

최 종
연구보고서

원예작물의 분화 및 플러그 재배시
기비방법 확립을 위한 미량원소복합제
및 이용기술 개발

Developing Micronutrient Mixes for Plug and
Pot Plant Production and Establishment of
Pre-planting Fertilization Program

연 구 기 관
배재대학교 자연과학대학

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “원예작물의 분화 및 플러그 재배시 기비방법 확립을 위한 미량원소복합제 및 이용기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004 년 8 월 일

주관연구기관명 : 배재대학교

총괄연구책임자 : 최 종 명

세부연구책임자 : 김 택 남

연 구 원 : 권 오 원

연 구 원 : 최 종 진

요 약 문

I. 제목

원예작물의 분화 및 플러그 재배시 기비방법 확립을 위한 미량원소복합제 및 이용기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

분화나 플러그 재배는 적절한 상토의 선정 및 시비방법의 적용에 의해 작물 생육이 절대적으로 좌우된다. 상토는 2~3가지 재료를 적절한 비율로 혼합하여 토양 물리·화학성을 조절하며, 물리·화학적으로 균일성을 갖는 상토 구성 재료를 지속적으로 이용하여 혼합상토의 균일성을 유지하고 있다.

혼합상토 조제에 이용되는 유·무기물질 들은 식물생육에 필요한 대부분의 필수원소를 보유하지 못하거나 보유한다 해도 농도가 매우 낮다. 따라서 유기 및 무기물질을 혼합하여 조제된 상토를 이용하여 플러그나 분화재배를 할 경우 모든 필수 다량 및 미량원소를 적절한 농도로 공급해 주어야만 작물생육이 가능하다.

플러그나 분화재배시 시비는 관비방법(fertigation) 또는 기비방법을 적용하고 있다. 국내에서는 상토생산 회사나 일반 재배농가에서 기비방법을 적용하지 못하고 있으며 기비방법에 대한 개념조차 파악하지 못하고 있어 대부분 관비방법으로 작물을 재배하고 있다.

관비방법은 비료를 물에 용해시켜 관수와 시비를 동시에 수행하는 방법이다. 대부분의 재배농가에서는 적정 양보다 40~50%를 과다 관수하고 있으며, 잉여의 비료용액이 토양 염류집적의 원인이 된다. 또한 비료를 자주 용해시켜야 하므로 작물생산에 필요한 노동력, 비료용액을 공급하기 위한 에너지 요구

량, 그리고 물과 비료의 소비량이 증가한다.

이상의 관비방법에서의 단점을 보완하기 위해 기비방법을 적용할 수 있으며, 기비방법에서는 식물생육에 필요한 필수원소 중 일부 또는 전부를 상토조제 과정에서 혼합한 후 종자를 파종하거나 식물을 이식하며 이후 관수만 한다. 기비방법을 위해서는 적합한 비료의 개발이 선행되어야 하며, 미량원소복합제의 경우 미주지역에서는 6종류의 미량원소(Fe, Mn, Cu, Zn, Mo 및 B)를 하나의 제제 속에 모두 포함시켜 시판하고 있다. 그러나 국내에는 생산되는 미량원소복합제가 없어 혼합상토를 이용한 작물재배에서 기비방법 확립의 걸림돌이 되고 있다.

국산 미량원소복합제가 개발될 경우 국내에서 생산되는 각종 혼합상토에 포함되므로써 혼합상토 가격을 낮출 수 있으며, 혼합상토에 포함되어 수입되는 각종 미량원소복합제를 대체할 수 있을 것이므로 혼합상토의 가격을 하향 안정화 시킬 수 있다. 따라서 관련 연구가 반드시 수행되어 독자적인 미량원소복합제가 개발되어야 할 것이다.

본 연구는 원예작물의 포트 및 플러그 재배시 기비방법 확립에 필요한 미량원소복합제를 발포제의 종류 및 처리량을 변화시키거나 용출속도 조절물질의 종류 및 처리량을 변화시킴으로써, 또는 미량원소의 성분함량 조절에 의해 개발하고자 하였다. 이후 개발된 미량원소복합제의 특성을 분석하고 미량원소복합제를 포함한 국산 비료를 이용하여 원예작물의 분화 및 플러그 재배시 기비방법 확립을 위해 수행하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 미량원소복합제의 개발

혼합상토의 기비방법 확립을 위해 반드시 필요한 미량원소복합제를 각종 무기염의 조성을 달리하여 입상형태로 개발하고자 하였다. 개발방법은 발포제의 종류 및 처리량 또는 용출속도 조절물질의 종류 및 처리량을 달리하여 미량원소복합제를 개발하였다. 또한 작물이 흡수하는 각종 미량원소들의 양을 고려하여 미량원소의 성분함량을 변화시켜 미량원소복합제를 개발하였다.

2. 개발된 미량원소복합제의 성분함량 및 용출특성 분석

개발된 미량원소복합제는 미국에서 생산된 후 국내에서 유통되는 미량원소복합제와 성분 함량을 비교하였으며, 컬럼실험을 통해 용출 특성을 비교하였다. 상토에 따라 용출 특성이 다른 점과 국내에서 유통되는 혼합상토의 조성이 미주 지역에서 유통되는 혼합상토의 조성과의 다른 점을 고려하여 상토의 종류에 따른 용출 특성을 분석하였다. 또한 유리를 binder로 이용하므로 Al과 Si의 과잉 가능성도 컬럼실험을 통해 분석하였다.

3. 플러그 재배를 통한 미량원소복합제의 적정 처리량 구명

플러그 재배실험을 통해 개발된 미량원소복합제가 작물 생육에 미치는 영향을 밝혔다. 국내·외를 통해 가장 많이 유통되는 피트모쓰+버미큘라이트 혼합상토 및 국내 재배농가에서 활용하고 있는 피트모쓰+부숙왕겨, 피트모쓰+부숙수피 그리고 피트모쓰+부숙톱밥 혼합상토에서 미량원소 복합제의 처리량 및 작물 생육에 미치는 영향을 밝혔다. 또한 N과 K의 처리농도에 따른 미량원소 복합제의 식물이용도를 분석하였으며, 고토석회와 용과린을 미량원소복합제와 동시에 기비로 혼합할 경우 작물 생육에 미치는 영향을 밝혔다.

4. 분화재배 실험을 통한 미량원소복합제의 적정처리량 구명

포트-덤을 분화재배하면서 미량원소복합제의 적정처리량을 구명하였고, 미량원소복합제와 석회질 비료가 작물생육에 미치는 영향 및 미량원소복합제와 인산질 비료가 작물생육에 미치는 영향을 밝혔다. 분화재배 실험에서도 플러그 육묘에서와 동일한 각종 상토에서 미량원소복합제와 기비로 혼합되는 각종 비료 들이 작물 생육에 미치는 영향을 밝혔다.

5. 농가 실증시험 및 경제성 분석

플러그 육묘가 화훼작물 보다 채소작물에서 많이 이루어지는 점을 고려하여 고추와 토마토를 대상으로 한 농가실증시험을 수행하였으며, 이를 근거로 경제성 분석을 하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 미량원소복합제의 개발

- 1) 발포제로 CaCO_3 또는 MnSO_4 를 사용하였으나 발포제로서의 역할을 보았을 때는 CaCO_3 가 효과적임을 알 수 있었다. 발포 효과는 시료 [2-12]에 서와 같이 적당하게 발포된 시료에서는 매우 균일하고 오랜 시간 후에도 용출되는 특성을 보이고 있다.
- 2) 용출 속도 조절은 식물생장에 필수적인 Cu, B, Fe, Mn, Mo, Zn 등의 6 원소를 대상으로 실시하였고, 수용성과 약산성에 용출이 용이한 화학 시약을 사용하여 연구 목적을 달성하였다. 용출 실험을 기준으로 한 미량 원소복합제의 조성은 시료 [2-9]와 같이 SiO_2 는 5%의 중간 조성, CaCO_3 는 5%로 발포제의 역할을 할 수 있는 정도의 양 이어야 하고, MnSO_4 는 15%, Fe_2O_3 는 35%, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 는 20% 함유한 시료의 화학 조성이 가장 적합한 미량원소복합제로 판명 되었다.
- 3) 한편 미량원소의 성분 함량 조절에 의한 미량원소복합제의 개발에서 미량원소의 성분함량 조절은 시료 제작시 여러 가지 조성으로 함량을 조절 함으로써 연구 하였고, Fe, Mn, Zn, Cu 등의 용출 실험에 주안을 두었다. 모든 실험은 만족하게 진행 되었다.
- 4) 위에서 언급한 바와 같이 Mn 원소는 MnSO_4 형태의 수용성 물질로 첨가하여야 하며, P_2O_5 대신에 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 의 화학성분을 이용하는 것이 용출 실험에 효과적인 것으로 판명 되었다. 또한 화학 성분은 시료 [2-9]와 유사한 것이 가장 좋은 것으로 판명되었다.

나. 개발된 미량원소복합제의 성분함량 및 용출 특성

- 1) 1차년도에 조제된 시료 44개는 모든 시료에서 농도가 너무 낮았다.
- 2) 2차년도에 개발된 미량원소복합제는 킬레이트치환성 Fe 농도에서 대조구인 Micronutrient fertilizer(MF) 보다 높았다. 산용성 Mn 농도에서는 조

- 제된 시료들의 농도가 낮았으나, 수용성 Mn 농도에서는 MF 보다 높았다.
- 3) Cu 및 Zn 농도는 시료 [2-1]~[2-4]에서 대조구 보다 월등히 높았고 [2-5]~[2-12]에서는 대조구인 MF와 유사하거나 약간 낮은 농도로 분석되었다.
 - 4) B 농도는 시료 [2-1]~[2-5]에서 낮았고, 시료 [2-6]~[2-12]에서 MF와 유사하거나 약간 높은 농도로 분석되었다.
 - 5) Fe의 용출 농도는 시료 [2-1]~[2-6](1차실험)에서는 약 $400\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하의 농도로 분석되었고, 2차 실험의 시료 [2-7]~[2-12]에서 약 $23\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하로 분석되어 1차 실험에서 보다 월등히 낮았다. Mn도 Fe와 유사한 용출농도를 보였다.
 - 6) Zn은 시료 [2-2]에서만 특이하게 높았을 뿐 1차 실험과 2차 실험을 통해 분석한 모든 시료들의 용출농도가 비슷한 수준을 유지하였다.
 - 7) Cu의 경우 시료 [2-1]~[2-6]에서는 1주와 2주째에 높은 농도로 용출된 후 3주 이후부터는 $20\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하의 저농도로 분석되었으나, 시료 [2-7]~[2-12]에서는 2주 및 3주에 비교적 많은 양이 용출되었다.
 - 8) 붕소는 4주 까지 용출된 후 용출 농도가 급격히 낮아졌다.
 - 9) 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토의 시료 [2-1]~[2-6]에서는 1주에 $1000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 고농도로 Fe가 용출된 후 점차 낮아져 4주 이후부터 아주 낮은 농도로 분석되었다. 그러나 시료 [2-7]~[2-12]에서는 2주까지 용출량이 많았다가 낮아졌으며 5주까지 저농도로 용출되었다. Mn과 Zn도 Fe와 유사한 용출 농도 변화를 나타내었다.
 - 10) 피트모쓰+부숙수피 혼합상토에서 Fe은 [2-7], [2-8] 및 [2-11]의 초기농도가 월등히 높아 MF비료 보다 2주째에 약 7배정도 많은 양이 용출되었다.
 - 11) Zn에서는 시료 [2-7] 및 [2-8]의 농도가 높았고 Cu에서는 [2-10] 및 [2-12]의 용출농도가 높았다. 붕소에서는 본 연구에서 조제된 시료들 중

[2-9] 와 [2-10]을 제외한 시료들의 농도가 MF비료 보다 높았다.

- 12) 피트모쓰+부숙톱밥 혼합상토에서도 Fe 보다 Mn의 용출농도가 높았는데 특히 MF 비료에서의 농도가 높게 분석되었다.
- 13) Cu와 B에서는 시료 [2-12]의 농도가 비교적 높게 유지되었다. B의 경우 MF비료에서 매우 낮았는데 이는 붕소의 용출량을 증가시키기 위해 의도적으로 조제과정에서 B의 혼합량을 증가시켰기 때문이라고 판단되었다.
- 14) 시료 [2-5]와 [2-11]을 제외한 모든 처리에서 3주째에 Si의 용출농도가 가장 높았으며 4주 이후에는 $150\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하의 Si 농도를 유지하였다. Al의 경우 1차적으로 실험한 시료 [2-1]~[2-6]에서는 3주째에 농도가 높았으나 [2-7]~[2-12]에서는 4주째에 농도가 높았다.
- 15) 그러나 모든 처리에서 한번의 피크를 나타낸 후 $5\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하의 농도로 저하되었으며 식물생육에 영향을 줄 정도의 고농도라고 판단되지는 않았다.

다. 개발된 미량원소복합제가 플러그배시 작물생육에 미치는 영향

- 1) 종자 파종 35일 후의 생육조사 결과 대조구(-Con)나 MF보다 시료 [2-5]를 제외한 모든 처리에서 초장이 길었으며, 생체중은 시료 [2-2], [2-3], [2-6] 및 [2-7]에서, 건물중은 시료 [2-3], [2-6] 및 [2-7]에서 무거웠다.
- 2) 종자 파종 35일 후의 토양분석 결과 pH 및 EC는 대조구나 MF와 유사하였고, 미량원소의 농도는 대조구 보다 높은 농도로 분석 되었다.
- 3) 식물체 분석결과 미량원소의 식물체내 함량은 개발된 미량원소복합제를 혼합한 처리들에서 높은 농도로 분석되었다. 그러나 시료 [2-1] 및 [2-2]의 경우 붕소의 농도가 너무 높아 생육 저하의 원인이 되었다고 판단 되었다.
- 4) $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ 의 시비비율이 종자파종 35일 후의 작물생육에 미치는 영향에서 +대조구(MF)에서는 0:100, [2-1]은 25:75, [2-11]은 50:50, 그리고 [2-12]에서는 25:75의 시비비율에서 생육이 가장 우수하였다.

- 5) $\text{NH}_4 : \text{NO}_3$ 의 시비비율에 따른 식물체 내 무기원소 함량 변화에서 N, P 및 Ca 함량은 NH_4 비율이 높아질수록 증가하는 경향이었고, K은 뚜렷하게 감소하였다.
- 6) NH_4 의 시비비율이 높아짐에 따라 모든 미량원소복합제에서 토양 pH가 저하하였고, EC는 처리간 차이가 없었으며 NH_4 -N 농도가 증가하였다.
- 7) 피토모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에서 고토석회의 시비량에 의한 작물생육에서 [2-1]은 고토석회 무처리구, [2-11]은 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리, [2-12]와 MF가 혼합된 경우에는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생육이 우수하였다.
- 8) 피토모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 네 종류 미량원소복합제를 혼합한 경우, 고토석회의 혼합비율이 높아짐에 따라 생육이 저조하였는데 그 정도는 [2-12]가 혼합된 경우 가장 뚜렷하였다.
- 9) 피토모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에 미량원소복합제 [2-1]과 [2-12]를 혼합한 경우 고토석회 3.0 과 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생육이 우수하였으나, [2-11]와 MF를 시비한 경우 고토석회의 시비량이 높아질 경우 생육이 우수한 경향을 보였다.
- 10) 피토모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에서 용과린의 시비량을 증가시킬 경우 네 종류 미량원소복합제 모두 초장, 초폭, 관부직경, 생체중 및 건물중이 증가하였다.
- 11) 피토모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 용과린의 시비량을 증가시킨 경우 [2-1]에서는 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, [2-11]에서는 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, [2-12]는 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 그리고 MF에서는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생체중과 건물중이 가장 무거웠다.
- 12) 미량원소 복합제를 포함한 피토모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에서 용과린의 시비량을 증가시킬 경우 생체중 및 건물중이 증가하였고, 대부분의 생육지표에서 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷하였다.

라. 개발된 미량원소복합제가 분화재배시 작물생육에 미치는 영향

- 1) 미량원소복합제를 기비로 시비한 경우 $0.2\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 시비구에서 생육이 가장

우수하여 생체중과 건물중이 무거웠으며 $4.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상으로 시비량이 증가할 경우 생육이 저조하였다.

- 2) 미량원소복합제를 $2.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비할 경우 [2-11]에서는 건물중이 1.7g, 2-12에서는 1.56g 그리고 [2-1]에서는 1.7g으로 조사되었는데 [2-11]과 [2-1]은 +대조구보다 무거웠고, [2-12]는 가벼웠다.
- 3) 네 종류 미량원소복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 시비하고, 고토석회의 시비량을 변화시킨 경우 고토석회 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생체중과 건물중이 가장 무거워 생육이 우수함을 알 수 있었다.
- 4) 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상태에 네종류 미량 원소 복합제를 기비로 혼합하고 용과린의 시비량을 높일 경우 생체중 및 건물중이 뚜렷하게 증가하여 용과린 시비수준간 통계적인 차이와 함께 직선 및 2차 곡선회귀도 성립하여 경향을 찾을 수 있었다.
- 5) 피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상태에서 미량원소복합제 [2-1]이 혼합된 경우 고토석회 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 및 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 처리에서, [2-11]가 혼합된 경우 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서, 그리고 [2-12]가 혼합된 경우 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생육이 우수하였다.
- 6) 세종류 혼합상태에 미량원소복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 시비하고 용과린의 처리 수준을 높일 경우 생육이 우수해지는 경향이였다. 그러나 대부분의 생육지표에서 용과린의 처리수준에 따른 처리간 차이가 뚜렷하지 않았고, 직선 및 2차 곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다.

마. 농가실증시험 및 경제성 분석

- 1) 고추의 플러그육묘 결과 파종 34일 후의 생육은 [2-11]에서 가장 우수하였고, [2-1], [2-12] 및 MF의 세 종류 미량원소복합제 간에는 차이가 인정되지 않았다.
- 2) 토마토의 플러그 육묘결과 파종 35일 후의 생육은 [2-11]에서 우수하였지만 [2-1], [2-12] 및 MF와 생체중 및 건물중에서 통계적인 차이가 인정되

지 않았다.

- 3) 미량원소복합제의 1kg당 가격 또는 생산비는 MF 비료에서 3,400원, Micromate에서 4,000원, [2-11]에서 1,653원, [2-1]에서 1,738원 그리고 [2-12]에서 1,519원으로 분석되었다.
- 4) 50공 트레이를 사용하여 고추를 플러그 육묘할 경우 10a당 미량원소복합제 구입비용은 MF 비료 528,760원, Micromate 622,080원, [2-11]에서 269,570원, [2-1] 259,200원 그리고 [2-12]에서 238,460원으로 분석되었다.

2. 활용에 대한 건의

- 가. 최근에도 분화나 플러그 생산시 노지토양을 혼합하여 상토를 조제하는 농가가 있어 상토의 균일성을 확립하지 못하고 있다. 결과적으로 작물생육이 일정하지 않아 농가의 소득감소로 연결되고 있는 바 이와 관련된 지도가 요구된다.
- 나. 혼합상토 조제시 포함되는 유·무기물질의 토양 물리·화학적 특성에 관해 생산농가의 이해가 부족하므로 이에 대한 지도가 필요하다.
- 다. 개발된 미량원소복합제를 분화와 플러그 생산농가에 보급하여 반드시 활용하도록 홍보와 지도가 필요하다.
- 라. 각종 혼합상토의 특성 및 미량원소복합제의 처리 수준에 대한 농가의 이해가 부족한 현실이므로 이에 대한 교육 및 지도가 필요하다.
- 마. 유·무기물질을 혼합한 상토를 이용하여 작물을 재배할 경우 각각 다른 시비 프로그램을 적용해야 하는데, 농가의 이해가 부족한 현실이므로 이에 대한 교육 및 지도가 필요하다.
- 바. 개발된 미량원소복합제의 제품화는 국내 시장의 불확실성으로 제품화가 쉽지 않을 것 같으므로 정부의 적극적 지원을 건의한다.

SUMMARY

Micronutrient fertilizer is necessary to establish pre-planting fertilization system in plug and pot plant culture. The objective of this research was to develop micronutrient fertilizer, then to determine nutrient contents and elution characteristics of micronutrient fertilizers. Elution characteristics in various root media and effect of micronutrient fertilizer on plant growth, nutrient uptake and changes in soil nutrient concentrations were also investigated.

1. Development of micronutrients

The micronutrients such as Fe, Mo, Mn, Cu, Zn, and B are essential to plant growth and plants need very small amount of those minerals. The objective of this research was to develop granular micronutrient fertilizers which contain six micronutrients. The micronutrient fertilizers were produced by the waste glass frit in order to save the materials and energy.

The pore was developed by the addition of CaCO_3 to increase the surface area which is contacted with water. The Mn ions are controlled by the MnSO_4 and Fe ions are controlled by the Fe_2O_3 . The amounts of B was controlled by the addition of $\text{Na}_2\text{B}_5\text{O}_7$ and the Mo was controlled by the MoO_3 .

All the samples are mixed and grinded with mortar and pestle. The mixed powder are pored into alumina crucibles and heat treated at 950°C for 2 hours. The amorphous powder are grinded to be used as micronutrient fertilizers with suitable size.

The samples were tested with water and chelation condition. The final results indicated that (1) Pores in micronutrients are formed by the addition of CaCO_3 , (2) The optimal chemical compositions are $\text{Na}_2\text{B}_5\text{O}_7$ 10%, CuO 5%, Fe_2O_3 35%, MnSO_4 15%, MoO_3 0.2% , ZnO 5%, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 20% , SiO_2 5%, CaCO_3 5%.

2. Nutrient contents and elution characteristics of slow-release micronutrient fertilizers

The nutrient concentrations and elution characteristics of micronutrient fertilizers in peatmoss+vermiculite (1:1, v/v) media were determined with +control (Micronutrient fertilizer, Frit Industry, MF). Sample [2-10] and [2-11] had higher water soluble Fe and Mn concentrations and sample [2-12] had higher chelate extractable Fe concentrations than other samples tested. The Fe concentration of [2-12] was 5 times as high as MF. Micronutrient fertilizer developed in this research had higher acid soluble and lower water soluble Mn concentrations than MF. Chelate extractable Zn concentrations of all samples were lower than that of MF and all samples had Zn concentrations lower than $2000\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Acid soluble and water soluble boron concentrations of all samples developed in this research were higher than those of MF.

Plastic columns with a 2.54cm of internal diameter were used to determine the elution characteristics. In elution characteristics, Fe was not analysed in week 1 and started to elute after week 2. Sample [2-12] showed the highest Fe concentration in column leachate. Sample [2-10] released Mn and Zn in week 1 with the highest concentration and MF released in weeks of 1 and 6 with the highest concentrations. Sample [2-10] and MF released boron in week 1, 2, and 3 and other samples released in week 2. But all treatments did not released boron after week 5.

The elution characteristics of micronutrient fertilizers in 3 kinds of root media such as peatmoss+rice hull (PR), peatmoss+saw dust (PS), peatmoss+pine bark (PB) were also determined. Concentrations of micronutrients in leachate were high until week 2, then decreased in PR media. Concentrations of Cu after week 2 and that of B after week 4 were

sharply decreased and maintained very low concentrations. Elution characteristics in PB media were different to that in PR media. Concentrations of P_2O_5 in leachate were high until week 3, and it rose again in week 5 after sharply decrease in week 4. Concentrations of Fe and Mn were higher in PB media than in PR media, but that of Cu were not different between PB and PR media. Concentrations of micronutrients in leachate of PS media were the lowest among three media tested and that of Fe were maintained lower than $500\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Concentrations of Mn were lower than $100\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ after week 2 and no Mn were released after week 6. Zn concentrations until week 2 and after week 7 were higher than those of PB and PR media. But trends of boron concentrations were not different among three root media tested.

3. Effect of incorporation of micronutrient mixes on growth of and nutrient uptake by marigold in plug system.

Effect of seven micronutrient mixes on growth and nutrient uptake of marigold 'Orange Boy' were investigated. In crop growth at 35 days after sowing, the micronutrient mixes developed in this research except [2-5] were more effective in plant height than -control or MF. Fresh weight in [2-2], [2-3] and [2-4] and dry weight in [2-3], [2-6] and [2-7] were heavier than those of -control or +control.

Soil solution pHs and ECs at 35 days after sowing were not different among treatments tested including -control and +control (MF). But concentration of micronutrients in root media containing each of 7 micronutrient mixes developed in this research were higher than those of -control. Boron concentrations in root media containing sample 1 and 4 were higher than other treatments which resulted in an adverse effect on crop

growth. Plant growth in root media containing micronutrient mixes developed in this research except sample [2-5] were higher than those of -control and MF. Fresh weights in root media containing sample [2-2], [2-3], [2-6] and [2-7] and Dry weight in root media sample [2-3], [2-6] and [2-7] at 35 days after sowing were higher than those of other treatments tested. Tissue nitrogen contents were not significant differences among treatments. Tissue content of micronutrients in treatment containing each of micronutrient mixes developed in this research were higher than those of -control and MF. But tissue boron contents grown in root media containing sample [2-1] and [2-2] were extremely high resulting in depressed crop growth.

In determination of the effect of $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ ratio in fertilizer solution on crop growth of marigold in plug culture, optimum ratio in +control, [2-1], [2-11], and [2-12] were 0:100, 25:75, 50:50 and 25:75, respectively, resulting in the highest growth among treatments tested. Elevated NH_4 ratio in fertilizer solution resulted in increased tissue N, P and Ca contents and decreased K contents. That also decrease the soil solution pH and NH_4 concentrations.

Optimum application rate of dolomite to PB media containing [2-1], [2-11], [2-12] and MF were 0.0, 3.0, 6.0 and $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. But elevation in application rate of dolomite to PR media containing each of the micronutrient fertilizers tested decreased crop growth of marigold. Optimum application rate of dolomite to PS media containing [2-1] or [2-12] were $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, but those in [2-11] and MF were $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Elevated application rate of fused superphosphate (FUSP) to PS media containing each of micronutrient fertilizers increased crop growth such as plant height, plant width, crown diameter, fresh weight, and dry weight. However, optimum application rate of FUSP to PR media containing each of [2-1], [2-11], [2-12] and MF were 9.0, 3.0, 9.0, and $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively,

resulting in the highest fresh and dry weight. Elevated application rate of FUSP to PB media containing each of micronutrient mixes increased crop growth such as fresh and dry weight. Trends in response to elevated application rate of FUSP were linear and quadratic in most of growth parameter.

4. Effect of incorporation of micronutrient mixes on growth of pot-mum.

Optimum application rate of four micronutrient mixes were $2.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ with the heaviest fresh and dry weight. Over than $4.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ in application rate of micronutrient mixes suppressed crop growth. At the application rate of $2.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, dry weight of [2-11], [2-12], and [2-1] were 1.7, 1.56 and 1.70g per plant, respectively.

Application rate of dolomite to secure the highest crop growth in PV media containing each of 4 micronutrient mixes were $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ resulting in the highest fresh and dry weight among treatments tested. Elevated application rate of FUSP to PV media containing each of 4 micronutrient mixes increased crop growth. The trends in response of crop growth to elevated application rate were linear and quadratic.

Optimum application rate of dolomite to PB media containing each of [2-1], [2-11], and [2-12] were 3.0, 3.0 and $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. Elevated application rate of FUSP to three root media containing each of micronutrient mixes produced in this research resulted in increased crop growth. But statistical differences were not observed among treatments of FUSP application rate. Trends in response of pot-mum to elevated application rate of FUSP were also not observed.

5. Practical application of research results and economic analysis of micronutrients

Plant growth of hot pepper seedlings at 35 days after sowing was the highest in [2-11], but those were not differences among treatments of [2-11], [2-12] and MF. The growth of tomato plug seedlings were the highest in the treatment of [2-1], but statistical differences were not observed among treatments of [2-11], [2-1], [2-12] and MF. The price of MF and Micromate based on 1 kg were 3,400 and 4,000won, respectively. The production cost of [2-11], [2-1] and [2-12] were 1,653, 1,738, and 1,519won, respectively. The amount of money to purchase the micronutrient fertilizers per 10a per year in MF, Micromate, [2-11], [2-1], and [2-12] were 528,760, 622,080, 269,570, and 238,460won, respectively.

CONTENTS

Chapter I .	Introduction.....	23
Section 1.	Necessities of research.....	23
Section 2.	Objectives and contents of.....	24
Chapter II.	Technical development inside and outside of country.....	26
Section 1.	Internal development of technology.....	26
Section 2.	Foreign development of technology.....	28
Chapter III.	Contents and results of research.....	29
Section 1.	Development of micronutrient fertilizer.....	29
Section 2.	Analysis in nutrient content of micronutrient fertilizers.....	37
Section 3.	Analysis in elution characteristics of micronutrient fertilizers.....	47
Section 4.	Elution characteristics of micronutrient fertilizers as affected by medium composition.....	57
Section 5.	Analysis of Al and Si.....	76
Section 6.	Effect of micronutrient fertilizers on growth of plug seedlings.....	78
Section 7.	Effect of $\text{NH}_4\text{:NO}_3$ ratio in fertilizer solution and micronutrient fertilizers on growth of plug seedling.....	88

Section 8.	Effect of application rate of dolomite and micronutrient fertilizers on growth of plug seedlings.....	115
Section 9.	Effect of application rate of fused superphosphate and micronutrient fertilizers on growth of plug seedlings.....	127
Section 10.	Determination of application rate of micronutrient fertilizers in pot-mum production.....	142
Section 11.	Effect of application rate of dolomite to peatmoss+vermiculite media containing micronutrient fertilizers on growth of pot-mum.....	146
Section 12.	Effect of application rate of fused superphosphate to peatmoss+vermiculite media containing micronutrient fertilizers on growth of pot-mum.....	152
Section 13.	Effect of application rate of dolomite to various media containing micronutrient fertilizers on growth of pot-mum.....	157
Section 14.	Effect of application rate of fused superphosphate to various media containing micronutrient fertilizers on growth of pot-mum.....	167
Section 15.	Practical application of research results and economic analysis of micronutrients.....	176
Chapter V.	Accomplishment of research object and contribution of results to related research area.....	188
Chapter VI.	Plan in practical application of research results.....	190
Chapter VII.	Technical information obtained during the development of micronutrient fertilizers.....	191
Chapter VIII.	Literature cited.....	192

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요.....	23
제1절	연구개발의 필요성.....	23
제2절	연구개발의 목적과 내용.....	24
제 2 장	국내외 기술개발 현황	26
제1절	국내 기술현황.....	26
제2절	국외 기술현황.....	28
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과.....	29
제1절	미량원소복합제의 개발.....	29
1.	재료 및 방법	29
2.	결과 및 고찰	32
3.	적요	35
제2절	개발된 미량원소복합제의 성분함량 분석.....	37
1.	재료 및 방법	39
2.	결과 및 고찰	39
3.	적요.....	46
제3절	개발된 미량원소복합제의 용출특성 분석.....	47
1.	재료 및 방법.....	47
2.	결과 및 고찰.....	49
3.	적요.....	55

제4절	상토에 따른 미량원소복합제의 용출 특성.....	57
	1. 재료 및 방법	57
	2. 결과 및 고찰	57
	3. 적요	74
제5절	생장 저해물질의 분석.....	76
	1. 재료 및 방법.....	76
	2. 결과 및 고찰.....	76
	3. 적요.....	77
제6절	개발된 미량원소복합제가 플러그 재배시 작물생육에 미치는 영향.....	78
	1. 재료 및 방법.....	78
	2. 결과 및 고찰.....	79
	3. 적요.....	87
제7절	개발된 미량원소복합제를 이용한 플러그재배시 NH ₄ :NO ₃ 시비 비율이 생육에 미치는 영향.....	88
	1. 재료 및 방법.....	88
	2. 결과 및 고찰.....	89
	3. 적요.....	114
제8절	플러그재배시 미량원소복합제가 혼합된 각종 상토에서 고토석회의 처리수준이 생육에 미치는 영향.....	115
	1. 재료 및 방법.....	115
	2. 결과 및 고찰.....	116

	3. 적요.....	126
제9절	플러그재배시 미량원소복합제가 혼합된 각종 상토에서 용과린의 처리수준이 생육에 미치는 영향.....	127
	1. 재료 및 방법.....	127
	2. 결과 및 고찰.....	128
	3. 적요.....	141
제10절	분화재배 실험을 통한 미량원소복합제의 적정 처리량 구명.....	142
	1. 재료 및 방법.....	142
	2. 결과 및 고찰.....	143
	3. 적요.....	146
제11절	미량원소복합제가 포함된 피트모쓰+버미큘라이트 상토 에서 국화분화 재배시 고도석회의 처리수준이 생육에 미치는 영향.....	146
	1. 재료 및 방법.....	146
	2. 결과 및 고찰.....	147
	3. 적요.....	152
제12절	미량원소복합제가 포함된 피트모쓰+버미큘라이트 상토 에서 국화분화 재배시 용과린의 처리수준이 생육에 미 치는 영향.....	152
	1. 재료 및 방법.....	152
	2. 결과 및 고찰.....	153
	3. 적요.....	157

제13절	미량원소복합제가 포함된 각종 혼합 상토에서 국화분화 재배시 고토석회의 처리수준이 생육에 미치는 영향.....	157
	1. 재료 및 방법.....	157
	2. 결과 및 고찰.....	158
	3. 적요.....	166
제14절	미량원소복합제가 포함된 각종 혼합 상토에서 국화분화 재배시 용과린의 처리수준이 생육에 미치는 영향.....	167
	1. 재료 및 방법.....	167
	2. 결과 및 고찰.....	168
	3. 적요.....	175
제15절	농가실증시험 및 경제성 분석.....	176
	1. 재료 및 방법.....	176
	2. 결과 및 고찰.....	176
	3. 적요.....	187
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도.....	188
제 5 장	연구개발결과의 활용계획.....	190
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보.....	191
제 7 장	참고문헌.....	192

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

분화나 플러그 재배는 적절한 상토의 선정 및 시비방법의 적용에 의해 작물 생육이 절대적으로 좌우된다. 상토는 2~3가지 재료를 적절한 비율로 혼합하여 토양 물리·화학성을 조절하며, 물리·화학적으로 균일성을 갖는 상토 구성 재료를 지속적으로 이용하여 혼합상토의 균일성을 유지하고 있다. 혼합상토 조제에 이용되는 무기물질 중 질석은 칼륨, 칼슘 및 마그네슘 함량이 비교적 높으나 미량원소 함량이 매우 낮거나 없으며, 펄라이트는 다량 및 미량원소를 거의 보유하지 못하고 있다. 유기물질중 피트모쓰나 코이어는 질소함량이 1% 미만이고, 식물생육에 필요한 대부분의 필수원소를 보유하지 못하거나 보유한다 해도 농도가 매우 낮다. 따라서 유기 및 무기물질을 혼합하여 조제된 상토를 이용하여 플러그나 분화재배를 할 경우 모든 필수 다량 및 미량원소를 적절한 농도로 공급해 주어야만 작물생육이 가능하다.

플러그나 분화재배시 시비는 관비방법(fertigation) 또는 기비방법을 적용하고 있는데, 기비방법의 경우 식물생육에 필요한 모든 필수원소를 공급해주고 관수만 하던지 또는 N, P, K를 제외한 모든 필수원소를 기비로 공급해 주고 N, P, K는 작물 생육에 따라 시비시기 및 농도를 조절하고 있다. 그러나 국내에서는 상토생산 회사나 일반 재배농가에서 기비방법을 적용하지 못하고 있으며 기비방법에 대한 개념조차 파악하지 못하고 있어 대부분 관비방법으로 작물을 재배하고 있다.

분화나 플러그 재배에 이용되는 관비방법은 Hoagland 용액을 변형시켜 N 기준으로 플러그 재배시 $50\sim 100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 분화재배시 $150\sim 200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 매 관수시 시비하거나 3배정도 농도를 증가시켜 주 1회 관비한다. 대부분의 재배농가에서는 관비시 용기내의 상토를 포화시킬 수 있는 양보다 40~50%를 과다 관수하고 있으며, 화분이나 플러그트레이 밖으로 흘러내린 잉여의 비료용액이 시설물 내의 토양으로 스며든다. 관비방법을 적용할 경우 매 관수시 비료를 용해시켜야 하며 stock solution을 이용한다 해도 비료를 자주 용해시켜야 하므로 작물생산에 필요한 노동력이 증가한다. 또 비료를 자주 공급해야 하므로 비

료용액 저장 탱크로부터 비료용액 공급배관을 통해 용액을 공급하기 위한 에너지 요구량이 많아지고, 화분이나 플러그트레이 밖으로 흘러내린 잉여의 용액속에 많은 비료가 포함되어 있어 물과 비료의 소비량이 증가한다.

이상과 같은 관비방법에서의 단점을 보완하기 위해 기비방법을 적용할 수 있으며, 기비방법은 식물생육에 필요한 필수원소 중 일부 또는 전부를 상토조제 과정에서 혼합한 후 종자를 파종하거나 식물을 이식하며 이후는 관수만 한다. 따라서 노동력 감소, 에너지 손실량 감소, 물과 비료의 요구량 감소 및 토양 오염의 감소효과를 얻을 수 있다. 미국에서 이용하고 있는 기비방법에서는 6종류의 미량원소(Fe, Mn, Cu, Zn, Mo 및 B) 를 포함한 미량원소복합제를 적절한 비율로 혼합상토 조제시 첨가하여 작물의 수확때 까지 비효를 유지하고 있다.

그러나 국내에는 생산되는 미량원소복합제가 없어 혼합상토를 이용한 작물 재배에서 기비방법 확립의 걸림돌이 되고 있다. 국산 미량원소복합제가 개발될 경우 국내에서 생산되는 각종 혼합상토에 포함되므로써 혼합상토 가격을 낮출 수 있으며, 혼합상토에 포함되어 수입되는 각종 미량원소복합제를 대체할 수 있을 것이므로 혼합상토의 가격을 하향 안정화 시킬 수 있을 것이다. 따라서 관련연구가 반드시 수행되어 독자적인 미량원소복합제가 개발되어야 할 것이다.

제 2 절 연구개발의 목적과 내용

위와 같은 연구개발의 필요성에 따라 다음과 같이 포트 및 플러그 재배시 기비방법 확립에 필요한 미량원소복합제를 개발하고, 미량원소복합제를 이용한 혼합상토의 기비방법을 확립하고자 하였으며 구체적인 내용은 다음과 같았다.

1. 미량원소복합제의 개발

- 가. 발포제의 종류 및 처리량을 달리하여 미량원소복합제 개발
- 나. 용출속도 조절물질의 종류 및 처리량을 달리하여 미량원소복합제 개발
- 다. 미량원소의 성분함량 조절에 의한 미량원소복합제의 개발

2. 개발된 미량원소복합제의 성분함량 및 용출특성 분석

- 가. 성분함량 분석
 - 나. 용출특성 분석
 - 다. 생장저해 물질 함유여부 분석
 - 라. 상토의 종류에 따른 미량원소복합제의 용출특성 분석
3. 플러그 재배를 통한 미량원소복합제의 적정 처리량 구명
- 가. 미량원소복합제의 적정처리량 구명
 - 나. N과 K의 처리방법 및 처리농도에 따른 미량원소 복합제의 식물 이용도 조사 및 분석
 - 다. 상토의 종류에 따른 기비 및 추비방법 확립
4. 분화재배 실험을 통한 미량원소복합제의 적정처리량 구명
- 가. 미량원소복합제의 적정처리량 구명
 - 나. 미량원소복합제와 석회질 비료가 작물생육에 미치는 영향 구명
 - 다. 미량원소복합제와 인산질 비료가 작물생육에 미치는 영향 구명
 - 라. 상토의 종류에 따른 기비방법 확립
5. 농가 실증시험 및 경제성 분석

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술현황

1. 상토생산 회사에서 미량원소복합제의 첨가

국내의 상토생산 회사(바이오메디아, 흥농종묘 상토연구소, 서울농자재 등)에서는 미량원소복합제를 첨가해야 할 필요성을 인식하고 있다. 그러나 미량원소를 상토생산시 첨가하는 방법은 6종류 미량원소의 농도를 조절하여 상토에 관수한 후 다시 건조시키고 포장하여 수송하고 있다.

비분을 포함한 상토를 완전히 건조시키기 위하여는 에너지 소비량이 증가하며 결과적으로 상토 비용이 증가하는 문제점을 갖는다. 상토 건조에 요구되는 에너지 소비량을 감소시키기 위하여 일부 회사에서는 완전히 건조되지 않은 상토를 포장하여 판매하고 있으나 상토가 무거워 수송비용의 증가를 초래한다. 또한 완전히 건조되지 않은 상토를 포장하기 때문에 국내에 수입되는 피트모스와 같이 1/2 압축포장 또는 코이어의 1/4 압축포장과 같이 압축포장이 불가능하며, 결과적으로 부피가 증가하여 수송비의 증가를 초래한다. 만약 입상형의 미량원소복합제를 건조시킨 상토에 포함시키고 압축시켜 포장할 수 있다면 상기한 문제점들을 극복할 수 있을 것이다.

2. 기비방법에 의한 시비

상토는 노지토양보다 양이온치환용량 및 완충력이 낮고 무기원소의 과부족이 쉽게 나타난다. 또한 대부분의 상토들은 보수성이 낮으며 보수성이 낮을 경우 무기원소의 식물이용도도 달라지기 때문에 보수성을 고려한 시비방법이 이루어져야 한다. 무기원소의 식물이용도는 상토의 pH에 따라서도 변화된다. 상토의 pH가 약 알칼리성으로 변할 경우 철, 망간, 구리, 아연 및 붕소의 심각한 결핍증상이 발생될 수 있어 미량원소복합제를 개발한다 하여도 석회질 비료와의 상관관계가 밝혀져야 한다. 작물 및 재배방법에 따라서도 시비방법이 변하여야 한다. 작물의 종류에 따라 생육기간 및 지상부 건물중 생산량이 다르며 필요로 하는 무기원소의 절대량도 달라지기 때문에 이와 관련된 연구가 수행되어야 한다.

그러나 국내의 관련 연구기관에서는 혼합상토의 기비로 혼합되는 석회질 비료가 미량원소의 식물 이용도에 미치는 영향에 관해 전혀 연구를 수행하지 않았으며, 보수성이 다른 각각의 혼합상토에서의 미량원소의 식물 이용도에 관한 연구가 수행되지 않아 농가에 제시할 자료가 없고 시행착오의 원인이 되고 있다. 특히 국내에서 사용하는 혼합상토 구성재료들이 외국과 다르며 혼합상토 조제 후의 물리·화학적 특성이 외국에서 이용하는 혼합상토와 다름에도 불구하고 관련 연구결과가 충분하지 못한 상황이다.

3. 상토조제시 기비시스템의 필요성 및 국산 비료의 도입가능성

앞에서도 설명한 바와 같이 인공상토는 아주 적은 양의 무기원소를 보유하기 때문에 모든 필수 다량 및 미량원소를 시비해야 한다. 그러나 시비는 12가지 필수원소를 상토의 특성, 재배 용기적인 특징, 또는 재배목적에 맞게 조절하여야 한다. 일반적으로 플러그재배에서는 N, P 및 K를 제외한 무기원소는 기비로 N, P, 및 K는 생육상황에 따라 관비방법을 적용하고 있다. 분화재배는 12가지 필수원소를 모두 기비로 혼합하는 것이 가능하나 상토가 완전히 건조된 상태로 포장되고 운반될때만 가능하다.

그러나 기비방법 확립에는 최대한 국산비료의 혼합비율을 높여야 외산비료의 수입량을 절감할 수 있다. 외산비료와 국산비료의 비료성분 조성과 이들의 화학 평형작용에 의한 무기원소의 식물 이용도가 다른점을 고려할 때 관련 연구결과가 도출되어야 이를 기초로 기비방법이 확립될 수 있으나 혼합상토에서의 연구결과가 본 연구팀에서 수행한 내용으로 제한되어 있으며 국내의 다른 연구팀에서의 연구결과는 전무한 상황이다.

4. 현 기술상태의 취약성

국내의 상토 관련 연구 또는 기술개발이 기초 학문쪽에 치우쳐 농민들이 실제로 이용하기에는 매우 미흡한 상황이며, 기술개발이 매우 단편적이고 일률적이지 못하여 실제 적용이 어렵다. 또한 본 연구분야의 국제 학술심포지움(symposium)이나 학술회의에 참석한 국내학자가 없어 미량원소복합제 및 기비방법 확립에 관한 이론이 정립되지 않았다. 재배농가에서도 기비방법의 도입을 통해 인건비, 에너지 소요비용 등을 감소시킬 수 있으나 기비방법의 개념조차 파악하지 못하고 있는 현실이다.

따라서 상토의 특성과 관련된 기비시스템(pre-planting fertilization)이 확립되지 못하고, 기비시스템이 확립되지 않아 적절한 추비 방법을 강구하지 못하며, 시비체계의 일관성 부족으로 인해 매 작물 재배시 작황이 다른 원인이 되고 있다.

제 2 절 국외 기술현황

미국이나 유럽의 여러 회사들에서 혼합상토의 기비방법 확립을 위해 미량원소복합제를 개발한 후 시판하고 있으며 유형별로 판단할 경우 다음과 같다.

1. 미량원소복합제의 개발시 점토입자(clay particle)의 양이온치환용량을 이용하여 미량원소복합제를 생산하는 경우(Esmigran).
2. Fritted glass를 이용하여 미량원소복합제를 개발하기 위한 시도가 있었으며 비료의 성분함량을 달리하여 시판되고 있음(FTE-555).
3. 킬레이트 화합물을 이용한 미량원소복합제가 개발되어 시판되고 있음(Perk).

상기한 유형의 미량원소복합제 들이 개발되어 시판되고 있음에도 불구하고, 미량원소복합제의 조제방법에 관해서는 보고된 내용이 많지 않으며, 관련 연구들은 대부분 미량원소복합제의 이용에 관한 내용들이다.

미국에서 Fonteno, Nelson, Hammer, Hannan 등 많은 학자들에 의해 상토의 물리·화학적 개선 및 식물생육을 증가시키기 위해 기초 연구가 다수 수행되었고, 유럽에서도 Bunt, Carlile, Hidding, Lemarie, Verdork 등이 상토의 물리·화학적 개선을 위해 연구하였다. 이들은 대부분 미량원소의 식물흡수에서 pH 변화를 일으키는 고토석회 비료와 미량원소복합제의 상관관계, $\text{NH}_4\text{:NO}_3$ 의 비율과 미량원소의 식물흡수량 변화 등에 관해 보고하였으며, pH 변화가 미량원소의 식물 이용도에 많은 영향을 미침을 보고하였다. 따라서 본 연구에서 개발되는 미량원소복합제의 식물 이용도를 판단하기 위해서는 관련연구가 수행되어야 한다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 미량원소복합제의 개발

1. 재료 및 방법

가. 발포제의 종류 및 처리량을 달리하여 미량원소 복합제 개발

1차년도에 45점의 미량원소복합제를 조제하였으나 제 2 세부과제에서 분석한 결과 식물재배에 이용하기에는 적합하지 않다고 판단하였다. 다만 발포제로써 사용한 CaCO_3 는 매우 안정하고 또한 미량원소 복합제에 가장 적당한 시약으로 생각되기 때문에 2차년도에서는 발포제를 CaCO_3 그대로 사용하였다. 이때 투입되는 CaCO_3 의 양에 의하여 pore size에 영향을 미치는 것으로 판단하고 여러 종류의 시료를 만들어 실험하였다(시료 [2-12] 참조). 이밖에도 SO_2 가스의 분출을 사용하여 미세한 기공 크기를 만들려는 시도를 실시하였다. 이때 사용한 시약은 MnSO_4 이다. 이는 MnO , MnO_2 가 불용성을 보이는 반면 $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 또는 Mn oxysulfate는 수용성이기 때문이기도 하다.

나. 용출 속도 조절 물질의 종류 및 처리량을 달리하여 미량원소복합제 개발

용출 속도 조절을 위하여 다음과 같은 여러 종류의 시료를 제작 하였다.

<표 1> 미량원소 복합제의 기본 조성 (시료 [2-1]~[2-6]).

조성 wt%	$\text{Na}_2\text{B}_5\text{O}_7$	CuO	Fe_2O_3	MnSO_4	MoO_3	ZnO	P_2O_5	SiO_2
시료 2-1	15.7	4.1	41.7	7.2	0.1	6.1	20.6	5.0
시료 2-2	15.7	4.1	31.7	7.2	0.1	11.1	20.6	10.0
시료 2-3	15.7	4.1	31.7	12.2	0.1	11.1	20.6	5.0
시료 2-4	15.7	4.1	31.7	12.2	0.1	11.1	15.6	10.0
시료 2-5	10.7	4.1	31.7	12.2	0.1	11.1	20.6	10.0
시료 2-6	15.7	4.1	31.7	12.2	0.1	6.1	20.6	15

불용성인 MnO_2 대신에 수용성인 $MnSO_4$ 를 사용하였고, Fe 이온의 함량을 증가시키기 위하여 시료 [2-1]에서는 10% 증가 시켰다. 시료 [2-3]에서는 Mn의 함량을 증가 시키고 대신 SiO_2 의 함량을 감소시키는 조성을 선택하였다. SiO_2 의 첨가량을 시료 [2-6]에서는 3배로 증가 시키는 실험을 수행 하였다.

<표 1> 과 같은 화학 조성으로 혼합 하였고, 혼합 후 5분 정도가 지나면 P_2O_5 에 의한 급격한 발열 반응과 함께, 점도가 높아진 혼합체가 되었다. 이러한 화학 조성의 혼합체를 mullite 도가니에 넣고 공기 중에서 $1000^\circ C$ 로 가열한 후 2시간 유지시키고 로냉하였다. 상온까지 냉각된 시료는 유발과 유봉을 이용하여 미세하게 간 다음 (150 mesh) 미량원소 용출 시험을 하였다. 이때 가끔은 식물 생육시험에서 미세한 분말이 필요하지 않고 덩어리진 분말 상태로 사용됨으로, 분말의 분쇄를 조약하게 하는 경우도 있었다. 그러나 이때 입자의 최대 크기는 약 1mm 이하로 하였다.

다. 미량원소의 성분 함량 조절에 의한 미량원소 복합제의 개발

한편 미량 원소 복합제의 성분 함량 및 조건을 달리한 실험을 다음 <표 2>와 같이 실시하였다.

<표 2> 미량원소 복합제의 기본 조성 (시료 [2-7]~[2-12]).

조성 wt%	$Na_2B_5O_7$	CuO	Fe_2O_3	$MnSO_4$	MoO_3	ZnO	$Ca_3(PO_4)_2$	SiO_2	$CaCO_3$
시료 2-7	20	2	30	10	0.2	5	20	5	5
시료 2-8	20	5	30	10	0.2	5	25	0	5
시료 2-9	10	5	35	15	0.2	5	20	5	5
시료 2-10	10	5	35	15	0.2	5	15	10	5
시료 2-11	10	5	35	15(MnO_2)	0.2	5	20	5	5
시료 2-12	10	5	35	15	0.2	5	5	5	20

지금까지의 실험에서는 P_2O_5 를 인의 주요 조성으로 사용하였으나, P_2O_5 의 혼합 시 나타나는 발열반응 때문에 $Ca_3(PO_4)_2$ 의 화학 조성으로 대체하였다. 모든 화학 조성은 100g 무게로 만들어 졌으며, 알루미나 도가니에서 용해하였다. 열처리하는 공기 중 열처리로에서 $950^{\circ}C$ 로 2시간하였고, 냉각은 상온 까지 로냉 하였다. 한편 $950^{\circ}C$ 까지의 승온 속도는 상온에서 3시간 만에 오르도록 하였다. 열처리하기 전 모든 시료는 기계적 혼합을 위하여 지르코니아 볼을 이용하여 Ball milling 하였다. 이때 혼화제로 알콜을 넣었으며, 전체적으로 볼 밀의 약 60%를 채우고 ball milling 하였다.

시료 [2-8]은 SiO_2 의 함량이 미치는 영향을 보기 위하여 SiO_2 를 전혀 첨가 하지 않았으며, 지금까지는 SiO_2 을 첨가하기 때문에 Mn, B 등의 미량원소가 잘 용출 되지 않을 것으로 생각 되었다. 2-8 시료에서는 열처리 온도를 $1000^{\circ}C$ 에서 2시간 하였다.

한편 Fe, Mn의 함량을 높인 조성의 시료를 [2-9]와 같이 만들었다. [2-9] 시료도 [2-8] 시료와 같은 조건에서 만들어 졌으며, $1000^{\circ}C$ 에서 2시간 열처리 하였다. 그러나 현재까지의 실험 결과를 토대로 보면, $Ca_3(PO_4)_2$ 의 ΔG 가 (Gibbs Free Energy) 너무 크기 때문에 ($-1,055.8$ Kcal/mol) P_2O_5 조성이 반응성에 있어서는 더 좋을 듯하였다. 즉, P_2O_5 의 ΔG 가 -391.4 Kcal/mol 로 상대적으로 낮은 편이다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 P_2O_5 는 다른 첨가 화학 성분과 급격하게 화학 반응을 하여 발열하는 현상을 보이고 있기 때문에 화학 성분의 기계적 혼합에 문제점을 남기게 된다.

한편 SiO_2 함량을 증가 시킨 시료인 [2-10]의 경우 기본이 되는 $Ca_3(PO_4)_2$ 의 양을 줄이고 그 대신 SiO_2 의 함량을 증가 시켰다. 이때도 전과 동일하게 3시간 지르코니아 ball을 이용하여 알콜 용액에서 ball milling하였다. 열처리 온도는 $1000^{\circ}C$ 에서 2시간 행하였다.

$MnSO_4$ 의 수용성 화학 조성과 MnO_2 의 불용성 화학 조성이 미치는 영향을 조사하기 위하여 시료 [2-11]에서는 MnO_2 를 첨가 하였다. 이 경우 Sulfate 대신 Oxide 가 얼마나 영향을 미치는 가를 조사하기 위해서이다.

마지막으로 CaCO_3 의 발포 영향을 보기 위하여 무려 4배나 많이 첨가한 시료 [2-12]를 만들었고 용출 실험을 실시하였다. 만일 시료 [2-12]에서 많은 미세 원소의 용출량이 많다면, 이는 CaCO_3 에 의한 다공성에 기인하는 것으로 판단할 수 있다.

위 모든 시료의 실험 조건은 시료 [2-7]을 제외하고는 동일하게 실시하였다. 즉 알콜에서 3시간 지르코니아 ball milling을 하였으며, 건조 후 $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 2시간 공기 중 열처리하였고, 시료는 로냉하였다. 그런 다음 유봉과 유발을 이용하여 간단 한 입자로 분쇄한 후 미량원소의 용출 실험을 실시하였다.

시료를 열처리 하는데 사용한 도가니, 열처리로와 유봉, 유발에 의한 분쇄장면을 <그림 1>에 나타내었다.



<그림 1> 실험에 사용된 열처리로와 분쇄장면.

2. 결과 및 고찰

용출 속도 조절을 위하여, 원료의 배합 및 시료의 조제는 <표 1>에서 나타낸 바와 같이 조성을 달리하여 수행하였다. 이때 모든 시약은 천칭으로 0.01g 까지 정량하였고, 도가니에서 $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 2시간 열처리 하였다. 이렇게 제조한 미량복합제의 각 원소별 용출량은 수용성과 약산성에서 실험하였다.

이때 화학 조성은 1차년도 연구시료들의 용출량 데이터를 바탕으로 2차년도

의 기본 화학조성을 결정하였고, 각각의 용출량을 조정하기 위하여 함량을 달리하여 연구를 수행하였다.

한편 불용성인 MnO_2 대신에 수용성인 $MnSO_4$ 를 사용하여 실험을 하였고, Fe 이온의 함량을 증가시키기 위하여 시료 [2-1]에서는 10% 증가 시켰다. 시료 [2-1]의 용출데이터는 <표 3>에 나타내었다. 시료 [2-3]에서는 Mn의 함량을 증가시키고 대신 SiO_2 의 함량을 감소시키는 조성을 선택하였다. SiO_2 의 첨가량을 시료 [2-6]에서는 3배로 증가시키는 실험을 수행하였다.

<표 3> 시료 [2-1]의 용출데이터(단위: $mg \cdot kg^{-1}$).

		Fe	Zn	Cu	Ca	Mg	K	Mn	Mo
시료	Aqueous	2.57	0.99	0.99	○	○	4.31	0.25	○
[2-1]	Chelation	9.16	58.54	29.11	○	0.03	136.54	207.8	4.44

이와 같이 충분한 Fe, Cu, Mn, Zn 등이 수용액 상태에서 용출 되는 것이 관측 되었으며, Chelation 실험에서는 용출량이 전체 적으로 양호하게 나오는 것을 발견할 수 있었다. 특히 Mo의 용출이 뚜렷하였다.

지금까지의 실험에서는 P_2O_5 를 인의 주요 조성으로 사용하였으나, P_2O_5 의 혼합과 용해시 나타나는 문제점(즉, 쉽게 다른 화학 조성과 반응하여 고열을 발생하고 잘 혼합이 되질 않음) 때문에 이 조성 대신 $Ca_3(PO_4)_2$ 를 사용하였다. 모든 화학조성은 100g을 기준으로 중량비로 만들어졌으며, 알루미늄 도가니에서 용해하였다. 열처리는 공기 중 열처리 로(furnace)에서 950℃에서 2시간 하였으며, 냉각은 열처리 로내에서 수행하였다. 한편 950℃까지의 승온속도는 상온에서 3시간에 걸쳐서 이루어지도록 하였다. 먼저 열처리하기 전에 화학 조성의 기계적 혼합을 위하여 약 3시간 동안 지르코니아 볼을 이용하여 Ball milling를 하였다. 이때 혼화제로 알콜을 넣었으며, 전체적으로 볼밀의 약 60%를 채우고 하였다.

용출속도 조절을 위한 실험으로 P_2O_5 대신에 $Ca_3(PO_4)_2$ 를 사용한 시료들의 화

학조성은 <표 2>에 나타내었다.

시료 [2-8]는 SiO₂의 함량이 미치는 영향을 보기 위하여 SiO₂를 전혀 첨가하지 않았으며, 지금까지는 SiO₂을 첨가하기 때문에 Mn, B등의 미량원소가 잘 용출 되지 않을 것으로 생각 되었으나 오히려 용출량이 증가되었다. 따라서 이후의 시료에서는 SiO₂의 함량을 결정하는 실험을 수행하였다.

SiO₂ 함량을 증가 시킨 시료인 [2-10]의 경우, 기본이 되는 Ca₃(PO₄)₂의 양을 줄이고 그 대신 SiO₂의 함량을 증가 시켰다. 이때도 전과 동일하게 3시간 지르코니아 ball을 이용하여 알콜 용액에서 ball milling하였다. 열처리 온도는 100 °C에서 2시간 행하였다. SiO₂의 함량을 늘렸을 경우 오히려 용출량이 감소됨을 보였다. 이는 SiO₂가 화학적으로 안정한 유리질이 되어 용출을 억제하는 것으로 보여 진다.

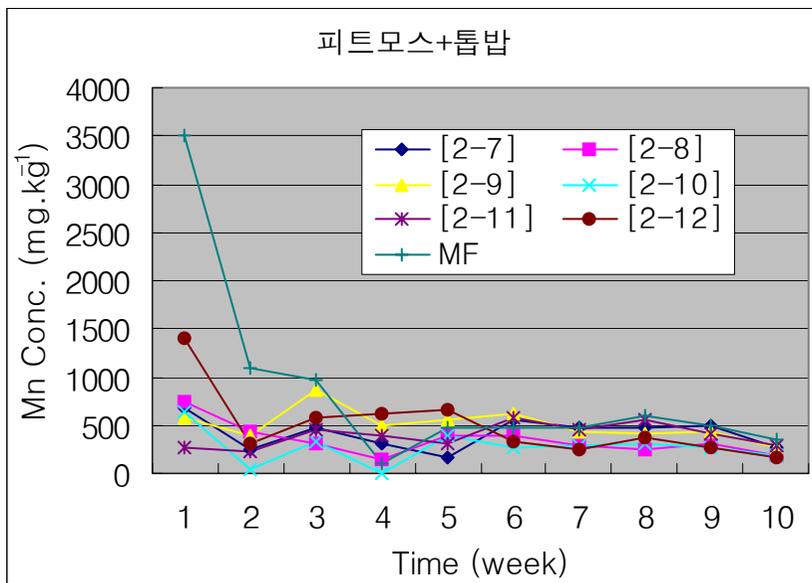
한편 MnSO₄의 수용성 화학 조성과 MnO₂의 불용성 화학 조성이 미치는 영향을 조사하기 위하여 시료 [2-11]에서는 MnO₂를 첨가 하였다. 이 경우 Sulfate 대신 Oxide 가 얼마나 영향을 미치는 가를 조사하기 위해서이다. 그 결과는 MnSO₄를 사용한 시료에서 Mn의 용출량이 더욱 많은 것으로 나타나 Water soluble matrix를 첨가한 시료의 용출량이 좋은 것으로 나타났다.

만일 시료 [2-12]에서 많은 용출량을 감지 할 수 있다면 이는 CaCO₃에 의한 다공성에 기인하는 것으로 생각하였고, 실험의 결과는 [2-8], [2-11]에서도 많은 기공이 관찰 되었지만 특히, [2-12] 샘플에서 더 많은 기공이 관찰 되었으며 이러한 기공은 용출량에 많은 영향을 줄 것으로 판단되고, 분쇄시에도 다른 시료들보다 용이함을 나타내었다. [2-12]의 샘플의 용출량은 <표 4>에 나타내었다.

<표 4> 시료 [2-12]의 용출 데이터.

		Fe	Zn	Cu	Ca	Mg	K	Mn	Mo
시료	Aqueous	○	○	○	0.9	0.1	0.17	○	○
2-12	Chelation	4.1	0.1	0.35	4.0	0.1	0.13	4.5	4.44

위의 용출 데이터에서 보듯 토양에서와 같은 약산성에서 식물의 생장에 필요한 미량원소들이 쉽게 용출된 것으로 나타났으며, 많은 시료들 중에서 가장 데이터가 좋은 것으로 판단되었다. 이는 CaCO_3 와 sulfate matrix에서의 열 분해 시 기체가 이탈하며 생긴 기공들에 의해 용출량이 높게 나타났으며 10주에 걸친 장기적인 용출실험(그림 2, Mn의 용출량데이터)에서도 꾸준한 용출량을 보여, 용출데이터가 타 샘플들보다 미량원소복합체로서 적합한 것으로 생각되어진다.



<그림 2> 10주에 걸친 Mn의 용출량 데이터.

3. 적요

가. 발포제의 종류 및 처리량을 달리하여 미량원소 복합체 개발

발포제로 CaCO_3 또는 MnSO_4 를 사용하였으나 발포제로서의 역할을 보았을 때는 CaCO_3 가 효과적임을 알 수 있었다. 이러한 발포 효과는 시료 [2-12]에서와 같이 적당하게 발포된 시료에서는 매우 균일하고 오랜 시간 후에도

용출되는 특성을 보이고 있다.

나. 용출 속도 조절 물질의 종류 및 처리량을 달리하여 미량원소 복합제 개발

용출 속도 조절은 식물생장에 필수적인 Cu, B, Fe, Mn, Mo, Zn 등의 6원소를 대상으로 실시하였고, 수용성과 약산성에 용출이 용이한 화학 시약을 사용하여 연구 목적을 달성하였다. 단지 본 실험에서는 일부 폐 유리와 순수 SiO₂를 병행하여 사용하였다. 그 이유는 아직도 폐유리에서는 불순물이 많이 검출되기 때문에 식물 생장에 바람직하지 않은 것으로 판단된다.

미량원소의 용출 실험을 기준으로 하여, 미량 원소 복합제의 조성은 시료 [2-9]와 같이 SiO₂는 5%의 중간 조성이고, CaCO₃는 5%로 발포제의 역할을 할 수 있는 정도의 양이어야 하고, MnSO₄는 15%, Fe₂O₃는 35%, Ca₃(PO₄)₂는 20% 함유한 시료의 화학 조성이 가장 적합한 미량원소복합제로 판명되었다.

한편 미량원소복합제의 개발에서 미량원소의 성분 함량 조절은 시료 제작시, 여러 가지 조성으로 함량을 조절함으로써 연구하였고, Fe, Mn, Zn, Cu 등의 용출 실험에 주안을 두었다. 모든 실험은 만족하게 진행되었다.

다. 미량원소의 성분 함량 조절에 의한 미량원소 복합제의 개발

위에서 언급한 바와 같이 Mn 원소는 MnSO₄의 형태의 수용성 물질로 첨가하여야 하며, P₂O₅ 대신에 Ca₃(PO₄)₂의 화학성분을 이용하는 것이 용출 실험에 효과적인 것으로 판명되었다. 또한 화학 성분은 시료 [2-9]와 유사한 것이 가장 좋은 것으로 판명되었다.

제 2 절 개발된 미량원소복합제의 성분함량 분석

1. 재료 및 방법

가. Fe, Zn 및 Cu 분석

개발된 미량원소복합제의 Fe, Zn 및 Cu 분석은 AOAC Official Method 965.09을 적용하여 수용성 함량과 킬레이트 치환성 함량을 분석하였다.

수용성 함량 분석은 1.00g 시료를 250mL의 beaker에 담고 증류수 75mL를 첨가한 후 30분간 끓였다. 다시 100mL volumetric flask에 여과지를 이용 여과시키고 증류수를 이용하여 100mL로 정량한 후 A.A.로 분석하였다. 킬레이트 치환성 Fe, Zn 및 Cu는 25g의 $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ 를 1L의 증류수에 용해시킨 후 5N NaOH를 이용하여 pH를 7.0으로 조절하므로써 2.5%의 Disodium EDTA solution을 만들었다. 이후 1.00g sample을 250mL 비이커에 담고 5cm magnetic stirrer bar와 100mL의 2.5% EDTA solution을 첨가하고 정확하게 5분간 저었다. 내용물은 Whatman No. 41 paper를 이용하여 여과하고 0.5N HCl로 다시 희석하여 A.A.로 분석하였다.

나. Mn의 분석

수용성 Mn과 산용성 Mn을 분석하였으며 전반적인 방법은 AOAC Official Method 965.09을 적용하였다.

수용성 Mn은 1.00g 시료를 50mL의 비이커에 정량하고 약간의 알코올을 첨가하여 습윤상태로 만들었다. 다시 20mL의 증류수를 첨가한 후 간간히 저어주면서 15분을 기다리고 Whatman No. 5 paper를 이용하여 여과하였다. 다시 약 230mL의 증류수로 씻어내고 3-4mL의 HCl을 첨가하여 총 volume을 250mL로 조절하였으며 A.A.로 분석하였다. 산용성 Mn은 1g 시료를 250mL의 비이커에 정량한 후 10mL의 H_2SO_4 와 30mL의 HNO_3 를 첨가하였다. 갈색 연기가 없어질 때까지 서서히 가열시키고 30분간 끓였으며(boiling), 다시 냉각시키고 200mL volumetric flask를 이용하여 정량하였다. 이후 CaSO_4 가 침전 되도록 기다린 후 A.A.로 분석하였다.

다. B의 분석

수용성 및 산용성 B를 분석하였으며 spectrophotometer를 이용하여 비색 정량하였다.

수용성 B의 분석을 위해 2.0g 시료를 250mL 비이커에 정량하고 50mL의 증류수를 첨가한 후 약 10분간 끓였다. Whatman No. 40 paper를 이용하여 가열된 상태에서 100mL의 volumetric flask로 여과하고, 여과과정에서 끓는 물을 이용하여 약 95mL가 될 때까지 6번동안 씻어내었다. 이후 냉각시키고 1.0mL의 HCl을 첨가하였으며 100mL가 되도록 증류수로 희석하였다.

산용성 B의 분석을 위해서는 2.0g 시료를 100mL의 volumetric flask에 정량하고 30mL 증류수와 10mL의 HCl을 첨가하였다. 뚜껑을 막고 15분간 진탕하였으며 다시 증류수를 이용하여 100mL로 조절 후 잘 혼합하였다. 이후 즉시 플라스틱 용기로 여과하였다.

100 μ L를 시료로부터 Erlenmeyer로 피펫하고 5.0mL의 color developing reagent를 첨가한 후 다시 250mL로 정량하였으며, 420nm의 흡광도에서 비색 정량하였다.

라. Molybdenum 분석

Gupta의 방법에 준해 분석하였다(Gupta, U.C. 1993. Carter, M.R. (ed.). Boron, molybdenum, and selenium, p. 91-99. In: Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. CRC Press Inc.. Boca Raton, Fla.)

산용성 Mo의 분석을 위해 15g의 풍건된 시료를 150mL에 0.2M ammonium oxalate(pH 3.3) 용액을 첨가하고 16시간동안 shaking 한 후 여과시켰다. 다시 120mL의 용액을 증발시키고 550°C에서 3-4시간 회화시켜 유기 물질을 제거하였다. Digestion 된 물질을 100mL의 volumetric flask로 옮긴 후 100mL로 정량하고, 그중 50mL 용액을 seperatory funnel로 옮겨 추출하였다(No. 44 filter paper를 이용). 2mL KI 용액을 첨가하여 환원시키고 2mL의

ascorbic acid 용액을 첨가하여 free Iodine을 중화시켰다(만약 색깔이 사라지지 않으면 ascorbic acid를 몇방울 더 첨가 함). 0.25mL의 50% tartaric acid 용액을 첨가하고 shaking 한 후 2mL의 10% thiourea 용액을 첨가하고 혼합하였다. 4mL의 0.2% dithiol 용액을 첨가하고 20초간 shake한 후 30분간 실온에 치상하였으며, 10mL의 amylacetate를 첨가하고 2분간 강하게 혼합하였다. 이후 1시간 동안 완전히 분리되도록 기다렸다가 수용액 부분을 따아서 버렸으며, 유기물질 부분은 원심분리 튜브에 붓고 2000rpm에서 15분간 원심분리하였고 ICP로 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

개발된 미량원소복합제의 성분함량은 N와 S를 제외한 모든 무기원소를 대상으로 분석하였다. 그러나 보고서의 page를 너무 많이 증가시키기 때문에 본 보고서에서는 다량원소 중에는 K, Ca와 Mg, 그리고 모든 미량원소의 분석결과를 나타내었다.

시료 1~44까지는 1차년도에 조제되었으며 1) 발포제의 종류 및 처리량을 달리하여 개발된 경우, 2) 용출속도 조절물질의 종류 및 처리량을 달리하여 개발된 경우 또는 3) 미량원소의 성분함량 조절에 의하여 개발된 모든 미량원소복합제가 포함되었다.

개발된 미량원소복합제중 시료 1~44까지는 수용성 및 EDTA 치환성 Fe가 너무 낮게 분석되었다. 그러나 1~44중 Mn, Zn, B 및 Mo는 각 시료별로 원하는 수준에 도달한 미량원소복합제가 있었으나 미량원소 중 식물에 가장 많이 흡수되어 토양 중 농도를 높게 유지하여야 할 Fe의 농도가 너무 낮아 새로운 미량원소복합제로는 적합하지 않다고 판단하였다. 따라서 세부과제 책임자들은 원인 분석을 위한 회의를 열고, 인근 연구소와 대학교에 근무하는 전문가들에게 자문을 구하였다. 최종적으로 도달한 결론은 열역학 관계에 변화를 줌으로써 Fe와 결합력이 강한 Si나 Al의 종류를 달리하고 결과적으로 Fe의 용해도를 증가시켜야 한다고 판단하였다.

<표 5> 개발된 미량원소복합제의 성분함량(1차년도 결과).

시 료	K		Ca		Mg		Fe	
	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성
시료 1-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	1.62
시료 1-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	11.30
시료 1-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0.85
시료 1-4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	9.87
시료 1-5	4.58	2868	9.44	429	0.24	6.70	0	4.27
시료 1-6	145	524	0.27	848	0	0.67	0	2.44
시료 1-7	182	603	0.37	958	0	0.69	0	1.86
시료 1-8	202	622	0.32	1015	0	0.60	0	1.61
시료 1-9	122	506	0.19	981	0	0.71	0	1.67
시료 1-10	153	597	0.24	1040	0	0.66	0	1.39
시료 1-11	184	604	0.45	1098	0	0.73	0	1.21
시료 1-12	111	496	0.41	1172	0	0.61	0	0.91
시료 1-13	157	572	0.33	1132	0	0.65	0	1.02
시료 1-14	200	687	0.25	1096	0	0.80	0	0.71
시료 1-15	323	3227	4.04	462	0.09	5.90	0	3.27
시료 1-16	144	500	0.37	1105	0	2.39	0	0.40
시료 1-17	175	559	0.16	1126	0	1.44	0	0.30
시료 1-18	122	558	0.30	1183	0	1.63	0	0.15
시료 1-19	204	613	0.21	1449	0	1.29	0	0.55
시료 1-20	146	539	0.14	1413	0	1.29	0	0.41
시료 1-21	90	443	0.20	1462	0	1.30	0	0.28
시료 1-22	182	458	0.06	1693	0	1.11	0	0.25
시료 1-23	142	500	0.22	1800	0	1.23	0	0.25
시료 1-24	186	525	0.04	1954	0	1.11	0	0.39
시료 1-25	4.9	2078	1.18	303	0.02	2.80	0	6.63

<표 5> 계속.

시 료	K		Ca		Mg		Fe	
	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성
시료 1-26	151	513	0.44	1499	0.01	1.70	0	0.41
시료 1-27	177	502	0.01	1159	0	1.21	0	0.29
시료 1-28	209	739	0.16	1808	0	1.46	0	0.42
시료 1-29	140	547	0.06	1372	0	1.70	0	0.46
시료 1-30	154	695	0.00	1734	0	0.80	0	0.81
시료 1-31	119	411	0.00	980	0	0.67	0	0.67
시료 1-32	201	655	0.03	1813	0	1.03	0	1.03
시료 1-33	155	575	0.14	1552	0	0.96	0	0.96
시료 1-34	190	649	0.02	1520	0	0.77	0	0.77
시료 1-35	4.7	2745	5.25	325	0.09	4.87	0	4.87
시료 1-36	67.7	449	0.18	1383	0	1.20	0	1.20
시료 1-37	107	532	0.12	1554	0	1.33	0	1.33
시료 1-38	170	665	0.15	1749	0	1.18	0	1.18
시료 1-39	80.8	471	0.16	1458	0	1.31	0	1.31
시료 1-40	155	651	0.13	1620	0	0.99	0	0.99
시료 1-41	188	629	0.15	1859	0	0.90	0	1.20
시료 1-42	98.8	449	0.18	1202	0	0.79	0	0.63
시료 1-43	158	516	0.23	1628	0	0.95	0	0.41
시료 1-44	191	630	0.25	1768	0	0.75	0	0.51

<표 5> 계속.

시 료	Mn		Cu		Zn		B		Mo
	수용성	산용성	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성	수용성	산용성	산용성
시료 1-1	0.67	769	0.23	2.69	0.59	20.3	0.01	0.04	10.1
시료 1-2	0	55.7	0.21	2.39	0.68	31.2	0.01	0.04	20.8
시료 1-3	0	50.7	0.08	6.77	2.35	36.2	0.01	0.03	2.3
시료 1-4	0.68	229	0.73	143	0.36	1097	0.01	0.04	20.1
시료 1-5	3.35	819	0	2.83	0	2.70	0.01	0.03	3.1
시료 1-6	0	53.3	0	0.72	0	1.43	0.11	0.03	53.0
시료 1-7	0	47.3	0	0.68	0	0.77	0.01	0.03	55.7
시료 1-8	0	47.9	0	0.61	0.02	0.69	0.01	0.03	32.5
시료 1-9	0	49.0	0	0.53	0	0.89	0.01	0.03	31.5
시료 1-10	0	43.3	0	0.54	0	0.86	0.01	0.03	42.3
시료 1-11	0.01	50.9	0	0.44	0	0.43	0.01	0.03	37.2
시료 1-12	0	52.8	0	0.40	0.01	0.49	0.01	0.03	32.6
시료 1-13	0	46.8	0	0.43	0.01	0.56	0.01	0.03	90.6
시료 1-14	0	45.6	0	0.39	0.01	0.81	0.01	0.03	101.0
시료 1-15	0.44	16.3	0	42.4	0.45	175	0.01	0.07	24.4
시료 1-16	0	51.3	0	7.74	0	1.29	0.01	0.04	2.5
시료 1-17	0.02	42.5	0	3.61	0	0.71	0.01	0.03	3.9
시료 1-18	0	51.9	0	3.10	0	0.78	0.02	0.03	9.4
시료 1-19	0	50.1	0	2.63	0	0.71	0.02	0.03	3.2
시료 1-20	0.02	49.7	0	1.29	0	0.83	0.01	0.03	3.3
시료 1-21	0.01	51.3	0	1.86	0	1.86	0.01	0.03	3.8
시료 1-22	0	50.7	0	1.80	0	1.80	0.02	0.03	2.9
시료 1-23	0	41.6	0	2.26	0	2.26	0.01	0.03	3.4
시료 1-24	0	44.9	0	1.34	0	1.34	0.02	0.03	6.1
시료 1-25	0.16	25.0	0	2.27	0.07	2.27	0.01	0.03	2.3

<표 5> 계속.

시 료	Mn		Cu		Zn		B		Mo
	수용성	산용성	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성	수용성	산용성	산용성
시료 1-26	0	34.9	0	4.06	0.19	4.06	0.01	0.03	45.8
시료 1-27	0	38.3	0	2.82	0.02	2.82	0.01	0.03	3.2
시료 1-28	0	34.5	0	2.74	0.1	2.74	0.02	0.03	9.7
시료 1-29	0.01	31.5	0	2.97	0.02	2.97	0.02	0.03	6.1
시료 1-30	0	18.0	0	2.10	0.01	2.10	0.02	0.03	2.9
시료 1-31	0	41.2	0	1.21	0.01	1.21	0.01	0.03	2.8
시료 1-32	1	32.1	0	1.76	0.01	1.76	0.01	0.03	12.5
시료 1-33	0	34.1	0	2.54	0.03	2.54	0.01	0.03	34.3
시료 1-34	0	33.8	0	1.51	0.01	1.51	0.02	0.03	16.0
시료 1-35	0.36	21.0	0	17.4	0	17.4	0.01	0.03	2.9
시료 1-36	0.28	399	0	1.83	0	1.83	0.01	0.03	3.2
시료 1-37	0.07	435	0	2.18	0	2.18	0.01	0.03	25.4
시료 1-38	0.13	459	0	1.92	0	1.92	0.01	0.03	35.1
시료 1-39	0.21	441	0	2.17	0	2.17	0.01	0.03	17.5
시료 1-40	0.09	432	0	1.42	0	1.42	0.01	0.03	27.3
시료 1-41	0.04	408	0	1.27	0	0.52	0.01	0.03	0.1
시료 1-42	0.05	376	0	0.93	0	0.47	0.02	0.03	0.1
시료 1-43	0.15	346	0	1.00	0	0.20	0.01	0.03	0.1
시료 1-44	0.1	323	0	0.87	0	0.42	0.02	0.03	0.1

시료 [2-1]~[2-12]는 1차년도의 실험결과를 기초로 조제된 미량원소복합제 들이며 1)발포제의 종류 및 처리량을 달리하여 개발된 경우, 2)용출속도 조절물 질의 종류 및 처리량을 달리하여 개발된 경우, 또는 3)미량원소의 성분함량 조 절에 의하여 개발된 모든 미량원소복합제가 포함되었다.

Fe의 경우 수용성 농도에서 시료 [2-1]이 $772\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, [2-10]이 $31.3\text{mg} \cdot$

kg^{-1} , [2-11]이 $20.3\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 분석되어 미국에서 생산되는 Micronutrient fertilizer(Frit Industry, MF)의 $0\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 보다 높았다. 킬레이트 치환성 농도에 서는 시료 [2-10]에서만 MF 보다 낮았을 뿐 2차년도에 조제된 모든 미량원소복 합제에서 높았고, 특히 시료 [2-4]는 $10410\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 로 분석되어 약 20배 이상 높았으며 킬레이트 치환성 농도가 높음에 따라 Fe가 서서히 이용될 가능성이 높다고 판단하였다.

Mn의 경우 산용성에서는 조제된 시료들의 농도가 MF보다 낮았으나 수용성 Mn의 경우 MF의 농도가 조제된 시료들 보다 월등히 높았다. 이는 MF에 포함 된 Mn의 용출속도가 본 실험에서 조제된 미량원소복합제들보다 빠를 수 있음 을 의미한다.

수용성 Cu 농도는 시료 [2-1]만 $1858\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 매우 높았을 뿐 기타 시 료에서는 농도가 낮거나 전혀 분석되지 않았다. 킬레이트 치환성 Cu 농도는 시 료 [2-1], [2-10], [2-11] 및 [2-12]에서 MF 보다 낮았을 뿐 2차년도에 조제된 다른 시료들에서는 농도가 높았고, [2-3]에서 $28,400\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 가장 높았다. 이는 과도한 Cu의 용출로 인해 실제 작물 재배에 이용할 경우 다른 금속원소의 결핍을 유발할 가능성이 높다고 판단되었다.

수용성 Zn 농도 또한 시료 [2-1]에서 다른 시료들 보다 월등히 높았다. 일반 적으로 수용성 농도가 높을 경우 과잉에 의한 피해가 쉽게 유발되며, 미량원소 복합제로써 부적절하다고 판단되었다. MF의 킬레이트 치환성 Zn 농도가 $5007\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 였으며 시료 [2-1]~[2-4]까지는 월등히 높은 농도로 분석되었으 나, 시료 [2-5]~[2-12]는 유사하거나 낮은 농도로 분석되었다.

B의 경우 수용성 농도는 시료 [2-1]~[2-5]에서 낮았으나 [2-6]~[2-12]까지 는 MF와 유사하였다. 산용성 B 농도 또한 동일한 경향을 나타내었으며 시료 [2-6]~[2-12]에서 MF 보다 약간 높게 분석되었다.

산용성 Mo 분석결과도 새롭게 개발된 미량원소복합제의 농도가 MF 보다 우수하였으며, 새로운 미량원소복합제로 이용되는데 전혀 문제가 없을 것으로 판단되었다. 본 실험결과를 종합할 때 시료 [2-7], [2-11] 및 [2-12]가 가장 우수 하였다고 판단되었다.

<표 6> 2차년도에 조제된 미량원소복합제의 성분함량 분석 결과.

시 료	K		Ca		Mg		Fe	
	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성
시료 2-1	403	1538	0	507	0	200	772	4245
시료 2-2	0	1939	0	436	0	315	0	4840
시료 2-3	0	1449	0	585	0	215	0	6860
시료 2-4	0	1647	0	793	0	1595	0	10410
시료 2-5	0	2105	0	654	0	1045	0	2145
시료 2-6	2590	713	2856	22366	53.0	74	0	3341
시료 2-7	4140	957	1826	34767	53.3	216	0	3454
시료 2-8	2917	911	9700	50433	75.3	245	0	2575
시료 2-9	1497	1181	4270	27033	41.7	159	0	2424
시료 2-10	3673	1362	7280	26000	137.3	101	31.3	402
시료 2-11	1443	2016	1773	50933	122.6	129	20.3	2231
시료 2-12	1650	1298	7130	36666	55.3	76	0	4580
MF	5176	1426	19026	23866	6130	9806	0	807
시 료	Mn		Cu		Zn		B	
	수용성	산용성	수용성	EDTA 치환성	수용성	EDTA 치환성	수용성	산용성
시료 2-1	5650	4910	1858	1175	36000	42250	0.15	0.14
시료 2-2	45988	32770	0	16055	0	48850	0.23	0.71
시료 2-3	57250	47210	0	28400	0	83150	0.23	0.73
시료 2-4	34538	65160	0	20365	0	37400	0.24	0.53
시료 2-5	27350	20110	0	7120	0	1950	0.53	0.61
시료 2-6	28.0	36133	4.68	3423	0	466	2.80	3.78
시료 2-7	1.33	23240	5.01	3883	12.7	1276	2.70	3.09
시료 2-8	44.5	30053	0	5493	0	1557	3.56	3.85
시료 2-9	14.2	36480	0	2277	0	690	2.94	2.46
시료 2-10	60.7	39853	2.0	1700	2.33	683	4.04	3.09
시료 2-11	26.1	74133	7.67	1420	0	669	2.91	2.91
시료 2-12	3.3	40267	0	1540	0	448	2.72	2.97
MF	1359	20833	3.67	2437	740	5007	3.44	2.05

3. 적 요

- 가. 발포제의 종류 및 처리량을 달리하여 개발된 경우, 용출속도 조절물질의 종류 및 처리량을 달리하여 개발된 경우, 또는 성분 함량 조절에 의해 1차년도에 조제된 시료 44의 성분함량 분석 결과 모든 시료에서 농도가 너무 낮았다.
- 나. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 2차년도에는 열역학 관계에 변화를 주고, Fe와 결합력이 강한 Si나 Al의 종류를 달리하여 미량원소복합제를 개발하였다.
- 다. 2차년도에 개발된 미량원소복합제는 킬레이트치환성 Fe 농도에서 대조구인 MF 보다 높았다.
- 라. 산용성 Mn 농도에서는 조제된 시료들의 농도가 낮았으나, 수용성 Mn 농도에서는 MF 보다 높았다.
- 마. Cu 및 Zn 농도는 시료 [2-1]~[2-4]에서 대조구 보다 월등히 높았고 [2-5]~[2-12]에서는 대조구인 MF 보다 유사하거나 약간 낮은 농도로 분석되었다.
- 바. 붕소 농도는 시료 [2-1]~[2-5]에서 낮았고, 시료 [2-6]~[2-12]에서 MF와 유사하거나 약간 높은 농도로 분석되었다.

제 3 절 개발된 미량원소복합제의 용출특성 분석

1. 재료 및 방법

개발된 미량원소복합제의 용출특성은 내경 2.54cm의 플라스틱 컬럼을 용출 실험에 합당하도록 제작한 후 미량원소복합제가 혼합된 상토를 충전하였다. 매주 2회씩 혼합상토를 증류수로 세척하여 용탈된 미량원소의 양을 A.A,나 ICP로 분석하여 누적적으로 용출된 양을 분석하였다. 실험에 사용하기 위하여 제작된 컬럼은 다음 사진과 같았다.



<그림 3> 조제된 미량원소복합제의 용출실험을 위해 제작된 컬럼 및 컬럼에 상토를 충전한 모습.

실험 시작 전 실험에 이용된 각종 혼합상토의 물리·화학적 특성을 분석하였으며 상토의 pH가 낮을 경우 약 6.0으로 조절하기 위해 1L당 고토석회를 3g의 비율로 시비하였다. 물리적 특성은 공극율, 기상율 및 액상율을 측정하였고(최등, 1997) 용출실험에서 공극을 세척하기 위한 증류수의 양을 결정하는데 자료로 사용하였다. 화학성의 분석결과는 토양 pH의 교정을 위한 자료로 사용하였다.

제 1세부과제에서 조제된 미량원소복합제중 성분함량 분석을 통해 가능성이 높은 시료를 선발하여 용출실험을 수행하였다. 혼합상토는 피트모쓰+질석이

1:1(v/v)로 혼합된 상토였으며 61cc의 혼합상토에 0.075g의 개발된 미량원소복합제를 첨가하였다. 무처리구를 -대조구로, 미국산 Micronutrient Fertilizer(Frit Industries, CO)를 혼합상토 61cc당 0.075g 혼합하여 +대조구로 삼아 실험하였다.

충전전에 미리 rubber stopper(고무마개)와 연결된 유리관의 상부를 거즈를 이용해 덮었고, 컬럼당 61cc의 상토를 충전하였는데 상토속에는 선발된 미량원소복합제를 첨가한 후 잘 혼합하고 혼합 후에 컬럼에 충전하였다.

1주일에 2회씩 컬럼을 용출하였다. 용출실험을 위해 고무호스를 이용하여 증류수를 저면관수한 후 물의 윗부분이 상토의 상부에 일치하도록 하였다. 이후 30분을 기다렸다가 배수하였고, 배수 후 다시 상토의 윗부분에서 증류수를 관수하여 모든 공극을 씻어내었으며 피트모쓰+질석 혼합상토에서는 50cc로, 피트+왕겨 혼합상토에서는 47cc로, 피트+톱밥 상토에서는 55cc로, 피트+수피 혼합상토에서는 49cc로 용탈시켰다. 증류수의 관수량은 물리성 분석에 기초하였으며, 공극률을 고려하여 모든 공극을 물로 물로 세척할 수 있도록 하였다.

1주일에 2회 포집된 물의 양을 측정된 후 그중 일부분을 이용하여 질소와 황을 제외한 모든 원소를 분석하였는데 AA(Shimadzu AA 680) 또는 ICP(Perkin Elmer 2000DV)로 무기원소 농도를 분석하였다.



<그림 4> 조제된 미량원소복합제의 용출 실험 장면.

2. 결과 및 고찰

가. 물리성 분석

<표 7> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에서 조제된 미량원소복합제의 용출실험을 하기 전 분석한 토양 물리적 특성.

혼합상토	공극률	용기용수량	기상률	부피비중	입자비중	잔존수분량
	-----	(%)	-----	---(g · cm ⁻¹)	---	(ml/357.4cc)
피트모쓰+ 버미큘라이트 (1:1, v/v)	81.9	76.8	5.1	0.19	1.07	267

본 실험은 혼합상토의 물리·화학적 특성이 토양에 존재하는 무기원소의 식물이 용도에 많은 영향을 미치기 때문에 용출량 및 속도를 판단하기 위한 근거로 삼고, 또한 컬럼을 이용한 무기원소의 용출 실험에서 각 공극을 세척하기 위한 증류수의 양을 결정하기 위해 수행하였다. 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토는 공극율 81.9%, 용기용수량 76%, 그리고 5.9%의 기상율을 갖는 것으로 분석되었다.

이상의 결과를 기초로 직경 2.5cm의 컬럼을 이용하여 61cc의 혼합상토를 충전하여 수행한 용출 실험에서는 저면관수한 후 배수시키고, 다시 상부에서 피트모쓰+버미큘라이트 상토의 공극율을 고려하여 50cc의 증류수를 첨가함으로써 모든 공극을 물로 세척하였고 다시 배수된 용액을 무기원소 분석을 위해 이용하였다.

나. 실험전 상토의 화학성 분석

모든 미량원소가 토양 pH변화에 따라 용해도 및 식물이용도가 달라짐을 고려하여 상토에 3.5g · L⁻¹의 비율로 고토석회를 첨가한 후 용출실험을 수행하였다. 고토석회 혼합 후 측정된 pH는 4.4였고 전기전도도는 1.00dS · m⁻¹ 였다.

이상의 결과들은 컬럼실험을 통해 용출되는 각종 다량 및 미량원소의 양을 판단하기 위한 기초자료로 활용되었다.

<표 8> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에서 조제된 미량원소복합제의 용출실험을 하기 전 분석한 토양 화학적 특성.

혼합상토	pH	EC	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
		(dS • m ⁻¹)	----- (mg • kg ⁻¹) -----			-----		
피트모쓰+ 버미큘라이트 (1:1, v/v)	4.4	1.00	0.30	4.82	9.4	21.0	45.9	25.6

혼합상토	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
	----- (mg • kg ⁻¹) -----					
피트모쓰+ 버미큘라이트 (1:1, v/v)	1.08	1.30	0.15	0.11	0.19	0.06

다. 개발된 미량원소복합제의 용출특성

피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에서 개발된 미량원소복합제의 용출실험을 플라스틱 컬럼을 이용하여 수행하였다. 실험한 10주 동안의 pH는 초기에 점차 상승하였고, 3주 이후 안정되었으며 1차실험(시료 [2-1]~[2-6])에서는 6.5~7.0, 2차실험(시료 [2-7]~[2-12])에서는 6.8~7.2 사이를 유지하였다. 2차실험에서 1차실험에서 보다 pH가 높게 측정된 원인은 고토석회의 혼합량이 증가하였기 때문이라고 판단된다. 전기전도도는 초기에는 Micronutrient Fertilizer를 처리한 구에서 높았으나 2주부터 낮아져 각 처리간 차이가 크지 않았다. 시료 [2-1]~[2-6]의 모든 처리에서 0.08~0.17사이로 측정되어 처리간 차이가 크지 않았고, 시료 [2-7]~[2-12]에서도 EC는 3주까지 점차 낮아졌고, 3주 이후에는 0.05~0.12dS • m⁻¹ 사이를 유지하였다.

시료 [2-1]~[2-6]에서 칼륨의 용출농도는 실험 5주 후까지 지속적으로 용출되었으나, 6주 후부터 점차 용출농도가 낮아졌다. 그러나 시료 [2-7]~[2-12]의 2차실험에서는 초기에 낮은 농도로 용출되다가 실험 후반기에 점차 농도가 높아졌다. 성분함량 분석결과(표 6)에서 시료 [2-7]~[2-12]의 농도(수용성+킬

레이트 치환성)가 시료 [2-1]~[2-6]보다 월등히 높았으며, [2-7]~[2-12]에서 지속적으로 용출된 원인이되었다고 판단하였다.

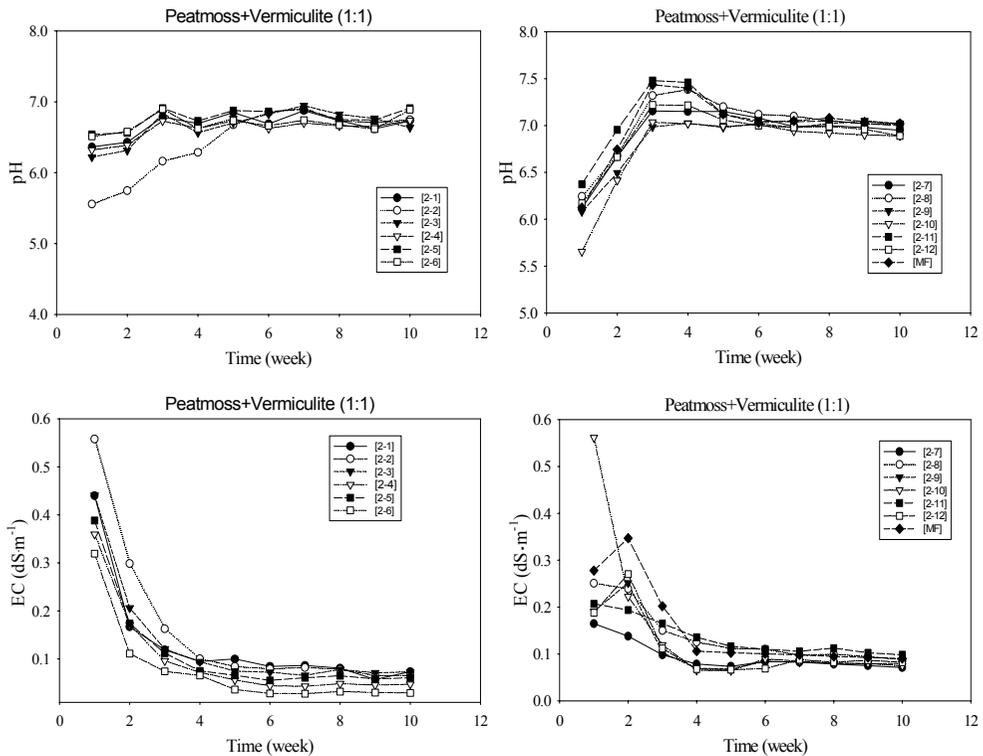
Ca과 Mg도 칼륨과 유사한 용출농도의 변화를 보였다. 1차실험(시료 [2-1]~[2-6])에서는 두 원소 모두 초기에 높은 용출농도를 보이고 높은 용출농도가 7주까지 지속되었으나, 2차실험(시료 [2-7]~[2-12])에서는 후반기에 용출농도가 점차 높아져 실제 작물 재배에 이용할 경우 2차실험에 이용된 미량원소복합제들이 작물 생육에 더욱 바람직하다고 판단되었다. 시료 [2-7]~[2-12]에서 K, Ca 및 Mg의 수용성 농도가 시료 [2-1]~[2-6]에서 보다 월등히 높아 초기의 용출 농도가 높을 것으로 예상되었으나 정 반대의 연구결과가 도출되었다. 따라서 이와 관련한 보완 연구가 필요하다고 판단되었다.

Fe의 용출 농도는 1주째에 시료 [2-2]에서 특이하게 높았으나, 시료 [2-1]~[2-6](1차실험)의 다른 처리들에서는 약 $400\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하의 농도로 분석되었고 처리간 차이가 크지 않았으며, 4주 이후에는 점차 농도가 낮아졌다. 그러나 시료 [2-7]~[2-12]에서는 1주에 아주 적은 양이 용출된 후 2주 이후에 용출농도가 높아졌으며, 6주 이후의 실험 후반기에도 많은 양이 용출되었다. 그러나 용출 농도에서는 2차 실험의 시료 [2-7]~[2-12]에서 약 $23\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하로 분석되어 1차 실험에서 보다 월등히 낮았다. Mn도 Fe와 아주 유사한 용출농도를 보였다.

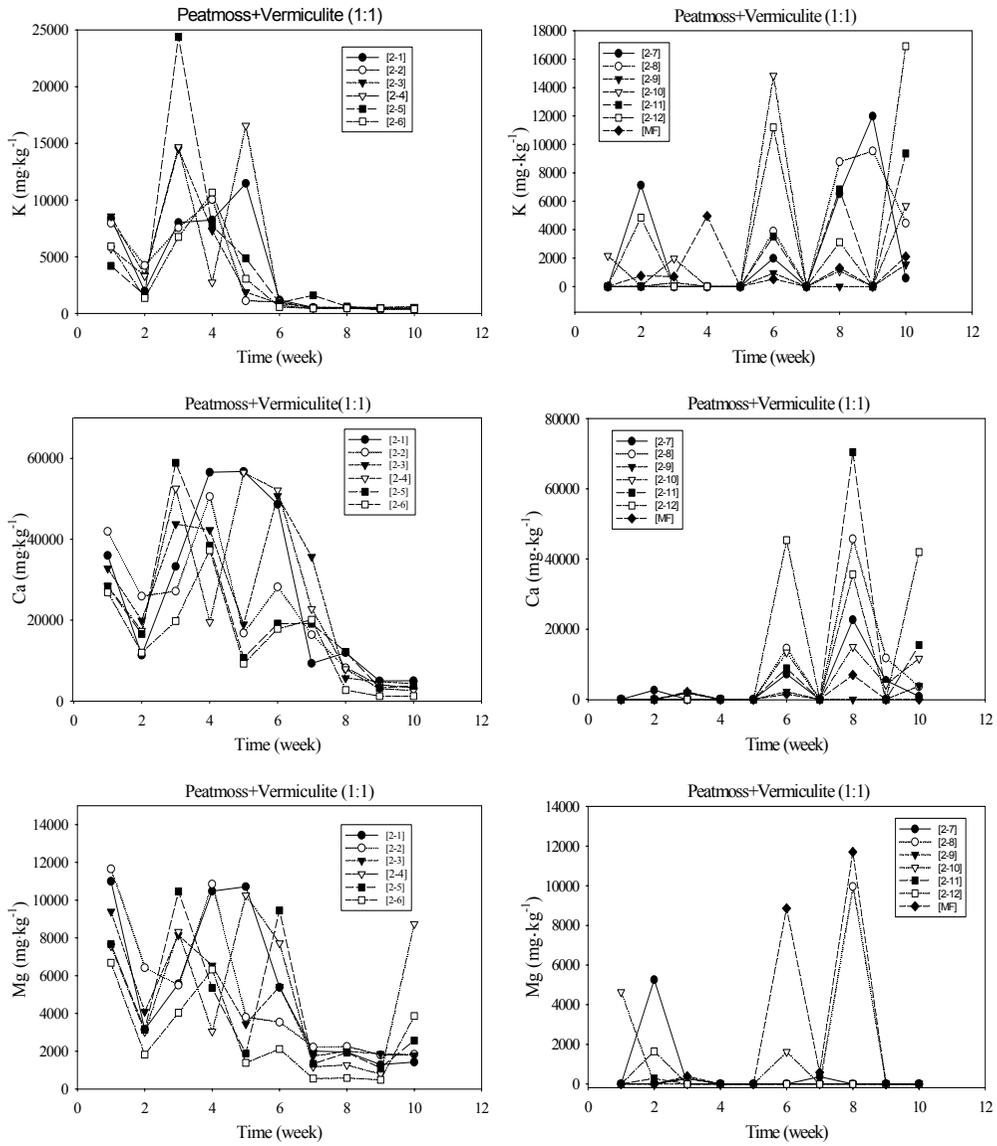
Zn은 시료 [2-2]에서만 특이하게 높았을 뿐 1차실험과 2차 실험을 통해 분석한 모든 시료들의 용출농도가 비슷한 수준을 유지하였다. 그러나 1차실험의 시료 [2-1]~[2-6]에서는 저농도로 지속적인 용출이 이루어졌으나, 2차실험의 시료 [2-7]~[2-12]에서는 들쭉날쭉한 용출 농도의 변화를 보였다.

Cu는 시료 [2-1]~[2-6]에서는 1주와 2주째에 높은 농도로 용출된 후 3주 이후부터는 $20\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하의 저농도로 분석되었으나, 시료 [2-7]~[2-12]에서는 2주 및 3주에 비교적 많은 양이 용출되었고 7주 이후의 용출도 1차실험에서 보다 높았다. 붕소 또한 1차 실험에서는 초기의 용출량이 많은 후 3주 이후에 거의 분석되지 않았으나 2차 실험의 시료 [2-7]~[2-12]에서는 4주 까지 용출된 후 용출 농도가 급격히 낮아졌다.

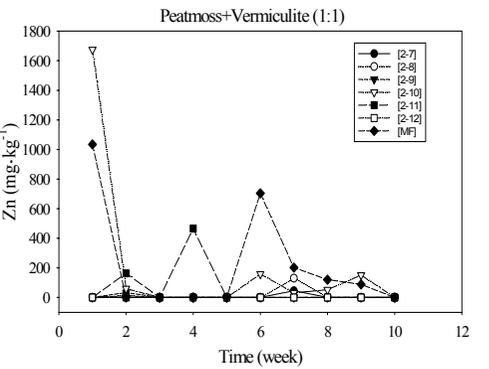
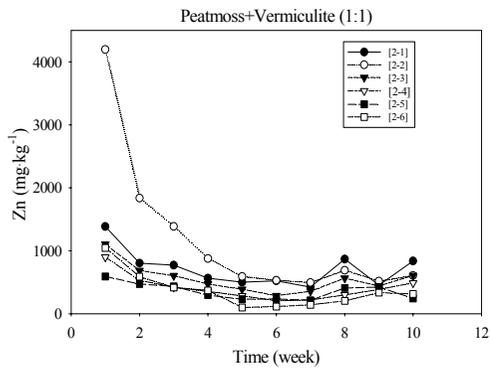
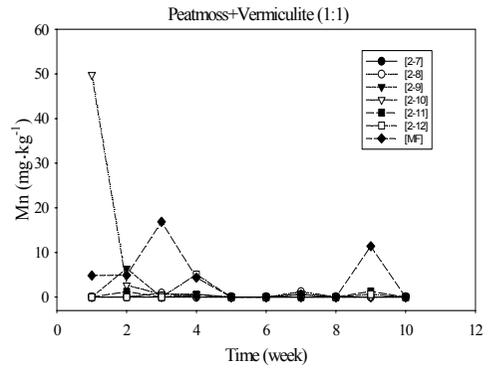
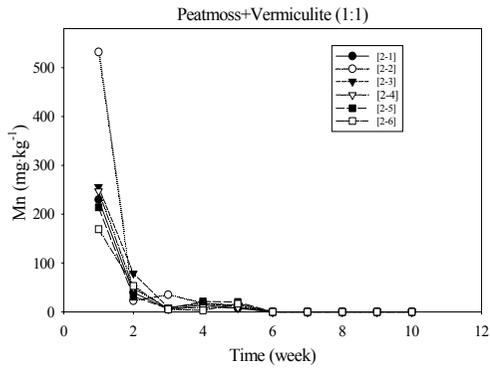
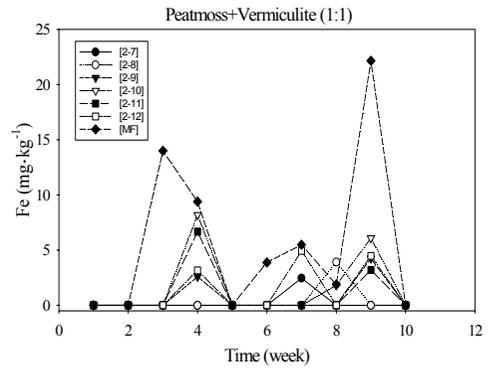
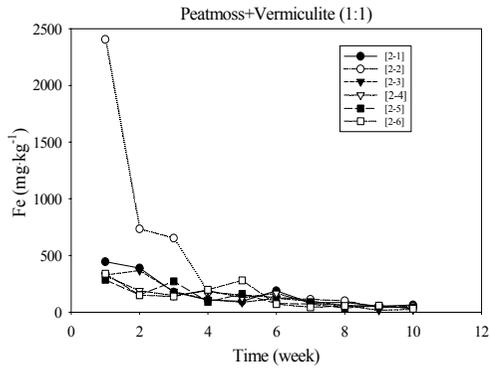
이상과 같이 1차실험의 시료 [2-1]~[2-6]에서의 용출 특성과 2차실험의 시료 [2-7]~[2-12]에서 용출 곡선이 다르게 나타난 것은 실험한 과정에서의 차이에서 원인을 찾을 수 있다. 본 연구결과가 도출된 후 연구 보조원들과 실험 과정에 대한 토론을 하였으며, 1차 실험에서는 조제된 미량원소 복합제를 상토에 혼합한 후 몇일이 경과한 후 컬럼실험을 시작하였으나, 2차실험에서는 미량원소복합제를 포함한 상토를 조제한 후 곧 바로 실험을 시작함으로써 미량원소 복합제가 상토에 포함된 수분에 의해 용해될 수 있는 시간이 짧았기 때문에 2차실험에서 실험초기의 용출농도가 낮아진 원인이 되었다고 판단되었다.



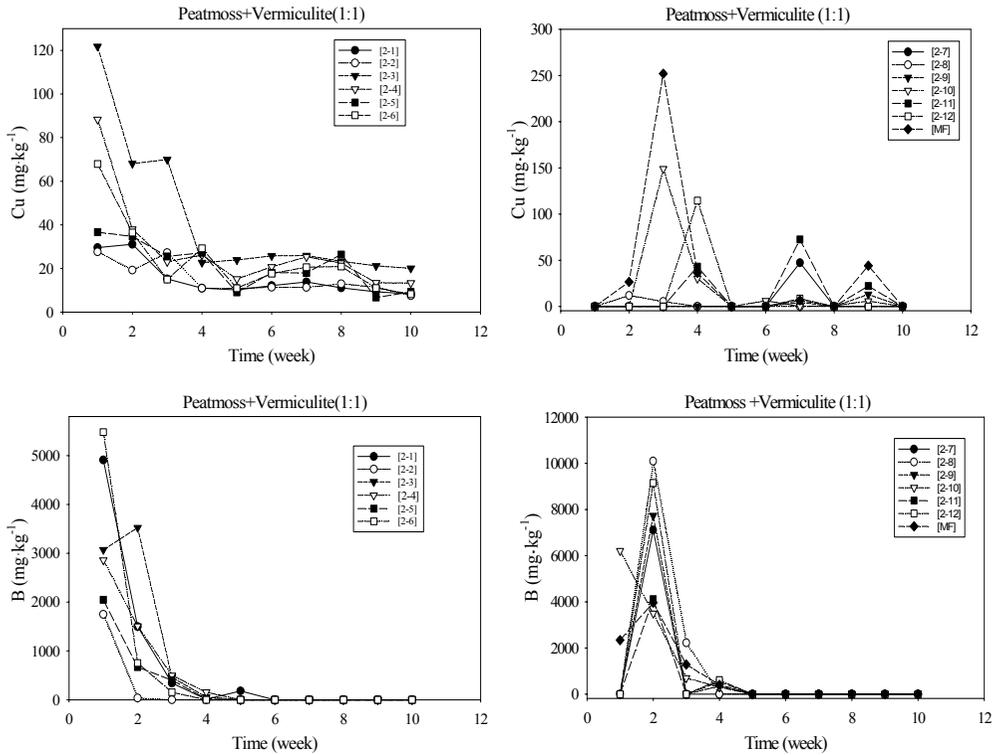
<그림 5> 본 연구에서 조제된 미량원소복합제를 0.075g · 61cc⁻¹의 비율로 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 상토에 혼합한 후 플라스틱 컬럼에 충전하였고, 매주 2회씩 증류수로 컬럼을 용탈시킨 후 용탈액속의 무기원소를 분석한 결과.



<그림 5> 계속.



<그림 5> 계속.



<그림 5> 계속.

3. 적요

가. 킬럼을 이용한 무기원소의 용출 실험에서 공극을 세척하기 위한 증류수의 양을 결정하기 위해 분석한 상토의 물리성에서 피트모쓰+버미큘라이트 혼합상토는 공극율 81.9%, 용기용수량 76%, 그리고 5.9%의 기상율을 갖는 것으로 분석되었다.

나. 피트모쓰가 강산성을 띄므로 상토에 $3.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 고토석회를 첨가한 후 용출실험을 수행하였다. 고토석회 혼합 후 측정된 pH는 4.4였고 전기전도도는 $1.00\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 였다.

다. Fe의 용출 농도는 시료 [2-1]~[2-6](1차실험)에서는 약 $400\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하의 농도로 분석되었고, 2차 실험의 시료 [2-7]~[2-12]에서 약 $23\text{mg} \cdot$

kg^{-1} 이하로 분석되어 1차 실험에서 보다 월등히 낮았다. Mn도 Fe와 아주 유사한 용출농도를 보였다.

라. Zn은 시료 [2-2]에서만 특이하게 높았을 뿐 1차실험과 2차실험을 통해 분석한 모든 시료들의 용출농도가 비슷한 수준을 유지하였다. 그러나 1차 실험의 시료 [2-1]~[2-6]에서는 저농도로 지속적인 용출이 이루어졌으나, 2차실험의 시료 [2-7]~[2-12]에서는 들쭉날쭉한 용출 농도의 변화를 보였다.

마. Cu는 시료 [2-1]~[2-6]에서는 1주와 2주째에 높은 농도로 용출된 후 3주 이후부터는 $20\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하의 저농도로 분석되었으나, 시료 [2-7]~[2-12]에서는 2주 및 3주에 비교적 많은 양이 용출되었고 7주 이후의 용출도 1차실험에서 보다 높았다.

바. 붕소도 1차 실험에서는 초기의 용출량이 많은 후 3주 이후에 거의 분석되지 않았으나 2차 실험의 시료 [2-7]~[2-12]에서는 4주 까지 용출된 후 용출 농도가 급격히 낮아졌다.

제 4 절 상토에 따른 미량원소복합제의 용출특성

1. 재료 및 방법

피트모쓰+왕겨(1:1, v/v), 피트모쓰+톱밥(1:1, v/v), 피트모쓰+수피(1:1, v/v)의 세종류 상토를 조제하고 조제된 12종류의 미량원소복합제와 미국에서 생산되는 Micronutrient fertilizer(Frit Industry)를 대조구로 하여 수행하였다. 모든 미량원소복합제는 61cc의 혼합상토에 0.075g의 개발된 미량원소복합제를 첨가하였다.

따라서 본 연구는 13 미량원소복합제 x 3종류 상토 x 각 처리당 3반복으로 총 117 컬럼을 제작한 후 수행하였다.

컬럼의 제작, 미량원소복합제의 혼합, 및 용출 실험은 “제 3 절 미량원소복합제의 용출특성”과 동일하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 물리성 분석

<표 9> 각종 혼합상토에서 조제된 미량원소복합제의 용출실험을 하기 전 분석한 토양 물리적 특성.

혼합상토	공극률	용기용수량	기상률	부피비중	입자비중	잔존수분량
	----- (%) -----		-----	---(g • cm ⁻¹) ---	---	(ml/357.4cc)
피트모쓰+ 부숙왕겨 (1:1, v/v)	75.7	69.4	6.3	0.15	1.55	239
피트모쓰+ 부숙톱밥 (1:1, v/v)	87.9	82.2	5.8	0.16	0.75	286
피트모쓰+ 부숙수피 (1:1, v/v)	79.4	75.2	4.2	0.26	0.77	261

본 실험은 혼합상토의 물리·화학적 토양에 존재하는 무기원소의 식물이 용도에 많은 영향을 미치기 때문에 용출량 및 속도를 판단하기 위한 근거로 삼고, 또한 컬럼을 이용한 무기원소의 용출 실험에서 각 공극을 세척하기 위한 증류수의 양을 결정하기 위해 수행하였다. 피트모쓰+왕겨 혼합상토가 74.5%, 피트모쓰+톱밥 혼합상토가 86%, 피트모쓰+수피 혼합상토에서 78%의 공극율을 갖는 것으로 측정되었다. 용기용수량은 피트모쓰+왕겨 혼합상토가 67%, 피트모쓰+톱밥 혼합상토가 81%, 피트모쓰+수피 혼합상토가 73.5%의 용기용수량을 갖는 것으로 측정되었으며, 피트모쓰+톱밥 혼합상토의 보수성이 높아 많은 무기원소를 보유할 것으로 예상되었다.

이상의 결과를 기초로 직경 2.54cm의 컬럼을 사용하여 61cc의 혼합상토를 충전하여 수행한 용출 실험에서는 저면관수한 후 배수시키고, 다시 상부에서 피트모쓰+왕겨 혼합상토에서는 47cc, 피트모쓰+톱밥 상토에서는 55cc로, 그리고 피트모쓰+수피 혼합상토에서는 49cc의 증류수를 첨가함으로써 모든 공극을 물로 세척하였다. 컬럼의 배수공을 통과한 용액을 수집한 후 무기원소 분석을 위해 이용하였다.

나. 실험전 상토의 화학성 분석

<표 10> 각종 혼합상토에서 조제된 미량원소복합제의 용출실험을 하기 전 분석한 토양 화학적 특성.

혼합상토	pH	EC	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
		(dS · m ⁻¹)	-----			(mg · kg ⁻¹)	-----	
피트모쓰+ 부숙왕겨 (1:1, v/v)	4.5	1.91	0.26	4.27	25.7	230.7	43.7	25.1
피트모쓰+ 부숙톱밥 (1:1, v/v)	4.1	1.58	0.41	4.05	12.9	69.3	47.6	28.7
피트모쓰+ 부숙수피 (1:1, v/v)	4.1	1.66	0.34	4.68	9.9	43.4	52.7	43.9

<표 10> 계속.

혼합상토	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
	----- (mg · kg ⁻¹) -----					
피트모쓰+ 부숙왕겨 (1:1, v/v)	1.66	1.78	0.30	0.13	0.36	0.06
피트모쓰+ 부숙툽밥 (1:1, v/v)	0.89	0.90	0.42	0.14	0.24	0.06
피트모쓰+ 부숙수피 (1:1, v/v)	4.78	2.66	0.41	0.17	0.24	0.07

실험 전 측정된 상토의 토양 pH는 4.1~4.6으로 모두 강산성을 띄었다. 모든 미량원소가 토양 pH 변화에 따라 용해도 및 식물이용도가 달라짐을 고려하여 모든 상토에 3.5g · L⁻¹의 비율로 고토석회를 첨가한 후 용출실험을 수행하였다. 고토석회 혼합 후 측정된 전기전도도는 피트모쓰+왕겨 혼합상토에서 약 1.66dS · m⁻¹로 가장 높았다. 부숙된 왕겨, 툽밥 또는 수피가 혼합된 상토에서 전기전도도가 높았던 원인은 부숙과정에서 첨가된 각종 비료성분들이 혼합상토 조제 후에도 영향을 미쳤기 때문이라고 판단되었다.

이상의 결과들은 컬럼실험을 통해 용출되는 각종 다량 및 미량원소의 양을 판단하기 위한 기초자료로 활용되었다.

다. 상토의 종류에 따른 미량원소복합제의 용출 특성

1) 피트모쓰+부숙왕겨 혼합상토

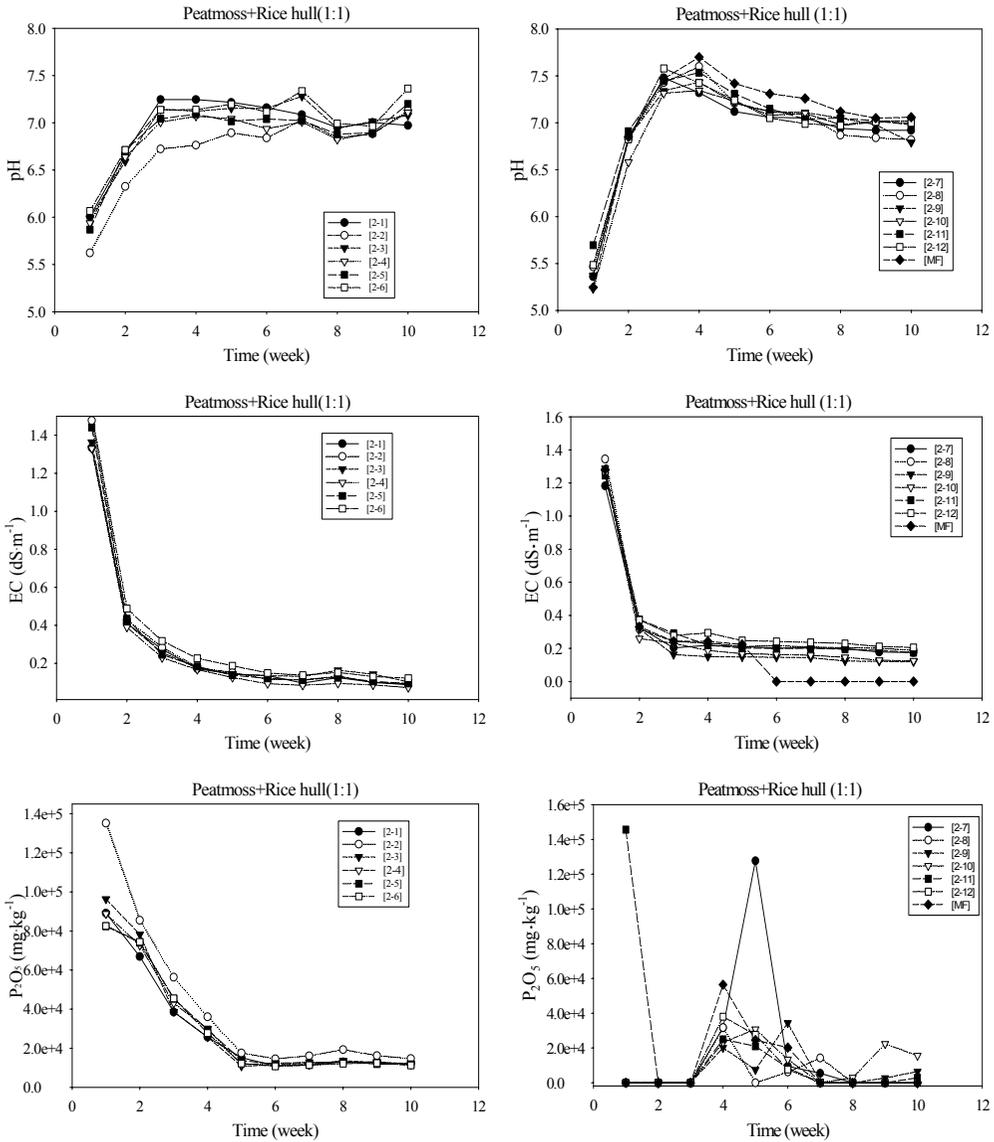
피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에서의 토양 pH 및 EC 변화는 피트모쓰+버미큘라이트 혼합상토에서와 유사한 경향을 나타내었다. 1차실험(시료 [2-1]~[2-6])에서의 인산농도가 2차실험(시료 [2-7]~[2-12])에서의 인산 용출농도 보다 높았으며 지효성 비료로의 개발 가능성을 나타내고 있다. 칼륨에서는 1차실험의 경우 시간이 경과함에 따라 농도가 점차 낮아졌으나 2차실험에서는 후반기로 갈수록 농도가 높아졌고 시료 [2-12]가 가장 우수한 용출곡선을

나타내었다. 칼슘과 마그네슘에서도 [2-12]의 용출곡선이 우수하였고 MF 비료보다 우수한 용출곡선을 나타내었다.

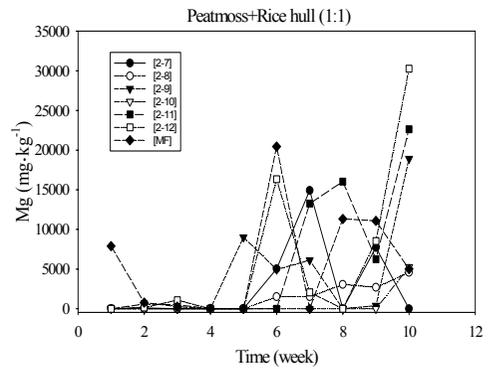
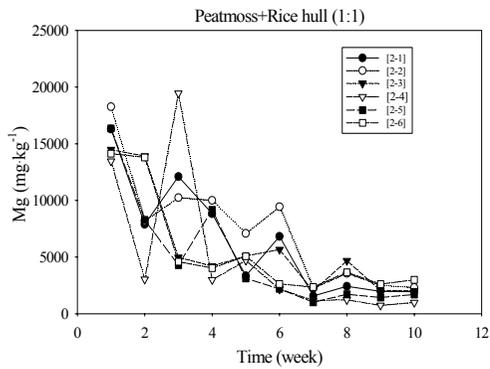
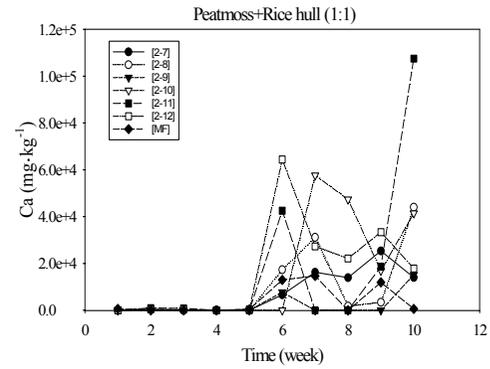
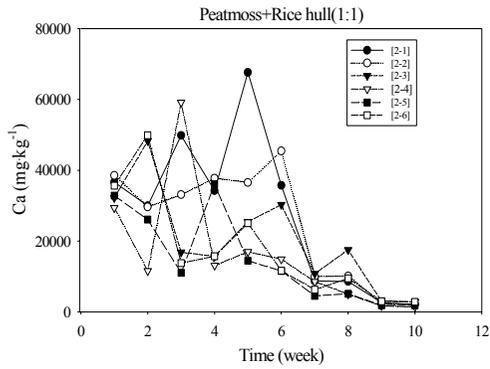
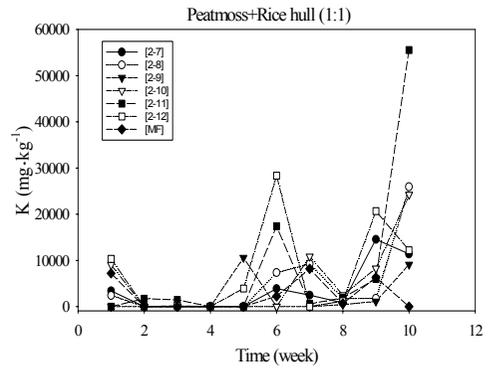
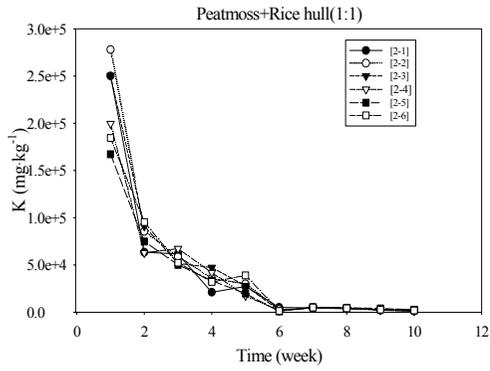
철은 모든 미량원소복합제에서 2주까지 용출량이 많았다가 점차 감소하였다. 시료 [2-1]~[2-6]에서는 1주에 $1000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 고농도로 Fe가 용출된 후 점차 낮아져 4주 이후부터 아주 낮은 농도로 분석되었다. 그러나 시료 [2-7]~[2-12]에서는 2주까지 용출량이 많았다가 낮아졌으며 5주까지 저농도로 용출되었다. 실험 초기 용출액의 Fe 농도는 1차실험에서의 농도가 2차실험에서의 농도보다 약 3배 정도 높았으며, 그 이유는 피트모쓰+버미큘라이트 혼합상토에서의 용출특성에서 설명한 바와 같이 실험과정에서의 차이에 기인한 결과라고 판단한다.

Mn과 Zn도 Fe와 유사한 용출 농도 변화를 나타내었으며, MF비료에서 본 연구에서 개발된 미량원소복합제들 보다 월등히 높은 용출농도를 갖는 것으로 분석되었다. 그러나 일반적으로 Fe와 Mn의 토양농도가 약 1.5~2.0:1인 점을 감안할 때 MF의 Mn 용출농도는 너무 높으며 본 연구에서 개발된 미량원소복합제의 용출특성이 우수하다고 판단되었다. Zn은 대조구로 삼은 MF 비료에서 1주와 6주의 용출농도가 2배 이상 높았고 용출이 지속적이지 못하였는데, 본 연구에서 개발된 미량원소복합제들의 용출특성이 더욱 바람직하다고 판단되었다.

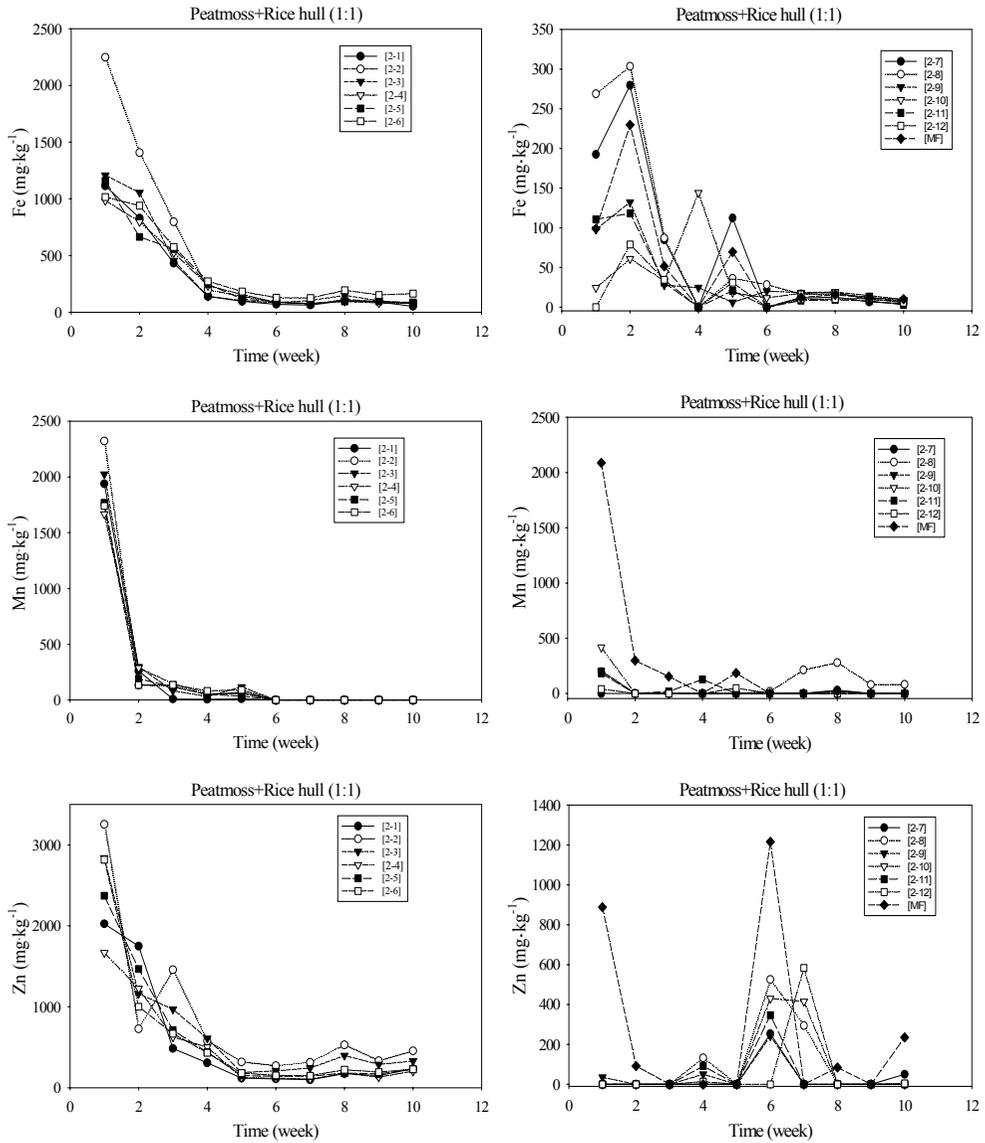
붕소는 1차 및 2차 실험 모두 3주 이내에 대부분 용출되었고, 4주 이후에는 용출액속의 B가 분석되지 않았다. 이와같은 이유는 비이온형인 붕소가 상토의 양이온치환부위에 흡착하지 못하기 때문이라고 판단되었다. 그러나 시료 [2-7]~[2-12]에서 [2-1]~[2-6]에서 보다 2배가량 농도가 높았는데, 미량원소복합제 조제과정에서 임의로 B의 혼합량을 증가시켰기 때문이라고 판단되었다.



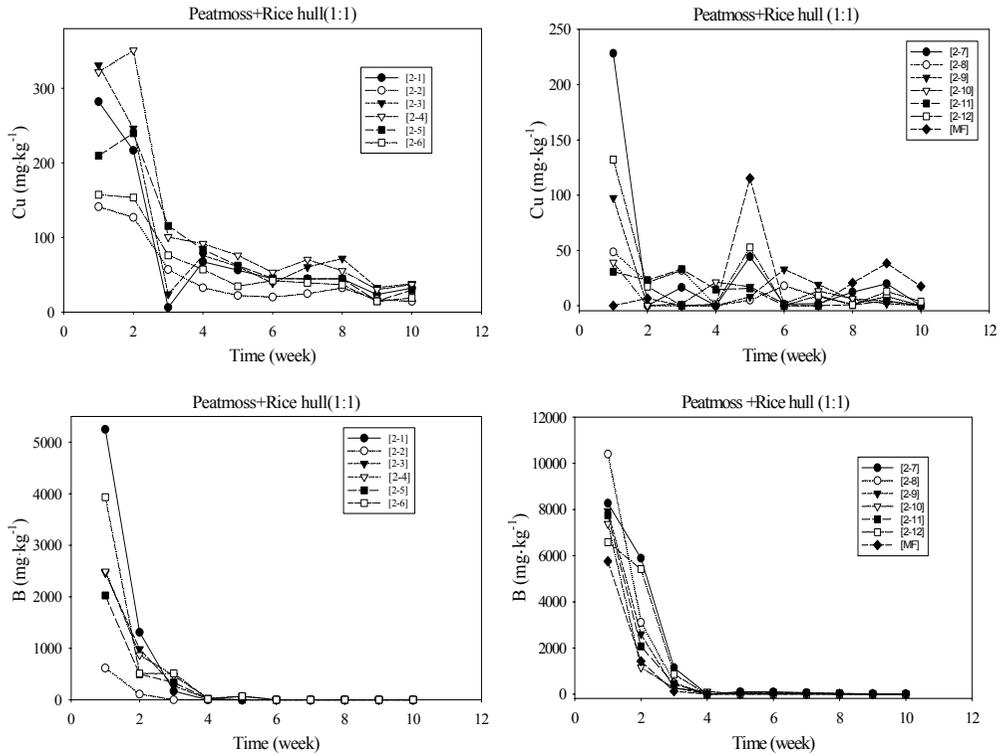
<그림 6> 본 연구에서 조제된 미량원소복합제를 $0.075\text{g} \cdot 61\text{cc}^{-1}$ 의 비율로 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 상토에 혼합한 후 플라스틱 컬럼에 충전하였고, 매주 2회씩 증류수로 컬럼을 용탈시킨 후 용탈액속의 무기원소를 분석한 결과.



<그림 6> 계속.



<그림 6> 계속.



<그림 6> 계속.

2) 피트모쓰+부숙수피 혼합상토

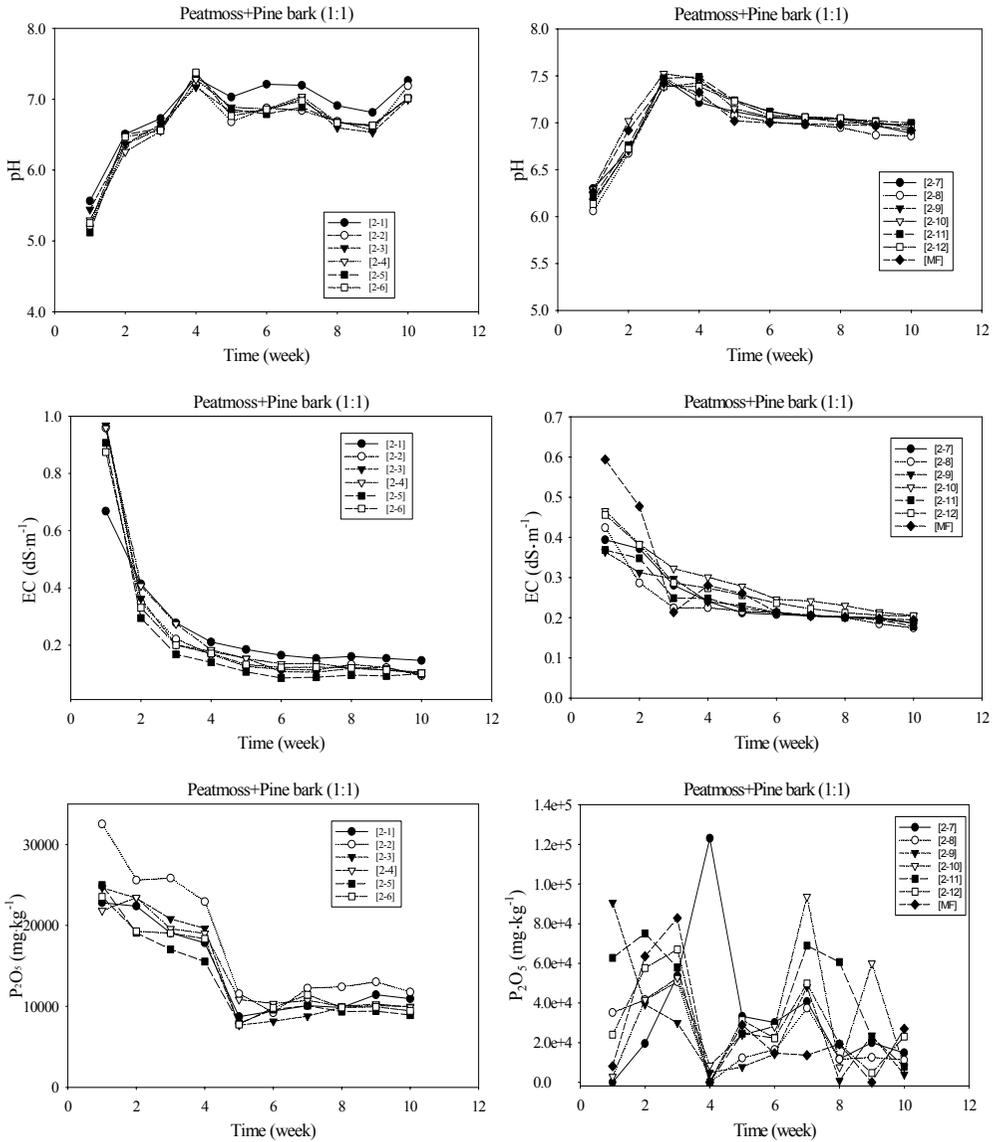
피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에서도 pH와 EC는 앞서 설명한 두 혼합상토에서와 유사한 경향을 나타내었으며, 뚜렷한 특징을 찾기는 어려웠다. 본 혼합상토에서의 용출곡선은 피트모쓰+부숙왕겨 혼합상토에서와 다른 경향을 나타내었다. 인산의 경우 1, 2 및 3주에 높은 농도로 분석되었고 4주째에 낮아졌으나 5주 이후부터 다시 용출되었다. MF 비료의 경우 3주까지는 비교적 농도가 높았으나 4주 이후부터 용출량이 적었다.

1차실험에서의 K농도는 [2-4] 처리에서 초기의 높은 농도를 유지하였으며 실험한 기간 동안 지속적으로 용출되어 지효성 K비료로 이용되어도 손색이 없다고 판단되었다. Ca은 앞의 두 종류 혼합상토에서와 유사하게 MF혼합구에서 높았으나 개발된 미량원소복합제 중 [2-2]를 제외한 기타 처리들에서도 비교적

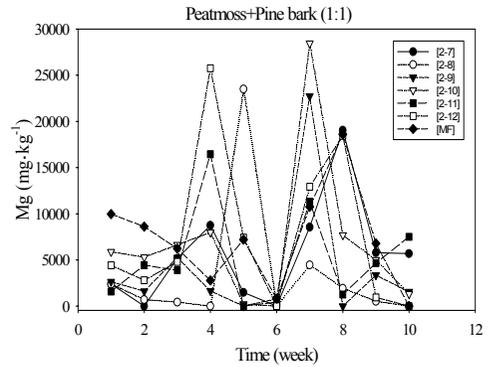
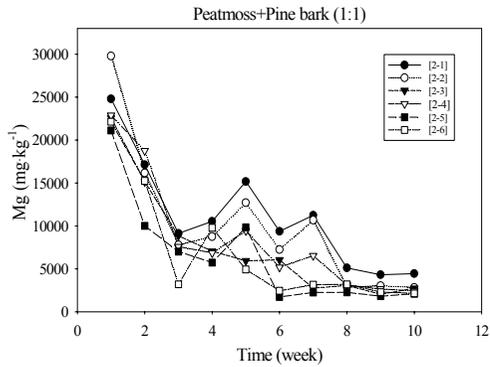
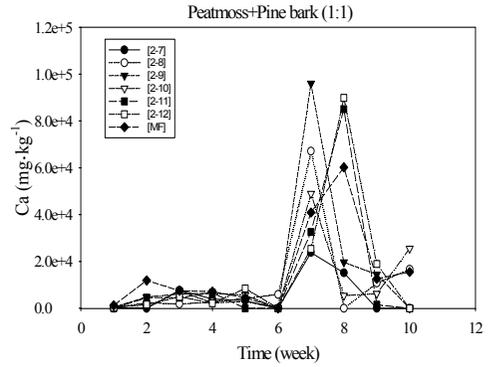
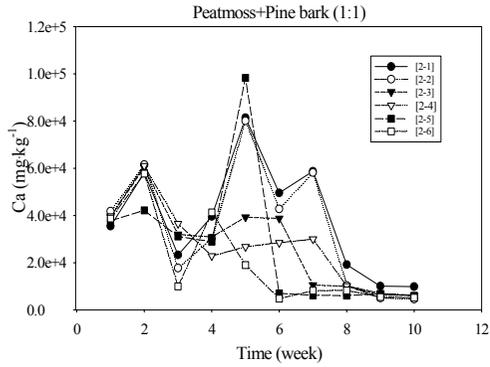
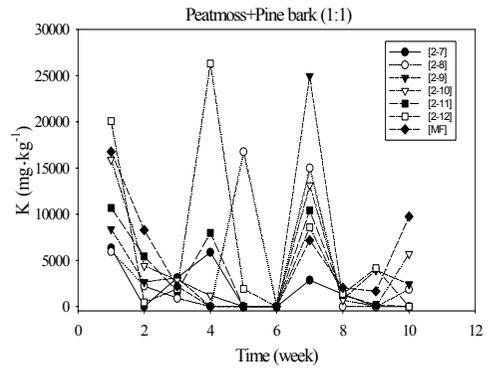
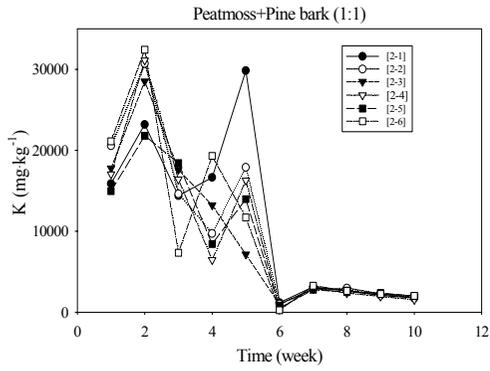
높게 유지되었다. 2차실험에서의 칼륨과 칼슘에서는 시료 [2-12]의 농도가 낮았으며, Mg의 경우 초기농도에서는 MF비료의 농도가 높았으나 3주 이후에는 [2-8], [2-11] 및 [2-12]의 농도가 높았다.

개발목표로 삼은 미량원소중 Fe은 [2-7, [2-8] 및 [2-11]의 초기농도가 월등히 높았다. MF비료 보다 2주째에 약 7배정도 많은 양이 용출되었으며 MF 비료는 5주 이후에 용출량이 증가하였다. Mn은 시료 [2-11]에서 초기에 가장 많은 양이 용출되었고 MF비료 보다 농도가 높았으며, 시료 [2-12]는 저농도로 용출농도의 큰 변화 없이 지속적으로 용출되었다. Zn에서는 시료 [2-7] 및 [2-8]의 농도가 높았고 Cu에서는 [2-10] 및 [2-12]의 용출농도가 높았다. B에서는 본 연구에서 조제된 시료들 중 [2-9] 와 [2-10]을 제외한 시료들의 농도가 MF비료 보다 높았다.

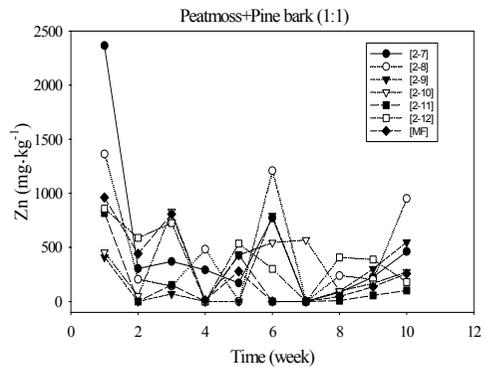
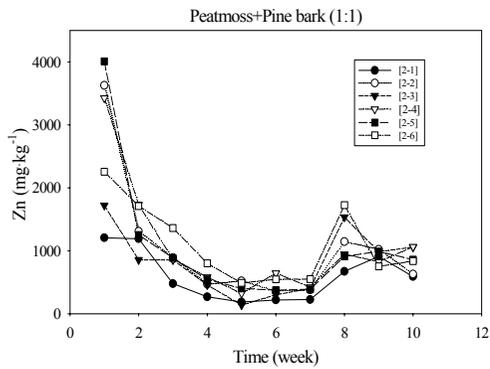
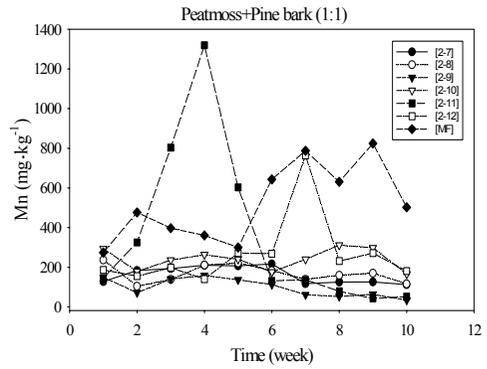
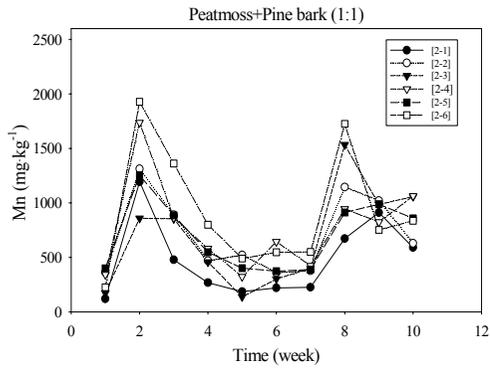
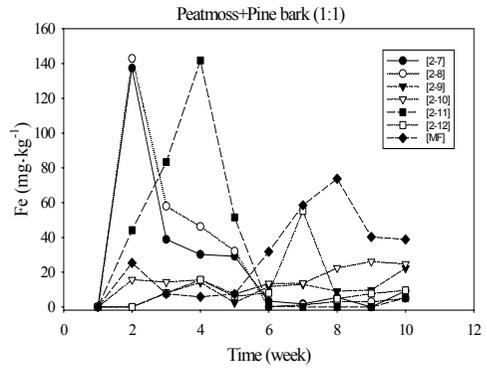
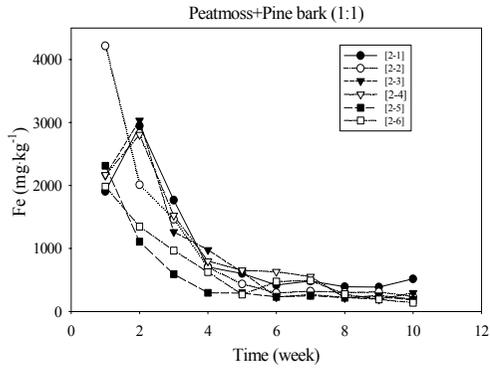
Fe의 경우 본 상토에서의 용출 농도가 피트모쓰+부숙왕겨 혼합상토에서 보다 낮았으나 용출 농도의 변화는 유사하였다. Mn는 다른 혼합상토에서와 유사하게 MF처리에서 높았고, Zn, Cu 및 B에서도 다른 혼합상토에서와 유사한 경향을 나타내었다.



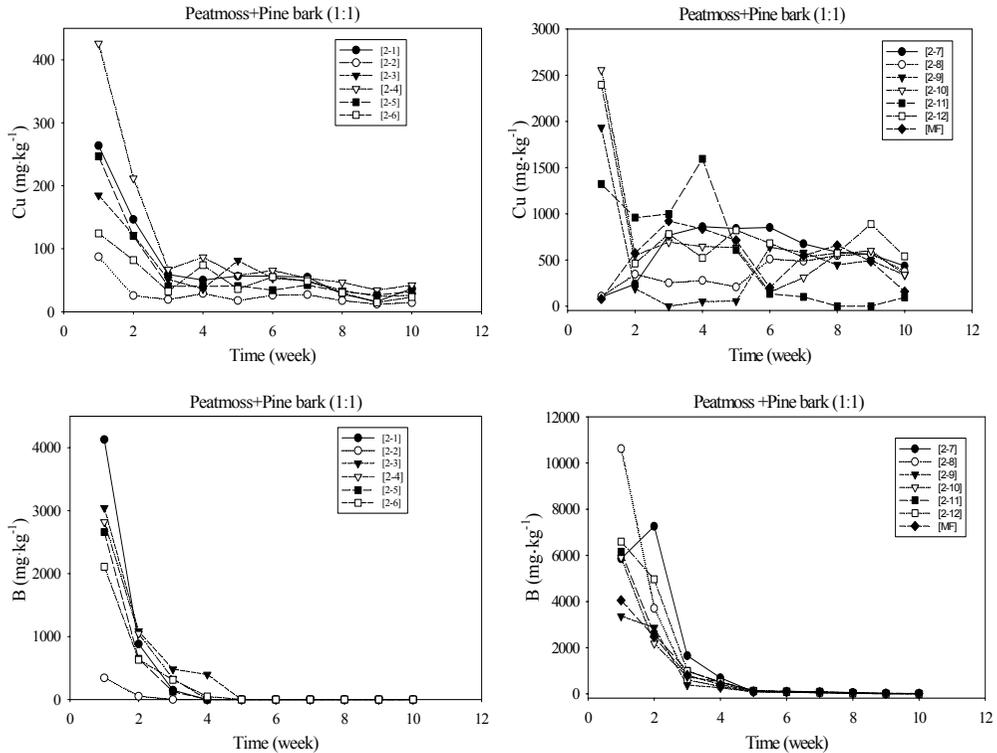
<그림 7> 본 연구에서 조제된 미량원소복합제를 $0.075\text{g} \cdot 61\text{cc}^{-1}$ 의 비율로 피트모쓰+부속수피(1:1, v/v) 상토에 혼합한 후 플라스틱 컬럼에 충전하였고, 매주 2회씩 증류수로 컬럼을 용탈시킨 후 용탈액속의 무기원소를 분석한 결과.



<그림 7> 계속.



<그림 7> 계속.



<그림 7> 계속.

3) 피트모스+부숙톱밥 혼합상토

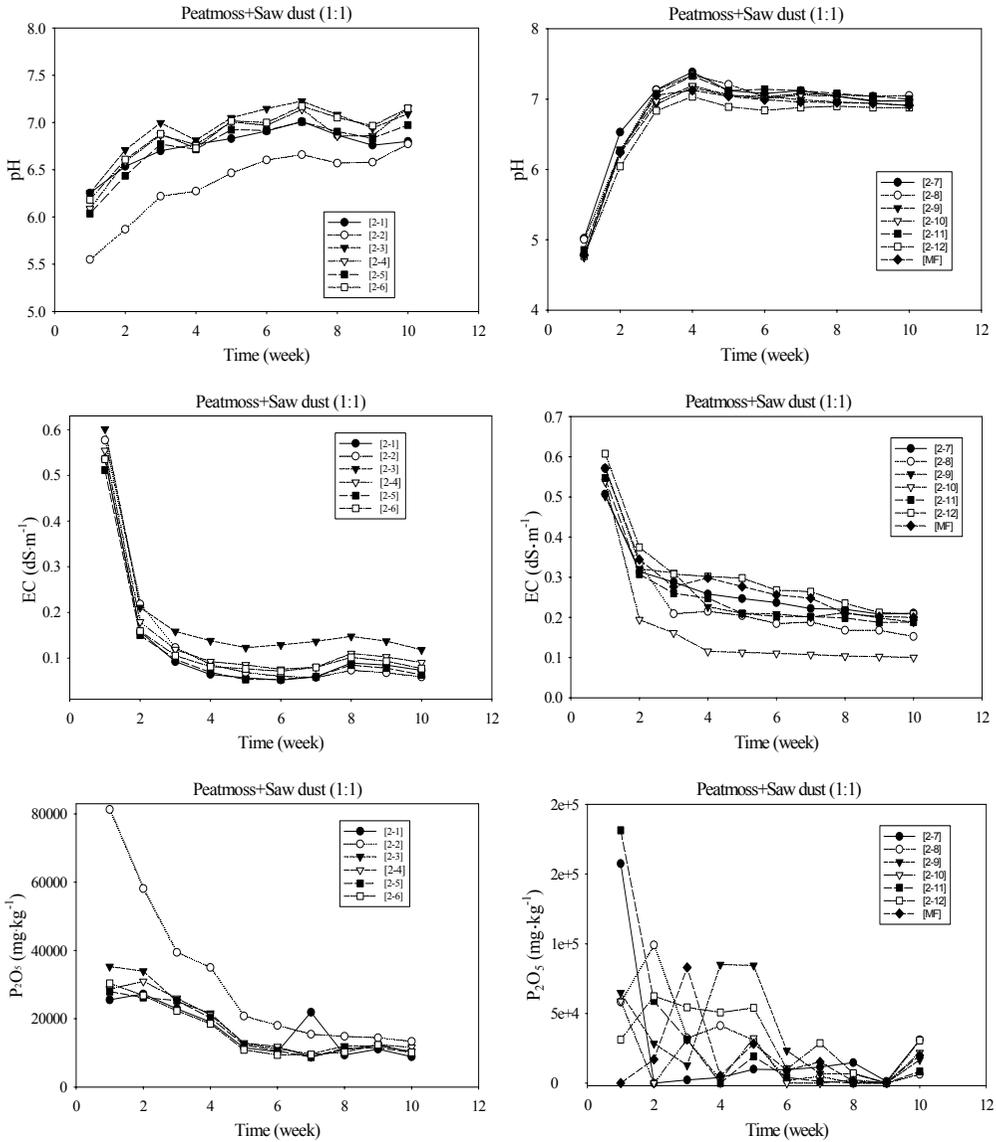
피트모스+톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에서의 1차실험(시료 [2-1]~[2-6])에서 토양 pH는 초기 4주동안 점차 상승하였고, 이후 6.0~6.7 사이로 유지되었으며 처리간 차이는 뚜렷하지 않았다. 전기전도도는 1주에 약 $0.55\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 측정된 후 2주부터 급격히 낮아졌으며, 2주 이후에는 각 처리간 차이는 크지 않았다. 2차실험(시료 [2-7]~[2-12])에서도 정도의 차이가 있을 뿐 1차실험과 유사한 경향을 나타내었으며, 처리간 차이도 뚜렷하지 않았다.

1차실험의 대상인 미량원소복합제 [2-1]~[2-6]에서의 용출농도는 실험 전기간 동안 $1000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상으로 분석되어 지효성 인산비료로의 개발 가능

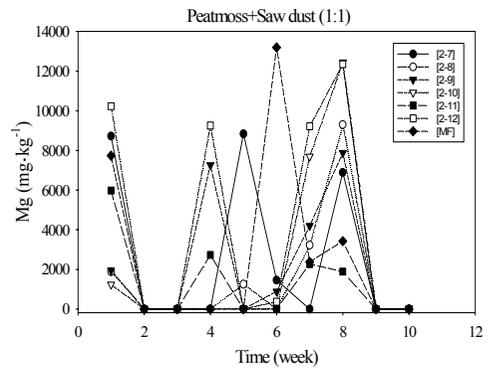
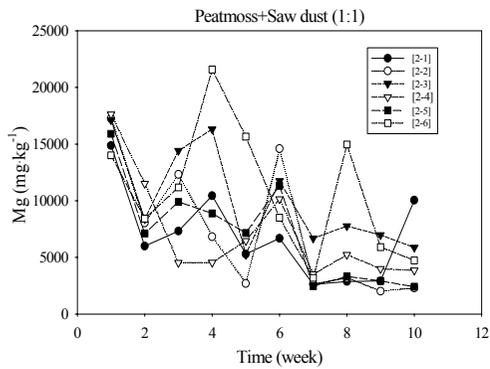
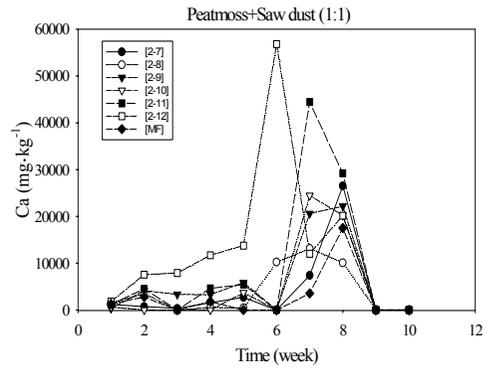
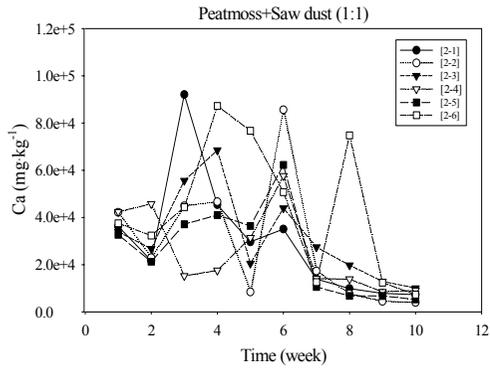
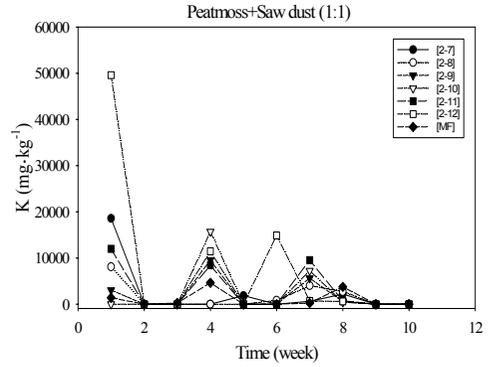
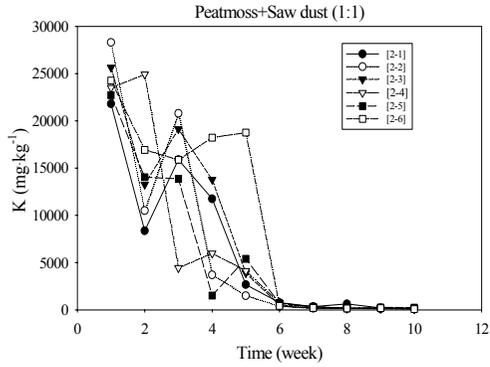
성을 나타내고 있다. 2차실험(시료 [2-7]~[2-12])에서는 시료 [2-7] 및 [2-11]에서 초기 농도가 높았으나 [2-12]에서 지속적으로 용출되어 용출 특성상 가장 우수하였고 MF 비료 보다 우수한 특성을 나타내었다.

K, Ca 및 Mg의 용출농도에서는 시료 [2-12]에서 가장 높았으며 [2-11]도 높은 용출농도를 나타내었다. 앞의 여러 상토에서와 유사하게 Fe 보다 Mn의 용출농도가 높았는데 특히 MF 비료에서의 농도가 높게 분석되었으며 본 연구에서 개발된 미량원소복합제 보다 용출특성에서 바람직하지 못하다고 판단되었다. Cu와 B에서는 시료 [2-12]의 농도가 비교적 높게 유지되었다. B의 경우 MF비료에서 매우 낮았는데 이는 붕소의 용출량을 증가시키기 위해 의도적으로 조제과정에서 B의 혼합량을 증가시켰기 때문이라고 판단되었다.

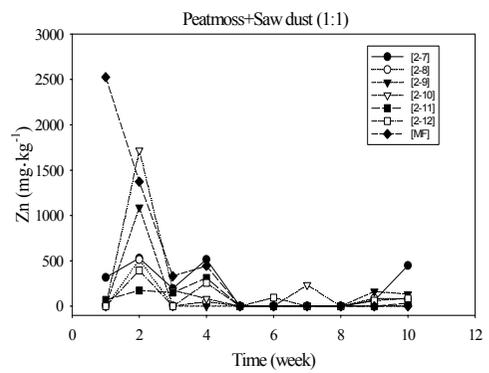
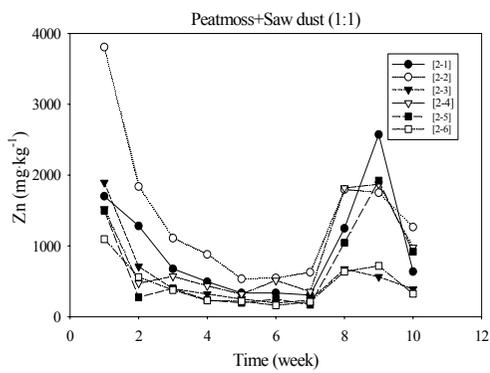
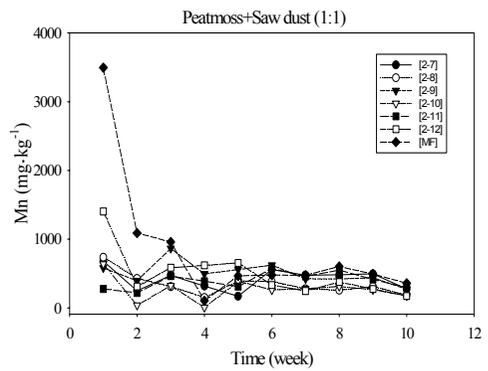
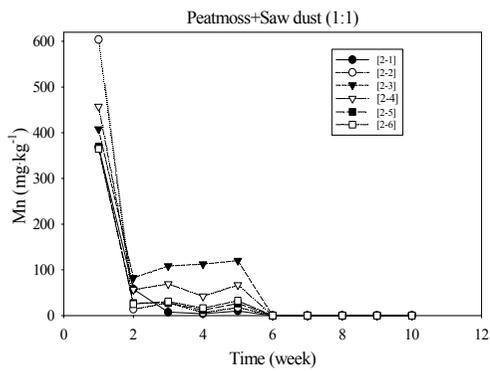
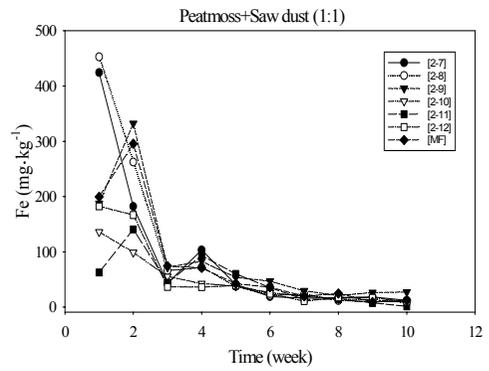
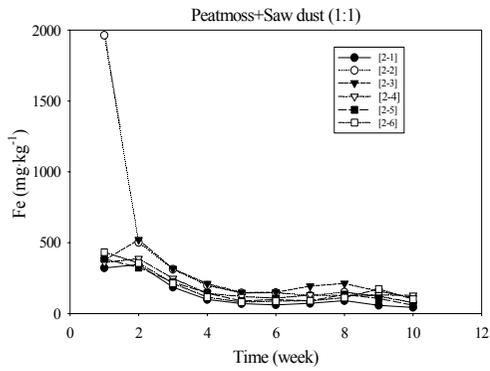
본 상토에서의 Fe 및 Mn 농도분석 결과는 피트모쓰+질석 혼합상토와는 다른 결과이다. 이는 톱밥 자체의 양이온 치환용량, 보수성, 그리고 혼합상토 조제전 부숙과정에서 부터 잔존하는 토양미생물이 복합적으로 영향을 미쳤기 때문이라고 판단되었다. 따라서 실제 작물재배에 이용할 경우 피트모쓰+질석 혼합상토에서 보다 미량원소복합제의 혼합량을 증가시켜야 할 것으로 판단되었다.



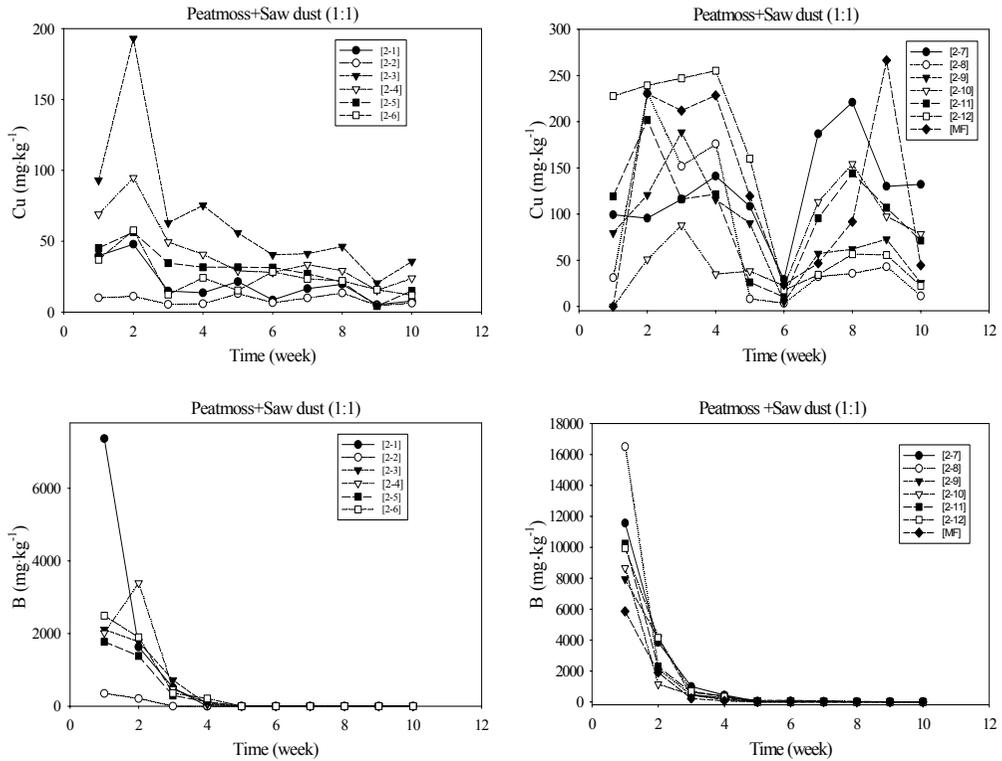
<그림 8> 본 연구에서 조제된 미량원소복합제를 $0.075\text{g} \cdot 61\text{cc}^{-1}$ 의 비율로 피트모스+부숙톱밥(1:1, v/v) 상토에 혼합한 후 플라스틱 컬럼에 충전하였고, 매주 2회씩 증류수로 컬럼을 용탈시킨 후 용탈액속의 무기원소를 분석한 결과.



<그림 8> 계속.



<그림 8> 계속.



<그림 8> 계속.

3. 적요

가. 피트모스+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토

- 1) 철은 모든 미량원소복합제에서 2주까지 용출량이 많았다가 점차 감소하였다. 시료 [2-1]~[2-6]에서는 1주에 $1000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 고농도로 Fe가 용출된 후 점차 낮아져 4주 이후부터 아주 낮은 농도로 분석되었다. 그러나 시료 [2-7]~[2-12]에서는 2주까지 용출량이 많았다가 낮아졌으며 5주까지 저농도로 용출되었다.
- 2) Mn과 Zn도 Fe와 유사한 용출 농도 변화를 나타내었으며, MF비료에서 본 연구에서 개발된 미량원소복합제들 보다 월등히 높은 용출농도를 갖는 것으로 분석되었다.
- 3) Zn은 대조구로 삼은 MF 비료에서 1주와 6주의 용출농도가 2배 이상 높

았고 용출이 지속적이지 못하였는데, 본 연구에서 개발된 미량원소복합제들의 용출특성이 더욱 바람직하다고 판단되었다.

- 4) 붕소는 1차 및 2차 실험 모두 3주 이내에 대부분 용출되었고, 4주 이후에는 용출액속의 B가 분석되지 않았다. 이와같은 이유는 비이온형인 붕소가 상토의 양이온치환부위에 흡착하지 못하기 때문이라고 판단되었다.

나. 피트모쓰+부숙수피 혼합상토

- 1) Fe은 [2-7, [2-8] 및 [2-11]의 초기농도가 월등히 높아 MF비료 보다 2주째에 약 7배정도 많은 양이 용출되었으며 MF 비료는 5주 이후에 용출량이 증가하였다.
- 2) Mn은 시료 [2-11]에서 초기에 가장 많은 양이 용출되었고 MF비료 보다 농도가 높았으며, 시료 [2-12]는 저농도로 용출농도의 큰 변화 없이 지속적으로 용출되었다.
- 3) Zn에서는 시료 [2-7] 및 [2-8]의 농도가 높았고 Cu에서는 [2-10] 및 [2-12]의 용출농도가 높았다. B에서는 본 연구에서 조제된 시료들 중 [2-9] 와 [2-10]을 제외한 시료들의 농도가 MF비료 보다 높았다.
- 4) Fe의 경우 본 상토에서의 용출 농도가 피트모쓰+부숙왕겨 혼합상토에서 보다 낮았으나 용출 농도의 변화는 유사하였다. Mn은 다른 혼합상토에서와 유사하게 MF처리에서 높았고, Zn, Cu 및 B에서도 다른 혼합상토에서와 유사한 경향을 나타내었다.

다. 피트모쓰+부숙톱밥 혼합상토

- 1) 앞의 여러 상토에서와 유사하게 Fe 보다 Mn의 용출농도가 높았는데 특히 MF 비료에서의 농도가 높게 분석되었으며 본 연구에서 개발된 미량원소복합제 보다 용출특성에서 바람직하지 못하다고 판단되었다.
- 2) Cu와 B에서는 시료 [2-12]의 농도가 비교적 높게 유지되었다. B의 경우 MF비료에서 매우 낮았는데 이는 붕소의 용출량을 증가시키기 위해 의도적으로 조제과정에서 B의 혼합량을 증가시켰기 때문이라고 판단되었

다.

- 3) 본 상토에서의 Fe 및 Mn 농도분석 결과는 피트모쓰+질석 혼합상토와는 다른 결과이다. 이는 톱밥 자체의 양이온 치환용량, 보수성, 그리고 혼합상토 조제전 부숙과정에서 부터 잔존하는 토양미생물이 복합적으로 영향을 미쳤기 때문이라고 판단되었다.

제 5 절 생장저해 물질의 분석

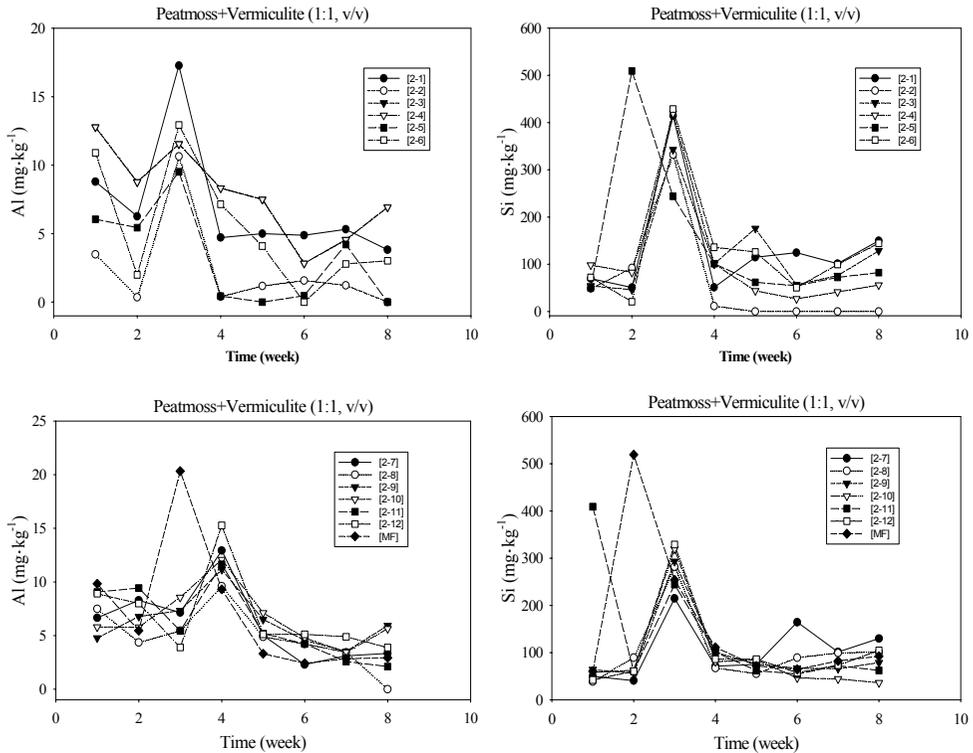
1. 재료 및 방법

본 미량원소복합제의 개발이 폐유리를 이용하여 진행되었고, 폐유리속에 많은 양의 Al 및 Si가 존재하므로써 식물생육을 저해할 가능성이 높았다. 따라서 본 연구에서는 용출실험을 통해 용출되는 Al 및 Si의 양을 분석하였다.

피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토를 조제한 후 조제된 미량원소복합제를 $0.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 상토에 혼합하였다. 이후 용출 특성에서와 동일한 방법으로 컬럼에 충전하였고, 1주일에 2회 용출하였다. 용출액을 이용하여 ICP로 Al과 Si를 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

산성에서 Al의 과잉에 의한 생리장해가 많이 발생하는 점을 고려하였고, 본 연구에서 미량원소복합제의 조제과정에 무기원소를 제외한 기타 화학물질이 첨가되지 않은 점을 고려하여 Al과 Si의 용출량을 분석하였다. 시료 [2-5]와 [2-11]을 제외한 모든 처리에서 3주째에 Si의 용출농도가 가장 높았으며 4주 이후에는 $150\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하의 Si 농도를 유지하였다. Al의 경우 1차적으로 실험한 시료 [2-1]~[2-6]에서는 3주째에 농도가 높았으나 [2-7]~[2-12]에서는 4주째에 농도가 높았다. 그러나 모든 처리에서 한번의 피크를 나타낸 후 $5\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하의 농도로 저하되었으며 식물생육에 영향을 줄 정도의 고농도라고 판단되지는 않았다.



<그림 9> 본 연구에서 조제된 미량원소복합제를 0.075g · 61cc⁻¹의 비율로 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 상토에 혼합한 후 플라스틱 컬럼에 충전하였고, 매주 2회씩 증류수로 컬럼을 용탈시킨 후 용탈액속의 Al 및 Si 농도를 분석한 결과.

3. 적 요

가. 시료 [2-5]와 [2-11]을 제외한 모든 처리에서 3주째에 Si의 용출농도가 가장 높았으며 4주 이후에는 150mg · kg⁻¹ 이하의 Si 농도를 유지하였다. 나. Al의 경우 1차적으로 실험한 시료 [2-1]~[2-6]에서는 3주째에 농도가 높았으나 [2-7]~[2-12]에서는 4주째에 농도가 높았다.

다. 그러나 모든 처리에서 한번의 피크를 나타낸 후 5mg · kg⁻¹ 이하의 농도로 저하되었으며 식물생육에 영향을 줄 정도의 고농도라고 판단되지는 않았다.

제 6 절 개발된 미량원소복합제가 플러그재배시 작물 생육에 미치는 영향

1. 재료 및 방법

가. 혼합상토의 조제 및 미량원소복합제의 첨가

본 연구는 조제된 미량원소복합제를 작물 재배에 이용할 경우 식물이 흡수하는 무기원소의 양을 판단하기 위하여 수행하였으며, 1차실험의 시료 [2-1]~[2-6]을 이용하였다. 피트모쓰+버미큘라이트를 1:1(v/v)로 혼합한 상토를 조제하였으며 상토조제과정에서 개발된 미량원소복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하였다. 또한 혼합상토에는 고토석회를 $6\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였다.

나. 시비 및 생육조사

상기한 바와 같이 미량원소복합제를 포함한 상토를 200공 플러그트레이에 충전하고 메리골드 'Orange Boy' 를 파종하였으며 파종 35일 후에 지상부의 생육, 무기원소흡수 및 토양무기염 농도변화를 조사 및 분석하였다. 작물 재배중 Stage 2부터 시비를 시작하였으며 1주일에 3회 $80\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절된 Hoagland 용액(미량원소 제외)을 관비하였다. 생육조사는 파종 35일 후에 수행하였으며 초장, 초폭, 관부직경 및 엽수를 조사하였다. 또한 지체부에서 절단한 후 생체중을 측정하였고 75°C 로 온도를 조절한 건조기에서 24시간 건조시킨 후 건물중을 측정하였다.

다. 토양 및 식물체 분석

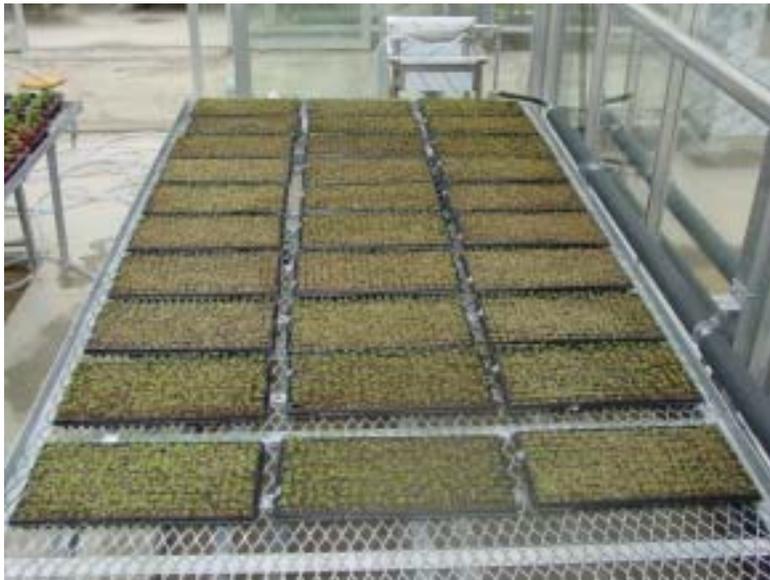
토양분석은 종자 파종전과 작물 수확후 2차례 수행하였다. 종자 파종전 분석은 미량원소복합제를 대상으로 한 실험임을 감안하여 pH 7로 조절한 Ammonium acetate 용액으로 추출한 후 질소를 제외한 모든 무기원소를 분석하였다. NH_4^+-N 과 NO_3^--N 은 포화추출법으로 분석하였고 pH와 EC도 포화추출법으로 측정하였다.

식물체의 전질소 함량은 Semi-micro Kjeldahl 방법으로 분석하였으며, B는

습식분해(Wet ashing) 방법을 적용하여 100mL의 ethanol에 15g의 $Mg(NO_3)_2$ 를 용해시킨 용액 6mL를 시료 500mg에 첨가하고 450℃의 회화로에서 산화시켰다. 이후 boron은 Grinstead 와 Snider(1969)의 방법으로 비색정량하였다.

과종 35일 후에 수확하고 2일간 건조기에서 건조시킨 식물체를 Dry ashing 방법을 적용하여 500℃의 회화로에서 산화시킨 후 0.5N HCl 용액으로 포집한 후 A·A(Shimazu 680)을 사용하여 K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, 및 Cu를 분석하였다. 건식분해 시킨 용액을 이용하여 식물체내 존재하는 인산을 Chapman과 Pratt(1966)의 방법으로 비색정량하였다.

2. 결과 및 고찰



<그림 10> 플러그 재배실험 장면.

<표 11> 피트모쓰+버미큘라이트(1/1, v/v) 혼합상토에 개발된 미량원소복합제를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합하고 종자 파종전 분석한 토양 화학적 특성.

처리	pH	EC	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	
		(dS · m ⁻¹)	--- (mg · L ⁻¹) --- (SP)	---	---- (mg · L ⁻¹) ---- (Ammonium acetate)	----	
대조구	6.73 c ^z	0.92 b	71.51 c	264.0 a	147.3 cd	231.6 bcd	
2 - 1	6.94 b	0.79 cd	31.23 d	124.9 ef	159.6 bcd	233.1 bc	
2 - 2	6.72 c	0.75 d	30.08 d	128.9 def	178.0 bc	251.9 a	
2 - 3	6.74 c	0.79 cd	64.78 c	149.1 de	184.1 b	216.1 e	
2 - 4	6.93 b	0.81 c	61.31 c	237.7 b	214.8 a	226.3 cde	
2 - 5	6.75 c	0.79 c	127.89 a	205.5 c	171.8 bc	220.1 de	
2 - 6	7.11 a	0.97 a	131.15 a	153.9 d	159.6 bcd	225.5 cde	
2 - 7	6.95 a	0.93 ab	92.66 b	114.5 f	184.1 b	240.8 b	
MF	6.66 d	0.92 b	86.76 b	201.4 c	135.0 d	220.5 de	

처리	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- (mg · L ⁻¹) ----- (Ammonium acetate)						
대조구	19925 e	1943 ab	0.50 c	7.3 e	2.75 d	0.21 d	367.8 i
2 - 1	20692 e	2141 a	0.78 ab	8.8 de	3.62 d	0.39 b	933.9 a
2 - 2	32500 ab	2111 a	0.81 a	9.3 d	8.95 b	0.55 a	573.0 d
2 - 3	24750 cde	1799 bc	0.63 bc	12.5 c	14.25 a	0.38 b	546.0 e
2 - 4	28660 abc	1893 ab	0.82 a	11.1 c	14.50 a	0.40 b	653.9 c
2 - 5	21824 de	1596 c	0.70 ab	17.9 b	7.05 bc	0.36 bc	715.6 b
2 - 6	34100 ab	1860 abc	0.67 ab	12.1 c	3.62 d	0.28 cd	465.0 g
2 - 7	27600 bcd	1907 ab	0.51 c	17.0 b	4.40 d	0.30 c	487.0 f
MF	34720 a	1967 ab	0.75 ab	28.5 a	6.60 c	0.29 c	425.4 h

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 12>는 미량원소복합제를 혼합한 상토에서 메리골드를 플러그재배하고 파종 35일 후에 토양분석을 한 결과이다. 토양 pH는 모든 처리에서 6.78-6.83으로 측정되었고, 전기전도도(EC)는 2.27-2.54dS · m⁻¹로 측정되었는데, pH와 EC 모두 처리간 통계적인 차이가 인정되지 않았다. Hannan(1997) 및 Nelson(1991)은 혼합상토를 이용한 플러그재배에서 최적 pH는 5.6-6.2의 범위라고 하였다. 본 연구에서 pH가 상승한 원인은 종자 파종 전 상토조제과정에서 혼합된 고토석회에 의해 발생된 결과라고 판단되며, 고토석회의 혼합량을 낮추어야 한다고 생각한다. NH₄-N은 54.0-72.9mg · L⁻¹로 분석되었으나 처리간 차이가 없었고, NO₃-N은 -대조구에서 270.3mg · L⁻¹로 분석되어 실험한 다른 처리들 보다 유의하게 높았으나 기타 처리들 간에는 차이가 인정되지 않았다. 토양 인산 농도는 시료 [2-4]에서 가장 높았고, K은 -대조구에서 250mg · kg⁻¹으로 가장 높았는데 K의 경우 -대조구를 제외한 기타 처리간에는 통계적인 차이가 인정되지 않았다.

미량원소중 철은 -대조구에서 0.12mg · kg⁻¹으로 가장 낮았는데, Hoagland 용액의 미량원소를 제외한 다른 원소만 시비하였기 때문에 발생한 결과라고 판단한다. 특히, Mn의 경우 +대조구에서 5.50mg · kg⁻¹으로 분석되어 본 연구에서 개발된 미량원소복합제가 혼합된 처리들 보다 농도가 낮았다. Miller와 Donahue(1990)은 1M NH₄HCO₃로 사양토의 미량원소를 추출하여 분석하였으며, Fe는 2.1-4.0 그리고 Mn은 1.8mg · kg⁻¹이 적절한 범위라고 하여 가용성 Fe와 Mn의 비율이 약 1.5:1에서 식물생육이 우수하다고 하였다. 따라서 본 연구에서 Fe에 대한 Mn 농도가 과도하게 높다고 판단되었다. Zn은 시료 [2-3] 및 [2-4]에서 비교적 높은 농도로 분석되었고, -대조구에서 1.95mg · kg⁻¹으로 가장 낮았다. 특이한 점은 +대조구에서 B 농도가 76.7mg · kg⁻¹으로 분석되었는데, 본 연구에서 개발된 미량원소복합제들의 B 농도가 132.3-349.0mg · kg⁻¹으로 분석되어 너무 높았다고 판단되었다. Choi 등(1996), Lee 등(1992) 그리고 Lee 등(1996)의 연구결과를 고려할 때 B는 식물체내에서 결핍증상을 유발하는 한계농도와 과잉증상을 유발하는 한계농도와의 범위가 좁으며 결핍증상이나 과잉증상이 쉽게 나타난다. 따라서 토양 B 농도가 높았던 시료 3-1 및 3-4는 B과잉에 의해 작물생육이 저조하였다고 판단된다.

<표 12> 조제된 미량원소복합제를 피트모쓰+버미큘라이트(1/1, v/v) 혼합상토에 0.5g · L⁻¹ 로 혼합한 후 메리골드 Orange Boy[®] 를 재배하고 35일 후에 토양 분석한 결과.

처리	pH	EC	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	
		(dS · m ⁻¹)	--- (mg · L ⁻¹) --- (SP)	---	---- (mg · L ⁻¹) ---- (Ammonium acetate)	----	-----
+대조구	6.84 ab ^z	2.30 cd	65.8 d	311.6 b	159.6 abc	194.3 ab	
-대조구	6.83 ab	2.37 bcd	55.1 e	410.3 a	114.6 de	180.6 ab	
2 - 1	6.86 a	2.27 d	26.6 g	104.7 gh	141.0 bcd	201.0 ab	
2 - 2	6.79 cd	2.37 bcd	26.6 g	112.8 gh	110.5 de	174.5 ab	
2 - 3	6.81 bcd	2.40 bcd	55.5 e	128.9 fg	98.2 de	159.0 b	
2 - 4	6.83 abc	2.42 abcd	44.0 f	225.6 c	184.1 a	156.0 b	
2 - 5	6.79 cd	2.48 abc	189.4 a	214.0 cd	128.9 bcd	162.5 ab	
2 - 6	6.78 d	2.54 ab	130.4 a	157.1 ef	165.7 ab	250.0 a	
2 - 7	6.78 d	2.59 a	84.6 c	93.7 h	122.7 cd	212.5 ab	
MF	6.83 abc	2.29 d	72.9 d	185.3 de	73.6 e	147.5 b	

처리	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- (mg · L ⁻¹) ----- (Ammonium acetate)						
+대조구	6727 a	1525 abc	0.41 c	5.50 de	4.52 ef	0.06 e	76.7 f
-대조구	6412 a	1297 c	0.22 g	4.65 e	2.95 f	0.03 e	69.0 f
2 - 1	7592 a	1541 abc	0.33 e	6.53 de	8.13 d	0.47 a	349.0 a
2 - 2	5586 a	1359 bc	0.37 de	5.74 de	8.28 d	0.24 bc	132.3 d
2 - 3	5682 a	1352 bc	0.29 f	8.58 d	17.49 b	0.19 cd	137.3 d
2 - 4	5254 a	1371 bc	0.38 cd	14.47 c	20.13 a	0.26 bc	231.0 b
2 - 5	6357 a	1548 ab	0.26 fg	17.65 b	8.34 d	0.18 cd	183.5 c
2 - 6	7402 a	1689 a	0.50 b	12.70 c	5.19 e	0.11 de	189.7 c
2 - 7	6651 a	1585 ab	0.36 de	14.71 c	5.54 e	0.31 b	184.7 c
MF	6642 a	1567 ab	0.63 a	24.84 a	13.45 c	0.17 cd	106.5 e

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 13>에는 각종 미량원소복합제를 혼합한 상토에서 메리골드 'Orange Boy' 를 플러그육묘하고 35일 후의 지상부 생육을 조사한 결과이다. 초장은 시료 [2-3]에서 7.12cm로 조사되어 가장 컷고 시료 [2-5]에서 6.18cm로 가장 작았다. 초폭은 본 연구를 통해 조제된 미량원소복합제들을 혼합한 경우 +Control 또는 -Control 보다 넓었고 통계적인 차이도 인정되었다. 관부직경에서는 처리 [2-3], [2-6] 및 [2-7]에서 유의하게 굵었는데 이는 인산의 흡수량에 많은 영향을 받았다고 판단된다. 즉 관부직경이 굵었던 처리 [2-3], [2-6] 및 [2-9]의 식물체내 인산 함량이 각각 0.52, 0.55 및 0.71%(표 14)로 다른 처리들에 비해 높았고 높은 인산함량이 관부직경이 굵은 원인이 되었다고 판단되었다. Choi 등(2002)도 국화를 분화재배하면서 인산의 시비량을 증가시킬 경우 줄기직경이 굵어진다고 하여 인산농도가 줄기의 굵기에 영향을 미쳤음을 보고한 바 있다.

초장, 초폭 및 관부직경에서 생육이 우수하였던 시료 [2-2], [2-3], [2-6] 및 [2-7]에서 생체중이 무거웠고, +대조구 보다 유의하게 무거웠다. 이상의 4 처리에서는 건물중도 무거워 생육에 바람직하다고 판단되었으며 +대조구 및 -대조구와의 통계적인 차이도 인정되었다. 이상의 생육을 고려할 때 시료 [2-3], [2-6] 및 [2-7]이 메리골드의 플러그 재배시 생육을 우수하게 유지할 수 있는 바람직한 미량원소복합제라고 판단되었다.

<표 13> 조제된 미량원소복합제를 피트모쓰+버미큘라이트(1/1, v/v) 혼합상토에 0.5g · L⁻¹ 로 혼합한 후 메리골드 Orange Boy[®] 를 재배하고 35일 후에 생육 조사한 결과.

처리	초장 (cm)	초폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (mg/식물체)
+대조구	6.54 de ^z	3.32 c	0.138 d	8.0 a	0.318 bc	41.1 cd
-대조구	6.22 f	3.42 bc	0.140 d	8.0 a	0.277 d	39.1 de
2 - 1	6.61 de	3.62 ab	0.160 bc	8.0 a	0.268 d	36.2 ef
2 - 2	6.95 abc	3.67 a	0.158 bc	8.0 a	0.362 a	47.1 ab
2 - 3	7.12 a	3.78 a	0.172 a	8.0 a	0.357 a	49.2 a
2 - 4	6.90 bc	3.67 a	0.153 c	8.0 a	0.315 bc	44.0 bc
2 - 5	6.18 f	3.31 c	0.163 ab	8.0 a	0.267 d	35.1 f
2 - 6	6.73 cd	3.84 a	0.167 a	8.0 a	0.342 ab	47.1 ab
2 - 7	7.01 ab	3.82 a	0.168 a	8.0 a	0.352 a	49.1 a
MF	6.48 e	3.35 c	0.158 bc	8.0 a	0.311 d	46.0 ab

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 14>에는 메리골드를 플러그 재배하면서 파종 35일 후에 지상부를 채취 하여 무기원소 함량을 분석한 결과를 나타내었다. 총질소 함량은 0.80~1.19% 사이로 분석되었다. 일반적으로 초화류의 식물체내 질소 함량이 2~3%로 분석되는 점을 고려할 때 낮은 식물체내 함량을 갖는다고 판단되었다. 인산함량에서는 생육이 우수했던 시료 [2-3], [2-6] 및 [2-7]의 인산함량이 높았으며 작물생장이 인산 흡수량에 많은 영향을 받았다고 판단되었다. 칼륨함량은 처리간 약간의 차이가 있었음에도 불구하고 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, 칼슘은 시료 [2-1]에서 1.23%로 가장 높고 시료 [2-7]에서 0.62%로 가장 낮았다. 일반적으로 식물체내 칼슘함량이 0.5~1.0%의 범위에 포함되는 것으로 알려져 있으며(Hannan, 1997) 각 처리간 차이가 발생하고 통계적인 차이가

인정되었음에도 불구하고 칼슘 흡수량에서의 차이로 인해 생육에서의 차이가 발생되었다고 판단되지 않았다. 마그네슘 역시 생육이 우수하였던 처리와 식물체내 Mg 함량이 높은 처리가 달랐으며 식물체내 Mg 함량이 생육에 많은 영향을 미쳤다고 판단되지 않았다. 그러나 일반적으로 식물체내 흡수되는 Ca:Mg의 비율은 약 3:1로 알려져 있으며(Hannan, 1997; Nelson, 1991), 본 연구에서 재배된 메리골드에서 Ca와 Mg의 비율이 약 1.5:1로 분석된 것은 특이하다고 할 수 있다. 또한 <표 12>에서 나타낸 토양분석 결과에서 Ca와 Mg의 비율이 약 4.5~5:1이었던 점을 고려하면 메리골드의 Ca 흡수량이 낮다고 판단되었다.

미량원소 중 식물체내 철 함량에서도 생육이 우수하였던 시료 [2-3]과 [2-7]에서 각각 209.5 및 206.5mg · kg⁻¹로 분석되어 다른 처리를 보다 유의하게 높았으며, 관비재배한 +대조구의 184.6mg · kg⁻¹ 보다도 높았다. 그러나 시료 [2-6]에서는 98.6mg · kg⁻¹로 분석되어 다른 처리들 보다 월등히 낮았으며 미량원소복합제로서 바람직하지 않다고 판단되었다. Choi 등(1996)은 관비용 액속의 Fe 농도를 조절하여 재배하면서 식물생육과 식물체내 Fe 함량 차이를 보고한 바 있으며 161~233mg · kg⁻¹이 수용 가능한 범위라고 하였다. 그들의 주장을 고려할 때 시료 [2-3], [2-4] 및 [2-7]이 수용범위에 포함되었으나 Mn은 시료 [2-3] 및 [2-4]에서 다른 처리들 보다 유의하게 높았으며, Hoagland 용액으로 관비재배한 +대조구에서 138.2mg · kg⁻¹으로 분석된 점을 고려할 때 각 처리간 차이가 인정되었음에도 불구하고 작물재배시 문제가 발생할 수준은 아니라고 판단되었다. Choi 등(1996)은 Mn에 의한 메리골드의 과잉증상에 관해 보고하면서 4600mg · kg⁻¹이상의 고농도에서 생육이 저하되지만 138과 4600mg · kg⁻¹의 식물체내 Mn 함량에서 건물중의 차이가 없어 수용가능한 Mn의 식물체내 함량의 범위가 넓다고 하였다. 본 연구에서 개발된 미량원소 복합제들은 모두 수용 가능하다고 판단되었다.

Zn은 시료 [2-5] 및 [2-6]에서 118.9 및 107.8mg · kg⁻¹으로 식물체내 함량이 가장 많았고 -대조구, 시료 [2-1], [2-2] 및 [2-3]에서 유의하게 낮았다. 그

러나 French marigold를 대상으로 Choi 등(1996)이 보고한 내용에서는 65~2110mg·kg⁻¹의 광범위한 범위에서 식물생육이 차이가 없었으며, 본 연구에서 나타난 결과를 고려할 때 문제될 수준이 아니라고 판단되었다. 그러나 B는 시료 [2-2]에서 1041mg·kg⁻¹으로 분석되어 과도하게 높았으며, 관비재배한 +대조구에서 360.4mg·kg⁻¹으로 분석된 점을 고려 할 때, 본 연구에서 개발된 모든 미량원소복합제의 붕소함량이 높았다. Choi 등(1996)은 메리골드에서 B는 47~385mg·kg⁻¹의 범위에서 생육이 우수하였고 400mg·kg⁻¹이상에서는 과잉에 의해 생육이 심하게 저하된다고 하였는데 본 연구에서는 B의 식물체 내 함량이 높았던 시료 [2-2]에서 특별한 과잉 증상이 나타나지 않았고, 생육도 비교적 우수하였으며 추후 원인을 밝히기 위한 보완 연구가 필요하다고 판단되었다.

<표 14> 조제된 미량원소복합제를 피트모쓰+버미큘라이트(1/1, v/v) 혼합상토에 0.5g·L⁻¹로 혼합한 후 메리골드 Orange Boy[®]를 재배하고 35일 후에 지상부를 수확하여 무기원소 분석한 결과.

처 리	Total-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
	----- (%) -----				
+대조구	0.93 cd ^z	0.35 de	2.38 ab	0.63 d	0.44 d
-대조구	0.90 cd	0.28 e	2.42 a	0.85 bc	0.44 d
2 - 1	0.80 d	0.45 bcd	2.37 ab	1.23 a	0.82 a
2 - 2	0.91 cd	0.43 bcd	2.39 ab	0.92 b	0.75 ab
2 - 3	1.19 a	0.48 bcd	2.41 ab	0.89 b	0.65 abc
2 - 4	1.10 ab	0.47 bcd	2.38 ab	0.74 bcd	0.68 abc
2 - 5	1.04 bc	0.51 bc	2.35 b	1.14 a	0.76 ab
2 - 6	0.91 cd	0.55 b	2.41 ab	0.92 b	0.61 bcd
2 - 7	0.94 cd	0.71 a	2.34 ab	0.62 d	0.60 bcd
MF	0.98 bc	0.38 cde	2.40 ab	0.67 cd	0.51 cd

<표 14> 계속.

처 리	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	(mg · kg ⁻¹)				
+대조구	184.6 ab	88.7 cd	138.2 bc	5.25 fg	360.4 d
-대조구	76.2 e	72.7 d	118.2 e	4.19 g	320.5 d
2 - 1	112.6cd	79.8 d	144.7 b	8.65 bc	990.9 a
2 - 2	170.7 b	76.8 d	125.7 de	6.65 def	1041.1 a
2 - 3	209.5 a	79.8 d	155.8 a	6.10 ef	509.0 bc
2 - 4	193.7 ab	100.6 bc	154.9 a	7.85 bcd	616.9 b
2 - 5	142.1 c	118.9 b	134.9 bcd	8.90 b	534.7 b
2 - 6	98.6 de	107.8 b	125.1 de	7.15 cde	559.1 b
2 - 7	206.5 a	102.7 bc	129.2 cd	8.95 b	582.2 b
MF	140.1 c	154.9 a	155.0 a	12.30 a	415.2 cd

²Duncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

3. 적요

- 가. 종자 파종 전 혼합상토의 무기원소 함량을 분석한 결과 시료 [2-1]과 [2-5]에서 붕소의 농도가 다소 높았으며, 아연에서 유의차가 인정되었고 그 외 무기원소는 대조구(-Con)와 유사하였다.
- 나. 종자 파종 35일 후의 토양분석 결과 pH 및 EC는 대조구나 MF와 유사하였고, 미량원소의 농도는 대조구 보다 높은 농도로 분석 되었다.
- 다. 그러나 시료 [2-1]과 [2-4]에서 붕소 농도가 높게 분석되어 생육에 악 영향을 준 것으로 판단되었다.
- 라. 종자 파종 35일 후 생육조사 결과 대조구(-Con)나 MF보다 시료 [2-5]를 제외한 모든 처리에서 초장이 길었으며 생체중은 시료 [2-2], [2-3], [2-6] 및 [2-7]에서, 건물중은 시료 [2-3], [2-6] 및 [2-7]에서 무거웠다.
- 마. 식물체 분석결과 전질소함량은 대조구와 유사하였고 기타 무기원소의

식물체 함량은 개발된 미량원소복합제를 혼합한 처리들에서 높은 농도로 분석되었다.

바. 그러나 시료 [2-1] 및 [2-2]의 경우 붕소의 농도가 너무 높아 생육 저하의 원인이 되었다고 판단 되었다.

제 7 절 개발된 미량원소복합제를 이용한 플러그재배시 $\text{NH}_4\text{:NO}_3$ 의 시비비율이 생육에 미치는 영향

1. 재료 및 방법

가. 혼합상토의조제및미량원소복합제의첨가

본 연구를 위하여 피트모쓰+버미큘라이트를 1:1(v/v)로 혼합한 상토를 조제하였으며, 상토조제과정에서 개발된 미량원소복합제 [2-1], [2-11] 및 [2-12]를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하였다. 또한 혼합상토에는 고토석회 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 와 KNO_3 를 $0.6\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 그리고 토양습윤제인 AquaGro^G(Aquatrols Corp. of America, Pennsauken, NJ, USA)를 $0.9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가 하였다.

나. 플러그재배시 시비 및 생육조사

미량원소복합제를 포함한 상토를 200공 플러그트레이에 충전하고 메리골드 'Orange Boy'를 파종하였으며 파종 35일 후에 지상부의 생육, 무기원소 흡수 및 토양 무기염농도 변화를 조사 및 분석하였다. 작물 재배중 자엽이 전개된 Stage 2부터 시비를 시작하였다. 모든 처리에서 시비용액은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 2.5mM, $\text{NO}_3\text{-N}$ 12.5mM, $\text{PO}_4\text{-P}$ 2mM, K 14mM, Ca 5mM, Mg 2mM의 다량원소의 다량원소를 포함하도록 조제하였으며, +대조구(control)에서는 위의 용액에 Hoagland(Hoagland와 Arnon, 1950) 조성과 동일한 양의 미량원소를 포함하도록 용해시켰다. 이후 용액의 질소농도가 $80\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이 되도록 희석하여 1주일에 3회 관비하였다. 생육조사를 위해 파종 35일 후에 초장, 초폭, 관부직경 및 엽수를 조사하였다. 또한 지체부에서 절단한 후 생체중을 측정하였고, 75°C 로 온도를 조절한 건조기에서 24시간 건조시킨 후 건물중을 측정하였다.

다. 토양 및 식물체 분석

토양분석은 중자 파종전과 작물 수확 후 2차례 수행하였다. 미량원소복합제를 대상으로 한 실험임을 감안하여 pH 7.0으로 조절한 Ammonium acetate 용액으로 추출한 후(Handershot 등, 1993) 질소를 제외한 모든 무기원소를 분석하였다. 또한 포화추출법(Warncke, 1986)으로 추출한 후 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (Chaney 와 Marback, 1962)과 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (Cataldo 등, 1975)은 비색정량하였고 pH와 EC도 측정하였다.

식물체의 전질소 함량은 Semi-micro Kjeldahl 방법(Eastin, 1978)으로 분석하였으며, 시료의 일부는 습식분해(wet ashing) 방법을 적용하여 100mL의 ethanol에 15g의 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 를 용해시킨 용액 6mL를 시료 500mg에 첨가하고 450°C의 회화로(muffle furnace)에서 산화시켰다. 이후 boron은 Grinstead와 Snider(1969)의 방법으로 비색정량하였다. 또한 식물체의 일부를 dry ashing 방법을 적용하여 500°C의 회화로에서 산화시킨 후 0.5N HCl 용액으로 포집하였고 AA(Shimadzu 680)을 사용하여 K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, 및 Cu를 분석하였다. 건식분해 시킨 용액을 이용하여 식물체내 존재하는 인산을 Chapman과 Pratt(1966)의 방법으로 비색정량하였다.

2. 결과 및 고찰

<표 15>는 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 의 시비비율이 작물생에 미치는 영향을 구명하기 위해 조제된 미량원소복합제를 상토에 혼합하고 중자 파종된 분석한 상토의 화학적 특성을 나타내었다.

상토의 pH는 모든 처리에서 5.44~5.85 사이로 측정되어 뚜렷한 차이가 없었다. 작물 생육을 위해 바람직한 혼합상토의 pH 범위가 5.6~6.2로 제시되고 있으며(Nelson, 1991), 적정 범위보다 낮으나 고토석회가 서서히 용해되기 때문에 작물 재배중에는 상승할 것으로 예상되었다.

전기전도도(EC) 또한 3.02~3.68dS · m⁻¹의 범위에 포함되어 처리간 차이가 크지 않았다. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 도 처리간 차이가 크지 않았으며 Micronutrient Fertilizer(MF)가 혼합된 +대조구에서 인산 및 칼슘농도가 낮았다. 칼륨은 처리간 차이가 크지 않았으며, Mg은 A-5처리에서 낮은 농도로 분석되었다.

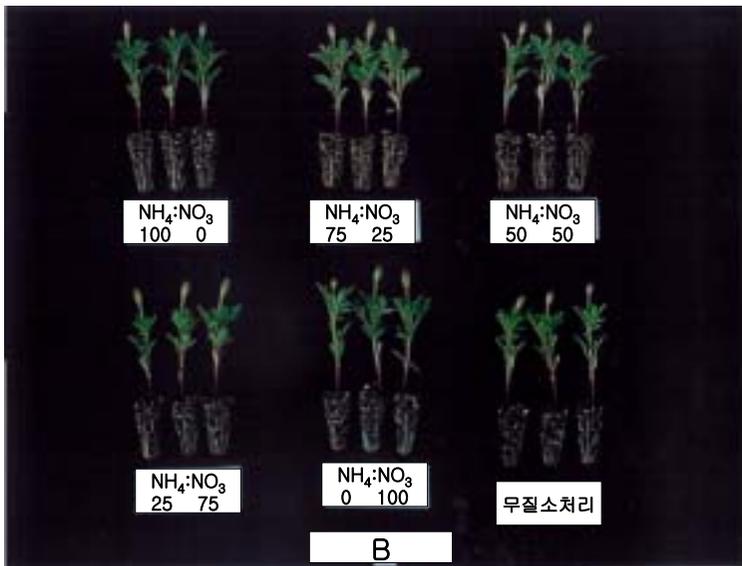
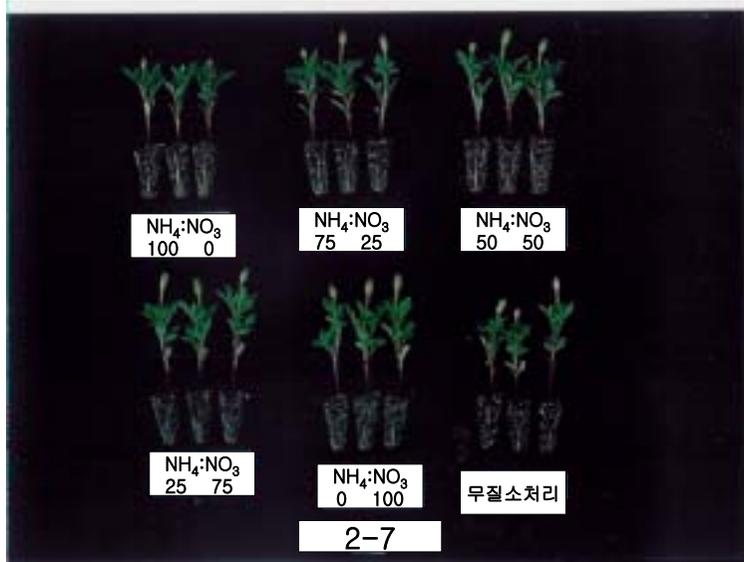
분석한 미량원소(Fe, Mn, Zn, 및 Cu)들에서는 -대조구에서 낮은 농도로 분

석되었고, +대조구를 포함한 미량원소복합제들에서는 차이가 크지 않았다. 그러나 B는 +대조구에서 $52.9\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 로 분석되었으나 [2-1], [2-11] 및 [2-12]에서 각각 225.8, 263.8 및 $258.5\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 분석되어 +대조구보다 4배 이상 높았다.

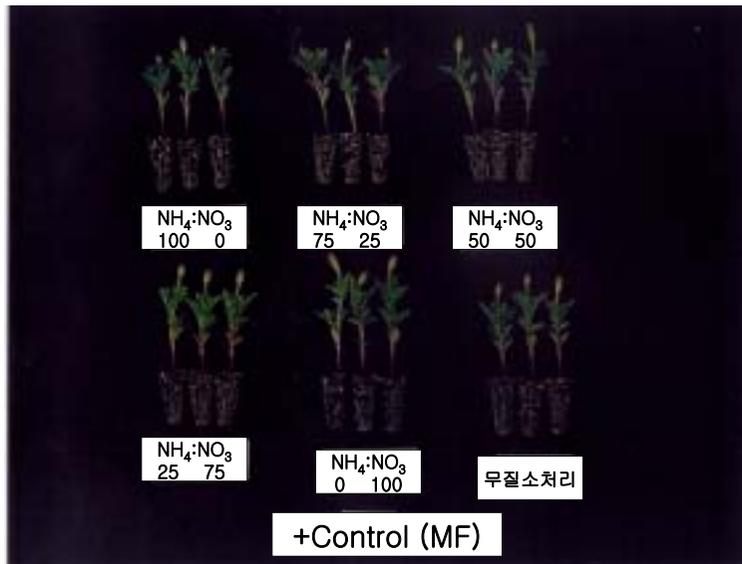
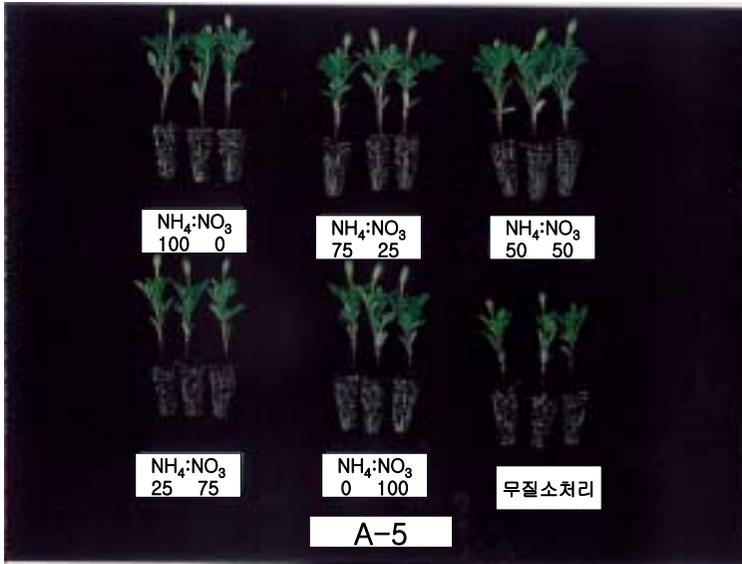
<표 15> 미량원소복합제를 혼합하고 메리골드의 종자 과중 전 수행한 상토의 화학성 분석 결과.

처 리 ^z	pH	EC ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)	NH ₄ -N ---- ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) ----	NO ₃ -N ----	P ₂ O ₅ ----	K ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Ca -----
-대조구	5.44	3.60	9.71	188.4	1266	29.0	1118
+대조구	5.42	3.24	7.21	178.7	807	23.5	962
2-1	5.43	3.68	7.44	181.9	1163	35.7	2007
2-11	5.60	3.33	5.75	175.7	955	29.7	1037
2-12	5.85	3.02	3.64	177.4	1341	31.7	1542

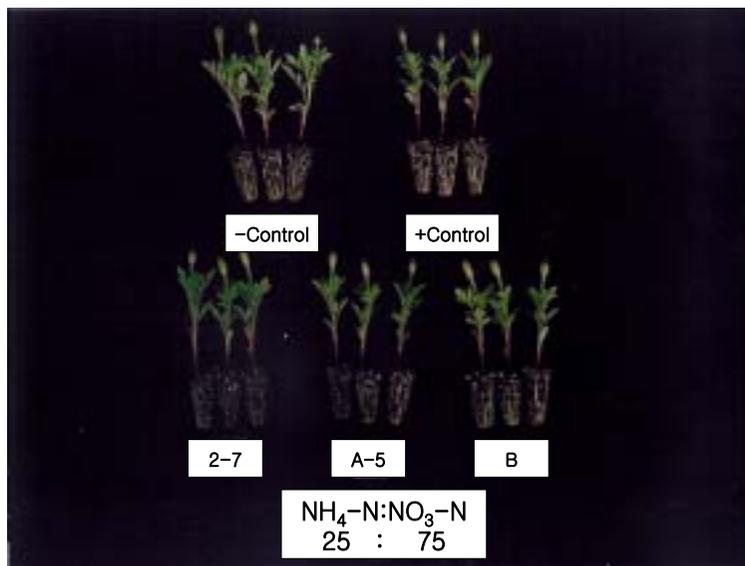
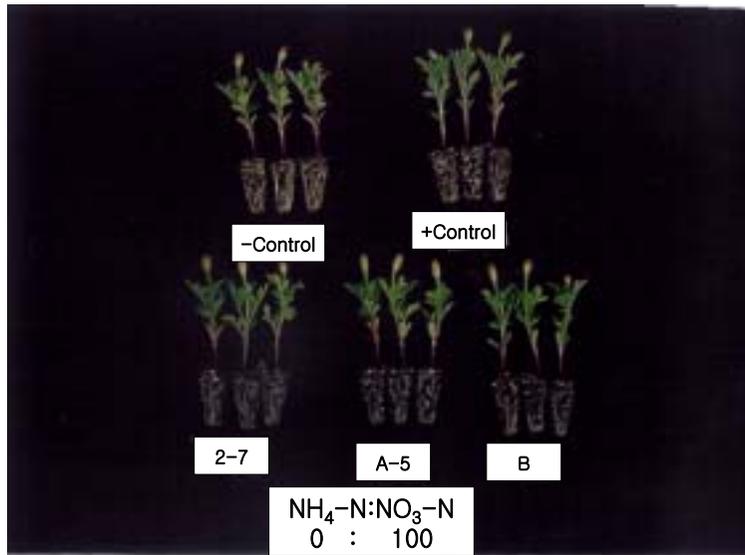
처 리	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na
	----- ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) -----						
-대조구	172.8	0.04	1.05	0.08	0.020	38.6	60.4
+대조구	153.9	0.03	1.64	0.31	0.060	52.9	50.7
2-1	212.7	0.05	1.00	0.90	0.031	225.8	166.7
2-11	108.9	0.06	1.95	0.33	0.028	263.8	18.3
2-12	122.4	0.07	1.80	0.25	0.012	258.5	65.9



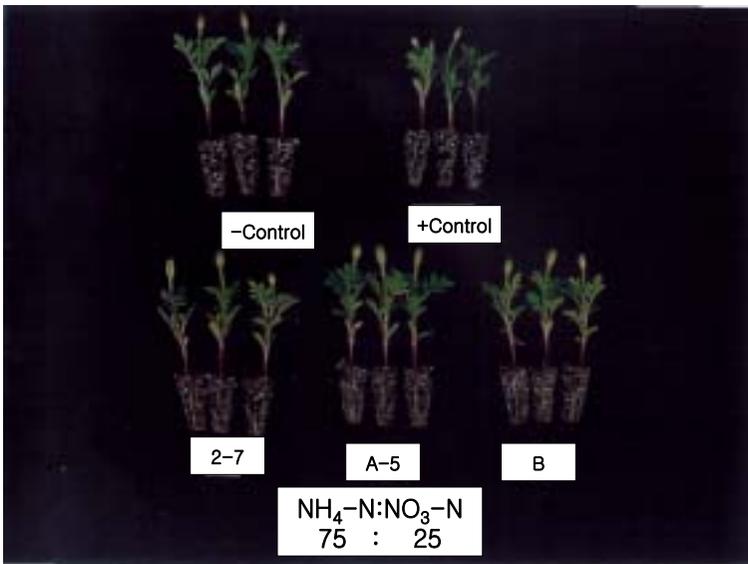
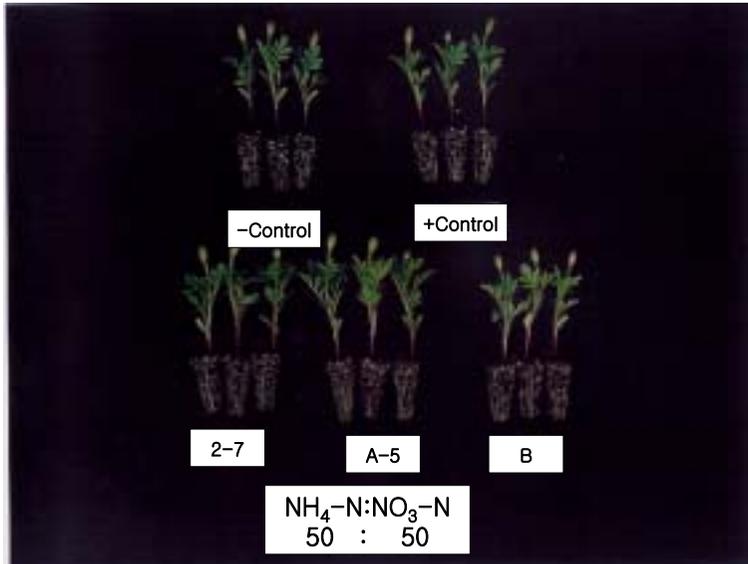
<그림 11> 개발된 미량원소복합체를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 피트모스+버미큘라이트(1:1, v/v) 상토에 혼합하고 매리골드 ‘Orange Boy’를 플러그 재배하였으며 관비용액속의 NH₄:NO₃ 비율이 과중 35일 후의 작물 생육에 미치는 영향을 나타냄 (미량원소복합체 2-7은 본문에서 [2-1]로, A-5는 [2-11]로, 그리고 B는 [2-12]로 나타냄).



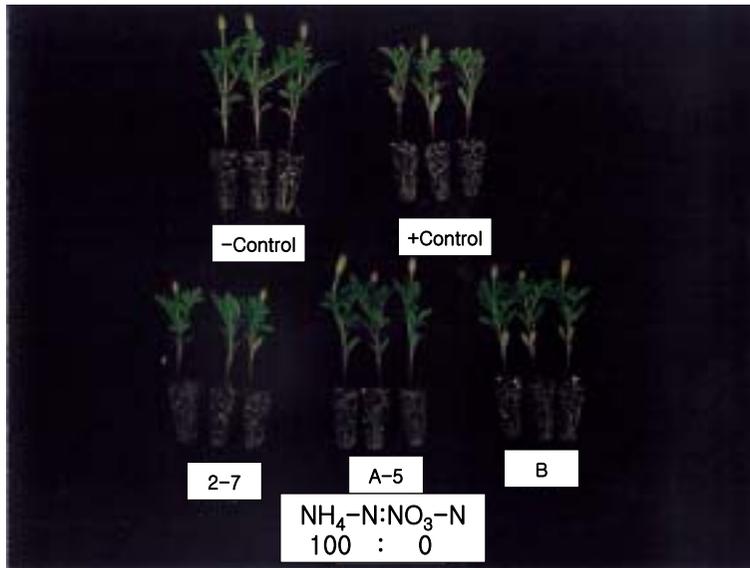
<그림 11> 계속(미량원소복합제 2-7은 본문에서 [2-1]로, A-5는 [2-11]로, 그리고 B는 [2-12]로 나타냄).



<그림 12> 개발된 미량원소복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 피트모스+버미큘라이트(1:1, v/v) 상토에 혼합하고 매리골드 ‘Orange Boy’를 플러그 재배하였으며 각각의 $\text{NH}_4\text{:NO}_3$ 비율에서 혼합된 미량원소복합제가 파종 35일 후의 작물 생육에 미치는 영향(미량원소복합제 2-7은 본문에서 [2-1]로, A-5는 [2-11]로, 그리고 B는 [2-12]로 나타냄).



<그림 12> 계속(미량원소복합제 2-7은 본문에서 [2-1]로, A-5는 [2-11]로, 그리고 B는 [2-12]로 나타냄).



<그림 12> 계속(미량원소복합제 2-7은 본문에서 [2-1]로, A-5는 [2-11]로, 그리고 B는 [2-12]로 나타냄).

<표 16> -대조구에서 관비용액의 NH₄:NO₃의 비율이 파종 35일 후 매리골드 'Yellow boy'의 작물 생육에 미치는 영향.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (mg/식물체)
0:100	5.76 d	3.94 c	1.27 c	6.72 d	0.50 c	83.2 c
25:75	6.14 b	4.05 bc	1.34 b	8.63 a	0.55 b	97.0 a
50:50	5.97 c	4.18 b	1.35 ab	7.56 c	0.58 a	87.3 b
75:25	6.14 b	4.42 a	1.35 ab	8.20 b	0.50 c	72.3 d
100:0	6.45 a	4.38 a	1.37 a	8.79 a	0.46 d	70.3 d
Linear	***	***	***	**	ns	ns
Quadratic	***	***	***	*	*	*

미량원소복합제가 시비되지 않은 -대조구에서 관비용액속의 $\text{NH}_4 : \text{NO}_3$ 비율이 과중 35일 후의 작물 생육에 미치는 영향을 <표 16>에 나타내었다. 100% NO_3 -가 시비된 처리에서 생체중과 건물중이 식물체 당 각각 0.50g 과 89.2mg 으로 측정되었고, 생체중은 50:50($\text{NH}_4 : \text{NO}_3$)처리에서 식물체당 0.58g, 건물중은 25:75($\text{NH}_4 : \text{NO}_3$)처리에서 97.0mg으로 측정되어 가장 무거웠다. 그러나 관비용액속의 NH_4 -N비율이 50%이상으로 증가함에 따라 생체중 및 건물중이 점차 감소하여 각각 5% 수준의 2차 곡선회귀가 성립하였다.

-대조구에서 $\text{NH}_4 : \text{NO}_3$ 의 시비비율이 과중 35일후의 식물체내 무기원소 함량에 미치는 영향을 <표 17>에 나타내었다. 관비용액속의 NH_4 의 비율이 높아짐에 따라 식물체내 질소함량이 증가하였으나 처리간 차이가 없었고, 경향도 발견할 수 없었다. 인산 함량은 50:50($\text{NH}_4 : \text{NO}_3$)비율에서 가장 높았고, 50% 이하 또는 50% 이상으로 NH_4 이 시비될때 식물체내 인산함량이 감소하여 처리간 차이가 인정되었으며 1% 수준의 2차 곡선회귀가 성립하였다.

관비용액속의 NH_4 의 비율이 높아질수록 식물체내 K 함량은 뚜렷하게 감소하였고, Ca과 Mg 함량은 뚜렷하게 증가하여 처리간 차이가 인정되었으며, K, Ca 및 Mg 모두 직선 및 2차곡선 회귀가 성립하여 경향을 발견할 수 있었다. 미량원소 중 Fe, Mn, Cu 및 B는 직선 및 2차곡선회귀가 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었으며, NH_4 의 비율이 높아질수록 식물체내 Zn 함량이 증가하였는데 0.1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다.

NH_4 의 시비비율이 높아질수록 토양 pH는 산성으로 변하였고, 전기전도도는 처리간 차이가 없었으며, NH_4 -N농도가 증가하였다. 토양 인산농도는 50:50($\text{NH}_4 : \text{NO}_3$) 비율에서 $181\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 가장 낮았으며, NH_4 의 시비비율이 높아질수록 토양 중 K와 Ca의 농도가 낮아져 처리간 차이가 인정되었으나 직선 및 2차곡선회귀도가 성립하지 않아 경향은 뚜렷하지 않았다.

NH_4 -N의 비율이 증가함에 따라 토양의 Fe, Mn, Zn 및 Cu 의 농도가 감소하는 경향이였다. 이는 토양 pH가 산성으로 변함에 따라 토양에 존재하는 금속원소가 가용화 된 후 식물에 의한 흡수량이 증가하였기 때문에 상대적으로 상토에 존재하는 양이 감소한 원인이 되었다고 판단되었다. 붕소는 25:75($\text{NH}_4 : \text{NO}_3$)처리에서 $8.6\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 분석되어 과도하게 낮았는데 원인이 불명확하여 추후 상세한 보완 연구가 필요하다고 판단되었다.

<표 17> -대조구에서 관비용액속의 NH₄:NO₃ 비율을 조절하여 시비하고 파종 35일 후 매리골드 'Yellow boy'의 지상부 무기원소 함량을 분석한 결과.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	T-N -----	P ₂ O ₅ -----	K (%) -----	Ca -----	Mg -----
0:100	1.87 a ^z	1.58 e	1.27 a	1.03 b	0.38 c
25:75	1.87 a	1.71 d	0.93 b	0.83 b	0.36 c
50:50	1.87 a	2.32 a	1.16 a	1.10 b	0.45 b
75:25	1.91 a	1.93 c	0.60 c	1.25 b	0.46 b
100:0	2.05 a	2.04 b	0.40 c	2.18 a	0.57 a
Linear	ns	*	***	**	***
Quadratic	ns	**	***	***	***

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	Fe -----	Mn -----	Zn (mg • kg ⁻¹) -----	Cu -----	B -----
0:100	52.3 c	122.3 a	48.8 d	5.71 d	16.82 a
25:75	46.7 c	61.3 b	55.1 c	9.15 a	15.15 a
50:50	71.1 a	85.0 ab	85.9 a	6.89 c	14.64 a
75:25	51.3 c	86.1 ab	79.1 b	7.03 c	14.62 a
100:0	63.4 b	101.1 ab	84.3 a	7.65 b	16.82 a
Linear	ns	ns	***	ns	ns
Quadratic	ns	ns	***	ns	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 18> -대조구에서 관비용액속의 NH₄:NO₃ 비율을 조절하여 시비하고 파종 35일 후 상토의 화학적 특성을 분석한 결과.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	pH	EC (dS • m ⁻¹)	NH ₄ -N -- (mg • L ⁻¹)	NO ₃ -N ---	P ₂ O ₅ ----- (mg • kg ⁻¹)	K -----	Ca -----
0:100	7.13 a ^z	2.14 a	84.3 b	72.7 c	1299 b	39.1 a	2892 ab
25:75	6.45 b	2.15 a	79.4 b	119.2 a	665 c	46.1 a	3059 a
50:50	5.58 c	2.24 a	84.8 b	73.9 c	181 d	27.4 b	2335 b
75:25	4.73 d	2.12 a	78.9 b	121.6 a	2477 a	45.3 a	2844 ab
100:0	4.35 e	2.32 a	97.4 a	102.5 b	1178 b	27.1 b	2457 ab
Linear	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	***	ns	*	ns	ns	ns	ns

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na
0:100	183.3 b	0.024 a	1.32 a	1.99 a	0.026 a	103.3 a	689 b
25:75	210.4 a	0.045 a	1.06 b	1.87 a	0.027 a	8.6 e	914 ab
50:50	165.3 c	0.057 a	0.80 c	1.48 b	0.025 a	45.8 c	865 ab
75:25	190.8 b	0.042 a	0.86 c	1.24 c	0.019 b	62.0 b	1074 a
100:0	178.8 bc	0.032 a	0.56 d	0.96 d	0.020 b	33.2 d	181 c
Linear	ns	ns	***	***	*	ns	ns
Quadratic	ns	ns	***	***	ns	ns	**

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 19> +대조구(Micronutrient Fertilizer)에서 관비용액의 NH₄:NO₃의 비율이 파종 35일 후 매리골드 'Yellow boy'의 작물 생육에 미치는 영향.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (mg/식물체)
0:100	6.19 a ^z	3.75 c	1.28 c	8.12 a	0.55 a	93.2 a
25:75	6.01 b	3.60 d	1.34 b	8.19 a	0.49 b	90.0 a
50:50	5.97 b	4.05 a	1.36 a	8.06 a	0.50 b	83.1 b
75:25	5.90 c	3.93 b	1.36 a	7.53 b	0.43 d	69.4 c
100:0	5.91 c	3.98 ab	1.36 a	7.98 a	0.46 c	71.6 c
Linear	***	**	***	ns	***	***
Quadratic	***	*	***	ns	***	***

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

Micronutrient fertilizer(MF)가 혼합된 +대조구에서 매리골드를 플리그재배하면서 관비용액속의 NH₄:NO₃ 시비비율이 파종 35일 후의 작물생육에 미치는 영향을 <표 19>에 나타내었다. 관비용액속의 NH₄ 비율이 낮아질수록 초장, 생체중 및 건물중이 크거나 무거웠다. 그러나 초폭은 좁아지고 관부직경도 가늘어지는 경향을 나타내었다. 초장, 생체중 및 건물중에서는 0.1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷하였다. 이와같이 관비용액속의 NH₄ 비율이 낮을수록 생체중 및 건물중이 무거웠던 원인은 <표 20>에 나타낸 바와 같이 식물체내 N 및 K 함량에서 원인을 찾을 수 있다. 0:100(NH₄:NO₃)비율에서 식물체내 N 함량이 2.05%로 두번째로 높았고, K함량은 모든 처리들 중 가장 높았다. 식물체의 생육이 N, P 및 K 등 1차 다량원소에 가장 크게 영향 받는 점을 고려하면(Mengel 과 Kirkby, 1988) 다량원소 흡수량 증가가 작물생육이 우수한 원인이 되었다고 판단된다.

<표 20>에는 NH₄:NO₃의 시비 비율에 영향받은 파종 35일 후의 식물체내

무기원소 함량을 나타내었다. 질소함량은 NH_4 : NO_3 의 비율이 0:100 또는 25:75인 처리들에서는 유의하게 낮았다. 이와같이 NH_4 의 비율이 높아짐에 따라 식물체 내 인산함량이 증가하고 직선 및 곡선회귀가 성립한 것은 토양 pH가 산성으로 변환된 것과 관련지어 판단할 수 있으며, 토양 pH가 산성으로 변환함에 따라 인산의 흡수량이 증가였다고 판단하다.

NH_4 의 비율이 증가할수록 식물체내 K 함량이 뚜렷하게 감소한 것은 양이온간 길항작용 때문이다. Ca과 Mg은 처리간 차이가 인정되지 않았으며, Fe와 Mn은 처리간 차이가 인정되었으나 경향을 발견할 수 없었다. Zn, Cu 및 B 함량은 각각 75:25, 50:50 및 50:50 처리에서 가장 높았고 NH_4 비율이 높거나 낮을 경우 감소하여 2차곡선회귀가 성립하였다.

<표 21>에는 MF를 시비한 상토에서 매리폴드를 플러그 재배하고 파종 35일 후에 토양분석한 결과를 나타내었다. 관비용액속의 NH_4 비율이 높아질수록 토양 pH가 산성으로 변화였고, EC 및 NH_4 -N은 처리간 차이가 없었으며, NO_3^- 은 농도가 증가하는 경향으로 0.1 및 1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다. 인산은 75:25(NH_4 : NO_3) 비율에서 $3142\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 가장 높았고, NH_4 의 비율이 증가할수록 K 및 Ca은 점차 농도가 높아졌다.

인산은 토양 pH가 산성으로 변환에 따라 가용화되는 양이 증가하였기 때문이며, K과 Ca은 NH_4 와 흡수과정에서 양이온간 길항작용에 의해 흡수량이 적었고, 결과적으로 토양에 존재하는 상대적인 양이 증가한 원인이 되었다고 판단된다. NH_4 의 비율이 증가할수록 Fe, Mn 및 Zn 등 금속원소의 토양농도가 낮아졌는데, NH_4 비율증가에 따른 토양 pH의 산성화로 가용화된 양이 증가하고, 매 관수시 용탈됨으로 인해 토양 농도가 낮아진 원인이 되었다고 판단된다.

<표 20> +대조구에서 관비용액속의 NH₄:NO₃ 비율을 조절하여 시비하고 파종 35일 후 매리골드 'Yellow boy'의 지상부 무기원소 함량을 분석한 결과.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
	----- (%) -----				
0:100	2.05 ab ^z	1.57 c	1.35 a	1.14 a	0.40 a
25:75	1.91 bc	1.66 bc	1.03 b	1.55 a	0.42 a
50:50	1.77 c	1.79 a	0.89 c	1.70 a	0.48 a
75:25	2.01 ab	1.79 a	0.52 d	1.27 a	0.41 a
100:0	2.19 a	1.74 ab	0.42 e	1.36 a	0.38 a
Linear	ns	**	***	ns	ns
Quadratic	**	**	***	ns	ns

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- (mg • kg ⁻¹) -----				
0:100	45.9 abc	125.1 bc	51.5 e	8.82 b	34.24 b
25:75	43.8 bc	161.8 ab	89.6 b	9.60 a	33.73 b
50:50	50.0 a	99.8 c	76.6 d	10.09 a	51.59 a
75:25	48.7 ab	179.8 a	95.6 a	9.80 a	31.55 b
100:0	42.0 c	120.6 ab	83.9 c	9.45 ab	26.04 c
Linear	ns	ns	**	ns	ns
Quadratic	ns	ns	***	**	*

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 21> +대조구에서 관비용액숙의 NH₄:NO₃ 비율을 조절하여 시비하고 파종 35일 후 상토의 화학적 특성을 분석한 결과.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	pH	EC (dS • m ⁻¹)	NH ₄ -N -- (mg • L ⁻¹)	NO ₃ -N ----	P ₂ O ₅ -----	K (mg • kg ⁻¹)	Ca -----
0:100	7.25 a ^z	2.25 a	71.5 c	87.7 a	1088 c	30.9 ab	2764 b
25:75	6.35 b	2.05 a	76.3 c	80.9 a	725 c	20.0 b	2344 b
50:50	5.55 c	2.32 a	82.2 c	75.5 a	1632 b	18.3 b	1306 b
75:25	4.47 d	2.14 a	120.4 a	79.9 a	3142 a	47.1 a	7609 a
100:0	4.36 e	2.21 a	100.1 b	73.1 a	876 c	46.6 a	3859 b
Linear	***	ns	***	ns	ns	*	*
Quadratic	***	ns	**	ns	ns	*	ns

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na
	----- (mg • kg ⁻¹)				-----		
0:100	194.4 a	0.061 a	3.98 a	2.45 b	0.028 b	36.0 c	883 b
25:75	156.8 ab	0.049 a	2.76 b	2.72 a	0.032 a	11.1 c	337 b
50:50	96.6 b	0.046 a	2.98 b	2.57 ab	0.026 b	42.8 b	354 b
75:25	243.9 a	0.019 b	1.89 c	2.05 c	0.018 c	76.0 a	1634 a
100:0	210.0 a	0.021 a	0.96 d	1.30 d	0.031 a	45.1 b	837 b
Linear	ns	*	***	***	ns	**	ns
Quadratic	ns	*	***	***	ns	**	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 22>는 조제된 미량원소 복합제 [2-1]을 기비로 혼합하고 관비용액속의 $\text{NH}_4 : \text{NO}_3$ 비율을 조절하여 시비하였으며 매리골드의 종자 파종 35일후에 지상부 생육을 조사한 내용이다. 생체중은 0:100($\text{NH}_4 : \text{NO}_3$) 비율에서 식물체당 0.63g으로 가장 무거웠고, 건물중은 25:75처리에서 식물체당 102.9mg으로 가장 무거웠다. 관비용액속의 NH_4 비율이 높아질수록 생체중과 건물중이 감소하는 경향을 보여 각각 0.1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 뚜렷한 경향을 발견할 수 있었다. 초장, 관부직경 및 엽수에서 각각 6.18cm, 14.5mm 및 8.50mg/식물체로 25:75 처리에서 가장 생육이 우수하였다.

식물체내 무기원소 함량은(표 23) -대조구나 +대조구의 결과와 유사한 경향이였다. 관비용액속의 NH_4 비율이 높아짐에 따라 식물체내 질소 및 인산함량이 증가하는 경향이었고, 칼륨 함량이 감소하였다. 인산함량 증가는 NH_4 의 비율이 높아질수록 토양 pH가 산성으로 변함에 따라 토양중 가용화된 인산함량 증가 및 인산흡수량이 증가한 원인이 되었다고 판단하였다. 칼륨 함량은 1가 양이온인 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 과 K^+ 간에 흡수과정에서의 양이온간 길항작용이 흡수량이 감소한 원인이 되었다고 판단하였다. NH_4 의 시비비율이 높아짐에 따라 식물체내 Ca함량이 증가한것은 +대조구의 유사한 경향이며 토양 pH가 산성으로 변함에 따라 가용화된 Ca양이 증가하고 흡수량 증가의 원인이 되었다고 판단되었다.

Ca 함량 증가는 노지토양에서 재배되는 작물에서와 다른 경향인데, 노지토양과 달리 Al이나 Si의 상대적인 양이 적고, 결과적으로 이들과 결합하여 침전되는 양이 적기 때문에 흡수량 증가의 원인이 되었다고 판단되었다. Fe와 Mn은 50:50($\text{NH}_4 : \text{NO}_3$)비율에서 식물체내 함량이 가장 높았으며, NH_4 의 비율이 높아질수록 식물체내 Cu 및 B 함량이 감소하는 경향이였으며 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다.

종자파종 25일 후에 토양의 화학적 특성을 분석한 결과(표 24)에서 관비용액속의 NH_4 비율이 높아질수록 토양 pH가 상승하는 경향이였으며, EC에서는 처

리간 차이가 없었다. 관비용액속의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 비율이 높아짐에 따라 상토의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도도 증가하였고, 0.1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 뚜렷한 경향을 발견할 수 있었다. 상토의 인산농도는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 시비비율이 높을수록 증가하였으나 100% $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 시비한 처리에서는 다시 감소하였다. K 농도는 50:50($\text{NH}_4\text{:NO}_3$) 시비구에서 $9.4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 으로 가장 낮았으며, NH_4 비율이 50% 이하로 저하되거나 50% 이상으로 높아질 경우 토양 K 농도도 증가하여 1% 수준의 2차곡선회귀가 성립하였다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 비율이 높아질수록 토양 Ca 및 Mg 농도는 점차 낮아졌다. Fe, Mn, Zn 및 Cu 등 4종류 금속원소의 토양 농도도 관비용액속의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 비율이 높아짐에 따라 낮아졌고 직선 및 2차곡선회귀도 성립하여 뚜렷한 경향을 찾을 수 있었다.

<표 22> [2-1]에서 관비용액의 $\text{NH}_4\text{:NO}_3$ 의 비율이 과중 35일 후 매리골드 ‘Yellow boy’의 작물 생육에 미치는 영향.

처 리 ($\text{NH}_4\text{:NO}_3$)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (mg/식물체)
0:100	5.90 d ²	4.05 c	1.29 c	8.28 ab	0.63 a	96.3 b
25:75	6.18 a	3.64 d	1.43 a	8.50 a	0.57 b	102.9 a
50:50	6.01 b	4.48 a	1.35 b	7.90 b	0.58 ab	91.8 c
75:25	5.95 c	4.29 b	1.36 b	7.83 b	0.50 c	81.5 d
100:0	5.89 d	4.06 c	1.36 b	7.88 b	0.47 c	73.1 e
Linear	ns	ns	ns	*	***	***
Quadratic	*	ns	ns	ns	***	***

²Duncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 23> [2-1]에서 관비용액속의 NH₄:NO₃ 비율을 조절하여 시비하고 파종 35 일 후 매리골드 'Yellow boy'의 지상부 무기원소 함량을 분석한 결과.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	T-N -----	P ₂ O ₅	K (%)	Ca -----	Mg -----
0:100	2.15 bc ^z	1.52 b	1.31 a	1.10 b	0.37 c
25:75	2.19 b	1.68 ab	1.01 b	1.25 ab	0.40 bc
50:50	2.01 c	1.73 ab	0.79 c	1.60 ab	0.50 a
75:25	2.29 ab	1.83 a	0.54 d	1.40 ab	0.44 b
100:0	2.38 a	1.73 ab	0.45 d	1.66 a	0.43 bc
Linear	*	*	***	*	ns
Quadratic	*	**	***	ns	*

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	Fe -----	Mn	Zn (mg • kg ⁻¹)	Cu -----	B -----
0:100	51.8 b	75.4 d	52.7 d	15.8 a	59.4 b
25:75	50.4 b	84.8 c	118.1 a	13.9 b	77.3 a
50:50	65.1 a	135.0 a	96.9 c	10.4 e	63.7 b
75:25	61.2 ab	97.5 b	120.2 a	12.4 c	50.5 c
100:0	59.0 ab	102.4 b	107.4 b	11.3 d	39.6 d
Linear	ns	ns	*	***	**
Quadratic	ns	*	***	***	***

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 24> [2-1]에서 관비용액속의 NH₄:NO₃ 비율을 조절하여 시비하고 파종 35 일 후 상토의 화학적 특성을 분석한 결과.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	pH	EC (dS • m ⁻¹)	NH ₄ -N ---- (mg • L ⁻¹)	NO ₃ -N -----	P ₂ O ₅ ---- (mg • kg ⁻¹)	K (mg • kg ⁻¹)	Ca -----
0:100	7.23 a ^z	2.26 a	65.6 c	93.0 a	846 e	43.4 ab	4782 a
25:75	6.57 b	2.14 a	64.4 c	82.3 bc	1632 c	34.6 b	3321 b
50:50	5.29 c	2.12 a	88.2 b	74.5 c	2175 b	9.4 c	3344 b
75:25	4.51 d	2.21 a	129.9 a	74.5 c	3052 a	38.4 b	3512 b
100:0	4.36 e	2.08 a	145.4 a	90.1 ab	1148 d	57.0 a	2803 b
Linear	***	ns	***	ns	*	ns	*
Quadratic	***	ns	***	***	**	**	*

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	Mg -----	Fe -----	Mn (mg • kg ⁻¹)	Zn -----	Cu -----	B -----	Na -----
0:100	224.5 a	0.096 a	1.41 a	3.07 a	0.049 b	53.4 b	441.0 a
25:75	206.5 ab	0.070 bc	1.04 b	2.93 b	0.061 a	75.5 a	447.5 a
50:50	204.6 ab	0.077 b	0.90 b	2.78 c	0.044 b	50.4 b	443.5 a
75:25	190.5 b	0.023 d	0.89 b	2.77 c	0.047 b	84.6 a	230 a
100:0	188.6 b	0.061 c	0.52 c	2.11 d	0.035 c	62.5 ab	278 a
Linear	**	**	***	***	*	ns	ns
Quadratic	*	**	***	***	*	ns	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 25> [2-11]에서 관비용액의 $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ 의 비율이 파종 35일 후 매리골드 ‘Yellow boy’의 작물 생육에 미치는 영향.

처 리 ($\text{NH}_4:\text{NO}_3$)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (mg/식물체)
0:100	6.04 c ^z	3.72 c	1.28 d	8.27 b	0.52 d	91.7 b
25:75	6.04 c	3.49 c	1.48 a	8.24 b	0.48 e	88.9 c
50:50	6.64 b	5.36 a	1.41 b	8.76 a	0.75 a	111.8 a
75:25	6.71 a	4.95 b	1.38 c	8.65 a	0.61 b	89.2 c
100:0	6.62 b	4.89 b	1.48 a	8.76 a	0.58 c	87.1 c
Linear	***	**	**	*	ns	ns
Quadratic	***	**	*	*	*	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

조제된 미량원소복합제 [2-11]이 혼합된 상토에서 플러그육묘 된 매리골드의 파종 35일 후 생육을 <표 25>에 나타내었다.

건물중과 생체중은 50:50($\text{NH}_4:\text{NO}_3$) 처리구에서 식물체당 각각 0.75g 및 111.8mg으로 측정되어 생육이 가장 우수하였다. 그러나 50% 이하나 50% 이상의 NH_4 시비비율에서는 생체중 및 건물중이 감소하였고, 생체중에서는 5% 수준의 2차곡선회귀가 성립하여 경향을 찾을 수 있었다. 그러나 초장, 초폭, 관부직경 및 엽수에서는 관비용액 속의 NH_4 비율이 높아짐에 따라 생육이 우수하였다.

미량원소복합제 [2-11]이 혼합된 상토에서 매리골드를 플러그육묘하고 파종 35일후에 지상부를 수확하여 무기물 분석을 한 결과를 <표 26>에 나타내었다. 식물체내 질소와 인산 함량은 NH_4 의 시비비율이 높질수록 뚜렷하게 증가하였고, Ca과 K 함량은 감소하는 경향이였다. 분석한 5종류 다량원소의 식물체내 함량은 처리간 차이가 뚜렷하였으며 고도의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여

경향을 뚜렷하게 판단할 수 있었다. Fe의 식물체내 함량은 25:75(NH₄ :NO₃)를 제외한 처리간 차이가 뚜렷하지 않았으며 Mn, Zn 및 Cu 함량은 뚜렷하게 증가하여 처리간 차이와 함께 직선 및 2차곡선회귀도 성립하였다.

매리골드를 플러그 육묘하고 파종 35일 후에 토양시료를 분석한 결과(표 27), 관비용액속의 NH₄ 비율이 높아짐에 따라 토양 pH는 뚜렷하게 낮아졌다. 관비용액속의 NH₄ 비율이 높아져도 전기전도도(EC)와 NO₃ 농도는 처리간 차이가 없었으며, NH₄ , 인산 및 Ca 농도는 증가하는 경향이였다. 인산 및 Ca 농도의 증가는 NH₄ 시비 비율 증가로 토양 pH가 산성으로 변함에 따라 가용화된 양이 증가하였기 때문이라고 판단된다. 토양 Fe, Mn 및 Zn 농도는 점차 낮아져 처리간 차이와 함께 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였고, B의 토양 농도는 점차 상승하는 경향이였다.

<표 26> [2-11]에서 관비용액속의 NH₄:NO₃ 비율을 조절하여 시비하고 파종 35 일 후 매리골드 'Yellow boy'의 지상부 무기원소 함량을 분석한 결과.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	T-N -----	P ₂ O ₅	K (%)	Ca -----	Mg -----
0:100	1.91 c ^z	1.54 d	1.18 a	1.00 c	0.34 d
25:75	2.29 b	1.63 c	0.91 b	1.10 c	0.39 c
50:50	2.15 b	1.96 b	0.73 c	0.97 c	0.37 cd
75:25	2.57 a	2.07 a	0.54 d	1.38 b	0.48 b
100:0	2.52 a	2.05 a	0.44 d	1.88 a	0.55 a
Linear	***	***	***	***	***
Quadratic	**	***	***	***	***

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	Fe -----	Mn	Zn (mg • kg ⁻¹)	Cu -----	B -----
0:100	59.3 a	85.4 c	80.1 d	9.30 b	33.2 b
25:75	45.4 b	93.7 b	93.8 c	9.55 b	34.2 b
50:50	63.5 a	82.4 c	110.1 a	12.11 a	68.4 a
75:25	62.1 a	143.7 a	93.9 c	11.58 a	41.7 ab
100:0	60.2 a	148.7 a	103.4 b	12.65 a	38.2 ab
Linear	ns	***	*	***	ns
Quadratic	ns	***	**	***	*

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 27> [2-11]에서 관비용액속의 NH₄:NO₃ 비율을 조절하여 시비하고 파종 35 일 후 상토의 화학적 특성을 분석한 결과.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	pH	EC (dS • m ⁻¹)	NH ₄ -N -- (mg • L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N --- (mg • L ⁻¹)	P ₂ O ₅ ---- (mg • kg ⁻¹)	K ---- (mg • kg ⁻¹)	Ca -----
0:100	7.19 a ^z	2.28 a	72.7 c	88.2 a	234 d	47.0 a	3540 b
25:75	6.39 b	2.30 a	126.3 a	75.0 b	1329 c	32.5 b	3110 b
50:50	5.58 c	2.25 a	91.8 b	80.9 ab	2055 b	2.4 c	4201 b
75:25	4.75 d	2.23 a	135.9 a	90.1 a	3414 a	50.6 a	3453 b
100:0	4.31 e	2.17 a	119.2 a	84.3 ab	1329 c	28.5 b	5689 a
Linear	***	ns	ns	ns	*	ns	*
Quadratic	***	ns	ns	ns	**	ns	*

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na
	----- (mg • kg ⁻¹) -----						
0:100	193.7 b	0.109 a	2.05 a	2.76 a	0.033 b	17.2 c	1037.0 a
25:75	213.5 ab	0.083 b	1.47 b	2.74 a	0.024 c	18.9 c	488.0 bc
50:50	217.7 ab	0.075 b	1.26 bc	2.06 b	0.048 a	79.2 a	428.5 c
75:25	214.2 ab	0.039 c	1.36 b	1.82 b	0.038 b	34.3 b	661 b
100:0	222.0 a	0.081 b	0.92 c	1.91 b	0.035 b	70.1 a	395 c
Linear	*	*	***	***	ns	**	*
Quadratic	ns	**	***	***	ns	*	**

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

조제된 미량원소 복합제 [2-12]를 혼합한 상토에서 매리골드를 플러그 육묘 하고 35일후에 지상부 생육을 조사하여 <표 28>에 나타내었다. 초장은 처리간

차이가 인정되지 않았고, NH_4 의 시비 비율이 증가할수록 초폭과 관부직경이 넓거나 굵어지는 경향이였다. 그러나 가장 중요한 생육지표인 생체중과 건물중에서는 $\text{NH}_4 : \text{NO}_3$ 의 시비비율이 25:75인 처리에서 식물체당 각각 0.57g 및 103.5mg으로 조사되어 가장 우수하였고, NH_4 의 시비비율이 증가할수록 생육이 저조해지는 경향이였다.

과종 35일후 지상부 무기물 함량을 분석한 결과(표 29), NH_4 의 시비비율이 높아질수록 식물체내 N, P, Ca 및 Mg 함량이 증가하였고 K 함량이 감소하였다. 이와같은 결과는 앞에서 설명한 다른 미량원소 복합제에서와 같은 경향이였으며 앞에서 설명한 것과 동일한 원인 때문이라고 판단된다.

미량원소인 Fe는 25:75($\text{NH}_4 : \text{NO}_3$) 처리에서 가장 높은 식물체내 함량을 보였고, Mn, Zn 및 B는 50:50 처리에서 가장 높았다. 이는 앞에서 설명한 [2-11]과 다른 경향이였으며 미량원소복합제의 성분함량과 용해도 차이 때문에 발생한 결과라고 사료된다.

매리골드를 플러그 재배하고 종자 과종 35일 후에 토양분속한 결과(표 31)는 앞에서 설명한 [2-11]이나 [2-1]과 매우 유사한 경향을 보였으며 동일한 원인 때문이라고 판단하였다.

<표 28> [2-12]에서 관비용액의 $\text{NH}_4 : \text{NO}_3$ 의 비율이 과종 35일 후 매리골드 'Yellow boy'의 작물 생육에 미치는 영향.

처 리 ($\text{NH}_4 : \text{NO}_3$)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (mg/식물체)
0:100	6.20 a ^z	4.81 bc	1.31 c	8.40 a	0.57 ab	95.3 a
25:75	6.18 a	4.64 b	1.40 ab	8.19 a	0.59 a	103.5 a
50:50	6.21 a	4.32 c	1.34 b	8.02 b	0.52 c	85.7 c
75:25	6.08 a	4.33 c	1.36 b	8.20 b	0.54 b	76.7 c
100:0	6.08 a	4.88 a	1.47 a	8.30 b	0.52 b	76.0 b
Linear	ns	***	**	ns	***	***
Quadratic	ns	***	**	ns	***	***

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 29> [2-12]에서 관비용액속의 NH₄:NO₃ 비율을 조절하여 시비하고 파종 35일 후 매리골드 'Yellow boy'의 지상부 무기원소 함량을 분석한 결과.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
	----- (%) -----				
0:100	2.10 b ^z	1.62 c	1.06 a	1.03 b	0.39 b
25:75	2.29 ab	1.63 c	0.86 b	1.12 b	0.38 b
50:50	2.33 ab	1.80 b	0.70 c	1.25 b	0.41 b
75:25	2.66 a	2.01 a	0.52 d	2.06 a	0.55 a
100:0	2.38 ab	1.82 b	0.30 e	1.49 b	0.44 b
Linear	*	**	***	*	*
Quadratic	ns	**	***	*	ns

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- (mg • kg ⁻¹) -----				
0:100	43.7 c	81.5 d	65.6 d	12.7 a	38.3 b
25:75	87.7 a	81.8 d	68.1 d	12.8 a	40.6 b
50:50	67.7 b	210.6 a	111.1 a	10.6 b	70.4 a
75:25	48.0 c	149.3 b	90.3 b	11.8 ab	40.8 b
100:0	45.0 c	111.9 c	78.3 c	10.8 b	33.7 c
Linear	ns	ns	ns	**	ns
Quadratic	*	**	**	*	*

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 30> [2-12]에서 관비용액속의 NH₄:NO₃ 비율을 조절하여 시비하고 파종 35 일 후 상토의 화학적 특성을 분석한 결과.

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	pH	EC (dS • m ⁻¹)	NH ₄ ⁻ N -- (mg • L ⁻¹) --	NO ₃ ⁻ N --	P ₂ O ₅ ----- (mg • kg ⁻¹) -----	K -----	Ca -----
0:100	7.18 a ^z	2.24 a	97.7 a	75.5 a	201 c	43.6 a	2020 b
25:75	6.25 b	2.12 a	72.7 b	79.9 a	1994 b	34.4 b	2920 ab
50:50	5.34 c	2.31 a	100.1 a	78.4 a	1994 b	3.3 d	2622 ab
75:25	4.47 d	2.28 a	109.7 a	79.9 a	3354 a	25.8 c	3393 a
100:0	4.22 e	2.14 a	113.2 a	87.7 a	1873 b	37.5 ab	3631 a
Linear	***	ns	*	ns	ns	ns	**
Quadratic	***	ns	*	ns	ns	**	*

처 리 (NH ₄ :NO ₃)	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na
	----- (mg • kg ⁻¹) -----						
0:100	174.1 a	0.125 a	1.14 a	1.25 c	0.021 b	24.1 b	811 a
25:75	197.8 a	0.084 b	1.14 a	1.94 a	0.019 b	22.3 b	727 a
50:50	186.2 a	0.077 b	0.80 b	1.20 c	0.019 b	89.8 a	761 a
75:25	195.8 a	0.038 d	1.14 a	1.45 b	0.019 b	91.4 a	559 a
100:0	206.8 a	0.053 c	0.54 c	1.01 d	0.117 a	73.7 a	1027 a
Linear	ns	***	*	ns	*	**	ns
Quadratic	ns	***	*	*	**	**	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

3. 적요

- 가. 종자과중 35일 후의 작물생육은 +대조구(Micronutrient Fertilizer)에서는 0:100(nutrient Fertilizer), 처리에서 건물중과 생체중이 가장 무거웠다.
- 나. [2-1]이 시비된 경우 생체중은 0:100, 건물중은 25:75 처리에서 가장 무거웠고, [2-11]이 시비된 경우 50:50 처리에서 건물중과 생체중이 가장 무거웠으며, [2-12]가 시비된 25:75의 시비비율에서 생육이 가장 우수하였다.
- 다. 따라서 관비용액속의 $\text{NH}_4^- \text{N}$ 비율을 50% 이하로 조절하는 것이 작물생육에 바람직할 것으로 판단되었다.
- 라. $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$ 의 시비비율에 따른 식물체 내 무기원소 함량 변화에서 N, P 및 Ca 함량은 NH_4^+ 비율이 높아질수록 증가하는 경향이었고, K은 뚜렷하게 감소하였다.
- 마. 미량원소의 식물체내 함량은 미량원소복합제의 종류에 따라 경향이 달랐다. 이와 같이 차이가 발생하는 원인은 미량원소복합제의 성분함량과 용해도의 차이 때문이라고 판단되었다.
- 바. NH_4^+ 의 시비 비율이 높아짐에 따라 모든 미량원소복합제에서 토양 pH가 저하하였고, EC는 처리간 차이가 없었으며, $\text{NH}_4^- \text{N}$ 농도가 증가하였다.
- 사. $\text{NH}_4^- \text{N}$ 의 비율이 높아질수록 토양 인산 및 Cu 농도가 증가하였으나 K 농도는 50:50($\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$)에서 가장 낮고 50% 이상 또는 50% 이하로 $\text{NH}_4^- \text{N}$ 농도를 조절할 경우 토양 K 농도가 증가하였다.
- 아. 토양중 미량원소의 농도는 미량원소 복합제의 종류에 따라 경향이 달랐으며, 미량원소복합제의 성분함량과 용해도 차이 때문이라고 판단하였다.

제 8 절 플러그 재배시 미량원소복합제가 혼합된 각종 상토에서 고토석회의 처리수준이 생육에 미치는 영향

1. 재료 및 방법

본 실험을 위하여 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v), 피트모쓰+부숙수피(1:1) 및 피트모쓰+부숙톱밥(1:1)의 세종류 상토를 조제하였다. 상토조제 과정에서 인산 질 비료(용과린)를 분쇄한 후 $2.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였고, KNO_3 와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 를 $0.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하였는데 균일성을 증가시키기 위하여 상토조제 과정에서 물에 타서 골고루 혼합하였다. 토양습윤제인 액상 AquaGro를 KNO_3 와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 를 혼합한 용액에 같이 타서 상토혼합 과정에서 첨가하였다. 미량원소복합제는 [2-1], [2-11], [2-12] 및 +Control(미량원소복합제, Micronutrient fertilizer, Frit Industry)의 네종류 였으며, 각각 모래와 1:2(w/w, 미량원소복합제/모래)로 혼합한 후 상토 조제과정에서 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였다.

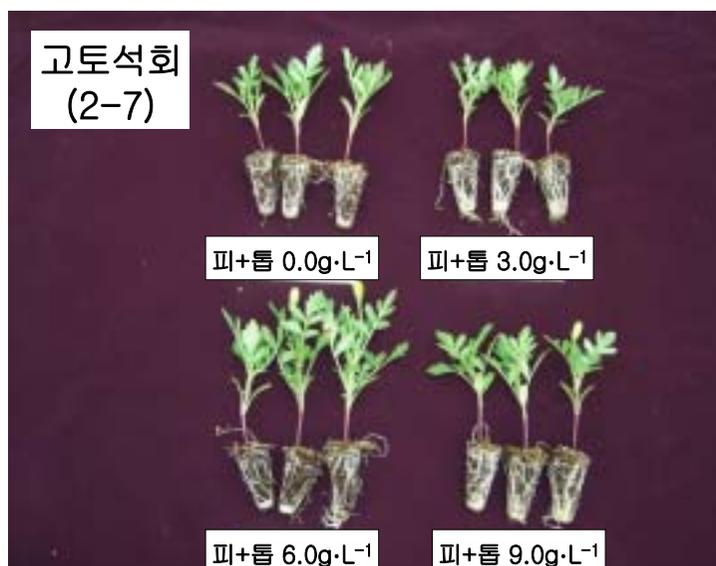
각각의 미량원소복합제를 포함한 상토에는 국산 고토석회를 0, 3.0, 6.0, 및 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하여 네 처리를 만들었으며, 이후 200공 플러그트레이에 상토를 충전하고 메리골드 'Orange Boy'를 파종하였다. 모든 실험은 3반복으로 수행하였다.

추비는 Stage 2부터 시작하였다. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 , $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 및 NH_4NO_3 의 비율을 조절하여 N: $210\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, P: $39\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 그리고 K: $155\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 stock solution을 조제한 후 Stage 2에는 질소가 $70\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이 되도록, Stage 3에는 $90\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로, Stage 4에는 $120\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 3일에 1회 관비하였다. 관비 중간에는 관수만 하였으며, 관비 또는 관수시 용탈율은 30%로 조절하였다.

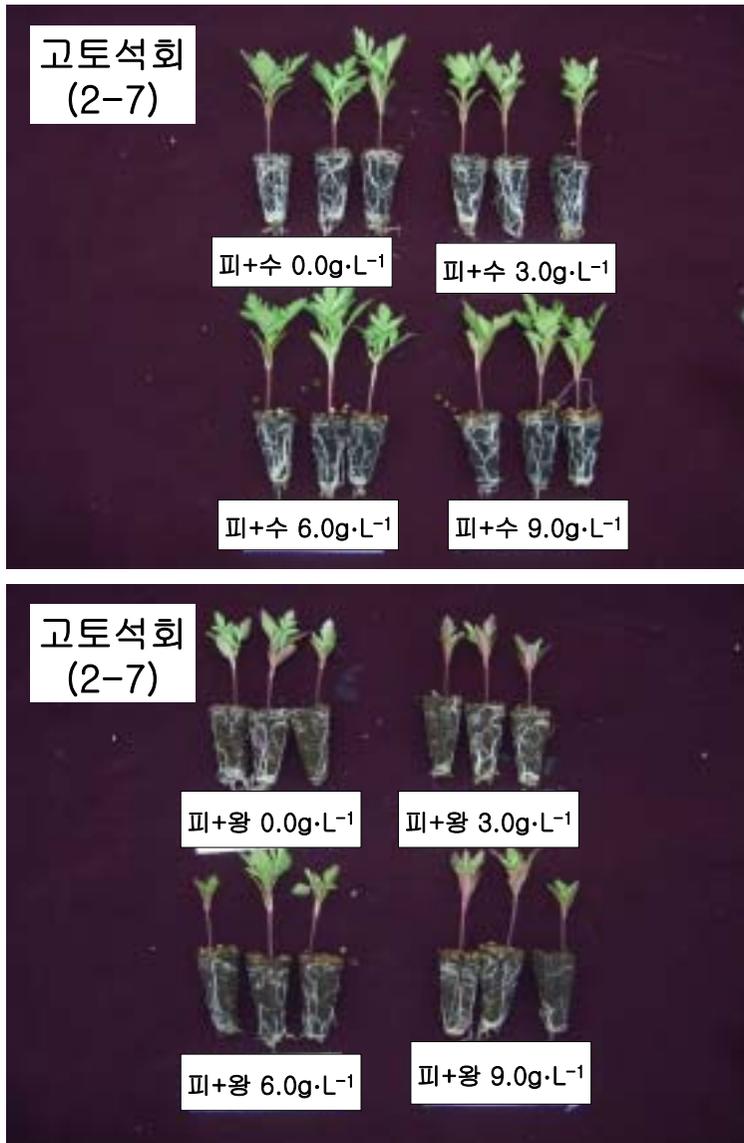
식물 생육은 파종 6주후에 지상부 생체중, 건물중, 초장, 초폭, 관부직경, 엽수를 조사하였으며, 토양은 파종 6주후 시비 2시간 후에 토양 시료를 채취하여

건조시킨 후 분쇄하였고, pH, EC, Total-N(Kjeldahl), P₂O₅, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo를 분석하였다. 분쇄한 시료를 이용하여 1:5방법으로 pH 및 EC를 측정하였고, 총질소 함량을 Kjeldahl 방법으로, 인산은 포화추출법으로 추출한 용액을 이용하여 비색정량하였으며, 기타 무기원소분석은 Ammonium acetate로 추출한 후 A.A.(pH=7.0)로 분석하였다. 식물체는 end-crop(6주후)에서 지상부 전체를 수확하여 실험실에서 분석하는 식물체 분석법과 동일하게 무기원소 함량을 분석하였다.

2. 결과 및 고찰



<그림 13> 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v), 피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v), 및 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v)의 혼합상토 조제과정에서 개발된 미량원소복합제를 0.3·L⁻¹의 비율로, 그리고 고토석회를 다양한 비율로 기비로 혼합하고 매리골드 'Orange Boy'를 재배하였으며 파종 35일 후의 생육을 나타냄.



<그림 13> 계속.

개발된 미량원소 복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 포함한 각종 혼합상토에서 고토석회 석회를 $0, 3, 6$ 및 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합상토에 시비하고 파종 35일 후에 지상부의 생육을 조사하여 <표 31>에 나타내었다. 피트모쓰+부숙수피

(1:1, v/v) 혼합상토에 미량원소 복합제 [2-1]을 시비한 경우 고토석회 무시비구에서 초장 7.32cm, 초폭 4.55cm, 생체중 0.750g, 그리고 건물중 0.146g으로 가장 생육이 우수하였다. 고토석회의 혼합비율이 높아질수록 초장, 초폭, 생체중 및 건물중에서 생육이 저조하였고, 각각 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 뚜렷한 경향을 발견할 수 있었다.

미량원소복합제 [2-11]을 기비로 처리한 경우에는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 6.91cm로 초장이 가장 컷고, 생체중이 식물체당 0.686g으로 가장 무거웠다. 그러나 건물중은 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 0.133g으로 가장 무거워 생육이 우수함을 알 수 있었다. [2-11]이 시비된 경우 엽수, 생체중 및 건물중에서는 5% 수준의 2차곡선회귀가 성립하여 경향을 발견할 수 있었다.

미량원소복합제 [2-12]가 처리된 경우에도 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 고토석회를 시비한 처리에서 초장 6.41cm, 생체중 0.547g 그리고 건물중 0.113g으로 생육이 가장 우수하였다. 고토석회 무처리구나 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 고토석회 시비구에서는 생체중이나 건물중이 가벼워졌으며, 고토석회의 시비량이 높아질수록 엽수가 뚜렷하게 감소하였다. 이와같이 고토석회의 시비량이 증가할수록 엽수, 생체중 및 건물중에서 생육이 저조한 원인은 상토의 pH가 과도하게 높아짐과 동시에 가용성 무기염 농도(EC)가 상승한 것에서 찾을 수 있다고 판단되었다.

그러나 Micro nutrient Fertilizer(MF)가 시비된 상토에 고토석회의 시비량을 증가시킬 경우 초장은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 5.57cm로 가장 컷고, 생체중과 건물중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 0.506g과 0.106g으로 가장 무거워 생육이 우수함을 알 수 있었고, 생체중과 건물중에서는 각각 5% 수준의 2차곡선회귀가 성립하여 경향을 찾을 수 있었다.

<표 31> 피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제와 미국산 Micronutrient fertilizer를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 고토석회의 혼합비율을 변화시켜 매리골드 ‘Yellow boy’를 플러그 재배하였으며 파종 35일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	7.32 a ^z	4.55 a	0.195 a	25.4 a	0.750 a	0.146 a
3.0	5.54 b	4.02 ab	0.199 a	29.0 a	0.486 b	0.108 b
6.0	5.95 b	3.95 ab	0.199 a	29.5 a	0.505 b	0.085 b
9.0	5.57 b	3.88 b	0.191 a	28.0 a	0.466 b	0.095 b
Linear	**	*	ns	ns	***	**
Quadratic	***	*	ns	ns	***	**
[2-11]						
0.0	6.58 ab	4.73 a	0.199 a	37.4 a	0.504 b	0.094 b
3.0	6.20 ab	4.39 a	0.191 a	29.2 b	0.659 a	0.133 a
6.0	6.91 a	4.55 a	0.202 a	31.4 b	0.686 a	0.116 ab
9.0	5.67 b	4.72 a	0.195 a	30.3 b	0.513 b	0.101 b
Linear	ns	ns	ns	*	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	*	*	*

<표 31> 계속.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-12]						
0.0	5.34 b	4.56 a	0.193 a	37.9 a	0.513 ab	0.092 ab
3.0	6.41 a	4.34 a	0.197 a	41.3 a	0.547 a	0.113 a
6.0	5.56 ab	4.13 a	0.196 a	29.8 b	0.438 b	0.083 b
9.0	5.93 ab	4.34 a	0.194 a	30.0 b	0.437 b	0.094 b
Linear	ns	ns	ns	***	*	*
Quadartic	*	ns	ns	**	ns	ns
[Micronutrient Fertilizer]						
0.0	4.25 c	4.43 bc	0.183 a	28.6 a	0.382 b	0.067 b
3.0	4.47 bc	4.23 c	0.196 a	25.9 a	0.383 b	0.059 b
6.0	5.04 ab	4.94 a	0.188 a	30.6 a	0.506 a	0.106 a
9.0	5.57 a	4.81 ab	0.181 a	28.0 a	0.465 ab	0.069 b
Linear	***	*	ns	ns	*	ns
Quadartic	***	*	ns	ns	*	*

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

피토모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에서 미량원소복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하고 고토석회의 시비비율에 따른 매리골드의 생육을 파종 35일 후에 조사하여 <표 32>에 나타내었다. 미량원소복합제 [2-1]이 시비된 경우 초장은 고토석회 무처리구에서 4.17cm로 가장 컸고, 생체중과 건물중은 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 0.282g과 0.068g으로 가장 무거웠다. 그러나 조사한 초장, 초폭, 관부직경, 엽수, 생체중 및 건물중에서 처리간 5% 수준의 차이가 인정되지 않았고, 직선 및 2차곡선회귀로 성립하지 않아 경향을 찾을 수 없었다.

미량원소복합제 [2-11]이 기비로 시비된 경우에도 무처리구에서 초장 5.37cm, 생체중 0.475g, 그리고 건물중 0.068g으로 생육이 가장 우수하였다. 조사한 모든 생육지표에서 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리의 생육이 가장 저조하였고, 고토석회의 시비 비율이 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상일 경우 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리보다 생육이 우수하였는데 정확한 원인이 불분명하였다. 그러나 왕겨가 혼합된 상토의 경우 pH가 약알칼리성이라 인산 및 미량원소의 결핍가능성이 높고, 또 왕겨 자체의 양이온치환용량이 낮아 완충력이 낮기 때문에 고토석회의 시비량 증가가 생육을 저하시킨 원인이 되었다고 판단되었다.

고토석회의 혼합량을 증가시킬 경우 생육이 저조해지는 것은 미량원소복합제 [2-12]를 시비한 경우 더욱 뚜렷하였다. 고토석회 무처리구의 초장이 5.18cm, 생체중 0.394g, 그리고 건물중이 0.087g으로 조사되어 가장 우수하였으며, 고토석회의 시비량이 증가할수록 생육이 저조하였고, 모든 생육지표에서 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 경향도 뚜렷하였다.

+대조구(Micronutrient Fertilizer, MF) 처리에서도 정도의 차이가 있을 뿐 앞의 3종류 미량원소 복합제와 유사한 경향을 보였다. 또한 관부직경에서만 처리간 차이가 인정되지 않고, 직선 및 2차곡선회귀도 성립하지 않았을 뿐, 기타 생육조사 항목에서는 5% 수준의 통계적인 차이와 함께 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 경향을 발견할 수 있었다.

<표 32> 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제와 미국산 Micronutrient fertilizer를 0.3g • L⁻¹의 비율로 혼합한 후 고토석회의 혼합비율을 변화시켜 매리골드 ‘Yellow boy’를 플러그 재배하였으며 파종 35일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g • L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	4.17 a ^z	2.41 a	0.134 a	26.6 a	0.246 a	0.047 a
3.0	3.79 a	2.81 a	0.266 a	26.1 a	0.282 a	0.068 a
6.0	3.80 a	2.79 a	0.144 a	25.1 a	0.270 a	0.063 a
9.0	3.73 a	2.62 a	0.154 a	22.2 a	0.235 a	0.059 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-11]						
0.0	5.37 a	3.10 a	0.172 a	28.8 a	0.475 a	0.068 a
3.0	3.17 c	2.33 b	0.141 b	21.2 b	0.176 c	0.018 c
6.0	4.21 b	3.26 a	0.169 a	28.8 a	0.352 b	0.039 b
9.0	4.11 b	2.96 a	0.178 a	29.3 a	0.322 b	0.060 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	**	ns	ns	ns	**	**

<표 32> 계속.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-12]						
0.0	5.18 a	2.96 a	0.174 a	32.3 a	0.394 a	0.087 a
3.0	3.83 b	2.74 ab	0.150 b	25.6 b	0.256 b	0.056 b
6.0	3.53 b	2.19 c	0.121 c	19.1 c	0.171 c	0.048 b
9.0	3.66 b	2.46 bc	0.128 bc	21.2 bc	0.256 b	0.041 b
Linear	***	**	***	***	***	***
Quadratic	***	**	***	***	***	***
[Micronutrient Fertilizer]						
0.0	3.87 a	2.76 a	0.121 a	22.5 a	0.233 a	0.059 a
3.0	2.89 b	2.19 b	0.126 a	17.9 b	0.163 b	0.038 ab
6.0	2.79 b	2.06 b	0.111 a	17.0 b	0.128 b	0.033 b
9.0	2.71 b	2.06 b	0.119 a	13.5 c	0.133 b	0.030 b
Linear	***	**	ns	***	***	*
Quadratic	***	**	ns	***	***	*

²Duncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

피토모쓰+톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에서 조제된 미량원소 복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하고 고토석회의 혼합에 따른 작물 생육을 <표 33>에 나타내었다.

미량원소복합제 [2-1]이 혼합된 경우 고토석회를 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합한 처리에서 생육이 가장 우수하였는데, 초장 7.18cm, 생체중이 식물체당 0.929g, 그리고 건물중이 식물체당 0.073g으로 조사되었고 다른 처리들 보다 유의하게 크거나 무거웠다. 고토석회의 혼합비율이 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상으로 높아질 경우 생육이 저조해지는 경향이었다.

[2-11]이 혼합된 경우에는 다른 경향을 나타내었다. 3.0 또는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 고토석회가 시비된 경우 생체중 및 건물중에서 차이가 없었으나, $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비된 경우 식물체 당 건물중이 $0.133\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 가장 무거웠다. 건물중에서는 5% 수준의 직선회귀와 0.1% 수준의 2차곡선회귀가 성립하여 뚜렷한 경향을 발견할 수 있었으나, 기타 생육조사 지표인 초장, 초폭, 관부직경 및 생체중에서는 처리간 차이도 없었고 직선 및 곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다.

미량원소 복합제 [2-12]가 혼합된 경우에는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 고토석회를 처리한 경우 식물체 당 생체중이 0.85g, 건물중이 0.062g으로 조사되어 가장 우수하였다. 그러나 건물중과 생체중 모두 각 처리간 통계적인 차이가 인정되지 않았고, 직선 및 곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다. 미량원소복합제 [2-12]가 시비된 경우에는 관부직경에서만 처리간 차이가 인정되었고, 고토석회의 시비비율이 증가함에 따라 점차 가늘어져 5% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다.

MF비료가 시비된 상토에 고토석회의 혼합비율이 높아짐에 따라 생체중 및 건물중이 증가하였다. 생체중은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 식물체당 0.711g, 건물중은 0.123g으로 조사되어 가장 무거움을 알 수 있었고, 고토석회의 혼합비율이 낮아짐에 따라 생체중 및 건물중이 가벼워져 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다. 고토석회의 혼합비율이 증가함에 따라 초폭도 넓어졌으나 초장, 관부직경 및

엽수에서는 처리간 차이가 없었고, 경향도 발견할 수 있었다.

<표 33> 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제와 미국산 Micronutrient fertilizer를 0.3g • L⁻¹의 비율로 혼합한 후 고토석회의 혼합비율을 변화시켜 매리골드 ‘Yellow boy’를 플러그 재배하였으며 파종 35일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g • L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	6.19 ab ^z	5.20 b	0.200 b	32.6 b	0.644 b	0.023 b
3.0	7.18 a	6.76 a	0.207 a	38.5 a	0.929 a	0.073 a
6.0	6.00 b	5.82 b	0.199 b	36.0 ab	0.686 b	0.039 ab
9.0	6.63 ab	5.59 b	0.203 ab	36.9 a	0.700 b	0.045 ab
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	*	ns	ns	ns	ns
[2-11]						
0.0	6.28 a	5.83 a	0.203 a	33.3 a	0.722 a	0.052 b
3.0	6.04 a	5.64 a	0.203 a	31.4 a	0.662 a	0.034 b
6.0	6.54 a	5.65 a	0.213 a	30.3 a	0.702 a	0.030 b
9.0	7.00 a	6.10 a	0.208 a	28.4 a	0.832 a	0.133 a
Linear	ns	ns	ns	*	ns	*
Quadratic	ns	ns	ns	ns	ns	***

<표 33> 계속.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-12]						
0.0	6.23 a	5.84 a	0.219 a	33.4 a	0.711 a	0.045 a
3.0	6.57 a	5.84 a	0.202 b	33.1 a	0.740 a	0.056 a
6.0	7.27 a	5.26 a	0.204 b	33.9 a	0.857 a	0.062 a
9.0	6.69 a	5.59 a	0.201 b	34.4 a	0.742 a	0.055 a
Linear	ns	ns	*	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	*	ns	ns	ns
[Micronutrient Fertilizer]						
0.0	5.59 a	5.00 b	0.191 a	33.7 a	0.583 ab	0.019 b
3.0	6.33 a	3.74 c	0.195 a	35.3 a	0.501 b	0.037 b
6.0	6.03 a	4.82 b	0.194 a	35.4 a	0.604 ab	0.098 a
9.0	6.40 a	5.82 a	0.191 a	35.6 a	0.711 a	0.123 a
Linear	ns	**	ns	ns	**	***
Quadratic	ns	***	ns	ns	**	***

²Duncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

3. 적요

가. 피토모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에 미량원소복합제 [2-1]을 가비로 혼합한 경우 고토석회 무처리구에서 생육이 가장 우수하였고, 고토석회의 혼합비율이 높아짐에 따라 생육이 저조하였다.

나. [2-11]을 혼합한 경우에는 3.0g · L⁻¹처리에서 건물중이 식물체 0.133g으로 가장 무거웠으나 생체중은 6.0g · L⁻¹처리에서 0.686g으로 가장 무거웠

다.

- 다. 미량원소복합제 [2-12]와 MF가 혼합된 경우에는 각각 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 와 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생체중 및 건물중이 무거워 생육이 우수한 고토석회 시비량이 달랐다.
- 라. 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 네 종류 미량원소 복합제를 혼합한 경우, 고토석회의 혼합비율이 높아짐에 따라 생육이 저조하였는데 그 정도는 [2-12]가 혼합된 경우 가장 뚜렷하였다.
- 마. 본 상토에서 고토석회의 혼합비율에 따른 생육 저조는 상토의 pH에서 그 원인을 찾을 수 있다. 왕겨 자체의 높은 pH로 인해 고토석회를 혼합할 경우 pH가 과도하게 높아져 생육 저조의 원인이 되었다고 판단한다.
- 바. 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에 미량원소복합제 [2-1]과 [2-12]를 혼합한 경우 고토석회 3.0 과 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생육이 우수하였으나, [2-11]과 MF를 시비한 경우 고토석회의 시비량이 높아질 경우 생육이 우수한 경향을 보였다.

제 9 절 플러그 재배시 미량원소복합제가 혼합된 각종 상토에서 용과린의 처리수준이 생육에 미치는 영향

1. 재료 및 방법

본 실험을 위하여 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v), 피트모쓰+부숙수피(1:1) 및 피트모쓰+부숙톱밥(1:1)의 세종류 상토를 조제하였다. 상토조제 과정에서 고토석회를 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였고, KNO_3 와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 를 $0.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하였는데 균일성을 증가시키기 위하여 상토조제 과정에서 물에 타서 골고루 혼합하였다. 토양습윤제인 액상 AquaGro를 KNO_3 와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 를 혼합한 용액에 같이 타서 상토혼합 과정에서 첨가하였다. 미량원소복합제는 [2-1], [2-11], [2-12] 및 +Control(미량원소복합제, Micronutrient fertilizer)의 네종류

였으며, 각각 모래와 1:2(w/w, 미량원소복합제/모래)로 혼합한 후 상토 조제과정에서 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였다.

각각의 미량원소복합제를 포함한 상토에는 용과린을 0, 3.0, 6.0 및 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하여 네 처리를 만들었으며, 이후 200공 플러그트레이 상토를 충전하고 메리골드 ‘Orange Boy’를 파종하였다. 모든 실험은 3반복으로 수행하였다.

추비는 Stage 2부터 시작하였다. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 , KCl 및 NH_4NO_3 의 비율을 조절하여 N: $210\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, P: $0\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 그리고 K: $155\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 stock solution을 조제한 후 Stage 2에는 질소가 $70\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이 되도록, Stage 3에는 $90\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로, Stage 4에는 $120\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 3일에 1회 관비하였다. 관비 중간에는 관수만 하였으며, 관비 또는 관수시 용탈율은 30%로 조절하였다.

식물 생육은 파종 8주후에 지상부 생체중, 건물중, 초장, 초폭, 관부직경, 엽수를 조사하였으며, 토양은 파종 8주후 시비 2시간 후에 토양 시료를 채취하여 건조시킨 후 분쇄하였고, pH, EC, Total-N(Kjeldahl), P_2O_5 , K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo를 분석하였다. 분쇄한 시료를 이용하여 1:5방법으로 pH 및 EC를 측정하였고, 총질소 함량을 Kjeldahl 방법으로, 인산은 포화추출법으로 추출한 용액을 이용하여 비색정량하였으며, 기타 무기원소분석은 Ammonium acetate로 추출한 후 A.A.(pH=7.0)로 분석하였다. 식물체는 end-crop(8주후)에서 지상부 전체를 수확하여 실험실에서 분석하는 식물체 분석법과 동일하게 무기원소 함량을 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에 미량원소복합제 [2-1]을 기비로 혼합하고, 인산질 비료인 용과린의 시비 비율을 높인 결과(표 34) 생체중 및 건물중이 뚜렷하게 증가하였다. 용과린 무처리구의 생체중 및 건물중이 식물체당 0.251g 및 0.047g 였으나, $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 용과린 처리에서 식물체당 0.451g 및 0.066g 으로 조사되어 가장 우수하였다. 생체중 및 건물중에서는 직선 및 2차곡

선회귀가 성립하여 경향을 찾을 수 있었으나 초장, 관부직경 및 엽수에서는 경향을 찾을 수 없었다.

피토모쓰+부숙톱밥(1:1) 상토에 조제된 미량원소 복합제 [2-11], [2-12] 및 MF 비료를 혼합한 경우에도 유사한 경향을 나타내었다. 세종류 미량원소복합제 모두 용과린의 시비 비율이 증가함에 따라 초장, 초폭, 관부직경, 엽수, 생체중 및 건물중 등 조사한 모든 생육 지표에서 생육이 우수하였다. 용과린 시비 비율에 따른 처리간 통계적인 차이가 인정되었으며, 직선 및 2차 곡선회귀가 성립하여 경향을 뚜렷하게 판단할 수 있었다.

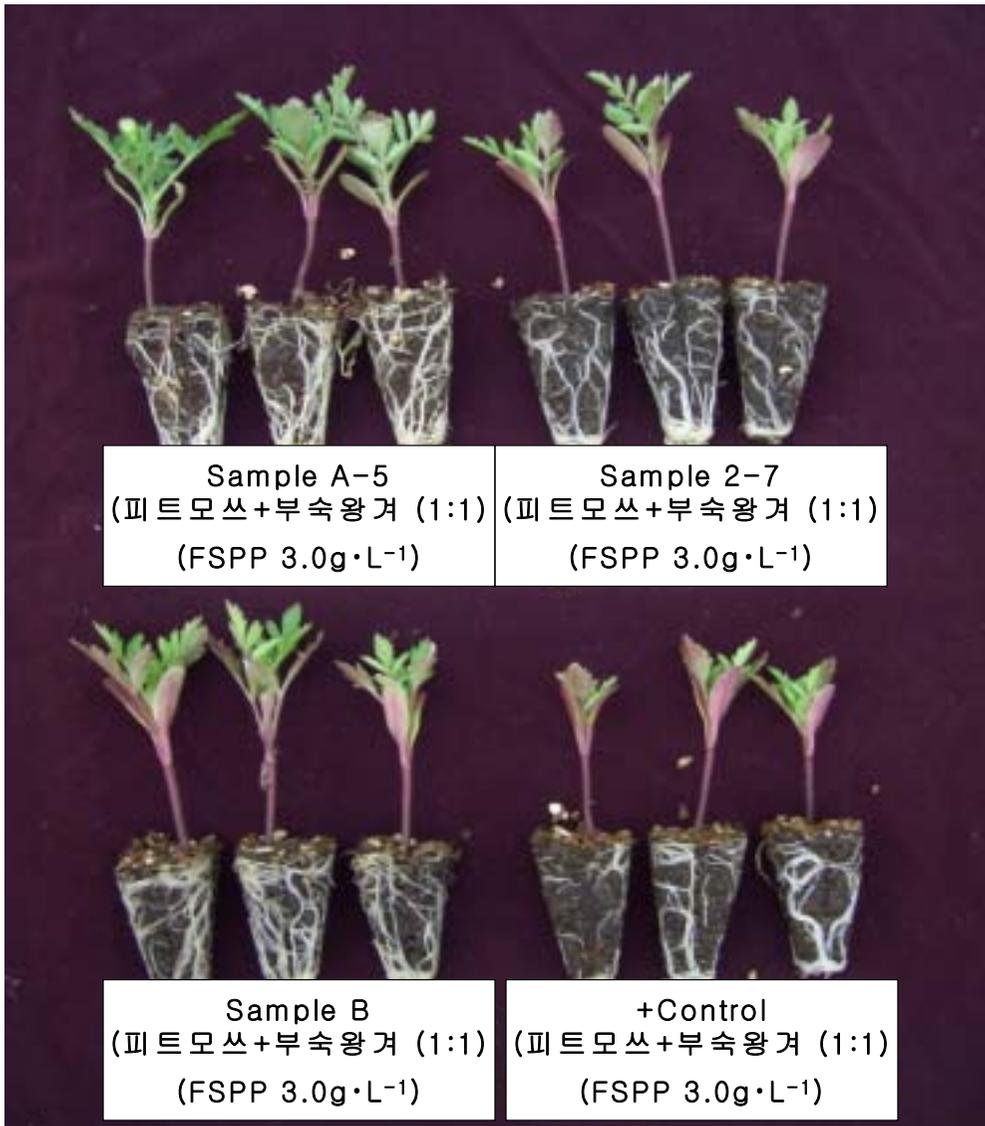
그러나 [2-1]을 혼합하고 용과린을 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비한 경우 건물중이 식물체당 0.066g 였으나 [2-11], [2-12] 및 MF 비료가 혼합되고 동일한 양의 용과린을 시비한 경우 식물체당 0.103g , 0.077g 및 0.095g 으로 조사되어 미량원소복합제의 종류에 따른 차이를 확인할 수 있었다. 이와 같이 미량원소 복합제에 따라 생육이 다른 원인은 성분 함량과 용해도에서 원인을 찾을 수 있다고 판단된다.



<그림 14> 피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토 조제과정에서 개발된 미량원소복합제를 $0.3 \cdot L^{-1}$ 의 비율로, 그리고 용과린을 다양한 비율로 기비로 혼합하고 매리골드 'Orange Boy'를 플러그 재배하였으며 파종 35일 후의 생육을 나타냄(미량원소복합제 2-5는 본문에서 [2-11], 2-7은 [2-1], B는 [2-12], 그리고+Control은 Micronutrient fertilizer (Frit industry)로 나타냄).



<그림 15> 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토 조제과정에서 개발된 미량원소복합제를 0.3 • L⁻¹의 비율로, 그리고 용과린을 다양한 비율로 기비로 혼합하고 매리골드 ‘Orange Boy’를 플러그 재배하였으며 파종 35일 후의 생육을 나타냄(미량원소복합제 2-5는 본문에서 [2-11], 2-7은 [2-1], B는 [2-12], 그리고+Control은 Micronutrient fertilizer (Frit industry)로 나타냄).



<그림 16> 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토 조제과정에서 개발된 미량원소복합제를 0.3·L⁻¹의 비율로, 그리고 용과린을 다양한 비율로 기비로 혼합하고 매리골드 ‘Orange Boy’를 플러그 재배하였으며 파종 35일 후의 생육을 나타냄(미량원소복합제 2-5는 본문에서 [2-11], 2-7은 [2-1], B는 [2-12], 그리고+Control은 Micronutrient fertilizer (Frit industry)로 나타냄).

<표 34> 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제와 미국산 Micronutrient fertilizer를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 용과린의 혼합비율을 변화시켜 매리골드 ‘Yellow boy’를 플러그 재배하였으며 파종 35일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (mm)	초 폭 (mm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	35.0 ab ^z	41.1 b	0.13 a	31.2 ab	0.251 b	0.047 b
3.0	34.2 ab	40.8 b	0.13 a	34.0 a	0.279 b	0.045 b
6.0	31.5 b	37.7 b	0.13 a	26.2 b	0.285 b	0.053 ab
9.0	40.1 a	50.8 a	0.15 a	29.2 ab	0.451 a	0.066 a
Linear	ns	ns	ns	ns	***	**
Quadratic	ns	*	ns	ns	***	**
[2-11]						
0.0	35.3 c	25.1 c	0.12 c	18.1 c	0.164 c	0.043 b
3.0	27.2 d	39.7 b	0.16 b	30.8 ab	0.309 b	0.059 b
6.0	45.1 b	65.0 a	0.19 a	27.6 b	0.648 a	0.100 a
9.0	54.4 a	62.3 a	0.19 a	31.9 a	0.729 a	0.103 a
Linear	***	***	***	***	***	***
Quadratic	***	***	***	***	***	**

<표 34> 계속.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (mm)	초 폭 (mm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-12]						
0.0	19.8 c	33.7 b	0.13 b	24.9 b	0.165 b	0.032 b
3.0	23.8 bc	37.0 b	0.13 b	26.8 b	0.236 b	0.045 b
6.0	28.4 b	37.0 b	0.12 b	25.9 b	0.281 b	0.039 b
9.0	47.0 a	57.0 a	0.17 a	34.9 a	0.553 a	0.077 a
Linear	***	***	***	***	***	*
Quadratic	***	***	***	***	***	*
[Micronutrient Fertilizer]						
0.0	29.8 c	34.3 c	0.11 c	20.7 b	0.185 c	0.031 b
3.0	29.7 c	34.2 c	0.12 c	23.9 b	0.212 c	0.033 b
6.0	42.4 b	53.1 b	0.16 b	32.9 a	0.447 b	0.069 ab
9.0	53.0 a	63.1 a	0.18 a	37.9 a	0.700 a	0.095 a
Linear	***	***	***	***	***	**
Quadratic	***	***	***	***	***	**

²Duncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상태에 네종류 미량원소복합제를 혼합하고 용과린의 시비비율 증가에 영향 받은 매리골드의 생육을 <표 35>에 나타내었다.

[2-1]이 혼합된 상태에서 용과린의 시비비율을 높인 경우 초장, 생체중 및 건물중이 뚜렷하게 증가하였다. $9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 용과린 처리에서 생육이 가장 우수하였고, 초장 77.9mm, 생체중이 0.81g, 그리고 건물중이 0.100g으로 조사되었으며, 생체중과 건물중에서는 1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 경향을 찾을 수 있었다.

[2-11]이 혼합된 처리들 간에도 생체중과 건물중에서 통계적인 차이가 인정되었는데, $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 용과린이 혼합된 처리에서 생체중과 건물중이 0.77g 및 0.081g으로 조사되어 가장 우수하였고, 용과린의 시비량이 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상으로 높아질 경우 생육이 저조해지는 경향을 보였다.

미량원소복합제 [2-12]가 혼합된 경우에는 용과린의 시비량이 증가할 경우 생체중도 뚜렷하게 증가하여 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 용과린 처리에서 1.12g의 건물중을 생산하여 가장 우수하였으며 0.1% 수준의 직선회귀와 1% 수준의 2차곡선회귀가 성립하여 경향을 찾을 수 있었다. 그러나 용과린의 시비량이 증가할 경우 건물중도 증가하였으나 각 처리간 통계적인 차이가 인정되지 않았고 경향도 발견할 수 없었다.

+대조구(MF)에서는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 용과린을 시비한 처리에서 생체중이 식물체당 1.12g으로 가장 무거웠으며, 처리간 통계적인 차이과 함께 1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀도 성립하였다. 그러나 본 미량원소복합제에서도 건물중에서는 통계적인 차이가 인정되지 않았고 경향도 발견할 수 없었다.

<표 35> 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제와 미국산 Micronutrient fertilizer를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합한 후 용과린의 혼합비율을 변화시켜 매리골드 ‘Yellow boy’를 플러그 재배하였으며 파종 35일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	초 장 (mm)	초 폭 (mm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	58.8 c ^z	64.3 a	1.81 a	30.3 ab	0.60 b	0.066 b
3.0	67.5 b	69.3 a	1.86 a	32.9 ab	0.72 ab	0.085 ab
6.0	71.5 a	67.5 a	1.81 a	28.9 b	0.77 a	0.092 a
9.0	77.9 a	68.7 a	1.89 a	34.8 a	0.81 a	0.100 a
Linear	***	ns	ns	ns	**	**
Quadratic	***	ns	ns	ns	**	**
[2-11]						
0.0	75.9 a	74.3 a	1.93 a	38.0 a	0.71 a	0.073 ab
3.0	69.8 ab	76.1 a	1.93 a	36.9 a	0.77 a	0.081 a
6.0	70.8 ab	74.5 a	1.93 a	37.1 a	0.72 a	0.076 ab
9.0	63.6 b	62.7 b	1.93 a	32.1 a	0.55 b	0.065 b
Linear	**	**	ns	ns	*	ns
Quadratic	*	**	ns	ns	**	*

<표 35> 계속.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (mm)	초 폭 (mm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-12]						
0.0	76.1 ab	77.3 a	2.03 a	42.1 a	0.82 b	0.112 a
3.0	73.7 b	85.4 a	1.96 a	31.2 b	0.82 b	0.118 a
6.0	84.3 a	80.3 a	2.08 a	32.9 b	1.10 a	0.121 a
9.0	81.6 ab	80.0 a	2.07 a	44.4 a	1.12 a	0.126 a
Linear	ns	ns	ns	ns	***	ns
Quadratic	ns	ns	ns	***	**	ns
[Micronutrient Fertilizer]						
0.0	77.7 b	70.2 a	1.92 b	30.2 b	0.67 c	0.078 a
3.0	80.7 b	67.2 a	1.87 b	32.0 b	0.69 c	0.077 a
6.0	91.7 a	74.8 a	2.03 a	37.3 a	1.12 a	0.087 a
9.0	80.5 b	69.8 a	2.36 a	31.9 b	0.90 b	0.085 a
Linear	ns	ns	ns	ns	**	ns
Quadratic	**	ns	ns	**	**	ns

²Duncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에 네 종류 미량원소복합제를 기비로 혼합하고 용과린의 시비량을 달리하여 매리골드를 플러그육묘하였으며, 파종 35일 후의 생육을 <표 36>에 나타내었다.

미량원소복합제 [2-1]을 혼합하고 용과린의 시비량을 증가시킬수록 건물중과 생체중이 뚜렷하게 무거워졌으며, 처리간 통계적인 차이와 함께 직선 및 2차곡선회귀도 성립하여 경향을 발견할 수 있었다. 또한 초장, 초폭 및 관부직경도 용과린의 시비량이 높아짐에 따라 크거나 굵어졌으며, 처리간 통계적인 차이가 인정되었고, 직선 및 2차곡선회귀로 성립하여 경향을 찾을 수 있었다.

미량원소복합제 [2-11], [2-12] 및 MF 비료를 기비로 혼합한 경우에도 정도의 차이가 있지만 전반적인 경향은 [2-1]과 유사하였다.

네 종류 미량원소 복합제가 혼합된 상토에 용과린의 시비량을 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 조절한 경우, [2-1]에서는 0.131g , [2-11]에서는 0.104g , [2-12]는 0.137g , 그리고 MF에서는 0.111g 의 건물중을 식물체당 생산하였으며 [2-1]이나 [2-12]가 [2-11]이나 MF보다 우수함을 알 수 있었다.

<표 36> 피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제와 미국산 Micronutrient fertilizer를 0.3g • L⁻¹의 비율로 혼합한 후 용과린의 혼합비율을 변화시켜 매리골드 ‘Yellow boy’를 플러그 재배하였으며 파종 35일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g • L ⁻¹)	초 장 (mm)	초 폭 (mm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	68.3 b ^z	48.3 b	0.17 a	28.2 b	0.47 b	0.094 b
3.0	59.3 c	39.1 c	0.15 b	23.0 c	0.32 c	0.085 b
6.0	86.7 a	67.3 a	0.18 a	32.9 a	0.71 a	0.131 a
9.0	80.5 a	73.9 a	0.19 a	32.8 a	0.83 a	0.131 a
Linear	***	***	*	**	***	**
Quadratic	***	***	**	**	***	*
[2-11]						
0.0	53.1 b	43.1 c	0.16 c	33.3 b	0.39 c	0.057 b
3.0	69.4 a	58.1 b	0.18 b	32.1 b	0.58 b	0.082 ab
6.0	67.5 a	63.0 b	0.18 b	35.2 b	0.64 b	0.070 b
9.0	69.1 a	77.1 a	0.20 a	45.0 a	0.86 a	0.104 a
Linear	**	***	***	***	***	*
Quadratic	**	***	***	***	***	ns

<표 36> 계속.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (mm)	초 폭 (mm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-12]						
0.0	73.2 a	63.8 bc	0.18 a	34.1 b	0.63 ab	0.090 b
3.0	67.2 a	58.1 c	0.17 a	34.0 b	0.58 b	0.083 b
6.0	76.7 a	74.6 ab	0.19 a	42.1 a	0.85 a	0.101 b
9.0	77.2 a	76.7 a	0.19 a	41.3 ab	0.84 a	0.137 a
Linear	ns	**	ns	*	*	**
Quadratic	ns	*	ns	*	ns	***
[Micronutrient Fertilizer]						
0.0	58.9 c	45.3 c	0.15 b	23.7 b	0.38 c	0.075 b
3.0	72.6 b	54.3 b	0.18 a	33.5 a	0.68 b	0.115 a
6.0	75.7 b	68.7 a	0.19 a	32.9 a	0.76 ab	0.111 a
9.0	81.9 a	67.7 a	0.19 a	32.3 a	0.83 a	0.120 a
Linear	***	***	***	***	***	*
Quadratic	***	***	***	***	***	**

²Duncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

3. 적요

- 가. 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에서 용과린의 시비량을 증가시킬 경우 네 종류 미량원소 복합제 모두 초장, 초폭, 관부직경, 생체중 및 건물중이 증가하였다.
- 나. 그러나 용과린을 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비한 경우 건물중이 [2-1]은 0.066g , [2-11]에서 0.103g , [2-12]에서 0.077g , 그리고 MF에서 0.095g 으로 조사되어 미량원소복합제에 따른 차이를 확인할 수 있었다.
- 다. 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 [2-1]이 혼합된 경우 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 용과린 처리에서 건물중 및 생체중이 가장 무거웠고, [2-11]에서는 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서, [2-12]는 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 그리고 MF에서는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생체중과 건물중이 가장 무거웠다.
- 라. 이와 같이 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 상토에서 다른 두 종류 상토에서와 다른 경향을 보인 것은 왕겨의 부숙을 촉진시키기 위하여 첨가된 많은 비료염들이 혼합상토 조제후에도 영향을 미쳤기 때문이라고 판단되었다.
- 마. 미량원소 복합제를 포함한 피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에서 용과린의 시비량을 증가시킬 경우 생체중 및 건물중이 증가하였고 대부분의 생육지표에서 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷하였다.
- 바. 그러나 용과린의 시비량은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 조절한 경우 [2-1]에서 0.131g , [2-11]에서 0.104g , [2-12]는 0.137g , 그리고 MF에서 0.111g 의 건물중을 생산하였고, [2-1]이나 [2-12]가 [2-11]이나 MF보다 작물 생육에 효과적이었다.

제 10 절 분화 재배실험을 통한 미량원소복합제의 적정 처리량 구명

1. 재료 및 방법

본 연구를 위하여 피트모쓰+버미큘라이트를 1:1 (v/v)로 혼합한 상토를 조제하였으며 상토조제과정에서 고토석회를 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였다.

상토를 직경 10cm의 플라스틱화분에 충전하였으며, 이후 플러그육묘된 국화 'Marilyn Monlo'를 정식하였다. 본 연구를 위해서는 -대조구(-Control), +대조구(+Control, Micronutrient fertilizer, Frit Industry, Inc.)를 두어 실험하였다.

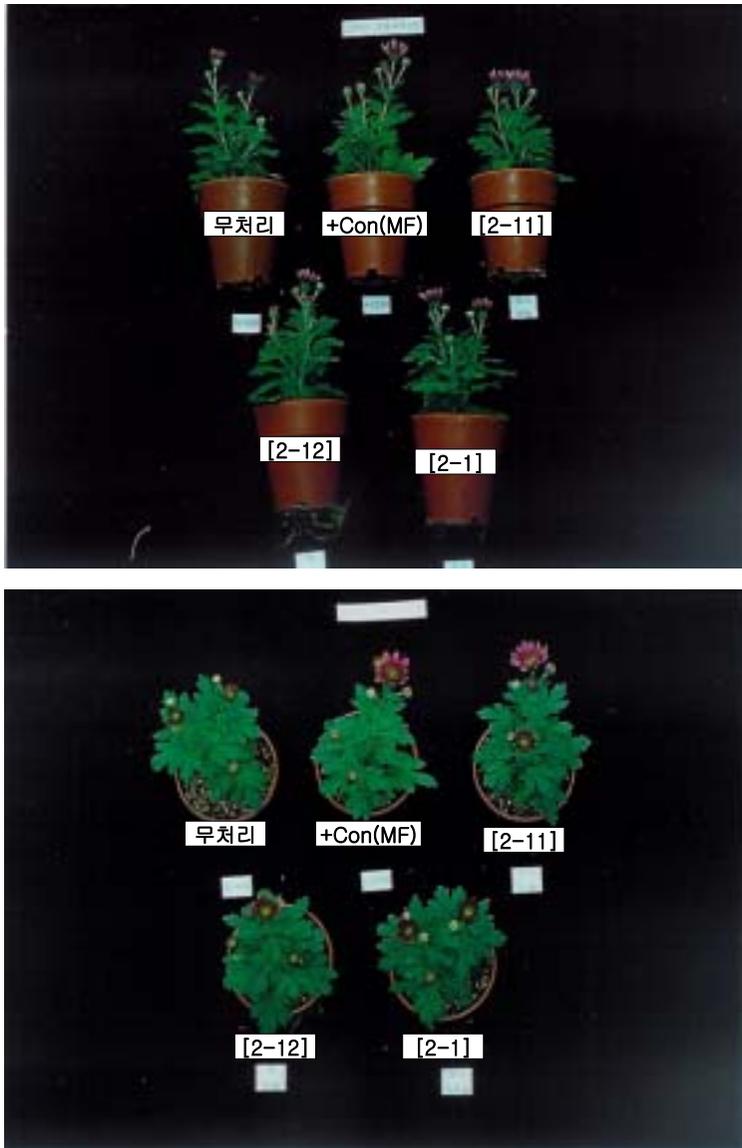
미량원소복합제는 [2-1], [2-11] 및 [2-12]였고 각 시료의 처리량은 0, 0.2, 0.4, 0.6, 및 $0.8\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 였다. +Control(미량원소복합제, Micronutrient fertilizer)은 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 를 시비하였으며, 각 처리당 4반복 (반복당 2 식물체)로 총식물체는 +control을 포함한 4 미량원소복합제 x 5처리(treatment) x 4반복 x 반복당 2 식물체 = 160 식물체를 정식하였다.

정식 직후 $600\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 N 농도를 조절한 Hoagland 용액을 매주 1회 관비하였으며 Hoagland 용액 관비시 미량원소는 포함하지 않았고, 관비 중간에는 관수만 하였으며 관비 또는 관수시 용탈율은 30%로 조절하였다.

식물 생육조사는 mid-crop(4주 후) 및 end-crop(8주후)에 지상부 생체중, 건물중, 초장, 초폭, 관부직경, 및 엽수를 조사하였고, 토양분석은 Mid-crop(4주 후) 및 end-crop(8주후)에서 시비 2시간 후에 토양 시료를 채취하여 건조시킨 후 pH, EC, Total-N(Kjeldahl), P_2O_5 , K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo를 분석하였다. pH, EC 및 인산농도는 20mesh screen을 통과하도록 분쇄한 시료를 이용하여 1:5방법으로 측정하였고, 총질소 함량을 Kjeldahl 방법으로, 기타 무기원소 분석은 Ammonium acetate로 추출한 후 A.A.로 분석하였다. 식물체는 mid-crop(4주 후) 및 end-crop(8주후)에서 지상부 전체를 수확하여 실험실에서 분석하는 식물체 분석법과 동일하게 무기원소 함량을 분석하였다.

본 연구는 동절기에 수행하였으며 정식 후 2주간은 광중단 처리(night break)로 영양생장을 촉진하였고, 잎이 7-8매 시기에 적심을 하여 측지 발생을 촉진하였으며, 성장조절제를 처리하였다.

2. 결과 및 고찰



<그림 17> 조제된 미량원소복합제를 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8g · L⁻¹의 비율로 피트 모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 첨가하고 국화 'Marilyn Monlo'를 재배하였으며, 정식 56일 후 0.2g · L⁻¹의 비율로 시비한 처리구간의 작물생육 비교.

<표 37>에는 국화의 분화 재배에서 미량원소복합제의 시비량이 생육에 미치는 영향을 나타내었다. Micronutrient Fertilizer(MF)를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비한 +대조구에서 생체중과 건물중이 식물체당 8.55g 및 1.63g였고 미량원소복합제를 시비하지 않은 -대조구의 생체중과 건물중이 각각 6.73g 및 1.15g으로 측정되었다. 본 연구에서 조제된 미량원소복합제 [2-11]을 시비한 경우 $0.2\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리구에서는 생체중과 건물중이 9.71g 및 1.7g으로 뚜렷하게 생육이 증가하였다. 그러나 $0.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 비율로 미량원소복합제를 시비할 경우 오히려 생육이 저조해지는 경향이었으며, 노엽의 가장 자리가 말라들어 가는 괴사현상(marginal necrosis)이 발생하였다. [2-11]이 시비된 처리들에서 초폭은 처리간 차이도 인정되지 않았고 경향도 찾을수 없었으나, 초장, 생체중, 및 건물중은 점차 생육이 불량해져 생체중에서는 5%수준의 2차 곡선회귀가, 건물중에서는 1%와 0.1%수준의 직선 및 2차 곡선회귀가 성립하였다.

미량원소복합제 [2-12]가 시비된 경우에도 $0.2\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생육이 우수하였고, [2-12]의 혼합량이 증가할수록 생육이 저조해지는 경향이였다. 그러나 [2-12]의 시비량이 높아져도 생육이 불량해지는 정도는 [2-11]에서와 같이 심하지 않았다. [2-12] 시비량 증가에 따른 국화의 생육에서 초장 및 초폭은 경향을 찾을수 없었으며, 관부직경, 생체중 및 건물중에서는 직선회귀가 성립하지 않았으나 5% 또는 1% 수준의 2차 곡선회귀가 성립하여 경향을 찾을 수 있었다.

미량원소복합제 [2-1]이 혼합된 처리들에서도 건물중과 생체중에서의 경향은 앞의 두 미량원소복합제와 유사한 경향이였다. 생체중과 건물중은 $0.2\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 시비구에서 10.54g 및 1.70g으로 가장 우수하였고 [2-1]의 시비량이 증가할 수록 생육이 심하게 저하되었다.

<표 37> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제의 혼합비율을 변화시켜 포트명 'Marilyn Monlo'를 분화 재배하였으 며 정식 56일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리	초 장	초 폭	관부직경	생체중	건물중
(g · L ⁻¹)	(cm)	(cm)	(mm)	(g/plant)	(g)
+Control	12.25 b ^z	10.63 a	2.89 b	8.55 ab	1.63 a
			[2-11]		
- Control	13.88 a	10.13 a	3.00 b	6.73 c	1.15 b
0.2	11.84 b	11.13 a	3.48 a	9.71 a	1.70 a
0.4	12.13 b	10.63 a	3.11 b	7.69 bc	1.14 b
0.6	11.69 b	10.25 a	3.24 ab	7.10 bc	1.12 b
0.8	12.13 b	9.88 a	3.01 b	6.68 c	0.76 c
Linear	*	ns	ns	ns	**
Quadratic	**	ns	ns	*	***
			[2-12]		
- Control	13.88 a	10.13 a	3.00 b	6.73 c	1.15 b
0.2	11.13 b	12.13 a	3.34 ab	8.87 a	1.56 a
0.4	11.63 b	12.00 ab	3.64 a	8.88 a	1.37 ab
0.6	12.25 b	11.50 ab	3.18 bc	7.36 abc	1.22 b
0.8	11.50 b	10.88 ab	3.08 bc	7.12 bc	1.13 b
Linear	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	*	**	*
			[2-1]		
- Control	13.88 a	10.13 a	3.00 b	6.73 c	1.15 b
0.2	11.00 b	11.48 a	3.79 a	10.54 a	1.70 a
0.4	11.25 b	11.33 a	3.39 b	6.67 c	1.38 ab
0.6	10.63 b	10.50 ab	3.23 bc	6.20 c	1.16 bc
0.8	10.70 b	9.38 b	2.90 c	4.67 d	0.86 c
Linear	*	ns	ns	**	ns
Quadratic	*	*	**	**	**

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

3. 적요

- 가. MF 비료를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비한 +대조구에서 생체중과 건물중이 식물체 당 8.55g 및 1.63g으로 측정되었다.
- 나. [2-11]이 시비된 경우 $0.2\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 시비구에서 생육이 가장 우수하여 생체중과 건물중이 9.71g 및 1.7g으로 측정되었으나 $0.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상으로 시비량이 증가할 경우 생육이 저하되었고, 잎 가장 자리가 괴사하였다.
- 다. 미량원소복합제 [2-12]와 [2-1]이 시비된 경우에도 $2.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생육이 가장 우수 하였고, $4.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상으로 시비량이 증가할 경우 생육이 저조하였다.
- 라. 미량원소복합제를 $2.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비할 경우 [2-11]에서는 건물중이 1.7g, [2-12]에서는 1.56g, 그리고 [2-1]에서는 1.7g으로 조사되었는데, [2-11]과 [2-1]은 +대조구보다 무거웠고, [2-12]는 가벼웠다.

제 11 절 미량원소복합제가 혼합된 피트모쓰+버미큘라이트 상토에서 고토석회의 처리수준이 생육에 미치는 영향

1. 재료 및 방법

본 실험을 위해 피트모쓰+질석(1:1, v/v)를 혼합한 상토를 조제하였다. 미량원소복합제는 [2-1], [2-11] 및 [2-12], +Control(미량원소복합제, Micronutrient fertilizer)였고, 상토 혼합과정에서 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였다. 각각의 미량원소복합제를 포함한 상토에 고토석회를 0, 3.0, 6.0, $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하였으며, 토양습윤제인 Aquagro^G를 $0.11\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하였고, 직경 10cm의 플라스틱 화분에 상토를 충전한 후 국화 'Marilyn Monlo'를 정식하였다. 따라서 총 식물체는 4 미량원소복합제 x 고토석회 4 처리(treatment) x 4 반복 x

2식물체(각 반복당) = 128식물체를 완전임의로 배치하였다. 시비는 정식 직후 $600\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 N 농도를 조절한 Hoagland 용액을 관비하였다. 이후 매주 1회 $450\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 N 농도를 조절한 Hoagland 용액을 관비하였고, Hoagland 용액 관비시 미량원소는 포함하지 않았다. 관비 중간에는 관수만 하였으며, 관비 또는 관수시 용탈율은 30%로 조절하였다.

작물재배중 정식 후 2주간은 광중단 처리(night break)로 영양생장을 촉진하였고, 잎이 7-8매 나온 후 적심하여 측지 발생을 촉진하였으며, 적심 후 1달 간격으로 2회 성장조절제를 처리하였는데 실험에 이용된 성장조절제는 600배로 희석한 daminozide였다.

식물 생육조사는 end-crop(8주후)에 지상부 생체중, 건물중, 초장, 초폭, 관부 직경, 엽수 등을 측정하였고, 토양분석은 end-crop(8주후)에서 시비 2시간 후에 토양 시료를 채취하여 건조시킨 후 pH, EC, Total-N(Kjeldahl), P_2O_5 , K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo를 분석하였다. 분쇄한 시료를 이용하여 1:5방법으로 pH 및 EC를 측정하였고, 총질소 함량은 Kjeldahl 방법으로, 포화추출법으로 추출한 용액으로 인산을, 기타 무기원소 분석은 Ammonium acetate로 추출한 후 A.A.(Shimadzu 680)로 분석하였다. 식물체 분석은 end-crop(8주후)에서 지상부 전체를 수확하여 실험실에서 분석하는 식물체 분석법과 동일하게 무기원소 함량을 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 본 실험에서 조제된 세종류 미량원소복합제([2-1], [2-11], 및 [2-12])와 미국에서 시판되는 Micronutrient Fertilizer(MF비료)를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 기비로 혼합하고, 고토석회의 시비량을 변화시킬 경우 작물 생육에 미치는 영향을 <표 38>에 나타내었다.

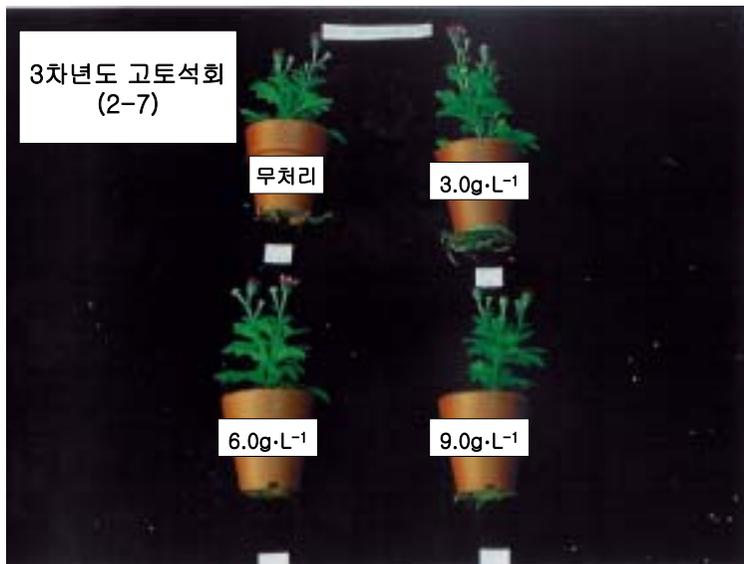
MF비료가 혼합된 처리들에서 고토석회의 시비비율에 따른 작물생육은 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 초장 12.27cm, 생체중 7.89g, 그리고 건물중은 1.25g였으며, 고토석회 무처리구에서 생체중 및 건물중이 6.44g 및 1.12g으로 조사되어 가장

가벼웠다. 그러나 조사한 모든 생육지표에서 고토석회의 처리수준에 따른 직선 및 2차 곡선회귀가 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다.

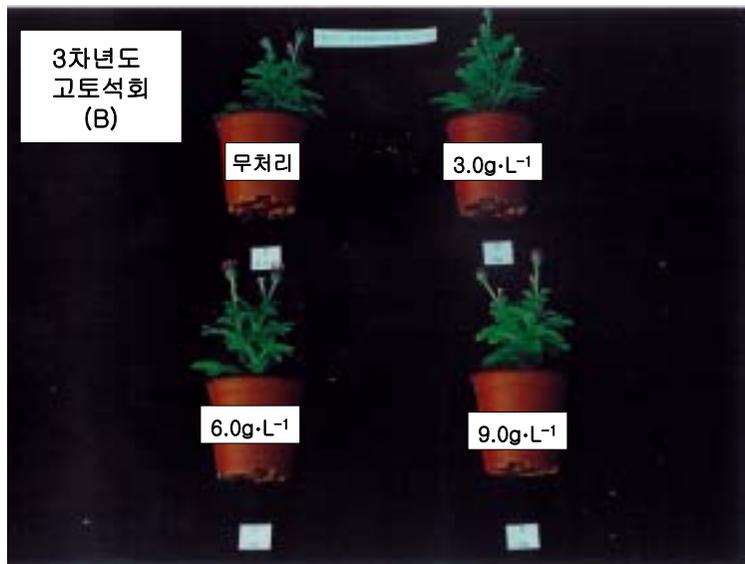
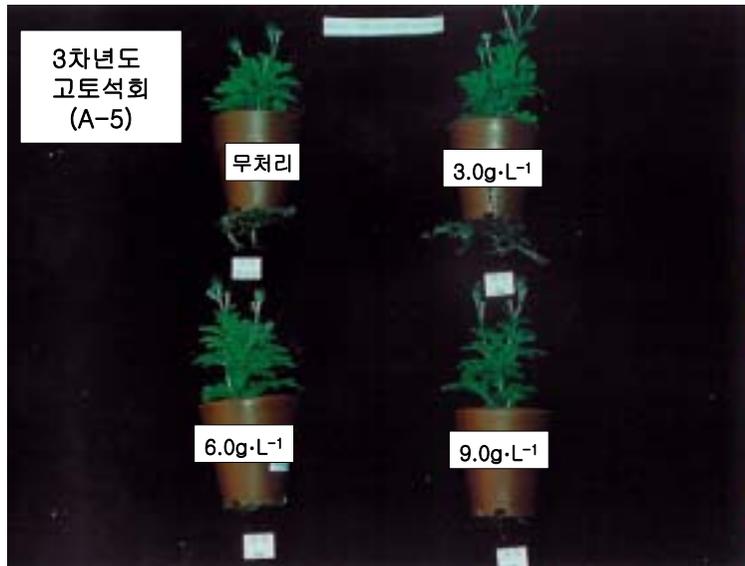
미량원소복합제 [2-11]이 시비된 경우에도 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 고토석회 시비구에서 생육이 우수하여 생체중 및 건물중이 7.72g 및 1.19g으로 조사되었다. 초장, 초폭 및 관부직경은 고토석회의 시비량에 따른 처리간 차이가 인정되지 않았으나, 생체중에서의 처리간 차이는 뚜렷하였고 5% 수준의 직선회귀와 0.1% 수준의 2차 곡선회귀가 성립하여 경향을 발견할 수 있었다.

미량원소복합제 [2-1]이 시비된 처리들간에도 초장, 초폭 및 관부직경에서는 처리간 차이가 인정되지 않았다. 그러나 3.0 및 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 고토석회를 시비한 처리에서 무처리구나 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리구보다 생체중이 유의하게 무거웠으며 2차 곡선회귀가 성립하여 경향을 발견할 수 있었다. 건물중도 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 시비구에서 1.27g으로 가장 무거웠고, 무처리기구나 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 고토석회 시비구에서 가벼워졌으나, $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서만 유의하게 가벼웠다. 건물중은 직선회귀가 성립하지 않았고 1% 수준의 2차곡선회귀가 성립하여 경향을 찾을 수 있었다.

미량원소복합제 [2-12]가 혼합된 상토에 고토석회의 시비량을 달리한 경우 생체중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 처리에서 식물체당 7.47g으로 가장 무거웠고, 건물중은 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 1.32g으로 가장 무거웠다 생체중과 건물중 모두 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 고토석회 시비구에서만 유의하여 저조하였을 뿐 기타 세 처리간에는 통계적인 차이가 인정되지 않았다.



<그림 18> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 조제된 미량원소복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로, 그리고 다양한 수준의 고토석회를 혼합한 후 국화 'Marilyn Monlo'를 재배하였으며, 정식 56일 후의 작물생육을 나타냄(미량원소복합제 2-5는 본문에서 [2-11], 2-7은 [2-1], B는 [2-12], 그리고+Control은 Micronutrient fertilizer (Frit industry)로 나타냄).



<그림 18> 계속 (미량원소복합제 2-5는 본문에서 [2-11], 2-7은 [2-1], B는 [2-12], 그리고+Control은 Micronutrient fertilizer (Frit industry)로 나타냄).

<표 38> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 네 종류 미량원소복합제를 0.3g • L⁻¹의 비율로 혼합한 후 고토석회의 혼합비율을 변화시켜 포트묘 'Marilyn Monlo'를 분화 재배하였으며 정식 56일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g • L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	생체중 (g/plant)	건물중 (g)
[Micronutrient Fertilizer]					
0.0	11.25 a ^z	11.33 a	2.88 a	6.44 c	1.12 a
3.0	12.27 a	10.17 a	3.10 a	7.89 a	1.25 a
6.0	11.17 a	11.38 a	3.22 a	7.12 b	1.19 a
9.0	11.27 a	12.09 a	2.65 a	7.08 bc	1.15 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	ns	ns
[2-11]					
0.0	10.33 a	11.08 a	3.03 a	6.87 b	0.96 a
3.0	11.00 a	11.38 a	3.22 a	7.72 a	1.19 a
6.0	11.50 a	11.00 a	3.02 a	7.35 ab	1.08 a
9.0	10.83 a	11.83 a	3.08 a	6.17 c	0.87 b
Linear	ns	ns	ns	*	ns
Quadratic	ns	ns	ns	***	*
[2-1]					
0.0	9.17 a	10.83 a	3.02 a	6.00 b	0.95 ab
3.0	11.50 a	11.42 a	3.25 a	6.95 a	1.27 a
6.0	10.50 a	10.50 a	3.23 a	6.91 a	0.96 ab
9.0	10.17 a	11.33 a	2.85 a	5.77 b	0.82 b
Linear	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	**	**
[2-12]					
0.0	11.17 a	11.17 a	3.00 a	7.33 ab	1.17 a
3.0	10.83 a	11.00 a	3.17 a	7.38 ab	1.32 a
6.0	10.33 a	11.53 a	3.15 a	7.47 a	1.27 a
9.0	10.50 a	11.33 a	3.03 a	6.79 b	0.77 b
Linear	ns	ns	ns	ns	*
Quadratic	ns	ns	ns	**	***

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

3. 적요

- 가. 네 종류 미량원소복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 시비하고, 고토석회의 시비량을 변화시킨 경우 고토석회를 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비한 처리들에서 생체중과 건물중이 가장 무거워 생육이 우수함을 알 수 있었다.
- 나. 네 종류 미량원소복합제 모두 초장, 초폭, 및 관부직경은 고토석회의 처리 수준에 따른 차이가 인정되지 않았고, 직선 및 2차 곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 찾을 수 없었다.
- 다. 본 연구에서 조제된 세종류 미량원소복합제([2-1], [2-11] 및 [2-12])에서는 3.0 및 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리구간 생체중 및 건물중의 통계적인 차이가 인정되지 않았으나, MF비료에서는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리의 생체중이 7.12g 으로 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 7.89g 보다 유의하게 가벼웠다.
- 라. 따라서 본 연구에서 조제된 미량원소 복합제를 기비로 혼합할 경우 바람직한 고토석회의 시비량은 $3.0\sim 6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이라고 판단되었다.

제 12 절 미량원소복합제가 혼합된 피트모쓰+버미큘라이트 상토에서 용과린의 처리수준이 생육에 미치는 영향

1. 재료 및 방법

본 실험을 위해 피트모쓰+질석 (1:1, v/v)를 혼합한 상토를 조제하였다. 미량원소복합제는 [2-1], [2-11] 및 [2-12], 및 +Control (Micronutrient fertilizer, Frit industry)였고, 상토 혼합과정에서 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였다. 각각의 미량원소복합제를 포함한 상토에 용과린을 $0, 3.0, 6.0, 9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하였으며, 토양습윤제인 Aquagro^G를 $0.11\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하였고, 직경 10cm 의 플라스틱 화분에 상토를 충전한 후 국화 'Marilyn Monlo'를 정식하였다. 따라서 총 식물체는 4 미량원소복합제 x 용과린 4 처리(treatment) x 4 반복 x 2식물체(각 반복당) = 128식물체를 완전임의로 배치하였다. 시비는 정

식 직후 $600\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 N 농도를 조절한 NK 비료(조선비료)를 관비하였으며, 이후 매주 1회 $450\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 N 농도를 조절하여 관비하였다. 관비 중간에는 관수만 하였으며, 관비 또는 관수시 용탈율은 30%로 조절하였다.

작물재배중 정식 후 2주간은 광중단 처리(night break)로 영양생장을 촉진하였고, 잎이 7-8매 나온 후 적심하여 측지 발생을 촉진하였으며, 적심 후 1달 간격으로 2회 성장조절제를 처리하였는데 실험에 이용된 성장조절제는 600배로 희석한 daminozide였다.

식물 생육조사는 end-crop(8주후)에 지상부 생체중, 건물중, 초장, 초폭, 관부 직경, 엽수 등을 측정하였고, 토양분석은 end-crop(8주후)에서 시비 2시간 후에 토양 시료를 채취하여 건조시킨 후 pH, EC, Total-N(Kjeldahl), P_2O_5 , K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo를 분석하였다. 분쇄한 시료를 이용하여 1:5방법으로 pH 및 EC를 측정하였고, 총질소 함량을 Kjeldahl 방법으로, 포화추출법으로 추출한 용액으로 인산을, 기타 무기원소 분석은 Ammonium acetate로 추출한 후 A.A.(Shimadzu)로 분석하였다. 식물체 분석은 end-crop(8주후)에서 지상부 전체를 수확하여 실험실에서 분석하는 식물체 분석법과 동일하게 무기원소 함량을 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

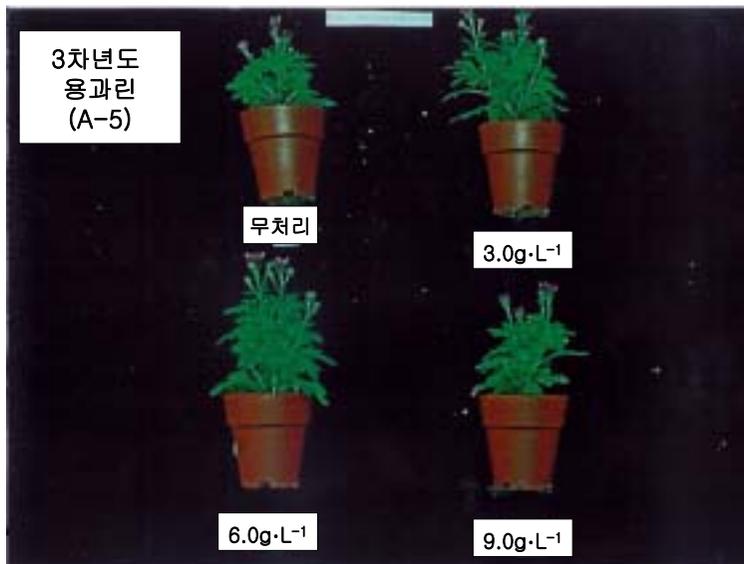
<표 39>는 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v)혼합상토에 미량원소복합제를 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하고 인산질 비료인 용과린의 시비량을 달리하여 기비로 첨가할 경우 국화의 작물 생육에 미치는 영향을 나타내었다.

Micronutrient Fertilizer(MF)가 혼합된 처리들에서 용과린의 시비량을 증가시킬 경우 초장이 길어져 처리간 차이가 인정되었고, 5% 수준의 직선 및 1% 수준의 2차곡선회귀가 성립하여 경향을 찾을 수 있었다. 초폭과 관부직경은 처리간 차이가 인정되지 않았고 경향도 발견할 수 없었다. 그러나 용과린의 시비량 증가로 생체중이 증가하였으며 무처리구에서 8.89g의 생체중을 생산하여 유의하게 가벼웠다. 용과린의 시비량 증가로 생체중이 증가하였으나, 3.0, 6.0 및 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 세처리간 통계적인 차이는 인정되지 않았다. 용과린의 시비량이 증가할수록 뚜렷하게 건물중이 증가하였고, 각 처리간 통계적인 차이가 인정되었

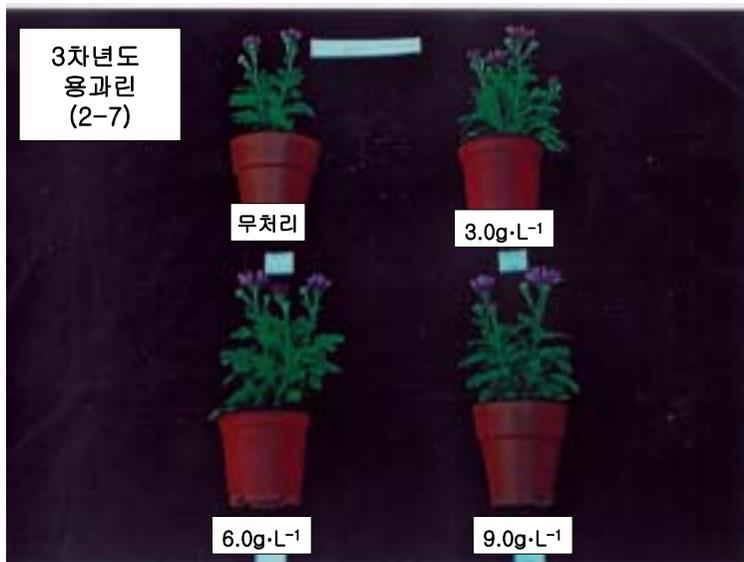
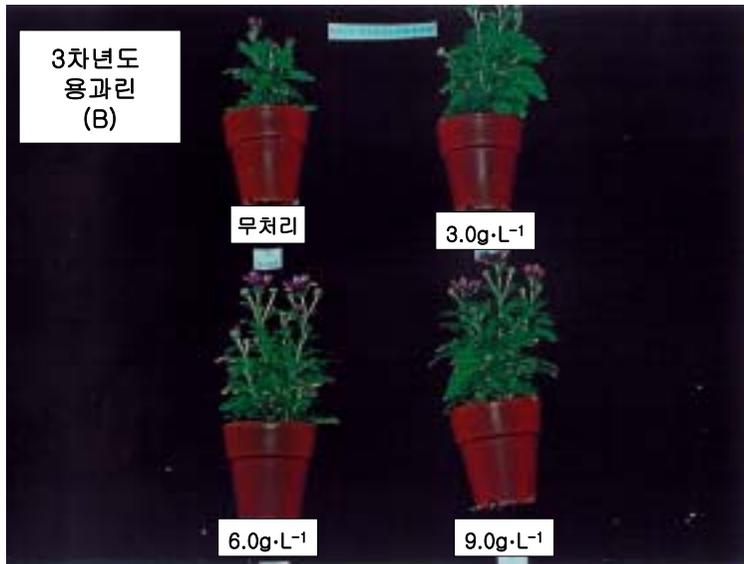
다. 생체중과 건물중에서는 각각 0.1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷하였다.

미량원소복합제 [2-11]이 시비된 처리중에서 용과린의 시비량이 증가할수록 초장이 컸고, 관부직경이 굵어졌으며, 생체중 및 건물중이 무거워지는 경향을 나타내었다. 특히 생체중 및 건물중은 무처리구에서 1.44g 및 1.45g 였는데 비해 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 용과린 시비구에서 19.83g 및 2.89g으로 가장 무거웠고, 각각 0.1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷하였다.

미량원소복합제 [2-1] 및 [2-12]가 기비로 혼합된 처리들에서 용과린 시비량 증가에 따른 작물 생육은 앞의 두 미량원소복합제에서와 매우 유사하였다. 즉, 용과린의 시비량 증가로 작물생육이 뚜렷하게 좋아졌으며 생체중과 건물중에서 용과린 시비 수준간 통계적인 차이와 함께 직선 및 곡선회귀도 성립하여 경향을 찾을 수 있었다.



<그림 19> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 조제된 미량원소복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로, 그리고 다양한 수준의 용과린을 혼합한 후 국화 'Marilyn Monlo'를 재배하였으며, 정식 56일 후의 작물생육을 나타냄(미량원소복합제 2-5는 본문에서 [2-11], 2-7은 [2-1], B는 [2-12], 그리고+Control은 Micronutrient fertilizer (Frit industry)로 나타냄).



<그림 19> 계속 (미량원소복합제 2-5는 본문에서 [2-11], 2-7은 [2-1], B는 [2-12], 그리고+Control은 Micronutrient fertilizer (Frit industry)로 나타냄).

<표 39> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 네 종류 미량원소복합제를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 용과린의 혼합비율을 변화시켜 포트명 'Marilyn Monlo'를 분화 재배하였으며 정식 56일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	생체중 (g/plant)	건물중 (g)
[Micronutrient Fertilizer]					
0.0	9.88 c ^z	12.00 a	3.35 a	8.98 b	1.17 d
3.0	11.44 b	13.13 a	3.55 a	14.11 a	2.43 c
6.0	13.31 a	13.38 a	3.55 a	15.06 a	3.04 b
9.0	11.50 b	11.88 a	3.63 a	16.66 a	3.34 a
Linear	*	ns	ns	***	***
Quadratic	**	ns	ns	***	***
[2-11]					
0.0	11.00 b	10.75 a	2.93 b	9.44 c	1.45 c
3.0	11.63 b	12.38 a	3.00 ab	12.62 bc	2.16 b
6.0	11.75 b	11.50 a	3.31 ab	14.67 b	2.36 b
9.0	13.50 a	12.19 a	3.65 a	19.83 a	2.89 a
Linear	**	ns	*	***	***
Quadratic	**	ns	*	***	***
[2-1]					
0.0	12.13 b	11.13 b	3.05 b	8.36 c	1.98 c
3.0	11.88 b	11.63 b	3.68 a	15.11 b	2.18 b
6.0	11.81 b	11.88 ab	3.76 a	16.09 b	2.11 b
9.0	14.25 a	13.56 a	3.44 a	20.47 a	2.86 a
Linear	**	**	ns	**	**
Quadratic	**	**	***	***	**
[2-12]					
0.0	9.25 c	10.13 b	2.95 b	7.48 c	1.55 b
3.0	11.88 b	11.69 ab	3.61 ab	15.39 b	2.13 ab
6.0	13.88 a	12.56 ab	4.08 a	21.42 a	2.14 ab
9.0	13.94 a	13.63 a	4.09 a	24.02 a	2.64 a
Linear	***	**	**	***	**
Quadratic	***	*	**	***	**

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

3. 적요

- 가. 피트모쓰+버미큘라이트 혼합상토에 네종류 미량원소복합제를 기비로 혼합하고 용과린의 시비량을 높일 경우 생체중 및 건물중이 뚜렷하게 증가하여 용과린 시비수준간 통계적인 차이와 함께 직선 및 2차 곡선회귀도 성립하여 경향을 찾을 수 있었다.
- 나. 네 종류 미량 원소복합제에서 시비수준이 높아질수록 초장이 길어졌으며 처리간 차이가 인정되었다.
- 다. 초폭은 MF와 [2-11]이 혼합된 경우 처리간 차이가 없었으나 [2-1] 및 [2-12]에서는 처리간 차이가 인정되었고, 직선 및 2차곡선회귀도 성립하여 경향을 발견할 수 있었다.
- 라. 용과린의 시비수준이 높아질수록 [2-11], [2-1] 및 [2-12]에서 관부직경이 굵어졌으나 MF비료에서는 처리간 차이가 인정되지 않고 경향도 발견할 수 없었다.

제 13 절 미량원소복합제가 포함된 각종 혼합 상토에서 고토석회의 처리 수준이 생육에 미치는 영향

1. 재료 및 방법

본 실험을 위하여 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v), 피트모쓰+부숙수피(1:1) 및 피트모쓰+부숙톱밥(1:1)의 세종류 상토를 조제하였다. 상토조제 과정에서 인산질 비료(용과린)를 분쇄한 후 $2.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였고, KNO_3 와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 를 $0.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하였는데 균일성을 증가시키기 위하여 상토조제 과정에서 물에 타서 골고루 혼합하였다. 토양습윤제인 액상 AuaGro를 KNO_3 와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 를 혼합한 용액에 같이 타서 상토혼합 과정에서 첨가하였다. 미량원소복합제는 [2-1], [2-11], [2-12] 및 +Control(미량원소복합제, Micronutrient fertilizer)의 네종류 였으며, 각각 모래와 1:2(w/w, 미량원소복합제/모래)로 혼합한 후 상토 조제과정에서 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였다.

각각의 미량원소복합제를 포함한 상토에는 국산 고토석회를 0, 3.0, 6.0, 및 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하여 네 처리를 만들었으며, 이후 직경 10cm의 플라스틱 화분에 상토를 충전하고 국화 'Biarritz'를 정식하였다. 본 실험은 4 종류 미량원소복합제 x 고토석회 4처리(treatment) x 4반복 x 2식물체(각 반복당)로 총 128식물체를 완전임의로 배치하였다.

작물재배중 정식 후 2주간은 광중단 처리(night break)로 영양생장을 촉진하였고, 잎이 7-8매 나온 후 적심하여 측지 발생을 촉진하였으며, 적심 후 1달 간격으로 3회 성장조절제를 처리하였는데 실험에 이용된 성장조절제는 600배로 희석한 daminozide였다.

시비를 위해 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 , $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 및 NH_4NO_3 의 비율을 조절하여 N: $210\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, P: $39\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 그리고 K: $155\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 stock solution을 조제한 후 정식 직후부터 매주 1회 질소가 $450\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이 되도록 농도를 조절하여 관비하였다. 관비 중간에는 관수만 하였으며, 관비 또는 관수시 용탈율은 30%로 조절하였다.

식물 생육은 정식 8주 후에 지상부 생체중, 건물중, 초장, 초폭, 관부직경, 엽수를 조사하였으며, 토양은 정식 8주 후 시비 2시간 후에 토양 시료를 채취하여 건조시킨 후 분쇄하였고, pH, EC, Total-N(Kjeldahl), P_2O_5 , K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo를 분석하였다. 분쇄한 시료를 이용하여 1:5방법으로 pH 및 EC를 측정하였고, 총질소 함량을 Kjeldahl 방법으로, 인산은 포화추출법으로 추출한 용액을 이용하여 비색정량하였으며, 기타 무기원소분석은 Ammonium acetate로 추출한 후 A.A.(Shimadzu 680)로 분석하였다. 식물체는 end-crop(8주후)에서 지상부 전체를 수확하여 실험실에서 분석하는 식물체 분석법과 동일하게 무기원소 함량을 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

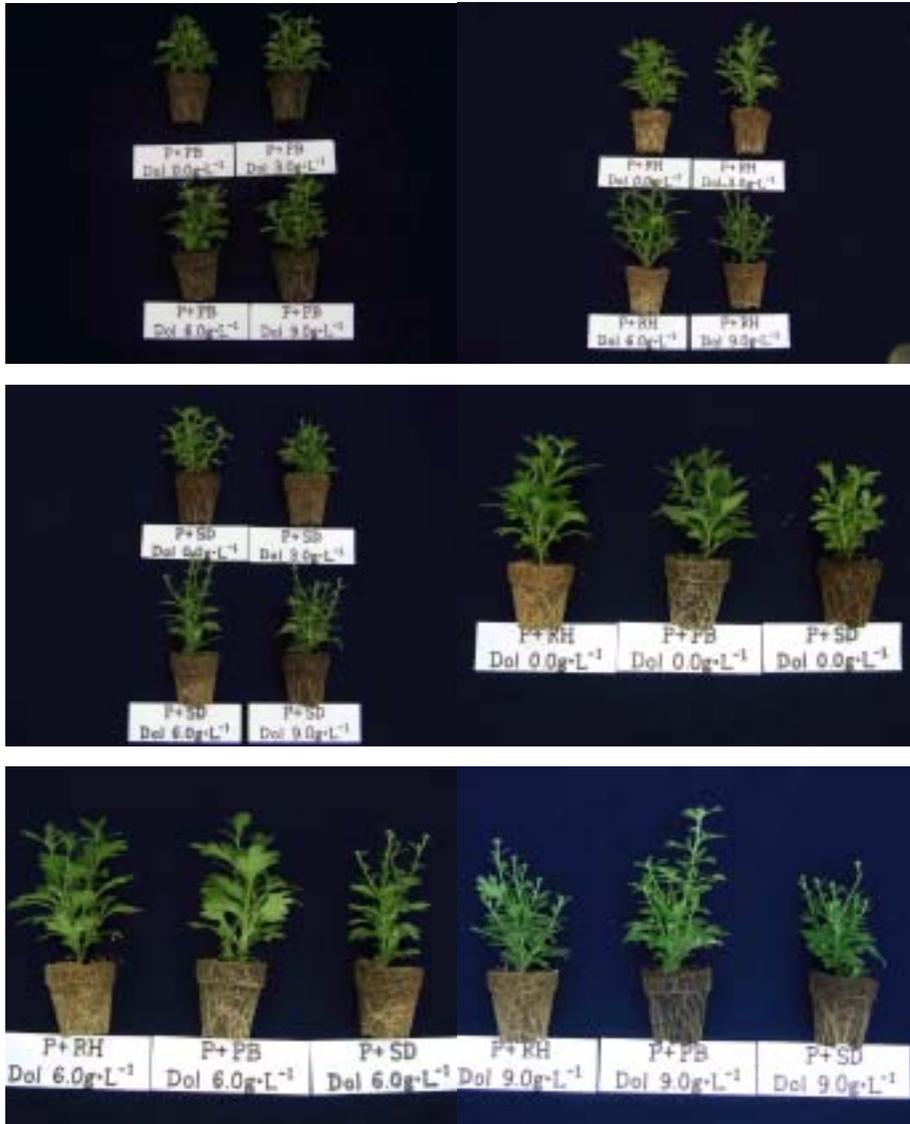
피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에 조제된 미량원소복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합한 후 고토석회의 시비량을 증가시키고, 정식 60일 후에 지상부 생육을 조사한 결과를 <표 40>에 나타내었다.

미량원소복합제 [2-1]이 혼합된 처리들에서 고토석회의 시비량을 증가시킬 경우 초장은 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 가장 컸고, 생체중은 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 식물체당 14.89g , 그리고 건물중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 식물체당 2.98g 으로 가장 무거웠다. 그러나 조사한 모든 생육지표, 즉, 초장, 초폭, 관부직경, 엽수, 생체중 및 건물중에서 고토석회의 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았고 직선 및 2차곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다.

미량원소복합제 [2-11]이 혼합된 처리들에 고토석회의 시비 수준을 높임에 따라 초장 및 초폭이 길거나 넓어졌다. 생체중과 건물중은 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 고토석회 처리에서 식물체당 14.71g 및 2.88g 으로 가장 무거웠고, $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상으로 고토석회의 시비수준이 높아질 경우 식물 생육이 저조하였다. [2-11]이 시비된 처리들에서도 조사한 모든 생육지표에서 고토석회의 시비수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았고, 직선 및 2차 곡선회귀도 성립되지 않아 경향을 찾을 수 없었다.

미량원소복합제 [2-12]가 시비된 상태에서 고토석회의 시비 수준에 따른 식물생육은 건물중 외에 조사한 기타 생육지표에서 차이가 없었다. 초장 및 초폭은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 가장 우수하였고, 관부직경은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서, 그리고 생체중과 건물중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 각각 14.65g 과 2.21g 으로 가장 무거웠다. 그러나 직선 및 곡선회귀가 성립하지 않아 뚜렷한 경향을 발견할 수 없었다.

이상과 같이 [2-1]과 [2-12]에서는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서, [2-11]에서는 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 건물중이 가장 무거웠고, 미량원소복합제의 종류에 따라 우수한 생육을 보인 고토석회의 처리수준이 달랐는데, 미량원소복합제의 성분함량과 용해도의 차이에 의해 발생한 결과라고 판단한다.



<그림 20> 피트모쓰+부숙수피(1:1, P+PB), 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, P+RH) 및 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, P+SD)의 혼합상토 조제과정에서 개발된 미량원소복합제 2-12]를 0.3 · L⁻¹의 비율로, 그리고 고토석회를 다양한 비율로 기비로 혼합하고 포트덤 'Biarritz'를 분화재배하였으며 정식 56일 후의 생육을 나타냄.

<표 40> 피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에 3 종류 미량원소복합제를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 고토석회의 혼합비율을 변화시켜 포트범 'Biarritz'를 분화 재배하였으며 정식 56일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	15.0 a ^z	15.6 a	4.70 a	97.5 a	14.70 a	2.05 a
3.0	16.4 a	16.6 a	4.90 a	98.3 a	14.89 a	2.60 a
6.0	15.7 a	16.3 a	4.33 a	86.3 a	14.33 a	2.98 a
9.0	15.4 a	16.4 a	4.11 a	96.5 a	14.10 a	2.36 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-11]						
0.0	14.8 a	15.6 a	4.60 a	97.0 a	14.60 a	2.81 a
3.0	15.9 a	15.8 a	4.71 a	98.9 a	14.71 a	2.88 a
6.0	16.0 a	16.2 a	4.54 a	95.8 a	14.54 a	2.66 a
9.0	17.9 a	16.4 a	4.29 a	96.5 a	14.29 a	2.60 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-12]						
0.0	15.0 a	15.1 a	4.48 a	97.5 a	14.48 a	1.44 b
3.0	15.9 a	16.3 a	4.50 a	94.8 a	14.50 a	1.56 b
6.0	16.5 a	16.4 a	4.65 a	97.0 a	14.65 a	2.21 a
9.0	18.1 a	17.0 a	4.37 a	95.3 a	14.38 a	1.49 b
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 미량원소복합제 [2-1]을 혼합하고 고토석회의 처리수준에 따른 국화의 생육을 조사한 결과 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생체중 및 건물중이 14.83g 및 2.46g으로 가장 무거웠다. 그러나 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, 직선 및 2차 곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 찾을 수 없었다.

[2-11]이 시비된 처리들에서도 고토석회의 시비수준이 높아질수록 생체중과 건물중이 증가하였는데, 고토석회 무처리구의 생체중 및 건물중이 14.33g 및 1.78g였으나, $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 14.83g 및 2.53g으로 증가하였다. [2-11]이 시비된 처리들에서도 고토석회의 처리수준에 따른 처리간 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, 경향도 발견 할 수 없었다.

미량원소복합제 [2-12]가 시비된 처리들에서 초장은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 초폭 및 관부직경은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 생체중 및 건물중은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생육에 우수하였다. 생체중과 건물중은 고토석회 무처리구에서 14.28g 및 1.5g였으나, 고토석회의 처리수준이 높아짐에 따라 생육이 증가하였고, $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생체중 및 건물중이 각각 14.68g 및 2.33g으로 증가하였다. 그러나 고토석회의 처리수준에 따른 통계적인 차이는 인정되지 않았으며 경향도 발견할 수 없었다. 이상을 종합하면 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 미량원소복합제로 [2-1]을 시비 할 경우 바람직한 고토석회의 시비량을 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이며, [2-11]과 [2-12]의 경우에는 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 라고 판단하였다.

<표 41> 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 3 종류 미량원소복합제를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 고토석회의 혼합비율을 변화시켜 포트법 'Biarritz'를 분화 재배하였으며 정식 56일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	14.8 a ^z	13.8 a	4.58 a	97.0 a	14.58 a	2.15 a
3.0	15.7 a	13.7 a	4.83 a	99.8 a	14.83 a	2.46 a
6.0	16.5 a	13.9 a	4.63 a	97.5 a	14.62 a	2.17 a
9.0	15.4 a	13.8 a	4.53 a	95.3 a	14.53 a	1.17 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-11]						
0.0	14.8 a	13.6 a	4.33 a	94.0 a	14.33 a	1.78 a
3.0	15.7 a	13.9 a	4.80 a	95.8 a	14.80 a	2.03 a
6.0	16.0 a	13.9 a	4.80 a	92.7 a	14.82 a	2.40 a
9.0	15.4 a	14.3 a	4.55 a	96.6 a	14.83 a	2.53 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-12]						
0.0	15.4 a	13.4 a	4.28 a	99.0 a	14.28 a	1.59 a
3.0	15.6 a	13.8 a	4.35 a	94.5 a	14.35 a	1.78 a
6.0	17.8 a	14.0 a	4.38 a	94.2 a	14.37 a	2.21 a
9.0	15.9 a	14.7 a	4.67 a	98.9 a	14.68 a	2.33 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	*
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에 본 실험에서 조제된 세종류 미량원소복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 기비로 시비하였으며, 고토석회의 처리수준에 따른 정식 60일 후의 국화 생육을 <표 42>에 나타내었다.

미량원소복합제 [2-1]이 시비된 경우 초장과 초폭은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 15.6 및 13.7cm로 가장 길었고 생체중은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 14.4g, 건물중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 2.06g으로 가장 무거웠다. 건물중에서만 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되었을 뿐 기타 생육 지표에서는 처리간 차이가 인정되지 않았고, 조사한 모든 생육지표에서 직선 및 2차곡선회귀가 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다.

미량원소복합제 [2-11]이 혼합된 경우 초장, 초폭 및 엽수에서 고토석회의 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 관부직경, 생체중 및 건물중은 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 각각 5.88mm, 15.88g 그리고 2.77g으로 조사되어 다른 처리들보다 유의하게 생육의 우수하였다. 그러나 [2-11]이 혼합된 경우 고토석회의 처리수준에 따른 직선 및 2차곡선회귀가 성립하지 않았고 경향을 발견할 수 없었다.

미량원소복합제 [2-12]가 혼합된 처리들에서는 건물중과 생체중 뿐만 아니라 조사한 모든 생육 지표에서 고토석회의 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 그러나 통계적인 차이는 인정되지 않았으나 생체중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 14.45g, 건물중은 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 2.01g으로 가장 무거웠다. 미량원소복합제 [2-12]가 혼합된 처리들에서도 고토석회의 처리수준에 따른 직선 및 2차곡선회귀가 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다.

<표 42> 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에 3 종류 미량원소복합제를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 고토석회의 혼합비율을 변화시켜 포트범 'Biarritz'를 분화 재배하였으며 정식 56일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	14.9 a ^z	12.3 a	4.05 a	92.0 a	14.05 a	1.23 b
3.0	14.9 a	13.0 a	4.13 a	90.5 a	14.13 a	1.50 ab
6.0	15.6 a	13.7 a	4.26 a	94.0 a	14.26 a	2.06 a
9.0	15.1 a	13.4 a	4.40 a	95.3 a	14.40 a	1.51 ab
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-11]						
0.0	14.6 a	13.7 a	4.55 b	86.8 a	14.55 b	1.77 b
3.0	16.1 a	13.9 a	5.88 a	92.0 a	15.88 a	2.77 a
6.0	15.3 a	14.2 a	5.10 ab	95.7 a	15.10 ab	2.42 ab
9.0	15.9 a	14.1 a	5.08 ab	96.8 a	15.08 ab	2.12 ab
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-12]						
0.0	15.8 a	13.4 a	4.23 a	94.0 a	14.23 a	1.97 a
3.0	15.9 a	13.7 a	4.40 a	95.8 a	14.40 a	2.01 a
6.0	15.6 a	13.9 a	4.45 a	92.5 a	14.45 a	1.64 a
9.0	15.7 a	13.3 a	4.38 a	95.5 a	14.38 a	1.59 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

3. 적요

- 가. 피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에서 미량원소복합제 [2-1]이 혼합된 경우 생체중과 건물중이 각각 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 및 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 고토석회 처리수준에서 생육이 우수하였다. 그러나 [2-11]이 혼합된 처리에서는 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생체중과 건물중이 가장 무거웠고, $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 고토석회 시비비율에서는 생육이 저조하였다. [2-12]가 혼합된 처리에서는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 건물중과 생체중이 가장 무거워 생육이 우수함을 알 수 있었다.
- 나. 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 미량원소복합제 [2-1]을 시비한 경우 고토석회 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생체중 및 건물중이 14.83g 및 2.46g으로 가장 무거웠다. [2-11]이 혼합된 처리들에서는 고토석회 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생육이 가장 우수하였고, [2-12]가 시비된 처리들에서도 $9.1\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생체중 및 건물중이 가장 무거웠다.
- 다. 피트모쓰+부숙툽밥(1:1, v/v) 혼합상토에서는 [2-1]이 시비된 경우 생체중은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서, 건물중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 가장 무거웠다. [2-11]이 혼합된 경우에는 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 고토석회 시비 수준에서 생육이 우수하였고, [2-12]가 혼합된 경우에 생체중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 건물중은 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생육이 우수하였다.
- 라. 그러나 세 종류 상토 모두 미량원소복합제가 혼합된 상태에서 기비로 사용된 고토석회의 시비수준을 변화시켜도 작물생육에 미치는 영향이 크지 않아 처리수준에 따른 차이가 인정되지 않았고 경향도 발견할 수 없었다.

제 14 절 미량원소복합제가 포함된 각종 혼합 상토에서 용과린의 처리 수준이 생육에 미치는 영향

1. 재료 및 방법

본 실험을 위해 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v), 피트모쓰+부숙수피(1:1) 및 피트모쓰+부숙톱밥(1:1)의 세종류 상토를 조제하였다. 상토조제 과정에서 고토석회를 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였고, KNO_3 와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 를 $0.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 첨가하였는데 균일성을 증가시키기 위하여 상토조제 과정에서 물에 타서 골고루 혼합하였다. 토양습윤제인 액상 AquaGro를 KNO_3 와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 를 혼합한 용액에 같이 타서 상토혼합 과정에서 첨가하였다. 미량원소복합제는 [2-1], [2-11] 및 [2-12] 및 +Control(미량원소복합제, Micronutrient fertilizer)의 네종류였으며, 각각 모래와 1:2(w/w, 미량원소복합제/모래)로 혼합한 후 상토 조제 과정에서 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하였다.

각각의 미량원소복합제를 포함한 상토에는 분쇄한 용과린을 0, 3.0, 6.0, 및 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하여 네 처리를 만들었으며, 이후 직경 10cm의 플라스틱 화분에 상토를 충전하고 국화 'Biarritz'를 정식하였다. 본 실험은 4 종류 미량원소복합제 x 용과린 4처리(treatment) x 4반복 x 2식물체(각 반복당)로 총 128식물체를 완전임의로 배치하였다.

작물재배중 정식 후 2주간은 광중단 처리(night break)로 영양생장을 촉진하였고, 잎이 7-8매 나온 후 적심하여 측지 발생을 촉진하였으며, 적심 후 1달 간격으로 3회 성장조절제를 처리하였는데 실험에 이용된 성장조절제는 600배로 희석한 daminozide였다.

시비를 위해 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KSO_4 , KCl 및 NH_4NO_3 의 비율을 조절하여 N: $210\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, P: $0\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 그리고 K: $155\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 stock solution을 조제한 후 정식 직후부터 매주 1회 질소가 $450\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이 되도록 농도를 조절하여 관비하였다. 관비 중간에는 관수만 하였으며, 관비 또는 관수시 용탈율은 30%로 조절하였다.

식물 생육은 과종 8주후에 지상부 생체중, 건물중, 초장, 초폭, 관부직경, 엽

수를 조사하였으며, 토양은 파종 8주후 시비 2시간 후에 토양 시료를 채취하여 건조시킨 후 분쇄하였고, pH, EC, Total-N(Kjeldahl), P₂O₅, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo를 분석하였다. 분쇄한 시료를 이용하여 1:5방법으로 pH 및 EC를 측정하였고, 총질소 함량을 Kjeldahl 방법으로, 인산은 포화추출법으로 추출한 용액을 이용하여 비색정량하였으며, 기타 무기원소분석은 Ammonium acetate로 추출한 후 A.A.(Shimadzu)로 분석하였다. 식물체는 end-crop(8주후)에서 지상부 전체를 수확하여 실험실에서 분석하는 식물체 분석법과 동일하게 무기원소 함량을 분석하였다.

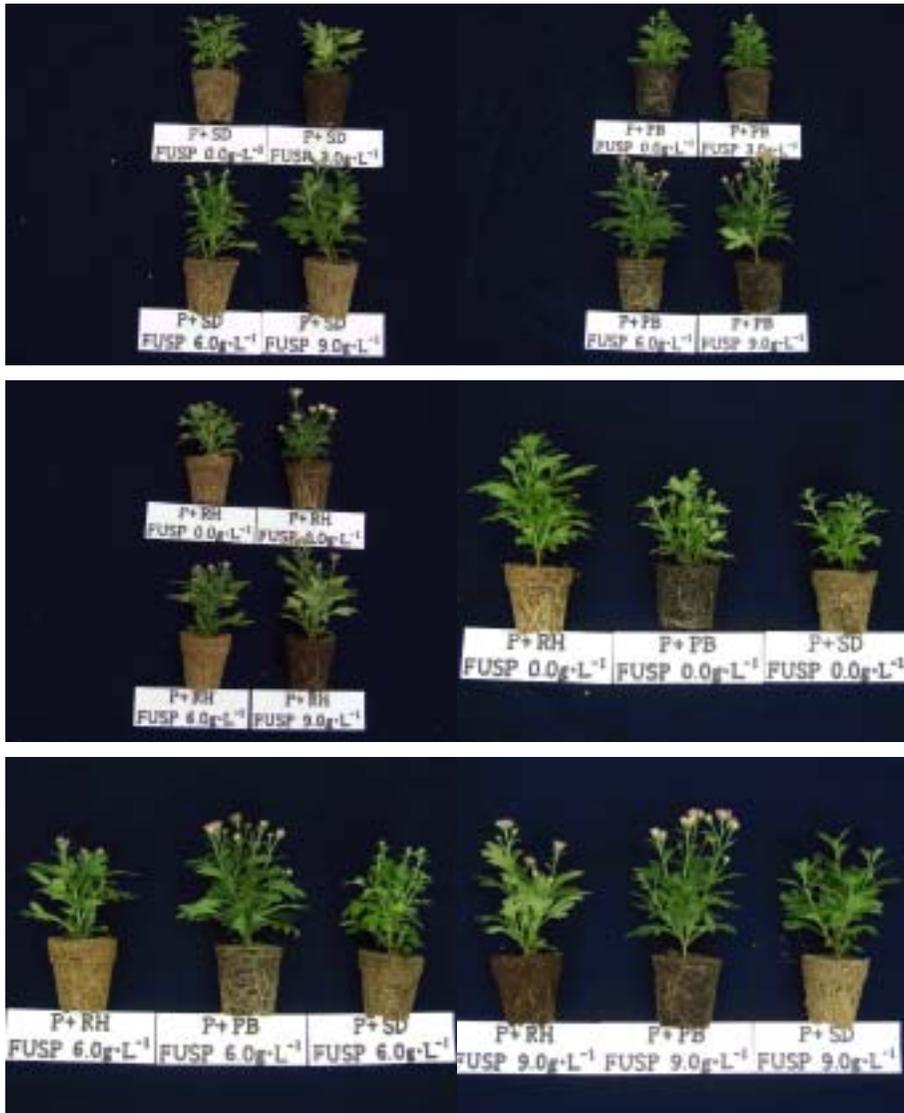
2. 결과 및 고찰

<표 43>은 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에 조제된 미량원소복합제를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합하고, 인산질 비료인 용과린의 시비비율을 높일 경우 작물생육에 미치는 영향을 나타내었다. 미량원소복합제 [2-1]이 혼합된 경우 생체중은 6.0g · L⁻¹ 처리에서 17.8g으로 가장 무거웠고, 건물중은 3.0g · L⁻¹ 처리에서 2.57g으로 가장 무거웠다. 그러나 조사한 모든 생육지표에서 용과린의 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, 직선 및 2차곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 찾을 수 없었다.

미량원소복합제 [2-11]이 시비된 처리들에서는 초장과 초폭이 6.0g · L⁻¹ 용과린 처리에서 19.3cm 및 16.6cm 가장 컸다. 용과린의 시비량이 높아질수록 관부 직경이 줄어들어서 9.0g · L⁻¹ 처리에서 4.60mm로 조사되었다. 생체중과 건물중은 6.0g · L⁻¹ 처리에서 16.4g 및 2.46g으로 가장 무거웠다. 조사한 모든 생육지표에서 용과린의 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, 직선 및 2차곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다.

조제된 미량원소복합제 [2-12]가 혼합된 처리들에서는 용과린의 시비수준이 높아질수록 초장과 초폭이 컸고 생체중과 건물중은 6.0g · L⁻¹ 처리에서 17.5g 및 2.57g으로 가장 무거웠다. [2-12]가 혼합된 처리들에서도 조사한 모든 생육지표에서 용과린의 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았고 경향도 발견할 수 없었다.

이상의 결과를 고려할 때 피트모쓰+부숙톱밥 상토에서 용과린의 시비량은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 조절하는 것이 바람직하다고 판단되었다.



<그림 21> 피트모쓰+부숙수피(1:1, P+PB), 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, P+RH) 및 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, P+SD)의 혼합상토 조제과정에서 개발된 미량원소복합제 2-12]를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로, 그리고 용과린을 다양한 비율로 기비로 혼합하고 포트명 'Biarritz'를 분화재배하였으며, 정식 56일 후의 생육을 나타냄.

<표 43> 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 혼합상토에 3 종류 미량원소복합제를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 용과린의 혼합비율을 변화시켜 포트법 'Biarritz'를 분화 재배하였으며 정식 56일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	15.8 a ^z	14.9 a	4.00 a	105 a	13.4 a	1.95 a
3.0	18.9 a	18.1 a	4.33 a	104 a	16.5 a	2.57 a
6.0	16.6 a	18.2 a	4.36 a	120 a	17.8 a	2.13 a
9.0	17.0 a	15.3 a	4.90 a	135 a	14.2 a	1.92 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-11]						
0.0	16.3 a	15.0 a	4.20 a	112 a	14.3 a	1.95 a
3.0	19.1 a	15.1 a	4.33 a	137 a	15.5 a	2.18 a
6.0	19.3 a	16.6 a	4.34 a	135 a	16.4 a	2.46 a
9.0	18.2 a	16.2 a	4.60 a	141 a	13.5 a	1.89 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-12]						
0.0	15.2 a	16.7 a	4.73 a	107 a	14.3 a	19.4 a
3.0	16.5 a	17.7 a	4.01 a	124 a	16.1 a	2.20 a
6.0	16.6 a	18.6 a	4.97 a	133 a	17.5 a	2.57 a
9.0	16.9 a	19.2 a	4.45 a	143 a	15.2 a	2.31 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

피트모스+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 조제된 미량원소 복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합한 후 용과린의 처리수준을 변화시키고 정식 56일 후에 조사한 국화의 지상부 생육을 <표 44>에 나타내었다.

미량원소복합제 [2-1]이 기비로 혼합된 처리들에서 용과린의 처리수준이 높아짐에 따라 초장, 초폭 및 관부직경이 크거나 굵어졌고, 엽수도 증가하였다. 그러나 생체중 및 건물중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 14.1g 및 2.61g 으로 가장 무거웠으며 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이하나 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서는 생육이 저조하였다. 조사한 모든 생육지표에서 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, 직선 및 2차 곡선회귀도 성립하지 않았다.

미량원소복합제 [2-11]이 혼합된 처리들에서도 용과린의 처리수준이 높아질수록 초장 및 초폭에서 생육이 우수하였고, 엽수가 증가하였다. 생체중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 용과린 시비구에서 17.7g 으로 가장 무거웠으나 용과린의 처리수준에 따른 유의차는 인정되지 않았다. 건물중은 무처리구가 식물체당 1.97g 였으나 점차증가하였고, $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 3.10g 의 건물중으로 가장 무거웠다. $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 와 무처리의 건물중에서 통계적인 차이가 인정되었으며, 5% 수준의 직선회귀가 성립하여 경향을 발견할 수 있다.

미량원소복합제 [2-12]가 시비된 처리들에서는 용과린의 처리수준이 높아질수록 초장 및 초폭이 커졌고, 관부직경이 굵어졌으며, 엽수가 증가하였다. 엽수에서는 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되었고, 초폭, 관부직경 및 엽수에서는 용과린의 처리수준에 따라 증가하여 직선회귀가 성립하였다. 생체중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 19.3g 으로 가장 무거웠고, 건물중은 용과린의 시비수준이 높아질수록 무거워져 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 식물체당 2.95g 으로 가장 무거웠다. 그러나 생체중 및 건물중 모두 용과린의 처리수준간 통계적인 차이가 인정되지 않았고, 경향도 발견할 수 없었다.

<표 44> 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 3 종류 미량원소복합제를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 용과린의 혼합비율을 변화시켜 포트덤 'Biarritz'를 분화 재배하였으며 정식 56일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	15.3 a ^z	13.7 a	4.10 a	107 a	12.4 a	1.97 a
3.0	16.8 a	15.8 a	4.53 a	116 a	13.2 a	2.34 a
6.0	16.9 a	15.3 a	4.82 a	121 a	14.1 a	2.61 a
9.0	18.5 a	16.0 a	5.24 a	125 a	12.7 a	2.01 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-11]						
0.0	15.1 a	15.4 a	4.33 a	105 a	14.9 a	1.97 b
3.0	16.2 a	16.5 a	4.80 a	113 a	15.6 a	2.62 ab
6.0	18.7 a	16.5 a	5.29 a	122 a	17.7 a	2.85 ab
9.0	19.9 a	17.4 a	4.53 a	123 a	16.5 a	3.10 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	*
Quadartic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[2-12]						
0.0	16.0 a	14.7 a	4.31 a	102 b	12.8 a	2.32 a
3.0	17.4 a	15.6 a	4.47 a	119 ab	18.5 a	2.28 a
6.0	18.8 a	17.9 a	4.64 a	124 ab	19.3 a	2.70 a
9.0	18.8 a	18.0 a	4.87 a	133 a	14.6 a	2.95 a
Linear	ns	*	*	**	ns	ns
Quadartic	ns	*	ns	*	ns	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에 세종류 미량원소 복합제를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합하고 용과린의 처리수준에 따른 국화의 작물생육을 <표 45>에 나타내었다.

미량원소복합제 [2-1]이 시비된 경우 용과린의 처리수준이 높아질수록 초장, 초폭 및 엽수가 증가하였다. 생체중도 무처리구에서 20.2g 였으나 용과린의 시비수준이 높아질수록 무거워져 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 26.1g 으로 가장 무거웠고, 용과린처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되었으며, 1% 및 5% 수준의 직선 및 2차곡선회귀도 성립하여 경향을 발견 할 수 있었다. 건물중도 생체중과 유사한 경향을 보여 용과린 처리수준이 높아질수록 뚜렷하게 증가하여 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다.

미량원소복합제 [2-11] 및 [2-12]가 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합된 처리에서 용과린의 처리수준에 따른 국화의 작물생육은 [2-1]과 유사하였다. 용과린의 처리수준이 높아질수록 초장 및 초폭이 커지고, 관부직경이 굵어졌으며, 엽수가 증가하였다. [2-11]이 시비된 처리들에서 생체중은 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 건물중은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 각각 19.4g 및 2.59g 으로 가장 무거웠다.

[2-12]가 혼합된 처리에서는 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 용과린 시비구에서 생체중 및 건물중이 각각 19.5g 및 2.38g 으로 가장 무거웠다. 그러나 [2-11]이나 [2-12]가 혼합된 모든 처리들에서 용과린의 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, 직선 및 2차 곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다.

<표 45> 피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에 3 종류 미량원소복합제를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 용과린의 혼합비율을 변화시켜 포트덤 'Biarritz'를 분화 재배하였으며 정식 56일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리 (g · L ⁻¹)	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽 수 (매/식물체)	생체중 (g/식물체)	건물중 (g/식물체)
[2-1]						
0.0	17.4 a ^z	16.6 a	4.43 a	109 b	20.2 b	2.59 b
3.0	17.9 a	17.8 a	4.57 a	113 b	20.3 b	2.58 b
6.0	18.7 a	18.5 a	4.90 a	143 a	24.1 ab	2.90 ab
9.0	20.0 a	18.6 a	4.97 a	148 a	26.1 a	3.22 a
Linear	ns	ns	ns	***	**	**
Quadratic	ns	ns	ns	***	*	*
[2-11]						
0.0	14.5 a	14.9 a	4.41 a	102 a	13.3 a	2.25 a
3.0	16.8 a	15.5 a	4.58 a	104 a	18.6 a	2.27 a
6.0	17.1 a	16.1 a	5.20 a	118 a	19.4 a	2.47 a
9.0	18.8 a	16.7 a	4.73 a	122 a	13.8 a	2.59 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	ns	*	ns
[2-12]						
0.0	14.7 a	15.9 a	4.44 a	103 a	18.5 a	2.30 a
3.0	17.6 a	16.5 a	4.95 a	117 a	19.5 a	2.38 a
6.0	17.8 a	17.7 a	5.37 a	121 a	18.4 a	2.36 a
9.0	19.0 a	18.5 a	4.43 a	126 a	16.0 a	2.44 a
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

3. 적요

가. 피트모쓰+부숙톱밥(1:1, v/v) 상토에 미량원소복합제 [2-11]이 혼합될 경우 생체중과 건물중이 각각 16.4g 및 2.46g으로 가장 무거웠다. 그러나 조사한 모든 생육지표에서 용과린의 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았고 직선 및 2차 곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다.

미량원소복합제 [2-1]이 혼합된 경우에는 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서, [2-12]가 혼합된 경우에는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 용과린 처리에서 건물중과 생체중이 가장 무거웠다. 그러나 [2-1]이나 [2-12]가 혼합된 경우에도 용과린의 처리수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았고, 경향도 발견할 수 없었다.

나. 피트모쓰+부숙왕겨(1:1, v/v) 혼합상토에 세종류 미량원소 복합제를 혼합하고 용과린의 처리수준에 따른 작물 생육을 조사한 결과 [2-1]에서는 $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, [2-11]은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 그리고 [2-12]에서는 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 건물중이 가장 무거웠다. 그러나 각 생육지표에서 용과린 처리수준에 따른 유의차가 인정되지 않았고 경향도 발견할 수 없었다.

다. 피트모쓰+부숙수피(1:1, v/v) 혼합상토에 세종류 미량원소복합제를 처리한 경우 [2-1]에서는 용과린 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, [2-11]은 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 그리고 [2-12]는 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 건물중이 가장 무거웠다. 그러나 세종류 미량원소복합제 모두 용과린 처리 수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았고 경향도 발견할 수 없었다.

제 14 절 농가실증시험 및 경제성 분석

1. 재료 및 방법

본 실증실험은 충남 천안시입장면의 “한국프러그연구소”에서 수행하였다. 실증실험을 위해 고추 ‘녹광’과 토마토 ‘첼린지 틴틴’을 실험 품종으로 선정하였으며, 피트모스와 버미큘라이트를 1:1(v/v)로 혼합한 상토를 조제한 후 개발된 미량원소복합제를 $0.3 \cdot L^{-1}$ 의 비율로 혼합하였다. 또한 혼합상토에는 고토석회 $6.0g \cdot L^{-1}$, $Ca(NO_3)_2$ 와 KNO_3 를 $0.6g \cdot L^{-1}$, 그리고 토양습윤제인 AquaGro^G(Aquatrols Corp. of America, Pennsauken, NJ, USA)를 $0.9g \cdot L^{-1}$ 의 비율로 첨가 하였다.

이후 50공 플러그트레이에 상토를 충전하였으며 2004년 5월 23일 종자를 파종하였고, 재배 기간중 stage 2부터 시비하였다. 20-10-20(N-P₂O₅-K₂O)과 14-0-14(N-P₂O₅-K₂O)를 교호로 1주일에 3회 시비하였으며, stage 2에는 N의 농도를 $100mg \cdot L^{-1}$, stage 3에는 $120mg \cdot L^{-1}$, 그리고 stage 4에는 $140mg \cdot L^{-1}$ 으로 조절하여 시비하였다. 파종 17일 후에 1차 생육 조사를 하였으며, 파종 34일 후에 2차생육 조사를 하였다.

2. 결과 및 고찰

농가실증 시험은 고추 및 토마토를 대상으로 수행하였다. 종자파종 17일 후에 조사한 고추의 1차 생육조사에서(표 47) 무처리구가 0.63g 및 0.066g의 생체중 및 건물중을 생산하였으나 미주산 MF비료(+대조구)에서 0.75g 및 0.076g의 생체중과 건물중을 생산하였다. 본 실험에서 조제한 미량원소복합제 [2-11]에서 생육이 가장 우수하여 0.93g 및 0.087g의 생체중과 건물중을 생산하였고, [2-1]이나 [2-12]도 무처리구나 +대조구보다 우수하였다.

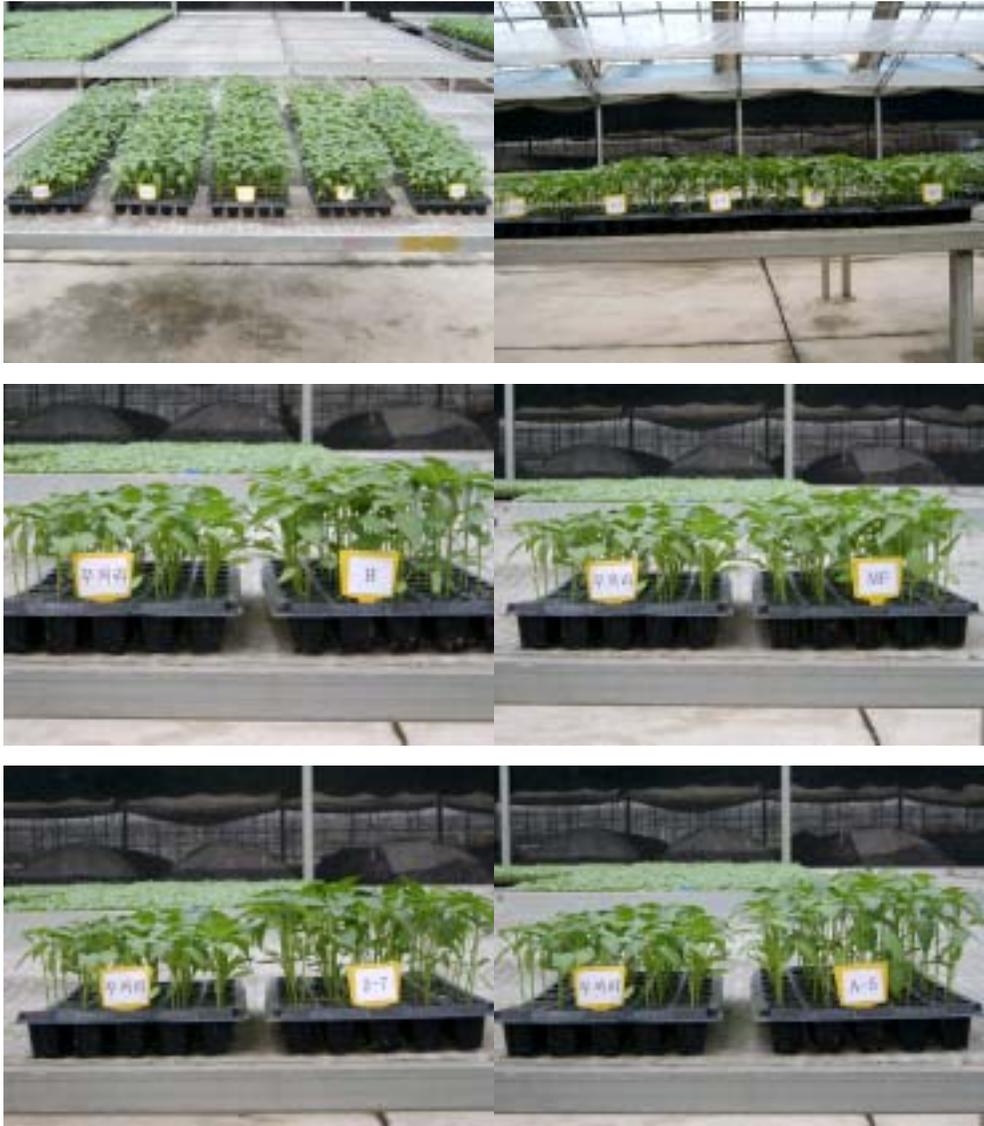
종자파종 34일후의 2차 생육조사에서는(표 48) 무처리구가 2.17g 및 0.24g의 생체중 및 건물중을 생산하였고, [2-11] 처리에서 3.06g 및 0.36g의 생체중과 건물중을 생산하여 생육이 가장 우수 하였다. 생체중에서는 무처리구에서 뚜렷

하게 생육이 저조하였고, [2-1], [2-12] 및 MF의 세 처리에서는 통계적인 차이가 없었으며 [2-11]에서만 유의하게 우수하였다. 건물중은 무처리구에서 식물체량 0.24g으로 뚜렷하게 저조하였으며, 미량원소복합제가 혼합된 4처리간에는 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 고추의 생육을 비교할 경우 무처리구의 상품성이 심하게 낮아졌으며, [2-11]에서 생육이 우수하였지만 기타 세 종류 미량원소복합제 시비구간에는 뚜렷한 상품성의 차이는 발견할 수 없었다.

토마토를 50공 플러그트레이에 육묘하면서 종자과중 17일후에 지상부의 생육을 조사한 결과(표 48), 초폭, 관부직경, 엽수 및 엽장에서 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 생체중은 처리간 차이가 인정되었는데 [2-11]에서 식물체당 2.52g으로 가장 무거웠고, 무처리구와 [2-1]에서 각각 2.26g 및 2.28g으로 뚜렷하게 가벼웠다.

건물중은 미량원소복합제간 다소간의 차이가 있었지만, 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 초장은 무처리구에서만 8.81cm로 유의하게 저조하였으며, 네 종류 미량원소복합제 시비구간에는 통계적인 차이가 인정되지 않았다.

종자과중 34일 후의 2차 생육조사에서는(표 49) 처리간 차이가 더욱 뚜렷하였다. 무처리구의 초장이 19.9cm로 가장 작았고, [2-11]에서 22.1cm로 가장 컸다. 초폭, 관부직경, 엽수 및 엽장에서도 무처리구에서 생육이 가장 저조하였으며, [2-11]이 시비된 처리에서 가장 우수하였다. 생체중과 건물중은 무처리구에서 4.97g 및 0.49g으로 유의하게 가벼웠으며, 미량원소복합제가 시비된 네 처리간에는 다소간의 차이가 있음에도 불구하고 통계적인 차이는 인정되지 않았다. 토마토 플러그묘의 상품성은 [2-11]에서 가장 우수하였고, 무처리는 상품성의 가치를 상실하였다. 그러나 [2-11]을 제외한 세 종류 미량원소복합제간에는 상품성의 우열을 판단하기 어려웠다.



<그림 22> 농가실증 실험을 위해 고추 ‘녹광’을 플러그 재배한 후 종자 파종 34 일 후의 생육(미량원소복합제 2-5는 본문에서 [2-11], 2-7은 [2-1], B는 [2-12], 그리고 +Control은 Micronutrient fertilizer(Frit industry)로 나타냄).



<그림 23> 농가실증 실험을 위해 토마토 ‘첼린지 틴틴’을 플러그 재배한 후 종자
 파종 34일 후의 생육(미량원소복합제 2-5는 본문에서 [2-11], 2-7은 [2-1], B
 는 [2-12], 그리고+Control은 Micronutrient fertilizer (Frit industry)로 나타
 냄).

<표 46> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제와 미국산 Micronutrient fertilizer를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 고추 ‘녹광’을 플러그 재배하였으며 파종 17일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (매/식물)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	생체중 (g/식물)	건물중 (g/식물)
무처리	6.59 c ^z	6.93 c	2.25 b	6.08 b	3.17 c	1.88 b	0.63 c	0.066 c
[2-11]	7.93 a	8.16 a	2.59 a	7.72 a	4.44 a	2.59 a	0.93 a	0.087 a
[2-1]	6.88 c	7.52 b	2.48 a	6.64 b	3.39 b	2.03 b	0.78 bc	0.077 bc
[2-12]	7.43 b	7.70 b	2.50 a	6.67 b	3.51 b	2.09 b	0.82 b	0.080 b
MF	6.77 c	7.50 b	2.47 a	6.33 b	3.38 b	2.03 b	0.75 bc	0.076 bc

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 47> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제와 미국산 Micronutrient fertilizer를 0.3g · L⁻¹의 비율로 혼합한 후 고추 ‘녹광’을 플러그 재배하였으며 파종 34일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (매/식물)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	생체중 (g/식물)	건물중 (g/식물)
무처리	18.8 b ^z	12.2 b	2.79 a	11.4 a	6.66 c	2.63 b	2.17 c	0.24 b
[2-11]	20.4 a	13.2 a	3.29 a	11.9 a	7.09 a	3.02 a	3.06 a	0.36 a
[2-1]	19.8 ab	12.6 ab	3.14 a	11.6 a	6.83 bc	2.72 b	2.83 b	0.34 a
[2-12]	20.5 a	12.5 b	3.23 a	11.5 a	6.95 ab	2.72 b	2.90 b	0.34 a
MF	20.2 a	12.6 ab	3.14 a	11.5 a	6.70 bc	2.68 b	2.82 b	0.33 a

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 48> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제와 미국산 Micronutrient fertilizer를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합한 후 토마토 ‘첼린지 틴틴’을 플러그 재배하였으며 파종 17일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (매/식물)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	생체중 (g/식물)	건물중 (g/식물)
무처리	8.81 b ^z	11.88 a	2.17 a	4.31 a	3.96 b	2.59 b	2.26 b	0.23 a
[2-11]	10.57 a	13.07 a	2.33 a	4.86 a	4.11 a	3.01 a	2.52 a	0.26 a
[2-1]	9.34 ab	12.43 a	2.20 a	4.44 a	3.98 a	2.64 ab	2.28 b	0.24 a
[2-12]	10.16 a	12.60 a	2.24 a	4.56 a	3.99 a	2.80 ab	2.37 ab	0.25 a
MF	9.40 ab	12.35 a	2.23 a	4.47 a	4.05 a	2.78 ab	2.31 ab	0.25 a

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 49> 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에 본 연구에서 조제된 3종류 미량원소복합제와 미국산 Micronutrient fertilizer를 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합한 후 토마토 ‘첼린지 틴틴’을 플러그 재배하였으며 파종 34일 후 작물 생육을 조사한 결과.

처 리	초 장 (cm)	초 폭 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (매/식물)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	생체중 (g/식물)	건물중 (g/식물)
무처리	19.9 c ^z	15.1 b	3.35 b	7.72 c	4.62 b	3.79 b	4.97 b	0.49 b
[2-11]	22.1 a	17.0 a	3.60 a	8.42 a	5.14 a	4.21 a	5.60 a	0.58 a
[2-1]	21.2 ab	16.2 a	3.38 b	8.00 bc	4.66 b	4.12 a	5.29 a	0.56 a
[2-12]	21.3 ab	16.7 a	3.39 b	8.19 ab	4.78 b	4.13 a	5.51 a	0.55 a
MF	20.2 bc	16.4 a	3.36 b	8.00 bc	4.68 b	4.10 a	5.26 a	0.56 a

^zDuncan의 다중검정에 의한 유의차 분석(5% 수준).

<표 50> 혼합상토에 기비로 혼합되는 미량원소복합제의 구입비용.

미량원소복합제	중 량 (kg/포)	포당가격 (원)	kg당 가격 (원)	조제비용 (원/20kg) ^z	조제비용 (원/kg)	최종가격 (원/kg)
Micronutrient Fertilizer	20	68,000	3,400	---	---	3,400
Micromate	20	80,000	4,000	---	---	4,000
[2-11]	---	---	---	33,036	1,653	1,653
[2-1]	---	---	---	34,760	1,738	1,738
[2-12]	---	---	---	30,380	1,519	1,519

※ 조제비용 상세 내역

-화학약품비용 (공업용 기준)

[2-1](2-7): Na₂B₅O₇ 1,440원/kg, 22.6원/15.7g,

CuO 1,720원/kg, 7.1원/4.1g, Fe₂O₃ 1,160원/kg, 48.4원/41.7g,

MnSO₄ 1,300원/kg, 9.4원/7.2g, MoO₃ 13,500원/kg, 1.4원/0.1g,

ZnO 1,300원/kg, 7.9원/6.1g, Ca₃(PO₄)₂ 1,440원/kg, 29.7원/20.6g,

SiO₂ 1,160원/kg, 5.8원/5g,

합계 = 132원

[2-11](A-5): Na₂B₅O₇ 1,440원/kg, 14.4원/10g,

CuO 1,720원/kg, 8.6원/5g, Fe₂O₃ 1,160원/kg, 4.6원/35g,

MnSO₄ 1,300원/kg, 19.5원/15g, MoO₃ 1,3500원/kg, 2.7원/0.2g,

ZnO 1,300원/kg, 6.5원/5g, Ca₃(PO₄)₂ 1,440원/kg, 28.8원/20g,

SiO₂ 1,160원/kg, 5.8원/5g, CaCO₃ 850원/kg, 4.3원/5g,

합계 = 131원

[2-12](B): Na₂B₅O₇ 1,440원/kg, 14.4원/10g,

CuO 1,720원/kg, 8.6원/5g, Fe₂O₃ 1,160원/kg, 41원/35g,

MnSO₄ 1,300원/kg, 19.5원/15g, MoO₃ 1,3500원/kg, 2.7원/0.2g,

ZnO 1,300원/kg, 6.5원/5g, Ca₃(PO₄)₂ 1,440원/kg, 7.2원/5g,
SiO₂ 1,160원/kg, 5.8원/5g, CaCO₃ 850원/kg, 17원/20g,
합계 = 122원

-인건비: 52,097원/8시간, 26,049원/300kg/4시간, 87원/1kg,

-감가상각비: Furnace 20,000,000원/15년, 1,333,000원/1년, 3,652원/일
608원/300kg/4시간, 2.0원/kg

-전기료: 200,000원/월, 6,452원/일, 208원/300kg/4시간, 11원/kg

※ 최종 생산물의 비율

[2-1]: 최종 회수율 85% (중량기준으로 상기한 약품을 혼합하였을때 생산물의
최종 중량)

화학약품비 1,553원[(132원/85%) x 10] + 인건비 87원 + 기계 감가상각비 2
원 + 전기료 11원 = 1,653원/kg

[2-11]: 최종 회수율 80%

화학약품비 1,638원[(131원/80%) x 10] + 인건비 87원 + 기계 감가상각비 2
원 + 전기료 11원 = 1,738원/kg

[2-12]: 최종 회수율 86%

화학약품비 1,419원[(122원/86%) x 10] + 인건비 87원 + 기계 감가상각비 2
원 + 전기료 11원 = 1,519원

<표 51> 혼합상토 조제시 미량원소복합제 구입에 소요되는 경비 비교.

상 토	배합비율 (g · L ⁻¹)	상토 1L당 미량원소복 합제 비용 (원)	플러그 재배	
			트레이당(원) (4.0L 용적)	10a 당(원) (129,600트레이)
Micronutrient Fertilizer	0.3	1.02	4.08	528,768
Micromate	0.3	1.20	4.80	622,080
[2-1]	0.3	0.50	2.00	259,200
[2-11]	0.3	0.52	2.08	269,568
[2-12]	0.3	0.46	1.84	238,464

※미량원소복합제 구입비 산출근거:

- 1,000평 시설하우스에 12,000장의 플러그 트레이가 배치되며 이는 10a(3000평) 당 36,000장의 트레이가 배치될 수 있음.
- 시설물의 이용효율을 90%로 계산하면 32,400트레이(36,000트레이 x 90%)가 됨.
- 시설물을 유지하며 경제적으로 안정되기 위해서는 년 4회 이상을 생산해야 하며 채산성을 갖추고 안정된 농가의 평균 재배회수는 평균 4회임.
- 따라서 10a 당 재배되는 플러그트레이는 129,600 트레이 임.
- 50공 트레이 당 상토 소요량은 약 3.8L이며 손실율을 감안하면 4L 임.

미국에서 생산되고 국내에서 시판되는 미량원소복합제 Micronutrient fertilizer(Frit Industry Co.)는 10a 당 528,770원의 미량원소복합제 구입비용이 소요되는 것으로 계산되었으며, Micromate(Stoller Industry)는 622,080원이 소요되는 것으로 계산되었다. 본 연구단에서 조제한 미량원소복합제는 10a 당 구입비가 269,600원 이하로 계산되어 2배 이하의 저

렴한 가격이다. 그러나 실제 상품으로 판매될 경우에는 홍보비 및 유통비 등이 추가되어야 할 것이며 가격이 상승할 요인이 된다고 판단된다. 그러나 유통비 및 홍보비를 감안하더라도 판매 포장단위인 20kg을 기준으로 미국에서 생산된 제품 보다 15,000원/20kg 이상의 저렴한 가격으로 판매될 수 있을 것이다.

<표 52> 농가의 경영비를 고려한 수입 미량원소복합제와 국산 미량원소 복합제를 혼합한 상토에서 고추를 플러그재배할 때 소득 비교.

상 토	미량원소복합제 비용 (원/10a)	경영비 (천원/10a)	조수익 (천원/10a)	소득 (천원/10a)	지수 (%)
Micronutrient Fertilizer	528,768	444,961	842,400	397,439	100
[2-1]	259,200	444,691	972,000	527,309	133
[2-11]	269,568	444,702	842,400	397,698	100
[2-12]	238,464	444,671	842,400	397,729	100

※ 고추 플러그육묘시 자재 및 생산비: 농가 기준 및 진흥청 자료 가격

가. 경영비 세부사항

- 고추 종자가격: 129,600 트레이 x 50개/트레이 x 15원/개 = 97,200,000원
- 무기질 비료(다량원소 양액): 한 작기에 7포 소요 x 4작기 x 33,000원/포 = 924,000원,
- 농약비: 200,000원/1작기, 800,000원/4작기
- 동력비; 500,000원/1작기, 2,000,000원/4작기
- 수리비: 150,000원/1작기, 600,000원/4작기
- 시설하우스 난방비: 10월 하 3월 중순 까지 난방 필요

35,000,000원/1년/1000평, 105,000,000원/1년/10a

-제 재료비:

① 상토: 18000원/150L, 480원/4L 트레이 x 129,600트레이=62,208,000원,

② 관수자재: 8,000,000원,

③ 플러그트레이 300원/장 x 129,600장 = 38,880,000원

-소농구비: 4,871원/작기, 19,484원/4작기

-대농구 상각비: 80,315원/작기, 321,260원/4작기

-영농시설 상각비: 712,580원/작기, 2,850,320원/4작기

-수리비: 51,373원/작기, 205,492원/4작기

-기타 요금: 1,000,000원,

-임금: 10a 당 6명의 상시인원 필요

① 2명 전문 생산 기술자

월 2,500,000원 x 12개월 x 2인 = 60,000,000원

② 일용직 4명 (농촌진흥청 자료 참고)

남자 52,097원/일 x 31일 x 12개월 x 2인 = 38,760,000원

여자 34,494원/일 x 31일 x 12개월 x 2인 = 25,664,000원

합계: 444,432,600원

나. 농가 소득 판단 자료

-고추 플러그 묘(50공 트레이 기준)의 유통가격은 상품 150원, 중품 130원, 하품 100원 (2004년 8월 유통 가격) 임.

-농가실증 시험을 기준으로 (표) A-5는 상품, MF, 2-7 및 B는 중품으로 판단함. 따라서 조소득(10a) 은

A-5: 150원/묘 x 6,480,000묘/10a/1년(년간129,600 트레이 x 50묘) =
972,000,000원

MF, 2-7 및 B: 130원/묘 x 6,480,000묘/10a/1년(년간129,600 트레이 x
50묘) = 842,400,000원

3. 적 요

- 가. 고추의 플러그육묘 결과 파종 34일 후의 생육은 [2-11]에서 가장 우수하였고, [2-1], [2-12] 및 MF의 세 종류 미량원소복합제 간에는 차이가 인정되지 않았다.
- 나. 토마토의 플러그 육묘결과 파종 35일 후의 생육은 [2-11]에서 우수하였지만 [2-1], [2-12] 및 MF와 생체중 및 건물중에서 통계적인 차이가 인정되지 않았다.
- 다. 미량원소복합제의 1kg당 가격 또는 생산비는 MF 비료에서 3,400원, Micromate에서 4,000원, [2-11]에서 1,653원, [2-1]에서 1,738원 그리고 [2-12]에서 1,519원으로 분석되었다.
- 라. 50공 트레이를 사용하여 고추를 플러그 육묘할 경우 10a당 미량원소복합제 구입비용은 MF 비료 528,760원, Micromate 622,080원, [2-11]에서 269,570원, [2-1] 259,200원 그리고 [2-12]에서 238,460원으로 분석되었다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

미량원소복합제의 개발은 ① 발포제의 종류 및 처리량을 달리하거나, ② 용출 속도 조절 물질의 종류 및 처리량을 달리하여서 또는 ③ 미량원소의 성분 함량을 조절하여 입상형의 미량원소복합제를 개발하고자 하였다. 1차년도에는 세 방법을 적용한 45개의 미량원소복합제를 조제하여 성분함량을 분석하였고, 2차년도에는 1차년도 결과를 바탕으로 미비점을 보완하므로써 지효성인 입상형의 미량원소복합제를 개발하였다. 발포제로 CaCO_3 또는 MnSO_4 를 사용하였으나 발포제로서의 역할을 보았을 때는 CaCO_3 가 효과적임을 알 수 있었다.

용출 속도 조절은 식물생장에 필수적인 Cu, B, Fe, Mn, Mo, Zn 등의 6원소를 대상으로 실시하였고, 수용성과 약산성에 용출이 용이한 화학 시약을 사용하여 연구 목적을 달성하였다. 미량원소의 용출 실험을 기준으로 하여, 미량 원소 복합제의 조성은 SiO_2 는 5% 의 중간 조성인, CaCO_3 는 5%로 발포제의 역할을 할 수 있는 정도 의 양 이어야하고, MnSO_4 는 15%, Fe_2O_3 는 35%, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 는 20% 함유한 시료의 화학 조성이 가장 적합한 미량 원소 복합제로 판명되었다. 한편 미량원소 성분 함량 조절은 시료 제작시, 여러 가지 조성으로 함량을 조절함으로써 연구 하였고, Fe, Mn, Zn, Cu 등의 용출 실험에 주안을 두었다. 모든 실험은 만족하게 진행 되었다.

위에서 언급한 바와 같이 Mn 원소는 MnSO_4 의 형태의 수용성 물질로 첨가하여야하며, P_2O_5 대신에 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 의 화학성분을 이용하는 것이 용출 실험에 효과적인 것으로 판명 되었다. 또한 화학 성분은 시료 [2-9]와 유사한 것이 가장 좋은 것으로 판명되었다. 이상의 방법으로 작물 재배에 가장 바람직하다고 판단되는 세 종류의 미량원소복합제를 최종적으로 개발하였으며 연구목표를 100% 이상 달성하였다고 판단한다.

이상의 방법으로 개발된 미량원소복합제는 성분함량을 분석하였고, 용출실험을 수행하였다. 성분함량 분석 및 용출 특성 분석에서는 미국에서 생산되어 국내에서 시판되는 Micronutrient fertilizer(Frit Industry)를 대조구로 본 연구에서 개발된 미량원소복합제를 비교하였다. 용출실험을 통해 과잉증상을 유발할 우려가 있

는 Al 및 Si의 농도도 분석하였다. 용출실험은 피트모쓰+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토에서 1차적인 실험을 수행한 후 피트모쓰+톱밥(1:1, v/v), 피트모쓰+수피(1:1, v/v), 피트모쓰+왕겨(1:1, v/v) 등 세종류의 혼합상토를 대상으로 실험하여 특성을 파악하였다.

성분함량 및 용출실험을 통해 우수하다고 판단된 3종류의 미량원소복합제를 대상으로 플러그 및 분화재배에서 작물 생육에 미치는 영향을 밝혔다. 먼저 바람직한 처리량을 매리골드의 플러그 재배 및 국화의 분화재배를 통해 밝혔으며, 기비로 혼합되는 고토석회와 용과린과의 상관관계를 밝혔다. 또한 미량원소의 흡수가 상토의 pH에 심하게 영향받는 점을 고려하여 pH를 변화시키기 위해 관비용액속의 $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ 의 비율을 변화시켜 플러그육묘를 하였고, 미량원소의 흡수특성 및 작물생육에 미치는 영향을 밝혔다. $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ 의 비율을 조절한 실험 외에 이상의 실험은 피트모쓰+버미큘라이트 혼합상토에서 기본적인 자료를 획득한 후 미량원소복합제가 작물 생육에 미치는 영향을 면밀히 관찰한 후, 피트모쓰+톱밥(1:1, v/v), 피트모쓰+수피(1:1, v/v), 피트모쓰+왕겨(1:1, v/v) 등 세종류의 혼합상토로 확대하여 적용하였다. 또한 농가실증실험을 통해 우수성을 확인하였고, 경제성 분석도 하였다.

이상의 연구결과를 고려할 때 연구목표의 달성 정도는 100% 이상이라고 확신한다. 또한 본 연구를 통하여 개발된 연구방법, 즉 용출실험을 위한 컬럼의 제작 및 용출 방법 등은 관련 학회에서 이미 발표하였고, 관련 연구자들로부터 호평을 받았다. 한편 과거의 온실산업에서는 분화나 플러그재배시 보편적으로 관비방법을 적용하였으나, 본 연구 결과를 통해 관비방법의 단점이 부각되고, 기비방법을 적용하기 위한 연구들이 많이 수행될 것으로 예상된다. 이와같이 판단하는 근거는 관비방법이 유발하는 환경오염, 에너지 소비량 증가, 노동력 증가의 단점과 본 연구를 통해 개발된 미량원소복합제 및 기타 기비로 혼합되는 다량원소들의 특징과 기비방법을 적용해야 할 필요성을 한국원예학회의 학술 심포지엄을 통해 주장하였으며 연구자들간에 공감대가 형성되었기 때문이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 연구개발 결과를 정리하여 한국원예학회 학술발표대회에서 5편을 발표하였으며, 2004년 11월 14-19일에 Spain Almeria에서 개최되는 IX International Symposium on Growing Media and Hydroponics에 논문 2편의 extended abstract를 보내서 accept된 상태이며 발표할 예정임(① Nutrient Release from Pre-plant Micronutrient Mix as Influenced by Root Medium Composition in Column Experiment, ② Influence of Pre-plant Micronutrient Mixes and $\text{NH}_4\text{:NO}_3$ Ratios in Fertilizer Solution on Growth of and Nutrient Uptake by Marigold in Plug System).
2. 학술대회 발표물은 최대한 빠른 시일내에 학술잡지에 게재할 예정임.
3. 개발과정에서 정립된 기술들은 세미나나 각종 교육을 통해 재배농가에 보급하여 현장애로 해결에 활용토록 할 예정임.
4. 개발과정에서 정립된 기술 및 know-how는 상토생산 회사에 전수하고 이전하여 현장애로 해결에 이용토록 할 예정임.
5. 분화나 플러그 재배에서 작물 생육에 효과적이며 새로 개발된 미량원소복합제는 특허출원을 할 예정임.
6. 특허출원과 관련된 모든 업무가 원만하게 이루어진다면 산업체로 기술 이전을 할 예정이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

1. 미국의 온실 산업은 관비방법으로 작물을 재배하던 과거의 방법을 탈피하고 기비방법을 적용하기 위해 변화되고 있음.
2. 기비방법을 적용하는 이유는 관비 방법이 온실 토양의 염류집적을 심화시키고 있기 때문이며, 미국 환경청(EPA)에서는 정기적으로 온실 토양의 염류 집적 상태를 분석하여 기준치 이상일 경우 온실을 폐쇄하고 있음.
3. 온실 토양의 염류집적을 회피하기 위해 재배농가에서는 양액 재배시 폐쇄시스템(closed cultivation system)을 적용하고 있으나, 근본적으로 시설비가 많이 요구 됨(open system에 비해 closed system에서 약 170% 이상의 시설비가 요구됨).
4. Open system을 유지하여 시설비를 줄이려면 용출이 서서히 이루어지는 지효성 비료를 이용할 수밖에 없으며, 다양한 종류의 지효성 비료들이 실용화 되고 있는 상황임
5. 조사한 지효성 비료의 형태는 formaldehyde를 이용한 결합형, 캡슐형(sulfer 또는 organic resin), 용해도가 낮은 원석(dolomite 또는 인회석 등)을 이용하는 형태로 구분할 수 있음.
6. 또한 재배방법에서도 인건비, 에너지 요구량 등을 감소하기 위하여 모든 비료를 기비로 혼합하려는 시도가 있음(작물 식재 후 관수만 함).
7. 국내에서는 농민의 목소리가 크고, 정부에서도 환경오염 보다는 농업 생산성에 중점을 두는 정책을 펴고 있다고 판단하며, 이로 인해 농업에서의 환경오염, 특히 토양의 염류집적이 심화되고 있다고 판단함.
8. 그러나 OECD에서는 농업에서의 비료염 및 농약 사용을 줄이기 위해 가입 국가에 압력을 행사하고 있으며, 우리나라 또한 자유스럽지 못한 실정임. 따라서 지효성 비료를 이용한 기비방법을 적용하여 작물의 생산성 향상 및 토양 오염을 방지해야 할 것으로 판단 함.

제 7 장 참고문헌

1. Allan, D.L., B.D. Cook, and C.J. Rosen. 1994. Nitrogen from and solution pH effect on organic acid content of cranberry roots and shoots. HortScience 29:313-315.
2. Argo, W.R. And J.A. Biernbaum. 1994. Irrigation requiremints, root medium pH, and nutrient concentrations of easter lilies grown in five peat-based media with and without an evaporation barrier. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119:1151-1156.
3. Argo, W.R. And J.A. Biernbaum. 1996. The effect of lime, irrigation-water source, and water-soluble fertilizers on root-zone pH, electrical conductivity, and macronutrient management of container root media with impatience. J. Amer. Soc. Hort. Sci.121:442-452.
4. Argo, W.R. And J.A. Biernbaum.1996. Availability and persistence of macronutrients from lime and preplant nutrient charge fertilizers in peat-based root media. J. Amer.Soc. Hort. Sci.121:453-460.
5. Bilderback, T.E., W.C. Fonteno, and D.R. Johnson. 1982. Physical properties of media composed of peanut hulls, pine bark, and peat moss and their effect on azalea growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci.107:522-525.
6. Black, C.A. 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publisher, London. p:2-69.
7. Bloom, A.J., S.S. Sukrapanna, and R.L. Warner. 1992. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. Plant Physiol. 99:1294-1301.
8. Boyd, C.E. and C.S. Tucker. 1992. Water quality and pond soil analysis for a aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. p:157-167.
9. Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container grown plants. Unwin Hyman, London.
10. Cataldo, D.A., M. Haroon, and L.E. Schrader, and V.L. Young. 1975. Rapid

- colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 6:71-80.
11. Chaney, A.L. and E.P. Marback. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinica Chem.* 8:130-132.
 12. Chapman, H.D. and P.F. Pratt. 1961. *Method of analysis for soil, plants and waters.* Univ. of Calif. Div. Agr. Sci., Berkeley, CA.
 13. Chen, Y., A. Banin, and Y. Ataman. 1980. Characteristics of particles, pores, hydraulic properties, and water-air ratios of artificial growth media and soils. *Proc. Fifth Intl. Conf. Soilless Culture, Wageningen, Nether:* 63-82.
 14. Choi, J.M. 1994. Increased nutrient uptake efficiency by controlling nutrient release in floral crops. Ph.D. Dissert. North Carolina State Univ. USA.
 15. Daniels, W.R. and R.D. Wright. 1988. Cation exchange properties of pine bark growing media as influenced by pH, particle size and cation species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:557-560.
 16. D'Angelo, G. and P. Titon. 1988. Determination of the water and air capacity of 25 substrates employed for the cultivation of *Diefenbachia amoena* and *Euphorbia pulcherrima*. *Acta Hort.* 221:175-182.
 17. Donahue, R.L., R.W. Miller and J.C. Shickluna. 1983. *Soils, an introduction to soils and plant growth.* Prentice Hall Inc. New Jersey P:263-293.
 18. Eastin, E.F. 1978. Total nitrogen determination for plants material containing nitrate. *Anal. Biochem.* 85:591-594.
 19. Federal Register. 1992. Maximum contaminant levels in water systems as of July 30, 1992. *Federal Register* 56:3528-3606.
 20. Fonteno, W.C., D.K. Cassel, and R.A. Larson. 1981. Physical properties of three container media and their effect on poinsettia growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106:736-741.
 21. Gibson, C.J. and W.C. Pill. 1983. Effect of preplant phosphorus fertilization rate and of nitrate and ammonium liquid feeds on tomato grown in peat-vermiculite. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:1007-1011.
 22. Grinstead, R.R. and S. Snider. 1967. Modification of the curcumin method

- for low leveled boron determination. *Analyst* 92:532-535.
23. Gupta, R.K., R.R. Singh, and K.K. Tange. 1990. Phosphorus release in sodium ion dominated soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 139(1):47-52.
 24. Halvin, J.L. and P.N. Soltanpour. 1980. A nitric acid plant tissue digest method for use with inductively coupled plasma spectrometry. *Commun. in Soil Sci. and Plant Anal.* 11(10):969-980.
 25. Hawkins, H.J., O.A.M. Lewins. 1993. Combination effect of NaCl salinity, nitrogen form and calcium concentration on the growth, ionic content and gaseous exchange properties of *Triticum aestivum* L. cv. Gamtoos. *New Phytol.* 12:161-170.
 26. 조성진, 1969. 신희비료학. 향문사. p.152-253.
 27. Karlovich, P.T. and W.C. Fonteno. 1986. Effect of soil moisture tension and soil water content on the growth of chrysanthemum in 3 three container media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111:191-195.
 28. Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibria in soil.* John Wiley & Sons, New York.
 29. Lindsay, W.L., P.G. Vieck, and S.H. Chien. 1989. Phosphate minerals p. 1089-1130. In: Dixon, J.B. and S.B. Weed(ed.). *Minerals in soil environment.* Soil Sci. Soc. Amer. Madison. Wisconsin.
 30. Mastalerz, J.W. 1977. *The greenhouse environment.* John Wiley & Sons, Inc., New York. p:461-516.
 31. Miller, R.W. and R.L. Donahue. 1990. *An introduction to soils and plant growth.* Prentice Hall, Englewood Cliff. N.J.
 32. Mingel, K. and E.A. Kirkby. 1987. *Principles of plant nutrition* (4th ed.)p.113-146.
 33. Moliter, L.D. 1990. The european perspective with emphasis on subirrigation and recirculation of nutrients. *Acta Hort.* 272:175-184
 34. Murphy, J. and J.F. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27:31-36.
 35. Nelson, P.V. *Greenhouse operation and management.* (4th ed.). prentice Hall. Englewood Cliff. N.J. p.189-226.

36. 농촌진흥청, 1995. 첨단시설원예. p.189-226.
37. 농촌진흥청. 2002. 시험연구결과 경제성 분석
38. Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney. 1982. Methods of soil analysis (2nd ed.). Amer. Soc. Agro. Inc. p:781-895.
39. Pessarakli, M. 1994. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker, Inc. New York, p:3-125.
40. Schnitzer, M., and S. I. M. Skinner. 1968. Alkali versus acid extraction of soil organic matter. Soil Sci. 105: 392~396.
41. 심상철. 1976. 토양비료개론. 선진문화사. p.247-249.
42. Warncke, D.D. 1986. Analysing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 211:223-225.
43. Warren, S.L. and W.C. Fonteno. 1993. Changes in physical and chemical properties of a loamy sand when amended with composted poultry litter. J. Environ. Hort. 11(4):186-190.
44. Williams, B.J., J.C. Peterson, and J.D. Utzinger. 1988. Liming reactions in sphagnum peat-based growing media. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113:210-214.
45. Williams, K.A. and P.V. Nelson. 1992. Low, controlled nutrient availability provided by organic materials for chrysanthemum. J. Amer. Soc. Hort. Sci.117:422-429.
46. Yelanich, M.V. and J.A. Biernbaum. 1990. The effect of fertilizer concentration and method of application on media nutrient content, nitrogen runoff and growth of *Euphorbia pulcherrima* 'V-14 Glory' Acta Hort. 272:185-189.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.