

제주지역의 대기질 중의 음이온 및 양이온의 분포와 변이성

신방식¹ · 이형환³ · 이근광^{1,2*}

¹동방대학원대학교 자연치유학과, ²고구려대학 피부미용학과, ³건국대학교 생명과학과

Daily Variation and Distribution of Anions and Cations in the Aerosols of Jeju Island

Bangsik Sin¹ · Hyung H. Lee³ · Lee Keun Kwang^{1,2*}

¹Dept. of Naturopathy, Dongbang Culture Graduate University, Seoul, Korea

²Dept. of Skin Care, Goguryeo College, Jeonnam, Korea

³Dept. of Biological Sciences, Konkuk University, Seoul 05029, Korea

(Received March 5, 2018 / Accepted March 14, 2018)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the distribution and variation of the anion and cation number in the aerosols at 16 sites in the Jeju area. The average value of anion counts was ranged from 449.35 ions/cm³ at Jeju city to 3471.25 ions/cm³ in the Chunjiyeon falls. In order, the lowest Jeju-si < hamdeok < 1100 m < farm < gyorae A < saryoni < jeolmul < gyorae B < geomunoreum < halla forest < hallasan garden < seongpanak < dongbaeksan < jeongbang < wonyang, respectively. There was statistically significant difference between the anion counts of the measured values in the order of elevation. The mean value of cation measurements was from 90 ions/cm³ for Cheonjiyeon, to 729.8 ions/cm³ for Halla forest garden, which showed the highest value. In order, the lowest 729.8 ions/cm³ of Cheonjiyeon < 1100 m < dongbaeksan < Jeju-si < saryoni < wonyang < seongpanak < hamdeok < jeongbang < gyorae B < jeolmul < Farm < gyorae A < halla forest < geomun and < halla garden, respectively. The geographically low area and the high area were measured low and difference in the two ions. The differences between the content of the anion, cation and/or altitude were significant each other in the variance analysis. The correlation between the anion and cation content and/or altitude was statistically significant ($r=.396, p<.001$). In conclusion, the result of showing the temporal distribution and variation of the anion and cation content in the aerosols in Jeju island forests provides important information for healthcare.

Key words: Anion, Cation, Jeju, Forest, Gyorae, Correlation

초록: 본 연구는 제주의 휴양림 지역을 중심으로 16개 지점을 정해서 일간 별에 따른 대기질 중의 음이온과 양이온수를 측정하여 그 분포와 변이에 대한 연구가 목적이었다. 측정 평균수의 범위는 제일 낮은 제주시 449.35 ions/cm³, 제일 높은 천지연폭포는 3471.25 ions/cm³의 범주로 나타났다. 순서로 보면, 제일 낮은 제주시 < 함덕 < 1100 m < 농장 < 교래A < 사려니 < 절물 < 교래B < 거문오름 < 제주시 < 한라 숲길 < 한라산 수목원 < 성판악 < 동백산 < 정방 < 원양 < 천지연 순이었다. 고도 순으로 측정치의 음이온수치 함량의 차이를 일정하게 차이를 보이지는 않았으나, 통계적으로는 유의한 차이($p<.001$)가 있었다. 양이온 평균수가 낮은 천지연폭포는 90 ions/cm³, 제일 높게 나타난 한라산 수목원의 수는 729.8 ions/cm³이었으며, 그 차이는 729.8 ions/cm³로 높게 나타났다. 높은 순서로 보면 제일 낮은 천지연 < 1100 m < 동백산 < 제주시 < 사려니 < 원양 < 성판악 < 함덕 < 정방 < 교래B < 절물 < 농장 < 교래A < 한라산 숲길 < 거문오름 < 한라수목원 순으로 측정되었다. 음양이온 모두 지형적으로 낮은 지대와 높은 지역은 함량이 낮게 측정되었다. 음이온과 양이온 및 고도의 분산분석에서 측정지역 간의 함량차이는 모두 유의성이 있었고, 또한 음이온과 양이온의 함량차이도 유의성이 있었으며, 고도와의 차이도 모두 유의성이 있었다. 상기의 음이온, 양이온 함량과 고도와의 요인의 상관관계분석에서도 정적인 상관관계가 유의하게 나타났다($r=.396, p<.001$). 결론적으로 본 연구는 제주도 지역의 곳자왈 대기질 중의 이온의 분포에 대한 기초 연구로서 삼림육을 통한 건강관리에 중요한 정보를 제공하고 있다.

주제어: 음이온, 양이온, 제주, 삼림, 교래, 상관관계

*Corresponding author
E-mail: kkleee@kgrc.ac.kr

서론

제주도는 긴 타원형이며 한반도 남쪽으로 약 83 km 떨어진 곳에 위치하고 있다. 근래는 기후가 점점 아열대성으로 변해가 있다. Song(2016)은 제주도 서쪽은 서해바다, 동쪽은 쿠르시오해류의 영향을 받으며, 제주도 중앙에는 해발 1950 m의 한라산이 솟아있고, 남쪽 해안은 절벽이 많으며, 북쪽해안은 완만한 경사면으로 되어 있다고 하였다. 기후로 보면 제주도는 한라산을 중심으로 동서남북으로 크게 나누어진다. 북쪽은 겨울철에는 강우량이 적고, 서쪽은 풍세가 강하고 비가 적고, 동쪽은 비가 많이 오고 기온은 비교적 높은 편이다.

Song(2016)은 제주도에 꽃자왈이 이루어지는 이유는 한라산 서쪽과 동쪽의 경사면의 계곡이 완만하여 꽃자왈이 분포가 되어 있는 지역이라 하였다. 꽃자왈에는 작은 자갈과 덩굴나무 등으로 구성되어서 물이 고이는 곳으로 지하수 함량에 영향을 주고 있다 하였다.

제주도에는 꽃자왈 지대는 애월, 한경-안덕, 조천과 구좌꽃자왈 지대로 구분하고 있다(Song, 2000; Song, 2016). 꽃자왈에는 상록활엽수와 낙엽활엽수 등이 우거져있으며 자연에 피톤치드를 방산하고 있다. 피톤치드(phytoncide)는 식물이 대기 중에 방출하는 방어용 화학물질이며, 세균에 대한 항균 및 오염된 곳의 탈취 등 다양한 작용을 보유한 휘발성 물질이다(Muller-Dietz, 1956). 피톤치드는 산림에서 방출되는 휘발성인 페놀성 물질, 테르펜류, 플라보노이드, 알칼로이드 등을 총체적으로 '피톤치드'라 한다(Kang, 2003).

제주의 절물휴양림에는 여러 개의 산책로가 있으며, 그중에서 삼나무 길에서는 측정된 피톤치드의 일일 평균 생산량은 1,087 pptv이었고, 여름철에는 일일 최대 1,500 pptv가 분포되었고, 대기질 중의 계절별 분포 비는 여름>가을>봄>겨울 순으로 높게 방출되었다. 하루 중에는 오전 12~14시에 높게 분포되었다. 대기질 중의 분포된 피톤치드의 성분은 나무의 종류에 따라서 차이가 있으며, 구상나무가 있는 지역은 d-limonene, 삼나무가 있는 지역은 sabinene, 활엽수 지역은 α -pinene 성분이 주로 분포되었다(Kim *et al.*, 2013).

삼림분포지역인 서귀포휴양림 지역에는 활엽수, 편백나무 등이 많이 서식하며, 활엽수 성장 지대는 피톤치드 분비량이 304~324 pptv, 편백나무 성장 지대는 983 pptv가 분포되었다. 계절에 따라서 차이가 있었다. 여름에는 편백나무 숲에서는 1,441 pptv가 분포되었고, 추계에는 1,073 pptv, 춘계에는 897 pptv, 동절엔 520 pptv가 측정되었다. 검출된 피톤치드 성분은 편백나무 삼림에서는 음이온인 sabinene(25%), d-limonene(20%) 등이 방출되었다(Kim *et al.*, 2013).

섬으로 이루어진 제주도는 대기질 또 대기화학의 연구에 적당한 지대이다. 지리적으로 육지에서 많이 격리되어있고, 화산 분출로 생긴 섬이며, 공산업 지역이 아니기 때문에 적합도가 높게 평가되는 지대이다. 제주도의 대기질에는 음이온과 양이온 등이 혼재하는 것으로 보고되었다(Carmichael *et al.*, 1996, 1997). 제주도에서 1992~1993년도 채집한 대기질

중의 연간 평균 탐색한 이온종류와 함량은 ammonium은 1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, calcium은 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, chlorine은 1.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natrium은 1.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nitrate는 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, magnesium은 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, potassium은 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sulfate는 7.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 등으로 음이온과 양이온이 검색되었다고 보고하였다. 계절별로 함량이 다양하게 변이성이 높았다고 판단하였다(Carmichael *et al.*, 1996). Carmichael *et al.*(1997)은 제주도에서 1992~1995년도 까지 3년간의 평균 측정에서는 ammonium(NH_4^+)은 1.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, calcium(Ca^{2+})은 0.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, chlorine(Cl^-)은 1.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natrium(Na^+)은 1.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nitrate(NO_3^-)는 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, potassium(K^+)은 0.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, magnesium(Mg^{2+})은 0.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sulfate(SO_4^{2-})는 7.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 등으로 음이온과 양이온이 검색되었다. 조사에서 대기질의 이온의 종류와 농도는 표집시간과 장소에 따라서 변이성이 높았고, 계절적으로도 대기질에 유지되는 것도 변이성이 높게 나타났었다. 또한 Chen *et al.*(1997)은 1992~1995년 사이 3년간을 매일 측정된 제주지역 대기질 중에는 NH_4^+ 는 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Ca^{2+} 는 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cl^- 은 1.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Mg^{2+} 는 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Na^+ 는 1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_3^- 는 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, K^+ 는 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, SO_4^{2-} 는 6.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 등으로 음이온과 양이온이 검출하였다. 각 성분은 계절적으로 순환하는 듯 했으며, sulfate, nitrate, ammonium, potassium, calcium 등의 농도는 특히 봄철에 높게 나타났으며, 반면에 chlorine 농도는 10% 정도 낮게 평가되었다고 하였다. 인체 생리대사에 미치는 영향의 연구에서 Lee & Lee(2012, 2013)는 삼림욕 후에는 혈압, 맥박 및 코티솔 호르몬, 스트레스가 유의하게 저하되는 것을 보고하였다.

Lim *et al.*(2012)는 2007~2008년에 제주도의 고산지역에서 조사한 일일 평균 미세먼지 조사량은 $\text{PM}_{1.0}$ 은 13.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{2.5}$ 는 17.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} 은 28.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나왔으며, 미세먼지에는 다량의 유기탄소 성분과 음이온과 양이온 물질이 존재하였다. 이상의 선행 연구에서는 다년간 조사하였어도 일일 간의 이온의 분포와 유지 현황에 대한 것은 미비하였다.

본 연구는 제주지역 자연휴양림 꽃자왈지역을 중심으로 16개 지점을 설정해서 일간 별에 따른 대기질 중의 음이온과 양이온수를 측정하여 그 분포와 변이에 대한 연구를 하는 것이 목적이었다.

재료 및 방법

연구 대상 지역, 기간 및 측정 횟수

연구대상지역은 제주도 내의 중요 지역 16개 지역을 대상으로 조사를 하였다(Fig. 1).

연구기간은 2017년 6월 28일~7월 20일 사이에 집중적으로 실시하였다. 제주지역의 음이온과 양이온 측정 지역의 분포와 횟수는 Table 1에 제시하였다.

대기질 측정기기

대기질의 음양이온을 파악하기 위해 대기이동 측정차량(API

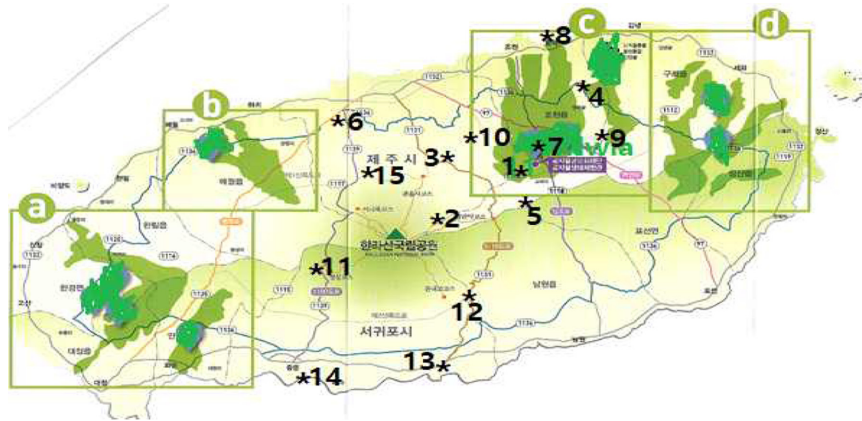


Fig. 1. Gotjawal regions and sites measured ion in the Jeju Island. Greenish gotjawal areas: a: Hankyung, b: aewol c: Jochun-hamdeok, d: Seongsan-soosan. Star No. sites: 1: gyorae forest, 2: seongpanak, 3: halla eco-forest, 4: dongbaeksan forest, 5: saryoni gil, 6: halla forest garden, 7: nature & human farm, 8: hamdeok seaside, 9: geomun oreum, 10: jeolmul forest, 11: Mr. Hall 1100 height, 12: wonyang fall, 13: jeonbang fall, 14: cheonjiyeon fall, 15: Jeju city. (Outed from The Gotjawal Trust of Jeju)

Table 1. Sites and Times of measurement of anions and cations in the Jeju Island

No.	Regions	Sites measured	Total times measured
1	gyorae forest	9 (A & B)	180
2	seongpanak	2	8
3	halla eco-forest	2	8
4	dongbaeksan	2	8
5	saryoni gil	2	8
6	halla forest garden	2	8
7	nature-human farm	4	38
8	hamdeok seaside	2	8
9	geomunoreum	1	4
10	jeolmul forest	2	8
11	Mt. Halla 1100	2	4
12	wonyang fall	1	4
13	jeonbang fall	1	4
14	Cheonjiyeon fall	1	4
15	Jeju city	5	20

100~400, Teledyne; BAM 1020, Met one, USA)을 이용하였다. 제주도 전지역의 휴양림 중심으로 측정하였다. 대기질 조사항목은 종합적으로 대기질 중의 음이온과 양이온수를 2~3일에 걸쳐 조사 자동 기록하였다. 측정기기의 성능은 공기유량 200 cm³/s(선속도 40/초), 이온수집효율 65% (100%로 환산하여 이온수를 표시), 입력저항 50 GΩ (기가Ω), 측정범위 10~2,000,000 이온/cm³, 측정검출시간 약 10초, 전원 9 V 알칼리전지 1개, 중량 약 500g, 규격 160×90×58 mm이다. 측정샘플은 회사에서 공급하는 것을 사용하였으며, 측정 방법은 회사의 지침대로 실시하였다.

결과 및 고찰

지역별 측정결과의 분석

교래자연휴양림 지역의 측정결과

교래자연휴양림 내의 A지역 5개 지점과 B지역의 4개 지점에서 측정한 결과는 Table 2에 제시하였다. A지점의 5개 지역에서 2017년 6월 28일부터 7월 13일 사이 6일간에 측정한 전체 평균 음이온수는 734.5 ions/cm³, 양이온수는 463.3 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 25.5°C, 습도는 81.6%, 풍속은 0.28 m/sec, 측정 지역의 해발 고도는 455.7 m이었다.

교래자연휴양림 B지점의 2017년 7월 5일부터 13일 사이의 1~3일 간격으로 측정한 4개 지역 전체 평균 음이온수는 780 ions/cm³, 양이온 함량은 379.55 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 27.6°C, 습도는 80%, 풍속은 0.1 m/sec, 측정 지역의 해발 고도는 477 m이었다. 지점 간에서도 시간의 변화에 따라서 수시로 음이온과 양이온의 함량이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 음이온과 양이온의 수는 14:20 사이가 비교적 높았다.

Carmichael *et al.*(1996)은 1992~1993년도 제주도에서 채취한 대기질의 연간 평균 측정치는 sulfate(SO₄²⁻)는 7.0 μg/m³, nitrate(NO₃⁻)는 1.2 μg/m³, ammonium(NH₄⁺)은 1.4 μg/m³, natrium(Na⁺)은 1.66 μg/m³, potassium(K⁺)은 0.4 μg/m³, calcium(Ca²⁺)은 0.5 μg/m³, magnesium(Mg²⁺)은 0.3 μg/m³, chlorine(Cl⁻)은 1.9 μg/m³ 등으로 음이온과 양이온이 검출되었다고 보고하였다. 계절별로 함량이 다양하게 변이성이 높았다고 판단하였다. 김형철 등(2013)은 제주지역 절물휴양림에서 대기질 조사에서 sulfate는 1 ppb/cm³, NO₂는 1 ppb/cm³, 및 CO는 0.1 ppm/cm³ 농도로 존재하는 것을 발표하였다. 또한 김형철 등(2013)은 서귀포지역 휴양림에서도 유사한 물질의 존재를 확인하였다. 이들 물질을 무게 단위로 측정을 하여 비교할 수는 없지만 대기질에 음성이온과 양성이온이 존재하는 것은 본 연구와 유사하다.

Table 2. Estimates of anion & cations measured at Gyora forest

Gyora	Time	Freq.	Mean (ion no./cm ³)			Mean Temp. (°C)	Mean Hum (%)	Mean WV (m/sec)	Alt (m)	Date tested
			anion	cation	DV					
A	09:02-11:41	4	734.5	463.3	279.73	25.5	81.6	0.28	455.7	7. 13.
B	14:09-16:11	4	780	379.55	400.45	27.6	80	0.1	477	7. 13.
Mean			757.12	421.43	335.69	26.55	80.80	0.19	466.4	

Abbreviations: Freq: frequency, DV: deviation = anion numbers – cation numbers, Temp: temperature, Hum: humidity, WV: wind velocity, ALT: altitude. The abbreviations are followed as the same in the next tables.

성판악 휴게소의 음양이온수의 측정치

성판악 휴게소의 2지점인 A1과 A2지점에서 7월 17일 오후에 각각 4회씩 측정된 평균치를 Table 5에 제시하였고, 기본데이터 표는 생략하였다. A지역의 2개 A1과 A2 지점의 전체 평균 음이온수는 937.5 ions/cm³, 양이온수는 300.75 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 29.01°C, 습도는 64.13%, 풍속은 0.41 m/sec, 측정 지역의 해발 고도는 702 m이었다.

A1과 A2지점의 음이온수의 측정치의 변화는 14:02~14:27분 사이에 807.5에서 1067.5 ions/cm³로 약 260 ions/cm³로 증가하였다. A1과 A2지점의 양이온수의 측정치의 변화는 14:02~14:27분 사이에 53.75에서 547.75 ions/cm³로 약 494 ions/cm³로 증가하였다.

두 지점에서 시간의 변화에 따라서 수시로 음이온과 양이온수의 함량이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 음이온과 양이온수는 14:20 사이가 비교적 높았다.

한라생태 숲의 음양이온수의 측정치

한라생태 숲의 2지점인 A1과 A2지점에서 오전에 각각 4회씩 측정된 평균치를 Table 5에 제시하였다.

A지역의 2개 A1과 A2 지점의 전체 평균 음이온수는 860.75 ions/cm³, 양이온수는 482.63 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 29.16°C, 습도는 59.63%, 풍속은 0.86 m/sec, 측정 지역의 해발 고도는 535 m이었다.

A1과 A2지점의 음이온수의 측정치의 변화는 10:38~11:20분 사이에 805.25에서 916.25 ions/cm³로 약 111 ions/cm³로 증가하였다. A1과 A2지점의 양이온수의 측정치의 변화는 10:38~11:20분 사이에 575.75에서 389.5 ions/cm³로 약 186.25 ions/cm³로 감소하였다.

지점 간에서도 시간의 변화에 따라서 수시로 음이온과 양이온수의 함량이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 음이온수는 11:20 경이 비교적 높았다. 고도는 535 m이었고, 풍속은 0.86 m/sec 바람이 없었다고 판단한다.

동백동산 숲에서의 음양이온수의 측정치

동백동산 숲의 2지점인 A1과 A2지점에서 7월 19일 오후에 각각 4회씩 측정된 이온수 평균치를 Table 5에 제시하였다. A지역의 2개 A1과 A2 지점의 전체 평균 음이온수는 1,073.15 ions/cm³, 양이온수는 154.88 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 31.65°C, 습도는 61.75%, 풍속은 0.0 /sec, 측정

지역의 해발 고도는 167 m이었다. 온도가 비교적 높았다.

A1과 A2지점의 음이온수의 측정치의 변화는 15:49~16:08분 사이에 1091.8에서 1054.5 ions/cm³로 약 37.7 ions/cm³로 감소하였다. A1과 A2지점의 양이온수의 측정치의 변화는 15:49~16:08분 사이에 163.75에서 146 ions/cm³로 약 17.75 ions/cm³로 감소하였다.

지점 간에서도 시간의 변화에 따라서 수시로 음이온과 양이온의 함량이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 음이온의 수는 16시 경이 비교적 높았다 고도는 167 m이었고, 풍속은 0 m/sec 바람이 없었다고 판단한다. 저지대가 고지대보다는 이온의 수가 높게 나오는 경향이 있었다.

사려니숲길에서의 이온 수의 측정치

사려니숲길의 2지점인 A1과 A2지점에서 7월 17일 오후에 각각 4회씩 측정된 평균치를 Table 5에 제시하였다. A지역의 2개 A1과 A2 지점의 전체 평균 음이온수는 745 ions/cm³, 양이온수는 277.75 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 28.58°C, 습도는 73.75%, 풍속은 0.0 /sec, 측정 지역의 해발 고도는 484 m이었다. 온도가 비교적 높았다.

A1과 A2지점의 음이온 측정치의 변화는 14:49~15:13분 사이에 674에서 816 ions/cm³로 약 142 ions/cm³로 증가하였다. A1과 A2지점의 양이온 측정치의 변화는 14:49~15:13분 사이에 257.75에서 298.25 ions/cm³로 약 41 ions/cm³로 증가하였다.

지점 간에서도 시간의 변화에 따라서 수시로 음이온과 양이온의 함량이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 음이온의 수는 16시 경이 비교적 높았다. 고도는 484 m이었고, 풍속은 0 m/sec 바람이 없었다고 판단한다. 저지대가 고지대보다는 이온의 수가 높게 나오는 경향이 있었다.

한리수목원에서의 음이온과 양이온수의 측정치

한리수목원의 2지점인 A1과 A2지점에서 7월 18일 오후에 각각 4회씩 측정된 평균치를 Table 5에 제시하였다. A지역의 2개 A1과 A2 지점의 전체 평균 음이온수 함량은 843 ions/cm³, 양이온 함량은 746.5 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 27°C, 습도는 85.88%, 풍속은 0.54 /sec, 측정 지역의 해발 고도는 488.5 m이었다.

A1과 A2지점의 음이온수 측정치의 변화는 10:41~11:07분 사이에 843에서 899.8 ions/cm³로 약 56.4 ions/cm³로 증가하였다. A1과 A2지점의 양이온수 측정치의 변화는 10:41~

11:07분 사이에 746.5에서 713 ions/cm³로 약 33.5 ions/cm³로 감소하였다.

지점 간에서도 시간의 변화에 따라서 수시로 음이온과 양이온의 함량이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 음이온의 수는 오전 10시 경이 비교적 높았다. 고도는 488.5 m이었고, 풍속은 0.54 m/sec로 바람이 없었다고 판단한다.

농장에서의 음이온과 양이온수의 측정치

자연과사람들 농장의 4지점인 A1, A2, A3, A4지점의 3일에 걸쳐서 오후에 각각 4회씩 측정된 평균치를 Table 5에 제시하였다.

A지역의 4개 A1, A2, A3, A4 지점의 전체 평균 음이온수는 721.5 ions/cm³, 양이온수는 401.2 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 26.5°C, 습도는 70%, 풍속은 5.6 /sec, 측정 지역의 해발 고도는 365 m이었다.

A1지점의 4일간의 음이온수 측정치의 변화는 14:14~16:44분 사이에 366에서 1211.8 ions/cm³로 약 84.58 ions/cm³로 증가하였다. A1지점의 같은 시간대에 양이온수 측정치의 변화는 247.33에서 890.75 ions/cm³로 약 643.42 ions/cm³로 증가하였다.

A2지점의 3일간의 음이온수 측정치의 변화는 14:27~16:50분 사이에 522.7에서 1025.5 ions/cm³로 약 502.88 ions/cm³로 증가하였다. A2지점의 같은 시간대에 양이온수 측정치의 변화는 242.3에서 814.5 ions/cm³로 약 572.2 ions/cm³로 증가하였다.

A3지점의 경우에는 1일간의 음이온수 측정치는 14:58~15:22분 사이에 522.7 ions/cm³이었으며, A3지점의 같은 시간대에 양이온수 측정치의 변화는 292.3 ions/cm³이었다. A4지점의 경우에는 음이온의 측정 수치는 721.5 ions/cm³이었고, 양이온의 측정 수치는 401.2 ions/cm³이었다. 위의 두 경우에는 1일만 측정을 하였다.

자연과사람들 농장 지점 간에서도 시간의 변화에 따라서 수시로 음이온과 양이온수의 함량이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 음이온의 수는 오후 14:20분경이 비교적 높았다. 전체 평균 고도는 365 m이었고, 풍속은 0.56 m/sec로 바람이 없었다고 판단한다.

함덕해수욕장 지역에서의 이온 수 측정치

함덕해수욕장의 2지점인 A1과 A2지점에서 2017년 7월 19일 오전에 각각 4회씩 측정된 평균치를 Table 5에 제시하였다. A지역의 2개 A1과 A2 지점의 전체 평균 음이온수는 409.13 ions/cm³, 양이온의 수는 143.75 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 29.12°C, 습도는 84.13%, 풍속은 1.31 /sec, 측정 지역의 해발 고도는 38 m이었다.

A1과 A2지점의 음이온수 측정치의 변화는 오전 10:41~11:04분 사이에 384.75에서 433.5 ions/cm³로 약 48.75 ions/cm³로 증가하였다. A1과 A2지점의 양이온수 측정치의 변화는 10:41~11:04분 사이에 158.25에서 129.25 ions/cm³로 약

29 ions/cm³로 감소하였다.

지점 간에서도 시간의 변화에 따라서 수시로 음이온과 양이온의 함량이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 음이온의 수는 오전 11시 경이 비교적 높았다. 고도는 38 m이었고, 풍속은 1.31 m/sec로 바람이 약간 있었으며, 바닷가여서 음이온과 양이온의 수치가 낮다고 본다.

거문오름 지역에서의 음양이온수의 측정치

거문오름 지역의 3지점인 A1, A2, A3 지점의 각각 4회씩 측정된 음양이온수 평균치를 Table 5에 제시하였다. A지역의 3개 A1, A2, A3 지점에서 측정된 전체 평균 음이온수는 1012.42 ions/cm³, 양이온수는 529.7 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 28.4°C, 습도는 73%, 풍속은 0.1 m/sec, 측정 지역의 해발 고도는 398.7 m이었다.

A1지점의 8회의 음이온수 평균 측정치의 변화는 9:12~9:21과 14:30~16:40분 사이에 1228.75에서 1044.25 ions/cm³로 약 184.5 ions/cm³로 감소하였다. A1지점의 양이온수 측정치의 변화는 1085에서 271.5 ions/cm³로 약 859.75 ions/cm³만큼 감소하였다. A1지점의 전체 평균치는 음이온의 측정치는 1,136.50 ions/cm³, 양이온은 678.25 ions/cm³이었다.

A2지점의 8회의 음이온수 측정치의 변화는 9:31~9:40과 14:47~14:56분 사이에 1180.75에서 912.25 ions/cm³로 약 268.5 ions/cm³로 감소하였다. A2지점의 같은 시간대에 양이온 측정치의 변화는 945.75에서 151.5 ions/cm³로 약 794.25 ions/cm³만큼 감소하였다. A2지점의 전체 평균치는 음이온수의 측정치는 1,046.50 ions/cm³, 양이온은 548.63 ions/cm³이었다.

A3지점의 경우에는 8회의 음이온수 평균 측정치는 9:48~9:57과 15:02~15:11 시간 사이에 911.5 ions/cm³에서 797 ions/cm³로 114.5 ions/cm³만큼 감소하였으며, A3지점의 같은 시간대에 양이온수 측정치의 변화는 631 ions/cm³에서 93.5 ions/cm³로 537.5 ions/cm³만큼 감소하였다. A3지점의 전체 평균치는 음이온의 측정치는 825.50 ions/cm³, 양이온은 362.25 ions/cm³이었다.

전체적으로 측정일이 동일하지는 않지만 측정 일시에 따라서 변화하는 양상을 나타내었다. 음이온수는 오전 9시경에 비교적 높았다. 전체 평균 고도는 394 m이었고, 풍속은 0.1 m/sec로 바람이 없었다고 판단한다.

절물휴양림에서의 음이온과 양이온수의 측정치

절물휴양림의 2지점인 A1과 A2지점에서 2017년 7월 17일 오후에 각각 4회씩 측정된 음양이온수 평균치를 Table 5에 제시하였다. A지역의 2개 A1과 A2 지점의 전체 평균 음이온수의 함량은 674.5 ions/cm³, 양이온수의 함량은 29.3 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 29.83°C, 습도는 56.25%, 풍속은 0.24 m/sec, 측정 지역의 해발 고도는 465 m이었다.

A1과 A2지점의 음이온수 측정치의 변화는 15:26~15:50 시간 사이에 696.75에서 652.25 ions/cm³로 약 44.5 ions/cm³

로 감소하였다. A1과 A2지점의 양이온수의 측정치의 변화는 같은 시간대에 530.25에서 411.77 ions/cm³로 118.5 ions/cm³만큼 감소하였다.

유사지점에서도 시간의 변화에 따라서 수시로 음이온과 양이온수의 함량이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 음이온의 수는 오후 3시경이 비교적 높았다. 고도는 465 m이었고, 풍속은 0.24 m/sec로 바람이 없었다고 판단한다.

한라산 1100고지에서의 음양이온수의 측정치

한라산 1100고지의 2지점인 A1과 A2지점에서 2017년 7월 18일 오후에 각각 4회씩 측정한 음양이온수 평균치를 Table 5에 제시하였다.

한라산 1100고지의 A1지점 한 개 지점을 4회 측정한 평균 음이온수는 361 ions/cm³, 양이온수는 178.25 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 22.95°C, 습도는 85%, 풍속은 1.05 m/sec, 측정 지역의 해발 고도는 1050 m이었다. 해발 고도가 높아서 음이온의 수치는 매우 낮았으며, 양이온의 수치도 낮았으나 음이온 수치보다는 높았다. 해발 고도에 따라서 음이온의 수치가 낮은 것으로 판단된다.

제주시내에서의 음양이온수의 측정치

제주시내의 5지점인 A1, A2, A3, A4, A5지점에서 2017년 7월 6일 오후에 각각 4회씩 측정한 음양이온수의 평균치를 Table 3에 제시하였다. A지역의 5개 지점의 전체 평균 음이온수 함량은 449.35 ions/cm³, 양이온수 함량은 203.25 ions/cm³이었으며, 대기 온도는 31.88°C, 습도는 59.5%, 풍속은 0.56 m/sec, 측정 지역의 해발 고도는 144.8 m이었다. 제주시내는 숲 속이 아니기 때문에 대조군으로서 기능을 가지고 있다.

A1은 제주시 변영로에 위치한 봉개사거리로 10:18~10:28 시간대에 4회 측정한 음이온수의 평균치는 441.25 ions/cm³, 양이온수는 491.5 ions/cm³이었다. A2지점의 제주시 변영로에 위치한 명도암사거리 지점의 음이온 측정치의 변화는 10:41~10:51 시간 사이에 445 ions/cm³, 양이온의 측정수치는 384 ions/cm³이었다.

A3은 제주시 중앙로에 위치한 법원사거리 지점의 음이온수 측정치의 변화는 11:44~11:54 시간 사이에 447 ions/cm³, 양이온의 측정수치는 12.25 ions/cm³이었다. A4 제주시 중앙

로에 위치한 광양사거리 지점의 음이온수 측정치의 변화는 12:07~12:17 시간 사이에 457 ions/cm³, 양이온의 측정수치는 118.5 ions/cm³이었다. A5지점의 제주시 중앙로에 위치한 남문사거리 지점의 음이온수 측정치의 변화는 12:34~12:44 시간 사이에 456.5 ions/cm³, 양이온의 측정수치는 10 ions/cm³이었다.

제주시내의 음이온 측정치의 변화는 10:00~13:00 시간대에 장소와 시간에 따라서 변화가 441.25~456.5 ions/cm³로 증가하면서 크게 차이가 나타났다. 또한 양이온의 차이도 491.5~10 ions/cm³로 변화 폭이 매우 높았다. 음이온이 제일 높게 나타난 지역은 남문사거리였고, 제일 낮은 곳은 명도암 앞이었으며, 양이온이 제일 높게 나타난 지점은 봉개사거리였고, 제일 낮게 나타난 지역은 남문사거리였다.

제주시내의 5개 지점에서 장소와 시간의 변화에 따라서 수시로 음이온과 양이온의 함량이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 제주시의 고도는 144.8 m이었고, 풍속은 0.56 m/sec로 바람이 없었다고 판단한다. 제주시는 도심지역이라서 음이온의 농도가 매우 낮을 거라 생각하였으나 전체 평균치보다는 낮으나 휴양림에 못지않게 농도가 높았다. 그 이유는 휴양림이나 바다 등에서 생성되는 음이온과 양이온이 바람에 의해서 분산되어온 결과라 추측을 해본다.

폭포지역 3곳의 음이온과 양이온수의 측정치

제주도 내의 폭포지역인 원양폭포에서도 2017년 7월 28일 오후에 4회 측정한 음이온수의 평균함량은 3118.75 ions/cm³이었고, 양이온수의 평균함량은 2755.5 ions/cm³이었다(Table 4 & 5, Fig. 2 & 3).

정방폭포의 경우는 평균 함량이 음이온수는 2842.75 ions/cm³, 양이온의 평균 함량은 356.75 ions/cm³이었다(Table 4 & 5).

천지연폭포의 음이온수의 평균함량은 3471.25 ions/cm³, 양이온수의 평균 함량은 4회 측정에서도 모두 90 ions/cm³이었다(Table 4 & 5). 폭포 3개중에 제일 높게 음이온이 함유된 지역은 천지연폭포였으며, 순위는 천지연 > 원양 > 정방폭포 순으로 낮게 나타났다. 정방폭포보다는 천지연폭포의 음이온 평균함량은 629 ions/cm³이 높게 측정되었다. 제주도 내 측정지역중 제일 낮은 함덕해수욕장의 548 ions/cm³ 보다는 무려 6.4배가 많게 측정되었다. 음이온수가 폭포지역

Table 3. Estimates of anion & cation numbers measured at Jeju city

Sites	Time	Freq.	Mean No. (ion no./cm ³)		Mean Temp. (°C)	Mean Hum (%)	Mean WV (m/sec)	Mean Alt (m)	Date tested
			anion	cation					
A1	10:18-10:28	4	441.25	491.5	28.7	75.75	0	310	7.6
A2	10:41-10:51	4	455	384	31.35	61.5	0.82	185	7.6
A3	11:44-11:54	4	447	12.25	32.27	54.75	0.4	110	7.6
A4	12:07-12:17	4	457	118.5	33.05	54.5	0.55	78	7.6
A5	12:34-12:44	4	456.5	10	34.02	51	1.05	41	7.6
Mean	10:00-13:00	20	449.35	203.2	31.88	59.50	0.56	144.8	7.6

A1: Bonggae Junction(Jct), A2: Myeongdoam, A4: Bobwonm Jct, A4: • Gwangyang Jct, A5: Nammun Jct.

에서 높은 이유는 음이온은 생성은 물줄기가 폭포지역에서는 대량으로 내려오기 분산되어 음양이온이 많이 생성되는 것으로 알려져 있다(Lee & Bae, 2007).

폭포 3개 중에 제일 높게 양이온이 함유된 지역은 원양폭포였으며, 순위는 원양 > 정방 > 천지연폭포 순으로 낮게 나타났다. 천지연폭포의 양이온 함량 90 ions/cm³보다는 원양폭포의 양이온의 평균함량은 30.6배가 높게 측정되었으며, 제주도 내 측정지역중 양이온이 제일 낮은 함덕해수욕장의 함량보다는 무려 8.7배가 높게 측정되었다. 음양이온의 생성은 상관관계가 있어서 음이온이 높은 지역은 양이온의 농도도 높게 나왔다고 평가한다(Table 7, Fig. 3).

폭포 3곳의 양이온 함양분포는 모두 간에 폭이 매우 크게 나타나서 흥미가 있다고 생각한다. 그 이유는 천지연폭포는 바로 앞이 바다이어서 양이온의 함량이 낮은 거 같고, 원양폭포는 산꼭대기에 있어서 양이온의 함량이 높지 않은가 추정해본다. 함덕해수욕장이 바닷가에 위치하여 양이온의 함량이 낮은 편이다.

제주 16지역의 측정된 이온 수의 총괄분포 분석

제주도의 16개 지역을 대상으로 측정된 음이온과 양이온 수의 평균치 분포와 측정당시의 평균온도, 평균 습도, 평균

풍속과 해발높이를 총괄적으로 나타난 것을 Table 5와 Fig. 2 및 3에 제시하였다. Table 5에서는 해발높이 순으로 아래로부터 낮은 순서에서 높은 순서로 위로 올라가면서 정리되었다.

저지대와 고지대의 이온 함량의 변화치

음이온의 측정치를 보면 제일 낮은 해발이 144.8 m인 제주시 지역의 음이온의 평균수는 449.35 ions/cm³이었고, 해발고도 제일 높은 한라산 중턱의 1100 m 고지는 655.75 ions/cm³이었다. 함덕 해변지역보다는 1100고지에서는 206.4 ions/cm³로 낮게 측정되었다. 고지대보다는 저지대가 높았다.

음이온의 측정치가 낮은 수준부터 높은 순서로 보면, 제일 낮은 제주시<함덕해수욕장<한라산1100고지<농장<교래A<사려니 길<절물휴양림<교래B<거문오름<한라산 숲길<한라수목원<성판악휴게소<동백산자연휴양림<정방폭포<원양폭포<천지연폭포 순으로 높은 함량으로 측정되었다. 지형적으로 낮은 지대와 높은 지역은 낮게 측정되어 차이가 있었으나, 해발고도 순으로 측정치의 음이온 수치 함량의 차이를 일정하게 차이를 보이지는 않았으나, 통계적으로는 유의한 차이($p < .001$)가 있는 것으로 나타났다(Table 6). 또한 해발고도와 음이온의 함량에서는 상관성이 $r = .076$ 으로 유의성이 없는 것으로 나타났다(Table 7).

Table 4. Anion & cation numbers measured at three Falls in Jejudo

Fall sites	Times tested	Freq.	Mean No. (ions/cm ³)		Mean Temp. (°C)	Mean Hum (%)	Mean WV (m/sec)	MeanAlt (m)	Date tested
			anions	cations					
Wonyang	12:25~12:33	4	3118.75	2755.5	27.68	85.25	0	947	7. 28
Jeongbang	13:14~13:23	4	2842.25	356.75	31.35	73.25	0.45	707	7. 28
Cheonjiyeon	13:53~14:52	4	3471.25	90	31	71.75	0	41	7. 28

Table 5. Summary of estimates of ions and altitudes at the sites of Jeju Island

Sites	Total Freq.	Mean values (ion no./cm ³)		Mean Temp. (°C)	Mean Hum (%)	Mean WV (m/sec)	Mean Alt (m)
		anion	cation				
Mt.Halla 1100	4	655.75	110.75	22.95	85	1.05	1050
wonyang fall	4	3118.75	2755.5	27.68	85.25	0	947
Jeongbang fall	4	2842.25	356.75	31.35	73.25	0.45	707
seongpanak	8	937.5	300.8	29.01	64,13	0.41	702
halla forest	8	860.75	482.63	29.16	59.63	0.86	535
halla garden	8	871.4	729.8	27.03	85.88	0.54	488.5
saryoni gil	8	741	247.7	28.58	73.75	0	484
gyorae B	72	780	379	27.6	80	0.1	477
dongbaeksan	8	1073.2	154.88	31.65	81.6	0	466.35
jeolmul forest	8	757.5	390.5	27.71	80.8	0.19	466.35
gyorae A	108	735	459.27	27.81	81.6	0.28	455.7
geomun oreum	24	796.45	565.5	27.01	77.59	0.87	427.05
farm	36	721.5	401.2	26.98	69.3	1.2	365.6
Jeju city	20	449.35	203.25	31.88	59.1	0.56	144.8
cheonjiyeon	4	3471.25	90	31	71.75	0	41
hamdeok seaside	8	548	316.63	25.38	83.3	0.67	38
Total mean	320	1,209.98	496.51	28.30	75.75	0.45	487.21

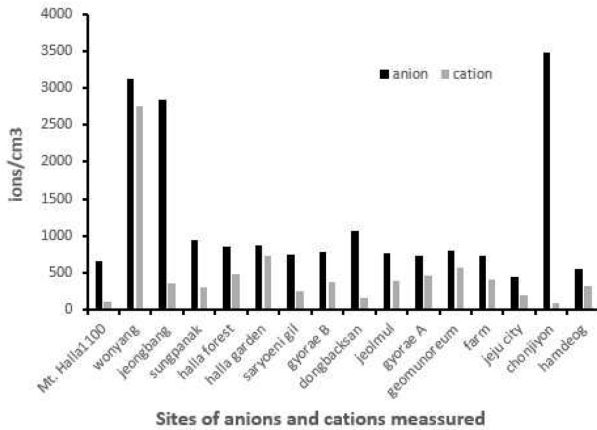


Fig. 2. Variations of numbers of anions & cations measured at the sites in Jeju Island.

양이온수는 저지대인 함덕해수욕장 지점에서는 316.63 ions/cm³이었고, 한라산 1100고지에서는 양이온수는 110.75 ions/cm³로 저지대의 함덕해수욕장 지점보다 205.58 ions/cm³ 만큼 낮게 나타났다. 고지대의 양이온은 저지대보다 낮게 측정되었다. 양이온의 측정치를 낮은 순에서 높은 순으로 배열을 보면 다음과 같다. 양이온수가 제일 낮은 천지연폭포<한라산1100고지<동백산자연휴양림<제주시<사려니 길<원양폭포<성판악휴게소<함덕해수욕장<정방폭포<교래자연휴양림 B<절물자연휴양림<농장<교래자연휴양림 A<한라산 숲길<거문오름<한라산수목원 순으로 높게 측정되었다. 지형적으로 낮은 지대와 높은 지역은 함량이 낮게 측정되어 차이가 있었으나, 해발고도 순으로 측정치의 일정한 차이를 보이지는 않았으나, 통계적으로는 유의한 차이($p < .001$)가 있는 것으로 나타났다(Table 6). 또한 해발고도와 양이온 함량은 정적인 상관관계가 $r = .374$ 로 유의한 정적인 상관관계가 보였다($p < .001$) (Table 7, Fig. 3).

전체적 이온 수치의 추이

전체적으로 제주지역의 음이온수의 측정 평균 수치는 제일

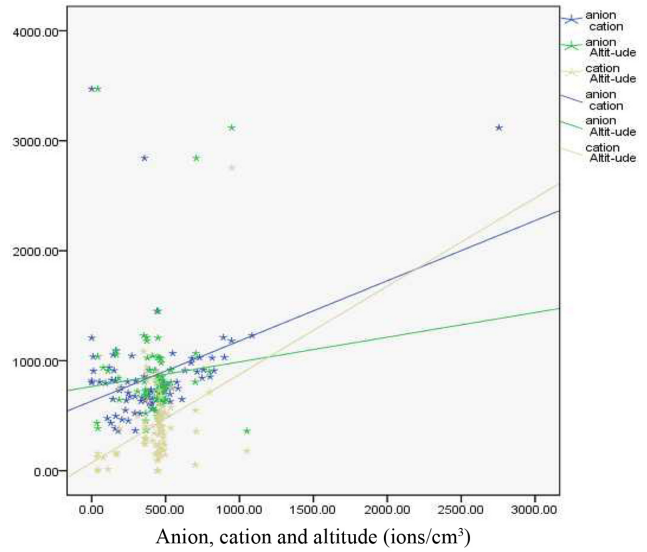


Fig. 3. Distribution and correlation between estimates of anions and cations, and altitudes measured in the Jeju Island.

낮은 수치는 제주시의 449.35 ions/cm³ ~ 제일 높은 지역은 천지연폭포 3471.25 ions/cm³의 범주로 나타났다(Table 5, Fig. 3).

양이온수의 측정 평균수치가 낮은 천지연폭포의 90 ions/cm³ ~ 제일 높게 나타난 한라산 수목원의 수치는 729.8 ions/cm³이었으며, 그 차이는 639.8 ions/cm³로 높게 나타났다 (Table 5, Fig. 3). 천지연폭포에서는 4차례의 측정에서 모두 낮게 나왔다.

음이온과 양이온수 및 고도의 분산분석에서 측정지역간의 함량차이는 모두 유의성이 있었고, 또한 음이온과 양이온수의 함량차이도 유의성이 있었으며, 거기에 고도의 차이도 모두 유의성이 있는 것으로 나타났다(Table 6). 상기의 음이온과 양이온 함량 요인간은 상관관계분석에서도 정적인 상관관계가 유의하게 나타났다($p < .001$). 즉 음이온과 양이온의 경우에 $r = .396$ 으로 유의한 정적인 상관관계가 보였다(Table 7).

다른 연구에서는 Carmichael *et al.*(1997)은 제주도에서 1992~1995년도까지 3년간의 측정에서는 sulfate(SO₄²⁻)는 7.2

Table 6. Variance analysis of the estimate of ions & altitudes between and within groups

Ions	Groups	SS	df	Mean Square	F	p*
anion	Between	1.757E7	15	1171257.518	32.398	.000*
	Within	2458317.764	68	36151.732		
	Total	2.003E7	83			
cation	Between	6761068.254	15	450737.884	8.177	.000*
	Within	3748275.205	68	55121.694		
	Total	1.051E7	83			
altitude	Between	2019363.947	15	134624.263	35.348	.000*
	Within	258983.041	68	3808.574		
	Total	2278346.988	83			

p*, p**, p***. Abbreviations: SS: sum of squares, MS: mean square

Table 7. Correlation analysis of estimates of anions, cations and altitudes measured in the Jeju area

	Items	anion	cation	altitude
anion	Pearson Correlation	1		
	Sig.			
cation	Pearson Correlation	.396***	1	
	Sig.	.000		
altitude	Pearson Correlation	.076	.374***	1
	Sig.	.494	.000	

µg/m³, nitrate(NO₃⁻)는 1.2 µg/m³, ammonium(NH₄⁺)은 1.27 µg/m³, natrium(Na⁺)은 1.66 µg/m³, potassium(K⁺)은 0.39 µg/m³, calcium(Ca²⁺)은 0.47 µg/m³, magnesium(Mg²⁺)은 0.26 µg/m³, chlorine(Cl⁻)은 1.88 µg/m³ 등으로 음이온과 양이온이 검출되었다고 보고하였다. 대기질의 농도는 표집시간과 장소에 따라서 변이성이 높았고, 계절적으로도 변이성이 높게 나타났었다고 하였는데 이는 본 연구와도 일치하는 결과이다.

Chen *et al.*(1997)은 1992~1995년 사이 3년간을 매일 측정 한 제주지역 대기질에는 sulfate(SO₄²⁻)는 6.8 µg/m³, nitrate(NO₃⁻)는 1.2 µg/m³, ammonium(NH₄⁺)은 1.3 µg/m³, natrium(Na⁺)은 1.7 µg/m³, potassium(K⁺)은 0.4 µg/m³, calcium(Ca²⁺)은 0.5 µg/m³, magnesium(Mg²⁺)은 0.3 µg/m³, chlorine(Cl⁻)은 1.9 µg/m³ 등으로 음이온과 양이온이 검출되었다고 보고하였다. 각 성분은 계절적으로 순환하는 듯했으며, sulfate, nitrate, ammonium, potassium, calcium 등의 농도는 특히 봄철에 높게 측정되었으며, 반면에 chlorine 농도는 10% 정도 낮게 측정되었다고 하였다. 대기질이 높게 측정된 물질들은 일부 중국 중부에서 유래된 것으로 추정하였다.

전체지역의 온도 추이

제주도의 16개 지역의 측정시의 대기 온도는 7월 중이래 온도가 비교적 높았다. 제일 낮은 온도는 한라산 1100 m고지로서 22.95°C이었고, 제일 높은 온도는 제주시의 31.88°C이었으며, 전체 13개 지역의 평균 온도는 27.90°C이었다(Table 5). 온도의 차이에 따라서 이온수의 함량에 차이가 있는 것으로 보인다. 오전 측정과 오후 측정에서 오후가 이온수가 약간 높게 측정되었다.

전체지역의 습도 추이

제주도 내의 16개 지역의 측정시의 대기 습도는 제일 낮은 곳이 제주시로 59.1%이었고, 제일 높은 지역은 한라산 수목원이 85.88%로 실내라는 관점에서 습도가 높았다. 전체의 평균 습도는 76.46%이었으며, 대부분의 지역은 습도가 80 이상인 지역은 8개 지역(한라산 수목원, 동백산자연휴양림, 교래자연휴양림, 절물 휴양림 그리고 함덕해수욕장 지역으로서 80~88.8%를 나타냈다. 이들 지역은 숲이 많이 우거진 지역이라 습도도 높았다. 함덕해수욕장 부위는 해변이라 높았다고

본다(Table 5).

전체지역의 풍속 추이

제주도 내의 16개 지역의 풍속은 측정 일에 비교적 바람이 잔잔한 편이었다고 판단한다(Table 5). 풍속이 제일 낮은 지역은 0 m/sec인 지역은 동백산휴양림지역과 사려니숲 길이었다. 제일 풍속이 높게 나타난 지역은 자연과사람 농장이 1.2 m/sec, 한라산 중턱의 1100고지가 1.05 m/sec, 거문오름의 0.87 m/sec와 한라산 숲길이 0.86 m/sec, 함덕해수욕장으로 0.67 m/sec이었다. 다른 지역은 0~0.56 s/sec 범위에 속해 있었다. 지대가 높거나 농장 같이 개활지 같은 지역은 풍속이 비교적 높았고, 저지대는 비교적 풍속이 매우 낮아서 측정하는데 도움이 되었다고 본다. 풍속은 대기질의 이동에 결정적 요인이다. 바람이 잔잔해도 대기는 항상 이동하고 움직이고 있다. 이온들의 확산에 중요한 요인이기 때문에 풍향과 더불어 주의 깊게 관찰할 필요가 있다.

전체지역의 고도 추이

제주도 내의 16개 지역의 측정시의 해발의 높이는 제일 낮은 곳은 함덕해수욕장 지역으로 해발 38 m이었고, 다음으로 낮은 곳이 제주시의 144.7 m이었고, 제일 높은 지역은 한라산 1100 고지의 1050 m이었고, 그 다음 높은 곳은 성판악 휴게소로 702 m이었다. 다른 지역은 대부분 400~500 m 범위에 들어 있었다. 해발고도에 대한 분산분석에서 측정지역 간에서 유의성이 있다고 나타났(Table 5).

음이온, 양이온수 및 고도와의 관계 분산분석

전체적으로 16개 제주지역의 음이온과 양이온수의 함량측정과 고도에 따른 관계를 분석하기 위하여 Pearson분산분석을 하여 Table 6에 제시하였다.

음이온수 측정지역별 및 측정지역 내의 분석에서도 유의하게 나타났으며($p < .001$), 고도에 따른 측정지역 내 및 간에도 유의한 차이가 있었다($F=32.398, p=.000$)(Table 6). 양이온의 측정지역별 및 측정지역 내의 분석에서도 유의하게 나타났으며($p < .001$), 고도에 따른 측정지역 내 및 간에도 유의한 차이가 있었다($F=8.177, p=.000$)(Table 6). 해발고도에서도 측정지역별 및 측정지역 내의 분석에서도 유의하게 나타났으며($p < .001$), 고도에 따른 측정지역 내 및 간에도 유의한 차이가 있었다($F=35.348, p=.000$)(Table 6).

음이온, 양이온과 고도의 상관관계 분석 결과

전체적으로 16개 제주지역의 음이온과 양이온수의 함량측정과 고도에 따른 상관관계를 Pearson법으로 분석한 결과를 Table 7, Fig. 3에 제시하였다. 음이온과 양이온수의 지역별 평균측정치 간의 상관관계분석에서 $r=.396$ 으로 유의한 정적인 상관관계가 있었다($p < .001$). 음이온과 해발고도(altitude)와의 지역별 평균측정치 간의 상관관계분석에서는 $r=.076$ 으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 양이온과 해발고도와의

지역별 평균측정치 간의 상관관계분석에서는 $r=.374$ 로 유의한 정적인 상관관계가 있었다($p<.001$).

결 론

본 연구는 제주의 자연휴양림 지역을 중심으로 16개 지점을 설정해서 일간 별에 따른 대기질 중의 음이온과 양이온수를 측정하여 그 분포와 변이에 대한 연구를 하는 것이 목적이었다.

1. 제주지역 16지점의 음이온수의 측정 평균 수치가 제일 낮은 제주시는 449.35 ions/cm^3 , 제일 높은 지역은 천지연폭포 $3471.25 \text{ ions/cm}^3$ 의 범주로 나타났다.

2. 음이온수의 함량을 순서로 보면, 제일 낮은 제주시<함덕<1100고지<농장<교래A<사려니 길<절물<교래B<거문오름<제주시<한리숲길<한라산수목원<성판악휴게소<동백산<정방폭포<원양폭포<천지연폭포 순으로 높은 함량으로 측정되었다.

3. 지형적으로 낮은 지역이 높은 지역보다 낮게 측정되었다. 해발고도 순으로 측정치의 음이온수치 함량의 차이를 일정하게 차이를 보이지는 않았으나, 통계적으로는 유의한 차이($p<.001$)가 있었다.

4. 양이온수 측정 평균수치가 낮은 천지연폭포는 90 ions/cm^3 , 제일 높게 나타난 한라산 수목원의 수치는 729.8 ions/cm^3 이었으며, 그 차이는 729.8 ions/cm^3 로 높게 나타났다.

5. 양이온수의 함량을 순서로 보면, 제일 낮은 천지연폭포<한라산 1100고지<동백산자연휴양림<제주시<사려니 길<원양폭포<성판악 휴게소<함덕<정방폭포<교래B<절물<농장<교래A<한라산 숲길<거문오름<한라수목원 순으로 높게 측정되었다.

6. 양이온수는 지형적으로 낮은 지대와 높은 지역은 함량이 낮게 측정되어 차이가 있었다.

7. 음이온수와 양이온수 및 고도의 분산분석에서 측정지역 간의 함량차이는 모두 유의성이 있었고, 또한 음이온과 양이온수의 함량차이도 유의성이 있었으며, 거기에 고도의 차이도 모두 유의성이 있는 것으로 나왔다. 상기의 음이온과 양이온 함량 요인간은 상관관계분석에서도 정적인 상관관계가 유의하게 나타났다($r=.396, p<.001$).

결론적으로 본 연구는 대기질 중의 이온수의 분포와 유지에 대한 기초 연구로서 삼림육을 통한 건강관리에 중요한 정보를 제공하고 있다고 판단한다.

References

Carmichael, G.R., Y. Zhang, L.L. Chen, M.S. Hong, and H. Ueda. 1996. Seasonal variation of aerosol composition at Cheju Island, Korea. *Atmos. Environ.* 30(13): 2407-2416.

Carmichael, G.R., M.S. Hong, H. Ueda, L.L. Chen, K. Murano, J.K. Park, H. Lee, Y. Kim, C. Kang, and S. Shim. 1977. Aerosol Composition at Cheju Island, Korea. *J. Geophys. Res.* 102(D5): 6047-6061.

Chen, L-L., G.R. Carmichael, M.S. Hong, H. Ueda, S. Shim, C. H. Song, Y.P. Kim, R. Arimoto, J. Prospero, D. Savie, and K. 1977. Murano. Influence of continental flow events on the aerosol composition at Cheju Island, South Korea. *J. Geophys. Res.* 102(D23): 28,551-28,574.

Kang, H.Y. 2003. *Secrets of phytoncides*. Historiesnet, Seoul, pp. 27-29.

Kim, H.C., S.S. Oh, Y.C. Song, and Y.J. Kim. 2013. Distribution characteristics of phytoncide in Jeolmul Natural Recreation Forest of Jeju. *J. Naturopathy* 2(2): 89-98.

Kim, H.C., S.S. Oh, Y.C. Song, and Y.J. Kim. 2013. Distribution characteristics of phytoncide in Seogwipo Natural Recreation Forest. *J. Naturopathy* 2(2): 99-107.

Lee, B.K. and H.H. Lee. 2012. A study on the effects of human physiology after forest phytoncide therapy. *J. Naturopathy* 1(1): 14-20.

Lee, B.K. and H.H. Lee. 2013. Effects of occupational and social stress after forest therapy. *J. Naturopathy* 2(2): 108-114.

Lee, H.H. and K.D. Bae. 2007. *Water of life and gene business*. World Science, Seoul, pp. 19-22.

Lim, S., M. Lee, G. Lee, S. Kim, S. Yoon, and K. Kang. 2012. Ionic and carbonaceous compositions of PM_{10} , $PM_{2.5}$ and $PM_{1.0}$ at Gosan ABC superstation and their ratios as source signature. *Atmos. Chem. Phys.* 12(4): 2007-2024. doi:1-.5194/acp-12-2007-2012.

Müller-Dietz, H. 1956. Phytoncides and phytoncide therapy. *Deutsch. Med. Wochenschr.* 81(24): 983-984. (Article in German)

Sin, B.S., D.H. Im, and K.K. Lee. 2017. Changes of stress hormone cortisol after visiting the Gotjawal Forest in Jeju. *J. Kor. Acad.-Indust. Co. Soc.* 18(10): 471-479.

Song, K.P. 2016. *Plants of ecological school for Gotjawal*. The Reports of Ecological School for Gotjawal. The Gotjawal Trust of Jeju, Jeju, pp. 63-65.

Song, S.T. 2000. *Distribution of lithology of Aa rubble flows in Jeju Island Korea*. Busan University Doctoral Dissertation, Busan, pp. 5-6.

The Gotjawal Trust of Jeju, Korea. www.jejustrust.net, Jeju.