

특허 제0500378호

자연의 재 활용과 기존수림의 재현을 위한 리사이클링에코녹화공법



2007

유한회사 이앤엘유토 생태복원팀

리사이클링에코녹화공법 설계 메뉴얼
(2007년)

1. 들어가며	1
2. 리사이클에코녹화공법	1
2-1. 개 요	1
2-2. 수목그루터기에 의한 산림재현	5
3. 공법적용 및 설계	7
3-1. 공법적용	7
3-2. 수목그루터기의 굴취장소	8
3-3. 수목그루터기의 수종선정	8
3-4. 부지설계	11
3-5. 식재밀도	11
4 시 공	13
4-1. 시공적기	13
4-2. 수목그루터기의 굴취와 식재	13
4-3. 녹화조성지의 표토보전	15
5. 녹화 후 관리	16
5-1. 조성지의 관리	16
5-2. 녹화 후 수목그루터기의 관리	17
5-3. 녹화지의 수직적 계층구조와 관리	18

1. 들어가며

국토가 인구에 비해 좁고 약 65%가 산악지형인 우리나라는 지형적 특성 때문에 항시 개발의 위험에 노출될 수밖에 없는 설정이며, 실제로 2003년을 기준으로 지난 20여년간 약 226,000ha의 면적이 산림에서 사라져 간 것으로 보고 되고 있다(산림청, 2003). 산림청의 산림기본통계자료에 의하면, 1995년에 6,451,885ha였던 산림면적이 2002년 현재 6,411,893ha로 지난 7년간 약 40,000ha(0.6%) 감소하여 매년 약 5,700ha의 산림이 훼손되고 있으며 벌목 후 63,833m³의 수목그루터기가 재활용되지 못하고 폐기되고 있으며, 최근 택지개발, 댐 건설 등의 대규모 토목공사로 불가피하게 산림훼손이 이루어지고 있고 이로 인해 많은 임목폐기물(수목그루터기, 잔가지, 등)이 발생하고 있으며 임목폐기물처리에 많은 어려움을 겪고 실정이다. 하지만 이렇게 폐기되는 산림자원은 오랜 기간 우리나라 산림을 유지해온 귀중한 생물자원이다.

따라서 본 매뉴얼에서는 생물자원인 임목폐기물의 재활용방법을 제시하고 임목폐기물을 재활용한 녹화공법을 기술하고자 한다.

2. 리사이클링에코녹화공법

2-1. 개요

리사이클링 에코녹화공법은 각종 산지공사로 인해 불가피하게 발생하는 산림훼손지에서 산림표토, 폐목, 수목그루터기 등 폐자원을 최대한 재활용하여 훼손지의 자생수목을 조기에 복원시키는 공법으로 산림생태계 훼손지 복원시스템과 조화된 녹화공법이다. 세부적으로 산지개발시 산림훼손지의 표토를 리사이클링 (재활용)함으로써 식물생육환경을 조성할 뿐만 아니라 생물종다양성을 증진시키고, 산림훼손지에서 발생한 수목그루터기를 이용한 훼손지 녹화는 묘목보다 생장이 빠르고, 맹아수도 많아 조기녹화가 가능하며, 임목수확 후 폐기되는 수목을 이용하여 섬유질형 우드칩으로 만들어 녹화지역에 재활용함으로써 조기에 기존 수림구조로 재현할 수 있는 공법이다.

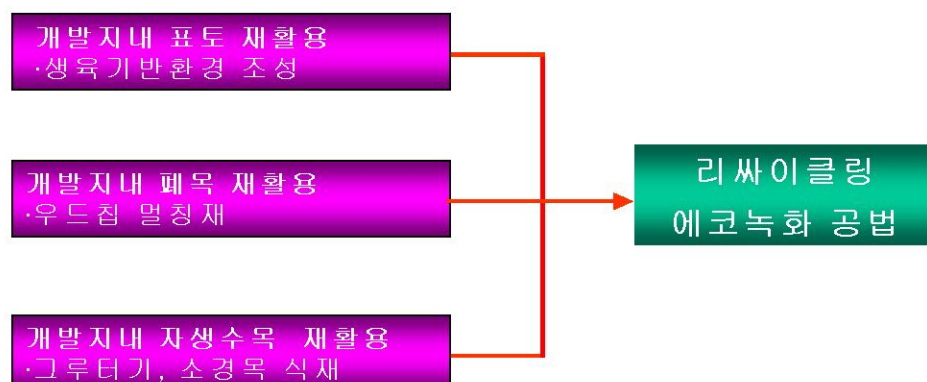


그림 1. 리사이클링 에코녹화공법 개념도

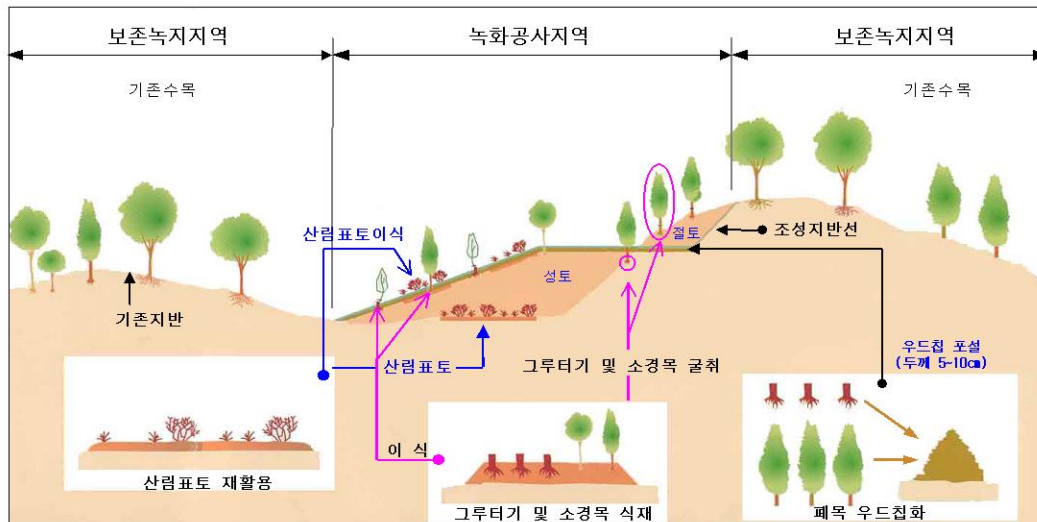


그림 2. 리싸이클링 에코녹화공법 구상도



1) 이식대상

리싸이클링 에코녹화공법을 적용하여 자연적으로 안정적인 수직적 계층구조의 자연림을 재현하기 위해서는 산림훼손과정에서 발생하는 성목(소경목, 그루터기)뿐만

아니라 숲을 구성하는 임상식생(관목·초본류)과 산림표토(산림토양미생물, 산림토양 동물, 매토종자 등 포함) 등 다양한 생물생태적 자원을 한 묶음으로 이식하는 것이다.

2) 적용 대상지

이 공법을 적용하는 대상지는 각종 개발로 인해 발생하는 훼손된 산림가운데 자연성이 높은 이차림 이상의 수림구조를 재현하는데 있으며, 기존 수림훼손 후 주변지역의 산림경관과 연속적인 경관을 연출하는 곳, 조성법면 등 자연적인 기존 수림구조를 재현하고자 하는 곳에 적합하다

3) 유의사항

리사이클링 에코녹화공법은 훼손된 이차림 이상의 수림을 조기에 복원하는 기술로서 좋은 성과를 기대할 수 있지만, 인공적으로 조기 녹화된 숲이 향후 안정적이고 이상적인 수림을 형성하기 위해서는 식물의 생육특성을 고려한 적절한 관리 조절여하에 달려있다고 할 수 있다. 따라서 리사이클링 에코녹화공법의 시공에 있어서 산림이 훼손되는 토지의 조성공사부터 이식공사, 그리고 녹화 후 관리까지 전체적인 관점에서 시공계획이 요구되어진다.

4) 시공시기

본 공법을 가장 효과적으로 실시하기 위해서는 근계발달의 휴지기인 가을에 이식하는 것이 최적기이다. 따라서 녹화공사시 근주의 채취 및 이식공사는 식물의 생활사에 맞추어 공정계획을 작성한다. 또한, 녹화초기는 이식목과 잡초와의 경합기가 발생하는 시점으로 잡초제거, 덩굴제거 등 초기관리체제를 동시에 고려하여 시공계획을 할 필요가 있다.

5) 시공사례

- 장소 : 전라남도 장흥군 부산면 장흥다목적댐 배면부
- 복원계획 및 공사기간 : 2002년-2004년
- 공사 면적 : 5ha
- 공사 주요내용
 - 리사이클링 에코녹화공법을 최초로 적용한 자연식생구조 복원 녹화계획임
 - 댐배면부를 주변산림과 유사하게 조성하기 위해 리사이클링 에코녹화공법 실시하였으며, 댐 배면부의 상부에는 낙엽활엽수군락, 하부에는 소나무군락, 가장자리에는 주연부군락을 재현

- 녹화목표를 효과적으로 달성하기 위해 녹화수목을 수몰예정지내 그루터기와 소경목, 이식목(소나무), 풋트수목을 이용하여 식재
- 수몰예정지의 표토, 그루터기, 폐목 등 자연·생물자원을 재활용함으로써 국토 및 지구환경보전에 기여



사진 5. 리사이클링 에코녹화공법 적용사례(장흥다목적댐)

6) 리사이클링에코녹화공법의 특징

① 폐자원 재활용 가능

리사이클링 에코녹화공법은 각종 산지공사로 인해 불가피하게 발생하는 산림훼손지에서 산림표토, 폐목, 수목그루터기 등 폐자원을 최대한 재활용하고 자연적으로 안정된 수림형성을 조기에 도모하기 위한 것으로 성목뿐만 아니라 산림내 관목, 초본류, 토양소동물, 토양미생물, 매토종자 등 다양한 생물자원의 리사이클링(재활용)을 통하여 훼손지의 산림식생을 복원시키기 위한 녹화시공방법이다.

② 종다양성 증진 가능

리사이클링 에코녹화공법은 식물활착 및 생장이 불량한 토공기반층에 도입식물의 조기활착과 왕성한 식물생장이 가능하도록 산림표토를 재활용하여 식물생육기반환경 조성뿐만 아니라 기존 수림의 매토종자에 의한 종다양성을 증진시킬 수 있다.

③ 기존 산림식생구 조기 재현 가능

식물활착 및 생장이 불량한 토공기반층에 도입식물의 조기활착과 왕성한 식물생장이 가능하도록 산림표토를 재활용하여 식물생육기반환경 조성하여 산림훼손지에서 목재활용 후 버려지는 수목그루터기나 풋트에서 재배한 자생풋트수목을 이용하여 산림식생구조를 조기에 기존수림으로 복원/재현할 수 있다.

④ 주변 산림생태계의 교란 방지 및 경관복원 가능

우수시 발생하는 사면의 침식 및 세굴방지와 녹화초기에 도입식물이 외부에서 유입된 초본류에 의해 피압되는 것을 방지하기 위해 폐기물로 버려지는 기존 수목을 이용하여 편집형 우드칩멀칭재로 리싸이클링을 통하여 훼손지의 자생수목을 조기에 재생시킴으로써 주변 산림생태계의 교란을 방지하고 경관복원을 위한 녹화시공방법이다.

⑤ 공사가 간편하고 경제적이다.

공법이 비교적 간단하고 수형을 갖춘 수목에 비해 식재가 간편하고, 지주가 필요하지 않기 때문에 경제적이다.

2-2. 수목그루터기에 의한 산림재현

수목그루터기의 맹아생장 과정은 수종과 현지 생육기반환경, 식재밀도에 따라 약간 다르지만, 산림표토를 이용하여 생육기반환경을 조성한 대상지일 경우 1년에 맹아지는 주당 20-60개를 발생시키며 수고생장은 최대 1m정도에 이른다. 수관층은 녹화 후 4-5년이 경과되면 형성되고 수고는 4m이상 생장하며, 맹아생장에 의한 숲의 형태는 10년 정도 걸릴 것으로 예상된다. 숲의 형태로 진행되는 과정에서 근주와 함께 유입된 임상초본 및 매토종자가 생육, 발아하여 식물상뿐만 아니라 토양동물상도 풍부해져 간다. 그러나 자연적인 숲의 형태를 만들어가기 위해서는 녹화 후 적절한 체계적 관리가 요구되어진다.

1) 수목그루터기에 의한 산림재현과정

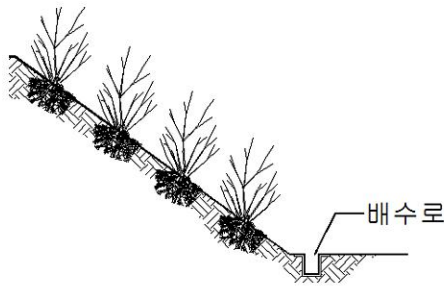
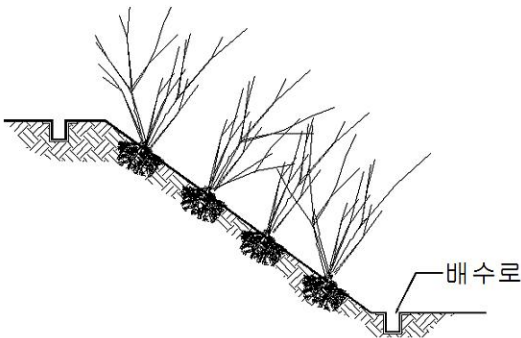
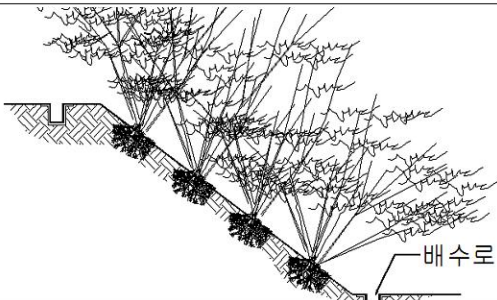
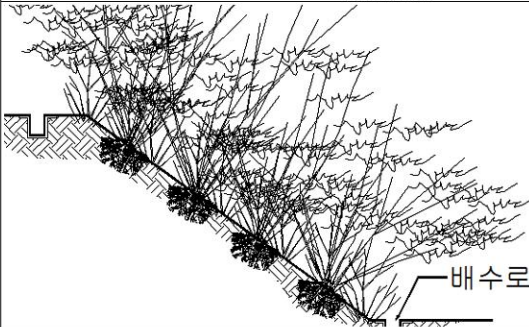
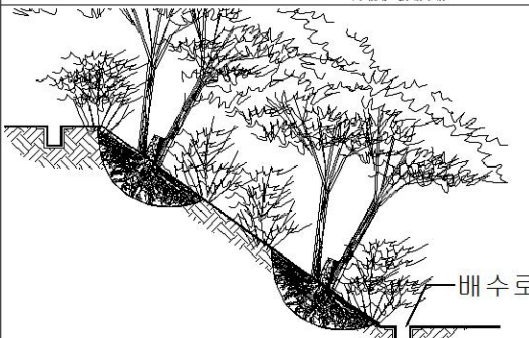
수목그루터기를 이식한 후 산림재현과정은 아래와 같이 진행된다.

- ① 수목그루터기의 활착, 맹아지 발생
- ② 수목그루터기 맹아지의 생장
- ③ 수목그루터기와 함께 이입된 식물의 발아, 생장, 번식
- ④ 수목그루터기와 함께 이입된 각종 산림토양동물 및 산림토양미생물의 번식
- ⑤ 수목그루터기에 의한 산림환경 발달과정으로 수관층 형성에 따른 산림내부 환경의 안정화, 유기물의 퇴적 등에 의한 토양형성, 건조지에서 습윤지로 변화
- ⑥ 수목그루터기와 이입된 식물의 성장저해요인이 되는 잡초번식의 인위적 조절
- ⑦ 수목그루터기의 과대, 무질서한 번식, 맹아 등 전정에 의한 적정 밀도 조절

2) 수목그루터기에 의한 산림재현 기간

수목그루터기의 가을이식시기(11월)에서 활착율은 거의 100%에 가까운 활착율을 보였으며, 3월(초봄)에는 96.6%, 5월(늦봄)에는 93.3%의 활착율을 보였다(나경태, 2004).

표 1. 수목그루터기에 의한 식생천이 촉진방법과 산림재현과정

경과년도에 따른 성장과정 추정도	수목그루터기 생장예측과 주요 관리요령
	1년경과(수목그루터기 맹아발생시기) 수목그루터기의 이식시기는 근계 휴면기인 가을 10~11월에 최적기이다. 가을 이식 후 이듬해 봄에 발생된 맹아지는 수고 0.5m~1m의 관목형태로 나타난다. 맹아 발아수는 주당 20~50본이고, 녹화 대상지의 상태는 썩, 개망초 등 1년생 및 다년생 초본의 침입으로 수목그루터기와 경합이 예상됨으로 초기 제초가 중요한 시기이다.
	3년경과(경합기) 맹아지의 수고는 1.0m~2.0m정도 성장하고, 다수의 초본류(썩 등)와 냉쿨식물(환삼덩굴, 돌콩, 얼치기완두 등) 번식이 예상된다. 이 시기는 냉쿨제거와 제초가 불가결하다. 만약 방치할 경우 공기순환이 이루어지지 않아 녹화지는 온도가 상승하여 수목그루터기가 물크러져 약해진다. 이때 다공균류가 약해진 수목그루터기에 착생하여 수목을 고사시킨다. 이때, 필요에 따라 맹아지를 전정해 주기도 한다.
	5년 경과(수관층 형성기) 수목그루터기의 맹아지 생장이 빠른 곳에서 수관층이 형성되기 시작한다. 녹화대상지내의 썩 등 다년생 초본류, 특히 침냉쿨 등이 남는다. 한편 활착률이 낮고, 침냉쿨의 번식이 왕성한 장소는 다른 종들을 고사시킨다.
	[수림밀도 조절기] 8년 경과 맹아지의 생장에 의한 과밀화가 발생한다. 맥벌, 제벌에 의한 수림구조의 조절이 필요하다. 예를들면 국수나무, 조록싸리 등 호광성 주변부 수종은 산림내로부터 주변부로 이식하거나 필요에 따라 싸리 등 선구수종의 제벌을 행한다.
	10년 경과(수림구조 조절기) 수목그루터기는 수고 7.0m~8.0m, 흉고직경 10cm 정도로 성장한다. 기존 산림과 유사한 식생천이 및 층위구조를 재현하기 위해 필요에 따라 제벌 및 간벌을 실시하여 녹화지내의 조도조절과 아교목, 관목류를 보식하여 산림식생구조 및 천이를 유도한다.

수목그루터기의 이식 후 표 1과 같이 산림식생구조가 재현되기까지 식재밀도에 따라 5-10년정도의 시간이 경과되리라 추정된다. 이와 같이 산림이 재현되는 기간동안 녹화지의 상태에 따라 풀제거, 냉쿨제거가 필요하지만 특히, 초기단계의 관리가 중요하다.

3. 공법적용 및 설계

3-1. 공법적용

이 공법을 적용하는 대상지는 1,000평 이상 산림을 훼손하는 개발사업에 적용할 수 있으며, 활엽수림 훼손지에서 보다 적합하며, 대면적 녹지조성지, 주변경관과 연속적인 경관을 연출하고자 하는 완충녹지대 자연숲 조성, 성토비탈면 등에 자연성이 높은 이차림 이상의 수림구조를 재현하는데 적합하다.

리사이클링에코녹화공법의 적용에 있어서 자연적 입지조건을 확인하는 것이 반드시 필요하며 또한 주변 산림경관과 녹지축 연결을 위해서 개발지구의 토지이용 기본계획도 및 녹지계획도 등에 포함되어 추진할 수 있도록 하며 녹화 후 주변산림과의 경관도 고려하여야 한다.

1) 주변경관과 조화로운 녹지축 구축

리사이클링 에코녹화공법을 적재적소에 적용하기 위해서는 조성지의 확인과 더불어 개발지구 전체의 공사가 완료되고, 시간이 경과함에 따라 조성지가 어떠한 모습의 경관이 될지 예상하는 등 녹지의 질이나 그 기능에 대해 구체계적인 목표를 설정하여야 한다. 현실적으로 토지이용에 대한 기본설계는 자연적 입지구조를 근거로 한 계획이 드물어 조성법면의 상·중·하부의 토질층 확인이 반드시 필요하다.

2) 녹화설계를 위한 기본적 입지요소 조사

- ① 개발지구의 현존식생도, 항공사진, 현장조사 등을 통하여 주변현황을 파악하고 목표군락을 결정한다.
- ② 지형, 지질, 토양, 식생조사 등의 통하여 구체적 수종 및 밀도를 산출한다.
- ③ 이미 조성된 경우, 원지형과 조성기본계획 중복 그림을 사용, 조성지의 토양상태(양호·불량), 주변으로부터의 표층수, 지하수의 거동 등을 파악한다.

3) 리사이클링에코녹화공법 설계원칙

- ① 대상지나 주변의 자연식생, 안정된 숲, 경관적으로 우수한 숲 등의 식생구조를 군집조사하여 식재모형으로 설계화 한다.
- ② 자연식재 설계시 종구성은 목표하는 식생경관 조성 및 유지·관리의 효율성을 위하여

식생천이계열을 고려한다.

- ③ 대상지의 물리적인 환경의 제약성을 파악하여 목표식생을 결정한다.
- ④ 식재수목은 그루터기를 위주로 하며, 경관상 문제가 발생할 경우 노지수목, 포트수목을 사용한다.
- ⑤ 장·단기 식생관리계획을 수립한다.

3-2. 수목그루터기의 굴취장소

수목그루터기의 굴취장소는 보전림 이외 모든 개발대상 산림이 되지만, 안정적이고 활력이 있는 산림 즉, 산림내 초본으로부터 교목층까지 다양한 층위가 발달한 자연식생군락이 바람직하다. 수목그루터기는 이식시 활착의 어려움을 고려할 경우 그다지 큰 나무가 아닌, 근원직경 분포가 25cm를 넘지 않는 산림이 최적지이다.

수목그루터기의 굴취장소와 이식장소는 토양, 수분조건 등 입지환경조건에 있어서 차이가 적은 것이 바람직하다. 또한, 반출시 반출로 등의 조건인 구배, 반출거리 등에도 고려한다.

1) 굴취장소와 이식장소

수목그루터기의 활착률을 높이기 위해서는 계획단계에서 수목그루터기의 굴취장소와 이식장소의 균등한 입지환경조건을 고려해야한다. 즉, 이식장소가 골짜기를 따라 습윤한 지역에 입지하면 굴취장소도 같은 입지의 장소를 선택하며, 이식장소가 건조한 곳에 입지하면 굴취장소 또한 건조한 곳을 선택하여 굴취한다.

2) 층위구조가 발달한 산림

활엽수림에 의한 수관층 형성(폐쇄) 등으로 수관층위구조가 단순한 장소 보다도 낙엽수림 혹은 상록수의 혼효림에서 층위구조가 발달한 곳이 좋다.

3) 시공조건이 용이한 장소선정

시공조건으로서 굴취, 반출방법, 반출거리 등의 조건을 고려하여 선정함으로서 공사의 효율성 및 녹화 후 활착율을 높일 수 있다.

3-3. 수목그루터기의 수종선정

수종선정은 식재목적, 식물생육환경, 식물선호도, 관리목표 등에 따라서 결정한다. 구체적인 선정에 있어서는 사전에 굴취장소의 매목조사를 통하여 녹화대상이 되는 수종을 선별한다. 또한 대상지가 포함되는 식생지역의 표징종, 식별종 및 희귀한 종 등을 소경

목, 관목류를 포함해 먼저 결정한다. 이것은 지역의 자연경관과 생태적 측면에서 바탕이 되는 녹지의 질적인 문제로서 지역적 종 조성인 수림구조의 재현과 종의 보존 등의 의의를 포함하는 것이다.

1) 종 구성

녹화설계 단위별로 수종선정이 끝났을 때, 수종들의 식재비율을 일률적으로 정하기는 힘들다. 일반적으로 안정된 식물군집에서 우점종의 비율이 50% 이상이므로, 성숙 후 우점종 비율이 50% 내외가 되도록 설계한다.

해당 녹화대상지 주변의 우점종은 지역마다 다르지만, 장흥댐배면부 낙엽활엽수 군락, 소나무군락을 예시하면 다음과 같은 종을 들 수 있다.

예) 장흥댐 배면부

① 낙엽활엽수 군락

교목 : 갈참나무, 상수리나무, 산벚나무, 비목

아교목 : 때죽나무, 나도밤나무

관목 : 생강나무, 고추나무, 덩굴나무

② 소나무 군락

교목 : 소나무

아교목 : 때죽나무, 개암나무

관목 : 진달래, 조록싸리

이 수종들은 기존 수림구조를 재현하는 것으로 수직구조의 계층화를 위해 다양한 종의 조합을 고려한 수종선택이다. 식물군집을 종의 조합에 따라 구분하는 것과 같이 산림의 질적인 측면에서의 지표가 된다.

2) 희귀종의 선정

그 지역의 고유수종선정은 종다양성, 생물자원보존측면에서 매우 중요하다. 이러한 귀중한 생물자원의 선정은 재현하는 식생구조의 다양화와 안정화를 유도한다.

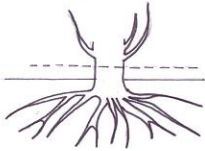
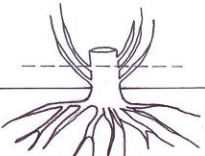
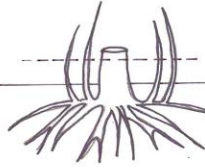
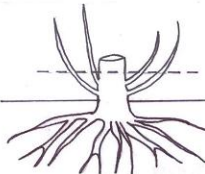
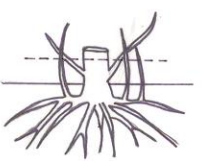
3) 주연부수종과 소경목의 추출

안정적이고 자연적인 층위구조의 산림을 재현하기 위해서는 교목류의 근주뿐만 아니라 그 구성종으로서 소경목과 관목류, 조록싸리와 같은 주연부수종 등의 채취도 필요하다. 따라서 이 수종들의 채취는 교목류의 벌채에 앞서서 이루어지 것이 효과적이다. 관목류의 수목그루터기는 교목성 수목그루터기보다 절지부위를 약간 높게 잘라 맹아지를 재생시키는 것이 바람직하다.

4) 침엽수와 직근성의 수종은 피한다.

굴취대상 수종중 맹아지가 발생하지 않는 침엽수나 직근성 수종인 자귀나무 등의 수종은 활착률이 낮기 때문에 굴취대상에서 제외하며, 특별하게 굴취해야 할 경우 별도로 대형이식기를 사용하는 방법에 이용한다. 자연식생구조 재현방법로서의 리사이클링 에코공법은 앞서 기술한 것처럼 성목이식과 실생묘(풋트묘) 식재 등과 조합시키는 경우도 있지만 공법의 복합적 방법의 하나로 리사이클링에코녹화공법을 제시하고자 한다.

표 2. 맹아발생의 유형 및 기준해설

Type	맹아발생 유형	유형 해설기준
A		수목그루터기의 절지부위 상단부 이상에서 근주맹아가 발생할 경우
B		전체적으로 수목그루터기에서 근주맹아가 발생한 경우(단, 근맹아 발생시 제외함)
C		그루터기 전체적으로 근주맹아와 근맹아가 발생한 경우
D		그루터기 뿌리부분에서 중간부 이하에서 근주맹아가 발생한 경우
E		그루터기 절지부위 중간부 이하에서 근주맹아가 발생할 경우
F		그루터기 절지부위 중간부 이하에서 근주맹아와 뿌리부분에서 근맹아가 발생할 경우

3-4. 부지설계

수목그루터기의 식재장소는 굴취장소와 입지환경조건이 유사한 것이 바람직하다. 특히 지형, 토양, 수분환경 등 자연환경은 중요한 요소라 말할 수 있다.

식재장소와 굴취장소의 입지조건에 차이가 있는 경우에는 입지환경 개선이 필요하다. 예를 들면 토양조건에서 차이가 있을 경우 산지개발지로부터 발생한 표토를 이용하는 등, 채취지와 유사한 토양조건을 갖추도록 한다.

1) 생육기반환경조성

일반적으로 이식장소는 인위적으로 조성되어 식물생장에 필요로 하는 유효토심이 부족하거나 식물생장에 저해하는 토양물리·화학적 성질이 특이한 경우가 많다. 이러한 식재지반에서는 식물생장이 가능한 식재지반조성이 녹화의 성패를 좌우할 정도로 중요한 것으로 식재지반 조성을 위해 표토의 반입이나 토양개량을 하지 않으면 안된다.

조성법면이 비탈면일 경우 수목그루터기는 종자흡착에 의한 녹화나 실생묘 녹화에 비해 크고 중량도 있기 때문에 식재된 수목그루터기가 쓸려 내려가지 않도록 유의해야 한다. 따라서 흙막기 비탈면일 경우, 소단을 만들어주고 표토를 평균 60cm 정도 성토해서 다짐한 후에 소단면에 수목그루터기가 위치할 곳에 식혈을 파는 것이 바람직하다. 흙막기 비탈면에서는 표면수가 소단표면에서 땅속으로 침투하기 쉽게되어 비탈 안정을 저하시키고, 마사토지대에서는 소단에 물이 집중되어 누구침식이 발생할 수 있으므로 유의할 필요가 있다.

2) 조성법면의 물매 대책

조성법면 구배지가 특히 흙막기 비탈면일 경우 표토의 반입이나 토양개량에 의한 생육기반환경 개선이 필요하다. 물매는 1:0.8-1.5의 물매를 형성하는 것이 바람직하다.

3-5. 식재밀도

식재밀도는 수관층형성의 목표년도, 활착률, 생장속도에 의해 결정된다. 활착률과 생장속도는 녹화부지의 조건에 따라 변화하기 때문에 이식시기와 방법, 녹화부지의 생육기반환경, 입지환경조건 등을 예측해서 수관층 형성을 위한 목표년도에 따라 적정 식재밀도를 산출한다.

1) 수관층 형성

수관층 형성은 산림내부환경의 조성을 의미하고, 수관층이 형성됨에 따라서 제초비

용 등 관리비용이 절감될 것이다. 수관층 형성의 목표년도범위는 3년~6년으로 예측할 수 있다.

수관층형성을 3년으로 목표년도를 설정할 경우, 식재밀도가 매우 높아 덩불상태의 숲이 형성 되고, 5년 이상으로 설정하면 그만큼 제초 등의 관리요구 기간이 길어지게 된다.

녹화목표를 N년 후 수관층을 형성하는 것으로 할 경우 식재밀도는 다음과 같이 구할 수 있다. 그림 4와 같이 수목그루터기를 배치하면 수관이 처음으로 수관층을 형성할 때 수목그루터기의 거리와 수관폭(W; 단위 :m)이 같게된다.

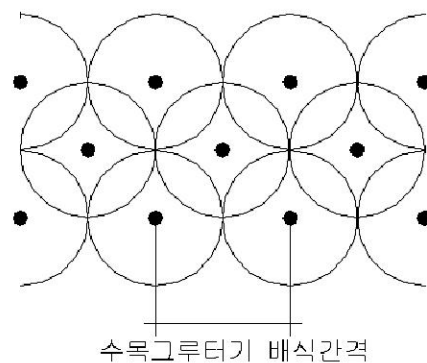


그림 3. 초기 수관층 형성을 위한 수목그루터기 배치

이때, 식재밀도는 $2/W^2$ (본/㎡)이다. 식재밀도를 결정하기 위해서는 활착률(A ; 단위 : %)을 고려해야 하며 활착률을 사용한 식재밀도(본/㎡) = $200/AW^2$ 이 된다. 활착률(A:%)과 수관폭(W:m)은 녹화시 수림형성목표와 이식시기에 따라서 대략 다음 표 3) 및 표 4)와 같이 예측할 수 있다.

표 3. 녹화목표년도에 따른 수관폭 길이

녹화 목표년도	3년	5년
수관폭(W)	2.5m	3.5m

표 4. 이식시기에 따른 수목그루터기의 활착율

이식시기	가을	장마 후 여름	겨울 벌채 후 5월
활착율(A)	80% 이상	20% 이하	70% 이상

예를 들어 수림형성목표 5년으로 보고, 참나무류(근원직경 15-25cm) 그루터기를 가을에 시공할 경우 식재밀도는 다음 식과 같다.

$$\text{식재밀도} = 200 / (80 \times 3.5^2) = 0.204(\text{본}/\text{㎡}) = \text{약 } 2,040(\text{본}/\text{ha})$$

4. 시공

4-1. 시공적기

낙엽활엽수의 수목그루터기 이식적기는 근계휴면기인 10월과 11월이며, 상록수활엽수는 봄에 식재하는 것이 바람직하다. 그러나 이식적기에 시공할 수 없을 경우, 활착율을 고려하여 식재밀도를 산정한 후 공사를 진행하고, 공사진행상 이식할 수 없을 경우 가식장을 만들어 가식한 후 식재한다. 이때 식재시 새잎이 나오기 전에 식재하거나 7월 이후 잎이 경화되었을때 식재한다.

초기경관에 문제가 있는 경우나 녹화시 수목그루터기의 물량이 부족할 경우 현지에서 자생꽃트수목을 수고 1m정도로 재배하여 꽃트수목을 혼합식재하며, 수관층이 소나무와 같이 수목그루터기에서 맹아가 전혀 발달하지 않는 상록침엽수가 우점할 경우 아교목층 이하의 수목만을 그루터기로 활용하며 수관층에서 우점종인 소나무는 꽃트수목으로 식재하도록 한다.

호남대학교 부속농장에서 수목그루터기의 이식적기대한 실험한 결과 시기별 활착율은 다음과 같이 예측할 수 있다.

늦가을(11월)	100.0%
초봄(3월)	96.6%
늦봄(5월)	93.3%
여름철	20.0%이하
그외	40~60%

이상은 벌채후 곧 이식한 경우이다.

4-2. 수목그루터기의 굴취와 식재

수목그루터기의 굴취는 기계 굴취도 가능하지만, 뿌리의 손실을 최소한으로 억제하는 것이 중요하다. 표토가 건조한 시기는 비가 내린 후 적당히 젖어있는 날을 선택한다. 굴취 후 굵은 뿌리의 절단은 작은 도끼를 사용한다.

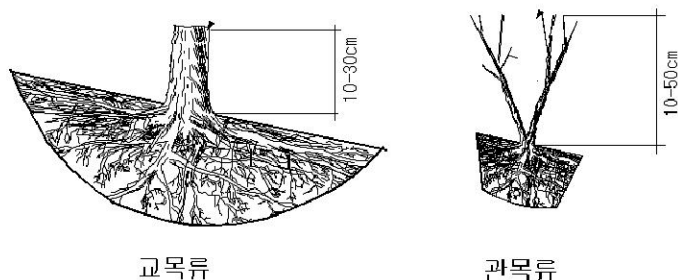


그림 4. 수목그루터기 활용시 수간길이

1) 수목그루터기의 굴취

수목그루터기의 굴취시 식재시기에 따른 활착율 및 이동을 고려하여 대형목은 제외하고, 근원직경이 20cm를 넘지 않는 수목을 선정하여 굴취하며, 침엽수나 직근성 수종은 가능한 피하고, 낙엽활엽수나 상록활엽수종 맹아력이 우수한 자생수종을 선정하여 굴취한다. 수목그루터기의 수간길이는 지상부에서 10-30cm 이내로 절단하며 수목그루터기의 분 크기는 교목류의 경우 뿌리 폭은 근원직경의 5배 이상, 뿌리깊이는 근원직경의 3배 이상으로 하고, 소경목 및 관목류의 경우 뿌리 폭은 20cm-40cm, 뿌리 길이는 10cm-30cm로 한다.

2) 식재방법

- ① 공사공통사양서에 준한다. 식재할 곳은 사전에 심을 구덩이를 파두어, 운반된 수목그루터기의 크기에 따라 식재구덩이를 조정하여 식재된다.
- ② 식재시 뿌리의 가는 뿌리나 수목그루터기와 함께 유입된 초목류의 근경은 제거하지 않도록 유의한다.

3) 작업시간에 따른 활착률

수목그루터기의 굴취 후 식재까지의 작업시간에 따른 활착률은 아래와 같다. 수목그루터기의 굴취와 식재시기는 예를들어 가을의 적기에 실시하더라도 굴취와 이식까지의 시간에 대한 대응을 빼놓을 수 없다.

다음 표 5는 굴취일~이식일의 일간격과 활착률과의 관계를 나타낸 사례이다.

표 5. 굴취후 식재까지의 작업기간에 따른 활착률

작업간격	2일	4일	5일	8일
활착률 (%)	61	43	45	33

4) 고사 및 피해원인과 그 대책

식재한 수목그루터기의 고사 및 피해원인으로 다음과 같은 것들을 생각할 수 있다.

- ① 작업기간 중 (방치기간을 포함)의 건조, 소모, 동결로 인한 고사 및 피해원인
- 작업시간을 줄여 시공한다.
- ② 저장물질의 부족으로 인한 고사 및 피해원인
- 이식적기를 고려한다
- ③ 이식직후에 있어서 수분 발란스의 악화로 인한 고사 및 피해원인
- 고온, 건조시에 이식하지 않고, 뿌리의 손실을 최소한 억제한다.
- ④ 식재토양의 불량에 의한 생육불량로 인한 고사 및 피해원인

- 토양을 개량한 후 이식한다.
- ⑤ 잡초와의 경쟁에 의한 고사로 인한 고사 및 피해원인
 - 잡초를 제거한다.
- ⑥ 절지부위의 부패에 따른 병리적 고사 및 피해원인
 - 주간의 절지부위를 낮게 하면, 풀에 피복되어 온도가 올라가는 사태를 피한다.
- ⑦ 제초시 부주위로 인한 고사 및 피해원인
 - 수목그루터기의 주위 풀은 손으로 제거해 준다.
- ⑧ 맹아 발달이 어려운 수종을 식재한 경우
 - 명백히 활착이 잘 되지 않는 수종은 종자와 실생에 따른 번식을 기대한다. 이식하는 경우는 어린나무를 우선으로 한다.

4-3. 녹화조성지의 표토보전

수목그루터기에 의해 새롭게 만들어진 조성지에서 표토를 보전하고, 수목그루터기의 맹아생육과 함께 이입된 매토종자와 초본류를 번식시키기 위해 이용하는 외래종자 흡착에 의한 지피피복은 지양하고, 산지개발지내의 낙엽을 활용해서 멀칭하거나, 폐목을 우드칩으로 재활용하여 포설한다. 이와같이 멀칭재와 같은 생육기반환경을 조성해줌으로써 조성지에서 산림생태계가 발전할 수 있는 조건을 갖춰 줄 필요가 있다.

1) 멀칭

초기단계의 수목그루터기에 의해 조성된 녹화지는 일반적으로 나지상태에 존치되고 있다. 이러한 나지상태를 그대로 방치할 경우 토양의 침식을 야기할 수 있고, 외래종이 쉽게 침입할 수 있으므로 멀칭은 반드시 필요하다. 멀칭의 효과는 수목생장에 도움이 되며 식재지의 독특한 분위기를 창출할 뿐만 아니라 제초작업의 최소화 등 사후관리를 용이하게 해주며, 토양의 침식방지, 토양수분의 증발억제, 지온조절, 잡초발생의 억제 등의 효과가 있다.

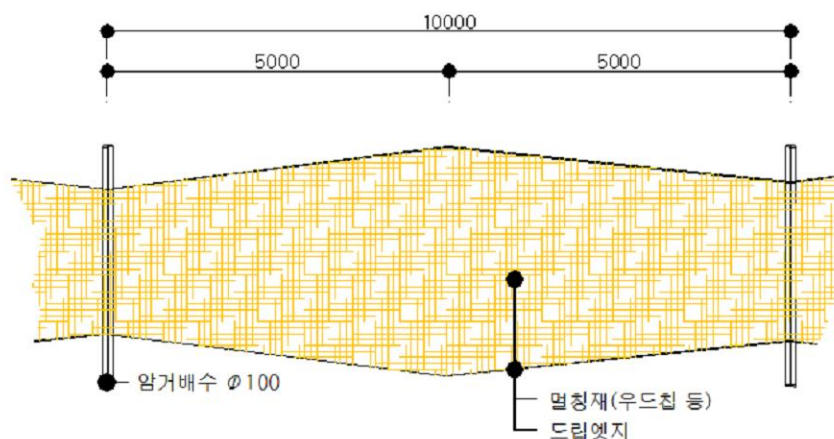


그림 5. 의 멀칭재를 이용한 생육기반환경 조성평면도

2) 평탄지의 경우

산지개발시 현장에서 발생한 낙엽 혹은 가지에 의한 멀칭은 비가올 때 빗방울의 분산 및 표토의 침식방지에 효과적이다. 호남대학교 부속농장 실험부지의 조건은 평탄지였지고, 실험 1차년도부터 잡초의 번성이 심했으나 우드칩, 골판지, 부직포멀칭으로 초본류의 번식과 발생을 억제할 수 있었다.

3) 경사지의 경우

경사지나 법면의 경우는 표토유실의 위험이 있기 때문에 주의가 필요하다. 따라서 현장에서 발생한 우드칩(두께 10cm) 등에 의한 멀칭이 효과적이다. 멀칭이 너무 얇으면 효과가 없고 너무 두꺼우면 근주유래(근 맹아)의 식물의 발생을 저해한다.

따라서 근주의 주변만은 멀칭을 얇게 한다. 또한 관목류를 유효하게 이용해서 표토의 유실을 막는 것도 효과적이다.

법면 소단 혹은 사면복부에 싸리류 등 비료목을 포함한 관목류를 산재시켜서 식재하는 것은 토양의 유실방지와 낙엽이 쌓이게 되는 등 효과가 있다.

5. 녹화 후 관리

5-1. 조성지의 관리

굴취한 수목그루터기를 가을에 식재할 경우, 이듬해 봄(3-4월)부터 맹아가 발생하기 시작하고 동시에 1-2년생 초본류의 생육이 일제히 시작된다. 그 세력은 수목그루터기의 생장을 압도하게 된다. 따라서 초기단계의 제초는 이식공사와 함께 그때그때 실시하는 것이 중요하다.

1) 제초의 중요성

녹화 후 초기단계는 수목그루터기로부터의 이입된 초본, 매토종자 혹은 주변으로부터 날아온 종자 등을 포함한 수많은 초본류의 생육이 왕성하게 일어나는 시점이다. 이러한 초본류는 수목그루터기의 맹아지 성장속도를 넘는 군락을 형성하기도 한다. 따라서 이러한 초본류를 방치할 경우 수목그루터기의 맹아지가 도장할 뿐만 아니라 조성지내의 통풍이 나빠지고 습도도 올라가 찌는 듯한 상황이되며 수목그루터기를 쇠약하게 만든다. 이렇게 쇠약해진 근주에는 많은 다공균류가 부착해서 수목그루터기의 목질부를 스폰지화하여 썩게 만들고 고사시킨다. 따라서 조성지내 통풍이 원활하도록 하여 온도를 내려주도록 하는 초기단계의 제초가 중요하며, 제초시 상처를 주지 않도록 유의하는 것이 중요하다.

2) 녹화초기현상

녹화초기 1-3년은 다양한 잡초가 무성하게 번성하여 그 처리가 중요한 시점이다. 멀칭을 하지 않은 녹화조성지에서는 1-2년생 초본에서 다년생초본 그리고 산딸기, 산초나무, 버드나무 등의 선구성 수종들도 동시에 발생한다. 또한 실험부지에서 모습을 1년 단위로 보아도 이식한 그해 가을에는 개망초의 대군락, 그 다음해에는 냉쿨류인 얼치기완두, 썩 등의 군락이 되고, 3년째에는 토끼풀의 대군락을 형성시킨다.

5-2. 녹화 후 수목그루터기의 관리

수목그루터기는 이식 후 2년이 경과되면 주당 수십개의 맹아지가 발생하며, 이때 수고생장은 1-2m 정도 성장한다. 충실하고 양호한 생장지 몇가지만을 남기고 다른 쇠약한 소지와 눈을 따주는 전정을 실시한다.

1) 맹아수와 생장량

수목그루터기 맹아수는 졸참나무, 상수리나무 등에서 20-60개 정도를 발생시켰으며 다른 수종도 포함해 평균 40-50개정도 발생시켰고, 수고생장은 털야광나무 맹아지 1년생에서 1.6m정도로 성장하였다. 맹아지의 무질서한 발생은 자연도태에 맡기는 것도 가능하겠지만 견실한 맹아지의 성장을 위해 눈을 제거해주는 것이 효과적이다.

2) 전정시기

전정시기는 식재 후 1-2년이 경과한 낙엽이 진 늦가을이 바람직하다. 이시기는 작업효율면에서 낙엽이 진 후에 작업하는 것이 수월하며, 낙엽과 잘린 가지에 의해 표토가 보전되기 때문이다. 전정은 한번에 맹아지 3-5개를 남기고 정리하는 것도 고려해 볼 수 있지만 입지조건에 의해서도 차이가 있기 때문에 식물의 생육상황에 맞게 단계적으로 그수를 줄여보는 방법도 고려해볼만 하다.

3) 전정방법

전정은 벌채한 수목그루터기의 크기나 향 후 생장을 예측해서 양호한 맹아지를 사방으로 균등하게 배열되도록 선택한다. 배열 이후 맹아가 발생되면 이때부터 제거하고 남은 가지의 높이가 맞지 않을 경우는 정아 우세성의 성격이 있기 때문에 가지가 편향되어 생장되지 않도록 높이를 맞추어서 전정한다. 또한 맹아지가 2m정도로 생장하면 수간하부의 소지도 절제한다.

4) 제거된 가지의 처리방법

제거한 가지중 폭이 있는 것은 약간 재단해서 녹화지에 방치하는 것이 바람직하다. 제거된 가지의 처리방법은 법면 등 사면지에 긴 가지채로 수목그루터기의 뿌리로부터 사면

에 평행이 되도록 놓아둔다. 이러한 방법은 지표면 토양으로부터 빗물의 집적을 최소화하여 토양의 쓸림을 방지할 수 있으며, 나아가 낙엽과 함께 물질순환에 의한 자기시비로 이어질 수 있다.

5-3. 녹화지의 수직적 계층구조와 관리

수목그루터기에 의한 녹화지의 수직적 계층구조 형성은 7-8년 이상 걸릴 것으로 예상되지만 식재밀도에 따라 약간 더디거나 빠르게 진행될 수 있다. 그러나 이 시기의 수직적 계층구조는 미발달한채 수관층이 형성된다. 따라서 이시기는 간벌, 제벌 등을 통하여 수직적 계층구조의 발달을 촉진하는 등 목표한 군락형태에 맞는 천이유도의 간섭이 요구된다. 또한 자연림에 가깝게 조성하기 위해서는 수목그루터기의 생육상황 및 초본류의 발달상황을 적절한 관찰을 통하여 수직적 계층구조의 육성관리에 유의한다.

1) 초본식물 및 넝쿨식물의 관리대책

현 시점에서 가장 중요한 대책은 앞에서 기술한 쑥의 제초, 환삼덩굴, 철 등 콩과식물의 덩굴제거이다. 만약 덩굴식물을 제거하지 않을 경우 수목그루터기는 고사되고 조성된 녹화지는 퇴행천이되는 경향을 보일 것이다. 따라서 덩굴식물과 경합기로부터 벗어나는 것은 공법의 성공과 실패의 열쇠라고 사료된다. 또한 수직적 계층구조를 목적으로 한 관리는 목표한 의도와 생육과정의 관찰을 통해 전정, 제초, 넝굴제거, 보식, 간벌, 시비 등의 작업을 적절한 시기에 선택하여 추진하는 것이 중요한 과제이다.



사진 ? 철넝쿨에 의한 녹화부지의 피해

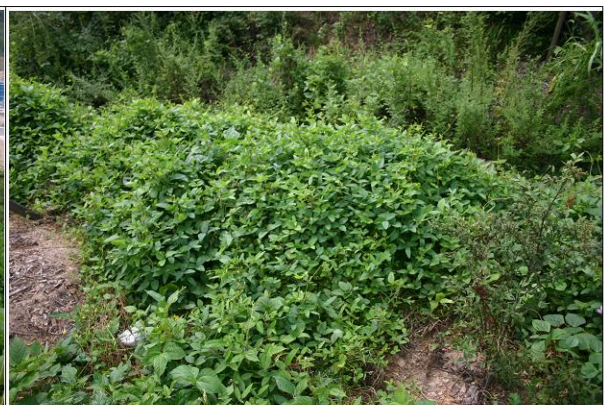


사진 ? 얼치기 완두에 의한 녹화지의 피복

2) 초본층 안정화와 간벌

초본층 안정화의 관점은 조기 수관층형성을 유도하도록 꾀하는 것이 목적이기도 하지만 수관층 형성과의 관계에서는 불균형적인 것으로 보인다. 그러므로 경우에 따라 간벌 등의 작업을 통하여 약간의 조도를 줌으로서 수목그루터기와 함께 이입되어 남아 있는 초본류의 발아와 생육을 촉진하는 것이 효과적이다.