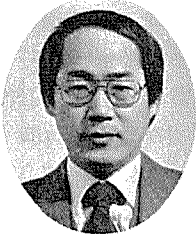


代替에너지와 石油의 關係



李 會 晟

〈韓國動力資源研究所·經濟學博士〉

代替에너지는 1973年 이후에“發見”된 에너지라 볼 수 있다. 그 전에도 石炭, 原子力, 天然가스, 合成石油, 再生可能에너지 등 非石油에너지는 존재하고 있었지만, 이들에게 경제적 생명이 부여된 것은 1973년 오일쇼크 이후이다.

本稿의 주 목적은 이들 代替에너지, 특히 天然가스, 石炭, 셰일·오일의 經濟的 有用性을 검토, 분석하는 데에 있다. 이들 세가지의 代替에너지는 石油를 직접 代替할 수 있다는 점에서 매우 중요한 燃料源이라 볼 수 있다.

本稿에서 인용된 데이터는 資料源의 별도 제시가 없는 한, 여러 종류의 논문 및 보고서에서 선별적으로 取合된 결과임을 밝혀 둔다.

1. 天然가스

天然가스는 매우 중요한 에너지源이다. 비록 주요는 현재 미미하지만, 풍부한 매장량과 低公害의 燃料特性 때문에 수요의 확대가 예상되고 있다.

天然가스의 매장량은 7,353조 입방피트(tcf)로서 이것은 石油 1.5조 배럴에 상당하며 石油의 매장량 1.1조 배럴을 능가하고 있다. 현재 매장 확인비율은 天然가스 31%, 石油 60%이기 때문에 前者의 開發展望은 後者보다 아주 양호하다.

天然가스의 매장은 지역적으로 편중되어 있지 않다. 石油 매장량의 90%가 OPEC(石油輸出國機構)에 소재하고 있는 데에 비해 天然가스 매장량의 OPEC 점유율은 30% 미만이다. 〈圖1〉에 나타나 있는 바와 같이 OPEC天然가스의 상당부분은 油田

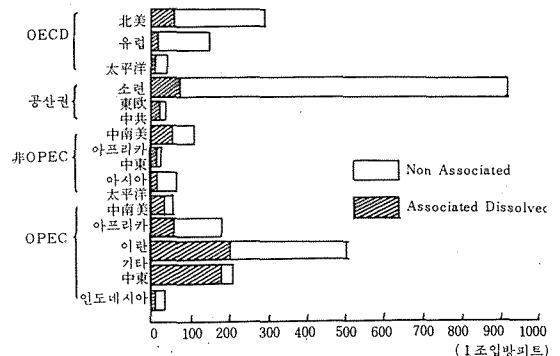
에서 石油와 共存하는 associated 가스로서 그 생산은 石油生産에 의해 통제되기 때문에 에너지多邊化 대상으로서는 매우 부적당하다.

Non associated 가스의 매장은 北美, 유럽, 소련, 南美, 아시아, 태평양지역에 많다. 그리고 OPEC 국가 중 아프리카와 이란, 인도네시아에는 Non associated 가스의 매장이 많다.

天然가스의 매장량과 가스 輸出能力에는 커다란 차이가 있다. 가스田의 지질적 위치가 經濟的 開發을 여의치 못하게 할 수도 있고 기술적 제약 때문에 大氣燃燒를 해야 하는 경우도 있고, 수요처와 너무 원거리여서 經濟性이 소멸될 수도 있고, 또 기존 판매계약 때문에 수출 능력이 제약을 받을 수도 있다.

주요 지역별 수출가능량에 대한 검토 결과가 〈表1〉에 요약되어 있다. 전 세계적으로 확인매장량의

〈圖1〉 世界 天然가스 매장량(tcf)



〈表 1〉 天然가스輸出 可能量 (tcf), 1978

	OECD	非OPEC	共 産 圏	OPEC	計	%
確 認 매 장 량 (연 소)	464 (3)	186 (45)	945 (120)	962 (153)	2,557 (321)	100.0 (12.6)
商 業 化 可 能 量 (미개발가스매장)	461 (13)	141 (2)	825 (-)	809 (279)	2,236 (294)	87.4 (11.5)
실제 商 業 化 可 能 量 (국 내 시 장)	448 (304)	139 (66)	825 (371)	530 (170)	1,942 (911)	75.9 (35.6)
(시 장 성 결 여)	(71)	(-)	(-)	(-)	(71)	(2.8)
輸 出 可 能 量 (수 출 시 장)	73 (49)	73 (7)	454 (15)	360 (77)	960 (148)	37.5 (5.8)
未 來 수 출 능 력	24	66	439	283	812	31.7

32% 정도가 수출 가능하며, 이를 지역별로 보면, 소련 및 中共이 46%, 非OPEC 35%, OPEC 29%, OECD 5%이다.

OECD의 가스國 중 수출 여력이 있는 곳은 캐나다, 濠洲, 뉴질랜드 정도이다.(圖2 참조) OPEC 중 수출여력이 있는 곳은 카타르, 아랍 에미레이트, 리비아, 나이지리아, 알제리, 가봉, 베네수엘라, 에콰도르, 인도네시아이다. (圖3 참조). 非OPEC에

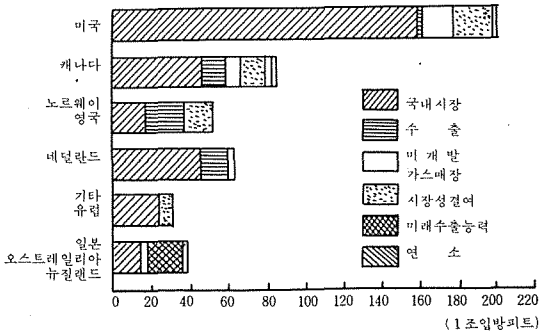
서는 멕시코, 브루나이, 말레이시아, 방글라데시, 바레인, 트리니다드, 아르헨티나, 콜롬비아, 칠레, 튀니지, 泰國이다. (圖4 참조). 소련과 이란에도 상당량의 수출여력이 있음을 알 수 있다. (圖5 참조).

현재의 LNG 무역량은 년1.8tcf 정도이며 이것은 천연가스 확인매장량의 0.08%에 불과하다. 무역량이 저조한 이유는 液化와 輸送 및 氣化에 소용되는 막대한 비용 때문이다. 液化費用은 規模의 經濟狀態에서 백만 Btu當 1.40달러이며 氣化費用은 0.40달러이다. 輸送費用은 5,000海里를 향해서 백만 Btu當 2.70달러이며 1,000海里를 초과할 때마다 약 0.10달러씩 輸送費가 증가한다. LNG의 消費者價格은 石油제품의 價格과 경쟁적으로 형성되기 때문에 液化, 輸送, 氣化의 별도 비용은 LNG의 交易의 확대를 저해하는 要素로 등장하게 된다.

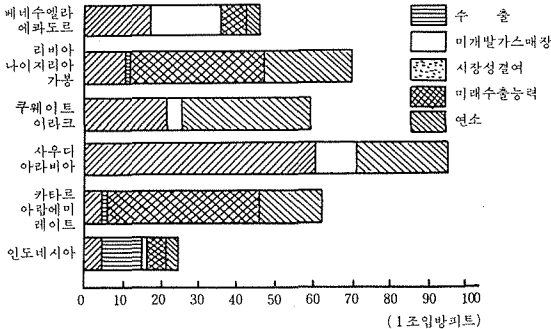
LNG의 價値는 輸送費에 의해 좌우된다. 〈圖6〉에 제시되어 있는 바와 같이 北유럽에서 소비되는 LNG중 가장 價値가 높은 것은 北아프리카에서 輸入되는 것이고, 이것은 페르시아灣 것보다 輸送費가 월등히 저렴하기 때문이다. 수에즈 운하를 사용하는 대신 아프리카의 南端을 돌아올 경우 LNG수입은 輸送費의 상승 때문에 손실을 수반하게 된다. 美國의 경우도 輸送費 때문에 北아프리카에서 輸入되는 LNG가 최대의 價値를 소유하게 된다. 同一한 이유 때문에 日本의 경우 東南亞에서 輸入되는 LNG가 최대의 價値를 향유하게 된다.

日本의 LNG소비자 가격이 여타 지역에 비해서 높은 이유는 日本 정부의 강력한 燃料多元化 정책 때문에 가격은 그리 중요한 협상의 대상이 아니었

〈圖2〉 OECD國 가스 産業 現況 (tcf)



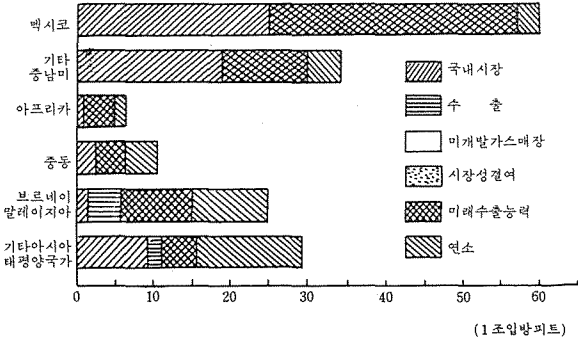
〈圖3〉 OPEC國 가스 産業 現況 (tcf)



〈表 3〉 石炭生産 展望 (백만톤)

국 별	1975	1985	2000	2020
오스트레일리아	69	150	300	400
캐 나 다	23	35	115	200
중 공	349	725	1,200	1,800
서 독	126	129	145	155
인 도	73	135	235	500
일 본	19	20	20	20
폴 란 드	181	258	300	320
남 아 공 화 국	69	119	233	300
영 국	129	137	173	200
미 국	581	842	1,340	2,400
소 련	614	851	1,100	1,800
기 타 국 가	360	483	619	751
세 계 총 계	2,593	3,884	5,780	8,846

〈圖 4〉 非OPEC國 가스産現況 (tcf)



다는 점, 日本의 硫黃分 규제가 유럽이나 美國에 비해서 강화되어 있기 때문에 LNG의 경쟁연료는 硫黃분이 아주 적은 高質의 燃料油이었다는 점이다.

2. 石 炭

石炭의 매장량은 매우 풍부하다. 현재의 소비 수준으로 볼 때 200년은 넉넉히 쓸 수 있는 확인매장량이 있으며, 石炭總資源量은 이것을 월등히 능가하고 있다. (表2 참조)

〈表 2〉 世界石炭매장량 (십억톤)

	Resources		Reserves	
	Hard coal	Brown coal	Hard coal	Brown coal
아 프 리 카	173	n. a.	34	n. a.
라틴아메리카	22	9	5	6
오스트레일리아	214	49	18	9
캐 나 다	96	19	9	1
미 국	1,190	1,380	113	64
중 공	1,425	13	99	n. a.
소 련	3,993	867	83	27
서 유 럽	536	54	95	34
기 타	76	7	37	3
세 계 총 계	7,725	2,399	493	144

석유 공급이 불안정해짐에 따라 石炭에 대한 기대와 비중은 점차로 커지고 있다. 1978년 World Energy Conference에 의할 것 같으면, 서기 2000년까지 石炭 생산은 년 58억 톤에 달해 현재의 2배 수준으로 될 것이다. 濠洲, 中共, 폴란드, 美國, 소련 등이 주요 생산국이다. (表3 참조).

石炭의 무역량도 LNG와 마찬가지로 매우 미미하다. 총생산량의 겨우 8% 정도가 交易되고 있으며 이 대부분이 日本으로 수입되는 Coking Coal이며, Steam coal은 전체의 2%에 불과하다. 石炭專用港灣設施의 확대, 석탄수송선의 근대화등이 이루어져야 石炭交易량은 확대될 수 있을 것이다.

World Energy Conference에 의할 것 같으면, 에너지 전체의 수급균형을 고려할 때 서기 2000년까지, 石炭의 交易량은 현재의 년 5천만톤에서 10배가 증가한 5억톤으로 증대할 전망이다. 주요 수입국은 西유럽諸國, 日本, 韓國등이다.

石炭需要의 증대가 예상되는 이유는 石炭發電의 單價가 석유발전보다 월등히 저렴하기 때문이다.

〈表5〉에 제시되어 있는 바와 같이, 석탄발전은 석유발전보다 자본비용, 운영비용이 높으나 연료비가 훨씬 낮아서 전체적인 單價는 낮아진다. 石油와 石炭發電비용의 上限線은 大氣汚染 방지를 위해서 Flue gas desulfurization (FGD) 장치를 설치할 때를 나타낸다. FGD 설치는 석유발전비용을 8%, 석탄발전비용을 27%나 상승케 한다. 低硫黃 石炭을 사용하여 FGD가 필요없을 때에는 석탄발전의 비용이 원자력 발전비용보다 基低負荷의 경우에도 저렴함을 알 수 있다. 公害防止의 방법에 따라서 石炭은 가장 경제적인 발전연료로 등장할 수 있음을 나타낸다.

合成石油 원료로서의 石炭의 가치는 아직 불투명

〈表 4〉 發電연료의 비교

향후20년간KWh 당 비용 (1/10센트)	원자력 2×1.1 GW	연료유 2×0.6 GW	유연탄 2×0.6 GW
자본비용	14.9	7.5-9.6	9.6-12.4
운영비및유지비	2.4	2.0-4.2	2.2-5.1
연료비	6.5	31.0-29.0	10.8-11.3
KWh 당 총비용 (연 5500 시간)	23.8	40.5-42.8	22.6-28.8
KWh 당 총비용 (연 7000 시간)	20.7	38.9-40.8	20.6-26.1
KWh 당 총비용 (연 5000 시간)	25.3	41.2-43.8	23.6-30.0
KWh 당 총비용 (연 3000 시간)	36.3	46.7-50.8	30.6-39.1

원자력 발전소는 가압수형원자로로 가정

	원자력	석유	석탄
건설비 \$ / KW	\$ 700	\$350-\$450	\$450-\$580
평균연료비 (1986-2006) \$/10 ⁹ J	\$0.62	\$3.16-\$2.82	\$ 1.07

하다. 石油價格이 30달러를 넘어섰는데도 合成石油의 경제성은 확실하지 않다. 〈圖7〉에 나타나 있는 바와 같이, 1978년의 가격으로 볼 때, 石炭을 원료로 한 合成石油은 原油價格보다 너무 높아서 도저히 시장경쟁을 할 수 없는 것을 알 수 있다.

이와같은 상황은 셰일·오일도 정도의 차이는 있을지언정 마찬가지이다. 셰일·오일에 대해서 보다 자세히 다음에서 살펴보기로 한다.

3. 셰일·오일

셰일·오일의 개발비용은 무척 비싸다. 50,000B/d용량의 셰일·오일精製工場 건설비는 1979년 가격으로 15억달러이었으며 운영비는 배럴당 13달러로 추정되었다. 개발비용은 매년 상승했다. (表5 참조). 1968년 50,000B/d용량의 건설비는 138백만달러 정도이었는데 1980년에는 1,700백만달러까지 상승했다. 이 추정치는 原油價格이 폭등하기 전인 1979년에 작성되었기 때문에 현재의 原油價格 수준을 감안하지 않을 때 셰일·오일 개발비용의 증가는 원유가격 인상율보다 높았다.

이렇게 증가율이 높은 이유는 주요 部品の 가격, 특히 밸브, 펌프, 컴프레서 등의 가격인상이 높았으며, 이자율의 상승 추세 때문에 투자비용이 급격히 상승했고, 公害防止에 대한 사회적 요구 때문에 高價의 별도 투자가 필요했기 때문이다.

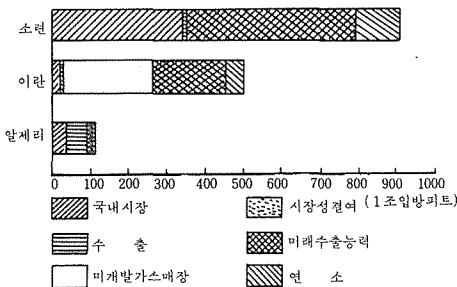
〈表 5〉 셰일·오일 開發費用

推定年度	推定費用 (百万弗)	資 料
1968	\$, 138	Department of the Interior
1968	144	The Oil Shale Corp.
1970	250	National Petroleum Council
1973	280	Department of the Interior
1973	250-300	Colony Development Operation
1974初	400-500	"
1974末	850-900	"
1976	960	The Oil Shale Corp.
1976	1,050	"
1979	1,350	OTA
1980	1,700	The Oil Shale Corp.

앞에서 언급한 전형적 셰일·오일 工場의 경우 금융비용이 전체 자본비용의 50%이며, 公害방지비용은 15%로서 양자는 자본비용의 大宗을 이루고 있다.

셰일·오일 경제성에 대한 검토가 〈表6〉에 요약되어 있다. 정부 지원이 없는 경우와 지원이 있을 경우 강구될 수 있는 몇가지의 지원책을 각각 검토, 그 효과를 분석하고 있다. 정부 지원의 방법으로 거론되는 것은 建設費補助, 生産稅額控除, 低利融資, 價格保證, 枯渴償却의 擴大, 投資稅額控除의 擴

〈圖 5〉 소련, 이란, 알제리의 가스産業現況 (tcf)



〈表 6〉 세일·오일의 經濟性

補 助	總予想利率 (百万弗)	収益分岐点 (달러)
建設費補助(50%)	\$ 281	40.60
建設費補助(33%)	119	47.70
低利融資(70%)	81	54.70
生産稅額控除(\$ 3)	- 61	58.30
價格保證(\$55)	- 88	NA
枯渴償却擴大(27%)	- 110	57.20
投資稅額控除의擴大(20%)	- 131	58.80
加速減價償却(5年)	- 127	58.90
政府買入保證(\$55)	- 150	NA
非補助	- 196	61.70

大, 加速減價償却, 支給保證, 政府買入에 의한 價格支援, 政府의 資本參與 등이다.

〈表 6〉에 제시되어 있는 것은 자기자본투자 이익률이 15%인 것을 가정했을 때이다. 정부의 보조가 일체 없을 때 세일·오일의 收支均衡價格은 1979년 가격으로 배럴당 61.70달러이다. 건설비 전체의 50%까지 補助가 支給된다면, 收支均衡價格은 40.60달러까지 下落된다. 稅制補助를 통한 기타의 支援方法은 배럴당 50달러 線의 收支均衡價格을 形成케 한다. 建設費에 대한 直接補助가 租稅나 金融을 통한 間接補助보다 價格引下 效果가 큰 것은 세일·오일의 開發投資費가 막대하기 때문이다.

우리나라에는 세일·오일의 매장이 없기 때문에 그 개발에 우리가 직접적으로 연관되는 것은 없다. 그러나 세일·오일의 부존상황이 양호한 美國에서 그것이 적극적으로 개발, 사용된다면 OPEC 원유의 수요는 그만큼 감소하는 것이고 이것은 OPEC 원유의존도가 높은 우리에게도 좋은 영향을 가져오게 된다. 또한 美國의 세일·오일開發에 우리나라의 기업이 資本參與하여 合成石油의 공급을 촉진하는 보다 적극적인 방법도 있다.

실제로 캐나다의 서부지역의 오일·샌드開發에 外國企業의 參與를 희망하고 있다.

4. 에너지生産費用

1970年 이전에는 저렴한 石油價格 때문에 에너지 價格이 전반적으로 저렴하였다. 그러나 1973年 이후 OPEC의 독점적 횡포에 힘입어 석유價格이 폭

등하면서부터 석유 이외의 다른 에너지의 價格도 상승하게 되었다. 이것은 에너지의 공급이 완전히 가격탄력적이지 아니기 때문이다.

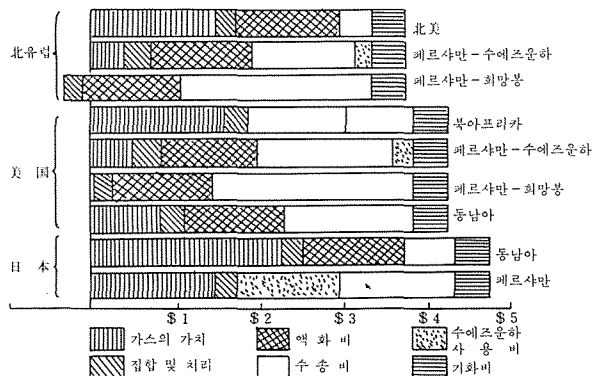
〈表 7〉 에너지生産費用

구 분	(1979달러/석유환산배럴)
미국산 석탄	3 - 5
유럽산 석탄	10 - 15
중동 원유	0.25 - 1.00
북해 및 알라스카 원유	7 - 12
핵 연료	7 - 11
LNG 수입	10 - 23
석탄기화 합성 가스	23 - 35
석탄액화	30 - 37
합성석유(Oil sands)	15 - 25
합성석유(세 일)	15 - 35
바이오매스	30 - 60
태양열	50 - 130

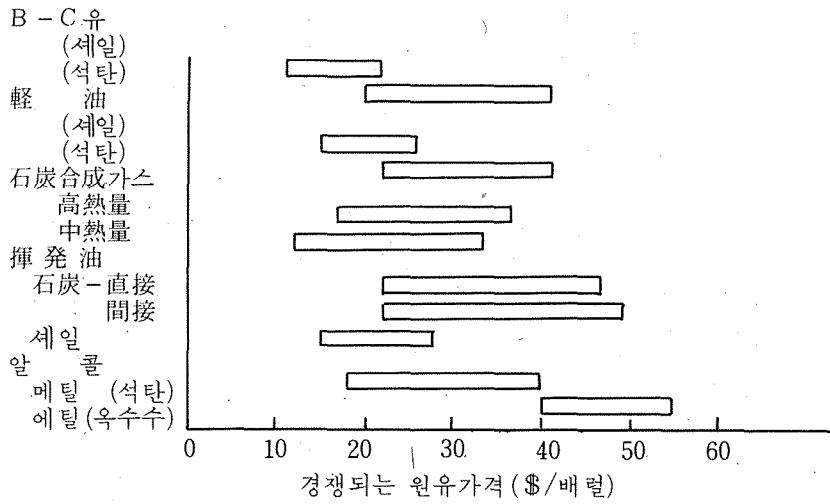
〈表 7〉에 요약되어 있는 것은 각종 에너지의 생산비용을 1979년의 석유 1배럴 비용으로 나타낸 것이다. 이 표에 의할 것 같으면 石油代替가 비교적 용이한 것은 발전용 연료로서의 石炭과 原子力이 고작이라는 것이다. 즉 重質石油製品은 쉽사리 대체될 수 있다는 것을 의미한다.

輕質石油製品의 시장은 비교적 대체에너지로부터의 경쟁위협이 덜 한 것 같다. 〈表 7〉과 앞에서 이

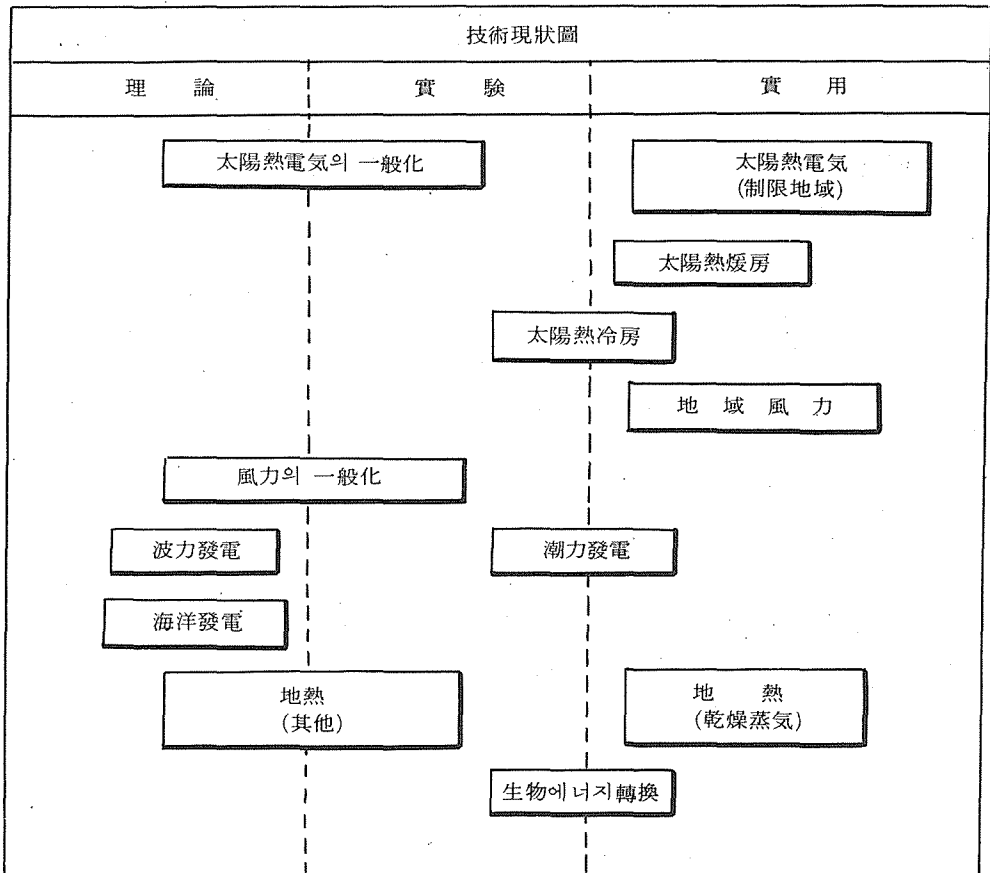
〈圖 6〉 1983 LNG비용, \$/MM BTU, 1979 달러



〈圖 7〉 合成燃料의 經濟性



〈圖 8〉 新에너지의 開發現況



미 소개된 <圖 7>은 석탄이나 셰일, 혹은 오일·샌드에서 合成石油를 특히, 輕質製品을 開發하는데 드는 費用은 原油價格과 비교가 안될 정도로 높다는 것을 보여주고 있다. (表 7에 제시된 가격은 1979년의 달러價格을 基本으로 한 것임)

再生可能에너지의 비용은 合成石油의 비용보다도 월등히 높은 것을 알 수 있다. 이것은 開發技術이 더욱 발전되어야만 실용성이 입증될 수 있기 때문이다. <圖 8>에 제시되어 있는 바와 같이 아직도 대부분의 再生可能에너지는 이론이나 실험단계에 머물고 있음을 알 수 있다. 실용성이 입증된 再生可能에너지도 아직은 展示的 特殊目的에 국한되어 있다.

5. 結 語

代替에너지에 대한 이제까지의 검토를 종합해 볼 때 우리는 다음과 같은 결론에 도달하게 된다.

첫째, 石油依存度는 감소할 수 밖에 없다. 가격이 너무나 비싸져서 발전용 연료로 태워 없애기는 너무나도 아까운 에너지가 되었으며 이 결과 이제까지 輕視되어 오던 石炭의 유용도가 높아지게 되었고, 核發電의 경제성은 더욱 높아지게 되었다.

<圖 9>는 미래의 에너지源別 供給構造를 보여주고 있다. 石油의 점유율이 減少하는 대신 原子力, 石炭, 가스, 水力, 태양열 등 再生可能에너지의 점유율은 증가하고 있다. 石油의 주요 소비처는 輸送部門에 국한되리라는 전망이다.

둘째, 공급구조의 이와같은 변화는 자본비용은 높으나 운영비용은 낮은 에너지로의 전환을 의미한다. 이것은 투자 우선 순위의 새로운 조정을 의미하며 투자재원의 대규모적 재배분을 수반하게 될 것이다. 에너지 부문에 대한 투자의 확대 때문에 세계 경제의 소비부문이 제약받을 수도 있을 것이다.

<表 8> 에너지/ GNP 比率

Energy/ GNP MJ per dollar	1925	1950	1975	2000	2030
O E C D	65	58	53	45	32
共 産 圈	41	52	77	69	67
開 途 国	22	29	47	48	46
世 界	56	52	57	51	44

셋째, 石油를 쓰던, 그 代替에너지를 쓰던 GNP의 에너지 집약도는 감소할 것이다. 에너지 절약기술 자체가 발전될 것이므로 동일한 양의 에너지를 가지고 보다 많은 일을 할 수 있을 것이다. 이와같은 감소 전망이 <表 8>에 요약되어 있다. 절약기술의 발전과 에너지 가격과는 물론 직접적인 관계가 있다.

끝으로, 에너지 문제의 분석에는 언제나 많은 양의 불확실성이 따른다는 것을 잊지말아야 할 것이다. 石油 그 자체만 해도 불확실의 요소가 산재해 있는데, 여기에 덧붙여 代替에너지까지 종합적으로 분석될 때 우리가 자신있게 말할 수 있는 영역은 더욱 줄어들 수 밖에 없다. 앞으로 일년 후에 국제 원유가격이 얼마가 될는지 확인할 수 없는 이 때에 30년 후의 에너지 공급구조를 분석한다는 것은 그 가치가 실용성에 있다기 보다는 불확실성 속에서 방향이나마 모색하려는 과학적인 응용성에 있다고 볼 수 있다. *

<圖 9> 에너지源別 供給 構造

