

소경목을 이용한 수도작용 지효성비료 개발
Slow Releasing Fertilizer applying to Rice Plant
using Small Diameter Logs

지효성 목재칩비료 생산기술 개발
A Slow Releasing Woodchip Fertilizer

수도작 시용 효과 평가
Evaluation of woodchip fertilizer effects
in paddy rice cultivation

경제성 분석 및 선호도 조사
Preference and economic survey
of slow releasing fertilizer for rice farming

강원대학교

강원도농업기술원

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “소경목을 이용한 수도작용 지효성비료 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 12월 일

주관연구기관명 : 강원대학교

총괄연구책임자 : 전수경

세부연구책임자 : 최인화

연 구 원 : 서영완

연 구 원 : Ahmed, Sheikh Ali

연 구 원 : 선정연

연 구 원 : 오고운

연 구 원 : Sun, Lu

연 구 원 : Cheng, Ming

연 구 원 : 이원찬

연 구 원 : 윤선교

협동연구기관명 : 강원도농업기술원

협동연구책임자 : 함진관

연 구 원 : 조윤상

요 약 문

I. 제 목

소경목을 이용한 수도작용 지효성비료 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구에서는 산림 및 농어촌에서 버려지고 있는 소경목을 목재칩비료로 제조한 다음 일정한 압력을 가하여 세포내강으로 화학비료를 침투시킨 후 미세 벽공을 통하여 서서히 용출되는 지효성비료를 만드는 기술을 개발하고자한다.

우리나라는 국토 중 65%가 산림으로 이루어진 산악 국가이다. 그러나 약 67%가 작은 나무인 직경 16cm 이하의 소경목이다. 우리나라 산림을 이러한 상태로 계속하여 방치한다면 우리나라는 우량한 품질의 목재를 생산하지 못하고 계속해서 지금과 같이 목재를 외국으로부터 수입해야한다.

수질 및 토양의 오염 원인은 여러 가지가 있으나 비료에 의한 오염을 간과할 수 없다. 이들 비료는 상수 취수원, 양어장, 저수지 등을 오염시키고 있으며, 토양에 침식되어 토양을 오염시키고 있다. 우리나라의 상수원에서는 농업에서 유입된 질소, 인에 의해 부영양화현상으로 수돗물 생산에 어려움이 있다. 한강 유역에는 큰 도시가 없지만 지형적으로 경사가 심하여 하절기 집중 호우 시에는 육상의 비점오염원에서 일시에 오염물질이 흘러들어와 수질오염이 나타난다. 낙동강 유역에서는 비료성분의 유입에 의해 연중 녹조현상이 관찰되어 왔다. 한국 인구의 반이 상수원으로 이용하고 있는 팔당호 유역에는 다른 하천에 비해 분류에 많은 댐이 건설되어있다. 이로 인하여 호수의 부영양화가 진행되고 있다. 정부는 이러한 비점오염원에서 유래되는 인, 질소 성분의 감축을 위해 노력하고 있으나 실효성이 없어 농경지로부터 유입되는 질소, 인을 줄이기 위해 북한강과 남한강의 유역에 완충대, 수변구역 등의 설정을 시도하고 있다.

지효성 목재칩비료는 비료로서 역할을 다할 뿐만 아니라 환경오염도 방지되고, 비료의 사용량도 상당량 절감될 것이다. 그리고 화학비료 사용의 절감으로 화학비료생산 과정에서 발생하는 수질 및 공기 오염을 줄일 수 있다. 비료로서 역할을 다한 본 지효성 목재칩비료는 유기질 비료로 된다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 목재칩비료의 공급으로 압력에 의해 화학비료를 침투 시켜 세포벽의 벽공구를 통하여 비료용액이 서서히 용출 되게 하는 과제이다, 1년에 4회 시비하는 것을 1회로 단축시켜 시비에 소요되는 인건비를 절약하고, 화학비료의 과다 사용에 의한 수질오염과 토양오염을 감소시키며, 산림내에 버려져있는 소경목의 이용을 증진 시키는 것이 주 목표이다.

- 1) 지효성 목재칩비료 생산기술 개발
 - 가) 대상 수종 결정
 - 나) 대상 수종의 물질이동 가능 경로조사(5-10 수종)
 - 다) 선호도 조사용 목재칩비료 생산
 - 라) 성분 함유량 비교 구멍 및 용출 시험
 - 마) 부숙도 조사
- 2) 수도작 시용 효과 평가
 - 가) 시용 효과 평가
 - 나) 선호도 조사 농가의 시용 효과 평가
 - 다) 토양내 잔유량 및 환경에 미치는 영향 평가(시용 효과 평가 후)
- 3) 경제성 분석 및 선호도 조사
 - 가) 경제성 분석
 - 원가구조검토
 - 가격결정
 - 나) 선호도 조사
 - 사전 설문 조사
 - 무료 시용 후 설문 조사

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구는 처음으로 개발되는 것으로서 선행의 연구 및 제품을 비교하기 어려운 것이 많다. 제조방법 및 공정이 정립되어야 한다. 현실적으로 기업이 새로운 기계설계를 하여 공장을 운영 및 생산에 착수한다는 것은 매우 어려운 것이 있다. 본 연구책임자는 3년차에 목재칩비료 생산 공장을 순회하며 생산 시설을 갖추는 것을 권유하였다. 목재칩비료 공장 대표이사의 반응을 요약하면 다음과 같았다. 첫째 환경오염문제의 해결, 토심증대 및 경제적 가치를 고려하여 공장 설립의 타당성을 인정했다. 둘째 연구진이 제시하는 모든 데이터를 믿고, 성공 가능성을 인정했다. 셋째 열악한 공장시설 및 운영 규모의 공장을 운영하는 대표이사의 경우 투자자본을 감안할 때 투자하기가 부담되는 것으로 느끼고 있었다. 넷째, 투자 여유자본이 있는 대표이사의 경우는 선발 주자로 나서려는 것을 원하지 않았다. 그 이유는 처음 시행되는 것은 항상 시행착오를 겪을 것이라는 것이 그들의 생각을 지배하고 있었다. 이 사업을 애국심의 충정으로 개인이 선두에서 환경문제해결, 토심증대 및 경제적 가치를 생각하여 선발 주자로 앞장서서 공장을 설립하기는 어려운 점이 많이 있을 것으로 사료된다.

환경오염문제의 해결, 토심증대, 경제적 가치를 고려하여 정부의 지원이 필요하다고 판단된다. 특히, 외국으로부터 FTA 등 농산물 개방 압력에 대비하여 우수농산물을 생산하여야한다. 우수한 농산물을 생산하기 위해서는 유기농업으로 가야한다. 그러나 현재의 우리나라 농업토양 환경을 고려할 때 완전한 유기 농업으로 가기는 순탄하지 않다. 완전 유기농업으로 가는 방법은 토심을 증대 시키는 것이다. 누구나 다 알고 있는 상식적인 것이지만 토심을 증대시키기 위해서는 퇴비를 많이 사용하여야한다. 본 연구개발의 결과물은 이러한 문제를 해결하는 것이라고 판단된다. 즉, 1년 동안은 지효성 화학비료의 역할을 수행하고, 1년 이후는 유기질의 목재칩비료가 부속되어 유기

질 비료 역할을 한다. 이러한 과정과 반복되는 시비를 계속하면 농업의 생산성을 낮추지 않고, 토심을 증대시키면서, 유기농업으로 가는 길이 될 것으로 판단된다. 우리나라 농민이 직면하여 있는 상황과 환경오염문제의 해결, 토심증대, 경제적 가치를 고려하여 정부의 적극적인 지원이 요구된다.

정부의 지원 방안으로는 첫째, 정부의 지원으로 시범운영단지를 조성하는 것이다. 우리나라의 지형과 수송 거리를 고려할 때 인접하여 있는 3개의 시와 군에 1개의 공장을 설립한다고 가정하면, 약 50개의 소형 공장(50톤 생산규모/일)설립이 타당할 것으로 판단된다. 그 중 제 1 번째 공장은 설계부터 완공 및 운영까지 정부의 지원으로 시작하는 방안이다. 지원방법으로는 공장과 기계의 설계비용 및 기계제작비용을 지원하고, 예상하지 못한 문제점이 돌출될 경우에는 정부에서 적극적으로 해결하여 주는 방법이다. 이러한 방법을 통하여 제 2 및 3의 공장설립을 유도하는 방안이다. 두 번째로는 생산된 목재칩비료를 친환경 유기농업보조자금으로 정부에서 일정 기간 구매하여 농민에게 보급하는 방안이다.

SUMMARY

The chemical fertilizer is an important factor as a non point pollution source which should be taken in account to minimize its effect. Specially, where the water is insufficient, it is urgent for a country to solve the problem. As we have more than 70% log, it could be a solution for this subject matter. In order to raise the application of the log, until now technical development is not used intensively. Specially, the log cannot be used directly in this account but the essential woodchip can be made. So, the production of woodchip fertilizer from log is one of the example of wood use.

The main material of the woodchip fertilizer is lumber and the chemicals. An enough quantity of woodchip exists in the earth's raw materials. Especially not only from the timber, woodchip fertilizer can be made from root or wood damage by forest fire in mountain, disease and harmful insects or damage by flood. So, source of woodchip fertilizer is large enough.

It is investigated in our country woodchip production volume and a production possible service at priority. Among broad-leaved trees, 60.5% are oak, then chestnut, Black locust, Japanese Alder, Willow. In softwood, 57% are Japanese red pine then pitch pine, Japanese larch, Korean pine and reminder are Needle fir with other species.

Western and eastern Japanese red pine tree's annual ring width, tracheid diameter and wall thickness, length, heartwood ratio was compared. Eastern Japanese red pine tree's annual ring width larger than that of western and tracheid wall thickness is larger in western Japanese red pine. Therefore, manufacturing of woodchip has more advantage if we use eastern Japanese red pine. Results showed that Japanese larch has disadvantages in woodchip manufacture than Korean pine.

The FE-SEM observation result of pine tree showed that it might be the best for N, P and K impregnation while manufacturing woodchip fertilizer. The capillary penetration of liquid is high in alder, birch compared to oriental oak. But releasing pattern is better in oriental oak than alder and birch in relation with slow releasing property. As safranin is colored solution, it can be used for observing the movement of liquid and factors responsible for the difficulty of impregnation in wood.

A pressure gradient can be applied if there is difficulty for the penetration of liquid by vacuum or pressure followed by vacuum. Penetration is higher in sapwood than heartwood and longitudinal penetration is higher than lateral penetration. Radial penetration is also higher than tangential penetration. Permeability in wood has a striking difference in between sapwood to heartwood, species and even in different part of same wood species. As a result, vacuum pressure, impregnation time should be considered according to tree species. Camscope observation of safranin in longitudinal direction, depth of impregnation sequence in descending order was found in Korean pine > Japanese red pine > pitch pine > Japanese larch in sapwood and Korean pine > pitch pine > Japanese red pine > Japanese larch in heartwood.

Before the woodchip permeating to the basic reagent – the liquid pH, EC and temperature should be taken in account. Because pH decrease a little after impregnation and there was no change of temperature and EC. In compound mixture, there was change of temperature, pH, and the deposition occurred. N and P₂O₅ content were found high measured from the resulting liquid which analyzes the T–N, T–P and T–K. In deposit, the K₂O content appeared high. The result which analyzes a temperature difference, N content of compound reagent 1 (32.42%) at 25°C was the highest. the P₂O₅ content in compound reagent 2 (20.41%) at 40°C was highest. The K₂O content in compound reagent 2 (2.97%) at 30°C was found the highest.

From the compound reagent, N, P₂O₅ and K₂O content was highest at the 40°C and nutrient content was highest in deposit at 30°C. In case of N content, it appeared high as 12.43% in compound reagent 4 at 25°C. The P₂O₅ was high as 26.76% in compound reagent 3 at 40°C and K₂O content was high in compound reagent 4 as 2.33%. P₂O₅ content (average 18.08%) appeared high in liquid while K₂O content (average 13.91%) appeared high in deposit. N content (average 11.33%) appeared high in compound reagent 6 and P₂O₅ content (average 23.01%) appeared high in compound reagent 3. In deposit, N content (average 11.40%), P₂O₅ (average 11.01%) and K₂O (average 15.29%) appeared high in compound reagent 6. The N and P₂O₅, K₂O content appeared high in deposit and liquid of compound reagent 6 and 3.

Nitrogen content in woodchip fertilizer was found higher in the order of poplar > Japanese red pine > compound woodchip > oak, P₂O₅ in the order of poplar > Japanese red pine > compound woodchip > oak and K₂O in the order of poplar > oak > Japanese red pine > compound woodchip. Comparison of nutrient content in woodchip fertilizer made from 9 wood species was found that penetration in poplar was highest and black locust was the lowest. Penetration difficulty was found in order oak, chestnut and Japanese larch. In hardwood, alder a diffuse porous wood, liquid penetration is lower than poplar. Among the softwood, Japanese larch is found hard to penetration. Reminder has similar permeability. But the difficulty in order of Korean pine > pitch pine > Japanese red pine. According to the result of comparison, it showed that N content in dried wood was 25% lower than that of green wood and there was no significant difference for P₂O₅ and K₂O retention.

The result from 11 chemicals permeability, P₂O₅ and K₂O were found highest in chemical 2 and 3 respectively. N retention was found the highest in chemical 1. Penetration was found highest in two step impregnation of compound chemical 6. The difference did not appear a lot due to pressure and pressure retention time.

Result of nutrient releasing rate showed N release was the fastest when chemical 1 was used. But P₂O₅ and K₂O were slowest when chemical 11 was used. While experiment with 9 wood species, nutrient release was found the slowest in woodchip fertilizer made from oak. In two step compound chemical impregnation, compound chemical 4 was found effective.

24 hours of soaking in water, 26–30% N, 22–26% P₂O₅ and 25–29% K₂O were released. After measurement the nutrient in soil released from *Quercus* woodchip and chemical fertilizer,

the result showed that $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and K were released faster from chemical fertilizer than that of *Quercus* woodchip fertilizer but the P was found almost similar. During 105 days of incubation period in soil column experiment at 15th days of interval, the $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ leached in higher rate from chemical fertilizer up to 45days of incubation while it increased in *Quercus* woodchip fertilizer after 60days of incubation. Highest amount of P was leached from chemical fertilizer up to 60days and from *Quercus* woodchip fertilizer it increased after 75 days. K was leached at a increasing rate from *Quercus* woodchip fertilizer.

The experiment which investigates about the woodchip fertilizer concluded that woodchip made from oak had faster decomposition than Poplar and Japanese red pine. But this order will follow in loam, clay and sandy soil.

This study was carried out to examine the utility of woodchip fertilizer on rice in paddy fields during the period of 2004 to 2006. Four kinds of woodchip fertilizers made from *Quercus*, *P. tomentiglandulosa*, *P. densiflora*, and mixed woodchip were used. At 1st year, it was determined the applying level (reduced rates of 0, 15, 30% compared to standard fertilizing) of woodchip fertilizer. At 2nd and 3rd years, it was tested the productivity of woodchip fertilizer at some areas of different climates.

When application level was reduced, the yield of rice was decreased. It was concluded that the same amounts of fertilizer components as standard fertilizing had better to be applied to utilize the woodchip fertilizer. Through the trials of 2nd to 3rd years, it was resulted that when the mixed woodchip fertilizer was applied, the average yield was 521 kg/10a which was nearly the same as that of standard fertilizing, but the average rates of head rice was 84.2%, about 6% higher than that of standard fertilizing.

It is assumed that the yield and head rice rate were enhanced comparing to the case of other woodchip fertilizers because the nutrient components of the mixed woodchip fertilizer eluted longer than those of others on account of difference in elution speed of each species.

Questionnaire surveys were carried in 2004 and 2005 to investigate the adaptability of slow releasing fertilizer to rice cultivating farmers. The survey of 2004 shows that composite fertilizers(79%) were mostly used as basal dressing, nitrogenous manure(56%) as top dressing at tillering stage, and composite fertilizers(33%) as fertilizer at panicle initiation stage. The number of farmers who had used slow releasing fertilizer was low as 28% and the level of satisfaction was also very low. Existing normal fertilizer had problems such as the low duration of effectiveness, diminishing fertility, and soil and water pollution. Existing slow releasing fertilizer had also problems such as the lack of effectiveness, high price, and inconvenience. In response on whether to use slow releasing woodchip fertilizer, about 70% of respondents expressed to use it.

In the year of 2005 the survey was carried only for the farmers who used slow releasing

fertilizers. 70% of the respondents was satisfied with the fertilizer, but above problems were raised also. Therefore the results showed that the new fertilizer should consider durability of effectiveness, low level of price, environmental friendly, and low labor input.

Meanwhile economic analysis was carried out on slow releasing woodchip fertilizer the results below were obtained.

While the price of the existing normal fertilizer ranges from 300 won/kg to 450 won/kg and the price of the slow releasing from 676 won/kg to 760 won/kg, the price of slow releasing woodchip fertilizer was calculated as falling between 277 won/kg and 419 won/kg.

As a result, the slow releasing woodchip fertilizer is expected to be fairly competitive in terms of profitability and price compared with the existing normal as well as existing slow releasing fertilizer.

CONTENTS

Chapter I Introduction	21
Chapter II Research status in home and abroad	23
Chapter III Methods and results of research	25
i Manufacturing technique development for slow releasing woodchip fertilizer	25
1. Foreword	25
2. Materials and Method	25
A. Survey of woodchip materials	25
B. Flow pathway and penetration amount depending on different species	26
1) Comparison of anatomical features for permeability in softwood	27
A) Measurement of wall thickness	27
B) Measurement of tracheid length	27
C) Measurement of heartwood	28
2) Comparison of similar species	28
A) Comparison for <i>Pinus densiflora</i>	28
B) Comparison for <i>Larix kaempferi</i> and <i>Pinus koraiensis</i>	29
C) Experimental method for capillary phenomenon in softwood	29
D) Comparative analysis of <i>Quercus variabilis</i> , <i>Alnus hirsuta</i> and <i>Betula davurica</i>	30
3) Experiment of safranin penetration amount and pathway	31
A) Measurement of moisture content	33
B) Impregnation of safranin	33
C) Measurement of penetration	34
4) Observation of liquid penetration in softwood by Camscope and <i>i</i> -Solution	34
C. Survey for standard chemical	35
1) Standard chemicals	35
2) Compound chemicals	35
3) One step impregnation of compound chemical	35
4) Two steps impregnation of compound chemical	36
D. Contents of woodchip fertilizer	36
1) Elemental content of fertilizer in woodchip	36
2) Content of woodchip fertilizer in 9 species	36

3) Content of woodchip fertilizer in green wood and dry wood	37
4) Content of woodchip fertilizer from single chemical	37
5) Content of woodchip fertilizer from two steps impregnated compound chemical	37
6) Content in woodchip fertilizer made from 6 compound chemicals	38
E. Releasing of chemicals from different species	38
1) Releasing of chemicals from small woodchip fertilizer treated by single chemical	38
2) Releasing experiment with small woodchip fertilizer from 9 species	38
3) Comparison of green wood and dry wood of small woodchip fertilizer	39
4) Releasing of chemicals from small woodchip fertilizer treated with compound chemical	39
F. Releasing experiment in water	39
G. Releasing speed in soil	40
H. Decomposition	42
I. Data collection at international level	42
3. Result and Discussion	43
A. Analysis of woodchip material	43
1) Improvement of world forest resources	43
2) Improvement of forest resources in Korea	43
3) Production status of woodchip in Korea	44
B. Pathway of liquid in different species and penetration amount difference depending on species	46
1) Study of comparative factor analysis related to penetration in softwood	46
A) Comparative analysis of <i>Pinus densiflora</i>	46
B) Comparative analysis of <i>Larix kaempferi</i> and <i>Pinus koraiensis</i>	53
C) Comparison of ultra-structure in softwood	62
2) Study of comparative factor analysis related to penetration in hardwood	68
A) Analysis of <i>Quercus variabilis</i>	68
B) Analysis of <i>Alnus hirsuta</i> and <i>Betula davurica</i>	72
3) Safranine penetration pathway and amount of impregnation	73
A) Moisture content	73
B) Vacuum pressure effect	73
C) Pressure followed by vacuum pressure	77
D) Result	82
4) Observation of liquid penetration in softwood by Camscope and <i>i</i> -Solution	82
C. Survey for standard chemical	85
1) Standard chemicals	85
2) Compound chemicals	85
3) One step impregnation of compound chemical	86

4) Two steps impregnation of compound chemical-----	88
5) Result -----	90
D. Elemental content of fertilizer in woodchip-----	90
1) Elemental content of fertilizer in woodchip-----	90
2) Content of woodchip fertilizer in 9 species-----	91
3) Content of woodchip fertilizer in green wood and dry wood-----	95
4) Content of woodchip fertilizer from single chemical-----	96
5) Content of woodchip fertilizer from two steps impregnated compound chemical-----	99
6) Content in woodchip fertilizer made from 6 compound chemicals-----	101
7) Result -----	104
E. Releasing of chemicals from different species-----	104
1) Releasing of chemicals from small woodchip fertilizer treated by single chemical-----	104
2) Releasing experiment with small woodchip fertilizer from 9 species-----	107
3) Comparison of green wood and dry wood of small woodchip fertilizer-----	108
4) Releasing of nutrient from small woodchip fertilizer treated with 2 compound chemical--	109
5) Result -----	112
F. Releasing experiment in water-----	112
G. Releasing speed in soil-----	113
H. Decomposition-----	116
I. Data collection at international level-----	117
 4. Summary-----	 117
 ii. Evaluation of woodchip fertilizer effects in paddy rice cultivation-----	 120
 1. Foreword-----	 120
 2. Materials and methods-----	 121
A. Materials -----	121
B. Treatments-----	121
C. Soil and plant analysis-----	121
D. Leachate water analysis in field-----	122
 3. Results and Discussion-----	 122
A. Experiment 1. Determination of application rates of slow releasing woodchip fertilizer--	122
1) Plant length and number of tillers-----	122
2) Yield components and yield-----	123
3) Disease and Insect-----	124

4) Apparent properties of rice	125
5) Dry weight of plant	127
6) Mineral elements	128
7) Chemical properties of soil	129
8) Result	130
B. Experiment 2. Evaluation of woodchip fertilizer effects in different locations	131
1) Chemical properties of Soil before cultivation	131
2) Plant length and number of tillers	131
3) Leaf color in growing periods	132
4) Yield components and yield	132
5) Apparent properties of rice	133
6) Physicochemical properties of rice	133
7) Dry weight of plant	134
8) Mineral elements	134
9) Chemical properties of soil	135
10) Result	136
C. Experiment 3. Reconfirmation of woodchip fertilizer effects	137
1) Chemical properties of Soil before cultivation	137
2) Plant length and number of tillers	137
3) Leaf color in growing periods	138
4) Leachate water analysis in soil	138
5) Yield components and yield	139
6) Apparent properties of rice	140
7) Quality of rice	141
8) Dry weight of plant	141
9) Mineral elements	142
10) Chemical properties of soil after cultivation	142
11) Profitability of woodchip fertilizer	143
12) Result	143
4 Summary	144
iii. Consumer preference and economic survey on slow releasing fertilizer for rice farming	146
1. Preference survey of slow releasing fertilizer for rice farming	146
A General	146
1) Age distribution	146
2) Academic career background	146

3) Farming career	147
4) Ownership scale	147
A) Fam ownership	147
B) Leased fam ownership	148
5) Income levels	148
B. Status of recent rice cultivation	149
1) Species of cultivated rice	149
2) Cultivating scale of rice field	149
3) Rice production	149
4) Growing status of rice	149
5) Soil texture of rice field	150
6) Degree of rice disease occurrence	150
A) Types of rice disease	150
B) Types of rice insect	150
C) Degree of disease and insect in rice field	151
7) Application rate of agricultural chemicals	151
8) Status of fertilizer usage in rice field	151
A) Basal application of fertilizer for rice field	151
B) Top dressing at tillering stage	152
C) Fertilization at panicle initiation stage	152
9) Satisfaction level on rice fertilizer	152
10) Problems of chemical fertilizer	152
11) Status of slow releasing fertilizer	153
A) Satisfaction level of slow releasing fertilizer	153
B) Problems of slow releasing fertilizer	153
12) Slow releasing fertilizer status	153
13) Farmer's requirements for fertilizer	154
C. Comprehensive review of preference survey	154
2. Farmer's preference of slow releasing fertilizer	155
A. General status	156
1) Age distribution	156
2) Academic background	156
3) Farming career	156
4) Fam ownership	157
A) Ownership scale of rice field	157

B) Ownership scale of farmland	157
5) Income level	157
6) Soil texture of rice field	157
7) Species of cultivated rice	158
B. Status of slow releasing fertilizer	158
1) Growing status	158
2) Rice production	158
3) Degree of occurrence of disease and insect	159
4) Variation of insecticide usage	159
5) Variation of fungicide usage	159
6) Variation of herbicide usage	160
7) Satisfactory level	160
C. Comprehensive review of preference survey	161
3. Economic analysis on slow releasing fertilizer for rice farming	162
A. Status of fertilizer production	162
B. Supply and price status of slow releasing fertilizer	162
C. Expected demand of slow releasing fertilizer	164
D. Economic analysis of slow releasing woodchip fertilizer	165
1) Woodchip price	165
2) Production cost of slow releasing woodchip fertilizer	165
3) Economic analysis of slow releasing woodchip fertilizer	168
4. Summary	168
Appendix	169
Chapter IV Contribution to the related technology	175
Chapter V Plan for application of the result	176
Chapter VI Technical information from abroad	177
Chapter VII References	195

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	21
제 2 장 국내외 기술개발 현황	23
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	25
제 1 절 지효성 목재칩비료 생산기술 개발	25
1. 서언	25
2. 재료 및 방법	25
가. 목재칩 원료에 대한 분석	25
나. 수종별 물질이동 경로 조사 및 수종별 침윤량 차이에 대한 원인 구명	26
1) 침엽수의 침투도 원인 구명을 위한 특징 비교 방법	27
가) 가도관의 직경과 벽후 측정법	27
나) 가도관의 길이측정	27
다) 삼재율 측정	28
2) 유사수중간 비교	28
가) 소나무의 비교 시험 방법	28
나) 낙엽송과 잣나무의 비교 시험 방법	29
다) 침엽수재의 미세구조 실험방법	29
라) 굴참나무, 물오리나무, 물박달나무의 분석방법	30
3) Safranin 침투에 의한 수분 이동경로 및 침투량 실험	31
가) 함수율 측정	33
나) Safranin 용액 주입	34
다) 침투도 측정	34
4) 주요침엽수재의 Camscope-i Solution을 이용한 물질이동 분석	34
다. 화학원료의 기본 조사	35
1) 기본 시약	35
2) 혼합 시약	35
3) 1회 주입용 혼합시약의 보관환경에 따른 함유량	35
4) 2회 주입용 혼합시약의 보관환경에 따른 함유량	36
라. 목재칩비료 내 함유량	36
1) 시용효과용 목재칩비료의 비료 성분 함유량	36
2) 9개 수종의 목재칩비료 내 함유량	36
3) 생재와 건재 목재칩비료의 함유량	37

4) 단일 시약 주입에 의한 목재칩비료 내 함유량	37
5) 2회 주입 처리에 의한 혼합시약의 목재칩비료 내 함유량	37
6) 6개의 시약 선정 및 가압 조건에 따른 목재칩비료 내 함유량	38
마. 시약 및 수중별 간이 용출	38
1) 단일 시약처리에 의한 소형 목재칩비료와 시약의 용출	38
2) 9개 수종의 소형 목재칩비료의 용출시험	38
3) 생재와건재 소형 목재칩비료의 용출 비교	39
4) 2회 주입 혼합시약 소형 목재칩비료의 용출	39
바. 수중정차용출 시험	39
사. 토양 중 용출속도	40
아. 부속도 조사	42
자. 국제 수준 자료 수집	42
3 연구수행 결과	43
가. 목재칩비료 원료에 대한 분석	43
1) 세계 산림자원과 활용	43
2) 우리나라 산림자원과 활용	43
3) 우리나라 칩 생산현황	44
나. 수중별 물질이동 경로 조사 및 수중별 침윤량 차이에 대한 원인 구명	46
1) 침엽수의 침투도 원인 구명을 위한 특징 비교 분석	46
가) 소나무의 비교분석	46
나) 낙엽송과 잣나무의 비교분석	53
다) 주요 침엽수재의 미세구조 비교	62
2) 활엽수의 침투도 원인 구명을 위한 특징 비교 분석	68
가) 굴참나무의 분석	68
나) 물박달나무와 물오리나무의 분석	72
3) Safranine 침투에 의한 수분 이동경로 및 침투도	73
가) 함수율	73
나) 진공효과	73
다) 진공처리 후 가압처리의 효과	77
라) 결과	82
4) 주요침엽수재의 Camscope-i Solution을 이용한 물질이동 분석	82
다. 화학원료의 기본 조사	85
1) 기본 시약	85
2) 혼합 시약	85
3) 1회 주입용 혼합시약의 보관환경에 따른 함유량	86
4) 2회 주입용 혼합시약의 보관환경에 따른 함유량	88
5) 결과	90

라. 목재칩비료 내 함유량	90
1) 시용효과용 목재칩비료의 비료 성분 함유량	90
2) 9개 수종의 수종별 목재칩비료 내 함유량	91
3) 생재와 건재 목재칩비료의 함유량	95
4) 단일 시약 주입에 의한 목재칩비료 내 함유량	96
5) 2회 주입 처리에 의한 혼합시약의 목재칩비료 내 함유량	99
6) 6개의 시약 선정 및 가압 조건에 따른 목재칩비료 내 함유량	101
7) 결과	104
마. 시약 및 수종별 간이 용출	104
1) 단일 시약처리에 의한 소형 목재칩비료와 시약의 용출	104
2) 9개 수종의 소형 목재칩비료의 용출	107
3) 생재와건재 소형 목재칩비료의 용출 비교	108
4) 2회 주입 혼합시약 소형 목재칩비료의 용출	109
5) 결과	112
바. 수중정차용출 시험	112
사. 토양 중 용출속도	113
아. 부속도 조사	116
자. 국제 수준 자료 수집	117
4 결론 및 요약	117
제 2 절 수도작 시용효과 평가	120
1 서언	120
2 재료 및 방법	121
가. 시험재료	121
나. 처리내용	121
다. 토양 및 식물체 분석	121
라. 침투수 수질분석	122
3 결과 및 고찰	122
가. 시험 1. 소경목을 활용한 목재칩비료 적정시비량 검토	122
1) 초장 및 분얼수	122
2) 수량구성요소 및 수량	123
3) 병해충 발생	124
4) 쌀(백미)품위	125
5) 식물체 건물중	127

6) 식물체중 무기 성분	128
7) 토양 화학성변화	129
8) 요약	130

나. 시험 2. 소경목을 활용한 목재칩비료 지역별 시용효과 검정	131
1) 시험전 토양화학성	131
2) 초장 및 분얼수	131
3) 생육시기별 엽색도 분석	132
4) 수량 및 수량구성요소	132
5) 쌀(백미)품위	133
6) 쌀(백미)품질	133
7) 식물체 건물중	134
8) 식물체중 무기 성분	134
9) 토양 화학성변화	135
10) 요약	136

다. 시험 3. 소경목을 활용한 목재칩비료 년차간 시용효과 검정	137
1) 시험전 토양화학성	137
2) 초장 및 분얼수	137
3) 생육시기별 엽색도 분석	138
4) 침투수 수질분석	138
5) 수량 및 수량구성요소	139
6) 쌀(백미)품위	140
7) 쌀(백미)품질	141
8) 식물체 건물중	141
9) 식물체중 무기 성분	142
10) 토양 화학성변화	142
11) 목재칩비료사용 소득분석	143
12) 요약	143

4 결론 및 요약	144
-----------	-----

제 3 절 수도작용 지효성 비료의 선호도 및 경제성 조사	146
---------------------------------	-----

1. 수도작용 지효성 비료에 관한 선호도 조사	146
가. 일반적 사항	146
1) 연령 분포	146
2) 학력 분포	146

3) 영농경력	147
4) 농지 보유현황	147
가) 자작농지	147
나) 임차농지	148
5) 소득수준	148
나. 최근 벼 경작에 관한 사항	149
1) 벼 경작 품종	149
2) 벼 경작면적	149
3) 벼 수확량	149
4) 벼 생육 상황	149
5) 논토양의 토성	150
6) 벼 병해충 발생 현황	150
가) 벼 발생 병명	150
나) 벼 발생 해충명	150
다) 벼 병해충의 발생정도	151
7) 벼 농약의 사용정도	151
8) 벼 비료의 사용 현황	151
가) 벼 기비의 사용	151
나) 벼 분얼비의 사용	152
다) 벼 수비의 사용	152
9) 벼용 비료의 사용만족도	152
10) 기존 화학 비료의 문제점	152
11) 지효성 비료에 관한 사항	153
가) 지효성 비료의 사용만족도	153
나) 지효성 비료의 불만 이유	153
12) 지효성 비료의 개발에 관한 사항	153
13) 비료에 관한 요구사항	154
다. 선호도 조사의 종합 검토	154
2. 수도작용 지효성 비료의 사용농가에 대한 선호도 조사	155
가. 일반적 사항	156
1) 연령 분포	156
2) 학력분포	156
3) 영농경력	156
4) 농지보유현황	157
가) 논외의 보유현황	157
나) 밭외의 보유현황	157
5) 소득수준	157

6) 토양	157
7) 품종	158
나. 지효성비료 사용에 대한 사항	158
1) 생육 상황	158
2) 수확 수준	158
3) 병충해발생의 변화	159
4) 살충제 이용량의 변화	159
5) 살균제 이용량의 변화	159
6) 제초제 이용량의 변화	160
7) 만족도	160
다. 선호도 조사의 종합 검토	161
3. 수도작용 지효성 비료의 경제성 조사	162
가. 비료의 생산현황	162
나. 지효성 비료의 공급 및 가격현황	162
다. 지효성 비료의 소비전망	164
라. 본 연구팀이 개발 중인 지효성 목재칩비료의 경제성 분석	165
1) 목재칩비료의 생산가격	165
2) 연구개발 중인 지효성 목재칩비료의 생산비용	165
3) 연구개발 중인 지효성 목재칩비료의 경제성 검토	168
4. 수도작용 지효성 비료의 선호도 및 경제성 조사 요약	168
부 록	169
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	175
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	176
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	177
제 7 장 참고문헌	195

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 기술적 측면

본 연구에서는 산림 및 농어촌에서 버려지고 있는 소경목을 칩으로 제조한 다음 일정한 압력을 가하여 세포내강으로 화학비료를 침투시킨 후 미세 벽공을 통하여 서서히 용출되는 지효성비료를 만드는 기술을 개발했다. 목재의 세포내강의 비율을 나타내는 공극률은 수종에 따라 큰 차이를 보이고 있으나 *lignumvitae* 18%, 박달나무 38%, 오동나무 81%, *balsa* 94%로서 18%~94%가 세포내강이다. 이러한 공간에 압력을 이용하여 화학비료를 침투시킨 후 벽공을 통하여 서서히 용출되게하는 기술이 핵심기술이다. 활엽수재 도관의 유연벽공은 4-10 μ m(벽공실포함)이고, 진정목섬유의 단벽공은 3 μ m 이하이며, 섬유상가도관의 유연벽공은 3 μ m 이상이다. 침엽수재 가도관 유연벽공의 마르고는 수분 및 물질이동에 영향을 미치는 것이 사실이나 압력(0.248MPa 이상)에 의해 파괴되는 것이 정설이므로 단순히 마르고의 크기만으로 물질 이동을 언급하기는 어렵다. 침엽수재의 물질이동 유효반경을 추정하기 위하여 원심법으로 측정할결과 0.3-0.7 μ m 이다.

그런데 보통 수도작의 생육기간은 4개월 내지 6개월의 생육기간을 요한다. 따라서 질소·인산·가리를 침투시킨 목재칩비료는 최소한 6개월 동안 함유성분을 유지하여야한다. 특히, 생육 말기에 필요로 하는 가리는 더욱 그러하다. 그러한 문제를 해결하기 위해서는 세포벽 벽공의 크기가 각각 다른 수종을 선택하여 질소·인산·가리의 용출 속도를 비교 검토할 필요가 있다. 또 하나의 방법으로서 침투 압력차에 따른 함유량의 변화와 용출 속도를 비교 검토했다.

2. 경제·산업적 측면

비료의 수출입 자유화로 선진국에 수출 가능성이 매우 높다. 세계 소비자 특히, 선진국 소비자들은 환경친화적인 제품을 선호함으로 '지효성비료'는 그들의 욕구를 충족시켜줄 수 있는 제품으로 가능성이 매우 높다. 1994년 수출용 비료는 복합비료 원료용으로 판매된 local분 1천톤을 제외한 1,516천톤(통관기준)이 직접 수출되어 1993년도의 1,456천톤보다 약 4% 증가하였다. 주요 수출대상 국가로 보면 태국 957천톤(63.1%), 베트남 246천톤(16.2%), 일본 44천톤(2.9%), 필리핀 106천톤(7.0%), 중국 81천톤(5.3%)등 모두 16개국에 수출하였는데, 비교적 지리적으로 가까운 동남아 국가들이 주요 수출국이다. 중국시장 수요 잠재력은 상당히 높다. 지효성비료에 대한 일본과 같은 선진국들의 수요 잠재력도 매우 높다. 비경제적 수목을 가공할 수 있기 때문에 부가가치 창출 효과가 매우 높다. 특히, 저급재의 부가가치 창출가능성은 비효율적인 산들을 효율적으로 전환시킬 수 있다.

한편, 우리나라는 국토 9,939,381 ha 중 65%인 6,455,550 ha 가 산림으로 이루어진 산악 국가이다. 과거 10개년 치산녹화 사업으로 우리나라 산림은 울창하게 되어 우리나라 임목 축적량은 295,806,056 m³이다. 그러나 그 중 약 67%인 195,296,060 m³가 작은 나무인 직경 16cm 이하의 소경목이다. 이러한 소경목을 별채해도 이용하는 사람이 없다. 이러한 소경목을 이용하여 우리나라 연간 총 비료 소비량 954,170 M/T를 생산하는 자원은 충분하다. 만약 우리나라 산림을 이러한 상태로 계속하여 방치한다면 우리나라는 계속하여 우량한 품질을 생산하지 못하고 지금과 같이 약 95.7%(1995)인 5,561백만 달러/년(1995)의 목재를 외국으로부터 수입해야한다. 따라서 정부는 소경재 슈아베기와 풀베기에 약 80%를 정부에서 지원(국고 40%,

지방비 40%, 자부담 20%)하면서 산림 살리기에 노력하고 있다. 본 연구에서 주로 사용하고자하는 나무의 자원은 풍부하다. 또한, 이러한 버려지는 자원을 활용하므로써 국가에 이익이 되고 산림을 효율적으로 경영할 수 있는 계기를 마련하게 된다.

3. 사회·문화적 측면

수질 및 토양의 오염 원인은 여러 가지가 있으나 비료에 의한 오염을 간과할 수 없다. 이들 비료는 상수 취수원, 양어장, 저수지 등을 오염시키고 있으며, 토양에 침식되어 토양을 오염시키고 있다. 우리 나라 화학비료의 소비량은 2,093,289 M/T(1995년)이고, 세계 화학비료 소비량은 129,160,000 M/T(1995년)로서 이중 60-70%는 식물에 전달되지 못하고 물과 토양을 오염시킨다. 물이 부족한 우리 나라 실정으로서는 반드시 해결되어야 할 과제이다. 특히, 우리 나라의 상수원에서는 농업에서 유래된 질소, 인에 의해 부영양화현상이 심각하여 수돗물 생산에 어려움을 야기하고 있다. 한강 유역에는 큰 도시가 없지만 지형적으로 경사가 심하여 하절기 집중 호우 시에는 육상의 비점오염원에서 일시에 오염물질이 흘러들어와 수질오염이 나타난다. 낙동강 유역에서는 비료성분의 유입에 의해 연중 녹조현상이 관찰되어 왔다. 한국 인구의 반이 상수원으로 이용하고 있는 팔당호 유역에는 다른 하천에 비해 본류에 많은 댐이 건설되어 이에 의한 호수의 부영양화가 진행되고 있다. 정부는 이러한 비점오염원에서 유래되는 인, 질소 성분의 감축을 위해 노력하고 있으나 실효성이 없어 농경지로부터 유입되는 질소, 인을 줄이기 위해 북한강과 남한강의 유역에 완충대, 수변구역 등의 설정을 시도하고 있다. 특히, 기존의 화학 비료는 살포 즉시 물에 희석되어 비료로서의 역할은 30-40% 정도만 수행하고, 물과 희석되어 수질을 오염시키고, 토양을 오염시킨다. 지효성 목재칩비료는 비료로서 역할을 다할 뿐만 아니라 환경오염도 방지되고, 비료의 사용량도 상당량 절감될 것이다. 그리고 화학비료 사용의 절감으로 화학비료생산 과정에서 발생하는 수질 및 공기 오염을 줄일 수 있다. 비료로서 역할을 다한 본 지효성 목재칩비료는 유기질 비료로 된다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

일반적으로 작물에 시용 하는 비료의 모양은 화학비료와 같이 속효성비료가 있고 유기질비료와 같이 지효성비료가 있다. 화학비료 중에도 요소, 유안과 같이 속효성의 비료뿐만이 아니고 요소에 유허을 입힌 지효성비료(SCU : 유허을 입힌 지효성비료)와 같이 미생물 분해성을 받는 물질로 피복한 지효성비료도 있다. 이들은 작물의 특성에 따라 적당히 사용할 필요성이 있다. 지효성 비료는 양분의 용탈을 억제하고 비료의 지속성에 의한 시비회수의 절감을 목적으로 개발되었으며 그 특성상 질소질 비료에서 개발이 시작되어 1946년 지효성 질소질 비료인 Ureaform이 미국에서 합성되어 1955년부터 상품화되었으며 이와 유사한 화학적 합성품인 IBDU(Isobutylidene Diurea), CDU (Crotonylidene Diurea)등이 개발되어 고속도로변 및 골프장 잔디, 과수채소 등에 사용되고 있고 피복방법(Coating)에 의한 지효성 비료로는 유허피복요소비료(Sulphur coated urea)가 있으며 固結 방법(Matrix)에 의한 것으로는 파라핀, 아스팔트, 로진 등을 비료성분과 혼합 粘結한 성형품이 있으나 이들 제품은 일반적으로 고가이므로 널리 이용되지 못하고 있다. 미국의 Allen이 폐섬유를 이용한 지효성비료를 제조하여 환경오염에 효과가 있었다. 그러나 이 방법은 가압 방법으로 비료를 식물 세포벽의 벽공을 통하여 침윤시키는 방법으로 고농도의 비료를 침윤시키지 못했고, 용출 속도 또한 빠르다.

우리나라에서는 현재 수도용으로 이용되고 있는 지효성비료는 측조 시비용으로 시판되고있는 라텍스 입힌 피복요소비료(LCU), 수지피복요소비료(RCU)는 1982년부터 개발하여 1985년에 생산하여 판매하고 있다. 제조공정은 입상요소에 규산염물질(Sodium silicate, 5%)로 1차 피복하여 입자표면을 균일하게 한 다음 2차로 PVC계인 Latex(7.5%)로 피복 하여 제조했다. 피복량으로 용출 조절이 가능하며 단비는 질소의 함유율이 40%이고, 복합비료는 3요소 함유율이 18-12-13인데 비 측조시비용으로 시판되고 있다. CDU(전질소 32%), CDU함유 복비(12-12-12) 및 Meister(전질소 40%), Meister 함유 복비(17-12-14, 14-14-14)를 생산되고 있다. IBDU(전질소 31%)와 IBDU 함유 복비가 생산되고 있으며, PCF 함유 복비(16-9-12)가 판매되고 있다. 이렇게 국내에서 개발된 지효성 비료는 화학물질로 비료입자를 피복한 것이며, 본 연구와 같이 목재칩비료를 이용한 지효성비료를 생산하는 기술은 없었다. 또한, 국내 한 연구기관에서 식물세포 속에 화학비료를 증산법과 원구법으로 침윤시켜 톱밥 및 칩상태로 제조하여 지효성비료를 만드는 연구가 진행되었으나, 본 연구에서는 목재칩비료에 화학비료를 압력으로 투입하는 방법으로서 산업화에 적당한 방법이라 생각되며, 화학비료의 침윤량도 이전의 방법보다 높았다.

지금까지 개발 보급되는 지효성비료의 제조방법은 비료를 난용성 또는 난분해성 물질로 만들어 완효화하는 화학적인 방법과 속효성 비료의 표면을 난용성 물질로 피복하거나 난용성 물질을 혼합 제립(製粒)하여 용출속도를 늦추는 물리적인 방법이 있었다. 난용성 물질 혼합법은 많은 량의 난용성 물질을 토양에 잔류시키는 등의 문제점이 있어 아직 지효성 비료가 보편화되지 못하고 있다. 한편 요소 수지는 요소와 formaldehyde의 축합물로서 저분자 화합물은 ureaform이라고 하여 지효성 비료로 잔디, 정원수 등에 사용되고 있으나 다른 지효성 비료보다 가격이 싼 반면 품질 조절이 어렵고 수도에 이용이 어려워 많이 이용되지 않고 있으며, 액상고분자 화합물은 합판 등의 접착제로 이용되고 있다.

기존의 유기질 비료 및 지효성 비료에 대한 특허는 무수히 많다. 예로서 “키토산계 배합사료(96-8657)”, “다공성 유기질 비료의 제조방법(95-4343)”, “지효성 입상 농약 비료의 제조방법(96-3805)”, “축산폐수와 토탄을 이용한 유기질 비료의 제조방법(95-8969)”, “분해성 피막으로 피복된 입상비료 및 그의 제조방법(91-1770)”, “붕괴형 피복 입상 비료(91-8475)”, “발포질석을 이용한 유기성 폐기물의 유기질비료의 제조방법(96-4472)”, “유기질 비료, 사료의 제조방법(95-10445)”, “피복 입상 비료(96-15151)”, “인분 주 재료로한 유기질비료 제조방법(96-1059)” 등이 있다. 이들 제조방법은 대부분 가축분뇨와 혼합비료, 목재 수피을 이용한 유기질 비료, 화학비료 입자를 라텍스와 PVC로 피막한 형태이다.

그러나 본 연구에서는 지금까지의 특허와 다른 지효성 비료이다. 본 연구에서는 목재칩비료에 화학비료를 침윤시킨 후 작은 벽공 구를 통하여 모세관현상과 삼투압작용에 의해 비료용액이 용출 된다. 본 연구의 결과는 화학비료와 목재의 유기질비료를 혼합한 것이며, 더욱이 그러한 목재칩비료 속에 들어 있는 화학비료는 지효성 역할을 한다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 지효성 목재칩비료 생산기술 개발

1. 서언

급속한 산업화, 도시화로 농촌이농현상이 가속화되고 있어 이에 따라 농촌 노동력은 고령화 및 부녀화로 농작업의 어려움이 발생되고 있다. 따라서 노동력절감을 위해 많은 연구가 개발 보급되고 있으며 또한 농산물의 안정적 생산을 위하여 친환경 농법개발연구도 지속적으로 추진되어 오고 있다.

최근 화학비료 감비 정책에 의해 많은 농가에서 이에 대해 적극 동참하고 있으나 아직도 대부분의 농가에서 기존의 시비수준을 유지 하고 있는 것이 현실이다. 벼 재배시 요소나 황산암모늄 등 속효성 질소비료는 논토양과 같은 담수조건 에서 질소성분은 산화층에서 형성된 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 환원층 에서 환원되어 NO , N_2O , N_2 의 형태로 대기 중으로 탈질 되어 질소의 손실을 가져오고 지구온난화에도 영향을 미치게 된다.

또한 속효성비료는 전량을 기비로 사용하면 유실되는 양이 많고 과잉 흡수하면 도열병 등 병해의 피해가 증가할 수 있다. 또 절간신장기에 질소성분이 많이 남아있으면 도복을 유발하기도 한다. 그래서 속효성 질소비료는 작물의 생육시기에 맞추어 공급이 적절히 되도록 분시 하여야 하지만 그 시기와 양을 결정하기 어렵고, 시비 노력도 많이 소요되는 단점이 많다. 이러한 점을 개선하고자 벼 재배시 투입되는 질소량과 시비횟수를 효과적으로 줄여 시비에 소요되는 노동력을 절감하고자 여러 종류의 완효성 및 지효성비료 제품들이 연구, 개발 및 생산 보급되고 있다.

우리나라에서도 완효성질소개발에 대해서는 많은 연구가 진행 되고 있으며 사업화를 위해서 많은 단점들을 보완하며 현재 일부 비료제품은 시중에 판매되고 있다. 그러나 지효성비료는 일부 친환경 농가를 중심으로 자가 생산 이용단계에 머물고 있어 비료로서의 가치제고를 위한 많은 연구개발이 요구되고 있다.

따라서 본 연구는 산림 조립시 간벌목 으로 발생하는 소경목을 이용 지효성 비료를 개발 사용하여 벼의 생육, 수량 및 수량구성요소, 토양의 화학적 특성변화 등을 검정하여 사용가능성에 대한 기초 자료를 얻고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 목재칩비료 원료에 대한 분석

목재칩비료를 이용하여 지효성 비료를 만드는 과제 중 중요한 인자인 자원에 대한 분석 이다. 국내의 자원에 대한 분석은 문헌을 통하여 전 세계의 산림현황과 활용현황을 조사했다. 또한, 목재는 수종에 따라 세포가 다르고, 그 세포의 차이로 인하여 비료의 함유량 및 용출속도가 다르므로 목재칩비료를 이용한 지효성비료의 개발은 대상 수종이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 수종별 국내 생산 현황을 침엽수재와 활엽수재로 나누어 파악했다.

침엽수재 칩은 현재로서 사용용도가 극히 저조하고, 생산실적이 낮아, 현재 우리나라의 침엽수 수종별 분포면적을 조사했다. 활엽수재는 수종별로 분포면적과 생산실적이 불충분하여, 12개의 공장을 방문 샘플을 수집했다. 총 30여 종의 샘플을 무작위로 수거하여 광학현미경 및 전자현미경으로 수종을 식별했다. 본 실험을 수행하기 위하여, 광학현미경용 슬라이드 총 1,080점(=30종 X 12개 공장 X 3단면), 전자현미경용 제작 및 코팅 총 1,080점(=30종 X 12개 공장 X 3단면), 섬유관찰용 슬라이드 총 360점(=30종 X 12개 공장) 등 총 2,520점을 전 처리와 후 처리한 후 관찰했다. 총 30,000여장 촬영된 사진을 IAWA list에 근거하여 수종식별 했다.

전국의 공장에서 수집한 목재칩비료의 함유수분을 측정하기 위하여, 수집한 샘플을 각 수종 당 7개의 집단으로 나누고, 각 집단에서 7개의 샘플 채취한 후 105°C에서 24시간 건조했다. 본 실험을 위하여 총 35개의 샘플을 측정했다.

나. 수종별 물질이동 경로 조사 및 수종별 침윤량 차이에 대한 원인 구명

지효성 목재칩비료를 성공시키기 위해서는 목재 내에서 비료의 침투경로를 구명하는 것이 중요하다. 그런데 이들 물질 이동경로와 침투량은 수종에 따라 다르고, 같은 수종에서도 심재와 변재에 따라 다르다. 따라서 물질의 이동경로와 침투량을 구명하고, 목재칩비료를 제조하는데 적합한 수종을 구명하는 것은 대단히 중요한 과제이다. 이러한 차이점은 목재의 수종별 세포의 종류, 배열, 크기 등에 의해서 나타난다. 살아있는 수목에서 물질이 이동하는 힘은 수분포텐셜에 의하여 이루어진다(kozlowski et al., 1991; Hinckley et al., 1978). 수목의 목부 중 수분이동에 직접 관여하는 부분은 변재부의 도관(활엽수) 또는 가도관(침엽수)이 있다. 이들 도관이나 가도관 이외에도 조직이 수분이동에 관여한다(森川, 1974; Zimmerman, 1978). 森川(1974)은 삼나무 등 침엽수에서는 변재부 전 면적을 통해 수액 상승이 일어나지만, 활엽수의 환공재에서는 변재부중 최 외부 몇 개의 연륜 층에서만 수액 상승이 일어난다고 했다. 그러나 목재에서는 살아있는 수목과 약간 다른 현상을 보인다. 즉, 살아있는 수목의 침엽수에서는 가도관이, 활엽수에서는 도관이 주도하고, 영양을 저장 및 공급하는 세포인 유세는 그 기능을 수행하지 않는다(全 등, 1992). 그러나 죽어 있는 목재에 물질을 침투시킬 때는 그 경향이 다르다. 즉, 침엽수재 구성 세포인 가도관, 유세포와 활엽수재의 구성세포인 도관, 가도관, 목섬유, 유세포 등이 관여하고, 수지구와 세포간극 또한 직접적으로 관여하며, 벽공구가 중요한 역할을 한다(김과 박, 1991). 심재와 변재의 차이는 살아있는 수목과 유사한 경향을 나타낸다(전 등 1992, 1995, 김 등, 1991). 그 외에 세포내강 표면의 수분 흡수성에 따라 다르다(Iida et al. 2002). Meyer(1970)는 목재 내에 물질 침투는 가도관의 열린 벽공이 주요한 역할을 한다고 했다. 한편, Tang 등(2000)은 침투 물질의 분자량과 목재와 물질과의 관계에 달려 있다고 했다. 접선방향의 침투가 종방향의 침투보다 어렵고, 저분자 물질 보다 고분자 물질의 침투가 어렵다(Furuno et al. 2004). 침엽수재의 심재는 심재형성 과정에서 생성되는 폐쇄벽공의 존재로 물질의 침투가 어렵다(김 등, 2001). 목재 내에 물질의 침투에 영향을 주는 인자는 여러 가지가 있다.

본 연구에서는 이러한 현상과 관련하여 목재 내에서 물질 이동경로와 속도를 수종별 및 심재와 변재별로 구명하고자 safranin 용액을 주입시켜 비료용액의 주입을 예측할 수 있는 모델을 제시하고, 수종별 침투량을 예측하고자했다.

한편, 모든 침엽수재의 축방향가도관에는 유연벽공이 존재하고, 이들 유연벽공에는 torus와

margo가 나타난다(박 등, 1982). 이들 조직은 침엽수재 가도관과 가도관의 사이에 물질 이동에 중요한 경로이다. 특히, margo의 격자 크기는 양세포간의 물질을 이동시키는 주요인자이다. Margo의 격자 크기가 크면 클수록 물질이동이 원활하게 이루어진다. 그러나 대부분의 심재에서는 벽공구가 torus에 의해 폐쇄되어 있으므로 margo의 영향은 없다. 따라서 본 연구에서는 torus에 의한 폐쇄벽공과 margo 격자의 크기를 측정했다. 폐쇄된 벽공은 warty layer에 의해서 벽공연과 torus 사이의 공간을 만들어 줄 것으로 추측된다. 만약, 벽공연과 torus 사이를 warty layer에 의해 미세 공극이 형성된다면 warty layer의 높이가 중요하다. 축방향가도관의 벽공구의 크기는 수분이동경로에 중요한 인자로 생각된다.

한편, 방사조직의 방사가도관과 방사유세포의 내강 크기 및 염주상말단벽의 단벽공 크기는 방사방향 물질이동에 중요한 인자이므로 이들 특징의 수종별 차이를 구명하고자한다. 그 외에 가도관, 도관 및 목섬유 직경 및 벽후, 벽공구 크기, 토로스의 크기, 마르고 격자의 크기, 심재울 및 세포의 특징 등을 조사하여 목재의 물질이동 경로 추적 및 수종별 물질이동의 차이를 구명하고자 했다.

실험 대상 수종은 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 잣나무(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.), 낙엽송(*Larix kaempferi* Carr.), 리기다소나무(*Pinus rigida* Mill.), 은사시나무(*Populus tomentiglandulosa* T.Lee.), 물박달나무(*Betula davurica* Pallas), 물오리나무(*Alnus hirsuta* Turcz.), 굴참나무(*Quercus variabilis* Bl.), 밤나무(*Castanea crenata* Sieb. et Zucc.), 아까시나무(*Robinia pseudoacacia* L.)로 했다.

1) 침엽수의 침투도 원인 구명을 위한 특징 비교 방법

공시목에 원구에서 말구까지 기준선을 표시하고, 0.2m, 2.0m, 4.0m, 6.0m, 8.0m에서 원판을 채취하였다.

가) 가도관의 직경과 벽후 측정법

원판에서 기준선을 중심으로 1×1×3cm 크기의 시편을 수심에서 수피방향으로 제작하였다. 제작된 시편으로부터 슬라이드를 만들기 위해 냉각기를 부착한 flask에 시편과 증류수를 넣고 약 30~60분 정도 연화 처리하였다. Sliding microtome 을 이용하여 횡단면을 깨끗하게 절삭한 다음, 두께 15~30 μ m정도로 횡단면 절편을 절단해서 safranin용액으로 염색한 다음 광학현미경을 통하여 관찰되는 image를 capture해서 KS Lite v.2.0 (Image analyzer)을 사용하여 가도관 직경은 조재와 만재를 구별하여 방사방향과 접선방향으로 측정하였고 가도관 벽후는 조·만재를 구분하여 접선 벽후를 측정하였다. 측정은 각각 30회 반복하여 평균값을 구하였다.

나) 가도관의 길이측정

원목에서 채취된 원판에서 수심부터 날카로운 칼을 이용, 조재와 만재를 구별하여 성냥개비(1~4cm)정도의 목편으로 잘라내고 이를 실험관에 넣고 농질산과 물 1:1의 희석질산(약 35%) 100ml에 鹽素酸 칼륨(KClO₂) 6g을 녹인 Schurz액을 부어 해리하였다. 해리된 가도관을 증류수와 50%, 70%, 90%, 95%, 100%의 ethyl alcohol로 탈수작업을 거쳐 safranin 용액으로 염색하여 영구 슬라이드로 제작하였다. 제작된 슬라이드는 광학현미경을 사용하여 capture된

image를 KS Lite v.2.0 (Image analyzer)을 사용하여 조재와 만재를 구별하여 각각 30회 반복 측정하여 평균치를 구하였다.

다) 심재율 측정

본 연구에서 목표하는 비료용액 주입은 심재와 변재의 따라 폐쇄벽공구의 작용으로 큰 차이를 나타낸다. 벌채한 8본의 원목을 원구부터 15cm간격으로 절단하였다. 절단된 횡단면의 최대 직경과 최소 직경 및 심재부분의 최대 직경과 최소직경을 측정하여 전체 면적에 대한 심재의 면적을 측정하였다. 말구에서 심재가 표출되는 길이를 추정하기 위해 길이 변화에 따른 변재 잔여량을 구하였다(변재 잔여량(cm) = 말구의 최소직경 원구 심재의 최대직경).

2) 유사수종간 비교

수종간의 비교대상은 유사한 수종간의 비교를 실시했으며, 소나무의 경우는 영동 소나무와 영서 소나무의 차이를 비교 검토했다.

가) 소나무의 비교 실험 방법

우리나라의 대표적 수종인 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)의 분포는 수평적으로 북위 43.20의 함북 증산에서부터 북위 33.20의 제주 한라산에 이르고 있으며 수직적으로는 표고 10m에서 최고 1300m까지 분포한다(鄭, 1965). 소나무는 우리나라의 기후풍토와 환경에 적응력이 높아서 넓은 면적에 가장 많이 자라고 있으며 주요 용도는 건축재(경구조, 건구, 내장)와 펄프재 등으로 사용되어지고 있는 중요한 수종이다. 그러나 최근 들어서 소나무 고품질재 시장이 점차 확장되는 반면 국내 자원의 부족으로 인하여 미송과 같은 외국산재가 국내 시장을 점차 장식하고 있고 있는 실정이다.

목재생장은 외적환경요인과 내적요인의 결과로 이루어지는 생물적 과정으로서 제 요인들의 차이에 따라 다양한 임목생장을 초래한다. 따라서 임목생장은 외부환경, 지역간 분포의 차이에 따라 그 변화도 패턴이 지역, 연도별로 다양하게 나타난다.

Uyeki(1928)교수는 우리나라 소나무를 수형에 따라 6개군으로 분류하였는데 그 중 태백산맥 주위의 소나무를 剛松(*P. densiflora* for. Erecta)이라고 명명하고 剛松은 수간이 곧고 수관폭이 좁으며 지하고가 높아 임업상 가치가 있다고 하였으며, 朴仁協과 李錫勉(1990)은 우리나라 소나무의 4개 지역형 소나무 30~40년생 천연림 전체의 현존량이 안강형은 29.87t/ha인 반면, 금강형은 205.42t/ha로 큰 차이를 보였다고 하였고, 趙在明 等(1975)은 剛松의 횡강도, 횡인장강도, 종압축강도 등 기계적성질이 우수하며 목재비중이 0.48로 재질이 우수하여 매우 중요한 품종이라고 하였다. 소나무에 환경적, 지리적 요건의 차이에 따라 가도관의 생장에 미치는 영향과 수고별 변이를 알고자 영서지역과 영동지역의 소나무의 가도관의 특징을 조사하였다.

본 연구에 사용된 소나무(*Pinus densiflora*)는 영서지역 소나무는 춘천시 사북면 지암리 6반(강원도 도유림내)에서 자생한 25년생 임목, 영동지역 소나무는 강원도 강릉시 사천면 함교리 130번지에서 자생한 45년생 임목을 각각 1본씩 벌채하던 것을 공시목으로 사용했다. 영서지역의 소나무는 흉고직경 16.6cm, 수고 15.4m이었고, 영동지역의 소나무는 흉고직경 22.2cm, 수고 20.3m이었다. 길이별 심재율의 변이를 측정하기 위해 위의 두 지역에서 길이 약 150cm의 원목을

각각 8분씩 벌채하였다.

나) 낙엽송과 잣나무의 비교 실험 방법

우리나라 원목 생산 현황을 보면 99년 국내재 벌채생산량은 1,203천m³로 98년의 1,032천m³에 비해 16.6%가 증가하였고, 벌채목 중 침엽수재는 148.2천m³로 전체 벌채량의 89.2%를 차지하고 있다. 잣나무, 소나무, 낙엽송, 리기다소나무등은 제재용 원목으로 이용되고 참나무류는 주로 표고자목과 펄프재로 공급되고 있다(임업연구원, 2000). 벌채량의 89.2%를 차지하는 침엽수 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것이 조림수종인 낙엽송과 잣나무이다. 이 두 수종의 목재칩비료 이용의 가능성을 높이고자 본 실험을 실시했다.

李(1982)는 잣나무 조림목에 있어서 미성숙재가 나타나는 수령은 수심에서 약 12~20연륜이라고 하였고, 姜(1993)에 의하면 잣나무 가도관 직경은 만재부 변동이 적고, 조재부에서는 수에 접한 부분이 가장 작고 外周를 향해 급격히 증가하며, 벽후는 조재부 변동은 적으나 만재부에서는 수에서 外周로 향해 급격히 증가하고, 성숙재는 미성숙재보다 10~20%두껍고, 13~18연륜에서 안정된다고 보고하였다. 심·변재율에서는 金(1992)이 원목 직경이 증대함에 따라 변재율이 점차 감소되는 반비례적인 관계가 있다고 보고하였다. 이러한 연구들은 국내재의 용도 개발을 위한 기초자료로 이용되고 있다.

연륜폭과 가도관 직경 및 벽후 측정용 공시목은 강원도 춘천시 사북면 지암리 6반(강원도 도유림內)에서 각각 1분씩 벌채하였고, 길이별 심재율 변이를 측정하기 위해 강원도 홍천군 북방면 강원대학교 연습림에서 각 8분씩 벌채하였다. 낙엽송의 수고는 16.5m, 수령 22년생 이었고, 잣나무의 수고는 9.5m, 수령은 18년생 이었다.

다) 침엽수재의 미세구조 실험방법

본 연구에 사용된 공시목재는 소나무, 리기다소나무, 잣나무 및 낙엽송로서 소나무, 잣나무, 낙엽송은 강원도 춘천시 동산면 봉명리 소재 강원대학교 학술림에서, 리기다소나무는 강원대학교 구내림에서 벌채했다. 소나무의 연륜은 27년, 미성숙재와 성숙재의 경계는 17년, 변재와 심재의 경계는 7년이었으며, 리기다소나무의 연륜은 26년, 미성숙재와 성숙재의 경계는 14년, 변재와 심재의 경계는 7년이었고, 잣나무의 연륜은 35년, 미성숙재와 성숙재의 경계는 19년, 심재와 변재의 경계는 23년이었고, 낙엽송의 연륜은 18년, 미성숙재와 성숙재의 경계는 14년, 변재와 심재의 경계는 18년이었다.

각각의 공시목에서 벌채된 원목으로부터 지상고 1.2m의 높이에서 두께 3cm의 원판을 각각 수종별로 제작했다. 제작된 원판의 수종별 일반적 특징을 육안으로 관찰했다. 제작된 원판으로부터 방사방향으로 두께 1cm의 시편을 막대 모양으로 제작한 후 접선단면 시편과 방사단면 시편을 해부현미경으로 제작했다. 접선단면 시편은 각 연륜에서 조재와 만재를 구분하여 제작했고, 방사단면 시편은 한개의 시편에 조재와 만재가 포함되도록 제작했다. 제작된 각각의 시편을 진공건조기로 수일동안 건조한 후 Coater(HITACHI E1010 ION SPUTTER)로 80초간 Pt + Pd 코팅을 하였다. 그 후 전계방사형 주사전자현미경(FE-SEM HITACHI S-4300)으로 관찰했다.

측방향가도관 유연벽공의 벽공구의 크기는 방사단면에서 측방향가도관 세포의 축에 직각으로

측, 수평방향으로 측정했고, 유연벽공의 벽공연, torus와 margo의 폭도 방사단면에서 벽공구의 크기 측정방법과 같이 세포 축에 직각으로 측정했다. Margo 격자의 크기는 방사단면에서 측정했으며, 방사상 margo는 margo의 중앙부에서 측정했고, 망상 혹은 그물모양의 margo 격자의 크기는 세포 축과 수평방향 및 수직 방향으로 측정하여 평균값을 사용했다. Warty layer의 직경은 방사단면에서, 높이는 접선단면에서 측정했다. 방사조직의 방사가도관 유연벽공의 벽공구와 벽공연의 크기는 방사가도관 세포의 축 방향 즉, 방사방향으로 측정했다. 방사유세포 분야벽공의 벽공구 크기는 방사가도관의 벽공구 측정방법과 같은 방법으로 측정했다. 방사유세포의 내강직경과 말단벽 단벽공구 크기는 접선단면에서 접선방향으로 측정했다. 모든 측정은 10회 반복 측정했다.

라) 굴참나무, 물오리나무, 물박달나무의 분석방법

목재를 구성하는 세포는 수종 고유의 유전인자, 생활환경 등에 따라 구성요소의 종류, 크기, 형태, 배열 등이 다양하게 변화한다. 특히 활엽수는 침엽수에 비하여 구성요소가 더욱 복잡하고 변이가 심한 것은 많은 연구자들에 의하여 잘 알려져 있다.

활엽수의 구성요소중 도관의 크기 및 벽후 두께, 목섬유의 크기 및 벽후 두께등은 목재 성질을 파악하는 기본 자료로서 대단히 중요하다. 이들은 유전적 혹은 입지적인 인자를 고려하지 않더라도 동일 수종의 동일 부위에서도 연륜이 증가함에 따라 변동한다.

본 실험에서는 활엽수재 중 대표 수종인 굴참나무, 물오리나무, 물박달나무에 대해 비료용액 침투도를 파악하기 위해서 얻기 위하여 수고별 변이, 심재율, 도관직경, 도관벽후, 목섬유 직경, 세포수 등을 조사하였다.

본 실험에 사용된 굴참나무는 춘천시 사북면 지암리 6반(강원도 도유림내)에서 벌채하여 지상으로부터 2m 간격으로 두께 2~3cm의 원판을 채취하였다. 수고는 13.7m, 수령은 29년생이었다. 물박달나무와 물오리나무의 공시수종은 본 대학 학술림(강원도 춘성군 동산면 봉명리)에서 생장이 비교적 우수한 수목을 벌채했다. 물박달나무 11년생으로서 수고가 9m, 흉고직경이 18cm 이었고, 물오리나무는 12년생으로서 수고가 11m, 흉고직경이 12cm 이었다.

(1) 영구 슬라이드의 제작

영구 슬라이드 제작을 위해 $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ cm의 절편 제작용 block을 만들었다. 약 일주일간 연화 뒤 sliding microtome을 이용하여 15-20 μ m 절편을 제작하였다. 제작된 절편은 safranin액을 사용하여 염색하였고 alcohol series(50%, 70% ,90% ,95%, 100%)로 탈수 시켰다. 절편을 slide glass에 올려놓고 Canad balsam을 사용하여 봉입하여 영구 슬라이드를 제작하였다.

(2) 도관 직경과 벽후 측정

공시목에서 제작한 영구 프레파라트를 연륜폭 측정과 같은 방법으로 image capture KS LITE 2.0(image analyer)으로 측정하였다. 도관의 조·만재별 변이를 알아보기 위해 조재와 만재로 나누어 도관 직경과 벽후를 측정하였다. 조·만재의 구분은 대형 관공이 분포하는 孔圈을 조재, 孔圈 外의 소형 관공이 분포하는 부위를 만재로 하였다.

(3) 목섬유 직경과 벽후 측정

공시목에서 제작한 영구 프레파라트를 image capture하여 KS LITE 2.0(image analyzer)으로 측정하였다. 목섬유의 조만재별 변이를 알아보기 위해 조재와 만재로 나누어 목섬유 직경과 벽후를 측정하였다.

(4) 심재율 측정

길이 1.5m정도의 직경이 비슷한 원목을 선택하여 8본씩 원구부터 말구까지 15cm간격으로 절단하여, 절단된 원목을 최대·최소직경과 심재의 최대·최소직경을 측정하였다. 심재율은 길이별로 원목의 평균직경과 심재의 평균 직경으로 면적을 구하여 원목의 면적분에 심재의 면적 비율로 구하였다.

$$* \text{심재율}(\%) = \frac{\text{심재면적}}{\text{원목의면적}} \times 100$$

수목의 생장에 필요한 여러 가지 물질 가운데 가장 많은 양이 필요한 것이 물이다. 수목의 물질 이동경로는 목재를 가공이용할 때 주요한 인자이며, 특히 본 연구과제와 같이 목재 세포내강에 비료를 주입시켜 지효성 비료로 이용하고자할 때는 그 중요성이 더 강조된다.

3) Safranin 침투에 의한 수분 이동경로 및 침투량 실험

살아있는 수목에서의 수분이동은 수분포텐셜(kozlowski et al., 1991; Hinckley et al., 1978)에 의해 일어난다. 수목의 목부 중 수분이동에 직접 관여하는 부분은 변재부의 도관(활엽수) 또는 가도관(침엽수)이 있다. 이들 도관이나 가도관 이외에도 조직이 수분이동에 관여한다(森川, 1974; Zimmerman, 1978). 森川(1974)은 삼나무 등 침엽수에서는 변재부 전 면적을 통해 수액 상승이 일어나지만, 활엽수의 환공재에서는 변재부중 최 외부 몇 개의 연륜 층에서만 수액 상승이 일어난다고 했다.

본 연구에서는 살아있는 나무와 벌채 직후의 죽은 소나무, 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무, 은사시나무, 물박달나무, 물오리나무, 굴참나무, 밤나무, 아까시나무의 수분이동경로 및 침투오를 파악하여, 비료용액이 침투되는 경로를 예측하고자했다.

유체가 이 유연벽공대를 통과할 때, 침투성은 토루스(torus)의 상태에 의해 결정된다. 즉, 토루스가 벽공연에 부착하여 벽공구를 밀폐하고 있으면 침투성은 저하한다고 알려져 있다. 생육상태인 변재부에서는 수액유동이 활발히 행해지고 있기 때문에, 대부분의 벽공에서 토루스의 위치는 거의 중립상태에 있다. 그러나, 심재부에서는 살아있는 수목에서도 심재화 과정시 발생하는 강한 모관력에 의해 대부분의 벽공이 폐쇄되어 있다. Jinxing(1989)은 라디에타소나무에 대하여 변재부와 심재부의 벽공폐쇄율을 관찰하였다. 그의 연구 결과에 의하면, 조재부의 경우는 변재에서 10~30%, 심재에서 약 90%, 만재부의 경우는 변재에서 0~10%, 심재에서 약 20%였다고 보고했다. 또한, Erickson(1970)과 Matsumura(1995)는 벽공폐쇄 이외에 심재물질에 의해 발생하는 벽공폐색이 심재부의 투과성에 중대한 영향을 미친다고 보고하였다. 따라서, 심재부로 염료용액이 침투하지 않은 것은 유역벽공의 개방율과 심재물질에 의한 벽공폐색이

원인이라고 생각된다. 변재부에 있어서 유연벽공의 개방율은 조재와 만재에서 차이가 있다고 지적되고 있다. 즉, 조재부에 비해 만재부의 유연벽공대는 벽공벽이 두껍고 강성이 크기 때문에 벽공폐쇄가 발생하기 어렵다고 알려져 있다(Siau 1984). Phillips(1933)의 연구보고에 의하면 벽공폐쇄는 생재상태에서 섬유포화점까지 함수율이 저하됨에 따라 점진적으로 증가하였고, 섬유포화점에서 조재부의 유연벽공은 대부분 폐쇄되었으나, 만재부는 상당 부분의 유연벽공이 개방되어 있다고 하였다. Jinxing(1989)는 라디에타소나무의 변재부의 벽공폐쇄율은 조재의 경우는 10~30%, 만재의 경우는 0~10%이라고 보고하였다. 이들은 만재부가 유연벽공의 개방율이 크므로 조재보다 투과성이 좋다고 결론지었다. 그러나, Ikeda(1982)는 1연륜 내에서의 수분통도는 조재부를 통해 이루어지고 만재부는 수분통도의 역할을 담당하지 않는다고 하였다. 위의 결과들을 분석하면, 조재부와 만재부간 어느쪽이 수분이동에 주도적인지는 분명하지 않지만, 각각 수분이동의 통도로서 역할을 담당하고 있다고 생각된다. 방사유세포와 방사가도관의 통도역할에 대해서는 여러 연구자들에 의해 보고되어 왔다. Buro(1959) 등은 구주소나무에서, Erickson(1962) 등은 미송에서 방사방향의 침투는 주로 방사가도관에 의해서 행해졌고 방사유세포는 통도로서 유용하거나 혹은 거의 비침투성이라고 보고 하였다. Wardrop(1961) 등은 역으로 방사유세포쪽이 잘 침투한다고 기술하고 있다. 金(1990)은 횡방향 침투는 방사조직내에서도 방사유세포를 통해 먼저 침투가 이루어지고 다음으로 방사가도관으로 이행된다고 보고하였다. 林(1968)은 소나무에서 방사가도관과 방사유세포의 명확한 침투성의 차이가 확인되지 않았다고 보고하였다. 양 등(2000)은 방사가도관이 존재하는 리기다소나무를 관찰한 결과 방사방향의 염료용액의 침투는 방사가도관과 방사유세포 사이에 차이를 발견하지 못했고, 수직수지구와 수평수지구는 수분이동의 경로로 판단했다. 수지구는 수지의 저장·분배를 담당하는 긴 관상의 기관으로 세포간에 형성되는 세포간극의 일종이다. 수지구의 수분통도로서의 역할은 아직 명확하지는 않지만, Booker(1990)는 라디에타소나무의 변재부에서 수지구가 수분이동의 주통로로서 역할을 담당하였다고 보고하였다. Matsumura(1998) 등도 라디에타소나무에 대한 염료용액 침투실험을 통해 Booker(1990)의 결과를 증명했다. 위의 결과들로 판단해 보면, 수지구도 변재부의 이동통로로서 역할을 담당하고 있는 것을 알 수 있지만 수지구가 조직중에 차지하는 비율을 고려하면 중요하다고는 말할 수 없다고 생각된다.

밤나무, 굴참나무, 아까시나무는 활엽수 재중에서 환공성 수종으로서 심재에는 많은 타이로시스 물질로 가득 채워져있는 수종이다. 특히, 밤나무와 아까시나무는 최 외각의 2연륜을 제외하고는 모두 심재이다. Kozlowski(1991) 등은 심재화가 진행되면서 생성되는 타이로시스는 심재뿐만 아니라 변재부의 늙은 도관에도 종종 발견되므로 수분이동은 주로 변재부의 최외각 연륜층에서 이루어진다고 하였다. Ellmore와 Ewers(1985)는 환공재인 느릅나무의 염료용액 침투실험을 행한 결과, 염료용액은 수피쪽의 최외부 연륜을 통해 주도적으로 침투되었고, 내부로 진행됨에 따라 점진적으로 침투성이 저하되었다고 하였다. 이 결과에 대해 그들은 변재부에서 심재부로 진행됨에 따라 타이로시스에 의한 도관내강의 폐쇄가 크게 증가하기 때문이라고 설명했다. 全(1992)은 아까시나무와 산돌배나무의 수분이동경로에 따른 염료침투를 관찰하였다. 그 결과, 아까시나무의 경우 심재부는 염료용액이 침투하지 않았고, 최외각 변재부에서만 염료용액의 침투가 관찰했다. Siau(1984)는 활엽수재에서 수분통도의 역할은 주로 도관(open vessel)이 담당하고, 다음으로 목섬유, 주위상가도관, 측방향유세포 그리고 방사조직이 이동통로로서 역할을 한다고 하였다. 본

실험결과도 이와 같은 경향을 보이고 있었다. 활엽수재는 침엽수재에 비해 방사조직의 배열과 형태가 다양하지만, 수분통도의 역할은 주도적이지 못하다고 알려져 있다(Siau 1984). 벚나무, 층층나무, 고로쇠나무의 목재조직과 수분이동경로를 조사한 손(1995)에 의하면, 이 3수종은 산공성 활엽수재로서 방사조직이 3 ~5열을 이루었다고 했으며, 모든 수종에서 방사조직으로의 염료용액침투는 이루어지지 않았다고 했다. 횡방향의 염료용액침투를 실험을 실시한 金(1990)은 집합방사조직 보다는 단열방사조직을 통해 침투가 먼저 이루어졌고, 다음으로 목섬유로 침투가 이행되었다고 했다. 집합방사조직은 거의 침투가 되지 않았다고 했다. 또한, 그는 침엽수재와 활엽수재간 방사조직에 의한 염료용액의 침투차이를 다음과 같이 생각했다. 침엽수재는 구성세포에 있어서 활엽수재에 비해서 단순하므로 방사조직의 침투속도가 훨씬 빠르다고 했다. 이는 침투깊이의 비교에서 명확하게 밝혀졌다고 했다. 반면에 활엽수재는 구성세포가 침엽수재보다는 훨씬 복잡하므로 수종간에 방사조직의 침투속도가 다양하여 같은 단면에서도 균일한 속도로 침투가 이루어지지 않았다고 했다. 그러나, 본 실험 결과를 근거로 판단해 보면 활엽수재의 횡방향의 침투는 단열방사조직이 역할을 담당하고 있다고 생각된다.

본 연구에서는 대상 수종 10수종의 목재에 대한 정확한 침투경로와 침투 깊이를 측정하고자 축방향 6cm, 폭 5cm(방사방향 및 접선방향), 두께 1.8cm(접선방향 및 방사방향)로 제작한 후 압력을 주어 1% safranin 용액을 3반복 주입시켰다.

가) 함수율 측정

제작된 목재블록의 함수율을 측정하기 위해서 105 °C의 건조기에서 24시간 3회 반복(10 수종 X 3회=30회) 건조시킨 후 아래 식에 의해 계산했다(Christen 1972).

$$W_1 - W_0 / W_1 = M (\%) \times 100$$

M = Moisture content

W₁ = Treated woodchip weight

W₀ = Oven dry weight

나) Safranin 용액주입

목재의 방향별 침투깊이를 측정하기 위해 측정하고자 하는 단면을 제외하고 나머지 다른 면을 코팅처리 했다. 코팅된 목재블록을 다이제터(아래 그림 1 참조)에 넣고 -620 mmHg 까지 진공시킨 후 각각 0분, 5분 10분 동안 진공상태를 유지한 다음 safranin 용액을 주입시켜 진공 시간에 따른 safranin 방향별 침투 깊이를 측정했다. 한편, 압력 조건에 따른 침투도를 측정하기 위해 진공처리 후, 30kgf/cm², 50kgf/cm², 70kgf/cm²의 조건으로 압력을 가한 다음 수종별, 심재와 변재별 침투 깊이를 측정했다. 총 3회 반복 실험했다(10수종 X 2(심재+변재) X 3방향 X 6가지 조건 = 360회)

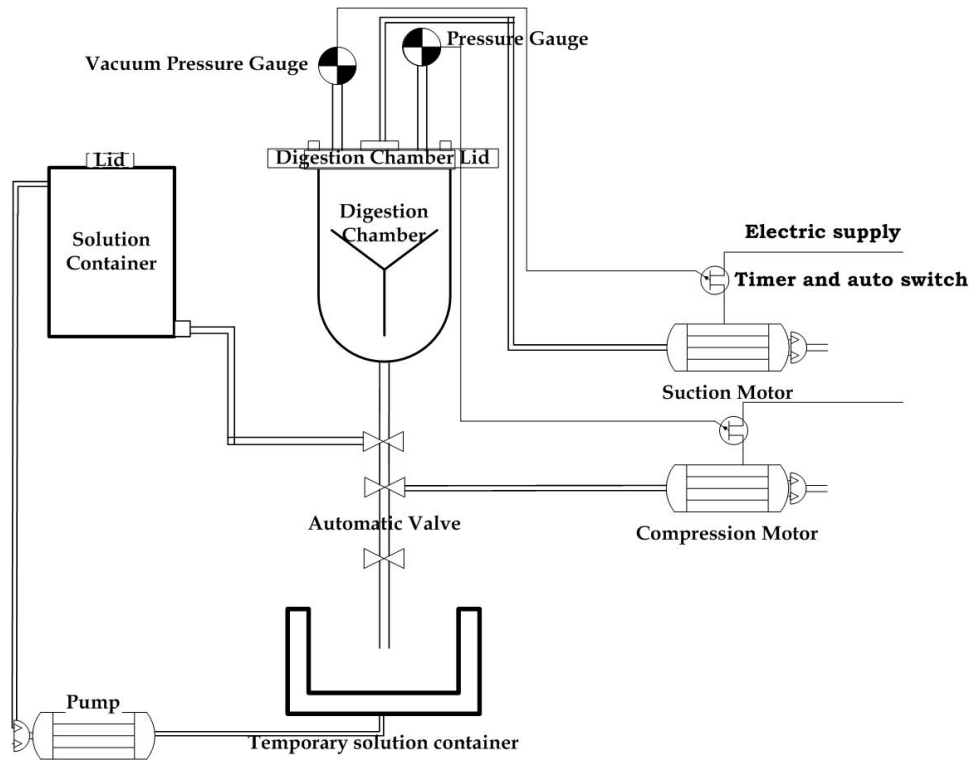


Fig. 1. Schematic diagram of a digester machine.

다) 침투도 측정

Safranin으로 처리한 후 각 방향별 침투 깊이를 cam-scope 현미경으로 7회 반복(360개 샘플 X 7회 = 2,520회) 측정했다. 측정된 자료는 SPSS(version 11.5.0.)으로 통계 처리했다.

4) 주요침엽수재의 Camscope-i Solution을 이용한 물질이동 분석

지구상에는 수많은 목본식물이 존재한다. 이들 식물은 각각 다른 독특한 특징을 갖고있고 세포의 종류 또한 매우상이하다. 비록 같은 종류의 세포를 갖고 있어도 그 세포의 형태, 배열 등이 상이하어 물질 이동의 메카니즘도 다르다. 그뿐만 아니라 물질의 저장 능력도 수종별 혹은 세포별로 상이하다. 따라서 이러한 메카니즘과 저장능력을 수종별 세포별로 파악하는 것은 지효성 목재침투비를 개발하는데 근본이 된다. 지금까지 세포 내강에서의 물질 이동은 모세관 현상과 삼투압현상에 의해서 유동되고 있다고 이론적으로 알려져 있다. 본 연구에서는 지금까지 이론적으로 알려져 있던 모세관 현상에 대한 증거 동영상을 camscope와 i-Solution을 이용하여 직접 확인하고자한다. Kim과 Park(1991)은 침엽수재에서 주요 물질이동 통로는 가도관이고 그 다음으로 방사유세포, 수지구, 박공벽일고 했다. 뿐만 아니라 심재와 변재에서 상이한 차이를 보인다고 했다. 세포내강에서 물질의 이동은 세포내강의 흡습도에 의해 결정된다(Iida et al. 2002). 세포 내강으로 물질의 침투도는 세포의 길이, 직경 및 벽공의 크기와 수에 의해 결정 된다(Meyer 1970). 또한, 이동할 물질의 분자량에 따라 다른 결과를 나타내는데 분자량이 작으면 유동력이 좋다(Furuno et al. 2004).

잣나무(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.), 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 리기다소나무(*Pinus rigida* Mill) 및 일본잎갈나무(*Larix kaempferi* Carr.)를 대상으로 침엽수재의 세포내강에서 물질의 이동속도를 비교분석하고자 본 실험을 실시했다. 공시목은 강원대학교 구내림에서 채취하여 원판으로부터 다음 그림2 과 같이 6(L)x0.5(R)x1cm(T)의 크기 목편을 채취했다. 채취된 목편은 실내에서 기건 건조하였다. 건조된 실험 목편을 전건법에 의하여 함수율을 측정했다. 침투용액은 1% safranin 용액을 사용했다.

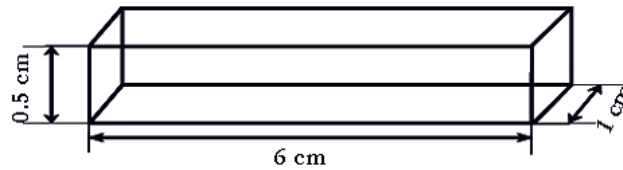


Fig. 2. Samples made for camscope observation.

측정시 실내 온도는 24°C 이었고, 바람은 0m/s.이었다. Camscope 측정배율은 40배, 100배, 1,200배율로 측정했다. Petridish에 실험목편을 고정시키고, safranin 용액을 서서히 낙하시키며 camscope을 이용하여 5분 동안 동영상을 촬영했다. 3,000 frames으로 구성되어 있는 동영상 video file을 VitrualDub-MPEG2 software로 1, 2, 3, 4 및 5분간격으로 선택하여 측정 사진을 택했다. 선택된 사진으로부터 I-Solution software를 이용하여 침투깊이를 측정했다. 측정된 자료는 SPSS (George and Mallery 2001)로 분석되었다.

다. 화학원료의 기본 조사

1) 기본 시약

NH₄Cl, NH₄NO₃, NH₄H₂PO₄, (NH₄)₃PO₄, K₃PO₄, KNO₃, NaNO₂, NaH₂PO₄·2H₂O, KH₂PO₄, K₂HPO₄, KCl, K₂SO₄, (NH₄)₂HPO₄, (NH₄)₂SO₄, HNO₃의 목재칩 침적 전·후의 pH, EC 및 온도 변화를 조사하여 혼합시약 제조시 참고하였다. 본 실험을 위하여 총 72번 측정했다.

2) 혼합 시약

HNO₃:K₂HPO₄, HNO₃:K₃PO₄, KNO₃:K₂HPO₄, KNO₃:K₃PO₄, K₃PO₄:KNO₃, NH₄H₂PO₄:K₂HPO₄, NH₄H₂PO₄:K₃PO₄ 등의 혼합 시약은 혼합 비율에 따라 온도, pH의 변화가 있었으며, 침전물이 발생했다. 침전물이 많이 발생하면 목재 세포 내강에 주입된 후에 잔유량이 많아지므로 제조 원가가 저렴해진다. 아래 표는 혼합비율에 따른 성상의 변화를 측정한 것으로서 가급적 침전물이 많이 발생하는 조건을 찾기 위해 행해졌다. 본 실험을 위하여 총 70점을 혼합 제조하여 140가지 특징을 조사했다.

3) 1회 주입용 혼합시약의 보관환경에 따른 함유량

1회 주입 혼합시약은 화학물질을 한번 혼합으로 침전물과 액체가 생성되는 혼합시약으로, 목재 세포 내에 압력으로 주입할 때 한번 주입으로 끝나는 혼합물이다. 혼합시약의 온도, pH 등을

참고로 혼합시약을 제조했으며, 시약을 혼합했을 때 액체와 침전물이 생성되었다. 액체와 침전물을 분리하여 냉장보관, 실온보관, 온도 25℃, 온도 30℃, 온도 40℃ 조건으로 보관한 후 T-N, T-P, T-K 함유량을 수질분석법으로 분석하였고, 침전물 또한 액체와 동일 조건으로 보관한 후 침전물에 함유되어 있는 T-N, T-P, T-K 함유량을 수질분석법으로 분석했다. 수질 총 질소 정량분석은 자외선흡광도법을 사용하여 총 40점(20개 X 2반복)을 분석했으며, 수질 총 인산 정량분석은 아스코르빈산 환원법을 사용해 총 40점(20개 X 2반복)을 분석했다. 수질 총 가리 정량분석은 ICP(Leman LAB PS series PS-950)을 사용하여 총 40점(20개 X 2반복)을 분석했다. 본 실험을 위하여 총 120점 분석했다.

4) 2회 주입용 혼합시약의 보관환경에 따른 함유량

2회 주입용 혼합시약은 첫 번째 단계로 액상의 혼합시약을 주입하고, 다시 액상 혼합시약이 주입된 상태에서 침전물이 생기도록 한 가지 이상의 시약을 주입하는 시약이다. 위의 실험과 같은 시약을 혼합할 때 온도, pH 등을 제조시 참고하였으며, 시약을 혼합했을 때 액체와 침전물이 생성되게 했다. 액체와 침전물을 분리하여 냉장보관, 실내보관, 온도 25℃, 온도 30℃, 온도 40℃ 조건으로 보관한 후 액체의 T-N, T-P, T-K 함유량을 분석하였으며, 침전물 또한 같은 방법으로 분석했다. 수질 총 질소 정량분석은 자외선흡광도법(UV spectrophotometer, Shimadzu 1601)을 사용하여 총 80점(=40개 X 2반복)을 분석했으며, 수질 총 인산 정량분석은 아스코르빈산 환원법(UV spectrophotometer, Shimadzu 1601)을 사용하여 총 80점(=40개 X 2반복)을 분석하였다. 총 가리 정량분석은 ICP(Leman LAB PS series PS-950)을 사용하여 총 80점(=40개 X 2반복)을 분석했다. 본 실험을 위하여 총 240점을 분석했다.

라. 목재칩비료 내 함유량

1) 시용효과용 목재칩비료의 비료 성분 함유량

질산암모늄(NH_4NO_3) 포화수용액 214g/100ml(25℃), 인산칼륨(K_2HPO_4) 포화수용액 159g/100ml(20℃)과 염화칼륨(KCl) 포화수용액 34g/100ml(25℃)를 가압법으로 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.), 은사시나무(*Populus tomentiglandulosa* T. Lee), 참나무속(*Quercus*) 및 혼합수종의 목재칩비료에 주입했다.

제작된 목재칩비료를 분말상태로 만든 후 분말 0.2g을 칭취하여 Buchi Digestion System(K-437, Switzerland)으로 분해하였다. 목재칩비료의 총 질소 정량분석은 Kjeldahl법(Buchi Distillation Unit B-324, Switzerland)을 사용했으며, 총 인산 정량분석은 Vanadate법(UV spectrophotometer, Shimadzu 1601)을 사용하였다. 목재칩비료의 총 칼륨 정량분석은 ICP법을 사용하였으며, 분해액을 증류수로 희석하여 ICP(Leman LAB PS series PS-950)기기를 이용하여 시료 중의 총 가리 농도(mg/l)를 측정하였다. 본 실험을 위하여 총 324(=3비종 X 4수종 X 3성분 X 9반복)점을 분석했다.

2) 9개 수종의 목재칩비료 내 함유량

목재는 수종에 따라 물질의 이동경로와 투과의 난이도가 크게 다르다. 지금까지 진행한 3개 목재 수종 이외에 6개의 수종을 더 추가하여 주입처리도 및 용출속도를 측정하고자 본 실험을

실시했다.

Ammonium nitrate(NH_4NO_3)와 potassium pyrophosphate($\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$) 포화용액을 *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc., *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc., *Pinus rigida* Mill., *Larix kaempferi* Carr., *Populus tomentiglandulosa* T. Lee, *Alnus hirsuta* Turcz., *Castanea crenata* Sieb. et Zucc., *Quercus* 및 *Robinia pseudoacacia* L. 칩에 진공(-620mmHg에서 5분동안)처리 후 가압법(10분 동안 각각 20, 40 and 60 kgf/cm^2)으로 주입한 목재칩비료를 제조했다. 분석방법은 전과 동일했고, 전통적인 방법과 간이법과의 차이점을 검토하여 향후 연구에 적용하고자 LV-SEM(HITACHI S-3500N)을 사용하여 검량했다. 본 실험에서 정량분석 총 648(=2비중 X 9수종 X 4개 주입방법 X 3성분 X 3반복)점을 분석했고, LV-SEM 총 648(=2비중 X 9수종 X 4개 주입방법 X 3성분 X 3반복)점을 분석했다.

3) 생재와 건재 목재칩비료의 함유량

본 실험은 목재칩비료 내에 화학 물질을 주입하면 생재 상태로 된다. 생재 상태의 목재칩비료를 건조하면 비료 함량의 변화에 대한 연구를 수행하고자 실시했다. 소나무(*Pinus densiflora*), 은사시나무(*Populus tomentiglandulosa*) 및 참나무속(*Quercus*)의 목재칩비료에 질산암모늄(NH_4NO_3) 포화수용액(214g/100ml), 인산칼륨(K_2HPO_4) 포화수용액(159g/100ml)과 염화칼륨(KCl) 포화수용액(34g/100ml)를 가압법에 의해 총 27점(=3수종 X 3시약 X 3반복주입)을 제조한 후 2가지 조건 즉, 생재와 건재로 나누어 분석하였다. 주입되어 있는 목재칩비료를 총 54점(=3수종 X 3시약 X 2조건 X 3반복주입)을 Buchi Digestion System(K-437, Switzerland)으로 분해 했다. T-N, T-P, T-K를 총 108점(=3수종 X 3시약 X 3반복주입 X 2조건 X 2반복분석)을 전과 동일한 방법으로 정량 분석하였다. 목재칩비료 건조는 건조기에 넣고 105°C에서 24시간 건조한 후 그 건조된 목재칩비료를 위와 같은 방법으로 정량 분석하였다.

4) 단일 시약 주입에 의한 목재칩비료 내 함유량

11개의 단일 시약 포화용액을 *P. densiflora*, *P. koraiensis*, *L. kaempferi*, *P. tomentiglandulosa* 및 *Quercus*의 칩에 가압법으로 주입한 목재칩비료를 총 165점(5수종 X 11시약 X 3반복) 제조했다. 위 165점을 분말상태로 만든 후 분말 0.2g을 칭취하여 Buchi Digestion System(K-437, Switzerland)으로 분해한 후 총 210점(5수종 X 7시약 X 3반복주입 X 2반복분석)을 Kjeldahl법(Buchi Distillation Unit B-324, Switzerland)으로 총질소를 분석했으며, 총 인산은 Vanadate법으로 총 210점(5수종 X 7시약 X 3반복주입 X 2반복분석) 분석했다. 총 칼륨은 ICP(Leman LAB PS series PS-950)로 총 150점(5수종 X 5시약 X 3반복주입 X 2반복분석)을 정량분석 했다.

5) 2회 주입 처리에 의한 혼합시약의 목재칩비료 내 함유량

혼합시약별로 생성되는 액체와 침전물은 보관방법에 따라 N, P_2O_5 , K_2O 함유량을 기초로 4가지 혼합시약을 소나무(*Pinus densiflora*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 낙엽송(*Larix kaempferi*), 은사시나무(*Populus tomentiglandulosa*) 및 참나무속(*Quercus*)에 총 60점(=5수종 X 4시약 X 3반복주입)을 가압주입 했다. 목재칩비료의 N, P_2O_5 , K_2O 함유량은 총 360점(=5수종 X 4시약 X

3반복주입 X 3원소 X 2반복분석)을 분석했다.

6) 6개의 시약 선정 및 가압 조건에 따른 목재칩비료 내 함유량

위의 실험 결과를 종합 분석하여 6개의 시약을 선정했으며, 이들 6개의 시약을 조건별로 가압주입처리 했다. 주입방법은 -62cmHg에서 진공시킨 후, 5kgf/cm², 10kgf/cm² 및 15kgf/cm²의 압력 하에서 60분, 120분 및 180분간 처리했다. 대상 수종은 소나무(*Pinus densiflora*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 낙엽송(*Larix kaempferi*), 은사시나무(*Populus tomentiglandulosa*) 및 참나무속(*Quercus*)으로 실험했다. 가압주입처리 후 목재칩비료의 N, P₂O₅, K₂O 함유량을 조사했다. 주입은 각각의 조건에서 3반복으로 주입 처리 하여 총 810개(=5수종 X 6시약 3시간 X 3압력 X 3반복)의 목재칩비료를 제조했고, 주입된 목재칩비료를 810점(=810개의 칩비료)을 분해했다. 분해한 시료를 T-N은 총 1,080점(=5수종 X 4시약 X 3시간 X 3압력 X 3반복주입 X 2반복분석) 분석했고, T-P의 분석은 총 1,080점(=5수종 X 4시약 X 3시간 X 3압력 X 3반복주입 X 2반복분석) 분석했고, K는 ICP로 총 1,080점(=5수종 X 4시약 X 3시간 X 3압력 X 3반복주입 X 2반복분석) 분석했다.

마. 시약 및 수종별 간이 용출

1) 단일 시약처리에 의한 소형 목재칩비료와 시약의 용출

본 실험은 수종에서의 시약 및 수종별 용출 속도를 짧은 시간에 파악하고자 작은 목편(0.5g)을 이용하여 실험되었다. 본 실험에서는 11개 시약의 포화용액을 소나무(*P. densiflora*), 잣나무(*P. koraiensis*), 낙엽송(*L. kaempferi*), 은사시나무(*P. tomentiglandulosa*) 및 참나무속(*Quercus*)의 칩에 가압법으로 주입한 목재칩비료를 총 165점(5수종 X 11시약 X 3반복) 제조했다. 가압압력은 15kgf/cm²로 처리했고, 가압처리 이전에 -62cmHg로 진 처리했으며, 처리시간은 총 180분이었다.

수종 용출 실험은 우선 수종별 및 시약별 용출 속도를 파악하기 위하여 0.5g 이하의 작은 목재칩비료 시편을 50mm의 증류수가 담긴 비커에 침적시켰다. 침적시간은 동일 샘플을 각각 6, 12, 24, 48, 96, 192시간 간격으로 침적시켰다. 수질 총 질소 정량분석은 자외선흡광도법으로 총 1,260점(5수종 X 7시약 X 6단계 X 3반복침적 X 2반복분석)을 분석했으며, 수질 총 인산 정량분석은 아스코르빈산 환원법을 사용해 총 420점(5수종 X 7시약 X 6단계 X 3반복침적 X 2반복분석)을 분석했다. 수질 총 가리 정량분석은 ICP(Leman LAB PS series PS-950)을 사용하여 총 900점(5수종 X 5시약 X 6단계 X 3반복침적 X 2반복분석)을 분석했다. 본 실험을 위하여 총 3,420점 분석했다.

2) 9개 수종의 소형 목재칩비료의 용출실험

Ammonium nitrate(NH₄NO₃)와 potassium pyrophosphate(K₄P₂O₇) 포화용액을 *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc., *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc., *Pinus rigida* Mill, *Larix kaempferi* Carr., *Populus tomentiglandulosa* T. Lee, *Alnus hirsuta* Turcz., *Castanea crenata* Sieb. et Zucc., *Quercus* 및 *Robinia pseudoacacia* L. 칩에 진공(-620mmHg에서 5분동안)처리 후 가압법(20 kgf/cm²)으로 주입한 목재칩비료를 제조했다.

처리한 목재칩비료에서 작은 0.5g 이하의 작은 시편을 50ml의 증류수가 담긴 비커에 침적시켰다. 침적시간은 동일 샘플을 각각 4, 12, 24시간 간격으로 침적시켰다. 수질 총 질소 정량분석은 자외선흡광도법으로, 수질 총 인산 정량분석은 아스코르빈산 환원법으로 분석했다. 수질 총 가리 정량분석은 ICP(Leman LAB PS series PS-950)으로 분석했다. 본 실험 편도 전통적인 방법과 비교분석하여 다음 연구에 활용하고자 LV-SEM(HITACHI S-3500N)을 사용하여 검량했다. 본 실험의 전통적인 방법으로 수질 총 162(=9수종 X 3성분 X 3시간 X 2반복)점 분석했고, LV-SEM으로 총 162(=9수종 X 3성분 X 3시간 X 2반복)점 분석했다.

3) 생재와-건재 소형 목재칩비료의 용출 비교

본 실험은 생재와 건재의 용출 속도가 차이가 나는지 여부를 구명하고자 0.5g 이하의 작은 목편으로 짧은 시간 내에 실험했다. 소나무(*Pinus densiflora*), 은사시나무(*Populus tomentiglandulosa*) 및 참나무속(*Quercus*)의 목재칩에 질산암모늄(NH_4NO_3) 포화수용액(214g/100ml), 인산칼륨(K_2HPO_4) 포화수용액(159g/100ml)과 염화칼륨(KCl) 포화수용액(34g/100ml)를 가압법에 의해 4kgf/cm^2 에서 180분 침투시켜 목재칩비료를 총 27점(=3수종 X 3시약 X 3반복주입)제조한 후 2가지 조건 즉, 생재와 건재로 나누어 분석하였다. 건재는 목재칩비료를 생재상태에서 건재상태(건조기에 105°C 에 24시간 건조시킨 상태)로 건조시킨 후 물에 침적시켰다.

실험은 0.5g 이하의 작은 목재칩비료 시편을 50mm의 증류수가 담긴 비커에 침적시켰다. 침적시간은 동일 샘플을 각각 24, 48, 96, 192시간 간격으로 침적시켰다. 수질 총 질소 정량분석은 자외선흡광도법으로 총 216점(3수종 X 3시약 X 4단계 X 3반복침적 X 2반복분석)을 분석했으며, 수질 총 인산 정량분석은 아스코르빈산 환원법을 사용해 총 216점(3수종 X 3시약 X 4단계 X 3반복침적 X 2반복분석)을 분석했다. 수질 총 가리 정량분석은 ICP(Leman LAB PS series PS-950)을 사용하여 총 216점(3수종 X 3시약 X 4단계 X 3반복침적 X 2반복분석)을 분석했다. 본 실험을 위하여 총 648점 분석했다.

4) 2회 주입 혼합시약 소형 목재칩비료의 용출

2회 주입 혼합시약으로 제조한 목재칩비료에서 0.5g 이하의 크기로 시편을 채취하여 물에 6, 12, 24, 48, 96, 192시간 담가놓고 비료 성분의 수중용출 속도를 측정하였으며, 수질의 질소, 인산, 가리 정량법으로 N, P_2O_5 , K_2O 함유량을 측정하여 백분율로 시약별, 수종별, 시간별로 정리하였다. 용출속도는 침적시간 6, 12, 24, 48, 96, 192시간 중에 6, 12시간까지 N, P_2O_5 , K_2O 의 용출량을 기준으로 측정하였다. 수질 총 질소 정량분석은 자외선흡광도법으로 총 720점(5수종 X 4시약 X 3반복주입 X 6단계 X 2반복침적)을 분석하였으며, 수질 총 인산 정량분석은 아스코르빈산 환원법으로 총 720점(5수종 X 4시약 X 3반복주입 X 6단계 X 2반복침적)을 분석했다. 수질 총 가리 정량분석은 ICP(Leman LAB PS series PS-950)으로 총 720점(5수종 X 4시약 X 3반복주입 X 6단계 X 2반복침적)을 분석하였다. 정량분석에서 얻어진 평균농도를 백분율로 환산하여 용출속도를 환산하였다.

바. 수중정치용출 시험

수중 24시간 정치 용출 속도를 조사하기 위하여 *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc., *Pinus rigida* Mill., *Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng, *Populus tomentiglandulosa* T. Lee, *Alnus hirsuta* Turcz., *Platanus occidentalis* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Castanea crenata* Sieb. et Zucc. 및 *Quercus dentata* Thunb.,를 대상으로 실시했다. 각각의 수종으로부터 60 X 25 X 6mm의 목편을 만든 후 생재와 기건 함수율을 측정했다. 질산암모늄(NH_4NO_3) 포화수용액(214g/100ml), 인산칼륨(K_2HPO_4) 포화수용액(159g/100ml)과 염화칼륨(KCl) 포화수용액(34g/100ml)를 진공(-620mmHg에서 10분동안)처리 후 가압법(10분동안 30 kgf/cm^2)으로 주입한 목재칩비료를 제조했다. 제조된 목재칩비료를 기건 건조 후 함수율을 조사하여 식물체분석법에 의하여 성분함량을 조사하고, 24시간 동안 100ml 비커에서 증류수에 침적시켰다. 비커내의 용출수는 수질분석방법에 의해 분석했다. 총 648점(=9수종 X 3시약 X 4회 함수율 X 2회 목재칩비료분석 X 3반복)을 제조하였다. 식물체분석은 0.2g의 목분 총 162점(=9수종 X 3시약 X 2회 분석 X 3반복)을 Buchi Digestion System(K-437, Switzerland)으로 분해 했다. T-N, T-P, T-K의 분석은 전과 동일한 방법으로 정량 분석하였다. 수질분석은 총 81점(=9수종 X 3성분 X 3반복)을 수질분석법에 의해 분석했다.

사. 토양 중 용출속도

토양 중 용출실험은 직경 65mm, 높이 500mm의 수기로 물을 받을 수 있도록 코크가 장착된 칼럼을 사용했다. 풍건된 토양 및 고압용 모래를 사용했다. 칼럼의 기부에 토양의 유출을 방지하기 위하여 망사를 코크와 공업용모래 사이에 넣고, 공업용모래(20mm), 심토(250mm), 표토(100mm), 상토(20-30mm)을 채우고, 표토와 상토 사이에 비료를 투여한 후 증류수를 50-70mm 투여했다. 실험은 무처리, 화학비료, 참나무속을 대상으로 3반복 실시했으며, 토양분석용 칼럼과 용출수 분석 칼럼을 분리하여 준비했다. 토양 분석용 칼럼 실험은 21일 동안 3일 간격으로 증류수를 투여했고, 침출수 분석용 칼럼은 15일 간격으로 7회(총 105일) 증류수를 투여한 후 수기로 용출수를 받아 분석했다.

화학비료는 요소(N; 46%), 용과린(P_2O_5 ; 20%), 염화加里(K_2O ; 60%)를 사용했고, 목재칩비료는 참나무속으로 제조하여 사용했다. N는 979.91mg(요소; 2.13mg), P_2O_5 는 985.09mg(용과린; 4.925g), K_2O 는 2,094.95mg(염화加里; 3.492g) 투여되었으며, 참나무속 목재칩비료는 식물체분석방법에 의하여 분석한 후 N는 979.91mg(목재칩비료; 8.80g), P_2O_5 는 985.09mg(목재칩비료; 8.20g), K_2O 는 570.92mg(목재칩비료; 6.51g)과 1,524.03mg을 인산용 참나무속 목재칩비료에 들어있는 K_2O 를 합하여 총 2,094.95mg 투여했다. 실험에 사용된 목재칩의 평균 크기는 60 X 25 X 6mm 이었고, 목재칩비료의 평균 무게는 7.84g이었다. NH_4NO_3 으로 처리한 목재칩비료 내 N의 함유량은 11.13%이었다. K_2HPO_4 으로 처리한 목재칩비료에는 P_2O_5 와 K_2O 가 존재했는데 P_2O_5 의 함유량은 12.01%이었다고, K_2O 의 함유량은 18.58%이었다. KCl로 처리한 참나무속 목재칩비료에는 8.77%의 K_2O 가 있었다. 칼럼은 총 개18개(=3조건 X 3반복 X2방법) 설치했다.

실험용 목재칩비료는 -62cmHg에서 10분간 진공시킨 후, 30 kgf/cm^2 의 압력 하에서 10분 처리한 목재칩비료를 사용했다. 대상 수종은 참나무속(*Quercus*)으로 실험했다. 가압주입처리 후 목재칩비료의 N, P_2O_5 , K_2O 함유량을 분석했다. 목재칩을 습식분해법으로 분해한 후 총 질소는

Kjeldahl법을 사용하였으며, 총 인산은 Vanadate법을 사용하였다. 총 칼륨은 ICP(Leman LAB PS series PS-950)로 정량분석 했다. 주입은 3반복으로 주입 처리 하여 목재칩비료를 제조했다.

21일 경과 후의 칼럼 300mm 깊이에서 토양을 채취한 다음 풍건 토양을 Buchi Digestion System(K-437, Switzerland)으로 분해했다. 분해된 시료를 Kjeldahl법(Buchi Distillation Unit B-324, Switzerland)으로 NH₄-N(ppm)과 NO₃-N(ppm)의 정량을 분석했으며, P 정량분석은 Bray P1법(Jones2001)으로 UV spectrophotometer(Shimadzu 1601)을 사용하여 분석하였다. 토양의 Ammonium acetate extractable potassium(Jones 2001)을 ICP(Leman LAB PS series PS-950)로 분석했다. 본 실험을 위하여 총 36(=3조건 X 4성분 X 3반복)점을 분석했다.

토양 중 용출수는 15일 간격으로 7회 수기로 채취한 후 채취된 용출수를 IC(Ion Chromatography; Dionex-320)로 NH₄-N 및 NO₃-N를 측정했으며, P와 K는 수질분석방법으로 측정했다. 본 실험을 위하여 총 36(=3조건 X 4성분 X 3반복)점을 분석했다.

아. 부숙도 조사

부숙도는 목재칩비료를 동일 토양에 계속하여 시비할 수 있는지 여부 판정하는 기준이 된다. 최근 환경농업에 대한 관심이 높아지면서 유기질비료의 소비가 크게 늘고 있다. 유기질비료란 일반적으로 생물체의 찌꺼기로 만든 비료를 말하는데 그 특징은 유기물이 토양에 가해지면 미생물에 의한 분해를 통한 부숙화를 거쳐서 작물에 흡수됨으로써 비효를 발휘하는데 있다. 우리나라에서는 본격적으로 무기질비료를 쓰기 시작한 1960년대 이전에 사용하였던 비료는 전부 유기질비료였다. 과도한 무기질비료의 사용은 토양을 척박한 토양으로 변화시키는 부작용이 있다. 척박한 토양을 다시 비옥한 토지로 환원시키기 위해서 유기질비료가 중요한 역할을 한다. 본 목재칩비료는 그 자체에 질소, 인산, 가리를 함유하고 있으므로 점차 분해되어 직접적인 효과를 나타낼 뿐만 아니라 지력유지 및 토심 증대의 간접적인 효과도 크다.

본 목재칩비료는 화학비료와 유기질 비료를 겸한 지효성 비료이다. 비료용액의 캡슐로서 역할을 다한 식물세포는 유기질 비료로 된다. 즉, 식물 세포의 캡슐 부속에 의한 유기물 자원의 공급으로 토양의 부숙함량을 증가시켜 토양을 비옥하게 한다. 따라서, 본 실험에서는 목재칩비료가 유기질비료로서의 역할을 담당하고 있는지 여부와 유기질비료로서 역할을 수행하고 있다면 어느 정도의 역할을 담당하고 있는지를 구명하기 위해 목재캡슐비료의 부숙도를 조사했다.

부숙도 조사는 다음 식에 의해 시비되기 전의 목재칩비료와 2년간 경과 후의 무게를 비교하여 계산했다. 또한, 시비되기 이전의 목재칩비료의 성분함유량과 시용 후의 성분함유량을 식물체분석법으로 분석했다. 본 실험을 위하여 총 81점(=3수종 X 3성분 X 3토양 X 3반복)의 목재칩비료를 준비했다. 성분 함유량 분석은 총 132점(=3수종 X 3성분 X 3토양 X 2회 X 3반복)실시했다.

$$\text{부숙도} = (\text{미처리재 전건비중} - \text{처리재 전건비중}) / \text{미처리재 전건비중} \times 100\%$$

자. 국제 수준 자료 수집

비료의 대량 소비국인 중국과 미국의 비료 소비량, 생산량, 수출입량 및 앞으로의 전망 등을 조사했다.

3. 연구수행 결과

가. 목재칩 원료에 대한 분석

1) 세계 산림자원과 활용

2003년 FAO에서 발표한 「세계 산림의 현황 2003 (State of the world's forests 2003, or SOFO 2003)」에 의하면 2000년 전 세계 산림면적은 3,869백만ha로서 전 세계 토지면적의 29.6%를 점유하고 있는 것으로 나타나 있다. 세계 산림면적은 개발도상국이 2,197백만ha (56.8%), 그리고 선진국이 1,671백만ha (43.2%)를 보유하고 있다. 2000년 현재 세계 산림에서 생산되는 임업부산물물 제외 임산물 생산량은 4,397백만 m^3 이며, 이중 연료재와 목탄으로 이용되는 임산물이 42%인 1,865백만 m^3 이며, 산업용재로는 34%인 1,490백만 m^3 가 이용되고 있다. 그 외 재제목으로 430백만 m^3 이 이용되고 있다. 선진국은 전체 연료재 및 목탄생산량 중 단지 10%인 186백만 m^3 을 생산하는 것에 비하여 산업용재는 70%인 1,043백만 m^3 을 생산하여, 이와 정반대 측면에서의 임산물을 생산하고 있는 개발도상국과 극명한 대조를 보여 주고 있다. FAO에 의하면, 2010년까지 연료재는 연간 약 1.1%증가율이 기대되며, 동기간에 있어 산업용재는 매년 1.7%의 증가율을 보일 것이라 예측한 바 있다.

FAO에서는 미래 세계 산림에서의 산업용재 및 목재생산물에 대한 수요 및 공급을 예측하기 위하여 GFSM(Global Fibre Supply Model, 1998)과 GFPOS(Global Forest Products Outlook Study, 1999) 연구를 수행하여 2010년까지의 임산물 생산 및 소비 등에 대한 예측을 수행한 바 있다. FAO에 의하면, 종이 및 페이퍼보드 시장이 연간 2.4%의 가장 빠른 성장을 보일 것이라 예측하고 있으며, 반대로 종이를 만들기 위한 펄프산업은 연간 1.1%로 아주 낮은 성장률을 보일 것이라 보고 있다. 이는 재생 가능한 폐지의 이용률이 증가될 것이 반영되었기 때문이며, 산업용재는 꾸준한 생산 및 소비율을 보일 것으로 기대하고 있다. 그리고 재제목은 연간 1.1%, 목질계 판넬은 1.3%의 연간 성장률이 예상되며, 목질계 판넬의 생산과 소비에 있어 대부분의 성장률은 예전에 많은 이용 빈도를 보였던 합판보다는 오히려 판넬쪽이 우점할 것이라고 보고하였다. 2010년 산업용재는 1,872백만 m^3 이 생산/소비될 것을 예측한 바 있다.

2) 우리나라 산림자원과 활용

우리나라의 산림면적은 6,422천ha(2000년말 기준)로 국토면적의 65%에 달하며 이 중 국유림은 1,433천ha(22%), 공유림은 493천ha(8%)이며, 사유림은 4,496천ha로 전체 산림면적의 70%를 차지하고 있다. 임상별(林相別) 산림면적은 침엽수림이 2,711천ha로 전체의 42%이고, 활엽수림은 1,666천ha로 26%, 혼합림은 1,885천ha로 29%이다.

기타 죽림·무입목지는 160천ha로 3%이다. 우리나라의 임목축적량은 4억4천8백만 m^3 로서, 축적증가량은 1년에 1,700만 m^3 이며, 산림의 울창한 정도를 나타내는 ha당 임목축적은 2000년말 기준 63.46 m^3 보다 10%가 늘어난 69.94 m^3 이지만, 일본의 152 m^3 , 독일의 277 m^3 , 스위스의 329 m^3 에 비하면 아직 낮은 실정으로 현재 추세라면 2020년 정도 되어야 현재의 일본 수준에 이를 것으로 전망되므로 지속적으로 산림자원에 대한 투자와 관리가 요구된다. 우리나라의 임목축적증가량은 연간 ha당 2.7 m^3 증가하고 있고, 원목생산량은 169만 m^3 으로서, ha당 0.26 m^3 으로 축적증가량의

10%만 벌채되고 있다. 외국의 원목 벌채량을 예를 들면, 일본의 경우 축적증가량(4.77m³/ha)의 35%인 1.67m³/ha이며, 독일의 경우 축적증가량(5.75m³/ha)의 80%인 4.6m³/ha 벌채되고 있다.

나무 나이별(영급별) 산림면적 분포는 30년생(Ⅲ영급) 이하가 4,193천ha로 전체 산림면적의 65.4%이고, 31년생 이상은 2,068천ha로 32.3%이며, 임목축적은 30년생 이하가 전체 축적의 47.7%인 214,105천m³이며, 31~40년생은 34.2%인 153,660천m³, 41년생 이상은 17.9%로 80,707천m³이다.

2002 현재 우리나라 산림에서 생산되는 임산물 생산량은 1,605천m³이며, 이중 갭목으로 이용되는 임산물이 3.6%인 58천m³이며, 펄프재로 23.2%인 373천m³이, 73.1%를 차지하는 일반목은 1,174천m³이 이용되고 있음을 알 수 있다.

임업부산물은 죽재 28,165숙, 재배수실(밤, 대추, 호도, 자, 은행 등)은 136,130,217kg이고, 일반수실(도토리, 산딸기, 머루, 다래, 산초 등)은 3,156,622kg, 산나물은 27,715,115kg 이용되고 있다. 우리나라 목재 가공품 생산량은 합판이 13%인 824,124m³이며, 하드보드가 0.9%인 6,262m³, 파티클보드가 11%인 728,139m³, 중밀도섬유판은 19%인 1,229,475m³, 칩 생산은 5%인 313,657m³, 제재목 용도로는 52%인 3,440천m³이다.

위에서 분석한 바와 같이 많은 자원들이 이용되지 못하고 있는 실정이며, 국내재의 이용도를 높이기 위해서 고부가가치 상품 개발이 필요하다. 정부가 장기 목표로 추진하고 있는 2040년 국산 목재 자급률 50% 달성을 위해서는 임산물을 고부가가치의 가공품으로 생산하는 노력이 필요하며, 우리나라의 약 70%이상 차지하는 소경목재를 이용하는 방안도 생각해 보아야 한다. 소경목의 활용을 높이기 위하여 지금까지 사용되지 않고 있는 기술개발이 시급하다. 특히, 소경목은 구조용재로 사용하기 부적합하므로 파쇄목으로 사용하는 방안이 강구되어야 할 것이다. 파쇄목의 이용방안 중 하나로서 목재를 이용한 지효성 비료 및 농약이 그 하나의 예가 될 것이다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 국가와 민간단체의 적극적인 참여와 지원이 이루어져야한다. 지금까지 정부는 산림농가에 조립비용을 보조하는데 그치고 있다. 그러나 앞으로는 소경목을 벌채하여 수집하는 비용을 분담해야한다. 그뿐만 아니라 더나가 국산재를 사용하는 소비자에게 국산재 이용 장려금을 지급하는 방안을 적극적으로 검토해야한다.

3) 우리나라 칩 생산현황

우리나라의 목재칩 이용 현황을 침엽수재와 활엽수재로 나누어 조사 및 실험한 결과는 다음과 같다. 침엽수재 칩은 현재로서 사용용도가 극히 저조하고, 생산실적이 낮아, 현재 우리나라의 침엽수 수종별 분포면적을 조사했다. 이러한 수종별 분포 면적은 미래의 벌채 비율과 비슷한 양상으로 나타날 것으로 예측된다. 조사 결과 소나무가 57%로서 가장 많았으며, 다음으로 리기다소나무(16%), 낙엽송(15%), 잣나무(8%)이었고, 나머지는 전나무 등 기타 수종이었다. 본 연구에서는 우리나라에 분포도가 가장 높은 순서에 따라 소나무, 리기다소나무, 낙엽송, 잣나무 순으로 실험을 수행하는 것이 원칙이지만, 소나무와 리기다소나무는 목재의 세포구성에 큰 차이가 없어, 리기다소나무를 제외하고 소나무, 낙엽송 및 잣나무를 대상으로 실험을 수행했다.

Table 1. Production of hardwood-chip in Korea(%)

	<i>Quercus</i>	Salicaceae	<i>Alnus</i>	<i>Castanea crenata</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Other
Mean	60.5	0.5	9.3	18.8	10.3	15.7
Gyongsang nam-Do	52.3	-	8.7	1.2	22.0	15.8
Gyongsang buk-Do	65.6	0.4	10.8	2.7	4.7	15.8
A	55.9	0.5	10.3	9.1	9.8	14.3
B	69.5	0.5	10.5	2.6	0.8	16.1
C	50	-	7	-	28	15
D	72	-	10	0.5	2.1	15.5
Jeonlabuk- Do	62.5	0.1	8.8	4.7	9.0	14.9
Chungchong-Do	59.4	0.7	8.2	6.7	11.0	14.0
A	52	1	8	9	15	16
B	61	1	9	6	9	14
C	53	1	7	9	15	15
Kangwon- Do	62.6	1.0	10.2	3.5	4.7	18.0
A	56.0	0.5	8.9	7.2	8.8	18.6
B	62.6	2.4	11.7	1.9	1.5	19.9
C	69.3	0.2	10.1	1.4	7	15.3

활엽수재 칩은 현재 국내에서 373천m³ 생산 중이며, 주로 펄프용 칩으로 생산되고 있고, 일부는 버섯재배용 등으로 이용되고 있다. 수종별로는 참나무속이 60.5%로 가장 많았고, 밤나무, 아까시나무, 오리나무속, 버드나무과 등의 순이었다. 현재의 실험 결과는 그러하지만 버드나무과의 은사시나무는 속성수로서 앞으로 무한한 생산가능성이 있는 수종이다. 따라서 본 연구에서는 참나무속과 은사시나무를 선택하여 실험했다.

전국의 공장에서 수집한 목재칩의 함유수분을 측정하기 위하여, 수집한 샘플을 각 수종 당 7개의 집단으로 나누고, 각 집단에서 7개의 샘플 채취한 후 105℃에서 24시간 건조했다. 본 실험을 위하여 총 35개의 샘플을 측정했다. 건조한 샘플을 건조전의 무게에서 뺀 후 그 값을 건조전의 무게로 나누어 함유율을 측정했다. 그 결과 낙엽송, 소나무, 잣나무, 참나무속 및 은사시나무 순으로 많았다.

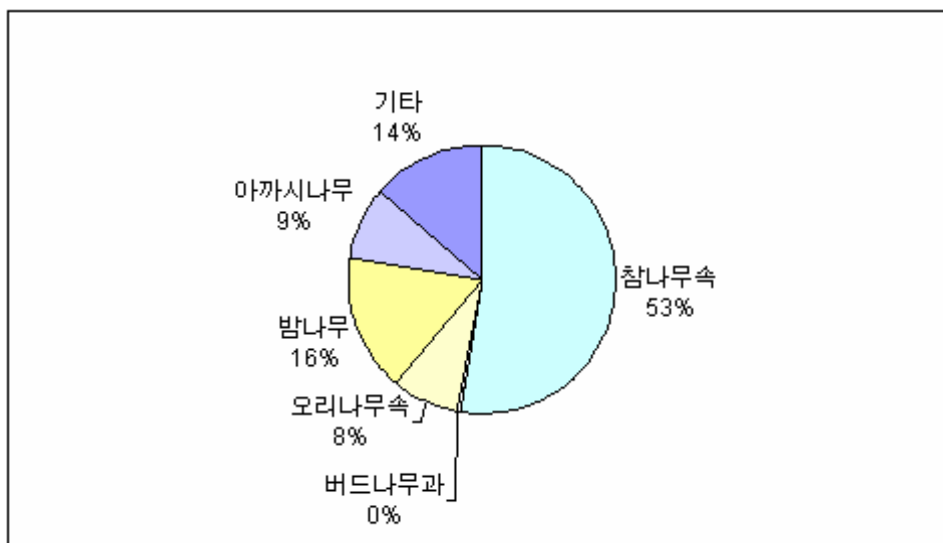


Fig. 3. Mean production of different hardwood-chip in Korea

Table 2. Moisture content of woodchip(%)

	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Pinus koraiensis</i>	<i>Larix kaempferi</i>	<i>Quercus</i>	<i>Populus tomentiglandulosa</i>
Moisture content	6.9	6.0	7.2	5.7	5.2

나. 수종별 물질이동 경로 조사 및 수종별 침윤량 차이에 대한 원인 구명

1) 침엽수의 침투도 원인 구명을 위한 특징 비교 분석

가) 소나무의 비교분석

(1) 가도관의 직경 영서지역

(가). 영서지역 소나무의 가도관 직경

방사방향으로의 가도관 직경은 수고가 2m, 4m, 6m로 높아짐에 따라 증가량의 정도는 작지만 증가하는 경향을 보여 주었다. 조재부에서 가도관 직경은 수심부에서 가장 적고 4~6연륜에서 급격히 커지다가 15연륜 이후 안정화 되는 경향을 보였다. 조재부에서의 방사직경은 만재부보다 약 13 μ m정도 크게 나타났다. 접선방향 가도관 직경도 수고가 높아짐에 따라 그 크기가 증가하는 경향을 보였다. 하지만 증가율은 수고가 높아짐에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 조·만재부에서 가도관 직경은 13연륜까지는 조재부에서 만재부에서보다 1~2 μ m정도 컸으나 13연륜 이후 그 차이는 매우 작았다. 수고에 따른 직경의 증가는 방사방향으로의 가도관 직경은 약 5%가 증가하였고, 접선방향으로의 직경은 약 3~4% 증가하였다. 방향에 따른 가도관 직경의 변화는 조재부에서는 접선방향보다 방사방향에서 그 변화가 더 컸으나 만재부에서는 접선·방사방향 각각 변화가 그리 크지 않았다.

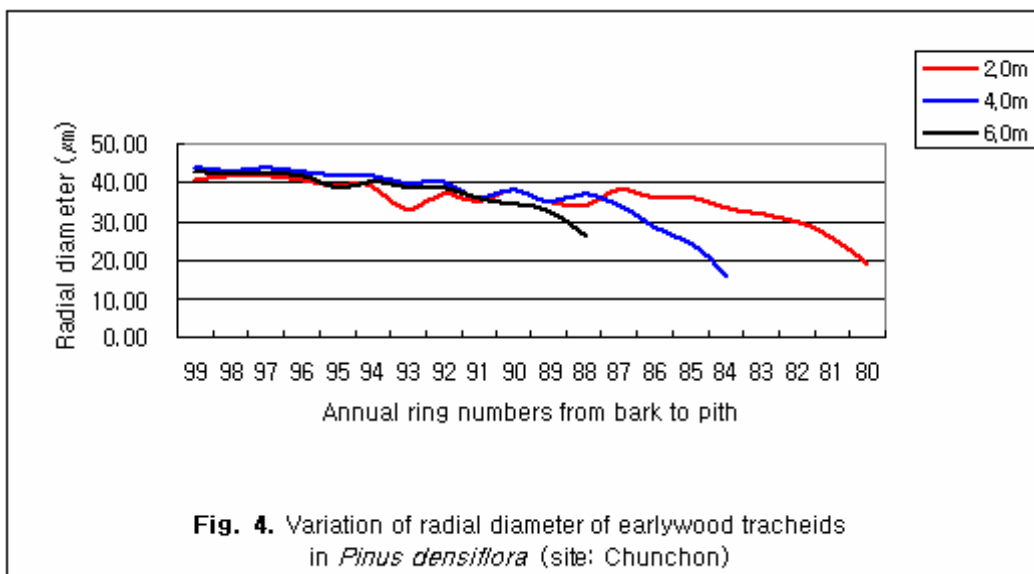


Fig. 4. Variation of radial diameter of earlywood tracheids in *Pinus densiflora* (site: Chunchon)

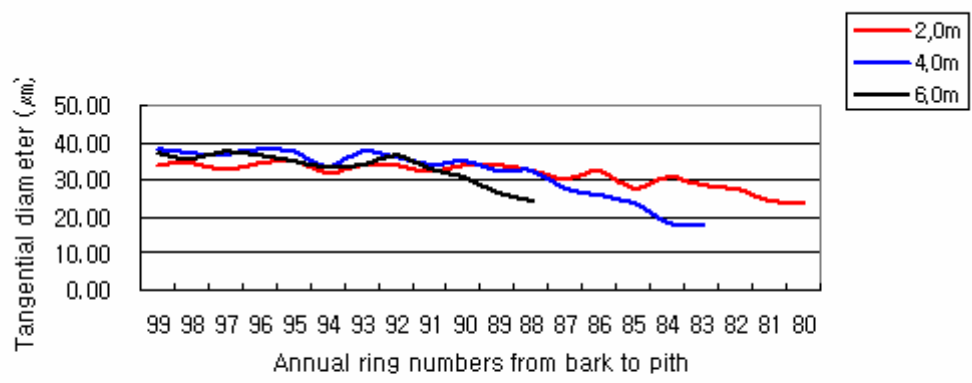


Fig. 5. Variation of tangential diameter of earlywood tracheids in *Pinus densiflora* (site: Chunchon)

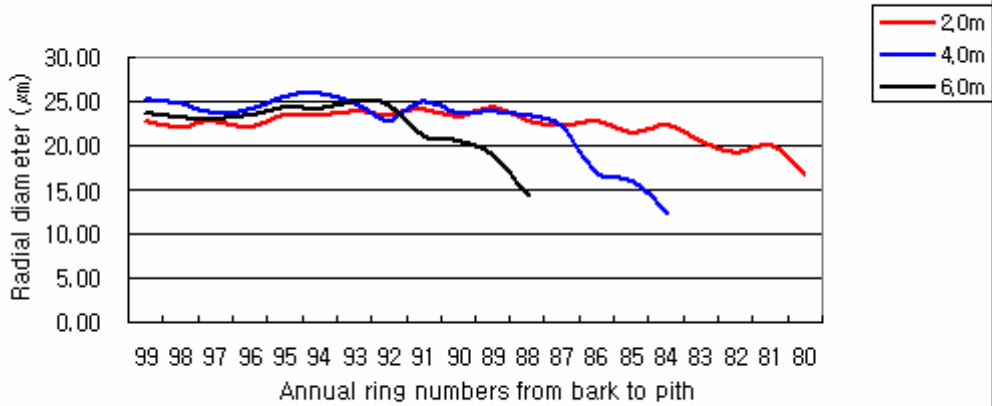


Fig. 6. Variation of radial diameter of latewood tracheids in *Pinus densiflora* (site: Chunchon)

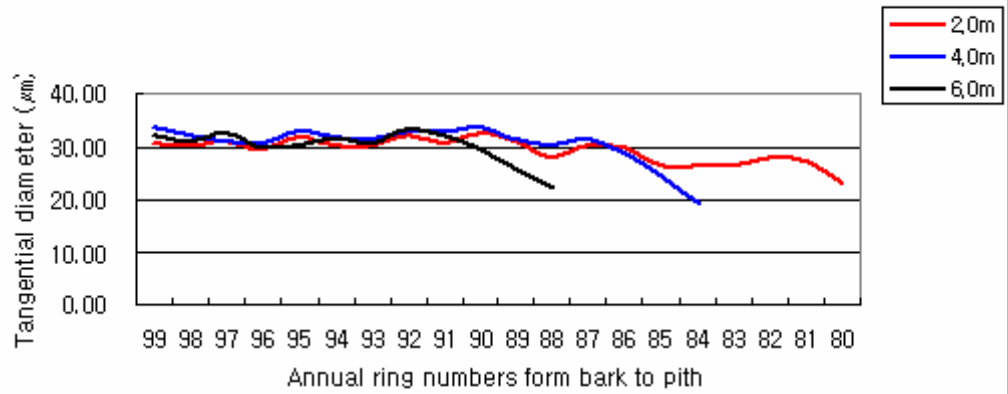
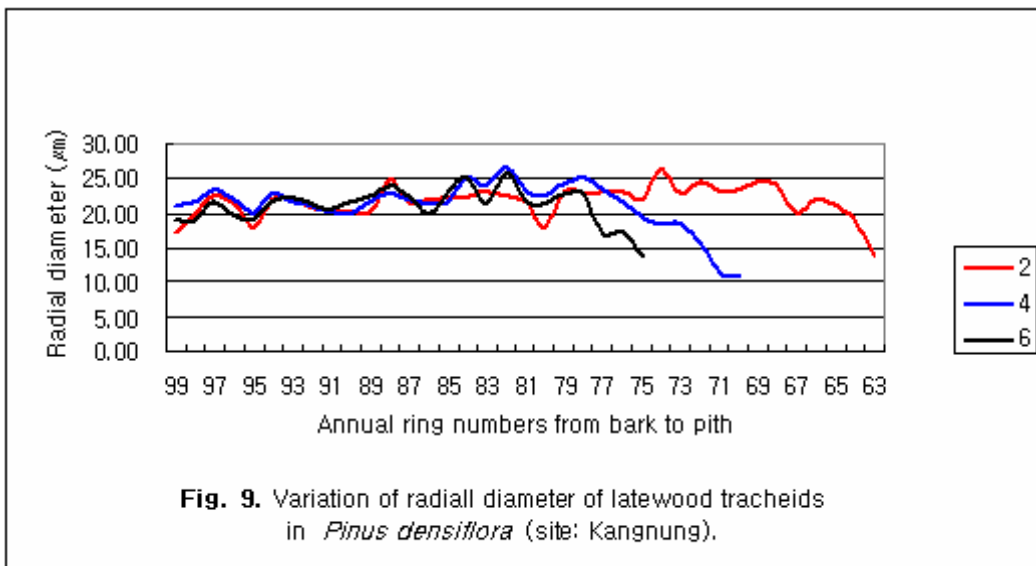
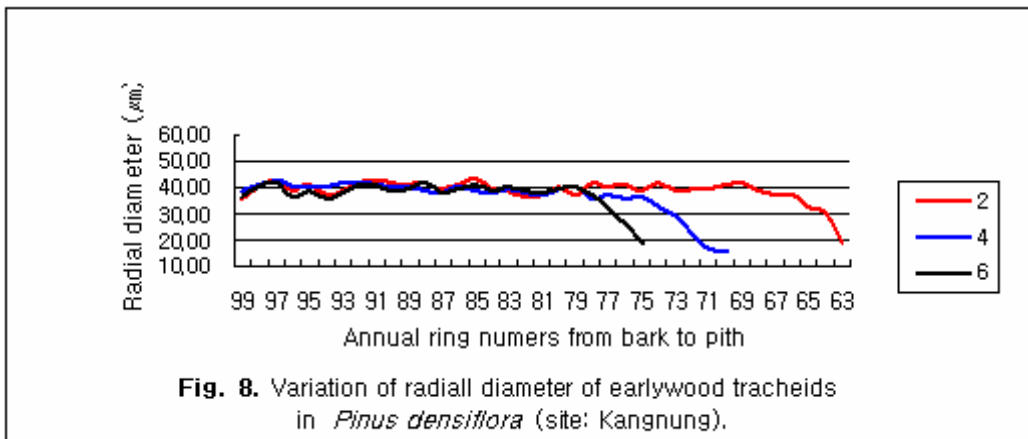


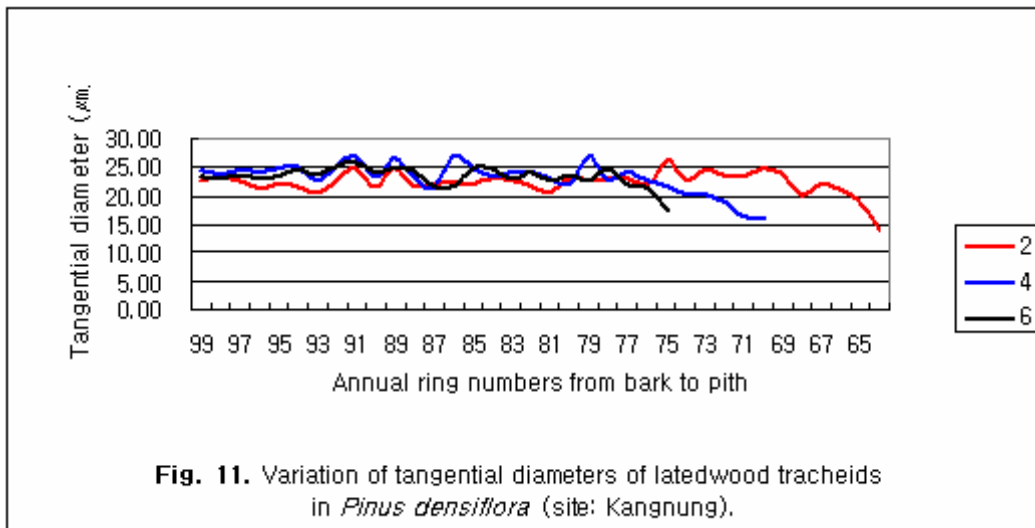
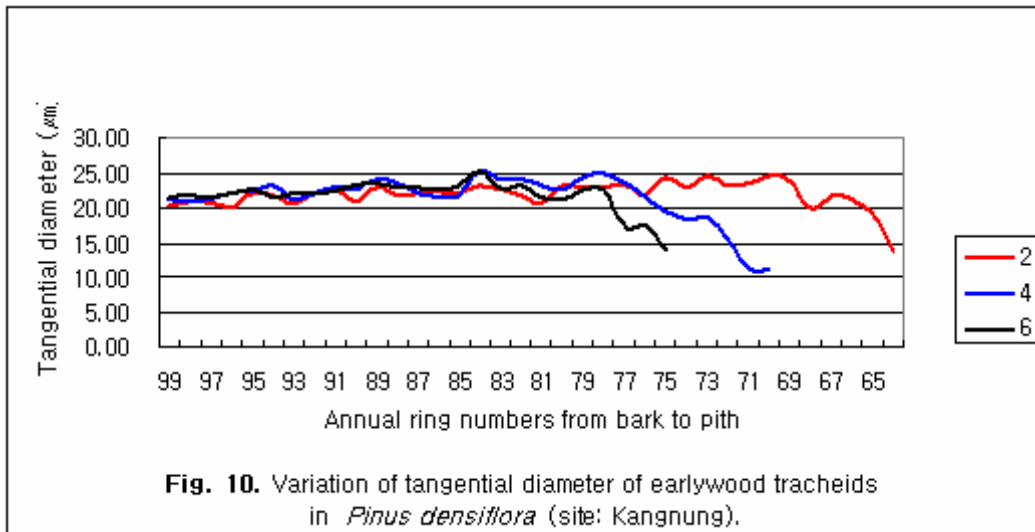
Fig. 7. Variation of tangential diameter of latewood tracheids in *Pinus densiflora* (site: Chunchon)

(나) 영동지역 소나무의 가도관 직경

방사방향으로의 가도관 직경은 수고가 높아짐에 따라 정도는 매우 미미하지만 증가함을 나타내며, 조재부에서 방사방향으로 가도관 직경은 수심부에서 가장 적고 14~15연륜까지 증가하는 추세를 보이고 약 20연륜 이후 약 41 μm 의 크기로 일정화 되는 경향을 나타냈다. 만재부에서의 방사방향 가도관 직경은 20~25 μm 정도이며 수고별 변이와 연륜에 따른 변이의 경향은 조재부와 비슷하게 나타났다. 이는 영서지역에서 벌채한 소나무와 매우 흡사한 경향을 보이고 있다. 만재부에 비해 조재부에서 약2배정도 크게 나타났다.

접선방향으로의 가도관 직경 역시 수고가 높아짐에 따라 그 크기가 증가하는 경향을 보였으며 수심부에서 5~7연륜 정도까지 증가하다가 22~25 μm 에서 일정한 현상을 나타냈다. 만재부에서의 접선방향으로의 가도관 직경 역시 수고가 높아짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 조·만재부간 가도관 직경은 22~25 μm 에서 서로 유사한 경향을 보여 주었다. 수고에 따른 직경의 증가는 방사방향으로 약 4%가 증가하였고, 접선방향으로는 약 5% 증가하였다.





(다) 영서·영동지역 소나무의 가도관 직경

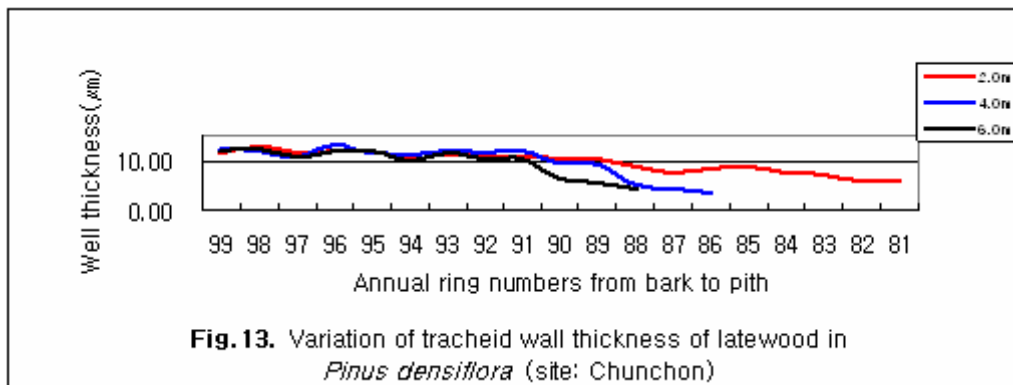
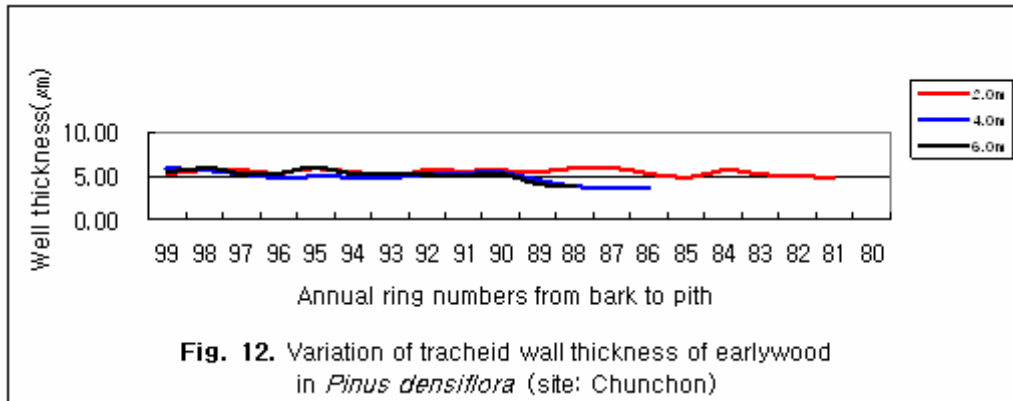
조재부에서 방사방향으로의 가도관 직경은 영서지역의 가도관 직경과 영동지역의 가도관 직경의 크기가 40 μ m에서 거의 차이가 없었다. 만재부에서도 두 지역에서의 벌채된 소나무의 경향은 비슷했으나 영서지역에서의 방사방향으로의 직경이 1~2 μ m정도 더 컸다. 하지만 조재부에서 접선 방향으로의 가도관 직경은 영동지역의 소나무보다 영서지역에서의 소나무에서의 직경의 10 μ m정도 컸다. 이러한 경향은 만재부에서도 같이 나타났다. 이러한 경향은 환경요소 중 기후적인 인자와 지형적 인자, 지질적인 인자 등 여러 가지 인자들의 복합적인 요인으로 인한 현상으로 사료되어지나 이에 대한 확실한 요인은 보다 많은 연구를 통해서만 찾을 수 있을 것이라 생각되어졌다.

(2) 가도관 벽후

(가) 영서지역에서 벌채한 소나무의 벽후

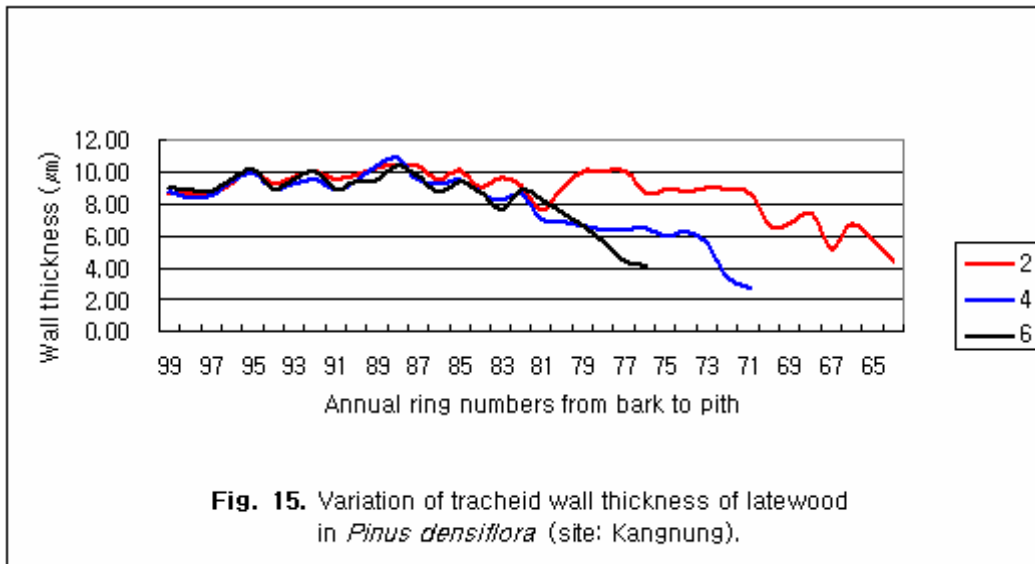
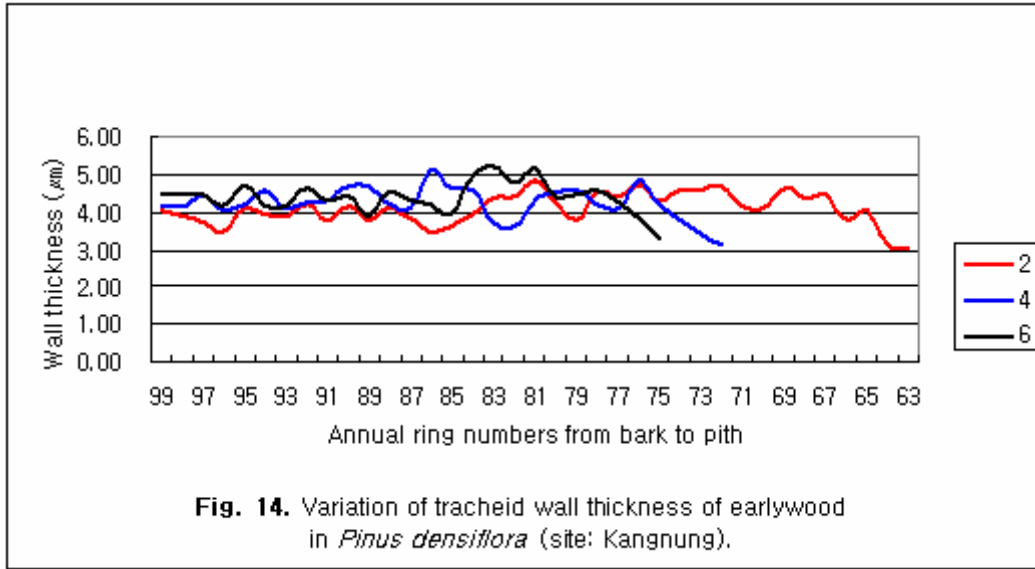
영서지역에서 벌채한 소나무에서는 수심부에서 수피부로 갈수록 가도관의 벽후가 증가함을 보여주며 조재부에서는 약 2.7 μ m, 만재부에서는 약 6 μ m에서 안정화됨을 볼 수 있었다. 1993년 이

후 생성된 연륜 중 몇몇의 연륜에서 수고가 높아질수록 그 변이량은 크지 않지만 증가하는 경향을 보여 주고 있었으나, 일원 분산분석을 통한 유의성 검정에서 유의수준 0.05 이상이었으므로 수고가 높아짐에 따라 벽후가 커진다고 볼 수는 없었다. 이는 영서지역에서 벌채한 소나무가 아직 미성숙재이므로 이러한 현상이 나타났다고 사료된다. 또한 수심부에서는 벽후의 차이가 그리 크게 나타나지 않았지만 수피부로 갈수록 조·만재 차이는 약 2배정도 크게 나타났다.



(나) 영동지역에서 벌채한 소나무의 벽후

영동지역에서 벌채한 소나무 조재부에서의 벽후는 수고가 높아짐에 따라 증가하는 경향을 보이며 이는 유의성 검정을 통하여 알 수 있었다. 약 2~2.2 μ m에서 만재부에서는 약 4.3 μ m의 크기에서 안정화되는 것을 볼 수 있었다. 수고별 변이 역시 영서지역과 매우 흡사한 경향을 나타내고 있다. 조·만재 간의 차이도 2배정도로 만재부에서 가도관 벽후가 크게 나타났다.



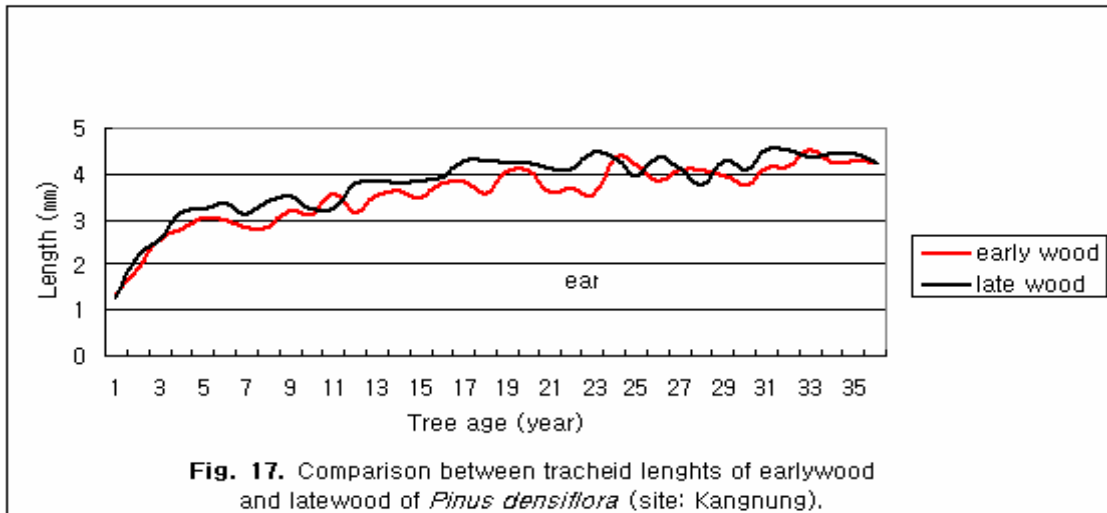
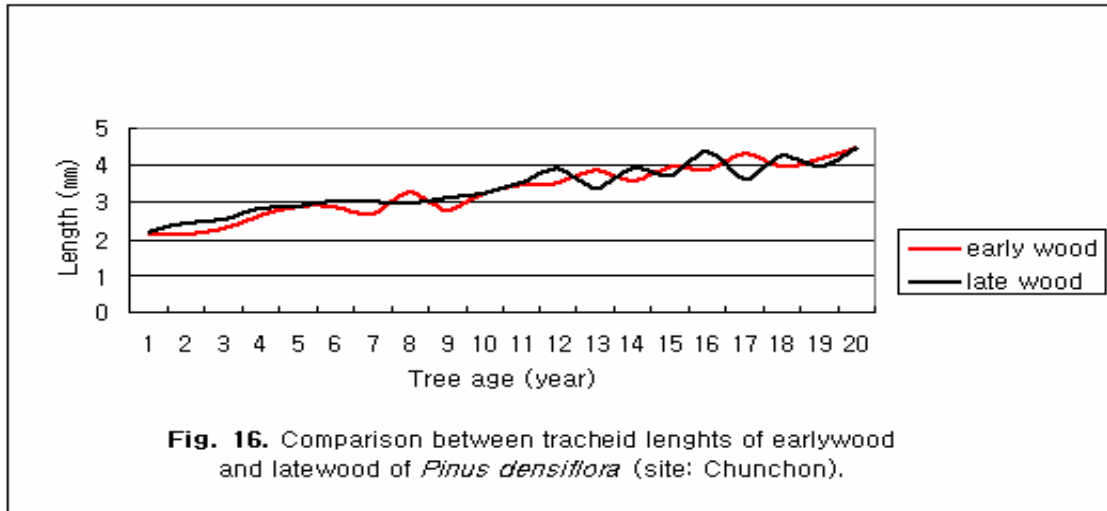
(다) 영서·영동지역에서 영서벌채한 소나무가도관 벽후 비교

조재부 가도관의 벽후는 영동지역에서 최저 약1.6 μ m에서 최고 약 2.0 μ m의 범위에서 분포하며, 영서지역에서는 최저 약2.0 μ m에서 최고 약 2.7 μ m의 범위에서 분포하였다. 만재부 가도관의 벽후는 영동지역에서 최저 약2.0 μ m에서 최고 약 5.0 μ m의 범위에서 분포하며, 영서지역에서는 최저 약2.0 μ m에서 최고 약 6.2 μ m의 범위에서 분포하였다. 영동지역에서 벌채한 소나무의 가도관의 벽후에 비해 영서지역에서 벌채한 소나무가 조재부에서 약 0.7 μ m, 만재부에서 약 2 μ m정도 크게 나타났다. 벽후는 일사량 및 일조시간의 영향으로 기인된다고 사료되었으며, 영동지역의 일사량 및 일조시간은 영서지역에서 보다 크게 나타났다.

(3) 가도관 길이

가도관의 길이는 수심에서 수피로 갈수록 증가하는 경향을 나타내었다. 만재부 가도관의 길이 보다는 조재부 가도관 길이가 작았다. 조·만재 가도관 길이의 차이는 영서지역에서 벌채한 소나무보다 영동지역에서 벌채한 소나무에서 그 차이가 더 심했다. 영서·영동에서 벌채한

소나무의 조·만재부 가도관 길이는 그 차이를 말할 수 없었다.



(4) 심재율

심재율은 수종, 수령, 수고 및 입지적 조건에 따라 차이가 있다(이, 1990). 소나무의 심재율은 길이가 길어짐에 따라 증가하였다. 영서지역에서 벌채한 소나무의 심재율은 12.39%~14.80%, 영동지역에서 벌채한 소나무의 심재율은 13.06%~13.42% 였다. 심재율의 증가량은 영동에서 벌채한 소나무보다 영서에서 벌채한 소나무가 더 컸다.

● : $y = 0.2686x + 12.415$, $R^2 = 0.8688$

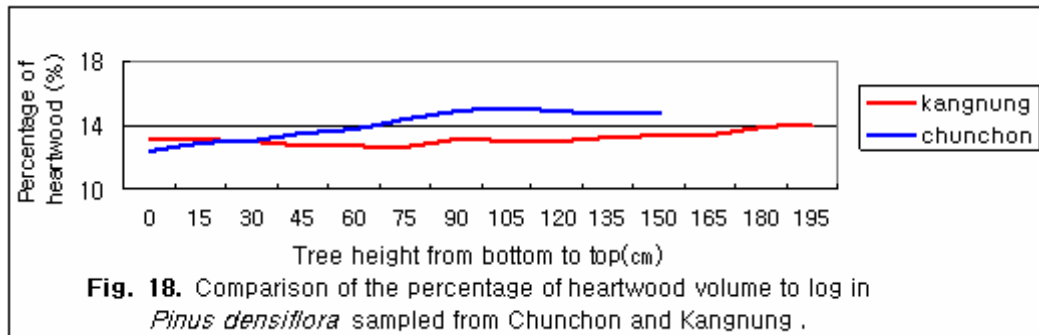
○ : $y = 0.0274x + 12.836$, $R^2 = 0.7612$

비료용액 주입시 변재 잔여량을 추정해 보면 영서지역에서 벌채한 소나무는 약 44m에서 심재가 표출 될 것으로 추정되고 영동지역에서 벌채한 소나무는 약 128m에서 심재가 표출 될 것으로 추정되었다.

● : $y = -0.0956x + 12.225$, $R^2 = 0.6998$

○ : $y = -0.2798x + 12.365$, $R^2 = 0.9666$

추정치가 영서지역에서 벌채한 소나무가 작은 이유는 영도지역에서 벌채한 소나무보다 심재율의 증가량이 더 크기 때문이라 사료된다.



(5) 분석결과

영서지역과 영도지역에서 동일 수종인 소나무의 연륜폭, 가도관의 직경 및 벽후, 가도관의 길이, 심재율과 원주가공시 변재부의 잔여량을 수고별, 연륜별 비교한 결과는 다음과 같다.

- a. 연륜폭, 가도관직경, 가도관벽후는 정도의 차이는 있지만 수고가 높아짐에 따라 증가하는 경향을 나타냈다.
- b. 영서지역소나무의 연륜폭 보다 영동지역 소나무의 연륜폭이 크게 나타났다.
- c. 수고변화에 따른 방사·접선방향 가도관의 직경의 증가율은 비슷했지만 크기의 정도는 방사방향으로의 직경 정도가 크게 나타났다.
- d. 방사방향으로의 가도관직경은 두지역에서 비슷한 크기였으나 접선방향으로의 직경은 영서지역에서 벌채한 소나무가 더 크게 나타났다.
- e. 두 지역의 가도관의 벽후는 영서지역에서 벌채한 소나무가 크게 나타났다.
- f. 두 지역 소나무의 평균 심재율은 13~14%로 나타났고, 수고가 높아짐에 따라 심재율의 증가는 영서지역의 소나무가 영동지역의 소나무에 비해 급함을 알 수 있었다.
- g. 영동지역의 소나무가 영서지역의 소나무보다 목재칩비료를 제조할 때 유리할 것으로 판단된다.

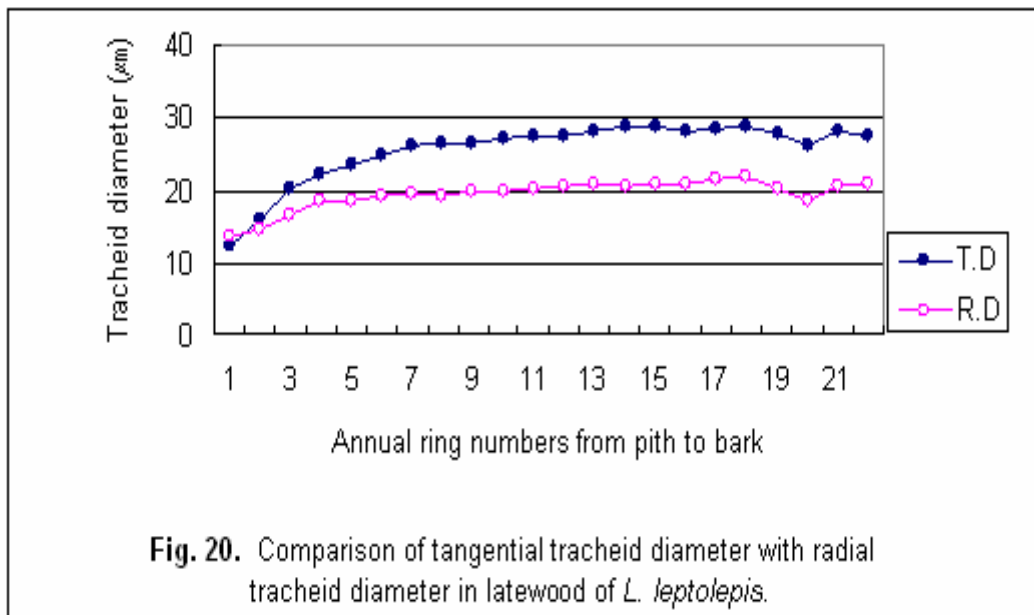
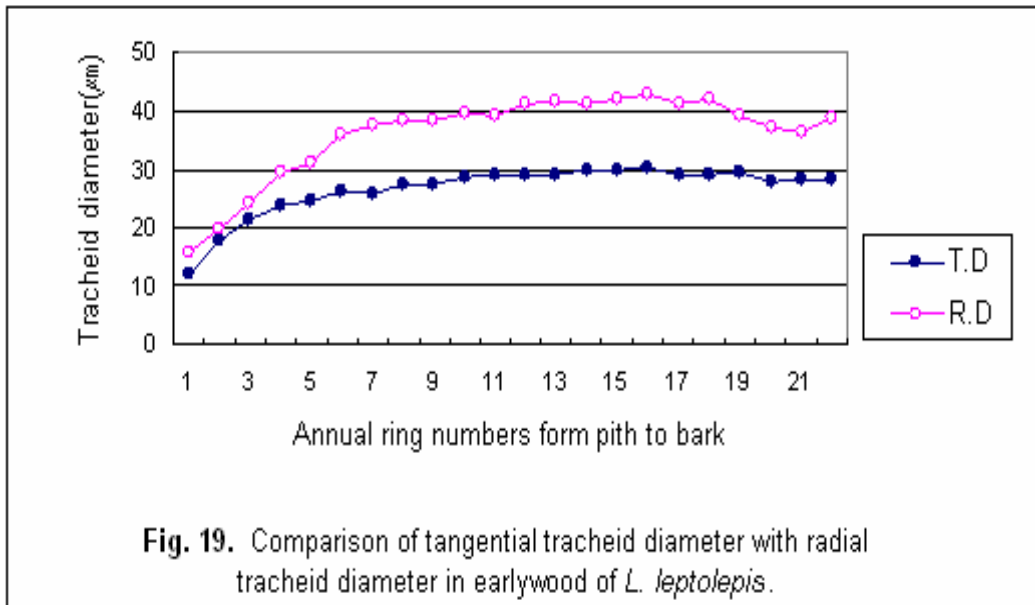
나) 낙엽송과 잣나무의 비교분석

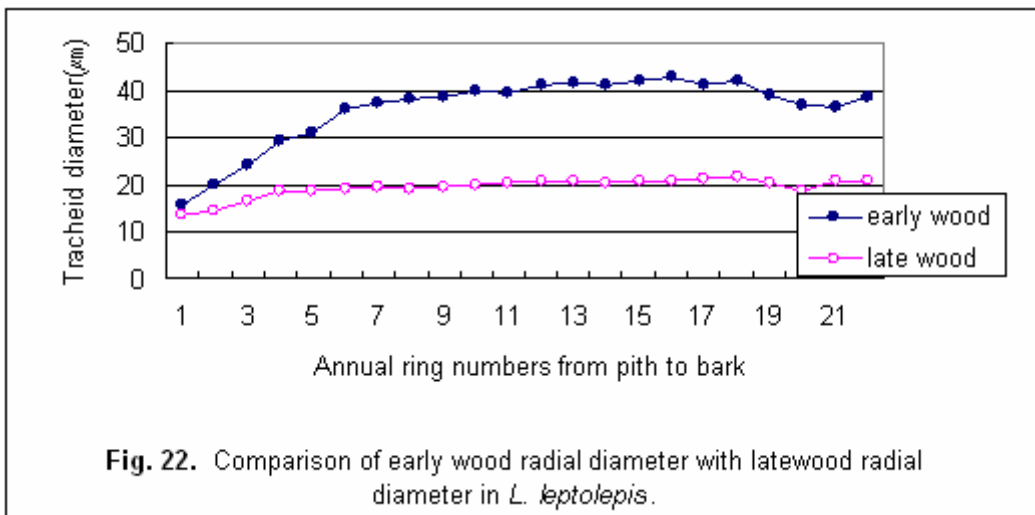
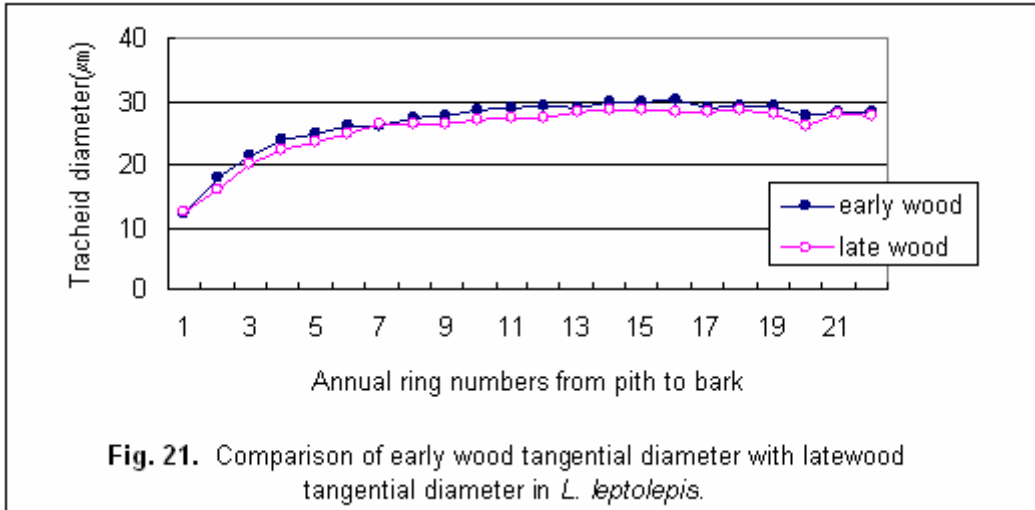
(1) 가도관의 직경

(가) 낙엽송 가도관 직경

낙엽송은 수고가 높아짐에 따라 같은 해에 생성된 접선 및 방사방향의 가도관 직경의 크기가 증가하다가 8.0m에서 감소하는 경향을 보였다. 조재의 직경은 수심 부위에서 가장 작고 수피로 향하면서 3~5연륜까지 급격히 커지다가 12~13연륜부터는 일정해지는 경향을 보이며, 방사방향의 경우 접선방향보다 직경이 크게 나타났는데, 수심에서 6연륜 이후부터는 10 μ m이상 크게 나오는 것을 볼 수 있었다. 만재는 조재와 마찬가지로 수심에서 작고 수피로 향하면서 커지지만 그 정도는 그리 크지 않으며, 방사방향 변화가 접선방향 변화보다 작게 나타났다. 방향별 변화를 보면 접선방향 직경의 경우 조·만재 비슷한데 조재가 약간 크게 나타났고, 방사방향 직경의 경우

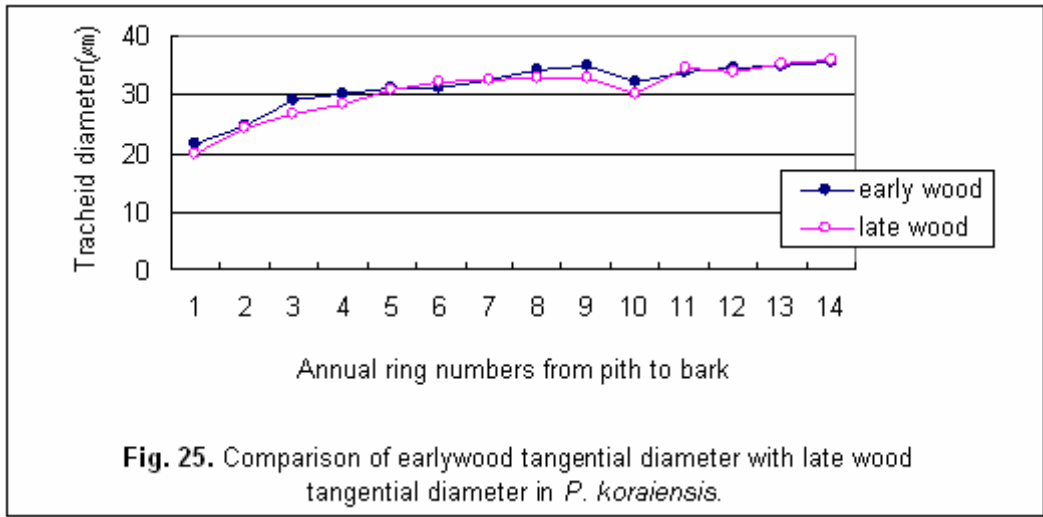
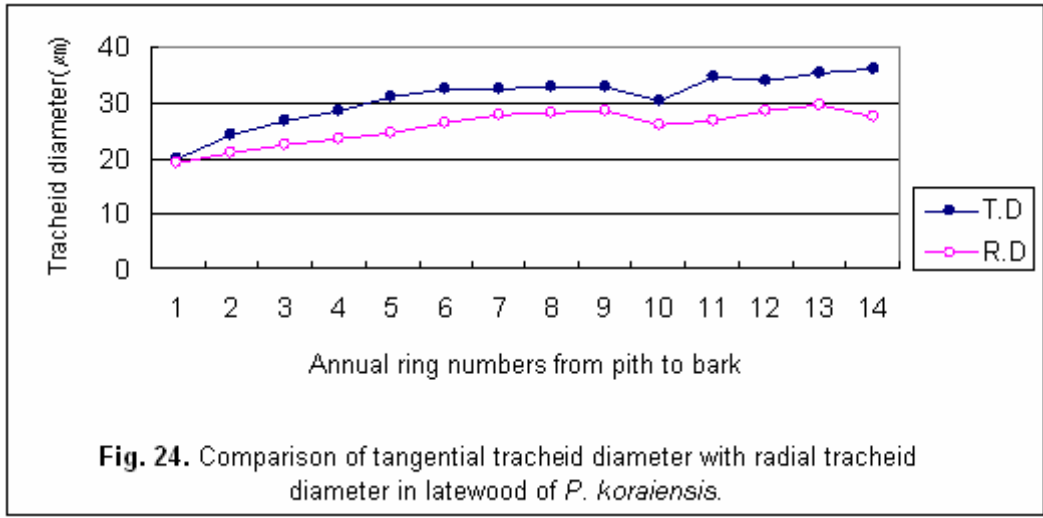
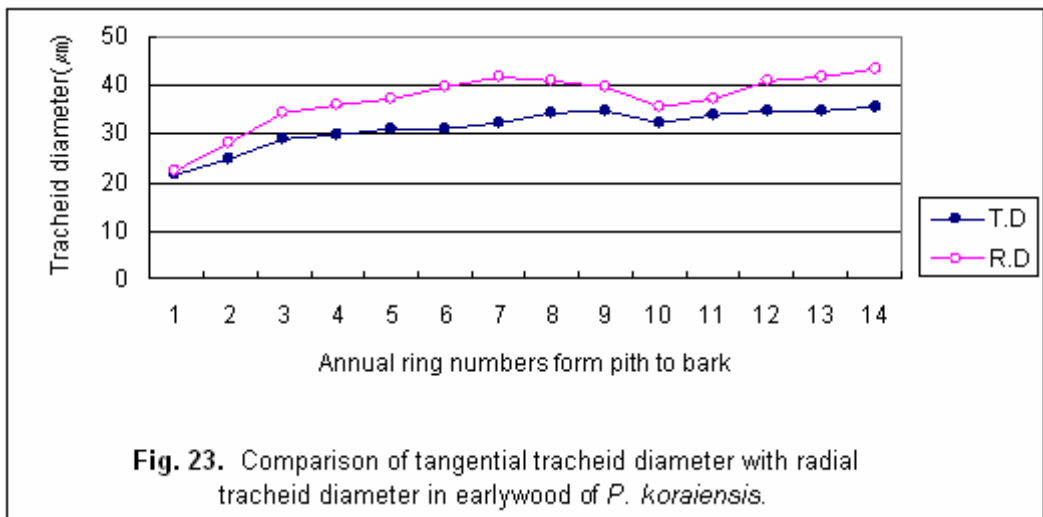
조재에서는 수심에서 6~7연륜까지 크게 증가하고 점차 일정해지는 반면에 만재의 변화는 거의 미약하였다.





(나) 잣나무 가도관 직경

잣나무 가도관 직경은 수고가 높아짐에 따라 접선 및 방사방향 모두 크기가 증가하다가 6.0m에서 감소하는 경향을 보였다. 조재의 직경은 수심에 접한 부위에서 가장 작고 수피로 향하면서 커지는 경향을 보였는데, 수고 2.0m에서는 수심부터 11연륜을 지나면서 완만해지지만 4.0m와 6.0m는 연륜수가 적어서 그러한 경향을 찾아보기 힘들었고, 6.0m에서는 직경이 계속 증가하였다. 방사방향 가도관 직경은 접선방향보다 크게 나타났는데, 수심에서 6연륜 이후부터 7~10 μ m이상 크게 나오는 것을 볼 수 있었다. 만재 가도관은 낙엽송에서 서술한 것과 비슷한 경향을 보이고 있었다. 이것은 姜(1993)과 金(1989)이 발표한 내용과 같은 경향을 보이고 있었다. 방향별 변화는 접선방향 직경의 경우 조.만재간의 차이가 거의 없었고, 방사방향 직경의 경우 조재에서는 수심에서 7연륜까지 급속히 증가하다가 일시적으로 10연륜에서 감소하였지만 다시 42~44 μ m까지 증가하였다. 반면에 만재의 크기 변화는 거의 미약하였다.



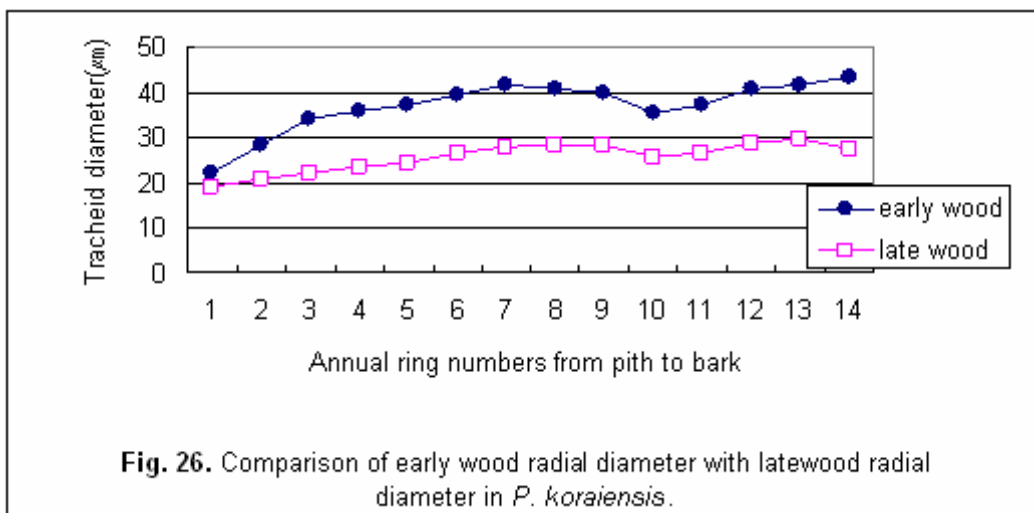


Fig. 26. Comparison of early wood radial diameter with latewood radial diameter in *P. koraiensis*.

(다) 낙엽송과 잣나무 가도관 직경 비교

낙엽송을 보면 조재에서 접선방향 가도관 직경의 변화가 13-14연륜에서 완만해졌음을 볼 수 있었고, 잣나무는 9연륜 이후에 완만해지지만 대부분이 미성숙재이므로 계속 증가할 것으로 생각된다. 조재 가도관 방사방향 직경은 수심부위에서는 잣나무가 낙엽송에 비해 6~8μm 이상 크게 측정되었으나 점차 차이가 줄어들어 9연륜 이후부터는 두 수종 모두 크기가 비슷해졌다. 만재의 가도관 직경은 접선방향과 방사방향 모두 잣나무가 낙엽송보다 크게 나타났고, 변화폭을 보면 접선방향에서 15~17μm 정도였고, 방사방향이 8~11μm 정도였다. 유의성 검사 결과 낙엽송은 만재 가도관 접선직경을 제외하면 유의확률 95%를 넘지 못했고, 잣나무는 만재 가도관 접선직경을 제외하면 95% 이상의 유의확률을 보이고 있는데, 결과는 다음 표와 같다.

Table 3. Tracheid diameters in earlywood and latewood

Species	Earlywood (μm)		Latewood (μm)	
	T	R	T	R
<i>L. kaempferi</i>	12 ~ 30	15 ~ 43	12 ~ 28	13 ~ 21
<i>P. koraiensis</i>	21 ~ 35	22 ~ 43	19 ~ 36	18 ~ 29

T : Tangential direction, R : Radial direction

Table 4. P values of *L. kaempferi* and *P. koraiensis*

Species	Earlywood		Latewood	
	T	R	T	R
<i>L. leptolepis</i>	0.143931	0.155071	0.004883	0.136047
<i>P. koraiensis</i>	0.030224	0.015844	0.273402	0.000594

T : Tangential direction, R : Radial direction

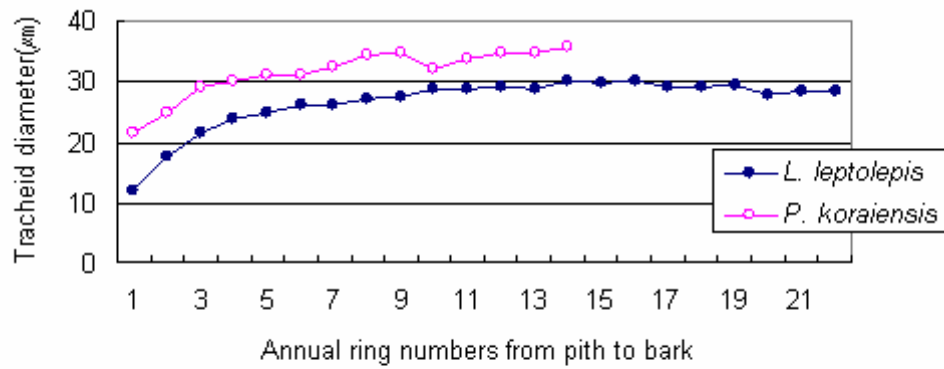


Fig. 27. Variation of earlywood tangential tracheid diameter in *L. kaempferi* and earlywood tangential diameter in *P. koraiensis*.

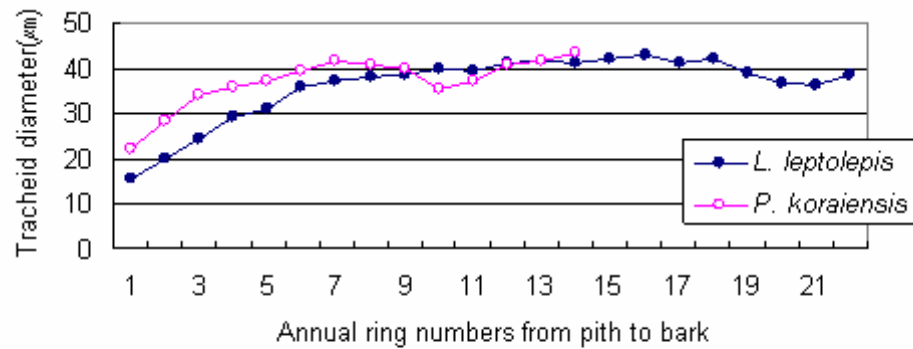


Fig. 28. Variation of earlywood radial tracheid diameter in *L. kaempferi* and earlywood radial tracheid diameter in *P. koraiensis*.

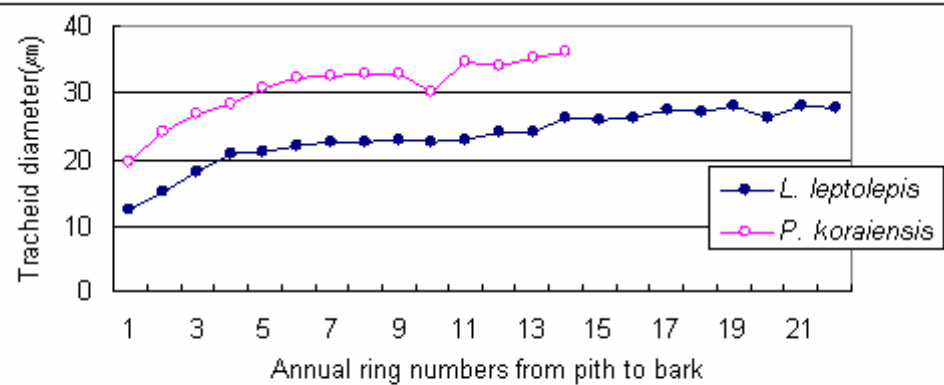
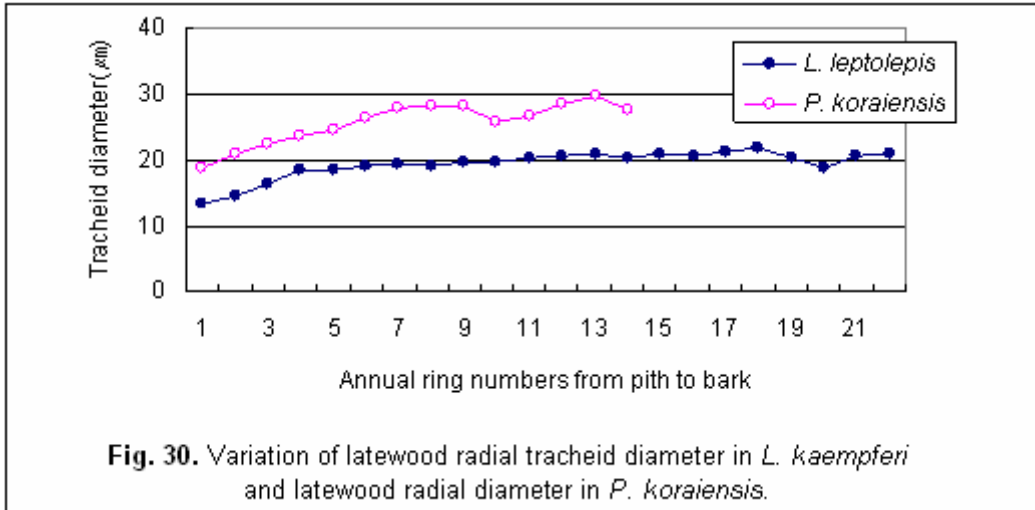


Fig. 29. Variation of latewood tangential tracheid diameter in *L. kaempferi* and latewood tangential diameter in *P. koraiensis*.

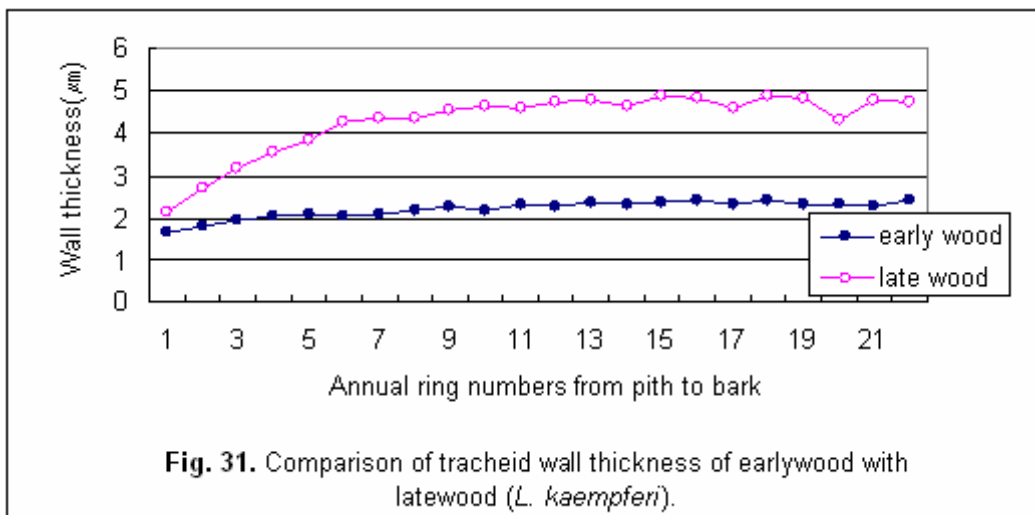


(2) 가도관 벽후

(가) 낙엽송 가도관 벽후

낙엽송 가도관의 벽후는 수고가 높아질수록 점차 증가하다가 8.0m에서는 감소하는 경향을 보이고 있는데, 앞서 설명된 가도관 직경변이와 유사하였다. 이런 현상은 가도관의 길이가 수간 위쪽으로 향함에 따라 점차 길어지며, 어느 지상고에서 최대가 되고, 그보다 초두부로 향하면서 점차 감소된다(朴, 1993)는 Sanio의 법칙과 관련이 있을 거라 생각된다. 즉, 수고가 높아질수록 가도관의 길이가 길어짐과 동시에 가도관 직경 및 벽후도 증가되고, 일정 수고가 되면 가도관 길이가 감소함과 동시에 가도관 직경과 벽후도 감소될 거라 생각된다. 그러나 이것에 관한 연구는 이번 실험에서는 행해지지 못했다.

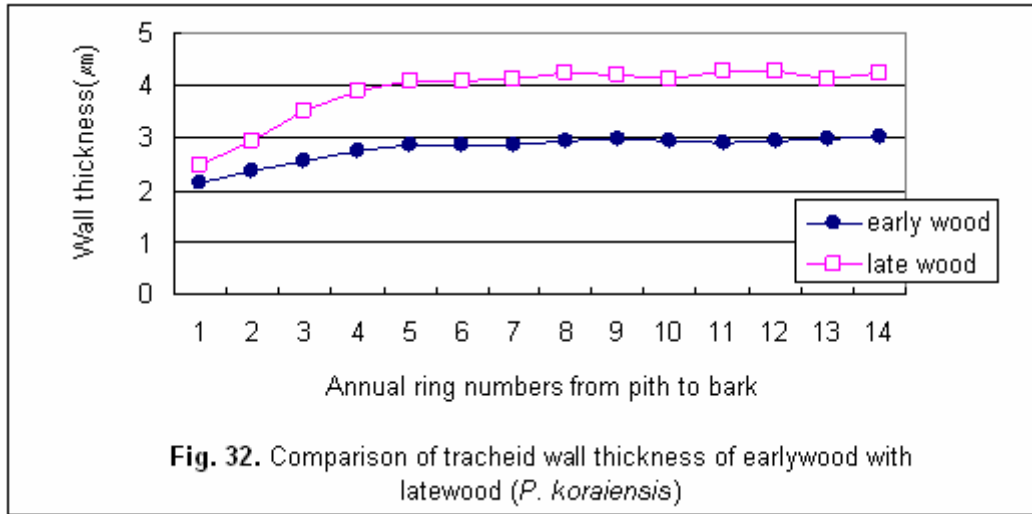
벽후의 변이는 만재에서는 수심에서 10~12연륜까지 급격히 증가하다가 점차 일정해지는 경향을 보였지만, 조재에서는 거의 차이를 보이지 않았다.



(나) 잣나무 가도관 벽후

잣나무의 벽후도 가도관 직경과 동일한 경향을 보이고 있는데, 4.0m까지 증가하다가 6.0m에서 감소하였다. 조·만재별 변이는 만재에서 6~8연륜까지 급격히 증가하다 일정해졌고, 조재는

5연륜까지 증가하고 일정해졌는데, 만재에 비하면 그 변화량은 미비하였다.



(다) 낙엽송과 잣나무 가도관 벽후 비교분석

만재의 벽후를 보면 수심에서 수피로 향하면서 급격히 증가하다가 일정해지는 경향이 나타났는데, 낙엽송은 12~13연륜, 잣나무는 8~9연륜정도에서 일정해지는 경향을 보였고, 벽후는 낙엽송이 잣나무보다 두껍게 측정되었다. 조재의 경우 변화폭이 0.8~0.9μm 정도로 변화의 차이가 거의 없었고, 결과는 다음 표와 같다. 유의성검사 결과 낙엽송 조재를 제외하고 95~99%에서 유의하였고, 결과는 다음 표와 같다.

Table 5. Tracheid wall thickness of earlywood and latewood

Species	Earlywood (μm)	Latewood (μm)
<i>L. kaempferi</i>	1.6 ~ 2.4	2.1 ~ 4.9
<i>P. koraiensis</i>	2.1 ~ 3.0	2.4 ~ 4.2

Table 6. P values of *L. kaempferi* and *P. koraiensis*

Species	Earlywood	Latewood
<i>L. kaempferi</i>	0.320719	1.79E-05
<i>P. koraiensis</i>	0.002622	0.02024

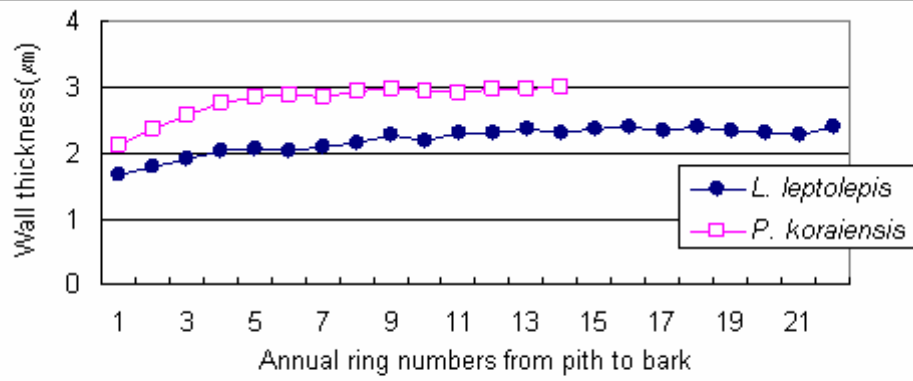


Fig. 33. Variation of earlywood tracheid wall thickness of *L. kaempferi* and *P. koraiensis*.

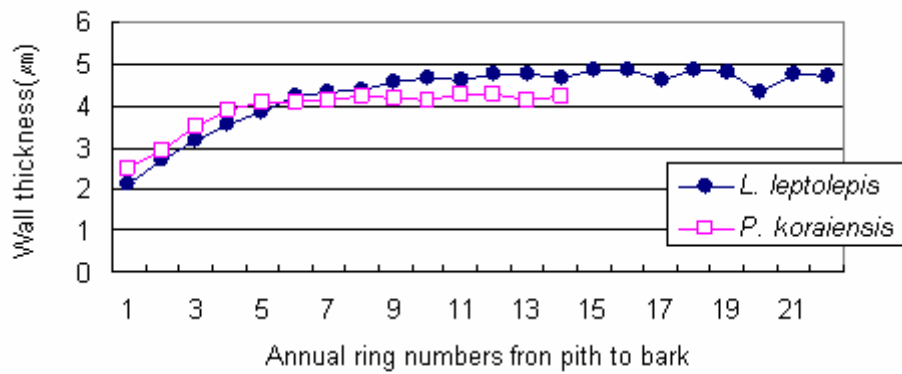


Fig. 34. Variation of latewood tracheid wall thickness of *L. kaempferi* and *P. koraiensis*.

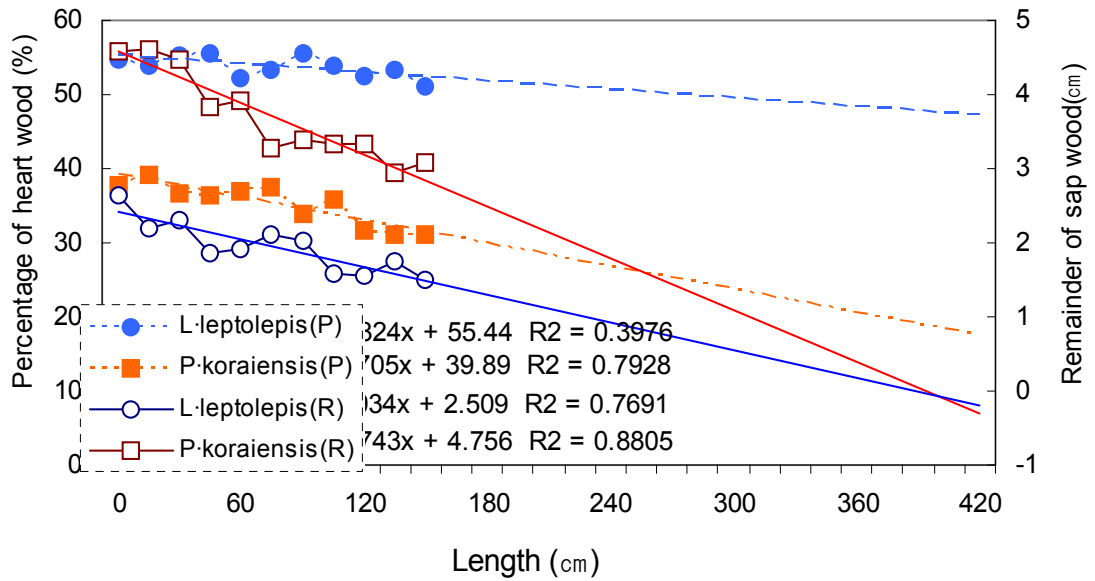


Fig. 35. Variation of the percentage of heartwood and the remainder of sapwood at butt and top by rotary cut in *L. kaempferi* and *P. koraiensis*.

P : Percentage of heartwood, R : Remainder of sapwood

(3) 심재율

심재율은 약제 투입시에 많은 영향을 주고 있어 목재를 이용하는데 중요한 요소 중의 하나이다. 낙엽송의 심재율은 평균적으로 50~56%였고, 잣나무는 30~39%로 낙엽송이 상당히 많은 심재를 가지고 있었다. 그러나 말구 가공시 변재 잔여량을 추세를 통해 보면 낙엽송과 잣나무 모두 대략 4m정도에서 심재가 드러날 것이라고 추정되는데, 이것은 변재율이 많은 잣나무의 경우 원구와 말구의 직경 차이가 낙엽송보다 크기 때문이라 생각된다. 즉, 변재의 잔여량은 세장도와 관계가 깊다고 생각된다.

(4) 결과

낙엽송과 잣나무의 연륜폭, 가도관의 직경 및 벽후, 심재율을 수고별로 비교하여 다음과 같다.

- 가도관 직경은 수고가 높을수록 커지는 경향이 있다가, 일정 수고에 도달하면 감소하였다.
- 가도관 벽후는 수고가 높을수록 두꺼워지는 경향이 있다가 일정 수고에 도달하면 감소하였다.
- 심재율은 낙엽송(50~56%)이 잣나무(30~39%)보다 높게 나타났다.
- 낙엽송이 잣나무 보다 목재칩 제조에 불리할 것으로 판단된다.

다) 주요 침엽수재의 미세구조 비교

(1) Torus와 벽공구의 관계

Torus는 침엽수재의 축방향가도관 세포의 유연벽공에서 나타나는 특징으로서 살아있는 수목의 변재에서는 수압조절 기능을 수행하지만, 심재에서는 폐쇄벽공의 원인이 된다. 심재에서와 같이 벽공을 폐쇄하면 목재를 이용하는데 장애요인으로 작용한다. 특히, 침엽수재 물질이동의 주요 통로인 벽공구를 폐쇄하여 심재부 물질침투를 방해한다. 이러한 결과로 방부제 주입 등 각종 약액

침투 기능을 상실하여, 목재의 재질을 변형시켜 사용하고자하는데 부정적인 영향을 준다.

따라서 본 연구에서는 수종별 torus의 폭의 크기를 규명함으로써 벽공구 폐쇄에 미치는 영향을 분석하고자했다. 즉, 벽공구의 크기와 torus의 크기를 비교하여 벽공구와 torus가 겹치는 면적을 조사했다. 조사결과 다음 그림 및 표와 같이 소나무의 torus직경의 크기는 8.19 μm , 리기다소나무의 torus직경의 크기는 8.87 μm , 잣나무의 torus직경의 크기는 8.42 μm 및 낙엽송의 torus직경의 크기는 8.76 μm 이고, 소나무 유연벽공구의 직경 크기는 5.95 μm , 리기다소나무 유연벽공구의 직경 크기는 5.78 μm , 잣나무 유연벽공구의 직경 크기는 4.88 μm 및 낙엽송 유연벽공구의 직경 크기는 5.85 μm 이었다.

SPSS 통계프로그램으로 LSD의 유의적 수준 및 Duncan 분석결과 소나무의 torus 직경의 크기는 리기다소나무와 낙엽송 사이에 차이가 인정되지만 잣나무와는 그 차이가 인정되지 않았다. 리기다소나무의 torus 직경의 크기는 소나무와 잣나무 사이에 차이가 인정되지만 낙엽송와는 그 차이가 인정되지 않았다. 잣나무의 torus 직경의 크기는 리기다소나무와 사이에 차이가 인정되지만 소나무와 낙엽송와는 그 차이가 인정되지 않았다. 낙엽송의 torus 직경의 크기는 소나무와의 사이에 차이가 인정되지만 리기다소나무와 잣나무와는 그 차이가 인정되지 않았다.

한편, 축방향가도관의 유연벽공의 벽공구의 직경 크기를 SPSS 통계프로그램으로 분석한 결과 잣나무만 유의적 수준이 인정되었고, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송 사이에는 유의적 차이가 인정되지 않았다.

각 수종의 torus와 벽공구의 직경의 크기로 torus와 벽공구의 겹치는 면적을 계산했다. 소나무의 겹치는 면적은 24 μm^2 , 리기다소나무 겹치는 면적은 35 μm^2 , 잣나무 겹치는 면적은 37 μm^2 , 낙엽송 겹치는 면적은 33 μm^2 이었고, 평균 겹치는 면적은 32 μm^2 이었다. 따라서 torus와 벽공구가 겹치는 면적을 고려할 때 소나무의 심재 폐쇄벽공이 압력에 의해 가장 잘 파괴될 것으로 사료된다.

(2) Torus의 폐쇄방향

각 수종의 torus의 폐쇄 방향을 낙엽송과 잣나무를 대상으로 조사한 결과 특별한 방향을 나타내지 않았다.

(3) Margo

Margo는 침엽수재의 축방향가도관 세포의 유연벽공에 나타나는 특징으로서 torus를 지지하고 있고 살아있는 수목에서는 변재에서 torus와 함께 수압조절 기능을 수행한다. Margo의 격자는 가도관과 가도관 사이의 물질 이동에 중요한 통로가 된다. 격자가 클수록 양세포간 물질의 이동은 원활해진다.

따라서 본 연구에서는 수종별 Margo의 폭과 Margo의 격자의 크기를 규명함으로써 수분이동에 미치는 영향을 분석하고자 했다. 조사결과 다음 그림 및 표와 같이 소나무의 Margo 폭은 4.34 μm , 리기다소나무의 Margo 폭은 4.92 μm , 잣나무의 Margo 폭은 4.34 μm , 낙엽송의 Margo 폭은 4.59 μm 이고, 소나무의 Margo 격자의 크기는 342.89nm, 리기다소나무의 Margo 격자의 크기는 521.79nm, 잣나무의 Margo 격자의 크기는 351.81nm, 낙엽송의 Margo 격자의 크기는 379.99nm이었다.

SPSS 통계프로그램으로 LSD의 유의적 수준 및 Duncan 분석결과 Margo 폭은 소나무와 잣나무, 그리고 낙엽송은 유의적 차이가 인정되지 않았고, 리기다소나무만 차이가 인정되었다. Margo 격자의 크기 또한 리기다소나무만 유의적 차이가 인정되었고 나머지 세 수종은 차이가

인정되지 않았다.

분석결과 Margo 폭은 1연륜 에서 5연륜 까지는 전반적으로 점차 증가하는 경향을 보였고 이후에는 일정하게 유지되는 경향을 볼 수 있었다. Margo 격자의 크기는 전반적으로 수피 쪽으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 또한 리기다소나무가 나머지 세 수종에 비해 Margo 폭과 Margo 격자의 크기가 크게 나타나는 것을 알 수가 있었다. 특히 Margo 격자의 크기는 리기다소나무가 현저히 크게 나타났다. 따라서 가도관 사이의 수분의 이동은 리기다소나무가 나머지 세 수종에 비해 유리할 것으로 사료된다.

(4) Warty layer

Warty layer는 침엽수의 가도관이나 유연벽공의 벽공연 내표면에 존재하는 사마귀와 같은 작은 돌기물과 이것을 덮고 있는 얇은 층으로서 폐쇄된 벽공에서 torus와 벽공연 사이에 미세 공극을 만들어 줄 것으로 추측된다. 이러한 추측으로 warty layer의 높이는 수분이동에 있어 중요한 인자가 될 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 warty layer의 높이와 폭을 측정하여 수분이동에 유리한 수종을 예상하고자 했다. 조사결과 다음 그림 및 표와 같이 소나무의 warty layer의 높이는 261.15nm, 리기다소나무의 warty layer의 높이는 111.45nm이고, 소나무의 warty layer의 폭은 173.13nm, 리기다소나무의 warty layer의 폭은 151.26nm이었다.

SPSS 통계프로그램으로 LSD의 유의적 수준 및 Duncan 분석결과 warty layer의 높이와 폭 모두 소나무와 리기다소나무 사이에 유의적 차이가 인정 되었다.

분석결과 warty layer의 높이와 폭 모두 소나무가 리기다소나무보다 전반적으로 큰 것으로 나타났다. 따라서 warty layer가 Torus와 벽공연 사이에 미세 공극을 만들어 준다면 소나무가 리기다소나무보다 폐쇄된 벽공에서의 수분이동에 있어 유리할 것으로 사료된다.

(5) 가도관의 벽공

축방향가도관의 유연벽공은 모든 침엽수재에 존재하는 특징으로서 벽공구의 크기는 수분이동경로의 중요한 인자로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 수종별 벽공구의 크기와 벽공연의 크기를 규명함으로써 수분이동에 유리한 수종을 찾고자 하였다. 조사결과 다음 그림 및 표와 같이 소나무의 벽공구의 크기는 5.95 μ m, 리기다소나무의 벽공구의 크기는 5.79 μ m, 잣나무의 벽공구의 크기는 4.88 μ m, 낙엽송의 벽공구의 크기는 5.85 μ m이고, 소나무의 벽공연의 크기는 6.69 μ m, 리기다소나무의 벽공연의 크기는 7.03 μ m, 잣나무의 벽공연의 크기는 6.24 μ m, 낙엽송의 벽공연의 크기는 6.14 μ m이었다.

SPSS 통계프로그램으로 LSD의 유의적 수준 및 Duncan 분석결과 벽공구의 크기는 소나무, 리기다소나무, 낙엽송 사이에는 유의적 차이가 인정되지 않았고 잣나무만 차이가 인정되었다. 벽공연의 크기는 잣나무와 낙엽송 사이에는 유의적 차이가 인정되지 않았고 나머지 경우에는 유의적 차이가 인정되었다.

분석결과 잣나무가 벽공구의 크기와 벽공연의 크기에서 나머지 세 수종에 비해 작게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 위에 나타난 벽공의 다른 특징들과 함께 고려해 보았을 때 잣나무가 나머지 세 수종에 비해 벽공을 통한 수분이동에 있어 어느 정도 불리할 것으로 사료된다.

(6) 방사가도관의 유연벽공

방사가도관과 축방향가도관 사이에 나타나는 유연벽공은 방사조직과 축방향가도관 사이의

수분이동에 중요한 역할을 할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 Cross field의 방사가도관과 축방향가도관 사이에 나타나는 유연벽공의 벽공구와 벽공연의 크기를 규명함으로써 방사조직과 축방향가도관사이의 수분이동에 유리한 수종을 찾고자 하였다. 조사결과 다음 표와 같이 소나무의 Cross field 유연벽공의 벽공구의 크기는 $2.70\mu\text{m}$, 리기다소나무의 벽공구의 크기는 $2.37\mu\text{m}$, 잣나무의 벽공구의 크기는 $2.66\mu\text{m}$, 낙엽송의 벽공구의 크기는 $2.65\mu\text{m}$ 이고, 소나무의 Cross field 유연벽공의 벽공연의 크기는 $3.24\mu\text{m}$, 리기다소나무의 벽공연의 크기는 $3.64\mu\text{m}$, 잣나무의 벽공연의 크기는 $2.95\mu\text{m}$, 낙엽송의 벽공연의 크기는 $2.61\mu\text{m}$ 이었다.

SPSS 통계프로그램으로 LSD의 유의적 수준 및 Duncan 분석결과 벽공구에서는 소나무, 잣나무, 낙엽송 사이에서는 유의적 차이가 인정되지 않았고 리기다소나무에서만 유의적 차이가 인정되었다. 벽공연에서는 모든 수종 사이에서 유의적 차이가 인정되었다.

분석결과 리기다소나무가 나머지 세 수종에 비해 벽공구가 작게 나타났으나 벽공연은 오히려 크게 나타난 것을 알 수 있었다. 따라서 리기다소나무가 다른 세 수종에 비해 Cross field 유연벽공을 통한 수분이동에서는 어느 정도 불리할 것으로 사료된다. 그러나 이 데이터만으로 방사조직과 축방향가도관사이의 수분이동의 정도를 알 수는 없을 것이다. 방사조직과 축방향가도관사이의 수분이동의 정도를 파악하기 위해서는 Cross field simple pit등의 다른 여러 가지 특징들 또한 고려되어야 할 것이다.

(7) 분야벽공의 벽공구

분야벽공은 방사유세포와 축방향가도관이 교차하여 만들어지는 장방형의 부분에 나타난 벽공으로서 방사조직과 축방향가도관사이의 수분이동에 있어 매우 중요한 인자이다. 분야벽공은 창상벽공, 소나무형벽공, 가문비나무형벽공, 삼나무형벽공, 편백형벽공, 이상의 5가지 형이 있다.

본 연구에서는 분야벽공의 크기를 규명함으로써 방사조직과 축방향가도관사이의 수분이동에 유리한 수종을 찾고자 하였다. 조사결과 다음 표와 같이 소나무의 분야벽공의 크기는 $23.93\mu\text{m}$ 이었고 창상벽공으로 나타났다. 리기다소나무의 분야벽공의 크기는 $8.51\mu\text{m}$ 이었고 소나무형벽공으로 나타났다. 잣나무의 분야벽공의 크기는 $17.49\mu\text{m}$ 이었고 창상벽공으로 나타났다. 낙엽송의 분야벽공의 크기는 $4.61\mu\text{m}$ 이었고 가문비나무형벽공으로 나타났다.

SPSS 통계프로그램으로 LSD의 유의적 수준 및 Duncan 분석결과 모든 수종 사이에서 유의적 차이가 인정되었다. 소나무와 잣나무는 같은 창상벽공임에도 불구하고 분야벽공의 크기가 현저한 차이를 보였다. 분야벽공의 크기는 창상벽공으로 나타난 소나무가 가장 크게 나타났으며, 다음으로는 소나무와 같은 창상벽공의 잣나무가 크게 나타났고, 다음으로는 소나무형벽공으로 나타난 리기다소나무, 가문비나무형벽공으로 나타난 낙엽송의 순으로 나타났다.

분석결과 분야벽공이 크기가 큰 창상벽공으로 나타난 소나무와 잣나무, 특히 소나무가 방사조직과 축방향가도관사이의 수분이동에 있어 다른 수종에 비해 유리할 것으로 사료된다. 이에 반해, 분야벽공이 크기가 작은 가문비나무형벽공으로 나타난 낙엽송은 방사조직과 축방향가도관사이의 수분이동에 있어 다른 수종에 비해 불리할 것으로 사료된다.

(8) 방사유세포

방사조직의 주요 구성요소인 방사유세포는 방사가도관과 더불어 방사방향의 물질이동에 있어 매우 중요한 인자로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 수종별로 방사방향의 물질이동의 중요한 인자가 되는 방사유세포 내강의

크기, 말단벽의 벽공의 크기, 방사유세포 수평벽의 두께 등을 규명함으로써 방사방향의 수분이동에 유리한 수종을 찾고자 하였다. 조사결과 다음 그림 및 표와 같이 소나무의 말단벽의 벽공의 크기는 $2.12\mu\text{m}$, 리기다소나무의 말단벽의 벽공의 크기는 $2.41\mu\text{m}$, 낙엽송의 말단벽의 벽공의 크기는 $2.60\mu\text{m}$ 이었다. 잣나무에서는 방사유세포의 말단벽을 관찰 할 수 없었다. 소나무의 방사유세포 내강의 크기는 $8.72\mu\text{m}$, 리기다소나무의 방사유세포 내강의 크기는 $11.41\mu\text{m}$, 잣나무의 방사유세포 내강의 크기는 $8.09\mu\text{m}$, 낙엽송의 방사유세포 내강의 크기는 $9.26\mu\text{m}$ 이고, 소나무의 방사유세포의 두 수평벽 두께는 $2.07\mu\text{m}$, 리기다소나무의 방사유세포의 두 수평벽 두께는 $1.20\mu\text{m}$, 잣나무의 방사유세포의 두 수평벽 두께는 $3.27\mu\text{m}$, 낙엽송의 방사유세포의 두 수평벽 두께는 $2.95\mu\text{m}$ 이었다.

SPSS 통계프로그램으로 LSD의 유의적 수준 및 Duncan 분석결과 말단벽의 벽공의 크기에서는 소나무, 리기다소나무, 낙엽송 세 수종 모두에서 유의적 차이가 인정되었다. 방사유세포 내강의 크기에서도 모든 수종들 사이에 유의적인 차이가 인정되었고, 방사유세포의 두 수평벽 두께에서도 모든 수종들 사이에 유의적 차이가 인정되었다.

분석결과 말단벽의 벽공의 크기에서는 리기다소나무와 낙엽송가 소나무에 비해 크게 나타났고, 방사유세포 내강의 크기는 리기다소나무가 다른 수종들에 비해 크게 나타났다. 방사유세포의 두 수평벽 두께에서는 리기다소나무가 다른 수종에 비해 얇은 것으로 나타났다. 따라서 방사방향의 물질이동에 있어서는 리기다소나무가 다른 수종에 비해 비교적 유리할 것으로 사료된다.

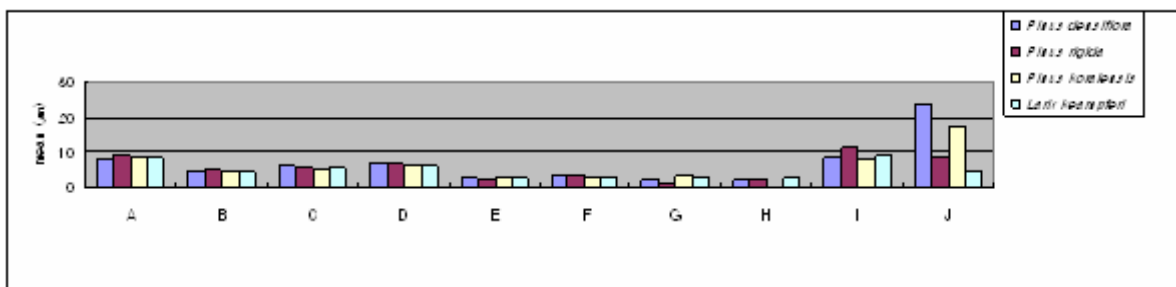


Fig. 36. Comparison of different micro-structural properties. A: Torus diameter, B: Margo width, C: Pit aperture diameter, D: Pit border width, E: Cross-field bordered pit aperture diameter in ray tracheid, F: Cross-field bordered pit border minimum width in ray tracheid, G: 2 horizontal wall thickness of ray parenchyma, H: Cross-field simple pit aperture, I: Ray parenchyma cell lumen diameter and J: Cross-field simple pit aperture.

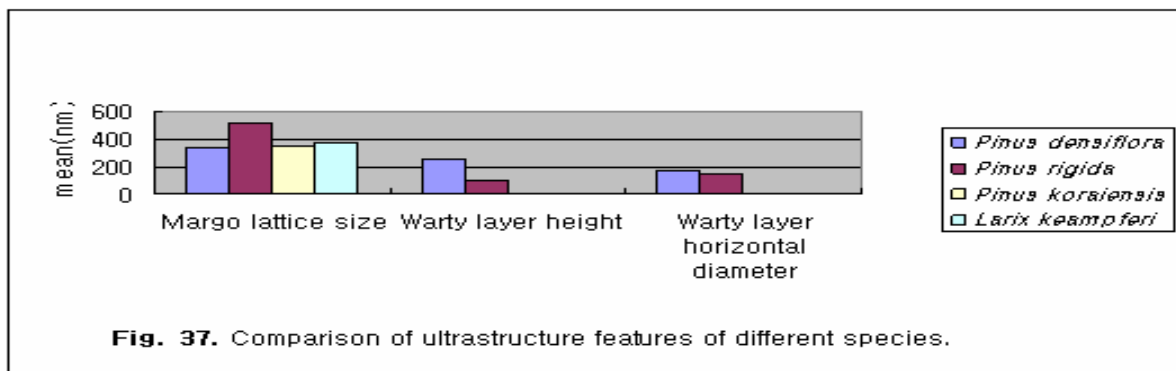


Fig. 37. Comparison of ultrastructure features of different species.

Table 7. Duncan multiple analysis of all features

Features	Species	mean (μm)
Torus diameter	<i>Pinus densiflora</i>	8.19 a
	<i>Pinus rigida</i>	8.87 c
	<i>Pinus koraiensis</i>	8.42 ab
	<i>Larix keampferi</i>	8.76 bc
Margo width	<i>Pinus densiflora</i>	4.34 a
	<i>Pinus rigida</i>	4.92 b
	<i>Pinus koraiensis</i>	4.34 a
	<i>Larix keampferi</i>	4.59 a
Margo lattice size	<i>Pinus densiflora</i>	342.89 a
	<i>Pinus rigida</i>	521.79 b
	<i>Pinus koraiensis</i>	351.81 a
	<i>Larix keampferi</i>	379.99 a
Warty layer height	<i>Pinus densiflora</i>	261.15*
	<i>Pinus rigida</i>	111.45
	<i>Pinus koraiensis</i>	–
	<i>Larix keampferi</i>	–
Warty layer horizontal diameter	<i>Pinus densiflora</i>	173.13*
	<i>Pinus rigida</i>	151.26
	<i>Pinus koraiensis</i>	–
	<i>Larix keampferi</i>	–
Pit aperture diameter	<i>Pinus densiflora</i>	5.95 b
	<i>Pinus rigida</i>	5.79 b
	<i>Pinus koraiensis</i>	4.88 a
	<i>Larix keampferi</i>	5.85 b
Pit border width	<i>Pinus densiflora</i>	6.69 b
	<i>Pinus rigida</i>	7.03 c
	<i>Pinus koraiensis</i>	6.24 a
	<i>Larix keampferi</i>	6.14 a
Cross field bordered pit aperture diameter in ray tracheid	<i>Pinus densiflora</i>	2.70 b
	<i>Pinus rigida</i>	2.37 a
	<i>Pinus koraiensis</i>	2.66 b
	<i>Larix keampferi</i>	2.65 b
Cross field bordered pit border minimum width in ray tracheid	<i>Pinus densiflora</i>	3.24 c
	<i>Pinus rigida</i>	3.64 d
	<i>Pinus koraiensis</i>	2.95 b
	<i>Larix keampferi</i>	2.61 a
2 horizontal wall thickness of ray parenchyma cell	<i>Pinus densiflora</i>	2.07 b
	<i>Pinus rigida</i>	1.20 a
	<i>Pinus koraiensis</i>	3.27 d
	<i>Larix keampferi</i>	2.95 c
Ray parenchyma end wall pit aperture	<i>Pinus densiflora</i>	2.12 a
	<i>Pinus rigida</i>	2.41 b
	<i>Pinus koraiensis</i>	–
	<i>Larix keampferi</i>	2.60 c
Ray parenchyma cell lumen diameter	<i>Pinus densiflora</i>	8.72 b
	<i>Pinus rigida</i>	11.41 d
	<i>Pinus koraiensis</i>	8.09 a
	<i>Larix keampferi</i>	9.26 c
cross field simple pit aperture	<i>Pinus densiflora</i>	23.93 d
	<i>Pinus rigida</i>	8.51 b
	<i>Pinus koraiensis</i>	17.49 c
	<i>Larix keampferi</i>	4.61 a

significant level : 0.05

(9) 결과

본 연구에서는 현재 목재칩비료의 제조에 사용되는 수종 중 소나무(*P. densiflora*), 리기다소나무(*P. rigida*), 잣나무(*P. koraiensis*) 및 낙엽송 (*L. kaempferi*)에서 N, P, K주입과 관련된 주요 수분이동경로가 되는 조직들을 비교함으로써 보다 효과적인 목재칩비료를 제조하는데 유리한 수종을 밝히고자 하였다. 4가지 수종의 수분이동경로가 되는 여러 조직들을 전계방사형 주사전자현미경(FE-SEM HITACHI S-4300)으로 관찰, 분석한 결과 소나무가 수분이동경로와 관련하여 N, P, K 주입에 가장 효과적일 것으로 생각되고, 4가지 수종 중 가장 효과적인 비료를 제조할 수 있을 것으로 생각된다.

2) 활엽수의 침투도 원인 구명을 위한 특징 비교 분석

가) 굴참나무의 분석

(1) 도관 직경

(가) 조만재의 도관직경 비교

굴참나무 조재관공은 수피 쪽으로 갈수록 증가하고 있는데 이것은 17연륜 까지 증가하다 13연륜 이후는 거의 안정화되었다. 만재관공은 수피 쪽으로 갈수록 증가하나 조재관공에 비하여 증가율이 훨씬 적고 조재와 같이 13연륜 이후로 거의 안정된다. 조재의 경우 평균 도관 직경의 크기가 약 244.35 μ m 이었고 만재의 경우 약 61.18 μ m 이었다.

조·만재의 차이가 현저하게 나타나는 것을 볼 수 있으며 일반적으로 환공재, 산공재 및 방사공재 모두 조재부의 관공이 만재부보다 크게 나타나고 있다(李.1991). 일반적으로 일부 수종을 제외하고 대부분의 수종에서 횡단면상의 단일 관공의 크기는 새로운 세포가 조성될 때 주로 수분의 多少와 기상의 영향으로부터 조재부의 것은 만재부에서 보다 비교적크다(산림청1989). 동일 연륜 내에서도 특히 환공재의 경우 조재와 만재간의 도관 직경의 차이가 현저하게 나타난다(李.1987). 본 실험에서도 조재와 만재간의 도관직경의 차이가 현저하게 나타났으며 조재의 도관직경이 만재보다 컸다.

다음 표는 조·만재의 최대·최소·평균 도관직경을 나타낸 것인데 수치상 조재의 평균 연륜 폭이 만재의 평균 도관직경보다 183.17 μ m 크므로 조·만재의 차이가 확연했다.

Table 8. Vessel diameter in earlywood and latewood (Unit: μ m)

	Max(annual ring)	Min(annual ring)	Average
Earlywood	272.24(28)	192.67(1)	244.35
Latewood	68.06(1)	48.29(25)	61.18

(나) 조만재의 수고별 도관직경

수고가 높아짐에 따라 도관 직경이 커지는 경향이 있었고 수쪽으로 도관 직경이 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 다시 말해 수피 쪽으로 갈수록 도관직경이 커지는데 수쪽에서 도관직경이 증가하는 변이가 크지만 수피 쪽으로서는 증가하는 변이가 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 다음 표는 수고별 최대·최소·평균 도관직경을 수치로 나타낸 것이다. 최대·최소·평균 도관직경 모두 수고가 높아지면서 모두 증가함을 볼 수 있었다. 또한 수고별 최대 도관직경이 모두 같은 해임을 알 수 있었다.

Table 9. Vessel diameter in earlywood at different height (Unit: μm)

Tree height	Max(years)	Min(years)	Average
1.2m	272.2(98)	151.6(71)	210.83
3.2m	289.5(98)	186.5(74)	240.47
5.2m	315.0(98)	195.9(84)	262.92
7.2m	326.3(98)	233.2(90)	287.46

Table 10. Vessel diameter in latewood at different height (Unit: μm)

Tree height	Max(years)	Min(years)	Average
1.2m	68.1(98)	37.9(71)	52.71
3.2m	73.4(98)	46.6(74)	60.16
5.2m	78.8(98)	49.0(84)	65.73
7.2m	80.4(98)	58.8(90)	71.79

(2) 도관의 벽후

조·만재 모두 연륜 수가 증가함에 따라 도관 벽후의 두께가 조금씩 두꺼워짐을 볼 수 있었다. 조재의 경우 평균적으로 두께가 약 $4.63\mu\text{m}$ 정도였고, 만재의 경우 약 $5.32\mu\text{m}$ 정도 이었다. 조·만재 모두 수고가 높아질수록 변이의 정도가 더 커지는 경향을 보였다. 만재가 조재보다 전체적으로 벽후 두께가 두꺼운 것을 볼 수 있었다. 벽후 두께는 조·만재 모두 10연륜 까지 점차 증가하다가 그 후 점차 감소하여 13연륜 이후 안정화되는 경향을 보였다. 모든 세포벽은 입목생장의 마지막 부분에 생성되는 만재부의 세포벽이 두꺼울 때가 많다(李.1991). 산림청이 연구한 바에 의하면 활엽수재의 단일 도관의 벽후는 조재부에서는 대개 얇고 만재부에서는 비교적 두꺼운 것이 많았다(산림청.1989).

다음 표는 최대·최소·평균 도관 벽후를 나타낸 것이고, 조·만재의 평균 차는 $0.69\mu\text{m}$ 로 만재가 컸다. 다음 표는 조·만재의 수고별 최대·최소 평균 도관 벽후를 이고, 다음 표에서는 최소·최대·평균 도관 벽후가 모두 증가했는데 다음 표에서는 평균 도관 벽후가 수고가 높아짐에 따라 증가했지만 7.2m에서만 감소했다.

Table 11. Vessel wall thickness in earlywood and latewood (Unit: μm)

	Max(annual ring)	Min(annual ring)	Average
Earlywood	5.16(26)	4.03(1)	4.63
Latewood	6.09(28)	4.77(17)	5.32

Table 12. Vessel wall thickness in earlywood at different height (Unit: μm)

Tree height	Max(years)	Min(years)	Average
1.2m	5.12(99)	3.39(71)	4.29
3.2m	5.26(98)	3.77(74)	4.54
5.2m	5.95(99)	4.54(90)	5.06
7.2m	6.15(99)	4.32(90)	4.84

Table 13. vessel wall thickness in latewood at different height (Unit: μm)

Tree height	Max(years)	Min(years)	Average
1.2m	5.13(98)	4.30(71)	4.99
3.2m	5.49(99)	4.66(78)	5.19
5.2m	6.11(97)	4.92(90)	5.53
7.2m	7.18(99)	5.15(92)	6.11

(3) 목섬유의 직경

조만재 모두 수고가 높아질수록 평균적인 목섬유직경의 크기가 커졌고 수피에서 수 방향으로 갈수록 목섬유의 크기가 점점 줄어드는 경향을 볼 수 있었다. 1.2m의 경우 다른 수고보다 적은 양의 변이를 보였고, 수피방향(97~99년)에서 큰 변이를 보였으며, 1.2m의 변이가 컸다.

조재의 경우 약 $20.49\mu\text{m}$, 만재의 경우 약 $16.35\mu\text{m}$ 정도 이었고, 조만재 모두 13~16연륜 사이 안정화 되는 경향을 볼 수 있었고, 만재보다 조재의 목섬유 직경이 전체적으로 크게 나타났다. 다음 표에서는 5.2m의 최대 목섬유 직경이 7.2m의 최대 목섬유직경 보다 컸다. 이외에는 최대·최소·평균 목섬유 직경은 모두 증가했다. 다음 표에서는 최대 목섬유 직경이 3.2m가 5.2m보다 높았고 그 이외에 모두 수고가 높아질수록 목섬유 직경은 커졌으며, 목섬유 직경이 조재가 만재보다 컸다.

Table 14. Fiber diameter in earlywood at different height (Unit: μm)

Tree height	Max(years)	Min(years)	Average
1.2m	20.85(98)	16.18(71)	18.41
3.2m	22.79(98)	16.77(77)	20.54
5.2m	25.30(88)	17.36(77)	22.07
7.2m	25.15(92)	22.95(88)	23.93

Table 15. Fiber diameter in latewood at different height (Unit: μm)

Tree height	Max(years)	Min(years)	Average
1.2m	16.99(98)	8.74(71)	13.73
3.2m	19.06(97)	12.32(75)	16.11
5.2m	19.03(93)	15.48(84)	17.64
7.2m	21.75(92)	19.17(96)	20.36

Table 16. Fiber diameter in earlywood and latewood (unit: μm)

	Max(annual ring)	Min(annual ring)	Average
Earlywood	21.75(13)	18.52(1)	20.49
Latewood	17.89(15)	14.21(1)	16.35

(4) 목섬유의 벽후

조만재에서 목섬유 벽후 두께의 크기는 수피에서 수 방향으로 점차 감소하는 경향을 보였고 수고가 높아질수록 벽후 두께가 두꺼워지는 경향을 볼 수 있었으며, 조만재에서 16연륜 이후에서 안정화 되는 경향을 볼 수 있었고, 조재부의 평균두께는 약 $6.39\mu\text{m}$ 만재부에서는 약 $5.7\mu\text{m}$ 정도였으며, 만재부보다 조재부의 두께가 전체적으로 두꺼웠다. 최대 목섬유 벽후가

3.2m보다 1.2m가 더 컸으며(다음 그림 참조), 그 외에는 모두 수고가 높아질수록 커졌고 다음 표에서는 5.2m의 최소 목섬유 벽후만 제외하고 모두 수고가 높아질수록 두꺼워졌다. 다음 표는 조·만재의 목섬유 벽후의 평균 차는 0.69로 조재 목섬유 벽후가 만재보다 두꺼웠다.

Table 17. Fiber wall thickness in earlywood at different height (Unit: μm)

Tree height	Max(years)	Min(years)	Average
1.2m	7.03(81)	4.41(71)	5.03
3.2m	6.65(83)	4.80(74)	6.25
5.2m	7.36(95)	6.28(84)	6.78
7.2m	7.88(90)	7.03(87)	7.41

Table 18. Fiber wall thickness in latewood at different height (Unit: μm)

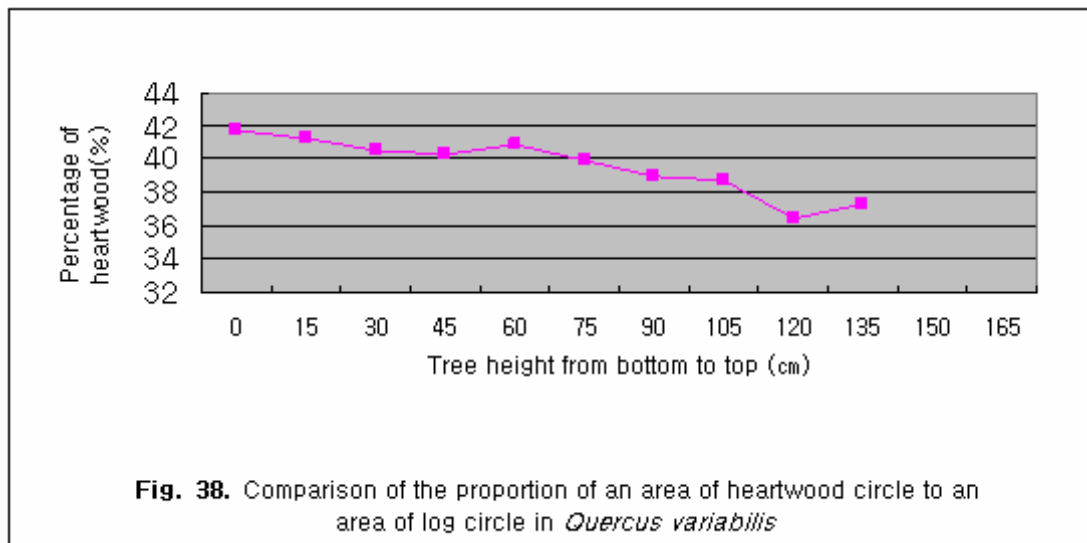
Tree height	Max(years)	Min(years)	Average
1.2m	5.75(81)	3.63(71)	5.03
3.2m	6.35(83)	4.74(73)	5.77
5.2m	7.08(95)	4.40(84)	6.10
7.2m	7.46(89)	5.75(86)	6.69

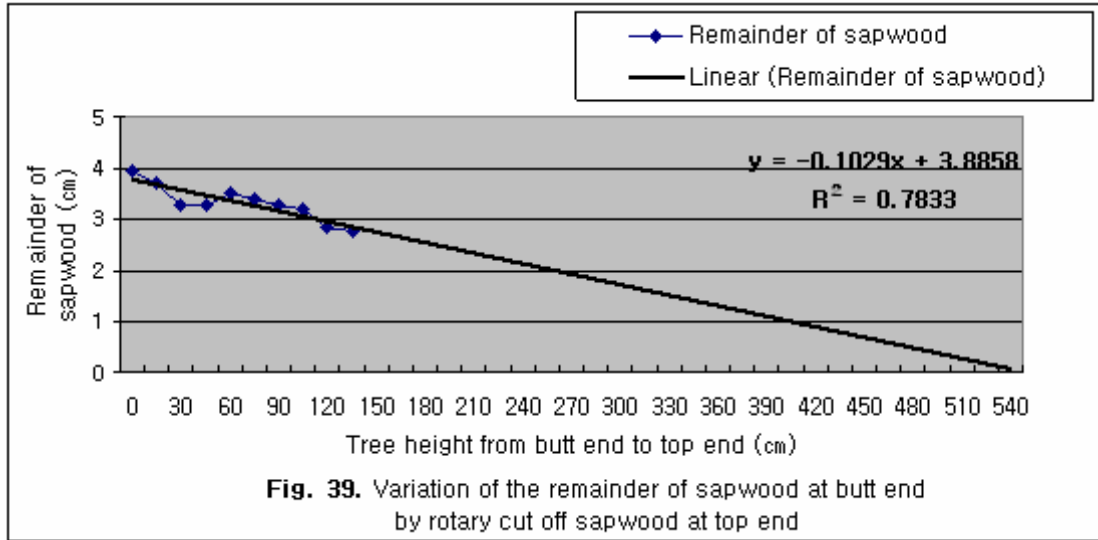
Table 19. Fiber wall thickness in earlywood and latewood (Unit: μm)

	Max(annual ring)	Min(annual ring)	Average
Earlywood	7.00(11)	5.63(1)	6.39
Latewood	6.30(14)	4.71(1)	5.70

(5) 심재율

심재율은 원목의 제재 가공이나 건조, 원목의 약재 투입시 영향을 주어 목재를 이용하는데 중요한 요소 중 하나이다. 굴참나무 심재율은 평균 36~43% 정도였다. 변재 잔여량을 추세선으로 보면 약 5.6m 정도에서 심재가 드러나는 것을 알 수 있었다.





(6) 결과

굴참나무의 연륜폭, 도관 직경, 도관 벽후, 목섬유 직경, 목섬유 벽후, 심재율을 수고별로 조사하였다.

- a. 연륜폭은 수고가 높아질수록 넓어졌다.
- b. 도관 직경은 수고가 높아질수록 커졌다.
- c. 도관 벽후는 수고가 높아질수록 벽후가 두꺼워졌다.
- d. 목섬유 직경은 수고가 높아질수록 직경이 커졌다.
- e. 목섬유 벽후는 수고가 높아 질수록 두께가 두꺼워졌다.
- f. 굴참나무의 심재율은 평균 36~43% 정도이었다.
- g. 말구 최소직경과 심재가 같은 직경을 갖는 위치는 약 5.6m 정도 범위이었다.

나) 물박달나무와 물오리나무의 분석

(1) 천공, 도관상호간벽공, vestured벽공 및 도관방사조직간벽공

조사대상 수종 모두에서 계단상천공이 나타났으며, 물박달나무 및 물오리나무의 bar의 수는 20개 내외로 나타나는 반면, 개암나무의 bar의 수는 10개 이하로 관찰되었다.

(2) 도관상호간벽공

도관상호간벽공은 조사대상 수종 전체에서 공통적으로 교호상벽공이 나타났고, 물오리나무에서는 대상벽공이 관찰되며, 물박달나무에서는 연합상의 도관상호간벽공이 관찰되었다. 도관상호간벽공의 크기는 모두 3um 이하이며 물박달나무의 도관상호간벽공의 크기는 1.81-3.69um, 물오리나무의 도관상호간벽공의 크기는 2.10-5.04um이었다. 도관방사조직간벽공을 조사한 결과 도관상호간벽공과 유사하게 나타났으나 물박달나무에서는 원형과 계단상(gash-like)이 관찰되었다.

(3) 도관 및 목섬유의 길이

도관 및 목섬유의 길이는 IAWA list의 조사 방법과 같이 測定한 결과 물오리나무와 물박달나무의 도관 길이는 각각 678.9mm와 657.4mm로 나타났다. 한편, 목섬유의 길이를 조사한 결과 물오리나무와 물박달나무의 목섬유 길이는 각각 840.3mm와 851.9mm로 나타났다.

3) Safranin 침투에 의한 수분 이동경로 및 침투도

가) 함수율

함수율은 목재의 약액 침투도에 지대한 영향을 미친다. 일반적으로 함수율이 높으면 침투도가 떨어지고, 많은 시간의 진공을 원한다. Browning(1963)은 섬유포화점 이상에서는 흡수와 모관력에 의해 수분의 흡착이 이루어 진다했다. 목재내의 물질 침투는 목재의 함수율이 증가함에 따라 감소한다(Comstock 1968). 목재 속에 과도한 수분은 액체흐름의 물리적인 장애 요이다(Wirspa and Libby 1950). 본 실험에서는 진공과 압력으로 이러한 문제를 극복하고자 실험했으며, 수종별 함수율을 실험 이전에 측정했다. 그 결과는 평균 6.4%에서 8.4% 범위로서 *P. koraiensis* 7.24%, *P. densiflora* 7.11%, *P. rigida* 7.74%, *L. kaempferi* 8.01%, *P. tomentiglandulosa* 6.23%, *A. hirsuta* 6.60%, *B. davurica* 6.48%, *Quercus* 6.43%, *R. pseudoacacia* 6.87%, *C. crenata* 8.21%이었다

나) 진공효과

압력을 시작하기 전에 목재 내는 진공상태가 되어야하고, 액체를 투입하면 액체가 침투된다. 더 많은 침투를 유도하기 위해서는 더 많은 압력을 가하면 된다. 세포내강에 공기가 있으면 액체 침투를 방해한다(Maass 1953). 공기를 목재칩에서 제거하는 것이 액체 침투에 효과적이다(Stamm 1953). 침투가 일어날 때 공간에 존재하는 공기는 모관력에 의해 배출된다(Rydhholm 1965). 일한 것은 진공에서도 마찬가지이다. 그러나 실제로 정상적인 함수율을 갖고 있는 목재칩에서 공기의 완전한 제거는 어렵다. 모관이 추출물로 막혀있으면 공기의 제거는 그 만큼 어렵다. 본 실험에서 사용한 다이제스터는 -620 mmHg 까지 진공시킨 다음 0, 5분, 10분 동안 진공처리 했다. 그 결과는 다음 그림 및 표와 같았다. 이들 결과는 각각의 처리조건 마다 유의성이 인정되었다. 그러나 변재가 심재보다 액체의 침투성이 높았다.

결과를 분석하면 진공처리 하지 않았을 경우 실험대상 10 수종 중 잣나무, 소나무, 리기다소나무의 변재에서 각각 축방향으로 2.12cm, 1.63cm, 1.02cm 침투했고, 낙엽송, 은사시나무, 물오리나무의 변재에서는 0.56cm, 0.31cm, 0.99cm의 침투를 나타냈으며, 활엽수 환공재인 밤나무와 참나무속의 변재에서는 각각 0.01cm 및 0cm로서 거의 침투되지 않았다. 이들 환공성 두 수종은 타이로시스의 발달에 그 원인이 있는 것으로 생각된다. 무처리 심재부의 침투를 조사한 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송에서 각각 축방향으로 0.23cm, 0.18cm, 0.06cm, 0.02cm 침투했고, 활엽수 산공재인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무에서는 0.03cm, 0.19cm, 0.12cm의 침투를 나타냈으며, 활엽수 환공재인 참나무속, 아까시나무, 밤나무속의 변재에서는 각각 0.00cm, 0.00cm, 0.01로서 거의 침투되지 않았다. 이들 환공성 3 수종은 변재에서와 같이 타이로시스의 발달에 그 원인이 있는 것으로 생각된다. 그리고 침엽수 심재에서 침투도가 변재에 비교하여 떨어지는 이유는 침엽수 심재 가도관의 유연벽공이 폐쇄되어 있기 때문이다. 방사방향과 접선방향의 침투를 조사한 결과 소나무와 잣나무 방사방향에서 각각 0.19cm 및 0.13cm의 침투를 제외하고는 양방향 모두 거의 침투되지 않았다. 5분 동안 변재의 축방향으로 진공 처리한 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 은사시나무, 물오리나무에서는 시편 전체 길이인 6cm 모두 침투되었고, 낙엽송은 4.5cm 침투했으며, 밤나무와 참나무속은 각각 0.20cm 및 0.06cm 침투되었다. 5분 진공처리 후 심재의 축방향 침투 깊이를 측정한 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송에는 0.61cm, 0.47cm, 0.12cm, 0.02cm 침투했고, 은사시나무, 물오리나무,

물박달나무는 각각 0.14cm, 4.27cm, 4.39cm 침투되었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 각각 0.02cm, 0.00cm, 0.21cm 침투되었다. 5분 동안 변재의 방사방향을 진공 처리하여 침투 깊이를 조사한 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송에서 각각 축방향으로 0.67cm, 0.80cm, 0.80cm, 0.31cm 침투했고, 은사시나무, 물오리나무는 각각 0.13cm, 0.57cm 침투되었으며, 밤나무, 참나무속은 각각 0.04cm, 0.03cm 침투되었다. 5분 동안 변재의 접선방향을 진공 처리하여 침투 깊이를 조사한 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송에서 각각 축방향으로 0.35cm, 0.76cm, 0.12cm, 0.24cm 침투했고, 은사시나무, 물오리나무는 각각 0.06cm, 0.22cm 침투되었으며, 밤나무, 참나무속은 각각 0.00cm, 0.02cm 침투되었다. 5분 동안 심재의 방사방향을 진공 처리한 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송에서는 각각 0.06cm, 0.06cm, 0.02cm, 0.02cm 침투되었고, 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 각각 0.02cm, 0.27cm, 0.10 침투했으며, 참나무속과 아까시나무, 밤나무는 각각 0.01cm, 0.00cm, 0.01cm 침투되었다. 5분 진공처리 후 심재의 접선방향 침투 깊이를 측정된 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송에는 0.03cm, 0.02cm, 0.00cm, 0.01cm 침투했고, 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 각각 0.02cm, 0.15cm, 0.07cm 침투되었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 침투되지 않았다. 10분 동안 진공 처리한 변재 축방향의 경우를 살펴보면 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송, 은사시나무, 물오리나무 모두 6cm 이상 침투되었다. 그러나 밤나무와 참나무속은 각각 0.20cm, 0.09cm 침투되었다. 10분 동안 진공 처리한 변재 방사방향의 침투 깊이를 측정된 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 0.73cm, 0.80cm, 0.80cm, 0.52cm이었고, 은사시나무, 물오리나무는 0.21cm, 0.65cm이었으며, 밤나무, 참나무속은 0.04cm, 0.07cm이었다. 10분 동안 진공 처리한 변재 접선방향의 침투 깊이를 측정된 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 0.56cm, 0.80cm, 0.26cm, 0.51cm이었고, 은사시나무, 물오리나무는 0.11cm, 0.32cm이었으며, 밤나무, 참나무속은 0.01cm, 0.00cm이었다. 한편, 10분 동안 진공 처리한 심재 축방향의 경우를 살펴보면 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 각각 0.60cm, 0.31cm, 0.14cm, 0.40cm이었고, 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 0.07cm, 4.71cm, 6.00cm 이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 0.00cm, 0.25cm, 0.25cm이었다. 10분 동안 진공 처리한 심재 방사방향의 침투 깊이를 측정된 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 0.09cm, 0.09cm, 0.08cm, 0.02cm이었고, 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 0.02cm, 0.32cm, 0.24cm이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 모두 0.00cm이었다. 10분 동안 진공 처리한 심재 접선방향의 침투 깊이를 측정된 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 0.03cm, 0.04cm, 0.00cm, 0.02cm이었고, 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 0.00cm, 0.20cm, 0.14cm이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 모두 0.00cm이었다. 따라서 무처리로 변재와 심재에 safranin을 침투시킬 수 없었으며, 5분 동안 진공 처리하여 목재 내에 비료용액을 침투시킬 경우 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송, 은사시나무, 물오리나무의 변재는 가능하지만, 목재칩을 제조할 때 심재와 변재를 분리하여 제조할 수 없으므로 심재의 결과를 중심으로 분석하면 물오리나무와 물박달나무의 심재가 가능하므로 실질적으로는 물오리나무와 물박달나무가 가능하다. 10분 동안 진공 처리 분석 결과도 5분 동안 진공 처리한 분석 결과와 같은 결과를 얻었다. 따라서 진공 처리는 5분 동안 처리하는 것이 타당하다는 결론을 얻었다.

Table 20. Safranin penetration depth in sapwood. Condition: After vacuum (-620 mmHg) treatment wood blocks were soaked in safranin for 10 minutes.

Wood species	Vacuum pressure treatment (-620 mmHg)	T a n g e n t i a l penetration depth (cm)	R a d i a l penetration depth (cm)	Longitudinal penetration depth (cm)
<i>P. koraiensis</i>	0 min	0.06 c	0.13 b	2.12 b
	5 min	0.35 b	0.67 a	6.00 a
	10 min	0.56 a	0.73 a	6.00 a
<i>P. densiflora</i>	0 min	0.04 c	0.19 b	1.63 b
	5 min	0.76 b	0.80 a	6.00 a
	10 min	0.80 a	0.80 a	6.00 a
<i>P. rigida</i>	0 min	0.05 c	0.09 b	1.02 b
	5 min	0.12 b	0.80 a	6.00 a
	10 min	0.26 a	0.80 a	6.00 a
<i>L. kaempferi</i>	0 min	0.01 c	0.04 c	0.56 c
	5 min	0.24 b	0.31 b	4.50 b
	10 min	0.51 a	0.52 a	6.00 a
Mean of softwood	0 min	0.04	0.11	1.33
	5 min	0.37	0.65	5.63
	10 min	0.53	0.71	6.00
	Mean	0.31	0.49	4.32
<i>P. tomentiglandulosa</i>	0 min	0.02 c	0.06 c	0.31 b
	5 min	0.06 b	0.13 b	6.00 a
	10 min	0.11 a	0.21 a	6.00 a
<i>A. hirsuta</i>	0 min	0.03 c	0.05 b	0.99 b
	5 min	0.22 b	0.57 a	6.00 a
	10 min	0.32 a	0.65 a	6.00 a
Mean of diffuse porous wood	0 min	0.03	0.06	0.65
	5 min	0.14	0.35	6.00
	10 min	0.22	0.43	6.00
	Mean	0.13	0.28	4.22
<i>C. crenata</i>	0 min	0.00 b	0.00 b	0.01 b
	5 min	0.00 b	0.04 a	0.20 a
	10 min	0.01 a	0.03 a	0.20 a
<i>Quercus</i>	0 min	0.00 b	0.00 c	0.00 b
	5 min	0.02 a	0.03 b	0.06 ab
	10 min	0.00 b	0.07 a	0.09 b
Mean of ring porous wood	0 min	0.00	0.00	0.01
	5 min	0.01	0.04	0.13
	10 min	0.01	0.05	0.15
	Mean	0.01	0.03	0.09
Mean	0 min	0.03	0.07	0.83
	5 min	0.22	0.42	4.35
	10 min	0.32	0.48	4.45
	Mean	0.19	0.32	3.24

Mean with the same letter are not significantly different at $p=0.01$

Table 21. Safranin penetration depth in heartwood. Condition: After vacuum (-620 mmHg) treatment wood blocks were soaked in safranin for 10 minutes.

Wood species	Vacuum pressure (-620 mmHg) treatment	Tangential penetration depth (cm)	Radial penetration depth (cm)	Longitudinal penetration depth (cm)
<i>P. koraiensis</i>	0 min	0.00 b	0.01 c	0.23
	5 min	0.03 a	0.06 b	0.61
	10 min	0.03 a	0.09 a	0.60
<i>P. densiflora</i>	0 min	0.00 c	0.06 b	0.18 b
	5 min	0.02 b	0.06 b	0.47 a
	10 min	0.04 a	0.09 a	0.31 ab
<i>P. rigida</i>	0 min	0.00	0.00 b	0.06 b
	5 min	0.00	0.02 b	0.12 a
	10 min	0.00	0.08 a	0.14 a
<i>L. kaempferi</i>	0 min	0.00 b	0.00 b	0.02 b
	5 min	0.01 a	0.02 a	0.52 a
	10 min	0.02 a	0.02 a	0.40 a
Mean of softwood	0 min	0.00	0.02	0.12
	5 min	0.02	0.04	0.43
	10 min	0.02	0.07	0.36
	Mean	0.01	0.04	0.30
<i>P. tomentiglandulosa</i>	0 min	0.00 b	0.00 b	0.03 b
	5 min	0.02 a	0.02 a	0.14 a
	10 min	0.00 b	0.02 a	0.07 ab
<i>A. hirsuta</i>	0 min	0.00 b	0.02 b	0.19 b
	5 min	0.15 a	0.27 a	4.27 a
	10 min	0.20 a	0.32 a	4.71 a
<i>B. davurica</i>	0 min	0.00 c	0.02 c	0.12 c
	5 min	0.07 b	0.10 b	4.39 b
	10 min	0.14 a	0.24 a	6.00 a
Mean of diffuse porous wood	0 min	0.00	0.01	0.11
	5 min	0.08	0.13	2.93
	10 min	0.11	0.19	3.59
	Mean	0.06	0.11	2.21
<i>Quercus</i>	0 min	0.00	0.00 b	0.00 b
	5 min	0.00	0.01 a	0.02 a
	10 min	0.00	0.00 b	0.00 b
<i>R. pseudoacacia</i>	0 min	0.00	0.00	0.00
	5 min	0.00	0.00	0.00
	10 min	0.00	0.00	0.25
<i>C. crenata</i>	0 min	0.00	0.00 b	0.01 b
	5 min	0.00	0.01 a	0.21 a
	10 min	0.00	0.00 b	0.25 a
Mean of ring porous wood	0 min	0.00	0.00	0.00
	5 min	0.00	0.01	0.08
	10 min	0.00	0.00	0.17
	Mean	0.00	0.00	0.08
Mean	0 min	0.00	0.01	0.08
	5 min	0.03	0.06	1.08
	10 min	0.04	0.09	1.27
	Mean	0.02	0.05	0.81

Mean with the same letter are not significantly different at p=0.01

본 실험에서는 진공처리에 의한 침투도의 차이를 구하고, 그 결과를 압력조건과 연계하여 최적의 처리조건 찾고자했다. 결과적으로 심재는 변재보다 safranin의 침투가 어려웠다. 이러한 현상은 심재에 활엽수 환공재 즉 밤나무, 참나무속, 아까시나무에 tylosis라는 물질이 존재하여 수분이동을 방해하기 때문이다. 또한, 침엽수재의 심재 가도관 유연벽공에는 torus에 의해 폐쇄벽공을 이루어 수분이동의 방해가 된다. 한편, 산공성 수종인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무의 심재에서 safranin의 침투도가 변재보다 떨어지는 이유는 심재가 갖고 있는

협기성의 화학적 성분 때문인 것으로 생각된다. 본 실험의 주요 목표는 최적 진공 조건을 찾는 것이었다. 그런데 무처리와 5분 처리는 현격한 차이를 나타내므로 무처리로 비료용액을 주입시키는 것은 어려울 것으로 판단되었다. 그러나 5분 처리와 10분 차이는 차이가 있으나 현격한 차이를 보이지 않으므로 5분간 처리를 하여도 무방할 것으로 판단된다.

다) 진공처리 후 가압처리의 효과

압력을 증가 시키면 시킬수록 침투시간은 단축된다(Stone and Frdrerreuther 1956). 수증기의 모관력으로 발생하는 수분의 메니커스에 의한 표면인장의 영향을 극복하기 위해서는 높은 압력이 요구된다(Stamm 1963). 진공압력이 목재블록에 적용되면 safranin이 다이제스트 챔버에 스며들며, 다른 시간의 진공시간이 적용되면, 압력은 효과적으로 액체를 스며들게 한다(Hoadley 2000). 진공 다음에 3가지 압력조건이 적용되었다. 앞의 실험에서 진공만으로는 침투가 어렵다는 것을 이미 알았다. 목재의 프라스틱 성질 때문에 압력은 벽공실을 팽창시키기고, 잡아 당겨 벽공실을 크게 하는 효과가 있다(Paranyi and Rabinovitch 1955). 압력이 높으면 공기를 물로 응축시키고, 그래서 공기를 용해시키는 효과가 있으며, 그로인해서 높은 침투가 이루어진다. 변재와 심재 모두에서 70 kgf/cm²의 조건에서 높은 침투를 나타냈고, 이들 결과는 유의성이 인정되었다. 10 수종의 심재와 변재를 -620mmHg에서 5분 동안 진공처리한 후 10분 동안 3 가지 압력조건(30 kgf/cm², 50kgf/cm², 70 kgf/cm²)으로 축방향, 방사방향, 접선방향으로 처리한 결과를 수종별로 분석하여 보면 다음과 같다.

변재의 축방향을 30 kgf/cm², 50kgf/cm², 70 kgf/cm²로 처리한 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송, 은사시나무, 물오리나무는 6cm 침투를 나타냈고, 밤나무, 참나무속을 50kgf/cm², 70 kgf/cm²로 처리한 결과 6cm의 침투를 나타냈으며, 30 kgf/cm²로 처리한 결과 각각 3.79cm, 4.21cm 이었다. 변재 방사방향을 30 kgf/cm², 50kgf/cm², 70 kgf/cm²로 처리한 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무의 침투는 0.8cm 이상으로 나타났고, 30 kgf/cm²로 낙엽송, 은사시나무, 물오리나무, 밤나무, 참나무속를 처리한 결과 각각 0.39cm, 0.35cm, 0.71cm, 0.80cm, 0.14cm로 나타났으며, 50kgf/cm²로 낙엽송, 은사시나무, 물오리나무, 밤나무, 참나무속를 처리한 결과 각각 0.42cm, 0.51cm, 0.80cm, 0.19cm, 0.15cm로 나타났으며, 70kgf/cm²로 낙엽송, 은사시나무, 물오리나무, 밤나무, 참나무속를 처리한 결과 각각 0.61cm, 0.57cm, 0.80cm, 0.20cm, 0.24cm로 나타났다. 변재 접선방향을 30 kgf/cm², 50kgf/cm², 70 kgf/cm²로 처리한 결과 잣나무, 소나무, 리기다소나무의 침투는 0.8cm 이상으로 나타났고, 30 kgf/cm²로 낙엽송, 은사시나무, 물오리나무, 밤나무, 참나무속를 처리한 결과 각각 0.25cm, 0.21cm, 0.48cm, 0.15cm, 0.04cm로 나타났으며, 50kgf/cm²로 낙엽송, 은사시나무, 물오리나무, 밤나무, 참나무속를 처리한 결과 각각 0.32cm, 0.21cm, 0.49cm, 0.17cm, 0.08cm로 나타났으며, 70kgf/cm²로 낙엽송, 은사시나무, 물오리나무, 밤나무, 참나무속를 처리한 결과 각각 0.43cm, 0.38cm, 0.56cm, 0.20cm, 0.11cm로 나타났다. 한편, 심재의 축방향을 30 kgf/cm²로 처리한 결과 활엽수 산공재인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 모두 6cm 이상 침투 되었고, 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 각각 2.08cm, 2.48cm, 0.65cm, 3.21cm이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 각각 0.56cm, 0.23cm, 0.51cm이었다. 심재의 방사방향을 30 kgf/cm²로 처리한 결과 활엽수 산공재인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 각각 0.30cm, 0.65cm, 0.18cm 침투 되었고, 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 각각 0.16cm, 0.16cm, 0.26cm, 0.24cm이었으며, 참나무속, 아까시나무,

밤나무는 각각 0.02cm, 0.08cm, 0.14cm이었다. 심재의 접선방향을 30 kgf/cm²로 처리한 결과 활엽수 산공재인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 각각 0.16cm, 0.60cm, 0.13cm 침투되었고, 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 각각 0.10cm, 0.06cm, 0.08cm, 0.08cm이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 각각 0.01cm, 0.04cm, 0.10cm이었다. 심재의 축방향을 50 kgf/cm²로 처리한 결과 활엽수 산공재인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 모두 6cm 이상 침투되었고, 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 각각 2.67cm, 2.49cm, 0.94cm, 3.48cm이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 각각 1.33cm, 0.39cm, 4.01cm이었다. 심재의 방사방향을 50 kgf/cm²로 처리한 결과 활엽수 산공재인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 각각 0.36cm, 0.66cm, 0.27cm 침투되었고, 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 각각 0.37cm, 0.17cm, 0.34cm, 0.19cm이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 각각 0.03cm, 0.08cm, 0.16cm이었다. 심재의 접선방향을 50 kgf/cm²로 처리한 결과 활엽수 산공재인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 각각 0.20cm, 0.63cm, 0.25cm 침투되었고, 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 각각 0.10cm, 0.08cm, 0.12cm, 0.13cm이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 각각 0.01cm, 0.04cm, 0.10cm이었다. 심재의 축방향을 70 kgf/cm²로 처리한 결과 활엽수 산공재인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 모두 6cm 이상 침투되었고, 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 각각 3.35cm, 4.99cm, 3.00cm, 3.75cm이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 각각 1.56cm, 0.52cm, 4.07cm이었다. 심재의 방사방향을 70 kgf/cm²로 처리한 결과 활엽수 산공재인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 각각 0.36cm, 0.71cm, 0.28cm 침투되었고, 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 각각 0.39cm, 0.19cm, 0.47cm, 0.19cm이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 각각 0.10cm, 0.10cm, 0.17cm이었다. 심재의 접선방향을 70 kgf/cm²로 처리한 결과 활엽수 산공재인 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 각각 0.22cm, 0.65cm, 0.25cm 침투되었고, 잣나무, 소나무, 리기다소나무, 낙엽송은 각각 0.15cm, 0.08cm, 0.12cm, 0.13cm이었으며, 참나무속, 아까시나무, 밤나무는 각각 0.02cm, 0.05cm, 0.11cm이었다.

상기 자료를 분석한 결과 변재는 10 수종 모든 30 kgf/cm²이상이면 비료용액을 침투시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 목재칩을 제조할 때 심재와 변재를 구분하여 만들 수 없다. 따라서 심재를 1년차와 2년차에 목재칩비료의 목재칩 크기(5cm X 2.5cm X 0.5cm)를 기준으로 분석하면, 참나무속과 아까시나무의 심재는 비료용액이 침투되지 않을 것으로 판단된다. 잣나무와 리기다소나무는 70 kgf/cm²이상의 압력을 사용해야 비료용액의 침투가 가능할 것으로 판단된다. 그런데 1차년도에 우리나라 칩 생산현황을 조사한 결과 침엽수재는 소나무 57%로서 가장 많았으며, 다음으로 리기다소나무(16%), 낙엽송(15%), 잣나무(8%) 순이었으며, 활엽수 참나무속이 60.5%로 가장 많았고, 밤나무, 아까시나무, 오리나무속, 버드나무과 등의 순이었다. 따라서 이들 참나무속, 아까시나무에 비료용액을 침투시키는 방법을 강구해야 한다. 축방향, 방사방향, 접선방향을 고려하여 safranin의 침투도가 양호한 수종은 물오리나무, 물박달나무, 은사시나무 순이었다.

Table 22. Safranin penetration depth in sapwood. Condition: 5 minutes vacuum (–620 mmHg) treatment followed by pressure while soaking wood block in safranin for 10 minutes.

Wood species	Pressure	Tangential penetration depth (cm)	Radial penetration depth (cm)	Longitudinal penetration depth (cm)
<i>P. koraiensis</i>	30 kgf/cm ²	0.80	0.80	6.00
	50 kgf/cm ²	0.80	0.80	6.00
	70 kgf/cm ²	0.80	0.80	6.00
<i>P. densiflora</i>	30 kgf/cm ²	0.80	0.80	6.00
	50 kgf/cm ²	0.80	0.80	6.00
	70 kgf/cm ²	0.80	0.80	6.00
<i>P. rigida</i>	30 kgf/cm ²	0.80	0.80	6.00
	50 kgf/cm ²	0.80	0.80	6.00
	70 kgf/cm ²	0.80	0.80	6.00
<i>L. kaempferi</i>	30 kgf/cm ²	0.25 b	0.39 b	6.00
	50 kgf/cm ²	0.32 ab	0.42 ab	6.00
	70 kgf/cm ²	0.43 a	0.61 a	6.00
Mean of softwood	30 kgf/cm ²	0.66	0.70	6.00
	50 kgf/cm ²	0.68	0.71	6.00
	70 kgf/cm ²	0.71	0.75	6.00
	Mean	0.68	0.72	6.00
<i>P. tomentiglandulosa</i>	30 kgf/cm ²	0.21 b	0.35 b	6.00
	50 kgf/cm ²	0.21 b	0.51 a	6.00
	70 kgf/cm ²	0.38 a	0.57 a	6.00
<i>A. hirsuta</i>	30 kgf/cm ²	0.48	0.71 b	6.00
	50 kgf/cm ²	0.49	0.80 a	6.00
	70 kgf/cm ²	0.56	0.80 a	6.00
Mean of diffuse porous wood	30 kgf/cm ²	0.35	0.53	6.00
	50 kgf/cm ²	0.35	0.66	6.00
	70 kgf/cm ²	0.47	0.69	6.00
	Mean	0.39	0.62	6.00
<i>C. crenata</i>	30 kgf/cm ²	0.15	0.18	3.79 b
	50 kgf/cm ²	0.17	0.19	6.00 a
	70 kgf/cm ²	0.20	0.20	6.00 a
<i>Quercus</i>	30 kgf/cm ²	0.04 b	0.14	4.21 b
	50 kgf/cm ²	0.08 ab	0.15	6.00 a
	70 kgf/cm ²	0.11 a	0.24	6.00 a
Mean of ring porous wood	30 kgf/cm ²	0.10	0.16	4.00
	50 kgf/cm ²	0.13	0.17	6.00
	70 kgf/cm ²	0.16	0.22	6.00
	Mean	0.13	0.18	5.33
Mean	30 kgf/cm ²	0.44	0.52	5.50
	50 kgf/cm ²	0.46	0.56	6.00
	70 kgf/cm ²	0.51	0.60	6.00
	Mean	0.47	0.56	5.83

Mean with the same letter are not significantly different at p=0.01

Table 23. Safranin penetration depth in heartwood. Condition: 5 minutes vacuum (-620 mmHg) treatment followed by pressure while soaking wood block in safranin for 10 minutes.

Wood species	Pressure	Tangential penetration depth (cm)	Radial penetration depth (cm)	Longitudinal penetration depth (cm)
<i>P. koraiensis</i>	30 kgf/cm ²	0.10	0.16 b	2.08
	50 kgf/cm ²	0.10	0.37 a	2.67
	70 kgf/cm ²	0.15	0.39 a	3.35
<i>P. densiflora</i>	30 kgf/cm ²	0.06	0.16	2.48 b
	50 kgf/cm ²	0.08	0.17	2.90 b
	70 kgf/cm ²	0.08	0.19	4.99 a
<i>P. rigida</i>	30 kgf/cm ²	0.11	0.26 b	0.65 b
	50 kgf/cm ²	0.12	0.34 ab	0.94 b
	70 kgf/cm ²	0.12	0.47 a	3.00 a
<i>L. kaempferi</i>	30 kgf/cm ²	0.08	0.24	3.21
	50 kgf/cm ²	0.13	0.19	3.48
	70 kgf/cm ²	0.13	0.19	3.75
Mean of softwood	30 kgf/cm ²	0.09	0.21	2.11
	50 kgf/cm ²	0.11	0.27	2.50
	70 kgf/cm ²	0.12	0.31	3.77
	Mean	0.11	0.26	2.79
<i>P. tomentiglandulosa</i>	30 kgf/cm ²	0.16	0.30	6.00
	50 kgf/cm ²	0.20	0.36	6.00
	70 kgf/cm ²	0.22	0.36	6.00
<i>A. hirsuta</i>	30 kgf/cm ²	0.60	0.65	6.00
	50 kgf/cm ²	0.63	0.66	6.00
	70 kgf/cm ²	0.65	0.71	6.00
<i>B. davurica</i>	30 kgf/cm ²	0.13 b	0.18 b	6.00
	50 kgf/cm ²	0.25 a	0.27 a	6.00
	70 kgf/cm ²	0.25 a	0.28 a	6.00
Mean of diffuse porous wood	30 kgf/cm ²	0.30	0.38	6.00
	50 kgf/cm ²	0.36	0.43	6.00
	70 kgf/cm ²	0.37	0.45	6.00
	Mean	0.34	0.42	6.00
<i>Quercus</i>	30 kgf/cm ²	0.01 b	0.02 b	0.56
	50 kgf/cm ²	0.01 ab	0.03 b	1.33
	70 kgf/cm ²	0.02 a	0.10 a	1.56
<i>R. pseudoacacia</i>	30 kgf/cm ²	0.04	0.08	0.23
	50 kgf/cm ²	0.04	0.08	0.39
	70 kgf/cm ²	0.05	0.10	0.52
<i>C. crenata</i>	30 kgf/cm ²	0.10	0.14	2.51
	50 kgf/cm ²	0.10	0.16	4.01
	70 kgf/cm ²	0.11	0.17	4.07
Mean of ring porous wood	30 kgf/cm ²	0.05	0.08	1.10
	50 kgf/cm ²	0.05	0.09	1.91
	70 kgf/cm ²	0.06	0.12	2.05
	Mean	0.05	0.10	1.69
Mean	30 kgf/cm ²	0.14	0.22	3.00
	50 kgf/cm ²	0.17	0.30	3.37
	70 kgf/cm ²	0.18	0.30	3.92
	Mean	0.16	0.26	3.42

Mean with the same letter are not significantly different at p=0.01

(1) 침엽수재의 침투

일반적으로 축방향이 종방향 보다 침투가 잘되고, 침엽수재에서는 방사조직과 직경이 작은 만재부 가도관이 투과의 주요 인자이다(Lee 1983). 축방향 가도관의 침투 경로는 인접세포와 세포사이의 유연벽공과 인접한 방사유세포로부터 분야벽공을 통하여 유입된다. 소나무와 잣나무가 리기다소나무보다 침투도가 높은 원인은 소나무와 리기다소나무는 창상형 분야벽공을 갖고

있지만, 리기다소나무는 소나무형 분야벽공을 갖고 있기 때문이다. 변재가 심재보다 잘 투과하고, 방사방향이 접선방향보다 잘 투과된다. 침엽수재에서는 방사유세포, 가도관 및 수지구가 safranin 침투에 중요역할을 한 것으로 판단된다. 방사방향의 safranin 통도는 방사유세포와 수평수지구가 주도했다. 그러나 이들 침투 거리는 수종별로 차이가 있다. 이들 거리는 침투시간과 압력의 차이에 따라 결정된다.

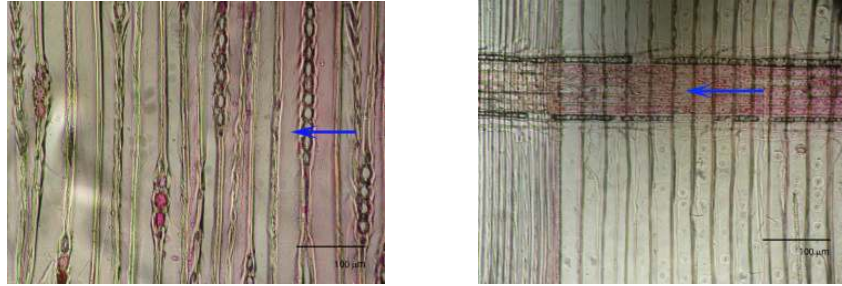


Fig. 40. Penetration trend of tangential and radial direction treated with safranin in *P. koraiensis*. Arrow bar showing the penetration direction of safranin

(2) 활엽수재의 침투

활엽수에서는 방사조직, 도관, 가도관, 유세포가 침투에 관여하며, 방사유세포의 역할이 중요하다. 본 연구에 사용된 수종 중 은사시나무, 물오리나무, 물박달나무는 산공재이고, 참나무속, 밤나무, 아까시나무는 환공재이다. 본 연구에서는 산공재가 환공재 보다 safranin 침투도가 높게 나타났다. 이러한 원인은 환공재의 도관에는 물질을 방해하는 물질인 tylosis가 존재하지만, 산공재에는 그러한 물질이 들어있지 않는다. 이(1983)에 의하면 축방향, 방사방향, 접선방향 순으로 잘 통도한다고 한다. 본 연구의 결과도 이와 같은 결과를 얻었다.

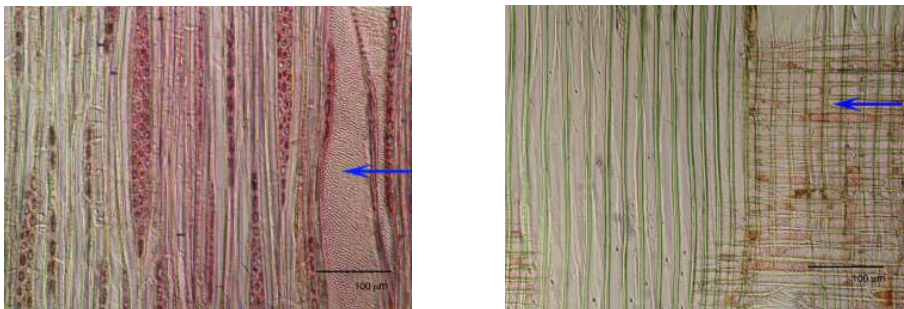


Fig. 41. Penetration trend of tangential and radial direction treated with safranin in *B. davurica*. Arrow bar showing the penetration direction of safranin.

Chudnoff(1984)는 참나무속에 물질을 침투시키는 것이 대단히 어렵지만, 진공과 압력을 높이면 가능하다고 했고, 침적시간 또한 중요한 인자라고 했다. 본 실험에서는 3수종의 환공재와 3수종의 산공재를 사용하여 실험한 결과 다음 그래프와 같은 결과를 얻었다.

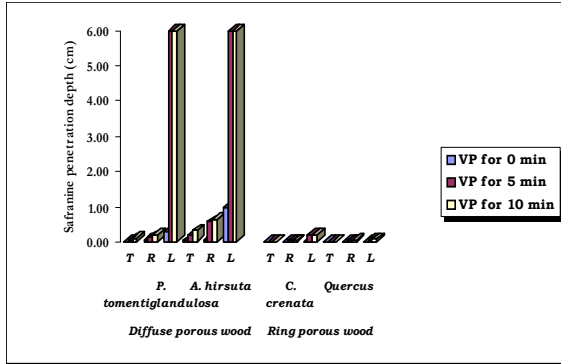


Fig. 42. Comparison of safranine penetration depth differences in sapwood between diffuse and ring porous wood. Condition: After vacuum treatment, (-620 mmHg) wood blocks were soaked in safranine for 10 minutes. VP- Vacuum pressure. T- Tangential; R- Radial and L- Longitudinal direction.

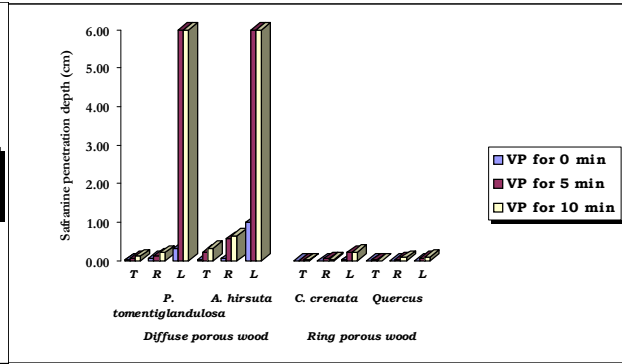


Fig. 43. Comparison of safranine penetration depth in heartwood between diffuse and ring porous wood. Condition: 5 minutes vacuum (-620 mmHg) treatment followed by pressure while soaking of wood block in safranine for 10 minutes. A=30 kgf/cm², B=50 kgf/cm² and C=70 kgf/cm². T- Tangential, R- Radial and L- Longitudinal direction.

라) 결과

본 실험의 주 목적은 목재칩 내에 액체 침투시키기 위한 적정 조건을 찾고자 3 조건의 진공과 3조건의 압력을 10 수종의 심재와 변재에 적용하였다. 진공처리 만으로는 침투도를 높일 수 없었고, 진공처리 후에 압력을 가해야 가능했다. 변재는 심재보다 뚜렷하게 잘 침투되었고, 축방향이 종방향 보다 현저히 높은 침투도를 나타냈으며, 방사방향이 접선방향 보다 잘 침투되었다. 활엽수재의 산공재는 환공재 잘 침투되었고, 수종 및 심재와 변재에 따라 큰 편차를 보였다. 따라서 수종에 따라 진공, 압력 및 침지시간을 다르게 적용해야한다.

4) 주요침엽수재의 Camscope-Solution을 이용한 물질이동 분석

본 실험은 침엽수재의 목재칩 내의 세포내강에서 물질이동을 조사하고자 실시했다. 심재와 변재의 침투도는 심재와 변재에서 다르다(Minato 2004). 목재의 함수율은 물질이동에 중요한 역할을한다. 본 실험에 사용된 실험목편의 함수율은 다음표 같다. 섬유포화점 이상에서는 흡습과 모세관현상에 의해 전체 세포 내강으로 팽 찬다(Browning 1963). 세포의 함유 수분이 높으면 물질의 침투도가 떨어지는 수종도 있다(Comstock 1968). 또한, 과도하게 수분함량이 높으면 물질이동에 방해가 된다(Wirspa and Libby 1950).

Table 24. Average moisture content (mean±SE) in different wood species.

Wood species	<i>P. koraiensis</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>P. rigida</i>	<i>L. kaempferi</i>
Moisture content (%)	6.9±0.36	9.0±0.63	6.9±0.28	6.0±0.45

목재는 모세관현상이 일어나는 구조를 갖고 있고, 세포의 내강과 내강을 연결시켜 주는 세포벽의 벽공의 수와 크기에 따라 다른데, 벽공이 열려있으면 침투도는 높아진다(Comstock 1967). 최초 물질이동은 이러한 모세관 현상에 의하여 이루어진다(Petty 1970; Behr et al. 1969 and Erickson and Balatinecz 1964).

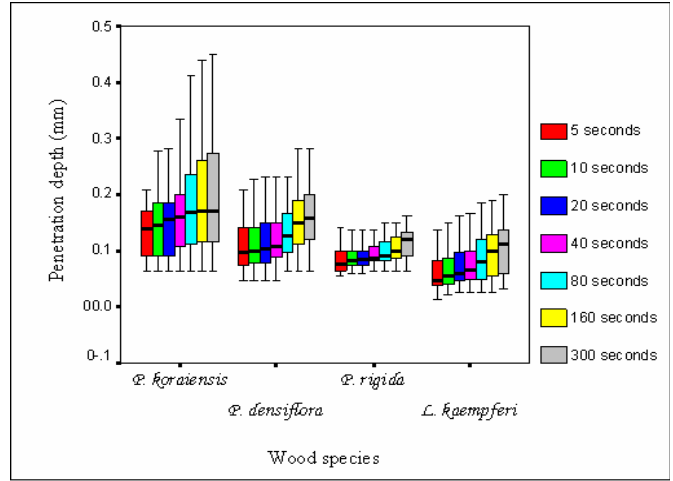


Fig. 44.. Safranin penetration depth in radial direction of sapwood

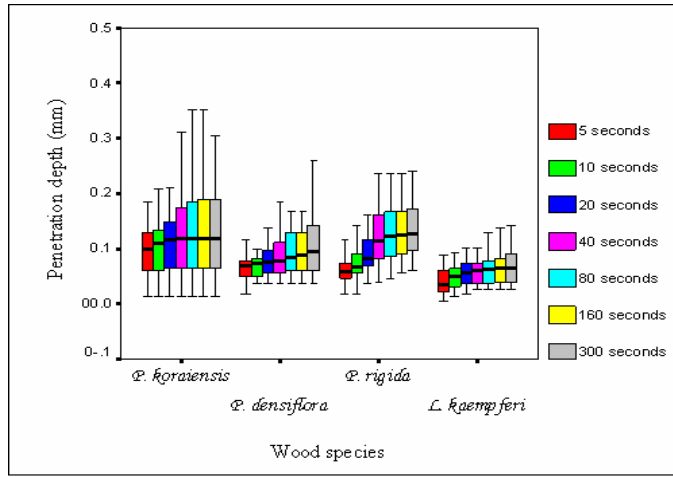


Fig. 45. Safranin penetration depth in radial direction of heartwood.

위의 그래프와 같이 변재의 방사방향 침투도가 높은 것이 명백하고, 그 중 잣나무의 침투도가 양방향 모두에서 높다. 변재에서는 *P. koraiensis* > *P. densiflora* > *P. rigida* > *L. kaempferi* 순서로 침투도가 높고, 심재에서는 *P. koraiensis* > *P. rigida* > *P. densiflora* > *L. kaempferi* 순서로 침투도가 높았다.

Table 25. Longitudinal penetration of safranin in sapwood of different wood species.

Unit: mm

Wood species	5 seconds	10 seconds	20 seconds	40 seconds	80 seconds	160 seconds	300 seconds
<i>P. koraiensis</i>	1.249b	1.740bc	1.828b	2.021b	2.089b	2.351b	2.598b
<i>P. densiflora</i>	1.181b	1.319c	1.424b	2.001b	2.387b	2.795b	3.254b
<i>P. rigida</i>	1.730a	1.850b	1.929b	2.137b	2.205b	2.487b	2.604b
<i>L. kaempferi</i>	2.066a	2.329a	2.775a	3.185a	3.521a	3.984a	4.279a

Mean with the same letter are not significantly different at $p=0.05$

NS: Non significant at 5% level of probability

Table 26. Longitudinal penetration of safranin in heartwood of different wood species(mm)

Wood species	5 seconds	10 seconds	20 seconds	40 seconds	80 seconds	160 seconds	300 seconds
<i>P. koraiensis</i>	1.168a	1.233ab	1.279ab	1.350a	1.425a	1.514a	1.557b
<i>P. densiflora</i>	0.354b	0.444c	0.548c	0.675b	0.742b	0.758b	0.799c
<i>P. rigida</i>	0.733b	0.957b	1.148b	1.314a	1.387a	1.433a	1.416b
<i>L. kaempferi</i>	1.139a	1.315a	1.514a	1.617a	1.702a	1.765a	1.898a

Mean with the same letter are not significantly different at $p=0.05$

NS: Non significant at 5% level of probability

벽공은 인접 세포 사이에 물질이동의 중요한 역할을 하는데, 폐쇄벽공(Thomas and Nicholas 1966; Thomas and Kringstad 1971), 작은 벽공구(Stamm 1970; Petty and Peterson 1969) 및 심재가 형성될 때 침착하는 충전물(Panshin and DeZeeuw 1980)은 물질이동에 방해가 된다. 그리고 처음 시작점에서는 침투도가 높지만, 시간이 경과할수록 침투도는 떨어진다.

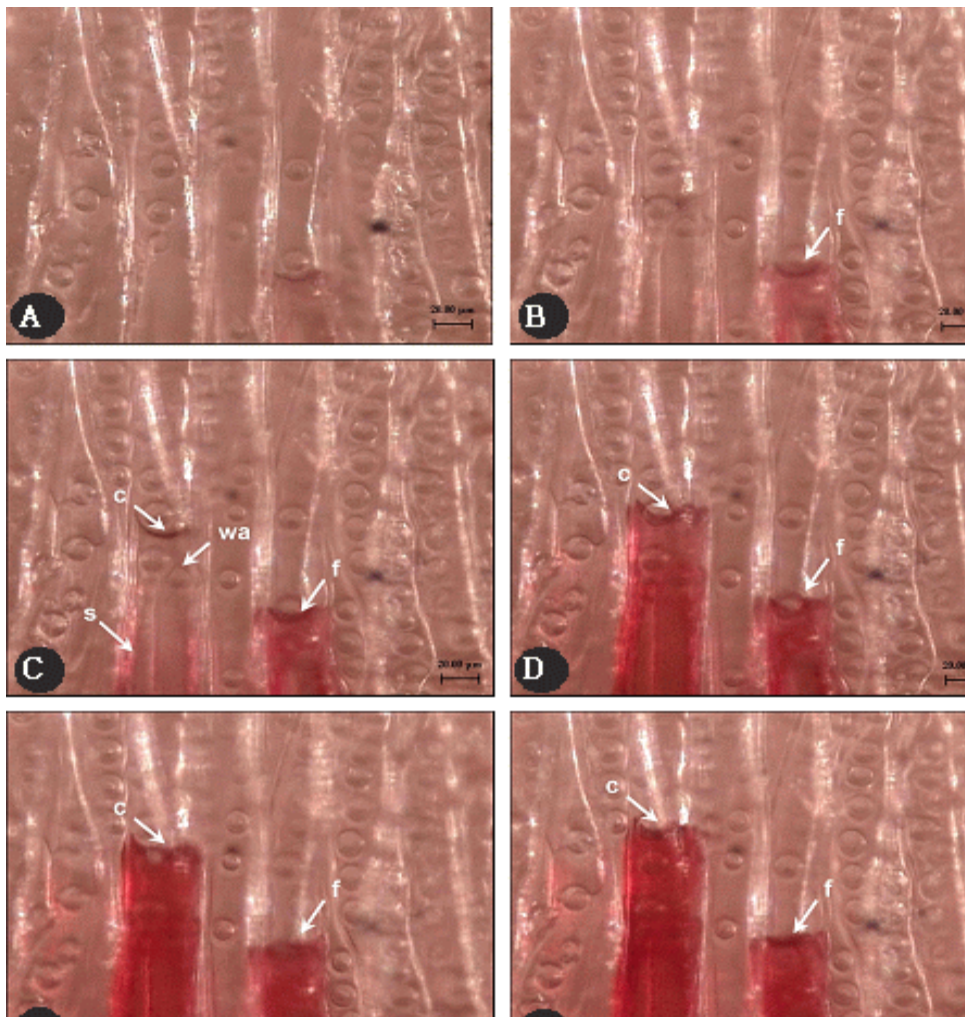


Fig. 46. Meniscus observed at 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minute respectively in longitudinal tracheid of *P. densiflora* heartwood. c- curved air-safranin meniscus, f- flat air-safranin meniscus, s-safranin molecules, water- alcohol solution.

Jurin의 법칙에 의하면, 모세관압력(P_c)은 물질의 표면장력(T), 접촉각(θ)와 관의 반지름(r)에 의해 다음 식에 의해서 결정된다.

$$P_c = \frac{2 T \cos \theta}{r}$$

침엽수가도관 내강의 직경을 16-20 μm 라고 가정하고, 물의 표면장력 72dynes/cm(23 °C)과 접촉각을 30° (Scheickl and Dunky 1998)이라하면, 모세관압력(P_c)은 0.06-0.08 bar이었다. Stammand Arganbright(1970)는 실내온도(23±1 °C)에 4수종 변재의 표면장력을 측정한 결과 45.5 to 57.3 dynes/cm이었으며, 같은 조건의 온도에서 증류수를 갖고 측정한 71 dynes/cm보다 현저히 낮았다. 다음 그림은 침엽수 가도관 내강에서 모세관 현상을 camscope로 촬영한 것이다.

다. 화학원료의 기본 조사

1) 기본 시약

기본 시약에 목재 칩을 침투하기 전·후의 pH, EC 및 온도 변화를 조사한 결과 pH는 약간 떨어지는 경향이 나타났고, EC와 온도의 변화는 없었다.

Table 27. Properties of chemical solution after soaking of woodchip in water

Chemicals	pH		EC		Temperature	
	Before	After	Before	After	Before	After
NH ₄ Cl	4.1	3.0	》 200	》 200	29.2	28.4
NH ₄ NO ₃	4.2	3.4	》 200	》 200	24.2	27.7
NH ₄ H ₂ PO ₄	3.6	3.6	62.8	66.7	29.6	28.3
(NH ₄) ₂ SO ₄	4.6	3.9	》 200	》 200	24.7	28.3
NaNO ₂	9.0	7.5	166.6	174.1	24.0	27.9
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	3.3	3.3	48.1	52.3	23.5	28.8
K ₃ PO ₄	13.6	13.0	157.0	161.1	29.6	28.8
KH ₂ PO ₄	11.6	11.5	144.8	154.3	29.6	27.5
K ₂ HPO ₄	10.4	10.2	65.2	67.9	24.2	26.9
KNO ₃	5.7	5.0	139.2	138.8	28.2	28.5
KCl	8.1	3.6	》 200	》 200	28.0	29.3
K ₂ SO ₄	6.6	4.0	74.4	75.0	30.2	28.3

2) 혼합 시약

혼합 시약의 혼합 비율에 따라 온도, pH의 변화가 있었으며, 침전물이 발생을 조사한 결과 아래 표와 같다.

Table 28. Solution properties at different mixture ratio of chemicals

Ratio (A/B)	K ₂ HPO ₄ /HNO ₃			K ₃ PO ₄ /HNO ₃			K ₂ HPO ₄ /KNO ₃			K ₃ PO ₄ /KNO ₃			KNO ₃ /K ₃ PO ₄			K ₂ HPO ₄ /NH ₄ H ₂ PO ₄			K ₃ PO ₄ / NH ₄ H ₂ PO ₄		
	Tem.	pH	Re.	Tem.	pH	Re.	Tem.	pH	Re.	Tem.	pH	Re.	Tem.	pH	Re.	Tem.	pH	Re.	Tem.	pH	Re.
1	26	1	-	45	1	Hot	26	8	P	25.8	11	NP	25	11	NI	25.5	6	NP	26	6	NP
2	26	1	PP	44	1	"	26	8	"	25.8	11	"	25	11	"	25.5	7	"	26.5	6	"
3	26	6	FP	43	7	"	26	8	"	26	11	"	25.5	11	"	25.5	7	"	26.5	7	"
4	26	-	IFP	43	7	"	26	8	RP	26	11	"	26	11	"	26	7	"	27	9	"
5	26	-	"	40	7	"	26	8	"	26	11	"	26	11	"	26	8	"	27	9	"
6	26	-	"	39	10	"	26	9	"	26	11	"	25	11	"	26	8	"	26	9	"
7	26	-	"	38	11	"	26	9	"	26	11	"	25	11	"	26	8	"	26	10	"
8	26	-	"	34	11	"	26	9	"	26	11	"	25	11	"	26	8	"	26	10	"
9	26	-	"	32	11	BP	26	9	NP	26	11	"	25	11	"	26	8	"	26	11	"
10	26	-	"	30	11	PP	26	9	"	26	11	"	25	11	"	26	8	"	26	11	"

Note - Re.: Remark, Tem.: Temperature, P: Precipitate, PP: Partial precipitate, FP: Full precipitate, IFP: Instantaneous full precipitate, BP: Beginning precipitate, RP: Reducing precipitate NP: Non precipitate

3) 1회 주입용 혼합시약의 보관환경에 따른 함유량

1회 주입 침전물과 액체가 생성되는 혼합시약으로서, 보관환경에 따른 액체와 침전물의 T-N, T-P, T-K 함유량을 분석한 결과 액체에서는 전체적으로 N과 P₂O₅ 함유량이 높게 측정되었으며, 침전물에서는 K₂O 함유량이 두드러지게 높게 나타났다. 혼합시약 1의 액체에서는 N(26.58%), P₂O₅(17.31%) 함유량이 높게 측정되었으며, 침전물에서는 N(17.04%), K₂O(26.71%) 함유량이 높게 나타났다. 혼합시약 2의 액체에서는 K₂O(2.76%) 함유량이 높게 나타났으며, 침전물에서는 P₂O₅(10.23%) 함유량이 높게 측정되었다. 액체에서는 혼합시약 1의 N과 P₂O₅ 함유량(평균 26.58%, 17.31%)이 높게 나타났으며, 혼합시약 2의 K₂O 함유량(평균 2.76%)이 높게 나타났다. 침전물에서는 혼합시약 1의 N과 K₂O 함유량(평균 17.04%, 26.71%)이 높게 나타났으며, 혼합시약 2의 P₂O₅ 함유량(평균 10.23%)이 높게 나타났다. 그러므로 액체 · 침전물 모두 혼합시약 1에서 N, P₂O₅, K₂O 함유량이 높게 나타났다.

온도별 차이를 분석한 결과, 액체에서의 N 함유량은 혼합시약 1의 온도25℃(32.42%)에서 가장 높았으며, P₂O₅ 함유량은 혼합시약 2의 온도40℃(20.41%)에서 가장 높게 나타났다. K₂O 함유량은 혼합시약 2의 온도30℃(2.97%)에서 가장 높게 나타났다.

Table 29. Content compound chemicals at different storage condition(%)

Compounds	Deposit condition	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Compound 1	Liquid	Cold storage	26.59	17.93	2.29
		Room condition	25.46	16.89	2.67
		25℃	32.42	17.32	2.66
		30℃	22.95	17.62	2.73
		40℃	25.47	16.79	2.83
		Mean	26.58	17.31	2.64
Compound 2	Liquid	Cold storage	17.19	12.99	2.33
		Room condition	16.42	12.78	2.84
		25℃	16.74	14.76	2.96
		30℃	16.16	18.12	2.97
		40℃	19.41	20.41	2.68
		Mean	17.18	15.81	2.76
Mean		21.88	16.56	2.7	
Compound 1	Precipitate	Cold storage	20.60	5.39	28.43
		Room condition	15.63	4.58	22.45
		25℃	15.97	10.08	24.70
		30℃	17.15	8.09	24.82
		40℃	15.83	7.14	33.15
		Mean	17.04	7.06	26.71
Compound 2	Precipitate	Cold storage	12.57	5.35	25.65
		Room condition	14.41	10.24	22.32
		25℃	13.11	11.41	26.13
		30℃	15.65	12.54	28.13
		40℃	16.26	11.61	26.14
		Mean	14.40	10.23	25.67
Mean		15.72	8.65	26.19	

Compound 1: K₃PO₄ :3(K₂HPO₄) :30(NH₄NO₃), Compound 2: 3(K₂HPO₄) :K₃PO₄ :KNO₃ :29(NH₄NO₃)

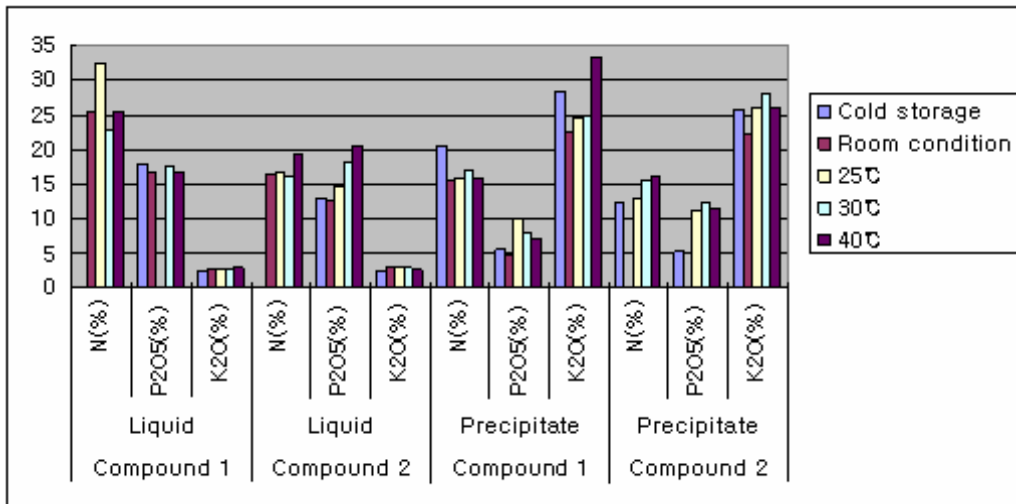


Fig. 47. Changes of elements in compound chemicals at different condition

침전물에서의 N 함유량은 혼합시약 1의 냉장보관(20.60%)에서 가장 높았으며, P₂O₅ 함유량은 혼합시약 2의 온도30℃(12.54%)에서 가장 높게 나타났고, K₂O 함유량은 혼합시약 1의 40℃(33.15%)에서 가장 높게 나타났다. 혼합시약들의 액체에서는 온도 40℃에서 N, P₂O₅, K₂O 함유량이 대체적으로 높게 나왔으며, 침전물에서는 30℃, 40℃에서 높게 나왔다.

4) 2회 주입용 혼합시약의 보관환경에 따른 함유량

2회 주입용 혼합시약의 분석결과 1회 주입용 혼합시약 함유량과 같은 경향을 나타냈다.

Table 30. Content of four compound chemicals at different storage condition

Compounds	State	Condition	Cold	Room	25℃	30℃	40℃	Mean
Compound 3	Liquid	N(%)	5.37	6.11	8.09	8.06	7.15	6.9
		P ₂ O ₅ (%)	18.85	18.64	26.42	24.40	26.76	23.0
		K ₂ O(%)	0.95	1.23	0.83	0.89	2.21	1.2
Compound 4	Liquid	N(%)	8.59	11.85	12.43	10.90	11.57	11.1
		P ₂ O ₅ (%)	14.48	18.59	19.46	20.02	21.44	18.8
		K ₂ O(%)	0.68	2.33	1.42	0.91	1.01	1.3
Compound 5	Liquid	N(%)	6.78	7.02	8.61	9.04	7.63	7.9
		P ₂ O ₅ (%)	16.67	16.05	18.05	16.26	14.84	16.4
		K ₂ O(%)	0.70	0.69	0.71	1.00	1.29	0.9
Compound 6	Liquid	N(%)	11.89	9.84	10.71	11.30	12.91	11.3
		P ₂ O ₅ (%)	14.57	11.27	11.86	17.12	15.85	14.1
		K ₂ O(%)	1.10	0.50	1.11	1.07	1.29	1.0
Mean	Liquid	N(%)	8.16	8.71	9.96	9.83	9.82	9.3
		P ₂ O ₅ (%)	16.14	16.14	18.95	19.45	19.72	18.1
		K ₂ O(%)	0.86	1.19	1.02	0.97	1.45	1.1
Compound 3	Precipitate	N(%)	5.54	11.10	8.56	6.61	6.45	7.7
		P ₂ O ₅ (%)	13.86	12.08	9.33	8.29	11.51	11.0
		K ₂ O(%)	10.67	11.07	14.68	12.97	14.34	12.8
Compound 4	Precipitate	N(%)	8.81	8.64	9.46	11.43	8.00	9.3
		P ₂ O ₅ (%)	11.10	11.71	8.08	6.01	6.03	8.6
		K ₂ O(%)	8.20	11.23	14.02	17.78	14.53	13.2
Compound 5	Precipitate	N(%)	8.01	8.32	8.86	8.51	10.20	8.8
		P ₂ O ₅ (%)	7.18	7.86	6.29	4.76	4.91	6.2
		K ₂ O(%)	13.75	12.87	15.75	13.14	16.75	14.4
Compound 6	Precipitate	N(%)	9.21	13.45	10.27	11.40	12.65	11.4
		P ₂ O ₅ (%)	6.71	10.93	4.84	4.83	5.79	6.6
		K ₂ O(%)	13.41	12.65	18.04	16.42	15.92	15.2
Mean	Precipitate	N(%)	7.89	10.38	9.29	9.49	9.33	9.3
		P ₂ O ₅ (%)	9.97	10.65	7.14	5.97	7.06	8.1
		K ₂ O(%)	11.51	11.96	15.62	15.08	15.39	13.9
Mean		N(%)	16.05	19.09	19.25	19.32	19.15	18.6
		P ₂ O ₅ (%)	25.85	26.79	26.09	25.42	26.78	26.2
		K ₂ O(%)	12.37	13.15	25.64	17.02	16.84	15.0

Compound 3 : {K₃PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄} + 10(NH₄NO₃)
 Compound 4 : 10(NH₄NO₃) + {K₃PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄}
 Compound 5 : {K₃PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄} + 17(NH₄NO₃)
 Compound 6 : 17(NH₄NO₃) + {K₃PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄}

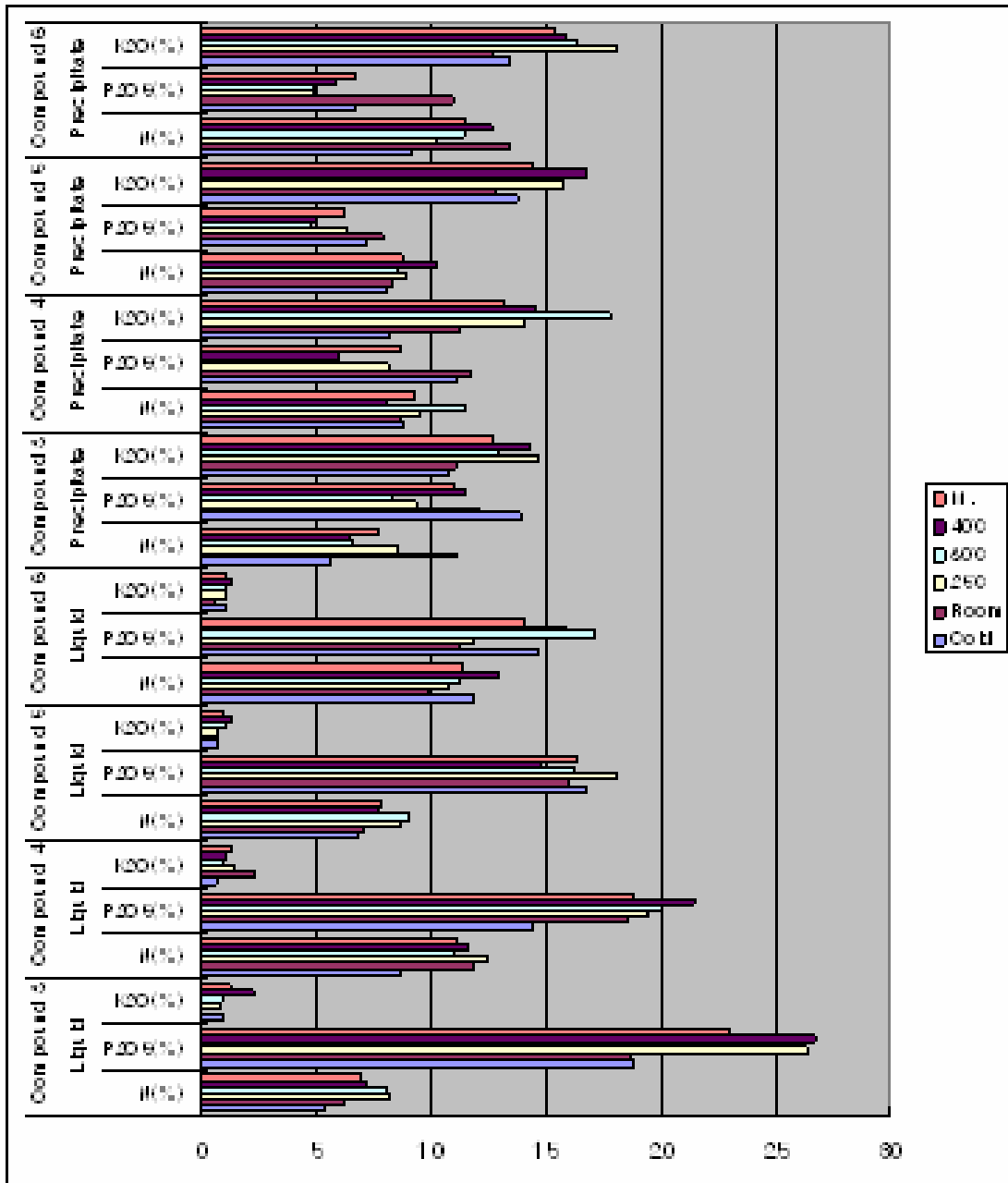


Fig. 48. Content of four compound chemicals at different storage condition

액체에서는 전체적으로 N과 P₂O₅ 함유량이 높게 나타났으며, 침전물에서는 K₂O 함유량이 두드러지게 높게 나타났다. 액체의 경우 N 함유량은 혼합시약 4의 25℃에서 12.43%로 가장 높게 나타났다. P₂O₅ 함유량은 혼합시약 3에서 40℃에서 26.76%로 가장 높게 나타났다. K₂O 함유량은 혼합시약 4의 실내보관에서 2.33%로 가장 높게 나타났다.

침전물의 경우 N 함유량은 혼합시약 6의 실내보관에서 13.45%로 가장 높게 나타났다. P₂O₅ 함유량은 혼합시약 3의 냉장보관에서 13.86%로 높게 나타났다. K₂O 함유량은 혼합시약 6의 25℃에서 18.04%로 가장 높게 나타났다. 전체적으로 액체에서는 P₂O₅ 함유량(평균 18.08%)이 높게 나타났으며, 침전물에서는 K₂O 함유량(평균 13.91%)이 높게 나타났다. 액체에서는 혼합시약

6에서 N 함유량(평균 11.33%)은 높게 나타났으며, 혼합시약 3에서 P₂O₅ 함유량(평균 23.01%)이 높게 나타났다. 침전물에서는 혼합시약 6에서 N 함유량(평균 11.40%)이 높게 나타났고, P₂O₅ 함유량(평균 11.01%)이 높게 나타났으며, 혼합시약 6에서 K₂O 함유량(평균 15.29%)이 높게 나타났다. 액체·침전물 모두 혼합시약 6과 3에서 N, P₂O₅, K₂O 함유량이 높게 나타났다.

온도별로 분석한 결과, 액체에서는 N 함유량이 25℃에서 높은 수치를 나타냈고, P₂O₅ 함유량은 40℃에서, K₂O 함유량은 40℃에서 높은 수치를 나타냈다. 침전물에서는 N 함유량은 실내보관에서, P₂O₅ 함유량은 실내보관에서, K₂O 함유량은 25℃에서 높은 수치를 나타냈다. 혼합시약들의 액체에서는 온도 40℃에서 대체적으로 높게 나왔으며, 침전물에서는 실내보관에서 대체적으로 높게 측정되었다.

5) 결과

기본 시약에 목재 칩을 침투하기 전·후의 pH, EC 및 온도 변화를 조사한 결과 pH는 약간 떨어지는 경향이 나타났고, EC와 온도의 변화는 없었다. 혼합 시약의 혼합 비율에 따라 온도, pH의 변화가 있었으며, 침전물이 발생했다. 보관환경에 따른 액체와 침전물의 T-N, T-P, T-K 함유량을 분석한 결과 액체에서는 전체적으로 N과 P₂O₅ 함유량이 높게 측정되었으며, 침전물에서는 K₂O 함유량이 높게 나타났다. 온도별 차이를 분석한 결과, 액체에서의 N 함유량은 혼합시약 1의 온도 25℃(32.42%)에서 가장 높았으며, P₂O₅ 함유량은 혼합시약 2의 온도 40℃(20.41%)에서 가장 높게 나타났다. K₂O 함유량은 혼합시약 2의 온도 30℃(2.97%)에서 가장 높게 나타났다. 혼합시약의 액체에서는 온도 40℃에서 N, P₂O₅, K₂O 함유량이 대체적으로 높게 나왔으며, 침전물에서는 30℃, 40℃에서 높게 나왔다. 액체의 경우 N 함유량은 혼합시약 4의 25℃에서 12.43%로서 가장 높게 나타났다. P₂O₅ 함유량은 혼합시약 3에서 40℃에서 26.76%로 가장 높게 나타났다. K₂O 함유량은 혼합시약 4의 실내보관에서 2.33%로 가장 높게 나타났다. 액체에서는 P₂O₅ 함유량(평균 18.08%)이 높게 나타났으며, 침전물에서는 K₂O 함유량(평균 13.91%)이 높게 나타났다. 액체에서는 혼합시약 6에서 N 함유량(평균 11.33%)은 높게 나타났으며, 혼합시약 3에서 P₂O₅ 함유량(평균 23.01%)이 높게 나타났다. 침전물에서는 혼합시약 6에서 N 함유량(평균 11.40%)이 높게 나타났고, P₂O₅ 함유량(평균 11.01%)이 높게 나타났으며, 혼합시약 6에서 K₂O 함유량(평균 15.29%)이 높게 나타났다. 액체·침전물 모두 혼합시약 6과 3에서 N, P₂O₅, K₂O 함유량이 높게 나타났다.

라. 목재칩비료 내 함유량

1) 시용효과용 목재칩비료의 비료 성분 함유량

질산암모늄, 인산칼륨과 염화칼륨 포화수용액을 가압법에 의하여 침투시켜 수종별로 목재칩숯비료를 제조하여 수종에 따른 목재칩숯비료의 질소, 인산, 가리의 함유량을 조사하였다. 질소의 수종별 성분 함량을 살펴보면 은사시나무 24.38%, 소나무 22.25%, 혼합수종 21.78, 참나무속 17.29% 순으로 나타났다. 인산의 수종별 성분함량은 은사시나무 24.53%, 소나무 22.32%, 혼합수종 20.57, 참나무속 15.32%였다. 또한, 가리의 수종별 성분함량은 은사시나무 14.49%, 소나무 11.46%, 혼합수종 12.22, 참나무속 9.3%이었다. 이들 결과를 보면 질소의 침투량은 은사시나무> 소나무> 혼합수종> 참나무속 순이었고, 인산의 침투량은 은사시나무> 소나무>

혼합수종 > 참나무속 순이었으며, 가리의 침투량은 은사시나무 > 참나무속 > 소나무 > 혼합수종 순이었다. 은사시나무는 질소, 인산, 가리에서 모두 가장 많이 침투되었고, 소나무는 질소와 인산은 두 번째로 많은 량의 성분이 침투되었으나 가리는 세 번째로 침투되었다. 혼합수종은 질소와 인산에서는 세 번째로 많은 성분이 침투되었으나 가리는 두 번째로 침투되었다. 참나무속은 가장 적은 량이 침투되었다. 그 원인은 참나무속에 타이로시스가 존하여 성분의 침투를 방해하는 것으로 사료된다.

Table 31. Content of woodchip fertilizer at 4kg/cm² for 3 hrs.

Specific name	Nutrient composition of wood capsule fertilizer		
	N(%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O(%)
<i>Pinus densiflora</i>	22.25bc	22.32b	11.46b
<i>Populus tomentiglandulosa</i>	24.38c	24.53c	14.49c
<i>Quercus</i>	17.29a	15.32a	9.31a
Mixed	21.78b	20.57b	12.22bc

Different lower case letters within in a column indicate significant difference (p=0.05)

아래 표는 자연의 소나무속, 버드나무속, 참나무속의 질소, 인, 칼륨의 성분 함량을 나타낸 것이다. 아래 표와 비교해보면, 목재칩비료의 함유량이 월등히 높다는 것을 알 수 있다.

Table 32. Content of nutritional elements in natural species

Specific name	Content (%)		
	N	P	K
<i>Pinus Taeda</i>	0.82 ~ 1.24	0.088 ~ 0.118	0.27 ~ 0.64
<i>Pinus resinosa</i>	1.16 ~ 1.51	0.13 ~ 0.16	0.39 ~ 0.54
<i>Populus grandentata</i>	-	0.12 ~ 0.18	-
<i>Quercus sp.</i>	1.90 ~ 3.00	0.13 ~ 0.28	0.50 ~ 0.80
<i>Quercus palustris</i>	1.97	0.26	0.97

2) 9개 수종의 수종별 목재칩비료 내 함유량

수종에 따라 침투량 및 용출 속도의 양상이 다르므로 9 수종을 실험을 실시했다. 실험방법은 식물체 분석방법과 간이방법인 LV-SEM을 이용하는 방법으로 진행하여 이들 2가지 방법의 결과를 비교했다.

압력처리를 20, 40, 60kgf/cm² 로 10분간 처리하여 실험한 결과 60kgf/cm²에서 가장 높은 값을 나타냈고, 20kgf/cm²에서 가장 낮은 값을 나타냈다.

농촌진흥청 “비료공정규격”(개정 농촌진흥청 고시 제 2000-20호(2001. 1. 4))의 비료와 비교 검토하면 N은 목재칩비료에 평균 23% 함유하므로, 무기질 질소비료의 요소(45%), 피복요소(35%), 시디유(28%), 아비디유(28%) 보다 낮았다.

P₂O₅은 목재칩비료 내에 평균 20% 함유하므로 무기질 인산비료인 과린산석회(가용성인산 : 16, 수용성인산 : 13), 중과린산석회(가용성인산 : 30, 수용성인산 : 28), 용성인비(구용성인산 : 17, 구용성고토 : 12, 알카리분 : 40)보다 낮은 함유량을 나타냈다. 그러나 용과린(구용성인산 :

17,구용성고토 : 2.5)과는 비슷한 함량을 나타냈다.

K₂O는 목재칩비료 내에 16% 함유하고 있으므로 무기질 가리비료인 황산가리(수용성가리 : 48), 입상황산가리(수용성가리 : 45), 염화가리(수용성가리 : 60), 황산가리고토(수용성가리 : 20, 수용성고토 : 17)보다 낮은 함유량을 나타냈다.

그러나 복합비료인 제1종 복합비료(질소전량, 가용성인산, 수용성가리 중 2종 이상 합계량 : 20), 제2종 복합비료(질소전량, 가용성인산 또는 구용성인산, 수용성가리 또는 구용성가리 중 2종 이상 합계량 : 20), 제3종 복합비료(질소전량, 인산전량, 가리전량 중 2종 이상의 합계량 : 12, 유기물 : 10), 피복복합비료(질소전량, 수용성인산 또는 구용성인산, 수용성가리 중 2종 이상 합계량 : 15), 씨.디.유(C.D.U)복합비료(질소전량, 수용성 인산 또는 구용성인산, 수용성가리 중 2종 이상 합계량 : 15), 피복요소복합비료(질소전량, 가용성인산 또는 구용성인산, 수용성가리 또는 구용성가리 중 2종 이상 합계량 : 20), 아이.비.디.유(I.B.D.U)복합비료(질소전량, 수용성인산 또는 구용성인산, 수용성가리 중 2종 이상 합계량 : 15), 포름요소복합비료(질소전량, 가용성인산 또는 구용성인산, 수용성가리 또는 구용성가리 중 2종 이상 합계량 : 15) 및 유기질 비료보다는 전체적으로 높은 함유량을 나타냈다. 따라서 앞으로 더 많은 연구를 통해서 부성분 및 미량 원소를 주입한다면 유기물을 함유하는 제3종 복합비료에 맞는 것으로 판단된다.

Table 33. Nutrient content in different woodchip fertilizer estimated by plant analysis method

Wood species	Pressure, kgf/cm ²	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O %
<i>P. koraiensis</i>	20	22.42	18.63	13.22
	40	25.00	21.74	17.36
	60	28.02	22.30	18.60
<i>P. densiflora</i>	20	21.88	17.63	16.28
	40	26.98	20.32	17.94
	60	30.10	22.62	21.15
<i>P. rigida</i>	20	20.45	19.27	16.45
	40	25.07	22.35	18.35
	60	29.62	23.12	19.57
<i>L. kaempferi</i>	20	18.46	16.70	12.65
	40	20.01	17.09	13.01
	60	22.35	19.41	16.15
<i>P. tomentiglandulosa</i>	20	23.07	19.32	18.15
	40	27.29	23.06	19.08
	60	32.10	24.23	24.27
<i>A. hirsuta</i>	20	22.38	18.71	15.73
	40	24.53	21.63	18.61
	60	29.35	22.73	21.93
<i>C. crenata</i>	20	18.14	16.80	13.69
	40	19.25	16.39	14.74
	60	25.02	19.15	17.67
<i>R. pseudoacacia</i>	20	15.74	10.46	8.85
	40	16.72	11.07	10.06
	60	19.98	16.33	13.75
<i>Quercus</i>	20	17.15	11.84	11.49
	40	18.64	13.43	14.42
	60	22.00	18.99	16.17

성분별 침투량을 비교하면 질소가 가장 많이 침투되었고, 칼륨이 가장적게 침투되었으며, 본 실험 결과도 은사시나무를 제외하고는 침엽수가 잘 침투되었다. 9개 수종 중 침투도 가장 낮은 수종은 아까시나무로서 N 19.98%, P₂O₅ 16.33% 및 K₂O 13.75%이었다. 아까시나무가 가장 저조한 침투도를 나타내는 원인은 아까시나무의 심재 대도관에 tylosis 물질이 존재하여 수분 등 모든 물질의 이동을 방해하기 때문이다. 특히, 아까시나무는 참나무속과 다르게 변재부 연륜은 외부로부터 2연륜 뿐이고 나머지는 심재이다. 이러한 원인으로 아까시나무가 9개의 실험대상 수종 중 가장느리게 침투되고 있는 것으로 사료된다.

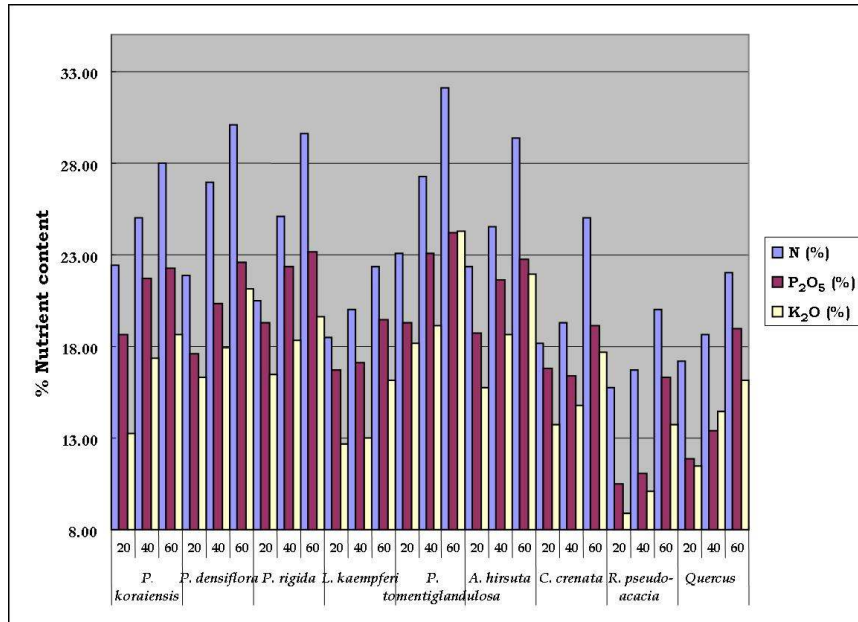


Fig. 49. Nutrient (N, P₂O₅ and K₂O) content (traditional method) in 9 different woodchip fertilizer at different pressure condition. *Condition: After 5 minutes vacuum treatment (-620 mmHg), woodchip was soaked in fertilizer solution at 20, 40 and 60 kgf/cm² pressure.*

한편, 침엽수 수종 중 낙엽송의 침투도가 낮은 원인은 앞의 수종별 특징 연구 결과와 같이 실험 대상 수종 중 낙엽송의 심재율이 가장 높기 때문이다. 침엽수재 가도관의 유연벽공이 폐쇄되어 나타나는 것은 심재이다. 침엽수 수종 중 소나무의 침투도가 높게 나타나는 원인은 실험대상 수종 중 소나무의 심재율이 낮기 때문인 것으로 사료된다. 본 실험 결과 은사시나무의 침투율이 가장 높고, 아까시나무의 침투율이 가장 낮았다. 아까시나무 다음으로 침투도가 낮은 것은 참나무속, 밤나무, 낙엽송 순이었다. 활엽수의 산공재인 물오리나무는 은사시나무보다 낮은 경향을 보이고 있고, 침엽수 중에서는 낙엽송이 어렵게 침투되고, 나머지 수종은 유의 수준 범이 내에서 차이가 나타나지만 소나무, 리기다소나무, 잣나무 순이었다.

Table 34. Nutrient content in different woodchip fertilizer estimated by LV–SEM.

Wood species	Pressure, kgf/cm ²	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O %
<i>P. koraiensis</i>	20	28.12	18.21	12.13
	40	29.49	20.34	15.44
	60	31.00	21.85	16.73
<i>P. densiflora</i>	20	28.64	17.75	13.32
	40	30.41	21.02	13.86
	60	32.22	22.14	15.56
<i>P. rigida</i>	20	28.83	18.28	14.17
	40	30.36	21.75	14.37
	60	31.25	23.07	16.55
<i>L. kaempferi</i>	20	25.38	13.01	10.86
	40	26.08	15.83	11.08
	60	27.10	18.21	15.56
<i>P. tomentiglandulosa</i>	20	31.34	19.30	16.67
	40	32.19	20.52	18.40
	60	35.33	25.01	20.74
<i>A. hirsuta</i>	20	27.72	16.91	12.15
	40	29.02	19.53	15.85
	60	29.87	20.46	18.64
<i>C. crenata</i>	20	25.84	14.53	10.58
	40	27.44	15.41	11.41
	60	28.44	18.98	11.69
<i>R. pseudo-acacia</i>	20	18.35	12.81	8.81
	40	19.33	15.21	10.76
	60	22.11	16.23	11.74
<i>Quercus</i>	20	19.89	15.27	12.80
	40	22.46	16.37	14.34
	60	25.55	16.79	14.39

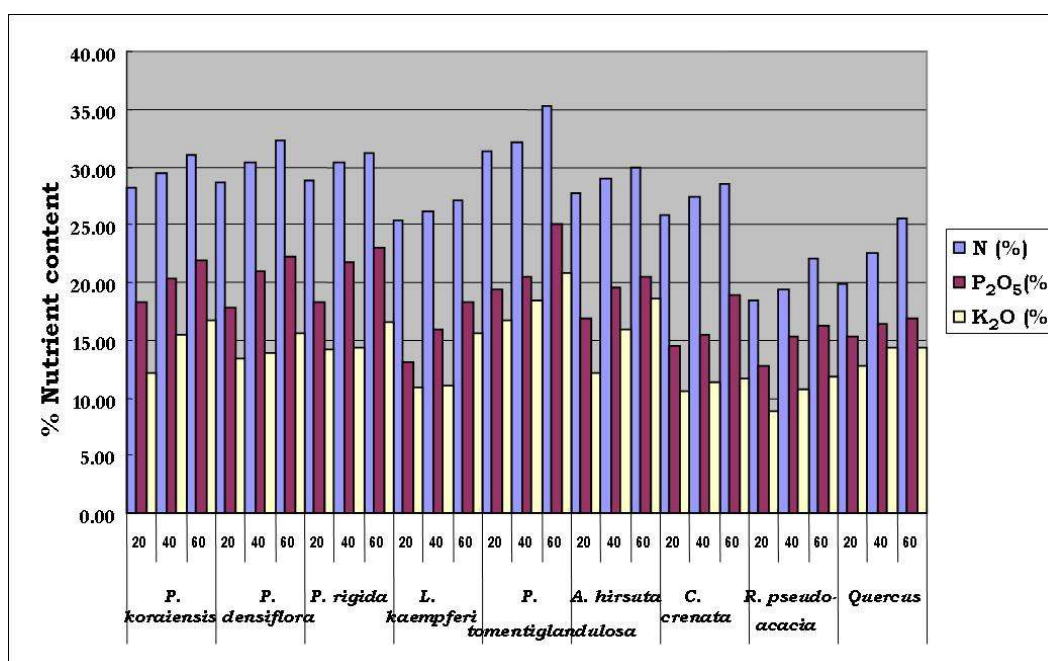


Fig. 50. Nutrient (N, P₂O₅ and K₂O) content (estimated by LV–SEM) in 9 different woodchip fertilizer at different pressure condition. Condition: After 5 minutes vacuum treatment(–620 mmHg), woodchip was soaked in fertilizer solution at 20, 40 and 60 kgf/cm² pressure.

3) 생재와 건재 목재칩비료의 함유량

본 실험은 목재칩 내에 화학 물질을 주입하면 생재 상태로 된다. 이렇게 생재 상태의 목재칩비료를 건조하면 비료 함유량의 변화에 대한 연구결과 생재·건재의 수종별 질소, 인산, 가리의 함유량은 아래 표와 같다.

생재와 건재를 비교해보면 N의 함유량은 소나무의 경우 생재 25.41%, 건재 16.11%였으며, 은사시나무의 경우 생재 27.41%, 건재 24.19%였고, 참나무류는 생재 19.19%, 건재 13.57%로 N의 함유량이 생재를 건조하는 과정에서 평균 25.17%가 감소되었다.

P₂O₅의 함유량은 소나무의 경우 생재 11.77%, 건재 11.86%, 참나무속의 경우 생재 12.48%, 건재 13.82%로 평균 5.7% 많았으며, 그에 반해 은사시나무의 경우 생재 24.39%, 건재 20.31%로 16.73% 감소하였다. 따라서 P₂O₅는 생재와 건재 사이에 일정한 감소를 나타내지 않았다.

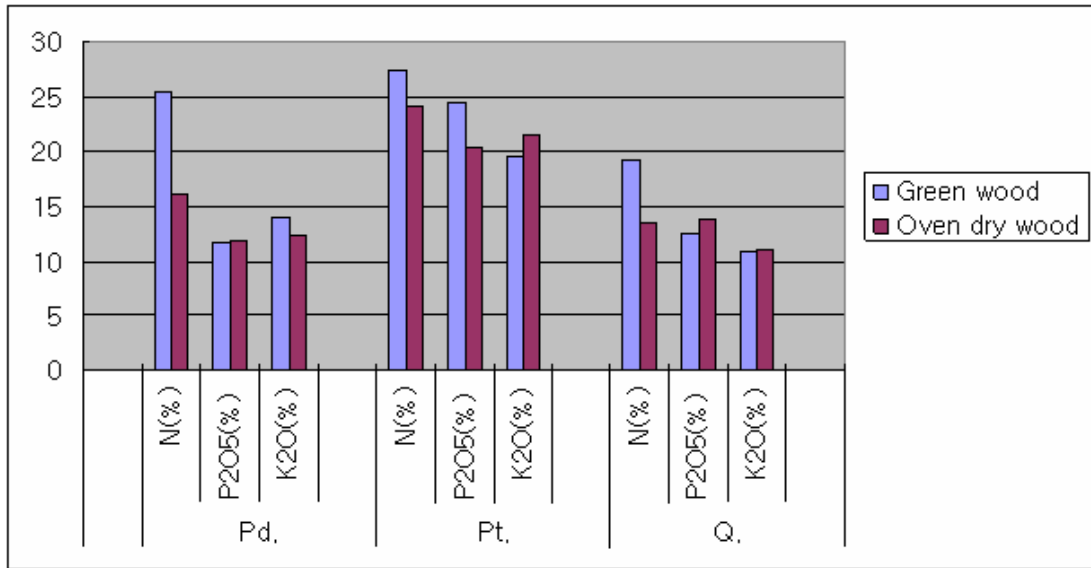
K₂O의 함유량은 소나무의 경우 생재 13.99%, 건재 12.38%로 11.51% 감소하였으며, 은사시나무의 경우 생재 19.57%, 건재 21.59%, 참나무속의 경우 생재 10.95%, 건재 11.06%로 평균 5.65% 증가하였다.

분석결과 N과 K₂O는 생재·건재 모두 은사시나무에서 높은 함유량을 나타냈고, 참나무류에서 가장 적은 함유량을 보였으며, 소나무는 중간정도였다. P₂O₅는 N과 같이 은사시나무에서 높은 함유량을 나타냈으며, N과 달리 소나무에서 가장 적은 함유량을 보였고, 참나무속에서 중간 함유량을 보였다. 은사시나무의 경우에는 N, P₂O₅, K₂O 함유량이 전체적으로 높게 나타났다.

Table 35. Nutrient content in green woodchip and dry woodchip fertilizers

Specific name	Content(%)	Green wood(%)	Oven dry wood(%)	Proportion(%)
<i>P. densiflora</i>	N	25.41	16.11	63.40
	P ₂ O ₅	11.77	11.86	100.70
	K ₂ O	13.99	12.38	88.49
<i>P.tomentiglandulosa</i>	N	27.41	24.19	88.25
	P ₂ O ₅	24.39	20.31	83.27
	K ₂ O	19.57	21.59	110.30
<i>Quercus</i>	N	19.19	13.57	70.71
	P ₂ O ₅	12.48	13.82	110.70
	K ₂ O	10.95	11.06	101
Mean	N	24.0	17.96	74.83
	P ₂ O ₅	16.21	15.33	94.57
	K ₂ O	14.84	15.01	101.15

건조과정에서 목재칩내 N성분은 전체 함유량의 25%정도가 증발되는 것으로 보아 건조되는 과정에서 많은 N성분이 소실되었으며, 목재칩비료내 P₂O₅성분은 건조과정에서 평균 5.43% 감소하였다. 목재칩비료내 K₂O성분은 오히려 1.15% 많았다.



Pd: *Pinus densiflora*, Pt: *Populus tomentiglandulosa*, Q: *Quercus*

Fig. 51. Nutrient content in green wood and oven dry wood

4) 단일 시약 주입에 의한 목재칩비료 내 함유량

11개의 단일 시약 포화용액을 5수종에 가압법으로 주입한 목재칩비료를 분석한 결과 시약 1의 은사시나무에서 N 함유량은 16.92%로 가장 높게 나타났으며, 시약 5의 잣나무에서 P₂O₅, K₂O 함유량은 각각 23.53%, 26.71%로 가장 높게 나타났다. 5 수종의 평균 N 함유량은 단일시약 1에서 가장 높게 나왔으며, 단일시약 9, 단일시약 7, 단일시약 4, 단일시약 10, 단일시약 8, 단일시약 6, 단일시약 1 순으로 높게 나타났다. P₂O₅ 함유량은 단일시약 8에서 가장 높은 수치를 보였으며, 단일시약 9, 단일시약 11, 단일시약 2, 단일시약 3, 단일시약 7, 단일시약 5 순으로 나타났다. K₂O 함유량은 단일시약 5에서 가장 높게 나타났으며, 단일시약 11, 단일시약 6, 단일시약 3, 단일시약 2 순으로 높게 나타났다. 그러므로 N 함유량은 시약 1에서 14.03%로 가장 높게 나타났으며, P₂O₅ 함유량은 시약 8에서 20.02%로 가장 높게 나타났고, K₂O 함유량은 시약 5에서 19.84%로 가장 높게 나타났다. 수종에 관계없이 N, P₂O₅, K₂O 합계 평균은 시약 5에서 37.40%로 가장 높은 수치를 보였으며, 시약 9, 단일시약 11, 단일시약 7, 단일시약 6, 단일시약 8, 단일시약 3, 단일시약 2 순으로 높게 나타났다.

수종별 결과를 살펴보면 N 함유량은 낙엽송에서 가장 높게 나타났으며, 참나무류, 잣나무, 소나무, 은사시나무 순으로 높게 나타났다. P₂O₅ 함유량은 은사시나무에서 가장 높은 수치를 나타냈으며, 참나무류, 낙엽송, 잣나무, 소나무 순으로 나타났다. K₂O 함유량은 은사시나무에서 가장 높은 수치를 보였으며, 참나무류, 소나무, 낙엽송, 잣나무 순으로 높게 나왔다. 그러므로 N 함유량은 낙엽송에서 9.51%로 가장 높게 나타났으며, P₂O₅, K₂O 함유량은 은사시나무에서 각각 16.73%, 17.02%로 가장 높게 나타났다. N, P₂O₅, K₂O의 합계는 은사시나무에서 평균 24.27%로 가장 높게 나왔으며, 참나무 17.01%, 소나무 22.52%, 낙엽송 22.52%, 잣나무 23.22%로 나타났다.

11 시약 중 N만 함유한 시약(시약1, 시약 4, 시약10)을 제외하고 시약 2, 5, 9에서의 N, P₂O₅, K₂O 합계는 잣나무에서 각각 38.60%, 50.24%, 20.61%로 높게 나타났다. 시약 3, 7에서의 N, P₂O₅,

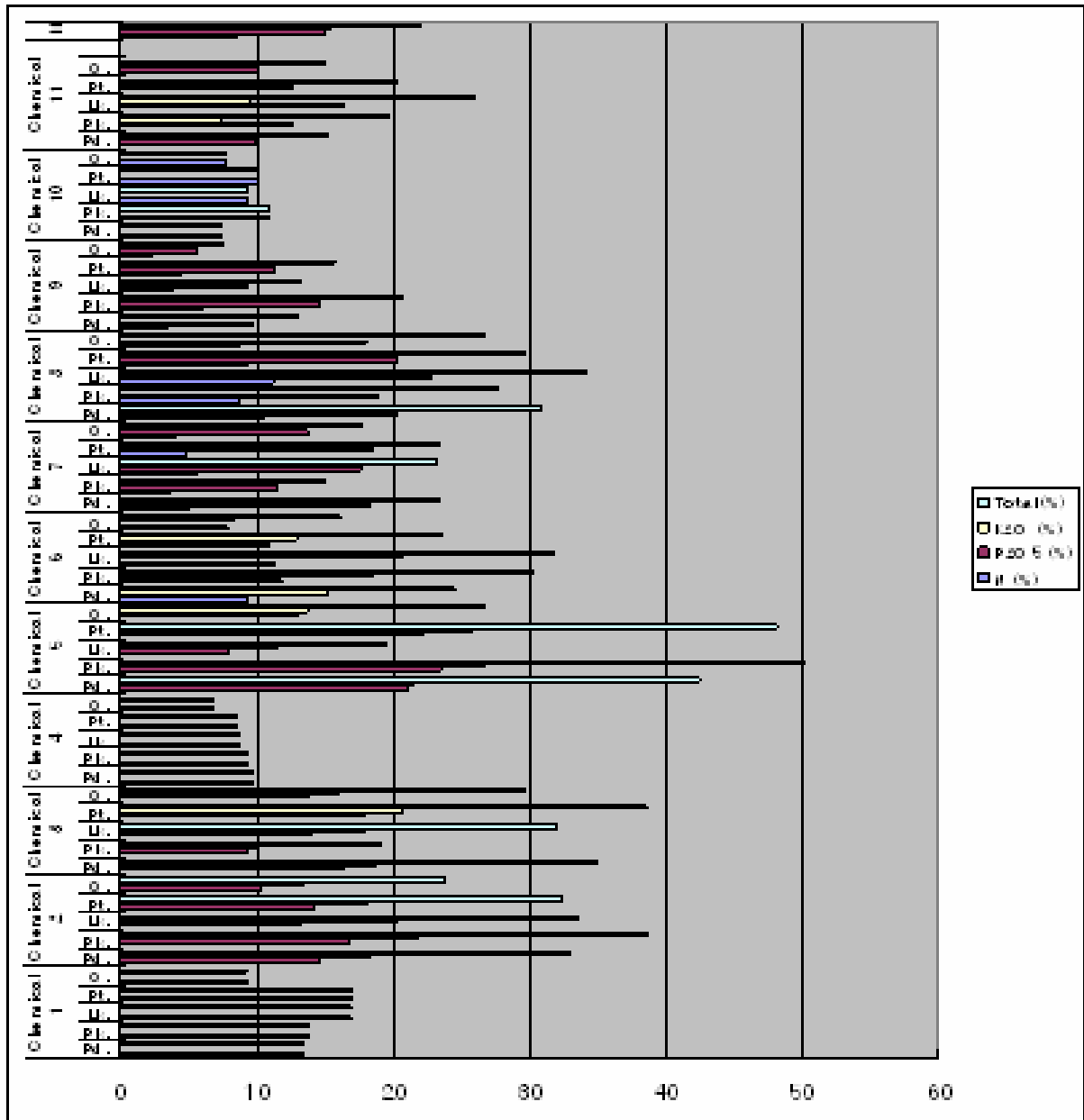
K₂O 합계는 은사시나무에서 각각 38.55%, 23.27%로 높게 나타났다. 시약 6, 8, 11에서의 N, P₂O₅, K₂O 합계는 낙엽송에서 각각 31.87%, 34.05%, 25.85%로 높게 나타났다. N, P₂O₅, K₂O 합계 평균은 은사시나무에서 24.27%로 가장 높게 나타났다. 소나무, 잣나무, 은사시나무에서의 N, P₂O₅, K₂O의 합계는 시약 5에서 각각 42.49%, 50.24%, 48.07%로 가장 높게 나타났다. 낙엽송에서의 N, P₂O₅, K₂O의 합계는 시약 8에서 34.05%로 가장 높게 나타났다. 참나무속에서 N, P₂O₅, K₂O의 합계는 시약 3에서 29.58%로 가장 높게 나타났다. 단일시약 목재칩비료의 N, P₂O₅, K₂O 합계는 은사시나무에서 높게 나타났으며, 시약 5에서 높은 수치를 나타냈다. 5 수종 중 가장 낮은 수치를 나타내는 수종은 잣나무와 참나무속이었고, 가장 높은 수치를 나타내는 수종은 소나무, 낙엽송 및 은사시나무이었으나, 이들 상호간 유의적 차이는 인정되지 않았다.

Table 36. Content of nutrient in woodchip treated with different chemicals

Chemicals	Specific name	Content (%)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
Chemical 1	<i>P. densiflora</i>	13.38			13.38
	<i>P. koraiensis</i>	13.84			13.84
	<i>L. kaempferi</i>	16.79			16.79
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	16.92			16.92
	<i>Quercus</i>	9.24			9.24
	Mean	14.03			14.03
Chemical 2	<i>P. densiflora</i>		14.66	18.22	32.88
	<i>P. koraiensis</i>		16.74	21.86	38.60
	<i>L. kaempferi</i>		13.20	20.34	33.54
	<i>P. tomentiglandulosa</i>		14.23	18.15	32.38
	<i>Quercus</i>		10.25	13.49	23.74
	Mean		13.82	18.41	32.23
Chemical 3	<i>P. densiflora</i>		16.33	18.67	35.00
	<i>P. koraiensis</i>		9.34	9.87	19.21
	<i>L. kaempferi</i>		14.05	17.86	31.91
	<i>P. tomentiglandulosa</i>		17.87	20.68	38.55
	<i>Quercus</i>		13.69	15.89	29.58
	Mean		14.26	16.59	30.85
Chemical 4	<i>P. densiflora</i>	9.67			9.67
	<i>P. koraiensis</i>	9.33			9.33
	<i>L. kaempferi</i>	8.60			8.60
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	8.55			8.55
	<i>Quercus</i>	6.78			6.78
	Mean	8.59			8.59
Chemical 5	<i>P. densiflora</i>		21.07	21.42	42.49
	<i>P. koraiensis</i>		23.53	26.71	50.24
	<i>L. kaempferi</i>		7.96	11.55	19.51
	<i>P. tomentiglandulosa</i>		22.32	25.75	48.07
	<i>Quercus</i>		12.96	13.75	26.71
	Mean		17.57	19.84	37.40

Chemical 6	<i>P. densiflora</i>	9.29	15.18	24.47	
	<i>P. koraiensis</i>	11.77	18.48	30.25	
	<i>L. kaempferi</i>	11.23	20.64	31.87	
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	10.82	12.88	23.70	
	<i>Quercus</i>	7.82	8.26	16.08	
	Mean	10.19	15.09	25.27	
Chemical 7	<i>P. densiflora</i>	4.98	18.32	23.30	
	<i>P. koraiensis</i>	3.55	11.50	15.05	
	<i>L. kaempferi</i>	5.50	17.67	23.17	
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	4.79	18.48	23.27	
	<i>Quercus</i>	4.08	13.70	17.78	
	Mean	4.58	15.93	20.51	
Chemical 11	<i>P. densiflora</i>		9.84	5.41	15.25
	<i>P. koraiensis</i>		12.54	7.23	19.77
	<i>L. kaempferi</i>		16.33	9.52	25.85
	<i>P. tomentiglandulosa</i>		12.67	7.66	20.33
	<i>Quercus</i>		10.01	5.01	15.02
	Mean		12.28	6.97	19.24
Mean	<i>P. densiflora</i>	8.37	15.73	15.78	22.50
	<i>P. koraiensis</i>	8.24	15.32	16.83	23.22
	<i>L. kaempferi</i>	9.51	14.47	15.98	22.52
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	9.24	16.73	17.02	24.27
	<i>Quercus</i>	6.69	11.99	11.28	17.01
	Mean	8.59	14.86	15.38	21.91
Chemical 8	<i>P. densiflora</i>	10.54	20.22	30.76	
	<i>P. koraiensis</i>	8.81	18.86	27.67	
	<i>L. kaempferi</i>	11.24	22.81	34.05	
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	9.27	20.23	29.50	
	<i>Quercus</i>	8.77	17.97	26.74	
	Mean	9.73	20.02	29.74	
Chemical 9	<i>P. densiflora</i>	3.41	9.65	13.06	
	<i>P. koraiensis</i>	5.90	14.71	20.61	
	<i>L. kaempferi</i>	3.84	9.29	13.13	
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	4.33	11.33	15.66	
	<i>Quercus</i>	2.33	5.66	7.66	
	Mean	3.96	10.13	14.02	
Chemical 10	<i>P. densiflora</i>	7.29		7.29	
	<i>P. koraiensis</i>	10.90		10.90	
	<i>L. kaempferi</i>	9.34		9.34	
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	10.01		10.01	
	<i>Quercus</i>	7.77		7.77	
	Mean	9.06		9.06	

Chemical 1 - NH_4NO_3 , Chemical 2 - K_3PO_4 , Chemical 3 - K_2HPO_4 , Chemical 4 - $(\text{NH}_4)_6[\text{Mo}_7\text{O}_{24}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Chemical 5 - $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$, Chemical 6 - KNO_3 , Chemical 7 - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, Chemical 8 - $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, Chemical 9 - $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, Chemical 10 - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Chemical 11 - P_2O_5 ; 52% (P: 22.7%) K_2O : 34% (K: 28%)



Pd: *P. densiflora*, Pk: *P. koraiensis*, Lk: *L. kaempferi*, Pt: *P. tomentiglandulosa*, Q: *Quercus*

Fig. 52. Nutrient content in woodchip fertilizers treated with different single chemicals

5) 2회 주입 처리에 의한 혼합시약의 목재칩비료 내 함유량

위 실험에서는 혼합시약별로 생성되는 액체와 침전물은 보관방법에 따라 실험한 결과 N 함유량은 혼합시약 5의 소나무에서 17.94%로 가장 높게 나타났고, P₂O₅ 함유량은 혼합시약 6의 은사시나무에서 19.16%로 가장 높게 나타났으며, 같은 혼합시약의 잣나무에서 K₂O 함유량이 19.34%로 가장 높게 나타났다.

수종에 관계없이 혼합시약별로 N 함유량은 혼합시약 5에서 가장 높게 나타났으며, 혼합시약 4, 혼합시약 6, 혼합시약 3 순으로 높게 나타났다. P₂O₅ 함유량은 혼합시약 6에서 가장 높게

나타났으며, 혼합시약 3, 혼합시약 5, 혼합시약 4 순으로 높게 나타났다. K₂O 함유량은 혼합시약 6에서 가장 높게 나타났으며, 혼합시약 5, 혼합시약 3, 혼합시약 4 순으로 높게 나타났다. 5개 수종의 N 함유량을 평균하면 혼합시약 5에서 15.8%로 가장 높게 나타났으며, P₂O₅, K₂O 함유량은 혼합시약 6에서 각각 평균 10.73%, 13.61%로 가장 높게 나타났다.

Table 37. Nutrient content in woodchip fertilizers treated with compound chemicals

Compounds	Wood species	Content(%)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
Compound 3	<i>P. densiflora</i>	9.94	6.82	8.05	24.81
	<i>P. koraiensis</i>	14.85	4.46	5.26	24.57
	<i>L. kaempferi</i>	12.43	4.86	5.05	22.34
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	10.16	4.27	5.06	19.49
	<i>Quercus</i>	8.84	5.05	4.37	18.26
	Mean	11.24	5.09	5.56	21.89
Compound 4	<i>P. densiflora</i>	8.90	13.84	14.45	37.19
	<i>P. koraiensis</i>	10.36	9.15	15.54	35.05
	<i>L. kaempferi</i>	8.14	8.25	9.26	25.65
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	9.74	8.06	9.26	27.06
	<i>Quercus</i>	5.96	8.26	5.95	20.17
	Mean	8.62	9.51	10.89	29.02
Compound 5	<i>P. densiflora</i>	17.94	8.45	5.45	31.84
	<i>P. koraiensis</i>	16.87	5.71	3.75	26.33
	<i>L. kaempferi</i>	16.27	8.84	3.85	28.96
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	17.25	6.60	5.05	28.90
	<i>Quercus</i>	10.67	4.06	2.64	17.37
	Mean	15.8	6.73	4.15	26.68
Compound 6	<i>P. densiflora</i>	9.54	9.86	14.46	33.86
	<i>P. koraiensis</i>	9.66	8.84	19.34	37.84
	<i>L. kaempferi</i>	9.40	9.56	8.94	27.90
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	9.36	19.16	16.26	44.78
	<i>Quercus</i>	6.36	6.25	9.05	21.66
	Mean	8.86	10.73	13.61	33.21
Mean	<i>P. densiflora</i>	11.57	9.74	10.60	31.91
	<i>P. koraiensis</i>	12.93	7.04	10.23	30.20
	<i>L. kaempferi</i>	11.56	7.88	6.77	26.21
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	11.63	9.52	8.91	30.06
	<i>Quercus</i>	7.96	5.91	5.50	19.37
	Mean	11.13	8.02	8.40	27.55

Compound 3 : {K₃PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄} + 10(NH₄NO₃)

Compound 4 : 10(NH₄NO₃) + {K₃PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄}

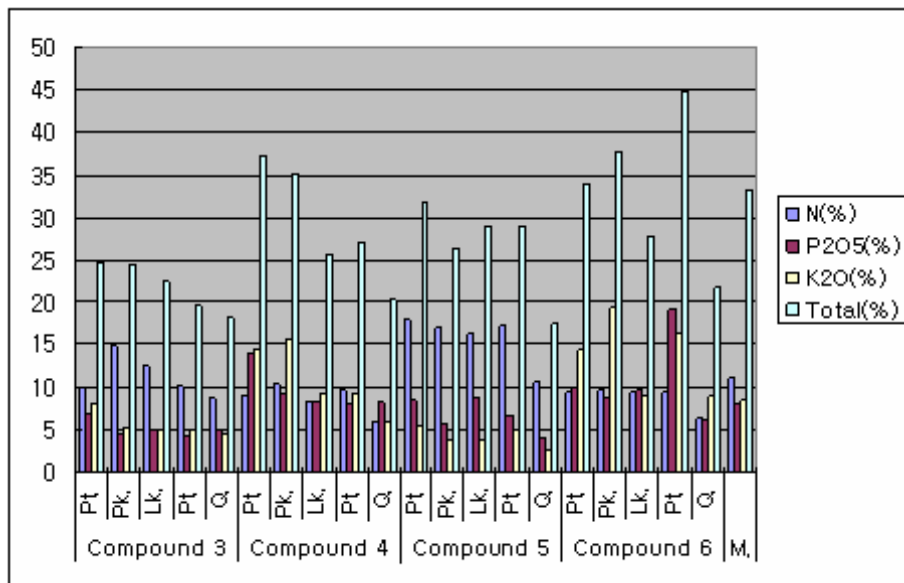
Compound 5 : {K₃PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄} + 17(NH₄NO₃)

Compound 6 : 17(NH₄NO₃) + {K₃PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄}

수종별로 비교하면 N 함유량은 잣나무에서 가장 높게 나타났으며, 참나무속에서 가장 적게 나타났고, 그다음 낙엽송, 소나무, 은사시나무 순으로 높게 나타났다. P₂O₅ 함유량은 소나무에서 가장 높게 나타났으며, 참나무속에서 가장 낮았고, 잣나무, 낙엽송, 은사시나무 순이었다. K₂O 함유량은 소나무에서 가장 높게 나타났으며, 참나무속에서 가장 낮은 수치를 보였으며, 낙엽송, 은사시나무, 잣나무 순으로 높게 나타났다. N 함유량은 잣나무에서 12.93%로 가장 높게 나타났으며, P₂O₅, K₂O 함유량은 소나무에서 각각 9.74%, 10.60%로 가장 높게 나타났다. 그러므로

대체적으로 소나무에서 함유량이 높게 나타난 것을 알 수 있었다.

혼합시약별로 N, P₂O₅, K₂O의 합계를 비교하자면 혼합시약 3, 4, 5에서 N, P₂O₅, K₂O의 합계는 소나무에서 각각 24.81%, 37.19%, 31.84%로 높게 나타났다. 혼합시약 6에서 N, P₂O₅, K₂O의 합계는 은사시나무에서 44.78%로 높게 나타났다. 대체적으로 N, P₂O₅, K₂O의 합계도 소나무에서 높은 수치(평균 31.91%)를 나타냈다. 수종별로 N, P₂O₅, K₂O 합계를 비교하자면 소나무에서 N, P₂O₅, K₂O의 합계는 혼합시약 4에서 가장 높게 나타났고, 낙엽송에서의 N, P₂O₅, K₂O 합계는 혼합시약 5에서 가장 높게 나타났으며, 잣나무, 은사시나무, 참나무속에서 N, P₂O₅, K₂O 합계는 혼합시약 6에서 가장 높게 나타났다. 그러므로 혼합시약들 중 N, P₂O₅, K₂O 합계 평균은 혼합시약 6에서 33.21%로 가장 높게 나타났다.



Pd: *P. densiflora*, Pk: *P. koraiensis*, Lk: *L. kaempferi*, Pt: *P. tomentiglandulosa*, Q: *Quercus*

Fig. 53. Nutrient content in woodchip fertilizers treated with four compound chemicals

6) 6개의 시약 선정 및 가압 조건에 따른 목재칩비료 내 함유량

위의 실험 결과를 종합 분석하여 6개의 시약을 선정했으며, 이들 6개의 시약을 조건별로 가압주입처리 했다. 그 결과 N, P₂O₅, K₂O의 전체 평균 주입량은 24.57%로 나타났으며, 5kgf/cm²에서 24.70%, 10kgf/cm²에서 23.32%, 15kgf/cm²에서 24.57%로서 차이가 인정되지 않았다. 또한, 압력시간별 차이를 조사한 결과 60분에서 25.04%, 120분에서 23.76%, 180분에서 23.79%로서 차이가 인정되지 않았다. 성분별 평균 주입량은 P₂O₅가 18.38%로서 가장 높게 나타났으며, K₂O가 10.13%주입되었고, N이 7.79%로서 가장 낮은 주입량을 나타냈다. 한편 개개의 주입시약별로 살펴보면 K₄P₂O₇이 34.41%로 가장 높게 나타났고, compound가 32.23%, (NH₄)₂HPO₄가 28.27%, K₃PO₄가 24.67%, NH₄NO₃가 14.43%, KNO₃가 11.17%의 순이었다. 수종별로 주입량을 분석하면 은사시나무가 27.88%로 가장 높게 나타났으며, 참나무속이 17.02%로서 가장 낮은 값을 나타냈다. 잣나무, 소나무, 낙엽송은 각각 24.80%, 25.84%, 25.45%로서 은사시나무와 참나무속의 중간 값을 나타냈으며, 이들 3수종간의 차이는 인정되지 않았다.

Table 38. Nutrient content in woodchip fertilizers treated with six chemicals at different pressure

Chemicals	Species	N(%)				P ₂ O ₅ (%)				K ₂ O(%)				Total(%)			
		5 kg/cm ²	10 kg/cm ²	15 kg/cm ²	Mean	5 kg/cm ²	10 kg/cm ²	15 kg/cm ²	Mean	5 kg/cm ²	10 kg/cm ²	15 kg/cm ²	Mean	5 kg/cm ²	10 kg/cm ²	15 kg/cm ²	Mean
NH ₄ NO ₃	<i>P. koraiensis</i>	13.45	16.06	16.05	15.18									13.45	16.06	16.05	15.18
	<i>P. densiflora</i>	15.59	13.14	12.85	13.86									15.59	13.14	12.85	13.86
	<i>L. kaempferi</i>	16.33	14.15	17.37	15.95									16.33	14.15	17.37	15.95
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	15.77	17.19	17.46	16.85									15.77	17.19	17.46	16.85
	<i>Quercus</i>	9.98	8.99	11.94	10.31									9.98	8.99	11.94	10.31
	Mean		14.23	13.91	15.16	14.43								14.23	13.91	15.16	14.43
K ₃ PO ₄	<i>P. koraiensis</i>					13.90	13.93	15.01	14.28	11.26	9.67	10.55	10.49	25.16	23.60	25.56	24.77
	<i>P. densiflora</i>					17.40	15.22	13.80	15.47	12.00	10.29	10.53	11.27	29.40	25.51	24.33	26.74
	<i>L. kaempferi</i>					16.15	15.34	14.66	15.38	12.80	9.36	9.48	10.55	28.95	24.70	24.14	25.93
	<i>P. tomentiglandulosa</i>					17.16	16.78	15.94	16.65	13.25	10.78	11.32	11.78	30.41	27.56	27.26	28.43
	<i>Quercus</i>					10.86	9.90	10.59	10.45	7.46	6.83	6.70	7.00	18.32	16.73	17.29	17.45
	Mean					15.09	14.25	14.00	14.45	11.55	9.39	9.72	10.22	26.64	23.64	23.72	24.67
K ₄ P ₂ O ₇	<i>P. koraiensis</i>					21.91	20.45	17.36	19.91	15.31	12.65	13.82	13.92	37.22	33.10	31.18	33.83
	<i>P. densiflora</i>					24.86	22.47	21.62	22.98	17.93	13.82	13.51	15.08	42.79	36.29	35.13	38.06
	<i>L. kaempferi</i>					24.31	24.58	19.48	22.79	16.34	12.70	11.63	13.56	40.65	37.28	31.11	36.35
	<i>P. tomentiglandulosa</i>					23.85	24.43	22.59	23.62	15.58	14.49	15.47	15.18	39.43	38.92	38.06	38.80
	<i>Quercus</i>					15.33	15.90	14.82	15.35	9.30	10.03	9.62	9.65	24.63	25.93	24.44	25.00
	Mean					22.05	21.57	19.17	20.93	14.89	12.74	12.81	13.48	36.94	34.31	31.98	34.41
KNO ₃	<i>P. koraiensis</i>	2.44	4.17	5.69	4.10					5.03	8.71	10.25	8.00	7.47	12.88	15.94	12.10
	<i>P. densiflora</i>	3.12	3.88	5.41	4.14					5.98	7.71	9.32	8.33	9.10	11.59	14.73	12.47
	<i>L. kaempferi</i>	3.71	4.75	5.23	4.56					5.65	7.91	8.15	7.24	9.36	12.66	13.38	11.80
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	3.87	3.84	5.10	4.27					7.35	7.93	9.23	8.17	11.22	11.77	14.33	12.44
	<i>Quercus</i>	1.49	2.42	3.40	2.44					4.25	4.90	4.62	4.59	5.74	7.32	8.02	7.06
	Mean	2.93	3.81	4.96	3.90					5.65	7.83	8.31	7.27	8.58	11.64	13.27	11.17
(NH ₄) ₂ HPO ₄	<i>P. koraiensis</i>	6.32	4.28	9.30	6.63	23.12	19.35	21.94	21.47					29.44	23.63	31.24	28.10
	<i>P. densiflora</i>	7.45	4.71	9.49	7.22	24.52	21.48	22.67	22.89					31.97	26.19	32.16	30.11
	<i>L. kaempferi</i>	7.16	4.95	7.53	6.55	25.05	22.50	22.74	23.43					32.21	27.45	30.27	29.98
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	9.47	5.41	11.70	8.86	26.61	23.71	23.76	24.70					36.08	29.12	35.46	33.56
	<i>Quercus</i>	4.12	3.99	7.41	5.17	5.08	15.43	12.59	14.42					9.20	19.42	20.00	19.59
	Mean	6.91	4.67	9.09	6.89	22.91	20.49	20.74	21.38					29.82	25.16	29.83	28.27
Compound	<i>P. koraiensis</i>	6.61	5.74	7.55	6.63	18.61	17.69	16.34	17.55	10.79	9.85	11.22	10.62	36.01	33.28	35.11	34.80
	<i>P. densiflora</i>	7.29	5.87	7.71	6.96	18.47	16.30	16.57	17.11	8.88	9.75	10.53	9.72	34.64	31.92	34.81	33.79
	<i>L. kaempferi</i>	5.71	6.34	6.43	6.16	17.83	18.71	15.72	17.42	8.01	9.10	10.14	9.08	31.55	34.15	32.29	32.66
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	5.08	4.41	6.99	5.49	19.87	19.59	20.99	20.15	11.55	11.30	11.81	11.55	36.50	35.30	39.79	37.19
	<i>Quercus</i>	3.93	3.22	6.21	4.45	11.20	12.01	11.56	11.59	6.00	6.47	7.49	6.65	21.13	21.70	25.26	22.69
	Mean	5.73	5.11	6.98	5.94	17.20	16.86	16.24	16.76	9.04	9.29	10.24	9.53	31.97	31.26	33.46	32.23
Mean	<i>P. koraiensis</i>	7.21	7.56	9.65	8.14	19.39	17.86	17.66	18.30	10.60	10.22	11.46	10.76	24.80	23.76	25.85	24.80
	<i>P. densiflora</i>	8.36	6.90	8.87	8.05	21.31	18.87	18.67	19.61	11.20	10.39	10.97	11.10	27.25	24.11	25.67	25.84
	<i>L. kaempferi</i>	8.23	7.55	9.14	8.31	20.84	20.28	18.15	19.76	10.70	9.77	9.85	10.11	26.51	25.07	24.76	25.45
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	8.55	7.71	10.31	8.87	21.87	21.13	20.82	21.28	11.93	11.13	11.96	11.67	28.24	26.64	28.73	27.88
	<i>Quercus</i>	4.88	4.66	7.24	5.60	10.62	13.31	12.39	12.95	6.75	7.06	7.11	6.97	14.83	16.68	17.83	17.02
	Mean	7.45	6.88	9.05	7.79	19.31	18.29	17.54	18.38	10.28	9.81	10.27	10.13	24.70	23.32	24.57	24.20

Compound: 17(NH₄NO₃) + [K₃PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄]

Table 39. Nutrient content in woodchip fertilizers treated with six chemicals at different retention time

Chemicals	Species	N(%)				P ₂ O ₅ (%)				K ₂ O(%)				Total(%)			
		60 Min.	120 Min.	180 Min.	Mean	60 Min.	120 Min.	180 Min.	Mean	60 Min.	120 Min.	180 Min.	Mean	60 Min.	120 Min.	180 Min.	Mean
NH ₄ NO ₃	<i>P. koraiensis</i>	12.61	16.29	16.65	15.18									12.61	16.29	16.65	15.18
	<i>P. densiflora</i>	13.85	13.85	13.89	13.86									13.85	13.85	13.89	13.86
	<i>L. kaempferi</i>	14.91	17.58	15.36	15.95									14.91	17.58	15.36	15.95
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	14.94	19.38	16.22	16.85									14.94	19.38	16.22	16.85
	<i>Quercus</i>	10.17	10.47	10.28	10.31									10.17	10.47	10.28	10.31
	Mean		13.30	15.51	14.48	14.43								13.30	15.51	14.48	14.43
K ₃ PO ₄	<i>P. koraiensis</i>					13.33	16.48	13.03	14.28	10.98	11.82	8.67	10.49	24.31	28.30	21.70	24.77
	<i>P. densiflora</i>					16.87	14.10	15.45	15.47	12.44	10.25	11.12	11.27	29.31	24.35	26.57	26.74
	<i>L. kaempferi</i>					14.11	16.03	16.00	15.38	11.10	11.55	9.00	10.55	25.21	27.58	25.00	25.93
	<i>P. tomentiglandulosa</i>					17.17	17.23	15.55	16.65	13.49	12.15	9.70	11.78	30.66	29.38	25.25	28.43
	<i>Quercus</i>					8.78	11.05	11.52	10.45	6.25	8.23	6.51	7.00	15.03	19.28	18.03	17.45
	Mean					14.05	14.98	14.31	14.45	10.85	10.80	9.00	10.22	24.90	25.78	23.31	24.67
K ₄ P ₂ O ₇	<i>P. koraiensis</i>					22.06	17.81	19.85	19.91	14.51	13.33	13.93	13.92	37.19	31.14	33.78	33.83
	<i>P. densiflora</i>					21.68	22.39	23.54	22.98	16.50	15.14	13.61	15.08	38.18	37.53	37.15	38.06
	<i>L. kaempferi</i>					23.08	20.35	24.94	22.79	15.51	12.51	12.66	13.56	38.59	32.86	37.60	36.35
	<i>P. tomentiglandulosa</i>					24.15	23.23	23.49	23.62	16.42	15.84	13.27	15.18	40.57	39.07	36.76	38.80
	<i>Quercus</i>					17.32	15.24	13.49	15.35	10.20	10.34	8.42	9.65	27.52	25.58	21.91	25.00
	Mean					21.92	19.81	21.06	20.93	14.63	13.43	12.38	13.48	36.55	33.24	33.44	34.41
KNO ₃	<i>P. koraiensis</i>	5.60	2.45	4.25	4.10					7.63	7.04	9.32	8.00	13.23	9.49	13.57	12.10
	<i>P. densiflora</i>	4.99	3.52	3.90	4.14					5.87	10.72	8.42	8.33	10.86	14.24	12.32	12.47
	<i>L. kaempferi</i>	5.00	4.03	4.66	4.56					8.11	6.76	6.84	7.24	13.11	10.79	11.50	11.80
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	4.95	3.38	4.48	4.27					8.59	6.77	9.14	8.17	13.54	10.15	13.62	12.44
	<i>Quercus</i>	2.80	1.78	1.06	2.44					4.00	4.54	5.27	4.59	6.80	6.32	6.33	7.03
	Mean	4.67	3.03	4.00	3.90					6.83	7.17	7.80	7.27	11.50	10.20	11.80	11.17
(NH ₄) ₂ HPO ₄	<i>P. koraiensis</i>	8.86	3.97	7.08	6.63	25.43	16.4	22.58	21.47					34.29	20.37	29.66	28.10
	<i>P. densiflora</i>	8.64	5.86	7.16	7.22	25.81	20.52	22.33	22.89					34.45	26.38	29.49	30.11
	<i>L. kaempferi</i>	7.31	5.99	6.34	6.55	25.20	22.62	22.46	23.43					32.51	28.61	28.80	29.98
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	13.42	5.94	7.22	8.86	26.18	23.96	23.95	24.70					39.60	29.90	31.17	33.56
	<i>Quercus</i>	6.24	3.62	5.66	5.17	14.69	14.21	14.40	14.42					20.93	17.83	20.06	19.59
	Mean	8.89	5.08	6.69	6.89	23.46	19.54	21.13	21.38					32.35	24.62	27.82	28.27
Compound	<i>P. koraiensis</i>	7.01	7.56	5.33	6.63	19.47	18.94	14.23	17.55	12.16	10.98	8.72	10.62	38.64	37.48	28.28	34.80
	<i>P. densiflora</i>	6.71	7.09	7.07	6.96	16.04	18.43	16.87	17.11	8.64	10.51	10.0	9.72	31.39	36.03	33.94	33.79
	<i>L. kaempferi</i>	6.06	6.57	5.85	6.16	16.37	17.70	18.19	17.42	7.91	9.87	9.48	9.08	30.34	34.14	33.52	32.66
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	6.04	4.76	5.68	5.49	19.33	19.78	21.35	20.15	10.94	10.69	13.02	11.55	36.31	35.23	40.05	37.19
	<i>Quercus</i>	3.32	4.23	5.81	4.45	11.56	12.00	11.20	11.59	6.50	6.86	6.60	6.65	21.38	23.09	23.61	22.69
	Mean	5.83	6.04	5.95	5.94	16.55	17.37	16.37	16.76	9.23	9.78	9.56	9.53	31.61	33.19	31.88	32.23
Mean	<i>P. koraiensis</i>	8.52	7.57	8.33	8.14	20.07	17.41	17.42	18.30	11.32	10.79	10.16	10.76	26.61	23.85	23.94	24.80
	<i>P. densiflora</i>	8.55	7.58	8.01	8.05	20.10	18.86	19.55	19.62	10.86	11.66	10.79	11.10	26.34	25.40	25.56	25.84
	<i>L. kaempferi</i>	8.32	8.54	8.055	8.31	19.69	19.18	20.40	19.76	10.66	10.17	9.50	10.11	25.78	25.26	25.30	25.45
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	9.84	8.365	8.40	8.87	21.71	21.05	21.09	21.28	12.36	11.36	11.28	11.67	29.27	27.19	27.18	27.88
	<i>Quercus</i>	5.63	5.03	5.70	5.59	13.09	13.13	12.65	12.95	6.74	7.49	6.70	6.97	16.97	17.10	16.70	17.01
	Mean	8.17	7.41	7.78	7.79	18.99	17.92	18.22	18.38	10.39	10.30	9.69	10.13	25.04	23.76	23.79	24.20

Compound: 17(NH₄NO₃) + [K₃PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄]

따라서 결론 적으로 압력 및 압력시간에 따른 차이는 없었으며, 수종별로는 은사시나무가 가장 많이 주입되었고, 참나무속이 가장 적게 주입되었다. 주입 시약별로는 K₄P₂O₇이 가장 많이 주입되었고, KNO₃가 가장 적게 주입되었다.

7) 결과

시용효과용 목재칩비료의 비료 성분 함유량은 질소의 침투량은 은사시나무> 소나무> 혼합수종> 참나무속 순이었고, 인산의 침투량은 은사시나무> 소나무> 혼합수종> 참나무속 순이었으며, 가리의 침투량은 은사시나무> 참나무속> 소나무> 혼합수종 순이었다. 9개 수종의 수종별 목재칩비료 내 함유량을 비교한 결과 은사시나무의 침투율이 가장 높고, 아까시나무의 침투율이 가장 낮았다. 아까시나무 다음으로 침투도가 낮은 것은 참나무속, 밤나무, 낙엽송 순이었다. 활엽수의 산공재인 물오리나무는 은사시나무보다 낮은 경향을 보이고 있고, 침엽수 중에서는 낙엽송이 어렵게 침투되고, 나머지 수종은 유의 수준 범위 내에서 차이가 나타나지만 소나무, 리기다소나무, 잣나무 순이었다. 생재와 건재를 비교한 결과 N의 함유량 생재보다 건재가 약 25%정도 낮았고, P₂O₅와 K₂O는 차이가 없었다. 11개의 시약으로 침투량을 비교한 결과 P₂O₅와 K₂O의 침투량은 Chemical 2 와 Chemical 3에서 높게 나타났고, N은 Chemical 1에서 가장 높게 나타났다. 2회 주입방법에 의한 침투도는 Compound 6에서 가장 높게 나타났다. 압력 및 압력시간에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다.

마. 시약 및 수종별 간이 용출

1) 단일 시약처리에 의한 소형 목재칩비료와 시약의 용출

시약별 수종용출 양상을 짧은 시간 내에 파악하고자 0.5g 이하의 소형 목재칩비료를 사용했다. 11개 시약의 포화용액을 5수종에 가압법으로 처리한 목재칩비료의 소편(0.5g 이하)을 물에 침적하여 수종 용출 실험한 결과 단일시약 1에서는 N의 경우 참나무속에서 가장 느리게 용출되었으며, 잣나무, 소나무, 낙엽송, 은사시나무 순으로 빠르게 용출되었다. 단일시약 2에서는 P₂O₅의 경우 소나무에서 가장 낮은 수치를 보였으며, 낙엽송, 참나무류, 잣나무, 은사시나무순으로 용출속도가 빨라졌다. K₂O의 경우 소나무에서 가장 느린 용출속도를 나타냈으며, 낙엽송, 잣나무, 참나무속, 은사시나무순으로 빠르게 용출되었다. 소나무에서 P₂O₅, K₂O 용출속도가 가장 낮은 수치가 나왔다. 단일시약 3에서는 P₂O₅의 경우 잣나무에서 가장 느리게 용출되었으며 낙엽송, 참나무속, 소나무, 은사시나무 순으로 용출되었다. K₂O의 경우 잣나무에서 가장 낮은 수치를 보였으며, 참나무, 낙엽송, 소나무, 은사시나무 순으로 빠르게 용출되었다. 5수종 중 잣나무에서 용출속도가 가장 느리게 용출된 것을 알 수 있었다.

단일시약 4에서는 N의 경우 낙엽송에서 가장 낮은 수치를 나타냈으며, 잣나무, 참나무속, 은사시나무, 소나무순으로 높은 용출속도를 나타냈다. 단일시약 5에서는 P₂O₅의 경우 낙엽송에서 가장 느리게 용출되었으며, 잣나무, 참나무속, 은사시나무, 소나무순으로 빠르게 용출되었다. K₂O의 경우 잣나무에서 가장 용출속도가 느렸으며, 낙엽송, 참나무속, 소나무, 은사시나무 순으로 용출속도가 빠르게 나타났다. P₂O₅와 K₂O는 낙엽송과 잣나무에서 느린 용출속도를 보였다.

단일시약 6에서는 N의 경우 참나무속에서 가장 느린 용출속도를 나타냈으며, 소나무, 은사시나무, 낙엽송, 잣나무 순으로 빠른 용출속도를 나타냈다. K₂O의 경우 참나무속에서 가장 낮은 수치를 보였으며, 낙엽송, 잣나무, 은사시나무, 소나무 순으로 높은 수치를 보였다. 참나무속의 용출속도가 가장 느린 것으로 나타났다.

단일시약 7에서는 N의 경우 잣나무에서 가장 느리게 용출되었으며, 참나무, 은사시나무, 낙엽송, 소나무순으로 빠르게 용출되었다. P₂O₅의 경우 잣나무에서 가장 낙엽송, 은사시나무, 참나무,

소나무 순으로 용출되었다. N과 P₂O₅ 모두 잣나무의 용출속도가 가장 느린 것으로 나타났다.

단일시약 8에서는 N의 경우 은사시나무에서 가장 낮은 수치를 보였으며, 낙엽송, 잣나무, 참나무속, 소나무 순으로 높은 수치를 보였다. P₂O₅의 경우 은사시나무에서 가장 느리게 용출되었으며, 낙엽송, 잣나무, 참나무속, 소나무순으로 빠르게 용출되었다. N과 P₂O₅ 모두 은사시나무의 용출속도가 가장 느린 것으로 나타났다. 단일시약 9에서는 N과 P₂O₅ 모두 소나무에서 가장 느린 용출속도를 보였으며, 참나무속, 은사시나무, 낙엽송, 잣나무 순으로 빠른 용출속도를 보였다. 단일시약 10에서는 N의 경우 낙엽송에서 가장 느리게 용출되었으며 참나무류, 잣나무, 은사시나무, 소나무 순으로 빠르게 용출되었다.

단일시약 11에서는 P₂O₅의 경우 잣나무에서 가장 느린 용출속도를 보였으며 참나무속, 소나무, 낙엽송, 은사시나무 순으로 빠른 용출속도를 보였다. K₂O의 경우 참나무에서 가장 느리게 용출되었고 잣나무, 낙엽송, 소나무, 은사시나무 순으로 빨라졌다. P₂O₅와 K₂O에서는 잣나무와 참나무속에서 느린 용출속도를 나타냈다.

5수종 중심으로 단일시약들의 평균을 비교하면 N의 경우 참나무속에서 가장 느리게 용출되었으며, 낙엽송, 은사시나무, 잣나무, 소나무 순으로 빠르게 용출되었다. P₂O₅의 경우 잣나무에서 가장 낮은 수치를 보였으며, 참나무속, 낙엽송, 소나무, 은사시나무 순으로 높은 수치를 보였다. K₂O의 경우 참나무속에서 가장 느린 용출속도를 나타냈으며, 잣나무, 낙엽송, 소나무, 은사시나무 순으로 빠른 용출속도를 나타냈다. 전체적으로 참나무속에서 가장 느리게 용출되었으며, 소나무, 은사시나무에서 가장 빠르게 용출되었다.

수종별로 용출속도를 비교하자면 소나무에서의 N의 경우 단일시약 9에서 가장 느리게 용출되었으며, 단일시약4, 단일시약6, 단일시약7, 단일시약10, 단일시약1, 단일시약8 순으로 빠르게 용출되었다. P₂O₅의 경우 단일시약9에서 가장 낮은 수치를 나타냈으며, 단일시약11, 단일시약2, 단일시약3, 단일시약7, 단일시약8, 단일시약5 순으로 높은 수치를 나타냈다. K₂O의 경우 단일시약2에서 가장 느린 용출속도를 나타냈고, 단일시약3, 단일시약11, 단일시약5, 단일시약6 순으로 빠른 용출속도를 나타냈다.

잣나무에서의 N의 경우 단일시약4에서 가장 느리게 용출되었으며, 단일시약7, 단일시약9, 단일시약6, 단일시약1, 단일시약8, 단일시약10 순으로 빠르게 용출되었다. P₂O₅의 경우 단일시약11에서 가장 낮은 수치를 보였으며, 단일시약3, 단일시약7, 단일시약5, 단일시약2, 단일시약9, 단일시약8 순으로 높은 수치를 보였다. K₂O의 경우 단일시약3에서 가장 늦은 용출속도를 보였으며, 단일시약11, 단일시약5, 단일시약2, 단일시약6 순으로 높은 용출속도를 보였다. 낙엽송에서의 N의 경우 단일시약4에서 가장 낮은 수치를 나타냈으며 단일시약10, 단일시약9, 단일시약8, 단일시약6, 단일시약7, 단일시약1 순으로 높은 수치를 나타냈다. P₂O₅의 경우 단일시약9에서 가장 느리게 용출되었으며, 단일시약5, 단일시약3, 단일시약7, 단일시약11, 단일시약2, 단일시약8 순으로 용출되었다. K₂O의 경우 단일시약5에서 가장 느린 용출속도를 보였으며, 단일시약3, 단일시약6, 단일시약2, 단일시약11 순으로 용출속도가 빨라졌다.

은사시나무에서의 N의 경우 단일시약4에서 가장 느리게 용출되었고 단일시약9, 단일시약8, 단일시약7, 단일시약6, 단일시약10, 단일시약1 순으로 용출되었다. P₂O₅의 경우 단일시약9에서 가장 낮은 값이 나왔으며, 단일시약8, 단일시약11, 단일시약7, 단일시약3, 단일시약2, 단일시약5 순으로 높은 값이 나왔다. K₂O의 경우 단일시약2에서 가장 느린 용출속도를 보였으며,

단일시약11, 단일시약6, 단일시약3, 단일시약5 순으로 빠른 용출속도를 보였다.

Table 40. Nutrient releasing rate from woodchip fertilizer treated with different single chemicals

Specific name	Soaking time (hrs)	Releasing(%)																																																																																																																										
		1			2			3			4			5			6			7			8			9			10			11																																																																																												
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O																																																																																														
<i>P. densiflora</i>	6	91.7	69.2	75.1	70.7	75.8	84.8	90.6	91.0	87.8	88.1	83.7	74.6	90.9	84.5	68.1	60.7	89.8	66.5	75.1	12	6.4	20.7	18.0	21.4	19.7	10.2	5.4	6.2	7.3	9.5	12.4	19.5	7.4	10.8	19.8	22.5	8.3	22.3	21.0	24	1.2	7.1	5.2	4.7	3.6	2.7	2.1	1.0	2.5	1.6	2.6	4.6	1.2	3.1	7.7	11.2	1.2	7.3	2.8	48	0.5	2.9	1.3	3.2	0.6	1.7	1.9	1.6	2.4	0.4	1.0	1.4	0.3	1.6	2.4	5.2	0.6	3.8	0.7	96	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.0	0.8	0.2	0.0	0.1	0.2	192	0.1	0.0	0.2	0.0	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.0	1.2	0.2	0.0	0.0	0.2				
	<i>P. koraiensis</i>	6	86.9	77.0	82.1	62.9	70.9	66.8	75.3	69.3	89.3	85.6	83.4	73.8	87.3	81.5	83.3	77.0	86.2	53.9	66.0	12	9.8	15.3	13.5	17.2	15.1	16.4	16.3	21.8	6.6	11.3	9.4	16.0	9.5	12.1	12.5	15.8	11.2	23.4	22.9	24	1.6	4.8	3.1	9.89	7.2	9.8	6.2	7.1	1.9	2.2	3.9	6.7	2.5	4.71	2.6	4.8	2.1	15.6	7.8	48	1.5	2.9	0.9	8.9	4.7	4.9	2.1	1.5	2.1	0.5	2.0	3.2	0.4	1.6	0.8	2.4	0.5	6.5	2.9	96	0.1	0.1	0.2	0.7	1.1	1.1	0.1	0.2	0.0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.5	0.2	192	0.1	0.0	0.2	0.4	1.0	1.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.7	0.1	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1	0.2			
		<i>L. kaempferi</i>	6	90.9	76.2	80.5	68.4	75.1	66.0	72.8	73.3	85.3	82.6	83.1	67.9	81.4	70.1	78.5	65.1	79.7	71.8	82.9	12	7.4	15.2	15.1	21.1	18.6	16.0	16.2	19.0	9.4	12.3	12.0	22.2	13.2	21.8	15.8	22.7	14.6	18.9	13.0	24	1.2	5.1	3.0	7.2	5.1	9.7	5.1	4.8	3.2	3.5	3.4	7.2	4.5	5.9	3.9	8.2	4.8	6.0	2.9	48	0.4	3.4	1.0	3.2	0.7	5.6	5.7	2.2	2.0	1.1	1.2	2.8	0.6	2.1	0.9	3.9	0.9	3.2	1.0	96	0.1	0.0	0.2	0.1	0.2	1.5	0.1	0.3	0.0	0.3	0.2	0.0	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	192	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	1.2	0.1	0.4	0.0	0.3	0.2	0.0	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2		
			<i>P. tomentiglandulosa</i>	6	91.8	77.8	83.5	83.0	89.6	75.1	86.7	88.4	88.4	88.5	84.3	77.4	79.4	69.6	74.7	65.2	86.5	72.9	82.2	12	6.7	16.6	12.9	10.3	7.8	13.3	8.4	10.0	6.8	8.5	10.3	14.2	13.9	20.2	16.1	20.8	11.2	18.3	14.6	24	1.1	3.3	2.3	3.6	1.5	6.6	2.8	0.9	2.5	1.8	3.6	5.6	5.1	7.4	6.3	9.6	1.8	5.7	2.2	48	0.3	2.3	0.9	3.0	0.7	3.7	2.0	0.5	2.3	0.7	1.4	2.7	1.1	2.7	1.8	4.1	0.5	3.0	0.6	96	0.1	0.0	0.2	0.1	0.2	0.7	0.0	0.1	0.0	0.3	0.2	0.0	0.3	0.1	0.6	0.2	0.0	0.1	0.1	192	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.5	0.0	0.1	0.0	0.3	0.2	0.0	0.2	0.0	0.5	0.1	0.0	0.1	0.2	
				<i>Quercus</i>	6	82.5	79.3	86.5	67.6	76.4	68.5	85.6	83.2	82.6	69.8	85.2	77.9	88.2	82.0	73.2	64.8	85.9	59.4	65.7	12	13.6	12.3	9.6	22.5	17.3	15.7	7.9	10.7	9.7	16.7	9.0	14.3	8.7	13.2	15.5	21.2	10.7	19.2	17.9	24	2.9	4.5	1.9	5.6	4.4	8.1	4.0	2.8	4.4	9.6	3.6	5.8	1.7	3.2	6.2	7.9	2.7	13.2	11.1	48	0.7	3.9	1.3	4.2	1.2	4.9	2.5	2.3	3.3	2.6	1.4	1.9	0.5	1.6	2.5	5.9	0.7	7.3	4.4	96	0.2	0.0	0.3	0.1	0.3	1.5	0.1	0.6	0.1	0.8	0.4	0.0	0.5	0.0	1.3	0.2	0.0	0.8	0.6	192	0.2	0.0	0.4	0.0	0.4	1.2	0.0	0.5	0.0	0.6	0.4	0.0	0.5	0.0	1.4	0.1	0.0	0.2	0.3
					Mean	6	88.8	75.9	81.5	70.5	77.6	72.3	82.2	81.0	86.7	82.9	83.9	74.3	85.4	77.6	75.6	66.6	85.6	64.9	74.4	12	8.8	16.0	13.8	18.5	15.7	14.3	10.8	13.5	8.0	11.7	10.6	17.2	10.5	15.6	15.9	20.6	11.2	20.4	17.9	24	1.6	4.9	3.1	6.2	4.4	7.4	4.1	3.3	2.9	3.7	3.4	6.0	3.0	4.9	5.3	8.3	2.5	9.6	5.4	48	0.7	3.1	1.1	4.5	1.6	4.2	2.8	1.6	2.4	1.0	1.4	2.4	0.6	1.9	1.7	4.3	0.6	4.7	1.9	96	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	1.0	0.1	0.3	0.0	0.4	0.3	0.1	0.2	0.0	0.7	0.1	0.0	0.3	0.2	192	0.1	0.0	0.2	0.1	0.4	0.9	0.0	0.2	0.0	0.3	0.3	0.0	0.2	0.0	0.8	0.1	0.0	0.1

Chemical 1-NH₄NO₃, Chemical 2-K₃PO₄, Chemical 3-K₂HPO₄, Chemical 4-(NH₄)₆ [Mo₇O₂₄] ·4H₂O, Chemical 5-K₄P₂O₇, Chemical 6-KNO₃, Chemical 7-NH₄H₂PO₄, Chemical 8-(NH₄)₂HPO₄, Chemical 9-(NH₄)₃PO₄·3H₂O, Chemical 10-Ca(NO₃)₂·4H₂O, Chemical 11-P₂O₅:52%(P: 22.7%)+K₂O:34%(K:28%)

참나무속에서의 N의 경우 단일시약4에서 가장 낮게 나왔으며, 단일시약9, 단일시약6, 단일시약7, 단일시약1, 단일시약10, 단일시약8 순으로 높게 나왔다. P₂O₅ 의 경우 단일시약11에서 가장 느리게 용출되었으며, 단일시약9, 단일시약3, 단일시약2, 단일시약7, 단일시약5, 단일시약8 순으로 빠르게 용출되었다. K₂O의 경우 단일시약11에서 가장 낮은 수치가 나왔으며, 단일시약6, 단일시약3, 단일시약5, 단일시약2 순으로 높은 수치가 나왔다.

단일시약 중심으로 5수종의 평균을 비교하면 N의 경우 단일시약4에서 가장 느리게

용출되었으며, 단일시약9, 단일시약7, 단일시약6, 단일시약8, 단일시약10, 단일시약1 순으로 빠르게 용출되었다. P₂O₅ 의 경우 단일시약11에서 가장 낮은 값이 나왔으며, 단일시약9, 단일시약3, 단일시약7, 단일시약2, 단일시약5, 단일시약8 순으로 높은 값이 나왔다. K₂O의 경우 단일시약11에서 가장 느린 용출속도를 보였으며, 단일시약3, 단일시약5, 단일시약6, 단일시약2 순으로 높은 용출속도를 보였다. 그러므로 단일시약 11에서 가장 느리게 용출된다는 결론을 얻을 수 있었다.

2) 9개 수종의 소형 목재칩비료의 용출

9개의 실험 대상 수종 중 용출속도가 가장 늦은 수종은 참나무속 이었다. 아까시나무의 용출속도가 참나무 보다 늦을 것으로 예상되었으나 실험 결과는 달랐다. 그 원인은 앞으로 계속 밝혀야 할 과제이다.

LV-SEM은 실험 결과를 빠르게 확인할 수 있는 장점이 있으므로 식물체 분석 방법을 대신하여 사용될 수 있는 방법 중에 하나이지만 아직까지 그 정확도를 검증하지 못하여 전통 방법 보다 신뢰도가 떨어진다. 그러나 본 연구는 목재내부와 외부를 나누어 침투량과 용출량을 측정할 필요가 있어 앞으로의 연구를 위하여 식물체 분석법과 병행하여 실시했다. 본 실험 결과 가장 문제시되는 것은 질소이었다. 질소는 LV-SEM 내에서 빠른 시간 내에 증발하므로 정확한 값을 구하기 어려웠다. 본 연구에서는 시편을 제작과 동시에 LV-SEM으로 측정했다. 그 결과는 다음의 표 및 그림과 같았다.

Table 41. Nutrient releasing rate from woodchip fertilizer to water at different soaking time

Wood species	Soaking time, hours	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O %
<i>P. koraiensis</i>	4	93.31	75.00	72.87
	12	98.64	95.67	94.99
	24	100.00	100.00	99.99
<i>P. densiflora</i>	4	92.27	82.54	75.33
	12	98.70	97.99	93.05
	24	100.00	100.03	100.00
<i>P. rigida</i>	4	91.62	77.22	75.30
	12	98.70	93.27	95.04
	24	100.00	100.00	100.03
<i>L. kaempferi</i>	4	91.56	80.02	79.00
	12	96.13	89.86	93.61
	24	100.00	100.00	100.00
<i>P. tomentiglandulosa</i>	4	89.52	78.36	74.36
	12	98.08	93.36	91.03
	24	100.00	100.00	100.00
<i>A. hirsuta</i>	4	88.95	79.24	77.25
	12	98.01	86.38	92.73
	24	100.00	100.00	100.00
<i>C. crenata</i>	4	88.35	78.56	76.39
	12	95.70	92.35	91.22
	24	100.00	99.99	100.00
<i>R. pseudoacacia</i>	4	87.38	74.00	73.81
	12	97.78	92.35	93.02
	24	100.00	99.99	100.00
<i>Quercus</i>	4	84.13	72.05	70.00
	12	91.09	90.03	95.36
	24	100.00	100.00	100.00

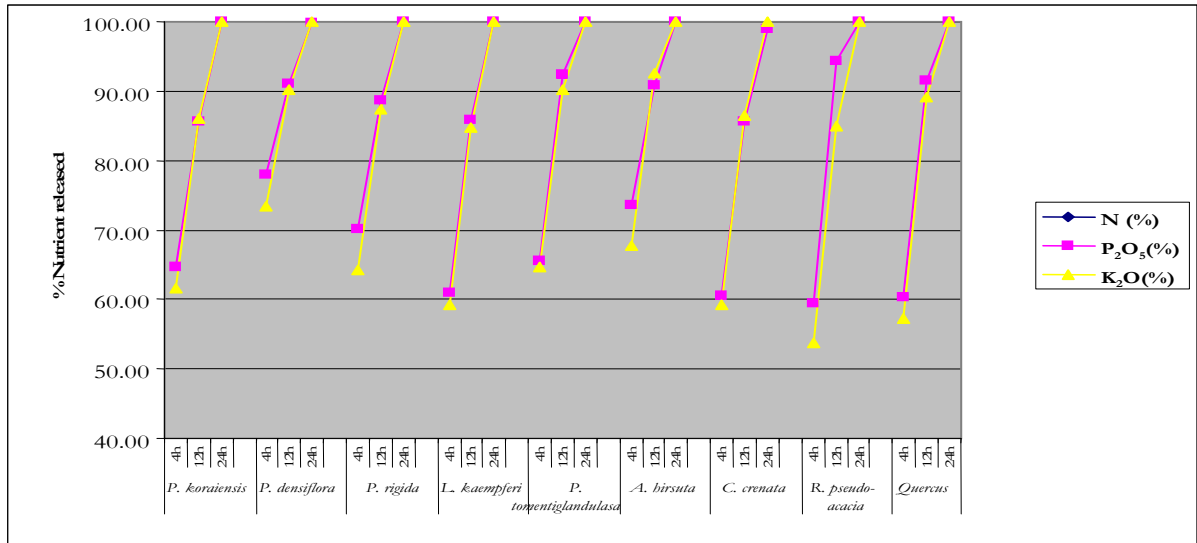


Fig. 54. Nutrient (N, P₂O₅ and K₂O) released (estimated by LV-SEM) from woodchip fertilizer to water at different soaking time.

3) 생재와 건재 소형 목재칩비료의 용출 비교

생재와 건재의 용출 속도가 차이가 나는지 여부를 구명하고자 실험한 결과를 비교분석하면, N의 경우 소나무, 은사시나무, 참나무속 모두 건재가 용출속도가 느린 것으로 나타났다. P₂O₅의 경우 소나무와 은사시나무에서는 생재가 용출속도가 느린 것으로 나타났으며, 참나무속에서는 건재의 용출속도가 낮게 나타났다. K₂O의 경우 소나무와 은사시나무는 건재가 느리게 용출되었으며, 참나무류는 생재가 느리게 용출되었다. 건재와 생재만으로 나누어 생각하면 N, K₂O의 경우 건재에서 용출속도가 느렸으며, P₂O₅의 경우에는 생재에서 용출속도가 느리게 나타났다. 대부분 건재에서 용출속도가 느리게 나타났다.

수종별로 N의 용출속도는 소나무 건재가 가장 느리게 나타났으며, 참나무속 건재, 은사시나무 건재, 참나무속 생재, 소나무 생재, 은사시나무 생재 순으로 용출속도가 빨라졌다. P₂O₅의 용출속도는 소나무 생재가 가장 느리게 용출되었으며, 소나무 건재, 은사시나무 생재, 참나무속 건재, 은사시나무 건재, 참나무류 생재 순으로 빠르게 용출되었다. K₂O의 용출속도는 소나무 건재에서 가장 느리게 나타났으며, 소나무 생재, 참나무속 생재, 참나무속 건재, 은사시나무 건재, 은사시나무 생재 순으로 빨라졌다. 소나무에서 N, P₂O₅, K₂O 성분의 용출속도가 가장 느리게 나타난 것을 알 수 있으며, 은사시나무에서 N, K₂O 성분이 가장 빨리 용출되는 것을 알 수 있었다.

Table 42. Amount of nutrient released in water from oven dry and green woodchip fertilizer

Wood species	State	Soaking time(hrs)	Amount of chemical released				
			N(%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O(%)	Mean	
<i>P. densiflora</i>	Oven dry wood	24	97.05	49.60	96.34	81.00	
		48	2.18	48.81	2.72	17.90	
		96	0.45	1.23	0.34	0.67	
		192	0.32	0.35	0.60	0.42	
	Green wood	24	97.95	57.84	69.93	75.24	
		48	1.89	40.37	29.25	23.84	
		96	0.12	1.43	0.37	0.64	
		192	0.04	0.36	0.45	0.28	
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	Oven dry wood	24	98.22	73.60	98.69	90.17
			48	1.40	25.90	0.92	9.41
			96	0.25	0.35	0.15	0.25
			192	0.13	0.15	0.24	0.17
Green wood		24	97.77	72.52	98.00	89.43	
		48	2.08	25.89	1.63	9.87	
		96	0.11	1.38	0.16	0.55	
		192	0.04	0.21	0.21	0.15	
<i>Quercus</i>		Oven dry wood	24	96.81	45.67	95.13	79.20
			48	2.43	53.05	4.12	19.87
			96	0.46	0.98	0.28	0.57
			192	0.30	0.30	0.47	0.36
	Green wood	24	97.92	53.09	97.66	82.89	
		48	1.87	46.16	1.56	16.53	
		96	0.11	0.58	0.29	0.33	
		192	0.11	0.17	0.49	0.26	
	Mean	Oven dry wood	24	97.36	56.29	96.72	83.46
			48	2.00	42.59	2.59	15.73
			96	0.39	0.85	0.26	0.50
			192	0.25	0.27	0.44	0.32
Green wood		24	97.88	61.15	88.53	82.52	
		48	1.95	37.47	10.81	16.74	
		96	0.11	1.13	0.27	0.50	
		192	0.06	0.25	0.38	0.23	

4) 2회 주입 혼합시약 소형 목재칩비료의 용출

2회 주입 혼합시약 목재칩비료의 용출속도를 혼합시약별로 비교하기 위하여 2회 주입된 목재칩비료로부터 0.5g의 작은 시편을 채취하여 실험한 결과 혼합시약 3에서 N의 경우 용출속도는 참나무속에서 가장 낮게 나타났으며, 은사시나무, 낙엽송, 소나무, 잣나무 순으로

빠르게 나타났다. P_2O_5 의 경우에도 참나무속에서 가장 느리게 용출되었으며, 잣나무, 낙엽송, 은사시나무, 소나무 순으로 빨리 용출되었다. K_2O 의 경우 은사시나무가 가장 용출속도가 느렸으며, 낙엽송, 참나무속, 잣나무, 소나무 순으로 용출속도가 빨라졌다. 대체로 참나무속의 용출속도가 낮았으며, 소나무는 빠르게 용출되었다. 혼합시약 4에서 N의 경우 용출속도는 참나무속에서 가장 낮은 수치를 나타냈으며, 은사시나무, 낙엽송, 잣나무, 소나무 순으로 높은 수치를 나타냈다. P_2O_5 의 경우에도 참나무속에서 가장 느리게 용출되었으며 잣나무, 은사시나무, 낙엽송, 소나무 순으로 소나무에서 가장 빠르게 용출되었다. K_2O 의 경우 또한 참나무류에서 가장 용출속도가 느리게 나타났으며, 낙엽송, 은사시나무, 잣나무, 소나무 순으로 빠르게 용출되었다. 모두 참나무속에서는 용출속도가 낮았으며, 소나무에서는 빠르게 나타났다. 혼합시약 5에서 N의 경우 용출속도는 잣나무에서 가장 낮은 수치를 보였으며 참나무속, 낙엽송, 은사시나무, 소나무 순으로 빨라졌다. P_2O_5 의 경우에도 잣나무에서 가장 낮은 수치를 나타냈으며, 낙엽송, 참나무속, 은사시나무, 소나무 순으로 용출속도가 높은 수치를 나타냈다. K_2O 의 경우에는 참나무속에서 가장 느리게 용출되었으며 잣나무, 낙엽송, 은사시나무, 소나무 순으로 빠른 용출속도를 보였다. 대체로 잣나무에서 느리게 용출되었으며, 소나무에서 용출속도가 높게 나타났다. 혼합시약 6에서 N의 경우 참나무속에서 용출속도가 낮았으며, 잣나무, 은사시나무, 소나무, 낙엽송 순으로 빠르게 나타났다. P_2O_5 의 경우 낙엽송에서 가장 낮은 용출속도를 보였으며 참나무속, 은사시나무, 잣나무, 소나무 순으로 빨라졌다. K_2O 의 경우에서도 참나무속에서 느린 용출속도를 나타냈으며 낙엽송, 잣나무, 은사시나무, 소나무 순으로 빠르게 용출되었다. 대체로 참나무속에서 느리게 용출되었으며, 소나무에서 용출속도가 높아졌다.

4가지 혼합시약 평균치를 비교하면 N, P_2O_5 , K_2O 모두 참나무속에서 가장 느리게 용출되었으며, 소나무에서 가장 빠르게 용출되었다. N의 경우 참나무속에서 가장 느린 용출속도를 보였으며, 잣나무, 소나무, 은사시나무, 낙엽송, 소나무 순으로 빨라졌다. P_2O_5 의 경우에도 참나무속에서 가장 느리게 용출되었으며, 잣나무, 낙엽송, 은사시나무, 소나무 순으로 용출속도가 빠르게 나타났다. K_2O 의 경우 또한 참나무속에서 가장 낮은 용출속도를 보였으며, 낙엽송, 은사시나무, 잣나무, 소나무 순으로 높은 용출속도를 보였다.

수종별로 용출속도를 비교하자면, 소나무에서는 N의 경우 혼합시약4에서 가장 느린 용출속도를 보였으며, 혼합시약6, 혼합시약3, 혼합시약5 순이었다. P_2O_5 의 경우 혼합시약5에서 가장 느린 수치를 보였고, 혼합시약3, 혼합시약6, 혼합시약4 순으로 빠르게 나타났다. K_2O 의 경우 혼합시약3에서 가장 느리게 나타났으며, 혼합시약5, 혼합시약4, 혼합시약6 순이었다. 잣나무에서는 N의 경우 혼합시약6에서 가장 느리게 용출되었으며, 혼합시약4, 혼합시약5, 혼합시약3 순으로 빠르게 용출되었다. P_2O_5 의 경우 혼합시약5에서 낮은 수치를 보였으며, 혼합시약4, 혼합시약3, 혼합시약6 순이었다. K_2O 의 경우 혼합시약3에서 가장 느린 용출속도를 나타냈으며 혼합시약5, 혼합시약4, 혼합시약6 순으로 빠르게 용출되었다. 낙엽송에서는 N의 경우 혼합시약4에서 가장 느리게 용출되었으며, 혼합시약5, 혼합시약6, 혼합시약3 순으로 용출되었다. P_2O_5 의 경우 혼합시약5에서 가장 낮은 수치를 나타냈으며, 혼합시약4, 혼합시약3, 혼합시약6 순으로 빠르게 용출되었다. K_2O 의 경우 혼합시약3에서 혼합시약5, 혼합시약4, 혼합시약6 순으로 용출되었다. 은사시나무에서는 N의 경우 혼합시약4에서 가장 느리게 용출되었으며, 혼합시약6, 혼합시약3, 혼합시약5 순으로 용출속도가 빨라졌다. P_2O_5 의 경우 혼합시약5에서 느린 용출속도를 보였으며,

혼합시약4, 혼합시약3, 혼합시약6 순으로 용출되었다.

Table 43. Amount of nutrient released from woodchip fertilizer treated by compound chemicals

Specific name	Soaking times (hrs)	Nutrient released (%)															
		compound 3			compound 4			compound 5			compound 6			Mean			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mean
<i>P. densiflora</i>	6	91.6	88.1	86.8	93.5	92.2	93.0	94.4	82.4	89.9	90.7	86.0	87.9	92.6	87.2	89.4	89.7
	12	7.1	8.9	8.1	4.4	7.1	5.0	4.3	14.0	6.0	7.4	11.5	9.8	5.8	10.4	7.2	7.8
	24	0.5	2.4	1.8	0.7	0.4	0.6	0.6	2.2	1.2	0.8	1.7	1.3	0.7	1.7	1.2	1.2
	48	0.4	0.1	1.7	0.7	0.2	0.5	0.4	0.9	0.9	0.7	0.2	0.5	0.6	0.4	0.9	0.6
	96	0.2	0.1	1.0	0.4	0.1	0.5	0.2	0.2	1.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.8	0.4
	192	0.1	0.1	0.7	0.4	0.0	0.4	0.1	0.3	0.8	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.6	0.3
<i>P. koraiensis</i>	6	94.1	80.9	86.9	88.2	73.5	88.2	90.0	69.1	84.3	88.4	89.6	88.6	90.2	78.3	87.0	85.2
	12	4.8	14.2	5.1	8.6	17.3	8.3	7.9	20.5	9.3	8.1	7.7	8.6	7.4	14.9	7.8	10.0
	24	0.4	2.1	3.6	1.7	7.0	1.3	1.3	7.4	2.2	1.4	1.7	1.8	1.2	4.6	2.2	2.7
	48	0.3	1.5	1.8	0.8	1.8	0.6	0.6	2.2	1.1	1.1	0.3	0.4	0.7	1.5	1.0	1.1
	96	0.3	1.0	1.4	0.4	0.3	1.0	0.2	0.3	1.6	0.6	0.6	0.3	0.4	0.6	1.1	0.7
	192	0.2	0.3	1.1	0.3	0.2	0.7	0.1	0.3	1.5	0.5	0.2	0.2	0.3	0.3	0.9	0.5
<i>L. kaempferi</i>	6	91.8	83.5	79.6	88.2	84.6	85.5	91.8	73.5	86.8	91.8	84.5	90.1	90.9	81.5	81.5	86.0
	12	6.8	11.8	9.3	8.6	10.4	9.1	6.3	16.6	7.5	6.5	10.9	6.3	7.1	12.4	8.1	9.2
	24	0.8	3.5	4.2	1.6	3.4	2.3	1.0	6.7	2.0	0.8	2.9	2.0	1.1	4.1	2.6	2.6
	48	0.2	0.3	3.4	1.0	1.0	1.1	0.6	2.8	1.3	0.5	0.9	0.7	0.6	1.3	1.6	1.2
	96	0.2	0.6	2.6	0.4	0.4	1.2	0.1	0.3	1.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	1.3	0.7
	192	0.2	0.3	1.0	0.3	0.2	0.7	0.1	0.2	1.1	0.2	0.4	0.5	0.2	0.3	0.8	0.4
<i>P. tomentiglandulosa</i>	6	95.0	89.9	81.8	86.0	81.5	87.5	94.3	81.6	89.0	90.7	87.5	94.0	91.5	85.1	88.1	88.2
	12	3.5	6.4	5.7	9.8	12.7	7.6	4.3	11.3	6.7	6.7	8.8	3.5	6.1	9.8	5.9	7.3
	24	0.5	1.7	4.6	2.3	3.0	1.9	0.7	4.4	1.5	1.1	2.9	1.3	1.2	3.0	2.3	2.3
	48	0.4	0.6	3.7	1.0	1.5	1.1	0.5	2.1	1.1	0.8	0.4	0.7	0.7	1.2	1.7	1.2
	96	0.3	1.2	2.7	0.5	0.9	1.2	0.1	0.3	0.9	0.4	0.3	0.3	0.3	0.7	1.3	0.8
	192	0.2	0.2	1.5	0.4	0.4	0.7	0.1	0.3	0.8	0.3	0.1	0.3	0.3	0.3	0.8	0.5
<i>Quercus</i>	6	87.2	68.5	75.1	81.3	66.0	82.9	93.3	75.2	84.6	85.5	83.8	87.1	86.8	73.4	82.4	80.9
	12	9.4	19.5	14.3	11.8	20.3	9.7	4.6	16.9	7.3	10.4	11.8	8.7	9.1	17.1	10.0	12.1
	24	2.0	8.9	4.0	3.7	10.7	3.3	1.0	5.1	2.0	2.0	2.9	2.7	2.2	6.9	3.0	4.0
	48	0.8	1.7	3.4	2.1	2.7	1.6	0.8	1.9	1.7	1.3	0.6	0.6	1.3	1.7	1.8	1.6
	96	0.4	1.1	2.0	0.6	0.1	1.4	0.2	0.4	2.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.6	1.6	0.9
	192	0.3	0.2	1.3	0.5	0.1	1.1	0.2	0.5	1.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	1.2	0.6
Mean	6	92.0	82.2	82.0	87.4	79.6	87.4	92.8	76.4	86.9	89.4	86.3	89.5	90.4	81.1	86.5	86.0
	12	6.3	12.2	8.5	8.6	13.6	7.9	5.5	15.9	7.4	7.8	10.2	7.4	7.1	13.0	7.8	9.3
	24	0.8	3.7	3.6	2.0	4.9	1.9	0.9	5.2	1.8	1.2	2.4	1.8	1.2	4.1	2.3	2.5
	48	0.4	0.9	2.8	1.1	1.4	1.0	0.6	2.0	1.2	0.9	0.5	0.6	0.8	1.2	1.4	1.1
	96	0.3	0.9	1.9	0.5	0.4	1.0	0.2	0.3	1.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	1.2	0.7
	192	0.2	0.2	1.1	0.4	0.2	0.7	0.1	0.3	1.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.8	0.5

Compound 3 : {K₂PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄} + 10(NH₄NO₃)
 Compound 4 : 10(NH₄NO₃) + {K₂PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄}
 Compound 5 : {K₂PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄} + 17(NH₄NO₃)
 Compound 6 : 17(NH₄NO₃) + {K₂PO₄ + 3(K₂HPO₄) + (NH₄)₃PO₄}

K₂O의 경우 혼합시약3에서 가장 낮은 수치를 보였으며, 혼합시약4, 혼합시약5, 혼합시약6 순으로 빨리 용출되었다. 참나무류에서 N의 경우 혼합시약6에서 가장 느리게 용출되었으며, 혼합시약3, 혼합시약5, 혼합시약4 순으로 용출되었다. P₂O₅의 경우 혼합시약4에서 느린 용출속도를 보였으며, 혼합시약3, 혼합시약5, 혼합시약6 순으로 빠른 용출속도를 보였다. K₂O의 경우 혼합시약3에서 가장 낮은 수치를 나타냈으며, 혼합시약5, 혼합시약4, 혼합시약6 순으로 높은 수치를 나타냈다.

5수종의 N 함유량 평균을 비교하면 혼합시약 4에서 가장 느리게 용출되었으며, 혼합시약6, 혼합시약5, 혼합시약3 순으로 빠르게 용출되었다. 5수종의 P₂O₅ 함유량 평균을 비교하면 혼합시약 5에서 가장 낮은 수치를 나타냈으며, 혼합시약4, 혼합시약3, 혼합시약6 순으로 높은 수치를 나타냈다. 5수종의 K₂O 함유량 평균을 비교하면 혼합시약 3에서 가장 느린 용출속도를 나타냈으며, 혼합시약5, 혼합시약4, 혼합시약6 순으로 빠른 용출속도를 나타냈다. N은 대체로 혼합시약 3에서 용출속도가 가장 빠르게 나왔으며, P₂O₅, K₂O의 경우 혼합시약 6에서 용출속도가 가장 높게 나왔다.

5) 결과

시약별 수중 용출 속도를 분석한 결과 1번 시약의 N 용출 속도가 가장 빠르고, 11번 시약의 P₂O₅와 K₂O 용출속도가 가장 느리다. 9개의 실험 대상 수중 중 용출속도가 가장 늦은 수종은 참나무속 이었다. 2회 주입 혼합시약 중 compound 4의 용출 속도가 느렸다.

바. 수중정지용출 시험

24시간 동안 수중에서 용출시험 결과 전체적으로 22.21-30.60% 용출되었고, N은 26.62-30.60%, P₂O₅는 22.21-26.88%, K₂O는 25.37-28.83%의 용출을 나타냈다. 3개의 성분 중 N이 가장 빠르게 용출되었고, P₂O₅가 느렸다. 수종별로는 떡갈나무에서 N과 P₂O₅의 용출 속도가 가장 느렸고, K₂O는 아까시나무에서 가장 느렸다. N은 물오리나무에서 가장 빠르게 용출되었고, P₂O₅는 리기다소나무에서 빠르게 용출되었다. K₂O는 잣나무에서 빠르게 용출되었다.

수중용출 시험 결과를 농촌진흥청 “비료공정규격”(개정 농촌진흥청 고시 제 2000-20호(2001. 1. 4)) 무기질 질소비료인 “피복비료” 규격(질소의 초기용출율 25%이하일 것) 보다는 1.6-5.6% 높은 편이고, 복합비료인 “피복보합비료” 규격 및 “피복요소복합비료” 규격(질소의 초기용출율 50%이하일 것)보다는 낮았다. 따라서 본 연구팀이 개발한 목재칩비료는 무기질 질소비료인 “피복비료”보다는 지효성이 떨어지지만 복합비료인 “피복보합비료” 및 “피복요소복합비료”보다는 우수한 지효효과를 나타내고 있다.

Table 44. Nutrients retention and % released after 24 hours of soaking in water

Types of fertilizer	% N	% N released at 24 hrs soaking	%P ₂ O ₅	% P ₂ O ₅ released at 24 hrs soaking	% K ₂ O	% K ₂ O released at 24 hrs soaking
<i>P. koraiensis</i>	19.60	5.54 (28.26%)	16.03	4.24 (26.47%)	14.52	4.19 (28.83%)
<i>P. rigida</i>	19.40	5.84 (30.10%)	14.93	4.01 (26.88%)	14.64	4.12 (28.13%)
<i>M. glyptostroboides</i>	20.45	6.21 (30.38%)	15.34	3.98 (25.91%)	14.93	4.28 (28.66%)
<i>P. tomentignadulosa</i>	20.04	5.70 (28.44%)	15.80	4.17 (26.37%)	14.32	4.10 (28.66%)
<i>A. hirsuta</i>	19.56	5.99 (30.60%)	16.45	4.35 (26.44%)	13.92	4.01 (28.78%)
<i>P. occidentalis</i>	19.96	5.88 (29.45%)	16.32	4.32 (26.46%)	14.61	4.31 (29.53%)
<i>R. pseudoacacia</i>	13.63	3.77 (27.69%)	11.27	2.59 (22.95%)	10.60	2.69 (25.37%)
<i>C. crenata</i>	15.75	4.51 (28.65%)	12.17	2.77 (22.79%)	11.36	2.92 (25.69%)
<i>Q. dentata</i>	15.82	4.21 (26.62%)	12.29	2.73 (22.21%)	11.76	3.12 (26.49%)

수중 용출 시험 전과 후 목재칩비료 내의 성분 함유량 및 잔여 성분 함유량은 다음의 표와 같다.

Table 45. Nutrients content and released before and after 24 hours of soaking in water(%)

Types of fertilizer	% N content in Woodchip		%P ₂ O ₅ content in Woodchip		% K ₂ O content in Woodchip	
	Before	After	Before	After	Before	After
<i>P. koraiensis</i>	19.60	11.06	16.03	10.75	14.52	9.36
<i>P. rigida</i>	19.40	10.78	14.93	9.91	14.64	8.52
<i>M. glyptostroboides</i>	20.45	11.27	15.34	9.36	14.93	8.65
<i>P. tomentignadulosa</i>	20.04	10.38	15.80	9.63	14.32	8.21
<i>A. hirsuta</i>	19.56	10.56	16.45	10.08	13.92	8.22
<i>P. occidentalis</i>	19.96	12.08	16.32	11.07	14.61	9.03
<i>R. pseudoacacia</i>	13.63	7.67	11.27	6.38	10.60	5.89
<i>C. crenata</i>	15.75	10.73	12.17	8.77	11.36	7.38
<i>Q. dentata</i>	15.82	10.91	12.29	8.88	11.76	7.93

사) 토양 중 용출속도

21일 동안 토양 용출시험을 실시한 후 토양 내의 비효성분의 잔여량을 측정된 결과 NH₄-N과 NO₃-N, K는 화학비료 처리구가 참나무속 목재칩비료 처리구보다 높았으며, P는 양 처리구에서 비슷했다. 대조구에서 화학비료 처리구와 참나무속 목재칩비료 처리구 사이에 현격한 차이가 나타나는 것은 적용된 비료의 양이 기준시비량보다 N은 약 27배, P₂O₅는 152배, K₂O는 134배 많이 투입되어 나타난 결과이다. 칼럼 내의 기준시비량보다 높은 비효성분을 투입했으나 같은 비율로 토양 중에 잔여하는 것은 아니었다. P의 경우 참나무속 목재칩비료와 같은 양이 토양 중에 남아 있는 것은 과립상의 용과린 비료를 사용했기 때문이었다. 이러한 결과는 참나무속 목재칩비료가 화학비료보다 N과 K는 현격하게 서서히 용출되어 나타나는 결과로 판단되며, P의 경우는 다소 적은 양의 P성분이 용출되는 것으로 판단된다.

Table 46. N, P and K found in soil at 30cm depth at 21 days

Unit: mg/kg

Fertilizer	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K
<i>Quercus</i> spp.	356.41	57.91	123.50	401.00
Chemical	824.90	298.88	123.14	618.33
Control	42.93	10.13	100.77	211.17

105일 동안 토양 칼럼 시험에서 용출수를 15일 간격으로 수기하여 분석한 결과 NH₄-N과 NO₃-N는 45일 까지 화학비료 처리구에서 높게 용출되었으나, 60일 이후부터는 참나무속 목재칩비료 처리구에서 높게 나타났다. 참나무속 목재칩비료 처리구에서 총 105일 동안 NH₄-N의 용출수 내의 용출 양을 총 100%로 보았을 때 15일 내에 4.05%, 30일 동안 17.15%, 45일 동안 38.05%, 60일 동안 56.59%, 75일 동안 74.81%, 90일 동안 88.13% 용출되었다. 화학비료 처리구에서 총 105일 동안 NH₄-N의 용출수 내의 용출 양을 총 100%로 보았을 때 15일 내에 31.80%, 30일 동안 72.61%, 45일 동안 89.27%, 60일 동안 92.99%, 75일 동안 95.99%, 90일 동안 98.38% 용출되었다. 참나무속 목재칩비료 처리구에서는 60일 경과 후 56.59%가 용출되었으나, 화학비료 처리구에서는 92.99%가 용출 되었으며, 60일 동안 92.99%가 용출되었다. 화학비료는 전반부에 많은 양이 용출되었으나, 참나무속 목재칩비료는 전반 30일부터 75일 사이에 많이 용출되었고, 후반부에 감소하는 경향을 보였다. 화학비료는 전반부 45일 까지 많은 양이 용출되었으나 60일 이후부터 급격히 감소했다. 대조구의 평균 용출량은 0.45ppm이었다.

Table 47. NH₄-N in leachate

Unit: ppm

Types of fertilizer/ Days	15	30	45	60	75	90	105
<i>Quercus</i> spp.	80.34	259.25	413.80	367.02	360.75	264.67	234.19
Chemical	605.09	776.70	316.98	70.83	57.17	45.48	30.86
Control	0.99	0.12	0.15	0.24	0.51	0.49	0.65

참나무속 목재칩비료 처리구에서 105일 동안 NO₃-N의 용출수 내의 용출 양을 총 100%로 보았을 때 15일 내에 6.04%, 30일 동안 13.19%, 45일 동안 24.91%, 60일 동안 49.60%, 75일 동안 75.12%, 90일 동안 90.16% 용출되었다. 화학비료 처리구에서 105일 동안 NO₃-N의 용출수 내의 용출 양을 총 100%로 보았을 때 15일 내에 8.78%, 30일 동안 38.45%, 45일 동안 77.03%, 60일 동안 91.53%, 75일 동안 96.43%, 90일 동안 98.35% 용출되었다. 참나무속 목재칩비료 처리구에서는 60일 경과 후 49.60%가 용출되었으나, 화학비료 처리구에서는 92.99%가 용출 되었으며, 60일 동안 91.53%가 용출되었다. 화학비료는 전반부에 많은 양이 용출되었으나, 참나무속 목재칩비료는 전반 60일부터 75일 사이에 많이 용출되었고, 후반부에 감소하는 경향을 보였다. 화학비료는 전반 부인 30일부터 60일 까지 많은 양이 용출되었으나 후반부에 급격히 감소했다. 대조구의 평균 용출량은 0.93ppm이었다.

Table 48. NO₃-N in leachate

Unit: ppm

Types of fertilizer/ Days	15	30	45	60	75	90	105
<i>Quercus</i> spp.	109.67	129.90	212.76	450.16	461.54	273.19	178.69
Chemical	227.50	769.23	1000.0	375.72	127.01	49.93	42.71
			0				
Control	0.12	0.25	0.18	1.57	1.63	1.52	1.25

P의 용출 양상은 60일 까지 화학비료 처리구에서 높게 나타났으나 75일 이후부터는 참나무속 목재칩비료 처리구에서 높게 나타났다. K는 전체적으로 참나무속 목재칩비료 처리구에서 높게 나타났다. 참나무속 목재칩비료 처리구에서 105일 동안 P의 용출수 내의 용출 양을 총 100%로 보았을 때 15일 내에 4.83%, 30일 동안 10.50%, 45일 동안 28.18%, 60일 동안 47.72%, 75일 동안 67.25%, 90일 동안 83.65% 용출되었다. 화학비료 처리구에서 105일 동안 P의 용출수 내의 용출 양을 총 100%로 보았을 때 15일 내에 8.60%, 30일 동안 25.09%, 45일 동안 48.54%, 60일 동안 82.67%, 75일 동안 88.90%, 90일 동안 94.87% 용출되었다. 참나무속 목재칩비료 처리구에서는 60일 경과 후 47.72%가 용출되었으나, 화학비료 처리구에서는 82.67%가 용출 되었으며, 45일 동안 48.54%가 용출되었다. 화학비료는 전반부에 많은 양이 용출되었으나, 참나무속 목재칩비료는 45일부터 많이 용출되었고, 후반부에 약간 감소하는 경향을 보였다. 화학비료는 전반 부 30일부터 60일 까지 많은 양이 용출되었으나 후반부에 약간 감소했다. 대조구의 평균 용출량은 0.08ppm이었다.

Table 49. P in leachate

Unit: ppm

Types of fertilizer/ Days	15	30	45	60	75	90	105
<i>Quercus</i> spp.	80.38	94.23	294.23	325.00	324.92	272.85	272.00
Chemical	233.46	448.08	636.77	926.92	169.23	162.23	139.38
Control	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.07

참나무속 목재칩비료 처리구에서 105일 동안 K의 용출수 내의 용출 양을 총 100%로 보았을 때 15일 내에 4.22%, 30일 동안 12.62%, 45일 동안 37.81%, 60일 동안 58.85%, 75일 동안 74.80%, 90일 동안 91.60% 용출되었다. 화학비료 처리구에서 105일 동안 K의 용출수 내의 용출 양을 총 100%로 보았을 때 15일 내에 21.63%, 30일 동안 58.84%, 45일 동안 87.77%, 60일 동안 97.52%, 75일 동안 98.89%, 90일 동안 99.44% 용출되었다. 참나무속 목재칩비료 처리구에서는 60일 경과 후 58.85%가 용출되었으나, 화학비료 처리구에서는 97.52%가 용출 되었으며, 45일 동안 48.54%가 용출되었다. 화학비료는 전반부에 많은 양이 용출되었으나, 참나무속 목재칩비료는 45일부터 많이 용출되었고, 후반부에 약간 감소하는 경향을 보였다. 화학비료는 전반 부 15일부터 45일 까지 많은 양이 용출되었고, 후반부에 급격히 감소했다. 대조구의 평균 용출량은 9.09ppm이었다.

Table 50. K in leachate

Unit: ppm

Types of fertilizer/ Days	15	30	45	60	75	90	105
<i>Quercus</i> spp.	386.62	771.23	2310.3	1929.7	1463.4	1540.3	771.00
Chemical	2463.4	4236.7	3294.0	1110.3	155.62	63.31	63.46
Control	15.25	10.12	12.23	8.24	7.23	5.26	5.27

토양 용출 시험용 칼럼 토양의 무게는 약 1.6kg이었고, 증류수 투여량은 총 910ml이었다. 시험 후 참나무속 목재칩비료 내의 N, P₂O₅, K₂O의 잔유량은 각각 88.04mg, 123.03mg, 65.11mg이었다. 용출수 중에 N, P₂O₅, K₂O는 각각 597mg, 216mg, 1,196mg 용출되었을 것으로 추정된다.

바) 부숙도 조사

본 실험결과, 목재칩비료는 수중에 따라 부숙도에 차이를 보였지만 유기질비료로서 역할을 담당하고 있음을 알 수 있다. 목재칩비료가 부숙되는 메카니즘은 다음과 같다. 목재의 세포벽은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌으로 구성되어 있지만, 가로, 세로로 뻗어 있는 셀룰로오스의 긴 분자 사이를 헤미셀룰로오스와 리그닌이 메우고 있는 복잡하면서도 정교한 층상구조를 이루고 있다. 그렇기 때문에 목재로부터 추출된 셀룰로오스나 헤미셀룰로오스는 분해할 수 있어도 목재 세포벽처럼 이들이 리그닌과 섞여 있는 경우에는 전혀 공격할 수 없는 일이 많다. 특히, 리그닌은 기본 구성단위인 화합물과 그들의 복잡한 화학 구조가 많은 미생물에게 독물 혹은 장애물로써 작용되기 때문에 천연의 방부제로 불려지고 있다. 그러나, 지구상에는 이 장애물인 리그닌에 의해 보호되고 있는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스의 덩어리인 목재를 맛있는 영양원으로 삼고 있는 구조를 지니는 한 무리의 미생물이 존재하는 데 이들을 목재 부후균이라 부른다. 이들은 비교적 경쟁자가 적고 막대한 영양원을 공급받을 수 있기 때문에 안정된 생태적 지위를 부여받고 있다.

목재부후균은 목재의 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌을 모두 분해할 수 있거나 또는 리그닌은 분해하지 않고서도 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 선택적으로 분해할 수 있는 힘 가운데 어느 쪽이든 지니고 있다. 그러나, 이들의 생장에는 영양원 이외에도 적당한 공간, 온도, 공기, 수분이 필요하다. 죽은 세포의 집합체인 목재에는 세포내강이나 세포간극 등과 같은 빈 틈새, 즉 공간이 많기 때문에 부후균에게 있어서는 목재는 식량, 공기, 수분이 마련되어 있는 아주 좋은 주거 공간이 된다. 목재의 세포벽에는 액체의 이동 통로 역할을 위한 벽공이라고 불리는 작은 공극들이 많이 있는데 이것도 부후균의 군사에게는 이용하기가 좋은 출입구가 된다.

공기와 수분은 목재 내부의 공극을 서로 빼앗고 빼앗기는 관계에 있기 때문에 건조로 인해 수분이 없어지게 되면 공극은 공기로 채워지게 되고 수분이 많아지게 되면 공기가 쫓겨나 산소 결핍 상태에 이르게 된다. 어느 쪽의 경우이든 부후균은 자랄 수가 없다. 목재중의 수분은 세포벽 내부에 분자의 상태로 산재하는 수분인 결합수와 세포내강 등의 공극에 액체상태로 존재하는 수분인 자유수가 있다. 부후균이 이용할 수 있는 것은 자유수 뿐이다. 자유수는 통상 목재내 수분의 양이 25~30%이상일 때를 말한다. 본 목재칩비료는 목재내 일정함수율을 포함하고 있을

뿐만 아니라 시비된 후 토양과 접촉하게 되므로 목재와 부후균의 균사나 포자가 접촉하여 부후균이 자라게 되어 목재는 부속 된다.

본 시험에서 사용된 목재칩비료의 성분 함량은 시용효과용 목재칩비료의 비료 성분 함유량과 같은 것을 사용했다. 시험 후 잔여 성분함량을 조사한 결과 거의 0%로서 모두 용출되었다. 부속도를 조사한 결과는 다음 표와 같다. 수종별로 보면 참나무속, 은사시나무, 소나무 순으로 부속도가 높았으며, 토양 별로 보면 사질양토, 점토, 사토의 순으로 나타 났다.

Table 51. Decomposition rate of woodchip fertilizer in soil (%)

Soil texture	Sandy loam				Clay				Sand				Mean			
Species	<i>P densif lora</i>	<i>P tomen tiglian dulosa</i>	<i>Quercus</i>	Mean	<i>P densif lora</i>	<i>P tomen tiglian dulosa</i>	<i>Quercus</i>	Mean	<i>P densif lora</i>	<i>P tomen tiglian dulosa</i>	<i>Quercus</i>	Mean	<i>P densif lora</i>	<i>P tomen tiglian dulosa</i>	<i>Quercus</i>	Mean
Decomposition	41.57	56.35	59.25	52.39	38.47	53.82	55.85	49.38	32.75	47.93	50.43	43.70	37.59	52.70	55.18	48.49

자. 국제 수준 자료 수집

비료의 대량 소비국인 중국과 미국의 비료 소비량, 생산량, 수출입량 및 앞으로의 전망 등을 조사하여 “제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보”에 자세히 기술했다.

4. 결론 및 요약

화학비료는 비점오염원의 주요 인자이므로 해결해야할 과제이다. 특히, 우리나라와 같이 물이 부족한 나라에서는 시급히 해결하여야한다. 이와 관련하여 우리나라의 약 70%이상 차지하는 소경목재를 이러한 문제를 해결하는 방안으로 생각해 보아야 한다. 소경목의 활용을 높이기 위하여 지금까지 사용되지 않고 있는 기술개발이 시급하다. 특히, 소경목은 구조용재로 사용하기 부적합하므로 파쇄목으로 사용하는 방안이 강구되어야 할 것이다. 파쇄목의 이용방안 중 하나로서 목재를 이용한 지효성 비료 및 농약이 그 하나의 예가 될 것이다.

목재칩비료의 주원료는 목재와 화학제품이다. 지구상의 목재칩 원료와 우리나라의 원료를 분석한 결과 원자재는 충분한 량이 존재한다. 특히, 목재칩비료는 정상적인 목재가 아닌 즉, 만곡재, 뿌리, 가지, 산불, 병충해, 수해 피해목재 등을 사용하므로 자원은 충분하였다.

우리나라의 목재칩 생산량과 생산가능 수종을 우선 순위로 조사했다. 활엽수재는 참나무속이 60.5%로 가장 많았고, 밤나무, 아까시나무, 오리나무속, 버드나무과 등의 순이었으며, 침엽수는 소나무가 57%로서 가장 많았으며, 다음으로 리기다소나무, 낙엽송, 잣나무이었고, 나머지는 전나무 등 기타 수종이었다.

영서지역과 영동지역에서 소나무의 연륜폭, 가도관의 직경 및 벽후, 가도관의 길이, 심재율 등을 비교한 결과 영서지역소나무의 연륜폭 보다 영동지역 소나무의 연륜폭이 크게 나타났으며, 가도관의 벽후는 영서지역에서 크게 나타났으므로 영동지역의 소나무가 목재칩비료를 제조할 때 유리할 것으로 판단된다. 낙엽송과 잣나무의 비교 결과 낙엽송이 잣나무 보다 목재칩비료 제조에

불리할 것으로 판단된다. 치엽수재 4 수종의 수분이동경로가 되는 여러 조직들을 FE-SEM으로 관찰, 분석한 결과 소나무가 N, P, K 주입에 가장 효과적인 것으로 판단된다. 굴참나무, 물오리나무, 물박달나무의 미세구조의 특징을 조사한 결과 물오리나무와 물박달나무는 굴참나무보다 용액의 침투는 용이할 것으로 판단되나, 지효성 용출속도는 굴참나무가 좋을 것으로 판단되었다.

Safranin 침투에 의한 수분 이동경로 및 침투도의 주 목적은 목재칩 내에 액체를 침투시키기 위한 적정 조건을 찾고자 심재와 변재에 적용하였다. 진공처리 만으로는 침투도를 높일 수 없었고, 진공처리 후에 압력을 가해야 가능했다. 변재는 심재보다 뚜렷하게 잘 침투되었고, 축방향이 종방향 보다 현저히 높은 침투도를 나타냈으며, 방사방향이 접선방향 보다 잘 침투되었다. 활엽수재의 산공재는 환공재보다 잘 침투되었고, 수종 및 심재와 변재에 따라 큰 편차를 보였다. 따라서 수종에 따라 진공, 압력 및 침지시간을 다르게 적용해야한다. Camscope에 의한 동영상 조사결과 그 중 잣나무의 침투도가 양방향 모두에서 높다. 변재에서는 *P. koraiensis* > *P. densiflora* > *P. rigida* > *L. kaempferi* 순서로 침투도가 높고, 심재에서는 *P. koraiensis* > *P. rigida* > *P. densiflora* > *L. kaempferi* 순서로 침투도가 높았다.

기본 시약에 목재칩을 침투하기 전·후의 pH, EC 및 온도 변화를 조사한 결과 pH는 약간 떨어지는 경향이 나타났고, EC와 온도의 변화는 없었다. 혼합 시약의 혼합 비율에 따라 온도, pH의 변화가 있었으며, 침전물이 발생했다. 보관환경에 따른 액체와 침전물의 T-N, T-P, T-K 함유량을 분석한 결과 액체에서는 전체적으로 N과 P₂O₅ 함유량이 높게 측정되었으며, 침전물에서는 K₂O 함유량이 높게 나타났다. 온도별 차이를 분석한 결과, 액체에서의 N 함유량은 혼합시약 1의 온도 25°C(32.42%)에서 가장 높았으며, P₂O₅ 함유량은 혼합시약 2의 온도 40°C(20.41%)에서 가장 높게 나타났다. K₂O 함유량은 혼합시약 2의 온도 30°C(2.97%)에서 가장 높게 나타났다. 혼합시약의 액체에서는 온도 40°C에서 N, P₂O₅, K₂O 함유량이 대체적으로 높게 나왔으며, 침전물에서는 30°C, 40°C에서 높게 나왔다. 액체의 경우 N 함유량은 혼합시약 4의 25°C에서 12.43%로서 가장 높게 나타났다. P₂O₅ 함유량은 혼합시약 3에서 40°C에서 26.76%로 가장 높게 나타났다. K₂O 함유량은 혼합시약 4의 실내보관에서 2.33%로 가장 높게 나타났다. 액체에서는 P₂O₅ 함유량(평균 18.08%)이 높게 나타났으며, 침전물에서는 K₂O 함유량(평균 13.91%)이 높게 나타났다. 액체에서는 혼합시약 6에서 N 함유량(평균 11.33%)은 높게 나타났으며, 혼합시약 3에서 P₂O₅ 함유량(평균 23.01%)이 높게 나타났다. 침전물에서는 혼합시약 6에서 N 함유량(평균 11.40%)이 높게 나타났고, P₂O₅ 함유량(평균 11.01%)이 높게 나타났으며, 혼합시약 6에서 K₂O 함유량(평균 15.29%)이 높게 나타났다. 액체·침전물 모두 혼합시약 6과 3에서 N, P₂O₅, K₂O 함유량이 높게 나타났다.

시용효과용 목재칩비료의 비료 성분 함유량은 질소의 침투량은 은사시나무 > 소나무 > 혼합수종 > 참나무속 순이었고, 인산의 침투량은 은사시나무 > 소나무 > 혼합수종 > 참나무속 순이었으며, 가리의 침투량은 은사시나무 > 참나무속 > 소나무 > 혼합수종 순이었다. 9개 수종의 수종별 목재칩비료 내 함유량을 비교한 결과 은사시나무의 침투율이 가장 높고, 아까시나무의 침투율이 가장 낮았다. 아까시나무 다음으로 침투도가 낮은 것은 참나무속, 밤나무, 낙엽송 순이었다. 활엽수의 산공재인 물오리나무는 은사시나무보다 낮은 경향을 보이고 있고, 침엽수 중에서는 낙엽송이 어렵게 침투되고, 나머지 수종은 유의 수준 범위 내에서 차이가 나타나지만

소나무, 리기다소나무, 잣나무 순이었다. 생재와 건재를 비교한 결과 N의 함유량은 생재보다 건재가 약 25%정도 낮았고, P₂O₅와 K₂O는 차이가 없었다. 11개의 시약으로 침투량을 비교한 결과 P₂O₅와 K₂O의 침투량은 Chemical 2 와 Chemical 3에서 높게 나타났고, N은 Chemical 1에서 가장 높게 나타났다. 2회 주입방법에 의한 침투도는 Compound 6에서 가장 높게 나타났다. 압력 및 압력시간에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다.

시약별 수중 용출 속도를 분석한 결과 1번 시약의 N 용출 속도가 가장 빠르고, 11번 시약의 P₂O₅와 K₂O 용출속도가 가장 느리다. 9개의 실험 대상 수중 중 용출속도가 가장 늦은 수중은 참나무속 이었다. 2회 주입 혼합시약 중 compound 4의 용출 속도가 느렸다.

24시간 내 수중정지용출 시험결과 N은 26-30%, P₂O₅는 22-26%, K₂O는 25-29% 용출 속도를 나타냈다.

토양 중 용출속도를 측정하기 위하여 21일 동안 토양 용출시험을 실시한 후 토양 내의 비효성분의 잔여량을 측정한 결과 NH₄-N과 NO₃-N, K는 화학비료 처리구가 참나무속 목재칩비료 처리구보다 높았으며, P는 양 처리구에서 비슷했다. 105일 동안 토양 칼럼 시험에서 용출수를 15일 간격으로 수기하여 분석한 결과 NH₄-N과 NO₃-N는 45일 까지 화학비료 처리구에서 높게 용출되었으나, 60일 이후부터는 참나무속 목재칩비료 처리구에서 높게 나타났다. P의 용출 양상은 60일 까지 화학비료 처리구에서 높게 나타났으나 75일 이후부터는 참나무속 목재칩비료 처리구에서 높게 나타났다. K는 전체적으로 참나무속 목재칩비료 처리구에서 높게 나타났다.

목재칩비료의 부속도를 조사한 결과 수종별로 보면 참나무속, 은사시나무, 소나무 순으로 부속도가 높았으며, 토양 별로 보면 사질양토, 점토, 사토의 순으로 나타났다.

제 2 절 수도권 작 시용효과 평가

1. 서언

최근 급속한 산업화와 더불어 도시화의 발전은 자연자원의 무분별한 개발 이용과 남용으로 지구전체의 생존을 위협할 만큼 환경을 악화시켰고 그 심각성은 금세기의 최대 이슈로 부각 되게 되었으며 그간의 농업은 자연을 이용하는 1차 산업으로 환경오염과는 무관한 듯 보여 왔으나 다비 및 농약의 과다사용은 농업의 오염원 유발 요인으로 대두 되게 되었다.

더구나 소비자들은 오염된 환경에서 생산된 농산물의 구매를 외면하고 안전한 먹거리에 큰 관심을 보이며 안전성이 높은 고품질 농산물을 선호하고 있다.

이러한 시대적 상황에 따라 세계농업은 빠른 속도로 자원보전 적이고 지속 가능한 친환경 농업으로 전환되어가게 되었고, 우리나라도 세계농업흐름에 따라 지속농업의 개념이 도입되면서 환경 보전형농업, 지속농업, 지속 가능한 농업 등 으로 다양하게 일컬어져오다 친환경농업으로 널리 사용하게 되었다.

특히 환경 친화형 농업이란 농업생산과 그 바탕이 되는 환경을 자연의 섭리에 따라 조화시키며 그 속에서 지속적인 생산 활동을 통하여 첫째 농업생산의 경제성을 확보하고, 둘째 생태계를 보전하며, 셋째는 에너지 절약 및 생력화를 추구하고, 넷째는 농산물의 안전성을 추구하므로써 농약, 화학비료 등 오염원을 감축시키고 폐자원을 재 생산자원으로 활용하며 농토의 지력증진, 수질개선 등 농업환경을 유지, 개량하는 것이다.

벼농사에서 환경친화형 재배기술이란 생산과 그 바탕이 되는 환경을 자연의 섭리에 맞게 조화시키며 그 속에서 지속적인 생산 활동을 통하여 경제성을 확보 하고 생태계를 보전하면서 농산물의 안전성을 추구하여 농약, 화학비료 등 오염원을 감소시키고 폐자원을 재생산자원으로 활용하며 농경지의 지력증진, 수질개선 등 농업환경을 유지 개량하는 것이다.

환경친화형 재배를 위해 일부업체 및 개별농가에서 근래 들어 여러 가지 비료 농약을 제조사용하고 있으며 일부농자재는 시판되고 있다 그러나 농자재의 효과가 불분명하고 친환경 농자재의 규격화가 미흡한 상태에서 많은 종류가 사용되고 있어 효과저하 및 농자재 사용 후 피해가 발생 되는 사례가 나타나고 있다. 따라서 고품질 및 안전 농산물을 생산하기 위해서는 환경친화형 농자재개발도 중요하지만 안전하게 사용할 수 있는 효과 검증이 필요하다

화학비료대비 유기질비료는 그 효과가 완만하게 나타나기 때문에 작물에 대해서는 매우 유리하지만 비료성분의 함량이 낮고 또한 그 성분비를 자유로이 조절할 수 없다는 큰 결점이 있다. 따라서 이러한 결점을 보완 유기질비료의 특성을 살린 고농도복합비료를 만들 수 있고 자유로이 비료성분의 비율을 변화시킬 수 있는 여러 가지 지효성 및 완효성비료연구가 진행되고 있다.

벼 재배시 속효성비료의 질소량을 기비로 많은 량을 사용하면 용탈 및 휘산등 으로 유실되는 양이 많아지고 또한 과잉 흡수 하면 도열병 등 병해의 피해가 증가할 수 있으며 생육중 절간신장기에 질소성분이 많이 남아있으면 식물체가 웃자라 도복을 유발시켜 수발아에 의한 쌀 품질 저하로 상품성이 낮아져 결국 농가소득이 낮아지는 경향을 보이고 있다 따라서 속효성 질소비료 사용에는 작물 생육시기별에 맞추어 비료공급이 적절히 되도록 분시 하여야 하지만 그 시기와 양을 결정하기 어렵고, 시비 노력도 많이 소요되는 단점이 있다. 이러한 단점을

개선하고자 국내에서도 여러 종류의 완효성 및 지효성비료 제품들이 개발 생산 보급되고 있으나 그 효과가 지역 및 기상에 따라 다소 상이하게 나타나고 있는 현실을 감안 시판되고 있는 비료에 대해 좀더 세밀한 검토가 요구되고 있다..

본 연구 또한 지효성비료를 개발 하고자 산림 조립시 간벌목 으로 발생하는 소경목을 이용 지효성 비료를 제조한후 벼 재배에 사용하여 생육, 수량 및 수량구성요소, 토양의 화학적 특성변화 등에 미치는 영향을 조사 비효성을 검토 사용가능성에 대한 기초 자료를 얻고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험재료

시험재료는 강원대학교 산림과학대학 임산가공학과에서 제조한 소나무, 은사시나무, 참나무속 및 혼합수종의 목재칩비료를 사용했으며, 시험품종은 조생종인 오대벼를 사용하였으며 미사질 양토에서는 일반 관행재배를, 사토와 점토는 포트(50×60×20cm)재배를 실시하였다.

나. 처리내용

시험재료는 비료 성분량이 화학비료와 같게 제조된 3개의 단수종(참나무속, 은사시나무, 소나무) 목재칩비료와 혼합수종(참나무속+ 은사시나무+ 소나무)을 사용 하였고 시험구 시비수준은 수종별 목재칩비료에 화학비료대비 표준량(100%),과 15%, 30% 감비 처리를 두었으며 시험구 배치는 단구제 처리를 하였다. 표준재배(화학비료)는 N-P₂O₅-K₂O (11-4.5-5.7kg/10a)를 질소는 밀거름50%, 가지거름30%, 이삭거름20%, 인산은 기비100%, 칼리는 기비70%, 이삭거름30%로 3회분시 하였고, 지효성비료는 전량 기비로 하였으며, 재배방법은 5월25일 중묘기계이앙 및 포트재배를 실시하였다.

시험 1은 춘천에서 이앙재배와 포트시험을 실시하였고, 시험 2는 농가실증을 위해 춘천, 강릉, 철원에서 실시하였으며, 시험 3은 춘천에서 목재칩비료의 연차간 변이를 보고자 2년간 시험을 수행하였다.

생육조사는 초장, 경수, 간장을, 수량조사는 주당수수, 수당립수, 등숙비율, 현미 천립중, 100주 정조중, 정현비율을 조사하였다. 또한 병충해 발생 조사를 위해서 도열병, 문고병, 이화명충(1화, 2화), 도복을 조사하였고, 쌀(백미) 품위 관정을 위해 완전립, 분상질미, 싸라기, 사미를 조사하였다.

다. 토양 및 식물체 분석

토양 및 식물체는 농진청 농업과학기술원 표준분석법에 의하여 분석하였다 토양분석 시료는 시험전과 수확 후에 토양을 채취 하였으며, 풍건 후 2 mm 체를 통과시켜다. pH는 토양과 증류수를 1:5로 하여 초자전극법 으로, 유기물 함량은 Tyurin법 CEC는 토양 5g을 1M CH₃COONH₄(pH7.0) 50ml로 3시간 세척 토양고질에 NH₄⁺을 흡착시키는 치환 침출법을 사용 하였다. 유효인산은 Lancaster법을 치환성 Ca, Mg, k는 초산암모늄 침출법, 유효규산은NaOAc 침출법을 사용하여 분석하였다, 시험전 토양 화학성은 표 52과 같다.

식물체 시료는 수확 후 잎, 줄기를 채취하여 90℃ 2시간, 60℃에서 24시간 이상 충분히 건조 후 분쇄한 시료를 산분해액(HClO₄:H₂SO₄=10:1)으로 습식 분해하여 질소는 Kjeldahl법, 인산은 vanadate법, 칼리는 원자흡광분광법으로 측정하였다. 생육, 수량, 병충해 및 품질조사는 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준에 준하여 실시하였다.

Table 52. Chemical analysis of soil before experiment

pH (1:5)	EC (dS/m)	O.M (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/Kg)	Ca	K	Mg	CFC (cmol(+)/kg)	SiO ₂ (mg/kg)
				(cmol(+)/kg)				
5.63	1.48	32.34	219	4.95	0.67	0.75	10.06	185

라. 침투수 수질분석

지하 침투수 조사는 토심60cm 깊이에 다음 그림과 같이 ceramic cup tube를 설치 하여 이양후 6월15일을 기준 15일 간격으로 5회에 걸쳐 설치된 유리관에 hand vacuum pump로 60~70kPa의 장력을 걸어서 포집된 침투수를 채취 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준에 준하여 분석하였다.

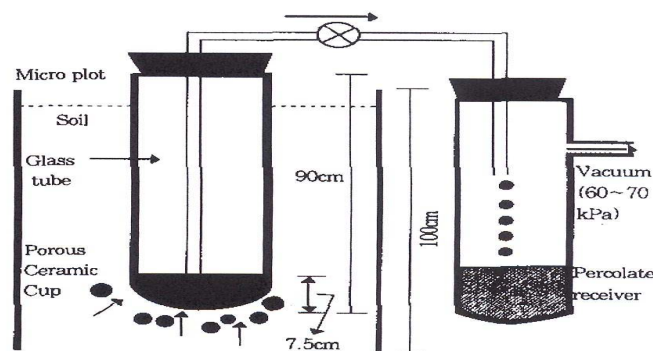


Fig. 1. Porous ceramic cup for percolation water sampling

Fig. 55. Porous ceramic cup for percolation water sampling

3. 결과 및 고찰

가. 시험 1. 소경목을 활용한 목재칩비료 적정시비량 검토

1) 초장 및 분얼수

이양 60일후 토양 및 재배방법에 따른 생육조사 결과는 표 53과 같다 일반재배의 수종별 시비 수준에 따른 생육 차이는 은사시나무에서 초장 및 경수가 증가되는 경향을 보였을 뿐 큰 차이는 나타나지 않았고, 감비 처리에 의한 차이는 표준시비 대비(화학비료) 목재칩비료에 비료성분함량 100%로 처리한 것과 15% 감비까지는 차이가 없었으나 30% 감비는 초장 및 경수가 작아졌다.

포트재배 생육은 점토에서 초장 및 경수가 사토보다 작은 경향을 보였는데 이것은 생육초기 배수 불량에 의한 뿌리 활력이 다소 낮아 양분 흡수가 부족했던 영향에 의한 것으로 사료된다. 수종별 차이는 점토에서 은사시나무가 초장은 다소 큰 경향을 보였으나 경수는 주당 1~2개

적었고 사토에서는 수중 및 시비수준에 따른 생육 차이는 크지 않았으나 감비될수록 초장 및 경수는 작아지는 경향이였다.

Table 53. Plant height and numbers of tiller after 60 days of transplanting

		<i>Quercus</i> (%)				<i>P. tomentiglandulosa</i> (%)				<i>P. densiflora</i> (%)			
		표준	100	15 감비	30 감비	표준	100	15 감비	30 감비	표준	100	15 감비	30 감비
Sandyloam	Plant height (cm)	89	88	83	86	80	90	87	89	87	86	82	80
	No. of tiller	22.8	21.1	21.3	21.5	20.7	22.9	23.5	21.2	18.9	23.2	19.4	17.6
Clay	Plant height (cm)	53	60	59	60	50	66	66	63	54	61	61	65
	No. of tiller	5.0	10.6	9.8	8.9	3.4	8.4	8.3	8.0	3.9	9.2	8.3	9.0
Sand	Plant height (cm)	59	64	66	66	59	62	66	66	53	63	68	64
	No. of tiller	4.5	10.2	10.0	10.0	4.1	10.2	10.4	10.1	3.6	9.4	10.0	8.7

2) 수량구성요소 및 수량

재배방법 및 토양별 수량구성요소와 수량은 표 54와 같다. 일반 재배시 표준 시비 대비 수량지수는 수수 및 수당립수가 많은 은사시나무에서 가장 높았고 참나무속에서 낮았다. 전체 평균 수량은 소나무에서 높았으나 수량지수는 낮은 경향을 보였 으며, 시비수준별 차이는 참나무속을 제외하고 15% 감비구까지 수량 차이가 크지 않았으나 30% 감비 에서는 표준시비 대비 90% 수준의 수량을 보였다. 참나무속 에서는 표준시비 대비 시비수준별 차이 없이 10% 감수되는 경향을 보여 금후 이에 대한 검토 연구가 수행 되어야 할 것으로 사료 되었다.

포트 재배시 토양별 주당수량성은 사토가 점토보다 높았으나 수중에 의한 차이는 크지 않았다. 시비수준에 의한 차이점은 일반 재배에서 와 같이 시비량이 적어질수록 주당수량이 낮아 졌으며, 특히 점토의 참나무속 수중은 15% 및 30% 감비에서 100%시비 수준 대비 84% 의 낮은 수량을 보였다. 이것은 초기 생육이 다소 부진했던 것이 생육 후기 까지 영향을 끼친 것으로 사료되었다. 사토는 소나무수중 30% 감비 처리에서 83% 의 수량지수를 보였을 뿐 기타 처리 에서는 95% 이상 이었다.

Table 54. Comparison of yield and yield components of rice

		Treatment	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of hills	No. of spikelet	Ripened grain (%)	Yield (kg/10a)	Yield index
Sandy loam	<i>Quercus</i>	control	79	20	18.2	99	74.1	584	100
		100%	80	20	18.4	82	83.5	531	91
		15%감비	74	19	16.0	79	86.7	525	90
		30%감비	72	19	17.6	85	83.6	518	89
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	control	85	20	20.1	89	68.3	562	100
		100%	85	20	19.9	96	72.4	543	97
		15%감비	80	20	20.2	96	72.3	534	95
		30%감비	81	20	19.5	90	68.4	510	91
	<i>P. densiflora</i>	control	80	20	18.8	93	72.1	574	100
		100%	87	20	18.0	93	82.6	550	96
		15%감비	80	20	16.9	92	72.7	543	95
		30%감비	75	19	15.6	86	76.0	507	88
Clay	<i>Quercus</i>	no fertilizer	46	16	4.3	47	78.3	18.3	-
		100%	58	19	9.5	50	88.8	64.8	100
		15%감비	51	18	8.6	54	86.7	54.7	84
		30%감비	54	18	8.2	57	85.8	54.2	84
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	no fertilizer	46	17	4.3	36	85.2	17.8	-
		100%	57	20	8.3	65	86.5	66.7	100
		15%감비	56	19	7.8	70	89.1	68.4	103
		30%감비	52	17	8.3	58	81.5	57.3	86
	<i>P. densiflora</i>	no fertilizer	40	14	5.1	34	74.1	23.1	-
		100%	53	19	7.4	63	86.3	56.1	100
		15%감비	52	18	7.9	62	87.9	56.4	101
		30%감비	53	18	7.9	62	89.0	56.1	100
Sand	<i>Quercus</i>	no fertilizer	50	19	6.0	65	88.1	23.1	-
		100%	56	19	8.4	71	86.5	70.5	100
		15%감비	58	19	8.7	70	89.4	66.3	94
		30%감비	55	19	7.6	69	89.6	64.9	92
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	no fertilizer	51	18	5.5	66	86.9	31.9	-
		100%	57	18	9.1	73	86.2	75.9	100
		15%감비	60	19	9.2	69	87.1	73.5	97
		30%감비	55	18	9.2	67	84.8	73.7	97
	<i>P. densiflora</i>	no fertilizer	47	18	5.3	65	86.1	35.6	-
		100%	54	18	7.8	77	87.7	73.3	100
		15%감비	60	19	7.8	76	87.5	73.3	100
		30%감비	56	19	6.4	76	87.4	68.0	93

3) 병해충 발생

수종 및 시비수준별 병해충 발생 정도는 표 55와 같다 표준시비 대비 목재칩비료 지효성 비료에서 다소 병이 발생 되었고 해충은 발생 되지 않았다 수종별 병 발생 정도는 은사시나무에서 잎도열병이 다소 발생 되었 으며 시비수준별 차이점은 표준시비 대비 100% 시비수준 에서 도열병 및 문고병 발생이 높았고 감비 될수록 병 발생 정도가 낮아 지는 경향을 보였다.

Table 55. The degrees of disease and insect pests infection

	Treatment	Blast (0 ~ 9)		Sheath blight (0 ~ 9)	Rice stem borer (0 ~ 9)	Lodging (0 ~ 9)
		leaf blast	spikelet blast			
<i>Quercus</i>	control	0	0	1	0	0
	100%	1	1	3	0	1
	15%감비	0	1	1	0	0
	30%감비	0	0	1	0	0
<i>P. tomentiglandu losa</i>	control	0	0	1	0	0
	100%	1	1	3	0	1
	15%감비	1	1	1	0	1
	30%감비	0	0	1	0	0
<i>P. densiflora</i>	control	0	0	1	0	0
	100%	0	1	3	0	1
	15%감비	0	1	3	0	1
	30%감비	0	0	1	0	0

4) 쌀(백미)품위

수확, 건조, 정선, 도정 후 쌀 품위를 조사한 결과는 표 56와 같다. 일반 재배시 사양토 수종별 완전미율 차이는 참나무속 에서 평균 90% 이상 높았으나 소나무 및 은사시나무 수종간 에는 그 차이가 크지 않았다. 시비수준별 완전미율은 표준시비(화학비료분시시비) 대비 목재칩비료 지효성 비료에서 다소 높았고 시비량이 감소 될수록 높아 화학비료 분시 사용에 의해 비료 성분이 생육후기 까지 남아 있어 그 영향에 의한 것으로 사료되었다. 포트 재배시 토양별 쌀품위는 사토보다 점토에서 다소 높아 으나 일반재배와 달리 분상질은 낮은 반면 싸라기 및 사미율이 높게 나타났다 싸라기 율이 높은 것은 건조과정에 의한 원인도 있지만 양분 공급의 불균형 에 의해 생육이 부진 했던 점과 미숙된 상태에서 수확된 원인에 의한 것으로도 사료된다.

Table 56. Quality of milled rice according to the soil and cropping system (%)

	구 분	Treatment	Head rice	Milky white	Checked	Opaque-kernel
Sandyloam	<i>Quercus</i>	control	80.2	13.5	6.1	0.5
		100%	90.2	5.8	3.7	0.2
		15%감비	91.2	5.1	3.6	0.2
		30%감비	91.6	4.2	4.0	0.2
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	control	78.5	14.9	6.1	0.4
		100%	79.9	13.7	6.0	0.5
		15%감비	81.8	11.9	6.2	0.2
		30%감비	80.0	13.1	6.5	0.4
	<i>P. densiflora</i>	control	79.5	13.2	7.2	0.2
		100%	84.2	10.2	5.3	0.3
		15%감비	85.8	9.6	4.4	0.4
		30%감비	90.2	6.2	3.4	0.2
Clay	<i>Quercus</i>	control	76.4	0.3	21.1	2.2
		100%	76.0	0.3	22.7	0.6
		15%감비	78.5	0.3	20.3	2.6
		30%감비	68.5	0.4	28.7	2.6
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	control	75.0	0.2	22.3	2.6
		100%	74.5	0.2	24.0	1.3
		15%감비	79.8	0.3	19.1	0.8
		30%감비	77.5	0.2	21.5	0.8
	<i>P. densiflora</i>	control	73.2	0.4	22.9	3.7
		100%	74.1	0.4	23.8	1.6
		15%감비	75.5	0.4	22.3	1.7
		30%감비	75.5	0.2	23.0	1.4
Sand	<i>Quercus</i>	control	80.4	0.3	17.9	1.4
		100%	68.7	0.3	28.3	2.0
		15%감비	67.6	0.5	29.4	2.4
		30%감비	69.7	0.5	28.1	1.9
	<i>P. tomentiglandulosa</i>	control	79.5	1.8	18.7	1.5
		100%	65.8	0.4	30.8	3.1
		15%감비	67.7	0.7	28.3	3.4
		30%감비	69.9	0.1	28.3	1.7
	<i>P. densiflora</i>	control	80.1	0.2	18.2	1.4
		100%	67.9	0.8	27.9	3.7
		15%감비	69.5	0.2	27.6	2.7
		30%감비	74.0	0.5	24.1	1.6



포토재배



소나무



참나무속



은사시나무

Fig. 56. 벼 출수기 수종별생육

5) 식물체 건물중

벼 포토재배 수확 후 식물체 주당 건물중은 표 57과 같다. 토양별 건물중은 점토보다 사토에서 높아 으며 수종별로는 은사시나무가 점토 및 사토에서 가장 높게 나타났다. 시비수준별 차이는 토양 및 수종에 구분 없이 감비 될 수록 작아지는 경향을 보였으나 그 차이는 크지 않았다. 점토에서 건물중이 사토보다 적었던 것은 생육초기 배수불량에 의한 뿌리생육 부진에 의해 양분흡수 부족으로(미량요소 중 철(Fe)성분이 결핍) 생육이 저하된(그림 57 사진참조)것으로 사료 되었으며 수종별 건물중은 은사시나무>참나무>소나무 순으로 나타났다.

Table 57. Dry weight of the plant after harvest

(g/plant)

Treatment	Clay			Sandy		
	<i>Quercus</i>	<i>P. tomentig-landulosa</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>Quercus</i>	<i>P. tomentig-landulosa</i>	<i>P. densiflora</i>
without fertilizer	4.9	5.8	5.2	7.1	5.1	6.1
100%	12.6	14.0	11.1	14.2	15.2	13.1
15%감비	11.6	13.2	11.6	12.6	15.0	15.5
30%감비	11.6	10.5	13.6	12.6	14.0	10.5

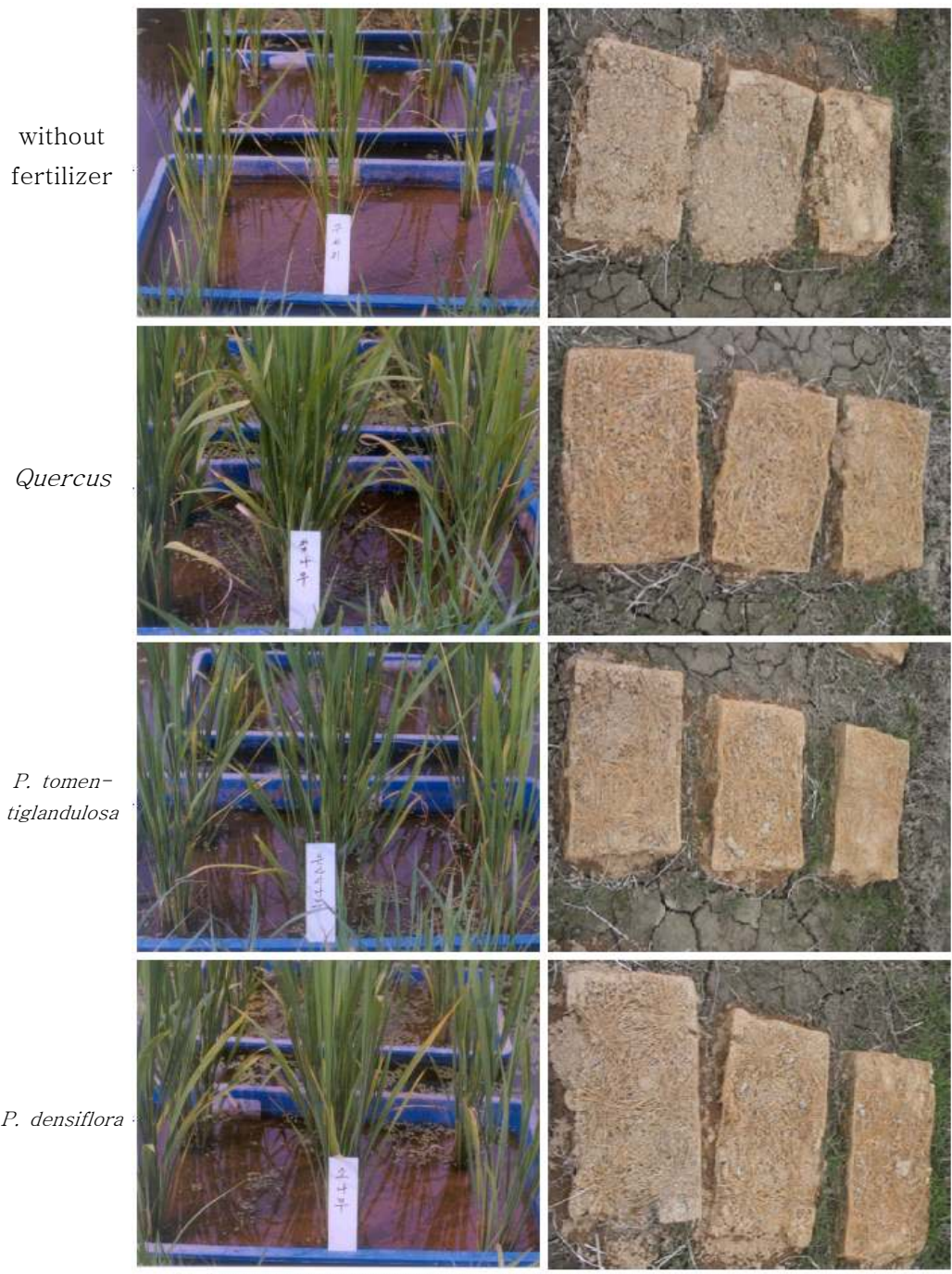


Fig. 57. Comparison of growth and development of shoot and root

6) 식물체중 무기 성분

식물체중 무기성분 함량은 표 58와 같다 수중별 처리에 의한 질소함량은 모든 처리에서 표준시비구보다 낮았으며, 이것은 표준시비(화학비료)에서 속효성비료의 분시에 의하여 늦게까지 토양 중에 비료성분이 남아 있었던 것에 의한 것으로 사료된다. 토양에 따라서 사토에서 전반적으로 질소성분이 낮은 것은 비료 성분이 점토보다 용탈이 쉬워 생육 후기 식물체 노화 정도가 빠른 영향도 한 원인으로 볼수 있었다.. 그밖에 인산, 가리 및 규산성분은 처리 간

차이점이 크지 않았다.

Table 58. The content of minerals in plants after harvest (%)

Mineral Nutrient	Treatment	Clay			Sand		
		<i>Quercus</i>	<i>P. tomentiglandulosa</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>Quercus</i>	<i>P. tomentiglandulosa</i>	<i>P. densiflora</i>
T-N	control	0.80	0.68	0.79	0.77	0.74	0.71
	100%	0.64	0.67	0.59	0.56	0.51	0.55
	15%감비	0.65	0.58	0.57	0.54	0.47	0.53
	30%감비	0.57	0.55	0.56	0.53	0.43	0.53
P ₂ O ₅	control	0.48	0.42	0.41	0.41	0.41	0.44
	100%	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.36
	15%감비	0.29	0.24	0.32	0.23	0.24	0.25
	30%감비	0.27	0.21	0.34	0.22	0.23	0.25
K ₂ O	control	1.59	1.37	1.37	1.44	1.42	1.38
	100%	1.19	1.40	1.15	1.47	1.30	1.52
	15%감비	1.34	1.32	1.37	1.34	1.26	1.35
	30%감비	1.52	1.23	1.20	1.38	1.04	1.37
SiO ₂	control	10.8	12.19	9.56	7.32	8.87	7.87
	100%	7.26	7.30	8.00	7.40	7.01	7.87
	15%감비	7.60	7.13	7.73	5.67	6.70	6.47
	30%감비	7.00	7.07	7.33	7.13	5.45	4.80

7) 토양 화학성변화

시험 후 토양의 화학적 특성은 표 59와 같다. 토양의 pH, EC, 인산,加里함량은 시험전보다 다소 감소하였으나, 유기물함량은 처리별 감비구를 제외 하고 다소 증가되었다. 특히, EC가 시험 전 토양보다 시험 후 토양에서 낮게 나타났는데 이것은 토양 특성상 많은 물 빠짐으로 인하여 염류의 농도가 낮아 졌기 때문으로 사료 되었고 유기물함량이 다소 증가 된 것은 목재칩 지효성 비료 자체가 작물 재배 후 에도 부숙이 진행되고 있음을 알 수 있다. 완효성비료 시용시 인산 및 양이온은 시험 후에 증가 한다고 보고되어 있으나 본 연구결과 완효성 비료와는 다소 차이는

있으나 모든 처리에서 감소되는 경향을 보여 금후 이에 대한 좀더 많은 연구 분석이 이루어져야 할 것으로 사료되었다.

Table 59. The chemicals composition of soil after harvest

Treatment		pH (1:5)	O.M (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-cation(cmol(+))/kg			SiO ₂ (mg/kg)	EC (ds/m)
					Ca	K	Mg		
<i>Quercus</i>	control	5.7	33	178	5.4	0.34	0.82	89	0.20
	100%	5.7	29	146	4.6	0.25	0.61	155	0.15
	15%감비	5.9	36	168	4.5	0.35	0.60	148	0.10
	30%감비	5.7	31	170	4.4	0.38	0.60	141	0.15
<i>P. omentiglandulosa</i>	control	5.8	31	167	4.8	0.27	0.75	127	0.15
	100%	5.7	33	175	4.0	0.35	0.58	133	0.15
	15%감비	5.7	31	168	4.4	0.38	0.61	170	0.10
	30%감비	5.9	37	191	5.1	0.36	0.81	191	0.20
<i>P. densiflora</i>	control	5.8	34	162	5.1	0.26	0.73	101	0.10
	100%	5.5	31	127	5.1	0.38	0.68	125	0.20
	15%감비	5.6	28	146	4.1	0.28	0.51	100	0.15
	30%감비	5.7	28	122	4.5	0.23	0.59	152	0.15

8) 요약

본 연구는 소경목(참나무속, 은사시나무, 소나무)목재칩 지효성 비료를 이용 수도작 시용 효과를 검토한 결과는 다음과 같다.

- 이양후 60일 토양별 생육은 사양토 에서 초장 및 경수가 증가 되는 경향을 보였고 포트 재배에서는 사토가 점토보다 생육이 양호 하였다. 수종별 특징은 공시토양 모두에서 은사시나무가 생육이 양호 하였으나, 소나무수종 에서 생육이 다소 부진 하였다. 시비수준에 따른 생육은 표준시비량 대비 초장은 차이가 적었으나 경수는 감비 될 수 록 적어지는 경향을 보였다.
- 수량구성요소 및 수량의 차이는 토양 및 수종, 시비 수준에 관계없이 감비 될 수 록 수량이 적어지는 경향을 나타냈으며, 수량지수 대비 수종별 차이점은 참나무속 에서 다소 낮은 경향을 보였으며 시비수준별 차이점은 표준시비 대비 15% 감비 까지는 수량 차이가 크지 않았다. 병해충 발생 정도는 표준시비(화학비료분시)대비 나무비료에서 다소 발생하는 경향을 보였으며 수종별로는 은사시나무에서, 시비수준 별로는 목재칩비료 100% 시비수준에서 병 발생이 많았다.
- 수확 후 식물체 건물중은 점토 및 사토 모두 은사시나무 수종에서 높고 소나무 수종에서 낮았으며, 시비수준 별로는 감비 될 수 록 건물중이 감소되는 경향을 보였다. 식물체 무기성분중 총질소는 사토보다 점토에서 재배한 식물체에서 높았으며, 그 밖에 인산, 칼리 및 규산은 처리간 차이가 적었다.

- 백미 완전미율은 사양토 및 점토에서 높고, 사토에서는 낮았다. 처리별 차이는 일반 재배는 표준시비(화학비료)보다 목재칩 지효성 비료에서 높고 수중별로는 참나무속 수종에서 높았다, 포트재배시 점토는 표준 시비대비 차이가 크지 않았으나 사토에서는 다소 차이를 보였다 이것은 표준재배(화학비료)는 벼 재배시 생육 시기에 맞게 3회 분시한 반면 목재칩 지효성 비료는 1회 기비 사용으로 한정된 비료 성분이 조기에 용탈되는 원인으로 사료되었다.
- 시험후 토양화학성은 pH, EC, 인산, 가리 함량은 시험전 보다 감소 되었으나 유기물 함량은 감비구를 제외 하고 증가 되는 경향을 보여 목재칩 지효성 비료가 생육 후기 까지 유기물 분해가 진행 되고 있는 것으로 사료 되었다.

나. 시험 2. 소경목을 활용한 목재칩비료 지역별 시용효과 검증

1) 시험전 토양화학성

시험전 토양분석결과는 표 60과 같이 pH 및 유기물함량은 지역간 큰차이를 보이지 않았으나 인산함량은 강릉, 철원지역에서 높았으며 양이온치환용량은 춘천이 높았으나 규산함량은 타 지역에 비해 다소 낮은 경향을 보였다.

Table 60. Chemical composition of soil before culture

Region	pH (1:5)	O.M (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/Kg)	Ca	K	Mg	CEC (cmol(+)/kg)	SiO ₂ (mg/kg)
				(cmol(+)/kg)				
Chunchon	5.7	33	178	5.4	0.34	0.82	10.29	168
Gangneung	5.6	31	318	4.2	0.36	0.84	8.54	328
Cheorwon	5.7	31	328	4.8	0.36	1.03	8.21	208

2) 초장 및 분얼수

이앙 30일후 지역 및 재배방법에 따른 생육조사 결과는 표 61과 같다 무처리를 제외한 초장차이는 춘천 표준재배에서 가장길고 강릉에서 다소 짧아 으며 경수는 철원지역에서 가장많고 춘천에서 적었다 처리별 생육중 혼합수종은 표준시비 대비 지역간 큰 차이 없이 초장 및 경수가 비슷하게 나타났으나 철원에서는 초장 및 경수가 많아 초기생육이 양호한 것을 볼 수 있어 기온변화 의 영향을 많이 받은 것으로 사료되었다.

Table 61. Plant height and numbers of tiller after 30 days of transplanting

sectoial	Chunchon			Gangneung			Cheorwon		
	standard fertilizer application	Mixed woodchip	without fertilize	standard fertilizer application	Mixed woodchip	without fertilize	standard fertilizer application	Mixed woodchip	without fertilize
Plant height (cm)	45	42	32	32	33	28	42	43	38
No. of tiller	13	12	6	16	15	12	20	24	13

3) 생육시기별 엽색도 분석

작물을 재배하는데 있어서 잎에 있는 엽록소나 질소함량을 안다는 것은 재배관리 면에서나 재해 경감 및 수량향상에 매우 중요하다 그러므로 SPAD-502는 간편하게 녹색에 대한 정도를 측정하므로 잎의 엽록소 함량이나 질소함량을 예측할 수 있어 SPAD값은 벼의 질소 요구량을 결정하는데 이용되고 있다 SPAD-502를 이용 무처리를 제외한 생육시기별 조사결과 철원에서 최고 분얼기 및 출수기에 그 값이 높았 으며 강릉에서 낮았다.

표준시비 대비 혼합수종의 엽색도는 지역간 큰 차이 없이 다소 낮아 화학비료에 비해 질소 용출속도가 느린 것으로 사료 되었다(표 62).

Table 62. Leaf color at different growth stages (SPAD)

Stage	Chunchon			Gangneung			Cheorwon		
	standard fertilizer application	Mixed woodchip	without fertilizer	standard fertilizer application	Mixed woodchip	.without fertilizer	standard fertilizer application	Mixed woodchip	.without fertilizer
Maximum tillering stage	39.8	36.4	24.6	38.9	36.2	24.5	40.1	37.2	28.4
Heading stage	37.3	35.7	23.0	36.8	34.5	23.6	38.4	35.2	24.5

4) 수량 및 수량구성요소

지역 및 처리별 수량 및 수량구성요소는 표 63과 같다. 간장 및 수장은 철원에서 다소 크고 길었으며 강릉에서 짧았다. 춘천은 철원과 비슷한 생육을 보였으나 3개지역중 제일적은 수수를 확보 하였으나 수당 립수는 가장 많았고 철원은 수수확보는 양호 하였으나 수당립수는 적었다 수량에 미치는 영향이 가장 큰 등숙율은 철원, 춘천, 강릉순 으로 나타났으며 철원이 높았던 것은 수당립수가 적어 양분공급이 유리한 것에 의한 것으로 사료되었다. 표준시비 대비 혼합수종의 간장, 수장 차이는 춘천, 철원은 차이가 적었으나 강릉은 다소 차이를 보였다. 수수확보는 춘천에서 다소 낮았을 뿐 지역간 차이는 없었고 수당 립수는 춘천, 철원에서 많았으나 강릉에서는 적었다 전체수량은 춘천, 철원, 강릉 순으로 나타났으며 혼합수종은 표준 시비대비 수량이 다소 낮아 목재칩비료 재분석결과 시비량이 다소 부족하게 처리 제작된 원인으로 판단되어 금후 정밀한 비료제작이 요구되었다.

Table 63. Comparison of yield and yield components of rice

Region	Treatment	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of hills	No. of spikelet	Ripened grain (%)	Yield (kg/10a)	Yield index
Chunchon	standard fertilizer application	68	20	13	82	92.8	526a [†]	100
	Mixed woodchip	62	19	11	78	93.6	490a	92
	without fertilizer	56	19	8	73	92.9	243b	46
Gangneung	standard fertilizer application	60	20	15	73	93.2	480a	100
	Mixed woodchip	55	18	15	68	91.3	418b	91
	without fertilizer	52	13	11	51	94.1	320c	66
Cheorwon	standard fertilizer application	69	16	14	61	95.7	537a	100
	Mixed woodchip	66	16	14	45	97.5	490b	91
	without fertilizer	62	20	11	37	94.2	249c	46

5) 쌀(백미)품위

수확, 건조, 정선, 도정 후 쌀 품위를 조사한 결과는 표 64와 같다. 쌀 품위를 결정짓는 백미 완전미율은 춘천, 강릉, 철원 순으로 나타났고 표준 시비대비 혼합수종의 쌀 품위는 춘천에서 가장 높았으며, 강릉에서는 쌀알의 표면이 백색 불투명한 유백미율이 다소 높았다 특히 철원에서 다소 낮았는데 이것은 쌀알에 하나 혹은 여러 개의 금이 간 동할미율이 높은 원인에 의해 품위가 저하된 것으로 판단되었으며, 지역 및 처리 간 완전미율에 대한 통계처리결과 철원 무처리를 제외하고 그 차이를 보이지 않아 뚜렷한 효과는 나타나지 않았다

Table 64. Quality of milled rice according to the soil and cropping system (%)

Region	Treatment	Head rice	Milky white rice	Checked rice	Opaque-kernel rice
Chunchon	standard fertilizer application	94.7a [†]	1.9	2.9	0.5
	Mixed woodchip	96.6a	0.7	2.6	0.1
	without fertilizer	97.6b	1.2	1.0	0.2
Gangneung	standard fertilizer application	86.6a	3.4	8.7	1.3
	Mixed woodchip	88.6a	5.8	4.5	1.1
	without fertilizer	85.4a	3.7	6.7	4.2
Cheorwon	standard fertilizer application	80.8a	0.2	14.8	4.2
	Mixed woodchip	78.5a	0.3	14.6	6.6
	without fertilizer	68.5b	9.1	14.2	8.2

6) 쌀(백미)품질

식미를 좌우하는 요인으로는 품종, 산지, 기상, 토양, 재배방법 등이 관계하며 그중 미립의 전분이나 단백질 등의 성분이 집적하는 조건이 식미에 영향을 미친다 특히 재배방법중

질소비료는 단백질 함량과 깊은 관계가 있어 다비 재배시 쌀의 단백질 함량을 증가시켜 식미가 저하된다 혼합수종 처리시 표준 시비대비 성분변화 및 밥맛을 측정한 결과는 표 65와 같다. 단백질 함량 및 아밀로스 무처리에서 낮아지는 경향을 보였을 뿐 표준 시비대비 혼합수종처리에 의한 차이는 없었다 식미치는 지역 및 처리간 통계상 유의성은 인정되지 않았으나 수치상은 다소 증가되는 경향을 보여 혼합수종 처리시 밥맛이 향상되는 것을 볼 수 이었다.

Table 65. Quality of milled rice according to the soil and cropping system (%)

Region	Treatment	moisture	protein	amylose	whiteness	Toyo. taste
Chunchon	standard fertilizer application	14.6	8.7a [†]	15.6	46.4	78a [†]
	Mixed woodchip	14.3	7.9a	15.8	44.1	80a
	without fertilizer	15.9	8.6b	15.0	39.6	78a
Gangneung	standard fertilizer application	14.2	6.6a	15.7	48.5	82a
	Mixed woodchip	13.9	7.3a	16.1	46.6	84a
	without. fertilizer	13.7	5.2b	21.3	43.7	84a
Cheorwon	standard fertilizer application	13.4	7.6a	16.9	44.0	83ab
	Mixed woodchip	13.7	7.3a	16.3	44.7	86a
	without fertilizer	14.0	6.8a	18.0	43.4	80.b

7) 식물체 건물중

생육기별 처리에 따른 식물체 건물중은 표 66과 같다. 전체 건물중은 춘천이 가장 높았고 강릉이 가장 낮았다. 지역별 생육기에 따른 차이는 출수기 에는 큰차이를 보이지 않았으나 최고 분얼기와 수확기때 혼합수종처리가 표준시비대비 건물중이 낮게 나타나 건물중이 수량에 미치는 영향을 고려할 때 혼합수종처리에서 수량이 낮았던 원인중 하나로 사료되었다.

Table 66. Dry weight of the plant after harvest (g/plant)

sectoial	Chunchon			Gangneung			Cheorwon		
	standard fertilizer application	Mixed woodchip	without. fertilizer	standard fertilizer application	Mixed woodchip	without. fertilizer	standard fertilizer application	Mixed woodchip	without. fertilizer
Maximum tillering stage	4.32	3.49	2.36	4.49	3.39	2.32	4.47	4.29	2.44
Heading stage	82.93	77.89	70.55	75.10	72.43	67.80	87.13	79.53	72.50
harvest stage	59.21	47.73	18.45	55.53	35.68	16.58	61.72	45.53	19.22

8) 식물체중 무기 성분

수확후 식물체중 무기성분 함량은 표 67과 같다 지역간 다소 차이는 있으나 전체적으로 식물체 내에는 칼리가 가장 많았고 마그네슘이 적었다 칼리는 질소와 함께 체내 함유량이 가장 많고

생육후기에 많이 흡수되는 것으로 보고되어있다 벼 재배시 병원균이나 해충의 침입을 막는 등 벼의 건전한 생육에 크게 기여 하고 있는 규산함량은 지역 및 처리 간 그 차이를 뚜렷하게 구별할 수 없었으나 철원 및 강릉지역에서 높았다 혼합수종은 표준 시비대비 규산성분을 제외하고 무기성분 함량이 낮았으며 특히 질소와 칼리 함량이 적었다 지역 및 처리 간 차이는 강릉에서 다소 차이를 보였으며, 춘천은 그 차이가 크지 않아 지역에 따라 다소차이 보여 무기성분 흡수는 지역의 기상 및 토양에 따라 다소 차이가 있는 것으로 판단되었다.

Table 67. The minerals content of plants after harvest (%)

Mineral Nutrient	Chunchon			Gangneung			Cheorwon		
	standard fertilizer application	Mixed woodchip	without. fertilizer	standard fertilizer application	Mixed woodchip	without. fertilizer	standard fertilizer application	Mixed woodchip	without. fertilizer
T-N	1.50	1.21	1.43	3.06	2.23	1.98	2.18	1.45	1.69
P ₂ O ₅	0.89	0.65	0.71	0.45	0.35	0.85	0.80	0.74	0.72
K ₂ O	1.40	1.28	1.41	2.61	2.06	2.43	2.74	2.53	2.35
CaO	0.27	0.34	0.25	0.19	0.17	0.25	0.24	0.21	0.19
MgO	0.17	0.13	0.13	0.17	0.16	0.14	0.13	0.09	0.07
SiO ₂	6.70	6.91	7.18	5.77	6.93	7.66	5.06	7.93	6.33

9) 토양 화학성변화

시험 후 토양의 화학적 특성은 표 68과 같다. 토양의 산도, 유기물, 인산, 함량은 시험전보다 다소 증가 하였다 특히 유기물함량은 평균 33mg kg⁻¹ 으로 비교적 높아 으며 또한 증가 된 것은 목재칩 지효성 비료 자체가 작물 재배 후 에도 부숙이 진행되고 있음을 알 수 있다, 규산함량은 246mg kg⁻¹ 으로 벼재배 기준치 130mg kg⁻¹ 보다 많았으나 시험 전보다는 지역간 차이는 있으나 감소되는 경향을 보였고 특히 무처리를 제외하고 양이온치환용량이 증가 되어 완효성비료 사용시 인산 및 양이온은 시험 후에 증가 한다고 보고된 것과 본 연구결과가 일치 하였다.

혼합수종처리 는 표준 시비대비 유기물함량 및 양이온치환용량이 증가되었고 강릉을 제외하고 인산 및 규산함량은 감소되는 경향을 보였다.

Table 68. Chemicals composition of soil after harvest

Region	Treatment	pH (1:5)	O.M (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/Kg)	Ca	K	Mg	CEC (cmol(+)/kg)	SiO ₂ (mg/kg)
					(cmol(+)/kg)				
Chunchon	standard fertilizer application	5.6	33	171	6.2	0.52	1.09	11.38	171
	Mixed woodchip	5.8	34	134	5.6	0.50	1.04	12.11	150
	without. fertilizer	5.6	31	125	5.7	0.48	0.99	10.71	154
Gangneung	standard fertilizer application	5.9	31	383	5.6	0.10	0.85	8.40	336
	Mixed woodchip	5.7	33	476	5.7	0.11	0.89	8.30	425
	without. fertilizer	5.6	29	126	4.8	0.10	0.76	7.87	243
Cheorwon	standard fertilizer application	5.7	32	334	4.0	0.38	1.02	7.30	213
	Mixed woodchip	5.8	34	123	3.4	0.44	0.81	8.01	180
	without. fertilizer	5.6	31	104	4.1	0.48	1.07	9.01	195

10) 요약

본 연구는 산림 조림시 발생되고 있는 소경목 혼합수종(참나무속, 은사시나무, 소나무)을 이용 목재칩 지효성 비료를 개발 수도작 시용 효과를 검토하고자 춘천, 철원, 강릉에서 시험을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 이양후 30일 지역 및 재배방법에 따른 생육중 초장은 춘천 표준 시비에서 가장길고 강릉에서 짧았으며 경수는 철원에서 가장 많고 춘천에서 적었다. 혼합수종은 표준시비대비 지역간 처리별 큰 차이는 나타나지 않았다
- 생육시기별 엽색도는 철원에서 최고분얼기 및 출수기에 그 값이 높았 으며 강릉에서 낮았으며 표준시비대비 혼합수종에서는 엽색도가 낮게 나타났다.
- 수량 및 수량구성요소중 간장 및 수장은 철원에서 다소 길고, 강릉에서 짧았으며 수량에 미치는 영향이 가장 큰 등숙율은 철원, 춘천, 강릉 순 으로 나타났고 전체수량은 춘천, 철원, 강릉 순으로 나타났으며 혼합수종은 표준 시비대비 춘천에서만 유의성이 인정되었음
- 쌀 품위 및 품질은 표준 시비대비 혼합수종처리에서 지역 및 처리간 다소 차이는 있었으나 그 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았음
- 생육기별 식물체 건물중 최고분얼기는 춘천이 가장 높았으며 강릉이 낮았으며 출수기 및 수확기는 철원 표준시비에서 가장 높았다 혼합수종은 표준시비대비 지역 및 처리간 차이 없이 건물중이 다소 떨어졌으며, 특히 생육후기 그 차이가 뚜렷하였다.
- 수확후 식물체중 무기성분은 칼리가 가장 많고 마그네슘이 적었으며 혼합수종은 표준시비대비 규산성분을 제외하고 무기성분 함량이 적게 나타났다

- 시험후 토양의 화학성분은 산도, 유기물, 인산, 함량은 시험전보다 다소 증가 되었으며 특히 유기물함량증가가 뚜렷하였다 혼합수종처리는 표준 시비대비 유기물함량 및 양이온치환용량이 증가되었고 강릉을 제외하고 인산 및 규산함량은 감소되는 경향을 보였다

다. 시험 3. 소경목을 활용한 목재칩비료 년차간 시용효과 검증

1) 시험전 토양화학성

시험전 토양분석결과는 표 69과 같이 pH 및 유기물함량은 표준시비 대비 처리간 큰 차이는 없었으나, 참나무류 및 은사시나무에서 다소 높았으며, 인산함량은 표준시비보다 낮게 나타났다. 양이온치환용량은 혼합수종에서 높았으며, 단수종 처리에는 그 차이를 보이지 않았다.

Table 69. Physico-chemical properties of soil before cultivation

Treatmet	pH (1:5)	O.M (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/Kg)	Ca	K	Mg	C.E.C (mg/kg)
				(cmol(+)/kg)			
Standard fertilizer	5.80	28.8	180	3.83	0.27	0.48	10.42
Mixed woodchip	5.70	29.3	170	3.48	0.36	0.42	11.22
<i>Quercus</i>	5.80	30.7	164	3.84	0.31	0.48	10.90
<i>P.tomentiglandulosa</i>	5.93	30.3	167	4.05	0.35	0.49	10.20
<i>Pinus densiflora</i>	5.67	28.4	172	3.61	0.38	0.44	10.20
without fertilizer	5.44	26.0	142	3.28	0.35	0.20	9.52

2) 초장 및 분얼수

이양후 30일과 60일 처리별 생육조사결과는 표 70과 같다. 무처리를 제외한 수종별 초장은 생육초기(이양후 30일)에는 참나무, 소나무, 혼합수종, 은사시나무 순으로 컸고, 표준시비구는 목재칩 수종에 비해 작은 경향을 보였으며, 생육후기(이양후 60일)에는 소나무 목재칩비료 시용구에서 가장 큰 생육을 보였을 뿐, 수종간 차이는 크지 않았다. 주당경수는 혼합수종 처리에서 가장 많았으며, 단수종 3처리는 표준시비구와 같은 수준의 주당경수를 보였다.

Table 70. Plant height and number of tillers after transplanting

Treatmet	Plant height(cm)		No. of tiller	
	30day	60day	30day	60day
Standard fertilizer	70.7c	97.6b	22.8b	16.0b
Mixed woodchip	79.0a	100.3ab	27.9a	18.1ab
<i>Quercus</i>	80.3a	99.9ab	24.8ab	18.4a
<i>P.tomentiglandulosa</i>	76.5b	98.8ab	22.2b	16.5b
<i>Pinus densiflora</i>	79.7a	102a	23.5b	18.3a
without fertilizer	65.4d	85.3c	12.4c	9.9c

3) 생육시기별 엽색도 분석

잎의 엽록소 함량은 잎 질소함량과 높은 정의 상관성이 있으며, SPAD값은 벼의 질소 요구량을 결정하는데 이용하고 있으며 엽색과 엽록소는 상관관계가 높은 것으로 나타났다(이 등, 1991; 이 등, 1971). 수종별 목재칩비료 시용에 따른 엽색도는 표 71과 같다. 최고분얼기 SPAD값 차이는 41.4~44.3를 보였고, 소나무에서 44.3로 가장 높고 표준시비에서 39.9로 다소 낮은 경향을 보였다. 출수기 SPAD값 차이는 36.7~41.1를 보였고, 최고분얼기와는 달리 표준시비처리에서 41.9로 가장 높은 값을 나타냈으며, 은사시나무에서 36.7로 가장 낮았다. 최고분얼기와 출수기의 차이는 은사시나무에서 4.5의 차이를 보여 최고분얼기 이후 비료성분의 용출이 빠른 것으로 사료되었으며, 기타 수종에서는 차이정도가 같은 수준을 보였다. 출수기에 표준시비에서 SPAD 값이 높았던 것은 질소분시에 따른 이삭거름의 영향인 것으로 판단되었다.

Table 71. Growth stage and leaf color (SPAD)

Growth stage	Standard fertilizer	Mixed woodchip	<i>Quercus</i>	<i>P.tomentiglandulosa</i>	<i>Pinus densiflora</i>	without fertilizer
Maximum tillering	39.91d	43.27b	44.30a	41.27c	44.32a	39.26d
Heading	41.97a	39.10bc	41.13ab	36.73d	40.10bc	39.62c

4) 침투수 수질분석

토양깊이 60cm의 침투수중 총 질소농도를 시기별 측정 평균한 결과는 표 72와 같다. 수종별 목재칩비료시비는 표준시비대비 생육초기보다는 후기에 농도가 증가하였으며 시판 되고있는 완효성비료 시나브로와 같은 경향을 나타내었다.

Table 72. Total nitrogen in leachate analysis(mg/L)

Treatment	Date of sample collection				
	6.15	6.29	7.14	8.01	8.18
Standard fertilizer	4.17	3.37	2.53	3.34	2.28
Mixed woodchip	1.24	2.64	1.71	4.51	5.83
<i>Quercus</i>	1.52	3.48	2.11	4.26	4.32
<i>P.t omentiglandulosa</i>	2.06	4.79	1.84	4.50	4.38
<i>Pinus densiflora</i>	1.39	3.43	1.72	4.30	5.53
Shinabro	0.99	2.37	3.21	5.92	6.63
Without fertilizer	0.81	2.29	2.99	1.16	1.88

유효분얼기(6월29일)는 은사시나무가 4.79m/l, 출수기(8월1일)는 완효성비료인 시나브로가 5.92m/l 가장 높았으며 혼합수종은 2.64m/l, 4.51m/l로 수종별 목재칩비료중 생육후기까지 농도가 증가되었다..

총인산은 생육초기인 6월15일에 표준시비를 비롯 목재칩비료 모두 농도가 높았으며 출수기 인 8월1일 완효성 시나브로는 2.19m/l로, 표준시비 1.64m/l, 혼합수종1.91m/l의 보다 높아 생육후기 까지 인산이 지속적으로 용출되었음(표 73).

Table 73. Total phosphorus in leachate analysis(mg/L)

Treatment	Date of sample collection				
	6.15	6.29	7.14	8.01	8.18
Standard fertilizer	3.56	3.02	1.25	1.64	0.89
Mixed woodchip	2.03	2.33	1.56	1.91	0.98
<i>Quercus</i>	1.41	3.27	1.60	1.68	0.80
<i>P.tomentiglandulosa</i>	2.04	2.75	1.49	1.71	0.76
<i>Pinus densiflora</i>	2.39	2.66	1.24	1.56	0.90
shinabro	2.86	3.45	1.31	2.19	1.04
without fertilizer	1.78	1.68	1.17	1.70	1.15

총 칼리는 표 74와 같이 혼합수종에서 생육초기에서 후기까지 전생육기간 동안 농도가 높았으며 표준시비는 생육초기에서는 농도가 다소 높았으나 생육후기에 낮아져 관수에 의한 용탈이 증가된 원인으로 사료되었으며 혼합수종과 무처리에서 칼륨농도가 높은 것은 칼륨의 특성 즉 개화작과율을 높이고 결실을 촉진 하다는 보고와 같은 경향을 나타내었다.(강영홍 1996)

Table 74. Total potassium in leachate analysis(mg/L)

Treatment	Date of sample collection				
	6.15	6.29	7.14	8.01	8.18
Standard fertilizer	3.87	1.97	2.93	2.73	2.44
Mixed woodchip	5.15	4.65	4.47	4.14	4.45
<i>Quercus</i>	2.86	3.22	2.75	3.34	3.73
<i>P. tomentiglandulosa</i>	3.27	4.32	4.60	3.41	4.42
<i>Pinus densiflora</i>	3.05	4.09	4.06	3.63	4.02
Shinabro	3.49	3.15	2.95	2.89	1.99
Without fertilizer	5.18	3.10	3.74	3.06	4.74

5) 수량 및 수량구성요소

처리별 수량 및 수량구성요소는 표 75와 같다. 간장은 표준시비 대비 목재칩비료 시용구에서 컸으며, 수종별로는 참나무류, 소나무 및 혼합수종 시용구에서는 83cm로 같은 크기를 보였으나, 은사시나무는 79cm로 다소 작은 경향을 보였고, 수장은 평균 21cm로 처리간 차이가 없었다. 수당립수는 표준시비에서 94개로 가장 많았고, 목재칩비료 시용구에서는 평균 87개로 표준시비보다 적었으며. 수량에 미치는 영향이 가장 큰 등숙율은 목재칩비료 수종별 차이는 없었으나 혼합수종 에서 87.6%로 표준시비보다 1.6% 높았, 수량은 혼합수종처리에서 521kg/10a로 가장 높았으며, 은사시나무 시용구에서 490kg/10a로 가장 낮았다. 쌀 수량은 혼합수종 시용구에서는 521kg/10a로 가장 높았으나 기타 수종에서는 표준시비대비 4~6%의 감수되었다.

Table 75. Yields and yield components of rice

('05~'06강원도원)

Treatmet	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of hills	No. of spikelet	Ripened grain (%)	Yield (kg/10a)	Yield index
Standard fertilizer	80	21	16	94	86.0ab	519a	100
Mixedwoodchip	83	20	18	88	87.6a	521a	101
<i>Quercus spp</i>	84	21	18	86	85.1b	496b	96
<i>P.tomentiglandulosa</i>	79	21	17	87	82.8c	495b	95
<i>Pinus densiflora</i>	83	21	18	87	78.6b	490b	94
without fertilizer	70	20	10	78	94.7a	350c	67

† : means with the same letter are not significantly different

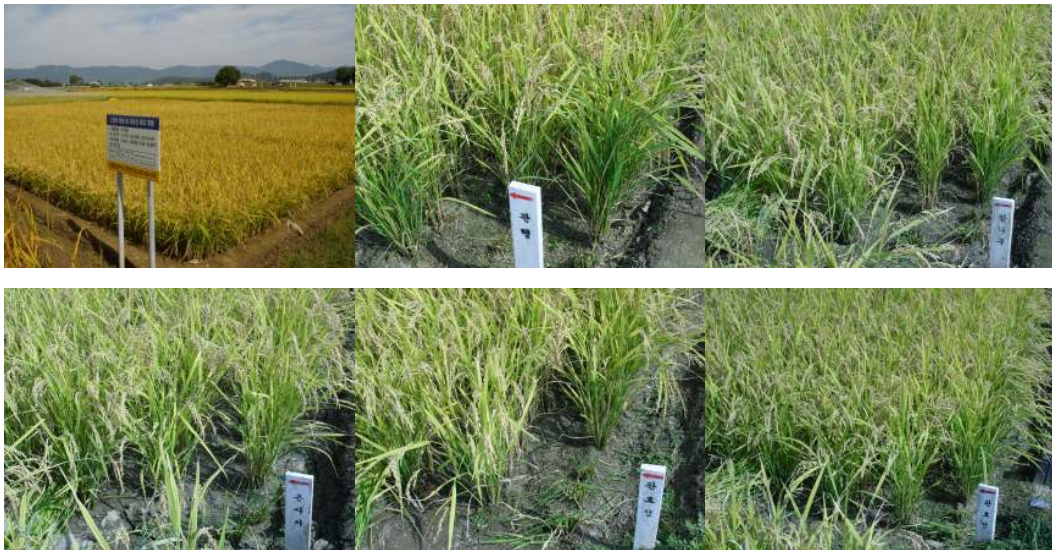


Fig. 58. Experimental field

6) 쌀(백미)품위

수확, 건조, 정선, 도정 후 쌀 품위를 조사한 결과는 표 76과 같다. 쌀 품위를 결정짓는 백미 완전미율(박석홍 1996; 조 등, 1984)은 목재칩비료 처리에서 평균 83.4%로 화학비료 표준시비(78.4%)보다 높았으며, 수종간에는 소나무, 혼합수종, 은사시나무, 참나무 순으로 나타났다. 품위별로는 유백미가 가장 높게 나타났으며, 특히 표준시비구에서는 15.8%가 발생되어 완전미율이 저하되는 원인이 되었고, 기타 쌀알에 여러 개의 금이 간 동할미와 사미가 많이 발생되었다.

Table 76. Quality of milled rice

(%)

Treatment	Head rice	Milky white rice	Checked rice	Opaque-kernel rice
Standard fertilizer	78.4c	15.8a	4.9	0.9
Mixed woodchip	84.2b	9.2bc	5.6	1.0
<i>Quercus</i>	83.2b	8.2bc	6.4	1.8
<i>P. tomentiglandulosa</i>	82.9b	9.3bc	6.5	1.2
<i>Pinus densiflora</i>	83.6b	9.6bc	5.7	1.1
without fertilizer	86.9a	7.4c	4.3	1.4

7) 쌀(백미)품질

식미를 좌우하는 요인으로는 품종, 산지, 기상, 토양, 재배방법 등이 관계하며 그 중 미립의 전분이나 단백질 등의 성분이 집적하는 조건이 식미에 영향을 미친다(농진청, 2004; 박 등; 1990). 특히 재배방법중 질소비료는 단백질 함량과 깊은 관계가 있어 다비 재배시 쌀의 단백질 함량을 증가시켜 식미가 저하된다(농진청, 2004). 처리별 화학성분 및 식미조사 결과는 표 77과 같다. 단백질 함량은 목재칩비료 처리구에서 평균 6.6%로 6.3%인 화학비료 표준시비보다 높았으며, 아밀로스함량은 모든 처리구에서 평균 17.9%로 같은 수준을 보였으며, 투명도를 나타내는 백도는 수종 및 처리간 다소차이를 보여 혼합수종에서 48.2로 가장 높았다. 도요식미치는 목재칩비료 처리에서 평균 81로 화학비료 표준시비구 75보다 높았으며, 수종별로는 혼합수종이 가장 높게 나타났다. 따라서 목재칩비료 처리시 표준시비 대비 밥맛이 다소 향상되는 것을 볼 수 있었다.

Table 77. Quality of milled rice

(%)

Treatment	Moisture	Protein	Amylose	Whiteness	Toyo taste
Standard fertilizer	13.9	6.3a	18.1	46.5ab	75c
Mixed woodchip	14.0	6.0b	17.8	48.2a	82b
<i>Quercus</i>	13.9	6.2ab	18.4	46.6ab	80b
<i>P. tomentiglandulosa</i>	14.1	6.2ab	17.9	45.8b	80b
<i>Pinus densiflora</i>	13.7	6.3a	17.4	46.2ab	81b
Without fertilizer	14.5	6.1ab	18.2	43.4c	84a

8) 식물체 건물중

생육기별 처리에 따른 식물체 건물중은 표 78과 같다. 최고분얼기 건물중은 경수 및 엽면적이 많았던 혼합수종처리에서 18.6g 으로 가장 높았으며 기타 목재칩비료 처리구는 화학비료 표준시비구와 같은 수준을 보였다. 출수기 건물중은 최고분얼기와는 달리 엽면적이 넓었던 소나무목재칩비료 처리구에서 높았으며 기타 목재칩비료 처리구간 에는 그 차이가 크지 않았으나 화학비료 표준시비보다는 다소 높게 나타났다. 생육기별 경수, 엽면적, 건물중이 높았던 혼합수종처리는 생육후기 수량구성요소에 미치는 영향이 높아 수량이 증가된 원인중 하나로 사료되었다.

Table 78. Dry weight of plant at different growing stages

(g/plant)

Treatment	Maximum tillering stage			Heading stage		
	No. of tiller	leaf area (LAD)	Dry weight	No. of spike	leaf area (LAD)	Dry weight
Standard fertilizer	20a	3.46b	16.5a	16ab	3.57ab	34.5ab
Mixed woodchip	26b	4.75a	18.6a	18b	4.58b	37.9ab
<i>Quercus</i>	22b	4.03ab	16.1a	19ab	5.21a	39.7ab
<i>P. tomentiglandulosa</i>	20b	3.70ab	16.1a	17ab	4.35ab	37.5ab
<i>Pinus densiflora</i>	24b	3.92ab	15.5a	20a	5.26a	41.5a
Without fertilizer	11c	1.40c	7.4ed	11c	1.89c	21.9c

9) 식물체중 무기 성분

최고분얼기 식물체중 무기성분 함량은 표 79와 같다. 처리 및 목재칩비료 수준간 다소 차이는 있으나 무기성분중 규산성분이 가장 많았고 칼리, 질소, 인산 순으로 나타났다. 화학비료 표준시비 대비 우두칩 처리구에서는 인산과 규산은 같은 수준을 보였고, 질소와 칼리는 다소 높은 수준을 보였으나 통계적 유의성은 무처리를 제외하고 같은 수준이었다.

3요소 즉 질소는 혼합수중에서, 칼리는 소나무 목재칩비료 처리구에서 가장 높았으나 인산은 처리간 유효성이 나타나 않았다. 벼 재배시 병원균이나 해충의 침입을 막는 등 벼의 건전한 생육에 크게 기여하고 있는 규산성분(조 등, 1997; 최규모, 1995)이 목재칩비료 처리구에서 높게 나타나 금후 소경목을 이용한 칩비료 사용은 병해충 발생을 경감시켜 수량 및 품질향상에 기여할 것으로 사료되었다.

Table 79. The contents of minerals in plants at maximum tillering stage

(%)

Treatmet	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SiO ₂
Standard fertilizer	1.23ab	1.09ns	3.59ab	6.10ab
Mixed woodchip	1.74a	0.97ns	3.59ab	6.77ab
<i>Quercus</i>	1.66ab	1.09ns	3.91ab	6.63ab
<i>P.tomentiglandulosa</i>	1.62ab	1.08ns	3.92ab	7.23a
<i>Pinus densiflora</i>	1.72ab	1.11ns	4.23a	6.07ab
without fertilizer	1.22b	0.91ns	3.28b	5.6b

10) 토양 화학성변화

시험 후 토양의 화학성은 표 80과 같다. 토양의 산도, 유기물 및 인산 함량은 시험전보다 다소 낮아지는 경향을 보였으며, 유기물함량은 목재칩비료 처리간 다소 차이는 있으나 평균 26.68g/kg로 화학비료 표준시비 25.87g/kg보다 높았으나 은사시나무를 제외하고는 통계적 유의성은 없었다. 목재칩비료 처리구의 인산함량은 109~127.3mg/kg로 시험전보다 평균 51mg/kg가 낮아졌으나 표준시비에서도 같은 경향으로 낮아지는 것을 보여 목재칩비료 처리에

의해 인산함량이 낮아지는 것으로 판단되지는 않았다 양이온친화용량은 화학비료 표준시비구의 8.49cmol(+)/kg에 비해 목재칩비료 처리구에서 평균 6.62cmol(+)/kg로 나타나 1.9정도 낮았으며, 혼합수종 처리구에서 더 낮아지는 경향을 보였다. 토양중 규산함량은 목재칩비료 처리구에서 평균 172mg/kg으로 화학비료 표준시비보다 높아 목재칩비료 처리시 규산성분이 증가하는 것으로 사료되었다.

Table 80. Physico-chemical properties of soil after cultivation

Treatmet	pH (1:5)	O.M (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/Kg)	Ca (cmol(+)/kg)	K (cmol(+)/kg)	Mg (cmol(+)/kg)	C.E.C (cmol(+)/kg)	SiO ₂
Standard fertilizer	6.30	25.87ab	116	4.51	0.25	0.58	9.49	158c
Mixed woodchip	6.24	26.70ab	116	3.81	0.39	0.45	10.17	176a
<i>Quercus</i>	6.13	29.18a	116	3.57	0.26	0.44	9.31	172a
<i>P. tomentiglandulosa</i>	6.46	25.09bc	127	4.78	0.32	0.62	10.06	168b
<i>Pinus densiflora</i>	6.31	25.73ab	109	4.03	0.38	0.49	9.94	173a
without fertilizer	6.01	24.63c	98	3.06	0.20	0.32	8.98	142d

11) 목재칩비료사용 소득분석

목재칩비료(혼합수종)사용시 표준재배와의 일반적 소득을 비교한 결과는 표 81과 10a당 노력절감에 의한 소득지수가 4%증가하였는데 이는 표준재배는 생육시기에 맞게 3~4회 분시 하여야 하는데 목재칩비료(혼합수종)은 1회 기비사용으로 수확때까지 시비하지 않아도 되는 장점에 의한 것이다 그러나 소경목수집 및 제작에 관한노력과 비료주입에 따른 기타경영비가 정확히 산출되어야하며, 금후 경제성을 검토하기 위해서는 일반 시판되고 있는 완효성 비료와의 검토가 이루어 져야 할 것으로 사료되었다.

Table 81. Woodchip income analysis

(단위:10a)

Treatment	수 량 (kg)	고용노력 (hrs)	조수입 (천원)	경영비 (천원)	소득	
					금액(천원)	지수
Standard fertilizer	519	2.6	1,012	355	657	100
Mixed woodchip	521	0.5	1,016	336	680	104

12) 요약

본 연구는 산림 조림시 발생되고 있는 소경목(참나무류, 은사시나무, 소나무, 단수종3종을 혼합한 혼합수종)을 이용 목재칩비료를 제작, 3요소(질소, 인산, 칼리)를 주입, 지효성 비료를 제조한 후 벼 재배에 사용 그 효과를 검토하고자 시험을 실시하였으며 결과는 다음과 같다.

- 이양후 30일경 초장 및 경수는 참나무류>소나무>혼합수종>은사시나무 순으로 생육이 양호하였으나, 60일경에는 소나무에서 초장 및 경수가 증가되었을 뿐 기타 수종간에는 큰

차이가 없었다.

- 목재칩비료 시용시 최고분얼기 엽색도값은 평균 41.4~44.3으로 표준시비보다 높았으나, 출수기에는 평균 36.7~41.1로 표준시비구(41.9)보다 낮았다.
- 년차간 변이검토중 수량은 목재칩비료(혼합수종)처리시 표준시비 대비 같은 수량성(521kg/10a)을 보였으며 쌀의 완전미율은 표준시비구에서는 78.4%였고, 혼합수종 84.2 기타수종에서 평균 83%를 보여 표준시비보다 높은 품질을 보였음.
- 쌀 품질중 아밀로스와 백도(투명도)는 처리간 차이가 없었고 단백질은 목재칩비료 처리에서 다소 높아지는 경향을 보였으나 도요 식미치는 표준시비에서 75을 보인 반면, 목재칩비료 처리구에서는 81로 목재칩비료를 시용함으로써 밥맛이 좋아지는 것으로 사료되었다.
- 식물체 건물중은 최고분얼기에는 혼합수종, 출수기에는 소나무칩 시용구에서 가장 무거웠는데, 이는 목재칩비료 처리시 표준시비 대비 경수 및 수수 증가에 의한 것으로 판단되었다.
- 시험후 토양의 화학성분중 산도, 유기물, 인산 함량은 시험전보다 다소 감소되었으나 유기물함량은 목재칩비료 종류별로 다소 차이는 있으나 평균 26.7g/kg로 표준시비보다 높아 목재칩비료 처리후 부숙에 의해 유기물이 증가된 것으로 사료되었다.

5. 결론 및 요약

본 연구는 산림 조림시 발생되고 있는 소경목(참나무류, 은사시나무, 소나무, 단수종3종을 혼합한 혼합수종)을 이용 목재칩비료를 제작, 3요소(질소, 인산, 칼리)를 주입, 지효성 비료를 제조한 후 벼 재배에 시용 그 효과를 검토하고자 시험을 실시하였으며 1년차 시험은 목재칩비료의 적정시비량 결정, 2년차는 기상 및 토양이 다른 농가실증재배, 3년차는 목재칩비료활용 벼 재배의 년차간 변이를 검토하였으며 결과는 다음과 같다.

- 가. 토양별 생육은 사양토 에서 초장 및 경수가 증가 되는 경향을 보였고 포트 재배에서는 사토가 점토보다 생육이 양호 하였다. 수종별 생육은 은사시나무가 양호 하였고 소나무수종이 생육이 부진하였다.
- 나. 토양 및 수종별 목재칩비료 시용 수량은 감비 될 수 록 수량이 적어지는 경향을 나타냈으며, 수종별 차이는 참나무속 에서 다소 낮은 경향을 보였다.
- 다. 수확 후 식물체 건물중은 점토 및 사토 모두 은사시나무 수종에서 높고 소나무 수종에서 낮았으며, 무기성분중 총질소는 사토보다 점토에서 높았으며, 그 밖에 인산, 칼리 및 규산은 처리간 차이가 적었다.
- 라. 백미 완전미율은 사양토 및 점토에서 높았고 사토에서는 낮았으며 목재칩 지효성 비료는 표준시비(화학비료)보다 높았음.
- 마. 지역별 혼합수종 생육은 표준시비대비 지역간 큰 차이는 나타나지 않았고, 전체수량은 춘천, 철원, 강릉 순으로 나타나 사양토에서 생육이 양호하여 높았으나 지역간처리의 유의성은춘천에서만 인정되었음
- 바. 쌀 품위 및 품질은 표준 시비대비 목재칩비료(혼합수종)처리에서 지역 및 처리간 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았으며, 시험후 토양의 화학성분은 목재칩비료(혼합수종)처리는 표준

시비대비 유기물함량 및 양이온치환용량이 증가되었고 강릉을 제외하고 인산 및 규산함량은 감소되는 경향을 보였다

사. 년차간 변이검토중 수량은 목재칩비료(혼합수중)처리시 표준시비 대비 같은 수량성(521kg/10a)을 보였으며 쌀의 완전미율은 표준시비구에서는 78.4%였고, 혼합수중 84.2% 기타수중에서 평균 83%를 보여 표준시비보다 높은 품질을 보였음.

제 3 절 수도작용 지효성 비료의 선호도 및 경제성 조사

1. 수도작용 지효성 비료에 관한 선호도 조사

수도작용 지효성 비료에 대한 일반적 인식 및 선호도를 알아보기 위하여 사전 설문조사를 수행하였으며, 회수된 설문내용을 검토·분석하여 그 결과를 도출하였다. 설문내용은 수도작 농가를 대상으로 응답자의 영농경력 및 농지 보유현황, 소득수준 등 일반적 사항과 함께, 벼 경작에 있어서 벼의 품종, 경작면적, 수확량, 생육상황, 토성, 병충해 발생상황, 농약의 사용정도 등에 관한 사항이다. 또한 주된 관심사인 비료의 사용 현황과 사용만족도, 기존 화학비료의 문제점, 그리고 지효성 비료에 대한 인식 및 만족도, 사용자 불만이유, 연구개발 중인 지효성 비료의 사용여부, 비료에 관한 요구사항 등 총 25개 설문 문항으로 구성하였다. 설문조사는 2004년 2월, 농협 안성교육원에서 전국의 수도작 농가를 대상으로 이루어진 농업교육과정에 참가한 농민을 대상으로 하여 실시하였다. 총 설문응답자는 222명이었으나 설문에 따라 미기재 항목이 있는 경우 설문 문항에 응답한 인원수만을 기준으로 하여 분석하였다. 지역별 설문응답자를 보면 강원도가 27명, 경기도 36명, 경상도 23명, 전라도 106명, 충청도 27명으로 총 219명이었으며, 제주도는 제외되었다. 이 가운데 전라도의 응답자 수가 많았던 것은 지역적으로 수도작 농가가 많이 분포하고 있으며, 농협의 농업교육과정에 대한 참여율이 높았기 때문으로 볼 수 있다. 전국의 수도작 농가를 대상으로 실시하여 회수된 설문 응답지 222매에 대한 검토·분석을 통하여 파악된 수도작용 지효성 비료에 대한 사전 선호도 조사결과는 다음과 같다.

가. 일반적 사항

설문 응답자의 성별은 남자가 194명(87%), 여자가 28명(13%)으로 남자가 대부분을 차지하였다. 또한 응답자의 연령 및 학력, 영농경력, 농지보유 현황 그리고 소득수준 등에 관한 사항은 다음과 같다.

1) 연령 분포

응답자의 연령 분포를 살펴보면 40대와 50대가 154명으로 전체의 71%를 차지하였다. 즉, 40대가 80명(37%)으로 가장 높았으며, 50대가 74명(34%), 60대가 44명(20%), 30대가 13명(6%)의 순으로 나타났다.

Table 82. Age distribution

Age(year)	30 ~ 39	40 ~ 49	50 ~ 59	60 ~ 69	Over 70	Sum
Respondents (persons)	13	80	74	44	7	218
Ratio(%)	6	37	34	20	3	100

2) 학력 분포

응답자의 학력은 중졸과 고졸이 157명으로 전체의 76%를 차지하였다. 구체적으로는 고졸이

91명(44%)으로 가장 많았으며, 중졸 66명(32%), 대졸 25명(12%), 국졸 23명(11%)의 순으로 나타났다.

Table 83. Academic career distribution

Academic Career	Illiteracy	Primary school	Middle school	High school	University	Sum
Respondents (persons)	2	23	66	91	25	207
Ratio(%)	1	11	32	44	12	100

3) 영농경력

응답자의 영농경력은 20~29년간 농사를 짓고 있다고 응답한 사람이 74명(35%)으로 가장 많았고, 10~19년이 46명(22%), 10년 미만과 30~39년이 각각 39명(18%)의 순으로 나타났으며, 40년 이상도 15명(7%)이었다.

Table 84. Farming years

Farming years	Below 10 years	10 ~ 19 years	20 ~ 29 years	30 ~ 39 years	Over 40 years	Sum
Respondents (persons)	39	46	74	39	15	213
Ratio(%)	18	22	35	18	7	100

4) 농지 보유현황

가) 자작농지

논의 보유현황을 보면, 4,000평 이상 보유자가 111명으로 전체 응답자의 55%를 차지하여 가장 많았으며, 2,000~3,000평이 34명(17%), 3,000~4,000평이 31명(15%)의 순으로 나타났다.

Table 85. Ownership scale of rice field

Area(Pyeong)	Below 1,000	1,000 ~ 2,000	2,000 ~ 3,000	3,000 ~ 4,000	Over 4,000	Sum
Respondents (persons)	8	19	34	31	111	203
Ratio(%)	4	9	17	15	55	100

밭의 보유현황은 1,000평 미만의 보유자가 50명으로 전체의 33%를 차지하였고, 1,000~2,000평이 37명(24%), 2,000~3,000평 26명(17%), 4,000평 이상이 25명(16%)의 순으로 나타났다. 밭의 보유는 총응답자 222명 중 153명(69%)이 응답하였고, 소유규모 또한 논에 비하여 상대적으로 낮았다. 이는 설문조사가 수도권 농가를 대상으로 이루어졌기 때문으로 사료된다.

Table 86. Ownership scale of farmland

Area(Pyeong)	Below 1,000	1,000 ~ 2,000	2,000 ~ 3,000	3,000 ~ 4,000	Over 4,000	Sum
Respondents (persons)	50	37	26	15	25	153
Ratio(%)	33	24	17	10	16	100

나) 임차농지

임차농지 중 논외 보유자는 총응답자 222명 중 115명(52%)이 응답하여, 약 절반 정도가 임차농인 것으로 나타났다. 임차 논외 보유는 4,000평 이상이 77명으로 전체 응답자의 67%를 차지하였고, 1,000~2,000평이 13명(11%), 3,000~4,000평이 11명(10%), 2,000~3,000평이 10명(9%)의 순으로 나타났다.

Table 87. Scale of leased rice fields

Area(Pyeong)	Below 1,000	1,000 ~ 2,000	2,000 ~ 3,000	3,000 ~ 4,000	Over 4,000	Sum
Respondents (persons)	4	13	10	11	77	115
Ratio(%)	3	11	9	10	67	100

임차농지 중 밭외 보유자는 총응답자 222명 중 48명(22%)이 응답하여, 논 보다 더욱 적었고 소유규모 또한 작은 것으로 나타났다. 즉, 밭을 임차하고 있는 응답자 48명 중 14명(29%)은 1,000평 미만이었으며, 4,000평 이상은 12명(25%), 1,000~2,000평은 10명(21%), 2,000~3,000평은 8명(17%)으로 나타났다.

Table 88. Scale of leased farmlands

Area(Pyeong)	Below 1,000	1,000 ~ 2,000	2,000 ~ 3,000	3,000 ~ 4,000	Over 4,000	Sum
Respondents (persons)	14	10	8	4	12	48
Ratio(%)	29	21	17	8	25	100

5) 소득수준

연평균 소득수준을 묻는 질문에 대하여 전체 응답자 154명 중 120명(78%)이 2,000만원 이상이라고 답하여 비교적 높은 소득을 유지하는 것으로 나타났다.

Table 89. Income level

Income level (Million won)	Below 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	Over 20	Sum
Respondents (persons)	4	7	11	12	120	154
Ratio(%)	3	5	7	8	78	100

나. 최근 벼 경작에 관한 사항

1) 벼 경작 품종

경작하고 있는 벼의 품종은 동진이 45명(21%)으로 가장 많았고, 추청 40명(19%), 남평 33명(15%), 일품과 일미가 각각 18명(8%)과 17명(8%)의 순으로서 비교적 다양한 것으로 나타났다.

Table 90. Species of cultivated rice

Species	Nampeong	Dongjin	Ilmi	Ilpum	Chucheong	Others	Sum
Respondents (persons)	33	45	17	18	40	61	214
Ratio(%)	15	21	8	8	19	29	100

2) 벼 경작면적

응답자의 벼 경작면적은 9,000평(3ha) 이상이 93명(45%)으로 가장 많았으며, 3,000 ~6,000평이 46명(22%), 3,000평 이하가 42명(20%), 6,000~9,000평이 25명(12%)순으로 나타났다.

Table 91. Cultivating scale of rice field

Area(Pyeong)	Below 3,000	3,000 ~ 6,000	6,000 ~ 9,000	Over 9,000	Sum
Respondents (persons)	42	46	25	93	206
Ratio(%)	20	22	12	45	100

3) 벼 수확량

연간 벼 수확량은 전체 응답자 154명 중 73명(47%)이 300포대 이상 수확하는 것으로 나타났으며, 100포대 미만이 30명(19%), 200~299포대가 27명(18%), 100~199포대가 24명(16%)의 순으로 나타났다.

Table 92. Rice yield (1bag= 40kg)

Yield(bags)	Below 100	100 ~ 199	200 ~ 299	Over 300	Sum
Respondents (persons)	30	24	27	73	154
Ratio(%)	19	16	18	47	100

4) 벼 생육 상황

벼의 생육상황을 묻는 질문에 대하여 양호와 보통이라고 답한 응답자가 각각 93명(45%)과 87명(42%)으로 대부분을 차지하였다.

Table 93. Growing status of rice

Status	Excellent	Good	Normal	Poor	Very poor	Sum
Respondents (persons)	13	93	87	8	5	206
Ratio(%)	6	45	42	4	2	100

5) 논토양의 토성

논토양의 토성을 묻는 질문에 대하여 107명(54%)이 사질양토라고 답했으며, 점토 58명(29%), 사토 21명(11%) 순으로 나타났다.

Table 94. Soil texture of rice field

Soil texture	Sandy	Sandy Loam	Clay	Others	Sum
Respondents (persons)	21	107	58	13	199
Ratio(%)	11	54	29	7	100

6) 벼 병해충 발생 현황

가) 벼 발생 병명

벼 경작시 발생한 병에 대한 설문 항목에서는 총응답자 222명 중 100명(45%)이 응답하였다. 응답자 100명 중 68명(68%)이 도열병으로 가장 많이 발생하였으며, 문고병(잎집무늬마름병)과 백엽고병(흰빛잎마름병)이 각각 21명(21%)과 9명(9%)의 순으로 나타났다.

Table 95. Types of rice diseases

Disease type	Sheath blight	Rice blast	Bacterial leaf blight	Others	Sum
Respondents (persons)	21	68	9	2	100
Ratio(%)	21	68	9	2	100

나) 벼 발생 해충명

벼 경작시 발생한 해충에 대한 설문 항목에서는 총응답자 222명 중 138명(62%)이 응답하여, 병 발생보다 많았다. 주요 해충으로는 응답자 138명 중 83명(60%)이 흑명나방이라고 응답하여 가장 많았으며, 이화명충이 25명(18%), 벼멸구가 21명(15%)의 순으로 나타났다.

Table 96. Types of rice insect pest

Vermin type	<i>Lissorhoptrus oryzophilus</i>	<i>Cnaphalocrocis medinalis</i>	<i>Chilo suppressalis</i>	<i>Nilaparvata lugens</i>	Others	Sum
Respondents (persons)	5	83	25	21	4	138
Ratio(%)	4	60	18	15	3	100

다) 벼 병해충의 발생정도

병해충의 발생정도를 묻은 결과 전체 응답자 193명 중 94명(49%)이 보통이라고 답하였으며, 대체적으로 병충해의 발생정도에 우려하고 있는 것으로 나타났다.

즉, '심하다'와 '매우 심하다'고 답한 응답자가 46명(24%)과 16명(8%)으로 전체의 32%를 차지하고 있는 반면, '적다'와 '매우 적다'고 답한 응답자수는 29명(15%)과 8명(4%)으로 전체의 19%에 불과하였다.

Table 97. Occurrence of disease, insect and pest in rice field

Occurrence	Very open	Open	Normal	Occasional	Very occasional	Sum
Respondents (persons)	16	46	94	29	8	193
Ratio(%)	8	24	49	15	4	100

7) 벼 농약의 사용정도

농약 중 제초제의 사용은 총응답자 222명 중 77명(35%)이 응답하였으며, 이 중 연1회 사용한다는 응답이 78%를 차지하였다. 반면, 살충제와 살균제는 각각 67명(30%)과 60명(27%)이 응답하였으며, 이 중 2회 이상 사용한다는 응답자가 각각 76%와 72%를 차지하여, 살충제와 살균제를 많이 사용하는 것으로 나타났다.

제초제로는 마세트, 논안매, 만드리 등을 주로 사용하고 있었으며, 살충제로는 파단, 큐라텔, 리젠트, 후라단 등을, 살균제로는 빔, 기타진, 후지완 등을 사용하였다.

Table 98. Type and use of rice agricultural chemicals

Type / Use(times)	Herbicide				Insecticide				Fungicide			
	1	2	More than 3	Sum	1	2	More than 3	Sum	1	2	More than 3	Sum
Respondents (persons)	60	15	2	77	16	34	17	67	17	30	13	60
Ratio(%)	78	19	3	100	24	51	25	100	28	50	22	100

8) 벼 비료의 사용 현황

가) 벼 기비의 사용

벼 기비(밑거름)의 사용에 대하여는 응답자 182명 중 복합비료가 79%로서 대부분을 차지하였고, 기타 질소가 7%, 인산이 2% 등으로 나타났다.

Table 99. Type of rice basal dressing

Type	N	P	K	composit	Others	Sum
Respondents (persons)	12	4	0	143	28	182
Ratio(%)	7	2	0	79	15	100

나) 벼 분얼비의 사용

벼 분얼비(새끼칠 거름)의 사용에 대하여는 응답자 145명 중 질소가 56%로서 가장 많았고, 이어서 복합비료가 26%, 가리가 5% 등으로 나타났다.

Table 100. Type of rice top dressing at tillering stage

Type	N	P	K	Composit	Others	Sum
Respondents (persons)	81	2	7	37	18	145
Ratio(%)	56	1	5	26	12	100

다) 벼 수비의 사용

벼 수비(이삭거름)의 사용에 대하여는 응답자 160명 중 복합비료가 33%, 질소가 23%, 가리가 8%, 인산이 5% 등의 순으로 나타나 비료가 비교적 복합적으로 사용되었다.

Table 101. Type of rice fertilization at panicle initiation stage

Type	N	P	K	composit	Others	Sum
Respondents (persons)	37	8	13	52	50	160
Ratio(%)	23	5	8	33	31	100

9) 벼용 비료의 사용만족도

현재 사용하고 있는 벼용 비료의 효능에 대한 만족도를 묻은 결과 177명 중 106명(60%)이 보통이라고 답하였으며, 대체적으로 만족하다는 응답자가 불만족하다는 응답자보다 많은 것으로 나타났다. 즉, ‘매우 만족’ 또는 ‘만족’이라고 긍정적으로 답한 응답자의 비율은 33%인 반면, ‘불만’ 또는 ‘매우 불만’이라고 부정적으로 답한 응답자는 7%로 나타났다.

Table 102. Satisfaction level on rice fertilizer

Satisfaction level	Very high	high	Middle	Low	Very low	Sum
Respondents (persons)	9	50	106	12	0	177
Ratio(%)	5	28	60	7	0	100

10) 기존 화학 비료의 문제점

기존의 화학비료는 어떤 문제점을 갖고 있는지에 대한 설문에서는 응답자 362명(중복선택으로 응답자 수가 증가되었음) 중 ‘비료효과의 비지속성’이 응답자의 40%(145명)를 차지하여 가장 많았으며, ‘지력의 저하’가 23%(84명), ‘수질 및 토양오염’이 20%(72명), ‘가격이 비싸다’가 17%(61명)의 순으로 나타났다. 따라서 비료 효과가 일정기간 동안 지속적으로 유지될 수 있는 비료의 개발 및 보급이 필요함을 알 수 있다.

Table 103. Problems of chemical fertilizer*

Problems	Inconsecutive effect	Dropping fertility	Polluting water/soil	High price	Sum
Respondents (persons)	145	84	72	61	362
Ratio(%)	40	23	20	17	100

* Able to make multiple choices

11) 지효성 비료에 관한 사항

가) 지효성 비료의 사용만족도

지효성 비료의 사용에 대한 만족도를 묻은 결과 62명(28%)만이 응답하였다. 응답자 중에서는 ‘보통’이 60%였으며, ‘만족’ 또는 ‘매우 만족’이 35%인 반면, 불만은 5%에 불과하여 비교적 만족도가 높은 것으로 나타났다. 그리고 사용된 지효성 비료의 종류로는 쌀맛나, 도우미, BB, 퇴비, 조선비료, 복합비료 등이었다.

Table 104. Satisfaction level of slow releasing fertilizer

Satisfaction level	Very high	High	Middle	Low	Very low	Sum
Respondents (persons)	4	18	37	3	0	62
Ratio(%)	6	29	60	5	0	100

나) 지효성 비료의 불만 이유

지효성 비료에 대한 불만을 묻은 결과 65명(29%)이 응답하였고, 이 중 60%가 ‘효과가 좋지 않다’라고 답하였으며, ‘가격이 비싸다’와 ‘사용하기 불편하다’가 각각 28%와 8%로 나타났다. 이것은 기존의 지효성 비료의 효과에 대하여는 그다지 만족하지 못하는 것으로 볼 수 있다.

Table 105. Problems of slow releasing fertilizer*

Problems	Low effect	High price	inconvenient to use	Others	Sum
Respondents (persons)	39	18	8	0	65
Ratio(%)	60	28	12	0	100

* Able to make multiple choices

12) 지효성 비료의 개발에 관한 사항

본 연구팀에서는 기존 지효성 비료의 문제점을 고려하여 목재 칩(부스러기)을 이용한 새로운 벼용 지효성 비료를 개발하고 있다. 본 비료는 효과가 연중 지속되므로 모내기를 위한 논갈이 직전에 단 1회 산포하는 것으로 비료 시제품의 시험경작 결과는 비교적 우수한 것으로 판명되었다. 따라서 본 비료가 생산, 시판되어 가격이 타사 제품과 동등할 경우 사용 여부를 묻는

질문에 대하여는 응답자 159명 중 79%가 '사용해보겠다'고 답하였으며, '보통이다'가 8%, 그리고 '사용하지 않겠다'는 응답은 4%에 불과하였다.

Table 106. Response on whether to use wood chip slow releasing fertilizer developed by the Project team

Response	Will use	Middle	Won't use	Don't know	Sum
Respondents (persons)	125	12	6	16	159
Ratio(%)	79	8	4	10	100

이에 대한 응답 이유로는 응답자 48명 중 '한번만 사용하므로 노동력을 줄일 수 있어서'가 20명(42%), '비료의 효과가 오래 지속되어서'가 13명(27%), '쉽게 유실되지 않아 환경오염 방지에 기여할 수 있어서'가 11명(23%)으로 나타나 대부분 긍정적인 것으로 응답하였다. 반면 부정적 응답인 '효과를 믿을 수 없어서'는 4명(8%)에 불과하였다.

13) 비료에 관한 요구사항

비용 및 일반 비료에 있어서 가장 바라는 점에 대한 의견을 개진하도록 한 결과, '지속적인 효과를 볼 수 있는 비료', '독점판매에 의한 가격의 상승 방지', '사질·점질토양에 적합한 비료', '친환경적인 유기질 비료', '작은 부피와 가벼운 무게의 비료', 논갈이 작업 전에 1회 사용으로 성과를 볼 수 있는 비료', '너무 비싸므로 가격의 인하 요망', '미질이 좋으면서 다수확이 가능한 비료' 등 다양한 요구사항이 제시되었다. 가장 많이 제시된 의견을 종합해 보면, 비료의 효과가 지속되며 가격이 저렴한 비료, 환경친화적인 유기질 비료, 노동력을 절감할 수 있는 비료의 개발 등으로 요약될 수 있었다.

다. 선호도 조사의 종합 검토

수도작용 지효성 비료에 대한 사전 선호도 조사는 임의로 선정된 전국의 수도작 222개 농가를 대상으로 설문조사를 통하여 수행하였다. 설문내용은 수도작 농가의 일반적 사항과 함께 벼 경작에 관한 사항을 중점으로 하였다. 먼저 일반적 사항으로 수도작 농업 종사자의 연령 대는 주로 40~50대(71%), 학력은 중졸과 고졸(76%)이 대부분이었다. 영농경력은 10년~40년(75%)이 대부분으로 비교적 긴 편이었다. 자작 논이 보유규모는 4,000평 이상(55%)이 가장 많았고, 밭은 2,000평 이하(57%)가 많아서 상대적으로 작았다. 조사대상 중 약 절반(52%)은 임차 논을 보유한 농가였다. 조사대상 농가의 소득수준은 2,000만원 이상(78%)이 대부분으로 비교적 높은 편이었다. 최근(2003년) 벼 경작에 관한 사항으로서 벼 경작 품종은 동진, 추청, 남평 등 비교적 다양하였다. 벼 경작 면적은 9,000평(3ha) 이상이 45%로 가장 많았고, 벼 수확량은 300포대(1포대 : 40kg) 이상이 47%로 가장 많았다. 벼의 생육상황은 양호와 보통이 87%로 대부분이었고, 논토양의 토성은 사질양토가 54%로 과반 이상이였다. 벼의 병해충 발생상황은 병 발생 응답농가가 45%, 해충 발생 응답농가가 62%였다. 병의 경우 도열병이 68%로 대부분이었고, 해충은 흑명나방이 60%로 가장 많았다. 병충해의 발생정도는 보통이 49%에 이어 심하다가 32%로서 다소 심한

편이었다. 벼 농약의 사용정도는 총응답자 중 제초제 사용이 35%, 살충제 사용이 30%, 살균제 사용이 27%였다. 제초제는 1회 사용이 78%, 살충제와 살균제는 2회 이상 사용이 각각 76%와 72%로서 대부분이었다.

다음으로 관심사인 벼 비료의 사용은 기비의 경우 복합비료(79%)가 대부분이었고, 분얼비는 질소(56%)에 이어 복합비료(26%)가 사용되었으며, 수비는 복합비료(33%)에 이어 질소(23%)가 주로 사용되었다. 현재 사용 중인 비료에 대한 만족도는 보통이 60%로 가장 많았지만, 이어서 만족하다는 편이 33%로서 비교적 긍정적인 것으로 나타났다. 그러나 기존 화학비료의 문제점에 있어서는 효과의 비지속성이 40%로 가장 많았고, 이어서 지력의 저하(23%), 수질 및 토양오염(20%), 비싼 가격(17%) 등이 제시되었다. 이는 현재 주로 사용되고 있는 비료에 대한 일반적 문제점이 그대로 다 지적된 것으로서, 바꾸어 생각하면 특히 지효성 비료의 개발 필요성과 함께 환경친화적인 유기질 비료의 개발이 시급하고도 중요한 과제임을 알 수 있다. 지효성 비료의 사용 경험에서는 28%만이 응답하여, 아직은 지효성 비료에 대한 인식도가 낮은 것으로 볼 수 있었다. 사용자의 만족도에서는 보통이 60%로 가장 많았고, 이어서 만족하다는 편이 35%, 불만족하다는 편이 5%로 나타나 현재 사용되고 있는 지효성 비료에 대해 비교적 만족한 것처럼 보여 진다. 그러나 이러한 응답은 앞서 언급한 일반 화학비료의 사용에 대한 평가와 거의 차이가 없고, 또한 보통이라는 응답이 대부분인 점을 고려할 때, 현재 사용되고 있는 지효성 비료는 결국 그다지 긍정적 평가를 받고 있지 못한 것으로 볼 수 있다. 또한 기존 지효성 비료에 대한 불만 이유로는 효과가 좋지 않다(60%)가 대부분이었고, 이어서 가격이 비싸다(28%), 사용하기 불편하다(12%)가 제시되었다. 이것은 기존의 지효성 비료가 효과 면에서 문제가 있는 것으로 볼 수 있으며, 앞으로 저가의 만족할 만한 지효성 비료에 대한 많은 연구와 개발이 요구된다고 하겠다. 그리고 본 연구팀이 개발 중인 논갈이 직전에 단 1회 사용하는 지효성 비료의 사용 여부에 대하여는 대부분이 사용해 보겠다(79%)고 응답하여, 많은 관심을 표명하였다. 그 주된 이유로는 한번만 사용하므로 노동력을 줄일 수 있어서(42%), 비료의 효과가 오래 지속되어서(27%), 쉽게 유실되지 않아 환경오염 방지에 기여할 수 있어서(23%) 등이었다.

끝으로 수도작 또는 일반 비료에 대한 요구사항에서 제시된 의견을 종합해 보면, 대부분이 비료의 효과가 지속되며 가격이 저렴한 비료, 환경친화적인 유기질 비료, 노동력을 절감할 수 있는 비료의 개발 등으로 요약되었다.

2. 수도작용 지효성 비료의 사용능가에 대한 선호도 조사

본 조사는 1차년도와는 달리 지효성비료를 사용하여 수도작을 경영하는 농가만을 대상으로 설문조사를 하였다. 설문내용은 응답자의 영농경력, 농지 보유현황, 소득수준 등 일반적 사항과 함께, 벼의 품종, 경작면적, 토성 등 수도작에 대한 사항, 그리고 지효성비료 사용 후 수확량, 생육상황, 병충해 발생상황 및 농약 사용량의 변화 등에 관한 사항이다. 2005년 2월 전국의 수도작 농가를 대상으로 실시하여 회수된 설문 응답지 33매에 대한 검토·분석을 통하여 파악된 수도작용 지효성 비료에 대한 사전 선호도 조사결과는 다음과 같다. 총 설문응답자는 33명이었으나 설문에 따라 미기재 항목이 있는 경우 설문 문항에 응답한 인원수만을 기준으로 하여 분석하였다.

가. 일반적 사항

설문 응답자의 성별은 남자가 30명(91%), 여자가 3명(9%)으로 남자가 대부분을 차지하였다. 또한 응답자의 연령 및 학력, 영농경력, 농지보유 현황 그리고 소득수준 등에 관한 사항은 다음과 같다.

1) 연령 분포

응답자의 연령 분포를 살펴보면 40대와 50대가 29명으로 전체의 88%를 차지하였다. 즉, 40대가 15명(45%)으로 가장 높았으며, 50대가 14명(43%), 30대가 4명(12%) 순으로 나타났다.

Table 107. Age distribution

Age(year)	under 30	30~40	40~50	50~60	over 60	Sum
Respondents (persons)	0	4	15	14	0	33
Ratio(%)	0	12	45	43	0	100

2) 학력분포

응답자의 학력은 중졸과 고졸이 22명으로 전체의 66%를 차지하였다. 구체적으로는 중졸과 고졸이 각각 11명(33%)으로 가장 많았으며, 대졸 7명(24%), 국졸 3명(10%)의 순으로 나타났다.

Table 108. Academic career distribution

Academic Career	Illiteracy	Primary school	Middle school	High school	University	Sum
Respondents (persons)	0	3	11	11	7	32
Ratio(%)	0	10	33	33	24	100

3) 영농경력

응답자의 영농경력은 30~39년간 농사를 짓고 있다고 응답한 사람이 11명(34%)으로 가장 많았고, 10~19년과 20~29년이 각각 8명(24%), 10년 미만과 40년 이상이 각각 3명(9%)의 순으로 나타났다.

Table109. Farming years

Farming years	Below 10 years	10~19 years	20~29 years	30~39 years	Over 40 years	Sum
Respondents (persons)	3	8	8	11	3	33
Ratio(%)	9	24	24	34	9	100

4) 농지보유현황

가) 논지 보유현황

논지 보유현황을 보면, 4,000평 이상 보유자가 21명으로 전체 응답자의 62%를 차지하여 가장 많았으며, 1,000~2,000평과 3,000~4,000평이 각각 5명(16%)으로, 그리고 1,000~2,000평과 2,000~3,000평이 각각 1명(3%) 순으로 나타났다.

Table 110. Ownership scale of rice field

Area (Pyeong)	Below 1,000	1,000~2,000	2,000~3,000	3,000~4,000	Over 4,000	Sum
Respondents (persons)	1	5	1	5	21	33
Ratio(%)	3	16	3	16	62	100

나) 밭지 보유현황

밭지 보유현황은 4,000평 이상이 11명(33%)으로 가장 많았고 1,000~2,000평이 9명(27%), 3,000~4,000평이 6명(18%), 2,000~3,000평 1명(3%)의 순으로 나타났다.

Table 111. Ownership scale of farmland

Area (Pyeong)	Below 1,000	1,000~2,000	2,000~3,000	3,000~4,000	Over 4,000	Sum
Respondents (persons)	6	9	1	6	11	33
Ratio(%)	19	27	3	18	33	100

5) 소득수준

연평균 소득수준을 묻는 질문에 대하여 전체 응답자 33명 중 28명(78%)이 2,000만원 이상이라고 답하여 비교적 높은 소득을 유지하는 것으로 나타났다.

Table 112. Income level

Income level (Million won)	Below 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	Over 20	Sum
Respondents (persons)	0	1	1	2	28	32
Ratio(%)	0		7	8	78	100

6) 토양

논토양의 토성을 묻는 질문에 대하여 22명(68%)이 사질양토라고 답했으며, 점토 6명(19%), 사토 3명(10%) 순으로 나타났다.

Table 113. Soil texture of rice field

Soil texture	Sandy	Sandy Loam	Clay	Others	Sum
Respondents (persons)	3	22	6	1	32
Ratio(%)	10	68	19	3	100

7) 품종

경작하고 있는 벼의 품종은 추청이 6명(19%)으로 가장 많았고, 남평과 동진이 각각 2명(6%)로 나타났다.

Table 114. Species of cultivated rice

Species	Nampeong	Dongjin	Ilmi	Ilpum	Chucheong	Others	Sum
Respondents (persons)	2	1	0	2	6	19	30
Ratio(%)	6	3	0	6	19	66	100

나. 지효성비료 사용에 대한 사항

1) 생육 상황

지효성 비료의 사용 후 벼의 생육상황의 변화를 묻는 질문에 대하여 ‘훨씬 좋아짐’과 ‘좋아짐’과 같이 긍정적인 응답자가 69%를 차지하였으며, 오히려 나빠졌다는 응답자는 10%에 불과하였다.

Table 115. Growing status of rice

Status	Much better	Better	Normal	Worse	Much worse	Sum
Respondents (persons)	3	19	7	3	0	32
Ratio(%)	10	59	21	10	0	100

2) 수확 수준

연간 벼 수확량은 전체 응답자 28명 중 10(34%)명이 400포대 이상 수확하였으며, 9명(28%)이 100~199 포대를, 6명(18%)이 200~299포대를, 그리고 100포대 미만과 300~399포대가 각각 3명(10%)으로 나타났다. 이 중 지효성비료 사용 후 수확량의 변동을 묻는 질문에 대하여 23명의 응답자 중 19명(83%)이 늘었다고 답하였다.

Table 116. Rice yield (1bag= 40kg)

Yield(bags*)	Below 100	100~199	200~299	300~399	Over 400	Sum
인원(명)	3	9	6	3	10	28
비율(%)	10	28	18	10	34	100

* (1bag = 40kg)

3) 병충해발생의 변화

지효성비료 사용 후 병해충의 발생정도를 묻은 결과 전체 응답자 32명 중 23명(73%)이 줄었다고 답하였으며, 대체적으로 지효성비료 사용 후 병충해의 발생이 줄어든 것으로 나타났다.

즉, 지효성비료 사용후 병충해의 발생이 ‘매우 줄었다’와 ‘줄었다’고 답한 응답자가 2명(6%)과 21명(67%)으로 전체의 73%를 차지하고 있는 반면, ‘늘었다’와 ‘매우 늘었다’고 답한 응답자수는 2명(6%)과 0명으로 전체의 6%에 불과하였다. 즉, 지효성 비료는 병해충의 발생정도를 상당히 완화시키는 작용을 하는 것으로 판단된다.

Table 117. Occurrence variation of disease, insect and pest after the use of slow releasing fertilizer

Variation	Very decreased	Decreased	No changed	Increased	Very increased	Sum
Respondents (persons)	2	21	7	2	0	32
Ratio(%)	6	67	21	6	0	100

4) 살충제 이용량의 변화

지효성비료 사용 후 살충제의 사용정도를 묻은 결과 전체 응답자 32명 중 23(72%)명은 살충제의 사용이 ‘매우 줄었다’ 또는 ‘줄었다’라고 긍정적인 답변을 한 반면, 살충제의 사용이 오히려 늘었다고 답한 응답자는 1명에 불과하였다. 한편, 별다른 변화가 없다고 답한 응답자는 8명(25%)으로 나타났다.

Table 118. Variation of insecticide quantity consumed after the use of slow releasing fertilizer

Variation	Very decreased	Decreased	No changed	Increased	Very increased	Sum
Respondents (persons)	1	22	8	1	0	32
Ratio(%)	3	69	25	3	0	100

5) 살균제 이용량의 변화

지효성비료 사용 후 살균제의 사용정도를 묻은 결과 전체 응답자 32명 중 24(75%)명은 살균제의 사용이 ‘매우 줄었다’ 또는 ‘줄었다’라고 긍정적인 답변을 한 반면, 살충제의 사용이

오히려 늘었다고 답한 응답자는 2명에 불과하였다. 한편, 별다른 변화가 없다고 답한 응답자는 6명(19%)으로 나타났다.

Table 119. Variation of fungicide quantity consumed after the use of slow releasing fertilizer

Variation	Very decreased	Decreased	No changed	Increased	Very increased	Sum
Respondents (persons)	2	22	6	2	0	32
Ratio(%)	6	69	19	6	0	100

6) 제초제 이용량의 변화

지효성비료 사용 후 제초제의 사용정도를 묻은 결과 전체 응답자 32명 중 9(28%)명은 제초제의 사용이 ‘매우 줄었다’ 또는 ‘줄었다’라고 긍정적인 답변을 한 반면, 살충제의 사용이 오히려 늘었다고 답한 응답자는 2명에 불과하였다. 한편, 별다른 변화가 없다고 답한 응답자는 21명(66%)으로 가장 높게 나타났으며, 이는 살충제나 살균제의 효과에 비해 제초제로의 효과는 미약한 것으로 판단된다.

Table 120. Variation of herbicide quantity consumed after the use of slow releasing fertilizer

Variation	Very decreased	Decreased	No changed	Increased	Very increased	Sum
Respondents (persons)	1	8	21	2	0	32
Ratio(%)	3	25	66	6	0	100

7) 만족도

현재 사용하고 있는 벼용 지효성비료의 효능에 대한 만족도를 묻은 결과 32명 중 22명(70%)이 매우 높다 또는 높다고 답하였으며, 낮다 또는 매우 낮다고 답한 응답자는 불과 1명(3%)에 불과하여 대체적으로 만족하다는 응답자가 불만족하다는 응답자보다 훨씬 많은 것으로 나타났다.

Table 121. Satisfaction level of slow releasing fertilizer on rice

Satisfaction level	Very high	high	Middle	Low	Very low	Sum
Respondents (persons)	2	20	9	1	0	32
Ratio(%)	6	64	27	3	0	100

지효성 비료에 대한 만족의 이유를 묻은 결과 가장 많은 33%의 응답자가 ‘노동력을 절감시켜주기 때문’이라고 답하였다. ‘효과가 좋기 때문에’와 환경오염을 줄여주기 때문에’라는 응답도 각각 26%와 23%로 나타났다.

Table 122. Reasons of satisfaction with slow releasing fertilizer*

Reason	Good effect	sustained effect	labor reduction	Pollution protect	Others	Sum
Respondents (persons)	16	2	21	14	9	62
Ratio(%)	26	4	33	23	14	100

* Able to make multiple choices

한편, 지효성 비료에 대한 불만의 이유를 묻은 결과 가장 많은 응답자의 35%는 사용하기 '불편하기 때문에'라고 답하였으며, '가격이 비싸서'가 19%, '환경오염을 발생시켜서'가 16%, '효과가 낮아서'가 15%로 나타났다.

Table 123. Reasons of dissatisfaction with slow releasing fertilizer

Reason	Low effect	High price	Inconvenience	Occurring pollution	Others	Sum
Respondents (persons)	4	6	11	5	4	30
Ratio(%)	15	19	35	16	15	100

다. 선호도 조사의 종합 검토

수도작용 지효성 비료에 대한 사전 선호도 조사는 임의로 선정된 전국의 수도작 33개 농가를 대상으로 설문조사를 통하여 수행하였다. 설문내용은 수도작 농가의 일반적 사항과 함께 벼 경작에 따른 지효성비료의 효과를 중점으로 하였다. 우선 일반적 사항으로 응답자의 연령 분포는 40대와 50대가 전체의 88%를 차지하였으며, 학력은 중졸과 고졸이 전체의 66%를 차지하였다. 응답자의 영농경력은 30~39년간 농사를 짓고 있다고 응답한 사람이 34%로 가장 많았고, 논외 보유현황은 4,000평 이상 보유자가 전체 응답자의 62%를 차지하였으며, 밭외 보유현황은 4,000평 이상이 11명(33%)으로 가장 많았다. 또한, 연평균 소득수준을 묻는 질문에 대하여 전체 응답자 33명 중 28명(78%)이 2,000만원이상이라고 답하여 비교적 높은 소득을 유지하는 것으로 나타났다. 벼 경작에 대한 사항으로서 논토양의 토성은 사질양토가 68%를 차지하였으며, 경작하고 있는 벼의 품종은 추청, 남평, 동진 등 고르게 나타났다.

지효성비료의 사용은 벼의 생육환경과 생산량에 긍정적인 효과를 주는 것으로 나타났다. 지효성비료의 효과를 묻는 질문에 대하여 우선 응답자의 69%는 지효성 비료의 사용 후 벼의 생육상황이 '훨씬 좋아짐' 또는 '좋아짐'과 같이 긍정적으로 답하였으며, 응답자의 83%는 지효성비료 사용 후 쌀 생산량이 증가하였다고 답하였다. 지효성비료의 사용은 병충해의 억제에도 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 지효성비료 사용 후 병해충의 발생정도를 묻는 질문에 응답자의 73%는 전보다 줄었다고 답하였으며, '늘었다'와 '매우 늘었다'고 답한 응답자수는 2명(6%)과 0명으로 전체의 6%에 불과하였다. 지효성비료 사용 후 살충제의 사용정도를 묻은 결과 전체 응답자 72%는 살충제의 사용이 '매우 줄었다' 또는 '줄었다'라고 긍정적인 답변을 하였으며, 살균제의 사용정도를 묻는 질문에도 전체 응답자의 75%가 살균제의 사용이 '매우

줄었다' 또는 '줄었다'라고 긍정적인 답변을 하였다. 반면에 제초제의 사용정도를 물은 결과 전체 응답자의 28%만이 제초제의 사용이 '매우 줄었다' 또는 '줄었다'라고 답하여 살충제나 살균제의 효과에 비해 제초제로의 효과는 미약한 것으로 나타났다. 결과적으로 지효성비료를 사용하는 농가들은 대체적으로 비료에 대한 만족도가 상당히 높은 것으로 나타났다. 즉, 현재 사용하고 있는 벼용 지효성비료의 효능에 대한 만족도를 물은 결과 70%가 '매우 높다' 또는 '높다'고 답하였으며, 낮다 또는 매우 낮다고 답한 응답자는 불과 1명(3%)에 불과하여 대체적으로 만족하다는 응답자가 불만족하다는 응답자보다 훨씬 많았다. 한편, 지효성 비료에 대한 불만의 이유를 물은 결과 가장 많은 응답자의 35%는 '사용하기 불편하기 때문에'라고 답하였으며, '가격이 비싸서'가 19%, '환경오염을 발생시켜서'가 16%, '효과가 낮아서'가 15%로 나타났다. 이는 본 연구에서 추구하는 지효성비료의 개발시 유의해야 할 사항으로서 소비자의 요구에 부응하는 지효성비료의 개발이 요구된다.

3. 수도작용 지효성 비료의 경제성 조사

가. 비료의 생산현황

최근 5년간(2000~2004년) 우리나라의 비종별 비료의 총생산량 및 농업용 비료의 생산실적을 보면 다음과 같다. 2004년 현재 우리나라 비료의 총생산량은 3,615천톤으로서 이 중 복합비료가 2,570천톤(76%)으로 대부분을 차지하고 있으며, 이어서 황산암모늄이 561천톤, 요소가 321천톤, 황산가리와 인산이 각각 82천톤과 81천톤을 차지하고 있다. 비료의 총생산량 중에서 농업용은 1,851천톤으로서 51%를 차지하고 있으며, 이 중 복합비료가 1,477천톤(80%)으로서 그 대부분을 차지하고 있다. 최근 5년간(2000~2004년) 비료의 총생산량은 2000년 3,730천톤에서 2004년 3,615천톤으로 115천톤 감소하였으나, 반면에 농업용 비료는 같은 기간 1,842천톤에서 1,851천톤으로 9천톤이 증가하였다.

Table 124. Production of fertilizer by type(for recent 5 years) (Unit: 1,000ton)

Year PD*	2000		2001		2002		2003		2004	
	TP**	FA***	TP	FA	TP	FA	TP	FA	TP	FA
Ammonium sulfate	523	22	516	20	537	18	521	18	561	37
Urea	687	374	603	333	360	259	234	253	321	298
Composit	2,365	1,407	2,251	1,334	2,265	1,318	2,433	1,437	2,570	1,477
Phosphate	58	25	58	25	65	20	56	27	81	27
Sulfate	97	14	97	14	74	15	70	9	82	12
Sum	3,730	1,842	3,525	1,726	3,301	1,630	3,314	1,744	3,615	1,851

Note: PD Production, TP Total production, FA For agriculture

Source: 「A yearbook of fertilizer」, Korea Fertilizer Industry Association, 2005

나. 지효성 비료의 공급 및 가격현황

우리나라의 비료 공급은 거의 대부분이 농협을 통하여 이루어지고 있다. 2005년도 현재 농협의 비료시장 총점유율(물량기준)은 92%로서 비종별로는 화학비료의 경우 농협이 독점적으로

공급하고 있고, 유기질비료와 부산물비료(4종 복합비료 포함)는 농협이 91%로서 거의 대부분을 차지하고 있으며, 원예용 비료는 48%로서 약 절반을 공급하고 있다.

이에 따라 지효성 비료의 공급도 거의 대부분이 농협을 통하여 이루어지고 있다고 볼 수 있다.

2005년도 현재, 농협의 지역별 지효성 비료의 공급현황은 다음과 같다. 농협을 통해 공급된 지효성 비료로 분류되는 단한번, UF복비 등 모두 8종의 공급현황을 보면 총 10,252톤이었다. 이것은 2004년의 총 9,271톤에 비해 981톤이 증가한 것이다. 지역별로는 전남이 3,457톤으로 가장 많았고, 이어서 경남 2,151톤, 경기 1,336톤, 경북 1,129톤 등의 순이었다. 비종별로는 단한번이 7,440톤으로 가장 많았고, 이어서 UF복비 1,628톤 등의 순이었으며, 이들 두 종이 공급량의 88%를 차지하였다.

다만 이와 같은 공급량의 수치는 여러 비종 중 지효성 비료로의 구분 여부에 따라 다소 차이가 있을 수 있다.

Table 125. Supply for agricultural cooperatives on releasing fertilizer by region in the year 2005 (Unit : ton)

Region	Sum	Namhe		Dongbu	Kyeonggi	Pungnong		Jobi	Biwang
		Sinabro2	Sinabro3	Long star	Hanaro	Techin 692	Techin 870	Danhan beon	UF Bokbi
Kyeonggi	1,336	30	23	8	5	16	55	891	307
Kangwon	625	0	0	31	10	4	2	428	150
Chungbuk	313	4	0	1	13	0	2	156	137
Chungnam	308	0	0	1	0	11	0	91	205
Cheonbuk	934	19	0	29	12	5	30	706	132
Cheonnam	3,457	122	3	174	6	2	(3)	2,925	228
Kyeongbuk	1,129	20	0	61	10	1	39	748	248
Kyeongnam	2,151	154	0	192	79	0	13	1,494	220
Total	10,252	350	26	497	135	38	138	7,440	1,628

Source : Agricultural Cooperatives, 2005.

2006년도 현재, 국내에서 생산 시판되고 있는 대표적 지효성 비료의 비종별 가격현황은 다음과 같다. 지효성 비료의 종류는 신단한번을 비롯하여 UF복비, 시나브로, 테크인, 하나로 등 모두 9종이다. 이들 지효성 비료의 가격은 1포당(20kg) 농업인 판매가는 성수기의 경우 평균 13,517원(1kg당 약 676원)이었다. 비종별로는 시나브로3이 15,650원으로 가장 높았고, 하나로가 11,150원으로 가장 낮았다. 또한 비농업인 판매가는 평균 15,204원(1kg당 약 760원)이었고, 비종별로는 역시 시나브로3이 17,490원으로 가장 높았으며, 하나로가 12,540원으로 가장 낮았다. 이러한 지효성 비료의 가격을 일반 비료의 가격 약 6,000~9,000원(1kg당 300~450원)과 대비하여 본다면, 약 2배정도 높다고 할 수 있다.

Table 126. Price of releasing fertilizer by type in the year 2006 (Unit: won/1bag(20kg))

Type	Company	Element content (N-P-K + magnesia)	Price sold for farmer		Price sold for non-farmer
			High demand season	Slack season	
Sindanhanbeon	Jobi	18-7-9+2	14,850	14,550	16,830
UF Bokbi	Biwang	12-8-12	11,900	11,700	13,310
Sinabro2	Namhe	18-8-8+4	13,650	13,350	15,290
Sinabro3	Namhe	22-10-10+2	15,650	15,350	17,490
Techin870	Pungnong	18-7-10+2	14,950	14,650	16,940
Techin692	Pungnong	16-9-12+2	14,250	14,000	16,170
Hanaro	KG	13-6-7	11,150	10,950	12,540
Danhanbeon NS	Jobi	11-4-5	13,250	13,000	14,850
Hanbeone OK	Hyeopwha	15-5-10+3	12,000	11,750	13,420
Average			13,517	13,256	15,204

Source: Agricultural Cooperatives, 2005.

다. 지효성 비료의 소비전망

근래에는 농촌의 노동력 부족과 UR협상에 의해 개방화가 진행되고 있으므로 농업경영방식의 전환과 경쟁력의 제고를 위한 영농규모의 확대에 대한 필요성이 강조되고 있다. 농업 경영비를 감소시키기 위해서는 시비 및 농약살포 등에 소요되는 노동력의 절감이 우선적으로 이루어져야 한다. 아울러 기계영농을 달성하려면 대단위면적의 경지정리가 이루어지고, 영농비의 상승으로 인해 농업에 종사하는 인구가 적기 때문에 소유주가 1인이거나 공동영농에 의한 협업경영이 이루어져야 한다. 속효성 비료를 추비로 사용하면 담수 논토양에서는 비료성분의 유실, 용탈 및 휘산 등으로 인해 수질오염을 야기시키며, 밭 토양의 비닐멀칭 재배에서는 추비사용이 곤란할 뿐만 아니라 시비에 많은 시간이 소요된다. 반면 지효성 비료를 이용하면 전량 기비로 사용하기 때문에 노동력이 절감되고, 작물의 전 생육기간에 양분이 지속적으로 공급되어 비료의 이용률이 증가하며, 염류 집적에 의한 장애가 나타나지 않고, 환경오염의 우려가 적다. 따라서 현재의 상황에서 지효성 비료의 개발은 농업에 절실히 요구된다고 판단된다. 지효성 비료는 가격이 기존비료에 비해 고가이기 때문에 가격이 저렴한 농작물의 재배에 사용되기보다는 비농업부분으로 부가가치가 높은 원예 및 골프 잔디 등에 많이 소비되고 있다. 그러나 비농업부분에 비해 상대적으로 소비량이 적은 농업부분에서는 고소득 작물에 우선적으로 소비가 이루어질 전망이다. 비료의 효과가 비슷한 경우에는 비료가격이 싼 지효성 비료의 소비량이 증가할 것으로 예상된다. 수도는 담수 하에서 재배되고 농산물의 가격이 고가이므로 지효화가 큰 피복 비료가 필요하다. 전작물은 비닐멀칭 재배를 하므로 수도용 피복비료 보다는 용출률이 빠르며 각 작물의 생육기관과 특성에 맞게 조절된 전작용 지효성 복합비료가 필요하다. 바람직한 수도작용 지효성 비료에 대한 선호도는 전술한 바와 같이 본 연구팀의 2차에 걸친 설문조사

결과를 통해서도 알 수 있듯이 대단히 높은 것으로 예측된다.

본 연구팀이 개발 중인 논갈이 직전에 단 1회 사용하는 지효성 비료의 사용 여부에 대한 설문에서는 대부분이 사용해 보겠다(79%)고 답하여 높은 관심을 표명하였다. 그 이유로는 한번만 사용하므로 노동력을 줄일 수 있고(42%), 비료의 효과가 오래 지속되며(27%), 쉽게 유실되지 않아 환경오염 방지에 기여할 수 있기 때문(23%) 등이었다.

라. 본 연구팀이 개발 중인 지효성 목재칩비료의 경제성 분석

1) 목재칩의 생산가격

본 연구팀이 개발 중인 지효성 비료는 펄프용 목재칩보다 저가인 비펄프용 목재칩을 원료로 하고 있다. 펄프용 칩은 박피과정이 수반되어야 함으로 비펄프용 칩에 비해 가격이 높다.

2006년 11월 현재, 국내에서 생산되는 펄프용 칩의 가격(공장 도착가격)을 보면(국립산림과학원, 산림과학정보, 2006), 다음과 같다.

- 소 나 무(국산) 펄프용 칩 188,000원/BDT (188원/kg)
- 참나무류(국산) 펄프용 칩 161,500원/BDT (162원/kg)

또한 국립산림과학원의 연구보고(박경석 외 3인, 2003)에 의하면, 현재 국내에서 숲가꾸기 산물로서 발생하여 임내에 방치되는 소경목 간벌재를 이용하여 비펄프용 목재칩을 제조할 경우, 목재칩의 생산비용은 다음과 같이 산출된 바 있다.

- 소경목 간벌재(국산) 95,053원/톤(95원/kg)

2006년 현재, 실제적으로 숲가꾸기 산물 등에 의해 발생하는 소경목 간벌재 및 피해목 등을 이용한 비펄프용 목재칩을 생산하는 3개 업체를 조사한 결과, 목재칩의 생산가격은 다음과 같았다.

- A업체 : 비펄프용 목재 칩 50,000원/톤(50원/kg)
- B, C업체: 비펄프용 목재 칩 20,000원/톤(20원/kg)

한편 2005년도 현재, 우리나라의 목재칩 생산실적을 보면(산림청, 임업통계연보, 2006), 총 241,800BDT이다. 이 목재칩을 생산하는 업체 수는 전국에 모두 9개로서 여기에 종사하는 종업원 수는 148명이며, 연간 생산가능량은 310,000BDT이다.

2) 연구개발 중인 지효성 목재칩비료의 생산비용

연구개발 중인 목재칩비료의 생산비용을 산출하기 위해, 먼저 목재칩비료 생산설비의 1일 사용비용을 계산해 보았다. 목재칩비료의 제조를 위한 압력탱크의 구입비 5억원, 부대시설비 5억원이 소요되는 것으로 하였고, 내용연수는 20년, 1일 가동시간은 8시간, 연간 가동일수는 200일로 설정하였다. 또한 이자율은 시중 금리 5.5%, 감가상각비는 잔존가치 0%로 하고, 유틸비와 수리 및 부품비 등을 반영하여 산출한 1일 설비 사용비용은 364,028원으로 나타났다.

Table 127. Cost per day on using production facility of the woodchip fertilizer

Classification		Unit	Cost
Related Calculation	Purchasing Cost of Pressure Tank	Won	500,000,000
	Cost for Subsidiary facilities	Won	500,000,000
	Durable years	Year	20
	Operation hours per day	Hour	8
	Operation days per year	day	200
	Consumption of diesel	ℓ/hour	5
	Coefficient of oil and diesel		0.2
	Coefficient of repair and maintenance		0.2
	Unit price of diesel	Won/ℓ	1,200
Cost per day	Interest rate	Won(5.5%/year)	150,685
	Depreciation	Won (residual value 0%)	136,986
	Fuel cost including oil	Won	48,960
	Cost for repair and maintenance	Won	27,397
	Cost for using facilities	Won	364,028

이를 토대로 목재칩비료의 생산비용을 산출해 보면 다음과 같다. 목재칩비료의 1일 생산량을 50톤으로 설정할 경우, 원료인 목재칩 40톤, 순수 N, P, K 10톤이 소요되는 것으로 하였다. 이것은 목재칩비료 시제품을 제조해 본 결과, 순수 N, P, K가 목재칩 중량의 20%를 차지하는 것으로 나타났기 때문이다. 따라서 생산비용의 산출 1안으로서 목재칩의 가격을 50,000원/톤(50원/kg)으로 하고, 순수 N,P,K의 가격은 800,000원/톤(800원/kg)으로 하였다. 또한 인건비는 특별인부 1인과 보통인부 4인으로 하여, 특별인부는 1일 73,000원 보통인부는 1일 56,800원을 적용하였다. 이에 따른 1일 투입비용은 모두 10,664,228원이며, 톤당 생산비용은 213,285원이 소요되었다. 그리고 시설 및 인건비 등의 고정경비 및 적정이윤을 고려하여, 고정비용 및 이윤으로 생산비용의 30%를 적용하는 것으로 가정하였다. 따라서 총생산비용은 톤당 277,270원(277원/kg)이 소요되는 것으로 분석되었다.

Table 128. Production cost of woodchip fertilizer(case 1)

Classification		Unit	Cost	Note
Production		Ton/day	50	wood chip 80% net N,P,K 20%
Input cost	Wood chip	Won (40 ton/day)	2,000,000	50,000 won/ton
	Net N,P,K	Won (10 ton/day)	8,000,000	800,000 won/ton
	Labor	Won(5persons /day)	300,200	normal labor cost 56,800 won/1 person/1day
	Cost for using facilities	Won/day	364,028	
	Sub-total	Won/day	10,664,228	
Production cost		Won/ton	213,285	
Fixed cost and profit		Won/ton	63,985	30% of total production cost
Total production cost		Won/ton	277,270	277won/1kg

한편 생산비용의 산출 2안은 목재칩의 가격을 100,000원/톤(100원/kg)으로 하고, 순수 N,P,K의 가격을 1,000,000원/톤(1,000원/kg)으로 하였다. 또한 인건비는 특별인부 2인과 보통인부 8인, 계 10인으로 하였다. 이에 따른 1일 투입비용은 모두 14,964,428원이며, 톤당 생산비용은 299,289원이 소요되었다. 또한 고정비용 및 이윤은 생산비용의 40%를 적용하는 것으로 하였다. 따라서 총생산비용은 톤당 419,004원(419원/kg)이 소요되는 것으로 분석되었다.

Table 129. Production cost of woodchip fertilizer(case 2)

Classification		Unit	Cost	Note
Production		Ton/day	50	wood chip 80% net N,P,K 20%
Input cost	Wood chip	Won (40 ton/day)	4,000,000	100,000 won/ton
	Net N,P,K	Won (10 ton/day)	10,000,000	1,000,000 won/ton
	Labor	Won(5persons /day)	600,400	
	Cost for using facilities	Won/day	364,028	
	Sub-total	Won/day	14,964,428	
Production cost		Won/ton	299,289	
Fixed cost and profit		Won/ton	119,715	40% of total production cost
Total production cost		Won/ton	419,004	419won/1kg

3) 연구개발 중인 지효성 목재칩비료의 경제성 검토

전술한 바와 같이, 기존 비료와 연구개발 중인 지효성 목재칩비료의 산출가격을 비교 검토해 보면 다음과 같다. 기존의 일반비료는 산출가격이 약 300~450원/kg이었고, 지효성비료의 경우 평균 676~760원/kg이었다. 이에 비해 연구개발 중인 지효성 목재칩비료의 산출가격은 1안이 277원/kg이었고, 2안은 419원/kg이었다. 따라서 연구개발 중인 지효성 목재칩비료의 산출가격은 1, 2안 모두 기존의 일반비료 가격수준으로서 기존의 일반비료 및 지효성비료와 대비하여 볼 때, 수익성이나 가격경쟁력 등에서 충분한 경제성을 가지고 있는 것으로 사료되었다. 다만 여기에는 지효성 비료로서의 비효가 충분히 보장되고, 또한 사용상 불편이 없도록 하는 것 등이 전제되어야 함은 물론이다.

Table 130. Price comparison of existing and woodchip fertilizers (Unit: won/kg)

Classification	Calculated price	Note
Existing normal fertilizer	300 ~ 450	
Existing releasing fertilizer	676 ~ 760	
Wood chip releasing fertilizer (first draft)	277	
Wood chip releasing fertilizer (second draft)	419	

4. 수도작용 지효성 비료의 선호도 및 경제성 조사 요약

수도작용 지효성 비료에 대한 일반적 인식 및 사전 선호도를 알아보기 위하여 수도작 농가를 대상으로 2004년과 2005년 2차에 걸쳐 설문조사를 수행하였고, 그 결과는 다음과 같다. 1차 조사에 있어서 현재 수도작용 비료로 사용되는 것은 기비의 경우 복합비료(79%)가 대부분이었고, 분얼비는 질소(56%), 수비는 복합비료(33%)가 가장 많았다. 지효성 비료의 경우 사용경험자는 비교적 낮았고(28%), 사용만족도 역시 보통 이하(65%)가 많았다. 기존 비료의 문제점으로는 일반비료의 경우 효과의 비지속성, 지력의 저하, 수질 및 토양오염 등이었고, 지효성 비료는 효과의 부족, 비싼 가격, 사용의 불편함 등이었다. 또한 본 연구팀이 개발 중인 논갈이 직전 단 1회 사용하는 지효성 비료에 대해서는 대부분이 사용해 보겠다(79%)고 답하여 높은 관심을 표명하였다. 2차 조사는 지효성 비료의 사용 농가만을 대상으로 하여 조사한 결과, 지효성 비료의 사용에 대한 만족도가 비교적 높은 것(70%)으로 나타났으나, 전술한 바와 같은 문제점 또한 함께 제시되었다. 따라서 조사결과를 종합해 보면, 비료의 효과가 지속되고 가격이 저렴하며, 환경친화적이고, 노동력을 절감할 수 있는 등의 비료 개발이 요구된다고 하겠다. 한편 본 연구팀이 개발 중인 지효성 목재칩비료의 경제성을 검토해 보기 위해, 기존 비료와 목재칩비료의 가격을 산출해 본 결과는 다음과 같다. 기존의 일반 비료는 산출가격이 약 300~450원/kg이었고, 지효성 비료는 평균 676~760원/kg이었다. 이에 비해 연구개발 중인 지효성 목재칩비료의 산출가격은 1안이 277원/kg, 2안이 419원/kg이었다. 따라서 연구개발 중인 지효성 목재칩비료는 기존의 일반 비료는 물론 지효성 비료와 대비하여도 수익성이나 가격경쟁력 등에서 충분한 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

벼수확량(벼 포대) ※1포대= 40kg

3. 벼의 생육상황은?()

①매우양호 ②양호 ③보통 ④불량 ⑤매우불량

4. 논토양의 토성은?()

①사토 ②사질양토 ③점토 ④기타()

5-1. 벼병충해의 발생상황은? 병명(), 충명()

5-2. 벼병충해의 발생정도는?()

①매우심함 ②심함 ③보통 ④적음 ⑤매우적음

6. 벼농약의 사용정도는?

제초제 종류(), 사용회수(회), 사용량()

살충제 종류(), 사용회수(회), 사용량()

살균제 종류(), 사용회수(회), 사용량()

7-1. 벼 기비(밑거름)의 사용에 관하여?

종류는?() ①질소 ②인산 ③가리 ④복합비료 ⑤기타()

사용회수(회), 사용량()

7-2. 벼 분얼비(새끼거름)의 사용에 관하여?

종류는?() ①질소 ②인산 ③가리 ④복합비료 ⑤기타()

사용회수(회), 사용량()

7-3. 벼 수비(이삭거름)에 관하여?

종류는?() ①질소 ②인산 ③가리 ④복합비료 ⑤기타()

사용회수(회), 사용량()

8. 현재 사용하고 계신 벼(수도작)용 비료의 만족도는?()

①매우만족 ②만족 ③보통 ④불만 ⑤매우불만

9. 기존 화학비료의 문제점은 무엇입니까? 해당사항을 순서대로 모두 기재하여 주십시오.()

①쉽게 유실되어 비료 효과의 지속기간이 너무 짧다.

②지력을 저하시킨다.

③수질 및 토양을 오염시킨다.

④가격이 너무 비싸다.

⑤기타 의견()

10. 혹시 지효성 비료를 사용해 본 경험이 있으시다면 <10-12번> 문항에 응답해 주십시오.

재배작목(), 비료종류()

사 용 량()

11. 지효성 비료에 대한 사용 만족도는?()

①매우만족 ②만족 ③보통 ④불만 ⑤매우불만

12. 지효성 비료 사용 시 불만족하였다면 그 이유는 무엇입니까? 해당사항을 순서대로 모두 기재하여 주십시오.()

- ①효과가 좋지 않다.
- ②가격이 너무 비싸다.
- ③부피나 용량의 증가로 인해 사용하기 불편하다.
- ④기타 이유()

13. 본 연구팀에서는 기존 지효성 비료의 문제점을 고려하여 목재 칩(부스러기)을 이용한 새로운 벼용 지효성 비료를 개발하고 있습니다. 본 비료는 효과가 연중 지속되므로 모내기를 위한 논 같이 직전에 단 1회 산포로써 비료주기를 완료하는 것입니다. 본 비료 시제품의 벼에 대한 시험경작 결과는 우수한 것으로 판명되었습니다.

귀하께서는 본 비료가 생산, 시판되어 가격이 타사 제품과 동등하다면 사용해 보실 의사가 있습니까?.()

- ①사용해 보겠다 ②보통이다 ③사용하지 않겠다 ④잘 모르겠다
- ④기타 의견()

14. <13번 질문에 대한 응답 이유>는 무엇입니까? 해당사항을 모두 선택하시고 기타인 경우, 의견을 말씀해 주십시오.()

- ①한번만 사용하므로 노동력을 줄일 수 있다.
- ②비료의 효과가 오래 지속되어 좋다.
- ③쉽게 유실되지 않아 환경오염 방지에 기여할 수 있다.
- ④효과를 믿을 수 없다.
- ⑤기타 의견()

15. 귀하께서 벼용(수도작용) 비료 또는 일반 비료에 대해 가장 바라는 점이 있다면 무엇인지 말씀해 주십시오.
()

- 7-2. 추가비료를 사용하였다면 비료의 종류는? ()
 또한 추가비료의 사용량은? (kg/평)
- 8-1. 지효성비료 사용후 수확일에 변동이 있었습니까?
 ① 예 ② 아니오
- 8-2. 변동이 있었다면 수확일이 (일간) ① 줄었다 ② 늘었다.
9. 논토양의 토성은?
 ① 사토 ② 사질양토 ③ 점토 ④ 기타()
10. 지효성비료의 사용후 벼의 생육상황은?
 ① 매우 좋아짐 ② 좋아짐 ③ 변화없음 ④ 나빠짐 ⑤ 매우 나빠짐
- 11-1. 연간 벼수확량은? (벼 포대) ※1포대= 40kg
 300평당 (벼 kg)
- 11-2. 일반비료에서 지효성비료의 사용후 연간 벼수확량의 변화는?
 300평당 (kg)이 ① 감소하였다 ② 증가하였다.
- 12-1. 지효성비료 사용후 병해의 발생상황은?
 (병명:)
 ① 매우 줄어듦 ② 줄어듦 ③ 변화없음 ④ 늘어남 ⑤ 매우 늘어남
- 12-2. 지효성비료 사용후 충해의 발생상황은?
 (충명:)
 ① 매우 줄어듦 ② 줄어듦 ③ 변화없음 ④ 늘어남 ⑤ 매우 늘어남
- 13-1. 지효성비료의 사용후 농약의 사용은?
 ① 매우 줄어듦 ② 줄어듦 ③ 변화없음 ④ 늘어남 ⑤ 매우 늘어남
- 13-2. 지효성비료의 사용후 살충제의 사용은?
 ① 매우 줄어듦 ② 줄어듦 ③ 변화없음 ④ 늘어남 ⑤ 매우 늘어남
- 13-3. 지효성비료의 사용후 살균제의 사용은?
 ① 매우 줄어듦 ② 줄어듦 ③ 변화없음 ④ 늘어남 ⑤ 매우 늘어남
- 13-4. 지효성비료의 사용후 제초제의 사용은?
 ① 매우 줄어듦 ② 줄어듦 ③ 변화없음 ④ 늘어남 ⑤ 매우 늘어남
- 14-1. 현재 사용하고 계신 지효성비료의 만족도는?
 ① 매우만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만 ⑤ 매우불만
- 14-2. 지효성비료에 만족하였다면 그 이유는? 해당사항을 모두 선택하시고,
 기타 의견이 있으면 말씀해 주십시오.()
 ①효과가 좋다.
 ②효과가 오래 지속된다.
 ③한번만 사용하므로 노동력을 줄일 수 있다.
 ④쉽게 유실되지 않아 환경오염 방지에 기여할 수 있다.
 ⑤기타 의견()
- 14-3. 지효성비료에 불만족하였다면 그 이유는? 해당사항을 모두 선택하시고,
 기타 의견이 있으면 말씀해 주십시오.()

①효과가 좋지 않다.

②가격이 너무 비싸다.

③부피나 용량의 증가로 사용하기 불편하다.

④환경오염을 발생시킨다.

⑤기타 의견()

15. 귀하께서 수도작 지효성비료에 대하여 가장 바라는 점이 있다면 무엇입니까?
의견을 말씀해 주십시오.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

화학비료에 의한 비점오염원 중 하나인 농업용 비료로부터의 오염을 저감시키고, 토양의 토심을 증대 시키는 친환경 자재를 개발했다. 특히, 우리나라와 같이 물이 부족한 나라에서는 시급히 해결하여야 한다. 한편, 산불피해목재, 병충해피해목재, 수해피해목재, 공사현장으로부터 발생하는 뿌리와 가지 및 이용가치가 현격히 떨어지는 목재 등 폐목재를 재활용할 수 있는 기술을 개발했다. 특히, 소경목은 구조용재로 사용하기 부적합하므로 파쇄목으로 사용하는 방안을 강구했다. 앞으로 목재칩 생산 가능 수종을 조사하여 공급되는 원료의 특징 및 목재칩비료 제조가능성을 파악했다. 수종별 특징을 지역별로 조사하여 비료용액의 침투경로 및 용출경로를 과학적으로 분석했다. 다양한 화학물질과 혼합물의 성상을 파악하여 목재칩비료 용액으로 이용가능성 및 침투 및 용탈 특징을 파악했다. 목재칩비료와 화학비료를 비교하여 수중용출 및 토양중 용탈 특징을 구명했다. 그리고 토양 중 목재칩비료의 부속도를 조사하여 토양 중 목재칩비료의 잔여기간을 예측 가능하게 했다.

벼 재배에 시용 그 효과를 검토하고자 목재칩의 적정시비량 결정, 기상 및 토양이 다른 농가실 증재배, 년차간 변이를 검토하였다. 목재칩비료의 수종별, 생육조사, 토양조사, 쌀 품질의 품위 등을 조사했다. 목재칩비료의 수종은 혼합 수종으로 가는 것이 유리한 것으로 판단되었다. 쌀 품질에 중요 인자인 완전미와 백미는 목재칩비료가 화학비료 시비구보다 우수했다.

수도작용 지효성 비료에 대한 일반적 인식 및 사전 선호도를 알아보기 위하여 수도작 농가를 대상으로 설문조사를 수행하였고, 기존 비료의 문제점(효과의 비지속성, 지력의 저하, 수질 및 토양오염 등), 지효성 비료의 문제점(효과의 부족, 비싼 가격, 사용의 불편함 등) 및 본 연구팀이 개발 중인 지효성 목재칩비료에 대한 조사를 했다. 지효성 비료의 사용 경험이 있는 농가만을 대상으로 하여 조사한 결과, 지효성 비료의 사용에 대한 만족도가 비교적 높은 것(70%)으로 나타났으나, 전술한 바와 같은 문제점 또한 함께 제시되었다. 따라서 조사결과를 종합해 보면, 비료의 효과가 지속되고 가격이 저렴하며, 환경친화적이고, 노동력을 절감할 수 있는 등의 비료 개발이 요구된다고 하겠다. 본 연구팀이 개발 중인 지효성 목재칩비료의 경제성을 검토한 결과 기존의 일반 비료는 물론 지효성 비료와 대비하여도 수익성이나 가격경쟁력 등에서 충분한 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

그 외에 국내에 특별강연 3여회, KBS TV 뉴스 및 중앙일간지 등에 22회의 홍보 효과가 있었으며, 국내 및 국제특허를 11개 출원 및 등록되었다. 한편 국내와 국제 학술지에 7편 게재 되었으며, 국내 및 국제 학술발표회에서 38회 발표했다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

FTA 등 농산물 개방 압력에 대비하여 우수농산물을 생산하기 위해서는 유기농업을 해야 한다. 누구나 답을 알고 있는 것을 실천하지 못하고 있다. 유기농업을 못하는 가장 큰 이유는 토양의 문제이다. 우리나라 토양은 과도한 화학비료 사용으로 악화되어있다. 이러한 토양에서 유기농업을 하면 쌀 생산량의 감소, 병충해 감염 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 본 연구팀이 개발한 화학비료와 유기물이 혼합된 비료를 사용하여야한다. 처음 1년 동안은 화학비료의 역할을 하고, 1년 뒤에는 유기질비료로 서서히 변화되기 때문이다. 이러한 과정을 반복하면 수년 내에 완전 유기 농업으로 갈 수 있을 것으로 판단된다. 그 뿐만 아니라 비점오염원도 저감시키고, 삼림의 폐목재도 처리하는 등 1석3조의 효과를 거둘 것이다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 본 연구팀은 국내와 국제 특허를 출원 및 등록된 상태이다. 국내에 등록된 특허를 기반으로 우선 국내에서 50개의 공장을 최종 목표로 하고 있다. 한 개의 소규모 공장에서 일일 생산규모 50톤(/1개 공장), 1년에 12,000톤(성분량 2,400톤/년)을 생산하면 50개 공장에서 약 600,000톤(성분량 120,000톤)을 생산할 수 있다. 매출액은 1개 공장에서 연간 약 36억원 정도로 추산된다.

그러나 문제는 시설 투자비용이다. 현재 추산되는 한 개의 공장 설치비용이 약 10억원정도 소요될 것으로 판단된다. 현재의 목재 칩 공장이 영세하여 초기 투자자본을 10억원 투자하기 어려운 실정이다. 따라서 초기에는 정부의 지원에 의하여 추진되어야 한다고 판단된다.

우리나라 이외의 외국에서는 국제 특허를 등록 및 출원한 국가를 대상으로 추진할 계획이다. 특히, 원자인 목재와 비료 가격이 싸고, 인건비가 저렴한 곳을 선택하여 추진할 계획이다.

그 외에 과수, 채소원예 등에 지속적인 적용하는 시험연구와 목재칩비료를 제조하는 기계장치의 설계 및 시범 운영 단지를 조성하는 연구가 계속적으로 필요하다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. Fertilizer situation in United States

INTRODUCTION

The U.S.'s demand for commercial fertilizers far exceeds its production capabilities. Therefore, the U.S. relies on imported fertilizers to supplement its production and meet domestic-consumption demands. U.S. agriculture is the major consumer of fertilizers, accounting for more than 85 percent of U.S. fertilizer consumption. Golf courses, grounds care and nurseries account for about 10 percent of domestic use, and the home lawn and garden market accounts for the remaining 5 percent of domestic fertilizer consumption.

Fertilizer production is a strong industry in the U.S. In fact, annual U.S. production from 1992 to 1996 averaged about \$8.8 million, while employing more than 37,000 people. Total fertilizer consumption rose from \$7.5 million in 1992 to \$9 billion in 1996. Meanwhile, fertilizer imports also increased from 19.6 percent to 27.6 percent of U.S fertilizer consumption. Weather conditions, trade disputes, political unrest, general economic agricultural conditions, crop prices and product supply each can have an influence on the demand for fertilizer. Although no substitute exists for fertilizers in plant growth, "within each necessary nutrient group, each nutrient may be supplied through a variety of products," says USITC. The industry categorizes fertilizers into three primary nutrient groups: fixed nitrogen, water-soluble phosphorus and water-soluble potassium. According to USITC's summary, "On a nutrient basis, a significant portion of domestic demand for nitrogenous and potassic fertilizers is satisfied by imports. However, U.S. production of phosphatic fertilizers is both sufficient to satisfy domestic demand and to account for the majority of U.S. fertilizer exports."

DISCUSSION

1. Production

United States fertilizer production includes nitrogen, phosphate and potash production, in which nitrogen fertilizer production proportion represented 52%(Fig.1) in total fertilizer production 18.1 million tons.

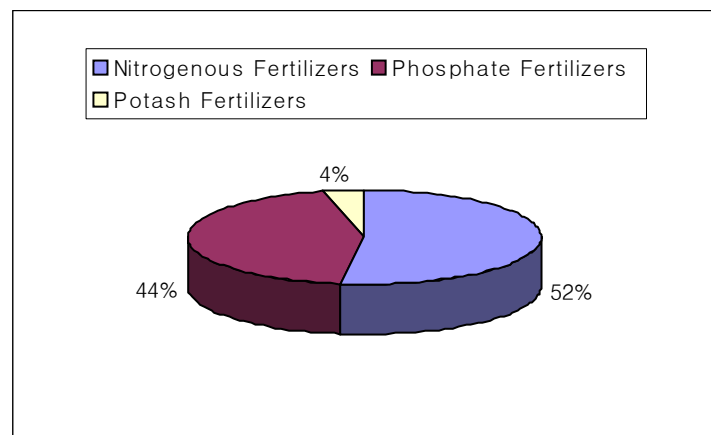


Fig. 1. Percentage of total fertilizer production in United States in 2002

From 1961-1980, total fertilizer production in United States increased rapidly around three times, and to a peak at 23.4 million tons in 1980, in the following several years there were 2 rock bottoms respectively 18.0 million tons in 1982 and 18.2 million tons in 1985. During 1986-1996 period, total fertilizer production increased 26% to another peak at 27.0 million tons in 1996, from then on fertilizer production decreased 29%. Nitrogen fertilizer and phosphate fertilizers production situation were almost similar to total fertilizer production in United States, while potash fertilizer production decreased gradually in these years(Fig. 2).

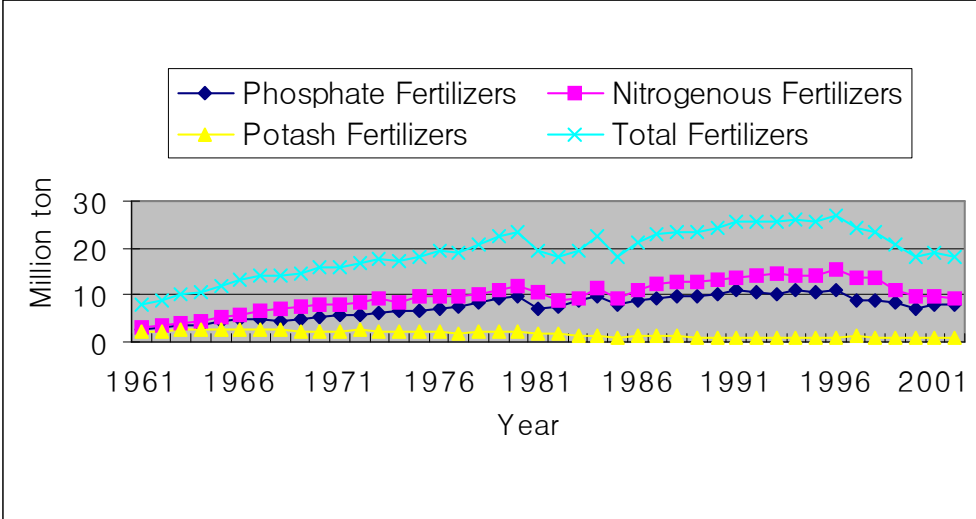


Fig. 2. Fertilizer production in United States

Nearly 60 percent of all sulfur consumption is in the production of phosphate fertilizers. Nearly 10 percent of additional consumption is used in other agricultural applications, including the production of nitrogenous fertilizers and plant nutrient sulfur.

1.1 Nitrogen

United States is one of the world major nitrogen producer with 17% of world production. Production of urea, the primary nitrogen product, was increased steadily from 1961-1996, except 1984-1985, however, after 1996, urea production was down 85% to 1.7 million tons in 2000, and only rose 21% in the following two years. According to the graph below, ammonium nitrate production made a wave line during 1961-2002 period, with three peaks respectively at 1.3 million tons in 1972, 1.1 million tons in 1980 and 1.3 million tons in 1998. Ammonium phosphate production started from 1972, and was up and down in undulation in the next decade, while exceeded urea production from 1988. Compared with other nitrogenous fertilizer, ammonium sulphate production was correspondingly steady(Fig. 3).

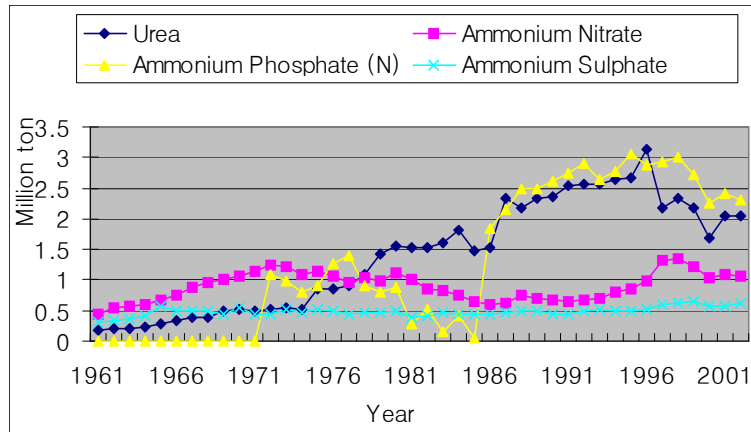


Fig. 3. Nitrogen fertilizer production in United States

An average of 85 percent of the ammonia produced in the United States is used in fertilizers. About 11.5 million metric tons per year (Mt/yr) of nitrogen in all forms is used in fertilizers in the United States. Ammonia represents about 32 percent of the total fertilizer nitrogen used; urea and urea-ammonium nitrate solutions together represent 37 percent; ammonium nitrate, 5 percent; and ammonium sulfate, 2 percent. The remainder is supplied by multiple-nutrient fertilizers that contain varying quantities of nitrogen, phosphorus, and potassium.

1.2 Phosphates

The U.S. is the world largest producer of phosphate fertilizers, accounting for about one-third of world production. Ammonium phosphates (P_2O_5) production increased five times from 1961 to 1973, and continuously increased over 2 times during 1974-1998 period, excluding three rock bottoms respectively at 4.0 million tons in 1981, 4.5 million tons in 1985 and 6.8 million tons in 1993. From 1999-2002, though ammonium phosphates (P_2O_5) production was much higher than the other phosphate fertilizer, was lower than the peak at 8.5 million tons in 1998. Consent super-phosphate production had increased 85% to 1.7 million tons from 1961-1978, while decreased 71% from 1979-2002. Single super-phosphate production decreased gradually in this period(Fig. 4).

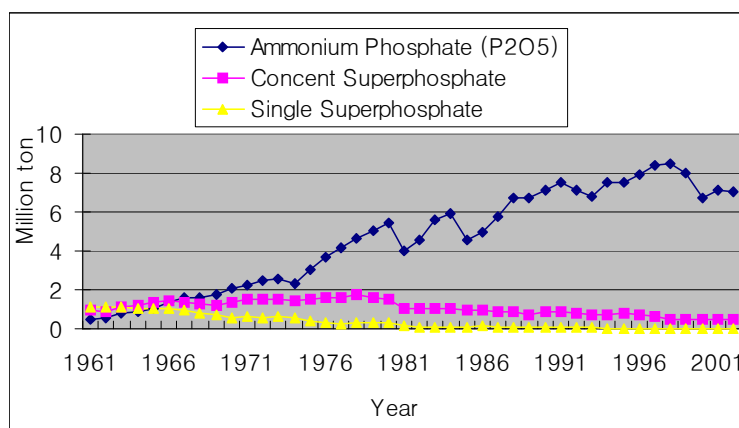


Fig. 4. Phosphate fertilizer production in United States

The United States supplies most of the phosphate fertilizers in the world. Overall, more than 50 percent of the phosphoric acid produced in the United States is exported as finished fertilizers or commercial acid. The United

States accounts for more than 50 percent of global inter regional trade in phosphates; 90 percent in MAP; and 75 percent in DAP. The United States also imports some phosphate rock for processing about 1.8Mt/Yr.

1.3 Potash

U.S. potash mines are relatively small and old when compared to Canadian mines. Ore quality is declining and output as declined steadily over the years. Most of the production is centred in Carlesbad, New Mexico, and U.S. potash producers compete with Canadian potash from Saskatchewan and New Brunswick for the major market which is in the U.S. mid-west. The main potash fertilizer production in United States, muriate of potash production decreased in undulation, while potassium sulphate production was stable in 1961-1997. In the 1998-2002 period, production of muriate of potash is the only potash fertilizer production in United States(Fig. 5).

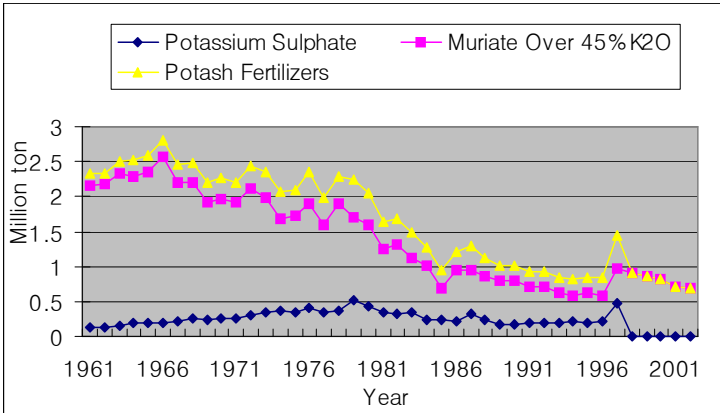


Fig. 5. Potash fertilizer production in United States

The United States produces about 3Mt/yr of potash, mostly in New Mexico. About 1 Mt of that production is exported. About 8 Mt is imported by the United States every year, primarily from Canada, the largest potash producer in the world. The United States consumes about 11Mt/yr tons of potash of all types and grades. About 95 percent of this is used for agricultural purposes.

2. Consumption

Total fertilizer consumption increased over 2 times from 1961 to 1973, and was up and down during 1974-1985 period, from 1986 to 2002 was largely unchanged. Nitrogen fertilizer consumption increased steadily from 3.1 million tons in 1961 to million 10.9 tons in 2002. Phosphate and potash fertilizer consumption were in similar situation, doubling during 1961-1973 period, then were largely unchanged from 1974-2002(Fig. 6).

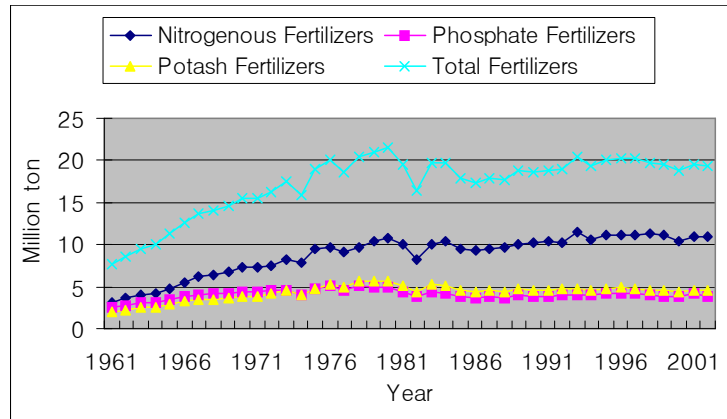


Fig. 6. Fertilizer consumption in United States

2.1 Nitrogen

Urea consumption increased rapidly from 0.1 million tons in 1961 to 2.2 million tons in 2002. Ammonium nitrate consumption doubled from 1961 to 1972, however, decreased 51% to 0.5 million in 1971-2002 period. Ammonium phosphate consumption had two stages from 1961-2002, around 0.1 million tons from 1961-1985 in the first stage, and increased to over 0.5 million tons in the second stage during 1986-2002 period. Compared with other nitrogenous fertilizer consumption, ammonium sulphate fertilizer consumption increased steadily from 0.1 million tons in 1961 to 0.2 million tons in 2002 (Fig. 7).

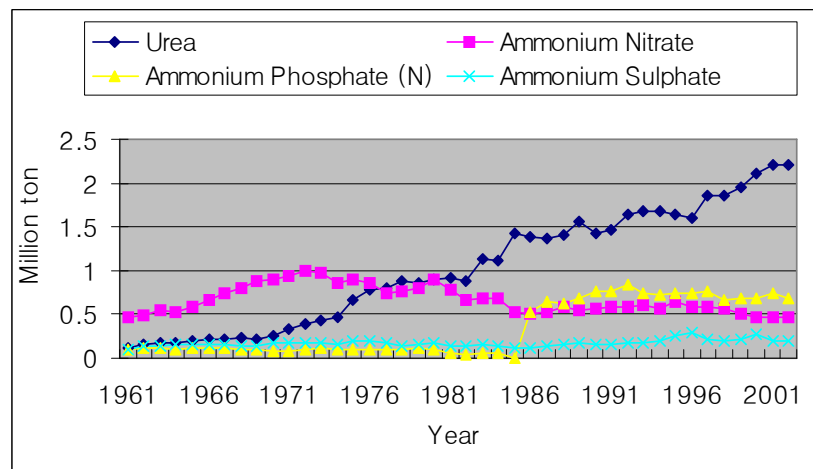


Fig. 7. Nitrogen fertilizer consumption in United States

Calcium cyanamide fertilizer only consumed from 1961 to 1965 (Table 1). Calcium nitrate fertilizer consumption decreased 40% from 1961 to 1965, stopped during 1966-1986 period, restarted from 1987 and over doubled in 2002 (Table 2).

Table 1. Calcium cyanamide fertilizer consumption in United States (thousand ton)

Fertilizer year	1961	1962	1963	1964	1965
Calcium Cyanamide	6.073	5.046	4.456	3.354	2.844

Table 2. Calcium Nitrate fertilizer consumption in United States

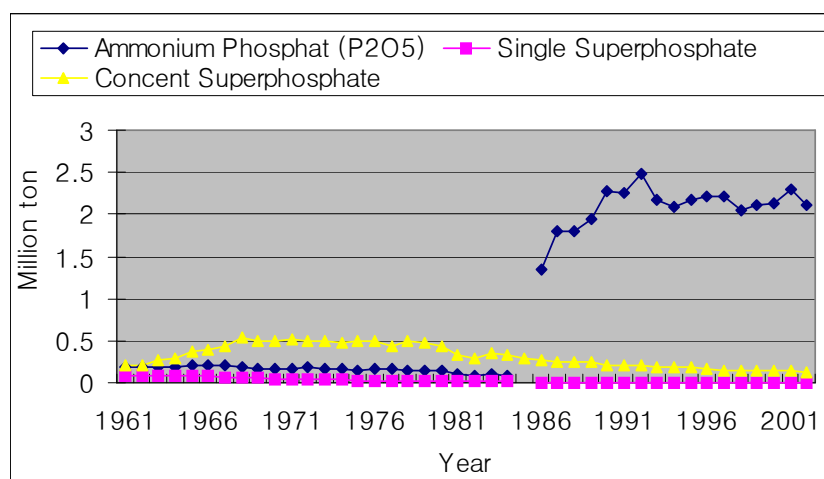
(metric ton)

Fertilizer year	1961	1962	1963	1964	1965	1987	1988
Calcium Nitrate	6622	5524	5534	4829	3963	11470	10431
Fertilizer year	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Calcium Nitrate	15495	11534	10662	12069	12253	12481	27351
Fertilizer year	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Calcium Nitrate	21744	21100	25020	23677	29389	26428	26388

1 million ton = 1000 thousand ton = 1,000,000 metric ton

2.2 Phosphates

Ammonium Phosphate had two stages from 1961-2002, around 0.1 million tons from 1961-1985 in the first stage, and increased to over 1 million tons in the second stage during 1986-2002 period. Single super-phosphate decreased 19% to 71.3 thousand tons from 1961 to 1967, decreased 79% to 13.8 thousand tons from 1977 to 1984 and was largely unchanged during 1986-2002 period. Consent super-phosphate fertilizer consumption increased over 2 times from 196.7 thousand tons in 1961 to 530.3 thousand tons in 1968, while decreased gradually to 126.6 thousand tons during 1969-2002 period(Fig. 8).

**Fig. 8.** Phosphate fertilizer consumption in United States

2.3 Potash

Muriate of potash fertilizer consumption increased rapidly from 0.2 million tons in 1961 to 2.3 million tons in 1977. About 50% of the potash consumed in the U.S. is in the muriate form since 1977. During 1977- 2002 period, muriate of potash fertilizer consumption was no largely changed. Potassium sulphate fertilizer consumption was less than 0.01 million tons from 1961-2002(Fig. 9).

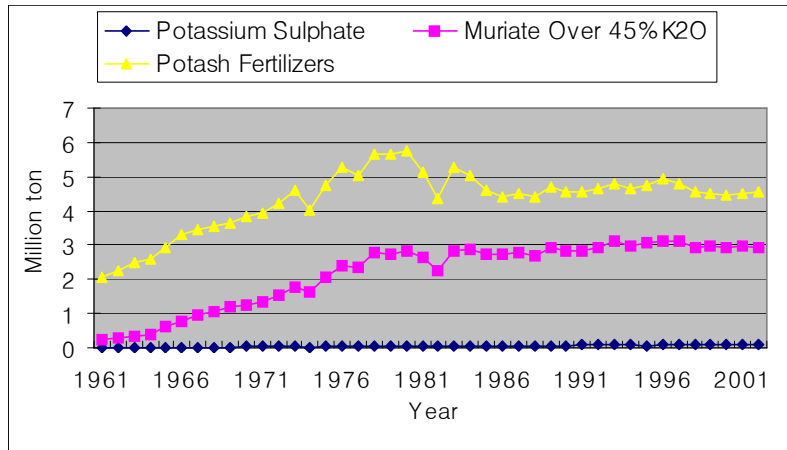


Fig. 9. Potash fertilizer consumption in United States

3. Fertilizer Trade

3.1 Exports

Ammonium phosphate (P₂O₅) fertilizer export increased from 24 thousand tons in 1961 to 2445 thousand tons in 1980, though dropped to rock bottom below 2000 thousand tons in 1985 and 1992, was trend to increased during 1981-1998 period, and decreased 24% to 3919 thousand tons from 1999-2002. Urea exports made a wave line from 1961 to 2002, to a peak at 836 thousand tons in 1980. Ammonium phosphate (N) fertilizer exports started from 1972, increased steadily from 1971 to 1980, made two undulations in 1981-1994 period, was steady correspondingly in 1994-1998, and decreased 28% to 1307 thousand tons from 1999-2002. Muriate of potash fertilizer exports was largely unchanged. (Table 10). Other fertilizer exports in United states were up and down irregularly. (Table 11)

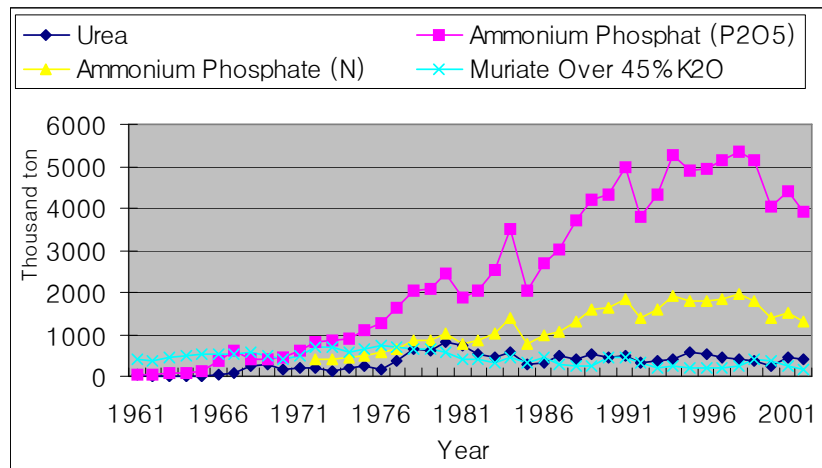


Fig. 10. Primary fertilizer exports in United States.

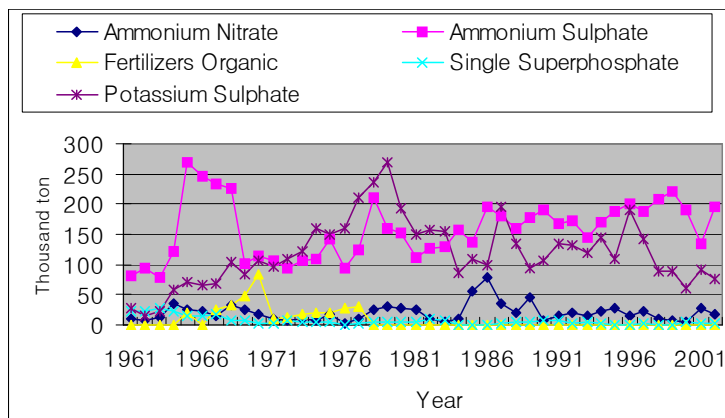


Fig. 11. Other fertilizer exports in United States

3.2 Imports

Urea and muriate potassium fertilizer were the primary imports fertilizer in United States. Muriate potassium fertilizer imports increased rapidly during 1961- 1980 period, made several undulation from 1981-1997, increased to a peak at 5569 thousand tons in 2000, while dropped in the following two year. Urea fertilizer imports increased over 4 times from 1961 to 1975, was steady in 1976-1981 period, increased continuously from 1981 to 1986 at a peak at 1260 thousand tons, and made a wave line from 1987-2002(Fig. 12).

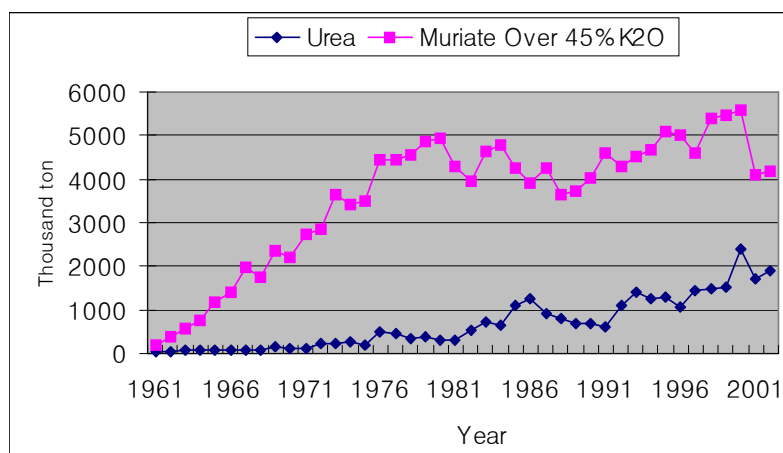


Fig. 12. Primary fertilizer imports in United States

Calcium nitrate fertilizer imports was steady during 1961-1971 period, increased over 4 times to 26 thousand tons from 1971 to 1973, and was be in undulation from 1974 to 2002. Calcium cyanamide imports decreased from 8 thousand tons in 1961 to 1 thousand ton in 1972, roseto 11 and 7 thousand tons in the following two years, and stopped from 1976 to 2002. Organic fertilizer imports had two stage, the first stage in 1964-1965, and the second stage in 1988-1991 period which had a peak at 48 thousand tons in 1989(Fig. 13).

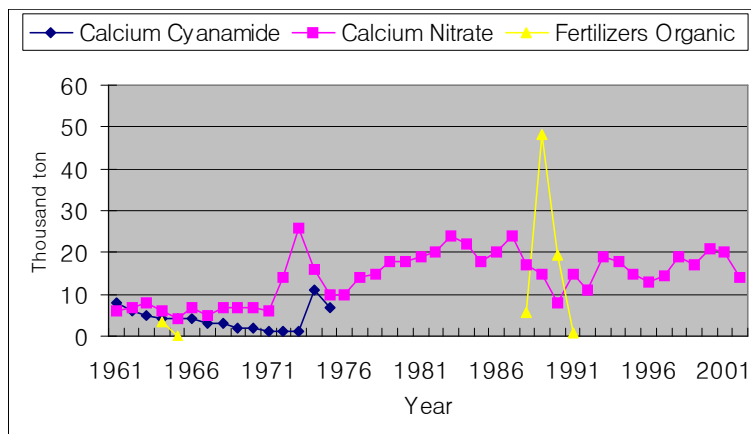


Fig. 13. Calcium cyanamide, calcium nitrate and organic fertilizer imports in United States

Ammonium nitrate fertilizer imports increased rapidly from 58 thousand tons in 1961 to 338 thousand tons in 2002. Ammonium phosphate (P₂O₅) fertilizer imports made a wave line with two peaks at 191 thousand tons in 1971 and 215 thousand tons in 2002. Potassium sulphate fertilizer imports was correspondingly stable excluding a peak at 98 thousand tons in 1988. Single super-phosphate fertilizer imports was steady around 1 thousand tons (Fig. 14).

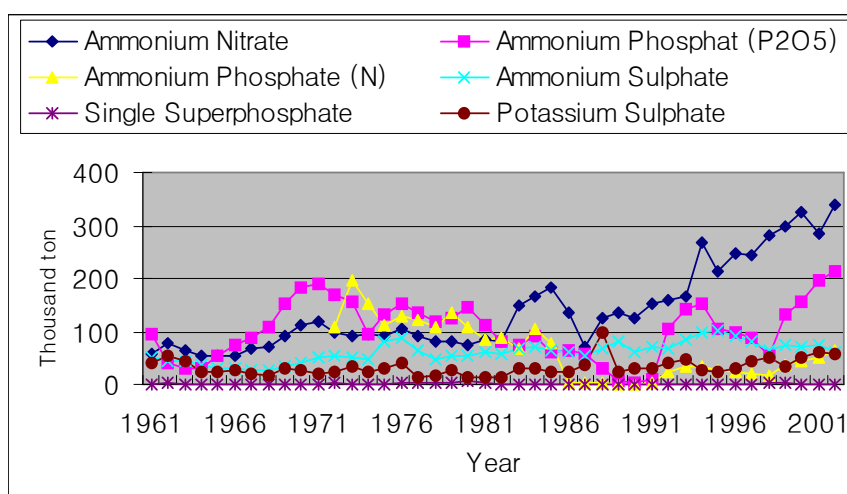


Fig. 14. Other fertilizer imported in United States.

Ammonia was produced by 19 companies at 37 plants in the United States during 2002. Fifty-three percent of total U.S. ammonia production capacity was centered in Louisiana, Oklahoma, and Texas because of their large reserves of natural gas, the dominant domestic feed stock. In 2002, U.S. producers operated at about 57% of their rated capacity (Deborah 2003).

CONCLUSION

The United States remained the world's second largest ammonia producer and consumer following China. Urea, ammonium nitrate, ammonium phosphates, nitric acid, and ammonium sulfate were the major derivatives of ammonia in the United States, in descending order of importance. Fertilizer production in United States was

decreased in these recent years, while fertilizer consumption was correspondingly steady. Fertilizer import had small undulation in nitrogen and potash, only phosphates import was stable. Fertilizer export was largely unchanged.

2. The Production and Consumption of Fertilizer in China

Introduction

China has a population of 1.3 billion and 132 million ha of arable lands. It is a big agricultural country with large population, but lacks arable land. In order to develop national economy and solve basic problems of increasing population, agricultural industry has been considered as the base for the national economy by Chinese government. As a leading industry of agriculture, the fertilizer industry is high priority in the national economy.

Discussion

1. Evolution of Fertilizer Production in China

1.1 Stage I (Pre-1985): Central planning

Production and distribution of fertilizers were under strict central planning until the mid-1980s in China. Fertilizer production facilities were owned by the state. Government subsidized production and distribution to keep fertilizer prices low. Since 1985, a dual system for fertilizer distribution similar to grains. Large and medium-sized fertilizer manufacturers are allowed to sell a certain percentage of their production at market prices after fulfilling the targeted quantity.

1.2 Stage II (1986-1997): Transition from central planning to market economy

Double-track fertilizer pricing: In 1985, government allowed the fertilizer plants to sell surplus fertilizer products at market prices after fulfilling the mandatory production quantity quotas. Dual fertilizer distribution channels:

Before 1988, only AMPC held the monopoly power to distribute fertilizers in China.

In 1989, the state introduced the extension services at county levels into the domestic fertilizer distribution business. However, AMPC still maintained the primary distributor status and the extension service stations were allowed to conduct only fertilizer retailing business in connection to their extension activities.

In 1994, government further relaxed control over fertilizer pricing, allowing fertilizer price to be determined by market. Government still sets and allocates import quotas and provides price guidance. Sinochem had the monopoly power to import fertilizers.

1.3 Stage III (1998-2001): Furthering opening of fertilizer marketing

Mandatory fertilizer production and procurement quotas were phased out and fertilizer plants could make their own decisions to produce and distribute the fertilizer products based on market situation. AMPC and extension service stations were allowed to do both wholesaling and retailing of fertilizers. Government set guided ex-factory prices for fertilizers produced by the state-owned large fertilizer plants, but allowing competition at retail level. Both Sinochem and AMPC could import fertilizers under the import quotas issued by the state government. Preferential policies were implemented to lower or eliminate some fertilizer taxes and lower the railroad freight costs.

1.4 Stage IV (2002-Present): China fertilizer market within WTO framework

The quota quantities will grow substantially beyond 2006. No quotas are required for potash. Import volumes above the specified quantity will not be limited, but will face a duty of 50%. A significant portion of imports of fertilizers will remain subject to state trading. Trading rights for importing fertilizers under the portion of the TRQ that is reserved for private trade will be phased in over three years. China does not generally permit foreign companies to distribute products through wholesale and retail systems in China or to provide related distribution services. These prohibitions will be eliminated five years after accession for fertilizers

2. The Fertilizer Production in China

2.1 Total Fertilizer Production in China

2.1.1 Total Production of Fertilizer in China before 1985

Before 1955, the amount of fertilizer production in China is few. In 1965, except for 30 medium-size ammonia plants with 60kt per year capacity, others were all small-size with the capacity of 10kt per year. By the end of 1970's, especially with the government's adoption of reform and opening to the outside world policy, Chinese fertilizer production capacity and technology level improved greatly (Fig. 1).

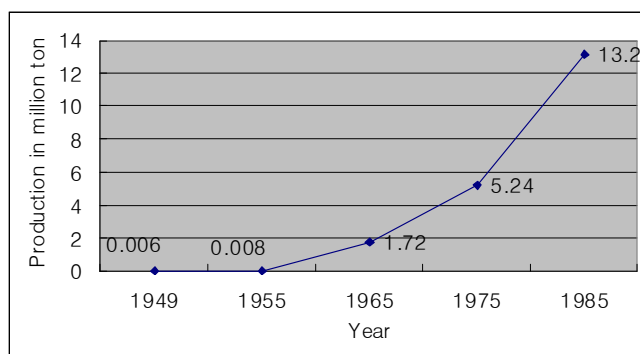


Fig. 1. Fertilizer Production in China before 1985

The plant nutrient resources applied in China contains mainly nitrogenous fertilizer, phosphate fertilizer and potash fertilizer.

2.1.2 Total Production of Fertilizer in China from 1985-2000

From 1985 to 1998, China's fertilizer production has been increased from 13.22 million tons to 28.72 million tons (Fig. 2), with an annual increasing rate of 4.8%. China was one of the most rapid development countries. Presently the total fertilizer output of China ranks 1st in the world.

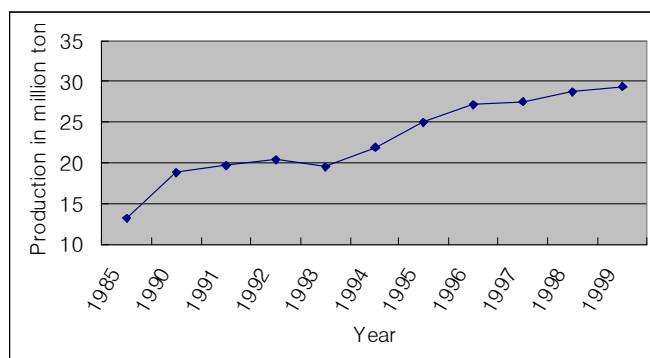


Fig. 2. Fertilizer Production in China from 1985 to 1999

2.2 The Chemical Fertilizer Production Situation of China

The plant nutrient resources applied in China contains mainly nitrogenous fertilizer, phosphate fertilizer and potash fertilizer.

2.2.1 Nitrogenous Fertilizer production in China

The nitrogenous fertilizer industry includes the production of synthetic ammonia, nitric acid, ammonium nitrate, and urea. Synthetic ammonia and nitric acid, however, are used primarily as intermediates in the production of ammonium nitrate and urea fertilizer.

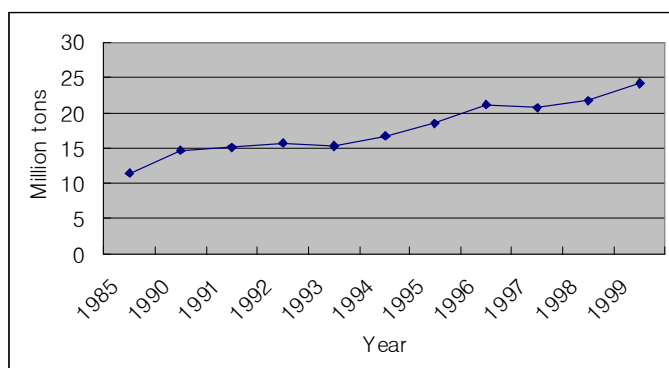


Fig. 3. Nitrogenous Fertilizer production in China from 1985 to 1999

In 1999, to compare with the preceding year, the rate of increase is 2.33%, in which the increase of nitrogenous fertilizer was strong with a growth of 10.67 % (Fig. 3).

2.2.2 Phosphate Fertilizer production in China

The phosphate fertilizer industry can be divided into three major segments: phosphoric acid, granular ammonium phosphate, and normal and triple super-phosphate. Total inorganic fertilizer production ranked first in the world and P production was the second largest in the world.

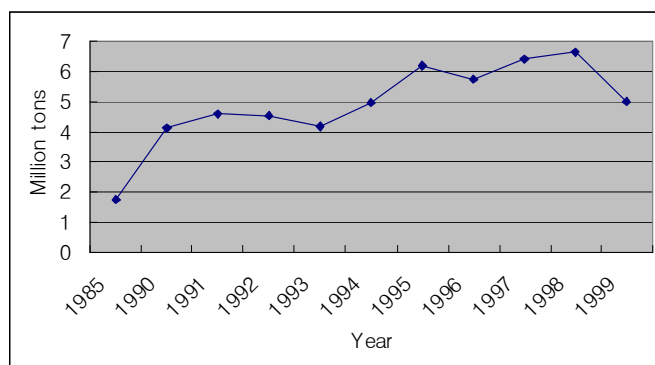


Fig. 4. Phosphate Fertilizer production in China from 1985 to 1999

2.2.3 Potash Fertilizer production in China

The amount of potash fertilizer production is the least.

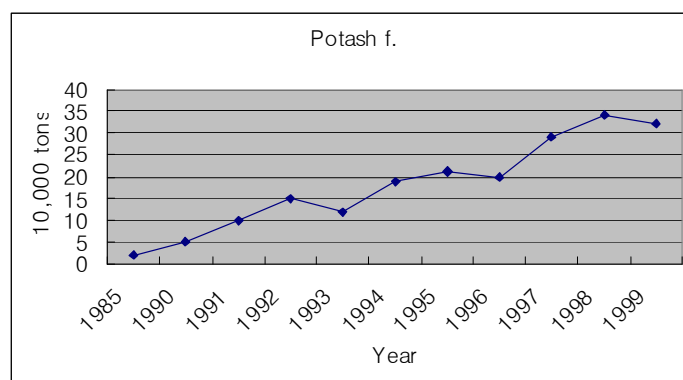


Fig. 5. Potash Fertilizer production in China from 1985 to 1999

2.2.4 Compound Fertilizer production in China

High analysis P fertilizers accounted for about 35 % of total P production. About one-third P fertilizers were used to produce compound fertilizers. MCF made up approximately 16 % of the total inorganic fertilizer.

Table 1. Compound fertilizer production in China from 1995 to 2000

(104 materials)

Year	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Total	292.6	336.4	470.7	533.4	623.6	763.3
MAP(11-42)	69.7	93.8	120.6	158.6	186.7	179.8
DAP(18-46)	50.3	61.9	78.4	94.9	100.5	150.9
NPK(15-15-15)	74.2	99.4	142.2	186.6	246.8	352.9
NP(13-27)	55.7	64.8	71.9	77.0	89.6	79.7

3. The Fertilizer Consumption in China

China has a large amount of consumption of fertilizer.

Table 2. China's consumption of Chemical Fertilizers from 1991 to 1999

(10,000t nutrients)

Year	Consumption	Nitrogen F	Phosphate F	Potash F	Compound F
1991	2805	1726	500	174	405
1992	2932	1756	516	196	462
1993	3156	1835	575	212	529
1994	3315	1881	601	235	601
1995	3595	2022	633	265	671
1996	3828	2145	658	290	735
1997	3980	2172	689	322	798
1998	4085	2234	684	346	822
1999	4124	2180	697	366	880

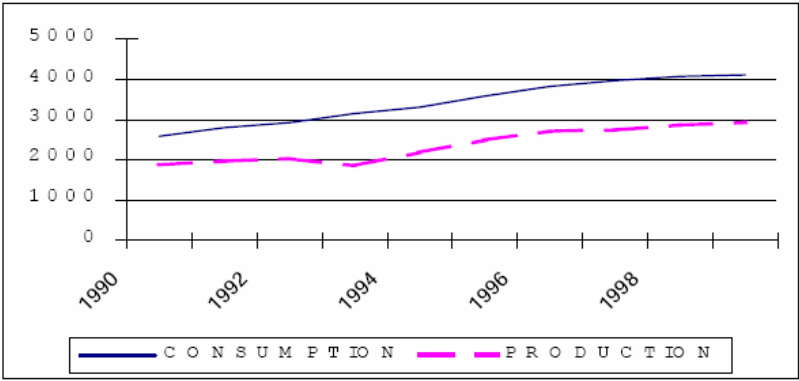
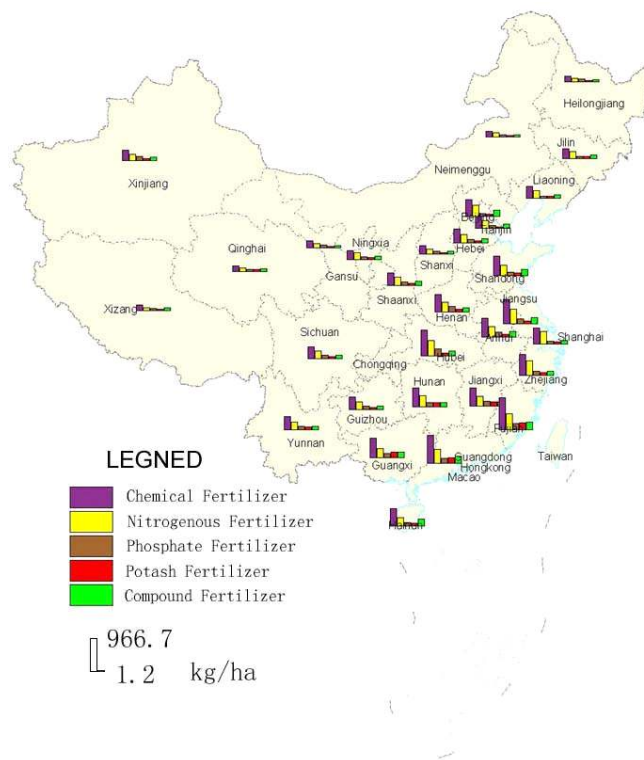


Fig. 6. Comparison between Consumption and Production of China's Chemical Fertilizers(10,000t)

At present, the total output of China's grain is stable at around 500Mt. Total fertilizer consumption has reached 41.24 Mt. In the nine years form 1991 to 1999, the yearly increase rate of fertilizer consumption was 5.8% from 1991 to 1995; the increase rate was 6.77% from 1996 to 1999; and increase rate is now 4.35%.

The consumption is quite different according to areas. In the southeast of China the fertilizer are used much than other place because the amount of crop production is higher. The soil in the north and west China are not suitable for planting. In the northeast of China although fertilizer are not consumed to much but the planting is advanced, especially in Heilongjiang Province, that is because the soil there are fertile and productive(Map 1).



Map 1. Consumption of Fertilizer in China

4. The Import and Export Situation of China's Chemical Fertilizers

Nowadays, the chemical fertilizers imported by China are mainly ammonium phosphate, NPK compound fertilizers and potash fertilizer, of which DAP is of the major imported fertilizers, mainly from USA. The import of NPK compound fertilizers is mainly from Russia and European countries. The import of potassium chloride is mainly from the FSU and Canada.

Table 3. DAP and NPK compound fertilizer imported by in China (10,000t)

Year	DAP	NPK Compound fertilizers
1994	397.4	101.3
1995	543.2	133.1
1996	447.5	212.8
1997	464.2	259.2
1998	549.5	233.1
1999	528.2	236.0

China import fertilizer from the entire world in a large amount. Compared with importation, the export of fertilizer is less. At present, China has exported a small quantity of phosphate product, mainly TSP and DAP, half of its TSP output is expected to be exported each year, mainly to countries of South-East Asia.

4.1. The Import of Nitrogen fertilizer in China

In 1997, China started to prohibit the import of urea so as to protect local production. Upon China's accession to the WTO (December 2001), China committed to an import quota on urea of 1.3 million tons in the first year,

with an annual incremental rate of 0.5 million tons over the following 5 years and a final target of 3.3 million tons in the sixth year. Imports of high concentration nitrogenous fertilizer are especially encouraged. In the first half of 2002, urea imports accumulated to 676,000 tons, 8.3 times over the same period of last year. Despite the relative small quantity, imported urea increasingly shows influence on the local market as the quotations of some importers lowered with the lowest port trade price falling to RMB1,200 (US\$144) per ton.

4.2. The Import of Phosphate fertilizer in China

Currently, China's production capacity of phosphate fertilizer reaches about 10 million tons and ranks No.2 in the world, right after the U.S. In 2001, China consumed 10.17 million tons, of which 31%, or 3.12 million tons was imported. Local phosphate fertilizer satisfies less than 70% of the market demand, while low concentration phosphate fertilizer accounts for 60% of total local production. Although the local production is increasing year over year, imports will remain an important source of supply for reasons related to both quantity and product quality. According to Ms. Liu Yihua, an expert at the China Petroleum and Chemical Industry Planning Institute, domestic demand for phosphate fertilizer will soar to 10.72 million tons by 2005, and 11.75 million tons by 2015 in China.

4.3. The Import of Potash fertilizer in China

Due to constraints in local production resources and considerable domestic consumption, most potash fertilizer has to be imported to satisfy domestic demand. At present, there are only 50 Chinese plants producing potash fertilizer with production capacity of 1,200,000 tons per year. Statistics show that China consumed 4.18 million tons of potash fertilizer in 2001, among which imports cover 3.32 million tons, equal to 85% of the total consumption. It is estimated by experts that China will demand approximately 42 million tons of fertilizer in 2005. Over the next several years, approximately 7 million tons of potash fertilizer is expected to be needed each year. China plans to further increase its production, but so far the degree of self-sufficiency of potash fertilizer reaches just 17% of demand. China will have to rely heavily on imports over the next few years.

5. Future development of the fertilizer industry of China

The fertilizer industry of China, constructed, producing and selling under nearly 50 years' planned economy, is facing domestic and foreign challenges from the transition to market economy and entry of WTO. In order to swiftly adjust itself to accommodate the new circumstances, and in line with the 10th five year plan and the guideline of the draft of 2015 long-term planning, the future development of the China fertilizer industry will focus on: adjusting raw material structure, product structure, plant structure and capital structure; gradually establishing an integrated system of production, sales and service; shutting down those plants that cannot survive in the market competition; improving the overall technology, service, economic gains and competitiveness of the fertilizer industry.

Following China's accession into the WTO, the fertilizer industry, like all other industries, would be increasingly integrated into the world. In the near future, a number of large competitive conglomerates are projected to emerge in the Chinese fertilizer industry. Fertilizer marketing and distribution channels would become more

integrated and centralized.

Conclusion

With the development of domestic high-efficiency agriculture, fertilizers of high-concentration, high-compound, highly specialized and controlled release will become important players in the market. China has to rely on imports to satisfy this kind of demand. China is hungry for potash resources and China has to employ imported products to supplement domestic requirements. Overseas fertilizer producers attract domestic customers with high quality and low priced products. After China's accession to the WTO, gradual cancellation of tariff barriers will help promote the import of fertilizers.

제 7 장 참고문헌

- 강원도농업기술원 2003. 친환경농자재의 올바른 사용방법 : 11-71
- 농촌진흥청. 2004. 고품질쌀 생산과 품질관리의 화학성분
- 류관식, 류순천, 송관철. 1991. 관계수에 의한 시비양분의 토양중 이동에 관한연구 1. 관수량에 따른 양분이동. 한토비지24(2)102-108
- 박래경, 조수연. 1990. 쌀 품질의 고급화 육종현황과 금후전략.'90수입개방대책45:30-40
- 박석홍. 1996. 벼 재배환경과 조건이 미질에 미치는 영향. 영구와지도 제37권 제8호 : 77-80
- 조재영, 윤상현, 이은운. 1984. 재배학원론. 향문사
- 조백현, 조선진, 박천제, 엄대익. 1997. 토양학.향문사. : 268-274
- 이주열, 이선용, 조수연, 1971. 시비위치에 따른 엽신 질소농도 변화가 수량구성요소에 미치는 영향. 한작지7: 28-32
- 이종훈, 오윤진. 1991. N.P.K 및 유기물의 23년간 연용이 수도의 수량생성과 미질에 미치는 영향. 한작지36(4)
- 유철호, 송성완, 오세민, 1992. 가축분뇨 액, 퇴비의 생산 및 유통촉진방안에 관한연구. 한국 농촌경제연구원
- 윤순강, 류순천, 1994. 요소유래 질산태질소 및 동건 양이온의 토양 중 이동 한토비지27(1)15-20
- 엄대익, 채재순, 장영선. 1977. 수도에 대한 용성인비의 입도별 비효에 관한연구 한토비지 11(4):245-256
- 최현옥, 이종훈, 배성호. 1968. 수도생육과정에 따른 질소의 추비가 제 생육형질과 수량에 미치는 영향. 농시연보 11권(3) : 3-8
- 최규모. 1995. 병해충의 종합관리기술 연구와 지도. 농촌진흥청. : 43-36

허덕, 김창길, 정민국. 1998. 축산비료의 생산 및 이용 활성화 방안, 한국농촌경제연구원

Behr, A. E., I. B. Sachs, B. F. Kukachka and J. O. Bleur. 1969. Microscopic examination of pressure treated wood. *Forest Prod. J.* 19: 31-40.

Browning, B. L. 1963. *The Chemistry of Wood*. Interscience Publishers, NY. 48pp.

Chemical Industry Bureau of China Ministry of Agriculture of China, Information Consulting Centre of Head Office of China, Customs and The Association of Phosphate Industry.

China statistical Year book 1998.2. The China Time Series Administrative Regions GIS Data: 1:1M, County Level, prepared by CIESIN, CASM and CITAS - UW.

Comstock, G. L. 1968. Longitudinal permeability of gases and non swelling liquids. *Forest Prod. J.* 17(10): 41-46.

Comstock, G. L. 1967. Relationship between permeability of green and dry Eastern hemlock. *Forest Prod. J.* 18(8): 20-23.

Deborah A. K. 2003. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries FAOSTAT data, 2006.

David Zeng, Oct. 2003. Evolution of Agriculture and Agricultural Practice in China. IFA Regional Conference for Asia and Pacific, Cheju Island, Korea.

Erickson, H. D. and J. J. Balatinez. 1964. Liquid flow path into wood using polymer techniques. *Forest Prod. J.* 14: 293-299.

George, D., and P. Mallery. 2001. *SPSS for windows step by step (3 ed.)*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.

International Fertilizer Industry Association, 2006.

Iida, I., S. Yusuf, U. Watanabe and Y. Imamura. 2002. Liquid penetration of pre compressed wood VII: combined treatment of precompression and extraction in hot water on the liquid penetration of wood. *J. Wood Sci.*48(1): 81-85.

Lin Le, October-December 2002. Current and Future Production of Phosphate Fertilizers in

China. Argo-Chemical Repot. Vol. II, No. 4.

Kim, Y. J. and S. J. Park. 1991. An anatomical research on liquid-penetration and penetration-path of wood. *J. Korean Wood Sci. Technol.* 19(3): 7-18.

Kosaku Nakatani. November 2000. A Review of the Fertilizer Market in northeast Asia, 26th IFA Enlarged Council Meeting Rio de Janeiro, Brazil, 15-17.

Ma Rong. Oct 2000. The Development of Fertilizer Industry in China, International Workshop on Economic Policy Reforms and Agricultural Input Markets, South Africa.

Meyer, R. W. 1970. Influence of pit aspiration on earlywood permeability of Douglas-fir. *Wood Fiber Sci.* 2(4): 328-339.

Michelle C. Yaras & Arty Williams & Jean Frane. Sep 2000. Profile of the Agricultural Chemical, Pesticide, and Fertilizer Industry, EPA office of Compliance Sector Notebook Project.

Minato, K., N. Nauro and J. Konishi. 2004. How far does a gaseous reagent penetrate into wood. *Holz Roh Werkst.* 62: 120-125.

Panshin, A. J. and C. DeZeeuw. 1980. *Textbook of Wood Technology.* McGraw-Hill Book Company, NY.

Petty, J. A. 1970. Permeability and structure of the wood of Sitka spruce. *Proceeding of the Royal Society of London. B.* 175: 149-166.

Petty, J. A. and R. D. Peterson. 1969. The dimensions and number of pit membrane pores in conifer wood. *Proc. Ro. Soc. Lond. B172:* 137-151.

Pinstrup-Andersen, Per, and Cohen, M.J., 1998, The role of fertilizer in future world security, in *Fertilizer Industry Round Table, 48th, Annapolis, Md., October 26-28, 1998, Proceedings: Glen Arm, Md., The Fertilizer Industry Round Table, p. 119.*

Scheikl, M. and M. Dunky. 1998. Measurement of dynamic and static contact angle on wood for determination of its surface tension and the penetration of liquids into the wood surface. *Holzforschung.* 52(1): 89-94.

Skaar, C. 1972a. Water in Wood. Syracuse University Press, Syracuse, NY. 27pp.

Skaar, C. 1972b. Water in Wood. Syracuse University Press, Syracuse, NY. 14pp.

Stamm, A. J. 1970. Maximum effective pit pore radii of the heartwood and sapwood of six softwoods as affected by drying and re-soaking. Wood and Fiber. 1(4): 263-269.

Thomas, R. J. and D. D. Nicholas. 1966. Pit membrane structure in Loblolly pine influenced by solvent exchange drying. Forest Prod. J. 16(3): 57-59.

Thomas, R. J. and K. P. Kringstad. 1971. The role of hydrogen bonding in pit aspiration. Holzforschung. 25(5): 143-149.

United States International Trade Commission's (USITC) report March 1998.

Wirspa, V. J. and C. E. Libby. 1950. Penetration of neutral sulphite cooking liquors into yellow birch wood. Tappi. 33(5): 225-231.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.