

토양시드뱅크에 의한 식생복원 가능성에 관한 연구

고 정 현

한국건설기술연구원

A Study on the Potential Contribution of Soil Seed Bank to the Revegetation

Koh, Jeung-Hyun

Korea Institute of Construction Technology.

ABSTRACT

The main objectives of this comparative study were 1) to compare the floristic similarity of species composition between the extant vegetation and seedlings from soil seed bank and 2) to quantify the potential contribution of soil seed bank to revegetation of forest in a constructed area, which is called “ecological impact mitigation” in conjunction with the power plant extension. Forest topsoil of seven plots was collected from the surface soil after measurements were taken on the ground vegetation in each plot. A greenhouse experiment was conducted and monitored to analyze the germination potential of soil seed bank. The forest topsoil was spread on plastic trays (0.7m²×7) filled with a 5cm layer of sterilized potting mix. The results of monitoring for 2 years in a greenhouse were as follows : 1) seedlings of soil seed bank per 4.9m² were 1,269 with 36 species (1st year) and 2,615 with 25 species (2nd year). 2) 38±8% of the flora species were germinated from soil seed bank. It can be concluded that the use of soil seed bank would be effective to promote establishment of diverse species and vegetation. However, it behooves to continue monitoring on succession of vegetation and pursue revegetation with other methods for ecological restoration.

Finally, adequate topsoil deposit and gathering methods should be studied properly.

Key Words : *Forest Topsoil, Soil seed bank, Revegetation, Mitigation, Species diversity, Ecological restoration.*

Corresponding author : Koh, Jeung-Hyun, Korea Institute of Construction Technology,
Tel : +82-10-9471-3070, E-mail : koh1031@hanmail.net

Received : 1 November, 2007. **Accepted** : 17 December, 2007.

I. 서 론

21세기는 ‘환경의 세기’라고도 일컬어지며 자연을 어떠한 방식으로 보전하고 개발 사업에 의해 파괴된 자연을 어떻게 생태적으로 복원시키는가가 인류에게 있어 커다란 과제가 되고 있다(高政鉉 등, 2004). 그리고 이에 발맞추어 생태복원 분야는 복원생태학이라는 학문으로 자리매김을 해 가고 있으며 보전생물학과 자연자원관리, 환경영향저감 등 연관 학문영역과의 연계를 통해 가장 급속히 성장하고 있는 분야로 일컬어지고 있다(Choi, 2004; Andel and Aronson, 2005).

녹화기술의 분야에 있어서도 지구환경문제의 하나로서 생물다양성의 위기가 눈앞에 현실로 다가오고 있으며 생태계나 생물다양성의 보전에 대한 역할이 요구되고 있는 실정이다(中野, 2000).

이러한 시대적인 흐름에 영향을 받아 많은 개발사업에 있어 단순한 방재나 녹화에 머무르지 않고 주변 환경과 어울리는 녹화가 요구되고 있으며, 이를 일본에서는 ‘자연회복녹화’라는 이름으로 불리고 있다(吉田·고정현, 2005). 자연회복녹화란 토목공사 등에 의해 조성된 시공 대상지 주변의 이차적 자연과 어울리는 식물군락, 경관의 회복 및 복원을 도모하는 것을 ‘최종녹화목표’로 하여, 그에 도달 가능한 ‘초기녹화목표’를 완성시키는 수법이며(日本緑化工學會 斜面緑化研究部會, 2004), 이에 유사한 우리말 단어는 ‘환경친화적인 생태복원’이 될 수 있을 것으로 생각된다.

한편, 이러한 자연회복녹화의 여러 방법 중에 최근에 일본녹화공학의 분야에서 각광을 받고 있는 연구가 산림표토 안에 포함되어 있는 토양시드뱅크를 이용한 연구이며 앞으로의 녹화공 분야에 있어서 주요한 기술이 될 것이다(고정현 등, 2006).

이 방법은 현지토양과 유전자자원의 보전을 목적으로 한 녹화공법의 하나로서 공사현장에서 채취 가능한 현지의 토양 안에 함유되어 있는 매

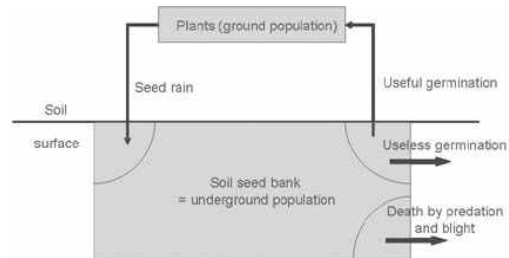


그림 1. 지상개체군과 토양시드뱅크와의 상호관계(鷲谷·草刈, 2003).

토종자집단, 즉 토양시드뱅크(soil seed bank)를 이용하는 것이다(高政鉉, 2004). 매토종자란 지상개체군인 식물체에서 비산(飛散)된 종자중에서 토양표면의 위와 아래에 존재하면서 발아능력을 가진 종자를 일컫는다. 그리고 토양시드뱅크(soil seed bank)는 이 각각의 매토종자의 집단을 가리키는 용어로서, 토양 내에 존재하는 종자의 저장고(은행)라는 의미로 토양으로 공급되는 종자를 은행에 입금하는 것에, 토양 내에서 발아되어 지상개체군으로 되는 것을 은행에서 출금하는 것에 비유하여 나타낸 개념(高政鉉, 2007)이며, 그림 1에 지상개체군과 토양시드뱅크의 상호관계를 나타내었다.

그리고 토양시드뱅크는 토양 안에서 존재하는 기간에 따라 계절적 시드뱅크(seasonal seed bank 또는 transient seed bank)와 영속적 시드뱅크(persistent seed bank)로 나뉜다(Thomson and Grime, 1979; Thomson et al. 1997; Baskin and Baskin, 2001).

한편 표토이용녹화란 시판(市販)종자의 구입이나 채종(採種)에 의해 종자를 인위적으로 도입하는 것이 아니라, 건설현장 주변에 있는 자원인 표토를 잠재종자의 공급원인 토양시드뱅크가 있는 것으로 보고, 식생기반재로 이용함으로써 녹화를 하고자 하는 것이다.

실제로 녹화에서 이용하고자 하는 것은 때에 따라서는 표토이용녹화, 매토종자이용녹화, 토양시드뱅크이용녹화라고 불리지만 명확히 정의하자면 표토 안에 존재하는 토양시드뱅크의 종자공



그림 2. 미노오가와댐(일본 오사카부)의 시공 20년경과 후의 경관변화.

급원으로서의 발아가능성을 기대하는 것이다.

일본에 있어서 표토를 이용한 녹화의 선행사례로서는 아고산지대의 도로녹화에서 다양한 시험을 하는 과정에서 매토종자를 이용한 연구(山寺 등, 1976)와 자연공원구역 내에 건설된 오사카부의 미노오가와댐에서 댐의 건설에 의해 파괴되는 산림의 표토를 미리 채취, 보관하여 조성된 쌓기 비탈면에 뿌려서 예덕나무를 비롯한 매토종자 기원의 선구수종이 성장하여 조기에 관목림을 형성한 사례(그림 2)가 유명하다(梅原, 2001).

한편, 산림표토를 이용한 시공방법으로는 ① 주변의 산림에서 채취한 산림표토를 포설하는 전통적인 방법(佐藤 등, 1999; 中村 등, 2002), ② 표토를 식생기재뿔어붙이기공의 재료로서 사용하여 접합제 등을 배합하여 비탈면에 취부하는 방법(上杉 등, 2001; 高政鉉 등, 2006), ③ 표토를 흙 자루에 채워서 이용하는 방법(養父 등, 2000), ④ 산림표토를 가능한 한 교란시키지 않고 조성지에 이식하는 표토이식공법(高橋 등, 2001) 등이 행해지고 있다. 또한 이 표토이식공법은 표토 매트 상태로 비탈면에 붙이는 표토매트공법이라는 공법으로 발전하고 있다(梁川 등, 2003).

이러한 매토종자를 이용하는 방법은 ① 조기에 종다양성이 풍부한 식물군락형성이 가능하고(細木 등, 2002), ② 지역고유의 유전자 풀(pool)을 가진 목본군락의 형성이 가능하며(中村 등, 2002), ③ 현장발생토의 리사이클이 가능한 점 등의 이점을 갖는 최첨단의 우수한 식생회복방법

으로 평가받고 있다(高政鉉 등, 2004).

그러나 문제점도 있어, 표토중의 매토종자의 종조성(種組成) 및 밀도가 미지이기 때문에 성립하는 군락상, 목본 성립밀도의 예측이 곤란한 점, 적절한 토양채취지, 채취시기, 채취심도가 명확하지 않은 점, 표토채취에 막대한 노력이 든다는 점 등을 열거할 수 있다(中村 등, 2002; 高政鉉, 2007). 또한 종자를 포함한 표토의 유효활용을 위해 하층기반과의 조합방법, 표토 도입방법, 시공 및 그 후의 유지관리에서 어떠한 품질관리를 하지 않으면 안 될까 하는 것 등에 관해 아직 명확한 기준은 없다.

따라서 이러한 매토종자의 이용에 있어서 가장 중요한 것은 현장에서 채취한 산림표토가 갖고 있는 발아능력을 주변 종자의 침입을 차단할 수 있는 온실에서 시험하여 파악하는 것이라 할 수 있다(上田 등, 2004).

본 실험연구의 목적은 개발예정지에 분포하고 있는 산림표토가 어느 정도의 발아능력을 가지고 있는가를 ‘온실안’이라고 하는 식물의 발아·생장에 가장 적합하며 주변으로부터의 식생침입을 완전히 차단한 환경에서 명확히 파악하여, 기존 수림의 식생조사에서 확인된 목본과 표토로부터 발아된 목본과의 비교를 통하여 토양시드뱅크에 의한 기존림 식생복원가능성에 대해 평가하며, 마지막으로 토양시드뱅크 이용 수법의 구체적인 방향에 대한 제언을 하는 것에 있다.

II. 재료 및 방법

1. 개발예정지의 개황

개발예정지는 일본 후쿠이현 쥬루가시(북위 35도39분, 동경 136도03분)의 와카사만 국정공원내의 산림이다. 이곳은 기존에 있는 원자력발전소의 증설에 의해 발생하는 거대한 깎기 비탈면을 생태적으로 복원하기 위한 연구가 진행된 곳이며, 현지의 입지환경특성을 표 1에 제시하였다(上田 등, 2004).

대상지는 일본에서 1997년 환경영향평가법이 발효되어 적용된 최초의 대규모 개발사업의 현장으로 환경영향평가 단계에서부터 바다의 매립지 면적을 축소시키고, 생태계의 보전과 조기에 기존수림을 복원하는 등의 환경영향저감조치가 요구된 곳이다.

2. 수림현황조사

기존수림에 대한 현황조사는 표토채취지인 쥬루가발전소의 개발예정지의 산림이 어떤 식생단위와 입지조건을 갖고 있는 지 파악하기 위해 표토채취전에 수행하였다. 이 조사는 상술한 No 1~No7까지의 지점에서 채취한 표토를 사용하여 온실에서 실시한 발아능력실험의 발아종과의 유사성을 파악하기 위해 실시하였다.

조사방법은 각 지점에서 10m×10m의 방형구

를 설정하여 방형구안에서 수고 1m 이상의 목본종을 대상으로 수종명을 동정하고 수고와 흉고직경을 측정하였다.

3. 표토채취

2001년 12월 1일에 상술한 No1~No7까지의 총 7지점의 표토를 각각 40ℓ, 2자루씩(80ℓ/지점) 총 14자루(280ℓ)를 인력으로 채취하였다. 상기의 7지점을 표토채취 장소로 선정된 이유는 개발예정지내에 있어 표토채취로 인해 또 다른 자연파괴를 일으키지 않으며 입목밀도가 높고, 일조가 직접적으로 닿지 않는 곳에 있기 때문이다(高政鉉, 2004).

채취지점의 지형적 위치는 ① 골짜기의 토양 중에 존재하는 매토종자는 종자밀도는 크지만 발아하지 않는 비율이 높고, 산등성이나 골짜기보다도 중간부분에서의 매토종자의 밀도가 높다는 연구결과(中村 등, 2002)와 ② 종다양성도 중간부분 비탈면이 계곡이나 산등성이 보다 높다는 기존연구(Ashton et al. 1998) 등을 참고로 하여 산림비탈면의 중간부분과 중하부 비탈면을 중심으로 선정하였다.

채취두께는 낙엽층을 포함하여 지표로부터 A₀층과 A₁층까지의 약 0.5~12.0cm를 대상으로 하였다. 그리고 채취한 표토는 현지의 기존수림내의 음지에서 최저기온 5℃ 이하의 환경아래에서

표 1. 개발예정지의 입지환경특성.

구 분	No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7
현존식생의 우점종	소나무		졸참나무	구실잣밤나무	졸참나무	소나무	곰솔
표 고	50m	45m	50m	35m	80m	90m	25m
연평균기온	14.8℃						
연평균강우량	2,418.9mm						
방 위	N30°W	S55°W	S75°W	N70°W	N40°W	N30°W	N70°W
경 사	37°	12°	37°	7°	27°	8°	34°
토 성	사토	식양토	사질양토	미실시	식양토		사토
100m ² 당 입목본수	79본	143본	138본	57본	39본	96본	76본
표토층 두께	12.0cm	1.0cm	4.5cm	5.0cm	8.0cm	0.5cm	2.5cm

1개월간 흙자루에 담아 자연상태로 보존하였다.

4. 표토포설

산림에서 채취한 표토는 현지에서 1개월간 보관 후 온실로 가져와서 ① 바로 포설하는 1차 실험과 ② 채취 후 기존수림의 같은 장소에서 1년 더 보관한 뒤 포설한 2차 실험으로 구분하여 각각 1검체를 4개의 육묘상에 5cm 두께로 포설하였다. 포설량은 약 36ℓ 「(0.36×0.51×5cm 두께×4개)/1 검체」이며, 미리 육묘상에는 발아상으로서 인공경량토를 5cm 두께로 포설해 두었다(그림 3, 그림 4). 이와 같이 표토의 발아능력실험을 1차·2차로 나눠서 실시한 이유는 표토이용 녹화공을 시공하는 경우, 표토의 채취시기와 시공시기의 사이에 시간적인 공백이 발생할 수 있기 때문에 1년간의 상온보관에 의한 발아능력감소의 실태를 파악하기 위해서였다.

표토의 포설은 1차 실험을 2002년 1월 11일에, 2차 실험을 2002년 12월 3일에 실시하였으며, 포설 후에는 관수(7~9월=3회/일, 10월~6월=2회/일의 빈도로 매일, 관수방법은 자동관수로 1회당 5분간 실시), 온도관리(20℃), 병해충방제 등의 유지관리를 실시하였다.

5. 모니터링조사 및 평가수법

표토포설 2개월 후부터 토양시드뱅크로부터의

식물의 발아·생육상황을 확인하기 위해 2개월에 1회의 빈도로 ① 동정(초본·목본), ② 목본발아본수, ③ 수고·초장, ④ 피복율에 대해 모니터링을 실시하였다.

발아능력실험에서 가장 중요한 항목은 출현종수와 개체수의 2가지 항목이며 이번 실험에서는 종다양도를 정량적으로 평가하기 위해 Simpson 다양도지수(D=1-Σpi²)를 사용하였다. 여러 다양도 지수 중에서 Simpson 다양도지수를 사용한 이유는 α다양성(1개의 서식지의 다양성), β다양성(서식지간의 종조성의 차이), γ다양성(전서식지의 다양성)을 거의 정확하게 평가할 수 있는 장점이 있기 때문이다(Lande, 1996; 伊藤·佐藤, 2002).

이 연구에서는 1차 및 2차 실험을 합쳐 전 12회의 조사 데이터에서 목본종의 출현종수와 개체수의 최대값을 선택하여 Simpson 다양도지수를 산정한 후에 Simpson 다양도지수와 출현종수의 양면에서 군락구분별로 종다양도(종의 풍부도, 구성종간의 개체수의 균등성)를 평가했다.

한편 기존수림에 대한 조사와 온실에서의 발아능력실험의 조사면적이 상이하기 때문에 종수의 대소를 비교할 수 없었다. 이것은 포설면적을 늘리면 어느 정도까지는 종수가 증가하기 때문이며, 이를 보완하기 위하여 각 조사에서 얻어진 종수 데이터를 이용하여 서브플롯의 개수를 조합한 즉 면적을 크게 한 경우의 종수를 산출하였다. 그

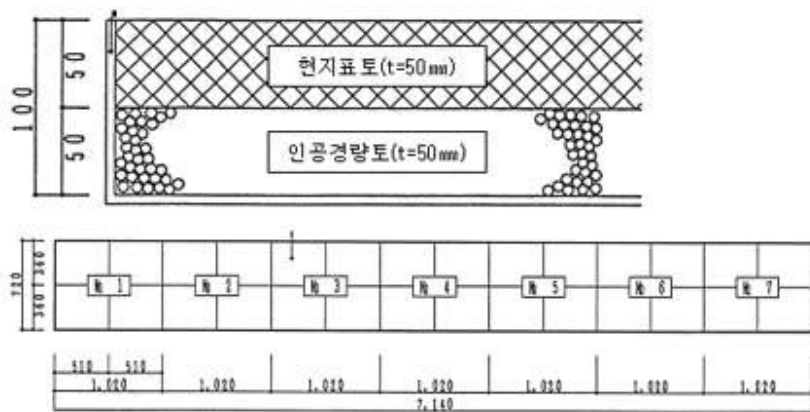


그림 3. 산림표토의 포설상황.

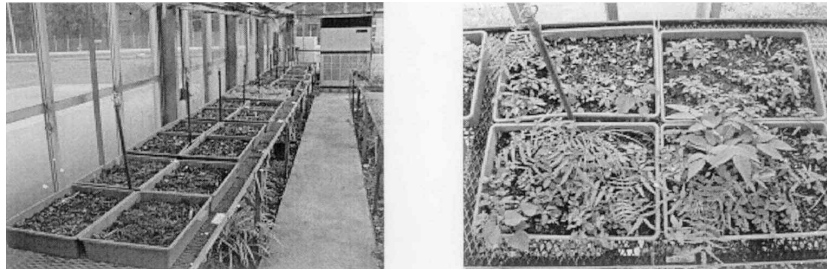


그림 4. 온실내에서의 발아능력실험의 근경.

래서 다른 면적에서 출현한 종수의 차이를 종수-면적 곡선을 써서 비교하여 조사면적이 종다양성에 미치는 영향을 평가하였다(中村 등, 2002).

일반적으로 종의 풍부도는 조사면적에 크게 의존한다. 조사면적(A)과 종의 풍부도(S)의 사이에는 「 $S=CA^z$ 」의 자승관계가 성립하고 실측치에 이 식을 대입하여 작성된 곡선을 ‘종수-면적곡선’이라고 한다(Arrhenius, 1921). 여기서 C와 z는 정수이고, z는 1보다 작은 정의 수이며 실제에는 이 식을 대수변환한 「 $\log(S)=z\log(A)+\log C$ 」이 더욱 많이 이용된다. 또 다른 종수-면적 곡선은 「 $S=z\log(A)+C$ 」이라고 하는 지수함수의 곡선이 있다(Gleason, 1922).

III. 결과 및 고찰

1. 표토채취지점별 상황

1차실험 및 2차실험의 전 조사결과에서 당해 실험에서 가장 중요한 목본의 출현종수, 개체수

및 Simpson다양도지수의 3항목을 발췌하여 표토 채취지점별로 정리하여 이하의 표 2에 제시하였다. 그리고 표토채취지점별 개체수는 1~6회까지의 각 회의 본수를 합제한 수치이다.

2. 군락구분별 상황

본 실험에 이용된 표토는 전술한 7개 지점에서 채취한 것으로 소나무군집(No1,2,6), 졸참나무군집(No3,5), 구실잣밤나무군집(No4), 곰솔군집(No7)의 4군락으로 대별된다. 당해 개발예정지에서 장래의 이용에 있어서는 군락별 평가가 중요하기 때문에 상술한 표토채취지점별 데이터로부터 수종별 최대치를 이용하여 군락구분별로 다시 집계하였다(표 3).

1) 출현종수

합계치의 비교에서는 출현종수에 대해 1년간의 보존기간중에 표토의 유출이나 건조해 등에 의해 1차실험 36종에 비해 2차실험에서는 25종

표 2. 표토채취지점별 조사결과.

구 분		No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	합계
출현종수 (종)	1차	9	14	14	20	16	16	8	36
	2차	10	11	14	19	13	6	11	25
개체수 (본)	1차	554	579	104	106	406	595	46	2,390
	2차	1,782	374	507	127	385	284	106	3,565
Simpson 다양도지수	1차	0.098	0.380	0.688	0.871	0.315	0.284	0.783	0.381
	2차	0.045	0.442	0.538	0.905	0.426	0.209	0.695	0.336

표 3. 군락구분별 조사결과.

구 분		소나무	졸참나무	구실잣밤나무	곰솔	합계	평균	표준편차
출현종수 (종)	1차	23	21	20	8	36	18.00	6.78
	2차	16	19	19	11	25	16.25	3.77
개체수 (본)	1차	696	421	106	46	1,269	317.25	301.34
	2차	1,868	514	127	106	2,615	653.75	830.95
Simpson 다양도지수	1차	0.40	0.36	0.87	0.78	0.51	0.60	0.26
	2차	0.13	0.55	0.91	0.70	0.36	0.57	0.33

으로 11종(30.6%) 감소했다. 그러나 1차실험과 2차실험에서 군락별의 출현종수는 평균값이 각각 18.00과 16.25, 표준편차가 6.78과 3.77로, 독립샘플의 T검정을 한 결과, 유의차는 인정되지 않았다($p=0.67>0.05$).

또한 2차실험은 채취한 표토를 1년간 흙자루에 저온보관하여 주변의 종이 침입하는 것을 차단했기 때문에 엄밀한 의미에서의 연속적인 토양시드뱅크의 확인이 가능했다고 할 수 있다.

2) 개체수

개체수에 대해서는 출현종수와 반대로 1차실험의 1,269본에 비해 2차실험에서는 2,615본으로 1,346본(106.1%) 증가했다. 이러한 증가의 원인은 매화오리 1종의 발아에 의한 것으로 1차실험에서는 전체의 77.74%를 차지하였고, 2차실험에서는 80.59%를 차지했기 때문이다.

이러한 매화오리의 현저한 발아는 표토채취지의 매토종자안에 매화오리의 종자가 다수 포함되어 있었기 때문이고, 이렇게 특출하게 발아하는 경우는 토양시드뱅크 방법에서는 종종 일어나는 것으로 매화오리는 채취년도에 따라 발아의 변동이 심한 종이다. 그러한 까닭에 이번과 같이 작은 면적에서 실시한 온실 발아능력실험에서 1,782본의 발아가 확인된 것도 충분히 가능성이 있는 것이다.

한편 1차실험과 2차실험에 있어 군락별 개체

수는 평균치가 각각 317.25와 653.75, 표준편차가 301.34와 830.95이었으며, T검정을 한 결과, 유의차는 인정되지 않았다($p=0.48>0.05$).

3) 종다양도의 비교

Simpson 다양도지수에 대해서는 1차실험 0.51에 대해 2차실험 0.36으로 0.15포인트(29.5%) 감소하였다. 군락별 다양도지수는 평균치가 각각 0.60과 0.57, 표준편차가 0.26과 0.33으로 독립샘플의 T검정을 한 결과, 유의차는 인정되지 않았다($p=0.87>0.05$). 또한 Simpson 다양도지수와 출현종수의 양면에서 군락구분별로 종다양도 및 매토종자 발아능력을 비교하면 출현종수에 대해서는 곰솔군집(+3종)을 제외하고 모든 군락에서 종수가 감소했다. 가장 감소율이 높은 것은 소나무군집의 -7종(-30.4%)였다.

그리고 종다양도가 가장 높은 군락은 구실잣밤나무군집, 다음은 소나무 및 곰솔 군집, 최저는 1·2차실험 모두 Simpson 다양도지수는 높은 반면 출현종수가 나머지 3군락에 비해 극단적으로 작았던 곰솔군집이었다.

4) 종의 생육변동

1차실험에서는 36종, 2차실험에서는 25종의 발아·성립이 확인되었고 이 중에 1차실험에서만은 15종, 2차실험에서만은 4종, 두 실험 모두에서는 21종의 출현이 확인되었다. 1·2차실험의

표 4. 표토채취지의 목본종과 발아능력실험에서의 출현종의 비교.

구 분	소나무군집	졸참나무군집	구실잣밤나무군집	곰솔군집
기존수림출현종	32	29	10	15
발아능력실험출현종	28	27	28	14
공통종	9	13	6	5

공통종 21종 가운데 9종은 내건성이 뛰어난 견과(乾果)이었고 대부분은 종자의 수명이 긴 선구수종이었다. 출현종에 대한 상세는 지면관계상 생략하지만 저자의 다른 문헌(高政鉉, 2007)을 참고하길 바란다.

한편, 표토채취지의 기존수림현황조사에서 확인된 목본종과 발아능력실험에서의 출현종간의 Sørensen의 유사계수 $[2c/(a + b)]$, a, b : 출현종수, c : 공통종수는 졸참나무군집이 0.46, 곰솔군집이 0.34, 구실잣밤나무군집이 0.31, 소나무군집이 0.30의 순이었다(표 4).

5) 종수와 면적의 상관관계

4개의 군집가운데 가장 면적이 크며 본 실험장소의 대표적인 식생군락인 소나무군집(No1,2, 6 : 합계면적 약 2.2m²)에 있어 출현종수를 이용하여 회귀분석을 한 결과, 자승함수와 지수함수에 대한 조정후의 R²의 값이 0.749대 0.593으로 나와 $\log(S)=z\log(A)+C$ 의 식을 사용하여 'log(종수)=0.352log(면적)+0.982'란 식이 구해졌다.

이 식으로부터 2.2m² 면적에서의 종수를 구하면 종수=10^{1.102}=12.66이 되어 실제의 약 2.2m²의 면적에서 출현한 종수의 합계인 18종과는 차이가 있었다. 이것은 조사면적이 상당히 작고 표본수가 적었기 때문에 정확한 숫자의 비교는 되지 않았기 때문이다. 그러나 조사구의 면적에는 한계가 있기 때문에 종수-면적곡선의 증가는 어느 경우든 한계점에 이른다는 선행연구(鷺谷·矢原, 1996)와 같은 결과가 확인되었다. 이 식에 대한 종수와 면적과의 상관관계는 다음 그림 5와 같다(高政鉉, 2007).

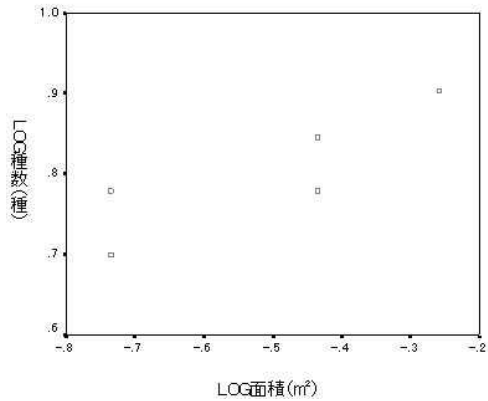


그림 5. 소나무군집에서 종수와 면적의 상관관계.

3. 고찰

표토채취지점의 기존수림조사 결과와 발아능력실험의 출현종간의 Sørensen의 유사계수는 0.41이었으며, 충분한 개체수가 확인되었기에 현지표토는 전체적으로 발아능력을 갖고 있다고 평가할 수 있다.

이번 실험에서 1차실험보다 2차실험의 경우가 출현종수에 있어서는 전체적으로 약 30%가 감소한 경향을 보여주었다. 기존림 복원을 위한 자재로서 산림표토를 이용하고자 하는 경우 출현종수의 감소는 커다란 장애요인이 될 수 있으며, 1년간 현지 보관한 표토는 바로 포설할 것에 비해 약 30%의 발아능력 저하가 확인되었다고 할 수 있다. 그러므로 실제의 사용에 있어서는 적극적으로 보관을 피하고 개발예정지외의 지역에서 채취를 검토할 필요가 있다고 생각된다.

해당 식생군집의 지표종이나 대표종, 기존 수림에서는 다수 성립하고 있음에도 불구하고 발아능력실험에서는 전혀 발아하지 않았던 종에 대해

서는 자생종묘의 생산이나 식재, 산에서 굴취하여 식재하는 등 별도의 대책을 강구하여 적극적으로 종의 보전에 노력할 필요가 있다. 또한 기존 수림에서는 많이 있었지만 자연공원지역이어서 간벌 등의 인위적인 간섭을 할 수 없었기에 반대로 극도의 일조불량을 받아 충분한 개화, 결실이 촉진되지 않고 매토종자로서 존재하지 않는 가능성이 발생하였다. 이러한 종의 개화, 결실을 위해서는 개발예정지에 대해서는 미리 사업개시 2~3년 전부터 적절히 간벌을 하는 등의 유효한 조치를 취하는 것이 중요하다(高政鉉, 2004).

IV. 제 언

본 실험을 통해 현지발생 자연소재인 표토를 이용하여 기존수림을 생태적으로 복원하기 위한 토양시드뱅크의 이용 녹화 가능성에 대해 검토해보았다. 이를 통해 토양시드뱅크이용 식생복원 수법의 바람직한 방법에 대하여 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

1. 표토채취에 관한 항목

채취방법은 품질확보를 위해 인력으로 채취하는 것이 바람직하다. 그러나 대량채취가 곤란하고, 비용증가 등의 과제가 남아있다. 최근 표토에 포함되는 토양시드뱅크를 활용하는 녹화공이 각지에서 시공되고 있다. 이 공법들은 인력채취에 드는 수고를 덜고 작업능률을 높이기 위해 전용의 흡인기와 공기압축기를 사용하여 표토를 흡인하는 경우가 있으나, 비용과 표토의 질(발아율)의 어디에 주안점을 두느냐에 따라 채취방법을 달리 평가해야 하는 것이 앞으로의 과제이다.

표토채취는 A₀층과 A₁층까지를 대상으로 하고 취부기반재에 혼합하는 경우에도 반드시 L층을 채취하여 체로 거른 뒤 사용하는 것이 바람직하다. 채취시기는 당해년도의 낙과(落果)가 완료한 늦은 가을부터 초겨울까지가 가장 바람직하지만 매토종자의 발아를 억제하는 의미에서 별채전에

채취하는 것이 좋다.

2. 표토보관에 관한 항목

적극적으로 보관은 피하고 사용하는 것이 바람직하나 여의치 않을 경우 절대로 건조시키지 않도록 유의하며 윤택한 수림내, 흙속, 터널의 내부, 습기가 있는 계곡 주변 등을 선정하여 보관하도록 한다.

또한 적재의 방법도 있으며 미리 지면에 목재의 파렛트를 깔고 그 위에 흙자루에 담은 표토를 적재하고 시트로 피복양생해서 보존할 수도 있다(마저스일協會, 2005).

3. 복합공법의 필요성

토양시드뱅크 이용녹화는 우수한 기술이지만 매토종자로부터 발아가 곤란한 종도 적지 않기 때문에 이 공법을 중심으로 하여 발아가 곤란한 종에 대해서는 자생종의 종자를 따서 파종하거나 묘목으로 길러서 식재하는 방법, 산에서 굴취하여 식재하는 등 별도의 대책을 강구하여 적극적으로 종의 보전에 노력할 필요가 있다.

4. 발아능력 실험의 중요성

토양시드뱅크를 종자의 공급원으로서 활용하는 녹화공을 하고자 하는 경우는 채취예정지의 표토를 사용해서 본 실험과 같이 주변으로부터 종의 침입을 완전히 차단한 후 실생출현법에 의해 발아능력에 대한 실험을 하는 것이 가장 중요하다. 왜냐하면 야외에서의 녹화시공시 출현하는 종은 외부침입종인지 토양시드뱅크 출현종인가를 명확히 구분하기 어렵기 때문에 이를 파악하는 것이 매토종자에 대한 확인과 시공불량의 확인 등 원인을 조사하기 위해서도 가장 중요한 것이다.

마지막으로, 환경친화적인 생태복원을 위해 앞으로 가장 중요한 것은 자연의 형성과정을 이해하고, 이에 순응하면서 개발에 따라 파괴된 자연

이 그 본래의 치유력으로 천이해 가는 과정에 인간이 약간의 도움을 준다고 하는 것이 녹화라는 것을 명심하는 것이다(고정현 등, 2006). 또한 한국에서도 일본이 주변의 이차적 자연과 어울리는 생태복원을 도모하려 하는 자연회복녹화를 적극적으로 추진하고 있듯이 이제부터는 외래목초에 의지하는 급속녹화의 방식을 탈피하고자 노력하려는 자세가 필요한 시점에 왔다고 하겠다.

인 용 문 헌

- 高政鉉. 2004. 造成地における自然環境復元手法に関する實驗研究. 京都大學大學院 修士學位論文. 59pp.
- 高政鉉. 2007. 自然回復綠化における土壤シードバンクを用いた手法の有効性に関する評價. 京都大學大學院 博士學位論文. 106pp.
- 高政鉉・上田 徹・笹木義雄・森本幸裕. 2004. 造成地における森林表土を用いた自然回復綠化に関する實驗研究. 日本綠化工學會誌 30(1) : 15-20.
- 高政鉉・上田 徹・森本幸裕・柴田昌三. 2006. 自然回復綠化における土壤シードバンク利用と市販種子利用の評價. 日本綠化工學會誌 32(1) : 62-67.
- 고정현・吉田 寛・김남춘. 2006. 일본의 비탈면 녹화공법 발전과정과 전망. 한국환경복원녹화기술학회지 9(1) : 100-108.
- 中野 裕司. 2000. 切土法面の綠化現場からの郷土種問題. 日本綠化工學會誌 16(2) : 92-100.
- 中村彰宏・衣笠斗基子・陣門泰輔・谷口伸二・佐藤治雄・森本幸裕. 2002. 埋土種子, 種數, 多用度指數—面積曲線による森林表土撒き出し綠化の評價. 日本綠化工學會誌 28(1) : 79-84.
- マザーソイル協會. 2005. 表土シードバンク活用綠化工設計・施工の手引き(案). 75pp.
- 佐藤治雄・堤光・森本幸裕・瀧川幸伸. 1999. 森林表土播き出しによる荒廢地綠化に関する基礎研究. ランドスケープ研究 62(5) : 521-524.
- 梁川俊晃・柴田昌三・上村惠也・徳永正夫・衣笠斗基子. 2003. 表土マット移植工法を用いた法面綠化に関する調査研究. 日本綠化工學會誌 29(1) : 265-268.
- 養父志乃夫・山田宏之・中島敦司・中尾史郎・松本勝正. 2000. 土嚢袋を用いた表土利用型法面綠化工法の評價. ランドスケープ研究 63(5) : 447-450.
- 梅原 徹. 2001. ダム建設, 森本幸裕・龜山 章編著. ミティゲーション—自然環境の保全・復元技術—, ソフトサイエンス社 pp.310-324.
- 上田 徹・高 政鉉・森本幸裕. 2004. 自然公園區域における既存林修復の可能性實驗(I) 埋土種子ポテンシャル實驗. 日本綠化工學會誌 30(1) : 257-260.
- 上杉 章雄・中村彰宏・佐藤治雄・森本幸裕. 2001. 埋土種子を利用した吹付綠化工の試験施工および植物生育結果. 日本綠化工學會誌 27(1) : 296-299.
- 吉田 寛・고정현. 2005. 일본에 있어서의 과중공에 의한 법면녹화와 자연회복녹화. 한국환경복원녹화기술학회지 8(4) : 83-89.
- 山寺喜成・堀江保夫・倉田二郎. 1976. 亞高山地帯における綠化復元に間する實驗的研究—富士スバルライン沿線の綠化復元の實驗—, 綠化工技術 3(2) : 1-32.
- 鷺谷いづみ・矢原徹一 編著. 1996. 保全生態學入門, 文一總合出版. 256pp.
- 鷺谷いづみ・草刈秀紀 編著. 2003. 自然再生事業—生物多様性の回復をめざして, 築地書館. 371pp.
- 伊藤嘉昭・佐藤一憲. 2002. 種の多様性比較のための指數の問題点—不適当な指數の使用例も多い—. 生物科學. 53 : 204-220.
- 日本綠化工學會 斜面綠化研究部會. 2004. のり面における自然回復綠化の基本的な考え方のとり

- まとめ. 日本緑化工學會誌 29(4) : 509-520.
高橋輝昌・生原喜久雄・峰松浩彦. 2001. 森林移植工法により造成された皇居東御苑の雑木林土壌の理化學的性質の変化. 日本緑化工學會誌 27(2) : 430-435.
- 細木大輔・米村惣太郎・龜山 章. 2002. 森林表土を用いて緑化したのり面における初期の木本の生育. 日本緑化工學會誌 28(1) : 73-78.
- Andel, J. V., and J. Aronson. 2005. Restoration Ecology. Blackwell Science Ltd. 319pp.
- Arrhenius, O. 1921. Species and area. *Journal of Ecology*, 9 : 95-99.
- Ashton, P. M. S., Harris, P. G., and Thadani, R. 1998. Soil seed bank dynamics in relation to topographic position of a mixed-deciduous forest in southern New England, USA. *Forest Ecology and Management*, 111 : 15-22.
- Baskin, C. C., and J. M. Baskin. 2001. Seeds : Ecology, Biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego. 613pp.
- Choi, Y. D. 2004. Theories for ecological restoration in changing environment : Toward 'futuristic' restoration. *Ecological Research*, 19 : 75-81.
- Gleason, H. A. 1922. On the relation between species and area. *Ecology*, 3 : 158-162.
- Lande, R. 1996. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos*, 76 : 5-13.
- Thomson, K., J. P. Bakker and R. M. Bekker. 1997. The soil seed banks of North West Europe : methodology, density and longevity. Cambridge University Press, Cambridge. 276pp.
- Thomson, K., and J. P. Grime. 1979. Seasonal Variation in the Seed Banks of Herbaceous Species in Ten Contrasting Habitats. *Journal of Ecology*, 67 : 893-921.