

서울 地域의 酸性降雨 現象에 관한 調査

환경조사과

박성배 · 김민영 · 김광진 · 이승천 · 이상열 · 임채국

Studies on the Present State of Acid Precipitation in Seoul

Division of Environmental Research

Sung Bae Park, Min Young Kim, Kwang Jin Kim, Sung Chun Lee,
Sang Yeoul Lee and Chae Kook Lim

= Abstracts =

Acid rain means rain or snow which has acidic contents which originated from SO₂ and NO_x.

This study was carried out to investigate pH variation with acid rain of several aspects monitoring sites in Seoul.

Monthly and seasonal, and yearly pH values, pH variation with precipitation and frequency ratios of pH were investigated.

The results were as follows.

1. The highest pH value was 6.2 in June and the lowest one was 4.5 in December. Seasonal pH values showed 5.5 in summer and 5.2 in spring, 4.8 in fall and winter.
2. Frequency ratios was 44.2% between pH 4.6 and pH 5.0 and 71.4% blower 5.6 acid rain. Specially, Frequency ratios was 82.6% between pH 4.0 and 5.6 without summer.
3. The vatiance of yearly pH was 4.8 in 1987, 1990, 1991 and 1992 and was 5.0, 5.1 in 1993 and 1994, respectively.

서 론

강우는 아황산가스, 질소산화물 등의 음이온 성분이 마그네슘, 칼슘 등의 양이온 성분에 의해 중화되기도 하지만 대기중에 이산화탄소가 340ppm의 농도로 존재하고 있으므로 강우시 대기중의 탄산가스와 화학 평형을 이루어 오염되지 않는 대기상태에서도 pH가 약 5.6을 나타낸다.¹⁾ 그러나 지구의 원거리 영역에서 실시된 연구에 의하면 산성우의 기준치인 pH 5.6보다 5.0에 접근하는 것으로 나타나 있다.²⁾

산성비는 pH 5.6 이하를 말하는데 이것은 화산폭발과 같은 자연오염원과 인간활동에 의한 인공오염원 즉 자동차, 비행기 등 이동배출원과 공장, 가정집, 발전소 등 고정 배출원에 의해 발생되는 황산화물, 질소산화물 등에 의해 pH 5.6 이하로 내려가면서 산성우가 된다.³⁾

산성우는 1950년대 스칸디나비아 반도에서 pH 3.5의 우수가 관측된 이래 산성우의 관심도가 높아지게 되었다.⁴⁾

그 후 1955년 영국의 Gorham은 산성비의 원인 및 산성비 수중생태계 영향을 조사했으며,^{5),14)} 1967년에는 빗물의 산도 및 주요 이온 농도분포를 바탕으로 산성우가 어떤 지역이나 한 국가만의 문제가 아니고 영향권이 확산된

다는 보고를 하였다.⁶⁾

본 연구소에서는 1986년부터 서울시 5개 지역에 산성우 측정기를 설치함으로써 산성우 실태를 파악하여 왔으며 그 결과를 매년 원보를 통해 발표하고 있고, 1982년 충남대의 박종희 등이 보고한 “산성강우 현상에 관한 고찰⁷⁾” 등 한국과학기술연구원, 각대학에서 산성비의 농도 및 분포조사를 중심으로 연구가 전개되어 왔다.^{8)~11)} 저자 등은 본 연구를 통하여 1994년 1월부터 12월 까지 서울 5개 지역의 산성수에 대한 pH를 측정하고, 월별, 계절별에 따른 변화 추이를 조사하여, 산성비에 대한 현상을 파악하고 그 결과를 보고 한다.

조사방법

1. 측정지점

1994년 서울시내 5개 지점에서의 1년치 전강우를 대상

Table 1. Sample site.

Sample site	Area	Distance from the Kwan-whamoon
Hannamdong	Residential	3.9km
Yangjeadong	Residential	6.5km
Ssangmundong	Residential	10.5km
Kurodong	Industrial	12.5km
Bang-idong	Rural	14.0km

으로 하였고 측정지점은 표 1과 같으며, 주거지역, 준공업지역, 녹지지역 등으로 구분하였다.

2. 측정개요 및 방법

1994년 1월부터 12월까지 내린 강우를 대상으로 pH, 전도도, 강우량을 자동측정기(Acid Rain Monitor: OGASAWARA.R-1600P형)를 이용하여 매 1mm 단위로 측정 하였다(측정방법은 1986년도 본연구소보 참조)

결과 및 고찰

1. 월별 pH 변화

월별 pH는 그림 1에서와 같이 4월 및 5월이 5.6, 6.2로 가장 높게 나타났고, 8월부터 12월까지는 4.5~4.9로 5.0 이하 이었다. 또 1월부터 7월까지는 pH가 5.0 이상으로 나타나 7, 8월은 높고 1, 12월이 낮았던 예년의 특성은 보이지 않고 있다.

이는 여러가지 요인이 있겠으나 4월의 pH 5.6은 중국 대륙의 황사현상이나 꽃가루 등에 기인되는 양이온 성분에 의해 음이온 성분이 중화되어 높은 pH를 보인 것으로 보인다.

특히, 1월은 겨울철인데도 pH 5.2의 높은 수치를 보인 것은 1월의 적은 강우량에 기인한다. 표 2는 강우를 초우

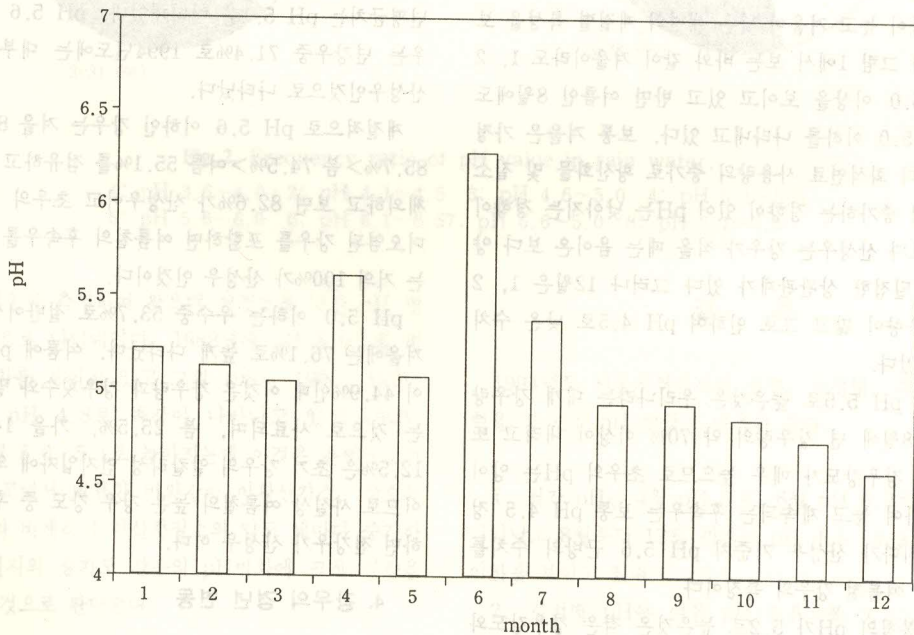


Fig. 1. Monthly average of pH in concentration.

Table 2. Variation of pH, E.C value in early and succeeding rain water.

		pH	E.C	Frqc
Early rain water	1mm	5.4	32	248
	2mm	5.2	24	210
	3mm	5.0	21	192
	4mm	5.1	18	174
	5mm	5.0	17	158
Succeeding water	6mm	5.1	18	153

Table 3. Seasonal variation of pH, E.C rain water.

	pH	E.C	Frqc
spring	5.2	21	208
summer	5.5	20	408
fall	4.8	22	323
winter	4.8	44	88

부터 각 1mm당 나눈것으로 처음 1mm 인 초우는 대기중의 먼지가 최초강우에 의해 씻겨지는 wash out 현상에 의해 초우의 전도도와 양이온은 높게 나타난다. 이로 인하여 강우가 적은 1월은 pH가 높게 나타난 것으로 보인다.

2. 계절별 pH변화

표 3에서와 같이 계절별 pH는 여름 5.5 > 봄 5.2 > 가을 4.8 겨울 4.8로 나타나 있다.

이는 여름이 높고 겨울이 낮은 예년의 계절별 특성을 보이고 있으나 그림 1에서 보는 바와 같이 겨울이라도 1, 2월은 pH 5.0 이상을 보이고 있고 반면 여름인 8월에도 pH 4.9로 5.0 이하를 나타내고 있다. 보통 겨울은 가정 난방 및 기타 화석연료 사용량의 증가로 황산화물 및 질소산화물 등이 증가하는 경향이 있어 pH는 낮아지는 경향이 있으나 이보다 산성우는 강우가 적을 때는 음이온 보다 양이온과 더 밀접한 상관관계가 있다 그러나 12월은 1, 2월보다 강우량이 많고 그로 인하여 pH 4.5로 낮은 수치를 보이고 있다.

여름철의 pH 5.5로 높은것은 우리나라는 대개 강우량이 6, 7, 8월에 년 강우량의 약 70% 이상이 내리고 또 장마철에는 강우강도가 매우 높으므로 초우의 pH는 양이온으로 인하여 높고 계속되는 후속우는 보통 pH 4.5 정도로 떨어지다가 산성우 기준치 pH 5.6 근방의 수치를 보이는것이 여름철 강우의 특징이다.

그리고 봄철의 pH가 5.2로 높은것은 적은 강우강도와 황사의 먼지, 꽃가루 등에 기인하는 양이온(Ca⁺⁺, Mg⁺⁺,

Table 4. Seasonal variation of pH, E.C in early and succeeding rain water.

		spring	summer	fall	winter
Early rain water	1mm	5.9	5.7	5.1	5.1
	2mm	5.2	5.5	4.9	4.6
	3mm	5.1	5.4	4.8	4.5
	4mm	5.0	5.4	4.8	4.4
	5mm	4.9	5.4	4.7	4.5
Succeeding water	6mm	4.9	5.3	4.7	4.6

K⁺, Na⁺, NH₄⁺) 등에 인하여 높은 수치를 보이고 있다. 또 표 4에서 계절별 강우별 pH를 나타낸것을 보면 봄, 여름, 가을 겨울 할것없이 초우에는 pH 5.0 이상을 보이고 있다. 표 2의 전도도를 보면 초우에는 역시 32로 가장 높은 수치를 보이고 있다.

이것은 초우는 음이온, 양이온 모두 높다는것을 잘말해 주는것이다. 따라서 강수의 산성도 만으로 우수의 수질을 평가할수 있는것은 아니고, 초우인지 후속우 인지의 여부와 전도도 그리고 음이온, 양이온 함유량으로 평가할것으로 사료되며 때에 따라서는 초우일때 더심한 산성우가 될 수도 있다.

3. 계급별 pH 출현율

계급별 pH 출현율은 그림 2에서 보는 바와 같이 pH 4.6~5.5사이가 전체 강수중 44.2%를 점유하고 있고, 년평균치는 pH 5.1을 나타내었다. pH 5.6 이하인 산성우는 년강우중 71.4%로 1994년도에는 대부분의 강우가 산성우인것으로 나타났다.

계절적으로 pH 5.6 이하인 강우는 겨울 87.5% > 가을 85.7% > 봄 74.5% > 여름 55.1%를 점유하고 있어 여름을 제외하고 보면 82.6%가 산성우이고 초우의 높은 pH 즉 더오염된 강우를 포함하면 여름철의 후속우를 제외한 강우는 거의 100%가 산성우 인것이다.

pH 5.0 이하는 우수중 53.7%로 절반이상이고, 특히 겨울에는 76.1%로 높게 나타났다. 여름에 pH 5.6 이상이 44.9%인데 이것은 강우량과 강우횟수와 밀접한 관련있는 것으로 사료되며, 봄 25.5%, 가을 14.3%, 겨울 12.5%은 초기 강우의 알칼리성 먼지입자에 의한 높은 pH 이므로 사실상 여름철의 높은 강우 강도 중 후속우를 제외하면 전강우가 산성우 이다.

4. 강우의 경년 변동

본연구원에서 1987년부터 1994년까지 서울 5개지역에

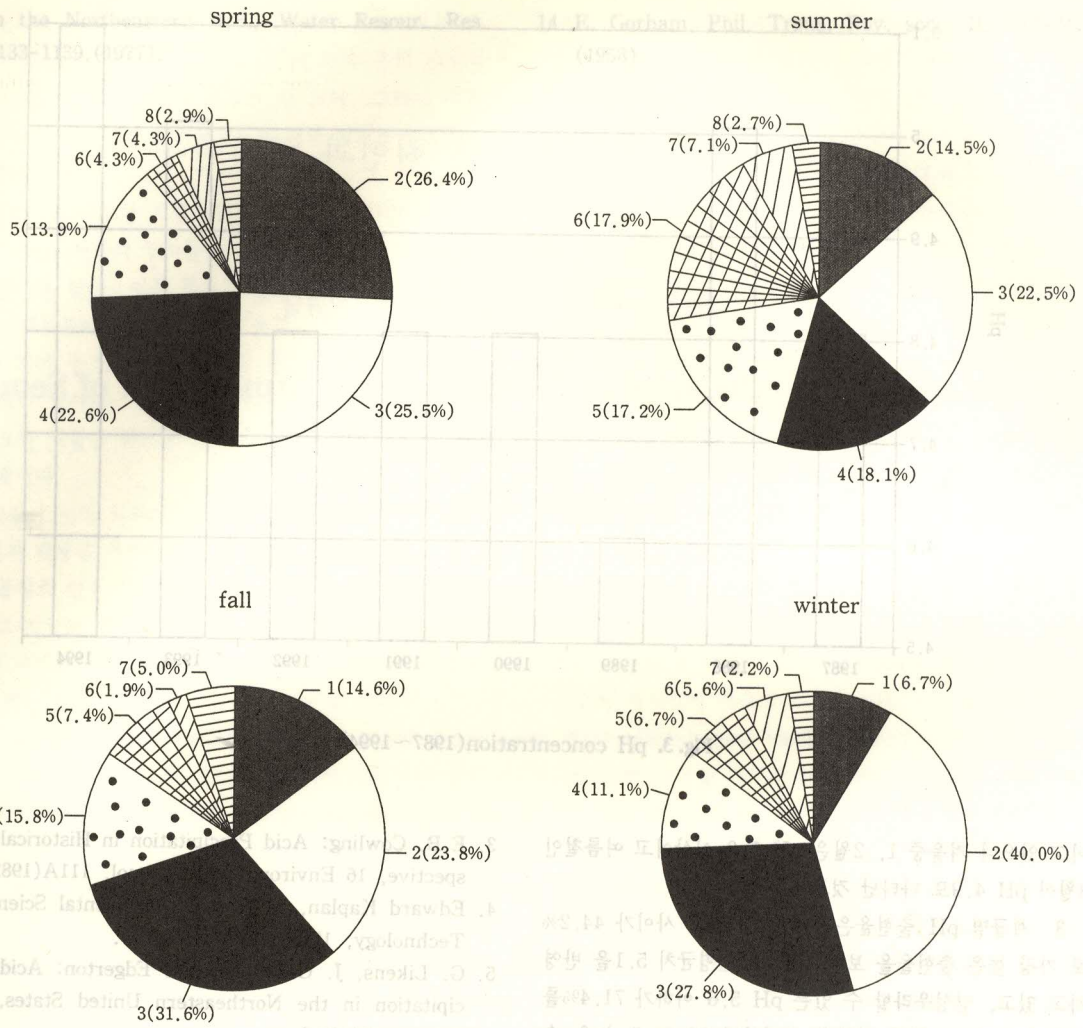


Fig. 2. Frequency ratio of pH value in rain water.

- 1: pH 3.6~4.0 2: pH 4.1~4.5 3: pH 4.6~5.0 4: pH 5.1~5.5
 5: pH 5.6~6.0 6: pH 6.1~6.57: pH 6.6~5.0 8: pH 7.1~7.5

서 계속 산성우를 측정하여 왔으며 이것으로 년간 pH 변동을 그림 3으로 나타내었다. 1988년에 pH 5.0으로 비교적 높은수치를 보이고 있고 그의 1987, 1990, 1991, 1992년도는 pH 4.8로 똑같이 나타나고 있고 1993, 1994년은 pH 5.0, 5.1로 높아지는데 이것은 본연구소의 1992년도 보고서에서 발표한 바와같이 아황산가스, 감소도 현저하나 이와 비례하여 이산화질소의 양도 해마다 증가하고 있으며 먼지의 증가도 강수의 pH변화에 크게 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

결론

1994년도 서울지역에서의 월별, 계절별, 계급별 pH출현율 및 년간 pH 변동은 다음과 같다.

1. 월간 pH는 4월 pH 5.6, 6월 pH 6.2로 가장 높게 나타났고 8월부터 12월까지는 pH 4.5~4.9로 pH 5.0 이하를 보이고 있다.
2. 계절별 pH는 여름 pH 5.5 > 봄 5.2 > 가을 4.8, 겨울 4.8로 나타났으며 이것은 예년과 비슷한 양상을 보

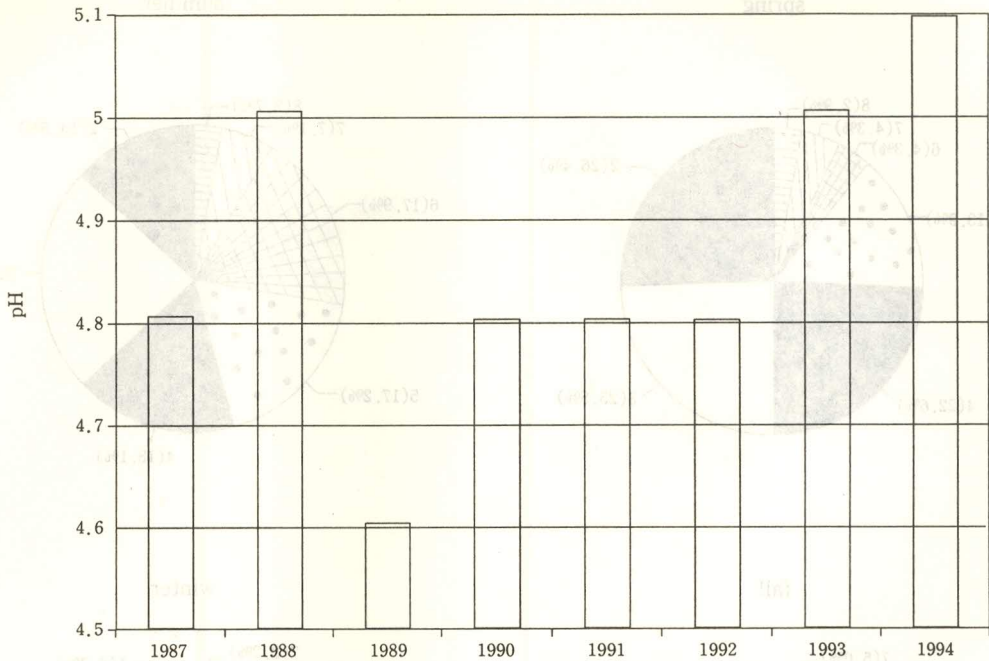


Fig. 3. pH concentration(1987~1994).

이고 있으나 겨울중 1, 2월은 pH 5.0 이상이고 여름철인 8월이 pH 4.9로 나타난 것도 있다.

3. 계급별 pH 출현율은 pH 4.6~5.5 사이가 44.2%로 가장 높은 출현율을 보여 1994년 년평균치 5.1을 반영하고 있고, 산성우라할 수 있는 pH 5.6 이하가 71.4%를 점유하고 있고, 특히 여름을 제외하면 82.6%로 높은 수치를 보여준다. 이는 여름철 강우많은 때를 제외하면 년중 내리는 강우는 거의 산성우다.

4. 연간 pH 변화는 pH 4.8이 1987, 1990, 1991, 1992년도에 나타났고 1993, 1994년도에 pH 5.0, 5.1로 나타났으나 이것은 아황산가스 감소도 현저하나 이와 비례하여 이산화질소의 양도 해마다 증가하고 먼지의 증가도 강수의 pH값 변화에 크게 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. J. Brockman: Acid rain Corroding United States-Canadian Relations, 357-359(1985).
2. Ross Howard, Michael Perley: Acid Rain the North American Forecast, Toronto, Canada(1980).

3. E.B. Cowling: Acid Precipitation in Historical Perspective, 16 Environ. Sci. Technol. 111A(1982).
4. Edward Kaplan, *et al.*: Environmental Science & Technology, 15(5), 539-544(1981).
5. G. Likens, J. Galloway & E. Edgerton: Acid Precipitation in the Northeastern United States, 194 Science 43(1974).
6. R. Carson, Silent Spring Boston: Houghton Mifflin, p.78(1962).
7. 박종휘: 산성강우 현상에 관한고찰, 화학과 공업의 진보.22(2) p.60(1982).
8. 신응배, 이상배, 안규홍: 서울시 산성비의 원인물질에 관한 연구. 한국대기보전학회지, 2(2):66-74.(1989).
9. 이상권: 우수성분분석을 통한 Acidic Precipitation에 관한 연구, 석사논문, 서울대(1984).
10. 이민희: 황사현상시 강우시 화학적 특성에 관한 연구. 한국대기보전학회지, 5(2):1-11.(1989).
11. 강희곤, 여인학, 김광영 등: 서울지역의 산성강우현상에 관한 연구, 서울시 보건환경연구원보, 23:283-313,(1987).
12. 박성배, 김민영, 김광진 등: 서울지역에 있어서의 산성강우 현상에 관한 연구, 서울시보건환경연구원보, 28:277-285(1992).
13. G.E. Licholas, C.V. Cogbill: Acid Precipitation

in the Northeastern U.S., Water Resour. Res. 14: 1133-1139, (1977).

14. E. Gorham, Phil. Trans. Roy. Soc., B, 147-247 (1958).

인 경우 및 수질의 보전에 관련된 바 크다. 그러나 지역 주민들이 느끼는 수질 오염의 심각성은 실제 수질 오염보다 훨씬 심각하다.

물과 관련된 수질 오염은 대기에서 화학물질을 일으키는 원인이 될 수 있다. 이러한 물질들은 형성하므로 지역 주민들이 느끼는 수질 오염의 심각성은 실제 수질 오염보다 훨씬 심각하다.

A Study on the Obstacles to Visibility in the Atmosphere of Seoul City and a Countermeasure

Kwang-Jin Kim, In-Hak Yoo, Min-Young Kim, Jae-Young Shin and Kye-San Lee
본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구는 서울의 대기 오염이 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다. 연구는 서울의 대기 오염을 측정하고, 시정 저하에 미치는 영향을 조사하고, 이를 개선하기 위한 방안을 제시한다.