최 종
연구보고서

산업부산물을 이용한 포트 및 플러그재배용 상토의 개발 및 시비체계 확립

Developing Container Media for Plug and Pot Plant Production and Establishment of Fertilization Program

연 구 기 관

배재대학교 자연과학대학

농 림 부

최 종 보 고 서

1997 년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 산업부산물을 이용한 포트 및 플러그재배용 상토의 개발 및 시비체계 확립 에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 10부

2. 최종보고서 디스켓 1매

2000. 10. .

주관연구기관 : 배재대학교
자연과학대학

총괄연구책임자 : 정 해 준 (인)

주관연구기관장 : 배재대학교 총장

농 림 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “산업부산물을 이용한 포트 및 플러그재배용 상토의 개발 및 시비체계 확립” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000. 10. .

주관연구기관명 : 배재대학교
총괄연구책임자 : 정 해 준
연 구 원 : 최 종 명
연 구 원 : 권 오 원
연 구 원 : 이 원 근
협동연구기관명 : 충남대학교
협동연구책임자 : 최 우 영

요 약 문

Ⅰ. 제목

산업부산물을 이용한 포트 및 플러그재배용 상토의 개발 및 시비체계 확립

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

포트나 플러그재배는 적절한 상토의 선정에 의해 작물생육이 절대적으로 좌우된다. 상토는 2 3가지 재료를 적절한 비율로 혼합하여 토양 물리·화학성을 조절하며, 물리·화학적으로 균일성을 갖는 상토 재료를 지속적으로 생산해야 혼합상토를 개발할 수 있다. 또 구성재료의 생산에 있어서 에너지 소비량을 감소시키며 물리·화학적 취약성을 보완하는 방향으로 개발되어야 한다.

국내에서 포트 및 플러그 재배시 가장 많이 이용되는 피트모스나 코이어는 국내에서 생산되지 않아 전량 외국에서 수입하고 있으며, 막대한 외화 낭비의 원인이 되고 있다. 수입상토 속에는 pH 교정이나 무기원소 공급 등을 위해 많은 비료가 포함되며 비료비용을 상토비용에 포함시킴으로써 상토 구입비용이 증가되고 결과적으로 생산가가 증가되고 있다. 만약 국내에서 생산되는 산업부산물을 이용하여 혼합상토를 개발하고 이의 사용량이 증가되면 피트모스나 코이어의 수입량이 감소될 수 있으며, 상토 운반비용이나 비료비 등을 절감시킬 수 있기 때문에 생산가를 낮추는 원인이 될 수 있다.

국내에서도 왕겨, 톱밥 및 수피 등의 유기물질을 가공한 후 상토재료로 활용하여 혼합상토를 개발하기 위한 연구가 있어 왔다. 그러나 과거의 연구들은 상토재료의 가공전의 문제점과 가공후의 물리•화학적 특성을 정확하게 설명하고 있지 못하여 혼합상토의 개발에 걸림돌이 되어왔다. 아울러 재료의 물리•화학성을 정확하게 분석한 후 이에 기초하여 플러그, 포트 또는 벤치 재배 등의 재배목적에 적합하도록 혼합상토의 물리•화학적 특성을 조절하

기 위한 혼합비율이 결정되어야 하나 이와 관련된 정확한 연구가 이루어지지 않았다.

인공상토는 아주 적은양의 무기원소를 보유하며 대부분의 인공상토는 무기원소 함량이 아주 낮다. 노지토양에서 작물을 재배할 경우 N-P-K를 위주로 하여 시비가 이루어지나 인공상토를 이용한 작물재배에는 모든 필수 다량 및 미량원소를 시비해야 한다. 그러나 필수원소의 시비는 상토 조제과정에서 혼합상토의 토양분석을 정확하게 하고, 이에 기초하여 기비로 시용될 비료의 종류 및 시비량을 결정해야 하며, 작물재배중 기비로 시용된 비료들의 조성과 이들의 화학 평형작용을 근거로 추비방법이 결정되어야 한다. 또한 시비방법에 최대한 국산비료의 도입량을 증가해야 수입되는 비료량을 절감할 수 있다.

이상과 같이 매년 생산되는 혼합상토의 물리·화학적 특성을 균일하게 조절하고, 이들을 이용해 작물을 재배한다면 작물을 재배할 때마다 동일한 시비방법의 적용이 가능하고, 결국은 작물 생산량 및 농가소득 증가로 연결될 수 있다.

위와 같은 연구개발의 필요성에 따라 왕겨, 톱밥 및 수피 등의 부산물을 가공한 유기상토 재료와 질석 등의 무기물질을 적절하게 혼합하여 포트 및 플러그재배에 적합한 상토를 개발하고, 개발된 혼합상토에 적합한 시비체계를 확립하고자 하였으며 구체적인 내용은 다음과 같았다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 산업부산물의 물리적 특성 분석에 기초한 혼합상토의 개발

건식탈피된 수피, 습식탈피된 수피, 수입원목에서 탈피된 수피, 왕겨, 톱밥 등의 유기물질의 물리적인 문제점을 분석하고, 국산질석, 수입질석, 펄라이트 등의 무기물질의 물리적인 특성을 파악하였다. 유기물질의 물리성을 개선하기 위하여 Wiley, ball 또는 hammer mill로 분쇄하였으며, 무기물질과의 혼합비율을 조절하여 플러그재배 및 포트재배에 적합하도록 토양물리성을 조

절하여 혼합상토를 개발하였다. 개발된 혼합상토의 보수성이 낮을 경우 고흡수성 수지 또는 오아시스를 혼합하여 보수성을 증가시켰다.

2. Lignocellulose 분해 미생물을 이용한 상토 구성재료의 가공

유기 상토재료의 부숙가공을 위한 우량 미생물균주를 확보하였고, 각종 상토재료의 최적부숙 조건을 확립하였다. 또한 각종 유기상토재료의 적정 부숙도를 구명하였으며, 부숙의 속성화 및 미생물 대량증식 방법을 밝혔다.

3. 혼합상토의 화학적인 특성분석에 기초한 시비체계 확립

제 1과제에서 선발한 각종 유기 및 무기상토재료의 화학적 특성을 분석하고 양이온치환용량을 증가시켰다. 제1과제에서 개발한 각종 혼합상토의 기비방법을 확립하였고 또 적절한 추비방법을 확립하였다.

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 산업부산물의 물리적 특성 분석에 기초한 혼합상토의 개발

1) 산업부산물로 생산되는 왕겨, 수피, 톱밥 및 우드칩을 수집하여 토양물리적 특성을 밝히고 물리성을 개선하였다.
2) 수집된 상토 재료들의 물리성을 개선하기 위하여 Wiley mill, hammer mill, ball mill의 분쇄 효과를 밝히고 분쇄된 폐암면을 혼합하여 보수성을 증가시켰다.
3) 부숙된 유기물질과 혼합될 무기 상토재료들도 원산지별로 또는 입도분포별로 토양물리적 특성을 밝혔다.
4) 부숙왕겨와 질석(1:1)을 혼합하여 개발된 상토는 83.3%의 공극율, 73.3%의 용기용수량 및 10.5%의 기상율을 가져 플러그재배에 적합하였으며, 부숙톱밥+질석(1:1, v/v) 혼합상토도 플러그재배에 이용될 수 있는 상토였다. 각종 수피가 혼합된 상토들은 보수성이 낮은데 비해 통기성이 높아

포트재배에 이용될 수 있는 상토라고 판단되었다.

5) 각 혼합상토별로 관수 사이클에 따른 CO2 농도 변화를 분석하였다. 톱밥이 혼합된 상토에서 CO2 농도가 가장 높았고 왕겨가 혼합된 상토에서 가장 낮음을 알 수 있었다.
6) 부숙수피+질석 혼합상토에서 재배된 백합의 초장 및 생체중이 가장 높았으며, 부숙톱밥이 단용으로 이용된 처리에서 생육이 가장 저조하였고 부숙된 유기물질에 질석을 혼합하여 개발된 상토에서 재배된 백합의 생육이 우수하였다.
7) 부숙된 왕겨 및 수피에 고흡수성 수지 및 오아시스를 혼합할 경우 공극율에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 혼합비율이 증가할수록 용기용수량이 증가하고 기상율이 감소하였다. 그러나 기상율은 부숙된 유기물이 혼합된 모든 처리에서 피트모스+질석 대조구보다 2배 이상 높았다. 따라서 부숙된 유기물질을 이용하여 플러그 재배용 상토를 개발할 경우 상기한 물질을 혼합하면 보수성 증가를 통해 관수 횟수를 감소시키고 생산비를 절감할 수 있다고 판단된다.

나. Lignocellulose 분해 미생물을 이용한 상토 구성재료의 가공

1) 전국 각지로부터 수집한 토양, 부엽토, 부후목등 을 분리원으로 하여 섬유소 및 리그닌의 분해능을 가진 미생물 균주를 분리하고 효소활성 및 부숙실험을 거쳐 접종용 균주를 선발하였다. 세균류는 5균주로 중온균 H12, 고온균 B1-2T, B2-6T, 방선균 A78, A2T-SUN 등 이며, 진균류로서는 백색부후균 F3-1, F239 및 T164, 갈색부후균 T190, 연부균 S14 이었다
2) 선발된 접종용 균주의 대량증식을 위한 배양조건을 구명하였다. 일반세균은 발효조를 이용한 액체배양 (Nutrient broth 또는 NB + 0.5% CMC, Luria broth) 법으로 배양이 비교적 용이하였으며, 방선균은 SCA 또는 Benett broth에서 현탁상태로 생육하였다. 진균류는 800 mL PE광구병에 충전한 고체배지 (Woodmeal + wheatbran)에서 균사체의 상태로 배양물을 얻을 수 있었다.
3) 분무접종에 의한 세균류의 접종량은 상토의 발효원료에 대하여 1% (v/v), 진

균류를 혼합접종할 경우에는 2% 수준이 적정하였다.

4) 상토재료의 예비부숙 및 퇴적발효조건을 구명하였다. 소나무목피 2종 (건식 및 습식박피)과 톱밥, 왕겨등을 12 주간 야적하여 예비부숙한 결과, 용매추출물의 함량이 수피 및 톱밥의 경우에는 43.1 44.7%, 왕겨는 26.9% 감소하였다. 퇴적발효를 위한 재료의 혼합비율은 건식 또는 습식 소나무수피 모두 수피+톱밥+왕겨+탈지미강 = 533:72:72:43 이었다. pH 조정(6<)을 위하여 1%의 CaCO3가 필요하였고, 적정수분함량은 약 60%이었다. 수피의 발효 촉진을 위하여는 부재료로서 6% 수준의 탈지미강을 요구하였다. Humic acid, acid-soluble lignin, 그리고 CEC 등은 습식 보다도 건식수피 실험구에서 비교적 좋은 값을 나타내었고, 용매추출물은 최종적으로 1.1 1.4%가 잔존함으로서 발효기간중의 제거율은 71 74%로 계산되었다.

5) 2단 부숙법을 적용한 속성부숙 조건을 구명하였다. 담자균의 정치배양에 의한 1-단계 발효에 2 4주간, 그리고 주로 고온성 세균의 통기배양에 의한 2-단계 발효에 4주간의 2단 부숙법을 적용함으로서 소요기간을 줄일수 있었으며, 이때 용매추출물의 감소율은 건식수피의 경우 62.6%이었다. 1-단계 발효를 위한 접종균주로는 담자균 F3-1 (왕겨에는 F-239 및 T-164)가 효과적이었으며, 2-단계에는 고온성세균 B1-2T, 2-6T와 고온방선균 A2T-SUN의 혼합균주가 효과적이었다.

다. 산업부산물의 물리적 특성 분석에 기초한 혼합상토의 개발

1) 수집된 모든 유기물질의 C/N율을 밝히고 원산지별로 무기원소 함량을 분석하여 작물재배시 발생할 수 있는 무기원소 결핍 및 과잉증상의 가능성을 판단하였다.

2) 목재로부터 생산된 각종 수피, 우드칩, 톱밥 및 왕겨의 냉·온수 및 알칼리추출물의 비율을 분석하여 유기물질에 잔존하는 레진, 탄닌, 터펜닌 등을 간접적으로 분석하였다. 습식수피의 각종 추출물 비율이 건식수피나 수입수피보다 낮았는데, 이는 탈피과정에서 첨가된 온수에 의해 추출물들이 제거되었기 때문이라고 판단되었다.

3) 유기물질을 분쇄할 경우 양이온치환용량이 증가하였는데, 건식수피에서 가장 뚜렷하였고 수입수피, 왕겨, 습식수피, 우드칩의 순으로 증가가 크지

않았다. 그러나 보수성을 증가시키기 위하여 분쇄된 유기물질에 50%의 분쇄된 폐암면을 혼합할 경우 양이온치환용량이 절반수준으로 감소하였다.

4) 무기물질의 토양화학적 특성에서 국산 질석의 pH는 9.3, 수입 질석 6.10 그리고 펄라이트는 약 7.15 였다. 국산 질산은 Ca와 Mg의 함량이 높았으나 수입질석은 국산 질석보다 K 및 Na의 함량이 높았고, Na의 경우 국산 질석보다 35배 이상 높았다.
5) 부숙된 유기물질과 무기물질을 혼합하여 상토를 개발하였는데, 질석을 혼합한 경우 pH가 상승하였으나 양이온치환용량은 피트모스+질석 대조구에 근접하였다. 부숙된 왕겨나 톱밥은 대조구와 유사한 토양완충력을 보였으나 부숙된 각종 수피는 완충력이 낮았다. 부숙된 유기물질에 질석을 혼합할 경우 완충능의 저하가 크지 않았으나 펄라이트를 혼합할 경우 토양완충능이 크게 저하되었다.
6) 개발된 혼합상토의 토양산도 교정을 위하여 왕겨+펄라이트 혼합상토는 탄산석회 1.5g/L 그리고 국산 고토석회 3.0g/L의 비율로, 수피나 톱밥이 혼합된 경우 탄산석회는 1.5g/L 그리고 국산 고토석회는 6.0g/L로 시비해야 함을 알 수 있었다.
7) 개발된 유기물질과 질석이나 펄라이트를 혼합하여 개발된 상토에서는 용성인비나 용과린 모두 4.0 6.0g/L의 비율로 시비할 때 국화나 백합의 생육이 증가하였다. Osmocoat나 CDU 복합비료는 모두 4.0g/L의 비율로 시비한 처리에서 생육이 우수하였다.
8) 부숙된 유기물질과 고흡수성 수지를 혼합하여 개발된 상토에서 플러그 재배할 경우, stage 2부터 20-10-20 복합비료를 질소 기준으로 80ppm이 되도록 농도를 조절하고, stage 3부터는 120ppm으로 농도를 조절하여 매주 1회 시비하는 것이 적당하다고 판단되었다.
9) 부숙된 유기물질을 혼합하여 조제된 상토에서 재배된 백합의 생육이 미국에서 수입된 Sunshine mix #1이나 네덜란드산 TKS 상토에서 재배된 백합의 생육과 큰 차이를 보이지 않았다. 유기상토 재료 중 왕겨, 톱밥

및 수피는 부숙비용을 포함한 가격이 피트모스 보다 월등히 저렴하여 왕겨는 5배, 톱밥 및 수피는 각각 3.1 및 2.7배 저렴하였다.

2. 활용에 대한 건의

가. 최근에도 분화나 플러그 생산시 노지토양을 혼합하여 상토로 조제하는 농가가 있어 상토의 균일성을 확립하지 못하고 있다. 결과적으로 작물생육이 일정하지 않아 농가의 소득감소로 연결되고 있는바 이와 관련된 지도가 요구된다.

나. 혼합상토 조제시 포함되는 유·무기물질의 토양 물리·화학적 특성에 관해 생산농가의 이해가 부족하므로 이에 대한 지도가 필요하다.

다. 개발된 유기물질의 부숙 기술은 분화와 플러그 생산농가에 보급하여 반드시 활용하도록 홍보와 지도가 필요하다.

라. 부숙을 속성화 시키기 위하여는 부숙비용이 많이 소요되고 적정부숙도 판단에 전문지식이 필요하다. 결과적으로 상토비용이 증가할 수 있는 원인이 되므로 분리·동정된 미생물을 이용하여 자연부숙을 유도한다면 오랜 부숙기간을 요구함에도 불구하고 부숙비용을 절감할 수 있을 것이다.

마. 유·무기물질을 혼합하여 개발된 혼합상토를 이용하여 작물을 재배할 경우 각각 다른 시비 프로그램을 적용해야 하는데, 농가의 이해가 부족한 현실이므로 이에 대한 교육 및 지도가 필요하다.

SUMMARY

The objectives of this research were to develop growing media by composting organic materials such as pine bark, saw dust and rice hull, then blending the organic materials with inorganic materials such as vermiculite, perlite and ground rockwool.

1. Development of root media based on soil physical properties of industrial by-products.

The organic materials were ground with Wiley mill, hammmer mill or ball mill, then were composted to improve the characteristics in soil physical properties. The inorganic materials were also classified based on the place of origin and particle size distribution, then characteristics in soil physical properties were determined.

The container media developed by blending with composted rice-hull and vermiculite (1:1, v/v) had 83.3, 73.3 and 10.5% in total porosity, container capacity and air space, respectively, suggesting that it be suitable for plug production. The container media developed by blending of composted saw dust and vermiculite (1:1) was also suitable for plug production. However, the media containing pine bark neverthless of place of origin had low container capacity and high air space suggesting that those be suitable for pot plant production.

In the investigation of changes of CO2 concentration based on watering cycle, the media containing composted saw dust had the lowest and that containing composted rice hull had the highest CO2 concentration in root media. The root media developed by blending of composted pine bark and vermiculite (1:1) showed good results in growth characteristics of pot lily and

that containing composted saw dust only were not effective in lily growth. Incorporation of vermiculite to composted organic materials in developing growing media were resulted in higher crop growth than those of perlite to composted organic materials.

The incorporation of high water absorbing resin to composted rice hull and pine bark were resulted in increased container capacity and decreased air space, but total porosities were remainded in similar. All root media containing composted organic materials had 2 times as high as peatmoss+vermiculite media in air space. These results indicated that the incorporation of high water absorbing resins would be resulted in decreased watering times and production cost by increasing moisture retention capacities of root media.

2. Composting of raw materials for the root media by employing the lignocellulose-degrading microorganisms

Ligninolytic and cellulolytic microorganisms were isolated from the soil, humus and rotten wood log which collected from all over the country. Inoculant strains for the compost starter were selected among the isolates by testing their enzyme activities and applicabilities to the composter: 5 bacterial strains which are *Bacillus subtilis* H12, thermophilic B1-2T and B2-6T, and actinomycetes A78 and A2T-SUN, 5 fungal strains which are white-rot F3-1, F239 and T164, brown-rot T190, and soft-rot S14.

Cultural conditions for mass production of the starter strains were elucidated. Cell suspensions were easily obtained by cultivating the bacterial strains in Nutrient broth + 0.5% CMC and by growing the actinomycetes in starch casein or Benett broth using a jar fermentor. Mycelial masses of the fungal strains were cultivated well on the solid media of woodmeal + wheatbran using 800-ml polyethylene bottles.

The adequate amounts of starters to the compost materials were: 1 percent

(v/v) of bacterial suspension, approximately 109 ml-1, by spraying and 2 percent of fungal mycelia by mixing.

Conditions for preliminary piling and heap composting were studied. Wood barks from pine by dry and wet methods, sawdusts, and ricehulls were pretreated by piling them in bulk for 12 weeks under a greenhouse condition: the contents of alcohol-benzene extracts were decreased by 43.1 44.7% for the wood barks and sawdusts, and 26.9% for the ricehulls during the period. Mixing ratios of the materials for heap composting were wood barks:sawdusts:ricehulls:defatted ricebran = 533:72:72:43. Addition of 1% calcium carbonate was required to adjust pH above 6, and appropriate initial moisture contents of the mixtures for composting were approximately 60 percent. The values of humic acid, acid-soluble lignin and capacity of exchangeable cations were better for the wood barks from pine by dry method than for those by wet method. The final concentrations of alcohol-benzene extracts were 1.1 1.4%, as calculated that the contents were decreased by 71 74%.

Two-stage fermentation was employed for rapid composting. Two to four weeks were required for the 1st-stage of static fermentation by the basidiomycetes, the strain F3-1, and then four weeks were required for the 2nd-stage of agitated fermentation by the thermophilic bacteria, the strains B1-2T, 2-6T, and 2T-SUN. The content of alcohol-benzene extracts was decreased by 62.6% for the wood barks from pine by dry method.

3. Establishment of fertilization programs based on chemical properties of composted organic materials

Raw organic materials had high C/N ratio which would be a cause of nitrogen deficiency when those be available for container grown crops. Pine barks, saw dust and rice hull had high cold water, hot water and alkali extracts indicating that those materials had high resin, tannin and terpentine contents.

The grinding of organic materials were resulted in increased cation exchange capacity. The highest increase was achieved in dry peeling bark followed by imported bark, rice hull, wet peeling bark and wood chip. But the blending of ground rockwool to the organic materials resulted in 2 times as low as the ground organic materials in cation exchange capacities. The domestic verniculite, imported vermiculite and perlite had 9.3, 6.10 and 7.15 in soil pH, respectively. Domestic vermiculite had higher Ca and Mg contents and less K and Na contents than imported vermiculite.

The root media developed by blending of organic materials and vermiculite had higher root medium pH than peatmoss+vermiculite media. Those by blending of organic materials and perlite had similar root medium pH to peatmoss+vermiculite media. Composted rice hull and saw dust had higher soil buffering capacity than peatmoss+vermiculite media. Blending of perlite to organic materials were resulted in decreased soil buffering capacity, but those of vermiculite were remainded in similar buffering capacity to peatmoss+vermiculite media.

In correction of root medium pH, the medium developed by blending of composted rice hull and perlite should be fertilized with a rate of 1.5g/L in calcium carbonate and 3.0g/L in domestic dolomite. But those containing composted pine bark or saw dust should be fertilized with a rate of 1.5g/L in calcium carbonate and 6.0g/L in domestic dolomite. The root media developed by blending vermiculite or perlite to composted organic materials were required to be fertilized with a rate of 4.0 6.0g/L of fused phosphate or fused superphosphate. Chrysanthmums and lilies also showed good crop growth when those be fertilized with a rate of 4.0g/L to developed root media.

In plug production using the root media containing composted organic materials and high water absorbing resins, the crops should be fertilized with

80ppm of 20-10-20 complete fertilizer at stage 2 and with 120ppm of that at stage 3.

The crop growth of lily in root media containing composted organic materials were similar to those in imported Sunshine mix #1 or TKS media. The price of root media incorporated with composted rice hull, saw dust and pine bark per 1.5L pot in pot lily production were 5, 3.1 and 2.7 times as low as those of Sunshine #1 and TKS media.

CONTENTS

목 차

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성

포트나 플러그재배는 적절한 상토의 선정에 의해 작물생육이 절대적으로 좌우된다. 상토는 2 3가지 재료를 적절한 비율로 혼합하여 토양 물리·화학성을 조절하며, 물리·화학적으로 균일성을 갖는 상토 재료를 지속적으로 생산해야 혼합상토를 개발할 수 있다. 또 구성재료의 가공에 있어서 에너지 소비량을 감소시키며 물리·화학적 취약성을 보완하는 방향으로 개발되어야 한다. 개발된 상토재료를 이용하여 혼합상토를 개발 할 때에도 재배 목적이나 용기의 특성에 맞도록 토양 물리성이 조절되고 적절한 기비 방법 및 추비 방법이 확립되어야 안정된 작물생산이 가능할 것이다.

국내에서 포트 및 플러그재배시 가장 많이 이용되는 피트모스나 코이어는 국내에서 생산되지 않아 전량 외국에서 수입하고 있으며, 막대한 외화 낭비의 원인이 되고 있다. 수입상토 속에는 pH 교정이나 무기원소 공급 등을 위해 많은 비료가 포함되며 비료 구입비용을 상토비용에 포함시킴으로써 상토 구입비용이 증가되고 결과적으로 생산가가 증가되고 있다. 산업부산물을 이용하여 국산상토를 개발하고 이의 사용량이 증가되면 피트모스나 코이어의 수입량이 감소될 수 있으며, 상토 운반비용이나 비료비 등을 절감시킬 수 있기 때문에 생산가를 낮추는 원인이 될 수 있다.

국내에서도 왕겨, 톱밥 및 수피 등의 유기물질을 가공한 후 상토재료로 활용하여 혼합상토를 개발하기 위한 연구가 있어 왔다. 그러나 과거의 연구들은 상토 재료의 가공전의 문제점과 가공후의 물리•화학적 특성을 정확하게 설명하고 있지 못하며, 플러그, 포트 또는 벤치재배 등의 재배목적에 적합한 상토개발과 이들의 물리•화학적 특성에 관한 연구가 이루어지지 않았다. 또한 인공상토는 아주 적은양의 무기원소를 보유하며, 노지토양의 경우 N-P-K를 위주로 하여 시비가 이루어지나 인공상토는 모든 필수 다량 및 미량원소를 시비해야 한다. 따라서 혼합상토 개발과정에서 정확한 토양분석을 필요로 하며 이에 기초하여 기

비로 일정 성분이 혼합된 후에야 작물 재배가 가능하다. 또 비료성분 조성과 이들의 화학 평형작용에 의한 무기원소의 식물 이용도가 정확하게 분석되고 기비방법에 국산비료를 최대한 도입해야 한다.

매년 물리 및 화학적 특성이 균일한 상토재료의 생산이 가능할 경우 혼합상토의 개발이 가능하며, 무기원소 함량에 기초한 적정량의 기비가 혼합될 경우 적절한 추비 방법이 확립될 수 있고, 작물재배시 관수조절 및 시비 프로그램 확립이 가능하다고 할 수 있다.

제 2 절 연구개발의 목적과 내용

위와 같은 연구개발의 필요성에 따라 다음과 같이 왕겨, 톱밥 및 수피 등의 부산물을 가공하여 포트 및 플러그재배에 적합한 상토를 개발하고, 개발된 혼합상토에 적합한 시비체계를 확립하고자 하였으며 구체적인 내용은 다음과 같았다.

1. 산업부산물의 물리적 특성 분석에 기초한 혼합상토의 개발
   가. 미가공된 상토 구성 재료의 물리적인 문제점 분석 및 물리성 개선
   나. 재배 목적 및 용기의 크기에 적절한 혼합 상토 개발
   다. 개발된 혼합상토의 효능 시험 및 물리성 증진 방안 연구

2. Lignocellulose 분해 미생물을 이용한 상토 구성재료의 가공
   가. 상토재료의 부숙가공을 위한 우량 미생물균주의 확보
   나. 각종 상토재료의 최적 부숙조건 확립
   다. 상토재료의 적정 부숙도 구명
   라. 부숙의 속성화 및 미생물 대량증식

3. 혼합상토의 화학적인 특성 분석에 기초한 시비체계 확립
   가. 미가공된 상토재료의 화학적 특성 분석 및 화학성 개선
   나. 개발된 상토에 적합한 기비방법 확립
   다. 기비방법에 국산비료의 도입 및 적절한 추비방법 확립

제 2 장 산업부산물의 물리적 특성 분석에 기초한 혼합상토의 개발

제 1 절 미가공된 상토재료의 물리적인 문제점 분석 및 물리성 개선

1. 재료 및 방법

가. 미가공된 상토재료의 물리적인 문제점 분석

6종류의 유기 상토재료(건식수피, 습식수피, 수입수피, 톱밥, 왕겨, 우드칩)를 확보한 후 미가공된 재료의 입도분포를 조사하였고, 수집된 상토재료의 공극률, 용기용수량, 기상율, 진비중, 가비중 및 347.5ml의 알루미늄 실린더에 잔존하는 수분량을 조사하였다. 피트모스와 질석이 1:1(v/v)로 혼합된 물질을 대조구로 하였으며, 통기성 및 보수성 등 토양물리성에 관련된 문제점을 비교 분석하므로 써 문제점을 밝혔다.

나. 상토재료의 분쇄 장애물질 제거 방법 연구

6종류의 상토재료는 일차로 Wiley mill과 hammer mill로 분쇄하였고, 왕겨는 다시 ball mill로 분쇄하였다. 6종류의 상토재료를 Wiley mill과 hammer mill로 분쇄하는 과정은 문제가 없었으나, 왕겨의 경우 Si 함량이 높고 Si가 ball mill의 roller를 파손시키는 문제점을 갖고 있다. 따라서 KOH 등의 무기염을 용해시켜 pH를 약 12로 변화시킨 후 왕겨를 다양한 시간동안 침지시키므로써 제거하였다.

다. 상토재료의 물리성 개선방법 연구

나.에서 설명한 바와 같이 분쇄방법과 분쇄횟수를 조절하므로써 상토재

료의 입도분포를 조절하고 보수성을 증가시켰으며, 입도분포 조절에 의한 보수성 증가가 만족스럽지 못한 경우, 분쇄시킨 폐암면의 혼합비율을 조절하므로써 통기성을 희생시키지 않으면서 보수성을 증가시킬 수 있는 혼합비율을 밝혔다.

2. 결과 및 고찰

가. 미가공된 상토구성 재료의 물리적인 문제점 분석.

<표 1-1> 분쇄전과 Wiley mill을 이용한 3회 분쇄후 습식, 건식 및 수입 수피 그리고 우드칩의 입도분포(%).

입도 분포	습식수피		건식수피		수입수피		우드 칩	
	전	3회	전	3회	전	3회	전	3회
> 5.6mm	39.7	0.04	37.87	0.06	86.51	0.04	0.19	0.01
5.6-4mm	12.66	0.05	10.14	0.34	6.03	0.19	8.71	0.03
4-2.8mm	12.99	0.17	11.04	4.80	2.70	1.75	25.43	1.23
2.8-2.0mm	9.34	4.04	9.33	23.88	1.43	14.41	23.31	13.80
2.0-1.4mm	6.83	9.47	7.68	24.04	0.91	22.67	17.63	34.44
1.4-1.0mm	4.83	12.98	5.70	14.49	0.52	17.12	11.37	23.71
1.0-0.71mm	3.65	15.69	4.45	8.85	0.26	11.56	6.11	12.65
710-500㎛	2.58	15.67	3.26	5.79	0.23	7.91	3.98	7.28
500-355㎛	1.93	13.09	2.48	4.20	0.21	5.44	1.87	3.86
355-250㎛	1.50	9.94	2.19	3.10	0.24	4.50	0.84	1.81
250-180㎛	1.04	6.73	1.63	2.40	0.22	3.36	0.35	0.86
180-106㎛	1.19	6.47	1.70	5.01	0.33	4.00	0.18	0.25
< 106㎛	1.67	5.66	2.53	3.05	0.39	7.05	0.03	0.08

Wiley mill을 이용한 유기상토 재료의 분쇄 결과는 표 1-1에서 보는 바와 같다. 습식수피의 경우 분쇄전에 직경 5.6mm 이상인 입자가 39.7%였으나 3회 분쇄후 355㎛ 1.4mm 사이의 입자가 증가하였다. 분쇄전 입도분포는 건식수피가 습식수피보다 2.8mm 이상의 입자비율이 적었으나 3회 분쇄시 1.0

2.8mm 사이의 입자가 우점하여 습식수피보다 직경이 큰 입자의 비율이 높았다. 수입수피는 분쇄전 입자직경이 매우 커서 5.6mm 이상이 약 87%를 점유하고 습식수피나 건식수피에 비해 2배이상 높았으나, Wiley mill을 이용한 3회 분쇄에 의해 0.71-4mm의 직경을 가진 입자들이 우점하는 경향이었다.

<표 1-2> 분쇄전과 hammer mill을 이용한 3회 분쇄후 습식수피, 건식수피, 수입수피 및 우드 칩의 입도분포(%).

입도 분포	습식수피		건식수피		수입수피		우드 칩	
	전	3회	전	3회	전	3회	전	3회
> 5.6mm	39.7	7.67	37.87	5.48	86.51	11.45	0.19	0.27
5.6-4mm	12.66	13.75	10.14	8.68	6.03	13.40	8.71	8.79
4-2.8mm	12.99	22.41	11.04	13.20	2.70	15.50	25.43	25.99
2.8-2.0mm	9.34	17.38	9.33	12.56	1.43	13.87	23.31	24.04
2.0-1.4mm	6.83	12.11	7.68	12.04	0.91	11.41	17.63	17.24
1.4-1.0mm	4.83	8.65	5.70	10.56	0.52	8.66	11.37	9.81
1.0-0.71mm	3.65	6.33	4.45	9.49	0.26	6.89	6.11	5.67
710-500 μm	2.58	4.48	3.26	8.43	0.23	5.21	3.98	3.45
500-355 μm	1.93	3.02	2.48	6.97	0.21	4.18	1.87	2.09
355-250 μm	1.50	1.91	2.19	5.67	0.24	3.30	0.84	1.33
250-180 μm	1.04	1.05	1.63	3.58	0.22	2.17	0.35	0.66
180-106 μm	1.19	0.77	1.70	2.40	0.33	1.95	0.18	0.47
< 106 μm	1.67	0.46	2.53	0.94	0.39	2.02	0.03	0.21

우드칩은 분쇄전 입도 분포에서 1.0 5.6mm의 직경을 가진 입자들이 우점하는 경향이었으며 분쇄전과 분쇄후의 입도 분포에서의 차이가 건식, 습식 및 수입수피보다 뚜렷하지 않아 상대적으로 분쇄효과가 낮음을 알 수 있다.

Hammer mill을 이용한 습식수피의 분쇄시 Wiley mill을 이용한 분쇄에 비해 5.6mm 이상의 직경을 가진 입자의 구성비는 감소하였으나 3회 분쇄 후에도 1.4mm 이상의 입자가 약 90%를 차지하고 있다. 또 건식수피 및 수입수피의 분쇄후 입도분포 조사에서도 전반적인 경향은 습식수피와 유사하였고, 직경이 1.0mm 이상인 입자들이 우점하는 경향이었다. Hammer mill을 이용한

우드칩의 분쇄시 분쇄전 또는 3회 분쇄 후에도 1.0mm 이상의 직경을 가진 입자들이 우점하는 경향이었으며 Wiley mill에 의해 분쇄한 결과와 유사하였다.

<표 1-3> Wiley, hammer 그리고 ball mill을 이용한 왕겨의 3회 분쇄시 분쇄방법에 따른 왕겨의 입도분포(%).

입도 분포	분쇄 전	Wiley mill	Hammer mill	Ball mill
> 5.6mm	0.70	0.02	0.03	0.4
5.6- 4mm	0.84	0.02	0.08	0.7
4- 2.8mm	7.74	0.92	3.01	2.1
2.8- 2.0mm	54.20	16.14	38.96	7.3
2.0- 1.4mm	26.41	29.54	37.55	17.1
1.4- 1.0mm	4.87	27.81	11.80	23.5
1.0- 0.71mm	1.60	13.39	4.95	19.8
710- 500 μm	0.88	5.10	1.59	12.7
500- 355 μm	0.68	3.26	0.96	7.6
355- 250 μm	0.57	2.04	0.53	4.6
250- 180 μm	0.46	0.86	0.23	1.9
180- 106 μm	0.43	0.50	0.18	1.2
< 106 μm	0.61	0.39	0.12	1.2

왕겨는 분쇄전에 1.0 4.0mm 사이의 직경을 가진 입자들이 90%이상으로 분석되었고, 원예용 상토로 이용되는 질석과 비슷한 직경을 가진 것으로 판단되었다. 상토재료로서 유기물질를 이용하는 주된 목적이 보수성 및 양이온 치환용량의 증가이기 때문에 분쇄방법이나 분쇄횟수를 조절하여 작은 입자의 비율을 증가시켜야 할 것으로 판단되었다.

Wiley mill을 이용한 3회 분쇄시 0.71 1.4mm의 입자비율이 증가하였으나, hammer mill을 이용한 3회 분쇄는 0.71- 2.0mm사이의 직경을 가진 입자들의 점유비율에서 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 hammer mill을 이용한 분쇄방법보다 Wiley mill을 이용한 분쇄 방법이 왕겨의 분쇄에 훨씬 효과적임을

나타내고 있다.

Ball mill을 이용한 3회 분쇄시 분쇄전 2.0 2.8mm의 직경을 가진 입자비율이 54.2%였으나 3회 분쇄시 7.3%로 감소하였다. 반면 355 500μm의 직경을 가진 입자들은 분쇄전 0.68%의 점유비율에서 3회 분쇄시 7.6%의 점유비율을 가짐으로써 ball mill에 의해 왕겨가 쉽게 분쇄되는 것을 알 수 있었다. 따라서 Wiley mill이나 hammer mill의 결과를 고려할 때 왕겨의 분쇄는 ball mill에 의해 가장 효과적으로 수행될 수 있음을 알 수 있었다.

<표 1-4> 분쇄방법과 분쇄횟수에 따른 유기재료의 토양 물리성 변화.

상토재료	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존수분량 (mL)
피트모스+질석 (1:1)	2.04	73.58	67.91	5.67	0.20	0.77	235.99
습식수피	1.63	84.83	34.64	50.20	0.16	1.05	120.4
W 3	1.45	72.26	64.12	8.14	0.25	0.91	222.8
H 3	1.43	79.51	46.95	32.56	0.19	0.94	163.2
건식수피	1.42	79.70	42.13	37.57	0.18	0.89	146.4
W 3	1.48	73.69	55.61	18.09	0.18	0.70	193.2
H 3	1.55	73.53	53.14	20.39	0.23	0.86	184.7
수입수피	1.21	80.73	25.85	54.88	0.20	1.02	89.8
W 3	1.47	66.85	56.58	10.28	0.31	0.95	196.6
H 3	1.01	70.35	44.28	26.06	0.29	0.96	153.9
우드 칩	1.48	85.37	41.96	43.41	0.16	1.11	145.8
W 3	1.45	83.68	48.49	35.19	0.18	1.09	168.5
H 3	1.47	83.06	42.49	40.58	0.18	1.10	147.6
왕겨	1.37	87.75	20.70	67.05	0.10	0.80	71.9
W 3	1.42	91.85	31.46	60.39	0.13	1.63	109.3
H 3	1.37	88.44	19.75	68.69	0.11	0.93	68.6
B 3	1.75	88.02	52.79	35.23	0.18	1.51	183.4

W 3: Wiley mill로 3회분쇄, H 3: hammer mill로 3회 분쇄,

B 3: ball mill로 3회 분쇄.

미 가공된 상토재료의 토양 물리적 특성은 표 1-4에 나타낸 바와 같다. 공극율은 피트모스와 질석이 1:1로 혼합된 상토에서 약 74%로 조사되었다. 건식수피(79.7%)를 제외한 모든 상토재료가 80% 이상의 높은 공극율을 갖는 것으로 조사되었고, 기상율에서도 대조구(피트모스+질석)가 5.67%인 반면 톱밥은 11.0%, 왕겨는 67.1%였다. 따라서 공극율이나 기상율을 고려할 때 수집된 상토재료 모두 대조구에 비해 통기성이 월등히 양호함을 알 수 있었다. 그러나 용기용수량은 대조구가 67.9%였으나 수입수피가 25.9%, 왕겨가 20.7%로 조사되었고, 346.5ml의 core에 잔존하는 수분량(residual water)도 대조구가 236ml, 수입수피는 90ml, 그리고 왕겨는 72ml로 분석되어 대조구에 비해 보수성이 월등히 낮았다. 그러나 상토의 수송력 또는 작물재배중 상토의 식물지주력 등에 대한 지표로 이용되는 가비중에서는 왕겨를 제외한 모든 처리에서 특별한 차이를 나타내지 않았다.

습식, 건식 및 수입수피도 정도의 차이는 있었지만 분쇄에 의해 공극율 및 기상율은 감소하고 용기용수량 및 잔존수분량이 증가하였다. 또 우드 칩의 경우는 각 분쇄방법에서 3회 분쇄후 토양 물리성이 개선되기는 하였으나, 보수성 및 잔존수분량의 증가량이 각종 수피에서의 증가보다 뚜렷하지 못하였다. 따라서 우드 칩의 경우는 상토재료로 바람직하지 못하다고 판단되었다.

표 1-4에 나타난 결과들을 고려할 때 미가공된 상토재료들은 대조구에 비하여 통기성은 월등히 좋으나 보수성이 떨어지는 것으로 조사되었다. 이를 극복하기 위한 방안으로 다양한 종류의 분쇄기를 이용하여 직경이 작은 입자의 점유비율을 증가시키므로써 기상율을 감소시키고 보수성을 증가시킬 수 있다고 판단되었다.

나. 상토재료의 분쇄 장애물질 제거 방법 연구

왕겨는 수피나 우드칩과 달리 분쇄전 1.4 2.8mm의 직경을 가진 입자가 점유하는 비율이 약 80%이며, 1.4mm 이하의 직경을 갖는 입자가 약 20% 정도이다. 왕겨의 경우 Wiley mill이나 hammer mill로 분쇄하기가 대단히 어렵다. 그 이유는 실험실에서 이용하는 소규모의 Wiley mill을 이용할 경우는 분

쇄에 큰 어려움이 없으나, 큰 Wiley mill을 이용할 경우 회전하는 mill의 날과 바깥 몸체와의 간격이 커져서 작은 입자를 가진 왕겨가 회전하는 날에 충격을 받기가 쉽지 않다. 또 왕겨의 비중이 낮기 때문에 mill의 날이 회전하면서 발생시키는 바람에 의하여 부유하고, 회전하는 Wiley mill의 날에 충격을 받아도 쉽게 수축되고 충격이 완화되어 부서지지 않기 때문으로 판단되었다.

한편 hammer mill을 이용할 경우도 왕겨의 비중이 낮기 때문에(진비중 0.80, 가비중 0.10) 회전하는 hammer mill이 강한 바람을 일으키고 강한 바람에 의해 왕겨가 비산하여 분쇄되기에 충분한 충격을 받지 못한다.

그러므로 왕겨의 분쇄에는 ball mill이 가장 적합하다고 판단하였는데, 여러 문헌에서 언급한 바와 같이 왕겨는 많은 양의 Si를 함유하고 있고 Si의 강도가 높기 때문에 ball mill의 roller가 파손될 것이 우려되었다. 왕겨에 존재하는 Si를 효과적으로 제거하기 위하여 KOH를 용해시켜 pH를 강알칼리로 조절한 용액속에 다양한 시간 침지한 후 잔존하는 Si함량을 분석하였다(표 1-5). 대조구 즉, 무처리된 왕겨는 Si함량이 32.5% 였는데 비해 1%의 KOH 용액에 침지할 경우 시간이 길어짐에 따라 약간 감소하는 경향이었으나, 모든 처리에서 20% 이상의 높은 Si 함량을 갖는 것으로 분석되었다. 5% KOH 용액에 침지시킨 경우도 모든 처리에서 15% 이상의 높은 Si 함량을 보였으며, 10%의 KOH 용액에 침지시킬 경우 10% 미만의 Si 함량을 갖는 것으로 분석되었다. 따라서 왕겨에 존재하는 Si를 효과적으로 제거하기 위하여는 10% 이상의 KOH 농도에 1시간 이상 침지시켜야 될 것으로 판단되었다.

<표 1-5> KOH의 농도 및 침지시간에 따른 왕겨의 Si 잔존량.

Treatment	시 간 (hr)	Si 함 량 (%)
대 조 구		32.50
KOH 1%	1	23.75
	2	23.75
	3	22.75
	4	21.75
KOH 5%	1	21.50
	2	18.50
	3	18.25
	4	15.50
KOH 10%	1	9.75
	2	9.50
	3	9.50
	4	8.25

다. 상토재료의 물리성 개선방법 연구

Wiley mill과 hammer mill로 분쇄된 습식수피는 앞에서 설명한 바와 같이 대조구인 피트모스+질석(1:1, v/v) 혼합구에 비해 통기성은 높으나 보수성이 떨어진다. 따라서 보수성을 증가시키기 위하여 분쇄된 폐암면을 분쇄된 각종 유기물질에 혼합한 후 변화된 토양물리성 변화를 측정하였다(표 1-6). 공극율은 대조구가 73.6% 습식수피가 84.8%로 측정되었으나 폐암면의 혼합비율을 5%로 조절함에 따라 Wiley mill로 분쇄된 습식수피는 약간 증가하였고, hammer mill로 분쇄된 습식수피는 감소하는 경향이었다. 폐암면의 혼합됨에 따라 용기용수량은 증가하고 기상율은 감소하여 통기성이 감소하고 보수성이 증가하는 것으로 조사되었다. 대조구와 가장 유사한 토양물리성을 갖는 처리는 Wiley mill로 분쇄된 습식수피에 폐암면이 50% 혼합된 처리였으며 대조구보다 용기용수량은 약간 낮으나 기상율은 3배가량 높아, 보수성은 대조구

와 유사하고 통기성은 매우 양호한 것으로 측정되었다.

<표 1-6> 분쇄방법과 폐암면의 혼합비율에 따른 각종 수피의 토양 물리성 변화.

상토재료	함수량	공극율 (%)	용기용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존수분량 (mL)
피트모스+질석 (1:1)	2.04	73.58	67.91	5.67	0.20	0.77	235.9
습식수피	1.63	84.83	34.64	50.20	0.16	1.05	120.4
W 50%	1.65	81.90	63.85	18.05	0.24	1.34	221.9
H 50%	2.17	69.60	51.84	17.76	0.38	1.29	180.1
건식수피	1.42	79.70	42.13	37.57	0.18	0.89	146.4
W 50%	2.22	80.56	66.05	14.51	0.23	1.19	229.5
H 50%	2.31	78.00	62.62	15.38	0.28	1.26	217.6
수입수피	1.21	80.73	25.85	54.88	0.20	1.02	89.8
W 50%	2.10	81.05	67.69	13.36	0.26	1.38	235.2
H 50%	1.92	75.68	61.50	14.18	0.35	1.42	213.7

약자: W: Wiley mill, H: hammer mill, B: ball mill로 3회 분쇄.

건식수피와 폐암면의 혼합에 의한 토양물리성 변화는 건식수피의 분쇄방법에 따라 약간의 차이가 있기는 하였지만, 암면의 혼합비율이 증가하므로써 용기용수량은 증가하고 기상율은 감소하는 경향을 나타내었다. Wiley mill 또는 hammer mill로 분쇄된 건식수피에 암면이 각각 50% 혼합된 경우 피트모스+질석 대조구와 가장 근사한 토양물리성을 갖는 것으로 측정되었다. 또 암면이 혼합됨에 따라 진비중이 약간 증가하였는데, 가비중은 Wiley mill로

분쇄된 경우는 증가하고 hammer mill로 분쇄된 경우는 감소하는 경향이었다.

수입수피도 모든 물리성 분석에서 건식수피와 유사한 경향이었으나 폐암면과의 혼합비율을 동일하게 한 경우 건식수피에 비해 모든 물리적인 특성이 떨어지는 경향이었다. 용기용수량 상태에서와 347.5ml core속에 존재하는 잔존수분량(residual water)은 Wiley mill로 분쇄되고 30% 또는 50%로 폐암면이 혼합된 처리와 hammer mill로 분쇄되고 50% 암면이 혼합된 처리에서 피트모스+질석 대조구와 근사한 값을 갖는 것으로 측정되었다.

<표 1-7> 분쇄방법과 폐암면의 혼합비율에 따른 유기재료의 토양물리성 변화.

상토재료	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존수분량 (mL)
피트모스+질석 (1:1)	2.04	73.58	67.91	5.67	0.20	0.77	235.9
우드칩	1.48	85.37	41.96	43.41	0.16	1.11	145.8
W 50%	1.56	86.39	66.74	19.65	0.22	1.72	231.9
H 50%	2.13	81.40	57.26	24.13	0.30	1.59	199.0
왕겨	1.37	87.75	20.70	67.05	0.10	0.80	71.9
W 50%	1.57	91.19	51.19	40.00	0.18	2.07	177.9
H 50%	2.49	88.85	64.02	24.83	0.24	2.23	222.5
B 50%	1.75	88.79	62.97	25.82	0.22	2.00	218.8
톱밥	1.48	83.93	72.91	11.02	0.19	1.20	253.4
톱밥 50%	2.42	85.79	74.48	11.31	0.23	1.70	258.8

약자: W: Wiley mill, H: hammer mill, B: ball mill로 3회 분쇄.

우드칩의 분쇄방법과 암면의 혼합비율에 따른 토양물리성 변화는 암면혼합에 의해 용기용수량이 증가하여 보수성이 증가함을 나타내고 있으며 전반적인 경향은 수입수피와 유사하였다(표 1-7).

Wiley mill과 hammer mill로 분쇄된 후 다양한 비율로 폐암면을 혼합한 경우 실험한 왕겨의 모든 처리에서 약 89% 이상의 높은 공극율을 보여 통기성이 우수함을 나타내고 있다. 통기성의 직접적인 지표인 기상율도 폐암면 혼합에 의해 감소하는 경향이긴 하였으나, Wiley mill이나 hammer mill로 분쇄된 후 50%의 암면이 혼합되어도 40.0%와 24.8%의 높은 기상율을 갖는 것으로 측정되어 대조구보다 7배 및 4배가 높았다. 그러나 보수성의 지표인 용기용수량에서는 hammer mill로 분쇄된 후 50%의 암면이 혼합된 처리만이 대조구에 근접한 값을 나타내었으며 모든 처리에서 대조구보다 통기성이 월등히 좋으나 보수성이 불량한 것으로 조사되었다. 따라서 Wiley mill 또는 hammer mill로 분쇄된 왕겨는 폐암면 혼합에 의한 보수성 증진이 원하는 수준에 도달하지 못하는 것을 알 수 있었다.

3. 적 요

가. 미가공된 상토재료의 물리적인 문제점 분석

1) 수집된 상토 재료들은 입도분포가 너무 높아 직경 5.6mm이상의 비율에서 습식, 건식 및 수입 수피는 39.7, 37.9 및 86.5%로 조사되었고, 왕겨는 직경 1mm이상이 약 90%도 조사되었다.
2) 혼합상토에 유기물질을 혼합하는 주된 이유는 보수성을 증가시키기 위함인데 수집된 상토재료들은 공극율 및 기상율이 높은데 비하여 보수성이 너무 낮았다.
3) 보수성이 낮은 주된 이유는 입도분포가 너무 높기 때문이라고 판단되었다.

나. 왕겨의 분쇄 장애물질 제거

1) 대조구는 32.5%의 Si함량을 가져 분쇄에 어려움이 있었다.
2) 10% KOH용액에 4시간 침지처리한 왕겨에서 8.25%의 Si함량을 가져 약 75%의 Si가 제거되었다.

다. 상토재료의 물리성 개선

1) Wiley mill을 이용한 유기재료의 분쇄는 입도분포의 저하에 뚜렷하게 효과가 있었다 습식수피의 경우 5.6mm이상의 입자가 39.7%에서 3회 분쇄 후 0.04%, 건식수피는 37.9에서 0.06%, 수입수피는 86.5에서 0.19% 그리고 우드칩은 1.19에서 0.01%도 감소하였다.
2) 왕겨의 분쇄에는 Ball mill이 가장 효과적이었으며 Wiley mill 과 hammer mill은 분쇄효과가 낮았다.
3) 모든 상토재료를 분쇄한 경우 공극율 및 기상율이 감소하고 용기용수량이 증가하여 보수성 증가가 뚜렷함을 알 수 있었다.
4) 분쇄된 상토재료에 분쇄된 폐암면을 혼합할 경우 보수성이 더욱 증가 하였으며 Wiley mill로 분쇄된 습식수피 및 건식수피, 그리고 ball mill로 분쇄된 왕겨에 50%의 폐암면이 혼합된 처리에서는 대조구와 유사한 보수성을 가졌다.

제 2 절 재배목적 및 용기의 크기에 적합한 혼합상토 개발.

1. 재료 및 방법

가. 시료의 수집

유기물질의 토양물리적 특성을 개선하기 위하여 습식수피, 건식수피, 톱밥, 왕겨와 러시아에서 수입된 피트를 수집한 후 습식수피는 hammer mill

로, 습식수피는 Wiley mill로 그리고 왕겨는 ball mill로 분쇄하였으며, 톱밥은 분쇄하지 않은 채로 부숙시켰다.

중국에서 수입된 원석을 가공한 펄라이트를 입도분포에 따라 1호 와 2호로 분류하고, 질석은 중국에서 수입된 원석을 가공한 것과 국산 원석을 가공한 질석을 수집하여 상토조제시 이용하였다.

토마토 양액재배 후 발생된 폐암면의 분쇄횟수를 1, 2 그리고 3회로 조절한 후 실험재료로 이용하였다.

나. 부숙 가공된 상토재료의 입도분포 조사

W.S. Tyler사에서 제조된 RX-94-1 sieve shaker를 이용하여 mesh size를 > 75.6㎜, 5.6 4.0㎜, 4.0 2.8㎜, 2.8 2.5㎜, 2.0 1.4㎜, 1.4 1.0㎜, 1.0 0.71㎜, 710 500㎛, 500 355㎛, 355 250㎛, 250 180㎛, < 106㎛의 12 단계로 분류하여 조사하였다.

다. 부숙 가공된 상토재료의 토양물리성 분석

상토재료의 물리성 분석시 피트모스+질석을 1:1(v/v)로 혼합한 처리와 피트모스+질석+펄라이트(2:2:1, v/v/v) 혼합처리를 대조구로 하여 부숙된 유기물질이나 확보된 무기물질들의 토양 물리성을 분석하였다.

1) 함수량의 조절: 수집한 시료들의 토양 물리성을 측정하기 위해 일정한 수분함량을 갖도록 함수량을 조절하였는데, 1, 2 또는 3회 분쇄된 폐암면은 각각 1.64, 1.50, 및 1.49였으며, 펄라이트 1호와 2호는 각각 1.25 및 1.75 였고, 국산원석 및 중국산을 원석을 이용한 질석은 각각 1.5로 조절하였다. 유기물질인 러시아산 피트는 2.34, 부숙된 건식수피 1.80, 부숙된 습식수피는 1.14 그리고 부숙된 톱밥은 1.77로 조절하였다.

2) 부숙된 유기물질 또는 확보된 무기물질들의 토양물리적 특성 측정

상기한 바와 같이 수분함량이 조절된 상토재료들은 토양물리적 특성을 파악하기 위해 공극률, 용기용수량, 기상률, 가밀도, 진밀도 및 347.5mL의 core 속에 잔존하는 수분함량를 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 부숙 가공된 왕겨, 톱밥 및 수피의 물리성 분석

<표 1-8> 실험에 이용된 각종 유기물질들의 부숙 후 입도분포(%).

입도분포	부숙왕겨	부숙톱밥	부숙 건식수피	부숙 습식수피	러시아 피트
> 5.6㎜	3.7	2.3	8.2	21.3	3.5
5.6 4.0㎜	2.4	1.1	11.0	10.0	5.7
4.0 2.8㎜	4.0	1.5	17.1	11.1	8.4
2.8 2.0㎜	7.2	3.6	15.2	9.4	9.4
2.0 1.4㎜	14.7	10.3	11.9	9.0	9.5
1.4 1.0㎜	22.1	15.1	8.7	8.1	8.1
10 0.71㎜	19.4	19.7	7.6	7.2	6.8
710 500㎛	9.4	20.8	6.2	6.1	6.5
500 355㎛	6.1	14.6	5.4	5.1	6.1
355 250㎛	4.0	6.7	3.7	4.1	6.2
250 180㎛	2.4	2.7	2.2	2.9	6.9
108 106㎛	1.9	1.2	1.6	2.0	10.5
< 106㎛	2.6	0.4	1.1	3.8	12.4

부숙가공된 유기물질의 입도분포는 표 1-8에 나타낸 바와 같다. 부숙가공된 유기물질 중 건식수피나 습식수피는 1.0mm 이상의 입자분포가 72% 및 68.9%를 나타내어 부숙가공된 왕겨나 톱밥보다 월등히 높았다. 왕겨는 500㎛ 1.4mm 크기의 입자가 우점하였고, 톱밥은 355㎛ 1.4mm 크기의 입자가 우점하여 톱밥의 입도분포가 가장 낮았다. 그러나 상토재료의 보수성이 낮을 경우, 보수성을 증가시키기 위하여 혼합하려고 계획했던 러시아산 피트는 입도분포가 비교적 고르게 분포하는 것으로 조사되었다.

< 표 1- 9> 혼합상토 조제에 이용된 각종 무기상토 재료들의 입도분포(%).

입도분포	질석(원산지)		펄라이트(분류)		암면(분쇄횟수)		
	수입	국산	1호	2호	1회	2회	3회
> 5.6㎜	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	2.5	3.3
5.6 4.0㎜	0.1	0.1	0.2	0.3	8.0	2.1	1.3
4.0 2.8㎜	3.5	1.5	37.9	14.9	18.2	4.6	3.1
2.8 2.0㎜	24.5	3.5	38.4	18.3	19.0	6.7	4.0
2.0 1.4㎜	45.1	8.0	8.9	17.4	14.2	7.7	4.4
1.4 1.0㎜	18.4	12.3	3.2	7.9	7.0	7.0	3.8
10 0.71㎜	4.2	14.9	1.6	6.6	2.9	6.1	5.7
710 500㎛	1.4	15.1	1.4	4.9	1.4	4.7	6.5
500 355㎛	0.7	13.5	1.3	6.3	2.5	7.0	9.5
355 250㎛	0.6	10.6	1.3	4.6	4.5	10.6	13.8
250 180㎛	0.4	7.6	0.9	2.6	1.9	12.9	15.4
108 106㎛	0.4	6.9	0.9	2.8	1.2	14.0	14.9
< 106㎛	0.6	5.9	4.1	9.3	4.7	14.1	14.4

부숙가공된 유기물질과 혼합하여 혼합상토를 조제할 목적으로 수집된 국산 질석과 수입질석(중국산)의 입도분포를 비교할 때, 수입질석이 국산질석보다 입자가 크고 1.0 2.8mm크기의 입자가 우점하였고 미국에서 분류한 원예용 질석(# 2)과 유사하였다. 그러나 국산질석은 355㎛ 1.4mm 크기의 입자가 우점하여 미국에서 분류한 '# 4'와 유사하였고, 원예용 상토로 이용하기는 입도분포가 너무 낮았다. 펄라이트의 경우 국내에서 가공되는 원석의 대부분을 중국이나 터어키 등에서 수입하여 왔으나 최근에는 대부분 중국 원석을 이용하고 있다. '# 1' 펄라이트는 2.0 4.0mm, '# 2'는 1.4 4.0mm 사이의 입자가 우점하여 '# 2'의 입도분포가 낮았다.

부숙가공된 유기물질들의 보수성이 낮을 경우, 유기물질과 혼합하여 보수성을 증가시키기 위한 목적으로 수집된 폐암면은 분쇄횟수가 증가함에 따라 점차 작은 입자가 점유하는 비율이 높았으며 예상했던 결과라 할 수 있다.

< 표 1- 10> 부숙된 유기상토재료들의 토양물리적 특성.

처 리	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존 수분량 (mL)
부숙 왕겨	1.19	82.86	68.26	14.59	0.30	1.77	237.2
부숙 톱밥	1.77	82.12	78.03	4.09	0.16	0.93	271.1
부숙 습식수피	1.14	74.26	58.22	16.03	0.29	1.15	202.3
부숙 건식수피	1.80	79.36	69.10	10.26	0.20	0.97	240.1
러시아 피트	2.34	83.41	79.32	4.09	0.19	1.17	275.0

부숙가공된 유기물질들의 토양물리적 특성을 비교하면 네 종류의 부숙된 유기물질 중 왕겨의 공극율이 가장 높았고, 다음으로 톱밥, 건식수피, 습식수피의 순이었다. 용기용수량에서는 톱밥이 가장 높았고 건식수피, 왕겨, 습식수피의 순이었으며, 기상율에서는 습식수피, 왕겨, 건식수피 및 톱밥의 순으로 낮아지는 경향이었다. 토양물리적 특성을 작물재배와 관련시켜 고려할 경우 톱밥은 보수성이 높아 관수횟수를 줄일 수 있는 장점이 있으며 왕겨나 습식수피의 경우 통기성이 좋아 작물생육이 양호할 것으로 예상되었다.

표 1- 11에는 무기 상토재료들의 토양물리적 특성을 나타내었다. 펄라이트의 경우 '# 1'이 '# 2'보다 공극율 및 기상율은 높았으나 용기용수량은 낮았다. 질석은 수입질석이 국산질석보다 공극율 및 기상율이 높은데 비해 용기용수량은 낮았다. 가비중에서도 '# 1' 펄라이트가 '# 2'보다 낮았고, 질석은 국산질석이 수입질석보다 높았는데, 이는 팽창과정에서 국산질석이 수입질석보다 팽창효율이 떨어짐을 나타내고 있다.

폐암면의 분쇄횟수에 따른 토양물리적 특성의 변화에서는 분쇄횟수가 증가할수록 공극율, 용기용수량, 그리고 기상율 모두 감소하는 경향이었다.

< 표 1-11> 실험에 이용된 각종 무기상토 재료들의 토양물리적 특성.

처 리	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존 수분량 (mL)
펄라이트 1호	1.25	69.86	36.64	33.22	0.19	0.51	127.3
펄라이트 2호	1.75	66.78	55.95	10.83	0.17	0.63	194.4
수입 질석	1.50	80.78	61.31	19.47	0.21	1.11	213.1
국산 질석	1.50	70.59	67.88	2.71	0.61	2.09	235.9
암면 (1회분쇄)	1.64	85.04	79.57	5.47	0.31	2.07	276.5
암면 (2회분쇄)	1.50	83.70	78.49	5.20	0.33	2.22	272.8
암면 (3회분쇄)	1.49	82.51	77.76	4.75	0.38	2.20	270.2

나. 플러그 및 포트재배용 상토의 개발.

< 표 1-12> 부숙왕겨 및 부숙톱밥과 질석 및 펄라이트 혼합하여 조제된 혼합상토의 물리적 특성.

처 리	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존 수분량 (mL)
피트모스+질석 (1:1)	2.04	85.06	77.03	8.0	0.16	0.18	267.7
피트모스+질석+ 펄라이트(2:2:1)	1.87	91.20	68.50	22.7	0.29	1.33	240.3
왕겨	1.49	91.72	40.67	51.1	0.13	0.14	141.3
부숙왕겨	1.09	83.01	71.56	11.5	0.29	0.32	248.7
부숙왕겨+질석 (1:1)	1.19	83.83	73.30	10.5	0.24	0.27	254.7
부숙왕겨+ 펄라이트(1:1)	1.36	76.10	60.79	15.3	0.25	0.28	211.2
톱밥	2.10	84.82	64.68	20.1	0.17	0.19	224.8
부숙톱밥	2.33	83.97	71.02	12.9	0.17	0.19	246.8
부숙톱밥+ 질석 (1:1)	1.81	83.75	66.71	17.0	0.22	0.24	231.8
부숙톱밥+ 펄라이트 (1:1)	1.75	67.75	47.40	20.4	0.29	0.30	164.7

피트모스와 질석을 혼합한 대조구가 85.1, 77.0, 8.0%의 공극율, 용기용수량 및 기상율을 갖는데 비해 피트모스+질석+펄라이트(2:2:1, v/v/v)가 혼합된 대조구는 91.2, 78.5 그리고 12.7%의 공극율, 용기용수량 및 기상율을 보이고 있다. 미주지역에서는 플러그재배용으로 가장 많이 이용되는 피트모스+질석 처리와 가장 유사한 물리적 특성을 보이는 처리는 부숙왕겨+질석(1:1) 처리로서 83.8%의 공극율, 73.3%의 용기용수량 및 10.5%의 기상율을 보이고 있어 대조구보다 보수성은 약간 낮으나 통기성이 월등히 좋아 플러그재배에 적합할 것으로 판단되었다.

부숙톱밥과 무기물질의 혼합에 의한 토양물리적 특성의 변화에서, 부숙 톱밥 단용 또는 부숙톱밥+질석 처리가 피트모스+질석 대조구와 유사한 공극율을 보였다. 그러나 부숙톱밥+펄라이트 처리는 모든 물리적 특성의 지표에서 대조구에 월등히 미치지 못하였다. 이상의 결과를 고려할 때 부숙톱밥 단용 또는 부숙톱밥+질석 처리가 플러그재배에 이용될 수 있을 것으로 판단되었으며, 부숙톱밥+펄라이트 처리는 폐암면 혼합 등에 의해 보수성을 증가시켜야 작물재배에 이용될 수 있을 것으로 판단되었다.

습식수피가 혼합될 경우 대조구보다 보수성이 떨어지는 것으로 측정되었다(표 1- 13). 피트모스+질석+펄라이트(2:2:1) 처리가 68.5%의 용기용수량을 갖는 것을 고려할 때 부숙습식수피+질석 처리는 포트재배에 이용될 수 있는 혼합상토라고 판단되었다. 그러나 부숙습식수피+펄라이트 처리는 보수성이 너무 낮기 때문에, 작물재배에 이용할 경우 관수횟수 증가에 따른 노동력, 인건비, 물 사용량 등의 증가원인이 될 수 있다고 판단되었다.

부숙건식수피가 혼합된 상토들도 습식수피와 유사한 경향을 나타내었다. 부숙건식수피+질석(1:1) 처리가 포트재배에 이용될 수 있다고 판단되었으며, 부숙건식수피 단용 처리나 부숙건식수피+펄라이트(1:1, v/v), 처리는 보수성이 너무 낮아 상기한 문제점들을 야기시킬 것으로 판단되었다.

< 표 1-13> 부숙된 건식수피 및 습식수피의 유기물질과 질석 및 펄라이트를 혼합하여 조제된 혼합상토의 물리적 특성.

처 리	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존 수분량 (mL)
피트모스+질석 (1:1)	2.04	85.06	77.03	8.03	0.16	0.18	267.7
피트모스+질석+ 펄라이트(2:2:1)	1.87	91.2	68.50	22.70	0.29	1.33	240.3
습식수피	1.99	80.54	33.12	47.42	0.14	0.16	115.1
부숙습식수피	1.61	81.85	50.08	31.77	0.24	0.26	174.0
부숙습식수피+질석(1:1)	1.56	78.55	61.92	16.63	0.27	0.30	215.2
부숙습식수피+펄라이트(1:1)	1.29	73.96	37.07	36.89	0.20	0.22	128.8
건식수피	1.52	69.50	43.08	26.42	0.20	0.22	149.7
부숙건식수피	1.61	75.57	53.70	21.87	0.20	0.21	186.6
부숙건식수피+질석 (1:1)	1.61	78.55	62.38	16.17	0.19	0.21	216.8
부숙건식수피+펄라이트 (1:1)	1.39	73.55	43.22	30.33	0.18	0.19	150.2

다. 상토재료의 토양물리성 분석에 적합한 함수량 및 가비중의 구명

상토재료의 물리성을 측정하기 위해서는 물리성 측정과정에서 수축이 발생하지 않은 가비중을 찾아야 하며, 이는 상토 조제과정에서의 수분함량에 절대적인 영향을 받는다. 일반적으로 각종 상토재료들은 수분을 보유할 수록 팽창하며, 팽창된 상토재료를 이용하여 토양물리적 특성을 측정할 경우 많은 시행착오의 원인이 된다. 또한 너무 적은 수분을 보유한 상토를 물리성 측정에 이용할 경우 초기습윤화 과정이 느려지기 때문에 상토가 보유할 수 있는 양보다 용기용수량이 낮게 측정된다. 표 1-14에 나타난 결과를 고려할 때 부숙된 유기물질들의 적정 함수량(mass wetness)은 부숙왕겨 1.19, 부숙톱밥 1.77, 습식수피 1.80, 건식수피 1.14 그리고 러시아 피트는 2.34로 판단되었다.

< 표 1-14> 상토 혼합과정에서의 함수량 차이가 유기상토 재료의 물리성 변화에 미치는 영향.

처 리	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	수축발생
부숙톱밥	0.77	81.23	79.05	2.18	0.18	no
	1.77	82.12	78.03	4.09	0.16	no
	2.77	84.28	76.72	7.56	0.14	yes
부숙왕겨	0.50	80.64	70.17	10.47	0.33	no
	1.19	82.86	68.26	14.59	0.30	no
	1.60	84.12	67.72	16.40	0.28	yes
러시아 피트	1.50	81.20	80.26	0.94	0.25	no
	2.34	83.41	79.32	4.09	0.19	no
	3.50	85.69	77.28	8.41	0.17	yes
부숙된 건식수피	1.00	77.55	72.13	5.42	0.24	no
	1.80	79.36	69.10	10.26	0.20	no
	2.50	82.23	67.87	14.36	0.18	yes
부숙된 습식수피	0.50	71.59	61.10	10.49	0.32	no
	1.14	74.26	58.22	16.03	0.29	no
	1.80	77.16	57.12	20.04	0.27	yes

< 표 1-15> 상토 혼합과정에서의 함수량 차이가 무기 상토재료의 물리성 변화에 미치는 영향.

처 리	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	수축발생
펄라이트 1호	0.50	68.74	42.51	26.23	0.21	no
	1.25	69.86	36.64	33.22	0.19	no
	2.00	72.27	34.11	38.16	0.18	yes
펄라이트 2호	1.00	64.34	58.36	5.98	0.18	no
	1.75	66.78	55.95	10.83	0.17	no
	2.50	70.16	53.77	16.39	0.16	yes
수입 질석	0.70	77.29	63.27	14.02	0.22	no
	1.50	80.78	61.31	19.47	0.21	no
	2.5	81.81	59.43	22.38	0.19	no
국산질석	0.70	69.21	68.31	0.90	0.62	no
	1.50	70.59	67.88	2.71	0.61	no
	2.5	72.23	67.11	5.12	0.59	no

표 1-15에는 함수량의 변화에 따른 펄라이트와 질석의 토양물리적 특성의 변화를 나타내었다. 펄라이트의 경우 '# 1'과 '# 2' 모두 함수량이 1.25 1.75가 되도록 조절한 후 토양물리적 특성을 측정하는 것이 바람직하고, 질석은 함수량 2.5에서도 수축이 발생하지 않아 약 2.0 2.5로 조절한 후 물리적 특성을 측정하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

<표 1-16> 왕겨와 톱밥을 기본 유기물질로 조제된 혼합상토의 함수량 차이에 따른 토양물리성 변화.

처 리	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	수축발생
피트모스+질석 (1:1)	1.03	83.29	77.31	5.98	0.18	no
	2.04	85.06	77.03	8.03	0.16	no
	2.98	88.01	77.75	10.26	0.14	yes
왕 겨	0.73	90.88	41.25	49.63	0.14	no
	1.49	91.72	40.67	51.05	0.13	no
	2.25	93.26	38.27	54.99	0.12	yes
부숙왕겨	0.50	82.51	72.36	10.15	0.29	no
	1.09	83.01	71.56	11.45	0.29	no
	1.75	83.27	69.89	13.38	0.28	yes
부숙왕겨+ 질석 (1:1)	0.50	82.89	75.69	7.2	0.25	no
	1.19	83.83	73.30	10.53	0.24	no
	2.00	84.19	70.28	13.91	0.23	yes
부숙왕겨+ 펄라이트 (1:1)	0.50	75.62	63.39	12.23	0.25	no
	1.36	76.10	60.79	15.31	0.25	no
	2.00	77.99	58.27	19.72	0.24	yes
톱 밥	1.08	81.16	64.90	16.26	0.18	no
	2.10	84.82	64.68	20.14	0.17	no
	3.05	87.73	64.68	23.05	0.17	yes
부숙톱밥	1.11	82.16	74.15	8.01	0.18	no
	2.33	83.91	71.02	12.89	0.17	no
	3.09	84.65	70.69	13.96	0.17	yes
부숙톱밥+질석 (1:1)	1.06	82.28	70.25	12.03	0.25	no
	1.81	83.75	66.71	17.04	0.22	no
	2.98	85.64	64.56	21.08	0.19	yes
부숙톱밥+ 펄라이트 (1:1)	0.80	63.17	51.80	11.37	0.33	no
	1.75	67.75	47.40	20.35	0.29	no
	2.80	72.24	43.47	28.77	0.22	yes

왕겨를 혼합한 상토의 물리성 측정을 위해 바람직한 함수량은 혼합되는 물질에 따라 달라지나, 부숙왕겨 단용의 경우 1.09 1.50, 부숙왕겨와 질석이나 펄라이트를 혼합할 경우 1.00 1.50 사이가 바람직한 범위라고 판단되었다. 그러나 톱밥은 왕겨보다 함수량에 따른 팽창량이 커서 부숙톱밥의 경우 2.5 이하, 부숙톱밥에 질석이나 펄라이트를 혼합할 경우도 함수량을 2.5 이하로 조절하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

<표 1-17> 부숙된 건식 및 습식수피를 기본 유기물질로 조제된 혼합상토의 함수량 차이에 따른 토양물리성 변화.

처 리	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	수축발생
피트모스+질석 (1:1)	1.03	83.29	77.31	5.98	0.18	no
	2.04	85.06	77.03	8.03	0.16	no
	2.98	88.01	77.75	10.26	0.14	yes
습식수피	1.03	77.12	40.01	37.11	0.15	no
	1.99	80.44	33.12	47.42	0.14	no
	3.02	83.48	30.16	53.32	0.14	yes
부숙습식수피	0.83	76.51	54.12	22.39	0.24	no
	1.61	81.85	50.08	31.77	0.24	no
	2.27	84.36	47.87	36.49	0.22	yes
부숙습식수피 +질석(1:1)	0.74	74.17	65.53	8.64	0.28	no
	1.56	78.55	61.92	16.63	0.27	no
	2.19	81.02	59.09	21.93	0.26	yes
부숙습식수피 +펄라이트(1:1)	0.55	72.84	41.03	31.81	0.21	no
	1.29	73.96	37.07	36.89	0.20	no
	1.83	75.56	35.06	40.50	0.18	yes
건식수피	0.75	66.47	45.21	21.26	0.21	no
	1.52	69.50	43.08	26.42	0.20	no
	2.30	72.15	40.05	32.10	0.18	yes
부숙건식수피	0.80	72.16	54.16	18.00	0.21	no
	1.61	75.57	53.70	21.87	0.20	no
	2.30	78.84	51.18	27.66	0.18	yes
부숙건식수피 +질석(1:1)	0.81	75.46	68.84	6.62	0.20	no
	1.61	78.55	62.38	16.17	0.19	no
	2.32	82.16	58.29	23.87	0.17	yes
부숙건식수피 +펄라이트(1:1)	0.60	72.16	46.54	25.62	0.19	no
	1.39	73.55	43.22	30.33	0.18	no
	2.18	77.49	40.17	37.32	0.17	yes

습식 및 건식수피의 물리성 측정에 적합한 함수량에서 습식수피의 경우 질석이 혼합될 경우 2.0 이하, 그리고 펄라이트가 혼합될 경우 1.75이하로 함수량을 조절하는 것이 바람직하며, 부숙습식수피 단용일 경우 2.0 이하로 조절하는 것이 바람직하다고 판단되었다. 건식수피의 경우 모든 처리에서 약 2.0 정도로 함수량을 조절할 경우 토양 물리성 측정에 큰 차이가 없을 것으로 판단되었다.

라. 용기의 크기에 적합하도록 개발된 상토의 효능시험(플러그 실험)

<표 1-18> 부숙된 왕겨 및 톱밥을 이용하여 조제된 혼합상토가 메리골드 'Yellow boy'의 플러그 육묘시 식물생육에 미치는 영향.

처 리	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	엽 수	관부직경 (mm)	생체중 (g)	건물중 (mg)
피트모스+질석 (1:1)	8.3	3.0	12.1	1.21	0.31	47.4
왕 겨	7.2	2.9	10.5	1.01	0.23	27.4
부숙왕겨	7.6	2.9	10.5	1.02	0.24	32.4
부숙왕겨+ 질석(1:1)	7.9	3.1	11.4	1.28	0.27	41.0
부숙왕겨+ 펄라이트(1:1)	7.5	3.0	11.2	1.17	0.26	38.4
톱 밥	6.1	2.4	7.9	0.85	0.12	25.5
부숙톱밥	7.6	2.9	12.7	1.22	0.33	35.7
부숙톱밥+질석 (1:1)	9.3	3.2	12.7	1.26	0.37	52.0
부숙톱밥+펄라이트(1:1)	8.8	3.0	11.6	1.25	0.35	49.3

왕겨와 톱밥을 혼합한 상토를 이용하여 메리골드를 플러그 재배할 때 생육에 미치는 영향을 조사하였다(표 1-18). 왕겨가 혼합된 상토에서는 메리골

드의 생육이 전반적으로 대조구인 피트모스+질석(1:1,v/v) 처리보다 저조한 경향이었으며, 초장은 비슷하나 건물중에서 대조구보다 차이가 많아 묘가 건실하지 못함을 나타내고 있다. 그러나 부숙왕겨와 질석이 1:1로 혼합된 처리는 초장, 엽수 그리고 관부직경에서 대조구보다 크거나 많았으며 플러그 재배용으로 이용될 수 있는 가능성을 나타내고 있다.

부숙톱밥이 플러그 재배에 이용된 경우 부숙톱밥 단용, 부숙톱밥+질석, 부숙톱밥+펄라이트 처리 모두 초장, 초폭, 엽수, 관부직경에서 대조구보다 월등히 좋은 생육을 보였다. 특히 생체중에서는 대조구보다 2g 이상 높았고 건물중에서는 약 2mg 이상 무거워 대조구보다 묘가 건실하게 생육하였음을 나타내고 있으며 부숙톱밥이 플러그 재배용으로 가장 바람직하고 판단되었다.

<표 1-19> 부숙된 습식 및 건식수피를 이용하여 조제된 상토가 메리골드 'Yellow boy'의 플러그 육묘시 식물생육에 미치는 영향.

처 리	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	엽 수	관부직경 (mm)	생체중 (g)	건물중 (mg)
피트모스+질석 (1:1)	8.3	3.0	12.1	1.21	0.31	47.4
습식수피	5.8	2.4	7.8	0.89	0.18	23.8
부숙습식수피	7.1	3.0	9.8	1.12	0.27	43.2
부숙습식수피+질석(1:1)	7.6	3.0	12.4	1.10	0.29	45.5
부숙습식수피+펄라이트(1:1)	7.3	3.1	11.1	1.15	0.28	43.9
건식수피	7.0	2.4	9.9	1.00	0.21	28.4
부숙건식수피	7.6	2.6	11.0	1.05	0.26	40.2
부숙건식수피+질석(1:1)	7.8	2.3	11.3	1.14	0.30	43.7
부숙건식수피+펄라이트(1:1)	7.7	2.4	11.9	1.00	0.26	41.5

습식수피와 건식수피를 이용한 메리골드 재배는 전반적으로 대조구보다 생육이 저조하였다. 그러나 부숙습식수피+질석처리는 45.5mg의 건물중을 갖고 7.6㎝의 초장을 갖는 것으로 조사되어 보수성을 증가시킬 경우 대조구와 유사한 식물생육을 보일 것으로 예측되었다. 건식수피가 이용된 처리들은 대조구보다 생육이 저조하였는데, 부숙건식수피를 단용으로 처리할 경우 건식수피+질석처리나 건식수피+펄라이트 처리보다 생육이 좋았다. 그러나 수피를 이용하여 혼합상토를 개발할 경우 보수성을 증가시켜야 하며 플러그재배용보다는 포트재배용 상토로 개발하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

<표 1-20> 부숙된 왕겨 및 톱밥을 이용하여 조제된 혼합상토가 팬지 'Majestic Giant'의 플러그 육묘시 식물생육에 미치는 영향.

처 리	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	엽 수	관부직경 (mm)	생체중 (g)	건물중 (mg)
피트모스+질석 (1:1)	0.4	3.0	5.3	0.80	0.11	20.2
왕 겨	0.5	2.0	3.9	0.68	0.05	9.3
부숙왕겨	0.3	2.6	4.6	0.70	0.08	17.0
부숙왕겨+ 질석(1:1)	0.3	2.8	5.4	0.76	0.10	19.2
부숙왕겨+ 펄라이트(1:1)	0.4	2.7	4.8	0.73	0.09	18.8
톱밥	0.4	1.0	2.5	0.53	0.04	8.5
부숙톱밥	0.4	3.4	5.3	0.78	0.12	22.6
부숙톱밥+ 질석(1:1)	0.5	4.7	5.7	0.88	0.14	25.1
부숙톱밥+ 펄라이트(1:1)	0.5	4.0	5.6	0.87	0.12	23.8

부숙왕겨나 부숙톱밥을 기초로 조제한 상토를 이용하여 팬지를 플러그 재배한 경우도 메리골드와 유사한 경향을 보였다(표 1-20). 왕겨의 경우 부숙왕겨가 혼합된 모든 처리에서 대조구보다 저조한 생육을 보였으나 부숙톱밥

이 이용된 경우 대조구보다 좋은 생육을 보였다. 특히 부숙톱밥이 단용으로 이용된 경우에도 대조구 보다 큰 초장과 높은 건물중을 갖는 것으로 조사되었다. 부숙톱밥과 질석 또는 펄라이트를 혼합한 경우도 대조구보다 좋은 생육을 보여, 부숙톱밥의 경우 단용 또는 혼용으로 플러그 재배용 상토로 이용될 가능성을 제시하고 있다.

<표 1-21> 부숙된 습식 및 건식수피를 이용하여 조제된 혼합상토가 팬지 'Majestic Giant'의 플러그 육묘시 식물생육에 미치는 영향.

처 리	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	엽 수	관부직경 (mm)	생체중 (g)	건물중 (mg)
피트모스+질석 (1:1)	0.4	3.0	5.3	0.80	0.11	20.2
습식수피	0.5	1.0	2.3	0.56	0.06	10.0
부숙습식수피	0.4	2.9	4.2	0.70	0.08	13.3
부숙습식수피+ 질석(1:1)	0.6	3.1	4.8	0.78	0.10	19.5
부숙습식수피+ 펄라이트(1:1)	0.4	2.5	4.6	0.79	0.09	17.6
건식수피	0.3	1.5	3.3	0.63	0.06	10.3
부숙건식수피	0.4	2.7	4.3	0.67	0.07	14.2
부숙건식수피+ 질석(1:1)	0.5	2.9	4.7	0.78	0.10	19.6
부숙건식수피+ 펄라이트(1:1)	0.4	2.6	4.5	0.74	0.09	18.5

부숙된 습식수피나 건식수피를 이용한 팬지의 플러그 재배도 메리골드와 유사한 경향을 보였는데 부숙습식수피나 부숙건식수피가 이용된 모든 처리에서 대조구보다 생육이 저조하였다. 따라서 부숙수피는 외국에서와 같이 플러그재배용 상토보다는 포트재배용 상토로 이용하는 것이 바람직하다고 판단되었고, 작물의 생육증가를 위해서는 토양물리적 특성뿐만 아니라 화학적인 특성을 고려하여 문제점을 개선할 수 있도록 보완 연구가 필요하다고 판단되어

3차년도에는 토양물리·화학적 문제점을 개선할 수 있는 방향으로 보완 연구를 수행하였다.

3. 적 요

가. 부숙가공된 왕겨, 톱밥 및 수피의 물리성 분석

1) 부숙가공된 유기물질중 건식 및 습식수피의 입도분포가 부숙왕겨나 부숙톱밥 보다 높았다. 무기물질의 입도분포는 펄라이트 1호, 펄라이트 2호, 수입질석 및 국산질석의 순으로 낮아졌으며, 암면은 분쇄횟수가 증가함에 따라 낮아졌다.
2) 부숙된 유기물질중 용기용수량은 톱밥, 건식수피, 왕겨, 습식수피의 순으로 낮아졌고, 기상율은 습식수피, 왕겨, 건식수피 및 톱밥의 순으로 낮았다.
3) 무기물의 용기용수량은 분쇄된 암면, 질석 및 펄라이트의 순으로 낮았고, 기상율은 펄라이트 1호에서 가장 높았다.

나. 플러그 및 포트재배용 상토의 개발

1) 부숙왕겨와 질석(1:1)이 혼합된 상토는 83.3%의 공극율, 73.3%의 용기용수량 및 10.5%의 기상율을 가져 플러그재배에 적합한 상토였으며, 부숙톱밥+질석(1:1, v/v)도 플러그재배에 이용될 수 있는 상토였다.
2) 각종수피가 혼합된 상토들은 보수성이 낮은데 비해 통기성이 높아 포트재배에 이용될 수 있는 상토라고 판단되었다.

다. 상토재료의 토양물리성 분석에 적합한 함수량 및 가비중의 구명

1) 물리성 분석에 적합한 함수량은 유기물질 중 부숙왕겨 1.19, 부숙톱밥 1.77, 습식수피 1.80, 건식수피 1.14였고 무기물질 중 펄라이트 1.25 1.75, 질석은 2.0 2.5로 밝혀졌다.
2) 부숙왕겨가 포함된 혼합상토는 1.0 1.5, 부숙톱밥이 혼합된 상토는 2.5 이하로 함수량을 조절해야 할 것으로 판단되었다.

3) 습식 및 건식수피에서는 질석이 혼합될 경우 2.0 이하, 펄라이트가 혼합 될 경우에는 1.75 이하로 함수량을 조절해야 할 것으로 측정되었다.

라. 용기의 크기에 적합하도록 개발된 상토의 효능시험(플러그 실험)

1) 메리골드의 생육에서 부숙톱밥+질석(1:1)을 혼합하여 개발된 상토에서 가장 우수한 생육을 보였다.
2) 부숙된 습식수피+질석(1:1, v/v) 처리에서 45.5g, 부숙된 건식수피에서 40.2g의 건물중을 생산하여 부숙된 수피종류가 혼합될 경우 생육이 저조하였고 플러그재배보다는 분화재배용으로 적합하다고 판단되었다.
3) 팬지 'Majestic Giant'의 플러그생육에서도 정도의 차이가 있었지만 메리골드와 유사한 경향이었다.

제 3 절 개발된 혼합상토의 효능 시험 및 물리성 증진 방안 연구

1. 재료 및 방법

가. 개발된 상호의 효능 시험 (상토내의 개스농도 변화구명)

본 연구는 관수 사이클에 있어서 상토의 종류 및 수분함량이 토양 O2 및 CO2의 농도 변화와 이에 따른 식물생육 및 무기원소의 흡수에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다. 본 연구를 위하여 4종류의 상토 즉, 피트모스+질석(1:1, v/v), 부숙톱밥+질석(1:1, v/v), 부숙수피+질석(1:1, v/v) 및 부숙왕겨+질석(1:1, v/v)을 조제한 후 국화 'Aridon'을 공시 재료로하여 실험을 구분하였고, 실험에 이용된 각각의 포트는 포트의 바닥으로부터 다섯 부분으로 230mesh 스테인레스 스크린을 이용하여 분리시켜 식물의 뿌리가 통과하지 못하도록 차단하였다. 매회 관수 사이클에서는tensiomrter를 이용하여 수분을 조절하였으며 0, 50, 300millibars에서 각 층으로 부터 토양 개

스를 채취하여 O2와 CO2농도의 변화를 분석하였다. 토양분석은 포화 추출법으로 시료를 채취한 후 pH, EC 및 다량원소의 농도를 분석하였고 식물체 매주 초장 및 초폭의 변화를 측정하였다. 식물체의 분석은 정식 70일 후에 지상부를 수확하였고 수확 후(end-crop)에는 지상부 전체 다량원소 및 미량원소의 분석재료로 사용하였다.

나. 개발된 상토의 효능시험(백합 분화 실험)

피트모스와 질석을 50:50(v/v)로 혼합한 상토를 대조구로 왕겨단용, 왕겨+질석(75:25) 왕겨+펄라이트(75:25), 수피단용, 수피+질석(75:25), 수피+펄라이트(75:25), 톱밥단용, 톱밥+질석(75:25), 톱밥+펄라이트(75:25)의 처리를 만들었다. 모든 상토는 조제과정에서 극산고토석회 3.5g/L, 미량원소 복합제 0.9g/L(Micromate), 0.6g/L의 CaNO3를 혼합하였다. 백합정식 후 CDU 복합비료를 4.0g/L의 비율로 시비하였으며 정식 70일 후에 지상부를 수확하여 생육조사를 실시하였다.

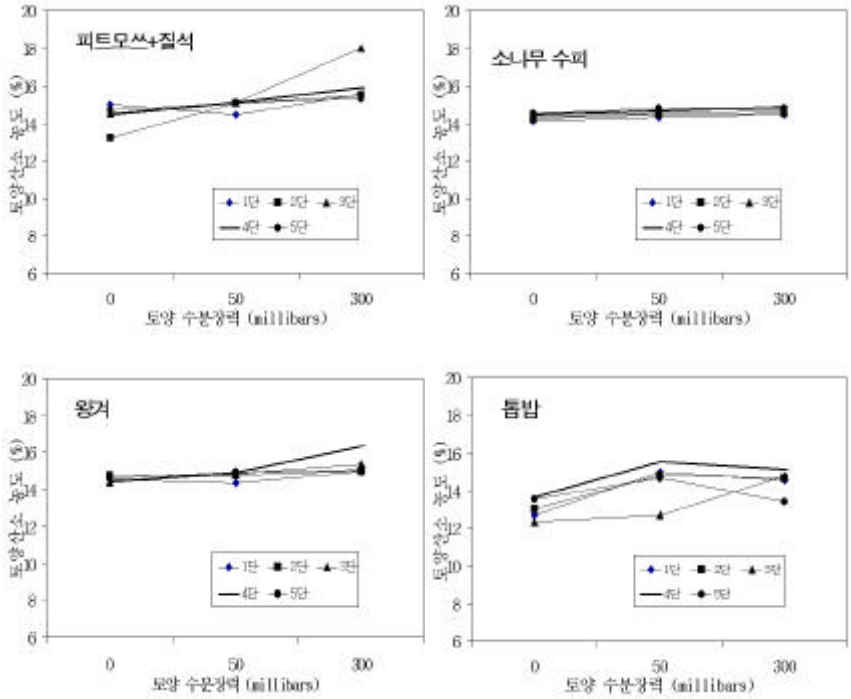
다. 혼합상토의 물리성 증진 방안 연구

혼합상토의 보수성을 증가시키기 위하여 왕겨, 습식수피, 건식수피 및 톱밥을 기본 유기물질로 각 유기물질 단용 또는 각 유기물질에 부피비율로 25%의 질석 또는 펄라이트를 혼합한 상토를 조제하였다. 조제된 혼합상토에는 테라코템 및 송원산업(주)의 고흡수성 수지를 0, 3, 6 및 9g/L의 비율로, 그리고 오아시스를 0, 0.3, 0.6 및 0.9g/L의 비율로 혼합하였다. 본 실험은 피트모스+질석(1:1)을 대조구로 하여 공극율, 기상율, 용기용수량, 가비중 및 진비중 등의 토양물리성을 측정하였다. 변화된 토양물리성 측정후 각 상토에는 Ca(NO3)2 및 KNO3를 각각 0.4g/L의 비율로 혼합하고 국산 고토석회((주)석정소재) 3.5g/L, 미량원소 복합체(Micromate) 0.6g/L, 그리고 토양습윤제(Aquagro) 0.11g/L의 비율로 혼합상토 조제과정에서 첨가하였다. 이후 200공 플러그트레이에 상토를 충진하고 메리골드를 파종하였으며, stage 2부터 20-10-20 복합비료를 질소 기준으로 80 ppm 시비하였고,

stage 3부터는 질소농도를 120ppm으로 조절하여 매주 1회 시비하였다.

2. 결과 및 고찰

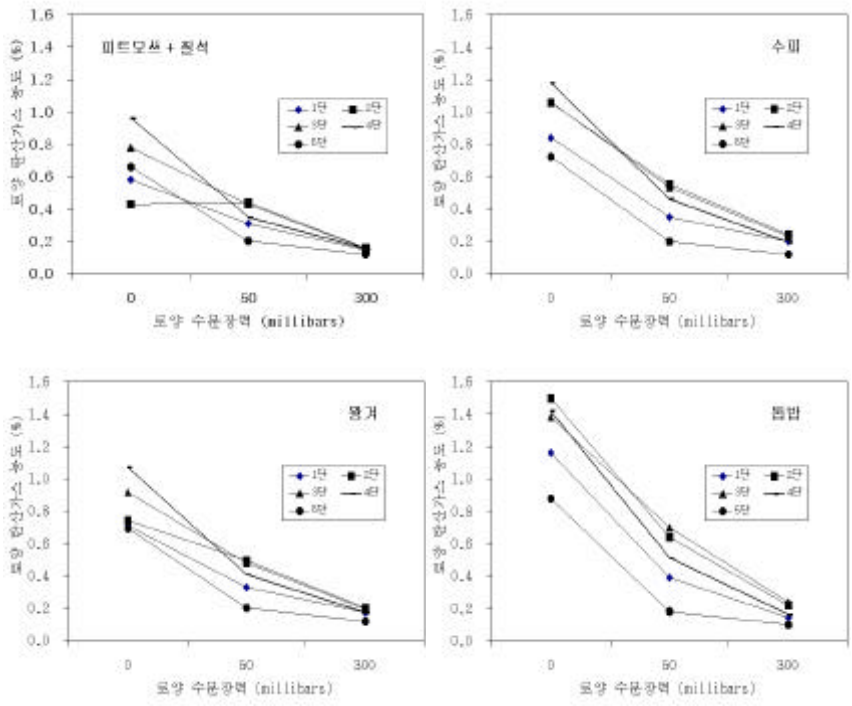
가. 개발된 상토의 효능 시험(상토내의 개스농도 변화 구명)



<그림 1-1> 토양 수분장력에 따라 피트모스+질석(1:1, v/v), 톱밥(톱밥+질석, 1:1), 소나무 수피(소나무 수피+질석, 1:1) 및 왕겨(왕겨+질석, 1:1)를 혼합한 상토의 각 토양층별 산소(O2) 농도의 변화 (1단: 하단부, 5단: 최상부).

O2 농도의 변화에서 톱밥이 혼합된 상토는 50millibars까지 급격히 증가한 후 300millibars까지 비슷한 농도를 유지하였으나, 소나무 수피, 왕겨 및 피트모스+질석 대조구에서는 완만하게 증가하였고 증가된 정도도 크지 않았다(그림 1-1). 톱밥이 혼합된 상토에서 가장 낮은 토양 O2 농도를 보였고, 소나무 수피, 왕겨 및 피트모스가 혼합된 처리에서는 토양중 O2 농도의 차가 크지

않았다.



<그림 1-2> 토양 수분장력에 따라 피트모스+질석(1:1, v/v), 톱밥(톱밥+질석, 1:1), 수피(소나무 수피+질석(1:1)) 및 왕겨(왕겨+질석, 1:1) 혼합상토의 각 토양층별 이산화탄소(CO_2) 농도의 변화 (1단: 하단부, 5단: 최상부).

모든 상토에서 상토가 물로 포화된 0millibar에서는 CO_2 농도가 높았으나 상토가 건조되어 수분장력이 50millibar로 변함에 따라 CO_2농도가 급격히 낮아져 포화상태일 때보다 약 1/2수준으로 감소하였다. 이후 300millibars 까지 계속 감소하였으나 50millibars 이후에는 감소되는 정도가 완만하였다. 상토별로는 톱밥이 혼합된 상토에서 토양 CO_2 농도가 가장 높았고 피트모스+질석(1:1, v/v) 상토에서 가장 낮았으며, 소나무 수피와 왕겨가 혼합된 상토에서는 중간정도의 CO_2 농도를 갖는 것으로 분석되었다.

< 표 1- 22> 각 혼합상토의 각기 다른 상토층에서 재배된 국화의 생육.

상토종류	상토층z	초장 (cm)	초폭 (cm)	분지수	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+ 질석(1:1)	1	18.7	23.5	4.7	29.5	2.61
	2	21.5	24.8	5.7	40.2	3.51
	3	22.9	27.2	7.7	58.1	5.44
	4	24.5	28.3	8.3	70.6	6.86
	5	23.5	26.2	7.7	66.2	5.64
수피+ 질석(1:1)	1	16.5	20.2	5.0	24.1	0.98
	2	18.3	22.0	6.0	30.1	1.74
	3	20.3	24.0	6.0	41.3	3.13
	4	21.8	26.5	8.0	56.4	4.99
	5	22.2	25.3	7.3	53.2	4.82
톱밥+ 질석(1:1)	1	19.2	23.0	5.3	26.8	1.63
	2	21.2	25.0	5.3	38.6	2.98
	3	22.0	25.5	6.0	43.0	3.77
	4	23.8	25.7	7.7	61.1	6.45
	5	22.0	24.3	7.7	50.2	4.73
왕겨+ 질석(1:1)	1	19.5	23.8	5.2	28.6	2.60
	2	20.7	24.5	5.3	41.9	3.81
	3	21.2	26.2	6.2	57.7	5.25
	4	24.9	28.4	8.1	69.4	6.32
	5	22.7	27.1	7.9	65.2	5.93

z상토층; 1단: 하단부, 5단: 최상부

포트를 5단계로 구분하였으며 맨 아랫쪽을 1단, 최상단부를 5단으로 구분하였으며 각 층에는 230mesh의 stainless screen을 위치시켜 뿌리통과를 차단하였다. 모든 혼합상토에서 최하단부인 1층에서 재배된 식물이 조사한 생육지표에서 가장 저조한 식물생육을 모였고, 4층(맨 위에서 두 번째)에서 재배된 식물이 가장 양호한 생육을 보였다. 최하단부(1층)에서 재배된 식물의 생육이 저조하였던 이유는 상토의 상대적인 수분함량이 높아 다른 층보다 토양개스 확산이 어려웠기 때문이라고 판단되며, 최상단부의 경우에는 상토가 충분한 수분을 보유하지 못하는 건조상태가 자주 반복되었기 때문이라고 판

단되었다. 각 혼합상토 별로는 피트모스+질석, 왕겨+질석, 톱밥+질석 혼합상토의 순으로 작물 생육이 저조하였다.

<표 1-23> 70일 후 지상부를 수확하여 지상부 전체의 무기원소 함량을 분석한 결과.

상토종류	상토층	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		----------	(%)		----------		------	(μg·g-1)		-----
피트모스+질석	1	4.46	0.74	6.00	0.93	0.58	69	302	151	13
	2	4.10	0.61	6.28	0.82	0.61	83	277	151	13
	3	4.37	0.55	6.08	0.70	0.40	68	244	139	12
	4	4.10	0.43	5.99	0.64	0.38	82	261	142	12
	5	4.52	0.38	5.92	0.66	0.37	68	233	140	11
수피	1	4.09	1.03	6.70	1.31	0.51	66	635	201	15
	2	4.23	0.84	6.55	1.21	0.43	51	484	188	13
	3	4.44	0.71	6.24	0.90	0.37	51	478	183	12
	4	4.47	0.55	6.05	1.03	0.35	47	511	176	11
	5	4.86	0.41	5.59	0.92	0.30	63	434	157	11
톱밥	1	4.25	0.77	4.75	1.00	0.57	66	507	143	14
	2	4.31	0.71	4.73	0.95	0.56	61	469	137	14
	3	3.94	0.64	4.88	0.90	0.45	68	427	123	12
	4	3.76	0.54	5.19	0.73	0.35	62	368	111	10
	5	4.46	0.45	5.58	0.68	0.27	62	344	111	9
왕겨	1	4.28	0.89	6.35	1.12	0.55	68	469	176	14
	2	4.17	0.73	6.42	1.02	0.52	67	381	169	13
	3	4.41	0.63	6.16	0.86	0.38	60	361	161	12
	4	4.29	0.49	6.02	0.84	0.36	65	386	159	12
	5	4.69	0.40	5.76	0.79	0.34	66	334	149	11

정식 70일 후 지상부를 수확하여 무기원소 함량을 분석한 결과를 표 1-23에 나타내었다. 질소와 인산함량은 각 상토별 또는 각 층별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 인산, 칼슘 및 마그네슘은 하단부에서 재배된 국화의 식물체내 함량이 높았고, 상단부에서 재배된 작물에서 낮았다. 이는 칼슘 및 마그네슘이 증산류와 함께 흡수 및 이동이 이루어지기 때문에 토양수분이 높은 상태로 유지되었던 아래층에서 재배된 작물의 식물체내 함량이 높았던 원

인이 되었다고 판단되었다.

<표 1-24> 각 혼합상토의 각기 다른 층에서 작물 수확후에 토양시료를 채취하여 분석한 결과.

상 토	상토층	pH	EC (mS/cm)	NO_3^--N	NH_4^+-N	P	K	Ca
				(mg/L)				
				정식 전				
피트모스+질석(1:1)		5.87	0.68	2.2	13.3	60.7	31.7	29.3
				수확 후				
	1	5.70	3.69	287.6	0.9	5.2	90.7	214.3
	2	5.94	1.73	119.2	0.4	4.6	55.3	91.3
	3	5.95	0.77	41.8	0.5	5.5	33.3	36.7
	4	5.50	0.30	11.5	1.0	8.8	11.0	13.0
	5	5.48	0.24	10.1	4.3	7.3	12.3	8.7
				정식 전				
수피+질석(1:1)		5.82	1.07	0.7	1.2	61.9	59.0	98.3
				수확 후				
	1	5.95	1.19	73.9	1.3	12.7	55.0	78.0
	2	6.14	0.48	19.3	0.6	14.8	29.0	26.7
	3	6.24	0.25	7.0	1.0	18.7	15.0	16.7
	4	5.73	0.17	7.6	1.2	15.8	10.7	10.3
	5	5.74	0.30	17.4	8.0	13.1	20.0	8.7
				정식 전				
톱밥+질석(1:1)		5.39	0.87	26.0	21.1	43.0	9.0	81.3
				수확 후				
	1	6.06	0.52	15.0	0.8	10.4	3.0	38.0
	2	6.22	0.26	21.3	1.3	35.9	2.3	23.0
	3	6.16	0.32	25.4	2.7	38.3	3.3	17.3
	4	5.73	0.27	30.6	2.8	50.4	6.0	15.0
	5	5.70	0.30	24.6	2.9	42.7	10.7	14.0
				정식 전				
왕겨+질석(1:1)		5.85	0.88	1.45	8.1	111.3	45.4	63.8
				수확 후				
	1	5.76	2.44	180.8	1.1	8.9	72.9	152.0
	2	6.04	1.11	69.3	0.5	9.7	42.2	59.6
	3	6.10	0.51	24.4	0.8	12.1	24.2	27.6
	4	5.62	0.24	9.6	1.1	12.3	10.9	11.9
	5	5.61	0.27	13.8	1.2	10.2	16.2	9.9

국화 수확 후 상토를 수집하여 무기원소 함량을 분석한 결과에서 pH는 5.50 6.24로 모두 수용될 수 있는 범위에 포함되었다(표 1-24). 전기전도도는 맨 아래층(1층)이 높고 상부로 올라갈수록 낮아지는 경향이었다. 이는 매

회 관수할 때마다 상층부에 포함된 비료 성분들이 하단부로 용탈되어 전기 전도도를 높였기 때문이라고 판단된다. 칼슘, 칼슘 및 질산태 질소에서도 상부의 농도가 낮고 하층부의 농도가 높았으나 인산은 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었으며, 이들 역시 상층부의 무기염이 하단부로 용탈된 결과라고 판단된다.

나. 개발된 상토의 효능 시험(백합 분화 재배)

<표 1-25> 개발된 혼합상토가 백합의 생육에 미치는 영향.

혼합상토	화수	초장 (cm)	생체중 (g)	경경 (cm)	엽수	엽중 (g)	화폭 (cm)	화중 (g)
피트모스+질석	1.95	73.4	83.2	0.83	26.7	29.3	18.3	19.1
부숙왕겨	0.95	70.4	47.4	0.76	21.3	21.7	13.7	9.8
부숙왕겨+질석 (75+25)	2.15	83.7	87.5	0.90	26.5	36.5	16.5	15.7
부숙왕겨+펄라이트(75+25)	2.80	88.2	92.2	0.92	28.6	35.8	15.7	15.3
부숙수피	1.80	88.6	97.5	0.93	27.5	43.8	19.5	19.7
부숙수피+질석 (75+25)	1.70	86.5	100.1	0.94	32.7	42.0	19.0	19.8
부숙수피+펄라이트(75+25)	2.05	86.3	90.7	0.87	31.7	42.9	17.0	14.9
부숙톱밥	2.65	84.1	81.2	0.89	24.6	30.8	16.2	11.9
부숙톱밥+질석 (75+25)	1.45	77.5	68.9	0.74	23.3	33.3	17.5	15.2
부숙톱밥+펄라이트(75+25)	1.65	82.8	71.9	0.76	25.7	33.0	18.1	15.1

개발된 혼합상토가 백합의 분화재배시 생육 및 개화에 미치는 영향을 표 1-25에 나타내었는데 생체중은 부숙수피+질석(75:25)처리에서 가장 무거웠다. 부숙왕겨와 부숙톱밥이 단용으로 이용된 처리는 피트모스+질석(1:1) 대조구보다 생육이 저조하였으며, 부숙된 유기물질에 질석이나 펄라이트를 혼합한 처리에서 초장 증가 및 생체중이 높게 조사되었다. 경경, 엽수, 엽

중, 화폭 및 화중에서도 유사한 경향을 나타내었으며, 부숙 톱밥이 단용 또는 혼용된 처리들은 부숙왕겨나 부숙수피가 질석이나 펄라이트와 혼용된 처리들에 비해 생육이 저조한 것으로 조사되어, 톱밥을 분화재배용 상토로 적합하지 않다고 판단되었다.

다. 혼합상토의 물리성 증진 방안

<표 1-26> 부숙왕겨를 단용으로 이용한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	비율	함수량	공극율 (%)	용기용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm³)	진비중 (g/cm³)	잔존수분량 (mL)
피트모스+질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
왕겨 (100)	0	2.57	93.68	43.42	50.26	0.12	1.98	150.9
				테라코템				
	3.0	2.69	94.56	50.72	43.84	0.13	2.38	176.3
	6.0	3.09	93.37	62.20	31.18	0.14	2.17	216.1
	9.0	3.17	94.54	67.68	26.86	0.15	3.05	235.2
				유기수지				
	3.0	2.68	92.07	55.90	36.16	0.14	1.81	194.3
	6.0	3.32	91.43	77.42	14.00	0.12	1.54	269.0
	9.0	4.64	94.66	83.25	11.41	0.11	2.02	289.3
				오아시스				
	0.3	2.92	89.80	62.56	27.24	0.15	1.50	217.4
	0.6	2.97	87.85	62.43	25.42	0.16	1.34	216.9
	0.9	3.29	88.37	65.54	22.83	0.15	1.51	227.7

왕겨를 기본 유기물질로 개발된 상토에 보수성 증가를 목적으로 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향을 표 1-26에 나타내었다. 테라코템과 송원산업의 유기수지(acryl amide)가 혼합된 처리에서는 피트모스+질석 대조구와 비슷하거나 높은 공극율을 보인 반면 오아시스가 혼합된 처리에서는 약간 낮아지는 경향이었다. 그러나 용기용수량

에서는 혼합되지 않은 왕겨가 43.4%의 용기용수량을 갖는데 비하여 테라코템 9.0g/L 혼합처리구에서 67.7%, 송원산업 유기수지를9.0g/L의 비율로 혼합한 처리에서는 83.25%, 그리고 오아시스 0.9g/L 혼합처리구에서는 65.54%로 보수성이 월등히 증가함을 알 수 있었다. 기상율에서는 두 종류의 유기수지 및 오아시스가 혼합되므로써 감소하고 있으나 피트모스+질석 대조구 보다는 2배 8배 정도 높게 측정되어 작물재배에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단되었다.

<표 1-27> 부숙왕겨와 질석을 75:25(v/v)로 혼합한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합비율	함수량	공극율 (%)	용기용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm³)	진비중 (g/cm³)	잔존수분량 (mL)
피트모스+질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
왕겨+질석 (75:25)	0	2.93	90.74	67.53	23.21	0.17	1.94	234.7
				테라코템				
	3.0	2.87	92.24	61.54	30.70	0.15	2.05	213.9
	6.0	3.14	92.34	70.37	21.97	0.15	2.01	244.5
	9.0	3.38	93.26	72.73	20.53	0.15	2.27	252.7
				유기수지				
	3.0	2.63	89.56	65.67	23.88	0.15	1.44	228.2
	6.0	3.53	97.07	78.94	18.13	0.14	5.26	274.3
	9.0	4.48	93.89	79.41	14.48	0.09	1.50	275.9
				오아시스				
	0.3	2.62	90.54	68.86	21.68	0.17	1.81	239.3
	0.6	3.22	89.06	62.30	26.76	0.16	1.47	216.5
	0.9	2.45	92.24	66.34	25.90	0.15	1.91	230.5

왕겨와 질석을 75:25(v/v) 혼합한 상토에서는 무처리구의 용기용수량이 67.5%였는데 송원산업에서 생산한 유기수지가 9.0g/L로 혼합된 처리의 용기용수량은 79.4%였고, 6.0g/L의 비율로 혼합된 상토에서는 78.9%의 용기용수량을 갖는 것으로 측정되었다. 왕겨+질석 혼합상토의 보수성은 왕겨가 100% 이용된 상토보다 높았으며 고흡수성 수지 및 오아시스의 혼합으로 보수성이

증가하였으나 그 효과는 왕겨가 단용으로 혼합된 처리에서보다 낮았다.

<표 1-28> 부숙왕겨와 펄라이트를 75:25(v/v)로 혼합한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합비율	함수량	공극율 (%)	용기용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm³)	진비중 (g/cm³)	잔존수분량 (mL)
피트모스+질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
왕겨+펄라이트 (75:25)	0	2.69	90.60	57.60	33.00	0.16	1.66	200.2
				테라코템				
	3.0	2.82	91.85	62.60	29.26	0.16	1.97	217.5
	6.0	3.08	92.06	61.07	30.98	0.15	1.93	212.2
	9.0	3.08	92.36	68.86	23.50	0.16	2.06	239.3
				송원산업				
	3.0	2.65	90.18	53.45	36.74	0.16	1.64	185.7
	6.0	2.54	90.69	55.96	34.72	0.16	1.67	194.5
	9.0	3.31	98.14	78.47	19.66	0.10	1.73	272.7
				오아시스				
	0.3	2.85	87.82	56.65	31.18	0.15	1.36	196.9
	0.6	2.92	90.46	67.72	22.73	0.17	1.78	235.3
	0.9	3.09	86.03	65.98	20.05	0.16	1.30	229.3

왕겨와 펄라이트를 75:25(v/v)로 혼합하여 개발한 혼합상토에서의 토양물리성 변화에서는 무처리구에서 90.6%의 공극율을 보유하였으며 테라코템이나 송원산업 유기수지가 혼합될 경우 공극률이 약간 증가하였으나 오아시스가 혼합된 상토에서는 공극율이 감소하는 경향이었다(표 1-28). 본 상토에서도 두 종류의 고흡수성 수지나 오아시스의 혼합량이 증가할 수록 용기용수량이 증가하였는데 특히 송원산업에서 생산한 고흡수성 수지가 혼합된 처리에서 78.5%의 용기용수량을 가져 보수성 증가가 뚜렷함을 알 수 있었다. 토양통기성의 지표로 이용되는 기상율에서는 가장 낮았던 송원산업 유기수지 9.0g/L 혼합처리구에서 19.7%로 측정되어 피트모스+질석 혼합상토의 5.9%보다 약 3.3배 높았으며, 모든 혼합상토에서 통기성불량에 따른 문제점은 발생

하지 않을 것으로 판단되었다.

<표 1-29> 부숙습식수피를 단용으로 이용한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존 수분량 (mL)
피트모스+ 질석		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
습식수피 (100)	0	1.76	83.76	64.77	18.99	0.29	1.77	225.1
				테라코템				
	3.0	1.89	85.43	68.06	17.36	0.29	1.98	236.5
	6.0	2.20	86.20	65.58	20.62	0.26	1.88	227.9
	9.0	2.29	86.78	73.54	13.24	0.27	2.05	255.6
				유기수지				
	3.0	1.70	84.35	66.22	18.13	0.28	1.82	230.1
	6.0	2.14	83.73	66.08	17.65	0.26	1.59	229.6
	9.0	2.70	85.92	68.46	17.46	0.24	1.67	237.9
				오아시스				
	0.3	1.92	82.42	60.93	21.49	0.27	1.55	211.8
	0.6	1.91	82.40	65.80	16.59	0.29	1.62	228.7
	0.9	2.26	85.42	63.74	21.68	0.25	1.76	221.5

부숙습식수피를 단용으로 이용한 상토에 두 종류의 고흡수성 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 측정된 토양물리성의 변화는 표 1-29에 나타내었다.

부숙습식수피 단용처리는 64.8%의 용기용수량과 19%의 기상율을 갖는 것으로 측정되었다. 테라코템이 9.0g/L로 혼합된 처리에서는 73.5%, 송원산업 유기수지가 9.0g/L 혼합된 처리에서 68.5%, 그리고 오아시스가 0.9g/L로 혼합된 처리에서 63.7%의 용기용수량을 갖는 것으로 측정되어 테라코템이나 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지가 혼합된 처리들에서 보수성 증가 효과가 뚜렸하였다.

< 표 1-30> 부숙습식수피와 질석을 75:25(v/v)로 혼합한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존 수분량 (mL)
피트모스+ 질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
부숙습식수피 +질석 (75:25)	0	1.87	84.28	60.20	24.08	0.27	1.72	209.2
	테라코템							
	3.0	2.09	87.79	72.35	15.44	0.28	2.29	251.4
	6.0	2.06	88.39	73.48	14.91	0.29	2.54	258.8
	9.0	2.49	89.28	75.18	14.10	0.27	2.56	261.3
	유기수지							
	3.0	2.07	84.53	66.40	18.13	0.28	1.82	230.8
	6.0	2.53	89.48	75.77	13.72	0.21	2.09	263.3
	9.0	3.63	93.71	82.68	11.03	0.19	3.03	287.3
	오아시스							
	0.3	1.97	81.94	70.71	11.22	0.32	1.77	245.7
	0.6	2.14	83.22	66.14	17.07	0.28	1.69	229.9
	0.9	2.44	84.61	65.33	19.28	0.26	1.71	227.0

부숙습식수피+질석(75:25, v/v) 혼합상토에서는 무처리구의 용기용수량이 60.2%로 측정되었으나 송원산업 고흡수성 수지가 9.0g/L로 혼합된 처리에서 82.7%, 테라코템 9.0g/L로 혼합된 처리에서 75.2%, 그리고 오아시스가 0.9g/L로 혼합된 처리에서는 65.3%의 용기용수량을 갖는 것으로 측정되었다 (표 1-30). 두 종류의 고흡수성 수지가 혼합된 처리에서는 보수성 증가가 뚜렷하였으나 오아시스 혼합처리에서는 혼합량이 증가할수록 보수성이 감소하는 경향이었다. 그러나 모든 처리에서 11% 이상의 기상율을 보유하는 것으로 측정되어 통기성불량에 의한 작물생육 저하의 문제는 발생하지 않을 것으로 판단되었다.

< 표 1- 31> 부숙습식수피와 펄라이트를 75:25(v/v)로 혼합한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존수 분량 (mL)
피트모스+ 질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
부숙습식수피 +펄라이트 (75:25)	0	1.94	90.49	63.06	27.43	0.24	3.78	219.1
				테라코템				
	3.0	2.04	88.82	61.29	27.53	0.23	2.06	212.9
	6.0	2.10	90.52	66.54	23.98	0.24	2.92	231.2
	9.0	2.46	89.33	68.80	20.53	0.22	2.10	239.1
				유기수지				
	3.0	2.06	85.09	53.05	32.04	0.25	1.69	184.3
	6.0	2.37	86.27	61.97	24.75	0.26	2.04	233.9
	9.0	2.34	86.72	67.31	18.96	0.23	1.74	215.3
				오아시스				
	0.3	2.19	84.44	56.62	27.82	0.24	1.52	196.8
	0.6	2.30	85.21	58.06	27.15	0.22	1.47	201.8
	0.9	2.40	86.14	58.32	27.82	0.22	1.60	202.7

부숙습식수피+펄라이트(75:25, v/v) 혼합상토의 토양물리성에서 무처리구의 공극율, 용기용수량 및 기상율이 각각 90.5%, 63.1% 그리고 27.4%로 측정되어 기상율이 높은 반면 액상율이 너무 낮음을 알 수 있었다(표 1- 31). 테라코템이나 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지를 혼합한 경우 68.8 및 67.3%의 용기용수량을 갖는 것으로 측정되어 보수성 증가에 효과가 있음이 입증되었다. 그러나 오아시스가 혼합된 처리에서는 56.6 58.3%의 용기용수량을 갖는 것으로 측정되어 무처리구보다 오히려 낮아지는 경향을 보였고, 공극율에서도 대조구보다 낮았으나 기상율에서는 대조구와 유사하였다.

< 표 1- 32> 부숙건식수피를 단용으로 이용한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존 수분량 (mL)
피트모스+질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
부숙건식수피 (100)	0	2.60	77.61	56.13	21.49	0.23	1.02	195.0
				테라코템				
	3.0	2.90	78.01	60.36	17.65	0.24	1.12	209.8
	6.0	3.32	84.77	65.39	19.38	0.20	1.31	227.2
	9.0	3.35	84.02	68.00	16.02	0.21	1.29	236.3
				유기수지				
	3.0	2.67	84.95	61.16	23.79	0.19	1.24	207.6
	6.0	2.76	87.67	65.73	21.94	0.25	1.11	210.9
	9.0	2.55	89.33	71.11	18.22	0.25	1.22	245.7
				오아시스				
	0.3	3.01	79.07	58.44	20.62	0.22	1.04	203.1
	0.6	3.03	79.15	59.87	19.28	0.22	1.07	208.0
	0.9	3.25	83.51	64.52	18.99	0.19	1.16	224.2

부숙건식수피를 단용으로 이용한 처리의 토양물리적 특성에서 공극율, 용기용수량 및 기상율이 77.6, 65.1 및 21.5%로 측정되어 플러그재배용 상토로 이용하기에는 보수성이 너무 낮음을 알 수 있었다(표1- 32). 그러나 테라코템이 9.0g/L의 비율로 혼합된 경우 용기용수량이 68%로 높아졌고, 송원산업의 유기수지가 9.0g/L 혼합된 경우 71.1%의 용기용수량을 갖는 것으로 측정되어 보수성 증가가 뚜렷하였다. 오아시스가 혼합된 경우에도 용기용수량이 증가하여 보수성이 증가함을 증명하고 있으나, 테라코템이나 송원산업의 고흡수성 수지보다는 증가량이 적었다. 테라코템, 송원산업의 고흡수성 수지 및 오아시스가 혼합된 모든 처리에서 16%이상의 높은 기상율을 갖는 것으로 측정되어 피트모스+질석 대조구보다 월등히 높았으며 플러그 재배 중 통기성 불량에 의한 문제는 발생하지 않을 것으로 판단되었다.

< 표 1-33> 부숙건식수피와 질석을 75:25(v/v)로 혼합한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합비율	함수량	공극율 (%)	용기용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm³)	진비중 (g/cm³)	잔존수분량 (mL)
피트모스+질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
부숙건식수피+질석 (75:25)	0	2.87	85.11	73.12	11.99	0.21	1.40	254.1
				테라코템				
	3.0	3.12	85.39	70.52	14.87	0.42	2.89	245.1
	6.0	3.11	87.04	72.77	14.27	0.19	1.71	249.4
	9.0	3.46	88.71	75.86	12.85	0.18	1.63	263.6
				유기수지				
	3.0	2.87	85.32	68.43	16.88	0.21	1.45	237.8
	6.0	3.17	88.69	68.26	20.43	0.18	1.69	237.2
	9.0	3.24	90.87	67.65	23.21	0.17	1.97	235.1
				오아시스				
	0.3	3.02	86.09	68.64	17.46	0.20	1.43	238.5
	0.6	3.04	86.64	68.09	18.55	0.18	1.34	236.0
	0.9	3.35	87.01	67.92	19.09	0.18	1.37	230.1

부숙건식수피+질석(75:25, v/v) 혼합상토는 무처리구가 73.1%의 용기용수량을 가져 무처리구보다 보수성이 낮았다(표 1-33). 테라코템의 혼합비율이 3.0, 6.0 및 9.0g/L로 증가함에 따라 용기용수량이 증가하고 기상율이 낮아지는 경향이었다. 그러나 송원산업의 고흡수성 수지와 오아시스를 혼합한 경우 용기용수량이 점차 감소하였고 기상율도 감소하는 경향을 보였다. 이는 보수성이 감소하고 토양통기성이 불량해지는 것을 의미하는데, 실험한 모든 처리에서 12.9% 이상의 높은 기상율을 갖는 것으로 측정되어 작물재배 중 통기성불량에 의한 문제는 발생하지 않을 것으로 판단되었다.

< 표 1- 34> 부숙건식수피와 펄라이트를 75:25(v/v)로 혼합한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm³)	진비중 (g/cm³)	잔존 수분량 (mL)
피트모스+ 질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
부숙건식수피 +펄라이트 (75:25)	0	2.87	84.54	63.15	21.39	0.18	1.17	219.5
				테라코템				
	3.0	2.80	85.62	67.01	18.61	0.19	1.32	232.9
	6.0	2.97	86.52	69.92	16.59	0.19	1.42	242.9
	9.0	3.14	85.82	70.76	15.06	0.19	1.33	245.9
				유기수지				
	3.0	2.75	81.24	55.34	25.90	0.19	1.03	192.3
	6.0	2.77	82.95	57.92	25.04	0.19	1.12	201.3
	9.0	2.75	85.30	62.47	22.83	0.19	1.30	217.1
				오아시스				
	0.3	2.91	80.85	62.52	18.32	0.21	1.08	217.3
	0.6	3.01	85.68	64.00	21.68	0.18	1.27	222.4
	0.9	3.41	86.18	62.68	23.50	0.16	1.15	217.8

부숙건식수피와 펄라이트(75:25, v/v)를 혼합한 상토에서 무처리구는 63.2%의 용기용수량을 가져 피트모스+질석(1:1, v/v) 혼합처리구보다는 약 20% 가량 낮았고 부숙건식수피 단용의 56.1%보다는(표 1- 32) 약 7% 정도 높았다. 부숙건식수피+펄라이트 혼합상토에 테라코템 및 송원산업의 고흡수성 수지가 혼합된 처리들에서는 용기용수량이 증가하고 기상율이 감소하는 경향이었다. 그러나 오아시스가 혼합된 처리에서는 대조구와 용기용수량이 유사하여 보수성 증가에 큰 효과가 없었을 뿐 아니라 뚜렷한 경향도 찾을 수도 없었다. 그러나 기상율에서는 오아시스가 혼합될 수록 증가하여 토양 통기성이 증가함을 입증하고 있다.

< 표 1- 35> 부숙톱밥을 단용으로 이용한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm³)	진비중 (g/cm³)	잔존 수분량 (mL)
피트모스+질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
부숙톱밥 (100)	0	3.16	89.12	82.40	6.71	0.17	1.55	286.4
				테라코템				
	3.0	3.59	91.28	81.40	9.88	0.16	2.01	282.9
	6.0	4.35	89.24	82.05	7.19	0.16	1.50	285.1
	9.0	4.38	91.04	81.73	9.30	0.16	1.76	284.0
				유기수지				
	3.0	3.54	88.87	75.44	13.43	0.15	1.38	262.2
	6.0	3.55	88.97	74.39	14.58	0.15	1.34	258.5
	9.0	3.56	89.46	77.38	12.09	0.15	1.42	268.9
				오아시스				
	0.3	3.82	86.98	80.17	6.81	0.18	1.36	278.6
	0.6	3.96	84.84	80.24	4.60	0.17	1.12	278.8
	0.9	4.34	88.27	79.54	8.73	0.15	1.27	276.4

부숙톱밥을 단용으로 이용한 상토에 보수성 증가를 목적으로 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향을 표 1- 35에 나타내었다.

부숙톱밥은 공극율, 용기용수량 및 기상율이 각각 89.1, 82.4 및 6.71%로 측정되어 피트모스+질석(1:1, v/v) 대조구와 유사한 토양물리적 특성을 갖는 것으로 측정되었다. 부숙톱밥 단용으로 이용된 상토에서는 테라코템과 오아시스가 혼합될 경우 무처리구와 유사한 토양물리적 특성을 갖는 것으로 측정되었다. 그러나 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지가 혼합된 처리들에서는 무처리구보다 용기용수량이 오히려 감소하는 경향이었다.

< 표 1- 36> 부숙톱밥과 질석을 75:25(v/v)로 혼합한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm3)	진비중 (g/cm3)	잔존 수분량 (mL)
피트모스+ 질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
부숙톱밥+ 질석 (75:25)	0	3.79	90.30	80.42	9.88	0.16	1.72	279.5
				테라코템				
	3.0	3.44	89.66	81.79	7.87	0.17	1.70	284.2
	6.0	3.55	91.15	85.20	5.95	0.18	2.03	296.1
	9.0	3.83	89.33	83.19	6.14	0.17	1.61	289.1
				유기수지				
	3.0	3.31	86.68	80.54	6.14	0.17	1.28	279.9
	6.0	3.30	91.13	83.65	7.48	0.17	1.89	290.7
	9.0	3.06	89.79	79.52	10.26	0.16	1.57	276.3
				오아시스				
	0.3	3.73	88.88	83.12	5.76	0.17	1.58	288.9
	0.6	4.07	90.04	78.92	11.13	0.16	1.61	274.2
	0.9	4.35	88.07	78.48	9.59	0.16	1.34	272.7

부숙톱밥+질석(75:25, v/v) 혼합상토에서 테라코템과 송원산업의 고흡수성 수지가 혼합된 처리들에서는 보수성이 증가하였으나, 오아시스가 혼합된 처리들에서는 무처리구보다 낮았다. 그러나 보수성증가를 목적으로 혼합된 세 종류의 물질들은 처리량을 달리할 경우 공극율, 용기용수량 및 기상율의 측정치가 들쭉날쭉하여 일정한 경향을 찾기가 어려웠다.

< 표 1- 37> 부숙톱밥과 펄라이트를 75:25(v/v)로 혼합한 상토에 보수성증가를 위해 혼합된 두 종류의 수지 및 오아시스가 상토의 토양물리성 변화에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	함수량	공극율 (%)	용기 용수량 (%)	기상율 (%)	가비중 (g/cm³)	진비중 (g/cm³)	잔존 수분량 (mL)
피트모스+ 질석(1:1)		4.23	91.52	85.67	5.85	0.18	2.15	297.7
부숙톱밥+ 펄라이트 (75:25)	0	4.11	90.83	75.48	15.35	0.15	1.63	262.3
				테라코템				
	3.0	4.40	91.08	75.35	15.73	0.14	1.60	261.8
	6.0	4.63	92.37	77.88	14.48	0.14	1.85	270.6
	9.0	4.63	93.52	79.13	14.39	0.13	2.10	274.9
				유기수지				
	3.0	4.30	88.40	73.24	15.16	0.15	1.28	254.5
	6.0	3.77	90.76	70.42	20.34	0.14	1.52	244.7
	9.0	3.93	90.97	70.93	20.05	0.14	1.55	246.5
				오아시스				
	0.3	4.19	90.06	76.92	13.14	0.14	1.46	267.3
	0.6	3.98	89.08	76.42	12.66	0.15	1.41	265.5
	0.9	4.33	89.81	70.43	19.38	0.14	1.35	244.8

부숙톱밥과 펄라이트가 75:25(v/v)로 혼합된 처리들에서도 테라코템이 혼합된 처리에서 보수성이 증가하였으나 송원산업의 고흡수성 수지나 오아시스가 혼합될 경우 오히려 용기용수량이 감소하였다. 기상율에서도 뚜렷한 경향을 찾기가 어려웠다.

3. 적요

가. 개발된 상토의 효능시험(상토내의 개스농도 변화 구명)

1) 혼합상토의 CO2 농도는 물로 포화된 상태에서 높았고 상토가 건조될 수록 상토내의 CO2 농도가 감소하였다. 톱밥이 혼합된 상토에서 CO2 농도가 가장 높았고 왕겨가 혼합된 상토에서 가장 낮았다..
2) 각 혼합상토에서 재배된 국화의 생육은 피트모스+질석 혼합상토와 왕겨+질석 혼합상토에서 우수하였으며, 톱밥+질석이나 수피+질석 혼합상토에서의 생육이 비교적 저조하였다.
3) 식물체내 무기원소 함량은 상토의 종류별로 큰 차이를 보이지 않았으나, 하단부에서 재배된 국화의 인산, 칼슘 및 마그네슘 함량이 상층부에서 재배된 국화보다 높았다.

나. 개발된 상토의 효능시험(백합 분화재배)

1) 부숙수피+질석 혼합상토에서 재배된 백합의 초장 및 생체중이 가장 높았으며, 부숙톱밥이 단용으로 이용된 처리에서 생육이 가장 저조하였다.
2) 경경, 엽수, 엽중, 화폭 및 화중에서도 부숙톱밥이 단용 또는 혼용된 처리들에서 부숙수피나 부숙왕겨가 혼합된 상토에서 재배된 백합보다 생육이 저조하였다.

다. 혼합상토의 물리성 증진 방안

1) 부숙왕겨 및 부숙수피에 고흡수성 수지 및 오아시스를 혼합할 경우 공극률에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 혼합비율이 증가할 수록 용기용수량이 증가하고 기상율이 감소하였다.
2) 그러나 부숙된 유기물질에 고흡수성 수지 및 오아시스를 혼합한 모든 처리에서의 기상율은 피트모스+질석 대조구보다 2배 이상 높았다.

제 2 장 Lignocellulose 분해미생물을 이용한 상토 구성재료의 가공

제 1 절 상토재료의 부숙가공을 위한 미생물 균주의 확보

1. 재료 및 방법

가. 미생물학적 방법

1) 배지 및 분리방법

- 분리원: 부후목, 부엽토, 토양시료
- 배 지:

▷ Potato dextrose broth(PDB) 및 agar(PDA): [Potato infusion (from 200g), dextrose 20g 및 yeast extract 2g L^{-1}, pH 5.5, 한천배지의 경우 agar 15g L^{-1}]

▷ Luria-Bertani(LB) broth 및 agar: [Bacto tryptone 10g, yeast extract 5g, NaCl 5g L^{-1}, pH 7.4, 한천배지의 경우에는 agar 15g L^{-1}]

▷ Mushroom 최소배지(MM): [$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5g, KH_2PO_4 1g, dextrose 20g, 무기용액 trace, agar 20g L^{-1}, pH 5.5]

▷ Mushroom 완전배지(CM): [$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5g, KH_2PO_4 1g, dextrose 20g, metal solution trace, agar 20g L^{-1}, pH 5.5 및 Bacto peptone, yeast extract 각 2g L^{-1}]

▷ Bavendamm 시험용 배지: Malt extract 20g, gallic acid 5g, dextrose 20g, peptone 1g, agar 15g L^{-1}, pH 5.0

▷ Dubos' 배지: [cellulose (CM-, 5g; 또는 microcrystalline, 10g), $NaNO_3$ 1g, K_2HPO_4 1g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5g, NaCl 0.5g, $FeSO_4$

0.02g, yeast extract 0.5g L^{-1}]

▷ 기초배지(for lignin degradation): [glucose 5g, $NH_4H_2PO_4$ 2g, KH_2PO_4 1g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5g, $CaCl_2$ 0.1g L^{-1}, and + mineral solution 1ml, 비타민 용액 7ml]

▷ Starch_casein_배지: [soluble starch 10g, casein(vitamin free) 0.3g, KNO_3 2g, NaCl 2g, K_2HPO_4 2g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5g, $CaCO_3$ 0.2g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.1g, agar 20g L^{-1}, pH 7.0]

▷ Bennett's_배지: [glucose 10g, Bacto peptone 2g, yeast extract 1g, beef extract 1g, agar 20g L^{-1}, pH 7.0]

▷ 기타 : 밀기울배지, Nutrient_agar(NA) & broth(NB) 등
목분 (oak, pine) + 밀기울의 경우에는 8:2, 4:6, 2:8의 비율로 배합 하였음.

*무기용액

$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.1g, $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 0.1g, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.04g, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 0.01g, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.01g 100 mL^{-1}(수일간 정치한 다음 그 상징액을 사용하였음)

*비타민용액

thiamine-HCl 60mg, pyridoxine-HCl 5mg, Ca-panthothenate 5mg, nicotinic acid 5mg, p-amino benzoic acid 5mg, folic acid 2.5mg, riboflavin 2.5mg, DL-thioctic acid 2.5mg, biotin 1mg, vitamin B_{12} 0.25mg 100mL^{-1} (4℃에서 보관)

- 조 건: 기질 (섬유소/리그닌별)에 따른 선택적 조건

2) 배양방법

- 액체배양에 의한 균체생산: Fermentor(5-, 10-L)

- 고체배양에 의한 균체생산: Fernbach flask (low form) 및 trays
- 배지의 성분조성 및 배양조건 비교

3) 접종제의 조제
- 세균의 경우: 생균체
- 진균의 경우: 균사체 및 포자
- 액상 또는 분상접종제: 안정제등 부성분 첨가효과 검토

4) 선발균주의 분류동정
- 형태학적, 생리학적 성질검토(Ref: Bergey's Manual of Systematic/ Determinative Bacteriology, Compendium of Soil Fungi vol. 1 4)

나. 화학성분 분석법

1) 미생물에 의한 상토재료의 리그닌 분해율(ΔL), 중량감소율(ΔW), (탄수화물의 잔존량/(리그닌의 잔존량)의 비율(SI)의 측정

중량감소율(ΔW)은 미생물 처리전 분상재료의 건조중량(W1)을 우선 구하고, 배양후에 감소된 재료의 건조중량(W2)으로 부터 계산하였음. Klason 리그닌(L2)은 수정법에 따라 구하였으며, 리그닌 분해률(ΔL)은 배양전 재료중의 리그닌 양(L1)과 배양후 감소된 양에 의해 계산하였음(시험기간 4주 배양). 선택지수(SI)는 Yoshihara의 방법 (1985)에 의하여 (탄수화물의 잔존량)/(리그닌의 잔존량)의 비율로 계산하였음.

2) 미생물(백색/갈색부후균)에 의한 목편의 중량감소율 측정

산림청 임업연구원 목재방부재의 방부효력 시험방법(M-1701)에 의거하여 목편의 중량감소율을 측정하였음.

- 목재편(wood chip): 20×20×10 mm/ *Pinus* 2.164 2.787 g; *Cedar* 1.414 1.537 g
- 용기 및 배양액: 조직배양병/ Sea sand(15 20 mesh) 200 g/ 배양액

60 mL (4% dextrose, 0.3% peptone, 1.5% malt extract)

- 시험기간: 12주간 배양

다. 효소활성도의 측정방법

1) Laccase(EC 1. 10. 3. 2.)

0.5 mM syringaldazine용액을 기질로 사용하여 Leonowicz 등(1981)의 방법으로 측정하고 효소의 활성도 단위는 Harkin 등(1973)의 공식에 따라 계산하였음.

2) CM-cellulase(EC 3. 2. 1. 4.)

Reese등의 방법에 따라 1% (w/v) CM-cellulose용액(in 0.2M acetate buffer, pH 5.0) 1.5 mL를 40℃의 항온조에서 10분간 예열한 다음, 여기에 조효소액 1 mL를 가하고 20분 반응시킨 후 Somogyi-Nelson법으로 환원당의 변화를 측정함. 효소의 활성도 단위는 위의 방법으로 1분 동안 1μmole의 glucose에 해당하는 환원당을 생성시키는 효소의 양으로 나타내거나, 비교의 목적으로는 그대로 흡광도(A_{520})로 표시하였음.

2. 결과 및 고찰

가. 미생물의 분리원 확보를 위한 토양 및 부엽토 시료의 수집

섬유소 및 리그닌의 분해능을 가진 우량 미생물균주를 분리하기 위한 분리원으로서 전국 각지로부터 토양, 부엽토, 부후목등을 수집하였으며, 그 채취지역은 다음과 같다.

강원 평창군	: 토양, 부식토 (5점<)
경기 고양시	: 토양, 부식토 (3<)
경남 밀양군, 진양군	: 토양, 부식토, 부후목 (11<)
경북 의성군, 선산군	: 토양, 부식토, 부후목 (9)
전남 해남군	: 토양, 부식토, 부후목 (6<)
전북 고창군, 완주군	: 토양, 부식토 (11)
충남 보령시, 청양군, 공주시	: 토양, 부식토, 부후목 (16<)
충북 괴산군, 영동군	: 토양, 부식토, 부후목 (10<)

나. 섬유소 및 리그닌 분해균의 분리 및 우수균주의 선발

전항의 시료(토양, 부식토및 부후목)로부터 집식배양*에 의하여 다수의 균주를 1차 순수 분리하여 다음 (다)항의 우수균주 선발시험에 사용하였다.

* 집식배양을 위한 섬유소 기질: Cellulose powder(Standard grade, W & R Balston) 및 Sigmacell(Type 20, Sigma)
* 집식배양을 위한 리그닌 기질: Indulin AT(Sigma), Lignosulfonic acid 및 Alkaline lignin(TCI)

다. 우수균주의 선발

분리균주는 CM-cellulase(EC 3. 2. 1. 4.) 및 laccase(EC 1. 10. 3. 2.)효소 활성도의 비교하고 목재부후균에 대하여는 Bavendamm시험으로 백색부후균을 식별하였으며 중량법에 의하여 목분 및 목편분해력이 높은 우수균주를 선발하였다.

세균류_Ⅰ._중온균: 분리균주 184균주중 34주의 cellulose+ 균주를 선발하였으며 특히 그중 H12 균주는 cellulose+, starch+이며 최적 pH 10.5의 알칼리성 cellulase<한국산업미생물학회 98춘계학술대회에 발표>를 분비하며 유기질소원을 요구하는 균주로서 다양한 상토재료의 부숙에 적

합할 것임. 균주 H12의 배양적 및 효소적 특성을 <표 2-1>에 요약하여 나타내었으며, Bergey's Manual에 따라 *Bacillus*속 균주로 분류되었음.

세균류 II. 고온균: 분리균주 23 주중 cellulose+ 7 균주를 선발하였으며, 이들은 차후 상토의 속성부숙용 균주로서 연구대상임. 이들의 콜로니 형태를 <그림 2-1>에 중온균과 함께 나타내었음.

세균류 III. 방선균: 분리한 41 주중 cellulose+ 5 균주를 선발하였으며, 2단발효법을 적용할 경우 2차부숙(2nd step of fermention/ general composting) 및 숙성 (aging and/or curing) 과정에 적용될 것임. <그림 2-2>참조.

세균류 IV. 고온성 방선균: 분리균주 7 주중 cellulose+ 2 균주를 선발하였으며, 이들은 차후 상토의 속성부숙용 균주로서 연구대상임. <그림 2-2>참조.

진균류 I. 사상균(연부균포함): 분리균주 78균주중 16주의 cellulose+ 균주를 선발하였으며, 이중에는 *niger*계통 4균주와 *flavus*계통 7균주를 포함하고 있음. 2차부숙 과정에 적용될 것 임.

진균류 II. 담자균(백색부후균): Lignin+의 백색부후균 9균주를 분리선발하였음. 1차부숙과정 (1st step of fermentation)에 적용 가능한 것임

진균류 III. 담자균(갈색부후균): Cellulose+, Bavendamm-의 갈색부후균 6균주를 분리선발하였슴. 2차부숙 과정에 적용될 것 임.

진균류 IV. 기타(특이적인 연부균 및 yeast-like포함): 다수의 특이균주를 분리하였으며, 특히 그중 사상균으로 보이는 3개 균주로부터 저질소배지에서 생육하면서 섬유소를 분해하는 특징을 나타내는 S-9 및 S-14의 2개 균주를 선발하였음. 이들은 C/N비율이 불균형한 상태에서 다양한 상토재료의 부숙에 적합할 것이며, 단기육묘용 저영양성 상토의 발효에 적용가능함.

진균류 I IV의 콜로니 형태는 <그림 2-3>에, Bavendamm시험의 결과는 <그림 2-4>에 각각 나타내었다. 진균류에 대하여는 우수균주의 선

발을 위하여 중량법으로 목분 및 목편분해력을 비교하였으므로 그 과정을 백색 및 갈색부후균 별로 <그림 2-5, -6, -7>에 나타내었고, 결과는 <표 2-2>에 정리하였다.

이상에서 분리 선발한 우수균주는 종류별로 분류하여 <표 2-3>에 종합하여 나타내었으며, 아울러 향후 실험에서 예상되는 용도를 비고란에 표시하였다.

라. 선발균주의 분류

선발균주에 대하여는 세균의 경우 중온균, 고온균, 방선균으로, 진균의 경우 백색부후 담자균, 갈색부후 담자균, 연부균, 특이균주로 분류하여 실험하였다. 균주에 따라 속 수준으로 동정하여 중온성 세균 H12는 *Bacillus* 속으로 확인되었으며 <표 2-1 참조>, 진균류는 Bavendamm시험으로 백색부후균을 식별하고 기타 효소적 특성을 비교하여 연부균을 구분하였다 <표 2-2 참조>

마. 접종제의 조제를 위한 선발 균주의 배양 및 균체 생산

1) 세균류

접종제용 균체생산을 위하여 균주별 배지 및 배양조건을 검토하였으며, Nutrient broth + 0.5% CMC에서 좋은 생육을 나타내었다. 그러나 균주 H12의 경우 효소생산을 위하여는 Dubos' salts + Bacto soytone(1%) + sigmacell(1%)을 선호하였고, 균체생육에는 Luria broth(LB)가 가장 좋아 여기에서 24 시간 진탕배양하면 7×109 cells mL-1에 도달하였다

방선균의 경우에는 starch casein에 soil extract를 첨가하여 생균수의 증가 효과를 거두었다.

2) 진균류

여러 가지 조성의 배지를 비교한 결과 접종제용 균체생산을 위하여 진균류의 최적배지로는 Czapek-Dox의 변형배지이었으며, 그 조성은 다음과 같

다.

$NaNO_3$ 2 g, K_2HPO_4 1 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5 g, KCl 0.5 g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.01 g L^{-1},

+ 1/5 1/2 strength PD broth

+ less than 0.5% CMC

+ less than 0.1% indulin

<표 2-1> *Bacillus* H12 균주의 배양적 및 효소적 특성.

특 성		비 고
배양적 특성	세포: Gram(+), rod, endospore-forming	
on agar plates	콜로니: white, opaque, flat, circular with irregular edge, size in diameter of 4 5 mm (when grown on LB plate for 24 hr)	
in broth	최적 pH: 6.8	
	최적온도: 37℃	
	최적배지: Luria broth (even suspension)	
	NaCl 존재하에서의 생육: upto 2 M	
섬유소분해효소	최적 pH: 10 (alkaline)	
(CM-cellulase)	최적온도: 40℃	
	기질특이성: CMC> glucan> sigmacell (low activities on chitosan & xylan)	
	기타의 효소활성: amylase	
	Cellulase 생성을 위한 최적배지**: Dubos' salts + Bacto soytone(1%) + sigmacell(1%)	
	최대활성에 이르는 배양기간: 24 hr	

**Cellulase 생성을 위한 최적배지는 Dubos' salts + sigmacell의 기본배지에 beef extract, Luria broth, Bacillus media, yeast extract, veal infusion, brain heart infusion, tryptic soybroth, tryptone 등 각종성분을 첨가하여 시험하였음.

<표 2-2> 선발된 진균류의 효소활성도, Bavendamm 반응, 소나무 목분 및 목재편의 감량률 시험결과.

균주번호	Bavendamm	Laccase (units sec-1)	CMCase (ΔA520nm)	소나무 목분			소나무칩의 감량률(%)
				ΔL	ΔW	SI	
F 3-1	+++	2.1×10-1	0.100>	26.5	18.4	3.36	21.5
239	++	1.7×10-2	0.100>	27.1	20.0	3.05	19.2
241	++	4.1×10-3	0.100>	19.1	17.6	3.02	16.8
259	+++	8.0×10-2	0.100>	29.2	23.0	3.27	21.9
308	+++	3.2×10-2	0.100>	21.2	18.3	3.09	17.3
T 123	+++	3.2×10-3	0.100>	20.8	13.5	2.81	15.1
164	++	5.5×10-3	0.100>	20.0	17.6	3.06	15.5
218	++	1.9×10-1	0.100>	27.4	20.2	3.34	17.8
242	++	6.3×10-2	0.100>	28.8	25.8	3.10	22.4
F 202	-	1.0×10-3>	1.075	18.8	23.0	2.74	15.0
T 177	-	1.0×10-3>	1.380	15.4	20.6	2.69	12.9
190	-	1.0×10-3>	1.010	13.2	16.6	2.79	9.6
243	-	1.0×10-3>	1.500	14.2	17.8	2.77	10.7
289	-	1.0×10-3>	2.695	8.6	21.2	2.40	12.3
306	-	1.0×10-3>	1.485	15.1	20.5	2.68	14.4
309	-	1.0×10-3>	2.405	7.4	23.5	2.26	13.8
F 12-4	-	1.0×10-3>	2.965	ND	ND	ND	ND
17-5	-	1.0×10-3>	1.585	ND	ND	ND	ND
31-1	-	1.0×10-3>	2.440	ND	ND	ND	ND
31-3	-	1.0×10-3>	4.225	ND	ND	ND	ND
31-5	-	1.0×10-3>	2.250	ND	ND	ND	ND
32-22	-	1.0×10-3>	2.385	ND	ND	ND	ND
33-2	-	1.0×10-3>	1.500	ND	ND	ND	ND
S 9	-	1.0×10-3>	1.240	ND	ND	ND	ND
14	-	1.0×10-3>	0.910	ND	ND	ND	ND

1) Bavendamm 반응의 결과는 +/- 로 나타내었음.

2) Laccase 활성도는 syringaldazine을 기질로하여 Leonowicz 와 Grzywnowicz 의 방법으로 정량하였으며, 변형 배양액에서 5 일간 진탕배양한 다음 그 배양여액을 조효소액으로 사용하였음.

3) CM-cellulase 활성도는 carboxymethyl cellulose를 기질로하여 Reese등의 방법으로 정량하였음.

4) 소나무 목분 분해력: ΔL, lignin 분해율; ΔW, 중량감소; SI, 선택지수(5 g씩 26℃에서 28일간 배양하여 얻음).

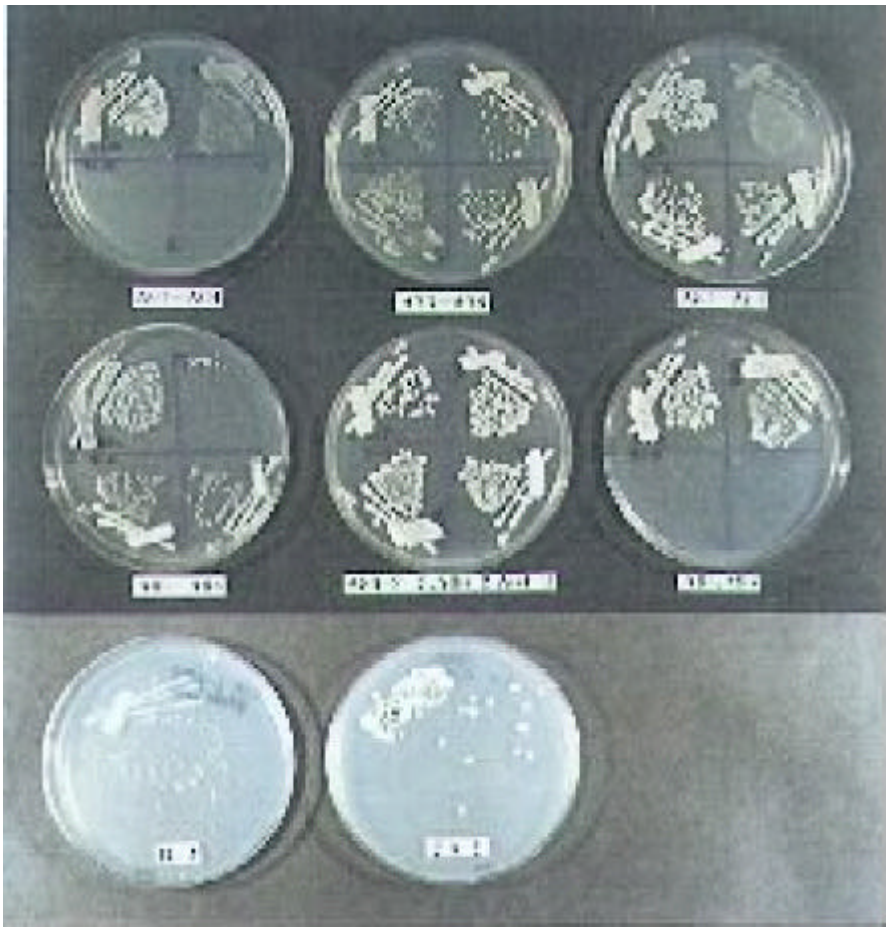
5) 소나무 목재편 분해력: 목재보존료 효능시험법 M-1707에 의한 중량감소.

< 표 2-3> 리그닌 및 섬유소 분해력에 따라 선발한 미생물 균주.

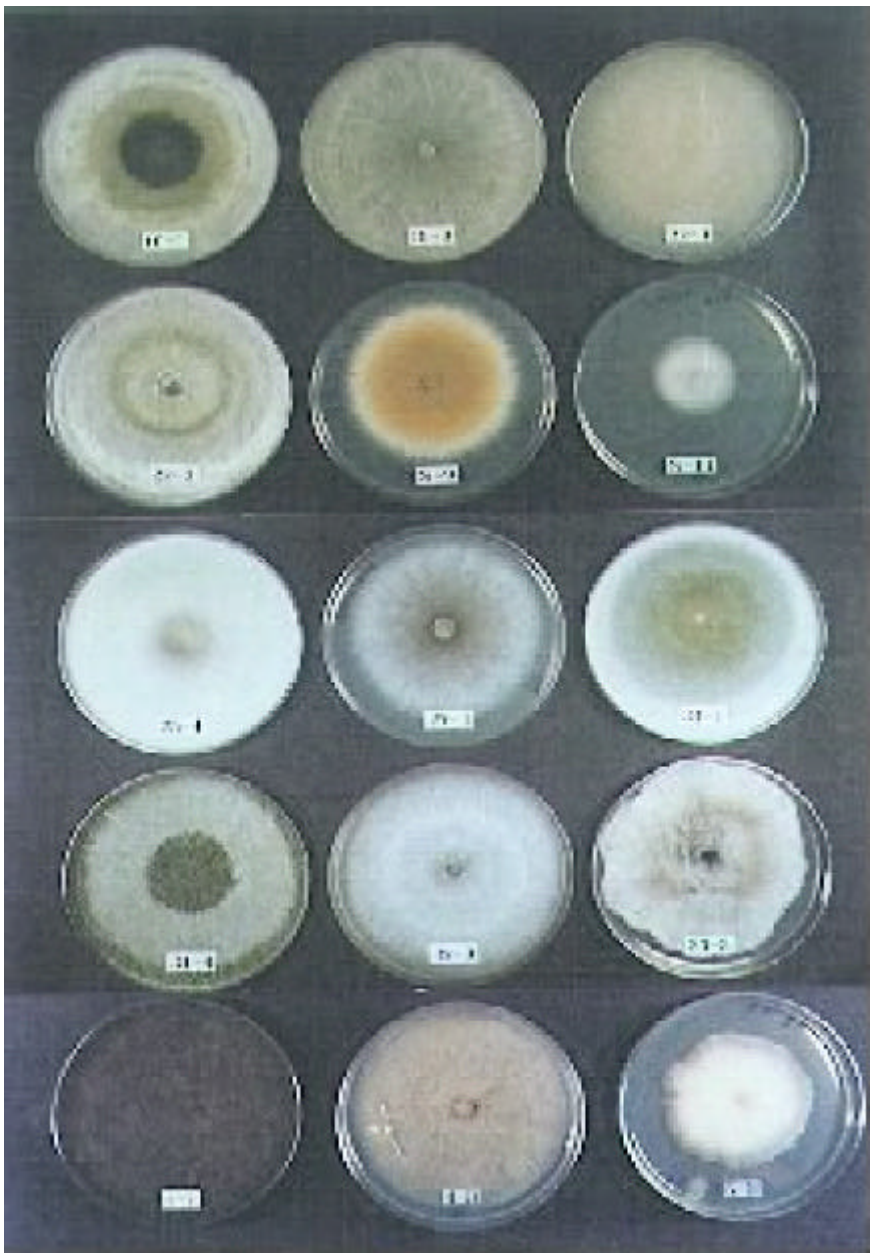
미생물/ 분류	균 주 번 호	비 고/ 응 용
세균류 (True, mesophilic,)	B1-1, 1-2, 1-6, 1-7, 1-9, 7-1, 9-21, 9-22, 9-5, 10-2, 10-22, 11, 17-2, 18-1, 20-3S, 21-3, 25-1, 25-3, 27-1, 27-2, 27-3, 2SUN* H12	중성 및 알칼리성 일반적인 부숙과정 및 2-단계 발효에 적용
(True, thermophilic)	B1-2T, 1-3T, 1-4T, 1-6T 2-2T, 2-3T, 2-6T	단기 부숙과정
(Actinomyces)	A61, 78, 82, 86-2, 96	2-단계 발효 및 숙성(후숙)과정
(Thermo-actinomyces)	A2T, A2T-SUN	단기 부숙과정 및 숙성(후숙)과정
진균류 (White-rot fungi)	F3-1, 239, 241, 259, 308 T123, 164, 218, 242,	Bavendamm+ 목분 및 목재편의 분해율: 높음 1-단계 발효
(Brown-rot fungi)	F202, T177, 190, 243, 289, 306, 309	Bavendamm- 목분 및 목재편의 분해율: 중간정도 일반적인 부숙과정 및 2-단계 발효
(Soft-rot fungi)	F12-4, 17-5, 31-1, 31-3, 31-5, 32-22, 33-2 S9, 14	Cellulase 활성도: 높음 목분 및 목재편의 분해율: 낮음 일반적인 부숙과정 및 2-단계 발효 S-계열 균주: C/N 비율이 높은 물질에 적용

* 여기에 속하는 균주는 생략하여 나타내었음.

<그림 2-1> 선발된 세균류의 콜로니 형태. Nurient agar 평판배지에서 30℃, 72 시간 배양하였음(단, T-계열 고온균은 55℃, 36 시간).

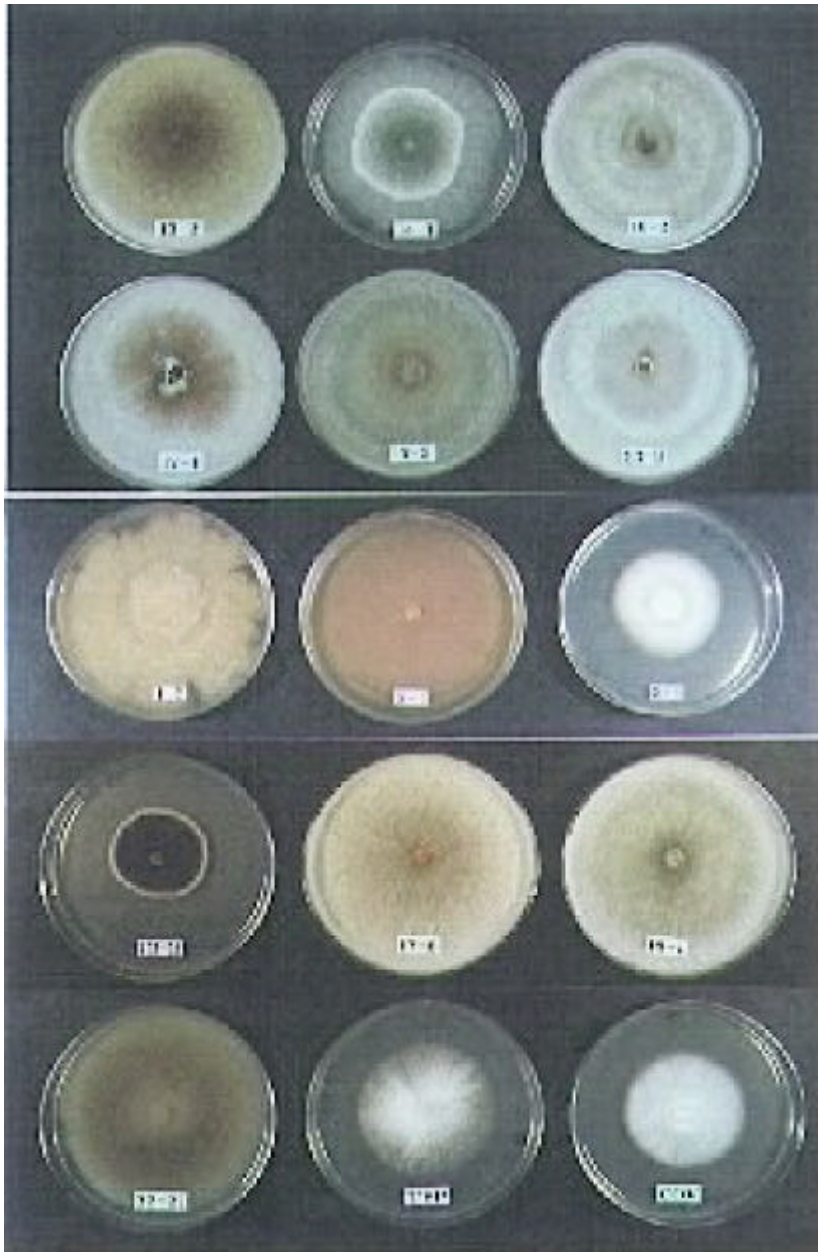


<그림 2-2> 선발된 방선균류의 콜로니 형태. Starch casein 한천평판배지에서 30℃, 72 시간 배양하였음(단, 고온균은 55℃).



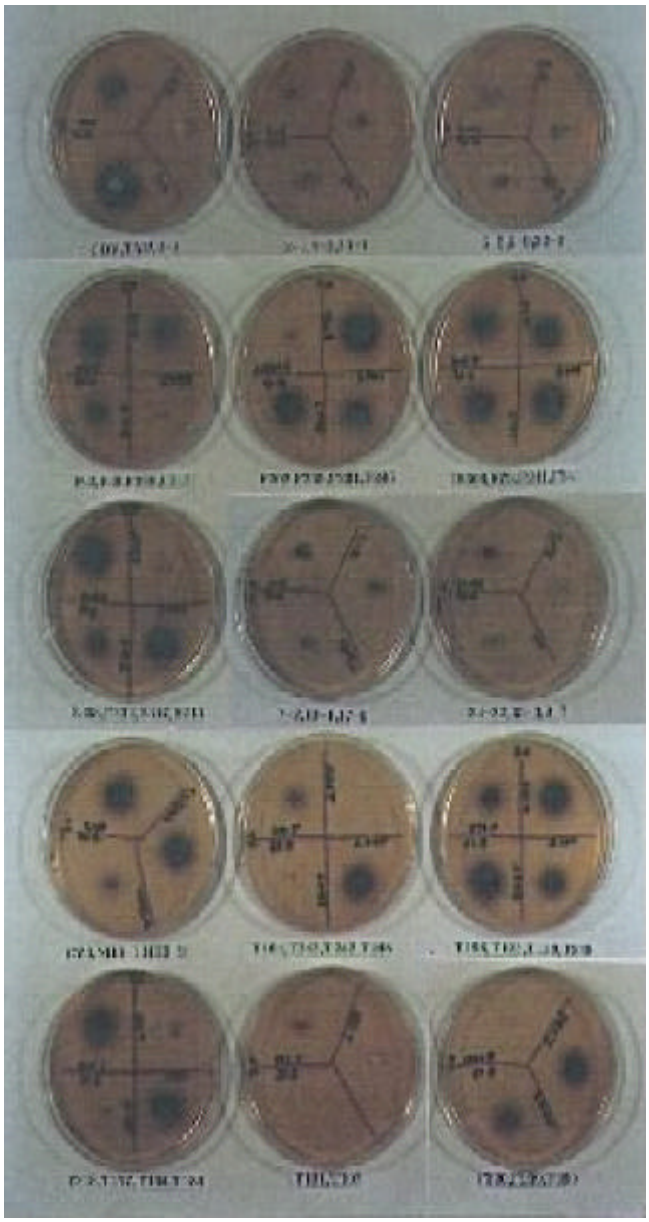
<그림 2-3> 선발된 진균류의 콜로니 형태 <Plate Ⅰ>.

Potato dextrose 한천평판배지에서 26℃, 72 시간 배양하였음.



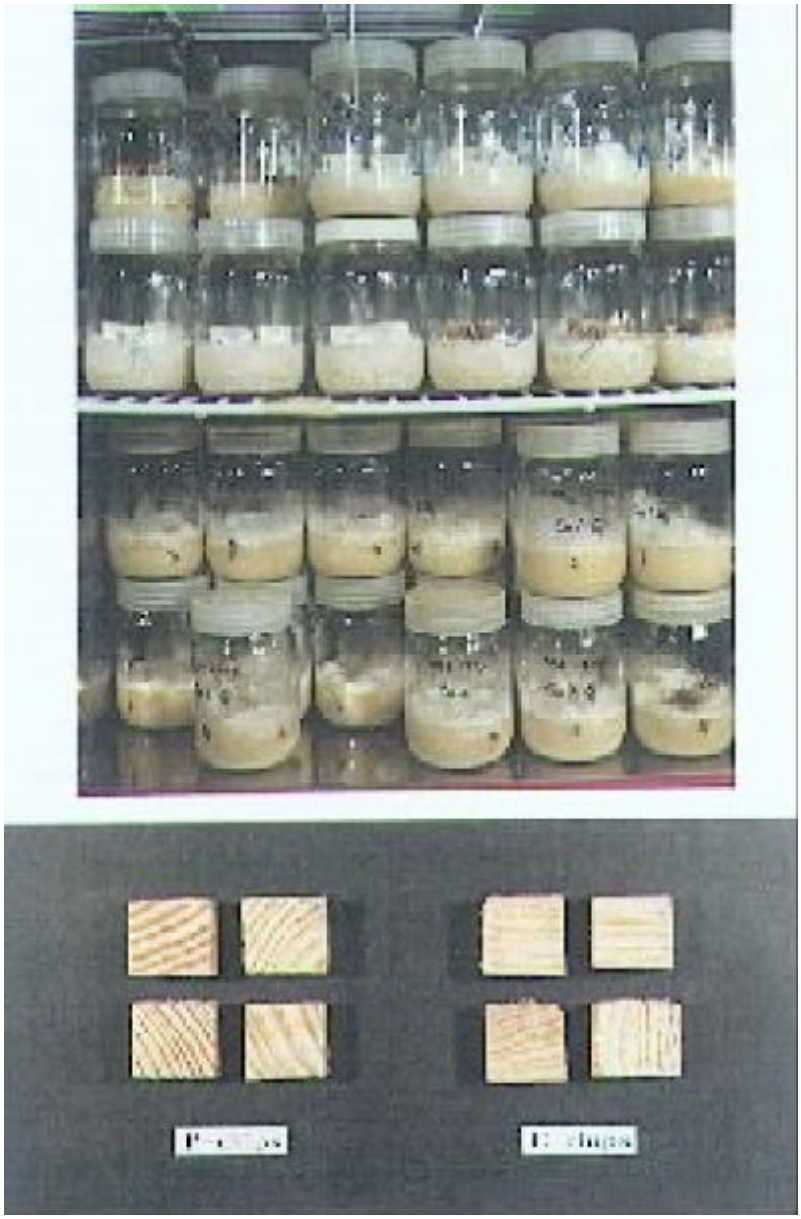
<그림 2-3> 선발된 진균류의 콜로니 형태 <Plate Ⅱ>.

Potato dextrose 한천평판배지에서 26℃, 72 시간 배양하였음.



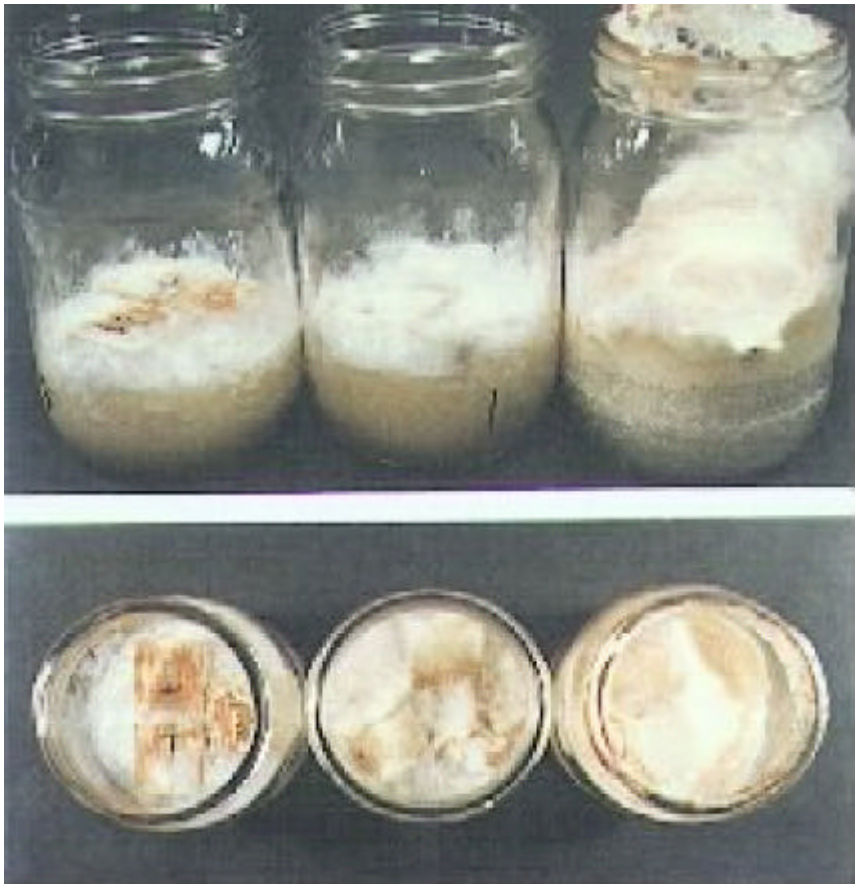
<그림 2-4> 선발된 진균류의 Bavendamm 반응.

맥아즙 한천평판 배지(0.5% gallic acid, pH 5)에서 26℃, 48 시간 배양하면서 콜로니 주변에 나타나는 암갈색의 변색반응을 시험함.



<그림 2-5> 갈색 및 백색부후균에 의한 소나무 목재편의 분해.
목재보존료 효능시험법 M-1707에 의함. <상> 26℃ incubator 내의 배양병, <하> 소나무 목재편(좌), 삼나무 목편(우), 크기는 각각 20×20×10H mm.

<그림 2-6> 백색부후균에 의한 소나무 목재편의 분해 (중량감소).
목재보존료 효능시험법 M-1707에 의함. <상> 배양병의 옆면, <하> 배양병의 윗면, 배양초기(좌), 배양후기(우).



<그림 2-7> 갈색부후균에 의한 소나무 목재편의 분해(중량감소).
목재보존료 효능시험법 M-1707에 의함. <상> 배양병의 옆면, <하> 배양병의 윗면, 배양초기(좌), 배양후기(우).

3. 적 요

가. 전국 각지의 14개 지역으로부터 수집한 토양, 부엽토, 부후목등 71종 이상의 시료를 분리원으로 하여 섬유소 및 리그닌의 분해능을 가진 미생물 균주를 분리하였다.

1) 세균류로서 255주의 분리균중 cellulose+를 나타내는 중온균 34주, 고온균 7주, 방선균 7주(고온성 방선균 2주포함)를 선발하였다.

2) 진균류로서 78주의 사상균중 cellulose+를 나타내는 16주(*niger*계통 4균주와 *flavus*계통 7균주 포함)를 선발하였다. 담자균으로서는 Bavendamm+의 백색부후균 9주, cellulose+, Bavendamm-의 갈색부후균 6주를 분리 선발하였고, 다수의 특이균주(연부균 및 yeast-like)중 저질소 배지에서 생육하면서 섬유소를 분해하는 2개 균주를 선발하였다.

나. 선발균주는 세균의 경우 중온균, 고온균, 방선균으로, 진균의 경우 백색부후 담자균, 갈색부후 담자균, 연부균, 특이균주로 구분하였다. Cellulose+, starch+인 중온성 세균 H12 균주는 Bergey's Manual of Systematic/ Determinative Bacteriology에 따라 *Bacillus*속의 균주로 분류되었다.

다. 접종제용 미생물 균체 생산을 위하여 균주별로 배지 및 배양조건을 검토하였다.

1) 세균류는 nutrient broth + 0.5% CMC에서 좋은 생육을 나타내었다. 중온성 균주 H12의 경우에는 효소생산을 위하여는 Dubos' salts + Bacto soytone(1%) + sigmacell(1%)을 선호하였고, 균체생육에는 Luria broth가 가장 좋았다(24 h 진탕배양후 7×109 cells mL-1에 도달). 방선균류의 최적 배지는 starch casein + soil extract 이었다.

2) 진균류의 최적배지로는 Czapek-Dox(NaNO3 2g, K2HPO4 1g, MgSO4·7H2O 0.5g, KCl 0.5g, FeSO4·7H2O 0.01g L-1)에 1/5 1/2 strength의 PD broth를 첨가하거나, 0.5% 이하의 CMC 또는 0.1% 이하의 indulin을 첨가한 것이었다.

제 2 절 각종상토재료의 최적부숙조건의 확립 및 적정 부숙도 구명

1. 재료 및 방법

가. 미생물학적 방법

배지 및 배양방법, 접종제의 조제, 선발균주의 분류동정 등은 제1절에 기술한 바와 같음.

나. 화학성분 분석방법

1) 시료조제

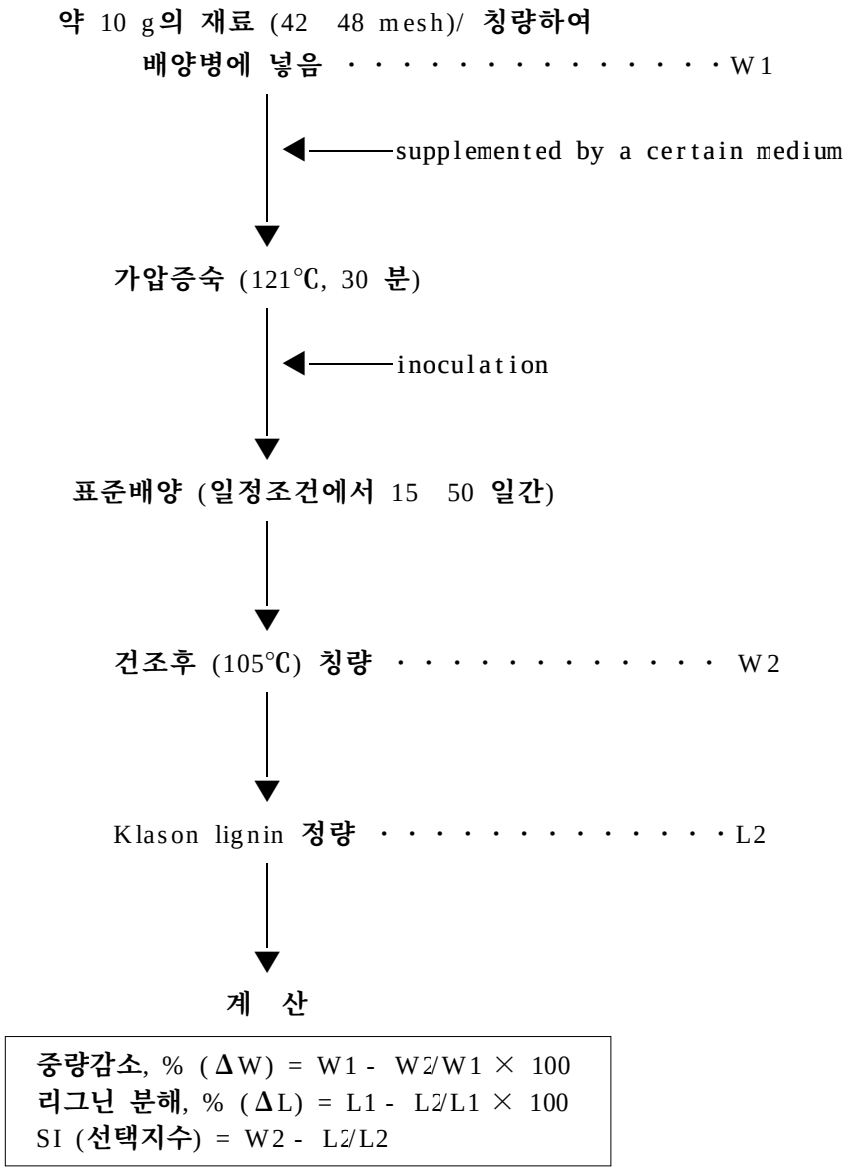
시료를 50℃에서 항량이 될 때까지 건조한 후 Cyclon mill을 사용하여 분쇄하고, 500 mesh의 체를 통과시켰음.

2) 미생물에 의한 상토재료의 리그닌 분해율(ΔL), 중량감소율(ΔW), (탄수화물의 잔존량/(리그닌의 잔존량)의 비율(SI)의 측정

측정단계와 방법은 아래 그림과 같으며, 중량감소율(ΔW)은 미생물 처리전 재료의 건조중량(W1)을 우선 구하고, 배양후에 감소된 재료의 건조중량(W2)으로 부터 계산하였음. Klason리그닌(L2)은 수정법에 의해 구하였으며, 즉 75% H_2SO_4와 85% H_3PO_4(6/1, v/v)의 가수분해 혼합액 150 mL을 재료 10g에 첨가한 다음 35℃에서 5분간 교반하고 같은 온도에서 35분간 정치하였음. 이를 증류수로 희석하고, 15분간 끓인 다음 여과하여 분리된 리그닌의 건조 중량을 측정하며, 리그닌 분해률(ΔL)은 배양전 재료중의 리그닌 양(L1)과 배양후 감소된 양에 의해 계산하였음. 선택지수(SI)은 Yoshihara의 방법(1985)에 의하여 (탄수화물의 잔존량)/(리그닌의 잔존량)의 비율로 계산하였음.

3) 단리 리그닌의 분석

부숙기간중 침출액중의 리그닌 분석은 Jansheker 등(1982)의 수정법에 따르며, 침출액 0.5ml을 0.5% NaOH(w/v) 2 3ml에 혼합하여 완전히 용해시킨 다음, 전체부피가 12.5 ml 되도록 증류수로 희석하고 10분간 원심분리(3,000rpm)하여 얻은 상징액의 흡광도를 280nm에서 측정하여 리그닌 총량으로 함. 산불용성(acid-insoluble) 리그닌은 침출액 0.5ml을 0.5% NaOH로 용해시킨 다음 10분간 원심분리하고, 그 상징액의 pH를 2.5 3.0으로 조정하여(HCl사용) 12시간 정치하였음. 이를 원심분리하여 침전물을 분리시키고 다시 0.5% NaOH로 용해하여 전체부피를 12.5ml로 희석한 다음 280nm에서 흡광도를 측정하였음. 산가용성(acid-soluble) 리그닌은 리그닌 총량에서 산불용성 리그닌의 함량을 뺀값으로 부터 계산하였음.



여기에서 L1 = 접종하지 않은 재료의 리그닌 함량

그림 2-8. 재료의 ΔW, ΔL, 및 SI 값을 얻기 위한 실험절차 및 계산방법.

4) 헤미셀룰로오스

Tappi의 pentosan시험법(T 223 hm-84)에 의하여 측정함. 증류장치에 연결된 플라스크에 분쇄 시료 0.2 0.3g을 넣고, 20g NaCl과 3.85N HCl 100ml을 가한 다음, 1분에 약 2.5ml씩 증류되도록 가열하면서 증류된 양 만큼 3.85N HCl를 보충하였음. 증류된 액은 ice bath로 냉각시키면서 수기에 받아서, 증류액의 부피가 225±10ml(90+15분)에 이를때 증류를 종료하며 증류액은 20℃를 유지하면서 3.85N HCl을 가하여 전체의 부피가 250 ml 되게 채웠음. 이 용액 5ml를 취해서 oricinol 25ml를 첨가하고 ethanol로 전체의 부피를 50ml 로 조정하여 약 60분간 방치후 흡광도(630nm)를 측정하며, furfural을 표준물질로 하여 pentosan을 정량하였음.

5) 셀룰로오스

시료 2g을 alcohol-benzene(1:2)으로 6 시간 추출후 100ml 플라스크에 옮겨 0.5% 염소수 60ml로 5분간 염소화(실온) 시키고 유리여과기(lG-1)로 여과하였음. 이를 증류수, 3% 아황산나트륨, 다시 증류수의 순으로 세척하고 그 잔사를 100ml 플라스크에 옮겨서 2% 아 황산나트륨 50ml를 가한 다음, 물중탕에서 30분간 가온후 유리여과기로 여과하고 온수 및 냉수로 세척하였음. 잔사가 백색에 가까울 때까지 염소화 이후의 조작을 반복하며, 마지막으로 1% KMnO4 20ml를 가해서 10분간 표백함. 이어서 3% 아황산나트륨으로 무색이 되도록 세척하고, 끓인 증류수 및 95% ethanol로 세척한 다음 105±3℃에서 항량이 될 때까지 건조후 칭량하였음.

6) 부식질

시료 1g에 새로 조제한 0.1N NaOH 100ml를 가하여 밀전하고 30℃에서 하룻밤 진탕 추출한(60rpm>의 저속) 다음, 2N Na2SO4 25ml를 추가하고 원심분리하여 상징액<부식추출액 A>를 분리하였음. 추출액 100ml에 대하여 진한황산 1ml를 혼합하여 부식산겔이 형성되도록 실온에서 방치한 후 원심분리하여 얻은 상징액을 fulvic acid 분획<F>으로 사용하고 이때의 침전물

은 묽은 황산으로 1회 세척하고 다시 0.1N NaOH에 녹여 humic acid의 분석시료<H>로 사용하였음. 부식추출액<A>와 humic acid 분획<H>의 탄소함량을 구하고 그 차이를 계산하여 fulvic acid의 탄소함량으로 나타내었음(Tyurin변법, Schnitzer등 1968).

7) 용매 추출물

유기용매는 에테르, 알콜, 알콜·벤젠, 함수아세톤 등이 사용되지만, 여기에서는 알콜·벤젠 혼액으로 유지, 색소, 수지, 정유 등을 용출함. 속슬렛추출기의 플라스크를 미리 칭량하여 둔 다음, 정칭한 시료 약 2g을 원통여과지에 옮기고 추출기의 플라스크에는 150 170ml의 에탄올(95%)·벤젠혼합액(1:2, v/v)을 넣음. 추출기를 조립하여 탕욕에서 6시간 추출하며(Ref : 전항 cellulose 정량법 참조), 이 조작에서는 용매가 약하게 비등하여 약 10분간에 1회 비율로서 사이폰관을 통과하여 환류하는 정도로 가열함. 추출처리 후 용매를 탕욕상에서 증류, 회수하고 플라스크를 칭량하며, 알콜·벤젠추출물(%) E는 다음 식에 의해 산출하였음.

$E = W/S \times 100$ 여기서 S : 시료의 총건조중량(g)

W : 추출물 중량(g)

8) 기타 화학성분

총질소(T-N)는 켈달증류법으로, 유기물(OM)은 회화법으로, 염기치환용량(CEC) 1N-초산 ammonium법(간이법)으로 하였으며, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨 등의 분석에는 시료에 conc. HNO_3을 가하고 microwave로 분해하여 ICP spectrometer(GBC Integra XMP, Australia)로 분석하였음.

▷ 총질소 : 조제된 시료를 0.5g을 달아 분해후 라스크에 넣은 다음 분해촉진제(1.5g K_2SO_4+ 7.5mg Se)을 넣고 5ml의 농황산(conc.

H_2SO_4)을 가하여 혼합하였음. 420℃에서 1시간 가열분해하고 켈달증류법(Kjeltec Auto Sampler System 1035 Analyzer, Tecator. Sweden)으로 측정하였음.

▷ 유기물 : 시료를 2.0g을 미리 항량이 구해진 도가니에 담아서 약 2시간 동안 600℃로 가열한 후 데시케이터에서 방냉후 무게를 측정하였으며, 처리전 시료양에서 회화 건조후 잔량을 제한 양을 유기물로 하였음.

▷ 염기치환용량 (간이법) : 시료 5.0g을 100ml 삼각후라스크에 취하고 50ml의 1N NH_4OAc(pH 7.0)액을 가한 다음 30분간 150rpm으로 진탕하였으며, 진탕이 끝난 시료를 100ml 비이커에 옮겨 초자전극을 써서 pH를 측정하여 다음 식에 의하여 H^+ ion을 구하였음.

H^+ me/100 g (cmolc/kg) = (7.00 - pH 측정치) × 22

이 시료를 여과하여 ICP로 Ca, Mg, K 및 Na의 양을 측정한 후, H^+ ion과 합하여 염기치환용량(capacity of exchangeable cation)을 계산하였음.

▷ 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨 : 시료 0.5g을 취하여 100ml 고압용기에 넣고 증류수 5ml과 농질산(conc. HNO_3) 10ml을 가하고 혼합하였음. Microwave oven에서 25분간 가열 분해한 후 -20℃에서 1시간 냉각시킨 후 여과하여 100ml로 정용하였으며, 이 시료액을 ICP로 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨 등을 측정하였음.

다. 효소활성도의 측정방법

1) Laccase(EC 1. 10. 3. 2.)

0.5 mM syringaldazine용액 0.2 ml와 acetate buffer(pH 5.0) 1.5ml를 혼합하여 20℃에서 5분간 예열하고, 여기에 조효소액 1.8ml을 첨가한 다음, 5분 동안 파장 525 nm에서의 흡광도의 변화를 측정하였으며, 효소의 활성도 단위는 아래와 같이 계산하였음(Harkin등, 1973).

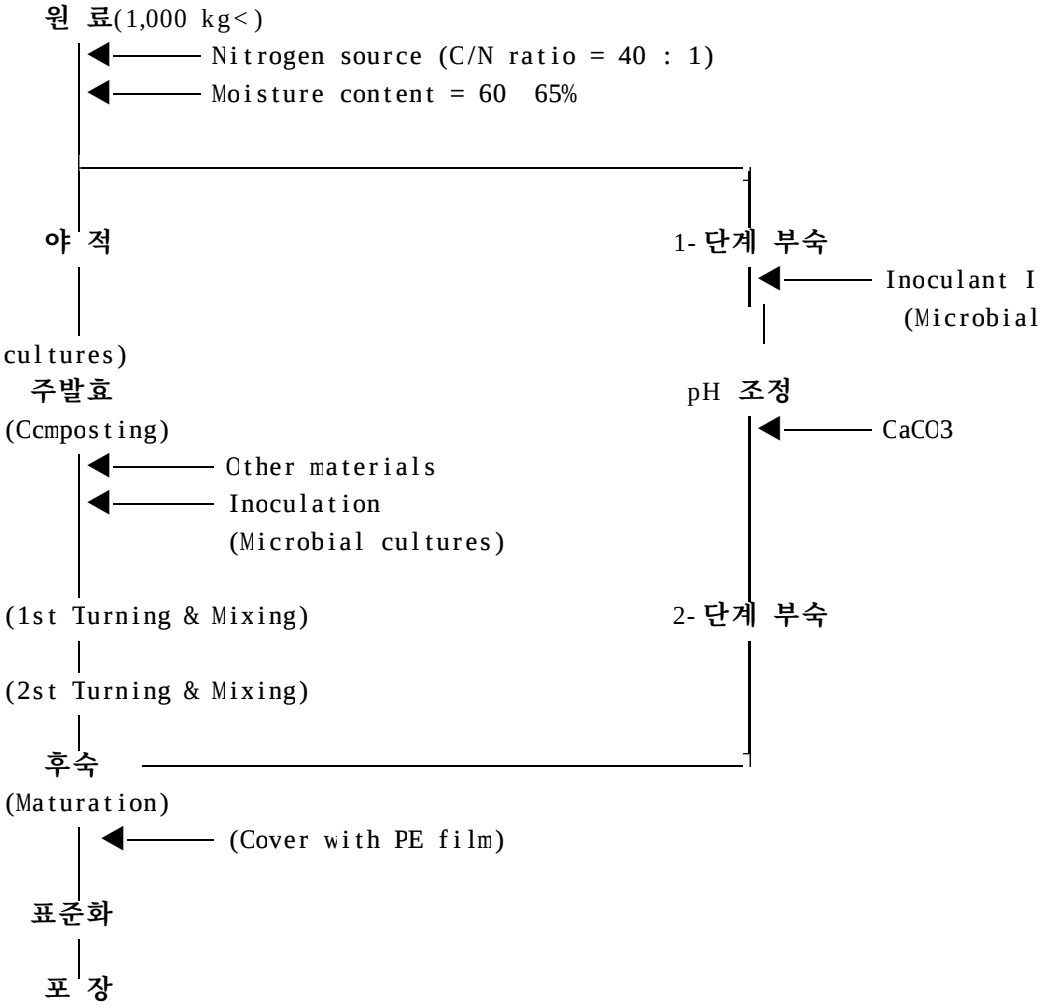
$$\text{활성도} = \frac{\Delta E}{\Sigma \cdot \Delta t}$$

Σ : 65,000(molar absorption coefficient)

ΔE : 525 nm에서 흡광도의 변화

Δt : 반응시간(sec)

2) Lignin peroxidase(ligninase, diarylpropane peroxidase, EC 1. 11. 1. 14.)



<그림 2-9> 자연조건에서의 야적법(좌)과 주어진 조건에서의 발효법의 공정도(우).

3) Manganese peroxidase(EC 1. 11. 1. 13.)

과산화수소의 존재하에서 각각 veratryl alcohol과 guaiacol을 기질로 하여 측정하였음(Kofujita등, 1992).

4) CM-Cellulase(EC 3. 2. 1. 4.)

▷ CM-cellulose 당화력: Reese등의 방법에 따라 0.2M acetate 완충액(pH 5.0)에 용해한 1%(w/v) CM-cellulose용액 1.5ml를 40℃의 항온조에서 10분간 예열한 다음, 여기에 조효소액 1ml를 가하고 20분 반응시킨 후 Somogyi-Nelson법으로 환원당의 변화를 측정하였음. 효소의 활성도 단위는 위의 방법으로 1분 동안 1μmol의 glucose에 해당하는 환원당을 생성시키는 효소의 양으로 나타내었음.

▷ CM-cellulose 점도저하력: Canevascini 등(1981)의 방법에 따르며 즉, 0.3% CM-cellulose(high viscosity) 기질용액 5ml에 pH 6.8의 0.05M citrate-phosphate 완충용액 4ml를 혼합하여 30℃ 항온수조에서 10분간 예열한 다음, 여기에 1ml의 효소액을 첨가하여 그 9ml를 Ostwald viscometer(30℃에서 완충용액의 유속: 9.8초, 공시험의 유속: 58초)에 옮겨 30℃에서 10분간 반응시키면서 그 유속의 변화를 2분 간격으로 측정하였음. 효소 활성도는 반응시간과 $\eta_{sp.tx}$($\eta_{sp.tx}$는 각 반응시간에서의 비점도)를 plot하여 얻은 기울기 값에 1,000을 곱한 값(slope×10^3)으로 나타내었음.

5) Xylanase(EC 3. 2. 1. 32.)

Xylanase활성도는 xylan을 기질로 사용하여 앞에서의 CM-cellulose 당화력 측정법과 같은 방법으로 측정하였음.

라. 상토재료의 부숙공정

그림 2-9 참조

2. 결과 및 고찰

가. 상토재료의 성분 보완(특히 C/N 비율조정등) 및 분쇄입도 조정

소나무목피 2종(건식 및 습식박피)을 주원료로, 톱밥과 왕겨를 부원료로 사용하였으며, 성분 보완실험의 결과는 다음 3항의 <야적/발효 조건>에서 함께 기술하였다.

나. 선발균주(단일 또는 복합균주 사용)의 적정 접종량 검토

전년도(1차년도)에 선발한 우량균주에 대하여는 먼저 starter로 사용하기 위한 전 배양 조건을 검토하였으며, 단일 또는 복합균주를 접종하는 경우 적정 접종량을 구명하고저 실험하여 몇 가지 결과를 얻었다.

1) 스타터의 전배양

세균류는 액체배지(Nutrient broth or NB + 0.5% CMC, Luria broth, SCA or Benett broth)에서 분산현탁 상태로 잘 생육되었으며, 진균류는 고체배지(Woodmeal + wheatbran)에서 균사체의 상태로 배양물을 얻을 수 있었으므로, 각각의 최적조건 하에서 배양한 결과를 <표 2-4>에 요약하여 나타내었다.

2) 적정접종량 및 복합균주의 공존성

세균류의 전배양물은 생균수 $10^9 \cdot ml^{-1}$로서 분산현탁 상태이었으므로 상토의 발효원료에 대하여 1% 이하의 접종량을 적용 <분무접종> 하더라도 잡균을 억제하면서 발효를 진행시킬 수 있었다.

그러나 진균류의 경우에는 덩어리상태의 균사체이므로 음건하여 수분함량을 낮추고 잘게 부수어 사용하였으며<혼합접종>, 원료에 대하여 부피로 1% 이상의 접종량을 필요로 하였다.

이러한 접종량 실험을 위하여는 아래와 같이 2종의 부숙장치를 제작하여 비교시험에 사용하였으며, 살균처리를 거치지 않은 원료를 대상으로 잡균의 발생을 억제할 수 있는지를 조사하였다.

S **형** : **발효실 부피** 30×33×28 cm(chest-type, impellers in central position, working volume, 18 L)

L **형** : **발효실 부피** 45×55×25 cm(chest-type, impellers in central position, working volume, 36 L)

<표 2-4> 부숙용 접종제로 사용하기 위하여 선발한 미생물 균주의 배양적 성질.

균 주 번 호	배 지/ 온 도	비 고/ 생육속도
세균류		A610 에서의 탁도 0.6a)에 도달하기 위한 배양기간 (h):
(True, mesophilic,)		
B1-1, 1-2, 1-6, 1-7, 1-9, 7-1, 9-21 9-22, 9-5, 10-2, 10-22, 11, 17-2, 18-1, 20-3S, 21-3, 25-1, 25-3, 27-1, 27-2, 27-3, 2SUN*	Nutrient broth or NB + 0.5% CMC, 30℃	72 h, turbid & dispersed
H12	Luria broth, 37℃	less than 72 h
(True, thermophilic)		
B1-2T, 1-3T, 1-4T, 1-6T, 2-2T, 2-3T, 2-6T	Nutrient broth or NB + 0.5% CMC, 55℃	36 h, turbid & dispersed less than 36 h 48 h
		A610 에서의 탁도 0.8에 도달하기 위한 배양기간 (h):
(Actinomyces)		
A61, 86-2, 96	SCA broth, 30℃	72 h, turbid with partial clotting
A78, A82	Benett broth, 30℃	less than 72 h
(Thermoactinomyces)		
A2T A2T-SUN	Benett broth, 55℃	48 h, turbid with partial clotting less than 48 h
진균류		배양병b)에 균사체가 가득 찰 때까지의 배양일수:
(White-rot fungi)		
F3-1, 239, 241, 259, 308	목분 + 밀기울 (8 : 2), 26℃	14 days, 백색 균사체 less than 14 days
T123, 164, 218, 242,		11 days
(Brown-rot fungi)		
F202, T177, 190, 243, 289, T306, 309	목분 + 밀기울 (4 : 6), 26℃	14 days, 균사체 9 days less than 9 days
(Soft-rot fungi)		
F12-4, 17-5, 31-1, 31-3, 31-5, 32-22, S9, 14	목분 + 밀기울 (2 : 8), 30℃	3 days, 균사체 + 포자 3 days 5 days

a)이 값은 viable titre로서 109 cells ml-1에 상당하는 것임.
b)폴리에칠렌제의 800 ml 들이 광구병.

<표 2-5> 세균류의 균주간 비공존성(incompartibility, 길항성).

세 균 균 주	비공존성을 나타내는 균주
H12	B1-6, 17-2, 2SUN
B1-6T	2SUN
B2-2T	B20-3S
A2T	Most of the B-series
A2T-SUN	Most of the B-series

Side-arm flask(250-ml)내의 적정액체배지에 양 균주를 접종하고 혼합배양하면서 A610 에서의 탁도 및 viable count의 방법으로 생육속도를 측정 비교하였음.

한편 미생물균주간 공존성을 시험한 결과, 각 균주를 개별적으로 배양한 다음 혼합하는 경우 균주상호간 생균수에 별 영향을 미치지 않았으나, 현저하게 생균수의 저하를 초래하는 비공존성 균주는 <표 2-5>와 같다. 따라서 혼합 접종제는 이들 비공존성 균주간의 배합을 피하여 조제해야 하며, 이외에도 공존성 균주를 다수 보유하고 있으므로 이를 선택적으로 사용할 필요가 있다.

다. 예비부숙조건의 검토

소나무목피 2종(건식 및 습식박피)과 톱밥, 왕겨 등의 야적조건을 검토하였다. 이때 수분함량, C/N 비율 및 pH를 아래 <표 2-6>에서와 같이 조정하고 하우스조건에서 예비 부숙이 이루어지도록 하였으며, 2주일 후 증발된 수분함량을 재조정하여 12주간 지속하였다 <그림 2-11>. 야적중에는 각 구 모두에서 품온은 상승하였으나 50℃ 이상의 고온 부숙현상을 수반하지 않으므로서 예비 부숙과정은 성공적이지 못하였다. 그러나 상토재료의 성분으로서 바람직하지 못하다고 생각되는 즉 제거해야 할 용매추출물(alcohol-bezene extract)의 함량이 수피 및 톱밥의 경우에는 43.1 44.7%,

왕겨는 26.9% 감소함으로서 차후의 본발효 과정에 도움이 될 것으로 판단되었다.

용매추출물의 제거효과를 고온가압추출, 수침 등의 방법과 비교하여 보았으며 그 결과를 <표 2-7>에 나타내었다. 에너지를 필요로 하는 고온가압에 의해서 보다도 단순히 물에 담가놓는 방법으로 용매추출물이 제거되었으므로, 시간만 허락한다면 그대로 실외에 장기간 야적하여 풍화시키는 것이 불필요한 성분을 경제적으로 제거하는 간편한 방법이 될 것이다.

<표 2-6> 원료의 전처리를 위한 야적(Piling before the process of main fermentation)

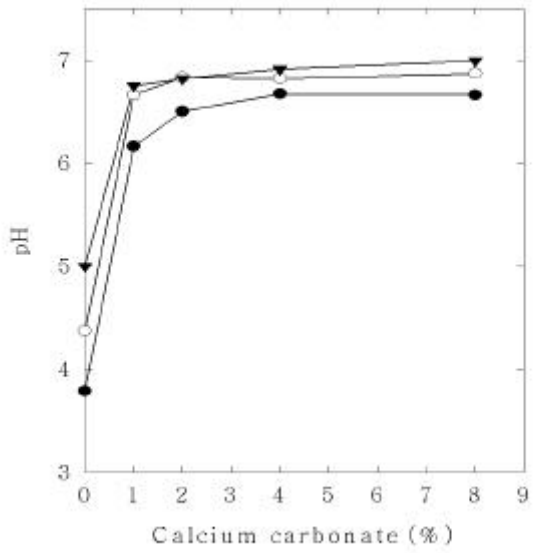
원 료	야적규모	비 고/ 처 리
소 나 무 수 피 (by wet method)	500 kg	수분함량: 45%→60%(56%↓ in 2wks)→60% C/N 비율: 109:1→40:1 (by addition of urea and YEa)) pH: 4.37→6.66(by addition of 1% $CaCO_3$) Piling in green house for 12 wks
소 나 무 수 피 (by dry method)	500 kg	수분함량: 72%→71%↓ in 2wks C/N 비율: 94:1→40:1 (by addition of urea and YE) pH: 3.79→6.16(by addition of 1% $CaCO_3$) Piling in green house for 12 wks
소나무 톱밥	200 kg	수분함량: 46%→60%(52%↓ in 2wks)→60% C/N 비율: 252:1→40:1 (by addition of urea and YE) pH: 5.00→6.75(by addition of 1% $CaCO_3$) Piling in green house for 8 wks
왕 겨	200 kg	수분함량: 10%→60% C/N 비율: 79:1→40:1 (by addition of urea and YE) pH: 6.44 Piling in green house for 12 wks

a)공업용 효모추출물(Autolysed yeast extract by Kosher Pareve, Netherland).

<표 2-7> 야적 전후 alcohol-bezene 추출물 함량의 변화.

원 료	Alcohol-bezene 추출물(함량 %)				
	Originalsa)	Pilingb)	Compostingc)	Autoclavingc)	Soakinge)
습식 소나무 수피	7.76	4.34	1.13	6.21	5.75
건식 소나무 수피	8.54	4.72	1.36	6.66	6.35
소나무 톱밥	4.15	2.36	0.50	2.53	2.64
왕 겨	3.87	2.83	1.09	1.62	2.02

a) 원료.
b) 12 주간 야적한 것(표 2-6의 방법으로).
c) 12 주간 부숙시킨 것.
d) 수침하여 121℃에서 30 분간 가압증숙하고, 2 회 헹구어 낸 것.
e) 수돗물에 그대로 5 h 침지한 다음 2 회 헹구어 낸 것.



<그림 2-10> 탄산칼슘의 첨가에 의한 소나무 수피 및 톱밥의 pH 조정.
—○— 소나무 수피 (by dry method), —●— 소나무 수피 (by wet method), —▼— 소나무 톱밥.

<그림 2-11> 원료의 전처리 (예비부숙).

pH, C/N 비율 및 수분함량을 조정한 다음 그린하우스 조건에서 야적하였음.

<상> 왕겨 및 소나무 톱밥, <하> 습식 및 건식 소나무 수피.

라. 최적 발효조건 검토

12주간의 예비부숙 과정을 거친 재료를 사용하여 본발효를 위한 배합비율을 검토하기 위하여, S 형 발효기(chest-type, impellers in central position, working volume, 18 litres)로 소량시험을 수행하였다.

소나무수피를 주재료로 사용하고 톱밥과 왕겨를 각각 10%(v/v) 혼합하여 부숙시킬 때, 품온의 최초 상승이 이루어지기까지의 기간 (일수)을 가급적 단축할 수 있는 조건을 찾도록 시도하였다. 미생물 접종원으로서는 세균(방선균포함) 및 목재부후균 6균주를 함유하는 multi-strain starter를 사용하였다. <표 2-8>에 건식수피의 결과를 정리하였다.

예비실험을 통하여 사용한 재료 그대로는 접종균의 번식이 용이하지 못하였으므로 탈지미강을 첨가하여 발효가 촉진되도록 하였다. 즉 원료에 대하여 2, 4, 6, 8, 12%(v/v)의 미강을 각각 혼합하고 pH(1% $CaCO_3$첨가, pH 6<) <그림 2-10 참조> 및 수분함량(60%)을 조정한 다음 스타터를 접종하고 28℃의 항온실에서 발효시켰다. 이로부터 품온이 상승하기 시작하여 50℃이상으로 올라가는데 소요되는 배양일수를 비교하였으며 이때는 접종균의 번식이 육안으로 확인되는 시점인 바, <표 2-8>의 결과에서 보는 바와 같이 미강 6% 수준이 적절한 첨가량임을 확인하였다.

따라서 주발효 과정에서는 아래 조성의 원료를 배합하여 총 720 litre씩 퇴적 (heap composting)하여 송풍장치 없이 하우스 내에서 12주간 부숙시켰다. 2주 및 4주후 2회에 걸쳐 뒤집기 작업을 하였으며, 이때 증발된 수분을 보충하였다.

▷ 습식소나무수피 + 톱밥 + 왕겨 + 탈지미강 [533:72:72:43]
▷ 건식소나무수피 + 톱밥 + 왕겨 + 탈지미강 [533:72:72:43]

주발효 과정중 품온의 변화는 <그림 2-12>에 나타내었다. 초기 2주간(1차 뒤집기까지)의 품온 상승은 미약하였으며 그 이후의 품온은 건식수피 실험구(DPR+S+R+RB)에서만 바람직한 온도 양상이 관찰되었다. 기간중 화학성분 및 CEC, C/N 비율 등의 변화를 분석하여 그 결과를 <그림 2-13 및

- 14>에 그래프로 나타내었고, <표 2-9 및 -10>에는 발효전후의 차이를 정리하였다. Cellulose, hemicellulose, lignin, alcohol-bezene 추출물 등의 함량 변화는 전형적인 부숙 양상을 보이고 있으며, 발효기간중 감량이 일어나므로 분해속도가 느린 lignin은 증가하는 것처럼 보여지며, 반대로 cellulose 및 hemicellulose 등은 그래프에서 보다 실제 분해율이 더 높다고 해석된다. 부숙도를 알 수 있는 humic acid, acid-soluble lignin, 그리고 CEC 등은 습식 보다도 건식수피 실험구에서 비교적 좋은 값을 보이고 있다. 그러나 CEC 값은 Riffaldi 등(1983)이 제안한 60 cmole·kg-1에는 미치지 못하고 있었으며, 한편 저해물질을 포함하는 것으로 생각되는 alcohol-benzene 추출물은 최종적으로 1.1 1.4%가 잔존함으로서 발효기간중의 제거율은 71 74%로 계산되었다.

<표 2-8> S-형 발효기에서 건식 소나무 수피를 발효시킬 경우 퇴비의 품온이 50℃에 도달하는 기간.

발효실험구 (원료량, litre)	미강a)의 첨가량 (litre)	발효기간(일수)b)	접 종 균 주
Ⅰ. DPBc)+Sd)+Re) 14.04:1.8:1.8	0.36(2%, v/v)	14<	혼합균주 2%(w/v): <B>H12,B1-2T,A78; <F>F3-1,T190,S14.
Ⅱ. DPB+S+R 13.68:1.8:1.8	0.72(4%, v/v)	14<	위와 같음
Ⅲ. DPB+S+R 13.32:1.8:1.8	1.08(6%, v/v)	11	위와 같음
Ⅳ. DPB+S+R 12.96:1.8:1.8	1.44(8%, v/v)	11	위와 같음
Ⅴ. DPB+S+R 12.24:1.8:1.8	2.16(12%, v/v)	10	위와 같음

a) Sri Lanka산 수입 탈지미강; *179.82±123.04 ㎛; <효성농산(주)>

b) 발효기를 가동시킨 후 품온이 50℃에 도달하는 일수. 발효기는 운용용량 18리터로서 원료의 수분함량 60%, pH는 6 이상(1% $CaCO_3$ 첨가)으로 조정하고 혼합균주를 접종하여, 28℃에서 가동하였음.

c) DPB, 전처리 과정을 거친 건식 소나무 수피

d) S, 전처리한 소나무 톱밥, e) R, 전처리한 왕겨

< 표 2-9> **퇴적발효**(heap composting)**시킨 수피 생성물의 이화학 성질**.

Products	Mois-ture(%)	pH	T-N (%)	T-C (%)	P (ppm)	K (ppm)	CEC (cmolc kg-1)	Exch. cations (cmolc kg-1)			
								K_2O	CaO	MgO	Na_2O
WPB-C[a)]	53.6	6.28	1.69	51.7	502	1,028	48.6	7.2	16.3	4.4	8.6
DPB-C[b)]	47.5	5.85	1.78	47.3	472	1,724	54.5	9.6	19.2	5.7	12.8

Products	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Cr	Pb	Hg	As
	(ppm)											
WPB-C	6,376	478	1,080	2,152	ND	15.8	6.2	2.6	3.2	50	44.4	9.8
DPB-C	7,840	464	1,210	1,778	64	19.4	5.0	1.2	1.4	36	54.4	9.6

a) WPB-C, 「**습식소나무수피** + **톱밥** + **왕겨** + **탈지미강** [533:72:72:43]」**을** 12 **주간 퇴적발효시켜 얻은 생성물**.

b) DPB-C, 「**건식소나무수피** + **톱밥** + **왕겨** + **탈지미강** [533:72:72:43]」**을** 12 **주간 퇴적발효시켜 얻은 생성물**.

<표 2-10> 퇴적발효(heap composting) 전후의 화학성분 함량 및 파라미터 비교.

화학성분 함량/ 파라미터		WPB[a]+S[b]+R[c]+RB[d]	DPB[e]+S+R+RB
Cellulose	전[f]	34.1	31.3
	후[g]	24.5	18.2
Hemicellulose	전	13.8	10.6
	후	6.4	7.3
Lignin	전	44.0	39.7
	후	49.4	46.7
Alcohol-benzene extracts	전	4.3	4.7
	후	1.1	1.4
Humic acid	전	3.1	3.0
	후	5.6	5.9
Acid-soluble lignin	전	2.9	3.2
	후	3.2	3.6
C/N 비율	전	40.0 : 1	40.0 : 1
	후	30.5 : 1	26.5 : 1
CEC (cmolc kg-1)	전	26.9	23.3
	후	48.6	54.5

a) WPB, 전처리 과정을 거친 습식 소나무 수피,

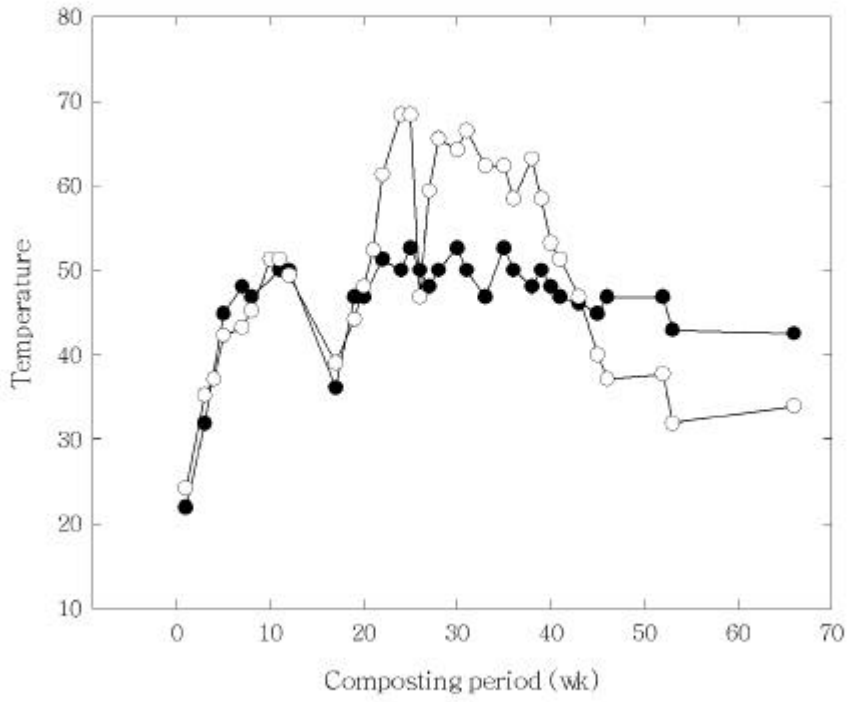
b) S, 전처리한 소나무 톱밥,

c) R, 전처리한 왕겨,

d) RB, Sri Lanka산 탈지미강,

e) DPB, 전처리 과정을 거친 건식 소나무 수피,

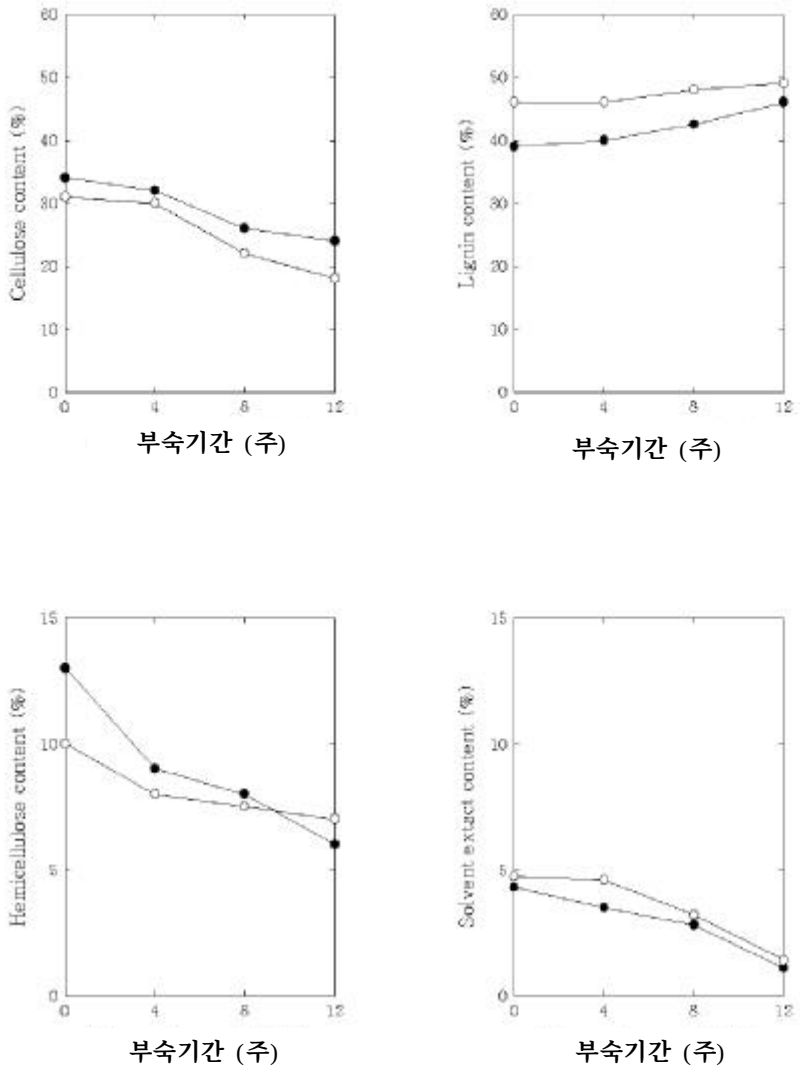
f/g)720 리터의 WPB 또는 DPB+S+R+RB [533:72:72:43]를 그린하우스에서 12 주간 퇴적발효(heap composting)시키기 전후.



<그림 2-12> **소나무 수피의 퇴적발효중 품온의 변화.**

—●— 「**습식소나무수피 + 톱밥 + 왕겨 + 탈지미강** [533:72:72:43]」

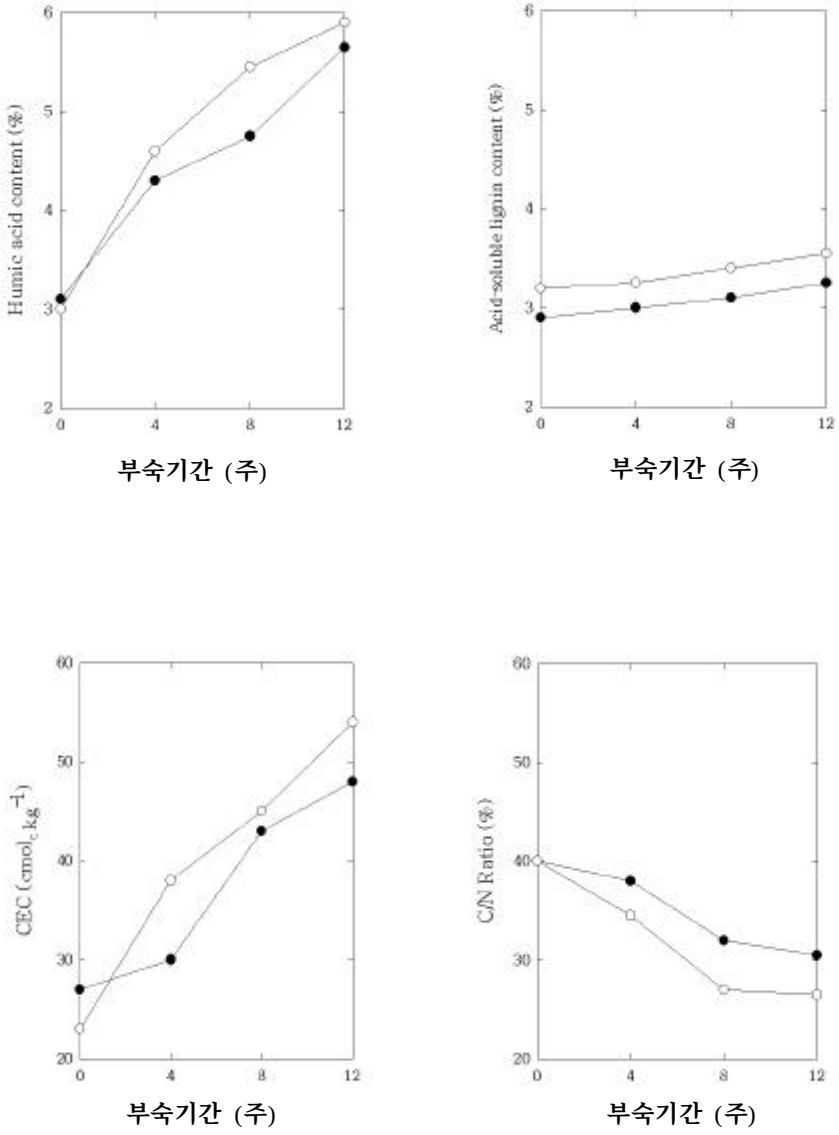
—○— 「**건식소나무수피 + 톱밥 + 왕겨 + 탈지미강** [533:72:72:43]」



<그림 2-13> 소나무 수피의 퇴적발효중 화학성분(cellulose, hemicellulose, lignin, alcohol-benzene extracts)의 변화.

—●— 「습식소나무수피 + 톱밥 + 왕겨 + 탈지미강 [533:72:72:43]」

—○— 「건식소나무수피 + 톱밥 + 왕겨 + 탈지미강 [533:72:72:43]」



<그림 2-14> 소나무 수피의 퇴적발효중 화학성분(humic acid, acid-soluble lignin, CEC, C/N ratio)의 변화

—●— 「습식소나무수피 + 톱밥 + 왕겨 + 탈지미강 [533:72:72:43]」

—○— 「건식소나무수피 + 톱밥 + 왕겨 + 탈지미강 [533:72:72:43]」

3. 적 요

가. 선발균주를 상토재료의 부숙을 위한 접종제(starter)로 사용하기 위하여 전배양 조건과 적정 접종량을 구명하였다.

1) 세균류는 액체배지(Nutrient broth or NB + 0.5% CMC, Luria broth, SCA or Benett broth)에서 분산현탁 상태로 잘 생육되었으며, 진균류는 고체배지(Woodmeal + wheatbran)에서 균사체의 상태로 배양물을 얻을 수 있었다.

2) 전배양물의 접종량은 상토의 발효원료에 대하여 세균류는 1% 이하 <분무접종>, 진균류의 경우<혼합접종>에는 1% 이상의 접종량을 필요로 하였다.

3) 혼합접종의 경우를 위하여 미생물 상호간 비공존성 관계유무를 확인하였다.

나. 소나무목피 2종(건식 및 습식박피)과 톱밥, 왕겨 등을 야적하여 예비부숙 조건을 검토하였다. 예비부숙 기간중 용매추출물(alcohol-bezene extract)의 함량이 수피 및 톱밥의 경우에는 43.1 44.7%, 왕겨는 26.9% 감소하였다.

다. 상토재료의 퇴적 발효조건을 구명하였다.

1) 본발효를 위한 재료의 혼합비율은 건식 또는 습식 소나무수피 모두 수피+톱밥+왕겨+탈지미강 = 533:72:72:43 이었다. pH 조정(6<)을 위하여 1%의 $CaCO_3$가 필요하였고, 적정수분함량은 약 60%이었다. 수피의 발효 촉진을 위하여는 부재료로서 6% 수준의 탈지미강을 요구하였다.

2) Cellulose, hemicellulose, lignin, alcohol-bezene 추출물 등의 함량 변화는 전형적인 부숙 양상을 나타내었다.

3) Humic acid, acid-soluble lignin, 그리고 CEC 등은 습식 보다도 건식수피 실험구에서 비교적 좋은 값을 나타내었다.

4) Alcohol-benzene 추출물은 최종적으로 1.1 1.4%가 잔존함으로서 발효기간중의 제거율은 71 74%로 계산되었다.

제 3 절 부숙의 속성화 및 접종용 미생물의 대량증식

1. 재료 및 방법

미생물학적 방법, 화학성분 분석법, 부숙공정 등은 앞 <제1 및 2절>에서 기술한 바와 같으며, 지방산 분포에 의한 세균의 동정에는 MIDI system을 적용하였다. Trypticase soy broth 한천배지에서 균체를 배양하고 이를 긁어 18-mL screw cap 시험관에 옮긴 다음, 검화 및 메틸화 반응을 시키고 hexane 및 MTBE로 추출후 염을 제거하고 Omegawax-320 모세관 컬럼과 FID 검출기를 장착한 HP5890-Ⅱplus형 GC로 지방산의 메틸에스터화물을 분석하였다. 여기에서 얻은 결과는 Chromate 자료 프로그램에 연결하여 분석 비교하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 부숙 속성화를 위한 상토재료별 또는 전처리별 적정 예비부숙도 검토

2차년도의 연구결과로부터 용매추출물(alcohol-bezene extract)의 함량을 기준으로 상토 재료별 예비부숙도를 비교한 결과, 야적(piling)에 의하여 소나무목피(건식박피)의 경우 8.54% → 4.72%, (습식박피) 7.76% → 4.34%, 소나무톱밥 4.15% → 2.36%, 왕겨 3.87 → 2.83%으로 각각 26 45% 감소함으로서 부숙 속성화를 위한 예비조건에 충족되었다.

한편 예비부숙을 위하여는 공간과 시간이 허락한다면, 수피 등의 원료를 그대로 실외에 장기간(예: 1년이상) 야적하여 풍화시킴으로서 용매추출물의 함량을 낮추는 것이 간편하고도 경제적인 전처리 방법이 될 것이라고 생각된다.

나. 속성부숙 조건

1) 고온성 미생물을 이용한 부숙

고온성 방선균 A2T 및 A2T-SUN균주가 일반적으로 세균류에 대하여 길항성을 나타내었으므로 이들 고온성 방선균과 고온성 세균류와의 관계

를 검토하여 길항성을 나타내지 않는 균주조합(B1-2T, 2-6T 및 A2T-SUN)을 찾았다. 따라서 이들을 다음 2단 부숙과정을 위한 접종균주로 사용하였다.

2) 2단 부숙법의 적용

▷ 1-단계 발효: 각 상토재료를 121℃에서 20분간 살균한 다음 플라스틱 트레이(30×40×15 cm)에 담아 수분함량을 60%로 조정하고 담자균 F3-1균주의 균사체를 1%(v/v) 접종하였다. 즉시 PVC 덮개로 덮고 28℃에서 2 4 주간 1차 부숙을 진행하였다.

상토재료중 소나무수피(건식)와 톱밥은 부숙이 진행되었으나 왕겨에서는 F3-1균주의 생육이 저조한 것으로 나타나 분리되어 있는 타균주(F239, 241, 259, 308 및 T123, 164, 218, 242)를 대상으로 최적균주를 선발한 결과, 대상 균주중 F-239 및 T-164가 수피, 톱밥에서 뿐만아니라 왕겨에서도 비교적 균등한 생육을 나타내었다.

▷ 2-단계 발효: 1-단계 부숙과정을 거친 상토재료와 부재료(DPB+S+R 13.32:1.8:1.8에 대하여 탈지미강 1.08 litre)를 혼합하고 고온성균주(B1-2T, 2-6T 및 A2T-SUN)를 <혼합접종>한 다음 S-형 발효기(chest-type 발효실 30×33×28 cm, impellers in central position, 실용량, 18 litre)로 48℃에서 4 주간 2차 부숙을 진행하였다.

전년도에서 검토한 야적부숙법과 2단 부숙법의 공정을 종합하여 <그림 2-15>에 나타내었다.

<표 2-11>에서 보는 바와 같이 주요 공정별로 용매추출물의 함량을 비교한 결과, 1-단계 발효과정을 거쳐 부숙시킨 소나무수피(건식)와 톱밥의 경우에는 감소율이 36.1 50.6%로서 12 주간의 야적보다도 효과적이었다. 그러나 소나무수피(습식)는 그 감소율이 건식수피에 비하여 다소 낮았다. 그리고 2-단계 발효과정을 거친 다음에는 그 감소율이 건식수피의 경우 62.6%로 향상되었다. 이는 제2절 2항에 기술한 12 주간의 퇴적발효(heap composting)의 71%에는 미치지 못하지만 2단 부숙법에 의하여 전체적인

부숙기간을 단축할 수 있음을 확인하였다.

그러나 실제로 다량의 재료를 취급하는 현장에서는 실험실 규모와는 달리 1-단계 발효과정을 위한 무균적인 조작 및 처리가 거의 불가능하므로, 미생물 균주의 접종량을 증량하고 동시에 담자균의 생육을 촉진할 수 있는 첨가제를 사용할 필요가 있다고 본다. 현장조건하에서 담자균의 초기생육을 촉진하기 위한 첨가제로서는 당밀(Molasses)의 Brix 0.5°(Determined by Atago refractometer, N-type) 희석액과 효모추출물(Autolysed yeast extact, from *Saccharomyces cerevisiae*; Kosher Pareve, Netherland)의 0.05% 용액을 수분조절제로 사용하는 것이 효과적이었다.

다. 접종용 미생물의 대량증식

1) 접종용 균주

부숙실험을 통하여 최종적으로 선발된 접종용 균주는 아래와 같다.

▷ 세균류: H12(true, mesophilic)
B1-2T, B2-6T(true, thermophilic)
A78, A2T-SUN(Actinomyces)

▷ 진균류: F3-1/ 단, 왕겨용으로는 F239 및 T164(white-rot)
T190(brown-rot)
S14(soft-rot)

H12 균주에 대하여는 제1절 2항에서 속(Genus) 수준으로 1차 분류한 바 있으며, 여기에 이어서 MIDI System을 이용하여 세포 지방산 분포를 분석한 결과 *Bacillus subtilis*의 근연균주로 확인되었다. <그림 2-17 및 -18 참조>

2) 접종용 균주의 배양

선발된 접종용 균주에 대하여는 대량증식을 위한 배양조건을 검토하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

▷ 세균류: 균주 H12 및 B1-2T는 발효조를 이용한 액체배양 (Nutrient broth 또는 NB + 0.5% CMC, Luria broth) 법으로 배양이 비교적 용이하였으며, 균주A78은 SCA 또는 Benett broth에서 현탁상태로 생육하였다. <그림 2-16 참조>

여기서 사용한 발효조(Jar fermentor)는 Eyela MBF series의 aeration unit MAU-2, pH controller GC-10 및 DO controller FM-11을 장착한 Quickfit FV5L 형식의 것이었으며, 그 Working volume은 최대 2.8L 로서 균주를 접종하기전 100%의 D.O.T.에 이르도록 0.5 litre·min-1 수준의 통기량을 조정하고, pH 조정없이 batch culture하였다.

▷ 진균류: 균주 F3-1, F239, T164, T190, S14 등은 800mL PE광구병에 충전한 고체배지(Woodmeal + wheatbran)에서 균사체의 상태로 배양물을 얻을 수 있었다. 균주 S14 는 고체배지에서의 생육도 타균주에 비하여 월등히 빨랐고, 발효조를 사용하여 PD broth에서 액체배양하였을 경우에도 30℃, 배양 84 시간후 균사체의 건물중 11.6g·L-1수준으로서 비교적 생육이 양호한 편이었다<표 2-12 참조>.

3) 접종량

<분무접종>에 의한 세균류의 접종량은 상토의 발효원료에 대하여 1% (v/v), 진균류의 <혼합접종>의 경우에는 2% 수준이 적정하였다.

<표 2-11> 야적과정과 1-단계 발효법간의 용매추출물(alcohol-benzene extracts) 함량의 비교

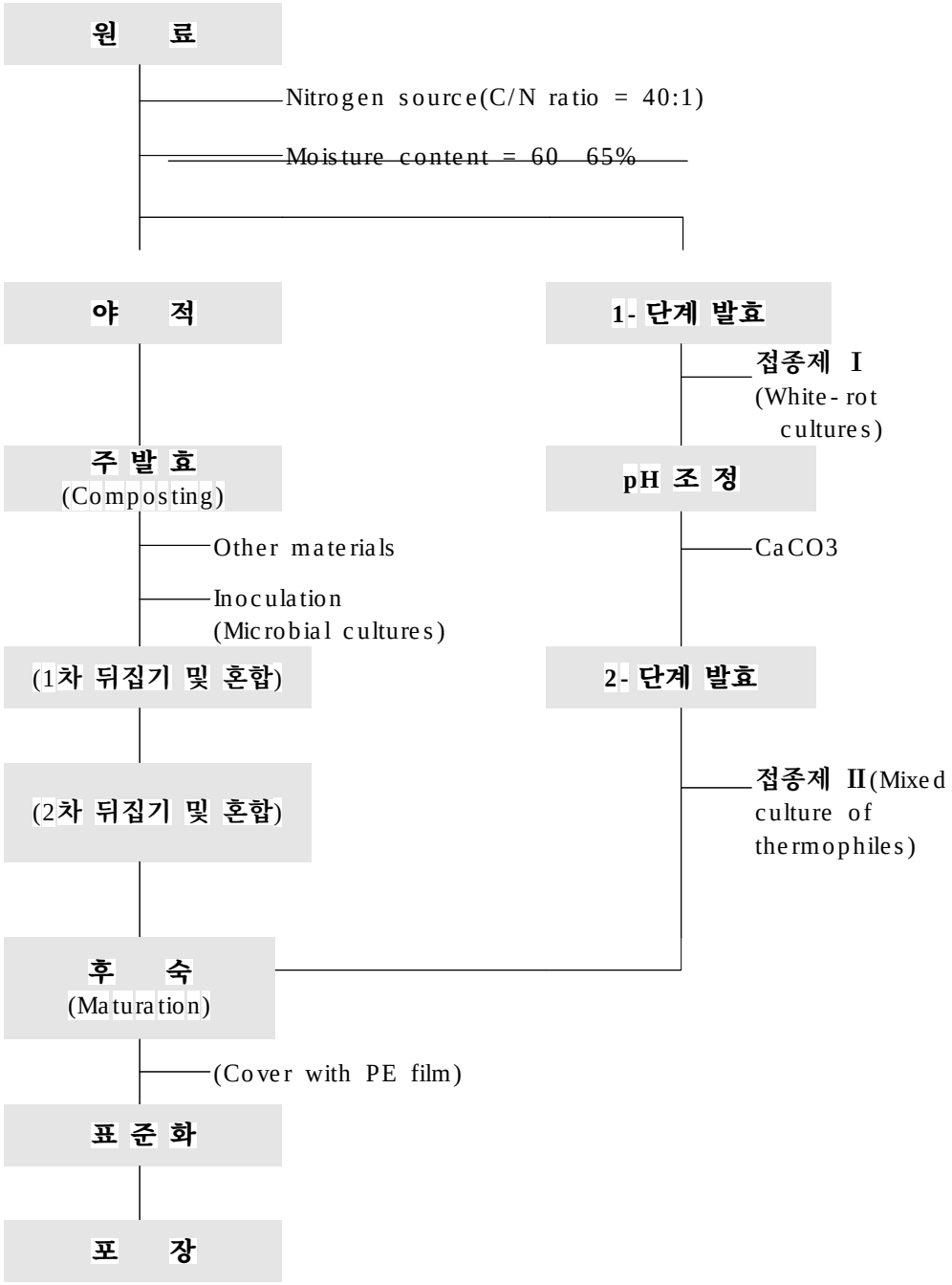
원 료	Alcohol-benzene 추출물 (%)			
	Originals[a]	야적후[b]	1-단계발효후[c]	2-단계발효후[d]
소나무 수피(습식)	7.76	4.34	5.01	3.85
소나무 수피(건식)	8.54	4.72	4.22	3.19
소나무 톱밥	4.15	2.36	2.65	2.12
왕 겨	3.87	2.83	ND[e]	ND

a) 원료.
b) 12 주간 야적(piling)한 것 <표 2-7 참조>.
c) 4 주간 1-단계 발효한 것.
d) 4 주간 2-단계 발효한 것.
e) 분석하지 않았음(not determined).

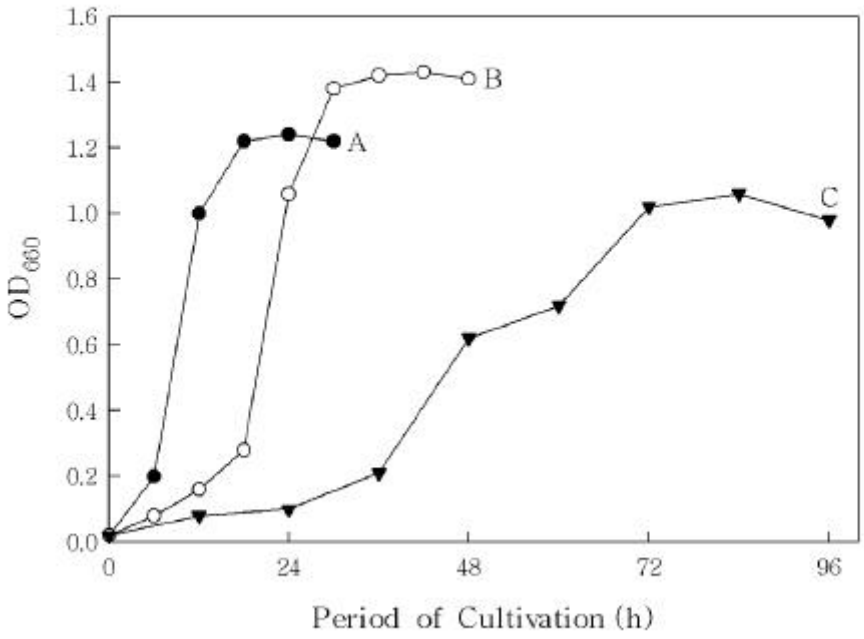
<표 2-12> 접종용 진균류 균주의 배양.

균 주 번 호	배 지/ 온 도	비 고/ 생육속도
백색부후균 F3-1 F239 및 T164	목분 + 밀기울 (8 : 2), 26℃	배양병[a]에 균사체가 가득 찰 때까지의 배양일수: 14 days 11 days
갈색부후균 T190	목분 + 밀기울 (4 : 6), 26℃	9 days
연 부 균 S14	① 목분 + 밀기울 (2 : 8), 30℃ ② PD broth, 30℃	① 5 days ② 균사체 11.6 g L^{-1}(배양 84 h 후)

a)폴리에칠렌제의 800 ml 들이 광구병.



<그림 2- 15> 자연조건에서의 야적법(좌)과 특정한 조건에서의 발효법(우)의 최종 공정도.



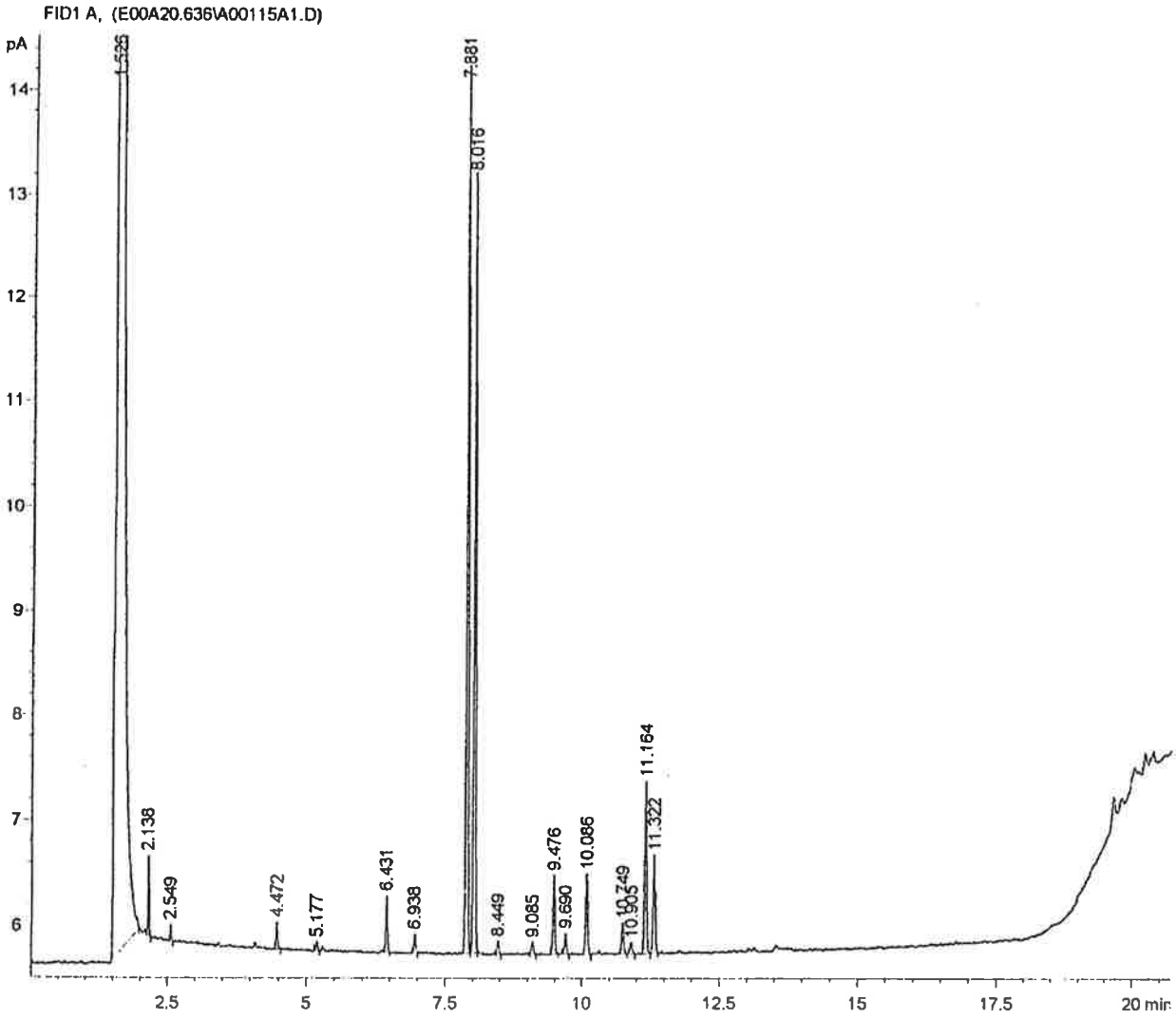
<그림 2-16> 세균류 균주 H12, B1-2T, 및 A78의 생육곡선.

실운용량 2.8 리터의 Quickfit FV5L 발효조(aeration unit MAU-2 of Eyela MBF series, pH controller GC-10 and DO controller FM-11)에 각균주의 전배양물 0.5%를 접종하고 batch식으로 배양하였다.

<A> at 55℃ for the strain B1-2T, employing nutrient broth;

<B> at 37℃ for the strain H12, employing Luria broth;

<C> at 30℃ for the strain A78, employing Benett broth,



<그림 2-17> MIDI System에 의한 세균 H12 균주의 지방산 크로마토그램.

Sherlock Version: 3.10 DATA:E00A20636A 20-OCT-00 17:24:51

ID: 10115 3 Date of run: 20-OCT-00 16:59:15
Bottle: 4 SAMPLE [TSBA40]

RT	Area	Ar/Ht	Respon	ECL	Name	%	Comment 1	Comment 2
1.526	246764484	0.022	. . .	7.050	SOLVENT PEAK	. . .	< min rt	
2.138	2012	0.020	. . .	8.325	. . . . .	. . .	< min rt	
2.549	442	0.022	. . .	9.180	. . . . .	. . .		
4.472	1048	0.032	. . .	11.978	. . . . .	. . .		
5.177	347	0.028	1.028	12.615	13:0 ISO	0.36	ECL deviates 0.001	Reference 0.000
6.431	2330	0.034	1.003	13.618	14:0 ISO	2.34	ECL deviates -0.001	Reference -0.000
6.938	766	0.034	0.994	13.999	14:0	0.76	ECL deviates -0.001	Reference -0.001
7.881	38521	0.036	0.982	14.624	15:0 ISO	37.83	ECL deviates 0.001	Reference 0.001
8.016	34592	0.036	0.980	14.713	15:0 ANTEISO	33.92	ECL deviates 0.000	Reference 0.001
8.449	721	0.038	0.975	15.000	15:0	0.70	ECL deviates 0.000	Reference 0.001
9.085	753	0.038	0.969	15.389	16:1 w7c alcohol . .	0.73	ECL deviates 0.002	
9.476	3658	0.039	0.965	15.627	16:0 ISO	3.53	ECL deviates 0.000	Reference 0.000
9.690	1029	0.041	0.963	15.758	16:1 w11c	0.99	ECL deviates 0.001	
10.086	4030	0.040	0.960	16.000	16:0	3.87	ECL deviates -0.000	Reference 0.000
10.749	1539	0.040	0.955	16.387	ISO 17:1 w10c . . .	1.47	ECL deviates -0.001	
10.905	628	0.037	0.954	16.479	Sum In Feature 4 . .	0.60	ECL deviates 0.003	17:1 ISO I/ANTEI B
11.164	8573	0.041	0.952	16.630	17:0 ISO	8.16	ECL deviates 0.000	Reference 0.000
11.322	4979	0.041	0.951	16.723	17:0 ANTEISO	4.74	ECL deviates -0.000	Reference -0.000
*******	628	. . .	. . .	. . .	SUMMED FEATURE 4 . .	0.60	17:1 ISO I/ANTEI B	17:1 ANTEISO B/i I

Solvent Ar	Total Area	Named Area	% Named	Total Amnt	Nbr Ref	ECL Deviation	Ref ECL Shift
246764484	103956	102465	98.57	99980	10	0.001	0.001

TSBA40 [Rev 4.10]	Bacillus	0.493	
	B. subtilis*	0.493	
	B. amyloliquefaciens*	0.390	(Bacillus subtilis group)
	B. licheniformis*	0.379	(Bacillus subtilis group)
CLIN40 [Rev 4.0]	Bacillus	0.316	
	B. subtilis	0.316	
	B. megaterium	0.261	
	B. licheniformis	0.231	
	Staphylococcus	0.215	
	S. hyicus	0.215	
	S. h. GC subgroup A	0.215	
	S. sciuri*	0.188	
	S. lentus*	0.174	

<그림 2-18> MIDI System에 의한 H12 균주의 Type culture와의 근연성 분석.

3. 적 요

가. 야적에 의한 원료의 전처리와 퇴적발효에 최소한 6개월의 기간이 소요되므로, 기간 단축을 위한 속성부숙 조건을 검토하였다.

1) 2단 부숙법을 적용하여, 즉 담자균의 정치배양에 의한 1-단계 발효에 2 4주간, 그리고 주로 고온성 세균의 통기배양에 의한 2-단계 발효에 4주간의 2단 부속법을 적용함으로서 소요기간을 줄일 수 있었으며, 이때 용매추출물(alcohol-benzene extracts)의 감소율은 건식수피의 경우 62.6%로서 퇴적발효(heap composting)의 71% 보다는 다소 낮았다.

2) 1-단계 발효를 위한 접종균주로는 담자균 F3-1(왕겨에는 F-239 및 T-164)가 효과적이었으며, 2-단계 발효를 위한 접종균주로는 고온성 세균 B1-2T, 2-6T와 고온성 방선균 A2T-SUN의 혼합균주가 효과적이었다.

3) 현장조건에서 1-단계 발효를 위한 담자균의 초기생육을 촉진하기 위한 첨가제로서는 Brix 0.5°의 당밀희석액과 0.05% 효모추출물을 수분조절제로 사용하는 방법이 효과적이었다.

나. 부숙실험을 통하여 최종적으로 선발된 접종용 균주는 아래와 같다.

1) 세균류로서는 H12(true, mesophilic), B1-2T, B2-6T(true, thermophilic), A78, A2T-SUN(Actinomyces) 등이며

2) 진균류로서는 F3-1, F239 및 T164(white-rot), T190(brown-rot), S14(soft-rot) 이었다

다. 선발된 접종용 균주에 대하여는 대량증식을 위한 배양조건을 검토하였다.

1) 세균류 H12 및 B1-2T는 발효조(Jar fermentor)를 이용한 액체배양(Nutrient broth 또는 NB + 0.5% CMC, Luria broth) 법으로 배양이 비교적 용이하였으며, 균주 A78은 SCA 또는 Benett broth에서 현탁상태로 생육하였다.

2) 진균류 F3-1, F239, T164, T190, S14 등은 800mL PE광구병에 충전한

고체배지 (Woodmeal + wheatbran)에서 균사체의 상태로 배양물을 얻을 수 있었다. 균주 S14 는 고체배지에서의 생육도 타균주에 비하여 월등히 빨랐고, 발효조를 사용한 PD broth에서의 액체배양의 경우에도 생육이 양호하였다.

라. 분무접종에 의한 세균류의 접종량은 상토의 발효원료에 대하여 1%(v/v), 진균류를 혼합접종할 경우에는 2% 수준이 적정하였다.

제 3 장 혼합상토의 화학적인 특성분석에 기초한 시비체계 확립

제 1 절 미가공된 상토재료의 화학적 특성 및 화학성 개선

1. 재료 및 방법

가. 미가공된 상토재료의 화학적 특성 구명

건식수피, 습식수피, 수입수피, 우드 칩, 톱밥 및 왕겨의 pH, EC, 양이온치환용량, C/N율 등을 분석하였다. 또 Kjeldahl법에 의해 N분석을 하고, 유기재료를 500℃의 회화로에서 건식분해 후 P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu 및 Zn 등의 무기원소 분석을 하였다. 기존의 수입원목이 바닷물에 염장하는 것으로 보고되었기 때문에 NaCl의 농도가 높을 것으로 추정되었고 원산지에 따른 각종 상토재료의 무기원소 함량을 분석하여 비교하였다.

나. 미가공된 상토재료의 식물 생장억제 물질 함유 여부 분석

왕겨에 제초제 Quinlorac 성분의 잔류에 의한 식물생장 억제 가능성에 대해 논의한 바 있으며, 이를 조사하기 위하여 분쇄된 왕겨를 주요 구성재료로 하여 Quinlorac에 민감한 고추를 8주간 플러그 재배하여 농약성분의 잔류에 의한 생장억제 가능성에 대해 조사하였다. 또한 목재화학분석법에 기초하여 상토재료의 회분함량, 냉수추출물, 온수추출물, 알칼리추출물을 분석하므로써 resin, tannin, terpentine 등의 잔존량을 간접적으로 분석하였다.

다. 상토재료의 화학적특성 개선을 위한 연구

Hammer mill, Wiley mill 그리고 ball mill을 이용하여 상토재료를 분쇄하였으며, 분쇄방법과 분쇄횟수에 따라 상토재료의 양이온치환용량 및 완충능 증가를 구명하였다. 또한 유기재료의 물리성 개선을 위해 폐암면을 혼합할 경우 양이온 치환용량 등 토양화학성 변화에 미치는 영향을 구명하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 미가공된 상토재료의 화학적 특성 구명

<표 3-1> 상토재료의 pH, EC, C/N율 및 양이온 치환용량.

상토재료	pH	EC (mS/cm)	C/N 율 (mg/mg)	양이온치환용량 (me/100g)
습식수피	5.28	0.120	1086	14.77
건식수피	4.33	0.080	941	13.20
수입수피	5.28	0.120	1059	7.05
우드칩	5.27	0.027	644	30.63
톱 밥	5.50	0.073	2523	21.35
왕 겨	7.05	0.230	785	27.74

상토재료의 토양산도 조사에서 습식수피는 5.28, 건식수피 4.33, 그리고 왕겨는 7.05로 조사되어 왕겨를 제외한 모든 재료가 산성을 띄는 것으로 조사되었다. (표 3-1) 전기전도도 측정에서 수피종류(습식, 건식 및 수입)는 약 0.1로 조사되었으나 왕겨는 0.23으로 측정되어 다른 재료에 비해 월등히 높았다. 탄질율(C/N ratio)에서 수피종류는 약 1000:1였는데 비해 톱밥은 2523:1로 수피에 비해 2.5배 가량 높았고, 왕겨와 우드칩이 각각 785:1 및 644:1로 다른 재료에 비해 상대적으로 낮았다. C/N율이 높을수록 작물재배 중 작물의 질소 요구량이 높아지기 때문에 톱밥이나 수피를 상토재료로 작물재배에 이용할 경우 왕겨보다 질소 시비량을 증가시켜야 됨을 알 수 있

었다.

토양의 무기원소 보유능력에 대한 지표로 이용되는 양이온치환용량에서 수입수피가 7.05me/100으로 분석되었으나 왕겨는 27.74, 우드칩은 30.63으로 분석되어 수입수피보다 약 4배 이상 높았다. 이는 왕겨나 우드칩을 분쇄하여 상토재료로 이용할 경우 수피종류에 비해 토양산도 변화나 무기원소의 과부족에 덜 민감하게 반응하고 식물 생육이 좋을 것을 의미하는 것이다.

<표 3-2> 상토재료의 다량원소 함량.

상토재료	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	%						mg・L-1				
습식수피	36.9	0.34	0.06	0.14	1.38	0.17	2666	1923	296	21	27
건식수피	36.7	0.39	0.07	0.11	1.13	0.19	1055	882	156	13	79
수입수피	34.9	0.33	0.07	0.10	1.57	0.30	2228	3840	1546	496	10
우드칩	34.1	0.53	0.01	0.03	0.15	0.05	701	887	107	12	10
톱 밥	32.8	0.13	0.02	0.03	0.14	0.05	1034	376	70	12	8
왕 겨	36.9	0.47	0.08	0.29	0.15	0.04	1499	499	104	21	3

상토재료의 다량원소 함량에서는 탄소의 경우 대부분 30 36%사이로 분석되어 많은 차이를 보이지 않았으나, N의 경우 각종 수피가 0.34 0.39%의 범위에 포함되었고 왕겨는 0.47% 그리고 톱밥은 0.13%로 분석되었다(표 3-2). 따라서 이들 상토재료를 작물재배에 이용할 경우 톱밥의 경우에는 작물의 생장중 심각한 질소 결핍증상을 보일 것으로 판단되었으며, 우드칩과 왕겨에서 상대적으로 생육이 양호할 것으로 예상되었다. 인산, 칼륨 및 칼슘에서는 각종 수피가 높게 분석되었고 톱밥이나 우드칩이 낮게 분석되었다.

Na 함량에서 습식수피가 2666ppm으로 가장 높게 분석되었고 우드칩이 701ppm으로 가장 낮은 함량을 갖는 것으로 분석되었다. 연구 시작전 일부 미발표된 보고에서 수입원목의 경우 바닷물에 염장하는 것으로 알려져 수입수피가 다른 상토재료에 비해 Na함량이 높을 것으로 추정되었으나, 추정

했던 것과 달리 Na함량이 높지 않았다. 또 분석한 모든 상토재료들의 Na 함량은 식물생육에 영향을 줄 정도로 높지는 않다고 판단되었다. 수입수피의 경우 Fe, Mn 및 Zn 함량이 다른 상토재료보다 월등히 높았는데, 이는 수입수피의 분석과정에서 많은 쇠붙이가 포함된 것을 확인한 바 있으며, 이 물질이 수입수피의 금속원소 함량증가에 영향을 준 것으로 판단되었다. 수피를 제외한 우드칩, 톱밥 및 왕겨는 각종 금속원소 함량에서 다소간의 차이가 있긴 하지만 식물생육에 영향을 줄 정도의 차이라고는 판단되지 않았다.

나. 미가공된 상토재료의 생장억제물질 함유여부 분석

왕겨에 제초제인 Quinclorac 성분의 잔류가능성에 대해 논의한 바 있어, Quinclorac에 민감한 작물로 알려진 고추를 40공 트래이에 플러그 육묘하였고 그 결과를 표 3-3에 나타내었다. 피트모스와 질석을 대조구로 하여 Wiley mill로 1, 2 또는 3회 분쇄된 왕겨를 상토로 이용하여 고추를 플러그 재배한 결과 초장, 초폭, 엽수 및 엽장등 모든 생육지표에서 대조구에 비해 불량한 것으로 조사되었고 또 분쇄횟수가 증가할수록 생육이 저조한 것으로 조사되었다. 그러나 왕겨를 이용한 처리에서 생육이 저조한 이유가 잔류하는 제초제에 의해 영향을 받았다기 보다는 왕겨에 잔존하는 탄수화물에 영향을 받은 것으로 판단되었다. 즉, 왕겨를 식물재배에 이용할 때 벼의 도정과정에서 발생된 많은 탄수화물이 잔존하는 것을 확인하였다. 분쇄된 탄수화물은 미생물이 쉽게 이용할 수 있는 형태이며, 작물재배중 토양의 미생물 생육에 많은 질소가 이용되었고, 상대적으로 식물이 이용할 수 있는 질소량이 감소하였기 때문에 작물생육이 저조하였다고 판단된다. 이와 같이 추정 가능한 이유는 왕겨를 이용한 처리에서 대조구보다 질소농도를 1.5배 가량 높여 주었어도 전형적인 질소부족 현상을 발현하였으며 특별히 농약에 의한 생장억제 현상은 발현되지 않았기 때문이다.

<표 3-3> 왕겨에 제초제의 잔류성 확인을 위한 고추의 플러그육묘 결과 (파종 60일후 조사).

처 리	분쇄횟수Z	초장 (cm)	엽수 (매)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	관부 직경 (mm)	생체중 (g)
피트모스+ 질석		28.6	10.6	8.96	482	3.94	6.55
왕겨	1	25.5	9.00	7.20	3.78	3.22	4.16
	2	24.6	9.40	6.84	3.60	3.44	3.96
	3	24.3	9.04	6.76	3.38	3.14	3.76

zWiley mill로 분쇄.

목재분석법에 기초하여 분석한 상토재료의 각종 추출물의 양은 표 3-4에 나타내었다. 회분함량은 유기물을 완전히 연소시켜 산화시킨 후 잔존하는 무기물의 총량을 의미하는데, 습식수피(17.2%), 왕겨(16.8%) 및 우드칩(16%)이 높게 분석되었고 건식수피나 수입수피 또 톱밥이 낮게 분석되었다. 냉수추출물은 물가용성 탄수화물, 일부의 탄닌 및 배당체등이 포함되는 것으로 알려져 있는데, 왕겨에서 가장 많은 양이 추출되고 건식수피, 우드칩 및 톱밥의 순으로 감소하는 경향이었다. 왕겨에서 냉수추출물의 비율이 높은 이유는 벼의 도정후 왕겨에 잔존하는 많은 탄수화물 등이 추출되었기 때문이라고 판단되었다. 온수추출물의 종류는 냉수추출물과 같지만 그 양이 증가하는 것으로 알려져 있는데, 우드칩과 왕겨에서 추출물의 비율이 높았다.

알칼리 추출물에는 폴리페놀류, 저분자 리그닌, 수지산이나 유지 등이 포함되는 것으로 알려져 있다. 수피종류의 알칼리 추출물 비율이 증가하였는데 이는 목재 속에 많은 양의 resine 또는 terpentine 등이 존재하고 있음을 의미하고 있다.

<표 3-4> 목재 분석법에 기초한 상토재료의 추출물 비율.

상토재료	회분함량	냉수추출	온수추출	알칼리추출
		%		
습식수피	17.2	3.39	1.39	13.46
건식수피	16.0	4.34	19.21	33.35
수입수피	16.8	7.74	15.01	35.34
우드칩	16.2	1.28	2.03	32.43
톱 밥	17.2	2.50	1.70	28.76
왕 겨	16.8	4.91	10.30	27.23

다. 상토재료의 화학적 특성 개선을 위한 연구

수집된 상토재료를 Wiley mill로 분쇄한 후 조사한 양이온치환용량의 변화는 표 3-5에 나타낸 바와 같다. 분쇄횟수를 증가시킴에 따라 건식수피의 양이온치환용량이 가장 뚜렷하게 증가하였고, 수입수피, 왕겨, 습식수피, 우드칩의 순으로 양이온치환용량의 증가가 적어지는 경향이었다. 이와 같이 분쇄횟수가 증가해도 양이온치환용량의 증가량이 다른 것은 분쇄전 상토재료의 형태와 밀접하게 관련이 있을 것으로 추정되었다. 즉 왕겨는 작은 입자로 구성되어 있기 때문에 Wiley mill의 날에 의해 쉽게 절단되지 못하고 mill의 회전과 함께 부유하고 회전하는 경향이었으며, 습식수피의 경우 수피와 함께 목질부가 많이 포함된 상태로써 Wiley mill의 날에 절단되기보다는 회전하는 칼날과 바깥쪽 몸체 사이에 끼어 으깨지는 형태였기 때문이라고 판단되었다.

Hammer mill에 의한 분쇄의 경우 1회분쇄에서 왕겨의 양이온치환용량이 가장 낮고 수입수피가 가장 높았으나 3회분쇄시 습식수피가 가장 낮고 수입수피가 가장 높았다. 그러나 hammer mill의 경우 Wiley mill에 의한 분쇄와 달리 분쇄횟수에 따른 양이온치환용량 증가가 뚜렷하지 않았다. 이는 상토재료의 형태와 hammer mill의 구조적인 특성에 기인한다고 판단된다.

즉 회전되는 hammer에 부수어지기보다는, 회전될 때 발생하는 바람에 의해 직경이 작은 입자들이 공간 속에서 부유하고 회전되는 hammer에 의해 강한 충격을 받지 못했을 것이라고 판단되었다.

<표 3-5> Wiley mill과 hammer mill을 이용한 분쇄시 상토재료의 양이온치환용량 변화 (me/100g).

상토재료	Wiley mill			Hammer mill		
	1회	2회	3회	1회	2회	3회
습식수피	23.85	27.76	32.92	30.22	31.85	32.59
건식수피	35.95	74.92	81.53	35.10	39.28	43.24
수입수피	28.78	35.22	59.96	39.32	40.84	44.94
우드 칩	19.20	29.24	31.16	21.78	22.56	35.63
왕 겨	21.82	22.75	41.92	15.93	29.11	34.43

<표 3-6> 폐암면의 혼합에 의한 분쇄된 상토재료의 양이온치환용량 변화 (me/100g).

상토재료	분쇄방법Z	폐암면 혼합 비율 (v/v)		
		10%	30%	50%
습식수피	W	54.90	46.65	28.05
	H	41.13	30.95	25.75
건식수피	W	71.58	43.23	39.38
	H	50.63	33.43	21.73
수입수피	W	66.90	36.83	25.28
	H	47.45	45.28	21.23
우드칩	W	37.53	18.15	16.03
	H	23.28	30.28	15.08
왕 겨	W	35.25	33.08	30.75
	H	28.70	20.18	17.83

ZW: Wiley mill 로 분쇄, H: Hammer mill 로 분쇄.

그러나 보수성을 증가시키기 위해 혼합된 암면의 양이 증가할 경우 상토 재료의 양이온치환용량은 감소하는 경향이었다(표 3-6). 폐암면이 10% 혼합된 습식수피의 경우 54.90me/100g의 양이온치환용량을 갖는데 비하여 50%의 폐암면이 혼합된 경우 28,05me/100g으로써 양이온치환용량이 약 절반으로 감소하였고 이는 무기원소를 보유할 수 있는 양이 절반으로 감소함을 의미하고 있다. 그러나 Wiley mill로 분쇄되고 10%의 폐암면을 포함한 왕겨는 35.25mg/100g의 양이온치환용량을 가졌으나 비해 50%의 폐암면이 혼합될 경우 30.75me/100g으로써 습식수피에 비하여 감소하는 정도가 완만하였다.

전반적으로 수집된 각종 수피종류는 10%의 폐암면 혼합비율에서 상대적으로 높은 양이온치환용량을 보였으나 암면의 혼합 비율이 증가함에 따라 양이온치환용량이 급격히 감소하는 경향이었다. 그러나 우드칩이나 왕겨는 암면의 혼합비율이 증가함에 따라 점차 감소하였으나 감소하는 정도는 완만하였다.

<그림 3-1>은 Wiley mill 또는 hammer mill로 분쇄된 습식수피와 분쇄 후 폐암면의 혼합비율을 다르게 하였을 때 토양완충력(buffering capacity)의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 곡선이 빠르게 상승할수록 산 또는 알칼리의 첨가에 의해 토양 pH가 급격히 변하고 토양 완충력이 떨어지는 것을 의미하며, 곡선이 완만할 수록 토양 CEC가 높아 산 또는 알칼리의 첨가에 민감하게 반응하지 않고 견딜 수 있는 힘(완충력)이 높음을 의미한다. 그림 3-1A는 Wiley mill로 분쇄된 습식수피를 나타내며, 그림 3-1B는 hammer mill로 분쇄된 습식수피를 나타내는데 1회 분쇄시 hammer mill로 분쇄된 습식수피가 Wiley mill로 분쇄된 습식수피보다 완충력이 낮으며 각 분쇄방법내에서는 분쇄횟수가 증가할수록 완충력이 증가하고 있음을 보여주고 있다. 폐암면의 혼합에 의한 토양완충력을 나타낸 그림 3-1C와 3-1D에서는 Wiley mill과 hammer mill로 분쇄된 습식수피 모두 암면의 혼합비율이 증가함에 따라 토양완충력은 감소하고 있음을 나타내고 있다.

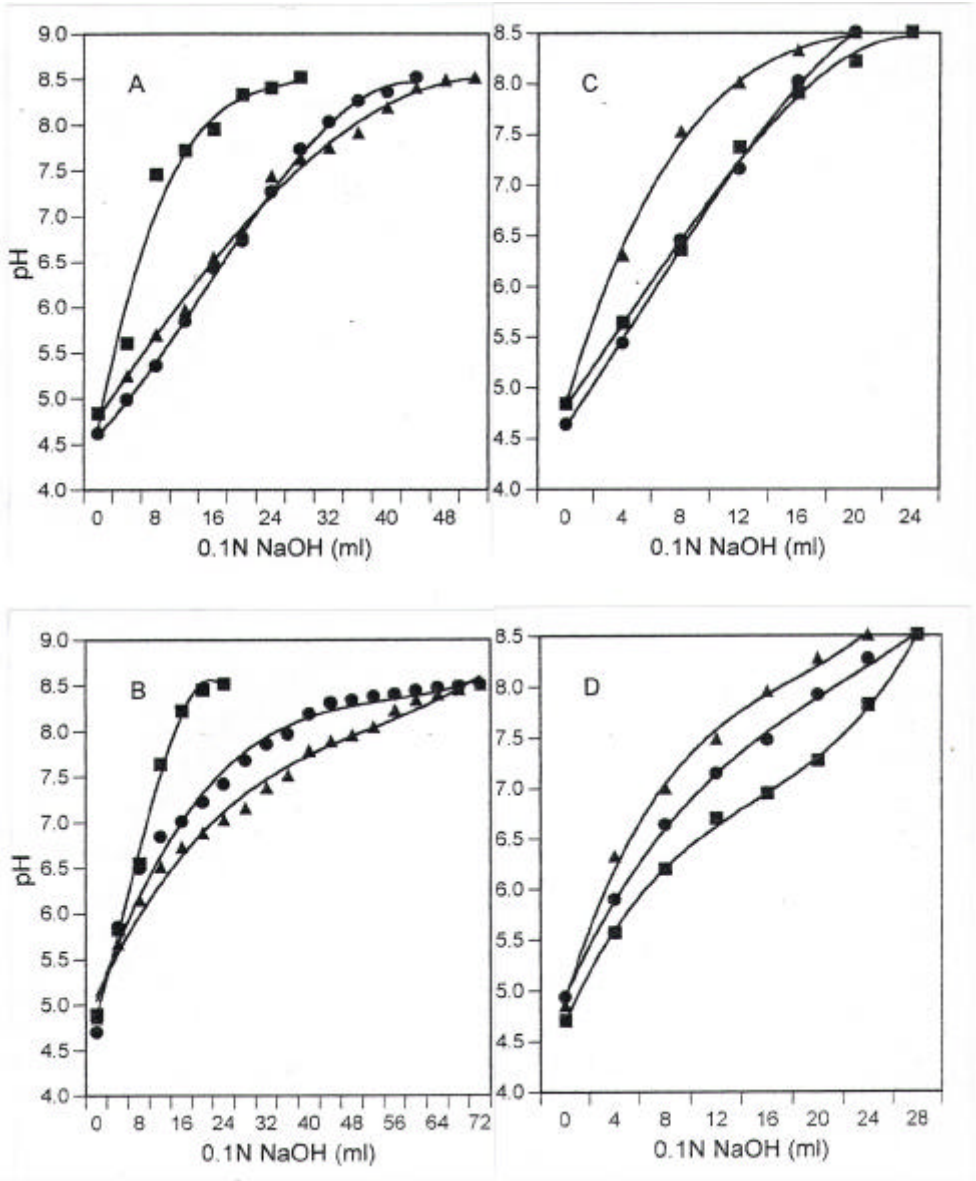
그림 3-2는 분쇄방법과 폐암면의 혼합비율에 따른 건식수피의 토양 완충

력 변화를 나타내었다. Wiley mill로 분쇄된 건식수피는 분쇄횟수의 증가에 의해 완만하게 완충력이 증가하였다. 그러나 hammer mill로 분쇄된 건식수피의 경우 1회 분쇄시 거의 완충능을 보이지 못하고 있으나, 2회 및 3회 분쇄시 급격히 완충능이 증가하였고 2회 분쇄와 3회 분쇄는 각각 큰 차이를 보이지 않았다.

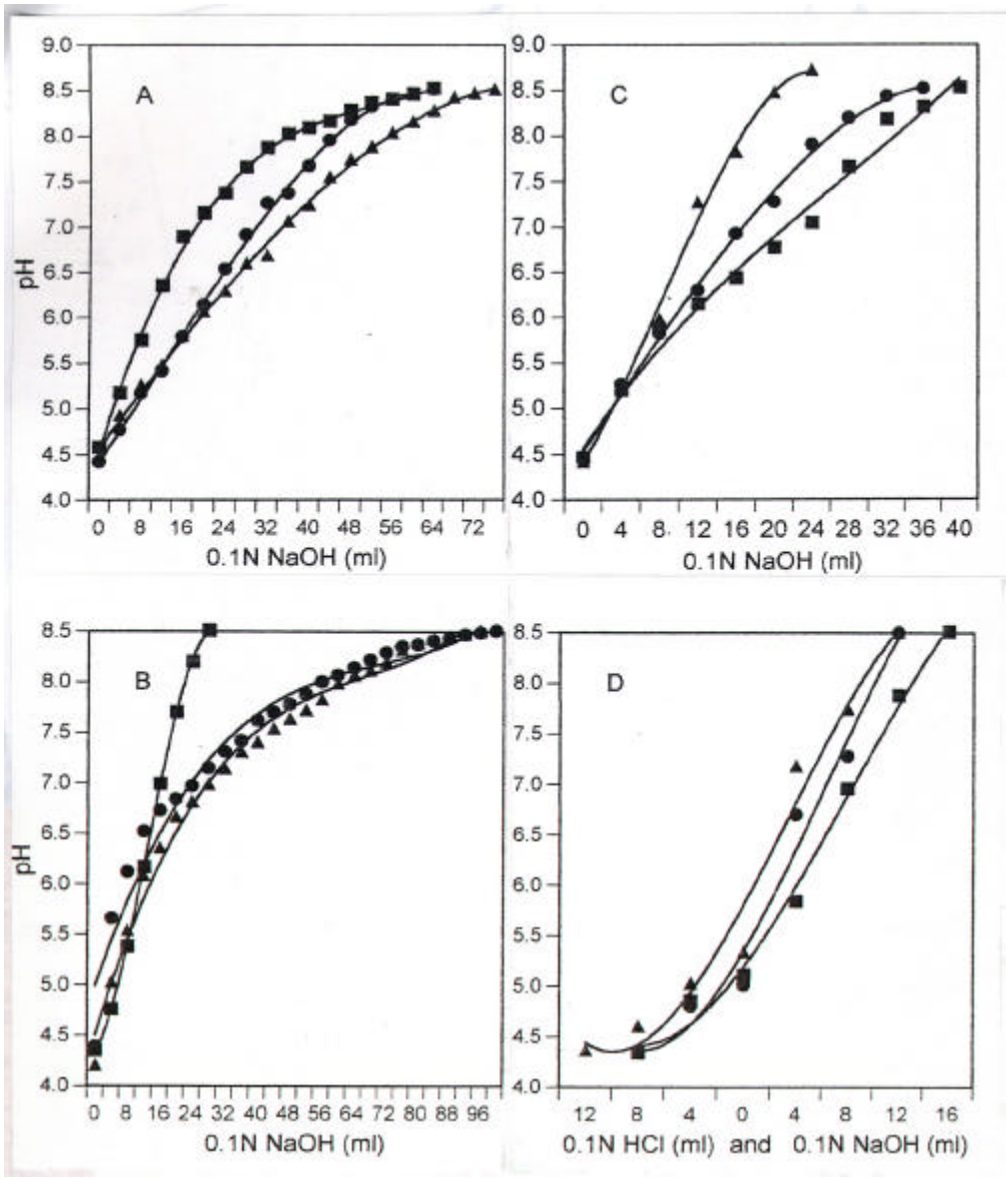
그림 3-3은 수입수피의 완충력의 차이를 보여주는데 Wiley mill로 분쇄된 경우 1회나 2회 분쇄는 큰 차이가 없었으나 3회 분쇄의 경우 급격히 완충력이 증가하였다. Hammer mill로 분쇄된 경우에도 1회분쇄된 수피보다 2회분쇄된 수피의 완충력 증가가 뚜렷하였는데, 이는 분쇄전 수입수피의 입자중 대부분(약 87%)이 직경 1cm 이상의 크기를 가지고 있었고, Wiley mill보다는 hammer mill에 의해 쉽게 분쇄될 수 있는 형태를 가지고 있기 때문이었다고 판단된다. 분쇄방법에 관계없이 폐암면의 혼합비율이 증가함에 따라 토양 완충력은 감소하는 경향이었는데, 감소정도는 Wiley mill로 분쇄된 수입수피보다 hammer mill로 분쇄된 수입수피가 심한 것으로 조사되었다.

그림 3-4에는 분쇄방법과 분쇄횟수에 따른 우드칩의 완충력 변화를 나타냈다. Wiley mill에 의한 분쇄의 경우 분쇄횟수가 토양완충력 변화에 큰 영향을 주지 못한 반면, hammer mill의 경우는 분쇄횟수가 증가함에 따라 완충력 증가가 뚜렷하였다. 폐암면의 혼합에 의한 토양완충력 감소는 Wiley mill로 분쇄된 우드칩이 hammer mill로 분쇄된 우드칩보다 뚜렷하였다.

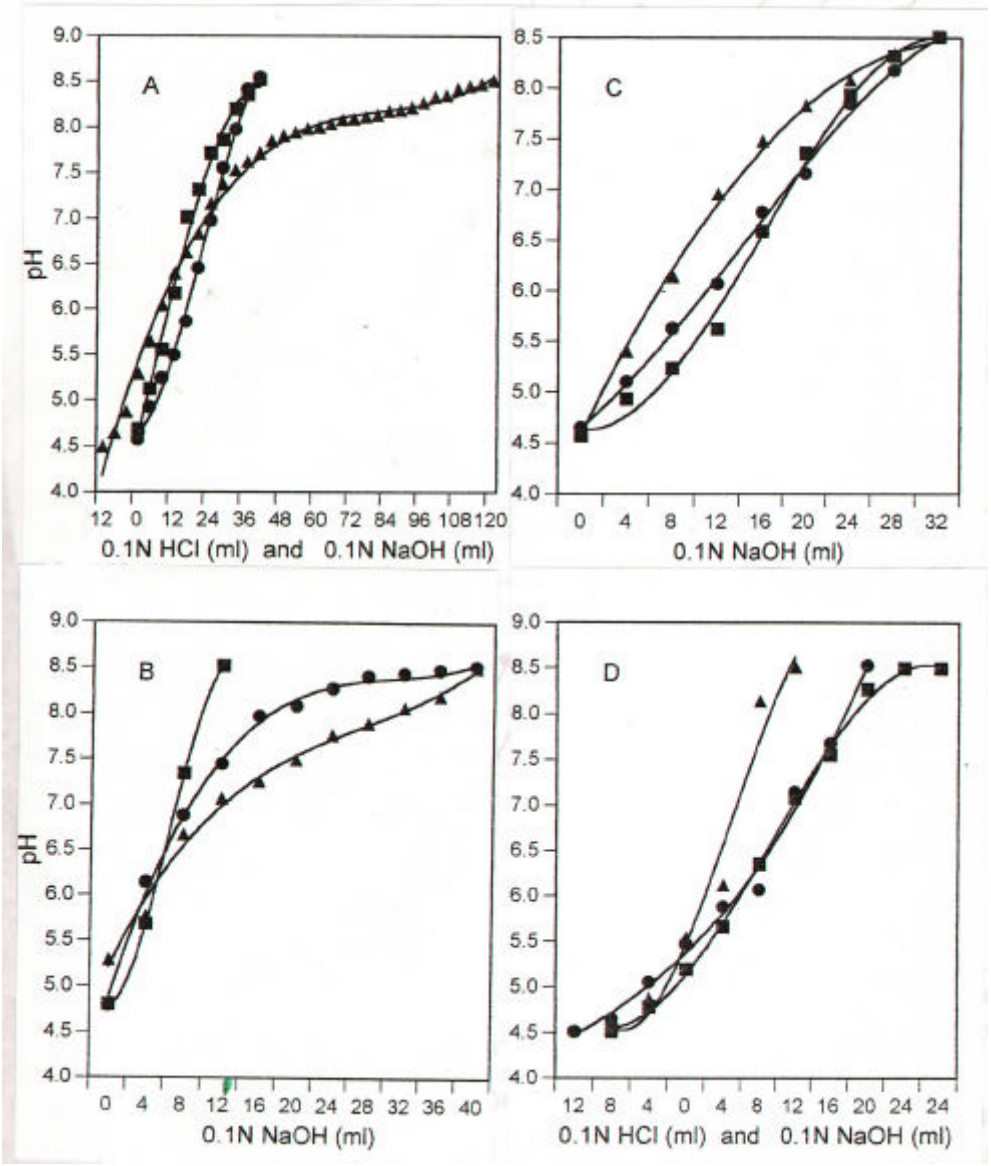
왕겨의 토양 완충력에 관한 결과는 그림 3-5에 나타내었는데 Wiley mill로 1회와 2회 분쇄된 경우 토양 완충능에 큰 차이가 없었으나 3회 분쇄한 왕겨는 토양완충능의 증가가 뚜렷하였다. 그러나 hammer mill로 분쇄된 경우에도 약간의 차이가 있었지만 경향은 유사하였다. 폐암면의 혼합에 의한 토양 완충능 증가는 다른 상토재료에서와 같이 폐암면 혼합비율이 증가할수록 완충능은 감소하였다.



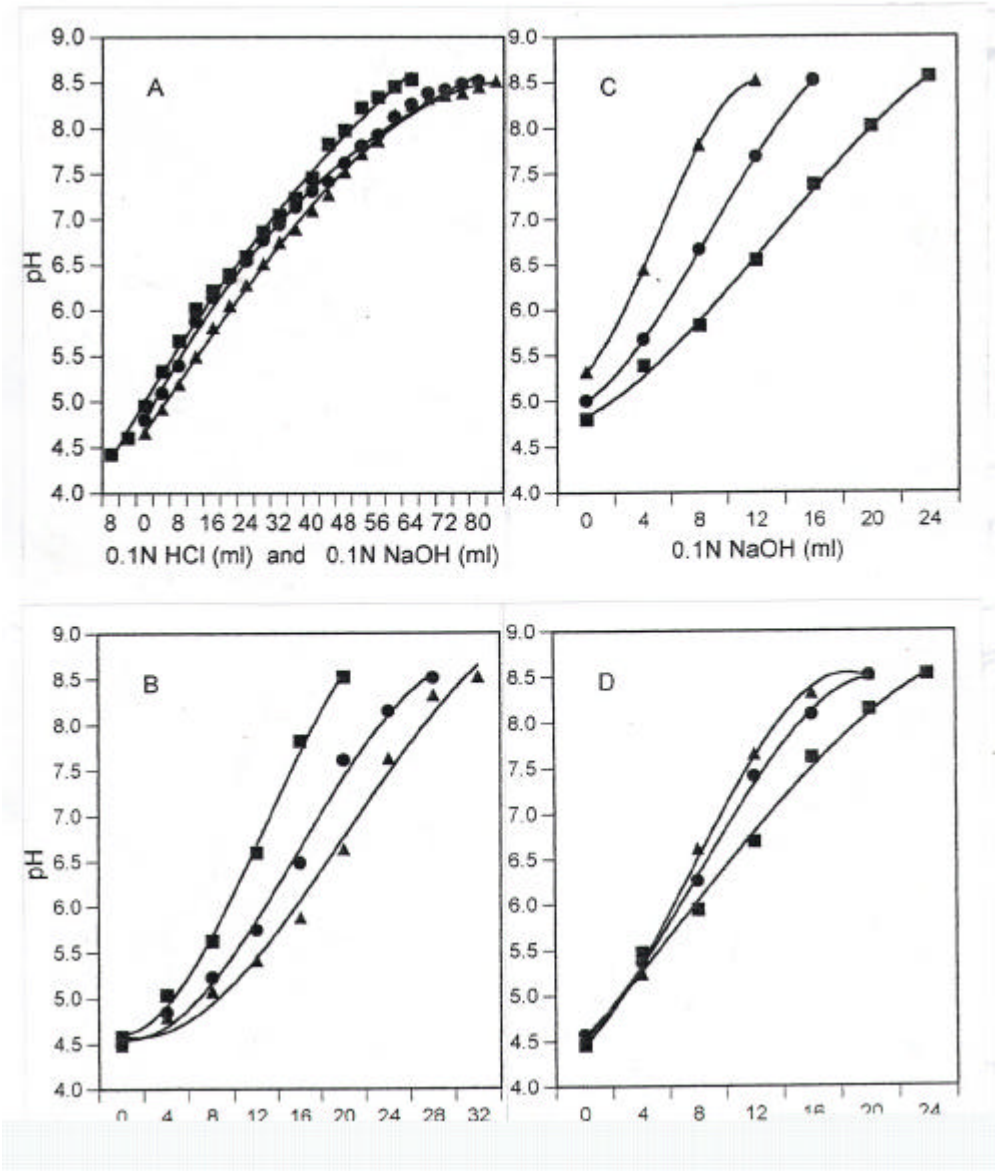
<그림 3-1> 분쇄방법과 분쇄횟수(A: Wiley mill로 분쇄 ■ 1회, ● 2회, ▲ 3회; B: Hammer mill로 분쇄 ■ 1회, ● 2회, ▲ 3회) 및 폐암면의 혼합비율(C: Wiley mill로 분쇄된 후 ■ 10%, ● 30%, ▲ 50%; D: Hammer mill로 분쇄된 후 ■ 10%, ● 30%, ▲ 50%의 폐암면 혼합)에 의한 습식수피의 토양완충능 변화.



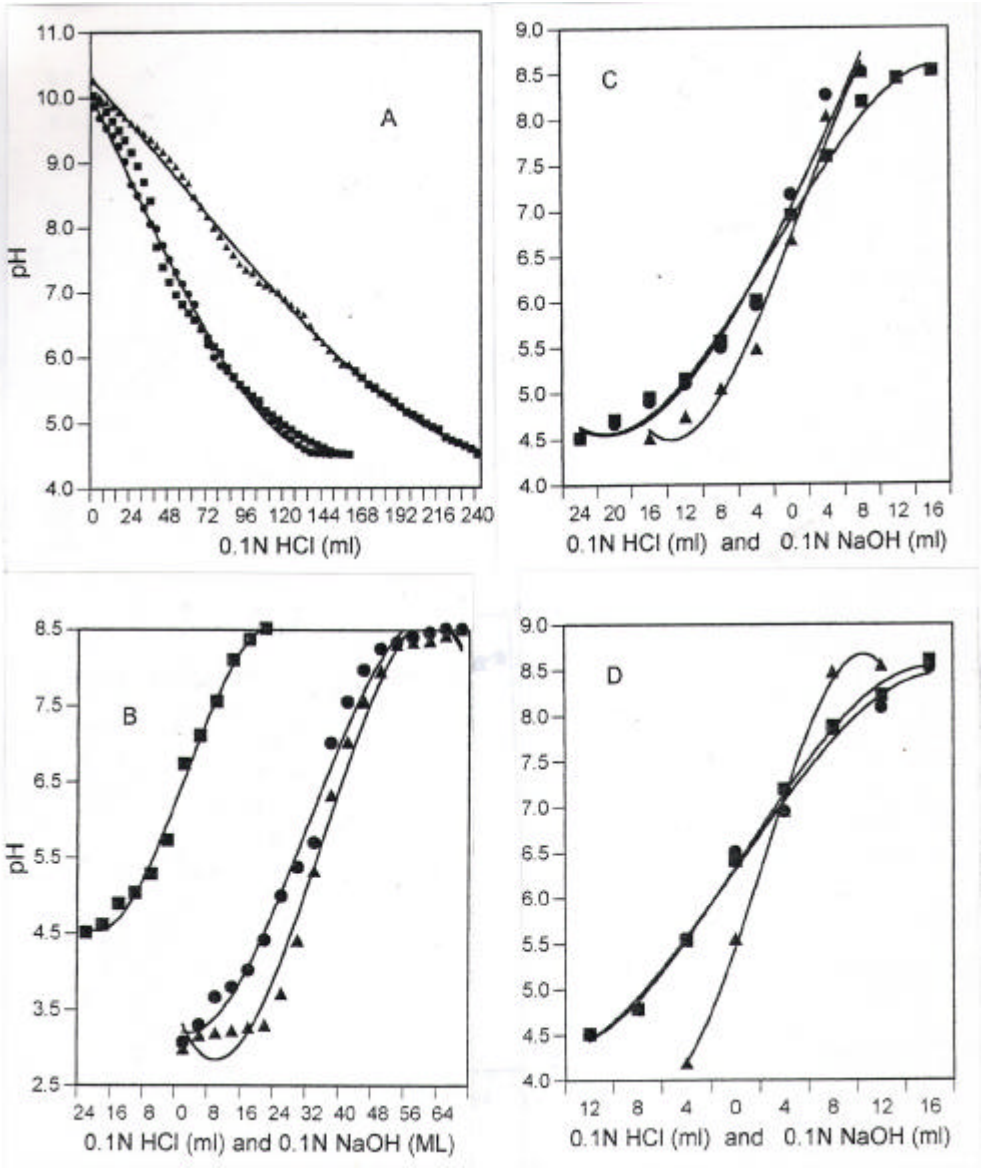
<그림 3-2> 분쇄방법과 분쇄횟수(A: Wiley mill로 분쇄 ■ 1회, ● 2회, ▲ 3회; B: Hammer mill로 분쇄 ■ 1회, ● 2회, ▲ 3회) 및 폐암면의 혼합비율(C: Wiley mill로 분쇄된 후 ■ 10%, ● 30%, ▲ 50%; D: Hammer mill로 분쇄된 후 ■ 10%, ● 30%, ▲ 50%의 폐암면 혼합)에 의한 건식수피의 토양완충능 변화.



<그림 3-3> 분쇄방법과 분쇄횟수(A: Wiley mill로 분쇄 ■ 1회, ● 2회, ▲ 3회; B: Hammer mill로 분쇄 ■ 1회, ● 2회, ▲ 3회) 및 폐암면의 혼합비율(C: Wiley mill로 분쇄된 후 ■ 10%, ● 30%, ▲ 50%; D: Hammer mill로 분쇄된 후 ■ 10%, ● 30%, ▲ 50%의 폐암면 혼합)에 의한 수입수피의 토양완충능 변화.



<그림 3-4> 분쇄방법과 분쇄횟수(A: Wiley mill로 분쇄 ■ 1회, ● 2회, ▲ 3회; B: Hammer mill로 분쇄 ■ 1회, ● 2회, ▲ 3회) 및 폐암면의 혼합비율(C: Wiley mill로 분쇄된 후 ■ 10%, ● 30%, ▲ 50%; D: Hammer mill로 분쇄된 후 ■ 10%, ● 30%, ▲ 50%의 폐암면 혼합)에 의한 우드칩의 토양완충능 변화.



<그림 3-5> 분쇄방법과 분쇄횟수(A: Wiley mill로 분쇄 ■ 1회, ● 2회, ▲ 3회; B: Hammer mill로 분쇄 ■ 1회, ● 2회, ▲ 3회) 및 폐암면의 혼합비율(C: Wiley mill로 분쇄된 후 ■ 10%, ● 30%, ▲ 50%; D: Hammer mill로 분쇄된 후 ■ 10%, ● 30%, ▲ 50%의 폐암면 혼합)에 의한 왕겨의 토양완충능 변화.

3. 적 요

가. 미가공된 상토재료의 화학적 특성

1) 미가공된 상토재료의 C/N율에서 각종 수피는 940 1086:1로 분석되었고, 톱밥은 2523:1, 왕겨는 785:1로 분석되어 분석된 모든 유기물질의 C/N율이 너무 높았다.
2) 수입수피의 경우 수입과정에서 염장하는 것으로 알려져 있어 Na함량이 높을 것으로 예상되었으나 2228mg/kg의 Na함량을 가져 습식수피의 2666mg/kg보다 낮았다.
3) 수입수피는 철, 망간 및 아연 함량이 습식이나 건식수피 그리고 왕겨와 톱밥보다 월등히 높았다.

나. 미가공된 상토재료의 생장억제 물질 함유 여부 분석

1) 분쇄된 왕겨에서 플러그 육묘된 고추는 파종 6일 후 피트모스+질석 상토에서 플러그 육묘된 고추보다 생육이 저조하였다. 제초제의 잔류보다는 재배중 질소부족에 기인한 것으로 판단되었다.
2) 습식수피의 냉수추출물, 온수추출물 및 알칼리 추출물 비율이 건식수피나 수입수피보다 낮았는데, 이는 탈피과정에서 첨가된 온수에 의해 추출물들이 제거되었기 때문이라고 판단되었다.
3) 목재로부터 생산된 각종 수피, 우드칩 및 톱밥의 냉·온수 및 알칼리추출물의 비율이 높았다. 이는 목재속에 많은 양의 레진, 탄닌, 터펜닌 등이 존재함을 간접적으로 증명하고 있다.

다. 상토재료의 화학적 특성을 개선을 위한 연구

1) Wiley mill로 분쇄횟수를 증가함에 따라 양이온치환용량이 증가하였는데, 건식수피에서 가장 뚜렷하였고 수입수피, 왕겨, 습식수피, 우드칩의 순으로 증가가 크지 않았다.
2) 분쇄된 유기물질에 50%의 분쇄된 폐암면을 혼합할 경우 양이온치환용량이 절반수준으로 감소하였다.
3) 양이온치환용량이 감소할 경우 토양 완충력 감소로 연결되었다.

제 2 절 개발된 상토에 적합한 기비방법 확립

1. 재료 및 방법

가. 부숙된 왕겨, 톱밥, 수피 및 혼합상토 조제시 이용된 질석과 펄라이트의 화학성 분석

혼합상토 조제를 위해 부숙가공된 왕겨, 톱밥 및 수피의 화학적 특성을 분석하였다. 또 유기재료와 혼합된 질석의 경우 원산지에 따라 국산원석 또는 수입원석을 가공한 질석으로 구분하였고, 펄라이트는 원석이 대부분 수입되기 때문에 중국산 원석을 가공한 펄라이트를 No. 1 과 No. 2로 입도 분포에 따라 분류한 후 화학성을 분석하여 혼합상토 개발의 기초자료로 이용하였다.

화학성 분석시 상토재료의 pH 및 EC 측정, 질소분석(Kjeldahl 방법), 양이온치환용량(유기물은 AOAC Official Method, 무기물은 Ammonium acetate(pH 7.0) 방법), 그리고 무기성분 함량 분석(유기물은 건식분해방법에 의한 K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu 분석, 무기물은 양이온 치환용량 분석을 위해 NH_4OAc로 치환시킨 용액속에 존재하는 양이온)을 A.A.로 분석하였다. 또한 유기물질의 탄소분석을 하고 수피나 톱밥중에 존재하는 Fat, waxes, resins 등은 목재과학 실험서(광일문화사)의 회분함량, 냉수추출물, 온수추출물의 방법에 따라 수행하여 간접적으로 판단하였다.

나. 개발된 혼합상토의 화학성 분석

제 1 장 2절에서 제시한 혼합상토의 화학적 특성을 분석하였으며 '가'와 동일한 방법을 적용하였다.

다. 개발된 상토의 효능시험 (플러그 및 포트재배 실험)

개발된 상토의 효능실험을 위해 포트용 상토는 백합을 대상으로, 플러그는 고추 및 토마토를 대상으로 실험하였고, 포트 및 플러그재배를 위한 기비체계 확립을 위해 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 부숙된 왕겨, 톱밥, 수피 및 혼합상토 조제시 이용될 질석과 펄라이트의 화학성 분석

부숙가공된 유기물질들의 화학적 특성은 표 3-7에 나타낸 바와 같다. 부숙된 모든 유기물질들이 산성을 띄었으며 부숙된 습식수피와 러시아피트는 pH 4.80으로 강산성을 띄었다. 전기전도도는 톱밥이 가장 높아 2.30mS/cm로 측정되었는데 이는 부숙과정에서 톱밥의 C/N율이 높기 때문에 부숙촉진을 위해 N의 첨가량이 많았기 때문이라고 판단되며, 기타 유기물질들은 0.25이하로 매우 낮았다. 질소는 대부분 처리에서 1.5% 미만이었으며 부숙된 왕겨의 무기물 함량이 높았다. 일반적으로 토양에서의 Ca 과 Mg 비율이 3:1 인 점을 고려할 때 부숙왕겨나 부숙톱밥은 기비로써 칼슘의 첨가량을 증가시켜야 할 것으로 판단되었다.

<표 3-7> 부숙된 유기물질들의 토양화학적 특성.

상토재료	pH	EC (mS/cm)	CEC (me/100g)	C (g/kg)	N (%)	K	Ca	Mg	Na
						---- (mmol/kg)----			
부숙왕겨	5.98	0.25	51.2	93.9	1.47	303	214	365	123
부숙톱밥	6.58	2.30	49.9	72.8	1.13	157	110	317	57
부숙습식수피	4.80	0.22	80.2	89.1	1.34	4	52	23	9
부숙건식수피	5.62	0.13	51.7	73.8	1.39	10	103	21	6
러시아 피트	4.80	0.20	77.9	74.2	0.48	7	303	86	10

< 표 3-8> 혼합상토 조제에 이용되는 각종 무기상토 재료들의 토양화학적 특성.

상토재료	pH	EC (mS/cm)	CEC (me/100g)	K	Ca	Mg	Na
				------ mmol/kg ------			
펄라이트 # 1	7.25	0.17	6.2	1.85	2.8	1.2	7.2
펄라이트 # 2	7.10	0.34	7.9	2.39	10.7	1.5	10.9
국산질석	9.30	0.84	27.2	2.74	158.7	57.8	9.1
수입질석	6.10	0.18	64.0	5.83	91.7	8.5	345.5
암면 1회분쇄	6.16	0.67	9.1	4.00	39.4	7.4	3.7
암면 2회분쇄	6.30	0.63	9.3	3.84	40.9	6.9	3.6
암면 3회분쇄	6.55	0.61	9.6	3.26	40.0	6.9	3.2

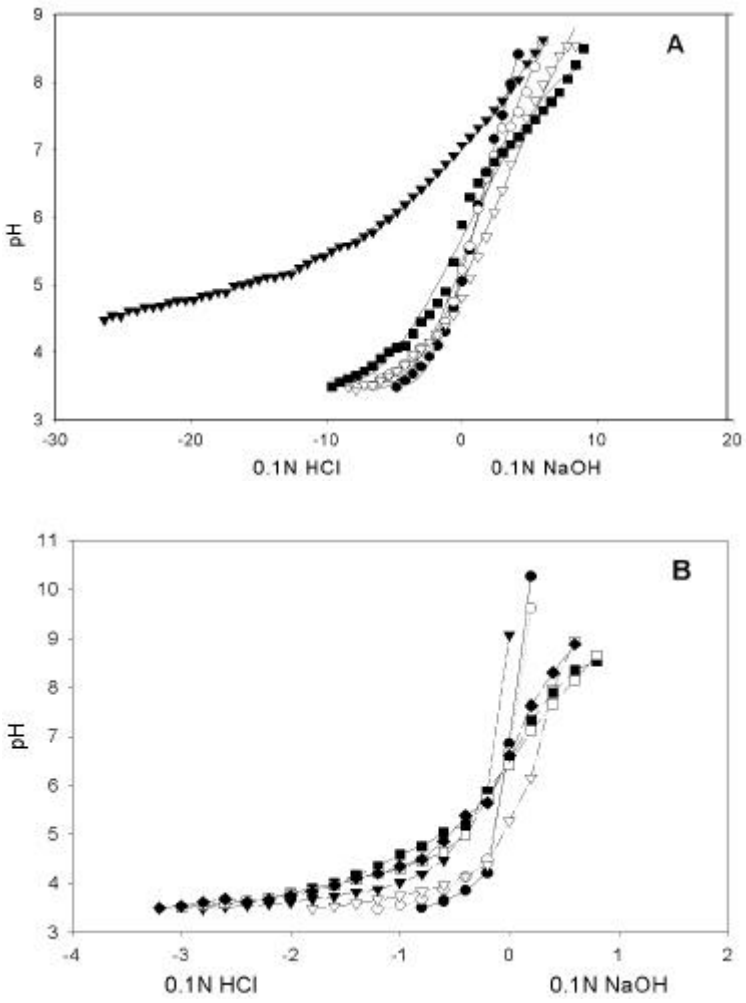
무기물질들의 화학적 특성에서 펄라이트는 '# 1'이 7.25, '# 2'가 7.10으로 큰 차이를 보이지 않았으나 질석의 경우 국내산의 pH가 9.30였고 수입질석이 6.10으로 약 1000배 정도의 수소이온농도 차이를 보이고 있다(표 3-8). 양이온치환용량의 경우 수입질석이 64.0me/g로 국산질석의 27.2me/ 100g 보다 약 2.4배 높았다. 특이한 점은 국산질석의 Ca 및 Mg함량보다 수입질석이 낮았고, 기비체계 확립시 원석의 종류에 따라 첨가하는 Ca 및 Mg비료의 양을 조절해야 할 것으로 판단되었다. Na함량은 수입질석이 국산질석보다 무려 38배 가량 높았다.

분쇄횟수가 증가함에 따라 폐암면의 pH 및 양이온치환용량은 높아지는 경향이었고 전기전도도는 낮아지는 경향이었으나 처리간 큰 차이를 보이지 않았다. 또 무기원소 함량에서도 처리간 큰 차이를 나타내지 않았다.

< 표 3-9> 부숙된 유기 상토재료들을 목재분석법에 따라 각종추출물 비율을 조사한 결과

상토재료	회분함량	냉수추출물	온수추출물	알칼리추출물
	---------- % ----------			
부숙왕겨	11.8	11.2	11.7	51.3
부숙톱밥	9.0	9.1	11.8	33.2
부숙습식수피	50.6	3.2	5.3	50.3
부숙건식수피	54.7	2.0	5.0	54.3
러시아 피트	25.8	3.8	10.5	59.4

목재분석법에 기초하여 부숙된 유기물질들의 화학적 특성을 조사한 바 회분함량에서는 습식 또는 건식수피가 50.6 및 54.7%로, 부숙왕겨나 부숙톱밥보다 무려 5배 가량 높았는데, 이는 수피속에 많은 무기물질이 존재함을 의미하고 있다(표 3-9). 냉수추출물에는 유기물질중에 존재하는 불가용성 탄수화물, 타닌, 배당체등이 포함되는 것으로 알려져 있는데, 부숙왕겨와 톱밥이 높았고 두 종류의 수피와 러시아피트는 낮았다. 온수추출물에는 냉수추출물과 유사한 물질이 포함되나 추출량이 증가하는 것으로 알려져 있다. 각 유기물질의 추출량은 냉수추출과 유사한 경향을 보였으며, 러시아피트에서 온수추출량이 급격히 증가하였다. 알칼리 추출물은 냉수추출된 물질의 양이 많아지고 또 폴리페놀류나 저분자 리그닌 물질들이 포함된다고 하였는데, 부숙톱밥의 알칼리 추출물량이 적었으며 기타 유기물질에서는 큰 차이를 보이지 않았다.



<그림 3-6> 부숙된 유기물질(A) 또는 무기물질(B)에 0.1NCl이나 0.1NaOH를 첨가한 후 변화된 pH(A: ● 부숙건식수피, ○ 부숙습식수피, ▼ 부숙왕겨, ▽ 러시아피트, ■ 부숙톱밥, B: ● 펄라이트 1호, ○ 펄라이트 2호, ▼국산질석, ▽수입질석, ■ 암면 1회분쇄, □ 암면 2회분쇄, ◆ 암면 3회분쇄).

부숙가공된 유기물질의 토양완충력 변화를 보면 부숙톱밥의 완충력이 가장 높았고 다음으로 톱밥 및 러시아 피트였으며, 두 종류의 수피는 완충력이 낮았다(그림 3-6). 분석된 무기물중 두 종류의 질석이 HCl이나 NaOH 첨가에 의한 pH 변화가 적어 완충력이 높음을 나타내고 있으며 수입질석이 국산질석보다 높음을 보여주고 있다. 그러나 분쇄횟수에 따른 페암면의 토양완충력에는 큰 차이를 보이지 않았다. 이상과 같이 토양완충력의 차이가 발생하는 것은 표 3-8에서 나타낸 양이온치환용량과 상관관계가 있음을 알 수 있고, 일반적으로 양이온치환용량이 높을 경우 완충력도 높은 것으로 조사되었다.

나. 개발된 혼합상토의 화학적 특성 분석

<표 3-10> 부숙왕겨와 부숙톱밥을 이용하여 조제된 혼합상토의 화학적 특성.

혼합상토	pH	EC (mS/cm)	CEC (me/100g)	NH4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	K mmol/kg	Ca mmol/kg	Mg mmol/kg	Na mmol/kg
피트모스+질석	5.78	0.56	70.9	0.66	4.2	6.3	187.1	47.3	177.9
왕겨	6.93	0.13	27.7	0.16	1.8	7.7	34.9	20.6	2.4
부숙왕겨	6.38	1.73	51.2	6.07	77.0	303.4	213.8	365.2	122.9
부숙왕겨+질석	6.49	1.23	57.6	2.54	52.5	154.6	152.8	186.8	234.2
부숙왕겨+펄라이트	6.61	0.71	29.6	4.60	16.6	152.6	108.3	183.2	65.0
톱밥	6.97	0.35	21.4	0.13	1.8	7.7	34.9	20.6	2.4
부숙톱밥	6.87	0.75	49.9	8.64	6.6	156.9	109.8	317.2	56.6
부숙톱밥+질석	7.16	0.94	56.9	2.29	35.8	81.4	100.8	162.9	201.0
부숙톱밥+펄라이트	7.06	0.41	28.9	2.61	9.4	79.4	56.3	159.2	31.9

왕겨와 톱밥을 기본 유기물질로 조제된 혼합상토의 화학적 특성을 표

3-10에 나타내었다. 부숙전 왕겨의 무기원소 함량은 상대적으로 낮았으나 부숙후에 무기원소 함량이 높아졌다. 이는 부숙과정에서 첨가된 여러 물질들에 의해 무기원소 함량이 높게 분석된 결과라 판단된다. 톱밥의 경우에도 정도의 차이는 있었지만 동일한 경향을 나태내었으며, 부숙된 왕겨나 톱밥에 질석이나 펄라이트를 혼합할 경우 무기원소 함량은 감소하는 경향이었다.

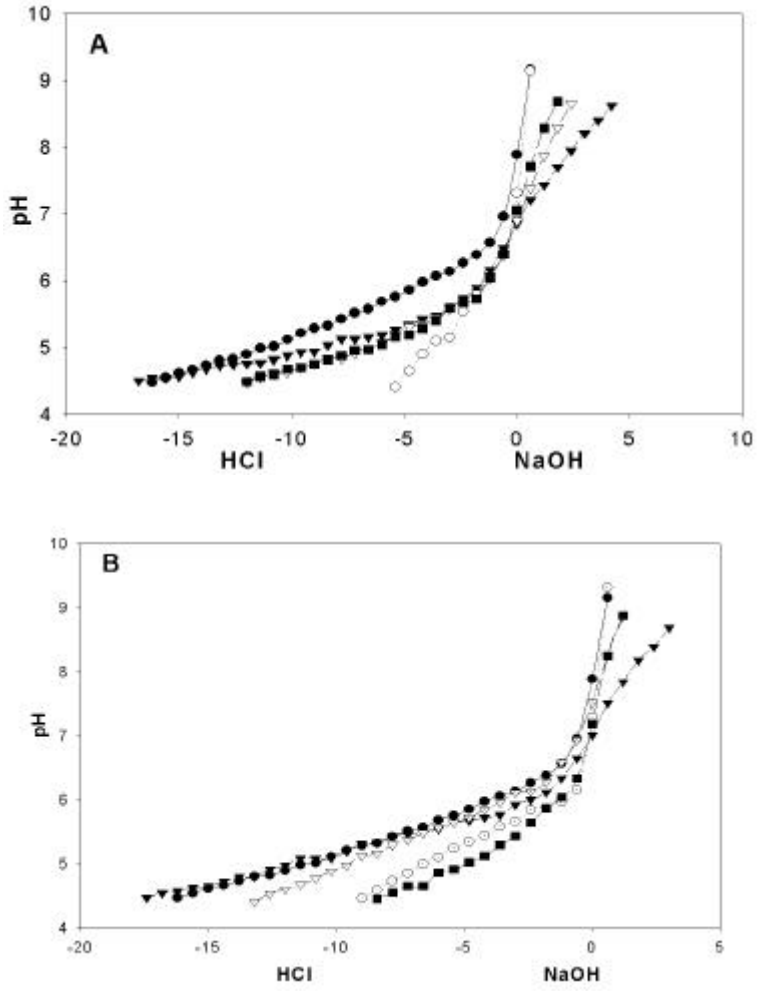
<표 3-11> 부숙된 건식 및 습식수피를 이용하여 조제된 혼합상토의 화학적 특성.

혼합상토	pH	EC (mS/cm)	CEC (me/100g)	NH4 --(mg/L)--	NO3	K	Ca	Mg	Na
						--- mmol/kg ---			
피트모스+질석	7.19	0.56	70.9	0.66	4.19	6.3	197	47.3	178.0
습식수피	6.58	0.16	14.8	0.80	6.17	35.8	344	69.9	27.9
부숙습식수피	5.43	0.31	80.2	2.38	1.95	3.6	52	23.2	9.3
부숙습식수피+질석	6.39	0.56	72.1	0.67	2.67	4.7	72	15.9	177.4
부숙습식수피+펄라이트	6.10	0.20	44.1	0.43	1.51	2.8	27	12.2	8.2
건식수피	5.90	0.32	13.2	0.80	6.17	28.1	282	78.2	20.9
부숙건식수피	5.61	0.34	51.7	2.38	1.95	9.5	103	20.7	5.5
부숙건식수피+질석	6.80	0.51	57.9	0.67	2.67	7.7	97	14.6	175.5
부숙건식수피+펄라이트	6.65	0.20	29.8	0.43	1.51	5.7	53	11.0	6.4

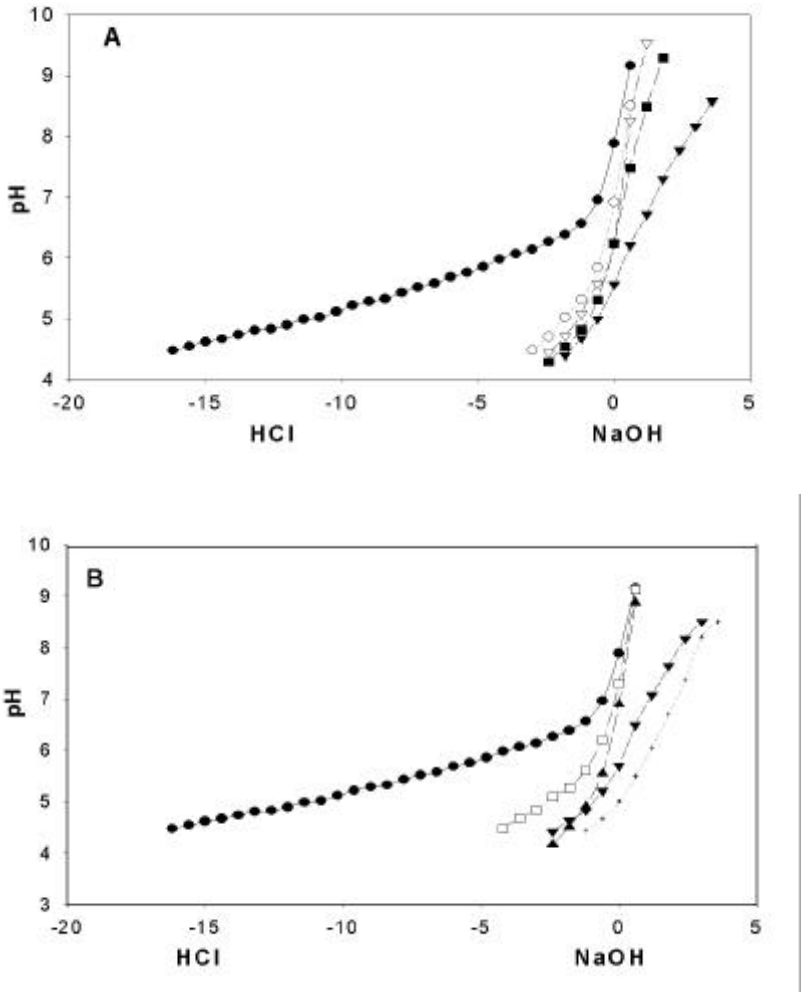
습식 및 건식수피를 이용하여 개발된 혼합상토의 화학적 특성에서 부숙후의 pH는 부숙전보다 낮아지는 경향이었으며, pH가 상대적으로 높은 질석과 펄라이트를 혼합하므로써 부숙전 pH에 근접하거나 높아지고 있다<표 3-11>. 부숙에 의해 양이온치환용량은 급격히 증가하였는데, 부숙전 습식

수피의 양이온치환용량이 14.8me/100g에서 부숙후 80.2me/100g으로 약 5.4배 높아졌고, 건식수피는 13.2에서 51.7me/100g으로 약 3.9배 높아졌다. 습식 및 건식수피 모두 부숙전 무기원소 함량이 높았으나 부숙후 약 8-10배 이하로 낮아졌다, 이는 부숙과정에서 관수된 물에 의해 분해된 무기성분들이 토양으로 용탈된 결과라고 판단된다. 펄라이트와 질석의 혼합에서 질석이 혼합된 처리들이 펄라이트가 혼합된 처리들보다 무기원소 함량이 높았으며, 이는 질석이 보유하고 있는 무기원소 함량이 펄라이트보다 높기 때문인 것으로 판단된다.

0.1N HCl 이나 NaOH를 첨가함에 따라 변하는 토양 pH는 토양 완충력의 정도를 나타내는데, 그림3-7에 나타낸 부숙왕겨의 경우 피트모스+질석 대조구 보다 pH 변화가 완만하여 완충력이 높은 것으로 분석되었다. 그러나 부숙되지 않은 왕겨의 경우 완충력이 낮았으며, 부숙왕겨에 질석이나 펄라이트를 혼합할 경우에는 토양완충력이 감소하는 경향을 나타내었다. 부숙된 톱밥의 경우는 대조구보다 완충력이 높은 것으로 분석되었으며 부숙된 톱밥에 질석이나 펄라이트를 혼합할 경우 완충력이 감소하였는데 펄라이트를 혼합할 경우 완충력이 더욱 심하게 감소하는 경향이었다.



<그림3-7> 부숙왕겨(A) 또는 부숙톱밥(B)을 기본 유기물질로 조제된 각종 혼합 상토에 0.1N HCl이나 0.1N NaOH를 첨가한 후 변화 된 pH(A: ● 피트모스+질석(1:1,v/v), ○ 왕겨, ▼ 부숙왕겨, ▽ 부숙왕겨+질석 (1:1),□ 부숙왕겨+펄라이트, B: ● 피트모스+질석(1:1,v/v), ○ 톱밥, ▼ 부숙톱밥, ▽ 부숙톱밥+질석(1:1), 부숙톱밥+펄라이트 (1:1)).



<그림 3-8> 부숙된 습식수피(A) 또는 건식수피(B)를 기본유기물질로 조제된 각종 혼합상토에 0.1N HCl이나 0.1N NaOH를 첨가한 후 변화된 pH (A:● 피트모스+질석(1:1,v/v), ○ 습식수피, ▼ 부숙습식수피, ∇ 부숙습식수피+질석(1:1), ■ 부숙습식수피+펄라이트(1:1), B: ● 피트모스+질석(1:1), ─ 건식수피, ▼ 부숙건식수피, □ 부숙 건식수피+질석(1:1), ▲ 부숙건식수피+펄라이트(1:1)).

습식 또는 건식탈피된 수피의 경우 HCl이나 NaOH의 첨가에 의해 pH가 빠르게 변하였으며, 특히 왕겨나 톱밥보다 pH의 변화가 빨라 완충력이 낮음을 알 수 있었다. 부숙된 습식수피나 건식수피 단용처리도 완충력이 낮았을 뿐만 아니라 두 종류의 수피에 질석이나 펄라이트를 혼합할 경우 pH가 더 빠르게 변하여 완충력이 낮음을 나타내고 있다(그림3-8).

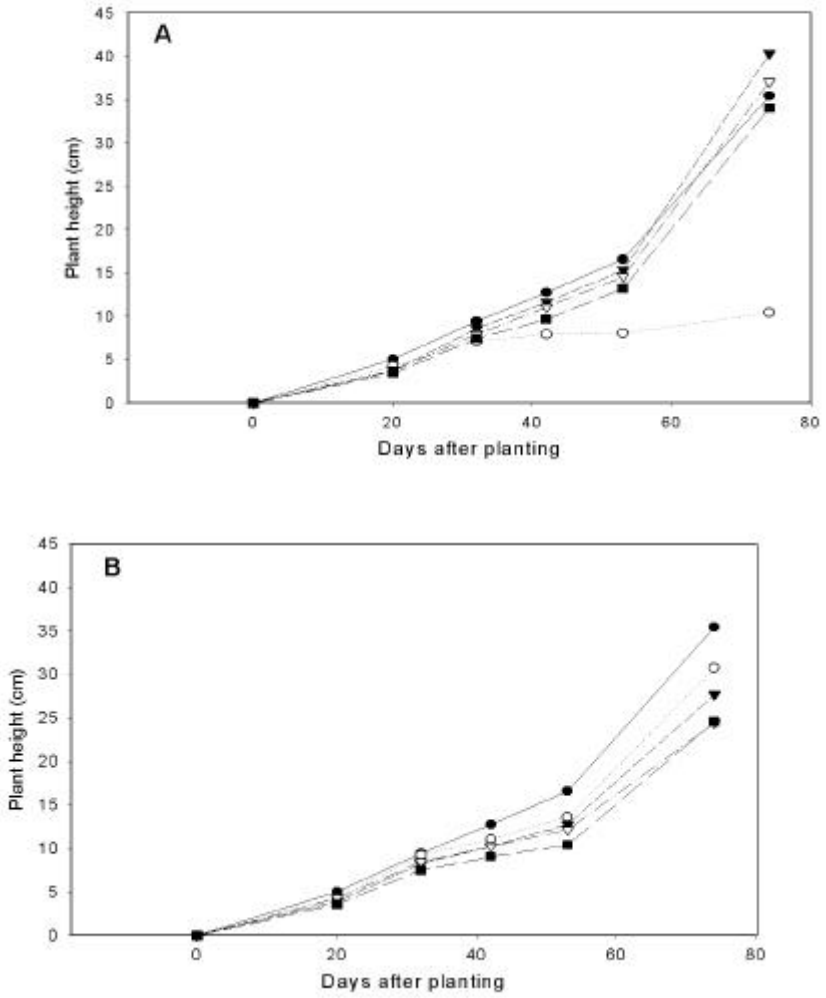
다. 개발된 상토의 효능 시험

1) 포트실험 (백합재배 실험)

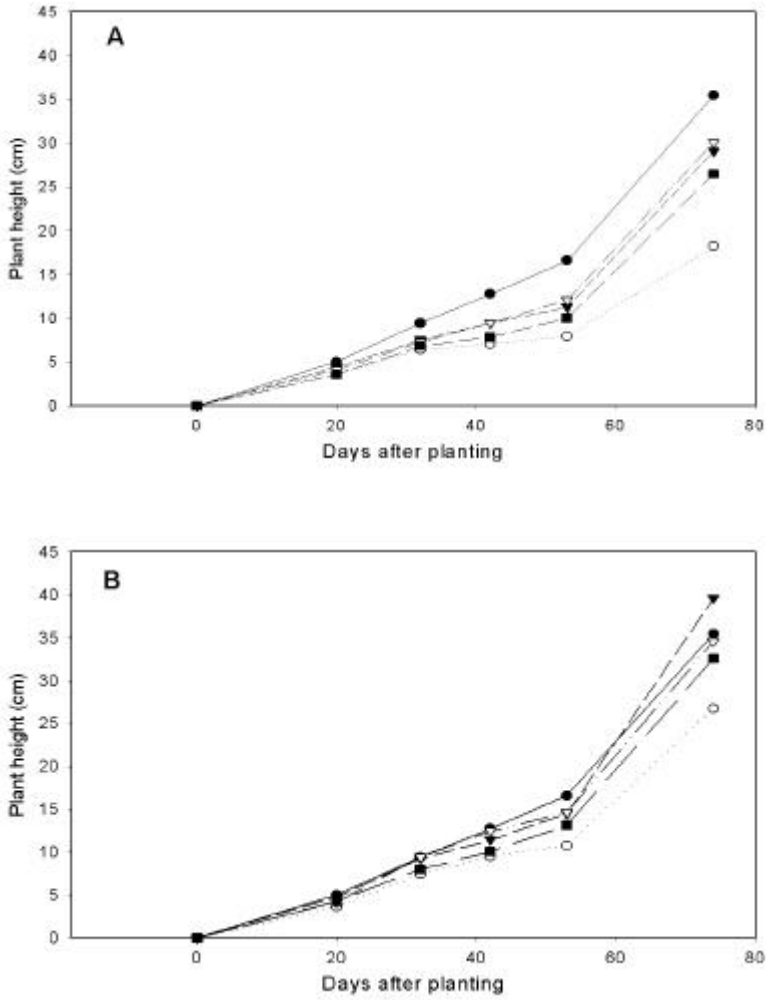
그림 3-9에는 부숙왕겨와 부숙톱밥을 이용하여 백합을 재배할 때 초장의 변화를 나타내었다. 미숙된 왕겨의 경우 수확시기의 초장이 약 13cm로 조사되어 저조하였으며, 부숙왕겨 단용처리, 부숙왕겨+질석 처리가 대조구보다 좋은 생육을 보였다. 그러나 부숙왕겨+펄라이트의 경우 대조구보다 생육이 저조하였으나 그 차이는 크지 않았다. 톱밥이 혼합된 처리들은 전반적으로 대조구보다 생육이 저조하였는데 미숙톱밥, 부숙톱밥, 부숙톱밥+질석, 부숙톱밥+펄라이트의 순으로 초장이 감소하는 경향이었다.

부숙된 습식수피와 건식수피를 이용하여 백합을 포트재배할 경우 초장의 변화는 그림 3-10에 나타내었다. 부숙되지 않은 습식수피와 건식수피가 생육이 가장 저조하였으며 습식수피의 경우 모는 처리에서 대조구보다 생육이 저조하였다. 습식수피에 질석을 혼합할 경우 부숙된 습식수피 단용처리 보다 생육이 좋았으며 부숙된 습식수피에 펄라이트를 혼합할 경우 단용처리보다 생육이 저조하였다.

부숙된 건식수피의 경우 대조구보다 초장이 길었으며 부숙된 건식수피+펄라이트 처리의 경우 대조구보다 약간 저조하였다.



<그림 3-9> 부숙왕겨(A) 또는 부숙톱밥(B) 을 기본 유기물질로 조제된 혼합상토가 나팔백합 'Snow Queen'의 초장변화에 미치는 영향(A: ● 피트모스+질석(1:1,v/v), ○ 왕겨, ▼ 부숙왕겨, ▽ 부숙왕겨+질석(1:1), ■ 부숙왕겨+펄라이트, B: ● 피트모스+질석(1:1,v/v), ○ 톱밥, ▼ 부숙톱밥, ▽ 부숙톱밥+질석(1:1), ■ 부숙톱밥+펄라이트(1:1)).



<그림 3-10> 부숙습식수피(A) 와 부숙건식수피(B)를 기본 유기물질로 조제된 혼합상토가 나팔백합 'Snow Queen'의 초장변화에 미치는 영향(A: ● 피트모스+질석(1:1,v/v), ○ 습식수피, ▼ 부숙건식수피, ▽ 부숙건식수피+질석(1:1), ■ 부숙습식수피+펄라이트(1:1), B: ● 피트모스+질석(1:1), ○ 건식수피, ▼ 부숙건식수피, ▽ 부숙건식수피+질석(1:1), ■ 부숙건식수피+펄라이트(1:1)).

<표 3-12> 부숙왕겨를 기본유기물질로 조제된 혼합상토에서 재배된 백합 (*Lilium longiflorum Thunb)* 'Snow Queen'의 정식 56일 후 조사된 생육특성.

혼합상토	초장 (cm)	생체중 (g)	경중 (g)	엽수 (개)	엽중 (g)
피트모스+질석	45.29	104.18	16.45	47.03	40.59
왕겨	15.06	17.57	2.36	26.83	13.32
부숙왕겨	51.33	116.88	18.81	46.99	41.53
부숙왕겨+질석	49.74	104.01	17.19	44.79	36.92
부숙왕겨+펄라이트	47.87	104.33	15.27	48.16	34.48

<표 3-13> 부숙왕겨를 기본유기물질로 조제된 혼합상토에서 재배된 백합 (*Lilium longiflorum Thunb)* 'Snow Queen'의 정식 56일 후 조사된 생육특성.

혼합상토	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	화수	화중 (g)	화장 (cm)	화폭 (cm)
피트모스+질석	14.29	2.06	2.24	18.97	18.97	18.97
왕겨	8.04	1.51	1.77	16.40	15.50	15.50
부숙왕겨	13.82	2.06	2.24	20.21	20.21	20.21
부숙왕겨+질석	13.54	2.11	2.12	18.76	18.76	18.76
부숙왕겨+펄라이트	12.87	1.94	2.00	18.54	18.54	18.54

부숙왕겨를 이용한 백합의 포트재배시 부숙왕겨가 혼합된 모든 처리에서 대조구보다 절화장, 절화중, 경정 및 경중이 비슷하거나 높아 부숙왕겨가 분화재배를 위한 상토로 이용될 가능성을 제시하고 있다(표 3-12, 표 3-13). 그러나 미숙왕겨의 생육은 저조하여 대조구보다 월등히 낮은 것으로 조사되었는데, 이는 미숙왕겨의 경우 부숙과정을 겪지 않았기 때문에

부숙과정에서 질소가 첨가되는 다른 처리들 보다 질소함량이 낮았고, 낮은 질소함량이 추후의 작물생육에 영향을 미쳤다고 판단된다. 그러나 엽장에서는 왕겨가 혼합된 모든 처리가 대조구보다 낮았고, 엽폭에서는 부숙왕겨나 부숙왕겨+질석처리에서는 대조구보다 높았지만, 부숙왕겨+펄라이트와 미숙왕겨 처리에서 대조구보다 저조하였다. 착화수, 화중, 화폭의 경우 부숙왕겨 단용처리는 대조구보다 높았으나, 기타 부숙왕겨가 혼합된 처리와 미숙왕겨는 대조구보다 낮았다. 그러나 부숙왕겨+질석 또는 부숙왕겨+펄라이트 처리는 대조구보다 차이가 크지 않았으며 외관상 뚜렸한 차이를 나타내지 않았다.

<표 3-14> 부숙톱밥을 기본유기물질로 조제된 혼합상토에서 재배된 백합 (*Lilium longiflorum Thunb)* 'Snow Queen'의 정식 56일 후 조사된 생육특성.

혼합상토	초장 (cm)	생체중 (g)	경중 (g)	엽수 (개)	엽중 (g)
피트모스+질석	45.29	104.18	16.45	47.03	40.59
톱밥	39.04	63.83	9.69	44.79	19.99
부숙톱밥	38.91	71.56	15.74	40.79	20.78
부숙톱밥+질석	33.29	67.34	9.74	40.28	20.91
부숙톱밥+펄라이트	37.37	66.89	9.17	39.04	21.48

<표 3-15> 부숙톱밥를 기본유기물질로 조제된 혼합상토에서 재배된 백합 (*Lilium longiflorum Thunb)* 'Snow Queen'의 정식 56일 후 조사된 생육특성.

혼합상토	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	화수	화중 (g)	화장 (cm)	화폭 (cm)
피트모스+질석	14.29	2.06	2.24	18.97	18.97	18.97
톱밥	10.47	1.81	1.83	16.77	16.77	16.77
부숙톱밥	11.75	1.88	1.99	16.41	16.41	16.41
부숙톱밥+질석	12.07	1.95	1.99	17.69	17.69	17.69
부숙톱밥+펄라이트	10.99	1.76	2.00	16.20	16.20	16.20

부숙톱밥을 이용한 백합의 분화재배에서는 조사한 모든 생육지표에서 대조구가 톱밥이 혼합된 처리들 보다 생육이 좋았다. 톱밥이 혼합된 처리 중에서는 미숙톱밥을 처리한 구가 생육이 저조하였고, 부숙톱밥 단용처리한 구가 부숙톱밥+질석처리나 부숙톱밥+펄라이트 처리보다 절화장, 절화중, 경중 및 엽수가 높은 것으로 조사되었다. 엽장, 엽폭, 경정, 경중에서도 대조구가 부숙톱밥이 혼합된 처리들 보다 높은 것으로 조사되었으며, 부숙톱밥이 단용 또는 혼용된 처리들 간에는 평균값의 차이가 있었지만, 실험기간 중에는 육안으로 판단될 만큼 가시적인 차이를 확인할 수 없었다(표3-14, 표 3-15).

< 표 3- 16> 부숙습식수피를 기본유기물질로 조제된 혼합상토에서 재배된 백합 (*Lilium longiflorum Thunb)* 'Snow Queen'의 정식 56일 후 조사된 생육특성.

혼합상토	초장 (cm)	생체중 (g)	경중 (g)	엽수 (개)	엽중 (g)
피트모스+질석	45.29	104.18	16.45	47.03	40.59
습식수피	26.16	37.04	4.89	37.16	10.27
부숙습식수피	38.91	62.70	8.99	43.66	19.57
부숙습식수피+ 질석	37.04	58.69	10.64	46.29	21.84
부숙습식수피+ 펄라이트	36.74	57.44	7.65	44.41	17.23

< 표3- 17> 부숙습식수피를 기본유기물질로 조제된 혼합상토에서 재배된 백합 (*Lilium longiflorum Thunb)* 'Snow Queen'의 정식 56일 후 조사된 생육특성.

혼합상토	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	화수	화중 (g)	화장 (cm)	화폭 (cm)
피트모스+질석	14.29	2.06	2.24	18.97	18.97	18.97
습식수피	8.70	1.56	1.33	15.51	15.51	15.51
부숙습식수피	11.12	1.71	2.16	15.25	15.25	15.25
부숙습식수피+ 질석	10.36	1.78	1.49	16.38	16.38	16.38
부숙습식수피+ 펄라이트	9.93	1.63	1.58	16.00	16.00	16.00

표 3- 16과 3- 17에는 습식수피를 이용한 백합 재배시 각종 생육조사의 결과를 나타내었다. 부숙습식수피가 각종 생육조사에서 생육이 저조한 것으로 조사되었다. 그러나 부숙과정에서 습식수피는 질소 및 무기원소의 첨가량이 낮았고, 결과적으로 부숙후에도 무기원소 함유량이 적었으며, 상토의 낮은 무기원소 함량때문에 생육이 저조했다고 판단된다. 따라서 습

식수피를 이용한 분화재배시 식재후 초기 시비량을 증가시킬 경우 대조구보다 좋은 생육을 보일 것으로 판단되며, 상토의 종류에 따라 시비방법을 다르게 적용해야 한다고 판단된다. 표 3-16과 표 3-17에 나타난 각종 생육지표는 대조구가 다른 처리들 보다 높았지만, 시비방법을 다르게 적용할 경우 충분히 상쇄될 수 있는 차이라 판단된다.

<표 3-18> 부숙건식수피를 기본유기물질로 조제된 혼합상토에서 재배된 백합(*Lilium longiflorum Thunb*) 'Snow Queen'의 정식 56일 후 조사된 생육특성.

혼합상토	초장 (cm)	생체중 (g)	경중 (g)	엽수 (개)	엽중 (g)
피트모스+질석	45.29	104.18	16.45	47.03	40.59
건식수피	36.24	46.73	6.42	42.49	13.62
부숙건식수피	48.66	83.59	13.85	47.24	28.85
부숙건식수피+질석	46.08	73.72	14.00	49.33	25.31
부숙건식수피+펄라이트	41.24	58.06	9.11	38.23	16.11

<표 3-19> 부숙건식수피를 기본유기물질로 조제된 혼합상토에서 재배된 백합(*Lilium longiflorum Thunb*) 'Snow Queen'의 정식 56일 후 조사된 생육특성.

혼합상토	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	화수	화중 (g)	화장 (cm)	화폭 (cm)
피트모스+질석	14.29	2.06	2.24	18.97	18.97	18.97
건식수피	9.79	1.57	1.24	15.12	15.12	15.12
부숙건식수피	11.83	1.86	1.99	16.38	16.38	16.38
부숙건식수피+질석	1124	1.74	1.95	16.01	16.01	16.01
부숙건식수피+펄라이트	10.69	1.65	1.87	15.43	15.43	15.43

건식수피를 이용한 작물재배에서는 부숙건식수피가 단용 또는 질석과 혼용될 경우 대조구보다 생육이 좋았다. 그러나 부숙건식수피+펄라이트가 혼합된 처리와 미숙된 건식수피의 경우 대조구보다 생육이 저조하였다. 그러나 저조한 처리들은 시비방법을 조절하여 초기의 시비량을 증가시킬 경우 충분히 극복될 수 있는 차이라고 판단된다(표 3-18, 표 3-19).

<표 3-20> 부숙왕겨 및 부숙톱밥을 기본 유기물질로 조제된 혼합상토에서 플러그 육묘된 고추 '녹광'의 파종 60일 후 생육특성.

혼합상토	초장 (cm)	생체중 (g)	관부직경 (mm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
피트모스+질석	23.65	1.67	2.46	9.41	6.01	2.74
왕겨	15.21	1.31	2.33	9.01	5.18	2.53
부숙왕겨	17.32	1.41	2.26	9.03	5.33	2.52
부숙왕겨+질석	24.16	1.62	2.43	9.31	5.35	2.50
부숙왕겨+펄라이트	21.86	1.52	2.39	9.06	5.38	2.49
톱밥	21.00	1.33	2.22	9.31	5.48	2.51
부숙톱밥	21.75	1.44	2.22	9.36	5.41	2.55
부숙톱밥+질석	21.95	1.65	2.39	9.30	5.02	2.58
부숙톱밥+펄라이트	21.88	1.35	2.34	9.11	5.82	2.71

부숙왕겨를 혼합한 상토를 이용하여 고추를 플러그 재배한 결과를 표 3-17에 나타내었는데, 부숙왕겨+질석 처리구가 가장 높은 초장을 보였으며 대조구와 비슷한 식물 생육을 보였다. 부숙왕겨+펄라이트 혼합상토도 대조구보다 약간 저조한 생육을 보였으나 플러그 재배에 이용될 수 있는 잠재력이 충분한 상토라고 판단된다. 그러나 미숙한 왕겨의 경우 식물생육이

너무 저조하여 반드시 적절한 가공과정을 거친 후에 작물재배에 이용해야 할 것으로 판단되었다.

부숙된 톱밥을 상토로 이용할 경우 대조구보다 생육이 약간 저조하였으나 부숙톱밥이 혼합된 모든 처리에서 비교적 생육이 양호하였다. 부숙된 톱밥을 질석과 혼합하여 상토로 이용한 경우 대조구와 가장 근접한 생육상태를 보였는데, 이는 질석이 보유한 양이온치환용량이 높고 Ca과 Mg의 함량이 높았기 때문인 것으로 판단되었다.

(표 3-21) 부숙습식수피 및 부숙건식수피를 기본 유기물질로 조제된 혼합상토에서 플러그 육묘된 고추 '녹광'의 파종 60일 후 생육특성.

혼합상토	초장 (cm)	생체중 (g)	관부직경 (mm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
피트모스+질석	23.65	1.67	2.46	9.41	6.01	2.74
습식수피	19.96	1.19	2.05	8.97	5.51	2.49
부숙습식수피	21.88	1.35	2.34	9.11	5.82	2.71
부숙습식수피 +질석	22.89	1.52	2.39	9.26	5.88	2.69
부숙습식수피 +펄라이트	22.52	1.48	2.61	9.28	5.71	2.59
건식수피	18.88	1.11	1.91	8.42	4.82	2.16
부숙건식수피	21.75	1.44	2.22	9.36	5.41	2.55
부숙건식수피 +질석	21.95	1.65	2.39	9.30	5.02	2.58
부숙건식수피 +펄라이트	21.00	1.50	2.57	9.13	5.40	2.39

부숙습식수피를 이용하여 플러그 재배한 경우에도 질석이 혼용된 처리가 대조구에 가장 근접한 생육을 보였으며, 그 이유는 상기한 내용과 같다고 판단된다. 부숙습식수피와 펄라이트가 혼합된 처리 및 부숙습식수피 단

용처리도 비교적 양호한 생육을 보였으며, 플러그재배에 이용할 경우 큰 문제를 발생시키지 않을 것으로 판단되었다(표 3-21).

건식수피를 이용하여 고추를 플러그 재배한 경우에도 습식수피와 유사하였으며, 대조구가 가장 좋은 생육을 보였고, 부숙건식수피가 혼용 또는 단용처리된 모든 구에서도 수용될 수 있는 작물생육을 보였다. 건식수피에서도 부숙된 건식수피+질석 처리구가 대조구와 가장 근사한 생육을 보였다.

<표 3-22> 부숙왕겨 및 부숙톱밥을 기본 유기물질로 조제된 혼합상토에서 플러그 육묘된 토마토 'Koko'의 파종 45일 후 생육특성.

혼합상토	초장 (cm)	생체중 (g)	관부직경 (mm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
피트모스+질석	20.65	1.57	3.96	6.41	6.51	2.65
왕겨	17.97	1.21	3.83	6.01	5.68	2.43
부숙왕겨	19.52	1.38	4.11	6.28	6.21	2.49
부숙왕겨+질석	18.95	1.55	3.89	6.30	6.52	2.48
부숙왕겨+펄라이트	17.89	1.42	3.89	6.06	5.88	2.39
톱밥	15.88	1.01	3.41	5.42	5.32	2.06
부숙톱밥	19.52	1.40	3.98	6.24	6.28	2.46
부숙톱밥+질석	18.00	1.40	4.07	6.13	5.90	2.29
부숙톱밥+펄라이트	18.88	1.25	3.84	6.11	6.32	2.61

부숙왕겨를 단용 또는 혼용하여 토마토를 플러그 육묘한 후 조사한 작물생육에서 미숙된 왕겨를 제외한 모든 처리에서 비교적 양호한 작물생육을 보였다. 또한 부숙왕겨가 혼용 또는 단용된 세 처리는 조사항목에 따라

생육이 우수한 처리가 달랐으나, 이와 관련하여 추후 상세한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되었다< 표 3- 22> .

부숙톱밥을 상토로 이용할 경우 왕겨를 이용한 경우보다 생육이 저조한 경향이었다. 그러나 부숙톱밥이 이용된 세 처리 모두 비교적 양호한 작물생육을 보여 플러그재배에 이용할 경우 특별한 문제점을 야기시키지는 않을 것으로 판단되었다. 부숙된 톱밥을 이용할 경우 부숙톱밥 단용처리나 부숙톱밥과 질석을 혼합하여 이용할 경우 대조구와 가장 근접한 식물생육을 보일 것으로 예상되었다.

< 표 3- 23> 부숙습식수피 및 부숙건식수피를 기본 유기물질로 조제된 혼합상토에서 플러그 육묘된 토마토 'Koko'의 파종 45일 후 생육특성.

혼합상토	초장 (cm)	생체중 (g)	관부직경 (mm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
피트모스+질석	20.65	1.57	3.96	6.41	6.51	2.65
습식수피	17.97	1.21	3.83	6.01	5.68	2.43
부숙습식수피	18.66	1.31	3.76	6.03	5.83	2.42
부숙습식수피 +질석	19.65	1.50	3.91	6.35	6.25	2.50
부숙습식수피 +펄라이트	19.59	1.50	3.87	6.25	6.18	2.44
건식수피	16.96	1.09	3.55	5.97	6.01	2.39
부숙건식수피	18.00	1.23	3.72	6.31	5.98	2.41
부숙건식수피 +질석	18.77	1.52	3.93	6.31	5.85	2.40
부숙건식수피 +펄라이트	18.49	1.45	3.92	6.21	5.88	2.39

부숙습식수피를 이용하여 토마토를 플러그 육묘한 경우도 고추의 플러그재배에서와 유사한 경향을 나타내었다(표 3- 23). 부숙습식수피에 질석이나 펄라이트를 혼용한 경우에 대조구와 유사한 작물생육을 보였으며 플러그재배용 상토로 이용하기에 큰 문제점이 없을 것으로 판단되었다.

건식수피를 이용하여 토마토를 플러그 재배한 경우에도 대조구가 가장 좋은 생육을 보였고 부숙건식수피+질석 처리, 부숙건식수피+펄라이트, 부숙건식수피 그리고 미숙수피의 순으로 작물생육이 감소하는 경향이었다. 그러나 부숙건식수피가 혼용 또는 단용으로 이용된 세 처리는 대조구와 근사한 작물생육을 보였으며 토마토의 플러그재배용 상토로 이용하기에 무리가 없을 것으로 판단되었다.

3. 적 요

가. 부숙된 왕겨, 톱밥, 수피 및 혼합상토 조제시 이용된 질석과 펄라이트의 화학성 분석

1) 부숙톱밥을 제외한 유기물질들이 산성을 띄었으며, 전기전도도는 톱밥이 2.30ms/cm 로 가장 높았고, 기타 유기물질들은 0.25 이하로 측정되었다.
2) 부숙된 유기물질들의 무기원소 함량은 왕겨와 톱밥에서 높았고 부숙된 각종 수피에서는 낮았다.
3) 무기물질 중국산 질석의 pH는 9.3, 수입 질석 6.10 그리고, 펄라이트는 약 7.15 정도였다. 국산 질석은 Ca와 Mg의 함량이 높았으나 수입 질석은 국산 질석보다 K 및 Na의 함량이 높았는데 Na의 경우 국산 질석보다 35배 이상 높았다.
4) 냉수추출물, 온수추출물 및 알칼리 추출물에서 부숙톱밥이 가장 낮았고, 각종 수피에서 추출량이 많았다.

나. 개발된 혼합상토의 화학적 특성 분석

1) 부숙된 유기물질에 질석은 혼합한 경우 pH가 상승하였으나, 양이온치환용량은 피트모스+질석 대조구에 근접하였다.
2) 부숙왕겨나 부숙톱밥의 NO_3^--N의 농도가 높았는데 이는 부숙과정에서 첨가된 질소의 영향을 받았다고 판단된다.
3) 부숙된 유기물질에 질석을 혼합할 경우 K, Ca, Mg 및 Na의 농도가 높

았으나, 펄라이트를 혼합할 경우 농도가 높지 않았다.

4) 부숙된 왕겨나 톱밥은 대조구와 유사한 토양완충력을 보였으나 부숙된 각종 수피는 완충력이 낮았다. 부숙된 유기물질에 질석을 혼합할 경우 완충능의 저하가 크지 않았으나 펄라이트를 혼합할 경우 토양완충능이 크게 저하되었다.

다. 개발된 상토의 효능시험

1) 부숙되지 않은 유기물질을 상토로 이용할 경우 정식 56일 후의 백합 생육은 피트모스+질석 대조구보다 월등히 저조하였다.
2) 부숙왕겨, 부숙왕겨+질석 또는 부숙왕겨+펄라이트 혼합상토에서 재배된 백합은 초장 및 생체중이 피트모스+질석 대조구 보다 크기가 무거웠다.
3) 부숙톱밥을 혼합상토에 이용할 경우 피트모스+질석 대조구보다 생육이 저조하였으며, 부숙습식수피 및 건식습식수피를 이용한 백합재배에서도 생육이 대조구 보다 저조하였다.
4) 부숙왕겨+질석 혼합상토에서 플러그 육묘된 고추 '녹광'은 부숙왕겨나 부숙톱밥이 혼합된 처리들보다 생육이 우수하였고 피트모스+질석 대조구와 유사한 작물 생육을 보였다.
5) 부숙된 습식수피+질석 혼합상토에서 플러그 육묘된 토마토 'KoKo'는 초장과 생체중이 19.7cm와 150g으로 조사되었고, 피트모스+질석 대조구의 20.7cm 및 1.57g과 비슷한 작물생육을 보였다.

제 3 절 작물의 특성 및 재배방법에 적절한 추비방법 확립

1. 재료 및 방법

가. 개발된 상토의 화학성 분석에 기초하여 원예작물의 포트재배시 기비 시스템 확립

1) 혼합상토의 조제

본 실험을 위하여 피트모스+질석(1:1)혼합상토를 대조구로 하여 부숙왕겨+펄라이트(75:25), 부숙수피+펄라이트(75:25) 그리고 부숙톱밥+펄라이트(75:25)혼합상토를 조제하였다.

2) 혼합상토의 토양산도 교정 및 식물생육에 미치는 영향

혼합상토의 토양산도 교정을 위하여 피트모스+질석(1:1)상토에는 미주산 고토석회를 0.5g/L의 비율로 시비하여 대조구로 삼았다. 각 혼합상토에는 탄산석회를 0, 1.5, 3.0 및 4.0g/L의의 비율로 시비하거나 국산 고토석회를 0, 3.0, 6.0 및 9.0g/L의 비율로 시비하여 국화'monlo' 작물생육 및 무기원소 흡수에 미치는 영향을 구명하였다.

3) 인산질 비료의 종류 및 적정 시비량 결정

개발된 각각의 혼합상토내 적합한 인산질 비료의 종류 및 시비량을 밝히기 위하여 조제된 혼합상토에 용성인비 및 용과린을 0, 2, 4, 및 6g/L의 비율로 처리를 만들고 국화 'Monlo'를 재배하여 작물생육에 미치는 영향을 구명하였다.

4) 지효성 비료의 종류 및 적정 시비량 결정

분화재배시 지효성 비료의 적정 시용량을 결정하기 위하여 피트모스와

질석이 혼합된 상토에 20-10-20 복합비료를 질소농도를 500ppm으로 조절하여 매주 1회 관수처리하여 대조구로 삼았다. 미국에서 생산되는 Osmocoat와 국내에서 생산되는 CDU복합비료를 선발하고, 두 종류의 비료 모두 0, 4, 8, 12g/L의 비율로 각각 조제된 혼합상토에 정식 후 시비하였다. 3차년도의 연구를 위해서는 국화 'Monlo'를 대상으로 상기 혼합상토와 지효성 비료가 식물생육에 미치는 영향을 구명하였다.

나. 개발된 상토의 화학성 분석에 기초하여 원예작물의 플러그재배시 시비시스템 확립

1) 혼합상토의 조제

부숙왕겨, 부숙습식수피, 부숙건식수피 및 부숙톱밥을 기본 유기물질로 각 유기물질 단용 또는 각 유기물질에 부피비율로 25%의 질석 또는 펄라이트를 혼합한 상토를 조제하였다. 조제된 혼합상토에는 테라코탬 및 송원산업(주)의 고흡수성 수지를 0, 3, 6 및 9g/L의 비율로, 그리고 오아시스를 0, 0.3, 0.6 및 0.9g/L의 비율로 혼합하였다.

2) 시비방법

각 상토에는 $Ca(NO_3)_2$ 및 KNO_3를 각각 0.4g/L의 비율로 혼합하고 국산 고토석회((주)석정소재) 3.5g/L, 미량원소 복합체(Micromate) 0.6g/L, 그리고 토양습윤제(Aquagro) 0.11g/L의 비율로 혼합상토 조제과정에서 첨가하였다. 이후 200공 플러그트레이에 상토를 충진하고 메리골드 'Orange boy'를 파종하였으며, stage 2부터 20-10-20 복합비료를 질소 기준으로 80ppm 시비하였고, stage 3부터는 질소농도를 120ppm으로 조절하여 매주 1회 시비하였다.

다. 농가 실증시험 및 경제성 분석

본 실험을 위하여 오리엔탈 백합인 '카사블랑카'를 분화재배 하였는데 피트모스+질석(1:1)혼합상토를 대조구로 하여 왕겨+펄라이트(75:25), 수피+펄

라이트(75:25) 그리고 톱밥+펄라이트(75:25)혼합상토를 조제하였다.

혼합상토의 토양산도 교정을 위하여 피트모스+질석(1:1)상토에는 미주산 고토석회를 0.5g/L의 비율로 시비하여 대조구로 삼았다. 각 혼합상토에는 국산 고토석회를 3.0g/L의 비율로, 용과린을 2g/L의 비율로 그리고 국내에서 생산되는 CDU 복합비료를 4g/L의 비율로 각각 조제된 혼합상토에 정식 후 시비하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 개발된 상토의 화학성 분석에 기초하여 원예작물의 포트재배시 기비시스템 확립

1) 혼합상토의 토양 산도교정 및 식물생육에 미치는 영향

개발된 혼합상토에 석회질 비료의 종류 및 처리량을 달리한 경우 국화의 생육에 미치는 영향을 표 3-24에 나타내었다.

피트모스+질석(1:1,v/v)이 혼합된 상토에서 미국산 고토석회를 3.0g/L로 시비한 처리에서 초장이 22.1cm, 생체중 및 건물중이 각각 42.6g과 50.64g으로 측정되었다. 왕겨+펄라이트를 75:25로 혼합된 상토에서 탄산석회를 시비한 경우 1.5g/L의 비율로 시비한 처리에서 초장 23.4cm, 초폭 20.5cm, 생체중 43.9g 그리고 건물중 5.92g을 생산하여 생체중 및 건물중이 가장 높았고 가장 우수한 생육을 보였다. 동일한 상토에 국산고토석회를 시비한 경우 상토 1L당 3.0g의 비율로 시비한 처리에서 초장23.7cm, 생체중 44.1g 그리고 건물중 5.77g 을 조사되어 대조구보다 생육이 우수하였다.

수피+펄라이트를 75:25(v/v)로 혼합하여 조제한 상토에서 탄산석회를 시비한 경우 1.5/L의 비율로 시비한 처리에서 생체중 및 건물중이 가장 높았고 초장, 초폭 및 엽수에서도 비교적 우수한 생육을 보였다. 고토석회를 시비한 경우에는 6.0 g/L의 비율로 시비한 처리에서 생육이 가장 우수하였으며, 초장, 초폭, 엽수, 생체중 및 건물중이 각각 21.3cm, 17.6cm, 73엽, 44.9.g 및 5.95g 으로 조사되었다. 수피+펄라이트를 기본 상토로 시비한 처리에서는 탄산석회나 국산고토석회가 시비된 모든 처리에서 대조구보다 생육이 우수하였으며, 시비된 석회질 비료의 종류에 따라 정도의 차

이는 있었지만 대조구보다 우수한 생육을 보였다. 따라서 모든 처리가 실제 작물재배에 수용될 수 있는 범위라고 판단되었다.

톱밥+펄라이트가 75:25로 혼합된 상토에서는 탄산석회 1.5g/L, 국산고토석회는 6.0g/L의 비율로 시비한 처리에서 우수한 생육을 보여, 톱밥을 기본 유기물질로 조제된 상토에 적절한 시비비율이라고 판단되었다.

<표 3-24> 개발된 혼합상토에 석회질비료의 종류 및 처리량을 달리한 경우 국화 'Molo'의 생육에 미치는 영향.

혼합상토	석회질비료	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	관부직경 (cm)	화수	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+질석	미주산고토석회	22.1	22.8	74.6	0.63	15.3	42.6	5.64
부숙왕겨+펄라이트 (75:25)	탄산석회 0	22.4	15.1	75.5	0.55	15.6	38.4	5.09
	1.5	23.4	20.5	72.3	0.55	15.0	43.9	5.92
	3.0	23.7	16.8	70.4	0.53	15.0	41.9	5.55
	4.5	22.3	21.0	68.4	0.51	13.5	39.7	5.28
	국산고토석회 3.0	23.7	17.4	79.4	0.53	14.8	44.1	5.77
	6.0	21.4	17.0	72.4	0.49	12.5	36.6	4.85
	9.0	21.1	16.3	60.1	0.49	14.6	35.0	4.64
부숙수피+펄라이트 (75:25)	탄산석회 0	25.3	17.4	62.9	0.47	11.8	41.3	5.47
	1.5	24.7	18.0	77.5	0.49	16.1	47.3	6.26
	3.0	22.0	17.4	81.4	0.51	15.6	47.0	6.23
	4.5	19.6	18.6	68.4	0.51	19.1	45.9	6.08
	국산고토석회 3.0	20.3	16.0	69.9	0.48	18.3	42.6	5.64
	6.0	21.3	17.6	73.0	0.51	16.6	44.9	5.95
	9.0	20.2	17.3	70.8	0.50	18.4	43.6	5.77
부숙톱밥+펄라이트 (75+25)	탄산석회 0	21.4	14.3	53.9	0.47	10.4	33.8	4.48
	1.5	22.8	16.1	56.8	0.48	13.1	39.3	5.20
	3.0	22.1	16.0	53.3	0.44	11.8	38.7	5.12
	4.5	20.1	15.3	55.3	0.49	13.6	34.9	4.62
	국산고토석회 3.0	23.0	14.9	60.5	0.49	14.6	36.8	4.87
	6.0	23.7	15.1	65.0	0.49	16.0	41.5	5.50
	9.0	23.1	14.8	53.6	0.46	12.5	34.7	4.60

< 표3- 25> 개발된 혼합상토에 석회질비료의 종류 및 처리량을 달리한 경우 국화 'Monlo'의 식물체내 무기원소 함량에 미치는 영향.

혼합상토	석회질 비료	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		----------		(%)	----------		---	(mg • kg-1)		---
피트모스+ 질석	미주산 고토석회	2.07	0.51	4.36	0.81	0.26	500	86	122	50
부숙왕겨+ 펄라이트 (75:25)	탄산석회 0	1.67	0.48	3.44	1.29	0.16	490	161	124	47
	1.5	1.65	0.32	3.00	1.38	0.17	290	106	67	44
	3.0	1.59	0.34	2.73	1.46	0.16	210	105	61	42
	4.5	1.58	0.28	2.86	1.51	0.15	190	79	60	50
	국산고토석회 3.0	1.64	0.37	3.02	1.01	0.19	310	136	83	33
	6.0	1.53	0.39	2.86	1.08	0.20	230	114	79	52
	9.0	1.58	0.34	2.26	1.27	0.20	200	91	69	35
부숙수피+ 펄라이트 (75:25)	탄산석회 0	1.97	0.63	4.15	1.40	0.22	290	140	106	44
	1.5	2.18	0.49	3.95	1.42	0.22	340	126	119	43
	3.0	2.10	0.45	3.94	1.43	0.21	300	93	98	40
	4.5	2.07	0.46	3.80	1.59	0.20	290	83	98	39
	국산고토석회 3.0	2.10	0.58	3.96	0.99	0.33	520	71	97	38
	6.0	2.05	0.54	3.83	1.23	0.43	360	67	95	47
	9.0	2.03	0.48	3.66	1.25	0.45	350	65	87	45
부숙톱밥+ 펄라이트 (75+25)	탄산석회 0	1.49	0.52	3.62	1.00	0.14	430	105	104	44
	1.5	1.42	0.30	3.10	1.11	0.15	357	78	73	45
	3.0	1.38	0.27	3.02	1.53	0.16	357	48	76	40
	4.5	1.36	0.24	2.82	1.54	0.16	350	47	73	42
	국산고토석회 3.0	1.45	0.31	3.19	1.02	0.17	470	52	116	39
	6.0	1.44	0.31	2.83	1.07	0.20	470	50	97	35
	9.0	1.39	0.30	2.67	1.10	0.22	463	48	89	37

세 종류의 개발된 혼합상토에 석회질 비료의 시비량을 조절하여 국화를 재배한 경우 지상부의 무기원소 함량을 분석한 결과는 표 3-25에 나타내었다. 피트모스+질석 대조구에서 재배된 국화는 2.07%의 식물체내 질소함량을 가졌다. 부숙왕겨와 펄라이트를 혼합한 상토에서 석회질 비료의 시

비량 증가는 식물체내 질소, 인산 및 칼륨 함량 저하와 칼슘함량의 증가를 초래하였다. 또 탄산석회가 시비된 처리들에서는 마그네슘함량이 감소하였다. 탄산석회나 국산고토석회가 시비된 모든 처리에서 석회질 비료의 시용량 증가는 미량원소의 식물체내 함량 저하를 초래하였다.

부숙수피+펄라이트를 75:25(v/v)로 혼합하여 조제한 상토에서 재배된 국화의 경우 질소 함량은 대조구와 유사하거나 높았으며, 부숙왕겨+펄라이트 또는 부숙톱밥+펄라이트 혼합상토에서 재배된 국화 보다 월등히 높은 식물체내 질소 함량을 보였다. 이는 수피가 왕겨나 톱밥보다 미생물의 분해에 안정하여 잘 분해되지 않는 것을 의미하고 있다. 인산함량에서도 부숙수피가 이용된 상토에서 부숙톱밥이나 부숙왕겨를 유기물질로 이용한 상토에서 재배된 국화보다 높은 식물체내 인산함량을 보였다. 그러나 각 석회질 비료의 처리량을 증가할 경우 식물체내 인산함량 및 칼륨함량은 감소하는 경향이었고 칼슘함량은 증가하였다. 마그네슘의 식물체내 함량은 탄산석회가 시비된 처리에서는 처리량이 증가할수록 식물체내 함량이 감소하였고 국산고토석회가 시비된 처리에서는 처리량이 증가할수록 식물체내 Mg함량이 증가하였다.

부숙톱밥과 펄라이트를 혼합하여 조제한 상토에서 재배된 국화는 식물체내 질소 함량이 부숙수피나 부숙왕겨를 기본 유기물질로 조제한 상토에서 재배된 국화보다 낮았다. 인산함량도 가장 낮았으며, 칼륨은 부숙수피와 부숙왕겨의 중간 수준을 갖는 것으로 분석되었다. 석회질비료의 종류 및 처리량 변화에 따른 칼슘, 마그네슘 및 미량원소의 식물체내 함량 변화는 앞의 두 상토에서 재배된 국화에서의 유사한 경향을 나타내었다.

<표 3-26> 석회질비료의 종류 및 처리량을 달리한 각종 혼합상토에 국화 'Monlo'를 재배한 후 토양분석한 결과

혼합상토	석회질 비료	pH	EC (mS/cm)	NH_4-N	NO_3-N	P_2O_5	K	Ca	Mg
				---------- (mg/L) ----------					
피트모스+ 질석	미주산 고토석회	5.16	1.18	0.52	21.7	22.8	27	26	14
부숙왕겨+ 펄라이트 (75:25)	탄산석회 0	6.24	0.70	1.36	9.2	17.1	15	79	16
	1.5	6.76	0.79	0.35	5.8	10.6	9	60	9
	3.0	6.79	0.98	0.18	3.7	10.6	12	67	10
	4.5	7.01	1.24	0.10	1.5	4.2	15	138	16
	국산고토 석회 3.0	6.38	0.52	0.35	1.1	10.9	8	42	8
	6.0	6.40	0.58	0.35	1.4	2.4	10	45	11
	9.0	6.50	0.67	0.18	3.2	2.4	11	52	20
부숙수피+ 펄라이트 (75:25)	탄산석회 0	5.29	0.68	0.57	93.2	87.4	16	42	14
	1.5	6.26	1.49	0.35	36.0	122.3	33	251	28
	3.0	6.39	1.67	0.35	26.6	15.7	45	253	31
	4.5	6.57	2.34	0.27	10.9	7.0	112	589	38
	국산고토 석회 3.0	5.56	1.63	0.52	74.2	84.9	34	141	45
	6.0	5.72	2.18	0.35	44.5	47.4	39	164	176
	9.0	6.12	2.43	0.27	45.6	45.0	117	314	197
부숙톱밥+ 펄라이트 (75+25)	탄산석회 0	4.47	1.07	0.60	3.2	21.7	17	131	27
	1.5	6.54	1.16	0.43	3.9	12.1	19	180	23
	3.0	6.60	1.24	0.35	3.3	6.1	16	180	23
	4.5	6.68	1.57	0.27	3.2	6.5	16	263	32
	국산고토 석회 3.0	5.46	1.14	0.43	2.8	13.5	13	126	36
	6.0	5.75	1.22	0.35	2.9	12.1	16	140	38
	9.0	6.10	1.37	0.35	3.9	9.8	15	186	54

석회질 비료의 종류 및 시비량을 달리하여 국화를 재배한 후 토양시료를 채취하여 분석한 결과를 표 3-26에 나타내었다.

부숙왕겨+펄라이트를 혼합하여 조제한 상토에서는 석회질 비료 무처리구가 6.24의 pH를 보였고 4.5g/L의 비율로 탄산석회를 시비한 처리에서는 7.01

로 측정되어 너무 높았다. 국산고토석회의 시비량을 3.0g, 6.0g, 및 9.0g/L로 증가시킬 경우 6.38, 6.40 및 6.50로 토양산도가 높아졌다. 탄산석회를 시비한 경우 전기전도도가 급격히 증가하였으며, 국산고토석회의 경우 시비량 증가가 전기전도도의 증가를 초래하였으나 탄산석회에서보다는 크지 않았다. 석회질비료의 시비량 증가로 인해 토양 암모늄태 질소 및 인산농도는 감소하는 경향이었고, 질산태 질소 및 칼륨은 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었다.

수피+펄라이트를 75:25(v/v)로 혼합한 상토의 토양분석 결과, 토양 pH는 석회질 비료의 시비량이 증가해도 왕겨+펄라이트 혼합상토에서 보다 증가량이 뚜렷하지 않았다. 탄산석회가 시용된 처리들에서는 1.5g/L로 시비된 처리에서 6.26으로 측정되어 적절한 처리량이 될 수 있을 것으로 판단되었고, 국산고토석회가 시비된 처리에서는 시비량이 증가해도 5.56 5.82사이로 측정되어 모든 처리가 수용될 수 있는 범위라고 판단되었다. 본 상토에서도 석회질 비료의 시비량 증가가 전기전도도의 증가를 초래하였고, 암모늄태 질소농도, 및 인산농도의 감소를 초래하였다. 석회질 비료의 시용으로 토양 칼슘농도 및 마그네슘농도는 증가하는 경향이었는데 각기 다른 원인에 기인하는 것으로 판단되었다. 칼륨의 경우 식물체내로 흡수되는 과정에서 길항작용에 의해 K의 흡수량이 적었고 흡수량 저하로 인해 토양 K농도가 높아졌다고 판단되었다. 토양 마그네슘의 경우에도 탄산석회가 시비된 처리들에서는 K에서와 동일한 이유의 길항작용에 의해서, 그리고 국산고토석회가 시비된 처리들에서는 고토석회의 시비량 증가에 기인하며 토양 Mg농도가 증가하였다고 판단되었다. 톱밥+펄라이트가 혼합된 처리들에서는 탄산석회가 시비된 처리들에서는 pH가 너무 높았고 국산고토석회가 시비된 상토의 경우 적절한 범위를 갖는 것으로 측정되었다. 상토내의 전기전도도 및 무기원소 농도 변화는 정도의 차이가 있었지만 왕겨나 수피가 혼합된 시비구들과 유사한 경향을 나타내었다.

< 표 3-27> 부숙된 유기물질을 이용하여 개발된 혼합상토에 인산질비료의 종류 및 처리량을 달리한 경우 국화 'Monlo'의 생육의 변화.

혼합상토	인산질비료	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	관부직경 (cm)	화수	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+질석	양액관주	19.6	16.8	58.5	0.48	13.9	43.8	5.80
부숙왕겨+펄라이트 (75:25)	용성인비 0	22.8	14.3	44.4	0.46	10.0	36.5	4.84
	2.0	20.5	15.4	45.3	0.48	9.8	40.6	5.38
	4.0	24.6	15.4	55.6	0.50	9.9	41.6	5.52
	6.0	24.1	15.8	58.9	0.51	12.5	44.4	5.89
	용과린 2.0	23.8	15.7	61.9	0.48	12.0	39.9	5.28
	4.0	24.3	15.9	52.1	0.47	10.0	42.0	5.56
	6.0	23.0	16.0	46.3	0.51	9.5	43.3	5.73
부숙수피+펄라이트 (75:25)	용성인비 0	23.8	14.4	57.0	0.47	13.3	36.5	4.84
	2.0	25.0	16.4	61.8	0.49	13.6	42.2	5.59
	4.0	26.3	16.8	66.5	0.51	13.4	43.3	5.73
	6.0	21.3	16.9	71.8	0.50	15.8	42.2	5.73
	용과린 2.0	22.5	15.8	80.9	0.52	17.0	44.2	5.85
	4.0	21.4	16.6	71.7	0.56	14.5	49.6	6.57
	6.0	23.2	16.8	64.8	0.57	16.6	51.9	6.87
부숙톱밥+펄라이트 (75+25)	용성인비 0	21.8	14.4	50.0	0.39	9.4	32.2	4.27
	2.0	23.2	15.0	53.1	0.47	11.3	36.5	4.83
	4.0	23.1	15.6	55.3	0.47	11.0	37.3	4.94
	6.0	25.3	16.4	57.1	0.50	11.8	39.6	5.25
	용과린 2.0	25.2	15.9	49.6	0.42	7.8	31.6	4.19
	4.0	23.6	16.0	45.9	0.47	9.4	32.0	4.19
	6.0	22.6	14.9	45.9	0.47	10.6	32.6	4.32

개발된 혼합상토에 인산질비료의 종류 및 처리량을 달리한 후 지상부의 생육을 조사한 결과를 표 3-27에 나타내었다. 피트모스+질석 혼합상토에서 양액을 관주하여 재배한 국화는 초장 및 초폭이 19.6 및 16.8cm, 그리고 생

체중 및 건물중은 43.8 및 5.80g으로 조사되었다. 용성인비 및 용과린의 시비량을 증가시킬 경우 생육이 증가하였는데, 대조구의 생육을 고려할때 용성인비 및 용과린 모두 6.0g/L의 비율로 시비하는 것이 바람직하다고 판단되었다. 수피+펄라이트가 혼합된 상토에서도 인산질 비료의 시비량 증가는 국화의 생육증가를 초래하였다. 초장의 경우 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었으나 용성인비가 시비된 처리에서는 4.0g/L, 그리고 용과린이 시비된 처리에서는 6.0g/L의 비율로 시비된 처리에서 각각 21.3 및 23.2cm로 가장 컸다. 본 상토에서 재배된 국화는 초장과 화수에서는 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었으며, 용성인비의 시비량이 증가할 수록 엽수가 증가하였으나 용과린의 시비량 증가는 엽수의 감소를 초래하였다. 본 상토에서도 두 종류 인산질비료의 시비량 증가는 생체중 및 건물중의 증가를 초래하였다. 용성인비 및 용과린을 6.0g/L의 비율로 시비한 처리에서 식물체당 각각 5.73 및 6.87g의 건물중을 갖는 것으로 측정되어 가장 무거웠고 용성인비 보다는 용과린이 시비된 처리에서 건물중이 무거웠다.

톱밥과 펄라이트를 75:25로 혼합하여 조제된 상토에서는 용성인비와 용과린의 시비량 증가가 생체중 및 건물중의 증가하였다. 그러나 초장, 초폭 및 엽수에서는 뚜렷한 경향을 발견할 수 없었으며 시비량 증가로 관부직경이 증가하는 경향이었다.

<표 3-28> 부숙된 유기물질을 이용하여 개발된 혼합상토에 인산질비료의 종류 및 처리량을 달리한 경우 국화 'Monlo'의 식물체내 무기원소 함량의 변화.

혼합상토	인산질 비료	T-N	PO_4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		----------		(%)	----------		---	(mg • kg-1)		---
피트모스+질석	양액관주	1.58	0.13	3.19	1.05	0.31	333	76	73	36
부숙왕겨+펄라이트 (75:25)	용성인비 0	0.27	0.22	2.53	1.06	0.15	290	80	81	37
	2.0	1.07	0.63	3.21	0.84	0.28	432	106	115	39
	4.0	1.89	0.91	3.73	0.96	0.33	432	143	126	52
	6.0	1.19	1.17	3.72	1.03	0.39	423	163	91	51
	용과린 2.0	1.20	0.42	2.81	1.03	0.22	315	95	73	43
	4.0	1.60	0.56	2.82	1.00	0.22	297	80	69	43
	6.0	1.64	0.62	2.77	0.85	0.21	297	73	73	41
부숙수피+펄라이트 (75:25)	용성인비 0	1.84	0.13	3.20	0.80	0.23	333	77	90	48
	2.0	1.89	0.25	3.53	0.87	0.30	315	55	86	44
	4.0	1.93	0.36	3.84	0.93	0.32	342	51	98	39
	6.0	1.92	0.51	3.96	0.97	0.34	324	47	75	50
	용과린 2.0	1.87	0.54	3.37	1.02	0.38	378	56	86	51
	4.0	2.01	0.72	3.20	0.96	0.37	360	70	100	54
	6.0	2.05	0.72	3.14	0.82	0.34	297	57	95	48
부숙톱밥+펄라이트 (75+25)	용성인비 0	1.75	0.12	2.63	0.50	0.13	216	42	85	35
	2.0	1.67	0.25	3.11	0.92	0.20	279	66	88	47
	4.0	1.63	0.26	3.14	0.82	0.21	252	72	88	45
	6.0	1.63	0.29	2.46	0.67	0.21	270	73	79	38
	용과린 2.0	1.57	0.25	2.58	0.88	0.18	270	90	121	36
	4.0	1.62	0.33	2.82	0.83	0.22	270	84	113	39
	6.0	1.59	0.57	3.17	0.87	0.22	288	70	93	41

개발된 혼합상토에 인산질 비료의 종류 및 처리량을 다르게 시비한 후 작물을 수확하여 식물체내 무기원소 함량을 분석한 결과로 표 3-28에 나타내었다. 대조구(피트모스+질석, 1:1)의 질소, 인산 및 칼륨 함량이 각각 1.58, 0.13 및 3.19%로 분석되었다.

부숙왕겨+펄라이트(75:25) 혼합상토에 용성인비를 시비한 경우 질소함량에

서는 처리간 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었으며, 용과린이 시비된 구에서는 시비량이 증가할 수록 식물체내 질소함량이 증가하는 경향이었다. 용성인비의 시비량이 증가할 수록 식물체내 칼슘 및 마그네슘함량은 증가하는 경향이었으나, 용과린의 시비량이 증가할 수록 식물체내 Ca와 Mg의 함량은 감소하는 경향이었다. 미량원소의 경우 용성인비의 시비량 증가가 뚜렷한 영향을 주지 않았으나 용과린의 시비량이 증가할 수록 식물체내 철, 망간, 아연 및 구리의 함량은 감소하는 경향이었다.

부숙수피를 기본 유기물질로 조제된 혼합상토에서 재배된 국화의 경우 용성인비가 혼합된 처리들에서는 시비량이 증가해도 식물체내 질소함량이 큰 차이를 보이지 않았으나, 용과린의 시비량이 증가할 경우 질소함량도 증가하는 경향을 보였다. 인산함량도 증가하는 경향을 나타냈는데 용과린이 시비된 처리들이 용성인비 시비구들 보다 1.5배 이상 높은 식물체내 인산 함량을 나타내었다. 용성인비가 시비된 처리들의 식물체내 칼슘 및 마그네슘 함량은 증가하는 경향이었으며 용과린이 시비된 구들에서는 감소하는 경향이었다. 미량원소의 식물체내 함량에서는 용성인비가 시비된 구들에서는 식물체내 함량이 낮아지는 경향이었고, 용과린이 시비된 구에서는 증가하는 경향을 보였다.

부숙톱밥과 펄라이트를 혼합하여 조제한 상토에서 재배된 국화의 식물체내 질소함량은 부숙수피+펄라이트 상토에서 재배된 식물보다는 낮고, 부숙왕겨+펄라이트를 혼합하여 조제한 상토에서 재배된 작물보다는 높은 것으로 분석되었다. 기타 다량 및 미량원소의 식물체내 함량은 왕겨나 수피를 기본 유기물질로 조제한 상토에서 재배된 작물분석 결과와 유사하였다.

< 표 3-29> 인산질비료의 종류 및 처리량을 달리한 각종 혼합상토에 국화를 재배한 후 토양분석한 결과.

혼합상토	인산질 비료	pH	EC (mS/cm)	NH_4-N	NO_3-N	P_2O_5	K	Ca	Mg
				----------		(mg/L)	----------		
피트모스+ 질석	양액관주	7.02	1.35	0.35	16.28	5.1	32	22	14
부숙왕겨+ 펄라이트 (75:25)	용성인비 0	6.61	0.57	0.43	1.49	0.1	10	41	17
	2.0	6.77	0.59	0.52	1.43	2.2	11	43	27
	4.0	6.98	0.62	0.43	1.49	4.4	9	48	28
	6.0	6.97	0.72	0.35	1.25	4.5	6	63	37
	용과린 2.0	6.74	0.62	0.18	1.55	11.0	7	51	19
	4.0	6.60	0.86	0.43	1.66	18.0	9	75	31
	6.0	6.49	0.88	0.60	1.37	23.9	9	72	36
부숙수피+ 펄라이트 (75:25)	용성인비 0	6.35	0.65	0.86	5.05	0.1	20	67	35
	2.0	6.36	0.72	0.69	6.95	3.5	10	47	40
	4.0	6.55	0.77	0.52	3.09	13.1	13	48	49
	6.0	6.78	0.96	0.60	1.90	29.2	12	65	72
	용과린 2.0	6.37	0.77	0.69	2.73	14.5	11	45	39
	4.0	6.22	0.94	0.52	3.09	27.4	12	81	50
	6.0	6.03	1.25	0.52	4.22	34.8	12	126	71
부숙톱밥+ 펄라이트 (75+25)	용성인비 0	6.55	0.68	0.69	2.38	0.1	23	62	21
	2.0	6.75	0.80	0.60	2.32	2.9	11	77	43
	4.0	6.91	0.82	0.35	2.32	3.9	12	84	44
	6.0	6.92	1.00	0.18	1.84	8.3	11	91	76
	용과린 2.0	6.87	0.72	0.18	2.38	5.6	15	74	30
	4.0	6.59	0.87	0.18	1.13	8.4	22	81	42
	6.0	6.51	0.96	0.35	1.66	22.2	13	83	78

혼합상토의 종류와 인산질 비료의 종류 및 처리량을 달리하여 국화를 재배한 후 토양시료를 채취하여 분석한 결과는 표 3-29 에 나타내었다.

피트모스와 질석을 혼합하고 양액관주한 처리에서의 수확 후 pH는 7.02로 분석되었다. 그러나 부숙왕겨+펄라이트 혼합상토는 무처리구의 pH가 6.61였

으나 용성인비의 시비량을 증가시킬 경우 pH가 상승하였고 용과린이 혼합될 경우 pH가 저하되는 경향이었다. 두 종류 비료의 시비량 증가로 전기전도도가 증가하였으며, Ca와 Mg의 토양농도도 증가하였다. 그러나 칼륨의 토양중 농도는 용성인비가 혼합된 처리에서는 낮아지는 경향이었으나 용과린이 시비된 처리에서는 증가하는 경향을 보였다.

부숙수피를 기본 유기물질로 조제된 혼합상토에서는 pH의 측정값이 동일한 양으로 인산비료를 시비한 부숙왕겨에서보다 약 0.3정도 낮은 경향이었는데 이는 왕겨의 pH가 수피의 pH보다 높았기 때문이라고 판단된다. 전기전도도의 경우 6.0g/L로 용성인비를 시비한 부숙왕겨에서 재배된 토양의 EC가 0.72mmho/cm였는데, 부숙수피를 기본유기물질로 조제되고 동일한 양의 용성인비를 시비한 처리의 EC가 0.96였다. 용과린의 경우에도 부숙왕겨 및 부숙수피가 혼합된 상토의 EC가 각각 0.88 및 1.25로 측정되었는데, 이는 수피의 토양완충력이 낮음을 의미하고 있다.

부숙톱밥을 기본 유기물질로 조제된 혼합상토의 pH 및 EC는 정도의 차이가 있었지만 부숙왕겨나 부숙수피를 이용하여 조제된 상토에서의 결과와 유사한 경향을 나타내었다고 판단된다. 인산함량의 경우에는 부숙왕겨나 부숙수피를 기본 유기물질로 조제되고 동일한 비료 및 시비량을 적용한 상토에서보다 유사하거나 낮은 경향이었다. 그러나 비료의 종류 및 시비량이 동일하고 부숙왕겨가 혼합된 토양보다는 K, Ca 및 Mg 함량이 높았으며 부숙수피가 혼합된 상토 보다도 높은 경향이었다. 이것은 톱밥이 혼합된 토양의 양이온치환용량이 높아 양이온을 많이 보유할 수 있어 시비된 비료 중 많은 양이 서서히 이용되었기 때문이라고 판단된다.

< 표 3- 30> 개발된 혼합상토에 지효성비료의 종류 및 처리량을 달리한 경우 국화의 생육에 미치는 영향.

혼합상토	지효성 비료	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	관부직경 (cm)	화수	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스 +질석 부숙왕겨+ 펄라이트 (75:25)	양액관주	20.9	18.1	77.6	0.46	11.0	40.2	5.32
	OC 0	23.5	14.8	73.4	0.46	7.5	30.3	4.01
	4.0	24.3	16.1	77.8	0.47	12.1	48.2	6.39
	8.0	22.5	18.1	80.6	0.51	14.1	49.1	6.50
	12.0	20.1	15.8	75.1	0.54	17.8	43.2	5.59
	CDU 4.0	21.2	15.4	66.4	0.46	12.5	38.3	5.07
	8.0	19.3	16.4	72.9	0.48	12.4	41.6	5.51
	12.0	21.4	17.4	76.0	0.56	10.3	42.7	5.65
부숙수피+ 펄라이트 (75:25)	OC 0	23.5	14.5	60.1	0.48	6.8	33.5	4.44
	4.0	22.4	15.9	66.0	0.46	10.9	43.0	5.70
	8.0	18.4	16.8	60.1	0.51	12.1	42.3	5.60
	12.0	20.3	17.7	70.1	0.52	13.5	37.9	5.02
	CDU 4.0	21.6	14.1	69.0	0.48	15.0	37.2	4.93
	8.0	20.1	16.2	81.9	0.53	15.4	50.0	6.62
	12.0	18.3	16.2	78.8	0.50	12.0	47.1	6.24
부숙톱밥+ 펄라이트 (75+25)	OC 0	23.6	14.6	63.3	0.43	7.4	39.0	5.17
	4.0	26.7	16.9	90.3	0.55	14.5	54.3	7.19
	8.0	24.3	18.3	88.1	0.58	15.4	53.0	7.02
	12.0	23.5	15.8	81.1	0.53	17.4	51.5	6.82
	CDU 4.0	24.2	17.6	68.8	0.51	11.5	42.7	5.66
	8.0	21.9	17.2	64.5	0.53	11.0	39.3	5.51
	12.0	17.1	16.3	58.8	0.43	9.2	31.6	4.85

개발된 혼합상토에 지효성비료의 적절한 시비량을 구명하기 위하여

Osmocoat와 CDU복합비료를 시비한 후 지상부를 수확하여 조사한 작물생육은 표 3-30에 나타내었다.

피트모스+질석 혼합상토에 20-10-20 복합비료를 질소농도로 기준으로 매주 500ppm씩 시비한 처리의 초장은 29cm, 식물체당 생체중 40.2g 그리고 건물중은 5.32g으로 조사되었다. 부숙왕겨를 이용하여 조제된 혼합상토에서 재배된 국화는 무처리구의 생체중 및 건물중이 30.3 및 4.01g으로 조사되었다. Osmocoat가 시비된 처리는 8.0g/L의 비율로 시비된 처리에서 초장을 제외한 모든 생육지표가 가장 크거나 높았다. CDU가 혼합된 처리에서는 12.0g/L의 비율로 시비된 처리에서 초장 21.4cm, 관부직경 0.56cm 생체중 42.7g 그리고 건물중 5.65g으로 가장 좋은 생육을 보였다.

부숙수피가 혼합된 상토에서는 Osmocoat 4.0g/L 시비구의 생육이 가장 우수하였으며 8.0g/L 그리고 12.0g/L의 비율로 시비량을 증가시킬 경우 오히려 생육이 저조한 경향이었다. CDU를 시비할 경우에는 8.0g/L로 시비한 처리의 생육이 가장 우수하였으며 4.0g/L로 시비한 구 처리에서는 무처리구와 유사한 작물생육을 보였다.

부숙톱밥이 혼합된 상토의 경우에는 Osmocoat를 시비할 경우 4.0g/L로 시비한 처리의 생육이 가장 우수하여 초장 26.7cm, 생체중 및 건물중은 각각 54.3 및 7.19g으로 조사되었고 8.0 및 12.0g으로 시비량을 증가시킬 경우 오히려 생육이 저조하였다. 부숙톱밥을 기본 유기물질로 조제된 상토에 CDU 복합비료를 시비한 경우에는 4.0g/L의 비율로 시비한 처리에서 가장 우수한 생육을 보였으며 비료 구입비 등을 고려할 때 톱밥을 기본 유기물질로 펄라이트를 재배할 경우 Osmocoat와 CDU 복합비료 모두 4.0g/L로 시비하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

<표 3-31> 개발된 혼합상토에 지효성비료의 종류 및 처리량을 달리한 경우 국화의 식물체내 무기원소 함량에 미치는 영향.

혼합상토	지효성 비료	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		---------		(%)	---------			(mg • kg-1)		
피트모스 +질석 부숙왕겨+ 펄라이트 (75:25)	양액관주	1.56	0.14	3.08	0.69	0.20	351	71	80	30
	OC 0	1.51	0.22	2.47	0.90	0.15	180	70	79	24
	4.0	1.92	0.63	3.22	1.02	0.28	297	98	69	31
	8.0	2.09	0.76	4.01	0.82	0.36	315	139	85	31
	12.0	2.15	1.00	4.37	0.80	0.45	333	138	100	29
	CDU 4.0	1.90	0.43	1.98	1.08	0.28	288	116	101	31
	8.0	1.97	0.62	2.06	1.27	0.34	306	167	125	44
	12.0	2.01	0.79	2.11	1.72	0.32	351	192	133	42
부숙수피+ 펄라이트 (75:25)	OC 0	1.56	0.18	3.16	1.12	0.20	360	64	82	37
	4.0	1.93	0.67	4.08	1.28	0.34	387	84	83	41
	8.0	2.12	1.03	4.15	1.25	0.38	414	68	97	42
	12.0	2.23	1.11	4.46	1.08	0.43	477	75	100	43
	CDU 4.0	2.05	0.40	3.28	1.24	0.29	387	60	98	43
	8.0	2.20	0.44	3.50	1.21	0.25	378	62	93	45
	12.0	2.26	0.78	3.66	1.33	0.34	387	65	117	49
부숙톱밥+ 펄라이트 (75+25)	OC 0	1.48	0.07	3.90	1.13	0.36	252	46	67	26
	4.0	1.76	0.42	3.98	1.58	0.22	270	53	68	51
	8.0	1.96	0.77	4.81	1.37	0.23	351	82	85	57
	12.0	2.06	1.08	5.08	1.32	0.30	360	119	112	61
	CDU 4.0	1.82	0.32	3.78	1.86	0.23	351	76	107	49
	8.0	1.90	0.46	3.93	1.55	0.24	360	76	107	49
	12.0	1.91	0.47	4.06	1.63	0.25	387	83	122	49

개발된 혼합상토에 지효성비료의 종류 및 처리량을 달리하여 국화를 재배하고 수확 후에 지상부의 무기원소 함량을 분석한 결과를 표 3-31에 나타내

었다. 피트모스+질석 혼합상토에 양액관주한 처리의 질소함량이 1.56%로 조사되었는데, Osmocoat와 CDU를 시비한 모든 처리에서 대조구보다 높은 질소, 인산 및 칼륨 함량을 갖는 것으로 분석되었다.

부숙왕겨+펄라이트 혼합상토에서 재배된 국화 'monlo' 칼슘함량은 Osmocat가 시비된 처리의 경우 4.0g/L의 비율로 시비한 처리에서 1.02%로 가장 높았고, CDU복합비료가 시비된 처리에서는 12.0g/L로 시비한 처리에서 1.72%로 가장 높았다. CDU가 시비된 처리에서는 시비량이 증가할 수록 식물체내 Ca함량도 증가하는 것으로 분석되었다. 그러나 Mg의 경우 Osmocoat가 시비된 처리에서는 시비량 증가로 Mg함량이 증가하였으나 CDU가 시비된 처리에서는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 철, 망간 및 아연 등의 미량원소는 Osmocoat나 CDU의 처리량이 증가할 수록 식물체내 함량도 증가하였으나 Cu의 경우 경향을 찾을 수 없었다.

부숙수피+펄라이트 혼합상토에서 재배된 국화의 경우 Osmocoat나 CDU가 시비될 경우 동일한 비료와 처리량이 적용된 부숙왕겨 혼합상토 또는 부숙톱밥 혼합상토에서 재배된 국화보다 식물체체내 질소함량이 높았다. 질소, 인산 및 칼륨 모두 시비량이 증가할 수록 식물체내 함량도 증가하였다. 칼슘의 경우 Osmocoat가 시비된 처리에서는 감소하는 경향이었고 CDU가 혼합된 처리에서는 경향을 찾을 수 없었다. 망간과 아연에서는 Osmocoat와 CDU의 시비량을 증가시킬 경우 식물체내 함량도 뚜렷하게 증가하였다.

부숙톱밥과 펄라이트(75:25)를 혼합하여 조제한 상토에서 재배된 국화의 경우에도 Osmocoat와 CDU의 시비량 증가로 식물체내 함량이 뚜렷하게 증가하였다. Mg의 함량에서는 Osmocoat의 시비량이 증가할 경우 식물체내 함량이 증가하였으나 CDU의 함량을 증가시킬 경우에는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 본 상토에 Osmocoat와 CDU복합비료를 시비할 경우 철, 망간 및 아연 함량은 증가하였다.

<표 3-32> 지효성비료의 종류 및 처리량을 달리한 각종 혼합상토에 국화를 재배한 후 토양분석한 결과.

혼합상토	지효성 비료	pH	EC (mS/cm)	NH_4-N	NO_3-N	P_2O_5	K	Ca	Mg
				----------		(mg/L)		----------	
피트모스 +질석	양액관주	6.71	1.41	0.18	5.6	0.1	27	18	18
부숙왕겨+ 펄라이트 (75:25)	0	6.87	2.99	0.35	0.5	1.3	7	56	15
	OC 4.0	6.59	1.23	1.45	3.4	1.8	58	71	41
	8.0	6.41	2.37	3.47	22.0	13.2	175	115	138
	12.0	5.52	3.26	2.46	81.4	18.2	211	217	261
	CDU 4.0	6.77	1.24	0.18	0.4	5.2	9	49	20
	8.0	6.85	2.32	0.10	15.5	8.7	10	66	30
	12.0	6.71	2.69	0.01	21.4	11.0	10	67	28
부숙수피+ 펄라이트 (75:25)	0	6.74	0.55	0.18	0.7	1.1	6	53	30
	OC 4.0	5.61	2.99	2.71	83.6	61.8	56	38	25
	8.0	5.25	4.13	3.52	134.0	69.2	211	439	290
	12.0	5.15	5.77	4.49	174.6	83.2	319	467	411
	CDU 4.0	6.20	1.19	0.43	29.1	6.6	17	74	54
	8.0	5.85	2.16	0.52	77.4	18.1	35	182	117
	12.0	5.74	2.54	0.77	102.2	25.3	30	249	179
부숙톱밥+ 펄라이트 (75+25)	0	6.80	0.60	0.35	1.0	0.1	13	62	22
	OC 4.0	6.51	1.40	1.11	2.5	15.6	47	66	54
	8.0	6.50	2.43	8.54	61.2	63.4	135	90	52
	12.0	5.74	2.66	10.06	82.3	122.5	272	185	179
	CDU 4.0	6.59	1.28	0.86	2.3	2.50	14	50	29
	8.0	6.92	2.03	0.35	35.7	14.1	16	70	47
	12.0	6.48	2.78	0.43	42.8	15.2	23	43	31

지효성비료의 종류 및 시비량을 달리한 각종 혼합상토에 국화를 재배한 후 토양분석한 결과를 표 3-32에 나타내었다. 양액관주한 대조구의 pH가 6.71로 측정되었으며, EC 1.41mmho/cm로 측정되었다.

부숙왕겨와 펄라이트를 혼합한 상토에 Osmocoat를 시비한 처리들에서는 pH가 점차 낮아지는 경향이었고, EC는 12.0g/L로 시비한 처리에서 3.26mmho/cm로 측정되어 너무 높았다. CDU복합비료가 12.0g/L로 시비된

처리의 EC가 2.69mmho/cm로 측정되었으며, Osmocoat나 CDU의 처리량을 증가시킬 경우 토양 NH_4-N은 경향을 찾을 수 없었으나 NO_3-N, P_2O_5 및 K의 농도는 급격히 증가하는 경향이었다. 그러나 CDU가 혼합된 처리에서의 NO_3-N, P_2O_5 및 K의 토양중 농도는 Osmocoat보다 월등히 낮았다. Osmocoat가 시비된 처리의 Ca와 Mg함량도 시비량 증가가 토양중 농도 증가로 연결되었으나 CDU가 혼합된 경우 시비량이 증가해도 처리한 차이가 뚜렷하지 않았다.

부숙수피와 펄라이트(75:25)를 혼합하여 조제한 상토에서 재배된 경우 pH는 동일한 시비량을 적용받고 부숙왕겨가 혼합된 상토에서보다 약 0.5 단위씩 낮아지는 경향이었다. 본 상토에서도 Osmocoat나 CDU의 시비량이 증가할 수록 pH가 낮아지고 전기 전도도는 높아졌다. 그러나 분석된 각 무기원소의 토양중 농도 변화는 왕겨가 혼합된 상토에서와 유사한 경향을 나타내었으나 동일한 비료 및 처리량을 적용한 부숙왕겨에서 보다 수피에서 높은 농도를 갖는 것으로 분석되었다. 표 3-30에 나타낸 작물 생육을 고려할 때 Osmocoat는 4.0g/L, CDU는 8.0g/L의 비율로 시비하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

부숙톱밥이 혼합된 상토에서 국화를 재배한 후 토양분석한 결과는 무처리의 pH가 6.80으로 가장 높게 분석되었고, Osmocoat의 시비량이 증가할 수록 pH가 낮아졌다. pH, EC 및 분석한 모든 무기원소에서 Osmocoat와 CDU의 처리량이 증가할수록 토양 농도가 증가하였으며, 왕겨나 수피가 혼합된 상토에서와 동일한 경향을 나타내었다.

나. 개발된 상토의 화학성 분석에 기초하여 원예작물의 플러그재배시 시비시스템 확립

<표 3-33> 부숙왕겨에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (g)	관부직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙왕겨 (100)	0	10.7	4.47	12.1	3.02	1.82	0.19	0.80	0.14
					테라코템				
	3.0	9.5	3.30	10.8	2.81	1.65	0.18	0.63	0.12
	6.0	10.7	4.14	14.2	3.06	1.91	0.18	0.89	0.17
	9.0	13.0	4.94	14.2	4.23	2.43	0.22	1.31	0.27
					송원산업				
	3.0	10.3	3.67	12.3	2.93	1.92	0.20	0.74	0.16
	6.0	9.6	3.63	13.5	3.11	1.83	0.19	0.70	0.14
	9.0	8.5	1.78	11.3	2.41	1.49	0.15	0.41	0.08
					오아시스				
	0.3	10.7	4.27	12.7	2.89	1.86	0.18	0.78	0.14
	0.6	11.5	4.43	13.3	3.18	2.09	0.18	0.94	0.18
	0.9	9.3	3.52	13.2	2.69	1.92	0.17	0.63	0.12

표 3-33에는 보수성증가를 목적으로 혼합된 두 종류의 수지와 오아시스를 혼합하여 조제한 상토에서 플러그 육묘한 메리골드의 파종57일 후 조사한 생육을 나타내었다.

부숙왕겨를 단용으로 이용한 상토에 테라코템을 혼합한 경우 혼합량이 증가할수록 생육도 증가하였다. 테라코템이 9.0g/L로 혼합된 처리에서 초장, 관부직경, 생체중 및 건물중이 각각 13.0cm, 0.22cm, 1.31g 및 0.27cm으로 조사되어 가장 우수하였다. 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지를 혼합한 처리들에서는 혼합량이 증가할 수록 생육이 저조한 경향이었다. 그러나 3.0g/L의 비율로 혼합된 처리에서는 초장을 제외한 모든 생육지표에서 부숙왕겨가 단용으로 이용된 상토에서보다 우수한 생육을 갖는 것으로 조사되었다. 오아시

스가 혼합된 처리의 경우 0.6g/L의 비율로 혼합된 처리에서 양호한 생육을 보였으며 초장, 관부직경, 생체중 및 건물중이 부숙왕겨 단용으로 이용된 처리보다 좋았다.

<표 3-34> 부숙왕겨+질석 혼합상토에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (g)	관부직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙왕겨+질석 (75:25)	0	11.4	4.12	12.9	3.01	2.00	0.19	0.85	0.15
					테라코템				
	3.0	11.1	4.38	13.0	2.98	2.14	0.17	0.82	0.14
	6.0	11.2	4.60	13.8	2.90	1.83	0.18	0.95	0.16
	9.0	11.7	4.89	12.8	3.02	1.96	0.18	0.94	0.17
					송원산업				
	3.0	11.7	5.10	13.3	3.19	2.18	0.20	1.13	0.20
	6.0	11.0	4.44	12.7	2.50	1.69	0.17	0.87	0.13
	9.0	8.8	3.73	11.5	2.04	1.47	0.16	0.52	0.08
					오아시스				
	0.3	12.6	4.83	13.2	3.12	2.06	0.19	1.17	0.23
	0.6	10.2	4.06	10.8	2.89	1.79	0.16	0.82	0.13
	0.9	13.2	5.16	15.3	3.17	1.98	0.19	1.49	0.26

부숙왕겨+질석(75:25, v/v) 혼합상토에서도 부숙왕겨단용 상토에서와 유사한 경향을 나타내었다. 테라코템이 혼합량이 증가할수록 생육도 증가하여, 9.0g/L의 비율로 혼합한 처리에서 가장 우수한 생육을 보였다. 그러나 송원산업에서 생산한 고흡수성 수지를 혼합한 처리들에서는 3.0g/L의 비율로 혼합된 처리에서 우수한 생육을 보였으며 혼합량이 증가할수록 생육이 저조한 경향이었다. 오아시스가 혼합된 처리들에서는 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었으며, 오아시스가 0.9g/L로 혼합된 처리에서 초장, 관부직경, 생체중 및 건물중이 각각 13.2cm, 0.19cm, 1.49g 그리고 0.08g으로 조사 측정되어 생육이 가장

우수함을 알 수 있었다.

<표 3-35> 부숙왕겨+펄라이트 혼합상토에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (g)	관부 직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+ 질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙왕겨+ 펄라이트 (75:25)	0	10.7	4.81	12.3	2.47	1.80	0.18	1.00	0.17
					테라코템				
	3.0	10.6	4.61	12.3	3.03	1.77	0.18	0.90	0.16
	6.0	11.1	4.65	14.0	2.62	1.82	0.17	0.96	0.17
	9.0	11.5	4.88	12.3	2.75	1.86	0.18	1.01	0.18
					송원산업				
	3.0	10.7	4.25	12.3	2.97	1.72	0.18	0.74	0.13
	6.0	10.4	4.65	12.7	2.83	1.83	0.18	0.79	0.15
	9.0	11.5	4.70	13.0	3.12	1.96	0.19	1.03	0.19
					오아시스				
	0.3	12.2	5.14	13.7	3.48	2.19	0.22	1.12	0.20
	0.6	14.1	5.45	15.7	3.30	2.02	0.21	1.23	0.20
	0.9	12.9	6.01	14.7	3.58	2.22	0.21	1.42	0.26

부숙왕겨+펄라이트가(75:25, v/v)가 혼합된 상토에서는 앞의 두 종류 상토에서와 다른 경향을 보였다. 테라코템이 혼합된 처리들에서는 앞의 두 종류의 상토에서와 동일한 경향을 보며 9.0g/L로 혼합된 처리에서 가장 좋은 생육을 보였다. 그러나 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지가 혼합된 경우 혼합량이 증가할수록 생육도 증가하는 경향이었다. 특히 9.0g/L로 혼합된 처리에서 재배된 메리골드의 초장, 관부직경, 생체중 및 건물중이 11.45cm, 0.19cm, 1.03g 및 0.19g으로 조사되어 테라코템이 혼합된 모든 처리들보다 생육이 우수하였다. 그러나 오아시스가 혼합된 처리의 경우 0.6g/L로 혼합된 처리에서 초장이 가장 컸으나 초폭, 엽폭, 생체중 및 건물중에서 0.9g/L로 혼합된 처리에서 생육이 가장 우수하였으며, 특히 오아시스가 혼합된 모든 처

리에서 테라코템이나 송원산업에서 생산한 고흡수성 수지가 혼합된 처리보다 우수한 생육을 보였다.

<표 3-36> 부숙습식수피에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (g)	관부직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙습식수피	0	10.5	4.44	12.2	2.46	1.68	0.17	0.69	0.11
(100)					테라코템				
	3.0	10.9	4.70	13.2	2.60	1.64	0.17	0.78	0.12
	6.0	11.4	5.24	13.5	2.83	2.01	0.18	0.92	0.16
	9.0	12.2	5.12	14.2	3.12	2.00	0.21	1.01	0.17
					송원산업				
	3.0	10.9	4.13	13.4	2.48	1.63	0.17	0.67	0.11
	6.0	12.9	4.62	14.2	2.76	1.79	0.18	0.84	0.14
	9.0	11.7	4.92	14.6	2.83	1.80	0.18	0.84	0.13
					오아시스				
	0.3	10.6	4.15	13.3	2.54	1.67	0.15	0.61	0.09
	0.6	10.1	4.10	12.7	2.56	1.49	0.16	0.67	0.11
	0.9	11.0	4.43	11.8	3.07	1.76	0.17	0.79	0.12

부숙습식수피에 두 종류의 고흡수성 수지 및 오아시스를 혼합한 처리에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종57일 후 생육조사한 결과를 표 3-36에 나타내었다.

부숙습식수피에서 재배된 메리골드는 조사한 모든 생육지표에서 피트모스+질석 혼합상토에서 재배된 메리골드보다 생육이 증가하였다. 테라코템이 혼합된 경우 처리량이 증가할수록 생육도 우수하여 9.0g/L 혼합한 처리에서 가장 우수한 생육을 보였다. 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지가 혼합된 처리들에서도 고흡수성 수지의 혼합량이 증가할수록 생육이 우수하였는데, 9.0g/L의 비율로 혼합된 처리는 초장의 경우 11.2cm로 측정되어 6.0g/L 처리의 12.87cm

보다 작았으나 기타 조사한 모든 생육지표에서 3.0g/L 이나 6.0g/L 혼합된 처리보다 우수하였다.

<표 3-37> 부숙습식수피+질석 혼합상토에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (g)	관부 직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+ 질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙습식수피 +질석 (75:25)	0	10.9	4.17	12.4	2.48	1.78	0.17	0.66	0.10
					테라코템				
	3.0	10.7	4.61	14.3	2.60	1.72	0.18	0.76	0.13
	6.0	11.4	4.56	12.5	2.63	1.81	0.19	0.83	0.13
	9.0	12.3	4.67	15.2	2.72	1.85	0.18	0.97	0.16
					송원산업				
	3.0	10.6	4.19	13.7	2.57	1.75	0.18	0.79	0.13
	6.0	10.9	4.39	13.3	2.50	1.76	0.17	0.75	0.13
	9.0	11.3	4.38	25.8	5.29	1.89	0.18	0.93	0.16
					오아시스				
	0.3	10.3	4.31	13.5	2.85	1.69	0.16	0.85	0.14
	0.6	10.8	4.29	12.7	2.53	1.68	0.17	0.88	0.14
	0.9	10.8	4.63	14.7	2.48	1.61	0.17	0.86	0.14

부숙습식수피+질석(75:25, v/v) 혼합상토에서 재배된 메리골드는 부숙습식수피 단용으로 이용된 상토에서 재배된 메리골드 보다 좋은 생육을 보였다. 부숙습식수피+질석(75:25, v/v) 혼합상토에 다양한 비율로 테라코템, 송원산업에서 생산한 고흡수성 수지 및 오아시스를 혼합할 경우에 혼합량이 증가할수록 생육이 우수하였다. 테라코템이 9.0g/L로 혼합된 처리에서 관부직경, 생체중 및 건물중이 0.18cm, 0.97g 및 0.16g으로 측정되었는데, 송원산업 고흡수성 수지가 9.0g/L 혼합된 처리에서 0.18cm, 0.93g 및 0.16g으로 조사되어 두 처리간 작물생육이 유사하였다. 그러나 오아시스가 0.9g/L혼합된 처리에

서는 0.17cm, 0.89 및 0.14g으로 조사되어 무처리구보다는 우수하였으나 송원산업 유기수지가 0.9g/L 혼합된 처리보다는 생육이 저조하였다.

<표 3-38> 부숙습식수피+펄라이트 혼합상토에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (g)	관부 직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+ 질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙습식수피 +펄라이트 (75:25)	0	9.0	4.15	12.3	2.18	1.46	0.16	0.68	0.12
					테라코템				
	3.0	10.0	4.11	12.5	2.36	1.52	0.16	0.68	0.09
	6.0	11.2	4.39	13.7	2.68	1.71	0.17	0.93	0.15
	9.0	11.4	4.65	13.3	2.86	1.71	0.18	0.95	0.14
					송원산업				
	3.0	9.6	4.02	12.5	2.40	1.47	0.16	0.70	0.10
	6.0	11.1	4.49	14.2	2.47	1.57	0.18	0.86	0.17
	9.0	10.1	4.09	13.5	2.45	1.68	0.17	0.72	0.12
					오아시스				
	0.3	10.3	3.86	13.2	2.37	1.50	0.16	0.72	0.11
	0.6	10.7	4.14	13.3	2.45	1.62	0.17	0.74	0.12
	0.9	10.1	4.14	13.2	2.30	1.53	0.16	0.74	0.11

부숙습식수피+펄라이트(75:25, v/v) 혼합상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 생육에서 무처리구는 피트모스+질석(1:1, v/v) 대조구에서 재배된 작물보다 생육이 우수하였다. 부숙습식수피+펄라이트 혼합상토에 테라코템의 혼합량이 증가할수록 생육도 증가하였는데, 3.0, 6.0 및 9.0g/L로 처리량을 증가할 경우 생체중은 0.68, 0.93 및 0.95g 그리고 건물중은 0.09, 0.13 및0.16g으로 증가하였다. 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지가 혼합된 경우에는 6.0g/L로 혼합된 처리에서 생육이 가장 우수하였으며, 오아시스가 혼합된 처리에서는 0.6g/L로 혼합된 처리에서 가장 우수한 생육을 나타내었다.

< 표 3-39> 부숙건식수피에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙건식수피	0	13.8	5.20	14.7	3.46	2.28	0.21	1.23	0.25
(100)					테라코템				
	3.0	14.0	6.10	16.2	4.28	2.41	0.22	1.68	0.31
	6.0	13.8	5.86	15.2	3.82	2.20	0.21	1.70	0.30
	9.0	12.8	5.87	15.2	3.99	2.55	0.21	1.81	0.35
					송원산업				
	3.0	15.4	5.78	15.3	4.14	2.57	0.23	1.80	0.33
	6.0	14.0	5.33	13.3	4.17	2.54	0.23	1.53	0.30
	9.0	12.7	4.90	13.7	4.50	2.27	0.21	1.26	0.23
					오아시스				
	0.3	14.2	5.87	13.7	3.80	2.37	0.20	1.56	0.29
	0.6	13.4	5.71	13.8	3.61	2.30	0.21	1.39	0.26
	0.9	13.8	5.27	13.3	3.35	2.28	0.19	1.35	0.26

부숙건식수피에 보수성 증가를 목적으로 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 후 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향을 표 3-39에 나타내었다.

부숙왕겨를 단용으로 이용한 상토에서 플러그 육묘된 메리골그는 테라코템의 혼합비율이 증가할수록 생체중 및 건물중이 증가하였다. 그러나 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지는 3.0g/L의 비율로 혼합된 처리에서 우수한 생육을 보였으나 고흡수성 수지의 혼합비율이 증가할수록 생육이 저하되었으며 9.0g/L의 비율로 혼합된 처리에서는 무처리구 보다 저조한 생육을 보였다. 오아시스가 혼합된 처리에서도 0.3g/L의 비율로 혼합된 처리에서 가장 좋은 생육을 보여 초장, 생체중 및 건물중이 각각 14.2cm, 1.56g 및 0.29g으로 조사되어 부숙왕겨단용 처리보다 우수하였다.

< 표 3- 39> 부숙건식수피+질석 혼합상토에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	관부 직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+ 질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙건식수피 +질석 (75:25)	0	15.9	6.16	14.8	4.29	2.48	0.23	1.76	0.35
					테라코템				
	3.0	15.1	6.07	14.4	4.10	2.63	0.22	1.98	0.39
	6.0	14.8	5.21	15.5	4.03	2.54	0.24	1.60	0.30
	9.0	17.7	6.90	16.5	4.49	2.86	0.26	2.38	0.42
					송원산업				
	3.0	13.8	5.07	14.8	3.97	2.56	0.22	1.52	0.28
	6.0	13.7	5.17	15.2	4.05	2.58	0.25	1.47	0.28
	9.0	12.4	5.43	14.5	3.75	2.63	0.23	1.30	0.23
					오아시스				
	0.3	14.0	6.63	15.5	4.23	2.58	0.22	1.63	0.32
	0.6	14.0	6.06	14.7	3.78	2.58	0.21	1.66	0.39
	0.9	15.5	5.52	16.5	4.16	2.62	0.22	1.62	0.32

부숙건식수피와 질석을(75:25, v/v) 혼합한 상토에서 재배된 작물 중 무처리구는 건식수피 단용에서 재배된 메리골드보다 우수한 생육을 나타내었다. 본 상토에 테라코템이 혼합될 경우 혼합비율이 증가할수록 작물생육도 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지는 3.0g/L 혼합비율에서 우수한 생육을 보였으나 혼합비율이 증가할수록 생육이 저조하였다. 오아시스가 혼합된 처리에서는 0.6g/L 혼합비율까지는 생육이 증가하였으나 0.9g/L의 비율로 혼합된 처리에서는 오히려 생육이 감소하는 경향을 나타내었다.

<표 3-41> 부숙건식수피+펄라이트 혼합상토에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙건식수피+펄라이트 (75:25)	0	14.0	5.93	15.5	4.01	2.44	0.20	1.55	0.29
					테라코템				
	3.0	14.9	6.00	17.5	4.07	2.77	0.24	1.88	0.34
	6.0	15.1	6.80	16.6	4.78	3.03	0.23	2.00	0.37
	9.0	13.9	6.57	19.2	4.35	2.88	0.23	2.06	0.39
					송원산업				
	3.0	13.0	4.89	15.7	3.84	2.34	0.22	1.24	0.23
	6.0	14.7	5.68	17.0	4.22	2.44	0.25	1.64	0.30
	9.0	14.7	6.29	17.0	4.90	2.89	0.26	2.10	0.39
					오아시스				
	0.3	13.6	6.14	17.7	4.06	2.72	0.24	1.64	0.30
	0.6	16.1	6.90	17.7	4.75	2.85	0.25	2.01	0.37
	0.9	15.2	7.11	18.7	4.60	3.00	0.60	2.31	0.44

부숙건식수피와 펄라이트를(75:25, v/v) 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드는 무처리구에서 14cm의 초장을 갖는 것으로 측정되었고, 생체중 및 건물중이 1.55g 및 0.29g으로 조사되었다(표 3-41). 그러나 테라코템의 혼합으로 초장이 작아지는 경향이었으나, 생체중 및 건물중이 월등히 증가하여 식물이 건전하게 생육하였음을 입증하고 있다. 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지를 혼합처리한 경우에도 3.0g/L로 혼합된 처리에서는 무처리구보다 생육이 저조하였으나 6.0 및 9.0g/L 혼합된 처리에서는 생육이 뚜렷하게 증가하여 고흡수성 수지의 효과를 입증하고 있다. 오아시스가 혼합된 처리들에서도 무처리구보다 생육이 우수하여, 혼합비율의 증가가 작물생육 증가를 초래하였음을 알 수 있었다.

< 표 3- 42> 부숙톱밥에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
	0	11.0	3.88	9.7	2.87	1.97	1.50	0.69	0.13
부숙톱밥					테라코템				
(100)	3.0	9.4	3.34	10.3	2.64	1.84	0.17	0.52	0.10
	6.0	11.8	4.42	11.3	2.98	1.91	0.20	0.87	0.19
	9.0	12.1	4.74	12.7	3.10	2.17	0.20	1.01	0.20
					송원산업				
	3.0	7.2	2.93	8.3	2.24	1.56	0.16	0.30	0.05
	6.0	5.9	2.83	7.8	2.21	1.58	0.16	0.22	0.04
	9.0	5.6	2.53	6.7	2.15	1.43	0.15	0.19	0.03
					오아시스				
	0.3	10.0	3.33	10.7	2.58	1.71	0.18	0.50	0.10
	0.6	10.9	3.98	12.3	2.86	1.91	0.18	0.74	0.15
	0.9	11.8	4.35	13.2	3.27	2.10	0.20	1.06	0.23

부숙톱밥에 보수성 증가를 위해 혼합된 두 종류의 유기수지 및 오아시스가 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향을 표 3- 42에 나타내었다.

부숙톱밥을 단용으로 이용한 상토에서 플러그 육묘한 경우 피트모스+질석 혼합상토보다 생육이 우수하였다. 또 테라코템의 혼합량이 증가할수록 생육도 증가하여 9.0g/L 처리에서 가장 우수한 작물생육을 보였다. 그러나 송원산업에서 생산된 고흡수성 수지가 혼합된 모든 처리에서 무처리구 또는 테라코템이 혼합된 처리들 보다 월등히 저조한 생육을 보였다. 특히 고흡수성 수지의 혼합비율이 증가할수록 생육이 저조하였으며 9.0g/L의 비율로 혼합된 처리에서는 생체중과 건물중이 무처리구보다 약 1/3로 감소하였다. 오아시스가 혼합된 상토에서도 혼합비율이 증가할수록 생체중 및 건물중이 뚜렷하게 증가하였다.

< 표 3- 43> 부숙톱밥+질석 혼합상토에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	관부직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙톱밥+질석 (75:25)	0	10.8	3.72	12.2	3.17	2.06	0.20	0.74	0.16
					테라코템				
	3.0	11.0	4.24	12.0	3.29	2.10	0.20	0.88	0.20
	6.0	12.8	4.98	14.0	3.90	2.51	0.22	1.34	0.28
	9.0	13.3	5.04	14.7	4.16	2.96	0.24	1.51	0.33
					송원산업				
	3.0	10.4	3.46	11.2	3.02	1.92	0.19	0.76	0.16
	6.0	10.8	3.62	11.7	3.20	1.92	0.20	0.79	0.17
	9.0	10.3	3.50	11.0	3.13	1.90	0.20	0.86	0.18
					오아시스				
	0.3	10.7	4.09	11.7	3.37	2.10	0.19	0.86	0.20
	0.6	11.6	4.82	11.8	3.56	2.39	0.21	1.60	0.31
	0.9	11.9	4.46	12.0	3.63	2.29	0.19	1.08	0.23

부숙톱밥과 질석을 (75:25, v/v) 혼합하여 조제된 상토에 보수성 증가를 위해 혼합된 각종 물질들이 메리골드의 생육에 미치는 영향을 표 3- 43에 나타내었다. 테라코템이나 송원산업에서 생산된 유기수지들의 혼합비율이 증가할수록 작물생육도 증가하여 9.0g/L의 비율로 테라코템이나 송원산업 유기수지를 혼합한 처리가 다른 처리보다 생육이 우수하였다. 그러나 오아시스가 혼합된 처리들에서는 0.6g/L의 혼합비율에서 생육이 가장 우수하였으며 0.9g/L, 그리고 0.3g/L의 혼합비율 순으로 생육이 저조한 경향을 보였다.

< 표 3- 44> 부숙톱밥+펄라이트 혼합상토에 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 경우 메리골드의 플러그묘 생육에 미치는 영향.

혼합상토	혼합 비율	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	관부 직경 (cm)	생체중 (g)	건물중 (g)
피트모스+ 질석		9.6	3.27	10.0	2.48	1.66	0.16	0.57	0.10
부숙톱밥+ 펄라이트 (75:25)	0	5.2	2.32	7.0	1.95	1.29	0.13	0.18	0.02
					테라코템				
	3.0	8.1	3.01	9.3	2.05	1.33	0.16	0.38	0.07
	6.0	8.9	3.14	10.8	2.46	1.49	0.17	0.52	0.09
	9.0	10.9	4.53	13.0	2.89	1.83	0.19	1.02	0.22
					송원산업				
	3.0	10.1	4.84	12.2	3.01	1.75	0.18	0.91	0.16
	6.0	10.9	4.82	14.5	2.97	1.97	0.19	1.00	0.17
	9.0	10.6	4.42	13.7	2.79	1.70	0.19	0.97	0.17
					오아시스				
	0.3	11.1	4.85	11.9	3.30	1.99	0.20	0.97	0.20
	0.6	8.5	2.88	9.5	2.60	1.62	0.16	0.54	0.11
	0.9	9.8	3.65	12.2	2.78	1.66	0.16	0.75	0.13

부숙톱밥과 펄라이트를(75:25, v/v)로 혼합한 상토에서 재배된 메리골드의 생육에서 테라코템과 송원산업 유기수지가 혼합된 처리들에서는 혼합비율의 증가가 작물생육의 증가를 초래하였다(표 3- 44). 그러나 오아시스가 혼합될 경우 0.3g/L의 비율로 혼합된 처리에서 초장, 생체중 및 건물중이 11.1cm, 0.97g 및 0.20g으로 측정되어 가장 좋은 생육을 보였고, 혼합비율이 증가할수록 생육이 저조하였다.

<표 3-45> 부숙왕겨를 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		----------		(%)	----------		----	(mg • kg-1)		----
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	334	230	156	190
부숙왕겨 (100)	0	1.02	0.16	1.68	2.03	0.30	417	289	97	153
					테라코템					
	3.0	0.94	0.15	1.45	1.87	0.25	382	322	118	168
	6.0	0.86	0.16	1.61	1.85	0.31	548	282	151	196
	9.0	0.72	0.16	1.53	1.70	0.27	361	285	126	176
					송원산업					
	3.0	0.81	0.13	1.45	1.74	0.26	591	231	145	166
	6.0	0.77	0.10	1.65	1.76	0.30	426	266	156	189
	9.0	0.76	0.11	1.31	1.73	0.23	500	245	130	191
					오아시스					
	0.3	0.80	0.15	1.38	1.99	0.27	404	400	129	173
	0.6	0.75	0.15	1.25	1.85	0.24	334	232	130	194
	0.9	0.90	0.17	1.28	2.20	0.26	285	231	142	158

부숙왕겨에 보수성 증가를 목적으로 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 육묘된 메리골드의 무기원소 함량을 표 3-45에 나타내었다.

부숙왕겨를 단용으로 이용한 상토에서 재배한 경우 무처리구에서는 1.02%의 질소함량을 갖는데 비해 세 종류의 물질이 혼합된 모든 처리에서 질소함량이 낮게 분석되었다. 인산의 경우 테라코템이나 오아시스가 혼합된 처리에서 재배된 메리골드는 무처리구와 유사한 인산 함량을 가졌으나 송원산업 유기수지가 혼합된 처리에서는 낮은 농도로 분석되었다. 특히 철분흡수에서 송원산업 유기수지가 혼합된 처리는 무처리구나 오아시스가 혼합된 처리보다 약 100ppm 이상의 더 많은 식물 조직내 철분 함량을 갖는 것으로 분석되었다. 그러나 망간, 아연, 구리의 함량에서는 다소간의 차이가 있었지만 경향을 찾을 수 없었고 모두 수용될 수 있는 범위에 포함되었다고 판단된다.

< 표 3-46> 부숙왕겨를 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		----------		(%)	----------		-----	(mg • kg-1)		-----
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	334	230	156	190
부숙왕겨+질석 (75:25)	0	0.86	0.11	1.47	2.08	0.20	255	275	152	185
					테라코템					
	3.0	0.89	0.17	1.59	1.97	0.20	273	301	155	197
	6.0	1.00	0.10	1.79	1.97	0.21	229	312	144	143
	9.0	0.89	0.09	1.51	1.78	0.19	238	256	146	179
					송원산업					
	3.0	1.04	0.10	1.34	1.78	0.18	257	170	139	223
	6.0	1.07	0.09	1.73	1.88	0.22	210	174	127	141
	9.0	1.20	0.08	1.98	2.23	0.23	261	232	171	269
					오아시스					
	0.3	0.97	0.11	1.53	1.98	0.20	240	179	154	275
	0.6	1.00	0.09	1.59	2.09	0.21	235	183	152	171
	0.9	0.91	0.08	1.84	2.09	0.20	238	199	167	254

부숙왕겨+질석(75/25)이 혼합된 상토에서 재배된 메리골드의 경우 송원산업 유기수지가 혼합된 처리에서 재배된 작물이 테라코템이나 오아시스가 혼합된 처리에서 재배된 작물보다 높은 질소함량을 갖는 것으로 분석되었으나 그 차이는 크지 않았다. 세 물질의 혼합비율이 증가할수록 식물조직내 인산함량은 감소하는 경향이었고, 칼륨 함량은 증가하는 경향이었다. 미량 원소에서는 모두 수용될 수 있는 범위에 포함되었으며, 다소간의 차이가 있었지만 일정한 경향은 찾지 못하였다.

< 표 3-47> 부숙왕겨를 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		---	---	(%)	---	---	---	(mg • kg-1)	---	---
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	334	230	156	190
부숙왕겨+펄라이트 (75:25)	0	0.92	0.13	1.31	2.26	0.20	252	412	163	262
					테라코템					
	3.0	0.95	0.18	1.39	2.13	0.19	287	536	125	156
	6.0	0.99	0.15	1.68	2.37	0.23	286	532	179	280
	9.0	0.90	0.13	1.47	2.13	0.20	308	482	156	245
					송원산업					
	3.0	0.98	0.22	1.95	2.48	0.23	281	439	143	154
	6.0	0.92	0.12	1.73	2.18	0.23	307	359	157	200
	9.0	0.86	0.11	1.44	1.99	0.20	229	385	140	193
					오아시스					
	0.3	0.91	0.26	1.14	2.21	0.18	255	330	123	154
	0.6	0.97	0.26	1.11	2.11	0.29	254	397	123	195
	0.9	0.89	0.19	0.93	1.99	0.28	333	332	134	196

부숙왕겨+펄라이트(75/25) 혼합상토에서도 부숙왕겨+질석 혼합상토에서와 유사하게 식물조직내 질소, 인산 및 칼륨의 농도 변화를 나타내었다. 칼륨함량에서는 세 물질의 혼합비율이 증가함에 따라 조직내 함량이 감소하는 경향이었으나 마그네슘 함량에서는 경향을 찾기가 어려웠다. 미량원소중 철, 아연 및 구리에서는 각 혼합된 물질별로 또 혼합된 물질 내에서의 혼합비율별로 차이를 발견할 수 없었으나, 망간 함량에서는 테라코템이 혼합된 처리에서 송원산업 유기수지가 혼합된 처리들보다는 약 100ppm, 그리고 오아시스가 혼합된 처리들보다는 150ppm 정도 높게 분석되었다.

<표 3-49> 부숙습식수피를 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		----------		(%)	----------		-----	(mg • kg-1)		----
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	333	230	156	190
부숙습식수피	0	1.00	0.14	1.48	2.08	0.38	259	143	105	128
(100)					테라코템					
	3.0	0.98	0.15	1.50	1.76	0.37	296	132	111	179
	6.0	0.96	0.17	1.55	1.79	0.35	263	139	120	176
	9.0	1.02	0.18	1.77	1.70	0.36	248	133	106	128
					송원산업					
	3.0	0.96	0.18	1.55	1.69	0.33	422	135	130	173
	6.0	0.98	0.17	1.65	1.64	0.36	325	130	128	189
	9.0	1.09	0.23	2.17	1.88	0.34	282	151	116	132
					오아시스					
	0.3	1.06	0.15	1.72	1.96	0.37	306	147	125	162
	0.6	0.97	0.23	1.82	2.18	0.38	274	171	139	210
	0.9	0.98	0.22	1.96	1.98	0.39	225	174	120	150

부숙습식수피에 보수성 증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량을 표 3-48에 나타내었다.

부숙습식수피가 단용으로 이용된 상토에서 재배된 메리골드의 식물체내 질소함량은 세 종류의 물질 혼합에 의해 뚜렷한 영향을 받지 않는 것으로 분석되었다. 인산이나 칼륨의 경우 세 물질의 혼합비율이 증가할수록 식물조직내 인산 함량이나 칼륨 함량이 높아지는 경향을 보였다. 그러나 세 물질의 혼합비율이 증가할수록 식물조직내 철분 함량이 감소하는 경향을 보였으며, 오아시스가 혼합된 모든 처리에서 테라코템이나 송원산업 유기수지가 혼합된 처리를 보다 높은 망간 함량을 갖는 것으로 분석되었다.

<표 3-49> 부숙습식수피를 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		--- % ---					--- mg • kg-1 ---			
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	333	230	156	190
부숙습식수피+질석 (75:25)	0	1.04	0.13	1.99	1.81	0.31	265	148	124	178
					테라코템					
	3.0	0.95	0.14	1.74	1.76	0.34	256	156	134	191
	6.0	1.02	0.15	1.78	1.58	0.30	232	145	122	150
	9.0	0.98	0.16	1.80	1.65	0.33	249	144	90	168
					송원산업					
	3.0	1.02	0.16	1.73	1.59	0.30	232	136	118	168
	6.0	1.06	0.18	2.17	1.37	0.36	284	150	120	149
	9.0	1.04	0.18	2.33	1.42	0.31	283	154	119	180
					오아시스					
	0.3	0.99	0.18	1.72	1.49	0.33	313	153	121	171
	0.6	1.06	0.20	1.95	1.62	0.35	258	152	113	141
	0.9	1.09	0.20	2.26	1.88	0.36	288	173	130	202

부숙습식수피+질석(75/25) 혼합상토에 세 물질을 혼합한 경우 혼합비율이 증가함에 따라 질소함량은 차이가 없었고, 인산과 칼륨함량은 증가하는 경향이었다(표 3-49). 그러나 본 상토에서는 칼륨, 마그네슘과 분석한 미량원소에서 뚜렷한 경향이나 차이를 발견할 수 없었으며 실험한 모든 처리에서 수용할 수 있는 범위에 포함되었다고 판단된다.

<표 3-50> 부숙습식수피를 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		--------		(%)	--------		---	(mg • kg-1)		---
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	333	230	156	190
부숙습식수피+펄라이트 (75:25)	0	1.05	0.14	1.96	1.51	0.38	288	174	145	223
					테라코템					
	3.0	1.10	0.16	1.92	1.67	0.38	311	163	112	153
	6.0	1.10	0.16	1.74	1.48	0.35	267	161	113	179
	9.0	1.03	0.15	1.64	1.72	0.40	302	181	134	242
					송원산업					
	3.0	1.12	0.16	1.60	1.67	0.37	251	171	119	152
	6.0	1.00	0.15	1.61	1.40	0.36	330	143	109	182
	9.0	1.12	0.13	1.80	1.73	0.41	278	178	145	235
					오아시스					
	0.3	1.21	0.17	1.70	1.74	0.36	381	165	117	166
	0.6	1.04	0.16	1.63	1.90	0.44	319	199	123	194
	0.9	1.08	0.16	1.49	1.84	0.41	347	178	115	206

부숙습식수피+펄라이트(75/25) 혼합상토에서는 부숙습식수피가 단용된 상토나 부숙습식수피+질석 혼합상토에서 육묘된 메리골드와 다른 경향을 보였다. 식물조직내 인산함량에서 질석이 혼합된 상토에서는 세 물질 모두 혼합비율이 증가할수록 식물 조직내 함량이 증가하는 경향이었으나 본 상토에서는 감소하는 경향을 보였다. 칼륨함량에서는 테라코템과 오아시스가 혼합된 경우 감소하였으나 송원산업 유기수지가 혼합된 경우 증가하는 경향을 보였다. 미량원소 함량에서는 오아시스가 혼합된 상토에서 재배된 작물이 테라코템이나 송원산업 유기수지가 혼합된 상토에서 재배된 메리골드보다 혼합비율에 관계없이 철분 함량이 높은 것으로 분석되었다. 구리에서는 세 물질의 혼합 비율이 증가할수록 식물체내 구리함량은 증가하는 경향이었다.

<표 3-51> 부숙건식수피를 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		---------- % ----------					------ mg • kg-1 ----			
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	333	230	156	190
	0	1.13	0.12	1.10	1.80	0.25	302	241	139	170
부숙건식수피					테라코템					
(100)	3.0	1.19	0.12	1.11	1.83	0.29	389	290	165	227
	6.0	1.06	0.11	1.02	1.93	0.25	289	235	148	203
	9.0	1.12	0.13	1.46	1.96	0.27	312	225	150	160
					송원산업					
	3.0	1.20	0.11	1.04	1.81	0.40	317	186	150	198
	6.0	1.35	0.10	1.40	1.85	0.40	267	172	160	232
	9.0	1.30	0.13	1.75	1.87	0.41	264	163	138	156
					오아시스					
	0.3	1.38	0.13	1.36	1.77	0.38	236	150	117	172
	0.6	1.30	0.11	1.32	1.99	0.43	275	169	137	221
	0.9	1.20	0.12	1.37	2.02	0.43	281	185	135	176

부숙건식수피에 보수성 증가를 목적으로 혼합된 세 종류의 물질이 파종 56일후 수확한 메리골드의 식물체내 무기원소 함량에 미치는 영향은 표 3-51에 나타내었다.

부숙건식수피가 단용으로 이용된 상토에서 테라코템, 송원산업 유기수지 및 오아시스의 혼합비율 증가는 식물체내 질소, 인산, 칼륨 및 마그네슘 함량에 뚜렷한 영향을 주지 않았다. 그러나 세 물질 모두 혼합비율이 증가함에 따라 식물체내 칼슘 함량은 증가하는 경향을 나타내었으나 각 처리간 차이는 크지 않았다. 미량원소 중 망간은 혼합비율이 증가할수록 식물체내 함량이 감소하는 경향을 나타내었으나, 철, 아연 및 구리에서는 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었다.

<표 3-52> 부숙건식수피를 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		-------- (%) --------					---- (mg • kg-1)---			
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	333	230	156	190
부숙건식수피+질석 (75:25)	0	1.09	0.11	1.92	1.88	0.32	271	163	147	208
					테라코템					
	3.0	1.10	0.12	1.85	1.87	0.31	334	162	150	263
	6.0	1.10	0.12	2.09	1.93	0.32	281	146	129	171
	9.0	1.05	0.12	2.23	1.88	0.36	365	167	139	232
					송원산업					
	3.0	1.09	0.12	2.00	1.82	0.29	289	135	137	198
	6.0	1.11	0.17	2.08	1.85	0.32	284	159	150	182
	9.0	1.17	0.13	1.91	1.62	0.25	299	167	138	179
					오아시스					
	0.3	0.93	0.13	1.63	1.85	0.27	281	165	141	206
	0.6	1.04	0.12	1.55	1.69	0.30	244	163	119	158
	0.9	0.87	0.11	1.70	1.82	0.32	261	173	125	185

부숙건식수피+질석(75:25) 혼합상토에서 재배된 메리골드의 식물체내 무기원소 함량에서도 정도의 차이는 있었지만 왕겨가 단용으로 이용된 상토에서 재배된 메리골드와 큰 차이를 보이지 않았다. 세 물질이 혼합된 경우 처리량에 관계없이 모두 수용될 수 있는 범위에 포함되었다고 판단된다(표 3-52).

<표 3-53> 부숙건식수피를 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		--------		(%)	--------			----(mg • kg-1)---		
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	333	230	156	190
부숙건식수피+펄라이트 (75:25)	0	0.86	0.17	1.39	1.94	0.31	214	190	120	187
					테라코템					
	3.0	1.13	0.17	1.38	1.83	0.32	236	160	102	139
	6.0	1.00	0.18	1.28	1.94	0.34	259	188	135	191
	9.0	0.99	0.19	1.50	2.09	0.30	256	193	138	238
					송원산업					
	3.0	1.09	0.13	1.41	1.98	0.32	269	192	127	152
	6.0	1.00	0.17	1.38	1.93	0.32	292	197	133	184
	9.0	1.04	0.13	1.48	1.97	0.32	317	202	157	230
					오아시스					
	0.3	0.99	0.23	1.40	2.13	0.34	302	224	122	156
	0.6	1.13	0.24	1.48	1.89	0.38	294	265	130	185
	0.9	1.02	0.21	1.35	2.08	0.34	300	229	132	195

부숙건식수피와 펄라이트를 75:25(v/v)로 혼합한 상토에 두 종류의 유기수지 나 오아시스를 혼합한 후 메리골드를 플러그육묘 하였고, 파종 57일후의 지상부를 수확하여 무기원소함량을 분석한 결과를 표 3-53에 나타내었다. 테라코템이 혼합된 상토의 경우 질소함량은 감소하는 경향이었으나, 인산, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘과 분석한 모든 미량원소의 함량이 증가하였다. 그러나 송원산업 유기수지와 오아시스가 혼합된 상토에서는 다량원소의 경우 경향을 찾을 수 없었으나 미량원소는 두 물질의 혼합비율이 증가할수록 식물체내 함량도 증가하였다.

<표 3-54> 부숙톱밥을 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

1혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		---	---	(%)	---	---	---	(mg • kg-1)	---	---
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	333	230	156	190
	0	1.11	0.09	1.45	2.55	0.25	201	172	194	147
부숙톱밥					테라코템					
(100)	3.0	0.78	0.11	1.12	2.16	0.25	226	194	176	161
	6.0	0.83	0.11	1.19	2.09	0.23	213	115	160	162
	9.0	0.86	0.10	1.35	2.40	0.23	234	153	181	154
					송원산업					
	3.0	1.11	0.10	1.52	2.36	0.31	301	177	224	188
	6.0	1.29	0.09	1.54	2.39	0.29	277	175	228	204
	9.0	1.17	0.08	1.61	2.29	0.29	279	194	240	185
					오아시스					
	0.3	0.96	0.07	1.45	2.41	0.24	185	160	186	164
	0.6	0.76	0.06	1.44	2.00	0.23	205	164	159	199
	0.9	0.82	0.09	1.33	2.17	0.26	204	148	157	150

부숙톱밥에 두 종류의 수지 및 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드을 파종 57일 후 수확하여 식물체내 무기원소 함량을 분석한 결과를 표 3-54에 나타내었다.

부숙톱밥이 단용으로 이용된 경우 무처리구가 1.11%의 식물체내 질소 함량을 갖는 것으로 분석되었으며 송원산업 유기수지가 혼합된 모든 처리에서 대조구 보다 높은 식물체내 질소 함량을 가졌으나, 테라코템이나 오아시스가 혼합된 처리들에서는 무처리구보다 질소함량이 낮게 분석되었다. 인산, 칼슘 및 마그네슘에서는 혼합비율에 따른 차이를 발견할 수 없었으나 송원산업 유기수지가 혼합된 처리들이 테라코템이나 오아시스가 혼합된 처리들 보다 높은 칼슘함량을 갖는 것으로 분석되었다. 칼륨함량에서는 송원산업 유기수

지가 혼합된 처리에서 가장 높았고, 오아시스가 혼합된 처리들, 그리고 테라코템이 혼합된 처리들 순으로 낮아지는 경향이었으며 테라코템의 경우 혼합비율이 증가함에 따라 식물체내 칼륨함량이 증가하였으나 송원산업 유기수지와 오아시스의 혼합비율 증가는 식물체내 칼륨함량의 감소를 초래하였다.

<표 3-55> 부숙톱밥을 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO_4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		---------- (%) -------					--- (mg • kg-1) ---			
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	333	230	156	190
부숙톱밥+질석 (75:25)	0	0.87	0.10	1.49	2.22	0.16	227	150	177	158
					테라코템					
	3.0	0.82	0.09	1.61	2.16	0.16	235	150	190	188
	6.0	0.82	0.09	1.72	2.11	0.17	243	176	166	158
	9.0	0.89	0.10	1.61	1.92	0.15	239	169	152	160
					송원산업					
	3.0	0.76	0.08	1.54	2.05	0.16	227	149	184	157
	6.0	0.82	0.10	1.69	2.06	0.20	272	210	192	182
	9.0	0.82	0.10	1.78	1.90	0.29	206	203	141	164
					오아시스					
	0.3	0.73	0.09	1.49	2.11	0.20	277	187	172	173
	0.6	0.83	0.10	1.60	2.22	0.19	247	181	160	154
	0.9	0.74	0.12	1.58	2.31	0.21	260	186	167	175

부숙톱밥과 질석을 혼합(75:25)하여 조제한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 무기원소 함량에서 무처리구가 0.87%의 식물체내 질소함량을 갖는 것으로 분석되었으나 테라코템, 송원산업 유기수지 및 오아시스가 혼합됨으로써 무처리구보다 질소함량이 낮아지는 경향이었다(표 3-53). 세 물질의 혼

합으로 인산함량이 증가하였으나 칼슘은 송원산업 유기수지에서만 증가하였을 뿐 테라코템이나 오아시스에서는 경향을 찾을 수 없었다. 칼슘에서는 테라코템이나 송원산업 유기수지의 경우 혼합비율이 증가함에 따라 칼륨함량이 감소하는 경향이었으며 오아시스에서는 증가하는 경향을 보였다. 마그네슘 및 분석한 미량원소에서는 다소간의 차이가 있었지만 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었으며 모두 수용될 수 있는 범위에 포함되었다

<표 3-56> 부숙톱밥을 기본물질로 조제되고 보수성증가를 위해 두 종류의 수지 또는 오아시스를 혼합한 상토에서 플러그 육묘된 메리골드의 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량.

혼합상토	혼합비율	T-N	PO4-P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		----------		(%)	-------		---	(mg • kg-1)		---
피트모스+질석		1.07	0.09	2.23	1.69	0.38	333	230	156	190
부숙톱밥+펄라이트 (75:25)	0	1.06	0.10	1.27	3.04	0.22	261	209	279	169
					테라코템					
	3.0	0.88	0.08	1.80	2.69	0.21	206	157	198	139
	6.0	0.81	0.12	1.62	2.41	0.19	215	152	179	162
	9.0	0.88	0.17	1.50	2.35	0.26	265	180	158	194
					송원산업					
	3.0	0.90	0.20	1.61	2.20	0.32	262	202	158	158
	6.0	0.99	0.22	2.17	2.10	0.40	311	271	162	194
	9.0	1.07	0.13	2.06	2.04	0.34	317	214	159	221
					오아시스					
	0.3	0.95	0.15	1.20	2.57	0.30	273	195	184	217
	0.6	0.81	0.08	1.23	2.47	0.21	254	197	229	189
	0.9	0.89	0.12	1.13	2.33	0.22	209	159	167	173

부숙톱밥과 펄라이트가(75:25) 혼합된 상토에서 재배된 경우 세 종류의 물질이 혼합됨에 따라 무처리구보다 질소와 칼슘 함량에서는 낮아 졌으나 인산, 칼륨 및 마그네슘에서는 식물체내 함량이 월등히 증가하였다(표 3-56).

다. 농가 실증시험 및 경제성 분석

<표 3-57> 개발된 혼합상토와 수입되어 시판되는 혼합상토가 백합 '카사블랑카'의 생육에 미치는 영향.

혼합상토	화수	초장 (cm)	생체중 (g)	경경 (cm)	엽수	엽중 (g)	화폭 (cm)	화중 (g)
피트모스+질석 (50:50)	1.75	89.9	108.3	0.80	29.2	48.4	19.9	20.2
피트모스+펄라이트 (50:50)	1.85	88.7	106.1	0.89	28.9	46.5	17.8	19.1
Sunshine # 1	2.00	86.9	108.3	0.80	29.8	48.9	20.0	20.8
TKS	2.00	87.6	104.0	0.82	30.3	48.5	19.6	20.6
왕겨+질석 (75:25)	1.70	83.6	102.8	0.84	28.8	47.0	19.4	19.8
왕겨+펄라이트 (75:25)	1.65	86.2	99.9	0.79	28.4	46.9	19.9	20.4
수피+질석 (75:25)	1.85	92.3	106.8	0.86	28.0	47.9	20.4	21.1
수피+펄라이트 (75:25)	1.75	88.3	96.4	0.83	32.0	46.5	18.2	19.1
톱밥+질석 (75+25)	2.30	87.0	104.5	0.90	31.8	47.5	17.0	19.8
톱밥+펄라이트 (75+25)	1.85	88.1	98.9	0.89	28.2	49.4	17.7	19.2

개발된 혼합상토와 수입되어 시판되는 혼합상토가 백합 '카사블랑카'의 생육에 미치는 영향을 표 3-57에 나타내었다. 피트모스나 부숙된 유기물질에 질석을 혼합한 경우 펄라이트를 혼합한 상토보다 생체중이 무거웠고 경경도 두꺼웠으나 화수나 초장에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 미국에서 수입되는 Sunshine mix #1이나 네덜란드 수입산 TKS 상토에서 재배된 백합의 생육이 우수하였다. 그러나 부숙된 유기물질을 혼합하여 조제된 혼합상토에서 재배된 백합의 생육도 유사하였으며 가시적인 차이를 나타내지 않았다. 또한 부숙된 유기물질을 이용하여 개발된 혼합상토에서 재배된 백합은 모두 충분한 상품성을 갖는 것으로 판단되었다.

< 표 3- 58> 혼합상토 조제에 이용되는 상토 재료들의 구입비용.

상토 재료	용 량 (리터/포)	포당가격 (원)	리터당가격 (원)	부숙소요비 (천원/ 12,000L)z	부숙 소요비 (원/1L)	최종가격 (원/리터)
피트모스	200	23,000	115원	- - -	- - -	115
질 석	30	3,000	100	- - -	- - -	100
펄라이트	100	8,800	88	- - -	- - -	88
왕 겨	120	1,200	10	140	11.67	22
톱 밥	100	2,500	25	142	11.83	37
수 피	50	1,500	30	140	11.67	42

z부숙비용 상세내역:

1) 왕겨부숙 : 140,000원/ 왕겨 100포(12,000리터) ⇒ 인건비(3명) 60,000 + 부숙재 60,000 + 요소 4,000 +기타 16,000 (수도비, 감가상각 및 제잡비).
2) 톱밥부숙 : 142,000원/ 톱밥 120포(12,000리터) ⇒ 인건비(3명) 60,000 + 부숙재 60,000 + 요소 6,000 +기타 16,000 (수도비, 감가상각 및 제잡비).
3) 수피부숙 : 140,000원/ 수피 240포(12,000리터) ⇒ 인건비(3명) 60,000 + 부숙재 60,000 + 요소 4,000 +기타 16,000 (수도비, 감가상각 및 제잡비).

유기상토 재료중 피트모스는 1L당 115원 였으나 왕겨, 톱밥 및 수피는 부숙비용을 포함한 1L 당 가격이 각각 22, 37 및 42원으로 피트모스보다 왕겨는 5배, 톱밥 및 수피는 각각 3.1배 및 2.7배 저렴하였다.

< 표 3- 59> 혼합상토 조제와 시판상토 구입에 소요되는 경비 비교.

상 토	배합비율	1L당 상토가격 (원)	분화재배	
			화분당(원) (1.5L 용적)	10a 당(천원) (28,500분)
피트모스+질석	50:50	107.5	161	4,596
피트모스+펄라이트	50:50	145.5	218	6,220
Sunshine #1	- - -	140	210	5,985
TKS	- - -	137.5	206	5,878
왕겨+질석	75:25	41.5	62	1,774
왕겨+펄라이트	75:25	38.5	58	1,646
톱밥+질석	75:25	52.8	79	2,257
톱밥+펄라이트	75:25	49.8	75	2,129
수피+질석	75:25	56.5	85	2,415
수피+펄라이트	75:25	53.5	80	2,287

※ 혼합상토 소요량 산출근거:

- 재식거리를 20 x 20cm로 조절할 때 평당 재식수는 100화분이며 이는 10a 당 30,000화분 배치할 수 있음.
- 시설물의 이용효율을 95%로 계산하면 28,500분(30,000분 x 95%)이 됨.
- 최상부 직경이 5인치인 화분의 용적은 1,500cc임.

피트모스와 펄라이트를 혼합한 상토의 경우 미국이나 유럽에서 수입된 Sunshine 혼합상토 또는 TKS 혼합상토 보다 가격이 비싸게 소요되나, 세 종류의 혼합상토 모두 10a 당 약 600만원의 상토구입비가 소요되는 것으로 분석되었다. 왕겨가 혼합된 상토의 가격이 가장 저렴하였으며, 톱밥이 혼합된 상토 그리고 수피가 혼합된 상토의 순으로 가격이 증가하였으나 모든 상토에서 수입상토나 피트모스를 혼합하여 조제된 상토보다 월등히 저렴하였다.

< 표 3- 60> 농가의 경영비를 고려한 수입상토와 유기물질을 혼합한 상토의 소득 비교.

상 토	상토비용 (천원/10a)	경영비 (천원/10a)	단 가 (원/분)	조수익 (천원/10a)	소득 (천원/10a)	지수 (%)
피트모스+질석	4,596	36,419	1,800	51,300	14,880	100
피트모스+펄라이트	6,220	38,044			13,255	89
Sunshine #1	5,985	37,809			13,490	91
TKS	5,878	37,702			13,597	91
왕겨+질석	1,774	33,598			17,701	119
왕겨+펄라이트	1,646	33,470			17,829	120
톱밥+질석	2,257	34,081			17,218	116
톱밥+펄라이트	2,129	33,953			17,346	117
수피+질석	2,415	34,239			17,060	115
수피+펄라이트	2,287	34,111			17,188	116

※ 가격기준: 경기 화훼공판장 거래가격

경영비 세부사항

- 종구비: 28,500구 x 700원/개 = 19,950,000원
- 무기질 비료(양액): 800,000원, - 농약비: 200,000원,
- 광열 동력비; 500,000원, - 수리비: 150,000원
- 제 재료비8,275,000원 (상토가격 제외)(관수자재: 4,000,000원, 화분: 28,500 x 150원 = 4,275,000원)
- 소농구비: 4,871원
- 대농구 상각비: 80,315원, - 영농시설 상각비: 712,580원,
- 수리비: 51,373원, - 기타 요금: 100,000원, 고용노력비: 1,000,000원

합계: 31,824,139원

자체 부숙시킨 혼합상토를 조제하여 이용할 때에는 수입상토를 이용하여 재

배할때보다 10a당 소득이 약 350만원 이상 증가하였다. 수익률에서도 피트모스+질석 대조구를 100%로 계산할 때 수입상토는 91%, 그리고 자체부숙시킨 상토에서는 110%보다 높게 분석되었다.

3. 적 요

가. 개발된 혼합상토의 화학성 분석에 기초하여 원예작물의 포트재배시 기비시스템 확립

1) 개발된 혼합상토의 토양산도 교정을 위하여 왕겨+펄라이트 혼합상토는 탄산석회 1.5g/L, 국산 고토석회 3.0g/L의 비율로 시비한 처리에서 생육이 우수하였다. 그러나 수피나 톱밥이 혼합된 경우 탄산석회는 1.5g/L, 그리고 국산 고토석회는 6.0g/L로 시비한 처리에서 생육이 우수하였다.
2) 개발된 유기물질에 질석이나 펄라이트를 혼합하여 조제된 상토에서는 용성인비나 용과린 모두 4.0 6.0g/L의 비율로 시비할 때 국화나 백합의 생육증가를 초래하였다.
3) 개발된 혼합상토에 국화나 백합을 재배할 때 생육을 증가시키기 위하여는 Osmocoat나 CDU 복합비료 모두 4.0g/L의 비율로 시비한 처리에서 생육이 우수하였다.

나. 개발된 상토의 화학성 분석에 기초하여 원예작물의 플러그재배시 시비방법 확립

1) 각 혼합상토에 테라코템의 혼합비율을 증가할수록 생육도 증가하였다. 그러나 송원산업 유기수지는 각 혼합상토에 3.0g/L의 비율로 혼합한 처리에서 생육이 우수하였으며, 오아시스의 경우 0.6g/L로 혼합된 처리에서 생육이 우수하였다.
2) 파종 57일 후의 식물체내 무기원소 함량에서는 각 상토별로, 또 혼합 물질별로 다른 경향을 나타내었다. 그러나 분석한 모든 필수 다량원소 및

미량원소의 식물체내 함량은 정도의 차이가 있었지만 모두 수용될 수 있는 범위에 포함되었다.

3) 따라서 플러그 재배를 위한 시비는 stage 2부터 20-10-20 복합비료를 질소 기준으로 80ppm이 되도록 농도를 조절하여 시비하고, stage 3부터는 120ppm으로 농도를 조절하여 매주 1회 시비하는 것이 적당하다고 판단되었다.

다. 농가 실증 시험 및 경제성 분석

1) 부숙된 유기물질을 혼합하여 조제된 상토에서 재배된 백합의 생육이 미국에서 수입된 Sunshine mix #1이나 네덜란드산 TKS 상토에서 재배된 백합의 생육과 큰 차이를 보이지 않았다.

2) 유기상토 재료 중 왕겨, 톱밥 및 수피는 부숙비용을 포함한 가격이 피트모스 보다 월등히 저렴하여 왕겨는 5배, 톱밥 및 수피는 각각 3.1 및 2,7 배 저렴하였다.

3) 자체 부숙시킨 유기물질을 혼합상토 조제에 이용할 경우 생산비 절감을 이룰 수 있었다. 수익률에서는 피트모스+질석 대조구에 비해 수입상토 91%, 자체 부숙시킨 상토의 경우 115% 이상인 것으로 분석되었다.

제 5 장 결 론

제 1 절 산업부산물의 물리적 특성 분석에 기초한 혼합 상토의 개발

1) 산업부산물로 생산되는 왕겨, 수피 톱밥 및 우드칩을 수집하여 토양물리적 특성을 밝히고 물리성을 개선하였다.
2) 수집된 상토 재료들이 물리성을 개선하기 위하여 Wiley mill, hammer mill, ball mill의 분쇄효과를 밝히고 분쇄된 폐암면을 혼합하여 보수성을 증가시켰다.
3) 부숙된 유기물질과 혼합될 무기 상토재료들도 원산지별로 또는 입도 분포별로 토양물리적 특성을 밝혔다.
4) 부숙왕겨와 질석(1:1)을 혼합하여 개발된 상토는 83.3%의 공극율, 73.3%의 용기용수량 및 10.5%의 기상율을 가져 플러그재배에 적합하였으며, 부숙톱밥+질석(1:1, v/v) 혼합상토도 플러그재배에 이용될 수 있는 상토였다. 각종 수피가 혼합된 상토들은 보수성이 낮은데 비해 통기성이 높아 포트재배에 이용될 수 있는 상토라고 판단되었다.
5) 각 혼합상토별로 관수 사이클에 따른 CO_2 농도 변화를 분석하였으며 톱밥이 혼합된 상토에서 CO_2 농도가 가장 높았고 왕겨가 혼합된 상토에서 가장 낮음을 알 수 있었다.
6) 부숙수피+질석 혼합상토에서 재배된 백합의 초장 및 생체중이 가장 크거나 무거웠으며, 부숙톱밥이 단용으로 이용된 처리에서 생육이 가장 저조하였다. 또 부숙된 유기물질에 질석을 혼합한 개발된 상토에서 재배된 백합이 펄라이트를 혼합한 상토에서 재배된 백합보다 생육이 우수하였다.
7) 부숙된 왕겨 및 수피에 고흡수성 수지 및 오아시스를 혼합할 경우 공극률에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 혼합비율이 증가할 수록 용기용수량이 증가하고 기상율이 감소하였다. 그러나 기상율은 모든 처리에서 피트모스

+질석 대조구보다 2배 이상 높았다. 따라서 부숙된 유기물질을 이용하여 플러그 재배용 상토를 개발할 경우 상기한 물질을 혼합하면 보수성 증가를 통해 관수 횟수를 감소시키고 생산비를 절감할 수 있다고 판단되었다.

제 2 절 Lignocellulose 분해미생물을 이용한 상토 구성재료의 가공.

1) 전국에서 수집한 토양, 부엽토, 부후목등 71종 이상의 시료를 분리원으로 하여 섬유소 및 리그닌의 분해능을 가진 미생물 균주를 분리하여 세균류 255주, 진균류 78주를 선발하였다.
2) 선발균주는 세균의 경우 중온균, 고온균, 방선균으로, 진균의 경우 백색부후 담자균, 갈색부후 담자균, 연부균, 특이균주로 구분하였다. Cellulose+, starch+인 중온성 세균 H12 균주는 *Bacillus*속의 균주로 분류되었다.
3) 균주별로 배지 및 배양조건을 검토하여 최적배지를 밝혔다.
4) 전배양 조건과 적정 접종량의 구명에서 세균류는 액체배지에서 분산현탁상태로, 진균류는 고체배지에서 균사체의 상태로 배양물을 얻을 수 있었다. 전배양물의 접종량은 상토의 발효원료에 대하여 세균류는 1% 이하<분무접종>, 진균류의 경우<혼합접종>에는 1% 이상의 접종량을 필요로 하였다.
5) 예비부숙 기간중 용매추출물 (alcohol-bezene extract)의 함량이 수피 및 톱밥의 경우에는 43.1 44.7%, 왕겨는 26.9% 감소하였다.
6) 본발효를 위한 재료의 혼합비율은 건식 또는 습식수피 모두 수피+톱밥+왕겨+탈지미강 = 533:72:72:43 이었다. pH 조정(6<)을 위하여 1%의 $CaCO_3$가 필요하였고, 적정수분함량은 약 60%이었다.
7) 속성부숙을 위해 2단 부숙법을 적용하였으며, 1-단계 발효에(담자균의 정치배양) 2 4주간, 2-단계 발효에(고온성 세균의 통기배양)에 4주간의 2단 부숙법을 적용함으로서 소요기간을 줄일 수 있었다.
8) 1-단계 발효를 위한 접종균주로는 담자균 F3-1 (왕겨에는 F-239 및

T-164)가 효과적이었으며, 2-단계 발효를 위한 접종균주로는 고온성 세균 B1-2T, 2-6T와 고온성 방선균 A2T-SUN의 혼합균주가 효과적이었다.

9) 부숙실험을 통하여 최종적으로 선발된 접종용 균주는 세균류로서는 H12(true, mesophilic), B1-2T, B2-6T(true, thermophilic), A78, A2T-SUN(Actinomyces) 등이며, 진균류로서는 F3-1, F239 및 T164(white-rot), T190(brown-rot), S14(soft-rot) 이었다

10) 선발된 접종용 균주의 대량증식을 위한 배양조건에서 세균류 H12 및 B1-2T는 발효조를 이용한 액체배양, 균주 A78은 SCA 또는 Benett broth에서 현탁상태로 생육하였고, 진균류 F3-1, F239, T164, T190, S14 등은 800 mL PE광구병에 충전한 고체배지 (Woodmeal + wheatbran)에서 균사체의 상태로 배양물을 얻을 수 있었다.

11) 분무접종에 의한 세균류의 접종량은 상토의 발효원료에 대하여 1% (v/v), 진균류를 혼합접종할 경우에는 2% 수준이 적정하였다.

제 3 절 산업부산물의 물리적 특성 분석에 기초한 혼합상토의 개발

1) 미가공된 유기상토 재료들의 토양 화학적 특성을 밝히고 시비방법을 확립하였다.

2) 수집된 모든 유기물질의 C/N율을 밝히고 원산지별로 무기원소 함량을 분석하여 작물재배시 발생할 수 있는 무기원소 결핍 및 과잉증상의 가능성을 판단하였다.

3) 목재로부터 생산된 각종 수피, 우드칩, 톱밥 및 왕겨의 냉·온수 및 알칼리추출물의 비율을 분석하여 유기물질에 잔존하는 레진, 탄닌, 터펜닌 등을 간접적으로 분석하였다.

4) 습식수피의 냉수추출물, 온수추출물 및 알칼리 추출물 비율이 건식수피나 수입수피보다 낮았는데, 이는 탈피과정에서 첨가된 온수에 의해 추출물들이

제거되었기 때문이라고 판단되었다.

5) 유기물질을 분쇄할 경우 양이온치환용량이 증가하였는데, 건식수피에서 가장 뚜렷하였고 수입수피, 왕겨, 습식수피, 우드칩의 순으로 증가가 크지 않았다. 그러나 보수성을 증가시키기 위하여 분쇄된 유기물질에 분쇄된 폐암면을 50% 혼합할 경우 양이온치환용량이 절반수준으로 감소하였다.

6) 유기물질과 혼합될 무기물질 중 국산 질석의 pH는 9.3, 수입 질석 6.10 그리고, 펄라이트는 약 7.15 정도였다. 국산 질석은 Ca와 Mg의 함량이 높았으나 수입질석은 국산 질석보다 K 및 Na의 함량이 높았는데 Na의 경우 국산질석보다 35배 이상 높았다.

7) 부숙된 유기물질과 무기물질을 혼합하여 상토를 개발하였는데 질석을 혼합한 경우 pH가 상승하였으나, 양이온치환용량은 피트모스+질석 대조구에 근접하였다. 부숙된 왕겨나 톱밥은 대조구와 유사한 토양완충력을 보였으나 부숙된 각종 수피는 완충력이 낮았다. 부숙된 유기물질에 질석을 혼합할 경우 완충능의 저하가 크지 않았으나 펄라이트를 혼합할 경우 토양완충능이 크게 저하되었다.

8) 개발된 혼합상토의 토양산도 교정을 위하여 왕겨+펄라이트 혼합상토는 탄산석회 1.5g/L, 국산 고토석회 3.0g/L의 비율로, 수피나 톱밥이 혼합된 경우 탄산석회는 1.5g/L, 그리고 국산고토석회는 6.0g/L로 시비해야 함을 알 수 있었다.

9) 부숙된 유기물질에 질석이나 펄라이트를 혼합하여 개발된 상토에서는 용성인비나 용과린 모두 4.0 6.0g/L의 비율로 시비할 때 국화나 백합의 생육 증가를 초래하였다. Osmocoat나 CDU 복합비료는 모두 4.0g/L의 비율로 시비한 처리에서 생육이 우수하였다.

10) 혼합상토에 보수성 증가를 목적으로 고흡수성 수지를 혼합한 후 플러그재배에 이용할 경우 stage 2부터 20-10-20 복합비료를 질소 기준으로 80ppm이 되도록 농도를 조절하고, stage 3부터는 120ppm으로 농도를 조절하여 매주 1회 시비하는 것이 적당하다고 판단되었다.

11) 부숙된 유기물질을 이용하여 조제된 상토에서 재배된 백합의 생육이 미국

에서 수입된 Sunshine mix #1이나 네덜란드산 TKS 상토에서 재배된 백합의 생육과 큰 차이를 보이지 않았다. 유기상토 재료 중 왕겨, 톱밥 및 수피는 부숙비용을 포함한 가격이 피트모스 보다 왕겨는 5배, 톱밥 및 수피는 각각 3.1 및 2,7배 저렴하였다.

제 6 장 연구개발 결과의 활용

1. 연구결과를 정리하여 한국원예학회 학술발표대회에서 7편의 논문을 발표하였고, 또 한국원예학회지에 2편의 논문을, 그리고 한국원예과학기술지에 1편의 논문을 게재하였음.
2. 연구결과를 물리성 변화와 작물 생육, 시비방법과 작물생육의 기초자료로 활용할 예정임.
3. 유기상토 재료의 부숙방법, 적정 부숙도 판단 등은 실제 생산 농가에 보급하여 실용적으로 활용할 예정임.
4. 물리적 특성을 개선하기 위한 방법과 무기물질과의 적정 혼합 비율은 생산 농가에 보급하여 실용적으로 활용할 예정임.
5. 부숙된 유기물질에 적합한 기비방법 및 적절한 추비방법도 생산 농가에 보급하여 실용적으로 활용할 예정임.
6. 포트 및 플러그 재배를 위해 개발된 혼합상토는 특허 출원할 예정임.
7. 본 연구개발을 통해 정립된 연구방법, 특히 물리성 측정을 위한 적정 함수량은 학회지에 게재됨으로써 추후 다른 연구자들에 의한 유사 연구시 기본이 될 수 있다고 판단 됨.