

## 이산화황 저감을 위한 시군 단위의 이산화황 배출량 산정에 관한 기초연구

이동근 · 김용준\* · 정태용\*\* · 전성우\*\*\*

상명대학교 환경조경학과, 기상청 기상연구소\*, 지구환경전략연구기관\*\*, 한국환경정책·평가연구원\*\*\*

## A Fundamental Study on Sulfur Dioxide Emission Estimation for the Mitigation of Sulfur Dioxide in Korea - On City and County Levels

Lee, Dong Kun · Kim, Yong Joon\* · Jung, Tae Yong\*\* · Jeon, Seong Woo\*\*\*

Dept. of Environmental Science & Landscape Architecture, Sangmyung University

Meteorological Research Institute, Korea Meteorological Administration\*

Institute for Global Environmental Strategies, Japan\*\*, Korea Environment Institute \*\*\*

### Abstract

This study was conducted as a preliminary study for the mitigation of acid rain which has been a serious environmental problem in both regional and global scales. In this study, sulfur dioxide emission was estimated at city and *gun*(county) level. Also, this study represents the estimated sulfur dioxide emission with using a geographical information system which includes administrative boundaries.

The results of this study are expected to serve as a sulfur dioxide emission mitigation policy guidance and a basis of a future emission model and a comprehensive global warming model. Moreover, thanks to the geographical information system, the results are also expected to help carrying out clear policy goals and setting up sulfur dioxide emission mitigation measures in regional environmental planning processes, which currently have been implemented in some cities and counties in Korea.

Keywords : SO<sub>2</sub> Emission Estimation, Fuel Usage, GIS

### I. 연구의 배경 및 목적

1972년 유엔 인간환경회의에서 국제적 문제로 대두된 이후에도 지구환경은 계속 악화되었으며,

지구환경 문제를 해결하기 위한 방안들이 다양하게 제안되었고<sup>12)</sup> 일부는 실천되고 있다. 중요한 지구환경 문제 중 하나인 지구온난화 문제를 해결하기 위해 온실가스의 총배출량 감축 합의가

기후변화협약 당사국 총회에서 이루어졌다. 그러나 개발도상국은 경제성장 추구하고 이에 따른 지역적 환경오염 문제에 더 큰 비중을 두어 지구온난화 저감을 위한 방안에 적극적인 참여가 어려운 실정이다. 따라서 최근의 지구환경정책은 지구적인 환경문제 해결은 물론 개발도상국의 지역적인 환경문제를 동시에 해결하기 위한 노력이 시도되고 있다<sup>13)</sup>. 즉 어떠한 정책이나 수단이 지구환경문제 해결에도 도움을 주면서 지역적인 환경오염물질의 저감에도 효과가 있는지 검토되고 있다.

우리 나라도 두 가지 문제해결을 위한 통합적인 정책이나 수단이 필요하며, 이를 위해서는 가장 기초가 되는 지역단위의 상세한 자료가 필요하다. 우리 나라는 환경부에서 발표하고 있는 광역자치단체 단위의 배출량 자료가 있지만 기초자치단체 단위 자료가 전무한 실정이다<sup>14)2)</sup>. 따라서, 광역자치단체 단위의 배출량 자료<sup>11)</sup>만으로 기초자치단체의 장래 추이를 예측하는 데에는 한계가 있다고 볼 수 있다<sup>3)</sup>.

본 연구는 우선 지역적인 환경문제이면서도 지구적 환경문제인 산성비 문제 해결을 위해 대표적인 산성비 원인물질인 이산화황에 대한 저감대책 마련에 반드시 필요한 지역단위 배출량을 환경부·국립환경연구원의 광역자치단체 단위 배출량 자료<sup>11)</sup>로부터 산정하였다. 그리고, 기초자치단체의 행정구역까지 표현하는 지리정보시스템을 개발하여 산정된 이산화황 배출량 데이터를 함께 표시하였다.

## II. 시·군 단위 이산화황 배출량 산정 방법

### 가. 개요

배출량의 산정은 국가의 상황에 맞게 연료 종류 및 부문을 설정할 필요가 있다. 연료 종류는

에너지 통계(에너지 통계연보)<sup>5)6)</sup>, 대기오염물질 배출량자료(대기오염배출량자료)<sup>11)</sup> 등이 참조가 된다. 황의 함유량이 연료에 따라 다르며, 소비 용도에 따라 사용 연료가 다르므로 연료 종류를 황의 함유량과 사용 용도에 따라 세분해야 한다. 부분 분류는 에너지통계<sup>5)</sup>를 참고하며, 공업부문은 사용 연료에 따라 상세하게 분류할 필요가 있다. 또한, 우리 나라는 지역에 따라 사용 가능한 황의 함유량이 규제되므로 해당 지역의 해당 연료 사용여부를 살펴보아야 한다. 특히 서울을 포함한 도시권 및 공단지역에서 황의 함유량 규제가 많다<sup>10)</sup>.

본 연구는 환경부·국립환경연구원에서 매년 조사, 발표하는 1996년의 광역자치단체 단위 배출량 자료<sup>11)</sup>로부터 시군별 이산화황 배출량 산정을 실시하였다. 연료 종류는 휘발유, 등유, 경유(황함량 1.0, 0.1%), B-A유, B-B유, B-C유(황함량 4.0, 1.6, 1.0, 0.3%), 무연탄, 유연탄, LNG, LPG 등으로 하였다. 사용 부분은 기본적으로 발전, 산업, 난방, 수송으로 분류하였으며, 유연탄 사용 산업 부문은 시멘트공업과 제철공업으로 세분하였다.

다른 오염물질과는 달리 이산화황의 배출량은 주로 사용 연료의 종류(황함량 포함)와 사용량에 의해 결정된다. 그래서 연료 사용만을 고려하여 각 시군의 연간 배출량을 산출하였다.

환경부·국립환경연구원에서 조사한 1996년 난방, 산업, 수송부문에서 사용된 연료의 종류와 그 양<sup>11)</sup> 및 각 발전소에서 1996년에 실제 사용한 연료의 양과 종류<sup>6)</sup>를 보면 최종연료사용량은 121,850천 TOE로 산업부문이 62,946천 TOE로 51.7%로 가장 많고 나머지 부문들은 서로 비슷한 양을 사용하였다. 연료별로는 황 함유량 0.2% 경유와 1.6% B-C유가 각각 16.3, 8.9%를 점하고 있다.

### 나. 배출량 산정 절차

#### 1) 각 시군의 사용 가능한 연료자료 입력

각 시군에서 사용 가능한 연료는 대기환경보전

법에 의하여 제한된다. 그래서 각 시군의 사용 연료 산정시 경유와 중유의 저항유 사용의무지역과 액화천연가스 사용의무지역을 적용하였다<sup>10)</sup>.

### 2) 난방부분의 계산

난방부분의 각 시군 연료 사용량은 다음 식 (1)에 의해 산출되었다.

$$\text{시군연료사용량} = \frac{\text{주택유형별 시군내 세대수}}{\text{광역시·도 연료사용량} \times \sum \text{광역시도세대수} \times \text{연료사용비율}} \quad (1)$$

즉 첫째, 주택 유형별 아파트, 단독, 연립, 다세대, 비거주용 건물로 세대수를 산출하여 해당 지역이 해당의 연료 사용가능지역인지 확인한다. 둘째, 도시와 비 도시지역의 연료사용 형태가 다르므로 도시와 비 도시지역으로 분리하여 해당 연료사용량을 계산한다(표 1)<sup>4), 5)</sup>.

이는 각 주택에서 사용하는 연료(무연탄/등유/경유/B-C/도시가스/LPG)의 비율이 지역에 따라 다르기 때문이다. 에너지총조사보고서<sup>4)</sup>에 의하면

표 1. 주택 유형별 에너지 소비율

		단독	아파트	연립	다세대	상가
전국	무연탄	0.94	0.02	0.01	0.01	0.02
	등유	0.79	0.02	0.07	0.01	0.06
	경유	0.80	0.06	0.07	0.01	0.06
	B-C		1.00			
	프로판	0.78	0.09	0.06	0.01	0.06
	도시가스	0.38	0.44	0.12	0.03	0.03
시지역	무연탄	0.94	0.02	0.01	0.01	0.02
	등유	0.76	0.08	0.07	0.02	0.07
	경유	0.76	0.08	0.09	0.01	0.06
	B-C		1.00			
	프로판	0.74	0.11	0.08	0.01	0.06
	도시가스	0.38	0.44	0.12	0.03	0.03
군지역	무연탄	0.98				0.02
	등유	0.91	0.01	0.03	0.00	0.05
	경유	0.94	0.01	0.02	0.00	0.03
	B-C		1.00			
	프로판	0.90	0.02	0.02	0.01	0.05
	도시가스					

전국, 도시, 군 지역으로 구분되어 주택유형별 에너지 사용비율이 조사되었으므로, 도시지역은 도시의 연료 사용비율로, 시군 통합지역은 전국의 연료사용비율로 주택유형별 에너지 사용량을 계산하였다.

### 3) 산업부분의 계산

산업부분에서는 크게 2가지 방법에 의해 시군 단위 데이터 작성이 가능할 것으로 보인다. 첫째 안은 농림수산업, 광업, 제조업 등으로 구분한 뒤 각 시군의 배출원 단위 데이터 등을 이용하여 시군 데이터를 산출하는 방법이다. 이는 지역별 배출원 단위 데이터 작성이 매우 어렵기 때문에 현실적으로 불가능하다. 또는 간략하게 산업체별의 사업체수나 종사자수를 이용하여 시군 데이터를 산출할 수 있으나 산업체별로 실제 사용하는 에너지의 차이가 뚜렷함으로 오차가 클 것으로 보인다.

둘째 안은 현재 연료사용량의 규모에 따라 업체를 구분하여 관리하고 있음으로 이를 이용하여 시군 데이터를 산출하는 방법이다(식 2, 3). 즉 각 시군의 종별(1, 2, 3, 4, 5종) 배출시설수를 산출하여 각 시군 내에 등록된 종별 배출업소 수의 합수로 배분하였다. 대기환경보전법에 규정된 각 종별 연료 사용량의 중간값을 그 종의 평균 연료 사용량으로 가정하고, 5종의 평균 연료 사용량의 비로 <표 2>와 같은 가중치를 두었다. 다만 1종 배출업소의 평균 연료 사용량은 외삽하여 15,000톤/년으로 하였으므로 가중치는 150이었다. 단 철 및 시멘트 부문은 유연탄 연료 사용을 고려하였다.

$$\text{시군연료사용량} =$$

$$\frac{\text{광역시·도 연료사용량} \times \text{시군 배출지수}}{\text{광역시도 배출지수}} \quad (2)$$

$$\text{배출지수} = \text{종별 배출업소 수} \times \text{종별가중치} \quad (3)$$

표 2. 종별 연료사용량과 가중치

종 별	연료사용량	가중치
1	10,000 -	150
2	2,000 - 10,000	60
3	1,000 - 2,000	15
4	200 - 1,000	6
5	- 200	1

\*종별 가중치(고체연료 환산 100톤/년을 1로 함)

4) 수송부분의 계산

수송부분은 차종별 연료 사용량이 다르기 때문에 차종과 연료에 따라 시군 데이터를 산정하였다(4),(7),(8),(9).

즉 시군별 가솔린, 경유, 중유사용을 식 (4), (5), (6)과 같이 구한다.

- 휘발유 = 
$$\frac{\text{광역시} \cdot \text{도 휘발유 사용량} \times (\text{시군자가용승용차} \times \text{도로지수})}{\text{광역시} \cdot \text{도 자가용승용차수} \times \text{도로지수}} \quad (4)$$

- 경유 = 
$$\frac{\text{광역시도경유사용량} \times (\text{시군(버스+트럭+특수차)수} \times \text{도로지수})}{\text{광역시도(버스+트럭+특수차)수} \times \text{도로지수}} \quad (5)$$

- B-A, B-B, B-C 유 = 
$$\frac{(\text{광역시} \cdot \text{도 B-A, B-B, B-C 유 사용량}) \times (\text{시군선박입출항톤수})}{\text{광역시} \cdot \text{도 선박입출항톤수}} \quad (6)$$

\* 각 시군의 차량 등록대수는 승용차(자가용+관용/영업용), 승합차, 트럭, 특수차로 분류

\* 각 시군의 도로 길이는 고속도, 국도, 지방도, 시군도로 구분

- 도로 지수 = 
$$\text{고속도} \times 4 + (\text{국도} + \text{지방도} + \text{시군도}) \times 2$$

\* 단 시군단위 차량 등록대수 자료가 없는 광역시·도에서는 차량 등록대수 대신에 인구수 자료를 사용함.

5) 발전부분의 계산

시군의 발전부분 연료 사용량은 각 시군에 있는 각 발전소에서 1996년도에 실제 사용량으로

하였다<sup>6)</sup>.

6) 시군 단위 이산화황 배출량 산정

환경부·국립환경연구원의 대기오염물질 배출량 계산 방법<sup>11)</sup>에 따라 난방과 산업부문, 수송부문의 배출량을 계산하였다.

난방과 산업 부문의 연료별 배출량을 다음과 같이 산출하였다.

- 석탄: 
$$\text{배출량(톤/년)} = \text{배출계수(kg/톤)} \times \text{사용량(톤/년)} \times 10^{-3}(\text{톤/kg})$$

- 석유: 
$$\text{배출량(톤/년)} = \text{배출계수(kg/kl)} \times \text{사용량(kl/년)} \times 10^{-3}(\text{톤/kg})$$

- 가스: 
$$\text{배출량(톤/년)} = \text{배출계수(kg/103m}^3\text{, kg/kl)} \times \text{사용량}(103\text{m}^3\text{/년, kl/년)} \times 10^{-3}(\text{톤/kg})$$

여기에서 사용한 각 연료별 및 부문별 배출계수 값은 국립환경연구원의 조사 결과를 이용하였다.

수송 부문의 배출량을 다음과 같이 산출하였다.

- 
$$\text{배출량(톤/년)} = \text{소비량}(1/\text{년}) \times \text{연료 비중}(0.75) \times \text{연료중 황함량}/100 \times 2 \times 10^{-3}(\text{톤/kg})$$

여기에서 사용된 휘발유, 경유의 황함량은 각각 0.005%, 0.1%, B-A유 및 B-B유의 황함량은 1.6%, B-C유는 해당 지역의 사용 가능 연료의 황함량에 따라 4.0% ~ 0.3%로 하였다<sup>11)</sup>.

발전부문의 대기오염물질 배출량은 각 발전소에서 실제 배출한 배출량 자료<sup>8)</sup>로부터 산출하였다.

### III. 시군별 이산화황 배출량 결과

각 시군 단위 부분별 이산화황 배출량을 지리정보와 함께 <그림 1>, <그림 2>, <그림 3>, <그림 4>, <그림 5>에 나타내었다.

1996년 현재 산업부분의 이산화황 배출량은 약 69만톤이며 이중 광양시와 포항시가 약 9.0, 8.9만톤으로 약 13%, 12.9%를 차지하는 것으로 추정되었다. 이는 이들 지역에 제철소가 있기 때문에 다른 도시보다 산업부분의 이산화황 배출량이 높은 것으로 사료된다. 또한 단양군, 동해시, 삼척시 등

에서도 산업부분 전체 배출량의 비교적 높은 2% 내외의 배출량이 추정되었다. 한편 서울시나 부산시의 일부 구 및 제주도, 전라남도, 강원도의 일부 군은 거의 산업부분에서 이산화황을 배출하지 않는 것으로 나타났다(그림 1).

난방부분의 이산화황 배출량은 약 12만톤으로 비교적 전국적으로 고른 분포를 보이고 있다. 인구가 많은 곳에서 이산화황 배출량이 많은 경향을 보이고 있으나 대도시는 연료규제가 지방도시보다 엄격하게 적용하고 있으므로 진주시, 순천시, 거제시, 목포시 등 지방도시에서 비교적 배출량이 높은 것으로 나타났다(그림 2).

수송부분은 이산화황 배출량은 약 32만톤이며 이중 부산시 동구가 약 8.9만톤으로 수송부분 전체 배출량의 약 27.6%를 차지하는 것으로 산정되었다. 이는 선박이 이산화황이 많이 배출되는 B-C유를 사용하고 있기 때문이다. 또한 울산시, 광양시, 인천시 중구, 포항시, 부산시 남구, 영도구, 중구 등이 약 8.2~4.6%로 매우 높은 이산화황을 배출하고 있는 것으로 산정되었다. 이들 지역도 바다를 접하고 있는 지역으로 선박 운항이 그 원인이다(그림 3). 그러나 수송부분의 각 시군의 이산화황 배출량은 각 항구에서 선적된 B-C유가 해당 지역에서 모두 사용되었다는 가정으로 산정된 양이며, 선박의 이동을 고려할 때에는 수송부분의 이산화황 배출량의 신뢰도는 높지 않다고 할 수 있다.

발전부분의 이산화황 배출량은 약 29만톤으로 난방부분 다음으로 적으나 발전소가 있는 지역이 전국적으로 보면 약 20여곳에 불과함으로 지역적으로는 매우 큰 편차를 보이고 있다. 특히 보령시, 평택시, 사천시, 울산시가 약 23%, 16%, 15%, 12%로 전체 발전부분의 이산화황 배출량의 약 66%를 차지하고 있는 것으로 산정되었다(그림 4).

전체 부분을 합하여 표현한 것이 <그림 5>이다. 즉, 1995년 현재 우리 나라의 이산화황 배출량은

약 142만톤이며 이중 광양시, 포항시에서 약 11만톤씩 배출되는 것으로 추정되었다. 두 도시에서 배출되는 이산화황배출량은 전체의 약 15.6%에 해당된다. 이는 철강산업과 수송부분 특히 해상수송에서 많은 이산화황이 배출되기 때문인 것으로 보여진다. 그리고 해상수송에서 이산화황 배출량이 매우 많았던 부산시 동구, 발전에서 이산화황 배출량이 높은 보령시가 전체 이산화황배출량의 약 6.3%, 5.1%로 그 뒤를 잇고 있다.

#### IV. 결 론

본 연구는 산성비 문제 해결을 위한 정책 개발의 첫 단계로 환경부·국립환경연구원에서 산출하여 발표한 광역시도 단위의 이산화황 배출량 자료로 부터 시군 단위의 배출량을 산정하였다. 시군 단위의 인구수, 종별 배출업소 수, 자동차등록대수와 입출항 톤수, 발전량 등은 물론이고 분류된 해당 연료의 지역별 사용여부를 검토하는 등 현재 입수 가능한 자료를 사용하여 시군 단위의 부분별, 연료별 이산화황 배출량을 산정하였다. 또한, 산정된 시군 단위 이산화황 배출량을 구축된 지리정보시스템 위에 표현하였다. 산정된 시군 단위 이산화황 배출량은 광양시, 포항시, 부산시 동구, 보령시와 같이 제철소나 발전소가 있거나 해상수송의 비중이 높은 지역에서 높게 나타났다. 이런 지역은 이들 지역에 맞는 구체적인 이산화황 저감을 위한 정책이나 기술의 도입이 있어야 할 것이다.

본 연구는 첫째, 기존의 입수 가능한 자료를 이용하여 상세한 지역별 이산화황 배출량 산정이 가능함을 보였다. 둘째, 지역, 부분별, 연료별 상세한 이산화황 배출량 산정이 가능하기 때문에 이산화황 배출 저감을 위한 정책이나 기술도입 가능성 검토와 그 결과분석을 보다 현실적으로 실시할 수 있게 하였다. 셋째, 산정된 시군 단위 배출량 자료는 장래 배출량 모형은 물론 지구온

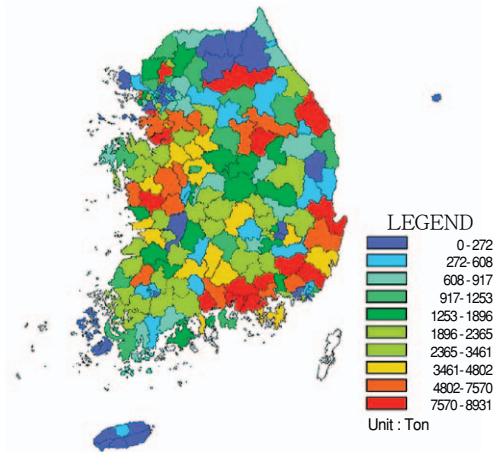


그림 1. 산업부문의 이산화황 배출량

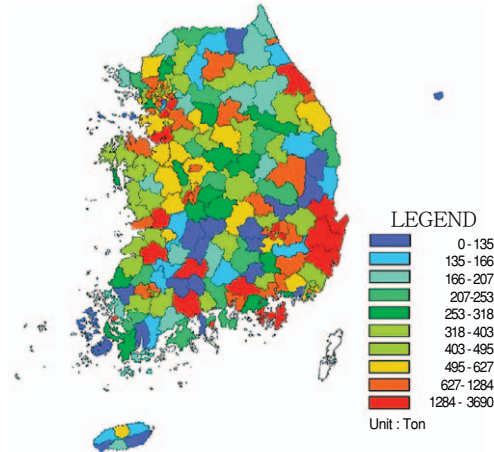


그림 2. 난방부문의 이산화황 배출량

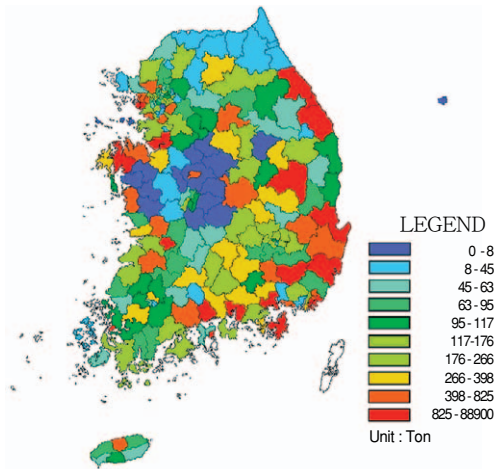


그림 3. 수송부문의 이산화황 배출량

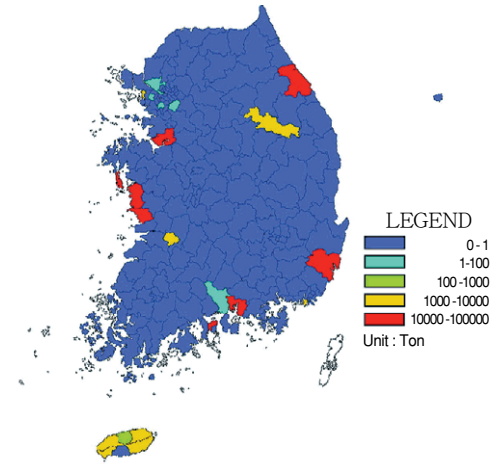


그림 4. 발전부문의 이산화황 배출량

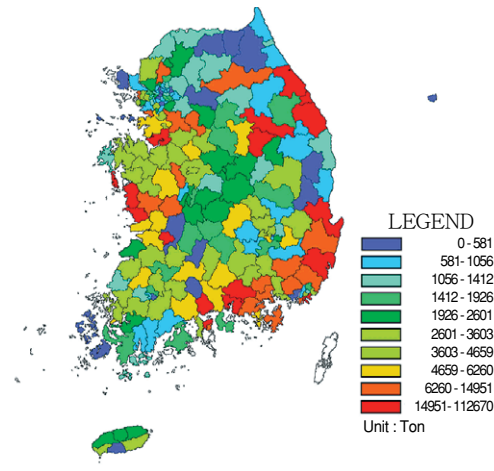


그림 5. 우리 나라 각 부문별 배출량 합계

난화저감을 위한 통합 모형을 작성을 위해 기초가 될 것이다. 또한, 지리정보시스템과 연계되어 있으므로 일부 시군에서 작성하고 있는 지역환경 계획수립시 보다 명확한 목표의 설정 및 해결방안 도출에 많은 정보를 줄 것으로 사료된다.

이 연구는 이미 조사된 광역시도 단위의 연료 사용량 자료로부터 출발하였다. 따라서, 광역시도 단위 연료 사용량, 배출계수, 인구 수, 차량 등록 수와 같은 시군 단위 기초자료 등 많은 부분의 자료가 실제와 다를 수 있으며, 이에 따라 최종 산출된 시군단위 배출량 자료의 신뢰도가 낮을

수도 있다. 현재 배출원 단위 배출량 자료가 미비하기 때문에 최종 산출 자료의 신뢰도를 검증할 수 없다. 그러나, 환경부에서 추진하는 배출원 단위 자료 조사가 완료되고 DB가 구축되면 더 정확한 시군단위 이산화황 배출량을 산출할 수 있을 것이며, 저감정책이나 기술도입 가능성을 더 정확하게 판단할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. 김용준, 1994, [국가대기오염물질 배출원 자료 체계 구축에 관한 연구 I]. 한국환경기술개발원 연구보고서.
2. 김용준, 1995, [국가대기오염물질 배출원 자료 체계 구축에 관한 연구 II - 점오염원 배출원 자료 조사방법 개발]. 한국환경기술개발원 연구보고서.
3. 김용준, 1997, 시군별 이산화황 오염도의 현황 진단과 장기 예측에 관한 연구, 한국대기보전학회지 13(1) : 19-29.
4. 통상산업부, 1996, [에너지총조사보고서].
5. 통상산업부 · 에너지경제연구원, 1997, [에너지 통계연보].
6. 통상산업부 · 에너지경제연구원, 1997, [지역에너지통계자료].
7. 한국도시행정연구소, 1997, [전국통계연감 상 · 중 · 하], 한국도시행정연구소.
8. 한국전력공사, 1997, [발전연보].
9. 해양수산부, 1997, [해양수산통계연보].
10. 환경부, 1997, [환경백서].
11. 환경부 · 국립환경연구원, 1997, [대기오염물질 배출량].
12. ICLEI, 1995, [The Local Agenda 21 Planning Guide - An Introduction to Sustainable Development Planning].
13. IPCC, 1997, [Climate Change and Integrated Assessment Models], Proceedings of the IPCC Asia-Pacific Workshop on Integrated Assessment Models.