GOVP1200101808

631.585
L293c

최 종
연구보고서

Ceramic ash ball을 이용한 양액배지개발

Development of Ceramic Ash ball Substrate for Hydroponics

연 구 기 관
강원대학교 농업생명과학대학

농 림 부

대한민국
기증등록
2001. 2. 23
857428
국회도서관

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "**Ceramic ash ball을 이용한 양액배지개발에 관한 연구**" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000. 12. .

주관연구기관명 : 강원대학교
총괄연구책임자 : 유 근 창
세부연구책임자 : 김 일 섭
세부연구책임자 : 강 위 수
연 구 원 : 이 현 일
연 구 원 : 신 대 용
연 구 원 : 강 원 희
연 구 원 : 정 천 순

요 약 문

Ⅰ. 제 목

Ceramic ash ball을 이용한 양액배지 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

화력발전소에서 다량 발생하는 산업폐기물인 석탄회를 활용하여 최적의 합성조건과 자동성형 및 소결공정 기술개발을 통해 저렴하고 환경친화적이며 반영구적인 다공질의 국산화배지를 개발하고자 하는 것이 주된 목적이다. 이는 고가의 수입배지를 사용하고있는 농가의 부담을 줄이고 저렴한 생산체계의 확립으로 농산물의 국제경쟁력을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 산업폐기물의 활용으로 매립용지 확보의 어려움과 환경문제의 해결에도 도움이 될 것으로 전망된다. 아울러 통기성과 수분확산성 및 배수성이 우수한 개발배지의 특성을 고려하여 배지내 수분을 작물의 생육상태에 따라 임의로 조절할 수 있는 재배방법을 제시함으로써 개발배지를 이용한 과채류의 고품질생산이 가능할 것으로 생각된다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 석탄회를 활용한 양액배지 개발

가. 배지조성과 열처리조건에 따른 최적 합성조건 확립.

나. 구상화(球狀化) 및 소결공정 기술개발을 통한 최적 제조공정조건 확립.

다. 비점결성인 석탄회를 구상화할 수 있는 자동성형기술 개발

라. Ash ball의 양산화기술 개발

마. 개발된 ash ball배지의 경제성 분석

2. 개발배지(ash ball)를 이용한 토마토 양액재배 시스템 개발

가. 양액재배용 배지로서 ash ball의 특성구명

나. Ash ball 고형배지경에서의 토마토 재배특성구명

다. Ash ball을 기본으로 한 몇몇 첨가배지에서의 토마토 생육특성구명

라. Ash ball배지경에 적합한 배양액조성 및 최적농도조건 구명

마. Ash ball 배지경에서 수분stress, 염류stress 및 배양액농도처리 등에 의한 토마토 당증진방법 모색

바. Ash ball배지경에서 토마토외 타 과채류 적용가능성 탐색

Ⅳ. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

석탄회의 주결정상은 mullite, quartz와 calcite로 토양의 광물성분과 입도분포가 유사하여 인공배지의 원료로 사용이 가능하였다. 석탄회-점토(FAJC)계 배지는 점토의 첨가량, 열처리 온도와 유지시간이 증가함에 따라 부피비중과 압축강도가 증가하였으나 흡수율과 겉보기 기공률은 감소하였다. 1,150℃에서 10분간 급속가열 처리한 95FA5JC 배지는 물리적 성질이 우수하였으나 가소성을 부여하는 점토의 첨가량 부족으로 성형체의 제작이 곤란하여 인공배지를 제조하기 위하여는 10 wt% 이상의 점토의 첨가가 필요하였다. 1,150℃에서 10분간 급속가열 처리한 90FA10JC10SD 배지는 톱밥이 가연성 발포제로 작용하여 부피비중 1.14, 흡수율 54.4%, 겉보기 기공률 59.6% 및 압축강도 54kgf · cm^{-2}이었으며 240시간 경과후의 pH는 7.1로서 양액재배용 인공배지로의 사용이 가능하였다. 또한, 제조한 ash ball의 자동성형을 위하여 Pan 형 성형기를 이용하여 석탄회를 이용하여 구상화 할 수 있는 성형기술을 개발하여 비점결성인 석탄회의 자동성형기를 제작하여 제조원가 및 인력절감의 효과가 기대되었다.

재배실험에서는 주로 ash ball 개발배지에서의 과채류 적용가능성 탐색하고, 배지특성에 맞는 양액재배기술체계를 확립하기 위해 일련의 실험들을 수행하였다. 주요내용을 요약하여 고찰해 보면 다음과 같다.

1. AB의 진비중, 가비중, 고상, 공극율, 및 포화용수량은 각각 2.3g/cm^3, 0.9g/cm^3, 40%, 60%, 55%로 나타났다.
2. 한국원시표준액으로 침지한 ash ball배지의 pH는 7.5 내외로 rockwool의 7.3과 비슷하게 나타나 약염기성 배지임을 알 수 있었다.

3. Ash ball은 perlite에 비해 보수력은 다소 낮지만 통기성과 수분확산성이 우수하여 양수분제어가 용이한 배지임을 확인할 수 있었다.
4. Ash ball배지경에서 소량급액시 수량은 perlite에 비해 다소 감소하는 경향을 보였으나 당도는 현저히 증가하였으며, 다량급액시에는 perlite에 비해 수량감소가 거의 없는 것으로 나타났다.
5. Ash ball배지에 20% 내외의 입상암면이나 친수성부직포를 바닥에 깔 경우 과실의 생산성이 향상되었고 배액량의 감소로 양액공급의 효율성이 증가되었다.
6. Ash ball배지경에서 소량·다빈도 급액방법은 폐액양을 줄이고 과실의 생산성을 높일 수 있었다.
7. Ash ball배지경에서 수분stress, 염류stress, 농도stress 등 처리를 통해 과실의 당함량을 유의적으로 향상시킬 수 있었다.
8. 배지기간 동안 pH와 EC의 변화는 비교적 안정적으로 나타났다.
9. Ash ball배지경에서 토마토의 적정 배양액 조성 및 농도는 영양생장기 동안에는 N 13.5, P 3.5, K 6.5, Ca 7, Mg 4me/ℓ, 생식생장기 동안에는 N 12.5, P 3.5, K 7.5, Ca 6, Mg 3.5me/ℓ로 나타났다.

이상의 연구결과를 종합해 볼 때 개발된 ash ball배지는 현재 농가에서 많이 사용되고 있는 펄라이트와 비교하여 재배에서 전혀 뒤지지 않는 것으로 나타나 앞으로 대체 배지로서의 가능성을 보여 주었다. 또한 상기의 확립된 기술들은 지도사업에 반영하여 농가 보급을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Development of Ceramic Ash Ball Substrate for Hydroponics

Ⅱ. Objectives and Importance

The purpose of research and development and significance, the development of low cost, environment-oriented, long-life, and multi-pore substrate is the main purpose, using coal fly ash from power plant as by-products.

These substrate can replace high price of imported ones, time reduce the cost of purchasing the substrates, and increase the competence among farmers around the world. Recycling by-products from power plants, also reduce the difficulties of finding dumping place, and solve the environmental problems.

Relative easiness in air, water flow, and draining of substrates can control the water content of substrates during culture of vegetable crops. Also those substrates can permit the growers produce high quality of vegetable fruits using newly developed ash ball substrates.

Ⅲ. Research Scopes and Perspectives

1. Development mass production of hydroponic substrate using coal fly ash

a. The development of optimized condition in composition and heat treatment of ash ball.

b. The establishment of optimized condition for the preparation of ash ball with spherical shape and sintering process.

C. Development of auto-granulate technic using fly ash with non-viscosity

d. Development of the mass production technic of ash ball.

e. The analysis of economical efficiency of ash ball.

2. Development of hydroponic culture system for the growth of tomato using ash ball.

a. Analysis of ash ball as hydroponic substrate

b. Analysis of cultural pattern of tomato in ash ball substrate.

c. Analysis of growth pattern of tomato in ash ball, and ash ball mixed several substrates.

d. Establishment of composition and appropriate concentration of media in ash ball substrate.

e. Development of the method for increasing sugar content in tomato fruits by applying water stress, salt stress, and

the concentration of media.

f. Analysis of application of ash ball substrate to other vegetable fruits.

Ⅳ. Results and Suggestions

Fly ash-clay bodies were sintered at 1,050~1,200℃ and then their properties were determined. It was found that 90FA10JC(fly ash + clay(90:10 wt%) specimen sintered at 1,150℃ for 10 min. had good physical and chemical properties. When this composition was supplement with 10 wt% sawdust, bulk density, water absorption, apparent porosity, compressive strength and pH after 240 hrs curing time were 1.14, 54.4%, 59.6%, 54 kgf · cm^{-2} and 7.1 respectively. The physical properties of fly ash-quick lime-burnt plaster system specimens were superior to FAJC systems. However, this composition are not suitable as a artificial culture media because of its high pH. In this study, it was shown that 90FA10JC10SD(90FA10JC + 10 wt% sawdust) system exhibited the best physical properties.

Concentrated experiments were mainly on the application of ash ball substrate toward vegetable fruits. Researches were to develop the hydroponic culture system which were appropriate to the

characteristics of substrate. Important results are as follows;

1. Particle density, bulk density, solid phase, porosity, and saturation moisture capacity were 2.3g/cm3, 0.9g/cm3, 40%, 60%, and 55%, respectively.
2. The pH of ash ball submerged with nutrient solution of Horticultural Experiment Station in Korean was about 7.5, which are all most same with rockwool as pH 7.3, and this made ash ball weak alkaline.
3. Ash ball showed low water retention power compare to perlite, but air permeability, and water diffusion were good, and these strong points made ash ball as high quality substrate.
4. In yield of tomato fruits, ash ball substrate produced small qualities compare to perlite when applying small amount of media, but no difference in yield were sound when applying large amount of media.
5. In ash ball substrate 20% of rockwool and capillary mat improved tomato yield by improving the efficiency of media supply.
6. In ash ball substrate culture, small amount and frequent supply of media can decrease the used media and fruit yields.
7. In ash ball substrate sugar content can be increased by water stress, salt stress, and stress by adjusting concentration of media.

8. pH and EC were constant during the ash ball culture.
9. In ash ball substrate culture, the optimal composition and concentration of nutrient solution were N 13.5, K 6.5, Ca 7.0, Mg 4.0 me/l in vegetative stage, and N 12.5, P 3.5, K 7.5, Ca 6.0, Mg 3.5 me/l in reproductive stage, respectively.

Compare to perlite substrate which is used by many hydroponic farmers, Ash ball substrate showed almost same quality with perlite, and possibilities of ash ball which can replace perlite. Also results of research and development of ash ball substrate can be applied to hydroponic growers.

대한민국국회도서관장서

CONTENTS

SUMMARY 2

Chapter 1 Introduction

Section 1 Necessities of research 21

Section 2 Object and scopes of research 22

Chapter 2 Characterization and Use of Fly Ash

Section 1 Introduction 25

Section 2 A synopsis of fly ash 25

1. Processing of production of fly ash 25

2. Characterization of fly ash 26

Section 3 Utilization of fly ash 32

1. Recycling Status of fly ash in Korean 32

2. Recycling Status of fly ash in foreign country 34

3. Utilization of fly ash as agricultural materials 34

Chapter 3 Development of Artificial Culture Media

Section 1 Introduction 39

Section 2 Materials and methods 40

1. A kind of artificial culture media(ash ball) 40

2. Preparation of ash ball 42

3. Characterization of raw materials and ash ball 46

Section 3 Results and discussions 49

1. Characterization of raw materials 49

2. Crystallization of ash ball 56
3. Physical properties of ash ball 56
4. Microstructure of ash ball 62
Section 4 Summary 64
Literature cited 65

Chapter 4 Development of Mass Production Technics of Ash Ball

Section 1 Introduction 67
Section 2 Development of auto-granulator 69
1. Design of auto-granulator 69
2. Preparation of auto-granulator 71
3. Development of auto-granulate technics for fly ash 72
Section 3 Development of mass production technics of ash ball 76
1. Process of auto-granulate for fly ash 76
2. Results of mass production technic of ash ball 80
Section 4 Analysis of economical efficiency 83
1. Analysis of cost of production 83
Section 5 Summary 88
Literature cited 89

Chapter 5 Characteristics of Ash Ball for Application in Hydroponics.

Section 1 Introduction 91
Section 2 Materials and methods 92
Section 3 Results and discussions 95
1. Physical and chemical characteristics of ash ball 95

a. Physical characteristics 95
b. Chemical characteristics 101
2. The salt accumulation and effects of washing out salts in ash ball culture 106
a. The salt accumulation and effects of washing out salts with water 106
b. Effects of salt washing by water supply using automated supply system 111
3. Germination rate comparison of cucumber and tomato seeds in the ash ball and perlite substrate extract during culture 112
Section 4 Summary 114
Literature cited 115

Chapter 6 Growth Response of Tomato Plants in Ash Ball Substrate Culture

Section 1 Introduction 117
Section 2 Materials and methods 118
Section 3 Results and discussions 121
1. Drawing of blue-print and production of culture system 121
2. Growth response of tomato plants on various composition of ash ball substrates 125
3. Growth response of tomato plants on different particle size of ash ball substrates 131
4. Growth response of tomato plants on ash ball mixed with rockwool and capillary mat substrate 135
5. Growth response of tomato plants on expanded rice hull and

perlite mixed with ash ball substrste 142
Section 4 Summary 147
Literature cited 149

Chapter 7 Development of Nutrient Solution Suitable for Ash Ball Culture of Tomato

Section 1 Introduction 151
Section 2 Materials and methods 153
Section 3 Results and discussions 155
1. Selection of nutrient solution for ash ball substrate culture of tomato 155
2. Composition and concentration of nutrient solution by characteristics of nutrient uptake in tomato plants 158
Section 4 Summary 167
Literature cited 168

Chapter 8 Development of High Sugar Cultivation System of Tomato in Ash Ball Culture

Section 1 Introduction 171
Section 2 Materials and methods 173
Section 3 Results and discussions 179
1. Development of method for the increase of sugar contents by water stress 179
a. Effects of the degree of water stress on the increase of sugar content of tomato fruits 179
b. Effects of water stress on the sugars, organic acids, ascorbic acids and nitrogen contents of tomato fruit 183

2. Development of method for the increase of sugar contents by salt stress 195
3. Development of method for the increase of sugar contents by concentration of nutrient solution 199
4. The increase of sugar contents and quality by water stress, and construction and characterization of cDNA library in tomato plant for the cloning of sugar metabolism-related genes 204
Section 4 Summary 210
Literature cited 211

Chapter 9 Search for of the Possible Application of Ash Ball to Other Vegetable Fruits

Section 1 Introduction 215
Section 2 Materials and methods 217
Section 3 Results and discussions 219
1. Growth and the increase in sugar content of musk melon fruits by ash ball substrate culture 219
2. Effects of water stress during fruit ripening stage on growth and sugar content of musk melon fruits 224
Section 4 Summary 230
Literature cited 231

목　　차

요 약 문 2

제1장 서　론

제1절 연구개발의 필요성 21

제2절 연구개발의 목적과 범위 22

제2장 석탄회의 특성 및 이용현황

제1절 서　설 25

제2절 석탄회 개요 25

1. 석탄회 발생과정 25

2. 석탄회의 특성 26

제3절 석탄회 이용현황 32

1. 국내 석탄회 재활용 현황 32

2. 외국의 석탄회 재활용 현황 34

3. 석탄회의 농업용 재료이용 34

제3장 석탄회를 이용한 인공배지 개발

제1절 서　설 39

제2절 재료 및 방법 40

1. 인공배지(ash ball)의 종류 40

2. Ash ball 조제 42

3. 원료 및 ash ball배지의 특성분석 46
제3절 결과 및 고찰 49
1. 배지원료의 특성 49
2. 조성과 열처리조건에 따른 ash ball의 결정상 56
3. 조성과 열처리조건에 따른 ash ball의 물리적 특성 56
4. 조성과 열처리조건에 따른 ash ball의 미세구조 62
제4절 결 과 요 약 64
인 용 문 헌 65

제4장 석탄회를 이용한 인공배지의 양산화기술 개발

제1절 서 설 67
제2절 자동구형성형기술 개발 69
1. 자동구형성형기 설계 69
2. 석탄회용 자동구형성형기 제작 71
3. 석탄회 구형화를 위한 자동성형 공정기술 개발 72
제3절 Ash ball 양산화기술 개발 76
1. 석탄회 구형양산화 공정 76
2. 양산화 실험결과 80
제4절 경제성 분석 83
1. 생산원가 분석 83
제5절 결 과 요 약 88
인 용 문 헌 89

제5장 양액재배용 배지로서 ash ball의 특성

제1절 서 설 91

제2절 재료 및 방법 92
제3절 결과 및 고찰 95
1. 배지의 이화학적 특성 95
가. 물리적 특성 95
나. 화학적 특성 101
2. 사용배지의 염류집적 및 세척효과 106
가. 수세에 의한 염류제거효과 106
나. 양액 자동제어시스템의 원수공급에 의한 염류제거효과 111
3. 재배과정 중 채취한 배지시료에서 생장억제물질 검정을 위한 토마토와 오이의 발아실험 112
제4절 결 과 요 약 114
인 용 문 헌 115

제6장 Ash ball 배지경에서 토마토의 생육반응

제1절 서 설 117
제2절 재료 및 방법 118
제3절 결과 및 고찰 121
1. 재배시스템의 설계 및 제작 121
2. Ash ball 배지종류별 토마토 생육반응 125
3. Ash ball 배지입도별 토마토 생육반응 131
4. Ash ball에 암면과 친수성부직포를 첨가한 혼합배지에서의 토마토 생육 반응 135
5. 팽연화왕겨와 펄라이트에 ash ball을 첨가한 혼합배지에서의 토마토 생육 반응 142
제4절 결 과 요 약 147

인 용 문 헌 149

제7장 Ash ball 배지경에 적합한 토마토 배양액 개발

제1절 서 설 151
제2절 재료 및 방법 153
제3절 결과 및 고찰 155
1. Ash ball배지경에 적합한 배양액 선발 155
2. 토마토의 양분흡수특성에 의한 배양액조성 및 농도 158
제4절 결 과 요 약 167
인 용 문 헌 168

제8장 Ash ball배지경에서 고당도 토마토 재배기술 개발

제1절 서 설 171
제2절 재료 및 방법 173
제3절 결과 및 고찰 179
1. 수분stress에 의한 토마토 당증진 방법 모색 179
가. 수분stress 부여정도가 과실의 당함량증진에 미치는 영향 179
나. 수분stress가 당, 산, 비타민C 및 과실내 질소함량에 미치는 영향 ... 183
2. 염류stress에 의한 토마토 당증진 방법 모색 195
3. 배양액농도에 의한 토마토 당증진 방법 모색 199
4. 수분stress에 의한 토마토 당증진과 당대사 관련 유전자를 cloning 하기 위한 cDNA Library의 제작 및 분석 204
제4절 결 과 요 약 210
인 용 문 헌 211

제9장 Ash ball 배지경에서 토마토외 타 과채류 적용가능성 탐색

제1절 서 설 215

제2절 재료 및 방법 217

제3절 결과 및 고찰 219

1. Ash ball경에서 멜론의 과실발달과 당증진 효과 219

2. 과실성숙기 수분stress에 따른 멜론의 과실발달과 당함량변화 224

제4절 결 과 요 약 230

인 용 문 헌 231

제1장 서 론

제1절 연구개발의 필요성

제2절 연구개발의 목적과 범우

제 1 장 서 론

제1절 연구개발의 필요성

최근 시설재배시 연작에 의한 염류집적, 토양 병해충의 점증 등으로 양액재배에 대한 농민의 욕구는 매우 높으나, 많은 시설비와 배양액 관리기술의 어려움 등으로 농가보급이 부진한 실정이다. 또한 기존배지는 수입에 많이 의존하기 때문에 외화 지출이 많고 생산비를 높이는 하나의 요인이 되고 있기 때문에 저렴한 가격의 국산화배지를 개발할 필요가 있다.

화력발전소에서 다량의 석탄회가 산업 폐자원으로서 배출되나, 일부 공업적인 목적으로 사용될 뿐, 폐 석탄재를 토양개량제로서 이용한 예를 제외하고는 농업분야에 이용을 시도한 예는 거의 없다. 따라서 산업부산물로 산적하여 폐기처분에 곤란을 겪는 화력발전소 폐석탄회를 사용하고 저코스트 제조기술 및 대량생산기술을 개발하여 저렴한 가격의 배지를 국산화할 필요가 있다. 석탄회는 비점결성인 성질을 갖고 있어 성형이 매우 어려워 자동적으로 성형화 할 수 있는 성형화기술 개발과 자동으로 양산화 할 수 있는 양산화기술 개발이 필요하다.

Rockwool을 비롯하여 기존의 배지는 배지내 수분조절이 쉽지 않아 당도를 중요시하는 토마토, 멜론, 딸기 등 과채류의 품질향상이 어려워 수분조절이 용이한 배지의 개발이 필요하다.

제2절 연구개발의 목적과 범위

화력발전소에서 다량 발생하는 산업폐기물인 석탄회를 활용하여 최적의 합성조건과 자동성형 및 소결공정 기술개발을 통해 저렴하고 환경친화적이며 반영구적인 다공질의 국산화배지를 개발하고자 하는 것이 주된 목적이다. 이는 고가의 수입배지를 사용하고있는 농가의 부담을 줄이고 저렴한 생산체계의 확립으로 농산물의 국제경쟁력을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 산업폐기물의 활용으로 매립용지 확보의 어려움과 환경문제의 해결에도 도움이 될 것으로 전망된다. 아울러 통기성과 수분확산성 및 배수성이 우수한 개발배지의 특성을 고려하여 배지내 수분을 작물의 생육상태에 따라 임의로 조절할 수 있는 재배방법을 제시함으로써 개발배지를 이용한 과채류의 고품질생산이 가능할 것으로 생각된다.

1. 석탄회를 이용한 양액재배용 배지개발
   - 최적합성조건 확립
   - 최적제조공정 확립

     구상화를 위한 자동성형 고정기술 개발,

     반습식 성형으로 건조공정 없이소성 할 수 있는 기술개발,

     석탄회 배지의 물리적 및 기계적 성질 특성평가.
2. 환경친화형 양액배지의 개발
   - 반영구적이고 환경친화적인 배지개발
   - 화력발전소에서 다량 발생하는 폐석탄회를 재활용
   - 현재 고형배지로 주로 이용되고 있는 암면이나 펄라이트보다 가격이 저렴한 점을 충분히 살릴 수 있는 저코스트의 재배시스템 구축

3. 작물재배가 용이한 배지의 개발

- 물리적으로 보수력, 통기성 및 뿌리발달이 좋은 배지개발
- 화학적으로 안정되고 수분조절이 용이한 배지 개발

4. 제조공정을 단순화하고 폐석탄회를 활용하여 경쟁력이 있는 저렴한 배지 생산체계 확립

5. 개발된 배지를 활용한 토마토용 양액재배 시스템 개발

- 재배시스템 설계 및 제작
- 개발배지에서의 토마토 생육특성
- Ash ball을 기본으로 한 몇몇 첨가배지에서의 토마토 생육특성
- 적정 배양액 조성 및 최적 농도 조건 구명
- 고당도 토마토 생산 가능성 탐색

6. 개발된 배지를 활용한 고당도 토마토 생산기술개발 및 타 과채류 적용가능성 탐색

- 수분stress정도에 의한 토마토 당증진방법 모색
- 염류stress에 의한 토마토 당증진방법 모색
- 배양액농도에 의한 토마토 당증진방법 모색
- 수분stress에 의한 토마토 당증진과 당대사 관련 유전자를 cloning 하기 위한 cDNA Library의 제작 및 분석
- Ash ball배지의 토마토외 타 과채류 적용가능성 탐색

제2장 석탄회의 특성 및 이용현황

제1절 서 설

제2절 석탄회 개요

제3절 석탄회 이용현황

제 2 장 석탄회의 특성 및 이용 현황

제1절 서 설

전력수급의 필요에 따라 석탄화력발전소가 증가되어 많은 양의 석탄회가 발생되고 있으나, 현재 약 18%정도만이 시멘트 원료, 레미콘 혼화재 등으로 재활용되고 있고 나머지 석탄회는 매립하고 있다(Song, 1996). 석탄화력은 중요한 전력원으로 비중이 확대되고 있어 석탄회의 발생량도 증가할 것으로 예상되어 석탄회 재활용을 촉진하기 위해 석탄회 처리 종합대책을 수립하여 석탄회 정제공장을 건설하는 등 본격적인 석탄회 재활용을 추진하기 시작하였며 정부에서도 국가자원의 유효이용을 위해 '자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법'을 제정하여 적극적으로 재활용을 독려하고 있다.

최근 환경에 대한 사회적 관심은 그 어느 때보다도 고조되어 있고, 전원입지문제 뿐만 아니라 전력사업과 환경보전 차원에서도 석탄회 재활용 확대는 매우 중요한 현안 문제로 대두되고 있는 실정이다.

제2절 석탄회 개요

1. 석탄회 발생과정

석탄화력발전소에서는 석탄을 미분기로 분해(200 mesh체 70~80%통과)하여 뜨거운 공기기류와 함께 고속으로 로내로 주입되어 석탄에 함유된 대부분의 광물질의 용융점 이상인 1,500±200℃ 온도 범위에서 부유상태로 순간적으로 연소된다(Oh, 1998)1. 국내탄(무연탄)의 경우 30~50%, 석탄(유연탄)은

10~15% 정도의 회분을 함유하고 있어 이것이 보일러 내에서 연소 후 석탄회로 되며, 석탄회는 연소온도, 탄종, 분쇄도, 체류시간에 따라 여러 가지 물리·화학적인 성질이 변화된다(Oh, 1998)1.

미세한 분말상태로 미분탄은 연소되어 배연가스와 함께 보일러에서 배출되어 집진기 하부에서 포집되는 것을 비산재(fly ash, 75~90%)라 하고, 보일러 하부로 낙하되는 괴상 또는 입자가 큰 회를 바닥재(bottom ash, 10~25%)라 한다(Song 등, 1996). 바닥재는 분쇄기로 분쇄하여 비산재와 같이 혼합되어 해수(영월화력의 경우는 담수)에 의해 회처리장으로 이송 후 매립된다(Oh, 1998)1. 석탄회의 성분은 회분과 일부 미연탄소분(4~20%)으로 연도별, 발전소별 석탄회 발생량을 Table 2.1에 보인다(Oh, 1998)1.

2. 석탄회의 특성

가. 물리적 특성

1) 입자형성과 입도

석탄회는 다공성 구형입자, 단단한 구형입자 및 부정형 입자의 혼합물이며 다공성 구형입자는 가벼워 물위에 뜨는데 이를 cenosphere라 부르며 석탄회 발생량의 약 2%정도이다(Song 등, 1996). 무연탄회는 입경이 크고 입자표면이 매끄러운 반면, 유연탄회는 미세하지만 표면이 거칠다. 석탄회 입자는 구상으로 다른 포졸란에서 볼 수 없는 특성을 갖고 있어 시멘트에 혼화시 ball beaning작용을 하여 콘크리트의 유동성을 증가시키고 골재 사이의 공극을 치밀하게 충전시켜 콘크리트 충전제로 사용되고 있다(Oh, 1998)1. 석탄회의 입자 크기는 탄종이나 분쇄도에 따라 다양하나, 보통 1.0~150μm정도이며 평균입경은 약 20~30μm로서 시멘트의 입경과 비슷하다(Oh, 1998)1. 바닥재는 0.5~6mm로서 모래나 잔 자갈 범주에 속한다. 일반적으로 칼슘의 함량이 다량인 석탄회가 소량인 것에 비해 입자가 작고 알칼리 함량이 많다.

Table 2.1. 석탄회 발생 추이 (단위 : 천톤)

발전소 \ 연도		1994	1995	1996	2000	2005	비 고
국내탄화력	서 천	402	368	404	413	430	
	영 동	154	226	239	4	6	
	영 월	192	204	229	-	-	
	무 산	55	73	60	-	-	
	군 산	44	38	39	-	-	
	동 해	-	-	-	609	589	
	소 계	847	909	971	1,026	1,026	
석탄화력	보 령	813	829	874	748	803	
	삼 천 포	602	659	699	641	628	
	호 남	149	123	185	141	129	
	태 안	-	165	385	529	800	
	하 동	-	-	13	784	827	
	당 진	-	-	-	493	550	
	영 흥 도	-	-	-	-	880	
	신규화력	-	-	-	-	70	
	소 계	1,623	1,775	2,156	3,390	4,687	
		2,475	2,684	3,127	4,419	5,713	

2) 색상

회백색의 것이 많으나 담황색으로부터 암갈색에 이르기까지 다양하고 탄소, 철분, 수분의 함량에 따라 다양하며, 미연탄소분이 많아 흑색을 나타내어도 포졸란 활성에는 영향이 없다(Oh, 1998)1.

3) 비중과 부피 밀도

석탄회의 비중은 1.9~2.3으로서 아역청탄의 경우 1.9정도, 철분의 함량이 많은 역청탄은 2.96정도이다(Shin, 1995). 시멘트 비중의 약 2/3정도에 해당된다. 석탄회 처리 설비 설계시 고려해야할 석탄회의 밀도를 Table 2.2에 보인다(Oh, 1998)1.

Table 2.2. 석탄회의 밀도

구 분	밀 도(Kg/m^3)	비 고
Fly Ash Bulk Density		
- Hot	465 ~ 774	
- Cold	1,394	
- Subbituminous Coal Ash	1,007 ~ 1,317	
- Bituminous Coal Ash	929 ~ 1,084	
Dry Bottom Ash Bulk Density	620 ~697	
Bottom Ash Hopper Design	852	
Pyrite(FeS_2)	2,091	

일반적으로 석탄회 저장소 설계시 비중은 0.8을 적용함

4) 분말도

석탄회의 분말도는 SiO_2의 함유량과 함께 포졸란 활성을 지배하는 중요한 인자이며 콘크리트의 작업성에 큰 영향을 미친다(Oh, 1998)1. 분말도 측정은 체(Sieve)에 의한 방법과 비표면적 측정방법(Blaine, Particle-size-analysis, Brunauer-Emmet-Teller)등이 있으며 체에 의한 방법은 보통 200 mesh(88 ㎛)와 325 mesh(44 ㎛)통과분으로 측정한다(Oh, 1998)1. 분말도는 비표면적값이 크거나 44 ㎛의 잔량이 적을수록 높아지므로 미세할수록 콘크리트의 수밀성이 좋아지며 작업성이 향상된다. 전기 집진기에서 포집되는

석탄회의 분말도는 보통 3,000 ㎠/g 전후로서 시멘트와 비슷하다(Song 등, 1996).

나. 화학적 특성

석탄회의 화학성분은 회분의 종류에 따라 상이하며, 일반적인 석탄회의 화학성분은 Table 2.3에 보이며 화학성분에 따른 영향은 다음과 같다(Oh, 1998)1.

Table 2.3. '95년도 석탄회 성분 (범위 및 평균치)

구 분	국내탄(무연탄)	석탄(유연탄)	비 고
SiO_2	50.5-56.5(52.6)	46.7-69.3(59.9)	
Al_2O_3	30.7-348(33.4)	18.7-24.8(23.3)	
Fe_2O_3	4.3-5.9(4.6)	3.6-9.5(7.3)	
CaO	0.5-1.2(0.7)	1.0-16.0(3.6)	
MgO	0.6-1.0(0.7)	0.5-2.2(1.1)	
Na_2O	0.4-0.8(0.6)	0.1-0.7(0.5)	
K_2O	3.5-5.1(4.5)	0.4-1.3(0.8)	
SO_3	0.1-0.8(0.3)	0.8-3.2(1.7)	
TiO_2	1.2-1.4(1.3)	0.6-1.3(1.0)	
기타	1.3-1.7(1.5)	0.5-1.5(1.1)	

1) 실리카(SiO_2)+알루미나(Al_2O_3)+산화제이철(Fe_2O_3)

석탄회 중의 가용성 SiO_2는 시멘트 수화시 생성되는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)과 상온에서 서서히 화합하여 불용성의 안정된 규산칼슘($CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$)을 생성시켜 장기 압축강도를 증가시킨다(Oh, 1998)1. 클링커 반응은 융제(Al_2O_3, Fe_2O_3)가 없으면 고온에서 서서히 진행되므로 융제는 제조 공정상 필수적인 성분이며, Al_2O_3보다 Fe_2O_3가 융제로서 더 유효하다. KS

및 ASTM에서는 석탄회 중 상기 3가지 성분 함유량 최저치를 70%로 규정하고 있다(Oh, 1998)l.

2) 산화마그네슘(MgO)

산화마그네슘은 콘크리트 내에서 반응하여 수산화마그네슘[$Mg(OH)_2$]이 생성되어 팽창을 일으키므로 KS와 ASTM에서 5%이하로 규제하고 있다(Oh, 1998)l. 수산화마그네슘은 진행속도가 느려도 산화마그네슘보다 체적이 증가하여 균열을 일으킨다.

3) 황산염(SO_4)

석탄회로부터 생성되는 황산염(NA_2SO_4 $10H_2O$ 혹은 $Ca_2SO_4 \cdot 31H_2O$)이 다량 함유되어 있으면 생성물질은 반응물 보다 체적이 증가하여 팽창과 균열을 일으키므로 KS에서는 5%이하로 규제하고 있다(Oh, 1998)l.

4) 알칼리(Na_2O, K_2O)

골재 중의 반응성 규소(Si) 성분은 알칼리와 반응하여 골재의 팽창을 일으켜 균열의 원인이 되므로 KS에서는 5%이하(Na_2 O_3 로 환산)로 규제하고 있다(Oh, 1998)l.

5) 강열감량(Loss on Ignition, LOI)

강열감량은 대부분이 미연탄소량에 의한 것으로 강열감량과 미연탄소량이란 같은 뜻으로 사용한다. 석탄회 중 미연탄소는 특히 콘크리트 내에서 공기연행제(AE제)를 흡착하므로 더 많은 양의 AE제가 필요하다(Oh, 1998)l. 동일한 공기량에서 석탄회 중에 미연 탄소량이 많으면 강도가 감소하게 된다. 따라서, KS에서는 6% 이하로 규정하고 있으나, 미연탄소는 레미콘에 사용할 때 3%이하인 경우에는 큰 문제가 없다. 발전소별 석탄회중 미연탄소

분석결과를 Table 2.4에 보인다(Oh, 1998)].

Table 2.4. 발전소별 석탄회중 미연탄소 분석결과 (1995년도 평균)

구분	발전소명	호기	Fly Ash중 미연탄소(%)		Bottom Ash중 미연탄소(%)		비고
			호기별	평균	호기별	평균	
국내탄 (무연탄) 화력	부 산	#1	27.28	27.64	10.97	10.08	
		#2	28.00		11.19		
	영 월	#1	11.93	12.01	2.16	2.16	
		#2	12.08		2.15		
	영 동	#1	8.54	8.24	7.67	7.50	
		#2	7.93		7.32		
	군 산	#1	4.59	-	25.6	-	
	서 천	#1	14.65	12.47	17.98	17.25	
		#2	10.28		16.52		
	국내탄 평균		12.99	-	12.52	-	
석탄 (유연탄) 화력	보 령	#1	3.89	3.95	2.61	5.84	
		#2	4.07		2.77		
		#3	3.52		6.94		
		#4	4.56		8.08		
		#5	3.84		6.87		
		#6	3.98		7.83		
	삼천포	#1	8.16	5.83	12.29	9.55	
		#2	7.41		9.80		
		#3	3.77		7.68		
		#4	3.98		8.41		
	호남	#1	3.77	3.94	0.64	0.70	
		#2	4.10		0.75		
	태안	#1	5.28	4.72	23.40	21.60	
		#2	4.15		19.80		
	석탄 평균		4.61	-	9.42	-	
전체 평균			8.80	-	10.97	-	

제3절 석탄회 이용현황

1. 국내 석탄회 재활용 현황

Table 2.5와 같이 석탄회는 이용분야가 많은 자원임에도 '95년도 재활용률(Table 2.6 참조)은 18.3%인 49만톤에 불과해 선진국과 비교하여 매우 낮음을 알 수 있으며, 용도별 석탄회 재활용 실적을 Table 2.7에 보인다(Oh, 1998)1.

Table 2.5. 석탄회 이용분야

분야	용 도	활 용 기 술
시멘트분야	-시멘트 원료	-시멘트원료 중 점토 대용으로 원료량의 4~5% 대체
	-시멘트 혼화재	-포틀랜트 시멘트에 5%이하 혼화 가능
	-석탄회시멘트 혼화재	-종류에 따라 5~30% 혼화 가능
	-레미콘 혼화재	-일반 레미톤혼화재로 약10% 혼화 가능, 매스콘크리트는 20~39% 혼화 가능
건축분야	-인공경량 골재	-자갈대용으로 사용, 고층 건축물의 경량화 가능
	-기와, 세라믹	-점토 대용으로 사용
	-기포콘크리트	-기포콘크리트 사용시 단열 우수
	-시멘트2차 제품	-블록, 휨관, 전주, 근가 등 제조
토목분야	-아스팔트필러	-아스팔트 안정화와 골재 틈새 채움재
	-로반재	-시멘트 안정처리 로반, 석회 안정 노반 대체
	-로상재	-한랭 억제 또는 열약지반 도로용 토사 대체
	-매립, 성토용	-간척사업, 육상 저습지 매립 또는 성토 매립
	-충진재	-탄광, 갱내 충전재로 사용
	-Grout 공사	-터널 매립, 볼링구멍 매립재 사용
농수산분야	-비료	-규산비료 원료
	-Compost	-석탄회를 단독 또는 유기폐기물과 혼합하여 토양개량재 이용
	-인공어초	-석탄회를 수지, 모래와 함께 성형 또는 탈황석고, 시멘트 등으로 경화

Table 2.6. 발전소별 석탄회 재활용 현황(1995년도)

발전소		석탄회발생량 (천톤)	석탄회발생율 (%)	재활용량 (천톤)	재활용률 (%)	비 고
국내탄	서천	368	36.6	10	2.8	
	영동	226	31.4	4	1.6	
	영월	204	49.8	225	100	
	부산	73	43.7	23	31.6	
	군산	38	29.9	-	-	
	소계	909	37.4	262	28.8	
석탄	보령	829	10.6	228	27.5	
	삼천포	658	11.2	0.1	00.2	
	호남	123	9.8	-	-	
	태안	165	13.4	1	0.4	
	소계	1,775	11.0	229	12.9	
합계		2,684	14.4	491	18.3	

Table 2.7. 용도별 재활용 실적(1995년도)

용도별	레미콘 혼화재	시멘트 원료	골재	벽돌	기타	계
재활용량(천톤)	231	222	18	16	4	491
점유율(%)	47	45	4	3	1	100

2. 외국의 재활용 현황

구미 및 일본에서는 30여년 이상 계속적인 석탄회 이용기술의 연구개발로 각종 산업분야에 이용되고 있으며, 외국의 석탄회 재활용 현황을 Table 2.8에 보인다(Oh, 1998)1.

Table 2.8. 외국의 석탄회 재활용 현황

국 가	석탄회발생량 (kt/year)	재활용량 (kt/year)	재활용률 (%)	연 도
오스트레일리아	7,900	800	10	1990
벨 기 에	1,090	795	73	1989
카 나 다	5,250	1,575	30	1987
프 랑 스	2,605	1,300	50	1987
독 일	11,600	6,465	56	1989
이탈리아	1,435	900	63	1988
일 본	3,925	1,920	49	1989
영 국	12,540	6,120	49	1989
미 국	65,190	15,895	24	1989
중 국	62,500	16,200	26	1989

3. 석탄회의 농업용 재료 이용

석탄회는 시멘트 및 콘크리트 혼합제, 도로 충전제, 도자기 첨가제, 하수처리 흡착제, 경량골재원료 등 공업적으로 다양하게 이용되고 있으며 농업적으로는 토양개량제 비료원료 물질로 이용되며 이용되는 양은 10~20%에 지나지 않아 나머지는 발전소 인근에 매몰하고 있는 실정이다(Shin, 1995). 석탄회 초목회와 같이 식물체에서 유래된 재이므로 각종 광물질 성분이 고루 들어 있다(Shin, 1995). 석탄회의 화학성분은 석탄의 종류, 질, 입도, 연소특

성에 따라 차이가 있으며 규소와 알미늄 성분이 80% 이상을 점유하고 있어 규산염 광물(aluminosilicate minerals)과 유사한 특성을 보여주고 있다(Oh, 1998)l. 석탄회 중에는 Ca, Mg, K, Na 등 양이온과 Fe, S 등의 원소 등이 다량으로 함유되어 있어 이들 함유성분 함량비에 따라 석탄회를 분류하기도 한다(Song 등, 1996). 석탄회의 주성분은 sialic성분(Si, Al, Ti), caleic(Ca, Mg, Na, K) 및 ferric(Fe, S)으로 3구분되어 실용적 이용에 유리한 판단 기준이 된다(Shin, 1995). Sialic군은 Si, Al, Ti 성분합계가 88% 이상으로 대부분의 석탄회가 이 군에 속하며, ferric군은 Fe의 함량이 10% 이상인 석탄회로서 탄 중에 pyrite(FeS_2) 함량에 기인되어 Fe의 함량이 높다(Shin, 1995).

석탄회는 식물체의 재이므로 초목회와 같이 K성분이 함유되어 있다. 특히, 무연탄회 중에는 K 함량이 많이 들어 있으나 일반 초목회 성분과는 달리 쉽게 물에 녹지 않는 난용성 성분인 것으로 알려져 있다(Shin, 1995). 전체 K함량에 비하여 수용성 및 난용성 K함량이 매우 낮으며 생성시 온도가 1,600℃까지 상승하게 되므로 석탄회가 유동상(fluid)으로 존재할 때 K성분은 Si 또는 Si + Al과 결합 난용성 K염으로 전환된다. 석탄회의 광물조성은 뮬라이트($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)와 석영(α-SiO_2)으로 석탄회와 토양 중에 함유된 성분과 유사하다(Shin, 1995).

석탄회의 농업적 연구는 토양개량제로 토양에 직접 사용하는 방법과 이를 가공 처리하여 비료로 이용하며 농경지에 직접 사용은 석탄회를 매립한 곳에서 식물생육이 가능함을 발견하면서 비롯되었다(Shib, 1995). 각국에서 석탄회는 대부분 쉽게 처리할 수 있는 발전소 인근에 매립하고 있다(Oh, 1998)l. 이는 석탄회의 처리를 손쉽게 하는 방법이나, ash pond 조성비가 막대하게 소요될 뿐 아니라 유출수에 의한 해양오염 문제가 뒤따르게 된다(Shin, 1995). 따라서, 이와 같은 폐기방법보다 비용이 덜들고 환경에 영향을 주지

않는 합리적인 석탄회의 이용방법이 요구된다. 또한 석탄회의 대량처리는 채탄지의 경우로 석탄을 채굴한 지역은 토양이 산성이고 척박하여 식생이 빈약하여 폐허로 변화한 곳에 알칼리회를 처리하면서 토양이 개량되어 식생이 회복된다(Shin, 1995). 이와 같은 지역에서의 석탄회의 사용량은 농경지에 사용하는 양에 비하여 대량으로 시용할 석탄회의 pH, 풍화정도(안정도) 및 토양의 pH에 따라 그 양이 결정된다. 이와 같이 풍화되지 않은 석탄회를 대량으로 토양에 처리할 경우는 Ca, Mg, Na, K 등 이용성 염류의 일시방출로 토양용액이 과포화 되어 식물의 초기 생육이 억제되고 식물에 흡수 및 토양흡착이 안된 과잉염류의 표면수 및 지하수 오염과 이들 염류에 의한 생태계 파괴가 심각한 문제로 대두되고 있다(Shin, 1995). 매립지에서 식물생육을 조장하기 위해서는 10cm 내외의 복토로 과잉염류의 흡수를 억제할 수 있어 바람직한 것으로 되어 있다.

바로 집진한 숙성되지 않은 회(Unweathered ash)를 매립한 지역에서는 이용성 성분이 용출되어 안정화 될 때까지 생물이 잘 자라지 못하며 시간이 지나감에 따라 물에 의한 과잉염류가 용출되고 pH가 높은 회는 점차 낮아져 식물군락이 형성되기 시작한다. 영국의 경우 매립지에서 최초의 자생식물은 이끼류(Funaria Hygrometrica와 Atriplex Hestata)로 이들 식생의 정착으로 석탄회가 바람에 날리는 것을 막아준다(Shin, 1995).

네널란드의 경우 매립지에서의 지렁이 생육상을 보면 pH에 따라 치사율과 생식에 미치는 영향이 큼을 알 수 있다. 석탄회의 사용 당년 풍화되지 않은 경우 pH는 11.1으로 높아 생육이 부진하였으며 3~4년 후에 10, 4~5년 후 8, 15~18년에 중성에 이르게 되어 정상적인 생육이 가능하였으나, 알칼리 회의 매립시 안정화에는 장시간이 소모된다(Shin, 1995). 이와 같이 석탄회의 안정화에 이르는 기간은 석탄회의 종류, 기상조건 및 매립지 지형, 식생 등에 영향을 받으며 물의 이동이 정상적인 경우 2~3년 후에 숙성회로 변화한다. 숙

성화된 회는 사용 후 바로 식물을 재배할 수 있다. 미국의 산성 채탄지에서는 pH 4.4~5.0에서는 70톤/ha의 석탄회를 pH가 2.0~3.5에서 335~1,790톤/ha의 석탄회를 사용하여 식생을 회복할 수 있었다(Shin, 1995). 이같이 채탄지는 석탄이 남아있게 되고 특히 Pyrite 함량이 높은 경우 석탄 채탄지는 Fe 및 S의 영향을 받아 pH가 낮게 된다. 이와 같은 생육부진 및 수량감소는 회중의 철수원소 및 중금속의 과잉 흡수에 기인될 수 있다. 석탄회의 직접 사용은 토양개량제로 사용시 효과적이며 기타 폐수처리 슬러지, 인광석, 석회물질, 톱밥 등 유기물질과 혼용하여도 효과적이다(Yoo 등, 2000).

석탄회의 가공처리 이용 방안으로서는 회를 이용한 규산칼리 비료를 들 수 있다(Shin, 1995). 일본에서는 40,000톤/년 생산되어 유통되고 있으며 우리 나라에서도 규산칼리 비료의 개발이 이루어져 실용단계에 이르렀다. 규산칼리 비료 제조는 석탄회를 주원료로 하여 융제로서 KOH, K_2CO_3, $Mg(OH)_2$ 및 무연탄 등을 혼합하여 700~800℃에서 45~60분 소성하여 K성분의 지효화를 기할 수 있게 된 비료이다(Shin, 1995). 석탄회 중 불용성 K성분은 가용성 K로 변하고 수용성 K인 염화칼리는 지효성 성분으로 전화되어 수용성 K 6% 내외, 난용성 K 21~23% 1/2N-HCl 가용성 K함량은 23%로 속효성 성분과 지효성 성분이 합리적으로 배합된 비료로서 기타 가용성 규산 성분이 13~16%, 가용성 MgO 성분이 2% 내외로서 좋은 특성을 지닌 규산칼리 비료이다(Shin, 1995).

제3장 석탄회를 이용한 인공배지 개발

제1절 서 설

제2절 재료 및 방법

제3절 결과 및 고찰

1. 배지원료의 특성

2. 조성과 열처리조건에 따른 ash ball의 결정상

3. 조성과 열처리조건에 따른.ash ball의 물리적 특성

4. 조성과 열처리조건에 따른 ash ball의 미세구조

제5절 결 과 요약

제 3 장 석탄회를 이용한 인공배지 개발

제1절 서 설

석탄화력발전소에서 석탄을 미분쇄기로 분쇄한 후, 고속으로 분무되어 로내로 주입되면 석탄에 함유된 광물질들은 1,400~1,500℃의 온도에서 부유상태로 단시간에 연소된다(Black 등, 1992). 이때 고온에서 연소하고 남은 부산물로서 원탄의 약 15~45%가 1~150 μm정도의 미분말로 집진기에 의하여 포집된 재를 석탄회(fly ash)라고 한다. 국내에서 석탄회는 현재 연간 300만톤정도 생산되며 지속적인 에너지 공급요구에 따른 석탄화력발전소의 건설로 인하여 2,005년에는 약 600만톤에 이를 것으로 추정된다(Oh, 1998)1. 석탄회는 폐기물관리법 중 일반 폐기물로 분류되어 현재 대부분의 석탄회는 매립되고 있는 실정이나 매립에 필요한 입지확보의 어려움과 부적절한 처리로 인하여 환경보호 차원에서 많은 문제를 발생하고 있다.

선진국에서는 석탄회의 재활용율이 30~50%로서 시멘트분야, 골재, 토목, 건축자재 등에 광범위하게 재활용되고 있다(Oh, 1998)1. 현재 석탄회를 이용한 재료로서는 부피비중이 0.10~0.13 g/cm^{3}인 내열보온재로, 0.5^3~1.0 g/cm^{3}인 규산칼슘계 건축재료가 주류를 이루고 있으며, 최근에는 규산질비료원료, 토양개량재, 인공어초 및 양액재배용 배지 등 농·수산업분야에 재활용을 위한 연구가 일본 등에서 활발하게 진행되고 있다(Shin, 1995). 반면, 국내의 경우 재활용율이 10%정도로 매우 미비한 상태로서 석탄회의 재활용에 관한 연구가 절실히 요구되고 있다.

석탄회는 초목회와 같이 식물체로부터 유래되어 각종 광물질 성분을 고루 함유하고 있다(shin, 1995). 석탄회의 화학적 조성은 석탄의 종류, 질, 입도

및 연소특성에 의하여 결정되며 Si와 Al성분을 약 80%이상 함유하여 규산염(aluminosilicate)광물과 유사한 특성을 나타내며 Ca, Mg, K 및 Na 등의 양이온과 Fe와 S을 함유하고 있다(Shin, 1995). 농업분야에서의 석탄회의 이용은 석탄회를 매립한 토양에서 식물의 생육이 가능하고 석탄을 채굴한 지역의 산성토양에 알칼리회를 처리하면 토양이 개량되어 식물의 식생이 회복됨을 발견하면서 연구가 진행되었다. 석탄회의 농업분야에서의 주된 이용은 토양개량재로 토양에 직접 사용하는 방법과 이를 가공 처리하여 비료나 양액배지용 소재로서 이용하는 방법이 있다. 이 중, 양액재배용 인공배지로서 석탄회를 이용하기 위하여는 높은 기공률과 흡수율 및 압축강도가 요구되나, 비가소성인 석탄회의 성형성이 매우 불량하여 석탄회의 응용에는 큰 제한이 있다(Bacher 등, 1998). 미처리 석탄회를 소재 원료로 사용하기 위하여는 점토의 15%까지 대체가 가능하며 선별 처리된 석탄회의 경우에는 40%까지 대체가 가능하다(Baweja 등, 1988).

따라서, 본 연구에서는 기공률과 흡수율 및 압축강도가 우수한 양액재배용 인공배지를 제조하기 위하여 가소성이 나쁜 석탄회에 점토, 소석회 및 석고, 톱밥 및 전분을 첨가하여 석탄회-점토계, 석탄회-점토-혼합재(톱밥 및 전분)계 및 석탄회-소석회-석고계 인공배지를 제조하여 점토, 소석회 및 석고 및 혼합재의 첨가와 열처리 조건에 따른 물리·화학적 특성을 조사하고자 하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 인공배지(Ash ball)의 종류

가. 석탄회-점토계 인공배지

석탄회는 주성분이 Al_2O_3와 SiO_2이며 주결정상이 mullite와 quartz로서 입도분포 및 내화도 등의 물리·화학적 특성이 점토와 유사하여 점토와 혼합하여 벽돌과 습식타일 및 인공배지와 같은 다공질 재료의 제조가 가능하다(Mori 등,1994). 그러나, 석탄회의 함량이 증가함에 따라 다공질 재료의 가소성과 물리적 특성이 감소하여 다공질 재료의 가소성과 물리적 성질을 개선하기 위하여는 가소성 점토를 이용하거나 수분조절 및 결합재 등을 첨가시키는 방법이 제안되고 있다(Bacher 등, 1988). 국내의 경우, 가소성 점토는 저급점토에 비하여 고가이고 결합재 등의 첨가제 이용은 폐기물의 재활용면에서 경제성이 문제가 된다. 또한 첨가수분의 조절과 결합제 등의 첨가는 배지를 제조하기 위한 대용량 공정에서 작업범위의 조절에 문제점이 된다.

나. 석탄회-점토-혼합재(톱밥 및 전분)계 ash ball

토양개량제로의 석탄회의 이용시 폐수처리 슬러지, 인광석, 석회물질, 전분 및 톱밥 등의 유기물질을 첨가하면 토양개량의 효과가 상승한다(Iwama, 1999). 또한, 석탄회를 이용한 ash ball의 가소성과 물리적 성질을 개선하기 위하여 가소성 점토와 톱밥 및 전분을 첨가하여 가소성과 물리적 성질을 증진시키는 방법이 연구되고 있다.

다. 석탄회-소석회[$Ca(OH)_2$]-석고[$Ca(SO)_4 \cdot 1/2H_2O$]계 ash ball

인공 포졸란(pozzalan)인 석탄회를 소석회와 혼합한 모르타르(mortar) 규격이 ASTM에 규정되어 있으며 석탄회-$Ca(OH)_2$계에 관한 연구가 진행되고 있다(Baweja 등, 1988). 최근의 slag-$Ca(OH)_2$-$Ca(SO)_4 \cdot 2H_2O$계 포졸란의 Al_2O_3이 석고와 반응하여 초기강도가 개선된 연구가 발표된 이래 석탄회-$Ca(OH)_2$-$Ca(SO)_4 \cdot 2H_2O$계에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 세라믹스 및 인공배지와 같은 다공질 재료의 자체하중을 감소시키기 위하여 석

탄회의 낮은 비중을 이용한 경량성 ash ball의 개발에 관한 연구도 진행되고 있다.

2. Ash ball 제조

가. 출발원료

석탄회-점토계 및 석탄회-점토-혼합재계 ash ball의 제조를 위하여 영동화력발전소의 석탄회, 저급점토와 혼합재로 200 mesh이하의 톱밥과 전분을 이용하였다. 또한, 석탄회-$Ca(OH)_2$-$Ca(SO)_4 \cdot 1/2H_2O$계 ash ball를 제조하기 위하여 공업용 $Ca(OH)_2$(대성화학)와 $Ca(SO)_4 \cdot 1/2H_2O$(대성화학)를 이용하였다. 영동화력발전소의 석탄회와 저급점토의 화학조성을 Table 3.1에 보인다.

Table 3.1. Chemical composition of raw materials

(Unit : wt%)

Sample \ Comp.		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	MnO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	Ig. loss
Clay		57.22	16.00	8.25	2.02	2.52	0.86	0.40	2.95	0.51	0.19	8.84
Fly ash	-200 mesh	47.06	30.95	3.89	0.58	0.69	1.72	0.04	3.63	0.03	0.23	11.17
	+200 mesh	45.32	29.13	4.21	0.65	0.63	1.54	0.03	3.34	0.04	0.21	12.30

나. Ash ball(공시체) 제조

석탄회-점토계 ash ball의 제조는 각각의 원료를 -200 mesh로 분쇄한 후, 석탄회에 대하여 점토를 Table 3.2와 같이 5~20 wt%첨가하여 물/혼합분말

비=0.4로 혼련한 후, 10~15 mm의 구형으로 성형하여 건조과정 없이 자체 제작한 내경 60 mm, 길이 1,000 mm의 로타리킬른(rotary kiln)을 이용하여 1,000~1,200℃에서 5~30분간 급속 가열하여 석탄회-점토계 ash ball를 제조하였다.

석탄회-점토-혼합재계 ash ball의 제조는 90 wt% 석탄회 + 10 wt% 점토의 전체 질량에 10 wt%의 톱밥과 전분을 첨가하여 석탄회-점토계 ash ball와 동등한 방법으로 제조하였다.

석탄회-$Ca(OH)_2$-$Ca(SO)_4 \cdot 1/2H_2O$계 ash ball은 Table 3.2와 같이 석탄회와 $Ca(OH)_2$비(wt%)를 70:30, 80:20 및 90:10으로 변화하고 전체 질량에 대하여 $Ca(SO)_4 \cdot 1/2H_2O$를 5, 10 및 15 wt%가 되도록 혼합한 후, 물/혼합분말비=0.4로 10~15 mm의 ash ball 성형체를 제조한 후, 75℃에서 1~7일간 수중양생하였다. 또한, ash ball 성형체를 건조과정 없이 로타리킬른을 이용하여 1,000~1,200℃에서 1~30분간 급속 가열하여 석탄회-$Ca(OH)_2$-$Ca(SO)_4 \cdot 1/2H_2O$계 ash ball를 제조하였다. 본 실험의 공정도를 Fig. 3.1에 보인다.

Table 3.2. The composition of starting materials of ash ball

(unit : wt%)

Comp. / Sample	Fly ash	Clay	Sawdust	Starch	$Ca(OH)_2$	$CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$	H_2O
95FA5JC	95	5					40
90FA10JC	90	10					
90FA10JC	90	10	10				
90FA10JC	90	10		10			
85FA15JC	85	15					
80FA20JC	80	20					
90FA10Ca	90				10	5	
						10	
						15	
80FA20Ca	80				20	5	
						10	
						15	
70FA30Ca	70				30	5	
						10	
						15	

FA: Fly Ash, JC: Jungsun Clay, Ca: $Ca(OH)_2$, CS: $Ca(SO)_4 \cdot 1/2H_2O$

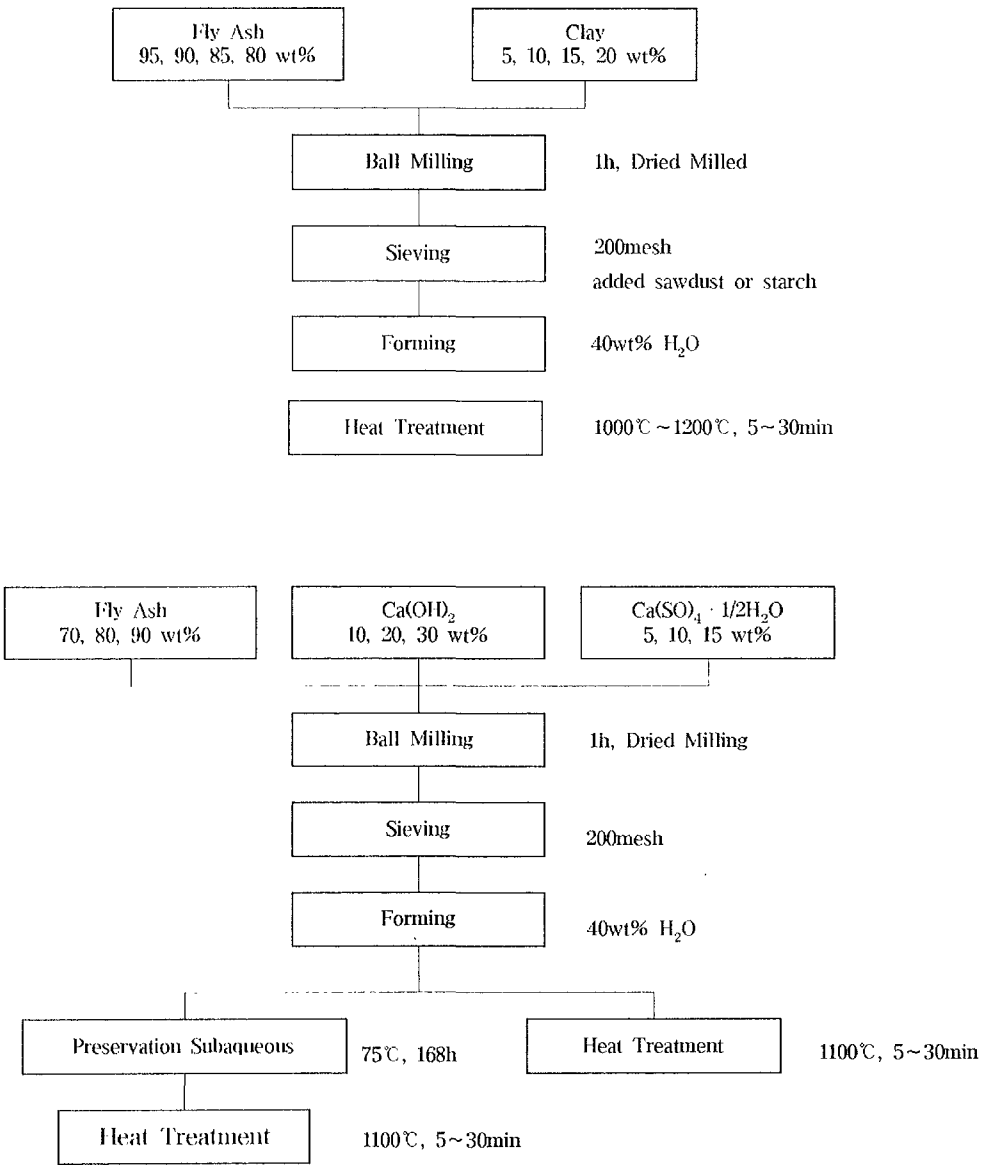


Fig. 3.1. The procedure of preparation of ash ball.

3. 출발원료와 ash ball배지의 특성분석

가. 화학성분 분석

석탄회와 저급점토의 성분분석은 -200 mesh와 + 200 mesh의 분말을 XRF(Philips, PW1480, Holland)를 이용하여 분석하였다.

나. 열분석

-200 mesh의 석탄회, 저급점토, 90 wt% 석탄회 + 10 wt% 점토계 및 (90 wt% 석탄회 + 10 wt% $Ca(OH)_2$) + 5 wt% $Ca(SO)_4 \cdot 1/2H_2O$계의 열처리 온도에 따른 열간변화와 중량감소를 조사하기 위하여 시차열분석기(TG-DTA, Rigaku, PTC-10)를 표준시료 α-Al_2O_3를 이용하여 10℃/min의 승온속도로 1,000℃까지 분석하였다.

다. 입도분석

출발원료인 석탄회, 저급점토의 입자 크기와 입도분포는 레이저 입도분석기(SA-CP3, Shimazu, Japan)를 이용하여 측정하였다.

라. 결정상 분석

열처리 온도와 조성에 따른 결정상을 조사하기 위하여 -200 mesh의 석탄회와 정선점토를 X-선회절분석기(Philips, Co., PW 1710)를 이용하여 CuKα, Ni filter, 30 kV, 20 mA의 조건으로 측정하였다.

마. 물리적 성질 측정

열처리 온도와 조성에 따른 ash ball의 부피비중, 흡수율 및 겉보기 기공률은 KS L 3114에 따라 시편 5개를 선택하여 가장 높은 측정값과 낮은 측정값을 제외하고 다음 식을 이용하여 측정하여 평균값을 산출하였다.

$$부피비중 = \frac{A}{B - C}$$

$$흡수율(\%) = \frac{B - A}{A} \times 100$$

$$겉보기\ 기공률(\%) = \frac{B - A}{B - C} \times 100$$

A: 건조시편 무게

B: 100℃의 물에 3시간 끓인 시편 무게

C: B시편의 수중 무게

바. 압축강도 측정

열처리 온도와 조성에 따른 ash ball의 압축강도는 KSL 3305에 의하여 10~15 mm의 구형시편 5개를 만능시험기(Universal Testing Machine, SFM, United Co., U.S.A)를 사용하여 변위제어 하에서 0.5 mm/min의 cross head speed로 측정하여 가장 높은·측정값과 낮은 측정값을 제외하고 3개 시편의 평균값을 산출하였다.

$$\sigma_c = \frac{4P}{\pi d^2}$$

σ_c = 압축강도(Pa)

P = 시편이 압축파괴되었을 때 최대 하중(N)

d = 시험편의 지름(mm)

사. 미세구조 관찰

출발원료와 조성과 열처리 온도에 따른 ash ball의 미세구조를 관찰하기 위하여 시료분말과 ash ball의 파단면에 Au코팅을 행한 후, 입자의 형상과 기공 등의 미세구조를 주사전자현미경(SEM, Akashi Co. SS130)을 이용하여 관찰하였다.

아. 반응시간에 따른 pH 변화와 중금속 용출 검사

조성과 열처리 온도에 따른 ash ball을 증류수(ash ball/증류수=1/5)에 침지시켜 pH 변화를 측정한 후, 수용액에 용출된 알칼리 성분과 중금속의 용출 상태를 AA(Perkin Elmer 2380)를 이용하여 분석하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 출발원료의 특성

가. 출발원료의 화학적 특성

일반적으로 석탄회는 Si와 Al성분을 80%이상 함유하여 규산염광물(aluminosilicate minerals)과 유사한 특성을 나타내며 Ca, Mg, K, Na, Fe 및 S 등의 원소를 함유하고 있다(shin, 1995). 본 연구에서 사용한 석탄회와 점토의 화학조성은 SiO_2가 57.22 및 47.06%(w), Al_2O_3를 16.0 및 30.95%(w) 함유하고 있으며, 이외에 Fe_2O_3와 알칼리성분 등이 함유되어 점토의 대체 원료로서 석탄회의 사용이 가능함을 알 수 있다.

ASTM 규정에서는 산화물의 주요 성분인 SiO_2, Al_2O_3 및 Fe_2O_3 함유량으로 석탄회를 분류하는데, 3종류의 산화물이 차지하는 비율이 70%이상인 경우에는 F급으로 분류하며, 3종류의 산화물이 차지하는 비율이 50~70%이며 CaO 함유량이 10%이상인 경우에는 C급으로 분류한다(Oh, 1998)l. 일반적으로 C급 석탄회는 F급에 비하여 CaO, MgO, SO_3의 함유량이 높고 SiO_2와 Al_2O_3의 함유량이 낮다. 본 실험에서 사용하는 영동화력발전소의 석탄회는 산화물 중 SiO_2, Al_2O_3 및 Fe_2O_3 함유량이 81.8%로서 F급 석탄회임을 알 수 있다. 또한, Na_2O와 MgO와 같은 알칼리 성분이 0.03%, 0.69%로 미량 첨가되어 있어 F급 석탄회는 반응성이 낮은 실리케이트 결정을 형성하는데 반해 CaO의 함유량이 많은 C급 석탄회는 칼슘-알루미노실리케이트 결정체를 형성한다(Song 등, 1996). 따라서, 다량의 알칼리 성분을 함유한 C급 석탄회에 비해 본 실험에서 사용한 F급의 영동화력발전소 석탄회는 소결성이 감소함을 예측할 수 있다. 고온으로 가열할 경우, 융제 역할을 하는 Fe_2O_3가 -200 mesh 석탄회에는 3.89%, +200 mesh입자에는 4.21%로서 입자크기가 작은 경우 Fe_2O_3

성분이 더욱 적게 함유되어 있음을 알 수 있었다. 이상의 화학성분 조성의 결과로부터 +200 mesh 입자의 석탄회가 -200 mesh 입자의 석탄회보다 알칼리 및 Fe_2O_3 성분을 다량 함유하고 있어 열처리시 이들 성분의 융제 역할로 인해 보다 증대된 소결성을 보일 것으로 예상된다.

강열감량은 대부분이 미연탄소에 기인된 것으로 미연탄소량이 많으면 강도 저하가 초래되므로 ASTM에서 5.0~6.0%이하로 규정하고 있다(Oh, 1998)l. 영동화력발전소의 석탄회의 강열감량은 +200 mesh 입자가 12.30%, -200 mesh 입자가 11.17%로서 석탄회의 함유량이 다량인 경우에는 강도의 감소가 예상되어 강도와 가소성을 부여하는 점토의 첨가가 요구된다.

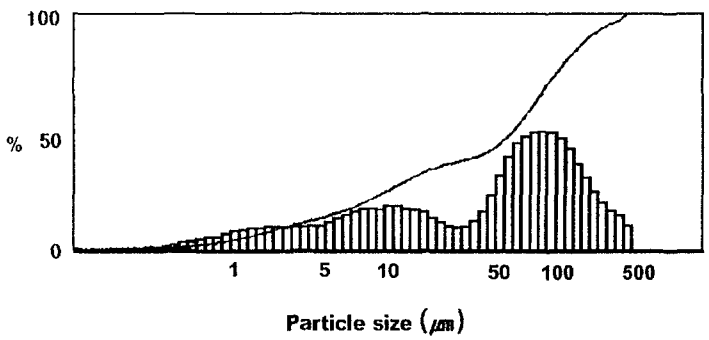
석탄회와 점토의 내화도를 Table 3.1의 화학성분으로부터 다음 식(Song 등, 1996)을 이용하여 산출하면 석탄회는 1,592℃, 점토는 1,258℃임을 알 수 있었다.

$$\text{내화도}(℃) = 898 + 7.11SiO_2 + 16.8Al_2O_3 - 39.45(CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$$

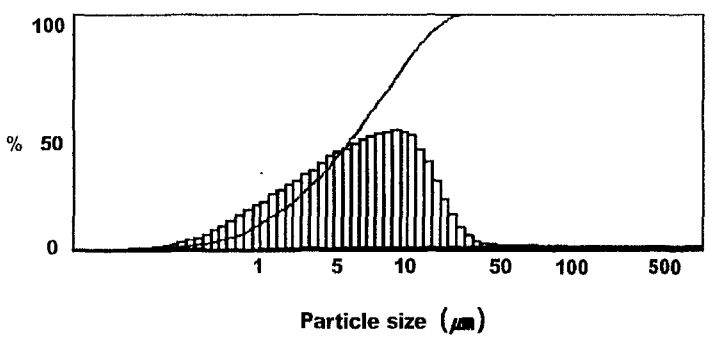
나. 출발원료의 입도분포 및 결정상

석탄회와 점토의 호환성을 결정하는 중요한 특성은 입도분포로서 석탄회와 점토의 평균입경이 유사하면 점토의 대체원료로서 석탄회의 사용이 가능하다(Mori 등, 1994). +200 mesh와 -200 mesh로 입도 분리한 영동화력발전소의 석탄회와 점토의 입도분포와 석탄회의 미연탄소함량을 측정하여 그 결과를 Fig. 3.2와 Table 3.3에 보인다. 석탄회의 -200 mesh 입도분포량은 전체의 53%로서 주로 작은 입자로 구성되어 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 석탄회의 평균입경은 14.3μm로서 1~500μm의 넓은 입도분포를 가지며, 점토는 3~50μm의 입도분포와 평균입경이 8.9μm인 미세한 입자로 이루어져 있음

을 확인할 수 있었다. 석탄회에 함유된 미연탄소의 함량은 +200 mesh 입자의 경우 6.23%, -200 mesh의 경우 3.21%로 입자크기가 큰 석탄회에 미연탄소분이 더욱 많이 함유되어 있었다.



(a)



(b)

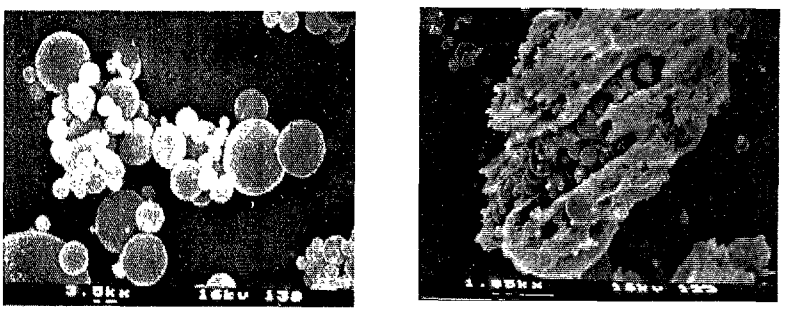
Fig. 3.2. Particle size distribution of fly ash(a) and clay(b).

Table 3.3. Size distribution and carbon contents of fly ash

Sample	Grain size	wt%	Carbon(wt%)
Youngdong Fly ash	+200 mesh	47	6.23
	-200 mesh	53	3.21

+200 mesh와 -200 mesh로 입도분리한 영동화력발전소 석탄회를 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 입자의 형상을 Fig. 3.3에 보인다. -200 mesh 이하인 석탄회는 대부분 뮬라이트인 구형의 cenosphere(Fig.3.3(a))로 구성되어 있으며, +200 mesh이상인 석탄회는 구상입자보다는 대부분이 판상의 형태인 graphite(Fig. 3.3(b))로 이루어져 있음을 관찰할 수 있었다. 이는 미연탄소분인 부정형 입자가 상대적으로 다량 존재하기 때문이다(Ghosh, 1985). 이러한 입자 형태의 다양성은 탄의 종류, 연소 조건, 공기압 및 분쇄정도 등에 의하여 결정되나, Ghosh의 연구에 의하면 석탄회의 화학성분은 입자의 형태와 관계없이 동일하였다.

+200 mesh인 영동화력발전소의 석탄회와 점토의 X-선회절분석을 Fig.3.4에 보인다. 석탄회는 mullite($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$)와 quartz(SiO_2)의 주결정상 이외에 nacrite, dickite, halloysite 및 illite를 함유하고 있음을 알수 있다. 점토는 주로 mullite와 quartz의 주결정상 이외에 calcite로 이루어져 있음을 알 수 있다.



(a) (b)

Fig. 3.3. SEM photographs of fly ash. (a:-200 mesh, b:+200 mesh)

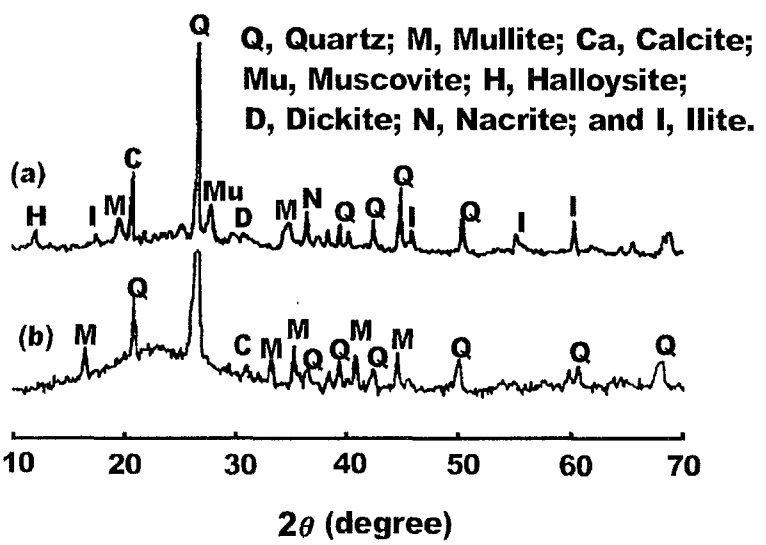


Fig. 3.4. XRD patterns of fly ash(a) and clay(b).

다. 출발원료의 열적 특성

각 시료의 열처리 온도에 따른 열간 변화와 중량 감소를 조사하기 위하여 열분석(TG-DTA)을 행한 결과를 Fig. 3.5에 보인다. 석탄회는 80~200℃에서 흡열피크를 동반한 중량감소와 500~800℃에서 발열피크를 동반한 중량감소가 관찰되었다. 전자의 흡열피크를 동반한 중량감소는 석탄회에 흡착되어 있는 흡착수의 이탈에 의한 것이며, 후자의 발열피크와 중량감소는 Smith 등의 연구와 같이 석탄회에 잔존한 미연탄소의 열분해에 의한 것이다(Fig. 3.5(a))(Smith 등,1956). 점토의 경우, 80~150℃에서 중량감소를 동반한 흡열피크, 300~700℃에서 중량감소를 동반한 발열피크 및 850℃에서 발열피크 가 관찰되었다. 전자의 중량감소를 동반한 흡열피크는 점토에 흡착되어 있는 흡착수의 제거, 300~700℃의 중량감소를 동반한 발열피크는 점토에 함유되어 있는 유기물의 연소에 의한 것이며 850℃의 발열피크는 SiO_2의 전이(α-quartz→β-quartz)에 의한 것임을 알 수 있다(Fig. 3.5(b)). 90 wt%의 석탄회와 10 wt%의 점토(90FA10JC)를 혼합한 시료의 경우, 석탄회의 열분석 결과와 일치하였으나 SiO_2의 전이에 의한 840℃ 부근의 발열피크와 약 15%의 중량감소가 관찰되었다(Fig. 3.5(c)). 90 wt%의 석탄회, 10 wt%의 생석회와 5 wt%의 소석고(90FA10Ca5CS)를 혼합한 시료는 100℃부근에서 수분의 이탈과 Ettringite상의 생성에 따른 흡열피크가 100~130℃에서 관찰되었으며, 약 15%의 중량감소를 나타내었다(Fig. 3.5(d)).

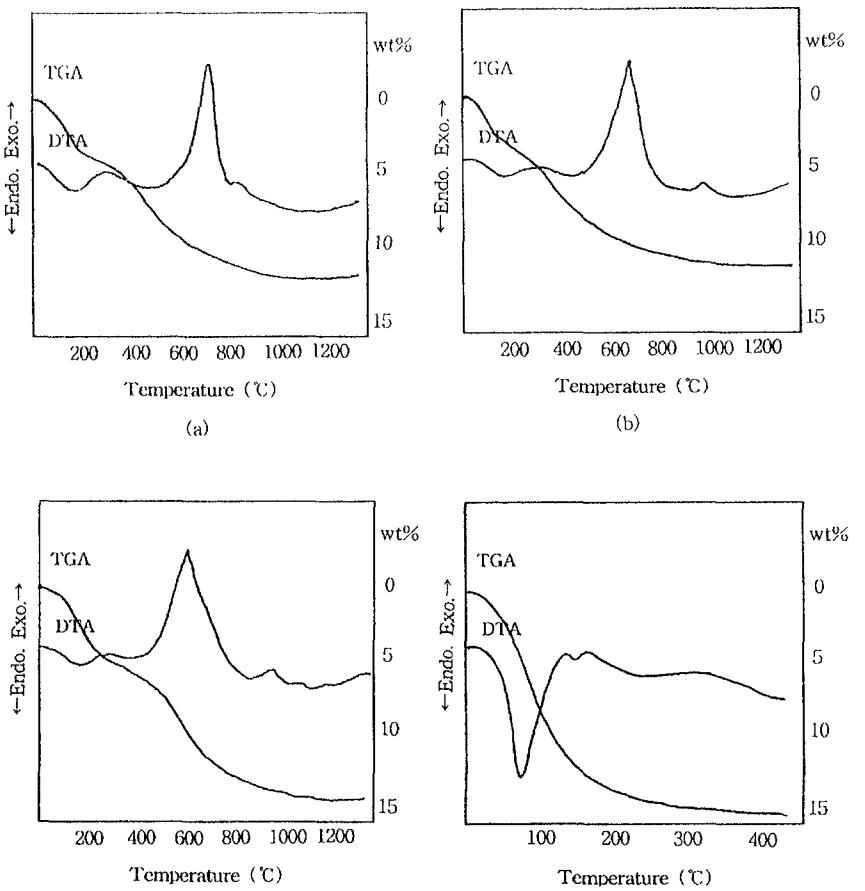


Fig. 3.5. TG-DTA analysis of fly ash(a), clay(b), 90FA10JC(c) and 90FA10Ca5Cs(d).

TGA: Thermal Gravity Analysis

DTA: Differential Thermal Analysis

2. 조성과 열처리 조건에 따른 ash ball의 결정상

열처리 온도와 혼합조성에 따른 배지의 결정상의 변화를 조사하고자 1,150℃에서 20분간 열처리한 석탄회와 점토를 5, 10, 15 및 20 wt% 첨가한 FAJC계 시편과 (90 wt% 석탄회 + 10 wt% $Ca(OH)_2$) + 5wt % $Ca(SO)_4 \cdot 1/2H_2O$(90FA10Ca5CS)계 시편을 10Ca 1,100~1,200℃에서 10~20분간 열처리한 시료의 X-선회절분석 결과를 Fig. 3.6에 보인다. FAJC계 시료에는 Mullite, Quartz 외에 Anorthite의 상이 관찰되었으며 점토의 첨가량이 증가함에 따라 Quartz와 Mullite가 증가하였으며 석탄회의 양이 증가할수록 Anorthite의 피크가 증가하였다. 이는 석탄회의 CaO성분이 Quartz와 유리상의 Al_2O_3성분과 반응하여 Anorthite상이 생성되었기 때문이다(Hemmings 등, 1988). 1,100℃에서 20분간 열처리 한 90FA10Ca5CS에는 Ettringite상, Mullite상, Quartz상 및 C-S-H상이 관찰되었으며 1,200℃에서 20분간 열처리하였을 때 Ettringite상의 피크강도가 증가하였다.

3. 조성과 열처리 조건에 따른 ash ball의 물리적 특성

석탄회에 점토의 첨가량, 열처리 온도 및 유지시간에 따른 시편의 물리적 특성 및 기계적 강도를 Table 3.3에 보인다. 점토의 첨가량, 열처리 온도와 유지시간이 증가함에 따라 생성된 유리상에 의한 치밀화가 진행되어 기공의 크기와 분포가 감소하여 부피비중과 압축강도는 증가하였으나 흡수율과 겉보기 기공률은 감소하였다.

1,150℃에서 10분간 열처리한 95FA5JC 시편은 석탄회에 함유되어 있는 미연탄소의 연소에 의하여 부피비중 1.18, 흡수율 48.0%, 겉보기 기공률 55.3%, 압축강도 38 $kgf \cdot cm^{-2}$이었으나, 가소성을 부여하는 점토의 첨가량이 작아 성형체의 제작이 곤란하여 성형성을 부여하기 위한 연구가 필요하였다.

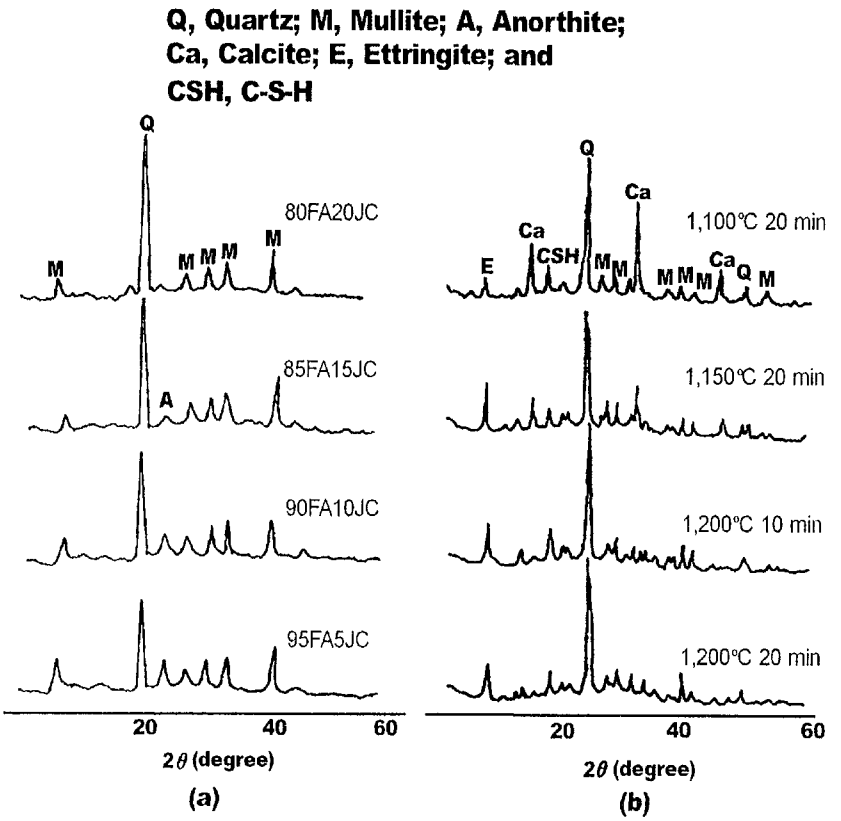


Fig. 3.6. XRD analysis of FAJC systems heated at 1,150℃ for 20 min(a) and 90FA10Ca5Cs system heated at 1,100~1,200℃ for 20 min(b).

일반적으로 석탄회의 전처리 공정 없이 세라믹스를 제조하기 위하여는 점토의 대체율이 30%이하로 석탄회의 가소성을 증진시키기 위해 가소 점토나 및 결합제를 이용하는 방법이 제안되고 있으나, 가소 점토는 고가이고 결합제 등의 첨가는 ash bal의 제조하기 위한 저급 대용량 공정에서 작업범위의 조절에 문제가 된다. 따라서, 석탄회를 이용한 FAJC계 배지를 제조하기 위하여는 본 실험에서는 10 wt% 이상의 점토의 첨가가 필요하였다.

소석회와 석고의 첨가량, 열처리 온도 및 유지시간에 따른 FACaCS계 시편의 물리적 특성 및 기계적 강도를 Table 3.4에 보인다. FACaCS계 시편의 물리적 성질은 첨가된 생석회 및 소석고와 SiO_2성분이 반응하여 1,100~1,200℃에서 10~30분간 열처리한 FACaCS계 시편의 물리적 성질은 첨가된 생석회 및 소석고와 SiO_2성분이 반응하여 생성된 C-S-H에 의하여 조직이 치밀화 되어 흡수율과 겉보기 기공률이 감소하였으나 부피비중과 압축강도는 증가하였다. 1,100℃에서 20분간 열처리한 90FA10Ca5CS 배지는 부피비중이 1.05, 흡수율 71.3% 및 겉보기 기공률은 61.9%이었다.

90 wt%의 석탄회에 10 wt% 점토를 첨가한 후 기공조절제로서 전체 질량의 10 wt%의 톱밥을 첨가한 90FA10JC10SD계 시편의 물리적 특성을 Table 3.5에 보인다. 90FA10JC10SD 시편을 1,150℃에서 10분간 열처리하여 제조한 배지는 석탄회의 미연탄소와 톱밥이 가연성 발포제로 작용하여 부피비중 1.14, 흡수율 54.4%, 겉보기 기공률 59.6% 및 압축강도 54kgf · cm^{-2}의 값을 나타내어 FAJC계에 톱밥을 첨가한 배지의 물리적 성질이 향상되었다.

Table 3.3. The physical properties of the FAJC systems

Materials	Heating temp. (℃)	Heating time (min)	Bulk density	Water absorption (%)	Apparent porosity (%)	Compressive strength ($kgf \cdot cm^{-2}$)
95FA5JC	1,050	20	1.05	52.1	58.5	10
	1,100	10	1.11	50.9	57.5	15
	1,100	20	1.12	48.3	55.3	17
	1,150	10	1.18	48.0	53.2	38
	1,150	20	1.20	46.6	51.1	46
	1,200	10	1.32	36.4	43.9	98
	1,200	20	1.42	33.2	37.3	154
90FA10JC	1,050	20	1.10	49.3	54.3	13
	1,100	10	1.14	46.6	52.9	23
	1,100	20	1.18	46.2	52.2	26
	1,150	10	1.19	44.0	50.2	64
	1,150	20	1.23	43.5	48.9	74
	1,200	10	1.35	35.2	41.1	143
	1,200	20	1.45	30.5	34.3	167
85FA15JC	1,050	20	1.17	45.3	49.2	16
	1,100	10	1.24	36.3	45.6	28
	1,100	20	1.29	36.4	42.2	38
	1,150	10	1.35	32.6	36.5	63
	1,150	20	1.45	27.3	33.1	89
	1,200	10	1.53	24.3	26.7	135
	1,200	20	1.60	19.4	17.3	183
80FA20JC	1,050	20	1.24	37.3	36.3	24
	1,100	10	1.38	33.1	32.5	42
	1,100	20	1.43	28.3	30.1	48
	1,150	10	1.52	25.4	24.3	90
	1,150	20	1.68	22.1	22.3	113
	1,200	10	1.72	18.5	18.5	155
	1,200	20	1.79	15.2	12.4	193

Table 3.4. The physical properties of the FACaCS systems

Materials	CS (wt%)	Heating temp. (℃)	Bulk density	Water absorption (%)	Apparent porosity (%)	Compressive strength (kgf · cm^{-2})
90FA10Ca	5	1,100	1.05	71.3	61.9	83
		1,150	1.09	69.6	61.2	84
	10	1,100	1.03	58.3	52.3	97
		1,150	1.15	52.4	48.4	108
	15	1,100	1.12	54.3	51.6	103
		1,150	1.21	47.4	45.3	126
80FA20Ca	5	1,100	1.12	43.5	48.3	121
		1,150	1.16	38.6	43.2	130
	10	1,100	1.21	39.5	38.5	137
		1,150	1.28	34.5	32.6	154
	15	1,100	1.31	28.8	27.5	162
		1,150	1.36	22.2	23.5	173
70FA30Ca	5	1,100	1.21	37.3	41.2	126
		1,150	1.26	35.6	41.3	132
	10	1,100	1.35	35.7	36.5	145
		1,150	1.40	33.3	29.6	150
	15	1,100	1.43	26.1	26.4	170
		1,150	1.54	19.8	25.4	171

Table 3.5. The comparisons of physical properties of several ash ball

Materials	Heating temp. (℃)	Heating time (min)	Bulk density	Water absorption (%)	Apparent porosity (%)	Compressive strength (kgf · cm^{-2})
95FA5JC	1,150	10	1.18	48.0	55.3	38
90FA10JC	1,150	10	1.19	44.0	50.2	64
90FA10JC10SD	1,150	10	1.14	54.4	59.6	54
90FA10Ca5CS	1,150	20	1.05	71.3	61.9	83

90FA10JC와 90FA10JC10SD계 시편의 침적시간에 따른 pH변화(시편:증류수=1:5 volume ratio)를 Fig. 3.7에 보인다. 1,150℃에서 10분간 열처리한 90FA10JC와 90FA10JC10SD계 시편의 침적시간에 따른 pH변화(시편:증류수=1:5 volume ratio)는 1,150℃에서 10분간 열처리하였을 때 6.6이었으나 반응시간이 증가함에 따라 시편 내의 알칼리 성분이 미량 용출되어 240시간 경과 후에 pH 7.1을 나타내었다. 그러나, 1,100℃에서 20분간 열처리한 90FA10Ca5CS 시편의 초기 pH는 10으로 시편 내의 미반응 알칼리 성분의 다량 용출로 인하여 240시간 경과 후의 pH는 10.9로서 양액재배용 배지로서 양호한 물리적 성질을 가짐에도 불구하고 pH를 낮추기 위한 전처리 공정 없이 사용하기는 곤란하였다.

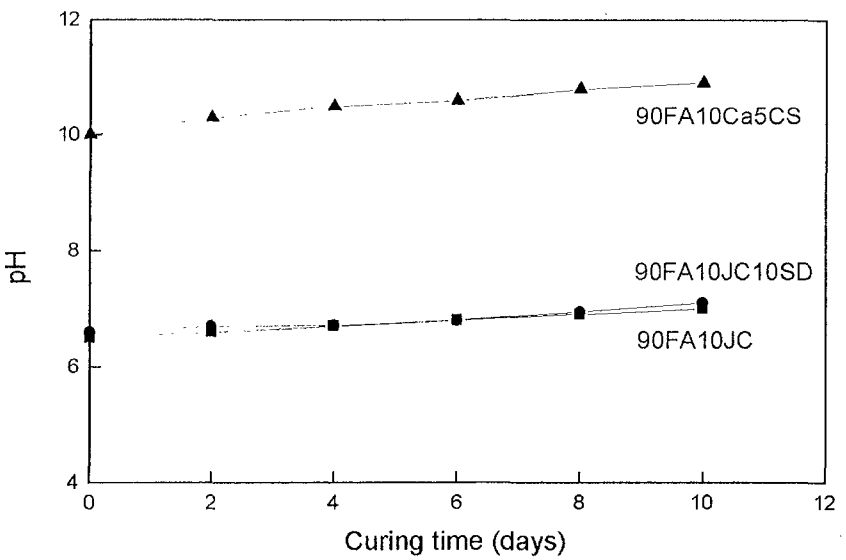


Fig. 3.7. pH changes of ash ball with curing time.

4. 조성과 열처리 조건에 따른 ash ball의 미세구조

열처리 온도와 조성에 따른 배지의 미세구조를 Fig. 3.8에 보인다. 95 wt%의 석탄회와 5 wt%의 점토(95FA5JC) 배지는 가소성을 부여하는 점토의 첨가량이 작아 비교적 큰 기공들이 관찰되었으나, 점토의 첨가량이 증가함에 따라 치밀화가 진행되어 기공이 소멸되거나 크기가 감소함을 관찰할 수 있다(Fig. 3.8(a)~(d)). 90 wt%의 석탄회와 10 wt%의 점토에 10 wt%의 톱밥(90FA10JC10SD)을 첨가한 배지는 톱밥의 연소에 의하여 생성된 큰 기공이 관찰되었으며, 이들 기공으로 인하여 시편의 흡수율과 겉보기 기공률이 증가하였다(Fig. 3.8(e)). 90 wt%의 석탄회, 10 wt%의 생석회 및 5 wt%의 소석고(90FA10Ca5CS)를 첨가한 배지의 경우, 석탄회와 생석회와의 반응이 완료되지 않아 분리되어 있는 석탄회 입자가 관찰되었다(Fig. 3.8(f)).

이상의 실험 결과, 90 wt%의 석탄회와 10 wt%의 점토(90FA10JC) 및 10 wt%의 톱밥(90FA10JC10SD)을 첨가하여 1,150℃에서 10분간 급속가열하여 제조한 배지의 물리적 성질이 가장 양호하였으며 240시간 경과 후의 pH는 7.1로서 양액재배용 인공배지로의 사용이 가능하였다.

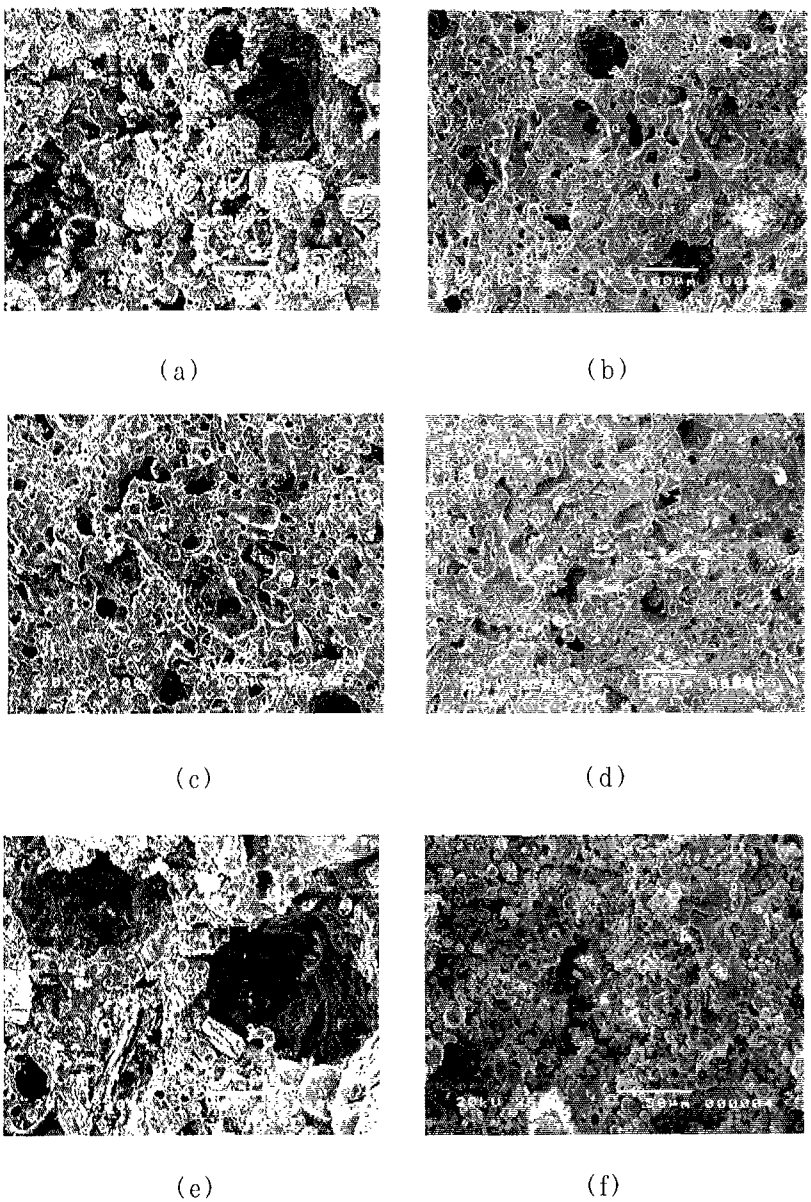


Fig. 3.8. SEM photographs of ash ball.

95FA5JC(a), 90FA10JC(b), 85FA15JC(c), 80FA20JC(d)

90FA10JC10SD heated at 1,150℃ for 10min(e) and

90FA10Ca5CS heated at 1,100℃ for 20min(f).

제4절 결과요약

석탄회에 5 wt%의 점토를 첨가하여 1,150℃에서 20분간 열처리한 95FA5JC 시편은 부피비중 1.08g/cm^3, 흡수율 46.6%, 기공율 50.7%, 압축강도 125.6 kgf/cm^{2}로서 물리적 성질이 우수하였으나, ash ball 성형체의 제작이 곤란하여 대량생산을 위하여는 최소한 10 wt%의 점토의 첨가가 필요하였다. 석탄회에 10 wt%의 $Ca(OH)_2$와 5 wt%의 $Ca(SO)_4 \cdot 1/2H_2O$를 첨가하여 수중양생 및 건조과정 없이 1,150℃에서 25분간 열처리한 90FA10Ca5Cs 시편의 부피비중은 0.86 g/cm^3, 흡수율 72.2%, 기공률 62.4%으로 양호한 물리적 성질을 나타내었으나, 높은 pH값으로 ash ball로는 적합치 않았다.

석탄회에 10 wt%의 점토를 첨가하여 1,150℃에서 20분간 열처리한 시편의 부피비중은 1.13 g/cm^3, 흡수율 43.5%, 기공률 48.9%, 압축강도 147.0kgf/cm^{2}으로 물리적 성질이 크게 향상되었다. 90 wt% 석탄회 +10 wt% 점토에 전체 질량에 10 wt%의 톱밥을 첨가하여 1,150℃에서 20분간 열처리한 90FA10JC10SD 시편의 부피비중은 1.14 g/cm^3, 흡수율 45.4%, 기공률 52.6%, 압축강도 134.3 kgf/cm^{2}으로 혼합재로서 톱밥을 첨가한 시편의 물리적 성질이 가장 양호하였으나, 대량 생산을 위한 성형성이 문제되어, 본 실험 결과 ash ball의 특성과 대량 생산의 관점에서 90FA10JC시편이 가장 우수하였다.

인용문헌

Bacher, V., V. Ernstsen, K.G. Jeppsen, H. Kristiansen and P. Madsen. 1988. Fly ash in bricks and tiles. Materials Research Symposium Processing. 113 : 219-230.

Baweja, D., H. Roper, J.G. Cabrera and D.J. Cook. 1988. Hydration characterization and morphological features of concretes from structures in Austria, England and the Unite States. Research Symposium Processing. 113 : 257-269.

Black, C., D. Brockway, S. Hodges and A. Milner. 1992. Utilization of latrobe valley brown coal fly-ash. Gippsland Basin Symposium. Melbourne 22-23 : 149-152.

Ghosh, S.K. 1985. Understanding thermal coal ash behavior. Mining Eng. Feb. : 158-162.

Hemmings, R.T. and E.E. Berry. 1988. On the glass in coal fly ashes: recent advances. Materials Research Symposium Processing. 113 : 3-38.

Iwama, H. 1999. p. 1001-1026. In: H. Dakeuchi(eds.). Characterization, production and application of porous materials. Fuji · Techosystem. Japan.

Koizumi, K., M. Hatano and N. Tsuyuki. 1988. Synthesis and properties of porous ceramics using fly-ash. J. of the Ceramic Soc. of Jap. 106(9) : 899-903.

Lee, K.K., H.J. Lee, C.J. Park, D.W. Kim, Y.T. Kim and S.B. Kim. 1996. A study on the plasticity enhancement of coal fly ash-clay bodies. J. of the Korean Ceramic Soc. 33(2) : 135-142.

Mori, S. and T. Sawa. 1994. The development of amendment process of

coal fly ash. Chemical Eng. of Jap. 1 : 69-74.

Oh, S. W. 1990. The treatment and count measure of fly ash. J. of the waste. 1998 : 90-102

Shin, D.Y., S.K. Kang and S.M. Han. 1998. Preparation for porous using low grade clay. J. of the Korean Ceramic Soc. 35(6) : 575-582.

Shin, J.S., 1995. Characterization and agricultural utilization of fly ash. Mineral and Industrial. 8(1) : 10-14.

Simons, H.S. and J.W. Jeffery. 1960. An X-ray study of pulverside fuel ash. J. of Applied Chemistry. 10 : 328-336.

Smith E. J. D. and L.I. Ceram. 1956. The sintering of fly-ash. J. of the Institute of Fuel. 2 : 253-260.

Song, J.T., S.D. Yun, D.W. Ryoy and K.S. Han. 1996. Manufacture and properties of coal fly ash-clay body. J. of the Korean Ceramic Soc. 33(7) : 771-778.

Yoo, K. C., I. S. Kim, W. S. Kang and D. Y. Shin. 2000. Development oh hydroponic media using fly ash and clay system cultures. J. of Bio-Enviroment Control. 3 : 47-59.

제4장 석탄회를 이용한 인공배지의 양산화기술 개발

제1절 서 설

제2절 자동구형성형기술 개발

제3절 Ash ball 양산화기술 개발

제4절 경제성 분석

제5절 결 과 요약

제 4 장 석탄회를 이용한 인공배지의 양산화 기술 개발

제1절 서 설

우리 나라의 양액재배 면적은 1992년 13 ha에서 1996년 275 ha로 4년 사이에 20배나 증가하여 최근 고형 배지경에서 사용되는 인공배지의 사용량이 급격히 증가하고 있다(Park 등, 1998). 배지로 이용하기 위하여는 배지 재질의 균일성, 화학적 안정성, 저가이며 구입이 용이하여야 하고 수분의 확산이 양호하여 수분 관리가 편리하여야 한다(Yoo 등, 2000). 장시간 사용을 위하여 견고하고 양호한 통기성을 가지며 식물 줄기의 상처를 방지하기 하기 위하여 구형 상태이어야 한다(Park 등, 1998).

농업·원예분야에서 다공질 재료는 육묘나 양액재배 등의 인공배지, 미생물의 흡착제, 비닐하우스나 과실의 보온자재로 이용이 가능하다(Iwama, 1999). 인공배지는 보수성 및 통기성이 우수하고 양이온 치환용량이 높아 무기원소를 많이 흡착할 수 있어야 하며, 병원균이나 잡초종자를 함유하지 않아야 한다. 따라서, 질석, 펄라이트, 암면 또는 소성한 점토 등을 재배목적에 적합하도록 적절한 비율로 혼합하여 작물재배에 이용하고 있다(Koizumi 등, 1998). 그러나, 펄라이트 배지는 흡수율이 우수하나 취급강도가 약하며 전량 수입에 의존하여 양액재배 농가에 커다란 부담이 되고 있다(류 등, 2000) 암면은 우수한 흡수성을 갖고 있으나, 암면의 파손에 의하여 작물이 피해를 입을 수 있으며 사용 후 폐기처리가 문제되어 반영구적인 자연친화형의 인공배지의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

국내 화력발전소에서 석탄의 연소시 발생하는 석탄회는 국내에서 연간 300만톤이 발생되며, 계속적인 석탄 화력발전소의 건설로 인하여 2,000년에는 약 700만톤이 발생될 예정이다(Lee 등, 1966). 석탄회는 산업폐기물로 분류되어 그 처리가 어렵고 부적절한 처리로 인하여 많은 환경문제를 발생시키고 있다(Black 등, 1992). 현재, 석탄회는 선진국에서 "제3의 자원"으로 인정되어 60%이상을 재활용하고 있으며 석탄회 콘크리트 사용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다(McCarth 등, 1987). 국내의 경우 석탄회의 재활용은 콘크리트 및 경량골재 산업분야에서 10%정도(Song 등, 1996) 활용되고 있으며, 일부 공업적인 이용과 토양개량제로서 이용한 예를 제외하고는 농업·원예분야에서의 이용에 대한 연구는 미진한 실정이다(Yoo 등, 2000).

석탄회는 0.5~ 200 ㎛인 구형 분말인 다공질로서 비중은 0.8~4.0 g/㎤, SiO_2, Al_2O_3 및 Fe_2O_3가 주성분인 유리질로 구성되어 있다(Hemmings, 1987). 배지의 형태는 통기성을 유지하기 위해서 0.5 ~ 1.0 ㎝ 구형이어야 하나, 석탄회의 표면은 구상이면서 비점결성인 유리질상으로 구성되어 있어 석탄회 단미만으로는 성형이 곤란하여 석탄회 단미를 이용한 구형화, 자동화 및 양산화의 기술이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 비점결성인 석탄회 분말의 구형화, 자동화 및 양산화를 위한 Pan형 성형기의 제작하여 ash ball 크기를 조절 할 수 있는 성형 기술의 개발과 반습식 방법으에 의하여 제조된 ash ball을 건조공정 없이 직접 열처리하는 경제적이며 대량 생산이 가능한 기술을 개발하고자 하였다. 또한, 실제 시제품 생산업체에서 ash ball 양산시 문제점을 검토하여 보완하고자 하였으며 이에 대한 경제성을 분석하고자 하였다.

제2절 자동구형성형기술 개발

1. 자동구형성형기 설계

Fif. 4.1에 Capes의 Pan 조립장치의 성형이론 모델을 보인다(Capes, 1980). Pan에 분말 시료를 투입하고 Fig. 4.1.(a)와 같이 pan의 각도 θ만큼 경사를 준 후, 회전시키면 Fig. 4.1.(b)처럼 분체는 분말층 경사각γ에 따라 pan위에 퍼지게 된다. Pan 내에 회전 운동하는 분체에 바인더로서 가습을 하면 분체는 응집되어 작은 입자의 크기를 갖는 핵(seed)을 생성하게 된다. 연속적으로 분말을 공급하며 가습하면 Fig. 4.1.(a)와 (b)처럼 분말층 경사각 γ영역에서는 공급되는 건조 분체와 생성된 핵이 운동하강(運動下降) 중에 바인더에 의하여 핵을 형성하고, 상승시에 Fig. 4.1.(c)와 같이 핵의 성장 크기에 따라 층하(層下)에서도 순환을 반복하면 구상으로 형성된 조립물의 크기가 성장한다. 생성된 핵층 경사각 β영역에서는 성장된 핵의 무게와 내부마찰 계수에 의하여 Mohr's의 순환 궤도의 폭은 좁게 된다. 성형된 구형층 경사각 α영역에서는 핵성장이 완료되어 구형화 된 성형체는 대류층(滯留層)의 표면층에서 운동, 압밀화, 구형화가 행하여져 접시형 조립기의 가장자리 보다 over-flow하여 Fig. 4.1.(d)처럼 구형화된 성형체를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 Cape의 Pan형 성형이론을 응용하여 Fig. 4.2의 성형기를 설계하였다.

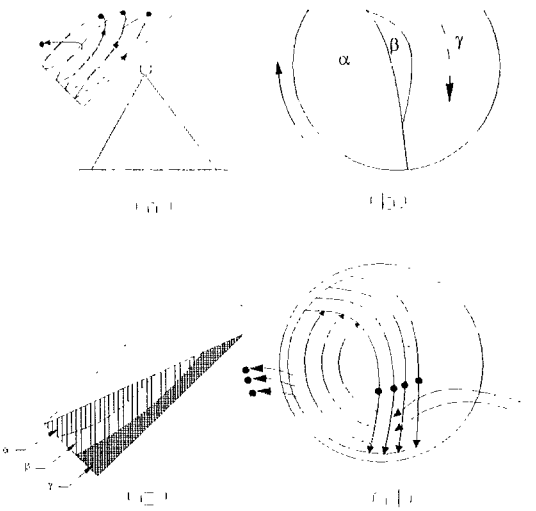


Fig. 4.1. Pan 형 성형기내에서 입자 성형 모델

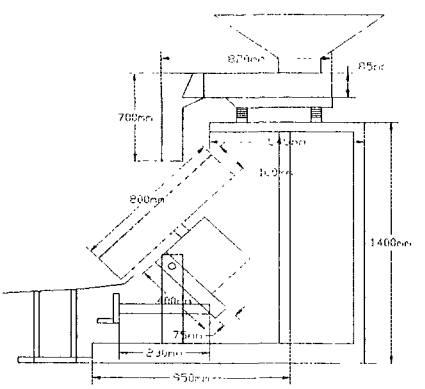


Fig. 4.2. 석탄회용 자동구형 성형기 설계도

2. 석탄회용 자동구형성형기 제작

Fi. 4.3에 석탄회용 자체 제작한 자동 구형 성형기의 사진을 보인다. 원료 투입 자동장치, PAN, 이송장치, 분무장치로 구성되어있다.

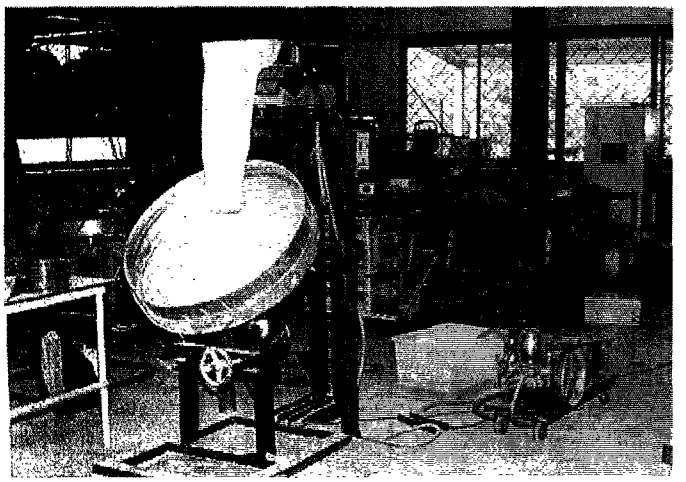


Fig. 4.3. 석탄회용 자동 구형 성형기

원료투입장치는 진동(vibrator) 방식으로 원료를 일정량 공급해 주고 pan의 회전수는 인버터를 이용해 팬의 회전을 조절하며 pan의 각도도 조정이 가능하도록 설계되었다. Pan의 회전시 주요 동력은 모터(LG삼상 Geared Moter, 2Hp)를 사용하였고 분무장치는 플런저펌프(plunger pump, 영흥(주), 13 kg/cm^{2}용량)를 사용하였다. 분무기의 압력을 최저로 하여 바인더인 수분을 액적(drop)상태로 분무하였을 때 분무량은 178 ml/min, mist로 분무하였을 때는 1206.6 ml/min이었다.

3. 석탄회 구형화를 위한 자동성형 공정기술 개발

가. 공시재료

본 연구에서 사용된 공시재료는 영동화력발전소의 석탄회를 사용하였다. 분말은 모두 200mesh 이하의 입자크기로 선별하여 사용하였다.

나. 성형기의 조작조건

1) Pan형 조립장치의 성형 조건

ⓐ Pan 직경 D = 0.8 m

ⓑ Pan 높이 H = 0.16 m]

ⓒ Pan 경사각 θ = 43~53°

ⓓ Pan 회전수 N은 임계회전수 ((1)식에 의하여 계산하면 회전수 N_c) 0.4~0.75범위.

N_c의 경사각 θ°, 분체의 내부 마찰각 α° 로 나타내면 다음 식과 같다.

$$N_c = \frac{4.23}{\sqrt{D}} \cdot \sqrt{\frac{\sin(\theta - \alpha)}{\cos \alpha}}$$

비회전수(比回傳數) $\nu = N/N_c$

(2) HU(대류량)의 계산

$HU = (D/2)^3 \cdot f1(\delta) \cdot \tan\beta$

(3) RT(대류시간)의 계산

Pan 내의 보유량 HU[m^3]와 대류시간 RT[h]와 처리능력 Q[t/h]는 다음 식과 같다.

$(RT) = (HU)/Q/\rho_b$

여기서, ρ_b는 밀도[t/H]이다.

다. 결과 및 고찰

Fig. 4.4에 석탄회 자동성형기를 이용하여 제조한 ash ball을 보인다.

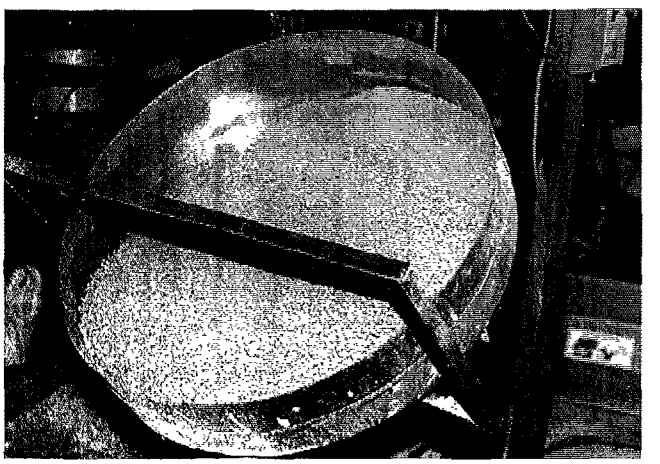


Fig. 4.4. 석탄회 자동성형기를 이용하여 제조한 ash ball.

Fig. 4.4와 같이 공급되는 석탄회 분말은 pan이 시계방향으로 회전하면서 원심력에 의하여 바깥방향으로 퍼지고, 작게 성형된 구형들은 원의 45° 부근에서 아래 방향으로 떨어지면서 볼의 크기가 성장하고 볼의 크기가 5~10㎜ 정도로 커지면 원의 135 ° 정도 부근에서 자동적으로 밖으로 배출된다. Table 4.1은 pan의 직경 D = 0.8 m, 높이 H = 0.16 m, 회전수 15 rpm의 조건하에서 경사각 θ를 증가하였을 경우, 시간당 성형처리 능력과 pan 내의 분말량, 성형체 형성에 필요한 가습량, 핵생성층 경사각, 성형체 구형층 경사각에 의한 구형 성형체의 크기를 측정한 결과치이다. table 4.1과 같이 pan의 경사각 $\theta = 43°$ 일 때, 대류량과 대류시간이 가장 높은 것으로 나타났으며, pan의 경사각이 증가할수록 pan의 대류량은 감소하였다. 경사각 $\theta = 48°$ 일

때 대류시간이 4.5 min으로 $\theta = 43°$ 보다 약 2배 단축되어 성형처리 능력이 1.4배 증가되었다. 생성된 볼의 크기는 $\theta = 43°$ 에서는 8~11 mm로 생성되었고 $\theta = 48°$ 에서는 6~9 mm, $\theta = 53°$ 에서는 5~7mm로 pan의 경사각이 증가 할 수록 구형 성형체 크기 ψ가 작아지는 이유는 생성된 핵입자의 운동거리가 짧아지면서 대류시간이 감소하기 때문인 것으로 분석된다.

Table 1. Ash ball 성형기의 회전수가 16rpm 경우 팬의 경사각이 볼의 크기에 미치는 영향.

회전수 N(rpm)	경사각 θ(°)	처리능력 B(kg/hr)	체류량 C(kg)	함수율 W_b(%)	핵생성층 경사각 β(°)	성형체 구형층 경사각 α(°)	구형 성형체 크기 ψ (mm)	기타 N/N_c
16	43	110.88	16.4	11.8	22.3	14.56	8~11	0.744
	48	154.8	13.5	10.04	28.9	4.3	6~9	0.608
	53	61.4	8.7	16.06	36.03	14.04	5~7	0.438

Table 2에 대류량과 대류시간을 Capes의 식에 의한 이론치와 실험에 의한 측정 결과치를 비교 분석하였다. Pan의 경사가 43° 일 때 체류량과 체류시간이 48° 와 53° 일 때 보다 계산치와 실제 측정된 값과의 오차가 가장 작은 것으로 나타났다.

Table 2. Capes' theory과 실험치의 비교

회전수 N(rpm)	경 사 θ(°)	체류량(HU)		체류시간 (RT)		N_c (rpm)	$\nu = N/N_c$
		이론치 (kg)	실험치 (kg)	이론치 (kg)	실험치 (kg)		
16	43	15.36	16.4	8.3	-	21.5	0.78
	48	11.52	13.5	4.5	-	26.3	0.69
	53	7.04	8.7	6.9	-	36.5	0.63

Table 2와 Fig. 4.3에서 보듯이 pan형 조립장치의 경사각이 증가할수록 성형에 필요한 분말량이 감소되면서 성형 구형체의 크기는 작아짐을 알 수 있으며, capes의 이론치와 실험에 의하여 측정된 결과치와 같은 경향을 나타내었다. Ash ball의 취급강도는 생성된 볼을 팬에서 대류시간보다 더 긴 시간을 회전해 주면 강도는 더욱 단단해 지는 것으로 보였다.

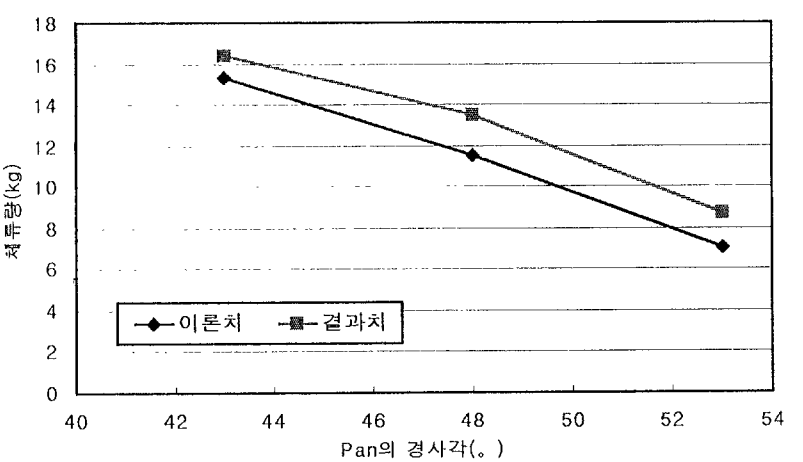


Fig. 4.5. Ash ball 성형기의 팬의 경사각이 팬의 대류량에 미치는 영향

라. 결과요약

본 연구에서는 pan형 조립 성형기를 설계 및 제작하여 비점결성 성질을 갖는 구형 석탄회 분말을 pan의 경사각에 따라 석탄회 구형 성형체 크기를 조절 할 수 있는 생산기술을 개발하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Pan의 경사가 43° 일 때 대류량과 대류시간이 가장 높은 것으로 나타났고 pan의 경사가 증가할수록 대류량은 감소함을 보였다. 처리능력은 48° 일 때 가장 많았고 대류시간은 가장 짧은 것으로 보였다.

(2) 생성된 볼의 크기는 pan의 경사가 43° 에서는 8~11 mm로 생성되었고, 48° 에서는 6~9 mm, 53° 에서는 5~7 mm로 각각 일정하게 생성되었다.

(3) 석탄회의 볼성형에서 pan의 회전수 16 rpm의 조건에서는 팬의 경사가 48° 일 때 가장 적합한 것으로 나타났다.

(4) 볼의 처리능력을 1ton/h을 생산하기 위해서는 팬의 직경 D는 2m로 하고 높이 H는 0.4m로 제작하여 사용하면 가능할 것으로 사료된다.

제3절 Ash ball 양산화기술 개발

1. 석탄회 구형양산화 공정

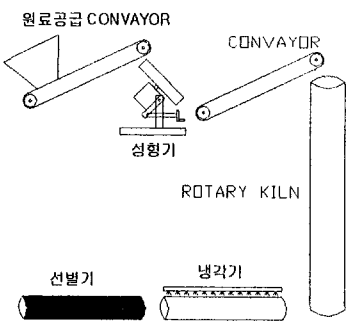


Fig. 4.6. 석탄회 구형 자동 생산 제작도

석탄회 구형을 자동화 system 상태에서 대량 생산하기 위해서는 성형기→소성로 →냉각기 →선별기→제품 포장으로 구성되어야 한다.

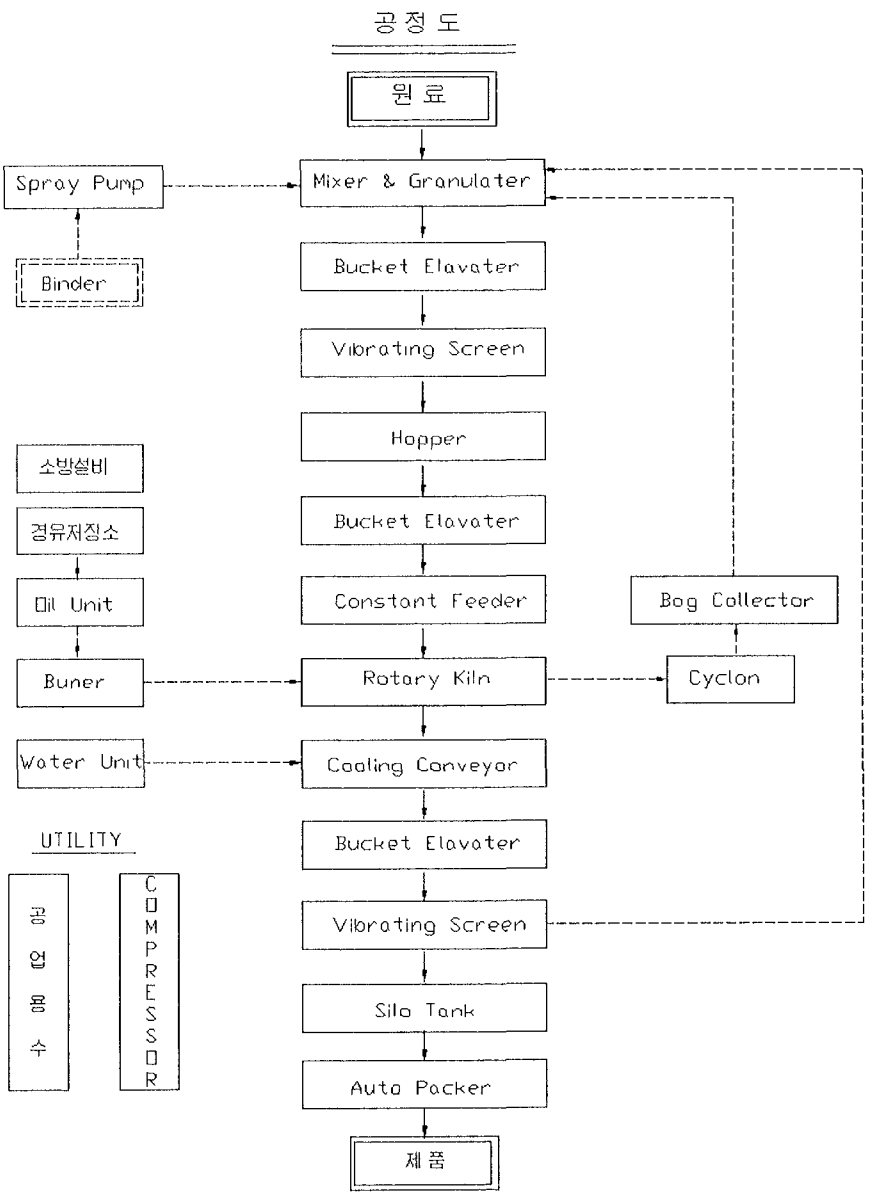


Fig. 4.7. Ash ball 자동 생산화 공정도

가. 혼합과 조립

품질이 우수한 ash ball을 생성하기 위해서는 혼합율이 좋아야한다. 따라서 주원료인 석탄회와 점토를 무게비로 혼합기에서 혼합한다. 이렇게 혼합된 원료는 저장호퍼에서 일정량이 공급될 수 있도록 콘베이어 벨트를 이용하여 pan형 조립기에 일정량이 공급될 수 있도록 속도를 고정시켜 공급시킨다.

경사진 pan의 내부에 원료가 공급과 동시에 액체 바인더(물)를 살포하여 응집된 조립물을 생성하고, 또 회전 pan의 분급효과를 위해서 비교적 크게 성장한 조립물을 pan으로부터 제거시킨다. 이 과정이 경과하면 일정한 크기의 ash ball이 생성되는데 pan의 경사와 pan의 회전수에 따라서 ash ball의 크기를 임의로 조절이 가능하다. 생성된 ash ball이 외부로 배출되는 순간부터 원료와 바인더의 공급을 고정위치에 고정시키면 ash ball의 생성은 자동적으로 생성, 배출이 가능하다.

나. 벨트 콘베이어

분립체의 수평 또는 완경사 수송에 널리 사용되고 있는 콘베이어 벨트 시스템을 이용하는 것이 바람직하다. 생성된 ash ball은 외부로 배출될 때 큰 낙차로 파손될 우려가 있기 때문에 완만한 경사의 배출판을 설치한다. 경사를 타고 굴러 떨어진 ash ball은 곧바로 콘베이어 벨트를 타고 다음 공정으로 이송되게 한다.

다. 로타리킬른(Rotary Kiln)

성형된 ash ball의 열처리를 위해 길이 15 m, 직경 1 m의 로타리킬른을 사용한다. 이송된 ash ball의 파괴를 방지하기 위해서 완만한 경사면을 따라서 소성로에 투입이 되도록 하였고 길이가 15 m인 로를 통과하면서 처음 5 m 구간에서는 건조과정이 이루어지며 나머지 구간을 통과하면서 ash ball의 소

성이 행하여진다. 이 때 로의 온도 1100℃에서 20-30분간 열처리한다.

라. Cooling Conveyor

소성된 ash ball은 곧바로 냉각 콘베이어로 이송되는데 이때 냉각기는 간접 냉각방식으로 경사진 원통형을 통과하는 동안에 외부에 냉각수를 흘려주는 방식이다. 따라서, 경사진 원통형관을 통해 이동되는 동안에 1100℃의 볼은 냉각되어 선별작업을 위해 콘베이어를 통해 선별기로 이송된다.

마. Vibrating Screen

냉각된 ash ball은 원통형 스크린으로 이송되어 ash ball의 크기가 3, 5, 7, 9 mm의 순서로 통과하면서 크기별로 사이로 탱크로 이송된다. ash ball의 크기가 적정 크기보다 클 경우 스크린의 외부로 이송되어 폐기처리 된다.

바. Silo Tank

생성된 ash ball은 각각의 크기별로 저장탱크로 이송되어 탱크에 저장된다.

사. Auto Packer

저장탱크로부터 자동적으로 포장된다.

2. 양산화 실험결과

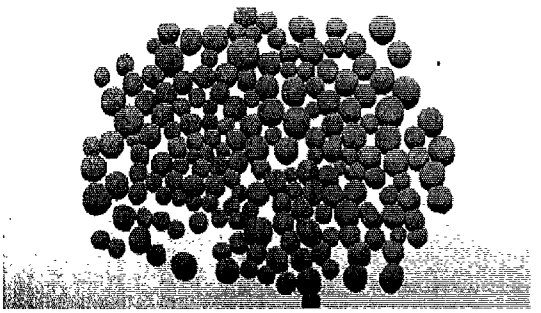
가. 성형성

Table 4.3. 석탄회 구형화 양산화 생산 조건

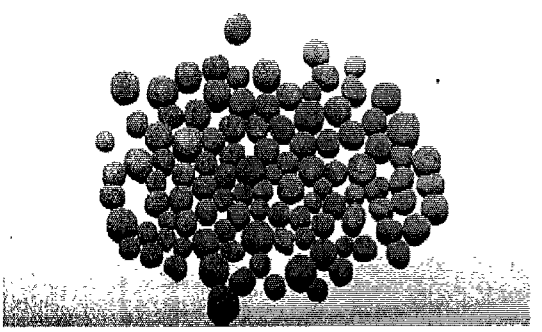
	석탄회	점 토	숯	총 생산량	바인더	볼의 크기	생산공정	
							소결온도 (℃)	시간 (분)
1	85wt.%	15wt.%		8 Ton :	물	5,7,9㎜	1,100도	15분
2	85wt.%	15wt.%	5wt.%	1 Ton:	물	5,7,9㎜	1,100도	15분
3	85wt.%	15wt.%	10wt.%	1 Ton:	물	5,7,9㎜	1,100도	15분

Table 4.3과 같은 원료 조성비로 10 ton의 시제품을 생산하였으며, 본 연구에서 개발한 pan형 성형기를 이용하여 양산화 하였다. Fig. 4.8.(a)는 pan형 성형기에서 1차 구형화 한 ash ball의 사진이며, Fig. 4.8.(b)는 1차구형화 한 시편을 2차 구형화 처리한 ash ball의 사진이다. 소성 후, 두 시편의 비교시 1차 성형처리 한 시편의 파괴가 일어나지 않음을 알 수 있었다. 성형시간을 단축시키기 위하여 1차 구형화 실험에서 생성된 작은 핵(seed)을 이용하여 성형하면 성형시간이 단축되었으며, 소성 후, Fig. 4.8.(c)와 같이 양산화가 가능하였다.

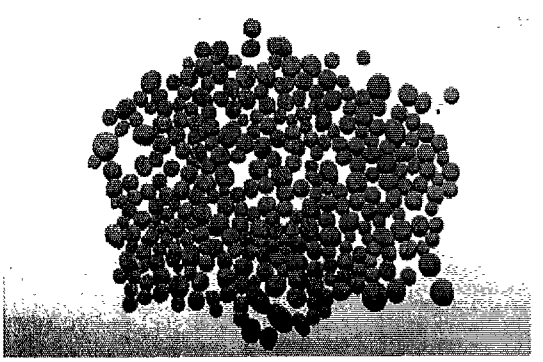
제조한 ash ball의 부피비중을 감소시키고 흡수율을 증가시키기 위하여 (a) 조성비에 숯 10 wt% 및 20 wt%을 혼합하여 구형화 하였으나, green body강도가 매우 약해 표면에 점결성이 우수한 벤토나이트를 pan형 성형기에 넣어 표면을 코팅하였다. 소성 공정 후에도 Fig. 4.8.(d), (e)와 같이 경량인 시제품을 생산 할 수 있었다.



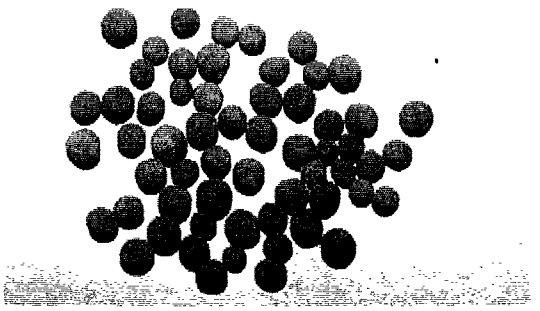
(a)



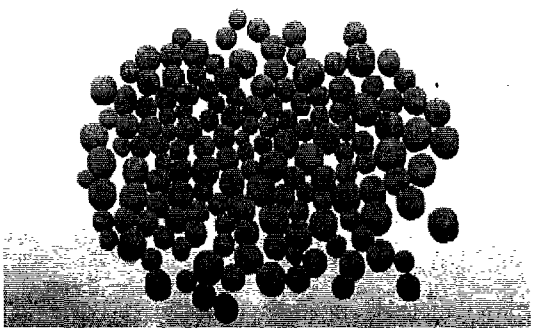
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 4.8. 석탄회 구형 자동 생산 실험 결과

(a) 85 wt% 석탄회 + 15 wt% 점토 ash ball(1차 성형)

(b) 85 wt% 석탄회 + 15 wt% 점토 ash ball(2차 성형)

(c) seed을 이용하여 (a)와 같이 성형 처리 후, 소성

(d) (a)에 숯(10 wt%)을 첨가하여 성형 후,
벤토나이트로 표면 코팅

(e) (b)에 숯(10 wt%)을 첨가하여 성형 처리 후,
벤토나이트로 표면 코팅

제4절 경제성 분석

1. 생산 원가 분석

Table 4.4에 석탄회를 이용하여 ash ball의 양산화시 생산원가 분석 결과를 보인다(1일 12시간 가동시 12ton 생산 기준).

Table 4.4. 석탄회를 이용한 ash ball 생산시 원가 분석

항목	내역	1 ton 생산시 단가	비고
원재료비용	fly ash	0원	구입비 공제
	점토	2,000원	
제조비용	유류대 : 1ton 생산시 70 l 소비 ×550원/l	38,500원/1ton 생산시	40l×550원/l=22,000원(열효율향상시)
	전력비 20kwh/t×50원/kwh	1,000원/1ton 생산시	
고정비용	인건비 상근 2명 × 150만원/월	8,300원/ton	300일 가동/년
	감가상각 3억원/기간10년	8,300원/ton	300일 가동/년
총 원가		58,100원/ton	41,600원 (열효율향상시)
경상이익	생산원가의 10%	5,810원/ton	4,160원
합계		63,910원/ton	45,760원

가. 원재료 비용

Table 4.5, 4.6에 1995년도 국내 화력발전소별 석탄회 발생현황과 재활용 현황을 보인다(Oh, 1998).

Table 4.5. 석탄회 발생 추이

(단위 : 천톤)

발전소 \ 연도		1994	1995	1996	2000	2005	비 고
국내탄화력	서 천	402	368	404	413	430	
	영 동	154	226	239	4	6	
	영 월	192	204	229	-	-	
	부 산	55	73	60	-	-	
	군 산	44	38	39	-	-	
	동 해	-	-	-	609	589	
	소 계	847	909	971	1,026	1,026	
석탄화력	보 령	813	829	874	748	803	
	삼 천 포	602	659	699	641	628	
	호 남	149	123	185	141	129	
	태 안	-	165	385	529	800	
	하 동	-	-	13	784	827	
	당 진	-	-	-	493	550	
	영 흥 도	-	-	-	-	880	
	신규화력	-	-	-	-	70	
	소 계	1,623	1,775	2,156	3,390	4,687	
		2,475	2,684	3,127	4,419	5,713	

Table 4.6. 발전소별 석탄회 재활용 현황(1995년도)

발전소		석탄회발생량 (천톤)	석탄회발생율 (%)	재활용량 (천톤)	재활용률 (%)	비 고
국내탄	서천	368	36.6	10	2.8	
	영동	226	31.4	4	1.6	
	영월	204	49.8	225	100	
	부산	73	43.7	23	31.6	
	군산	38	29.9	-	-	
	소계	909	37.4	262	28.8	
석탄	보령	829	10.6	228	27.5	
	삼천포	658	11.2	0.1	00.2	
	호남	123	9.8	-	-	
	태안	165	13.4	1	0.4	
	소계	1,775	11.0	229	12.9	
합계		2,684	14.4	491	18.3	

강원도 영동화력발전소 경우 1999년도에 226천톤을 생산하였으나, 재활용은 단지 1.6%였다. 2001년도에는 성신양회에 석탄회 처리비를 지급하면서 도석탄회를 처리할 예정이다(Oh, 1998). 석탄회를 이용하여 원예 농업자재로 대량 생산한다면 원료 구입시 원료비를 지급하지 않고 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 점토는 운반비까지 합쳐서 1ton당 10,000원을 계산하였다.

나. 제조경비

1) 성형비

본 연구에서 개발한 pan 형 성형기를 이용할 경우 전력만 소요된다. 결합제로서는 물을 사용하기 때문에 물 사용비는 경제분석에서 제외하였다. 분말 이송장치을 위한 모터, 팬 형 성형기에 필요한 모터, 물 공급에 필요한 모터, 성형 후 이송장치에 필요한 모터등에 소요되는 전력비 요구되고 있는 실정이다. 성형장치를 가동할 1인 인력이 요구된다.

2) 유류대

반습식으로 성형하였으므로 특별히 건조하지 않고 직접 열을 가하여 소성하는 방식을 이용하므로 시간당 1ton을 1,100℃정도 소성하는데 필요한 경유는 70 liter가 소요된다. Rotary kiln의 폐열을 재활용하면 시간당 1ton을 소성하는데 40 liter까지 절약할 수 있을 것으로 사료된다.

3) 전력비

성형장치, 유류 공급장치, 냉각장치등에 사용되는 전력은 20 kwh/ton으로 소요됨이 분석되었다.

다. 고정비용

1) 인건비

Pan형 성형기가 개발되어 자동으로 성형되어 소성할 수 있는 system을 시설을 갖춘다면 1인은 성형공정과 소성공정을 겸비하면서 생산하고, 1인은 나머지 공정을 관리할 수 있으므로 2인으로 대량생산을 할 수 있다.

2) 감가상각비

Pan형 성형기는 분말을 사용하기 때문에 철판 부분의 마모가 발생하나, 철의 원가가 저렴하여 감가상각비는 매우 적으며 rotray kiln의 경우 내화물의 부식관계, 로의 온도 제어를 적정하게 조절하지 못하였을 때 로의 손실이 발생하나 소성온도가 1,200℃이하이므로 로의 수명은 10년 이상이다.

라. 생산 원가

현재 실험상에서는 Table 4.3과 같이 ash ball 1ton 생산하는데 64,000원이 소요될 것으로 분석되었다. Ash ball을 대량 생산할 경우 소성 공정부분에서 사용 유류량이 적게 소모될 수 있으므로 1ton 생산비를 46,000원까지 원가를 절약할 수 있을 것으로 사료된다.

마. 품질

원료공급상태가 일정하고 성형공정과 소성공정인 생산공정에서 문제점이 발생하지 않으면 항상 일정한 품질을 생산 할 수 있을 것으로 사료된다.

제5절 결과요약

본 연구에서는 구형이면서 비점결성인 물리적 성질을 갖는 석탄회 분말은 구형등 성형이 매우 어려워 실제적으로 사용범위가 제한되었으나, Pan 형 성형기를 이용하여 석탄회를 이용하여 구상화 할 수 있는 성형기술을 개발함으로서 자동화 할 수 있는 기술이 개발되었다.

1) Pan형 성형기는 원료 조성비를 다양하게 변화 시켜 성형 할 수 있다.
2) 반습식으로 성형함으로서 소성시 건조공정이 특별하게 필요 없다.
3) Pan형 성형기의 각도를 이용하여 구형의 크기를 조절 할 수 있다(5 - 10㎜).
4) 성형 처리량은 Pan형 성형기의 크기에 의해서 조절 할 수 있다.
5) 성형기술이 개발됨으로서 자동화 할 수 있는 기술이 개발되었다.
6) 자동화로 인하여 생산비 저렴하다.
7) Rotary kiln의 폐열을 재활용하여 유류비용을 절감할 수 있는 연구가 보완되어야 한다.

인용문헌

Bacher, V., V. Ernstsen, K.G. Jeppsen, H. Kristiansen and P. Madsen. 1988. Fly ash in bricks and tiles. Materials Research Symposium Processing. 113 : 219-230.

Black, C., D. Brockway, S. Hodges and A. Milner. 1992. Utilization of latrobe valley brown coal fly-ash. Gippsland Basin Symposium. Melbourne 22-23 : 149-152.

Capes, C.E., 1980, Particle Size Enlargement, Elsevier

Gregory, B, J. McCarthy, 1988, Fly Ash and Coal Conversion By-Produts: Characterization, Utilization, and Diposal Ⅳ, MRS

Ghosh, S.K. 1985. Understanding thermal coal ash behavior. Mining Eng. Feb. : 158-162.

Hemmings, R.T. and E.E. Berry. 1988. On the glass in coal fly ashes: recent advances. Materials Research Symposium Processing. 113 : 3-38.

Iwama, H. 1999. p. 1001-1026. In: H. Dakeuchi(eds.). Characterization, production and application of porous materials. Fuji · Techosystem. Japan.

Lee, K.K., H.J. Lee, C.J. Park, D.W. Kim, Y.T. Kim and S.B. Kim. 1996. A study on the plasticity enhancement of coal fly ash-clay bodies. J. of the Korean Ceramic Soc. 33(2) : 135-142.

Mori, S. and T. Sawa. 1994. The development of amendment process of coal fly ash. Chemical Eng. of Jap. 1 : 69-74.

Oh, S. W. 1990. The treatment and count measure of fly ash. J. of the waste. 1998 : 90-102

Park, K.W. and Y. S. Kim. 1988. Hydroponics, Academi Press

Shin, D.Y., S.K. Kang and S.M. Han. 1998. Preparation for porous ceramics using low grade clay. J. of the Korean Ceramic Soc. 35(6) : 575-582.

Shin, J.S., 1995. Characterization and agricultural utilization of fly ash. Mineral and Industrial. 8(1) : 10-14.

Smith E. J. D. and L.I. Ceram. 1956. The sintering of fly-ash. J. of the Institute of Fuel. 2 : 253-260.

Yoo, K. C., I. S. Kim, W. S. Kang and D. Y. Shin. 2000. Development oh hydroponic media using fly ash and clay system cultures. J. of Bio-Enviroment Control. 3 : 47-59.

제5장 양액재배용 배지로서 ash ball의 특성

제1절 서 설

제2절 재료 및 방법

제3절 결과 및 고찰

1. 배지의 이화학적 특성

2. 사용배지의 염류집적 및 세척효과

3. 재배과정 중 채취한 배지시료에서 생장억제물질 검정을 위한 토마토와 오이의 발아실험

제4절 결 과 요 약

제 5 장 양액재배용 배지로서 ash ball의 특성

제1절 서 설

석탄회(Coal fly ash)는 화력발전소의 연소 보일러에서 연소하고 남은 석탄재로써, 연소 폐가스 중에 포함되어 집진기에 의해 회수된 1~150㎛정도의 특정입도 범위의 입상잔사를 말한다. 석탄회의 구성 성분은 많은 산화물로 존재하는데 Al_2O_3, SiO_2가 주성분으로 구성되어 있고, 미량의 알칼리 금속 및 토금속의 산화물 등이 함유되어 있으며, 결정상은 mullite($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)와 quartz(SiO_2)로 구성되어 있다(Lee 등, 1995; Lee 등,1996).

Ash ball은 화력발전소의 부산물인 석탄재를 활용하여 만든 입경이 5-15mm의 多孔質 배지로서 본 연구팀에 의해 국내 처음 양액재배용 고형배지로서 개발되었다. Ash ball은 보수력은 다소 낮으나 통기성과 수분확산성이 뛰어나며, 배양액의 양적 제어가 타 배지에 비해 탁월하여 품질을 중요시하는 과채류 재배에 적합한 배지로 알려져 있으나(Kojima 등, 1995; Kuriyama 등, 1995; Yoo 등, 2000) 이 배지의 특성과 이용에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

국내 양액재배 면적은 '92년말 17ha 수준에서 '98년말 540ha로 비약적 증가를 하였으며, 2004년까지는 약1,000ha 내외로 면적이 확대될 것으로 추정되고 있다(Seo, 1999). 양액재배의 보급이 확대되면서 환경친화적 고형배지에 대한 관심과 연구가 증가되어 다양한 배지의 개발과 이용이 늘어나고 있다(Lee 등, 1993; Bohme, 1994). 이러한 관심은 암면의 사용에 따른 사용후 폐기에 곤난을 겪게되면서 작물의 생장에 적합하고 저렴하며, 사용이 용이하고 사용

후 폐기가 용이하거나 재활용이 가능한 고형배지의 개발에 집중되고 있다(Lee 등, 1999). 암면은 온실작물의 장기재배에 사용될 수 있으나(Jeong과 Lee, 1987; Jeong 등, 1988), 가격이 비싸고 연작으로 인한 수량감소와 품질저하가 심하며 재사용시의 안정성이 낮으므로 양액재배 농가가 재사용을 꺼리고 있는 실정이다. 현재 국내에서 양액재배에 사용된 암면 슬래브는 처리방안이 마련되지 않아 대부분 재배온실 주변에 방치되어 문제시되고 있는 실정이다(Kim 등, 2000). 따라서 양액재배용 배지의 국산화와 장기사용 가능한 배지의 개발이 필요하다.

본 실험은 배지의 이화학적 특성을 측정하여 과채류 재배에 적합한 고형배지경 배지로서의 資材特性을 구명하고, 종국적으로 저렴하고 환경친화적이며 반영구적인 다공질의 배지를 개발하려는데 그 목적이 있다.

제2절 재료 및 방법

본 실험은 저비용으로 환경친화적이고 양수분조절이 용이한 고형배지의 개발을 목적으로 자체 조제한 ash ball의 이화학적특성 및 사용배지의 염류세척효과를 입상락울 및 펄라이트와 비교하여 관찰하였다.

1. 배지의 이화학적 특성

가. 물리적 특성

공시배지로는 ash ball, perlite 및 rockwool을 사용하였으며, ash ball배지는 입자크기에 따라 대립(7mm 이상), 중립(5~7mm), 소립(3.5~5mm)로 구분하였다.

상기의 배지를 105℃에서 24시간 건조하여 가비중을 구하였다. 이 시료를 3일간 침수, 감압처리 후 포화용수량을 구하고 비중, 공급율 및 고상율을 산출

하였다. 전비중은 건조시료를 분쇄하여 표준체 300㎛을 통과시킨 후 비중병법으로 측정하였다. 다음 밑면에 구멍이 뚫린 500ml의 용기에 감압처리한 시료를 충진하여 20℃ · 습도80%의 항온실에서 중력에 의한 수분율의 경시변화를 0, 15분, 30분, 1시간, 2시간, 12시간, 24시간, 48시간 때별로 조사하였다. 배지의 수분분포를 측정하기 위하여 3일간 침지한 배지시료를 폭30cm×길이200cm×깊이12cm 재배매트에 7.5cm 두께로 충진하여 물로 포화시킨 후 3일간 배수하였다. 그 중앙부에 20cm 간격으로 2분간에 1,000ml의 배양액을 관주하여 4시간 후에 매트의 횡단면을 18분할하여 수분율을 구하였다.

나. 화학적 특성

시료는 이온교환수로 세척하여 80℃에서 72시간 건조시켰다. 배지의 화학적 조성은 Brown 간이법을 사용하여 시료의 치환성 양이온의 측정하였다.

배지의 양이온치환용량(CEC)의 측정은 AOAC법을 사용하였다. 즉 80℃ 건조시료 5g와 100ml 0.5N HCl을 300ml 삼각플라스크에 넣고 플라스크의 뚜껑을 막아 약 2시간에 걸쳐 플라스크를 잠깐씩 세게 저어주었다. 2시간 후 Rapid filter paper를 이용하여 여과시켰고, 증류수 50ml씩 이용해 씻어내었으며 여과된 물은 버렸다(씻어낸 물에 1% $AgNO_3$를 첨가할 경우 침점이 일어나지 않을 때까지). 이후 Filter paper의 아랫부분을 구멍을 낸 후 약 100ml 0.5N $Ba(CH_3COO)_2$를 이용하여 시료를 삼각플라스크로 씻어 내렸으며, 플라스크의 뚜껑을 막고 shaker를 이용해 15분간 세게 흔들어 주었다. 여과지를 거른 후 100ml의 증류수로 3회 씻어 내었으며 포집된 용액에 5방울의 phenol- phthalein 용액을 떨어트린 후 0.1N NaOH 표준액을 이용해 핑크색이 나올 때까지 적정하여 양이온치환용량을 계산하였다.

Ash ball침지 배양액의 pH, EC 및 이온성분변화를 측정하기 위하여 폴리製용기에 400g의 시료를 넣고 한국원시처방으로 만든 표준액을 2,000ml를 넣

고 밀봉하여 실온에서 소정기간 동안 정지하였다. 샘플링하기 30분 전에 교반하여 그 상등액을 20ml 취하여 분석에 사용하였다.

pH는 유리전극법, EC는 전극법으로 측정하였다. N는 킬달증류법으로 측정하고, K, Ca, Mg는 원자흡광분광광도계로, P는 5012 자동분석기를 이용하여 측정하였다.

2. 사용배지의 염류집적 및 세척효과

가. 수세에 의한 염류제거효과

배지는 급액량 및 양액농도별 재배에 사용된 ash ball과 perlite 배지를 공시하였다. 급액량은 주당 1.8L와 0.9L 두 수준으로, 양액농도는 한국원시액의 표준농도의 1/2배액(1/2S), 1배액(1S) 및 3/2배액(3/2S) 3수준으로 구분하였다. 배지용적의 1/2배 물로 매번 15분간 배지를 침지한 후 배수하는 방법으로 전체 10회 반복하여 매번 침지액의 EC농도와 이온성분변화를 측정하였다.

나. 양액 자동제어시스템의 원수공급에 의한 염류제거효과

수확 완료 후 식물체를 제거하지 않은 상태에서 양액공급시스템을 가동하여 양액 대신 원수를 공급하는 방법으로 배지의 염류제거효과를 조사하였다. 즉 양액공급시스템으로 1주일간 원수를 공급하고 배액의 EC를 매일 측정하였다.

3. 재배과정 중 채취한 배지시료에서 생장억제물질 검정을 위한 토마토와 오이의 발아실험

정식 후 35일째와 65일째에 재배배드로부터 배지를 채취하여 생장억제물질 검정을 위한 시료로 공시하였다. 배지와 증류수의 비를 2:1(v/v)로 배지를 침지하여 24시간 방치 후 얻은 상징액을 오이와 토마토의 발아용액으로 사용

하였다. 오이 '장일백반오이'(홍농종묘)와 토마토'강육토마토'(중앙종묘)를 페트레디쉬에 50입씩 3반복으로 치상하였고, 치상 후 4일째까지 매일 발아수를 조사하여 초기발아세(T_{50})와 최종발아율을 구하고 생체중을 측정하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 배지의 이화학적 특성

가. 물리적 특성

Ash ball의 가비중과 고상은 각각 0.9g/cm^{3}와 40%로 perlite나 rockwool에 비해 월등히 높았으나 공극율과 포화용수량은 ash ball이 각각 60%와 55%로 타 배지에 비해 낮게 나타났다. Ash ball의 진비중은 2.3g/cm^{3}으로 perlite보다 높았으나 rockwool보다는 낮았다(Table. 5.1).

Table. 5.1. Physical characteristics of ash ball for application in hydroponics.

Media	Bulk density (g/cm^3)	Paticle density (g/cm^3)	Solid phase (%)	Porosity (%)	Saturation moisture capacity (%)
AB(L)	0.92	2.29	40.2	59.8	52.9
AB(M)	0.94	//	41.0	59.0	55.3
AB(S)	0.96	//	41.9	58.1	57.6
PL	0.19	1.54	12.3	87.7	71.5
RW	0.20	2.73	7.3	92.7	90.3

AB: Ash ball, PL: Perlite, RW: granule Rockwool, L: Large, M: Middle, S: Small

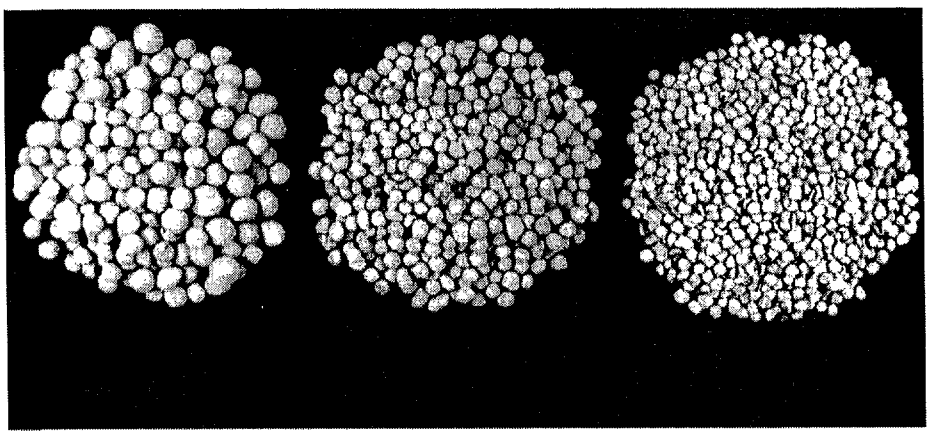


Fig. 5.1. Classification by ash ball size.

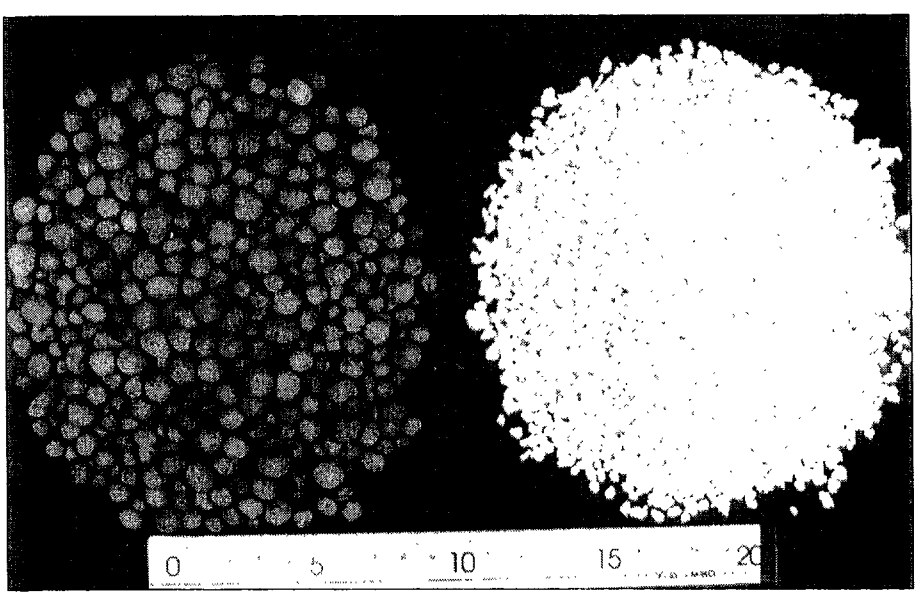


Fig. 5.2. Ash ball and perlite shape

침지 3일 후 배지의 수분율은 ash ball이 55%로 perlite의 71%나 rockwool의 90%에 비해 현저히 낮아 과습상태로 되기 어려운 배지임을 시사하였다. 15분의 중력에 의한 배수에 의해 ash ball, perlite 및 rockwool의 수분율은 각각 20.3 29.8, 81.4%로 낮아졌으며, 그 이후에는 모든 배지에서 수분율이 약간 감소하는 경향을 보였으나 큰 변화는 나타나지 않았다(Fig. 5.3). 이는 rockwool은 보수력이 극히 높은데 비해, ash ball과 perlite는 투수성이 뛰어나 소량·다빈도 급액이 필요한 배지임을 시사하였다.

배드에 배양액을 관주 후 수분분포를 관찰한 결과, 배드내 수분율은 배지 종류의 보수력에 따라 현저한 차이를 나타내었는데 ash ball과 perlite는 수직 및 수평방향의 분포가 비교적 균일하여 배양액이 수평방향으로도 신속하게 확산됨을 확인할 수 있었다.(Fig. 5.4).

Ash ball배지의 입자크기별 배드내 수분율은 입자가 작을수록 수분율이 증가하고 수직 및 수평방향의 분포도 균일한 경향을 보였다(Fig. 5.5).

위의 결과로부터, ash ball 및 perlite는 보수력은 다소 낮지만 통기성과 수분확산성이 우수하여 양수분제어가 용이한 배지임을 확인할 수 있었다.

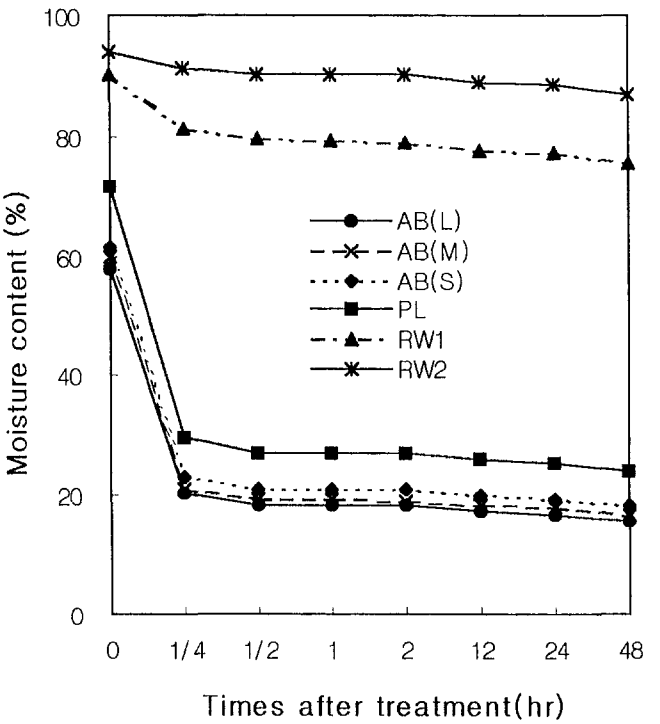


Fig. 5.3. Changes of moisture content after draining.
AB: Ash ball(L: Large, M: Middle, S: Small), PL Perlite, RW1: granule Rockwool, RW2: rockwool.

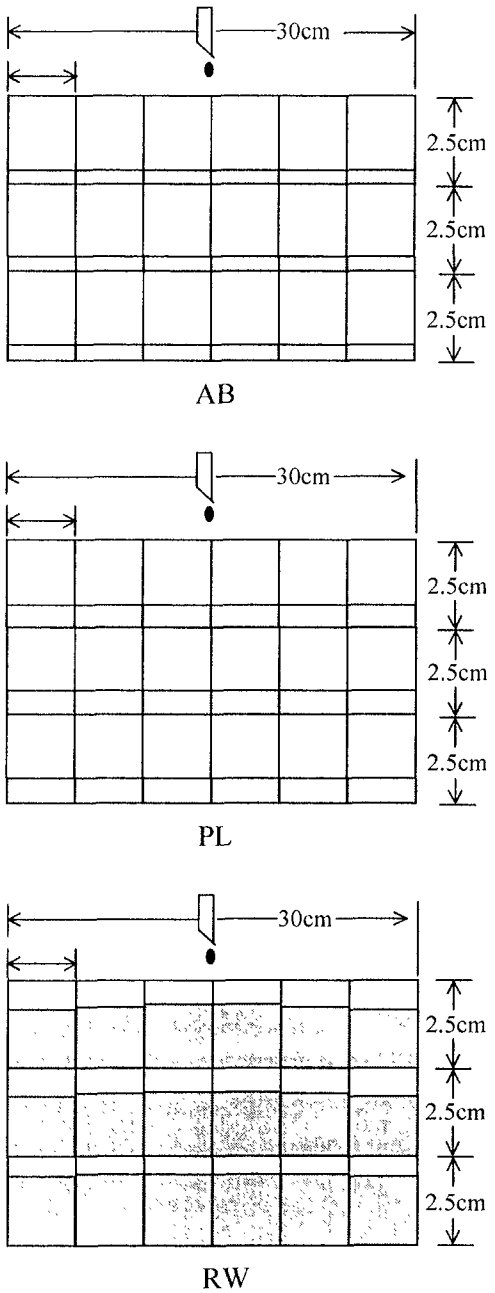


Fig. 5.4. Moisture distribution chart of cross section after irrigation AB:Ash ball, PL:Perlite, RW:granule Rockwool.

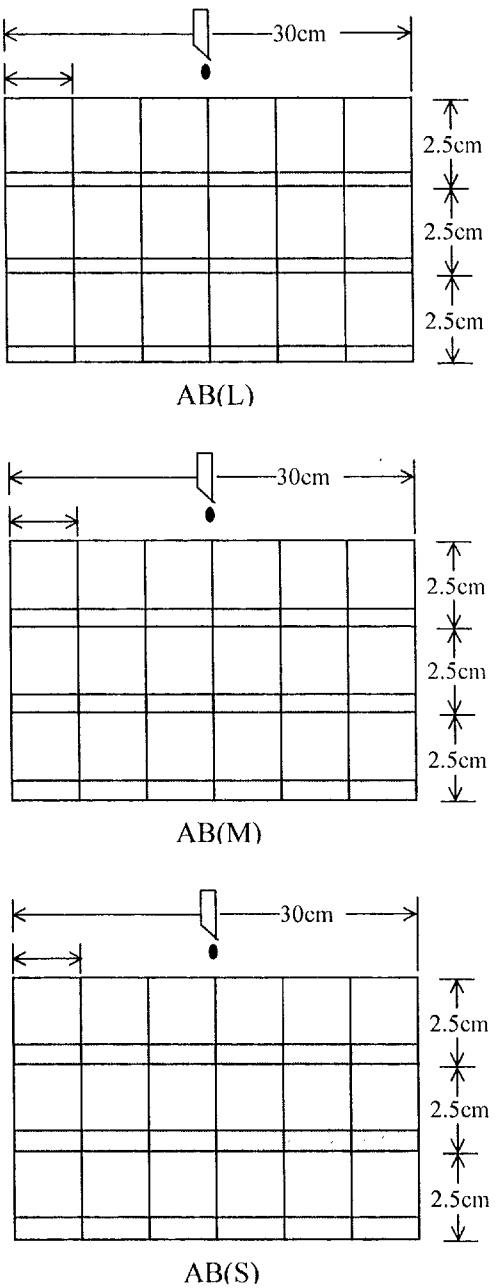


Fig. 5.5. Moisture distribution chart of cross section after irrigation in fine and coarse ash ball. L:large, M:middle, S:small

나. 화학적 특성

Ash ball 원료의 주성분은 SiO_2와 Al_2O_3로 70%이상을 차지하며, 식물에 안전하고 2차 공해의 원인이 되는 유해성분의 용출은 없는 것으로 나타났다 (Table 5.2).

Table 5.2. The chemical composition of clay and fly ash ball. (Unit:wt%)

Comp. / Sample	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	MnO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	Ig. loss
Jungsun Clay	57.22	16.00	8.25	2.02	2.52	0.86	0.40	2.95	0.51	0.19	8.84
Youngdong Fly ash	47.06	30.95	3.89	0.58	0.69	1.72	0.04	3.63	0.03	0.23	11.17

증류수에 1주간 침지한 배지용액에서 ash ball의 pH는 7.7로 perlite와 rockwool에 비해 다소 높게 나타나 약 염기성 배지임을 알 수 있었다. 배지의 양이온치환용량(CEC)은 ash ball이 9.24mg/100g로 perlite나 rockwool에 비해 2배 이상 높게 나타났으며, 유효인산(P_2O_5)과 K, Ca, Mg의 무기원소함량도 타 배지에 비해 다소 높게 나타났다(Table 5.3).

Table 5.3. Chemical characteristics of ash ball for application in hydroponics.

Media	pH	CEC (mg/100g)	P_2O_5 (ppm)	me/100g		
				K	Ca	Mg
AB	7.7	9.24	12.04	0.26	1.71	0.43
PL	6.5	2.65	10.51	0.15	0.73	0.12
RW	7.4	4.41	3.36	0.17	1.44	0.18

AB: Ash ball, PL: Perlite, RW: granule Rockwool

배지 침지 배양액의 EC, pH: 원시처방 표준액(pH 5.4, EC 2.3mS/cm)에 시료를 침지한 5주 후의 pH는 ash ball이 7.5, perlite가 6.3, rockwool이 7.3로 나타났다. EC는 모든 배지에서 2.3 내외로 배지간에 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다(Fig. 5.6~5.8).

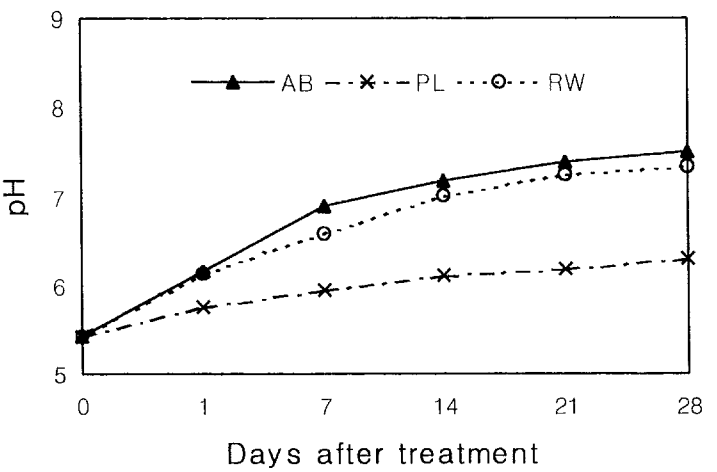


Fig. 5.6. Changes of pH on the nutrient solution in the precipitated media.

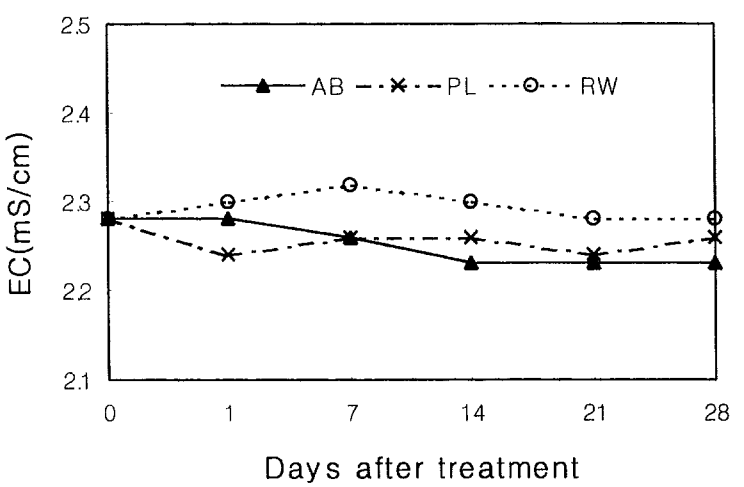


Fig. 5.7. Changes of EC on the nutrient solution in the precipitated media.

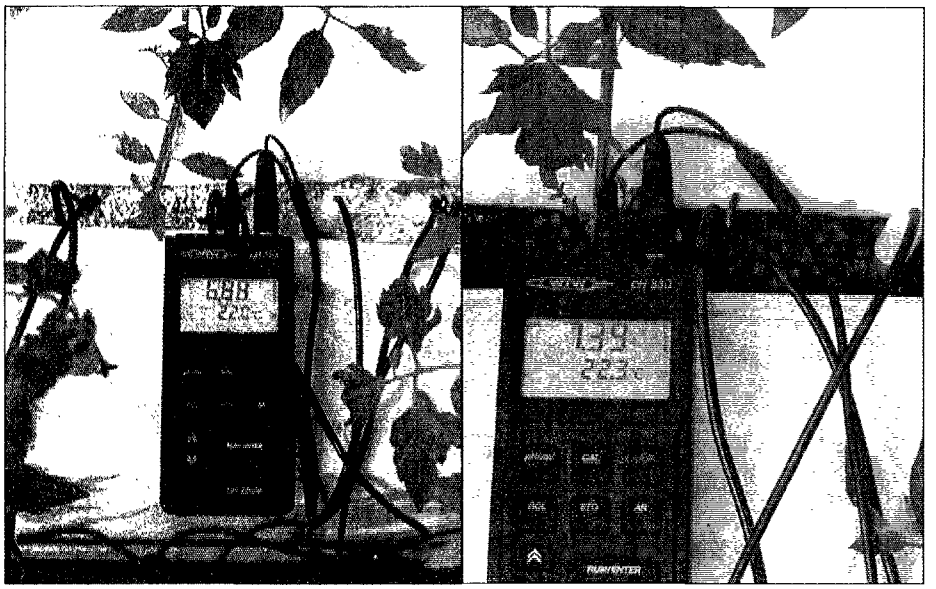


Fig. 5.8. EC and pH of root zone in ash ball and perlite culture.

Ash ball 침지 배양액의 이온성분 변화: 배지침지 배양액에서 perlite는 칼리의 흡착이 많았고, ash ball과 rockwool은 인산의 흡착이 많아 5주 후에는 1.5me/l 정도 낮아졌다. 타 원소의 변화는 배지간에 차이가 미미하였다. 전체적으로 이온농도의 변화는 perlite나 rockwool에 비해 ash ball이 다소 높은 편이었으나 재배에서 배양액조정을 어렵게 할 정도는 아닌 것으로 판단되었다(Fig. 5.9~5.11).

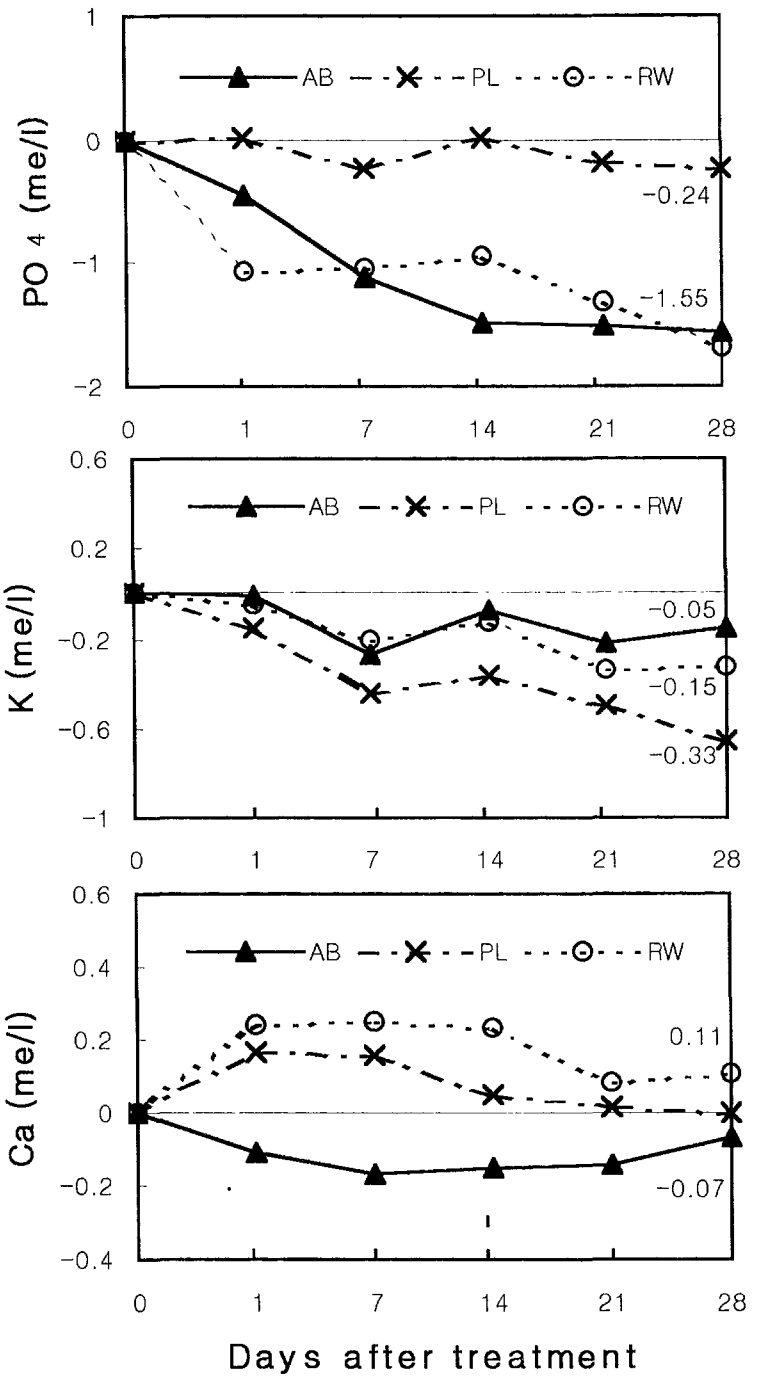


Fig. 5.9. Changes of ion concentration on the nutrient solution in the precipitated media.

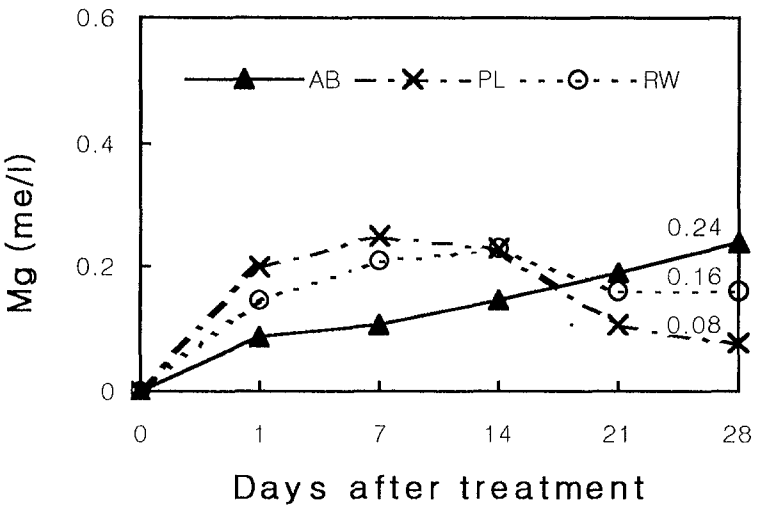


Fig. 5.10. Changes of ion concentration on the nutrient solution in the precipitated media.

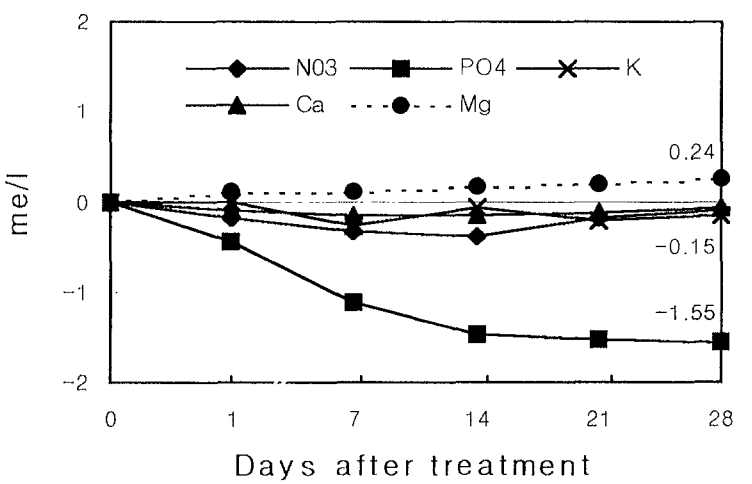


Fig. 5.11. Changes of ion concentration on the nutrient solution in the precipitated ash ball.

2. 사용배지의 염류집적 및 세척효과

가. 수세에 의한 염류제거효과

수세에 따른 배지표면의 염류제거 효과를 알아보기 위하여 배지를 15분간 증류수에 침지한 후 배수하는 방법으로 10회 세척하여 매번 수세용액의 EC 및 이온성분함량의 변화를 측정하였다.

수세액의 EC변화: 배지종류에 관계없이 양액공급량이 적었던 재배구 배지에서 세척액의 EC가 높게 나타나 염류집적이 많은 것으로 관찰되었으나, ash ball과 perlite 배지사이에는 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 수세액의 EC변화로 부터, 수세에 의한 perlite의 염류제거효과는 ash ball에 비해 초기에는 다소 높았으나 8회 이상 수세시에는 두 배지에서 공히 EC가 0.2mS/cm 내외로 낮아져 수세효과가 양호한 것으로 나타났다(Fig. 5.12와 5.13).

양액공급농도가 높았던 재배구 배지일수록 세척액의 EC가 높게 나타나 염류집적이 많은 것으로 나타났다. 수세에 의한 염류제거효과는 양액농도 및 염류집적 정도에 관계없이 10회 정도의 수세로 충분히 배지표면의 염류를 효과적으로 제거할 수 있었다(Fig. 5.14).

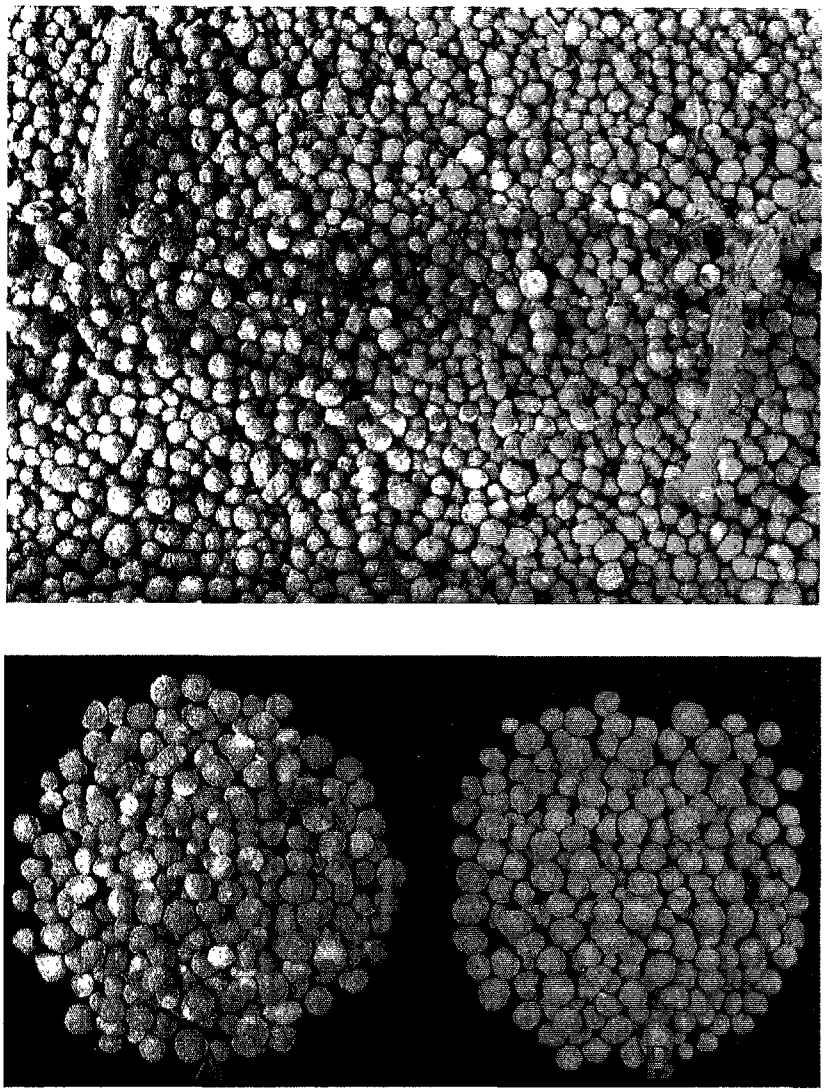


Fig. 5.12. The salt accumulation shape in cropping type of open-surface beds. A: used ash ball in culture, B: non sued ash ball

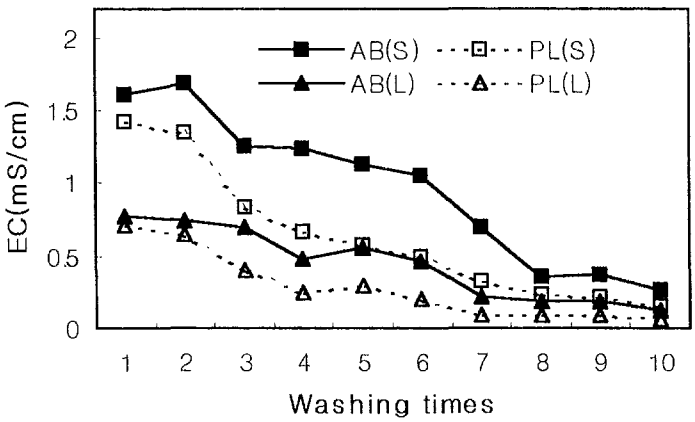


Fig. 5.13. The salt accumulation and effects of washing out salts with water in ash ball and perlite. L and S indicate large and small amount of nutrient solution supply, respectively.

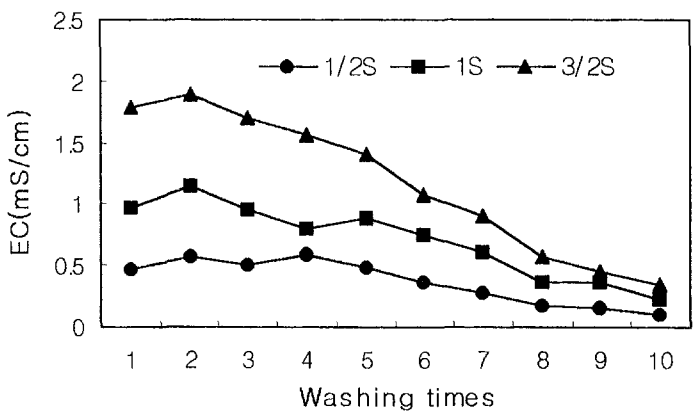


Fig. 5.14. The salt accumulation and effects of washing out salts with water as effected by different strength of nutrient solution(S) in ash ball culture.

수세액의 이온성분변화: 배지세척용액의 이온성분중 N, P, K 및 Mg는 perlite에서 많았고 Ca은 ash ball에서 많았다. 이는 Ca를 제외한 타 이온은 ash ball에 비해 perlite에서 많이 집적됨을 시사하였다. 그러나 배지세척에 따른 각 이온의 제거효과는 perlite가 ash ball에 비해 다소 양호했으며, 10회 정도 세척으로 배지표면에 집적된 가용성 이온성분은 대부분 제거되었다(Fig. 5.15와 5.16).

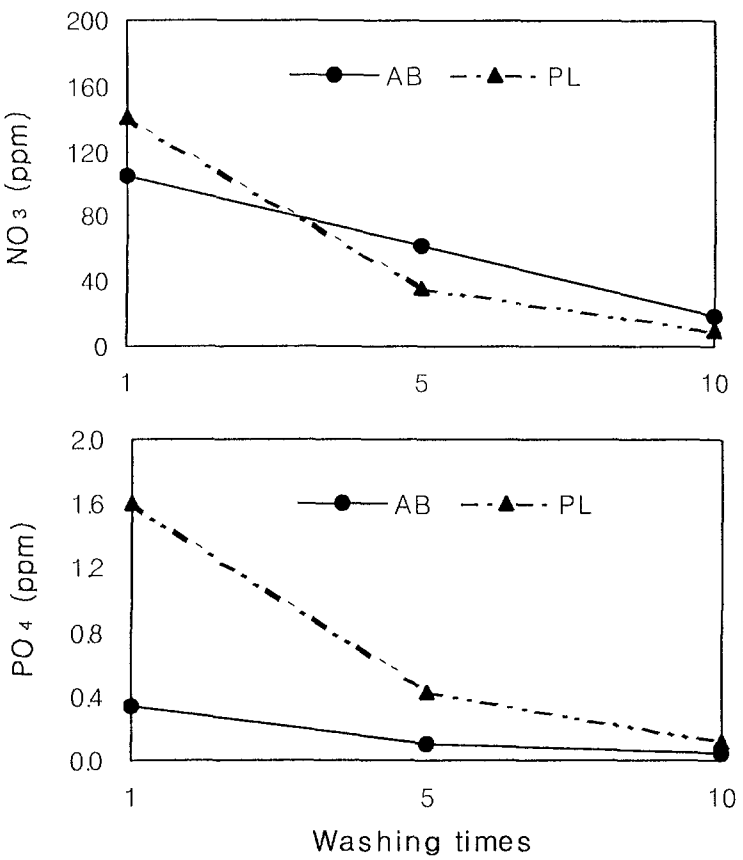


Fig. 5.15. Changes of ion concentration of salt accumulated ash ball and perlite extract as effected by washing out salts with water.

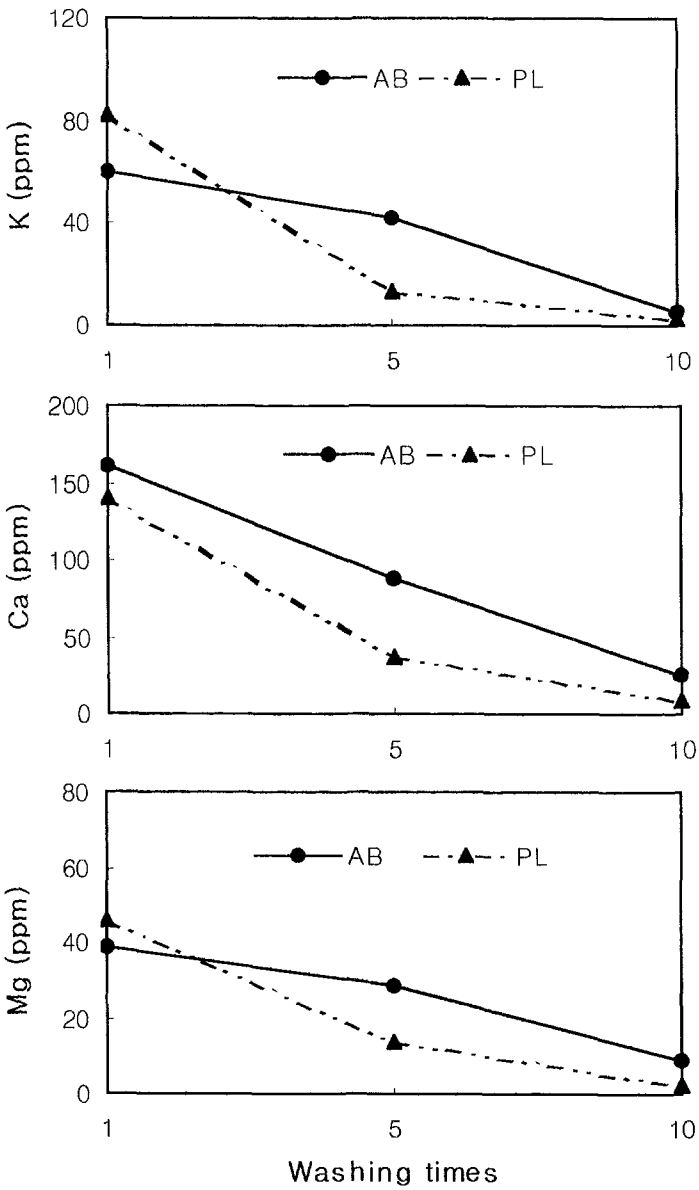


Fig. 5.16. Changes of ion concentration of salt accumulated ash ball and perlite extract as effected by washing out salts with water.

나. 양액 자동제어시스템의 원수공급에 의한 염류제거효과

수확 완료 후 식물체를 제거하지 않은 상태에서 자동공급시스템을 가동하여 양액 대신 원수를 공급하는 방법으로 염류집적 배지의 세척효과를 검토하였다. 배지의 세척효과를 알아보기 위하여 배액의 EC를 매일 측정한 결과, 처음 5 일간은 매일 큰 폭으로 떨어졌으나 그이 후부터는 완만한 변화를 보였으며 10일 후에는 EC가 0.5 mS/cm 이하로 떨어졌다(Fig. 5.17). 따라서 수확 완료 7 일 전부터 양액 대신 원수를 공급하면 재배기간 동안 배지표면에 집적되었던 염류를 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 사료된다.

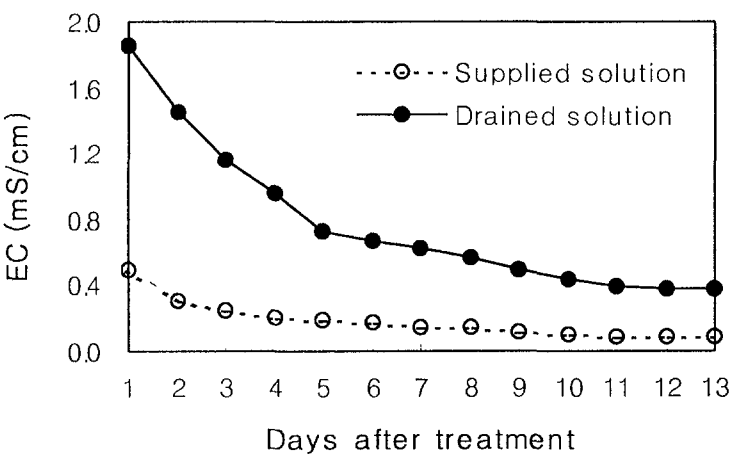


Fig. 5.17. Effects of salt washing by water supply using automated supply system in ash ball culture.

3. 재배과정 중 채취한 배지시료에서 생장억제물질 검정을 위한 토마토와 오이의 발아실험

35일째와 65일째의 ash ball과 perlite의 배지침출액에서 오이와 토마토의 발아율과 발아세는 대조구(증류수)와 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 시료의 종류 및 채취시기에 관계없이 치상 후 4일째 발아율은 토마토의 경우 90% 이상, 오이의 경우 98% 이상의 높은 발아율을 나타내었다. 따라서 뿌리로부터 방출된 유기산이나 노폐물의 배지흡착에 의한 생장억제 작용이나 발아지연 현상을 관찰할 수 없었다. 다만 생체중의 경우 오이와 토마토 모두 대조구(증류수)가 ash ball 및 perlite배지 침출액에서의 생체중에 비해 다소 낮은 경향을 보였다(Table 5.4와 Fig. 5.18). 이는 ash ball 및 perlite 배지로부터 용출된 무기양분이 발아종자의 생육을 촉진하였기 때문으로 사료된다.

Table 5.4. Germination rate comparison of cucumber and tomato seeds in the ash ball and perlite extract during culture.

	Days after planting	Water		Ash ball		Perlite		Fresh weight* (g)		
		T_{50} (day)	Germi n-atio n rate (%)	T50 (day)	Germi n-atio n rate (%)	T50 (day)	Germi n-atio n rate (%)	Wate r	Ash ball	Per-lite
Tomato	35	2	90	2	90	2	92	0.53	0.66	0.55
	65	2	92	2	94	2	94	0.62	0.68	0.67
Cucum-ber	35	1	98	1	100	1	98	3.97	4.10	3.56
	65	1	100	1	98	1	98	3.95	4.85	4.56

* Fresh weight was estimated 50 of seeds on the petridish 4days after observation of germination response

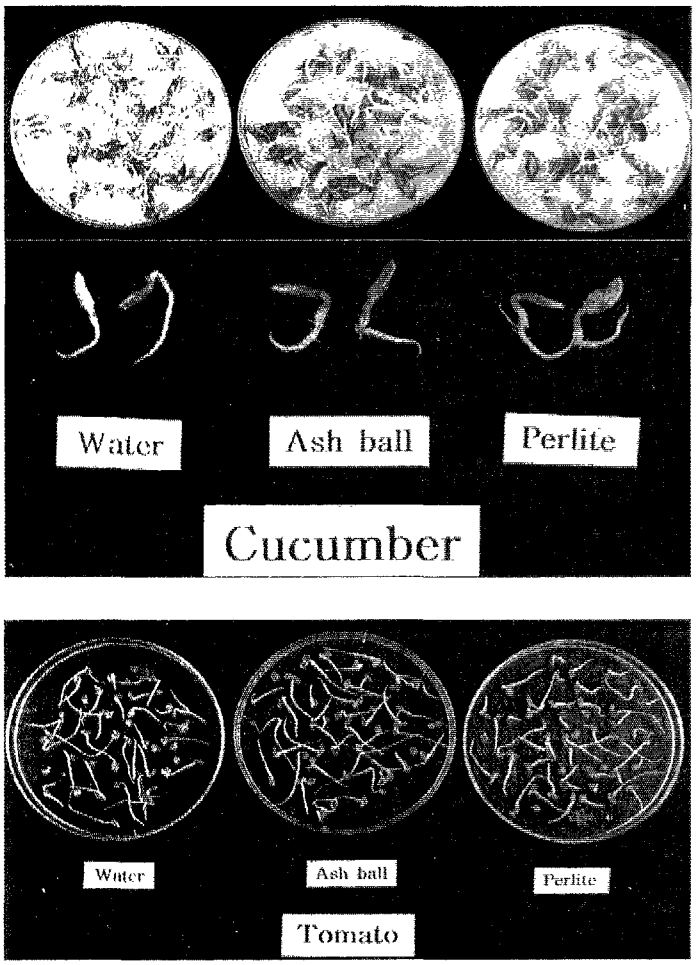


Fig. 5.18. Germination shape of cucumber and tomato seeds in the ash ball and perlite extract.

제4절 결과요약

저비용으로 환경친화적이고 양수분조절이 용이한 고형배지의 개발을 목적으로 자체 조제한 ash ball(AB)의 이화학적특성 및 사용배지의 염류세척효과를 입상락울(RW) 및 펄라이트(PL)와 비교하여 관찰하였다.

AB의 진비중, 가비중, 고상, 공극율, 및 포화용수량은 각각 2.3g/cm^3, 0.9g/cm^3, 40%, 60%, 55%로 나타났다. 배지수분율은 충분히 포수 시킨 배지를 배수 2시간 후 AB, PL, RW의 수분율을 측정한 결과 각각 18%, 24%, 80%로 나타났다. 이는 RW가 극히 보수력이 높은데 비해, AB과 PL는 투수성이 뛰어나 소량·다빈도 급액이 필요한 배지임을 시사하였다. 배지의 크기별로는 입자가 작을수록 수분율이 다소 증가하는 경향을 보였다. AB의 배드내 수직 및 수평방향의 수분분포는 비교적 균일하여 배양액은 수평방향으로도 신속하게 확산됨을 확인할 수 있었다.

원시표준액(pH 5.4, EC 2.3mS/cm)에 배지를 침지했을 경우, 5주 후 배양액의 pH는 AB가 7.5, PL이 6.3, RW가 7.3인 것으로 나타났고, EC는 어느 배지에서도 2.3 내외로 변화가 적었다. 이온농도의 변화에서 PL은 칼리의 흡착이, AB는 인산의 흡착이 많았다.

재배과정 중 ash ball과 perlite 배지침출액의 발아실험에서 뿌리로부터 방출된 유기산이나 노폐물의 배지흡착에 의한 생장억제 작용이나 발아지연 현상을 관찰할 수 없었다.

재배에 사용된 배지의 염류집적 정도는 펄라이트와 비교시 큰 차이가 없었으며, 10회 정도 수세로 배지표면에 흡착된 염류는 80%이상이 제거되었다.

위의 결과로부터, AB 및 PL는 보수력은 다소 낮지만 통기성과 수분확산성이 우수하여 양수분제어가 용이한 배지임을 확인할 수 있었다.

인 용 문 헌

Bohme, M. 1994. Effects of hydroponics on the development of cucumber growing in ecologically suitable substrates. Acta Hort. 361:133-140.

Jeong, B.R. and C.W. Lee. 1987. Bedding plant production in rockwool mixtures. HortScience.22(5):1130.

Jeong, B.R., C.W. Lee, and K.L. Goldsberry. 1988. Production of poinsettia in rockwool-peat mixtures. HortScience. 23(3):565.

Kim, O.I., J.Y. Cho, and B.R. Jeong. 2000. Medium composition including particles of used rockwool and wood affects growth of plug sedlings of petunia 'Romeo'. Kor. J. Hort. Sci. & Technol.18(1):33-38.

Kojima, T., M. Hatsuyama, and T. Kuriyama. 1995. Studies on physical and chemical properties of substrates for application in hydroponics. J. Japan. Soc. Hort. Sci. Abs. 64(2):308-309.

Kuriyama, T., T. Kojima, and M. Hatsuyama. 1995. Growing tomatoes on ash-ball substrate in a closed system. J. Japan. Soc. Hort. Sci. Abs. 64(2):310-311.

Lee, B.S., S.G. Park, J.G. Kang, and S.J. Chung. 1999. Effect of mixing ratio of perlite and coir dust on the growth and nutrient uptake of hydroponically grown Chrysanthemum. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40(2):225-230.

Lee, J.H., C.W. Jeong, H.B. Heo, K.C. Shin, and Y.T. Kim. 1995. The treatment of coal fly ash for the recycling as ceramic raw materials. J. Kor. Assoc. Cryst. Growth. 5(4):414-422.

Lee, K.K., H.J. Lee, C.J. Park, D.W. Kim, Y.T. Kim, and S.B. Kim. 1996.

A study on the plasticity enhancement of coal fly ash-clay bodies. J. of the Korean Ceramic Soc. 33(2):135-142.

Lee, Y.B., K.W. Park, M.Y. Roh, E.S. Chae, S.H. Park, and S.H. Kim. 1993. Effects of ecologically sound substrates on growth and yield of tomato(*Lycopersicon esculentum* Mill.) in bag culture. J.Bio. Fac. Env. 2:37-45.

Seo, B.S. 1999. Future prospects and countermeasures for hydroponics in 21C. Kor. J. Hort. Sci. & Technol. 17(6):796-802.

Yoo, K.C., I.S. Kim, W.S. Kang, and D.Y. Shin. 2000. Development of hydroponic media using fly ash and clay system cultures. J. Bio-Environ. control 9(1):47-59.(In Korean)

제6장 Ash ball 배지경에서 토마토의 생육반응

제1절 서 설

제2절 재료 및 방법

제3절 결과 및 고찰

1. 재배시스템의 설계 및 제작

2. Ash ball 배지종류별 토마토 생육반응

3. Ash ball 배지입도별 토마토 생육반응

4. Ash ball에 암면과 친수성부직포를 첨가한 혼합배지에서의 토마토 생육반응

5. 팽연화왕겨와 펄라이트에 ash ball을 첨가한 혼합배지에서의 토마토 생육반응

제4절 결 과 요 약

제6장 Ash ball 배지경에서 토마토의 생육반응

제1절 서 설

Ash ball은 화력발전소의 부산물인 석탄회를 주원료로 하여 직경 5~15mm의 구형으로 성형한 후, 1,200℃ 전후의 고온에서 소성한 다공질 배지로서 본 연구팀에 의해 국내 처음 양액재배용 고형배지로 개발되었다. 그러나 이에 적합한 재배기술체계가 아직 확립되어 있지 않은 실정이다.

Ash ball 배지는 수분확산성 및 통기성은 좋으나 배수성이 뛰어나(Kojima 등, 1995; Kuriyama 등, 1995; Yoo 등, 2000) 개방식 시스템에서 다량 급액시 폐액량이 다소 많을 우려가 있다.

본 연구는 토마토 적용실험을 통해 양액재배용 배지로서의 적합성을 검증하고 ash ball배지의 재배특성을 파악하는데 주관점을 두었으며, 재배목적과 배지조건에 따른 다양한 급액관리방법을 제시하기 위해 보수력이 높은 입상암면이나 친수성부직포를 첨가하고 기존에 많이 사용되고 있는 perlite 배지를 대조구로 생산성과 품질 양면에서 그 특성을 평가하였다. 아울러 타 배지의 물리성 개선을 위한 첨가배지로서의 가능성도 재배실험을 통해 함께 검토하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 재배시스템의 설계 및 제작

기존모델과의 비교분석 및 문제점을 도출하여 재배시스템을 설계 및 제작하였다.

2. Ash ball 배지조성별 토마토 생육반응

Ash ball배지의 재배특성구명을 위해 개발된 배지를 성형스티로폼 베드(30×116×12cm)에 채우고, '98년 3월 24일 '하우스 桃太郎'(Takii 종묘)을 150×20cm 간격으로 처리당 30주씩 정식하여 강원대학교 원예학과 비닐하우스에서 재배하였다. 공시배지는 제조된 석탄회+무연탄+점토(FHC)계열의 3종류의 배지, 즉 F80H15C5, F80H10C10, F80H5C15의 3가지의 ash ball 배지와 펄라이트를 사용하였으며, 배양액은 Kim 등(1997)이 개발한 펄라이트 배지경의 토마토 전용양액(N-P-K-Ca-Mg=9-2-5-4-2 me/ℓ)을 사용하였다. 양액의 공급량은 폐액을 적게 배출하고 당도를 높이는 급액방법에 주관점을 두고 기초적인 실험을 하기 위하여 과실비대전기에는 주당 0.35L와 0.7L로, 과실비대후기부터는 두 구간 공히 2배로 늘려 주당 0.7L와 1.4L를 목표로 1일 8~10회로 나누어 공급하였으며, 4화방 위의 2엽을 남겨두고 적심하였다. 재배기간 동안 식물체의 생장반응과 양분흡수특성 및 배지의 pH와 EC의 변화를 조사하였으며, 수확 후 수량과 과실의 품질을 조사하였다.

3. Ash ball 배지입도별 토마토 생육반응

Ash ball은 배수성이 뛰어난 배지로서 타 배지에 비해 폐액량이 다소 많다. 본 실험은 배지의 수분보유력은 입자의 크기에 따라 달라질 수 있다는데

착안하여 입자크기에 따른 토마토의 생육반응을 조사할 목적으로 실험을 수행하였다.

배지는 ash ball의 입자크기에 따라 대립(Large: 7~15mm), 중립(Middle: 5~7mm), 소립(Small: 3~5mm) 3수준으로 구분하여 성형스티로폼 베드(30×116×12cm)에 채우고, 2000년 3월 22일 '모모타로 요크'(Takii 종묘)를 25cm 간격으로 정식하여 강원대학교 원예학과 비닐하우스에서 재배하였다. 급액회수는 1일 10회로, 급액량은 주당 1.6L로 하였으며, 4화방 위의 2엽을 남겨두고 적심하였다. 각 처리당 10주를 대상으로 초장, 경경, 엽장, 엽폭, 엽면적, 건물중 등 생육과 수량 및 당도를 조사하였다. 타 실험조건 및 재배방법은 위와 동일하였다.

4. Ash ball에 암면과 친수성부직포를 첨가한 혼합배지에서의 토마토 생육반응

Ash ball 배지는 수분확산성 및 통기성은 좋으나 배수성이 뛰어나 개방식 시스템의 경우 폐액량이 다소 많은 점이 지적되고 있다. 따라서 배지의 수분보유력 향상과 양액의 효율적인 공급을 위해 ash ball배지에 보수력이 우수한 입상암면(rockwool)과 친수성 부직포(capillary mat)를 첨가하고, 양액공급은 폐액을 적게 배출하고 당도를 높이는데 주관점을 두고 급액회수를 1일 8회로, 급액량을 주당 0.9L로 제한한 조건에서 토마토의 생육반응을 조사하였다. 품종은 '하우스 桃太郎'(Takii 종묘)을 공시하였으며, 배지는 ash ball(AB), perlite(PL), ash ball에 20% 입상암면을 깐 것(AR), ash ball에 2장의 친수성 부직포를 깐 것(AC)을 공시배지로 하였다. 각 처리당 10주를 대상으로 생육, 수량을 조사하고 과실의 성분함량을 측정하였다.

5. 팽연화왕겨와 펄라이트에 ash ball을 첨가한 혼합배지에서의 토마토 생육반응

Ash ball 개발배지와 기존배지들간의 생육특성을 비교하고, 통기성과 배수성이 뛰어난 ash ball의 첨가로 기존배지들의 물리성 개선에 의한 생산성과 당증진 효과를 알아보기 위해 ash ball(AB), perlite(PL), 팽연화왕겨(expanded rice hull, ERH)의 단용 및 혼용배지를 공시하여 농가의 급액관리 조건에 맞춰 배지별 비교실험을 수행하였다. 혼용배지는 팽연화왕겨에 30% ash ball을 깐 것(ERH+30%AB)과 50% ash ball을 깐 것(ERH+50%AB), 그리고 perlite에 30% ash ball을 깐 것(PL+30% AB)과 50% ash ball을 깐 것(PL+50%AB)으로 구분하여 단용배지와 함께 전체 7개 배지 처리구를 설계하였다. 급액회수는 1일 10회로, 급액량은 주당 1.6L로 하였다. 품종은 '모모타로 요크'(Takii 종묘)를 공시하였으며, 4화방 위의 2엽을 남겨두고 적심하였다. 각 처리당 10주를 대상으로 초장, 경경, 엽면적, 각 기관별 건물중 등 생육과 수량 및 당도를 조사하였다. 타 실험조건은 위와 동일하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 재배시스템의 설계 및 제작

성형스치로폼판으로 폭30cm×길이200cm×깊이12cm 재배배드를 제작하여 밑에 구멍을 뚫어 폐액을 받게 설계하였으며, 배드 안쪽에 방근시트를 깔아 뿌리의 유입을 막았으며 그 위에 배지를 10cm 두께로 채웠다. 배드 바깥쪽에는 피복용 비닐을 씌워 수분의 증발을 막고 배지의 보수력을 높여 주었다(Fig. 6.1).

본 장치는 방근시트의 사용으로 배지내 뿌리와 배수통로의 수분을 차단 할 수 있을 뿐만 아니라 급액시 근권내 양액의 滯留가 없어 항상 적당한 수분스트레스를 부여할 수 있으며, 뿌리에 산소공급을 원활히 할 수 있는 것이 특징이다. 따라서 이는 수분확산성과 배수성이 뛰어난 ash ball 배지특성에 적합한 구조이다.

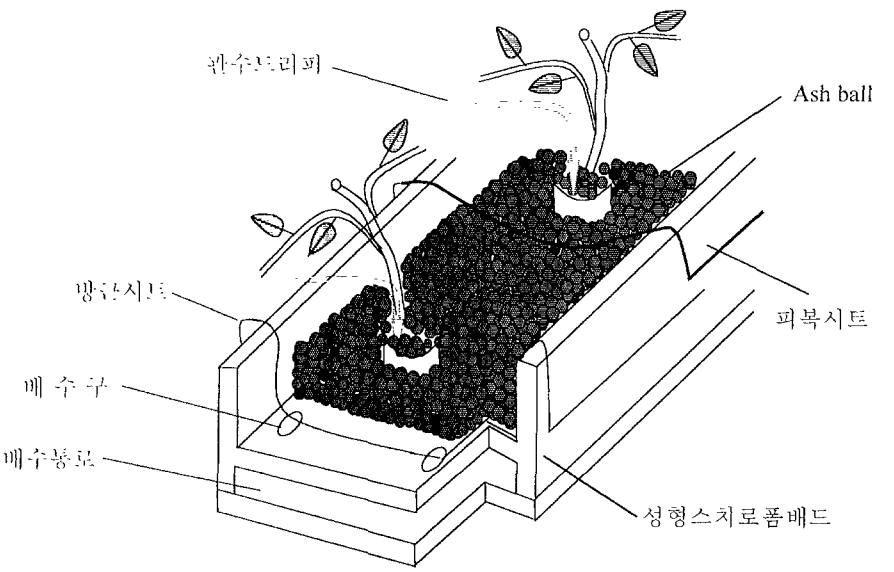


Fig. 6.1. System diagram of this experiment.

Fig. 6.2. Automated control system for nutrient solution supply.

Fig. 6.3. Cropping type on open-surface beds.

Fig. 6.4. Cropping type on closed-surface beds.

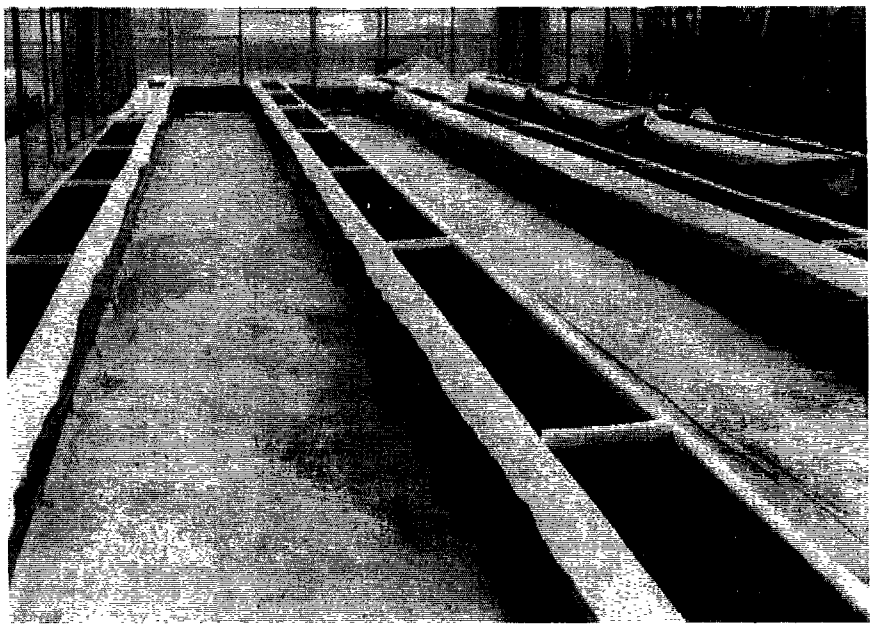


Fig. 6.5. Bed setting shape for experiment of ash ball substrates.

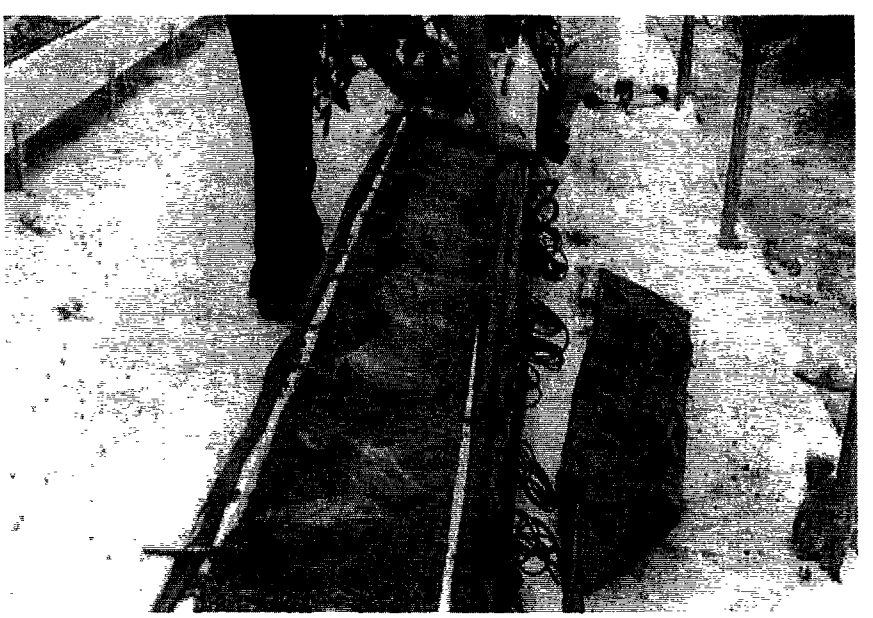


Fig. 6.6. Shape of root grubbing after final harvest in ash ball culture of tomato.

2. Ash ball 배지조성별 토마토 생육반응

다량 급액구에서 수량은 배지별로 차이가 거의 없었지만, 과실크기는 펄라이트에서 약간 높은 경향을 보였다. 소량 급액구에서는 수량, 상품과율 및 과실크기 모두 펄라이트 배지가 다소 높게 나타났다. 이는 펄라이트에 비해 ash ball의 수분보유력이 낮아 수분스트레스에 의한 과실발달의 저애와 Ca흡수의 억제로 배꼽썩음과의 발생율이 높아졌기 때문으로 사료된다.

한편 급액량별로는 다량 급액가 소량 급액구에 비해 수량, 상품과율 및 과실크기가 월등히 높게 나타났다. 반면에 과실의 당도는 소량 급액구에서 높았고, 배지별로는 급액량에 관계없이 ash ball 배지에서 높게 나타났다. Ash ball 배지에서 점토의 함량이 높은 배지일수록 당도가 증가하는 경향을 보였으나 처리구간 유의적인 차이는 인정되지 않았다(Table 6.1).

재배기간동안 배지별 pH의 변화는 전체적으로 안정적인 양상을 나타내었으며 펄라이트는 ash ball 배지에 비해 다소 낮은 경향을 보였다(Fig. 6.8). 한편 소량 급액구는 다량 급액구에 비해 생육 중·후기에 pH가 다소 낮아지는 경향을 나타내었는데 이는 급액량에 따른 배지내 양액축적 정도의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

재배기간 중 배지별 EC의 변화를 보면, 소량급액구가 1.2~2.9mS/cm 범위로 다량급액구의 1.3~2.4mS/cm에 비해 높게 나타나 급액량이 적을수록 배지내 염류집적 일어남을 알수 있었다. 그러나 이는 재배에 어려움을 줄 정도는 아닌 것으로 나타났다. 배지간에는 EC의 변화가 적은 것으로 나타났다(Fig. 6.9).

Table 6.1. The effect of two different nutrient feeding methods and medium on tomato yield and quality.

Amount of Nutrient	Medium[z]	Soluble solids (°Brix)	Fruit wt. of marketable (g)	Total yield (Kg/30pl.)	Marketable rate (%)	Blossom-end rot
1.4L/plant	F80H15C5	5.6a	202b[y]	96.7	87	5
	F80H10C10	5.8a	199b	94.1	86	5
	F80H5C15	5.7a	198b	92.5	84	6
	Perlite	5.1b	218a	99.0	88	6
0.7L/plant	F80H15C5	7.8a	151b	76.5	76	13
	F80H10C10	8.0a	149b	77.2	77	11
	F80H5C15	8.2a	143b	70.0	76	12
	Perlite	6.8b	173a	81.3	84	8

[z]F: fly ash, H: hard coal, C: clay

[y]Mean separation within column by DMRT at 5% levels

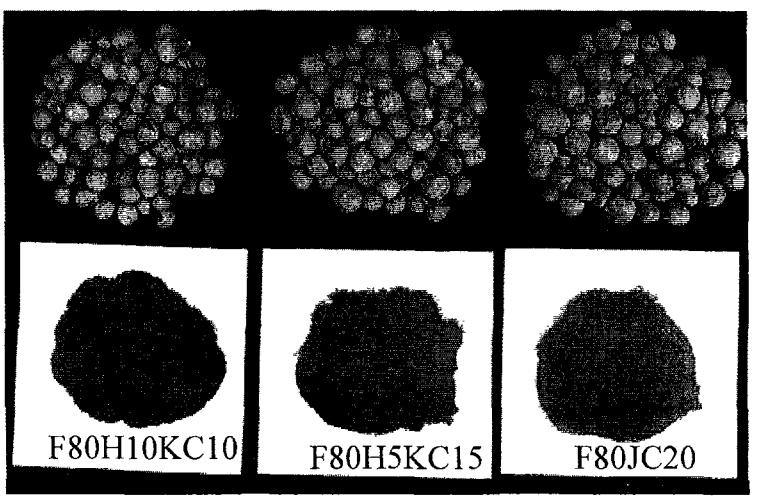


Fig. 6.7. Classification by compositions of ash ball.
F:fly ash, H:hard coal, C:clay

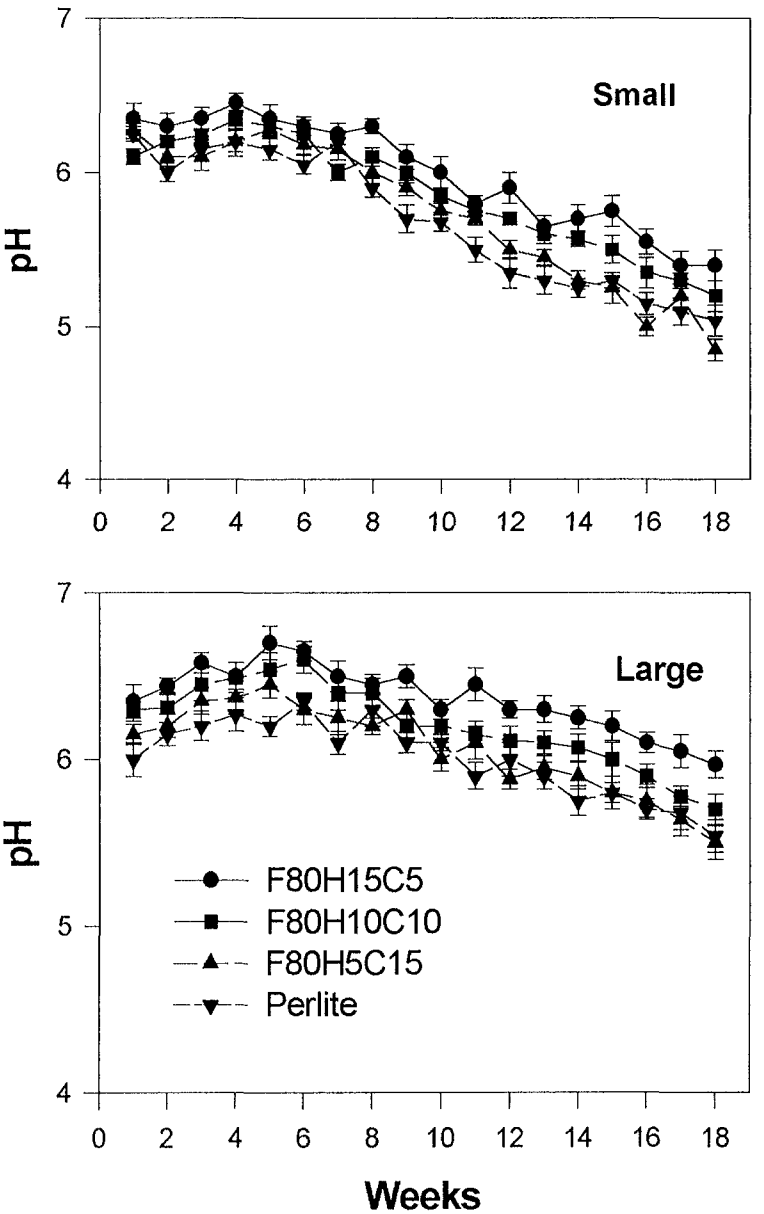


Fig. 6.8. Changes of pH in root zone as affected by suppling of nutrient solution in different ash ball medium.(F:fly ash. H:hard coal. C:clay)

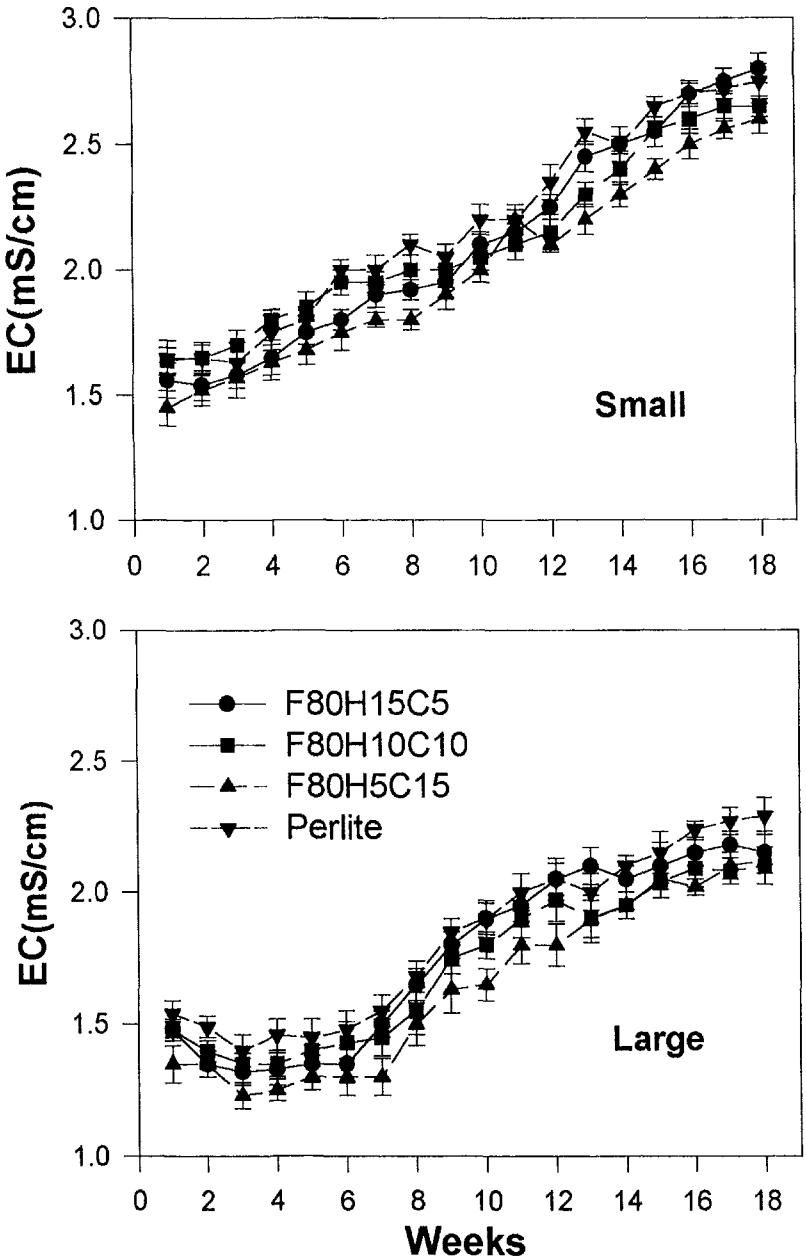


Fig. 6.9. Changes of EC in root zone as affected by suppling of nutrient solution in different ash ball medium.(F:fly ash, H:hard coal, C:clay)

배지의 무기이온흡착과 식물의 양분흡수특성을 알아보기 위하여 부동한 급액조건하에서 배지와 식물체 잎을 분석한 결과, 엽내 각 무기성분의 함량은 전체적으로 배지간에 차이가 적었으나 칼리의 경우 다량급액시 F80H5C15 배지구에서 가장 높았고, 인은 소량급액시 펄라이트 배지구에서 함량이 다소 높은 것으로 나타났다. 재배기간중 배지에 잔류된 무기이온함량은 배지간에 큰 차이가 없었으나 칼리의 경우 다량급액시에 펄라이트 배지에서 다소 높았으며, 급액량에 따른 변화는 배지종류에 상관없이 소량급액이 다량급액에 비해 높은 것으로 나타났는데 특히 K, Ca, Mg의 잔류함량은 소량급액한 배지가 다량급액한 배지에 비해 1.5~2배 정도 높은 것으로 나타났다(Table 6.2). 이는 급액량의 감소에 따른 배지내 수분함량의 부족으로 수분이동이 억제되거나 잔류양분의 축적에 의한 삼투압의 증가로 뿌리로부터의 양분흡수가 원활히 이루어지지 못했기 때문으로 사료된다. 전체적으로, 배지종류에 따른 식물체내의 무기성분함량의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

위의 토마토재배실험을 통하여 새로 제조된 ash ball의 3가지 배지는 펄라이트와 비교해 볼 때 수량 면에서는 다소 감소하는 경향을 보였으나 당도는 증가하였으며, 전체적인 생육이 떨어지지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 배지의 첨가제와 적합한 양액공급방법 및 양액조성에 대한 심층 연구를 수행하면 국내에서 사용되고 있는 수입 배지를 대체할 수 있는 가능성을 보여 주었다.

Table 6.2. The effect of two different nutrient feeding methods on macronutrient content plant organs and medium.

Amount of nutrients	Organs	Media[z]	Nutrient content(%, DW)				
			N	P	K	Ca	Mg
1.4L/plant	Leaf	F80H15C5	3.6	0.43	4.0	2.7	0.4
		F80H10C10	4.1	0.42	4.7	3.0	0.4
		F80H5C15	3.2	0.42	6.0	2.7	0.4
		Perlite	3.5	0.40	4.0	2.1	0.4
	Media	F80H15C5	0.2	0.23	1.3	0.2	0.1
		F80H10C10	0.3	0.25	1.4	0.4	0.1
		F80H5C15	0.4	0.21	1.4	0.5	0.2
		Perlite	0.4	0.20	2.0	1.1	0.1
0.7L/plant	Leaf	F80H15C5	3.5	0.45	4.0	1.8	0.4
		F80H10C10	3.5	0.52	4.5	1.7	0.4
		F80H5C15	3.4	0.46	4.2	2.1	0.4
		Perlite	3.5	0.57	4.2	2.0	0.4
	Media	F80H15C5	0.3	0.15	2.7	0.8	0.2
		F80H10C10	0.3	0.10	2.7	0.8	0.2
		F80H5C15	0.3	0.13	2.4	0.7	0.2
		Perlite	0.4	0.10	2.4	0.9	0.3

[z]F: fly ash, H: hard coal, C: clay

3. Ash ball 배지입도별 토마토 생육반응

Ash ball 배지를 입자크기에 따라 대립(Large: 7~15mm), 중립(Middle: 5~7mm), 소립(Small: 3~5mm) 3수준으로 구분하여 급액을 주당 1.6L로 공급하여 배지별 토마토의 생육특성을 조사한 결과,

입도가 작은 소립구에서 초장, 경경, 엽장, 엽폭, 엽면적, 건물중 등 생육이 가장 좋았고, 과중 및 수량도 좋은 것으로 나타났다. 특히 각 기관별 건물중과 과중 및 수량은 배지입자간에 차이가 뚜렷하여 유의성을 나타내었으나 과실수는 처리간에 차이가 미미하였다. 뿌리의 생육은 ash ball의 입도가 작을수록 양호하여 소립구에서 가장 좋았다(Table 6.3와 Fig. 6.10).

당도는 수량 및 과중과 반대로 대립구에서 가장 높았고 입도가 작을수록 낮아지는 경향을 나타내었으나, 대립구와 중립구 사이에는 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 즉 소립구의 수량이 대립구에 비해 15%정도 높았으나 당도는 대립구가 소립구에 비해 0.6 °Brix 정도 높게 나타났다(Table 6.4).

소립구에서 수량이 증가하고 당도가 낮아지는 것은 ash ball의 입도에 따른 保水力 차이 때문으로 생각되며, 일반적으로 입도가 작을수록 배지의 보수력은 증가하는 것으로 알려져 있다.

각 화방별 비교에서 잎의 엽록소 함량은 화방에 관계없이 대립구 및 중립구가 소립구에 비해 높게, 엽면적과 엽건물중은 소립구와 중립구가 대립구에 비해 높게 나타났다(Fig. 6.11).

전체적으로 과실의 수량은 입도에 따라 차이를 보여 소립구에서 가장 높았다. 당도는 대립구와 중립구 사이에서는 유의적인 차이가 없었으나 소립구에서는 현저히 감소하였다. 따라서 수량 및 당도 면에서 볼 때 중립 배지를 사용하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

Table 6.3. Effect of fine and coarse ash ball on growth of plants in substrate culture of tomato at 35days after transplanting.

Particle size[y]	Plant hight (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Dry weight (g/plant)			
					Leaf	Stem	Root	Total
Small	92.5a[z]	37.0a	43.3a	11.7a	20.2a	8.0a	3.1a	31.3a
Middle	90.0b	36.2a	43.0a	11.3ab	17.2b	6.5b	2.8b	26.5b
Large	91.3ab	37.7a	39.3b	11.0b	15.2c	6.2b	2.1c	23.5c

[z]Mean separation within column by DMRT at 5% levels

[y]Small: 3~5mm, Middle: 5~7mm, Large: 7~15mm

Table 6.4. Effect of fine and coarse ash ball on yield and quality of fruits in substrate culture of tomato.

Particle size[y]	Soluble solid (°Brix)	Fruit number	Fruit weight (g/fruit)	Fruit weight (g/plant)
Small	5.5b	15.8a	246a	3886.8a
Middle	5.9a	16.1a	224b	3606.4b
Large	6.1a[z]	15.7a	208c	3265.6c

[z]Mean separation within column by DMRT at 5% levels

[y]Small: 3~5mm, Middle: 5~7mm, Large: 7~15mm

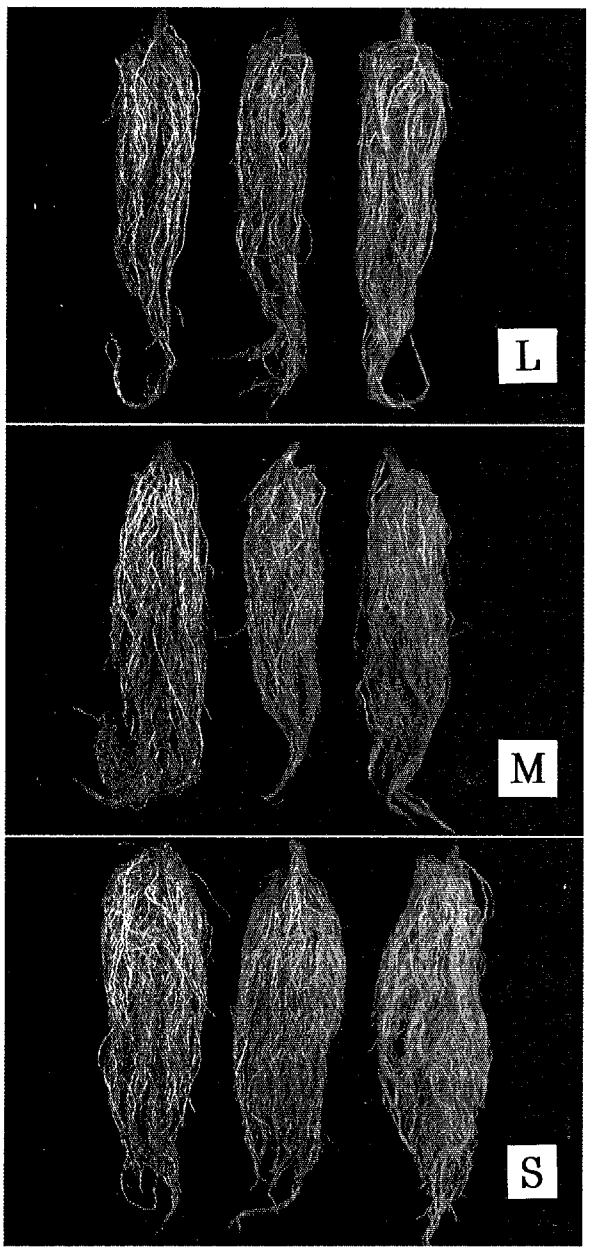


Fig. 6.10. Growth state of roots in fine and coarse ash ball culture of tomato at 35days after transplanting.(Small: 3~5mm, Middle: 5~7mm, Large: 7~15mm)

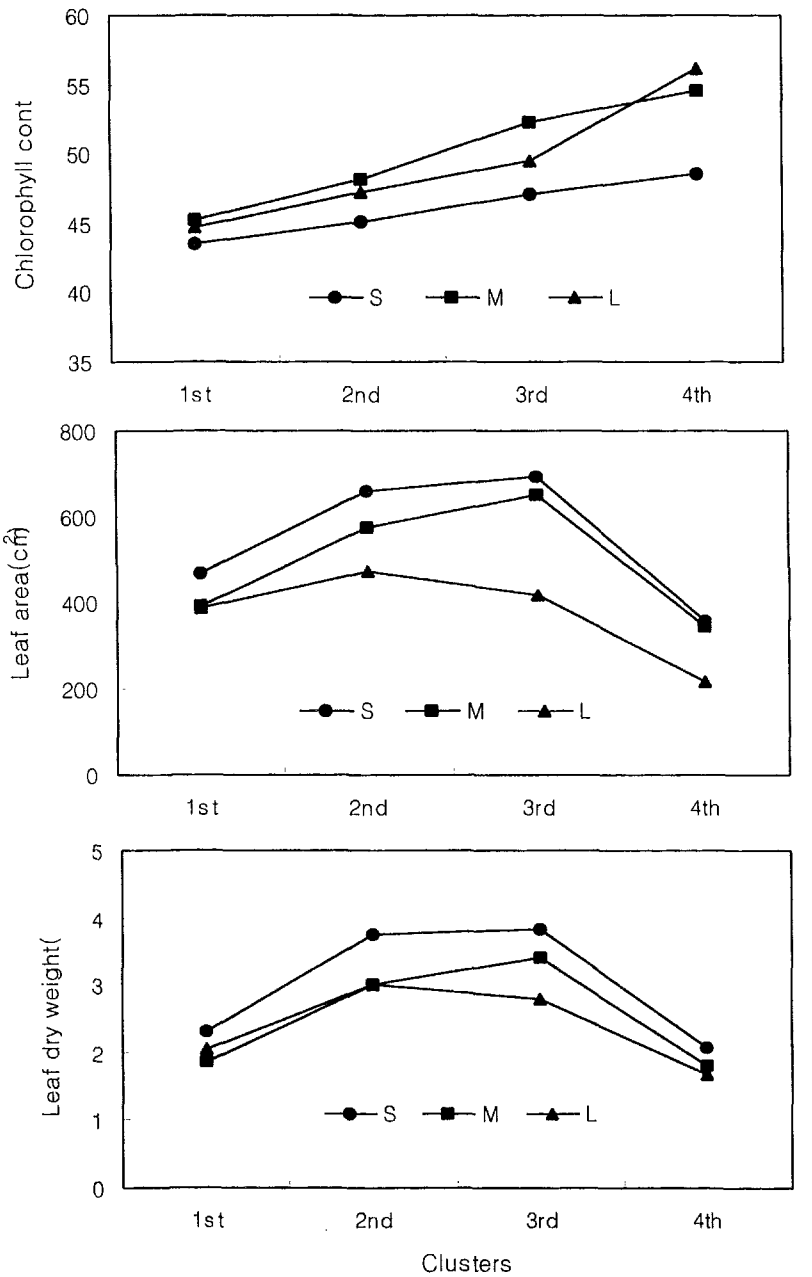


Fig. 6.11. Changes of chlorophyll content, area, and dry weight of leaves in fine and coarse ash ball culture of tomato. (Small: 3~5mm, Middle: 5~7mm, Large: 7~15mm)

4. Ash ball에 암면과 친수성부직포를 첨가한 혼합배지에서의 토마토 생육 반응

배지의 수분보유력 향상과 양액의 효율적인 공급을 위해 ash ball배지에 보수력이 좋은 입상암면(rockwool)과 친수성 부직포(capillary mat)를 첨가하여 급액량을 주당 0.9L로 제한한 조건에서 펄라이트(perlite)와 비교하여 배지의 첨가효과를 검토하였다.

배지별 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 건물중 등 생육은 PL(perlite)구와 AR(ash ball+20% rockwool)구가 가장 좋았고 AB(ash ball)구에서 상대적으로 저조하였다(Table 6.5).

수량 및 평균과중은 AC구와 AR구가 PL와 AB 배지에 비해 높았으며, AB구는 타 배지에 비해 유의적으로 낮았다. 배꼽썩음과율은 AB과 PL 배지에서 9% 내외로 높았으나 AC와 AR 배지구에서는 4% 내외로 낮게 나타났다(Table 6.6).

당도, 산도 및 당산비는 모든 화방에서 AB 배지구가 가장 높았다. 그중 당도와 당산비는 대체로 AB와 PL 배지구가 AC와 AR 배지구에 비해 높은 경향을 보였으나, 산도는 배지간에 뚜렷한 변화를 나타내지 않았다(Fig. 6.12~6.18).

따라서 과실의 생산성 높이고 양액비용을 절감하고자 할 경우에는 ash ball 배지에 20% 내외의 입상암면이나 친수성부직포를 바닥에 깔아주는 것이 좋을 것으로 생각된다.

Table 6.5. Growth of plants in ash ball mixed with rockwool and capillary mat culture of tomato at 35 days after transplanting.

Media[z]	Plant hight (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Dry weight (g/plant)			
					Leaf	Stem	Root	Total
AB	86.3 ±0.6	39.3 ±2.0	33.8 ±4.2	10.70 ±0.60	15.7 ±1.6	6.9 ±0.4	1.9 ±0.1	24.5 ±0.5
PL	93.7 ±3.5	44.8 ±0.8	41.7 ±2.5	14.56 ±2.00	19.4 ±0.5	8.2 ±0.3	2.6 ±0.3	30. 2±0.3
AC	93.3 ±0.6	41.7 ±1.9	43.5 ±0.9	12.67 ±0.80	16.7 ±0.5	6.7 ±0.4	1.7 ±0.2	25.1 ±0.3
AR	91.7 ±1.1	44.3 ±0.9	45.0 ±3.0	14.47 ±0.93	20.8 ±3.1	8.5 ±0.6	1.8 ±0.3	31.1 ±0.7

[z]AB:ash ball, PL:perlite, AC:ash ball+capillary mat, AR:ash ball+20% rockwool.

Table 6.6. Yield and quality of fruits in ash ball mixed with rockwool and capillary mat culture of tomato.

Media[z]	No. of fruit	Fruit weight[y] (g/fruit)	Yield (g/plant)	Blossom-end-rot (%)
AB	21.0a	105.0cd	2205c	8.7a
PL	18.8a	129.9b	2443b	9.1a
AC	20.0a	139.6ab	2792a	4.4b
AR	19.0a	144.6a	2748a	3.7b

[z]AB: ash ball, PL: perlite, AC: ash ball + capillary mat, AR: ash ball + 20% rockwool.

[y]Fruit weight are means of >50g fruit.

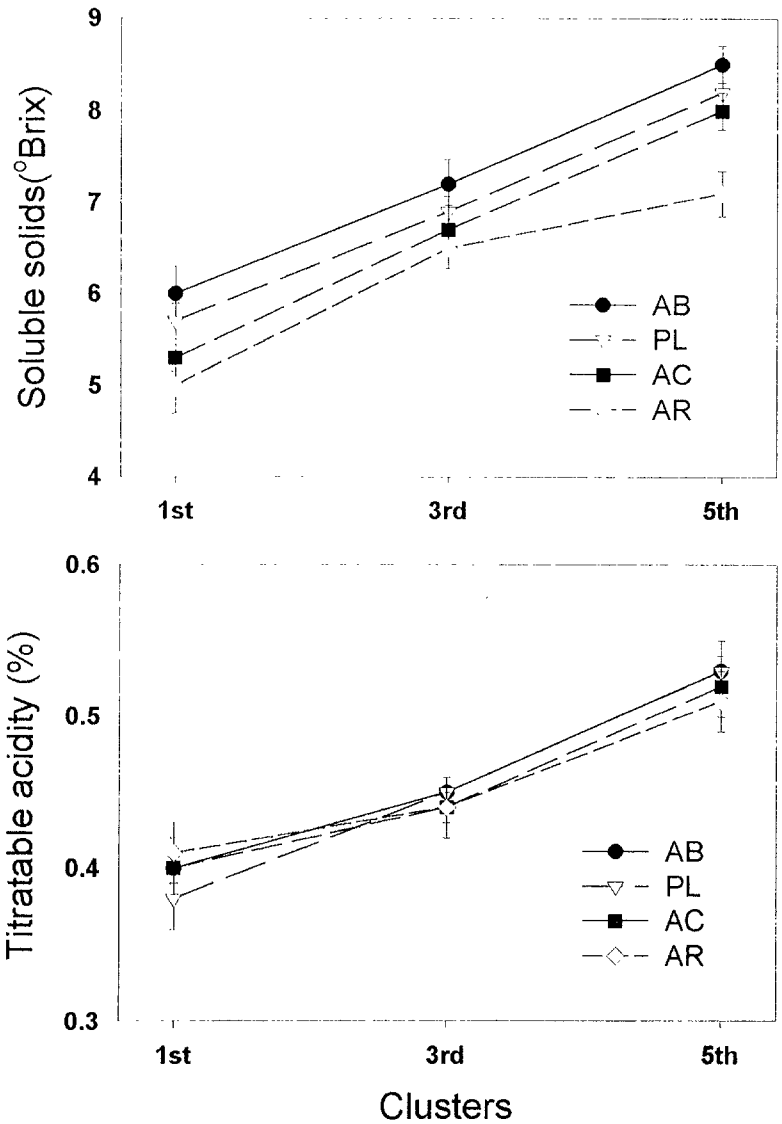


Fig. 6.12. Changes of soluble solid and titratable acid of fruits in ash ball mixed with rockwool and capillary mat culture of tomato. AB:ash ball. PL:perlite. AC:ash ball+capillary mat. AR:ash ball+20% rockwool

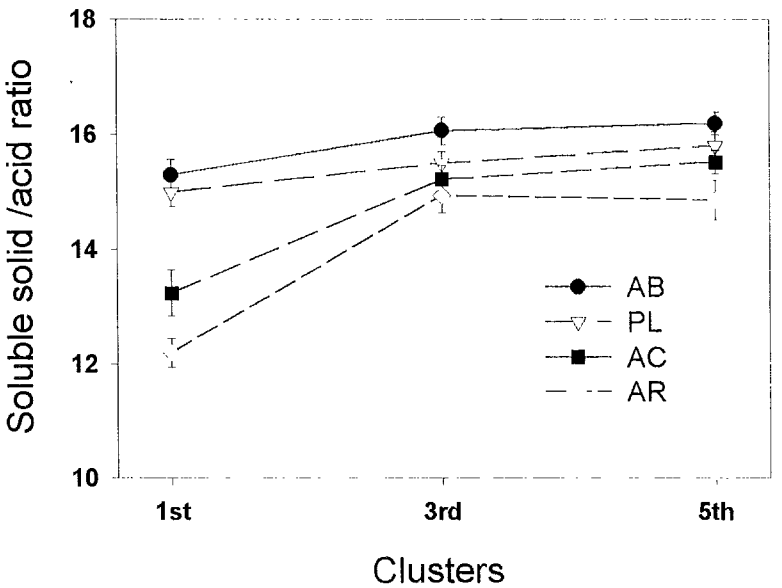


Fig. 6.13. Changes of soluble solid and acid ratio of fruits in ash ball mixed with rockwool and capillary mat culture of tomato.

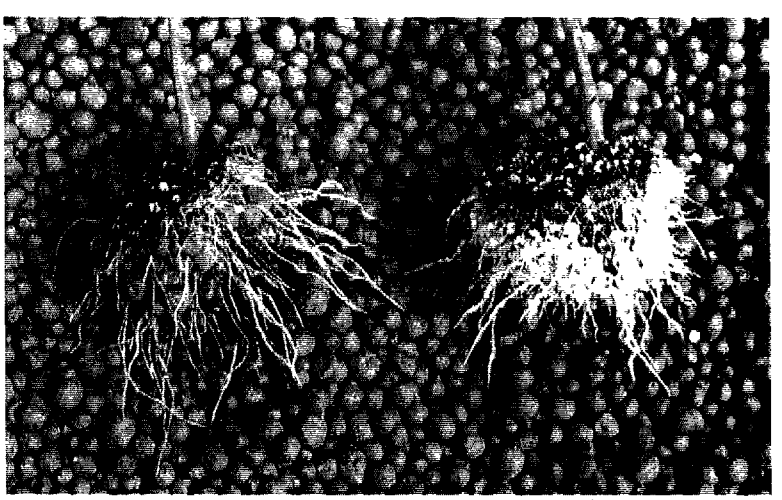


Fig. 6.14. Rooting shape in ash ball and perlite culture of tomato at 7 days after transplanting.

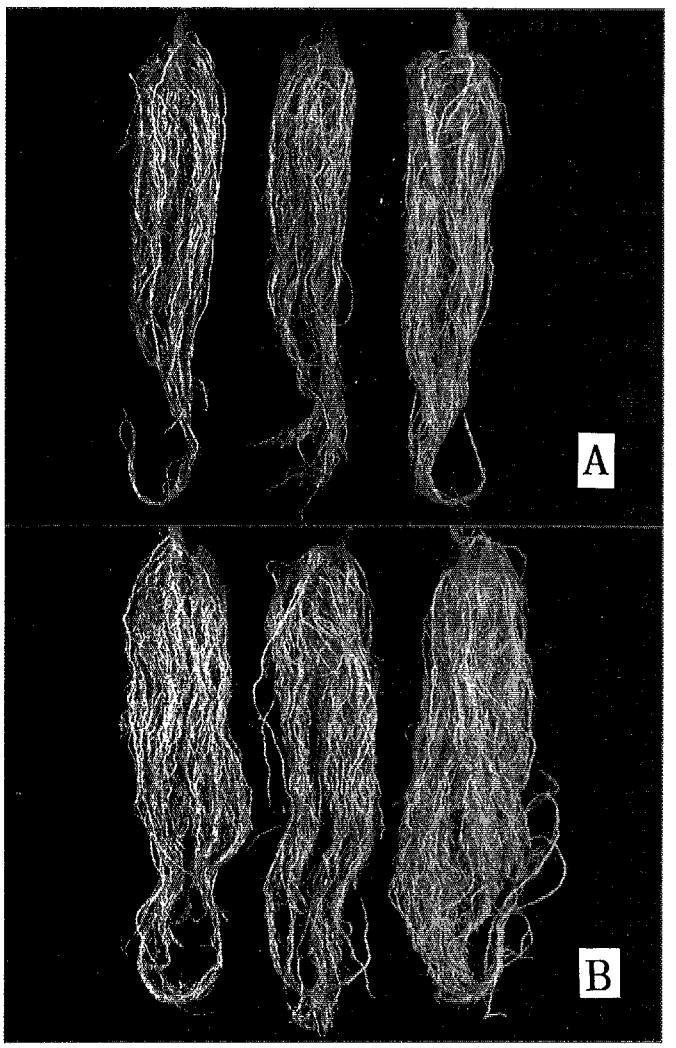


Fig. 6.15. Growth state of roots in ash ball(A) and perlite(B) culture of tomato at 35 days after transplanting.

AC. AB

Fig. 6.16. Growth state of roots in ash ball(AB) and ash ball mixed with capillary mat(AC) substrate culture of tomato at 35 days after transplanting.

Fig. 6.17. Root Shape in ash ball culture of tomato at 35 days after transplanting.

Fig. 6.18. Root Shape in ash ball mixed with rockwool culture of tomato at 35 days after transplanting.

5. 팽연화왕겨와 펄라이트에 ash ball을 첨가한 혼합배지에서의 토마토 생육반응

Ash ball(AB), perlite(PL), 팽연화왕겨(ERH), 팽연화왕겨에 30% ash ball을 깐 것(ERH+30%AB)과 50% ash ball을 깐 것(ERH+50%AB), 그리고 perlite에 30% ash ball을 깐 것(PL+30%AB)과 50% ash ball을 깐 것(PL+50%AB) 전체 7개 처리구를 설정하여 급액량을 주당 1.6L로 한 조건에서 배지간의 생육반응과 과실수량 및 품질을 조사한 결과,

초장은 AB구와 ERH+50%AB구에서 가장 컸고 ERH와 PL구, ERH+30%AB구에서 작았다. 엽장, 엽폭, 경경 그리고 잎, 줄기, 뿌리의 건물중은 PL, ERH, ERH+30%AB 배지구에서 가장 컸고 AB, ERH+50%AB, PL+50%AB 배지구에서 가장 낮게 나타났다(Table 6.7과 Fig. 6.19). 재배시 생육초기에 ERH와 PL 배지구에서 잎이 너무 무성하고 이상줄기 현상이 나타나 과범무 징조가 있었다. 엽면적은 ERH와 PL 배지구에서 가장 컸고 AB구는 타 첨가배지에서와 비슷하거나 다소 낮은 경향을 나타내었으며, 화방별로는 선단부의 4화방 엽을 제외하고는 상위화방으로 갈수록 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 6.20).

과중은 생육초기에 과범무와 전체 생육량이 가장 많았던 ERH구와 PL구에서 가장 높게 나타났으나 수량은 AB구과 PL구에서 가장 많았다. 팽연화왕겨 배지에서 AB의 첨가효과를 보면 첨가배지에서 생육량과 과중은 팽연화왕겨 단용배지에 비해 다소 낮은 경향을 보였으나 과실수와 수량은 오히려 증가하였다(Table 6.8). 그러나 펄라이트 배지에서는 첨가배지가 과중, 과실수 및 수량면에서 모두 PL단용배지에 비해 감소하였다. 재배에 공시된 펄라이트는 새 배지를 사용한 것으로서 자체의 높은 통기성과 배수성은 ash ball과 비슷한 특성을 갖고있어 첨가효과가 나타나지 않은 것으로 추척된다. 그러나 펄라니트는 장기사용시 입자의 분말화가 증가하여 통기성과 배수성이 악화되고 작물의 생육과 생산성이 떨어지게 된다. 따라서 펄라이트의 장기사용시 ash

ball 배지의 첨가효과는 점차 커질 것으로 사료된다.

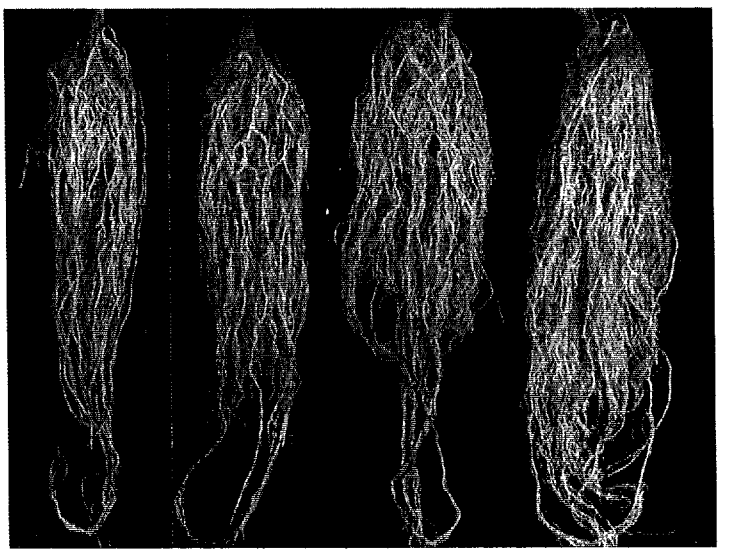
과실의 당도는 AB, ERH+50%AB, PL+50%AB 배지구가 타 배지구에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

전체적으로 다량 급액조건에서 ash ball 배지의 생산성과 품질은 perlite와 팽연화왕겨에 비해 높은 것으로 나타났다. 팽연화왕겨 배지에 ash ball 첨가시 수량성과 과실의 품질은 향상되는 것으로 나타났으며, perlite 배지에서는 ash ball 첨가에 의한 생산성 향상효과가 나타나지 않았으나 앞으로 장기 사용시 그 효과가 기대된다.

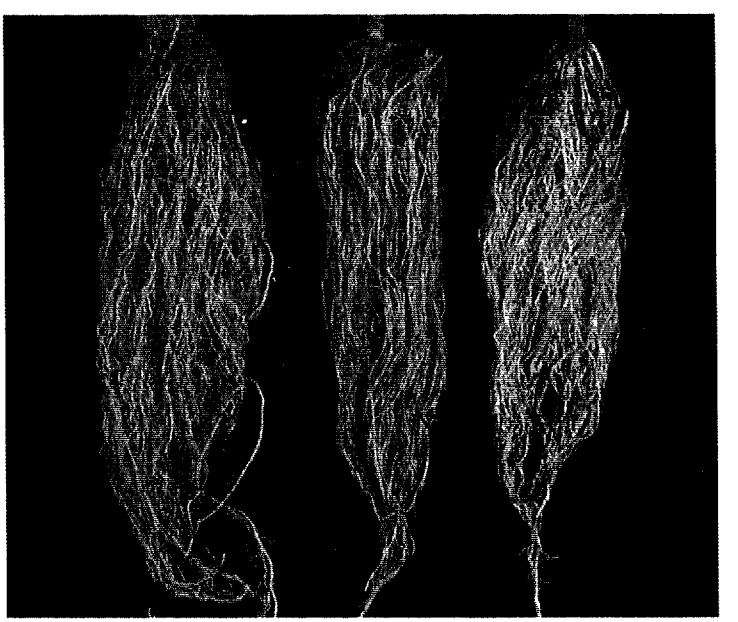
Table 6.7. Growth of plants in expanded rice hull and perlite mixed with ash ball culture of tomato at 35 days after transplanting.

Hydropoic media	Plant hight (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Dry weight (g/plant)			
					Leaf	Stem	Root	Total
ERH+50%AB	109.0	43.0	50.3	13.2	23.2	9.3	2.7	34.2
ERH+30%AB	103.0	45.8	52.8	13.8	25.9	9.7	2.8	37.4
ERH	100.0	44.3	53.0	14.4	27.1	10.2	3.0	40.3
AB	106.3	43.0	48.0	14.0	25.4	9.5	2.4	37.3
PL	93.7	43.8	53.3	14.3	26.9	10.1	2.9	39.9
PL+30%AB	95.0	44.5	52.2	14.2	26.3	10.0	2.7	39.0
PL+50%AB	102.0	42.7	45.3	13.9	24.3	9.4	2.5	36.2

PL: perlite, AB: ash ball, ERH: expanded rice hull



AB, PL+50%AB, PL+30%AB, PL



PL, AB, ERH

Fig. 6.19. Growth state of roots in expanded rice hull(ERH) and perlite (PL) mixed with ash ball(AB) culture of tomato at 35 days after transplanting.

Table 6.8. Yield and quality of fruits in expanded rice hull (ERH) and perlite(PL) mixed with ash ball(AB) substrate culture of tomato at 35 days after transplanting.

Hydropoic media	Soluble solid (°Brix)	No. of fruit	Fruit weight (g/fruit)	Fruit weight (g/plant)
ERH+50%AB	6.4	15.2	242.0	3678.4
ERH+30%AB	5.9	15.6	248.6	3878.2
ERH	6.1	14.4	251.2	3617.3
AB	6.4	18.4	235.7	4336.9
PL	6.1	16.4	255.9	4196.8
PL+30%AB	5.9	15.6	238.2	3715.9
PL+50%AB	6.2	15.2	233.9	3555.3

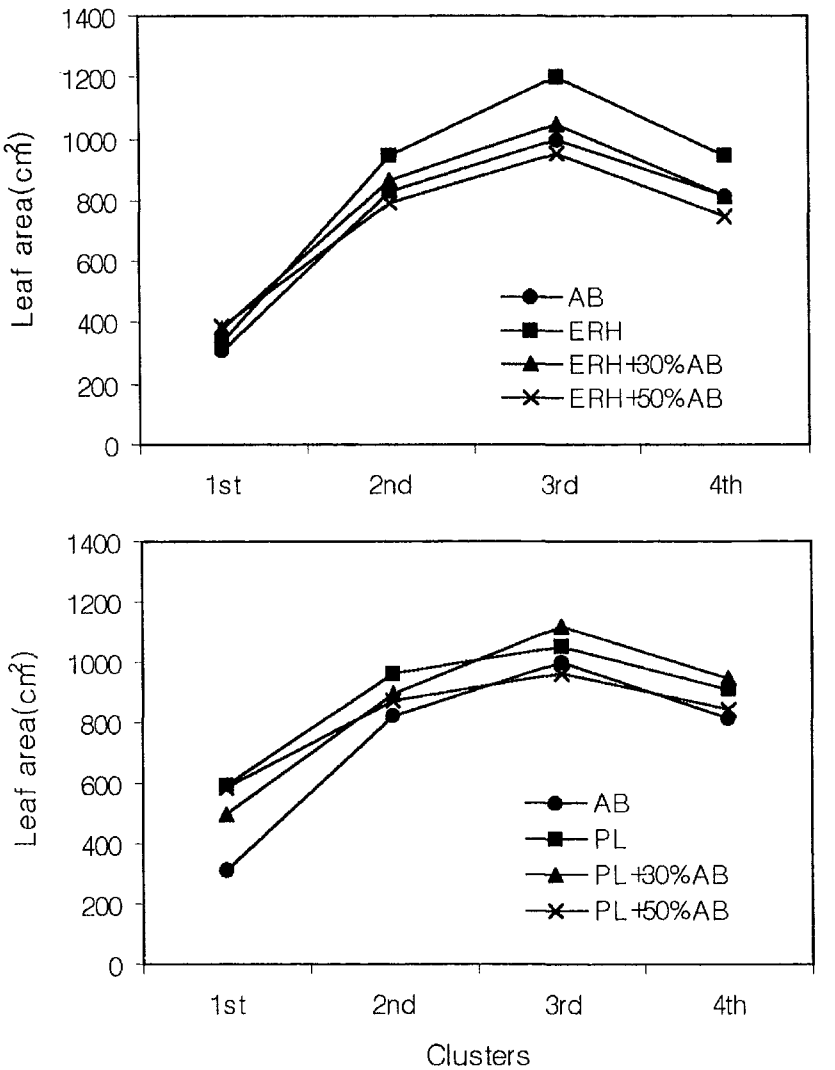


Fig. 6.20. Changes of leaf area in expanded rice hull(ERH) and perlite (PL) mixed with ash ball(AB) substrate culture of tomato at 35 days after transplanting.

제4절 결 과 요 약

1. Ash ball 배지조성별 토마토 생육반응

본 실험은 양액재배용 배지로서 ash ball의 가능성을 타진하고자 제조된 배지를 사용하여 토마토의 적용실험을 수행하였다.

수량은 ash ball 배지간에는 큰 차이를 보이지 않았으나, 소량급액구의 경우 perlite에 비해 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 당도는 ash ball 배지가 perlite에 비해 다소 높게 나타났다. 급액량에 따른 과중은 ash ball의 경우 다량급액구에서 200g 내외로 소량급액구에 비해 50g 정도 높았으며, 당도는 소량 급액구가 8 °Brix 내외로 다량 급액구에 비해 2.5 °Brix 정도 높게 나타났다. 배지의 pH와 EC의 변화는 재배 기간동안에 안정적인 경향을 보였으며, 식물체내 무기성분 함량은 배지간 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

제조된 배지의 토마토적용 실험을 통하여 ash ball은 현재 농가에서 많이 사용되고 있는 펄라이트와 비교하여 재배에서 전혀 뒤지지 않는 것으로 나타나 앞으로 대체 배지로서의 가능성을 보여 주었다.

2. Ash ball 배지입도별 토마토 생육반응

과실의 수량은 입도에 따라 차이를 보여 소립구에서 가장 높았다. 당도는 대립구와 중립구 사이에서는 유의적인 차이가 없었으나 소립구에서는 현저히 감소하였다. 따라서 수량 및 당도 면에서 볼 때 중립 배지를 사용하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

3. Ash ball에 암면과 친수성부직포를 첨가한 혼합배지에서의 토마토 생육반응

급액제한시 ash ball배지에 입상암면이나 친수성부직포를 첨가한 처리구에

서 생육 및 수량이 ash ball 단용배지에 비해 현저히 증가하였다. 따라서 과실의 생산성 높이고 양액비용을 절감하고자 할 경우에는 ash ball배지에 20% 내외의 입상암면이나 친수성부직포를 바닥에 깔아주는 것이 좋을 것으로 생각된다.

4. 팽연화왕겨와 펄라이트에 ash ball을 첨가한 혼합배지에서의 토마토 생육반응

전체적으로 다량 급액조건에서 ash ball 배지의 생산성과 품질은 perlite와 팽연화왕겨에 비해 높은 것으로 나타났다. 팽연화왕겨 배지에 ash ball 첨가시 수량성과 과실의 품질은 향상되는 것으로 나타났으며, perlite 배지에서는 ash ball 첨가에 의한 생산성 향상효과가 나타나지 않았으나 앞으로 장기 사용시 그 효과가 기대된다.

인 용 문 헌

Kim. Y.C., K.Y. Kim, T.C. Seo, Y.B. Lee, and B.W. Moon. 1997. '96 research report. p255-259. Nat'l. Hort. Res. Ins, RDA(Suwon), Korea.

Kojima, T., M. Hatsuyama, and T. Kuriyama. 1995. Studies on physical and chemical properties of substrates for application in hydroponics. J. Japan. Soc. Hort. Sci. Abs. 64(2):308-309.

Kuriyama, T., T. Kojima, and M. Hatsuyama. 1995. Growing tomatoes on ash-ball substrate in a closed system. J. Japan. Soc. Hort. Sci. Abs. 64(2):310-311.

Lee, J.W, B.Y. Lee, J.E. Son, K.S. Kim and Y.B. Lee. 2000. Water retentivity and several vegetable seedling growth in decomposed expanded rice hullsubstrates with different particle sizes. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41(3):245-248.

Lee, J.W, B.Y. Lee, K.Y. Kim, and J.E. Son. 2000. Growth of vegetable seedlings in decomposed expanded rice hull-based substrates. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41(3):249-253.

Park, K.W. and Y.S Kim. 1998. Hydroponics in horticulture. 1st ed. Academi books. Seoul.

Yoo, K.C., I.S. Kim, W.S. Kang, and D.Y. Shin. 2000. Development of hydroponic media using fly ash and clay system cultures. J. Bio-Environ. control 9(1):47-59. (In Korean)

제7장 Ash ball 배지경에 적합한 토마토 배양액 개발

제1절 서 설

제2절 재료 및 방법

제3절 결과 및 고찰

1. Ash ball배지경에 적합한 배양액 선발

2. 토마토의 양분흡수특성에 의한 배양액조성 및 농도

제4절 결 과 요 약

제7장 Ash ball 배지경에 적합한 토마토 배양액 개발

제1절 서 설

Ash ball은 통기성과 배수성이 뛰어나고 수분제어가 용이하여 과채류의 고품질생산에 적합한 환경친화적인 배지로 활용 가능성이 높으나(Kojima 등, 1995; Kuriyama 등, 1995; Yoo 등, 2000)있으나, 이 배지에 적합한 배양액 조성이나 양액의 급배액관리에 대한 기술체계가 아직 확립되어 있지 않은 실정이다.

지금까지 배지의 종류나 양액재배 system별로 이에 적합한 다양한 배양액들이 개발되어 있다. 그들 중 Hori(1963)가 개발한 범용의 일본원시배양액은 초기 역경재배용으로 개발된 배양액이고, Yamazaki(1982)가 개발한 배양액은 순환식 순수수경재배에 적합한 배양액이며, Sonneveld와 Straver(1992)가 개발한 화란온실작물연구소의 PBG배양액은 순환식 암면배지 재배용으로 개발된 배양액으로, 이러한 배양액들의 각 이온이나 전체 이온의 적정 농도는 작물의 종류, 생육단계, 재배시기, 재배방식, 배지조건 그리고 광도, 온도, 습도 등에 따라 변한다(Park, 1998).

배양액의 조성을 결정하는데는 정상적으로 생육하고 있는 식물체의 무기성분함량을 기초로 하거나 양·수분흡수비율을 기초로 하는 방법이 주로 이용되고 있다. 전자는 식물이 흡수한 물의 양을 모르기 때문에 식물에 흡수된 이온의 총량과 이온간의 비율은 알 수 있으나 배양액의 농도는 알 수가 없다. 그러나 후자는 배양액으로부터 없어지는 물과 이온의 양을 경시적으로

관찰함으로서 식물이 흡수하는 이온의 총량, 각 이온간의 비율 및 농도를 알 수 있다(Park, 1998). 작물에 의한 물과 양분의 흡수비율, 즉 각 무기이온의 흡수농도는 작물에 따라 정해져 있기 때문에 이 특성을 이용하면 균형 있는 배양액조성을 만들 수 있어 효율적인 재배가 가능하다(Yamazaki 등, 1976).

본 연구는 ash ball 배지에 적합한 토마토 배양액을 개발하고자 기존 배양액중 ash ball에 적합한 배양액을 선발하고, 선발된 배양액의 농도와 생육단계별로 양수분흡수비율(n/w)을 측정하고 식물의 무기이온성분, 생육, 수량 및 과실성분함량을 조사하였다.

제2절 재료 및 방법

1. Ash ball 배지경에 적합한 배양액선발

Ash ball 배지에 적합한 토마토 배양액을 선발하기 위해, 품종은 완숙계 토마토인 '桃太郎 T93'(Takii 種苗)을 사용하였고, 배양액은 일본야마자키액(Yamazaki액), 한국원예연구소액(KHR액), 한국원예시험장액(KHE액) 및 화란온실작물연구소액(PBG액)의 4가지 표준처방을 선발대상 배양액으로 공시하였다.

실험은 강원대학교 양액재배 온실에서 수행되었으며 실험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 처리구당 개체수는 12주로 하였다. 1998년 6월 25일 plug묘판(50구)에 파종, 육묘 후, 8월7일에 ash ball배지를 충진한 성형스치로폼(116×30×12cm)배드에 25cm 간격으로 정식하였다. 3단 재배로 3과방 위 2엽을 남기고 적심 하였다. 배드표면은 수분증발을 막기 위하여 흑백 플라스틱필름으로 피복하였고, 급액은 생육초기에는 주당 1.5L, 중·후기에는 2.0L를 목표로 1일 10회씩 공급하였다.

근권부의 EC와 pH를 1주일 간격으로 측정하였고, 생육조사는 정식 후 45일에 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 생체중과 건물중을 조사하였다. 근권부의 수소이온농도는 pH meter(WTW pH 330, Germary)로, 전기전도도는 EC meter(NANNA, HI 8033, Singapore)를 이용하여 측정하였다. 수량과 품질은 3화방까지의 수확과를 대상으로 조사하였고, 당도는 Abbe 굴절계로 가용성 고형물질 함량(soluble solid content, SSC)을 측정하여 °Brix로 표시하였으며, 산함량은 0.1N NaOH 적정량에 따른 구연산 함량으로 계산하였다. 잎의 기공저항과 증산율 측정은 porometer(LI-1600, USA)를 사용하였다.

나. 토마토의 양·수분흡수특성과 배양액조성 및 농도

Ash ball 배지에서의 작물의 양분흡수특성을 알아보기 위해 위의 실험에서 선발된 한국원시 표준액(Standard nutrient solution, S로 약)의 1/2, 1, 3/2배 농도의 3수준으로 나누어 생육단계별로 양·수분흡수비율(n/w)을 측정하고 식물의 무기이온성분, 생육, 수량 및 과실성분을 조사였다.

'桃太郎 T93' 토마토를 사용하여, 1999년 7월 10일에 plug묘판에 파종, 육묘 후, 8월 25일에 정식하였다. 5단 재배로 5과방 위 2엽을 남기고 적심 하였다. 타 재배조건은 위의 실험과 동일하였다.

양·수분흡수비율은 Masuda 등(1990)과 Roh 등(1997)의 방법에 따라 계산하였으며, 식물체의 흡수량 측정은 공급액과 배액통 내부의 한쪽 면에 눈금자를 부착하여 매일 측정하였다. 배양액의 공급은 급액용기마다 펌프를 설치하여 타이머의 정해진 시간에 따라 1일 10회, 주당 1.5L 기준으로 점적관수하였다. 엽분석 시료는 80℃에서 72시간 건조하여 분쇄한 후, 0.5g을 취하여 H_2O_2-H_2SO_4법으로 열판에서 분해한 것을 분석시료로 사용하였다. 전 질소는 Keldahl증류법으로, 인은 5042 Detector(720nm)가 장착된 FIAstar 5012 Analyzer(Co. Foss Tecator, Sweden)로, 칼슘, 칼리, 마그네슘은 원자흡광분광기(Atomic Absorption Spectrophotometer, Model AA-6701F, Shimadzu, Japan)로 측정하였다. 과실의 당함량은 5개의 완숙과를 착즙하여 원심분리한 후 상징액을 취하여 5배로 희석하였다. 이 희석액은 0.45㎛ membrane filter로 여과시킨 후 10㎕를 HPLC에 주입하여 측정하였다. 그 외 당도, 산도, EC, pH 등의 측정은 위의 실험과 동일하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. Ash ball 배지에 적합한 배양액선발

토마토의 비순환식 ash ball경에 적합한 배양액을 선발하기 위하여 공시된 4가지 배양액의 표준농도 조건에서 토마토의 생육, 수량 및 근권의 환경변화 등을 비교하였다.

근권의 EC농도는 배양액의 종류와 관계없이 정식 후 3주까지는 감소하였으나 이후에는 지속적으로 증가하였다(Fig. 7.1). KHE액과 PBG액에서 1.6~4.0 mS/cm 범위로, Yamazaki액과 KHR액에서의 0.5~1.8 mS/cm에 비해 높게 나타났고, Yamazaki액과 KHR액에서는 생육초기에 0.4 mS/cm로 낮아져 배양액의 공급농도가 흡수농도에 비해 낮음을 알 수 있었다.

pH는 Yamazaki액과 KHR액에서 5.4~7.1 범위로 비교적 안정적이었으나 KHE액과 PBG액에서는 4.5~6.8 범위로 생육후기에 다소 낮아졌다(Fig. 7.1).

일반적으로 펄라이트나 dkaausd과 같은 고형배지는 생육후기로 갈수록 배지내 염류농도가 높아지는 것이 보통으로, 이러한 경향은 증발산량이 많은 고온기에는 더욱 심하다(Kim 등, 1999).

따라서 다공질 배지로 통기성과 배수성이 탁월한 ash ball배지는 배양액 고급이 충분치 못하면 펄라이트나 암면보다 생육후기 EC상승에 의한 양분흡수의 불균형이 초래될 가능성이 많으므로 급액시 이점을 충분히 고려해야 할 것으로 사료된다. 생육후기의 pH저하 원인은 과실이 비대기에 K^+을 중심으로 하는 양이온의 흡수가 음이온보다 많이 이루어지기 때문으로(Choi 등, 1998; Park, 1998) 추측된다.

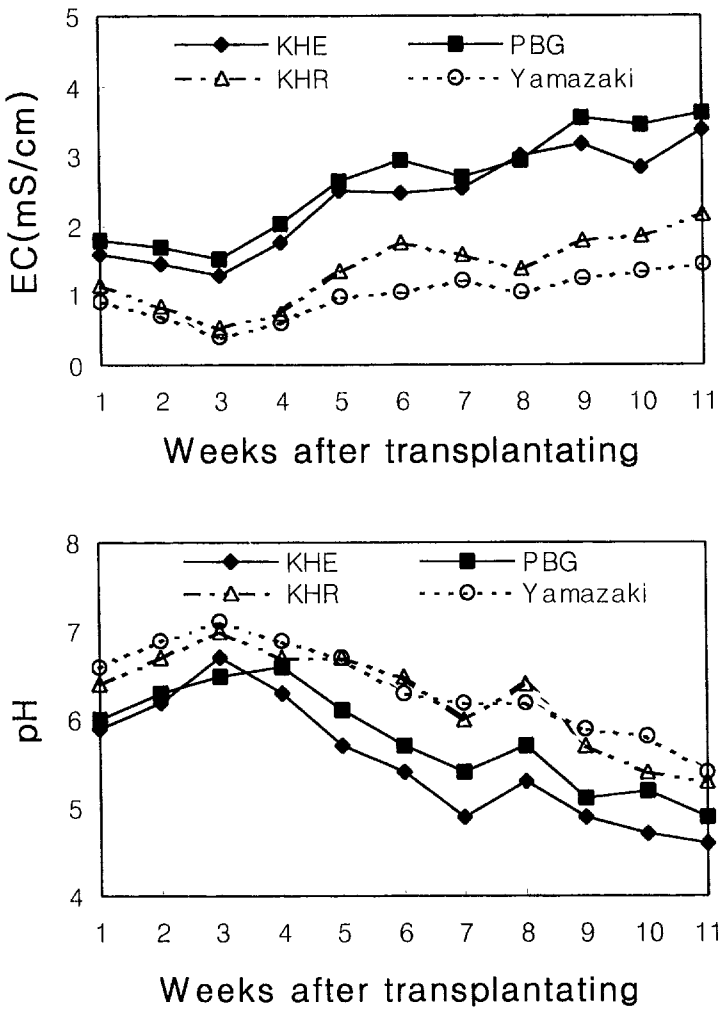


Fig. 7.1. Changes of EC and pH in root zone as affected by the different nutrient solution in ash ball culture of tomato.

KHE: nutrient solution of Horticultural Experiment Station in Korea.

PBG: nutrient solution of Research Station for Greenhouse Vegetable and Floriculture on the Netherlands.

KHR: nutrient solution of Horticultural Research Institute in Korea(Kim 등1997).

Yamazaki: Yamazaki's nutrient solution for tomato.

토마토의 생육, 수량 및 품질에 미치는 배양액종류의 영향(Table 7.1과 Table 7.2)을 보면, 초기생육은 초장, 경경, 엽폭 및 건물중 모두 배양액의 농도가 비교적 높은 KHE액과 PBG액이 농도가 낮은 Yamazaki액과 KHR액에 비해 좋았고, 과중 및 수량은 KHE액과 Yamazaki액에서 높게 나타났다.

당도, 유기산 함량 및 당산비는 KHE액과 PBG액에서 비교적 높아 과실의 품질도 좋은 것으로 나타났다. 다만, 배꼽썩음과 발생율은 Yamazaki나 KHR액 보다 PBG나 KHE액이 높았다. 이는 근권부의 염류농도가 높을수록 배꼽썩음과의 발생율이 증가한다는 일련의 보고(Kim 등, 1999: Adams와 Ho, 1992)와 일치하는 결과이다.

전체적으로 KHE액이 타 배양액보다 생육, 수량 및 품질 등에서 양호한 것으로 나타나 토마토의 ash ball 배지에 적합한 배양액으로 판단되었다.

Table 7.1. Effects of different nutrient solution on the growth of tomato plants in opened growing system at 45 days after transplanting.

Nutrient solutions	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Dry wt.(g/plat)		
					Leaf	Stem	Total
KHE	121.2a[z]	12.41a	42.5a	43.8a	30.17a	14.10a	44.27a
PBG	118.2ab	11.82a	43.0a	42.5a	27.62a	13.79a	41.41a
Yamazaki	116.7b	10.65b	42.0a	38.5b	23.05b	9.81b	32.86b
KHR	116.2b	10.75b	41.5a	39.0b	21.14b	9.15b	30.29b

[z] Mean separation within columns by DMRT at 5% level.

Table 7.2. Effects of different nutrient solution on the yield and quality of tomato fruits in opened system.

Nutrient solutions	SSC[y] (°Brix) A	Citric acid (%) B	A/B	Fruit number	Fruit wt. (g)	Yield (g/plant)	BER[x] (%)
KHE	6.4a[z]	0.77a	8.3	12.2a	201.1a	2453.4a	3.7a
PBG	6.2a	0.76a	8.2	11.9a	173.7c	2067.0b	4.2a
Yamazaki	5.4b	0.67b	8.0	11.8a	204.5a	2413.1a	1.2b
KHR	5.6b	0.69b	8.1	11.6a	185.5b	2151.8b	1.3b

[z]Mean separation within columns by DMRT at 5% level.
[y]Soluble solid content
[x]Blossom-end-rot

2. 토마토의 양수분흡수특성에 의한 배양액조성 및 농도

양 · 수분흡수비율(n/w): 위의 실험에서 선발된 한국원시액(N-P-K-Ca-Mg=14-3-6- 8-4)의 농도를 달리하여 식물체의 양 · 수분흡수비율(n/w)을 영양생장기와 새익생장기로 나누어 측정한 결과, 이온별 약간의 차이는 있으나 전반적으로 양 · 수분흡수비율이 1/2배액에서는 공급액에 비해 증가를, 3/2배액에서는 감소를 보였으나, 1배액에서는 공급농도와 비슷하게 나타나 1배액이 적합한 것으로 추정되었다.

따라서 1배액에서 원소조성별 양수분흡수농도를 보면, N/water는 생육전 · 후기 모두 공급액농도에 비해 다소 낮은 값을 보였는데, 생육초기가 13.68me/L로 생육후기의 12.42me/L에 비해 1me/L정도 높게 나타났다. P/water는 생육단계에 따른 차이가 거의 없었으며 공급액농도에 비해서는 0.4me/L정도 높게 흡수되었다. K/water는 생육전 · 후기 모두 공급액에 비해 높았는데 생육초기에는 0.5me/L정도 높게, 후기에는 1.5me/L정도 높게 나타나 생식생장기에 K의 흡수농도가 현저히 증가함을 알 수 있었다. Ca/water는

공급액에 비해 생육전·후기에 각각 1me/L와 2me/L정도 감소하였고, Mg/water는 주로 생육후기에 0.5me/L정도 감소하는 경향을 보였다(Table 7.3).

본 실험에서 P, Ca, Mg의 변화양상은 대체적으로 Choi 등(1998)이 토마토의 순환식 펄라이트경에서 측정한 양·수분흡수비율의 변화와 유사하였으나, 다만 K/water이 영양생장기에 비해 생식생장기에 흡수농도가 감소했다는 것과는 서로 상이한 경향를 보여 본 실험과 차이를 나타내었다.

식물체내 무기성분함량: 배양액의 농도 및 생육단계별로 잎과 과실내 무기성분함량을 분석한 결과, N의 엽내 함량은 4% 내외로 생육전·후기에 따른 차이는 미미하였으며, 농도별로는 잎은 1배액에서, 과실은 1/2배액에서 약간 높게 나타났다. P의 엽내함량은 생육초기에 비해 생육후기에 다소 낮았고, 잎과 과실 모두 농도가 높은 3/2배액에서 높게 나타났다. K의 생육시기별 엽내함량은 1배액에서는 차이가 없었으나, 1/2배액에서는 생육후기에 낮았고, 3/2배액에서는 후기에 높았으며, 농도별 엽내함량은 1배액에서, 과실내함량은 3/2배액에서 가장 높았다. Ca의 엽내함량은 생육초기보다 후기의 잎에서 높았고, 농도별로는 생육초기에는 큰 차이가 없었으나 생육후기에는 잎과 과실 모두 1배액에서 가장 높았고, 3/2배액에서 가장 낮게 나타났다. 이는 Zhong과 Kato(1987)이 토마토 목질부 일비액의 무기성분을 분석한 결과 높은 배양액 농도에서 Ca의 함량이 낮아졌다는 결과와 유사하였다. Mg 함량도 전체적으로 Ca와 비슷한 경향을 보였으며 다만 농도별로 잎과 과실 모두 생육후기에 1/2배액에서 가장 높았다(Fig. 7.2).

전체적으로 식물체의 무기성분함량은 1배액에서 비교적 높은 수준으로 균형을 이루고 있었다. N, P, K의 엽내 함량은 생육후기에 낮아지는 경향을, Ca와 Mg은 반대로 후기에 높아지는 경향을 보였다. 이는 식물체내에서의 무기이온의 이동성과 관련이 있는 것으로, N, P, K는 이동이 쉬워 식물체내에

서 필요한 부위로 재 이동을 하나, Ca와 Mg은 잎에 흡수되어 정착되면 이동이 어려워져 쉽게 축적되기 때문으로 사료된다.

Table 7.3. Calculated n/w value of tomato based on the Yamazaki's formula.

Growth stage	Nutrient conc.	Items measured	Water (L)	Items measured	NO_3-N	PO_4-P	K -me/L-	Ca	Mg
Vegetative	1/2S[z]	a	15.20	x	7.56	1.43	2.97	3.97	2.06
		b	7.28	y	6.34	0.62	1.82	4.01	2.04
		w	7.92	n/w[y]	8.68	2.17	4.03	3.93	2.08
	1S	a	13.25	x	14.08	2.97	6.02	7.85	4.07
		b	6.26	y	14.53	2.45	5.35	8.97	3.95
		w	6.99	n/w	**13.68**	**3.44**	**6.62**	**6.85**	**4.18**
	3/2S	a	15.16	y	20.72	4.57	9.05	12.09	5.84
		b	10.42	y_1	21.33	4.52	9.81	12.70	6.08
		w	4.73	n/w	19.42	4.69	7.39	10.77	5.32
Reproductive	1/2S	a	9.04	x	7.56	1.43	2.97	3.97	2.06
		b	4.86	y	5.59	0.35	0.88	3.88	2.18
		w	4.55	n/w	9.65	2.58	5.20	4.06	1.93
	1S	a	11.55	x	14.03	2.96	6.08	7.89	4.06
		b	6.96	y	15.09	2.67	5.20	9.08	4.32
		w	4.59	n/w	**12.42**	**3.40**	**7.41**	**6.09**	**3.67**
	3/2S	a	15.63	x	20.72	4.57	9.05	12.09	5.84
		b	11.49	y	21.88	5.02	10.85	14.76	6.74
		w	4.14	n/w	17.50	3.32	4.05	4.68	3.34

[z]S indicate standard nutrient solution of Horticultural Experiment Station in Korea.

[y]n/w indicates the nutrient absorption per volume water consumption from the plants.

The formula: $n/w = (ax-by)/(a-b)$ was used for calculating the minerals absorbed pre unit volume of water absorbed.

x, y: x and y indicate the mineral concentration in the solution at the beginning and at the end of the treatment(me/L).

a, b: a and b indicate the volume of the nutrient solution at the beginning and at the end of the procedure(L).

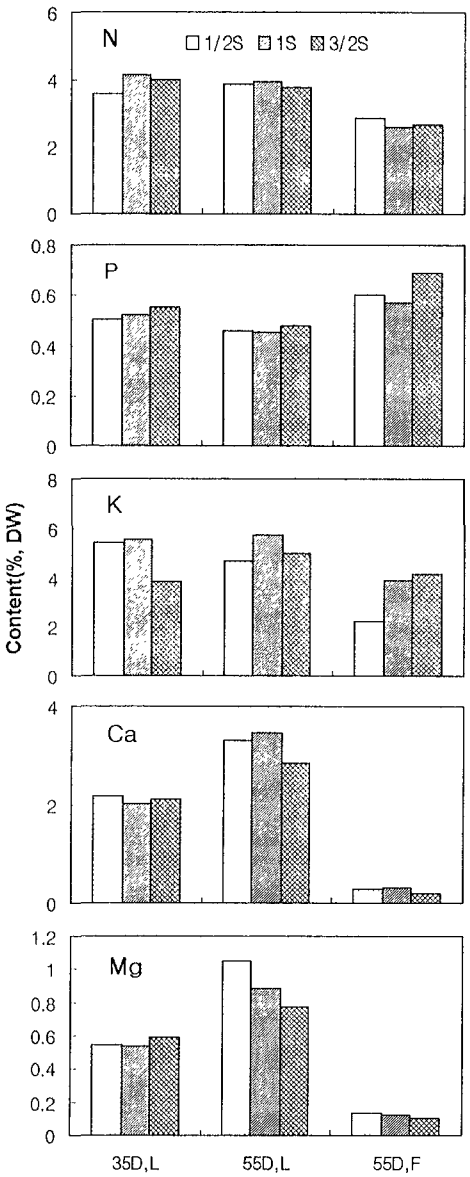


Fig. 7.2. Nutrient content of leaves and fruits of tomato grow under different nutrient concentrations at 35 and 55 days after transplanting. (D: Days after transplanting, L: Leaf, F: Fruit)

생육 및 수량: 배양액 농도별 토마토의 초기생육과 과실수량 등을 조사하였다. 생육은 1배액에서 가장 왕성하여 건물중이 높았으며, 3/2배액에서는 엽맥이 탈기거나 이상줄기 증상이 다소 나타났다(Table 7.4와 Fig. 7.3). 수량과 평균과중은 1/2배액≥1배액>3/2배액 순으로 높은 경향을 보였으나, 1/2배액과 1배액 사이에는 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 그러나 3/2배액에서는 주당 수량이 1배액의 3673g에 비해 20%정도 감소를 보였으며, 과실의 배꼽썩음과율도 3/2배액에서 13.7%로, 1배액과 1/2배액에 비해 10%이상 높게 나타났다(Table 7.5). 과실의 당도, 유기산함량은 농도가 높을수록 증가하여 3/2배액에서 각각 7.6 °Brix와 0.86%로 가장 높았으며, 과실성숙은 1배액이 3/2배액과 1/2배액에 비해 빨랐다. 잎의 기공저항은 3/2배액>1배액>1/2배액 순으로 배양액의 농도가 높아짐에 따라 증가하였으나 증산속도는 이와 반대의 낮아졌다(Fig. 7.4). 따라서 고농도에서는 배양액 삼투압의 증가에 의한 양·수분 흡수의 억제와 잎의 기공저항의 증가 및 증산속도의 감소에 따른 광합성능력 저하로 최종적으로 생육 및 수량의 감소를 초래하게 된 것으로 사료된다. 전체적으로 1배액에서 생육이 좋았고 수량 및 품질도 양호한 것으로 나타났다.

Table 7.4. Effects of different mineral concentration in the solution on the growth of tomato plants in opened growing system at 35 days after transplanting.

Ionic strength	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Dry weight (g/plant)			
					Leaf	Stem	Root	Total
1/2S[z]	107.6b	7.2b	44.0a	36.2b	11.9	4.6	1.4	17.9b
1S	124.0a	7.8a	40.8b	36.8b	12.8	4.8	1.3	18.9a
3/2S	123.0a	8.1a	40.6b	38.6a	12.3	4.7	1.2	18.2ab

[z]Same as shown in Table 8.

Table 7.5. Effects of different mineral concentration in the solution on the yield and quality of tomato fruits in ash ball substrate culture.

Ionic strength	SSC (°Brix)	Citric acid (%)	Fruit number	Fruit weight (g/fruit)	Yield of fruit (g/plant)	Blossom-end -rot (%)
1/2S[z]	5.6c[y]	0.64c	19.4a	192.1a	3726.7a	2.0b
1S	6.4b	0.78b	19.6a	187.4ab	3673.0a	3.6b
3/2S	7.6a	0.86a	19.7a	152.2b	2998.3b	13.7a

[z]Same as shown in Table 8.

[y]Mean separation within columns by DMRT at 5% level.

1/2 S 1 S 3/2 S

Fig. 7.3. Growth state of plants by different mineral concentration of the solution in ash ball culture of tomato.

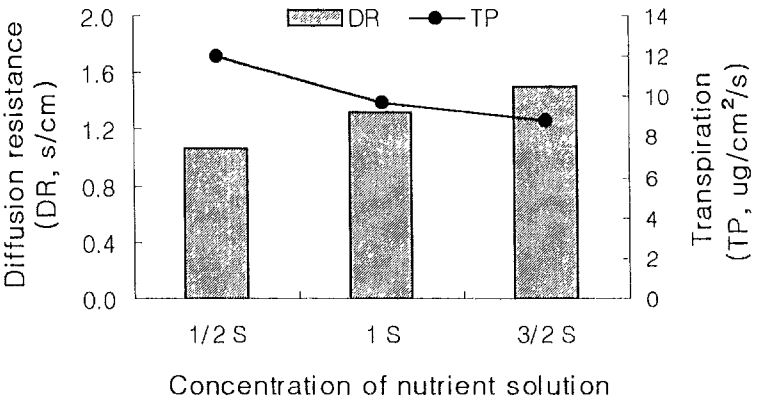


Fig. 7.4. Effects of different mineral concentration in the solution on the diffusion resistance and transpiration in the leaves.

EC 및 pH: 대부분의 원예작물이 pH 5.5-6.8의 약산성에서 생육이 양호하다. 본 실험에서 1배액의 경우, 전 재배기간에 걸쳐 근권 EC가 1.6~3.2mS/cm 범위로 비교적 안정적이었고, pH는 4.7~6.9 범위로 생육후기에 다소 낮은 경향을 보였다(Fig. 7.5).

배양액의 pH는 질소의 형태에 의해서만 변하는 것은 아니지만 NO_3^-와 NH_4^+의 비율을 조절하여 pH변화를 방지할 수 있으며(Takaya와 Ikeda, 1985; Lee 등, 1996), 배양액의 pH는 NO_3^-만을 주면 올라가고 NH_4^+의 비율을 높여주면 내려간다고 보고(Donald와 Barker, 1969; Kirkby, 1981)되어 있다. Ikeda와 Osawa(1988)은 배양액내 NO_3^-/NH_4^+의 비율과 토마토의 생육, 수량 및 배꼽썩음과 발생에 관한 실험에서, NO_3^-의 單用이 NO_3^-와 NH_4^+의 倂用에 비해 엽내 N와 P의 함량을 감소시켰으나 K, Ca, Mg의 함량은 증가시켰으며 특히 Ca함량의 증가가 커졌다고 하였다. 따라서 배양액 조성시 생육후기에 양액내 NH_4^+의

농도를 낮추어 줄 경우 pH저하의 방지는 물론, K, Ca, Mg의 흡수를 증가시켜 과실의 비대를 촉진시키고 배꼽썩음과의 방지에도 유리할 것으로 사료된다.

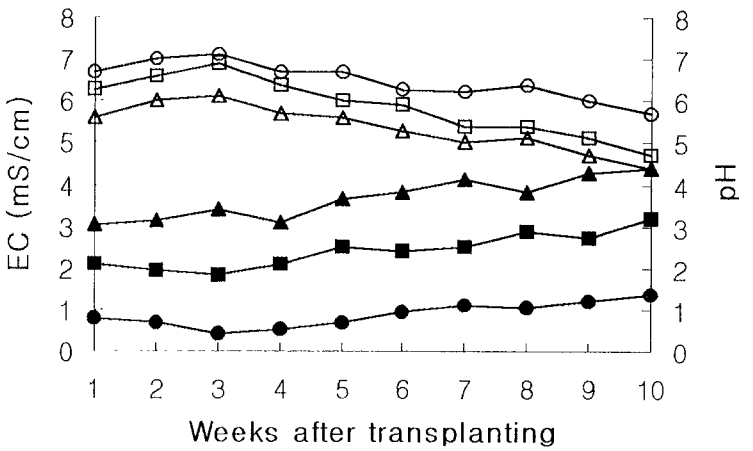


Fig. 7.5. Changes of EC and pH in root zone as affected by the different strength nutrient solution. [EC: 1/2S(●), 1S(■), 3/2S(▲): pH: 1/2S (○), 1S(□), 3/2S(△)]

위의 실험결과들로 볼 때, 1배액(KHE)에서 양·수분흡수비율이 가장 안정적이었고, 생육, 수량, 품질은 물론 근권환경도 비교적 양호하였다. 따라서 1배액에서의 양·수분흡수비율(n/w) 즉, 영양생장기(정식 후 1개월)동안에는 N 13.68, P 3.44, K 6.62, Ca 6.85, Mg 4.18me/ℓ, 생식생장기 동안에는 N 12.42, P 3.40, K 7.41, Ca 6.09, Mg 3.67me/ℓ를 기초로, 식물체내 무기성분함량과 생육특성을 고려한 토마토의 신조성배양액(KUT액)을 Table 7.6에서와 같이 제시하였다.

Table 7.6. The composition of macronutrinet solution in ash ball culture of tomato developed by Kangwon University and Kim(1988) in open growing system.

Nutrient solution	Growth stage	NH_4-N	NO_3-N	P	K	Ca	Mg
				-me/L-			
KUT[z]	Vegetative	1	13.5	3.5	6.5	7	4
	Reproductive	-	12.5	3.5	7.5	6	3.5
KHE[y]	-	1	14	3	6	8	4

[z]Nutrient solution of Kangwon University for Tomato ash ball substrate culture in opened growing system.

[y]Nutrient solution of Horticultural Experiment Station in Korea(Kim, 1988).

제4절 결 과 요 약

Ash ball 배지경에 적합한 토마토의 배양액조성 및 농도를 구명하고자 재배를 통해 적정배양액을 선발하고, 선발배양액의 농도 및 생육시기별 양·수분흡수특성을 측정하여 그 타당성을 비교분석하였다.

기존의 일본야마자키액(Yamazaki액), 한국원예연구소액(KHR액), 한국원예시험장액(KHE액) 및 화란온실작물연구소액(PBG액)을 공시하여 재배한 결과, 수량 및 과실품질면에서 KHE액이 양호한 것으로 나타났다. 따라서 선정된 KHE 표준액을 1/2, 1, 3/2배액으로 나누어 생육기별로 생육 및 양분흡수특성을 조사한 결과, 생육, 수량 및 품질 면에서 1배액이 가장 좋았다. 근권환경은 재배기간동안 1배액에서 EC가 1.6~3.2mS/cm 범위로 비교적 안정적이었으며, pH는 4.7~6.9 범위로 생육후기에 다소 낮아졌다. 잎과 과실의 무기성분함량은 전체적으로 1배액에서 적정범위를 보였다. 토마토의 양·수분흡수비율(n/w)은 영양생장기와 생식생장기 모두 1배액에서 가장 안정적으로 공급액과 비슷했으나, 1/2배액에서는 공급액에 비해 높게, 3/2배액에서는 낮게 나타났다.

따라서 KHE 1배액에서의 양·분흡수비율(n/w)을 기초로, 식물체내 무기성분함량과 생육특성을 고려한 토마토의 신조성배양액(KUT액)은 영양생장기(정식 후 1개월)동안에는 N 13.5, P 3.5, K 6.5, Ca 7, Mg 4me/ℓ, 생식생장기 동안에는 N 12.5, P 3.5, K 7.5, Ca 6, Mg 3.5me/ℓ이 적합한 것으로 판단되었다.

인 용 문 헌

Adams, P. and L.C. Ho. 1992. Effects of humidity, Ca and salinity on the accumulation of dry matter and Ca by the leaves and fruit of tomato. J. Hort. Sci. 67:137-142.

Choi, E.Y. 1998. Development of optimal nutrient solution for tomato substrate culture in closed system. J. Bio. Fac. Env. 7(1):43-54.(In Korean)

Donald, N.M. and A.V. Barker. 1969. Studies on the tolerance of plants to ammonium nutrition. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94:235-239.

Hori, Y. 1963. Gravel culture for vegetable and flower growing. Agri. and Hort. 38:863-866. (In Japanese)

Ikeda, H., and T. Osawa. 1988. Effects of NO_3/NH_4 ratios and temperature of the nutrient solution on growth, yields, and blossom-end rot incidence of tomato. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 57(1):62-69.

金光勇(1988). 菜蔬養液 栽培用 園試培養液의 造成特性과 管理方法. 施設園藝研究 1(2):35-40.

Kim, Y.C., K.Y. Kim, T.C. Seo, Y.B. Lee, and B.W. Moon. 1997. '96 research report. p255-259. Nat'l. Hort. Res. Ins, RDA(Suwon), Korea.

Kim, K.Y., T.C. Seo, and Y.C. Kim. 1999. Effects of milliequivalent ratio of K and Ca in the nutrient solution on the growth, yield and blossom end rot of tomatoes grown by perlite culture in hot season. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40(6):652-656.

Kirkby, E.A. 1981. Plant growth in relation to nitrogen supply. In Clarke, F.E., and T. Rosswall. Terrestrial nitrogen cycles,

processes, ecosystem strategies and management impacts. p.249-267. Ecol. Bull. Stockholm 33.

Kojima, T., M. Hatsuyama, and T. Kuriyama. 1995. Studies on physical and chemical properties of substrates for application in hydroponics. J. Japan. Soc. Hort. Sci. Abs. 64(2):308-309.

Kuriyama, T., T. Kojima, and M. Hatsuyama. 1995. Growing tomatoes on ash-ball substrate in a closed system. J. Japan. Soc. Hort. Sci. Abs. 64(2):310-311.

Lee, M.J., S.E. Kim, and Y.S. Kim. 1996. pH Regulation of nutrient Solution by $NH_4H_2PO_4$ in Raising Seedling by Deep Flow Culture of Cherry Tomato. J. Kor. Sco. Hort. Sci. 37(2):214-217.

Masuda, M., T. Tanaka and S. Matsunari. 1990. Uptake of water minerals during day and night in tomato and cucumber plants. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58(4):951-957.

Park, K.W. and Y.S Kim. 1998. Hydroponics in horticulture. 1st ed. Academi books. Seoul.

Roh, M.Y., Y.B. Lee, H.S. Kim, K.B. Lee, and J.H. Bae. 1997. Development of Nutrient Solution Suitable for Closed System in Substrate Culture of Cucumber. J. Bio. Fac. Env. 6(1):1-14.(In Korean)

Sonneveld, C. and N. Straver. 1992. Voedingsoplossingen voor groenten en bloemen eteeld in water of substraten (Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates). Voedingsoplossingen glastuinbouw. No. 8. p.15.

Takaya, O. and H. Ikeda. 1985. The effect of form of nitrogen supplied and pH level of the nutrient solution on zinc toxicities in vegetable

crops. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 53(4):427-431.

Yamazaki, K., Y. Suzuki, and Y. Shinohara. 1976. Studies on water culture of several vegetables, with special reference to the control of nutrient solution and ratio of nutrient absorption per water consumption(n/w). Memoirs of the Fac. Agr. Tokyo Univ. of Education. 22:53-100. (In Japan with English summary)

Yamazaki, K. 1982. A review on solution culture. p34-49. Hakuyu-sha Tokyo (In Japanese).

Yoo, K.C., I.S. Kim, W.S. Kang, and D.Y. Shin. 2000. Development of hydroponic media using fly ash and clay system cultures. J. Bio-Environ. control 9(1):47-59. (In Korean)

Zhong, L. and T. Kato. 1987. Comparative studies on physiological and ecological characteristics of solanaceous fruit vegetables. (4)Influence of concentrations of nutrient solution on exudation rate and chemical composition of xylem exudate. J. Jap. Environ. Control Biol. 25:97-102.

제8장 Ash ball배지경에서 고당도 토마토 재배기술 개발

제1절 서 설

제2절 재료 및 방법

제3절 결과 및 고찰

1. 수분stress에 의한 토마토 당증진 방법 모색

2. 염류stress에 의한 토마토 당증진 방법 모색

3. 배양액농도에 의한 토마토 당증진 방법 모색

4. 수분stress에 의한 토마토 당증진과 당대사 관련 유전자를 cloning 하기 위한 cDNA Library의 제작 및 분석

제4절 결 과 요 약

제8장 Ash ball 배지경에서 고당도 토마토 생산기술 개발

제1절 서 설

양액재배는 주로 수량성을 중시하는 형식으로 개발되어 왔으나, 최근에는 극단적인 수분스트레스를 주어 당도를 높이는 연구가 조금씩 이루어지고 있다. 그 외 배양액농도를 높이거나 염류처리 방법으로 삼투압스트레스를 부여하여 당도를 높이는 방법도 알려져 있으나 아직 충분히 인지되어 있지 않거나 생리장애 등 발생으로 쉽게 이용하지 못하는 경우가 많다.

토마토의 품질향상을 위해 배양액농도를 높이거나(Adams와 Winsor, 1973; Masuda 등, 1989), 食鹽(NaCl) 또는 海水 첨가처리가 유효하다는 보고(Ehret와 Ho, 1986; Mizrahi, 1982; Mizrahi 등, 1988)가 있다. Ohta 등(1991)은 토마토의 경우 배양액에 NaCl를 첨가하면 배양액의 삼투압이 높아져 작물의 吸水가 억제되고 그 결과 과실의 당도가 높아지게 된다고 하였다.

양액재배에서 일반적으로 근권의 환경을 안정시키기 위해 식물의 필요이상으로 양액을 공급하게 되는데 배지의 보수력이 너무 높을 경우 과습하기 쉽다. 특히 토마토와 같은 품질을 중요시하는 과채류 재배에서는 적당한 보수력을 가진 배지의 사용 및 적정급액은 토경과 유사한 수분조건을 유지해줄 수 있는 하나의 중요한 조건이다.

석탄회 성형배지(ash ball)는 통기성, 수분확산성 및 배수성이 뛰어난 배지로서 배양액의 양적 제어가 타 배지에 비해 탁월하여 품질을 중요시하는 과채류 재배에 적합하다(Kojima 등, 1995; Kuriyama 등, 1995; Kuriyama,

1996: Yoo 등, 2000).

식물체는 수분, 염류, 또는 저온스트레스 상태에서는 식물체내의 단백질 또는 인지질을 보호하기 위하여 당이 증가한다는 보고가 있다(1). 당은 식물의 세포내에서 수분스트레스 하에서는 물이 하던 역할을 대신하여 당은 세포내 주요 물질들과 접촉하여 그들이 3차구조를 유지하도록 도와 주어 스트레스 하에서도 세포가 상해를 입지 않도록 보호하여 준다(2). 토마토 과실에서는 glucose와 fructose가 sucrose보다 훨씬 높은 농도로 존재하며 sucrose 분해효소인 acid invertase의 활동이 매우 활발하다(3). 본 시험에서는 토마토 과실에서 당함량을 증가시키기 위해 인위적으로 수분스트레스를 가하고, 이로 인한 고당도 토마토 생산하며, sucrose를 분해하여 glucose와 fructose의 생성에 관여하는 acid invertase 유전자를 cloning하고 분석하기 위하여 cDNA library를 제작하고 이를 바탕으로 당에 관련된 유전자를 분리하였다.

본 연구는 양액공급제한에 따른 수분스트레스 처리기술, 그리고 배양액농도와 염류처리에 의한 삼투압스트레스 처리기술과 방법을 제시하여 ash ball 배지특성에 맞는 토마토 고당도생산기술을 개발하려는데 목적이 있다. 그 외 앞으로 당관련 심층연구를 위해, 수분stress에 의한 토마토 당증진과 당대사 관련 유전자를 cloning하기 위한 cDNA Library의 제작 및 분석에 관한 기초적인 실험을 수행하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 수분stress에 의한 토마토 당증진방법 모색

가. 수분stress 부여정도가 과실의 당함량증진에 미치는 영향

실험은 강원대학교 원예학과 비닐온실에서 수행되었으며 실험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 처리구당 개체수는 15주로 하였다. 품종은 완숙계 토마토인 '모모타로 T93'(Takii, 種苗)을 공시하여 1998년 6월 15일 plug묘판(50구)에 파종, 육묘 후, 1998년 8월 7일에 ash ball배지를 충진한 성형스치로폼(116×30×12cm)베드에 25cm 간격으로 정식하였다. 배양액은 일본야마자키액(Yamazaki액)을 사용하였고, 급액량은 주당 0.6L, 0.9L, 1.2L 및 1.5L 나누어 공급하였고, 베드표면은 수분증발을 막기 위하여 흑백 플라스틱필름으로 피복하였다. 4단 재배로 4과방 위 2엽을 남기고 적심 하였다.

생육조사는 정식 후 60일째에 초장, 엽장, 엽폭, 경경 및 건물중을 조사하였다. 수량과 품질은 4화방까지의 수확과를 대상으로 조사하였다.

이상과를 제외하고 각 과방의 1번과에 대하여 homogenizer로 간 것을 원심분리(4,000 rpm, 10 min)하여 얻은 상징액(과즙)을 Brix · 적정산 측정용으로 하였다. 당도는 Abbe 굴절계로 가용성 고형물질 함량(soluble solid content, SSC)을 측정하여 °Brix로 표시하였으며, 滴定酸은 과즙을 10배로 희석하여 0.1N-NaoH용액으로 적정한 후 구연산 함량으로 환산하여 산출하였다. 과실내 질소함량은 건조시료를 산가수분해하여 Kjeldahl 증류법으로 분석하였다.

당분석은 Ogiwara 등(1999)의 방법에 준하여 시료를 제작하여 HPLC로 당류를 분리 · 정량하였다. HPLC 분석조건은 column: Shin-pak SCR-101N(7.9mm ϕ ×30cm), mobile phase: distilled water, flow rate: 0.8 mℓ/min, detector: RID-10A(Shimadzu), column temperature: 40℃로 하였으며, injection volumn은 시료당 10 $\mu\ell$를 주입하였다.

나. 수분stress가 토마토의 당, 산, 비타민C 및 과실내 질소함량에 미 치는 영향

품종은 완숙계 토마토인 '630'(Sakada, 種苗)을 공시하여 1998년 12월 30일 plug묘판(50구)에 파종, 육묘 후, 1999년 2월 24일에 정식하였다. 배양액은 일본야마자키액(Yamazaki액)을 사용하였고, 처리구는 급액량(주당 0.9L, 1.35L 및 1.8L) 3수준과 급액회수(1일 8회와 16회) 2수준을 조합하여 전체 6처리구로 나누었다. 5단 재배로 5과방 위 2엽을 남기고 적심 하였다. 타 재배조건은 위의 실험과 같다.

생육조사는 정식 후 45일에 초장, 엽장, 엽폭, 경경 및 건물중을 조사하였다. 수확은 과실의 3/4이 착색한 시점에서 하였고, 수량과 품질은 5화방까지의 수확과를 대상으로 조사하였다.

가용성고형물 함량(당도)과 적정산(구연산 함량) 및 당함량 측정방법은 위의 실험(1-가)과 동일하다.

Ascorbic acid 분석은 5개의 과실조직에서 4g씩 채취하여 전체 20g을 6% HPO_3(metaphosphoric acid) 180ml와 함께 10,000rpm으로 3분간 마쇄한 후 3,000rpm으로 10분간 원심분리하여 얻은 상징액을 0.45㎛ membrane filter로 여과, 10㎕를 주입하여 HPLC로 검출하였다(Park 등, 1997). HPLC 분석조건은 column: μBondapak™C_{18}(3.9mm φ×30cm), detector: SPD-10AV(Shimadzu) UV 254nm에서 검출하였다.

2. 염류stress에 의한 토마토 당증진방법 모색

품종은 완숙계 토마토인 '모모타로 요크'(Takii, 種苗)을 공시하여 2000년 7월 6일 plug묘판(50구)에 파종, 육묘 후, 2000년 8월 16일에 정식하였다. 배양액은 일본야마자키액(Yamazaki액)을 사용하였고, NaCl첨가농도는 0, 10, 20, 40mM로 설정하여 배양액과 함께 공급하였다. 3단 재배로 3과방 위 2엽을

남기고 적심 하였다. 타 재배조건은 위의 실험과 동일 하였다.

생육조사는 정식 후 45일에 초장, 엽수, 경경, 엽면적, 엽록소함량 및 건물중 등을 조사하였다. 수량과 과실의 품질은 3화방까지의 수확과를 대상으로 조사하였다.

3. 배양액농도에 의한 토마토 당증진방법 모색

품종은 완숙계 토마토인 '모모타로 T93'(Takii, 種苗)을 공시하여 1998년 12월 19일 plug묘판(50구)에 파종, 육묘 후, 1999년 2월 24일에 정식하였다. 배양액은 한국원시배양액 표준농도의 1/2배액(1S), 1배액(1S) 및 3/2배액(3/2S)으로 공급하여 배양액 농도에 따른 수량 및 품질을 조사하였다. 5단재배로 5과방 위 2엽을 남기고 적심 하였다. 타 재배조건은 위의 실험과 동일하였다.

생육조사는 정식 후 50일에 초장, 엽장, 엽폭, 경경 및 건물중을 조사하였다. 수량과 과실의 품질은 5화방까지의 수확과를 대상으로 조사하였다. 과실품질은 가용성고형물함량, 적정산, 당함량, 비타민C 함량, 과실내 질소함량 등을 조사하였으며, 측정방법은 위에서 기술한 바와 같다.

4. 수분stress에 의한 토마토 당증진과 당대사 관련 유전자를 cloning 하기 위한 cDNA Library의 제작 및 분석

가. 수분stress 부여한 토마토에서 Total 및 mRNA의 추출

온실에서 재배한 토마토 식물체에 수분스트레스를 24시간 가한 뒤 잎을 채취하고 CTAB법을 이용하여 total RNA를 추출하였다(4). 방법은 토마토의 잎을 채취한 뒤 액체질소를 막자사발에 넣은 뒤 유봉을 이용하여 곱게 갈았다. 분쇄한 잎의 가루는 homogenization 버퍼 [2% trimethylammonium bromode

(CTAB), 0.1M Tris (pH 9.5), 20mM EDTA, 1% polyvinyl pyrolidone, 1.4M NaCl, 1% mercaptanol]를 시료의 10배에 해당하는 양을 넣고 잘 섞은 뒤 원심분리기와 PCI (phenol:chloroform:isoamyl achol; 25:24:1)로 두 번, 그리고 CI (chloroform:isoamylachol; 24:1)로 한 번 추출하였다. 그리고 0.5배 sodium acetate과 2.5배의 찬 ethanol을 더한 뒤 영하 20℃에서 침강시켜 total RNA를 추출한 뒤 spectrophotometer로 RNA양을 측정하였다. mRNA는 Stratagene사의 Poly(A) Quik mRNA Isolation Kit를 사용하였다. 총 500μg의 total RNA를 사용하여 약 1%에 해당하는 mRNA를 얻은 뒤 이를 cDNA 합성에 사용하였다.

나. cDNA 합성, EcoR I adapter의 ligation과 Xho I으로 절단

5μg의 mRNA, 10X first-strand buffer, first-strand methyl nucleotide mixture, linker-primer, RNase inhibitor, 그리고 MMLV-reverse transcriptase를 섞은 뒤 37℃에서 한 시간 동안 반응을 시켰다(5). First-strand cDNA를 합성한 뒤, second-strand cDNA는 10X second-buffer, second-strand dNTP mixture, RNase H, DNA polymerase I을 섞어 16℃에서 2.5시간 동안 반응을 시켰다. 합성된 double-strand cDNA는 blunting dNTP mixture와 Pfu DNA polymerase로 blunt end를 만들고, phenol-chloroform으로 정제한 뒤 sodium acetate와 ethanol로 침강시킨 뒤 원심분리하였다. Blunt end cDNA에 EcoR I adapter를 붙이기 위하여 10X ligase buffer, 10mM rATP, 그리고 T4 DNA ligase를 이용하였다. EcoR I 끝에 인산화를 시키기 위하여는 ligase buffer, 10mM rATP, T4 polynucleotide kinase를 사용하였다. 인산화된 EcoR I site를 갖고 있는 second-strand cDNA는 Xho I으로 자른 다음 Separose CL-2B gel filteration medium을 이용하여 size fractionating을 수행하였다.

다. cDNA의 size fractionation과 샘플 DNA 분리

제조사의 요구에 따라 drip column을 조립하고, 합성한 cDNA는 약 12개의 크기로 분획을 한 뒤 이들을 phenol-chloroform으로 정제하고 ethonal을 써서 침강 시키고, 원심분리하여 400 base pair이상의 cDNA만을 cDNA library 제작에 이용하였다. cDNA의 농도는 ethdium bromide plate assay방법으로 측정을 하였다. 약 100ng의 cDNA를 1μg의 Uni-ZAP vector에 ligation 시켰다.

라. 합성한 cDNA를 Uni-ZAP XR 벡터에 도입과 Packing

100ng의 cDNA, 10X ligase buffer, 10mM rATP, 1μg의 Uni-ZAP vector, 그리고 T4 DNA ligase를 12℃에서 하루밤 동안 반응시켰다. -80℃에 저장했던 packing extracts에 cDNA를 더한 뒤 22℃에서 두 시간 반응을 시키고 SM buffer와 chloroform을 이용하여 정제하였다.

마. Plating, titering, 및 cDNA library의 증폭

정제한 lambda phage는 1:10,000, 1:100,000, 1:1,000,000으로 희석한 뒤 각각 200μl의 host cell에 더한 뒤 37℃에서 15분 phage가 박테리아 세포에 부착하도록 하였다. NZY top agar plate에 IPTG와 X-gal을 섞은 다음 하루밤 동안 37℃에서 incubation시켰다. 재조합 plaque와 background plaques는 흰색과 푸른색으로 선발하였다. 다수이며 안정된 high-titer stock library를 만들기 위하여 lambda vector에 준비된 library를 증폭시키는 것이 필요하다. OD_{600} = 0.5의 host cell 600μl에 ~5 X 10^4 pfu의 bacteriphage를 혼합한 뒤 37℃에서 15분 phage가 박테리아 세포에 부착하도록 하였다. 6.5ml의 top agar를 섞은 뒤 37℃에서 하룻밤 incubation시키고 plaque가 1-2mm 이내에서 ~8-10 ml의 SM buffer를 부어 phage particle를 회수하였다.

바. 재조합 cDNA의 확인을 위한 In Vivo excision

Mass excision을 수행하기 위하여 30℃에서 하룻밤 XL-1Blue MRF'과 SOLR cell을 0.2% maltose와 10mM $MgSO_4$ 첨가한 LB배지에서 키웠다. 수확한 cell들은 OD_{600} = 1.0이 되도록 희석한 뒤 50ml tube에서 phage와 cell의 비율이 1:10이 되도록 XL-1Blue MRF'와 증폭한 almbda bacteriophage를 37℃에서 15분 배양한 뒤 20ml의 LB broth를 넣고 37℃에서 3시간 더 co-incubation시켰다. 70℃에서 20분 열처리 한 뒤 1μl의 SOLR cell을 섞은 뒤 100μl의 cell mixture를 LB-ampicilin agar plate에 도말한 뒤 37℃에서 하룻밤 배양하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 수분stress에 의한 토마토 당증진방법 모색

가. 수분stress 부여정도가 과실의 당함량증진에 미치는 영향

급액량을 주당 0.6, 0.9, 1.2 및 1.5L로 처리하여 수분스트레스 정도에 따른 생육, 수량 및 품질을 화방별로 비교하였다. 토마토의 초장과 엽 및 지상부 건물중 등 생육은 급액량이 증가함에 따라 증가하였다(Table 8.1과 Fig. 8.1). 과중 및 수량도 생육과 비슷한 경향으로 급액량을 많이 제한한 처리구일수록 감소하였다. 특히 수량의 경우 급액량을 극도로 제한한 0.6L구와 0.9L구에서는 다량 급액한 1.5L구에 비해 각각 45%와 20%정도 감소하였다(Fig. 8.2와 Fig. 8.3).

당도(가용성고형물함량)는 0.6L구와 0.9L구에서 각각 7.8 °Brix과 6.8°Brix로 다량급액한 1.5L구의 5.5 °Brix에 비해 현저히 높게 나타났다(Fig. 8.4).

당조성 함량에 있어서 sucrose는 수분스트레스를 많이 받은 0.6L구와 0.9L구에서만 검출되고 다량 급액한 1.2L구와 1.5L구에서는 검출되지 않았다. total sugar함량은 0.6L구와 0.9L구에서 각각 7.66과 6.29로 1.5L구의 3.87%비해 현저히 높게 나타났다(Table 8.2).

전체적으로 과실의 당함량은 수분스트레스 부여정도에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 당증진 효과는 대체로 0.6L구와 0.9L구에서 양호했으나 0.6L구의 경우 수량감소가 45%이상으로 나타나 수량감소가 20%내외인 주당 0.9L(4단 재배시)의 급액제한수준이 수량을 그다지 감소시키지 않고 당함량을 증진시킬수 있는 적정수준으로 판단되었다.

Table 8.1. Effect of amount of nutrient solution supply on growth of plants in ash ball culture of tomato.

Amount of nutrient solution	Plant hight (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Dry weight (g/plant)		
					Leaf	Stem	Total
0.6L	134.8[z] ±3.0	33.8 ±2.4	28.5 ±2.1	7.33 ±0.81	32.7 ±3.8	11.6 ±2.1	48.8 ±4.5
0.9L	166.8 ±2.6	43.1 ±4.2	33.5 ±3.4	8.82 ±0.43	44.5 ±4.6	17.9 ±1.6	63.5 ±3.9
1.2L	174.0 ±4.5	42.0 ±4.3	41.0 ±1.6	9.95 ±0.40	53.3 ±4.1	21.7 ±2.3	75.0 ±4.3
1.5L	190.6 ±5.4	50.5 ±2.6	47.3 ±3.8	10.73 ±0.15	57.6 ±3.4	22.8 ±4.5	80.4 ±7.9

[z]Data are means±SE.

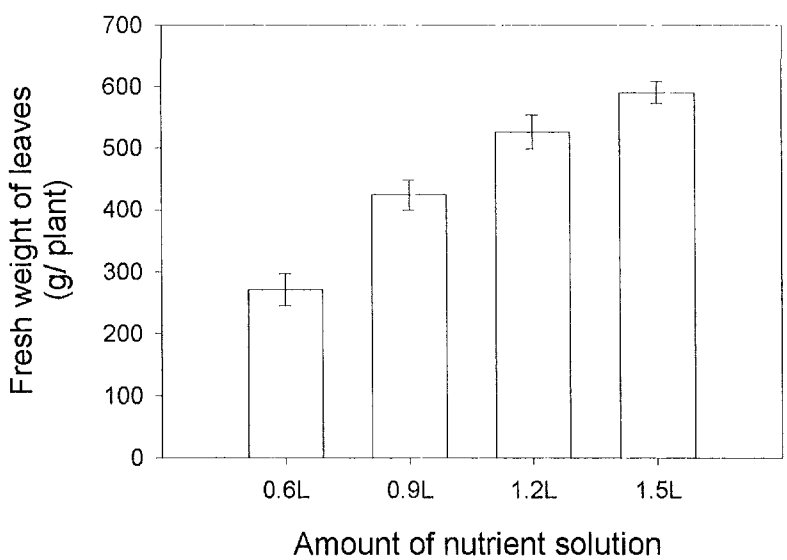


Fig. 8.1. Effect of amount of nutrient solution supply on fresh weight of leaves in ash ball culture of tomato. Bars are means±SE.

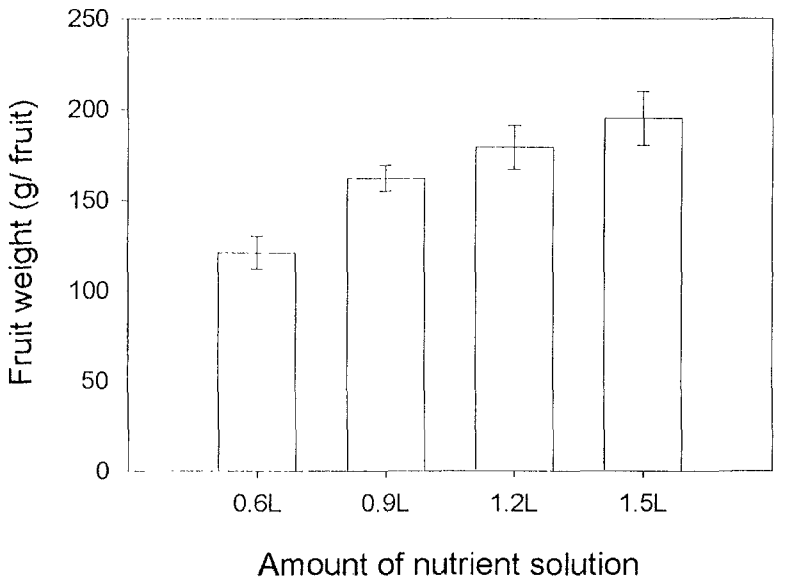


Fig. 8.2. Effects of amount of nutrient solution supply on fresh weight of fruits in ash ball culture of tomato. Bars are means±SE.

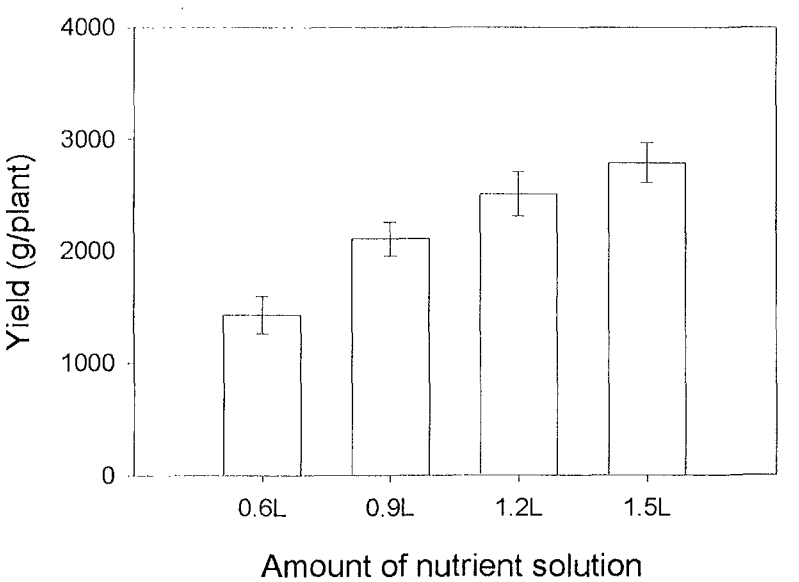


Fig. 8.3. Effects of amount of nutrient solution supply on yield of fruits in ash ball culture of tomato. Bars are means±SE.

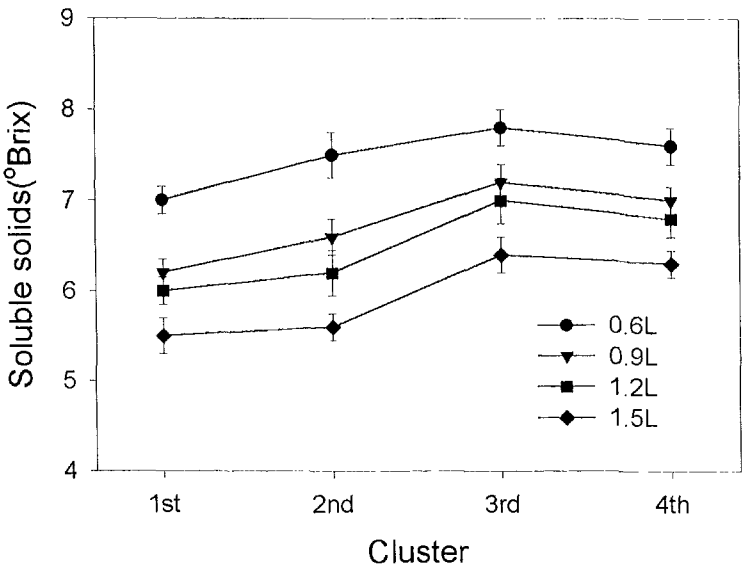


Fig. 8.4. Effects of amount of nutrient solution supply on soluble solid of fruits in ash ball culture of tomato. Bars are means±SE.

Table 8.2. Effects of amount of nutrient solution supply on sugar content of fruits in ash ball culture of tomato.

Amount of nutrient solution	Sugar contents (g/100g FW)			
	Sucrose	Glucose	Fructose	Total sugar
0.6L	1.02	3.06	3.58	7.66
0.9L	0.72	2.48	3.09	6.29
1.2L	-	2.64	3.20	5.84
1.5L	-	1.85	2.02	3.87

나. 수분stress가 토마토의 당, 산, 비타민C 및 과실내 질소함량에 미치는 영향

Ash ball배지경 하에서 급액량을 주당 0.9L(강건조구), 1.35L(건조구) 및 1.8L(대조구)로 나누고, 급액회수를 1일 8회와 16회로 처리하여 실험한 결과,

초장, 엽장, 엽폭, 경경, 건물중 등 생육은 급액량이 많은 대조구에서 가장 좋았고, 급액회수의 효과는 급액수준에 따라 상이한 양상을 보였는데, 강건조구와 건조구에서는 8회구가, 대조구에서는 반대로 16회구가 생육이 양호한 것으로 나타났다(Table 8.3).

수량 및 평균과중은 강건조구가 대조구에 비해 35~50% 정도 낮아졌고, 급액회수별로는 강건조구에서는 8회구가 16회구보다, 건조구와 대조구에서는 반대로 16회구가 8회구보다 높게 나타났다. 이는 소량급액시 급액회수가 많아질수록 1회당 공급량이 줄어들어 수분스트레스를 보다 많이 받았기 때문으로 사료된다. 과실수는 급액량 및 급액회수별로 유이적인 차이를 나타내지 않았고, 배꼽썩음과율은 강건조구가 건조구 및 대조구에 비해 5~10% 정도 높게 나타났다(Table 8.4~8.8).

당도(가용성고형물함량)와 적정산 함량은 강건조구가 대조구에 비해 각각 1.5~2 °Brix와 1~1.5mg.ml juice가 높게 나타났다. 급액회수별로는 뚜렷한 차이는 없었으나 당도와 당산비에 있어서 강건조구의 경우에는 16회구가 8회구에 비해, 대조구의 경우에는 반대로 8회구가 16회구에 비해 약간 높은 경향을 보였다(Fig. 8.9~8.11).

당조성함량을 보면, 과실내 당은 환원당인 fructose와 glucose만 검출되고 비환원당인 sucrose는 검출되지 않았거나 약간의 흔적으로만 존재하였다. 환원당인 fructose와 glucose는 저단화방에서는 거의 같은 비율로 검출되었으나, 상위화방으로 갈수록 fructose/glucose비는 약간 감소경향을 나타내었다.

Total sugar 함량은 강건조구에서 가장 높았고, 급액회수별로는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았으나 당도와 비슷한 경향으로 강건조구에서는 16회구가 8회구에 비해, 대조구에서는 8회구가 16회구에 비해 다소 높은 경향을 보였다(Fig. 8.12).

비타민C 함량도 당함량과 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 8.14). 과실내 질소함량은 수분스트레스를 많이 받은 구일수록, 상위화방으로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 8.13).

Table 8.3. Effects of suppling frequency and amount of nutrient solution on growth of plants in ash ball culture of tomato.

Treatment		Plant hight (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Dry weight (g/plant)			
						Leaf	Stem	Root	Total
8 times	0.9L	86.3[z] ±0.6	39.3 ±2.0	35.8 ±4.2	10.85 ±1.60	15.8 ±1.6	6.9 ±0.4	1.9 ±0.1	24.6 ±0.5
	1.35L	87.7 ±2.5	40.7 ±2.0	41.7 ±5.6	12.65 ±0.60	18.0 ±2.2	7.0 ±0.8	2.0 ±0.4	27.0 ±0.7
	1.8L	88.0 ±3.3	41.8 ±0.9	40.5 ±6.6	12.86 ±0.14	18.4 ±0.9	7.2 ±0.1	2.1 ±0.6	27.7 ±0.6
16 times	0.9L	85.0 ±3.5	37.7 ±2.0	35.5 ±1.8	10.79 ±0.80	15.9 ±2.1	6.7 ±0.9	1.7 ±0.4	24.3 ±0.8
	1.35L	86.7 ±5.5	38.7 ±2.1	36.0 ±3.1	12.34 ±1.07	16.7 ±2.6	6.9 ±1.2	2.1 ±0.3	25.7 ±0.7
	1.8L	89.3 ±2.1	44.5 ±0.9	41.3 ±2.9	12.71 ±1.09	20.1 ±0.7	8.4 ±0.7	2.3 ±0.1	30.8 ±0.4

[z]Data are means±SE of 5 plants.

전체적으로 과실의 당중진효과는 강건조구에서 16회구가 가장 좋은 것으로 나타났으나 강건조구에서 수량은 8회구가 16구에 현저히 높은데 비해 급액회수별로는 뚜렷한 변화없이 약간의 경향만을 나타낸 것으로 미루어 볼 때, 강건조구의 경우 8회구를 선택하는 것이 당도와 품질양면에서 보다 유리한 것으로 생각되었다. 따라서 고당도생산을 목표로 할 경우에는 급액량 0.9L에, 급액회수를 8회로, 다수확생산을 목표로 할 경우에는 급액량 1.8L에, 급액회수를 16회로 하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

Table 8.4. Effects of suppling frequency and amount of nutrient solution on the yield and quality of fruits in ash ball culture of tomato.

Treatment		Yield (g/plant)	No. of fruits	Fruit weight[y] (g/fruit)	Blossom-end-rot (%)
	0.9 L	2352d[z]	21.0a	112.0c	10.7b
8 times	1.35 L	3079c	19.8a	155.5b	4.9c
	1.8 L	3518a	21.0a	167.5a	3.3c
	0.9 L	1931e	19.7a	98.0d	12.5a
16 times	1.35 L	3288b	20.0a	164.4ab	3.7c
	1.8 L	3677a	21.5a	171a	2.9c

[z]Mean separation within column by DMRT at 5% levels

[y]Fruit weight are means of >50g fruit

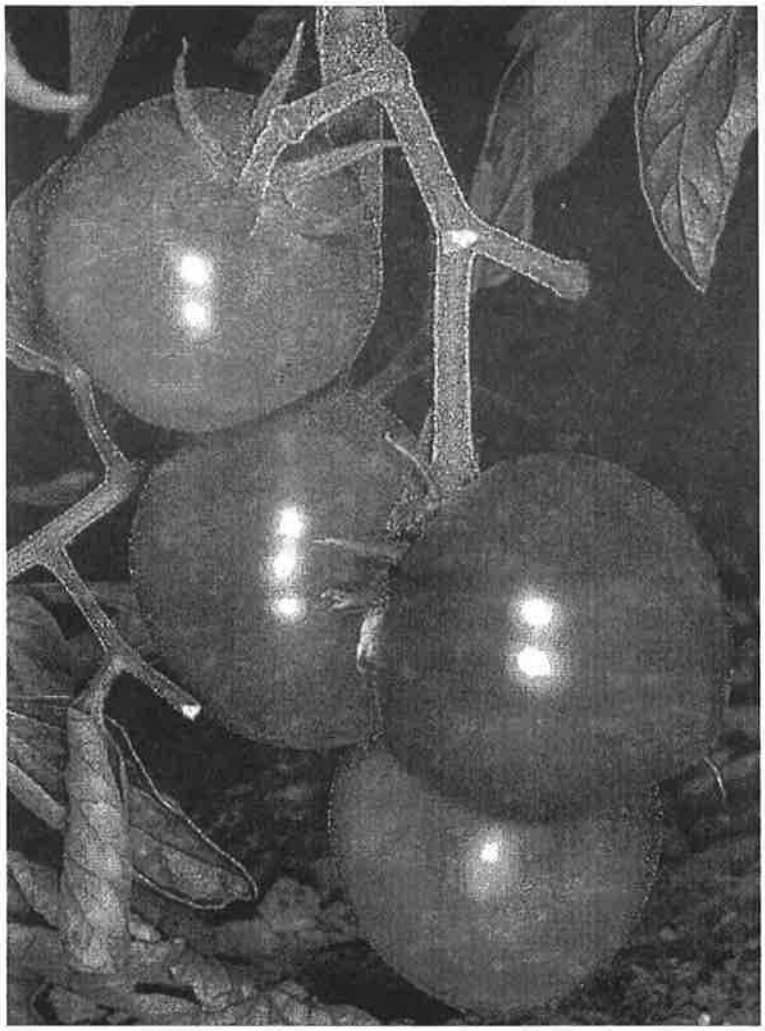
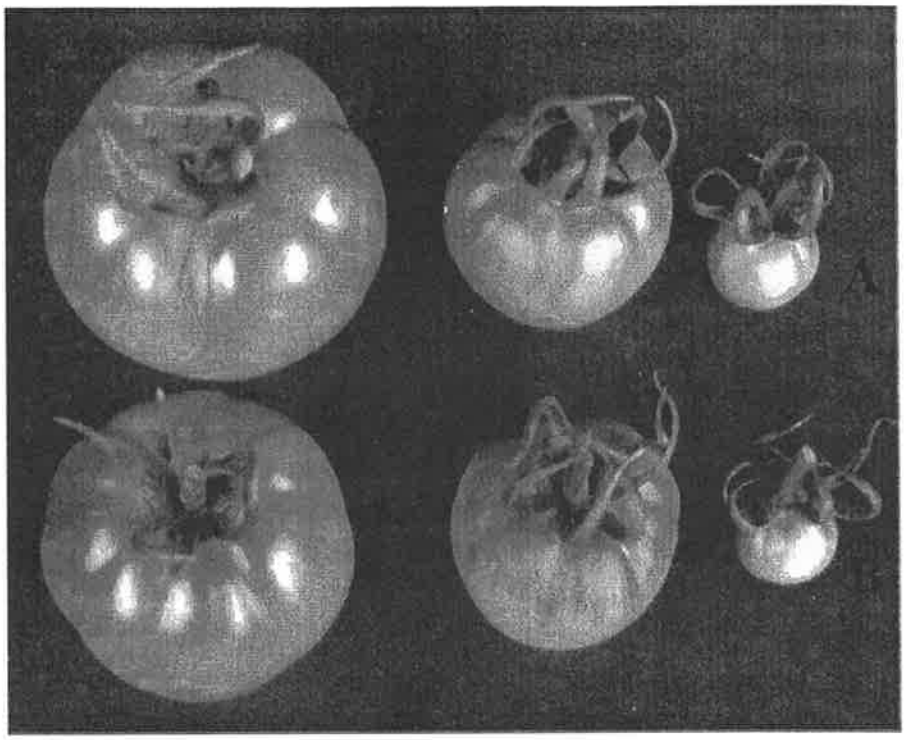


Fig. 8.5. Fruit shape in the water stressed tomato plants.

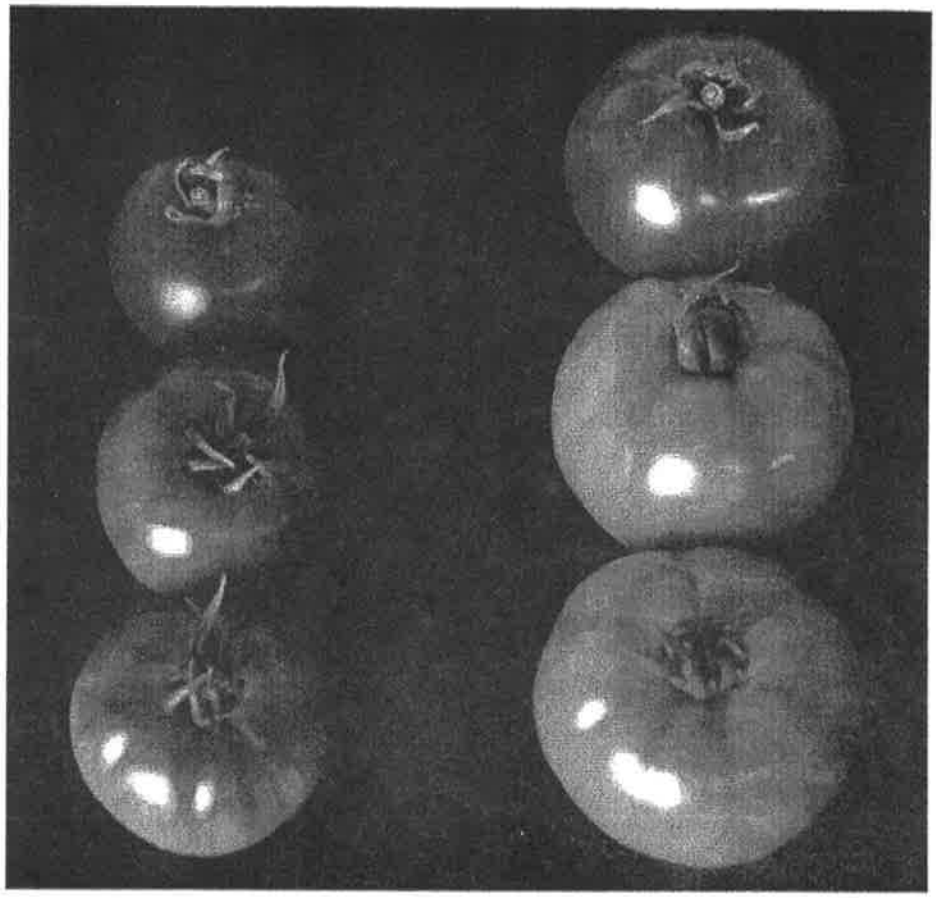
Non water stressed(1.8L) Water stressed(0.9L)

Fig. 8.6. Fruit shape in the water stressed and non water stressed tomato plants.



30 days 20 days 10 days

Fig. 8.7. Fruit shape of tomato as effected by the water stressed(B) and non water stressed(A) in various developmental stages. The fruits were harvested at 10, 20, and 30 days after anthesis.



Water stressed non water stressed

Fig. 8.8. Fruit shape in the water stressed and non water stressed tomato at various ripening stages.

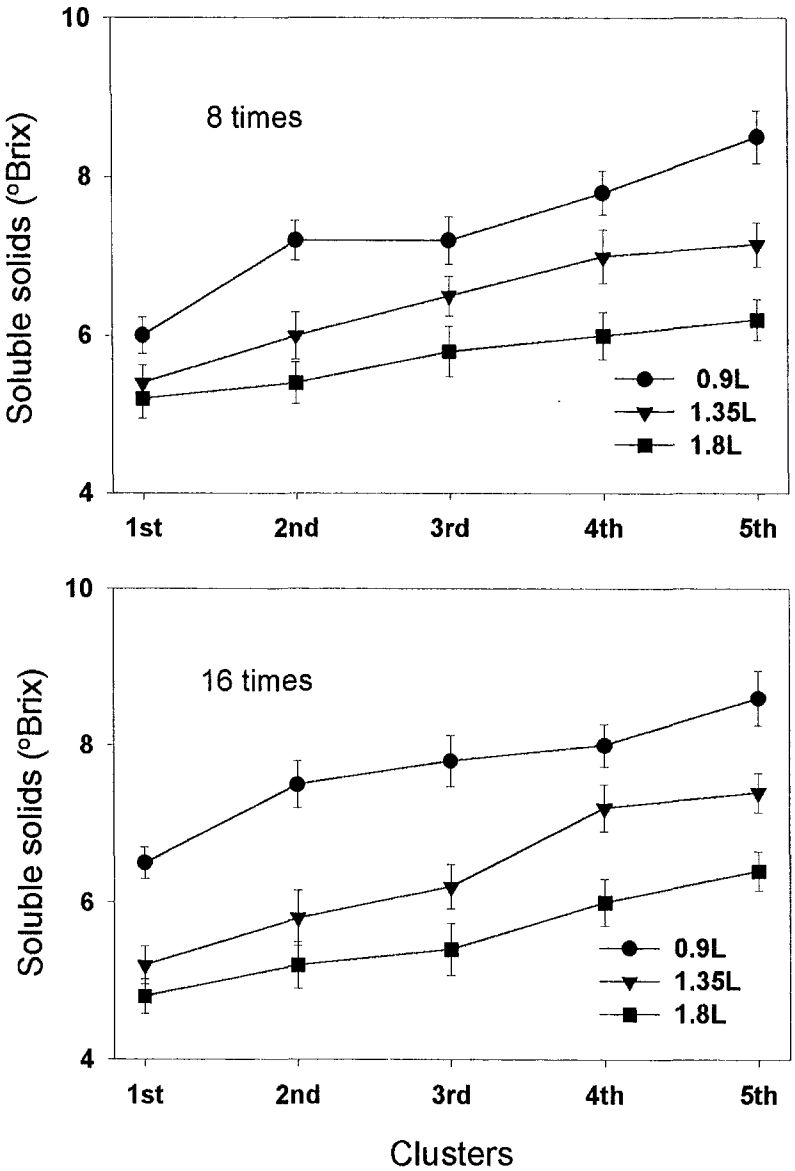


Fig. 8.9. Changes of soluble solid content of fruits as effected by the suppling frequency and amount of nutrient solution in ash ball culture of tomato.

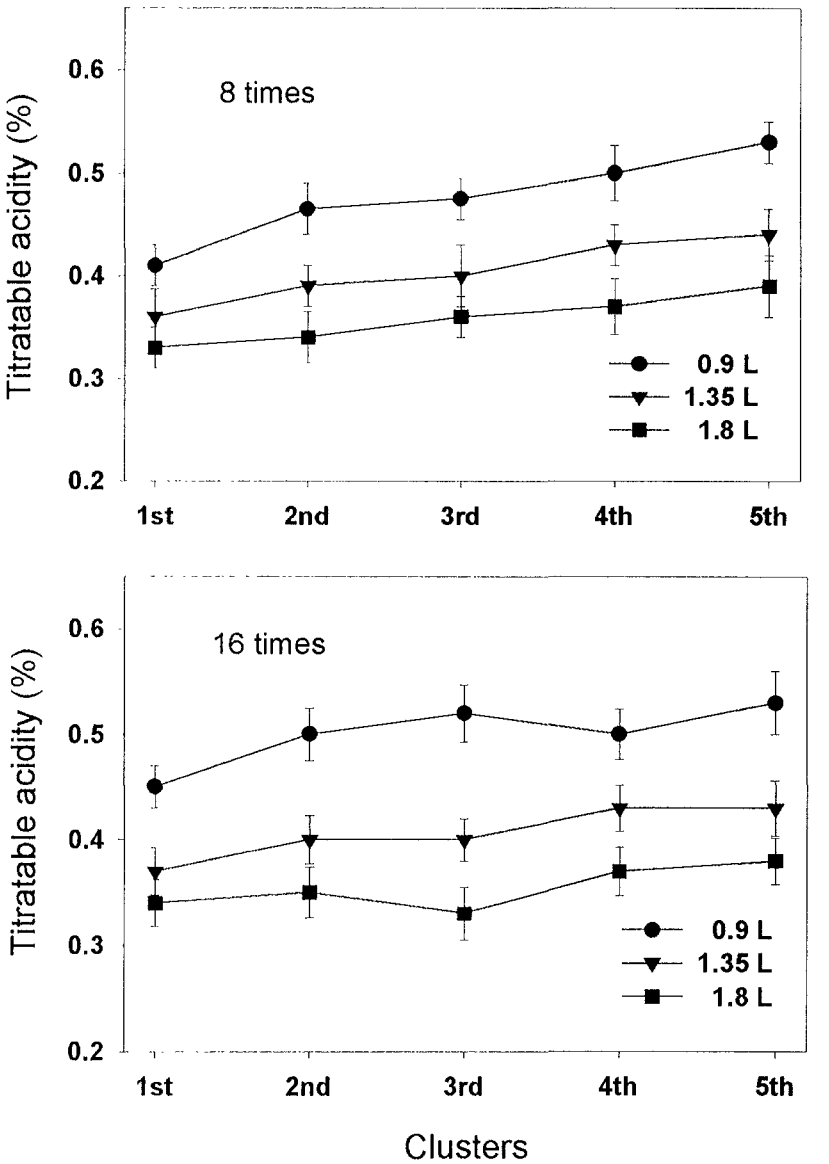


Fig. 8.10. Changes of titratable acidity of fruits as effected by the suppling frequency and amount of nutrient solution in ash ball culture of tomato.

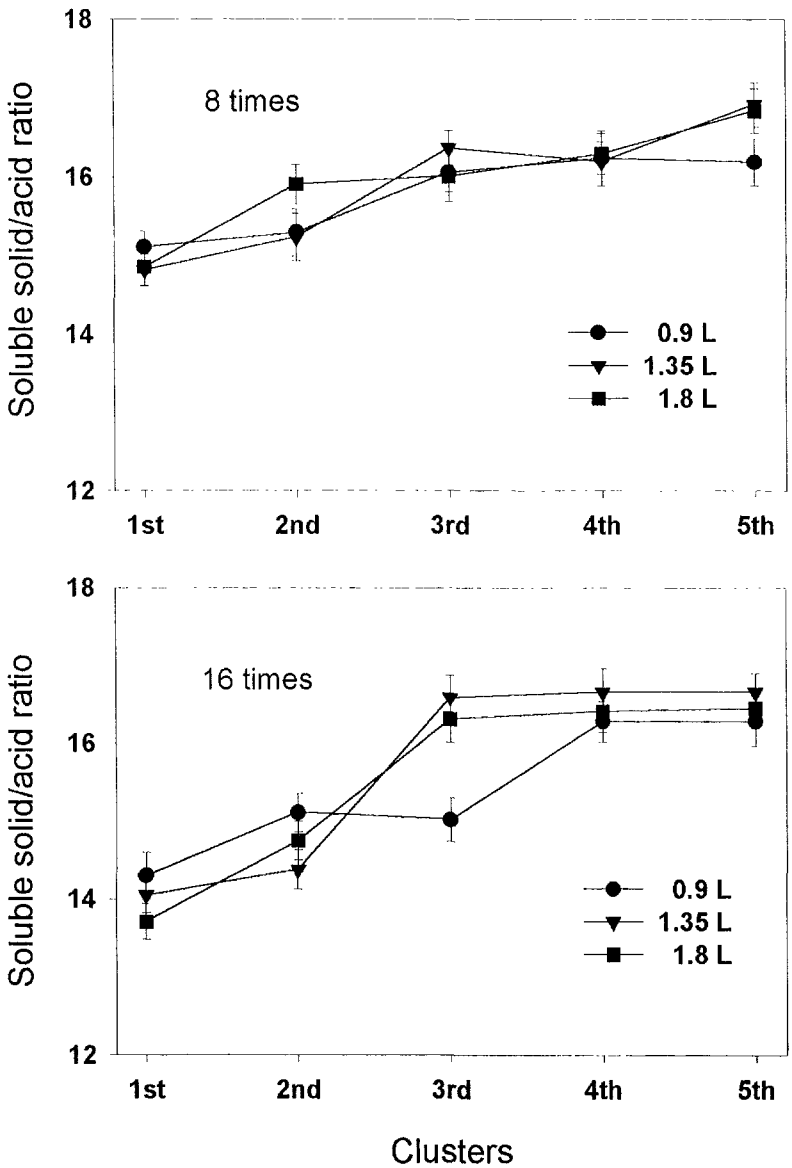


Fig. 11. Changes of soluble solid and acid ratio of fruits as effected by the suppling frequency and amount of nutrient solution in ash ball culture of tomato.

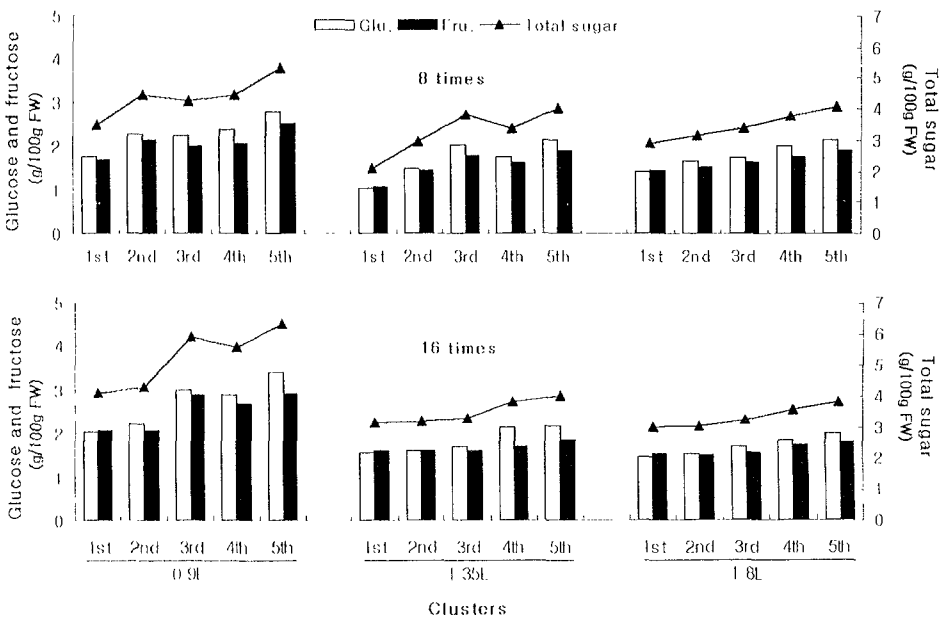


Fig. 8.12. Changes of sugar content of fruits as effected by the suppling frequency and amount of nutrient solution in ash ball culture of tomato.

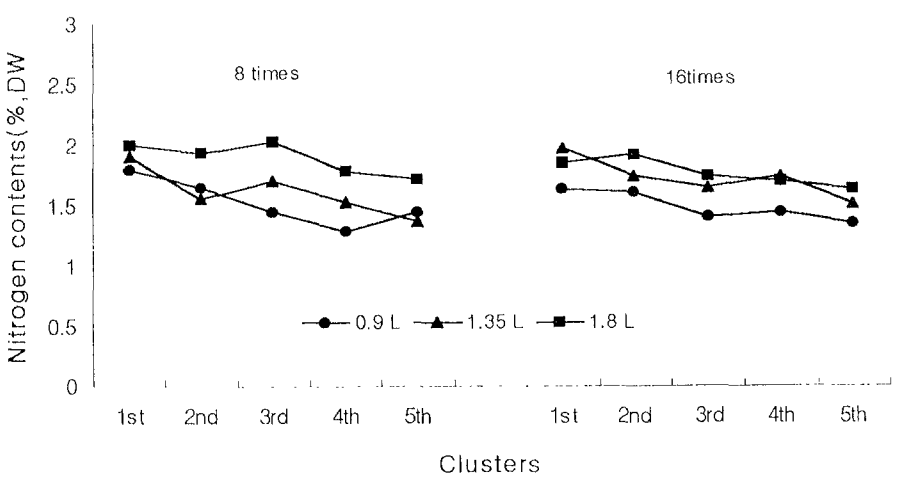


Fig. 8.13. Changes of nitrogen content of fruits as effected by the suppling frequency and amount of nutrient solution in ash ball culture of tomato.

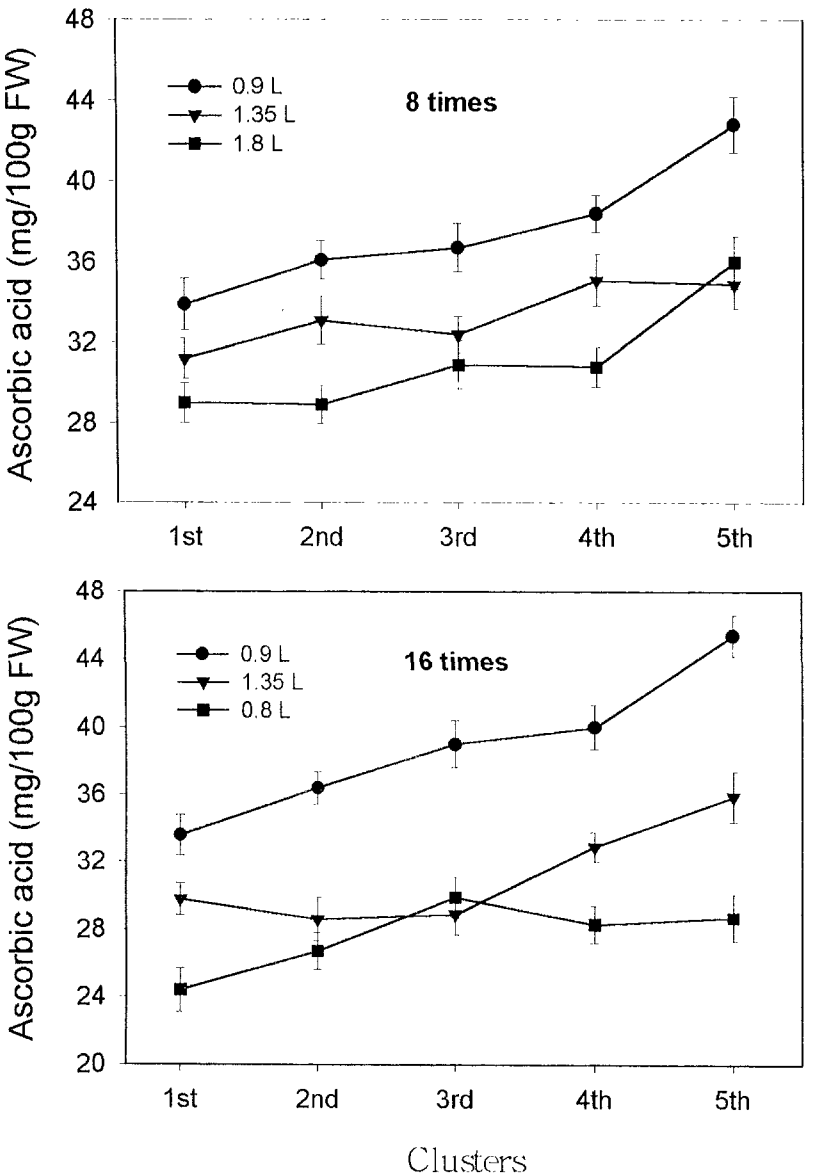


Fig. 8.14. Changes of ascorbic acid of fruits as effected by the suppling frequency and amount of nutrient solution in ash ball culture of tomato.

2. 염류stress에 의한 토마토 당증진방법 모색

야마자키배양액(Yamazaki액)에 NaCl를 0, 10, 20, 40mM 농도로 첨가하여 ash ball 배지경에서 재배한 결과, 초장은 NaCl 0mM(무처리)구에서 가장 컸고 농도가 처리구에서는 감소하였다. 엽수, 경경, 엽면적 및 건물중은 10mM 구가 무처리구에 비해 컸으나 타 농도구에서는 낮게 나타났다. 엽록소 함량은 NaCl처리구가 무처리구에 비해 다소 높게 나타났고, 처리농도별로는 20mM 구에서 가장 높았다(Table 8.5).

근권의 pH는 NaCl 처리간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 정식 후 5주부터는 무처리구가 NaCl 처리구보다 현저히 낮아졌다. 근권 EC는 NaCl 처리 후부터 처리간에 현저한 차이를 보였는데 수확 후기에는 10mM, 20mM, 40mM 구에서 각각 4, 6, 8mS/cm로 매우 높게 나타났다. 생육후기로 갈수록 무처리구를 제외한 모든 처리구에서는 근권의 EC농도가 점차 증가하여 식물체에 강한 삼투스트레스를 주고 있음을 알 수 있었다(Fig. 8.15와 8.16).

과실의 수는 NaCl 농도가 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 보였으나 40mM구를 제외하고는 처리간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 과중 및 수량은 NaCl 처리농도가 증가함에 따라 유의적으로 감소하여 10mM, 20mM, 40mM 구에서 공히 무처리구에 비해 각각 20%, 30%, 45% 정도 감소하였다. 과실당도는 무처리구에서 5.9^{0}Brix로 낮았으나 농도가 증가함에 따라 유의적으로 증가하여 10mM, 20mM, 40mM 처리구에서 각각 0.6, 1, 2^{0}Brix 정도 높게 나타났다. 과실의 배꼽썩음과율은 NaCl 40mM구에서 6%이상으로 타 처리구에 현저히 높게 나타났다(Table 8.6와 Fig. 8.17).

이상의 실험결과를 종합해 볼 때, 배양액에 NaCl 첨가로 과실의 당도를 효과적으로 높일 수 있어 고품질 토마토생산이 가능하였으며, 수량과 품질 양면에서 NaCl 첨가농도는 20mM 정도가 적당한 것으로 판단되었다.

Table 8.5. Growth of plants as effected by NaCl supplement into nutrient solution in ash ball culture of tomato at 40 days after transplanting.

NaCl treatment	Plant hight (cm)	No. of leaves	Stem diameter (mm)	Leaf area (cm^2)	Chloropyll content (SPAD)	Dry weight(g/plant)		
						Leaf	Stem	Total
0 mM	121a[z]	21.3a	12.6b	5891a	42.6c	32.9a	14.2a	47.2a
10 mM	117b	22.1a	13.4a	6010a	43.4c	33.7a	14.1a	47.8a
20 mM	113c	21.0a	12.4b	5225b	48.5a	31.2b	13.5b	44.7b
40 mM	112c	19.0b	11.3c	4409c	45.5b	24.2c	11.4c	35.6c

[z]Mean separation within column by DMRT at 5% levels

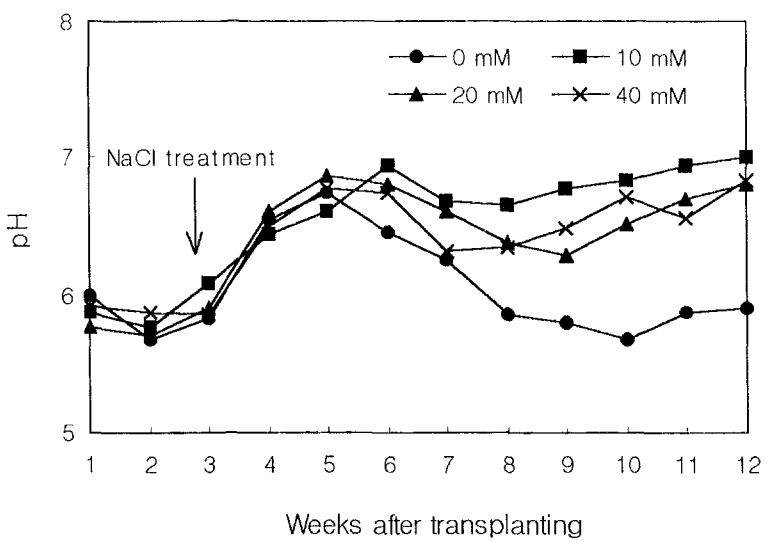


Fig. 8.15. Changes of pH in root zone as effected by NaCl supplement into nutrient solution in ash ball culture of tomato.

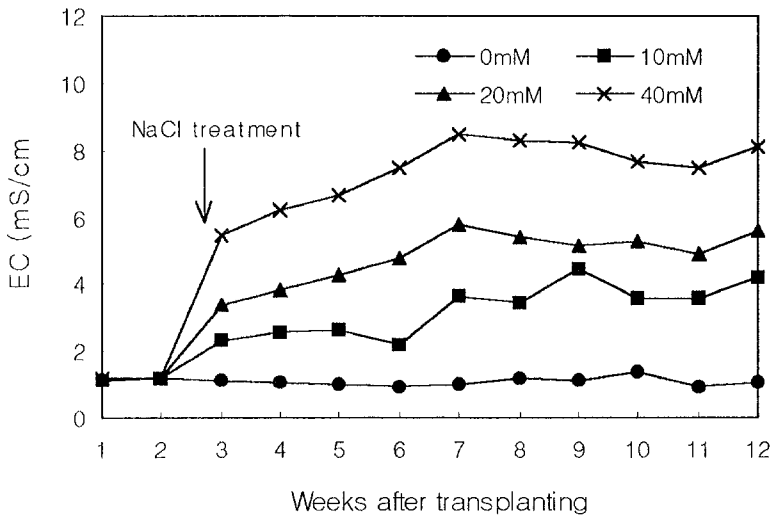
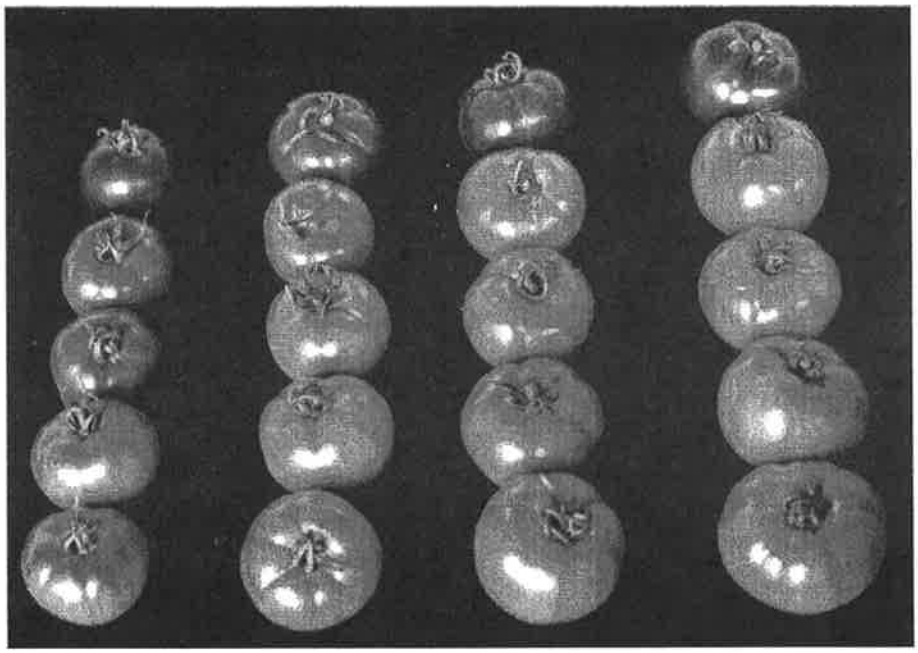


Fig. 8.16. Changes of EC in root zone as effected by NaCl supplement into nutrient solution in ash ball culture of tomato.

Table 8.6. Yield and quality of fruits as effected by NaCl supplement into nutrient solution in ash ball culture of tomato.

NaCl treatment	SSC (^{0}Brix)	No. of fruits	Fruit weight (g/fruit)	Yield (g/plant)	Blossom-end-rot (%)
0 mM	5.9d[z]	12.1.0a	281.2a	3402.5a	1.2b
10 mM	6.5c	11.9a	226.3b	2693.0b	1.3b
20 mM	7.0b	11.5a	193.1c	2220.7c	1.7b
40 mM	7.9a	10.1b	158.2d	1597.8d	6.5a

[z]Mean separation within column by DMRT at 5% levels



40mM 20mM 10mM 0mM

Fig. 8.17. Fruit shape as effected by NaCl supplement into nutrient solution in ash ball culture of tomato.

3. 배양액농도에 의한 토마토 당증진방법 모색

배양액 농도별 토마토의 수량과 평균과중은 1/2배액에서 가장 많았으나 1배액과는 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 그러나 3/2배액에서는 주당 수량이 1/2배액에 비해 24% 정도 감소하여 현저한 차이를 보였으며, 과실의 배꼽썩음과율도 3/2배액에서 12.5%로 1배액과 1/2배액에 비해 8% 이상 높게 나타났다(Table 8.7).

과실의 당도, 산함량은 고농도의 3/2배액에서 가장 높았으며, 상위 화방으로 갈수록 점차 증가하는 경향을 보였다(Fig. 8.19). 당산비는 저단 화방에서는 농도간에 뚜렷한 차이를 나타내지 않았으나 3화방부터는 높은 농도구에서 증가하여 농도가 높은 처리구일수록 과실의 식미도 향상됨을 알 수 있었다. 비타민C 함량도 과실의 당도의 같은 경향으로 농도가 높은 처리구일수록, 상위 화방일수록 증가하였다(Fig. 8.20). 과실내 질소함량은 당도변화와 반대 경향으로 농도가 높은 3/2배액에서 가장 낮게 나타났다(Fig. 8.18).

성숙과실의 당조성은 fructose와 glucose로 나타났고 sucrose는 검출되지 않았다. 처리농도별 당조성함량은 fructose와 glucose 공히 농도가 높은 처리구에서 높았고, 상위화방으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다(Fig. 8.21). 특히 고농도의 3/2배액에서 glucose의 증가폭이 fructose에 비해 현저히 높게 나타나 total sugar 함량의 증가에 대한 glucose의 기여도가 fructose에 비해 상대적으로 높은 것으로 추측된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 배양액의 농도가 높은 처리구일수록 과중 및 수량은 감소하는 경향을 보였으나 과실의 가용성고형물함량, 당산비, 비타민C 함량 및 당함량은 현저히 증가하는 것으로 나타났으며, 3/2배액에서 과실의 당증진 효과가 가장 좋은 것으로 나타났다.

Table 8.7. Effects of different mineral concentration in the solution on the yield of fruits in ash ball culture of tomato.

Ionic strength	Fruit number	Fruit weight (g/fruit)	Yield of fruit (g/plant)	Blossom-end -rot (%)
1/2S[z]	18.3ab[y]	195a	3569a	3.1b
1S	19.0a	174b	3306a	4.3b
3/2S	17.2b	158c	2718b	12.5a

[z]S indicate standard nutrient solution of Horticultural Experiment Station in Korea.

[y] Mean separation within columns by DMRT at 5% level.

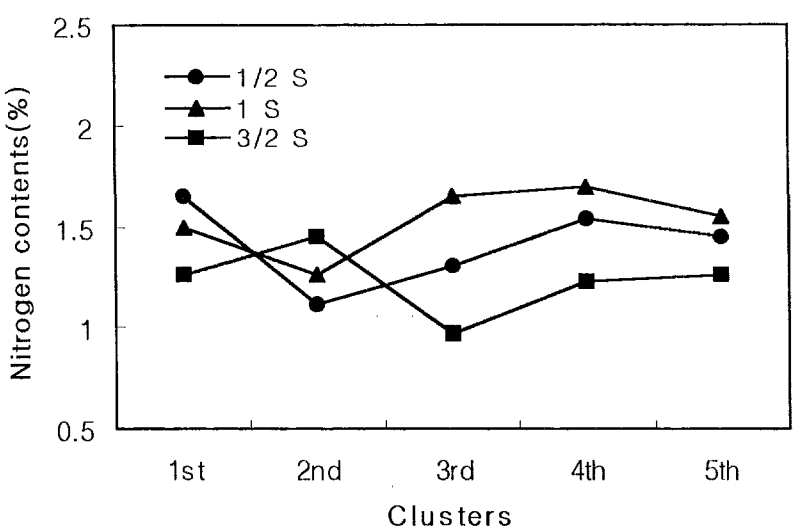


Fig. 8.18. Changes of nitrogen content of tomato fruits as effected by different mineral concentration in the solution.

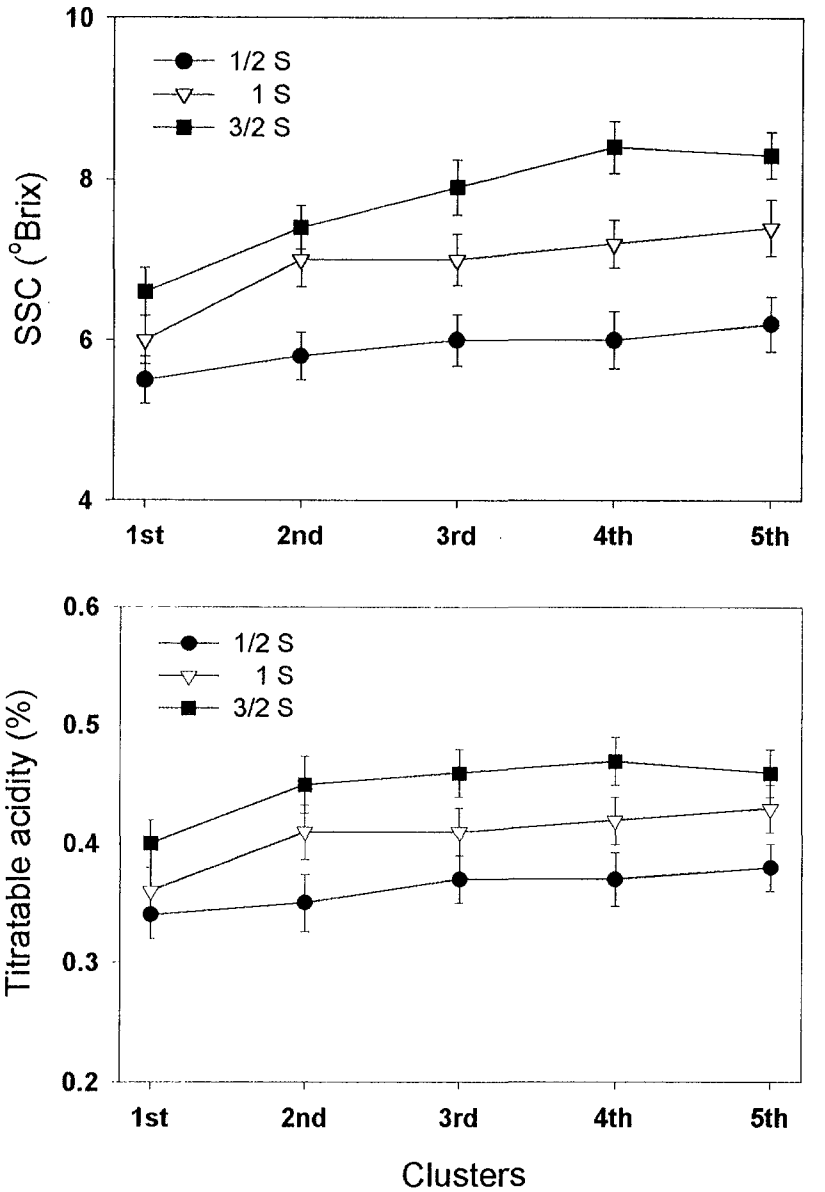


Fig. 8.19. Changes of soluble solid and titratable acid of tomato fruits as effected by different mineral concentration in the solution.

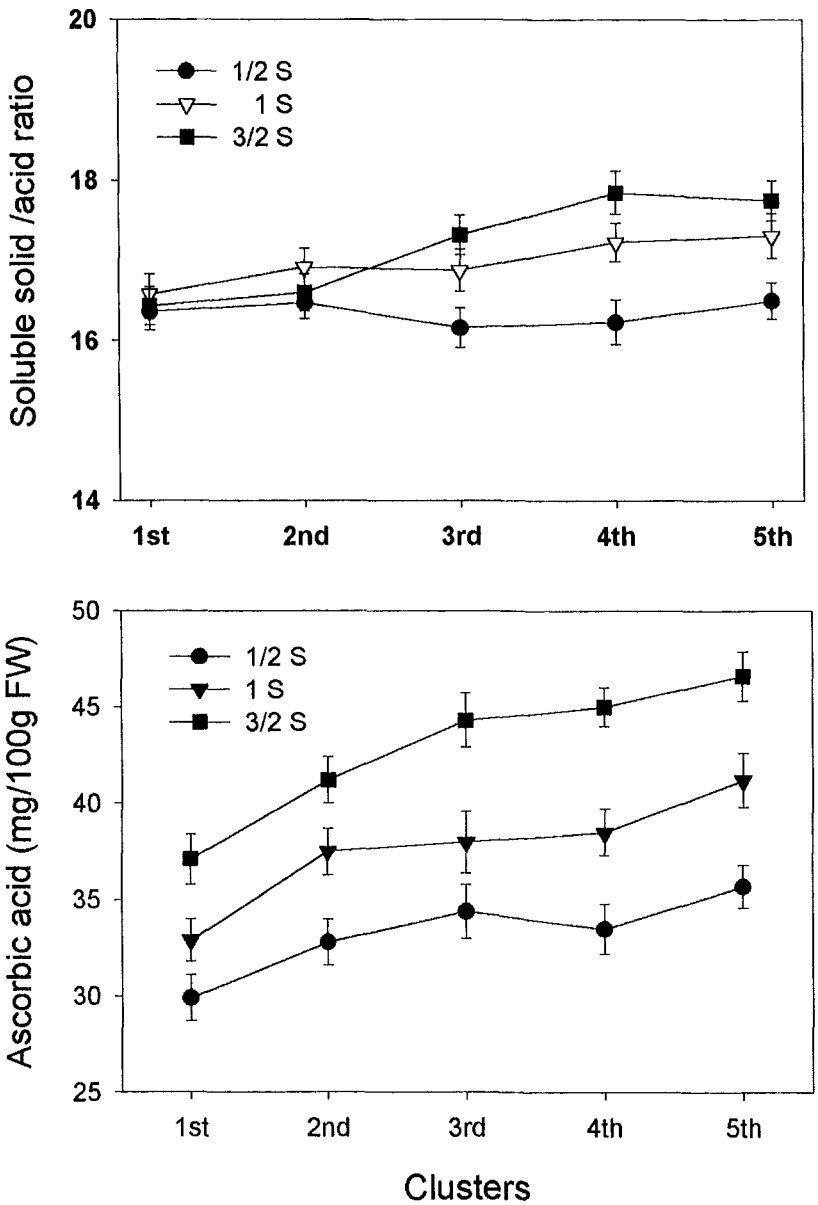


Fig. 8.20. Changes of soluble solid/acid ratio and ascorbic acid of tomato fruits as effected by different mineral concentration in the solution.

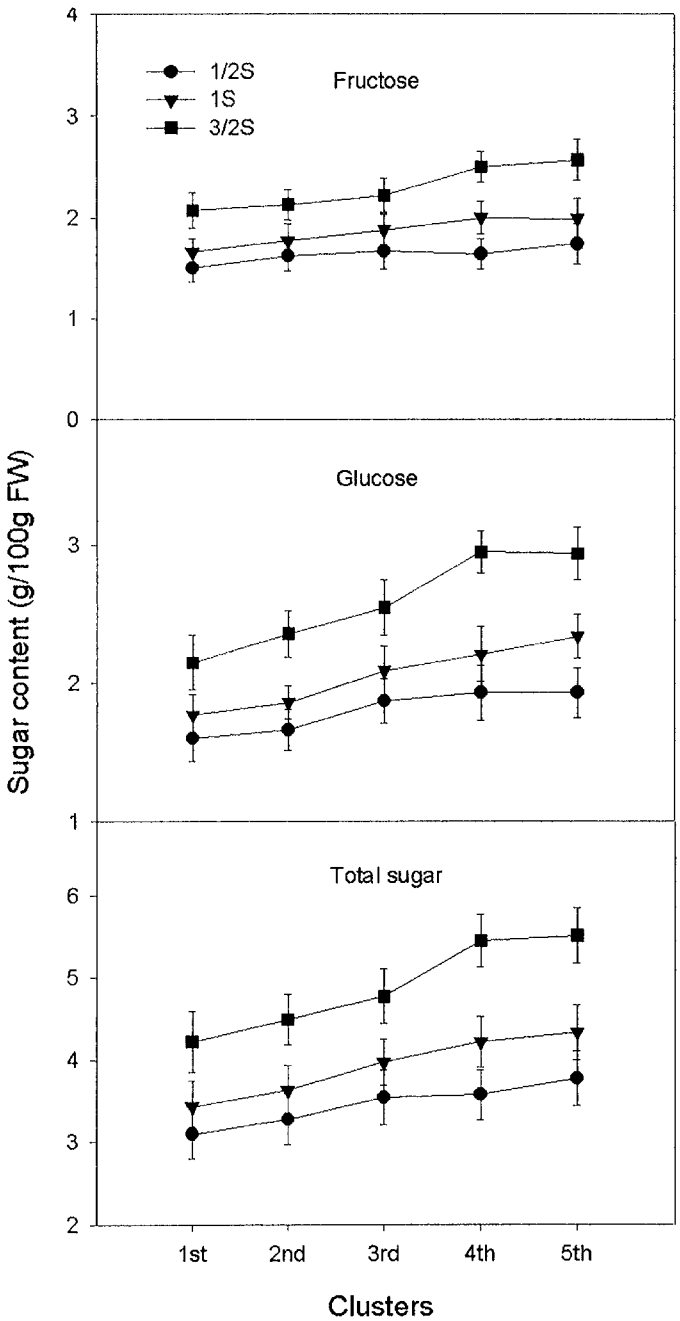


Fig. 8.21. Changes of sugar content of tomato fruits as effected by different mineral concentration in the solution.

4. 수분stress에 의한 토마토 당증진과 당대사 관련 유전자를 cloning 하기 위한 cDNA Library의 제작 및 분석

온실에서 재배한 약 20일 재배한 토마토 식물체에 수분스트레스를 24시간 가한 뒤 잎을 채취하고 CTAB법을 이용하여 total RNA를 추출하였다. Poly(A) Quik mRNA isolation kit을 사용하여 5mg의 total RNA로부터 5μg의 mRNA를 분리하여 cDNA library를 제작하였다.

Stratagene사의 Uni-ZAP vector와 Gigapack III packing extract를 이용하여 cDNA library를 완성한 결과 4 X 10^5 pfu의 library가 만들어 졌다. 이 liibrary를 2 X 10^{10}/ml로 증폭시켜 토마토의 cDNA library는 성공적으로 완성되었다. 토마토에 수분 스트레스를 가한 cDNA library의 insert cDNA의 확인은 In Vivo mass excision을 통하여 수행하였다(Fig. 8.22). In Vivo mass excision 에서 무작위로 추출한 12개 colony의 plasmid를 추출하여 sequence한 뒤 Genebank에 등록된 유전자들의 sequence와 비교를 하였다. 일곱 개의 cDNA sequence는 다른 식물체의 유전자들과 높은 상동성을 나타내었다 (Table 8.8). 그러나 그 중 몇몇은 아직 기능이 밝혀지지 않은 유전자들로서 앞으로 토마토 식물체내에서 각 유전자들의 기능을 밝힐 연구가 필요하다. 임의로 선발한 12개의 white colony에서 plasmid를 추출한 뒤 EcoR I과 Xho I 제한효소로 절단하여 insert cDNA의 크기를 분석한 결과 0.6 - 3.5kb에 걸쳐 insert cDNA가 합성된 것으로 보아 acid inertase 유전자를 클로닝하기 위한 좋은 library가 제작되었음을 알수 있었다 (Fig. 8.23).

cDNA library Construction Flow Chart

Messenger RNA template (Reverse transcriptase, 5-methyl dCTP dATP, dGTP, dTTP)

↓

First-strand synthesis (RNase H, DNA polymerase I, dNTPs)

↓

Second-strand synthesis (*EcoR* I adaptors, T4 DNA ligase)

↓

Adaptor addition (*Xho* I restriction enzyme)

↓

Xho I digestion (Completed cDNA)

↓

Size fractionation (Sepharose CL-2B)

↓

Ligating cDNA into the Uni-ZAP vector (T4 DNA ligase)

↓

Packing (Recombinant DNA, Packing extracts)

↓

Plating and Titering : 4 X 10^5 pfu

↓

Amplification of Uni-ZAP XR Library : 2 X 10^{10}/ml

cDNA library screening에는 기존에 알려진 여러 종류의 식물체 acid invertase에서 상동성이 높은 부분에서 제작된 degenarated primer를 사용한 PCR 산물을 probe로 사용하였다. PCR 수행 결과 약 375 bp의 DNA 밴드가 생성되어 probe DNA로 사용하였다. Primer 1은 5'-GGATGAACGATCCTAATGG-3' 이고, primer 2는 5'-AAGTCCTTGACACCAATGCC-3'이었다. PCR 조건은 94℃ 5분 (denaturation), 94℃ 1분, 55℃ 1분, 72℃ 1분으로 30 회 수행한 뒤 72℃에서 5분간 더 반응시켰다. probe 제작후 screening을 하여 positive plaque를 얻은 뒤 세 번의 screening을 거쳐 In vivo excision을 수행하여 약 1.1kb의 clone을 sequencing하여 Fig. 8.24의 결과를 얻었다.

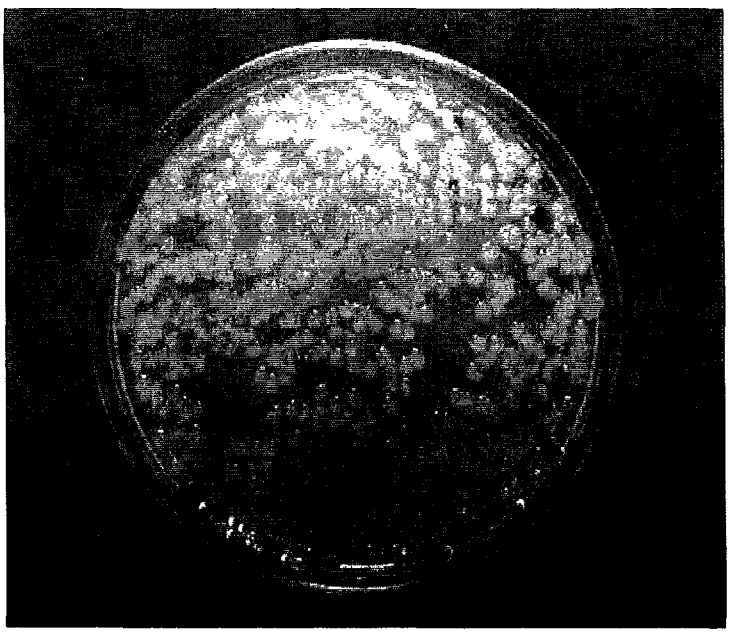


Fig 8.22. Stratagy for the selection of recombinant phage. This is the result of In Vivo mass excision of cDNA library. Insertion of cDNA into lacZ' gene inactivates beta-galactosidase. Blue colonies are non-recombinants. Clear colonies are recombinants. Note that white colonies are more than 95%.

Table 8.8. The homology comparison of cloned cDNA nucleotide sequence with Genebank cDNA sequences. Plasmids were extracted from picked colonies randomly and sequenced. Seven cDNA nucleotide sequences showed high homology, but some cDNAs did not matched with already resistered DNA sequence.

Gene name	Plant source	Simility
2-oxoglutarate dehydrogenase	*A. thaliana*	81%
Chloroplast ribosomal protein	*N. tabacum*	88%
Michondrial rpoB gene	Rapeseed	89%
atpB gene	*L. esculentum*	99%
Phytochrome F (PHYF) gene	*S. lycopersicum*	97%
Glyceraldehyde-3-P dehydrogenase	Tobacco	88%
Glycine hydroxymethyltransferase	*S. tubersome*	98%

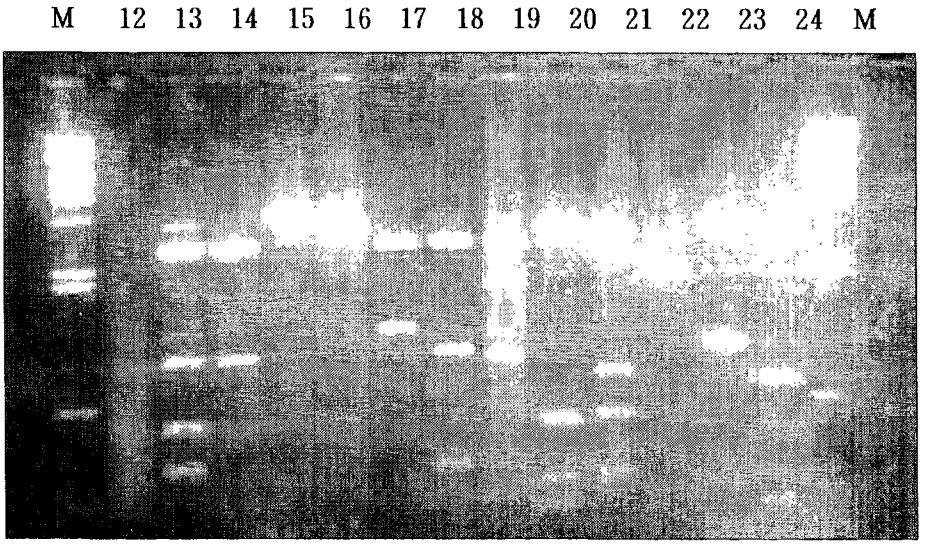


Fig 8.23. Analysis of insert cDNA with Ecor I and Xho I restriction enzymes. Lanes 15 and 16 maybe lost some nucleotides during tomato cDNA library costruction, and the two enzymes did not cut the inserts. Other lanes show succesufully inserted cDNA fragments except lane 12. The size of insert cDNA is from 0.6 to 3.5kb. (M= lambda phage DNA/Hind III).

taccacaaag gatggtacca tctttttat caatacaatc ctgattcagc 50
tatttgggga aatatcacat ggggccatgc aatatccacg gacttgatcc 100
attggcttta cttgcccttc gccttggttc ctgatcaatg gtacgatatc 150
aacggtgtgt ggaccgggtc cgcaaccttc ctacccgacg gtcagatcat 200
gatgttatac accggtgata ccaatgatta cgtgcaggtg caaaatcttg 250
cgatccccgc caacttatcg gatcccctcc tcatcgactg ggtcaagtac 300
cggggcaacc cgtcatggtt ccaccacccg gcattggtgt caaggacttt 350
agagacccaa cgactgcttc caccggacca caaaacgggc agtggctgct 400
taccatcggg tccaagattg gtaaaacggg tattgcaatt gtttatggta 450
cttccaactt cacaaaactt taagctattg gatggagttt tgcattgcgg 500
ttccgggtac ggtatgtggg agtgtgtgga cttttacccg gtatcaaccg 550
atgaggcaaa cggggttgga cacatcatat aacgggccac gtataaagca 600
tgtgttaaaa gcaagtttac atgacgataa gcatgattac atgctattgg 650
gacatatgac ccggtaaaga acaaatggac accagataac ccgcaattgg 700
atgtgggtat cgggttgaga ctggactacg ggaaatacta tgcgtcaaag 750
aacttttatg acccgaagga acaaagaaga atattgtggg gatggattgg 800
ggaaactgac agtgaagctg ctgatctgct gaagggatgg gcatctgtac 850
agagtattcc aaggactgtg ctttatgata aggagactag gagacatgtt 900
cttcagtggc cagttaaaga aattgagagc ttaagaattg gtgatcctct 1000
agtgaaacag gtcaatcttc aaccaggctg aattgagcta gtccatgttg 1050
actcagccgc acagttggat gtagaagcct atttgaagtg acaaagcagc 1100
actcgaggga acaattgaag cagatgtg 1128

Fig. 8.24. Nucleotide sequence of cloned acid invertase cDNA

제4절 결과요약

1. 수분stress에 의한 토마토 당증진방법 모색

가. 수분stress 부여정도가 과실의 당함량증진에 미치는 영향

수분스트레스 부여정도에 따른 과실의 당함량은 수분스트레스 강도에 정의 비례하는 것으로 나타났다. 당증진 효과는 대체로 0.6L구와 0.9L구에서 양호했으나 0.6L구의 경우 수량감소가 45%이상으로 나타나 수량감소가 20%내외인 주당 0.9L(4단 재배시)의 급액제한수준이 수량을 그다지 감소시키지 않고 당함량을 증진시킬수 있는 적정수준으로 판단되었다.

나. 수분stress가 토마토의 당, 산, 비타민C 및 과실내 질소함량에 미치는 영향

급액량 및 급액회수에 따른 수분스트레스 부여정도의 차이가 과실의 수량 및 당도에 미치는 영향을 조사한 결과(5단재배시), 고당도생산을 목표하는 재배에서는 급액량은 0.9L로, 급액회수는 8회로하고, 다수확생산을 목표하는 재배에서는 급액량은 1.8L로, 급액회수는 16회로 하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

2. 염류stress에 의한 토마토 당증진방법 모색

이상의 실험결과를 종합해 볼 때, 배양액에 NaCl 첨가로 과실의 당도를 효과적으로 높일 수 있어 고품질 토마토생산이 가능하였으며, 수량과 품질 양면에서 NaCl 첨가농도는 20mM 정도가 적당한 것으로 판단되었다.

3. 배양액농도에 의한 토마토 당증진방법 모색

배양액의 농도가 높은 처리구일수록 과중 및 수량은 감소하는 경향을 보였

으나 과실의 가용성고형물함량, 당산비, 비타민C 함량 및 당함량은 현저히 증가하는 것으로 나타났으며, 3/2배액에서 과실의 당증진 효과가 가장 좋은 것으로 나타났다.

4. 수분stress에 의한 토마토 당증진과 당대사 관련 유전자를 cloning 하기 위한 cDNA Library의 제작 및 분석

cDNA가 성공적으로 phage vector에 삽입이 되었는가를 확인하기 위하여 무작위로 선발하여 sequenceing하여 다른 유전자들과 상동성을 비교하여 본 결과 표 1에서 본는 바와 같이 클론닝된 많은 유전자들은 높은 상동성을 나타내었다. 또한 토마토의 acid invertase 유전자는 이미 Genebank에 보고된 다른 식물들의 acid invertase 유전자들과 상당한 유사성을 보여주고 있다. 예를 들면, 고추의 acid beta-fructosidase 유전자와는 86%, 토마토 beta-fructosidase 유전자와는 87%, 토마토 beta-fructosidase vacuolar invertase 유전자와는 87%, 감자 beta-fructosidase 유전자에서는 86%, 벼 invertase (RIT1) 유전자와는 81%, 당근 soluble acid beta-fructofuranosidase 유전자와는 86%, 아스파라거스 acid invertase 유전자는 88%의 염기에서 유사성을 보였다. 다른 식물체의 유전자와 비슷한 유사성은 이 번에 클론닝한 유전자가 식물에서 설탕을 분해하여 포도당과 과당을 형성하는 acid invertase로 확신할 수 있는 계기를 제공해 주고 있다.

인 용 문 헌

Adams, P. and G.W. Winsor. 1973. The effects of nitrogen, potassium and sub-irrigation on the yield, quality and composition of single-truss

tomatoes. J. Hort. Sci. 48:123-133.

Araki, Y. 1993. Relationship between plant water status and water movement in tomato. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62(1):121-128.

Boller, T. and kende H. 1979. Plant physiol. 63: 1123-1132.

Echeverria, E. and Burns, J. 1989. Plant Physiol. 90: 530-533.

Ehret, D.L. and L.C. Ho. 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. J. Hort. Sci. 61:361-367.

Hawker, J.S. and Hatch M.D. 1962. Can J Bot. 40: 113-126.

Kojima, T., M. Hatsuyama, and T. Kuriyama. 1995. Studies on physical and chemical properties of substrates for application in hydroponics. Abstr. Japan. Soc. Hort. Soc. Autumn Meet. p.34-35.

Kuriyama, T. 1996. Influence of quantitative control of nutrient solution on yield and Brix of fruit juice in ash-ball culture of tomato. Science bulletin of the faculty of Agriculture Kyushu Univ. 4:85-86.

Kuriyama, T., T. Kojima, and M. Hatsuyama. 1995. Growing tomatoes on ash-ball substrate in a closed system. J. Japan. Soc. Hort. Sci. Abs. 64(2):310-311.

Leigh, R.A., Ap Rees T., Fuller, W.A., and Banfield, J. 1979Biochem J. 178: 539-547.

Masuda, M., T. Takiguchi, and S. Matsubara. 1989. Yield and quality of tomato fruits, and changes of mineral concentration in different strengths of nutrient solution. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58(3): 641-948.

Mizrahi, Y. 1982. Effect of salinity on tomato fruit ripening. Plant physiol. 69:966-977.

Mizrahi, Y., E. Taleisnik, V. Kagan-zur, Y. Zohar, R. Offenbach, E. Matan and R. Golan. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113:202-205.

Ogiwara, I., Y. Ohtsuka, Y. Yoneda, K. Sakurai, N. Hakode, and I. Shimura. 1999. Extraction method by water followed by microwave heating for analyzing sugars in strawberry fruits. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 68(5):949-953.

Ohta, K., N. Ito, T. Hosoki, and H. Higashimura. 1991. Influence of the concentrations of nutrient solution and salt supplement on quality and yield of cherry tomato grown hydroponically. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60(1):89-95.

Prado, F.E., Vattuone, M.A., Fleischmacher, O.L., and Sampietro, A.R. J Biol Chem 260: 4952-4957.

Pressey, R. 1994. Phytochemistry. 36: 543-546.

Sacher, J. A., and Glasziou, K. T. 1962. Bioch biophys Res Com 8: 280-282.

Sambrook, J., Fritsch, E., and maniatis, T. 1989. Molecular cloning. Cold Spring Harbor Lab. Press.

Yoo, K.C., I.S. Kim, W.S. Kang, and D.Y. Shin. 2000. Development of hydroponic media using fly ash and clay system cultures. J. Bio-Environ. control 9(1):47-59. (In Korean)

제9장 Ash ball 배지경에서 토마토외 타 과채류 적용가능성 탐색

제1절 서 설

제2절 재료 및 방법

제3절 결과 및 고찰

1. Ash ball경에서 멜론의 과실발달과 당증진 효과

2. 과실성숙기 수분stress에 따른 멜론의 과실발달과 당함량변화

제4절 결 과 요 약

제9장 Ash ball 배지경에서 토마토외 타 과채류 적용가능성 탐색

제1절 서 설

국내에서 멜론에 대한 연구는 재배방법, 시비, 품종선발 차원에서 주로 이루어졌으나 수분이 멜론의 품질 및 수량에 미치는 영향에 관한 연구는 별로 이루어져 있지 않다(Lee 등, 1994).

당도는 멜론의 품질에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 부분인데(Lester, 1988; Schaffer 등, 1987; Shishido 등, 1992). 멜론에서 검출되는 당류는 주로 비환원당인 sucrose와 환원당인 fructose 및 glucose로 구성되어 있으며, 그 중 sucrose는 주요 당으로서 과실의 식미를 좌우하는 것으로 알려져 있다(Miyazaki와 Ookubo, 1989; Lee 등, 1996; Saito와 Watanabe, 1985; Salunkhe와 Desai, 1984). 그러나 이들 당류의 변화에 대한 연구는 수분스트레스 조건에서 많이 이루어져 있지 않다.

최근 시설원예의 양액재배 면적이 날로 늘어남에 따라 온실멜론을 작목으로 하려는 시도가 행해지고 있으나 아직 토경재배에 匹敵하는 양질의 생산물을 안정적으로 얻기는 어려운 실정이다(Kagohashi 등, 1978). 양액재배에서 일반적으로 근권의 환경을 안정시키기 위해 식물이 필요로 하는 수분 이상의 양액을 공급하게 되는데, 배지의 높은 수분보유력 때문에 근권의 수분조절이 사실상 쉽지 않다. 따라서 당도를 중요시하는 과채류의 양액재배에서 배수성과 적당한 수분보유력을 가진 배지를 사용하여 토경과 비슷한 수분조건을 유지해주는 것이 무엇보다 중요하다.

Ash ball은 화력발전소의 부산물인 석탄회를 가공하여 만든 배지로서 통기성, 수분확산성 및 배수성이 우수하고 증발산량이 적어 양수분제어를 통한 과실내 당함량 증진이 용이한 배지로 인정받고 있다(Kojima 등, 1995; Kuriyama 등, 1995; Kuriyama, 1996; Yoo 등, 2000).

본 실험은 고당도멜론 생산을 위한 적합한 배지를 선발하고 효율적인 양액 공급제한 방법을 모색하기 위해 ash ball과 perlite의 단용 및 혼용배지를 공시하여 양수분제한에 따른 성숙기 과실의 발달과 당변화를 검토하고자 실시하였다.

제2절 재료 및 방법

본 시험은 2000년 2월부터 6월에 걸쳐 강원대학교농장 유리온실에서 머스크멜론 '슈퍼 VIP'(중앙종묘)를 공시하여 수행하였다. 2월 7일에 파종하여 본엽 3매 출현 후인 3월 20일에 정식였다. 정식 후 야간온도를 17℃ 이상으로 유지시켰으며, 주간의 환기온도는 33℃로 하였다. 배지는 ash ball과 perlite의 단용 및 혼합배지(perlite 60% + ash ball 40%)를 이용하였다. 재배배드는 성형스치로폼(116×30×12cm)을 사용하였고 50cm 간격으로 정식하여 1열로 유인하였으며, 적심은 22절위에서, 착과는 12절위에서 달았다. 배양액은 야마자키 멜론처방을 사용하여 비순환식 방법으로 재배하였다. 양액관리는 정식 후에는 EC 1.6mS/cm, 급액량은 주당 1.2L로 하였고, 교배 후부터 처리개시까지는 EC 1.8-2.0mS/cm, 급액량은 주당 2L로 관리하였다. 수확 20일전인 6월 1일(개화 후 40일)부터 수분스트레스를 주기 위해 EC는 2.0mS/cm로 하고, 급액처리구를 강건조구(0.4L/주), 건조구(0.8L/주) 및 대조구(1.2L/주) 3구로 나누어 급액하였다. 기타 관리는 표준재배법에 준하여 실시하였다.

개화·교배 후 45일째부터 수확기까지 5일 간격으로 3회에 걸쳐 처리구별로 매번 3개 과실씩 채취하여 즉시 과실생육, 당도 및 산도를 조사한 후 과실적도부로부터 태좌와 과피부를 제거한 과육을 각 과당 10g씩 총 30g을 채취하여 -70℃에서 냉동 보관 후 HPLC 분석시료로 사용하였다.

과실의 당도는 Abbe 굴절계(ATAGO, N1, Japan)로 가용성 고형물질 함량(soluble solid content, SSC)을 측정하여 °Brix로 표시하였으며, 산함량은 즙액을 희석한 후 0.1N NaOH로 적정하여 citric acid 함량으로 계산하였다. 과실경도는 multi hardness meter(KMH-51, Japan)로 측정하였으며, 당도, 산도 및 경도의 측정부위는 공히 과실종단면의 적도부과육을 측정하였다.

당분석용시료의 제작은 Ogiwara 등(1999)의 방법을 다소 변형하여 사용하였다. 냉동보관한 과실조직을 20g 정도를 정확히 취하여 비크에 넣고 그기에 일정량의 증류수를 첨가하여 전자랜지에서 약 1분간 끓을 때까지 가열하였다. 끓인 과일조직에 증류수로 100ml 표선한 후 homogenize로 6000rpm에서 2분간 갈아서 얻은 과즙의 일부를 취하여 원심분리기로 1100g에서 10분간 원심분리하였다. 얻어진 상징액을 0.45㎛ membrane filter에 통과시킨 후 HPLC에 주입하여 Table 9.1에서 제시한 분석조건에 따라 당류를 분리 정량하였다.

Table 9.1. Condition for HPLC analysis of sugars.

Column	Shin-pak SCR-101N, 7.9mm ø × 30cm
Mobile phase	distilled water
Flow rate	0.8 ㎖/min
Detector	RID-10A(Shimadzu)
Pump	LC-10AT(Shimadzu)
Sample load	10 ㎕
Column temperature	40℃
Integrator	CS = 0.5mm/min, AT = 6

제3절 결과 및 고찰

1. Ash ball경에서 멜론의 과실발달과 당증진 효과

상이한 급액조건에서 최종수확기(교배 후 55일째) 배지별 과중, 과장, 과폭 및 과육두께는 perlite 배지가 혼합배지와 ash ball 배지에서 보다 다소 큰 경향을 보였으며, 이러한 경향은 수분스트레스구에서 더욱 뚜렷이 나타났다. 그러나 과육경도와 네트형성은 전체적으로 배지간의 차이가 크지 않았다(Table 9.2와 Fig. 9.1~9.3).

가용성고형물함량(°Brix)과 당함량은 건조구의 경우 ash ball 배지에서 가장 높았는데 perlite 배지에 비해 각각 4%와 3% 이상 증가하여 ash ball 배지는 타 배지에 비해 당증진 효과가 뛰어난 배지임을 확인 할 수 있었다. 그러나 강건구에서는 ash ball 배지가 perlite에 비해 당함량이 7%정도 감소한 것으로 나타났는데, 이는 ash ball 배지가 타 배지에 비해 수분보유력이 낮아 식물이 과다한 수분스트레스를 받았기 때문으로 사료된다(Fig. 9.4와 9.5).

시트르산 함량은 모든 배지구에서 1.45±0.10mg/gf.w.로 낮게 나타났다(Fig. 9.4). 이는 멜론의 시트르산 함량은 생육초기에는 다소 높으나 성숙과 더불어 서서히 떨어져 낮은 값을 보인다는 보고(Bianco와 Pratt. 1977: Hubbard 등, 1989)와 유사하였다. 과실의 낮은 산도는 당산비의 변화에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 나타나, 멜론과실의 식미향상에 대한 기여도가 낮은 것으로 판단되었다.

Table 9.2. Fruit characteristics by ash ball substrate and different water stress in musk melon at 55 days after anthesis.

Treatment		Fruit weihgt (g)	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)	Flesh thickness (mm)	Flesh firmness (kg/cm^2)	Net[x]
stress	Media						
High water stress	P[z]	1599d[y]	159de	147bc	40ab	0.69b	2.8
	PA	1512e	157ef	145cd	38b	0.67b	2.7
	A	1482e	153f	142d	35c	0.56c	2.6
Water stress	P	1757b	168ab	147bc	41a	0.69b	3.5
	PA	1730bc	165bc	147bc	40ab	0.68b	3.5
	A	1697c	163cd	146bc	40ab	0.70ab	3.4
Control	P	1989a	172a	151a	42a	0.70ab	3.7
	PA	1964a	171a	149ab	41a	0.72a	3.6
	A	1950a	170a	150ab	41a	0.72a	3.7

[z]P, PA and A represent perlite, perlite60%+ash ball40% and ash ball, respectively.

[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

[x]Net degree: 5(very good)~1(very poor).

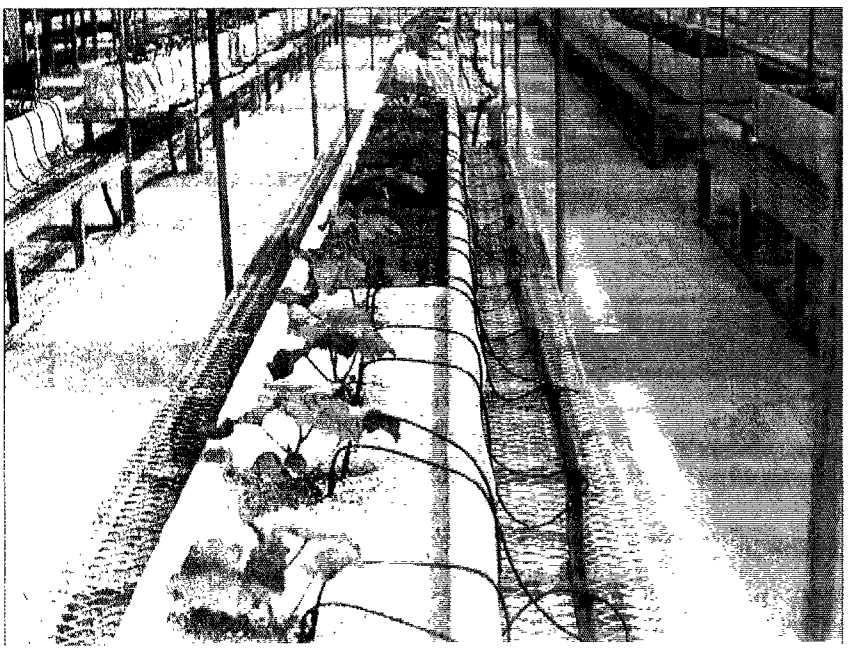
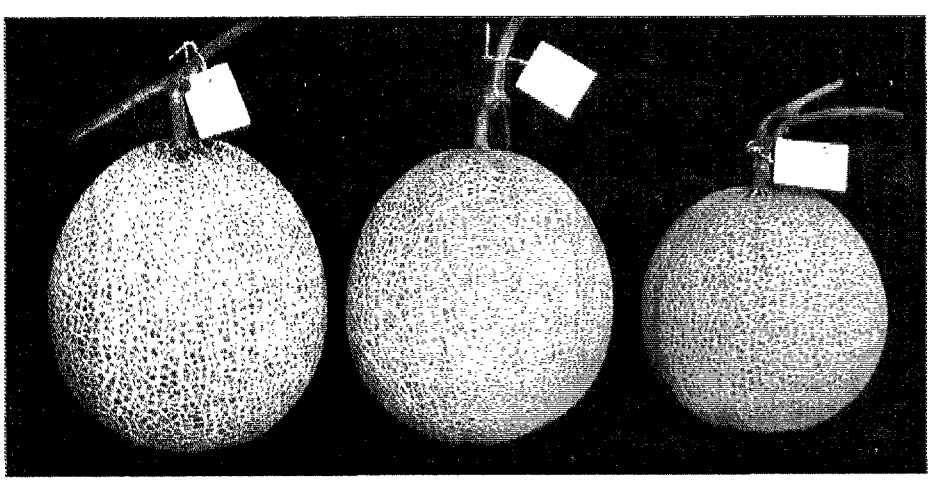
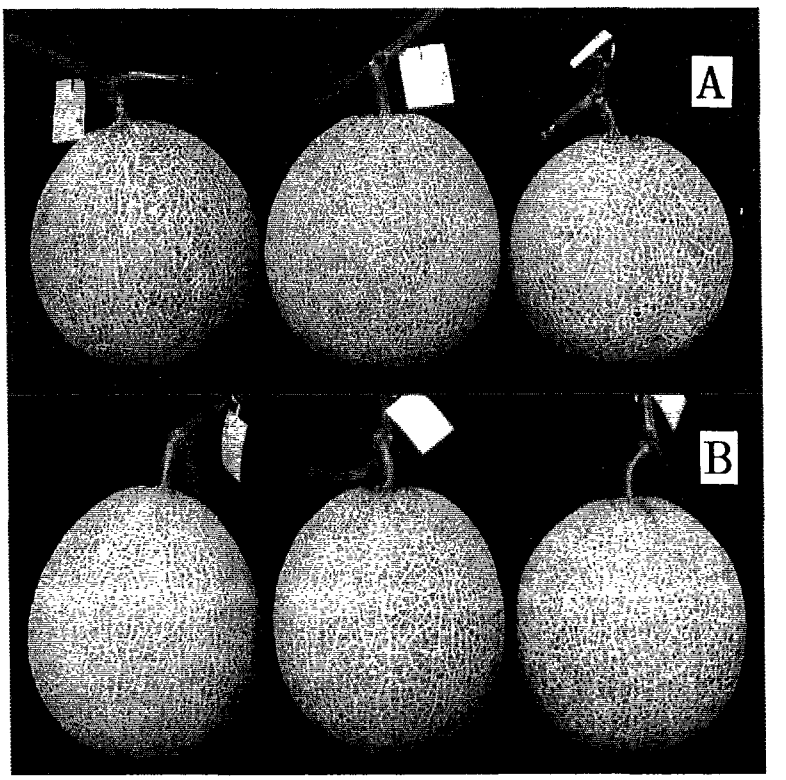


Fig. 9.1. Growth shape of plants in different substrate culture of musk melon.



Control Water stress High water stress

Fig. 9.2. External appearance of fruits by water stress in ash ball culture of musk melon



Perlite Perlite+Ash ball Ash ball

Fig. 9.3. External appearance of fruits by water stress in different substrate culture of musk melon. A: water stress, B: control

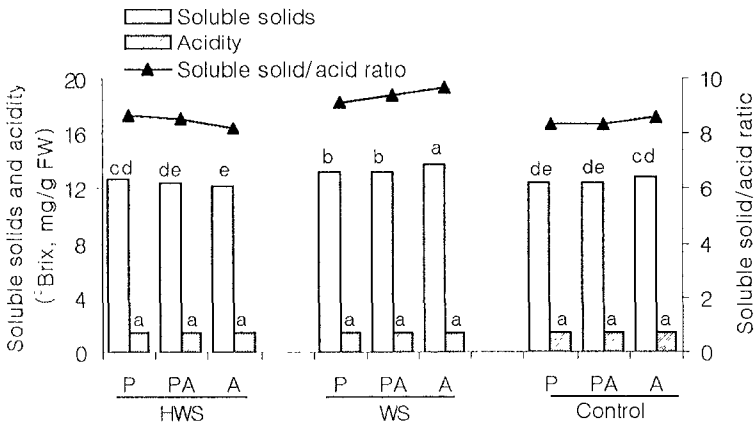


Fig. 9.4. Effects of ash ball and mixtures with perlite as a substrate on soluble solid, acidity and soluble solid/acidity ratio in musk melon at 55 days after anthesis. P:perlite, PA:perlite60%+ash ball40%, A:ash ball, HWS:high water stress(0.4L), WS:water stress(0.8L), Control(1.2L)

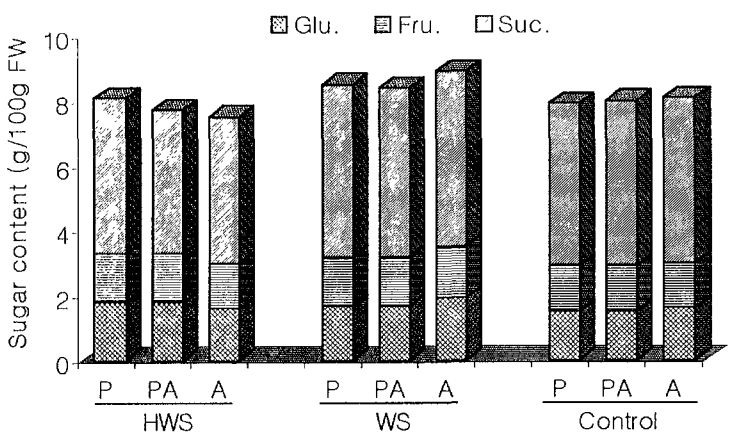


Fig. 9.5. Effects of ash ball and mixtures with perlite as a substrate on sugar content in musk melon at 55 days after anthesis. P:perlite, PA:perlite60%+ash ball40%, A:ash ball, HWS:high water stress(0.4L), WS:water stress(0.8L), Control(1.2L)

2. 과실성숙기 수분stress에 따른 멜론의 과실발달과 당함량변화

Ash ball경에서 양액공급제한에 따른 과중, 과장, 과폭 및 과육두께는 수분스트레스구가 대조구에 비해 유의적으로 낮게 나타났으며, 과중의 경우 대조구에 비해 강건조구에서 20%이상 낮았다(Table 9.2). 강건조구에서 과중은 과실성숙후기에 다소 감소하는 경향을 보였는데(Fig. 9.6), 이는 과다한 수분스트레스로 인해 과실의 수분이 상대적으로 증발산량이 많은 경엽쪽으로 이동되어 과실의 수축이 일어났기 때문으로 사료된다. 이러한 현상은 토마토에서 보고된 바가 있는데, Araki(1993)는 과실의 수축은 토양수분이 극히 부족한 상태에서 잎이나 줄기의 수분포텐셜이 과실의 수분포텐셜보다 낮은 시점에서 일어났다고 보고했다.

가용성고형물함량과 과육경도는 건조구에서 각각 13.8 °Brix과 0.7 kg/cm^{2}로 가장 높게 나타났는데, 과실성숙기 동안 가용성고형물함량은 점차 증가했고 과육경도는 반대로 감소하는 경향을 보였다(Fig. 9.6과 9.7). Lee 등(1996)은 멜론의 과실경도는 개화 후 40일부터 현저히 감소했는데 이는 당분해 과정에서 과육의 생리적인 변화로 조직의 연화가 촉진되었기 때문이라고 하였다.

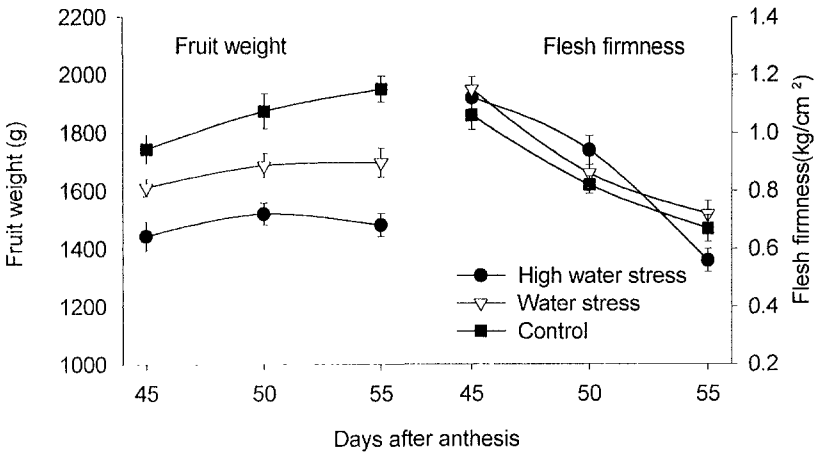


Fig. 9.6. Changes in fruit weight, flesh firmness on musk melon under different water stress during fruit ripening stage. Vertical bar represent means ± SE(n=3).

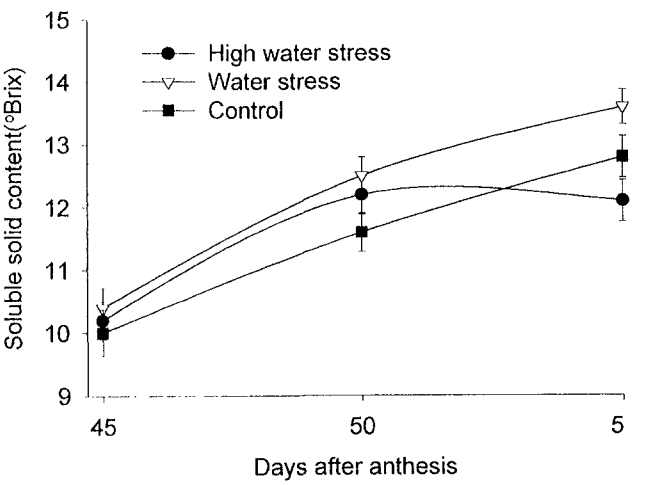


Fig. 9.7. Changes in soluble solid on musk melon under different water stress during fruit ripening stage. Vertical bar represent means ± SE(n=3).

당조성 함량은 sucrose, fructose 및 glucose 공히 건조구에서 가장 높았다. Total sugar 함량은 건조구에서 8.8g/100g f.w.로 대조구에 비해 8 % 이상 증가하였다. Lee 등(1994)도 멜론의 당도는 성숙기에 토양수분이 많은 상태에서 현저히 낮았다고 보고하였다. 그러나 강건조구에서는 성숙후기에 당함량이 점차 감소하여 최종수확기에는 대조구보다 낮았다(Fig. 9.8). 이는 토마토의 경우 수분스트레스를 많이 받을수록 과실의 당함량이 증가했다는 Kuriyama(1996)의 보고와 다소 차이를 보여, 과채류의 종류에 따라 과실의 당축적 양상이 다를 수 있음을 시사하였다. Mizuno 등(1971)은 멜론과실은 최고 당축적기가 지나면 sucrose의 轉化에 의해 생성된 단당류가 호흡에 의하여 소비됨으로써 감미가 떨어진다고 보고하였다. 본 실험에서 강건조구에서 당함량의 감소는 과다한 수분스트레스로 인한 잎의 노화촉진과 광합성속도의 둔화 및 호흡율의 증가 때문으로 추정된다. 과실성숙기 동안 sucrose 함량은 모든 급액구에서 점차 증가했으나 fructose와 glucose 함량은 반대로 감소하는 경향을 보였다.

당조성의 분배비율에 있어서, 全糖에 대한 sucrose 비율은 수분스트레스구에서 다소 감소했으나, fructose 및 glucose 비율은 증가하는 경향을 보였다(Fig. 9.9). 이는 수분스트레스정도에 따라 당분배비율의 패턴이 변화할 수 있음을 시사해 주었다. 과실성숙기동안 全糖에 대한 sucrose 비율은 교배 후 45일째의 40%내외에서 교배후 55일째에는 60%대로 증가했으며, 반대로 환원당인 fructose와 glucose의 total 비율은 60%내외에서 40%대로 감소하였다. 이는 멜론의 당함량은 생육초기에는 낮은 반면, 당류로는 주로 fructose와 glucose를 포함하고 있으나, 성숙과 더불어 당함량이 빠른 속도로 증가하여 sucrose가 50% 이상을 차지하게 되었다는 보고(Bianco와 Pratt, 1977; Hubbard 등, 1989)와 유사한 경향을 보였다.

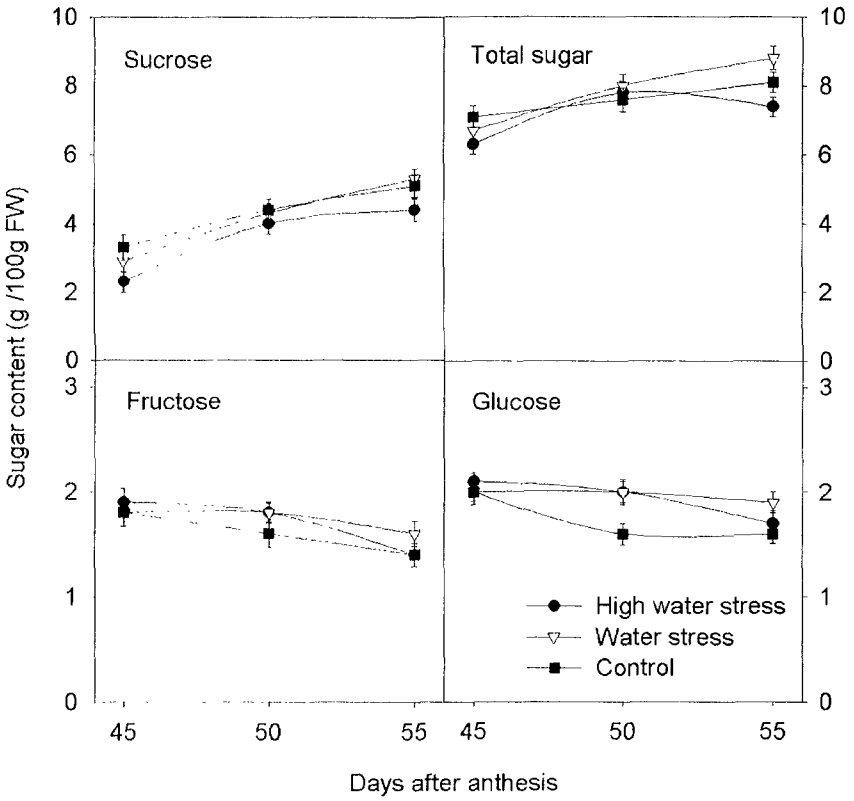


Fig. 9.8. Changes in sugar content on musk melon under different water stress during fruit ripening stage. Vertical bar represent means± SE(n=3).

Suc./(Fru.+Glu.)비는 수분스트레스구에서 대조구에 비해 약간 낮았으며, 과실성숙기 동안 급격히 증가하여 1.6 내외로 높게 나타났다. 그러나 Fru./Glu.비는 모든 처리구에서 과실성숙기 동안 0.9 내외로 낮게 유지되었다 (Fig. 9.10). 이로부터 멜론의 감미는 주로 sucrose에 의해 좌우됨을 확인할 수 있었다.

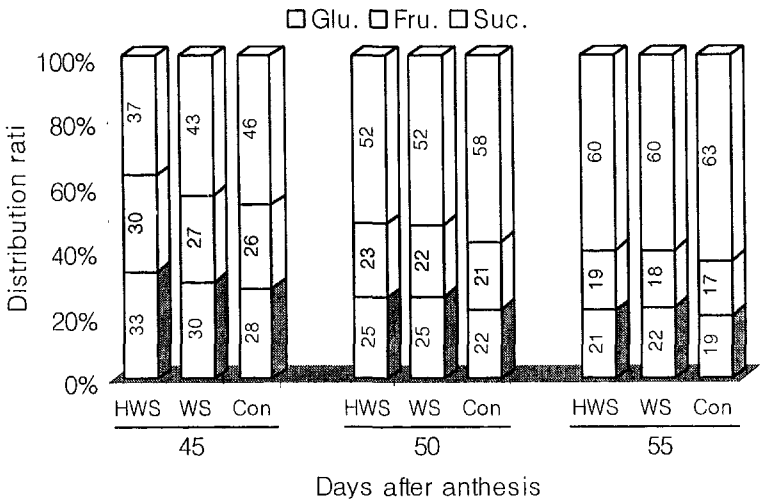


Fig. 9.9. Changes in distribution rate of sucrose, glucose and fructose on musk melon under different water stress during fruit ripening stage. HWS:high water stress(0.4L), WS:water stress(0.8L), Con:control (1.2L).

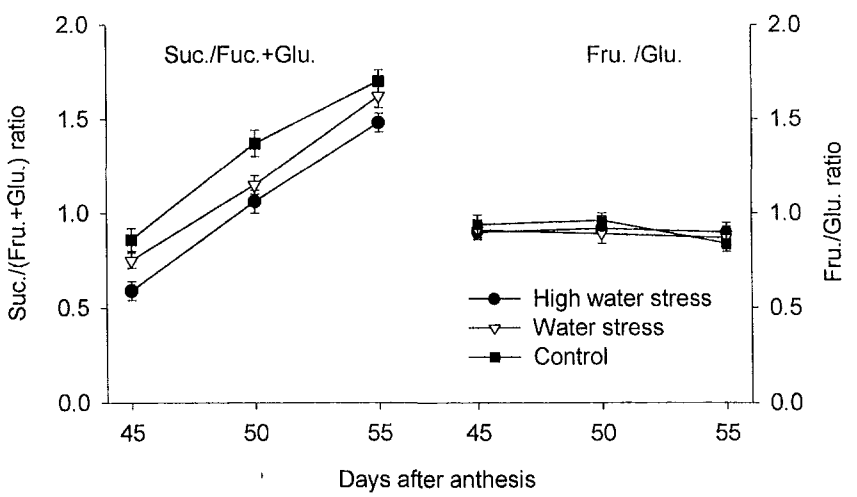


Fig. 9.10. Changes in suc./(fru.+glu.) and flu./glu. ratio on musk melon under different water stress during fruit ripening stage. Vertical bar represent means±SE(n=3).

당관련 인자들간의 상호관계에 있어서, total sugar 함량은 수분스트레스구에서 가용성고형물함량, sucrose함량 및 suc./fru.+glu.비와 고도의 정의 상관관계를 나타내었으며, total 환원당(fru.+glu.) 및 fru./glu.비와는 부의 상관관계를 나타내었다(Table 9.3).

Table 9.3. Correlation coefficient between total sugar content and characters of sugar in musk melon[z].

	Treatment	Sluble solids	Sugar			
			Suc.	Fru.+Glu.	Suc./Fru.+Glu. ratio	Fru./Glu. ratio
Total sugar	High water stress	0.843***	0.935***	-0.403	0.799***	-0.469
	Water stress	0.984***	0.968***	-0.722*	0.852***	-0.519
	Control	0.820***	0.910***	-0.592	0.782**	0.027

[z]Fruit were harvested 45, 50 and 55 days after anthesis.
*, **, ***Statistically significant at 5%, 1%, 0.1% level, respectively.

제4절 결 과 요 약

Ash ball과 perlite의 단용 및 혼용배지(perlite60% + ash ball40%)를 공시하여 개화 후 40일째부터 급액량을 주당 0.4L(강건조구), 0.8L(건조구), 1.2L(대조구)로 공급하여 양액공급제한에 따른 과실의 발육 및 당조성변화를 조사하였다.

배지종류별 과중, 과장, 과폭 및 과육두께는 perlite 배지가 혼합배지와 ash ball에서 보다 다소 컸고, 과육경도 및 네트형성은 배지간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 가용성고형물함량(°Brix)과 당함량은 건조구의 경우 ash ball 배지에서 가장 높았다. 시트르산 함량은 1.45±0.10mg/g f.w.범위로 배지간에 차이가 미미하여 과실의 식미를 나타내는 당산비 변화에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

급액제한구별 과중은 대조구에서 가장 컸다. 가용성고형물함량(°Brix)과 과육경도는 교배 후 50일째까지 건조구와 강건조구에서 높게 유지되었으나 그 이후에는 강건조구에서 급격히 떨어졌다.

당조성 함량은 sucrose, fructose 및 glucose 공히 건조구에서 가장 높았다. 당조성의 분배비율면에서, 全糖에 대한 sucrose 비율은 수분스트레스구에서 다소 감소했으나, fructose 및 glucose 비율은 증가하는 경향을 보였다. 이는 수분스트레스정도에 따라 당분배비율의 패턴이 변화할 수 있음을 시사해 주고 있다.

Suc./(Fru.+Glu.)비는 과실성숙기 동안 급격히 증가하여 1.6 내외로 높게 나타났으며, 급액제한구별로는 sucrose 비율과 같은 경향으로 수분스트레스구에서 약간 감소하는 경향을 보였다. Fru./Glu.비는 과실성숙기 동안 0.9 내외로 낮게 유지되었으며, 처리간에도 차이가 미미하였다. 따라서 멜론의 감미는 주로 sucrose에 의해 좌우됨을 알 수 있었다.

수분스트레스구에서 total sugar 함량과 가용성고형물함량, sucrose함량 및 suc./fru.+glu.비 사이에 고도의 정의 상관관계를 나타내었다

전체적으로 ash ball 배지는 타 배지에 비해 당증진 효과가 우수했으며, 과실비대성숙기 적당한 수분스트레스(주당 0.8L 급액) 조건에서 수량을 그다지 저하시키지 않고 과실의 당함량을 높일 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

인 용 문 헌

Araki, Y. 1993. Relationship between plant water status and water movement in tomato. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62(1):121-128.

Bianco, V.V. and H.K. Pratt. 1977. Compositional changes in muskmelons during development and in response to ethylene treatment. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102:127-133.

Hubbard, N.L., S.C. Huber, and D.M. Pharr. 1989. Sucrose phosphate synthase ad acid invertase as determinants of sucrose concentration in developing muskmelon(*Cucumis melo* L.) fruits. Plant Physiol. 91:1527-1534.

Kagohashi, S., H. Kano, and M. Kageyama. 1978. Studies on the nutrition of musk melon(*Cucumis melo* L.) I. Characteristics of nutrient uptake by musk melon. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 47(2):203-208.

Kojima, T., M. Hatsuyama, and T. Kuriyama. 1995. Studies on physical and chemical properties of substrates for application in hydroponics. Abstr. Japan. Soc. Hort. Soc. Autumn Meet. p.34-35.

Kuriyama, T. 1996. Influence of quantitative control of nutrient solution on yield and Brix of fruit juice in ash-ball culture of tomato. Science bulletin of the faculty of Agriculture Kyushu Univ. 4:85-86.

Kuriyama, T., T. Kojima, and M. Hatsuyama. 1995. Growing tomatoes on ash-ball substrate in a closed system. J. Japan. Soc. Hort. Sci. Abs. 64(2):310-311.

Lee, K.B., S.K. Kim, C.H. Yang, C.H. Yoo, J.H. Chon, D.K. Lee, and J.D. So. 1994. Effect of irrigation period on quality of melon(*Cucumis melo* L.). J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert. 27(4):269-274.

Lee, T.I., C.S. Jeong, and K.C. Yoo. 1996. Patterns of sugar accumulation of muskmelon cultivars in relatio to spring and fall cultivation. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 37(6):746-750.

Lester, G. 1988. Comparisons of 'Honey Dew' and netted muskmelon fruit tissues in relation to storage life. HortScience. 23:180-182.

Miyazaki, T. and Ookubo, M. 1989. Effects of maturity and postharvest techniques on keeping quality of melons. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58(2):361-368.

Mizuno, T., K. Kato, M. Harada, Y. Miyajima, and E. Suzuki. 1971. Studies on the free sugars and amino acids in a fruit of muskmelon. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi. 16(7):319-325.(in Japan)

Ogiwara, I., Y. Ohtsuka, Y. Yoneda, K. Sakurai, N. Hakode, and I. Shimura. 1999. Extraction method by water followed by microwave heating for analyzing sugars in strawberry fruits. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 68(5):949-953.

Saito, T. and K. Watanabe. 1985. Effect of amount of ando subsoil used as ded soil on growth and fruit quality of muskmelon. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 54(2):222-230.

Salunkhe, D.K. and B.B. Desai. 1984. Postharvest biotechnology of vegetables Vol. II. CRC Press USA. p.70-75.

Schaffer, A.A., B. Aloni, and E. Fogelman. 1987. Sucrose metabolism and accumulation in developing fruit of *Cucumis*. Phytochemistry. 26:1883-1887.

Shishido, Y., T. Yuhashi, N. Seyama, and S. Imada. 1992. Effects of leaf position and water management on translocation and distribution of ^{14}C-assimilates in fruiting muskmelon. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60(4):897-903.

Yoo, K.C., I.S. Kim, W.S. Kang, and D.Y. Shin. 2000. Development of hydroponic media using fly ash and clay system cultures. J. Bio-Environ. control 9(1):47-59. (In Korean)