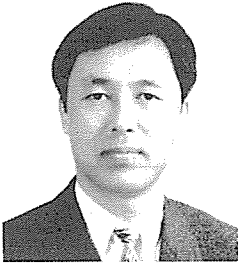


대기전기와 이온



최태섭 : 사단법인 한국원적외선협회 전무이사

1. 서론

대기(공기)이온의 문제와 관련하여 중요한 것은 대기 중에 있어서의 「전장(電場)」의 문제이다. 대기 중 전장의 존재에 관해서는 1752년 Le Monnier의 연구에 의하여 날씨가 맑은 날(晴天時)에는 어떠한 장소에 있어서도, 상시적으로 지표와 대기의 사이에 전위차가 존재하고 있다는 사실이 밝혀지면서부터 이론적으로 체계화되어 금일에 이르렀다.

여기서는 『기상핸드북』¹⁰⁾의 해설을 빌려서 공기이온의 실체에 대하여 알아본다

2. 대기중의 전기현상

일반적으로, 전기현상의 원천은 「전하」이다. 전하가 편재함에 따라서 전장이 형성되고, 전하의 이동에 의하여 전류가 발생한다. 매체가 고체인 경우에는 「전자」가 이전하를 담당하는 실체인 것이다.

한편, 대기중 전기현상의 원천은 「공간전하(Space charge)」이다. 공간전하의 편재(偏在)에 따라 전장이 형성되며 공간전하의 이동에 따라 전류가 발생한다. 하층(下層)대기에서 공간전하를 담당하는 실체는 전자가 아니라, 정(正,+) 또는 부(負,-)의

전하를 갖는 이온(ion)이며, 때로는 대전한 구름, 강수요소(降水要素)인 운립(雲粒), 우적(雨滴), 빙정(氷晶), 설편(雪片), 우박 등 중요한 공간전하를 담당하는 것도 있다. 한편, 고도 60km부터 상공의 전리권(電離圈)에서는 전하를 담당하는 실체로서 전자가 중요하게된다.

대기 중 이온은 공기 중 부유(浮遊)하는 「대전입자(帶電粒子)」인 것이다. 1개의 이온 입자(粒子)를 구형(球形)으로 가정한다면 그의 반경의 크기에 따라

「소이온」 (반경 = $10^{-8} \sim 10^{-7}$ cm)

「중이온」 (반경 = $10^{-7} \sim 10^{-5}$ cm)

「대이온」 (반경 = $10^{-5} \sim 10^{-4}$ cm)

으로 분류된다.

소이온은 「분자이온」이라고도 불리운다. 중이온과 대이온은 대전한 에어로졸 입자이며, 에어로졸의 분류에서는 애-도겐 입자와 대입자에 각각 속하여 있다. 중이온과 대이온은 발견자, Langevin(1905)의 이름을 따서 [Langevin이온]이라고 불리운다. 대개의 이온은 소전하량이 1이지만, 대이온의 경우 2개 이상의 소전하를 갖는것도 적지 않다.

이온은 공기중의 전장내에서, 쿨롱력을 받아 전자의 강도에 비례하는 등속운동(等速運動)을 한다. 단위강도의 전장($V \cdot m^{-1}$)에 관하여 생기는 이온의 이동속도($m \cdot sec^{-1}$)를 「이동도」($m^2 \cdot V^{-1} \cdot sec^{-1}$)라고 부른다.

「이동도」는 이온의 소전하량에 비례하여, 이온의 질량과 공기 저항에 반비례한다. 반경의 작은 이온은 질량이 적은 효과와 공기저항이 적은 효과가 상승하여 이동도가 크다. 또한 지상 가까이에서는 대기 중 소이온의 이동도는 $10^{-4} m^2 \cdot V^{-1} \cdot sec^{-1}$ 정도로, 부(-)이온의 이동도는 정(+)이온의 이동도보다 20% 정도로 대이온의 이동도는 크다. 중이온의 이동도는 $10^{-6} m^2 \cdot V^{-1} \cdot sec^{-1} \sim 10^{-8} m^2 \cdot V^{-1} \cdot sec^{-1}$ 정도이다.

3. 공기이온의 생성과 소멸

대기중의 소이온은 라돈등 지각기원(地殼起源)의 방사성물질로부터의 방사선과 우주로부터 지구에 내려쬐이는 은하우주선의 전리작용에 의하여 대기를 구성하는 기체분자가 正(+), 負(-)에 대전한다. 그 후, 주위의 기체성분과의 반응에 따라 안정된 이온 크라스타로 형성이 된다.

정(正,+)의 소이온의 대표적인 조성은 $H^+ \cdot (H_2O)_n$, $NH_4^+ \cdot (H_2O)_n$ 이며, 부(負,-)의 소이온의 대표적인 조성은 $NO_3 \cdot (HNO_3)_m \cdot (H_2O)_n$, $H_2SO_4 \cdot (HNO_3)_m \cdot (H_2O)_n$ 이다.

소이온은 대기 중 이 부호의 소이온과 충돌에 의해 전하를 잃었을 때 소멸된다. 또한 소이온이 에어로졸에 부착하면, 중이온과 대이온이 형성되어 소이온의 수는 이에 따라 감소한다.

대기 중 소이온의 수밀도는 생성과 소멸의

겸합(兼合)에서 결정된다. 육상결계층내에서의 생성율은 지각기원의 방사성물질과 우주선의 양자에 따라 전리효과가 활동하므로, 주로 우주선만이 활동하는 해상보다 4배정도 크다.

한편, 생성된 소이온을 포획하여 그의 수밀도를 감소시킬효과가 있는 에어로졸의 수밀도는 해상에 비하여 육상에 다량있으므로 소이온의 소멸율은 육상이 더 크다. 이에 상반되는 효과를 갖는 양자의 복합결과로서의 평균적인 소이온의 수밀도는 육상과 해상에서 공히 $500 cm^{-3}$ 정도 대차가 없어진다. 에어로졸 수밀도의 변화가 적은 해상에서는 소이온수밀도가 시간적·공간적으로 변화가 적는데 비하여 에어로졸 수밀도의 변화가 큰 육상에서는 소이온수밀도가 시간 및 장소에 따라 크게 변화한다($200 \sim 1,000 cm^{-3}$).

육상결계층내에서 소이온은 동계에 많고, 하계에는 적다. 또한 1일 내에서는 아침에 많고, 정오가 지나고나서부터 적어진다. 해상 및 상공의 대기에서는 이와 같은 변화는 현저하지 않다. 한편, 소이온 수밀도의 고도분포에서 대륙권에서는 상공보다 우주선이 강한 효과로 크게 활동하고, 소이온의 생성율은 높이가 높아짐에 따라 감소하는 결과로 소이온 수밀도는 고도 12~13km로 극대치를 나타낸다.

4. 대기이온의 도전을

소이온은 커다란 이동도를 갖고 있어 소이온이 많으면 많을수록 공기「도전율(導電率)」은 크다(전기저항이 작다). 실제 도전율은 소이온 수밀도·소전하량(素電荷量)·소이온 이동도의 적분(積分)으로 주어진다. 그래서, 소이온의 지리적

분포 및 시간적 변화의 특성에 대응하여 대기의 전기적특성, 즉 도전율 및 전장의 강도가 공간적·시간적으로 변화한다. 육상의 경계층내에서는 도전율의 변화가 크고, 상공의 해상에서의 변화는 적다. 청정한 대기의 도전율의 대표적인 치수는 $10^{14} \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ 정도이다. 도전율의 고도변화는 지상 근처에서는 복잡하지만 고도 5km에서부터 상공에서는 전리층 고도까지 높이와 함께 도전율이 증가한다. 전리층에서의 도전율은 지표근처에서보다 8桁이상 크다.

소이온의 고도분포와 같이 12~13km에서 극대치가 나타나지 않는 것은, 높아질수록 공기가 점점 희박하여 소이온의 이동도가 급격히 증대하기 때문이다. 지표에서부터 연직상방에 단위면적의 기주를 생각할 경우 도전율의 역수를 기주에 가까이하여 적분을 하면 기주저항이 얻어진다. 지표에서 전리층까지의 기주저항(氣柱抵抗)은 $10^{17} \Omega \cdot m^2$ 정도로서, 그의 대부분은 지상 5km까지의 기주의 저항으로 정해져있다

5. 대기전장 (大氣電場)

상공에 정(正,+)의 전하가 있을 때, 지상에서의 전장은 하향으로 되어 기상학에서는 하향의 전장 부호를 정(正,+)으로 한다. 전리층과 지표의 사이에는 하향의 전장이 대개 안정하게 존재한다. 지표에 대한 전리층의 전위는 $3 \times 10^5 V$ 정도이지만, 전구적(全球的)으로는 거의 공통의 3~6 UTC (협정세계시간)에 극소, 12~15 UTC에 극대적으로 약 $\pm 20\%$ 의 진폭을 갖는 일변화(日變化)가 보인다.

이의 지표에 대한 전리층의 전위는 지구상의 여러곳에서 점차적으로 발생하고 있는 천둥번개에

의해 유지되고 있으며, 전구적(全球的)인 퇴활동(雷活動)의 일변화(日變化)에 따라 전구(全球)에서 공통의 전리층 전위의 일변화가 발생한다. 정은시(靜時)의 지표근처에서는 전위경도(또는 전장의 강도)는 $100 V \cdot m^{-1}$ 정도이지만 높아질수록 급속하게 감소하여 10km의 고도에서는 $3 V \cdot m^{-1}$ 정도가 된다.

해상과 상공에서는 전위경도(傾度)는 전구적인 전리층 전위의 변화에 응한 변화 이외에는 현저하지 못하나 육상경계층 내에서는 오염에 의한 에어로졸의 증감에 따라서 소이온 수밀도 도전율 및 기주(氣柱)저항이 변화하여 이에 대응하여 전위경도도 복잡하게 변화한다. 또한 대기전장은 기상의 교란(攪亂)에 따라서 변화한다. 건조, 사막지대의 풍진인 경우에는 정은시(靜穩時)의 100배의 역량(逆勿)의 전장이 되는 것도 있다.

안개, 약한 비에서는 전장의 강도는 정은시의 10배에 달하는 경우도 있으나, 전장의 방향은 정·부(正·負, +·-)의 어느쪽인 경우도 있다. 강한 뇌우(雷雨)의 경우는 전장의 강도는 정은시(靜穩時)의 1000배를 넘을 때가 있으나, 전장의 방향은 뇌운(雷雲)과 관측자의 위치관계로 다르다. 전형적으로 뇌운(雷雲)의 직하에서, 최대의 부(負,-)의 전장, 뇌운의 주위 근방에서 최대의 정(正,+)의 전장 뇌운으로부터 거리적 떨어짐에 따라 전장은 약해진다. 이와 같은 전장의 분포는 대략적으로 뇌운이 상(上)으로 정(正,+)의 전하, 하(下)의 부(負,-)의 전하를 갖는 것과 같이 분류하고 있음으로 일어난다. 강설(降雪)인 때는 전장의 강도는 정은시의 약 100배에 달하는 경우도 있어, 전장의 방향은 정(正,+), 부(負,-)의 어느 쪽인 경우에도 있다.

6. 공기이온의 성질

기체내에는 정(正,+) 또는 부(負,-)에 대전한 미립자가 존재하며 이것이 전기를 갖고 운반하는 역할을 하고 있다.

이 미립자를 이온(Ionen, Ions, Trager Carriers)라고 부르고, 1개의 이온이 갖는 전하는 전자의 전하와 같고, 전기의 비분할적 단위량 즉 전기소량(Electric elementary quantum)은 $e = 4.774 \times 10^{-10} \text{ e.s.u. (靜電單位)} = 1.59 \times 10^{-20} \text{ e.m.u. (電磁單位)}$ 이다

기체를 이온화하는 것을 이온화요인(Ionizing agent)라고 한다.

이온의 전하 부호는 정(正)·부(負)이며, 부호에 따라 플러스이온과 마이너스이온이라고 부른다. 전자학에 의하면, 플러스 이온은 기체 분자가 전자를 잃는 것으로, 마이너스의 전기를 잃어 플러스 이온이 된다. 마이너스 이온의 본체는 그의 발생된 순간에 β 선 또는 음극선과 같은 모양인 것-유리전자(Free electron)이고 이것이 다른 기체분자와 충돌하여 이것에 부착하여 부(負)이온 즉 마이너스 이온으로 된다.

기체의 정부(正負)이온이 서로 확산하는 모습은 마치 액체중에 부유하는 미립자와 같은 모양으로 생각하고 있다. 즉, 공기이온의 운동은 소위 브라운 운동을 제정하고, Nernst가 행한 전기분해의 이온확산과 동등하다. 따라서, 양자를 측정비교를 하면, 기체 이온 및 용액내 이온 양에 대한 전기량의 비(比)를 알수가 있다. Townsend 와 Zeleny의 측정결과로부터 많은 기체이온은 전해질액의 1가(價)이온과 동일한 전기량을 갖는다는 것이 명확히 밝혀지고 있다.

공기가 정지하고 있을 때, 이온은 전장의 방향 또는 반대방향으로 옮겨지고 그의 이온속도는 이온의 마찰저항과 가속력이 같게 될 때까지 움직이며, 도체의 전하와 반대부호의 이온이 도체표면에 끌어당겨서 도체에 달하면, 각 이온은 갖고 있던 전기를 중화하여 사라진다.

7. 공기이온의 분류

공기이온의 속도는 전장의 강도에 비례하여 단위강도의 전장내에서 이온 속도를 이온의 운동도로 보고 있다. 통상 어느 한 점에서 전장의 강도는 그 점을 중심으로 하여 1cm 떨어진 그 점의 최대 전위차 - 즉 전압을 측정하여 V/cm로 표시한다. 이온의 운동량은 이온이 갖는 전기량과 그의 질량의 비에 의해 정해지는 것이지만, 대기 중의 이온에서는 이 비율은 매우 광범위하기 때문에 일반적으로 운동도 및 크기에 따라 아래와 같이 분류된다.

7-1. 유리전자 (Free electron)

단독으로 존재하는 전자로 「질량」은 수소원자의 약 1/1,800, 약 $9.0 \times 10^{-28} \text{g}$. 「전하」는 전기의 비분할적 단위량 즉 전기소량 $4.774 \times 10^{-10} \text{ c.s.u. (靜電單位)}$ 이다. 전자의 반경은 약 $1.9 \times 10^{-13} \text{cm}$, 원자의 반경은 약 10^{-8}cm 이며, 전자의 크기는 원자의 약 1/50,000이다. 이것은 음극선 또는 방사성물질의 β 선과 같으며, 운동도는 매우 크다. 대기 중에서 특수한 경우, 예를 들면 공기의 극히 희박한 상공이나 순도가 높은 질소, 헬륨, 알콜 등의 가스로 인정이 된다

7-2. 원자이온

정(正,+)·부(負,-)가 있으며, 정(+) 원자이온은

원자가 전자를 잃었을 때의 것이며, 부(-) 원자이온은 전자가 다른 중성원자에 부착한 것으로 전자와 같이 대기의 상층에만 한하여 존재한다

7-3. 소이온 (The light or Small ions)

[정상이온](ordinary ions)이라고도 말하며, 대기중에 존재하는 주요이온으로서 정(正,+)
부(負,-) 같이 있다. 대기 중에는 전자 또는 원자 이온이 발생하면, 매우 단시간에 핵이 되어, 주위에 기체 분자를 끌어당겨 결합하고, 분자집단이 된다고 생각한다. 집합하고 있는 분자 수는 10~30개 정도이다. 플러스 이온은 일반적으로 마이너스 이온보다 큰 질량을 갖고, 운동도도 1.36cm/sec 라고 하며, 마이너스 이온의 운동도는 2.1cm/sce 이다. 대기의 전기전도는 주로 이 이온에 의한것이라고 생각된다

7-4. 대이온(The heavy or large ions)

Langevin이온이라고도 하며, 정(正,+)
부(負,-)의 소이온 또는 전자가 먼지나 안개와 같은 미립자에 흡착한 것으로 형(形)은 소이온과 동등하지만, 주로 도심지 근처의 연기 등 오염된 공기 중에 다량으로 존재한다. 대이온의 운동도는 0.01~0.0005cm/sec 로 광범위하게 걸쳐있다

7-5. 중간이온 (Intermediate ions)

Pollock에 의하여 발견된 이온으로 소이온과 대이온의 중간 운동도를 갖는다. 어떤 낮은 온도의 조건이 충족되었을 때 운동도는 약 0.1~0.01cm/sec 정도로, 성질은 대이온과 비슷하다

8. 공기이온화의 요인

대기중에는 공기이온화하는 여러 가지 요인이 존재하며, 끊임없이 이온이 생성되고 있다. 그와 동시에 이온은 끊임없이 소실하기 때문에 생성과 소실의 사이에 어느 정도 평형이 이루어진다. 대기 이온화의 요인으로 생각하고 있는 것에는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

8-1. 광전효과

모든 고체는 어떤 파장이 빛에 조사(照射)될 때, 표면으로부터 전자를 방사한다. 이것을 「광전효과」라고 말한다. 대기중에 방사된 전자는 즉각적으로 기체분자에 붙어 보통의 소이온으로되고, 그의 고체는 양(+)으로 하전(荷電)된다. 그 결과, 기체내에는 부(-)이온만이 증가하여 마이너스의 전기전도도(電氣傳導渡)가 크게 된다. 그러나, 실제에는 지표에 광전효과가 현저한 물질은 극히 적으며, 태양광선의 광전효과에 의한 이온화는 그리 많지는 않다고 알려지고 있다

8-2. 자외선효과

레나드, 톰슨, 프렌리 등의 연구에 의하여 기체는 자외선이 통과할 때 이온화된다는 것이 명확하게 밝혀지고 있다. 대기 상층에 있어서의 강도가 있는 이온화는 주로 자외선에 의한 것이라고 생각된다. 스완의 연구에서는 10km 상공에서는 지표보다도 약 10배 강하게 이온화되고 있으며, 그의 이온은 하방(下方)을 향하여 확산하고 있기는 하나, 그의 운동은 그다지 빠른 것은 못되고, 정(正,+), 부(負,-) 이온의 재결합에 의하여 빨리 감소된다고 한다

8-3. 레나드효과 (Lenardo effect)

기체내에 있어서 물이 표면적을 바꿀 때 예를 들면 수적(水滴)이 다시 작은 수적으로 분열할 때, 분열된 수적 자신은 쌍방 공히 정(正,+)의 전기를 갖고, 주위의 공기는 부(負,-)의 전기를 갖는다. 이 현상은 「폭포수 효과」또는 「레나드효과」라고 알려져 있으며, 물 속에 공기를 보내고 거품을 낼 때 나오는 공기가 부(負,-)에 대전하는 일도 이와 같은 현상인 것이다. 또한 뇌운(雷雲)의 전기의 성인(成因)의 설명에도 가끔 인용된다. 이 현상에 관하여는 아래와 같이 설명을 하고 있다.

수적의 표면에는 전기의 2중층이 항상 존재하여, 수적면은 부(-). 이것이 인접하는 공기는 정(正,+)에 대전하고, 그의 사이의 거리는 매우 짧다고 가정한다. 새로운 수면이 공기에 접촉되면 공기 중의 정(正,+)에 대전하고, 그의 사이의 거리에는 매우 짧다고 가정한다. 새로운 수면이 공기에 접촉되면, 공기 중의 정(正,+)이온은 이의 2중층의 외층이 됨으로 수면에 뺏기고, 공기는 부(負,-)에 대전하는 것이 된다. 그러나 물 속에는 타의 물질, 예를 들면 소량의 식염이 포함된 물과 알콜, 초산에칠 등을 사용할 때는 진수의 경우와 부호가 역으로 되어, 공기가 정(正,+)의 전하를 얻어, 수적이 부(負,-)에 대전되는 것은 톰슨의 연구에서 명확하게 밝혀지고 있다. 지표근처의 대기중에서는 이의 효과가 이온생성의 중요한 원인이 된다는 것은 없고, 폭포수, 급류, 노도(怒濤), 비의 강도 등 특정의 장소만이 이 현상이 일어난다. 특히 격하게 파도치는 해양상에서의 전장은 크고, 정(正,+)이온이 다수 대기 중에 존재하는 것에 비하여 진수의 때, 예를 들면 폭포수와 급류에서 도저히 역의 전장으로

되어있다. 해안의 파도가 칠 때에 있어서의 정(正,+)이온이 생성되지만 대기 전체에 대하여는 그리 커다란 영향을 주지 않는다

※ 「레나드 효과」

방사선에 의한 전리작용의 예도, 양적으로 그리 많지는 않으나, 「액체」가 분열할 때에도 이온이 생성된다. 액체가 급격히 미립화가 되면, 액체표면에너지가 변화하기 때문에 「액적(液滴)」이 대전한다. 예를 들면 수적이 분열할 때, 수적은 플러스에 대전하고 주위의 공기는 마이너스에 대전한다. 이 현상을 「레나드효과」라고 부른다. 해안과 폭포수 근처에서 마이너스 이온이 많다고 하는 것도 이런 이치에서 온 것이다.

1909년 레나드 효과를 추시하여 확장시킨 G.C.Simpson은 그의 실험결과에 기반하여 뇌운내(雷雲內)의 전하분리의 원인이 뇌운내의 상승기류역에 있어 수적 분열에 의한 것이라고 주장하였다

9. 방사성물질에 의한 이온생성

육상의 어느 장소에도 존재하여 이온생성의 중요한 요인으로 되는 것은 「방사성물질」이다. 지중에는 우라늄, 라듐, 악치늄, 토륨 등 라듐계의 물질이 광범위하게 걸쳐 존재하고 그의 붕괴물질로서 기체 소위 애마네이온(방사성희 가스 원소)이 지각(地殼)을 통하여 대기 중에 방산(放散)된다. 대기 중에 나타난 방사성희 가스 원소는 다시 붕괴하여 라듐 A, B, C 등 방사성 물질로 변화되어 일반 α 선, β 선, γ 선을 방출하여 공기이온화 한다. 방사성물질이 방사하는 것을 다음 3종류이다

9-1. α 선

「 α 입자」라고도 불리며, 양(陽)에 대전한 미립자로 헬륨원자가 2개의 전자를 잃은 것이다. α 선은 많은 방사성 물질이 붕괴할 때 시속도(始速度) 2×10^9 cm/sec로 방사되어, 1기압의 공기 중에서 최초의 속도에 의해 4~8cm의 거리까지 도달할 수가 있다. 이 거리는 사정(Range)이라고 불리며, 보통의 시속도(始速度)의 대응으로 쓰인다. α 선은 기체 중을 띄우는 사이에 그 기체 분자와 충돌하여, 이것을 강도있게 이온화하는 작용이 있다. 예를 들면 1개의 α 입자가 라듐 C로부터 방사하여 7cm의 사정을 뚫 때, 그 사이에 200,000 대의 이온을 생성한다

9-2. β 선

「 β 선」은 전자이며, 마이너스의 전기를 갖고 있다. 이것은 원자가 붕괴할 때 100,000~300,000 km/sec의 속도를 가지고 방사된다. 이것은 수 m의 공기층을 통과하며, 1~3mm의 두께의 금속판도 투과할 수가 있다. β 선은 그 본체에 있어서 음극선과 동양(同樣)이지만, 그 속도가 매우 크며, α 선 만큼 기체의 이온화 작용에는 강하지 못하다

9-3. γ 선

「 γ 선」은 X선과 동양(同樣)의 전자파가 있으나, 파장은 훨씬 짧고 투과력은 X선보다 강하다. 예를 들어 라듐 C의 γ 선은 두께 14mm의 엽판을 투과하여 처음의 강도의 반분이 되는 정도이다. 기체를 정(正,+)·부(負,-)에 이온화하는 작용은 X선의 경우와 동양(同樣)이다.

많은 연구에 의하면, 지중에서부터 흘러나오는 공기는 2×10^{-13} 큐리/cc의 라듐에마네이션(라돈)을

함유한다고 말하고 있음. 지중에서부터 방사되는 방사성희 가스의 양은 대기의 기상상태에 의해 변화한다. 대기압이 고기압에서 저기압으로 변화하면 지중의 공기는 뺏어내기 때문에 방사성희 가스도 다량으로 대기 중으로 나오게 되고 이온화가 성행하지만, 이 이론은 대기중의 이온수의 관측과 일치한다.

기타, 온천지대, 화산 등에서 나오는 「가스」는 매우 다량의 방사성희 가스를 포함하는 것으로 알려져 있다. 실제 대기 중에 우적(雨滴)과 설편(雪片)이 방사물질을 함유하고 있다는 것은 각기 급속으로 증발된 잔류물을 조사하면 알 수가 있다

※ 「방사선물질」에 의한 전리작용

α 선, β 선 및 γ 선 등의 「전리방사선」을 내어서 괴변(壞變)하는 물질을 「방사성물질」이라고 말하며, 그의 원소를 「방사성원소」라고 말한다. 또한, 「방사능」이란 방사성 물질이 방사선을 내는 성질을 말한다. 「방사성물질」에는 계열을 갖는 것과 갖지 않는 것이 있어, 자연에 존재하는 방사성 원소의 대부분은 「우란-라듐」, 「토륨」, 「악티늄」의 3가지계열로부터 성립되었다. 이들 3개 계열에 공통적으로 되어 있는 것은 ①지구의 연령인 45×10^9 년 정도의 긴 반감기(半減期)를 갖는 방사물질을 조상으로(원조)할 것, ②계열의 도중에 「라돈 Rn」(기체)가 있을 것, ③중국의 「안정원소」는 「Pb」이어야 하는 점 등이다. 또 하나의 「데부쓰늄계열」은 반감기가 지구의 연령에 비해 매우 짧고, 자연에는 검출할 수 있는 농도에서는 존재하지 않는다고 되어 있다. 계열에 속하지 않는 방사성원소 가운데에 자연방사성 핵종의 것은 ^{40}K 등 반말기가

긴 것과 「우주선」인 것이다. 「대기중」의 주된 방사성물질은 「 ^{226}Ra 」로부터 괴변(壞變)된 「 ^{222}Rn 」(라돈)과 「우주선」인 것이다.

「라돈」은 화학적으로 불활성 기체로, 3.82일의 반감기를 갖고, 그의 「괴변(壞變)」의 과정 중에서 발생하는 ^{218}Po (반감기 3.11분) ^{214}Pb (26.8분), ^{214}Bi (19.7분), ^{214}Po (164 μs)가 단수명핵종(短壽命娘核種)이며, 그들은 RaA, RaB, RaC, RaC' 라고 불린다.

이들의 핵종 가운데에서 「라돈」, 「RaA」, 「RaC'」가 「 α 선방출 핵종」이다. 또한 라돈이 「기체」인 것에 대하여 그의 낭핵종(娘核種)은 「금속원자」이며 그들 핵종은 대기 중에서의 거동이 크게 달라지고 있는 것이다.

라돈의 친핵종의 「 ^{226}Ra 」는 어디의 「토양」과 「암석중」에도 함유되지만 그의 할합(割合)은 암석의 종류에 따라 크게 다르며, 특히 「화강암」에 많다. 토양과 암석으로부터 지중내 공간에 산일(散逸)할 라돈은 「분자확산」, 토양과 대기 사이의 「압력차」 등에 의해 대기 중에 방출된다. 이 지표면으로부터 「산일율(散逸率)」의 치(值)로서는 육상에서 $17\text{mBqm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 정도라고 되어있다. 한편 금속원자인 낭핵종(娘核種)은 라돈이 공간내 체재 중에 생성되지만, 좁은 공간이기 때문에 토양입자에 침착하여 대기중에 산일하는 것은 없다고 생각들을 하고 있다.

대기 중에 방사한 라돈은 바람, 기류 등의 확산에 의해 수평·수직 방향으로 운반되어, 특히 지표면 부근에서 라돈의 농도는 난류확산(亂流擴散)에 의해 강하게 영향을 받는다. 지표면 부근의 라돈농도는 난류혼합에 강하게 의존하기 때문에 일반적으로

조조(早朝)에 최대, 오후에 최소치를 갖는 일내변화를 나타낸다. 계절변화의 바탕은 지역, 기후에 따라 다르다

해수 중에도 매우 적지만 ^{226}Ra 가 함유되어있어, 「해면」으로부터 라돈의 방산에 있다. 그러나, 그의 수치는 $0.1\text{mBqm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 정도로 육상에서 수치의 1/100이하이다. 또한 해양대기중의 라돈 농도는 육상과 같은 일내변화(日內變化)를 나타내지 않는다

10. 우주선 (Cosmic rays),

초투과선(Ultra-penetrating radiation)

상기의 방사선외에 지구외로부터 방사선으로서 알려지고 있는 것에 「우주선」이 있다. 대기의 방사능이 방사성희가스에 의하는 것이라면 상공에 있어 감쇄 할 수밖에 없다. A.Gockel, V.F.Hess, Kolhorster 등은 기구상의 밀폐형전기로 측정된 결과, 지표보다 조금 높은 칸에는 전리도가 예상과 같이 감소하지만 어느 고도 이상이 되면 도리어 증가하여 9km정도의 고도가 되면 현저히 증가하는 것을 명확히 밝혀주고 있다. 이 원인은 지구외로부터의 방사선에 의한 것으로 그의 흡수율을 측정하면 γ 선 보다 훨씬 투과성이 강하다는 것을 알았다.

「우주선」은 수직방사 (Hohenstrahlung), 헤스선(Hess rays), 초투과성(Ultra-penetrating radiation) 또는 우전선(Cosmic rays) 이라고 불리고 있다. Kolhorster는 빙하중의 구멍가운데에 얼음에 의한 이의 흡수를 측정하여, 우주선은 매우 투과성이 있으며, 상공에서부터 온다고 말하는 결과를 얻었다고 보고되어 있다. 한편, Millikan과 Cameron등은 호수의 물을 흡수물질로 하여 우전선을 실측하여 그의 흡수율은 라듐C의 γ 선보다

훨씬 적고 더욱 특정의 방향으로부터 비례하는 것 없이 우주전체로부터 발생한다고 하는 결론을 보고하고 있다

※ 「우주선」에 의한 전리작용

Hess와 Kolhorster에 의한 우주선 강도의 고도분포에 의하면, 대류권에서는 천천히 증가하지만, 성층권에 들어가면 급격히 증가한다고 한다. 이 사실은 우주선이 2개의 성분 즉, 대기중을 「투과」하기 쉬운 성질을 갖은 입자와 「흡수」하기 쉬운 성질을 갖은 입자로 된 것을 나타냄. 전자는 대부분이 「중간자」로 약간의 전자를 함유하여, 후자는 양자 빛「 α 입자」등이다.

우주선의 강도분포 중에서 중요한 것은 「지자기 효과」이다. 지구자계는 개념적으로 쌍극자자계(極子磁界)로 생각할 수가 있으나, 이 자계내에서의 (대전입자)의 운동을 생각하는데 따라서 지구의 표면에 도달하는 최저 에너지가 구하여진다. 그의 계산결과가 우주선의 「위도효과(緯度效果)」 및 「경도효과(經度效果)」이다. 「위도효과」는 최대 최소의 차가 12%에 미치지, 경도효과는 적도에 따라서 약 4%라고 말한다. 우주선의 위도효과와 대기전계에도 볼수 있는 바와 같이 위도효과 밀접한 관계를 갖는 것에도 특히 중요하다.

11. 기타의 공기이온화의 요인

11-1. 충돌이온화 (Ionisation by collision)

이 현상은 Townsend의 이론이라고도 말하는 것으로 자외선 또는 X선에 의해 이온화된 공기 중에 양극을 놓고, 여기에 전압을 걸면 이온의 운동에 의해

전류를 얻는다. 그의 양은 처음 음의 법칙에 따라 전압에 비례하여 증가하지만 전압이 어느 치수에 가깝게 되면, 전류 증가의 환율은 감소하고, 소위 포화전류의 상태가 된다. 그런데 전압을 다시 증가시키면, 어느 곳에서 다시 전류가 급히 증가하는 장소가 있으며 이때의 전압의 수치는 1기압의 공기 중에 양극간의 거리가 1cm정도의 때에 몇만볼트라고 하는 큰 수치를 나타낸다.

즉, 변종의 신이온이 새로 되기 시작한 것을 나타내지만, 충돌이온화의 이론이며, 대기중에 있어서의 지표에 있어서의 전장이 10 KV/cm이상이 되면, 이온의 충돌에 의하여 이온이 생성된다.

예를 들면, 뇌우시(雷雨時) 매우 이온이 증가하는 것은 강한 전장에 관계하고 있기 때문이다. 전장이 강할 때에는 돌출한 도체를 전장내에 놓으면 그것이 발광한다. 샌드, 엘모의 분(St. Elmo's fire)라고 칭하는 것이 이것이다. 이것은 뇌우(雷雨) 또는 풍우(風雨)때, 전장의 강도가 매우 크게 되어 있을 때, 주위에서부터 높게 되어 있는 장소의 지물(地物) 예를 들면, 사원의 탑정(塔頂), 피뢰침, 선박의 범주(帆柱) 산정에서는 등산자의 손가락 끝 등 선단으로부터 나타나는 방전현상으로 홍색과 청색의 빛이 나오도록 보인다. 이것은 엘모사원(寺院)의 탑의 정상에서 관측하였기 때문에 이러한 이름으로 불리고 있으나, 일본에서는 이부기야마(시가와 기후의 현경)에서 이 현상을 볼 수 있다는데 유명하다.

이때 지물의 선단의 전장은 매우 강하게 되기 때문에 공기중의 이온의 속도도 크게되어, 공기의 분자와 충돌하여 이것을 전리시킨다. 유리(遊離)된 전자가 복귀할 때 복사파를 내는 빛을 발하는

것이라고 생각되고 있는 것이다. 이때 대기 지표간의 이온에 의한 전류가 매우 크게 된다

우주선에 의한 전리

$$(1.5 \sim 1.8) \times 10^6 \text{ J}$$

$$\text{합계 } (10.1 \sim 10.4) \times 10^6 \text{ J}$$

11-2. 백열제에 의한 이온화

금속 또는 그의 산화물이 작열 될시에도 이온은 생성되지만, 이것은 지표에 있어서의 이온 생성의 주된 원인은 못된다

해상에서 하층대기에서는,

우주선에 의한 전리

$$(1.5 \sim 1.8) \times 10^6$$

11-3. 화학작용에 의한 이온화

염, 린의 산화등, 화학작용에 의한 이온화 현상이 있으나, 공기중의 이온생성의 주된 원인은 못된다

※ 기타 「선단방전」, 「코로나방전」이나 낙뢰에 의한 방전에 의하여 대기는 전리되지만, 어느 것이든 국소적인 현상이다.

「토양중」의 방사성물질에 의한 전리량은 고도 300m이하로 한정된다. 「라돈」과 그의 낭핵종(娘核種)에 의한 전리량은 하층에서는 중요하지만, 상승함에 따라 「우주선」에 의한 전리량이 지배적이 된다. 또한 나카에(中江)에 의하면(1987) 우주선에 의한 전리량은 그의 위도 효과에 따라 고위도일수록 크고, 특히 지표부근의 수치는 지역적·시간적으로 변화하지만 지상과 해상에서의 평균하면 위 공식에 표시하는 정도가 된다.

12. 전리량

대류권으로부터 상방의 「대기층」에서 태양으로부터 강한「자외선」을 받아 기체분자의 「전리」가 현저하고 「대류권 대기」에 있어서의 전리는 주로 「우주선」과 다른 「방사성물질」에 의한다. 그의 전리량은 통상 단위체적 중에 단위시간에 만들어지는 [이온대]($J : m^{-3}s^{-1}$)로 표시한다.

출처: 空氣マイスイオン應用事典

(人間と歴史社, 2002)

육상에서의 하층대기에서는,

지각중의 방사성물질에 의한 전리

$$4.0 \times 10^6 \text{ J}$$

대기중의 방사성물질에 의한 전리

$$4.6 \times 10^6 \text{ J}$$