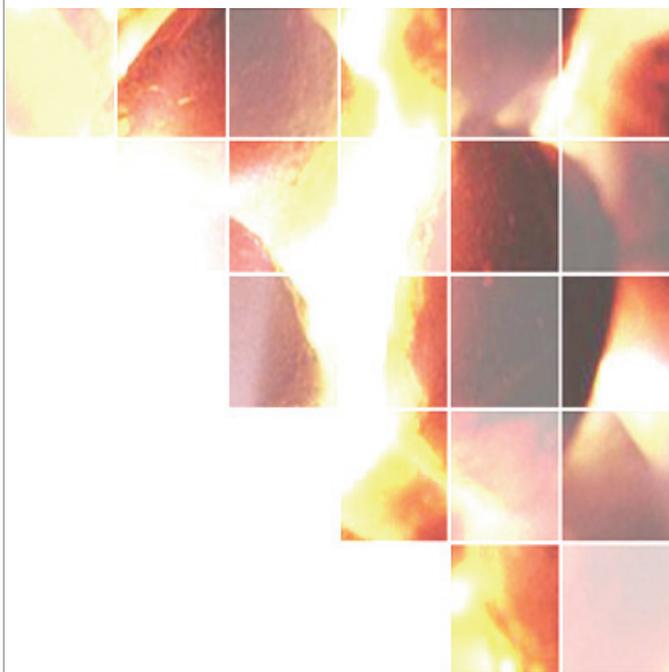


제 1 장 석탄의 기원과 세계의 석탄산업



제1절 석탄의 생성, 분류 및 이용

제2절 세계의 석탄 이용과 산업 혁명

제3절 세계의 석탄 매장, 생산 및 소비

제1절 석탄의 생성, 분류 및 이용

1. 석탄의 생성

석탄은 지질시대의 육생식물이나 수생식물이 수중에 퇴적하여 매몰된 후 가열과 가압작용을 받아 변질하여 생성된 흑갈색의 가연성 암석을 말한다. 간단히 말하면, 석탄은 주로 탄소로 구성된 퇴적암이다.

석탄의 생성 시기는 2억 5천만년~3억년전인 고생대와 중생대로 이 시기에 양치식물, 겉씨식물, 속씨식물들이 무성하게 자라나 숲을 이루었으며 이들 숲의 나무들이 폭우와 바람에 가지가 부러지고 뿌리가 뽑혀 탁류에 휩쓸려 간다. 이렇게 떠내려 간 식물들의 잔해가 수백 년, 수천 년 퇴적되어 거대한 층을 이루게 된다.

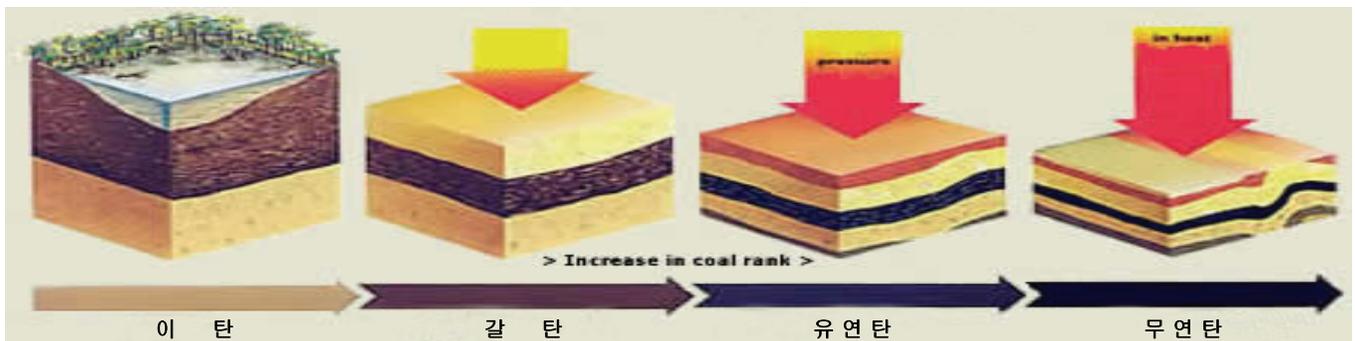
이 두꺼운 식물의 층은 토탄을 이루었다가, 지각의 침

강으로 지층이 그 위에 두껍게 쌓여 위에서 가해지는 큰 압력과 지구 내부의 열인 지열을 받는 동안에 식물의 구성 성분인 수소·질소·산소의 대부분은 달아나 버리고 탄소로 치환되는 작용, 즉 탄화작용을 받아 석탄이 생성된다.

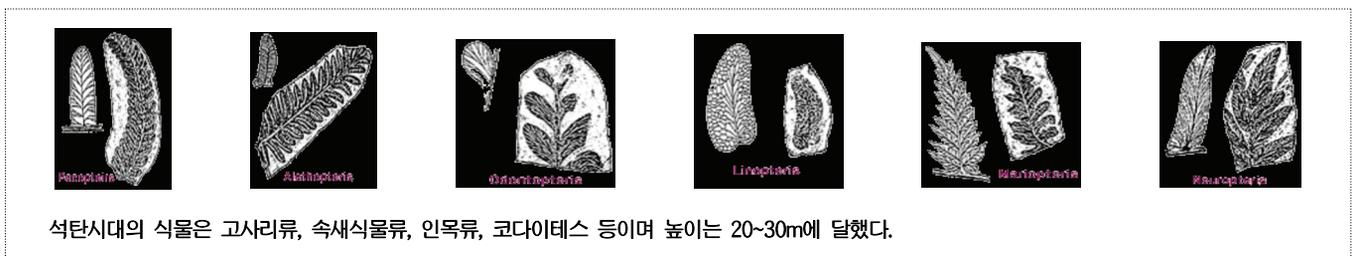
고생대 석탄기와 페름기 초와 같이 따뜻하고 습윤한 때에는 고사리류(pteridophyta)의 식물이 번성하여 큰 산림을 이루었다. 이 때의 식물은 대체로 습지나 얇은 물밑에 뿌리를 박는 종류였으므로 죽어 넘어지면 물속에 쌓여서 오랜 시간이 경과하는 동안에 대단히 두꺼운 층을 만들게 되었다.

식물이 변해서 석탄이 되기에는 박테리아의 작용과 부분적인 산화 작용에 의해서 진행되며, 최초의 탄화 물질은 토탄(peat)이다. 토탄은 그 위에 퇴적물이 쌓이면서 압력을 받아 수분과 휘발 성분이 제거되고, 고정 탄소의 함량이 증

석탄의 생성과정



석탄시대의 식물화석



2 ■ 정선군 석탄산업사

가되면서 갈탄→역청탄→무연탄으로 변화된다.

전 세계 석탄의 1/3 이상이 고생대(5억년~2억년전)에 생성된 것으로 유럽, 북아메리카 및 아시아 대륙의 석탄이 대부분 여기에 속하고 이 밖의 석탄은 중생대와 신생대에 생성된 것으로 추정되며 석탄이 가장 많이 생성된 시기는 고생대 석탄기(고생대 말엽)으로 파악된다.

석탄화 작용은 식물이 말라죽은 후 식물질이 완전히 물에 잠겨 공기와의 접촉이 차단되고 부식이 진행되지 않으면서 지압과 지열을 받아 가압·건류작용에 의해 석탄화가 된다.

변질작용이 일어나는 조건에 대해서는 연구된 바는 없지만 일반적으로 수천 기압에서 온도가 수습에서 200도 까지가 석탄화 작용의 좋은 조건이라고 한다. 석탄은 처음에는 거의 수평한 탄층으로서 형성된다. 죽은 식물이 퇴적하고 토사의 피복이 반복되면 탄층과 암석층이 샌드위치처럼 교대로 겹치게 된다.

세계적으로 유명한 독일의 루르(Ruhr) 탄전에서는 석탄 기에 속하는 두께 약 4,000m의 지층에 약 100장, 총 두께 80m의 얇은 탄층이 협재되어 있다. 또한 조건이 잘 맞을 경우 1개 층으로 두께 수십 m에 달하는 탄층도 있으며 이와 같은 경우 노천 채굴도 가능하다. 동시대의 주요 식물로는 고사리류, 속새식물류, 인목류, 코다이테스 등이며 높이는 20~30m에 달했다.

석탄은 식물이 오랜 기간 탄화작용을 받아 생성되는데, 초기에는 토탄이 되었다가 시간이 경과 하면 갈탄이 된다. 탄화가 더 진행되면 유연탄이라 불리는 역청탄으로 변한다. 이것은 휘발 성분이 많아 쉽게 연소되기 때문에 산업용으로 쓰이며, 제철에 필요한 코크스의 원료가 되기도 한다. 우리나라에서는 역청탄이 생산되지 않아 전량을 수입에 의존하고 있다.

역청탄이 더 탄화되면 무연탄이 되고, 무연탄이 더 오랜 기간 탄화과정을 거치면 흑연이 된다. 우리나라에서 생산되는 석탄은 거의 대부분이 무연탄이다.

무연탄은 휘발성분이 거의 없어 점화가 어렵고, 발열량이 적어 연료로 적당하지 않다. 특히 국내에서 출토되는 무연탄은 탄화가 심하게 진행되어 흑연에 가까운 성질을 띠기 때문에 잘 타지 않는다. 전문가들은 우리나라에서 생산되는 석탄이 전 세계에서 출토되는 석탄 중에서도 연소성이 가장 나빠 불연탄(不煉炭)이라 부르기도 한다.

2. 석탄의 정의

석탄이란 (지표에 퇴적된 유기물질이 물리 화학적 변화에 의한 탄화작용에 의해 생성된 물질)로 정의된다. 1957년 국제석탄학회는 (성분 내에 중량 50%이상의 탄소분이 함유되어 있고, 용적 70%이상의 탄소분이 함유되어 있어야 석탄이 될 수 있다)고 정의를 내리기도 한다.

석탄은 주로 탄소로 되어 있으며 수소와 산소, 질소와 황, 무기물이 포함되어 있다. 또 탄소의 집합체이기 때문에 열을 가하면 연소하면서 에너지를 발산한다.

석탄의 분자는 종합 방향고리를 단위체로 한 일종의 고분자로서 탄화도의 진행에 따라 무연탄에서 흑연이 된다. 단위체는 탄소사슬 등으로 연결되어 있어 저분자체를 감싸는 구조를 하고 있다.

석탄을 구성하는 화학성분은 셀룰로오스(40-58% 질량비), 헤미셀룰로오스(10-40%), 리그닌(18-27%), 탄분(0.4-1.2%), 단백질(0.6-2.3%) 등이며 그외에 지방, 수지, 광물질 등이 포함되어 있다. 앞에서 기술한 바와 같이 석탄의 질은 탄화의 정도에 따라 물리화학적 성질이 변화하므로 탄질은 공업분석을 통하여 결정되고 있으며 주요한 기준으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 수분 : 110℃로 1시간 건조 후 증발하는 수분량(탄화도가 증가할수록 수분함량 감소)
- 휘발분 : 950℃로 7분간 가열한 후 감소량을 측정(탄화도가 증가할수록 휘발분 감소)
- 회분 : 석탄을 태우고 난 잔류물

- 고정탄소 : 석탄 속의 고체탄소 (휘발성분, 회분, 수분을 제외한 양)
- 유황분 : 석탄 속의 황산화물(SO₂)로써 가능한 적은 양이 포함될수록 좋다
- 발열량: 석탄 1g을 태워서 얻는 열량(cal) : 보통4,000 ~ 8,000Kcal/Kg

3. 석탄의 분류

석탄은 크게 무연탄과 유연탄으로 구분되며, 역청탄, 갈탄, 토탄이 유연탄에 속한다. 석탄은 탄화 정도에 따라 네 가지 종류, 즉 무연탄, 역청탄, 갈탄 및 토탄으로 분류된다. 지질학자들은 밀도나 수분함량, 열량, 불순물의 정도, 기타 다른 특징을 기준으로 석탄을 13 가지로 구분하고 있다. 석

탄의 휘발 성분이 5% 이하, 고정 탄소가 80% 이상으로 되면 흑연으로 변성된다.

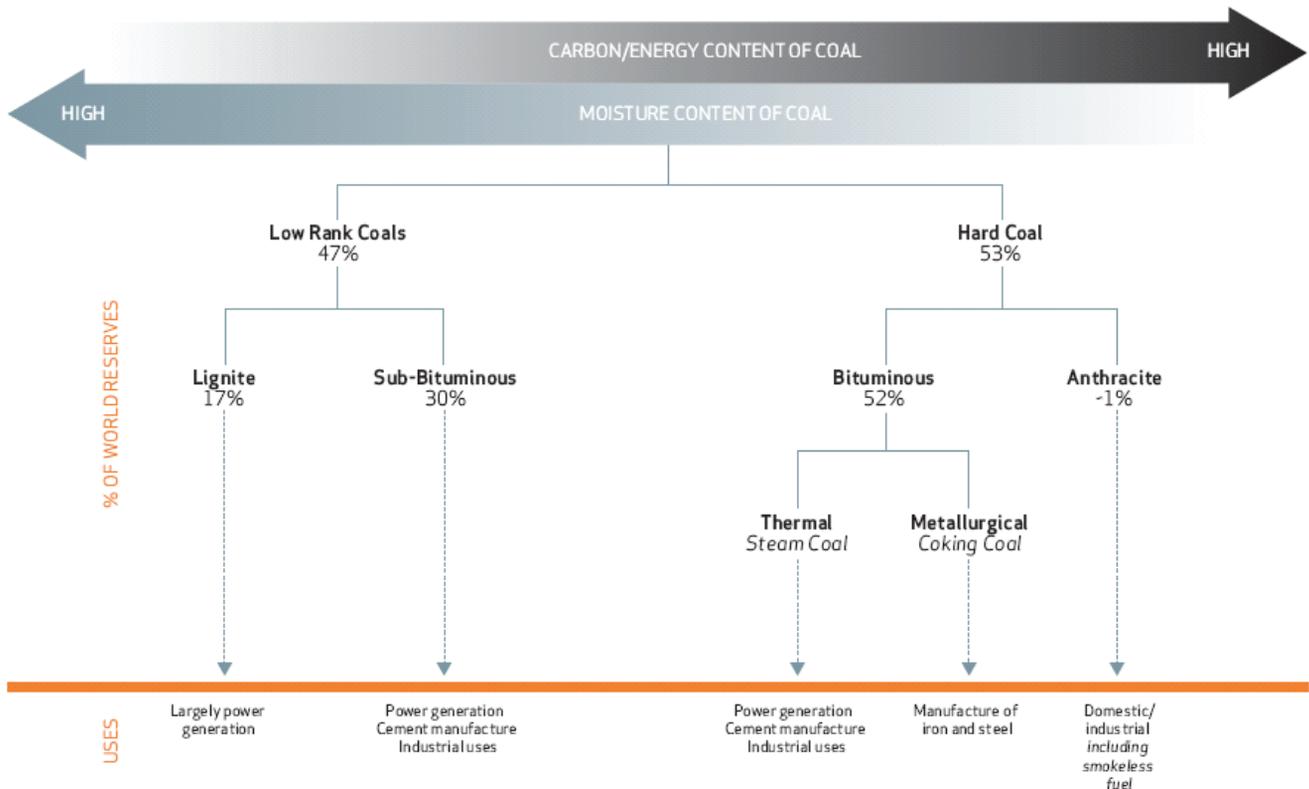
가. 이탄(泥炭, peat)

이탄은 수목질의 유체가 분지에 두껍게 퇴적하여 물의 존재하에서 균류등의 생물화학적인 변화를 받아 분해·변질된 것으로 토탄(土炭)이라고도 하며 이탄은 지하에 매몰된 수목질이 오랜 세월동안 지열과 지압을 받아 생성된 것과는 달리 식물질의 주성분인 리그닌, 셀룰로오스 등이 지표에서 분해작용을 받은 것이다.

나. 아탄(亞炭, lignite)

아탄은 유연탄의 일종으로 탄화도가 낮은 저품위 갈탄

석탄의 분류와 매장량 및 주요 사용처(세계석탄협회)



의 일종으로 학술적으로는 갈색갈탄이라고 한다. 발열량은 3,000~4,000Kcal/Kg으로 낮은 비점결탄으로 일부 지방에서는 연료로 사용된다.

다량의 수분이 건조할 때에 수축하여 목질아탄(목질조직이 어느 정도 보존되어 있어 나뭇결이 눈에 보임)은 널빤



이탄

지 모양으로 벗겨지고 탄질아탄(미세한 석탄질과 광물질로 된 치밀함을 갖고 있음)은 불규칙한 균열이 생겨서 급속히 분화한다.

다. 갈탄(褐炭, brown coal)

갈탄은 유연탄(有煙炭)의 일종으로 석탄중에서 가장 탄화도가 낮은 석탄, 흑갈색을 띠며 발열량이 4,000~6,000 Kcal/Kg, 휘발성분이 40%정도이다. 갈탄은 탄소성분이



갈탄

70%로 낮기 때문에 원목의 형상, 나이트, 줄기 등의 조직이 보이는 경우가 많다.

다른 탄에 비하여 고정탄소(수분, 휘발분 및 회분을 뺀 나머지) 함량이 적고 물기에 젖기 쉽고, 건조하면 가루가 되기 쉽다. 코크스 제조용으로 사용하기는 어렵고 대부분 가정연료나 기타 연료로 사용된다. 우리나라에서는 두만강 연안과 길주, 명천 지구대의 제3기층에 주로 분포되어 있다.

라. 역청탄(瀝靑炭, bituminous coal)

역청탄은 유연탄의 일종으로 흑색 또는 암흑색으로 유

리광택 또는 수지광택이 있는 석탄으로 흑탄이라고도 한다. 탈 때에는 긴 불꽃을 내며, 특유한 악취가 나는 매연을 낸다. 탄소함유량은 80~90%, 수소함유량은 4~6%이며 탄화도가 상승함에 따라 수소가 감소하고 탄소가 증가한다. 발열량은 8,100Kcal/Kg 이상이다.

제철용 코크스, 도시가스로 이용되며 최근에는 수소의 첨가, 가스화 등의 연구가 발달되어 석탄화학공업의 가장 중요한 자원이다. 건류 때에는 역청 비슷한 물질이 생겨 이름이 붙여졌다.



역청탄

마. 무연탄(無煙炭, anthracite)

무연탄은 탄화가 가장 잘 되어 연기를 내지 않고 연소하는 석탄을 말한다. 휘발분이 3~7%로 적고 고정탄소의 함량이 85~95%로 높으므로 연소시 불꽃이 짧고 연기가 나지 않는다.

점화점이 490℃이라 불이 잘 붙지는 않지만 화력이 강하고 일정한 온도를 유지하면서 연소된다.



무연탄

주로 고생대의 오랜 지층에서 산출되며 간혹 신생대 석탄으로도 지각변동의 동력작용이나 화산암의 열작용으로 무연탄화되는 경우도 있다.

4. 석탄의 이용

가. 고체로서의 이용

1) 건류(乾溜) 코크스

석탄은 다른 유기질 지하자원과 비교해서 조성적으로 방향족 축합환수가 많고 탄소함유량이 많은 특징을 갖고 있다. 따라서 석탄을 고온 건류해서 코크스, 가스 및 타르(Tar)를 생산하는 코크스업은 경제의 급속한 발전에 의해 현저하게 진전된 분야로 석탄의 직접 연소에 의한 전력과 함께 석탄산업 주력을 이루는 분야이다.

성형 코크스는 주물용 코크스로서 철에 탄소를 주입시키는 가탄재 역할을 한다. 주물용 코크스는 제철용 코크스와는 달리 비점결탄인 무연탄도 원료의 일부로서 사용된다.

연료비를 이용한 석탄의 분류

종 류		연료비	고정탄소(%)	휘발분 (%)	착화온도 (°C)	연소율 (kg/m ³ hr)	연소상태
무연탄	무연탄	12 이상	92.3 이상	3-7	440-500	50	청색의 단염광휘가 있는 단염 또는 황색장염
	반무연탄	12-7	92.3-87.5	9-13		60-90	
역청탄	단역청탄	7-4	87.4-75	4-19	300-400	75-140	광휘가 있는 단염 또는 황색장염
	고도역청탄	4-1.8	7.5-65.7	27-35			
	저도역청탄	1.8-1.0	66.7-50	35-42			
갈탄	휴갈탄	12 이하	50 이하	50 이상	250-450	115-260	황색장염
	갈탄	12 이하	50 이하	50 이상			

2) 활성탄(活性炭)

목탄(炭) 그 자체가 탈색, 탈 가스등의 흡착작용을 하는 것은 이미 17세기경부터 알려져 왔으며 목질계 원료를 부활에 의해 흡착 성능을 증대시킨 활성탄이 식품, 약품 공업 등에서 빼어난 공업용 흡착제로서 널리 산업계에 이용되게 되었다.

최근 미국, 일본, 독일 등에서 대기오염, 수질오염, 악취 제거 등의 환경보전 대책으로서 활성탄의 역할이 주목되고 있다. 지금까지의 활성탄의 주류는 분말활성탄으로 식품,

약품관련분야가 많았지만 최근에는 입상활성탄 및 환경 보존관련 제품이 크게 늘고 있고 특히 미국에서는 생산량의 약 30%가 정수용으로서 사용되고 있다.

우리나라의 경우도 현재 일부 정수장에서 정수처리의 최종단계로 활성탄을 이용하고 있다.

활성탄은 원료, 제조방법의 차이에 의해 입형, 크기 등의 형상은 물론 흡착성능이 다른 품질이 되므로 각각의 목적, 용도에 따른 제조과정의 선정이 중요하다.

그동안 활성탄의 원료는 목재, 톱밥, 전나무껍질, 야자껍질 등의 목질계가 많이 쓰여져 왔다. 그러나 최근에는 원료사정에 의해 매장량이 풍부한 석탄이 많이 쓰여지고 있다. 석탄계 활성탄으로는 목탄(木炭)과 동일한 관점으로 토탄을 사용한 예가 있으며 또한 무연탄을 입도 조정해서 그대로 정수용으로 사용한 예가 있다.

활성탄의 제조는 원료조정, 탄화, 부활이 주체가 되며 제조방법은 그림 2와 같다. 각종 가스흡착용인 기상용 활성탄의 입경은 5~10mmØ가 적당하며 각종 용제의 회수용, 식품의 탈색, 탈취용, 각종 배수용 등 액상용은 0.1~2mmØ가 적당하다.

활성탄의 품질은 원료의 종류, 노의 형식, 탄화조건, 부활공정에 있어서의 수증기의 양, 부활온도 및 시간 등 많은 인자에 영향을 받게 되므로 경험적으로 하게 되는 부분이 많은 분야이다.



3) 탄소재(炭素材)

탄소는 단일의 물질이면서도 구조나 성질이 다른 여러 종류가 있다. 다이아몬드, 천연흑연 등은 천연으로 존재하는 탄소이며 코크스, 카본블랙(Carbon Black), 목탄 등은 유기물의 탄화에 의해 인공적으로 만들어진 것이다.

공업재료로서는 다이아몬드를 제외하고 단독으로 사용되는 것은 드물고 대부분이 경우 이것들을 주원료로 한 성형체를 탄소재로서 사용하고 있다. 탄소의 결정구조로 보면 무색의 다이아몬드와 흑색의 탄소(흑연)로 크게 나눌 수 있다.

보통 탄소재는 결정구조가 모두 흑연계에 속하는 것이지만, 통상 탄소질과 흑연질로 구별된다. 탄소질은 무정형 또는 미정질탄소같이 결정의 발달정도가 낮은 것이며, 결정의 대소, 그 배열의 상태 등에 의해 흑연질에 이르기까지 여러 가지 중간적인 구조가 존재한다.

석유코크스와 같이 흑연화되기 쉬운 것은 이흑연화성 탄소 또는 연질탄소, 합성수지와 같이 흑연화되기 어려운 것은 난흑연화성탄소 또는 경질탄소라고 부르고 있다.

연결정은 고도의 이방성 구조를 갖고 있다. 또한 탄소 원자의 결합은 유기화합물과 마찬가지로 공유결합이면서도 금속적 성질과 비금속적 성질을 보유하고 있다. 또한, 탄소재는 이러한 결정이 다수 불규칙하게 집합한 다결정체이기 때문에 이러한 성질이 복합되어 결정의 크기나 그 집합의 상태에 따라 각각의 성질이 틀려지므로 여러 가지 성상을 갖는 재료를 제조할 수 있다.

탄소재의 중요한 성질은 윤활성, 전기 및 열의 전도성, 내열성 내식성을 들 수 있고 이러한 성질은 몇 개가 합쳐져 공업재료로서의 가치를 높이고 있으며, 그 용도는 철강, 알루미늄 그 외의 야금공업, 화학공업, 기계공업, 전기공업을 시작으로 최근에는 전자공업, 우주공업 등 넓은 분야에 이용되고 있다.

보통, 공업적으로 사용되는 탄소원료는 싼값으로 대량 구입할 수 있는 석탄, 핏치 등이며 그들의 탄소화 기술은 계속 발전되고 있다. 그러나 보다 특수한 품질을 얻으려고 할 때는 출발원료의 선택 및 그 탄소화 방법은 여러 가지로 선택할 수 있다.

출발원료가 갖는 성질에 의해 탄소화현상 및 생성탄소의 구조와 성질이 달라진다. 탄소화의 주된 반응이 일어나는 온도범위에 있어서 ① 액상인 경우(액산탄화), ② 고체인 경우(고상탄화), ③ 기체인 경우(기상탄화)로 나뉜다.

탄화수소가스 또는 탄화수소액체로부터의 기화물을 기상 중에서 열분해하면 소위 카본블랙(Carbon Black)이 생성되며, 또 고온으로 가열된 고체표면에서 열분해하면 소위 열분해 흑연이 생성된다. 양쪽 모두 기상으로부터의 열분해이지만 생성탄소의 형상 및 성상이 현저하게 다르며 용도도 틀리므로 구별해서 생각하고 있다.

기상탄화는 비교적 저분자의 탄화수소를 원료로 하며 매우 빠른 승온속도로 열분해처리가 일어나는 점에서 액상 및 고상탄화와는 다르다.

기상에서 생성되는 카본블랙의 대부분은 고무의 증강용 충전제 및 흑색안료로서 사용되며 그 자신 탄소제품의 하나로서 공업적으로, 질적, 양적으로 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 카본블랙은 전채자의 원료로서 빼놓을 수 없는 것이며 또한 특수한 용도에 사용되는 탄소재료(아크 탄소봉, 건전지용 전극, 탄소저항체, 고밀도 탄소재 등)에도 배합되어 중요한 역할을 하고 있다.

일반 탄소재료를 제조하는 경우 가장 표준적인 공정은 골재로서의 역할을 하는 코크스 등의 분말에 콜타르 핏치 등의 결합재를 혼열한 후 압력을 가해 뽕거나 형틀에서 성형해 이것을 700~1300℃로 소성해서 결합재를 탄화 고결시킨 뒤에 흑연화 노에서 약 3000℃로 흑연화 한다.

이때 소송만 된 것은 탄소질이며 흑연화 된 것은 흑연질이다. 현재 대량으로 생산되고 있는 탄소재는 대부분이 이 공정에 의해 만들어지고 있다. 그러나 탄소재에는 여러 종류가 있어 그중에는 제조공정의 부분적 수정 등 특수공정의 부가 또는 특정조건의 조정 등에 의해 만들어지는 것도 있다.

탄소섬유는 광학적이방성 조직의 메소페이즈(mesophase)를 함유하는 핏치를 원료로 한다. 메소페이즈를 함유하는 핏치를 용융방사하면 메소페이즈는 방사될 때 변형되어 방향족축합환이 섬유축과 평행하게 늘어선다. 이 섬유를 산화에 의해 불용화한 후 탄소화, 흑연화를 하면 탄소섬유를 얻을 수 있다.

탄소섬유는 항공기, 자동차의 분야에 구조재료로서 정착해 있다. 또한 양적으로는 적지만 인공장기 등의 생체재료 외에 우주, 해양, 원자력용 재료로서 탄소의 잠재적 특

석탄의 이용

석 탄	에너지원료	직접 또는 혼합원료	발전	전기에너지, 회이용(Fly ash, 정수용)	
			연 소	열에너지, 회이용(경량골재, 시멘트)	
			건류코크	제철, 주물용, 일반원료	
			성형코크	카바이트, 아세틸렌	
			고체로서 이용	부 활	가스화연료, 합성화학원료
				탄 화	활성탄(기상, 액상흡착제)
	석 탄 화 원 료	기체로서 이용	산 화	전극, 탄소재, 탄소계분자 / Carbon black	
			건류가스	휴민산 . 방향족벤젠산	
			액체로서 이용	건류가스	도시가스, 합성천연가스(SNG), 연료
				가스화	가스화발전
				건류Tar	아세틸렌(Plasma가스화)
					합성화학원료
액 화	액체연료	특수연료(Jet연료, 고로분사)			
	액 화	Tar 화학, 합성화학원료, 염료			
		액체연료(가솔린, Jet연료)			
	용제처리	용제처리탄(STC), SRC, Binder, 탄소섬유			
할로겐화	방향족chemicals				
용제처리	할로겐화	윤활유, 유기불소화합물			
	용제처리	팽윤탄, 방향족 chemicals			

성이 발굴되어 실용화되어 있다고 할 수 있다. 이것들은 모두 탄소가 갖고 있는 특성을 응용한 것이지만 특히 강도, 탄성률이 함께 증대한 성형재료가 얻어 질 수 있게 된 것은 기술개발의 큰 성과이다.

나. 기체로서의 이용

1) 건류(乾溜)가스

석탄을 건류함으로써 얻어지는 코크스로 가스(COG; Coke Oven Gas)는 일반적으로 수소 50~60%, 메탄 30%, 에틸렌 3% 그 외에 일산화탄소 7%, 질소 4% 등의 가스조성을 가지고 있다. 이 코크스로 가스는 연료용의 도시 가스와 발전용 가스로 그리고 제철소의 고로, 코크스로 용으로 이용된다.

또한, 연료 이외에 화학원료로도 이용되고 있는데, 즉 황산암모늄(Ammonium sulfate)제조에 있어서 암모니아 원료가 되며, 또한 제철, 제철화학 콤비나이트에틸렌을 원료로 하는 스티렌모노머(Styrene monomer), 에틸렌옥사이드(Ethylene oxide)등의 다양한 화학제품을 만들어, 부가가치를 높여왔지만 현재는 석유화학계의 에틸렌의 제조가 대형화한 것 등의 이유로 암모니아 공업과 함께 그 발전이 지체되고 있다.

2) 가스화(Gas化)

석탄가스화는 과거에는 발생로 가스, 수성가스, 증열수성가스, 혼성가스 등 다양한 과정과 제조법을 이용해서 도시가스, 합성원료가스를 생산하여 왔지만, 현재는 거의가 석유계의 가스로 바뀌고 있다. 즉 도시 가스로서는 보통 원유 및 나프타의 열분해 혹은 접촉열분해에 의한 오일가스 제조법이 이용되고 있다.

또한 천연가스 혹은 LPG, LNG 등을 그대로 열분해하지 않고 공기와 혼합 사용하는 방법이 주류를 이루고 있다. 그러나 최근 에너지 위기에 의해 석탄가스화가 다시 주목

되고 있다. 세계적 규모로 화석탄의 가스화에 의해 만들어진 가스는 중-고칼로리는 연료 및 도시가스에, 저칼로리는 가스화 발전에 쓰여진다.

다. 액체로서의 이용

1) 건류(乾溜) 타르(Tar)

석탄을 고온 건류함으로써 4~5%정도의 콜타르(Coal Tar)가 얻어지고 이 콜타르는 공업적으로 다방면에 활용되고 있다. 소위 타르(Tar)화학으로서 분류되는 분야이다. 최근에 활용되고 있는 몇 가지 방법을 보면, (1) 고로의 타르분사, (2) 핏치(Pitch)로부터 니들코크스(needle coke)제조, (3) 제트연료의 제조 등이 있다.

① 고로의 타르분사 : 제철업에 있어서 고로의 생산성을 높이기 위해 각종의 연료분사 특히 중유분사가 행해지고 있지만 최근에는 환경보존상 저유황의 연료라는 점에서 고유황의 중유 대신에 콜타르의 직접 분사가 부분적으로 행해지고 있다.

② 핏치로부터 니들코크스 제조 : 콜타르의 종류에 의해 나프탈린, 크레오소트유(Creosote oil)와 함께 50~60%정도의 'Pitch'를 얻을 수 있다. 이 핏치를 열로 처리해서 결합재료, 또 핏치코크스로 만들어 알루미늄제련용 전극으로서 이용되지만 최근의 연구개발에 의해 석유 코크스 제조에 있어서 (Delayed coking) 법을 적용해서 코크스화 함으로써 대형 전기로용 전극의 원료가 되는 니들코크스의 제조가 가능해졌다.

③ 제트(Jet)연료의 제조 : 최근 단위중량 및 용적당 발열량이 높으며 열 안정성이 있는 고성능의 제트연료가 필요하게 되었으며 이에선 축합탄소환상 구조를 가진 것이 좋다고 알려져 있다.

미국에서는 약 6,000 여종에 달하는 각종 화합물에 대하여 검토한 결과 데칼린(Decalin)이 가장 유망하다고 결론 지었다. 따라서 건류타르 및 수소화분해생성유가 이들의 원료라고 생각된다.

2) 수소화(水素化)

석탄을 수소화해서 액체연료, 화학원료를 제조하는 소위 석탄의 액화연구는 오래 전부터 진행되어왔다. 특히 석유자원이 부족한 독일에서 먼저 개발된 〈Bergius법〉, 〈Fischer법〉 및 〈Tropsch법〉은 널리 알려진 석탄액화법이다.

최근의 액화는 석탄에서 액화되기 쉬운 부분만을 추출하는 방법을 쓰고 있다. 이 방법은 비싼 수소의 절약 대책도 되지만 2차로 수소를 첨가함으로써 합성원유를 제조하고 동시에 각종 화학원료, 결합제, 탄소재 등의 제조도 가능하기 때문이다.

특히, 석탄은 석유보다도 방향족 성분이 많으므로 석유로부터 얻기 어려웠던 여러 가지 방향족화합물을 얻을 수 있을 것이다.

3) 할로겐화 및 용제처리(溶劑處理)

석탄을 할로겐화, 특히 염소화, 불소화해서 특수윤활유, 유기불소화합물 등에 이용하고 석탄에 대한 각종 용제처리 후 역청재, 신고분자원료로 이용 할 수 있다.

이 가운데 팽윤탄은 점결재, 도로포장재, 지하매설용 수도관, 가스관의 도료(塗料)로서 이용되고 있다. 이밖에 팽윤탄과 비슷한 용제처리탄의 제조가 있다. 이것은 석탄을 용제 처리함으로써 유황분 0.3% 및 회분 0.01% 정도의 무유황무회탄으로 만드는 것이다. 용제 처리탄은 각종 결합제, 탄소섬유 등 소위 콜로이드연료로서 중유의 대용품으로 쓰이며 또한 건류해서 무회(無灰) 코크스로서 알루미늄 제조의 전극용 탄소의 원료로 이용 가능하다.

제 2 절 세계의 석탄 이용과 산업 혁명

1. 석탄 이용의 역사

인류가 석탄과 인연을 맺은 것은 지금으로부터 3천년 전으로 알려졌지만 문헌상 인류가 석탄을 이용했다는 증거는 기원전 315년 그리스 철학자 데오프라테스가 남긴 기록이다. 데오프라테스는 〈북부 이탈리아의 소그라 지방이나 그리스의 에리스 지방에서 채굴한 석탄을 대장간에서 연료로 쓰고 있다〉는 기록을 남겼다.

했으며, 석탄에 세금을 부과했다는 문헌도 발견했다.

영국에서는 9세기에, 독일에서는 10세기에 석탄이 발견되었다고 전한다. 유럽에서는 영국의 헨리 3세가 13세기에 채탄 면허를 부여한 일이 기록에 남아 있으나 석탄의 이용이 비약적으로 증대한 것은 산업혁명이 일어난 후 부터이다.

18세기에 접어들면서 1735년경에 영국에서 부터, 그리고 뒤늦게 독일에서도 그 때까지 제철에 사용한 목탄 대신

세계의 석탄이용 역사

BC 315	그리스 문헌에 석탄을 대장간의 연료로 사용한 사실 기록
3 ~ 6C	중국(삼국시대)문헌에 석탄이란 글자가 나타남
9C	영국에서 석탄 발견, 10C에는 독일에서 석탄발명
12C	중국 송대에 석탄을 채굴해 가정연료로 이용하고 세금을 부과
13C	영국 New Castle 지방에서 석탄을 상업적으로 채굴, 이용하기 시작. 영국국왕 Henry III가 채탄 허가 부여
1735	영국에서 제철에 목탄 대신 코크스 제조, 사용
1765	James Watt의 증기기관 발명으로 석탄수요 증가(산업혁명의 서막)
1792	영국의 William Murdock이 석탄가스 제조
1807	런던에서 최초로 가스등 점등
1856	석탄가스에서 타르 및 암모니아를 회수하는 방법 발명
1858	영국의 바킨이 콜타르를 원료로 합성연료를 만드는데 성공
1906	독일의 Fritz Harber가 석탄가스를 원료로 암모니아의 공업적 합성법 발명
1913	독일의 Bergius가 석탄의 수소첨가액법에 의한 인조석유 발명
1923	독일에서 석탄을 가스화하여 얻은 일산화탄소와 수소에서 메탄을 합성
1926	일산화탄소와 수소를 원료로 석유를 합성하는 피셔트로프슈법 발명

당시에는 석탄을 anthrax라고 했는데, 이것이 오늘날 anthracite(무연탄)의 어원이다.

중국의 경우에는 조조와 유비, 손권이 각축을 벌이던 4세기 삼국시대에 〈석탄(石炭)〉이라는 한자가 처음 등장한 것으로 보아 이 무렵에 석탄이용이 활발했음을 짐작할 수 있다. 12세기 송나라 시대에는 석탄을 가정용 연료로 사용

에 코크스가 제조되게 되었다.

1769년에는 와트의 증기기관이 발명되어 동력원으로서의 석탄의 수요가 증대하기 시작했다. 1792년 영국의 W.머독이 석탄가스 제조를 개시하고 1807년에는 런던에서 처음으로 가스등이 점등되었다. 이 사이에 석탄의 생산량도 급격히 증가하고 1835년에는 전 세계에서 3,600만톤에 불과했

던 채탄량이 1855년에는 8900만톤, 1885년에는 4억 2200만톤으로 증가하였다.

한편, 1856년에는 석탄 가스에서 타르 미 암모니아를 회수하는 방법이 발명되었고, 1858년에는 영국에서 콜타르를 원료로 해서 합성염료를 만드는 일에 성공하여 종래의 복잡했던 콜타르를 이용한 화학공업이 발달하게 되었다.

1906년에는 독일인 F.하버에 의해 암모니아의 공업적 합성법이 발명되었으나, 그 원료 가스는 단지 석탄에서만 제조되었다. 1913년 독일의 F.C.R.베르기우스는 석탄의 수소 첨가액화법에 의한 인조 석유를 발명한 그 해의 세계 석탄 생산량은 12억 6,000만톤에 달했다. 그리고 석탄은 세계 에너지 자원의 3/4을 차지했다.

또한, 1923년에는 독일에서 석탄을 가스화해서 얻은 일산화탄소와 수소에서 메탄올을 합성하는 방법이 발명되고, 1926년에는 같은 일산화탄소와 수소를 원료로 석유를 합성하는 피셔트로프슈법이 발명되었다. 제2차 세계대전 후에는 원료 가스를 목적으로 한 석탄의 완전 가스화가 세계 각국에서 연구 개발되었으나, 1960년대에 접어들면서 합성화학공업 원료로서의 석탄의 지위가 석유와 천연가스로 대체되었다.

오늘날 세계 경제를 이끄는 미국 산업 역시, 그 원동력이 된 것은 다름 아닌 석탄이다. 1800년대 신대륙에서 산업혁명이 일어나기 시작하면서, 미국은 영국으로부터의 석탄 수입에 크게 의존하게 된다. 그러나 1812년 전쟁으로 영국이 미국으로의 석탄 수출을 차단하자, 자체 에너지를 찾던 미국은 북미대륙에 무한정으로 묻혀 있는 탄광을 발견하게 되고 그 때부터 미국에서는 본격적인 탄광개발이 시작된다.

지금도 석탄은 많은 곳에서 에너지원으로 사용되고 있으며, 지구상의 원유가 모두 고갈된 후에도 오랫동안 에너지원으로 활약할 석탄. 이 검은 화석은 단순히 산업과 경제의 원동력을 넘어 인류의 역사를 움직이는 원동력이라 해도 과언이 아닐 것이다.

2. 석탄과 산업혁명(Industrial Revolution)

석탄은 산업혁명의 기수였다. 18세기에 들어와 산업혁명이 일어나면서 전통적인 수력과 뿔감을 이용하던 제철업은 증기기관과 석탄에 기초를 둔 근대산업으로 변신하면서 문명 발전의 원동력으로 그 기반을 이루었다.

또한 영국에서 세계 최초의 공업화를 촉진한 가장 중요한 현상은 16세기 중엽 이후의 목재자원의 고갈이었으며, 이로 인해 야기된 것이 연료 위기였다.

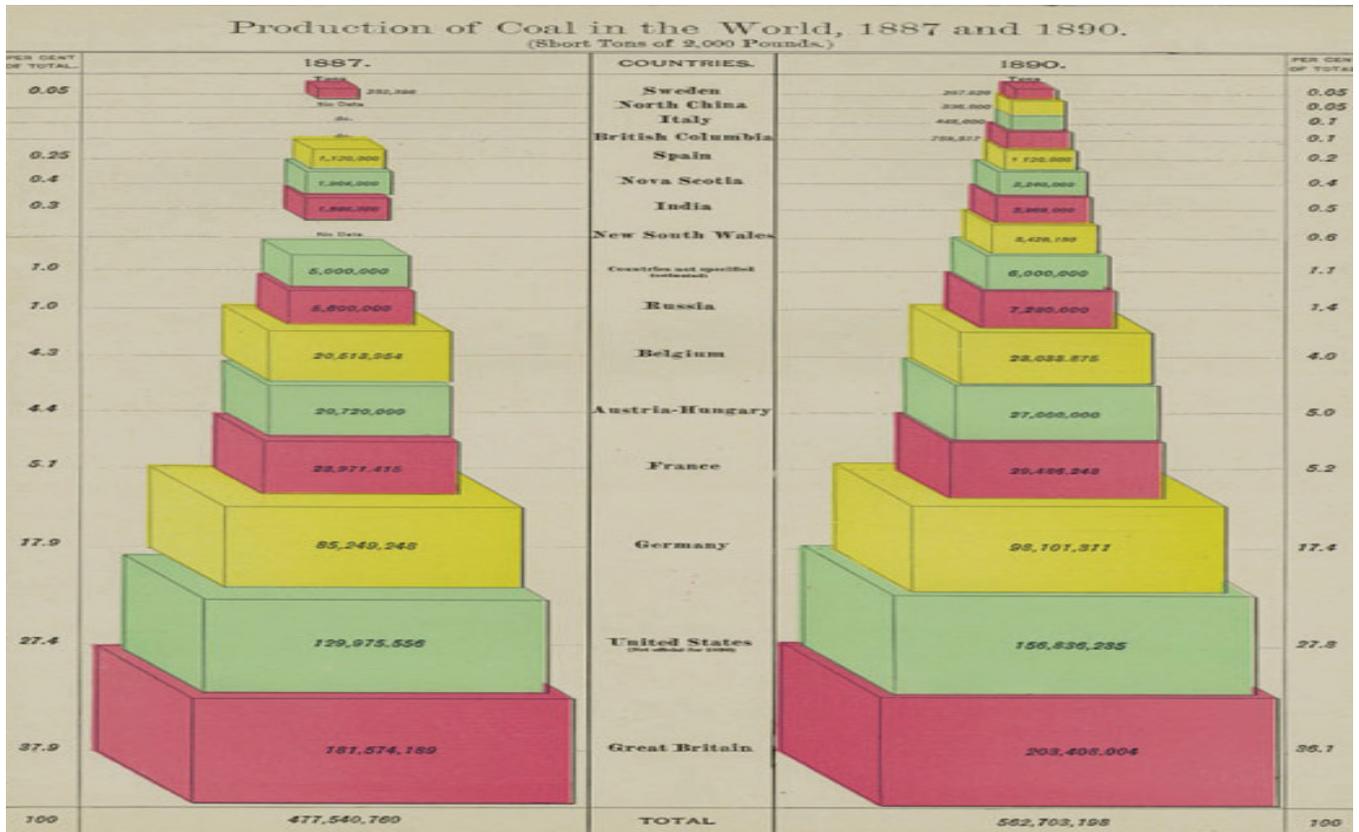
이 연료 위기를 극복한 기술혁신이 무생물적 자원인 석탄의 조직적 이용이었으며, 그 결과 영국은 1540~1640년에 석탄산업을 중심으로 한 관련산업의 발전이 촉진되어 18세기 산업혁명에 맞먹을 정도의 생산확대를 가져오게 되었다. J.U.네프는 이것을 초기 산업혁명이라고 하였다.

이처럼 석탄에 대한 수요와 생산이 증대함에 따라 기술적으로 해결을 요하는 당면 과제로서 탄갱의 배수문제, 석탄의 수송문제, 철광석 용해에 있어서의 기술개발 문제가 제기되었다. 이러한 과제들이 사회적·기술적으로 해결되어 가는 가운데 산업혁명에의 조건도 정비되어 갔다.

즉, 석탄갱의 배수처에 대한 기술적 문제는 T.세이버리가 고안한 〈광부의 친구〉라 부르는 펌프, T.뉴커먼의 대기압기관 등 초기 증기기관의 발명을 촉진시키고, 마침내 J.와트가 증기기관을 발명하기에 이르렀다.

와트의 증기기관은 수력·풍력·축력·인력 등 농업사회의 기본적인 동력을 능가하는 것으로서 동력혁명을 가져왔으며 산업혁명을 혁명이라 부를 수 있게 한 기술적인 기초를 준비하기에 이르렀다.

한편, 석탄 수송문제는 도로의 개수, 운하의 건설 등 사회적 간접자본에의 투자를 촉진시킴과 동시에 국내시장의 확대에도 기여했다. 아브라함 다비 1세에 의한 철광석 용해에서의 코크스로 제련법의 개발은 철과 석탄시대를 가져온 가장 중요한 기술혁신이었다. 그 밖에도 농업부문에서의 기술혁신 인클로저 운동을 중심으로 하는 토지제도의 근대화



석탄 산업혁명 당시의 세계 각국의 석탄 생산량표. 1887년과 1890년을 비교한 것으로 영국이 가장 많이 생산하였고 2위는 미국, 3위는 독일, 그리고 4위는 프랑스가 차지하였다

및 대농경영이 농업 생산력의 비약적 발전을 가져왔다는 것도 중요한 사실이다.

이러한 여러 조건이 정비되고 충실해지는 과정에서 산업혁명은 먼저 면공업에서 일어나게 되었다. 영국의 전통적 산업인 모직물 공업에서가 아니라 신흥 면공업에서 산업혁명이 일어났다는 것은, 영국이 동인도 무역에 의해 17세기 말에 들여온 인도산 캘리코 면직물이 영국을 비롯한 유럽에 있어 의료혁명을 가져와 면제품의 수요를 자극하였기 때문이다.

이에 따라, 서인도 제도에서 나는 설탕·담배 등과 마찬가지로 노예노동에 의한 플랜테이션에 의해 재배된 면화를 원료로 하여 인도산 캘리코 면직물과 경쟁할 수 있는 면제품을 제조하는 일이 18세기 초의 국민적 과제가 되었다.

이 과제를 해결하도록 추진시킨 것은 전래의 지배계급

인 지주나 전통적인 직물업자가 아니고 주로 상인과 요민이라고 부르는 자영농민층이었으며, 그들 대부분이 비국교도이자 국가의 원조도 없이 자조정신으로 기업을 이룩한 사람들이었다.

이후 산업혁명을 주도한 것은 면공업이었다. 면공업에서의 기계의 발명은 J.케이가 베틀의 복을 발명한 데서 시작되며, 방적부문에서는 J.하그리브스의 제니방적기, R.아크라이트의 수력방적기, S.크럼프턴의 물방적기, R.로버츠의 자동 물방적기의 발명에 의해서, 직포부문에서는 E.카트라이트의 역직기의 발명에 의해서 증기력을 동력으로 하는 기계제공장생산이 확립되었다. 그 중심은 맨체스터를 중심으로 한 랭카셔 지방 및 스코틀랜드의 글래스고 주변이었다.

면공업의 급속한 발전은 관련된 모든 산업의 발전을 촉진시키고 특히 기계생산을 중심으로 하는 생산재 생산부문

에서는 철공업·석탄업·기계공업의 발전이 현저하여, 석탄과 철의 생산은 급속하게 증대하였다. 철공업의 기술혁신에 있어서 주목할 만한 것은 선철 생산과정에서의 코크스로 제련법과 단철 생산과정에서의 H.코트의 파들제련법이다. 특히, 파들제련법 발명에 의해 철 생산은 비약적으로 증대하게 되었다. 그 중심은 남웨일스의 버밍엄 주변의 중부지방 및 스코틀랜드이다.

이처럼 영국의 산업혁명에서의 기술 및 생산력의 성과는 철도의 출현에 의해서 마지막 마무리가 된다. 철도의 초기 역사는 석탄 수송과 밀접한 관련을 가지면서 시작되었거니와 G.스티븐슨이 발명한 증기기관차는 그 속도와 능력에 있어 획기적인 성공을 거두어 철도시대를 맞이하게 되었다.

1825년에는 석탄을 탄갱에서 수로까지 운반하는 것을 목적으로 한 스톡턴~달링턴 철도가 개통되었고, 1830년 맨체스터~리버풀 철도가 개통되어 상업적인 면에서 성공을

거두었다. 이런 성공에 자극되어 철도망은 급격하게 영국 전역으로 확대되고, 산업자본을 순환시키는 대동맥이 되었다.

18세기 중엽에는 국민소득의 불과 5%가 생산적 투자에 충당되었을 뿐이나 철도 붐이 일어난 1840년대에는 10%에 달했다. 그 결과 농업인구의 비율은 18세기 중엽의 약 70%에서 급격하게 감소하여 1850년에는 22%로 저하되었다.

1870년대를 주도했던 철강업과 무연탄은 1920년대에는 자동차와 전기에너지로 바뀌고 1970년대에는 항공·화학 산업과 석유 에너지로 바뀌었다. 그렇다면 21세기 중반에 미래 사회 경제를 주도할 새로운 기술과 산업은 무엇이고, 이들이 필요로 하는 에너지는 어디서 공급받게 될까?

러시아 경제학자인 콘드라티에프(Kondratiev)는 산업혁명이후의 세계경제 변화를 대표적으로 설명하고 있다. 이를 소위 콘드라티에프주기 (Kondratieff's Long Wave of Technological Change)라고 일컬어지는 세계 경제 및 기술 변화 주기를 보면 산업 혁명이 일어난 이래로 약 50년 주

산업혁명 이후 에너지와 문명의 장기주기

시 기	제 1 물 결 1780s - 1840s	제 2 물 결 1840s - 1890s	제 3 물 결 1890s - 1940s	제 4 물 결 1940s - 1990s	제 5 물 결 1990s - ?
Kondratieff 장기 파동 (long Wave)					
산업 혁명 :	섬유공장 생산	증기 동력과 철도 시대	전기 와 철강 시대	자동차 와 합성 재료 대량 생산 시대	전자 공 학 과 컴퓨터 네트워 크 시대
핵심 요소	면 화 , 철 (Iron)	석 탄 , 철 (Iron) 운송 (철도)	강 철 (steel)	석 유 (에 너 지 , Plastic)	칩 (Micro-Electronics)
지 배 에 너 지	수 력 , 목 탄	증 기 력 (석 탄)	전 기 (석 탄) 석 유 (내 연 기 관)	석 유 (1차 연 료 / 발전)	가 스 / 석 유 , 전 기 , 수 소 ?
수 송 / 통 신	운 하 마 차 로	철 도 (Iron) 전 보	철 도 (Steel) 전 화	자 동 차 고 속 도로 비행 기 라 디 오 , TV	정 보 고 속 도로 디 지 털 네 트 워 크
주 도 산 업	섬 유	철 강	자 동 차	화 공 , 항 공	정 보 통 신 . 생 명 공 학
과 학 기 술 학 습	도 제 학 습 , 실행 학 습 - Learning by Doing 과 학 적 사 회	기 계 / 도 목 전 문 기 술 자 기 술 개 발 전 문 기 관 대 량 초 등 교 육	산 업 연 구 소 화 학 / 전 기 국 립 연 구 소 표 준 연 구 소	대 규 모 산 업 / 정 부 연 구 소 대 량 고 등 교 육	데 이 터 네 트 워 크 글 로 벌 R & D 네 트 워 크 평 생 교 육 훈 련
주 도 국 가	영 국 - 프 랑 스 - 벨 기 에	영 국 - 프 랑 스 - 벨 기 에 - 독 일 - 미 국	독 일 - 미 국 - 영 국 - 프 랑 스 - 벨 기 에	미 국 - 독 일 - 타 EEC - 일 본 - 스 웨 덴	미 국 - 일 본 - 독 일 - 스 웨 덴 ?

기로 세계 경제가 크게 변화해 왔으며 그 커다란 변화의 주기마다 이를 주도한 특별한 기술, 산업 그리고 에너지원의 발견이나 혁신이 있었다.

3. 문명발전과 에너지의 미래

산업혁명 이후 에너지 대량 소비기술이 경제적 산출 능력을 결정하고 있으며 이 능력은 곧바로 국부 수준을 결정하고 있다. 서구 선진국들이 걸어온 성장의 역사는 지속적인 에너지 소비 증가에 의해 이룩되었다.

에너지 생산 능력의 확대는 현대 산업 기술 특성상 곧바로 재화 및 서비스의 공급 증대로 직결되고 나아가 물질적 부와 복지의 증대로 귀결되었다.

결과적으로는 지속적인 부와 복지의 확대 공급 메커니즘의 지속을 위하여 에너지 소비가 지속적으로 증가하는 사회 체계가 형성되었다.

이에 따라 현대 사회에서의 에너지 문제는 경제와 사회 개발 문제로 직결된다. 즉 에너지 활용 가능성은 경제·사

회 개발 방향으로 귀결되고 경제·사회 개발은 에너지 활용 능력의 확대를 요구한다.

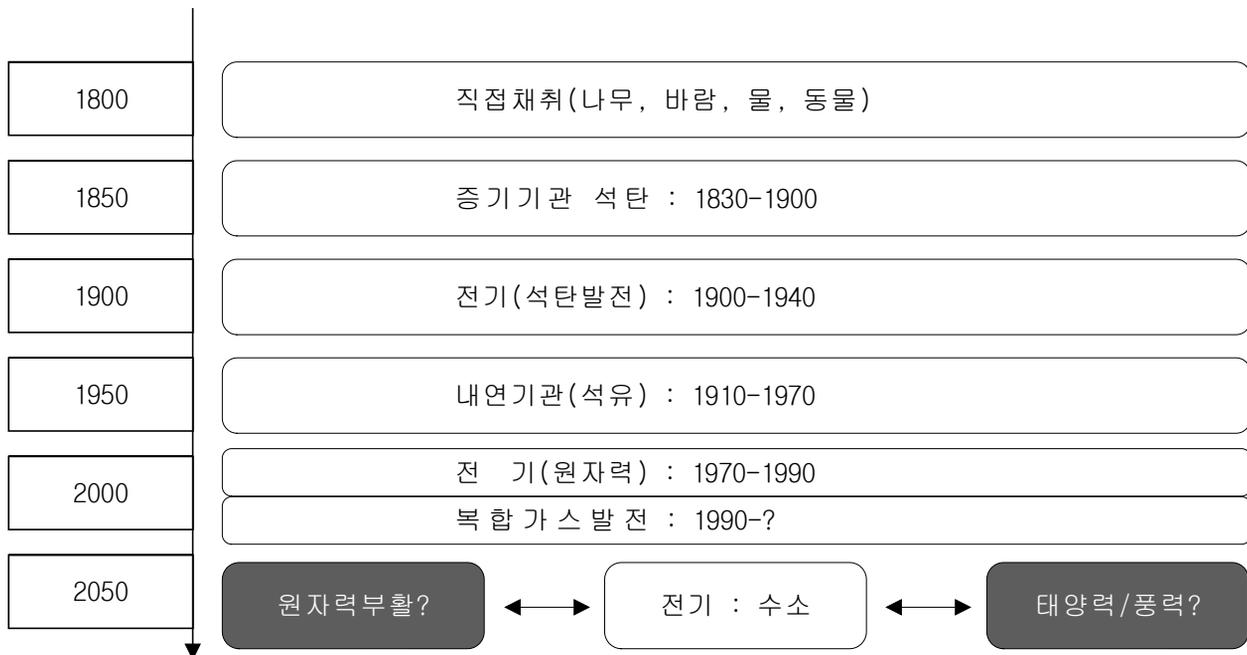
이에 따라 에너지 소비량의 수준이 산업 발전과 복지 수준을 결정하는 요인이 되고 있다. 즉 풍부한 에너지 자원의 확보는 부 내지 풍요를 의미하게 되고 에너지의 부족은 빈곤을 의미하게 되었다.

따라서 인류 문명의 역사는 삶의 질을 높이기 위해 품질이 좋고 풍부한 에너지를 확보하기 위한 경쟁의 역사로 볼 수 있다. 즉 인류 역사의 초기에 에너지는 인간의 노동력과 동물로부터 구해졌다. 근대에 이르기까지 노예 제도가 성행했던 까닭은 그것이 인간 에너지를 착취하기 위한 제도적인 수단이 되었기 때문이었다.

인간과 동물의 에너지 다음에는 인류는 풍력과 수력을 이용하면서 더 많은 에너지를 개발하였다. 그리고 지난 두 세기 동안에는 상업적으로 생산된, 특히 석탄·석유·천연가스 및 원자력 등의 에너지가 인간과 동물의 에너지를 대체하게 되었다.

영국의 산업 혁명과 더불어 진행된 인류 문명의 산업화는 인간과 동·식물의 에너지 및 풍력과 수력이외의 새로

에너지의 발전과 미래상



운 에너지원의 도입과 더불어 진행되었다. 산업 혁명의 핵심적 특징의 하나는 새롭고 효율적인 연료 및 기술의 개발이다.

여기에는 기존의 연료를 이용해서 경제 생산 단위당 연료 소모량을 줄이는 기술을 개발하는 것 뿐만 아니라 보다 풍부한 그리고 물리 화학적으로 보다 좋은 특성을 가지는 에너지원을 탐색하는 기술이 포함된다. 왜냐하면 이 모든 기술들이 에너지 투입과 최종 제품의 성능 및 생산성과 직결되었기 때문이다.

예를들면, 에너지를 나무에서 석탄(코크스)으로 바꿈으로써 에너지 효율성과 경제적 생산성이 크게 증가하였다. 18세기 말까지 영국의 제철산업은 지리적으로 분산되어 있었는데 그 주요 원인은 연료가 나무라는 사실에 기인하였다. 즉 제철 산업에는 많은 에너지가 소모되는 데 그 연료인 나무는 지리적으로 분산되어 있었다.

또 한 가지의 특징은 나무를 원료로 하는 목탄은 쉽게 부서지는 특성 때문에 운송이 어려웠다. 이러한 목탄의 물리적 특성이 제철 산업의 생산성을 크게 제약하였다. 다시 말해서 목탄의 쉽게 부서지는 특성은 매우 높은 용광로에서는 무거운 무게를 지탱할 수 없게 만들고 결과적으로 용광로의 높이를 제한하였다.

연료를 목탄보다 훨씬 강하고 단단한 코크스로 대체하면서 목탄보다 더 큰 무게를 지탱할 수 있게 되었고 용광로를 더 높게 만드는 것이 가능해졌다.

1800년까지 나무 연료를 기반으로 한 제철 산업의 에너지원은 석탄으로 실질적으로 전환되었다. 요약컨대, 18세기에 용광로에 코크스가 도입되면서 제철 산업이 나무 연료가 훨씬 풍부하고 물리적으로 더욱 적합한 에너지원(석탄)이 개발됨으로써 200년에 걸쳐 계속된 생산 기술(야금술)을 진보, 즉 용광로의 높이를 증가시키고 그 결과 에너지의 효율성과 산업의 생산성이 크게 향상되었다.

이와 같이 18세기 및 19세기 초에 일기 시작한 산업혁명은 석탄을 연소시켜서 증기를 에너지로 활용하는 등 석탄

이용 기술이 광범위하게 도입된 과정으로 볼 수 있다. 석탄을 연소한 증기 엔진은 나무와 물과 바람을 대체하면서 산업 혁명 초기 단계에 동력을 제공하였다.

산업 혁명 전에는 나무가 주요 에너지원이었는데, 증기 기관이 발명되어 점차 공장에서 사용됨에 따라 보다 효율성이 높은 석탄이 주요 에너지원으로 사용되었다. 결국 석탄이라는 새로운 에너지원이 발견되고 널리 사용되면서 산업 혁명이 비로소 가능하게 되었던 것이다.

뒤이은 19세기 말과 20세기 초부터는 석탄·석유 및 천연 가스 등의 화석 연료를 사용하는 에너지 기술이 개발·확산되기 시작했다. 또한 약 1910년경부터 내연 기관은 넓은 범위에 걸쳐서 편리한 운송 수단을 제공하면서 석유의 소비를 부추겼다.

20세기에 들어서 화석 연료와 수력을 이용해서 또 다른 새로운 에너지 형태인 전기를 개발·사용하였으며, 전기의 보급은 생산 공정, 사업 조직과 삶의 패턴에 근본적인 변화를 촉발하였다

오늘날에는 전기가 많은 산업 부문에서 지배적이며 선호되는 에너지로 자리 잡고 있다. 이처럼 인간이 더 많은 에너지를 더욱 편리하게 사용하게 되면서, 사람들은 점점 더 풍요로운 삶을 구가하며 장수하게 되었다.

제 3 절 세계의 석탄 매장, 생산 및 소비

1. 세계의 석탄 매장량

석탄은 전 세계에 고루 분포되어 있고, 2003년 기준으로 확인 매장량만 해도 9천 8억톤에 이르며 이는 앞으로 약 200년을 채굴할 수 있는 양이 매장되어 있다.

이같이 석탄 자원량은 풍부할 뿐만 아니라 세계 각지에 널리 분포하여 장기적으로 안정적인 공급이 기대되고 있다. 현재의 수요 증가를 고려하더라도 현재 확인된 매장량만으로도 다른 화석에너지보다 오랜 기간 사용 가능한 자원이다.

이에 비하여 석유의 전체 확인 매장량은 약 1조 배럴이며, 이를 연간 생산량으로 나눈 가채년수는 41년으로 석탄의 가채년수 200년에 비하면 1/5에 불과하다. 더욱이 석유 자원 부국인 중동 지역의 생산량이 전 세계 생산의 30% 수준을 차지하고 있어 석탄과 달리 지역적 편재가 심하다는 특징을 안고 있다.

세계의 석탄 매장량 (백만톤)

	가채매장량	확인매장량	예상추가매장량	예상매장량
유연탄/무연탄	519,062	809,533	1,019,358	1,828,827
아역청탄/갈탄	465,444	619,109	1,376,336	1,995,445
합 계	984,453	1,429,606	2,420,328	3,865,690

자료: BP자료(2003)

그러나, 미국 및 유럽 등에서는 석유 부존량에 비해 생산량이 비교적 높아 가채년수는 매우 짧다. 석유 가채년수는 신규 유전의 개발과 석유 탐사 및 생산 기술의 발달로 지난 30년간 계속 40년 내외의 수준을 계속 유지해 왔다.

석탄의 경우 가채매장량이 9,845억톤 이지만 앞으로 예상 추가 매장량이 24,203억톤임을 감안하면 앞으로 잠재적인 확인 매장량은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 잠재적인

석탄의 예상 매장량과 현재의 석탄 생산량을 고려하면 석탄 에너지는 향후 장기간동안 안정적인 석탄 에너지의 공급이 가능할 것이다.

세계의 석탄 매장량과 가채년수(백만톤)

	무연탄·아역청탄	아탄·아역청탄·갈탄	총계	비중	가채년수
북 미	120,222	137,561	257,783	26.2%	247
중 남 미	7,738	14,014	21,752	2.2%	354
유럽·구소련	144,874	210,496	355,370	36.1%	300
중 동·아프리카	56,881	196	57,077	5.8%	233
아시아·태평양	189,347	103,124	292,471	29.7%	113
합 계	519,062	465,391	984,453	100.0%	192

세계의 석탄 매장량을 지역별로 살펴보면, 유럽과 구소련이 전 세계 석탄 매장량의 36%를 차지하여 가장 많이 분포되어 있다. 이에 따라 동 지역의 가채년수는 300년에 달한다. 다음으로는 아시아. 태평양지역으로 약 30%가 매장되어 있으며 동 지역의 가채년수는 113년에 달한다. 북미(캐나다 및 미국)은 26%가 매장되어 있고 가채년수는 247년에

주요 국가의 석탄 매장량(억톤)

순위	국명	무연탄 억청탄	아역청탄 갈탄	계	점유율	가채년수
1	미 국	1,159	1,341	2,500	25.4%	258
2	러시아	491	1,079	1,570	15.9%	500년 이상
3	중 국	622	523	1,145	11.6%	69
4	인 도	824	20	844	8.6%	230
5	호 주	426	395	821	8.3%	236
6	독 일	230	430	660	6.7%	322
7	우크라이나	163	179	342	3.5%	426
8	카작스탄	310	30	340	3.5%	401
9	폴란드	203	19	221	2.3%	136
10	브라질		119	119	1.2%	500년 이상
11	콜롬비아	63	4	66	0.7%	135
12	캐나다	35	31	66	0.7%	106
13	체 코	21	36	57	0.6%	89
14	인 니	8	46	54	0.5%	47
	전 세계	5,190	4,654	9,844	100.0%	192

권역별 석탄 생산량 (백만톤)

	1992년	2001년	2002년
북 미	976.4	1,105.0	1,072.2
중 남 미	32.9	57.8	53.8
유럽, 유라시아	1,592.0	1,195.1	1,161.0
중 동	1.0	0.8	0.6
아 프 리 카	182.4	229.9	230.4
아시아 태평양	1,753.0	1,969.7	2,314.7
합 계	4,537.7	4,558.3	4,832.7

달한다.

중남미, 중동 및 아프리카 지역은 비교적 작은 양이 분포되어 있으며 생산량은 크지 않지만 가채년수는 비교적 길다. 한편, 매장된 전체 석탄중에서 유연탄 및 무연탄이 519,062백만톤이며, 아역청탄 및 갈탄이 465,444백만톤이며 높은 품질의 원료탄이 호주, 캐나다, 미국에 매장되어 있으며, 연료탄은 호주, 중국, 콜롬비아, 인도, 인도네시아, 러시아 등에 많이 매장되어 있다.

2. 세계의 석탄 생산

세계의 석탄 생산은 석탄 소비의 성장 둔화와 함께 점진적으로 감소되는 경향을 보이고 있다. 세계의 석탄 생산

주요 국가별 석탄 생산량 (백만TOE)

순위	국 가	2003년	점유율(%)
1	중 국	842.6	33.5
2	미 국	551.3	21.9
3	호 주	188.7	7.5
4	인 도	172.2	6.8
5	남아공	134.6	5.3
6	러시아	124.9	5.0
7	폴란드	70.8	2.8
8	인도네시아	70.5	2.8
9	독 일	54.1	2.1
10	카작스탄	43.2	1.7
	전 세 계	2,518.7	100.0

은 1992년에 4,537.7백만톤에서 2002년에는 4,832.7백만톤으로 10년동안 6.5% 증가에 그치고 있다. 이같이 세계의 석탄 생산량이 높지 않는 이유는 1992년부터 2002년까지 다른 화석 연료의 생산 증가율을 보면 석탄 생산의 성장 둔화가

구체적으로 나타나고 있는데, 동 기간에 석유 생산 증가율은 11.6%, 천연가스 생산 증가율은 22.1%로써 석탄에 비해 상대적으로 높은 생산 증가율을 보이고 있다.

세계 석탄생산에서 아시아태평양지역의 점유율이 49.6%로 전체 생산의 절반 정도를 차지하고 있다.

중국의 석탄생산은 2002년 703.0백만TOE(석유환산톤)로 최대 생산국이며, 미국은 571.7백만TOE로 두번째 생산국이다. 이에 따라 중국과 미국의 세계 석탄 시장에서의 생산 점유율은 53.5%로 절반 이상을 점유하고 있다.

지역별로 보면, 북미의 점유율이 25.8%, 중남미가 1.4%, 유럽 및 유라시아가 17.7%, 그리고 아프리카가 5.5%를 점하고 있다. 확인 매장량이 많은 미국, 구소련, 중국, 호주, 인도, 남아프리카, 독일의 생산량 점유율이 높아 84.1%를 차지하고 있어 확인 매장량이 많은 국가 위주로 많은 석탄 생산이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

3. 세계의 석탄 소비

세계의 석탄 소비는 1980년 후반 이후로 성장이 둔화되었으며 특히 서유럽, 동유럽, 구소련에 이러한 경향이 크게 나타났고, 이러한 경향은 계속될 전망이다.

세계의 석탄 소비는 1980년대 후반 이후 성장이 둔화되고 있다. 석탄소비는 1992년 2,202.8백만TOE에서 2002년 2,397.9백만TOE로 8.9% 증가에 그치고 있다. 이는 1992년 2002년까지 다른 화석연료의 소비 증가율을 보면 그 성장의 차이가 구체적으로 나타나고 있는데, 석유는 11.1% 증가, 천연가스는 24.3% 증가하여 석탄에 비해 상대적으로 높은 소비증가율을 보인다.

세계 1차 에너지소비에서의 석탄 비중은 감소 추세를 보이고 있지만 석탄 비중의 감소는 느리게 진행되고 있다. 1차 에너지 점유율에서 석탄 점유율은 1990년도에 26%였으며, 2001년도 24%로 감소하였으며, 2025년에는 22%로 하락할 것으로 보인다.

특히, 중국의 석탄 소비량은 2002년 663.4백만TOE로 최대 소비국이며, 미국은 553.8백만TOE로 두번째 소비국이다. 중국과 미국의 세계 석탄시장에서의 소비 점유율은 50.8%로 절반 이상을 점유하고 있다. 북미의 점유율은 24.7%, 중남미 0.7%, 유럽 및 유라시아 21.1%, 중동, 0.3%, 아프리카 3.8%이다. 중국은 타자원에 대한 접속이 어렵고 석탄이 풍부하기 때문에 급속하게 성장하고 있는 산업부문에서 석탄이 주요 연료로 사용한다. 원료탄(coking coal)의 소비는 철강제조기술의 향상으로 인해 급격히 감소할 것으로 보인다.

주요 국가의 석탄 소비량(백만TOE)

순위	국가	2000	2001	2002	2003	점유율
1	중국	455	517.7	694.2	799.7	31.0
2	미국	569.1	551.8	559.4	573.9	22.7
3	인도	169.1	172.1	181	185.3	7.19
4	일본	98.9	103	106.6	112.2	4.35
5	러시아	106	109	103.9	111.3	4.32
6	남아공	81.9	80.6	83.5	88.9	3.45
7	독일	84.9	85	84.6	87.1	3.38
8	폴란드	57.6	58	56.7	58.8	2.28
9	한국	43	45.7	49.1	51.1	1.98
10	호주	48.3	49.6	51.9	50.2	1.95
전세계		2142.2	2211.0	2412.3	2578.4	100.00

*점유율은 '03년 기준

서유럽, 동유럽, 구소련의 석탄 사용률은 계속 하락할 것으로 전망된다. 서유럽의 석탄소비는 1990~2001년 사이에 30% 감소했는데, 그 이유는 많은 국가들이 천연가스로 대체했으며, 프랑스는 원자력으로 대체했기 때문이다.

세계 석탄소비는 2001년 53억톤에서 2025년 72억톤으로 22억톤 증가할 것으로 전망되며, 경제성장률 가정에 따라 2025년 세계 석탄 소비의 범위는 59~88억톤으로 추정된다. 중국의 석탄 발전 용량은 2001년 232GW에서 2025년 371GW로 60% 증가가 예상되며, 인도의 석탄 발전 용량은 2001년 66GW에서 2025년 96GW로 45% 증가할 것으로 보인다.

한편, 부문별 석탄 소비를 볼 때, 전력부문의 경우 석탄이 34%의 높은 점유율을 보이며, 다른 부문에서는 점유율이 18%에 불과하다. 전체 석탄 소비의 55%가 발전부문에

세계의 에너지원별 전원구성 전망(GW)

	1999	2010	2020	2030
석탄	1,056	1,277	1,599	2,090
석유	495	547	540	507
가스	677	1,162	1,865	2,501
원자력	351	379	362	356
수력	761	911	1,080	1,205
재생에너지	57	133	233	399
합계	3,397	4,408	5,679	7,057

서 사용되고 있다. 전력설비에서 석탄 설비가 차지하는 비중이 1999년 현재 31% 차지하여 가장 높다.

향후 가스 발전 설비의 증가가 두드러져 2030년에는 가스발전의 비중이 35%로 가장 높지만 석탄 발전시설의 비중은 아직 30% 정도이다. 전원 설비 구성에서는 2030년에 비록 가스의 설비 비중이 가장 높지만 발전량은 여전히 석탄 발전이 가장 크다. 2000년 현재 석탄의 발전량은 총 발전량의 40%를 차지하고 있다.

이러한 석탄발전의 중요성은 2030년에도 세계 전원구성에서 석탄의 비중이 37%로 여전히 발전량이 가장 많다. 전력 수요는 모든 에너지원중에서 전력설비에서 석탄 설비가 차지하는 비중이 1999년 현재 31% 차지하여 가장 높다. 향후 가스 발전 설비의 증가가 두드러져 2030년에는 가스발전의 비중이 35%로 가장 높지만 석탄 발전 비중은 아직 30% 정도이다.