

고속도로 절토비탈면의 식생구조와 천이

송호경¹⁾ · 전기성³⁾ · 이상화⁴⁾ · 김남춘²⁾ · 박관수¹⁾ · 이병준⁵⁾

¹⁾ 충남대학교 산림자원학과 · ²⁾ 단국대학교 환경조경학과 · ³⁾ 한국도로공사 도로교통기술원
⁴⁾ 충남대학교 대학원 산림자원학과 · ⁵⁾ 단국대학교 대학원 생명자원과학과

Vegetation Structure and Succession of Highway Cutting-slope Area

Song, Hokyung¹⁾ · Jeon, Giseong³⁾ · Lee, Sanghwa⁴⁾ · Kim, Namchoon²⁾
Park, Gwansoo¹⁾ and Lee Byungjun⁵⁾

¹⁾ Department of Forest Resources, Chungnam National University,

²⁾ Department of Landscape Architecture, Dankook University,

³⁾ Korea Highway Corporation, Highway & Transportation Technology Institute,

⁴⁾ Department of Forest Resources, Graduate School, Chungnam National University,

⁵⁾ Major in Environment Landscape Architecture, Graduate School, Dankook University.

ABSTRACT

This study was carried out to select proper species for early stage replantation in highway cut-slope area. In highway cut-slope area, sample plots of 106 were selected, and their vegetations and environmental factors were investigated.

1. We found total 172 species in the 106 cutting area of highway. The species of high frequency of highway cut-slope were found in the order of *Lespedeza bicolor*, *Artemisia princeps* var. *orientalis*, *Festuca arundinacea*, *Erigeron annuus*, *Lespedeza cuneata*, *Lactuca indica* var. *laciniata*, *Eragrostis curvula*, *Dactylis glomerata*, *Oenothera lamarckiana*, *Wistaria floribunda*, *Humulus japonica*, *Commelina communis*, *Miscanthus sinensis*, *Pueraria thunbergiana*, *Pinus densiflora*, etc.

2. The average vegetation coverage was over 90% in the study sites and the average coverage was 91.4% in the total cut-slope area. The species of high coverage of highway cut-slope area were found in the order of *Festuca arundinacea*, *Eragrostis curvula*, *Lespedeza bicolor*, *Wistaria floribunda*, *Lespedeza cuneata*, *Dactylis glomerata*, *Artemisia princeps* var. *orientalis*, *Humulus japonica*, *Pueraria thunbergiana*, *Robinia pseudoacacia*, *Poa pratensis*, *Medicago sativa*, *Festuca ovina*, *Pinus densiflora*, *Parthenocissua tricuspidata*, etc.

Corresponding author : Song, Hokyung, Department of Forest Resources, Chungnam National University,
Tel : +82-42-821-5747, E-mail : hksong@cnu.ac.kr

3. The total coverage in the foreign plants of *Festuca arundinacea*, *Eragrostis curvula*, *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis*, *Medicago sativa*, *Coreopsis drummondii* and native plants of *Lespedeza bicolor*, *Wistaria floribunda*, *Lespedeza cuneata*, *Amorpha fruticosa*, *Indigofera pseudotinctoria*, *Lespedeza cyrtobotrya* were 57.52%. That is, the ecological succession of native herbs and parachute shrubs have delayed because the afforested plants occupy 57.52%. In future, the coverage of foreign herbs have to reduce, and the coverage of the native herbs and parachute shrubs must be increased.

4. The native seed of *Artemisia* sp., *Miscanthus sinensis*, *Smilax china*, *Pueraria thunbergiana*, *Rubus crataegifolius*, *Rubus parvifolius*, *Pinus densiflora*, *Rhus chinensis*, *Albizia julibrissin*, *Rhododendron mucronulatum*, *Clematis apiifolia*, *Zanthoxylum schinifolium*, *Prunus sargentii* could be added in the seedling of the temperate south zone highway with the used seeds. The native seed of *Artemisia* sp., *Miscanthus sinensis*, *Rubus crataegifolius*, *Rhododendron mucronulatum*, *Weigela subsessilis*, *Stephanandra incisa*, *Rhus chinensis*, *Pinus densiflora*, *Salix koreensis*, *Cocculus trilobus*, *Populus alba*, *Spiraea prunifolia* for. *simpliciflora*, *Clematis apiifolia*, *Lindera obtusiloba*, *Quercus serrata*, etc., could be added in the seedling of the temperate middle zone highway with the used seeds.

5. We have some recommendation. The native plants have to growth in the highway cut-slope area instead of foreign plants to have good environmental ecology. The role of the foreign plants should be the plant for the initial several years in the highway cut-slope area. And, the native plants should growth in the next season.

6. We should protect shrubs and trees in the highway slope area because shrubs and trees can be more helpful in stabilizing of the slope area than herbs.

Key Words : *DCCA ordination*, *Ecological replantation*, *Ecological succession*.

I. 서 론

도로 공사로 조성된 비탈면은 식생의 생육기 반이 불량하여 자연복원력만으로 복원되기 위해서는 장기간이 소요된다. 이러한 이유로 훼손지를 복원하기 위한 다양한 녹화 방법들이 시행되고 있으나 현재까지 절토비탈면의 녹화는 주로 외래도입 초종을 이용한 지표면 안정 및 조기피복 위주에 급급하여 비탈면 녹화 시 외래도입 초종에만 의존함으로써 주변식생과 조화를 이루지 못하였으며, 녹화 공사 후 2~3년부터는 이들 외래 초본류가 쇠퇴하면서 비탈면이 재 황폐화되는 현상을 나타내기도 한다. 또한, 초기에 조성한 녹화 식물들 중 일부는 지나치게 밀생함으로써 주변의 2차식생의 침입을 방해하는 등 정상천이에

역행되는 녹화공사를 시행하기도 하였다(김남춘 등, 1998; 이미정 등, 2003a; 송호경 등, 2004b).

도로 비탈면의 복원녹화는 비탈면의 길이, 식생 피복도, 해발고, 사면 경사도, 노출된 암반의 종류, 사면 어깨의 상태, 사면의 방위, 사면 보호 공법의 유무 등에 영향을 받으며, 사용한 녹화용 초본종, 목본종과도 밀접한 관련을 맺고 있다(정원옥, 2001; 박문수, 2002; 이미정 등, 2003b; 이미정 등, 2003c; 송호경 등, 2004a).

도로건설로 야기된 비탈면을 녹화시키는 주된 목적은 비탈면에 인위적으로 식생을 조성함으로써 우수 등에 의한 침식을 방지할 수 있고, 지표면의 온도상승을 완화시키며, 식물의 뿌리에 의한 표토를 안정시킴과 동시에 경관 조성상의 효과를 얻으며, 다양한 생물의 서식공간을 제공하

기 위험이다(Morrison, 1981).

최근 생물다양성의 보존이 국가적인 중요 관심사인 점을 고려할 때 외래 초종을 활용한 조기 녹화보다는 지역의 고유종과 자생종을 복원 목표로 하면서 비탈면의 토양침식방지, 야생동물의 서식지 및 은신처 제공, 경관미의 복원에 효과적인 복원녹화방법과 녹화식물을 검토할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 고속도로 절토사면의 입지특성, 토양특성과 식생구조를 조사 분석함으로써 장기적으로 발생하는 비탈면의 생태환경을 복원하기 위한 기초 자료로 활용되도록 하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구 대상지

연구대상지는 경부고속도로에서 11개소, 대구포항고속도로에서 3개소, 남해고속도로에서 5개소, 동해고속도로에서 4개소, 서해안고속도로에서 5개소, 영동고속도로에서 18개소, 울산고속도로에서 1개소, 중부고속도로에서 26개소, 중부내륙고속도로에서 14개소, 중앙고속도로에서 10개소, 평택안성고속도로에서 1개소, 호남고속도로에서 8개소로 총 106개소의 절토사면을 2004년 7월에서 8월과 2005년 7월에서 9월 사이에 고속도로 절토비탈면을 조사하였다.

2. 식생 및 입지환경 조사

식생조사는 고속도로 비탈면에서 자생하는 식물을 대상으로 출현종을 파악하고, 사면의 상부, 중부, 하부에서 각각 1개소씩 2m×2m 크기의 방형구를 설치하고 종별 개체수와 피도를 측정하였다. 또한 환경조사는 식생조사 지역에서 절토사면의 위치, 절토사면 방향, 절토사면 경사, 절토사면장을 조사하였다.

3. 토양분석

각 고속도로 절토사면의 물리적·화학적 특성

을 파악하기 위해 토심, 견밀도, 수분함량, 가비중, 유기물함량, 전질소, 유효P₂O₅, 및 pH 등을 조사하였다.

토양의 대략적인 이화학적 특성을 조사하기 위하여 화강암질 풍화토 사면을 대상으로 지역별로 사면 중간지점의 표토층 0~10cm 깊이의 토양을 채취하여, 토양의 유기물함량은 Wakely-Black wet oxidation법으로 분석하였고, 전질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법으로 정량하였다(Bickelhaupt and White, 1982). 토양의 pH는 1:5로 희석하여 분석하였다. 토양의 가비중은 100cc can을 사용하여 구했으며, 수분함량을 위해 채취된 토양은 비닐에 넣은 뒤 실험실로 운반하여 건조기에서 105℃로 항량에 도달할 때까지 건조시켰다.

4. Ordination 분석

Ordination을 위하여 식생조사에서 얻은 자료로부터 각 종의 합성치를 구하였고, ordination은 DCCA(detrended canonical correspondence analysis)를 사용하였으며(Hill and Gauch, 1980), 자료의 분석은 Ter Braak(1987)의 CANOCO program을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 절토 비탈면 전체의 출현빈도

고속도로 절토 비탈면 106개 조사구에서 출현한 종은 총 172종이었고 씨리가 54개 조사구에서 출현하여 가장 출현빈도율이 높았으며, 쭉이 53개 조사구, 큰김의털이 51개 조사구, 개망초가 49개 조사구, 비수리가 43개 조사구, 왕고들빼기 39개 조사구, 능수참새그렁이 38개 조사구, 오리새가 30개 조사구, 큰달맞이꽃이 27개 조사구, 등나무와 환삼덩굴이 25개 조사구, 닭의장풀이 20개 조사구, 참억새가 19개 조사구, 칩이 18개 조사구, 소나무가 17개 조사구, 아까시나무와 이고들빼기가 16개 조사구, 사철쭉이 14개 조사구, 박주

가리와 자주개자리가 13개 조사구, 강아지풀, 왕 의털이 11개 조사구, 명아주, 큰기름새가 10개 조 포아풀, 족제비싸리가 12개 조사구, 고들빼기, 김 사구, 금계국, 낭아초, 산딸기, 은백양이 8개 조사

Table 1. Frequency of species of highway cut-slope.

Species	Frequency number	Remark
싸리(<i>Lespedeza bicolor</i>)	54	Seeding
쭉(<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>)	53	
큰김의털(<i>Festuca arundinacea</i>)	51	Seeding
개망초(<i>Erigeron annuus</i>)	49	
비수리(<i>Lespedeza cuneata</i>)	43	Seeding
왕고들빼기(<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>)	39	
능수참새그렁(<i>Eragrostis curvula</i>)	38	Seeding
오리새(<i>Dactylis glomerata</i>)	30	Seeding
큰달맞이꽃(<i>Oenothera lamarckiana</i>)	27	
등나무(<i>Wistria floribunda</i>)	25	Planting
환삼덩굴(<i>Humulus japonicus</i>)	25	
닭의장풀(<i>Commelina communis</i>)	20	
참억새(<i>Miscanthus sinensis</i>)	19	
쭉(<i>Pueraria thunbergiana</i>)	18	
소나무(<i>Pinus densiflora</i>)	17	
아까시나무(<i>Robinia pseudo accacia</i>)	16	
이고들빼기(<i>Youngia denticulata</i>)	16	
사철쭉(<i>Artemisia capillaris</i>)	14	
박주가리(<i>Metaplexis japonica</i>)	13	
자주개자리(<i>Medicago sativa</i>)	13	Seeding
강아지풀(<i>Setaria viridis</i>)	12	
왕포아풀(<i>Poa pratensis</i>)	12	Seeding
족제비싸리(<i>Amorpha fruticosa</i>)	12	Seeding
고들빼기(<i>Youngia sonchifolia</i>)	11	
김의털(<i>Festuca ovina</i>)	11	Seeding
명아주(<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>)	10	
큰기름새(<i>Festuca arundinacea</i>)	10	
금계국(<i>Coreopsis drummondii</i>)	8	Seeding
낭아초(<i>Indigofera pseudotinctoria</i>)	8	Seeding
산딸기(<i>Rubus crataegifolius</i>)	8	
은백양(<i>Populus alba</i>)	8	
가죽나무(<i>Ailanthus altissima</i>)	7	Seeding
뚝갈(<i>Patrinia villosa</i>)	7	
명석딸기(<i>Rubus parvifolius</i>)	7	
물오리나무(<i>Alnus hirsuta</i>)	7	
새(<i>Arundinella hirta</i>)	7	
애기수영(<i>Rumex acetocella</i>)	7	
참싸리(<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>)	7	Seeding
개쭉부쟁이(<i>Aster ciliosus</i>)	6	
개여뀌(<i>Persicaria blumei</i>)	6	
담쟁이덩굴(<i>Parthenocissua tricuspidata</i>)	6	Seeding
뽕쭉(<i>Artemisia feddei</i>)	6	
호랑버들(<i>Salix hulteni</i>)	6	Seeding
맑은대쭉(<i>Artemisia keiskeana</i>)	5	
붉나무(<i>Rhus chinensis</i>)	5	Seeding
사위질빵(<i>Clematis apiifolia</i>)	5	
새콩(<i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>trisperma</i>)	5	
서양민들레(<i>Taraxacum officinale</i>)	5	
썩새(<i>Melica onoei</i>)	5	
잔디(<i>Zoysia japonica</i>)	5	Seeding
제비꽃(<i>Viola mandshurica</i>)	5	

구, 가죽나무, 딱갈, 멩석딸기, 물오리나무, 새, 애기수영, 참싸리가 7개 조사구, 개썩부쟁이, 개여뀌, 담쟁이, 뽕썩, 호랑버들이 6개 조사구에서 출현하였다(Table 1).

이들 중 싸리, 큰김의털, 비수리, 능수참새그렁, 오리새, 등나무, 칩, 물오리나무, 자주개자리, 왕

포아풀, 족제비싸리, 금계국, 낭아초, 가죽나무, 새, 참싸리, 담쟁이덩굴, 호랑버들 등은 고속도로 건설시 파종 또는 식재된 식물들이고, 고속도로 건설 후에 침입한 식물들은 썩, 개망초, 왕고들빼기, 큰달맞이꽃, 환삼덩굴, 닭의장풀, 참억새, 소나무, 아까시나무, 이고들빼기, 사철썩, 박주가리,

Table 2. Coverage of species of highway cut-slope.

Species	Coverage(%)	Remark
큰김의털(<i>Festuca arundinacea</i>)	15.02	Seeding
능수참새그렁(<i>Eragrostis curvula</i>)	13.07	Seeding
싸리(<i>Lespedeza bicolor</i>)	8.03	Seeding
등나무(<i>Wistria floribunda</i>)	7.27	Planting
비수리(<i>Lespedeza cuneata</i>)	3.75	Seeding
오리새(<i>Dactylis glomerata</i>)	2.79	Seeding
썩(<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>)	2.62	
환삼덩굴(<i>Humulus japonicus</i>)	2.26	
칩(<i>Pueraria thunbergiana</i>)	2.14	
아까시나무(<i>Robinia pseudo accacia</i>)	2.10	
왕포아풀(<i>Poa pratensis</i>)	1.81	Seeding
자주개자리(알팔파)(<i>Medicago sativa</i>)	1.80	Seeding
김의털(<i>Festuca ovina</i>)	1.70	Seeding
소나무(<i>Pinus densiflora</i>)	1.65	
담쟁이덩굴(<i>Parthenocissua tricuspidata</i>)	1.60	Seeding
족제비싸리(<i>Amorpha fruticosa</i>)	1.37	Seeding
낭아초(<i>Indigofera pseudotinctoria</i>)	1.24	Seeding
잔디(<i>Zoysia japonica</i>)	1.20	Seeding
참억새(<i>Miscanthus sinensis</i>)	1.95	
뽕썩(<i>Artemisia feddei</i>)	1.16	
새(<i>Arundinella hirta</i>)	1.15	
왕고들빼기(<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>)	1.11	
사방오리나무(<i>Alnus firma</i>)	1.06	
큰달맞이꽃(<i>Oenothera lamarckiana</i>)	1.06	
쌀새(<i>Melica onoei</i>)	0.94	
산딸기(<i>Rubus crataegifolius</i>)	0.90	
강아지풀(<i>Setaria viridis</i>)	0.75	
참싸리(<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>)	0.74	Seeding
물오리나무(<i>Alnus hirsuta</i>)	0.73	
닭의장풀(<i>Commelina communis</i>)	0.67	
은백양(<i>Populus alba</i>)	0.65	
금계국(<i>Coreopsis drummondii</i>)	0.63	Seeding
개나리(<i>Forsythia koreana</i>)	0.62	Planting
리기다소나무(<i>Pinus rigida</i>)	0.61	
사철썩(<i>Artemisia capillaris</i>)	0.60	
사위질빵(<i>Clematis apiifolia</i>)	0.59	
개망초(<i>Erigeron annuus</i>)	0.93	
딱갈(<i>Patrinia villosa</i>)	0.55	

강아지풀, 고들빼기, 김의털, 명아주, 큰기름새, 산딸기, 은백양, 뚝갈, 멧석딸기, 물오리나무, 애기수영, 개쭈부쟁이, 개여뀌, 뽕쭈 등은 주변으로부터 침입해 들어온 종들로 판단된다.

이미정 등(2003c)은 경상남도와 전라남도의 임도사면에서 271종이 출현하였다고 보고하였는데, 본 조사에서 172종이 출현한 것은 고속도로 절토 비탈면 초기에 파종한 외래초종들이 밀생되어 자생초종의 침입을 억제한 결과라고 판단된다.

2. 절토 비탈면 전체의 우점도

고속도로 절토 비탈면 전체 조사구의 평균피복율은 91.4%이고, 동해고속도로의 일부 신설구간을 제외하고는 피복율이 대부분 90% 이상으로 양호한 상태라고 판단되나, 이는 비탈면에 피해가 발생 시 바로 복구된 결과라고 생각된다. 한편 생태천이의 관점에서 보면, 우리나라 임도의 비탈면보다도 천이가 진행되는 속도가 더디고, 피해가 발생하면 수시로 복구가 진행되어 천이가 진행되는 것을 방해하는 요인이 되고 있었다(송호경 등, 2003, 2004a, 2004b).

고속도로 절토 비탈면 전체 조사구에서 주요종의 피도는 큰김의털이 15.02%, 능수참새그렁이 13.07%, 싸리가 8.03, 등나무가 7.27%, 비수리가 3.75%, 오리새가 2.79%, 쭈이 2.62%, 환삼덩굴이 2.26%, 칩이 2.14%, 아까시나무가 2.10%, 왕포아풀이 1.81%, 자주개자리가 1.80%, 김의털이 1.70%, 소나무가 1.65%, 담쟁이덩굴이 1.60%, 족제비싸리가 1.37%, 낭아초가 1.24%, 잔디가 1.20%, 참억새가 1.95%, 뽕쭈이 1.16%, 새가 1.15%, 왕고들빼기가 1.11%, 사방오리나무가 1.06%, 큰달맞이꽃가 1.06% 등의 순으로 조사되었다(Table 2).

전체적으로 고속도로 절토 비탈면의 피도로 생태천이를 판단하면, 도입초종인 큰김의털, 능수참새그렁, 오리새, 왕포아풀, 자주개자리, 금계국 등이 35.12%를 차지하고 있으며, 파종식생인 싸리, 등나무수리, 족제비싸리, 낭아초, 참싸리

등이 22.40%를 차지하고 있다. 즉 파종식생이 전체피도의 57.52%로 과반수이상을 점유하고 있어 자생초종 및 풍산포관목류의 침입이 제한되어 생태천이가 지연되고 있었다.

3. Ordination 분석

비탈면의 녹화는 단순히 외래초본으로 피복시키는데 그치지 않고 생태복원녹화의 개념을 도입할 필요성이 인식되고 있다. 특히, 국내외적으로는 녹화식물의 도입 시 초본 위주에서 목본을 주 구성종으로 하는 녹화방법이 적용되고 있으며, 수목류의 식재보다는 파종을 우선시하는 녹화방법이 선호되고 있는 이때, 생태복원에 목표를 둔 적절한 수종의 선발은 시급히 해결해야 할 것으로 판단된다.

고속도로 절토비탈면의 파종식물들은 공사 주체에 따라 동일하지 않고, 또한 비탈면의 피복상태에 따라 재파종 및 재시공이 빈번하게 행해지는 현 시점에서 환경친화적인 고속도로건설을 위한 적절한 초종의 선발은 필수적이라고 할 수 있으며, 이를 위해 ordination 방법을 적용하는 것이 적절하다고 판단된다.

고속도로 비탈면에 침입하는 식생들은 기후에 따라 차이가 있어, 본 연구에서는 조사지역을 Yim and Kira(1975)의 기후대에 따라 온대남부 지역, 온대중부 지역으로 구분하여 분석하였다.

1) 온대남부 지역의 천이

온대남부 지역에 출현한 종들은 13개의 환경요인에 따라 분포하고 있으며, 출현한 종들과 환경요인들을 제1축, 제2축에 의한 상관관계를 살펴본 결과, 여러 환경요인들이 종의 분포와 밀접한 상관관계가 있었다. 즉, 제1축에서는 전질소가 높은 상관관계를 보여주었으며, 제2축에서는 천이계열과 pH가 높은 상관관계를 보여주고 있었다.

온대남부 지역에 출현한 종을 중심으로 천이계열을 추정하기 위하여 종 ordination을 실시한 결과는 Figure 1과 같다.

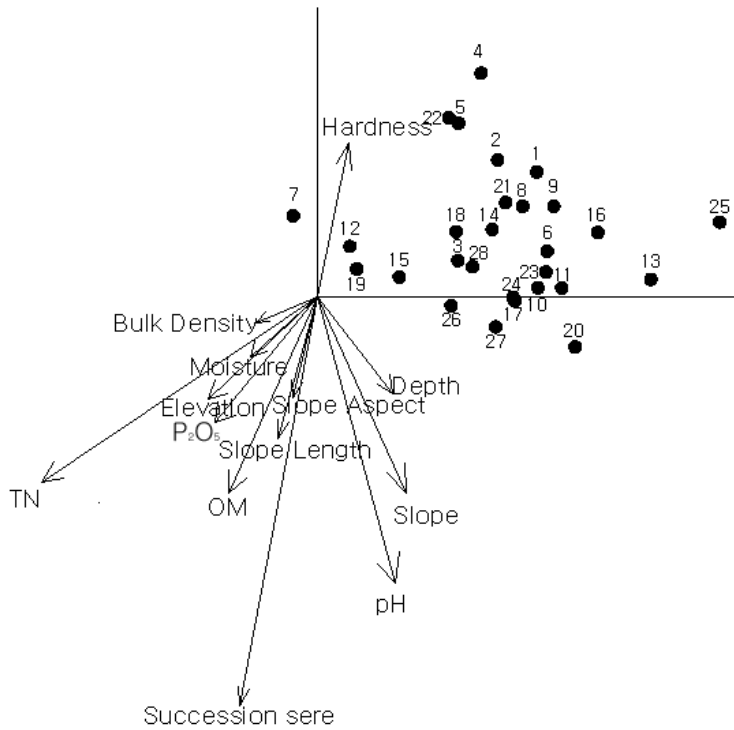


Figure 1. Species ordination by vegetation data of the temperate south zone.

1. *Eragrostis curvula*, 2. *Festuca arundinacea*, 3. *Wistria floribunda*, 4. *Dactylis glomerata*, 5. *Lespedeza cuneata*, 6. *Zoysia japonica*, 7. *Arundinella hirta*, 8. *Lespedeza bicolor*, 9. *Indigofera pseudotinctoria*, 10. *Pueraria thunbergiana*, 11. *Alnus hirsuta*, 12. *Robinia pseudoaccacia*, 13. *Amorpha fruticosa*, 14. *Pinus densiflora*, 15. *Miscanthus sinensis*, 16. *Humulus japonicus*, 17. *Patrinia villosa*, 18. *Artemisia princeps* var. *orientalis*, 19. *Populus alba*, 20. *Alnus firma*, 21. *Lespedeza cyrtobotrya*, 22. *Medicago sativa*, 23. *Rubus parvifolius*, 24. *Artemisia capillaris*, 25. *Parthenocissua tricuspidata*, 26. *Pinus rigida*, 27. *Alnus hirsuta* var. *sibirica*, 28. *Smilax china*.

그림에서 보는 바와 같이 오리새, 큰김의털, 능수참새그렁, 싸리 같은 파종식생으로부터 환삼덩굴, 쑥, 참억새, 사철쑥 등의 다년초를 거쳐 청미래덩굴, 칩, 명석딸기, 소나무, 은백양, 리기다소나무, 사방오리나무, 물괭나무 등의 목본으로 천이되어가는 것을 볼 수 있다.

이미정 등(2003a)이 충청도 임도에서 시공초기에 파종하였던 호밀풀, 오리새, 능수참새그렁, 비수리, 족제비싸리 등이 경과 연수에 따라 산거울, 왕고들빼기, 마타리, 이고들빼기, 제비꽃, 쑥, 맑은대쑥 등의 다년초와 사위질빵, 산초나무, 붉나무, 싸리, 칩, 산딸기, 진달래, 병꽃나무 등의 관목을 거쳐 물오리나무, 산벚나무, 굴피나

무, 줄참나무, 소나무 등으로 변화된다고 밝힌 천이계열을 고려할 때, 기존에 파종하던 식생에 청미래덩굴, 칩, 산딸기류, 소나무, 붉나무, 자귀나무, 진달래, 사위질빵, 산초나무, 산벚나무 등을 첨가하여 파종하는 것이 바람직하다고 생각된다.

2) 온대중부 지역의 천이

온대중부 지역에 출현한 종들은 13개의 환경요인에 따라 분포하고 있으며, 출현한 종들과 환경요인들을 제1축, 제2축에 의한 상관관계를 살펴본 결과, 여러 환경요인들이 종의 분포와 밀접한 상관관계가 있었다. 즉, 제1축에서는 천이계

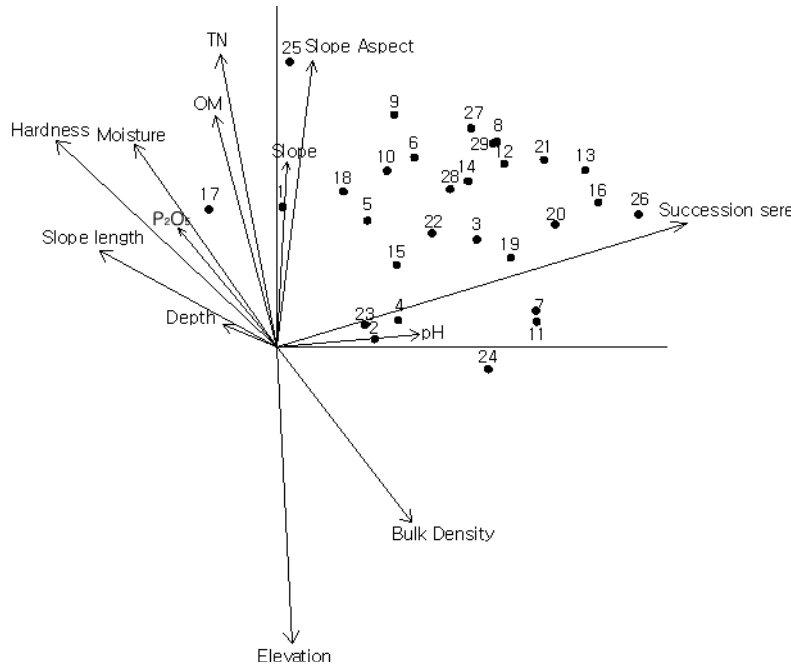


Figure 2. Species ordination by vegetation data of the temperate middle zone.

1. *Festuca arundinacea*, 2. *Eragrostis curvula*, 3. *Lespedeza bicolor*, 4. *Lespedeza cuneata*, 5. *Artemisia princeps* var. *orientalis*, 6. *Humulus japonicus*, 7. *Wistria floribunda*, 8. *Robinia pseudoaccacia*, 9. *Pueraria thunbergiana*, 10. *Artemisia feddei*, 11. *Pinus densiflora*, 12. *Rubus crataegifolius*, 13. *Clematis apiifolia*, 14. *Miscanthus sinensis*, 15. *Amorpha fruticosa*, 16. *Pinus rigida*, 17. *Indigofera pseudotinctoria*, 18. *Lespedeza cyrtobotrya*, 19. *Artemisia capillaris*, 20. *Arundinella hirta*, 21. *Populus alba*, 22. *Salix koreensis*, 23. *Aster ciliatus*, 24. *Artemisia keiskeana*, 25. *Rhus chinensis*, 26. *Quercus serrata*, 27. *Cocculus trilobus*, 28. *Lespedeza maximowiczii*, 29. *Spiraea prunifolia* var. *simpliciflora*.

열과 토양경도가 높은 상관관계가 있었으며, 제2축에서는 해발고, 전질소, 비탈면의 방향이 높은 상관관계가 있었다.

온대남부 지역의 경우, 제1축에서는 전질소가, 제2축에서는 천이계열과 pH가 높은 상관관계를 보여주고 있는데 반하여 온대중부 지역에서는 제1축에서는 천이계열과 토양경도가, 제2축에서는 해발고, 전질소, 비탈면의 방향이 높은 상관관계를 보여주고 있어, 기후대에 따라 약간의 차이는 있으나, 전반적으로 볼 때, 시공 후 경과 연수와 상관성이 있는 천이계열, 온도와 상관성이 있는 해발고, 그리고 수분과 상관성이 있는 비탈면의 방향이 식생의 분포와 상관성이 있다고 판단된다. 이외에 전질소, pH, 토양경도가 식생의 분포와 상관성이 있는 것으로 나타났다.

矢橋震吾와 金光達太郎(1985)이 수분의 동태에 따라 녹화성공에 미치는 영향이 크다고 한 것과 吉田博宣(1983)이 경사도에 따라서 식생성립의 양적 변화가 심하다고 보고한 것을 볼 때, 본 연구에서 수분과 관계가 있는 비탈면의 방향이 종의 분포와 높은 상관을 보이는 것과 같은 결과라고 생각된다.

온대중부 지역에 출현한 종을 중심으로 천이계열을 추정하기 위하여 종 ordination을 실시한 결과는 Figure 2와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 큰김의털, 능수참새그령, 싸리 같은 파종식생으로부터 뽕쭉, 쭉, 환삼덩굴, 맑은대쭉, 사철쭉, 참억새 등의 다년초를 거쳐 산딸기, 붉나무, 소나무, 버드나무, 땃땃이덩굴, 은백양, 조팝나무, 사위질빵, 리기다소나무,

줄참나무 등의 목본으로 천이되어가는 것을 볼 수 있다.

이미정 등(2003b)이 강원도 임도에서 시공 초기에 파종하였던 호밀풀, 오리새, 싸리 등이, 경과 연수에 따라 쭉, 맑은대쭉, 큰기름새, 양지꽃 등의 다년생 초본을 거쳐 산딸기, 진달래, 병꽃나무, 국수나무, 붉나무, 생강나무 등으로 변화된다고 밝힌 천이계열을 고려할 때, 기존에 파종하던 식생에 산딸기, 진달래, 병꽃나무, 국수나무, 소나무, 멧대이덩굴, 은백양, 조팝나무, 사위질빵, 붉나무, 생강나무, 줄참나무 등을 첨가하여 파종하는 것이 바람직하다고 생각된다.

3) 생태천이 분석

Kimmins(1997)는 한 시점에서의 생물상이 시간이 지남에 따라 점차 다른 생물상으로 변화하여 궁극적으로 주위환경과 조화를 이룸으로써 생물상의 변화가 거의 없어지는 안정상태로 유도되는 진행 과정을 생태천이라 하였다. 龜山章(2002)은 비탈면에서의 생태천이를 정상천이와 편향천이로 크게 구분하였으며, 초기 침입종으로 망초, 개망초, 쭉, 참억새 등이 침입하고 이후 싸리류와 소나무 등 2차 식생이 침입하여 천이의 마지막 단계에서 소나무와 진달래, 참나무류 등 목본식물이 우점하여 비탈면이 안정되는 정상천이와 초기 침입종으로 생육이 왕성하여 다른 종들의 침입을 허용하지 않는 아까시나무나 칩이 우점할 경우, 다른 종으로의 천이가 이루어지지 않고 지속적으로 이들 종이 우점하는 형태의 편향천이가 있다고 하였다.

본 지역의 절토 비탈면은 전체적으로 초기에 파종한 식생들이 57.52%로 과반수 이상을 점유하고 있어 자생초종 및 풍산포관목류의 침입이 제한되어 있었다.

정상천이의 생태천이 진행과정을 보면(龜山章, 2002), 풍산포관목류는 시공 후 2년이 경과하면서 출현하고, 중력형 목본류는 8년이 경과하면서 출현하는 것이 보통인데, 본 조사지역에서 풍산

포관목류가 시공 당년부터 출현하고 있는 것은 녹화용 초본류를 파종할 때, 싸리 등 풍산포관목류를 함께 파종하기 때문이라고 생각된다. 아울러 목본류가 시공 후 초기 단계부터 출현하기 시작하는 것도 임도 사면위에 분포하고 있던 소나무가 침입하였기 때문이라고 생각된다. 중력형 목본류라고 할 수 있는 참나무류는 절토비탈면 전체 106개 조사구 중 1~2개 조사구에서 출현하고 있으며, 피도도 전체의 0.09% 이하로 매우 낮게 출현하였다.

고속도로 절토비탈면이 정상적인 생태천이로 진행하기 위해서는 녹화용 초본류가 시공 후 십여 년이 경과하면 도태되어야 하는데(龜山章, 2002), 우리나라에서 1968년에 경부고속도로가 건설된 지 30여년이 지났으나, 아직도 환삼덩굴, 큰김의털, 아까시나무, 싸리, 쭉, 산딸기, 능수참새그렁, 칩 등과 같은 초기의 파종 식생과 다년생 초본이 우점하고 있어 생태천이가 지연되고 있었다. 이미정 등(2003a)과 송호경(2003, 2004b)은 초기에 녹화용 초본류를 과도하게 파종하면 나중에 들어오는 식물들의 정착을 방해해 생태천이에 지장을 준다고 하였는데, 본 조사지역의 대부분에서 큰김의털, 능수참새그렁, 싸리, 등나무, 비수리, 오리새 등이 과도하게 파종되어 나중에 들어오는 식물들의 정착을 방해하고 있었다.

고속도로 비탈면 관리는 정상천이를 진행시키는 역할을 하는 것이 바람직하다. 고속도로 절토비탈면의 천이계열을 1~2년생초본, 다년생초본, 풍산포관목류, 중력형 목본류라고 할 때, 초본보다는 목본을, 관목류보다는 목본류를 보호하는 방향으로 관리하는 것이 정상천이를 촉진시키는 바람직한 관리방향이라고 판단된다. 또한 목본류가 초본류보다도 고속도로 절토비탈면의 안정화에도 큰 도움이 됨으로, 고속도로 비탈면의 관리는 침입하는 목본류를 보호하는 방향으로 실시되는 것이 바람직하다.

IV. 결 론

고속도로 절토비탈면의 녹화에 적절한 식물을 선별하기 위하여 전국의 고속도로 절토비탈면에서 106개의 조사구를 설치하여 식생과 환경인자를 조사하였다.

1. 고속도로 절토 비탈면 106개 조사구에서 출현한 종은 총 172종이며, 빈도율 순위는 싸리, 쭉, 큰김의털, 개망초, 비수리, 왕고들빼기, 능수참새그령, 오리새, 큰달맞이꽃, 등나무, 환삼덩굴, 닭의장풀, 참억새, 칩, 소나무 등의 순이다.

2. 고속도로 절토비탈면의 피복도는 90% 이상으로 평균 피복도는 91.4%이었다. 고속도로 절토비탈면 전체에서 피도가 높은 종은 큰김의털, 능수참새그령, 싸리, 등나무, 비수리, 오리새, 쭉, 환삼덩굴, 칩, 아까시나무, 왕포아풀, 자주개자리, 김의털, 소나무, 담쟁이덩굴 등의 순이다.

3. 고속도로 절토 비탈면에는 도입초종인 큰김의털, 능수참새그령, 오리새, 왕포아풀, 자주개자리, 금계국 등과 파종식생인 싸리, 등나무, 비수리, 족제비싸리, 낭아초, 참싸리 등이 총 57.52%로 파반수이상을 점유하고 있어 자생초종 및 풍산포관목류의 침입이 제한되어 생태천이가 지연되고 있었다.

4. 온대남부 지역에서 식생을 파종할 때 첨가되어야 할 자생 초·목본으로는 쭉류, 참억새, 청미래덩굴, 칩, 산딸기, 명석딸기, 소나무, 붉나무, 자귀나무, 진달래, 사위질빵, 산초나무, 산뽕나무 등이다. 온대중부 지역에서 식생을 파종할 때 첨가되어야 할 자생 초·목본으로는 쭉류, 참억새, 산딸기, 진달래, 병꽃나무, 국수나무, 붉나무, 소나무, 버드나무, 땃대이덩굴, 은백양, 조팝나무, 사위질빵, 생강나무, 줄참나무 등이다.

5. 고속도로 절·성토 비탈면의 안정성과 주변 식생과의 조화를 위해서는 도입 외래 초종보다는 자생 초·목본식물이 침입하여 자랄 수 있는 환경을 만들어주는 것이 절실히 필요하다고 생각된다. 외래 도입 초종은 녹화 초기의 10년 정도의 녹

화로 그 역할을 만족해야 된다고 생각되며, 이를 위해서는 도입 초종의 녹화 시 자생 초종 및 관목을 적절히 혼합하여 파종하는 것이 바람직하다.

6. 초본보다는 목본이 비탈면의 안정화에 큰 도움이 됨으로, 고속도로 비탈면의 관리는 침입하는 목본류를 보호하는 방향으로 실시되는 것이 바람직하다.

인 용 문 헌

- 김남춘 · 석원진 · 남상준. 1998. 비탈면 조기 식생녹화를 위한 식물배합에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3) : 8-18.
- 박문수. 2002. 임도 절토비탈면의 우점식물과 식물피복에 미치는 인자들의 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 5(1) : 19-27.
- 정원옥. 2001. 임도 절토 비탈면의 안정과 식생활착에 미치는 환경인자의 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 4(2) : 74-83.
- 송호경 · 박관수 · 이미정 · 김효정 · 지윤의 · 이준우. 2003. 화강암질 풍화토 절토비탈면의 자생식물 선정(충청도와 경상북도 임도를 중심으로). 한국환경복원녹화기술학회지 6(5) : 48-58.
- 송호경 · 박관수 · 이준우 · 이미정 · 김효정 · 권오원. 2004a. 화강암질 풍화토 절토비탈면의 식생구조 분석(경상도와 전라도 임도를 중심으로). 한국환경복원녹화기술학회지 7(1) : 59-67.
- 송호경 · 박관수 · 이준우 · 이미정 · 이상화 · 김효정. 2004b. 화강암질 풍화토 절토비탈면의 식생구조와 천이(강원도 임도를 중심으로). 한국환경복원녹화기술학회지 7(6) : 84-93.
- 이미정 · 송호경 · 이준우 · 전권석 · 김효정 · 정도현. 2003a. 임도 절토비탈면의 식생천이(충청도를 중심으로). 한국임학회지 92(4) : 397-408.
- 이미정 · 이준우 · 전권석 · 김효정 · 최윤호 · 정

- 도현 · 송호경. 2003b. 임도사면의 생태적 녹화를 위한 자생식물의 선정(강원도 지역 임도를 중심으로). 한국환경복원녹화기술학회지 6(4) : 24-32.
- 이미정 · 이준우 · 전권석 · 지윤의 · 김명준 · 김중윤 · 송호경. 2003c. 임도사면의 생태적 녹화를 위한 자생식물의 선정 및 관속식물상(경상남도 와 전라남도 임도를 중심으로). 한국환경생태학회지 17(3) : 201-209.
- 龜山章 編. 2002. 生態工學. 朝倉書店. 168 pp.
- 吉田博宣. 1983. 道路切取にのり面の植生景觀に關する 研究. 造園雜誌 47(1) : 46-51.
- 矢橋震吾 · 金光達太郎. 1985. マサ土法面の水平分布と崩壊について. 造園雜誌 48(5) : 103-108.
- Bickelhaupt, D. H. and E. H. White. 1982. Laboratory manual for soil and plant tissue analysis. SUNY Coll. Envir. Sci. and For., Syracuse, N.Y. pp. 67.
- Hill, M. O. and H. G. Jr. Gauch. 1980. Detrended Correspondence Analysis and Improved Ordination Technique. *Vegetatio* 42 : 47-58.
- Kimmins, J. P. 1997. *Forest Ecology*. Prentice Hall. New Jersey. pp. 400.
- Morrison, D. G. 1981. Principles of renegotiating mined Lands. *Proceedings of wildlife Values of Gravel Pits*. Madison, Wisconsin : University of Wisconsin-Madison. pp. 51-57.
- Ter Braak, C. J. F. 1987. CANOCO - A FORTRAN Program for Canonical Community Ordination by Correspondence Analysis, Principal Components Analysis and Redundancy Analysis (Version 2.1) TNO Institute of Applied Computer Science, Statistics Department, Wageningen, The Netherlands.
- Yim Y. J. and T. Kira. 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula. I. Distribution of some indices of thermal climate. *Japanese Journal of Ecology* 25(2) : 77-88.

接受 2005年 10月 24日