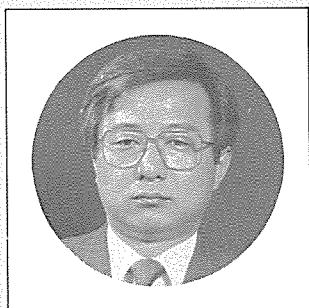


국내외 석유자원탐사  
및 개발기술수준

석유는 현 산업사회의 주종 에너지원이며 모든 산업활동에 있어서 석유화학제품이 차지하는 비중은 실로 막대하다 할 수 있다. 따라서 모든 국가들은 정책적으로 원유를 발견하고 확보하기 위하여 엄청난 자금과 인력을 투입하고 있다. 그러나 전 세계적으로 대규모 유전은 거의 발견된 상태로서 최근에는 중소규모 유전의 발견이 대부분이며 현재에도 탐사 및 개발대상이 되는 유전들은 거의 소규모 내지는 겨우 경제적 한계점에 미치는 것들이 많다.

“ 專門人力과 技術力 확보가 關鍵 ”



韓宗煥  
〈韓國석유개발공사 기술실장〉

또한 대상지역도 지리적 환경이 매우 열악한 심해, 극지 및 오지로 향하고 있는 실정이다. 그러므로 이러한 환경하에서 경제성이 있는 유전을 발견하고 생산키 위해서는 고도의 첨단적인 기술이 필요하며 이를 위하여 각 분야에서 석유기술의 연구개발이 매우 활발하게 진행되고 있다.

그외에도 석유개발은 막대한 초기 자본투자가 필요하나 성공율은 매우 낮아(전 세계적으로 5% 미만) 경제성이 있는 유전개발을 위해서는 새로운 기술개발이 필요한 것은 말할 나위도 없고 특히 고유가시대를 대비한 비재래식석유(unconventional oil) 즉, 오일세일 역청사(Tar sand)의 개발 및 중질유의 개발을 위해서는 더욱 새로운 기술개발이 절실히 요망되고 있다.

석유개발이 시작된 이래 개발대상이 된 유전의 대부분이 지질학적으로 모두 다르며 그곳으로부터 얻어지는 자료의 양 및 내용들이 모두 다르므로써 유전탐사 및 개발을 위해 적용되는 기술 또한 매우 광범위한 분야에 걸쳐 있다. 다시 말하자면 석유탐사 및 개발에 관한 기술은 모든 기초과

학을 토대로 하여 그외 여러가지 응용 및 공학분야가 종합적으로 적용될 뿐만 아니라 이들 간에도 상호 유기적인 연관성을 갖고 있는 점이 이 기술분야의 특징이라 할 수 있다.

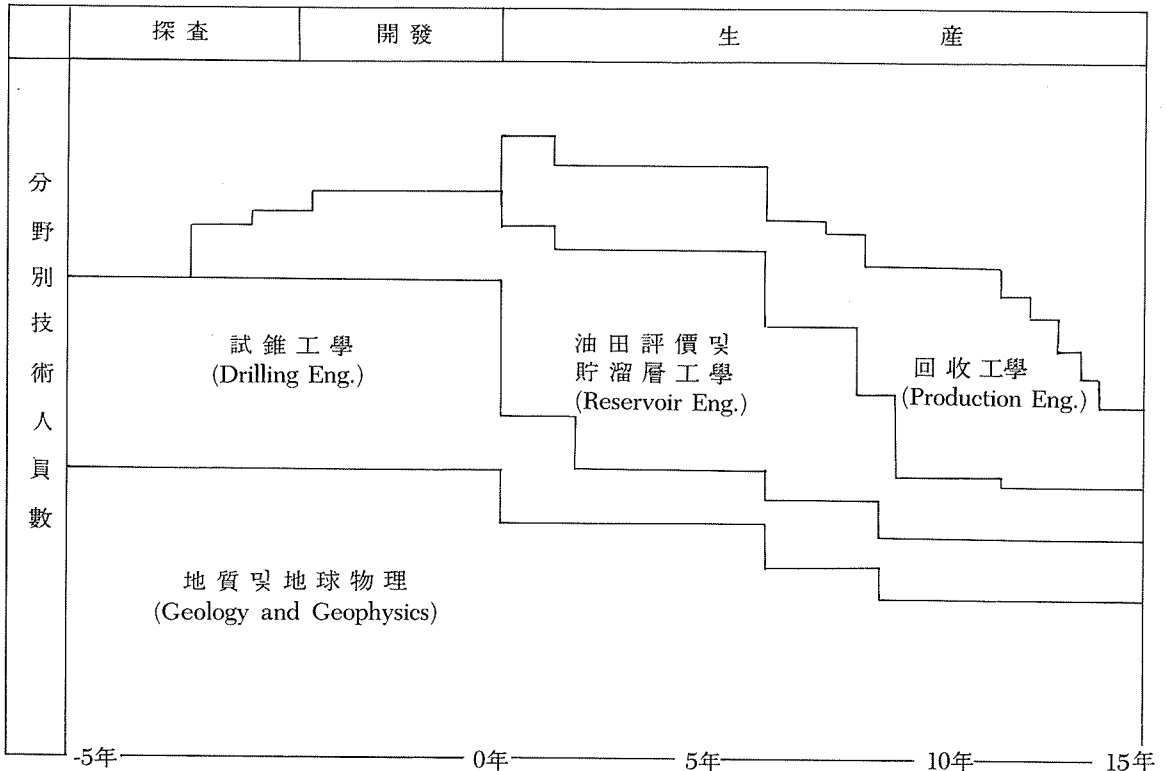
### 탐사 및 개발단계와 전문기술분류

일반적으로 단일 유전의 생명은 초기 탐사단계에서 생산수명까지를 합치면 약 20년 정도 걸리는 것으로 생각된다. 그 중에는 탐사단계가 5년, 그리고 생산기간은 15년이 걸리는 것이 일반적이다(그림-1). <그림-1>에서 보듯이 최초의 단계에는 주로 지질 및 지구물리와 시추공학 분야의 기술에 의존하여 유전의 발견에 주력하게 되며 이 단계에서 대상광구의 유망성 및 추정매장량과 경제성 등을 예측하게 된다. 따라서 이 단계에서 모든 기존자료가 취합되며, 이 자료들의 종합적 분석을 통하여 정밀탐사 내지 시추작업 여부가 결

정되며 유망구조 판명시 시추를 함으로써 유전을 발견하게 된다.

그러나 일단 유전이 발견되면 이에 따라 개발 기술이 적극적으로 활동되어야 하며, 이 기술은 유전평가, 저류공학 및 회수공학분야로 나누어지고 이러한 기술을 적절하게 사용함으로써 개발 유전에서 최대한의 원유 및 가스를 생산하게 된다. 일단 유전이 발견되면 충분한 시간을 갖고 유전평가를 하며 생산계획을 수립하는 것이 중요하며 이를 위하여는 원유나 가스를 함유하고 있는 저류층의 특성을 면밀히 파악하여야 하며 발견 유전층에서 최대한 원유나 가스를 생산할 수 있도록 여러 회수공학적 방법들이 선택된다.

석유기술분야를 크게 두가지로 나눈다면 탐사 기술분야와 개발기술분야를 들 수 있다. 탐사분야는 세부적으로 지질학적조사, 지화학적탐사와 이에 대한 종합적인 해석분야가 있고 그 외에 중력 및 자력과 탄성과탐사를 모두 포함하고 있는



<그림-1> 油田開發 段階別 技術人力の 需要變化

'88.5 石油開發時報

물리탐사가 있다. 개발기술분야는 크게 시추 및 이수공학, 검층, 유전평가 및 저류층공학 그리고 생산 및 회수공학으로 나뉘어진다.

지질학적 조사법중 지표지질조사는 탐사단계에서 최초로 수행되는 작업으로서 전혀 탐사작업이 없는 지역에서 주로 이루어지며 이러한 작업을 통하여 얻어진 자료 및 정보는 추후 수행될 작업의 기초가 된다. 사진지질조사는 인공위성에서 찍은 Landsat이나 적외선사진을 판독하여 여러가지 지형학적 또는 구조지질을 파악하는데 도움을 준다.

그외에 지하지질조사는 탐사정을 굴착하여 얻어진 암편 및 코아에 대한 지질학적 및 지화학적 분석과 순환이수(drilling mud)의 상태 및 검층자료를 분석하여 지하심부의 지질상태를 파악하며 나아가 석유 및 가스층의 부존여부 및 상태를 규명하는 것이다.

물리탐사 조사법중 가장 널리 사용되는 방법은 반사법 탄성과탐사로서 이는 석유나 가스를 찾아내는데 가장 필수적인 방법으로서 전체 물리탐사 경비의 약 90%이상을 차지하고 있다. 이 탄성과탐사법은 시추후보지 선정에 위한 지하지질구조 파악에 주로 사용되며 세계적으로 해마다 탐사에 소요되는 비용이나 투입되는 인원수로 볼 때 다른 물리탐사법에 비해 훨씬 중요한 위치를 차지하고 있으며 석유탐사의 부가가치가 높은 점 때문에 탄성과탐사의 자료획득, 전산처리 및 해석 방법은 지난 수십년 동안 획기적인 발전을 이루어 왔다. 이 방법은 지표나 수면 위에서 다이내마이트 또는 기타 충격장치와 air gun과 같은 인공 탄성과 에너지를 사용하여 파를 발사한 후 이 파가 지하지층의 경계반사면에서 반사되어온 기록을 반사파의 왕복주시(two-way travel time)로 나타낸 단면도로서 사용하는 것이다. 이 단면도는 지하지질에 대한 가장 많은 정보를 담고 있으므로써 석유나 가스가 집적될 수 있는 지질구조나 퇴적환경 나아가서는 분지의 생성 및 발달을 이해 할 수 있는 자료를 제공하여 주므로 이는 탐사자료의 핵심이 된다고 할 수 있다.

자력탐사법은 암석이나 광물의 대자율(magnetic

susceptibility)의 차에 의한 자기이상을 측정하고 이를 해석하는 탐사법으로서 1870년 Thalen과 Tiberg 가 자력탐사용 기기를 개발하면서 부터 시작되었다. 이는 특히 주변암과 자성의 차가 뚜렷한 화산분출암이나 기반암으로서 심성암체의 조사에 매우 효과적인 방법이다.

중력탐사는 중력장내에서 위치에 따른 암석이나 광물의 밀도차에 의한 중력의 작은 변화 즉 중력이상(gravity anomaly)을 측정하고 이를 해석하여 지하지질구조 상태를 파악하는데 사용하는 것이다. 석유개발기술분야 중 시추 및 이수공학 분야는 탐사단계에서 유망구조가 발견된 후 이를 확인하는 탐사시추와 생산을 위한 개발시추가 있다. 이러한 목적을 위하여 주로 사용되는 시추법은 회전식 시추법(rotary drilling)으로서 이를 위해 케이싱, 시멘팅, 비트 및 이수에 관한 기술분야와 제어 및 완결기술 등이 있다. 그 다음 검층 기술에는 세부적으로 지질검층, 물리검층 및 이수검층으로 나뉜다. 이는 시추과정 또는 시추후 시추공으로부터 여러가지 자료를 수집하고 분석하여 지층의 상태 및 석유나 가스의 부존상태를 조사하는 기술이다.

유전시추에 있어서는 지질검층 및 물리검층은 시추도 중 채취되는 암석시료(주로 cutting)와 순환이수를 현장에서 전문가들이 분석하여 그 결과를 이수검층도에 기록한다. 그 외에 시추공내에 물성측정기기를 투입하여 자연적 또는 인공적으로 발생시킨 지층내의 물리적 현상을 측정하여 지층을 수직연속적으로 조사하는 것이다. 이 측정결과를 전도성 케이블을 통하여 지상의 기록계에 전달되어 검층곡선으로 표시된다. 유전지역에서는 지층의 특성 및 저류지층을 판별하고 지층의 생산성을 평가하기 위하여 개발되었으며 저류층의 전기적 성질, 방사선 성질 탄성과(음파) 성질 및 중성자 충돌에 의한 반응특성 등이 측정된다. 이후 유전이나 가스정이 발견되거나 전이어 라인 검층으로 유망하다고 판단되는 지층이 있을 시 케이싱을 삽입하기 전에 특별히 고안된 장치로서 유정의 상부와 하부를 차단시켜 원유나 가스를 지상으로 분출시키게 하는 시험생산방법

(Drill Stem Test)이 있다.

유전평가 및 저류공학분야는 물리탐사와 석유 및 가스가 부존된 것이 확인되면 생산을 위하여 유전의 규모 매장량 및 회수율 등을 산정한다. 이를 위하여 여러가지 탐사 시 수행되었던 자료들이 사용되며 개발을 위한 저류층 압력 및 저류층내 유체거동에 대한 평가 등이 수행된다. 마지막으로 생산 및 회수공학은 석유탐사가 완료되고 저류층평가가 이루어지면 석유나 가스의 생산 즉 회수단계에 들어가는데 이러한 기술은 크게 석유가 흐르는 경로를 따라 저류층내 유동에 관한 기술, 갱정내 유정에 관한 기술과 지상 생산시설내의 유동에 관한 기술로 분류된다.

### 국내외의 탐사 및 개발기술현황

석유개발은 그 사업성격상 고도의 전문화된 기술과 막대한 자본을 필요로 하며 그 대상지역도 열악한 지역으로 향하게 됨으로써 그 기술도 점차 모든 분야의 첨단기술을 총동원하고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 여러가지 기술의 종합적인 성격을 갖고 있으므로 특히 기초 및 응용과학과 공학기술이 발달된 구미 선진국에서 새로운 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다.

근래 석유개발에 관한 첨단기술개발은 주로 대규모 석유회사의 연구진과 각 대학 그리고 석유전문연구소 등에서 주로 수행되어지고 있다. 그 예로는 세계 최대의 석유회사인 Exxon의 Production Research Co.에서는 석유개발 전반적인 분야 즉 지질학, 지구물리학, 지구화학, 시추, Completion, 생산설비, 생산공학, 저류층관리, EOR(증진회수법), 극지개발 및 분지해석 등에 대한 연구개발을 수행하고 있으며 미국의 Amoco Production Co. Arco Oil & Gas와 Chevron Oil Field Research Co.를 위시하여 Phillips, Conoco, Unocal, Sun, Marathon 등 대규모 유전회사들은 대부분 막대한 규모의 재정적 지원하에 시추 및 E & P(Exploration and Production)에 관한 모든 연구와 아울러 2, 3차 생산을 위한 water, gas, chemical injection 방법과 그 외에도 비재래식 석유(unconven-

tional oil) 생산방법 등 전반적인 석유탐사 및 개발에 관한 연구를 수행하고 있다.

그 외에도 미국에는 지질조사소를 위시하여 비영리연구단체인 Gas Research Inst. 등 십여개의 석유전문연구기관들이 있고 수십개의 대학에서 석유탐사 및 개발에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다. 캐나다의 경우에도 Shell Canada Ltd., Calgary Research Center 외에 십여개의 연구기관 및 여러 대학에서 지질, 탐사 및 증진회수법 등 특히 캐나다에 많이 부존되어 있는 역청사(oil sand) 및 중질유의 현지회수기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 밖에도 영국의 지질조사소, Imperial College of Science Technology와 BP, 불란서의 Total, Elf Aquitaine과 프랑스 석유연구소 등, 독일의 German Petroleum Research Inst. 등 모든 선진국가들은 첨단적인 석유개발기술에 총력을 기울이고 있다.

이러한 전문연구기관에서 연구개발되는 새로운 기술 중 탐사에 있어서 필수적인 물리탐사의 발전도 매우 괄목할만 하다. 최근 석유탐사의 대상이 단순한 배사구조로 부터 복잡하고 해석이 어려운 구조로 옮겨감에 따라 보다 높은 정밀도를 요구하는 지하정보가 필요케 되었다. 이를 위해서는 기존기술만으로는 대응이 곤란하므로 물리탐사 특히 탄성과탐사에 있어서 입체적으로 지하구조를 포착하는 3차원적 탄성과 탐사법이나 암상추정기술 등의 새로운 기법들이 실용화 되고 있다. 또한 막대한 정보를 유기적이고 신속히 취급하기 위하여 컴퓨터와 컬러그래픽을 갖춘 회화형 해석시스템이 개발되었다. 그 외에도 지하의 형태를 컬러로 표시하거나 입체적 화상의 작성이나 모델링을 통하여 지하 심부에 부존되어 있는 석유 및 가스의 트랩을 보다 정확히 추정할 수 있게 되었다.

시추기술에 있어서도 막대한 경비가 소요되는 시추가 과거에는 단순히 경험과 육감에 주로 의존하였으나 최근에는 다양한 각도에서 자료를 분석하여 시추작업을 제어 및 조정하는 과학적인 방법이 개발되었다. 시추작업의 과학적인 제어 및 조정은 정확한 시추정보, 특히 유정내의 정보

를 리얼타임으로 입수하는 일부터 시작하여 입수한 자료를 처리한 후 현장작업에 다시 적용하는 것으로서 이와같이 각 단계에 대응해서 연구개발되고 있는 것이 MWD(Measurement While Drilling), 굴착제어 프로그램 및 데이터베이스 그리고 굴착작업의 자동화이다. 초기에 MWD는 오직 경사굴착제어에만 사용되었으나 최근에는 비트하중, 회전토크 등의 굴착파라미터의 측정이 가능하게 되고 또한 지층의 머저탐이나 r선 등의 지질정보를 얻기 위한 센서가 개발되어 사용되고 있다.

그 외에도 최근에는 유층 simulation 기술이 발달되어 유층평가작업이 보다 정밀하게 수행되며 따라서 원유생산량의 동향예측 및 가채매장량 평가 등이 매우 신빙성 있게 수행되고 있다. 유층 simulation은 1950년대 R-C network model 등의 물리모델로 시작되어 현재는 컴퓨터와 더불어 발달된 수치모델에 의해 보다 복잡한 simulation도 가능케 되었다. 유층 simulation에서는 지질, 물탐, 검층 등의 각 방면으로 부터 얻어진 모든 자료가 모두 입력되어 유전의 형태를 재현함과 동시에 나아가 재현된 유전의 모델을 이용하여 장래의 예측 simulation을 실시하기도 한다.

이와같이 구미 선진국에서의 최신 석유개발기술은 주로 컴퓨터를 사용하여 여러가지 다양한 자료 및 정보를 대량으로 입수하여 이들을 분석한 후 그 결과를 현장에 사용하거나 simulation을 통하여 실제와 같이 재현시키는 이를 위하여 특수 개발된 고성능 컴퓨터가 사용되기도 한다.

이에 대해 국내 석유개발기술이 아직 선진국 수준에 못미치고 있는 것은 사실이다. 국내 석유 개발은 1960년대 대륙붕에 대해 항공 중자력탐사를 실시한 것을 효시로 1969년 대륙붕에 7개광구를 설정하였으나 외국회사들로 하여금 해저석유와 천연가스의 탐사 및 개발을 하도록 하였다. 그 후 1979년 석유개발공사가 설립되었으나 단독으로 대륙붕 탐사를 실시한 것은 1985년 부터이다. 현재까지 대륙붕에서 22개공의 시추를 수행하였으나 경제성이 있는 석유나 가스전은 발견치 못하고 있는 실정이다.

해외유전개발도 1981년 마두라 유전개발을 선두로 현재 9개국 20개 광구에 탐사 및 개발을 하고 있으나 예멘의 마리브유전외에는 아직 커다란 성공한 예가 없다고 볼 수 있다. 그러나 현재 수행중인 탐사광구들도 거의 대부분 외국회사의 운영하에 지분참여를 할 정도이다.

〈표-1〉 석유개발공사의 자체적 석유개발기술자립도 측정

연 도 별		1988	1989	1990
탐사단계	상대적 자립도	49.8%	61.8%	69.9%
	절대적 자립도	5.6%	6.9%	7.8%
	국산화 자립도	5.6%	6.9%	7.8%
시추단계	상대적 자립도	60.0%	68.2%	69.7%
	절대적 자립도	2.8%	3.2%	3.2%
	국산화 자립도	56.7%	57.1%	57.2%
평가단계	상대적 자립도	50.0%	61.1%	72.0%
	절대적 자립도	19.7%	24.0%	28.4%
	국산화 자립도	56.1%	60.45	64.8%
가중평균	상대적 자립도	53.1%	63.8%	70.0%
	절대적 자립도	4.2%	5.1%	5.7%
	국산화 자립도	35.2%	36.0%	36.5%

개발단계 및 생산단계는 본 평가에서 제외함.

\*\*\*용어정의\*\*\*

절대적 자립도(Absolute self-sufficient) :

총 비용에 대한 운영권자의 자립도

상대적 자립도(Relative self-sufficient) :

운영권자 수행 비용에 대한 유개공의 자립도

국산화 자립도(Domestic self-sufficient) :

총 비용에서 해외용역을 제외한 비율

현재까지 국내 석유개발 기술진들의 인력현황을 보면 석유개발관련 자료를 어느 정도 이해하고 해석할 수 있는 인원은 약 150여명 정도로서 이는 가까운 일본의 총 1,500명의 10분의 1밖에 안되는 숫자이다. 이 인원중에는 석유개발공사의 55명을 포함하여 20~30여명에 달하는 동력자원연구소의 연구인력에 의해 70~80명이 민간회사에서 석유개발사업에 종사하고 있다. 그러나 이 기술인력도 대부분 석유탐사 및 시추에 있어서 기

본적인 업무 및 평가를 수행할 수 있을 정도이며 구미 선진국의 석유회사에서 수행하는 3차원적 탄성과 모델링이나 유전개발시 최근 외국에서 많이 사용하는 방향성 시추, 2, 3차 증진회수에 대한 기술과 그 외의 지화학 모델링 그리고 저류층 simulation 등 첨단기술들은 아직 초기연구단계이거나 미습득한 실정이다.

일본의 경우에는 일본석유공단(JNOC) 내의 석유개발기술연구소와 2개의 민간연구기관이 있어 자체적인 기술개발에 막대한 투자를 하고 있는 반면 국내에는 아직 단 한개의 석유개발전문연구소도 없는 실정이다. 일본이 1989년말 현재 전 세계에 탐사광구 53개와 생산광구 28개를 가지고 연간 원유소비량의 10%를 자주 개발하고 있는 점을 볼 때 국내의 석유개발기술인력은 그 숫자 상에서 볼 때도 매우 미약하다.

그러나 국내의 석유개발사업도 지난 5~6년간 급격한 성장을 보여 지난 1987년 9월부터 11월까지 제6광구 돌고래 III공에서 시추결과 지하 1,359m와 1,370m의 11m 구간에서 양질의 가스층을 발견하였다. 이는 거의 대부분 국내 기술진에 의하여 올린 개가라 할 수 있다. 그후 경제성이 있는 추가 가스매장량확보를 위하여 계속적인 시추를 수행하고 있다. 최근에는 해외개발사업도 매우 활발하여 유공이 미얀마에서 운영권자로서 사업을 수행하고 있는 외에 삼성, 현대, 대우 등 종합상사들을 위시하여 총 10여개의 민간회사가 해외석유개발에 관심을 갖고 참여하고 있다. 따라서 수년 사이 국내 석유개발기술수준은 급속도로 성장하고 있으며 아울러 기술인력수도 대폭 증가 추세에 있다.

석유개발공사가 자체적으로 석유개발기술 자립도를 계량적으로 측정할 바에 의하면 표1에서와 같이 상대적 자립도는 1988년에 53.1%, 1989년에 63.8% 그리고 1990년에는 70.0%에 달할 것으로 보고 있다. 이는 해상광구(100km×100km)의 운영권자로서 탐사단계, 시추단계, 평가단계에 소요되는 제 비용을 국제적 표준치 즉 대규모 석유회사가 소요되는 비용에 대비하여 각 항목의 가중치에 따라 소요비용 백분율로 표시한 것으로

서 개발 및 생산단계는 제외하였다. 이는 물론 석유개발공사의 단일업무에 대한 자립적 수행능력을 표시한 것으로서 실제 업무물량이 증가하면 사업수행 자립비율은 기술능력 자립비율에 비하여 떨어질 것이다. 여기에서 참고하여야 할 점은 실제 외국의 대규모 석유회사에서 전 기술분야에 대하여 독자적인 업무를 수행하는 경우는 거의 없고 검층이나 생산시험(DST) 그리고 물리탐사자료획득 등은 타 전문용역회사에 의존하는 것이 상례이므로 어느 회사도 절대적 자립도가 100%인 곳은 없다.

따라서 앞으로 국내 기술개발수준을 선진국 수준까지 향상시키기 위해서는 탐사분야의 고급인력확보는 물론 개발 및 생산단계의 기술자들의 양성이 절대적으로 필요하다.

아직 초기단계에 있는 국내 석유개발사업에 대한 기술수준은 구미 선진국 석유회사의 수준에 비하면 훨씬 뒤떨어져 있는 점은 사실이다. 그러나 그동안 국내 대륙붕 석유개발과 해외석유개발 사업을 통하여 얻어진 기술 및 경험습득은 국내 석유개발기술 수준을 어느정도 궤도에 올려 놓았다고 해도 과언은 아니다. 하지만 2,000년대 국내 석유소비량의 20%를 자주개발토록 한 정부의 정책을 원만히 수행키 위해서는 전문기술 인력의 양적 및 질적 확대가 절실히 요구되고 있다. 이를 위해서는 석유개발 전문연구센터 및 석유개발전문연구소 등의 신설이 시급히 요망되며 국내외에 산재되어 있는 전문인력의 효율적 활용도 하나의 해결책이 될 수 있다.

또한 국내 대학에 석유개발에 관련된 교과과정을 대폭 증설하여 기술인력의 저변확대를 도모하여야 하며 이에 대한 정부차원의 적극적인 지원도 또한 필요하다고 생각한다. 현 시점에서 볼 때 국내 석유개발수준의 수직적 향상 및 수평적 팽창과 첨단기술도입을 통한 기술자립도 제고는 우리 석유개발업계가 당면한 최대의 과제라 할 수 있다.

우리모두 참여속에

인구주택 바른조사