韓國環境復元技術學會誌 18(1) : 153～163(2015) DOI : http://dx.doi.org/10.13087/kosert.2015.18.1.153
J. Korean Env. Res. Tech. 18(1) : 153～163(2015) ISSN 1229-3032

생태복원용 소재로서 현지자원의 이용가능성 파악을 위한 발아실험 연구*

김경훈 · 김 용 · 주 백 · 허영진

일송환경복원(주)

Seed Germination Study to Determine the Feasibility of Local Resources as Materials for Ecological Restoration*

Kyung-hoon Kim · Young Kim · Paik Joo and Young-jin Hur

Ilsong ERT co., ltd. #2401, U-Tower Bldg., 120 Heungduk-Joongangro, Giheung, Yongin, Korea.

ABSTRACT

The study was conducted to develop ecological restoration method of damaged area in DMZ vicinities. As the material for the ecological restoration, forest soil and trees waste have been used. Forest soils were collected for experiments in Yanggu, Gangwon Province. Effect of ecological restoration was analyzed through germination experiment.

Germination experiment was performed using 12 kinds of woody and herbaceous seeds. Woody and herbaceous seed germination in test pot was relatively evenly. Mixed material consisting of forest soil and trees waste seemed a possibility as the material for the restoration. The effects on seed germination were higher in the case of mixing more than 70% by volume ratio of local resources.

Total number germinated individuals were different depending on the mixing ratio of soil sampling depth. Individual plants showed different trends depending on the experimental combination. Results of the woody seed germination were affected only in the soil sampling depth. Seed germination of herbaceous received a combined effect on soil sampling depth and mixing ratio.

Key Words : *DMZ vicinities, Forest soil, Trees waste, Seed germination, Restoration.*

---

* 본 연구는 2014년도 환경부 환경산업선진화기술개발사업의 지원으로 작성되었습니다.

First author : Kyung-hoon Kim, Ilsong ERT co., ltd. #2401, U-Tower Bldg., 120 Heungduk-Joongangro, Giheung, Yongin, Korea,
Tel : +82-31-898-4971, E-mail : kim-hooney@hanmail.net

Corresponding author : Young-jin Hur, Ilsong ERT co., ltd. #2401, U-Tower Bldg., 120 Heungduk-Joongangro, Giheung, Yongin, Korea,
Tel : +82-31-898-4971, E-mail : yjh1925@hanmail.net

Received : 30 January, 2015. **Revised** : 12 February, 2015. **Accepted** : 13 February, 2015.

I. 서 론

비무장지대(DMZ)는 길이 248km에 달하며, 총 면적은 약 904km^{2}로서, 정부는 DMZ의 효과적인 관리를 위해서 군사분계선에서 10km 내에 민간인 통제선을 설정하여 민간인의 출입을 제한하고 있으며, 그 아래 20km 범위에 속하는 지역들을 접경지역으로 관리하고 있다. DMZ 일원은 지역적으로 구분할 때 DMZ를 포함한 그 인접지역을 말하며, 남한 만을 고려할 때에는 DMZ와 그 남쪽으로 인접한 지역이라고 정의할 수 있으나, 일반적으로 DMZ, 민통선(CCL) 이북지역, 접경지역지원법에 의한 접경지역을 포함하는 의미로 사용되고 있다(KEI, 2003).

이 지역은 생태적인 가치가 매우 높지만, DMZ 일원 생태계가 안고 있는 현실은 도로, 철도, 산불, 산사태, 농업, 군사시설, 개발사업 등으로 인하여 서식지 단절, 재해로 인한 훼손면적의 확대 및 외래종 유입 등의 문제점을 안고 있다(Green Korea, 2008). 외래종 유입의 문제는 점점 심각해지고 있는데 민통선 이북지역과 DMZ를 관통하는 경의선과 동해선 구간 일대에 족제비싸리, 호밀풀, 큰김의털, 돼지풀 같은 외래 식물들이 침투하여 급속히 서식 범위를 넓혀 가고 있으며(KFRI and MOE, 2004; Oh, 2012), 이들 외래종은 넓게 확산되어 DMZ 일원에서 식생조성을 교란시킬 수 있다는 우려를 낳고 있다. 민통선 이북지역 일대의 식물조사 연구에서 귀화율을 분석한 결과 통행량이 많은 중서부지방에서의 귀화율이 동부(산악지형)보다 높았으며, 주로 양지에서 자라는 종 위주로 풍산포형 보다는 중력산포형의 외래종이 많이 확산된 것으로 나타나고 있다(Kim et al., 2008). 이러한 현상은 사람이나 차량의 이동이 외래종 확산의 통로로 작용할 수도 있다는 것을 의미하고 있다.

따라서 DMZ 일원의 훼손지를 복구할 때에는 식생관리가 매우 중요하며, 시공 방법도 일반적인 조기녹화 차원이 아니라 생태복원 관점에서 시작할 필요가 있으며, 이를 위해서는 식물의 생육기반이 되는 지형 및 식생기반의 복원, 현지의 자생식물종에 의한 식생복원을 주된 방향으로 삼아야 할 것이다. 특히 도로 개설이나 산사태 등에 의해서 발생하는 비탈면은 식생복구에서 대표성을 가진다고 할 수 있는데, 녹화에 사용하는 종자는 그 지역에서 채취한 것을 사용하는 것이 바람직하며, 그 이유는 유전적 변이도 적고 지역 적응성도 우수하기 때문이라고 알려져 있다(Knapp and Rice, 1994).

일본에서는 2009년에 개정된 생태복원공사의 지침서라고 할 수 있는 「도로토공-절토공, 사면안정공지침」에 파종공에 사용되는 주요한 식물로서 재래목본류 25종이 기재되었으며, 새로운 식생복원공으로서 산림표토이용공, 자연침입촉진공, 자원순환형녹화공, 식생자루를 이용한 식재공이 실리는 등 생물다양성에 관한 사항이 대폭 추가되었다(Japan Road Association, 2009). 이것이 의미하는 바는 더 이상 외국산 종자에 의존하지 않고 고유의 유전자원이 유지될 수 있는 자생종자의 활용과 현지의 표토안에 있는 매토종자(seed bank)의 활용 및 자원순환형 사회에 적응할 수 있는 현지 자원의 활용까지도 고려한다는 점이다. 최근 일본에서는 현장에서 발생한 임목폐기물을 퇴비화하지 않고, 현장 내에서 현장발생토와 혼합하여 그대로 비탈면 녹화용 식생기반재로 이용하는 방법이 가장 많이 이용되고 있다(Koh et al., 2010).

국내에서도 토양 내에 함유되어 있는 매토종자와 함께 현지발생재(임목폐기물 파쇄칩 등) 등을 적절히 혼합하여 최적의 방법으로 현장에 사용하는 실용적인 연구도 진행된 사례가 많이 있다. 또 다른 이용방법으로는 현지발생재를 기계로 파쇄한 칩을 별도의 공정을 통하여 퇴비화한 후 녹화용 식생기반재로 이용하는 방법과 파쇄한 칩을 수목 식재지의 보습 효과 개선 및 잡초방제를 위한 멀칭재로 사용하는 방법 등이 있다(Hur et al., 2009).

생태복원을 지향하는 연구적인 측면과는 달리 국내에서 행해지는 대부분의 녹화공사 현장에서는 녹화용 재료 대부분을 외부에서 반입하게 되는데, 이 경우 토양 내에 타 지역의 종자가 유입될 수 있으며, 또한 부숙이 완전히 되지 않은 폐기물 등을 재사용함으로써 2차 오염이 발생할 수 있는 우려가 남아 있다.

결국 DMZ 일원이나 생태경관보전지역, 국립공원이나 백두대간 등의 훼손지 복원에는 그 지역 자연식생 자체를 생태적 복원의 모델로 삼으면서(Turner, 1987; Kim et al., 2008), 외부자원의 반입을 최소화하면서 현지자원을 이용한 복원이 필요할 것으로 보이며, 또한 위에서 제시한 생태복원의 목표를 달성할 수 있는 실용적인 기술의 개발도 현 시점에서 매우 필요하다고 판단된다. 따라서 본 연구는 DMZ 일원 훼손지를 생태적으로 식생복원하기 위하여 현지 채취 토양, 임목폐기물 등의 현지자원을 생태복원용 소재로 활용할 수 있는지 여부를 파악하기 위하여 실시하였다.

II. 연구방법

DMZ 일원 훼손지의 식생복원을 위한 연구대상지로서 과거 태풍에 의한 산사태 피해지가 아직 많이 남아 있어 복원사업이 절실한 동부권역을 우선적으로 선정하였으며, 이중에서 현지토양 채취 장소로 강원도 양구군 해안 현리 일대(민간인통제구역 내)를 선정하였다. 토양은 DMZ와 인접한 곳 중에서 비교적 안전하다고 판단되는 마을 주변 숲[1]에서 실험용으로 채취하였다. 채취 장소는 지뢰가 제거된 지역으로서 상층 식생은 소나무와 신갈나무, 졸참나무 등이 혼합되어 있는 혼효림이었으며, 군사 훈련의 목적으로 주기적으로 답압이 일어남에 따라서 하층식생은 발달하지 못한 상태이었다.

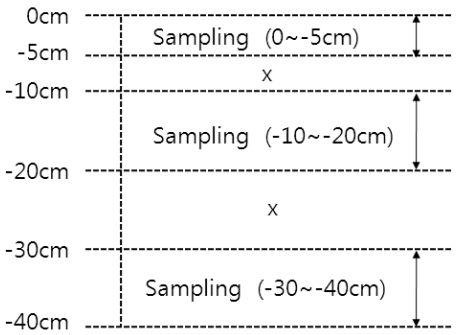

Figure 1. Soil sampling depth for experiments.

실험용 소재로서 낙엽층을 조심스럽게 걷어낸 후 표층에서 지하부 5cm 까지 토양을 채취하였으며, 일정 깊이까지 토양을 걷어낸 후 10~20cm, 30~40cm 깊이의 토양을 각각 채취하였다. 채취한 토양은 통기가 잘 되는 자루에 담아 실험실로 즉시 운반하여 배합 실험에 사용하였다.

실험을 위한 혼합토양 배합에서는 현지토양 채취 깊이의 3수준과 혼합재료 배합비율 5수준(완전임의배치법)으로 하였으며, 동일한 조건의 실험구를 3반복으로 제작하여 실험하였다. 또한 비교를 위한 대조구로서 얇은층 식생기반재 뿜어붙이기공법에 적용하는 생육보조재인 “o” 제품을 이용하였다.

현지에서 채취한 토양에 배합비율에 따라 임목파쇄칩을 혼합하였으며, 녹화기반으로서 성상을 맞추기 위하여 상토를 일정비율로 혼합하였다. 임목파쇄칩은 주로 소나무와 낙엽송이 혼합된 임목 뿌리분을 파쇄한 재료로 파쇄장비의 스크린 규격을 50mm로 조절하고, 이를 통과한 재료만을 이용하였다. 임목파쇄칩의 평균 길이는 3~6cm 이었으며 굵기는 50mm를 넘지 않았다. 이와 함께 배합한 상토는 원예용으로 일반

1) 토양채취 장소는 DMZ 및 군사시설과 매우 인접해 있는 곳으로서 채취 위치 및 주변 현황은 논문에 자세히 기재하지 않도록 함.

Table 1. Experimental Design for soil sampling depth and mixing ratio (v/v).

Factors \ Level	1	2	3	4	5
Soil sampling depth	S1*: 0～-5cm	S2: -10cm～-20cm	S3: -30cm～-40cm		
Mixing ratio(%)	M100**: Soil(100)	M50: Soil(50)+ Woodchip(50)+ Compost(0)	M45: Soil(45)+ Woodchip(45)+ Compost(10)	M35: Soil(35)+ Woodchip(35)+ Compost(30)	M25: Soil(25)+ Woodchip(25)+ Compost(50)

* S1: Sampling (0～-5cm) / S2: Sampling (-10～-20cm) / S3: Sampling (-30～-40cm)
** M100: Soil 100% / M50: Soil 50% + Woodchip 50% / M45: Soil 45% + Woodchip 45% + Compost 10%
M35: Soil 35% + Woodchip 35% + Compost 30%, / M25: Soil 25% + Woodchip 25% + Compost 50%

적으로 사용하고 있는 제품으로 pH 5.5～7, 수분함량 40%, 용적밀도 0.3mg/m^{3}이었다. 현장에서 채취한 토양 및 배합토양의 이화학적 특성을 파악하기 위하여 전기전도도, 유기물 함량, 질소함량 등의 항목을 농촌진흥청의 상토 표준분석법에 의하여 분석하였다.

최종적으로 혼합된 토양 중 예를 들면 "S3 × M45"의 재료는 부피비를 기준으로 할 때 30～40cm 깊이에서 채취한 현지토양 45%, 우드칩 45%, 그리고 상토를 10%를 혼합한 것을 의미하며, 각 처리 조건에 따라서 개별적으로 혼합하였다. 혼합된 토양은 종자와 고르게 혼합한 후 길이 18cm × 57cm × 14cm의 직사각형 화분에 포설하였다. 혼합된 토양을 포설하기 전에 하부에 마사토를 10cm 두께로 깔아서 고르게 펴준 후 그 위에 배합비율대로 혼합된 토양을 2cm 두께로 고르게 깔아주었다.

실험에 사용한 종자의 배합은 녹화공사에 사

Table 2. Seeds and the blending ratio has been used in the experiment.

Category		Name of plant		Ratio (%)	Seeding amount (g/m^2)
		Korean name	Scientific name		
Woody	Tall tree	자귀나무	*Albizzia julibrissin*	18.6	12.3
		오리나무	*Alnus japonica*	8.6	5.7
		단풍나무	*Acer palmatum*	6.2	4.1
		붉나무	*Rhus chinensis*	10.0	6.6
	Shrub	참싸리	*Lespedeza cyrtobotrya*	18.6	12.3
Herba-ceous	Early covering	비수리	*Lespedeza cuneata*	14.3	9.4
		억새	*Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*	2.9	1.9
		질경이	*Plantago asiatica*	3.0	2.0
	Land-scape	패랭이꽃	*Dianthus chinensis*	5.7	3.8
		벌노랑이	*Lotus corniculatus* var. *japonica*	4.3	2.8
		산국	*Chrysanthemum boreale*	5.7	3.8
		쑥부쟁이	*Aster yomena*	2.1	1.4
Total				100.0	66.1

용하는 초본관목혼합형을 목표로 하였다. 실험에는 목본 5종, 초본 7종을 혼합하였으며, 혼합비율은 목본 62%, 초본 38% 이었다. 여기에는 중부권역의 녹화공사에 사용하는 가장 일반적인 종자를 선정하였으며 외래도입초종은 제외하였다.

실험은 충북 청주시 소재 온실에서 2014년 10월 10일부터 2015년 1월 10일까지 실시하였으며, 이때 온실의 온도는 평균 20°C로 조절하였다. 관수를 2일 간격으로 토양이 충분히 젖을 정도로 하였으며, 이때 실험 토양이 교란되지 않도록 주의하였다.

파종 이후 1주일 간격으로 종별 개체수를 측정하였으며, 현지 토양 내에 함유되어 있을 것으로 추정되는 매토종자는 측정에서 제외하였다. 매토종자를 없애기 위하여 토양훈증처리 또는 약제처리를 하는데 이 경우 토양 이화학성의 변화가 있을 수 있으므로 별도의 처리 없이 다른 재료와 현지토양을 혼합하였으며, 이후 실험구에서 파종하지 않고 발아된 유묘는 측정에서 제외하였다. 분석에는 3개월 경과한 시점에서 측정한 총 발아개체수 값을 이용하였다. 이중 발아개체수가 너무 적은 오리나무, 단풍나무, 질경이, 쑥부쟁이 등을 제외한 개별 식물종 별로 처리효과에 대한 분산분석을 실시하였다. 결과 분석에는 SPSS 통계분석프로그램을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

현지토양 채취깊이 3가지 및 재료 혼합비율 5가지에 따라서 제조한 토양의 이화학성 분석 결과는 다음과 같다. 현지에서 채취한 원토양 pH는 5.55～5.72의 범위이었으며, 각 재료들을 비율에 따라 배합한 혼합토양의 pH는 5.24～5.63이었다. 토양의 산도는 산림토양의 특성을 보이는 약산성으로서 모두 식물생육에는 큰 지장을 주지 않는 범위인 것으로 나타났다. 전기전도도 및 CEC는 상토의 배합비율이 높아질수록 높아지는 경향을 보였다. 유기물함량은 임목파쇄칩과 상토의 혼합비율에 따라서 상대적으로 증가하는 경향을 보였다.

본 연구는 현지자원으로 제조된 식생기반의 특성 및 초기 발아효과를 파악하기 위하여 실시한 것으로서, 현지에서 채취한 토양 및 이와 혼합한 임목파쇄칩이 식생기반 재료로서 유용한지 여부를 평가하였다. 특히 현지에서 채취한 토양과 임목파쇄칩을 생칩의 형태로 재료에 배합한 것으로서, 선행연구(Nam et al., 2007)에서와 같이 파쇄목 만으로는 토양의 결속력이 부족하여 녹화토양으로 사용이 용이하지 않기 때문에, 생육기반토양으로 현지 발생토를 활용하면 토양내의 매토종자를 활용할 수 있을 뿐만 아니라(Kim and Woo, 1999), 현지발생토가 임목파쇄칩이 가지고 있는 단점을 보완해주면서 자연친화적인 생태복원용 재료가 될 수 있을 것이라는 가설 하에 실시하였다.

실험 결과 임목파쇄칩을 식생기반재에 혼합할 경우 식생기반 내에 물리성(배수능 및 통기성 등)이 개선이 되어 식생피복도가 높아지고, 목본식물의 상대우점도가 높아진다는 연구결과(Koh et al., 2010)와 같이 임목파쇄칩을 넣은 처리구에서 출현종수와 개체수 등이 상대적으로 높은 경향을 보였다.

토양채취 깊이 및 식생기반 배합비율에 따른 발아개체수의 측정 결과 목본종은 실험구당 평균 28.8/26.3～32.7본이 조사되었으며, 초본은 실험구당 480.8/453.9～533.1본이 조사되었다. 실험요인들은 전체 발아개체수에 영향이 있는 것으로 보이며, 토양의 채취깊이가 깊어질수록 목본종의 발아개체수는 증가하였으나, 초본의 경우 전체 개체수 비교에서는 큰 차이를 나타내지는 않았다.

비탈면 녹화를 위하여 현지의 자원을 현지 내에서 이용하는 것은 생태적 녹화의 중요한 방향이라고 볼 수 있다. 특히 DMZ 일원과 같이 생태복원용 소재의 반출입이 제한적인 곳에서

Table 3. Soil analysis result according to the sampling depth, and the mixing ratio.

	Sampling depth	Mixing ratio				
		M100**	M50	M45	M35	M25
S1*	pH (1:5, w/w)	5.55	5.56	5.58	5.39	5.28
	EC (1:5, w/w, dS/cm)	0.50	0.40	0.20	0.60	1.25
	Salt (%)	0.002	0.004	0.01	0.03	0.05
	Total N (%)	0.13	0.11	0.10	0.13	0.16
	O.M. (%)	3.26	3.27	4.04	7.80	15.93
	CEC (c^{mol+}/kg)	11.90	12.55	11.98	12.07	12.13
S2	pH (1:5, w/w)	5.74	5.32	5.63	5.36	5.30
	EC (1:5, w/w, dS/cm)	0.18	0.25	0.15	0.65	1.30
	Salt (%)	0.003	0.004	0.01	0.03	0.05
	Total N (%)	0.07	0.15	0.10	0.13	0.14
	O.M. (%)	1.10	1.46	3.27	7.77	11.39
	CEC (c^{mol+}/kg)	9.36	11.43	11.45	23.13	20.11
S3	pH (1:5, w/w)	5.72	5.60	5.62	5.36	5.24
	EC (1:5, w/w, dS/cm)	0.05	0.15	0.25	0.80	1.40
	Salt (%)	0.004	0.004	0.01	0.03	0.05
	Total N (%)	0.07	0.12	0.11	0.11	0.11
	O.M. (%)	0.34	2.38	2.42	11.33	10.13
	CEC (c^{mol+}/kg)	11.26	13.35	12.11	12.66	12.83

* S1: Sampling (0～-5cm) / S2: Sampling (-10～-20cm) / S3: Sampling (-30～-40cm)
** M100: Soil 100% / M50: Soil 50% + Woodchip 50% / M45: Soil 45% + Woodchip 45% + Compost 10% M35: Soil 35% + Woodchip 35% + Compost 30%, / M25: Soil 25% + Woodchip 25% + Compost 50%

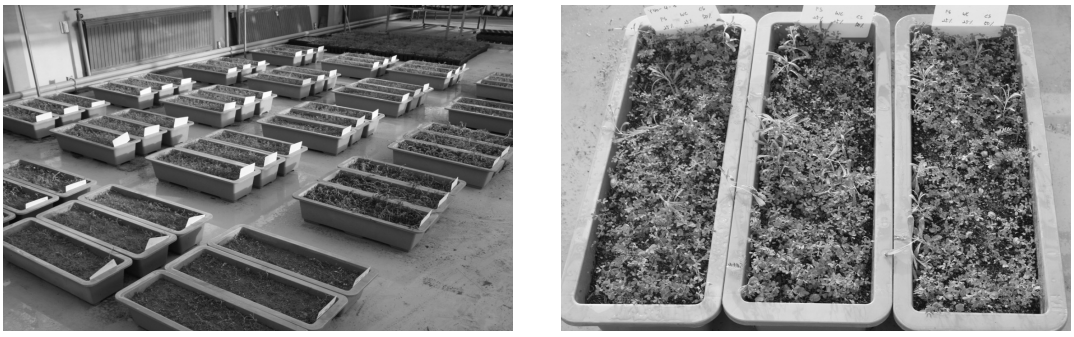

Figure 2. The initial state of the seeds germinated in pots experiment.

는 생태적인 가치뿐만 아니라 작업의 효율성 개선에서도 매우 중요하다. 현지자원 활용기술은 개별 재료별로 검토해볼 필요가 있는데, 표토 채취 깊이에 따른 매토종자의 양 및 종류를 파악한 연구(Kim and Woo, 1999)에서 산림토양 내에서는 다양한 종자원이 함유되어 있는데 이

를 자원으로 활용할 경우 표층부 가까이에서 표토를 채취할 때가 종자원의 종류 및 수가 가장 많아 녹화용 재료로 활용이 가능할 것이라는 밝힌 바 있다. 표토를 활용하는 방법으로는 표토를 그대로 뿌리는 방법, 표토를 흙포대에 담아 시공하는 방법, 식생기반재에 표토를 혼합하여 식생기반재뿜어붙이기공법과 같은 방법으로 시공하는 방법(Kim, 1999) 등이 사용되고 있다. 또한 현지자원 중 유기질계 식생기반재에 현장 발생재인 임목폐기물을 재활용하여 녹화공에 이용하는 노력의 일환으로 이를 생칩으로 이용하거나 부숙퇴비로 이용하는 형태가 진행이 되고 있다(Hur et al., 2009).

식생기반의 배합비율에 따른 실험 결과 현지에서 채취한 토양만을 사용한 실험구(M100)에서 초기 발아개체수는 목본과 초본 모두 가장 적은 것으로 조사되었으며, 원토양과 우드칩을 약 70% 이상 배합한 실험구에서 상대적으로 발아개체수가 가장 많았다. 종자의 발아율 및 발아속도는 토양의 상태나 피복 등의 방법에 따라서 크게 영향을 받기 때문에(Lee and Park, 2006), 실험구 별로 초기 발아 형태가 처리별로 차이를 보이고 있다. 일반 녹화공사에 사용하는 재료인 대조구(유기질계 얇은층 식생기반재뿜어붙이기)와 비교해 보아도 유사한 경향을 보이고 있으며, 특히 비수리와 벌노랑이의 발아개체수는 대조구 보다 현지토양 실험구에서 상대적으로 높은 값을 보였다.

목본과 초본을 비교해 보면 목본류 보다는 초본류의 발아가 상대적으로 빠른 것을 알 수 있다. 비탈면 녹화용 종자는 파종 후 10～14일부터 발아하기 시작한다고 하며, 이중 교목류는 다른 종자들에 비해 발아되는 속도가 상대적으로 늦다고 알려져 있다(Kim, 1997). 이는 교목

Table 4. Measurement of the number of germination individuals with the experimental treatment.

	Plant	Control	S1*					S2					S3				
			M100**	M50	M45	M35	M25	M100	M50	M45	M35	M25	M100	M50	M45	M35	M25
Tall tree	*Albizzia julibrissin*	2.0	1.7	6.7	4.7	5.0	3.0	1.7	5.7	3.3	6.3	4.0	1.7	5.0	3.3	6.0	8.0
	Alnus japonica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Acer palmatum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Rhus chinensis	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.3
Shrub	*Lespedeza cyrtobotrya*	11.0	8.7	17.7	28.7	36.0	19.0	8.3	35.7	20.0	28.3	23.3	8.7	34.0	24.3	37.3	34.3
Early covering	*Lespedeza cuneata*	7.3	65.3	354.4	256.9	274.8	180.4	1.8	385.5	422.5	294.4	252.9	26.6	484.2	300.5	369.6	308.7
	Miscanthus sinensis var. *purpurascens*	0.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.3	2.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3
	Plantago asiatica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Land-scape	*Dianthus chinensis*	70.0	73.7	107.0	98.7	96.3	58.7	68.0	100.3	70.0	67.3	83.3	76.3	50.0	65.7	9.0	12.0
	Lotus corniculatus var. *japonica*	16.3	113.9	203.4	119.2	115.4	115.1	139.5	200.9	177.2	242.9	122.5	97.8	191.2	198.9	24.5	41.5
	Chrysanthemum boreale	0.0	0.0	0.7	0.0	1.3	0.0	0.7	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7
	Aster yomena	6.0	3.3	9.3	7.3	10.3	3.0	4.7	10.0	5.3	7.7	5.0	1.7	7.3	6.3	0.7	2.7

* S1: Sampling (0～-5cm) / S2: Sampling (-10～-20cm) / S3: Sampling (-30～-40cm)

** M100: Soil 100% / M50: Soil 50% + Woodchip 50% / M45: Soil 45% + Woodchip 45% + Compost 10%
M35: Soil 35% + Woodchip 35% + Compost 30%, / M25: Soil 25% + Woodchip 25% + Compost 50%

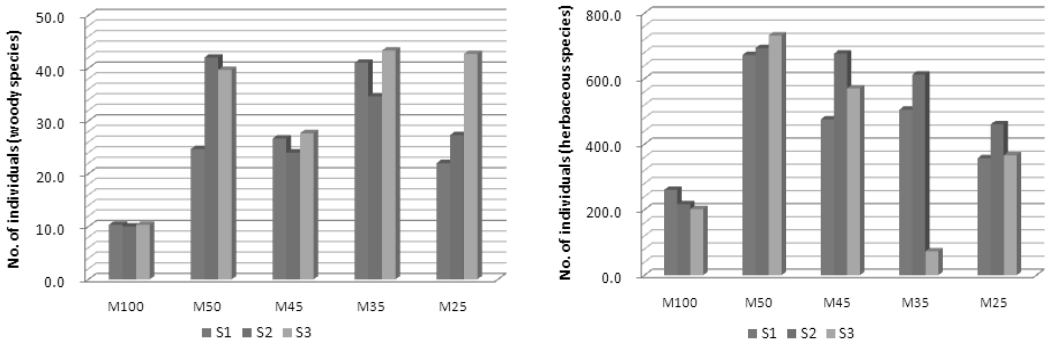

Figure 3. The result of measuring the abundance of herbaceous and woody germination.

류 종자의 외피가 두껍고 딱딱해 다른 종자들에 비해 종자 내로 수분이 흡수되는데 더 많은 시간이 소요되어 발아가 늦어진다는 연구결과(Kim et al., 2002)와 같이, 본 실험에서도 목본류 보다는 벌노랑이, 패랭이꽃 등 초본류의 발아가 상대적으로 빨랐다.

임목파쇄칩의 배합비율이 높은 M50, M45, M35 처리구에서는 상대적으로 목본의 발아개체수가 높은 것으로 조사되었는데, 이는 임목파쇄칩의 배합율이 낮은 곳에서는 초본류의 발아가 빠르고, 임목파쇄칩의 배합율이 높은 곳에서는 상대적으로 목본류의 발아가 빨라진다고 하는 선행연구(Nam et al., 2007)와 유사한 결과를 보였다.

현지토양 및 임목파쇄칩 혼합비율에 따른 분석 결과 현지토양만을 100% 사용한 경우에는 발아개체수가 가장 낮았으며, 목본의 경우 현지토양과 임목파쇄칩을 70% 이상 사용한 실험구에서 발아개체수가 상대적으로 높았다.

초본의 경우도 현지토양을 100% 사용한 경우와 현지토양과 임목파쇄칩을 25%씩 배합한 실험구에서는 상대적으로 발아개체수가 낮았으며, 현지토양과 임목파쇄칩을 혼합하여 90% 이상 사용한 경우에 발아개체수가 가장 많았다.

종자의 초기 발아는 토양수분 및 통기성에 영향을 크게 받는다는 것을 감안할 때 현지토양과 임목파쇄칩 등 복원대상 현지의 자원을 활용하는 것은 충분히 가능할 것으로 판단되며, 부피비를 기준으로 할 때 전체 혼합토양 중 현지자원의 배합비율을 70% 이상을 적절히 배합하여도 초기 발아에 긍정적일 것으로 판단된다.

한편 종자의 발아는 혼합된 식생기반재의 특성 및 수분조건 뿐만 아니라. 종자 자체의 특성에 크게 영향을 받는다고 볼 수 있다. 실험 3개월이 경과된 시점에서 발아된 개체수의 식별이 가능한 식물종에 대하여 토양깊이, 배합비율, 토양깊이×배합비율 처리의 결과에 따른 분산분석[2]을 실시하였으며, 유의확률에 대한 결과는 다음과 같다.

목본종은 토양 채취깊이 보다는 혼합토양 배합비율에 영향을 받는 것으로 분석되었으며, 초본류 중 비수리는 목본과 유사한 경향을 보였다. 패랭이꽃, 벌노랑이, 산국 등은 토양깊이, 배합비율, 토양깊이×배합비율 등의 모든 조합에서 유의한 결과가 도출되었으나, 억새의 경우 개별 처리보다는 토양깊이×배합비율의 처리에서만 유의한 결과를 보였다.

이들 결과는 개별 식물종들이 식생복원 현장에 적용되었을 때 초기 발아에 미치는 영향이 각각 요인들에 따라서 개별적으로 나타나고, 그

2) 분석에서는 개별 식물종의 발아개체수를 독립적인 결과 값으로 보았으며, 대조구를 제외한 3×5 실험구의 결과를 이용하였음.

Table 5. Evaluation of significant probability (p-value) by analysis of variance of the experimental results (Significance level : 95%).

Factors	*Albizzia julibrissin*	*Rhus chinensis*	*Lespedeza cyrtobotrya*	*Lespedeza cuneata*	*Miscanthus sinensis*	*Dianthus chinensis*	*Lotus corniculatus*	*Chrysanthemum boreale*
Soil depth	0.533	0.427	0.012**	0.093	0.380	0.000***	0.003***	0.555
Mixing ratio	0.000***	0.050**	0.000***	0.000***	0.055	0.000***	0.000***	0.555
Soil depth× Mixing ratio	0.057	0.673	0.223	0.119	0.005***	0.000***	0.003***	0.079

(** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

결과도 상이하다는 것을 의미한다. 목본종의 경우 원토양의 채취깊이에는 차이를 보이고 있지 않으며, 오히려 혼합토양의 배합비율에만 영향을 받는 것으로 보아 복원공사시 조성해주는 식생기반의 물리적인 특성이 더 중요할 것으로 판단된다. 또한 포장실험의 경우 목본류는 종자파종 시기에 큰 영향을 받는다는 연구(Kim et al., 1997)와 비교해 볼 때 실험시기가 10월이어서 초본류에 비해 상대적으로 발아가 늦고 개체수가 적었기 때문인 것으로 유추할 수 있다. 선행연구결과를 볼 때 종자 파종에 의한 복원과정에서 시공 후 3년여가 경과되면서 목본종의 생육이 점차 늘어나고(Suh et al., 2010), 생육 양상도 달라질 것으로 예상된다.

반면 초본류의 경우는 원토양의 채취깊이 및 혼합토양 배합비율, 그리고 그 조합에서 개별적으로 차이가 있는 것으로 보아, 복원 공사시 식생기반의 미세 환경에 더 큰 영향을 받는 것으로 볼 수 있다. 또한 초본류 종자는 파종하는 방법 중에서 종자 흩뿌리기, 복토, 경운 등에 의해 차이가 많이 나타나므로(Cho and Lee, 2014), 향후 현지자원을 활용한 식생복원에서는 현지토양의 채취 방법과 이들 재료들의 조합 및 시공방법, 그리고 개별 종자의 처리방법 등이 중요한 요인이 될 것이다. 특히 목본종(자귀나무, 붉나무, 참싸리 등)을 이용한 비탈면 녹화에서는 발아초기에 식생기반의 물리성이 중요한 요인으로 평가되므로, 종자가 발아하여 정착하게 되는 초기단계에 식생기반층의 보습력 유지 및 통기성 확보 등의 조건을 적절히 맞추어주는 것이 중요할 것이다.

지금까지의 실험 결과를 볼 때 DMZ 일원과 같이 외부재료의 반입이 용이하지 않고 또 원하지 않는 외래종의 유입이 우려되는 곳에서는 현지자원의 활용이 대안이 될 것이며, 현지자원(표토, 낙엽 및 임목파쇄칩 등)을 현지 내에서 활용하는데 있어서 최적 배합비율 도출, 현지 식생과 조화되는 파종용 종자의 선정 및 매토종자의 활용 방법과 같은 기술적 뒷받침이 필요할 것이다.

또한 본 연구는 온실 내에서 인공관수 조건하에 실시된 것으로 초기 발아율에 미치는 토양수분조건의 영향에 대한 추가 분석이 필요할 것이며, 이들을 온실이 아닌 현장에 적용하였을 때의 효과에 대한 비교 검증이 필요할 것이다. 이들 결과는 토양에 혼합된 종자의 초기 발아특성에 기인하는 것으로서, 최종적으로 식생복원의 목표와 연관시켜 볼 때 식물의 성장과정을 중장기적으로 모니터링 하여야 할 것이며, 혼합된 종들 간의 경쟁관계를 지속적으로 평가하여야 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

DMZ 일원 훼손지를 대상으로 현지 토양, 임목폐기물 파쇄칩 등의 현지자원을 생태복원용 소재로 활용하기 위한 기초연구 결과는 다음과 같다.

1. 현지토양 채취깊이 및 혼합토양 배합비율

등에 따른 종자 발아실험에서 배합재료는 토양 이화학성 분석 결과 녹화기반으로서 적합한 조건을 갖추고 있으며, 목본종과 초본종이 비교적 고르게 발아가 되는 것을 볼 때 이들 혼합재료는 녹화용 소재로서 활용가능성이 있는 것으로 판단된다.

2. 현지토양 및 임목파쇄칩의 혼합비율에 따라 목본과 초본의 발아형태는 차이를 보이고 있으며, 전체 배합재료의 부피비를 기준으로 현지자원을 약 70% 이상을 혼합하여도 초기 발아효과가 일정 수준 이상으로 유지되는 것으로 나타났다.

3. 토양 채취깊이 및 배합비율에 따라 초기 발아효과는 개별 식물별로 차이가 있는 것으로 나타났는데, 목본의 경우 원재료의 특성 보다는 혼합토양 배합비율에 따른 영향이 있었으며, 초본의 경우 토양 채취깊이 및 혼합토양 배합비율에 복합적으로 영향을 받는 것으로 나타났다.

4. 식생복원은 궁극적으로 적용된 식물이 영속성을 가지고 생육하는 것을 목표로 하기 때문에 식생복원 효과를 평가하기 위해서는 제한된 조건에서의 초기 발아효과 뿐만 아니라 복원 현장에서의 생육특성을 중장기적으로 평가해볼 필요가 있을 것이다.

References

Cho YH and Lee KH. 2014. Germination and Early Growth Characteristics of *Pennisetum alopecuroides, Phragmites communis* and *Miscanthus sinensis* According to the Seeding Methods. Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology 17(1): 163-172.

Green Korea. 2008. DMZ 155 miles. Green Korea.

Hur YJ · Koh JH · Joo P and Ahn TY. 2009. The Composting Techniques for On-Site Recycling of Wood Waste. Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology 12(4): 72-80.

Japan Road Association. 2009. Road earthwork, slope stability of guidelines. Japan Road Association.

KEI. 2003. An environment conservation master plan for the Korea DMZ area. Research Report.

Kim DH · Kim HS and Oh CH. 2008. The Injury Status of Forests around the Korea Demilitarized Zone (DMZ). Korean Journal of Environment and Ecology 22(1):77-79.

Kim KH and Woo BW. 1999. The Optimal Collecting Time and Methods of Utilization of Forest Topsoil as Revegetation Materials of Slopes. Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology 2(2): 53-61.

Kim KH. 1999. The optimal mixing ratio of forest topsoils for hydroseeding materials and their performance in restoring rock cut-slopes. Ph.D dissertation, Seoul National Univ.

Kim NC · Yoon JS · Bae SW · Son WJ and Jung SC. 2002. Seeding of the Woody Plants for the Quick-Coverage of the Slopes. Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology 5(6): 72-85.

Kim NC · Nam UJ and Shin KY. 2008. A Study of the Slope Ecological Restoration and Revegetation Models of the Baekdu-Mountain Range. Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology 11(1): 72-84.

Kim NC. 1997. A Study on the Seeding Timing of Native Woody Plants for the Slope Revegetation Works. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 25(1): 73-78.

Knapp EE and Rice KJ. 1994. Starting from seeds: Genetic issues in using native grasses for

restoration. Restoration & Management Notes 12(1): 40-45.

Koh JH · Hur YJ · Lee YK and Kim NC. 2010. A Study of the Use of Wood Waste for Alope Revegetation Techniques. Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology 13(1): 47-56.

Korea Forest Research Institute and Ministry of Environment. 2004. Ecosystem approach for the investigation, analysis and impact assessment of De-militarized Zone of Korea. Research Report of Core Environmental Technology Development Project for Next Generation.

Lee BT and Park CM. 2006. Effects of Seed Coating, Slope Control and Soil Mulching on Seed Germination and Seedling Growth of Rehabilitation Plants. Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology 9(6): 38-51.

Nam SJ · Kim KH · Yeo HJ and Jung JJ. 2004. Development of Revegetation Methods Using Fresh Woodchip from Construction Works. Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology 7(3): 86-95.

Oh CH. 2012. Status and Forest Restoration Direction in the Civilian Control Zone. Proceedings of Expert Seminars for Restoring Degraded Mountain. Korea Forest Conservation Association. pp. 75-108.

Suh HM · Kim DG and Lee NS. 2010. Development of Restoration Technology Using Native Plants Seed Chip for Various Disturbed Slopes. Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology 13(1): 112-120.

Turner, M. G. 1987. Landscape heterogeneity and disturbance. New York: Stringer-Veering.