韓國環境復元技術學會誌 23(6) : 57～73(2020)
J. Korean Env. Res. Tech. 23(6) : 57～73(2020)
DOI : https://doi.org/10.13087/kosert.2020.23.6.57
ISSN 1229-3032

고속도로 비탈면 식생 모니터링을 통한 녹화공법 평가기준 연구

김경훈[1] · 전기성[2] · 허영진[3] · 박종철[4] · 주백[5] · 강대인[6]

[1] (주)일림 전무이사 · [2] 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 · [3] (주)일림 대표이사 ·
[4] (주)일림 전무이사 · [5] (주)일림 이사 · [6] (주)일림 차장

A Study on Evaluation Standard for Revegetation Method through Monitoring of Vegetation on the Slope of Expressway

Kim, Kyung-Hoon[1] · Jeon, Gi-Seong[2] · Hur, Young-Jin[3] · Park, Jong-Chul[4] · Joo, Baek[5] and Kang, Dae-In[5]

[1] Illim Inc., Executive Managing Director,
[2] Korea Expressway Corporation Research Institute, Senior Researcher,
[3] Illim Inc., CEO,
[4] Illim Inc., Executive Managing Director,
[5] Illim Inc., Executive Director,
[6] llim Inc., Deputy General Manager.

ABSTRACT

A study was conducted to present the criteria for evaluating the revegetation method of the slope of the expressway. The results of comparative analysis between 2019-2020 field survey and existing research data (2015-2016) are as follows. Soil is a very important factor at the beginning of revegetation work. However, after the plant has settled, the importance of the soil composition diminishes. Among the plants used, the number of plants sown at the beginning gradually decreases. And it changes as it competes with invading plants. Among the plants used for sowing, it was found to affect the vegetation composition in the order of exotic grass > native herb and wildflower > native tree. Plant coverage is continuously evaluated as an important factor regardless of the time. The

First author : Kim, Kyung-Hoon, Illim Inc., Executive Managing Director
06787, 2F, 28-12, Gangnam-daero 6-gil, Seocho Gu, Seoul, Republic of Korea
Tel : +82-2-6956-3604, E-mail : sabang2@naver.com
Corresponding author : Jeon, Gi-Seong, Korea Expressway Corporation Research Institute, Senior Researcher
18489, 24, Dongtansunhwan-daero 17-gil, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
Tel : +82-31-8098-6383, E-mail : giseong@ex.co.kr
Received : 1 September, 2020. **Revised** : 6 November, 2020. **Accepted** : 3 November, 2020.

vegetation structure on the slope will change continuously over time. New items need to be evaluated in situations where a lot of time has elapsed since the application of revegetation work. It is desirable to use the current evaluation standard only to perform the evaluation within 1 to 2 years. In the long run, it is necessary to establish a new evaluation standard that adjusts the weights of each item.

Key words*: Criteria of evaluation, Vegetation structure, Plant coverage, Soil composition*

I. 서 론

우리나라의 산지 특성 상 도로건설에서는 필수적으로 비탈면이 형성되는데, 이러한 비탈면을 방치할 경우 표면침식이나 경관악화의 문제가 있기 때문에 식생을 이용한 녹화공사를 시행하고 있다(Korea Expressway Corporation, 2015; Kim *et al.*, 2018). 비탈면에 시행되는 녹화공법들은 구조적 특성이나 토질 상황에 따라서 다양하게 적용되는데, 비탈면이 토사일 경우 주로 종자파종의 형태가 적용되고 암반 비탈면의 경우는 식생기반재뿜어붙이기 방식의 녹화가 진행되는 것이 일반적이다(Korea Expressway Corporation, 1995; Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009).

녹화공법은 사용되는 재료와 시공 방식에 따라서도 다양하기 때문에 대상 비탈면에 적합한 공법을 선정하는데 어려움이 있다. 이를 해결하기 위하여 국토교통부에서는 2009년(국토해양부)에 '도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침'을 마련하여 현장에 적용할 녹화공법을 선정하는 기준을 제시한 바 있다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009).

식생의 측면에서는 무분별한 외래종 사용을 지양하고 자생 목초본종을 이용하여 효과적으로 녹화가 되도록 유도하는 것을 목적으로 하고 있으며, 방법의 측면에서는 시험시공 과정을 거쳐서 품질과 경제성 항목을 평가하여 현장 조건에 적합한 공법을 선정하도록 되어 있다. 그리고 현장에서는 시험시공 과정을 거쳐서 공법을 평가·선정하고 적용하는 사례가 많이 늘어나고 있다(Korea Expressway Corporation, 2019).

녹화공법에 관한 연구는 주로 녹화공법을 개발하는 측면과 녹화공법 적용지에서 식생을 모니터링하는 사례조사가 많이 진행되고 있다. 이 중 식생 모니터링에 관해서는 녹화공법 시공지의 식생변화를 파악하기 위하여 중장기적으로 현장조사를 하는 식생 추적조사 연구가 있으며(Nam *et al.*, 2007; Korea Expressway Corporation, 2016), 다른 유형으로는 녹화지침에 근거하여 녹화공법을 선정 평가하기 위하여 1~2년 정도의 짧은 기간 동안에 수행하는 연구들이 있다(Jeon and Woo, 2007).

녹화공법은 식물을 이용하는 것으로서 식생이 정착되면서 녹화품질이 완성되고, 또한 식생 구성상태도 꾸준히 변하게 된다. 녹화시공지의 품질을 나타내는 식생피복도 및 구성상태의 변화에는 종자배합, 시공 후 조건, 경사 등의 구조적 조건 등 매우 다양한 요소가 영향을 미치게 된다(Jeon, 2004). 그러나 현재 제시되어 있는 평가기준은 초기의 녹화품질을 평가하는 용도로 개발된 것으로서 주변 환경의 영향을 지속적으로 받게 되는 녹화품질을 장기적으로 평가하기에는 미흡한 점이 있다(Kim *et al.*, 2017). 한편 이와 유사한 개념으로 서울지방국토관리청에서는 도로건설에 따른 사후환경관리 측면에서 계획, 설계, 시공, 유지관리 단계로 세분화하고, 각각의 평가지표와 배점 기준이 제시된 바 있으나(Seoul Regional Construction and Management Administration, 2007), 녹화품질의 평가와는 약간 차이가 있는 실정이다.

비탈면 녹화는 식생의 변화를 기본 전제로 하고 있기 때문에 중장기적인 측면에서 녹화공법의 품질을 평가할 수 있는 기준이나 가이드라인은 아직 제시되지 못하고 있는 실정이며, 녹화기술의 검증 차원에서도 새로운 평가 기준이 제시될 필요가 있다. 또한 도로 비탈면 식생도 생태적 복원의 관점에서 고려할 가치가 있는 것이므로 식생복원 목표를 달성하기 위한 사후관리 차원에서 종합적으로 다루어질 필요성도 늘어나고 있다(Brandt and Henderson, 2015; Korea Expressway Corporation, 2015).

따라서 이 논문은 고속도로 비탈면에 적용된 녹화공법 시험시공지를 중장기적으로 추적조사하여 식생의 변화상황을 파악하고, 이를 토대로 녹화지침에서 제시하고 있는 공법선정 단계의 초기 평가방법과 함께 중장기적인 측면에서 녹화공법의 품질을 평가할 수 있도록 하는 새로운 기준을 마련하기 위한 기초자료 제공을 목적으로 수행되었다.

II. 재료 및 방법

녹화공법 평가기준에 관한 연구를 위하여 평택-제천간 고속도로의 서충주IC에 조성된 시험시공 비탈면을 대상지로 선정하였다. 시험시공지는 충청북도 충주시 신니면 모남리 338번지에 위치한 서충주IC 회차로 옆 비탈면에 위치하고 있다. 이 현장은 2014년과 2015년에 녹화공법에 사용되는 재료 배합을 위주로 시험시공이 실시되었는데, 본 논문에서는 2014년 11월에 실시한 시험시공을 중심으로 기존 자료를 재해석하고 추가 조사를 수행하여 결과를 비교·분석하였다.

녹화공법 평가와 관련된 선행연구들에서는 적용된 공법간 비교를 위한 내용들이 대부분이지만 특정 공법을 평가해야 한다는 문제가 있기 때문에, 본 연구에서는 재료배합의 차이를 공법의 차이로 대체하고 일반화하여 분석을 수행하였다. 따라서 당초 저자들이 수행한 2014년 연구에서는 재료배합에 따른 효과를 분석하였다면, 이 연구에서는 이를 비교 공법으로 대체하고 평가표를 적용하여 시간에 따라 변화되는 양상을 파악하고자 하였다.

대상지 비탈면 중 상부는 경질토사, 하부는 리핑암으로 이루어져 있으며, 비탈면의 경사는 약 45° 도 이었다. 비탈면의 방위는 남서향이었으며, 이곳에서 중앙부위를 선정하여 총 1,500㎡의 면적에 두꺼운층 식생기반재뿜어붙이기공법에 적용하는 재료의 배합비율에 따른 시험시공이 적용되었다.

대상지 주변의 식생을 조사한 결과 상부는 소나무-상수리나무-굴참나무 군락이 우점하고 있으며, 하부에는 찔레꽃이 혼생하고 있었다. 주변으로는 칡과 환삼덩굴 등 덩굴성 식물과 망초, 개망초 등 귀화식물이 분포하고 있는 것으로 조사되었다.

시험시공을 적용한 비탈면에는 망초, 패랭이꽃, 양잔디류(한지형) 등의 초화류가 일부 나타나는 것으로 보아 과거 도로건설 시점에서 비탈면 녹화를 시행했던 곳으로 판단되며, 주변에서 다양한 식물이 침입하여 정착하고 있는 상태이었다.

식생기반재뿜어붙이기 방식으로 적용된 시험시공에 사용된 재료는 혼합비율을 기준으로 하

Test area
(Aug. 2015)

Vegetation status of slopes
(Jun. 2020)

Surrounding forest
(Jun. 2020)

Figure 1. The slope of the expressway to which the test construction was applied.

Table 1. Mixing ratio of materials for each treatment applied to test construction.

Treatments	Food waste	Paper sludge	Sludge	Soil*	Additional mixed ingredients**	Polymer adhesive
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	General revegetation material using sludge					

* Soil : Clay (40%) + Decomposed granite soil (40%) + Sand (20%)
** Additional mixed ingredients : Peatmoss, Vermiculite, etc

Table 2. Type and amount of plant seeds used in the test.

Division	Native tree (30%)		Native herb and wildflower (60%)		Exotic grass (10%)	
Plants	Scientific name	g/㎡	Scientific name	g/㎡	Scientific name	g/㎡
	Rhus javanica	*1.8*	*Lotus corniculatus* var. *japonica*	*6.0*	*Festuca arundinacea*	*4.0*
	Lespedeza cyrtobotrya	*8.0*	*Dianthus chinensis*	*5.7*	*Lolium perenne*	*3.2*
	Indigofera pseudotinctoria	*6.5*	*Astragalus sinicus*	*6.2*		
			Centaurea cyanus	*7.8*		
			Silene armeria	*5.4*		
			Coreopsis tinctoria	*2.8*		
			Cosmos bipinnatus	*2.6*		
Total	3	16.3	7	33.9	2	7.2
	12					

였다. 식생기반재 구성 재료는 음식물쓰레기, 슬러지, 토양 등을 배합비율에 따라서 혼합하여 4가지 배합(A~D)으로 적용하였으며, 다른 현장 시공에 사용되는 일반재료를 이용한 대조구 1개 배합(E)으로 구분하였다. 따라서 당초 연구(Korea Expressway Corporation, 2015)에서 비교항목으로 분석하였던 식생기반재의 재료배합비율(음식물쓰레기, 제지슬러지 등)은 시험시공과 유사한 개별적인 녹화공법의 개념으로 분석에 활용하였다.

녹화공법(본 연구에서는 재료배합 비율)의 품질을 평가하기 위해서는 사용하는 재료의 종류 및 비율을 동일하게 적용할 필요가 있다. 녹화지침에서는 식생복원의 목표를 초본위주형, 초본관목혼합형, 목본위주형 등의 3가지로 제시하고 있는데, 본 현장과 같은 내륙생태계 지역일 경우 종자의 배합비율(무게 기준)에 대해 목본류는 30~50%, 초본류는 40~70%, 외래초종은 5~15% 범위를 제시하고 있다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009). 따라서 이 현장도 초본관목혼합형을 목표로 하였으며, 총 12종의 종자를 사용하였으며, 목본류는 30%, 초본류는 60%, 외래초종은 10%의 기준으로 적용 하였다.

식생기반재뿜어붙이기 방식의 공법이 적용된

Table 3. Papers reviewed in this study and data used for comparative analysis.

Category	Paper 1*	Paper 2	Paper 3	Paper 4	paper 5	Remarks
Survey timing	May 2015	Aug. 2015	Jul. 2016	Jul. 2019	Jun. 2020	
Mixing ratio of materials	○					Table 1
Plant seeds used	○					Table 2
Plant species measured	○		○		○	Table 3
Vegetation coverage	○	○	○	○	○	Table 4
Soil hardness	○	○	○	○	○	Table 5
Soil analysis	○				○	Table 6
Valuation scores	○		○		○	Table 7

* 1. Korea Expressway Corporation (2015)
2. Cho et. al. (2015)
3. Korea Expressway Corporation (2016)
4. Korea Expressway Corporation (2019)
5. Korea Expressway Corporation (2020)

이후 현장조사는 녹화지침에 제시된 방법을 적용하여 수행하였다. 식생의 생육상태를 측정하기 위하여 1m×1m의 조사구를 각 처리별로 3반복으로 설치하여 측정하였다. 조사구는 각 실험구를 종으로 3등분 하고 하부에서 높이 1m가 되는 곳에 설치하였다. 조사구를 기준으로 출현한 식물종은 개체별로 측정하였으며, 식생피복도는 현장에서 측정한 내용과 촬영한 사진위에 격자상을 겹쳐서 측정한 결과를 보정하여 식생피복도를 구하였다.

식생기반의 특성은 토양경도계(Yamanaka), 토양산습도계(Takemura DM-5)를 이용하여 현장 내에서 측정하였으며, 대표지점에서 토양을 채취하여 전문분석기관(주, 판코리아)에 의뢰하여 토양이화학성을 분석하였다.

자료의 평가에는 녹화공법 평가기준을 적용하였으며(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009), 기준에 따라 정량적 항목(식물생육, 출현종수, 기반재의 특성, 탈락 및 붕괴지점 등)과 정성적 항목(녹화지속성 및 식생침입가능성, 주변환경과의 유사도 등)으로 구분하여 분석하였다. 이 연구에서는 녹화공법 평가기준 수립을 위한 선행 연구(Jeon *et al.*, 2007)와 이를 적용한 현장평가 사례(Jeon and Woo, 2007)와 같이 현장에서 직접 측정할 수 있는 항목과 유사 사례 분석을 통한 정성적인 항목을 적용하였으며, 평가의 가중치도 기 제시된 평가기준을 준용하였다.

이 연구에서 활용한 선행연구 자료 및 현장조사 현황은 Table 3과 같다. 선행연구로 서충주IC의 녹화공법 시험시공에 대한 연구(Korea Expressway Corporation, 2015; Cho et. al., 2015), 녹화공법 시공지의 추적조사에 관한 연구(Korea Expressway Corporation, 2016)의 자료를 활용하였으며, 금회 현장조사 연구로 조경수목 선정에 관한 연구(Korea Expressway Corporation, 2019; 2020) 결과를 활용하였다.

시험시공지에 적용된 방법은 녹화용 재료의 배합비율에 따른 처리방법이지만, 재료간 배합비율을 녹화공법 시험시공을 위한 공법비교 시험과 유사한 개념으로 확장하여 녹화공법 평가표(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009)를 활용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식생 조사

녹화시공지의 식생조사 항목에서는 시공당시에 파종한 식물과 조사시점(2015년 5월, 2016년 7월, 2020년 6월)에서 출현한 식물의 비율을 비교하였다. 분석에 사용한 선행연구와 후속연구의 조사 시점이 달라서 식생의 구성과 출현식물의 차이는 일부 나타날 수 있다는 한계점을 지니고 있지만, 시공 이후 시간에 따라서 식생이 변하는 경향을 개략적으로 파악하기 위한 비교자료로 활용하였다.

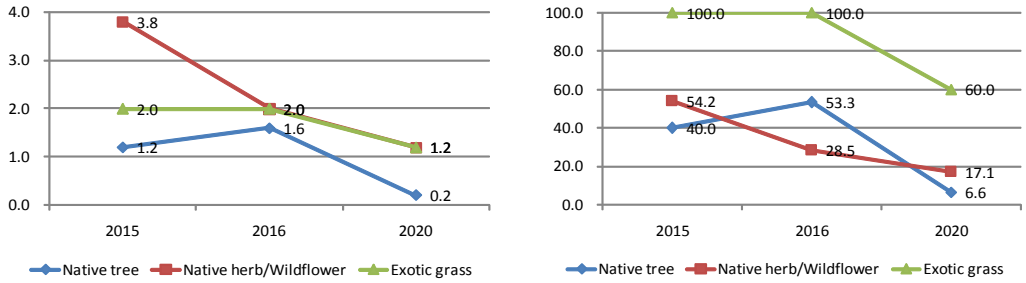
Table 4는 각 시험구별로 파종한 식물 중에서 측정 시기에 조사된 식물을 단순히 비교 분석한 것이다. 이를 다시 파종한 식물과 출현한 식물의 비율을 계산하였으며, 출현식물의 종수와 유형별로 조사된 종의 비율을 그림으로 표현하면 Figure 2와 같다.

파종한 식물에서 조사년도에 출현한 식물의 비율을 구하면 녹화공법에서 파종된 식물의 영향을 파악할 수 있다. 시공 1년 후인 2015년 조사

Table 4. Plant species measured by monitoring period on the test slope.

Plant species		A*			B			C			D			Control		
		May 2015	Jul. 2016	Jun. 2020	May 2015	Jul. 2016	Jun. 2020	May 2015	Jul. 2016	Jun. 2020	May 2015	Jul. 2016	Jun. 2020	May 2015	Jul. 2016	Jun. 2020
Native tree	*Rhus javanica*							○								
	Lespedeza cyrtobotrya	○	○		○			○	○		○	○	○	○		
	Indigofera pseudotinctoria		○			○			○			○			○	
	Sub total	1	2	0	1	1	0	2	2	0	1	2	1	1	1	0
Native herb / Wildflower	*Lotus corniculatus* var. *japonica*							○		○	○			○		
	Dianthus chinensis				○			○			○			○		
	Astragalus sinicus											○				
	Centaurea cyanus	○		○	○					○	○		○	○		
	Silene armeria					○			○	○		○				○
	Coreopsis tinctoria	○	○		○			○	○		○	○		○	○	
	Cosmos bipinnatus	○			○	○								○	○	
	Sub total	3	1	1	4	2	0	3	2	3	4	3	1	5	2	1
Exotic grass	*Festuca arundinacea*	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Lolium perenne	○	○		○	○	○	○	○		○	○		○	○	
	Sub total	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1
Total		6	5	2	7	5	2	7	6	4	7	7	3	8	5	2

* Classification according to the material mixing ratio used in the test (Table 1).



Number of plant species investigated

Percentage of investigated plants

Figure 2. Number and percentage of plant species investigated.

에서는 총 12종에서 7.0종이 조사되어 출현비율은 58.3%이었으나, 그 이후 2016년도에는 46.6%, 2020년에는 21.6%로 출현한 식물종의 비율이 감소하는 것으로 나타났다(Figure 2의 좌측).

녹화공사에 사용된 식물종을 목본류와 초본류 등으로 좀 더 세분화하면 각 식물종의 특징을 파악할 수 있다. 목본류의 경우 파종한 식물종 대비 출현한 식물의 비율은 2015년에 40.0%로 조사되었으나, 2020년에는 6.6%로 급격히 감소하였다. 재래초본 및 야생화류는 2015년에 54.2%였으나, 2020년에는 17.1%로 감소하였다. 반면 도입초종(양잔디류)은 2015년에 100%가 출현하였으나, 이후 낮아졌으나 2020년까지도 60.0%의 수준을 나타내고 있다(Figure 2의 우측).

녹화공사에는 목본류, 초본류의 종자가 혼합되지만, 이중에서 도입초종이 유지되는 기간이 상대적으로 길게 나타났다. 이를 순서대로 나열하면 시공당시 파종한 식물종 중에서 도입초종 > 재래초본 및 야생화류 > 재래목본류 등의 순으로 녹화 식생의 구성상태에 영향을 오래 동안 미치고 있다는 것을 나타낸다. 이 결과는 선행 연구(Kim *et al.*, 2018; 2019)에서와 같이 녹화공법 시공지에서는 초기에는 파종한 식물종이 우점하다가 외부에서 침입한 종들과의 경쟁으로 점차 감소하는 경향을 보여주고 있으며, 특히 목본류의 경우 초기에 파종한 개체수가 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 식생복원 목표를 달성하기 위한 종자의 배합비율을 중요하게 고려할 필요가 있다.

녹화대상지의 식물 구성은 파종한 식물종 외에도 주변에서 유입되는 식물과 상호 연관성이 있다(Woo and Jeon, 2005). 특히 상부지역이 산림지에 연결되어 있거나, 주변에 녹화공사가 진행된 곳이 있으면 식물종자의 침입가능성은 높아지게 된다(Jeon, 2004; Song *et al*, 2005). 대상 비탈면에서는 파종한 식물종 외에도 목본종으로는 자귀나무, 버드나무, 소나무, 오동나무, 사시나무가 조사되었다. 또한 초본종으로는 쑥, 소리쟁이, 실새풀, 칡, 미국자리공, 엉겅퀴, 민들레, 명아주, 쇠별꽃, 냉이, 골무꽃, 사철쑥, 큰금계국, 자주개자리, 붉은토끼풀, 애기똥풀, 산국, 이고들빼기, 잔디, 개망초, 망초, 비수리, 쥐손이풀, 오리새, 환삼덩굴, 박주가리, 메귀리, 왕고들빼기, 쑥부쟁이 등이 조사되었다. 이 비탈면에서 조사된 식물종은 주변의 식생과 상호작용 중에 있는 것으로 판단되며, 이들 식생이 향후 식생천이의 방향을 결정하게 될 것으로 예측된다.

한편 개별 식물종 뿐만 아니라 비탈면을 식물이 어느 정도를 덮고 있는지도 녹화의 중요한 요소가 된다. 비탈면 녹화공법은 비탈면을 식물로 피복하여 표층부를 안정화시키고 경관을 향상시키는 것이 주된 목적이다(Park *et al.*, 2014). 따라서 녹화공법의 평가에서는 식생피복도가 중요한 인자로 인식되고 있다.

Table 5에는 선행연구와 금회 조사에서 측정한 식생피복도를 처리구별로 비교한 자료이다. 시

Table 5. Changes in vegetation coverage by monitoring period on the slope of the test.

Treatments	Plant coverage (%)				
	May 2015	Aug. 2015	Jul. 2016	Jul. 2019	Jun. 2020
A	87	100	90	85	73
B	53	97	89	92	83
C	60	93	89	63	78
D	33	85	92	97	92
E	72	100	83	93	52
Average	61.0	95.0	88.6	86.0	75.6

Table 6. The result of measuring soil hardness by period after test construction.

Treatments	Soil hardness index (mm)					
	Nov. 2014	May. 2015	Oct. 2015	Jul. 2016	Jun. 2020	Average
A	15	19	11	21	15	16.2
B	18	20	10	24	16	17.6
C	16	20	11	22	14	16.6
D	15	20	14	20	13	16.4
E (Control)	14	19	12	23	14	16.4
Average	15.6	19.6	11.6	22.0	14.4	16.6

공 1년 후인 2015년도에 측정한 식생피복도는 5월에 평균 61.0%였으며, 8월에 95% 수준까지 증가하였다가 2016년 6월 이후에 점차 80%대 수준으로 감소하여 안정화 되고 있다. 식생피복도 및 식생의 구성은 초기에는 파종한 식물종에 영향을 받지만 다양한 환경요인들이 의해 영향을 받게 되며(Gil *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2019), 식생이 정착된 이후에는 식생천이 단계에 따라서 종구성도 변하게 된다. 본 연구에서는 초본류 위주로 식물이 정착된 초기에는 상대적으로 식생피복도가 높게 나타나지만, 이후 목본이 성립하게 되면 초본류는 일부 피압이 되고 전체적인 식생피복도는 감소하는 경향을 보이고 있다.

이 연구에서와 같이 목본이 정착되면서 식생피복도가 낮아졌다고 해서 녹화품질이 나빠졌다고는 할 수 없다. 이는 초본류에서 목본류로 천이가 진행되는 과정이며, 목본류에 의해 토양 근계층이 안정화되고 지상부에 다층구조의 식생군락이 조성되는 과정은 바람직한 방향으로 인식되고 있다(Park *et al.*, 2014). 식생피복도는 일정수준 이상으로만 유지되어도 충분한 효과가 있다고 볼 수 있다. 특히 목본과 초본이 혼합되어 있는 경우 시험시공지의 식생피복도 수준은 현재와 같이 70% 이상 정도만 되어도 양호한 것으로 판단된다.

따라서 평가지표 중 식생피복도 항목은 현장에서 적용하고자 하는 녹화공법을 선정하는 초기 단계에서도 매우 중요한 요소이며, 장기적으로도 표층부를 식생으로 보호하고, 식생경관을 유지하는데 여전히 중요한 인자로 고려할 수 있다(Song *et al.*, 2005).

2. 식생기반 특성

녹화공법에 사용되는 식생기반재의 특성으로 토양경도, 토양습도, 토양산도 등의 3가지 항목을 현장에서 측정하도록 되어 있다. 현장조사에서는 녹화공법 평가를 위하여 모든 항목을 측정하였지만, 이 연구에서는 토양경도를 위주로 분

Treatments		Plot 1	Plot 2	Plot 3
A	Jul. 2016			
	Jun. 2020			
B	Jul. 2016			
	Jun. 2020			
C	Jul. 2016			
	Jun. 2020			
D	Jul. 2016			
	Jun. 2020			
E (Control)	Jul. 2016			
	Jun. 2020			

Figure 3. Changes in the vegetation cover situation in each treatment area.

석하였다. 토양경도는 토양경도계를 이용하여 방형구 별로 5회씩 측정한 값을 평균으로 환산하였다.

토양경도는 녹화공사 시공 직후에는 재료에 수분이 포함되어 있기 때문에 낮은 값을 보이다가 건조하면서 약간 증가하는 것이 일반적이다. 시공직후인 2014년 조사에서는 전체 조사구의 평균 토양경도가 15.6mm 수준이었다가 이후 시기에 따라서 변동이 나타나고 있다. 2016년 조사시점에서는 22.0mm로 증가하였으며, 이후 2020년에서는 다시 초기 시공당시와 유사한 상태로 감소한 결과를 보였다. 토양경도는 측정시점의 상황에 따라 변동을 보이게 되는데, 측정시점에 비가 내렸을 경우 토양 내에 수분이 많이 함유되

Table 7. Soil analysis results for each test treatment[1)]

Treatments		Soil texture				Acidity (pH)	Organic Matter (%)	T-N (%)	P_2O_5	C.E.C. ($cmol^+/kg$)	Exchangeable cation ($cmol^+/kg^{-1}$)				EC (ds/m)	Nacl (%)
		Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture						K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}		
A	2015					7.0	26.56	1.59	3,414	21.67	2.25		8.40	5.93	1.37	0.009
	2020	77.75	18.25	4.00	LS	6.2	19.21	1.08	858	21.05	0.48	1.79	17.14	-	0.73	-
B	2015					7.0	28.48	1.88	3,845	22.14	3.03		10.42	7.39	1.89	0.009
	2020	7300	20.00	7.00	SL	7.3	6.24	0.29	841	17.32	0.84	19.84	19.84	-	0.55	-
C	2015					7.1	28.56	2.04	3,481	21.52	3.05		9.97	7.01	2.12	0.009
	2020	75.50	17.50	7.00	SL	7.1	6.47	0.43	1,022	14.10	0.64	16.82	16.82	-	0.60	-
D	2015					7.1	30.28	2.18	3,864	23.12	2.86		12.54	6.60	1.78	0.010
	2020	72.75	18.50	8.75	SL	7.3	9.79	0.42	947	10.30	0.53	19.19	19.19	-	0.50	-
Control	2015					7.5	9.39	0.84	515	11.12	0.59		14.53	2.09	3.55	0.009
	2020	66.75	21.50	11.75	SL	7.6	8.51	0.37	792	12.23	0.88	19.82	19.82	-	0.50	-
Standard						6.0~8.0	More than 3.0	More than 0.06	More than 100	More than 6.0	More than 0.6		More than 2.5	More than 0.6	Less than 1.0	Less than 0.5

고 토양경도가 낮아지게 되기 때문에 현장에서의 측정 결과는 신뢰성이 그리 높지 않은 것이 일반적이다.

토양경도를 대조구를 포함하여 각 처리별로 구분해 보면 시공초기인 2014년에 측정한 토양경도 범위는 14~18mm이었으나, 2020년 조사에서는 13~16mm의 범위를 보이고 있다. 또한 평균값도 16.2~17.6mm범위로서 시간이 경과할수록 처리별(공법별) 차이는 줄어드는 것으로 나타났다.

한편 토양경도는 식물뿌리의 생장에 영향을 미치는데 일반적으로 23mm 정도보다 높으면 식물뿌리의 생장에 영향을 준다고 알려져 있다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2009; Gil *et al.*, 2011). 이 시공지는 토양경도가 모두 23mm 이하로 녹화지침이나 관련문헌에서 제시하고 있는 것과 같이 식물생장에 영향은 없는 범위라고 판단된다.

토양경도는 시공초기에 식물이 발아하고 뿌리가 정착하는 단계에서는 영향이 있다고 보고되었으며(Jeon, 2004), 녹화공사 시공 이후 경과년수와 토양경도의 상관 분석 연구(Kim *et al.*, 2018)에서 유의성이 낮다는 자료를 볼 때 식물이 정착된 이후에 토양경도지수는 녹화품질을 평가하는데 있어서 중요도가 낮아지는 경향을 파악할 수 있다.

녹화공법 평가의 초기단계에서는 물리적 특성 외에도 화학적 특성을 측정하도록 되어 있다. 녹화에 사용하는 재료의 성분 분석을 통하여 재료가 현장에 사용 가능한지 여부를 평가하게 되며, 평가기준에서 각 성분의 기준범위를 제시하고 있다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009; The Korean Institute of Landscape Architecture, 2013).

선행 연구결과에서는 식생기반재가 가져야 하는 재료의 품질기준을 충족한 상태이었다. 그러나 2020년에 식생기반재를 분석한 결과 대부분 재료의 기준을 충족하고 있지만, 치환성양이온 중 K^+ 항목과 EC가 식생기반재의 기준에 불일치하는 것으로 분석되었다.

토양은 녹화공사를 시행하는 초기단계에서는

1) 2015년에 수행한 선행연구의 분석 결과에서 토성과 나트륨 함량의 조사 항목이 누락되어 있어서 본 분석에서는 공란으로 표시하였음

Table 8. Evaluation criteria for revegetation methods in the guidelines.

Evaluation standard		Evaluation item			Scoring criteria (%)	Detailed evaluation method ( ) means score values
Material	Quantitative	Soil and seeds			-	Compliance with standards
Quality	Quantitative	Plant growth characteristics	Plant coverage (total)	Herbal type / Herbaceous and shrub type	15	More than 80% (15), 60~79% (10), Less than 60% (5)
				Wood type / Natural landscape type		More than 70% (15), 50~69% (10), Less than 50% (5)
			Plant coverage (Excluding exotic plants)		(0~-5)	Ratio of exotic vegetation Less than 30% (0), 30~59% (-3), More than 60% (-5)
			Plant growth (Excluding exotic plants)		5	Good (5), Medium (3), Bad (1)
			Plant pest damage		5	Good (5), Medium (3), Bad (1)
		Number of emergent plants	The number of trees		10	Goal achievement More than 80% (10), 60~79% (7), Less than 60% (3)
			Number of plant species		15	More than 80% (15), 60~79% (10), Less than 60% (5)
			The appearance of disturbing plants		(0~-5)	Low (0), Medium (-3), High (-5)
		Physical and chemical properties of soil			10	Good (10), Medium (7), Bad (3)
		Loss of soil and material			5	Good (5), Medium (3), Bad (1)
	Qualitative	Persistence of quality and vegetation structure			5	Good (5), Medium (3), Bad (1)
		Similarity to surroundings			(0~-5)	Good (0), Medium (-3), Bad (-5)
	Sub total				70%	
Economics	Quantitative	Unit construction cost			30	Less than 130% (30), 130~160% (24), 161~190% (18), 191~220% (12), More than 220% (6)
	Sub total				30%	
Total					100%	

* Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2009)

기준을 준수하여야 한다. 그러나 식물이 일단 정착하게 되면 뿌리의 발달과 환경요인의 변화에 따라서 토양기반의 특성은 변하게 된다. 그리고 식물생장에는 어느 한 가지 요소만 작용하는 것이 아니라 복합적으로 작용하게 되기 때문에 식생이 정착되어 군락이 형성되어가는 과정에서는 식생기반재료의 성분은 큰 문제가 되고 있지는 않다. 또한 녹화지침에 제시되어 있는 재료성분 기준은 녹화용 식생기반재 자체의 특성만을 분석하는 것이기 때문에, 식물뿌리가 성장하여 식생기반재 하부의 원지반까지 발달하게 된 경우에는 성분기준 부합 유무가 큰 의미를 갖지는 않는 것으로 판단된다.

3. 녹화공법 평가기준

녹화공법의 새로운 평가기준을 제시하기 위해서는 현재 사용되고 있는 녹화공법 평가표에 대한 분석이 필요하다. 현행 녹화지침에서는 공법

Table 9. Changes in evaluation scores according to the evaluation criteria of the revegetation method by period.

Evaluation criteria			Scoring criteria (%)	A			B			C			D			Control		
				May 2015	Jul. 2016	Jun. 2020	May 2015	Jul. 2016	Jun. 2020	May 2015	Jul. 2016	Jun. 2020	May 2015	Jul. 2016	Jun. 2020	May 2015	Jul. 2016	Jun. 2020
Quality	Quant-itative	Plant coverage (total)	15	15	15	10	15	10	15	15	10	10	15	15	15	10	15	5
		Plant growth	5	3	5	5	3	5	5	1	1	5	3	3	5	3	1	3
		Plant pest damage	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		The number of trees	10	10	10	0	7	10	0	3	10	7	3	10	7	3	5	0
		Number of plant species	15	5	7	0	5	7	0	5	10	10	5	10	10	10	7	0
		The appearance of disturbing plants	0~-5	-3	-5	0	-5	-5	0	-5	-5	0	-5	-5	-3	-3	-5	-3
		Physical and chemical properties of soil	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		Loss of soil and material	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Quali-tative	Unit construction cost	5	0	1	1	0	1	1	0	1	3	0	1	3	0	1	1
Total			70	50	53	36	45	48	41	39	47	55	41	54	57	43	44	26

의 평가기준을 제시하고 있는데(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2009), 녹화공법의 평가기준은 품질(70점)과 경제성(30점)으로 구분되어 있으며, 녹화품질은 정성적인 항목과 정량적인 항목으로 구분하고 있다. 이중 정량적 항목에서는 식생피복도, 생육량, 출현종수 등의 항목이 있으며, 정성적 항목으로는 녹화지속성 및 식생침입 가능성 등이 있다.

이 연구에서는 녹화공법 평가표[2]의 활용 목적인 현장에 적용할 녹화공법을 선정하는 것이 아니므로, 경제성 항목을 제외하고 품질 평가 항목을 위주로 시기별 변화양상을 분석하였다. 선행연구 및 금회 현장조사를 통하여 측정된 결과를 토대로 녹화평가표에 대입하여 분석을 한 결과는 Table 9과 같다.

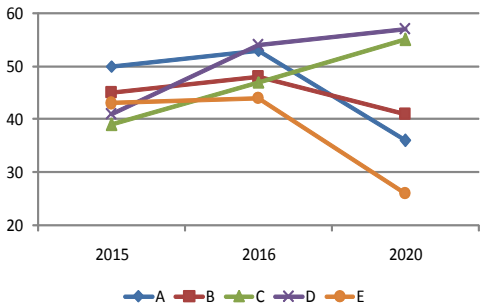


Figure 4. Changes in the evaluation score of the greening method for each treatment.

2) 녹화공법 평가표의 활용 기준
- 식물의 생육 : 1×1m방형구를 설치하여 측정하며, 이중 외래도입초종의 피복율을 평가하며 점수를 제외하도록 되어 있다. 또한 식생생육량은 식물체의 중량을 측정하며, 각종 병충해 및 여름철 하고현상 등을 조사하도록 되어 있다. 출현종수에 대해서는 목본의 성립본수를 평가하며, 전체 출현종수와 생태계위해종의 출현 유무를 평가하게 된다.
- 재료의 특성 : 재료의 특성에 대해서는 토양경도를 중심으로 평가하게 되며, 시험시공지에서 재료의 탈락 및 붕괴지점을 조사하여 상대적으로 평가를 수행한다.
- 정성적 항목 : 녹화 지속성 및 식생침입 가능성에 대해서는 3~5년 정도 지난 기존 시공지에서 녹화지속성 및 천이여부를 평가하도록 되어 있으며, 주변 환경과의 유사도 항목은 주변 환경과의 생태적 경관 조화성을 평가하도록 되어 있다.
- 경제성 항목 : 평가점수에서 30%를 차지하는 시공단가의 경우 시험시공 참여업체의 최저가를 기준으로 상대평가 하도록 되어 있다.

Table 10. Evaluation period suggested in the evaluation criteria for construction methods.

Seeding timing	March to May	June to August	September to November
Evaluation timing	- 1st and 2nd evaluation before and after summer - Final evaluation before November	- 1st evaluation around September after summer - 2nd evaluation from April to May of the following year - Final evaluation from August to September of the following year	- 1st evaluation in November - 2nd evaluation just before the following summer - Final evaluation from September to October of the following year

* Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009)

시공 후 1년이 경과한 시점에서 품질위주로 분석을 하였을 때 2015년에는 A배합의 평가점수가 가장 높았으며, C배합이 가장 낮았다. 그러나 2016년 조사 시점에서는 D배합과 A배합의 점수가 유사하게 높았으며, 2020년 조사 시점에서는 D배합의 점수가 가장 높게 나왔다. 반면 2015년에 가장 점수가 높았던 A는 2020년에 4순위로 낮아진 결과가 도출되었다.

현재 시험시공을 통한 녹화공법의 평가기준인 1년을 적용하면 A배합이 선정되어 현장에 시공이 되었겠지만, 시간이 지나면서 오히려 D배합의 품질이 좋게 평가될 수 있다는 것을 알 수 있다. 녹화공법 선정기준은 Table 10에서와 같이 시공 후 1년 이내에 평가하도록 되어 있다. 그러나 초본과 목본을 혼합하면서 장기적으로 목본에 의한 수림화를 도모한다는 지침의 취지에는 조기평가 방식이 부합하지 않는 것이 현실이다.

이 연구에서 나타난 바와 같이 조사 시기에 따른 식생 차이가 점수값에 큰 영향을 미치기 때문에 녹화공법을 선정 평가하는 과정에서도 시기에 따른 영향이 크다는 것을 반증하고 있다(Kim *et al.*, 2018). 이와 같이 녹화공법 평가시기를 1년 이내로 하는 것을 중장기적인 관점에서 잘못된 선택을 하게 될 가능성이 있다고 판단된다.

또한 정성적인 항목으로서 녹화지속성 및 식생침입 가능성을 평가하고 있다. 그러나 1년 미만의 시간에서 조기 피복 상태를 보고 녹화지속성을 예측하기는 무리가 있으며, 다분히 평가자의 주관이 개입될 여지가 있다. 따라서 녹화지속성 등과 같은 항목은 시공 초기 보다는 중장기적인 관점에서 평가하는 것이 타당할 것이다. 이 연구에서와 같이 2014년 시공 이후 5년 정도가 경과한 시점에서도 점수값은 큰 변동을 보이고 있으며, 식생의 변화에 의해 평가 점수가 달라지는 것을 알 수 있다.

선행연구 분석과 현장조사를 통하여 녹화지침에 제시되어 있는 녹화공법 평가표를 기준으로 시공초기와 중기, 장기로 구분하여 재분석을 하였다(Table 11).

항목별로 본다면 종자의 품질은 시공초기 종자의 발아 및 정착에 영향을 미치지만 일정기간이 경과하게 되면 그 영향은 약해질 수밖에 없다. 식생피복도는 녹화에서 가장 중요한 요소이지만 초기에는 파종한 식물종에 좌우되며(Kim *et al.*, 2017), 이후에는 비탈면을 구성하는 환경요인과(Jeon, 2013) 정착된 식물의 경쟁에 관한 사항이므로 파종한 식물종의 영향은 초기보다는 상대적으로 감소하게 된다. 그리고 식생의 구성상태는 초본위주형 보다 목본군락형에서 목본의 정착 여부가 중요한 인자로 작용할 것이다.

출현종수도 생물종다양성 측면에서는 중요하지만, 2~3년 정도가 경과한 시점에서는 일부 식생에 의해 우점되고 목본종이 자리를 잡아가기 때문에 영향은 줄어들게 된다(Song *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2018). 재료의 측면에서 볼 때에도 식생기반재의 성분 특성은 초기 단계에서 종자발

Table 11. Review comments on the evaluation criteria for revegetation methods in the guidelines.

Evaluation standard		Evaluation item			Scoring criteria (%)	Assessment of importance		
						Stage 1 (1~2 year)	Stage 2 (3~5 year)	Stage 3 (5 year~)
Material	Quantitative	Soil and seeds			-	●	△	△
Quality	Quantitative	Plant growth characteristics	Plant coverage (total)	Herbal type / Herbaceous and shrub type	15	●	○	△
				Wood type / Natural landscape type		●	●	●
			Plant coverage (Excluding exotic plants)		(0~-5)	●	○	△
			Plant growth (Excluding exotic plants)		5	●	●	●
			Plant pest damage		5	●	●	○
		Number of emergent plants	The number of trees		10	●	●	●
			Number of plant species		15	●	●	○
			The appearance of disturbing plants		(0~-5)	●	○	△
		Physical and chemical properties of soil			10	●	○	△
		Loss of soil and material			5	●	○	△
	Qualitative	Persistence of quality and vegetation structure			5	○	○	●
		Similarity to surroundings			(0~-5)	△	○	●
	Sub total				70%			
Econo-mics	Quantitative	Unit construction cost			30	●	△	△
	Sub total				30%			
Total					100%			

* Assessment of importance : ● High, ○ Medium, △ Low
(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2009. Reedited by author)

아 및 뿌리 생장에 영향을 미치지만 식생이 피복된 이후에 기반재 영향보다는 자체적인 식물 생장 특성이 중요하게 될 것이다.

정성적인 방법으로 평가하고 있는 녹화지속성 및 식생침입 가능성, 주변환경과의 유사도 항목은 시험시공 당시에는 측정이 용이하지 않은 항목이다. 그러나 일정 기간이 경과한 이후부터는 녹화지역이 어떻게 변화하고 주변과 유사해지는지에 대한 평가가 가능하므로 이들 정성적인 항목은 중장기적인 평가에서 오히려 중요성이 높아질 것이다.

시험시공 평가표에서 30%의 비중으로 중요하게 평가되는 시공단가의 경우도 초기에 녹화공법의 선정 단계에서는 중요하지만, 일단 채택이 되어 적용이 된 상태에서는 그 의미는 없어지게 된다.

현재 이용되고 있는 시험시공 평가표는 1년 이내에 현장에서 적용된 공법들을 비교·평가하여 사용할 공법을 선정하기 위하여 만든 것이다.

또한 녹화공사 초기에는 식물이 빨리 정착하여 비탈면을 피복하는 것이 주된 목적이므로, 이후에는 비탈면의 경관이나 식생의 영속성 및 유지관리의 차원에서 종합적으로 검토하는 것으로 생각의 전환이 필요하다(KEITI. 2019).

Table 11에서는 기존의 녹화공법 평가표를 기준으로 하고, 시공 후 단계별로 어떤 항목을 중점적으로 고려해야 하는지에 대한 의견을 정성적으로 분석하여 재작성한 것이다. 평가시기를 기준으로 할 때 1단계(1~2년)에서는 기존의 평가기준 대부분이 유효할 것이지만, 이중 정성적인 항목인 녹화지속성, 유사도 등의 항목은 평가하기가 어렵다. 이후 2~3단계에서는 정성적인 항목들을 중요한 요소로 고려할 필요가 있다. 한편 시기에 상관없이 식생피복도, 식물생장량, 출현종수 중 목본의 종류와 개체수 등은 모든 측정시기에서 지속적으로 중요한 인자로 해석할 수 있다.

현재 사용하고 있는 녹화공법 평가표는 2009년에 제시된 것으로서 그동안 녹화공법의 의미와 평가의 개념이 변화된 시대상황을 반영해주지 못하고 있는 것이 현실이다. 또한 최근에는 도로비탈면 사후평가에 대한 연구(Kim *et al.*, 2018)와 같이 녹화공법을 새롭게 평가해야 한다는 인식이 확산되고 있다.

식생의 측면에서 볼 때에도 녹화공사 초기에 적용한 식물이 오랜 시간이 경과한 시점에서도 그대로 유지되는 것은 식물의 천이 특성상 바람직하지 않기 때문에 변화의 양상을 고려해야 하며, 이를 위하여 녹화공법의 평가 방법도 변화하는 식생구조에 맞게 재수립할 필요가 있다. 또한 비탈면에 대해서도 생태복원의 관점을 같이 적용하면서 녹화시공지에 대한 유지관리의 개념도 광범위하게 포함된 새로운 기준 수립을 논의할 시점이라고 생각된다.

IV. 결 론

고속도로 비탈면에서 녹화공법 적용지를 추적조사를 하여 식생의 변화상황을 파악하고, 이를 토대로 초기 평가방법과 함께 중장기적인 측면에서 녹화공법의 품질을 평가할 수 있는 기준을 마련하기 위하여 선행연구(2015년~2016년)와 현장조사(2019년~2020년) 자료를 비교분석한 결과는 다음과 같다.

1. 식물의 생육기반이 되는 토양은 공법 적용 초기에는 식생기반재료의 성분 및 토양물리성이 중요한 요소로 작용하지만, 이후에는 주변의 환경요인에 따라서 지속적으로 변화되기 때문에 토양성분 분석 기준과 같은 자료는 녹화공법 적용 초기에 제한적으로 활용하는 것이 바람직하다.
2. 녹화시공지에 적용한 식물은 시간이 경과하면서 주변에서 침입한 식물과 경쟁을 하면서 변하게 된다. 파종한 식물은 지속성 측면에서 차이를 보이며, 출현식물의 비율을 분석한 결과에 따르면 “도입초종 > 재래초본 및 야생화 > 재래목본”의 순으로 식생 구성에 오래 동안 영향을 주는 것으로 나타나기 때문에, 식생복원 목표를 고려할 때 종자의 배합 및 이들로 인한 식생구조의 변화를 예측하여 신중한 식생배합이 필요하다.
3. 식생피복도는 녹화품질의 시각적 영향에 미치는 중요한 인자로서, 시공초기와 중장기적으로도 중요한 인자로 판단된다. 식생은 천이에 의해 초본 및 목본 군락의 구성상태가 변화되므로 시공초기에는 높은 식생피복도를 필요로 하지만, 중장기적으로는 70% 수준의 식생피복도를 유지하여도 무방할 것으로 보인다.
4. 현행 녹화공법 평가표는 시험시공을 통해서 단기간에 현장에 적합한 공법을 선정하기 위하여 사용하는 것으로, 평가시점이 지난 이후에는 평가결과가 바뀌는 사례가 있기 때문에 1~2년 이내에서 공법간 비교 평가를 수행하는데 제한적으로 사용하는 것이 바람직하다.

5. 녹화공법 평가표에 있는 각각의 항목들은 시공 후 모니터링 시점에 따라서 중요도가 변하게 되므로, 녹화공사 시행 이후 시간이 경과하게 되면 각 항목의 중요도를 달리하거나, 항목별 점수값을 조정하여 사용할 필요가 있다.

이 연구는 1개 현장을 대상으로 이곳에 적용된 재료 배합별 처리를 비교공법의 개념으로 대체하여 분석을 한 것이며, 조사시기의 변동성 등에 따른 요인으로 시험시공에 사용한 개별 녹화공법의 차이만큼 배합비율의 차이에 따른 결과를 명확하게 제시하지 못한 한계점을 가지고 있다. 이와 같은 연구는 좀 더 다양한 현장을 대상으로 확장하여 객관성을 높일 필요가 있기 때문에, 앞으로는 녹화시험시공지에서 공법을 선정하는 초기 1~2년간의 연구에 그칠 것이 아니라 모니터링이 동반된 중장기적인 연구가 필요하다고 제안한다. 또한 관행처럼 사용하고 있는 녹화공법 평가 기준에 대한 문제점 개선을 통하여 유지관리 개념까지 포함한 새로운 평가모델을 수립할 필요가 있다.

References

Brandt J. and K. Henderson. 2015. Integrated Roadside Vegetation Management Technical Manual. University of Northern Iowa UNI Scholar Works Faculty Book Gallery.

Cho D.G., G.S. Jeon, Y.J Shim, D.H. Kim, J.N. Do and M.Y. Park. 2015. A study on the mixing ratio of food waste on slope revegetation base materials. J. Korean Env. Res. Tech. 18(6) : 215-226.

Gil S.H., D.K. Lee, M.W. Cho and B.E. Yang. 2011. A Study on the factors affecting vegetation cover after slope revegetation -Focused on a JSB method of construction-. J. Korean Env. Res. Tech. 14(5) : 127-136.

Jeon G.S. 2004. A study on the revegetation structural analysis for environment factor of road slope. J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech. 7(2) : 12-20.

Jeon G.S. 2013. A study on the plant succession structural analysis in expressway slope. J. Korean Env. Res. Tech. 16(4) : 41-52.

Jeon G.S. and K.J. Woo. 2007. Application cases of test construction of hydro-seeding measures on the slopes along the national road between Gamchon and Yaechon. J. Korean Env. Res. Tech. 10(6) : 139-151.

Jeon G.S. N.C. Kim and T.O. Lee. 2007. Design on slopes revegetation and tentative instruction on construction work. J. Korean Env. Res. Tech. 10(1) : 100-113.

KEITI. 2019. Development of Ecological Restoration Management Technology and Demonstration(test-bed) of Technology (2nd year).

Kim K.H., H.C. Sung, J.Y. Choi and Y.J. Hur. 2017. Vegetation Restoration and Rehabilitation Using Native Plants. NEXUS Environmental Design Centre Press. 135p.

Kim K.H., H.S Kim, I.H. Cho and J.H. Cho. 2019. Ecological Restoration of Limestone Quarry. NEXUS Environmental Design Centre Press. 226p.

Kim N.C., T.O. Lee, G.S. Jeon, Y.J. Hur and K.H. Kim. 2018. Ecological Restoration Engineering -Focused on Nature Restoration and Slope Revegetation Theory-. Bomundang. 569p.

Kim T.K., N.C. Kim, E.B. Kim and M.K Koo. 2018. Suggestion of the post-environmental evaluation of road-side cut slope after revegetation works. J. Korean Env. Res. Tech. 21(4) : 75-86.

Korea Expressway Corporation. 1995. A Study on the Revegetation Methods of Cut-slope in Expressway.

Korea Expressway Corporation. 2015. Development of Lightweight Foamed Soil Stabilizer and Revegetation Measures for Rehabilitation of Losing to the Waves Topsoil Layer in Expressway Cut Slope.

Korea Expressway Corporation. 2016. A Study on Revegetated Test Site of Monitoring for Ecological Restoration Area in Expressway.

Korea Expressway Corporation. 2019. A Study on Monitoring Planting Experiment of Landscaping Trees Considering Expressway Environment (1st year).

Korea Expressway Corporation. 2020. A Study on Monitoring Planting Experiment of Landscaping Trees Considering Expressway Environment (2nd year).

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2009. Guidelines for Design and Construction of Road Slope Revegetation work.

Nam U.K., N.C. Kim, M.H. Cho, I. Gil, S.H. Lee and J.H. Lee. 2007. Technical Articles : Study on the vegetation change of the road-side slopes restored by native herbs and woody plants -Centered with monitoring survey-. J. Korean Env. Res. Tech. 10(4) : 70-82.

Park J.H., G.S. Jeon and K.H. Kim. 2014. Effect analysis of the revegetation in accordance with the conditions of the lower base on slope of expressway. J. Korean Env. Res. Tech. 17(5) : 79-89.

Seoul Regional Construction and Management Administration. 2007 An Evaluation Method for the Application of Environmentally Friendly Road Construction Guidelines for Ecological Road Construction(in Korean).

Song H.K., G.S. Jeon, S.H. Lee, N.C. Kim, G.W. Park and B.J. Lee. 2005. Vegetation structure and succession of highway cutting-slope area. J. Korean Env. Res. Tech. 8(6) : 69-79.

The Korean Institute of Landscape Architecture. 2013. Landscape Design Criteria.

Woo K.J. and G.S. Jeon. 2005. A Study on revgetation character for environment factor of slope. J. Korean Env. Res. Tech. 8(5) : 47-55.