

# 부록 석탄과 연탄

---

I . 석탄의 생성과 종류

II. 석탄의 이용사

III. 연탄

# I . 석탄의 생성과 종류

## 1. 석탄의 생성



▲ 석탄기 지구상에는 식물이 거대한 숲을 이루고 있었다.

먼 옛날 고생대 석탄기와 폐름기 초 즉 2천만~3억년 전 지구상에는 식물이 거대한 숲을 이루고 있었다. 당시 이러한 식물군이 죽어 넘어져 쌓여서 두터운 층을 이루고 이 층이 지하에 매몰돼 고열과 고압을 받으면서 식물의 성분 중 수소, 질소, 산소 등이 서서히 빠져나가고 탄소 성분만 남게 되는데 이렇게 하여 형성된 것이 오늘 날의 석탄층이다.

석탄의 생성과정에 대하여 여러 주장이 있으나 크게 두 가지 학설로 대별할 수 있다.

원지생성설(原地生成說) : 식물이 자라고 있던 그 장소에 퇴적되어 생성되었다는 설로 탄층의 하반에 식물의 성장에 적합한 토양이 있음을 근거로 제시한다.

유적생성설(流積生成說) : 식물이 물에 떠내려가 일정한 장소에 퇴적되어 석탄이 되었다는 설로 탄층 부근에 어愧류의 화석을 발견할 수 있다.

식물층이 매몰되어 석탄이 되었다고는 하지만 무성하게 서있던 식물이 갑자기 일어난 지각변동에 의하여 땅속에 매몰되어 그것이 바로 석탄이 되었다고 보기是很 어렵다. 식물이 암석(퇴적암)으로 변하고 이것이 다시 광물질로 변이된 것으로 보인다.

이같이 고열과 고압에 의해 식물층의 고유성분 중 수소와 산소가 빠져 나가고 탄소만 남는 과정을 탄화작용(Carbonization)이라 하며 석탄층으로 되기까지 식물층의 두께는 통상 1/10로 줄어드는 것으로 추정한다. 즉 발견된 석탄층의 두께가 5m라면 매몰 당시의 식물층의 두께를 50m로 본다.

## 2. 석탄의 성질

석탄이라 하여 모두 동일한 특성을 갖고 있는 것은 아니고 생성 환경에 따라 물리

적 · 화학적 성질에 다소 차이가 있다. 그리고 그 차이는 용도와 상품가치에 상당한 영향을 준다.

### 가. 물리적 성질

석탄의 물리적 특성으로는 비중 · 전기전도도 · 침수율 · X선 회절특성 등 기초적인 특성이 있고 점결성 · 연소성 · 화용융성 · 파쇄성 등 석탄 이용에 직결되는 특성이 있다.

#### (1) 점결성

석탄의 점결성이란 석탄이 공기와 차단된 상태 하에서 서서히 가열할 때 어느 온도의 범위에서 석탄의 부피가 증가되거나 감소되는 성질을 말한다. 이 점결성은 석탄의 구성물질과 탄화 정도에 따라서 크게 영향을 받게된다. 점결성 시험을 위하여 일반적으로 F.S.I(Free Swelling Index, 자유 팽창 지수), 유동도(Fluidity) 등에 대한 실험이 실시된다. 국내 무연탄은 점결이 없는 비점결성탄에 속한다.

#### (2) 연소성

석탄의 연소실험이란 석탄이 연소함으로써 생기는 무게 감소를 여러 가지 측면에서 검토하여 착화온도, 가연성분량, 연소시간, 평균 연소속도 등을 구하는 것이다. 석탄 입자의 연소속도는 초기 휘발분의 연소 속도와 후기 촉(Char:석탄중 온도가 올라감에 따라 휘발분이 증발하고 남은 고체성분)의 연소속도로 대별되며, 촉의 연소속도는 휘발분 연소 속도의 1/5 정도밖에 되지 않는다.

#### (3) 화용융성

석탄을 연료로서 이용할 때 석탄회의 용융성은 연소 설비의 규격과 운전 조작 조건을 제약하는 요인의 하나이다. 화용융 온도는 회분의 화학 성분과 밀접한 관계를 가지며 회분의 화학성분은 석탄 내의 함유된 광물질과 밀접한 관계를 갖는 것으로 알려져 있다.

#### (4) 분쇄성

석탄이 연료로서 이용되는 경우 대부분의 석탄은 연소 및 연소를 위한 운반 공정 때문에 미립자로 파쇄되어 사용된다. 특히 미분탄 발전소의 연료로 사용될 때에는 석탄의 물리적 성질 중 분쇄성(파쇄성)이 가장 중요한 성질이라 할 수 있다. 석탄의 분쇄성은 그 석탄의 분쇄성 지수 H.G.I.(Hardgrove Grindability Index)로 표시되며 대체로 30~120의 수치를 나타낸다.

#### (5) 비중

고체 연료는 내부에 기공을 갖고 있으며 내부 기공은 고체에 둘러싸여 외부와 접촉이 안되는 폐공과 한쪽 혹은 양쪽이 외부와 통하는 기공이 있다. 따라서 고체 연료의 비중은 진비중과 겉비중으로 크게 나눈다. 진비중은 기공을 뺀 실고체 질량에 대한 비중이며 겉비중은 기공을 포함하는 하나의 덩어리로서의 비중이다. 석탄은 주로 진비중, 코크스는 겉비중을 측정한다.

### 나. 화학적 성질

석탄에 대한 화학성분 분석을 실시하는 경우 주로 공업분석(Proximate Analysis)과 원소분석(Ultimate Analysis)이 실시되고 있으며 석탄이 함유하고 있는 광물질의 성분을 알기 위해서는 회재 성분 분석을 실시하고 있다. 또한 특수한 목적으로 석탄이 함유하고 있는 희귀원소에 대한 분석과 석탄의 구성 성분을 이루고 있는 비투멘(Bitumen), 셀룰로오즈(Cellulose), 리그닌(Lignin), 휴민산(Humin Acid) 등을 측정하는 시성분석(Rational Analysis)이 있다. 공업분석과 원소분석을 실시할 때는 기준에 따라 무수분석(Dry basis), 무수무회기준(Dry ash free basis) 등으로 나뉘어지는데 이들 각 기준에 따른 분석치는 계산에 의해 구해질 수 있다.

#### (1) 공업분석

공업분석은 석탄이 가열될 때 갖게 되는 여러 가지 성질을 알아보기 위해서 실시

되는 간단한 분석으로 주로 석탄의 수분, 휘발분, 회분, 고정탄소, 발열량 등에 대한 분석이 실시된다. 이들은 무게비(중량비)에 의한 백분율로 표시한다.

#### (Moisture)

수분은 석탄이 비등점 이상으로 가열될 때 석탄으로부터 방출되는 약간의 수증기로서 공업 분석 상 첫 번째로 얻게 되는 분석치이다.

석탄수분은 석탄 운반에 있어 필요 없는 하중을 더해주며 연소시 열효율을 감소시키는 역할을 하고 석탄의 풍화작용(Weathering)을 촉진시키기도 하지만 석탄의 성형(Briquetting)을 위해서는 반드시 필요한 요소이기도 하다.

#### (Volatile matter)

휘발분은 수분이 제거된 시료를  $925^{\circ}\text{C}$ 에서 7분간 가열하여 감량을 구한 뒤 감량의 시료에 대한 백분율로 나타낸다. 석탄의 휘발분 함유량은 석탄의 탄화도 증가에 따라 감소되는 양상을 보여주며 이러한 성질 때문에 휘발분은 석탄 분류의 기준이 되기도 한다.

#### (Ash)

회분은 석탄을  $800^{\circ}\text{C}$ 로 1시간 이상을 충분히 태운 후에 남는 잔류물(재)로서 석탄 중에 함유된 광물질을 의미하며 실제로는 석탄 내에 함유된 광물질의 중량보다 약간 적고 화학 성분에 있어서는 반드시 같지는 않다.

#### (Fixed carbon)

고정탄소는 휘발분이 제거된 석탄의 연소에 의한 중량 감소를 말한다. 이는 간접적인 방법으로 다음 식으로 산출한다.

$$\text{고정탄소 (\%)} = 100 - \text{수분 (\%)} - \text{회분 (\%)} - \text{휘발분 (\%)}$$

#### (Calorific value)

발열량은 석탄 내에 보관된 화학에너지의 총량이며 이는 연료로서의 가치를 알려주는 요소이기도 하다. 발열량은 국내에서 석탄의 품질규격 기준으로 사용되고 있다. 국내 무연탄의 경우 발열량 차이는 대부분 탄층에 함유되고 있는 회분량의 차이에 기인된 것이고 탄화 정도에 의한 차이는 아니다. 국내 무연탄이 같은 탄화 정도의 외국 석탄에 비해 발열량이 낮은 것은 석탄 생성 후에 일어난 심한 지각 변동 시 탄층에 광물질이 2차적으로 더욱 많이 유입되었기 때문이다.

## (2) 원소분석



▲ 석탄분석 광경

원소분석(Ultimate analysis)은 석탄의 주요 구성 원소인 탄소(C), 수소(H), 산소(O)와 기타의 질소(N) 그리고 유황(S) 등에 대한 분석이다. 분석 기준은 무수기준(Dry basis)으로 하며 여러 종류의 석탄을 서로 비교할 때는 무수무회기준(Dry ash free basis)에 의한 분석치를 사용한다.

원소 분석치를 살펴보면, 국내무연탄은 그 탄화 정도에 비해 수소의 함유량과 발열량이 낮으며 산소의 함유량은 대체로 높은 편이다. 이는 우리나라 무연탄이 \*변성 무연탄(Meta-anthracite)이라는 것을 의미한다.

탄소는 석탄의 주성분이며 순수한 석탄에 대한 탄소 함량은 갈탄이 대략 60~70%, 역청탄이 70~85%, 무연탄이 85~95%의 범위에 있다. 또한 수소 함량은 갈탄이 5~7%, 역청탄 4~6%, 무연탄 2~4%의 범위로서 이들은 탄화가 진행됨에 따라 탄소 함량은 증가하고 수소 함량은 감소하는 경향을 보여준다.

질소는 석탄의 유기질 물질 내에서 특정적으로 나타나고 있다. 일반적으로 석탄 내에 함유되는 질소의 함유량은 1~2%이며 대부분의 석탄은 1~1.5%의 질소를 함유 한다. 석탄 내의 질소 함유량은 탄화 정도와는 무관하고, 질소는 석탄 내에서 변화가 가장 적은 원소이다.

주) 변성 무연탄: 무연탄중에서도 탄화가 상당히 진행되어 흑연이 되기 직전인 상태의 무연탄을 말한다.

석탄 내에 함유된 유황(S)은 환경과 매우 밀접한 관계가 있으며 유기성 유황과 무기성 유황으로 대별된다. 유기성 유황은 석탄생성시 근원 식물로부터 유래되어 석탄 중에 균일하게 분포된 것이고 무기성 유황은 석탄생성 후에 황산물이나 황산염으로 존재해서 지하수 등으로부터 2차적으로 석탄 내에 혼입된 것이다.

석탄 중의 산소 함유량은 직접 측정하기 위한 간단하고 믿을 만한 방법이 없기 때문에 다음과 같이 계산에 의하여 구해진다.

$$\text{산소(O)}=100-(\text{탄소}+\text{수소}+\text{질소}+\text{유황}+\text{회분}+\text{기타})$$

### (3) 회분분석

석탄회(Coal ash)는 대부분 석탄 내에 함유된 광물질로 구성되며 석탄의 연소과정에서 촉매 역할을 하는 것으로 제철용탄과 성형탄에서는 각각 연소 후의 강도 유지

를 위한 중요한 역할을 한다.

그러나 석탄 연소 후 남게 되는 다량의 석탄회는 극히 일부만 시멘트, 골재, 건축재료 등으로 사용되고 나머지는 모두 버려야 하기 때문에 석탄회의 처리가 매우 심각한 문제로 대두되고 있다. 또한 석탄회는 발열량을 저하시키며 운반과정과 선단과정에서도 비경제적이고, 특히 보일러에 사용시 희용점, 슬래깅 현상을 일으켜 여러 가지 문제점을 야기시키고 있다.

### 3. 석탄의 분류

1800년까지 석탄의 분류는 단순하게 휘탄(輝炭), 암탄(暗炭), 갈탄(褐炭)의 3종류 뿐이었으나 석탄 이용이 본격화되면서 분류법도 다양하게 발전했다. 대표적인 분류 방법은 다음과 같다.

#### 가. 탄화 정도에 따른 분류

탄화 정도에 따라 분류하는 방법으로 토탄, 이탄, 갈탄, 역청탄, 무연탄으로 분류 한다. 무연탄 중에는 흑연질 무연탄이 있고 이것이 더욱 탄화가 진행된 것이 흑연이다. 구분 기준에 있어서는 각 국가별로 독자 기준을 갖고 있으나 우리나라는 독자적인 기준 없이 미국 광무국 분류기준을 준용하고 있다.

현재의 석탄이나 갈탄은 극히 장기간의 세월에 거쳐 생성된 것으로 원식물의 종류나 그들이 변질 탄화하여 온 지질적 조건도 여러 가지이므로 실제는 천차만별이다.

전반적으로 탄화가 진행됨에 따라 공업 분석에서의 고정탄소가 증가하고 휘발분은 감소하므로 연료비(고정탄소/휘발분)는 증가한다. 이 연료비를 이용하여 석탄을 분류하는 방법이 제12회 만국지질학회(Toronto, Canada; 1913)에서 채택되었다.

#### 나. 용도별 분류

용도에 따라 분류하는 것으로 상거래 상으로 보편화되어 있다. 과거에는 연료탄(燃料炭)으로 민수용, 발전용, 철도용, 산업용, 관수용 등의 수요가 있었으나 현재는 발전용과 민수용 수요만 남아있다.

한편 원료탄(原料炭)으로는 코크스 제조와 제강용 수요가 있다.

#### 다. 형상(입도)에 따른 분류

석탄의 입자 크기에 따른 분류로 우리나라에서는 대괴(60mm이상), 중괴(40~60mm), 소괴(25~40mm), 분탄(25mm이하)로 구분하고 있으나 통일된 것은 아니며 최근에는 용도에 따라 구체적으로 규격을 명시하여 사용한다.

석탄의 원래 형상은 괴상(塊狀)이지만 지각변동에 의해 1차 괴탄이 분화되어 분탄이 되고 이 분탄이 어떠한 작용에 의해 고화(固化)된 것을 2차 괴탄이라 하며 통상 우리나라에서 생산되는 것은 2차 괴탄에 해당된다.

#### 라. 열량에 따른 분류

석탄분류법

명칭	연료비	고정탄소(%)	휘발분(%)	해탄(骸炭)	수분	연소상태
무연탄	12 이상	92.3 이상	3~7	부점결	-	청색 짙은 불꽃,
반무연탄	12~7	92.3~87.5	9~13	”	-	광채나 매연이 적음
반역청탄	7~4	87.5~75	14~19	점결, 미약	-	빛이 있는 짙은 불꽃
고도역청탄	4~8	75~65.7	27~35	점결	-	또는 황색 긴 불꽃
저도역청탄	1.8~10	65.7~50	35~52	점결, 미약	-	
흑갈탄	1 이상	50 이상	50 이상	부점결	6% 이상	황색 긴 불꽃
갈탄	”	”	”	”	6% 이하	

일반적으로 외국에서는 발열량에 의한 분류보다는 용도에 따라 분류하는 것이 보편적이지만 우리나라에서는 열량을 기준으로 분류하여 가격을 고시하고 있다. 국내에서 생산되는 것이 무연탄에 국한되고 또한 주로 연탄제조에 사용되고 있으므로 정부는 1952년부터 열량별 가격을 차별화하며 구분하기 시작했다

△ 1급탄 (5,200~5,399kcal/kg)

△ 2급탄 (5,000~5,199kcal/kg)

△ 3급탄 (4,800~4,999kcal/kg)

△ 4급탄 (4,600~4,799kcal/kg)

△ 5급탄 (4,400~4,599kcal/kg, 기준탄)

△ 6급탄 (4,200~4,399kcal/kg)

△ 7급탄 (4,000~4,199kcal/kg)

△ 8급탄 (3,750~3,999kcal/kg)

△ 9급탄 (3,500~3,749kcal/kg)

### 마. 산출지에 따른 분류

수입탄의 경우에는 주로 산지에 따라 산출국명을 붙여서 미국탄, 호주탄, 중국탄 등으로 구분하고 세부적으로 산출 지명을 붙이기도 한다.

국내탄의 경우에는 종전에는 삼척탄, 문경탄, 성주탄 등 탄전명을 붙여 분류하였으나 요즘에는 산출 광산명을 붙여 장성탄, 도계탄, 화순탄, 경동탄 등으로 지칭하기도 한다.

### 4. 종류별 특징

#### 가. 토탄(土炭)

토탄이란 식물의 유해가 약간의 생물화학적인 변화를 받고서 지표 아래에 묻혀 있는 것으로 거의 탄화작용이 진행되지 않았으며 어두운 갈색을 띠고 탄소의 량이 적어 잘 타지 않는다. 설치류를 원식물로 하고 한냉지에서 생성된 것을 ‘툰드라’라고 한다.

토탄은 흙 속에서 산출된 상태에서는 70~90% 정도의 다량의 수분을 함유하고 있으며 대기 중에 방치하면 20~30%까지 수분을 제거할 수 있다. 우리나라의 평야지대에서 가끔 발견되기도 하며 해방 후 석탄생산 부족으로 연료난이 극심할 때 토탄 개발을 적극 장려하기도 했다. 1950년대까지 전북 익산 근처에서 생산되었으며 연료 또는 비료용으로 사용된다.

#### 나. 이탄(泥炭)

토탄보다는 좀 더 탄화작용을 받은 것으로 석탄 생성의 제1단계라 할 수 있다. 이끼 등 식물이 습지에 퇴적하여 분해 변화된 것으로 암갈색이며 광택이 없다. 토탄과 이탄을 동일 개념으로 사용하기도 한다.



▲ 괴탄

#### **다. 갈탄(褐炭)**

토탄이 두껍게 매몰되어 지하에서 고온의 지열과 높은 압력을 받아 상당한 탄화 작용이 진행된 것으로 외관상 빛깔은 갈색 내지 흑갈색이며 목질구조를 잘 보존하는 경우도 많다. 채굴 직후 수분을 40% 이상 함유하고 있다가 이를 대기 중에 방치하면 15%까지 건조된다. 수분이 많아서 풍화하여 균열이 생기며 붕괴되기 쉬운 구조가 된다.

우리나라에서는 함경북도 지역에 상당량 매장되어 있으며 남한에서는 1950년대 까지 경주와 영일만 지역에서 다소 생산되었으나 탄질이 낮아 개발되지 않고 있다.

연소시 냄새가 심하고 연기가 많이 나며 역청탄에 비해 수분이 많고 발열량이 낮다. 용도는 연료, 건류, 가스화, 연탄, 활성탄 제조에 이용된다.

#### **라. 유연탄(有煙炭)**

흔히 연소시 연기가 많이 난다 하여 무연탄의 상대적인 개념으로 사용하며 이탄과 갈탄, 역청탄까지를 포함한다. 국내에서는 일부 지역에서 갈탄이 생산되는 것을 제외하고는 생산되지 않아 전량 수입에 의존하고 있다.

역청탄은 탄화도가 갈탄보다 높고 무연탄보다는 낮다. 휘발분이 높아 연소가 잘 되고 탈 때 노란 불꽃을 내며 건류시 역청 같은 물질이 생성된다. 점결성이 있어 강점결탄은 제철용 코오크스로 이용되며, 그밖에 화력발전소나 제철소 코오크스 제조용, 시멘트 소성용, 화학공업 연료용 등 산업용으로 폭넓게 사용된다. 최근 국내에서는 발전용 수요의 증가로 그 수요가 급증하고 있다.

#### **마. 무연탄(無煙炭)**

우리나라에서 법적으로 석탄이라 함은 무연탄을 말한다.(석탄산업법 시행령 제2조) 1980년 이전까지 국내에서 사용되는 석탄의 거의 대부분이 무연탄이었기 때문이다. 검은빛으로 금속광택이 있으며 단단하다. 휘발분이 낮아 착화는 어려우나 불순물이 적어 연소시 연기가 나지 않기 때문에 과거 군사용과 난방용으로 주로 사용되었다.

최근에는 연탄제조 및 발전용으로 사용되고 있으며 특히 무연괴탄은 높은 탄소함유

량을 이용하여 특수강 제작 및 상수도 정수용으로 사용한다.

### 바. 흑연(黑鉛)

흑연에는 토상과 인상의 두가지 천연 흑연이 있으며 석유 코크스나 피치를 이용하여 제조하는 합성흑연이 있다. 흑연은 용융점이 높고 산이나 열에 강하며 낮은 마찰계수를 갖기 때문에 내화제, 윤활제, 야금용분말, 연필심, 코팅제 등으로 활용되고 있다. 천연 흑연은  $2400^{\circ}\text{C}$  이상의 고온으로 가열처리하여 고순도의 결정성 흑연을 만들어서 배터리, 브레이크 윤활제, 원자로 등에 사용한다. 합성 흑연은 석유 코크스나 피치를 고온 소성하여 제조하고 있다.

## 5. 용도

고대에는 주로 금속을 녹이고 그릇을 굽는 연료로 사용되었으나 중기기관 발명 이후 석탄의 용도는 대폭 확대됐다. 모든 산업에 있어 원동력으로 이용되었으며 특히 산업혁명 이후 급속히 성장한 운송분야의 발달과 함께 석탄은 개인 생활은 물론 전 산업에 있어 폭넓게 이용되었다.

제2차 세계대전 후 중동의 풍부한 석유 매장이 확인되고 이의 공급이 확대되면서 석탄시장이 석유로 급속히 대체되었으나 1970년대 두 차례의 석유파동을 겪으며 석탄은 주로 발전용, 제철용으로 정착되어 그 사용량이 증가하고 있다.

## II. 석탄의 이용사

### 1. 석탄 발견

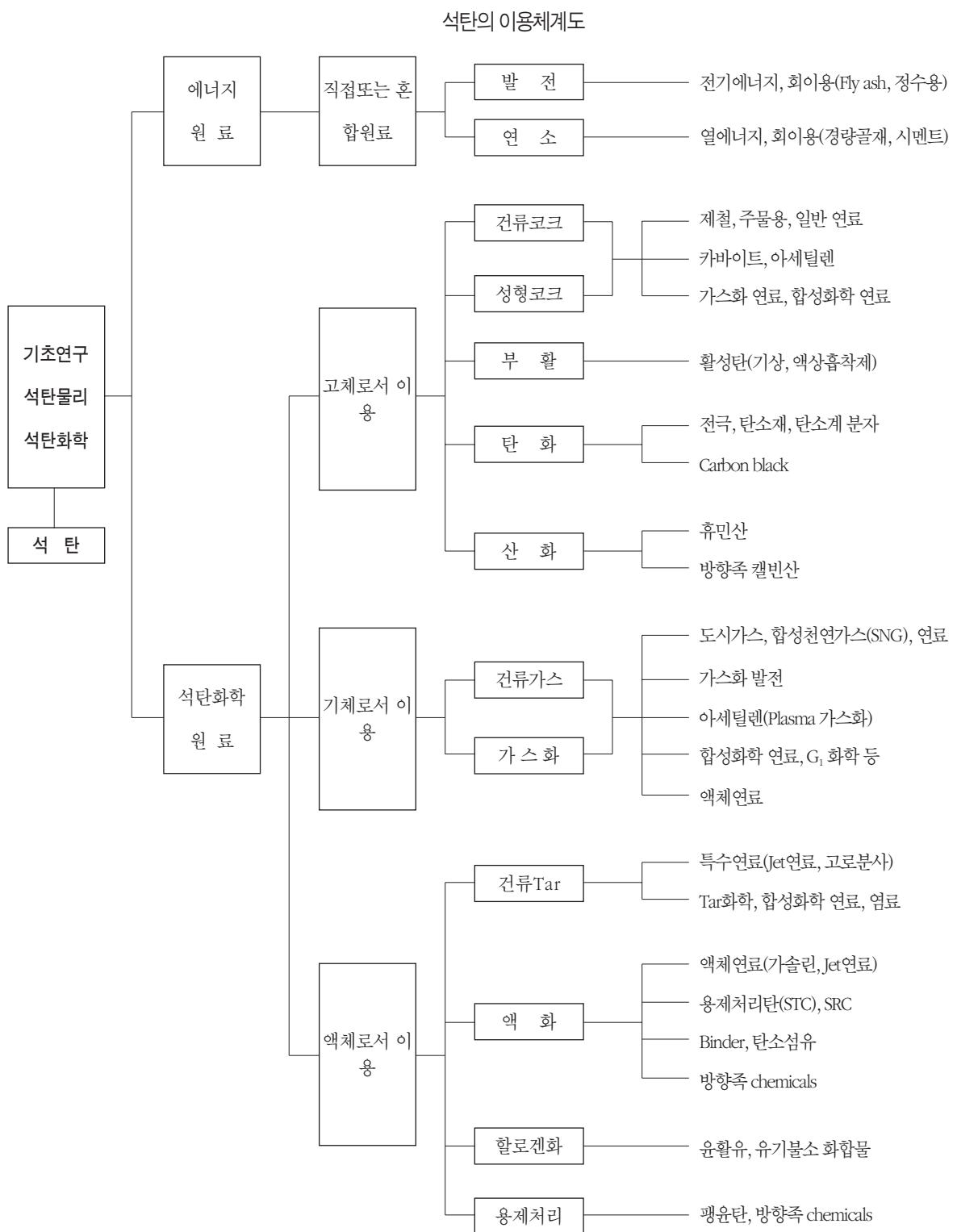
석탄은 철기, 청동기시대부터 발견되어 사용된 것으로 보인다. 일찍이 열에 의하여 금속을 용해시키는데 흑색(黑色) 가연(可燃)의 석괴(石塊)' 즉 석탄을 사용하였다 한다. 지표에 돌출된 석탄을 채취하여 금속을 녹였으며 그후 그릇을 굽고 유리를 제조하는 등 석탄의 사용이 확대되었다.

석탄과 관련하여 현존하는 최고의 기록은 즉 B.C. 315년 그리스의 대 철학자 아리스토텔레스의 제자인 데오프라스터스(Theophrastus)의 논문으로“ 북부 이탈리아의 소그리아 지방과 북부 그리스의 에리스에서 석탄(목탄에 흡사한 물질)을 대장간의 연료로 사용하고 있다”고 기록하고 있다. 그때 사용된 연료를‘ 안트라스(Anthrax)’라 칭했고 이것이 오늘날 무연탄의 영문 표기인‘ 안트라사이트(Anthracite)’의 어원이 되었다는 것이 학자들의 견해다.

동양에서의 최고의 기록은 삼국시대(A.D. 3세기경)에 발간된『수경(水經)』이라는 책으로‘ 석탄(石炭)’이라는 표현을 사용했다. 또한 마르코 폴로의『동방견문록』에는 “ 중국에서는 B.C. 수세기 전부터 석탄을 알고 있었다”는 기록이 있는 것으로 미뤄 보아 동서양이 비슷한 시기에 석탄을 이용하기 시작하였으며 그 시기는 기원전 4세기 이전으로 봐야 할 것이다.

반면 국내의 기록으로는『삼국유사』에 진평왕 31년(609년) 춘정월에 \*모지악(毛只嶽)에서 지화(地火)가 생겼는데 그 넓이(廣) 4보(步), 길이(長) 8보, 깊이(沈) 5척(尺)으로 10월 15일에 이르러 소멸하다”라 했고, 또한 태종 무열왕 4년(657년)에 \*동토함산지(東吐含山址: 경북 경주군 내동면 소재)가 불타서 3년만에 소멸하다”라는 기록이 있다.

### 2. 석탄산업의 발달



서기 5세기경에는 영국에서 이미 석탄이 채굴되어 각종 연료에 사용되기 시작하였으며 9~10세기에 이르러서는 독일의 잭스지방에서 석탄을 채탄하여 상품으로 거래하기 시작했다.

동양에서는 12~13세기경 중국 만주지방에서 석탄을 요업연료로 사용했다 하며 12세기 송나라 대에는 석탄을 가정용 연료로 사용했고 석탄에 세금을 부과했다는 문헌도 발견되었다.

1239년 영국의 서북쪽에 있는 뉴캐슬(Newcastle) 지방에서는 상업적으로 석탄을 생산하였는데 헨리 3세가 정식으로 채굴을 허가하였으며 런던에서는 뉴캐슬 지방에서 채굴된 석탄을 연료로 사용하여 유리제조를 비롯해 양조(釀造), 제당(製糖), 비누, 염색(染色), 제철(製鐵), 벽돌 등을 생산했다.

석탄을 사용하기 전에는 연료로 목재(또는 목탄)를 사용하였으나 산업발달과 함께 그 수요가 늘어나면서 산림이 황폐화되자 이를 해결하기 위한 대체연료로 석탄이 사용되었다.

석탄 사용이 증가하면서 문제도 있었다. 16세기에는 석탄 연소시 발생하는 악취 때문에 에드워드 2세 시대 한때 런던 및 유럽의 제반 도시에서 석탄 사용이 금지되기도 했다(영국 등에서 생산된 석탄은 유연탄으로 연소시 연기와 함께 냄새가 심하게 난다). 당시 이 문제가 얼마나 심각했는가는 1950년에 Jone Thomborough라는 사람이 “석탄을 정제하여 악취를 제거하는 방법”으로 특허를 받은 사실이 대변해 준다.

그 후 석탄 연소기술의 발달과 함께 석탄의 사용이 본격화 되었다. 영국에서는 이미 1600년대에 석탄생산량이 1백만 톤에 달하였고 생산기술의 발달과 함께 생산량은 급속히 늘어났다. 더구나 석탄개발에 있어 가장 큰 장애인 쟁내수 배출에 있어 종래 인력(人力)에서 마력(馬力)으로 다시 수력(水力)을 이용하며 양수(揚水)능력이 향상되어 심부작업이 가능해지고 그에 따라 석탄산업은 비약적인 발전을 이루게 된다.

또한 1620년 D. Dudley에 의해 실용화된 석탄 제철법은 석탄 소비증가를 가속화 했다.

### 3. 근대공업의 원동력

주) 삼국유사에 기록된 모지악과 동토함산지가 어디인지는 명확하지 않다. 다만 경주탄전의 일부로 추정되며 그 지역에서는 6.25 전까지 갈탄이 생산되었다.

본격적인 석탄시대의 문을 연 것은 18세기 영국이다. 1769년 영국인 제임스 와트(James Watt)에 의해 발명된 증기기관은 석탄 사용의 기폭제가 되었다. 이를 계기로 영국은 마침내 산업혁명의 시대를 맞이하고 석탄은 근대공업 발전의 동력원이 된다.

영국은 방직과 직물공업의 획기적인 발달을 이루었고 그 여파는 화학공업 분야에도 파급되어 석탄생산 규모는 비약적으로 발전하였으며 증기기관을 이용한 운송수단(철도 및 선박)의 발달과 함께 석탄 수요는 폭발적으로 증가했다.

또한 A.다비라는 엔지니어는 석탄을 이용한 코크스 제철법을 현실화했고 이는 빠른 속도로 발전하여 철강산업의 획기적인 발달을 초래했다.

석탄산업이 근대적 의미의 체계화된 시스템으로 발전한 곳은 독일로 루르 탄전지대에서는 '철과 석탄의 시대'에서 한 걸음 진보하여 석탄산업과 무기화학을 결합시킴으로서 본격적인 중화학공업 체계가 태동하기 시작했다.

증기기관 발명 이후 약 150년간 지속된 석탄시대는 제2차 대전 중 중동지역의 석유매장 사실이 확인되고 액체연료의 공급이 확대되면서 퇴조의 기미를 보였으나 1970년 석유파동으로 자국의 에너지자원 보호 및 석유에 대한 대체연료 확보에 대한 필요성으로 현재까지 계속 개발되고 있다.

한편 우리나라는 언제부터 석탄을 사용했는지 정확한 기록은 없다. 다만 문헌상으로는 선조 23년(1590년) 평양 관찰사 윤두수(尹斗壽)의 『평양지(平壤志)』에 "성동(城東·성 동쪽) 10리 지역의 문수봉(文繡峰)에 석탄소(石炭所)가 있다. 정동 10리 예미현 및 동북쪽 30리 지역의 고방산 등지에 모두 석탄이 있다. 불이 붙어도 연기가 나지 않으므로 무연탄이라 한다"고 기록되어 있는 점으로 미루어 1500년대 이전부터 평양지방에서 무연탄을 사용했으리라 추측할 뿐이다.

#### 4. 이용기술의 발전

석탄의 이용이 본격화되면서 냄새와 사용의 불편을 극복하기 위한 연구도 지속적으로 발전되고 있다.

이미 1792년에 영국의 퍼도르에 의해 석탄가스가 제조된 이래 1913년에는 독일의 베르가우스가 석탄의 수소첨가액화법에 의해 인조석유를 발명했다. 1923년, 독일에서는 석탄을 가스화하여 얻은 일산화탄소와 수소를 이용해 메탄을 합성에 성공하였으며 1926년에는 더 나아가 석유를 합성하기도 했다. 우리나라에서 처음으로 이용한 가스도 석탄가스로 이를 이용하여 가로등을 켰다.

특히 석유파동 이후 각국은 석유의 대체에너지원으로서 석탄을 이용하는 방법에 대한 연구에 박차를 가하고 있으며 일부는 이미 실용화 단계까지 이른 것으로 알려지고

있다.

석유, 가스 등 여타 화석에너지 자원의 매장량이 불과 40~50년에 불과한 현실에서 아직 200년 이상 사용할 수 있는 양이 매장되어 있는 석탄은 특별한 새로운 에너지가 개발되지 않는 한, 앞으로도 청정에너지로 변환되어 계속 이용될 전망이다.

### 가. 순환 유동층 연소기술

유동층 연소기술은 고효율 저공해 연소 방식으로 1980년 초반부터 소규모 기포식(Bubbling Type)이 보급되기 시작하여 중반 이후는 대규모의 순환식(Circulating Type)까지 급격한 발전을 거듭하여 왔다.

특히 순환식은 보일러의 대형화로 경제성 향상과 관리체계의 강화를 실현하였고 환경측면에서도 더욱 유리하기 때문에 세계적으로 보급이 계속 확대되고 있다. 특히 환경규제가 엄격한 미국에서는 2000년대까지 약 60%의 석탄 보일러가 순환유동층 방식으로 대체될 전망이다.

국내에서는 현재까지 열병합 발전용 순환식 유동층 보일러 10여개가 도입되었고 동해화력 준공이후 열병합 및 발전용 보일러 도입이 계속될 전망이다.

### 나. 석탄에너지 변환 기술

석탄을 청정에너지로 변환하여 이용하는 방법으로는 석탄의 열분해(Pyrolysis), 석탄의 가스화(Gasification)로부터의 가스합성 및 석탄의 액화(Liquification), Coal Water Mixture(CWM), Coal Oil Mixture(COM) 등이 있으며 건류 타르(Tar)와 건류 가스는 에너지 변환 중 생성되는 부산물로서 이용되는 것이다.

#### (1) 석탄의 열분해

석탄의 열분해(Pyrolysis 또는 건류)란 공기가 없는 상태에서 가열하여 석탄 내의 유기물질을 분해하는 것이다. 석탄은 천연고분자 유기물질과 무기물질(회분)로 나눌 수 있다.

산소 없는 상태에서 석탄을 가열하면 수소성분이 많은 휘발분( $\text{CO}+\text{H}_2$ , 메탄 등으로 이를 건류가스라 함)이 석탄에서 탈출되어 기체상태로 나오고 또한 Tar라는 물질이(일종의 찌꺼기라고 보아도 무방함) 액체상태로 나와(이때 Tar와 함께 경유도 약

간 생성됨) 석탄은 고체물질(Char)만 남게 된다.

이와 같이 휘발되는 건류가스나 액체 Tar, 고체 Char는 모두 연소가 가능하다. 즉 열분해를 통하여 석탄으로부터 기체연료인 건류가스(저급), 액체연료인 Tar(저급), 고체연료인 Char를 얻게 되므로 이는 석탄가스화나 석탄액화공정의 1차 단계라 할 수 있다.

## (2) 석탄의 가스화

석탄의 가스화는 말 그대로 고체인 석탄을 가연성의 가스로 전환시키는 공정을 말하며, 앞에서 언급한 열분해(Pyrolysis) 과정과 Char의 가스화 반응으로 구분된다. 즉 석탄을 열분해하여 건류된 Char를 생성하고, 생성된 Char를 다시 고체 기상반응에 의해 가스화시켜 최종적으로 석탄 전부를 가스상태로 전환하게 된다. 석탄은 이를 반응에 의해  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{COS}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$  등으로 전환되고 일부는 소량의 건류 Tar나 회분의 형태로 배출된다.

## (3) 석탄액화기술

석탄액화반응은 석탄을 가스화 하여 그 가스 상에 수소( $\text{H}_2$ )를 첨가하거나 또는 석탄으로부터 추출된 액체에 수소를 첨가하여 합성유류를 만드는 방법이다. 석탄액화법에는 직접액화와 간접액화법이 있으며 직접액화는 석탄을 고온, 고압 하에서 수소를 촉매로 하여 반응시킴으로써 원유와 유사한 품질의 기름을 생산하는 기술이고 간접액화공정은 석탄을 가스화 한 후 촉매에 의한 액화유를 생성하는 기술이다.

유연탄(액정탄)이 제일 많은 양의 액체를 생성할 수 있으므로 제일 좋은 원료로 사용되며 아쉽게도 국내산 무연탄은 액체 산물이 적어서 액화반응(수소와의 반응)에 적합하지 못하다.

## (4) IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle)

가스화 복합발전이란 먼저 가스화 방법을 이용하여 석탄을 연료가스로 전환시킨 뒤 연료가스 중 부식성 가스인  $\text{H}_2\text{S}$ 를 고온상태에서 정제한 후 미반응 석탄과 분진 등 입자를 제거하고 연소시켜 가스 터어빈(Gas Turbine)을 구동시키고 고온의 연소가스

에서 스텁(Steam)을 회수하여 스텁 터어빈(Steam Turbine)을 구동시킴으로써 석탄화력발전소와 같이 전력을 생산하는 차세대 전력생산 시스템이다.

이 기술은 기존의 같은 용량 기준 석탄 보일러보다 40% 이상 고체 폐기물의 양을 감소시킬 수 있으며 99%의 SOx와 80%의 NOx를 제거할 수 있다. 또한 기존 석탄화력 발전효율이 36~39%인데 비하여 IGCC에 의한 발전효율은 45~55%까지 향상될 수 있을 것으로 기대되고 있다.

#### (5) COM과 CWM

분포지역과 매장량이 한정되어 있는 석유에 비하여 석탄은 가채년수가 길고 세계 전역에 널리 분포되어 있으므로 가격이 저렴하고 향후 에너지 공급의 안정을 기할 수 있다.

그러나 석탄은 석유에 비하여 저장, 수송, 연소상의 불편성과 환경공해 문제가 따르고(일부는 석유도 그렇지만) 수송시 방대한 설비가 필요하다는 단점을 가지고 있는 것도 사실이다. 이러한 문제를 해결하려는 것이 COM과 CWM이다.

석탄 · 물 혼합연료(Coal-Water Mixture)는 미분탄(유연탄)에 30% 정도의 물과 약간의 첨가제를 혼합하여 유체화 하였기 때문에, 수송성은 액체연료와 같고 연소성은 석탄의 성상을 가지게 된다. 따라서 석탄 산지에서 제조될 경우 석탄 하역설비와 벨트콘베이어 등의 수송설비, 그리고 분쇄기 등의 연소 전 처리설비가 필요 없으며 파이프 수송 및 탱크저장이 가능하므로 분진의 비산도 없어 환경 면에서도 유리하다.

그러나 석탄 · 물 혼합연료는 유연탄을 대상으로 하고 있는데 반하여 국내 무연탄은 30% 이상의 회분을 함유하고 있어 CWM으로 사용시 각종 장애를 일으킬 수 있다. 이렇게 회분함량이 높은 국내 무연탄은 CWM보다는 석탄 · 오일 혼합연료(Coal-Oil Mixture)로 만들어 액상연료와 같이 사용할 수 있다면 괜찮을 것으로 기대된다.

COM은 미분쇄 석탄(Fine Coal)과 기름(경유 혹은 중유)을 일정 비율로 혼합한 석탄 슬러리(Slurry) 연료의 일종으로 Oil이 포함되어 발전용 연료로 사용될 경우 CWM에 비해 연소 안정성이 제고된다. 또한 COM 연료는 국내무연탄과 같이 회분이 많이 포함된 석탄(회분함량 30~50%)의 회분제거 공정과 연결하여 제조될 수 있기 때문에 국내탄의 효율적 활용이 가능하다.

### III. 연탄

#### 1. 기원과 전래

##### 가. 원래의 명칭은 구멍탄

현재 우리가 연탄(煉炭)이라 부르는 원주형에 구멍이 있는 탄덩어리의 원래 명칭은 구멍탄이다. 구멍의 개수에 따라 9공탄(九孔炭), 19공탄(十九孔炭)으로 불리기도 한다. 1961년 정부가 연탄규격을 처음으로 정하며 연탄(煉炭)으로 정착했고 「석탄산업법 시행령」 제2조에서도 “이 령에서 연탄”이라 함은 연료로 사용하기 위하여 석탄을 주원료로 하여 원주형으로 압축성형한 구멍탄을 말한다”고 규정하므로써 구멍탄이라는 용어보다는 연탄으로 더 널리 알려져 왔다.

연탄이 전래된 1930년대에는 연탄은 구멍탄만을 지칭하는 용어는 아니었다. 철도 기관차나 제철소에서 사용하던 마세크탄(일명 핏치라고도 했다)을 난형연탄(卵型煉炭)이라 했으며 현재의 연탄의 원조격인 가정용 구멍탄은 연형연탄(蓮型煉炭) 또는 공명연형연탄(孔明蓮型煉炭)이라 불렸다.

##### 나. 19세기말 일본에서 유래

구멍탄의 기원에 대해서는 19세기말 일본 큐슈 지방의 모지시(門司市)에서 사용된 통풍탄(通風炭)’ 또는 연탄(蓮炭)’을 효시로 본다. 그 지방에서는 주먹 크기의 석탄에 구멍이 뚫린 탄을 가정에서 목탄 대용으로 사용하였는데 이를 연꽃연탄(蓮炭)이라 불렀다. 구멍이 숭글숭글 뚫린 모양이 연꽃열매 모양을 닮았기 때문이다.

이러한 연탄(蓮炭)은 1907년에 제조기가 발명되면서 본격적으로 제조되기 시작하였고 공명탄(孔明炭), 통풍탄(通風炭), 혈명탄(穴明炭), 연탄(蓮炭), 연과탄(蓮菓炭) 등 다양하게 불리워졌다.

연형연탄이 한반도에 들어온 시기는 1920년대 말로 일본인이 운영하는 구마모도

상회(熊本商會)에서 수타식(手打式: 틀에 탄을 넣은 후 메로 쳐서 제조하는 방식으로 1960년대 초까지 이러한 방식으로 연탄을 제조하는 모습을 볼 수 있었다)으로 구공탄(九孔炭)을 제조하여 일본인 가정에 판매하였다. 그러나 생산량은 극히 적었으며 본격적인 양산체제를 갖추지는 못했다.

#### 다. 전래 방식은 벽돌 모양

일본에서 도입된 연형연탄이 남한지역의 일본인 가정을 중심으로 공급되던 시기 에 서울과 평양지방 등 대도시에서는 일본식 연탄과 다른 모양의 연탄이 공급되고 있었다. 이는 1920년대 후반부터 평양광업소에서 제조하기 시작한 것(이를 관제연 탄이라 불렀다고 한다)으로 극히 일부이지만 한국인 가정에서도 이를 사용했다.

모양과 크기는 벽돌과 비슷하며 구멍은 두 개 또는 세 개가 있었는데 당시 이러한 연탄을 「이공장방형각형(二孔長方形角型)」, 「삼공장방형각형(三孔長方形角型)」 또 는 「각형 2혈탄(角型 2穴炭)」, 「각형 3혈탄(角型 3穴炭)」이라 불렀다.

그런데 이같은 벽돌모양의 연탄은 이미 평양지방에서는 오래 전부터 사용하여 온 것으로 추정된다. 『속평양지』에 “내가 고문을 고증친대 그 크기가 벽돌과 비슷하고 한 끼의 밥을 자을 수 있다. 그 만드는 방법은 흙토를 황토와 섞어서 물로 혼합시켜 니토(泥土)처럼 만들고 건조하여 이것을 사용한다”는 기록이 있는 것으로 보아 평양 근처의 탄전지대에서는 석탄개발이 본격화되기 이전부터 일본에서 전래된 연탄과는 다른 벽돌 모양의 연탄을 제조하여 취사용 등으로 사용한 것으로 보인다.

#### 라. 화로용으로 사용

해방 전까지만 해도 연탄은 난방용이 아닌 화로용으로 사용되었다. 온돌이 아닌 다다미를 사용하는 일본인 가정에서는 연탄을 단순히 목탄 대용으로 화로에 넣고 차 를 끓이는 데 사용했을 뿐이다. 그러기에 크기도 현재 우리가 사용하는 것에 비해 상 당히 작았다.

당시에는 통일된 규격이 없어 여러 크기로 제작되었으나 주로 지름 103mm(3.4寸), 높이 121mm(4寸), 중량 1.4kg의 구공탄이 많이 시판되었으며 발열량은 5,200 ~ 5,370kcal/kg로 높은 편이었다.

전래 형태인 각형 연탄도 주로 난로나 화로에 묻어두고 사용하였으나 이를 두 세

조각으로 쪼개서 온돌 아궁이 장작 위에 올려놓고 불을 피우기도 하였다.

### 마. 1930년대부터 확산

연탄이 본격적으로 제조되기 시작한 것은 1930년대 삼국상회에 의해서다. 부산에서 일본인이 경영한 삼국상회는 후리손 프레스기를 사용하여 연탄을 제조하였는데 부산을 시작으로 전국으로 연탄공장을 확대하여 9공탄을 본격적으로 제조 판매하기 시작했다. 1940년대에는 \*삼국연탄주식회사(주)로 성장하여 연탄제조기를 간단한 윤전기로 개량하여 양산의 초보단계까지 실현했다.

## 2. 연탄 사용의 증대

### 가. 부산 피난지에서 전파

연탄 사용의 확산은 부산에서 출발했다. 해방 이후 극심한 연료난으로 대부분의 지역에서는 석탄을 구할 수 없었으나 부산은 사정이 조금 달랐다. 삼척탄이 해상으로 공급되고 미국 원조기관에 의해 다량의 수입탄이 도입됨으로써 석탄을 구하기가 수월했다. 그래서 일부 가정에서는 석탄에 약간의 흙과 물을 섞어 틀에 넣은 다음 나무 망치로 쳐서 구멍탄을 제조하여 난방과 취사에 이용하였다.

이러한 모습이 피난민에 의해 목격되어 사용되기 시작했다. 인구집중으로 임산 연료를 구할 수 없는 상황에서 이 수타식(手打式)으로 제조된 구멍탄(연탄)은 급속히 확산되어 나갔다.

### 나. 연료전환 정책으로 확산

휴전 후 피난민의 귀향으로 연탄의 존재가 전국으로 알려지기는 하였으나 석탄의 공급 부진과 아궁이 개조 등의 문제로 곧바로 확산되지는 못했다. 그러나 1956년 석탄산업철도의 개통으로 생산량이 급격히 늘어난 데다가 열관리협회의 연구와 정부의 강력한 연료전환 정책에 힘입어 연탄은 가정용 연료로 군림하게 된다.



▲ 연탄

정부는 발전, 산업, 교통, 군관수용, 수출 등 공공수요를 충족하고 남는 석탄으로 가정 연료의 전환을 추진기로 하고 1962년부터 주요 도시에 대한 임산물 반입 금지 등을 단계적으로 확대하여 나갔다.

산림녹화 5개년계획으로 추진된 이 같은 조치로 도시지역의 가정 연료가 연탄으로 전환되었다. 그리고 1970년대 초부터 시행된 새마을운동 등에 따라 농촌지역의 연료까지 연탄으로 전환되어 1980년대까지 연탄은 가정용 핵심 연료로 자리잡게 된다.

#### 다. 이용 기술의 발달

초창기 연탄 보급의 확산에 결정적인 역할을 한 것은 온돌개량이었다. 아궁이에 화덕을 넣고 그 위에 토관을 구들까지 연결시키는 이 방식은 재래식 온돌을 그대로 이용할 수 있어서 연탄의 확산을 수월하게 했다.

그리고 1970년대 초부터 개발된 온수보일러(새마을 보일러 등)는 아궁이가 아닌 다른 옥내외 공간에도 설치 가능함으로써 연립주택과 고급주택에서까지 연탄을 이용할 수 있게 하였고 1980년대에는 가스배출기가 개발되어 연탄가스 중독 방지에 기여하기도 했다.

### 3. 연탄 규격

#### 가. 1961년 규격 통일

1950년대 후반부터 연탄 사용이 본격화되었으나 규격에 대한 규제가 없어 지방에 따라 다양한 형태의 연탄이 보급되었다. 연탄의 규격이 통일된 것은 1961년 10월의 일로, 정부가 최초로 연탄규격에 대해 기준을 제정하여 고시했다.

당시의 기준은 중량 4.5kg이상, 열량은 4900kcal(서울) 4600kcal(지방) 이었으며 1962년 2월 상공부에 의해 대, 중, 소 3개의 규격에 대한 표준규격이 제정됐다.

#### 나. 1964년부터 22공탄 정착

정부는 1964년 연탄규격을 세분화하여 15공탄과 25공탄을 추가로 인정했다. 당시 부산에서는 25공탄이 특허를 얻어 가정용으로 보급되고 있었는데 그해 말 서울에서 삼표연탄이 22공탄을 제조 판매하면서 특허권 분쟁이 발생하였다. 그후로 부산은 25공탄, 서울 등지는 22공탄이 가정용으로 공급되었다.

1967년 9월 한국공업규격이 제정되면서 연탄의 종류는 15, 19, 31, 49공탄으로 축소되었고 1970년부터 1973년까지는 규격이 자유화되기도 했다. 1973년 8월 정부는 규격고시제를 부활시키며 석탄소비 절감을 위해 22공탄의 중량을 4kg에서 3.6kg로 변경하였다.

#### 다. 5개 종류 시판

현재의 연탄 규격은 1980년 10월에 제정된 기준에 따라 제조되고 있다. 1호부터 5호까지 5개의 형태를 인정하고 있으며 가정용으로 보급되는 22공탄이 연탄의 주를 이루고 있다.

연탄의 규격은 이후에도 몇 차례 더 개정되긴 하였으나 기본 형태는 그대로 두고 열량 기준만 다소 변경되었을 뿐이다.

주) 공사 창립시 운영사업체로 지정되어 1955년까지 공사가 운영했다.

602

상공부 표준 규격

규격	공수(개)	직경(m/m)	높이(m/m)	중량(kg)	열량(kcal)
대	49	300	142	13.85	4,800
중	31	225	142	9.7	4,800
소	19	156	142	4.4	4,900

현재의 연탄 규격

규격	공수(개)	직경(m/m)	높이(m/m)	중량(kg)	열량(kcal)
1호	22	150	142	3.6 이상	4,400 이상 4,600 미만
2호	25	158	152	4.5 이상	
3호	25	162	155	4.8 이상	
4호	19	157	161	4.9 이상	
5호	31	215	142	7.5 이상	

주) 중량은 연탄을 만든 직후의 무게



▲ 연탄공장 모습