

버드나무의 영양번식을 이용한 생물공학적 사면녹화공법의 적용사례

- 토사로 구성된 절토면을 대상으로 -

김혜주¹⁾ · 이준현¹⁾

¹⁾ 삼성에버랜드주식회사 환경개발사업부

An Applied Case to the Slope Revegetation Technology of Biological Engineering Regarding Nutritional Propagation

- In the case of sandy cut-slope -

Kim, Hyea-Ju¹⁾ and Lee, Joon-Heon¹⁾

¹⁾ Environmental Development Div., Samsung Everland INC.

ABSTRACT

The slope revegetation methods in Korea are generally the hydroseeding mixed with perennial herbs, soil, fibers, and fertilizer in consideration of scenic landscape rather than ecological and engineering effect. But perennial herbs can't protect the slope from deep surface erosion and they are not tall enough to create the original naturalness at the boundary parts of existing woodlands.

This study is about the slope revegetation method using nutritional propagation capacity of plants and the experimental construction was carried out on the cut-slope of Yongin Hoam C.C. We dug several trenches to a depth of 80cm and at intervals of 150cm from each other. After placing various kinds of live branches(*Salix* species) into the trench, we backfilled with the excavated soils and finally sprayed water mixed with soil-stabilizer, fertilizer. As six months passed, we made a vegetation research and check the slope surface erosion. Vegetation research was performed in examining the frequency of each block using transect method.

31 kinds of plant species appeared in total area(113.6m²) and the dominant species are *Setaria viridis*, *Artemisia rubripes*, *Persicaria pubescens*, *Plantago asiatica*, *Cyperus amuricus*, *Commelina communis*. Among the examined blocks, 'ㅇ', the top part of the slope, showed the ratio of 1.4 as the highest Alpha-diversity. With regard to life form, therophytes were shown dominant distribution of 58% of total species and neophytes relatively low distribution of 16%. It can be estimated that there is no ecological stabilization of this slope, because of ruderal species' occupation of 74% in total area. Regarding the slope stabilization, the serious surface erosion didn't take place in spite of heavy rainfall this year, but a little surface erosion took place at the block where no other species coming from outside of the site were found.

Key words : *biological engineering, nutritional propagation, slope revegetation, salix*

I. 서 론

도시화 및 산업화 또는 레저산업의 증가는 기존의 많은 자연림을 훼손 또는 파괴하였다. 특히 우리나라의 경우 국토의 약 70%가 넘는 산지가 산업화로 인하여 손실되었고 지금도 택지개발 또는 국토개발이라는 명목아래 공공연히 산지의 훼손이 허용되고 있는 실정이다. 이렇게 훼손된 산지 비탈면의 녹화를 위해 국내에서도 여러가지 공법들이 개발 및 적용되었으나 국내의 공법들을 외국의 것과 비교할 때 각각의 특수한 비탈면 여건이 차별화되지 못하는 점과 미래의 생태적 변화와 비탈면의 안정성에 대한 검토가 충분히 반영되어지지 못하는 것이 현실이다. 기존의 녹화방법은 비탈면에 주로 일정한 다년생 초본류의 종자를 배양토, fiber 등과 혼합파종하여 비탈면을 주로 경관적 차원에서 녹화시키려 하였다. 비탈면의 종류에 따라 이와같은 공법만이 채택되어질 수 밖에 없는 경우도 많이 있으나, 확실적인 파종에 의한 사면녹화는 아래에 열거한 문제점들을 가지고 있으므로 다양한 사면녹화공법의 개발이 요구된다고 생각된다.

- 다년생 초본류의 파종은 주로 지표면의 침식 방지에는 유리하나 주로 큰 규모의 강우에 의해 발생하는 붕괴현상은 방지할 수 없다.
- 기존수림과의 경계부위가 자연스럽게 처리되지 못한다.
- 다년생 초본류를 이용하여 기존림과 같은 생태적 복원이 이루어지기까지에는 너무 많은 시간을 필요로 한다.
- 시공비는 공법의 종류, 예를 들면 네트공법, 매트공법, 객토취부공 등에 따라 차이가 있으나 대체적으로 가격(₩7,374~₩59,500)이 비싼 편이다. (물가자료, 1998 : 244; 물가정보, 1998 : 189)

따라서 본고에서는 외국의 문헌을 통해 이미 국내에도 소개됐으나 아직 실시되고 있지 않은 녹화공법, 즉 파종이 아닌, 식물의 영양번식을 이용한 생물공학적인 녹화공법중 토사로 구성된 절토면의 녹화공법을 시험시공한 사례

를 들어 사면녹화공법의 새로운 방향을 제시하고자 한다.

II. 생물공학적인 녹화의 역사적 배경 및 특징

‘생물공학적인 녹화’란 주로 살아있는 식물을 이용하여 토양을 여러가지의 원인(눈, 바람, 비)으로 인한 침식으로부터 보호하는 것으로서, 식물이 마치 건축재료와 같은 기술적 효과를 올릴 수 있다는 점에서 ‘생물공학(biological engineering)’이란 전문용어를 사용하기 시작하였다(Kruedener, 1951; Schlueter, 1986). 이것은 현대인의 창조적 발명이 아니라 시멘트나 콘크리트가 없었던 시대에 이미 인류의 선조들이 활용하였던 지혜의 소산으로서 근대에 이르러 오랫동안 잊혀진 채로 있다가 생태보호 및 복원의 필요성이 강조되기 시작하면서 유럽에서 다시 빛을 보기 시작하였다. 그 후 ‘생물공학’은 하나의 독립된 학문으로 인정받으면서 더욱 그 중요성이 부각되기 시작하였고 그동안 많은 연구와 업적을 기록하였다.

생물공학적인 녹화가 기존의 녹화방식과 특별히 구별되어지는 점은, 경관성보다는 식물의 공학적인 기능성(근계조직과 인장력)을 이용하여 침식방지를 우선적으로 도모하는데 있으며 적절한 식물소재를 통하여 파괴된 자연환경을 복원시키는 점이다. 생물공학적인 녹화용으로 이용되는 식물소재는 열악한 환경조건에도 잘 견딜 수 있는 식물로서 영양번식이 가능한 식물, 침수 및 물리적 상해에 강한 식물, 특히 근계가 발달하고 인장력이 큰 식물들이 적합하다(Schiechtl, 1985). 외국의 연구결과에 의하면 인장력의 경우 화본과 초본류는 50~100kg/cm², 비화본과 초본류는 30~600kg/cm²인데 비하여 목본류는 100~700kg/cm²에서 최고 1600kg/cm²로 측정되었다(Schiechtl, 1985 : 56).

생물공학적인 녹화를 통한 천이(succession)사례 중의 하나를 들면 1954년 티롤지방의 Zierler산에 *Salix purpurea*, *Salix eleagnos*, *Salix nigricans*

1) 독일, 오스트리아 대학들의 자연환경계획학과에서 전공필수 또는 전공선택과목으로 지정

를 이용한 생물공학적 녹화공법을 적용하였는데 1980년 같은 장소에 주변부와 같은 소나무군이 들어섰다고 보고되면서 생물공학적 녹화공법에 주로 사용되는 선구식물들이 일정 기간이 지나면 그 환경에 맞는 자연적 천이를 돕는다는 것이다(Begemann, 1985 : 156). 아울러 생물공학적 녹화의 적용범위는 절·성토면 외에도 공학적·생태적 기능이 요구되는 장소나 인위적인 도시공간에도 광범위하게 활용될 수 있다는 점이다.

Ⅲ. 비탈면의 유형 및 비탈면 조성

비탈면의 종류로는 발생원인에 의해 크게 자연적으로 형성된 것과 인위적으로 형성된 것으로 구분할 수 있다. 자연적인 비탈면은 온도, 빛, 물, 바람 등 물리·화학적 요소에 의해 큰 영향을 받아(Duthweiler, 1967 : 15) 이루어진 반면, 인위적인 비탈면은 주로 토목공사에 의해 발생하는 절토면과 성토면으로 나눌 수 있다. 여기서 생물공학적 녹화의 대상이 되는 것은 주로 인위적으로 조성되는 비탈면인데, 성공적인 사면녹화를 위해서는 무엇보다도 절토면 또는 성토면의 토질을 구분하고, 예를 들면 부스러지기 쉬운 토사면, 층구조를 가진 풍화하기 쉬운 암사면, 층의 구조가 없는 풍화하기 어려운 암사면, 또는 풍화가 이루어진 암과 풍화가 진행되지 않은 암의 혼합사면 등등과 지표수의 양, 비탈면의 경사도 등을 사전에 점검하여야 한다(Floss, 1985; Schlueter, 1986).

비탈면의 물리적 안정성에 대한 검토 및 비탈면 조성은 모든 과정이 주로 토목전문가에 의해 이루어지는게 일반적이지만 생물공학적 녹화를 위해서는 비탈면의 조성 이전에 토목전문가와 협의가 이루어져야 한다. 그 이유는 생물공학적 사면녹화를 위해서는 가파른 기울기(1:1~1:1.5)의 사면에 기계를 사용하여 공법을 적용하기 어렵기 때문이며, 가파른 비탈면은 물리적으로도 안정성이 떨어지기 때문에 생물공학적 녹화공법의 적용을 위해서는 기울기가 1:2이상으로 조성될 것과 지표면의 배

수와 토사의 유실을 방지하기 위해 그림 1과 같은 둔덕을 조성하거나 그림 2와 같이 기울기를 다르게 한 계단조성을 권장하고 있다(Schlueter, 1986 : 194).

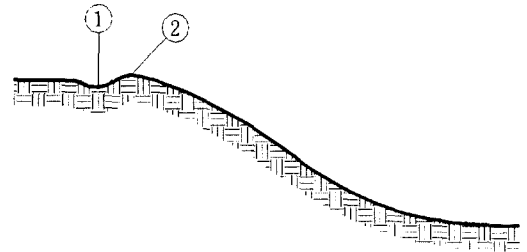


그림 1. S자형 비탈면

- ① 배수용덩이
- ② 낮은 둔덕
- ③ 계단

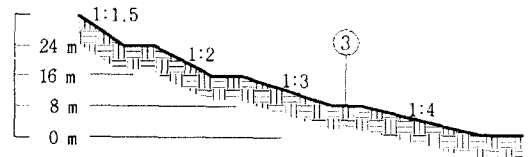


그림 2. 기울기가 다른 비탈면 및 계단

Ⅳ. 연구방법

1. 대상지의 개황

연구대상지는 용인 호암C.C.(공사중)내의 6 hole 절토사면으로서 대상부지의 면적은 113.6m²이다. 대상사면의 기울기는 1 : 1.3이고, 방위는 남동향, 비탈면 정상부의 높이는 해발 220.4m이다. 토양분석은 안양잔디환경연구소에 의뢰하여 실시하였는데, 비탈면의 종류는 풍화가 많이 이루어진 사질토 내지 부스러지기 쉬운 풍화암이며, pH 6.1의 염류가 집적되지 않은 토양으로서 대상지의 토성이 '약산성'으로 판정되었다. 토양의 비옥도는 검사되지 않았으나 표토가 유실되어 비옥도가 낮을 것으로 추측된다. 비탈면경계부 상부의 수림은 신갈나무 - 소

나무군락이며 고도가 낮은 계곡주변에는 자작나무 - 버드나무군락이 우세하였다. 지난 3년간('94~'96평균) 용인지역의 연평균강수량(1,338 mm)은 서울지역('94~'95평균)의 연평균강수량(1,327mm)보다 약간 많고, 평균기온(10.8℃)은 서울지역(12.9℃)보다 약간 낮은 편이다(용인시 홈페이지 기후 및 기상자료 참조).

2. 재료 및 시공방법

시공은 '98년 3월말에 실시하였고 재료는 현장과 가까운 지역에서 겨울철까지 정리지에 발생한 *Salix*가지를 재활용하여 버드나무(*Salix koreensis*), 개수양버들(*Salix dependens*), 키버들(*Salix purpurea* var. *japonica*), 분버들(*Salix rorida*)을 취하였다. 가지의 규격은 가능한 한 지름이 2cm 이상, 길이는 100cm 이상인 것을 택하였다.

생물공학적인 녹화공법의 적용을 위해 기존의 절토면의 기울기를 완만하게 다시 조정하려 하였으나 이미 모든 토목공사가 끝난 후여서 부득이 기존의 가파른 사면기울기(1:1.3)를 수용하였다. 시공방법으로는 먼저 *Salix*가지를 깔기 위한 골을 약 80cm 깊이로 파고 골과 골사이의 간격은 150cm 정도를 기준으로 하여 10% 정도의 구배를 비탈면 안쪽으로 주었다. 그 후 *Salix*가지의 끝이 비탈면을 향하도록 촘촘히 골에 배열한 다음 *Salix*가지 전체길이의 2/3 이상을 골파기시 주변에 쌓아두었던 흙으로 다시 덮어 흠다짐을 단단히 하였다(그림 3, 4). 마지막으로 토양안정제 및 비료를 물과 혼합하여 시공된 비탈면에 살포하였다. 시공후의

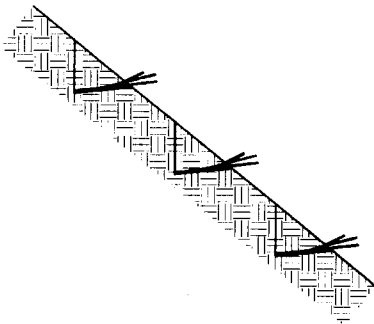


그림 3. 시공 단면

관리로는 장마전 텐트나방의 피해가 심하여 2차례 살충제를 살포하였으며 심한 강우후, 특히 장마후에는 현장을 점검하였고 주기적으로 성장과정을 모니터링하였다.

시공비는 m²당 6,680원(설계가)이 소요되었다.

V. 결과 및 고찰

위의 공법적용 결과를 가지고 특히 생태적 변화를 논하기에는 시기적으로 매우 이르다고 생각된다. 그러나 금년같이 유래없는 큰 강우를 돌이켜 볼 때 공법의 목적중 하나인 침식방지효과에 대해서는 언급할 수 있을 것 같다. 본 공법이 실험적용된 비탈면에서는 시공후 4개월째에 장마기간을 지내면서 심각한 침식현상은 관찰할 수 없었다(그림 5, 6). 그 이유는 재료로 사용한 *Salix*가지들이 비록 예묘를 거치지 않는 않지만 짧은 기간내에 모든 가지에서 왕성한 새뿌리가 발생하였기 때문으로 분석된다. 그러나 골과 골사이에 이입된 식물이 없이 나지상태인 비탈면에서는 부분적으로 깊이 약 15cm 정도의 세굴현상이 나타난 곳도 관찰되었다(그림 7). 따라서 공법 적용후 다년생 초본 및 목본의 종자를 추가하여 파종하는 방안을 검토해 볼 필요가 있다고 생각된다.

시공후 이입된 식물종을 transect를 이용하여 출현빈도를 조사하고('98. 9. 8.), 아래 표 1, 2와 같이 정리 및 평가하였다. 각 구간마다 조사된 식물은 출현빈도를 5단계로 나누어 81~100%의 출현빈도를 V, 61~80%는 IV, 41~

그림 4. 시공 직후('98. 3. 27.)

표 1. 이입식생 비교표

식생명	구간	가	나	다	라	마	바	사	아	생활형	서식처	출현빈도	비고
	면적(m ²)	18.5	17.3	16.1	14.9	13.7	12.6	11.4	9.1				
	출현종수	13	12	10	12	13	14	10	14				
1. <i>Setaria viridis</i> (강아지풀)										1년생초본	▲	V	
2. <i>Artemisia rubripes</i> (덤불쑥)										다년생초본	▲	V	
3. <i>Persicaria pubescens</i> (바보여뀌)										1년생초본	▲	V	
4. <i>Plantago asiatica</i> (질경이)										다년생초본	▲	V	
5. <i>Cyperus amuricus</i> (방동사니)										1년생초본	▲	V	
6. <i>Digitaria sanguinalis</i> (바랭이)										1년생초본	▲	IV	
7. <i>Erigeron annuus</i> (개망초)										2년생초본	▲	IV	V
8. <i>Robinia pseudo-acacia</i> (아까시나무)										다년생목본	▲	IV	V
9. <i>Rubus crataegifolius</i> (산딸기)										다년생목본	○	III	
10. <i>Commelina communis</i> (닭의장풀)										1년생초본	▲	V	
11. <i>Aeschynomene indica</i> (자귀풀)										1년생초본	▲	I	
12. <i>Poa pratensis</i> (포아풀)										다년생초본	▲	I	
13. <i>Cucurbita moschata</i> (호박)										1년생덩굴	×	I	
14. <i>Capsella bursa-pastoris</i> (냉이)										월년생초본	▲	II	V
15. <i>Zoysia japonica</i> (잔디)										다년생초본	×	II	
16. <i>Pharbitis nil</i> (나팔꽃)										1년생초본	×	II	
17. <i>Eragrostis ferruginea</i> (그령)										다년생초본	▲	II	
18. <i>Panicum dichotomiflorum</i> (미국개기장)										1년생초본	▲	II	V
19. <i>Zelkova serrata</i> (느티나무)										다년생목본	○	I	
20. <i>Impatiens textori</i> (물봉선)										1년생초본	○	II	
21. <i>Humulus japonicus</i> (환삼덩굴)										1년생초본	▲	II	
22. <i>Mosla punctulata</i> (들깨풀)										1년생초본	▲	II	
23. <i>Stipa sibirica</i> (나래새)										다년생초본	▲	I	
24. <i>Osmunda cinnamomea</i> var. <i>fokiensis</i> (평고비)										다년생초본	○	I	
25. <i>Athyrium koryoense</i> (그늘개고사리)										다년생초본	○	I	
26. <i>Portulaca oleracea</i> (쇠비름)										1년생초본	▲	I	
27. <i>Glycine soja</i> (돌콩)										1년생초본	▲	I	
28. <i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> (명아주)										1년생초본	▲	I	
29. <i>Medicago sativa</i> (자주개자리)										다년생초본	▲	I	V
30. <i>Viola mandshurica</i> (제비꽃)										다년생초본	▲	I	
31. <i>Leonurus sibiricus</i> (익모초)										2년생초본	▲	I	

※ ▲ - 경작지 및 인가주변 ○ - 숲 또는 숲 가장자리 × - 인위적 재배 V - 귀화종 구분

그림 5. 시공 47일후 ('98. 5. 19.)

그림 7. 부분적인 세굴현상('98. 7. 24.)

그림 6. 시공 160일후 ('98. 9. 9.)

60%는 III, 21~40%는 II, 0~20%는 I로 하였다. 생활형과 귀화종, 생태적 서식처 및 식물감별에는 이창복(1993)의 대한식물도감을 참고하였는데 생태적 서식처의 구분은 Ellenberg, etl.(1992)을 추가로 참고하였다.

이입된 식물의 종은 총 31종으로 우점종(출현빈도 V)은 강아지풀, 덩불쑥, 바보여뀌, 질경이, 방동사니, 닭의장풀이며 출현빈도가 낮은 종(출현빈도 I)은 자귀풀외 12종이다. Dierschke (1994 : 164)에 따르면 낮은 출현빈도(I~III)의 식물수가 많을수록 조사지역의 식생구조적 동질성(homogeneity)이 적음을 의미하고, 높은 출현빈도(IV~V)에 포함되는 식물이 많을수록 조사지역의 식생의 구조가 동질하다고 한다. 이렇게 볼 때 조사구간의 식생의 구조적 동질성은 아래 그림 8에서 보는 바와 같이 낮은 편이라고 할 수 있다.

식물종의 다양성(diversity)에 대한 평가는 그 목적에 따라 Alpha-diversity, Beta-diversity, Gamma-diversity, Delta-diversity 중에서 선택할 수 있으나, 여기에서는 간단한 Alpha-diversity의 값, 즉 $R = n/F$ 의 식을 이용하였다. 여기서

표 2. 이입식생 특성별 비교표

생 활 형			서 식 처			출 현 빈 도			자 생 종 / 귀 화 종		
구 분	출현 종수	출현 비율	구분	출현 종수	출현 비율	구분	출현 종수	출현 비율	구분	출현 종수	출현 비율
1~2년생 초본류	18	58.1%	▲	23	74.2%	I	13	41.9%	자생종	26	83.9%
						II	8	25.8%			
다년생 초본류	10	32.2%	○	5	16.1%	III	1	3.2%			
다년생 목본류	3	9.7%	×	3	9.7%	IV	3	9.7%	귀화종 (V)	5	16.1%
						V	6	19.4%			
계	31	100%	계	31	100%	계	31	100%	계	31	100%

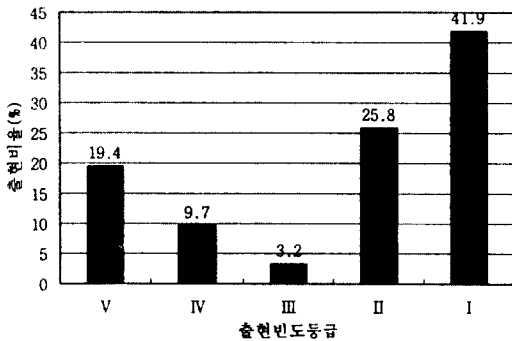


그림 8. 이입식생의 출현빈도 비교

n은 식물종의 수이고, F는 조사지의 면적을 가리킨다. 이에 의거하면 '가' 구간, '나' 구간은 Alpha-diversity가 0.7, '다' 구간은 0.6, '라' 구간은 0.8, '마' 구간은 0.9, '바' 구간은 1.1, '사' 구간은 0.9, '아' 구간은 1.4이다. 따라서 기존의 숲과 가까이 있는 '바' 구간, '사' 구간, '아' 구간에 좀더 많은 종이 들어섰다고 볼 수 있다.

이입식물의 생활형을 보면 1~2년생 초본류가 58.1%, 다년생 초본류는 32.2%, 다년생 목본류는 9.7%로서 1~2년생 초본류가 우세하였다. 식물의 생태적 서식처별로 이입된 식물을 구분하여 본 결과 인간의 영향력이 많은 곳에서 주로 서식하는 종이 전체의 74.2%로 아직은 식생의 구조적·생태적 안정성이 부족하다고 평가된다. 그러나 귀화종의 출현은 다른 지역, 특히 도시지역에 비해 적은 편이었다.

VI. 결 론

본 공법은 시공한지 겨우 6개월밖에 지나지 않았기 때문에 앞서 언급하였듯이 아직 공법의 장단점에 대해 충분히 논하기 어렵다. 그러나 본 공법은 목본류의 영양번식력을 이용하기 때문에 식재시보다 가격이 저렴하며 초본류 파종시보다 침식방지의 효과가 크고, 특히 주변 수림대와의 경계부위를 빠른 시일내에 최소화시킬 수 있는 장점이 있다. 반면에 암사면에는 적용이 불가능하고 풍화가 많이 이루어진 절·성토사면에만 적용할 수 있다는 한계가 있다. 앞으로 계속되는 모니터링의 결과에 따라 국내에서도 이와같은

공법의 적용을 검토해 볼 필요가 있다고 본다.

VII. 인용문헌

- 이창복. 1993. 대한식물도감(제5판). 서울 : 향문사.
 한국물가정보. 1998. 물가정보 11월호(통권336) : 189.
 한국물가협회. 1998. 물가자료 9월호(No.285) : 244.
 Begemann, W. 1985. Zur Ausfuehrung von ingenieurbiologischen Bauweisen an Boeschungen-Erfahrungen, Ueberraschungen und Erkenntnisse. Jahrbuch 2(1985) der Gesellschaft fuer Ingenieurbiologie. Ingenieurbiologie : Wurzelwerk und Standsicherheit v. Boeschungen u. Haengen : 148~169.
 Dierschke, H. 1994. Pflanzensoziologie, Grundlagen und Methoden. Stuttgart.
 Duthweiler, H. 1967. Lebendbau an instabilen Boeschungen-Erfahrungen und Vorschlaege. Bad-Godesberg.
 Ellenberg, H., H. E. Weber, R. Duell, V. Wirth, W. Werner and D. Paulissen. 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Goettingen.
 Floss, R. 1985. Zur Standsicherheit von Boeschungen mit Lebendverbau aus der Sicht von Bodenmechanik und Grundbau. : Jahrbuch 2(1985) der Gesellschaft fuer Ingenieurbiologie. Ingenieurbiologie : Wurzelwerk und Standsicherheit von Boeschungen und Haengen : 35~49.
 Kruedener v. Arthur Freiherr. 1951. Ingenieurbiologie. Muenchen, Basel.
 Schiechl, H. M. 1985. Pflanze als Mittel zur Bodenstabilisierung : Jahrbuch 2(1985) der Gesellschaft fuer Ingenieurbiologie. Ingenieurbiologie : Wurzelwerk und Standsicherheit v. Boeschungen u. Haengen : 50~62.
 Schlueter, U. 1986. Pflanze als Baustoff. Berlin, Hannover. 接受 1998年 9月 30日