大 韓 衛 生 學 會 誌
KOREAN J. SANITATION
Vol.10,No.3,131~138(1995)

전력소비와 산성가스 배출량과의 관계

정일록·김대곤

국립환경연구원 대기연구부

Relationship of Electricity Consumption and Emission Rate of Acidic Gases

Il-Rok Chung, Dai-Gon Kim

Air Quality Research Department, National Institute of Environmental Research

Abstract

As the energy consumption increases continuously, the emission amount of air pollutants is growing, and after all it can influence the global environment as well as the regional atmosphere. So, the clean energy which emits less air pollutants should be developed and widely used to reduce emission of pollutants.

Electricity, known for clean energy in the side of consumption, is not actually clean in the process of generation. Electric power is generated using fossil fuels which produce acidic gases like SO_2, NO_X, etc.

The emission rates of SO_2, NO_X, CO_2 are 2g, 0.78g and 110g per electric power generating 1kwh. If one light (60 watt bulb) be turned off at each house for a month, electricity will be saved about 1.5billion kwh a year. This is almost the same as 4,170 tons of SO_2 and NO_X.

As a result, the economization of electricity will be one of the effective strategy to reduce the air pollution and to keep our life clean and comfortable.

Ⅰ. 머릿말

인구의 증가와 도시화, 산업의 발전 및 생활 수준 향상 등에 따른 에너지 사용량의 증가와 집중화에 기인하여 대기중으로 배출된 대기오염물질로 국지적 오염현상이 가중되고 있고,

지구환경에까지 다양한 영향을 미치고 있다. 20세기 중반에 런던스모그 사건으로 대표되는 국지적 대기오염이 '60년대 말에서 '70년대 초에는 유럽대륙과 북미대륙이라는 대륙적 규모로 확대되었으며, '80년대 중반부터는 지구규모의 대기환경문제인 지구온난화, 성층권의 오존층 파괴, 산성비에 의한 호소의 사멸 및 산림의 고사 등과 같은 새로운 환경문제의 대두로 우리의 삶의 터전인 지구촌이 몸살을 앓고 있다.

본 고에서는 화석연료를 소비하므로써 생성되는 이산화황(SO_2), 질소산화물(NOx) 및 이산화탄소(CO_2) 등과 같은 산성가스의 배출량과 그 영향을 살펴보고, 국민들이 소비측면에서 청정에너지로 알고 있는 전기 1kwh(키로와트아워)를 생산할 때에 대기중으로 배출되는 이들 물질의 양을 고찰하여 전기의 소비절약에 따른 저감효과를 알아보고자 한다.

Ⅱ. 산성가스가 대기환경에 미치는 영향

1. 대기의 역할

대기란 지구를 둘러싸고 있는 공기층으로 지표에서 800km까지 이르는 것으로 알려져 있으며 실제 공기의 50% 이상은 지상 5km 내에, 그 99%가 40km 내에 존재한다. 이러한 공기층, 즉 대기권은 일종의 유동계로서 모든 기체나 액체 및 고체의 미립자를 수용하며, 또한 부유·이동시키는 바, 청정하다고는 말할 수 없다. 대기의 조성은 건조공기와 습윤공기인 경우에 다르게 나타나는데, 습윤공기는 시간과 공간에 따라 수분이 1~4% 사이에서 변화하기 때문에 표준상태(0℃, 1기압)의 건조공기를 기준하여 부피비로 볼 때 N_2가 78.084, O_2가 20.946, Ar이 0.934, CO_2가 0.035(%)를 점하고 있어 이들 네가지 성분이 주를 이루고 있으며, 기타의 미량성분은 정성적 의의만으로 만족할 정도이다.

이러한 대기는 산소의 저장·공급, 대기오염물질의 운반, 소리의 전달, 지구의 온도조절과 자외선이나 γ선 등의 유해 전자기파를 차단하는 역할을 한다. 특히, 성인 한 사람이 하루동안 숨을 쉬는데 약 13kg의 공기(약 2,500~3,000리터)를 필요로 하는 데 반해 음식과 물은 각각 1.5kg과 2kg 정도를 섭취하므로 청정대기의 달성·유지는 실로 중요한 일이라 아니할 수 없다. 또한, Table 1에서 보아 알 수 있듯이 온실기체로 알려진 CO_2에 의한 지구의 지표온도 상승효과가 33℃에 이르고 있어 대기중의 CO_2농도가 안정만 된다면 지구의 생명체 유지에 절대적으로 기여하고 있음을 엿볼 수 있다.

2. 산성비 생성

산성비란 대기중에 배경농도로 존재하는 산

Table 1. Effect of greenhouse gas in each planet.

구 분	표면기압	주요 온실기체	온실효과기체 없는 경우의 지표온도(℃)	관측지표 온도(℃)	온실효과(℃)
금 성	90	> 90% CO_2	-46	477	523
지 구	1	~0.035% CO_2	-18	15	33
화 성	0.007	> 80% CO_2	-47	-47	10

성가스 중의 하나인 CO_2가 물방울과 반응하면 pH 5.6 정도에서 평형상태가 되기 때문에 pH 5.6 이하의 빗물을 산성비라 한다. 따라서 대기중 빗물의 pH가 5.6 이하로 되기 위해서는 여타의 산성가스가 있어야 하는 데, 그 대표적인 물질이 화석연료의 연소과정에서 배출되는 SOx와 NOx이다. 이들은 대기중에서 화학반응을 통해 H_2SO_4와 HNO_3 등의 강산성으로 변화하는 데, 전자는 반응속도가 느려 장거리 이동하고 후자는 반응속도가 빨라 장거리이동 빈도가 낮다.

SOx(SO_2+SO_3)는 연료중의 연소성 유황분의 85% 정도가 산화과정을 통해 전환되며, 그 조성은 SO_2가 95~99% 정도이다. NOx ($NO+NO_2$)는 연료NOx와 열적NOx로 구분되는 데 후자가 주종을 이룬다. 전자는 연료중의 질소화합물이 산화하면서 10~30% 정도가 질소산화물로 전환되고, 후자는 연소공기로 공급된 질소와 산소가 고온 연소과정 중에서 반응한 것으로, 그 조성은 NO가 90~95% 정도이다.

주요 선진국들의 이들 산성가스 배출량은 '90년 기준으로 볼 때 Table 2와 같으며, 우리나라는 다른 선진국에 비해서는 매우 적은 편이나 일본과는 유사한 양이 배출되고 있음을 알 수 있다.

Table 2. Emission rates of acidic gases in each country.

구 분	미국	중국	일본	독일	영국	프랑스	한국
SO_2배출량 (천톤)	21,060	14,949	876	5,697	3,780	1,200	1,380
NOx배출량 (천톤)	19,380	-	1,301	3,234	2,779	1,487	926

산성비에 의한 대표적인 영향은 삼림의 잎마름이나 고사 등과 같은 피해로 북유럽 국가들은 이러한 피해가 50% 내외에 이르고 있고, 호소의 산성화에 따라 어류들이 사멸하고 있다고 보고되고 있다. 산성비에 의한 이러한 피해는 국경을 초월하기 때문에 인접 국가간에 논란이 일고 있으며, 그 저감을 위해 국가간에 공동연구도 이루어지고 있다.

3. 지구 온난화 유발

산성가스의 하나인 CO_2는 대표적인 온난화 기여물질로 알려져 있다. 이 가스의 대기중 농도는 산업혁명 직전의 280ppm에서 현재 350ppm에 이르고 있어, 과거 200년간 지구의 평균 지표온도 및 해면상승이 0.3~0.6℃ 및 0.1~0.2m 정도인 것으로 보고되고 있다. CO_2 등이 지금과 같이 계속 증가하면 2,070년에는 지표의 평균온도가 2.4~5.1℃ 상승하고, 이에 따른 해면상승은 0.33~0.75m가 될 것으로 추정되고 있다. 또한, 열대우림 지역에서의 강수량 증가, 중위도 지역에서의 여름철 강수량 감소와 고위도 지역에서의 겨울철 강수량 증가 등의 현상도 예상되고 있다. Table 3은 지구온난화에 영향을 미치는 물질별 기여도를 보인 것으로 주로 CO_2와 CFC's에 기인하고 있음을 알 수 있다.

Table 3. Contribution percent of each gas for global warming effect.

물질별	CO_2	CFC-11,12	CH_4	기타 CFC	N_2O
기여도 (%)	55 (자연:11)	17	15	7	6

CO_2는 연료 중의 탄소나 탄화수소 등의 산화에 기인하는 데, 연간 78억TOE(TOE : 석

유환산 톤)의 연료를 연소함에 따라 발생하는 CO_2량을 탄소로 환산하면 66억톤 정도이며, 이중 39억톤은 해양에 용존되고, 27억톤은 대기중에 축적되는 것으로 예상되고 있다.

한편, Table 4는 '90년을 기준으로 한 주요 국가의 CO_2 배출율을 보인 것으로 미국이 전 세계 배출량의 1/4을, 러시아 및 중국이 각각 1/10 정도를, 일본·독일 등이 1/20 정도를 점하고 반면 우리 나라는 1/90 정도를 배출하고 있음을 알 수 있다.

Table 4. CO_2 Emission rate of major contries.

구분	미국	러시아	중국	일본	독일	영국	프랑스	한국
CO_2 배출률(%)	23.3	11.1	11.1	4.9	4.8	2.7	1.8	1.14

Ⅲ. 국내 산성가스 배출량

1. 화석연료 소비량과 산성가스 배출량

화석연료의 사용에 의해 연간 대기중으로 배출되는 산성가스의 양은 연료의 부문별 사용량에 배출계수를 곱하여 추정할 수 있다. 우리 나라에서 연간 사용하고 있는 화석연료의 종류별 소비량 추이는 Fig. 1과 같고, 이에 따른 산성가스의 배출량 추이는 Fig. 2와 같다.

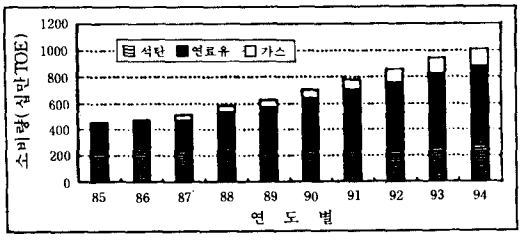

Fig. 1. 연도별 화석연료 소비량 추이

Fig. 1에서 보면 화석연료의 전체 소비량 추이는 '85년도에 4,500만 TOE, '89년도에 6,000만 TOE, '94년도에 1억 TOE로 꾸준히 증가하고 있다. 연료별 소비량 추이는 연료유와 가스는 큰 폭으로 증가한 반면 석탄은 과거 10년간 뚜렷한 증가 추이를 보이지 않고 있다.

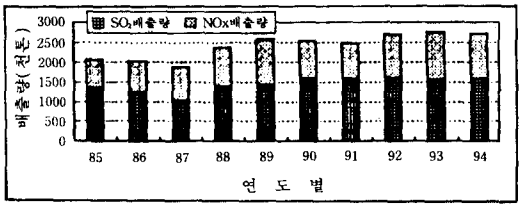

Fig. 2. 연간 산성물질 배출량 추이

한편, 이들 화석연료의 사용에 따른 산성가스의 배출량 추이는 Fig. 2에서 보듯이 '89년 이후에 250만톤을 약간 상회하는 수준에서 극히 완만히 증가하고 있음을 알 수 있는데, 이를 연료의 소비량 추이와 비교해 볼 때 무시할 정도로 적은 증가 추이이다. 이와 같은 이유는 정부의 연료시책에 힘입어 청정연료로의 전환에 따른 SO_2의 감소에 기인한 것임을 유추할 수 있다.

2. 부문별 화석연료 소비율 및 산성가스 배출 기여율

'94년도에 소비된 총 화석연료의 부문별 소비율은 Table 5에서 보는 바와 같이 산업부문에서 1/3, 발전 및 난방·취사 부문에서 각각 1/5 정도임을 알 수 있다. 한편, 연료별로 보면 석탄은 산업 및 발전부문에서, 연료유는 차량에서, 가스는 난방·취사 및 발전 부문에서 많이 사용되고 있으며, 특히 청정 가스연료는 난방·취사 및 발전 부문에서 80% 이상이 소비되고 있다.

Table 5. Consumption rates of fossile fuels at each class, 1994.

(Unit : %)

구 분	소비량(천TOE)	난방·취사	산 업	차 량	발 전	선박 등
석 탄	27,286	7.7	54.9	—	37.4	—
연료유	60,756	24.0	25.7	30.8	14.5	5.0
가 스	12,846	47.2	5.7	13.4	33.7	—
계	100,888	22.5	31.2	20.2	23.1	3.0

Table 6. Contribution percent of acidic gases emission at each class, 1994.

구 분	SO_2(1,603,422톤)					NOx(1,108,668톤)				
부 문 별	난방·취사	산업	차량	발전	선박 등	난방·취사	산업	차량	발전	선박 등
기여율(%)	10.2	52.0	2.1	20.6	15.1	5.3	29.7	51.1	11.6	2.1

한편, Table 6은 화석연료의 사용부문별 산성가스의 배출 기여율을 보인 것으로 SO_2의 경우는 산업부문이 반 이상을 점하고 있고, NOx의 경우는 차량부문이 반 이상을 점하고 있다. 그리고 발전부문에서는 20.6% 및 11.6 %를 각각 점하고 있다.

Ⅳ. 전력생산과 산성가스 배출량

전기는 크게 수력·원자력과 화력에 의해 생산되므로 발전측면에서는 이들 모두가 청정하지는 않다. 즉, 수력·원자력 발전은 대기오염 측면에서 깨끗한 에너지원이라 할 수 있겠지만, 화력발전은 석유, 석탄, 가스 등의 화석연료를 연소시켜 그 열로 전기를 생산하므로 연소과정에서 많은 양의 오염물질이 발생되어 대기중으로 방출된다. 화력발전으로 전기 1kwh를 생산할 때에 대기중으로 배출되는 대기오염물질은 수 십종에 이르고 있으나 대기환경에 가장 나쁜 영향을 미치는 것 중의 하나는 산성가스이다.

1. 전력생산에 따른 산성가스 배출량

우리 나라에는 현재 80개소의 발전소에 총 310기의 발전기가 설치되어 있으며, '94년도 기준 에너지원별 전력생산을 위한 설비용량과 연간 발전량 및 산성가스의 배출량은 Table 7과 같다.

Table 7. Annual electric power generation and acidic gases emission rates at each energy source, 1994.

구 분		계	수력·원자력	LNG	유 류	국내탄	유연탄
설비용량(Mw)		28,876	10,122(35.1)	4,959(16.6)	6,975(24.2)	1,020(3.5)	5,800(20.1)
발전량(Gwh)		164,990	62,740(38.0)	17,950(10.9)	41,290(25.0)	4,370(2.6)	38.640(23.4)
배 출 량	SO_2(톤)	330,044	—	33	183,269	30,715	115,927
	NOx(톤)	129,085	—	29,297	38,659	5,261	55,868
	CO_2(천톤)	18,160	—	2,200	6,300	980	8,680

*( )안은 에너지원별 기여율(%)을 의미함.

Table 7에서 보는 바와 같이 원자력과 수력의 설비용량이 35%인 반면 화석연료를 사용하는 화력발전의 경우는 65%에 이르고 있다. 연간 발전량은 전자가 38%인 반면, 후자가 62%에 이르고 있어, 우리가 소비하는 전력의 2/3 정도가 화력에 의존되고 있음을 알 수 있다. 그리고 에너지원별 산성가스의 배출량은 유연탄 및 유류 발전부문에서 83%에 이르고 있어 주요 발생원임을 엿볼 수 있다.

2. 전력 1kwh 생산시의 산성가스 배출량

Table 7를 이용하여 전력 1kwh 생산시의 발전용 화석연료별, 화력 및 전체 발전량평균으로 환산한 각각의 산성가스 배출량을 보면 Fig. 3과 같다.

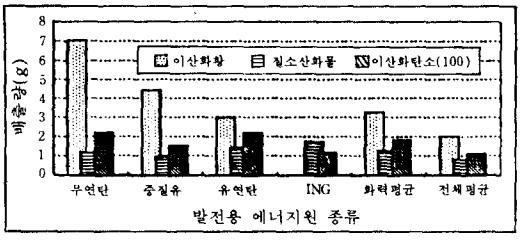

Fig. 3. 전력 1kwh 생산시의 산성가스 배출량

Fig. 3에서 보면 전력 1kwh를 생산하는데 수반되는 이산화황 배출량은 무연탄의 경우 7g, 방카-C유 등의 중질유의 경우 4.4g, 유연탄의 경유 3g 정도인 반면, LNG는 거의 없음을 볼 수 있다. 그리고 질소산화물은 1~2g, 이산화탄소는 100~200g 정도가 배출되고 있다. 한편, 전체발전량 평균으로 볼 때는 1kwh의 전력 생산시에 이산화황 2g, 질소산화물 0.78g, 이산화탄소 110g이 대기중으로 배출됨을 의미한다. Table 8은 '92년도 기준 선진국들의 전체발전량 평균으로 1kwh당의 산성가스 배출량을 보인 것으로 우리 나라는 미국, 영국 등에 비해 적은 편이나 서독, 일본 등에 비해서는 많은 편임을 알 수 있다.

Table 8. Emission rates of acidic gases per average 1kwh of total electric power generation. (unit : g)

구분	미국	영국	프랑스	서독	이태리	카나다	일본
SO_2	4.76	8.27	0.85	0.61	3.50	1.70	0.25
NOx	2.40	2.40	0.27	0.88	1.80	0.66	0.24
CO_2	160.0	170.0	20.0	140.0	130.0	50.0	100.0

3. 전력 소비절약에 따른 산성가스 저감량

Table 9는 '94년도 기준, 가정부문의 전력 소비현황을 보인 것으로 10.3백만호의 수용가에서 전체 생산전력의 18.4%를 소비하였으며, 호당 월평균 232kwh의 전기가 사용되었음을 알 수 있다.

Table 9. Electricity consumption status of household class.

수용호수 (호)	연간 소비전력량 (Mwh)	호당 월간 소비전력량 (kwh)	손실율 (%)
10,309,540	28,713,201	232	5.57

따라서 각 가정에서 전기용품을 효율적으로 사용하고, 절전형의 가전제품이나 조명기구 등으로 대체하여 전기를 아껴쓰면 1개월에 소비전력의 5% 정도(가정에서는 60와트 전구 한 개를 끄는 효과인 10kwh)를 아낄 수 있어 연간 15억kwh의 전기를 절약할 수 있게 된다. 이것은 발전소에서 배출되는 이산화황과 질소산화물을 연간 4,170톤을 줄일 수 있는 효과를 가져오는 데, 이 양은 가정용 연탄 1억장('94년 서울에서 소비된 양의 약 1/3.8 수준)을

태울 때 발생하는 양에, 또는 서울에서 운행중인 총 8,725대(대당 1일 270km 주행기준)의 시내버스가 3.5개월 동안 배출하는 양에 상당한다. 그리고 전기의 절약에 따른 경제적 이득도 연간 국가적으로 1,560억원(각 가정당으로는 11,970원, 1kwh당 86원)에 이를 것으로 추산된다.

4. 가정에서 소비전력 절약방안

4.1 절전형 전기용품의 구입·사용

'92년 9월부터 시행되고 있는 에너지소비효율 등급표시제에 따라 가전용품에 소비전력이 표시되고 있는 바, 그 소비전력이 적은 제품을 구입하여 사용할 필요가 있다. 약 1,200만대가 보급되어 있는 전기냉장고의 경우 주로 구입하고 있는 2등급 대신 1등급을 구입할 경우 500리터 기준으로 연간 107kwh를 절약할 수 있다(Table 10 참조).

Table 10. Electricity consumption and supplies of refrigerator.

구 분	1등급	2등급	3등급	4등급	5등급	비 고
연간 소비전력량 (kwh)	562	669	776	883	990	500리터급
보급대수 (천대)	649	2,862	185	4	0.5	'93 및 '94년 보급량

조명기구의 경우는 주로 보급되고 있는 2, 3등급 대신에 1, 2등급을 구입·사용할 경우 한 가구당 5등(백열전등 2개, 형광등 3개) 기준, 연간 34kwh를 절약할 수 있다.

4.2 전기를 아껴쓰는 습관의 생활화

가정에서 취사, 난방시에 전기를 사용하는 대신에 가스를 사용할 경우 소비열량이 4배 향상되기 때문에 그만큼 산성가스 배출량을 줄일 수 있고, 에어콘 필터를 2주에 한번씩 주기적으로 청소하면 소비전력을 최대 10%까지 절약할 수 있으며, 하절기의 냉방온도를 1℃ 높이면 가구당 연간 약 30kwh를 절약할 수 있다. 또한, 사용하지 않을 때에 가전기기의 전원프러그를 빼놓거나(TV의 전원프러그를 1일 10시간 빼두면 연간 11kwh 절약) 주간에 창문쪽 전등의 소등 등을 통해 조명전력의 소비를 절약할 수 있다.

V. 대 책

앞에서 설명한 바와 같이 산성가스의 대부분은 화석연료의 연소에 수반되는 바, 원천적인 억제기술 측면에서 SO_2는 천연가스, 저유황 연료 사용 등과 같은 연료대책을, NOx는 저NOx버너, 배가스재순환 등의 연소장치 개선과 같은 대책을 강구할 필요가 있다. Table 11은 연소장치 개조 전·후의 NOx 배출농도를 보인 것으로 개조에 의해 그 농도가 1/2 정도 억제됨을, 연료의 종류별로는 경질유 및 가스 쪽이 적게 배출됨을 알 수 있다.

후처리 방식으로는 배출가스를 대상으로 하는 탈황과 탈질 장치의 설치를 들 수 있다. 전자는 소석회 등과 같은 알카리이온을 함유한 물질을 배기가스중에 취입하여 중화시키는 원리를, 후자는 환원제인 NH_3를 배기가스중에 취입하여 촉매를 통해 NOx를 N_2로 환원하는 원리가 주를 이루고 있다. 우리 나라는 발전소에 파이롯플랜트 규모의 탈황장치 1기가 설치되어 있지만, 일본은 '91년 기준으로 탈황장치 98기, 탈질장치 153기가 설치되어 있다.

Table 11. Concentration of emitted NOx by modification of combustion chamber.

연료의 종류	석 탄	중 유	등 유	가 스
연료중의 N(%)	0.1~0.3	< 0.1	0	-
연소장치 개조 전(ppm)	500~1,000	200~400	150~300	100~200
연소장치 개조 후(ppm)	200~ 500	80~180	60~150	40~100

한편, 산성가스중의 지구온난화 원인물질인 이산화탄소는 국제적으로 저감시나리오를 마련하여 삭감하자는 분위기가 일고 있다. 특히, 북유럽 국가에서는 CO_2 등을 억제할 목적으로 연료에 탄소세를 부과하고 있으며 미국을 제외한 여타의 선진국에서도 2000년도의 CO_2 배출량을 '90년 배출량 수준으로 동결하기 위해 다양한 국가적 프로그램을 시행하고 있다. 더불어 CO_2 발생을 억제하기 위해 환경조화형 생산기술 및 절약형 에너지 이용기술이나 신재생에너지 이용기술(독일의 경우 태양광 발전용량이 2.5%임), CO_2 고정화 및 유효이용기술(메탄올 등 생산) 개발 등을 수행하고 있다.

Ⅵ. 맺음말

우리 나라의 발전설비로 부터 배출되는 CO_2, SO_2 및 NOx의 배출량은 총배출량의 20% 내외를 점하고 있어 발전소 주변의 오염피해는 간과할 수 없다 하겠다. 이들 오염물질의 저감을 위해 정부는 저오염 발전설비를 확대하고 태양열, 연료전지 등의 청정에너지원과 고효율 전기 기계·기구의 개발 보급에 주력하여야 할 것이며, 운영기관은 연소개선 및 발전효율 향상 등에 꾸준히 노력하고 배연 탈황 및 탈질 장치를 적극적으로 설치하여야 할 것이다. 그리고 소비자는 절전형의 조명기구, 가전제품 등을 구입하고 전기를 아껴쓰는 습관의 생활화로 대기오염물질 감축에 동참하여 우리 후손들이 깨끗한 공기를 호흡하며 건강하게 살 수 있도록 관심을 갖고 실천하여야 할 시점에 서있다 하겠다.

참 고 문 헌

1. 국립환경연구원: 대기오염물질 배출량('94), 1995.
2. 에너지경제연구원 : 에너지통계연보, 1994.
3. 한국전력공사 : 한국전력통계('94), 1995.
4. 환경부 : 대기오염측정종합자료집, 1995.
5. 정일록 : 전력의 생산·이용과 환경오염, 대한전기학회지, 1995.
6. 일본 電氣新聞 : World Energy Council ('92), 1994.
7. 에너지관리공단 : 에너지소비효율 등급표시제, 1995.
8. Robert W. Mcllvaine : Air Pollution Challenges and Forecasts, Air & Waste, Vol.44, 1994.