



2024학년도 1학기

# 글로벌 기후변화와 대응



한국공학대학교  
TECH UNIVERSITY OF KOREA



# 제1장 에너지사용과 환경문제

# 목 차

1

에너지 개념과 종류

2

에너지 사용의 역사

3

에너지 사용과 환경문제





# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 1. 에너지 개념과 종류

### ❖ 에너지의 정의

- 에너지의 형태 : 운동에너지, 위치에너지, 빛에너지, 화학에너지(열에너지), 핵에너지, 전기에너지, 질량에너지, 소리에너지 등 다양한 유형으로 존재
- 정의 : 일을 할 수 있는 능력 또는 어떤 것을 변화 시킬 수 있는 능력
- 사실상 에너지의 개념은 매우 광범위하여 엄밀하게 정의하기는 쉽지 않음

### 에너지의 정의

구분	정의
에너지법 제2조	에너지란 연료, 열 및 전기를 말함 (연료란 석유, 가스, 석탄, 그 밖에 열을 발생하는 열원(熱源)을 의미함)
국제표준 ISO/IEC 13273-1	외부 활동을 만들어 내거나 일을 수행하는 시스템 능력 (Capacity of a system to produce external activity or to perform work)

자료 : 한국에너지공단



# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 1. 에너지 개념과 종류

### ❖ 에너지의 분류

#### 1. 1차 에너지(Primary Energy, 기본에너지)

• 변환이나 가공 과정을 거치지 않고 자연상태에서 직접 얻을 수 있는 에너지

##### • 주요 1차 에너지원 종류

- 화석연료(Fossil Fuel) : 석탄(Coal), 석유(Oil), 천연가스(Natural Gas)
- 신에너지(New Energy) : 연료전지, 수소, 석탄가스화 발전 등
- 재생에너지(Renewable Energy) : 수력(Hydrogen), 풍력(Wind), 태양광(Photovoltaic), 태양열, 조력, 바이오매스(Biomass), 지열 등
- 원자력발전의 연료원 : 우라늄
- 1차 바이오매스 에너지 : 산림 바이오매스 등
- 폐기물 에너지 : 산업폐기물, 도시쓰레기, 매립지가스(LFG), 폐윤활유, 부생가스 등

\* 비재생 폐기물에너지는 최근 관련법이 개정되어 신재생에너지에서 제외됨

▪ 우리는 1차에너지를 가공(전환)하여 사용함







# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 1. 에너지 개념과 종류

### ❖ 에너지의 분류 계속

#### 2. 2차 에너지(Secondary Energy)

- 1차 에너지를 변형 또는 가공하여 다루기 쉽고 사용하기 편리한 에너지로 만든 것
- 예 : 1차 에너지이며 화석연료인 석탄이 광산에서 채굴되어 발전소에서 열에너지로 변환되어 전기를 생산하면 해당 전기는 각 가정으로 전송될 수 있는 상태의 2차 에너지가 됨
- 2차 에너지 유형
  - 전기 : 발전소에서 생산된 전기에너지는 대표적인 2차 에너지 임
  - 열 : 열병합발전소에서 발생된 열에너지는 2차 에너지 임
  - 석유제품 : 정제공장에서 원유를 2차 에너지로 변환
  - 도시가스 : 천연가스를 2차 에너지로 변환



# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 1. 에너지 개념과 종류

### ❖ 에너지의 분류 계속

#### 3. 최종 에너지(Final Energy)

- **2차 에너지가 최종 소비자에게 전달되면 최종 에너지가 됨**

- 1차에너지를 직접 사용하거나, 다른 에너지를 이용하여 전환된 에너지로 사용
- 우리가 직접 구입하여 사용하는 에너지
- 석유제품 : 휘발유(Gasoline), 등유(Kerosene), 경유(Diesel), 경질중유(Bunker-A), 중유(Bunker-B), 중질중유(Bunker-C), 항공유(Jet Oil), LPG(Propane, Butane) 등
- 비에너지유(Non-Energy) : 납사(Naphtha), 용제(Solvent), 아스팔트(Asphalt)
- 전기 : 발전소에서 생산됨

- **2차 에너지에서 최종 에너지로 소비자에게 전달되는 과정에서도 에너지 손실이 발생**

- 발전소에서 가정으로 전기를 전송할 때 전선의 저항으로 인해 손실 발생
- 유류를 주유소로 운반하는 과정에서 발생하는 운반 차량의 유류 사용을 통한 운반 손실 및 대기중으로 휘발하는 휘발 손실



# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 1. 에너지 개념과 종류

### ❖ 에너지의 분류 계속

#### 4. 사용 에너지(Useful Energy)

- 마지막 단계의 에너지로서 최종 사용 목적에 따라 변환되는 에너지
  - 예 : 전구의 경우 전구에서 생성된 빛의 양을 의미, 자동차의 경우 휘발유가 자동차 내연 기관을 통해 바뀐 운동에너지의 양을 사용 에너지(Useful Energy)라고 함
- 최종 에너지에서 사용 에너지로 전환할 때에도 손실 발생
  - 우리가 사용하는 가전제품에는 종류별로 각각의 전기 효율 등급을 볼 수 있을 것임
  - 모든 전기제품은 원하는 목적에 100% 부합하는 효율을 발휘하지 못함
  - 전구는 빛을 밝히지만 발열을 통한 손실이 발생하고, 자동차는 이동 동력이 주요 목적이지만 해당 동력을 발생하는 가운데 열과 엔진의 소음으로 손실되는 손실량도 적지 않음





# 제1장 에너지사용과 환경문제

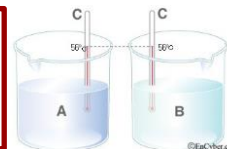
## 1. 에너지 개념과 종류

### ❖ 에너지의 특성

- 에너지는 완전 소모되어 사라지는 것이 아니라 한 상태에서 다른 형태로 변하는 것임
  - 예 : 우리 몸의 에너지를 사용하여 무거운 물건을 높은 곳으로 옮겼다면, 우리 몸의 에너지는 그 물건의 위치에너지(중력에너지)로 전환된 것임
- 에너지는 어느 곳이나 존재하지만 눈에 보이지 않음

#### <참고 1 : 열역학 제0법칙>

- 물체 A와 B가 다른 물체 C와 각각 열평형을 이루었다면 A와 B도 열평형을 이룸
- 한 물체 C와 각각 열평형 상태에 있는 두 물체 A와 B는 서로 열평형 상태에 있음



#### <참고 2 : 열역학 제1법칙>

- 열역학 제1법칙(에너지 보존의 법칙)은 어떤 고립된 계의 총 내부에너지는 일정하다는 법칙
- 고립계의 에너지는 새로이 생겨나거나 사라지지 않음

#### <참고 3 : 열역학 제2법칙>

- 열역학 제2법칙은 고립계에서 총 엔트로피(무질서도)의 변화는 항상 증가하거나 일정하며 절대로 감소하지 않음
- 에너지 전달에는 방향이 있다는 것임
- 자연계에서 일어나는 모든 과정들은 가역과정이 아니라는 것임
- 엔탈피(Enthalpy) : 어떤 물질이 특정 온도와 압력에서 특정한 값을 가지게 되는 물리량, 어떤 계(System)의 엔탈피는 그 계가 가지고 있는 전체 에너지
- 엔트로피(Entropy) : 열의 이동과 더불어 유효하게 이용할 수 있는 에너지의 감소 정도나 무효 에너지의 증가 정도를 나타내는 양, 무질서도 증가, 열역학 제2법칙



# 제1장 에너지사용과 환경문제

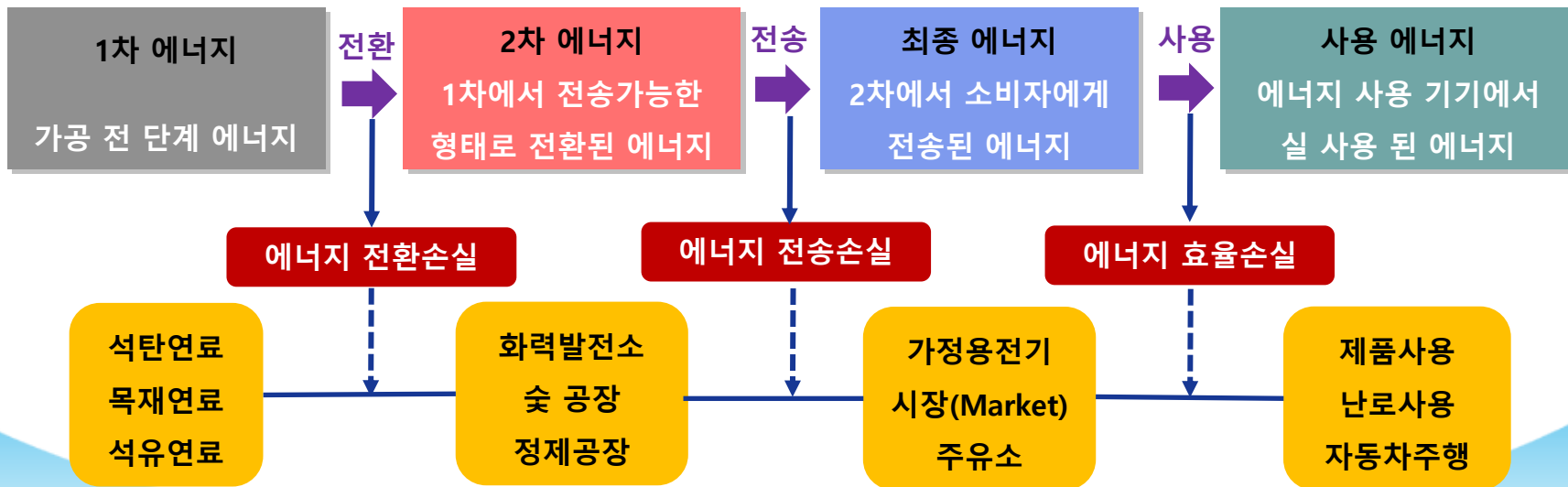
## 1. 에너지 개념과 종류

### ❖ 에너지의 특성 계속

#### ▪ 에너지는 전환, 전송, 사용 과정에서 항상 손실(Loss)이 발생

- 전환손실(Transition Loss) : 석유, 석탄 등 1차 에너지를 전력, 열에너지 등 2차에너지로 전환하는 과정에서 발생하는 에너지 손실, 우리나라의 경우 전환손실의 약 95%가 발전(전력)부문에서 발생(1차 에너지 중 74.7%만 최종에너지로 소비하고 나머지 25.3%는 전환손실로 사라짐)
- 전송손실(Transmission Loss) : 2차에너지를 최종에너지로 전송하는 과정에서 발생하는 손실
- 효율손실(Efficiency Loss) : 최종에너지를 실제 사용하는 과정에서 발생하는 손실

단계별 에너지 종류 및 손실 모식도



자료 : 그린사이트, 에너지 분류 4가지 - 그린인사이트 ([greeninsight7.com](http://greeninsight7.com))



# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 1. 에너지 개념과 종류

❖ 인간은 에너지를 열(Heat)과 동력(Power)의 형태로 사용

▪ 인간은 열과 동력을 다양한 에너지원(Energy Sources)으로부터 얻음

❖ 에너지원의 종류

화석연료  
Fossil Fuel



석유  
Oil



석탄  
Coal



가스  
Gas

신에너지  
New Energy  
(3가지)



수소에너지  
Hydrogen



연료전지  
Fuel Cell



석탄액화가스화  
IGCC

IGCC : Integrated Gasification Combined Cycle

재생에너지  
Renewable  
Energy  
(8가지)



태양광  
Solar Photovoltaic



태양열  
Solar Thermal



풍력발전  
Wind Power



수력  
Hydro



지열  
Geothermal



해양에너지(Ocean) : 조력  
(시화호 방조제 조력발전소)



해양에너지(Ocean) : 파력



바이오  
Bio



폐기물(Waste)  
(폐기물 발전소)

기타 에너지  
Other Energy



원자력  
Nuclear



전력  
Electricity



석유제품  
Petroleum  
Products



# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 1. 에너지 개념과 종류

❖ 우리가 에너지를 사용하는 목적은 에너지서비스를 얻는 것임

▪ 에너지를 다양한 에너지 이용기기에 투입하여 발생하는 에너지서비스(Energy Service)를 이용



▪ 투입 에너지 양에 비해 에너지서비스 산출이 많으면 에너지효율이 높음

- 예) 조명기기 효율 : 백열등 5%, 형광등 20%, LED 조명: 40%

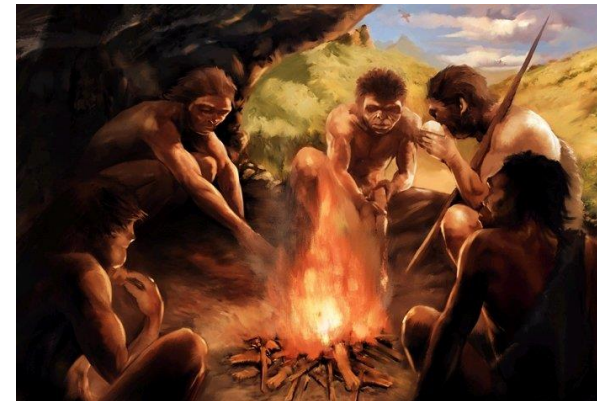


# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 2. 에너지 사용의 역사

### ❖ 불의 사용(3:20)

- 인류는 선사시대부터 불을 이용하기 시작하면서 에너지 사용
- 학자에 따라 대략 50 ~ 80만년 전 구석기시대부터 인류가 불을 다루기 시작했다고 추정
  - 초기에는 나무, 풀 등 자연에너지 이용
- 불의 이용은 인류의 생활을 완전히 바꿈
  - 난방(Heating) : 몸을 따뜻하게 해 줌
  - 취사(Cooking) : 음식을 익혀서 맛있고 소화되기 쉽게 해 줌
  - 조명(Lighting) : 밤에 빛을 밝혀 줌
  - 안전(Security) : 들짐승들의 위협으로부터 보호
- 그리스신화 : 프로메테우스(Prometheus)(8:42)는 제우스(Zeus, Jupiter)로부터 불을 훔쳐 인간에게 전해준 죄로 영원히 독수리에게 간을 쪼이는 형벌 받음



자료 : <https://www.google.com/>





# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 2. 에너지 사용의 역사

### ❖ 산업혁명 이전

- 자연에너지를 사용 : 나무, 풀, 동식물성 유지, 일부 수력 및 풍력 사용
- 석기시대(초기) : 난방, 취사, 조명 등 단순한 용도로 이용
  - 이후 인류는 불을 사용하여 금속을 가공하고(야금), 도자기를 만드는 등 다양한 도구를 만들어 사용함 → 인류의 문명 발전에 기여함
- 청동기시대 : 불을 이용하여 금속을 가공하여 무기와 도구를 제조함
- 철기시대 : 숯을 태워 고온의 열을 이용하여 철기 제작(무기, 농기구, 생활용품 등)
- 문명의 발달과 생활수준 향상, 그리고 경제규모가 커질수록 사용하는 에너지의 양도 계속 증가
- 나무 등 자연에너지만으로는 늘어나는 에너지수요를 충족하기에 한계



자료 : <https://www.google.com/>



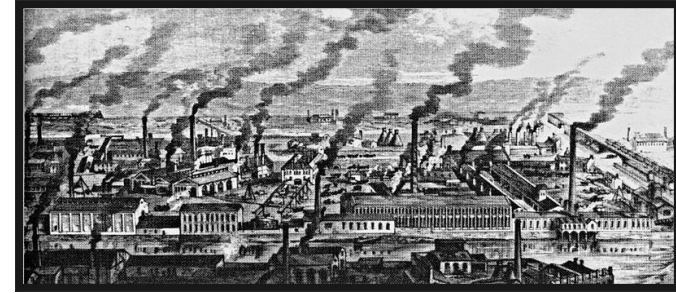


# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 2. 에너지 사용의 역사

### ❖ 산업혁명(Industrial Revolution) : 화석에너지를 이용 대량생산

- 17세기 들어 문명이 발달하고 경제규모가 커지면서 에너지수요 증대
- 산업혁명기 새로운 동력원으로 석탄(Coal)(5:34)의 사용
  - 나무 → 석탄으로 에너지전환 시작 : 자연에너지 → 화석에너지 사용
- 산업혁명 이전 : 상품의 생산은 인간의 노동력을 이용하는 수공업 형태
  - 인류가 사용하는 동력의 70%가 인간의 근육 힘으로 충당
  - 나머지는 가축의 힘, 수력(물레방아) 및 풍력(풍차, 돛)에 의해 충당
- 18세기 중반 산업혁명은 상품의 생산방식을 근본적으로 바꿨
  - 기존의 수공업 생산 방식에서 "공장"에서 상품 생산
  - 석탄을 연료로 사용하는 증기기관의 개발(제임스 와트)로 "동력"을 이용하여 공장 가동
- 산업혁명은 대량 생산으로 우리에게 물질적 풍요를 가져다 줌
  - 산업혁명은 기술의 발달과 더불어 화석연료(석탄)의 사용으로 가능
  - 산업혁명은 영국 → 프랑스, 독일 등 유럽 국가와 미국 등으로 전파



자료 : <https://www.google.com/>

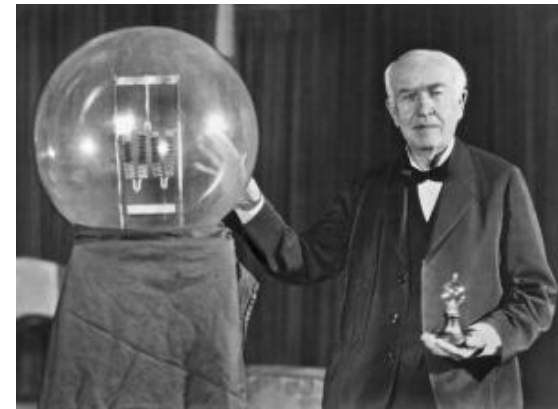


# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 2. 에너지 사용의 역사

### ❖ 19세기 중반 이후

- 산업혁명으로 전세계적인 경제성장이 이뤄지고, 19세기에 기술의 발달로 새로운 에너지원이 사용되기 시작
- 석유(Oil)(8:17) : 1859년 미국에서 처음 개발되어 사용되기 시작
  - 초기에는 주로 조명용으로 사용
  - 이후 내연기관의 개발로 자동차용, 항공기용 등으로 그 수요가 확대
- 천연가스(Natural Gas)(6:51) : 1890년대 미국 피츠버그 철공소에서 사용하기 시작
- 전기(Electricity)(6:10) : 1879년 미국의 에디슨의 전구개발
  - 1882년 전기사업을 시작하여 전기를 본격적으로 사용하기 시작
  - 조명용, 동력용 등으로 전력산업이 급속히 발전하기 시작
- 석유, 천연가스, 전기의 사용은 공장자동화를 가능케 하였으며, 인류에게 대량생산을 통한 물질적 풍요를 가져다 줌(제2차 산업혁명)
  - 공장자동화 예 : Ford 자동차 공장의 컨베이어 생산 방식



자료 : <https://www.google.com/>



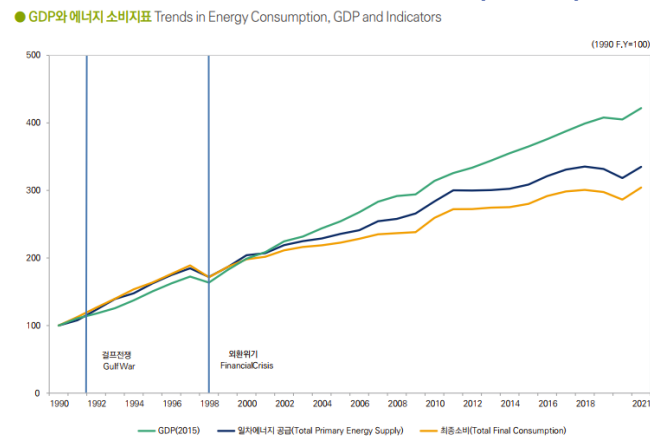
# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 3. 에너지사용과 환경문제

### ❖ 에너지와 경제성장

- 에너지공급이 풍부하고 가격이 저렴할 때
  - 에너지는 경제성장에 크게 기여함
- 에너지공급이 부족할 때
  - 경제성장에 제약 발생 → 이를 극복하기 위한 기술개발이 이뤄짐
- 오랫동안 경제성장과 에너지수요는 1:1의 관계 유지[동조화(Coupling)]
  - 경제성장에 따라 에너지수요가 지속적으로 증가함
- 최근 선진국들 중심으로 경제 성장과 에너지 소비의 탈동조화(Decoupling) 현상이 나타나기도 함
  - 경제성장을 지속하는데도 에너지소비 증가는 없음
  - 지속가능한발전(Sustainable Development)
    - 경제성장과 환경보호의 조화

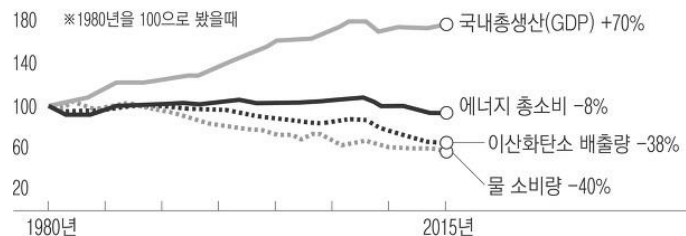
### 경제성장과 에너지소비 관계(동조화)



자료 : 2022 에너지통계연보, 에너지경제연구원, 2023.

### 덴마크 경제성장과 에너지소비 관계(탈동조화)

덴마크 경제성장과 에너지 소비 추이 자료: 덴마크 에너지 전문기관 'State of Green'



자료 : 경향신문, 2018.10.24.



# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 3. 에너지사용과 환경문제

### ❖ 에너지 사용의 양면성

#### ■ 에너지 이용으로 인류 문명의 발전 가능(장점)

- 에너지 이용은 인류에게 물질적 풍요와 편리한 생활을 가능하게 함
- 화석에너지 사용으로 산업혁명 가능
- 에너지는 현대 산업사회에서 경제활동 및 생활의 편의성을 위해 필수적인 요소로 사용

#### ■ 대량의 에너지 사용은 많은 문제를 야기(단점)

- 환경문제 : 대기오염과 미세먼지 문제
- 기후변화문제 : 지구 기온의 상승으로 인한 전 지구적인 환경문제
- 안전에 대한 우려 : 원전사고, 에너지 안전 문제
- 자원고갈과 에너지안보 문제, 고유가 문제
- 에너지 시설에 대한 주민 수용성 문제 → 님비 현상(NIMBY: Not In My Back Yard) : 에너지 시설에 대한 기피



자료 : <https://www.google.com/>





# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 3. 에너지사용과 환경문제

### ❖ 에너지사용에 따라 발생하는 가장 큰 문제는 환경문제

- 환경문제는 크게 국지적 환경문제와 전지구적 환경문제 등 두 가지로 구분할 수 있음

### ❖ 국지적(Local) 환경문제 : 오염물질 배출로 인근 지역이 피해를 봄

- 에너지 사용으로 인한 국지적 환경문제는 대부분 대기오염문제
- 예 : 미세먼지(2:36), 산성비(1:56), 오존( $O_3$ )층 파괴(1:28) 등

### ❖ 전지구적(Global) 환경문제 : 오염물질 배출지역에 관계없이 전지구적으로 피해가 발생

- 에너지 사용으로 인한 전지구적 환경문제는 기후변화 현상
- 화석에너지의 대량 사용으로 인한 이산화탄소( $CO_2$ ) 등 온실가스가 대기중으로 방출되어 지구온난화

현상이 발생함





# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 3. 에너지사용과 환경문제

### ❖ 대기오염 문제(4:54)

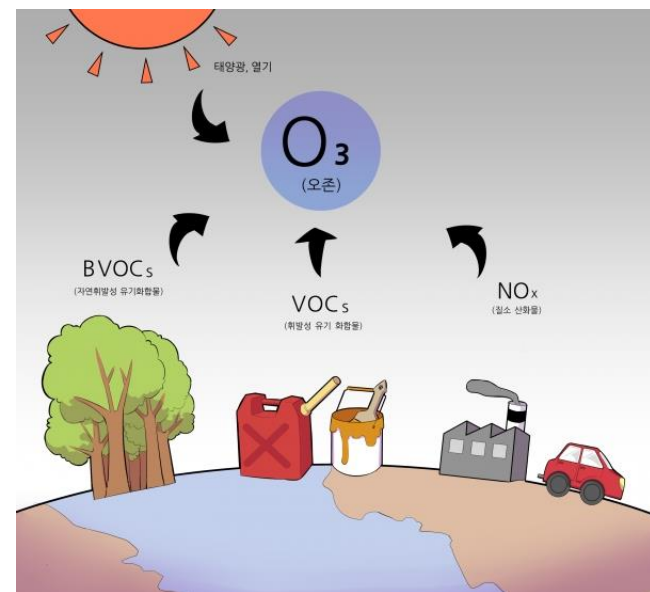
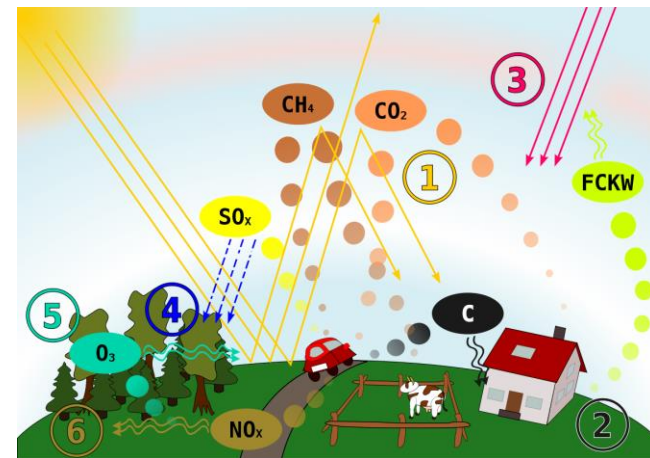
#### ▪ 화석연료(Fossil Fuel)를 연소하는 과정에서 대기오염물질 배출

##### • 3대 대기오염 물질 : SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM(Particulate Matters)

- SO<sub>x</sub>(황산화물) : 산성비의 주요인이 됨
- NO<sub>x</sub>(질소산화물) : 오존(O<sub>3</sub>) 발생 원인, 호흡기 질환 등 유발
- PM(미세입자) : 미세먼지의 주요 요인
- FCKW(Fluorchlorkohlenwasserstoff) : 불염화탄화수소

##### • 기타 대기 오염물질

- VOCs(Volatile Organic Compounds, 휘발성 유기화합물) : 호흡기 질환, 두통 유발
- HC(Hydrocarbon, 탄화수소) : 두통 유발
- CO(Carbon Monoxide, 일산화탄소) : 중독 시 사망할 수 있음(과거 연탄가스 중독 사고)



자료 : <https://www.google.com/>





# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 3. 에너지사용과 환경문제

### ❖ 황산화물(SO<sub>x</sub>)

#### ■ 화석연료 연소 시 연료 속에 포함된 황(Sulfur) 성분이 연소하면서 발생

- 석유 : 원유(0~3% 황 성분 포함), 경유(10~400 ppm), 중유(0.3~4%)
- 석탄 : 땅속에서 생성될 때, 이미 황 성분 0.5 ~ 3% 포함
- 대기 배출 성분 : SO<sub>2</sub>(아황산가스, Sulfur Dioxide), SO<sub>3</sub>(황산가스)

#### ■ 대기오염 피해

- 산성비 유발 : 대기중에 SO<sub>x</sub>가 많으면 비가 내릴 때 산성비가 내림
  - $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ (황산)
- 초미세먼지 2차 생성 원인 : SO<sub>x</sub>는 대기중 화학반응으로 초미세먼지 생성 원인

#### ■ 토양산성화, 산림 파괴

- 산성비가 내리면 토양 산성화로 농작물이 잘 자라지 않음
- 산성비는 식물을 고사 시킴, 1970년대 유럽의 산성비 피해 사례



자료 : <https://www.google.com/>



# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 3. 에너지사용과 환경문제

### ❖ 질소산화물( $\text{NO}_x$ )

#### ■ 화석연료 연소 시 공기속에 포함된 질소(Nitrogen) 성분이 연소하면서 발생

- 공기의 주성분 : 질소 79%, 산소 20.98% 등
- 주요  $\text{NO}_x$  발생 부문 : 화력발전소, 경유자동차, 가스보일러
- 대기 배출 성분 :  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$

#### ■ 대기오염 피해

- 산성비 유발 : 대기중에  $\text{NO}_x$ 가 많으면 비가 내릴 때 산성비가 내림
  - $\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3$ (질산)
- 초미세먼지 2차 생성 원인 :  $\text{NO}_x$ 는 대기중 화학반응으로 초미세먼지 생성의 원인이 되기도 함

#### ■ 오존( $\text{O}_3$ ) 발생 원인

- 더운 여름철에  $\text{NO}_x$ 가 대기중에서 화학반응으로 오존 발생 시킴
- 오존은 호흡기 질환 유발, 여름철에 가끔 오존주의보 발령





# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 3. 에너지사용과 환경문제

### ❖ 미세먼지(PM)

#### ■ 미세먼지 종류

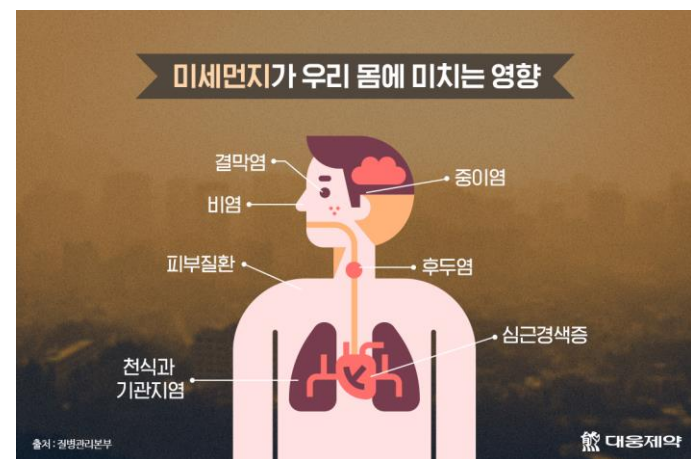
- PM10(미세먼지) : 지름이 10mm 이하인 먼지
- PM2.5(초미세먼지) : 지름이 2.5mm 이하인 먼지
  - PM : Particulate Matters

#### ■ 발생 원인

- 연료 연소 시 불완전 연소 등으로 발생 (석탄 연소, 자동차 배기가스)
- 2차 생성 : SOx, NOx 등이 대기 중에서 반응으로 2차 생성
  - 중국에서 날라오는 미세먼지도 상당한 것으로 알려짐

#### ■ 오염 피해

- 호흡기 질환 유발 : 미세먼지는 폐까지 도달 → 폐질환 유발
- 초미세먼지 : 입자가 아주 작으므로 폐에서 혈관을 통해 우리 몸속으로 까지 침투함 → 암 등 각종 질환 유발



자료 : <https://www.google.com/>



# 제1장 에너지사용과 환경문제

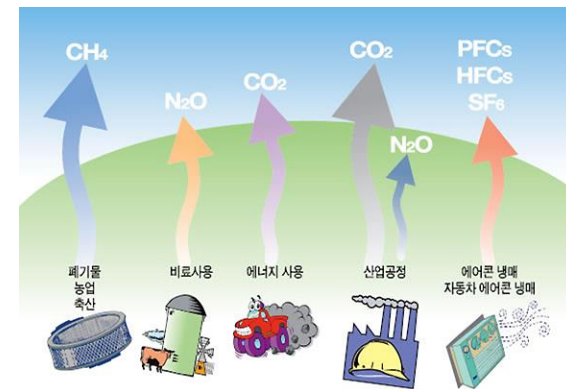
## 3. 에너지사용과 환경문제

### ❖ 기후변화문제

#### ■ 화석연료(Fossil Fuel) 연소 시 기후변화를 유발하는 온실가스 발생

- 온실가스(Greenhouse Gas, GHG) : 기후변화(Climate Change) 원인 물질
- 화석연료 사용시 배출되는 온실가스
  - $\text{CO}_2$ (Carbon Dioxide, 이산화탄소) : 가장 비중이 큰 온실가스
  - $\text{CH}_4$ (Methane, 메탄) : 에너지생산, 수송, 연소 시 일부 발생
  - $\text{N}_2\text{O}$ (아산화질소) : 화석연료 연소 시 소량 발생
- 온실가스의 대기 중 농도가 높아지면서 기후변화 야기
  - 지구온난화(Global Warming) 라고도 함
  - 산업혁명 이후 이산화탄소 등 온실가스 대량배출로 지구 기온이 점차

상승하는 현상을 말함



자료 : <https://www.google.com/>



# 제1장 에너지사용과 환경문제

## 3. 에너지사용과 환경문제

### ❖ 기후변화 대응방안

- 기후변화 문제는 전 지구적인(Global) 환경문제
  - 온실가스가 지구 어느 곳에서 배출되든지 그 효과는 전 지구적으로 동일하게 나타남
  - 온실가스를 많이 배출하는 국가가 피해를 많이 보는 것이 아님
- 지구상의 모든 국가가 같이 노력하는 것이 중요
  - 온실가스 배출 감축, 온실가스 흡수원 확대
  - 에너지의 효율적 사용
  - 화석에너지 사용 줄이기 → 저탄소 에너지 사용 확대
- 저탄소 에너지 사용 : Carbon-free Energy
  - 재생에너지(Renewable Energy)
  - 청정 수소(Green Hydrogen), 원자력 에너지 사용
- 탄소중립(Net Zero)
  - 온실가스 배출량 - 흡수량=0



자료 : <https://www.google.com/>