한국생태학회지 24(3): 191~202, 2001 Korean J. Ecol.

<종 설>

미래를 위한 생태학으로서 복원생태학의 발전과 전망

이 창 석 · 유 영 한*

서울여자대학교 환경 · 생명과학부, 서울여자대학교 생태연구센터*

적 요: 인간은 생활환경을 확장하고 그 환경의 질을 향상시키기 위해 문명화를 진전시키는 과정에서 많은 자연환경을 양적으로 잠식하고, 그 질을 저하시켜 왔다. 이러한 인간활동은 많은 생물종을 사라지게 하였고, 인간자신도 그 자신의 존재를 위협하는 환경문제에 직면하게 하였다. 이러한 사실을 인식한 인간의 반응이 복원생태학의 성립과 발전으로 표출되고 있다. 복원생태학은 온전한 자연의 체계와 기능을 모방하여 훼손된 환경을 치유하는 환경기술이다. 이러한 복원은 훼손의 정도에 따라 처리방법이 다르고, 그 규모나 목표에 따라서도 그 종류를 구분할 수 있다. 따라서 그 시행을 위해서는 생태학적 진단이 필요하고, 그러한 진단결과에 기초하여 처방할 때 비용과 노력을 절약하고 상정한 목표에도 도달할 수 있다. 이런 점에서 복원생태학은 기존의 생태학에 토대를 두고 현실세계를 탐구하는 실용학문이며, 그에 더하여 기존의 생태학적 연구를 통하여 획득된 개념과 이론을 현장에서 검증하는 하나의 현장실습인 것이다. 인간은 지구라는 생태계에서 생활하면서 어떤 면에서 무리하게 자연을 이용하였지만, 어떤 면에서 불가피하게 자연을 훼손해 왔다. 더구나 이러한 이용과 훼손은 앞으로도 지속될 전망이다. 그러한 현상이 인류의 생존을 위협하는 환경문제를 몰고 오는 오늘의 시점에서 우리는 아무런 대비없이 그 생활을 계속 이어갈 수는 없다. 불필요한 이용을 줄이고, 부족한 부분을 보충하며, 취약한 부분을 보완하는 생태학적 복원을 추구하여 다가 올 미래의 환경위기에 대비하여야 한다. 이런 점에서 복원생태학은 미래를 위한 생태학으로 인정될 수 있을 것이다.

검색어: 복원생태학, 생태적 복원, 생태기술, 환경위기, 인류, 자연환경

서 론

인류는 많은 생물과 그들의 환경으로 이루어진 생태계 내에 존재하는 하나의 생물 종에 불과하지만 그 생존을 위해 다른 생물과 비교하여 너무 많은 자원과 에너지를 필요로 한다. 그것을 얻기 위해서 다른 생물과 생태계에 여러 가지 영향을 주고 때로는 그것을 파괴하면서 인류가 존재하고 문명을 발전시킨다.

특히 현대문명에서는 인구의 급속한 증가와 도시에 과도하게 인구를 집중시킨 결과 많은 생물 종을 사멸시켰으며, 자연생태계를 오염시키고 파괴시켰다. 인간이 자신의 생활터전이기도 한 환경을 그렇게 만들어 자신들은 환경문제에 직면하게 되었고, 그러한 환경문제는 이미 전지구적 규모에 이르고 있다.

우리들이 오랜 기간 즐기며 우리와 함께 살아왔던 자연환경이 급속히 변화하거나 사라지고 있기 때문에 얼마 전까지 우리 주변에 가까이 있던 식물, 곤충, 작은 동물, 그리고 들판에서 지저귀던 새소리와 물소리까지도 인간으로부터 멀어져 가고 있다. 그러나 인류도 하나의 생물종인 이상 다른 생물들과 그 주위의 환경의 조합으로 이루어진 생태계와 별도의 삶을 유지할 수는 없다. 자연과 공존하고 다양한 자연과 조화로운 관계를 유지하여야만 인류의 존속이 가능하다. 그리고 자원과 에너지의 이용에 있어서도 그 소비와 폐기물의 양을 가능한 한 줄이고 재순환(recycle)을 위해 노력하여 생태계 전체의 안정성을 확보하여야 생존할 수 있다. 더 나아가 이제 우리는 새로운 차원의 재순환인 토지의 재순환, 즉 자연환경의 복원을 추구하여 인간을 비롯한 모든 생물의 생존환경을 확보하기 위한 노력을 기울여야 한다.

복원생태학은 온전한 자연의 체계와 기능을 모방하여 인간이 훼손시킨 자연을 치유하여 다양한 생물들에게 그 서식공간을 제공하고 인류의 미래환경을 확보하고자 하는 환경기술이다 (Aronson *et al.* 1993, Berger 1993, National Research Council 1991). 그것은 어떤 대상을 탐구하여 그 실체를 밝히는 단계를 지나 의사가 환자를 수술하여 치료하는 것과 같이 그 동안의 연구를 통하여 획득한 자연에 대한 지식과 정보를 바탕으로 병든 자연을 수술하여 치료한 후 온전하게 되돌려 놓으려는 자연환경에 대한 수술이고 치료이다.

자연복원은 오늘날 그 연구와 실천이 널리 행해지고 있다. 그러나 자연복원에 대한 생태학적 연구의 역사는 짧고 실증적 주제의 연구성과도 매우 적은 것이 사실이다. 자연복원의 기본은 현존하는 자연환경을 충분히 이해하고 활용하면서 기존의 자연을 유지시키는 것이다. 즉, 자연복원은 자연의 체계에 바탕을 두고 훼손된 자연을 치유하는 행위로서 자연의 유지, 복원, 보전 및 보호를 주요 관심대상으로 삼고 있다 (이 등 1999).

그 동안의 연구를 통하여 생태학은 우리 인간을 포함하여 수많은 생물들이 살아가는 모습과 그 환경을 지배하는 원리를 밝

혀 왔다. 그러나 아직 그 원리를 실제 현장에 적용하는 실용화 측면의 연구는 크게 진전되지 못하였다. 이처럼 학문적인 성과가 아직 미숙하기 때문에 자연복원이라는 말을 사용하지만 종종 자연환경을 오히려 파괴하고 그것을 이용하는 경향도 있다. 한번 잃어버린 자연을 복원하는 것은 많은 시간과 에너지가 필요하고, 또 많은 시간과 에너지를 투자하고도 성공을 장담할 만한 과학적 기술이 아직 정립되지 못하고 있다.

이러한 복원생태학은 비교적 최근에 하나의 보존전략과 학문으로 인정받기 시작하였다. 그럼에도 불구하고 선진국의 경우를 보면 그 원리와 개념은 정부기관이나 민간단체의 환경계획 및 프로그램 개발에서 주요한 역할을 담당하고 있다 (MacMahon 1997). 생태학적 복원은 학술분야에서의 성장 또한 활발하게 진행되고 있다. 1987년에 창설된 복원생태학회는 1993년 이후 공식학술지로 "Restoration Ecology"를 발행하고, 미국생태학회는 복원생태학 분야가 중심이 되어 기존의 학회지와 별도의 공식 학술지인 "Ecological Applications"을 발행하여 이 분야가 날로 발전해가는 모습을 반영하고 있다. 뿐만 아니라 Wisconsin대학에서는 1982년 이후 "Restoration and Note"를 발행하여 대표적 실천과학으로서의 복원생태학에 관한 연구와 정보교환을 주도하고 있다.

복원사상의 성립배경

어떤 생물개체를 둘러싸고 있는 실체를 통틀어 환경이라고 한다. 그리고 이러한 환경은 본래 모두 자연적 요소로 구성되어 있었다. 즉, 환경은 본래 자연환경 그 자체이었다. 그런데 여기에 인간이 등장하면서 인간은 자연환경 속에서 자신의 생활에 보다 편리한 별개의 환경을 만들어내고 있다. 그것은 당초에는 부족한 점이 많았지만 점차 그 규모가 확대되고 질적으로 향상되어 특히 지난 몇 세기 동안에 자연환경과 대등한 수준에 이르게 되었다. 그리고 현재는 그것을 능가하는 규모가 되고 있다. 이와 같이 인간에 의하여 만들어진 환경을 자연환경에 대하여 인위환경이라고 한다. 이러한 인위환경은 자연환경과 독립적으로 존재할 수 없다 (Odum 1993). 그것은 내적으로 완전히 인위적 요소만으로 이루어진 것이 아니고, 외적으로도 자연환경과 독립적으로 존재할 수 있는 것이 아니다. 즉, 자연환경은 인위환경이 존재하지 않아도 성립될 수 있지만 인위환경은 자연환경 없이는 성립될 수 없다. 그러한 인위환경이 이제는 자연환경의 규모를 넘어 계속 확대되어 소위 지구환경의 위기라고 불리는 문제의 근본적인 원인이 되고 있다.

이러한 사태는 수십년전부터 여러 학자에 의해 주장되어 온 것이다. 그리고 그것은 인위환경의 무제한적 확대로 인하여 자연환경이 위기를 맞고 있다는 측면에서 받아들여졌고, 급기야는 그 면적이 계속적으로 축소되고 있는 자연환경을 지키자는 주장이 제기되었다 (이 등 1999).

다양한 채널을 통하여 이러한 인식이 확산되면서 자연에 대한 사람들의 관심은 점점 높아져 자연을 지키는 것이 바로 인류의 삶의 터전인 환경을 지키는 것이라는 생각이 자리를 잡아가고 있다. 이러한 생각은 위기의식을 느낄 정도로 주위의 자연이 소실된 데 기인한다고 볼 수도 있다. 더욱이 이제 사람들은 단순히 자연을 보호하고자 했던 과거의 생각에서 한 단계 더 나아가 자연을 가꾸고 그것이 부족할 때는 복원을 통하여 그것을 보충하고자 하는 수준에 와 있다고 할 수 있겠다. 그리고 이러한 의식수준의 진전이 복원사상을 태동하게 한 배경이라고 할 수 있겠다 (이 등 1999).

자연환경훼손의 불가피성과 그 복원의 필요성

인간개체군은 자연환경의 일부이고, 그것의 도움없이는 생존자체가 불가능한 존재이지만 불가피하게 자연환경의 파괴와 연관된다. 우리 인간이 안락한 생활을 영위하기 위하여 사용하는 물질의 대부분을 우리는 자연환경을 훼손 또는 파괴하여 가져온다. 구석기시대 이후 인간은 건축자재, 연료, 금속, 화학물질 및 기타 모든 원재료를 얻기 위해 그렇게 해왔다. 그러한 원재료를 얻을 때 우리는 자연환경으로부터 얻는 것의 극히 일부만을 이용하고 대부분인 나머지의 것들을 그 주변에 버리는 비효율적인 이용을 하여 그 이용과정에서 다시 한번 자연환경을 파괴하는 행위를 낳고 있다. 그러나 지금의 시점에서 인류가 모든 문명생활을 청산하고 원시적 삶으로 복귀하는 것은 거의 불가능하다. 문명은 거역할 수 없기 때문이다. 이처럼 인간이 생활하는 과정에서 필요로 하는 물질을 얻기 위해 자연환경을 파괴하는 것은 불가피하다 할 수 있겠고, 그것이 문명의 일부를 향상시키는 것 또한 불변의 사실이다. 이러한 자연이용의 과정을 통해 인류는 산업혁명을 낳았다. 그리고 산업혁명 이후 고도문명기로 접어들면서 인구는 급속도로 증가하였고, 문명화의 요구수준 또한 크게 높아졌다. 그 결과 자연환경은 늘어난 인구를 수용하기 위하여 농경지를 확장하고 주거시설을 확보하며, 더 나아가 산업시설, 교통시설 등을 확보하는 과정, 그리고 그들이 생활하는 과정에서 발생된 쓰레기, 오염물질 같은 생활의 부산물에 의해서도 어쩔 수 없이 파괴되어 왔다. 특히 선진국에서 이러한 자연환경 파괴에 기인한 문제가 많다. 그러나 오늘날 공업화가 전 세계로 확산되고 선진국의 사람들이 진출하는 모든 곳에서 자연자원이 이용됨으로서 세계의 어느 지역에도 이러한 문제가 없는 곳이 없을 정도가 되었다. 동시에 자연환경은 공업 외에 농업, 임업, 수산업 같은 다른 산업활동에 의해서도 훼손되고 파괴될 수도 있다. 그러나 이러한 훼손과 파괴의 불가피성이 있다고 하여 그러한 문제를 보고 있을 수 만은 없는 것이다.

옛날에는 사람이 나이가 들어 병이 들면 그것을 수명이 다해서 나타나는 자연현상의 하나로 수용하는 경우가 많았다. 그러나 문명화의 진전에 따라 수반된 새로운 의약품의 개발과 의료기술의 향상으로 과거에는 치료가 불가능하여 노화의 한 현상으로 간주하였던 질병 조차 그것의 원인을 밝혀 치료하는 예가 많아지며 인간의 수명을 연장시키고 있다. 이와 같이 인간의 노력에 의해 인간 스스로의 수명을 연장하였듯이 이제 우리는 만물의 영장으로서의 생태학적 소임을 다하기 위해 인류 전체와

모든 자연환경 구성원의 삶의 터전인 환경의 수명 연장을 위해 자연환경을 그 치유대상으로 삼아 건전하고 생기있는 자연으로의 복원을 추구할 필요가 있다.

문명화를 되돌릴 수 없는 현실에서 물질과 에너지를 재이용하고 재순환하게 하여 그 사용량을 줄이는 것이 가장 바람직한 환경문제 해결의 수단으로 인식되고 있듯이 사라져가는 다양한 생물의 삶의 터전을 지키기 위해서는 자연이라는 자원을 재순환, 즉 복원시키려는 노력이 가장 바람직한 방법이 될 수 있는 것이다. 더구나 이러한 자연환경의 파괴는 문제가 그 자체에 머물지 않고 환경의 상호연관성, 복잡성, 그리고 창발성의 원리를 좇아 또 다른 문제를 만들어낸다 (이 등 1999, Odum 1993). 여러 가지 환경문제를 그 예로 삼을 수 있고, 자연환경이 더 심하게 파괴된 곳에서 더 심각한 환경문제가 발생하고 있음을 통해 그것을 실증하고 있다 (Freedman 1986, Gilbert 1997).

복원의 개념과 종류

자연의 복원은 가능한 모든 과학기술을 동원하여 훼손된 자연을 훼손되기 전의 상태로 회복시키는 것을 말한다. 즉, 복원은 생태학적 원리를 바탕으로 자연적이며 자기유지적인 자연을 재창조하는 것이다. 이러한 복원은 생태학과 농학의 이론을 결합한 응용생태학의 한 분야로서 온전한 자연을 모방하여 훼손된 자연을 치유하는 일종의 환경기술이다 (Aronson *et al.* 1993, Berger 1993, National Research Council 1991).

훼손된 자연의 복원은 적합한 과학적 원리를 이용하여 약화된 자연의 기능을 회복하려는 시도로서, 훼손의 정도에 따라 복원방법이 다르다. 즉, 자연의 회복능력에 맡기는 방법, 최소한의 생물에너지를 투입하여 회복을 촉진시키는 방법, 종자의 파종, 묘목의 식재 등 적극적으로 생물에너지를 투입하여 빨리 회복시키는 방법이 있다 (Bradshaw 1984).

한편, 복원의 종류는 공간규모의 차이에 의해서도 구분할 수 있다. 즉, 생태계 수준의 복원과 경관수준의 복원이 이러한 기준에 근거한 구분이다 (이 등 1998b, Morrison 1987, Naveh 1998, Noss 1991). 그 중 지금까지의 복원은 대체로 생태계 수준의 복원을 추진하고 계획해왔다. 그러나 다양한 야생생물의 서식기반을 되돌려주는 행위로서의 복원을 생각하면 그것은 후자, 즉 경관수준에서의 복원이 그러한 기회를 더 많이 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 경관은 여러 개의 생태계가 조합된 복합생태계이다 (Forman and Godron 1986, Forman 1995, Zonneveld 1995). 여기에서 경관수준의 복원이라 하면 복원을 어느 한 생태계에 국한시키는 것이 아니라 생태계 복합체로서의 경관수준으로 공간의 규모를 확장하여 보다 다양한 종류, 특히 고차소비자의 생활환경을 확보해주는 복원이라 할 수 있다. 실제로 자연에서 동물들의 서식활동을 보면 그들의 공간적 지위(spatial niche)가 하나 이상의 생태계에 걸쳐 있는 경우가 일반적이다. 그러나 문명화가 진행될수록 서식처 단절현상은 심화되어 그러한 현상은 종을 절멸시키는 주요인으로 등장하고 있다. 이러한 현실에서 앞으로의 복원은 이러한 경관생태학의 원리가 반영된 복원을 고려하여야 할 것이다. 그러나 그렇다고 하여 생태계 차원의 복원이 의미가 없는 것은 아니다. 상실되었거나 약화된 구조와 기능을 복원하는 생태계 차원의 복원이 이루어지지 않는 상황에서 경관수준의 복원은 기대할 수 없기 때문이다. 다만 Noss(1991)가 지적하였듯이 보다 충분한 야생의 상태를 회복하기 위해 생각을 크게 갖는 것이 필요하고, 다양한 경관요소를 포함하는 복원은 그만큼 다양한 종의 회복을 가져올 수 있기 때문이다 (Naveh 1994, 1998).

복원의 목적

어떤 지역을 복원하고자 할 때 우리는 그 출발선상에서 어떤 복원이 가능할 것인지를 잘 물어야 할 것이다. 우리가 알고 있는 자연적 토양형성과정과 자연적 생태계 발달과정의 측면에서 볼 때 그 답은 틀림없이 긍정적이다. 그러나 있는 그대로의 물질로부터 시작하여 잘 발달된 생태계가 만들어지기까지는 100여년의 시간이 걸린다 (Dickson and Crocker 1953, Crocker and Major 1955). 지질학적 시간규모로 볼 때 이것은 초정도에 불과하나 황폐화되거나 파괴된 토지 주변에 살면서 그것을 경험하는 인간에게 그것은 일생의 거의 두배에 해당한다. 이것이 문명화의 안락함을 얻은 것에 대한 댓가로 누구나가 치뤄야 하는 벌칙은 아니다.

따라서 우리는 계획의 추진에 앞서 어떤 수준의 복원을 목표로 하는 가를 결정하여야 한다. 실제적인 측면에서 볼 때 적어도 네가지 대안이 있다 (Fig. 1).

복원과 관련된 몇 가지 용어의 개념을 파악하기 위하여 그들을 일반생태학의 배경에 대비시켜 보자. 생태계는 몇 가지 중요한 특징을 가진다. 첫째, 그리고 복원의 목적상 가장 중요한 것은 그들이 자연적 발달과정을 거친다는 것이다. 새로 만들어진 토지의 표면은 어떠한 식물도 가지지 않은 토양의 모재료로 그것을 시작한다. 토양모재료는 풍화되기 시작하여 영양염류를 유리시키고 식물이 정착하기 시작하며 토양에 유기물을 공급한다. 그러면 그 환경은 더 종류가 많고 몸집이 큰 종을 보유할 수 있게 되고, 그 결과 어떤 종집단이 다른 것으로 대치되며 점차 더 복잡한 생태계로 발달한다. 이러한 전과정이 천이로 알려져 있다.

중요한 변화가 생태계의 구조와 기능 둘다에서 발생한다. 구조는 종수와 그들의 생태적 다양성이 증가함에 따라 더 복잡해진다. 기능은 생물량 및 염류순환의 측면에서 증가한다. 이러한 과정은 두개의 축으로 생태계의 구조와 기능을 표현한 이차원 그래프로 나타낼 수 있다. 생태계의 자연적 발달과정, 즉 천이는 그래프의 왼쪽 아래의 단순한 상태로부터 오른쪽 위의 더 복잡한 상태로 진행된다.

복원과정을 같은 그래프로 나타낼 수 있다. 초기의 위치는 왼쪽 아래부분이 될 것이다. 아무런 처리도 가해지지 않으면 보호되지 않은 물질들이 침식되기 쉽고 심지어 전체가 쓸려나갈 수도 있기 때문에 그 상황이 더 악화될 수 있다. 그러나 이러한 방치는 자연적 천이과정을 멈추게 하지 못하고, 생태계는 충분

히 발달된 생태계로 서서히 발달하기 시작한다. 특별한 제한요소가 없을 때 이 과정은 온대지역에서 약 100년이 걸린다. 그러나 산성화, 중금속 독성 등과 같은 제한요인을 가지면 50년 또는 100년이 지나도 식물이 전혀 정착하지 못하는 경우도 있다 (Bradshaw 1995).

훼손된 환경에 대한 교정이 적극적으로 수행될 때 세가지 목적이 가능하다. 첫째는 복원(restoration)인데 여기에서 시도하고 있는 것은 정확히 교란이전의 상태로 돌아가는 것이다. 본래의 생태계가 수세기 또는 수천년에 걸쳐 발달해왔기 때문에 이러한 수준에 도달하기는 매우 어려울 것 같지만 호주(Bradshaw and Chadwick 1980)와 영국(Bradshaw 1995)에서는 상당히 성공한 사례도 있다. 두번째 가능성은 충분한 복원과 유사한(그보다는 약간 덜한) 어떤 것을 목표로 삼고 있는데, 우리는 그것을 복구(rehabilitation)라고 한다. 모든 복원을 사실 복구라고 주장할 수도 있으나 성과보다는 목표를 고려할 때 이와 같이 구분할 수 있는 것이다. 여기에서 정의하는 복구는 충분한 복원을 기대하지 않고 아극상(subclimax)과 같은 수준의 평형상태를 목표로 한다. 세번째 가능성은 본래의 상태를 회복하려는 시도가 아니다. 그대신 본래의 생태계를 다른 어떤 것으로 대체(replacement)하는 것이다. 대체된 것은 더 단순하지만 더 생산적인 생태계가 될 수도 있다 (Fig. 1의 A). 마찬가지로 대체된 생태계가 더 단순하고 덜 생산적인 것이 될 수도 있다 (Fig. 1의 B). 본래의 생태계가 가지고 있는 모든 미묘한 특징들의 회복이 요구되지 않기 때문에 이 방법은 가장 수행하기 쉬운 방법이다. 대체는 원토양이 소실되고 지형이 완전히 변하였으며 주변지역이 완전히 변화되어 본래의 생태계와 토지이용이 현재로서

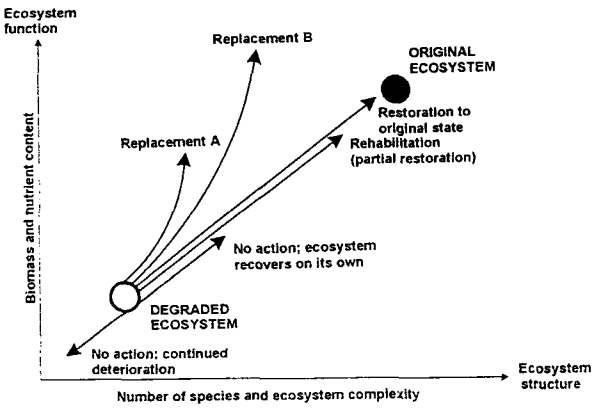

Fig. 1. Degraded ecosystems lost their structure and functions. Goals of a restoration project have to be decided as to whether to restore, rehabilitate, or replace the degraded site, or whether the best course of action is no action. The restoration process is an attempt to direct the system back to the original state. Complete restoration would involve return to that state; partial return, or other trajectories would result in rehabilitation or replacement by a different system (Modified from Bradshaw 1992).

불가능한 지역에 적용할 만하다. 따라서 우리는 어떤 대상지역의 생태적 특성에 대한 진단의 결과에 기초하여 각각에 적합한 복원의 수준을 결정하여야 할 것이다. 그러나 그 수준은 인간의 입장에서 보다는 자연 본래의 입장에서 결정하는 것이 바람직하다. 이 모든 것은 가능성이고 한편으로 이 모든 것은 적합한 복원과정이다. 극단적인 환경주의자들에게 모든 훼손된 환경의 교정은 복원이 되어야 하고, 사실 정부도 여기에 최종목표를 둘 것이다. 몇몇 경우에 충분한 복원이 타당하고 바람직하지만 그것이 너무 어렵고 비용이 많이 들어 실현불가능한 경우가 많다.

자연복원의 대상 지역

인간의 여러 가지 활동은 현존하는 많은 야생생물의 생활환경을 악화시키고, 또 그러한 생물을 남획하거나 생활의 장을 파괴하여 종으로서의 존속을 저지하고 있다. 이러한 인간의 행위는 자연환경과 인위환경에 대한 생태학적 이해의 부족으로 발생한다. 이러한 점을 종합적으로 고려하여 자연복원의 대상지역을 검토해 보기로 하자.

우선 국가 전체적인 측면에서의 복원을 검토하여 보자. 우리가 주말이나 휴가기간을 이용하여 여행을 하기 위해서는 지도를 보게 된다. 특히 그것이 장거리 여행이라면 전국 도로망 지도를 보게 될 것이다. 이때 우리는 지도에서 우리가 찾아 갈 목적지와 그곳에 도달하기 위하여 선택하여야 할 도로를 찾게 된다. 그러면 이번에는 그러한 지도를 한번 더 자세히 들여다 보고 도로망이 얼마나 조밀하며 그러한 도로에 의해 잘리지 않은 자연환경 조각의 면적이 얼마나 될 것인지에 대해서도 관심을 가져보자. 1/1,000,000축척의 지도를 가정할 경우, 1 cm는 10 km이므로, 2 cm × 2 cm, 즉 400 km^2의 온전한 자연환경에서 호랑이 한쌍이 살 수 있다고 한다. 도로에 의해서 잘리지 않은 그만한 크기의 자연환경이 우리 국토의 어디에 남아 있는지를 찾아보자. 아마 거의 없을 것이다. 설사 그만한 크기의 어떤 공간을 찾는다 하여도 그 내부가 온전한 자연의 모습은 아닐 것이다. 이처럼 우리의 환경은 조각나 있고, 그 내부도 본래의 모습과는 크게 달라진 모습을 유지하고 있는 경우가 많다. 이러한 것이 자연복원의 대상 중의 하나가 된다. 근년에 이러한 문제를 해결하기 위한 수단으로 환경부에서는 생태다리, 생태통로 등을 만든다고 한다. 일단은 반가운 소식임에 틀림없다. 그러나 좀 더 생각해 보면 그렇게 반길 소식만은 아니라는 생각도 든다. 왜냐하면, 앞서 언급한 바와 같이 국토를 조각낸 조밀한 도로망도 환경영향평가를 거쳐 이루어졌다는 사실을 감안하면, 결국은 환경부의 승인하에 만들어진 것이라는 것이 그 중 하나이고, 사전조사의 결과도 없이, 즉 대상지의 경관유형, 복원대상동물의 행동반경, 경관유형을 이루는 각 경관요소의 건전성 등에 대한 검토도 없이 그러한 사업을 추진하는 배경에서 그 실효성에 크게 의문이 가는 것이 또 하나의 이유가 된다. 실제로 수도권 주변에서 계획적으로 만들어진 생태다리라고 명명된 구조물을 본적이 있다. 필자가 동물에 대해 연구한 바가 없기 때문에 야생동물들이 그러한 구조물을 그들의 이동통로로 이용할 지 여부

에 대해서는 자세히 알 수 없지만 식생의 구조 측면에서 보면 생태라는 이름을 붙이는 것 조차 어색하다는 생각을 해 보았다.

이제 또 다른 대상지역을 찾기 위해 우리의 관심을 좀 더 좁은 지역으로 돌려보기로 하자. 우선 도시지역을 검토해 보자. 우리가 비행기로 여행을 하고 김포공항으로 돌아올 때 그 시간은 낮이고 다행스럽게 그 전날쯤 비가 왔으며 그 날은 쾌청한 날임을 가정해보자. 그리고 그 항로는 관악산 방향보다는 서울의 동쪽으로 진입한 후 서울상공을 관통하여 김포공항으로 가는 항로이고, 우리의 좌석은 창가였다고 생각해보자. 이 경우 우리는 짧은 시간이지만 서울 전체를 훑어보는 기회를 가지게 될 것이다. 기대에 부푼 눈으로 여기저기를 들여다 보지만 생태학도의 시야에는 실망스런 모습만 들어온다. 즉, 도심의 녹지공동화현상을 한눈에 볼 수 있는 것이다. 이러한 부분 또한 복원의 대상이고, 그것을 복원하여 생태도시로 가꾸자는 목소리가 나온 지도 이미 오래 전이다. 그러나 아직 구체적이고, 체계적인 대안은 제시되지 못하고 있다. 다행스럽게도 서울시에서는 그것을 바르게 인식하여 국내 최초로 그 대안을 찾기 위한 기초작업, 즉 서울시 전체를 대상으로 생태지도를 만드는 작업을 추진하고 있다. 이제 그 지도가 완성되고 바른 시각에서 분석되면 구름잡기식의 지금까지의 대안과는 아주 다른 차원에서의 자연복원이 검토될 수 있을 것이다. 사실 도심의 녹지공동화는 그 문제가 도심에만 한정되는 것은 아니다. 그것은 기온역전현상으로 시작하여 전형적인 도시기후형성에 기여하고, 그것은 도시내부에서 발생된 오염물질을 도시외곽의 자연지역으로 수송하는데도 관련된다. 이러한 결과는 이미 서울과 부산같은 대도시 주변의 자연녹지에서 식생의 비정상적인 계층구조를 유발하였고, 그 결과 종조성이 단순해지며 생태계의 안정성을 위협하는 수준으로 진행되고 있다 (이 등 1998a,b, Cho and Lee 1998). 더구나 그러한 현상은 대도시에서뿐만 아니라 청주시와 같은 중소도시에서까지 이러한 징후가 감지되고 있다 (이창석 개인적 관찰). 따라서 이러한 도시내부의 인공화된 공간에 자연을 도입하는 복원은 시급한 실정이며, 그러한 측면에서 이러한 지역은 매우 중요한 복원의 대상지역으로 볼 수 있다.

이번에는 도시내부에 남아 있는 녹지들을 검토해보기로 하자. 우선 하천주변을 보자. 어디를 가도 녹지라고 부를만한 공간을 찾기가 어렵다. 대부분의 경우 나무는 없고 초지가 대부분이며, 초지도 다년생식물보다는 1년생식물이 주종을 이룬다 (Lee 2001). 그러나 이곳은 많은 야생생물의 생활공간이고, 더구나 이곳을 주 서식처로 삼지 않은 야생동물에게도 이곳은 그들의 생활에 필요한 자원을 얻는 장소이고, 이동하는 통로이며, 특히 생식환경으로서 그것의 위치는 매우 중요하다 (이 등 1999). 이런 점에서 이곳 또한 중요한 복원의 대상지역이 된다.

이번에는 도시외곽으로 우리의 관심을 돌려보자. 서울은 인구측면에서 세계 제 4위의 세계적인 도시에 해당하지만 그 외곽지역을 보면 농촌을 연상케 하는 옛 모습을 간직한 부분들이 남아 있다 (서울시 1997, 1998). 도심지역에서 주변의 그린벨트 지역을 향해 경관요소의 분포를 보면, 그들은 도시화지역, 경작지, 조림지 및 이차림의 순서로 거의 띠상분포를 보이고 있다 (Lee *et al.* 2000). 그런데 이러한 분포유형에서 예외적인 부분이 나타나는데, 계류변이 거기에 해당한다. 즉, 그러한 곳에는 전국적으로도 희귀한 오리나무군락의 잔재가 남아 있고, 서울시 측면에서 중요한 가치를 갖는 느티나무군락, 서어나무군락, 들메나무군락 등이 불안정하고 그 장래가 불투명한 유적군락의 형태로 남아 있다. 그러나 이러한 부분들이 그것의 생태적 중요성을 인식하지 못한 사람들에게는 한낱 놀이를 위한 장소로만 생각되고 있는데, 이러한 부분들은 인간의 휴식장소이기 이전에 많은 야생생물의 생활장소로서 또 하나의 중요한 복원 대상지역으로 볼 수 있겠다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 우리의 국토 도처에는 그 동안 우리가 무심코 추진해 온 여러 가지 개발행위로 인하여 발생된 갖가지 상처들이 산재해 있다. 특히 도시의 요소 요소에는 이제 이용의 대상이 아니라 복원의 대상으로서 인간의 정말 다른 차원의 손길을 기다리고 있는 부분들이 많다는 것을 알 수 있다. 인간이 의·약품을 개발하여 스스로의 수명을 연장하였듯이 이제 "복원"이라는 자연을 위한 의·약품을 적용하여 건전하고 생기있는 자연의 모습을 되찾아 우리의 환경의 수명을 연장시켜야 할 것이다. 그리고 그것은 자연을 이루는 많은 생명체들을 위한 일이며, 동시에 거기에 포함된 우리 자신을 위한 일임에 틀림없다. 이러한 생각과 시각을 가지고 우리의 환경을 점검할 때 우리는 여러 곳에서 복원의 대상을 확인할 수 있을 것이다.

생태적 복원의 실제

복원을 자연적 과정에 맡기게 될 때 생기는 문제는 시간이 많이 걸린다는 것이다. 그 경우 수십년 또는 수백년이 걸릴 수도 있고 발달된 군집이 성립되기 위해서는 천년 또는 그 이상이 걸릴지도 모른다. 그러나 이와 같이 긴 시간이 필요한 것은 특별한 문제 때문인데 일단 그것이 밝혀지면 인위적 간여에 의해 그러한 문제를 극복할 수 있다. 인위적 간여는 자연적 과정을 이용하거나 모방하면 성공할 수 있다. 이러한 식별과 간여의 과정이 생태적 복원의 본질이다. 생태적 복원의 일반적 방법을 개괄적으로 검토해보기로 하자.

기질의 준비

생태적 복원을 시행하는데 있어서 대체로 토양이 주된 문제를 제공한다. 토양의 복원은 토양의 층구조와 기질로 구분하여 검토할 수 있다. 전자는 자연토양의 층구조를 모방하여 간단히 해결할 수 있는 것으로서 (Lee and You 2001) 여기에서는 후자에 초점을 맞춰 논의하고자 한다.

각각의 문제에 대해서는 즉시 대처할 수 있는 대응책과 장기적 측면의 대책이 있다. 이러한 대책들은 교란되기 전의 원토양을 다른 곳에 보관하였다가 사용하면 해결할 수 있는 문제들이다. 그러나 이러한 대비를 해두지 않은 지소들이 대부분이며 그러한 준비가 요구되지도 않는 것이 우리나라의 현실이다.

널리 이용되는 기질의 복원방법을 Table 1에 종합하였다. 토

Table 1. Treatment of soil problems in ecological restoration (Bradshaw 1983, Dobson *et al.* 1997, Mun *et al.* 1997, Lee *et al.* 1998)

Limiting factor	Specific variables	Problem	Immediate treatment	Long-term treatment
Physical	Structure	Too compact	Rip or scarify	Vegetation
		Too open	Compact or cover with material	Vegetation
	Stability	Unstable	Stabilizer/mulch or nurse	Regrade or vegetation
	Moisture	Too wet	Drain	Construction of mound
		Too dry	Organic mulch or nurse	Tolerant vegetation
Nutrition	Macronutrient	Nitrogen & others deficient	Fertilizer or fertilizer + lime	Legume or fertilizer + lime
	Micronutrient	Deficient	Fertilizer	–
Toxocity	pH	Too low	Lime, dolomite, organic matter	Lime, dolomite organic matter
		Too high	Pyritic waste or organic matter	Weathering
	Heavy metals	Too high	Organic mulch or tolerant cultivar	Inert covering or tolerant cultivar
	Salinity	Too high	Weathering or irrigate	Tolerant species or cultivar

양복원에서 가장 어려운 문제는 오염된 토양을 개량하는 것이다. 금속오염에 대해 현재 적용하는 기술은 씻어내기(leaching), 전기삼투(electrio-osmosis), 불용화(imobilization) 등 물리화학적 방법이 중심을 이루고 있다. 그러나 이러한 방법은 특수장비와 숙련된 기술자를 필요로 하여 비용이 많이 들기 때문에 소규모 지역에 적용하기에는 부적합하다 (Bradshaw 1992, Dobson *et al.* 1997). 더구나 그러한 방법은 그것이 적용된 지역에서 모든 생명체들을 제거하기 때문에 오히려 역효과를 가져올 수 있고 복원의 의미와도 거리가 멀다. 따라서 최근 오염토양의 개량수단으로 생물에 의한 흡수제거의 가능성에 많은 관심이 모아지고 있다. 식물을 이용하여 오염물질을 제거하는 원리는 단순하고도 멋진 개념이다. 적당한 식물을 선택하여 오염된 환경에서 키운 후 그들을 수확하여 유해폐기물로 처리하거나 저온에서 연소시킴으로서 재에 농축된 금속을 수거 · 제거할 수 있다. 더구나 식물 중에는 그러한 금속을 많이 함유한 토양에 본래부터 생육하여 그러한 금속을 고농도로 축적할 수 있는 종류도 있다. 그러나 그러한 식물이 일반적으로 크기가 작고 생장속도 또한 느려 널리 적용하기에는 문제점을 가지고 있지만 이 점도 기존의 육종기술이나 생명공학기술을 이용하여 개선해 나가고 있다 (Dobson *et al.* 1997).

생물군집의 도입

일단 토양이 복원되면 식생을 복원하는 것은 어렵지 않다. 일반적인 방법은 ① 생태계의 기능을 복원하는데 중요한 종, ② 최종생태계의 주요 구성원이 될 종, ③ 그 생태계의 최종 생물다양성을 이루어야 할 식물과 동물을 선발하여 도입하는 방법을 취하고 있다 (Bradshaw 1992, Dobson *et al.* 1997). 그러나 이들의 재정착은 매우 느리고 인근에서 그러한 자원을 확보하지 못할 수도 있다. 그런 점에서 우리는 가능한 한 다양한 자연자원을 보존하고 그에 관한 정보를 확보해야 하는 것이다. 생물의 도입은 자연적 이입을 통한 방법이 바람직하지만 이것이 불가능할 경우 인위적 도입이 필요하고 이 경우 종자의 확보와 양묘를 위한 준비 또한 요구되는데 이러한 점에 대한 인식이 우리나라에서는 크게 부족하다. 따라서 대부분의 복원사업이 고유종의 묘목을 확보하지 못하여 이름뿐인 복원으로 그치고 마는 것이다.

한편, 군집을 이루는 식물들의 조합에서 간호식물(nurse plant) 또는 비료식물(fertilizer plant)로 알려진 종의 도입에 관한 검토도 요구되는데 이런 점에서 생태적 복원은 생태학의 개념과 이론을 시험하는 기회를 제공한다 (Jordan *et al.* 1987, Dobson *et al.* 1997).

또한, 공업단지와 같은 극심한 오염지역에서는 그러한 환경에 내성을 갖는 종을 선발 · 식재하거나(김 등 1996) 더 적극적인 방법으로 생명공학기술을 접목하여 더 강한 내성종을 개발하는 연구도 진행되고 있다 (Dobson *et al.* 1997).

경관차원의 복원을 위한 환경계획

생물개체의 생활에는 생명을 유지하는데 필요한 물, 식량, 영양염류와 함께 휴식과 재생산 활동을 위한 집과 배우자가 필요하다. 또 그러한 생활조건이 있어도 종을 지속적으로 존속시키기 위해서는 늘 변화하는 자연계에 대응할 수 있는 유전적 다양성과 진화의 가능성을 내포한 개체군의 확보가 필요하다. 그리고 그것을 수용할 만큼의 공간도 필요하다. 그러한 내용에는 인위적 확장에 의해 야기되는 야생생물의 생활장소의 단편화가 종의 절멸의 주원인이 되고 있다는 의미가 포함되어 있다. 그러한 종의 절멸을 막기 위해서는 자연환경의 보존, 복원을 통하여 지역에 있는 종내 및 종간 다양성, 즉 생물적 관계를 보존, 복원하여야 한다.

동일한 면적의 공간에서도 그 장소의 물리적 구조의 차이가 생물환경의 질적 차이를 가져올 수 있다. 예를 들면, 단조로운 공간에 비해 복잡한 자연환경은 보다 많은 동물의 생식환경과 생육환경이 된다 (Farina 1998, Naveh 1994, 1998). 그렇지만 동

일한 면적에 존재할 수 있는 생물의 양에는 한계가 있다. 따라서 동일한 평면적 크기 속에서 생활공간이 달라질 수 있어도 각 생물간의 관계의 유지에는 그 평면구조가 무엇보다도 중요하다. 즉, 생물다양성의 유지·복원을 위해 일정 수준 이상의 수평공간이 확보되어야 한다 (Morrison 1987, Noss 1991).

인간과 야생 동·식물의 공존에 있어서도 먼저 인간의 이용을 중심으로 하는 구역과 동·식물의 생식·생육을 지속적으로 보존하는 구역 (자연지역)을 명확하게 구분할 필요가 있다. 자연 지역은 인위를 가능한 한 배제하면서 야생생물의 보호구역으로 보존하여 자연 보존의 핵으로서 작용하게 한다. 그렇지만 이와 같은 경우에도 어떤 공간에 어느 정도의 개체군이 확보될 때 종의 존속이 보장될 수 있는 지는 확신할 수 없다.

야생 생물의 보호를 위해 자연의 핵을 보존하는 방법은 다음과 같다. 즉, 야생생물의 보호의 핵이 되는 자연 지역은 가능한 한 큰 덩어리 하나로 뭉쳐 있고 원형에 가까우면 좋다. 그러나 하나의 구역에서 충분한 크기를 확보하는 것은 어려운 점이 많고, 특히 행동권이 큰 야생생물의 경우는 더 큰 자연지역이 요구되기도 한다. 따라서 각 자연지역의 생물적 관계를 강화하기 위해서는 그것을 가능한 한 크게 만들고, 또는 그것을 연결시키는 자연의 통로 (corridor)를 설치하여 생물적 네트워크를 확보하는 것이 중요하다 (Farina 1998, Meffe *et al.* 1997). 자연의 통로는 자연지역과 동질의 상태가 이상적이지만, 그것이 불가능할 경우에는 인위 등 외적 영향이 가능한 적은 상태를 유지하게 한다 (이 등 1999). 수생생물 등 수계환경에 의존하는 생물에게 하천, 수로, 그리고 바닷가는 그 자체가 생활환경이자 이동통로가 된다. 또 육상에서는 이차림과 초지, 그리고 경우에 따라서는 인공림과 가로수 지대 등도 통로로서 기능을 발휘할 수 있다. 자연지역과 인위지역 사이에는 자연지역의 환경을 인위적 환경의 직접적 영향으로부터 지켜주면서 사람이 자연을 이용할 수 있게 하는 지역 (반자연지역), 즉 완충지역을 배치한다. 이상과 같이 야생생물과 인간의 생활지역의 구획화는 작은 공원으로부터 지역이나 나라, 그리고 더 나아가 지구전체에 이르는 다양한 수준의 공간적 다양성의 유지·복원을 위해 공통적으로 적용할 수 있다 (Farina 1998, Meffe *et al.* 1997, Primack 1995).

시간차원에서 자연복원의 검토

육상과 수계의 모든 생태계는 시간의 흐름과 함께 자발적이고 질서있는 변화를 한다. 즉, 천이가 진행된다. 따라서 자연계의 조성과 구조는 당연히 일정하지 않다. 자연의 유지·복원에 있어서도 언제나 현존 자연의 상태를 이해하면서 천이의 계열을 인지하고 어떤 단계의 자연을 목표로 하는가를 결정하고 그 목표와 현재의 천이 단계 사이의 차이를 잘 관찰하여 이에 대응하여야 한다.

생태계는 언제나 인위적 영향을 비롯하여, 여러 가지 영향을 받고 있다. 그러한 외적, 내적인 영향으로 그것이 비정상적인 상황에 처한 경우에도 천이를 통하여 생태계의 회복이 가능하다. 이와 같이 천이라는 것은 생태계가 자신의 상태를 정상으로 보존하기 위해서 그 복원력을 발휘하고 있는 과정이라고 볼 수 있다. 따라서 천이에 대한 연구로부터 얻은 생태학적 결과는 자연복원을 위한 귀중한 정보가 된다.

인간적 가치관으로 보면 생태계는 자연그대로의 상태가 항상 최고는 아니고 생태계의 전체적인 균형 속에서 여러 가지 상황에 대응한 목표의 모습을 그릴 수 있다. 목표라는 것도 현재의 자연이 그대로 목표가 될 수도 있고, 그 토지의 잠재적인 별개의 자연, 또는 전혀 다른 새로 창조된 자연에 이르기까지 여러 가지가 있다. 이와 같은 목표자연을 유도하고 그것을 존속시키기 위해서는 인간이 그것을 어떻게 관리하는가가 중요하다. 그것은 자연과 인간 사이의 관계의 원점이고, 또 인간의 역사나 문명과 깊이 관계되는 것도 있다. 인간간섭에 의해 그 균형이 상실된 생태계를 대상으로 그것에 부합하는 목표를 세우고 시간과 공간의 균형속에서 자연을 손질하고 관리하여 목표로 하는 자연에 도달하게 하는 것이다. 이것이 자연복원의 목적이 된다.

동물들에게 있어서 식물군락은 식량과 은둔처를 제공하는 등 그 서식환경에 크게 영향을 미친다. 따라서 어떤 지역의 식생의 관리는 그 생태계 전체의 조절에 관계된다. 구체적으로는 목표로 하는 자연을 명확히 함과 동시에 군락 자신의 천이적 변화를 감안한 방법이 필요하다.

식생의 생태학적 관리방식은 자연에의 순응, 천이 억제, 천이 촉진, 군락조성 및 이용의 5가지를 들 수 있다. 이러한 관리방식에 토대를 두고 천이 축을 기본으로 한 생태계 관리 방식을 정리하면 다음과 같다.

1) 천이촉진

천이의 진행을 인위적으로 촉진시킨다. 목표로 하는 자연이 현재보다 진행된 천이단계일 경우, 천이의 진행에 맡기는 것에 더하여 인위적으로 그 진행을 촉진시킬 필요도 있다. 이 경우 간접적인 환경에 인위를 가하고, 목표로 하는 생물군집의 생식, 생육을 위한 조건을 지원하며 직접적인 목표자연을 구성하는 생물을 이입하는 수단이 이용되고 있다. 예를 들면, 필자들은 매립지인 시화공업단지에 환경림을 조성하는 과정에서 운반된 삼림토양에 부식질과 유기질 비료를 혼합하여 성숙한 삼림토양과 유사한 토양조건을 만들고 주변지역에 대한 식생조사 결과를 바탕으로 이 지역에서 천이 후기의 숲을 이룰 것으로 예상되는 참나무류와 이러한 참나무류군락의 수반종을 중심으로 식물종을 선발, 식재하여 좋은 결과를 얻고 있다 (Lee and You 2001).

2) 천이억제

천이의 진행을 인위적으로 정지시키거나 지연 또는 역행시킨다. 목표로 하는 자연이 현재의 천이단계, 또는 이전 단계인 경우 자연 천이의 진행을 억제할 필요가 있다. 구체적으로는 목표자연을 구성하는 생물상이 다른 생물의 영향으로 성립되지

않을 때 이것을 제거하고 적절한 교란을 가하는 조치가 필요하다. 주기적으로 발생하던 자연적 화재가 인간의 철저한 화재방지 및 관리시책으로 인해 자연교란체제로서의 기능을 발휘하지 못하게 됨에 따라 그 존재의 위협을 받고 있는 미국 뉴욕주의 Pine Bush에서는 과거의 교란체제를 모방한 인위적 불을 그 보전방안으로 채택하고 있다 (Lee *et al.* 2000a). 그러나 이러한 특수한 경우를 제외하면 이 방법은 자연복원 본래의 개념을 벗어나는 경우가 종종 발생하여 바람직한 방법은 아니라고 본다.

3) 천이순응

자연의 변화를 자연 천이와 재생에 맡기고 그 이상의 특별한 간섭은 행하지 않으며, 천이에 따라 발생하는 생물군집과 생태계 스스로의 변화를 존중한다. 목표로 하는 천이단계는 지정하지 않고 변화의 과정자체가 목표가 된다. 기본적으로 인위는 가하지 않고 주위로부터의 영향에 대해서는 가능한 것만을 배제하고 정상적인 진행을 유지한다. 이 방법은 가벼운 교란이 발생한 지역에 적합한 복원방법이다. 서울시 주변의 대부분의 조림지에서 자연적 천이가 진행되고 있음을 고려하면 적극적인 방법 일변도로 진행되고 있는 서울시의 환경림 조성방법은 이러한 방법을 따르는 것이 지금의 방법보다 나은 결과를 낳을 것으로 예상된다.

자연환경 유지 · 복원의 기본 유형

여기에서는 자연의 유지 · 복원에 있어서 유지를 중심으로 하는 보존형, 보전형, 보호형 및 복원을 중심으로 하는 수복형, 재현형, 창조형의 여섯 개 유형으로 분류하고 그 기본사항과 문제점 등을 정리하고자 한다.

1) 보존형

기본적으로 현재의 자연모습을 그 상태 그대로 지키는 것을 말한다. 자연의 생태계는 자기 힘으로 그 조성과 구조를 변화시키는 천이를 해간다. 따라서 현재 보이는 모든 자연의 모습은 천이계열의 한 부분의 모습일 수밖에 없다. 어떤 자연을 보존하기 위해서는 천이를 진행시키지 않고 현재의 상태를 유지시키는 방법, 즉 천이를 억제시키는 방법이 필요하다. 특히 천이계열의 초기단계로서 천이의 진행속도가 빠른 군락, 예를 들면 초지나 습원의 생태계를 지속시키기 위해 천이를 억제시키는 행위로서 정기적으로 풀을 태우거나 풀베기를 하는 경우가 있다. 그러나 이러한 방법은 복원의 진정한 의미를 벗어난다는 비판을 받고 있다 (이 등 1999).

2) 보전형

인간이 그 자연을 이용하면서도 자연을 풍부하고 건전하게 지키는 일을 말한다. 오랜 인류의 역사에서 인간들이 생산활동을 하면서도 생물다양성이 높고 풍부한 자연이 보존되고 있는 경우가 있다. 특히 논농사 중심의 동양의 전통적 농경 방식으로 가꾸어진 자연은 세계적으로도 풍부하고 아름다움과 식량생산의 측면에서 뿐만 아니라 나무와 물, 국토의 보전이라는 여러 가지 면에서 인간의 생활환경을 지켜왔다. 야생 동 · 식물 중에서도 그러한 농업자연에 의존하여 그 속에서만 생존이 가능한 종도 많다. 따라서 이러한 다양한 생물과 그들의 생식 · 생육환경을 유지하기 위해서는 전통적인 농업의 장과 그 형태를 존속시키지 않으면 안 된다. 전통적 농업도 자연을 다양하게 개조하고 변화시키는 것이지만 그것은 천이를 촉진하고 억제하며, 또는 그것에 순응하기도 한다. 그리고 시 · 공간적인 자연 본래의 활력과 항상성을 잃는 일이 없이 자연에의 대책을 세우고 있다 (이 등 1999, 이 및 유 2001).

3) 보호형

인위적 영향을 배제하면서 자연을 지키고 그 회복을 촉진하는 일을 말한다. 자연을 귀중하게 여기고 인위를 가하는 일이 없이 천이에 순응하고 있는 그대로의 상태의 자연과 그 변화를 지키고 있는 것이다. 이 경우, 장기간의 경우에는 그 자연의 내용이 변화하는 것을 인지하여야 한다. 또, 주위환경의 변화 등 그 외의 간접적인 영향도 생각하여야 한다.

4) 수복형

인위를 가하여 이전의 자연을 유도, 회복시키는 일을 말한다. 인위적 영향 등 외적영향에 의해 자연이 악화된 경우, 천이를 진행시켜 목적으로 하는 자연을 수복할 필요가 있다. 그때 영향을 미친 외압이 있으면 그것을 제거하고 인위에 의한 천이의 촉진과 억제의 대책을 세우지 않으면 안 된다.

5) 재현형

생물이 없는 것에 가까운 상태의 땅에 이전의 자연을 만드는 일을 말한다. 자연이 한번 완전히 파괴된 후에 과거에 존재하였던 토지본래의 모습을 재현하는 행위이다. 도시의 재개발 등에서 공장대지 등에 공원을 만들고 원래의 자연을 복원시키는 사업은 그대로의 상태에서는 자연환경을 복원할 수 없고 천이를 진행시키기 위해서는 어느 정도의 기반정비나 식재 등 생물의 이입이 필요한 경우가 많다.

6) 창출형

본래의 자연의 상태를 중요시하지 않고 새로운 자연, 즉 자연을 새로 창조하는 일을 말한다. 과거의 자연 혹은 그 토지 본래의 자연의 복원이 어려운 경우와 또 의도적으로 다른 자연을 만들어 낼 필요성이 있는 경우도 있다. 예를 들면, 앞서 필자의 연구사례로 언급하였던 시화공업단지의 환경림 조성지는 옛날에 바다였던 곳을 매립하여 육지로 만들고 그곳에 육상의 자연을 도입한 경우인데, 그러한 사례가 이에 해당한다. 본질적으로 이러한 임해매립이 바람직하지 않고, 틀림없이 매립 이전에 이곳에 삼림이나 강이 존재했던 것은 아니지만 자연의 완충기능이 필요함에도 불구하고 자연이 크게 부족한 지역 여건을 감안하면 이러한 곳에서도 나무가 많고 풍부한 동 · 식물이 살아 있

는 공간을 만드는 것은 중요한 의미를 가질 수 있다. 그 경우 천이적 측면에서 새로운 계열이 만들어지고 그것에 대응한 대책이 필요하다. 자연을 창조하고 그것을 유지하기 위해서는 천이를 촉진하거나 혹은 억제하기 위해서 기반의 정비와 함께 인위적으로 생물의 이·출입을 조절해야 하는 상황도 생긴다.

한국의 복원생태학 관련연구의 장·단점과 생태학자의 과제

지금까지 한국에서 이루어진 복원관련사업을 두 가지, 즉 과거의 사업과 최근의 사업으로 구분하여 검토하고자 한다. 전자의 예는 연료, 목재, 유기질 비료, 가축사료 등을 채취하는 과정에서 과도한 이용으로 황폐해진 삼림을 복구하기 위하여 시도된 사방조림에서 찾을 수 있다. 이러한 사업에서 가장 널리 사용된 수종으로는 아까시나무와 리기다소나무를 들 수 있고 남부지방에서는 사방오리도 비교적 넓은 면적으로 식재되었다. 아까시나무와 사방오리는 특별한 경우를 제외하면 산지 저지대의 산록부를 중심으로 식재되었고, 리기다소나무는 산복이상의 지역에 주로 식재되었다 (Cho and Lee 1998, Lee *et al.* 2000). 원산지에서 그들의 분포경향을 보면 이러한 배치는 생태학적 고려가 전혀 뒷받침되지 않은 것이라고는 볼 수 없다 (Reschke 1990). 그동안 생태학자들은 이러한 조림수종의 도입에 대하여 많은 비판을 가해 온 것이 사실이다. 그러나 과거의 황폐했던 산지를 고려한다면 그렇게 무리한 도입은 아니라는 판단이 선다. 더구나 최근의 생태학적 연구결과(Cho and Lee 1998, Lee *et al.* 2000b)는 그러한 인공조림지가 계속되는 과도한 인간간섭에 노출되지 않는 한 고유식생으로 자연천이가 이루어짐을 밝히고 있다. 특히 Lee and Cho(2001)는 교란체제와 관련한 아까시나무식분의 동태에서 자연환경에 지배된 식분은 천이적 쇠퇴(successional decay)를 진행하지만 과도한 인위적 간섭(고압송전 선로 설치, 농촌지역에서 농업용 자원을 획득하기 위한 이용 등)에 지배된 지역에서는 맹아번식을 통해 현재의 지소에 그 식분을 지속시키거나 주변으로 확산시킴을 밝히고 있다. 이와 같이 복원의 소재로서 도입된 외래종에 대해 긍정적 평가를 내리고 있는 연구가 증가하고 있다 (Lugo 1997, Vitousek and Walker 1989).

무엇보다도 과거와 비교하여 현저히 증가된 임목축적량으로부터 그러한 사업을 성공적인 사례로 평가할 수 있다 (임업통계요람 참고). 그러나 이러한 긍정적인 평가도 있지만 무리한 사업의 확장으로 아무런 문제도 없는 고유식생을 제거하고 그곳에 외래종을 도입하기까지 했던 점은 다시는 재현하지 말아야 할 오류로 평가된다.

후자의 예는 1990년대 초반부터 실제로 "복원"이라는 이름 또는 유사한 명목(예를 들면, 자연과 인간이 함께 어우러지는 환경 창조, 환경림 조성, 자연하천 만들기 등)으로 진행된 사업을 삼고자 한다. 이러한 사업의 특징은 선진국을 중심으로 진행되는 세계적인 조류에 편승했다는 점일 것이다. 그러나 그러한 조류에 편승한 점에 있어서는 공통점이 있을 지 모르나 그러한 나라와 우리나라의 자연환경 및 토지이용유형의 근본적인 차이, 사업의 준비성, 사업의 진행 등에서 큰 차이를 보이고 있다. 분지형 지형에 지형의존형으로 성립하여 주변에 비교적 넓은 녹지를 확보하고 있는 우리의 도시는 평지형 지형에 성립하여 인간이 의도한 계획에 입각하여 성립된 서양의 도시와는 여러 가지 면에서 다르다. 하천의 경우도 논농사 중심지역인 우리나라는 하천주변의 범람원의 대부분을 논으로 이용하기 위해 인공제방을 높게 쌓고 비내음성종을 경작하는 농경지와 제방의 관리를 위해 제방상에 숲이 형성되는 것을 제한해왔다. 따라서 우리나라의 하천에는 하천생태계의 안정성과 수질개선의 측면에서 중요한 역할이 기대되는 강변림을 거의 찾아 볼 수 없는 것이다 (Malanson 1995, Petts and Calow 1996). 그러나 그러한 역할을 어느 정도는 농경지가 대신해왔다고 할 수 있다. 그러나 밭농사를 중심으로 하여 경작지가 범람원 주변에 집중되지 않은 서양에서는 우리나라와 달리 많은 경우 강변림을 유지시키고 있다. 이러한 차이가 있음에도 불구하고 우리는 그들의 방법을 여과없이 도입하고 있다. 그러나 사업대상지역에 대한 생태학적 기초조사, 도입식물의 타당성 검토 및 지역특성에 맞는 고유종의 양묘 등 우리가 정말 모방하여야 할 부분은 또한 그들의 방법을 따르지 않고 있다.

환경림 조성사업 또한 유사한 실수를 범하고 있다. 여기에서 언급하는 환경림조성 사업은 서울시를 중심으로 진행된 조림지의 자연식생으로의 전환사업을 말한다. 조림지의 경우 앞서 언급한 바와 같이 과도한 인간간섭에 지배된 경우를 제외하면 자연식생으로의 천이가 진행되고 있다. 그럼에도 불구하고 이러한 자연적 천이과정을 무시하고 기존의 조림수종을 모두 베어내고 그곳에 고유식물을 식재하는 성급한 사업을 벌이고 있다. 더구나 여기에 든 비용(83,000$/ha)은 세계적으로 진행된 복원사업 중 최고가에 해당한다 (Edwards and Abivardi 1997). 여기에서 베어내는 조림수종은 모두 천이초기종이고 맹아번식력 또한 왕성하다. 따라서 교란에 대한 식물의 반응을 고려할 때 (Runkle 1985), 이런 식의 모두베기가 오히려 그들의 후계수를 육성하는데 기여하거나 빛을 선호하는 덩굴식물 등의 번성을 유도하여 천이의 진행을 역행시키지 않을까 우려된다. 그러나 무엇보다도 그 동안의 정착과정에서 나름대로 안정된 계를 이루어가고 있던 많은 동물과 미생물집단의 확인하기조차 힘든 스트레스가 걱정된다.

그러면 왜 이러한 오류가 지속되고 있는가를 검토해보기로 하자. 첫째, 생태정보의 부재를 지적하고 싶다. 복원과정에서 기본으로 삼고 있는 천이적 발달과정에 관하여 우리는 얼마나 정보를 축적하고 있는가? 도시, 인공하천, 조림지, 폐광지, 습지 등 생태적으로 취약한 지역에 대해 생태지도를 비롯하여 복원을 위해 활용가능한 정보를 얼마나 축적하고 있는가? 복원을 위한 재료를 확보하기 위해 필요한 종생태학적 정보를 얼마나 축적하고 있는가? 어느 것 하나 자신있는 해답을 줄 수 없다. 이는 이러한 정보의 부재를 의미한다. 둘째, 생태학적 개념의 일반화가 안된 점을 지적하고 싶다. 생태학의 많은 개념들이 일

반 대중에게 알려진 선진국과 달리 우리나라 국민은 생태적 개념이 전문가의 전용물인듯 인식하고 있다. 이는 우리나라 생태학자들이 생활과학이자 실천과학인 생태학을 심오한 동양철학 수준으로 매어두고 있었던데 기인하는 것으로 돌리고 싶다.

셋째, 생태학자의 정보수집능력이 부족하고 서로간의 정보교환이 활발하지 않은 점을 들고 싶다. 행정부처가 주관이 된 많은 사업이 생태학관련 사업(선도기술개발사업, 차세대핵심기술개발사업 등)임에도 불구하고 다른 분야의 연구자들이 그 사업의 중심을 이루고 있는 경우를 우리는 흔히 본다. 그 이유로는 지금까지 생태학을 전공한 사람들이 생태학을 필요로 하는 부서에 참여하지 못한 점을 우선 들 수 있겠고, 알고 있는 정보를 서로 교환하지 않아 기회를 잃는 경우도 발견되고 있다.

이밖에도 여러가지 원인이 있을 수 있겠으나 이상의 세가지를 우선적 검토사항으로 삼고 싶다. 이상의 세가지 검토사항으로 되돌아볼 때 생태학자의 과제는 아직 부족한 생태자료의 확보, 생태개념의 일반화, 그리고 생태인력의 양성과 필요로 하는 부서로의 적정 진출로 요약할 수 있겠다.

결 론

인간활동에 의한 자연의 훼손과 파괴는 대부분의 다른 종들에게 해를 끼쳐왔고 인간자신에게도 다양한 형태로 악영향을 유발하고 있다. 복원생태학은 그러한 추세를 역전시켜 다양한 생물들에게 새로운 서식처를 찾을 기회를 제공하고 인간에게도 그러한 영향으로부터 벗어날 가능성을 제시하고 있다. 천이는 인간의 어떤 도움이 없이도 생태계를 재창조하는 자연의 능력을 보여주는 좋은 예라 할 수 있다. 이러한 사실을 감안할 때 어떤 목적을 가지고 체계화된 인간의 보조가 뒷받침된다면 훼손된 환경은 보다 신속히 개선될 가능성이 있을 것이라는 판단이 선다. 사실 성공적인 복원을 이룬 예가 많은데 캐나다의 Sudbury지역을 하나의 예로 소개하고 싶다. 이 지역은 얼마전까지 세계에서 가장 심하게 오염된 지역으로 알려져 많은 교과서에서 대기오염피해의 전형적 지역으로 소개되었던 지역이다. 그러나 오늘날 이곳은 또 다른 측면에서 우리의 관심을 끌고 있다. 즉, 지역의 시민, 대학 및 연구소의 연구원, 기업, 그리고 행정부서가 하나가 되어 오염된 토양을 개량하고 오염에 견디는 식물을 선발, 양묘하여 식재하는 복원을 추진한 결과, 과거의 불명예스런 소개와 달리 이제는 대표적인 복원 성공 사례지역으로 여러 가지 문헌에 등장하고 있다 (Gunn 1995, 1996). 물론 이러한 복원사업들이 진정한 복원으로서의 성공을 거둔 것인지는 아직 확인할 수 없지만 그러한 기술, 특히 식물을 이용한 오염물질 제거기술과 같이 생물의 특성에 기초하여 개발된 기술을 적용한 복원기술은 생물다양성의 보존에 기여하여 보존주의자들로부터 환영받고 있다.

물론 무엇보다도 우선 환경의 훼손이 일어나지 말아야 되겠지만 문명의 지속적인 발달과 인구의 성장은 불가피하게 훼손을 유발한다. 토지이용의 요구가 계속되고 있기 때문에 많은 토지가 여러가지 용도로 계속 전환될 전망이다. 또한 그러한 과정에서 기존의 기능은 잃은채 아무렇게나 방치되고 있는 토지 또한 속출하고 있다. 이러한 토지를 복원할 때 그것은 토지 이용의 기회를 늘려 지속가능한 개발에 기여하는 작용도 한다. 자연자원의 지속가능한 이용을 위한 지금까지의 시도는 생태계수준에 촛점을 맞추어 왔으나 성공적인 복원의 열쇠가 복원된 토지를 다양한 생물들이 재점령하는 것임을 고려하면 이제 우리의 관심은 경관수준에서 자연자원의 이용을 검토할 필요가 있겠다. 그것을 보장하기 위한 유일한 방법은 자연보전지역이나 자연이 풍부한 지역의 생물다양성을 보다 엄격하게 보존하는 것일 것이다.

인용문헌

문형태, 박봉규, 김준호. 1997. 산성토양개량제 처리에 대한 식물의 반응과 토양특성의 변화. 한생태지. 20: 43-49.

서울시. 1997. 서울시 산림생태계 정밀조사. 제1차년도 보고서. 서울특별시, 서울시. 492p.

서울시. 1998. 서울시 산림생태계 정밀조사. 제2차년도 보고서. 서울특별시, 서울시. 455p.

이창석, 유영한. 2001. 한국의 문화경관, 그 실체, 변화와 새로운 패러다임에 의한 가치 평가. (투고중).

이창석, 조현제, 문정숙, 김재은, 이남주. 1998a. 남산의 생태학적 진단. 한생태지. 21: 713-721.

이창석, 조현제, 문정숙, 김재은, 이남주. 1998b. 복원 및 경관생태학적 원리에 근거한 남산의 생태공원화 계획. 한생태지. 21: 723-733.

이창석, 홍선기, 조현제, 오종민 역. 1999. 자연환경 복원의 기술. 동화기술, 서울. 287p.

Aronson, J., C. Floret, E. Le floc'h, C. Ovalle and P. Pontainer. 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. Ⅰ. A review from the South. Restoration Ecology 1: 8-17.

Berger, J.J. 1993. Ecological restoration and nonindigenous plant species: A review. Restoration Ecology 1: 74-82.

Bradshaw, A.D. 1984. Ecological principles and land reclamation practice. Landscape Planning 11: 35-48.

Bradshaw, A.D. 1992. The biology of land restoration. *In* S.K. Jain and J.W. Botsford (eds.). Applied Population Biology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 25-44.

Bradshaw, A.D. 1995. Alternative endpoints for reclamation. *In* K.M. Urbanska, N.R. Webb and P.J. Edwards (eds.). Restoration Ecology and Sustainable Development. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 33-64.

Bradshaw, A.D. and M.J. Chadwick. 1980. The Restoration of Land. Blackwell Scientific, Oxford.

Cho, H.J. and C.S. Lee. 1998. Ecological diagnosis and develop-

ment of ecological management system of urban forest - On Mt. Hwangryung in Pusan, Korea. Korean J. Ecol. 21: 779 -789.

Cho, H.J. and C.S. Lee. 2001. Classification and diagnosis of urban forest vegetation for ecological management in Mt. Apsan natural park of Taegu, Korea. (In Preparation.).

Crocker, R.L. and J. Major. 1955. Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska. J. of Ecology. 43: 427-448.

Dickson, B.A. and R.L. Crocker. 1953. A chronosequence of soils and vegetation near Mt. Shasta, California. J. Soil Sci. 4: 123-154.

Dobson, A.P., A.D. Bradshaw and A.J.M. Baker.1997. Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology. Science 277: 515-522.

Edwards, P.J. and C. Abivardi. 1997. Ecological engineering and sustainable development. *In* K.M. Urbanska, N.R. Webb, and P.J. Edwards (eds.). Restoration Ecology and Sustainable Development. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 325 -352.

Farina. A. 1998. Principles and Methods in Landscape Ecology. Chapman and Hall, London. 235p.

Forman, R.T.T. 1995. Land Mosaics. The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge Academic Press, Cambridge. 632p.

Forman, R.T.T. and M. Gordron. 1986. Landscape Ecology. Wiley and Sons, New York. 619p.

Gilbert, O.L. 1997. The ecology of urban habitats. Chapman and Hall, London. 369p.

Gunn, J.M. (ed.) 1995. Restoration and Recovery of an Industrial Region. Springer-Verlag, New York. 358p.

Gunn, J.M. 1996. Restoring the smelter damaged landscape near sudbury, Canada. Restoration and Management Notes. 14: 129 -136.

Jordan, W.R., M.E. Gilpin, and J.D. Aber. (eds.). 1987. Restoration Ecology. Cambridge University Press, Cambridge. 342p.

Lee, C.S. 2001. Vegetation status of urban stream landscape and suggestion for ecological restoration. (In Preparation.).

Lee, C.S. and H.J. Cho. 2001. Roles, stand dynamics and management of *Robinia pseudoacacia* as a representative exotic plant in Korea. (In Presentation.).

Lee, C.S., J.Y. Kim and Y.H. You. 1998. Amelioration of soil acidified by airpollutant around the industrial complexes. Korean J. Ecol. 21: 313-320.

Lee, C.S., S.K. Hong, Y.H. You, J.E. Kim and J.S. Mun. 2000b. Landscape structure in the green-belt around the metropolitan area of Seoul, Korea. Proceedings IAVS Symposium : 230-233.

Lee, C.S. and Y.H. You. 2001. Creation of the environmental forest as an ecological restoration, Korean J. Ecol. 24: 101-110.

Lugo, A.E. 1997. Maintaining an open mind on exotic species. *In* G. Meffe and C.R. Carroll, (eds.). Principles of Conservation Biology. Sinauer Associates, Inc. Pub., Sunderland, Massachusetts. pp. 245-247.

MacMahon, J.A. 1997. Restoration. *In* G.K. Meffe and C.R. Carroll (eds.). Principles of Conservation Biology. Sinauer Associates, Inc. Pub., Sunderland, Massachusetts. pp. 479-511.

Malanson, G.P. 1993. Riparian Landscapes. Cambridge University Press, Cambridge. 296p.

Meffe, G.K., and C.R. Carroll. (eds.). 1997. Principles of Conservation Biology. Sinauer Associates, Inc. Pub., Sunderland, Massachusetts. 729p.

Morrison, D. 1987. Landscape restoration in response to previous disturbance. *In* M.G. Turner (ed.). Landscape Heterogeneity and Disturbance. Springer-Verlag, New York. pp. 159-172.

National Research Council. 1991. The Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public policy. National Academy Press, Washing, D.C.

Naveh, Z. 1994. From biodiversity to ecodiversity. A lanscape -ecology approach to conservation and restoration. Restoration Ecology 2: 180-189.

Naveh, Z. 1998. From biodiversity to ecodiversity-Historic conservation of the biological and cultural diversity of Mediterranean landscapes. *In* P.W. Rundel, G. Montenegro and F. M. Jaksic (eds.). Landscape Disturbance and Biodiversity in Mediterranean Type Ecosystems. Sprinber, Berlin. pp. 23-53.

Noss, R.F. 1991. Wildness recovery: thinking big in restoration ecology. The Environmental Professional 13: 225-234.

Odum, E.P. 1993. Ecology and Our Endangered Life-support Systems. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 301p.

Petts, G. and P. Calow (ed.). 1996. River Restoration. Blackwell Science, Oxford. 231p.

Primack, R.B. 1995. A Primer of Conservation Biology. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts. 277p.

Reschke, C. 1990. Ecological communities of New York State. New York Natural Heritage program, New York State Department of Environmental Conservation, Latham, New York.

Runkle, J. R. 1985. Disturbance regimes in temperate forests. *In* S.T.A. Pickett and P.S. White (eds.). Disturbance and Patch Dynamics. Academic Press, New York. pp. 17-34.

Vitousek, P.M. and L.R. Walker. 1989. Biological invasion by *Myrica faya* in Hawaii: plant demography, nitrogen fixation, ecosystem effects. Ecological Monographs 59: 247-265.

Zonneveld, I.S. 1995. Land Ecology. SPB Academic Publishing,

Amsterdam. 199p.

(2000년 5월 8일 접수; 2001년 5월 28일 채택)

Development and Outlook of Restoration Ecology as an Ecology for the Future

Lee, Chang-Seok† and Young-Han You*

Faculty of Environment and Life Sciences, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea

**Center for Ecological Research, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea*

ABSTRACT: Human being has extensively invaded, occupied, and used the natural environment as a consequence of the advance of civilization. Mankind has increasingly modified the environment for his own benefit. Such modification has not only caused the extinction of many other species but also, caused human being himself to confront to serious environmental problems. The recognition of this fact by human is expressed in the establishment and development of restoration ecology. This new study field is, in fact, an "Eco-technology" directed towards healing of damages to the environment. The goal is to reestablish processes and functions in a damaged site, imitating the way of healing works that an integral natural system carries out. Ecological restoration uses different treatments and approaches according to extents of the existing damage and to the specific goal to be achieved. An ecological diagnosis is, therefore, required prior to restoration practice. The cost and efforts to achieve a proposed goal can be significantly reduced when a restoration plan is formulated upon the results of well-conducted ecological diagnosis. Under such perspectives, restoration ecology is a practical science, which aims to solve the problems of the real world based on the existing ecological principle. Furthermore, restoration ecology offers opportunities to test the ecological concepts and theories obtained by means of the former ecological studies. Human being exploited natural environment excessively for his comfort on one hand but damaged it inevitably on the other hand. Such intensive resource utilization and continuous environmental damaging will extend into the future and ultimately jeopardize the survival of humankind if no prompt action is taken. In the present situation, we must not continue such lives without any preparation. We have to cope with the environmental crises approaching near us by pursuing the ecological restoration that reduce the unnecessary use, recruit the deficient part, and strengthen the weak portion in our environment. Restoration ecology could be recognized as the ecology for the future in such viewpoints.

Key words: Ecological restoration, Eco-technology, Environmental crisis, Human being, Natural environment, Restoration ecology.

†Author for correspondence; Phone: 82-2-970-5666, e-mail: leecs@mail2.swu.ac.kr