

산림의 환경개선기능

도시와 숲과의 만남을 위하여

신준환 / 임업연구원 산림생태과

산과 하늘이 어울리는 곳에는 맑은 물이 흐르고
나무와 돌이 어울리는 곳에는 사슴이 뛰어 다닌다.
우렁찬 나무를 배우고 썩썩하게 켜어 다니며
사슴과 놀 줄 아는 우리가 되자.

머리말

환경문제의 종합적인 표징인 도시화의 확산이라는 문제를 당면하여 도시와 숲과의 만남을 이루기 위해 산림의 환경개선기능을 어떻게 평가해야 할 것인가? 이때 숲이란 도시에 찌들린 숲이 아니라 건전한 숲을 뜻할 것인데 건전한 숲에서 환경개선 기능이란 어떤 의미를 갖는 것일까? 과연 산림 생태계가 환경을 개선하는 것일까? 아니면 환경에 적응하는 것일까? 이 주제를 준비하면서 이런 의문들이 늘 필자의 뇌리에서 떠나지 않았다. 고민끝에 나름대로 산림의 환경기능 개선이라는 것과

환경적응이라는 것은 손바닥과 손등과 같은 것으로 중요한 것은 손이라는 생각이 들었다. 손바닥을 아무리 벗겨내도 손바닥은 벗겨진 거기에 있는 것이 아니라 결국 손에 남기 때문이다. 그렇다면 산림생태계의 환경개선기능에서 손이란 무엇일까? 이쯤에서 확실히 머리에 떠오르는 것이 손의 역할을 하는 것은 산림생태계의 '생태적 과정(ecological process)'이라는 생각이었다. 더 더욱 확실해 지는 것은 우리가 요구하는 산림의 환경개선기능이라는 것은 손바닥의 겹질이 벗겨지듯이 시대에 따라 변할 수 있지만 생태적 과정은 항상 그 자리에 살아 있어 순간

순간의 시대적 요구인 허물을 벗으면서 재창출되는 속성을 지닌다는 판단이었다.

그러나 한마디로 '생태적 과정'이지만 손바닥이라는 한 단면에 속하는 환경개선 기능도 다방면에 걸쳐있는 방대한 양이 될 터인데 손에 해당하는 생태적 과정을 어떻게 풀어 나가야 환경개선 기능과 제대로 연결될 수 있을 것인가? 더구나 생태적 과정에 관한 최근의 이론들은 분석주의의 극에 달한 서양의 학문 바탕과 직관적 종합에서 우러나온 동양의 사상이 시스템(체계)의 과정이라는 입장으로 만나면서 빠른 속도로 발전하고 있는 현실을 감안할때 그 논리

체계를 잡기도 쉽지 않을 것이다. 확실히 물방울 하나를 두고도 서양에서는 분자를, 화학식을, 물의 구조를 분석하고 급기야 소립자에서 양자역학으로 발전했지만 동양에서는 호수를, 바다를, 우주를 가늠하면서 물의 의미를 헤아리고 있었다. 최근에는 이들이 상보적으로 통일되면서 생태계의 동태와 진화에 괄목할 만한 성과를 거두고 있다.

이러한 추세에도 불구하고 우리는 아직도 도시공학적 소재로서 나무를 바라보고 있고 숲의 기능에 대해서도 인간의 욕심만 부리기에 급급한 면이 많은 것도 사실이다. 이런 생각에서 미력하나마 생태학도로서 생태적 과정에 기준을 두고 환경개선 기능이라는 전반적인 맥락을 짚어보고, 필자의 천학도 정리해 본다는 또 하나의 욕심을 가지고 용기를 내어 준비하였다. 다만 지면 관계상 다른 분들이 고생 끝에 얻은 자료를 출처도 못 밝히고 인용한 것을 사과드린다.

산림생태계의 진화와 도시환경의 성립

우리는 지구-처음과 끝을 가늠하기 어려운 우주 공간, 인간의 지식으로는 앞날에 대한 예측이나 지속적인 삶의 보장이 어떻게 가능한지 의심스럽기만한 이 우주 공간에서, 작은 물방울처럼 떠다니고 있는 우리의 삶의 보금자리는 46억년 전에 태어나 이제 푸른 바다와 녹색식물,

갈색도양이 어우러진 꿈의 별이 되었다. 이 지구에서 인간이 욕망을 품고 영원하리라 꿈꾸면서 욕심만 채우기에 급급할 수 있는 것은 산림생태계의 진화 덕분이다. 산림 생태계의 환경개선기능이 가장 크게 발휘된 것은 뭐니 뭐니해도 지구환경을 개선하여, 인간이 숨을 쉬고, 자손을 낳고 내일을 꿈꿀 수 있도록 한 점에 있다.

46억년 전 지구가 처음 탄생했을 때는 대기의 조성이 사뭇 달라서 생물이 살기에 부적합하였다. 34억년 전에야 원시생명체가 합성되어 산소없이 살다가 31억년 전에 광합성생물이 나오고 23억년 전에 비로소 남조류들이 바다 속에서 대량의 산소를 생산하였다. 그러나 자외선이 너무 강해 생물의 진화가 저지되었으나 18억년 전 대기중에 산소가 나타나면서 오존이 생성되어 자외선을 차단하고 생물의 진화가 진행되어 5억년 전에 처음으로 원시식물이 나타나게 되었다. 4억 2천만년전 원시 관속식물이 대륙을 점유하고 2억 9천만년 전 침엽수가 육상생태계를 우점하면서 수증기와 더불어 엄청난 CO₂를 흡수하고 산소를 방출하여 오늘날 우리가 상쾌하게 숨쉴 수 있는 대기가 조성된 것이다.

산림생태계의 이러한 대기의 조성외에도 미세환경의 이질성이 증가하고 생태적 적소(niche)가 다양해지면서 미생물과 곤충, 소동물과 새, 포유류 등 많은 생물들이 진화하였다. 나아가 이

러한 과정의 추진력으로 6천5백만년 전에는 원시인류가 4만년 전에는 현생인류가 태어났다.

호모사피엔스라는 학명이 뜻하는 것처럼 지혜를 가진 인류는 1만년에서 1만5천년 전에 중앙아시아와 북아프리카에서 농경을 시도하였고 5,000년 전에 이집트에서 고대도시(피라미트, 기념물)를 건설하였다. 이렇듯 도시는 현재의 산림생태계가 완성된 후에 건설되었다. 도시가 성립될 수 있었던 곳은 나무가 있고, 산림생태계가 완성된 후에 건설되었다. 도시가 성립될 수 있었던 곳은 나무가 있고, 산림생태계가 물을 공급해 줄 수 있는 곳이었다. 지금 우리가 마시고 있는 지하수나 수돗물도 산림생태계가 정화시킨 것이다. 다시 말해서 산림생태계가 도시환경을 창조해 준 것이다. 그러나 도시화는 곧 환경문제를 야기하였다. 고대 그리스시대에, 도시생활을 유지하기 위하여 산림을 파괴했다는 설이 있으나 일반적으로 말할 때 본격적으로 환경문제를 야기한 것은 산업혁명 이후부터이다.

이 이야기는 환경문제는 우리가 자연을 이용하는 행태에서 출발한다는 것을 드러내 주고 있다. 이렇게 볼 때 환경문제는 인류가 직립하면서 손을 사용할 수 있게 되었고 도구를 이용하면서 시작된다고 생각된다.

공포의 대상이었던 자연에 대해 인간은 손과 도구를 사용하여 자신을 보호하였고 이에 따라

지혜가 발달하면서 인간은 자연이라는 불편한(?) 환경속에서 조금의 여유를 가지고자 자신의 생리와 거리가 먼 자연으로부터 자신을 지탱할 수 있는 중간적인 환경을 창조하기 시작하였다. 이것을 앞으로는 매개환경이라고 정의하자. 매개환경의 대표적인 예가 집이 되겠지만 작게는 철따라 바뀌 입는 옷도 여기에 포함되고 크게는 집단 거주지도 여기에 포함된다. 집단거주지가 발전한것이 도시인데 이러한 의식주를 위한 매개 환경의 남용으로 인해 자연의 질서를 그르치게 되어 환경 문제가 발생한 것이다. 매개적일 뿐인 환경을 모든 것인 양 착각했던 것이다.

이처럼 인간의 지식은 쓰기에 따라 양면성을 지니고 있다. 우리가 자연의 질서를 제대로 따르자면 사라질 줄 알아야 한다. 돌이켜 보면 생태계가 지구환경을 바꾸어 올 수 있었던 것은 생물들이 무수히 탄생하고 멸종하면서 가능했던 것이다. 그 과정에서 살아있는 지구가 유지될 수 있었다. 현대의 이렇게 많은 생물종들이 진화할 수 있었던 것은 물론 지사적인 환경 변동도 있지만 삼엽충이나 암모나이트, 공룡들이 한 시대를 우점하다가 영속하지 않고 사라졌기 때문이기도 하다. 이들은 또한 뒤에 나타날 생물들의 자원이 되기도 하였다. 엄청난 산소를 생산하고 이산화탄소를 고정했던 나무들이 죽어 넘어져서 석탄이 되었고 막대한 양의 유기물을 집적했던

생물체들이 쌓여서 석유가 되었다. 그 결과 인류는 음식과 약물을 필요한 대로 공급을 받을 수 있고, 석탄, 석유, 철광석, 석회석 등 다양한 지하자원을 이용할 수 있는 그야말로 축복받은 '녹색의 가능성'이라는 지구를 타고 우주를 꿈꿀수 있게 되었다.

그럼 인류도 더 이상의 자원을 고갈하기 전에, 생물종이 더 이상 감소되기 전에, 환경이 더 이상 악화되기 전에 이 지구에서 존재하기를 포기해야 할 것인가? 이 문제는 철학적이고 신학적인 차원이기 때문에 본인이 더 이상 진전시킬 능력도 없거나와 우리의 주제와도 거리가 멀어지게 될 것이므로 그만두기로 하자. 다만 우리 인류는 이 지구상에서 개별종으로서 최초로 지혜를 가진 존재라는데 가능성을 두고서 산림 생태계의 환경 개선기능이라는 것을 어떻게 이해해야 될 것인가라는 실마리를 잡는데 만족하기로 하자.

여기서 적어도 확실한 것은 인류가 지구의 최후의 동반자가 되어 영속을 꿈꾸기 위해서는 환경개선기능을 평가할 때 자연의 운행이치(지사적 과정, 기후적 과정, 생태적 과정, 인류를 출현시킬 수 있었던 능력), 인류의 지혜가 교감될 수 있도록 힘써야 된다는 것이다.

지금 도시화의 문제는 전 지구적인 문제이기 때문에 지구도 하나의 생태단위로 생각해야 된다는 것을 제안하고 싶다. 지구 온난화 문제가 그렇고 오존층

파괴문제도 마찬가지다. 또한 환경문제를 해결하기 위해서는 '자연의 질서에 순응할 수 있도록 벌거벗고 산림으로 돌아가자'는 식의 주장을 함부로 하지 말아야 할 것이다. 인간의 속성상 그럴 수도 없지만 그러기에는 인구가 너무 많아 더 많은 파괴가 자행되기 때문이다. 매개환경은 활용하기에 따라 상당히 효율적일 수 있다. 인류와 달리 도구를 쓰지 않는다는 것 뿐이지 자연의 질서에 순응하면서 종을 발전시켜 나가는 생물들도 동료들을 의지하건 다른 종을 의지하건 매개환경 속에서 살기는 마찬가지이므로 상당히 합리적인 수단이다.

그럼 이제부터는 도시라는 매개환경의 문제를 짚어 보고서 이 문제를 개선하는데 나무를 어떻게 활용할 것인가를 알아본 후, 오염물질을 흡수하는 산림생태계의 환경개선기능을 알아보고 지구 차원의 문제를 정리하면서 향후 산림생태계의 의미를 어떻게 받아들여야 하느냐는 문제를 제시하고자 한다.

도시환경의 특성과 산림의 환경개선 기능

도시 환경의 가장 큰 특징은 산림의 감소에 있다. 이 때문에 캐나다의 한 도시에는 배수체계에 변화가 일어나 도시화이전에는 지표 유출이 총 강수량의 10%, 지하수 유입이 50%이던 것이 도시화 이후에는 지하배수관 유

입이 43%, 지하수 유입은 32%로 변화였다. 산림을 벌채하고 아스팔트나 시멘트 등으로 불투수성의 지표면을 조성시키면서 홍수의 빈도가 증가하고 하천의 특성이 변화게 된다(그림1). 지표 유출량과 지하수 유입량의 비율이 도시지역은 0.9~1.0, 주거지역 0.4~0.5, 경작지 0.5~0.6 그리고 산림지역이 0.1~0.2인 것을 감안하면 이 문제는 산림지역의 비율을 높여줌으로써 개선될 수 있다.

또한 도시화에 따라 생기는 수직의 벽은 태양광을 지표면과 건물의 벽에 반사시키고 벽과 지표면의 불투과성 표면은 열을 흡수하고 저장한다. 산림지대에서는 불투과성 표면이 없기 때문에 활공으로 다시 반사되고 하층부는 서늘하게 남아있지만 나무의 수관부는 열을 보유하고 있다. 이는 아스팔트 표면의 온도가 대낮에 50°C 이상 올라간다는 사실에서도 증명되는데 나무 없는 넓은광장의 온도가 일일 최저 20°C에서 최고 29°C 이상으로 변하고 좁은가로수 길에서는 최저 21°C에서 최고 25°C 정도만 차이가 나는 것을 보면 나무가 온도 차이를 얼마나 개선시키는지 알 수 있다. 온도 변화를 개선하는 효과는 나무가 풀보다 좋아서 연간 최저, 최고 온도차는 토양표면에서 8년생 젓나무숲의 경우 25.1°C이나, 풀밭에서는 35.6°C이다. 기온의 변화뿐 아니라 상대습도의 변화도 경감시키는데 콘크리트의 악화된 기온변화

를 잔디가 개선시킨다(그림2). 숲의 경우에는 개선 효과가 더 뚜렷하다.

바람은 도시의 건물벽에 부딪쳐 풍향이 어지러워지고 불쾌하게 되는데 수풀은 75%~85%의

풍속을 경감시킬 수 있다. 수풀은 수고의 약 20배까지 방풍효과를 양호하게 발휘하는데 바람을 통하지 않게 밀식하는 것보다 어느정도 바람이 통하도록 하면 방풍효과가 더 멀리 가고 교란도

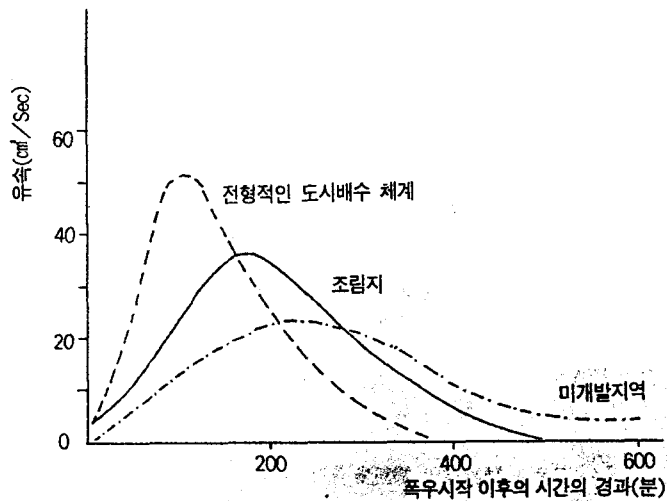


그림1. 도시화에 따른 배수체계의 변화

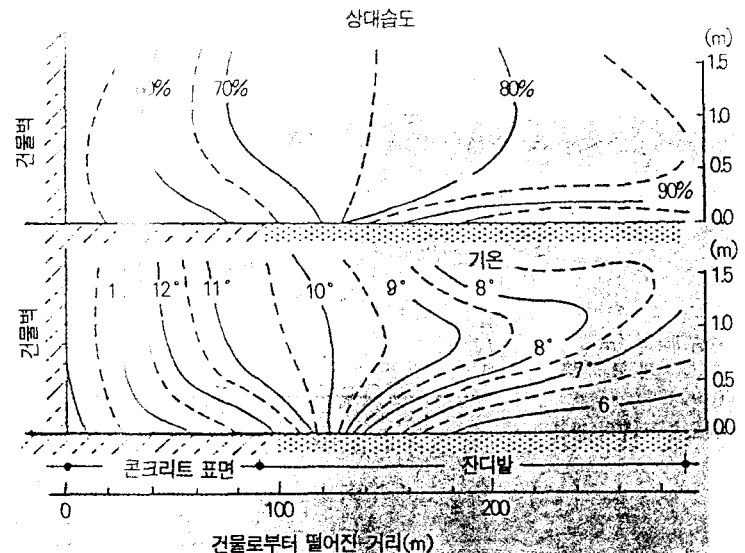


그림2. 건물 앞의 콘크리트와 잔디밭에 있어서의 기온과 상대습도 변화

일어나지 않는다. 이때도 습성 증성한 것보다는 약간 밀식하는 것이 좋다. 수풀의 방풍효과는 단순히 풍속 감소뿐 아니라 기온, 토양온도, 토양습도, 상대습도,

다른 식물의 성장 촉진등의 작용을 하기때문에(그림3) 나무를 따로 심는것보다 모아서 심는것이 더 효과적이다.

도시 환경의 기온증가, 증발산

감소, 공기이동 방해 등으로 열섬현상이 야기되는데 도시에 녹지대를 적절히 조성하면 열섬현상을 완화시켜 준다. 중위도 지방의 도시에서는 전체 면적의 20%만 숲으로 조성하여도 증발산 작용에의해 열섬현상을 방지할 수 있다고 한다. 이때 양적인 20%만 고집할 것이 아니라 질적인 배치문제를 고려해야 그 기능을 제대로 발휘할 수 있을 것이다.

나무의 표면적은 빛과 가스의 교환을 최대화할 수 있도록 진화되어 왔다. 교목들은 자신이 서 있는 곳의 토양면적보다 10배나 더 많은 표면적을 가지고 있어 오염된 공기를 정화해 주는것은 물론 분진 흡착능력도 나무를 적절히 배치하면 상당히 크게된다. 이때는 나무를 밀식하는 것이 좋으나 너무 밀식하면 난류가 생겨서 좋지 않다(그림 4).

분진을 흡수하는데 단위엽면적당 흡수량은 침엽수류가 활엽수보다 더 효율적이지만 수령이 동일할 때 엽면적 지수가 침엽수보다 활엽수가 훨씬 더 커서 산림면적만으로 볼 때는 활엽수림이 2배 이상 효과적이다. 미국의 매릴랜드 지방의 한 도시에서 1ha의 활엽수림은 연간 380kg의 분진을 흡수하고 침엽수림은 연간 140kg을 흡수한다. 이 도시의 화력 발전소에서 방출되는 연간 186톤의 분진을 흡수하기 위해서는 활엽수림은 486ha, 침엽수림은 1,336ha가 필요하다.

수목의 소음방지 능력도 탁월

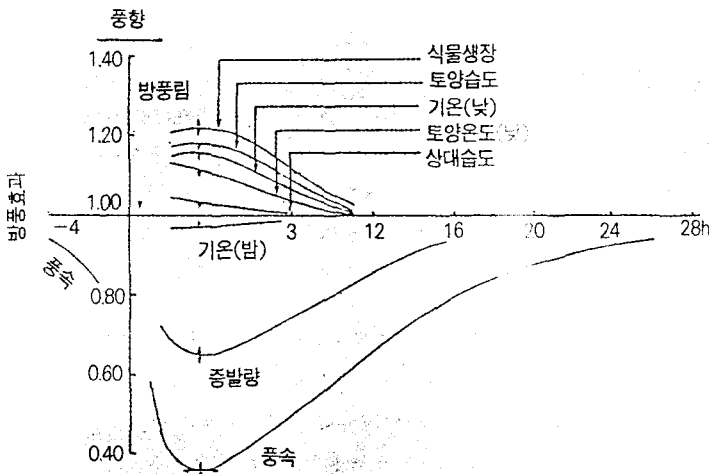


그림3. 防風林의 微氣象調節 효과

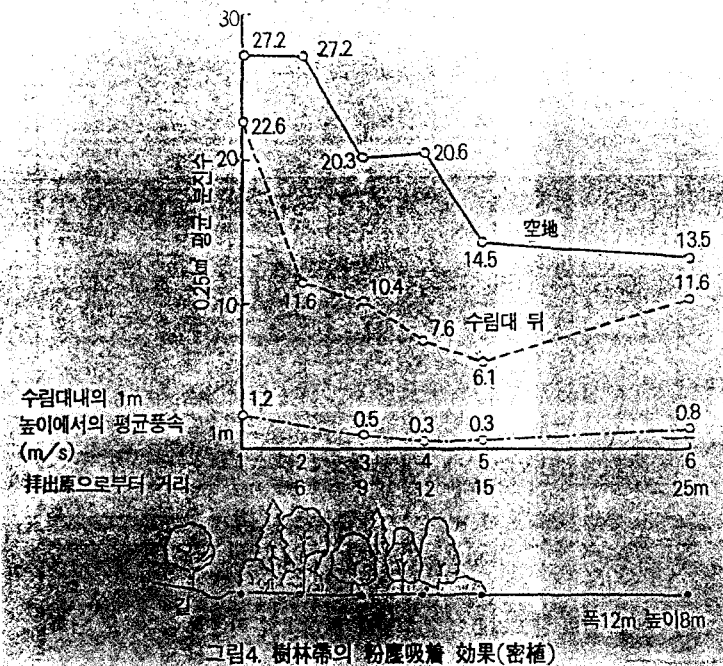


그림4. 樹林帶의 粉塵吸着 效果(密植)

하여 나무로 나즈막하게 생을 타 리만 쳐도 청소차 소음을 50%, 잔디깎는 소음을 40%, 어린이 놀이터 소음을 50% 차단하고 지형조건을 이용하여 침엽수를 배치하면 자동차 소음을 75%, 트럭 소음을 80% 차단한다. 관목과 교목을 이용하거나 덩굴식물과 담, 교목을 이용하여 적절히 배치하면 소음감소 효과가 커진다(그림 5와 6). 이 외에도 나무는 섬광의 눈부심을 경감해주는 효과도 있다.

여기서 한가지 짚고 넘어갈 것은 환경개선 기능을 생각할 때 경제적인 효과도 감안해야 된다는 점이다. 현 사회 체제에서는 환경보전운동이라는 것도 인간의 경제활동이기 때문이다. 녹지별 유지관리의 비용을 보면 숲에 비해 원예적인 측면만 강조할 때는 10배이상 더 들어간다(표1). 더구나 숲에서는 여러가지 부산물을 생산할 수 있다. 도시림에서도 보전기능만 강조할 것이 아니라 생산기능도 감안하는 것

표 1. 녹지별 유지관리 비용의 비교

녹 지	시간/100M ²	유지비용지수
산 림	1.7	100
관 목 숲	1.8	118
지 피 식물	8.0	475
장 미 정원	18.8	1,291
1년생초본	61.9	6,855
다년생초본	29.9	1,842
생 울 타 리	22.0	1,303
잔 디 밭	3.3	210

이 좋을 것이다. 인간의 생산활동이 생명력의 창출과 노동가치에 이어지는 인간의 건전한 생활

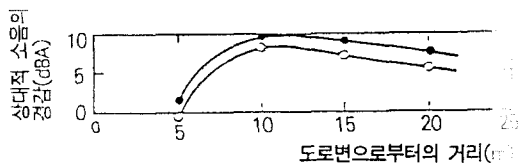
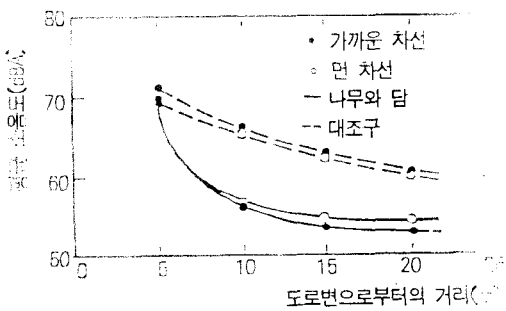
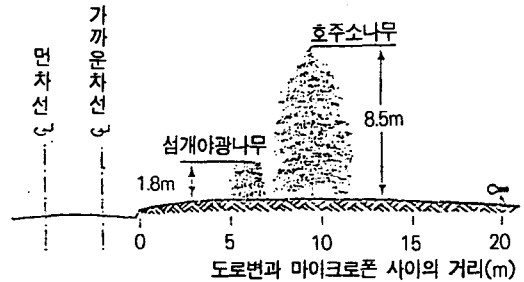
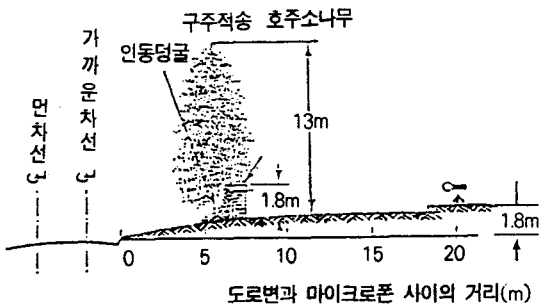


그림 6. 橋木과 灌木 그리고 담을 利用해서 騒音을 輕減시킨 效果(Cook, 1978)

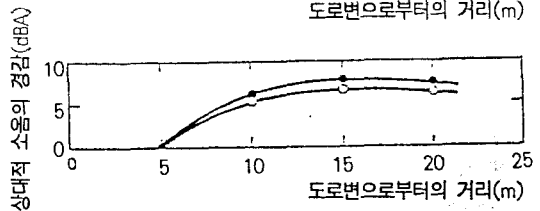
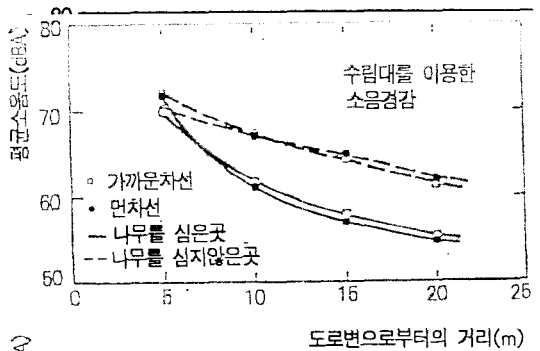


그림 5. 住宅街 道路에서 橋木과 灌木을 利用해서 騒音을 輕減시킨 效果(Cook, 1978)

기풍을 진작 시킨다는 의미에서도 이 점을 제고할 가치가 있다.

수풀의 이러한 기능은 따로 떼어서 생각하기보다는 종합적이고 의미론적으로 이해를 해야 할 것이다. 각 기능의 매개환경 개선효과를 신소재를 개발한다거나 신기술을 도입하는 것이 나올 수 있다. 그러나 종합적인 효과를 기대할 때 모든 것을 만족시킬 수 있는 측면에서는 나무나 수풀을 따라갈 수 없을 것이다. 숲이 가진 종합적인 의미는 도시화의 영향에 따라 환경의 특성이 바뀌는 과정과 자연림과 경작지와 도시의 생태적인 특성의 차이를 볼 때 명확하게 드러나는데 여기에 미적 개선이나 정서적인 가치를 추가한다면 쉽게 이해할 수 있다. 더우기 자

연의 과정 속에서 인간의 역사가 창출되었기 때문에 수풀은 우리 삶의 고향이라는 의미론적 입장에서 보면 숲의 중요성은 엄청난 가치를 발휘할 수 있다.

오염물질 증가와 산림의 환경개선 기능

오염물질을 감소시키기 위해서는 오염물질에 내성을 가지는 나무를 활용하는 것이 효율적이다. 엽내 유험 흡수량이 많으면서도 피해도가 낮은 수종으로는 은행나무, 현사시, 이태리포플러 등이다. 유험 흡수량은 적으나 피해도가 낮은 수종은 오동나무, 편백, 화백, 향나무 등이고 유험 흡수량이나 피해도를 봤을 때 중간 정도인 것이 버즘나무, 왕벚

나무 등인 것으로 미루어 보아 도시림에는 은행나무, 이태리포플러, 현사시, 버즘나무와 함께 화백, 편백, 향나무 등의 침엽수를 섞어서 심는 것이 바람직할 것이다(그림7). 또한 나무의 생육 상황을 보고 오염의 심각성을 느낄 수 있도록 피해도가 높은 소나무류를 군데군데 식재하는 것도 의미가 있을 것이다.

앞에서 소개된 미국의 매릴랜드 지방에서 아황산가스의 경우 1ha활엽수림이 연간 360kg을, 침엽수림이 120kg을 흡수하여 이 화력 발전소에서 방출되는 연간 4,330톤을 흡수하기 위해서는 활엽수림은 11,898ha, 침엽수림은 33,995ha가 필요하다. 질소산화물의 경우에는 활엽수림이 연간 690kg, 침엽수림이 연간 240kg을 흡수하여 여기서 방출되는 2,148톤을 흡수하기 위해서는 활엽수림이 2,995ha, 침엽수림이 8,499ha가 필요하다.

활엽수와 침엽수를 단순히 구별하면 이와 같이 되지만 복합적으로 조성하는 것이 오염물질 제거에 더 효율적이다. 활엽수림은 단풍나무, 참나무, 포플러, 피나무, 자작나무류 5년생으로 혼효시키고, 침엽수림은 5년생 소나무로 조성할 때 연간 1ha의 산림 표면은 오존 96,000톤, SO₂ 748톤, CO 22톤, NO_x 0.38을 흡수한다. 여기서는 토양이 흡수하는 것도 포함시켰기 때문에 앞의 경우보다 단위면적당 흡수량이 더 많다. 수령과 종조성이 다른 경우에는 토양표면적과 식생의

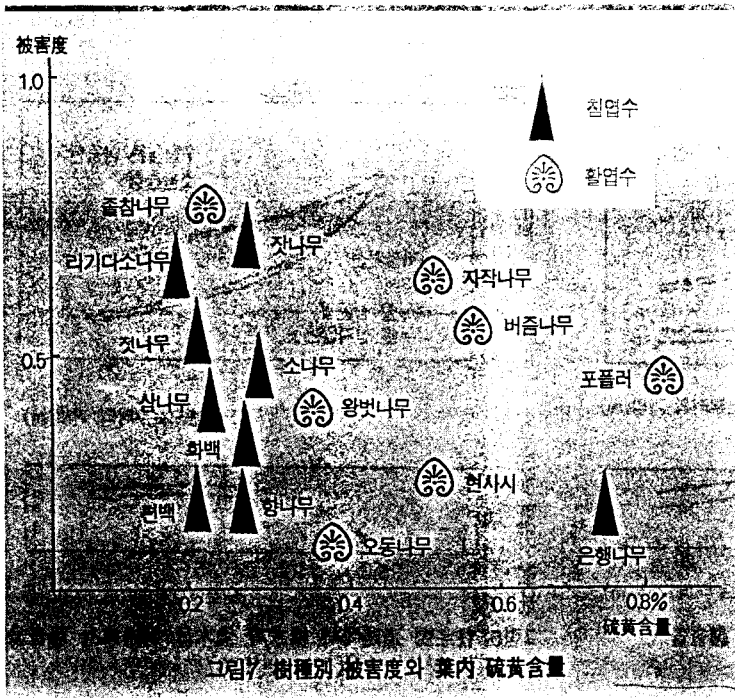


표 2 토양과 식생의 표면적에 따른
오염물질 흡수능력

오염물질	μg m ² hr ⁻¹	
	지표면	식생표면
CO	1.9×10 ⁴	2.6×10 ³
NO _x	2.0×10 ²	2.3×10 ³
O ₃	1.0×10	6.2×10 ⁴
PAN	-	1.2×10 ³
SO ₂	7.7×10	4.1×10 ⁴

표면적을 감안하여 표2와 같이 계수를 조정해주면 소요면적을 산출해줄 수 있다.

오염물질의 방출속도, 흡수속도, 수명과 종조성에 대해서는 대표적인 경우를 통해서 이렇게 일반화시켜 볼 수 있지만 산림 생태계의 기능은 단순한 것이 아니므로 식생과 토양의 흡수기능, 생태계의 물질 순환 기능을 이해해야 할 것이다.

토양의 아황산가스 흡수기능은 건조할 때와 습윤할 때 토양의 종류에 따라 2~8배의 차이가 나고 질소의 경우에는 질산태와 암모니아태, 토양의 양이온에 따

라 다르게 반응한다. 같은 토양에서는 NO₂보다 SO₂흡수속도가 빠르다. 식생의 흡수기능도 표면이 젖었을 때 10배 정도 더 흡수하고 도시환경에서 우려되는 수분 스트레스하에서는 흡수기능이 더 떨어진다. 뿐만 아니라 잎, 소지, 가지, 줄기 등 식물의 모든 부분이 흡수기능을 발휘할 수 있기 때문에 종합적으로 판단해야 할 것이다. 또한 오염농도가 극단적으로 높을 때(산성우의 경우 pH 2~3)에는 흡수

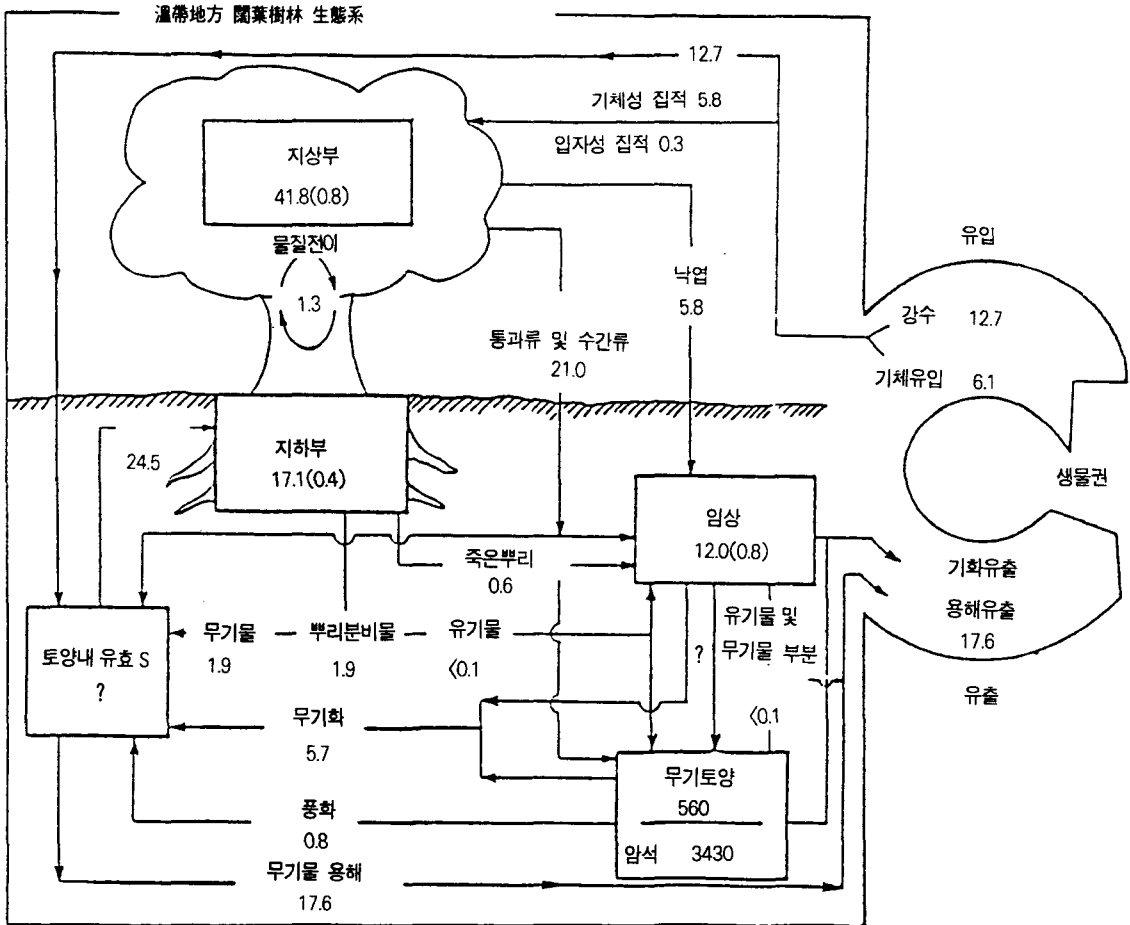


그림 8. 허바드 브룩의 山林生態系에서의 年 硫黃收支

보다는 토양에서 침출되어 나오는 양이 많아질 수도 있기 때문에 산림생태계의 물질 순환기능을 이해해야 되고 결국 순흡수량은 생태계 전체의 과정으로서 유입량에서 유출량을 뺀 것으로 평가해야 할 것이다. 다시 말해서 도시 공학적인 소재로서 나무가 아니라, 또한 우리의 욕심에만 맞는 산림 표면이 얼마를 흡수해 준다는 식의 단순한 계량이 아니라, 그 자체로서 살아있는 시스템(체계)으로서의 산림생태계의 생태적 과정에 초점을 맞추어야 할 것이다.

한국과 비슷한 상황인 미국 하바드 브룩의 활엽수림에서 보면 유황이 ha당 연간 총 18.8kg이 들어와서 그림8에서 보듯이 복잡한 과정을 거쳐 17.6kg이 빠져 나간다. 이것은 산림생태계의 황 흡수량이 ha당 약 1.2kg에 달한다는 것을 알려주고 있다. 질소의 경우에는 생물적 질소고정이 첨가되어 더 복잡한 과정을 거치는데 ha당 연간 20.7kg이 들어와서 4kg이 빠져나가 약 16.7kg을 산림생태계가 흡수해 준다. 앞에서 본 오염물질 흡수기능은 수풀의 단순한 흡수기능이 아니라 생태계의 과정으로 이해해야 된다는 것이 여기에서도 나타난다. 흡수량으로 보면 황이 질소보다 훨씬 많지만 배출량은 반대가 되어 수질오염 문제가 야기 될 수도 있다.

우리나라의 경우 건성집적을 포함한 생태계 차원에서의 유출입 연구가 없어 습성집적량만

가지고 보면 신갈나무 숲의 경우 1년간 ha당 질소 10.33kg가 들어와 4.17kg가 빠져나가 6.16kg가 흡수된다. 임업연구원의 자료에서도 유출량이 비슷한 경향을 보여 어느 정도 안정된 산림에서는 연간 ha당 대략 4kg만 유출시키고 나머지는 흡수해주는 것으로 나타났다. 다만 잣나무의 경우 조림후 연도가 증가함에 따라 흡수량이 연간 ha당 0.5kg에서 3.4kg로 늘어난다는 점과 pH가 늘어나지 않도록 조절하여 시비를 하면 오염물질 흡수능력이 커진다는 것을 감안하면 산림관리에 대한 투자를 많이 함에 따라 산림의 환경개선 기능을 촉진시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 사방 사업후 토심이 증가하고 토양의 질소 집적량이 현저히 증가한다는 사실에서도 뒷받침된다.

지구온난화 방지와 산림의 환경개선기능

도시화와 산업화의 영향으로 지구가 온난화되고 있는데 그 원인물질로는 CO₂, 메탄가스, 질소 산화물, CFC 등이 있으나 연도별 배출 비율이 다르고 발생원도 도시화와 산업화의 전반적인 과정에서 유발되기 때문에

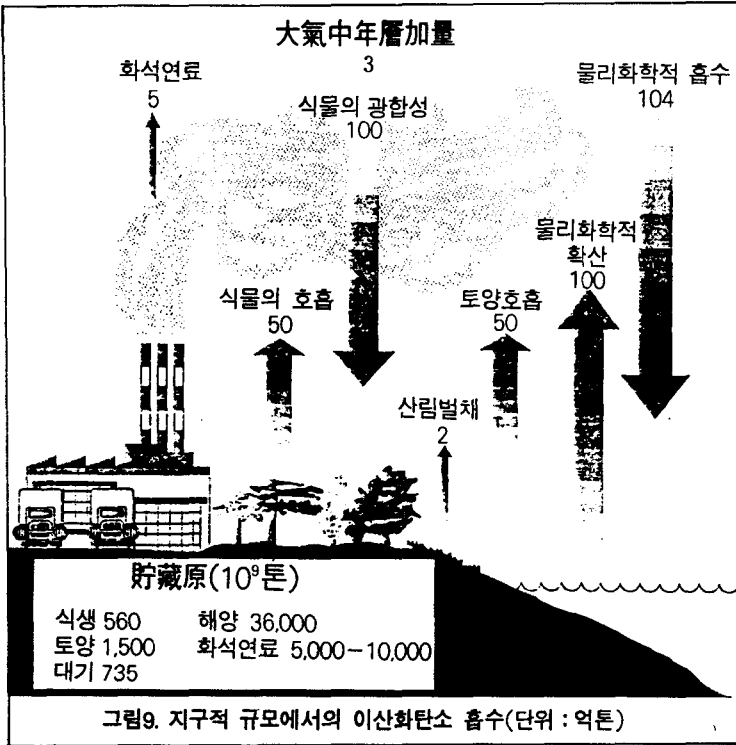
지구적인 차원에서 대처해야 될 것이다. 더구나 그 과정은 산업, 식생, 토양, 해양과 대기가 모두 포함되는 총체적인 양상을 띠고 있어 전체주의적 관점에서 지구를 하나의 생태단위로 보고 문제를 풀어나가야 할 것이다.

CO₂수지의 지구적인 과정에서 해양이 3조6천억톤을 보유하고 있어 가장 많고 그 다음이 지하에 매장되어 있는 화석 연료로 5천억~1조톤을 보유하고 있지만 순흡수량에서 보면 산림을 포함한 식생이 48억톤을 점유하고 있어 2번째로 많은 해양의 순흡수량 4억톤보다 훨씬 많다(그림 9). 따라서 산림을 어떻게 관리하느냐가 지구온난화 방지를 위한 흡수원 확보에는 관건이 된다.

우리나라의 산림은 ha당 연간 CO₂ 6.4톤을 흡수하고 산소 4.7톤을 생산하고 있다. 이를 탄소톤으로 환산하면 우리나라의 전체 산림이 연간 CO₂를 11.0백만톤(TOE)을 흡수하고 있는데 1988년 CO₂ 총 배출량이 57.6백만톤(TOE)이므로 46.6백만톤이 증가하고 있는 실정이다(표3). 이는 우리나라 산림의 조건이 열악하기 때문인데 앞으로 조건이 개선되어 더 많은 CO₂를 흡수할 전망이다. 지금 우리나라 산림이

표 3. 우리나라 산림의 CO₂ 흡수 전망(단위 : 탄소톤)

연 도	1989	2001	2030	2080
산림 면적(천 ha)	6,485	6,144	5,600	5,600
ha당 C 흡수량(톤)	1,745	2,327	4,071	7,367
총 C 흡수량(천톤)	11,316	14,297	22,798	41,255



광릉시험림 수준이라면 배출량 전체를 거의 다 흡수할 수 있다는 것을 생각할 때 산림을 육성하기 위한 투자가 얼마나 긴요한가를 알 수 있다.

지구차원에서 보면 온대활엽수림이 연간 흡수하는 CO₂의 양은 탄소톤으로 3억8천만톤이고 열대우림에서는 16억8천만톤이다. 결국 지구 온난화 문제해결에 가장 많은 기대를 걸수 있는 곳은 열대우림이라 할수 있는데 도시화의 지구적 확산을 생각해 보면 열대우림이 먼 나라는 아니고 우리의 숨통을 터 주는 바로 이웃나라인 것이다. 더구나 현존량으로 보면 온대활엽수림이 95억 톤이고 열대우림에서는 344억 톤으로 산림으로서 가장

많은 CO₂를 저장하고 있어 지구 온난화 방지의 저수지 역할을 담당하고 있다. 지금 열대우림의 파괴는 매년 1,700만 ha에 달하고 있어 가히 저수지의 붕괴가 터진 듯하다. 이것은 어떻게 대처해야 할 것인가? 결국 CO₂와 지구온난화의 관계는 단순한 양적차원보다는 생태적 균형관계에 초점을 맞추어야 할 것이다.

바다가 파도 치면서 흡수하는 CO₂양이 104억톤, 방출하는 양이 100억톤으로 순 흡수량은 적으나 들어오고 나가는 양이 엄청나게 많다. 바다의 파도는 단순한 물리적 현상이 아니라 지구가 물리화학적으로 거대한 숨을 쉬고 있는 것이다. 이러한 숨쉬기를 주도하는 심장의 박동력은 어디

서 오는 것일까? 지구에서는 태양광에서 오는 직광의 10% 정도가 광합성에 쓰이고 나머지는 생물이 살기 좋은 온도를 유지하는데 쓰인다. 이때 지구 온도의 유지와 일교차를 줄이는데 CO₂와 구름이 막중한 역할을 하고 있다. 이들은 태양에서 들어온 광에너지의 96%를 다시 순환시킨다(그림10). 따라서 CO₂농도가 증가하면 지구가 더워지는 것이다. 그러나 CO₂와 구름이 없다면 지구는 너무 추워서 생물이 살 수 없을 것이다. 또한 이 과정에서 더워진 대기가 이동하면서 생물의 증발산 작용, 강수, 바다의 파도치기 등 지구의 숨쉬기를 주도하고 있는 것이다.

이렇듯 CO₂발생은 나쁜 현상만은 아닌것이다. 46억년 지구역사에서 일어난 생태적 과정에서 선악을 따질 수는 없다. 이들의 오묘한 조화로 인하여 오늘날 우리가 숨쉴 수 있고 따뜻하게 살 수 있는 환경이 창출된 것이다. 인간세계에는 부의 축적이 발전의 원동력이지만 생태적 차원에서는 동적 평형 상태를 켤 정도의 축적은 어느 것이나 오염을 유발한다. 오히려 각 기능들의 동적평형 상태가 조직적으로 통일되어 전체가 되면서도 그 안에 생활환경적 이질성을 내포하여 진화를 촉진시킨다. 여기서 창출된 생물적 다양성은 다시 이질성을 내포한 총체적 생활환경을 유지하는 그물이 된다. 이렇듯 생태적 과정에서는 구조와 기능적 특성이 상보적으로 작용

하여 하나의 전체성으로 힘을 발휘하기 때문에 산림생태계의 환경개선 기능을 생각할 때 궁극적으로는 지구를 하나의 생태단위로 삼아야 할 것이다. 더구나 이러한 생태적 과정들은 고식적

인 조화와 안정만을 추구하지는 않는다. 항해하는 배가 안정만을 추구하면 나아갈 수가 없듯이 미지의 리듬에 힘입어 흔들리면서 전진하는 것이다.

산림의 환경개선 기능의 총체적인 의미

돌이켜보면 망망한 우주 한쪽에서 자그마한 변화에도 금방 날아갈 것같은 티끌 같은 지구

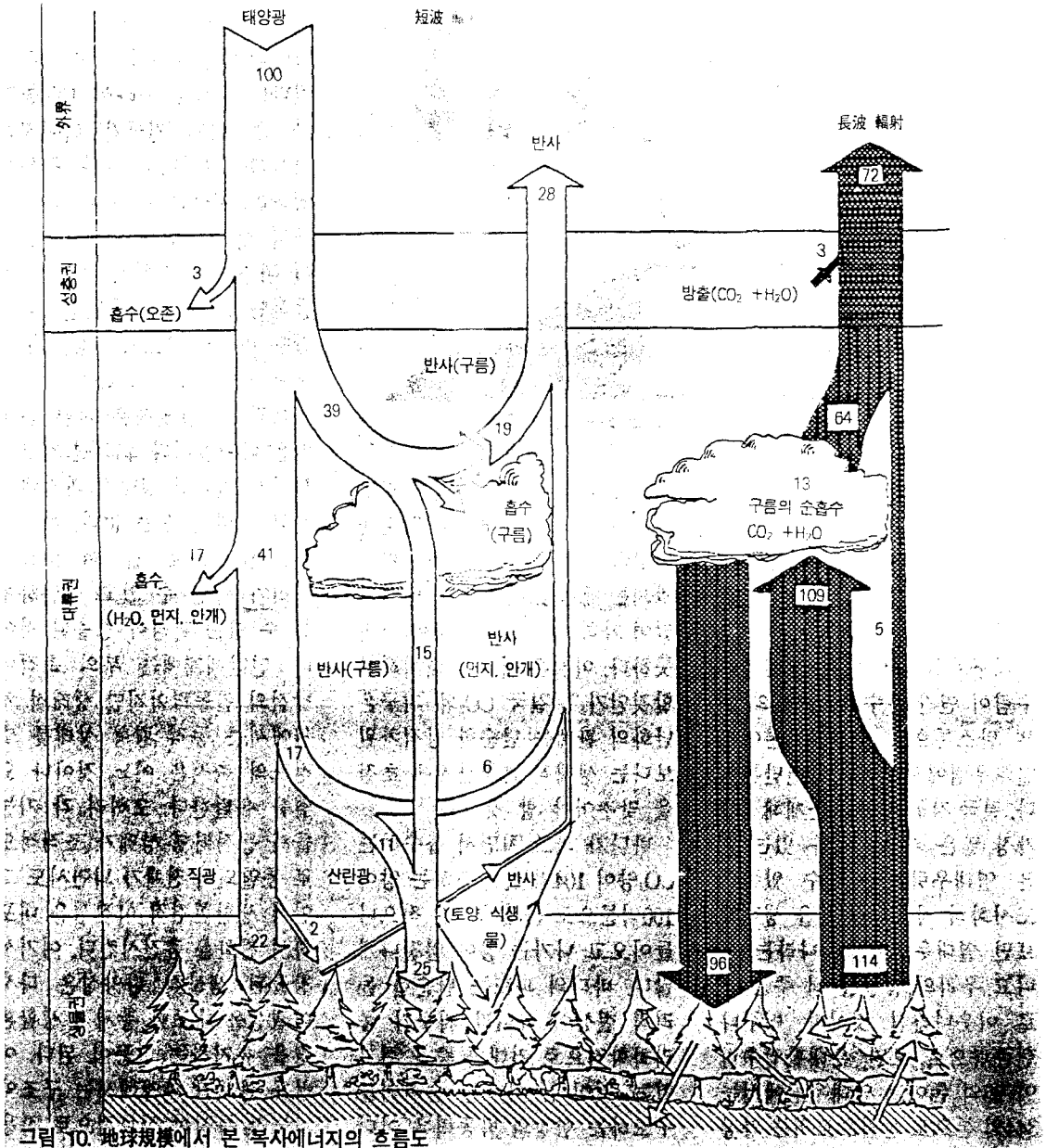


그림 10. 地球規模에서 본 복사에너지의 흐름도

에서 인간이 욕심을 내어 영원을 꿈꿀 수 있는 바탕을 마련한것은 이러한 과정이었다. 이 과정에서 지금은 5천만 종이 사는 풍요로운 생태계가 창조된 것이다. 이들이 서로 어울려서 금방 사라질 듯한 물방울 같은 지구를 영원을 꿈꿀 낙원으로 만들었다. 그러나 지금은 매일 약 100여종이 사라지고 있다. 물론 생태적 과정에서 새로 탄생하는 종이 있기는 하겠지만 대부분의 학자들은 사라지는 양이 훨씬 더 많을 것이라고 추측한다. 이것은 생물들이 서로 얽혀서 격변하는 우주변화에 대처하는 그물에 구멍이 생기기 시작했다는 것을 의미한다. 이 변화는 눈에 보이지는 않지만 남극의 오존층이 얇아져서 일어나는 위험이나 마찬가지로 중대한 사건이다. 산림생태계의 환경개선기능이란 단순히 양적으로만 평가할 것이 아니라 이러한 생태적 긴장 관계에서 출발해야 될 것이다. 우리의 생태적 지혜를 지구숨소리에 맞추어서 자연의 리듬을 이해해야 될 것이다.

이때 종수 뿐만아니라 종조성도 감안해야 될 것인데 환경 개선 기능에 의미가 있는 산림생태계의 최소 크기는 얼마나 되어야 할 것인가? 연구자에 따라서 다르기는 하지만 대략 250km²에서 10,000km²를 제시하고 있다. 크게 잡았을때 우리나라 면적의 약 1/10에 해당하는 면적이지만 휴전선이 갈라진 이후 남한에서는 역부족인 것이다. 호랑이가 없는 산림생태계는 통괄자가 없

다는 것을 의미한다. 지혜로운 우리 선조들은 귀지가를 불려가면서 통괄자를 요구했다. 사람이 사는 곳에도 이러한 진대 생태적 사회에서 호랑이나 늑대를 유지할 수 없다는 것은 그만큼 산림생태계가 빈약하다는 것을 뜻한다.

이렇게 허약한 산림 생태계를 두고 방치하는 것이 가장 잘 보전 하는 것이라는 주장만 한다면 문제가 있다. 특히 피해를 많이 받은 곳에서는 천이단계에 맞추어 무육작업을 하는 것이 생물적 다양성을 유지하는데 더 효율적이다. 따라서 허약체질의 맥을 잡듯이 우리의 지혜를 산림생태계의 박동에 맞추어 연구하고 관리해야 할 것이다. 일반사람들은 나무는 누구나 심을 수 있다고 생각한다. 그만큼 나무의 생명력이 강하고 환경개선기능이 커서 대부분의 환경에서는 살 수 있기 때문이다. 그러나 어떤 나무를 어떻게 심느냐는 전문적인 연구를 거친 다음에 수행해야 숲으로서 환경개선기능을 제대로 발휘할 수 있다.

산림생태계의 환경개선 기능의 의미는 여기서 머물지 않는다. 산림생태계는 삶의 바탕인 땅이다. 하늘과 땅과 사람이란 삼재 사상의 땅이다. 이때 땅이란 생활 환경의 총체를 의미한다. 일견 시간과 공간은 독립적인 듯이 보이지만 땅에서는 시공이 독립적이지 않다. 위도에 따라 숲의 역사가 좌우되고 지사에 따라 지질이 좌우된다. 하늘의 뜻은

땅이 행하기 때문이다. 우리는 이것을 어떻게 이해해야 할 것인가? 행위라는 의미는 이제까지 알았던 지식의 수준에 머무는 것이 아니라 미지의 세계를 몸으로 안고서 스스로를 재창출하여 앞으로 나아간다는 뜻이기 때문일 것이다. 아득한 우주의 역사도 마찬가지로 미지의 세계에서도 시공은 분리할 수 없을 것이다. 이렇듯 산림생태계란 시공의 교감이 어우러지는 자리인 것이다. 이런 산림 생태계의 환경개선 기능에서 화학성분 몇가지를 완충해주는 한 성분만으로는 의미가 없고 다른 성분을 만나서 어떤 과정을 유발할 때만 의미가 있는 것이다. 이런 단위 기능들이 모여 전체로서의 고유한 특성(emergent property)이 살아나는 곳에서 산림생태계의 진정한 기능들이 발휘될 수 있다. 우리가 살아갈 땅을 총체적으로 파악하는데 탁월한 지혜를 가졌던 우리 선조들은 백두산을 우리 나라의 조산으로 잡고 전체적인 지맥을 파악하였다. 그 지혜의 일단은 지하수의 흐름은 물론 바람길을 파악하는 데서도 나타난다. 서울에 도음을 정하면서 동대문쪽에 황천살이 있다는 것을 통찰하고 이에 대비할 것을 주장하였는데 서울의 겨울철 Wind Rose를 보면 한랭한 북서계절풍이 이방향을 따라 불어오고 있다.

이런 통찰력은 나아가 균형과 안정이 지나치게 강조되면 용(산)이 생기가 없고 단조로와질

우려가 있기 때문에 조화를 기본으로 하면서도 거기에 함몰되지 않고 용이 전반적으로 활동적인 것을 요구하였다. 앞에서 논의되었듯이 최근에 와서야 밝혀진 생태적인 과정의 속성(미지의 세계로 나아감과 자기 재창출 특성)을 그때 이미 파악하고 있었던 것이다.

이것을 비과학적인 것이라고만 할 것이 아니라 그들은 무엇을 보았길래 오랜 세월동안 그 지적체계(과학)를 지켜왔는가를 연구해야 할 것이다. 오염물질이 지하로 유출되는 양을 알려고 흙을 파고 침투수 수거장치를 설치할 때 비슷한 경사면에 반복처리하면 걸로 보기에는 조건이 같으나 물의 이동량은 엄청나게 틀려진다. 이것은 땅에는 물질이 따로 있기 때문에 걸로 조건을 따질 것이 아니라 물길을 알아야 한다는 것을 의미한다. 산에 가면 창공이 열려 있다고 다 시원한 것이 아니다. 어느 모퉁이를 돌면 시원한 바람이 불어 온다. 산과 하늘이 어울릴 때에는 창공에도 바람길이 따로 생긴다는 것을 의미한다. 오염물질은 바람과 물을 따라 돈다. 과학적인 증명에는 반복이 필요한데 여기서는 실험설계를 어떻게 해야 할 것인가? 산림생태계의 오염물질 정화능력을 알려면 먼저 이 맥을 짚을 줄 알아야 할 것이다.

또한 땅의 의미에서 보면 생물적 환경과 물리화학적 환경을 분리할 수 없다. 그들은 장구한

세월동안 서로 교감하면서 일구어진 것이기 때문에 서로 떼어놓을 수 없는 것이다. 이러한 통찰력을 바탕으로 이루어진 마을의 길을 보면 나무의 가지가 뻗고 잎이 달린 것과 매우 흡사하게 닮아 있다. 사람과 문물이 교류하는 길과 수액이 흐르는 효율적인 길이 과연 다르다고 할 수 있을까? 도시환경악화에 따른 산림생태계의 환경개선 기능도 이 점을 간과할 수 없는 것이다.

우리의 도시들이 처하고 있는 생태적 환경은 오랜 시간과 공간이 어울려서 주름잡은 산을 바탕으로 하고 있다. 우리 한민족들은 어디서나 산에 기대어 살고 있다. 산림생태계의 환경개선 기능을 향유하기 위해서는 땅의 이이갸기를 잘 듣고 조화로운 곳에 터를 잡아야 한다. 그리고 깎고 메우고 평평하게 하는 것을 능사로 삼을 일이 아니라 산의 숨소리를 잘 듣고 그 리듬을 깨지 않아야 산림생태계는 환경개선 기능을 제대로 발휘할 수 있을 것이다. 더구나 우리나라의 도시들은 풍수지리설의 장풍득수에 입각해서 바람을 막고 자연의 숨결을 보존하는 상보성을 활용하며 생명의 근원인 물을 용이하게 얻을 수 있는 자리에 발달하였다. 이것은 자연의 리듬을 타는 선조들의 통찰력이 발휘된 것이지만 자체적으로 발생하는 대량의 오염물질을 해소하는 데는 상대적으로 취약한 일면을 지니고 있다는 점을 주시

해야 할 것이다.

산림생태계는 견고한 것이 아니다. 46억년의 역사와 광대한 공간속에서 진화해왔기 때문에 얼핏 강한 것처럼 보일지 몰라도 민감한 균형잡기를 하고 있는 저울일 수도 있다. 잘못 기울어지면 다 쏟아질 수도 있다. 이 가운데 있는 도시란 인간이 자연의 질서속에서 안락함을 찾기 위해 고안한 매개환경이 발달한 것에 지나지 않는다. 삶의 환경 전체가 아니라 자연속에서 우리의 삶을 살찌우는 매개적인 역할을 하는 것 뿐이다. 우리의 땅의 짜임새에 알맞게 하면서, 자연과 인간의 매개자적인 특성에 기준을 두고, 도시에 숲을 적극적으로 그리고 다양하게 끌어 들여야 산림 생태계의 환경개선 기능이 제대로 발휘될 수 있는 “도시와 숲과의 만남”이 이루어질 수 있을 것이다. 지구의 역사를 하루(24시간)로 볼 때 육상에서 산림생태계가 발달하기 시작한 것이 약 2시간 40분전의 일이다. 그 만큼 산림생태계의 진화를 준비하는데 장구한 시간이 걸렸다는 것을 의미한다. 그러나 이 산림을 바탕으로 현재의 인류가 탄생하고 도시가 발달한 것을 불과 1초도 안된다. 숲을 잃어가고 있는 아니 산림생태계의 환경개선 기능을 파괴하고 있는 도시화의 과정에서 생태적 조경의 의미를 어디에 두어야 할 것인가 라는 문제가 조경을 결에서만 보아온 필자에게도 무척 의미심장하게 느껴진다. ♣♣