

635.8
L293K

최 종
연구보고서

송이 발생예찰에 의한 환경관리기술 개발
Development of Management System for Pine-Mushroom
Forest by Analyzing Production Pattern

연구기관
산림청 임업연구원

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “송이 발생예찰에 의한 환경관리기술 개발”의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 11. 30.

주관연구기관명 : 임업연구원

총괄연구책임자 : 김 현 중

선임연구원 : 정 진 현

선임연구원 : 이 우 균

연구원 : 김 교 수

연구원 : 가 강 현

연구원 : 박 현

연구원 : 배 상 원

연구원 : 류 천 인

연구원 : 허 태 철

연구원 : 김 회 수

연구원 : 송 철 철

협동연구기관명 : 한국교원대학교

협동연구책임자 : 이 상 선

선임연구원 : 성 창 근

연구원 : 유 기 원

여 백

요 약 문

I. 題 目

송이 발생예찰에 의한 환경관리기술 개발

II. 研究開發의 目的 및 重要性

송이균의 배양에 대한 기본적인 기술은 확립단계에 이르고 있으며, 송이의 실질적인 접종을 통한 감염묘 생산기법에 대한 연구나 배양된 균주의 대량증식 기법 및 활용에 대한 연구도 다각적으로 강구되고 있다. 그러나, 많은 연구를 통하여 송이 인공재배나 송이균의 인공이식에 대하여 꾸준히 시도하였지만 현재까지는 극히 어려운 것으로 평가된다. 또한, 새로운 송이균환이 생기는 곳을 찾기도 매우 힘들기에 기존 송이균환을 유지, 발전시켜 송이 수확을 꾀하고 있다. 이에 따라, 현재의 송이 생산기술은 기존 균환이 사멸하지 않도록 소나무 임분내 식생 및 입지환경 관리를 중요시 여기고 있다. 한편, 송이 생산량은 기상인자의 영향을 심하게 받으므로 송이의 풍흉조절을 위하여 송이 발생에 영향을 미치는 각종 인자를 지역별로 파악하고 환경조절을 통하여, 송이 생산성을 유지·증진하는 기술이 요구된다.

한편, 우리나라의 송이 발생에 가장 중요하게 영향을 미치는 기상인자는 지역에 따라 다소 차이가 있지만, 9월의 평균 최저온도와 강수량이 가장 중요한 요인임을 파악한 바 있다. 즉, 지속적인 연구를 통하여 송이의 기본적인 특성이나 송이 발생에 영향을 미치는 인자의 개략적인 파악은 이루어진 상태이지만, 구체적이고 실질적인 방안 제시는 다소 미흡한 상태이었다. 특히, 급격히 상승한 농산촌 인건비와 산림에 대한 의식변화로 인하여 산을 가꾸기보다는 방치하는 형태가 많아지면서, 송이산을 관리해야 할 대상으로 생각하지 않고 단순히 수확만을 하는 대상으로 인식하고 있어서 송이 생산량이 격감되고 있는 것이 현실이다.

이에 따라, 본 연구는 현장에서 나타나는 송이 생산성 격감현상을 극복할 수 있는 구체적인 방안을 제시하고, 아울러 송이의 재배체제 구축을 위한 기초자료를 제공하고자 추진하였다. 이를 위하여 ① 주요 산지별 송이 발생패턴 분석을 통하여 생산 제한인자를 파악하고 극복할 수 있는 방안을 제시하며, ② 송이산에 투자를 해야 하는 당위성이나 구체적인 판단기준 및 임분과 토양관리 방법을 제공하고, ③ 송이의 인공재배를 꾸준히 시도할 수 있도록 송이의 기본 특성이나 송이균 판별기법을 파악하고자 수행되었다.

III. 研究開發 內容 및 範圍

본 연구는 크게 4가지 분야의 연구를 포함한다. 첫째, 송이 생산 제한인자의 파악을 위하여 ① 송이 발생림의 입지환경 특성에 대한 정리, ② 송이 발생 관여 주요인자 파악, 그리고 ③ 송이 발생예찰 및 검정을 수행하였다. 둘째, 미세 환경조건이나 기상인자에 민감한 송이 자실체의 특성을 고려하여 ④ 송이산의 버섯상 및 토양조사를 통한 생산성 진단, ⑤ 송이 자실체의 성장기작 및 ⑥ 송이산 환경조절을 통한 효과검정을 실시하였다. 셋째, 거시적인 측면에서 송이 발생림의 임분관리 기법 제시를 위하여 ⑦ 송이 발생림의 임분구조에 대한 조사내용과 ⑧ 수관투영과 송이 발생의 관련성에 대한 고찰, 그리고 이를 통한 ⑨ 송이 발생림의 임분관리 기법을 제시하였다. 끝으로, 보다 발전적인 연구의 터전을 제공하기 위하여 ⑩ 송이의 배양특성에 대한 검토와 ⑪ 송이 구분을 위한 생화학적 접근을 포함하였다.

IV. 研究開發 結果 및 活用に 대한 建議

1. 송이 생산성 제한인자 파악

가. 송이 발생림의 입지환경 특성

송이 생산에 영향을 주는 입지환경적 특성을 구명하기 위하여 전국 송이 발생림의 전반적인 특성을 파악한 자료를 정리하고, 특히 홍천시험지 및 제천시험지를 대상으로 정

밀 단면조사를 통하여 송이산의 입지환경 특성을 정리하였다. 송이 발생림은 상층부에 화강암이나 화강편마암 계통의 모암이 기반을 이루고 있었다. 한편, 송이와 공생하는 소나무 세균은 F층과 H층, 또는 이들이 광물질 토양(mineral soil)에 섞인 HA층이 형성되면 증가하는 것으로 여겨졌다. 반면, 낙엽층이 쌓여 5cm 이상이 되면 대부분의 세균이 낙엽층으로 올라가는 현상이 발생한다. 세균의 분포상태나 활력도는 전반적인 입지환경과 아울러 지형 조건의 차이에 따른 토양층위의 분화 및 성숙정도에 따라 다르게 나타난다. 소나무 세균이나 균근의 분포는 지표 퇴적부식의 퇴적상태 및 분해정도에 좌우되므로, 전반적인 토양의 특성과 더불어 미지형의 차이도 소나무 뿌리와 공생하는 송이에게는 매우 중요한 요인이 될 것으로 생각되었다. 즉, 능선부는 낙엽층이 얇은 반면, 산복부는 낙엽층이 상대적으로 두껍게 쌓임에 따라 송이균환의 쇠퇴가 쉽게 일어나게 됨을 나타낸다. 따라서 토성이나 기타 토양의 물리적 환경을 개선하는 것은 매우 어렵지만, 산복부에서의 낙엽층 제거는 송이균과 밀접한 관련이 있는 세균이 토양중에 분포하며 송이균환의 활력을 유지시키는 좋은 관리기법이라고 생각된다.

나. 송이 주산지의 송이 생산 동향에 따른 권역 구분

송이는 우리나라 임산물중 최고의 소득을 제공하는 버섯이지만, 큰 생산량 변화폭으로 인하여 지역에 따라서는 불안정한 소득원이다. 이에 따라 송이의 안정적 생산을 위한 실질적인 연구가 요구되는데, 전국적인 규모의 연구만 진행되고 있을 뿐 실질적인 연구인 지역별 입지환경이나 기후 특성을 고려한 지역 단위의 연구는 미진한 상태이다. 이러한 배경 아래 본 연구는 지역별 송이산 관리지침을 제시하기 위한 기반 구축을 위하여 '90~'95의 일자별 송이 발생동향을 분석하여 송이 주산지간의 차이를 파악하였다. 송이 발생패턴을 보면, 원주와 정선을 제외한 강원도 지역에서 송이 발생이 가장 먼저 시작되고, 경주나 보은 등 남부 내륙지방은 늦게 시작되어 지온(地溫)이 자실체의 원기(原基) 형성온도에 도달하는 순서에 따라 송이 발생이 시작됨을 확인할 수 있었다. 전국 평균 송이 발생기간은 약 30일에 달하며 주산지는 대체로 발생기간이 길고 소량 생산지는 상대적으로 발생기간

이 짧았다. 이러한 송이 발생패턴에 의하여 전국 송이 주산지를 10개 권역으로 세분할 수 있었으며, 주산지인 울진, 봉화, 양양은 각각 다른 권역으로 구분되었다.

다. 자기회귀모형을 이용한 송이 생산 제한 기후인자 파악

우리나라 산촌경제의 주요 소득원인 송이 생산성 향상에 관한 연구는 생산량과 상관성이 높은 인자를 파악하는 것에 집중되어 왔다. 하지만, 송이의 생산성 향상이나 안정화를 위해서는 각 인자가 영향을 미치는 정확한 시기와 제한인자의 극복 가능성에 대한 연구가 필요하다. 본 연구는 구체적인 시업시기의 파악을 위하여 송이 생산량에 미치는 기후인자의 영향을 일자별로 파악하고, 송이의 생산성 증진을 위한 처리기법을 모색하고자 수행하였다. 일자별 송이 수매량과 기후자료의 관련성 분석을 통하여 송이의 생산량과 가장 관련이 깊은 기상인자는 대체로 온도와 강수량임을 확인할 수 있었다. 특히, 일정 기간의 강수량 누적치나 일정 시점의 온도는 송이 생산량에 영향을 미치는 특기할 변수로 파악되었다. 이러한 기상인자의 영향력을 고려할 때, 송이 생산성 증진을 위한 시업은 송이 자실체를 처음 수확하는 시기보다 약 한달 전부터 이루어져야 하며, 그 적용시점은 각 지역(군)별로 다르게 운용되어야 할 것으로 여겨졌다. 아울러, 각 처리는 한순간의 송이 생산량이 아니라 오랜 기간의 송이 생산량에 영향을 미치게 되므로 각 처리의 효과를 계속 관찰, 조사하면서 실시하여야 함을 알 수 있었다.

라. 송이 발생 예찰식의 검정

송이 생산에 영향을 미치는 인자는 크게 입지환경 인자와 기후인자로 구분할 수 있다. 그런데, 입지환경 인자의 조절은 실질적으로 많은 어려움을 지니고 있으므로 본 연구에서는 기후인자의 조절을 위하여 각 지역별 기후인자의 영향력을 평가해 보았다. 즉, 기상인자를 고려한 송이 발생 예찰식을 도출하고 검정하였는데, 특히, '90~'95 자료를 이용하여 송이 발생확률을 고려하고 검정한 결과, 강릉, 거창, 고성, 김천, 남원, 문경, 보은, 영덕, 울진, 의성, 청도, 함양 등 12개 지역은 예측량과 실제 생산량이 매우 유사한 결과를

나타냈다. 한편, 송이 생산량에 가장 큰 영향을 미치는 기상인자는 지역에 따라 다소 차이가 있으나 누적강수량으로 밝혀져 기상인자의 조절을 통한 생산성 증대는 관수처리를 통하여 해결될 수 있음을 시사하였다.

2. 송이 생산성 진단 및 제한인자 극복

가. 송이산의 버섯상 조사를 통한 예비진단

송이 생산성이 줄어들고 있는 상태로 여겨지는 홍천의 송이 발생림에서 외생균근성 버섯의 발생상에 대하여 조사하였다. 송이균환은 3년간(1995~1997)의 송이 자실체 발생위치를 토대로 파악하였고, 다른 외생균근성 버섯의 출현위치는 x축과 y축의 좌표를 표시하며 2년간(1996~1997) 조사하였다. 송이 균환의 직경은 2~10m의 범위를 나타내어, 송이균은 대체로 연간 10cm 정도 성장하는 것을 감안할 때 균환의 연령은 5~50년에 달하는 것으로 생각되었다. 무당버섯, 회갈색무당버섯, 푸른주름무당버섯, 애기뿔꼬리버섯이 조사기간에 주로 출현한 버섯이었는데 그 출현빈도는 전체 조사된 종류의 각각 16.0%, 12.8%, 12.4% 및 7.0%를 차지하고 있었다. 또한, 마귀광대버섯(*Amanita pantherina*), 황소비단그물버섯(*Suillus bovinus*), 그물버섯류(*Boletus sp.*), 다박싸리버섯(*Ramaria flaccida*) 및 자주줄각버섯(*Laccaria amethystea*)은 송이 균환부에 많이 출현하였는데, 송이균환의 활력이 쇠약해짐에 따라 항생물질의 생산이 줄어들고, 따라서 다른 버섯이 침입하게 된다는 이론을 감안하면, 이 버섯들은 송이 생산성이 감소하는 상태에 있음을 나타내는 지표종(指標種)으로 생각되었다.

나. 송이 균환부의 토양분석을 통한 정밀진단

송이산의 관리는 송이균환의 환경관리를 의미한다. 따라서, 송이산의 관리는 송이 균환부를 건강하게 유지시키는 방법에 대한 집중적인 연구를 요구하며, 아울러, 균환부 생태계 내의 실질적인 활성을 평가하는 연구가 요구된다. 본 연구는 송이 균환부를 송이균의 통과 여부에 따라 균환 통과부, 균환부, 균환 예정지의 3개 지역으로 구분하여 토양의 이

화학적 특성과 탈수소효소 활성에 차이가 있는지 조사, 고찰한 것이다. 송이균환의 발달에 따라 토양내 양이온의 함량은 뚜렷한 변화가 없었지만, 유효인산이나 탄소, 질소의 함량은 균환부와 균환 예정지 사이에 차이가 인정되었다. 또한, 송이 균환부 탈수소효소의 활성도는 일반 성숙토양($100\mu\text{g TPF/g soil}$ 내외)에 비하여 훨씬 낮아($5\sim 10\mu\text{g TPF/g soil}$) 송이 균환부는 성숙도가 낮으며 유기물이 적은 토양에 해당됨을 알 수 있었다. 따라서, 유기물 분해력이 극히 미약한 것으로 인식되는 균근성 버섯인 송이의 활력을 확인할 수 있는 간접 지표로 탈수소효소를 활용할 수 있을 것으로 판단되었다. 특히, 낙엽균기나 균환전방 토양의 객토 필요성을 파악하기 위하여 탈수소효소 활성 측정법을 활용할 수 있었다.

다. 송이 자실체의 생장

송이 자실체의 생장기작에 대하여 파악하고자 홍천 송이 시험지에서 3년 동안 (1995~1997)의 송이 자실체의 발생량 조사 및 일자별 생장량을 조사하였다. 조사기간중 가장 많은 버섯이 발생한 기간은 9월 16~25일이었으며, 그 기간은 강수량과 온도의 영향을 크게 받은 것으로 나타났다. 송이의 원기는 토심 1.5~6.5cm에서 발생하는 것으로 관찰되었으며, 낙엽층의 두께와 버섯 밑뿌리의 깊이 사이에 반비례 관계가 성립하였다($r = -0.42, p=0.006$). 송이 자실체는 땅 위로 올라온 후 5~6일에 1등품 모양이 되었고, 8~10일에 완전히 턱받이가 떨어졌으며 이 때 길이생장은 멈추었다. 그리고 11~13일에 자루와 갓이 수직이 되었다.

라. 송이 생산 제한인자의 극복

송이 생산량에 영향을 미치는 인자 파악이나 극복을 위한 시도는 많았지만, 정확한 극복효과의 검정이나 기준에 대하여는 이론(異論)이 많았다. 이에 따라, 본 연구에서는 각종 처리효과의 정확한 검정을 위하여 일정한 균환을 대상으로 각각 처리하여 명확히 해명하고자 시도하였다. 그 결과, 낙엽균기는 단기간에 처리효과를 검정하기 힘들다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한, 관수처리는 발생량에 있어서는 통계적인 유의차를 찾기 힘들

었지만 관수가 송이 생산량을 증대시켰다. 관수가 송이의 자루길이 생장 촉진을 통하여 송이 증량, 즉 품질을 향상시키는 것을 알 수 있었다. 특히, 금번의 실연효과 검증에서는 부정확한 기상예보로 인하여 정확한 처리효과를 확인하기 어려웠지만, 송이 자실체가 발생하기 며칠 전부터 관수를 하면 누적강수량에 의한 송이 생산량 증진 및 품질향상을 기할 수 있을 것으로 추측되었다.

3. 송이 발생림의 임분관리

가. 송이 발생림의 임분구조

송이 발생량에 영향을 미치는 임분구조적 요인을 파악하고자 기존 송이 발생림의 임분구조 특성 조사자료의 검토와 더불어 영서지방 및 내륙지방의 송이 발생림 자료를 토대로 송이 발생림의 임분구조 특성을 분석하였다. 분석결과, 균환수는 수관장 비율, 단면적 합계, 재적 합계 등과 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타난 반면, 균환면적이나 길이는 평균 흉고직경과 매우 높은 상관관계를 보이고, 평균 수관폭, 단면적 및 재적 등과 약간의 상관이 있는 것으로 나타났다. 단편적인 임분생장 관련인자의 분석으로는 송이 미발생림과 송이 발생림의 차이를 뚜렷하게 발견할 수 없었지만, 수고와 직경의 비율이 균환의 형성과 관련이 있는 것으로 나타나, 수관부(樹冠部)가 송이균환에 영향을 미치는 정도에 대하여 보다 구체적으로 연구하여야 할 것으로 판단되었다.

나. 수관투영과 송이 발생

송이는 특이한 환경을 지닌 숲에서만 발생하는 외생균근성 버섯으로 여겨지지만, 송이 발생림의 임분구조에 대한 과학적인 표현은 미진한 상태이다. 이에 따라 본 연구에서는 송이 발생에 영향을 미치는 임분구조를 파악하고자 시도하였다. 특히, 임분구조의 종합 분석을 통하여 수관 투영이 송이 발생에 미치는 영향을 파악하고, 임분구조 조정의 시업지침을 제시하고자 수행하였다. 연구대상지는 강원도 홍천군 소재 송이 발생림으로서, 남서사면이었다. 선정된 5개 조사구를 대상으로 3년간 송이 발생위치를 조사하고, 입목위치, 수

고, 지하고 및 수관폭을 조사하여 관련성을 분석하였다. 개체목에 관한 조사자료 및 조사구의 공간특성 자료를 토대로 시뮬레이션을 통하여 실질적인 사면 수관 투영면을 계절 및 시간대별로 도출하였고, 송이 발생위치의 수관 투영면 중첩도를 산출하였다. 송이는 주로 상층목들의 수관투영면이 1~3회 중첩된 지점(특히 2회 중첩된 지점)에 주로 나타났으며, 나지(裸地) 이거나 수관의 중첩이 심해질수록 발생빈도가 감소하였다. 특히 이러한 현상은 5~7월에 뚜렷이 나타난 반면, 봄이나 가을철에는 뚜렷한 경향을 나타내지 않아 송이 발생림의 입분구조 조정을 위한 시업은 수관이 2회 중첩되도록 하는 것을 원칙으로 실시하여야 하며, 그 적정시기는 초여름인 것으로 밝혀졌다.

다. 송이 발생림의 입분관리 기법

이제까지 제시된 자료를 토대로, 실질적으로 송이산의 관리를 위한 기준을 제시하기 위하여 다양한 입분을 어떤 측면에서 다루어야 할 것인가를 제시하고자 시도하였다. 사면 수관투영도가 송이균환의 형성과 밀접한 관련성을 나타내었으므로, 수관형을 일정하게 고정하면 단순한 입목밀도에 따른 시업기준을 제시할 수도 있지만, 단순한 입목밀도로의 조절은 단지 입목본수와 평균 흉고직경간의 상관관계에 의하여 결정되기 때문에 입분의 공간적 인자가 배제된다. 이에 따라 우리는 공간적 개념이 포함된 RSI(relative spacing index)의 개념을 도입하였으며, 홍천지역의 경우, RSI 35가 송이 발생림의 표준으로 선정되었다. RSI는 일정한 수고에 대한 나무간의 거리를 의미하므로, 수고 10m의 경우에는 3.5m의 간격을 두고 나무를 존치(存置)시키면 된다는 것이다. 이 기준에 의한 시업적용은 임령, 수고 등에 무관하게 적용할 수 있으며, 지역에 따라 다소 차이가 있는 수관형을 고려한 부분적인 보정을 통하여 전국을 대상으로 활용할 수 있을 것이다.

4. 송이의 배양특성 및 뿌리내 송이균 확인기법 연구

가. 송이의 배양특성

송이균의 분리 및 배양특성에 관한 연구결과를 제시하여 보다 발전적인 연구(인공

재배 체제의 구축)를 위한 초석 마련을 위하여 수행한 결과 다음과 같은 특성을 파악할 수 있었다. 송이생장의 최적온도 범위는 18~23℃ 이었고, 저온보다는 고온에 약하여 생존 한계온도는 30℃ 미만으로 판단되었다. MMN 배지에서 송이균의 생장은 pH 면에서 균주간에 차이가 없었으나 성장량에서는 차이를 식별할 수 있었다. 배지의 pH는 1~2개월 사이에 급격히 떨어져서 3개월째에 정체된 반면, 성장량은 1~2개월 사이에 급격히 증가하다가 3개월째에 성장속도가 낮아짐을 알 수 있었고, 최초 pH 5.1이 3개월후에 pH 3.0으로 pH 2.1이 떨어짐으로서, 성장량이 증가함에 따라 pH가 낮아짐을 알 수 있었다. 10개의 고체배지에서 송이균은 5가지 유형의 성장형태를 나타냈고, Hamada, CMP, PDA 배지에서 송이균이 월평균 2cm 정도로 성장하였다. 8가지 종류의 액체배지중 PDMP배지에서 293mg/50 ml 으로 송이 성장량이 가장 양호하였다. Hamada, 배지는 건중량이 다른 배지에 비하여 낮아서 액체배지로는 적합하지 않음을 알 수 있었다. 한편, 배지량에 따른 송이균의 생장은 배지량이 적을수록 생장이 좋았고 배지량이 용기의 2/3일때 효율이 51%로 감소하였다.

나. 우리나라 송이의 18S ribosomal DNA 서열

우리나라에서 자생하는 소나무에 외생균근을 형성하는 송이에 대한 18S ribosomal DNA의 염기서열을 조사하였다. 4개의 지역에서 채집된 송이의 514bp 분석결과, 18S rDNA의 서열은 모두 동일하였고, 경북대학교 미생물연구실의 연구결과와는 4 bp가 차이가 나타났다. NCBI의 BLAST 조사결과, 송이(*T. matsutake*)와 제일 유사한 것으로 나타났다. 분석된 514 bp의 서열 비교에서는 다른 버섯균과 차이가 있는 서열 부분을 파악하였다. 또한, 이러한 자료를 이용한 유사도 분석에서 각각의 속(屬)에 속하는 균들은 같은 묶음을 나타내고 있으나, 과(科) 혹은 그 이상의 단위에서의 비교는 좋은 결과가 나오지 않았다. 본 연구를 통해 외생균근의 확인작업에 필요한 primer 제작을 위한 사전 자료를 얻었으며, 또한 조사된 염기서열도 분석할 수 있었다.

다. 소나무 뿌리내 송이균 확인기법 연구

송이 인공재배를 위한 작업은 송이균의 배양과 접종과정을 통하여 이루어질 수 있으며, 송이균의 접종 성공여부에 대한 명확한 파악이 중요한 관건이 된다. 특히, 접종묘(接種苗)를 훼손하지 않으며 송이균의 감염여부에 대하여 파악할 수 있는 방법이 요구되는데, 본 연구에서는 송이 균환부 뿌리의 형태적 특성 파악과 앞서 제작된 primer를 이용한 생화학적 기법으로 송이균의 확인이 가능한지 시도하였다. 송이균이 감염된 소나무 뿌리는 검은색 비분지형을 나타내었고, 송이균의 확인을 위하여 사용할 수 있는 2개의 primer, 즉 TMF(AAGGTGCCGTTTCCGGCTCC)와 TMR(GCTTTTGCTGGCCGCTGGCTTCTTAC)을 제작할 수 있었다.

5. 연구결과 활용에 대한 건의

가. 기상예보와 연계한 제한인자 극복기법의 활용

본 연구과제의 목표는 송이산의 실질적인 관리를 위한 구체적인 지침을 제시하는 데 있다. 이를 위하여 특히, 지역별로 기상인자에 따른 송이 발생량을 예측하고, 송이 생산량을 제한하는 인자를 극복하기 위한 지침을 제시하는 데 있다. 본 연구과제의 수행 결과, 각 지역별로 가장 중요한 기상인자가 무엇이며 어느 시점에 어떤 처리를 행하여야 하는지에 대하여는 지역별로 제시할 수 있게 되었다. 그러나, 일반적인 제한인자 극복기법은 송이가 발생하기 15일 이전부터 각종 처리를 시작하여야 하는데 예보 자료는 일주일의 최대의 예보 가능 기간이다. 또한, 기상예보중 구체적인 기온, 강수량의 정량적인 자료는 일반인이 쉽게 접근할 수 없는 상태에 있다. 따라서, 본 연구과제의 성과물을 실질적으로 활용하기 위해서는 기상대의 예보능력 향상과 기상예보 자료의 공개가 선행되어야만 한다.

나. 송이산 임분관리의 실질적인 적용을 위한 노력

송이산의 임분관리를 실질적으로 어떻게 하여야 하는가에 대하여는 본 연구결과를 통하여 구체적으로 제시하였다. 송이 생산성이 쇠퇴하는 것에 대하여 송이산의 버섯상을 통하여 예비진단을 하고, 송이산 균환부 토양의 효소활성 조사를 통하여 구체적으로 송이

산 관리를 위한 각종 처리를 해야 할 시기를 제시할 수 있었다. 또한, 실질적으로 소나무를 비롯한 송이산의 임분 울폐도가 1~3사 울폐가 주를 이루는 상황이 송이 생산에 가장 적합함을 밝혀 송이산의 숲 관리에 대한 구체적인 지침을 제시하였다. 아울러, 송이산 관리의 적정한 시기로서 6월을 최상으로, 가능한 한 5~7월에 수관 울폐도를 감안하면서 수행하는 것을 제시한 것이다.

이러한 연구결과는 일반 학자들에게 인식되는 것 보다는 송이산을 갖고 있거나 송이 수확에 관여하는 농민들에게 직접적으로 홍보, 교육하는 것이 그 실효를 얻을 수 있으므로, 본 연구결과를 홍보, 교육하기 위한 방안이 마련되어야 할 것이다. 이는 연구비 지원이 마무리된 상태에서 추진되어야 할 내용이므로 이러한 홍보나 교육을 위하여 농림기술관리 센터에서 특별한 예산지원 등의 계획을 갖고 체계적으로 추진하는 것이 바람직하다.

SUMMARY

I. Title of the Research

Development of Management System for Pine-Mushroom Forest by Analyzing Production Pattern

II. Objectives and Significance of the Research

Fundamental skills to culture *Tricholoma matsutake* is being established, and various trials for making mycorrhizae-infected seedlings and mass culturing techniques are receiving great amount of attention, nowadays. However, the artificial cultivation of pine-mushroom is still considered to be difficult although plenty of efforts have been given for the artificial cultivation or translocation of the fungus. In addition, newly formed fairy rings of *T. matsutake* is not easy to be found, which lead us to work in conservation of given fairy rings of the fungus. So, the present techniques related to pine-mushroom productivity are focused on keeping the activity of occurred fairy rings of *T. matsutake* by the management of stand conditions including site characteristics and vegetational control. In addition, the identification of limiting factors by each region and developments of practical tools for overcoming the limiting factors are required to improve pine-mushroom productivity since the pine-mushroom yield is largely dependent upon climatic conditions.

By the way, the most important climatic factors affecting pine-mushroom yield was identified as the mean minimum temperature and precipitation in September, although there are some variations region by region. Thus, we already got an overall outline for the concern of pine-mushroom yield with keeping studies to identify the limiting

factors of pine-mushroom productivity, but, we still need to provide a practical skills for the control of limiting factors. Especially, the increased labor-charge in mountainous area and changes in perspectives for the concern of forests restrict practices in forest, which resulted in decline of pine-mushroom productivity since every pine-mushroom harvester considers the pine-mushroom forest not to be managed but to be collected.

Therefore, in this study, we tried to provide a practical technique which may overcome the productivity decline, and wanted to give fundamental information for establishing artificial cultivation techniques of pine-mushroom. To accomplish the goal, ① we identified limiting factors of pine-mushroom productivity by analyzing production pattern followed by a provision of some methods for the control of limiting factors, and ② we provided a logical background for investment on pine-mushroom forest with suggesting methods for diagnosis of productivity decline, practical management tools for stand and soils, and finally ③ we clarified cultural characteristics of *Tricholoma matsutake* and developed a method for identification of the fungus to provide fundamental base for keeping studies in artificial cultivation of *T. matsutake*.

III. Contents and Scope of the Research

This study includes four kinds of research fields. Firstly, we tried to ① make a whole concept about site condition of pine-mushroom forests, ② identify climatic factors limiting pine-mushroom productivity, and ③ make prediction model with validation to identify the limiting factors of pine-mushroom productivity. Secondly, we made efforts to ④ provide methods for diagnosis of productivity decline, ⑤ understand growth mechanism of fruit body formation of *Tricholoma matsutake*, and ⑥ establish practical skills for control limiting factors with considering the sensitive characteristics of the mushroom on climatic factors or other micro-environmental conditions. Thirdly,

we provided ⑦ some outlines of stand characteristics of pine-mushroom productive stands, ⑧ considerations in the role of crown projection on pine-mushroom production, and ⑨ a practical technique for the management of pine-mushroom forests to sustain the productivity. Finally, we also conducted several fundamental studies ⑩ to understand cultural characteristics of *Tricholoma matsutake*, and ⑪ to develop a tool for identification of the fungus with biochemical techniques.

IV. Results of the Research and Suggestions for the Application

1. Identification of Limiting Factors for Pine-Mushroom Productivity

A. Site condition of pine-mushroom forests

In this study, we tried to clarify the site characteristics affecting pine-mushroom productivity. To accomplish the goal, we arranged the whole reports for the concern of site characteristics of pine-mushroom forest in nationwide, and surveyed two regions in Hongcheon and Jecheon area with soil profile descriptions. The upper layer of parent material of soils in pine-mushroom forests used to be a granite or a granitic gneiss. The fine roots of *Pinus densiflora* which is a symbiont of *Tricholoma matsutake* showed an increasing trend of HA layers that resulted from the mixing of F, H layers and mineral soils. However, the fine root went upper part of litter layers if the layer was thicker than about 5cm. The distribution and vitality of fine root were dependent upon the extent of soil maturation which is a composite product of site conditions and topological characteristics. The distribution of fine roots and mycorrhizal roots were largely dependent upon litter accumulation and decomposition, which topological conditions within small area was thought to be an important factor for pine-mushroom productivity with large-scale conditions. Therefore, hillside might have distinctive

decline of mycorrhizal fungus with accumulation of litter while ridge area would have thin litter layer. So, litter removal at hillside is recommended as a good tool for keeping vitality of *Tricholoma matsutake* since the practice may bring the fine roots that is closely related to the fungus in mineral soils, while renovation of soil physical conditions such as soil texture is very hard.

B. Grouping of major pine-mushroom production area by analyzing daily yield

Although pine-mushroom(*Tricholoma matsutake*) is the most profitable product of forest in Korea, the income from the mushroom is unstable at some area due to large fluctuation of the yield. Thus, there is a demand of practical research for keeping stable yield, but the practical region-based study in consideration of specific characteristics of each area such as site condition and climatic condition is rare, while the study in the scale of nationwide has been conducted. In this study, we tried to group major pine-mushroom production area to provide a basic scheme for developing a local management system of pine-mushroom mountain by analyzing daily yield of the mushroom for recent six years. The area in Kangwon-do province except for Wonju and Cheongseon showed earlier initiation of pine-mushroom production than the other area while southern-central part of Korea such as Kyeongju and Poen showed the latest, which manifested that the initiation of pine-mushroom production was largely dependent upon the time that reached critical soil temperature for primordium formation. Mean length of pine-mushroom production in Korea reached about 30 days, and the major production area showed longer period than minor production area. Ten groups could be classified by the daily yield data, and the three major production areas, Uljin, Pongwha and Yangyang, were grouped into different groups.

C. Identification of climatic factors limiting pine-mushroom yield

The study for improving the yield of pine-mushroom, which is an important income source for mountain village people in Korea, has been focused on identifying the critical factors that have close correlations with pine-mushroom yield. However, a study for understanding the critical time of the affecting factors and the possibility of overcoming the limiting factors is needed to improve or sustain the productivity of pine-mushroom. In this study, we tried to seek the effect of daily climatic factors to pine-mushroom yield and to provide a controlling method to improve pine-mushroom productivity. The analysis of the relationships between the daily yield of pine-mushroom and climatic factors manifested that the temperature and precipitation, in general, were the most important climatic factor of pine-mushroom yield. Especially, the cumulative amount of precipitation and the temperature of several days before pine-mushroom harvesting were notable factors for the pine-mushroom yield. The treatment for improving pine-mushroom yield was thought to be applied at least a month before the mushroom starts to form a fruit body, and the initiation time and period of the factor's affecting were not the same at each region(county). In addition, each treatment should be monitored for whole harvesting period since the treatments affect not only on the pine-mushroom yield of treating time but also on that of long period.

D. Establishment of a model for yield prediction and validation of the model

Limiting factors of pine-mushroom yield may divide into site factors and climatic factors. In this study, we tried to understand influence of climatic factors to manipulate the climatic conditions in micro-scale, since the control of site factors is so difficult from practical perspectives. So, we developed a model for prediction of

pine-mushroom yield with weather forecasting and made a validation of the model. We used the data collected from 1990 to 1995, and the model showed good fitness in 12 regions including Kangneung, Keochang, Koseong, Kimcheon, Namwon, Munkyeong, Po Eun, Yeongduck, Uljin, Euseong, Cheongdo, Hamyang. By the way, the major limiting factors of pine-mushroom yield in climatic conditions varied among region, but the major limiting factor was thought to be cumulative precipitation which could be overcome by irrigation.

2. Diagnosis of Pine-Mushroom Productivity and Overcoming Limiting Factors

A. Preliminary detection of productivity decline by mushroom flora

The occurrences of ectomycorrhizal fungi were investigated in a pine-mushroom forest at Hongcheon, Korea. The fairy rings of *Tricholoma matsutake* were figured by the sporocarp places of *T. matsutake* for three years(1995~1997), and the occurrences of other ectomycorrhizal fungi were surveyed with x and y dimensions for two years(1996~1997). The diameter of fairy ring of *T. matsutake* ranged from 2m to 10m, which indicated that the age of the fairy ring as 5~50 years when we consider that the growth of the fairy ring used to show about 10cm per year. *Russula bella*, *R. sororia*, *R. delica* and *Cantharellus minor* were the major species occurred on the site during the surveying period, and each species occupied 16.0%, 12.8%, 12.4% and 7.0% of total mushroom occurrence, respectively. From the results, we could concluded that the surveyed stand is a productivity-declining forest from the view point of pine-mushroom production. In addition, *Amanita pantherina*, *Suillus bovinus*, *Boletus sp.*, *Ramaria flaccida* and *Laccaria amethystea* were considered to be indicator species for the declining of pine-mushroom productivity since some fruit bodies of the species were occurred on the fairy ring of *T. matsutake*.

B. Detailed examination of productivity decline by soil assay

The management of pine-mushroom forest means the environmental control for fairy ring of *Tricholoma matsutake*. Thus, the management demands intensive study for keeping healthy condition of the fairy ring, and that for the measurement of active portion of the soil ecosystem. This study was conducted to investigate the impact of *T. matsutake* fungus on the soil physicochemical properties and dehydrogenase activity by dividing the fairy ring into 3 regions such as 'zone of decayed mycorrhizae', 'zone of physiologically active mycorrhizae', and 'in front of fairy ring'. The passing of *T. matsutake* did not result in significant changes in cation contents of soils, but available phosphorus, carbon, and nitrogen contents were different between the soils of active mycorrhizal zone and that in front of fairy ring. The dehydrogenase activity around the fairy ring of *T. matsutake* was quite lower than that in general forest soils, which indicated that the fairy ring of *T. matsutake* was built up in the relatively immature soils which contain little organic matter. Thus, the dehydrogenase activity of soil was thought to be used as an index for the management of pine-mushroom forest with considering that the management practically means the environmental control for keeping good conditions for the development of fairy ring of *T. matsutake*. Especially, the dehydrogenase activity can be recommended as a tool for time-decision of litter removal by floor raking since the activity is a good index of litter decomposition.

C. Growth characteristics of fruiting body of *Tricholoma matsutake*

This study was conducted to make a discussion for the growth mechanism of *Tricholoma matsutake* by investigating the mushroom production for three years(1995~1997) at Hongcheon. The mushroom yield reached maximum during the 16th to 25th day of September for the three years, and the period was largely dependent upon the

precipitation and temperature. The primordium of *T. matsutake* appeared at 1.5~6.5cm below ground, and the point of primordium showed negative correlation with the thickness of litter ($r = -0.42$, $p=0.006$). The fruit bodies of *T. matsutake* reached at the 1st grade form about 5~6 days after first appearance on the surface of ground. The annulus was separated from pileus or stipe after about 8~10 days of first notice, which was coincided with the cease of height growth of the stipe. Stipe and pileus made a perpendicular relation between the two about 11~13days after first appearance.

D. A practical study for overcoming limiting factors

There are several trials to overcome the limiting factors of pine-mushroom yield, but the effects of the treatments have still be disputed. Thus, in this study, we tried to clarify the effects of controlling treatments with a certain strategy for comparing the application effects. The effects of litter removal could not be determined in short-term with one year study. Irrigation did not show significant effects on the yield of pine-mushroom due to large variations, but showed good indication of productivity improvement. In addition, the irrigation resulted in quality improvement with increase of weight and stem length. Especially, the irrigation which could be applied several days before the fruit body formation was thought to be very effective to productivity and quality improvement although we couldn't manifest the clear results due to improper weather forecasting.

3. Management of Pine-Mushroom Stands

A. Stand structure of pine-mushroom forests

We analyzed various stand composition-related characteristics of pine-mushroom forest to manifest the structural factors of stand on pine-mushroom productivity. We

arranged several data for stand composition of pine-mushroom stands and surveyed western part of Taebak mountains and central part of Korean peninsula. Number of fairy rings was highly correlated with crown depth ratio, basal area, volume and so on. By the way, the size of fairy rings were largely related with DBH, while there were little correlations with crown depth ratio, basal area and volume. Simple analysis of stand structure could not provide clear distinction between productive and non-productive pine-mushroom forests. But, the ratio of height and diameter showed close relationships with the formation of fairy rings, which indicated that we need to collaborate more in the influences of tree crown on fairy rings of *T. matsutake*.

B. Crown projection vs. pine-mushroom production

Although the pine-mushroom is considered as a site-specific ectomycorrhizal mushroom, there is little scientific understanding for the stand structure of the forest. So, we tried to clarify the stand structure of pine-mushroom forest in this study. Especially, we conducted this study to determine the effects of crown closure on pine-mushroom productivity by thorough examination of the factors affecting stand structure, which in turn, provide a basic outline for the manipulation of stand structure of pine-mushroom stand. The experimental site was established in a pine-mushroom productive stands with southwestern aspect at Hongcheon, Korea. The occurrences of pine-mushroom were recorded for three years and the location, height, clear-length, crown-width of each tree were surveyed at 5 plots. The surveyed data and topological characteristics of each plot were used for the simulation of practical crown projection by season and daily hours to examine the relationships between crown projection and the location of pine-mushroom occurrence. The pine-mushroom occurred in large amount at 1~3 overlapped area(especially double shaded area) of crown projection,

while occurred little at the region which receives direct radiation or overlapped more than four times by crown projection. This phenomenon was distinctive from May to July while it was obscure during spring or fall. It indicates that the manipulation of stand structure need to be applied during summer with considering the crown closure that should be kept double shading as a standard practical crown projection.

C. Management of pine-mushroom forests

With considering the reported data, we tried to provide a practical scheme with indications how to control the stand structure of pine-mushroom stands to sustain productivity. Since the real crown projection showed very close relationships with fruit body formation of *T. matsutake*, simple density control could be considered as a good standard scheme if we assume that the crown feature is constant. However, the scheme ignores the spatial effects since the scheme is determined by the relationships with number of trees and mean DBH. So, we introduced RSI(relative spacing index) which includes spatial concept. The RSI indicates the distance ratio to tree height, and it was 35 in Hongcheon experimental sites of adequate structure formation for pine-mushroom production. It means that the distance need to be kept in 3.5m in case of 10m of tree height. This scheme can be applied for every age classes and tree heights, but need a little modification with considering crown form for other regions.

4. Collection and Culture of *Tricholoma matsutake*

A. Cultural characteristics of *Tricholoma matsutake*

We also tried to understand the fundamental characteristics of culturing for *Tricholoma matsutake* to provide a base for further studies such as artificial cultivation of the mushroom. Adequate temperature for the cultivation of the fungus was ranged

from 18°C to 23°C, and the fungus was more sensitive to high temperatures rather than low temperatures. The critical temperature for the survival of the fungus was considered as less than 30°C. We found some differences in growth rate between two strains but no differences in different pH ranges when we cultured the fungi in MMN medium. The pH of the liquid medium declined rapidly within 2 months and stabilized after 3 months while the growth showed *vice versa*. The pH dropped into 3.0 which was originally 5.1, that indicated 2.1 degree of pH dropping. It indicated that the growth resulted in dropping of pH of the medium. 10 kinds of solid medium showed 5 kinds of mycelial morphology, and the fungus grew 2cm/month on Hamadan, CMP, and PDA media. The PDMP medium showed best growth rate of the fungus with 293mg/50ml among 8 kinds of liquid media. Hamada medium was considered not to be useful for liquid culture since the medium resulted in the smallest amount of fungal mycelium. By the way, little amount of liquid medium showed better growth rate of the fungus in static liquid culture.

B. The 18S rDNA sequences of the basidiocarps of *Tricholoma matsutake* in Korea

The 18S rDNA sequences of *T. matsutake* collected in Korea were analyzed for the ectomycorrhizal fungi in the roots of *P. densiflora*. The 514 base pairs of rDNA region were synthesized by UF-5 and UR-6 primer, and double checked in the base pair. The sequence of four strains synthesized were all identical in this work, but different from those done by the previous workers. The basidiocarps collected in this work were identified to *T. matsutake* after searching the 18S rDNA by the BLAST in NCBI. Only several base pairs of 18S rDNA analyzed from other related basidiocarps were different from our analyses of 18S rDNA. The dendrogram were made based on the sequences of the 514 bp 18S rDNA by CLUSTAL-X alignment program. The

groupings of the species at the level of genus in the dendrogram were well constructed.

C. Identification of *Tricholoma matsutake* in the roots of *Pinus densiflora*

Artificial cultivation of pine-mushroom could be accomplished by the steps of mycelial culture and inoculation of the fungus into pine trees, of which success is largely dependent upon the certification of inoculants in the roots of plants. Especially, a method to certify the fungus in the roots of trees with non-destructive way is needed to use the tree as an inoculated plant. We tried to accomplish this requirement by examining the roots of pine in the fairy rings of *T. matsutake*, and by using the primers could be manufactured from the previous study. The fungus-inoculated roots of pine showed black unramified type, and the two primers such as TMF (AAGGTGCCGTTTCCGGCTCC) and TMR(GCTTTTGCTGGCCGCTGGCTTCTTAC) were considered to be very useful for the certification of the fungus in the roots of pine seedlings.

5. Suggestions for practical application of obtained results

A. Application of limiting factor controlling scheme with considering weather forecast

The final goal of this study was to provide a stand management scheme for the improvement of pine-mushroom productivity. Especially, we tried to make practical techniques to control limiting climatic factors of pine-mushroom productivity. As a result, we found the most important climatic factors of each region, and exact influencing time of the factors. However, we met some problems for practical use of the model, since weather forecast could be provided for 7 days at most but the results indicated that the treatment needed to be applied at least 15 days before the fruit body

formation. In addition, exact value of air temperature, precipitation other quantitative data cannot be accessed for general people. Thus, improvement of weather forecasting accuracy and openness of the forecasting data should be provided first to use the product of this project in practice.

B. Practical application of the stand management scheme

We already provided practical ways to imply stand management schemes for the conservation of pine-mushroom productivity. We made a method for preliminary diagnosis of productivity decline by surveying ectomycorrhizal mushrooms, and close examination tools for productivity expectations with soil enzyme activity, which might indicate the time for treatment applications. In addition, we found that pine-mushroom occurred in large amount at 1~3 overlapped area (especially double shaded area) of crown projection, which gave a practical stand managements. We also found that the phenomenon was distinctive during early summer(May to July), which gave us a good guideline for the determining time of treatment applications. The results need to be announced not to scholars but to farmers who own a pine-mushroom or practically managing pine-mushroom forests. Thus, a tool to spread out the results to farmers should be prepared to accomplish the goal of the field-oriented study such as this project. So, we hope the Agroforestry technical center make an enterprise for systematic support for announcing the obtained results to farmers for practical use.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	31
§ 1.1 Basic characteristics of pine-mushroom	33
§ 1.2 Objectives and importance of the study	42
§ 1.3 Outline of the study	45
§ 1.4 Literature cited	47
Chapter 2. Identification of Limiting Factors of Pine-Mushroom Productivity	49
§ 2.1 Site condition of pine-mushroom forests	51
§ 2.2 Grouping of major pine-mushroom production area by analyzing daily yield	55
§ 2.3 Identification of climatic factors limiting pine-mushroom yield	64
§ 2.4 Model establishment for yield prediction & validation of the model considering climatic factors	73
§ 2.5 Literature cited	89
Chapter 3. Diagnosis of Pine-Mushroom Productivity	91
§ 3.1 Preliminary detection of productivity decline by mushroom flora	93
§ 3.2 Detailed examination of productivity decline by soil assay	102
§ 3.3 Growth characteristics of fruit bodies of <i>Tricholoma matsutake</i>	109
§ 3.4 A practical study for overcoming limiting factors	114
§ 3.5 Literature cited	119

Chapter 4. Management of Pine-Mushroom Stands	123
§ 4.1 Stand structure of pine-mushroom forests	125
§ 4.2 Crown projection vs. pine-mushroom production	132
§ 4.3 Management of pine-mushroom forests	139
§ 4.4 Literature cited	143
Chapter 5. Cultural characteristics & Identification of <i>T. matsutake</i> in roots	145
§ 5.1 Isolation and cultural characteristics of <i>T. matsutake</i>	147
§ 5.2 The 18S rDNA sequences of the basidiocarps of <i>T. matsutake</i>	158
§ 5.3 Identification of <i>T. matsutake</i> in the roots of <i>Pinus densiflora</i>	169
§ 5.4 Literature cited	174
Chapter 6. Conclusions	183
§ 6.1 Management of pine-mushroom forest with whole concept	185
§ 6.2 Suggestions for the future of pine-mushroom in Korea	188
Chapter 7. Appendices	191
§ 7.1 Prediction of pine-mushroom yield by use of Autoregression Model	193
§ 7.2 Revised model for prediction of pine-mushroom yield	255
§ 7.3 Determination of production probability of pine-mushroom by CART	277

목 차

제 1 장 서 론	31
제 1 절 송이의 기본 특성	33
제 2 절 연구목적 및 중요성	42
제 3 절 연구개요	45
제 4 절 참고문헌	47
제 2 장 송이 생산 제한인자의 파악 및 극복	49
제 1 절 송이 발생립의 입지환경 특성	51
제 2 절 송이발생 동향에 따른 송이 주산지의 권역구분	55
제 3 절 송이 생산 제한 기후인자 파악	64
제 4 절 기후인자를 고려한 송이 발생예찰식의 도출 및 검정	73
제 5 절 참고문헌	89
제 3 장 송이 생산성 진단 및 제한인자 극복	91
제 1 절 송이산의 버섯상 조사를 통한 생산성 예비진단	93
제 2 절 송이 균환부의 토양분석을 통한 생산성 정밀진단	102
제 3 절 송이 자실체의 생장	109
제 4 절 관수와 낙엽층기에 의한 송이 생산 제한인자의 극복	114
제 5 절 참고문헌	119

제 4 장 송이 발생립의 임분관리	123
제 1 절 송이 발생립의 임분구조	125
제 2 절 수관투영과 송이 발생	132
제 3 절 송이 발생립의 임분관리 기법	139
제 4 절 참고문헌	143
제 5 장 송이균의 배양특성 및 뿌리내 확인기법	145
제 1 절 송이균의 분리 및 배양특성 연구	147
제 2 절 우리나라 송이의 18S ribosomal DNA 서열	158
제 3 절 뿌리내 송이균 확인기법 연구	169
제 4 절 참고문헌	174
제 6 장 결 론	183
제 1 절 송이산의 종합적인 관리	185
제 2 절 송이의 미래를 위한 제언	188
제 7 장 부 록	191
제 1 절 조건부 시계열 모형에 의한 송이 발생예찰식	193
제 2 절 생산개시 및 종결시점 확률도입에 의한 보정식	255
제 3 절 CART에 의한 송이 생산확률 결정	277

第 1 章 緒 論

INTRODUCTION

연구기관명 : 임업연구원

연구책임자 : 김 현 중

연구원 : 박 현

여 백

第 1 節 송이의 基本 特性

1. 송이

송이(松茸)는 지표면을 뚫고 나오는 버섯으로서 독특한 향기로 인하여 ‘버섯의 왕’ 자리를 차지하고 있는 숲 속의 보물이다. 송이는 우리나라를 대표하는 숲인 소나무(*Pinus densiflora*)림에서 주로 발생하며, 최근에는 국내에서도 수요가 매우 높아졌지만 주로 일본인에게 인기가 높은 자연식품이다. 송이는 함수율이 80~90%에 달하며 자실체 한개의 건조중량은 5~10g 정도이다. 건조중량의 15%는 조단백으로서 갓과 주름부분에 많으며, 탄수화물은 43~44%, 섬유소는 7~8%, 지방은 4~5%를 차지한다. 비단백형태의 질소 대부분을 차지하는 아미노산은 갓 부위에 아스파라긴산, 글루타민산, 알라닌, 아르기닌, 발린, 류신, 시스틴, 세린, 글리신, 트레오닌, 티로신, 페닐알라닌, 메티오닌 등 13종이 존재하고, 자루에는 아스파라긴산, 글루타민산, 알라닌, 아르기닌, 발린, 류신, 시스틴, 세린 등이 있다(水野와 川合, 1992)

‘송이올’이라는 유기화합물과 계피산메틸로 여겨지는 향기 성분은 송이의 특이한 가치를 발휘하게 하는 주성분이며, 송이 자실체는 만성 또는 급성 설사, 천연두 등으로 고생하는 사람과 산후의 하혈에도 약효가 있다고 한다. 만성 이질이나 허탈, 무력증에는 송이의 밑뿌리를 말려 작게 자른 것 2~3 조각과 고래의 음경(陰莖) 말린 것 한 조각을 함께 된장에 넣어 끓여 마시면 곧 낫는다고 한다. 또한, 송이는 항암률이 96%에 달하며, 통증을 멈추게 하고 위(胃)를 비롯한 장기(臟器)를 강하게 하는 등 여러 가지 한방적 효능을 지닌 것으로 알려져 있다.

송이(*Tricholoma matsutake*)는 살아있는 소나무와 함께 살아가면서 자실체(버섯)를 만드는 활물공생균(活物共生菌)으로서 균근균(菌根菌)이라 불린다. 현재까지 송이는 인공재배가 되지 않으며, 일정한 기간에만 자실체를 형성하는 희귀성과 계절성을 지닌 버섯이다. 표고처럼 인공재배가 가능한 버섯은 계절의 제약을 받지 않고 수확할 수 있지만, 송이는 자연환경의 영향을 많이 받는 버섯이기에 이상저온으로 시원해진 여름철이나 가을철(9월

초순~10월)에만 생산된다. 아울러, 송이는 향기(香氣)가 생명이라 할 수 있는 버섯이므로 신선한 생버섯이 인기가 높고, 생버섯의 보존기간은 냉장고에서도 수주일 정도이며, 따라서 값이 매우 비싸다.

일반적인 식용버섯에 비하여 송이는 자실체가 크고 굵은 편에 속하는데, 큰 송이는 1kg 이 넘는 경우도 있으며, 육질이 치밀하고 향이 독특하여 맛과 향을 겸비한 버섯이다. 한편, 건조되거나 저장, 또는 조미된 것은 향과 맛이 변하게 되어 신선한 생송이에 비하여 값이 훨씬 떨어지므로 가을철의 생송이만이 그 진가를 인정받는다는 점도 특기할 사항이다.

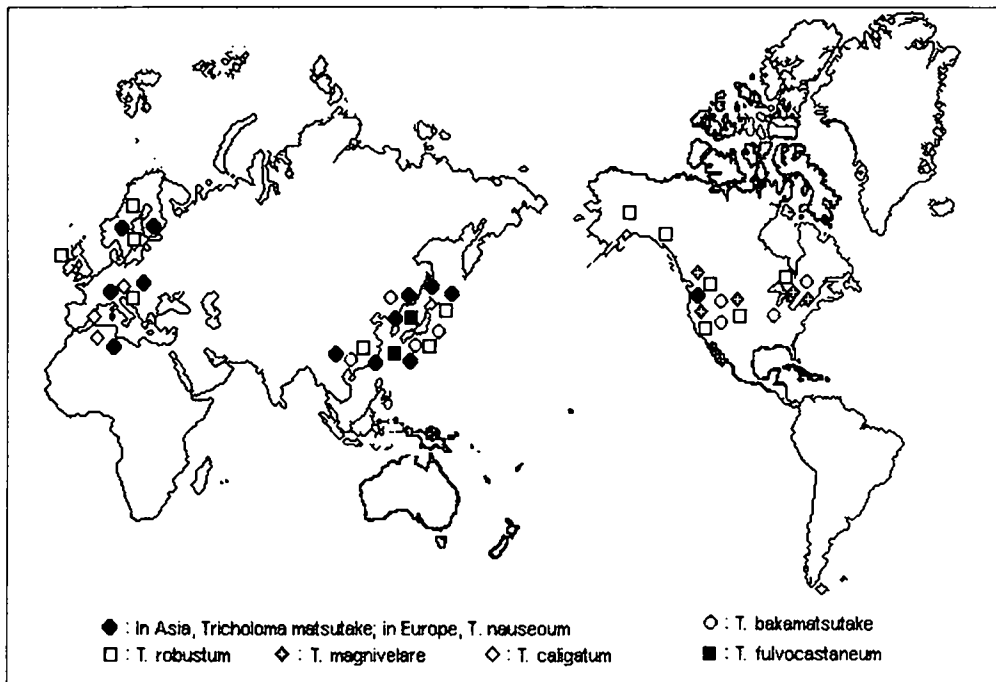


Figure 1-1. Distribution of various pine-mushroom productive regions in the world.

2. 송이산지

송이산지의 세계적인 분포를 살펴보면, 동양의 송이(*Tricholoma matsutake*)는 중국, 한국, 일본 등지에 분포하고, 우리나라 송이와 거의 비슷한 유럽송이(*T. nauseoum*)는 이탈리아를 비롯한 유럽지역에 나타난다(Figure 1-1). 한편, 중국 남부의 상록참나무 임분에서는 우리나라의 송이(*T. matsutake*)와 약간 다른 *T. matsutake* var. *qinggan* (혹은 *T.*

quercicola)가 발생하고 있다. 또한, 남부 유럽과 아프리카 지역에서는 *T. caligatum*이라는 송이가 발생되며, *T. magnivelare*는 우리나라 송이에 비해 흰색을 띠는 자실체를 형성하며 북미대륙에 출현한다. 한편, 참나무림에서 발생하는 송이아재비(*T. bakamatsutake*)도 있는데 이는 위에서 언급한 여러 가지 송이에 비하여 향이 약하고 값이 떨어진다.

동양 송이(*T. matsutake*)의 주 발생지는 중국대륙, 한반도 및 일본의 일부 지역으로서 소나무, 잣나무, 유안소나무 및 가문비나무 임분에서 발생하며, 만주지역에서는 소나무 단순림보다는 소나무와 참나무 혼효림에서 발생하는 예가 많다. 반면, 미국송이로 통하는 *T. magnivelare*는 폰데로사소나무, Douglas fir, 솔송나무류, 참나무림에서 발생하는 예가 많으며, 유럽송이(*T. naseoum*)는 라디아타소나무 등 유럽적송림이나 Cedrus 임분에서 주로 출현한다.

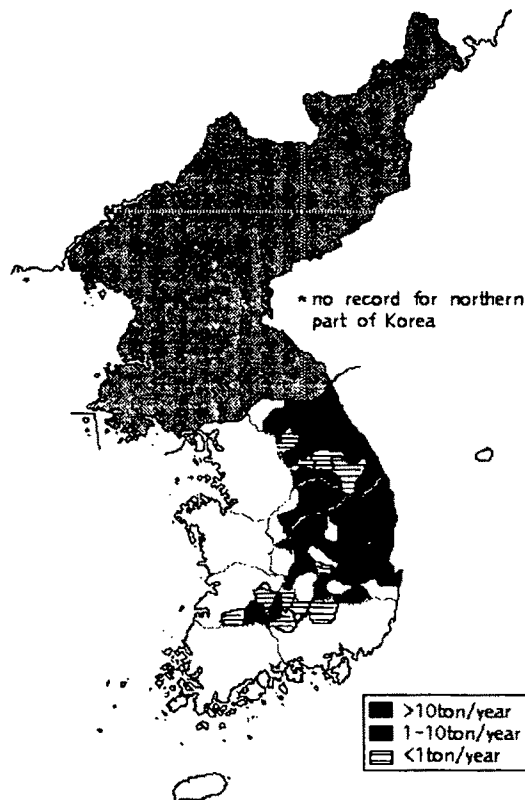


Figure 1-2. Major pine-mushroom productive regions in Korea. The yield of each region used to fluctuate, but grouped by the annual average yield.

우리나라에서는 송이가 전국의 소나무림에서 발생한 것으로 보이지만, 최근에는 태백산맥과 소백산맥 지역을 중심으로 발생하고 있다(Figure 1-2). 1970년대 초반에는 경기도(가평, 광주), 충청남도(예산), 전라남도(담양, 함평, 화순)에서도 송이 수매가 이루어졌지만, 현재는 이 지역에서 송이 수매가 이루어지지 않고 있다(김영배 등, 1975). 최근의 송이 생산량을 살펴보면, 경상북도가 전국 생산량의 약 65%, 강원도가 약 27%를 차지하여 90% 이상이 이 지역에 국한되고 있다. 송이가 많이 생산되는 지역을 구체적으로 살펴보면 경상북도의 울진, 봉화, 영덕과 강원도 양양, 삼척 등을 꼽을 수 있는데, 매년 그 순위는 해당 연도의 온도나 강수량 등에 따라 변화한다(박현 등, 1996).

3. 송이(*Tricholoma matsutake*)의 생물학적 특성

가. 송이의 발생과 성장

송이에 대하여 전반적으로 정리한 小川(1991)의 자료에 근거하여 송이의 과학적 분류를 간단히 살펴보면, 송이는 담자균류의 송이목(目), 송이과(科), 송이속(屬)에 속한다. 송이의 시발점은 포자(孢子)라고 할 수 있는데, 포자는 균류(菌類)에서 식물의 꽃가루나 종자의 역할을 하며, 자실체(버섯)는 이들 번식체(포자)를 만드는 생식기관의 하나이다. 많은 수의 미세한 포자는 널리 퍼지게 되는데, 이렇게 떨어진 포자는 그 균의 성질에 맞는 생활 장소에서 번식한다. 송이는 앞서 말한 것처럼 균근성 버섯이므로 다른 균근성 버섯처럼 땅속에 균사집단을 만들며 세력권을 넓혀 간다.

송이 자실체의 성장과정을 살펴보면, 지표면으로 돌출된 버섯의 높이가 0.5mm가 넘게 되면서 윗 부분이 갈색으로 되고 점차 주름이 생기기 시작한다. 갓이 넓어져서 주름의 표면에 담자병이 생기고 포자의 형성이 시작된다. 이렇게 형성된 포자는 갓이 퍼지고 턱받이가 떨어지면 여러 시간 동안 비산된다. 포자가 떨어지면 밝은 안개 또는 백색 연기처럼 퍼지는데 그 비산속도나 비산거리는 특히 공중습도의 영향을 크게 받는다. 비온 후와 안개 낀 날은 콜로니 형태의 포자를 날리고, 맑은 날에는 많은 포자를 날리지 않으며, 낙엽 위

에 떨어진 포자는 백색 포자문(孢子紋)을 만든다. 포자의 양은 하루에 수 억 ~ 수 십억 개로 조건에 따라서 변한다. 포자가 가장 많을 때는 보통 갓이 벌어져서 3~4일째인데, 갓이 뒤집어지기 시작하면 포자 생산량이 적어진다.

송이 포자는 레몬과 매우 비슷한 형태를 지녔는데, 한쪽 방향에 돌기가 있는 구형이고 색은 흰색이며 표면은 매끈하다. 전자현미경 사진에서 보면, 포자는 피막이 단순하고 돌기 선단은 담자병이 붙었던 흔적이 있다. 끊어진 부분을 보면 외측의 막은 얇고 내측에는 두꺼운 층이 있는 이중구조이다. 내부에는 입자상(粒狀)의 내용물이 가득 차 있고 기름방울 모양도 발견된다. 담자균의 포자는 대개 어떠한 색다를 것이 없는 단순한 구조이다. 포자의 대부분은 측정자에 따라서 다르지만 장경(長徑) 5-9 μ m 단경(短徑) 4-7 μ m 로 폭이 넓다.

송이의 수명이나 발아조건에 대한 이견(異見)이 많지만, 저장방법에 따라 송이 포자는 5개월 후까지 살아있는 경우도 있으며, 성숙한 포자는 증류수와 산(酸) 혹은 알칼리를 첨가한 증류수에 소나무뿌리 침출액을 첨가한 곳에서 잘 발아한다. 온도조건은 16℃에서 20시간, 20℃에서 18시간, 28℃에서 12시간만에 발아하며, 0℃의 저온에서도 잘 버틴다. 소나무림의 무기질 토양인 B층 토양의 침출액을 첨가한 배지와 콜로이드상 점토를 얇게 편 한 천배지에서 상대적으로 발아율이 높고 당을 첨가하면 균사가 잘 성장하는 것으로 알려져 있다. 온도조건을 살펴보면, 20~26℃에서는 6일째에 발아를 시작하고, 24~26℃에서 발아관의 생장은 잘 되지만 30℃가 넘으면 발아가 되지 않는 것으로 보고되어 있다. 또한, 발아에 적합한 pH는 4.0~5.0으로 우리나라 소나무림 토양의 산도(酸度)와 비슷하다.

포자가 발아하여 성장하면, 가느다란 균사(菌絲)가 되어 가지를 치며 균사체(菌絲體)를 이룬다. 이 균사체는 점차 퍼져 나가면서 토양층에 마치 흰색의 성(城)을 만들어 균사집단을 이루게 되는데, 이것을 일본에서는 시로(シロ)라고 부른다. 대체로 송이는 줄 모양이나 화살 모양으로 나란하게 발생하지만 건전한 젊은 균사집단에서는 같은 균사간의 경쟁을 극소화하기 위하여 원형으로 발전하게 되며 송이 자실체를 형성하는 모체(母體)가 된다. 이처럼 송이가 조성한 바퀴모양을 균환(菌環, fairy ring)이라고 하는데, 균환은 요정이 춤을 추는데 풀을 밟아 남긴 발자취 모양처럼 버섯들이 발생되어 있는 모습을 묘사한 것이

다. 이러한 균환이라는 용어는 송이 뿐만 아니라 여러 종류의 균류가 야외에서 조성하는 균사의 집단(colony)과 그곳에서 구성된 미생물 사회를 표현하는 용어로도 사용된다.

균사층 또는 균사의 집단인 송이균환의 모양은 송이 자실체(버섯)가 발생하는 모습을 보면 대략 알 수 있지만 정확하게 위치를 파악하기 위해서는 매년(최소한 3년 정도) 자실체가 발생된 위치에 작은 표시를 해 놓아야 한다. 이것을 그림으로 정확하게 표시한다면 송이균환의 크기, 형태, 확대되는 속도나 송이균환의 활력을 측정할 수 있다. 송이균환은 어릴 경우에는 군상(群像)으로 나타나고, 오래되면서 원형, 줄 모양, 점 모양 등으로 그 발생양상이 변화하고, 송이균환의 한가운데 선도균체(先導菌體)가 생기기도 하며 두 개의 송이균환이 접촉하면 표주박 모양으로 변화하기도 한다(Figure 1-3). 양양, 울진, 함양, 거창, 남원 등의 송이 산지에서 균환과 소나무림을 조사한 결과, 송이균환(菌環)들은 지름이 작게는 1.5m에서 큰 것은 십여 미터로, 생겨난 지 수십 년에 이르면서 중간에 끊어진 부분이 있었다. 또한, 일단 균사가 지나간 곳에는 자실체가 발생하지 않고, 송이균환은 대체로 일정한 속도로 퍼진다.

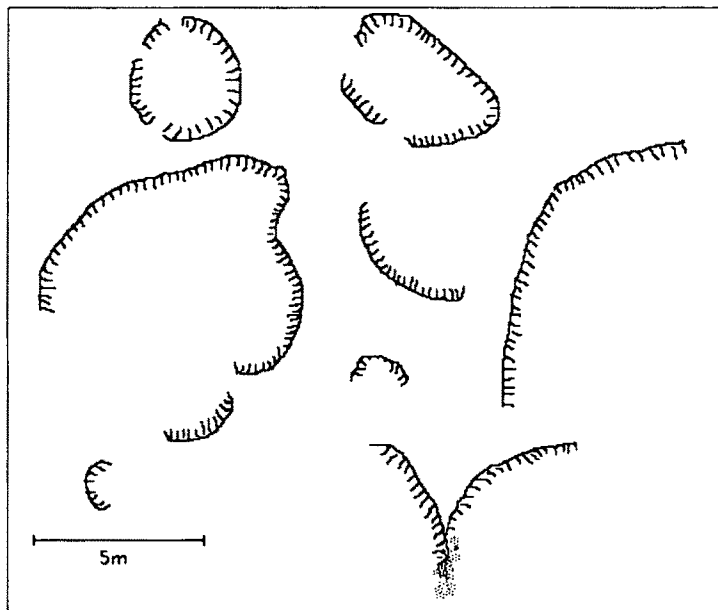


Figure 1-3. Various forms of the fairy rings of *Tricholoma matsutake*. Some of the broken fairy rings were thought to be deleted when they met other tree species instead of *Pinus densiflora* or thick litter layer.

즉, 토양중의 균사는 처음부터 일정하지 않고 지형특성에 따라 다양하게 성장한다. 균환은 땅 속으로 성장해 나가면서 불리한 환경, 즉 참나무류나 다른 외생균근을 형성하는 각종 활잡목, 풀뿌리, 두터운 낙엽부식층 등을 만나면 그 부분은 더 이상 뻗지 못하고 죽어 없어진다. 또한, 장애물이 되는 돌이나 그루터기가 있거나 잔뿌리(세근, 細根)가 없으면 송이균환의 생장이 늦어진다. 균사가 단순히 방사상으로만 성장한다면 수면의 파문(波紋)과 같이 동심원 모양으로 자라겠지만 실제로는 그렇지 않다. 송이균환의 바깥 부분은 대체로 굴곡이 심하고 부분적으로 사라진 경우도 있다. 한편, 송이균환 중앙의 뒷부분에 송이가 발생하는 경우도 있는데, 이것은 균사가 통과해 버린 후에 송이가 다시 발생하기 때문이 아니고 송이균환의 생장이 일시적으로 정체하는 동안 송이가 발생하여 송이균환 내부에서 송이 자실체가 형성되는 것처럼 보이는 것이다. 한편, 자실체(버섯)의 발생위치가 이동하는 것을 보고 송이균환의 연간 성장폭을 구할 수 있지만, 그 값을 측정한 사람에 따라 각양각색이다. 0~45cm, 6~18cm, 경우에 따라서는 30cm 정도로 되어 있으나 송이 균환의 연간 성장폭은 토양 등 환경조건에 따라 다르다.

자실체가 균환을 이루며 발생되어 나오는 이유는 송이가 발생한 곳 주변의 흙을 파헤쳐 보면 이해할 수 있다. 송이를 뽑아 내는 경우에는 손에 강한 느낌을 받을 수 있는데 서투르게 뽑아 내려고 하면 밀뿌리가 끊어지므로 전문가는 대체로 나무막대기를 가지고 다닌다. 이것은 송이의 밀뿌리가 토양 속에 있기 때문인데 낙엽이나 부식층 위에 생긴 버섯과 비교해 채취할 때 손에 받게 되는 느낌이 다르다. 자실체 주위의 낙엽이나 부수진 부식층을 관찰하면 회백색의 층이 보인다. 더욱 깊이 파 내려가면 흙 속에 새하얀 균사가 보이며, 균사(菌絲)와 균근(菌根)으로 되어있는 가는 뿌리가 토양을 단단하게 쥐고 있다. 이 부분에는 소나무향 비슷한 독특한 냄새가 있어서 송이균환이라는 것을 쉽게 알 수 있다. 1m² 만큼 도랑을 넓히면 송이균환을 잘 이해할 수 있다. 송이균환 바깥쪽의 토양은 대체로 습하고 백색의 균사층과의 경계가 확실하기 때문에 송이균환의 선단을 오인(誤認)하지는 않을 것이다. 자실체가 나오는 장소에서 송이균환의 안쪽으로 향하게 됨에 따라 토양은 건조하고 흰빛을 띠게 되며 물이 스며 들어오지 못할 정도로 불투수층이 된다. 한편, 송이균

환의 선단으로부터 1~1.5m 정도 안쪽으로 들어가면 불투수층은 없어진다.

송이균환의 선단으로부터 자실체 위치까지는 좁은 곳은 3~5cm, 넓은 곳은 20~25cm로서 평균 10~15cm이다. 자실체는 지난 해 가을부터 금년의 늦여름까지 성장한 균사폭, 약 20cm의 균사층 윗 표면에 나타나게 되는데, 균사의 성장폭은 일정하지 않다. 자실체 발생량은 지하의 균사량과 비례하므로, 송이균환의 발육이 나쁜 산등성이나 메마른 땅에서는 작은 자실체가 얻어지고, 능선이나 사면이라도 송이균환의 발육이 좋은 곳에서 갯수는 적지만 커다란 자실체가 발생한다.

자실체가 고립하여 발생된 곳에서, 자실체 한 개를 발생시키는데 필요한 균사량을 측정 한 결과, 자실체 한 개를 발생시키기 위한 면적은 토양 표면적으로 환산하여 100~200cm²에 달했다. 이 면적은 갯이 완전하게 열린 자실체의 넓이와 비슷하다. 이것을 부피로 계산하면, 뿌리와 균근, 균사를 조밀하게 포함하여 된 토양의 덩어리가 1,500~2,000cm³ 정도가 된다. 즉, 자실체가 발생되기 위해서는 많은 양의 균사와 균근이 흙 속에 형성되어 있어야만 한다.

나. 송이와 소나무(*Pinus densiflora*)

송이를 제대로 이해하려면 소나무 숲을 이해하여야 한다. 송이가 생활하는 토양생물 사회에 대하여 잘 알고 송이균환의 생태적 지위를 정확하게 이해해야 한다. 앞서 언급하였듯이 우리나라의 송이는 소나무림에서 주로 발생하므로, 시간의 추이에 따라 변화하는 소나무림의 성장과정, 지역과 지형에 의한 소나무 숲의 변이, 사람 손에 의하여 변화하는 소나무림 생태계의 반응에 대해서도 알아야 한다. 즉, “어떠한 소나무림에서 어떻게 하면 송이가 발생하는가” 라고 하는 기술적 과제에 접근해 가야 한다.

소나무는 양수(陽樹)로서 햇빛이 잘 쬐는 장소를 좋아하며 빛이 약한 곳에서는 자라지 않는다고 알려져 있다. 소나무림 내에서 가장 어두운 곳은 빛이 약 20% 정도 들어오는 곳으로 소나무의 최소 요구광량이 27%이므로 활엽수가 뺨뺨이 들어선 숲에서는 자라지 않고 나지(裸地)처럼 직사광선이 강하고 일조시간이 긴 장소에 발생, 성장한다. 어린나무의 성장

은 빠르므로 선구식물(先驅植物)로서 다른 식물보다 먼저 생육공간을 점하는 성질이 있다. 온도는 온난지수로 보면 20°에서 140°의 넓은 범위에 분포하고 최적온도는 100° 정도이다. 그러나 온도에 대한 내성이 강하며 한랭한 기후 조건에도 잘 적응하므로 넓은 지역에 분포할 수 있다.

물에 대한 요구를 보면 소나무는 사면(斜面) 윗 부분과 산등성이 등 수분이 적은 장소와 강수량이 적은 지역에 많이 분포한다. 다른 수종과 비교해 함수량이 적고 잎의 단위면적당 증산량도 적으며, 물 소비량도 낮으므로 토양이 건조하여도 잘 견딜 수 있다. 토양수층 pF 1.7~4.0 정도의 수분을 이용할 수 있는데, 이것은 근계(根系)가 넓고 세근(細根)의 80~90%가 외생균근을 형성하고 있기 때문이다. 묘목시기부터 균근의 도움으로 물과 양분이 적은 악조건에서도 생활할 수 있는데, 이처럼 강한 내성은 선구식물이 되기 위한 필수 조건이다.

소나무림이 성립하기 쉬운 지형은 능선에서 산중턱, 또는 산자락까지 모든 곳이 가능한데 사면 하부에 출현하는 경우는 인공조립된 것이 보통이다. 토양조건에 좌우되기 쉽지만 토양의 모재(母材)는 안산암, 화강암, 정암, 점판암, 사문암, 화산회, 석회암, 사암 등 무엇이든지 가리지 않고 적응성이 높아 토양발달이 안된 암반 위에서도 생육 가능하다. 토양산도는 산성, 알칼리성 어느 쪽이든 상관없다.

토양조건을 보면 소나무가 자라기 적합한 토양을 정의하기 힘들 정도로 아주 폭이 넓다. 하지만, 소나무림이 되기 쉬운 토양이 있는데, 척박하고 수분조건이 좋지 않아 건조하기 쉬우며 비교적 통기성이 좋고 유기물이나 양분이 적은 토양이다. 토양형으로 말하면 표면 침식을 받은 수식토(受蝕土, 토양의 표면이 오랜 기간 침식되어 빈약하게 된 토양을 가리킴), 풍화하여 토사가 축적된 미숙토(未熟土, 산이 붕괴하여 토사가 축적된 경우를 말하고, 표면 토양 발달의 미숙으로 A층이 없음), 또는 이들 미숙토양이 성숙하기 시작한 갈색 삼림토의 건성형인 B₁ 및 B₂형 토양, 건성의 적색토, 적황색토, 흑색토 등이다. 소나무의 생육은 토양이 갈색 산림토양형으로 변화됨에 따라 대체로 좋아진다.

소나무 생육의 적합성은 토양형과 토양양분만으로는 결정되지 않고 토양의 축적양식과

물리성에 의하여 결정된다. 가장 적합한 것은 산등성이와 평탄지의 잔적토(殘積土)로 낙엽송이나 잣나무의 조림이 쉬운 산록부의 비옥한 붕적토(崩積土)에서는 성림(盛林)이 되기 어렵다. 물리성의 변화에 적응하는 능력은 높지만 물빠짐이 좋고 건조한 다공질의 토양을 선호한다. 소나무림 표층토양의 질소 함량은 0.1~0.15%, 인산은 0.05~0.08%, 칼리는 0.2~0.8%로 꽤 낮은 수치를 나타내어 토양양분은 적은 편에 속한다. 이러한 자연상태에서 잘 버틸 수 있는 것은 부족한 양분을 효율적으로 흡수할 수 있도록 도와주는 균근균이 소나무 뿌리에 붙어 있기 때문이다. 즉, 소나무는 균근과의 공생관계를 통하여 척박한 지형에서도 잘 버티는 환경 적응성이 높은 수종인데, 송이와 같은 균근균의 입장에서 보면, 환경 적응성이 높은 소나무는 균을 받아들이는 허용량이 큰 수종이라고 할 수 있다.

한편, 균근균이라고 하여도 생리적 성질이나 생태적 조건에 대한 기호는 종에 따라 다르다. 생리적 조건으로는 많은 균이 소나무와 공생할 수 있어도 생태적 조건이 제한되기 때문에, 일정한 장소에서 공생 가능한 것은 극히 일부가 된다. 즉, 소나무림에 발생하는 균근상(菌根相, mycorrhizal flora)은 입지마다 변화한다. 공생체를 형성하는 기주식물이 다양한 입지환경에 성림(盛林)을 형성할 수 없는 경우에는 균류상도 단순하게 된다. 반면, 소나무는 모든 환경에서 적합한 공생균을 찾으려고 하기 때문에 넓게 분포하게 된 것으로 여겨진다.

第 2 節 研究目的 및 重要性

1. 연구개발의 당위성

송이는 최근 10년간 평균 5,000만달러 내외의 외화를 획득한 산촌 수출원이지만, 해저리현상이나 기상요인 등으로 인하여 등락의 폭이 매우 크다. 가을철 40여일에 집중된 송이 소득은 수백만원 이상의 현금을 단기간에 농산촌 주민에게 제공하여 자녀교육과 문화생활에 크게 기여하고 있어서 송이 산지 주민의 이농억제 효과가 매우 크므로 지속적으로

지원, 발굴되어야 할 자원이다. 한편, 송이 수확은 단순히 채취비용만이 소요되는 것으로 인식되고 있는 반면, 일본에서는 거의 무한정 수입하므로, 투자를 통한 재배체제로 전환을 피하여 고소득을 지속화하고 늘려갈 수 있는 방안을 구체적으로 제시할 수 있어야 한다.

일본에서는 1925년경부터 송이 인공재배를 위한 기초연구를 실시하여 송이균 배양배지, 적정온도, 적정산도(pH) 등을 구명하고, 1970년대에는 소나무림의 토양상태와 식생에 따른 송이균환의 생태를 구명한 바 있다. 아울러, 일본의 연구자들은 소나무림내 하층식생 정리와 균환 주변 유기물층 관리에 주안점을 두고 송이산을 만들기 시업이 가능한 지형이나 시업방법을 제시한 바 있다. 한편, 일본은 소나무재선충의 피해와 산림환경 변화 등으로 소나무림의 전체면적이 감소함에 따라 송이 생산량이 급격히 줄어, 최근에는 연간 300톤 정도밖에 생산되지 않으며, 한국, 중국, 북한, 유럽, 북미에서 송이를 거의 무한정 수입하고 있다.

우리나라에서는 1970년대초 송이의 기본적인 배양특성에 대한 연구와 전반적인 송이 생산지 분포에 대한 조사로 송이 연구를 시작하였다. 하지만, 일본의 선진기술에 비하여 뚜렷한 연구성과를 올리지 못하던 형편에 머물러 있었으며, 1980년대초 일본과의 공동연구를 추진하면서 새로운 전환점을 맞이하였다. 1980년부터 1984년까지 송이 인공증식을 위한 송이균 감염묘 이식과 포자집중, 송이 발생환경 개선, 송이껍 씌우기, 생송이 저장법 개선 등 연구를 수행하여 송이 발생환경 개선으로 1.4배 증수, 송이껍 씌우기로 30% 품질향상, 저장법 개선으로 선도를 2일 더 유지할 수 있었다. 그러나, 송이균 인공이식은 현재까지 국내외 기술로 불가능한 것으로 여겨지고 있다.

즉, 그간의 연구를 통하여 송이 인공재배나 송이균의 인공이식에 대하여 꾸준히 시도하였지만 현재까지는 극히 어려운 것으로 평가된다. 또한, 새로운 송이균환이 생기는 곳을 찾기도 매우 힘들기에 기존 송이균환을 유지, 발전시켜 송이 증산을 피하고 있다. 이에 따라, 현재의 송이 생산기술은 기존 균환이 사멸하지 않도록 소나무 임분내 식생 및 입지환경 관리를 중요시 여기고 있다. 한편, 송이 생산량은 기상인자의 영향을 심하게 받으므로 송이의 풍흉조절을 위하여 송이 발생에 영향하는 각종 인자를 지역별로 파악하고 환경조

절을 통하여, 송이 생산성을 유지·증진하는 기술이 요구된다.

2. 본 연구개발의 중요성

소나무림을 소득원으로 여기지 않는 사회풍조와 환경개선 사업을 배제한 송이채취의 지속적 시행은 송이의 발생량을 급격히 감소시키고 있다. 그러나 송이산 관리의 필요성에 대한 인식이 부족하고 구체적인 사업지침이 없으므로 인하여 현장의 농민들이 적극적으로 송이산 관리를 시도하지 않고 있다. 따라서, 본 연구가 성공적으로 추진되어 구체적인 사업지침이 제시되고 농민들에 대한 충분한 홍보 및 교육이 이루어진다면 송이의 지속적인 생산이나 생산성의 증진에 큰 역할을 할 것이다. 또한, 송이의 생리·생태적 특성에 대한 심도있는 연구는 송이 생산성 향상과 송이 재배체계의 구축을 위한 기반을 제공할 것이다. 이를 통하여 산촌주민의 소득향상을 통한 이촌향도(移村向都) 현상 억제와 농산물 수출 증진을 달성하게 되며, 산림이 주는 혜택에 대한 인식의 강화를 통하여 산림관리나 임업경영의 긍정적인 면을 부각시킬 수 있다.

3. 연구개발의 목적

송이균의 배양에 대한 기본적인 기술은 확립단계에 이르고 있으며, 송이의 실질적인 접종을 통한 감염묘 생산기법에 대한 연구나 배양된 균주의 대량증식 기법 및 활용에 대한 연구도 다각적으로 강구되고 있다. 또한, 우리나라의 송이 발생에 가장 중요하게 영향을 미치는 기상인자는 지역에 따라 다소 차이가 있지만, 9월의 평균 최저온도와 강수량이 가장 중요한 요인임을 파악한 바 있다. 즉, 지속적인 연구를 통하여 송이의 기본적인 특성이나 송이 발생에 영향을 미치는 인자의 개략적인 파악은 이루어진 상태이지만, 구체적이고 실질적인 방안 제시는 다소 미흡한 상태이었다. 특히, 급격히 상승한 농산촌 인건비와 산림에 대한 의식변화로 인하여 산을 가꾸기 보다는 방치하는 형태가 많아지면서, 송이산을 관리해야 할 대상으로 생각하지 않고 단순히 수확만을 하는 대상으로 인식하고 있어서 송이 생산량이 격감되고 있는 것이 현실이다.

이에 따라, 본 연구는 현장에서 나타나는 송이 생산성 격감현상을 극복할 수 있는 구체적인 방안을 제시하고, 아울러 송이의 재배체제 구축을 위한 기초자료를 제공하고자 추진하였다. 이를 위하여 ① 주요 산지별 송이 발생패턴 분석을 통하여 생산 제한인자를 파악하고 극복할 수 있는 방안을 제시하며, ② 송이산에 투자를 해야하는 당위성이나 구체적인 판단기준 및 임분과 토양관리 방법을 제공하고, ③ 송이의 인공재배를 꾸준히 시도할 수 있도록 송이의 기본 특성이나 송이균 판별기법을 파악하고자 수행하였다.

第 3 節 研究概要

1. 연구개발의 목표와 내용

앞서 『연구개발의 목적』에서 언급하였듯이, 본 연구는 지역별·일자별 기상인자 분석에 의한 송이 발생예찰식을 도출하고, 기상인자로 인한 송이 발생량 감소방지를 위한 환경관리기술의 구체적인 적용기법 개발을 통하여 송이 생산성을 유지, 증진함으로써 농산촌 주민의 소득증대를 도모하며 우리나라 송이산의 종합적인 관리체제를 정립하고자 추진하였다.

연구내용은 송이 발생환경 관리기술 개발에 초점이 맞추어져 있는데, 첫째, 송이 생산 제한인자의 파악을 위하여 ① 송이 발생립의 입지환경 특성에 대한 정리, ② 송이 발생관여 주요인자 파악, 그리고 ③ 송이 발생예찰 및 검정을 수행하였다. 둘째, 미세환경 조건이나 기상인자에 민감한 송이 자실체의 특성을 고려하여 ④ 송이산의 버섯상 및 토양조사를 통한 생산성 진단, ⑤ 송이 자실체의 성장기작 및 ⑥ 송이산 환경조절을 통한 효과검정을 실시하였다. 셋째, 거시적인 측면에서 송이 발생립의 임분관리 기법 제시를 위하여 ⑦ 송이 발생립의 임분구조에 대한 조사내용과 ⑧ 수관투영과 송이 발생의 관련성에 대한 고찰, 그리고 이를 통한 ⑨ 송이 발생립의 임분관리 기법을 제시하였다. 아울러, 보다 발전적인 연구의 터전을 제공하기 위하여 송이균의 수집 및 증식에 관한 연구도 수행하였는데, ⑩

송이의 배양특성에 대한 검토, ⑪ 송이 구분을 위한 생화학적 접근, 그리고 미진하나마 ⑫ 송이증식을 위한 제 시도를 정리하여 구성하였다.

2. 연차별 연구개발 목표와 내용

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (1995~1996)	송이 주산지의 주요 생산 제한인자 파악 및 송이 균의 생리·생태적 특성 구명을 위한 기초조사	<ul style="list-style-type: none"> · 송이 발생림 입지환경 조사 · 송이 발생관여 자연인자 파악 · 송이 발생림 관리를 위한 임분구조 조사 · 지역별 송이 균주 수집 및 유전변이 분석
2차년도 (1996~1997)	송이발생환경 개선에 따른 증수방안 실연 연구	<ul style="list-style-type: none"> · 지역별 송이 발생관여 주요 기상인자의 영향력 분석 · 주요 제한인자의 극복기법 개발 · 지역별 송이 발생림의 입지환경 및 임분구조 조사에 따른 송이 발생림 관리모델 개발 · 우수 균주의 활용을 위한 배양법 개발 및 우수균주 배양
3차년도 (1997~1998)	송이발생림 관리 모델 개발 및 우수균주 활용 방안 모색	<ul style="list-style-type: none"> · 기상인자 극복을 위한 환경관리 실연 · 송이발생림의 입지환경 및 임분구조 조사에 따른 송이 발생림 관리모델 개발 · 우수균주 배양 및 활용기반 구축

第 4 節 參考文獻

1. 김영배, 김동수, 박용환, 신관철. 1975. 한국의 송이 발생지 분포 및 발생환경에 관한 실태조사. 농시연보 17(토양비료, 작물보호, 균이편) : 109-114.
2. 박 현, 가강현, 김교수, 김현중. 1996. 최근 6년간의 일자별 송이 발생동향 분석에 의한 송이 주산지 권역 구분. 산림과학논문집 53 : 163-172.
3. 水野 卓, 川合正允. 1992.キノコの化學·生化學. (株)學會出版センター. 372pp.
4. 小川 眞. 1991. マツタケの生物學. 補訂版. 東京, 築地書館. 333pp.

여 백

第 2 章 송이 生産性 制限因子 把握

IDENTIFICATION OF LIMITING FACTORS FOR PINE-MUSHROOM PRODUCTIVITY

연구 기관 명 : 임업 연구원

연구 책임자 : 김 현 중

선임 연구원 : 정 진 현

연구 원 : 박 현

전산처리기관 : 한국외국어대학교

선임 연구원 : 신 기 일

선임 연구원 : 최 대 우

여 백

第 1 節 송이 發生林의 立地環境 特性

1. 서론

우리나라의 경우, 소나무림에서 송이가 발생하지만, 모든 소나무림에서 송이가 발생하는 것은 아니다. 즉, 특이한 입지환경이나 임분구조를 지닌 소나무림에서만 송이가 발생한다는 것이다. 이에 따라, 본 연구에서는 기존자료의 고찰과 더불어 실제로 송이 발생림의 입지환경을 파악하고자 토양 단면조사를 중심으로 송이 발생림의 입지환경 특성을 조사, 분석하였다.

우리나라의 위도상 위치를 고려할 때, 전국에서 송이가 생산될 수 있는 것으로 여겨진다. 경기도(가평, 광주), 충청남도(예산), 전라남도(담양, 함평, 화순)에서도 1970년대 초반에는 산림조합(현재의 임업협동조합)에서 송이수매가 이루어졌던 사실은 이를 입증한다(김영배 등, 1975). 그러나, 새마을운동에 의하여 산지개간이 적극적으로 이루어지면서 비교적 경사도가 낮은 경기도, 충청남도, 전라남도 지역에서는 마을 근교의 소나무림이 다수 파괴되면서 송이생산이 급격히 감소하게 됨에 따라 이 지역에서는 현재 송이수매를 할 수 없을 정도로 생산이 극히 미약하게 이루어지고 있다. 최근 10년간의 송이 생산량을 살펴보면, 경상북도가 전국 생산량의 약 65%, 강원도가 약 27%를 차지하여 90% 이상이 이 지역에 국한되고 있다. 즉, 현재는 태백산맥 줄기를 중심으로 한 험준한 지형의 소나무림과 소백산맥의 정점을 이루는 지리산 일대가 송이의 주 생산지를 형성하고 있다.

하지만, 송이는 이러한 “험준한 산”이라는 조건을 반드시 필요조건으로 하는 것이 아니다. 때로는 마을의 작은 뒷산에서도 송이를 수확할 수 있으며, 특히, 통계에 잡히지는 않지만 전라북도 고창이나 부안 등 서해와 인접한 지역의 소나무림에서도 송이가 생산되고 있다. 이에 따라, 본 연구에서는 기존 연구를 통하여 많은 연구가 수행되지 않은, 영서지방과 충청북도 지방의 송이 발생림을 대상지로 선정하여 입지환경 조사를 실시하였으며 그 조사결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

2. 홍천 시험구

강원도 홍천군 동면 노천리에 소재한 홍천 시험구는 산정부에 위치한 남서사면으로서, 표고(標高)는 약 450m이었고 경사도는 30°에 이르렀다. 상층 수관(樹冠)은 조사를 실시한 1996년 현재 약 70년생의 소나무(*Pinus densiflora*)가 70% 내외를 차지하고 나머지 30%를 굴참나무(*Quercus variabilis*)가 점유하고 있었다. 하층식생으로는 산철쭉(*Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*)이 우점종이며, 쪽동백나무(*Styrax shiraiana*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*) 등이 산재하고 있었다.

지질(地質)은 중생대 백악기에 형성된 흑운모 화강암류가 주종을 이루며, 주위에는 반상(斑狀) 화강암류가 분포한다. 전자는 절리(節理)가 수직방향으로 발달되어 있어서 풍화작용이 급속히 일어나며, 특히 마그마가 서서히 냉각되어 조립질(粗粒質)의 모재로 풍화되고, 후자는 광물성분과 조직이 화강암과 동일하지만 결정의 크기가 1mm 이하인 광물입자로 구성되어 있고 백색~회백색을 띤다(엄상호와 전희영, 1982).

토양은 조립질(粗立質) 화강암을 모재로 발달한 양질사토(LS) 또는 사질양토(SL)로서 표면침식이 약하게 진행된 갈색산림토양군에 속하는 토양이었다. 1cm~2cm 이내의 얇은 유기물층 아래 약산성의 양질사토로 구성된 10cm 미만의 얇은 A층이 나타나며, 그 아래로 건조한 사질토양이 B층 또는 C층을 이루며 펼쳐져 있었다. 토색은 10YR3/3(암갈색)~10YR6/6(명황갈색)이었으며, 유효토심은 25cm~45cm에 달하고, B층 아래 30cm 이상 풍화 모재층이 계속되고 있었다. 표층토양은 세립상의 구조를 나타내지만 심층부는 무구조를 나타내고 있었고, 토양구조의 발달정도는 대체로 약하였다. 건조한 토양내에는 매우 많은 식물뿌리가 분포하지만 균근을 형성한 뿌리는 상대적으로 적게 나타났다.

표층 5cm 부분의 토양 pH는 5.3 이하의 산성을 나타내고 있었으며, C층으로 구분될 수 있는 심토의 경우에는 pH 5.9에 이르는 약산성을 나타내었다. A층을 지닌 경우에는 표층 토양 유기물함량이 일반적인 산림토양에서와 마찬가지로 3~6%의 수준을 나타내었으며, 부식층이 두겹게 형성된 경우에는 14%의 유기물함량을 나타내기도 하였다(Table 2-1).

Table 2-1. Typical soil horizon developments and major physicochemical properties of soils at the experimental sites established in Hongcheon, Korea.

horizon	depth (cm)	soil texture	pH	OM (%)	TKN (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	CEC (me/100g)	Exchangeable (me/100g)			
								K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
O	1-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A	0-8	LS	5.27	5.94	0.15	8.6	14.1	0.26	0.26	3.24	0.82
B/C	8-26	S	5.66	0.67	0.08	5.0	16.2	0.21	0.24	1.03	0.40
C	26+	S	5.89	0.34	0.08	10.6	9.4	0.18	0.28	1.01	0.34

3. 제천 시험구

충청북도 제천시 청풍면 학현리 소재의 송이 시험지도 온대중부의 기후대에서 고해발 산지로 둘러싸인 해발 650~700m의 경사도 28° 내외의 산정부 능선 부근에 위치한 남서사면이었다. 조사를 실시한 1996년 현재 50~75년생의 소나무가 상층 수관을 우점하고 있었으며, 신갈나무(*Quercus mongolica*)가 일부 상층을 점유하고 있고, 개웃나무(*Rhus trichocarpa*), 당단풍(*Acer pseudo-sieboldianum*), 쪽동백나무(*Styrax shiraiana*)가 중층을 이루며 산생(散生)하고 있었다.

지질은 중생대 백악기에 형성된 불국사 화강암류가 주종이며, 주위에 고생대 кем브리아기에 형성된 대 석회암층군인 영월군층이 분포하고 있었다. 단, 불국사 화강암류는 홍천의 모재와 마찬가지로 절리(節理)가 수직방향으로 발달되어 풍화작용이 급속히 일어나며, 특히 마그마가 서서히 냉각되어 조립질의 모재로 풍화되고, 후자는 쇄설성(碎屑性) 퇴적물로 지층을 이루는 석회암층으로 세립질 내지 미립질의 모재로 풍화된 상태이었다. 한편, 토양은 백악기 말에 일어난 불국사 화산활동으로 원래의 석회암층군에 관입 용기된 불국사 화강암이 점재 분포된 조사지역 및 주위의 토양은 모암의 분포상태에 따라 제각기 다른 토양의 특성을 나타내었다.

표면침식을 받고 있는 약 침식토양과, 낙엽층이 국소적으로 존재하고 표토층의 형성이 약하게 진행중인 갈색의 건조한 산림토양형이 분포하고 있었는데, A층의 발달이 미약하고

C층의 발달이 상대적으로 두드러지며, 모재층이 30cm 이내에서 확인되었다. 전반적으로 표층은 양질사토(LS)의 세립상 구조가 약하게 발달된 건조한 토양이었으며, B층의 견밀도가 매우 약하고 모재층인 C층의 풍화가 양호하게 진행되고 있는 상태이었다.

한편, 홍천에 비하여 이 지역은 더욱 산도가 높은 것으로 나타났는데, C층에 이르러서도 pH 5.2 내외를 나타내고 있었다. 한편, 각종 양이온의 함량은 홍천에 비하여 오히려 높은 값을 나타내었지만, 유기물 함량은 상대적으로 낮은 수치를 나타내어 전반적인 산림성 속도는 홍천에 비하여 더딘 것으로 추측되었다(Table 2-2).

Table 2-2. Typical soil horizon developments and major physicochemical properties of soils at the experimental sites established in Jecheon, Korea.

horizon	depth (cm)	soil texture	pH	OM (%)	TKN (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	CEC (me/100g)	Exchangeable (me/100g)			
								K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
O	2-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A	0-5	S	5.13	2.42	0.09	5.55	6.27	0.13	0.32	1.51	0.43
A/B	5-6	LS	5.14	2.28	0.10	7.60	7.04	0.12	0.26	1.76	0.25
B	6-10	S	5.02	2.37	0.07	3.35	8.14	0.24	0.28	1.79	0.39
B/C	10-20	S	5.25	1.51	0.05	3.70	5.50	0.12	0.33	1.17	0.28
C	20+	S	5.16	0.86	0.04	5.05	5.94	0.13	0.29	0.95	0.26

4. 송이 발생림의 토양특성 조사를 통한 소나무림의 관리지침

두 지역의 토양특성을 종합적으로 고찰할 때, 기본적인 모암과 상관없이 상층부에 화강암이나 화강편마암 계통의 모암이 기반을 이루고 있음을 확인할 수 있었다. 한편, 송이와 공생하는 소나무 세근은 F층과 H층, 또는 이들이 광물질 토양(mineral soil)에 섞인 HA층이 형성되면 증가하는 것으로 여겨졌다. 반면, 낙엽층이 쌓여 5cm 이상이 되면 세근 대부분이 낙엽층으로 올라가는 현상이 발생하였다. 세근의 분포를 보다 구체적으로 살펴보면, 능선부에서는 뿌리가 A층이나 B층 토양의 표면에 집중되지만, 산복부(山腹部)에서는

세근의 대부분이 낙엽층으로 상승하는 모습을 나타내고 있었다.

세근의 분포상태나 활력도는 전반적인 입지환경과 아울러 지형조건의 차이에 따른 토양층위의 분화 및 성숙정도에 따라 다르게 나타났다. 즉, 소나무 세근이나 균근의 분포는 지표 퇴적부식의 퇴적상태 및 분해정도에 좌우되므로, 전반적인 토양의 특성과 더불어 미지형의 차이도 소나무 뿌리와 공생하는 송이에게는 매우 중요한 요인이 될 것으로 생각되었다.

즉, 능선부는 낙엽층이 얇은 반면, 산복부는 낙엽층이 상대적으로 두껍게 쌓임에 따라 송이균환의 쇠퇴가 쉽게 일어나게 됨을 나타낸다. 따라서 토성이나 기타 토양의 물리적 환경을 개선하는 것은 매우 어렵지만, 산복부에서의 낙엽층 제거는 송이균과 밀접한 관련이 있는 세근이 토양중에 분포하며 송이균환의 활력을 유지시키는 좋은 관리기법이라고 생각된다.

第 2 節 송이 生産 動向에 따른 송이 主産地의 圏域 區分

1. 서론

송이(*Tricholoma matsutake*)는 우리나라 임산물중 최고의 소득을 제공하는 버섯으로서 1995년에는 654톤의 생산고로 339억원의 고소득을 농가에 제공하며 약 6,450만불의 수출고를 달성한 바 있다. 산촌농가의 소득원중에서 송이가 차지하는 비중은 매우 커서 송이 주산지인 양양이나 울진, 봉화 지역의 경우에는 이촌향도(離村向都) 현상을 억제시켜 주는 역할을 한다. 하지만, 최근의 기상 변동으로 파생되는 송이 생산량의 큰 변화폭과 지역별 송이 발생량의 큰 편차는 송이소득의 불안정을 낳아 산촌 주민의 걱정거리가 되고 있다. 물론, 첨단 기술이나 아이디어를 이용한 저장법의 개선 등으로 가격 조절을 통한 고소득이 가능하겠지만, 국가적인 차원에서의 송이 생산량 안정화가 궁극적인 산촌 소득증대를 이루는正道(正道)라 할 수 있다.

안정적인 송이생산을 위한 송이연구는 국내에서도 꾸준히 진행되고 있는데, 특히 송이가 발생하는 지역의 입지환경 특성이나 기상인자가 송이 발생량과 어떠한 관련을 지니고 있는가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(강안석 등, 1989; 박현 등, 1995; 조덕현·이경준, 1995). 하지만, 해당 기상인자가 각 지역별로 송이 발생량 변동을 초래하는 구체적인 기작이나 원인은 제대로 파악되지 않은 상태이며, 송이 발생량의 변동양상에 대하여 지역별로 구분하여 자세히 연구된 바는 아직 없다. 즉, 전국적인 송이 발생동태는 파악되고 있지만 지역별로 다르게 나타나는 송이 발생동향에 대한 연구가 제대로 이루어지지 않은 상태이며, 이에 따라 송이산 환경관리에 대한 연구도 지역별 특성을 감안한 방법보다는 전국 단위의 개괄적인 형태가 주를 이루어 왔다. 따라서, 각 지역 송이생산 농가의 욕구충족은 물론 수준의 기존 연구결과로는 충분하지 못한 상태이며, 산림시책을 구체화 하고자 할 때 전국을 대상으로 한 천편일률적인 처리법 적용은 경제성을 고려한 실질적인 송이 생산성 향상에 큰 도움을 줄 수 없다.

전국의 송이 발생량을 감안할 때 1993년과 1994년은 대흉년이였다. 하지만, 지역에 따라 흉작의 정도에는 큰 차이가 있었으며, 특히 1994년의 지역별 송이소득을 살펴보면, 울진지역은 가뭄으로 인해 1993년에 이어 선두 자리를 놓친 반면 양양지역은 높은 송이 가격과 더불어 예년 수준을 상회하는 송이소득으로 1위 자리를 차지한 바 있다. 이는 지역별로 기상인자의 영향력이 각각 다르거나 각 지역의 기상 요건이 달랐음을 의미하며, 송이 발생량 동향도 발생지의 생태적 특성에 따라 다르게 나타날 수 있음을 시사한다. 따라서, 전국의 송이산지를 대상으로 보속적인 송이 생산을 위한 지침을 제시하기 위해서는 각 지역이 지닌 송이 발생패턴을 제대로 파악하고 권역별로 다른 형태의 처리를 할 수 있도록 해야 할 것이다.

이러한 배경 아래, 본 연구에서는 지역별 송이산 관리기법의 차등화를 위한 기반을 구축하고자 전국 주요 송이산지의 일자별 송이 수매량을 도표화하여 비교함으로써, 동일한 송이 발생패턴을 지닌 지역을 구분하였다. 물론, 각 지역의 기후 및 지질 특성과 접목한 고찰을 통해 생태적인 권역구분을 하는 것이 바람직하지만, 본 부분에서는 우선 발생동향

의 분석결과를 토대로 지역을 구분하여 본다.

2. 재료 및 방법

가. 송이 발생량 자료 수집

전국 각 지역의 송이 발생량에 대한 정확한 파악은 실질적으로 불가능하다. 그러나, 모든 송이는 원칙적으로 각 군 소재의 임협을 통해서만 수매, 공급되므로 임협의 송이 수매기록을 이용하여 송이 발생량을 추론할 수 있다. 이는 실제 송이 발생량에 비해 과소치를 나타낼 수 밖에 없으나 전체적인 발생동향을 파악하는데는 큰 문제가 없으며, 송이 발생량을 파악하는 최선의 방법이라 할 수 있다. 한편, 5년 이상 경과된 자료는 폐기하는 임협중앙회의 자료보존 내규로 인해 1989년 이전의 일자별 송이 수매기록은 본 연구의 자료수집 시기인 1995년 이전에 이미 파기되어 최근 6년간(1990년~1995년)의 각 송이공판 조합의 일자별 송이 수매자료만을 입수할 수 있었다.

1990년~1993년의 송이 수매기록은 각 수집 조합별로 일자별 송이 수매량 자료를 임협중앙회에서 팩스로 송부 받아 자료화하였고, 1994년 및 1995년의 송이 수매자료는 1994년 이후 임협중앙회에 데이터베이스로 보존되고 있는 각 지역의 일자별, 임협별 송이 수급기록을 인수하여 자료화하여 사용하였다.

나. 송이 발생동향에 따른 권역 구분

각 군 조합별 송이 수매량 자료는 일자별로 재구성하여 각 지역의 연도별 발생동향을 그래프로 나타내었다. 이 때, 이상 저온현상으로 인해 여름송이가 전체 송이 수매량의 50% 이상 차지한 1993년의 자료를 제외한 다른 연도는 여름송이가 전체 수매량의 5% 이내이었기에 가을송이만을 대상으로 송이 발생동향을 파악하였다. 즉, 1993년을 제외한 다른 해의 송이 발생시점(발생시점)은 가을송이의 출현시기를 의미하며, 총 발생량도 가을송이만을 의미한다.

각 군 조합별로 6개년간의 일자별 송이 수매량을 통해 주산지를 확인하고, 발생패턴의 유사성을 파악하기 위하여 각 연도별 『송이 수매 개시일』, 『송이 수매기간』, 『송이 수매기간 대비 송이 수매개시일에서 연중 최고량 수매일까지의 소요기간(%)』을 수량화하였다. 수량화한 자료는 SAS의 discriminant analysis를 통해 각 지역간의 pairwise squared distance 값을 산정하는 과정을 거쳐 그 값이 작은 곳을 서로 집단화하여 1 미만인 경우까지를 같은 지역으로 구분하였다(Ludwig과 Reynolds, 1988).

6년간의 자료를 세 가지로 수량화하였으므로 3개 변수에 대한 6반복의 discriminant analysis가 수행되었으며, 6년간의 송이 발생량이 비교적 많으며 당분간 지속적인 송이 생산이 예상되는 강원도 10개 시군(강릉, 고성, 삼척, 양구, 양양, 영월, 원주, 인제, 정선, 홍천), 경상남도 2개 군(거창, 함양), 경상북도 16개 시군(경주, 김천, 문경, 봉화, 상주, 안동, 영덕, 영양, 영주, 영천, 예천, 울진, 의성, 청도, 청송, 포항), 전라북도 3개 시군(남원, 무주, 장수) 및 충청북도 4개 시군(괴산, 단양, 보은, 제천) 등 총 35개 지역을 대상으로 권역 구분을 시도하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 우리나라의 송이 생산량 변동

우리나라에서 송이연구가 본격적으로 시작된 1980년 이후의 전국 송이 생산량은 1985년의 대풍년(1,313톤 생산)과 1993년의 대흉년(137톤 생산)과 같은 큰 폭의 풍·흉년을 반복하면서 1985년 이후 약간씩 감소하는 추세이다(Figure 2-1). 장기적인 측면에서의 송이 발생 감소는 솔잎혹파리 피해로 인한 송이 발생림의 활력 감소 및 소나무림 감소, 증가하는 하층식생과 과도한 유기물층 형성 등으로 인한 송이균환의 퇴화에 기인한 것으로 추측되지만, 각 지역별로 분할하여 보면 송이 발생량의 감소 경향이 매우 뚜렷한 곳과 그렇지 않고 오히려 증가하는 곳을 구분할 수 있다. 이는 소나무의 활력을 비롯한 소나무림 환경의 변화가 송이 생산량에 큰 영향을 미치는 요인이 되며, 지역별로 그 정도는 각각 다르

게 나타남을 시사한다(박현 등, 1995). 특히, 송이 생산량이 일률적으로 감소하는 것이 아니라, 지역에 따라서는 솔잎혹파리 피해지로부터 회복됨에 따라 오히려 송이 생산량이 증가하는 추세를 나타내는 것을 감안할 때 송이 주산지가 변화하게 될 것으로 추측된다.

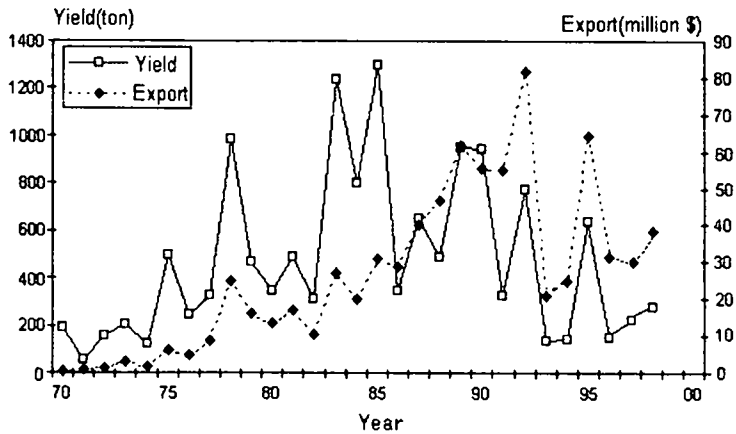


Figure 2-1. Changes in production and export of pine-mushroom in Korea since 1970.

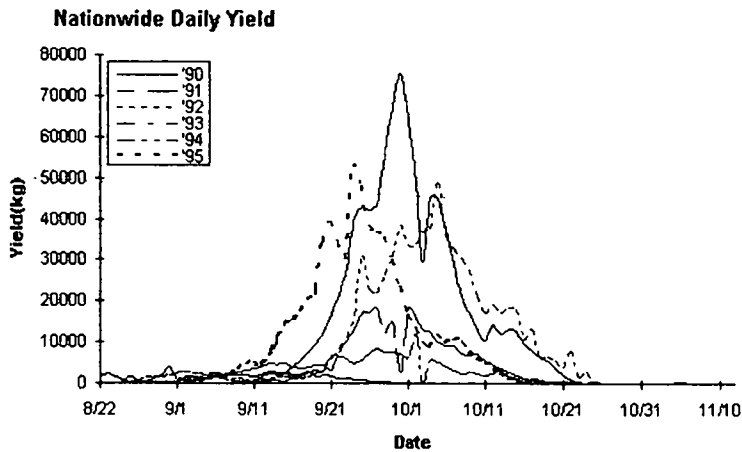


Figure 2-2. Daily yield of pine-mushroom in Korea from 1990 to 1995.

아울러, 송이 생산량은 일정한 패턴을 나타내기보다는 한해에 풍년을 나타내면 그 다음 해에는 흉작을 내는 “해거리현상”이 나타나는데, 강수량이나 기온 등 기후인자의 변이가 이에 대해 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(조덕현과 이경준, 1995). 최근 6년간의

우리나라 송이 발생량을 일자별로 살펴보면, 각 연도별로 송이수매가 시작된 일자나 송이 수매가 시작된 시점에서 최대 수매량을 나타낸 시점까지의 소요기간이 다른 양상을 나타내어 일정하지 않았던 기후인자의 영향을 반영하고 있었다(Figure 2-2). 이상 저온현상이 나타났던 1993년은 예년에 비해 일찍 송이수매가 시작되어 짧은 기간 내에 마무리 된 반면, 늦더위와 가뭄이 심했던 1994년에는 송이 수매가 상대적으로 늦게 시작되어 11월 초까지 두 달 이상 송이수매가 지속되는 현상을 나타내었다.

Table 2-3. Annual yield ranking of pine-mushroom for 1990~1995 years by county.

rank	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'90~'95
1	Ulchin (160.1)	Ulchin (54.0)	Ulchin (140.4)	Pongwha (26.5)	Yangyang (87.1)	Pongwha (87.1)	Ulchin
2	Yeongdeok (107.0)	Yangyang (34.9)	Pongwha (73.1)	Ulchin (7.3)	Samcheok (14.7)	Ulchin (55.0)	Pongwha
3	Pongwha (106.3)	Yeongdeok (25.0)	Samcheok (54.6)	Cheongdo (5.6)	Hongcheon (14.6)	Cheongsong (44.0)	Yangyang
4	Yangyang (77.2)	Pohang (22.8)	Yangyang (53.2)	Munbyeong (5.1)	Pongwha (11.3)	Samcheok (40.1)	Yeongdeok
5	Samcheok (52.7)	Samcheok (20.1)	Pohang (43.1)	Hamyang (4.2)	Inje (11.3)	Yeongdeok (39.5)	Samcheok
6	Inje (36.8)	Pongwha (17.4)	Munbyeong (39.6)	Samcheok (3.4)	Ulchin (8.7)	Andong (38.6)	Pohang
7	Pohang (34.3)	Koseong (14.7)	Yeongdeok (35.8)	Yangyang (3.2)	Checheon (7.5)	Munbyeong (37.8)	Munbyeong
8	Euseong (32.0)	Cheongdo (13.9)	Yeongju (27.2)	Keochang (2.6)	Koseong (7.4)	Yangyang (35.3)	Andong
9	Munbyeong (28.3)	Kangneung (8.9)	Andong (25.0)	Pohang (2.2)	Yanggu (6.1)	Kangneung (29.7)	Cheongdo
10	Yeongju (28.2)	Yeongcheon (7.4)	Cheongdo (22.7)	Euseong (2.1)	Wongju (5.6)	Cheongdo (27.4)	Koseong

* The values in the parentheses indicate the yield of pine-mushroom during each year in the unit of ton.

나. 송이 수매개시일, 수매기간, 수매 최고치 도달일

최근 6년간의 송이 생산량을 살펴보면, 경상북도가 전국 생산량의 약 65%, 강원도가 약 27%를 차지하여 90% 이상이 이 지역에 국한되는 모습을 띄었다. 구체적인 지역별 최근 6년간의 생산량은 울진이 14%로 가장 많고, 봉화(11%), 양양(8%), 영덕(7%), 삼척(6%), 포항(4%), 문경(4%)의 순으로 나타났는데, 매년 그 순위는 해당연도의 온도나 강수량에 따라 크게 변화하는 것을 알 수 있다(Table 2-3). 평년기온과 강수량을 나타낸 '90, '91, '92의 경우는 평균 순위와 비슷한 양상을 나타내었지만, 이상 저온현상이 두드러진 '93의 경우에는 남쪽(경상북도) 지역에서 상대적인 풍작을 나타낸 반면, 강수량이 큰 영향을 미친 '94의 경우에는 북쪽(강원도) 지역이 선두 자리를 차지하는 현상이 나타났다. 특히, '94에는 울진이 5위권 밖으로 밀려난 반면, 홍천과 인제가 5위권 이내로 진입하는 모습을 볼 수 있었다. 즉, 울진, 영덕 지방과 양양, 삼척, 인제, 홍천 지방은 송이 발생패턴이 다름을 짐작할 수 있다.

각 연도별 『송이 수매개시일』을 살펴보면, 원주와 정선을 제외한 강원도지역이 일찍 송이 수매를 시작하고 경주나 보은 등 남부 내륙지방이 늦게 시작하여, 지온이 자실체 형성 자극온도에 도달하는 순서에 의존하여 위도의 영향을 크게 받음을 알 수 있었다. 반면, 전국적인 이상 저온현상이 나타난 '93에는 위도보다는 입지환경의 영향을 많이 받는 모습을 나타내었는데, 이는 내륙 산간의 여름철 기온 강하는 비교적 심하지 않았던 반면, 동해안 인접 지역의 해수욕장이 여름철에 성황을 이루지 못했던 이유를 설명할 수 있을 정도로 일찍 (8월 초순) 기온 강하현상이 일어났음을 깨닫게 해 준다.

전국 평균 송이 수매기간은 약 30일에 달하며 주산지는 대체로 발생기간이 길고 소량 생산지는 상대적으로 수매기간도 짧았다. 울진과 양양은 항상 최장기간을 나타내었고 봉화, 삼척 등도 주로 장기간에 걸쳐 송이발생을 나타낸 반면, 보은과 경주 등은 주로 20일 이내의 짧은 발생기간을 나타내고 있다. 한편, 이상저온의 해인 '93에는 지역별로 송이 수매기간이 예년과 달리 매우 길거나 짧아 지역별 편차가 크게 나타났다. 또한, 장기간에 걸쳐 송이발생이 있었지만 송이 발생량은 예년 평균에 못 미치는 작은 양이어서 富永(1975)

가 시도한 저온처리를 통한 송이증수는 큰 효과를 거둘 수 없을 것으로 생각되었다. 아울러, 가뭄이 심하게 나타난 '94에는 전체적인 송이 발생기간이 예년에 비해 일주일 정도 짧게 나타나 강수량이 송이발생에 미치는 영향이 지극히 큼을 명확히 나타내었다.

일반적인 송이 수매기간중의 송이 수매량을 시간에 따라 나타내면 그 발생패턴은 '종형의 정규분포'에 가까운 형태이며, 특히 주산지의 경우에는 이러한 현상이 뚜렷하다. 그러나 소량의 송이가 발생하는 지역은 상반기나 하반기에 치우쳐서 송이 발생량의 최대점이 나타나는데, 이상 저온이 심했던 '93에는 전국의 송이 수매량이 초반에 최대점을 나타내고 그후 발생량이 점차 감소하는 특이한 현상을 나타내었고, 가뭄과 더불어 늦게까지 송이발생이 지속되었던 '94에는 '93과 비슷한 형태이지만 명확한 정점(頂点)을 나타내지 않았다 (Figure 2-2). 즉, 『송이 수매기간 대비 수매 최고치 도달일』은 해당 연도의 기상인자에 대한 해당 지역의 반응 특이성을 반영하여 송이산 관리를 위한 지역구분의 실마리를 제공할 수 있을 것으로 추측된다.



Figure 2-3. Grouping of major pine-mushroom production area by analyzing production pattern of pine-mushroom in Korea. The same capital letters indicate that each area was grouped into the same group by the production pattern.

다. 송이 발생패턴에 따른 권역 구분

송이 수매개시일 등 발생동향 자료에 의해 송이 주산지과 비주산지의 구분이 어느 정도 가능하였으며, 이들 자료를 통해 전국 송이 주산지를 10개 권역으로 세분할 수 있었다(Figure 2-3). Pairwise squared distance가 1 미만인 지역만을 같은 권역으로 구분하였으므로 송이 수매시작일자, 수매기간, 수매량 변화동향이 비슷한 양상을 나타내는 지역이 분류될 수 있었다.

Group D와 F로 각각 분류된 의성, 안동, 예천, 상주와 홍천, 원주, 영월, 영양, 단양은 분포상으로도 각각 모여 있어서, 지리적인 영향을 비슷하게 받는 것으로 판단할 수 있었다. 하지만, 영동지방에 위치하고 있는 양양과 삼척, 고성도 각각 다른 group으로 구분되었으며, 영서지방에서 서로 인접하고 있는 홍천과 인제의 송이 발생동향도 다르게 나타났다. 아울러, 경상북도의 최대 산지인 울진, 봉화, 영덕도 각각 다른 group에 속하여 지리적인 분포가 송이 발생동향에 가장 큰 영향을 미치는 것은 아님을 알 수 있었다.

송이 수매 개시일은 대체로 위도의 영향을 많이 받는 것으로 판단할 수 있었으며, 각 연도별 『수매기간』의 장단(長短)은 각 지역의 입지환경 특성이 주요 인자가 되고, 『수매기간 대비 연중 최고 수매일까지의 소요기간』은 해당 연도의 기상인자에 대한 해당 지역의 반응 특이성을 반영하였다. 따라서, 다른 영향인자를 배제하고 송이 발생패턴만을 고려할 때, 주산지인 양양, 봉화, 울진은 각각 다른 권역으로 구분되어 행정구역에 따른 송이산 관리방법 지정은 피해야 할 것으로 판단되었다. 물론, 실제 관리법의 구체적인 적용을 위해서는 각 지역의 지질학적 특성이나 기상인자에 대한 반응도를 고려하여야 할 것이다.

특히, 산악 기상은 일반 기후환경과 다를 수 있음을 감안하여(정상립과 임근옥, 1992), 전체적인 기후현상(기상청, 1991)과 더불어 심도 있는 고찰이 요구된다. 이를 위하여 다음 절에서는 송이 생산성에 직접적인 영향을 미치는 가변인자의 영향력을 평가하고자 송이 생산을 제한하는 기후인자를 파악해 보았다.

第 3 節 송이 生産 制限 氣候因子 把握

1. 서 론

송이의 주 소비지인 일본에서는 송이에 대한 연구 역사가 우리나라에 비하여 훨씬 깊으며, 기상요인이 송이 발생에 미치는 영향에 대한 연구(富永, 1967) 등 송이의 발생환경에 영향하는 요인에 대한 연구(川上, 1990)가 꾸준히 이루어져 왔다. 특히, 1970년대 말에는 송이의 생리·생태적 특성을 정리한 교과서적인 출판물이 발간되고 1990년대 초에는 다시 보정판이 출간되었다(小川, 1991). 하지만, 깊은 연구역사와 부단한 노력에도 불구하고 송이 인공재배는 아직도 불가능한 것으로 인식되고 있으며, 송이의 생산성을 유지, 증진하기 위한 수준의 연구가 꾸준히 진행되고 있는 실정이다.

우리나라에서도 김영배 등(1975)의 송이 발생지의 분포나 발생환경에 대한 보고 이후 송이의 생산성 향상을 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔는데, 특히, 기상인자의 중요성에 대한 인식에 따라 기후특성과 송이 생산의 관련성을 분석한 예가 많으며(강안석 등, 1989; 박현 등, 1995; 조덕현과 이경준, 1995) 기온과 강수량을 가장 중요한 요인으로 지적한 바 있다. 이에 따라, 생산성 증진을 위하여 온도와 습도 및 기타 환경을 조절하는 각종 시업이 일본과 우리나라에서 시도된 바 있는데(富永, 1975; 박현 등, 1995; 1997), 이들의 시도를 통하여 온·습도나 환경조절의 효과는 분명히 인지할 수 있지만 명확한 시업기준이나 시기를 결정하기 어려웠다.

한편, 각종 통계기법 및 컴퓨터 software와 hardware의 발전은 엄청난 양의 자료를 짧은 시간에 정리하고 분석하여 무질서하게 보이는 자연현상 속에 숨겨진 일정한 질서를 찾아 준다. 이러한 기법의 적용은 과거의 많은 연구자들이 정확히 찾을 수 없었던 구체적인 규칙을 발견할 수 있도록 도와주는 예가 많으며, 특히 자료의 양이 너무 많아 분석할 엄두조차 갖지 못했던 자료에 대하여 접근할 수 있도록 허용하기도 한다. 송이와 기상인자의 연관성에 대한 기존 연구(강안석 등, 1989; 박현 등, 1995; 조덕현과 이경준, 1995)도 자료의 방대성으로 인하여 월 평균 기후자료와 연간 송이 생산량을 자료로 만들어 상관성을

분석하는 수준에서 연구가 진행되었다. 이들은 송이와 관련되는 기상인자를 개괄적으로 파악할 수 있었지만, 정확한 제한인자를 제시하고 극복할 수 있는 시기에 대한 언급은 구체화하지 못하였다. 그런데, 기상인자 등 환경인자의 중요성을 개괄적으로 파악하는 것은 매년 송이의 생산량이 변화하는 이유를 평가하는 자료로 활용될 수 있을 뿐, 적극적으로 송이의 생산성을 증진하거나 안정화시키는데는 큰 도움을 주지 못한다. 따라서, 송이의 생산성을 실질적으로 조절하기 위해서는 보다 구체적인 연구가 요구된다. 정확히 어느 시기에 어떤 인자가 송이의 발생에 실질적인 영향을 미치는가에 대한 판단과, 이를 극복하기 위한 접근이 가능한가에 대한 연구가 필요한 것이다.

송이는 각 생산지가 지닌 환경요인에 따라 다른 발생패턴을 나타내므로 송이 생산량에 영향을 미치는 기후인자의 종류와 정도는 지역에 따라 다르게 나타나는 것이 당연하다(박현 등, 1996). 이에 따라, 본 연구에서는 송이의 생산성을 제한하는 인자를 일자별 자료를 분석하여 파악하고 이를 토대로 송이생산의 불안정성을 극복하는 방법을 모색하고자 수행하였다. 물론, 실연연구를 통한 극복효과의 검토가 진행되어야 타당성이 입증될 수 있겠지만, 본 절에서는 일단 각 지역별로 송이 생산성에 가장 큰 영향을 미치는 인자가 어떤 것인가에 대하여 파악한 내용을 소개한다.

2. 재료 및 방법

가. 송이 생산량 및 기후자료 수집

송이의 생산량을 정확히 파악하는 것은 실질적으로 불가능하지만, 모든 송이는 원칙적으로 각 군 소재의 임협을 통해서만 수매, 공급되므로 임협의 송이 수매기록을 이용하여 송이 생산량을 추론할 수 있다. 이에 따라, 본 연구의 수행을 위하여 각 군별로 수집된 1990년부터 1995년까지의 6개년간 기록된 일자별 송이 수매기록을 이용하였으며, 이상 저온현상으로 인하여 여름송이가 전체 송이 수매량의 50% 이상 차지한 1993년의 자료를 제외한 다른 연도는 여름송이가 전체 수매량의 5% 이내이었기에 가을송이만을 송이 수매

량 자료로 활용하였다.

기후자료는 기상청 기후자료과의 기상정보시스템에 접수된 각 측후소 및 기상대의 자료를 활용하였는데, 송이 수매기록이 전산자료로서 가치가 있는 곳만을 대상으로 선정하였고 기상대나 측후소가 없는 지역(군)은 인근의 기후자료를 활용하였다. 분석대상으로 선정된 지역은 울진, 봉화, 양양 등 27개 지역이었으며, 최고기온, 최저기온, 평균기온, 강수량, 상대습도, 증발량, 일조량, 지표온도, 지중 5cm 온도, 지중 10cm 온도 등 10가지 기후자료를 수집하여 분석에 이용하였다.

송이 자실체가 형성되는 부분은 1년 전 혹은 2년 전에 형성된 군사층이기에 1~2년 전의 기후인자가 미치는 영향도 매우 큰 것으로 여겨진다. 하지만, 현재까지의 컴퓨터 용량이나 연구자가 지니는 한계로 인하여 당년의 일자별 기후자료와의 연결을 통하여 송이 발생 제한인자를 파악하였다. 또한, 송이는 연중 생산되지 않으며 본 연구에서는 가을송이만을 대상으로 분석하였으므로 9월과 10월의 송이 생산량을 종속변수로 사용하였다. 아울러, 일부 지역은 특정한 해에는 전혀 수매되지 않는 경우도 있었으며, 이 경우에는 당해년도의 자료를 분석에서 제외시켰다.

나. 송이 발생량과 기후요인의 관련성 분석

매일의 송이 생산량은 당일 기후인자의 영향을 많이 받는다고 생각할 수 있지만, 송이가 땅 속에서 원기(原基)를 형성하고 자실체로 출현되어 수확하기까지는 여러날이 걸리므로 수확하기 며칠전의 기상인자를 고려하는 것이 바람직하다. 송이는 땅 속에서 원기가 형성되어 자실체로 형성되어 지표에 노출되고 갓이 퍼질 때까지 약 보름의 기간이 걸린다고 한다(小川, 1991). 따라서, 각 기후자료는 시차를 두고 송이 생산량에 영향을 미친다고 가정하여 기후자료의 lag 자료를 생성하여 독립변수로 삼았다.

각 자료의 lag 자료는 시차 30일까지 형성하였으며 각 자료 가운데 음수가 있으므로 절대치의 영향도를 파악하기 위하여 원 자료 및 lag 자료를 제곱한 자료를 생성하였다. 아울러, 하루 하루의 기후인자만이 아니라 누적된 기후영향이 있을 경우를 감안하여 일정한 날

자를 기준으로 일주일간 누적된 기후자료를 평균하여 새로운 자료를 생성하였다. 또한 이러한 평균자료(누적 기후자료)도 당일별 lag 자료와 마찬가지로 시차 30일까지 구하고 각 자료의 제곱치 자료도 만들었다.

이러한 절차를 거쳐 생성된 독립변수는 주성분 분석을 이용할 경우 약 200개의 독립변수가 생성되고 누적평균치와 누적평균치의 lag 자료를 사용할 경우에는 약 600개에 달하는 독립변수가 만들어진다. 따라서, 이들 독립변수를 모두 사용하여 회귀분석을 하는 것은 무의미하므로 stepwise 방법을 이용하여 변수를 선택하였다. 아울러, 각 기후자료, 각 기후 lag자료, 누적평균치 및 각 자료의 제곱값을 이용한 회귀식을 만들어 송이 생산량에 가장 큰 영향을 주는 인자를 파악하고, stepwise를 이용한 각 독립변수의 조합을 통하여 결정계수 0.80 이상의 회귀모형을 구축하였다. 이 때 송이 생산량 자료는 시계열 자료이므로 오차항에 관한 분석이 필요하므로 자기회귀분석법(autoregression)을 사용하였는데, 자료분석은 SAS package를 활용하였다(SAS, 1985).

3. 결과 및 고찰

가. 주성분 도출을 이용한 분석

주성분 분석을 이용할 때 중요한 문제의 하나는 주성분의 수를 정하는 것이며, 일반적으로 전체 변이의 공헌정도, Kaiser의 규칙, Scree diagram 등을 검증하여 유효 주성분의 수를 결정한다. 하지만, 기후자료와 수매량을 대비시킨 본 자료의 경우는 일반적으로 사용되는 규칙에 의하여 변수의 수를 정하기가 어려웠다. 이에 따라, 충분한 독립변수의 수를 유지하기 위하여 각각 제 99 주성분까지를 사용하고 이들의 제곱도 사용하여 stepwise를 통하여 변수를 선택하였다.

강릉지역에서는, 26개의 변수가 선택되었지만 결정계수(r^2)는 0.54에 머물렀고, 가장 영향이 큰 변수인 제 1 주성분의 제곱은 결정계수 0.12이었다. 또한, 의성지역에서는 19개의 변수가 선택되었지만, 결정계수는 0.41로서 제 1 주성분의 제곱이 0.14에 머물렀다. 즉, 이

결과에서 볼 수 있듯이 제 1 주성분의 제곱이 가장 큰 결정계수를 보이지만 이들의 설명력은 그리 높지 않으며, 각 주성분은 여러 변수의 조합으로 이루어져 있으므로 이들에 대한 해석은 매우 어렵다. 특히, 원 자료와 각 lag 변수와의 주성분에 관한 해석도 쉽지 않은데 각 주성분의 제곱을 설명하기는 매우 어렵다. 따라서, 이 방법을 통한 주요 인자의 파악은 제한인자의 파악을 위한 좋은 분석법이 아닌 것으로 결론지을 수 있었다.

나. 자기회귀 모형을 이용한 분석

각 지역별로 기후자료와 각 기후자료의 lag 자료, 또는 일주일간의 평균자료를 사용하여 송이 생산과의 관련성을 분석하여 비교하였다. 이들의 비교결과, 원자료를 사용할 때에 비하여 일주일간의 평균을 사용하였을 때, 독립변수에 의한 설명력이 증가함을 알 수 있었다. 이는 평균자료를 사용하였을 경우 통계학적으로 송이 생산량에 영향을 주는 요인의 수가 증가한 탓으로 여겨진다. 또한, 평균자료를 사용하였을 경우 오차에 의한 설명력이 원자료를 사용할 때에 비하여 큰 차이는 아니지만 상대적으로 줄어든 것도 평균자료 모형의 설명력이 크게 하는데 영향을 미친 것으로 생각된다.

한편, 일부지역(영주, 영천, 포항)은 독립변수에 의한 자료의 설명력에 비하여 오차에 의한 설명이 매우 큰 경우가 있었다. 이 경우에는 기후요인이 생산량에 영향을 미친다고 볼 수 없다. 즉, 이 지역은 기후보다는 입지환경이나 다른 요인이 송이 생산량에 더 큰 영향을 미치는 것으로 여겨진다. 따라서 이러한 지역을 제외한 지역을 대상으로 평균을 이용한 자기회귀식 모형을 설정하였으며, 자기회귀분석에서 독립변수에 의한 설명이 0.8 내외인 21개 지역만을 대상으로 각 모형의 형태와 각 모형을 통하여 얻어진 가장 영향력이 큰 기상인자를 소개하면 다음과 같다.

강릉지역 : 강릉지역은 당일 및 lag 자료를 이용한 모형(이하 일반모형)에 비하여 일주일간의 기후인자 누적치를 이용한 모형(이하 평균모형)을 사용한 경우가 설명력이 높았다 ($r^2=0.90$). 평균모형을 사용할 경우, 기상인자와 관련한 독립변수는 28개가 포함되었으며,

송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 변수는 8일전 지중 10cm의 온도로서 $r^2=0.29$ 이었다.

괴산지역 : 괴산지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.91$), 61개의 기상인자와 관련한 독립변수가 포함되었다. 이 지역에서 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 19일전 강수량의 제곱치로서 $r^2=0.19$ 이었다.

김천지역 : 김천지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.90$), 모형은 기상인자와 관련한 43개의 독립변수를 포함하였다. 이 지역의 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 7일전 평균기온의 제곱으로 추론되었으며, 이 변수의 $r^2=0.38$ 이었다.

남원지역 : 남원지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.84$), 이 모형에는 기상인자와 관련한 21개의 독립변수가 포함되었다. 그 중 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 24일전 강수량의 제곱치로서 $r^2=0.18$ 이었다.

무주지역 : 무주지역은 원자료를 이용한 것과 평균자료를 이용한 경우의 설명력이 거의 비슷하였다($r^2=0.85$). 기상인자와 관련한 20개의 독립변수로 구성된 평균모형을 사용한 경우를 살펴보면, 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 변수는 27일전 최저기온의 제곱치로서 $r^2=0.24$ 이었다.

문경지역 : 문경지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.90$), 이 지역은 기상인자와 관련한 19개의 독립변수를 지닌 모형을 산출하였다. 그 중 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 26일전 습도의 제곱치로서 $r^2=0.20$ 이었다.

보은지역 : 보은지역은 원자료나 평균을 사용한 모형의 설명력이 같았다($r^2=0.84$). 평균모형을 사용한 경우에 사용된 기상인자와 관련한 독립변수는 17개로서 일반모형에 비하여 적었는데, 21일전 강수량의 제곱치가 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 변수로서 $r^2=0.36$ 이었다.

봉화지역 : 봉화지역은 원자료를 이용한 것에 비하여 평균자료를 이용한 경우의 설명력이 다소 높았다($r^2=0.89$). 기상인자와 관련한 32개의 독립변수로 구성된 평균모형을 사용할 경우, 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 변수는 18일전의 일조량이었으며, $r^2=0.20$ 이었다.

삼척지역 : 삼척지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.90$), 평균모형은 기상인자와 관련한 38개의 독립변수를 포함하고 있었다. 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 9일전 평균기온의 제곱치로 파악되었으며 $r^2=0.38$ 이었다.

안동지역 : 안동지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.85$), 기상인자와 관련한 21개의 독립변수를 포함하고 있었다. 가장 큰 영향을 주는 것은 7일전 평균기온의 제곱치로서 $r^2=0.21$ 이었다.

양양지역 : 양양지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.87$), 기상인자와 관련한 41개의 독립변수가 포함되었다. 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 인자는 15일전 강수량의 제곱치로서 $r^2=0.23$ 이었다.

영덕지역 : 영덕지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.89$), 기상인자와 관련한 22개의 독립변수를 포함한 모형이었다. 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 17일전 일조량으로서 $r^2=0.14$ 이었다.

영월지역 : 영월지역은 원자료를 이용한 모형과 평균을 이용한 모형의 설명력이 비슷하였지만($r^2=0.93$), 평균모형이 요구하는 기상인자와 관련한 독립변수의 수는 단 6개로서 상대적으로 그 수가 적었다. 평균모형에서는 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 22일전의 강수량으로 나타났으며 $r^2=0.59$ 로 매우 높았다.

울진지역 : 울진지역은 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.94$), 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 20일전의 강수량으로 파악되었지만 $r^2=0.17$ 로 비교적 낮았다. 이 모형은 기상인자와 관련한 65개의 독립변수를 포함하고 있다.

의성지역 : 의성지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.95$), 기상인자와 관련한 52개의 독립변수를 포함하였다. 이 모형에서 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 변수는 21일전 강수량의 제곱치로서 $r^2=0.18$ 이었다.

인제지역 : 인제지역도 평균모형을 사용한 경우가 일반모형에 비하여 설명력이 높았는데($r^2=0.94$), 이 모형은 43개의 기상인자와 관련한 독립변수를 포함한다. 이 중 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 변수는 30일전 최저기온으로서 $r^2=0.23$ 이었다.

정선지역 : 정선지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.94$), 이 모형은 기상인자와 관련된 52개의 독립변수를 포함한다. 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 인자는 10일전 강수량의 제공치로서 $r^2=0.35$ 이었다.

제천지역 : 제천지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.77$), 이 모형은 기상인자와 관련된 22개의 독립변수를 포함한다. 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 변수는 19일전 강수량으로서 $r^2=0.17$ 이었다.

청도지역 : 청도지역은 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 더 높았지만($r^2=0.96$), 기상인자와 관련된 독립변수의 수가 본 연구에서 분석된 20개 지역 가운데 가장 많은 70개를 포함하고 있다. 두 모형 모두 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 인자는 7일전 평균기온의 제공치로 분석되었다.

함양지역 : 함양지역도 평균모형을 사용한 경우가 설명력이 높았으며($r^2=0.96$), 기상인자와 관련된 43개의 독립변수를 포함하였다. 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 30일전 최저기온의 제공치로서 $r^2=0.27$ 이었다.

홍천지역 : 홍천지역은 일반모형을 사용한 경우가 설명력이 다소 높았는데($r^2=0.87$), 모형에 포함되는 기상인자와 관련된 독립변수도 8개로 적었다. 또한, 두 모형 모두 송이 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 6일전의 평균기온으로 나타났다.

다. 종합고찰

일자별 기후인자와 송이 생산량의 회귀분석 결과, 박현 등(1995)의 보고에서 지적된 것처럼 송이가 주로 생산되는 시기인 9월이나 8월의 강수량이나 기온과 관련되는 기후인자가 송이 생산량에 미치는 영향이 큼을 알 수 있었다. 단, 송이가 땅 위에 보이는 그 순간의 기후인자가 송이 생산량을 결정하는 것이 아니라 일주일 내지 한 달 이전부터의 기후인자가 더 큰 영향을 미친다. 즉, 송이의 원기(原基)가 땅 속에 만들어져서 땅 위로 올라와 자실체를 형성하는 순간까지 누적된 기후인자가 송이의 생산량을 결정한다는 것이다.

이는 송이가 발생하는 시기에 앞서 각종 기상인자와 관련되는 여건을 조절함으로써 송

이의 생산량을 조절할 수 있음을 시사한다. 송이가 생산되기 보름 이상 이전에 관수를 통한 강수량의 영향력을 제어하거나 비닐 피복 등을 통하여 온도조절을 하면 송이의 생산량은 변화하게 될 수 있다는 것이다. 하지만, 본 분석결과는 단기적인 관수나 비닐피복을 통하여 송이의 생산성을 급격히 향상시키기는 어려우며, 한가지 처리가 몇 일간의 송이 생산량에 영향을 준다는 것을 지적한다. 단순히 일정한 시기의 기후인자가 영향을 미치는 것이 아니라 그 인자의 누적치도 송이 생산량에 영향을 주기 때문이다. 그러므로, 각종 기상인자 조절처리에 의하여 송이 발생환경이 얼마나 변화하였으며, 이 영향이 언제까지 지속되는가에 대하여 조사, 분석하면서 각 처리를 수행하는 것이 바람직하다.

한편, 각 인자가 송이 발생량에 영향력을 행사하는 시점은 지역에 따라 다르다. 또한, 송이의 생산 개시일이 지역에 따라 다른 점도 고려하여 처리를 행하여야 한다. 원주와 양양의 예처럼 같은 요인(15일 전의 강수량)이 송이 생산량에 가장 큰 영향을 미친다고 할지라도 실질적인 관수 처리일은 양양에서 훨씬 빠르게 진행되어야 한다. 왜냐하면, 양양은 원주에 비하여 고위도에 위치하여 송이 발생이 먼저 시작되며, 특히, 내륙에 위치한 원주는 비슷한 위도에 위치한 삼척에 비하여도 송이 발생이 대체로 늦게 시작하기 때문이다. 이는 원주를 비롯한 내륙지방의 지중온도(地中溫度)가 동해안 지방에 비하여 늦게 낮아지는데(기상청, 1991), 송이는 땅 속의 온도가 송이의 원기(原基)를 형성시키는 온도(19℃ 내외)에 이르는 순서에 따라 발생되기 때문이다(박현 등, 1996).

이러한 여건을 종합적으로 고려하면, 송이가 일찍 발생하는 지역은 8월 초순부터 송이산을 관리하기 시작하여야 하며, 송이가 늦게 발생하는 곳은 8월 하순부터 송이산에 적극적인 투자를 해도 무방한 것으로 여겨진다. 하지만, 대체로 그 차이는 길어도 보름을 넘지 않으므로 늦어도 첫 송이가 발생하기 보름 전부터의 환경조건 조절이 중요함을 기억하고 미리 투자하는 것이 바람직하다. 또한, 하나의 처리가 일정한 순간의 송이 발생량에만 영향을 미치는 것이 아니라 보름이상의 장기간에 걸쳐 송이 발생량에 영향을 주므로 각 처리의 파급효과를 고려하면서 각 처리를 실행하여야 한다.

第 4 節 氣象因子를 考慮한 송이 發生豫察式의 導出 및 檢定

1. 서론

본 연구과제의 목표는 송이 발생예찰에 의한 송이산 관리를 통하여 송이 생산성을 증진하는 것이다. 이에 따라, 송이산의 입지환경(立地環境)을 살펴 보았으며, 각 지역간의 송이 발생패턴의 차이에 대하여 알아보고, 각 지역별 주요 영향인자로서 작용하는 기상인자의 영향력에 대하여 파악해 보았다. 이처럼 송이 생산성에 관여하는 각종 기상인자를 파악한 목적은 실질적으로 생산성을 증진하기 위한 기법을 개발하기 위한 것인데, 이러한 목적을 달성하기 위해서는 각종 기상인자가 영향을 미치는 시기에 대한 정확한 파악이 요구된다.

그러나, 기상인자의 연도별 변이나 최근의 이상기후 현상은 단순한 모형을 통한 예측을 허락하지 않고 큰 오차를 낳는 경우가 많다. 특히, 송이 생산량은 온도와 습도조건외의 변이에 매우 민감한 반응을 나타내는데, 이는 송이균과 공생기주인 소나무가 모두 기상조건에 민감한 생물이기 때문이다. 따라서, 단편적인 예찰식을 통한 생산량 예측은 오류를 범하기 쉬우므로 새로운 자료를 통한 검증이 요구되며, 정확한 검증과정을 거친 예찰식만이 실제로 활용가치가 있다고 할 수 있다. 이에 따라 본 절에서는 실질적인 기상요인의 영향력을 검증하고자, 1990~1995년(6년간)의 송이 생산량과 기후자료를 이용하여 1996년도 송이 생산량을 예측하고, 실제 1996년도에 생산된 송이 생산량과 비교, 분석을 통하여 예측모형의 실질적인 활용가능성을 검토하였다.

『제 3 절』에서 제시하였듯이, 원래 본 연구팀이 시도한 통계모형은 특정일자외의 송이 생산량 자료를 종속변수로(수매량이 없으면 "0"을 사용)하고 이에 해당되는 기후자료를 독립변수로한 자기회귀 모형이었다. 그러나 이 모형은 '96 자료를 이용한 검정결과, 예측력이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서, 이러한 단점을 보완하기 위하여 송이 생산량이 전혀 없는 시기의 자료는 배제시키고 "송이 생산이 있다"는 조건을 충족하는 자료만을 이용한 『조건부 자기회귀 모형』을 사용하여 예측 모형의 정확도를 높인 내용을 소개한다.

2. 방법 - 조건부 자기회귀 모형

일반적으로 시계열분석에 사용되는 모형은 크게 두가지로 나누어 진다. 첫째는 자기회귀 모형(autoregressive model)을 이용하는 방법이고, 둘째는 Box-Jenkins가 제안한 자기회귀 누적이동평균(autoregressive integrated moving average : ARIMA) 모형이다. 그러나, ARIMA 모형에 의한 방법은 송이 생산량 시계열 자료가 특정 월에만 나타나므로 사용하기 어려웠다. 아울러, 본 연구의 목적인 생산량과 기후인자와의 관계식을 유도하기 위하여 사용할 수 있는 전이함수 모형(ARIMA 모형에서 독립변수에 해당되는 자료와 연결시켜 분석하는 방법)은 독립변수의 수가 너무 많기 때문에 사용이 어려웠다. 따라서, 송이 자료를 분석하는 방법은 자기회귀 모형이 가장 적합한 방법이며, 3절에서도 이 방법(자기회귀 모형)에 의하여 송이발생을 제한하는 기상인자를 밝히고자 시도했다. 하지만, 송이 생산량이 있는 특정 시기만을 고려하여 분석을 하여야만 보다 정확한 결과를 도출할 수 있을 것으로 여겨졌으며, 이에 따라 본 절에서는 조건부 자기회귀 모형을 사용하여 송이 생산량을 예측하고자 시도하였다.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \dots + \alpha_1 X_{1t}^2 + \alpha_2 X_{2t}^2 + \dots + \epsilon_t \quad \text{<식 2.1>}$$

3절에서 설명하였듯이 일반모형에 비하여 평균모형의 예측력이 높았으므로, 7일간의 평균기후자료를 이용한 자기회귀 모형의 기본틀은 <식 2.1>과 같이 표현될 수 있다. Y_t 는 송이 생산량이고 X_{jt} 는 7일간의 평균 기후자료와 이에 따른 lag 자료이며, X_{jt}^2 은 각 평균 기후자료와 lag 자료의 제곱을 의미한다. 이 때, ϵ_t 는 오차항으로 자기회귀 모형(AR(p) 모형)을 따른다.

$$\begin{cases} Y_t | (Z_t=1) = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \dots + \alpha_1 X_{1t}^2 + \alpha_2 X_{2t}^2 + \dots + \epsilon_t \\ Y_t | (Z_t=0) = 0 \end{cases} \quad \text{<식 2.2>}$$

한편, 기본적인 자기회귀 모형에 의한 예측력을 증진하기 위하여 본 절에서는 조건부 시계열 모형을 도입하였는데, 조건부 시계열 모형은 <식 2.2>와 같이 표현된다. 이 때, 오

차항은 $\varepsilon_t \sim AR(p)$ 이고, $Z_t = \begin{pmatrix} 1 & , & \text{생산됨} \\ 0 & , & \text{생산안됨} \end{pmatrix}$ 이다. 앞의 자귀회귀 모형과 마찬가지로 Y_t 는 송이 생산량을 나타내고, X_{1t} 는 7일간의 평균기후자료와 이에 따른 lag 자료이며, X_{2t}^2 은 각 평균 기후자료와 lag 자료의 제곱을 의미한다. 여기서 변수 Z_t 는 생산이 있을 때와 없을 때의 정보를 사용하기 위하여 추가로 만든 변수로 “송이 생산이 있다” 또는 “생산이 없다”를 나타내는 변수이다. 이 변수는 또한 <식 2.3>의 관계식을 갖는다.

$$Z_t = \beta_0^* + \beta_1^* X_{1t} + \dots + \alpha_1^* X_{1t}^2 + \alpha_2^* X_{2t}^2 + \dots + \varepsilon_t \quad \text{<식 2.3>}$$

$$Z_t = \begin{pmatrix} 1 & , & \text{생산됨} \\ 0 & , & \text{생산안됨} \end{pmatrix}$$

이 때, 모수 α_i^* , β_i^* 는 위에서 정의한 모수와 구별하기 위하여 “*”를 사용하였으며, 이 모수는 자료에 의해서 추정이 가능하다. 또한 사용된 독립변수는 변수 선택법에 의하여 찾을 수 있으며, 선택된 변수는 생산량을 위하여 만든 독립변수와 같을 수도 있고 다를 수도 있다.

즉, 시계열 모형에 의한 예측은 조건부 기대값을 사용하게 되는데, 이에 관한 이론은 다음과 같다. 각 지역의 송이 생산량 추정치를 \hat{Y}_t 라고 하면, $\hat{Y}_t = E(\hat{Y}_t) = \widehat{Y}_{t|Z_t=1} \cdot \hat{p}_t$ 가 된다. 여기서 $\widehat{Y}_{t|Z_t=1} = E(Y_t | Z_t=1)$, $\hat{p}_t = P(Z_t=1)$ 이다.

$$\begin{aligned} E(Y_t) &= E(E(Y_t | Z_t)) = E(Y_t | Z_t=1) \cdot P(Z_t=1) + E(Y_t | Z_t=0) \cdot P(Z_t=0) \\ &= \widehat{E}(Y_t | Z_t=1) \cdot p_t + E(Y_t | Z_t=0) \cdot (1-p_t) \\ &= E(Y_t | Z_t=1) p_t \quad \because E(Y_t | Z_t=0) = 0 \end{aligned}$$

즉, 송이 생산량이 있을 확률의 추정치가 된다. 따라서, 송이 생산량의 예측은 송이가 생산된다는 조건 하에서의 예측량에 송이가 생산될 확률을 곱함으로써 얻어지게 되는 것이다.

한편, 결과를 설명할 『3의 가항』에서 살펴볼 수 있듯이, 조건부 시계열 모형에 의하여 예측이 잘 된 지역은 생산량이 있을 확률의 영향력이 매우 작은 반면, 예측이 잘 안된 지

역의 경우에는 송이 생산량이 있을 확률이 예측에 많은 영향을 주는 것으로 나타났다. 따라서, 보다 정확도를 높이기 위해서는 생산량이 있을 확률의 영향력을 줄이는 과정이 필요하다. 이를 위하여 생산량이 있을 확률이 특정기준에 의한 값보다 작을 경우 이를 “0”으로 처리하는 방법을 도입하였다. 이 때, 예측이 잘 된 지역인지 아닌지를 정하는 기준이 명확하지 않는데, 1차적인 검정방법으로는 그래프를 통하여 생산량 패턴이나 정점이 일치하는 경우 예측이 좋은 것으로 평가하였다. 보다 정밀한 검정방법으로는 MAPE(mean absolute percentage error) 또는 MSPE(mean square percentage error) 등을 이용하여 작은 수치의 MAPE나 MSPE를 도출하는 지역은 예측이 잘된 지역으로 분류하였다. 이 때, MAPE 및 MSPE는 <식 2.4>와 <식 2.5>를 통하여 구해질 수 있다.

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \quad \text{<식 2.4>}$$

$$MSPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left(\frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right)^2 \quad \text{<식 2.5>}$$

그러나, 어떤 기준에 따라 확률을 “0”으로 정해야 하는지는 여전히 해결하기 어려운 문제이다. 본 연구에서는 0.4, 0.5, 0.6의 확률을 기준으로 해서 이보다 작을 경우 확률을 “0”으로 하였다. 이는 확률과 실질적인 생산량의 비교를 통하여 개략적으로 도출할 수 있었던 수치로서 지역에 따라 다소 차이가 있었기에 세 가지 기준에 의하여 모두 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 조건부 시계열 모형에 의한 예측

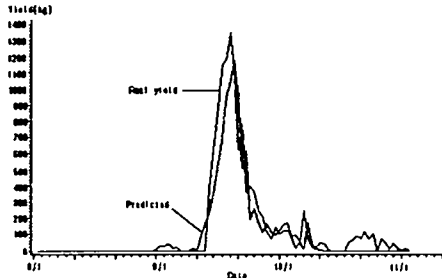
조건부 시계열 모형에 의한 송이 생산량 예측 결과, 그래프를 통하여 다음의 4개 그룹으로 나눌 수 있었다. <제 1 그룹>은 예측량과 생산량이 매우 유사한 지역, 즉 예측이 잘 된 지역으로서, 강릉, 거창, 보은, 청도 등 4개 지역이 포함되었으며, 생산된 일자(월일)와 생산패턴, 정점(頂點)이 거의 일치하는 지역이었다. <제 2 그룹>은 정점이나 패턴은 생

산량과 예측량이 일치하지만 송이 생산전의 예측과 생산후의 예측에 문제가 있는 경우로서, 고성, 남원, 문경, 영덕, 울진, 의성, 함양 등이 포함되었다. 반면, <제 3 그룹>은 예측량과 실제 생산량이 거의 일치하지 않는 지역, 즉 예측이 잘 안 되는 지역으로서 김천, 봉화, 안동, 양양, 영주, 영천, 원주, 정선, 제천, 포항, 홍천 등이 포함되었다. 이와 더불어 자료의 부족 또는 자료의 이상(異常)으로 예측 생산량에 관한 평가를 내리기 어려웠던 나머지 지역은 <제 4 그룹>으로 구분할 수 있었다.

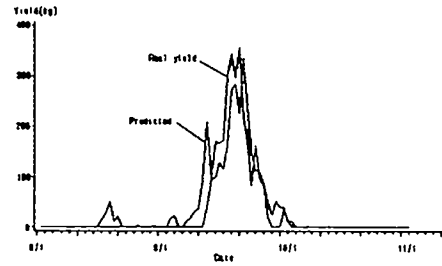
<제 1 그룹>의 분석 결과를 살펴보면, 최초의 변수선택에 의하여 정해진 변수의 수에 비하여 자기회귀식에 의해 선택된 변수의 수가 매우 작다(Table 2-4). 아울러, 변수선택에 의한 결정계수(R^2) 값에 비해 자기회귀식에 의한 결정계수(R^2) 값이 줄어드는 경향이 나타났다. 이러한 현상은, 처음에 변수선택에 의하여 결정된 변수(기상인자) 가운데 송이 생산량에 직접적으로 영향을 주는 변수가 존재하는 것으로 해석할 수 있으며, 선택된 개별 독립변수를 송이생산의 제한인자로 감안할 수 있음을 의미한다. 하지만, 청도를 비롯한 4개 지역 모두 실질적인 송이 생산기 이전이나 이후에 송이 생산량이 있는 것처럼 예측이 되어 송이생산의 시작이나 끝에 대한 정확한 예측이 안되는 현상이 나타났다(Figure 2-4). 이는 실질적으로 송이 생산량이 너무 적어서 송이수매가 이루어지지 않는데 기인할 수도 있겠지만, 예측된 양이 수매가 이루어지지 않을 정도의 극소량이 아니므로 이에 대한 보정 과정이 필요한 것으로 여겨졌다.

Table 2-4. Autoression results for the prediction of pine-mushroom yield in group I.

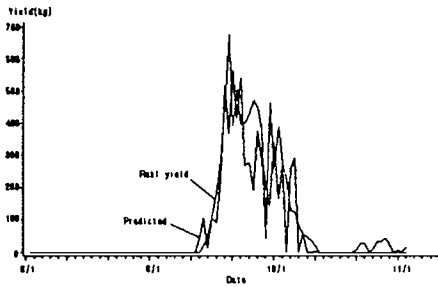
region (county)	selected variable no.	R^2 by selected var.	autoreg. variable no.	R^2 by indep. var.	R^2 by autoreg.	used data
Kangneung	55	0.9140	9	0.2232	0.8896	'90~'95
Keochang	28	0.9253	6	0.2267	0.8350	'90~'93,'95
Pooun	9	0.8545	9	0.6214	0.7671	'90~'93,'95
Cheongdo	50	0.9438	22	0.5643	0.9156	'90~'95



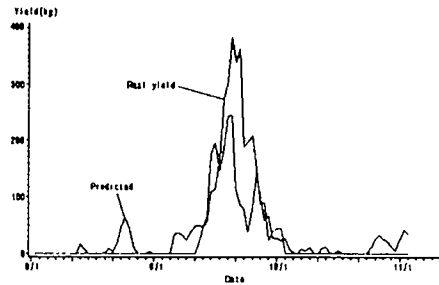
(a) Kangneung



(b) Keochang



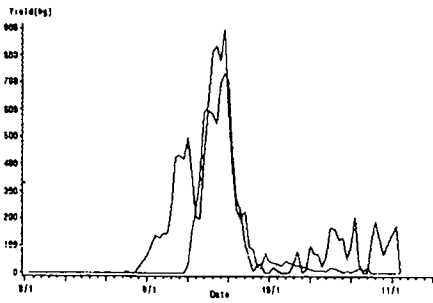
(c) Pooun



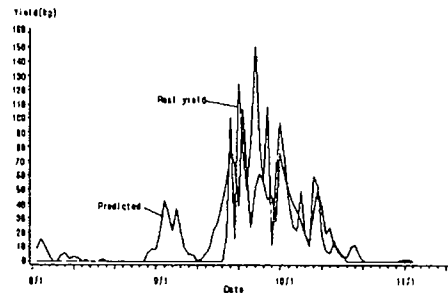
(d) Cheongdo

Figure 2-4. Predicted vs. real production of pine-mushroom in the region of group I.

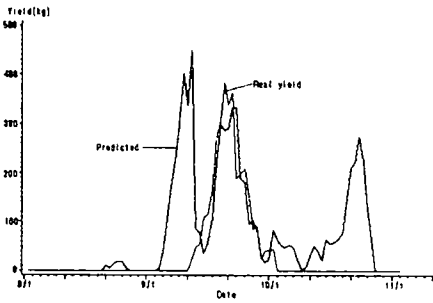
<제 2 그룹>은 전체적으로 변수선택에 의한 결정계수(R^2)와 자기회귀식에 의한 결정계수(R^2)가 <제 1 그룹>에 비해 약간 떨어지지만(Table 2-5), 전체적으로 <제 1 그룹>과 큰 차이를 보이고 있지 않다. 그런데, <제 1 그룹>에 속한 지역에 비하여 실질적인 송이 생산량이 있기 이전이나 이후에 송이 생산량이 많이 있는 것으로 예측이 되어(Figure 2-5) 실용적인 예찰식이라고 인정하기 어려웠다. 하지만, 송이 수매량이 많은 시기(9월 중순~10월 초순)의 자료는 비교적 비슷한 수치를 나타내어 실질적인 송이 발생기 전후의 예측에 대한 보정이 이루어진다면 <제 1 그룹>에 비하여 정확도는 낮지만 예찰식으로 사용될 수 있을 것으로 여겨졌다.



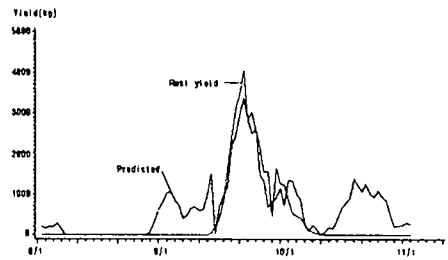
(a) Koseong



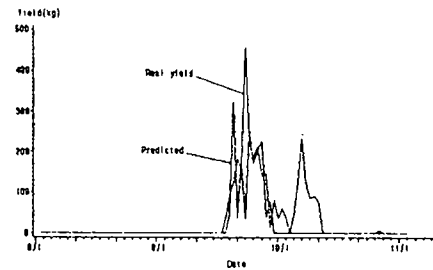
(b) Namwon



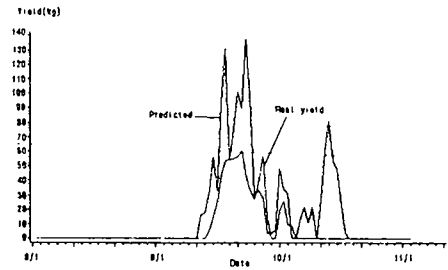
(c) Munbyeong



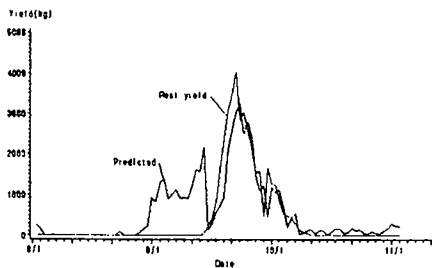
(d) Yeongduck



(e) Euseong



(f) Hamyang



(g) Uljin

Figure 2-5. Predicted vs. real production of pine-mushroom in the region of group II

Table 2-5. Autoression results for the prediction of pine-mushroom yield in group II.

region (county)	selected variable no.	R ² by selected var.	autoreg. variable no.	R ² by indep. var.	R ² by autoreg.	used data
Koseong	24	0.7511	12	0.2619	0.7544	'90,'93,'95
Namwon	21	0.9037	6	0.2880	0.6566	'90,'92,'95
Munbyeong	16	0.8333	2	0.0573	0.8497	'90~'95
Yeongduck	28	0.9176	25	0.8030	0.8884	'90~'95
Uljin	34	0.8899	8	0.1994	0.8986	'90~'95
Euiseong	27	0.8944	19	0.7991	0.8865	'90~'93,'95
Hamyang	35	0.9314	18	0.6380	0.8947	'90~'93,'95

한편, <제 3 그룹>으로 구분할 수 있었던 김천, 봉화, 안동, 양양, 영주, 영천, 원주, 정선, 제천, 포항, 홍천지역은 <제 1, 2 그룹>과 통계적인 특이점을 찾기 어렵다. 그러나 전체적으로 최초의 변수선택에 의하여 결정된 변수의 수가 <제 1, 2 그룹>에 비해 작고 상대적으로 자기회귀식에 의한 변수의 수는 줄어들지 않았다. 이는 결정적으로 송이 생산량에 미치는 요인이 찾아지지 않은 것으로서 기상요인 보다는 다른 요인이 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 한편, 괴산, 무주, 삼척, 영월, 인제, 장수지역은 <제 4 그룹>으로 구분되었으며, 이 지역은 생산량이 너무 적거나 자료가 불충분하여 예측량과 비교하기 어려웠다.

이상의 각 지역별 송이 생산량 예측식은 <부록 1>에 나타내었다.

나. 송이 생산확률의 기준치 첨가에 의한 예측

조건부 시계열 모형에 의한 송이 생산량 예측이 대체로 실질적인 송이 생산이 없음에도 불구하고 송이 생산이 있는 것으로 예측되는 것이 있으므로 기준치를 통하여 구분한 결과, 송이 생산량의 예측치와 실제 생산량이 매우 유사한 지역, 즉 예측이 잘 된 지역

을 12개 지역으로 늘릴 수 있었다. 이 지역들은 <제 1 그룹>으로 구분하였는데, 이 그룹에 속한 지역은 강릉, 거창, 고성, 김천, 남원, 문경, 보은, 영덕, 울진, 의성, 청도, 함양 등으로서 기존 조건부 시계열 모형을 이용할 때 <제 1, 2 그룹>에 속했던 지역 모두와 <제 3 그룹>에 속하였던 김천까지 포함할 수 있었다. 그러나 봉화, 안동, 정선은 여전히 정점이나 패턴의 형태 또는 생산시기가 다소 일치하지 않는 모습을 나타내어 <제 2 그룹>으로 구분할 수 있었으며, 양양, 영주, 영천, 원주, 제천, 포항, 홍천 등지는 예측과 실제 생산량이 거의 일치하지 않아 실제로 활용하기 어려운 것으로 판단되었다.

예측이 잘 되는 <제 1 그룹>에 소속되는 지역은 이미 언급한 것처럼 확률을 곱했을 때에 비하여 훨씬 늘었다. 또한, 이 그룹에 속한 지역만이 실질적으로 기상자료에 따른 송이 생산량이 가능한 지역이라고 말할 수 있다. <제 1 그룹>에 속한 지역의 각 예찰식이 지니는 특성은 <Table 2-6>에 요약하여 나타내었다.

Table 2-6. Revised autoression results for the prediction of pine-mushroom yield in group I.

region (county)	probability limit	MAPE (daily)	MSPE (daily)	'96 real yield	'96 predicted	MAPE (annual)
Kangneung	0.4(1)	0.81	4.17	392	325	0.17
Keochang	0.5(2)	0.66	1.32	157	148	0.05
Koseong	0.4(1)	3.71	56.8	170	180	0.06
Kimcheon	0.5(2)	0.52	0.41	58	41	0.28
Namwon	0.6(3)	0.78	1.59	49	40	0.18
Munbyeong	0.6(3)	0.39	0.23	154	139	0.10
Pocheon	0.4(1)	0.52	0.43	154	100	0.34
Youngduck	0.6(6)	2.66	98.6	1331	1526	0.14
Uljin	0.6(3)	2.15	83.4	1331	1143	0.14
Euisong	0.4(1)	0.94	2.05	137	98	0.28
Cheongdo	0.6(3)	0.67	0.97	261	213	0.18
Hamyang	0.5(2)	1.00	1.64	34	58	0.7

모든 지역을 대상으로 각 지역별 최적 예찰식을 결정할 때, 다음과 같은 6가지 유형을 설정하고 그 결과를 비교하여 어느 식이 가장 적합한지 결정하였다.

(1) $\text{prob} = 0.4$, $\hat{\text{yield}} = p \times \text{hat yield}^*$

(2) $\text{prob} = 0.5$, $\hat{\text{yield}} = p \times \text{hat yield}^*$

(3) $\text{prob} = 0.6$, $\hat{\text{yield}} = p \times \text{hat yield}^*$

(4) $\text{prob} = 0.4$, $\hat{\text{yield}} = \text{hat yield}^*$

(5) $\text{prob} = 0.5$, $\hat{\text{yield}} = \text{hat yield}^*$

(6) $\text{prob} = 0.6$, $\hat{\text{yield}} = \text{hat yield}^*$

이 때, $\text{prob} = 0.*$ 는 확률이 $0.*$ 보다 작을 경우 이에 해당하는 확률은 “0”으로 만들었다는 의미이다. 또한, 『 $\hat{\text{yield}} = p \times \text{hat yield}^*$ 』의 의미는 생산량 예측치는 생산량이 있다는 조건하에서의 생산량에 생산량이 있을 확률을 곱하여 최종적인 송이 생산량을 추정한 것이고, 『 $\hat{\text{yield}} = \text{hat yield}^*$ 』은 확률을 곱하지 않고 그대로 조건부 생산량 예측치로 송이 생산량으로 추정한 것이다. 이러한 수식은 <부록 2>의 그래프에도 나타나므로 참고하기 바란다.

강릉 : 확률변화에 따라 그래프의 변동은 없고, 그래프를 통한 유사도, MAPE 및 MSPE 모두 (1)번 모델이 가장 잘된 적합 모형으로 나타났다. 확률도입 이전에 비해 양쪽 꼬리부분이 수정되었으나 거의 비슷하다.

거창 : 확률변화에 따른 그래프의 변화는 거의 없고, 그래프 상에서 가장 적합한 것으로 여겨지는 모형은 (2)번과 (3)번 모델이다. 한편, MAPE와 MSPE를 살펴보면 (1)번이 가장 작은 값을 가지고 있으나 그 차이는 크지 않으므로 신경쓰지 않아도 될 듯 싶다. 전체 합에 대한 MAPE 와 MSPE도 거의 같은 값을 가지고 있어 전체 생산량의 차이가 별로 없다. 확률도입 이전의 그래프와 거의 비슷하다(앞뒤의 이상치만 제거).

고성 : 그래프에서나 MAPE와 MSPE 모두 거의 비슷하며 오차들이 다른 지역에 비해 큰 값을 가지고 있어 좋은 모형을 찾기가 까다롭고, 확률도입 이전의 앞뒤 꼬리부분 이상치를 확률도입 이후에도 거의 처리하지 못하고 있어 다른 지역과는 다른 결과를 나타냈다.

김천 : 확률의 변화에 따른 그래프의 변화는 그리 크지 않으나 언뜻 눈으로 보았을 때는 (2)번과 (3)번 모형이 최적 모형처럼 보인다. 그러나 MAPE와 MSPE를 고려하면서 다시 살펴보면 (1)번 모형이 실제 생산량과 더 비슷함을 알 수 있다. 전체합에 대한 실제값과 예측치의 MAPE와 MSPE를 살펴보면 예측치를 곱하지 않고 결과를 얻은 적합값에서의 예측오차가 더 작게 나와 확률의 크기변화 보다는 예측값을 곱하지 않았을 때가 생산량의 수준에서 보았을 때 더 실제값에 가까운 예측 생산량을 얻을 수 있었다. 확률도입 이전에 비해 양쪽 끝 부분의 이상치가 거의 완벽하게 제거되어 확률도입 효과가 큼을 알 수 있다.

남원 : 그래프 상에서나 MAPE와 MSPE 모두 (3)번 모형이 가장 좋은 모형이라는 것을 보여준다. 그러나 전체 합에 대한 MAPE와 MSPE는 (4)번 모형이 가장 작은값을 가지고 있어 전체 생산량으로 본다면 (4)번 모형이 가장 실제 생산량에 가까운 모형이다. 또한 확률을 도입함으로써 앞쪽의 꼬리부분을 제거하여 예측 그래프가 실제 그래프 모형에 많이 가까워졌다.

문경 : 그래프, MAPE, MSPE 모든 곳에서 (3)번 모형이 가장 좋은 모형으로 다른 모형과 확연한 차이를 보여 이 지역은 다른 지역보다 훨씬 더 확률에 대한 영향을 많이 받아 확률에 따른 적합이 중요한 지역이다. 전체 생산량의 측면에서 본다면 (6)번 모형이 실제 생산량에 가장 근접한 결과를 나타낸다. 확률도입 모형이 도입 전의 모형에 비해 실제 생산량 앞뒤에 적합이 불규칙했던 예측치를 완벽하게 제거함으로써 확률도입 효과가 큼을 보여준다.

보은 : 이 지역에서 확률에 따른 그래프 모형의 변화가 극히 적다. 실제자료와 예측지역의 자료가 가장 비슷한 모형은 (6)번 모형이지만 MAPE와 MSPE를 살펴 보면 이상치의 영향을 덜 받는 MAPE는 비교적 (1)~(5)는 비슷하나 이상치의 영향을 많이 받는 MSPE가 굉장히 크게 나타난 것은 이상치의 존재를 의심하게 한다. 만약 이상치가 존재한다면 이들을 제거한 후 모형적합을 다시 한다면 MAPE가 상당히 줄어들 것이다. 전체 생산량의 측면에서 본다면 (4)와 (5)번 모형이 가장 적합하다. 확률도입 이전과 이후 봉우리부분은

차이가 없으나 앞뒤의 꼬리부분은 잘 제거되었다.

봉화 : 확률에 따른 그래프의 변화가 심하다. 그래프 상에서 가장 fitting이 잘된 모형은 (3)번 모형이고 MAPE와 MSPE 수준에서 보면 (1)번과 (2)번 모형이 가장 작은 값을 가지고 있으나 (3)번과 별 차이가 나지 않기 때문에 그래프 상에서 가장 좋은 모형인 (3)번 모형을 선택했다. 전체 생산량의 측면에서 본다면 (4)와 (5)번 모형이 가장 적합하다. 확률도입이 뒷부분의 실제 값과 잘 맞지 않은 예측치를 제거할 수 있었으므로 확률 도입이 좋은 적합 결과를 가져왔다고 할 수 있다.

안동 : 확률에 따른 그래프의 변화가 다양하며 그래프 상에서 가장 적합이 잘된 것은 (3)번 모형이다. 전체 생산량의 측면에서 살펴보았을 때도 (3)번 모형이 실제 생산량과 가장 근접한 결과를 주고 있다. 그러나 MAPE와 MSPE를 살펴보았을 때 (3)번 모형 보다 (2)번 모형이 훨씬 작은 값을 보이고 있어 (3)번 모형을 최적 모형이라 결론 내리기에는 성급한 면이 없지 않다. 확률을 도입하므로 인해 예측모형이 상당히 실제모형과 비슷해졌고 앞뒤 꼬리부분이 제거되었다.

양양 : 그래프 상에서도 나타났듯이 MAPE에 비해 MSPE가 상당히 커서 이상치의 영향이 크게 미침을 알 수 있고 대체로 실제값보다 예측값이 상당히 크고 넓게 분포하고 있어 여기서는 다른 방법을 이용하여 예측해야 할 것 같다. 그래프 상에서는 (3)번 모형의 그래프가 실제값에 가장 가까운 듯 하다. 또한 이 지역은 전체 생산량 측면에서도 실제 생산량과 많은 차이를 나타내고 있다. 확률도입 전에 비해 앞 뒤 꼬리부분이 처리되었으나, 아직 더 많은 처리를 해야 할 것으로 생각된다. 이러한 현상이 나타난 이유는 양양지역의 수매량은 실제 양양지역의 생산량만이 아니라 주변 지역에서 그 해의 가격 변동과 더불어 많이 유입되고 있는데 기인하는 것으로 여겨진다.

영덕 : (3)번과 (6)번 모형을 비교하여 그래프를 살펴보면 (3)번 모형은 예측치보다 실제 값이 거의 모든 구간에서 큰 값을 보인 반면 (6)번 모형은 거의 완벽하게 일치하거나 예측치가 더 큰 값을 보임으로써 오차를 나누는 값이 실제 값을 감안할 때 그래프 상에서는 (6)번 모형이 더 잘된 예측으로 보이나 MAPE와 MSPE 수준에서 볼 때는 (3)번 모

형이 더 잘된 모형으로 나타나 있다. 전체 생산량의 측면에서 본다면 (3)번 모형보다는 (1)번과 (2)번 모형이 더 작은 값을 가지고 있으나 그리 큰 차이가 나지 않는다. MAPE와 MSPE의 차이가 굉장히 크게 나는 것은 이상치의 영향이 크다고 말할 수 있다. 확률 도입 후의 결과는 도입 전보다 앞뒤 꼬리부분의 제거에 효과가 있었다.

영주 : 확률에 따른 그래프의 변화는 그리 크지 않으나 실제값과 예측값간의 차이가 심하여 그다지 신뢰할 수 없는 적합결과를 가지므로 다른 방법으로 적합을 시도함이 옳을 것 같다. 이 지역에서도 물론 MSPE가 MAPE에 비해 상당히 크다. 이러한 결과는 자료의 양이 충분치 못하여('93, '94년 자료 없음) 나타난 현상으로서 예측값을 신뢰할 수 없다.

영천 : 실제값에 비해 예측값이 상당히 크다는 것을 그래프에서나 MAPE 값에서도 알 수 있다. 그 중 적합이 잘된 모형은 그래프 상에서나 MAPE와 MSPE 수준에서나 (3)번 모형이라는 것을 알 수 있다. 이 모형은 또한 전체 생산량의 측면과도 일치하고 있다. 확률 도입후 앞뒤 꼬리부분이 많이 제거되어 깔끔한 모형이 되었다.

원주 : 그래프를 살펴보면 적합이 가장 잘된 것이 (2)번 모형이나 MAPE나 MSPE에서는 (1)의 결과에서 가장 작은 값을 가져 (2)번 모형의 예측치가 약간 벗어난 값이 있어도 그래프의 형태가 비슷하므로 (2)번 모형을 선택할 수 있겠다. Total에 대한 실제값과 예측값의 MAPE와 MSPE는 그래프 상에서는 차이가 많이 나는 것으로 분류된 (4)의 결과가 가장 작은 값을 가져 이는 분포모형은 잘 맞지 않으나 생산날짜에 상관없이 생산량을 기준으로 한다면 (4)번 모형이 실제 생산량에 가장 가까운 결과를 주고 있다. 확률을 도입한 그래프가 도입하기 전에 비해 양 꼬리부분이 제거되어 훨씬 더 실제 그래프에 가까운 결과를 얻을 수 있었다.

울진 : 그래프 상에서 가장 좋은 결과는 (5)의 결과인 듯 하나 MAPE와 MSPE의 차이가 다른 결과에 비해 더 크고 특히 MSPE가 예측확률을 곱해서 얻은 결과보다 상당히 많이 커져 최소 MAPE나 MSPE 수준으로 볼 때 (3)번 모형이 가장 적합이 잘된 모형이라 하겠다. 전체합에 대한 실제값과 예측값의 MAPE와 MSPE를 살펴보면 (6)번 모형에서 가장 작은 값을 가지고 있어 실제 생산량과 예측 생산량간의 차이가 가장 적은 모형이다.

의성 : 그래프 상에서나 MAPE와 MSPE상에서나 예측치를 곱해서 구한 결과가 그렇지 않은 결과보다 더 실제값과 비슷한 예측결과를 나타냈다. 이 지역에서는 확률의 크기 변화보다는 예측치를 곱한 것과 그렇지 않은 것과의 차이가 날 뿐이고 전체 생산량 면에서는 예측치를 곱하지 않은 결과가 더 실제 생산량에 가깝게 나타났으나 그 차이는 그리 크지 않다. 확률도입 후 좌우의 이상치가 많이 줄어들어 이 지역을 예측하고자 할 때는 확률도입이 필요하다.

정선 : 실제값과 예측값의 그래프 모양은 (1)번이 가장 잘된 듯 하나 실제 관측치에 비해 예측치가 상당히 작은 값을 가지는 것으로 보인다. 그러나 최소 MAPE와 MSPE 수준으로 보면 (6)번 모형이 가장 작은 값을 가지고 있어 이를 좋은 모형으로 선택해야 하나 그래프 상으로는 상당히 많은 차이를 보이고 있어 (1)번 모형이 더 좋은 모형이라 결론 내린다. 또한 전체 생산량의 수준으로 본다면 전체합에 대한 실제 생산량과 예측량의 MAPE MSPE의 값이 가장 작은 (4)번 모형이 적합하다. 확률 도입 이전의 좌우 이상치를 처리함으로써 상당히 좋은 효과를 나타냈다.

제천 : 전체적으로 살펴보면 실제값보다 예측값이 전반적으로 크게 나와 MAPE에 비해 MSPE가 상대적으로 큰 것이 이 지역의 특징이고 그래프의 형태는 확률의 차이에 따라 큰 변화가 없으므로 MAPE와 MSPE가 가장 작은 (3)번 모형이 가장 좋다고 하겠다. 이것은 또한 합에 대한 MAPE와 MSPE 값도 가장 작은 값을 가져 전체 생산량 면에서도 일치하고 있다. 확률도입이 앞부분의 이상치를 많이 제거시켰다.

청도 : 그래프 상으로 보나 MAPE와 MSPE으로 보나 (3)번 모형의 그래프가 가장 잘되었다. 합에 대한 실제값과 예측값 간의 MAPE와 MSPE는 그 값 차이가 크지 않아 크게 신경쓰지 않아도 될 것 같다. 확률도입 이전과 큰 차이가 없다.

포항 : 제천에서와 같이 전체적으로 실제 값보다 예측 값이 크게 나왔기 때문에 MAPE에 비해 MSPE 값이 크고 이 지역에서는 확률의 크기에 크게 영향을 받지 않는 것 같고 대체적으로 예측량이 다른 지역에 비해 수정이 덜 되었다. 확률의 변화에 따른 그래프의 변화가 있음에도 오차의 변동은 모두 같게 나와 좋은 모형을 찾기가 까다롭다. 확률

도입 이전보다 오른쪽 예측치가 많이 수정되었으나 좀 더 많은 수정작업이 필요한 지역이라 본다. (3)번 모형이 실제 생산량과 가장 가깝다.

함양 : 그래프 상에서나 MAPE와 MSPE에서나 모두 (2)와 (3)번의 비교치가 가장 잘 일치하는 것으로 나타났고 전체합에 대한 MAPE와 MSPE값도 이 부분에서 가장 작은 값을 가지므로 이 지역에서는 생산량을 예측함에 있어서 확률을 0.5 또는 0.6으로 하고 예측값을 곱하여 새로운 예측치를 구한다면 실제값에 가까운 예측치를 얻을 수 있겠다. 확률 도입후의 결과를 도입 이전과 비교해 보았을 때 앞뒤의 매끄럽지 못한 값들이 많이 수정되어 실제모형과 더 비슷한 그래프를 얻었다.

홍천 : 이 지역은 확률의 변화에 대한 영향을 상당히 많이 받는 지역으로써 확률의 크기에 따른 그래프의 모양이 상당히 많은 변화를 갖고 그에 따른 오차변동도 심하다. 그래프 상에서 잘 적합된 모형은 (2)이고 이 모형은 MAPE와 MSPE도 가장 작은 값을 가지고 있어 (2)번 모형을 선택하면 좋을 듯 싶다. 그러나 전체합의 MAPE와 MSPE는 (1)번이 가장 작은 값을 나타내 전체 생산량의 측면에서 본다면 (1)번 모형이 가장 좋은 모형이라 할 수 있다. 확률도입 이전에는 실제값에 비해 예측값이 훨씬 넓게 퍼져 있고 봉우리도 맞지 않는데 비해 확률 도입후의 예측값은 일치가 잘 되었다.

<제 1 그룹>에 속했던 지역들은 확률도입 이전이나 이후의 변화가 극히 적었고 대체로 그래프 모형과 MAPE와 MSPE가 거의 같은 결과를 낳았다. 반면, <제 2 그룹>에 속한 지역들은 봉우리는 거의 일치하나 앞 뒤 꼬리부분이 불규칙했던 모형들로 확률도입 이전에 비해 이후의 결과들은 이 꼬리부분 제거에 많은 기여를 했으나 고성지방에서는 꼬리부분이 아직도 많이 남아 있다. 마지막으로 확률도입의 효과가 가장 크게 나타난 지역은 <제 3 그룹>으로 이 지역들은 확률도입 이전에 비해 그래프 모형이 상당히 실제 그래프와 가까워졌으나 대체로 그래프의 결과와 평균 제품 오차가 일치하지 않고 있다. 조건부 모형에 의하여 도출되는 생산량과 예측량의 비교는 <부록 2>에 그림과 더불어 제시하였다.

다. 송이 생산확률에 관한 판단기준

이제까지 송이 생산량에 관한 확률 추정방법에 대하여 논하였고 실제로 추정하여 보았다. 정확한 송이 생산량 예측을 위해서 송이발생 임계확률값, 즉 생산확률이 과연 어떠한 값 이상이 되어야 송이버섯 예측 생산량에 의미가 있는지를 결정해야 한다. <Table 2-7>은 각 지역별 예측 생산 시작일과 종결일, 그리고 예측 시점에 해당되는 임계확률 추정치이다. 확률 추정방법은 ① 각 기후변수에 따라 생산이 있는지 없는지에 대한 분류 모형(classification model)을 ② CART(Classification And Regression Tree)에 의해 도출한 후, ③ 96년 자료로 생산 시작일과 종결일을 예측하여 ④ 그 날짜에 해당되는 송이생산 확률 추정치 중 큰 확률값을 확률 임계치로 선정하였다(표의 굵은 글씨). 그 결과, <제 1 그룹>에 속하는 지역은 역시 그 임계확률 값에 따른 송이 예측 생산량이 정확하였고, <제 2 그룹>의 경우 송이 생산량 예측에 있어 생산 초기시점의 불안한 정점(頂點) 부분을 제외하고는 정확하다고 할 수 있다. 그러나 <제 3, 4 그룹>의 경우 구해진 임계확률 값도 낮고 값 자체의 의미를 찾기는 어려웠다.

Table 2-7. Critical probabilities for revising autoregressive model for prediction of pine-mushroom yield at each county.

Region (county)	date of initiation		date of ceasing		probability		remarks
	prediction	real	prediction	real	prediction	real	
Kangneung	9/2	9/12	10/7	10/9	0.1530	0.6480	Group I
Keochang	9/11	9/11	10/9	10/1	0.6994	0.2614	Group I
Koseong	9/21	9/9	10/20	10/23	0.7634	0.9091	Group II
Namwon	9/1	9/16	10/15	10/14	0.2979	0.3521	Group II
Munbyeong	9/9	9/10	10/18	9/30	0.3988	0.3244	Group II
Ponghwa	9/10	9/14	10/9	10/4	0.0168	0.2464	Group III
Yangyang	9/1	9/11	10/14	10/7	0.4427	0.7946	Group III
Wonju	9/1	9/16	10/14	10/24	0.2113	0.1170	Group III
Euiseong	9/13	9/16	10/18	10/1	0.1186	0.0000	Group II
Cheongdo	9/7	9/12	10/9	10/9	0.0119	0.4131	Group I
Hongcheon	9/2	9/11	10/9	9/23	0.0000	0.0334	Group III

위의 표에서 여러 생산지역이 제외된 이유는 예측자료가 불완전하여 모형이 설정되지 않았거나, '96년 자료에 생산량이 없는 (혹은 하루만) 있는 지역 등이다. 삼척과 같은 곳은 '96년 자료에 기후자료가 전혀 없으며, '96년 생산이 작은 지역(김천, 안동 등)은 96년에 예측이 전혀 없으리라고 예측된 곳이다. 살펴 본 바와 같이 CART에 의해 분류모형 자체는 나름대로의 의미를 부여할 수 있겠다. 그리고 임계확률값 추정의 경우 1, 2그룹에 속하는 지역에 대해서는 표에 구해진 추정치가 의미를 갖고 있다고 판단된다. 그러나 앞에서 정확한 예측을 하기 위해 임계확률값을 0.4, 0.5, 0.6등으로 변화시키며 관찰했듯이, 며칠간의 예측패턴을 통해 안정적으로 생산량이 증가하게 되면 송이생산 예측치가 신뢰할 수 있는 범위에 들어갔다고 판단하는 것이 더 정확한 예측에 도움이 될 것이다.

第 5 節 參考文獻

1. 강안석, 차동렬, 김양섭, 박용환, 유창현. 1989. 송이(*Tricholoma matsutake*)생산과 관련된 기후특성 분석. 한국균학회지 17(2) : 51-56.
2. 기상청. 1991. 한국기후도. 서울, 진명인쇄공사. 160pp.
3. 김연표. 1984. 송이연구 및 생산기술자료. 임업시험장연구자료 제22호. 산림청 임업시험장. 58pp.
4. 김영배, 김동수, 박용환, 신관철. 1975. 한국의 송이 발생지 분포 및 발생환경에 관한 실태조사. 농시연보 17(토양비료, 작물보호, 균이편) : 109-114.
5. 박 현, 가강현, 김교수, 김현중. 1996. 최근 6년간의 일자별 송이 발생동향 분석에 의한 송이 주산지 권역 구분. 산림과학논문집 53 : 163-172.
6. 박 현, 김교수, 구창덕. 1995. 한국에서 9월의 기상인자가 송이 발생에 미치는 영향과 그 극복방안. 한국임학회지 84(4) : 479-488.
7. 박 현, 김세현, 김교수. 1997. 남원 소재 소나무림의 환경조절 처리가 송이 발생량에 미치는 영향. 한국임학회지 86(3) : 399-404.

8. 정상립, 임근욱. 1992. 산악기상과 기후환경. 서울, 원담문화. 317pp.
9. 조덕현, 이경준. 1995. 29개 지역의 10년간 송이 발생립의 기상인자와 송이 발생량과의 상관관계. 한국임학회지 84(3) : 277-285.
10. 川上嘉章. 1990. マツタケ発生量に影響を及ぼす要因(1). 広島縣 林業試験場研究報告 24 : 3-4.
11. 富永保人. 1967. 氣象とマツタケ発生量との關係について. 広島農短大研究報告 p. 1-11.
12. 富永保人. 1975. マツタケのtunnel方式栽培について研究. 広島農短大研究報告 5(2) : 165-180.
13. 小川 眞. 1991. マツタケの生物學. 補訂版. 東京, 築地書館. 333pp.
14. Ludwig, J. A. and J. F. Reynolds. 1988. Statistical Ecology. John Wiley & Sons, Inc. 337pp.
15. SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Ver. 6 edit. Cary NC, USA. 378pp.

第 3 章 송이 生産性 診斷 및 制限因子 克服
DIAGNOSIS OF PINE-MUSHROOM PRODUCTIVITY
AND OVERCOMING LIMITING FACTORS

연구 기관 명 : 임업 연구원

연구 책임자 : 김 현 중

연구 원 : 가 강 현

연구 원 : 박 현

연구 원 : 류 천 인

연구 원 : 허 태 철

연구 원 : 김 회 수

여 백

第 1 節 송이산의 버섯相 調査를 통한 生産性 豫備診斷

1. 서 론

송이(*Tricholoma matsutake*)는 현재까지 재배가 안되는 균근성 버섯으로서, 산림에서 채취하는 버섯이다. 따라서, 송이의 생산성 향상이나 보속생산을 위하여 송이의 발생환경이나 생태학적인 측면의 연구가 활발히 전개되고 있다. 기존 연구에 따르면, 우리나라의 송이는 소나무(*Pinus densiflora*)림에서 출현하지만 모든 소나무림에서 발생하는 것이 아니며, 송이 발생림내에서도 일정한 부분(송이 균환부)에서만 송이 자실체가 발생한다(류천인 등, 1980). 그러므로, 송이의 생태학적인 측면에 대한 연구는 송이 발생림의 전반적인 구성 요소에 대한 고찰에서 출발하여 국소환경의 변화에 따른 송이의 반응이나 다른 미생물과의 관련성에 대한 연구로 발전되어 나아가야 한다.

송이와 관련되는 미생물상에 대한 연구는 Song과 Min(1991)에 의하여 수행된 것처럼 송이 발생림과 미발생림 토양내 각종 미생물의 수직적인 분포에 대한 연구도 바람직하지만, 생태학적인 견지에서는 우선적으로 경쟁관계에 있는 다른 균류상과의 관계에 대하여 관심이 모아진다. 나종성과 류정(1992)은 송이 발생림내의 버섯분포에 대하여 개괄적으로 조사하였으며, 이경준 등(1986)은 송이 발생림과 미발생림에 출현하는 고등균류상을 비교한 바 있다. 하지만, 藤田(1989)가 지적한 것처럼 소나무림의 임령(林齡)에 따라 버섯상이 천이(遷移)하며, 송이 발생림내에서도 토양환경의 차이가 있기에 송이 균과 다른 버섯류와의 관계를 파악하기 위해서는 보다 구체적인 연구가 요구된다. 또한, 송이 발생림내에서도 송이균환이 쇠퇴함에 따라 출현하는 버섯이 변화하므로(小川, 1991), 송이 발생림내에 출현하는 버섯상을 통하여 송이 균환의 활력이나 미래에 대한 예측도 가능할 것으로 여겨진다.

본 연구는 송이 균환부를 중심으로 송이균환 내부 및 외부에 나타나는 균근성 버섯류를 조사, 분석한 것으로서, 이를 통하여 송이균환과 경합관계에 있는 균근성 버섯을 파악하거나 송이 발생림의 버섯상 천이에 대한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 조사지 개황

연구 대상지는 강원도 홍천군 동면 노천리의 국유림으로 송이가 비교적 많이 발생하는 곳이다. 조사지역은 산정부에 위치한 남서사면으로서 표고(標高)는 약 450m이고 경사도는 30°에 이르렀다. 상층 수관(樹冠)은 약 70년생의 소나무(*Pinus densiflora*)가 70% 내외를 차지하고 나머지 30%를 굴참나무(*Quercus variabilis*)가 점유하고 있었다. 하층식생으로는 산철쭉(*Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*)이 우점종이며 쪽동백나무(*Styrax shiraiana*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*) 등이 산재하고 있었다. 토양은 조립질 화강암을 모재로 발달한 양질사토로서 표면침식이 약하게 진행된 갈색산림토양이었다.

나. 조사방법

약 0.4ha의 연구 대상지내에서 송이가 발생하는 지점을 중심으로 20m 폭의 방형구를 능선부의 같은 경사면을 따라 선정하고 송이를 비롯한 각종 균근성 버섯의 발생위치를 표시하였다. 하지만, 송이균환의 패턴이 모든 조사구에서 일정하게 나타나지 않았기에, 원래의 조사용 방형구는 20m 폭으로 약 150m에 달하는 조사구이었지만, 송이균환이 비교적 뚜렷하게 나타나는 4개의 20m×20m 방형구만을 조사구로 사용하였다.

각 조사구의 왼쪽 윗 부분을 기점으로 오른쪽 방향으로 x축, 아래 방향으로 y축을 설정하고 각 균근성 버섯이 출현하는 지점의 좌표를 x, y축에 따라 표시하였는데, 각 조사구 안에는 5m 간격으로 경계선을 표시하여 버섯의 위치를 측정하기 용이하도록 하였다. 송이균환 파악을 위한 송이 자실체의 출현위치는 1995년부터 1997년까지 3년간 조사하였으며, 다른 균근성 버섯의 출현위치는 1996년 7월부터 1997년 9월까지 2년간의 여름 및 가을에 출현하는 위치를 기록하였다. 각 버섯의 동정은 이지열(1988), 박완희와 이호득(1991), 그리고 김삼순과 김양섭(1995)의 도감을 참조하였다.

다. 분석 방법

3년간(1995~1997)의 송이 발생위치 조사자료를 각 좌표에 따라 그래프에 나타내어 조사구내 송이균환의 위치를 개략적으로 파악하였다. 하지만, 송이 자실체의 발생위치만 나타낸 자료만으로는 완전한 송이균환을 파악하기 어려웠다. 이에 따라, 그래프에 나타낸 기초 자료를 토대로 1998년 3월, 현지에서 원예용 소형 갈퀴로 지표면을 긁는 방법으로 균환 선단(先端)을 확인하며 균환의 형태 및 위치를 명확히 구명하였다.

각 조사시기별로 균근성 버섯의 발생위치 조사자료는 균환과 대비하여 균환 내부, 균환 부, 균환 예정지 및 균환 외곽으로 구분하여 정리하였다. 균환 내부는 송이가 발생한 위치를 중심으로 안쪽에 위치한 지역, 균환부는 송이가 발생한 위치에서 30cm 바깥 부분까지, 균환 예정지는 균환부에서 바깥쪽으로 1m 이내, 그리고 균환 외곽은 균환부에서 1m 이상 떨어진 바깥부분으로 규정하였다. 이는 현지에서의 기초조사 결과, 균환의 실질적인 선단은 송이가 발생한 위치보다 약 30cm 바깥 부분이었으며, 송이균은 연간 5~20cm 성장하므로, 조사된 균환부에서 1m 이내로 선정된 부분은 송이가 정상적인 성장을 하여도 약 5년 이상 소요되는 구간을 포함하는 것이다. 즉, 균환부는 송이 균사가 실질적으로 존재하는 부분을 의미하며, 송이균환 외곽으로 표현한 부분은 송이 균사가 성장함에 따라 전진하게 될 예정지를 의미한다. 하지만, 어떤 버섯은 일정한 지역에서만 나타나지 않고 여러 부분에서 발생하기도 하였으므로, 각 버섯의 출현위치에 대한 판정은 χ^2 -검정을 통하여 실시하였다(Ott, 1988).

3. 조사결과

가. 송이균환(菌環)

조사지역내 송이균환의 크기는 직경이 2m~10m에 이르러, 균환의 성장속도를 10cm/년 내외로 가정할 때, 그 나이는 약 10년~50년에 이르는 것으로 생각되었다(Figure 3-1). 즉, 연구 대상지의 송이균환은 현재 숲의 우점종인 소나무가 최소한 15년생이 넘었을

때 처음 형성된 것으로 추측된다. 소형의 균환은 원형을 나타내었지만, 조사된 송이균환이 대체로 완전한 원형을 이루는 것은 드문 반면 타원형이나 선형에 가까운 균환이 많아서 다소 노화된 송이 발생립으로 생각되었다.

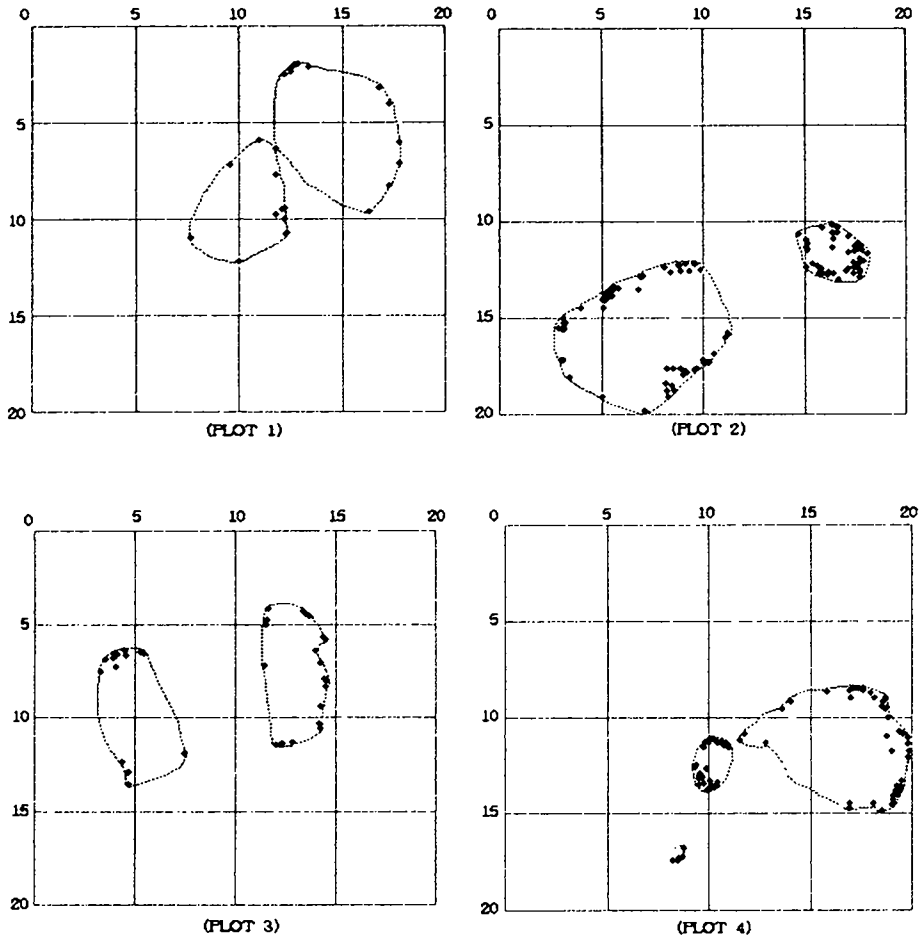


Figure 3-1. The occurrences of the basidiocarps of *Tricholoma matsutake* which give the outlines of several fairy rings at the experimental site. Each points indicate the occurring location of pine-mushroom fruit bodies, and the dotted line shows the physiologically active mycorrhizal zone.

분석방법에서 언급한 것처럼, 송이균환의 선단부는 송이 자실체가 출현한 위치보다 약 30cm 정도 앞까지 나가 있었다. 즉, 송이균환의 성장속도를 10cm/년 내외로 가정한다면, 송이 자실체가 형성되는 부위는 실제로 3년전에 균환 선단부가 위치하였던 부분이 된다.

따라서, 생리적으로 활성을 띠고 있는 송이 균환부(physiologically active mycorrhizal zone)는 30cm 내외의 폭임을 알 수 있었다. 한편, 송이 자실체의 발생위치만으로 송이균환을 명확히 파악하지 못한 것은, 송이균환은 존재하지만 3년간 단 1개의 송이 자실체도 생산하지 않는 균환부도 있었기 때문이다.

나. 송이 발생립에 출현하는 외생균근성 버섯

조사지역은 소나무가 노령화되면서 활엽수림으로 천이되는 단계로 여겨지며, 이에 따라 여러 종류의 낙엽 분해균을 비롯한 균류가 다양하게 분포하고 있었다. 시험구내에서 2년간의 여름과 가을에 관찰된 송이(*Tricholoma matsutake*) 이외의 균근성 버섯은 총 960개이었으며, 수원무당버섯(*Russula bella*), 회갈색무당버섯(*R. sororia*), 푸른주름무당버섯(*R. delica*), 애기피꼬리버섯(*Cantharellus minor*)의 순으로서 조사기간중 출현한 균근성 버섯의 각각 16.0%, 12.8%, 12.4%, 7.0%를 차지하였다. 이들을 비롯하여 조사구내에서 출현한 각종 균근성 버섯을 <Table 3-1>에 나타내었다. 단, 출현한 양이 너무 적거나 χ^2 -검정에서 유의차를 찾기 어려웠던 종류는 다음과 같다. 고동색우산버섯(*Amanita vaginata* var. *fulva*), 광대버섯(*A. muscaria*), 노란달갈버섯(*A. hemibapha* subsp. *javanica*), 점박이광대버섯(*A. inaurata*), 턱받이광대버섯(*A. spreata*), 흰가시광대버섯(*A. virgineoides*), 좁노란그물버섯(*Boletellus obscurecoccineus*), 흰굴뚝버섯(*Boletopsis leucomelas*), 연지버섯(*Calostoma japonicum*), 깔대기버섯(*Cantharellus infundibuliformis*), 국수버섯(*Clavaria vermicularis*), 좁나무싸리버섯(*Clavicornia pyxidata*), 큰마개버섯(*Gomphidius roseus*), 흰둘레그물버섯(*Gyroporus castaneus*), 고리갈색깔대기버섯(*Hydnellum concrescens*), 벚꽃버섯(*Hygrophorus russula*), 젖버섯아재비(*Lactarius hatsutake*), 노란주름갓버섯(*Lepiota subcirtrophylla*), 민자주방망이버섯(*Lepista nuda*), 큰눈물버섯(*Psathyrella velutina*), 외대뿔버섯(*Rhodophyllus crassipes*), 냄새무당버섯(*Russula emetica*), 노랑무당버섯(*R. flavida*), 절구버섯(*R. nigricans*), 꽃자개버섯(*Stereopsis burtianum*), 단풍사마귀버섯(*Thelephora palmata*), 산그물버섯(*Xerocomus subtomentosus*) 등이 있었다.

Table 3-1. The ectomycorrhizal mushrooms (except for *Tricholoma matsutake*) occurred at the surveyed sites from July of 1996 to September of 1997. Only the mushrooms with significance of χ^2 -test at the 5% level were listed here.

Korean name	Species name	Location from the fairy ring of <i>Tricholoma matsutake</i>				Total
		Inside	On	Front	Far	
수원무당버섯	<i>Russula bella</i>	7	6	3	138	154
회갈색무당버섯	<i>Russula sororia</i>	2	0	6	115	123
푸른주름무당버섯	<i>Russula delica</i>	8	0	1	110	119
애기피꼬리버섯	<i>Cantharellus minor</i>	0	1	3	63	67
마귀광대버섯	<i>Amanita pantherina</i>	5	4	0	40	49
황소비단그물버섯	<i>Suillus bovinus</i>	13	5	0	27	45
그물버섯	<i>Boletus edulis</i>	23	5	1	10	41
피꼬리버섯	<i>Cantharellus cibarius</i>	2	0	4	29	35
다박싸리버섯	<i>Ramaria flaccida</i>	12	2	7	13	34
노란분말그물버섯	<i>Pulverobolus ravenelii</i>	0	0	2	27	29
황금무당버섯	<i>Russula aurata</i>	1	0	0	23	24
무당버섯류*	<i>Russula sp.*</i>	0	0	0	23	23
애기무당버섯	<i>Russula densifolia</i>	2	1	5	12	20
방패외대버섯	<i>Rhodophyllus clypeatus</i>	0	0	0	13	13
비듬땀버섯	<i>Inocybe lacera</i>	0	0	0	12	12
방패갓버섯	<i>Lepiota clypeolaria</i>	0	0	0	11	11
삿갓외대버섯	<i>Rhodophyllus rhodopolius</i>	0	0	0	10	10
장미무당버섯	<i>Russula rosacea</i>	0	0	1	6	7
제주쓴맛그물버섯	<i>Tylopilus neofelleus</i>	0	0	0	7	7
젓비단그물버섯	<i>Suillus granulatus</i>	1	0	1	5	7
비단그물버섯	<i>Suillus luteus</i>	0	0	0	7	7
흰꽃무당버섯	<i>Russula alboareolata</i>	2	0	0	4	6
풍선근적버섯	<i>Cortinarius purpurascens</i>	0	0	0	6	6
톱니겨우살이버섯	<i>Coltricia cinnamomea</i>	2	0	0	4	6
흰무당버섯아재비	<i>Russula pseudodelica</i>	0	0	1	4	5
기와무당버섯	<i>Russula virescens</i>	0	0	1	4	5
자주줄각버섯	<i>Laccaria amethystea</i>	0	3	0	2	5
자주색싸리버섯	<i>Ramaria sanguinea</i>	0	1	0	4	5
호박젓버섯	<i>Lactarius laeticolorus</i>	0	0	0	4	4
뿔나팔버섯	<i>Craterellus cornucopioides</i>	0	0	0	4	4
붉은피꼬리버섯	<i>Cantharellus cinnabarinus</i>	0	0	0	4	4
배젓버섯	<i>Lactarius chrysorrheus</i>	0	0	0	4	4
솔밭을귀신그물버섯	<i>Strobilomyces confusus</i>	0	0	0	3	3
장미마개버섯	<i>Gomphidius subroseus</i>	0	0	0	3	3
달걀버섯	<i>Amanita hemibapha</i>	0	0	0	3	3
굴털이	<i>Lactarius piperatus</i>	0	0	0	3	3

* *Russula sp.* includes the mushrooms of *Russula* couldn't be identified since the mushroom was too young to be identified at the surveying time.

이는 기존 보고자료와는 다소 다른 결과이다. 나중성과 류정(1992)의 조사에서는 무당버섯류(*Russula spp.*)나 광대버섯류(*Amanita spp.*)의 보고가 전혀 없었고, 이경준 등(1986)의 보고에서도 무당버섯류(*Russula spp.*)나 광대버섯류(*Amanita spp.*)는 송이 발생림 보다는 송이 미발생림에서 주로 나타나는 것으로 보고되어 있으나, 본 조사에서는 위의 두 종류가 피꼬리버섯류(*Cantharellus spp.*) 및 그물버섯류(*Boletus spp. & Suillus spp.*)와 더불어 송이 발생림에 출현하는 균근성 버섯상의 거의 대부분을 차지하였다. 즉, 지역이나 기후적인 요인, 또는 송이 발생림의 나이에 따라 송이 이외 버섯이 출현하는 모습은 다름을 알 수 있었다.

小川(1991)의 보고에 따르면, 송이산에 발생하는 각종 버섯상은 송이 발생림의 나이와 관련이 깊은 것으로 여겨지는데, 송이발생이 시작하는 시기에는 금버섯(*Tricholoma flavovirens*), 무늬노루털버섯(*Sarcodon scabrosus*), 흰굴뚝버섯(*Boletopsis leucomelas*) 등이 출현한다. 반면, 송이 발생량이 줄어드는 시기에는 마귀광대버섯(*Amanita pantherina*), 젓버섯류(*Lactarius spp.*) 및 무당버섯류(*Russula spp.*) 등의 무리가 많아지며, 송이가 거의 나지 않는 시기가 되면 균근성 버섯이 거의 없어지고 부후성 버섯이 많아진다. 그런데, 본 조사구에서는 흰굴뚝버섯(*Boletopsis leucomelas*)은 단 하나밖에 없었으며, 무당버섯류(*Russula spp.*)가 대부분을 차지하고 있었다. 따라서, 조사 대상지는 송이 발생량이 최고조에 달하였다가 줄어들기 시작하는 내림세 송이산의 버섯상의 전형적인 모습으로 생각되었다. 이러한 자료를 토대로 각 버섯의 주 출현위치를 구체적으로 분류해 보면 다음과 같다.

다. 송이균환 내부에 출현한 버섯

조사된 버섯중에서 송이균환 내부에만 출현한다고 할 수 있는 버섯은 없었다. 한편, 小川(1991)의 보고처럼 송이가 처음 발생하게 되는 송이발생의 초기에 출현하는 흰굴뚝버섯(*Boletopsis leucomelas*)이 송이균환 내부에서 발견되었는데, 그 관측치는 단 하나에 불과하여 송이균환 내부에만 출현하는 버섯이라고 하기는 어려웠다.

수원무당버섯(*Russula bella*), 푸른주름무당버섯(*Russula delica*), 마귀광대버섯(*Amanita*

pantherina), 황소비단그물버섯(*Suillus bovinus*), 그물버섯류(*Boletus sp.*), 다박싸리버섯(*Ramaria flaccida*)의 경우에는 균환의 내부와 외부에 골고루 발생하고 있었는데, 특히 황소비단그물버섯(*Suillus bovinus*), 그물버섯류(*Boletus sp.*) 및 다박싸리버섯(*Ramaria flaccida*)은 균환의 내부에서 각각 13개(황소비단그물버섯 출현량의 29%), 23개(그물버섯류 출현량의 66%) 및 12개(다박싸리버섯 출현량의 35%)가 관찰되어 다른 버섯에 비하여 송이균환이 지나간 곳에 출현하기 쉬운 종으로 여겨졌다.

라. 송이 균환부에 출현하는 버섯

생리적으로 활성을 띠고 있는 송이 균환부에서만 발견된 버섯은 광대버섯(*Amanita muscaria*)과 큰마개버섯(*Gomphidius roseus*)이었다. 하지만, 이들도 단 하나씩만 발견되었기에 송이균환과 경쟁관계에 있는 버섯이라고 말하기는 어려웠다. 수원무당버섯(*Russula bella*), 마귀광대버섯(*Amanita pantherina*), 황소비단그물버섯(*Suillus bovinus*), 그물버섯류(*Boletus sp.*) 및 자주줄각버섯(*Laccaria amethystea*)은 균환부에 3회 이상 출현한 버섯종류로서 송이와 경합 또는 보완관계에 있는 것으로 추측되었다. 그렇지만, 이러한 버섯 종류와 송이의 관계에 대한 명확한 관계 구명은 어려웠는데, 단지 본 조사지가 송이 생산량이 줄어드는 내림세 송이산임을 감안한다면, 이들이 송이 생산량이 줄어드는 지표 역할을 할 수 있을 것으로 생각되었다.

마. 송이균환 외곽에 주로 출현하는 버섯

전체 조사된 960개의 버섯중에 799개가 균환의 외곽에 나타났는데, 특히 다른 곳에는 발생하지 않고 균환의 외곽에서만 발견된 종류로서 통계적인 유의성을 인정할 수 있었던 버섯은 달갈버섯(*Amanita jembapha*), 붉은피꼬리버섯(*Cantharellus cinnabarinus*), 품선끈적버섯(*Cortinarius purpurascens*), 빨나팔버섯(*Craterellus cornucopioides*), 장미마개버섯(*Gomphidius subroseus*), 비듬땀버섯(*Inocybe lacera*), 굴털이(*Lactarius piperatus*), 배젖버섯(*L. chrysorrheus*), 호박젖버섯(*L. laeticolorus*), 방패갓버섯(*Lepiota clypeolaria*),

삿갓외대버섯(*Rhodophyllus rhodopolius*), 방패외대버섯(*R. clypeatus*), 솔방울귀신그물버섯(*Strobilomyces confusus*), 비단그물버섯(*Suillus luteus*), 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*) 등이었다. 즉, 이들은 송이산에서 발견되지만, 송이산의 쇠퇴나 활력도와 깊은 관련이 있는 지표로 사용하기는 곤란한 버섯으로 여겨진다.

바. 송이균환 전진 예정지에 출현한 버섯

좀노란그물버섯(*Boletellus obscurecoccineus*)은 송이균환의 선단부에만 출현한 버섯이었다. 하지만, 출현빈도는 단 1회에 그쳤으며, 장미무당버섯(*Russula rosacea*), 무당버섯아재비(*Russula pseudodelica*), 기와무당버섯(*Russula virescens*) 등은 균환 전진 예정지에 1회씩 출현하고 균환외곽에 주로 많이 나타났다. 또한, 조사기간중 20회 이상 기록된 대부분의 버섯은 균환선단부에도 일부 출현하였지만 균환 외곽부나 내부에 더 많이 발생하는 것으로 여겨졌다.

4. 고찰

Frankland(1998)의 지적처럼, 식물상의 천이에 대한 연구는 비교적 널리 인식되고 있지만, 균학계에서는 균류의 천이에 대하여 최근까지 간과해 온 것이 사실이다. 균학적인 개념에서 균류의 천이는 '일정한 환경에서 다른 종류의 균류 또는 균류 군집이 시간적인 차이를 갖고 나타나는 모습'이라고 정의될 수 있다. 송이산에서도 이러한 균류의 천이현상이 나타나는데, 송이의 균환이 일단 나타나게 되면 균근에서 형성되는 항생물질의 작용으로 균환 스스로 필요없는 세균이나 균류의 성장을 억제하며 자신의 영역을 확장한다(小川, 1991). 물론, 시간이 지남에 따라 송이균환과 경합하는 균류가 나타나며 이에 따라 균환이 점차 쇠퇴하게 되지만, 활력이 높은 균환부에서는 토양중의 다른 균류나 세균과의 경합이 비교적 적은 것으로 여겨지고 있다.

본 연구는 송이의 생산량이 정점에 달했다가 줄어드는 시기의 송이산을 대상으로 버섯상을 조사하였으므로 송이와 경합하는 균류, 특히 외생균근성 균류를 찾을 수 있을 것으로

가설을 세우고 추진하였다. 이를 명확히 확인하기 위해서는 송이 균환부나 송이 균환의 선단부에 집중적으로 출현하는 버섯을 찾아야만 한다. 하지만, 균환 외곽에 비하여 균환부나 균환 선단부에 주로 나타나는 버섯은 찾기 어려웠고, 단지, 균환 내부에 많이 나타나며 균환부에도 자주 출현하는 버섯을 중심으로 송이균환의 쇠퇴도를 추론할 수 있었다. 이는 小川(1991)의 “송이균환이 건강할 때는 다른 세균이나 곰팡이가 침입할 수 없도록 항균물질을 생산하지만, 활력을 잃어감에 따라 다른 균류의 침입을 제어하지 못한다는 이론”에 근거하는 것으로서, 마귀광대버섯(*Amanita pantherina*), 황소비단그물버섯(*Suillus bovinus*), 그물버섯류(*Boletus sp.*), 다박싸리버섯(*Ramaria flaccida*)은 송이균의 쇠퇴와 관련이 깊은 것으로 여겨졌다. 또한 자주줄각버섯(*Laccaria amethystea*)은 다른 지역에 비하여 송이 균환부에 나타나는 경우가 더 많아서 송이균환의 활력과 일정한 관련이 있을 것으로 추측되었다.

第 2 節 송이 菌環部の 土壤分析을 통한 生産性 精密診斷

1. 서론

송이는 우리나라의 임산물중 외화 획득률이 가장 높은 외생균근성 버섯이다. 약 1세기에 달하는 일본의 송이 연구결과(小川, 1991)를 토대로, 1970년대 이후 우리나라의 송이 연구는 발생환경 구명을 통한 생산성 향상의 측면에서 많은 연구가 수행되어 왔다(이태수 등, 1984; Park 등, 1997). 최근에는 실내의 균사배양을 통한 인공증식 연구가 추진되어 송이균을 인공배지에서 자라게 하고, 배양균을 소나무뿌리에 인공 접종하는 연구로 발전되고 있지만, 아직 표고나 느타리처럼 인공적으로 재배할 수는 없는 실정이다(산림청, 1995).

송이가 발생하고 있는 환경을 고찰할 때, 송이발생의 모체인 균환이 토양 조건의 영향을 많이 받음을 고려한다면, 송이 균환부 토양연구는 매우 중요하다. 송이균환은 토양의 이화화적인 특성과 균근을 비롯한 토양미생물학적인 특성의 복합체이므로 균환에 대한 연구는 토양생태계를 종합적으로 고려한 연구가 되어야 한다.

송이산 토양의 이화학적 특성(류천인 등, 1980; 이태수 등, 1983)이나 미생물상(Song과 Min, 1991)에 대한 연구보고는 있지만, 개괄적인 토양의 이화학적 분석이나 토양미생물상 조사로는 송이 균환부 토양생태계의 동태를 설명하기 어렵다. 특히, 송이균은 한 곳에 정착하는 것이 아니라 계속 이동하므로 송이균환의 발달에 따른 토양생태계의 동태 변화를 알아야 송이산의 효율적인 관리가 가능할 것이다. 그러나, 토양생태계는 토양 내 모든 생물과 각종 물질 변화가 이루어지고 있는 모체로서, 어떠한 환경변화가 가해져도 단기간 내에 뚜렷한 반응이 나타나지 않으므로 명확한 평가를 하기 어렵고, 모든 토양미생물이 활성을 가지고 토양동태에 관여하는 것이 아니므로 토양동태를 파악하려면 실질적인 활력을 지닌 미생물의 양이나 현상을 반영할 수 있는 기법이 필요하다.

토양효소는 토양 생산성이나 토양미생물의 간접적인 정량지표로 사용되며, 생화학적 순환능력 및 토양오염의 부정적인 효과를 판단하는 기준으로 활용되기도 한다(Tate, 1995). 특히 탈수소효소(dehydrogenase)는 토양미생물의 전반적인 활성도 지표로 활용되는 효소로서(Burns, 1978; Serrwittling 등, 1995) 유기물 분해와 밀접한 관계가 있다. 반면, 균근성 균류인 송이는 유기물을 분해하는 능력이 거의 없고, 유기물 분해균이 많으면 오히려 송이균의 활력이 낮아지는 것으로 보고되고 있으므로(小川, 1991) 탈수소효소의 정량을 통하여 송이균환 주변의 활력을 역산(逆算)할 수 있을 것으로 여겨진다.

이에 따라, 본 연구는 외생균근균인 송이의 균환 발달에 따라 토양의 이화학적 특성과 탈수소효소 활성도의 변화를 파악하여 송이산 환경개선의 기준을 세우는 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 연구지 개황

연구 대상지는 강원도 홍천군 동면 노천리에 소재한 국유림으로서 이 지역은 강원도 홍천지역의 전형적인 송이 발생림이었다. 조사지역은 산정부에 위치한 남서사면으로, 표고(標高)는 약 450m에 달하였고 약 70년생의 소나무가 상층 수관을 우점하고 있었다. 상

층수관의 70%는 소나무(*Pinus densiflora*)가 차지하고 나머지 30%를 굴참나무(*Quercus variabilis*)가 점유하고 있었으며 하층식생으로는 산철쭉(*Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*)이 우점종이며 쪽동백(*Styrax shiraiana*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*) 등이 산재하고 있었다. 지질은 중생대 백악기에 형성된 흑운모 화강암류가 주종을 이루며 절리가 수직 방향으로 발달되어 있어 풍화작용이 급속히 일어나는 것으로 여겨졌으며, 조립질 화강암을 모재로 발달한 양질사토가 표층을 덮고 있는 갈색약건산림토양(B₁)이었다.

나. 시료 채취 및 분석방법

토양시료는 송이균환을 중심으로 균환 예정지, 활성 균환부, 균환 통과부로 나누어 물리성 분석시료 23개, 화학성 분석시료 13개를 채취하였다. 채취시기는 1996년 9월과 1997년 9월이었으며, 채취시 유기물층을 제거하고 0~20cm의 표층토양을 채취하였다.

토양의 물리성은 삼상, 가비중, 토성, 통기성을 측정하였으며, 토양의 화학성은 pH와 치환성 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), 유효인산(P_2O_5), 전질소 및 탄소를 정량분석하였다(김동수, 1988).

탈수소효소의 활성도 측정은 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride(TTC)의 환원으로 생성되는 triphenyl formazan(TPF)의 양을 측정하였다(Tabatabai, 1982). 아직까지 TTC를 이용하는 방법과 2-*p*-iodophenyl-3-*p*-nitrophenyl-5-phenyl tetrazolium chloride (INT)를 이용하는 방법에 대한 여러 가지 의견이 있지만(Chander와 Brookes, 1991; Gong, 1997; Trevors, 1984), TTC의 방법이 간단하면서도 그 결과는 큰 차이가 없으므로(Gong, 1997) 본 연구에서는 TTC 이용법을 사용하였다.

다. 통계분석

조사된 자료의 통계분석을 위해서 상관분석을 실시하였고, 분산분석을 실시하여 5% 유의수준에서 차이가 인정될 경우에는 각 조사치 평균값을 Duncan's multiple range test를 통해 비교하였다 (SAS, 1985).

3. 결과 및 고찰

가. 토양의 이화학적 특성

균환부 토양의 토성은 대부분 사질양토이었다. 점토와 미사의 함량이 균환 통과부에서 적었지만, 변이가 커서 통계적인 유의차는 없었다(Table 3-2). 토양의 삼상(三相) 중 고상(固相)의 비율이 약 45% 내외로서 일반적으로 30~35%의 고상 비율을 지니는 갈색산림토양에 비하여 고상의 비율이 매우 높았다(임업연구원, 1989). 반면, 액상의 비율은 10% 미만으로 나타나 일반적인 갈색산림토양의 액상 비율인 10~20%에 비하여 낮았다. 가비중은 1.04~1.34(g/cm³)이었고 통기성은 0.08~0.49(m/sec)의 큰 변이를 나타내었지만 균환발달에 따른 변화는 통계적인 유의차가 없었다.

Table 3-2. Soil physical properties around fairy ring of *Tricholoma matsutake* at the experimental sites (mean ± standard error).*

	sand (%)	silt (%)	clay (%)	bulk density (g/cm ³)
in front of fairy ring	71.31 ± 3.66	22.61 ± 3.15	6.08 ± 0.72	1.16 ± 0.033
zone of physiologically active mycorrhizae	79.43 ± 6.23	14.54 ± 5.44	6.03 ± 1.77	1.19 ± 0.031
zone of decayed mycorrhizae	82.01 ± 2.48	14.05 ± 2.84	3.94 ± 0.94	1.18 ± 0.034

	solid-phase (%)	gas-phase (%)	liquid-phase (%)	air permeability (m/sec)
in front of fairy ring	43.63 ± 1.27	49.60 ± 1.38	6.77 ± 0.32	0.33 ± 0.12
zone of physiologically active mycorrhizae	45.07 ± 1.19	47.09 ± 1.39	7.83 ± 0.37	0.20 ± 0.056
zone of decayed mycorrhizae	44.42 ± 1.32	49.00 ± 1.55	6.58 ± 0.76	0.19 ± 0.034

* None of the physical properties were significantly different among the treatments at the 5% level.

토양 pH는 전반적으로 산성(pH 4.56~4.62) 이었는데, 송이균환의 통과에 따른 차이는 인정되지 않았다(Table 3-3). 반면, 균환부가 균환 통과부나 균환 전방에 비하여 유효인산의 함량이 높게 나타났다. 즉, 토양산도의 변화가 없음에도 불구하고 유효인산의 함량이 균환부에서 높게 나타난 것은 송이균근에 의하여 인의 가용화가 촉진된 것을 추측케 해 준다(Allen, 1991).

Table 3-3. Soil chemical properties around fairy ring of *Tricholoma matsutake* at the experimental sites (mean \pm standard error).

	pH	available P (ppm)	C (%)	TN (%)	C/N
in front of fairy ring	4.56 \pm 0.06 ^{aa}	6.60 \pm 0.99 ^b	2.77 \pm 0.23 ^a	0.15 \pm 0.01 ^a	18.76 \pm 2.08 ^a
zone of physiologically active mycorrhizae	4.62 \pm 0.06 ^a	13.46 \pm 1.85 ^a	1.71 \pm 0.17 ^b	0.10 \pm 0.04 ^{ab}	21.97 \pm 6.23 ^a
zone of decayed mycorrhizae	4.60 \pm 0.06 ^a	4.39 \pm 0.71 ^b	1.47 \pm 0.20 ^b	0.07 \pm 0.01 ^b	21.58 \pm 2.36 ^a
exchangeable cation(me/100g)					
	Ca ^{z+}	Mg ^{z+}	K ⁺	Na ⁺	
in front of fairy ring	1.42 \pm 0.21 ^a	0.48 \pm 0.08 ^a	0.22 \pm 0.03 ^a	0.08 \pm 0.004 ^a	
zone of physiologically active mycorrhizae	0.96 \pm 0.20 ^a	0.41 \pm 0.12 ^a	0.17 \pm 0.01 ^a	0.09 \pm 0.01 ^a	
zone of decayed mycorrhizae	1.12 \pm 0.28 ^a	0.34 \pm 0.09 ^a	0.24 \pm 0.04 ^a	0.08 \pm 0.01 ^a	

* The same letters within each column indicate that the values were not significantly different for each treatments at the 5% level.

한편, 균환부나 균환 통과부가 균환 전방에 비하여 토양내의 탄소와 전질소의 함량이 낮게 나타났다. 즉, 송이균환은 균환이 없는 곳에 비하여 유기물의 함량이 낮음을 시사하는데, 송이균환이 유기물 함량이 낮은 토양에만 형성이 되는 것인지 송이균환의 형성에 의

하여 유기물의 함량이 낮아지게 되는 것인지는 구명하기 어려웠다. 또한, 토양내의 점토나 미사의 함량과 질소 또는 탄소량이 밀접한 상관관계가 있는 것으로 보고되었으나(Hassink, 1997), 본 연구에서는 그 상관관계가 뚜렷하지 않았다.

아울러, 송이균근의 양분 흡수기능에 의하여 토양내의 칼륨, 칼슘이나 마그네슘 등 양이온의 함량에 변화가 생길 수 있을 것으로 예상하였지만(Stucki 등, 1992), 본 연구결과에서는 변이 폭이 커서 균환 발달에 따른 뚜렷한 차이를 찾을 수 없었다.

나. 탈수소효소의 활성화도

일반적으로 성숙한 산림토양의 탈수소효소 활성화도는 약 150~200 μg TPF/g soil로 보고하고 있다(박현, 1998). 그러나, 본 연구에서는 송이균환의 전방은 50 μg TPF/g soil 미만으로서 일반 토양의 약 1/3에 해당하는 수치를 나타내었고, 균환부 및 균환 통과부는 균환선단부의 10%에도 미치지 못하는 낮은 수치를 나타내었다(Figure 3-2).

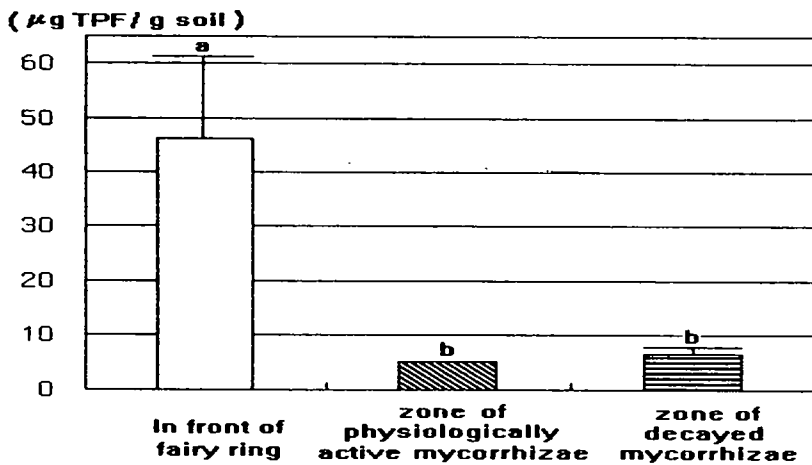


Figure 3-2. Dehydrogenase activity in soil around the fairy ring of *Tricholoma matsutake* at the experimental sites. The bars above each stem indicate standard error and the same letters above each bar indicate that the values were not significantly different at the 5% level.

즉, 송이균환이 형성되는 지역은 Song과 Min(1991)의 지적처럼 전반적인 미생물의 양

이 적거나 활성도가 매우 낮은 토양으로서, 유기물 분해가 느린 것으로 추측할 수 있었다. 이는 탈수소효소의 활성과 탄소함량이 정의 상관관계($r=0.791$, $p<0.01$)를 보여 유기물(또는 유기물 분해균) 함량이 높을수록 탈수소효소의 활성이 높게 나타나는 것을 통해서도 확인할 수 있었다. 즉, 서론에서 언급하였듯이, 균근균은 유기물을 분해하는 능력이 극히 낮으며(Allen, 1991), 송이는 유기물 분해균과의 경쟁에서 패배하는 경향이 크므로(小川, 1991), 송이균의 활력이 높은 곳은 탈수소효소의 활성도가 낮다고 생각할 수 있다.

다. 종합 고찰

송이는 균근을 형성하는 균류로서, 송이균환(菌環)의 발달은 균근성 균류인 송이의 영역이 형성됨을 의미한다. 따라서, 송이균환의 발달은 일반적인 균근성 균류가 나타내는 토양의 변화를 초래하게 될 것으로 예상할 수 있는데, 그 대표적인 예로서 Stucki 등(1992)이 지적한 점토광물의 변화나 Allen(1991)이 지적한 유기물 분해균과의 경쟁관계 형성 등을 꼽을 수 있다. 본 연구에서는 양이온 함량의 변화나 토성의 변화 등 토양 구성물질의 변성은 뚜렷하게 나타나지 않았지만, 유효인산의 함량이나 탄소, 질소의 함량이 균환부와 균환 전방부 사이에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 탈수소효소의 활성은 일반 성숙토양에 비하여 훨씬 낮은 수치를 나타내어, 송이균환은 성숙도가 낮으며 유기물이 적은 토양에 형성, 발달됨을 짐작할 수 있었다.

즉, 송이균환은 균근성 균류의 특성을 뚜렷이 지님을 확인할 수 있었으며, 송이 균환부의 탈수소효소 활성도는 비슷한 토양형을 가진 다른 산림토양에 비하여 극히 낮음을 파악할 수 있었다. 이는 송이산의 관리가 실질적으로는 송이균환의 관리라는 것을 감안할 때, 송이산 관리의 기준으로 송이의 균근적인 특성을 이용하여 탈수소효소 등 토양효소를 지표로 활용할 수 있음을 시사한다. 특히, 송이산에서 실행되는 낙엽꺾기 등의 처리를 위해서 유기물 분해도의 지표인 탈수소효소의 활성도를 측정하여 적당한 시기와 강도를 정할 수 있을 것으로 여겨진다.

第 3 節 송이 子實體의 生長

1. 서론

송이(*Tricholoma matsutake*)는 기주특이성이 강한 외생균근성 버섯이며, 동북아시아에서 발생하는 이 버섯은 주로 소나무(*Pinus densiflora*)를 공생기주로 하고 있다. 다른 공생기주를 이용하는 송이류(*T. magnivelare*, *T. nauseoum*, etc.)는 미국, 유럽 등지에서 발생하고 있다(小川, 1991). 동북아시아에서 송이(*T. matsutake*)가 곰솔(*Pinus thunbergii*), 솔송나무(*Tsuga sieboldii*), 가문비나무류(*Picea glehnii*) 등의 숲에서도 보고된 바 있지만(Ogawa, 1976; 1977), 그러한 경우는 매우 드문 일이며, 대부분은 소나무림에서 송이가 발생하고 있다.

일본에서는 자국내 송이 수요에 비하여 송이 생산량이 부족함에 따라 다양한 송이를 모두 수입하여 공급하고 있는데, 각 송이의 형태적인 특성에는 다소 차이가 있으며 생장 기작도 다를 것으로 여겨진다. 이에 따라 미국에서는 미주대륙에서 생산되는 송이(*T. magnivelare*)의 생태적인 특성 등에 대하여 자세히 연구하고 있으며(Hosford 등, 1997), 우리나라에서도 송이의 생리·생태적인 특성에 대하여 심도있게 연구할 필요성이 있다고 여겨진다.

일본에서는 小川(1975)가 야외에서 송이균환의 발달과정을 세밀하게 보고하였고, 衣川(1963)는 지중온도가 19℃ 이하로 떨어져야 송이 자실체가 지표면으로 출현하게 된다고 발표한 바 있다. 또한, 浜田(1953)는 송이 자실체의 생장이 전형적인 S자 곡선을 그린다고 보고하였는데, 송이 자실체가 지면 위로 나오기 7~10일 전에 땅 속에서 원기(原基)가 만들어지며, 지면 위로 노출된 뒤 10일 정도 경과하면 자실체의 갓이 종 모양을 갖추게 된다고 보고하였다.

우리나라의 송이의 발생기작도 이들의 보고와 마찬가지로 생각할 수 있지만, 우리나라의 각 지역별로 송이 발생패턴이 다른 점(박현 등, 1996)을 감안한다면 지역이나 각 환경에 따라 발생위치나 기작에는 차이가 있을 것으로 여겨졌다. 이에 따라, 본 연구는 우리나라

라 송이 자실체의 원기가 발생하는 위치와 성장과정을 조사하고 그 결과를 일본을 비롯한 기존 연구와 비교, 고찰하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

강원도 홍천의 시험지에서 1995년부터 1997년까지 3년간 송이 발생량 및 발생위치를 조사하였다. 버섯 발생량과 기상인자와의 연관성 파악을 위해서는 해당기간의 기상월보를 기준으로 고찰하였다. 송이 발생량 및 발생위치 측정과 더불어 1997년에는 송이의 성장기작을 측정하였는데, 9월 초순부터 10월 상순까지 26개의 송이 자실체를 대상으로 지면에 노출된 순간부터 갓이 뒤집어질 때까지 버섯의 높이와 갓 직경을 매일 1회씩 측정하였다. 아울러, 갓이 완전히 뒤집어진 후 버섯을 채취하면서 버섯자루 밑뿌리의 위치를 측정하였는데, 지표면을 기준으로 버섯자루의 밑뿌리가 위치한 곳의 토심과 낙엽층의 두께를 측정하였다. 송이의 원기발생 위치는 버섯의 밑뿌리 위치를 기준으로 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 송이 발생

본 연구의 대상지는 9월 1일부터 10월 5일까지 송이 자실체가 출현하였는데, 1995년에 381개, 1996년에 38개, 1997년에 242개가 조사되었다. 1995년과 1996년에는 9월 16일~20일에 각각 201개와 27개, 1997년에는 9월 21일~25일에 97개로 가장 많이 발생하였고, 그 이후에는 급격하게 감소하였다(Figure 3-3). 즉 버섯이 가장 많이 발생하는 기간은 9월 16일~25일 이었고, 3개년간 버섯이 가장 많이 발생하는 기간은 다소 차이가 있었다. 버섯이 가장 많이 발생하는 시기와 일교차가 큰 시기가 일치하는 경향이 '95, '97년도에 나타났고, '96년도에는 최다 버섯발생 이후에 일교차가 큰 시기가 나타났다. 최다 버섯발생 시기의 일교차는 '95년과 '97년에는 17℃ 내외이었고, '96년에는 13℃ 내외이었다(기상청 기상월보, 1995-97). 송이발생에서 9월 평균 최저기온과 9월 강수량(박현 등, 1995), 8월 평균 최

저기온(강안석 등, 1989), 9월의 최저기온과 8월과 9월의 강수일수(조덕현과 이경준, 1995) 등이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보고하고 있으나, 송이 발생량과 일교차간의 관계는 언급하고 있지 않다. 비록 이 연구에서 송이 발생량과 일교차간의 세부적인 조사결과는 없으나, 송이 최대 발생시기와 일교차간의 관계가 '95년과 '97년도에 나타난 것으로 보아 어느 정도 관계가 있을 것으로 판단되며, 앞으로 송이 발생량과 기상인자 관련 연구에서 일교차의 문제도 고려할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 아울러, 본 연구에 사용된 기후자료와 홍천 시험지의 미기상자료간에 차이가 있음으로 인하여, '95, '97년도의 특성과 '96년의 결과에 차이가 발생하였을 가능성도 있으므로, 미기상자료의 측정에 의한 정확한 검정이 요구되었다.

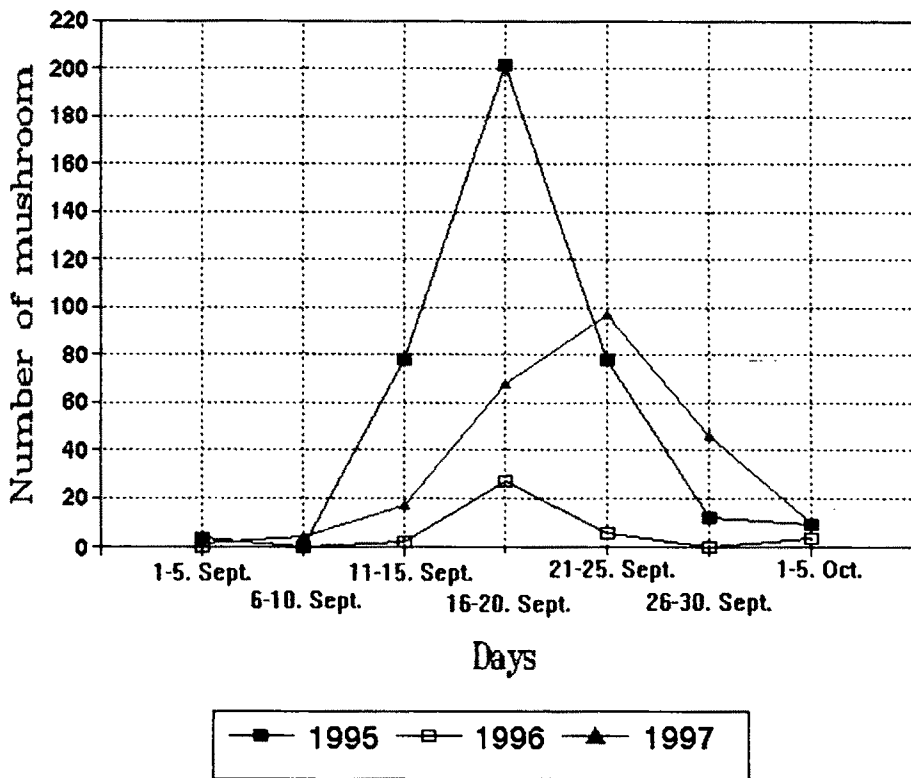


Figure 3-3. Number of fruit bodies of *Tricholoma matsutake* appeared during fall of 1995 through 1997 at the experimental site.

8월과 9월의 강수량을 보면, '95년도는 822.5, 80.5mm, '96년도는 130.5, 7.5mm, '97년도는 119.5, 118.0mm이었다. '95와 '97년도는 9월 4일 및 11일경에 일평균기온이 20℃ 이하로 떨어졌는데 '96년도에는 9월 16일까지 일평균기온이 20℃를 유지하여 상당기간 높은 기온이 유지됨으로서, 1996년도의 송이 발생이 낮았던 원인이 강수량보다는 높은 기온 때문으로 판단되었다(기상청 기상월보, 1995-97).

나. 송이 자실체의 생장

송이발생의 전체 깊이는 3cm~8cm범위로 평균 5.7cm 이었다. 송이 자실체의 원기가 형성되는 부분은 토심 1.5cm~6.5cm 범위로 평균 3.1cm 부분이었고, 낙엽층은 1.0cm~4.5cm 범위로 평균 2.6cm이었다(Table 3-4). 낙엽층의 두께와 버섯자루 밑뿌리가 위치하는 토심 사이에는 반비례 관계가 성립하였다($r = -0.42, p=0.006$). 송이발생시 낙엽층이 어떻게 존재하느냐에 따라 버섯의 발생깊이가 영향을 받으며, 원기형성부위의 깊이가 깊을수록 중량이나 자루길이면에서 우수한 품질의 송이 자실체 생산을 예상할 수 있으므로, 낙엽층기를 통하여 송이 버섯자루의 밑뿌리 위치가 깊은 토심에 이르도록 하는 것이 바람직함을 추론할 수 있었다.

Table 3-4. Depth of the mushroom bottom and the difference in depth of fruit body by the litter thickness.

litter layer (cm)	depth of stipe bottom(cm) ¹		number of observed mushroom
	total depth	depth of stipe into soil layer	
0~2	5.1 ± 1.5	3.5 ± 1.5	15
2~4	6.1 ± 1.0	3.0 ± 1.1	16
4~6	6.8 ± 0.5	2.0 ± 0.4	4

¹ Mean ± Standard deviation

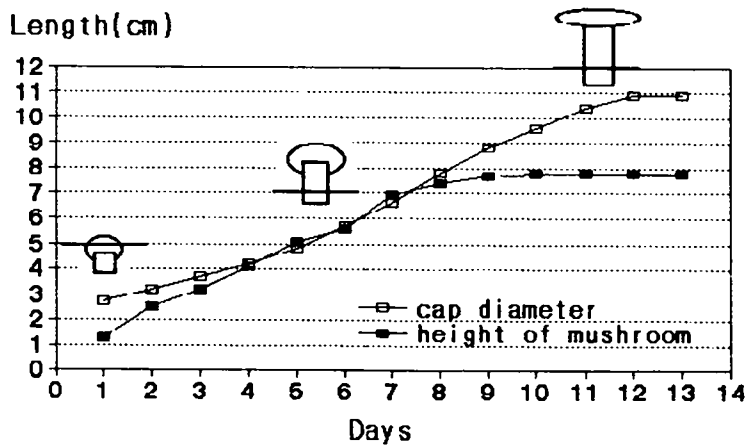


Figure 3-4. Growth of *Tricholoma matsutake* in mushroom height and cap diameter on the surface(n=26; The thick line across the fruit bodies indicates soil surface).

땅 속에서 송이가 어떻게 발생하고 성장하여 땅 위로 나오는가를 정확히 알기 위해서는 땅을 파서 송이발생 단계별로 조사를 할 수 있지만, 하나의 시작에서 성숙까지의 환경을 교란시키게 되므로 실질적인 연구가 어렵다. 이에 따라 지표면에 출현한 자실체의 성장만을 조사하게 되는데, 본 연구대상지에서 지면에 보이기 시작한 버섯은 5~6일 사이에 1등급 상태의 모양이 되어 채취적기에 도달하였다(Figure 3-4). 지면에 노출된지 7일째부터 갓이 벌어지기 시작하여 8~10일에는 턱받이가 완전히 자루에서 떨어져 개산하였고, 이 때 버섯의 자루길이 생장은 급격히 떨어져 정지하였다. 11~13일에 버섯의 갓은 자루와 수직을 이루면서 갓이 뒤집어지기 시작하였다. 한편, 송이의 최초 출현일이 늦어질수록 송이의 성장속도가 빨라지는 경향이 있었다.

본 연구에서는 버섯이 처음 발견된 시점으로부터 몇일 전에 이미 원기가 땅속에서 만들어 졌는지는 알 수 없었으나, 浜田(1953)가 송이 자실체의 성장곡선식을 토대로 땅속에서 원기가 발생한 일자를 유추한 것과 비슷할 것으로 판단된다. 그러나, 앞으로 좀더 정확한 조사의 필요성이 있다. 버섯이 처음 출현하여 5~6일에 1등급 상태인 종모양으로 되었

는데, 이 결과는 浜田(1953)가 지면에 버섯이 처음 출현한 뒤 7~10일 후에 종 모양의 버섯으로 성장한다는 보고보다는 약간 앞선 수치를 나타냈다. 이러한 결과는 버섯의 관찰시점, 기후 등에 의한 영향으로 약간의 차이가 발생되었던 것으로 판단된다.

4. 결 론

홍천 송이 시험지에서 송이의 최대 발생시기는 9월 16일~25일 사이이었고 발생량은 강수량과 기온의 영향을 받고 있고, 일교차가 큰 시기와 송이 최대 발생시기와 관계가 뚜렷하지는 않지만 유의할 필요성이 있었다. 따라서, 기존의 연구에서 일교차의 문제는 다루지 않고 있으나 앞으로 송이 생산량에서 일교차의 문제도 검토할 필요성이 있었다. 즉, 최저기온에 의하여 송이 발생이 개시되어 온도에 따른 변화가 발생하는지에 대한 면밀한 검토가 요구된다.

한편, 송이의 원기형성 위치는 낙엽층과 반비례 관계가 성립하였으므로 송이산 관리시 낙엽층 및 부식층을 제거하여 송이 발생위치를 변화시킬 수 있으므로 양질의 송이수확을 기대할 수 있을 것이다. 송이의 자실체 생장은 버섯이 땅위로 올라온 후 5~6일에 1등급 모양이 되었으므로 송이의 채취자들은 고품질의 송이수확을 위하여 송이 자실체 생장을 숙고할 필요성이 있었다.

第 4 節 灌水와 落葉층기에 의한 송이 生産 制限因자의 克服

1. 서 론

본 연구의 목표는 송이 생산성을 진단하고, 송이 생산성에 대하여 영향을 주는 인자를 파악하며, 송이 자실체의 형성기작을 고려하여 송이 자실체의 생산성을 높이는 것이다. 본 장의 1절과 2절에서 송이 생산성을 진단하는 기법으로서 버섯상 조사를 통한 예비진단 기법(Park 등, 1998)과 토양효소 정량을 통한 정밀진단기법(허태철 등, 1998)을 제시하였으

며, 송이 생산성을 제한하는 인자의 파악을 위한 노력(박현 등, 1996; 1998)을 통하여 각 지역별로 각 제한인자의 영향력은 다르며, 주된 영향인자는 누적된 강수량임을 파악하였다

물론, 이러한 영향인자에 대한 연구는 기존에 많이 조사된 바 있으며(富永, 1967; 조덕현과 이경준, 1995), 박현 등(1995)은 관수(灌水)를 통하여 실질적으로 극복될 수 있음을 밝힌 바 있다. 그러나, 매년 일정한 패턴을 나타내지 않는 기상변화는 이러한 연구결과의 재연성에 대한 의문을 제기하게 하며, 각 송이산의 입지환경 차이는 낙엽꺠기를 비롯한 각종 환경조절 처리의 실질적인 효과나 그 효과의 지속성에 대한 의문(Park 등, 1997)도 명확한 답을 요구하고 있다. 이에 따라, 본 절에서는 각종 처리효과의 정확한 검정을 위하여 각 처리를 일정한 균환을 대상으로 처리하며 검토하여 명확한 답변을 내려 보고자 시도한 결과를 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 낙엽꺠기에 의한 생산성 변화 조사

본 장에서 언급한 홍천시험구에서 5m×20m의 조사구 22개를 대상으로 실시하였다. 모든 조사구에서 송이 자실체 발생위치, 발생량을 '95~'97기간 동안 예비조사를 실시하였으며, '97년 처리후 '98에는 처리효과를 검정하였다.

각 조사구를 대상(帶狀)으로 하나의 조사구는 낙엽꺠기를 실시하고 인접한 다른 조사구는 낙엽을 방치하였다. 낙엽꺠기는 '97년 송이발생이 정지된 시점에 실시하였으며, 표토층이 완전히 노출될 정도로 낙엽을 꺠어 내었다. 제거된 낙엽층은 $2.5 \pm 0.8\text{cm}$ 에 달하였으며, 일부 부식층(humus layer)은 완전히 제거되지 않고 남았지만 그 두께는 1cm 내외이었다.

한편, 조사지의 송이 발생량은 매년 일정하지 않고 변이를 나타내었으므로, 송이 발생량을 기준으로 낙엽꺠기 효과를 검정하기 위해서는 대조구와 처리구에서 각각 '95~'97 평균 생산량 대비 '98년 생산량의 비율을 계산하여 처리효과를 ANOVA를 통하여 검정하였다(SAS, 1985).

나. 관수처리에 의한 생산성 변화 조사

실제 산지에 관수를 처리하기 위해서는 다양한 방법을 사용할 수 있다. 그런데, 본 실험을 위해서는 계곡부에 임시저수지를 만들고 침투를 통한 수분 유실을 막기 위하여 아래부분에 비닐을 깔았다. 이렇게 준비된 저수지에서 28마력의 엔진과 펌프를 이용하여 표고 약 200m 차이를 지닌 위치에 설치한 2,000리터의 대형 수조에 50mm의 polyethylene (PE) 관을 이용하여 물을 올려놓았다. 이를 통하여 표고(標高) 약 50~100m의 위상차를 지닌 각 균환부에 20mm의 PE 관으로 연결하여 산악용 스프링쿨러를 이용, 관수를 하였다. 특히, 자실체의 수확은 오전에 이루어지므로, 물을 머금은 송이 자실체가 되지 않도록 하기 위하여 자실체 수확이 끝난 오후에 관수처리를하여 자실체의 품질이 떨어지지 않도록 유의하였다.

한편, 제2장에서 송이생산에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 누적된 강수량으로 파악되었으며, 특히 적정 강수량은 매일 5mm 내외로 추측되었기에 매일 5mm의 강수량이 누적될 수 있도록 처리하여 관수효과를 검증하였다. 특히, 정확한 비교를 위하여 3년간 송이 발생위치를 통하여 파악된 6개의 균환을 대상으로 동일한 균환을 양분하여 처리구와 대조구의 송이 발생량을 조사하고 paired t-test에 의하여 처리효과를 검증하였다. 아울러, 6개의 균환에서 생산된 총 96개의 송이 자실체 시료를 대상으로 송이의 생중량, 갓 직경, 자루길이를 측정하여 t-test를 통하여 비교하고, 관수처리가 송이품질에 미치는 영향을 검증하였다.

송이 발생량은 위치와 더불어 파악하였으며, 1등급에 도달한 자실체만을 수확하여 생중량과 자루길이, 갓 직경을 측정하였다. 중량은 g 단위로 측정하였으며, 자루길이 및 갓 직경은 mm 단위까지 측정하였다. 한편, 50℃에서 48시간 건조후 측정된 건중량을 통하여 계산된 생중량 대비 함수율은 관수 처리구와 대조구의 자실체가 모두 86~88%를 나타내었는데, 처리간 함수율은 통계적 유의차가 없었기에 생중량을 중량계산을 위한 지표로 삼았다.

3. 결과 및 고찰

가. 낙엽꺾기 효과

'97년 하반기 처리후 '95~'97 대비 '98 생산량의 비율을 비교한 결과는 <Table 3-5>에 나타낸 바와 같다. 즉, 낙엽꺾기를 처리한 곳은 대조구에 비하여 생산량이 다소 많은 것으로 여겨졌으나 일부 균환의 경우 전혀 송이 발생량이 없는 등 변이폭이 너무 큼으로 인하여 통계적인 유의차는 찾기 어려웠다. 즉, 처리 1년 후의 효과검정은 큰 변이폭으로 인하여 정확한 검정이 어려웠지만, Park 등(1997)의 연구보고를 고려할 때 2~3년의 중장기적 검정을 통해서도 그 효과를 충분히 인지할 수 있을 것으로 생각되었다.

Table 3-5. Effects of litter removal on pine-mushroom yield observed from 6 fairy rings of *Tricholoma matsutake* at Hongcheon experimental site.

treatments	yield in 1998 contrast to that of average in 1995~1997
litter removed	217% ± 91%
control	131% ± 46%

나. 관수처리 효과

관수는 송이 발생량, 발생개시일 및 발생종결일에 큰 영향을 미치지 않았다(Table 3-6). 관수처리가 지온(地溫)의 강하(降下)를 유도할 수 있으며 단기간에 적절한 조건으로 인하여 일정한 균환부에서 가능한 모든 양의 자실체를 형성하게 될 것으로 추측할 수 있다. 즉, 관수처리는 송이 자실체의 발생량 뿐만 아니라, 송이 자실체의 형성 개시일 및 자실체 생산의 종결일자에도 영향을 줄 수 있다고 추측된다. 그러나, 금년의 연구에서는 송이 발생개시일이 예년에 비하여 훨씬 빨랐던 반면 이에 대한 정확한 예측이 어려워 실제로 생산시기의 조절에 실패한 것으로 여겨진다. 이러한 절차상의 문제점은 기상예보의 정확성과 맞물려 있는 기작이며, 이로 인하여 실제 발생량과 관련된 처리효과의 검정에도 다

소 문제가 있었던 것으로 여겨진다. 따라서, 송이 자실체가 일반적으로 발생을 개시하는 시점으로 여겨지는 지온 19℃에 이르는 시점(Kinugawa, 1963)을 정확히 파악하는 것도 각 처리의 성공여부와 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다.

Table 3-6. Effects of irrigation on yield, initiation and ceasing date of pine-mushroom in 1998 at Hongcheon experimental site.

treatments	mushroom yield(ea)	initiation date	ceasing date
irrigated	13.7±4.5	September 3±1	September 11±2
control	7.7±2.4	September 3±1	September 10±2

아울러, 금년의 관수처리가 실제 송이 발생량에 큰 영향을 주지 않은 것은 금년 송이 발생기의 강수량은 예년에 비하여 충분한 양이었던 반면, 온도의 변화는 급격하여 송이발생이 단기간에 끝난데 기인하는 것으로 생각된다. 금년의 관수처리에서 누적 강수량을 기준으로 하였으므로 강수량이 많았던 날(10mm 이상의 강수량)의 다음날에는 관수를 하지 않았는데, 실제 송이 발생기중 관수를 하지 않았던 날은 대상지의 송이 수확기 약 8일 가운데 4일에 이르렀다.

그럼에도 불구하고, 관수처리는 송이 자실체의 중량 및 자루길이의 증가를 유도하는 것으로 나타났다(Table 3-7). 즉, 『재료 및 방법』에서 간단히 언급하였듯이, 관수처리가 함수율의 증대를 통하여 중량의 증가를 유도하는 것이 아니라 실질적으로 송이 자실체의 길이생장이 증가되도록 함으로서 자실체 중량이 늘어나는 효과를 확인할 수 있었다. 즉, 관수처리는 실질적인 송이 발생량에 큰 영향을 미치지 않는다 할지라도 투자효과가 있음을 시사하는 결과로서, 송이 자실체의 자루길이와 중량에 의하여 송이품질 및 가격이 결정된다는 점을 감안할 때, 관수처리는 가뭄이 심하지 않은 계절에도 그 효과가 있음을 확인시켜 주었다.

Table 3-7. Effects of irrigation on weight, diameter and length of the fruit bodies of pine-mushroom in 1998 at Hongcheon experimental site.

treatments	fresh weight(g)	pileus diameter(cm)	stem length (cm)
irrigated	83.2±4.1	6.20±0.23	9.26±0.27
control	68.5±3.4	6.17±0.15	7.66±0.27

따라서, 송이 생산량을 제한하는 기상인자의 극복을 위하여 관수를 위한 시설을 준비하고, 송이생산이 본격적으로 개시되기 약 한 달전부터 관수를 실시한다면, 충분한 투자효과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

第 5 節 參考文獻

1. 김동수. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청, 농업기술연구소. 450pp.
2. 김삼순, 김양섭. 1990. 한국산버섯도감. 서울, 유풍출판사. 391pp.
3. 나종성, 류정. 1992. 송이 발생지의 식생과 주요 야생 버섯 분포 조사. 한국균학회지 20(2) : 144-149.
4. 류천인, 남성우, 이지열, 이송규. 1980. 송이의 증산에 관한 연구. 한국균학회지 8: 7-12.
5. 박완희, 이호득. 1991. 원색도감 한국의 버섯. 서울, 교학사. 504pp.
6. 박현. 1998. 탈수소효소, 탈질균 및 황산 환원균의 정량을 통한 온산공단과 마니산 산림토양의 동태 조사. 한국임학회지 87(1) : 106-112.
7. 박현, 가강현, 김교수, 김현중. 1996. 최근 6년간의 일자별 송이 발생동향 분석에 의한 송이 주산지 권역 구분. 산림과학논문집 53 : 163-172.
8. 박현, 김교수, 구창덕. 1995. 한국에서 9월의 기상인자가 송이 발생에 미치는 영향과 그 극복방안. 한국임학회지 84(4) : 479-488.

9. 박현, 신기일, 김현중. 1998. 자기회귀 모형을 이용한 송이 생산 제한 기후인자 파악. 산림과학논문집 57 : 213-221.
10. 산림청. 1995. 산주를 위한 새로운 임업기술. 서울, 삼정인쇄공사. 361pp.
11. 이경준, 김양섭, 이태수, 김교수. 1986. 송이 발생림과 미발생림의 버섯분포에 관한 비교 연구. 한국임학회지 72 : 27-31.
12. 이지열. 1988. 원색한국버섯도감. 서울, 도서출판 아카데미서적. 365pp.
13. 이태수, 김영련, 조재명, 이지열, 小川 眞. 1983. 한국의 송이 발생 송림의 현황에 관한 조사연구. 한국균학회지 11 : 39-49.
14. 이태수, 박찬준, 심우섭, 김세현, 주영환, 오세원, 조재명. 1984. 송이인공증식에 관한 연구(II)-캡 및 흙피복에 의한 송이의 품질향상 및 증수. 임시연보 31 : 124-132.
15. 임업연구원. 1989. 산림토양단면도집. 서울, 서광문화사. 55pp.
16. 조덕현, 이경준. 1995. 29개 지역의 10년간 송이 발생림의 기상인자와 송이 발생량과의 상관관계. 한국임학회지 84(3) : 277-285.
17. 허태철, 박현, 정진현, 주성현. 1998. 송이 균환의 발달에 따른 토양의 이화학적 특성과 탈수소효소의 활성 변화. 한국임학회지 87(2) : 270-275.
18. 小川 眞. 1991. マツタケの生物學. 補訂版. 東京, 築地書館. 333pp.
19. 藤田博美. 1989. アカマツ林に發生する高等菌類の遷移. 日本菌學會誌 30 : 125-147.
20. 富永保人. 1967. 氣象とマツタケ發生量との關係について. 廣島農短大研究報告 p. 1-11.
21. Allen, M. F. 1991. The Ecology of Mycorrhizae. New York, Cambridge University Press, 184pp.
22. Burns, R. G. 1978. Soil Enzymes. New York, Academic Press. 380pp.
23. Chander, K. and P. C. Brookes. 1991. Is the dehydrogenase assay invalid as a method to estimate microbial activity in copper-contaminated soils? Soil Biol. Biochem. 23(10) : 909-915.

24. Dick, W. A. and M. A. Tabatabai. 1993. Significance and Potential Uses of Soil Enzymes. Pages 95-127. *In* F. B. Mettings, Jr. *ed.* Soil Microbial Ecology. New York, Marcel Dekker. 646pp.
25. Frankland, J. C. 1998. Fungal succession - unravelling the unpredictable. *Mycol. Res.* 102(1) : 1-15.
26. Gong, P. 1997. Dehydrogenase activity in soil : a comparison between the TTC and INT assay under their optimum conditions. *Soil Biol. Biochem.* 29(2) : 211-214.
27. Hassink, J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191 : 77-87.
28. Kinugawa, K. 1963. Ecological studies on the development of fruit-body in *Armillaria matsutake* (S. Ito *et* Imai) Sing. analysis of growth courves. *Bull. Univ. Osaka Pref., Serv. B.* 14: 27-60.
29. Ott, L. 1988. An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis. 3rd edition. PWS-Kent Publishing Company, Boston. 835pp.
30. Park, H., K.-H. Ka, C. I. Ryoo, K.-S. Kim and H.-J. Kim. 1998. Ectomycorrhizal mushroom occurrence around the fairy ring of *Tricholoma matsutake* at a pine-mushroom forest. *Kor. J. Mycol.* 26(3) : 306-313.
31. Park, H., S. E. Kim and K. S. Kim. 1997. Effects on the pine mushroom yield of controlling environmental conditions at the pine stands in Namwon, Korea. *J. Korean For. Soc.* 86(3) : 399-404.
32. Paul, E. A. and F. E. Clark. 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*. New York, Academic Press. 271pp.
33. SAS Institute Inc. 1985. *SAS/STAT Guide for Personal Computers*, Ver. 6 edit. Cary NC, USA. 378pp.

34. Serrawittling, C., S. Houot and E. Barriuso. 1995. Soil enzymatic response addition of municipal solid-waste compost. *Biology & Fertility of Soils* 20(4) : 226-236.
35. Song, H. S. and K. H. Min. 1991. Microfungal flora of *Tricholoma matsutake* producing and nonproducing sites in the forest of *Pinus densiflora*. *Kor. J. Mycol.* 19 : 109-119.
36. Stucki, J. W., H. Gan and H. T. Wilkinson. 1992. Effects of microorganisms on phyllosilicate properties and behavior. Pages 227-254. *In* Wagenet, R. J., P. Baveye and B. A. Stewart, *eds.* *Interacting Processes in Soil Science*. Boca Raton, Lewis Publ. 296pp.
37. Tabatabai, M. A. 1982. Soil Enzymes. Pages 903-947. *In* A. L. Page, *ed.* *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbial properties.*(2nd ed.). ASA. Agronomy Special Publ. No. 9. Madison, WI. 1159pp.
38. Tate III, R. L. 1995. *Soil Microbiology*. New York, John Wiley & Sons. 398pp.
39. Trevors, J. T. 1984. Effect of substrate concentration, inorganic nitrogen, O₂ concentration, temperature and pH on dehydrogenase activity in soil. *Plant and Soil* 77 : 285-293.

第 4 章 송이 發生林의 林分 管理

MANAGEMENT OF PINE-MUSHROOM STANDS

연구기관명 : 임업연구원

연구책임자 : 김 현 중

선임연구원 : 이 우 균

연 구 원 : 배 상 원

연 구 원 : 박 현

연 구 원 : 송 철 철

여 백

第 1 節 송이 發生林의 林分構造

1. 서론

송이연구를 위하여 많은 시간을 지내다 보면, 어떤 소나무림에서는 송이가 발생할 것이라는 느낌이 드는 반면, 다른 소나무림에서는 송이 발생량이 극히 적거나 거의 없을 것이라는 생각을 하게 된다. 하지만, 이에 대하여 과학적인 자료를 통하여 명확하게 설명하는 것은 매우 어려운데, 이는 송이 발생림과 미발생림의 임분구조를 확연히 구분해 줄 수 있는 과학적인 설명방식에 익숙하지 못한 탓이라 할 수 있다.

한편, 송이산의 특성을 명확히 알아야만 어떤 요인에 의하여 송이 발생량이 결정되는지 추정할 수 있다. 류천인 등(1980)은 송이증산을 위한 기초조사로서 송이 발생림에 대한 입지환경적 조사를 실시하였지만, 일본과 비교하여 뚜렷한 차이를 도출시킬 수 없었으며, 이태수 등(1983)도 한국의 송이 발생림 조사를 통하여 송이 발생림을 정의하고자 노력하였지만, 정확한 구분이 어려웠다. 특히, 이들은 송이의 주산지라 할 수 있는 양양, 울진 등의 발생림의 특성만을 단편적으로 고찰하여 송이 발생림을 정의함으로써 실질적으로 다른 지역의 송이 발생림이 지닌 전반적인 송이 발생림의 특성을 명료하게 제시하지 못한 아쉬움을 지니고 있었다.

이에 따라, 본 연구에서는 송이 발생량에 영향을 미치는 임분구조적인 요인을 파악하고자 기존 송이 발생림의 임분구조 특성 조사자료를 전반적으로 정리한 후, 이제까지 소외되어 왔던 영서지방과 내륙지방의 송이 발생림 자료를 토대로 송이 발생림의 임분구조 특성을 설명해 보고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 조사구 선정

서론에서 언급하였듯이 우리는 영서지방과 내륙지방에서 전형적인 송이 발생림을

선정하여 기존 자료와 종합적으로 비교하였다. 이에 따라, 강원도 홍천군 동면 노천리와 충청북도 제천시 청풍면 학현리에서 송이 발생량이 정점에 도달하였거나 다소 송이 발생량이 줄어들고 있는 것으로 여겨지는 송이 발생림을 선정하였다.

적합한 송이 발생림의 선정을 위하여 임협과 시군의 산림과를 경유한 탐문조사를 통하여 각 지역의 송이 발생량이 많은 곳을 정하였으며, 현지에서 채취자를 만나거나 각 산지를 실제로 직접 답사하여 균환조사를 통하여 송이 발생지임을 확인하였다. 이후, 임지로 선정된 조사지에서는 1995년 송이 발생기에 송이의 실제 발생위치를 확인함으로써 송이 발생림의 범위를 정하였으며, 선정된 조사지에서는 최소 20m×20m의 조사구를 5개 이상 정할 수 있는 충분한 면적이 되는지 검토하였다.

나. 송이 균환분포 및 임분특성 조사

본 연구의 수행을 위하여 먼저, 송이균환의 분포를 조사하였다. 1995년에 예비조사된 송이 발생위치를 중심으로 선정된 20m 폭의 방형구를 능선부의 같은 경사면을 따라 선정하고 송이 발생위치를 표시하였다. 이를 위하여 각 조사구의 왼쪽 윗 부분을 기점으로 오른쪽 방향으로 x축, 아래 방향으로 y축을 설정하고 송이 자실체가 출현하는 지점의 좌표를 x, y축에 따라 표시하였는데, 각 조사구 안에는 5m 간격으로 경계선을 표시하여 버섯의 위치를 측정하기 용이하도록 하였다. 송이균환 파악을 위한 송이 자실체의 출현위치는 1995년부터 1996년까지 2년간 조사하였다.

임분구조의 조사는 숲이 너무 울폐되지 않은 상태이면서도 수종을 판별할 수 있는 시점인 1996년과 1997년의 봄철에 실시하였다. 임분구조 조사항목은 각 입목의 수종과 위치, 수고, 지하고, 흉고직경, 4~8방위의 수관폭을 측정하였다. 아울러, 각 임분의 조사구별로 4~5개의 목편을 채취하여 총 20개의 목편을 측정하여 각 임분의 연령을 추정하였다. 임분구조의 명확한 조사와 더불어 하층식생의 분포에 대하여 조사하였으며, 모든 조사된 자료는 10m×10m의 소조사구를 기준으로 분석되었다. 한편, 임분 성장해석을 위한 수간석해를 홍천시험구에서 소나무 6본, 굴참나무 4본을 대상으로 실시하였다.

다. 송이 발생량과 임분구조의 관련성 분석

임분구조와 송이 발생량의 특성을 파악하기 위하여 홍천시험구에서 조사된 자료를 토대로 임분구조 분석 프로그램을 활용하여 수관 투영도와 송이 발생위치(균환)와의 관련성을 분석하였다. 아울러, 송이 발생립의 임분구조지수, 밀도지수 및 수관투영면적을 계산하였고, 수관형이나 임분구조에 따른 균환분포 형태를 분석하였다. 균환발달 양상과 임분구조의 연관성에 대한 수치적 표현기법으로서 면적을 활용하여 시도하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 홍천 시험지의 특성

상층 수관(樹冠)은 소나무(*Pinus densiflora*)가 70% 내외를 차지하고 나머지 30%를 굴참나무(*Quercus variabilis*)가 점유하고 있었으며, 하층식생으로는 산철쭉(*Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*)이 우점종이며 쪽동백나무(*Styrax shiraiana*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*)가 산생하고 있었다.

소나무가 임목본수, 직경, 단면적 등 모든 면에서 우위를 차지하고 있으며 굴참나무가 다음을 따르고 있었다. 수관폭의 경우, 소나무가 다른 수종보다 1m이상 넓은 것으로 나타났다. 축적은 90% 이상을 차지하고 있었다. 소나무의 연륜조사 결과, 임령은 흉고직경 연륜폭을 기준으로 38년~68년으로 임목간의 수령차이가 30년 이상으로 나타났다. 우세목의 경우 수령은 58~71년생, 수고는 14~20m로서 지위지수는 8로 계산되었으며, 20년을 전후로 성장률이 50% 내외에서 10%로 급격히 감소하였고, 최근의 성장률은 1~2%로 극히 낮은 상태로 나타났다. 반면, 굴참나무 우세목의 경우, 수령은 36~60년생이고 수고는 13~16m로 나타나, 본 임분은 일정시기에 단일 조림작업에 의하여 형성된 임분이 아니라 자연적인 갱신에 의하여 형성되었고, 최근에는 천이에 의하여 숲이 안정화되면서 소나무의 생장은 거의 정지상태에 도달하고 있음을 알 수 있었다.

소나무 직경급별 분포는 직경 2~10cm와 30~40cm에 가장 많이 분포하며 45cm가 넘는 것도 소수 있는 것으로 나타났으며 ha당 1,070본의 밀도를 나타내고 있었다. 임목축적은 270m³로 임령에 비해 비교적 높은 편이었는데, 소나무의 수고는 최대 20.6m이며, 굴참나무는 대부분이 직경급 2~15cm에 나타나고 있었다. 소나무의 수고급별 분포를 보면 많은 수가 6m 이하이지만, 수고급 16~18m의 임목이 가장 많았다. 일정면적에 임목본수가 작을수록 임목이 성장할 공간이 넓기 때문에 흉고단면적 차이도 크게 나타났다.

임목본수는 2,100~5,150본으로서 임목본수가 많은 <조사구 1>은 경급이 낮은 소나무가 대부분을 차지하고 있으며, 송이 발생량은 극히 적었다. 수관폭은 2.5~6.0m로 2배 이상의 차이를 보여 조사구간의 임목 성장공간의 차이가 많이 나는 것을 보여주었는데, 이러한 현상은 송이 발생량에서도 반영되어 나타나고 있었다. 한편, <조사구 2>는 다른 조사구에 비하여 임목본수가 매우 적었는데, 실제로는 2번 조사구에서 송이 발생량이 가장 많았다.

나. 제천 조사구의 임분구조

제천 조사구의 경우에도 소나무(*Pinus densiflora*)가 주 수종이며, 활엽수종으로서는 신갈나무(*Quercus mongolica*)가 주로 나타났고 이외에도 개웃나무(*Rhus trichocarpa*), 당단풍(*Acer pseudo-sieboldianum*), 쪽동백나무(*Styrax shiraiana*)가 산생하고 있었다. 전반적인 임황은 홍천조사구에서와 마찬가지로, 동일 조사구내에서도 차이가 크며, 특히 임목본수의 차이가 많았다.

소나무의 연륜조사 결과, 임분의 임령은 흉고직경 연륜폭을 기준으로 42년~79년으로 홍천에 비하여 다소 노령림이었으며, 임목간의 수령 차이가 30년 이상으로 나타났다. 전체적인 임목본수는 810본~5,200본으로서 홍천에 비하여 변이폭이 컸으며, 임목본수가 많은 조사구는 하층을 이루고 있는 신갈나무(*Quercus mongolica*), 물푸레나무류(*Fraxinus spp.*)가 맹아목을 형성하고 다른 활엽수 치수들이 대부분을 차지하고 있었다. 수관폭은 2.0~5.0m로 2배 이상의 차이를 보여 조사구간의 임목 성장공간의 차이가 많이 나는 것을 보여주었으며, 소나무가 다른 수종보다 1m이상 넓은 수관폭을 지니고 있고 축적도 80% 이상

을 차지하고 있었다. 소나무 직경급별 분포는 직경 5~25cm에 가장 많이 분포하며 35cm가 넘는 것도 있었고, ha당 777본으로 나타나 소나무의 양은 홍천에 비하여 훨씬 적었다. 한편, 조사구 1번은 다른 조사구에 비하여 임목본수가 훨씬 적었지만, 홍천과는 달리 송이 발생량은 다른 조사구에 비하여 특별히 많지 않았다. 즉, 너무 소나무 임목본수가 적은 경우에는 송이 발생량도 적음을 알 수 있었다.

제천 시험지의 축적은 54m³, 흉고단면적은 16m²로 임령에 비해 낮은 편이었는데, 홍천에 비하여 침식도 심하고 토양의 성숙도도 낮아서 지위지수가 낮은 것으로 여겨졌다. 소나무의 수고급별 분포를 보면 대부분이 수고 10m이며, 수고급 4~6m가 반 이상을 차지하고 있고, 수고급 8~10m에서 가장 높은 축적을 보였다. 소나무의 수고는 최대 9.4m로 수령에 비해 대단히 작은 편이었으며, 신갈나무도 직경급 2~10cm에 대부분 나타나고 있어서 생장이 좋지 않은 것으로 생각되었다. 신갈나무는 수고급 4~6m에 많이 분포하며, 축적도 가장 높은 것으로 나타났다.

다. 송이 발생과 임분구조의 관련성

송이 발생림에서 조사된 '95 및 '96년의 송이 발생지점을 근거로 균환으로 예정되는 균환선단을 설정하였다. 설정된 균환으로부터 균환의 연결정도를 고려하여 균환면적 및 균환길이를 파악하였는데, 균환이 연결되는 원주에 해당하는 각도(균환형성 각도)를 측정 한 후, 이 각도를 근거로 균환의 면적 및 길이를 산출하였다. 이들 균환면적 및 균환길이를 집단별로 합한 값과 송이발생림에서 조사된 성장인자간의 상관성을 분석한 결과, 균환 수는 수관장비율, 단면적 합계, 재적 합계 등과 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다 (Table 4-1). 반면, 균환면적 및 길이는 평균 흉고직경과 매우 높은 상관관계를 보였고, 평균 수관폭, 단면적 및 재적 등과는 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 즉, 조사구의 송이 발생림은 현재 송이 생산량의 정점을 지나 생산성이 쇠퇴하는 산으로서, 균환의 크기나 출현도는 송이 발생림의 노령화와 더불어 증가하였음을 시사하고 있다. 단, 수관장 비율이 송이 균환의 수와 밀접한 관련이 있음은 수관의 형태와 균환이 다소 관련이 있음을 시사하

는 것이다.

Table 4-1. Correlation coefficientst between fairy rings of *Tricholoma matsutake* and various stand growth factors.

growth factors	no. of fairy rings	area of fairy ring	length of fairy ring
tree height	0.62375(0.2608)*	0.60219(0.2825)	0.54498(0.3422)
average diameter	0.80657(0.0991)	0.97400(0.0050)	0.93217(0.0210)
tree density	0.36501(0.5458)	-0.23121(0.7083)	-0.21538(0.7279)
clear length	0.20015(0.7469)	0.31269(0.6085)	0.20821(0.7368)
height/diameter	-0.63857(0.2462)	-0.41237(0.4902)	-0.47292(0.4211)
crown depth ratio	0.92480(0.0245)	0.44137(0.4569)	0.55533(0.3312)
crown area	0.62391(0.2607)	0.44927(0.4478)	0.42952(0.4704)
crown width	0.65644(0.2289)	0.63963(0.2452)	0.60072(0.2840)
basal area	0.90476(0.0348)	0.63903(0.2458)	0.62452(0.2601)
volume	0.91476(0.0295)	0.67298(0.2131)	0.6555(0.2298)

* The numbers in the parentheses indicate p-values of each correlation coefficient.

어느 생장인자가 균환수, 면적 및 길이에 밀접한 영향을 미치는가를 파악하기 위해 생장인자간의 중회귀분석의 Stepwise방법을 통해 $p=0.15$ 유의수준에서 영향인자를 선정하였는데, 균환수에는 재적(volume)이, 균환면적에는 본수, H/D 및 흉고직경이, 균환길이에는 H/D와 흉고직경이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 상관분석과 마찬가지로 본수와 H/D는 균환면적 및 길이에 역영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 수고와 직경의 비율이 균환의 형성과 관련이 있음을 나타내어 수관부가 송이균환에 영향을 미치는 정도에 대하여 보다 구체적으로 연구해야만 할 것으로 생각되었다.

한편, 송이 미발생림과의 비교, 분석을 통하여 송이 발생림의 특성을 구분하고자 인접한 송이 미발생림의 임분특성을 조사하였는데, 조사구의 상층부 점유수종은 소나무가 주수

종이며, 활엽수종으로서는 굴참나무와 신갈나무가 부수종으로 나타났다. 하층에 신갈나무, 생강나무, 쪽동백나무 등이 산생하고 있는 모습은 송이 발생립과 크게 다를 바가 없었다. 송이 발생립과 마찬가지로, 각 조사구별 임황은 동일 조사구내에서도 많은 차이가 나며, 특히 임목본수의 차이가 많이 나타나고 있었으며, 임목본수가 많은 조사구는 하층을 이루고 있는 굴참나무와 신갈나무 이외에도 어린 소나무가 높은 비율을 차지하고 있어서 천연갱신이 잘 이루어지는 곳으로 여겨졌다.

조사구내 수종분포는 소나무가 임목본수, 흉고직경, 단면적 등 모든 면에서 우위를 차지하고 있었으며, 굴참나무, 신갈나무 순으로 우점하고 있었다. 소나무 직경급별 분포를 살펴보면, 전 직경급에서 비교적 균일하게 분산되어 있으나, 직경 35cm이상은 숫자가 약간 감소를 하며 직경급 5~10cm의 범위에서 가장 많은 숫자가 있어서 인접한 송이 발생립에 비하여 다소 어린나무들이 많은 것으로 여겨졌다. 물론, 이 숲도 흉고직경이 40cm이상 되는 소나무가 50여본이 되며, 전체 임목본수는 612본이며 축적은 168m³으로 비교적 우량한 소나무 임상이었다. 한편, 흉고직경이 50cm이상 되는 소나무의 수고가 14.5m로 비교적 수고가 낮았는데, 이는 유년기부터 독립수 형상으로 자랐기 때문에 흉고직경급이 낮은 소나무보다 수고가 낮은 것으로 생각되었다.

굴참나무와 신갈나무의 직경급별 분포는 소나무에 비하여 최대직경이 낮으며 이중 신갈나무의 최대 직경급이 25~30cm로 가장 낮았다. 임목분포는 직경급이 낮은 곳(직경 15cm이하)에 비교적 편중되어 있으며, 이중 직경급 5~10cm에 가장 높은 값을 보였다. 직경 30cm부터는 굴참나무가 25본, 신갈나무가 2본으로 나타나, 참나무류는 대체로 소경목임을 알 수 있었으며, 총 임목본수는 굴참나무는 440본, 신갈나무는 136본으로 소나무 숫자에 비하여 본수도 적었다. 임목축적은 굴참나무가 48m³, 신갈나무가 5m³를 차지하며 직경급 15~35cm의 활엽수가 임목축적의 대부분을 차지하고 있었다. 굴참나무와 신갈나무는 수고급 5~12m에 많이 분포하며 축적도 가장 높은 것으로 나타났으며, 굴참나무의 경우 수고 20m가 넘는 임목이 15본이 되나 신갈나무는 최대 수고가 15m 미만인 것으로 나타났다

소나무의 수고급별 분포를 보면 대부분이 수고급 5~8m와 수고급 12~16m에 높은 값을 나타내며 이 직경급에 전체본수의 반이상이 속하며 수고 20m이상의 소나무가 57본을 차지하고 있는데, 이러한 분포는 소나무 임분의 층이 구분되었다는 것을 보여준다. 소나무 축적은 직경 12cm이상의 소나무가 90%이상을 차지하고 있어서 전반적인 구성을 통하여 송이 발생립과의 차이점을 뚜렷하게 발견할 수 없었다.

第 2 節 樹冠投影과 송이 發生

1. 서 론

송이(*Tricholoma matsutake*)는 우리나라 임산물중 최고의 부가가치를 자랑하는 품목으로서, 우리나라에서는 주로 소나무(*Pinus densiflora*)와 공생관계(共生關係)를 형성하며 서늘한 여름이나 가을철에 땅에서 발생하는 버섯이다. 외생균근성 버섯인 송이는 현재까지 인공재배가 불가능한 상태이며 산림에서 채취하는 방법이 유일한 생산방식이므로, 송이 발생립의 환경조건을 파악하고 이해하는 것은 송이생산을 위하여 매우 중요하다. 이를 위하여 송이 발생립의 분포나 입지환경에 대한 조사가 비교적 많이 이루어졌으며(류천인 등, 1980; 이태수 등, 1983), 송이 발생립의 기본적인 입지환경 특성은 일본의 연구를 통해서도 널리 알려져 있는 상태이다(小川, 1991).

송이 발생량은 입지환경적 특성과 더불어 기후와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있는데(박현 등, 1995; 1998; 조덕현과 이경준, 1995), 이것은 송이가 균류(菌類)로서 다른 균류처럼 온도와 습도의 영향을 크게 받는다는 것을 의미한다. 한편, 숲의 구조적 변화에 따라 임상(林床)의 온도 및 습도조건이 바뀌게 될 수 있음을 감안한다면, 송이 발생립의 임분구조 변화는 송이 발생립의 생산성에 영향을 미칠 것으로 생각할 수 있다. 이에 따라 환경조절(環境調節)의 효과에 대한 고찰이 시도된 바 있지만(박현 등, 1997), 구체적으로 임분구조(林分構造)의 역할에 대한 평가나 임분구조 개선 효과에 대한 고찰은 아직 시도된

바 없다.

이에 따라, 본 연구에서는 송이발생에 영향을 미치는 구체적인 임분구조를 파악하고자 수관투영 특성을 중심으로 송이 발생위치와의 관련성을 분석하였다. 특히, 실질적인 수관투영 특성의 영향평가를 위하여 계절 및 시간적인 요인을 동시에 고려하였다. 이를 통하여 송이발생에 영향을 주는 임분구조 관련인자를 파악하고, 송이 생산성 증대를 위한 임분구조 개선의 시업지침을 마련할 수 있는 과학적 근거를 제공하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 조사지 개황

연구 대상지는 강원도 홍천군 동면 노천리의 국유림으로 송이가 비교적 많이 발생하는 곳이다. 조사지역은 산정부에 위치한 남서사면으로서 표고(標高)는 약 450m이었고 경사도는 30°에 이르렀다. 상층 수관(樹冠)은 약 70년생의 소나무(*Pinus densiflora*)가 70% 내외를 차지하고 나머지 30%를 굴참나무(*Quercus variabilis*)가 점유하고 있었다. 하층식생으로는 산철쭉(*Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*)이 우점종이며 쪽동백나무(*Styrax shiraiana*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*) 등이 산재하고 있었다. 토양은 조립질 화강암을 모재로 발달한 양질사토로서 표면침식이 약하게 진행된 갈색산림토양이었다.

나. 송이 발생위치 및 임분구조 조사

약 0.4ha의 연구 대상지에서 송이가 발생하는 지점을 중심으로 20m 폭의 방형구를 능선부의 같은 경사면을 따라 선정하고(1, 2번 조사구 : 20m×20m; 3, 4번 조사구 : 40m×20m; 5번 조사구 : 30m×20m), 송이의 발생위치를 1995년부터 1997년까지 3년간 조사하여 표시하였다. 아울러, 설정된 조사구내의 임분구조 파악을 위하여, 각 방형구의 정확한 경사도, 사면방향 등을 기록하였으며, 각 조사구내 모든 임목의 위치, 수고, 지하고(枝下高) 및 수관폭(樹冠幅)을 측정하였다.

다. 시뮬레이션 기법을 이용한 임내 수관투영도의 도출

임분구조의 조사후 입목위치 및 수관폭에 따른 수평 수관투영도와 송이 자실체 발생위치와의 관계를 분석한 결과 뚜렷한 상관관계를 찾기 어려웠다. 이에 따라, 실질적인 수관투영의 영향을 파악하기 위하여 각 임분의 사면과 방위를 고려한 사면 수관투영도를 도출하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 이용하였다.

공간인자를 고려한 수관투영도(樹冠投影圖)의 도출을 위하여 표준지의 방위 및 경사각을 측정된 자료를 입력하여 공간좌표체계내에서 이에 준하는 평면을 생산하였다. 개체목의 좌표값과 수고를 토대로 가상의 공간에 개체목들의 수간(樹幹)을 배치하고, 이들이 지닌 지하고(枝下高)의 위치에 추가로 8방위에 걸쳐 측정된 수관폭(樹冠幅) 자료를 첨가하여 공간좌표상에서 위치와 부피를 갖는 개체목들을 재구성하였다. 아울러, 시간인자의 영향을 고려하기 위해 일년중에 특정일과 해당날짜의 하루중 특정시간을 수관투영 시점으로 선정하였다.

지정된 수관투영 시점에 따라 천구상에서 태양의 공간좌표를 구하고, 원점에서 태양위치까지의 연장직선의 방정식을 구하였다. 이 직선을 개체목마다 수고점 및 8방위의 수관폭의 지점과 교차되도록 평행이동하고 이 직선의 연장선들이 표준지를 나타내는 평면과 교차하는 지점들을 산출하였다.

시뮬레이션의 설계를 위하여 입력변수로 사용한 공간 및 시간인자들은 <Table 4-2>에 나타낸 바와 같다. 각각의 입력변수들이 취할 수 있는 가능영역은 공간적으로는 북반구(북위 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$), 표고는 0m 이상, 경사도는 $0^{\circ} \sim 89^{\circ}$, 방위각은 $0^{\circ} \sim 359^{\circ}$ 의 범위로 제한하였으며, 정방형의 형태를 지닌 표준지를 대상으로 시뮬레이션하도록 설계하였다. 시간적으로는 윤년에 의한 연중일수의 증감은 배제하여 1년을 365일로 규정하도록 고안하였다. 한편, 하루중의 시간요인은 앞서 선택된 날짜에 따라 일출시점과 일몰시점을 구하여 이 두 시간대를 1분 단위로 나누어 선택할 수 있도록 설계하였다.

Table 4-2. List of items used for simulating crown projection.

category		items(units)	descriptions
spatial factor	common	latitude altitude(m) slope(°) aspect(°)	of the sample plot of the sample plot of the sample plot in the direction with maximum slope
	individual	XY location(m) DBH(cm) height(m) clear-length(m) crown width(m)	of each individual trees within every plot of each individual trees of each individual trees from the ground at the height of the crown base
temporal factor		date(MM/DD) time(HH:MM)	shading time(month and date) shading time(hour and minute)

이상의 방법으로 산출된 표준지 평면 위의 개체목별 투영점들을 곡선화(smoothing) 기법으로 연결하여 자유곡선형태를 지닌 수관투영도를 작성하였다. 수관투영면의 일년중 계절진행에 따른 변화를 고려해 넣기 위하여 4월부터 10월까지 7개월마다 매월 1일을 수관투영도 도출시점으로 정하였으며, 하루중 시간대의 변화에 따른 수관투영면의 변화를 고려하여, 오전 9시 30분, 11시 30분, 오후 1시 30분, 3시 30분의 4시간대를 수관투영도의 도출시점으로 정하였다. 그 결과 시간의 변화에 따라 5개의 조사구마다 28개의 사면 투영도를 도출하였다.

라. 송이 발생위치와 수관투영 특성의 관련성 분석

총 140개의 도출된 수관투영도면에 송이의 발생위치를 입력하여, 송이 자실체 발생위치와 수관 투영면의 중첩횟수의 관련성을 분석하였다. 이를 위하여, 각 송이 자실체 발생위치의 수관 투영면 중첩횟수를 총 10개의 계급(0~9)으로 나누어 정리하였다. 이에 따라 각 수관 투영면의 중첩횟수별 송이의 발생빈도표를 작성할 수 있었으며, 이의 분산분석을 실시하여 어떤 수관투영면 중첩횟수가 송이 자실체의 발생위치와 밀접한 관련이 있

는지 판별하였다. 아울러, 적정 시업시기를 결정하기 위한 근거를 제공하기 위하여 송이 발생량이 극대화될 수 있는 조건으로 여겨지는 3개의 울폐등급(1~3차 중첩도)만을 대상으로 수관 투영도의 계절 및 시간적 자료가 송이 발생량에 미치는 영향의 차이를 분석하였다. 모든 통계검정은 SAS package의 GLM을 통하여 분산분석을 실시하였으며, 분산분석 결과 처리간 차이가 인정될 경우에는 LSD test를 사용한 평균간 비교를 실시하였다(SAS, 1985).

3. 결과 및 고찰

가. 송이 발생량과 수관울폐도의 관계

동일한 면적을 기준으로 환산한 송이 자실체의 발생량은 조사구마다 서로 달랐는데, 특히 수관 울폐도가 심하고 가장 적은 양의 송이가 발생한 1번 조사구와 수관 울폐도가 낮으며 가장 많은 양의 송이를 발생시킨 2번 조사구간에는 6배 가량의 차이를 보였다(Table 4-3). 즉, 조사구간에 송이 자실체의 발생빈도에서 큰 차이를 보이는 것은 각각의 조사구가 인접한 지역에 위치하고 있을지라도 서로 다른 임분구조를 지닌 것에 기인한 것으로 여겨지는데, 울폐도가 심한 곳에서 송이 발생량이 적은 것으로 나타났다.

아울러, 수관투영면의 중첩정도는 송이 자실체의 발생빈도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 1~3회 수관투영면이 중첩되는 곳(가장 발생량이 많은 곳은 2회 중첩된 곳이었음)에서 송이 발생량이 특히 많은 것으로 나타났으며(Table 4-3), 4회이상 수관투영면이 복합중첩되거나 완전한 나지상태에서는 송이 발생량이 줄어 드는 것으로 판단할 수 있었다. 즉, 수관 울폐도가 토양온도나 습도에 영향을 미칠 수 있는 요인이라는 점을 감안한다면, 수관 투영면의 중첩정도에 따라 송이 자실체의 출현빈도가 크게 달라지는 것은 송이 온도 및 습도에 민감하다는 기존 연구결과와도 부합되는 결과라 할 수 있다. 특히, 나지는 온도가 높은 반면 습도에 문제가 발생할 수 있으며, 지나친 울폐는 토양습도의 문제는 해결될 수 있다 할지라도 온도가 너무 낮아지는 문제를 야기하여 송이의 생장이나 자실체

발생에 악영향을 미치게 되는 것으로 추측된다. 특히, 시뮬레이션에 의하여 작성된 수관투영도는 수관틈으로 비춰지는 광량이 전혀 고려되지 않은 것이므로, 실제로는 3차중첩 이내의 조건을 형성하되 빛이 완전히 들어오지는 않도록 해야 송이 발생량이 많아질 수 있음을 시사한다. 따라서, 원칙상으로는 실질적인 사면 수관 투영면이 2차중첩이 이루어지는 형태를 이루도록 작업하는 것이 바람직하다.

Table 4-3. Frequencies of pine-mushroom occurrences on 20m×20m quadrats of each survey plot by shading intensities.

plot no.	frequencies of pine-mushroom occurrences by shading intensity										total
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0.10	1.29	5.76	7.67	6.33	3.76	1.48	0.62	0.00	0.00	27.01 ^{da}
2	15.79	43.75	41.36	31.61	18.75	8.25	4.29	0.21	0.00	0.00	164.01 ^a
3	10.48	14.29	13.09	10.93	10.50	2.13	0.57	0.02	0.00	0.00	62.01 ^c
4	3.96	16.98	22.91	21.25	15.04	8.39	4.36	0.75	0.29	0.07	94.00 ^b
5	7.48	13.14	14.57	13.21	6.10	2.31	0.81	0.14	0.14	0.10	58.00 ^c
avg	7.56 ^d	17.89 ^{ab}	19.54 ^a	16.93 ^b	11.34 ^c	4.97 ^e	2.30 ^f	0.35 ^g	0.09 ^g	0.03 ^g	81.01

* The same letters indicate that the values are not significantly different within each column or row at 5% level by LSD test.

나. 시간에 따른 변이 - 시업 적용시간 고려를 위한 접근

계절과 하루중의 시간대에 따른 수관 투영면과 송이 발생위치와의 관련성 분석결과, 하루중 시간에 따른 투영도 변화는 송이 발생량과 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 그러나, 5~7월의 수관 투영면은 송이 발생위치와 밀접한 관련을 나타낸 반면 봄이나 가을철의 수관투영은 송이 발생위치와의 관련성이 상대적으로 낮게 나타났다(Tables 4-4 & 4-5).

Table 4-4. Analysis of variance for time-related variation of pine-mushroom occurrences on 20m×20m quadrats of each survey plot by shading intensities.

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Shading intensity(SI)	2	537.71	268.86	10.73	0.0001
Month(M)	6	500.64	83.44	3.33	0.0033
Plot(P)	4	51617.23	12904.31	514.86	0.0001
SI*P	8	2952.04	369.00	14.72	0.0001
SI*M	12	781.86	65.16	2.60	0.0025

Table 4-5. Frequencies of pine-mushroom occurrences on 20m×20m quadrats of each survey plot by each month.

month shade intensity	4	5	6	7	8	9	10
mono shading	18.08	22.20	20.76	22.19	18.28	15.15	14.68
double shading	20.17	19.64	22.52	20.04	20.10	19.28	20.11
triple shading	16.35	17.96	17.98	17.04	16.88	18.25	17.47
average	18.20 ^{bc}	19.94 ^{ab}	20.42 ^a	19.76 ^{ab}	18.42 ^{bc}	17.56 ^c	17.42 ^c

* The same letters indicate that the values are not significantly different within each row at 5% level by LSD test.

특히, 본 분석은 송이 발생량이 가장 많은 것으로 나타난 3개의 울폐등급(1~3차 중첩)만의 자료를 대상으로 분석한 것임을 감안하고, 앞서 언급한 것처럼 2차중첩을 원칙으로 시업을 적용할 경우 송이 발생위치를 가장 명확하게 표시해 줄 수 있는 시기는 6월이라고 생각할 수 있다. 이는 기존 시업지침이 숲이 완전히 우거지기 이전이며 나무의 종류를 식별하기 용이한 5~6월을 시업적기로 제시하였던 것과 일치하는 결과로서, 송이산의 관리가 송이철만이 아니라 훨씬 이전부터 시행되어야 함을 시사하는 것이다.

第 3 節 송이 發生林의 林分管理 技法

1. 서론

우리나라에서 송이는 특별한 입지환경 특성이나 임분구조를 지닌 소나무 숲에서만 발생한다. 그러나, 실질적으로 특별한 입지환경이나 임분구조를 일정하게 유지하여 송이가 지속적으로 생산될 수 있도록 유도하기 위해서는 구체적인 시업지침이 요구됨에도 불구하고, 이에 대한 정확한 기준은 아직 제시되어 있지 않은 형편이다.

우리는 2절에서 송이 발생림의 임분구조 특성을 파악하기 위하여 수관투영도를 활용하였으며, 그 결과 2차울폐가 가장 적합하다는 것을 알 수 있었다. 이에 따라, 본 절에서는 구체적으로 2차울폐의 상태를 유지하기 위하여 어떤 시업지침을 갖고 임분을 대하여야 하는지 살펴보고자 한다. 특히, 다양한 임분구조를 지니고 있는 여러 종류의 소나무림을 대하면서 어떤 기준에 입각하여 임분을 관리하여야 하는지 제시해 보고자 한다.

2. 접근방식

실질적인 임분구조 조절기법의 마련을 위하여 본 절에서는 『제 2 절』에서 얻은 답을 통하여 수관 울폐도의 조절을 위한 시업지침을 마련하기 위한 접근방식을 택하였다. 송이 발생림 수평 수관투영도와 송이 자실체와의 상관관계를 분석한 결과, 상관관계가 낮은 것으로 나타났지만, 사면 투영도와 송이 자실체는 수관투영면이 1~3회 중첩되는 곳에서 가장 송이 자실체 발생빈도가 높은 것으로 나타났고 이중 2회 중첩되는 곳이 가장 발생빈도가 높았다.

그런데, 사면 수관투영도를 구성하는 임분 구성요소는 임목의 위치와 수관장의 비율 등 수관을 구성하게 되는 요소에 집중된다. 그런데, 수관을 형성하는 요소는 궁극적으로 임목의 위치, 수고, 지하고와 수관폭을 통하여 결정되며, 일정한 수관형을 지닌 소나무가 임분의 대부분을 점유한다면 실제 임목의 위치와 수고에 의하여 수관투영면이 규정되게 되므로 일정한 임목밀도의 조절이 전반적인 사면 수관투영면을 형성하는 주요 요인이 된다.

한편, 임분구조와 송이균환과의 상관관계 분석결과, 단순한 임목밀도는 상관관계가 그리 높지 않았다. 따라서, 천편일률적인 임목밀도의 유지는 바람직하지 않음을 알 수 있다. 왜냐하면, 단순한 임목밀도로의 조절은 단지 임목본수와 평균 흉고직경간의 상관관계에 의해 결정이 되기 때문에 임분의 공간적 인자가 배제되기 때문이다.

3. 제시 방안

이에 따라, 우리는 공간적 개념이 포함된 RSI(Relative Spacing Index)를 이용하였는데, RSI의 산출식은 <식 4.1>과 같다.

$$RSI = \frac{\text{임목간 평균거리}}{\text{수고}} \times 100(\%) \quad \text{<식 4.1>}$$

홍천 시험지에서 송이 발생량이 가장 많았던 4번 조사구와 다른 조사구와의 RSI를 비교한 결과 4번 조사구는 34%로 나타났고 다른 조사구의 RSI는 이보다 다소 높거나 낮았다(Table 4-6).

Table 4-6. Relative spacing indices of productive or non-productive stands for pine-mushroom

plots	productive stands	non-productive stands
1	30	-
2	41	35
3	35	33
4	34	26
5	29	23
average	34	29

송이 발생량의 조사구별 단위면적별 송이발생량의 순서는 2번, 4번, 3번, 5번, 1번 조사구 순이고 RSI 값은 5번, 1번, 4번 3번, 2번의 순서로 나타났다. 2번 조사구는 임분구조가

다른 조사구에 비해 조사구내에 국부적으로 소나무 소경목이 밀집되어 있거나 활엽수가 밀집되어 있어 전체를 송이 발생림으로 볼 수가 없기 때문에, 4번조사구를 기본적인 송이 발생림으로 가정하면 적정 RSI 값은 35를 볼 수 있으며 2번 조사구의 경우에는 임분내 빈 공간이 많기 때문에 2번 조사구의 RSI 값을 최대치로 고려할 수 있다. 송이 발생림과 송이 미발생림간의 RSI 평균값은 5정도 차이가 나지만 송이 미발생림의 RSI 값은 35이하로 나타났으며, 그 대부분은 30이하 이었다.

위의 수치를 비교하면 송이 발생림의 최소 RSI 값은 30, 최적은 35, 최대 40으로 볼 수 있다. 동일한 RSI 값에서는 수고별 임목본수가 수고가 낮을 때는 본수가 많고 수고가 높을 때 본수가 적다(Table 4-7).

Table 4-7. Number of trees by relative spacing index(RSI; unit : trees/ha).

tree height(m)	RSI 30	RSI 35	RSI 40	RSI 50
4	6,944	5,102	3,906	2,500
6	3,086	2,268	1,736	1,111
8	1,736	1,276	977	625
10	1,111	816	625	400
12	772	567	434	278
14	567	416	319	204
16	434	319	244	156
18	343	252	193	123
20	278	204	156	100

수확표(지위지수 10) 상의 수치를 RSI로 계산하면, 강원도 소나무는 수고가 4m에 달하면 RSI가 30이하로 떨어지는 반면, 중부지방 소나무는 수고 6m에 이르러서 RSI가 30 이하로 나타난다. 즉, 전체적으로 보면 중부지방 소나무 RSI가 강원도지방 소나무 RSI보다 높게 나타났다.

RSI 35에서의 임목본수는 수고 10m에서 ha당 1,000본 이하이지만 강원도와 중부지방 소나무는 각각 3,800본, 1,600본 이상으로 나타났다. 이 수치는 수확표가 목재생산을 적정밀도를 기준으로 하여 조제되었기 때문이며 송이 발생립과 같이 임목간의 넓은 공간이 필요한 특수목적을 갖는 소나무 숲보다는 높은 값을 보인다.

Table 4-8. Number of trees and relative spacing index(RSI) by tree height

tree height (m)	RSI 35	<i>Pinus densiflora</i> in Kangwondo province (SI 10)		<i>Pinus densiflora</i> in nothern part of South Korea (SI 10)	
	no. of trees	no. of trees	RSI	no. of trees	RSI
4	5,102	8,459	27.2	3,591	41.7
6	2,268	8,459	18.1	3,299	29.0
8	1,276	6,182	15.9	2,325	25.9
10	816	3,805	16.2	1,667	24.5
12	567	2,177	17.9	1,235	23.7
14	416	1,373	19.3	911	23.7
15	363	1,146	19.7	802	23.5
16	319	968	20.1	697	23.7
17	282	835	20.4	-	-

4. 무육기준 선정 및 무육방안

송이 발생립의 무육기준은 송이가 많이 발생하는 4번 조사구의 임분구조에 따라 선정된 RSI 35를 기준으로 설정하였다. 수관 사면투영면과 송이 발생빈도와의 상관관계가 가장 높은 시기는 5~7월이므로 무육기준도 6월의 수관 사면투영면이 2회중첩되도록 하는 것을 기본으로 하였다. RSI 35는 임목간 거리가 임목수고의 35%를 의미하므로 무육시 임목간의 거리가 수고의 1/3이상이며 임목본수는 수고 5m에서 2,268본, 10m에서 816본, 15m에서 363본, 20m에서 204본으로 감소된다(Table 4-9).

Table 4-9. Number of trees by tree heights to fit RSI 35(unit : trees/ha)

height(m)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
no. of trees	5102	2268	2268	1666	1276	1008	816	675	567	483	416	363	319	282	252	226	204

임목본수는 RSI 35를 기준으로 하므로 임목간 거리는 수고의 35%를 유지하면 된다. 즉, 잔존 소나무의 수고 35%이내에 있는 임목은 제거한다. 예를 들면, 수고 10m의 소나무가 잔존목으로 선정된 경우 소나무를 중심으로 3.5m이내에 있는 임목은 제거한다. 한편, 이 거리내에 소나무가 없고 다른 수종이 있을 경우에는 수종에 관계없이 잔존시킨다.

수관 사면투영면적의 경우, 송이 자실체 발생빈도가 가장 높은 2회중첩을 기본으로 하며, 수관부가 완전히 소개되거나 4회이상 중첩되는 것을 막아야 한다. 즉 임목밀도가 높은 곳은 소개를 하여야 하며 소나무 임목밀도가 낮은 곳은 활엽수를 존치시킨다. 무육시기는 수관 사면투영면적과 송이 자실체 발생빈도와 상관관계가 밀접한 5~7월 중에 실시한다. 농산촌의 노동력 공급 등을 고려하면 6월중에 실시하는 것이 제일 적합하다.

송이 발생림은 주로 소나무로 구성되어 있으나 경우에 따라서는 활엽수가 많이 있는 곳이 있다. 이러한 경우 RSI 35를 기준으로 하여 소나무가 없는 곳은 활엽수를 존치 무육 하여야 한다.

第 4 節 參考文獻

1. 류천인, 남성우, 이지열, 이송규. 1980. 송이의 증산에 관한 연구. 한국균학회지 8: 7-12.
2. 박 현, 가강현, 김교수, 김현중. 1996. 최근 6년간의 일자별 송이 발생동향 분석에 의한 송이 주산지 권역 구분. 산림과학논문집 53 : 163-172.

3. 박 현, 김교수, 구창덕. 1995. 한국에서 9월의 기상인자가 송이 발생에 미치는 영향과 그 극복방안. 한국임학회지 84(4) : 479-488.
4. 박 현, 김세현, 김교수. 1997. 남원 소재 소나무림의 환경조절 처리가 송이 발생량에 미치는 영향. 한국임학회지 86(3) : 399-404.
5. 박 현, 신기일, 김현중. 1998. 자기회귀 모형을 이용한 송이 생산 제한 기후인자 파악. 산림과학논문집 57 : 213-221.
6. 이태수, 김영련, 조재명, 이지열, 小川 眞. 1983. 한국의 송이 발생 송림의 현황에 관한 조사연구. 한국균학회지 11 : 39-49.
7. 이태수, 박찬준, 심우섭, 김세현, 주영환, 오세원, 조재명. 1984. 송이 인공증식에 관한 연구(II)-캡 및 흙피복에 의한 송이의 품질향상 및 증수. 임시연보 31 : 124-132.
8. 小川 眞. 1991. マツタケの生物學. 補訂版. 東京, 築地書館. 333pp.
9. 조덕현, 이경준. 1995. 29개 지역의 10년간 송이 발생림의 기상인자와 송이 발생량과의 상관관계. 한국임학회지 84(3) : 277-285.
10. SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Ver. 6edit. Cary NC, USA. 378pp.

第 5 章 송이菌의 培養特性 및 뿌리內 確認技法

CULTURAL CHARACTERISTICS & IDENTIFICATION OF

Tricholoma matsutake IN ROOTS

연구기관명 : 임업연구원

협동연구기관명 : 한국교원대학교

연구책임자 : 김 현 중

협동연구책임자 : 이 상 선

선임연구원 : 성 창 근

연구원 : 가 강 현

연구원 : 유 기 원

여 백

第 1 節 송이菌의 分離 및 培養特性 研究

1. 서론

송이의 인공재배가 아직 어려운 상태이기에 본 연구의 초점은 송이 발생립의 환경관리를 통한 보속생산 체제의 구축이나 생산성 향상에 맞추어져 진행되었다. 그러나, 송이 연구의 궁극적인 목표는 인공재배 체제의 구축이며, 이를 위한 초석은 송이균에 대한 정확한 이해라고 할 수 있다. 물론, 많은 연구자들에 의하여 송이의 생리, 생태적 특성을 이해하기 위한 노력이 경주되었으며, 특히, 송이의 생리적 특성에 대한 이해를 위하여 균의 분리 및 배양특성에 대한 연구가 다각적으로 진행되고 있다. 우리나라의 송이(*Tricholoma matsutake*) 균 배양에 관한 연구는 변병호 등(1973)이 처음 시작한 이후 박종열과 박광우(1980), 김창호(1984), 강안석 등(1987), Lee 등(1997)이 다양한 배지 및 첨가물을 이용하여 송이균의 배양을 시도한 바 있다. 그런데, 송이균사의 배양은 일찍이 일본의 Hamada(1950)에 의하여 기본적인 틀이 정립되었고, 송이 생활사에 대한 이론도 Tominaga(1963)에 의하여 어느 정도 정리된 바 있다.

그러나, 송이를 자실체에서 분리하여 균사를 유도하고 인공배양하는 것은 가능하지만, 자실체 발생에 성공하였다는 보고는 아직까지 없다. 이에 따라, 인공재배를 위한 끊임없는 노력의 일환으로 송이균사의 속성배양을 위한 연구가 많이 진행되었는데, Kawai와 Abe(1976), Kawai와 Terada(1976), Ogawa와 Kawai(1976), Kawai와 Ogawa(1976), Ohta(1990) 등에 의하여 적합한 송이 배지조건을 찾기 위한 시도가 지속적으로 전개되었지만 실질적으로 성장량에는 커다란 변화를 유도할 수 없었다. Wang(1995) 또한, 일본과 중국의 송이균주를 이용하여 송이균의 배양조건을 재검토하였으나 배양측면에서 기존의 연구와 큰 차이를 발견할 수 없었다.

이에 따라, 본 절에서는 본 연구진에 의하여 수행된 송이균의 분리 및 배양특성에 관한 연구결과를 제시하여 보다 발전적인 연구(인공재배 체제의 구축)를 위한 초석 마련에 기여하고자 한다. 특히, 우리나라 송이균의 분리 및 배양에서 기존 연구결과와의 비교를 통하

여 추후 송이균을 대상으로 각종 연구를 수행코자 하는 연구자들에게 보탬이 될 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 송이균의 분리

송이균의 분리를 위하여 자실체(basidiocarp)를 사용하였다. 시료는 홍천과 예천에서 수집한 송이 자실체를 이용하였으며, 자실체에서의 분리를 위해서는 갓 부분과 자루 중간, 자루 밑뿌리에서 각각 직경 5mm의 조각을 10개씩 떼어 MMN과 Hamada 배지에 옮겨 23℃의 조건에서 2개월간 배양하였다(Table 5-1).

나. 송이 균의 배양특성 연구

1) 적정 배양온도

FRI91009(양양산, 94-10-15)를 이용하여 6단계의 온도범위(16, 20, 24, 28, 32, 36℃)에서 3개월간 액체배양과 고체배양을 실시하였다. 액체배양은 일반 성장량 측정을 위한 배지를 이용하여 각각 5반복으로 수행하였다고, 고체배양은 일회용 샐레에 합성배지(Corn meal agar 10g, PDA 20g, Malt extract 2g, Yeast extract 2g, 증류수 1 l, pH 5.3)를 이용하여 4반복으로 수행하였다. 액체배양의 성장량 측정은 균사체를 거름종이에 걸러서 65℃에서 48시간 건조시켰고, 고체배양에 의한 성장량은 액체배양과 같은 조건으로 배양한 후 콜로니의 크기를 mm 단위까지 측정하였다.

2) 적정 pH

적정 pH 조건을 구명하기 위해서는 FRI91009(양양산, 94-10-15)를 이용하였다. MMN 액체배지를 기본배지로 하고, pH 범위는 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8로 1N-HCl과 NaOH로 조정하여 5반복으로 측정하였다. 배양조건은 22℃에서 정체배양하였고, 성장량 측정방법은 위 1)항의 방식과 동일하게 하였다.

3) 배지 종류에 따른 생장비교

고체배양을 위하여 사용한 배지는 Difco 매뉴얼의 Malt extract agar 34g/l, Czapek-doxbroth 35g/l, Lactose broth 13g/l, Soytone 20g/l, Nutrient broth 8g/l, Corn meal agar 17g/l, CMP(PDA 20g/l, Malt extract 3g/l, Corn meal agar 10g/l), Hamada(Glucose 10g/l, Yeast extract 2g/l), Corn meal agar 10g/l, Potatose-dextrose agar 40g/l, MMN 등 이었으며, 모든 배지는 pH를 5.3으로 조정하고 10반복으로 조사하였다. 접종균주는 FRI91001(남원산, 92-2-17)과 FRI91009(양양산, 94-10-15) 이었다.

액체배양을 위해서는 <Table 5-1>에 나타낸 8가지 종류의 배지를 이용하였으며, 300ml 삼각플라스크에 각 배지를 50ml씩 넣고 5반복으로 측정하였고, 접종균주는 FRI91009(양양산, 94-10-15) 이었다. 기타 배양조건 및 측정방법은 1), 2)항의 방식과 같았다.

Table 5-1. Media components for liquid culture of *Tricholoma matsutake*

Component	MMN	PDM	Hamada	YMM	TMM	PDMP	PDMP	MMN(s)
Potato dextrose B		20				20	24	
Malt extract	3	5		3		3	3	3
Peptone				5		1	1	
Soytone					1.5	1		1
Yeast extract			2	3	1.5	1		
Glucose	10	10	10	10	20	10		10
(NH ₄) ₂ HPO ₄	0.25							0.25
KH ₂ PO ₄	0.5		1					0.5
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.15							0.15
CaCl ₂	0.05							0.05
FeCl ₃	1.2ml							1.2ml
NaCl	0.025							0.025
pH	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
distilled water	1000ml	1000ml	1000ml	1000ml	1000ml	1000ml	1000ml	1000ml

4) 배지량에 따른 송이 균사체의 성장

MMN 액체배지(pH 5.5)를 300ml 삼각플라스크에 배지량을 50, 100, 150, 200, 250ml로 넣고 균주는 FRI91009(양양산, 94-10-15)를 접종하여 5반복으로 측정하였다. 기타 배양조건 및 측정방법은 1)항의 방식과 같았다.

3. 결과 및 고찰

가. 송이 균사의 분리

자실체 조직에서 분리하여 배양한 결과, 두 종류의 배지중에서 Hamada 배지에 비하여 MMN 배지가 더 좋은 것으로 나타났다<Table 5-2>. 지역에 따라서도 차이가 나타났으며, 분리위치에 따라서도 분리성공률에 차이가 있었다. 홍천에서 분리한 송이균은 두 가지 배지에서 모두 10%의 분리율을 나타냈으나 예천의 자실체는 MMN 배지에서만 6.7%의 분리 성공률을 나타냈다. 조직별 분리성공률은 갓 부위가 다른 부분에 비하여 좋은 것으로 나타났고, 자루 부위에서는 분리가 쉽지 않았다. 이처럼 부위에 따른 분리성공률의 차이는 다른 연구자들에 의하여도 언급되는 바이지만, 분리용 시료의 신선도나 실험자의 숙련도가 가장 큰 관건으로 여겨진다.

Table 5-2. Isolation of *Tricholoma matsutake* from various compartments of fruit body.

Collections	Compartments	Medium of isolation		ratio(%)
		Hamada	MMN	
Hongcheon	pileus	1/10	3/10	20
	stem	0/10	0/10	0
	bottom	2/10	0/10	10
	total(%)	10	10	
Yecheon	pileus	0/10	2/10	10
	stem	0/10	0/10	0
	bottom	0/10	0/10	0
	total(%)	0	6.7	

나. 송이균의 배양특성

1) 적정 배양온도

송이 생장의 최적온도 범위는 18~23℃로 판단되었고, 32℃에서는 송이균이 성장하지 않아 저온보다는 오히려 고온에 약한 것으로 판단되었다(Figure 5-1). 浜田(1974)는 송이균의 치사온도가 30℃ 정도, 김창호(1984)는 29℃로 보고하였으며, 이러한 결과는 본 실험결과와 비슷하였으며, 생존 한계온도는 30℃이하로 판단되었다. 외생균근균의 최적온도는 대부분 30℃ 이하이나 *Rhizopogon vulgaris*, *Sphaerosporella brunnea*, *Tricholoma pessundatum* 등은 30℃에서도 생장이 양호한 것으로 알려져 있다(Dennis, 1985). 송이도 외생균근균 하나로 일반적인 외생균근균의 특성을 가지고 있는 것으로 여겨지며, 따라서 송이균의 취급은 30℃미만 온도에서 수행하여야만 안전한 것으로 판단되었고, 우리나라의 여름기후는 30℃이상 되는 날이 많으므로 송이균의 인공접종에 의한 야외실험도 온도에 상당한 주의가 필요할 것으로 판단되었다.

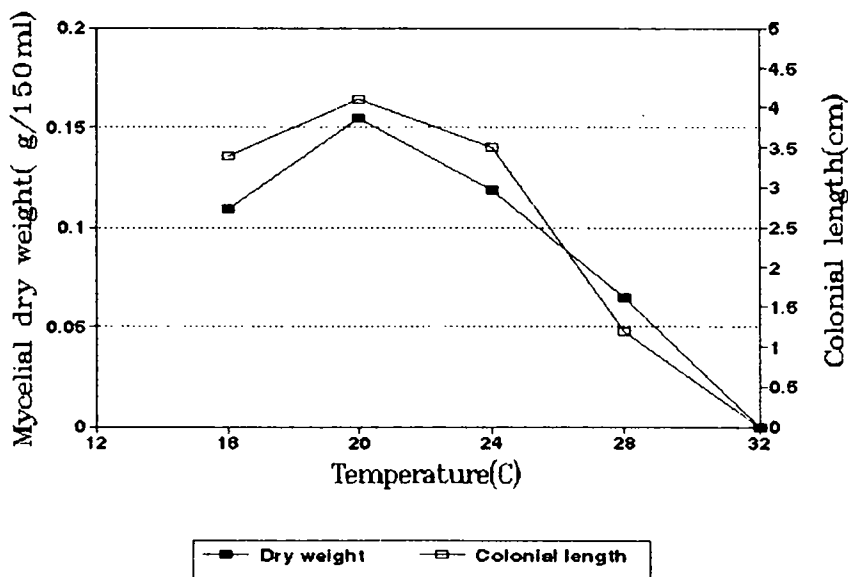


Figure 5-1. Growth of mycelium by temperature ranges of *Tricholoma matsutake* FRI91009.

2) 성장과 pH 변화

송이균의 생장은 pH 면에서 FRI91008, FRI91009의 두 균주간에 차이가 없었으나 성장량에서 FRI91009가 0.14g/150ml 으로 FRI91008의 0.11g/150ml 보다 생장이 양호하였다. 배지의 최초 pH 5.1이 3개월후에 pH 3.0으로 pH 2.1이 떨어짐을 알 수 있었으며, 1~2개월 사이에 pH가 급격히 떨어져서 3개월째에 pH 떨어짐이 멈춰짐을 나타냈다(Figure 5-2). 성장량은 1~2개월 사이에 급격히 증가하다가 3개월째에 성장속도가 낮아짐을 알 수 있었으며, 균의 성장량이 증가함에 따라 pH가 낮아짐도 알 수 있었다.

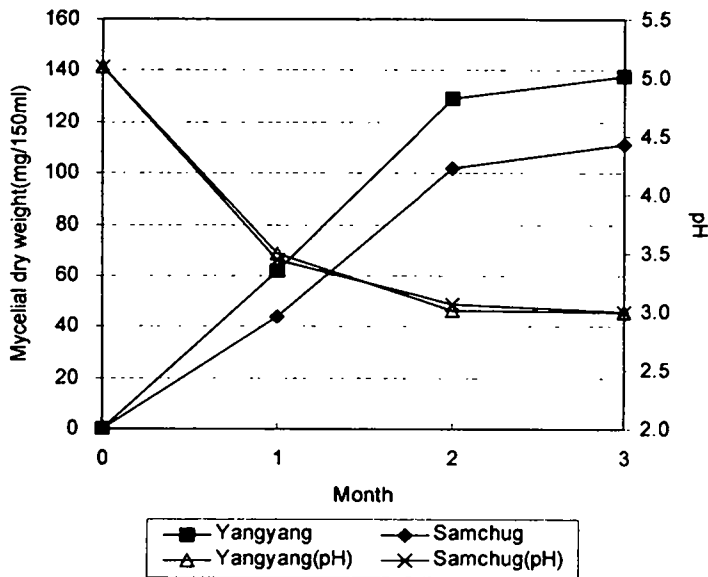


Figure 5-2. Growth curves and pH changes in the culture of *Tricholoma matsutake*

균체량이 증가함에 따라서 왜 pH가 떨어지는가는 아직 명확하게 해석이 되지 않는다. 아마도, 송이균이 성장하면서 어떠한 산성물질(acidic compounds)을 배출하든지 송이균이 성장하면서 배지속의 영양분의 흡수에 따라 산성을 나타내는 이온이 증가하는 것으로 여겨진다. 아물튼, 제한된 공간속에서 pH가 떨어짐에 따라 송이균의 생장에 악영향이 될 것으로 생각되며, 이러한 변화가 토양속의 송이균 이동과도 일정한 관계가 있을 것으로 추측된다. Hung과 Trappe(1983)는 최초 pH에서 균이 성장후 pH가 떨어짐을 균사에 의한 유기산의 생산과 선택적인 이온흡수의 차이에 기인하는 것으로 생각하였다. 한편, Iwase(1992)

는 송이균의 배양과정에서 소량의 gluconate 생성을 보고하였는데, 앞서 언급한 두가지 가 설을 뒷받침하는 예라고 할 수 있다.

3) 최적 pH 범위

송이균의 성장 최적 pH 범위는 4~6으로 나타났으며, pH 3 또는 4이하에서는 생 장이 급격히 떨어지고 pH 7이상에서도 생장이 급격히 낮아져서 pH 8 이상에서는 거의 생 장하지 않았다(Figure 5-3). Hamada(1950)는 송이의 최적 pH를 5.2, 성장범위는 pH 5.0~ 5.4, Kuraishi(1953)는 4.8, 성장범위는 pH 4.1~5.5, 김창호(1984)는 pH 4.0~5.5로 보고한 바 있다. 송이생장의 최적 pH에 대하여 다소 차이가 있으나 대체로 pH 4~5.5의 범위이었 고, Wang(1995)은 송이균의 최적 pH를 pH 6으로 보고하였다. 본 연구결과도 pH 범위가 4~6으로 나타났고, FRI91001은 pH 6이 최적 pH로 나타난 것은 Wang(1995)의 결과와 일 치하였다. 따라서, 송이균이 자라면서 pH를 떨어뜨리는 현상을 감안할 때(Figure 5-2), 송 이 균 배양을 위한 배지의 초기 pH는 5로 맞추어 사용하는 것 보다 pH 5.5로 맞추어 사용 하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

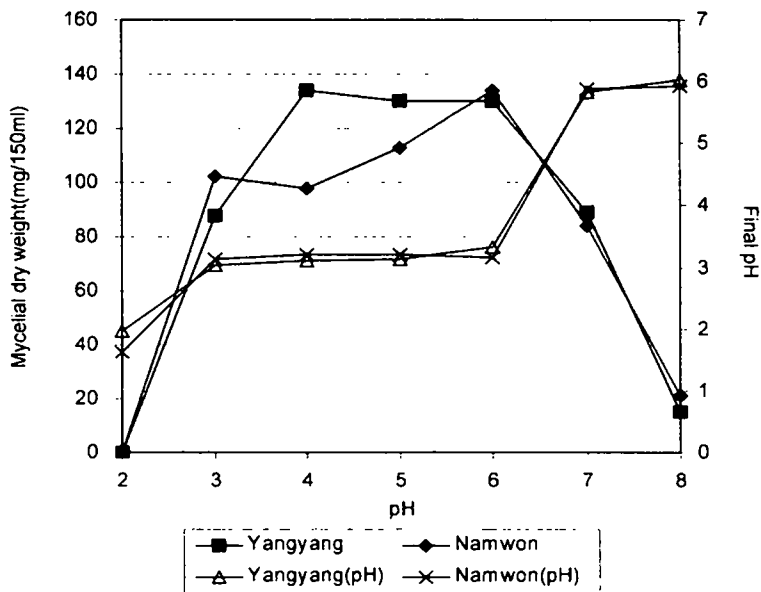


Figure 5-3. pH change and dry weight(g/150ml) of mycelium in nutrient solution of *Tricoloma matsutake* grown 90 days in MMN liquid medium.

송이균은 pH 7~8의 범주에서 처음에 갈색을 나타내었지만 생장이 진행되면서 옅은 갈색으로 변화했다. 그러나 pH 8에서의 색은 균의 생장이 없어서인지 거의 변화하지 않았다. pH 6 이하에서는 배지색의 변화가 없었다. 성장하는 모양을 보면, pH가 낮을수록 성장하는 콜로니의 크기가 작고, pH가 높을수록 커다란 콜로니를 만들었다. pH 4와 5에서는 흔들면 콜로니가 여러개로 쉽게 나누어져 조그만 콜로니로 되는 경향이 있었으나, pH가 높을수록 덩어리가 잘 풀리지 않았다. 색깔에서도 pH 7이상은 배지색의 변화 때문인지 매우 옅은 갈색의 콜로니를 만들었다. 송이 향기는 pH 3~6에서 나타났으며, pH 7에서는 떨어졌고 pH 8에서는 거의 없었다. 송이균의 생장이 거의 멈춘 pH 7~8 범위에서는 pH가 떨어짐이 없었으나, pH 4~6 범위에서는 최종적으로 pH 3.0수준까지 떨어졌고, 그 이하 pH에서는 pH변화가 낮았다(Figure 5-3).

Hung과 Trappe(1983)는 *Tricholoma*속 균의 최적 pH를 4.0~5.0 사이(*T. pardinum*은 예외)임을 보고하였고, Dennis(1985)는 외생균근균은 산성에서 생장이 양호하고 pH 7이상에서는 생장이 느린 것으로 보고한 바 있다. *Suillus lakei* A-163과 *Thelephora americana* A-142는 pH 6에서 성장후 배지의 pH가 3.0이상이 떨어졌고 다른 종들도 모두 이와 비슷한 경향을 나타내었다(Hung과 Trappe, 1983). 이러한 결과는 본 연구결과와 비슷한 결과로서, 본 연구에서는 송이 배지의 pH가 6에서 pH 2.84까지 떨어졌다.

4) 배지별 배양특성

송이균의 균주별 생장은 비슷하나 CMP와 PDA배지에서 차이가 나타났으며 FRI91009는 4.9cm, 4.3cm 자란 것에 비하여 FRI91001은 6.0cm, 5.8cm의 성장량을 나타내어 균주간의 성장률에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 높은 성장을 보인 배지에서 보면 송이의 생장은 매달 2cm정도 생장이 가능한 것으로 나타났다(Table 5-2). 송이의 속성 성장을 보고한 Shimazono(1979)는 송이균이 2.5~2.8cm/34days로 보고한 바 있는데, 본 연구에서의 결과와 비슷한 예이다. 한편, 배양을 시작한지 3개월이 경과한 후에는 거의 생장이 정지되는 현상을 나타내었는데, 그 이유로는 배지의 수분결핍과 균사의 활력저하로 여겨진

다. 한편, Hamada 배지에서 송이균사 성장속도는 CMP나 PDA 배지에 비하여 빨랐지만 균사 조밀도는 떨어지는 현상을 나타내었다.

Table 5-2. Colony length of *Tricholoma matsutake* grown for three months(mean \pm standard deviation, unit : cm).

Collections	Yangyang	Namwon	Mycelium morphology
Malt extract agar	1.9 \pm 0.45 ^d	1.8 \pm 0.61 ^d	compact, white
Czapek-doxbroth	4.5 \pm 0.32 ^b	4.0 \pm 0.44 ^b	very loose, white
Lactose broth	1.3 \pm 0.30 ^d	1.4 \pm 0.67 ^d	compact, white
Soytone	1.5 \pm 0.31 ^d	1.3 \pm 0.16 ^d	compact, pale yellow
Nutrient broth	1.2 \pm 0.28 ^d	1.3 \pm 0.23 ^d	compact, white
CMP	4.9 \pm 0.79 ^b	6.0 \pm 0.36 ^a	compact, white
Hamada	6.1 \pm 0.81 ^a	6.2 \pm 0.63 ^a	compact, white
Corn meal agar	3.1 \pm 0.40 ^c	3.0 \pm 0.47 ^c	loose compact, white
PDA	4.3 \pm 0.30 ^b	5.8 \pm 0.45 ^a	compact, white
MMN	3.2 \pm 0.17 ^c	3.1 \pm 0.19 ^c	compact, white

* The same letters indicate that each values within each column was not significantly different at the 5% significant level by Tukey test.

배지별 송이균의 생장은 Hamada, CMP, PDA 배지 순으로 생장이 양호하였다. 송이균의 콜로니의 모양에 따라 그룹을 나누어 보면, ① 균사 생장이 느린 반면 매우 조밀하고 두꺼우며, 콜로니 바닥부분에 주름무늬가 나타나고, 가장자리에 둥근 굴곡이 형성되며, 우유빛 또는 옅은 황토색을 띠는 형으로서, Lactose, MEA, Nutrient, Soytone 배지가 속한다. ② 균사가 조밀하고, 두껍고, 콜로니 바닥 및 표면의 중간부분에 주름무늬가 보이고, 가장자리는 둥글고, 우유빛인 CMP, Hamada, PDA 배지가 있다. ③ 균사의 조밀도와 성장속도는 중간정도이고, 콜로니의 가장자리에 주름이 없고 옅은 미색인 배지는 Corn meal agar 배지가 있다. ④ 균사가 조밀하고, 콜로니의 가장자리에 주름이 없고, 건조시 기준균

사가 백색의 구름모양으로 보이는 형태는 MMN 배지이다. 반면, ⑤ 균사의 조밀도가 매우 낮고 균사생장이 빠르며, 콜로니의 가장자리가 불규칙하게 나타난 것은 Czapek-dox broth 이었다.

Shimazono(1979)는 송이균의 배양에서 포도당 첨가배지에서 주름을 가진 콜로니를 보고하였으며, 이 모양은 PDA 배지에서의 콜로니와 유사하며, Hamada 배지에서는 이보다 덜 주름을 가진 콜로니를 만들었다. 배지에 따라서 다양한 콜로니를 만드는 것으로 보아 송이균도 배양조건에 따른 생리적 특성을 가지고 종을 구분하는 하나의 기준이 될 수 있을 것으로 판단되었다. 알버섯류에서는 콜로니의 형태를 가지고 종을 구분하는 하나의 생리적 형질로 사용되기도 한다(Chu-Chou와 Grace, 1984).

Table 5-3. pH change and growth of mycelium in nutrient solution of *Tricholoma matsutake*(FRI91009) grown for 50 days (mean±standard deviation, unit : g/50ml for weight, cm for diameter).

	MMN	MMN(S)	PDM	PDMP	PDMPSY	Hamada	YMM	TMM
final pH	3.2	3.4	6.0	5.9	5.1	5.8	4.9	5.0
weight	70±11 ^{de}	113±10 ^{cd}	134±16 ^{bc}	293±31 ^a	184±29 ^b	52±3 ^e	78±13 ^{de}	229±43 ^b
diameter	2.1±0.0 ^c	2.4±0.1 ^c	4.2±0.1 ^a	4.1±0.1 ^a	4.3±0.1 ^a	4.0±0.2 ^a	3.4±0.2 ^b	4.2±0.1 ^a

* The same letters indicate that each values within each column was not significantly different at the 5% significant level by Tukey test.(initial pH = 5.5)

평판배양에서 생장은 PDM, PDMP, PDMPSY, Hamada, TMM 모두 50일동안 4cm이상으로 비슷한 생장을 나타냈는데, 일반적인 균근균 분리용 배지로 사용되는 MMN 배지에서의 생장은 2cm로 가장 낮았다. 8종류의 액체배지중 PDMP배지에서 293mg/50ml으로 송이생장량이 가장 높았던 반면, 평판배지에서는 좋은 성장량을 보인 Hamada 액체배지에서의 송이균 생장은 52mg/50ml로 가장 낮았다. Lee 등(1997)이 보고한 송이 최적배지인 TMM 배지보다 PDMP 배지가 64mg 정도 성장량이 더 많았다. 액체배양과 고체배양에서 PDMP

배지가 생장이 양호하였고, Hamada 배지는 고체배양에서 생장이 높았으나 액체배양에서는 매우 낮은 경향을 나타내어 고체배양과 액체배양시 배지를 선택하여 사용할 필요성이 있었다.

Lee 등(1997)은 YMM 배지가 가장 좋은 송이 성장배지로 보고하였으나, 본 실험에서는 78mg/50ml로 생장이 좋은 편은 아니었고, 대신에 TMM 배지가 오히려 더 좋은 성장을 나타냈다. 또한 송이 최적배지로 보고한 TMM 배지보다 PDMP 배지의 생장이 양호하게 나타났다. 이는 본 실험에서는 정체배양을 하였고 Lee 등(1997)은 진탕배양을 하였기 때문으로 생각된다. 이처럼 같은 배지라도 배양조건에 따라서 송이의 성장에 큰 차이가 나타나는 것은 Hamada 배지의 경우에서 대표적으로 찾을 수 있었는데, 송이균이 액체배지에서 자라는 동안 배지성분이 영향을 크게 미칠 것으로 생각되기는 하지만, 이처럼 큰 차이가 나타난 것에 대하여는 아직 명확히 설명하기 어렵다.

대부분 생장이 양호한 배지들은 많은 탄수화물과 malt extract를 포함된 배지이었다. 이러한 경향을 볼 때, 송이균이 성장하면서 매우 많은 양의 탄소원을 요구하고 있는 것으로 판단된다. Wang(1995)은 PDMA(potato dextrose malt agar)가 가장 좋은 배지로 보고하였고, 이 결과는 본 연구에서도 비슷하게 나타났다.

5) 액체 배지량에 따른 송이균 성장

이 실험은 300ml 삼각플라스크를 사용하여 액체배지의 부피의 차이에 따른 송이균의 성장효율을 알아보기 위하여 실시하였다. 제한된 공간속에서 배지량이 많을수록 생장이 좋은 것은 아니었으며 용기의 1/3~1/2 부피의 배지량이 가장 적합한 것으로 생각되었다(Table 5-4). 배지량이 적을수록 송이균은 기중균사 형태로 배지 수면 위에 백색의 솜털 모양으로 성장하였는데, 배지량이 적은 곳에서 성장량이 많은 것은 호기성 균인 송이가 공기와의 접하는 면적이 많아서 성장에 유리한 조건을 갖기 때문인 것으로 판단되었다. 하지만, 배지량이 많을수록 증체율은 낮았으나, 배지량을 줄이고 반복수를 늘리는 것보다 배지량이 100~150ml 정도를 넣어 사용하는 것이 적합한 것으로 판단되었다.

Table 5-4. Growth of *Tricholoma matsutake* (FRI91009) by different volumes of MMN liquid culture for three months(n=5).

Medium amount	dry weight	final pH	Efficiency	Growth on water surface
50	0.044±0.011 ^b	2.61±0.15	100	5
100	0.074±0.012 ^a	2.78±0.06	84	2
150	0.092±0.011 ^a	2.87±0.07	70	1
200	0.090±0.020 ^a	2.93±0.07	51	0
250	0.083±0.004 ^a	3.18±0.06	39	0

* The same letters indicate that each values within each column was not significantly different at the 5% significant level by Tukey test.(initial pH = 5.5)

한편, 초기 pH 5.5에서 3개월후의 배지 pH의 변화는 배지량이 많을수록 낮았으며, 이것은 생장에 따른 산성배출물이 배지속에 희석되는 농도가 낮기 때문에 pH변화가 낮게 나타난 것으로 판단되었다.

第 2 節 우리나라 송이의 18S ribosomal DNA 序列

1. 서론

송이(*Tricholoma matsutake*)는 고가의 버섯으로, 우리나라에서는 추석 전후로 채집된다(Lee, 1991). 송이는 임산 부산물에서 높은 농가 소득원으로 각광을 받고있고, 단위 시간당 생산량 혹은 농가소득이 가장 높은 것으로 알려져 있다. 우리나라 전지역에서 송이가 생산된다고 보고되고 있지만, 지역적으로 태백산맥의 줄기를 따라 강원도, 경상도, 전라도 지역에 걸쳐서 송이가 발생하고 있다(KFR, 1981a; 1981b; 1984; 1986). 가장 많이 송이가 생산되는 지역은 경상도와 강원도지역으로 전체 생산량의 90% 이상을 차지하고 있다. 그

러나, 우리나라의 송이생산과 그 중요성에 비추어 볼 때에, 송이에 대한 기본적인 균에 관한 연구는 모두 산발적이고 미진한 상태이다.

과거의 송이생산은 일본에 수출목적으로 개발되고 연구되었으나, 최근에는 국내수요에 대한 충당과 송이 생산지 보호를 중심으로 연구가 시도되고 있다. 특히, 최근 연구에서는 송이산지 중심으로 송이와 관련된 소나무의 균상을 중심으로 혼농임업적인 연구가 임업연구원을 중심으로 진행되고 있다. 송이균사는 소나무(*Pinus densiflora*) 뿌리에서 관찰되고, 식물과의 관계에서는 외생균근(ectomycorrhizae)으로 설명하고 있다(Ogawa와 Ohara, 1978; Ogawa 등, 1978; 1980; Ohara와 Ogawa, 1982). 송이 자실체로부터 많은 균사들이 분리되어 연구되고 있지만, 아직 송이에 대한 인공배양 기술은 거의 없다. 또한, 인공적인 버섯생산 연구는 많은 시도에도 불구하고 아직도 많은 문제점을 안고 있다(Hall 등, 1992; Wang 등, 1995; 1996). 최근에, 일본에서는 여러 나라에서 송이수입과 자국의 송이생산을 위하여 많은 연구가 진행되고 있는 것으로 보고되고 있으나(Ogawa, 1976; 1977a; 1977b; 1977c; 1977d; 1978; 1979a; 1979b), 인위적인 송이생산은 아직 보고되고 있지 않다.

최근, 종 동정·분류 혹은 계통분류 연구에서 18S 및 28S ribosomal DNA에 대한 연구가 진행되고 있으며(O'Donnell 등, 1997), 구멍장이버섯목에 대한 연구로는 18S 및 5.8S 와 ITS를 포함하는 ribosomal DNA에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Ko 등, 1997). 18S rDNA의 서열은 계통발생학적으로 높은 보존성이 있으며, 속간의 구별을 확실하게 할 수 있을 정도의 다양성은 가지고 있는 것이 밝혀졌고(Jasalavich 등, 1995), 이들의 연구들은 산림속에 있는 다양한 외생균근균 혹은 목재부후균들에 대한 계통분류학적인 연구를 rDNA의 서열을 분석함으로써 이루지고 있다. 송이도 외생균근균으로 알려져 소나무 뿌리에서 관련성을 조사하였다(Terashima와 Nakai, 1996). 또한, 동일한 방법으로 식물의 병원균인 *Fusarium*에 대한 연구(Peterson, 1991)와 송이에 대한 연구(Hwang, 1995; Terashima와 Nakai, 1996)가 있다. 이러한 것은 외생균근균에 대한 숙주식물의 뿌리에서 외생균근균 혹은 병원균의 감염에 대한 직접적인 증거를 확보하기 위한 실험이다. 본 연구는 우리나라 야생송이를 채집하여, 송이의 성격을 파악하는 연구로 진행되었으며, 18s

rDNA에 염기서열을 밝혔다. 송이의 18S rDNA 서열을 밝힘과 동시에 소나무 뿌리에 있는 균을 파악하기 위하여 기본 primer 제작을 위한 기초실험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 송이 시료

송이 자실체는 1996년 강원도 삼척(C)과 홍천(A)에서 채집된 것 및 경동시장에서 구입한 중국산 송이(B)를 사용하였다. 아울러, 1997년 경북 팔공산 주변에서 송이(L)를 채집하여 동정하였다(Imazeki와 Hongo, 1984; Singer, 1986; Smith, 1973). 채집된 송이는 깨끗이 세척한 후에 냉동고에 보관하였다.

나. DNA 추출

멸균된 막자사발에 냉동 보관된 송이와 균사체를 넣고 액체질소를 부은 후 갈아분말로 만들고 1g당 3ml의 extraction buffer(25 mM Tris-HCl pH 8.0, 25 mM EDTA, 50mM NaCl, 1% SDS)를 넣고 잘 혼합하여 원심분리한 상등액에 1/6부피의 2-propanol을 넣고 -20℃에서 30분동안 침전시켰다. 이 침전물에 5ml의 TE buffer(10mM Tris-HCl, 1mM EDTA, pH8.0)를 첨가하고, proteinase K와 RNase A를 35℃에 50분간 처리한 후, 동일 부피의 PCI(phenol: chloroform: isoamylalcohol=25:24:1)에 1회, CI 용액(chloroform: isoamylalcohol = 24:1)에 3회 처리한 후, 1/10 부피의 3M sodium acetate와 2부피의 ethanol을 가하여 -20℃에서 30분간 침전시켰다. 이를 원심분리하여 얻은 침전물을 70%의 ethanol로 세척하고 건조시킨 후 500 μ l의 TE buffer를 넣어 DNA를 용해시켜 -20℃에 보관하고 필요할 때마다 이용하였다. 이렇게 만들진 genomic DNA는 Spectrophotometer로 260nm과 280nm에서 농도를 확인한 후에, 각각 1.0% agarose 전기영동을 통하여 단일밴드를 확인하였다.

다. PCR 반응

TaqTM DNA polymerase, dNTP, 18S rDNA PCR primer인 UF5(5'-CGCCAGGG TTTTCCCAGTCACGACGGTGGTGCATGGCCG-3')와 UR6(5'-AGCGGATAACAATTT CACACAGGACCGCAGGTTTCACCTAC-3')는 (주)바이오니아에서 구입하여 이용하였다 (Terashima와 Nakai, 1996). PCR 반응은 일반적인 방법(Williams 등, 1990)을 기준하여 약간의 변형을 가하였다. 각각의 용량이 50 μ l인 PCR 반응액은 10x reaction buffer 5 μ l, dNTP 250nM, TaqTM DNA polymerase 1 unit, primer 20pM, DNA 100ng 등을 혼합하여 제조하였고, mineral oil을 같은 부피로 첨가하였다. 반응조건은 94 $^{\circ}$ C에서 5분간 처리한 후, 94 $^{\circ}$ C에서 1분→55 $^{\circ}$ C에서 1분→72 $^{\circ}$ C에서 1분간 반응시킨 것을 1 cycle로하여 총 30 cycles 진행시켰고, 최종적으로 72 $^{\circ}$ C에서 5분간 반응시킨 후 4 $^{\circ}$ C에서 보관하였다(Cook 등, 1996a; 1996b). 여기서 나온 PCR product 5 μ l를 취하여 0.8% agarose gel에서 단일 밴드를 확인하였다.

라. DNA sequencing

위 용액에서 PCR 반응시에 사용한 mineral oil을 제거한 후 PCR 반응물을 DNA PrepMateTM ((주)바이오니아)로 정제하여 DNA sequencing을 하였으며, 정제된 pellet을 template DNA로 이용하였다. template DNA 2 μ l을 포함하는 PCR 반응액은 10x reaction buffer 4 μ l, TaqTM DNA polymerase 5 unit, primer 30 pM, d/ddNTP mixture 42 μ l (G,A,T,C tube 10 μ l씩 분주함)을 혼합하여 제조하였다. mineral oil을 같은 부피로 첨가한 후에 94 $^{\circ}$ C에서 3분간 처리한 후, 94 $^{\circ}$ C에서 30초→55 $^{\circ}$ C에서 30초→72 $^{\circ}$ C에서 1분간 반응시킨 것을 1 cycle로하여 총 40 cycles 진행시켰다. PCR이 끝나면 4 μ l의 stop solution을 가하여 94 $^{\circ}$ C에서 2분동안 가열한 다음 6% polyacrylamide gel에 전기영동하고, 전기영동한 유리판을 최종적으로 SilverstarTM staining Kit ((주)바이오니아)을 사용하여 염색하였으며, 자세한 사항은 (주)바이오니아의 사용 설명서를 따랐다.

마. 유사도 분석

*Tricholoma matsutake*의 18S rDNA sequence를 NCBI의 GenBank에 등록된 11종, 16개체의 sequences를 비교하였다. 조사된 18S rDNA sequences는 NCBI의 BLAST search를 통하여 GenBank와 EMBL와 DDBJ와 PDB에 등록된 자료를 이용하였으며, *T. matsutake*와 비슷한 종들의 DNA sequences에 대한 자료를 가지고 계통분류를 하였다. 사용된 DNA 명은 base pair(bp)로 표현하였다(Altschul 등, 1990). 우선, DNA alignment를 한 후에, DNA sequence를 이용하여 서로 다른 DNA bp사이에 유사도를 비교하였다. CLUSTAL_X(window interface)를 이용하여 multiple alignment analysis를 하였다(Thompson 등, 1997). 유사도는 PHYLIP 3.5c의 DNADIST를 이용하여 분석하였으며, Treeview32를 이용하여 유사도(dendrogram)를 완성하였다(Felsenstein, 1993).

3. 결과 및 고찰

가. 송이

송이는 현재 16곳에서 채집된 자실체(Basidiocarp)가 있으나, 중점적인 연구는 홍천(A)과 삼척(C)에서 1996년 가을에 채집된 것을 사용하였다. 또한, 대구 팔공산에서 1997년 10월경에 채집한 송이(L)와 중국산 송이(B)를 구입하여 실험에 이용하여 분석하였다. 이러한 송이의 선택은 모든 송이 자실체를 이용하여 18S rDNA를 분석할 수 없어 대표적으로 4개를 선택하여 실험하였다. UF5와 UR6 primer를 이용하여 18S rDNA를 증폭하였다. 증폭된 18S rDNA의 514 bp를 분석하였으며, 그 결과는 <Figure 5-4>와 같다. <Figure 5-4>는 18S rDNA를 sequencing한 것으로 이를 토대로 sequence를 읽었으며, 그 결과를 결정한 것이 <Figure 5-5>이다. DNA sequence에서 514 bp를 관찰한 것으로 가장 뚜렷하게 나온 것을 실험결과로 사용하였다. 모두 4개의 다른 지역에서 채집된 송이의 DNA sequence를 한 plate을 사용하여 double checking 하였다. <Figure 5-4>에서 보인 것과 같이 UF5는 분석서열 순서 514번부터 507 사이에 UR-6 primer는 분석서열 1번 부터

11번 사이에 결합하여 DNA 증폭을 하였다.



Figure 5-4.18S rDNA 514 base pairs sequences using PCR synthesized by the primers, UF5(5'-CGCCAGGGT TTTCCCAGTCACGACGGTGGTGCATGGCCG-3') and UR6(5'-AGCGGATAACAATTTTCACACAGGACCGCAGGTTCACCTAC-3'). The basidocarps were collected from the areas of Samcheok (marked, C), and Hongcheon (marked, A) in Kangwon-do province, Mt. Palgongsan (marked, L) and purchased from China (marked, B). The base pairs of a; adenine, c; cytosine, g; guanine, and t; thymine in the analysis of DNA sequence.

Number 1 → 11 21 31 41

Sequence 3' TCAAAGTGGAT GCCTTTGGAA CAATGCCGAA AATGAAGGAG ATTTAGTGGT

5' Primer (TMF) 3'

AAGGTGC CGTTCCGGC TCCTCAAAGC

TCAAAGTGGAT CGAAGAGTCG TTATTCCACG GCAAAGGCCG AGGAGTTTCG

CAATCCGGAG ACCTCACTAA GCCATTCAAT CGGTAGTAGC GACGGGCGGT

GTTAGGCCTG TGGAGTGATT CGGTAAGTTA GCCATCATCG CTGCCCCCCA

GTGTACAAAG GGCAGGGACG TAATCAACGC GAGCTTGATG ACTCACGCTT

CACATGTTTC CCGTCCCTGC ATTAGTTGCG CTCGAACTAC TGAGTGCAGAA

ACTAGGTATT CCTCGTTGAA GAGCAATAAT TGCAATGCTC TATCCCCAGC

TGATCCATAA GGAGCAACTT CTCGTTATTA ACGTTACGAG ATAGGGGTCG

ACGACAGAGT TTCACAAGAT TACCCAGACC TTCCGGCCAA GGTGAAAAAC

TGCTGTCTCA AAGTGTCTA ATGGGTCTGG AAGGCCGGTT CCACTTTTTCG

TCGCTGGCTC TGTCAGTGTA CGCGCGCGTG CGGCCAGAA CATCTAAGGG

AGCGACCGAG ACAGTCACAT GCGCGCGCAC GCCGGGTCTT GTAGATTCCC

CATCACAGAC CTGTTATTGC CTCAAACTTC CGTCAGCTAG ACGCTGACAG

GTAGTGTCTG GACAATAACG GAGTTTGAAG GCAGTCGATC TGCGACTGTC

TCCTGTAAGA AGCCAGCGGC CAGCAAAAGC CGGCCTGGCT ATTTAGCAGG

AGGACATTCT TCGGTCGCCG GTCGTTTTTCG

3' Primer (TMR) 5'

TTAAGGTCTC GTCCGTTATC GGAATTAACC AGACAAATCA CTCCACCAAC

451 461 471 481 491

AAAGAACGGC CATC 3'

501 507 ← 514

Figure 5-5. The 514 nucleotides of the 18S rDNA sequence of *Tricholoma matsutake* mushrooms collected in Korea.. Underlines indicated the forward (UF5 ←) and reverse (UR6 →) primers employed for this work. The sequences marked 'Primer(TMR)' were newly synthesized for the unique primers of Korean pine-mushrooms.

분석결과는 사용된 모든 송이의 18S rDNA가 동일하게 나타났으며, 대표적으로 제시한 <Figure 5-4>는 분석자료 결과로 나타낸 것이며, 보는 바와 같이 동일한 결과로 <Figure 5-5>와 같다. 이러한 자료를 토대로 BLAST search을 이용하여 유사한 sequence를 나타내는 종을 분석하였다. 이때 사용된 Database는 NCBI의 GenBank와 EMBL와 DDBJ와 PDB로 구성되어 있다. 본 실험에서 분석된 18S rDNA sequence와 *T. matsutake*가 가장 유사한 것으로 나타났으며, 이는 다른 연구에서 514bp에서 단지 4bp가 다른 것으로 나타났다. 이 분석에서 경북대학교에서 시도한 팔공산에서 수집한 송이(gb/U62538/TMU62538 : *T. matsutake*)와 4bp가 다른 것으로 나타났고, 이외에 *Agaricus bisporus* (qb/L36658/AEDRGDA) 및 *Lepiota procera*(qb/L36659/LPORRDA) 등이 선정되었다. 그러나, BLAST search에서 얻은 자료를 간단히 분석한 결과로 이루어진 score는 송이 gb/U62538/TMU62538 : *T. matsutake*)가 가장 유사한 것으로 나타났다. 이들의 균에서 가장 적성도가 높고 관심이 되는 균에 관하여 유사도를 분석하였다. 그러나 현재 사용된 자료, 18S rDNA sequence에서는 가장 가까운 종이 *T. matstuae*로 나타났다.

18S rDNA sequence의 분석을 위해 자료를 취하여 유사도를 알아보았다. 우선, 각각의 균들의 분석을 위하여 18S rDNA sequence를 취하여 각 DNA sequence에 대한 alignment analysis를 하고 이에 대한 차이점을 <Figure 5-6>에 나타내었다. 18S rDNA sequence에서 <Figure 5-5>의 서열(이하 “서열”) 27bp째가 다른 담자낭균과 완전히 달랐으며, 서열 71-80bp째 사이에서 다른 속의 버섯균과 차이가 났다. 여기서는 최소한 2bp가 차이를 나타냈으며, 3bp가 다른것도 있다(㉠). 또 송이속과 다른 버섯속간의 구별도 뚜렷하였다. 그러나, 같은 과인 *Lepiota*속과는 유사한 것으로 송이속에 대한 분류는 서열 73-80bp가 속 분류를 구별할 수 있는 내용의 것으로 관찰되었다.

ATTCCACG GCAAAGGCCG AGG (73-93) (㉠)
CATTCT TCGGTCGCCG GTCGTTTTTCG (405-430) (㉡)

No	12	18	25	38	45	58	61	73	84	94	107	111	181	195	202	239
1	CC-GAA	GCCGAA	GAG	A	A	CG	ATTCCACG	AAGGCCG	AGTTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
2	CC-GAA	GCTGAA	GAG	A	A	CG	ATTCCACG	AAGGCCG	AGTTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
3	CC-GAA	GCTGAA	GAG	A	A	CG	ATTCCACG	AAGGCCG	AGTTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
4	CC-GAA	GCTGAA	GAG	A	A	CG	ATTCCACG	ACGGCCG	GGTTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
5	YC-GAA	GCTGAA	GAG	A	A	CG	ATCCCACG	ACGGCCA	GGTTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
6	CC-GAA	GCTGAA	GAG	A	A	CG	AGTTCACG	ACGGCCG	GTTTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
7	CC-GAA	GCTGAA	GAG	A	A	CG	ATTCCACG	ACGGCCG	GGTTTCG	CCTC	TG	T	C	GATCCATAA	G	
8	CC-GNA	GCTGAA	GAN	A	A	CG	ATCCCACG	ACGGCCG	GGTTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	A	
9	CC-GAA	GCTGAA	GAG	A	G	CG	ATCCCACA	ACGGCTG	GGTTTCG	CCTC	CA	C	T	GATCCATAA	G	
10	CC-GAA	GCTGAA	GAG	A	A	CG	ATCCCACG	GCGGCCG	GGTTTCG	CCTC	TG	C	T	NATCCATAA	A	
11	CC-GAA	GCTGAA	GAG	A	A	CG	GTCCCACG	GCGGCCG	GGCTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
12	CC-GAA	CCTGAA	GAG	A	A	CG	ATCTCATG	ACGGCCG	GGTTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
13	CC-GAA	GCTGAA	GAG	A	A	CG	ATTCCACG	ACGGCCG	GGTTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
14	CC-GAA	GCTGAA	GAG	A	G	TC	GTCCCACG	ACGGCCG	GGCTTCG	GTTC	CC	C	T	GATCCATAA	G	
15	CC-GAA	GCTGAA	NAG	A	A	TC	GTCCACG	ACGGCCG	GGCTTCG	GTTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
16	CC-GAA	GCTGAA	GAG	G	A	CG	ATCTCACG	AAGGCCG	GGTTTCG	CCTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	
17	CC-GAA	GCTNAA	GAN	N	A	TC	GTCCCACG	ACGGCCG	GGCTTCG	GTTC	TG	C	T	GATCCATAA	G	

No	257	287	293	308	344	377	385	393	405	413	423	436	444	458	462	501
1	CTCA	G	ACTTTTTG	GAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	C	GGTCGCGC	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	G	T
2	CTCA	G	ACTTTTTG	GAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	G	GGTCGCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	A	A
3	CTCA	G	ACTTTTTG	GAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	G	GGTCGCGC	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	A	A
4	CTCA	T	ACTTTTTG	GAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	G	GGCCGCTG	TGCTTTCA	ACCGA	A	G	A	A
5	CTCA	G	ACTTTTTG	GAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	G	GGACGCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	A	A
6	CTCA	G	TTTTTTTG	GAG	A	G	TCAATC	TGACTGTC	G	GGACGCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	A	A
7	CTCA	G	ACTTTTTG	GAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	G	GGACGCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	A	A
8	CTCA	G	TTTTTTTG	GAG	G	N	TCNATC	CGACTGTC	G	GGCCGCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	A	A
9	CTCA	G	TTTTTTTG	GAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	G	GGACGCTG	CGTTTTTCG	TCCGA	A	G	A	A
10	CTCA	G	TTTTTTTG	NAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	G	GGCCGCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	A	N	N	A
11	CTCA	G	TTTTCTTG	GAG	G	G	CCGATC	CGGCTGTC	G	GGCTTCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	A	A
12	CCCA	G	TTTTCTTG	GGG	G	G	TCAATC	TGACTGTC	G	GGCCGCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	A	A
13	TTCA	G	ACTCTTTG	GAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	G	AGACGCTG	CGTTTTTCG	ACTGA	A	G	A	A
14	CTCA	G	TTTTTTTG	GAG	G	G	ACGATC	CGTCTGTC	G	GGCCGCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	A	A
15	CTNA	G	TTTTTATG	GAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	G	GGCCGCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	T	G	A	A
16	TTCA	G	ACTCTTTG	GAG	G	G	TCGATC	CGACTGTC	G	AGACGCTG	CGTTTTTCG	ACTGA	A	G	A	A
17	CTCA	G	TTTTTTTG	GAG	G	G	TCAATC	TGACTGTC	G	GGCCGCTG	CGTTTTTCG	ACCGA	A	G	A	A

Figure 5-6. The DNA sequences of 18S rDNA(18S ribosomal RNA gene, partial sequence, Length= 514)) in *Tricholoma matsutake* compared with those of the other mushroom species (A; adenine, C; cytosine, G; guanine, T; thymine in DNA(uracil in RNA), Y; C or T, N; A or C or G or T, and -; not known or null).

1. knue gb/UF-5: *T. matsutake*
2. gb/U62538/TMU62538: *T. matsutake*
3. dbj/D84309/TM518s rDNA: *T. matsutake*
4. qb/L36659/LPORRDA: *L. procera*
5. qb/L36658/AEDRGDA: *A. bisporus*
6. qb/AF026619: *Lycoperdon .sp.*
7. dbj/AB002085/AB002085: *T. bakamatsutake*
8. qb/AF026635/AF026635: *S. rugosoannulata*
9. qb/AF026605/AF026605: *L. bicolor*
10. qb/U59091/PTU59091: *P. tuberregium*
11. qb/M94337/BLSRGEA: *B. santana*
12. qb/AF026622/AF026622: *C. gigantea*
13. dbj/D85630/RHZ0017B: *R. solani*
14. qb/AF026593/AF026593: *P. chrysosporium*
15. qb/AF026600/AF026600: *D. quercina*
16. dbj/D85639/RHZHAM11K: *R. solani*
17. qb/AF026569 /AF026569: *Panus rudis*

송이는 그 외 서열 101bp와 290bp까지는 크게 차이를 나타내지 않았으나, 서열 292-300bp에서 최소한 2개 혹은 3개의 bp가 차이가 나타났다. 그러나 송이 종과 속의 구분에서 다른 *Agaricus*속 과는 차이를 나타내지 않았다. alignment된 서열의 405bp와 430bp 서열은 최소한 2-3bp가 차이가 났으며, 서열 405bp 및 418bp가 다른 송이 속의 버섯과 구별되었다 (나). 이러한 서열의 차이점을 이용하여, 서열에 대한 유사도를 그린 결과, PHYLIP 3.5c의 여러 가지 분석방법에서 가장 좋은 계통도를 보여주고 있다(Figure 5-7). 여기서 *Rhizoctonia*속의 균들은 동일한 묶음과 송이속의 동일한 묶음으로 나타났다. 송이과 버섯에 속하는 *Lepiota*속도 송이와 함께 묶였으나, 같은 송이과에 속하는 *Pleurotus* 속은 전혀 다른 그룹에 속하였다. 비록, 비슷한 균에는 비슷한 그룹이 형성되고 송이속과 식물 병원균인 *Rhizoctina*속은 같은 묶음이 형성되었으나, 다른 균들은 예상밖의 그룹이 형성되었다.

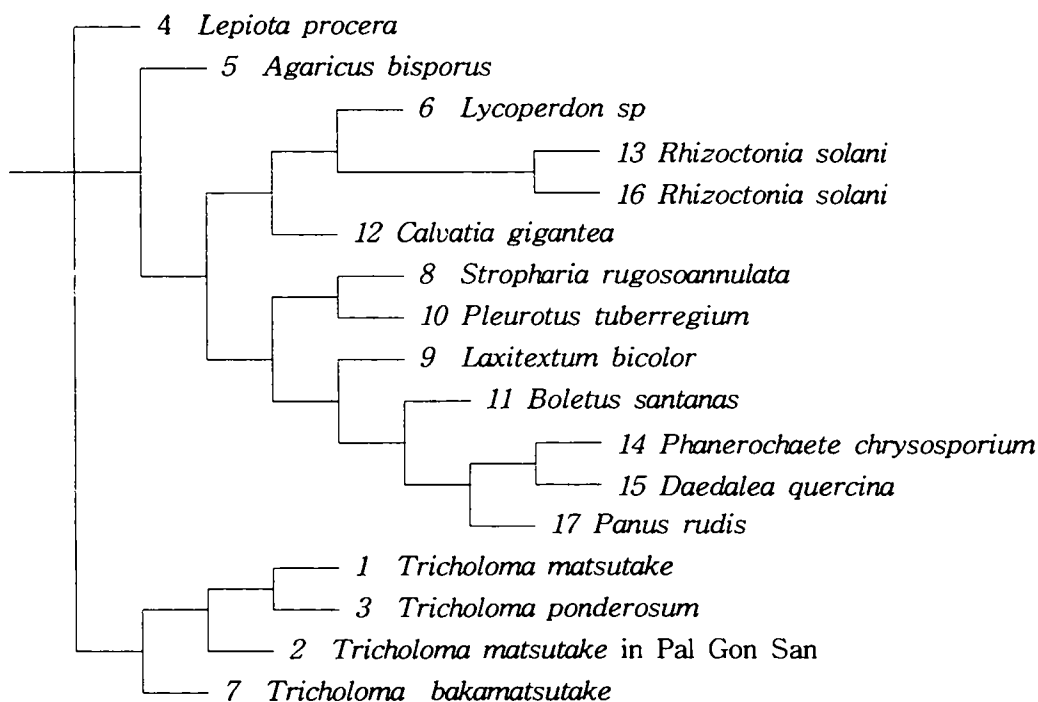


Figure 5-7. Dendrogram using the analysis of the 18S rDNA(18S ribosomal RNA gene, partial sequence, Length= 514)) sequences in *Tricholoma matsutake* compared with those of the other mushroom species.

4. 고찰

채집되어 분석된 송이의 18S rDNA 서열이 모두 동일한 것으로 나타났으므로 상당히 보존적인 DNA 서열을 가지고 있는 것으로 보였다. 이러한 보존성이 18S rDNA 서열을 종의 분류에 사용하는 커다란 이유일 것이다(Jasalavich 등, 1995). 본 실험에서는 4개의 다른 지역의 송이를 각각 비교하였으나, 모두 18S rDNA가 동일한 것으로, 다른 실험에서 연구한 것과 514bp에서 4bp가 다른 것으로 보아, 실험상의 차이점을 나타내는 것으로 생각된다. 우선, 실험의 동일성을 유지하기 위하여, 본 연구에서도 동일한 대구광역시 팔공산에서 채집된 송이(marked L)를 사용하였다 (Hwang, 1996), 그러나, 팔공산에서 채집되어 연구된 송이.gb/U62538/TMU62538: *T. matsutake*)의 18S rDNA 서열과도 4bp의 차이를 나타내고 있다. 다른 송이속의 3종 (*T. pondrosum* 과 *T. bakamatsutake*)과 송이가 비교되었다. 다른 종들은 아직 등록되지 않은 것으로 비교할 수가 없었다. 18S rDNA 서열 비교에서는 다른 종과 함께 4 bp가 차이가 났으나, 유사도에서는 차이를 나타내었다. 이러한 것은 서열의 단순한 차이보다는 서열 중에 연속하여 서열의 변화 혹은 DNA 서열의 변화에 대한 질의 변화요소를 첨가한 것으로 생각된다. 그러나, 유사도 분석에서 송이속의 종들이 한 그룹으로 나타났고, 식물병원균인 *Rhizoctoina*의 그룹을 볼 때 18S rDNA 서열분석을 통해 종 동정과 종간 차이점을 구별할 수 있을 것으로 생각되었다.

이러한 rDNA 서열을 이용하여 담자낭균의 계통적인 분류를 시도하였다. 다른 많은 연구에서 이러한 시도가 상당히 긍정적인 결과를 얻었던 것으로 보고되고 있다(Ko 등, 1997). 그러나 본 유사도 분석에서 *Tricholoma*속이 한 묶음을 이루고 있으나, 송이과에 속하는 *Lepiota* 와 *Pleurotus*에 대한 분석은 계통적인 결과와 일치하지 않았다. 일단 종 및 속의 동정에서 18S rDNA의 서열을 통한 유사도 분석은 만족스러운 결과가 나왔으나, 속 이상에서 균의 계통적인 분류에서는 좋은 결과가 나타나지 않았다. 현재 송이의 18S rDNA에 대한 514bp의 서열을 밝혔고, 다른 연구자(경북대학교: gb/U62538/ TMU62538 : *T. matsutake*)와 4bp의 차이점을 나타내고 있다. 송이균사를 탐지할 수 있는 실험에서는 특수한 primer 제작이 필요할 것이라고 생각한다. 아래와 같은 sequence를 가진 primer를

제작하여 사용한다면 외생균근균으로서 송이균사를 탐지할 수 있으며, 토양속에 있는 송이균사체의 파악에 도움이 될 것이라 생각한다. 최소한 소나무 뿌리 혹은 토양 속에 있는 송이균사를 얻어서 송이의 침입 혹은 생태적인 분포에 대한 연구를 위한 기초 실험의 자료로 중요한 자료가 될 것으로 생각된다.

(Primer design)- Specific for *T. matsutake*

Forward Primer - 5' AAGGTGCCGTTTCCGGCTCC 3'

Reverse Primer - 5' GCTTTTGCTGGCCGCTGGCTTCTTAC 3'

第 3 節 뿌리內 송이菌 確認技法 研究

1. 서론

본 장의 목적은 송이의 인공재배를 위한 기초자료를 확보하여 송이와 관련된 지속적인 연구터전을 마련함에 있다. 이에 따라 1절에서는 송이의 배양특성에 대하여 살펴보았으며, 2절에서는 생화학적인 기법을 이용하여 송이균의 특성을 확인한 바 있다. 그런데, 이러한 제반 기초자료의 확보는 궁극적으로 송이 인공재배를 위하여 송이균이 감염된 소나무를 생산하였을 때 감염된 균이 송이(*Tricholoma matsutake*)인지 아닌지를 식별할 수 있는 근거를 마련하기 위한 것이다.

이에 따라, 본 절에서는 송이 균환부에서 소나무 뿌리를 채취하여 송이균근의 형태적인 특성을 파악함으로써 송이 접종묘목을 생산하였을 때 형태적인 변화를 통하여 예비검정하는 자료를 제시하고자 한다. 나아가 분자생물학적인 기법으로 소나무 뿌리내의 송이균을 손쉽게 확인할 수 있는 기법을 소개하여 송이 인공재배를 위한 초석을 제공하고자 한다.

2. 현미경적 관찰에 의한 송이균근의 확인

소나무 뿌리의 외생균근 형태는 매우 원시적인 형태로서, 광대버섯 혹은 그물버섯과는 전혀 다른 모습을 나타내었다. 소나무 뿌리표면의 균사를 제거한 상태에서 살펴보면, 외생균근을 형성하지 않은 소나무 뿌리와는 달리 송이균사가 있는 곳은 검은색으로 변화되는 경향이 나타났다. 균사(菌絲)는 소나무 뿌리 주변에 많이 감싸고 있었으나, 다른 알려진 외생균근의 형태와 다소 다르게, 매우 영성한 결합을 이루고 있었으며, 주변에 많은 흰 실과 같은 균사체를 형성하고 있었다.

전자현미경 관찰에서 송이균사는 뿌리의 표피세포에 침입하여 침입균사를 형성함으로써 다른 외생균근의 공생관계 형성양상과 달랐으며, 오히려 기생균과 같은 현상을 보였다. 균사체는 대체로 소나무 뿌리의 상처를 통하여 침입하는 것으로 생각되고, 뿌리는 feeder root의 기능을 하며 균사와 상호작용하는 것으로 생각된다. 송이의 기부(寄附)에는 많은 뿌리가 그물과 같이 형성되어 가을철에 소나무의 영양원을 흡수하는 것으로 추측된다. 전자현미경 관찰에서 송이균사는 일반적인 특징인 clamp connection도 관찰되지 않았으며, 뿌리주변에 균사가 감싸여져 있어 표피세포와 많은 관련이 있는 것으로 나타났다.

3. PCR-RAPD 방법에 Probe 개발

2절에서 밝힌 바와 같이, 송이 균사체 혹은 송이의 생물학적인 관계를 생화학적으로 구분할 수 있는 방법을 시도하였다. 송이 주산지인 울진 등을 비롯한 여러 지역에서 수집한 자실체와 기타 버섯 17종을 대상으로 18S rDNA sequences를 비교하였다. 각 종(species)의 비교로서 2절에서 나타낸 바와 같이 <Figure 5-6>의 DNA sequences를 통하여 <Figure 5-7>의 dendrogram을 얻을 수 있었으며, 이 가운데 *Tricholoma* 속에 속하는 각종은 한 그룹으로 구분이 된 반면, 다른 속에 속하는 종은 다른 그룹으로 구분할 수 있었다. 이 과정을 통하여 얻어진 특수 DNA 밴드를 이용하여 2개의 primer를 선별하였는데, forwarding 및 reversing을 위한 2개의 primer, 즉 TMF(AAGGTGCCGTTTCCGGCTCC)와 TMR(GCTTTTGCTGGCCGCTGGCTTCTTAC)을 제작할 수 있었으며, 이들은 송이의

18S rDNA의 357bp 부위를 flanking할 수 있는 primer이다.

PCR 반응은 94℃에서 5분 및 30초씩 35 cycles, 70℃에서 30초, 72℃에서 30초 및 5분 간 처리하는 조건을 통하여 반응을 유도할 수 있다. 이들 2개의 primer를 이용하여 375bp 및 714bp의 핵산서열을 지닌 DNA band가 합성되는데, 이를 통하여 10개의 국내산 송이 균주와 중국산 송이 균주, 그물버섯을 비롯한 6종류의 다른 버섯 등 총 31균주<Table 5-5>를 비교한 결과 송이 균과 다른 균을 구분해 낼 수 있었다<Figures 5-8 & 5-9>.

Table-5-5. List of mushrooms and its isolates used in this study.

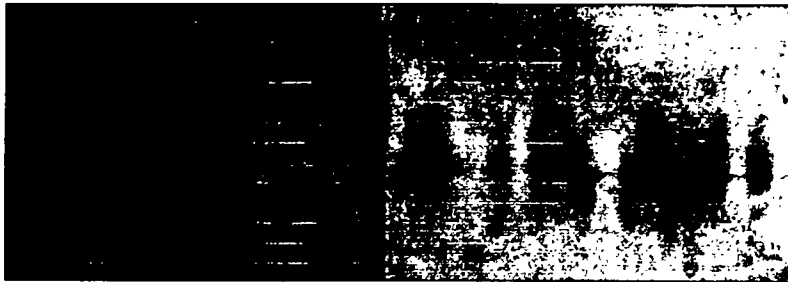
ID	Isolates marked	Localities ^a	Remarks	Collector
1	A (Basidiocarps)	Hongcheon	<i>Tricholoma matsutake</i>	F. R. I ^b
2	B (Basidiocarps)	China	<i>Tricholoma matsutake</i>	F. R. I
3	D (Basidiocarps)	Uljin	<i>Tricholoma matsutake</i>	F. R. I
4	E (Basidiocarps)	Youngduck	<i>Tricholoma matsutake</i>	F. R. I
5	F (Basidiocarps)	Goseong	<i>Tricholoma matsutake</i>	F. R. I
6	G (Basidiocarps)	Yangyang	<i>Tricholoma matsutake</i>	F. R. I
7	H (Basidiocarps)	Yecheon	<i>Tricholoma matsutake</i>	F. R. I
8	I (Basidiocarps)	Chongdo	<i>Tricholoma matsutake</i>	F. R. I
9	L (Basidiocarps)	Phalgong Mt.	<i>Tricholoma matsutake</i>	Sang-Sun Lee
10	K (Basidiocarps)	Chongdo	<i>Tricholoma matsutake</i>	Sang-Sun Lee
11	O (Basidiocarps)	Yecheon	<i>Tricholoma matsutake</i>	Sang-Sun Lee
12	<i>Agaricus bisporus</i>		saprophytic mushroom	Markets
13	<i>Flammulina velutipes</i>		saprophytic mushroom	Markets
14	<i>Pleurotus ostreatus</i>		saprophytic mushroom	Markets
15	<i>Lentinus edodes</i>		saprophytic mushroom	Markets
16	<i>Lepista nuda</i>	Joryong Mt.	purple edible mushroom	Sang-Sun Lee
17	<i>Boletus edulis</i>		ectomycorrhizae	Sang-Sun Lee
18	<i>Russula emetica</i>	Sokri Mt.	ectomycorrhizae	Sang-Sun Lee
19	<i>Russula aurata</i>	Sokri Mt.	ectomycorrhizae	Sang-Sun Lee
20	<i>Boletus edulis</i>	Joryong Mt.	ectomycorrhizae	Sang-Sun Lee
21	<i>Russula foetnes</i>	Hongcheon	ectomycorrhizae	Sang-Sun Lee
22	<i>Amanita vaginata</i>	JirRi Mt.	ectomycorrhizae	Sang-Sun Lee
23	<i>Amanita pantherina</i>	Hongcheon	ectomycorrhizae	Sang-Sun Lee
24	<i>Amanita subjunquillea</i>	Hongcheon	ectomycorrhizae	Sang-Sun Lee
25	<i>Pholiota squarrosa</i>	Sokri Mt.	wood rot fungi	Sang-Sun Lee
26	<i>Suillus bovinus</i>	Hongcheon	ectomycorrhizae	Sang-Sun Lee
27	<i>Russula rosacea</i>	Jiri Mt.	ectomycorrhizae	Sang-Sun Lee
28	<i>Trametes suaveolens</i>	Joryong Mt.	wood rot fungi	Sang-Sun Lee
29	<i>Armillariella tabescens</i>		pathogenic fungi	F. R. I.
30	<i>Armillariella sp.</i>		pathogenic fungi	F. R. I
31	C (Basidiocarps)	Samcheok	<i>Tricholoma matsutake</i>	F. R. I

^a Localities indicated the forestry areas near the city in Korea.

^b The basidiocarps or mycelia stored at Korea Forestry Research Institute.

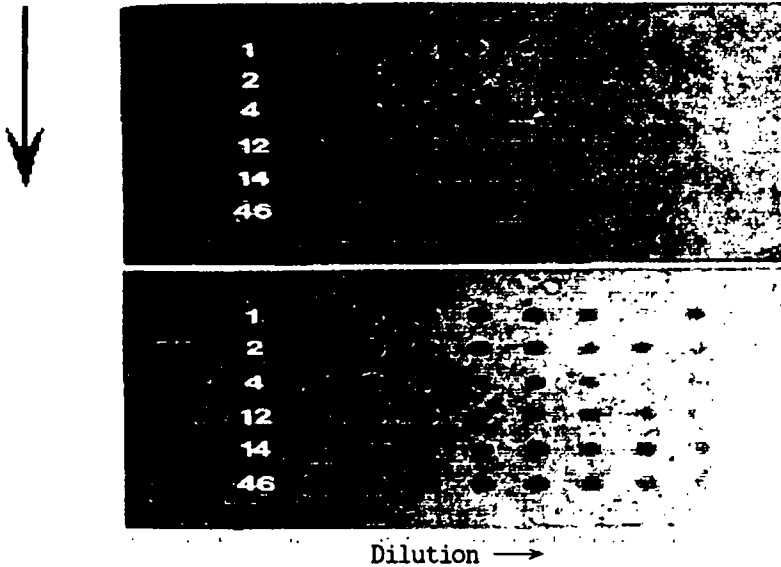


<A> : Polymorphic bands using OPO-2 primer. The number indicates above Table 5-5



 : Southern blot hybridized 0.75 Kb probe from PCR product using OPO-2 primer

Isolate marks



<C> : Dot blot hybridized 0.75 Kb probe from PCR product

<D> : Dot blot hybridized 1.6 Kb probe from PCR product using OPO-2 primer

Figure 5-9. The polymorphisms of RAPD-PCR reacted with OPO-2 primer(A; the consistent bands from lane 2 to 11 were 1.6 and 0.75 kbp at glance), Southern hybridizations of RAPD bands(A) with 0.75 Kb bands(B), and dot blotting with 0.75 Kb bands(C), and with 1.6 Kb(D) bands.

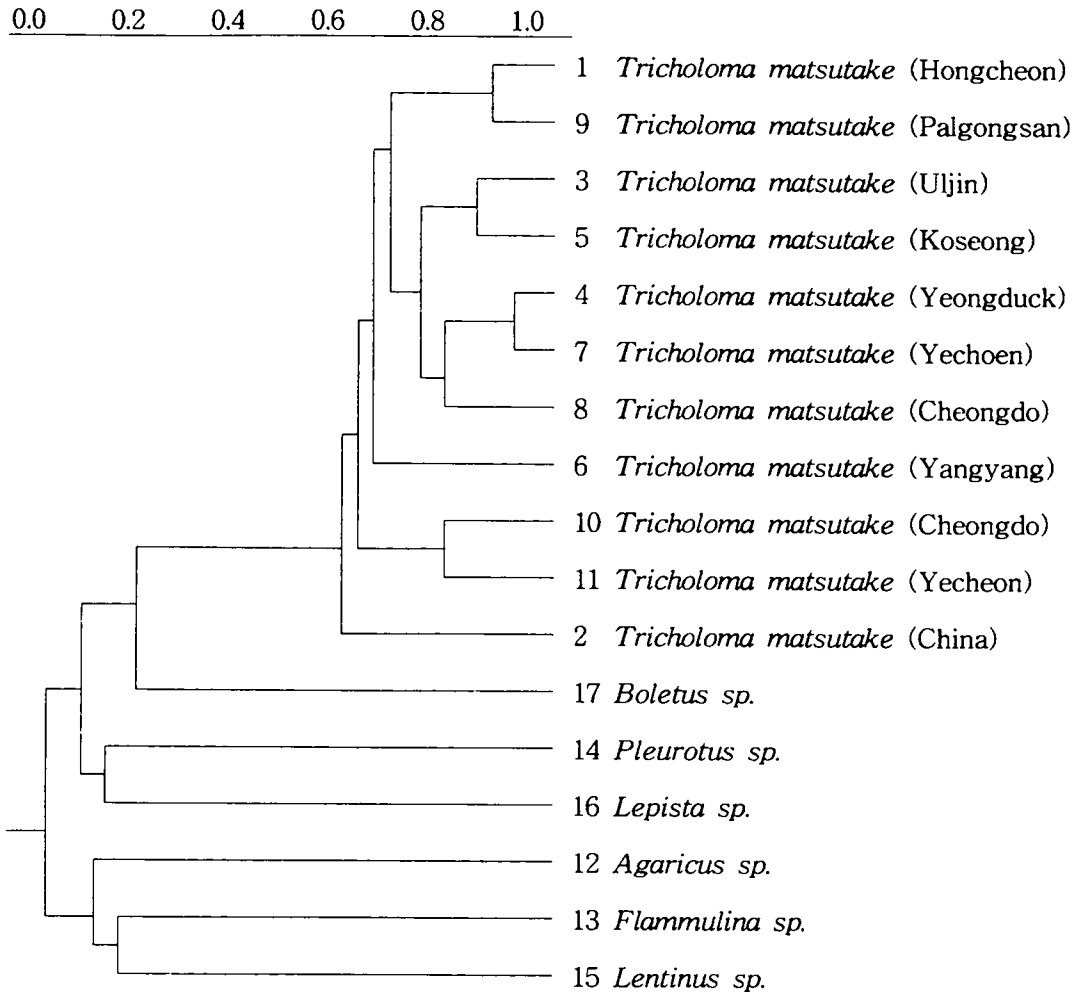


Figure 5-10. Dendrogram based on RAPD-polymorphisc pattern analyzed by NTSYS program using UPGMA method from dice's formula. The basidiocarps marked like the same shown in Table 5-5.

DNA probe를 이용한 소나무 뿌리내 송이균의 확인은 18S rDNA의 염기서열 분석에서 만들어진 probe로 대략 18~20bp를 이용하여 송이 균사체를 파악하는 방법이다. 이는 2절에서 설명한 바와 같이 agarose상에 전기영동을 통하여 확인되며, 시료는 토양 혹은 뿌리에서 채취된 것을 DNA 추출과정을 거쳐서 PCR 반응을 통하여 만들어진다. 이러한 것을 이용한 생물의 개체파악은 위에 설명된 방법인 PCR-RAPD 방법보다 더 적은 농도에서 확인할 수 있는 간편한 것으로 생각된다.

第 4 節 參考文獻

1. 강안석, 김양섭, 차동열. 1987. 송이 인공재배에 관한 시험. 농촌진흥청 농업기술연구소 시험연구보고서(생물부편). 623-628.
2. 김창호. 1984. 송이균(*Tricholoma matsutake*)의 배양환경에 대한 증식반응에 관한 연구. 한국임학회지 64 : 33-41.
3. 박종열, 박광우. 1980. 송이(*Armillaria matsutake* Ito et Imai)의 인공재배에 관한 연구. 한국임학회지 50 : 10-15.
4. 변병호. 1973. 송이버섯 생태 및 인공증식에 관한 연구. 산림청 임업시험장 시험연구 보고서 503-512.
5. Altschul, S. F, W. Gish, W, Miller, E. W., Myers and D. J. Lipman. 1990. Basic local alignment search tool. J Mol. Biol. 215 : 404-410.
6. Chu-Chou, M. and L. J. Grace. 1984. Cultural characteristics of *Rhizopogon* spp. associated with *Pinus radiata* seedlings. New Zealand Journal of Botany 22 : 35-41.
7. Cook, D. E. L., D. M. Kennedy, D. C. Guy, J. Russell, S. E. Unkles and J. M. Duncan. 1996. Relatedness of group I species of *Phytophththora* as assess by randomly amplified polymorphic DNA (RAPDs) and sequences of ribosomal DNA. Mycol. Res. 100 : 297-303.
8. Courtecuisse, R. and B. Duhem. 1995. Collins field guide Mushrooms & Toadstools of Britain and Europe. 3rd eds. Haper Collins Pub.
9. Dennis, J. J. 1985. Effect of pH and temperature on in vitro growth of ectomycorrhizal fungi. Information Report BC-X-273, Pacific Forestry Centre, Canada. 19pp.
10. Ginterova, A. and O. Janotkova. 1975. A simple method of isolation and

- purification of cultures of wood-rotting fungi, *Folia Microbiol.* 20: 519-520.
11. Gosselin, L., R. Jobidon and L. Bernier, 1995. Assessment of genetic variation within *Chondrostereum purpureum* from Quebec by random amplified polymorphic DNA analysis. *Mycol. Res.* 99 : 151-158.
 12. Grube, M., P. T. Depriest, A. Gargas and J. Hafellner. 1995. DNA isolation from lichen ascomata. *Mycol. Res.* 99 : 1321-1324.
 13. Hall, I. R., G. G. Strong, Y. Wang and I. Plattner. 1992. Progress in research on truffles and other edible fungi in New Zealand. *Mycologia et Vegetazione Mediterranea VII (2) : 271-274.*
 14. Hamada, M. 1950. Physiology and ecology of *Armillaria matsutake*. *Bot. Mag.(Tokyo)* 63 : 40-41. (in Japanese).
 15. Hung, L. L. and J. M. Trappe. 1983. Growth variation between and within species of ectomycorrhizal fungi in response to pH in vitro. *Mycologia* 75(2) : 234-241.
 16. Hwang, S. K. 1995. *Genetic analysis of Ribosomal RNAs in Tricholoma matsutake: cloning, sequencing structural analysis and application to phylogenetic study.* Ph D. thesis Department of Microbiology. The Graduate School. Kyungpook National University.
 17. Imazeki, R. and T. Hongo. 1984. Colored Illustrations of fungi of Japan. Hoikusha. Publishing Co. Ltd. 181pp.
 18. Iwase, K. 1992. Gluconic acid synthesis by the ectomycorrhizal fungus *Tricholoma robustum*. *Can. J. Bot.* 70 : 84-88.
 19. Jasalavich, C. A., Morales, V. M., Pelcher. L. E. and Seguin-Swartz. G. 1995. Comparison of nuclear ribosomal DNA sequences from *Alternaria* species pathogenic to crucifers. *Mycol. Res.* 99 : 604-614.
 20. Kawai, M. and M. Ogawa. 1976c. Studies on the artificial reproduction of

- Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing. IV. Studies on a seed culture and a trial for the cultivation on solid media. Trans. mycol. Soc. Japan 17 : 499-505.
21. Kawai, M. and O. Terada. 1976. Studies on the artificial reproduction of *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing. II. Effects of vitamins, nucleic acid relating substances, phytohormones and metal ions in media on the vegetative growth of *T. matsutake*. Trans. mycol. Soc. Japan 17 : 168-174.
 22. Kawai, M. and S. Abe. 1976. Studies on the artificial reproduction of *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing. I. Effects of carbon and nitrogen sources in media on the vegetative growth of *T. matsutake*. Trans. mycol. Soc. Japan 17 : 159-167.
 23. Ko, K. S., S. G. Hong and H. S. Jung. 1997. Phylogenetic analysis of *Trichaptum* based on nuclear 18s, 5.8s and ITS ribosomal DNA sequences. Mycologia 89 : 727-738.
 24. Korean Forestry Reports. 1981a. Proceedings of Seminar on the pine-mushroom cultivations (Jae 16 Ho), Forest Research Institute, Seoul, Korea. see pg 44.
 25. Korean Forestry Reports. 1981b. Reports on the pine-mushrooms in Korea (Jae 18 Ho), Forest Research Institute, Seoul, Korea. 44pp.
 26. Korean Forestry Reports. 1984. Proceedings of Research and Technique on the production of pine-mushroom (Jae 22 Ho), Forest Research Institute, Seoul, Korea. 58pp.
 27. Korean Forestry Reports. 1986. Production technique and Research of forest mushrooms in Japan (Jae 26 Ho), Forest Research Institute, Seoul, Korea. 73pp.
 28. Kuraishi, H. 1953. Studies in mycorrhizal fungi. I. Occurrence, environment and development of *Armillaria robusta*. Ecol. Rev. 13 : 159-163.
 29. Lee, C. Y., O. P. Hong, M. J. Jung, and Y. H. Han. 1997. Effect of carbon

- sources and vitamins on mycelial growth of *Tricholoma matsutake* DGUM 26001. Kor. J. Myco. 25(3) : 226-232.
30. Lee, S. S. 1991. Biology of *Tricholoma matsutake* found at *Pinus densiflora* communities in the areas of Kyoung Sang Do. Kor. J. Mycology 19 : 203-213.
 31. Lee, T. S. 1983. Survey on the environmental conditions at the habitat of *Tricholoma matsutake* in Korea. J. Kor. Wood Sci. and Technology 11(6) : 37-44.
 32. Marx, D. H. 1969. The influence of ectotrophic, mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. Phytopathology 59 : 153-163.
 33. Miller, O. Jr. 1981. Mushrooms of North America. E. P. Dulton. N. Y. 368pp.
 34. Molina, R. 1980. Formation of ectomycorrhizal following inoculation of containerized Sika spruce seedlings. Pacific Northwest Forest and Range experiment Station. Research Note, PNW-351.
 35. Murray, H. G. and W. F. Thompson. 1980 Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. Nucleic Acids Res. 8 : 4321-4325.
 36. Nakai, T. and K. Hishinuma. 1992. Studies of nucleic acids of some Basidiomycetes; (3) Specific oligo-DNA probe for *T. matsutake*. Proc. 36th Ann. Meeting Mycol. Soc. Japan 36 : 69-75.
 37. Nicholson, M. S., Bunyard, B. A., and Royse, D. J. 1997 Phylogeny of the genus *Lentinula* based on ribosomal DNA restriction fragment length polymorphism analysis. Mycologia 89 : 400-407
 38. O'Donnell, K., E. Cigelink, N. S. Weber and J. M. Trappe. 1997. Pylogenic relationships among ascomycetous truffles and the true and false morels inferred from 18s and 28s ribosomal DNA sequence analysis. Mycologia 89 : 48-65.
 39. Ogawa, M., T. F. Kobayashi and H. Fujita. 1980. On the primary stage in 'Shiro'

- formation of *Tricholoma matsutake*. Trans. Mycol. Soc. Japan 21 : 505-512.
40. Ogawa, M. 1976. Microbial ecology of 'Shiro' in *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing and its allied species. III. *Tricholoma matsutake* in *Picea glehnii* and *Picea glehnii-Abies sachalinensis* forests. Trans. Mycol. Soc. Japan 17 : 188-198.
 41. Ogawa, M. 1977a. Microbial ecology of 'Shiro' in *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing. and its allied species. IV. *Tricholoma matsutake* in *Tsuga diversifolia*. Trans. Mycol. Soc. Japan 18 : 20-33.
 42. Ogawa, M. 1977b. Microbial ecology of 'Shiro' in *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing and its allied species. V *Tricholoma matsutake* in *Tsuga sieboldii* forests. Trans. Mycol. Soc. Japan 18 : 34-46.
 43. Ogawa, M. 1977c. Microbial ecology of 'Shiro' in *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing and its allied species. VI. *Tricholoma fulvocastaneum* in *Quercus serrata-Quercus acutissima* forests. Trans. Mycol. Soc. Japan 17 : 188-198.
 44. Ogawa, M. 1977d. Microbial ecology of mycorrhizal fungus, *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing in Pine Forest III. Fungal flora in shiro soil and on the mycorrhiza. Bulletin of the Government Forest Experiment Station no. 293. Tokyo, Japan.
 45. Ogawa, M. 1978. Microbial ecology of 'Shiro' in *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing and its allied species. VII. *Tricholoma fulvocastaneum* Hongo in *Castanopsis cuspidata* forests. Trans. Mycol Soc. Japan 19 : 37-46.
 46. Ogawa, M. 1979a. Microbial ecology of 'Shiro' in *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing and its allied species. IX. *Tricholoma ponderosum* in *Pseudotsuga menziesii-Tsuga heterophylla* and *Pinus contorta* forests. Trans. Mycol. Soc. Japan 20: 370 - 382
 47. Ogawa, M. 1979b. Microbial flora of *Pinus thunbergii* in Forest of Coastal Sand

- Dune. Bulletin of The Forestry and Forest products Reserch Institute No. 305. Ibaraki, Japan. pp. 107-124.
48. Ogawa, M. and M. Kawai. 1976. Studies on the artifical reproduction of *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing. III. Effects of growth promoting natural products on the vegetative growth of *T. matsutake*. Trans. mycol. Soc. Japan 17 : 492-498.
 49. Ogawa, M. and Ohara, H. 1978. Microbial ecology of 'Shiro' in *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing. and its allied species. VIII. *Trcholoma bakamatsutake* Hongo in *Quercus mongoloca* var. *grosserrata* forest and *Q. serrata* forests. Trans. Mycol. Soc. Japan 19 : 391-405
 50. Ogawa, M. and Y. Yambe. 1980. Effects of Herbicide on the mycorrhizae of *Pinus densiflora* and Soil Microorganisms. 1977. Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute No. 311. Ibaraki, Japan.
 51. Ogawa, M. Ito, Kobayashi, T. F. and Fujita, H. 1980. On the primary stage in 'Shiro' formation of *Tricholoma matsutake*. Trans. Myco. Soc. Japan 21 : 505-512.
 52. Ogawa, M., U. Takeo, K. Shuji and Y. Kisoo. 1978. Cultivation method of the mycorrhizal fungus, *Tricholoma matsutake* (Ito et Imai) Sing. (I) Growing method of the pine saplings infected with *T. matsutake* in the field. Japan For. Soc. 60: 119-128.
 53. Ohara, H. and Ogawa, M. 1982. Microbial ecology of 'Shiro' in *Tricholoma matsutake* and its allied species. XI. *Trcholoma caligatum* in *Cedrus libanotica* forests. Trans. Mycol. Soc. Japan 23 : 365 - 377.
 54. Ohta, A. 1990. A new medium for mycelial growth of mycorrhizal fungi. Trans. mycol. Soc. Japan 31:323-334.

55. Peterson, S.W. 1991 Phylogenetic analysis of *Fusarium* species using ribosomal RNA sequence comparisons. The American Phytopathological Society. Vol. 81, No. 9.
56. Peterson, S.W. 1995. Phylogenetic analysis of *Aspergillus* sections *Cremeri* and *Wentii*, based on ribosomal DNA sequences. Mycol. Res. 99 : 1349-1355.
57. Sambrook, J., Fritsch, E. F., and Maniatic, T. 1989. *Molecular cloning-A Laboratory manual*. 2nd eds. Cold Spring Harbor Lab. Press, Cold Spring Harbor, N.Y. Pp. 6.1-6.19
58. Shimazono, H. 1979. Comparative studies on morphological characteristics of the colonies of *Tricholoma matsutake*, *T. fulvocastaneum* and *T. bakamatsutake* on agar media. Trans. mycol. Soc. Japan 20 : 176-184.
59. Singer, R. 1986. The Agaricales in Modern Taxonomy. Koeltz Scientific Books. D-6240 Koenigstein /Federal Republic of Germany. 981pp.
60. Smith, A. H. 1973. Agaricales and related secotioid Gasteromycetes. Pages in 421-450 In: The fungi. G C. Ainsworth, F. K. Sparrow and A. S. Sussman eds. IVB. Academic Press. N. Y. 504pp.
61. Terashima, Y. and Nakai, T. 1996. Identification of the DNAs of the ectomycorrhizal fungus *Tricholoma bakamatsutake* using specific oligonucleotide probes and PCR primers. Mycoscience 37 : 371-375.
62. Thompson, J.D., Higgins, D.D., Gibson, T.J., Plewniak, F., and Jeanmougin, F. 1997 The CLUSTAL_X window interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. Nucleic Acids Res. 25 : 4876-4882.
63. Tominaga, Y. 1963. Studies on the life history of Japanese pine mushroom, *Armillaria matsutake* Ito et Imai. Bull. Hiroshima Agric. College 2:105-145.(in

Japanese)

64. Tominaga, Y. 1978. *Tricholoma matsutake*. In: The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms. p.683-697. Academic Press.
65. Wang, Y., L. A. Evans and I. R. Hall. 1996. Growth of *Tricholoma* spp. in pure culture. Crop & Food Research Invermay Agricultural center, Private Bag 50054; In press.
66. Wang, Y., L. Sinclair, I. R. Hall and A. L. J. Cole. 1995. *Boletus edulis sensu lato*: a new record for New Zealand. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 23 : 227-231.
67. Wang, Y. 1996. Personal Communication; Reearchers for ectomycorrhizae. Crop & Food Research Invermay Agricultural center, Private Bag 50054, Mosgiel, New Zealand. wangy@crop.cri.nz.
68. Williams, J.G.K., Kubelik, A.R., Livak, K.J., Rafalski, J.A., and Tingey, S.V. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. Nucl. Acids Res. 18 : 6531-6535
69. Yambe, Y., Ogawa, M., and Ishizuka, K. 1981. Microbial flora and litter decomposition process in *Chamaecyparis obtusa* Forest. Bulletin of the Forestry and Forest Products Reserch Institue No. 313. Ibaraki, Japan.
70. Zolan, M. E., and Pukkila, P. I. 1986. Inheritance of DNA methylation in *Coprinus cinereus*. Molecular and Cellular Biology 6 : 195-200.

여 백

第 6 章 結 論

CONCLUSIONS

연구기관명 : 임업연구원

연구책임자 : 김 현 중

연구 원 : 박 현

여 백

第 1 節 송이산의 綜合的인 管理

1. 서론

본 연구과제는 송이산의 실질적인 관리를 위한 구체적인 지침을 제시하고자 수행하였다. 이를 위하여 우리는 지역별로 기상인자에 따른 송이 발생량을 예측하고, 송이 생산량을 제한하는 인자를 극복하기 위한 지침을 제시하였다. 그런데, 이러한 지침은 지역에 따라서 다른 형태를 나타내어 단순한 틀에서 이루어 질 수 없음을 알 수 있었다. 즉, 송이산 관리는 송이산의 입지환경적 특성, 소나무림의 상태, 송이균의 활력 및 기상인자 등 복합인자에 의하여 결정되고 있다. 송이 생산량을 결정하기 위해서는 거시적인 측면의 접근과 미시적 측면의 복합적인 접근방식이 요구된다고 할 수 있다.

하지만, 우리나라의 송이산 관리방식은 『관리』라는 용어를 사용하기가 힘들 정도로 제대로 관리가 되지 않고 있을 뿐만아니라 송이의 보속생산을 위한 노력도 거의 없는 상태라고 할 수 있다. 즉, 송이는 재배되는 것이 아니라 단순히 채취되고 있는 상태인 것이다. 그런데, 앞에서 살펴보았듯이, 송이산은 그냥 방치하면 점차 송이 생산성이 낮아지며, 인간의 지속적인 간섭을 통해서만 송이가 계속 생산될 수 있다. 따라서, 송이산을 관리하려는 노력이 있어야 할 것이며, 근시안적인 개념으로 송이산을 관리하는 것이 아니라 장기적인 측면에서 송이산을 지속적으로 관리하는 태도가 필요하다.

2. 송이산의 종합적 管理의 當위성

『제 1 장』 서론에서 밝혔듯이, 현재 송이균을 인공배지에서 자라게 하고, 소나무에 인공으로 접종시키는 연구가 이루어지고 있지만, 아직 표고나 느타리처럼 인공적으로 재배할 수는 없다. 따라서, 송이를 통하여 소득을 높이기 위한 유일한 길은 기존 송이산을 잘 가꾸는 것이다. 즉, 지금 존재하고 있는 송이가 잘 커 나갈 수 있도록 환경을 조성해 주어야 한다.

송이산 관리는 송이균만을 관리하는 것이 아니라 송이와 관련되는 제반환경을 관리하는 것을 의미하며, 그중 가장 중요한 요인은 역시 소나무림의 관리라고 할 수 있다. 왜냐하면, 송이는 소나무 뿌리와 공생하여야만 자랄 수 있는 버섯이므로 송이발생에 영향을 미치는 인자는 송이균의 성장 뿐만아니라 소나무 뿌리의 발달이나 소나무 체내 탄수화물 대사 등에 영향을 주는 인자를 모두 포함하기 때문이다. 일본에서는 기상현상이 송이 생산을 50% 이상 좌우하며, 8월 강수량이 많고 온도가 높을수록, 그리고 9월과 10월에 강수량이 많을수록 송이 생산량이 증가한다고 보고하고 있으며, 본 연구를 통하여 우리는 누적된 강수량의 중요성과 이를 조절할 수 있는 관수기법의 효용성을 이미 검토하였다. 즉, 송이 발생시기를 결정하는 것은 기온이고 생산량을 결정하는 것은 온도와 수분이라고 생각되므로, 지구적인 규모로 영향을 주는 기상변화에 대한 대응책은 거의 없지만, 소규모일지라도 균환(菌環) 주변의 온도와 수분조건을 조절한다면 송이의 생산량에 큰 영향을 미칠 수 있을 것이다.

우리는 『제 2 장』에서 송이산의 관리기법 도입을 위하여 전국 송이 생산지를 송이 발생패턴에 따라 크게 10개 권역으로 나누었는데, 이 결과에서 경상북도의 최대 송이산지인 울진, 봉화, 영덕도 각각 다른 권역에 속하여 행정구역에 따른 송이산 관리방법 지정은 피해야 함을 지적하였다. 즉, 종합적이면서 구체적인 관리지침을 찾아 적용시켜 나아가야 한다는 것을 말한다.

3. 송이산의 종합적 관리방안

송이산을 제대로 유지, 관리한다는 것은 송이균을 유지, 관리하는 것을 말한다. 이미 설명하였듯이 송이를 발생시키는 모체는 송이균환이며, 이들은 지표면에 유기물이 많거나 지나치게 습하면 지표면 가까이 분포하다가 사라진다. 농촌에서도 화석연료(석유, 프로판 가스 등)를 사용하게 됨에 따라 소나무림에서 굽어내던 낙엽층이 방치되고, 소나무는 활엽수에 피압되는 상태가 되면서 송이가 발생할 수 있는 균환의 수가 크게 줄어들었다. 즉, 숲의 입장에서 보면 산이 좋아지고 더욱 푸르게 변화했지만, 송이가 자라기에는 부적합한

환경으로 변화한 것이다.

송이균환이 더 이상 뺏지 못한다는 것은 송이를 생산하는 모체가 없어진다는 것을 의미한다. 그런데, 이미 언급하였듯이, 현재의 지식과 기술로는 새로운 균환을 인위적으로 만들어 주기 어려운 상태이므로 이미 송이산에 있는 균환을 보호, 육성하는 것이 현재로서는 송이를 지속적으로 생산하는 유일한 길이다. 그러므로 송이의 지속적인 생산을 위해서는 송이 발생 저해요인을 파악하여 제거하는 작업이 요구된다. 특히, 이를 위해서는 송이가 발생하는 시기에만 송이산을 관리하는 것이 아니라 항상 송이산에 관심을 갖고, 종합적인 시각에서 관리하는 것이 필요하다.

4. 송이산의 관리를 위한 제언(提言)

송이산의 임분관리를 실질적으로 어떻게 하여야 하는가에 대하여는 앞에서 구체적으로 제시하였다. 송이 생산성이 쇠퇴하는 것에 대하여 송이산의 버섯상을 통하여 예비진단을 실시하고, 송이산 균환부 토양의 효소활성 조사를 통하여 구체적으로 송이산 관리를 위한 각종 처리를 해야 할 시기를 제시할 수 있었다. 또한, 실질적으로 소나무를 비롯한 송이산의 임분 울폐도가 1~3차 울폐가 주를 이루는 상황이 송이생산에 가장 적합함을 밝혀 송이산의 숲 관리에 대한 구체적인 지침을 제시하였다. 아울러, 송이산 관리의 적정한 시기로서 6월을 최상으로, 가능한 5~7월에 수관울폐도를 감안하며 수행하는 것을 제시한 것이다.

본 연구는 현장애로 연구로서 현장에서 해결해야 할 여러 가지 어려움을 극복하기 위한 방안 마련에 초점을 두고 수행한 것이다. 따라서, 이러한 연구결과는 일반 학자들에게 인식되는 것 보다 송이산을 갖고 있거나 송이 수확에 관여하는 농민들에게 직접적으로 홍보, 교육하는 것이 그 실효를 얻을 수 있으므로, 본 연구결과를 홍보, 교육하기 위한 방안이 마련되어야 할 것이다. 이는 연구비 지원이 마무리된 상태에서 추진되어야 할 내용으로 이러한 홍보나 교육을 위하여 농림기술관리센터에서 특별한 예산지원 등의 계획을 갖고 체계적으로 추진하는 것이 바람직하다.

한편, 본 연구과제의 수행을 통하여 각 지역별로 가장 중요한 기상인자가 무엇이며 어느 시점에 어떤 처리를 행하여야 하는지에 대하여는 지역별로 제시할 수 있게 되었다. 그러나, 일반적인 제한인자 극복기법은 송이가 발생하기 15일 이전부터 각종 처리를 시작하여야 하는데 예보자료는 일주일의 최대의 예보 가능기간이다. 또한, 기상예보중 구체적인 기온, 강수량의 정량적인 자료는 일반인이 쉽게 접근할 수 없는 상태에 있다. 따라서, 본 연구과제의 성과물을 실질적으로 활용하기 위해서는 기상대의 예보능력 향상과 기상예보 자료의 공개화가 선행되어야만 한다.

각 지역 특성에 따른 예보 프로그램은 송이 채취자들에게 필요한 작업지침을 제시하여 송이산의 종합적인 관리가 가능할 것으로 생각된다. 이를 통하여 전국적으로 송이 보속생산 체제의 구축과 아울러 최소한의 계획생산이 구현될 수 있을 것으로 생각되며, 이를 위하여 본 연구결과의 부록에 수록된 내용은 쉽게 사용될 수 있는 software로 변형될 수 있다.

第 2 節 송이의 未來를 爲한 提言

1. 서론

우리나라의 송이연구는 1970년대 이후에 진행되어 왔지만, 일본에서는 약 100년 정도 연구를 수행하여 오고 있다. 그럼에도 불구하고, 아직까지 송이의 인공재배는 현실화되지 못한 상태이다. 현재까지 송이의 생물학적 특성, 송이 발생림의 식생 및 기주식물의 환경, 기상인자 등 여러 분야에서 많은 연구가 진행되어 왔다. 본 연구는 기존 연구를 바탕으로 가능한한 종합적인 시각에서 송이산의 관리방안을 마련하고자 노력하였다.

앞으로 송이와 관련된 연구는 기존의 연구가 도출한 단편성의 전철을 밟지 않아야 함을 기억하면서 송이와 다른 생물을 포함한 생태계 구성요소가 연계된 통합적 접근방법으로 진행되어야 할 것이다. 또한 과거의 미비한 실험기자재를 이용한 실험접근법에서 현대

의 첨단기술이나 기기를 이용한 보다 정밀한 접근방법이 시도된다면, 현재의 송이산 관리적 차원에서 벗어나 송이재배의 차원으로 뛰어 올라갈 수 있으리라 기대한다.

2. 송이 연구방향에 대한 제안

앞으로의 송이연구는 송이재배를 위한 노력, 인공재배 방식의 구축을 위한 연구가 되어야 한다. 송이의 인공재배를 위한 기초연구로서 송이의 생태적 특성이나 생리적 특성을 이해하려는 많은 시도가 있었으며, 이러한 노력을 통하여 많은 양의 지식을 축적할 수 있었다.

한편, 일본에서 오랜기간 송이 인공재배를 위하여 노력을 해 왔지만 아직 뚜렷한 성과를 올릴 수 없었던 배경을 먼저 이해하고 이러한 틀을 벗어나고자 먼저 노력을 해야한다. 일반적인 일본의 연구방식이 다른 연구결과의 모방과 정확한 논리로 표현하기 어려운 know-how의 축적을 통한 발전방식임을 감안할 때, 정확히 표현되지 않은 일본의 연구를 이해하고, 새로운 방향을 설정해 나가야 할 것으로 생각된다. 따라서, 송이 인공재배를 위한 접근은 외생균근의 일반적인 특성을 이해하고, 송이와 소나무를 비롯한 공생기주와의 관계를 보다 정확하게 밝히는 데서 시작되어야 할 것이다. 예를 들면, 소나무와 송이간의 물질교환 기작에 대한 명확한 이해가 필요한데, ① 두 생물간의 상호 의존도에 대한 이해, ② 양분의 분배기작의 원칙, ③ 시기(공생기주의 연령 및 계절)에 따른 변화 등에 대한 기본적인 파악이 선행되어야 할 것으로 생각된다. 또한 송이와 근권 미생물들에 대한 보다 전반적인 연구로서, 송이 발생지 토양미생물의 분류, 미생물간의 공생관계, 송이균사가 분비하는 항생물질, 소나무림에서 균근성 버섯의 천이와 송이와의 관계 등의 연구도 추진되어야 할 것이다.

일본의 기존 연구에 비하여 우리나라의 연구가 한 차원을 높게 진행할 수 있는 방식으로 현대의 첨단지식과 기자재의 활용방법이 있다. 즉, 생화학적 기법, 분자생물학적 기법을 통한 송이 연구방식이 기존 틀을 벗어나 송이연구의 차원을 높일 수 있는 방법이라고 할 수 있는데, 송이의 분자생물학 연구는 18S rDNA 밴드의 서열, DNA의 특정 밴드 패턴,

면역학적 검정법 등 송이균을 확인하는 기법과 계통분류학적 연구가 최근에 이루어졌으며, 본 연구의 5장에서도 이에 대하여 자세히 언급한 바 있다. 앞으로 개발된 송이의 probe를 이용한 송이산의 송이균 분포와 송이 감염묘 생산에서 송이균 감염 유무를 판별, 계통분류학, 다른 외생균근균의 이해 등 많은 분야에서 이용될 필요성이 있다.

3. 송이 인공재배를 위한 접근

앞서 언급하였듯이, 송이 인공재배를 위한 연구는 소나무와 송이, 송이와 다른 토양생태계 구성요소, 송이와 인간의 간섭, 송이와 기상요인, 송이와 미생물 등 송이를 둘러싸고 있는 각종 인자와의 관계에 대하여 보다 세밀하게 검토하며 이들을 종합적으로 고찰하는 방식이 필요하다(Figure 6-1).

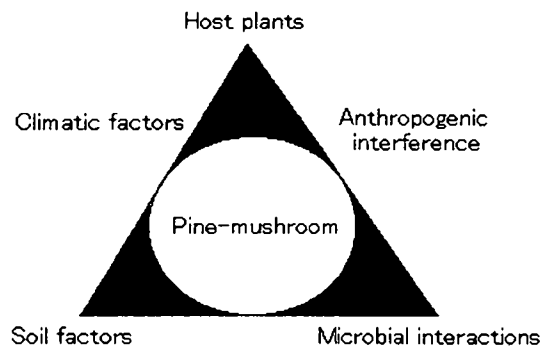


Figure 6-1. A schematic diagram to illustrate various factors interacting with pine-mushroom production

우리는 본 연구를 수행하기 위하여 매우 많은 분야의 연구자들이 참여하여 기존 연구 방식에서 벗어난 매우 포괄적인 접근방법을 시도하였다. 그럼에도 불구하고, 포괄성과 정밀성이 요구되는 송이 인공재배를 위한 부분은 현장애로 연구의 기본적인 성격이 지니는 제한과 시간, 인력, 재원의 미비로 인하여 깊이 있게 시도할 수 없었다. 그러나, 앞으로 위에서 언급된 사항들이 충족되고 연구결과가 축적이 됨에 따라 송이 인공재배는 현실화 될 수 있을 것으로 생각한다. 그러므로 송이 연구에 많은 연구자들이 적극적으로 참여할 수 있기를 바라며, 연구지원 기관의 적극적인 지원체제의 마련, 송이 생산자들의 보다 적극적인 후원을 기대하는 바이다.♣

第 7 章 附 錄

APPENDICES

여 백

第 1 節 條件附 時系列 模型에 의한 송이 發生豫察式

1. 표에 나타나는 각 기호의 의미

- ▶ 지역 : 각 조사 지역
- ▶ 사용안된 독립변수 : 주어진 기후자료중에서 자료가 불충분하여 실제분석에 사용이 안된 변수명
- ▶ 선택된 변수의 수 : 회귀모형에서 stepwise 방법을 이용하여 $Y_i|Z_i$ 에 영향을 주는 변수를 선택했을 때 선택된 변수의 수
- ▶ 가장 영향을 많이 미치는 변수 : 선택된 변수중에서 가장 영향을 많이 미치는 변수
- ▶ 결정계수(변수선택) : 선택된 변수(stepwise)들의 결정계수
- ▶ Autoreg에서 선택된 변수의 수 : 자기회귀 모형을 사용할 때 선택된 독립변수의 수
- ▶ 독립변수에 의한 결정계수 : 자기회귀모형을 선택했을 때 독립변수에 의한 결정계수
- ▶ Autoreg에서의 결정계수 : 자기회귀모형에서 오차항을 포함했을 때의 결정계수
- ▶ 분석에 사용안된 생산량의 연도 : 분석에 사용하지 않은 연도
- ▶ 변수명 :

X_{18} : 생산량(9월), X_5 : 최고온도, X_6 : 최저온도, X_7 : 평균온도, X_8 : 강수량

X_9 : 습도, X_{10} : 증발량, X_{11} : 일조량, X_{12} : 지온, X_{13} : 지중 5 cm 온도

X_{14} : 지중 10cm의 온도, X_{15} : 지중 20cm의 온도, X_{16} : 지중 30cm의 온도

X_{17} : 지중 50cm의 온도, cux^* : * = 5 ~ 14까지의 7일간 평균값

$c2x^*$: 변수 cux^* 의 제곱, $lcux^*\$$: 각 변수 X^* 의 시차 $\$$ 인 변수를 의미하며

$c2x^*\$$: 변수 $lcux^*\$$ 의 제곱을 나타냄

(예) $cux5$ 는 7일간 최고온도의 평균, $cux6$ 은 7일간 최저온도의 평균을 의미하며,

$lcux1420$ 는 20일 전의 $cux14$, 즉, 20일전의 7일간 지중 10cm 온도의 평균을

의미함

▶ 총괄표의 각 표시

- reg : 변수 Z_t 에 필요한 독립변수명과 모수의 추정치(stepwise 사용)
- autoreg: 변수 $Y_t|Z_t$ 에 필요한 독립변수명과 모수의 추정치
- $_A_i$: 오차항에 관한 모수의 추정치(예, $_A_1$: AR(p) 모형에서 첫번째 추정치)
- save18 : 실제 생산량
- p_1 : $Y_t|Z_t=1$ 일 때의 예측량, p : $P(Z_t=1)$ 일 확률의 추정치
- p_2 : 예측량 \times 확률의 추정치, $p_2 = p_1 \times p$
- dif : $|p_2 - \text{save18}|$ 간차의 절대값
- X_2, X_3, X_4 : 연도, 월, 일

2. 총괄표

지역	사용 안된 독립변수	선택 변수	가장 영향을 많이 미치는 변수	결정계수 (변수선택)	Autoreg 선택 변수	독립변수에 의한 결정계수	Autoreg에서의 결정계수
강릉	없음	55	C2X927	0.9140	9	0.2232	0.8896
거창	X_{10}, X_{13}, X_{14}	28	C2X630	0.9253	6	0.2267	0.8350
고성	X_{10}, X_{13}, X_{14}	24	C2X67	0.7511	12	0.2619	0.7543
괴산	없음	25	C2X817	0.9009	19	0.9732	0.9235
김천	X_{10}, X_{13}, X_{14}	16	C2X1211	0.9002	11	0.5073	0.8122
남원	X_{10}, X_{13}, X_{14}	21	LCUX89	0.9037	6	0.2880	0.6566
무주	$X_{10}, X_{12}, X_{13}, \lambda$	5	C2X622	0.4893	3	0.6048	0.6330
문경	X_{10}, X_{13}, X_{14}	16	C2X129	0.8333	2	0.0573	0.8497
보은	$X_{10}, X_{12}, X_{13}, \lambda$	9	C2X9	0.8545	9	0.6214	0.7671
봉화	X_{10}, X_{13}, X_{14}	26	C2X126	0.8161	20	0.5706	0.8256
삼척	X_{10}, X_{13}, X_{14}	36	LCUX629	0.8403	20	0.5172	0.8947
안동	$X_{10}, X_{12}, X_{13}, \lambda$	13	C2X79	0.7688	12	0.5175	0.8314
양양	X_{10}, X_{13}, X_{14}	42	C2X814	0.8643	18	0.3523	0.8527
영덕	$X_{10}, X_{12}, X_{13}, \lambda$	28	LCUX1118	0.9176	25	0.8030	0.8884
영월	X_{10}, X_{13}, X_{14}	2	LCUX922	0.7095	2	0.7095	0.7095
영주	$X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$	29	LCUX822	0.9506	22	0.9225	0.9225
영천	$X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$	16	C2X918	0.5915	8	0.1825	0.9207
울진	$X_{10}, X_{12}, X_{13}, \lambda$	34	C2X822	0.8899	8	0.1994	0.8986
원주	X_{10}, X_{13}, X_{14}	17	C2X813	0.8631	13	0.7591	0.8968
의성	없음	27	LCUX620	0.8944	19	0.7991	0.8865
인제	X_{10}, X_{13}, X_{14}	28	C2X810	0.9547	23	0.9563	0.9563
장수	없음	19	C2X118	0.6939	17	0.8174	0.8174
정선	X_{10}, X_{13}, X_{14}	14	C2X810	0.9484	10	0.9336	0.9336
제천	X_{12}, X_{13}, X_{14}	19	LCUX67	0.8336	8	0.3172	0.8343
청도	없음	50	C2X510	0.9438	22	0.5643	0.9156
포항	X_{10}, X_{13}, X_{14}	20	C2X926	0.5624	17	0.5071	0.5071
함양	X_{10}, X_{13}, X_{14}	35	C2X8	0.9314	18	0.6380	0.8947
홍천	X_{10}, X_{13}, X_{14}	18	LCUX76	0.8194	5	0.2640	0.7870

3. 지역별 모형

가. 강릉

① regression 모형 :

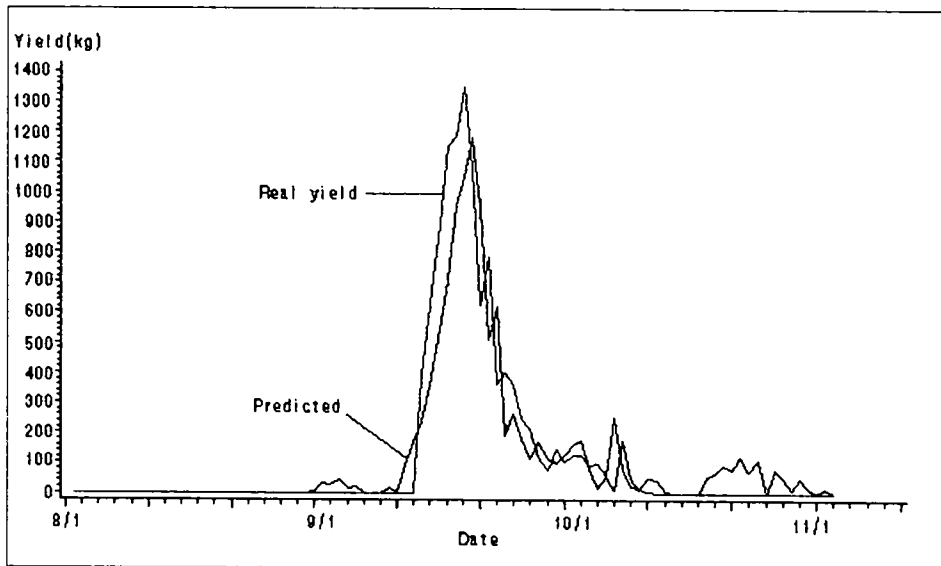
변수명	계수	변수명	계수
CUX6	-0.011820649	LCUX1330	-0.133506112
CUX9	0.008613119	LCUX148	-0.027812253
CUX12	-0.004368818	LCUX1430	0.1343432345
C2X7	0.0000181049	C2X519	-0.000019876
C2X9	-5.58814E-6	C2X520	-0.000022884
LCUX52	0.0114163785	C2X64	0.0000209136
LCUX61	-0.00503041	C2X610	-0.000084537
LCUX610	0.0230892875	C2X614	-0.000017068
LCUX619	-0.01147322	C2X630	-0.000238105
LCUX625	-0.002213045	C2X75	-0.000058245
LCUX630	0.0956405628	C2X710	0.0000345338
LCUX75	0.0282332991	C2X82	9.0671276E-7
LCUX719	0.0452428399	C2X84	1.1337681E-6
LCUX810	-0.001126167	C2X810	3.2639798E-6
LCUX823	0.0003149658	C2X92	0.0000130884
LCUX830	0.0003451516	C2X916	6.1321972E-7
LCUX92	-0.006567863	C2X930	6.1623692E-6
LCUX96	0.0010189942	C2X105	-0.000096114
LCUX918	0.0016579967	C2X1010	0.0001654081
LCUX930	-0.009288012	C2X119	-0.000075702
LCUX1010	-0.024886503	C2X1130	-0.000019037
LCUX116	0.0054375457	C2X1219	0.0000317489
LCUX119	0.0139232994	C2X1230	0.0000911999
LCUX1113	0.0045202727	C2X138	0.0000224376
LCUX1120	0.0081676029	C2X1317	0.0000109717
LCUX1219	-0.02615723	C2X1330	0.0002078953
LCUX1230	-0.037331781	C2X1430	-0.000216007

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	143.62278099
CUX9	1.2578424899
LCUX514	-4.293467827
LCUX68	-9.10001876
LCUX727	4.436031465
LCUX113	4.3081053484
C2X813	0.0006900726
C2X1020	-0.103829692
C2X1022	-0.151173023
C2X1320	0.0175292288
_A_1	-0.855855515

※ 가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X927, $R^2 = 0.1516$

③ 모델에 의한 예측치와 실측치의 비교



나. 거창

① regression 모형 :

변수명	계수
CUX5	-0.034741044
CUX7	0.0118252753
C2X5	0.0000775456
C2X7	-0.00007882
C2X9	-1.429745E-6
LCUX61	-0.009588925
LCUX616	-0.021152003
LCUX630	0.0107226708
LCUX71	0.0194634175
LCUX716	0.0400721184
LCUX724	0.0106397687
LCUX810	0.0031190715
LCUX830	0.0025845238
LCUX95	0.032098437
LCUX1130	0.0105430526
LCUX1219	-0.007315037
LCUX1230	0.0107809371
C2X516	-0.000032098
C2X528	-5.154444E-6
C2X730	-0.000035001
C2X82	-6.002265E-6
C2X84	-4.389448E-6
C2X810	-0.000015769
C2X825	-2.011806E-6
C2X830	-4.981169E-6
C2X95	-0.000026526
C2X916	8.8301285E-7
C2X921	1.2595861E-6
C2X111	-0.000336474
C2X113	-0.000189659
C2X116	-0.000045024
C2X123	0.0000475984
C2X1227	-7.862594E-6

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거, 1994년 제외

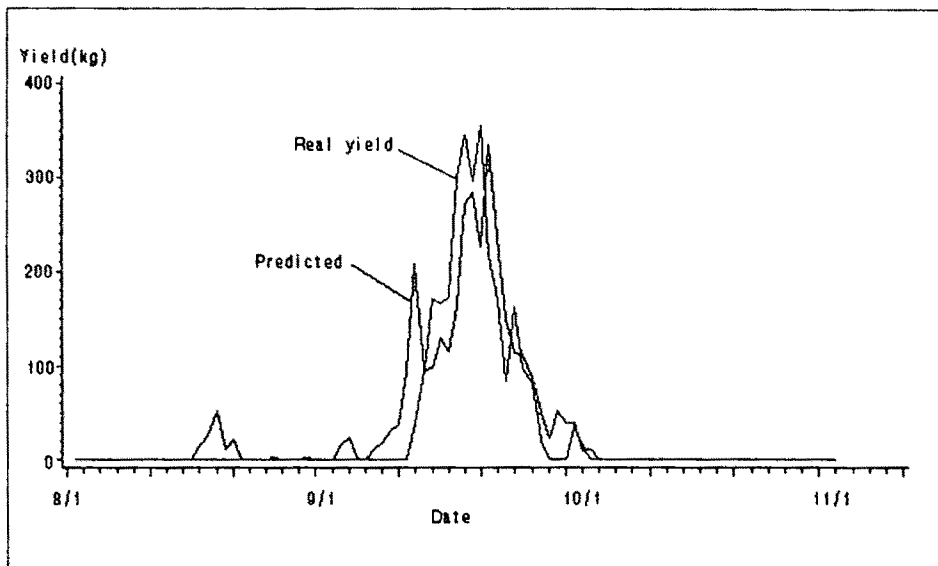
② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	44.998060901
C2X8	0.0089938733
LCUX62	-2.12604573
C2X628	0.0208838434
C2X827	-0.001905625
C2X95	-0.000882699
C2X1120	-0.024691654
_A_1	-0.698008557
_A_4	-0.174606062
_A_6	0.1475775703

가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X630, $R^2 = 0.2798$

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거, 1994년 제외

③ 모델에 의한 예측치와 실측치의 비교



다. 과산

① regression 모형 :

변수명	계수	변수명	계수
CUX6	-0.010861553	LCUX1419	0.0257235044
CUX8	-0.000563242	C2X512	-0.000011876
CUX10	-0.051439819	C2X518	-8.408753E-6
CUX11	0.0294417517	C2X524	0.0000136819
C2X10	0.0005230001	C2X66	-0.000053874
C2X11	-0.000226028	C2X621	0.0000397456
LCUX51	0.0047390206	C2X76	0.0000536547
LCUX521	-0.011372517	C2X717	-0.000014002
LCUX523	-0.012773023	C2X723	0.0000106395
LCUX611	-0.008372272	C2X819	1.210239E-6
LCUX628	0.0083546175	C2X820	1.2883951E-6
LCUX73	0.0075229232	C2X826	6.9022551E-7
LCUX712	0.0142828759	C2X94	-7.830447E-6
LCUX719	0.0132797098	C2X910	-7.990592E-6
LCUX88	0.0005336419	C2X924	0.0000100975
LCUX818	-0.000711639	C2X930	6.0939029E-6
LCUX820	-0.001017223	C2X106	-0.000260565
LCUX92	-0.001284487	C2X1024	0.0003303795
LCUX94	0.0069875381	C2X1028	0.0003067211
LCUX910	0.0124064224	C2X111	-0.000266982
LCUX916	0.0033434494	C2X113	-0.000158248
LCUX924	-0.013215371	C2X116	-0.000060432
LCUX930	-0.012974985	C2X119	-0.000044424
LCUX103	0.0117660018	C2X1111	-0.000023196
LCUX106	0.0204869747	C2X1114	-0.000091293
LCUX109	0.0178185137	C2X1121	0.0000550111
LCUX1024	-0.032430193	C2X1123	-0.000077535
LCUX1028	-0.020099711	C2X1130	0.0001224221
LCUX1114	0.0065716602	C2X121	0.0000542404
LCUX1116	0.0063802001	C2X1223	-0.000011567
LCUX1123	0.0230214715	C2X1230	-0.000060177
LCUX1130	-0.010163298	C2X135	0.000038333
LCUX1230	0.0235448033	C2X1312	-0.000031542
LCUX131	0.0345339337	C2X1319	-0.000034508
LCUX145	-0.026694559	C2X141	-0.00026618
LCUX1412	0.0250243167	C2X1418	-0.000022885

특이사항 : 없음

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-666.3135043
LCUX513	4.7375497843
LCUX95	-1.475159601
LCUX98	0.7251327508
LCUX1121	7.5815792218
LCUX123	-6.524718328
LCUX1215	9.0113180366
C2X512	-0.018511126
C2X521	-0.019037383
C2X527	0.0113020284
C2X613	-0.009876904
C2X621	0.0337083448
C2X723	0.007158646
C2X816	0.0004821311
C2X91	0.0043885504
C2X113	0.0412094785
C2X1116	0.0078712074
C2X1212	0.0197681325
C2X1226	-0.020805264
C2X1315	-0.022092149
_A_1	0.2822499903
_A_2	0.375576362
_A_3	0.2391059928

가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X817, $R^2 = 0.2014$

특이사항 : 없음

라. 김천

① regression 모형 :

변수명	계수
CUX6	0.0135566486
C2X6	-0.000058715
LCUX53	-0.040097873
LCUX629	0.0259594435
LCUX715	0.0033971238
LCUX723	0.0085893947
LCUX730	0.0090149589
LCUX921	0.0263288435
LCUX113	0.0110794339
LCUX123	-0.007253324
C2X53	0.0001555643
C2X522	-0.000011307
C2X613	-0.000016538
C2X629	-0.000063285
C2X89	-2.289361E-6
C2X816	2.7819609E-6
C2X921	-0.000017255
C2X113	-0.000183737
C2X1130	0.0000340831
C2X1229	-0.00001573

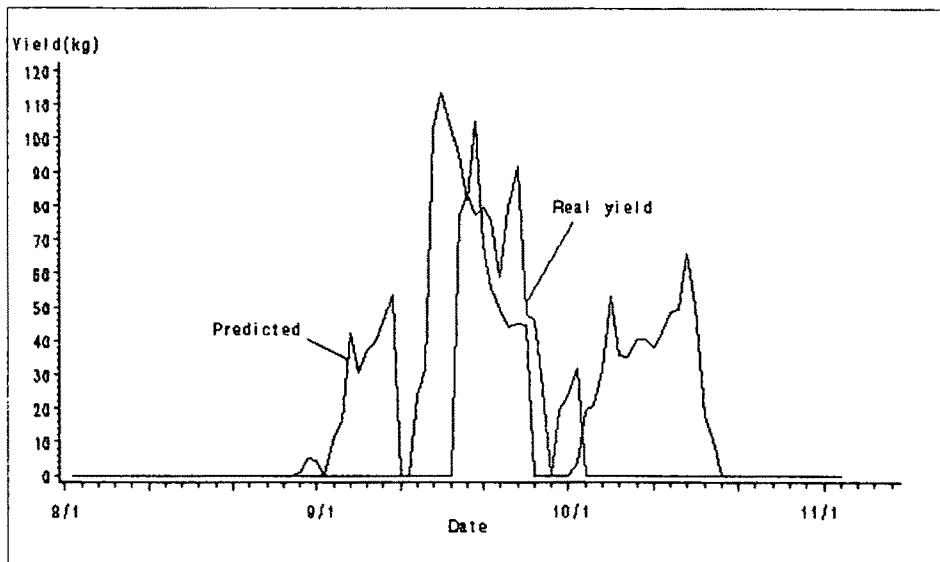
특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거, 1994년 제외

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	5706.1752485
LCUX822	0.3847406459
LCUX919	-16.09694861
C2X814	-0.004057961
C2X825	0.0021986625
C2X826	-0.002633859
C2X828	-0.0009959
C2X91	0.003010952
C2X919	0.0109585944
C2X1212	-0.009221238
C2X1220	0.0048804991
C2X1227	0.0052214066
_A_1	-0.42171128
_A_3	-0.268526932

가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X1211 , $R^2 = 0.2289$

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거, 1994년 제외



마. 남원

① regression 모형 :

변수명	계수
CUX6	0.0141620495
CUX8	-0.003028714
C2X6	-0.000033135
C2X12	-0.00002295
LCUX510	0.0227308586
LCUX630	0.0226543335
LCUX719	-0.029234371
LCUX84	-0.001545714
LCUX89	-0.002407384
LCUX812	-0.001649276
LCUX1110	-0.012028278
LCUX1228	0.0299736983
C2X630	-0.000077372
C2X719	0.0000701225
C2X87	-0.00001138
C2X1126	0.0000214179
C2X1128	-0.000045928
C2X123	0.0000207692
C2X129	-0.000026296
C2X1228	-0.000047368

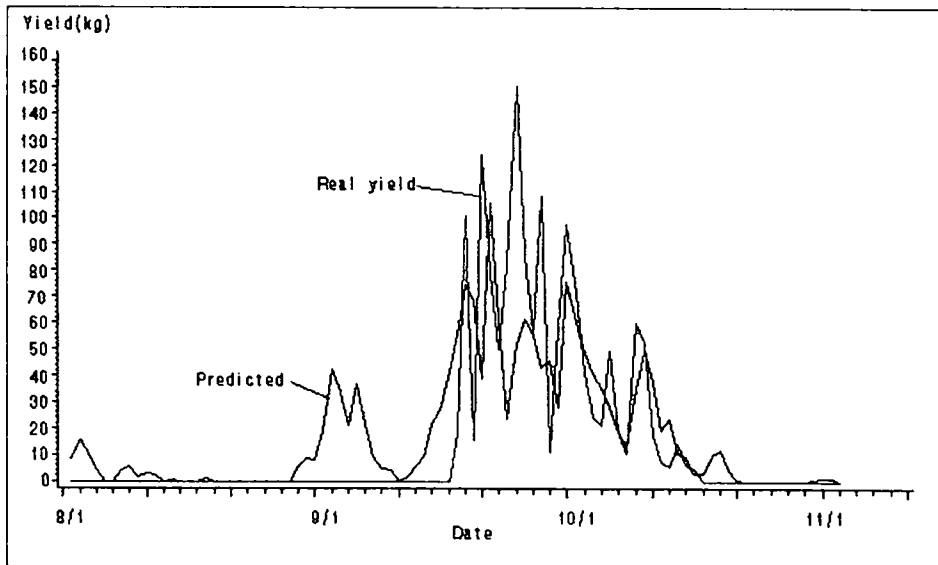
특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거, 1993년 1994년 제외

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-97.99376155
LCUX89	-0.680899443
LCUX813	-0.855250735
LCUX119	-1.417762657
LCUX1229	0.9921175211
C2X86	-0.004866069
C2X814	0.0039545731
_A_1	-0.475259409
_A_3	-0.192132708

가장 영향을 많이 미치는 변수 : LCUX89 , $R^2 = 0.1760$

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거, 1993, 1994년 제외



바. 무주

① regression 모형 :

변수명	계수	변수명	계수
CUX8	0.0004184351	LCUX1125	0.0064413183
C2X11	-0.000011565	C2X54	0.0000256639
LCUX54	-0.012837113	C2X57	0.0000286271
LCUX510	0.0035808378	C2X512	-0.000073558
LCUX512	0.0421143584	C2X524	9.9763632E-6
LCUX520	0.0030472039	C2X66	0.0000457713
LCUX69	-0.005514907	C2X626	0.0000190995
LCUX611	0.004567331	C2X76	-0.000025769
LCUX618	0.0187582736	C2X725	-0.000050417
LCUX625	0.0160106247	C2X726	-0.000019847
LCUX630	0.0037750576	C2X85	-5.32558E-6
LCUX77	-0.018423492	C2X86	-2.297464E-6
LCUX718	-0.020966692	C2X87	-7.577851E-6
LCUX85	0.0020172679	C2X89	-6.12945E-6
LCUX87	0.0033122448	C2X810	-2.540388E-6
LCUX89	0.0019664234	C2X812	3.0459833E-6
LCUX820	0.0007866267	C2X817	-2.878884E-6
LCUX827	0.0023944368	C2X824	-9.952304E-7
LCUX94	0.0204790575	C2X827	-3.76512E-6
LCUX95	0.0230248573	C2X94	-0.000020977
LCUX98	0.0510612887	C2X95	-0.000019643
LCUX916	0.0013709309	C2X96	-2.564117E-6
LCUX921	-0.012493374	C2X98	-0.000034236
LCUX926	-0.032709017	C2X921	0.0000101776
LCUX114	0.0043809717	C2X926	0.0000200063
LCUX117	-0.007559978	C2X1118	-0.000012589
LCUX1118	0.0090278647	C2X1124	-7.910497E-6

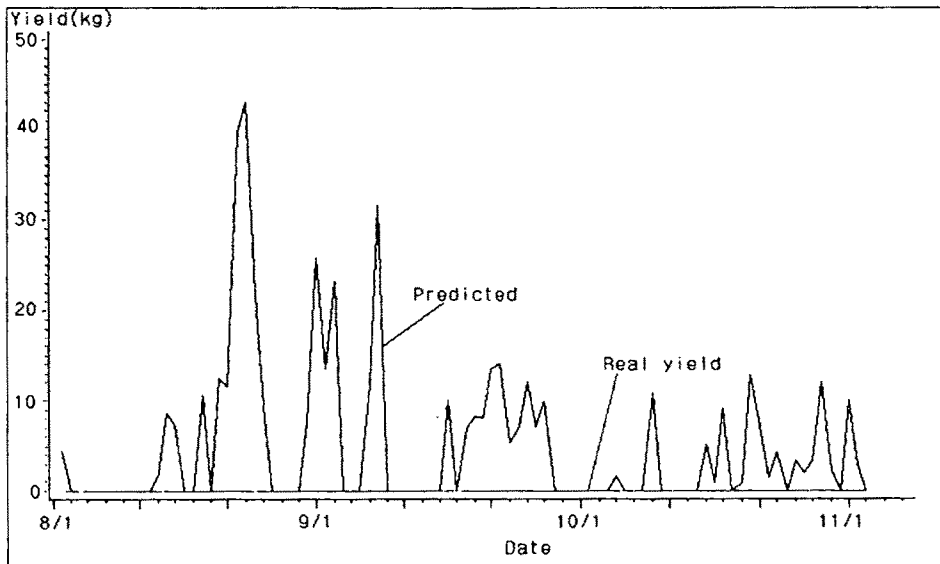
특이사항 : $X_{10}, X_{11}, X_{13}, X_{14}$ 제거, 1990, 1991, 1994년 제외

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	57.088472081
LCUX116	-0.914561678
C2X622	0.0029111912
C2X91	0.0016596673
A_7	-0.277012091

가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X622 , $R^2 = 0.1765$

특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거, 1990, 1991, 1994년 제외



사. 보은

① regression 모형 :

변수명	계수
C2X5	0.0000129766
C2X6	-0.000019158
LCUX53	-0.006556919
LCUX528	-0.006550742
LCUX65	-0.003157288
LCUX610	0.0051275224
LCUX617	0.0064121054
LCUX624	0.0051213107
LCUX630	0.0055114063
LCUX816	-0.000600298
LCUX97	0.0370606059
LCUX921	-0.022089097
C2X516	-0.000013108
C2X77	-0.000012012
C2X89	-1.725616E-6
C2X823	-1.489803E-6
C2X97	-0.000023864
C2X921	0.0000146698
C2X930	-1.593417E-6
C2X111	-0.00009792
C2X1115	3.6648628E-6

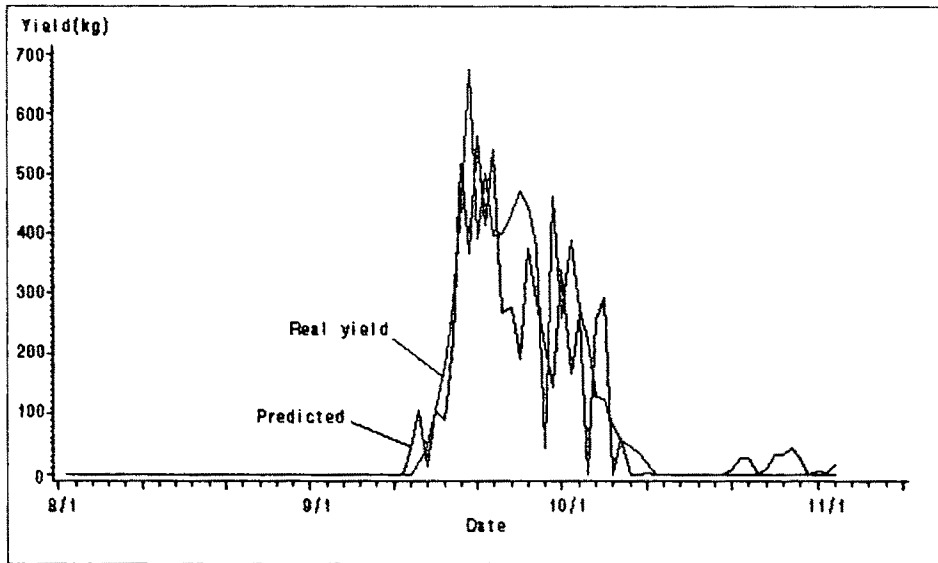
특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거, 1994년 제외

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-12101.02521
CUX6	6.1228985492
CUX9	36.369125048
C2X9	-0.023874069
LCUX512	-3.352314193
LCUX910	-1.752042183
C2X63	-0.051072848
C2X622	0.0090857268
C2X819	0.001389902
C2X826	0.0014055701
_A_1	-0.324276159

가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X9 , $R^2 = 0.3950$

특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거, 1994년 제외



아. 영월 - OLS

① regression 모형 :

변수명	계수
LCUX817	-0.001581369
LCUX823	0.0016606797
LCUX830	0.0022320924
LCUX921	-0.002574819
LCUX118	0.0022189611
LCUX1220	0.0365895218
C2X516	-7.677608E-6
C2X61	-0.000119436
C2X88	-8.441288E-7
C2X812	-7.074721E-7
C2X815	-2.397739E-6
C2X817	6.4122699E-6
C2X821	2.9206009E-6
C2X829	-1.047416E-6
C2X1114	-0.000021621
C2X1220	-0.000064659

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거, 1995년만

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-1604.283842
LCUX922	2.1184199395
LCUX111	-4.150606695

가장 영향을 많이 미치는 변수 : LCUX922 , $R^2 = 0.7095$

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거, 1995년만

자. 영주 - OLS

① regression 모형 :

변수명	계수
CUX8	-0.001098269
CUX9	0.0018825872
C2X5	0.0000106487
C2X7	-0.000019248
LCUX517	-0.00658405
LCUX518	-0.004128065
LCUX524	-0.016905355
LCUX530	-0.077556659
LCUX67	0.0355166284
LCUX630	-0.013864694
LCUX77	-0.072993384
LCUX724	0.0353650571
LCUX730	0.1377942893
LCUX89	0.0003961621
LCUX910	0.0007062317
LCUX918	0.0149540447
LCUX928	0.0086026901
C2X57	0.0000332395
C2X530	0.0001136575
C2X67	-0.000061542
C2X617	-0.000040815
C2X624	-0.000052669
C2X77	0.0000842531
C2X717	0.0000476373
C2X730	-0.000234729
C2X86	9.7341326E-7
C2X818	1.4748633E-6
C2X823	-3.083428E-6
C2X830	-3.881143E-6
C2X94	-8.159827E-7
C2X918	-9.483342E-6
C2X928	-5.890741E-6

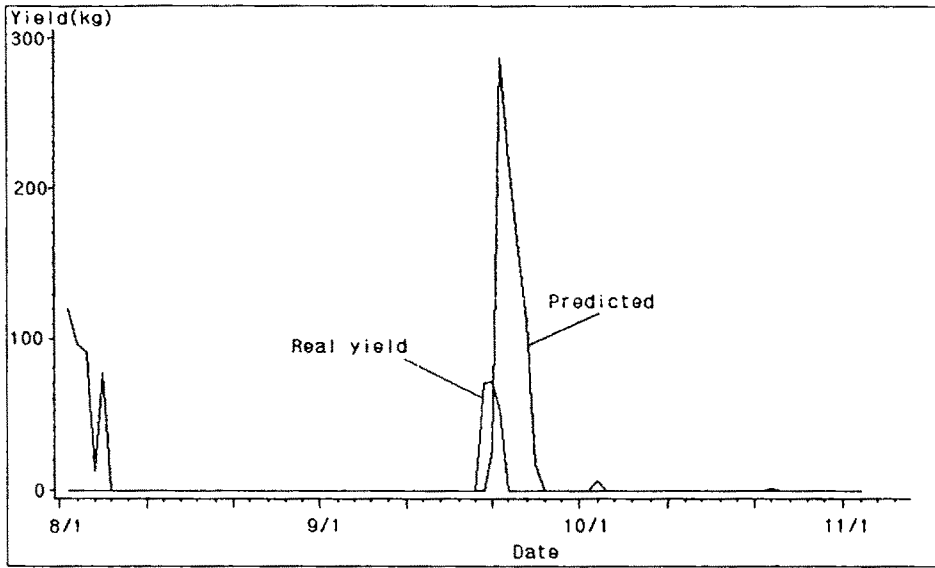
특이사항 : $X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거, 1993년 1994년 제외

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-31720.84978
LCUX519	-8.754509596
LCUX63	-9.411845425
LCUX612	14.394955792
LCUX87	-2.489373375
LCUX814	2.1932768892
LCUX817	-0.584963985
LCUX819	1.3240987482
LCUX822	9.6584814843
LCUX829	2.5856300723
LCUX910	69.626745828
LCUX913	52.793112477
LCUX927	-76.82186215
LCUX928	43.403080461
C2X524	-0.029765983
C2X620	0.0218497921
C2X86	0.0089644034
C2X87	0.0180216304
C2X813	0.0056402803
C2X820	-0.005162682
C2X822	-0.024300311
C2X910	-0.042394265
C2X913	-0.03690006
C2X927	0.0529329875
C2X928	-0.033535292
C2X930	0.0019650446

가장 영향을 많이 미치는 변수 : LCUX822 , $R^2 = 0.1418$

특이사항 : $X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거, 1993년 1994년 제외



차. 영천

① regression 모형:

변수명	계수
CUX6	0.014229014
C2X6	-0.000068819
LCUX52	-0.002800447
LCUX519	-0.018738379
LCUX623	0.0203959524
LCUX630	0.0048826233
LCUX74	-0.019735948
LCUX730	0.0315941163
LCUX82	-0.001030245
LCUX825	-0.000836456
LCUX99	0.036340522
LCUX930	-0.029726512
C2X512	-0.000015534
C2X529	-6.732557E-6
C2X619	-0.000043621
C2X623	-0.000044101
C2X73	0.0000363546
C2X74	0.0000456311
C2X712	0.000017708
C2X719	0.0000679284
C2X730	-0.000063996
C2X85	-6.338795E-6
C2X86	-2.683415E-6
C2X819	-3.467378E-6
C2X91	-4.956306E-6
C2X99	-0.000024576
C2X912	-1.362725E-6
C2X919	1.5460056E-6
C2X930	0.0000191347

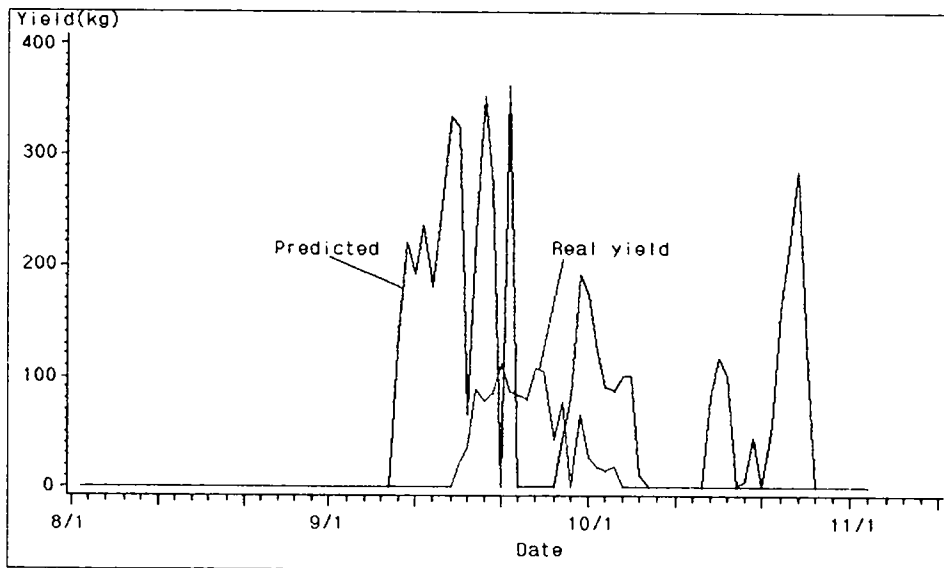
특이사항 : $X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거, 1994년 제외

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	2124.5746658
LCUX722	-23.16498905
LCUX91	9.0121091313
C2X511	-0.043597072
C2X65	-0.055771401
C2X617	0.0654440827
C2X623	0.0689891865
C2X630	-0.043505716
C2X918	0.0053097863
_A_1	-1.114826901
_A_2	0.1869172686
_A_4	0.1922228652
_A_5	-0.360080232
_A_7	0.1960093063

가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X918 , $R^2 = 0.1965$

특이사항 : $X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거, 1994년 제외



카. 원주

① regression 모형 :

변수명	계수
CUX11	0.0187222883
C2X11	-0.000101347
C2X12	-0.000021674
LCUX523	-0.010080992
LCUX530	0.0386061505
LCUX63	0.0056846301
LCUX614	0.0136656372
LCUX628	0.0045042206
LCUX114	0.0192060192
LCUX118	0.0126743813
LCUX1121	0.0112594009
LCUX1128	0.0129774993
LCUX1216	-0.007773014
LCUX1223	0.0087419973
C2X511	0.0000142546
C2X530	-0.00009886
C2X614	-0.000043689
C2X716	0.0000205495
C2X82	1.3860438E-6
C2X85	8.6853646E-7
C2X89	5.2414639E-7
C2X820	1.0566557E-6
C2X98	-1.541819E-6
C2X924	8.7362312E-7
C2X927	1.598746E-6
C2X114	-0.000181371
C2X118	-0.000122094
C2X1111	-0.000046137
C2X1121	-0.000125164
C2X1128	-0.000061962
C2X1211	-0.000010185
C2X1230	0.0000311644

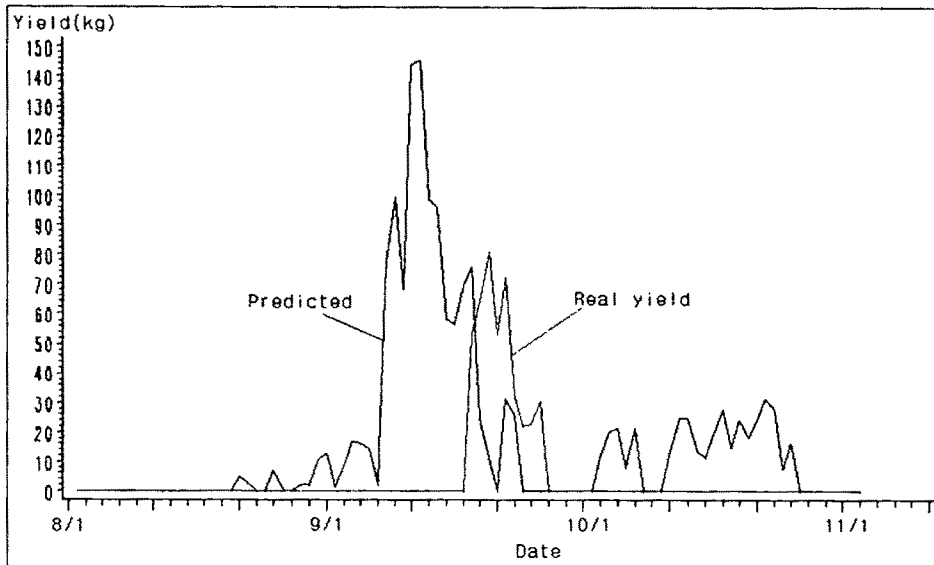
특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-2449.714784
C2X8	-0.000520322
LCUX518	2.5290566009
LCUX75	-5.757476256
LCUX722	27.675527967
LCUX91	0.9942994239
LCUX1130	1.6718585238
C2X65	0.018132812
C2X710	-0.011640435
C2X722	-0.049850017
C2X88	0.0005014338
C2X813	0.000291555
C2X816	0.0003907418
C2X95	-0.002155947
_A_1	-0.409575384

가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X813 , $R^2 = 0.2645$

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거



타. 의성

① regression 모형 :

변수명	계수	변수명	계수
CUX6	0.0237411251	LCUX1130	-0.006115724
CUX12	-0.016838565	LCUX1320	0.0078952152
CUX13	-0.028810929	LCUX1327	0.0987135344
C2X5	0.000030143	LCUX1410	0.0103181167
C2X6	-0.000123591	LCUX1426	0.0148494351
C2X10	-0.000188827	C2X528	0.0000595664
C2X12	0.0000284183	C2X61	0.0001197482
C2X13	0.000031818	C2X63	0.0000791193
LCUX515	0.0038128897	C2X815	2.5577628E-6
LCUX520	-0.016227648	C2X819	3.291659E-6
LCUX528	-0.04254189	C2X823	2.3987959E-6
LCUX718	0.0092547723	C2X97	7.1107113E-6
LCUX726	-0.007856559	C2X104	0.0001265052
LCUX82	-0.001424114	C2X109	0.0004666739
LCUX85	-0.001372779	C2X114	-0.000061626
LCUX86	-0.001173174	C2X1130	0.0000758306
LCUX819	-0.001980861	C2X1213	0.0000141875
LCUX830	0.0017104125	C2X1219	-0.000018119
LCUX94	-0.00355321	C2X1220	0.0000269988
LCUX97	-0.008358074	C2X1228	0.0000295041
LCUX109	-0.04359587	C2X1313	-0.000046688
LCUX1019	-0.016961256	C2X1327	-0.000217349
LCUX1119	0.007817574		

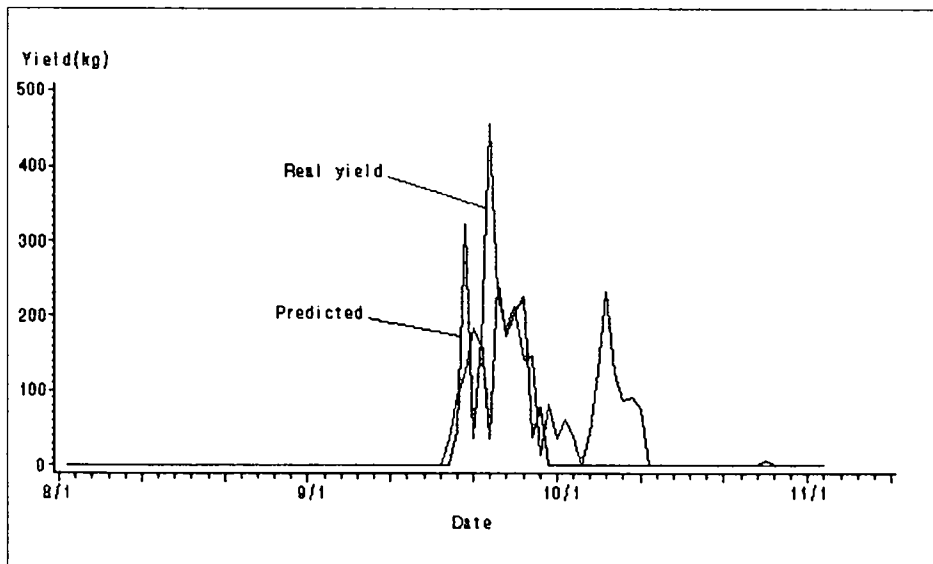
특이사항 : 1994년 제외

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-1733.109992
LCUX57	16.272010152
LCUX518	-29.22505224
LCUX617	17.853357788
LCUX826	-1.80277035
LCUX1030	14.662133159
LCUX1430	12.745741725
C2X613	-0.04604342
C2X618	0.040836596
C2X821	0.0085938729
C2X825	0.0056586094
C2X829	0.0074524228
C2X91	0.0128413038
C2X1013	-0.656510329
C2X1113	0.1818935128
C2X1118	0.280374115
C2X1129	-0.074098848
C2X1230	-0.011755261
C2X136	-0.070047216
C2X1314	0.0410801324
_A_1	-0.308539383

가장 영향을 많이 미치는 변수 : LCUX620 , $R^2 = 0.2274$

특이사항 : 1994년 제외



파. 인제

① regression 모형 :

변수명	계수
C2X8	5.3673901E-7
LCUX813	0.0011570885
LCUX820	0.0015444356
LCUX830	0.0002885129
LCUX103	-0.011784729
LCUX1428	0.0142528551
LCUX1430	0.0153805044
C2X53	-9.593001E-6
C2X730	-0.000058903
C2X86	9.4728769E-7
C2X87	1.6689268E-6
C2X118	0.0000319494

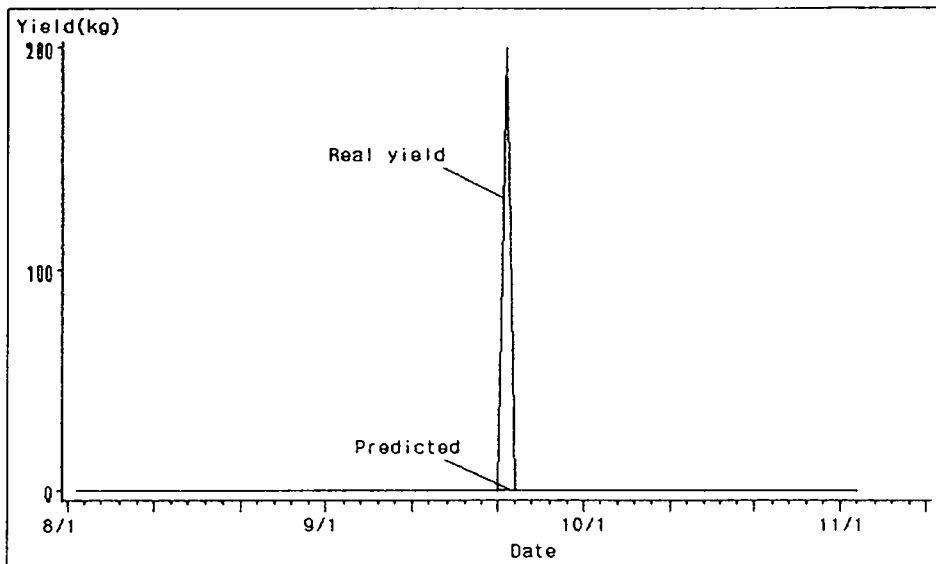
특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-5293.466321
CUX8	-1.73227936
LCUX612	-10.45910013
LCUX616	5.9657944003
LCUX626	62.657055756
LCUX812	-0.657032482
LCUX814	2.9054172116
LCUX817	0.6163509887
LCUX926	-1.36066957
LCUX1112	-11.38260368
LCUX1119	-6.303672986
LCUX1130	15.869934988
C2X514	0.0124353307
C2X65	-0.011580511
C2X626	-0.167218003
C2X81	0.0040206161
C2X85	0.0028134846
C2X88	0.00329127
C2X810	0.0060956111
C2X813	0.0057485475
C2X814	-0.008006114
C2X93	0.0046900983
C2X1118	0.0556841418
C2X1130	-0.103352563

가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X810 , $R^2 = 0.6561$

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거



하. 장수

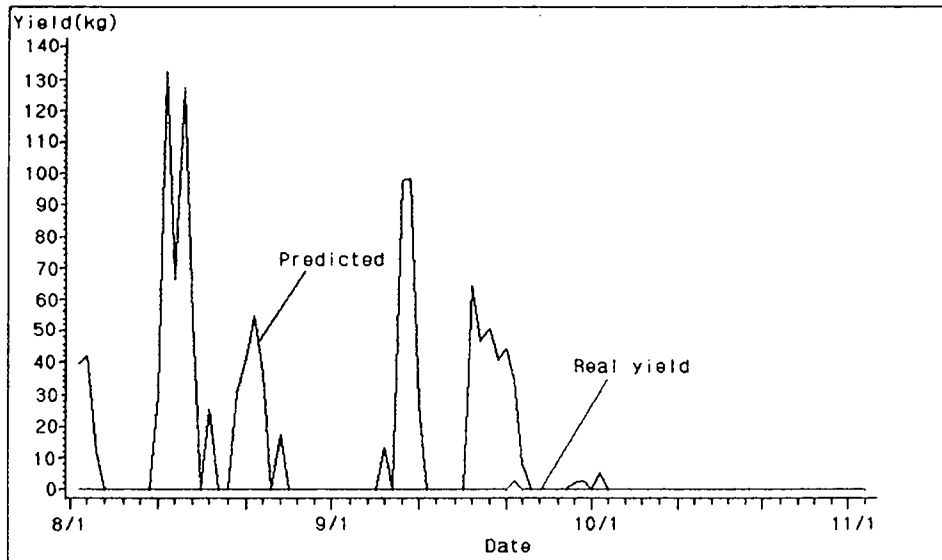
① regression 모형 :

변수명	계수
CUX6	0.0275241506
CUX7	-0.019529733
CUX14	-0.046801315
C2X5	0.0000110992
C2X6	-0.000041411
C2X11	0.0000318824
C2X14	0.0000644106
LCUX623	0.0021961086
LCUX79	-0.024873162
LCUX82	-0.002032772
LCUX85	-0.001478593
LCUX827	0.0009958822
LCUX93	0.0357428766
LCUX927	-0.02035133
LCUX1015	-0.008097839
LCUX1110	0.0123527312
LCUX1130	0.0041969292
LCUX139	0.0077934148
LCUX1323	0.0594971983
LCUX1329	0.1335693412
LCUX1428	-0.085811033
C2X59	-0.000012253
C2X69	-0.000033546
C2X79	0.0001094284
C2X81	6.1185094E-6
C2X82	0.0000109765
C2X83	3.1664763E-6
C2X810	-4.241767E-6
C2X819	-2.525992E-6
C2X827	-4.362698E-6
C2X93	-0.000037712
C2X927	0.0000131557
C2X1010	-0.000243452
C2X114	0.0000283645
C2X1110	-0.000075281
C2X1119	-0.000018477
C2X1129	-0.000038929
C2X1230	-0.000034038
C2X1323	-0.000126792
C2X1325	0.0000195983
C2X1329	-0.000201798
C2X1428	0.0001469131

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-450.2364842
C2X10	0.0534437256
C2X11	-0.006499742
LCUX510	-0.860813028
LCUX512	0.9919649549
LCUX820	-0.101772144
LCUX91	13.007762349
LCUX1010	-1.288334178
LCUX1029	-2.93119006
LCUX1423	-9.521049403
C2X65	-0.002942789
C2X727	0.0030969955
C2X91	-0.02686664
C2X118	0.0070815944
C2X1129	0.0091827147
C2X1223	0.0175066143
C2X1314	-0.001985998
C2X1329	0.0034452705

가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X118 , $R^2 = 0.1302$



거. 정선 - OLS

① regression 모형 :

변수명	계수
CUX6	-0.00611468
CUX8	0.0009107788
CUX9	0.000611505
C2X6	0.0000254293
C2X8	-1.981296E-6
LCUX524	-0.003422964
LCUX623	0.0049393695
LCUX714	0.0170368217
LCUX83	-0.001741059
LCUX87	-0.001635922
LCUX812	-0.001533261
LCUX819	-0.000686376
LCUX825	0.0013967118
LCUX926	0.0081417862
LCUX117	0.0041565016
LCUX1113	0.0089033017
LCUX1117	0.0057172582
LCUX1126	0.0033771203
LCUX1227	0.0116960232
LCUX1230	0.0032163221
C2X613	-0.000023774
C2X714	-0.000036409
C2X83	4.3254308E-6
C2X87	3.7023465E-6
C2X812	3.2639787E-6
C2X819	2.0287107E-6
C2X825	-2.359267E-6
C2X910	-1.217118E-6
C2X926	-4.411303E-6
C2X117	-0.000063679
C2X1110	-0.00004405
C2X1113	-0.000104827
C2X1117	-0.000075948
C2X1227	-0.0000265

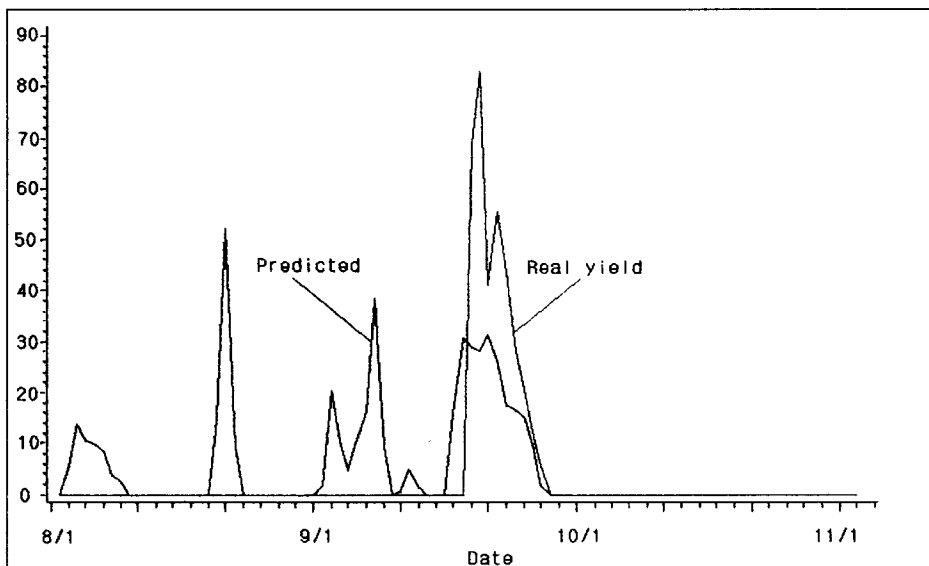
특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-3.844579766
LCUX93	-0.594636365
C2X623	0.0082602027
C2X630	0.0033397969
C2X82	-0.000208721
C2X88	0.0002709519
C2X810	0.000219197
C2X813	0.0003726223
C2X826	0.0002440193
C2X1121	-0.007560222
C2X121	0.0174513104

가장 영향을 많이 미치는 변수 : C2X810 , $R^2 = 0.5093$

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거



너. 제천

① regression 모형 :

변수명	계수
CUX9	0.0138386035
C2X6	-0.000016385
C2X8	1.6413707E-6
C2X9	-9.982187E-6
LCUX521	-0.008845407
LCUX66	0.0036311182
LCUX630	0.0092297359
LCUX719	0.0288925945
LCUX729	-0.004167334
LCUX821	-0.000392233
LCUX917	0.0147752329
C2X67	-0.000019612
C2X719	-0.000065381
C2X721	0.0000171376
C2X830	-1.133523E-6
C2X917	-8.526641E-6

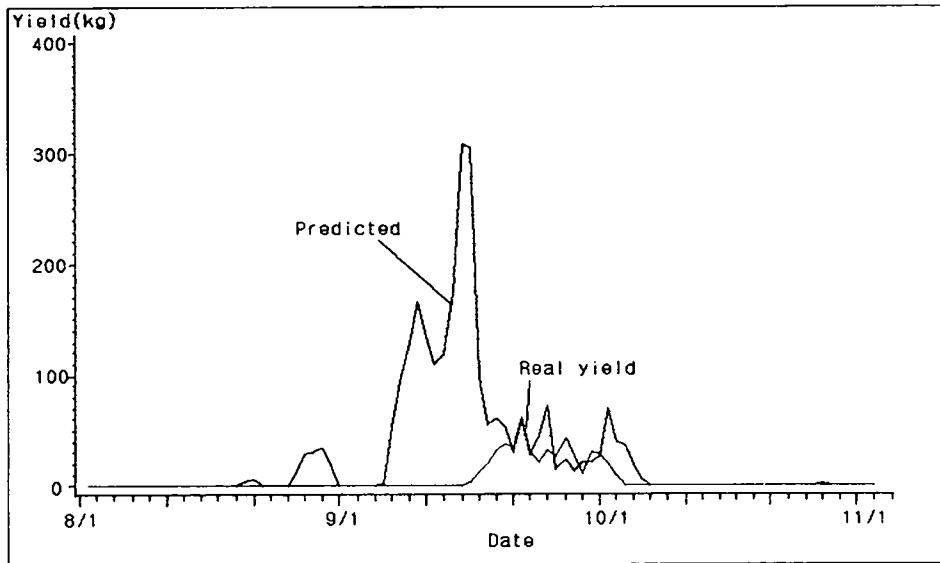
특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-820.5893462
LCUX63	-3.912541436
LCUX67	-4.778042273
LCUX721	9.0795827212
LCUX115	5.3204323899
LCUX1113	-4.541922085
C2X520	-0.006124325
C2X623	0.0080264443
C2X628	0.006406966
_A_1	-0.594324291
_A_3	-0.143102804

가장 영향을 많이 미치는 변수 : LCUX67 , $R^2 = 0.2173$

특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거



더. 함양

① regression 모형 :

변수명	계수
CUX11	0.0129476311
C2X6	-0.000052763
C2X8	-2.43753E-6
C2X9	-1.187574E-6
C2X11	-0.000139554
LCUX58	0.0052470155
LCUX513	-0.014963891
LCUX520	-0.02496185
LCUX63	-0.012026272
LCUX614	-0.007772592
LCUX713	0.0338449021
LCUX720	0.0140452348
LCUX730	0.0272139383
LCUX818	0.0007510941
LCUX827	0.0022166873
LCUX830	0.0024742666
LCUX912	0.0035156438
LCUX923	0.044608435
LCUX930	-0.03356922
LCUX1112	0.0206963738
LCUX125	-0.008743736
LCUX1212	-0.022599397
LCUX1216	0.0061179228
LCUX1226	0.0452558456
C2X520	0.0000238491
C2X526	-0.000011577
C2X61	0.000105088
C2X63	0.0001179958
C2X65	-0.000059433
C2X67	-0.000024371
C2X614	-0.000025745
C2X75	0.0000858957
C2X730	-0.000057685
C2X827	-6.4706E-6
C2X830	-6.800244E-6
C2X95	2.2017403E-6
C2X923	-0.000028517
C2X930	0.0000203001
C2X117	-0.000037731
C2X1112	-0.00014022
C2X1130	0.0000255788
C2X1212	0.0000299373
C2X1226	-0.00006967

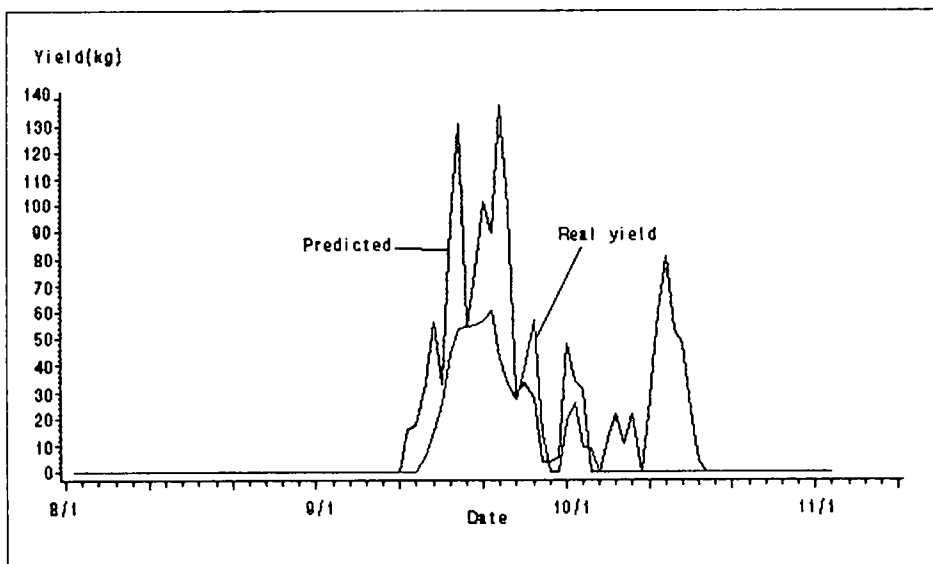
특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거, 1994년 제외

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-7524.174848
C2X8	0.0031019601
LCUX629	1.9609355276
LCUX72	4.7594792906
LCUX721	9.1549365004
LCUX87	0.4686468909
LCUX96	15.457043358
C2X62	-0.047654242
C2X610	-0.009767156
C2X82	-0.0019943
C2X86	0.002042405
C2X91	0.0019889659
C2X96	-0.00992965
C2X98	-0.000752033
C2X920	0.0010999658
C2X923	-0.000493787
C2X1110	-0.022001882
C2X1121	0.0174550857
C2X1221	-0.01154384
_A_1	-0.393334681
_A_2	-0.283723638

가장 영향을 많이 주는 변수 : C2X8 $R^2 = 0.2318$

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거, 1994년 제외



러. 흥천

① regression 모형 :

변수명	계수
C2X7	-0.00003836
C2X12	0.0000225976
LCUX630	0.0244868943
LCUX829	0.000704591
LCUX94	-0.019529441
LCUX917	0.0199657371
LCUX923	0.0019719173
LCUX114	0.019607916
LCUX1117	-0.006834708
C2X69	-7.91467E-6
C2X630	-0.000048948
C2X83	8.7513591E-7
C2X818	4.7850268E-7
C2X829	-1.742327E-6
C2X94	0.0000196336
C2X917	-0.000013749
C2X929	-5.800918E-7
C2X114	-0.000207081

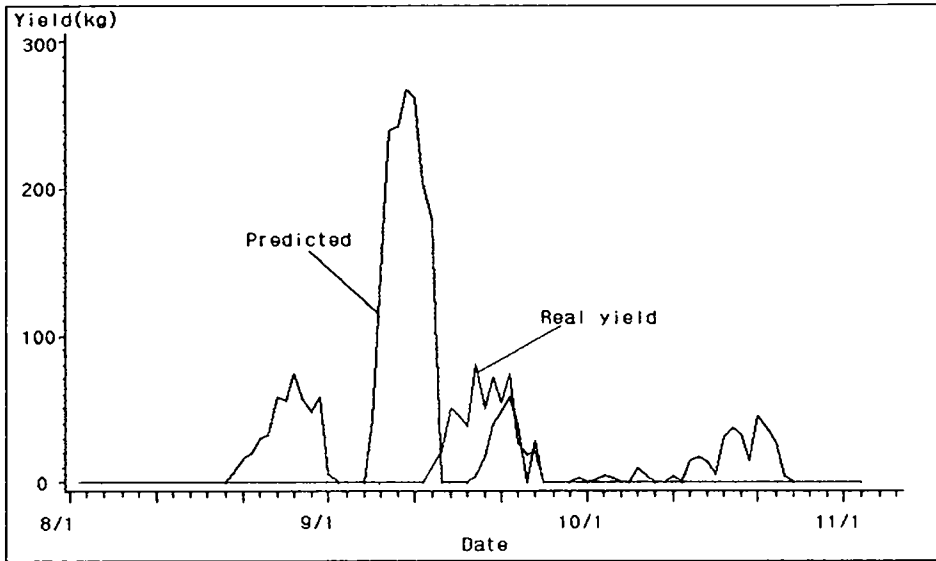
특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	143.87855434
LCUX76	-5.536316649
LCUX88	0.3280625056
LCUX1130	2.8089271065
C2X813	0.0007004582
C2X1217	0.0158831008
_A_1	-0.658812762

가장 영향을 많이 미치는 변수 : LCUX76 , $R^2 = 0.2694$

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거



며. 고성

① regression 모형 :

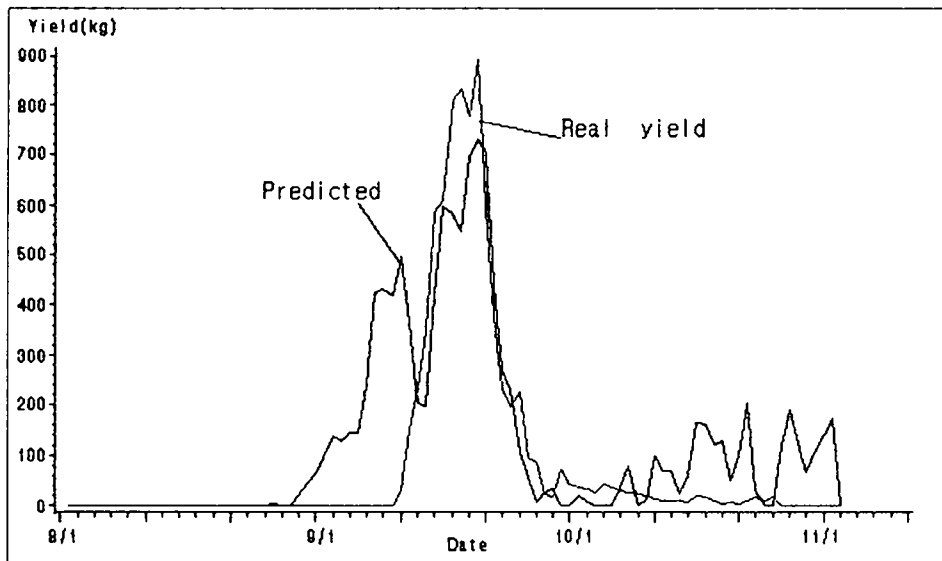
변수명	계수
CUX5	-0.017245897
CUX7	-0.025013579
CUX12	0.0192092384
C2X5	0.0000779317
C2X8	1.632283E-6
C2X11	-0.000075004
C2X12	-0.00003239
LCUX530	-0.015499733
LCUX618	0.0289575854
LCUX630	0.0454995353
LCUX817	0.0006030746
LCUX822	0.0006272949
LCUX917	0.0178704223
LCUX930	-0.011893173
LCUX115	0.0129401048
LCUX117	0.0051969843
LCUX112	-0.010043771
LCUX113	-0.008259754
C2X510	-0.000011573
C2X517	-9.102654E-6
C2X65	-0.000013021
C2X618	-0.000106123
C2X630	-0.000153861
C2X718	0.0000293925
C2X730	0.0000722506
C2X98	4.4943542E-7
C2X917	-0.000011054
C2X922	-5.948792E-7
C2X930	7.9362181E-6
C2X115	-0.000162821
C2X117	-0.000055298
C2X1120	0.0000997537
C2X1130	0.0000611831

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	3337.6530018
LCUX621	3.9391507381
LCUX730	43.748473343
LCUX827	0.5365723697
LCUX918	-21.32935255
LCUX1118	-5.543730207
LCUX1122	-4.096857772
C2X67	-0.036508467
C2X630	0.0306183337
C2X730	-0.104866104
C2X810	0.0020003443
C2X918	0.0138147017
C2X1120	0.0455861086
_A_1	-0.473049722
_A_2	-0.201621246

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거



버. 문경

① regression 모형 :

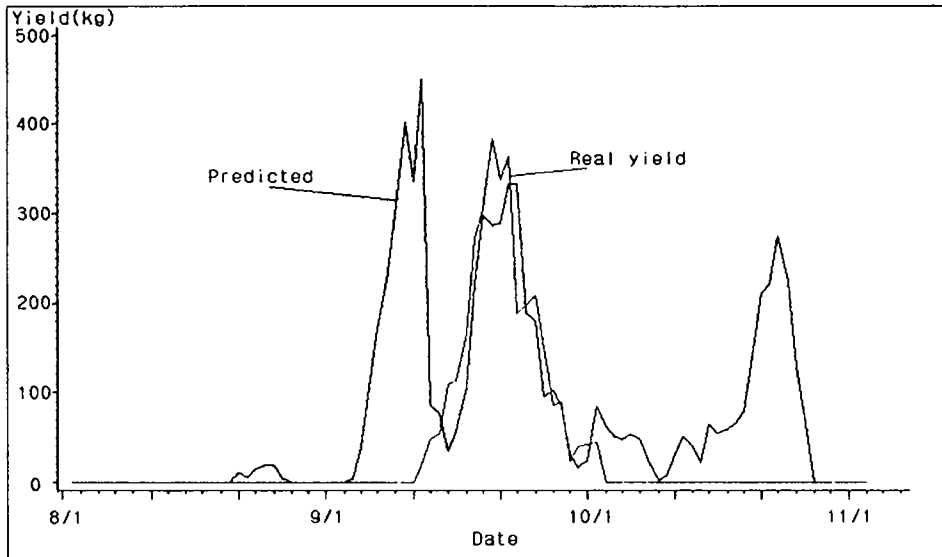
변수명	계수
CUX12	-0.013794388
C2X5	0.0000327822
C2X6	-0.000025088
LCUX521	-0.032783525
LCUX530	-0.019581056
LCUX618	0.0267157761
LCUX630	0.0230269853
LCUX730	0.0187987457
LCUX822	0.0023613691
LCUX829	0.0008724332
LCUX930	-0.001204162
LCUX1214	0.0062618333
LCUX1226	0.0169480166
C2X514	-0.000014492
C2X518	-0.000021821
C2X521	0.0000521784
C2X618	-0.000101055
C2X630	-0.000065969
C2X718	0.000053442
C2X822	-7.330331E-6
C2X111	-0.000181525
C2X113	-0.000069508
C2X114	-0.000024968
C2X1130	0.0000306909
C2X1226	-0.000025053

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	1687.6679093
LCUX511	-9.768134382
LCUX622	7.2852356898
A_1	-0.856553336

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거



서. 봉화

① regression 모형 :

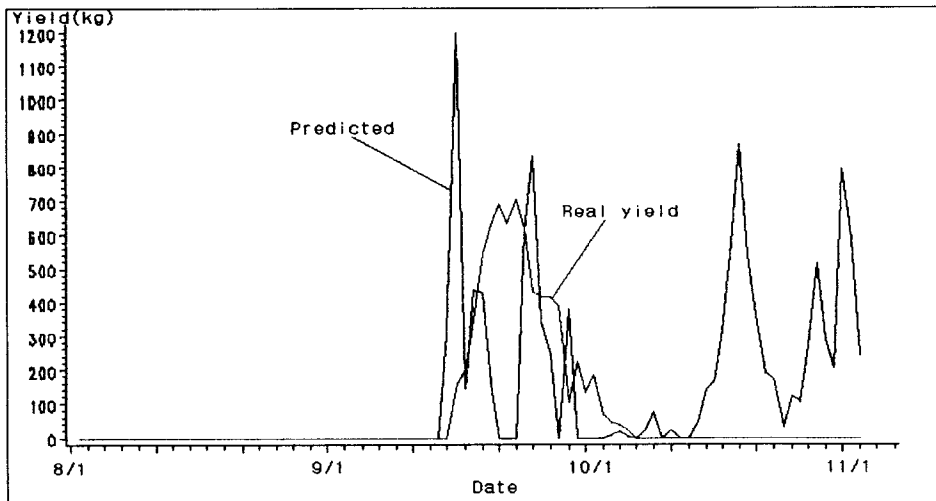
변수명	계수	변수명	계수
CUX8	0.000845674	LCUX1123	0.0025661371
C2X6	-0.000026325	LCUX1218	-0.007594331
LCUX52	0.0046567467	LCUX1221	-0.059120901
LCUX514	-0.003587673	C2X57	7.1613307E-6
LCUX519	-0.004990964	C2X526	0.0000982762
LCUX526	-0.049335921	C2X614	-0.000012953
LCUX65	0.0027149849	C2X618	-0.000034415
LCUX618	0.0216822386	C2X711	-0.000053793
LCUX623	0.0062808725	C2X724	-0.000075162
LCUX630	0.0114994798	C2X729	-0.000135596
LCUX77	-0.015522844	C2X82	4.8042725E-6
LCUX711	0.0299034084	C2X84	2.3264737E-6
LCUX724	0.0255712969	C2X830	1.7126459E-6
LCUX729	0.0440244912	C2X95	-0.000016789
LCUX87	0.0011426695	C2X930	7.3016058E-6
LCUX816	0.0005306445	C2X112	-0.000288086
LCUX92	0.0025542102	C2X117	-0.000099387
LCUX95	0.0247848952	C2X1126	-0.000028352
LCUX930	-0.014443401	C2X127	0.0000157385
LCUX112	0.0160778301	C2X1221	0.0001065997
LCUX117	0.0098919476	C2X1229	9.173676E-6
LCUX1118	0.0078823227		

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	3997.3316865
CUX12	34.232189652
LCUX530	39.516827805
LCUX67	-18.50740345
LCUX722	-39.13056469
LCUX82	4.429342447
LCUX823	3.1050924928
LCUX830	3.6579912159
LCUX924	-4.100890019
LCUX930	-5.477751531
LCUX114	52.889224977
C2X515	-0.028578093
C2X62	-0.467831656
C2X617	0.0637403507
C2X622	0.1311399437
C2X630	0.209479376
C2X730	-0.224824691
C2X813	0.0108838905
C2X92	0.0113721546
C2X114	-0.754005297
C2X124	-0.107983155
_A_1	-0.304468789
_A_3	-0.127173472
_A_8	-0.190765656

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거



어. 안동

① regression 모형 :

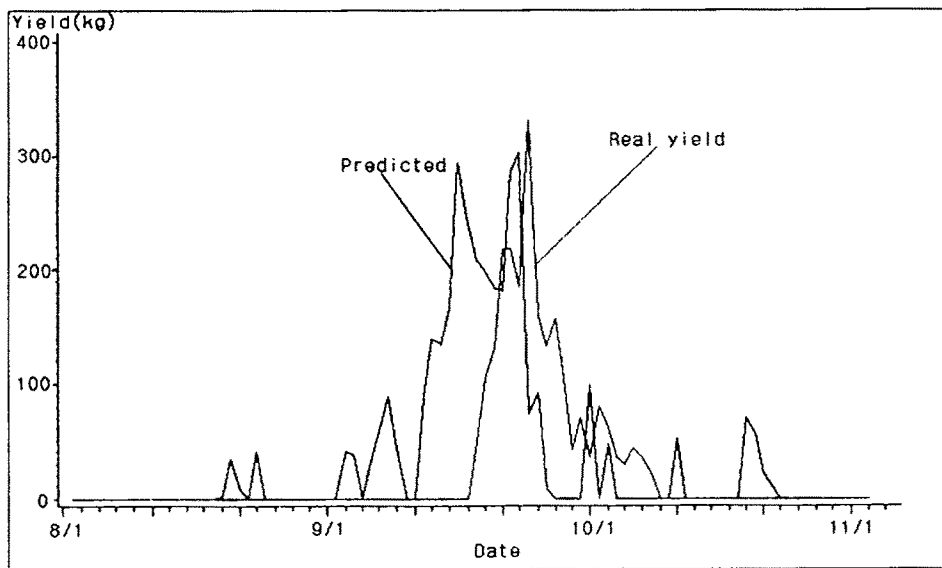
변수명	계수
CUX5	0.0055854078
CUX8	0.0019904525
C2X6	-0.000024911
C2X8	-4.334983E-6
LCUX52	0.0030453473
LCUX57	0.0097411797
LCUX515	0.0324070841
LCUX630	0.0327334915
LCUX86	0.0005043212
LCUX823	-0.000569032
LCUX912	-0.000113253
LCUX916	0.0019018231
LCUX923	0.0273115428
LCUX111	-0.008353313
LCUX114	-0.002979289
LCUX1116	0.0097152306
LCUX1118	-0.000394258
C2X515	-0.000067755
C2X68	0.0000161043
C2X630	-0.000066713
C2X77	-0.000033465
C2X86	-3.673919E-6
C2X816	3.4506634E-6
C2X823	-4.862868E-7
C2X95	6.7513939E-7
C2X912	-3.32539E-7
C2X916	-4.887322E-7
C2X923	-0.000016233
C2X114	5.8116683E-6
C2X1117	-0.000011651
C2X1127	-6.441652E-6

특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거, 1994년 제외

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	2742.7591166
CUX9	-2.877064663
LCUX51	-14.41733053
LCUX510	-12.45612892
LCUX811	-1.581208534
LCUX814	-4.577452819
LCUX1113	11.534716825
C2X630	0.0437709995
C2X723	0.020497711
C2X87	-0.018483741
C2X814	0.0139522057
C2X912	0.001399692
C2X1114	-0.033758278
_A_1	-0.506670919

특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거, 1994년 제외



저. 영덕

① regression 모형 :

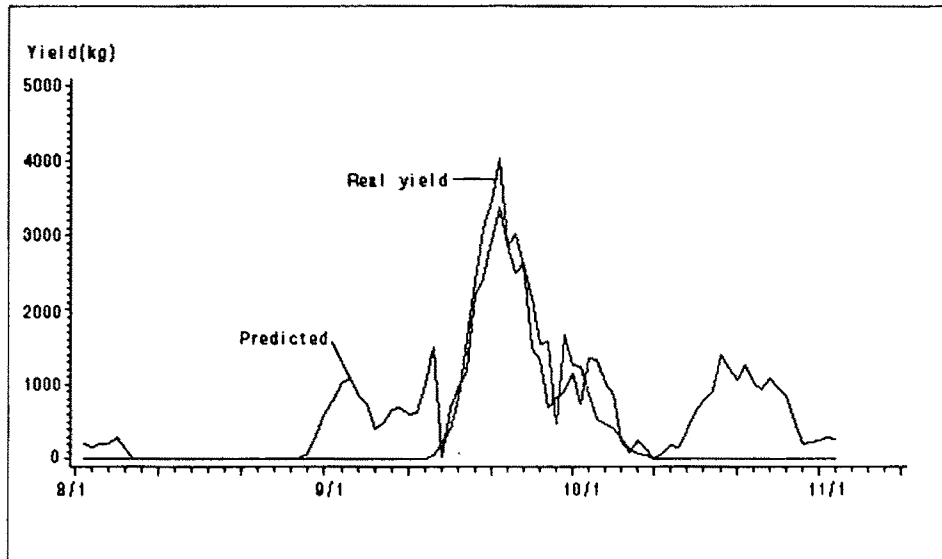
변수명	계수
CUX6	0.0262395971
CUX7	-0.038314089
C2X6	-0.000094438
C2X7	0.0000993399
C2X11	-0.000012586
LCUX511	-0.011926588
LCUX615	0.003301178
LCUX626	0.0145369755
LCUX630	0.0268886526
LCUX89	0.0013207395
LCUX917	0.0132752832
LCUX924	0.0197880641
LCUX119	0.0039753637
LCUX1130	-0.003184019
C2X610	-0.000022571
C2X612	-0.000027925
C2X626	-0.000053396
C2X630	-0.000051359
C2X711	0.0000528821
C2X719	-6.89983E-6
C2X89	-7.626678E-6
C2X825	-4.065037E-6
C2X830	-7.517848E-6
C2X912	1.0638796E-6
C2X917	-7.893835E-6
C2X924	-0.0000123
C2X1117	6.4131078E-6
C2X1124	5.0334001E-6

특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-768.7271071
LCUX617	30.660302059
LCUX1123	-29.89638495
LCUX1130	20.414301911
C2X67	-0.069523349
_A_1	-0.81589005
_A_7	0.0888052727

특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거



처. 삼척

① regression 모형 :

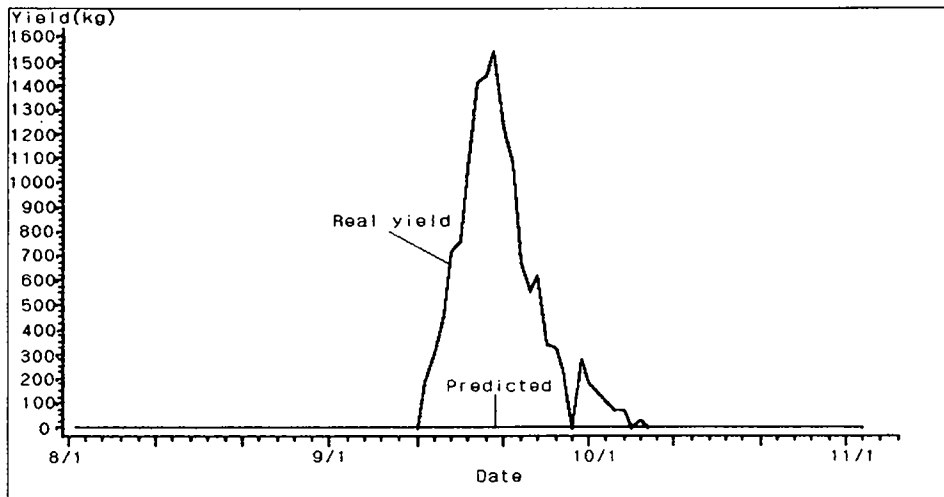
변수명	계수
CUX6	0.0048054753
C2X6	-0.000066078
C2X7	0.0000256049
C2X8	9.2901349E-7
C2X11	-0.000060316
C2X12	0.0000125179
LCUX522	-0.016976875
LCUX620	-0.002526789
LCUX623	0.0257293698
LCUX630	0.0594937265
LCUX830	0.0001950583
LCUX91	0.0011624303
LCUX917	0.020684584
C2X522	0.0000231252
C2X66	-0.000016469
C2X623	-0.000054601
C2X630	-0.000144385
C2X87	5.908105E-7
C2X810	7.197033E-7
C2X816	9.3550613E-7
C2X96	-8.406145E-7
C2X917	-0.000013269
C2X116	-0.000049852
C2X1129	0.000045176
C2X1228	-0.000011227

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-15466.5271
CUX9	4.1519641285
LCUX66	35.562628888
LCUX615	84.376153675
LCUX617	19.737257129
LCUX724	42.317354244
LCUX730	21.166568533
LCUX810	2.5701120405
LCUX814	1.2002547153
LCUX911	-4.974064825
LCUX127	-120.9175719
LCUX1230	104.44384609
C2X524	-0.059734542
C2X66	-0.155861273
C2X615	-0.304789417
C2X810	-0.003886867
C2X817	0.0020689609
C2X927	-0.001586586
C2X1111	-0.057185404
C2X127	0.2311526476
C2X1230	-0.209214718
_A_1	-0.64996886
_A_2	0.2043851025
_A_3	-0.215419696

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거



커. 양양

① regression 모형 :

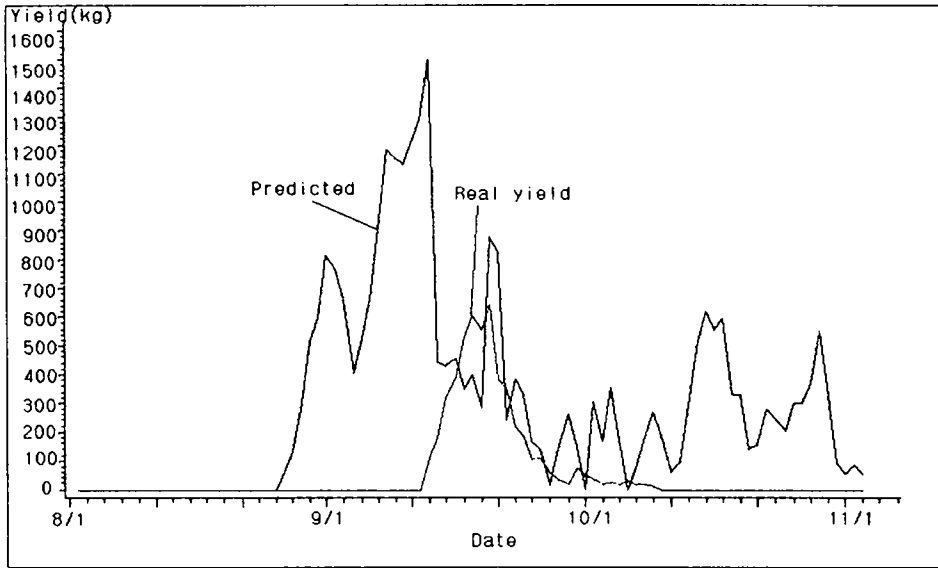
변수명	계수
CUX6	0.0413753982
CUX7	-0.038655051
C2X5	0.0000499841
C2X6	-0.000087568
C2X8	1.7861371E-6
C2X11	-0.00002803
LCUX517	0.0241902295
LCUX68	0.0070063781
LCUX69	0.0132618155
LCUX718	0.0123544688
LCUX730	0.0259373116
LCUX817	0.0007400958
LCUX114	0.01051805
LCUX1117	-0.005166828
LCUX1130	-0.002923645
LCUX1219	-0.008976546
C2X517	-0.000064364
C2X530	-0.000027995
C2X69	-0.000059623
C2X618	-0.000029495
C2X629	-0.000013891
C2X717	0.0000245632
C2X114	-0.000136344
C2X1117	0.0000627619
C2X1121	0.0000353955

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거

② autoregression 모형:

변수명	계수
INTERCEP	29913.875256
CUX5	-15.53132345
LCUX520	-17.04018984
LCUX63	38.789084074
LCUX73	-40.57706938
LCUX77	-25.87513412
LCUX726	17.855698886
LCUX814	-4.530987543
LCUX918	-70.26334104
LCUX117	11.557772432
LCUX1121	-7.103928812
LCUX1220	22.958598351
C2X88	0.003489089
C2X814	0.0126560281
C2X815	0.0055875632
C2X918	0.0448655997
C2X923	0.0031871428
C2X113	0.3676966559
C2X1127	-0.088007035
_A_1	-0.581000176
_A_2	-0.120323627
_A_6	0.1148157225
_A_7	-0.309743366
_A_8	0.1697946075

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거



터. 올진

① regression 모형 :

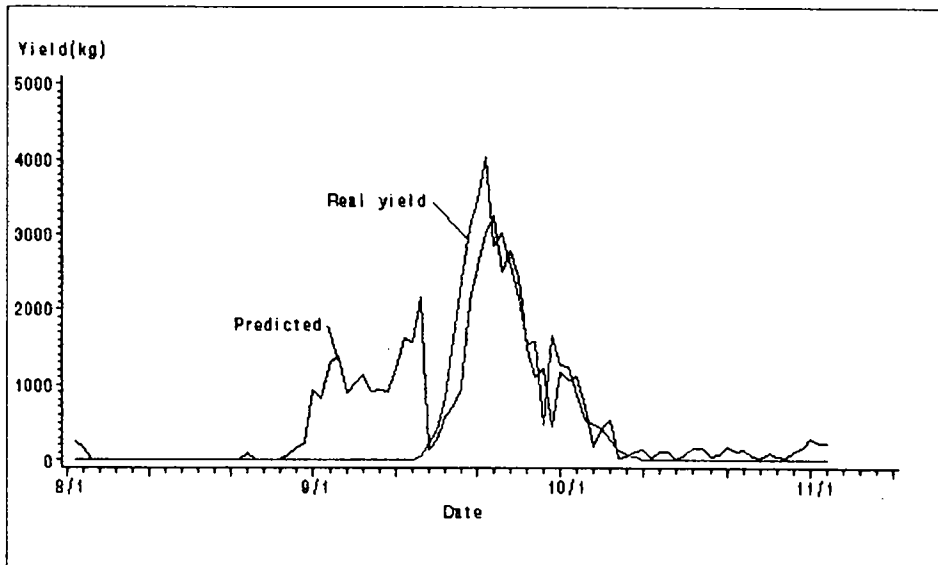
변수명	계수
CUX9	0.0194592335
C2X6	-0.000056711
C2X7	0.0000428816
C2X9	-0.000012551
LCUX516	0.0333852479
LCUX530	-0.023408935
LCUX630	0.0396727647
LCUX74	-0.012666263
LCUX730	0.0334151264
LCUX83	0.0020426404
LCUX85	0.0012312723
LCUX87	0.0009060445
LCUX814	0.0020794298
LCUX822	0.0022428317
LCUX830	0.0013365588
LCUX922	-0.007798121
LCUX930	-0.001657323
LCUX114	-0.004392836
LCUX1111	0.0078613335
LCUX1116	0.0012802579
LCUX1130	-0.00125617
C2X516	-0.00006646
C2X64	-0.000043536
C2X630	-0.000121256
C2X74	0.0000790411
C2X83	-2.704245E-6
C2X85	-3.274013E-6
C2X814	-1.953279E-6
C2X822	-2.787793E-6
C2X830	-1.567555E-6
C2X922	4.5825669E-6
C2X1111	-0.000011698

특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거

②autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-4579.92567
C2X11	-0.067154195
LCUX65	-27.81275262
LCUX817	3.2334932328
LCUX95	10.132061459
C2X628	0.0855727313
C2X820	0.0074356187
C2X824	0.0140093955
C2X1118	0.0437601896
_A_1	-0.936687251
_A_3	0.1730659956
_A_4	-0.158981972
_A_8	0.1241749818

특이사항 : $X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 제거



피.청도

① regression 모형 :

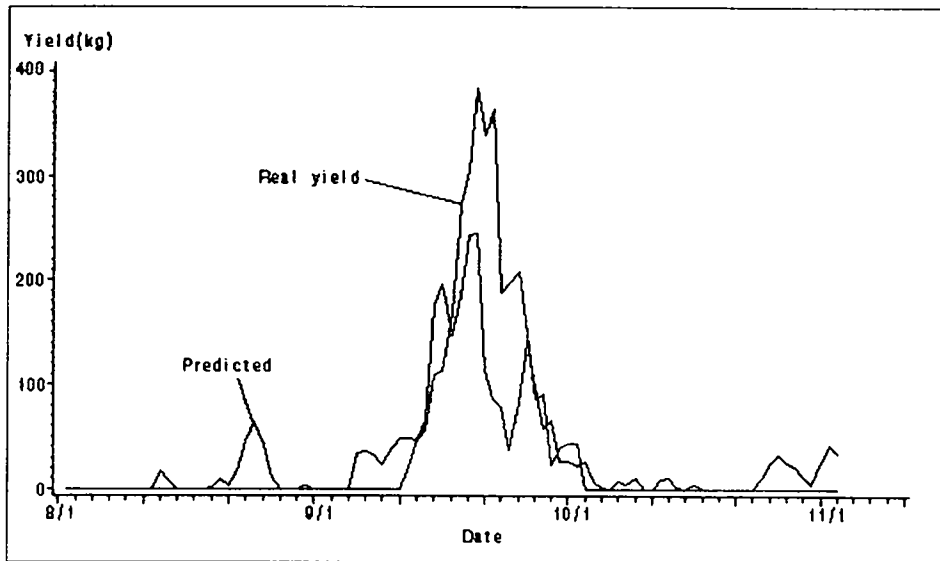
변수명	계수	변수명	계수	변수명	계수
CUX5	-0.015900656	LCUX97	-0.000724554	C2X71	0.0000770456
CUX7	0.0051992343	LCUX911	-0.011237112	C2X712	-0.000029125
CUX8	0.0016087032	LCUX924	0.001330932	C2X727	-0.000049475
CUX11	0.0080013053	LCUX930	-0.000578844	C2X729	-0.0000892
C2X5	0.0000355758	LCUX101	-0.009430508	C2X86	-2.632928E-6
C2X6	-0.00002864	LCUX104	0.0167990876	C2X811	-7.421264E-6
C2X8	-8.262063E-6	LCUX1012	-0.023299281	C2X814	-4.308055E-6
C2X11	-0.000105946	LCUX1022	0.0385594892	C2X819	-0.000010537
LCUX54	-0.094698858	LCUX114	-0.007831597	C2X830	0.0000106547
LCUX58	-0.028324784	LCUX1115	0.004430113	C2X91	-6.176395E-6
LCUX510	-0.029584859	LCUX1118	-0.012488957	C2X911	6.5271616E-6
LCUX512	-0.005554093	LCUX1122	-0.010870228	C2X104	-0.000480048
LCUX519	-0.011076858	LCUX124	0.0320673258	C2X108	-0.000198192
LCUX619	-0.014268905	LCUX1213	-0.00400449	C2X1012	0.0001116494
LCUX620	-0.006324974	LCUX1216	-0.034697308	C2X1022	-0.000412036
LCUX630	0.0270798806	LCUX131	0.0351202864	C2X114	0.0001496177
LCUX74	0.0092699458	LCUX1316	0.06032866	C2X118	0.0000518444
LCUX712	0.0204305604	LCUX1323	-0.286103696	C2X1112	0.0000620544
LCUX719	0.0222503251	LCUX1327	-0.016661094	C2X1118	0.0000589777
LCUX723	0.0074291053	LCUX141	-0.045917123	C2X1122	0.0000623697
LCUX727	0.0294603106	LCUX146	-0.010122404	C2X124	-0.000110339
LCUX729	0.0346642841	LCUX1410	0.0613754998	C2X1216	0.0000390513
LCUX810	0.000557815	LCUX1416	0.0326989167	C2X1228	0.0000126549
LCUX811	0.0017593853	LCUX1423	0.3495479747	C2X1318	0.000018224
LCUX814	0.0009293535	C2X54	0.000230661	C2X1323	0.0004836105
LCUX819	0.0038420711	C2X58	0.0000611517	C2X1410	-0.000134804
LCUX823	0.0005853742	C2X510	0.0000631707	C2X1416	-0.000148365
LCUX824	0.0006072425	C2X624	-0.000014035	C2X1423	-0.000588465
LCUX830	-0.002742438	C2X630	-0.000051681		

특이사항 : 없음

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	-7228.347645
LCUX52	8.2393974059
LCUX511	-7.618156979
LCUX526	4.4614932287
LCUX722	-34.95051957
LCUX813	-1.763845921
LCUX91	4.0825949608
LCUX1022	9.9407999947
LCUX1120	-6.825073852
LCUX1320	78.740291849
LCUX1328	8.4692280919
C2X512	-0.008984368
C2X516	-0.006476423
C2X65	-0.0244703
C2X617	0.0174827057
C2X622	0.0646959452
C2X813	0.0068348832
C2X108	0.169377169
C2X1026	-0.12720727
C2X1028	-0.205179814
C2X121	-0.072456515
C2X132	-0.099517649
C2X1320	-0.111689949
_A_1	-0.610609868
_A_3	-0.165550381
_A_6	0.1156810051

특이사항 : 없음



허. 포함

① regression 모형 :

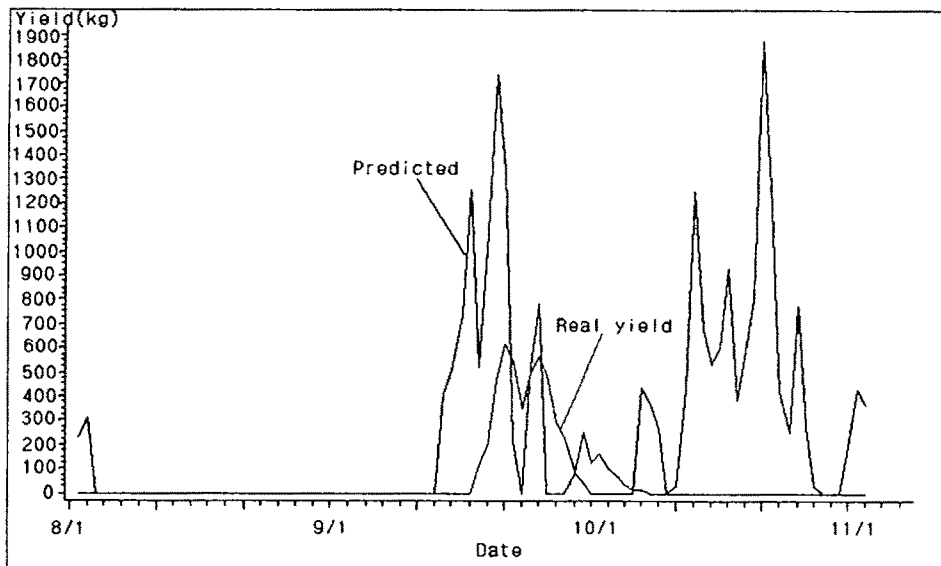
변수명	계수
CUX5	-0.01480496
CUX7	0.0339969309
CUX8	-0.000629004
C2X6	-0.000034568
LCUX511	-0.017984811
LCUX518	-0.028689571
LCUX65	0.0288819883
LCUX617	0.0486612744
LCUX630	0.0520177418
LCUX711	0.0237016052
LCUX730	-0.009633872
LCUX87	-0.000828951
LCUX821	-0.00032783
LCUX828	-0.001574039
LCUX830	-0.000451642
LCUX95	0.0037809594
LCUX919	0.0015306084
LCUX1111	0.0173651087
LCUX1114	0.013525473
LCUX1118	0.0164021113
LCUX1121	0.0019946439
LCUX126	-0.004495632
LCUX1210	-0.038777726
LCUX1230	0.0221009674
C2X518	0.0000479294
C2X65	-0.000102919
C2X617	-0.000120299
C2X625	-9.257967E-6
C2X630	-0.000086115
C2X810	8.2718622E-7
C2X828	2.2639697E-6
C2X95	-3.817616E-6
C2X1111	-0.000076379
C2X1114	-0.000083675
C2X1118	-0.000113627
C2X1210	0.0000612171
C2X1230	-0.000042981

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거

② autoregression 모형 :

변수명	계수
INTERCEP	2507.9423118
LCUX72	-764.130294
LCUX79	27.318464844
LCUX713	266.26648933
LCUX723	38.050610412
LCUX817	-3.853591956
LCUX126	-32.53499737
LCUX1228	13.045333273
C2X513	-0.135813162
C2X523	-0.073065177
C2X72	4.2508658138
C2X713	-0.498382336
C2X810	-0.005000168
C2X911	-0.004707058
C2X925	-0.011343119
C2X926	0.0180694629
C2X1120	-0.164691604
C2X1126	0.1408065547

특이사항 : X_{10}, X_{13}, X_{14} 제거



第 2 節 生産開始 및 終結時點 確率 導入에 依한 補正式

1. 강릉

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	0.8100194	1.9106875	0.0944244	10.4559703
MSPE	28	4.1764748	20.6104725	0.0089160	109.3273142
X5	28	392.2878571	406.1933284	4.3100000	1349.48
X11	28	325.9314255	349.0106703	7.2323859	1181.97

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	0.8100194	1.9106875	0.0944244	10.4559703
MSPE	28	4.1764748	20.6104725	0.0089160	109.3273142
X5	28	392.2878571	406.1933284	4.3100000	1349.48
X11	28	325.9314255	349.0106703	7.2323859	1181.97

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	0.8463610	1.9088887	0.0944244	10.4559703
MSPE	28	4.2300455	20.6008101	0.0089160	109.3273142
X5	28	392.2878571	406.1933284	4.3100000	1349.48
X11	28	317.3058119	354.2984339	0	1181.97

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	1.1134630	3.3570782	0.0383611	18.0187935
MSPE	28	12.1072750	61.2709418	0.0014716	324.6769193
X5	28	392.2878571	406.1933284	4.3100000	1349.48
X7	28	366.3969286	373.5494630	10.6660000	1181.97

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	1.1134630	3.3570782	0.0383611	18.0187935
MSPE	28	12.1072750	61.2709418	0.0014716	324.6769193
X5	28	392.2878571	406.1933284	4.3100000	1349.48
X7	28	366.3969286	373.5494630	10.6660000	1181.97

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	1.1134630	3.3570782	0.0383611	18.0187935
MSPE	28	12.1072750	61.2709418	0.0014716	324.6769193
X5	28	392.2878571	406.1933284	4.3100000	1349.48
X7	28	351.2402143	380.1559928	0	1181.97

2. 거창

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	0.6292967	0.9620884	0.0042158	4.2005109
MSPE	18	1.2702055	4.1202296	0.000017773	17.6442918
X5	18	157.0527778	109.9777417	13.8500000	356.7000000
X11	18	149.0283369	94.2355853	0	335.5164529

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	0.6659780	0.9629855	0.0042158	4.2005109
MSPE	18	1.3193488	4.1109107	0.000017773	17.6442918
X5	18	157.0527778	109.9777417	13.8500000	356.7000000
X11	18	148.5203010	95.0551625	0	335.5164529

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	0.6659780	0.9629855	0.0042158	4.2005109
MSPE	18	1.3193488	4.1109107	0.000017773	17.6442918
X5	18	157.0527778	109.9777417	13.8500000	356.7000000
X11	18	148.5203010	95.0551625	0	335.5164529

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	0.7905906	1.4855127	0.0062218	6.4361000
MSPE	18	2.7091842	9.7094406	0.000038710	41.4233832
X5	18	157.0527778	109.9777417	13.8500000	356.7000000
X7	18	165.9988889	106.5948217	0	372.6470000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	0.8253078	1.4825302	0.0062218	6.4361000
MSPE	18	2.7569235	9.6981749	0.000038710	41.4233832
X5	18	157.0527778	109.9777417	13.8500000	356.7000000
X7	18	164.9408333	108.2213927	0	372.6470000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	0.8528066	1.5178975	0.0062218	6.4361000
MSPE	18	2.9032913	9.7081858	0.000038710	41.4233832
X5	18	157.0527778	109.9777417	13.8500000	356.7000000
X7	18	164.9408333	108.2213927	0	372.6470000

3. 교성

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	45	3.7123100	6.6314802	0.0179877	29.2233100
MSPE	45	56.7805189	168.8827159	0.000323556	854.0018487
X5	45	170.3002222	262.5533465	3.5300000	892.4400000
X11	45	180.8194845	222.5969846	0	731.0180000

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	45	3.7123100	6.6314802	0.0179877	29.2233100
MSPE	45	56.7805189	168.8827159	0.000323556	854.0018487
X5	45	170.3002222	262.5533465	3.5300000	892.4400000
X11	45	180.8194845	222.5969846	0	731.0180000

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	45	3.7123100	6.6314802	0.0179877	29.2233100
MSPE	45	56.7805189	168.8827159	0.000323556	854.0018487
X5	45	170.3002222	262.5533465	3.5300000	892.4400000
X11	45	180.8194845	222.5969846	0	731.0180000

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	45	3.8903375	6.7535471	0.0179877	29.2233100
MSPE	45	59.7315606	171.1811790	0.000323556	854.0018487
X5	45	170.3002222	262.5533465	3.5300000	892.4400000
X7	45	191.4217556	226.6653194	0	731.0180000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	45	3.8903375	6.7535471	0.0179877	29.2233100
MSPE	45	59.7315606	171.1811790	0.000323556	854.0018487
X5	45	170.3002222	262.5533465	3.5300000	892.4400000
X7	45	191.4217556	226.6653194	0	731.0180000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	45	3.8903375	6.7535471	0.0179877	29.2233100
MSPE	45	59.7315606	171.1811790	0.000323556	854.0018487
X5	45	170.3002222	262.5533465	3.5300000	892.4400000
X7	45	191.4217556	226.6653194	0	731.0180000

4. 김천

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	14	0.5074870	0.3879869	0.0164820	1.0000000
MSPE	14	0.3973245	0.4432771	0.000271656	1.0000000
X5	14	58.3928571	25.3175969	19.5000000	91.9000000
X11	14	42.2371488	37.0115713	0	104.9226231

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAP	14	0.5152453	0.3972297	0.0164820	1.0000000
MSPE	14	0.4119983	0.4605040	0.000271656	1.0000000
X5	14	58.3928571	25.3175969	19.5000000	91.9000000
X11	14	41.9881099	37.3029514	0	104.9226231

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	14	0.5152453	0.3972297	0.0164820	1.0000000
MSPE	14	0.4119983	0.4605040	0.000271656	1.0000000
X5	14	58.3928571	25.3175969	19.5000000	91.9000000
X11	14	41.9881099	37.3029514	0	104.9226231

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	14	0.5563479	0.3894208	0.0092989	1.0000000
MSPE	14	0.4503395	0.4442170	0.000086470	1.0000000
X5	14	58.3928571	25.3175969	19.5000000	91.9000000
X7	14	58.2852143	50.3974037	0	152.4430000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	14	0.5745478	0.4045848	0.0092989	1.0000000
MSPE	14	0.4821019	0.4675841	0.000086470	1.0000000
X5	14	58.3928571	25.3175969	19.5000000	91.9000000
X7	14	57.7010000	51.0658949	0	152.4430000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	14	0.5563479	0.3894208	0.0092989	1.0000000
MSPE	14	0.4503395	0.4442170	0.000086470	1.0000000
X5	14	58.3928571	25.3175969	19.5000000	91.9000000
X7	14	57.7010000	51.0658949	0	152.4430000

5. 남원

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	29	0.8396446	0.9618687	0.0059115	3.5113454
MSPE	29	1.5982913	3.3325499	0.000034946	12.3295467
X5	29	49.7586207	40.3718543	4.8000000	150.7000000
X11	29	41.7399762	24.1053460	0	106.1038703

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	29	0.8647203	0.9560247	0.0059115	3.5113454
MSPE	29	1.6302077	3.3218493	0.000034946	12.3295467
X5	29	49.7586207	40.3718543	4.8000000	150.7000000
X11	29	41.3813941	24.6591972	0	106.1038703

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	29	0.7876516	0.8413296	0.0059115	3.5113454
MSPE	29	1.3038224	2.8549604	0.000034946	12.3295467
X5	29	49.7586207	40.3718543	4.8000000	150.7000000
X11	29	40.5709043	25.6347310	0	106.1038703

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	29	1.1308537	1.5734135	0.0136635	6.5614054
MSPE	29	3.6690935	9.1924254	0.000186691	43.0520409
X5	29	49.7586207	40.3718543	4.8000000	150.7000000
X7	29	48.7683448	26.0809625	0	106.3570000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	29	1.1469772	1.5694528	0.0136635	6.5614054
MSPE	29	3.6938014	9.1839594	0.000186691	43.0520409
X5	29	49.7586207	40.3718543	4.8000000	150.7000000
X7	29	48.0127034	27.1810598	0	106.3570000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	29	1.1947513	1.6073277	0.0136635	6.5614054
MSPE	29	3.9218466	9.2199542	0.000186691	43.0520409
X5	29	49.7586207	40.3718543	4.8000000	150.7000000
X7	29	46.5656069	28.5948337	0	106.3570000

6. 문경

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.2713189	4.1701771	0.0214164	19.4347976
MSPE	21	18.1785155	82.3796812	0.000458662	377.7113596
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X11	21	160.5514509	125.9743264	17.2919113	449.5655482

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.2713189	4.1701771	0.0214164	19.4347976
MSPE	21	18.1785155	82.3796812	0.000458662	377.7113596
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X11	21	160.5514509	125.9743264	17.2919113	449.5655482

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	0.3934714	0.2988522	0.0214164	1.0000000
MSPE	21	0.2398793	0.2987482	0.000458662	1.0000000
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X11	21	139.1435677	111.8065274	0	333.2771970

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	2.3016259	8.4066803	0.0214164	38.9280909
MSPE	21	72.6044094	330.5862471	0.000458662	1515.40
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X7	21	196.2408095	195.6065931	17.3570000	878.4180000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	2.3016259	8.4066803	0.0214164	38.9280909
MSPE	21	72.6044094	330.5862471	0.000458662	1515.40
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X7	21	196.2408095	195.6065931	17.3570000	878.4180000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	2.3016259	8.4066803	0.0214164	38.9280909
MSPE	21	72.6044094	330.5862471	0.000458662	1515.40
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X7	21	154.4113810	122.8087534	0	404.7830000

7. 보은

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	0.5209895	0.4110190	0.0051988	1.7513528
MSPE	21	0.4323221	0.6782278	0.000027027	3.0672365
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X11	21	100.5513100	74.2440189	0	244.0368193

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	0.5209895	0.4110190	0.0051988	1.7513528
MSPE	21	0.4323221	0.6782278	0.000027027	3.0672365
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X11	21	100.5513100	74.2440189	0	244.0368193

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	0.6239741	0.4308025	0.0510837	1.7513528
MSPE	21	0.5660968	0.7010013	0.0026095	3.0672365
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X11	21	87.6555558	83.1793542	0	244.0368193

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	0.6276426	0.6521296	0.0561929	2.9978390
MSPE	21	0.7989572	1.9210292	0.0031576	8.9870386
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X7	21	137.8289524	88.0671983	0	307.3860000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	0.6276426	0.6521296	0.0561929	2.9978390
MSPE	21	0.7989572	1.9210292	0.0031576	8.9870386
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X7	21	137.8289524	88.0671983	0	307.3860000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	0.7708467	1.1155475	0.0561929	4.7455909
MSPE	21	1.7793913	5.1278882	0.0031576	22.5206331
X5	21	154.6142857	118.2023658	22.0000000	383.8000000
X7	21	114.0841429	100.7816911	0	307.3860000

8. 봉화

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.0663798	1.3461771	0.0115063	6.4917824
MSPE	21	2.8630639	9.0905765	0.000132394	42.1432390
X5	21	334.2309524	234.9862116	21.9000000	706.6000000
X11	21	228.4406541	327.7940056	0	1199.81

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.0663798	1.3461771	0.0115063	6.4917824
MSPE	21	2.8630639	9.0905765	0.000132394	42.1432390
X5	21	334.2309524	234.9862116	21.9000000	706.6000000
X11	21	228.4406541	327.7940056	0	1199.81

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.0961676	1.3397319	0.0115063	6.4917824
MSPE	21	2.9109945	9.0784744	0.000132394	42.1432390
X5	21	334.2309524	234.9862116	21.9000000	706.6000000
X11	21	227.2759348	328.6166853	0	1199.81

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.1427881	1.6400735	0.0737207	7.7341243
MSPE	21	3.8677181	12.9622792	0.0054347	59.8166780
X5	21	334.2309524	234.9862116	21.9000000	706.6000000
X7	21	262.4847619	386.0001530	0	1398.77

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.1427881	1.6400735	0.0737207	7.7341243
MSPE	21	3.8677181	12.9622792	0.0054347	59.8166780
X5	21	334.2309524	234.9862116	21.9000000	706.6000000
X7	21	262.4847619	386.0001530	0	1398.77

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.1104767	1.6496831	0.0737207	7.7341243
MSPE	21	3.8250199	12.9736697	0.0054347	59.8166780
X5	21	334.2309524	234.9862116	21.9000000	706.6000000
X7	21	260.2861905	387.4797680	0	1398.77

9. 안동

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	0.9393376	0.6290159	0.1707144	3.1943301
MSPE	21	1.2591750	2.1452148	0.0291434	10.2037446
X5	21	107.0238095	80.9760622	23.0000000	330.3000000
X11	21	79.8076121	103.3952548	0	302.3287837

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	0.8348457	0.3607366	0.1707144	1.7422134
MSPE	21	0.8209015	0.6350993	0.0291434	3.0353075
X5	21	107.0238095	80.9760622	23.0000000	330.3000000
X11	21	69.9010039	100.4182854	0	302.3287837

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.3060596	1.8155635	0.0882014	8.9311694
MSPE	21	4.8450973	17.2081669	0.0077795	79.7657860
X5	21	107.0238095	80.9760622	23.0000000	330.3000000
X7	21	109.2691905	150.0968218	0	492.5860000

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.3060596	1.8155635	0.0882014	8.9311694
MSPE	21	4.8450973	17.2081669	0.0077795	79.7657860
X5	21	107.0238095	80.9760622	23.0000000	330.3000000
X7	21	109.2691905	150.0968218	0	492.5860000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	0.9283849	0.4940338	0.0882014	2.2340095
MSPE	21	1.0943456	1.1971724	0.0077795	4.9907986
X5	21	107.0238095	80.9760622	23.0000000	330.3000000
X7	21	85.8127143	123.2953296	0	339.5710000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	21	1.3060596	1.8155635	0.0882014	8.9311694
MSPE	21	4.8450973	17.2081669	0.0077795	79.7657860
X5	21	107.0238095	80.9760622	23.0000000	330.3000000
X7	21	69.6426667	109.8895904	0	328.3470000

10. 양양

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	27	4.3749584	5.9026528	0.1496950	21.5683260
MSPE	27	52.6911527	105.0789555	0.0224086	465.1926883
X5	27	188.8788889	206.7156599	11.7800000	643.3600000
X11	27	331.0057259	314.6599725	0	1500.40

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	27	4.3749584	5.9026528	0.1496950	21.5683260
MSPE	27	52.6911527	105.0789555	0.0224086	465.1926883
X5	27	188.8788889	206.7156599	11.7800000	643.3600000
X11	27	331.0057259	314.6599725	0	1500.40

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	27	4.3749584	5.9026528	0.1496950	21.5683260
MSPE	27	52.6911527	105.0789555	0.0224086	465.1926883
X5	27	188.8788889	206.7156599	11.7800000	643.3600000
X11	27	331.0057259	314.6599725	0	1500.40

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	27	5.0765374	7.0612972	0.1496950	27.5432937
MSPE	27	73.7864123	161.3703582	0.0224086	758.6330288
X5	27	188.8788889	206.7156599	11.7800000	643.3600000
X7	27	363.3996296	349.9323533	0	1747.64

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	27	5.0765374	7.0612972	0.1496950	27.5432937
MSPE	27	73.7864123	161.3703582	0.0224086	758.6330288
X5	27	188.8788889	206.7156599	11.7800000	643.3600000
X7	27	363.3996296	349.9323533	0	1747.64

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	27	5.0765374	7.0612972	0.1496950	27.5432937
MSPE	27	73.7864123	161.3703582	0.0224086	758.6330288
X5	27	188.8788889	206.7156599	11.7800000	643.3600000
X7	27	363.3996296	349.9323533	0	1747.64

11. 영덕

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	1.7541379	6.2276568	0.0014343	33.3801785
MSPE	28	40.4755760	210.4415135	2.0571581E-6	1114.24
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X11	28	1274.88	962.2140992	0	3366.50

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	1.7541379	6.2276568	0.0014343	33.3801785
MSPE	28	40.4755760	210.4415135	2.0571581E-6	1114.24
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X11	28	1274.88	962.2140992	0	3366.50

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	1.6663953	6.2289619	0.0014343	33.3801785
MSPE	28	40.1911270	210.4937932	2.0571581E-6	1114.24
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X11	28	1261.04	979.3807530	0	3366.50

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	2.6583068	9.7427801	0.0205470	51.9700000
MSPE	28	98.5982962	510.0349687	0.000422179	2700.88
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X7	28	1550.83	1165.59	0	3953.57

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	2.6583068	9.7427801	0.0205470	51.9700000
MSPE	28	98.5982962	510.0349687	0.000422179	2700.88
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X7	28	1550.83	1165.59	0	3953.57

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	2.6583068	9.7427801	0.0205470	51.9700000
MSPE	28	98.5982962	510.0349687	0.000422179	2700.88
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X7	28	1526.21	1194.86	0	3953.57

12. 영주

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	3	2.0003139	2.0692707	0.6212663	4.3796756
MSPE	3	6.8558433	10.6787963	0.3859718	19.1815580
X5	3	65.5000000	10.5957539	53.3000000	72.4000000
X11	3	104.7190097	158.2270527	0	286.7367074

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	3	2.1265585	1.9512566	1.0000000	4.3796756
MSPE	3	7.0605193	10.4971274	1.0000000	19.1815580
X5	3	65.5000000	10.5957539	53.3000000	72.4000000
X11	3	95.5789025	165.5475152	0	286.7367074

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	3	2.1265585	1.9512566	1.0000000	4.3796756
MSPE	3	7.0605193	10.4971274	1.0000000	19.1815580
X5	3	65.5000000	10.5957539	53.3000000	72.4000000
X11	3	95.5789025	165.5475152	0	286.7367074

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	3	2.8771785	4.0314246	0.1266575	7.5048780
MSPE	3	19.1130789	32.2286607	0.0160421	56.3231945
X5	3	65.5000000	10.5957539	53.3000000	72.4000000
X7	3	172.1800000	245.5098082	0	453.3100000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	3	3.1682927	3.7555931	1.0000000	7.5048780
MSPE	3	19.4410648	31.9408613	1.0000000	56.3231945
X5	3	65.5000000	10.5957539	53.3000000	72.4000000
X7	3	151.1033333	261.7186505	0	453.3100000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	3	2.8771785	4.0314246	0.1266575	7.5048780
MSPE	3	19.1130789	32.2286607	0.0160421	56.3231945
X5	3	65.5000000	10.5957539	53.3000000	72.4000000
X7	3	151.1033333	261.7186505	0	453.3100000

13. 영천

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	3.0342998	3.3614443	0.4384194	14.4877415
MSPE	18	19.8785437	48.7481744	0.1922115	209.8946546
X5	18	63.7305556	33.9472304	14.2500000	111.1000000
X11	18	128.7334779	131.5249022	0	364.1980182

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	3.0342998	3.3614443	0.4384194	14.4877415
MSPE	18	19.8785437	48.7481744	0.1922115	209.8946546
X5	18	63.7305556	33.9472304	14.2500000	111.1000000
X11	18	128.7334779	131.5249022	0	364.1980182

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	2.1342279	1.7845735	0.4384194	5.9091423
MSPE	18	7.5627035	11.4735242	0.1922115	34.9179625
X5	18	63.7305556	33.9472304	14.2500000	111.1000000
X11	18	105.8723348	127.7398210	0	364.1980182

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	4.5947784	6.0804752	0.2694696	26.5176190
MSPE	18	56.0301572	163.0996532	0.0726139	703.1841200
X5	18	63.7305556	33.9472304	14.2500000	111.1000000
X7	18	180.8077778	188.2887802	0	577.8700000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	4.5947784	6.0804752	0.2694696	26.5176190
MSPE	18	56.0301572	163.0996532	0.0726139	703.1841200
X5	18	63.7305556	33.9472304	14.2500000	111.1000000
X7	18	180.8077778	188.2887802	0	577.8700000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	4.5947784	6.0804752	0.2694696	26.5176190
MSPE	18	56.0301572	163.0996532	0.0726139	703.1841200
X5	18	63.7305556	33.9472304	14.2500000	111.1000000
X7	18	139.8900000	167.9972108	0	503.1600000

14. 울진

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	2.4407640	9.1079928	0.0083513	48.2174071
MSPE	28	85.9501641	439.0012678	0.000069744	2324.92
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X11	28	1187.71	1008.58	26.4852778	3250.91

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	2.4407640	9.1079928	0.0083513	48.2174071
MSPE	28	85.9501641	439.0012678	0.000069744	2324.92
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X11	28	1187.71	1008.58	26.4852778	3250.91

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	2.1585578	9.0350098	0.0083513	48.2174071
MSPE	28	83.3753668	439.3015075	0.000069744	2324.92
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X11	28	1143.83	1042.92	0	3250.91

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	3.3220179	12.3443584	0.0120330	64.5725000
MSPE	28	157.9767304	787.4016563	0.000144794	4169.61
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X7	28	1417.79	1180.42	33.7900000	3970.14

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	3.3220179	12.3443584	0.0120330	64.5725000
MSPE	28	157.9767304	787.4016563	0.000144794	4169.61
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X7	28	1417.79	1180.42	33.7900000	3970.14

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	3.3220179	12.3443584	0.0120330	64.5725000
MSPE	28	157.9767304	787.4016563	0.000144794	4169.61
X5	28	1331.83	1194.02	15.3500000	4040.60
X7	28	1334.83	1223.71	0	3970.14

15. 원주

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.7852706	0.3032527	0.2112867	1.0000000
MSPE	9	0.6983941	0.4009434	0.0446421	1.0000000
X5	9	47.8744444	21.9148820	21.7900000	80.8800000
X11	9	16.0945873	25.6822525	0	76.4510502

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.8012953	0.3111519	0.2112867	1.0000000
MSPE	9	0.7281323	0.4135060	0.0446421	1.0000000
X5	9	47.8744444	21.9148820	21.7900000	80.8800000
X11	9	14.7985139	26.2224093	0	76.4510502

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.8639353	0.2840397	0.2112867	1.0000000
MSPE	9	0.8180984	0.3673736	0.0446421	1.0000000
X5	9	47.8744444	21.9148820	21.7900000	80.8800000
X11	9	6.3039528	12.5969274	0	31.3390074

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.8769699	0.4871803	0.0746584	1.8068007
MSPE	9	0.9800492	0.9489494	0.0055739	3.2645287
X5	9	47.8744444	21.9148820	21.7900000	80.8800000
X7	9	28.6983333	48.7447212	0	149.4060000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.9163822	0.4803954	0.0746584	1.8068007
MSPE	9	1.0448938	0.9252629	0.0055739	3.2645287
X5	9	47.8744444	21.9148820	21.7900000	80.8800000
X7	9	25.5106667	49.6745987	0	149.4060000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.7669370	0.5620059	0.0097045	1.8068007
MSPE	9	0.8689485	1.0032985	0.000094178	3.2645287
X5	9	47.8744444	21.9148820	21.7900000	80.8800000
X7	9	8.9100000	17.8921327	0	45.5860000

16. 의성

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	16	0.9464270	1.1112444	0.0407863	4.7790099
MSPE	16	2.0534092	5.5757396	0.0016635	22.8389353
X5	16	137.1500000	108.8045832	13.5000000	456.8000000
X11	16	98.4833634	107.2521685	0	321.2889365

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	16	0.9464270	1.1112444	0.0407863	4.7790099
MSPE	16	2.0534092	5.5757396	0.0016635	22.8389353
X5	16	137.1500000	108.8045832	13.5000000	456.8000000
X11	16	98.4833634	107.2521685	0	321.2889365

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	16	0.9464270	1.1112444	0.0407863	4.7790099
MSPE	16	2.0534092	5.5757396	0.0016635	22.8389353
X5	16	137.1500000	108.8045832	13.5000000	456.8000000
X11	16	98.4833634	107.2521685	0	321.2889365

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	16	1.0304117	1.1299869	0.0835719	4.9644444
MSPE	16	2.2588142	6.0062086	0.0069843	24.6457086
X5	16	137.1500000	108.8045832	13.5000000	456.8000000
X7	16	114.3728125	126.8420650	0	331.0960000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	16	1.0304117	1.1299869	0.0835719	4.9644444
MSPE	16	2.2588142	6.0062086	0.0069843	24.6457086
X5	16	137.1500000	108.8045832	13.5000000	456.8000000
X7	16	114.3728125	126.8420650	0	331.0960000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	16	1.0304117	1.1299869	0.0835719	4.9644444
MSPE	16	2.2588142	6.0062086	0.0069843	24.6457086
X5	16	137.1500000	108.8045832	13.5000000	456.8000000
X7	16	114.3728125	126.8420650	0	331.0960000

17. 정선

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.5845216	0.3360763	0.2174240	1.0000000
MSPE	9	0.4420631	0.4306504	0.0472732	1.0000000
X5	9	39.8600000	25.9426406	5.5900000	82.7400000
X11	9	12.9556113	11.5644813	0	31.2475471

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.7559913	0.3021385	0.2737163	1.0000000
MSPE	9	0.6526674	0.4188029	0.0749206	1.0000000
X5	9	39.8600000	25.9426406	5.5900000	82.7400000
X11	9	8.4097934	10.4534034	0	26.4423526

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.8892954	0.2247827	0.4065155	1.0000000
MSPE	9	0.8357594	0.3293961	0.1652549	1.0000000
X5	9	39.8600000	25.9426406	5.5900000	82.7400000
X11	9	3.7964599	7.5370693	0	17.5565093

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.5826434	0.3821891	0.0573776	1.0000000
MSPE	9	0.4693119	0.4407785	0.0032922	1.0000000
X5	9	39.8600000	25.9426406	5.5900000	82.7400000
X7	9	24.6842778	24.1862842	0	72.5860000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.6482822	0.4243552	0.0573776	1.0000000
MSPE	9	0.5803386	0.4986541	0.0032922	1.0000000
X5	9	39.8600000	25.9426406	5.5900000	82.7400000
X7	9	14.3655556	18.1183712	0	47.3470000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	9	0.3664424	0.2577655	0.0573776	0.7669426
MSPE	9	0.1933405	0.2170087	0.0032922	0.5882009
X5	9	39.8600000	25.9426406	5.5900000	82.7400000
X7	9	6.1365556	12.1923831	0	28.8450000

18. 재천

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	5.7543171	19.4105388	0.0016925	83.2784230
MSPE	18	388.9495686	1633.78	2.8645027E-6	6935.30
X5	18	26.6211111	13.4415571	3.6200000	61.3000000
X11	18	57.9844059	65.9044941	13.2912280	305.0878912

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	5.7543171	19.4105388	0.0016925	83.2784230
MSPE	18	388.9495686	1633.78	2.8645027E-6	6935.30
X5	18	26.6211111	13.4415571	3.6200000	61.3000000
X11	18	57.9844059	65.9044941	13.2912280	305.0878912

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	5.6486505	19.4258569	0.0016925	83.2784230
MSPE	18	388.3065047	1633.94	2.8645027E-6	6935.30
X5	18	26.6211111	13.4415571	3.6200000	61.3000000
X11	18	49.1816677	69.9316816	0	305.0878912

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	8.7790888	28.9662764	0.1460135	124.3602210
MSPE	18	869.5039466	3642.75	0.0213199	15465.46
X5	18	26.6211111	13.4415571	3.6200000	61.3000000
X7	18	82.0092778	98.9563184	16.9190000	453.8040000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	8.7790888	28.9662764	0.1460135	124.3602210
MSPE	18	869.5039466	3642.75	0.0213199	15465.46
X5	18	26.6211111	13.4415571	3.6200000	61.3000000
X7	18	82.0092778	98.9563184	16.9190000	453.8040000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	18	8.7790888	28.9662764	0.1460135	124.3602210
MSPE	18	869.5039466	3642.75	0.0213199	15465.46
X5	18	26.6211111	13.4415571	3.6200000	61.3000000
X7	18	65.6682778	103.8663241	0	453.8040000

19. 정도

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	0.7705165	0.9616092	0.0042692	3.9211025
MSPE	28	1.4853633	3.9459390	0.000018226	15.3750450
X5	28	261.8803571	187.5033320	18.0500000	674.4000000
X11	28	217.3792715	170.6719777	0	562.6890000

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	0.6661915	0.7400805	0.0042692	3.9164764
MSPE	28	0.9719688	2.8566620	0.000018226	15.3387871
X5	28	261.8803571	187.5033320	18.0500000	674.4000000
X11	28	213.5742047	174.3819102	0	562.6890000

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	0.9289441	1.5441839	0.0122815	7.6465589
MSPE	28	3.1622803	11.3708965	0.000150836	58.4698629
X5	28	261.8803571	187.5033320	18.0500000	674.4000000
X7	28	227.9466786	173.5282955	0	562.6890000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	0.9382931	1.5437789	0.0122815	7.6465589
MSPE	28	3.1785310	11.3673420	0.000150836	58.4698629
X5	28	261.8803571	187.5033320	18.0500000	674.4000000
X7	28	227.7779286	173.7555589	0	562.6890000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	28	0.9289441	1.5441839	0.0122815	7.6465589
MSPE	28	3.1622803	11.3708965	0.000150836	58.4698629
X5	28	261.8803571	187.5033320	18.0500000	674.4000000
X7	28	221.0922857	178.9000714	0	562.6890000

20. 포함

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	20	3.4958008	10.1074889	0.0398962	46.1976912
MSPE	20	109.2738881	476.6478704	0.0015917	2134.23
X5	20	259.9450000	202.2563264	9.3000000	614.2000000
X11	20	337.5819876	517.5719285	0	1734.24

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	20	3.4958008	10.1074889	0.0398962	46.1976912
MSPE	20	109.2738881	476.6478704	0.0015917	2134.23
X5	20	259.9450000	202.2563264	9.3000000	614.2000000
X11	20	337.5819876	517.5719285	0	1734.24

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	20	3.4958008	10.1074889	0.0398962	46.1976912
MSPE	20	109.2738881	476.6478704	0.0015917	2134.23
X5	20	259.9450000	202.2563264	9.3000000	614.2000000
X11	20	337.5819876	517.5719285	0	1734.24

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	20	4.3017244	13.1499218	0.0398962	59.8892473
MSPE	20	182.7792546	801.2331553	0.0015917	3586.72
X5	20	259.9450000	202.2563264	9.3000000	614.2000000
X7	20	382.0805000	604.6804153	0	2199.69

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	20	4.3017244	13.1499218	0.0398962	59.8892473
MSPE	20	182.7792546	801.2331553	0.0015917	3586.72
X5	20	259.9450000	202.2563264	9.3000000	614.2000000
X7	20	382.0805000	604.6804153	0	2199.69

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	20	4.3017244	13.1499218	0.0398962	59.8892473
MSPE	20	182.7792546	801.2331553	0.0015917	3586.72
X5	20	259.9450000	202.2563264	9.3000000	614.2000000
X7	20	382.0805000	604.6804153	0	2199.69

21. 합양

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	19	1.1653467	1.1003787	0.0026590	4.1569929
MSPE	19	2.5051381	4.1926874	7.0703142E-6	17.2805899
X5	19	34.1736842	18.7852067	6.5500000	60.7000000
X11	19	58.5521071	40.1182398	0	137.7430000

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	19	0.9991891	0.8282456	0.0026590	2.6581491
MSPE	19	1.6482649	2.1910976	7.0703142E-6	7.0657566
X5	19	34.1736842	18.7852067	6.5500000	60.7000000
X11	19	56.7743017	41.9821878	0	137.7430000

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	19	0.9991891	0.8282456	0.0026590	2.6581491
MSPE	19	1.6482649	2.1910976	7.0703142E-6	7.0657566
X5	19	34.1736842	18.7852067	6.5500000	60.7000000
X11	19	56.7743017	41.9821878	0	137.7430000

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	19	1.7752655	2.6415599	0.1032537	11.5227481
MSPE	19	9.7621517	30.2248505	0.0106613	132.7737236
X5	19	34.1736842	18.7852067	6.5500000	60.7000000
X7	19	67.3998947	39.1462340	0	142.9390000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	19	1.2214366	1.1869877	0.1032537	4.4490260
MSPE	19	2.8266925	5.1357449	0.0106613	19.7938321
X5	19	34.1736842	18.7852067	6.5500000	60.7000000
X7	19	63.0828421	41.8718129	0	142.9390000

prob=0.6 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	19	1.7752655	2.6415599	0.1032537	11.5227481
MSPE	19	9.7621517	30.2248505	0.0106613	132.7737236
X5	19	34.1736842	18.7852067	6.5500000	60.7000000
X7	19	63.0828421	41.8718129	0	142.9390000

22. 홍천

prob=0.4 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	13	1.7513275	3.8882663	0.1209387	14.6438161
MSPE	13	17.0227924	59.3183662	0.0146262	214.4413512
X5	13	43.4961538	23.0504832	11.4000000	81.6000000
X11	13	31.8295334	48.7970205	0	178.3395040

prob=0.5 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	13	0.7018032	0.3478612	0.1209387	1.0000000
MSPE	13	0.6042269	0.4344062	0.0146262	1.0000000
X5	13	43.4961538	23.0504832	11.4000000	81.6000000
X11	13	18.1111100	21.7470331	0	59.1125343

prob=0.6 , hat yield = p* hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	13	0.8307466	0.2625799	0.2991576	1.0000000
MSPE	13	0.7537844	0.3676832	0.0894953	1.0000000
X5	13	43.4961538	23.0504832	11.4000000	81.6000000
X11	13	9.9125065	15.5841342	0	40.0634497

prob=0.4 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	13	3.1120798	8.2291701	0.0858547	30.4764912
MSPE	13	72.1951079	257.3832258	0.0073710	928.8165176
X5	13	43.4961538	23.0504832	11.4000000	81.6000000
X7	13	58.4312308	97.6271402	0	358.8320000

prob=0.5 , hat yield

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	13	0.8446574	0.3470215	0.0858547	1.4035946
MSPE	13	0.8246066	0.5222422	0.0073710	1.9700779
X5	13	43.4961538	23.0504832	11.4000000	81.6000000
X7	13	30.8287692	38.3423635	0	109.4170000

prob=0.6 , hat yield

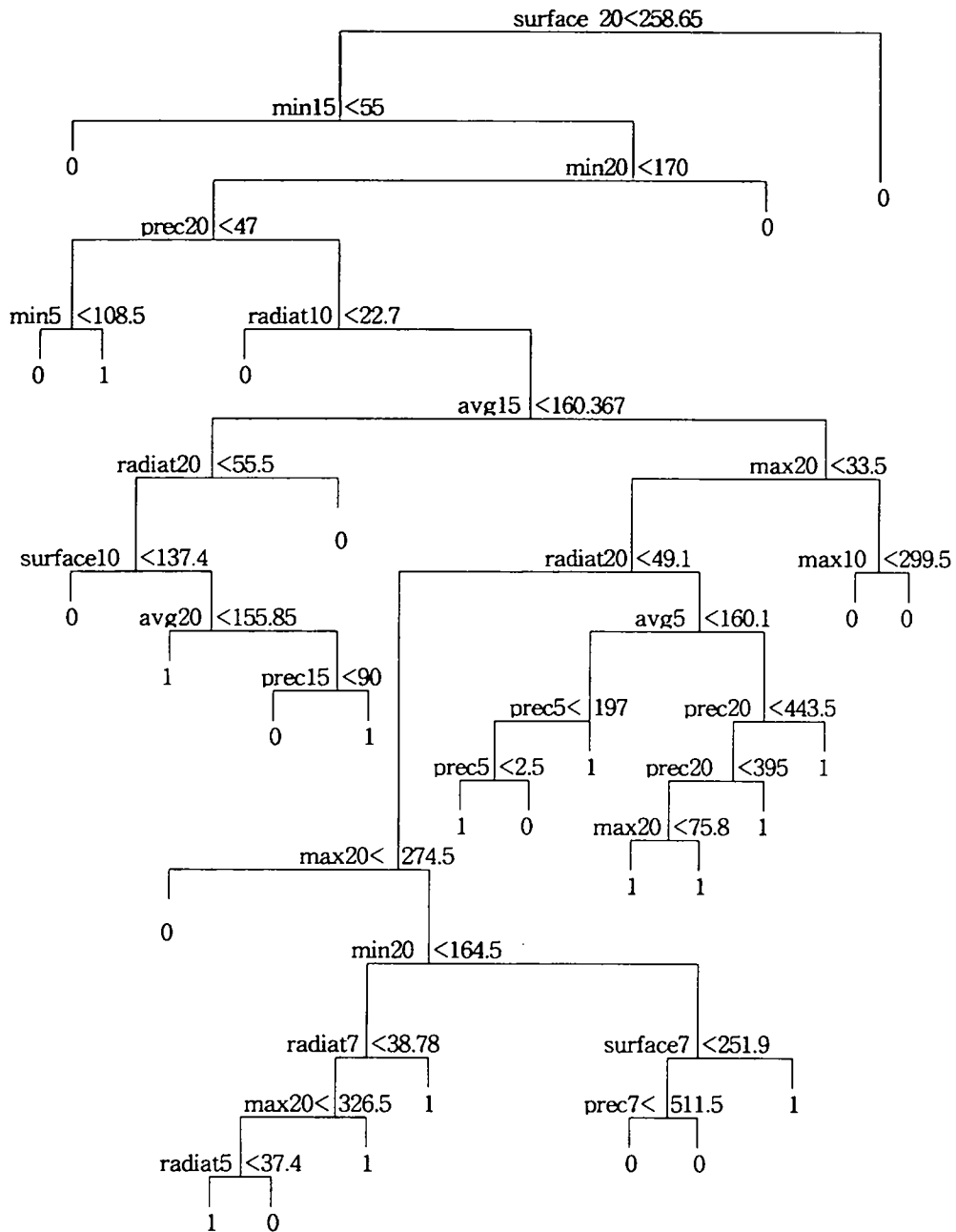
Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
MAPE	13	3.1120798	8.2291701	0.0858547	30.4764912
MSPE	13	72.1951079	257.3832258	0.0073710	928.8165176
X5	13	43.4961538	23.0504832	11.4000000	81.6000000
X7	13	16.0180769	25.4626200	0	66.0470000

第 3 節 CART에 依한 송이 生産確率 決定

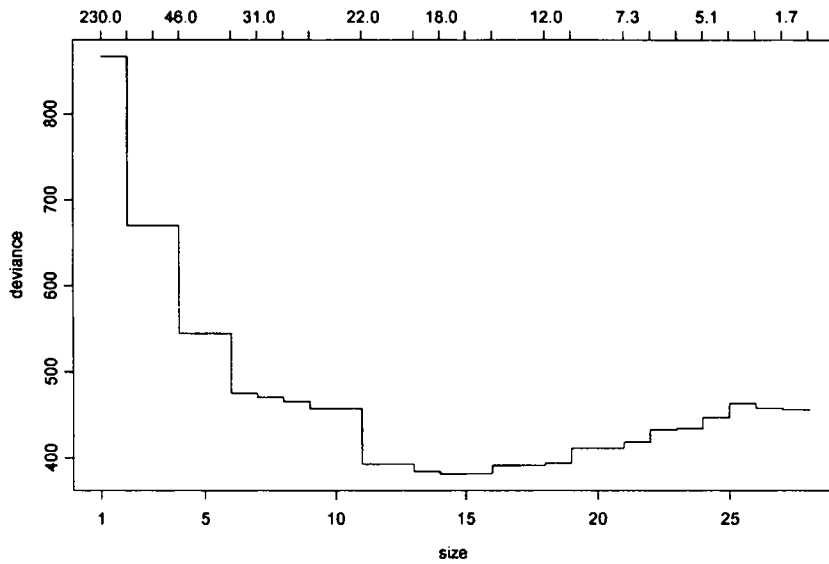
기후변화에 따른 송이버섯 생산 활동의 시작시점과 종결시점을 알기 위해 89년부터 95년까지의 자료를 이용, 생산의 유,무에 대한 분류(classification)모형을 설정하였다. 해당 연도 마다 8월부터 10월까지의 자료를 이용하였고 송이 생산량이 있는 날은 1, 없는 날은 0으로 표시한 후 CART(Classification And Regression Tree)를 이용하여 분석하였다. 사용된 기후인자는 일중 최고(max), 최저(min), 평균(avg)기온과 표면온도(surface), 일조량(radiat), 강수량(prec)을 근본으로하여 적절히 파생된 변수를 사용하였다. 구체적으로 살펴보면 5, 7, 10, 15, 20일간의 최저온도에 대한 최저온도 (각각 min5, min7, min10, min15, min20), 그리고 5, 7, 10, 15, 20일간의 최고온도에 대한 최고온도 (각각 max5, max7, max10, max15, max20)를 사용하였다. 나머지 기후인자에 대해서는 평균 값을 사용하였는데 예를 들어, surface15은 15일간의 평균표면 온도, radiat7은 7일간의 평균 일조량, prec10은 10일간의 평균 강수량을 의미한다.

강릉을 지역을 중심으로 CART의 분석과정 및 결과물 해석방법에 대하여 살펴보면 다음과 같다. CART는 이분류 나무모형(binary tree)을 기본구조로 하여 각 노드마다 자료의 구성이 좀더 순수해 지도록 (purer) 분리(split)가 일어난다.

CART의 가장 큰 매력은 분류의 결과가 규칙(rule)으로 표현되는데 있다. 위의 결과에서 보듯 20일간의 평균 지표온도(surface20)이 258.65 이상(첫 가지의 오른쪽)이면 송이 생산이 없다고 분류된다. 그러나 주의할 점은 CART 분석 자체가 큰 분산을 내재하고 있어 예측오차가 크다는 것이다. 그와 같은 문제점을 해결하기 위해 발견된 규칙을 완화하여 편이(bias)는 높이면서 분산을 줄이는데 규칙완화의 판단기준은 10-fold cross-validation에 의해 결정된다. 나무구조에서 시작부분을 뿌리(root)노드, 가장 끝 부분을 종료(terminal)노드라고 하는데 이 종료노드 수가 적으면 규칙의 완화를 의미한다. 이 종료노드의 개수를 변화시키면서 cross-validation에 의한 오분류 비율을 계산, 최적의 최종노드 수를 결정하면 최적화된 분류모형을 도출할 수 있다.



위의 그림을 통해 알 수 있는 것은 강릉의 경우, 종료노드가 15개 정도로 하는 것은 가장 적절하다는 것을 의미한다. 아래는 최종 모형에 대한 사용변수, 종료노드의 수, 그리고 오분류 비율(misclassification error rate)을 나타내는 결과물이다. 강릉의 경우, 20일간의 평균 지면온도, 10일간의 최저온도의 최자치, 20일간의 평균 강수량등이 중요한 분류기준



임을 나타낸다. 오분류 비율은 0.04193으로써 총 644일의 분류, 즉 송이가 생산될 것인지 아닌지의 예측에서 27일을 잘못 예측했음을 나타낸다.

Classification tree:

```
snip.tree(tree = kangrng.tree, nodes = c(2790, 175, 345, 1394, 349))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "surface20" "min15" "prec20" "min5" "radiat10" "avg15"
```

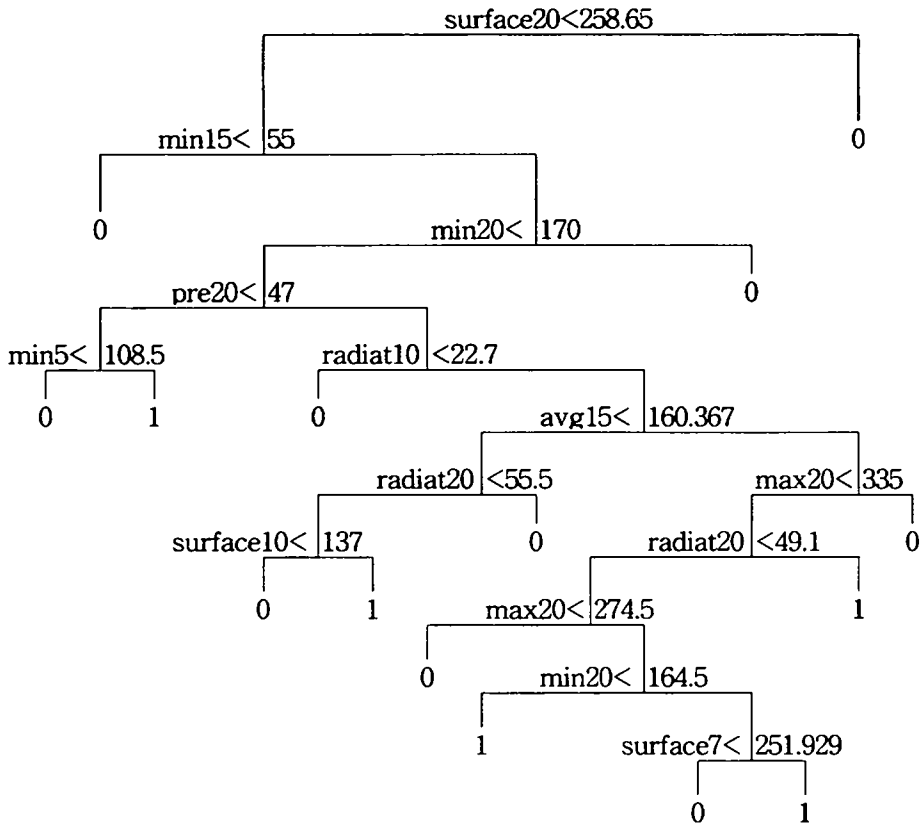
```
[7] "radiat20" "surface10" "max20" "min20" "surface7"
```

Number of terminal nodes: 15

Residual mean deviance: $0.2871 = 180.6 / 629$

Misclassification error rate: $0.04193 = 27 / 644$

최종 모형을 그림으로 표현하면 다음과 같다.



다음은 각 지역별 CART분석결과이다. 무주, 보은, 안동, 영덕의 경우 지표온도 자료가 없으며 제천의 경우 일조량 자료가 없는 데이터로 접합된 모형이다.

강릉

Classification tree:

```
snip.tree(tree = kangrng.tree, nodes = c(2790, 175, 345, 1394, 349))
```

Variables actually used in tree construction:

[1] "surface20" "min15" "prec20" "min5" "radiat10" "avg15"

[7] "radiat20" "surface10" "max20" "min20" "surface7"

Number of terminal nodes: 15

Residual mean deviance: 0.2871 = 180.6 / 629

Misclassification error rate: $0.04193 = 27 / 644$

거창

Classification tree:

```
snip.tree(tree = guchang.tree, nodes = c(11, 80, 3))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "max15" "min15" "avg20" "prec20" "prec15" "radiat15"
```

```
[7] "max7" "min5" "radiat10" "prec10" "prec5"
```

Number of terminal nodes: 13

Residual mean deviance: $0.2095 = 132.2 / 631$

Misclassification error rate: $0.03106 = 20 / 644$

고성

Classification tree:

```
snip.tree(tree = kosung.tree, nodes = c(8, 3, 88, 45, 9, 10))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "max20" "avg20" "radiat20" "min20" "prec20"
```

Number of terminal nodes: 8

Residual mean deviance: $0.5641 = 358.7 / 636$

Misclassification error rate: $0.1134 = 73 / 644$

괴산

Classification tree:

```
snip.tree(tree = koesan.tree, nodes = c(40, 166, 82, 11, 4, 3))
```

Variables actually used in tree construction:

[1] "avg10" "avg20" "min7" "max10" "max7" "max20"

Number of terminal nodes: 8

Residual mean deviance: 0.3562 = 226.5 / 636

Misclassification error rate: 0.04969 = 32 / 644

김천

Classification tree:

```
snip.tree(tree = kimchun.tree, nodes = c(11, 3, 21, 41, 4))
```

Variables actually used in tree construction:

[1] "min20" "prec20" "prec15" "radiat15" "radiat20"

Number of terminal nodes: 6

Residual mean deviance: 0.374 = 238.6 / 638

Misclassification error rate: 0.05901 = 38 / 644

남원

Classification tree:

```
snip.tree(tree = namwon.tree, nodes = c(21, 20))
```

Variables actually used in tree construction:

[1] "surface15" "max20" "prec20" "radiat20"

Number of terminal nodes: 5

Residual mean deviance: 0.3788 = 195.9 / 517

Misclassification error rate: 0.09004 = 47 / 522

무주

Classification tree:

snip.tree(tree = muju.tree, nodes = c(870, 216, 55))

Variables actually used in tree construction:

[1] "radiat20" "min15" "min7" "max20" "max10" "avg5" "max5"

[8] "min5" "avg15"

Number of terminal nodes: 11

Residual mean deviance: 0.1269 = 80.35 / 633

Misclassification error rate: 0.02329 = 15 / 644

문경

Classification tree:

snip.tree(tree = munkyng.tree, nodes = c(368, 21, 738, 3, 47, 22))

Variables actually used in tree construction:

[1] "max20" "avg7" "min20" "radiat15" "avg15" "prec20"

[7] "min5" "prec15" "radiat20" "prec10"

Number of terminal nodes: 13

Residual mean deviance: 0.2856 = 180.2 / 631

Misclassification error rate: 0.04037 = 26 / 644

보은

Classification tree:

snip.tree(tree = boeun.tree, nodes = c(45, 23, 21, 44))

Variables actually used in tree construction:

[1] "avg10" "min15" "max20" "min7" "prec15"

Number of terminal nodes: 7

Residual mean deviance: 0.1938 = 123.5 / 637

Misclassification error rate: $0.04348 = 28 / 644$

봉화

Classification tree:

```
snip.tree(tree = bongwha.tree, nodes = c(161, 87, 89, 41, 86))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "max20" "avg20" "min20" "prec20" "min10" "radiat15" "radiat7"
```

```
[8] "min15"
```

Number of terminal nodes: 13

Residual mean deviance: $0.3191 = 201.4 / 631$

Misclassification error rate: $0.06211 = 40 / 644$

삼척

Classification tree:

```
snip.tree(tree = samchk.tree, nodes = c(20, 43, 45, 8, 3, 44, 84, 85, 9))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "radiat20" "min20" "min5" "prec5" "prec20" "prec15" "radiat7"
```

Number of terminal nodes: 10

Residual mean deviance: $0.4129 = 261.8 / 634$

Misclassification error rate: $0.07143 = 46 / 644$

안동

Classification tree:

```
snip.tree(tree = andong.tree, nodes = c(1429, 45, 12, 13, 10, 2856, 95, 5714))
```

Variables actually used in tree construction:

[1] "max10" "min10" "prec20" "min5" "radiat20" "max5"

[7] "prec10" "prec15" "min15" "max20"

Number of terminal nodes: 17

Residual mean deviance: 0.2041 = 128 / 627

Misclassification error rate: 0.03106 = 20 / 644

양양

Classification tree:

```
snip.tree(tree = yangyang.tree, nodes = c(7, 13, 18, 8, 83, 25, 11))
```

Variables actually used in tree construction:

[1] "min15" "avg20" "radiat15" "max20" "surface15" "surface20"

[7] "avg15" "radiat10" "radiat20"

Number of terminal nodes: 15

Residual mean deviance: 0.2228 = 140.1 / 629

Misclassification error rate: 0.03571 = 23 / 644

영덕

Classification tree:

```
snip.tree(tree = yungduck.tree, nodes = c(327, 41, 4, 172, 6, 87, 692, 11))
```

Variables actually used in tree construction:

[1] "min10" "avg10" "max15" "prec20" "prec7" "min7"

[7] "radiat5" "min5" "radiat20" "max10" "prec15"

Number of terminal nodes: 15

Residual mean deviance: 0.3467 = 218.1 / 629

Misclassification error rate: 0.06988 = 45 / 644

원주

Classification tree:

```
snip.tree(tree = wonju.tree, nodes = c(94, 44, 380, 12, 10))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "avg5" "avg20" "max20" "prec20" "min7" "max10"
```

```
[7] "prec10" "min20" "surface20" "avg10"
```

Number of terminal nodes: 12

Residual mean deviance: 0.2637 = 166.6 / 632

Misclassification error rate: 0.0559 = 36 / 644

의성

Classification tree:

```
snip.tree(tree = euisung.tree, nodes = c(43, 88, 20, 19, 356))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "max20" "min15" "avg7" "min10" "radiat20" "avg5"
```

```
[7] "radiat15" "prec20" "radiat10" "max7"
```

Number of terminal nodes: 14

Residual mean deviance: 0.1484 = 93.48 / 630

Misclassification error rate: 0.02019 = 13 / 644

인제

Classification tree:

```
snip.tree(tree = injae.tree, nodes = c(42, 41, 4, 22, 43, 23))
```

Variables actually used in tree construction:

[1] "avg20" "min20" "max15" "avg10"

Number of terminal nodes: 8

Residual mean deviance: 0.421 = 267.8 / 636

Misclassification error rate: 0.09472 = 61 / 644

장수

Classification tree:

```
snip.tree(tree = jangsu.tree, nodes = c(341, 87, 46, 40, 83, 4, 168))
```

Variables actually used in tree construction:

[1] "max20" "max15" "avg10" "min20" "surface10" "prec15"

[7] "radiat10" "avg5" "max7" "prec7" "radiat15" "surface5"

Number of terminal nodes: 17

Residual mean deviance: 0.1935 = 121.3 / 627

Misclassification error rate: 0.03416 = 22 / 644

정선

Classification tree:

```
snip.tree(tree = jungsun.tree, nodes = c(41, 21))
```

Variables actually used in tree construction:

[1] "max15" "max20" "surface20" "prec7" "surface5"

Number of terminal nodes: 6

Residual mean deviance: 0.2639 = 168.4 / 638

Misclassification error rate: 0.0559 = 36 / 644

제천

Classification tree:

```
snip.tree(tree = jaechun.tree, nodes = c(25, 20, 24, 21, 22, 13, 4, 23))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "max7" "prec20" "min5" "prec5" "avg20" "min20" "min15"
```

```
[8] "surface5"
```

Number of terminal nodes: 9

Residual mean deviance: 0.3242 = 205.9 / 635

Misclassification error rate: 0.0528 = 34 / 644

청도

Classification tree:

```
snip.tree(tree = chungdo.tree, nodes = c(85, 187, 161))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "surface15" "min15" "max20" "surface7" "prec10" "avg7"
```

```
[7] "surface20" "radiat20" "min20" "min7" "prec7"
```

Number of terminal nodes: 17

Residual mean deviance: 0.1447 = 90.74 / 627

Misclassification error rate: 0.02174 = 14 / 644

함양

Classification tree:

```
snip.tree(tree = hamyang.tree, nodes = c(1491, 190, 22, 185))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "surface20" "avg20" "radiat20" "prec20" "avg7" "max15"
```

```
[7] "min5" "surface15" "min7"
```

Number of terminal nodes: 14

Residual mean deviance: 0.1964 = 123.8 / 630

Misclassification error rate: 0.03261 = 21 / 644

홍천

Classification tree:

```
snip.tree(tree = hongchun.tree, nodes = c(4, 174, 42, 22, 23, 86))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "surface20" "min15" "avg10" "max20" "radiat5" "radiat7"
```

```
[7] "prec20" "max15"
```

Number of terminal nodes: 10

Residual mean deviance: 0.2902 = 184 / 634

Misclassification error rate: 0.04814 = 31 / 644