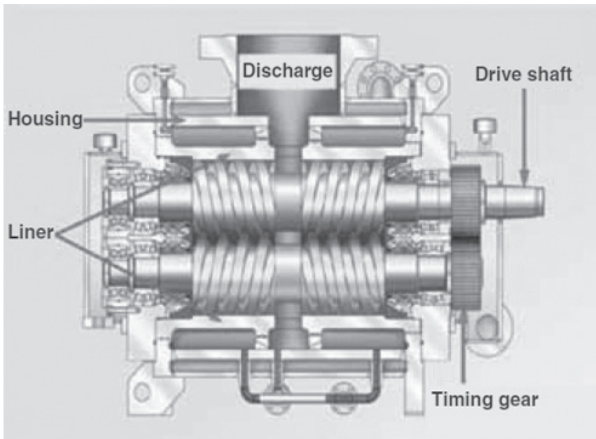


그림 3 TSP 내부 개략도(라이스트리츠 사)

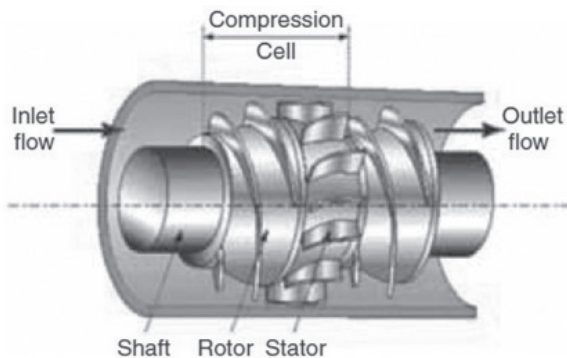


그림 4 HAP 압축단(프라모 사)

이 특징이다. TSP도 PCP와 같이 용적이 이동하면서 펌핑하는 원리는 동일하다. 다만 PCP와는 달리 두 개의 로터를 통해서 용적을 만들기 때문에 효율 면에서 PCP보다 유리한 면이 있다. 하지만 로터의 재질이 금

속계열로 제한되기 때문에 마찰이나 마모 등으로 인한 문제가 많고 열이 많이 발생한다는 단점이 있다.

TSP는 1934년에 처음 개발되었다. 1980년대 중반부터 원유 생산 설비에 적용하기 위한 연구가 시작되어 1989년에 처음 현장 시험되었다. 2005년부터 해저 플랜트에 적용되기 시작하였으며, 용적형 펌프 형식으로는 가장 널리 보편화되었다. 현재까지 3기가 해저 생산 플랜트에 배치되어 있지만, 해양플랜트 상부구조에서는 널리 사용되고 있다.

TSP는 보통 600~1,800rpm에서 사용되며, 펌프 흡입조건에 기준한 총생산량은 10,000~300,000B/D이며, 차압은 1,450psi까지 가능하다. TSP는 상대적으로 높은 기체체적분율(Gas Volume Fraction, 이하 GVF)에서도 우수한 작동성능을 가지며, 불안정한 유체에 저항이 강한 장점이 있다.

#### HAP의 특징

HAP는 포세이톤 프로젝트를 통해 개발되어, ‘포세이톤 펌프’라고도 불리기도 한다. 지금까지 적용된 HAP의 임펠러경은 70~400mm이며, 3,500~6,500rpm의 회전수 범위에서 운용되고 있다. 펌프 유량은 흡입 조건을 기준으로 22,000~450,000B/D이며, 차압은 2,900psi까지 가능하다.

HAP는 나선형 임펠러와 디퓨저로 구성되어 있다. HAP를 유압 터빈으로 구동하게 되면 생산하는 오일의 밀도에 따라 펌프 회전수를 조절할 수 있기 때문에 다상 유체를 생산할 경우 효과적이다.

일반적으로 많은 유량과 높은 GVF 처리 능력 등으로 TSP에 비해 앞선 기술로 알려져 있지만, 기계적 효율이 상대적으로 낮아 고점도 유체를 펌핑하기에는 부적합하다.

#### ESP의 특징

ESP는 전기 구동식 잠수식 펌프로서 다운홀

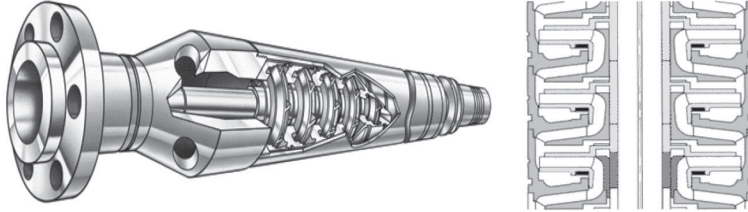


그림 5 다단 원심 펌프(ESP)

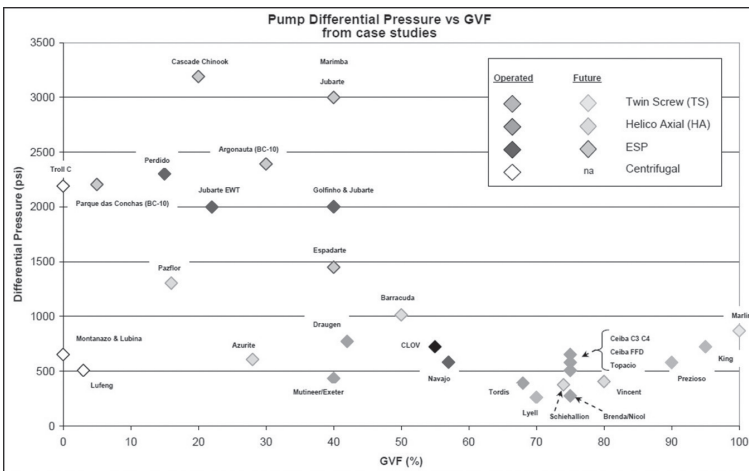


그림 6 프로젝트별 다상유동펌프 설치 사례

(downhole) 혹은 잠수식 펌프로 불리며, 생산 배관의 일부로서 유정에 설치된다. ESP는 다단원심 펌프로서 임펠러 단수가 100단에서 최대 200단까지 사용되기도 한다. 전기구동식(ESP)이 아닌 유압구동식(HSP)을 채택할 경우 회전수를 7,000~9,000rpm까지 올릴 수 있다. 이런 경우 임펠러 단수를 1/4~1/6까지 줄일 수 있어 보다 간결하고 가벼운 펌프 설계도 가능해진다.

원심 임펠러는 기체가 임펠러 허브로 가라 앉아 결

국 가스 슬러징이나 증기잠해(steam locking)를 유발시켜 펌프서지 및 성능 저하를 일으키기 때문에 높은 GVF 흡입조건에는 부적합하다. 따라서 단상 유체 또는 매우 낮은 GVF 조건에서 사용된다.

### MPP 적용 사례

MPP의 대표적인 제조업체는 주로 서구 유럽에 위치하고 있다. TSP의 대표적인 제조업체로는 플로우서브(Flowserve(미국)), 라이스트리츠(Leistritz(미국)), 보르네만(Bornemann(독일))가 있다. HAP는 프라모(Framo(노르웨이))와 솔저(Sulzer(스위스))에서 제작되고 있으며, ESP는 슬룸버거(Schlumberger-Reda(미국))와 베이커(Baker-Centrilift(미국))이 대표적인 업체이다.

해양플랜트 프로젝트에 적용된 MPP를 펌프형식 및 펌프양정, GVF 특성에 따라 분류한 결과, HAP가 가장 선호되고 있었다. TSP 펌프는 높은 GVF 조건에만 국한되어 있으며, ESP는 주로 높은 차압이 요구되지만 GVF는 40% 이하로 낮은 환경에서 적용되고 있다. 따라서 펌프형식은 설치 및 운전 환경을 고려하여 선정되어야 한다. 향후에는 HAP와 ESP가 MPP 시장을 양분할 것으로 예상된다.