# 지구온난화와 쓰레기 소각

이희명
(주) 아이티엠텍 기술고문

오존층 파괴와 산성비문제는 지구온난화와는 커다란 차이가 있다. 전자들은그 영향과 피해를 실제로 확인한 것이지만 지구온난화는 과학자들이 확인한 것이 아니고 장차 이러한 피해가 생길 것을 예측해서 미리 대책을 세워야 한다는 것이다. 구체적으로는 $CO_2$의 배출삭감의 목표를 현재의 약 절반으로 줄여야 한다는 매우 엄격한 실행목표를 정하고 있다. 이것이 기후변화협약의 궁극적인 목표이다.

그러나 과학적으로 충분한 증명이 없는 협약이기 때문에 앞으로 수행하는데 여러 가지 어려움이 있을 것이다. 그 중의 하나가 화석연료를 소각했을 때 $CO_2$ 가스가 과연 다량 발생해서 지구온난화의 원인이 되는가 하는 문제이다. 이 문제를 쓰레기 소각을 통해서 구명하여 보았는데 결과는 $CO_2$ 가스 발생이 예상외로 적어서 지구온난화의 원인이라고 보기에는 어려움이 있다.

## 1.Gasfication(공기부족연소)

그림 1에 단열적(Adiabatic)으로 공기공급과 온도변화의 상관관계를 표시하였다. 쓰레기소각은 2단계 연소이고 공급되는 공기량으로 연소온도를 조절할 수 있다.

처음에 쓰레기가 인화되어서 공기공급량을 서서히 증가시키면 연소온도도 점점 증가해서 공기공급량이 Stoichiometric량에 도달했을 때 연소온도가 초고가 된다. 이 구간을 Gasfication 이라 하고 또는 Staroved, or Controlled Air 연소라고 한다. 이때 다섯가지의 반응이 다음과 같이 반응한다.

$C+O_2 \rightarrow CO_2$ exothermic ····· (1)
$C+H_2O \rightarrow CO+H_2$ endothermic ····· (2)
$C+CO_2 \rightarrow 2CO$ endothermic ····· (3)
$C+2H_2 \rightarrow CH_4$ exothermic ····· (4)
$CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$ exothermic ····· (5)

반응 (1),(4)와 (5)는 exothermic이기 때문에 산소와 반응하여 열을 발생하면서 연소한다. 이 열이 반응 (2)와 (3)에 외부에서 작용하여 endothermic 반응을 발생하게 하여 CO와 $H_2$의 가연성가스를 발생시켜서 환원분위기를 조성한다.

쓰레기에 공기를 산화제로 사용하면서 Gasfication을 반응시키면 $CO_2$(10%), $CO_2$(20%), $H_2$(15%) 그리고 $CH_4$(2%)를 포함한 Low Btu 가스가 발생하고 Char나 Oil이 잔사물

로 남는다. Low Btu gas 는 150 Btu/ft³의 열량을 가지고 있고 순수산소를 산화제로 사용하면 약 300 Btu/ft³의 열량을 가진 가연성가스를 얻을 수 있다.

여기서 우리가 주목해야 하는 것은 Gasficarion 연소에서 $CO_2$ 발생량이 불과 10% 밖에는 되지 않는다는 점이다. 따라서 쓰레기소각에서 $CO_2$ 가스가 항상 다량 발생하는 것으로 인식하고 있는 것은 잘못이다.

### 2. Stoichiometric와 Excess Air 연소

이상적인 조건하에서 Stoichiometric량의 공기를 공급하면 쓰레기에 포함되어 있는 탄소는 아래와 같이 연소한다.

$$C + O_2 = CO_2 \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

이런 것을 Stoichiometric Combustion이라 하고, 국제적으로 화석연료에서 $CO_2$ 가스의 발생량을 계산할 때 쓰여지는 기본적인 반응이다.

실제적으로는 쓰레기 성분이 균일하지 않기 때문에 불완전연소가 된다. 그래서 과도한 공기(Excess Air)를 공급하여 쓰레기의 각 부분에 산소가 충분히 공급되도록 해야 완전연소를 달성할 수 있는 것이다. 그림 1에서 Excess Air를 증가시키면 연소온도는 오히려 감소한다. 그래서 Damper를 조절해서 Excess Air가 소량 들어가게 해야만 온도를 고온으로 오랫동안 유지할 수 있는 것이다. 이때에 반응 (6)이 발생해서 다량의 $CO_2$를 100% 발생한다.

### 3. Pyrolysis(열분해)

열분해는 연소가 아니다. $N_2$ 가스를 사용하여 산소를 완전히 제거한 다음에 열을 외부에서 가하면 유기물은 다음과 같이 구성요소로 분해된다.

$$\text{Organic Matter} \dashrightarrow CO + H_2 + Co_2^- \text{ endothermic} \cdots (7)$$

이때 CO,$H_2$로 되어있는 High Btu 가스가 발생해서 Energy Recovery에 이용된다. $CO_2$ 가스는 거의 발생하지 않는다.

### 4. 쓰레기소각로의 분류와 $CO_2$ 발생

쓰레기 소각로는 공급하는 공기량에 따라서 분류할수 있고 발생하는 가스도 $CO_2$ 가스와 연료가스로 분류할 수 있다.

다음표에 총괄적으로 소각로에 공급하는 공기량과 발생하는 가스를 표시하였다.

Stoichiometric와 Excess Air 연소에서만 지구온난화가스인 $CO_2$ 가스가 다량 발행한다. 그러나 소각로내에 $CH_4$와 같은 환원제를 투입하면 로내의 분위기가 환원분위기로 변해서 $CO_2$ 발생을 억제할 수 있다는 것을 이미 기술하였다. 따라서 교토의정서에서 지적하는 것과 같이 화석연료를 연소할 때 다량의 $CO_2$ 가스가 발생해서 지구온난화의 주범이 된다는 것은 명백한 오류(誤謬)라는 것을 알 수 있다.

| 공기공급량 | 연소방법 | 발생가스 |
|---|---|---|
| Stoichiometric 및 Excess Air 연소 | Mass-burn(스토카 방식) | $CO_2$ |
| | RDF 소각로(또는 화력발전소) | |
| | 유동상 소각로(Excess Air) | |
| Gasfication(Starved or Controlled Air 연소) | Vertical Fixed Bed (직립형 소각로) | Low Btu 연료가스 (CO, $H_2$, $CH_4$, etc) |
| | Horixontal Fixed Bed(Modular, Rotary Kiln 소각로) | |
| Pyrolysis(열분해) (무산소) | 유동상 소각로(공기부족) Arc Melter | High Btu 연료가스 (CO, $H_2$, $CH_4$, etc) |

### 5. 쓰레기의 Carbon Cycle

쓰레기의 Carbon Cycle을 그림 2에 표시하였다. 대기에 있는 $Co_2$ 가스와 물과 태양에서 오는 광에너지에 의해서 다음과 같은 광합성이 생겨서

$$nCo_2+nH_2O \quad (C_6H_{12}O_6)n+nO_2 \quad \cdots\cdots (8)$$

Cellulose을 합성하고 이것이 식물의 기본이 되어서 식물이 성장하고 수명을 다하면 토양에 매몰되어서 장기간의 화석화기간(Fossilization)을 통해서 석탄, 석유와 메탄가스 등의 화석연료가 되면 인간은 이것들을 이용해서 경제적 활동을 하게 되고 이 활동의 결과로 폐기물(쓰레기)이 발생한다. 이 폐기물을 어떻게 처리하느냐에 따라서 $CO_2$가 발생하는가 안하는가가 결정된다.

폐기물을 스토카방식 소각로에서 Excess Air Combustion을 하면 $CO_2$가 다량 발생해서 대기에 방출된다. 그러나 Gasfication이나 Pyroiysis를 하면, $CO_2$, $H_2$, $CH_4$ 등의 연료가스가 발생해서 Energy Recovery에 사용되면서 Carbon Cycle을 반복하게 된다. 따라서 스레기에 포함되어 있는 탄소의 전부가 $CO_2$ 가스가 되고 있는 것은 아니고 일부만 $CO_2$ 가스가 된다.

### 6. 행방불명의 $CO_2$ 가스가 된다

지구상의 탄소의 분포와 순환을 그림 3에 표시하였다. IPCC 보고서에 의하면 1980년대의 평균으로 인간이 화석연료와 열대삼림(熱帶森林)의 개발등에서 연간 71억톤이 $CO_2$ 가스를 방출하는 것으로 집계되어 있다.

그중에서 33억톤은 대기중에 계속 축적되고 있다. 바다에서는 900톤의 $CO_2$를 대기와 교환하는데 차입을 보면 30억톤이 흡수되고 있는 것을 알 수 있는데 나머지 20억톤의 $CO_2$ 가스의 흡수원이 분명하지 않아서 이것을 "Missing Sinks 또는 행방불명의 $Co_2$ 가스라고 부른다. 그래서 일본에서는 이 Missing Sinks을 찾으라고 연구한 결과 북반부의 삼림지대(森林地帶)에서 20억톤의 $CO_2$ 가스를 흡수하고 있을지도 모른다는 결론을 얻었다. 그러나 북반부의 삼림지대에서 이 막대한 양의 $CO_2$를 흡수한다는 것은 믿을 수 없는 일이다. 문제는 다른 곳에 있다. 우리는 화석연료를 소각하면 $CO_2$ 가스가 예상외로 적게 발생한다는 것을 증명하였다. 따라서 화석연료의 연소와 열대임의 개발에서 얻는 71억톤은 Over-estimated 된 $CO_2$ 가스의 양이다. 다시말하자면 20억톤의 $CO_2$ 가스는 해방불명의 $CO_2$ 가스가 아니라 발생하지 않는 $CO_2$ 발생량이다. 또는 Missing Sinks, 또는 행방불명된 $CO_2$ 문제는 깨끗이 해결되고 대기에 계속 축적되는 33억톤도 실제는 훨씬 적어야만 계산이 맞는다.

따라서 $CO_2$ 가스가 지구온난화의 주범이라고 단정하는데는 무리가 있다는 것을 알 수 있다.

지구온난화가 사실이라면 $CO_2$ 외에 다른 분야에서 그 원인을 찾아 보아야 할 것이다.

### 7.맺는말

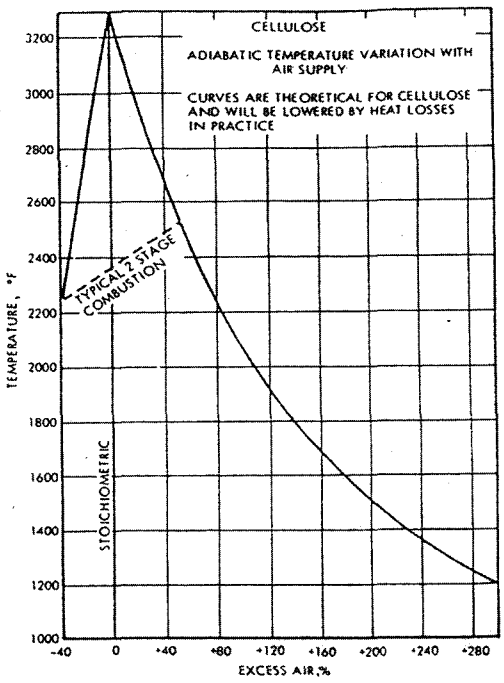
독일에서 열린 UN 기후회의에서 178개국의 환경장관들은 미국을 제외하고 Kyoto Protocol의 이행합의안을 최종 통과시켰다.

이에 따라 선진국은 2002년부터는 무조건 온실가스 감축의 의무를 수행해야 한다. 우리나라는 2차 이행기간(2013~2017)에 포함될 가능성이 높아서 현재 대책마련에 범정부적으로 서두루고 있다. Kyoto Protocol의 준수 여부에 앞서서 과학적으로 해결해야 할 문제가 있는데 그것은 화석연료를 연소했을 때 $CO_2$ 가스는 지구온난화의 주범이 되고 있는가를 알아보아야 한다. 우선 쓰레기의 Carbon Cycle를 통해서 연소방법의 선택에 따라서 $CO_2$ 발생의 정도가 예상외로 적다는 것을 알았다. 이것을 지구상의 탄소분포와 순환에 적용시켜보면 화석연료의 연소와 열대임의 개발에서 71억톤의 $CO_2$가스가 발생한다고 추산하고 있으나 그중 20억통의 $CO_2$ 가스는 행발불명의 $CO_2$ 가스로 또는

Missing Sinks로서 설명못하고 있으나 Carbon Cycle에서 얻은 결과를 적용시켜보면 발생하지 않는 $CO_2$ 가스를 말하고 있는 것이 분명하다.

따라서 UN에서 지구온난화 가스 $CO_2$가 위험수준에 도달해서 $CO_2$ 가스를 안정화해야 한다는 주장은 과장된 것이고 지구온난화가 사실이라면 원인을 $CO_2$에서 찾을 것이 아니라 다른 분야에서 찾아보아야 할 것이다.

그림1. 공기량과 단열온도의 변화





<참고문헌>

1. 이희명, 지구온난화와 $CO_2$ 가스감축, 첨단환경기술, 10월호,(2001).
2. 이희명, Kyoto Protocol은 필요한가, 첨단환경기술, 8월호,p.52(2001).
3. S. H. Schnyder, Science, Vol 19, Noll, p. 31(1989).
4. 中田昌空, 松本信二, 環境の科學, 三供出版社(2001).
5. 김종달, 지구온난화문제와에너지혁명, 형설출판사,(1999).

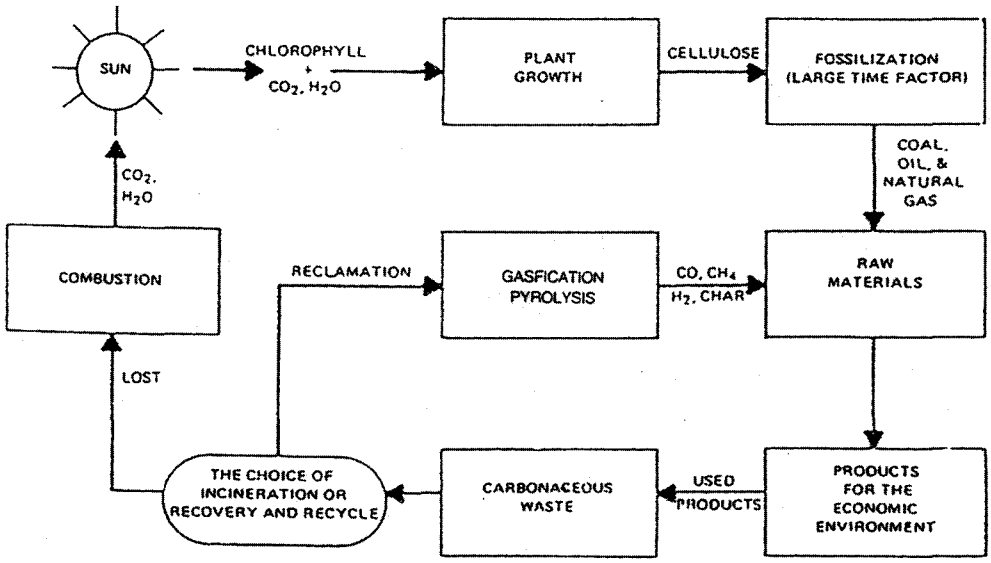




그림2. 쓰레기의 Carbon Cycle

## 특별기고

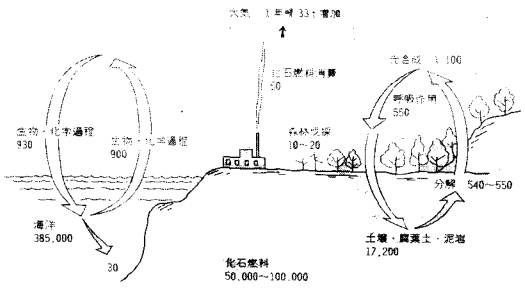



그림 3. 지구상의 탄소분포와 순환

탄소는 지구상에 있는 각종 저장고와 대기사이에 교환되고 있다. 그림의 숫자는 탄소의 1년간의 교환량과 각 저장고에 축적되어 있는 양을 억tc(탄산환소 톤)으로 표시하였다.


**李熙明**

- 연세대학교 화학과 졸업
- 영국 Birmingham대학 M.Sc.
  영국 Imperial Colleage Ph.D.
- Tronto, Northwestern대학 연구원

### 엽기음식 시리즈

♣ 다 댐벼 ♣

1. 약국에 가서 박카스 자황 우황청심환 영비천 등을 사 온다.
2. 집에 와서 밥사발에 1에서 산 모든 것을 섞는다.
3. "아자~~!~"하고 외친 후 원샷한다.

먹은 후 감상 :

맛은 뭐라 표현할 수 없는 애매모호 야리꾸리 기기묘묘한 맛이 나는데, 그래도 몸에 좋은 것만 섞으니까 깡패 17명이 다 '덤벼' 도 이길수 있을 것 같은 느낌이 들었다. 근데 이거 먹고 바로 졸려서 디비 잔걸 생각해보면 별로 몸에 안 좋은 것 같기도 하다.