

1997년까지의 강수 산성도 자료 보정에 대하여

On the Correction of the Acidity Data of Wet Precipitation till 1997

김현진 · 김용표 · 김진영 · 조하만¹⁾ · 전영신¹⁾

한국과학기술연구원 지구환경연구센터

¹⁾기상연구소 응용기상연구실

(1999년 7월 14일 접수, 1999년 8월 30일 채택)

H.J. Kim, Y.P. Kim, J.Y. Kim, H.M. Cho¹⁾ and Y.-S. Chun¹⁾

Global Environmental Research Center,

Korea Institute of Science and Technology

¹⁾Applied Meteorology Research Lab.,

Meteorological Research Institute

(Received 14 July 1999; accepted 30 August 1999)

1. 배 경

우리 나라 환경부의 강수 산성도 공식 자료는 1997년까지는 강수(비, 눈 등의 습식침적물을 총칭함)의 평균산성도를 각 강수시의 산성도(pH)를 산술평균하여 구하였다. 이 방법은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{pH} = \sum_{i=1}^N \frac{pH_i}{N} \quad (1)$$

이때, N은 시료개수이며, \overline{pH} 는 평균산성도이다.

그러나 강수의 산성도는 용액의 수소이온농도([H⁺])에 의해 좌우되며, 산성도의 지표인 pH는 식(2)에서와 같이 수소이온농도로부터 계산되는 값이다.

$$pH = -\log [H^+]. \quad (2)$$

따라서, pH의 산술평균은 수소이온농도의 산술평균과 다르게 되므로, 강수의 정확한 산성도를 나타내지 못할 수 있다. 더구나 강수량을 고려하지 않을

경우에는 더욱 더 강수의 정확한 산성도와는 다른 값을 나타낼 수 있다. 이와 같은 점들을 고려하여 환경부에서는 1998년부터 강수의 평균산성도 산출 방법을 과학적으로 보다 타당한 식(3)과 같은 방법으로 수소이온농도의 강수량을 가중하여 평균하는 방법으로 바꾸어서 실행하고 있다.

$$\overline{pH} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i [H^+]_i}{\sum_{i=1}^N P_i} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i 10^{-pH_i}}{\sum_{i=1}^N P_i} \quad (3)$$

여기서 P_i는 각 강수시의 강수량(mm)이다.

그러나 1997년까지의 우리 나라 강수의 평균산성도에 관한 공식자료는 식(1)과 같은 방법으로 계산한 산성도의 단순산술평균 자료이므로, 이로부터 우리 나라 강수의 산성도에 대한 의미 있는 경향을 파악하기 어렵다. 한 예로 과연 우리 나라에 내리는 비가 산성비인지의 여부를 파악하기도 힘들 경우가 있다.

환경부의 산성비 기준은 대기중의 이산화탄소 농도의 포화용액의 산성도인 5.6이다. 즉 산성도 5.6

이하인 강수를 산성비로 간주한다(환경부, 1995). 그러나 1970년대에 세계 여러 곳의 청정지역에서의 빗물의 산성도를 측정한 결과 산성도가 5.0 전후까지 떨어지는 것을 자주 관찰하게 되었다. 이는 바다 속의 미생물이나 식물에서 자연적으로 발생하는 황, 질소산화물과 유기산들에 의한 것이다. 또한 일반적으로 산성도가 5.0보다 낮은 경우에 산성비의 피해가 나타나는 것으로 나타났다. 따라서 1980년대 중반이후 대기화학분야에서는 산성도가 5.0 미만인 강수를 일반적으로 산성비로 간주하고 있다(Finlayson-Pitts and Pitts, 1986; Seinfeld, 1986).

산성도 5.0 미만을 산성비로 삼는다면 1986년부터 1997년 사이에 우리 나라 7대 대도시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산)에서 연평균 기준으로 산성비가 내린 경우는, 1987년에 울산에서 연평균 산성도가 4.9로 산성비가 내린 이외에는 없는 실정이다. 또한 1997년의 이들 7대 도시의 월평균 산성도가 5.0 미만인 달이 자료가 있는 80회 중에서 4회가(5%) 관측되었다. 즉, 공식 자료에 의하면 1997년까지 우리 나라에서의 산성비문제는 없다고 할 수 있다(환경부, 1998). 그러나 강수 산성도 평균의 계산 방법이 바뀐 1998년에는 서울, 부산, 대구, 광주, 대전, 울산, 여천의 7개 도시의 월평균 강수 산성도자료가 있는 82회 중 산성도 5.0 미만인 달이 33회(25%) 관측되었다. 특히 부산, 여천, 대전의 경우에는 각각 9개월, 8개월, 6개월의 평균 산성도가 5.0 미만이었다(환경부, 1998~1999).

더욱이 최근 환경부의 선도기술개발연구사업으로 수행된 서울 등 도시와 배경지역이 고루 선정된 9개 측정소에서의 1996~1998년 사이의 평균 강수 산성도는(수소이온 농도의 강수량 가중평균으로 계산한 값임) 4.67~4.94로 정부의 공식발표와는 차이를 보이고 있다(박순웅 등, 1999).

이와 같은 결과는 두 가지 문제를 제기하고 있다. 우선 그 동안의 우리 나라 산성비에 관한 공식 자료의 신뢰성에 대한 의문이 제기된다. 이는 강수 산성도 자료가 국제적으로도 중요한 자료로 널리 인용되고 있는 것을 감안하면 국제적으로도 큰 문제일 뿐만 아니라, 국가의 다른 환경 자료의 신뢰성에도 흠집을 내는 것이다. 또한 그 동안 우리 나라의 산성비와 관련한 대기 환경 대책 등의 정책이 기존 산성비 자료에 바탕을 두고 수립되었을 것을

감안하면, 경제적인 문제는 차치하더라도, 정책의 실효성이 문제가 되는 심각한 문제이다. 따라서 기존의 강수 산성도에 관한 정부의 공식 자료는 현 기준으로 다시 환산되어야만 한다.

그렇다면, 또 하나의 문제는 기존의 강수 산성도 자료는 과학적으로 보다 정확한 현재의 계산방법으로 환산한다면 어느 정도의 차이를 나타낼 것인가 하는 것이다. 즉 기존의 강수 산성도가 어느 정도 바뀔까 하는 것이다. 이는 자료의 연속성이라는 면과 우리 나라의 산성비 변화 경향을 파악하기 위해서, 또 국가 공식자료의 신뢰성 확보라는 점에서 필수적으로 해결해야 하는 문제이다.

기존의 강수 산성도 자료를 현 기준으로 환산하는 데에는 두 가지 방법이 있다. 우선, 기존 산성도 자료의 원자료(raw data)를 현재 기준으로 다시 계산하는 것이다. 이는 정확한 방법이나, 인력과 시간이 많이 요구된다. 또 다른 방법은 기존 자료를 현 기준에 의한 산성도로 환산하는 환산계수나, 통계모델을 개발하는 것이다. 즉, 기존 자료에 의한 값과 현 기준으로 다시 환산한 값 사이의 어떤 상관관계를 찾는 것이다. 이 방법은 가능만 하다면, 여러 면에서 간편한 방법이 될 수 있다.

이 토의에서는 이러한 간단한 환산 방법이 과연 타당한지, 또는 시간과 노력이 들더라도 원자료를 다시 계산하여야 하는 지에 대한 저자의 의견을 밝히고자 하였다.

2. 방법론과 결과

기존 강수 산성도 자료를 현 기준으로 환산한 값이 어떤 관계식으로 간단히 표시되는 지를 확인하기 위해 각 강수마다 산성도와 강수량이 제시되어 있는 기존 강수 자료를 기존 강수 산성도 산출방법(식(1))과 현 기준(식(3))으로 산출하여 그 차이가 어떤 변수들과 관련이 있는지 알아보았다.

검토에 사용한 자료는 두 가지이다. 하나는 국립환경연구원에서 1992년에 불광동과 광화문에서 측정한 자료이다(강인구 등, 1992). 이 자료는 도심 지역의 자료로서 월별 강수량과 산성도가 제시되어 있어, 이를 계절별과 연평균으로 환산하였다. 다른 자료는 기상청 산하 양평 기상관측소에서 1994년 3월부터 1997년 11월까지 측정한 자료이다(조하만

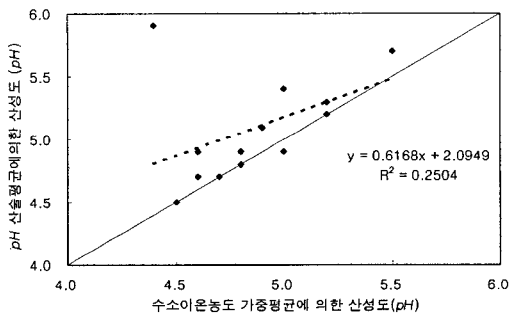
표 1. 국립환경연구원의 서울시 강수자료의 산출방법에 따른 강수의 평균산성도 (pH).

(가) 1992년 불광동

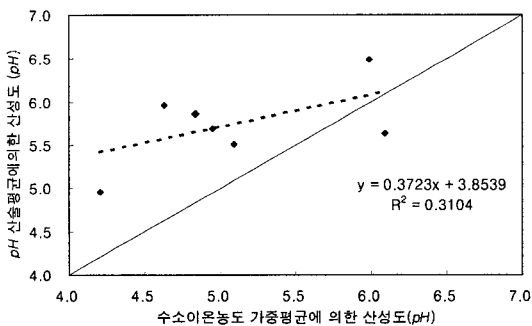
| | pH 산출평균 | 수소이온농도 가중평균 | 평균값 차이 | 강수량 (mm) |
|-----|---------|-------------|--------|----------|
| 봄 | 5.86 | 4.83 | 1.03 | 240.30 |
| 여름 | 5.69 | 4.95 | 0.74 | 734.60 |
| 가을 | 5.51 | 5.09 | 0.42 | 239.30 |
| 겨울 | 4.96 | 4.21 | 0.75 | 97.20 |
| 연평균 | 5.50 | 4.82 | 0.68 | |

(나) 1992년 광화문

| | pH 산출평균 | 수소이온농도 가중평균 | 평균값 차이 | 강수량 (mm) |
|-----|---------|-------------|--------|----------|
| 봄 | 5.63 | 6.09 | -0.46 | 127.90 |
| 여름 | 5.96 | 4.63 | 1.33 | 242.50 |
| 가을 | 5.86 | 4.84 | 1.02 | 153.90 |
| 겨울 | 6.49 | 5.99 | 0.50 | 10.00 |
| 연평균 | 6.02 | 4.90 | 1.12 | |



(a) 양평 (1994 - 1997년)



(b) 불광동, 광화문 (1992년)

그림 1. 산성도 산출방법의 차이에 따른 산성도.

등, 1998). 이 자료는 비교적 오염이 덜 된 지역의 자료이며, 강수별 강수량과 산성도가 제시되어 있어 이를 계절별과 연평균 자료로 환산하였다. 그 결과

를 표 1과 2에 보였다.

표 1을 보면 서울시 두 측정소에서 측정된 강수의 연평균 산성도는 수소이온농도의 가중평균에 의한 값이 산성도 단순산출평균에 의한 값보다 0.68과 1.12가 낮았다. 이 경우 불광동과 광화문 모두 연평균 산성도가 5.0 이하로 산성비인 것으로 나타났다.

그러나 표 2에서 보듯이 양평에서의 강수 연평균 산성도는 수소이온농도의 가중평균에 의한 값이 산성도 단순산출평균에 의한 값보다 낮기는 했으나, 그 차이는 0.0~0.6으로 그다지 크지 않았다. 더욱이, 1995년은 두 가지 방법으로 구한 산성도가 같았다.

서울과 양평 모두 표 1과 2에서 보듯이 계절별 강수 산성도에 어떤 경향을 찾기 힘들다. 이는 그림 1의 양평과 서울에서의 다른 방법으로 산출한 두 종류의 강수 계절평균 산성도의 분산도(scattergram)를 살펴보면 더욱 명확해진다. 즉 두 방법으로 구한 산성도는 서로 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 경우에 따른 강수량과 강수에 포함된 이온의 종류와 농도가 다르기 때문에 기존의 강수 산성도 자료에서 간편하게 현 기준으로 산성도를 환산할 수 없다는 것을 보여주는 것이다. 이는 산성도를 산출하는 방법을 감안하면, 오히려 당연한 결과라 할 수 있다.

결론적으로 다시 요약하면, 우리 나라 환경관련 자료의 신뢰성을 확보하고, 강수산성도 자료의 연속

표 2. 기상연구소의 양평 강수자료의 산출방법에 따른 강수의 평균산성도 (pH).

(가) 계절별 평균산성도

| 계 절 | pH 산술평균 | 수소이온농도 가중평균 | 평균값 차이 | 시료수 | 강수량 (mm) |
|----------|---------|-------------|--------|-----|----------|
| 1994년 봄 | 5.9 | 4.4 | 1.5 | 8 | 173 |
| 1994년 여름 | 4.8 | 4.8 | 0.0 | 10 | 465 |
| 1994년 가을 | 4.7 | 4.6 | 0.1 | 5 | 120 |
| 1995년 봄 | 5.4 | 5.0 | 0.4 | 6 | 120 |
| 1995년 여름 | 4.9 | 5.0 | -0.1 | 17 | 1220 |
| 1995년 가을 | 4.9 | 4.6 | 0.3 | 3 | 42 |
| 1995년 겨울 | 5.2 | 5.2 | 0.0 | 2 | 15 |
| 1996년 봄 | 5.7 | 5.5 | 0.2 | 4 | 78 |
| 1996년 여름 | 4.9 | 4.8 | 0.1 | 16 | 563 |
| 1996년 가을 | 4.5 | 4.5 | 0.0 | 3 | 57 |
| 1996년 겨울 | 4.7 | 4.7 | 0.0 | 2 | 41 |
| 1997년 봄 | 5.1 | 4.9 | 0.2 | 8 | 255 |
| 1997년 여름 | 5.3 | 5.2 | 0.1 | 9 | 472 |
| 1997년 가을 | 5.7 | 5.5 | 0.2 | 5 | 116 |

(나) 연별 평균산성도

| 연 도 | pH 산술평균 | 수소이온농도 가중평균 | 평균값 차이 | 시료수 | 강수량 (mm) |
|-------|---------|-------------|--------|-----|----------|
| 1994년 | 5.2 | 4.6 | 0.6 | 23 | 758 |
| 1995년 | 5.0 | 5.0 | 0.0 | 26 | 1382 |
| 1996년 | 5.0 | 4.8 | 0.2 | 25 | 711 |
| 1997년 | 5.2 | 5.1 | 0.1 | 24 | 884 |

성을 갖기 위해서는 기존의 강수 산성도 자료를 원 자료를 이용하여 현재의 산성도 환산방법으로 계산 하여야 한다.

사 사

이 연구는 한국과학기술연구원의 기관고유사업 (K-2000)으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

강인구, 이창기, 한의정, 신찬기, 한진석, 박태술, 장남익, 최수연, 권평수, 심규호 (1992) 대기오염과 산성비에 의한 피해조사 및 평가에 관한 연구(II-1)-대기오염과 산성비에 의한 물질손상을 중심으로-

로-, 국립환경연구원보 14, 107-125.

박순용 등 (1999) 산성비 감시 및 예측기술 개발 제 2단계 3차년도 보고서, 환경부.

조하만, 최재천, 김지영, 전영신, 김 산 (1998) 1994~1997년 중부지방에 내린 강수의 화학적 특성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 14, 589-598.

환경부 (1995) 환경백서, 서울.

환경부 (1998) 환경백서, 서울.

환경부 (1998-1999) 환경정보 66-77호, 서울.

Finlayson-Pitts, B.J. and Pitts Jr., J.N. (1986) Atmospheric chemistry: Fundamentals and experimental techniques, John Wiley & Sons, New York, USA.

Seinfeld, J.H. (1986) Atmospheric chemistry and physics of air pollution, Wiley-Interscience, New York, USA.