

지구의 온실효과와 천연가스산업의 상관관계

이 자료는 작년 11월 6일부터 9일까지 일본 동경에서 개최된 '89 IGRC (국제가스연구회)에서 미국 GRI (가스연구소)의 Irwin. H. Billik 박사가 발표한 것을 발췌, 게재한다.

(편집자 註)

머리말

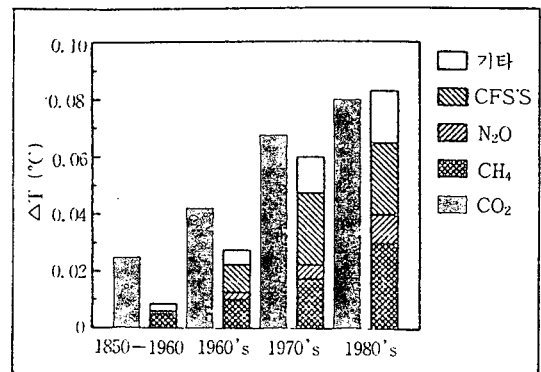
대기중의 CO₂ 및 기타 트레이스 가스(trace gas, 짐작가능한 미세한 양의 가스)의 축적량 증가가 지구온도를 증가시켜 기후가 상당히 변하고 경제 및 사회문제를 유발하게 될 가능성에 대해 국제적 관심이 최근 다시 대두되었다.

CO₂, 수증기 그리고 CH₄, CFC, N₂O, O₃ 등과 같은 트레이스 가스는 그것이 아니면 우주로 복사될 지구가 방출하는 적외선을 흡수한다. 이 에너지는 다시 복사되는데 복사된 에너지의 일부는 지구에 의해 흡수된다. 이 추가에너지 흡수로 인한 온난화가 바로 온실효과(greenhouse effect)이다. 만일 온실효과가 없다면 지구는 아무도 살 수 없는 곳이 될 것이다. 지구표면은 온실가스(greenhouse gases)가 없을 때보다 약35°C 더 따뜻하다. 그러나 인간의 활동으로 인해 이러한 가스가 상당히 증가하였다. 대기중의 CO₂ 축적은 전(前) 산업시대의 280ppm에서 현재의 350ppm으로 증가하였다. 메탄은 약650ppb에서 약1700ppb로, NO₂는 1990년 이후에 280ppb에서 300ppb 이상으로 증가하였다. CFCs의 축적

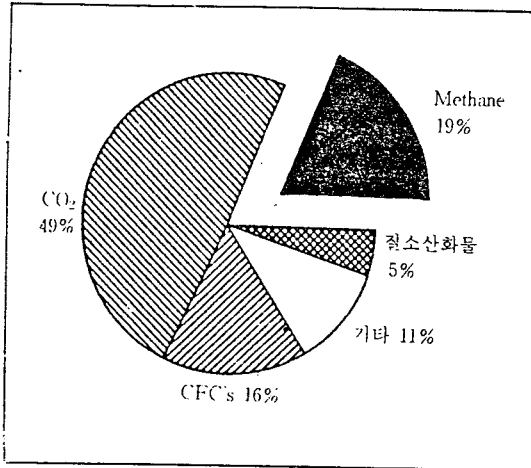
도 분자의 방출증가 및 오랜 수명으로 인해 급속도로 증가하였다.

인간이 만든 CFCs는 처음에는 지구 온난화에 영향을 미치지 않았지만 현재는 지구 온난화의 15%가 이로 인해 야기되고 있다. CFCs는 비교적 가까운 미래에 CO₂에 이어 두번째로 지구 온난화의 원인이 될 것으로 보인다. 지구 온난화의 정도와 그것이 기후에 미치는 영향이, 모델의 시공간상의 해결 그리고 지구시스템의 여러 피드백(feed-back) 현상에 대한 적절한 모델화작업능력 부족으로 인한 불확실성 때문에 잘 알 수 없으나, 지구의 온난화가 있을 것이라는 데는 과학자들간에 의견이 일치하고 있다. 온실가스의 축적, 예를 들어, CO₂가 두배 증가하는 정도로 증가하게 되면 지구평균온도는 1.5°C 증가, 3.5°C가 되고 해수면은 1피트 높아져 5피트가

<그림1> 지구온난화에 미치는 트레이스 가스의 기여도



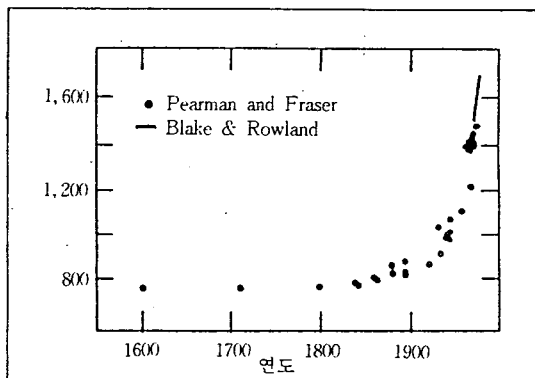
<그림2> 1980년대에 트레이스 가스가 지구온난화에 미친기여도



될 것으로 보인다. 2030년까지는 CO₂가 두배정도 증가가 있으리라 보인다. 이러한 전망외에도 여러 피드백 메커니즘을 도입하여 계산할 경우 온도는 8.0°C나 증가하리라는 예상도 있다.

본 고의 목적은 온실효과와 천연가스산업과의 상관관계를 살펴보기 위한 것이다. 천연가스의 생산 및 사용시에 온실가스(CO₂와 메탄)가 방출되기 때문에 온실효과의 한 원인이 되기도 하지만 반대로 온실효과 해결책의 하나가 될 수 있다. 천연가스의 CO₂방출은 다른 화석연료보다 적기 때문에 천연가스는, 파괴적인 기후 변화가 있기 전에 현재의 에너지 이용패턴에서 온실가스의 균형을 가져다 주는 상태로, 경제적이고 사회적으로 납득할 만한 변화를 이룩하는 하나의 방법이 될 수 있다.

<그림3> 지난 수백년간의 대기중 메탄 축적 추이



토의사항

모든 트레이스 가스중에서 CO₂가 방출량이 많고 공기중 축적 증가율이 높으며 CO₂로 인한 온난화가 기타 온실가스 모두에 의한 것보다도 크다고 여겨지고 있기 때문에 가장 주의를 끌고 있다. 그러나 현재 여러연구의 결과, 기타 트레이스 가스도 온난화의 중요한 원인이 되고 있음이 밝혀졌다.

<그림1>은 1850~1960의 CO₂로 인한 온난화와 1960년부터 1980년까지는 매10년마다 증가하는 온난화를 기타 가스에 의한 그것과 비교한 것이다. CO₂로 인한 온난화는 처음에는 기타 가스 모두의 3배 정도이었다. 그러나 1980년대에는 기타 트레이스 가스가 CO₂를 초과하였다.

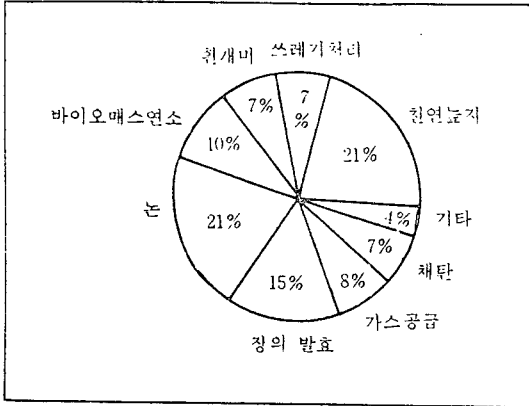
<그림2>는 각 가스가 온난화에 미치는 기여도를 보이고 있는데 메탄은 약20%로 CO₂에 이어 두 번째를 차지하고 있다. 기타 트레이스 가스의 축적량은 CO₂보다 훨씬 낮지만 이러한 가스의 분자들은 에너지를 더 많이 흡수하여 온난화에 더 큰 영향을 미친다. 메탄은 CO₂보다 온난화에 미치는 영향이 단위 분자를 기준으로 할 때 25배나된다. 이러한 기타 트레이스 가스의 점증하는 중요성이 Ramanathan에 의해 증명되었다.

메탄방출

조사결과 메탄 방출이 지난 수백년동안 650ppb에서 1,680ppb로 증가했고<그림3> 현재 연간1%씩 증가하고 있음이 밝혀졌다(Pearman, Fraser, Blake, Rowland).

과거의 어느 자료에 의하면 메탄 방출은 연간 800~1300tg (10¹²g)이었다. 가장 최근의 자료는 연간 총 400~600tg의 메탄방출이 이루어지고 있다고 한다. 전체 방출량의, 약 65%가량은 인간활동의 결과이다. 후자의 수치는 이종(異種) 자원에서의 방출을 더 나아진 방법으로 측정하고 방출연구의 결과를 가라앉으려는 힘(Sink Strength), 대기중 축적, 동위원소 측정, 모델연구 등의 평가결과와 함께 생각하는 종합적인 접근을 통하여 더 정확하게 도출해낸 것이다. Enhalt의 주장처럼 대기중 메탄의 방사성탄소동위원소(C-14)를 가능한 측정방법을 가

<그림4> 메탄방출주요자원별 기여도 (%)



지고 측정하여 보면 메탄의 83% 이상이 생체자원(biogenic sources)으로부터 생기고 17% 정도는 C-1401 부패하기에 충분할 정도로 오랫동안 땅에 저장되어 있는 고(古)메탄은 화석연료와 매장지에서 자연적으로 나오는 메탄의 생산 및 사용과 관련되어 있다. 이것은 C-14 없는 메탄자원을 연간 65~100t에 이르게 할 것이다. 천연가스의 생산, 송출, 공급과정에서 방출되는 메탄의 전세계에 걸친 방출량은 연간 20~60t로, 전체방출량의 4~12%에 해당한다. 그러나 이러한 수치는 계량기로 측정할 수 없는 가스의 보고된양에 기초한 것이다. 미국에서 「측정되지 않는」가스는 전체 가스생산량의 2~3%에 해당한다. 따라서 실제로 대기중에 방출되는 양은 상당히 적은것으로 보인다. 「측정되지 않는」양에는 오축정(대부분의 계량기는 온도를 고려하지 않는다), 도난, 허가는 받았지만 측정되지 않은 사용량 및 누설이 포함된다.

송출중의 가스손실은 0.02~0.05%에 이르고 있다. 공차 시스템에 관한 어느 연구결과에 따르면 대기중으로의 가스손실은 이미 알려진 「측정되지 않는」가스양의 약 10~20%에 해당하고 있다. 생산 및 취합배관(gathering line)에서 비롯되는 가스손실은 송출 및 공급중의 그것보다도 더 크다고 일반적으로 받아 들여지고 있으나, 이것은 부분적으로는 생산시의 가스손실을 수량화 해오지 않았기 때문이다. Cicerone의 최근 수치는 여러자원의 방출기여도(%)를 보여주고 있다. <그림4>. 천연가스

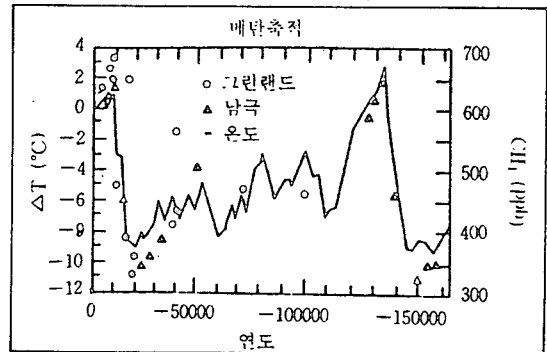
용으로 인한 메탄방출은 cicerone이 주장하는 전체의 8%수준보다는 작을 것으로 보이나, 이것을 증명할만한 과학적으로 설득력있는 자료는 없다. 실제 메탄방출을 더 정확히 알아내려면 추가연구가 필요하다.

과거에는 메탄방출 증가는 인구증가와 간접적으로 관련이 있었는데 그것은 쌀, 가축 및 화석연료 생산이 전체 방출의 50~60%를 차지하고 있었기 때문이다. 그러나 미래의 메탄 방출은 가축, 논 그리고 기타 생물자원에 의한 것보다도 온난해진 지구의 피드백에 의해 더 영향을 받을 수 있다. 현재 대기중에 있는 양의 500배나 되는 메탄이 지구의 영구동결대층에 갇혀있는 것으로 보인다. 이렇게 큰 규모의 영구동결대 매장지는 기후가 더 온난해지면 지구 메탄축적에 아주 큰 영향을 미칠수있다.

<그림5> 지구온도와 메탄축적의 변화

대기 중 온실가스	축적 ppm(volume)	대기 중 수명
CO ₂	350	500중
O ₃	0.02-10	수시간 미만
메탄	1.7	7-10년
질소산화물	0.31	150년
CFC-11(CFCl ₃)	2.3x 10 ⁻⁴	75년
CFC-12(cf ₂ Cl ₂)	3.9X 10 ⁻⁴	110%

<표1> 온실가스의 축적 및 수명



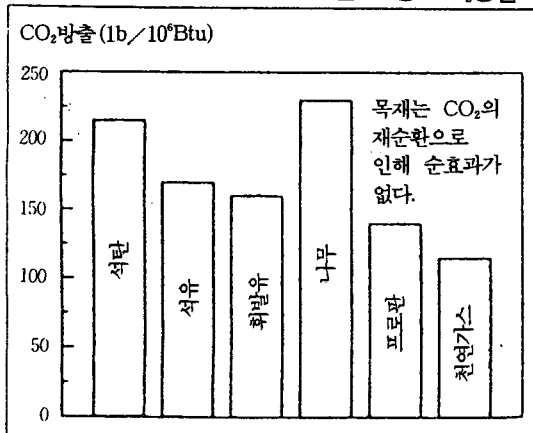
<표2> 현재의 축적량유지를 위한 방출감소(%)

Gas	필요감소량(%)
CO ₂	50-75
N ₂ O	60-80
CFCs	90-100
메탄(CH ₄)	7-14

<그림5>에 나와있는 대로 빙산내부(ice-core)의 메탄기록은 약 16만년전으로 거슬러 올라간다(cicerone). 경선(solid line)은 온도기록의 부드러운 한 형태이다(Jouzel). 그린랜드의 빙산 내부 분석자료에 의하면 마지막 빙하시대의 메탄 축적은 350ppb였으며 이후 650ppb로 증가하였다. 남극의 Vostak빙산 내부 분석자료에 의하면 약 16만년전의 빙하시대와 4만년 후에 뒤이어 온 간빙하시대에도 유사한 추이가 있었다. 이러한 자료는 지구의 온난화가 메탄방출 증가를 야기하게 될 수있음을 시사하고 있다. 기타 온실가스와 비교해 볼 때 메탄의 수명은 7~10년으로 비교적 짧다<표1>. 메탄의 짧은 수명때문에 기타 가스와 비교해서 방출량의 비교적 작은 감소가 현재의 지구 메탄 축적량의 균형을 이루기 위해서는 필요하다. Hoffman, Gibbs, WMO의 주장처럼 현재의 축적량을 유지하기 위해 필요한 여러 온실가스의 감소(%)가 <표2>에 제시되어 있다. 이러한 자료는 메탄방출을 10% 감소시키므로써 지구의 온도상승을 20%정도 감소시킬수 있음을 암시하는 자료로 이용되어 왔다.

그러나 메탄의 짧은 수명은 비용효율이 좋은 관리전략을 개발하는데 기타사항을 고려해야하는 이유가 된다. 짧은 수명을 가진 가스는 평균수명당 누적 및 기여도가 적다. 이것은 짧은 수명보다는 오랜 수명을 지닌 가스를, 온실효과와 관리를 위해서는, 관리 대상으로 삼는 것이 중요하다는 것을 말해준다.

<그림6> 이종화석연료의 100년Btu당 CO₂방출



CO₂방출

천연가스 연소시 단위 입방피트당 0.12lbs 혹은 10⁶Btu당 115lbs의 CO₂가 발생한다. 가스의 단위 에너지당(10⁶Btu) CO₂의 방출량을 기타 화석연료와 <그림6>에 비교해 놓았다. 석탄으로 부터의 방출은 가스에 거의 2배에 이르며 석유는 가스보다 50% 높다. 그러나 이러한 에너지를 최종 이용형태로 바꾸는 효율도 역시 고려되어야만 한다. KW hr당 보통의 CO₂방출량이 <표3>에 제시되어 있는데, 여기서는 가스, 석유 및 석탄이 각기 다른 기술을 이용하여 전기를 생산한다고 가정 하였다. 복합사이클터어빈에 사용되는 가스가 10⁶W hr당 CO₂방출량이 가장 낮다. 석탄보일러와 석탄유동층 보일러는 가스복합사이클터어빈보다 10⁶W hr당 CO₂를 2배 이상 방출한다. '이종(異種) 연료 및 난방기구의 주거용 난방시 발생하는 에너지 운반 단위당 CO₂방출량이 <표4>에 나타나 있다. 가스 히트펌프가 운반된 Btu당 CO₂의 방출량이 가장 낮다. 가스연소시의 CO₂방출이 기타 화석연료와 비교할 때 낮기 때문에 가스는 교량연료로 이용될수 있다. CO₂를 내뿜지 않거나 바이오매스를 이용하는 장치처럼 CO₂를 중화하는 에너지장비를 개발하기 위하여는 시간이 필요하다. Ansabel은 에너지자원으로의 목재, 석탄 및 석유의 개발에 비추어 볼 때 새로운 에너지원을 이용하기 위하여는 최소한 50년이 걸릴 것이라고 보고 있다. 천연가스는 고(高)CO₂방출연소에서 온실가스의 축적균형을 위해 필요한 새로운 에너지자원으로 바꾸는데 필요한 시간을 제공할 수 있다.

석탄과 석유와는 달리, 가스는 재생가능한 연료이다. 바이오매스와 쓰레기에서 생산한 메탄은 현재 미국의 천연가스 수요를 충족시킬 수 있다. 미국은 8천만 에이커의 농지를 1984년의 PIK프로그램동안 잉여식량문제의 부담을 덜기 위해 재배하지 않고 내버려 두었다. 연간 에이커당 평균 20건조톤에 해당하는 바이오매스를 생산하고 휘발성 고체 1b당 5.5ft³의 메탄을 생산할 수 있다고 계산해 볼 때 거의 18조ft³의 메탄이 생산할 수 있다고 계산해 볼 때 거의 18조ft³의 메탄이 생산될 수 있

<그림3> MW : hr당 전기생산시의 CO₂방출

기술/연료	효율(%)	CO ₂ 방출 (lbs/10 ⁶ W-hr)
탈황장치를 갖춘 석탄보일러	34	2150
유동층석탄 보일러	35	2090
Boiler-Residual Oil	35	1650
Boiler-Gas	35	1170
Combined Cycle-Coal Gas	39	1900
Combined Cycle-No. 2 Oil	42	1350
Combined Cycle-Natural Gas	43	950

<그림4> 주거난방을 위한 운반에너지의 100만 Btu당 CO₂방출

난방기구	효율(%)	CO ₂ 방출 (lbs/10 ⁶ Btu)
Oil hot water system	0.80	210
Electric Resistance Heat*	0.99	650
Electric Heat pump*	2.15	300
Advance Electric Heat Pump*	2.70	240
Wood Stove**	0.55	400
Gas Pulse Furnace	0.97	120
Gas Heat Pump	1.70	70

* 전기는 석탄보일러에 의해 생산됨을 전제로 하고 있다.

** CO₂ 재순환때문에 순효과가 없다.

는 것이다(Benson). 이것은 1988년의 미국의 천연 가스생산보다 약간 많은 것이다. 산업, 도시 및 농업 쓰레기도 또한 가스생산의 원료이다. Issacson은 가정하수, 산업, 농업 및 도시고체쓰레기가 현재의 쓰레기처리와 함께 10조ft³의 메탄을 생산해 낼 가능성이 있다고 보고 있으며 이중 약 6조ft³는 회수가능할 것이다.

이러한 연료의 다수(특히 쓰레기처리)가 자연적으로 생산되어 대기중으로 방출되는 것으로서 이러한 메탄을 회수하면 가스공급은 증가하고 메탄 방출은 감소하게 될 것이다. CO₂축적이 증가하지 않는 환경상의 추가 잇점을 가지고 있다. 바이오메스기술에 대한 관심이 1980년초에는 꽤 있었으나 가스공급이 늘어나고 가격이 저하함에 따라 소외되고 있다. 그러나 쓰레기처리 비용이 급속도로 상승함에 따라 도시쓰레기처리로부터 메탄생산을 생산하게 될 경우 아주 경제적으로 수지가 맞는다.

결론

온실효과는 가스산업에 CO₂와 메탄방출을 감소시키도록 하나의 임무를 주고 있다. 표면상으로는 논리가 안맞는 것 같지만, 이러한 방출을 줄이기 위한 최선책은 천연가스공급을 증가시키는 것이다. 가스공급의 증가는 탄화수소에 기초한 에너지 시스템으로부터 덜 파괴적이고 더 경제적인 에너지 체계로 나아갈 수 있도록 해줄 것이며 아울러 메탄 방출감소를 가져올 것이다. 메탄을 회수하게 되면 가스공급은 증가하고 메탄방출은 줄어든다. 메탄회수는 석탄과 가스생산, 쓰레기처리, 석탄전 및 농업 경영분야에서 가능하다. 기타 방법은 가스용품의 효율증가와 바이오메스, 도시산업 및 농업쓰레기로부터 생산한 가스를 경제적으로 공급하는 방법을 개발하는 것이다.*