

EOR의 최근동향

1. 머리말

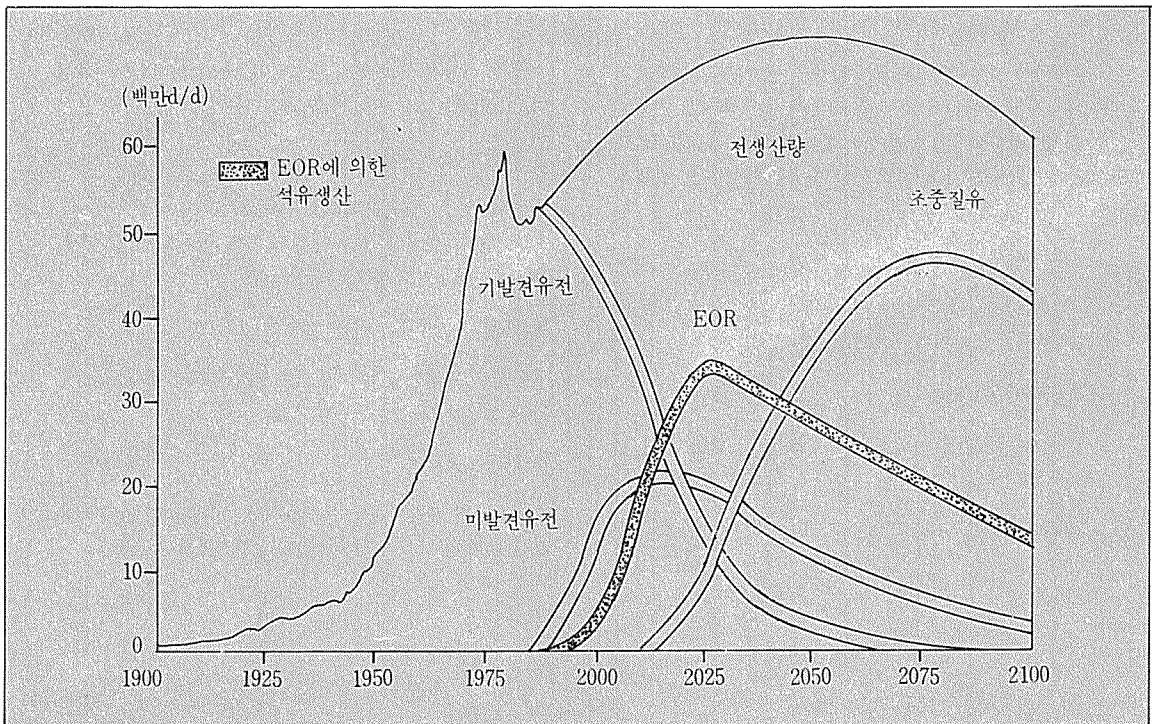
지구상에는 약2조 배럴의 석유 가체매장량이 있는 것으로 추정되고 있다. 이 중 현재까지 1.3조 배럴이 이미 발견되었고 그중 약 6,000억배럴이 생산 소비되고 있다.

전세계에는 약 3만개의 유전이 존재하고 있으나, 이 중에서 가체매장량이 5억배럴을 초과하는 거대유전은 약300개에 불과하다. 그중 과거 10년내에 발견된 유전은

겨우 8개뿐이다.

유전으로부터의 석유생산에 있어 유층이 지닌 자연의 에너지에만 의존하는 1차회수 생산으로는 유층중의 70~90%의 원유가 남게 된다. 이에 대해, 약 50년전부터 물이나 가스를 유층내에 주입해서 자연의 에너지를 보강하는 방법을 이용하게 되었다. 2차회수라고 하는 이 방법을 채택해도 유층중 원유의 60~80%의 원유가 미회수인채 남아 있다. 따라서 제차 유층중의 원유를 회수하는 방법이 연구되어 실제로 유전에 적용하게

〈그림-1〉 EOR에 의한 석유생산량의 예상 추이



되었다. 대부분이 2차회수후의 유전에 적용되었기 때문에, 3차회수라고 일컬어진다.

2·3차회수라는 용어는 단순히 특정유전에 적용하는 회수법의 단계를 의미한다. 그러나 최근엔 유전의 개발 초기부터 수공법을 채택하거나 중질유등에서 열공법이나 가스공법을 적용하지 않으면 원유회수를 할 수 없는 케이스도 있어서 時系列의 정의가 적절하지 않게 되었다. 따라서 최근엔 증진회수기술(Enhanced Oil Recovery, EOR)이라고 호칭된다.

EOR은 한정된 석유자원의 유효개발수단으로, 신규발견량의 감소를 보전하는 중요한 기술이다. 다음은 최근의 EOR기술 동향과 금후의 기술문제에 대해 알아본다.

2. EOR의 의의

향후의 석유수급에 대해서는 여러가지 예측이 있다. 그러나 전체 에너지에 대한 석유에너지의 비율은 감소하겠지만, 절대량으로는 향후 약 10년간은 증가한다는

것이 공통적 견해이다.

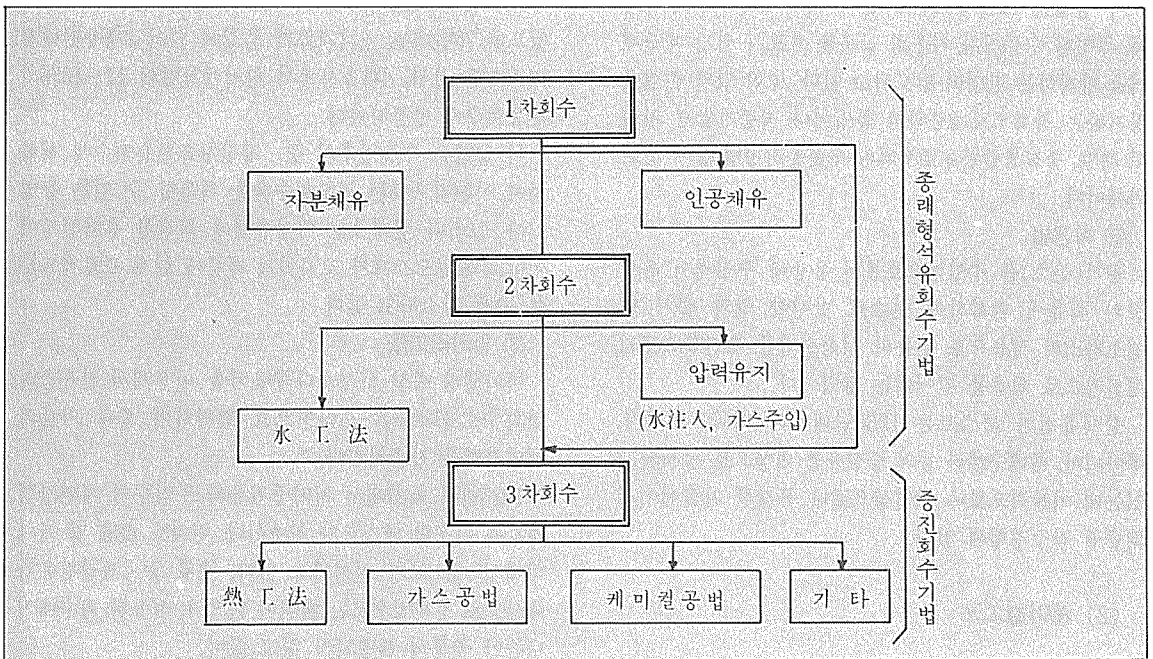
현재 전체 석유생산량에서 차지하는 EOR생산량은 겨우 2%에 불과하다. 그러나 기존유전의 생산감퇴를 신규유전개발만으로 보전하는 것은 매우 어렵다. 그 이유는 발견유전의 소규모화와 탐사개발코스트의 증가가 불가피하다는 전망 때문이다. 이 갭을 메우는 것이 EOR 기술의 적용이다.

3. EOR기술의 분류

원유의 회수율은 유층의 구조, 岩石物性, 유체성상등의 영향을 받는다. 이들 요소는 유전에 따라 다종다양해서 EOR에 대해서도 유전특성에 따라 적용이 적합하거나 부적합한 것이 있으며 여러가지 방법이 있다.

유층의 압력유지를 목적으로 한 수주입이나 가스주입은 EOR의 범주에 들지 않는다. 현재 일반적으로 EOR 기술로서 분류되는 것은 열공법, 케미컬공법, 가스공법 등이다. 그밖에 EOR로서 미생물공법이 현재가장 새로운 기술로서 기초적연구단계에 있다.

〈그림-2〉 원유회수법의 분류



각공법은 원유의 성상, 압질, 심도등에 따라 적용범위에 제약이 있다.

4. 주요 EOR공법의 개요

(1) 열공법

이 공법은 유층에 열에너지를 가해, 유층 및 그 부근을 가열하여, ① 원유의 점성을 저하시켜 유동이 용이하게 하고, ② 원유의 체적팽창 부분적 가스화에 의한 압력상승을 촉진함으로써 원유회수율을 증가시키는 방법이다.

① 수증기법

중질·고점도원유층을 대상으로 유정으로부터 수증기를 주입해서 어느 기간 유층내를 증기로 적시고 그 후 점성이 저하된 원유를 동일유정으로부터 생산하는 수증기자극법과 주입수증기로 원유를 생산정으로 밀어내는 수증기공법이 있다.

이 방법은 1950년대 후반부터 미국에서 시험이 개시되었다. '60년대에 베네수엘라, 독일, 네덜란드, 프랑스등에서도 테스트가 실시되었다. 대상유전도 얇은 사층의 중질유이외에도 서서히 깊은 탄산염암의 중질유에까지 확대되어가고 있다.

이 공법은 프로젝트수도 많아 현재 EOR의 주류인데, 주입한 수증기가 지층의 상부를 흐르기 쉽기 때문에 이를 방지하는 방법이 검토되고 있다. 또한 열의 손실을 방지하는 목적으로 2중관식 튜빙이나 저증기발생 장치의 개발, 중질생산원유로부터의 수분분리방법 등이 검토 과제이다.

② 화공법

공기(산소)를 주입정으로부터 유층에 주입해서 유층 중의 석유에 착화하여 연소로 발생한 열과 증기 및 연소가스의 작용으로 원유의 성상변화를 촉진함으로써 생산정으로 원유를 밀어내는 방법이다.

실제유전의 테스트는 1950년대부터 미국, 캐나다, 루마니아, 베네수엘라 등의 중질유를 대상으로 실시되고 있는데 이론적으로나 작업상으로도 복잡한 기술이어서 최근엔 감소경향에 있다.

(2) 케미컬工法

① 폴리마工法

폴리마란 평균분자량 100만~1,000만으로 이루어진 폴리아크릴아마이드와 같은 고분자화합물을 가리킨다. 수공법에서 사용하는 주입수에 첨가제로서 이용하여 주입수의 점성을 높인다.

이에 의해 ① 주입수량을 절감하고 ② 주입수에 대한 석유의 유동성을 증대시켜 수공법의 효율을 높이고 ③ 주입수가 이상 유동하기 쉬운 층을 폐색하여 균등하게 물을 진행시키는 등의 효과가 있다.

이 공법은 케미컬공법의 주류로서 1984년까지 약30회의 파이롯 테스트가 실시되었으며 현재도 마이셀라법의 쇠퇴로 각광을 받고 있다. 적용유질의 범위는 넓으며 수공법의 불균질성의 개선이나 고점도원유의 회수에도 이용되고 있다.

② 마이셀라 / 폴리마

마이셀라란 계면활성제, 알콜, 석유, 염수 등으로 이루어진 안정된 미셀용액(마이크로에멀션)을 말한다. 유층 중의 공극내에 원유를 포착하고 있는 주원인인 계면장력을 약화시키기 위해, 마이셀라 용액을 주입하여 석유를 유동할 수 있게 한다. 통상은 석유를 효율적으로 유동시킬 목적으로 폴리마를 병용하기 때문에 마이셀라/폴리마 공법이라 한다.

1960년대 美國에서 코어 테스트 등의 연구가 계속되었으며 70년대에 에너지비가 중심이 되어 7개유전에서 테스트를 실시, 6개유전에서 원시매장량의 11~16%의 원유회수에 성공하였다.

이 공법은 수공법후의 중·경질잔류원유회수에 적합하여 이론적으로는 최고회수율을 획득할 수 있는 공법이다. 그러나 실제로는 대상유전에 최적한 용액선정이 어렵고 원료코스트가 고가이기 때문에 현재 프로젝트수는 크게 감소하고 있다.

③ 알카리工法

마이셀라 대신 하성소다수용액을 이용해서 원유층의 탄화수소유화물을 소다염으로 변경하여 물과 기름의 계면장력을 감소시킨다.

1925년에 美國에서 저비중원유와 주입수의 계면장력 경감에 이용한 테스트가 최초이다. 현재도 美國 및 캐나다에서 테스트가 실시되고 있다. 주로 중·경질원유가 대상으로 경제적으로는 매력이 있으나, 석유의 회수메커니즘이 충분히 해명되지 않고 있다.

(3) 탄화수소가스 공법

① 탄화수소가스 공법

1950년대와 '60년대부터 석유생산에 따라 생기는 잉여 가스를 가스 캡에 주입해서 주층압력유지에 이용하거나 유층부분에 주입해서 석유의 성상변화를 촉진하는 탄화수소가스 주입이 실시되었다.

가스공법은 中·重질 원유를 대상으로 석유의 팽창, 점성저하를 주목적으로 한 非미시블공법과 경·중질원유를 대상으로 주입가스와 원유를 완전히 계면장력이 없는 단상상태로 하는 미시블공법으로 나뉘어 진다.

잉여가스를 이용할 수 있는 미시블공법은 염가이고 자원보호도 되므로 활발하게 실시되고 있다.

② 탄산가스공법

유정에 탄산가스를 주입하여 유정을 밀폐해 주입가스를 원유에 용해시켜 원유체적의 팽창과 점성저하를 촉진한 후, 같은 유정으로부터 원유를 생산하는 탄산가스 자극법과 1차회수나 수공법후의 유층에 대해 탄산가스를 주입해서 원유와의 접촉으로 미시블상태로 해서 생산정의 방향으로 원유를 밀어내는 탄산가스공법이 있다.

1971년 텍사스에서 실시된 탄산가스공법이 유명하며 최근엔 중질원유에 대한 非미시블공법의 유효성이 인식되어 프로젝트수가 증가하고 있다.

이 공법에서는 값싼 가스원의 확보, 탄산가스의 순도의 영향, 생산유체로부터의 탄산가스분리방법 등의 검토가 필요하다. 탄산가스의 코스트는 순도와 입수방법에서 다르기 때문에 경제성은 포괄적으로 논할 수는 없다.

③ 不活性가스 공법

1960년대와 '70년대 美國에서 발전용폐가스에 의한 주입테스트가 실시되었는데, 1977년에는 액체공기분리로 생산한 질소가스에 의한 주입이 실시되었다. 질소가스공법은 경질이고 심도가 깊은 고압유층에서 탄산가스의 대용으로서의 미시블공법에 적합하다고 알려져 있다.

질소가스나 폐가스를 이용한 공법은 비교적 새로운 기술로서 경제성이 우수하고 환경문제와도 얽혀서 급후유망한 공법으로 기대되고 있다.

(4) 미생물공법

유정으로부터 어떤 종류의 미생물과 그 자양물의 용액을 유층내에 주입하여 유층내에서 배양함으로써 산, 계면활성제, 가스(수소, 탄산가스)를 발생시켜 원유의 회수율을 높이는 방법이다.

이 공법은 현재 특정유정에 적합한 미생물을 선정하는 일이 어려워져서 현재 미국, 濠洲, 유럽 등에서 실험이 실시되고 있을 뿐이다. 그러나 성공하면 경제성이 우수한 공법으로서 장래가 유망시되고 있다.

5. 세계의 EOR 기술현황

EOR은 아직도 연구요소가 많으며 종전의 회수법에 비해 아직도 코스트가 높다. 이 때문에 현재는 통상적인 회수법으로는 충분한 생산량을 유지할 수 없는 중질원유나 생산성이 낮은 유전이 많은 美國, 캐나다, 베네수엘라 등 일부 산유국에서 실시되고 있는데 불과하다.

소련을 제외한 1990년초 세계의 EOR프로젝트수는 <表-1>에 나타난 것과 같다. 이들 프로젝트의 약 80%는 유전규모의 생산프로젝트이다. 그러나 이 표에서 누락되고 있는 파이롯 테스트도 몇개 있을 것으로 추정된다. 한편 소련서도 미생물공법을 포함해서 EOR프로젝트가 다수 실시되고 있는 것으로 알려져 있다.

1989년 당시 이 수준의 통계로는 530프로젝트가 존재하고 있어서 과거 2년간 대폭적인 감소를 볼 수 있다.

공법별로 보면 가스공법수는 증가, 수증기공법수는 동일수준인데 비해 케미컬공법이 유가하락으로 격감하고 있다. 이는 케미컬공법의 코스트가 저유가라는 경제적 채산과 맞지 않기 때문이다.

美國에서는 탄산가스, 탄화수소가스법의 증가가 현저하다. 이 중에서는 알래스카 프루도만의 탄화수소가스공법이 주목된다.

캐나다의 경우 EOR의 주류는 탄화수소가스공법으로, 그 수도 증가하고 있다. 베네수엘라에서는 중질원유에 대한 수증기공법이 대부분인데, 과거 2년간에 생산량이 22만b/d로부터 12만b/d로 감소하고 있다.

세계적으로 주목되는 프로젝트는 인도네시아 두리 유전의 수증기공법이다. 1985년에 개시되어 현재 약300정의 주입정과 1,000정의 생산정으로부터 16만b/d를 생산하고 있다. 1993년에 피크를 이루어 생산정 3,200정, 주입정 1,400정에서 33만b/d의 생산을 예정하

〈表-1〉 세계의 EOR프로젝트 현황

| | | 美 國 | 캐나다 | 베네수엘라 | 西 獨 | 콜 롬비아 | 프랑스 | 트리니다드 | 인도네시아 | 헝가리 | 터 키 | 리비아 | 計 |
|------------------|-------------|-----|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-----|
| 熱 공 법 | 수 증 기 공 법 | 137 | 7 | 37 | 7 | 2 | 2 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 198 |
| | 화 공 법 | 8 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 16 |
| | 열 수 공 법 | 9 | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| | 전 자 히 터 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 케 미 결 | 마이셀러폴리마공법 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| | 폴 리 마 공 법 | 42 | 3 | 0 | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55 |
| | 알 카 리 공 법 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | 기 타 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 가 스 공 법 | 탄화수소가스공법 | 23 | 51 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 80 |
| | 탄 산 가 스 공 법 | 56 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 3 | 1 | 0 | 69 |
| | 질 소 가 스 공 법 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | 연 소 가 스 공 법 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 計 | | 295 | 77 | 42 | 20 | 3 | 3 | 9 | 2 | 4 | 1 | 1 | 457 |

〈資料〉 OGJ, 1990. 4. 23.

고 있다. 이 수증기공법은 3차 회수방식으로 생산원유의 약20%가 연료로서 소비된다.

1989년부터 1992년에 걸쳐 美國에서는 신규로 34개의 프로젝트가 계획되고 있으며 그 예정 총투자액은 5억 달러이다. 그중 19개 프로젝트는 탄산가스 공법이다.

이밖에 캐나다, 西獨, 오스트리아, 트리니다드, 토바고 등에서 9개 프로젝트의 계획이 있는데, 그 내역은 가스공법이 6건이고, 케미컬공법, 수증기공법, 화공법이 각각 1건씩이다.

6. EOR기술의 과제

(1) EOR의 경제성

EOR에 의한 생산 코스트는 적용 EOR방법 및 유층의 조건, 주입하는 원료의 입수조건에 따라 달라지지만, 종전의 생산코스트에 비해 고가격이 되는 것은 부인할 수 없다. 1986년의 대폭적인 유가하락으로 EOR기술이 받은 영향은 크다. 특히 케미컬공법처럼 이론적으로 가장 높은 효율이 기대되는 공법이 침체한 것은 EOR 기술 발전에 큰 마이너스이다.

한편, 가스공법 및 수증기공법은 유가하락 중에도

경제성을 확보할 수 있는 수준에 있기 때문에 착실히 증가하고 있으며 기술개발도 발전하고 있다.

EOR에 의한 회수율 증가코스트는, 석유개발기업이 탐사활동에 의해 동량의 생산량을 예상할 수 있는 신규 유전 발견코스트와 비교해서 추산해야 할 것이다. 현재 유전발견코스트는 배럴당 15달러 정도이기 때문에 EOR 적용시에는 그 코스트가 이 금액이하로 돼야 한다.

물론 금후의 유전발견코스트는 신규발견 유전 규모가 해마다 작아지는 경향에 있으므로 상승할 것으로 예상된다. 그러나 대체에너지와의 경합을 전제로 한다면 원유가격만의 대폭상승은 허용할 수 없다. 따라서 기존 발견유전의 생산성을 높이고 회수율을 올리고 EOR기술의 경제성을 확립하는 일이 중요한 과제라 하겠다.

(2) 환경문제와 EOR

지구의 온난화 현상으로 대표되는 지구환경보전의 관점에서 화석 연료, 특히 석탄과 석유 사용에 대한 우려가 표면화되고 있다. 이에 따라 에너지에서 차지하는 석유의존도는 점차 감소되어 가는 것은 시대적 추세이다. 그러나 에너지 전체의 수요는 21세기를 향해 계속 증가하여 1990년대 중반 이후의 석유수요 꺾임이 예상되고

있다.

유전개발에 따르는 환경파괴가 선진국을 중심으로 문제시되어가고 있어서 이 측면에서도 신규유전개발은 제약을 받게 되어 있다. 이러한 정세속에서 석유수요를 충당하기 위해서는 기존유전설비를 효율적으로 활용할 수 있고 신규추가설비가 적은 EOR기술의 중요성은 금후 더욱 증대할 것으로 예상된다.

그런데 EOR기술자체도 환경문제에의 대응이 요구되고 있다. 수증기공법의 연료로서 생산원유의 직접연소가 美國에서 문제가 되고 있다. 이 때문에 연료의 천연가스화나 폐가스도 유층내에 주입하는 갱저형 스팀 발생장치의 개발등이 유망한 수단이 된다.

또한 발전용 연료의 폐가스를 이용한 가스공법에 의해 환경파괴방지에 도움을 주는 일 등을 생각할 수 있다. 그러나 주입한 탄산가스나 폐가스를 함유한 원유가 생산되는 것이 새로운 환경문제를 야기시킬 가능성도 있다.

앞으로는 EOR기술을 응용하여 지층중에서 원유의 개질·경질화 및 경질만의 선택회수등이 추구될지도 모른다.

현재 EOR기술은 아직 유층중에 잔유하고 있는 원유를 어떻게 효율적으로 회수하느냐에 초점이 맞춰져 있으나 향후엔 환경문제와의 정합성을 염두에 둔 연구개발이 필요해진다.

또한 금후 증가하는 해양유전에 대한 EOR기술 적용 등의 과제도 있어서 콤팩트한 설비와 산업물 처리가 연구요소로 생각할 수 있다. 그리고 회수효율을 한층 높이기 위해 수평유정을 이용한 EOR이 있으며 프랑스에서는 이미 현장시험이 실시되고 있다.

7. 맺는말

석유개발기술은 대상이 지하 수천미터에 위치한 유층이다. 이처럼 직접 육면으로 볼 수 없는 자연을 상대로 하는 과학기술에는 현대적 선진기술의 결집이 필요하다.

1차 회수기술에 있어서는 대상을 충분히 파악하지 않고 있는 상태에서도 어느 정도 대응할 수 있으나, 2차회수 3차회수가 되어감에 따라 보다 상세하고 치밀한 정보를 필요로 하게 되고 대응기술도 복잡해진다.

EOR기술은 수 10년간의 역사가 있다고 하지만, 아직도 확립된 기술이라고 말하기 어렵다.

현재는 중동을 중심으로한 약300개의 거대유전 생산량이 전석유생산량의 95%이상을 차지한다. 이들 거대유전에서는 일부의 수공법과 가스주입을 제외하면 현재 EOR기술이 적용되지 않고 있다. 거대유전에서는 생산성이 높고 또한 경제성의 측면에서도 EOR을 적용하는 이점이 현재엔 없다.

그래서 현재는 매우 제한된 국가에서 추진되고 있는 EOR기술연구에 대해서는 관련 기술자수도 한정되어 있다.

EOR기술은 유층공학엔지니어만이 기술분야로 대응할 수 있는 것은 아니다. 지질, 물탐기술, 개발기술은 물론, 화학공학, 기계공학, 전기공학, 생물공학의 기술도 포함한 종합기술이다.

또한 EOR기술은 기술적으로도 아직 연구단계에 있으며 경제성을 포함해서 금후의 연구요소는 많은데 연구에는 시간이 소요되므로 단기적인 유가동향으로 연구활동이 좌우되는 것은 바람직한 일이 아니다.

지구환경문제를 염두에 두면서 자원량이 풍부한 중질 원유, 거대유전을 포함한 기존유전의 회수율 향상을 목표로 한 착실한 기술축적을 꾀하는 일이 중요하다.

♣ 〈有開公, 주간석유뉴스〉

피땀흘려 이룬경제 과소비로 무너진다.