

인간과 하천

1

River & Culture



김추윤 | 이학박사 · 신홍대학교수
(cykimcy@naver.com)

물의 과학이야기 2

물은 어떻게 지구를 순환하는가?

1. 들어가며

이명박 대통령은 최근에 유엔의 기조연설에서 “국제사회는 물문제에 효과적으로 대응할 수 있는 거버넌스 체제를 구축해야한다”고 밝혔다. “전 세계의 절반에 가까운 인구가 물부족으로 어려움을 겪고 있으며 기후변화로 인하여 홍수, 가뭄, 해수면 상승 등 물관련 재해가 많이 나타나고 있다”며 효과적인 국제협력기구가 필요하다고 했다. 그러면서 세계적인 물관리 국제기구의 한국 유치에 대한 의견도 피력했다.

현재 물관련 국제기구는 유엔환경계획 등 25개 유엔기구와 세계물위원회 등 12개 국제단체가 “유엔워터”라는 연대아래 활동하고 있다. 그러나 종합적으로 전담하는 기구가 없어 업무 효율성이 떨어지고 정치적 결집력도 떨어지고 있다.

현재 한국은 4대강 살리기 사업 등을 통해서 물을 효율적으로 관리하고 이용하기 위한 여러 가지 구상을 하고 있다. 청계천 개발의 성공사례에서도 알 수 있듯이 물문제는 우리 생활의 아주 중요한 일상적인 문제이다.

따라서 우리들은 이제 물이 어떻게 생성되고, 어느 과정을 거쳐 순환되고, 어느 지역에 홍수와 가뭄 같은 지역적인 물의 편재현상이 일어나는 것인지를 정확하게 알고 있어야 할 때이다. 그래야만 물문제가 발생할 때 정확한 대응을 할 수 있

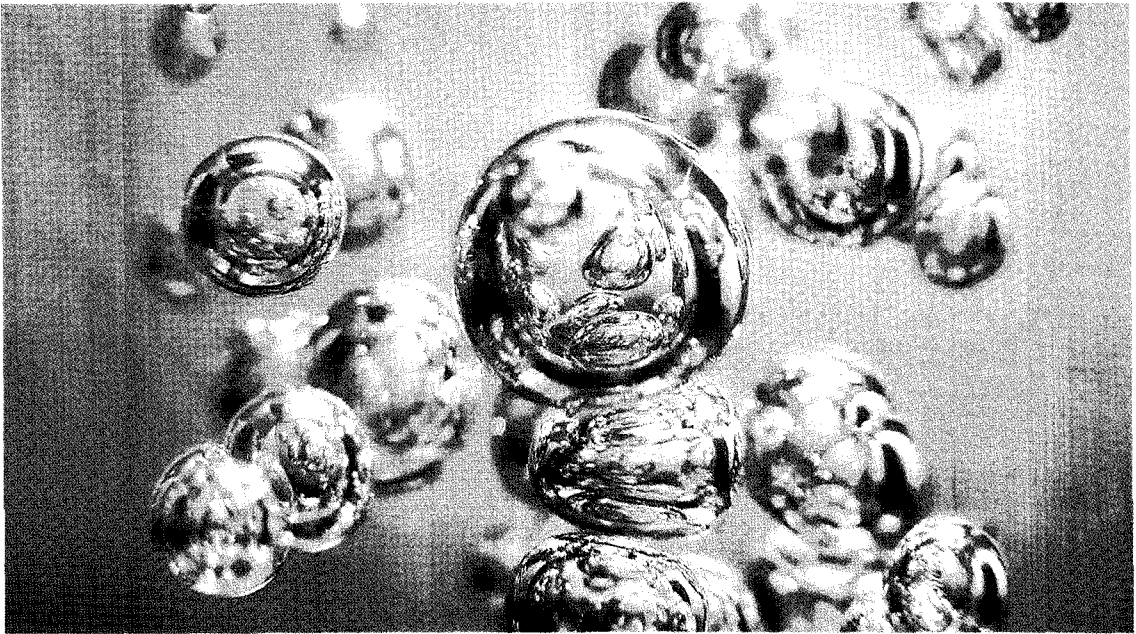
게 되는 것이다.

지구상의 물의 총량은 일정한데, 이 일정한 총량의 물이 일정한 순환과정인 증발-강수-차단-증산-침투-저류-유출의 물순환 과정을 거쳐서 다시 제자리에 오기에, 아직까지는 지구가 큰 재앙 없이 그런대로 견디고 있는 것이다. 만약 이런 일정한 물순환 과정이 파괴된다면 지구는 엄청난 재앙에 직면할 것이다.

물은 화학적이든 생물학적이든 수평이나 수직이동을 통해서 끊임없이 지구를 순환하고 있다. 물순환의 과학적인 추적자로서는 방사선 동위원소인 삼중수소가 많이 이용되고 있다.

2. 물순환의 역사적 배경

지구상에 존재하는 물은 그 존재 장소가 일정하지 않고 순환하면서 이동하고 있다. 예를 들면 빙하는 눈이 얼음으로 변하여 얼음상태로 존재하고 있지만 굉장히 조금씩 이동하고 있고 또 기온상승에 따라 융해작용 등에 의해서 오랜 세월이 지난 후 해양으로 되돌아간다. 또 하천이나 해양의 물은 증발이나 지하침투 뒤에 먼저 구름이나 지하수로 되고 유동해서는 강우나 눈, 샘 등 다음 경로로 이동한다. 이와 같이 물은 지



구상을 이동하고 있고 일정한 기간 동안 그 모양을 기체, 액체, 고체로 바꾸어 간다. 이것이 물의 순환이다.

물의 순환과정은 시작도 없고 끝도 없는 것으로 보통 증발(Evaporation), 강수(Precipitation), 차단(Interception), 증산(Transpiration), 침투(Infiltration), 침투(Percolation), 저류(Storage), 유출(Runoff) 등 여러 과정을 거치게 된다. 바다나 지표면에서 증발된 물은 대기 가운데로 상승 운반되어 응결된 후 강수가 되어 다시 지상에 내려온다. 지상에 내려오는 도중 식물에 의해서 차단되거나 증·발산되기도 하고 지표면에서 유출하여 하천에 도달하기도 하고 지하로 침투하여 저류되어 지하수를 형성하기도 한다. 이러한 물은 마침내 하천이나 호수, 바다로 흘러 들어간 후 다시 증발에 의해서 대기 중으로 되돌아간다.

고대로부터 A.D. 1400년경까지 물의 순환과정은 호머(Homer), 탈레스(Thales), 프래토(Plato), 아리스토텔레스(Aristotles), 세네카(Seneca) 등 여러 철학자들에 의해서 추측되었다. 이러한 철학자들의 사고는 대부분 그릇된 것으로 밝혀졌으나 그리스 시대에 살았던 비트루비우스(Vitruvius)의 지하수 생성에 관한 추측은 오늘날의 지하수 이론과 흡사하다. 그는 '지하수는 대부분이 비나 눈이 지표면을 침

투하여 얻어지는 것'이라고 주장했다. 문예부흥기(AD. 1400-1600)에 들어서는 물의 순환 현상을 철학적으로 접근하는 대신에 직접 관찰에 의해서 수문현상을 이해하려고 했다. 특히 레오나르도 다빈치는 물순환 현상을 관찰을 통해서 올바르게 이해하려고 노력한 사람이다.

고대 그리스 과학의 창시자이며 철학자인 탈레스는 만물의 근원은 물이고 해수는 바람에 의해서 지구 내부로 침투되어 들어오고 암석의 압력에 의해서 지표에 재차 상승하고 수원(水原)으로 되어서 하천을 만든다고 생각했다. 이러한 철학적 체계 속에서 물의 순환에 대한 개념이 붕괴되고 있음을 알 수 있다. 그 후 그리스의 철학자이면서 수학자인 소크라테스의 후계자로 있는 플라톤은 물의 주요 원천이 해양이라고 주장했다. 즉 물은 해양에서 바다 밑에 있는 구멍을 경유해서 지구의 심부에 침투하고 그곳에서 상승하여 지표에 유출하여 재차 바다에 흘러간다고 주장했다. 여기서 취급한 것은 지하수와 표면수의 문제이지만 물의 순환에 대해서 명확한 사고를 나타내고 있음을 엿볼 수 있다.

플라톤의 제자인 아리스토텔레스는 스승의 사고를 좀 발달시켜 전체적으로 정확하게 물에 관해서 개념을 부여했다. 물이 표면에서 증발하면 차가운 대기 중에서 특히 동굴 속에서

수증기가 액체 상태로까지 응결하면 그 액상의 수분이 지구 내부로 침투하고 최후에는 그곳에서 수원(水源)으로 해서 재차 표면으로 분출하고 하천이나 호수를 만든다고 지적했다. 다만 그는 수증기에서 액체의 물로 응결시키는 것은 하나의 원소에서 별도의 원소로 전환하는 것으로 생각했다.

기원전 1세기에 로마의 작가 포리오는 그의 저서 '건축' 가운데 일부 현대의 이론과 같이 순환수(個環水)의 이론을 논술했다. 더 나아가 1,500년 후 독일의 자연과학자 키르히(Athanasius Kircher, 1601~1680)는 '지하세계'라는 저서 속에서 자연계의 순환수의 생각을 상세히 논술했다. 그는 '지구의 중심핵은 열을 받아서 뜨거워진 액상(液相)의 물질로서 단단한 각(殼)으로 둘러 싸여 있고 그 가운데에는 마그마의 근원이 있어 화산의 화도(火道)를 통해서 유출한다고 설명했다.

예술분야 뿐만 아니라 공학 및 과학에서도 뛰어난 천재인 레오나르도 다빈치(Leonard da Vinci, 1452-1519)는 자연계에 있어서 물의 순환을 올바르

게 설명한 최초의 사람이다. 7천매 이상에 달하는 그의 '과학에 관한 노트' 속에는 물에 관한 논술이 가장 많다. 그래서 그는 예술가인 동시에 수문학자였다. 그러나 1970년에 비스바스(A.K. Biswas)는 '수문학사'라는 저서 속에서 '레오나르도 다빈치의 물의 순환개념에 대한 표현이 일부는 잘못되었다'고 주장했다. 즉 그는 바다에서의 증발이 강수의 근원이라는 인식은 정확하나 하천수의 근원이 땅속의 수맥을 통해서 바다에서 공급수의 물이라고 한 것은 틀리다고 주장했다. 지하수가 용천의 성인으로 해수에서 유래했다는 설은 철학자 데카르트(Decart 1596~1650), 천문학자 케플러(Kepler 1571~1631)에 의해서 지지되었고, 마리오테(Mariotte, 1620~1684)가 강수량과 용천의 용출량과의 관측 결과에 기초하여 지하수의 강수침

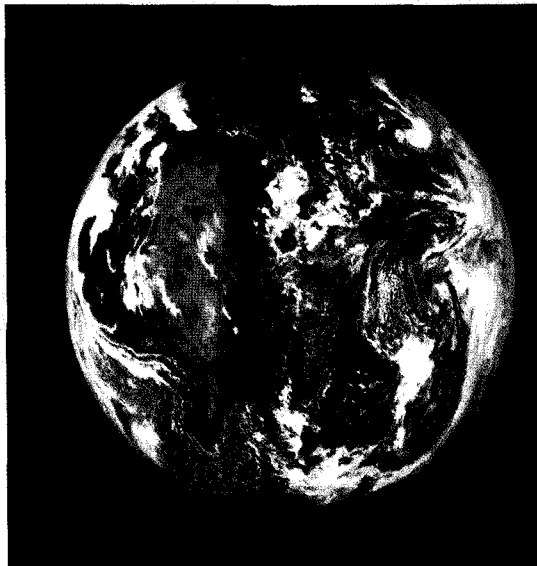
투설을 주장한 이후에도 해수 유래설을 지지하는 자가 많았다. 증발, 응결, 강수, 침투라는 물의 순환이 올바르게 이해된 것은 19세기 증엽 이후이다.

3. 물순환의 과학적 배경

물의 순환에 관해서는 학자에 따라서 몇 개의 유형으로 나눌 수 있다.

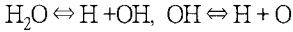
지구상에 있어서 물의 존재 장소에 따라 나누면 첫째, 대기

권 가운데의 물 순환. 둘째, 대기권과 암석권 표면과의 사이에서의 물순환. 셋째, 암석표면권에서의 물순환. 넷째, 암석표면권과 그 내부와의 사이에서 물순환. 다섯째, 암석권 내부에서의 물순환 등으로 나눌 수 있다. 첫째, 셋째, 다섯째 물순환 형태를 지구내 소순환이라 부른다. 더 나아가 지구와 그것을 둘러싸고 있는 공간과의 물의 순환 즉 대순환 형태를 생각할 수 있다.

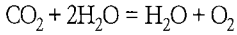


해양학자이며 화학자인 아르후손은 물순환 형태를 아래와 같이 6가지 형태로 나누었다. 첫째는 액상(液相), 고상(固相), 기상(氣象)으로 해서 수평이동이나 수직이동을 하는 물의 기계적 순환을 들 수 있다. 여기에는 해양의 유동(해류, 상·하류), 하천, 유빙, 빙산, 구름, 대기 가운데의 수증기 이동 등이 포함된다. 이 순환은 물에 용해되기도 하고 혼합하기도 해서 대량의 물질을 운반한다. 물에 용해된 약 30억톤의 물질과 물에 부유한 물질을 대륙에서 해양으로 운반한다. 둘째는 물의 동위체 분리에 관한 물리적 순환을 들 수 있다. 셋째는 물의 물리, 화학적 순환으로 결국 광물의 결정격자(結晶格子)가 만들어지기도 하고 깨어지기도 할 때에 물의 포화증수화(水和) 또는 분리 즉 탈수(脫水)가 이루어진다. 넷째는 물의 화학적

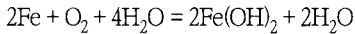
순환으로 물분자의 분해와 합성과정에서 일어난다.



특히 광화성과 호흡작용을 할 때는 아래와 같은 과정이 일어난다.



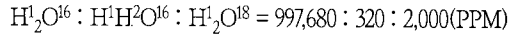
재미있는 것은 대기권 가운데에 포함된 유리산소(遊離酸素)의 양 150만㎏는 160만㎏의 물을 분해해서 얻을 수 있는 양인데, 이것은 카스피해 물의 체적의 20배에 상당한다. 또 대기권 가운데에는 식물의 광합성 결과 465㎏의 산소가 매년 공급되고 있다. 따라서 대기권 전체의 산소는 3200년까지 경신시킬 수 있다. 그것보다 더 신기한 것은 철의 위에 수산화 제1철이 만들어질 때 철과 결합하는 산소는 물에 용해된 산소는 아니고 물의 구성분자로 있는 산소로 알려져 있다. 따라서 수산화 제1철이 만들어질 때는 물의 분해와 물의 생성도 진행된다. 이것은 지금까지 모르던 사실로 최근 표지원자(標識原子)를 추적하는 것에 의해서 발견되었다. 이것은 물의 화학적 순환의 한 예이다.



다섯째는 물의 생물학적 순환으로 물질대사(物質代謝)와 생물의 생명활동 과정 가운데에서 물의 생성과 분해에 관계하고 있다. 여섯째는 인간의 생명 활동의 하나로서 어떤 공업 기술의 필요에 의해서 물의 기술적 순환이 일어나는 것이다. 현재 대규모 제철공장, 화력발전소에서는 방대한 양의 물이 필요하고 이것들이 재사용되고 있다.

자연계에 있어서 물순환을 추적하기 위해서는 동위원소(同位元素) 즉 동위체 3가지가 있다. 수소의 동위체에서 질량수 2인 중수(D, H²), 질량수가 3인 삼중수(T, H³), 산소의 동위체에서 질량수 18인 산소18(O¹⁸)는 보통 산소와 수소보다 무겁다. 이 3개의 동위체는 물분자의 일부로 되어서 자연계를 순환하기에 이것들의 동위체를 이용해서 보통 기상학적 방법으로 알 수 없는 물순환의 실태를 명확히 알 수 있다. 이 3개 가운데 H³는 특히 추적자(Tracer)로서 유효하기에 수증기뿐만 아니라 지표수나 지맥의 순환 연구에 활발히 이용되고 있다. H²와 O¹⁸은 안정된 동위체로서 모든 천연수 가운데 일정한 비

율로 포함되어 있다. 이것들 원소의 정확한 농도는 질량분석계로서 측정한다. 오늘날에는 여러 가지 천연수에 관해서 그 농도가 명확하게 되어 있다. H²와 O¹⁸은 HH²O¹⁶ 및 H²O¹⁸ 형태로 물의 분자를 만든다. 그 존재비는 백만분율(PPM)로 대개 아래와 같다.

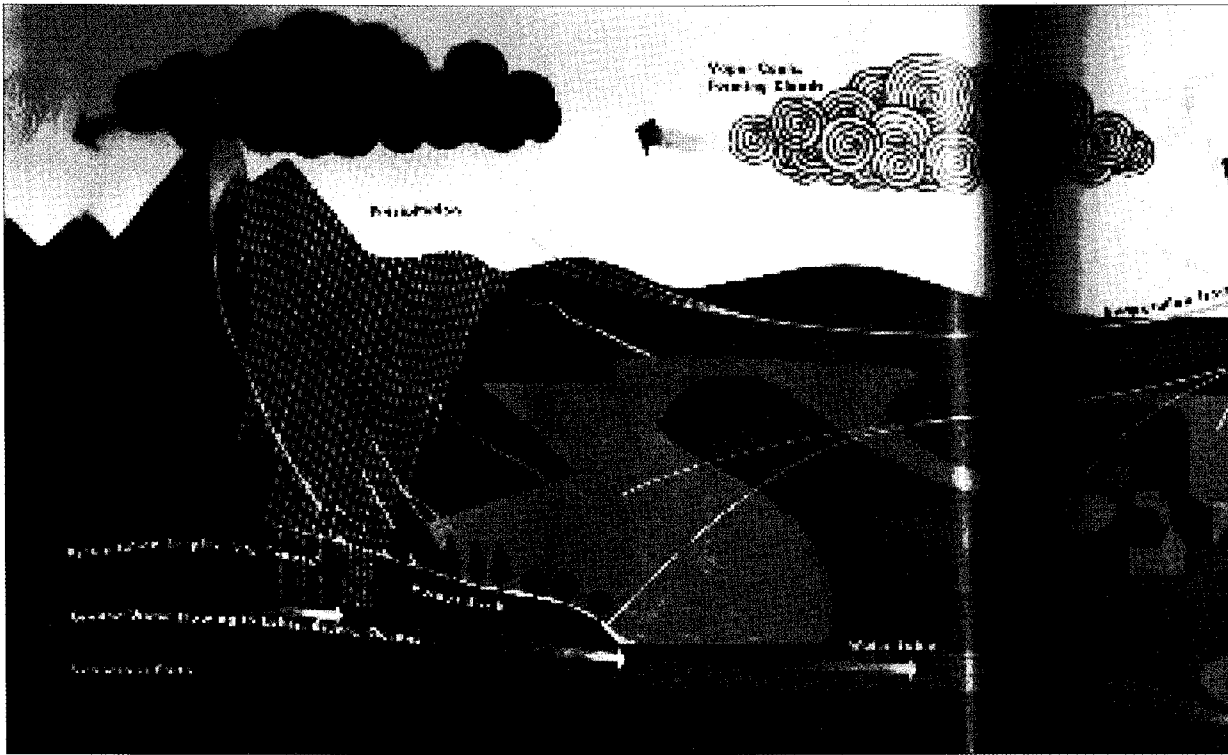


동위체를 포함하는 중수는 보통 물에 비해서 아무래도 포화수증기압이 약간 낮다. 평형상태에 있는 어떤 액체와 기체의 물의 경계면에서는 중수(重水)의 증기압 p'와 경수(輕水)의 증기압 P 사이에는 p > p' 관계가 있다.

분별계수(分別係數: Fraction Factor) α(알파)는 p/p'로 나타낸다. 상온에서는 H¹H²O는 약 1.08, H₂O¹⁸에서는 1.009값을 갖는다. 분별계수는 온도에 따라 다른데 저온일수록 높다. 따라서 자연계에 있어서 물순환 과정에서 증발이나 응결이 일어나면 동위체를 포함한 물은 분별되어진다. 그래서 물의 안정동위체비는 액체의 물 가운데에서는 상대적으로 높고 기체상태에서는 상대적으로 낮다. 이 성질을 이용하면 강수 가운데의 안정동위체비의 분포를 조사하는 것에 위해서 물순환을 추적할 수 있다.

H³는 H²와 O¹⁸과는 다른 동위체이다. H³는 상층대기 중 주로 우주선 가운데 중성자의 작용에 의해서 ¹⁴N+n = H³+C¹²라는 반응에 의해서 생성되어지는데 그의 99%는 HH²O의 형태인 물분자로 만들어져 자연계를 순환한다. H³는 반감기는 12.26년으로 β(베타)선을 붕괴하고 ³He로 변한다. 천연의 상태에서 T:H의 존재비는 10⁻¹⁸의 오더(Order)로 있다. H³은 이와 같이 물속에 조금밖에 포함되어 있지 않기 때문에 천연수에서 H³의 농도를 측정하는 경우에는 토리튬유니트(Tritium Unit; TU)라는 단위가 사용된다.

1TU는 10¹⁸개의 수소원자 가운데 H³원자가 1개 포함되어 있는 경우를 말한다. 수소의 동위체로서 질량수 2내지 3의 원자가 존재하는 것은 이미 1931년에 예언되었다. 그때부터 1년이 경과한 후 유리(Urey)가 확인하였지만 H³가 대기 중에 있어서 존재 비율이 명확하게 밝혀지기까지는 그로부터 18년의 노력이 걸렸다. 그 값이 10⁻¹⁸의 오더로 되어있다는 보고는



1950년 이후이다. 그 후 수년간의 실험을 통해서 이 값이 정확한 것임을 인정받게 되었다. 대기 중의 천연 H^3 의 농도측정은 6~15TU이다. H^3 의 농도측정은 기체비례계수관이나 액체 시츄레이션계수기 등을 이용하지만 측정 가능한 자료수(資料水)의 H^3 농도의 하한은 100TU이다. 따라서 이 이하의 농도의 H^3 를 측정하기 위해서는 자료수를 농축해서 H^3 의 농도를 올리지 않으면 안된다. 농축의 방법에는 열화산법이나 전기분해법이 있는데 보통 전기분해법이 사용되고 있다. H^3 발견이 늦어진 이유는 이와 같이 측정법이 어렵기 때문이다.

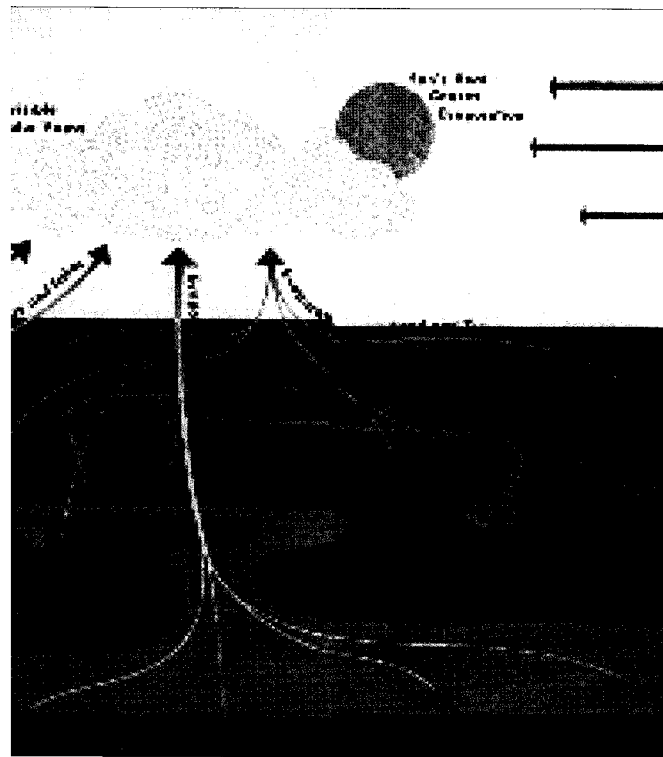
우주선의 작용에 의해서 상층 대기권에서 생기는 T는 HTO로 되어서 성층권에서 한참동안 머문다. 성층권에서의 체류시간은 수개월에서 10년을 생각할 수 있는데 확실한 결론은 아니다. 대류권에서는 대기의 순환에 의해서 HTO는 H_2O 와 잘 혼합되어 물순환에 가담하게 된다. 그래서 그 이후는 순환과정에서 β (베타) 붕괴를 계속해서 T농도는 일반적으로 감소해 간다. 천연의 상태에서는 이 붕괴에 의해서 감소하나 지상의 원자회(原子灰: 방사성 강하물: 죽은의 재)로부터 성층권으로의 공급이 균형을 이루어 대류권의 수증기 가

운데의 T농도는 대개 평형상태에 있다고 생각된다. 그 값이 전술한 것과 같이 6~15TU로 있고 보통 근사적으로 10TU라는 값을 사용한다. 그런데 1952년 이래 열핵폭발 실험에 의해서 대량의 인공 T가 대기 중 특히 성층권에 방출되어 이 평형상태는 완전히 무너졌다.

위에 논술한 3개의 동위체 이외에 탄소14(^{14}C)도 탄산가스 또는 탄산염류로 되어서 물에 녹아서 자연계를 순환하고 있다.

D와 O^{18} 의 원천지는 해양이다. 이것들의 안정동위체의 농도는 특수한 예를 제외하고는 해양이 가장 높다. 그의 평균치는 표준평균해수(SMOW: Standard Mean Ocean Water)로 해서 세계적으로 통일되어 있다. 기타의 물의 동위체비는 표준평균해수에서의 차의 천분율로서 표현된다.

물순환 연구에 있어서 중심적 개념으로 체류시간(Residence Time)이란 단어가 있다. 물순환 과정에 있어서 물분자가 어떤 저수조, 예를 들면 대류권이나 호수 가운데를 통과할 때 필요한 평균시간이다. 이것과 유사한 용어로 교체시간(Turn Over Time)이 있다. 이것은 저수조 가운데에 있는 물의



총량을 유입량 혹은 유출량으로 나눈 값이다.

잘 혼합되어 있는 저수조에서는 체류시간과 교체시간을 같은 의미로 사용한다. 후자의 편이 계산에 용이하기에 물의 혼합이 충분히 행해진 것을 전제로 해서 체류시간과 교체시간을 같은 의미로 사용한다. 대기 중의 수증기에 관해서 생각해보면 전지구의 가강수량(可降水量)의 평균치는 24.67mm이다. 이에 반해서 전지구의 연평균 강수량은 1,004mm이다. 따라서 교체시간은 0.0246년 즉 약 9일이다. 수증기가 강수가 되는 확률은 대류권에서는 어떤 곳이라도 같다고 한다면 대기 중에 있어서 수증기의 체류시간은 9일이다. 물론 이 값은 위도에 따라 다르다.

강수량이 많은 40~70° 위도대에서는 양반구와 함께 평균보다 짧다. 70~90°의 고위도에서는 평균치보다 길다. 그러나 대개는 5~20일의 범위 내에 있다. 지금까지 한 것은 수수지적(水收支)의 방법에 따른 체류시간의 추정이지만 T를 이용해서 체류시간을 계산할 수도 있다. 어떠한 모양으로 있건 물의 존재량에서 통과량으로 나누면 물의 그 모양으로서의 체류시간, 즉 물이 그 모양을 변해서 다음 모양으로 변해가는 때까지

의 평균시간, 즉 순환일수가 구해진다.

이 순환일수에 대해서는 여러 이론이 있지만 어떤 실험식에서는 해수가 1회 완전히 순환하는 데는 3,200년, 빙하와 빙산은 12,200년, 호수의 물은 3.4년, 토양수분은 2~5주, 하천수는 12일, 대기 중의 수증기는 12일, 지하수가 650년 정도 걸리는 것으로 나타났다.

또 여러 형태에서 존재하는 물 사이의 물수지 상태를 보면 지구표면과 대기 중의 수증기와의 사이에서는 해양과 대기 중의 수증기의 사이의 순환량이 전체의 80% 가까이를 차지한다. 대기 중의 수증기에서 지구상으로의 이동, 즉 강수량에 관해서 말하면 육지에서의 강수량은 전체의 22%로서 육지의 전지표면적비(全地表面積比 : 약 30%)를 생각하면 육상의 강수는 해양에 비해서 상대적으로 적다.

다음으로 순환일수에 관해서 말하면 존재하는 지표수는 스페스테이(Szesztay)에 따르면 $1.2 \times 10^3 \text{ km}^3$ 로 있고 하천의 총 유출량 즉 연간 수송량이 $3,800 \text{ km}^3$ ($4 \times 10^3 \text{ km}^3$ 로 추계)로 있기에, 평균으로 말하면 하천의 강수가 지표에 도달하고 해양에 이르기까지의 하천에서의 체류시간 또는 순환일수는 12일로 된다. 따라서 하천의 물은 연간 30회 정도 대체된다고 말할 수 있다. 표류수의 총량으로 사카로브(Sakalov)가 주장한 $2 \times 10^3 \text{ km}^3$ 의 수치를 채용하면 하천의 순환일수는 19일로서 하천의 물은 1년간 19회 대체된다고 말할 수 있다.

탄소 ^{14}C 는 고층 대기 중에서 우주선의 작용으로 만들어지는 중성자가 ^{14}N 과 충돌하는 것에 의해서 생긴다. 이 ^{14}C 는 산소와 결합하여 $^{14}\text{CO}_2$ 로 되고 대기 중의 $^{12}\text{CO}_2$ 와 급속히 혼합한다. 대기 중에 있어서 ^{12}C 에 대한 ^{14}C 의 존재비는 10^{-12} 로 양에 있어 크게 차이가 난다. 대기 중에서 CO_2 와 반응하는 물질, 예를 들면 식물이나 물은 대기 중의 CO_2 와 평형상태에 있지만 식물이 시들어서 물이 땅속에 숨어들면 이 평형이 깨져서 ^{14}C 는 5,570년의 반감기에서 β (베타)붕괴를 해서 일반적인 감소를 계속한다.

지하수는 침투 도중 토양 중의 불포화대를 통과할 때에 토양공기에서 CO_2 를 흡수하지만 그것은 가수분해 되어진 탄산이온과 중탄산이온에 대신해서 이 흡수되어진 CO_2 는 식물의

호흡이나 부패에 따른 것이기에 물에 포함되어 있는 ^{14}C 의 비율은 식물체의 그것과 같게 된다. 따라서 오래된 지하수 가운데의 탄산염류의 ^{14}C 농도를 식물체의 그것과 비교하는 것에 의해서 지하수의 연대 측정이 가능하다.


4. 맺으며

우리나라는 세계에서든 흔치 않은 좋은 물을 가진 나라이다. 하지만 상업이 발전하고 문명화되면서 우리 주변의 물들이 죽어가고 있다. 어쩌면 우리 다음 세대들은 깨끗한 물을 먹기 위해서 엄청난 자원과 시간을 쏟아 부어야 할지도 모른다. 아니면 최악으로 깨끗한 물의 부족으로 생명을 잃을 수도 있다.

우리들은 더 늦기 전에 물에 대한 폭넓은 이해와 중요성을 재인식할 필요가 있다. 사실 생명의 근원이라는 물의 중요성을 감안하면 우리들의 물에 대한 일반적인 교양지식은 아주 부족한 편이다.

어떤 실험에 의하면 1회 순환하는데 빙하는 12,200년, 해수는 3,200년, 지하수는 650년, 하천수는 12일 걸린다고 하니, 하천수를 제외하고는 물의 순환과정을 일생에 다시 볼 수 있다는 것은 가히 꿈같은 이야기이다.

최근에 환경문제가 세계적으로 그 중요성이 부각되고 있다. 환경문제 중에서도 물문제가 가장 중요한 이슈가 될 것이다. 왜냐하면 물은 생명의 원천이기 때문이다. 그러나 생각보다 사람들은 물문제를 그다지 심각하게 생각하지 않고 있다.

우리들이 마시고 또 우리 후손들이 영원히 마셔야 할 소중한 물을 잘 지키는 일은 현 세대를 사는 우리 모두의 사명이다. 이제 우리는 물에 대한 치수, 이수, 친수, 지수와 더불어 물의 생성, 순환, 분포 등 물의 과학적인 특성을 잘 알아 물부족 시에 대비해야한다. 

참고문헌

- The World Book 20, Encyclopedia.
 Ray K. Linsley & Joseph B. Franzini(1979), Water resources engineering, McGraw-hill kogak usha, LTD.
 Biswas, A.(1970), History of Hydrology, American Elsevier.
 Kinig, Thomas(1953), Water of Natere, McMillan Book Company.
 Leedon, Frits Van der(1975), Water Resources of the World, Water information center.
 Chow(1964), Handbook of Applied Hydrology, McGraw-hill Book Company.
 Calvin victor Davis(1969), Handbook of Applied Hydraulics, McGraw-Hill Book Company.