한국환경생태학회지 31(2): 174−187, 2017
Korean J. Environ. Ecol. 31(2): 174-187, April 2017
ISSN 1229-3857(Print) ISSN 2288-131X(Online)
https://doi.org/10.13047/KJEE.2017.31.2.174

식생복원 유형별 복원효과 연구[1a]

강현미[2] · 최송현[3*] · 김동효[4] · 송재탁[5]

A Study on the Restoration Effects of Vegetation Restoration Types[1]

Hyun-Mi Kang[2], Song-Hyun Choi[3*], Dong-Hyo Kim[4], Jae-Tak Song[5]

요 약

본 연구에서는 불가피하게 훼손될 산림자원과 주변 산림의 자연자원을 이용하여 비오톱이식공법, 산림표토포설, 소경목군락식재 등의 공법을 통해 복원된 식생복원지를 대상으로 복원시공이 완료된 2008년부터 2013년까지 6년에 걸쳐 모니터링을 실시하여 복원효과를 알아보고자 하였다. 복원 유형별 복원효과를 보면, 비오톱이식공법을 사용하여 복원된 지역은 훼손될 산림을 그대로 옮겨 복원한 것으로 복원 직후부터 기존의 자연산림과 가장 유사한 형태를 띠고 있어 단시간 내에 자연산림의 형태를 갖추어야 하는 복원 공사에서 유리할 것으로 판단된다. 산림표토를 이용한 복원은 수목이 성장하여 교목층을 형성하는데 오랜 시간이 걸릴 것으로 예상되나 절개지와 같은 나지상태의 공간을 복원시키기에 높은 효과를 얻을 수 있을 것이라 기대된다. 군락식재는 식재 수목의 크기에 따라 좀 더 짧은 시간 내에 피도를 높일 수도 있으며, 교목층을 형성할 수도 있으므로, 복원지역을 정확히 판단한 후 수목의 크기를 고려하여 이용한다면 높은 효과를 얻을 수 있을 것이라 기대된다. 본 연구는 식생복원 유형별 모니터링 조사를 통해 숲으로의 천이과정에서 나타나는 변화를 관찰하여 식생복원 유형별 자연자원을 이용한 생태복원 효과를 연구했다는데 의의가 있다. 그 결과는 식생복원이 필요한 지역이나 불가피하게 훼손되는 산림자원을 이용할 수 있다는 점에서 활용 및 응용이 가능한 기초자료 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 산림자원, 모니터링, 비오톱이식공법, 산림표토포설

ABSTRACT

For the purpose of evaluating the restoration effect of vegetation, in this study, the areas where vegetation was restored had been monitored for 6 years, from 2008 to 2013. The areas were restored through some techniques by utilizing forest resources and nearby forest resources: biotope restoration method, forest topsoil paving method and small diameter trees planting method. Biotope restoration method is indicated the most similar properties to the existing natural forest just after they were restored because the forest likely to be deteriorated was transplanted. Forest topsoil paving method is expected that long-time will be taken for plants to grow to form the tree layer. However, the method is expected to acquire high restore the places of empty lands

1 접수 2017년 1월 23일, 수정 (1차: 2017년 2월 7일), 게재확정 2017년 2월 14일
Received 23 January 2017; Revised (1st: 2 February 2017); Accepted 14 February 2017
2 (사)백두대간숲연구소 Baekdudaegansoop Institute, Daejeon 34145, Korea
3 부산대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Pusan Nat'l Univ., Miryang 50463, Korea
4 동국대학교 대학원 바이오환경과학과 Dept. of Biological and Environmental Science, Graduate School, Dongguk Univ., Goyang 10326, Korea
5 수풀리안 Forest Research Institute, Supoollian, Seongnam 13595, Korea
a 이 논문은 2014년 강현미의 부산대학교 대학원 박사학위논문의 일부를 발췌, 보완하여 발전시킨 것임
* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-55-350-5401, Fax: +82-55-350-5409, E-mail: songchoi@pusan.ac.kr

such as cutting areas. Community planting method is coverage can be increased for short time, relying on the sizes of planted trees, and the tree layer can be formed. Consequently, this method is expected to create high effect if the sizes of trees are considered after the right judgement of candidate site for restoration. This study is meaningful in that each type of restoration is monitored to observe the change of triggered by the succession process to forest. The study results can play as the reference data which can be utilized and applied to the area requiring vegetation restoration or to the area facing the damage of forest resources.

KEY WORDS: FOREST RESOURCES, MONITORING, BIOTOPE RESTORATION METHOD, FOREST TOPSOIL PAVING METHOD

서 론

우리나라 국토면적의 63.2%를 산림이 차지하고 있다(Korea Forest Service, 2016). 그러나 산업화가 진행되면서 국토의 개발이 급속히 진행되었으며, 산림은 도로, 골프장 등의 건설과 인구급증에 따른 택지 개발 등의 인위적인 원인에 의한 훼손이 심각해졌다. 또한 최근 자주 나타나고 있는 기상이변으로 가뭄, 폭우, 폭풍, 산사태, 병충해 등(Youn *et al*., 2005) 자연재해와산림형질 변경, 벌채, 벌목, 산불 등 산림 내에서 일어나고 있는 불법행위 등을 통해서도 산림 훼손은 지속적으로 발생되고 있는 실정이다. 이에 따라 산림 및 자연환경의 훼손을 막기 위해 개발사업을 진행하기 전에 사전환경성검토제도 및 환경영향평가제도(Lee, 2011) 등 개발사업으로 인해 환경에 미칠 영향을 미리 평가하는 제도들이 시행 및 강화되고 있음에도 불구하고 자연생태계 훼손은 점점 더 심화되고 있다.

훼손의 문제와 더불어 생태계 복원에 대한 관심이 증가하고 있는데, 산림생태계에 대한 복원은 원생태계로의 회복을 의미하는 복원의 개념보다는 인공조림과 사방사업의 개념으로 접근하고 있어 생물다양성은 오히려 감소되고, 이러한 결과로 산림생태계는 불안정한 구조를 갖게 되었으며, 숲이 단순화되고 있는 실정이다.

이와 같은 생태계 복원의 문제점을 고려하여 자연생태계 내의 질적 복원을 목적으로 한 자연생태계 복원에 관한 연구들이 이루어지고 있다. 이러한 연구는 먼저 유럽에서 Ruff(1974)가 자연천이 속도를 증가시키기 위한 시도로 'biotope planting' 개념을 식재에 도입하면서 시작되었다(Ian, 1979). 일본에서 Akira *et al*.(1989)은 여러 가지 녹화기법 중 생태학을 기초로 한 'ecology 녹화'방법을 제시하였는데, 이는 단기간에 대면적의 수림을 완성시킬 수 있는 기법이다(Kim, 2004). 이후 추가적인 연구를 통해 Numata *et al*.(1996)은 한 단계 발전한 식재기법으로 군락이식을 제시하였다. 이는 식물군락 뿐만 아니라 이식대상이 되는 식물군락지역의 토양까지 함께 이식하는 기법이라 할 수 있다. 우리나라에서는 Oh(1998)가 자연식생구조를 재현하거나 복원하는 식물군집의 조성에 목적을 둔 군락식재를 소개하였다. 군락식재는 산림생태계 복원연구가 발달한 일본으로부터 도입된 개념으로써, 일본에서 자연식생군락 개발 시 복원대책으로 활용되던 것이 우리나라의 군락식재로 나타났다. 이후 자연생태계 복원에 대한 연구가 진행되면서 일본에서는 식물뿐만 아니라 토양동물 등의 서식 공간 보전 및 보호의 문제점을 개선하기 위해 표토이식공법의 하나인 EU(Eco Unit, 표토이식중기)공법(Song *et al*., 2001)과 유사한 TPM(Trans Planting Machine, 고목이식중기)공법이 개발(Yamabe *et al*., 2003)되어 조성수림을 지역 본래의 수림환경으로 조기에 회복시킬 것으로 예상하였다(Song and Setsu, 2004). 이후 일본의 EU(Eco Unit)공법을 도입하여 2009년 우리나라에서 비오톱이식공법이라는 식재기법을 제안하였는데, 이는 자원재활용과 복원기간을 단축시킬 수 있는 식재기법이라 할 수 있다. 이와 같이 식재 및 조성기법을 시작으로 주변의 훼손지나 산림 자원을 이용한 복원 공법들이 연구(Na, 2004; Kim, 2006; Koh, 2007; Kim *et al*., 2015; Yi, 2016)를 통해 제시되고 있으나 이와 같은 공법을 통해 복원되는 지역은 아직까지 미미한 실정이다. 이처럼 다양한 복원이 유형별로 시도되고 있으나 복원효과에 대한 검증은 이루어지지 않고 있다. 식생복원은 단기간에 달성될 수 없으므로 지속적인 모니터링을 통해 복원효과를 검증할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 불가피하게 훼손될 산림자원과 주변 산림의 자연자원을 이용하여 비오톱이식공법, 산림표토포설, 소경목군락식재 등의 공법을 적용한 식생복원지를 대상으로 식생복원 유형별 복원효과를 알아보고자 하였다. 이는 추후 식생복원이 필요한 지역이나 불가피하게 훼손되는 산림자원을 이용할 수 있다는 점에서 활용 및 응용의 기초자료 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

연구방법

1. 연구대상지 및 개황

연구대상지는 강원도 원주시 지정면 월송관광단지 내 한솔오크밸리에 위치하고 있다. 조사구는 대상지 주변 숲과 이질적이지 않도록 주변 숲과 유사한 낙엽성 참나무류숲으로의 식생 유도를 위해 몇가지 식생복원기법을 도입하였다. 식재기법은 국내 최초로 도입된 비오톱이식공법(2개소-A, B)과 산림표토포설, 소경목군락식재이며 복원지역의 비교를 위하여 복원지역에서 목표로 하는 숲과 비슷한 구조의 기존 산림을 대상으로 대조구를 함께 선정하였다.

대조구는 복원지역과의 비교를 위해 인근의 산림 중 복원지역이 목표로 하는 낙엽성 참나무류숲과 유사한 구조의 신갈나무-졸참나무군락을 기준으로 설정하였다.

각 식재기법별 복원방법을 살펴보면, 비오톱이식공법은 일본에서 생태계 복원 시 사용되어지고 있는 EU(Eco Unit) 공법을 우리나라에서 “비오톱이식공법”이라는 이름으로 특허출원한 공법(특허 등록번호: 100933883)으로 층위별(교목층, 아교목층, 관목층, 지피층) 수목은 물론 초본식생과 표토, 토양동물 등 기존에 형성되어 있던 숲의 형태를 그대로 이식하는 식재기법이라 할 수 있다. 국내에 최초로 도입된 공법으로 전용굴취기를 이용하여 길이와 폭이 1.5~2m이고 토심이 30~50㎝ 정도인 토양블럭을 굴취하여 옮겨 놓는 공법(Song *et al.*, 2009)으로써 연구대상지에서는 훼손될 산림의 숲을 그대로 옮겨놓았다(Kang *et al.*, 2017).

산림표토포설은 표토이식기법을 응용하여 조성한 지역으로 산림 내 매토종자를 포함하고 있는 토심 20㎝ 내외의 표토를 임의로 채취한 후 식재기반 위에 포설하여 조성한 곳으로써 포설하는 표토는 목표로 하는 낙엽성 참나무류숲과 비슷한 숲의 구조를 가진 군락 중 신갈나무군락 훼손지역에서 채취한 후 포설하였다(Kang *et al.*, 2017).

군락식재는 생태식재기법이라고 하며 산림공원이나 자연공원과 같이 면적이 넓은 곳에 적당한 식재기법으로 정형식재 및 자연풍경식재에서의 군식기법과 달리 조경식재에 생태학적 사고방식을 도입한 식재기법이다(Kwon, 1997). 이 중 대상지에 사용한 소경목군락식재는 목표하는 숲의 산림식생구조를 대상지 주변 숲에서 조사하여, 목표종과 대상지 주변 숲에서 출현하는 자생종, 그리고 비료목 등을 혼합하여 2m 내외의 소경목을 혼합하여 식재한 기법으로 자연림의 층위구조와 같은 형태의 숲이 빠르게 이루어지도록 식재 수종을 선정하여 식재하였다.

식생복원에 사용된 수목 및 표토는 주변의 산림자원을 최대한 활용하였으며, 토양 답압 피해가 심각한 기존 토양

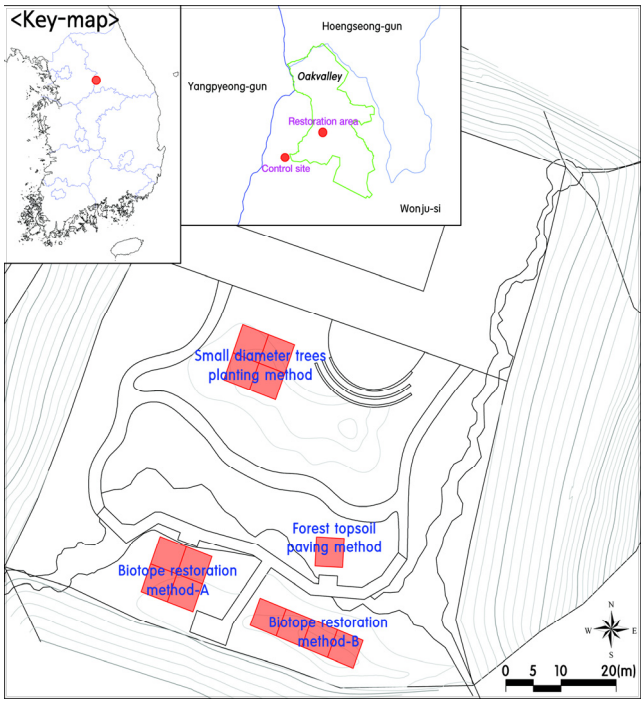

Figure 1. Map of the surveyed sites

은 연화처리 한 후 식재기반 토양 조성을 위해 토양공급(마사토) 및 개량제를 포설하여 식재기반을 조성한 후 식재하였으며, 식재 후 식재기법에 따라 우드칩과 낙엽을 포설하여 조사구를 조성하였다. 이렇게 조성된 식생 복원지 및 대조구에 대해 복원공사가 시작된 2008년부터 2013년까지 식생변화 모니터링을 실시하였다. 조사는 식재가 완료된 9월을 기준으로 조사하였으나 날씨의 영향으로 9월 조사가 어려울 경우 계절을 고려하여 10월 조사를 실시하였으며, 1차년(2009년)도 조사에서는 식재 후 생육상태 파악을 위해 5월 추가조사를 실시한 후 9월 모니터링 조사를 실시하였다.

2. 조사분석

1) 식생조사

연구대상지 내 식생구조를 파악하기 위하여 식생조사를 실시하였다. 조사구는 복원 유형별 조사구와 이들의 비교평가를 위하여 대조구로 나누어 조사하였다. 식생조사는 교목층, 아교목층, 관목층으로 나누어 수관층위별로 조사를 실시하였다. 수관층위는 대조구를 중심으로 상층수관을 이루고 있는 수목의 수고가 8m를 초과(8m<수고)하는 수목을 교목층, 2m를 초과하면서 8m 이하(2m<수고≤8m)의 수목을 아교목층, 0.5m 이상이면서 2m 이하의 수목(0.5m≤수

Table 1. Status of the surveyed sites

Plots*	Community	Planting Status in 2008											Plot size	Number of plot
		Species			Number of species				Number of individual					
		C**	U	S	C	U	S	T	C	U	S	T		
A	*Qm-Qs* Com.	*Qm****	*Lo, Qm, Ea, Ps, Qs, Fr, So*	*Ps, So, Jr, Ks, Qm, Lo, Ss*	1	7	7	10	1	17	9	27	5m×5m	4
		Qm, Qs, Pr, Qv	*Qm, Cc, Ps, Rt, So, Qs*	*Fr*	4	6	1	9	6	15	1	22		
		Qs, Qv, Qm	*So, Rt, Jr, Ea, Pr*	*So, Lo, Rt*	3	5	3	9	3	10	4	17		
		Qm, Qs, Pr, Qv	*Sa, Ea, Qm, Ps*		4	4	-	7	5	7	-	12		
B	*Qm* Com.	*Qm*	*Sc, Qm, Lo, Rm, So*	*At, Ch, Qa*	1	5	3	8	1	6	9	16	5m×5m	4
		Qm	*Sc, Rm, At, So*	*Fr*	1	4	1	6	1	5	3	9		
		Ps	*Qm, So, Qs, Cm, Ws*		1	5	-	6	1	7	-	8		
		Qm	*Sc, Ps, Rt, Ch, Qa, Qs, Cm*	*Fr, Qa, Qs, Cc*	1	7	4	10	1	7	4	12		
C	*Qm-Qv* Com.	*Qv, Qm, Qs*	*Qm, Qs, So*	*Fr, Ea*	3	3	2	6	5	6	3	14	5m×5m	4
		-	*Qm, Qv, Qs, So*	-	-	4	-	4	-	10	-	10		
		Qm	*Rm, Qm, So, Qa, Cc, Qs, Rt*	*Rm, Ps, Ch*	1	7	3	9	1	14	3	18		
			So, Qm, Qs	*Ks*	-	3	1	4	-	4	1	5		
D		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5m×5m	1
E	*Qm* Com.	-	*Qm, Ps*	*Qm, Rm, Fr, Eu, Lo, Ps*	-	2	6	6	-	2	17	19	5m×5m	4
		-	*Qm*	*Ps, Rm, Qm, Eu, Cc, Lo*	-	1	6	6	-	1	22	23		
		-	-	*Ps, Qm, Eu, Lo*	-	-	4	4	-	-	13	13		
		-	-	*Qm, Rm, Lo, Ps, Eu*	-	-	5	5	-	-	15	15		

* A: Control site, B: Biotope restoration method-A, C: Biotope restoration method-B, D: Forest topsoil paving method, E: Small diameter trees planting method

** C: Canopy, U: Understory, S: Shrub, T: Total

*** *Qa*: *Quercus aliena*, *Ch*: *Corylus heterophylla*, *Rt*: *Rhus trichocarpa*, *Ss*: *Securinega suffruticosa*, *Qv*: *Quercus variabilis*, *Jr*: *Juniperus rigida*, *Sc*: *Symplocos chinensis* f. *pilosa*, *Pr*: *Pinus rigida*, *Fr*: *Fraxinus rhynchophylla*, *Cc*: *Castanea crenata*, *Ws*: *Weigela subsessilis*, *Eu*: *Elaeagnus umbellata*, *Ps*: *Prunus sargentii*, *Lo*: *Lindera obtusiloba*, *Qm*: *Quercus mongolica*, *At*: *Acer tataricum* subsp. *ginnala*, *Cm*: *Crataegus maximowiczii*, *Ks*: *Kalopanax septemlobus*, *Qs*: *Quercus serrata*, *Rm*: *Rhododendron mucronulatum*, *So*: *Styrax obassia*, *Sa*: *Sorbus alnifolia*, *Ea*: *Euonymus alatus* f. *ciliatodentatus*

고≤2m)을 관목층으로 구분하였다. 조사는 출현하는 전체 수종을 대상으로 교목층과 아교목층은 흉고직경을 관목층은 수관폭을 측정하였다.

2) 식물군집구조

각 조사구의 피도를 산출하기 위하여 AutoCAD 2013을 사용하여 수관투영도를 층위별로 모든 개체에 대해 도면화하고 각 수목의 수관에 대한 수관투영도를 작성하였으며, 작성된 수관투영도를 토대로 피도를 산출하였다. 피도의 산출에 있어서 수관이 겹치는 부분은 하나의 영역으로 수정하였으며, 조사구를 벗어난 수관을 제외하고 조사구 내의 수관부를 중심으로 피도를 산출하였다.

또한, 식생조사 자료를 토대로 각 수종의 상대적 우세를 비교하기 위하여 Curtis and McIntosh(1951)의 중요치(Importance Value; I.V.)를 통합하여 백분율로 나타낸 상대우점치(Brower and Zar, 1977)를 수관층위별로 분석하였다. 상대우점치(Importace Percentage; IP)는 (상대밀도+상대피도)/2로 계산하였으며, 개체들의 크기를 고려하여 수관층위별로 가중치를 부여한 (교목층 IP×3+아교목층 IP×2+관목층 IP×1)/6으로 평균상대우점치(Mean Importance Percentage; MIP)를 구하였다(Park, 1985). 식생자료를 토대로 유사도를 비교 분석하였고, 조사구별 종구성의 다양한 정도를 나타내는 척도인 종다양도는 Shannon의 수식(Pielou, 1975)을 이용하여 종다양도(Species Diversity, H′), 균재도(Evenness, J′), 우점도(Dominance, D)를 계산하였으며, 단위면적당(25㎡) 종수 및 개체수를 분석하였다.

3) 생장량

생장량을 파악하기 위해 흉고단면적 변화 조사를 실시하였으며, 이는 조사구별로 교목층과 아교목층에 해당하는 수목에 대해 측정한 흉고직경(㎝)을 기준으로 흉고단면적(㎡)을 산출한 후 이를 합산하여 연차별 변화량을 분석하였다(Ki and Kim, 2012).

4) 고사목

고사목 조사는 조사 시 가지와 수관의 상태를 확인하여 고사여부를 조사하였다.

결과 및 고찰

1. 식생구조 변화

1) 피도 변화

각 조사구의 피도 변화 조사는 교목층, 아교목층, 관목층 피도의 합을 기준으로 6년(2008~2013년)간 연도별 피도 변화를 분석하였다(Table 2).

피도 변화를 층위별로 살펴보면, 교목층의 경우 6년간 평균 피도는 대조구 53.91%, 비오토이식공법-A 28.48%, 비오톱이식공법-B 14.18%로 나타났다. 대조구 주변 숲이 이식된 비오톱이식공법-A, 비오톱이식공법-B는 대조구에 비해 평균적으로 각각 25.43%, 39.73%p 낮게 나타나고 있으나 모니터링 조사 후반부터 피도가 증가하고 있어 앞으로 생육과정을 통해 피도가 높아질 것으로 판단된다. 아교목층의 경우 모니터링이 진행되면서 복원 유형별 변화 폭은 점차 줄었으며, 2008년 조사 시 조사구간 피도 차이가 가장 큰 것은 대조구와 산림표토포설지역으로써 산림표토포설지역은 식물이 출현하지 않아 54.48%p의 차이를 보였다. 그러나 2013년 조사에서도 피도 차이가 가장 큰 것은 대조구와 산림표토포설지역이었으나 피도 차는 23.76%p로 6년(2008~2013년)간 아교목층 피도 차가 30.72%p 줄어들었다. 관목층의 경우 비오톱이식공법-A, 비오톱이식공법-B가 대조구와 유사한 피도를 나타내었다.

전체 피도 분석결과, 조사구 중 조성 직후(2008년) 대조구보다 높은 피도를 보이는 조사구는 없었으며, 비오톱이식

Table 2. Change of vegetation coverage among control site and restoration types

Plots*	Year / Layer	1st(2008)	Follow up survey(2009)	2nd(2009)	3rd(2010)	4th(2011)	5th(2012)	6th(2013)	Average
A	Canopy	67.20	48.88	48.88	47.16	47.64	56.04	61.60	53.91
	Understory	54.48	62.04	61.56	60.04	55.44	51.68	43.76	55.57
	Shrub	5.20	4.00	4.00	3.40	2.44	2.68	2.16	3.41
	Total	91.16	90.60	90.60	87.48	85.56	87.52	87.92	88.69
B	Canopy	28.00	28.32	26.36	26.36	26.36	30.76	33.20	28.48
	Understory	39.24	40.56	43.08	43.28	43.44	41.88	44.04	42.22
	Shrub	3.80	1.48	2.08	2.64	3.72	6.36	12.72	4.69
	Total	61.40	60.96	61.56	61.68	62.20	64.32	69.04	63.02
C	Canopy	10.40	10.40	12.88	12.68	15.12	18.60	19.16	14.18
	Understory	44.04	44.04	44.68	44.44	31.32	40.32	40.96	41.40
	Shrub	1.68	1.68	1.68	1.40	2.48	1.24	3.92	2.01
	Total	51.96	51.96	55.36	54.48	54.68	54.88	56.12	54.21
D	Canopy	-	-	-	-	-	-	-	-
	Understory	-	-	-	-	-	21.92	20.00	5.99
	Shrub	-	-	-	-	33.60	20.64	23.05	11.05
	Total	-	-	-	-	33.60	40.96	40.60	16.45
E	Canopy	-	-	-	-	-	-	-	-
	Understory	1.48	1.48	0.60	-	19.20	31.08	40.84	13.53
	Shrub	18.60	18.60	18.72	21.72	19.20	13.04	19.52	18.49
	Total	20.08	20.08	19.32	21.72	38.44	43.76	58.08	31.64

* A: Control site, B: Biotope restoration method-A, C: Biotope restoration method-B, D: Forest topsoil paving method, E: Small diameter trees planting method

공법-A, 비오톱이식공법-B, 소경목군락식재 모두 낮은 피도를 나타내었다. 6년간 피도가 크게 변하지 않은 조사구는 비오톱이식공법-A, 비오톱이식공법-B로 산림의 층위구조를 그대로 옮겨 식재한 조사구로 천이에 의한 변화나 스트레스로 인한 변화가 적었기 때문인 것으로 판단된다. 이에 비해 산림표토포설과 소경목군락식재 지역은 전체 피도의 변화 폭이 다른 조사구에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 이 중 산림표토포설지역은 산림 내 매토종자의 발아율과 연관지어 살펴볼 수 있는데, 매토종자의 경우 방해기작이 작용한 후 투과되는 빛의 양이 증가하면 종자 발아율이 높아지며 천이의 진행과 함께 낮아진다는 기존 연구결과(Yi *et al*., 2013)를 통해 이러한 변화를 파악할 수 있었다. 산림표토포설지역에 포설된 표토 내 매토종자는 표토를 채취하고 포설하는 과정을 방해기작으로 인식하여 발아한 것으로 판단된다.

2) 상대우점치 변화

상대우점치 및 평균상대우점치 분석을 통해 조사구의 천이과정을 예측하였다. 대조구의 경우 2차 천이식생인 참나무류가 우세한 세력을 형성하고 있어 당분간 참나무류군락이 유지될 것으로 판단된다. 비오톱이식공법-A의 경우 교목층에서 신갈나무의 세력이 우세하며, 아교목층에서는 신갈나무와 같은 참나무류인 졸참나무, 갈참나무가 상대적으로 높은 우점치를 보이며 조사되고 있어 당분간 신갈나무가 우점하는 군락의 현상태를 유지하면서 점차 참나무류혼효군락이 형성될 것으로 보인다. 비오톱이식공법-B의 경우 조성 직후(2008년) 실시된 조사에서는 신갈나무와 굴참나무가 우세하였으며, 이와 함께 졸참나무가 높은 비율로 출현하면서 참나무류군락으로 확인되었다. 이후 2013년도 조사에서는 신갈나무가 가장 우점하는 것으로 관찰되었으나, 조성 직후와 마찬가지로 굴참나무와 졸참나무의 세력도 우세하게 나타나고 있어 참나무류혼효군락을 유지하고 있는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 당분간 유지될 것으로 판단된다. 산림표토포설지역의 경우, 복원 시 사용된 표토가 참나무 숲 중 목표로 하는 숲과 비슷한 구조를 가진 신갈나무군락에서 채취한 토양으로 신갈나무 매토종자가 많아 신갈나무의 비율이 높게 나타나고 있었다. 소경목군락식재지역의 경우, 신갈나무와 보리수나무의 평균상대우점치가 높게 나타나고 있으나, 보리수나무의 경우 아교목성상으로 자라는 나무로 천이가 진행되면서 평균상대우점치는 서서히 떨어질 것으로 예상되며, 조사구의 목표 수종인 교목성상의 신갈나무로의 천이가 예상된다.

3) 종다양도 변화

종다양도 변화를 살펴본 결과, 종다양도지수가 가장 높게 나타나고 있는 것은 비오톱이식공법을 통해 복원된 비오톱이식공법-A의 4차년(2012년)도 조사로 2.3372으로 나타났다. 비오톱이식공법-A의 경우 가장 낮은 종다양도지수도 다른 조사구에 비해 상대적으로 높은 값을 나타내고 있는 것으로 확인되었다. 종다양도 분석에서 생육환경이 이질적이고 복잡하거나 국소적 교란이 발생하게 될 경우 종다양도가 높아지기도 한다는 기존의 보고(Krebs, 1985; Barbour *et al*., 1987)를 통해 비오톱이식공법-A를 판단해 보면, 교목층의 수관이 열려있어 하부식생의 생육에 필요한 일조량이 풍부하여 관목층의 식생회복이 두드러지면서 생겨난 국소적 교란에 의한 것으로 파악되었다. 비교 대상이 되는 대조구와 유사한 종다양도지수를 나타내는 조사구는 비오톱이식공법-B로 대조구의 종다양도는 1.7423~1.9354이었으며, 비오톱이식공법-B의 종다양도는 1.4789~1.6978로 다른 조사구에 비해 종다양성이 유사하게 나타났다. 종다양도지수는 우점도와 반비례하는 관계를 가지며 우점도가 높은 소수의 종들보다 우점도가 낮은 다수의 종들에 의하여 결정된다(Ellenberg, 1956)는 기존의 연구를 통해 각 조사구의 종다양도지수를 살펴본 결과, 종다양도에 영향을 미치는 요소는 우점도 외에 균재도 및 최대종다양도에 의한 영향도 있는 것으로 판단되었다.

4) 유사도지수 변화

전체적으로 대조구와 식재를 통해 산림복원이 이루어진 조사구들의 유사도지수 분석결과, 대조구와 비오톱이식공법-A는 35.46~49.01%, 대조구와 비오톱이식공법-B는 55.10~66.62%, 대조구와 산림표토포설지역은 5.63~14.13%, 대조구와 소경목군락식재지역은 10.49~32.92%로 나타났다. 전체적으로 대조구와 유사한 군집은 비오톱이식공법-A, B로 산림표토포설지역이나 소경목군락식재지역과 달리 기존에 형성되어 있던 숲에서 층위별(교목층, 아교목층, 관목층, 지피층) 수목을 그대로 이식해 온 것이 작용한 결과로 판단된다. 산림표토포설지역을 제외한 비오톱이식공법-A, B, 소경목군락식재지역은 처음(2008년) 실시된 조사에서 대조구와의 유사도지수가 가장 높게 나타났으며 시간이 경과하면서 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이는 식재를 통해 복원된 지역은 주변 수관이 열려있고 소경목군락식재지역의 경우 비료목으로 식재한 수목의 성장이 두드러지면서 국소적 교란에 의한 것으로 파악되므로 추후 모니터링을 통해 좀 더 살펴볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

5) 종수 및 개체수 변화

대조구와 복원된 지역별 평균 종수 및 개체수 변화를 분석하였다(Table 6, 7). 각 조사구의 평균 출현 종수 분석결과, 층위를 형성해 가는 과정에서 일부 차이가 나타났다.

Table 3. Importance percentage of woody species

Species**	1st(2008)					Follow up survey(2009)					2nd(2009)					3rd(2010)					4th(2011)					5th(2012)					6th(2013)				
	A*	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Qa	-	4.96	0.91	-	-	-	6.14	0.91	-	-	-	5.23	0.94	-	-	-	4.84	0.97	-	-	-	3.78	1.03	-	-	-	3.95	1.05	-	-	-	4.08	1.08	-	-
Ch	-	7.85	2.32	-	-	-	10.79	2.32	-	-	-	10.52	2.32	-	-	-	8.50	2.91	-	0.16	-	6.86	1.48	-	0.73	-	5.26	2.07	-	1.41	-	4.47	1.62	-	1.22
Rt	4.40	0.77	0.51	-	-	4.04	0.67	0.51	-	-	4.03	0.64	0.53	-	-	3.76	0.62	0.55	-	-	2.78	0.62	0.56	-	-	5.18	0.62	0.53	-	-	3.39	1.15	0.57	-	-
Sg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.98	-	-	-	-	1.06	-	0.49	0.19
Ss	0.76	-	-	-	-	0.90	-	-	-	-	0.90	-	-	-	-	0.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.03	0.58	-	-	-	1.37	0.81	-	-	-
Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.44	-	-	-	-	3.03	-	-	-	-	4.73	-	-	-	-	4.59	-	0.11	6.59
Qv	9.56	-	28.74	-	-	11.63	-	28.72	-	-	11.53	-	27.77	-	-	11.41	-	27.22	-	-	11.11	-	23.43	-	-	9.70	-	19.25	-	0.29	9.89	-	19.22	-	0.40
Jr	2.55	-	-	-	-	2.14	-	-	-	-	2.15	-	-	-	-	2.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sc	-	2.35	-	-	-	-	2.02	-	-	-	-	1.95	-	-	-	-	1.91	-	-	-	-	1.84	-	-	-	-	1.90	-	-	-	-	1.81	-	-	-
Ae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16
Pr	6.89	-	-	-	-	9.81	-	-	-	-	9.68	-	-	-	-	9.64	-	-	-	-	8.81	-	-	-	-	7.33	-	-	-	-	7.33	-	-	-	-
Fr	1.64	-	2.09	-	0.35	2.43	-	2.09	-	0.35	2.44	-	2.09	-	0.35	2.55	-	2.29	-	0.31	3.27	-	2.56	-	0.47	0.98	1.52	3.51	-	0.95	-	1.62	2.27	-	0.62
Cc	2.69	0.59	1.28	-	0.22	1.63	0.84	1.27	-	0.22	1.63	1.30	1.28	-	-	1.65	0.98	-	-	-	1.26	2.00	-	-	-	1.41	1.02	-	-	-	1.69	1.54	-	-	-
Ws	-	0.89	-	-	-	-	0.80	-	-	-	-	0.76	-	-	-	-	0.74	-	-	-	-	0.66	-	-	-	-	1.46	-	-	-	-	3.94	-	-	-
Eu	-	-	-	-	1.39	-	-	-	-	1.39	-	-	-	-	1.71	-	-	-	-	2.34	-	-	-	-	12.64	-	-	-	-	9.32	-	-	-	-	10.42
Rj	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.69	-	-	-	-	1.06	-	-	0.17	-	1.08	-	2.04	1.36	-	1.22	1.82	11.49	1.27	-	0.90	1.71	11.71	0.93
Rc	-	-		-	-	-	-	-	-	11.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ps	2.86	13.03	2.20	-	11.69	2.27	12.45	2.20	-	11.69	2.27	13.89	2.20	-	17.31	2.21	13.72	2.82	-	1.17	1.21	13.72	-	-	3.08	2.42	11.76	-	-	3.48	2.46	10.44	-	-	2.53
Mb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	-	-	-	-	0.28	-	-	-	-	-
Zs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.48	-	-	0.44	-	0.48	-	7.59	3.47	-	1.33	-	17.26	5.04	-	1.46	1.26	12.15	4.30
Lo	5.66	0.99	-	-	2.21	8.40	0.87	-	-	2.21	8.38	0.82	-	-	2.21	8.35	0.79	-	-	1.00	11.44	0.67	-	-	0.87	10.07	0.68	-	-	1.28	10.61	0.65	-	-	1.48
Qm	27.08	47.41	31.51	-	30.94	21.35	46.71	31.45	-	30.94	21.19	46.63	31.86	-	25.43	21.19	46.63	32.96	-	8.32	22.10	46.58	36.30	5.63	23.48	24.56	45.81	39.29	7.51	22.21	22.37	40.96	39.88	14.13	17.08
At	-	4.02	-	-	-	-	1.71	-	-	-	-	1.70	-	-	-	-	1.74	-	-	-	-	2.00	-	-	-	-	2.57	-	-	-	-	2.64	-	-	-
Cm	-	1.95	-	-	-	-	1.69	-	-	-	-	1.62	-	-	-	-	1.61	-	-	-	-	1.55	-	-	-	-	1.62	-	-	-	-	1.56	-	-	-
Ks	1.64	-	2.20	-	-	-	-	2.20	-	-	-	-	2.20	-	-	-	-	3.00	-	-	-	-	2.37	-	-	-	-	3.19	-	-	-	-	2.47	-	-	-
Lm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.75	-	-	-	-	0.52	-	-	-	-	0.58	-	-	-
Qs	16.68	4.57	14.12	-	-	23.07	4.92	14.19	-	-	23.48	4.51	14.44	-	-	23.51	4.40	14.32	-	-	21.98	4.32	14.29	-	-	19.63	4.79	13.78	-	-	19.27	9.48	13.36	-	-
Rm	-	2.24	2.59	-	3.22	-	1.89	2.59	-	3.22	-	1.78	2.61	-	3.00	-	2.19	3.36	-	2.61	-	2.33	1.97	-	2.97	-	1.94	2.52	-	3.52	-	1.94	1.24	-	2.97
So	14.46	5.40	5.78	-	-	9.93	3.90	5.80	-	-	9.91	3.86	6.00	-	-	10.11	3.84	6.24	-	-	12.85	3.53	6.63	-	0.22	14.03	3.90	6.77	-	0.29	17.20	3.87	6.85	-	0.22
Lc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.52	-	-	0.15	-	1.46	5.64	1.42	0.52	-	1.13	3.19	13.74	0.70	-	1.06	5.85	11.42	0.91
Sa	0.90	-	-	-	-	0.40	-	-	-	-	0.40	-	-	-	-	0.41	-	-	-	-	0.54	-	-	-	-	0.59	-	-	-	-	0.71	-	-	-	-
Ea	2.25	-	5.76	-	-	2.01	-	5.76	-	-	2.05	-	5.76	-	-	2.06	-	3.37	-	-	2.67	-	2.00	-	-	3.08	-	2.55	-	-	3.74	-	2.06	-	-

* A: Control site, B: Biotope restoration method-A, C: Biotope restoration method-B, D: Forest topsoil paving method, E: Small diameter trees planting method

** *Qa*: *Quercus aliena*, *Ch*: *Corylus heterophylla*, *Rt*: *Rhus trichocarpa*, *Sg*: *Salix gracilistyla*, *Ss*: *Securinega suffruticosa*, *Si*: *Stephanandra incisa*, *Qv*: *Quercus variabilis*, *Jr*: *Juniperus rigida*, *Sc*: *Symplocos chinensis* f. *pilosa*, *Ae*: *Aralia elata*, *Pr*: *Pinus rigida*, *Fr*: *Fraxinus rhynchophylla*, *Cc*: *Castanea crenata*, *Ws*: *Weigela subsessilis*, *Eu*: *Elaeagnus umbellata*, *Rj*: *Rhus javanica*, *Rc*: *Rubus crataegifolius*, *Ps*: *Prunus sargentii*, *Mb*: *Morus bombycis*, *Zs*: *Zanthoxylum schinifolium*, *Lo*: *Lindera obtusiloba*, *Qm*: *Quercus mongolica*, *At*: *Acer tataricum* subsp. *ginnala*, *Cm*: *Crataegus maximowiczii*, *Ks*: *Kalopanax septemlobus*, *Lm*: *Lespedeza maximowiczii*, *Qs*: *Quercus serrata*, *Rm*: *Rhododendron mucronulatum*, *So*: *Styrax obassia*, *Lc*: *Lespedeza cyrtobotrya*, *Sa*: *Sorbus alnifolia*, *Ea*: *Euonymus alatus* f. *ciliatodentatus*

Table 4. Various species diversity analysis among restoration types

Plots	Year	H′(Shannon)	J′(evenness)	D(dominance)	H′max
Control site	1st(2008)	1.9354	0.8962	0.1038	2.1607
	Follow up survey(2009)	1.9138	0.9097	0.0903	2.1049
	2nd(2009)	1.9138	0.9097	0.0903	2.1049
	3rd(2010)	1.9138	0.9097	0.0903	2.1049
	4th(2011)	1.7719	0.9363	0.0638	1.8952
	5th(2012)	1.7606	0.9304	0.0696	1.8952
	6th(2013)	1.7423	0.9367	0.0634	1.8618
Biotope restoration method-A	1st(2008)	1.8448	0.9267	0.0733	1.9914
	Follow up survey(2009)	1.8448	0.9267	0.0733	1.9914
	2nd(2009)	1.8755	0.9296	0.0704	2.0209
	3rd(2010)	2.0976	0.9373	0.0627	2.2373
	4th(2011)	2.1819	0.9454	0.0546	2.3067
	5th(2012)	2.3372	0.9421	0.0579	2.4818
	6th(2013)	2.3341	0.9415	0.0586	2.4806
Biotope restoration method-B	1st(2008)	1.5666	0.9299	0.2913	1.6904
	Follow up survey(2009)	1.5666	0.9299	0.2913	1.6904
	2nd(2009)	1.5119	0.9405	0.2807	1.6185
	3rd(2010)	1.4789	0.9352	0.0648	1.5890
	4th(2011)	1.6126	0.9424	0.2788	1.7199
	5th(2012)	1.6505	0.9427	0.2785	1.7584
	6th(2013)	1.6978	0.9346	0.0654	1.8233
Forest topsoil paving method	4th(2011)	0.9434	0.6806	0.3194	1.3863
	5th(2012)	0.9435	0.6806	0.3194	1.3863
	6th(2013)	1.0431	0.5822	0.4178	1.7918
Small diameter trees planting method	1st(2008)	1.3538	0.8286	0.1714	1.6448
	Follow up survey(2009)	1.3913	0.8284	0.1716	1.6904
	2nd(2009)	1.3188	0.8285	0.1715	1.5992
	3rd(2010)	1.4240	0.7984	0.2016	1.7847
	4th(2011)	1.6077	0.8128	0.1872	1.9793
	5th(2012)	1.6504	0.8196	0.1805	2.0127
	6th(2013)	1.6798	0.7898	0.2102	2.1340

대조구의 경우 변화가 뚜렷하지는 않았으나 아교목층 수종이 성장하면서 교목층으로 층위를 변경하여 교목층의 종수는 늘어나고 아교목층의 종수는 줄어드는 현상을 보였다. 비오톱이식공법-A, B의 경우에는 종수의 변화가 크게 나타나지는 않았으나 시간이 경과함에 따라 조금씩 변화를 보이기 시작하였다. 산림표토포설지역은 3차년(2011년)도 조사부터 관목층에서 종이 관찰되기 시작해 5차년(2013년)도 조사에서는 아교목층에서도 종이 관찰되기 시작하였다. 소경목군락식재지역의 경우 모니터링이 진행되는 6년 동안 아교목층의 종수는 5배 이상 증가한 것으로 관찰되었다.

각 조사구의 평균 개체수 분석 결과, 대조구의 경우에는 모니터링이 진행되는 동안 계속해서 개체수가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있었다. 복원지의 경우를 살펴보면, 비오톱이식공법-A는 처음(2008년) 조사에서 11.3개체이던 것이 3차년(2011년)도 조사에서는 14.0개체로 6차년(2013년)도 조사에서는 18.0개체로 증가하였으며, 비오톱이식공법-B(11.8개체(2008년) → 12.5개체(2011년) → 12.8개체(2013년)), 산림표토포설지역(0개체(2008년) → 29.0개체(2011년) → 99.0개체(2013년)), 소경목군락식재지역(17.5개체(2008년) → 19.5개체(2011년) → 28.0개체(2013년)) 또한 모니터링이 진행되면서 개체수가 점점 늘어나고 있는 것을 확인할 수 있었다.

Table 5. Similarity index among control site and restoration types

Plots	Year	Control site						
		1st(2008)	Follow up survey(2009)	2nd(2009)	3rd(2010)	4th(2011)	5th(2012)	6th(2013)
Biotope restoration method-A	1st(2008)	43.90	38.37	38.22	38.27	38.61	40.28	37.15
	Follow up survey(2009)	42.78	37.25	37.10	37.15	37.78	39.16	36.03
	2nd(2009)	42.71	37.18	37.03	37.08	37.67	39.09	35.96
	3rd(2010)	42.21	36.68	36.53	36.58	36.95	38.59	35.46
	4th(2011)	42.72	36.82	36.67	36.74	36.31	38.51	35.66
	5th(2012)	43.05	36.73	36.57	36.51	35.84	39.55	36.42
	6th(2013)	49.01	42.74	42.58	42.52	41.34	45.33	42.33
Biotope restoration method-B	1st(2008)	66.06	60.97	60.75	60.64	60.85	62.21	59.89
	Follow up survey(2009)	66.14	61.05	60.83	60.72	60.94	62.29	59.97
	2nd(2009)	66.62	61.53	61.31	61.20	61.41	62.77	60.45
	3rd(2010)	66.10	60.66	60.44	60.27	60.49	61.85	59.20
	4th(2011)	63.40	58.89	58.64	58.63	59.25	58.72	55.74
	5th(2012)	63.25	58.50	58.29	58.29	60.11	58.87	55.89
	6th(2013)	62.76	58.04	57.82	57.71	58.32	58.08	55.10
Forest topsoil paving method	4th(2011)	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63
	5th(2012)	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51
	6th(2013)	14.13	14.13	14.13	14.13	14.13	14.13	14.13
Small diameter trees planting method	1st(2008)	32.72	26.40	26.24	26.18	26.09	29.76	27.26
	Follow up survey(2009)	32.72	26.40	26.24	26.18	26.09	29.76	27.26
	2nd(2009)	30.85	26.18	26.02	25.96	25.87	29.54	27.04
	3rd(2010)	10.80	10.80	10.80	10.80	10.80	10.80	10.49
	4th(2011)	27.90	25.18	25.02	24.96	24.87	27.46	25.92
	5th(2012)	27.88	26.43	26.27	26.21	26.12	27.44	26.53
	6th(2013)	22.33	22.07	22.07	22.01	21.01	22.22	21.64

Table 6. Number of species analysis among restoration types (Unit: 25 ㎡)

Plots*	1st(2008)				Follow up survey(2009)				2nd(2009)				3rd(2010)				4th(2011)				5th(2012)				6th(2013)			
	C**	U	S	T	C	U	S	T	C	U	S	T	C	U	S	T	C	U	S	T	C	U	S	T	C	U	S	T
A	3.3	5.3	2.9	8.8	2.3	5.8	2.8	8.3	2.3	5.8	2.5	8.3	2.3	5.8	2.5	8.3	2.5	4.0	1.3	6.8	3.0	3.8	2.0	6.8	3.0	3.5	1.5	6.5
B	1.0	5.3	2.0	7.5	1.0	5.8	1.3	7.5	0.8	6.0	1.5	7.8	0.8	6.0	3.3	9.5	0.8	6.3	3.8	10.3	1.0	6.8	6.3	12.5	1.3	7.5	4.8	12.3
C	1.0	4.3	1.5	5.9	0.8	4.3	1.5	5.8	1.0	4.0	1.5	5.5	1.0	4.0	1.5	5.3	1.3	4.0	2.3	6.0	1.3	4.8	2.0	6.3	1.3	4.5	2.5	6.8
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	4.0	-	3.0	2.0	4.0	-	4.0	6.0	6.0
E	-	0.8	5.3	5.3	-	0.8	5.5	5.5	-	0.5	5.0	5.0	-	-	6.0	6.0	-	3.0	5.8	7.3	-	5.0	4.3	7.5	-	5.8	5.3	8.8

* A: Control site, B: Biotope restoration method-A, C: Biotope restoration method-B, D: Forest topsoil paving method, E: Small diameter trees planting method
** C: Canopy, U: Understory, S: Shrub, T: Total

Table 7. Number of individuals analysis among restoration types (Unit: 25 ㎡)

Plots*	1st(2008)				Follow up survey(2009)				2nd(2009)				3rd(2010)				4th(2011)				5th(2012)				6th(2013)			
	C**	U	S	T	C	U	S	T	C	U	S	T	C	U	S	T	C	U	S	T	C	U	S	T	C	U	S	T
A	4.3	11.8	3.5	19.5	2.5	12.3	3.3	18.0	2.5	12.3	3.3	18.0	2.5	12.3	3.3	18.0	2.8	9.3	2.0	14.0	3.5	8.5	2.8	14.8	3.5	7.0	2.0	12.5
B	1.0	6.3	4.0	11.3	1.0	7.3	3.0	11.3	0.8	7.0	3.3	11.5	0.8	7.8	4.8	13.3	0.8	8.0	5.3	14.0	1.0	8.3	9.0	18.3	1.3	9.0	7.8	18.0
C	1.5	8.5	1.8	11.8	1.3	8.8	1.8	11.8	1.5	8.3	1.8	11.5	1.5	8.0	1.5	11.0	1.8	8.0	2.8	12.5	2.0	8.5	2.3	12.8	2.0	8.0	2.8	12.8
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29.0	29.0	-	3.0	26.0	29.0	-	4.0	95.0	99.0
E	-	0.8	16.8	17.5	-	0.8	16.8	17.5	-	0.5	16.5	17.0	-	-	18.0	18.0	-	5.5	14.0	19.5	-	9.3	10.5	19.8	-	11.8	16.3	28.0

* A: Control site, B: Biotope restoration method-A, C: Biotope restoration method-B, D: Forest topsoil paving method, E: Small diameter trees planting method
** C: Canopy, U: Understory, S: Shrub, T: Total

2. 생장량 변화

1) 흉고단면적 변화

각 조사구의 평균 흉고단면적 변화를 관찰하였다(Table 8). 대조구의 경우 처음(2008년) 실시된 조사에서는 1개체당 교목층은 평균 77.91㎠, 아교목층은 평균 12.58㎠로 나타났으나 6차년(2013년)도 조사에서는 교목층은 평균 124.42㎠, 아교목층은 평균 21.60㎠로 나타났다. 6년(2008~2013년)간 1개체당 교목층은 평균 46.51㎠, 아교목층은 평균 9.02㎠의 흉고단면적 생장을 보였다.

비오톱이식공법-A의 경우 교목층은 처음(2008년) 실시된 조사보다 6차년(2013년)도 조사에서 1개체당 평균 흉고단면적이 9.68㎠가 줄어든 것으로 나타나고 있다. 이는 아교목층의 수목이 교목층으로 수고 생장을 하면서 층위 전이

Table 8. Change of basal area among restoration types (Unit: ㎠)

Plots	Year	Canopy			Understory			Total		
		Sum of BA*	No. of Indi.	Average	Sum of BA	No. of Indi.	Average	Sum of BA	No. of Indi.	Average
Control site (100㎡)	1st(2008)	1,324.48	17	77.91	591.26	47	12.58	1,915.74	64	29.93
	Follow up survey(2009)	1,133.11	10	113.31	869.92	49	17.75	2,003.03	59	33.95
	2nd(2009)	1,192.88	10	119.29	907.77	49	18.53	2,100.65	59	35.60
	3rd(2010)	1,235.03	10	123.50	934.82	49	19.08	2,169.85	59	36.78
	4th(2011)	1,359.64	11	123.60	751.48	37	20.31	2,111.12	48	43.98
	5th(2012)	1,555.60	14	111.11	397.49	34	20.51	1,953.09	48	40.69
	6th(2013)	1,741.81	14	124.42	604.81	28	21.60	2,346.62	42	55.87
Biotope restoration method-A (100㎡)	st(2008)	984.63	4	246.16	669.63	25	26.79	1,654.26	29	57.04
	Follow up survey(2009)	999.39	4	249.85	792.88	29	27.34	1,792.27	33	54.31
	2nd(2009)	900.15	3	300.05	922.00	30	30.73	1,822.15	33	55.22
	3rd(2010)	943.70	3	314.57	947.40	31	30.56	1,891.10	34	55.62
	4th(2011)	960.29	3	320.10	1,014.66	32	31.71	1,974.95	35	56.43
	5th(2012)	1,085.89	4	271.47	1,010.08	33	30.61	2,095.97	37	56.65
	6th(2013)	1,182.40	5	236.48	1,036.49	36	28.79	2,218.89	41	54.12
Biotope restoration method-B (100㎡)	1st(2008)	468.04	6	78.01	1,290.84	37	37.97	1,758.88	43	40.90
	Follow up survey(2009)	478.41	6	79.74	1,332.43	34	39.19	1,810.84	40	45.27
	2nd(2009)	492.30	6	82.05	1,338.00	33	40.55	1,830.30	39	46.93
	3rd(2010)	522.81	6	87.14	1,303.01	32	40.72	1,825.82	38	48.05
	4th(2011)	655.27	7	93.61	1,298.00	32	40.56	1,953.27	39	50.08
	5th(2012)	866.70	8	108.34	1,187.17	34	34.92	2,053.87	42	48.90
	6th(2013)	913.66	8	114.21	1,210.99	32	37.84	2,124.65	40	53.12
Forest topsoil paving method (25㎡)	5th(2012)				27.00	3	9.00	27.00	3	9.00
	6th(2013)				37.02	4	9.26	37.02	4	9.26
Small diameter trees planting method (100㎡)	st(2008)				6.77	3	2.26	6.77	3	2.26
	Follow up survey(2009)				6.77	3	2.26	6.77	3	2.26
	2nd(2009)				4.23	2	2.12	4.23	2	2.12
	3rd(2010)				-	-	-	-	-	-
	4th(2011)				136.75	22	6.22	136.75	22	6.22
	5th(2012)				333.96	36	9.28	333.96	36	9.28
	6th(2013)				684.13	48	14.25	684.13	48	14.25

* BA: Basal Area

는 하였으나 기존에 형성되어 있던 교목층의 평균 흉고단면적보다 낮은데서 나타난 결과로 판단된다. 아교목층은 6년(2008~2013년)간 1개체당 2.00㎠의 흉고단면적 생장을 나타냈다.

비오톱이식공법-B는 6년(2008~2013년)간 1개체당 교목층에서 36.20㎠의 흉고단면적 생장을 보이고 있었으며, 아교목층에서는 오히려 0.13㎠ 감소한 것으로 나타났다. 이는 아교목층에 높은 흉고단면적을 가지고 있던 수목이 교목층으로 층위 전이를 하면서 평균 흉고단면적이 감소한 것처럼 보이나 개체수 대비 흉고단면적을 살펴보면, 흉고단면적이 생장하고 있는 것을 알 수 있다.

산림표토포설지역은 5차년(2012년)도 조사에서 9.00㎠로 전년도에 관목층의 수목이 층위 전이를 통해 생장하면서 나타난 결과이다. 이후 6차년(2013년)도 조사에서는 전년도 대비 0.26㎠의 흉고단면적 증가를 보였다.

소경목군락식재지역은 2m 내외의 수목을 식재한 지역으로 조성 직후(2008년) 조사에서 1개체당 평균 2.26㎠의 흉고단면적을 나타냈으나 2차년(2010년)도 조사에서는 전년도에 아교목층을 형성하던 수목이 고사하거나 수고가 낮아져 관목층으로 전이되면서 아교목층에 대한 흉고단면적이 산출되지 않았다. 이후 4차년(2011년)도 조사부터 아교목층이 다시 조사되면서 6차년(2013년)도 조사에서는 1개체당 평균 14.25㎠로 나타났다. 생태복원지의 경우 복원 직후 식재수목의 생장으로 흉고단면적이 증가하는 한편 고사목의 발생으로 개체수가 감소하는 등의 원인이 동일 대상지 내에서 혼재되어 있기 때문에 자연상태의 수목 생장과는 차이가 나고 있다(Ki and Kim, 2012)는 기존의 연구 결과를 통해 복원지의 흉고단면적 변화를 설명할 수 있다.

2) 고사목 현황

고사목 현황 조사는 조성 직후(2008년) 실시된 조사에서는 수목의 고사 시기를 판단할 수 없으므로 고사목에 대한 개별 조사는 실시하지 않았으며 생육 중인 수목을 대상으로 조사를 실시하고 추가조사(2009년)부터 조사를 실시하였다(Table 9).

대조구는 추가조사(2009년)부터 고사목이 발생하여 모니터링 기간 중 교목층 1개체, 아교목층 18개체, 관목층 9개체, 총 28개체의 고사목이 발생하였다. 비오톱이식공법-A는 3차년(2011년)도 조사에서 3개체, 5차년(2013년)도 조사에서 2개체 총 5개체가 고사한 것으로 확인되었으며, 모두 관목층의 수목이 고사한 것으로 조사되었다. 비오톱이식공법-B는 3차년(2011년)도 조사에서 4개체, 5차년(2013년)도 조사에서 2개체 총 6개체가 고사하였으며, 이중 아교목층이 5개체, 관목층이 1개체로 파악되었다. 산림표토포설지역은 치수에서 고사한 수목은 확인이 불가능 하므로 제외하고 0.5m 이상 자라 관목층으로의 층위 전이 후 고사한 수목을 기준으로 고사목을 파악한 결과 5차년(2013년)도 조사에서 관목층 1개체가 고사한 것으로 확인되었다. 소경목군락식재지역은 2차년(2010년)도 조사부터 고사목이 관찰되었으며, 모니터링 기간 중에 고사한 수목은 아교목층 1개체, 관목층 11개체로 총 12개체가 고사한 것을 파악할 수 있었다. 전체 조사구 중 고사목이 가장 많이 나타난 조사구는 대조구로 5년(2009~2013년)간 28개체가 고사하여, 복원지에 비해 고사목이 현저히 많았다. 이 중에서도 아교목층의 고사목 개체수가 교목층이나 관목층에 비해 많이 조사되었다. 이는 아교목층을 형성하고 있던 수목들이 생육을 위한 상호경쟁을 통해 일부 개체가 도태되는 과정에서 나타난 결과로 판단된다.

3. 종합고찰

식생복원의 문제점을 고려하여 자연생태계 내의 질적 복원을 목표로 산림자원을 이용한 복원기법들이 연구를 통해 제시되고 있다. 그러나 다양한 복원의 효과가 검증된 것은 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 불가피하게 훼손될 산림자원과 주변 산림의 자연자원을 이용하여 비오톱이식공법, 산림표토포설, 소경목군락식재 등의 기법을 통해 복원된 식생복원지를 대상으로 복원이 완료된 2008년부터 2013년까지 6년에 걸쳐 모니터링을 실시하여 식생복원 효과를 연구하고자 하였다.

복원 유형별 식생복원 효과를 파악한 결과, 비오톱이식공법을 사용하여 복원된 지역은 훼손될 산림을 그대로 옮겨 복원한 것으로 복원 직후부터 기존의 자연산림과 가장 유사한 형태를 띠고 있어 단시간 내에 자연산림의 형태를 갖추어야 하는 복원 공사에서 유리할 것으로 판단된다. 그러나 이와 같은 복원기법은 훼손될 산림이 있어야만 가능하다는 한계점을 가지고 있다.

산림표토포설을 통해 복원된 지역은 산림표토 내에 저장되어 있던 매토종자와 함께 선구 수종의 출현으로 복원이 이루어진 다음해부터 식물이 출현하기 시작하였으며, 복원 후 2년이 경과하면서부터 식물의 피도가 올라가면서 조사구 내의 피도는 50%에 가깝게 나타났다. 이와 같이 산림표토를 이용한 복원은 수목이 성장하여 교목층을 형성하는데 오랜 시간이 걸릴 것으로 예상되나 절개지와 같은 나지상태의 공간을 복원시키기에 높은 효과를 얻을 수 있을 것이라 기대된다.

소경목군락식재를 통해 복원된 지역은 목표하는 숲의 식생구조와 비슷한 산림을 형성하고 있는 숲을 대상으로 조사한 후 목표로 하는 숲과 주변 지역의 연계성을 고려하여 목표 종과 식재 종을 혼식하여 조성한 조사구로 식재 시

Table 9. Dead trees analysis among restoration types

Plots	Year	Canopy	Understory	Shrub	Total
Control site (100㎡)	1st(2008)	-	-	-	-
	Follow up survey(2009)	-	2	1	3
	2nd(2009)	-	1	-	1
	3rd(2010)	-	-	-	-
	4th(2011)	-	7	3	10
	5th(2012)	-	3	-	3
	6th(2013)	1	5	5	11
	Total	1	18	9	28
Biotope restoration method-A (100㎡)	1st(2008)	-	-	-	-
	Follow up survey(2009)	-	-	-	-
	2nd(2009)	-	-	-	-
	3rd(2010)	-	-	-	-
	4th(2011)	-	-	3	3
	5th(2012)	-	-	-	-
	6th(2013)	-	-	2	2
		-	-	5	5
Biotope restoration method-B (100㎡)	1st(2008)	-	-	-	-
	Follow up survey(2009)	-	-	-	-
	2nd(2009)	-	-	-	-
	3rd(2010)	-	-	-	-
	4th(2011)	-	3	1	4
	5th(2012)	-	-	-	-
	6th(2013)	-	2	-	2
	Total	-	5	1	6
Forest topsoil paving method (25㎡)	4th(2011)	-	-	-	-
	5th(2012)	-	-	-	-
	6th(2013)	-	-	1	1
	Total	-	-	1	1
Small diameter trees planting method (100㎡)	1st(2008)	-	-	-	-
	Follow up survey(2009)	-	-	-	-
	2nd(2009)	-	-	-	-
	3rd(2010)	-	1	-	1
	4th(2011)	-	-	7	7
	5th(2012)	-	-	4	4
	6th(2013)	-	-	-	-
	Total	-	1	11	12

사용되는 수목의 상태에 따라 복원효과가 달라질 수 있다. 연구대상지의 복원 시 사용된 수목은 2m 내외의 소경목으로 복원 직후 피도는 20%에 그쳤으나 복원 후 3년이 경과하면서부터 피도가 늘어 5년이 경과한 후에는 조사구 내의

피도가 50%를 넘어섰다. 이와 같은 군락식재는 식재 수목의 크기에 따라 좀 더 짧은 시간 내에 피도를 높일 수도 있으며, 교목층을 형성할 수도 있으므로, 복원지역을 정확히 판단한 후 수목의 크기를 고려하여 이용한다면 높은 효과를 얻을 수 있을 것이라 기대된다.

본 연구는 식생복원 유형별 복원공법의 모니터링 조사를 통해 숲으로의 천이과정에서 나타나는 변화를 관찰하여 식생복원지역을 대상으로 식생복원 유형별 자연자원을 이용한 생태복원 효과를 연구했다는데 의의가 있다. 그 결과 식생복원이 필요한 지역이나 불가피하게 훼손되는 산림자원을 이용할 수 있다는 점에서 활용 및 응용이 가능한 기초자료로의 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 지금까지 진행된 모니터링 결과는 변화가 활발할 것으로 예상되는 5년간의 모니터링 자료로써 추후 장기적인 모니터링을 계속적으로 진행하여 안정화되어가는 숲의 구조를 면밀하게 관찰할 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 이 연구는 낙엽활엽수 중 참나무류 만을 대상으로 모니터링을 진행하였으며, 대상지가 위치한 지역 또한 온대중부기후대로 우리나라의 넓은 지역을 차지하고 있는 지역이긴 하나 강원도라는 지역적인 한계와 각 지역별 산림 토양 조건이 다르기 때문에 앞으로 이와 같은 복원이 이루어지는 지역을 대상으로 추가 모니터링을 실시하여 비교 관찰할 필요가 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

Akira, K., A. Misawa, M. Kondo and H. Koshimizu(1989) Frontier Techniques of Revegetation. (Inc.)Soft Science, Tokyo, 360pp. (in Japanese)

Barbour, M.G., J.H. Burk and W.D. Pitts(1987) Terrestrial plant ecology, 2nd ed., The Benjamin/Cummings Publishing Co., Menlo Park, 155-229.

Brower, J.E. and J.H. Zar(1977) Field and Laboratory Methods for General Ecology. Wm. C. Brown Company, 194pp.

Curtis, J.T. and R.P. McIntosh(1951) An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. Ecology 32:476-496.

Ellenberg, H.(1956) Grundlagen der Vegetationsgliederung 1. Aufgaben und Methoden er Vegetationskunde. In: Waltel, H.(Hrsg) Einfuhrung in die Phytologie Ⅳ. Stuttgart, 136pp.

Ian C.L.(1979) Nature in cities. John Wiley & Sons, 428pp.

Kang, H.M., J.T. Song, S.H. Choi and D.H. Kim(2017) The Change of Soil Animals by Forest Ecosystem Restoration Types. Korean Journal of Environment and Ecology 31(1): 62-71. (in Korean with English abstract)

Ki, K.S. and J.Y. Kim(2012) Monitoring of Plant Community Structure Change for Four Years(2007~2010) after Riparian Ecological Restoration, Nakdonggang(River). Korean Journal of Environment and Ecology 26(5): 707-718. (in Korean with English abstract)

Kim O.K.(2004) The Transplantation Method of Natural Vegetation Community in Development Area-A Case Study of Young-In Dongbaek District-. Master's Thesis, University of Seoul. 167pp. (in Korean with English abstract)

Kim, N.C., H.Y. Kin and M.Y. Choi(2015) The Study on the Utilization of Soil Seed Bank for the Restoration of Original Vegetation. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 18(6): 201-214. (in Korean with English abstract)

Kim, S.H.(2006) Growth Change Monitoring of Naturally Regenerated Vegetation Types using Recycling Eco Revegetation Technique -A Case Study for the Rear-slope of Jangheung Multi-purpose Mam-. Master's Thesis, Honam University. 74pp. (in Korean with English abstract)

Koh, J.H.(2007) A Study on the Potential Contribution of Soil Seed Bank to the Revegetation. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 10(6): 99-109. (in Korean with English abstract)

Korea Forest Service(2016) 2015 Forest Basic Statistics. 361pp. (in Korean)

Krebs, C.J.(1985) Ecology, 3rd edition, Harper and Row, Publishers, Inc., 3-14.

Kwon, J.O.(1997) A Study on the ecological planting models by the analysis on the natural vegetation in middle district, Korea. Master's Thesis, Graduate School University of Seoul. 116pp. (in Korean with English abstract)

Lee, Y.J.(2011) The Study on the Improvement of Prior Environmental Review System. Master's Thesis, Kangwon National University. 116pp. (in Korean with English abstract)

Na, K.T.(2004) A Study on Trandplant Measurs Using the Root-stock of Native Trees. Master's Thesis, Honam University. 51pp. (in Korean with English abstract)

Numata, M., T. Nakamura and M. Hasegawa(1996) Nature to make the city-Nature and restore management luck tube of Ecological Garden-. Shinzansha Publisher Co., Ltd., Tokyo, 186pp. (in Japanese)

Oh, K.K.(1998) Concept and techniques of landscape and biotic planting design. Landscape Architecture Korea 128: 72-78. (in Korean)

Park, I.H.(1985) A Study on Forest Structure and Biomass in Baegwoonsan Natural Ecosystem. Seoul Natinal Univ. Graduate School Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy, 42pp. (in Korean with English abstract)

Pielou, E.C.(1975) Mathematical ecology. John Wiley & Sons, N.Y., 385pp.

Ruff, A.R.(1974) 'Management techniques for natural areas: ideas for the future'. In Nature in Cities, Annual Symposium, Landscape Research Group, 8/3.

Song, J.T. and T. Setsu(2004) The validity of floor vegetation and the soil fauna as an index of ecosystem recovery of reclamation forest. Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology 30(1): 21-26. (in Japanese with English abstract)

Song, J.T., J.I. Chung, K.J. Yoo, W. Cho and S.H. Choi(2009) Study on Development of Ecosystem Regeneration Technology Reusing Natural Resources - Example of Environment Center Development in Hansol Oak Valley -. Proceeding of Korean Society of Environment and Ecology Conference 19(2): 238-242. (in Korean)

Song, J.T., T. Setsu and J. Bae(2001) Studies on the Transplant of the Trees Using and Exclusive Machine. Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture 64(5): 517-520. (in Japanese with English abstract)

Yamabe, S., I. Ogyra, M. Yamamoto and M. Kouno(2003) A Case Study for Forest Restoration Using Topsoil Layer Block. Technical reports of landscape architecture 2 : 132-135. (in Japanese)

Yi, M.H.(2016) Studies on ecological restoration of Pine forest applied by seed bank in Korea. Ph. D Thesis, Yeungnam University. 179pp. (in Korean with English abstract)

Yi, M.H., H.T. Shin, S.G. Park, J.W. Yoon, G.D. Kim, J.W. Sung, K.H. Park and C.H. Lee(2013) The A Study on Changing the Soil Seed Bank According to the Area. Symposium of The Plant Resources Society of Korea 163. (in Korean)

Youn, H.J., J.H. Kim and C.W. Lee(2005) Analysis of cause and change of forest damage. Proceeding of Korean Forest Society the Summer Conference 337-338. (in Korean)