

음식쓰레기를 활용한 비탈면 녹화기술의 식생기반재 배합비율에 관한 연구*

조동길¹⁾ · 전기성²⁾ · 심윤진¹⁾ · 김덕호¹⁾ · 도종남²⁾ · 박미영³⁾

¹⁾ 넥서스환경디자인연구원(주) · ²⁾ 한국도로공사 도로교통연구원 · ³⁾ 대한콘설턴트

A Study on the Mixing Ratio of Food Waste on Slope Re-vegetation Base Materials*

Cho, Dong-Gil¹⁾ · Jeon, Gi-Seong²⁾ · Shim, Yun-Jin¹⁾ · Kim, Duck-Ho¹⁾
Do, Jong-Nam²⁾ and Park, Mi-Young³⁾

¹⁾ NEXUS Environmental Design Centre,

²⁾ Korea Expressway Corporation Research Institute,

³⁾ DAE HAN CONSULTANTS CO., LTD.

ABSTRACT

This study introduced food waste into re-vegetation base materials for surface loss recovery of carry-away highway cut slope. The object of this study is to derive the mixing ratio of food waste by conducting a test installation, monitoring, analysis and evaluation for recovery of carry-away highway cut slope. The following items were investigated and analyzed each experimental zone to draw mixing ratio of re-vegetation base materials and food waste : the physical and chemical properties of the vegetation base materials, soil-hardness, soil-humidity, left out and the collapsed point, established number of trees, species richness of grass species and tree species, coverage, pest status, and invasion of disturbance species. The re-vegetation method was evaluated by each experiment zone which has different mixing ratio. As a result, experiment zone A was rated 45 points out of 60 rating points as the best re-vegetation method. However, this study result has been derived from one construction and

* 본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원 과제 “갭기비탈면 표층유실 복구를 위한 녹화공법 시험시공 모니터링”의 지원에 의해 수행되었음.

First author : Cho, Dong-Gil, NEXUS Environmental Design Centre,
Tel : +82-2-578-2930, E-mail : cdgileco@naver.com

Corresponding author : Jeon, Gi-Seong, Korea Expressway Corporation Research Institute,
Tel : +82-31-371-3373, E-mail : giseong@ex.co.kr

Received : 3 December, 2015. **Revised** : 21 December, 2015. **Accepted** : 29 December, 2015.

short-term monitoring. In order to derive the suitable and dependable mixing ratio, conducting an objective re-vegetation method evaluation and long-term experiment and monitoring is required.

Key Words : *Re-vegetation method evaluation, Resource recycling, Slope re-vegetation method.*

I. 서 론

고속도로 비탈면에 대해 표층부 안정과 경관을 개선하기 위하여 다양한 녹화공을 적용하여 식물로 피복시키고 있으나(Jeon, 2002), 재료의 부착성 저하와 불량재료 사용 등으로 재붕괴 및 유실 등의 문제가 발생하고 있다. 더욱이 생태 환경에 대한 분석 없이 무분별하게 녹화공법을 적용함으로써, 녹화식물이 2~3년 이내에 고사되어 비탈면이 다시 황폐화되기도 한다(MLTMA, 2009).

훼손된 비탈면의 조기 회복을 위해서는 나지 상태의 비탈면표층부분을 보호하여 안정화시키는 초기 녹화목표를 수립하고 동시에 궁극적으로 지향하는 복원목표에 부합되는 비탈면녹화공법과 주변 환경과 조화를 이루는 식물종을 선정하며, 식물의 생육특성을 파악하고 사용해야 한다(Shim and Kim, 2006). 또한 성공적인 비탈면 녹화를 위해서는 토양경도, 경사면의 방향과 경사도 등의 환경도 고려되어야 하는데, 토양경도가 낮을수록 출현종수가 많아지며(Gil et al., 2012), 방위 및 경사도별 식생피복률이 다르게 나타나므로 이에 적합한 과종식물을 선정하는 것이 필요하다(Kang, 2010).

도로비탈면 녹화공법은 국토해양부(MLTMA, 2009)의 녹화지침을 적용한다. 이 지침에서는 비탈면녹화공법 선정과 종자배합설계 뿐만 아니라 도로비탈면 녹화공사의 시험시공, 본 시공, 유지관리 등 전반적인 비탈면 녹화공법에 대한 이해와 방향을 제시하고 있다. 그러나 여기서 제시되고 있는 녹화공법들만으로는 비탈

면 표층의 안정과 녹화를 이루기 어려우며, 실제로 불량자재의 사용으로 인해 토사유출과 녹화식물의 고사, 황변 등이 발생하기도 하며, 이로 인해 생태적으로 주변 환경과의 조화에도 미흡한 점이 많았다(Kang et al., 2012). 그러므로 고속도로 비탈면의 표층 유실 복구를 위해서 녹화공법에 대한 다양한 신재료에 대한 개발이 필요하다.

국내 비탈면의 녹화를 위해 비용이 저렴한 하수오니를 주로 사용하는 녹화공법들이 많이 적용되며, 일부에서는 조기녹화용 외래도입초본을 과다 파종하는 사례가 있다. 특히 급경사 비탈면에서 일반적으로 시공되는 고압으로 뽑아 붙이는 식생기반재는 토양경도가 30mm 이상으로 매우 높고 물리성이 불량하여 식물의 근계가 침입하기 곤란할 정도로 식물 생육에 문제점을 안고 있다. 이를 극복하기 위해서는 다양한 토양보조재를 혼합하여 물성을 개선하는 것이 필요하다(MCT, 2007).

일본의 경우 1960년대 중반에 일본녹화공협회(현 日本緑化工學會), 일본 시딩(Seeding)협회 등과 같은 기업 및 연구단체의 활발한 활동과 함께 다양한 자재와 공법 등이 연구 개발되었다. 하지만 대부분의 녹화는 외래식물을 이용하여 실시하는 것이 주를 이루었으며, 1993년 생물다양성 협약이 체결되면서 생물다양성의 보전 의식이 높아지고, 외래생물에 의한 생태계 교란이 생물다양성의 위기로서 인식 되는 등 생물다양성과 환경 보전을 위해 재래종을 이용하는 녹화공법이 주목받게 되었다.(Hosogi, 2011).

특히, 2000년대에 들어 자연생태계의 회복과

자원재활용의 가치가 높아지면서 폐자재 재활용을 통한 녹화공법연구와 함께 지역의 고유종, 자생종을 활용한 녹화공법에 대한 연구가 선행되었다(Asato et al., 2007). 이밖에 표토층 활용 기술, 미생물을 활용한 녹화공법 등의 다양한 녹화공법을 도입하고 있다(Nakano, 2011).

퇴비화 공정을 통하여 처리된 유기성 폐기물을 비탈면 녹화용 식생기반재료로 사용하는 것은 환경문제까지 커지고 있는 음식쓰레기를 해결하고 폐자원의 재활용이라는 측면과 대체 자원 효과로 공사원가를 절감할 수 있으며, 아울러 훼손된 비탈면에 식물생육이 가능한 토양을 공급하여 안정적으로 녹화시킨다는 측면에서 볼 때 효과적인 시도이다(Cho et al., 2005).

따라서 본 연구에서는 고속도로 비탈면의 표층유실 복구를 위한 녹화공법으로 식생기반재에 음식쓰레기를 도입, 비율을 달리하여 시험시공을 실시하고, 모니터링을 실시 한 후 효과를 분석, 평가하여 음식쓰레기를 이용한 비탈면 녹화공법의 적합한 배합비율을 도출하는데 목적을 두고 있다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 시험시공 대상지

사용된 종자 및 배합비는 Figure 1과 같다. 대상지 위치는 충북 충주시 신니면 모남리 338 서충주 요금소 회차로 옆 비탈면으로 길이 150m, 높이 10m로 총면적은 약 1,500m²이다.

비탈면 방위는 동사면으로 윗단은 경질토사

로 경사 약 60°, 아랫단은 리핑암으로 약 45°의 경사를 이루고 있으며, 대상지 주변에 망초, 패랭이 등 초화류가 일부 나타나는 것으로 보아 과거 비탈면 녹화를 시행했던 곳으로 판단된다.

2. 공시재료

사용된 종자 및 배합비는 Table 1과 같다. 본 연구에 이용된 종자배합은 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침(MLTMA, 2009)’의 기타 적용지역의 두꺼운 식생기반재뽀어붙이기(두께 5cm 이상) 종자배합량 조건표 중 초본·관목 혼합형 종자배합을 이용하였다.

각 실험구 및 대조구 재료배합비는 Table 2와 같으며, 시험시공 모식도는 Figure 2와 같다.

재료배합에 사용된 음식쓰레기는 파쇄 및 이물질 선별(1차) → 탈수 → 석회안정화 → 부숙 → 건조 → 파쇄 및 이물질 선별(2차) 등의 과정을 거쳐 퇴비화된 재료를 사용하였으며, 시험시공은 2014년 11월에 재료배합 비율을 달리한 4가지 실험구(A, B, C, D)와 유리슬러지를 이용한 녹생토를 대조구로 설정하여 실시하였다.

3. 시험시공 모니터링 항목 및 방법

시험시공 모니터링 조사 항목은 MLTMA (2009)와 비탈면 녹화 관련 Kwon(2013), Koh et al.(2010), Jang et al.(2012) 등의 선행연구를 검토하여 조사 항목을 도출하였다. 도출된 조사 항목(안)의 신뢰도 향상을 위해 전문가들의 자문회의를 통해 의견을 수렴하여 조사항목을 최종 선정하였다.



Figure 1. Current state of experiment zone.

Table 1. Mixing ratio of applied seeds.

(Unit : g/m²)

Division	Native trees (30%)		Native grass (60%)		Exotic grass (10%)	
Plant name	<i>Rhus javanica</i> L.	1.8	<i>Lotus corniculatus</i> var. japonica Regel	6.0	<i>Festuca arundinacea</i> SCHREB	4.0
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	8.0	<i>Dianthus chinensis</i> L.	5.7	<i>Lolium preenne</i> L	3.2
	<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>	6.5	<i>Astragalus sinicus</i> L.	6.2		
			<i>Centaurea cyanus</i>	7.8		
			<i>Silene armeria</i> L.	5.4		
			<i>Coreopsis tinctoria</i> Nutt.	2.8		
			<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	2.6		
Total	3 Species	16.3	7 Species	33.9	2 Species	7.2
	12 Species (60)					

Table 2. Mixing ratio of vegetation base materials.

Division	Food waste	Paper mill sludge	Slime	*Cay+granite soil+sand	Auxiliary material	Polymer
A	5	10	10	70	3	2
B	15	10	10	60	3	2
C	25	10	10	50	3	2
D	35	10	10	40	3	2
Control zone	glass sludge 20%, sea mineral 10%, loess 20%, cement 10%, phosphor-gypsum 5%, vegetable and its by-product materials 35%					

* Structure: clay(40%) + granite soil (40%) + sand(20%)

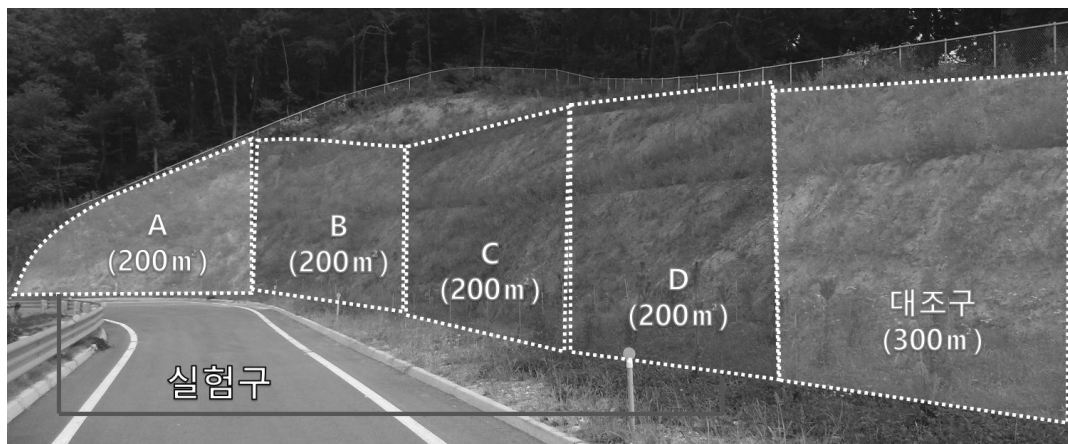


Figure 2. Experiment zone mimetic diagram.

Table 3. Analysis method of physical and chemical characteristics of the vegetation base materials.

Physical characteristics	Available soil water			Porosity			Permeability			
	Pressure equilibrium method			Dry gravimetric method			Constant water method			
Chemical characteristics	Acidity (pH)	Organic material (%)	Total Nitrogen (%)	Available phosphate (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	Exchangeable cation (cmol/kg)			EC (dS/m)	Salinity (%)
	pH-meter	Dry oxidation method	Dry oxidation method	Lancaster	1N-Ammonium acetate leaching method	Potassium	Calcium	Magnesium	Atomic Absorption Spectroscopy method	EC-meter

식생기반재에 대한 물리적 특성분석 항목으로 유효수분, 공극률, 투수성 등 3개 항목, 화학적 특성분석 항목으로 산도, 유기물, 전질소, 유효인산, CEC, 치환성양이온(칼륨, 칼슘, 마그네슘), EC, 염분 등 10개 항목을 선정하였다.

식생기반재 모니터링 항목은 토양경도, 토양 습도, 탈락 및 붕괴 정도 등 3개 항목, 식생 모니터링은 목본성립본수, 초본·목본 출현종수, 피복률, 병충해 유무, 생태계교란생물 및 위해

종 등 5개 항목을 선정하였다.

식생기반재 물리·화학적 특성에 대한 분석 방법은 Table 3과 같다. 식생기반재 모니터링 및 식생 모니터링 방법은 ‘도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(MLTMA, 2009)’에서 제시하는 조사방법을 참고하였다.

4. 시험시공 모니터링 시기

시험시공 모니터링은 2014년 11월 시험시공

Table 4. Evaluation table of slope re-vegetation measure.

Evaluation	Items		Score	Criteria for score			
Quantitative	Plant growth	Plantation coverage ratio (overall)	Grass and shrub hybrid type	15	80% ≤ (15)	60 ~ 79% (10)	60% > (5)
		Plantation coverage ratio (Grasses)		(0 ~ -5)	30% > (0)	30 ~ 59% (-3)	60% ≤ (-5)
		Blights		5	Good(5)	Average(3)	Bad(1)
	# of appeared species	Established number of trees		10	80% ≤ (10)	60 ~ 79% (7)	60% > (3)
		Species richness of the grass species and tree species		15	80% ≤ (15)	60 ~ 79% (10)	60% > (5)
		Ecology disturbance and risky species invasion		(0 ~ -5)	Low(0)	Middle(-3)	High(-5)
Vegetation base material physical characteristics			10	Good(10)	Average(7)	Bad(3)	
Breakaway and collapse points			5	Good(5)	Average(3)	Bad(1)	
Qualitative	Similarity to the surrounding environment		(0 ~ -5)	Good(0)	Average(-3)	Bad(-5)	
Total			60				

이 완료되고, 1차 모니터링 조사(2014년 11월)를 실시하였고, 2차 모니터링(2015년 5월), 3차 모니터링(2015년 9월) 등 총 3회의 식생기반재 및 식생모니터링을 실시하였으며, 토양경도, 토양습도, 탈락 및 붕괴지점에 대한 모니터링은 모니터링 결과의 신뢰도를 높이기 위해 총 6회 추가조사를 실시하였다.

5. 녹화공법 평가기준

도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(MLTMA, 2009)에 따라 시험시공 결과 승인 점수는 품질 및 경제성을 합쳐 녹화 평가점수가 100점 만점에 75점 이상인 녹화공법에 대하여 선정하도록 되어있다.

하지만 본 연구에서는 경제성 평가를 제외한 품질기준에 한해 60점 만점으로 평가하였으며, 기존 평가방법에 대한 점수 75점을 비율로 환산하여 45점 이상인 녹화공법을 우수 녹화공법으로 평가하였다(Table 4).

III. 결과 및 고찰

1. 식생기반재 물리적 특성 분석

1) 식생기반재 유효수분

식생기반재의 유효수분 분석결과는 Table 5와

같다. 유효수분은 수분특성식을 이용해 포장용수량, 위조점을 계산하여 유효수분함량을 도출하였으며, 포장용수량은 33kPa, 위조점은 1,500kPa을 기준으로 하였다.

포장용수량은 음식쓰레기의 비율이 높을수록 비례하는 경향을 보이며 실험구 D에서 가장 높은 값을 나타내었지만 실험구 D는 위조점 또한 가장 높은 값을 나타내어 정작 식물이 이용할 수 있는 유효수분함량은 가장 낮게 측정되었다.

전반적인 유효수분함량은 A에서 가장 높게, D에서 가장 낮은 것으로 분석되었는데 실험구 A는 약 90%, 실험구 D는 약 52%만이 식물이 이용할 수 있는 에너지상태인 것으로 계산되었다.

2) 식생기반재 공극률 및 투수성

식생기반재의 공극률 및 투수성 분석결과는 Table 6과 같다. 공극률은 음식쓰레기의 비율이 높을수록 높은 값을 나타내며, 실험구 D에서 가장 높고, 대조구에서 가장 낮은 것으로 분석되었다.

투수성은 공극률과 달리 일정한 경향을 나타내지 않았다. 일반적으로 공극률과 투수성은 관련이 있다고 볼 수 있지만 공극률이 공극의 크

Table 5. Results of available water analysis of the vegetation base materials.

Division	Moisture characteristic equation (x=Water potential, y=Volumetric water content)	Field capacity (%)	Wilting point (%)	Available water (%)
A	$y = -3.488\ln(x) + 36.008$	23.81	2.47	21.34
B	$y = -2.508\ln(x) + 33.192$	24.42	9.08	15.35
C	$y = -3.241\ln(x) + 37.443$	26.11	6.28	19.83
D	$y = -2.39\ln(x) + 36.269$	27.91	13.29	14.63
Control zone	$y = -3.356\ln(x) + 36.733$	25.00	4.46	20.54
Adequate content*			Available water: equal to or over 4.0	

* Source: KILA(2013)

Table 6. Results of porosity, permeability analysis of the vegetation base materials.

Division	Porosity(%)	Permeability(cm/s)
A	74.11	7.0×10^{-4}
B	76.58	1.8×10^{-3}
C	78.05	2.5×10^{-3}
D	78.18	7.5×10^{-4}
Control zone	62.09	7.2×10^{-4}
Adequate content	Porosity: equal to or over 40 / Permeability: equal to or over 10^{-5}	

기를 반영하지 않기 때문에 공극률이 높더라도 미세공극이 주로 발달한 경우에는 투수성을 향상시키지 못하고, 반대로 공극률이 낮더라도 대공극이 주로 발달한 경우에는 투수성이 크게 증가하는 것으로 판단된다.

2. 식생기반재 화학적 특성 분석

식생기반재 화학적 특성분석 결과는 Table 7과 같다. 식생기반재 화학적 특성 분석결과, 모든 실험구에서 EC를 제외한 항목 모두 적정함량 기준에 적합한 것으로 분석되었다. 토양배합에 음식쓰레기가 포함된 A, B, C, D 실험구는 유기물함량과 전질소량, 유효인산이 적정함량에 비해 과도하게 높은 수치를 보였으며, 음식

쓰레기의 비율과 비례하는 경향이 나타났다.

3. 식생기반재 모니터링 결과

1) 토양경도 변화

식생기반재 토양경도 변화는 Figure 3과 같다. 토양경도는 음식쓰레기 비율에 따라 변화를 살펴보았지만 비율에 따른 변화양상은 나타나지 않았으며, 조사 시기에 따라 유사한 토양경도 변화를 나타냈다. 토양경도는 평균 13.35~15.09mm로 나타났다. 식생기반재의 토양경도는 토양경도 적정기준(MLTMA, 2009)에 따라 식물생육에 양호하지만 비탈면의 붕괴 위험성이 있는지 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 분석되었다.

Table 7. Results of chemical characteristics of the vegetation base materials.

Division	Acidity (pH)	Organic material (%)	Total Nitrogen (%)	Available phosphate (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	Exchangeable cation(cmol/kg)			EC (dS/m)	Salinity (%)
						Potassium	Calcium	Magnesium		
A	7.0	26.56	1.588	3,414	21.67	2.25	8.40	5.93	1.37	0.009
B	7.0	28.48	1.875	3,845	22.14	3.03	10.42	7.39	1.89	0.009
C	7.1	28.56	2.037	3,481	21.52	3.05	9.97	7.01	2.12	0.009
D	7.1	30.28	2.176	3,864	23.12	2.86	12.54	6.60	1.78	0.010
Control zone	7.5	9.39	0.481	515	11.12	0.59	14.53	2.09	3.55	0.009
Adequate content*	6.0~8.0	$3.0 \leq$	$0.06 \leq$	$100 \leq$	$6.0 \leq$	$0.6 \leq$	$2.5 \leq$	$0.6 \leq$	<1.0	<0.5

* Souce: MLTMA(2009) and KILA(2013)

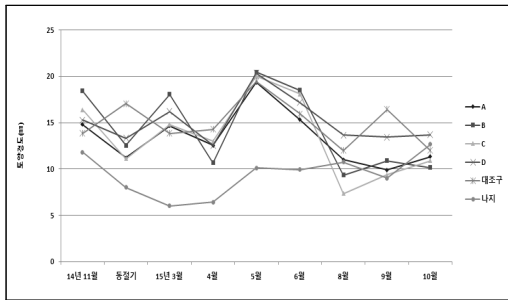


Figure 3. Changes in soil hardness for the vegetation base materials.

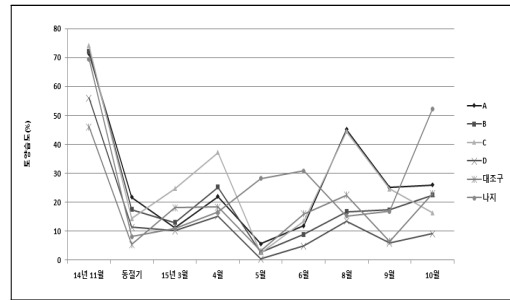


Figure 4. Changes in soil humidity for the vegetation base materials.

2) 토양습도 변화

식생기반재 토양습도 변화는 Figure 4와 같다. 토양습도는 경도와 마찬가지로 음식쓰레기 비율에 따른 변화양상을 살펴보았지만 비율에 따른 특이사항은 나타나지 않았으며, 조사 시기에 따라 유사한 토양습도 변화를 나타냈다. 토양습도의 경우 2014년 11월에 가장 높은 값이 조사되었고, 점차 낮아지는 경향을 보이다가, 장마기간인 5-8월에 전반적으로 토양습도가 높아지는 경향을 보이고 있다. 2014년 11월에 가장 높은 값을 나타내는 이유로는 습식공법을 이용한 시공 방식에 따른 결과로 판단되며, 이후 나타나는 변화는 조사 시기에 따라 나타나는 결과로 판단된다. 토양습도의 조사 결과는 평균 14.07~28.00%로 나타났다.

3) 탈락 및 붕괴

식생기반재의 안정성을 평가하기 위해 탈락 및 붕괴지점을 파악하였다. 모니터링 기간 동안 모든 실험구에서 탈락과 붕괴가 발생한 지

점은 관찰되지 않았다. 다만, 토양경도 조사결과 평균값이 18mm 미만으로 탈락 및 붕괴지점이 발생할 수 있으므로 지속적인 모니터링이 필요하다.

4. 식생 모니터링 결과

1) 목본성립본수

실험구별 목본성립본수는 Table 8과 같다. 목본성립본수에 대한 판정 방법은 1m×1m 방형구를 설치하고 목본의 성립본수를 10회 조사하여 본수/m²로 평균하여 각 실험구별 목본성립본수를 비율로 나타냈으며, 모니터링 결과 실험구 A에서 가장 높은 비율을 나타냈다.

2) 초본·목본 출현종 수

실험구별 초본·목본 출현종 수는 Table 9와 같다. 초본 및 목본류의 출현종수에 대한 판정 방법은 각 위치별 사용종과 출현종을 조사하여 목표대비 출현비율을 통해 비교하였다. 실험구 A를 제외하고 B, C, D에서 같은 출현종 비율이

Table 8. Evaluation of established number of trees with experiment zones. (Unit: # of trees/m²)

Division	Experiment zone				
	A	B	C	D	Control zone
Recovery target	Grass and shrub hybrid model (3 tree)				
Established number of trees	2.53	1.97	1.48	1.29	2.02
Ratio(%)	84%	65%	49%	43%	67%

Table 9. Species richness of grass and tree species.

Division	Plant name	A	B	C	D	Control zone
Native Trees	<i>Rhus javanica</i> L.	-	-	●	-	-
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	●	●	●	●	●
	<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>	-	-	-	-	-
	Sub-Total	1	1	2	1	1
Native grass	<i>Lotus corniculatus</i> var. japonica	-	-	●	●	●
	<i>Dianthus chinensis</i> L.	-	●	●	●	●
	<i>Astragalus sinicus</i> L.	-	-	-	-	-
	<i>Centaurea cyanus</i>	●	●	-	●	●
	<i>Silene armeria</i> L.	-	-	-	-	-
	<i>Coreopsis tinctoria</i> Nutt.	●	●	●	●	●
	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	●	●	-	-	●
Sub-Total	3	4	3	4	5	
Exotic grass	<i>Festuca arundinacea</i> SCHREB	●	●	●	●	●
	<i>Lolium prene</i> L	●	●	●	●	●
	Sub-Total	2	2	2	2	2
Total	6	7	7	7	8	
Ratio(%)	50.0%	58.3%	58.3%	58.3%	66.7%	

나타났으며, 대조구에서는 66.7%로 가장 높은 출현비율을 나타냈다.

3) 피복률

실험구별 식생피복률은 Table 10과 같다. 전체피복률은 대상지에 설치되어 있는 방형구 (1m×1m)를 이용하여 3회 측정 후 산술평균하여 전체피복도로 환산하거나 현장에서 육안으로 실측 또는 사진촬영 후 실내에서 피복률을 계산하였다.

시험시공을 실시한 대상지는 각 실험구별 음식쓰레기의 배합비율을 다르게 적용한 대상으로 시공 후 1년 이상이 경과된 지역이다.

출현 식물상은 기존 파종 식물종이 우점하나 주위환경의 영향으로 일부 이입종이 조사되었다. 기존 파종 식물들의 피도가 전반적으로 높

게 측정되었으나, 대상지 전반적으로 외래초본인 툴웨스큐와 페레니얼라이그라스의 생육이 우수한 것으로 나타났으며, 각 방형구에서 우점종으로 조사되었다. 툴웨스큐와 페레니얼라이그라스의 주요 생육특성이 건조한 지역에서 생육이 활발하고 빛에 강하여 초기 성장율이 높다는 측면에서 자연스러운 결과라고 판단된다.

일반적으로 도로비탈면 식생출현 경향은 주위환경에 따라 이입종의 증감결과가 영향을 받는데 본 연구의 모니터링 조사 결과 주변 산림의 영향을 받아 이입종인 참나무류, 오동나무, 칩, 환삼덩굴 등이 나타났으며, 5월 조사 이후 환삼덩굴의 확산으로 인해 대상지 전체적으로 큰 영향을 받았다. 특히, 환삼덩굴, 칩 등 덩굴성 식물에 의한 피복이 하부식생에 많은 영향을 주고 있는 것으로 조사되었으며, 일부 파종식물

Table 10. Results of the overall plantation coverage ratio of experiment zone.

Division	A	B	C	D	Control zone
Nov 2014	-	-	-	-	-
May 2015	87%	53%	60%	33%	72%
Sep 2015	100%	97%	93%	85%	100%

의 안정적인 활착이 이루어지고 있는 방형구를 제외하고 대부분의 방형구에서 우점종으로 조사되었다.

4) 병충해 유무

시험시공 후 수시로 파종 식물의 병충해 발생 유무를 동정하였다. 조사결과 각 시험시공 대상지에는 병충해가 발생하지 않았다.

5) 생태계교란생물 및 위해종

시험시공지역에 환경부에서 지정한 생태계교

란생물(돼지풀, 단풍잎돼지풀, 가시박 등)과 환삼덩굴, 칩 등과 같은 하부식생을 파괴하는 위해 수종에 대해 시험시공지 침입여부를 확인하고 교란정도를 측정하였다.

생태계교란생물은 B와 D 실험구에서 가시상 추가 조사되었고 위해종으로 환삼덩굴이 전 실험구에서 나타났으며, 칩이 A 실험구에서 조사되었다.

5. 녹화공법 평가

실험구별 녹화공법에 대한 평가는 Table 11과

Table 11. Evaluation results of re-vegetation measures for experiment zone.

Evaluation	Items		Score	A	B	C	D	Control zone	
Quantitative	Plant growth	Plantation coverage ratio (overall)	Grass and shrub hybrid type	15	15	15	15	15	15
		Plantation coverage ratio (grasses)		(0~5)	-3	-3	-5	-3	-3
		Blights		5	5	5	5	5	5
	# of appeared species	Established number of trees		10	10	7	3	3	7
		Species richness of the grass species and tree species		15	5	5	5	5	10
		Ecology disturbance and risky species invasion		(0~5)	-3	-5	-5	-5	-3
		Vegetation base material physical characteristics		10	10	10	10	10	10
	Breakaway and collapse points		5	5	5	5	5	5	
Qualitative	Similarity to the surrounding environment		(0~5)	0	0	0	0	-3	
Total			60	45	44	38	40	43	
Ranking			-	1	2	5	4	3	

같다. 음식쓰레기 비율에 따른 평가결과 A 실험구가 45점으로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 B, 대조구, D, C 실험구 순으로 나타났다.

이 중 45점 이상의 평가점수를 만족하는 배합비율은 실험구 A로 나타났으며, 대조구를 포함한 다른 배합비율에 대해서는 해당 점수에 만족하지 못하는 평가결과가 나타났다.

따라서 실험구 A의 식생기반재 배합비율인 음식쓰레기 5%, 제지슬러지 10%, 오니 10%, 점토+마사토+모래 70%, 보조재료 3%, 고분자재 2%의 배합비율이 식생기반재로써 적합한 것으로 평가되었다.

IV. 결 론

음식쓰레기를 활용한 비탈면 녹화기술의 식생기반재 배합비율을 알아보기 위하여 음식쓰레기에 대한 배합비율을 4가지로 구분하여 시험시공을 실시하였으며, 식생기반재의 물리적·화학적 특성 분석을 실시하여 재료의 품질을 평가하였다. 또한, 음식쓰레기 배합비율별 실험구에 대한 식생기반재와 식생 모니터링 결과를 토대로 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(MLTMA, 2009)에 따라 녹화공법을 평가하여 식생기반재로써 적합한 배합비율을 도출하였다.

식생기반재 물리적·화학적 특성 분석 결과 모든 실험구에서 EC를 제외한 항목 모두 적정 함량 기준에 적합한 것으로 분석되었다. 식생기반재 모니터링 결과, 토양경도는 평균 13.35~15.08mm로 나타났으며, 토양습도는 평균 14.07~28.00%로 나타났다. 탈락 및 붕괴 모니터링 결과, 모든 실험구에서 탈락과 붕괴가 발생하지 않은 관찰되지 않았다. 식생 모니터링 결과, 목본성립본수는 43~84%의 비율로 나타났으며 실험구 A에서 가장 높은 84% 비율을 나타냈다. 초본·목본 출현종수는 실험구 A를 제외하고 B, C, D에서는 같은 비율을 나타냈으며, 대조구

에서는 66.7%로 가장 높은 출현종 비율을 나타냈다. 식생피복률은 85~100%의 비율로 나타났으며 실험구 A와 대조구에서 100% 피복률을 나타냈다. 병충해는 모든 실험구에서 발생하지 않았다. 생태계교란생물 및 위해종은 B와 D 실험구에서 가시상추가 조사되었으며, 위해종으로 환삼덩굴이 전 실험구에서 나타났다.

이상의 결과를 토대로 각 실험구별 녹화공법 평가결과, 실험구 A가 60점 만점 중 45점으로 평가되어 우수 녹화공법으로 평가되었다.

따라서 본 연구로 진행된 음식쓰레기를 활용한 식생기반재는 실험구 A의 배합비율인 음식쓰레기 5%, 제지슬러지 10%, 오니 10%, 점토+마사토+모래 70%, 보조재료 3%, 고분자재 2%의 배합비율이 식생기반재로써 적합한 것으로 평가되었다.

그러나 본 연구결과는 단기간에 1회 시험시공한 결과로 지속적인 시험시공과 모니터링 등을 통하여 좀 더 신뢰성 있는 조사결과를 도출하고 객관적인 녹화공법 평가를 실시하여 식생기반재로써 적합한 배합비율 도출이 필요하다.

References

- Asato R · Tomori M and Yokotsuka T. 2007. The re-vegetation by recycling method using the local collecting seeds-the 2. The Japanese Society of Re-vegetation Technology 33(1): 175-178. (in Japanese)
- Cho HY · Choi CH · Lee SW · Chang PK and Kim HJ. 2005. A study on an effect of food waste compost for the revegetation material. Journal of the Korean Academia-Industrial Cooperation Society. 2005(1): 306-308 The Spring Joint Meeting. (in Korean)
- Gil SH · Lee DG · An DM · Koo MH and Kim TY. 2012. A study on the characteristics of slope plantation based on the soil hardness.

- The Korea Society of Environmental Restoration Technology 15(5): 115-127. (in Korean with English summary)
- Hosoki D. 2011. Japan plans to be engaged with the slope of utilizing the forest topsoil. Proceedings of Topsoil/biological restoration technology development Japan-Korea Symposium using wood waste. (in Japanese)
- Jang HT · Park WJ · Kim NC and Park JM. 2012. Use of *Arundinaria munsuensis* Y. Lee as revegetation plant materials of damaged slopes. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 15(1): 133-140. (in Korean with English summary)
- Jeon GS. 2002. A study of improvement method and analysis of type of revegetation measures of rock slopes. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 5(5): 22-29. (in Korean with English summary)
- Kang HK · Song HS · Cho YH · Park BJ · Kim WT · Shin KJ · Eo YJ · Yoon TS · Jang KE and Kwak MY. 2012. Comparison of vegetation between cutting slope revegetation area and adjacent nature area in Korea. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 15(6): 79-89. (in Korean with English summary)
- Kang DI. 2010. The effect of slope aspect and inclination on revegetation results at the slope established by soil media hydroseeding methods. Dankuk University Master's thesis. (in Korean with English summary)
- Koh JH · Hur YJ · Lee YG and Kim NC. 2010. A study on the use of a continuous fiber soil reinforcement system to revegetate a cut slope. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 13(3): 73-83. (in Korean with English summary)
- Kwon HJ. 2013. Plantation structures of the natural landscape recovery type of re-vegetation measures for roadside slope. Dankuk University Master's thesis. (in Korean with English summary)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA). 2009. Design and Construction guidelines for revegetation of the road cut-slope. (in Korean)
- Ministry of Construction Transportation(MCT). 2007. The Use of Wood Waste for slope revegetation. (in Korean)
- Nakano Y. 2011. In fact and its challenge of revegetated with topsoil / wood waste in Japan. Proceedings of Topsoil/biological restoration technology development Japan-Korea Symposium using wood waste. (in Japanese)
- Shim SR and Kim JH. 2006. Vegetation characteristics of main herbaceous flowers for ecological restoration. Journal of the Korean Society For Environmental Restoration Technology 9(1): 64-71. (in Korean with English summary)
- The Korean Institute of Landscape Architecture (KILA). 2013. Landscape design criteria. (in Korean)