GOVP1200612630
T0013255

최 종
연구보고서

CA저장설비의 콘테이너형 보급모델 개발

Development of Economical Model of Container Type CA Storage

(주)센튜리이씨

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "CA저장설비의 콘테이너형 보급모델 개발" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 7월 일

주관연구기관명 : (주)센튜리이씨
총괄연구책임자 : 김 두 환
세부연구책임자 : 김 두 환
연 구 원 : 윤 형 범
위탁연구기관명 : 충남대학교
위탁연구책임자 : 황 용 수

여 백

요 약 문

Ⅰ. 제 목

CA저장설비의 콘테이너형 보급 모델 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 한·칠레 FTA 체결에 따라 농산물 개방에 따른 경쟁력 확보에 더욱 많은 관심을 기울이게 되었다. 원예산물은 함수량이 적은 일반 농산물과 달리 수확 후 변질되기 쉬워 신선도 관리에 어려움이 많다. 이러한 여건을 극복하기 위하여 새로운 수확 후 관리기술의 도입이 필요하며 이러한 기술에는 CA기술이 포함된다. 그동안 상업적으로 CA기술이 도입되었으나 CA장비 개발은 해외 기술에 의존하였고 CA저장고 운영의 미숙함 등으로 CA 저장 기술은 상업적으로 성공을 거두지 못하였다. 그러나 이미 해외에서는 보편화된 CA기술의 현장 적용력 향상은 앞으로 도입될 CA저장고에 대한 활용효과를 극대화시키기 위해 반드시 필요하며 장기 저장뿐만 아니라 단기 저장에서도 CA의 긍정적 효과를 극대화시키는 방향으로 운영 know-how를 축적할 필요가 있다.

아울러 국산화된 CA기술이 제한적이므로 콘테이너형 소규모 CA저장고를 개발하여 CA저장고의 개발 기술을 향상시킴은 물론 운영 know-how를 축적하여 앞으로 CA의 상용화에 기여하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 콘테이너형 저장고의 기밀유지기술 개발, 방열문 및 조립부자재의 기밀성능 향상 등의 기술을 개발하고 기타 CA 제어시스템의 국산화를 목표로 하였다. 따라서 소규모 청과물의 출하시기 연장은 물론 품질 차별화에 기여함으로써 국내 생산 농산물의 경쟁력 강화에 기여하고자 하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. CA저장시설의 콘테이너형 보급모델 개발

본 연구에서 개발하고자 목표한 콘테이너형 CA저장고(pilot 저장고)는 5평 기준의 크기로 우레탄 판넬을 기본골격으로 하여 기밀 기술을 개발하였고 온도제어는 전자팽창변을 활용하여 고내 농도가 균일하게 유지될 수 있도록 하였다.

가습 장치로는 드라이포그 장치를 도입하였는데 적재물이 고내 부피의 80% 이상 유지될 때 가습기는 거의 사용될 필요가 없을 것으로 예상된다. 질소발생장치는 hollow membrane system을 채택하여 순도 97% 기준으로 분당 17.8L가 생산될 수 있는 시스템을 개발하였다. 질소발생기의 기동방식은 사용자의 편의에 의해 결정할 수 있도록 제작하였다. 고내 가스농도는 이산화탄소를 감지하여 질소투입을 결정하도록 제작하였고 운영 프로그램도 이러한 조건을 충족할 수 있도록 마련하였다.

데이터 기록과 수집은 상업적 모델에서는 단순화시켜야 하지만 pilot 저장고에서는 운영에 대한 결과를 해석하기 위해서도 매우 중요하므로 실시간으로 저장고 환경데이타가 수집되어 기록되도록 하였다. 수집된 데이터는 PC 혹은 노트북 PC로 전달되어 쉽게 분석할 수 있도록 하였다. 따라서 보급형이 아닌 대규모 CA저장고 도입에서도 본 연구 중 개발한 데이터 수집기술을 응용하면 될 것으로 예상된다.

2. 보급형 CA 콘테이너 상용화 기술개발

본 연구에서는 장기저장을 위한 자료 축적보다는 중단기 저장으로 CA 효과를 얻을 수 있는 작물을 대상으로 연구를 실시하였다. 본 연구 중 과채류 5종, 엽채류 3종, 버섯 1종, 과실 1종을 대상으로 CA효과를 검토하였다. 선정한 작목은 대부분 단기저장마저 어렵거나 수확한 이후 품질 변화가 빠른 작물을 대상으로 하였다.

CA 조성은 본 연구에서 개발하고자 하는 보급형 CA저장고의 제어능력 범위를 고려하고 기존에 보고되어 있는 자료를 분석하여 결정하였다. 본 연구에서 검토한 작물에 대한 CA 처리 효과를 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 검토한 모든 작물에서 공통적으로 관찰된 현상은 CA조성에 관계없이 대조구에 비하여 CA처리구 과실은 저장기간 중 무게감량이 현저히 낮았다. 이러한 결과는 CA 저장환경이 고습조건을 유지할 수 있기 때문으로 판단된다.

(2) 본 연구에서 목적한 CA조건을 부여하였을 때 저장고 환경은 대체적으로 설정값과 유사한 환경으로 유지되었다.

(3) CA 처리 효과는 작물에 따라 다소 차이가 있었는데 가지, 애호박 등에서는 탁월한 결과를 보인 반면 오이의 경우 품질 증진 효과가 인정되나 큰 차이는 없었다. 풋고추의 경우 과실자루 부패가 품질저하의 원인이었는데 CA는 부패억제에 효과적이었으며 특히 과실표면 반점이 억제되는 결과를 보였다. 파프리카의 경우 품질저하의 원인은 과실자루 부패와 과피 표면에 잔금이 만들어지며 과숙되는 현상이었는데 CA는 이러한 증상을 명확히 감소시켰다.

(4) 엽채류 중 배추는 저장기간이 길어지면 겉잎과 적재할 때 눌린 조직이 물러져 피해를 일으켰는데 CA 처리는 이러한 증상을 완화시켜 저장한 다음 손실율이 현저히 감소하였다. 브로콜리의 황화는 CA처리로 현저히 억제되어 신선도 증진 효과가 뚜렷하였다. 상추 또한 엽색유지 등 품질유지 효과가 보전되었다.

(5) 양송이는 저온저장 중 갓이 펼쳐지는 현상이 관찰되었는데 CA조건은 이러한 현상을 지연시켰다. 한편 저온저장한 양송이에서 자실체 표피 변색이 발생하는데 CA처리로도 이러한 갈변을 완전히 방지하지는 못하였다.

(6) 복숭아의 경우 CA처리는 경도 저하를 크게 지연시켜 과실의 신선도를 높게 유지시키는 효과가 뚜렷하였으며 전반적인 품질이 우수하게 유지시키는 효과가 명확하였다.

전반적으로 CA처리는 본 연구에서 검토한 모든 작물에서 긍정적인 효과를 나타내었지만 작물간 편차가 확인되었으며 동일한 작물일지라도 수확시기에 따라 CA 효과에 차이를 보였다. 대체적으로 하절기 또는 고온기에 수확한 작물에 비하여 동절기 또는 저온기에 수확한 작물에서 효과가 우수하였다. 본 연구에서 개발된 보급형 콘테이너 CA 저장고는 가격 등락이 심한 작물, 단기저장에서도 품질저하가 심한 작물, 소규모 생산량을 다루는 경우에 적극적으로 활용할 있을 것으로 기대된다.

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구에서 개발된 보급형 콘테이너 CA저장고의 상업적 모델을 생산현장에 도입할 때 국내 CA관련 운영기술 축적에 기여할 것이며 CA기술의 활용방향을 다양화하는데도 기여할 것으로 예상된다. 앞으로 도입 예정인 포장센터에 대용량 CA저장고 설치가 본격화 될 것으로 예상되지만 아직 CA 운영 기술의 know-how가 충분히 축적되어 있지 못하여 CA저장고 활용에서 시행착오가 예상된다. 본 연구에서 개발된 CA 저장고는 운영 미숙에 따른 대한 경제적 부담이 적어 산지농협 등 생산현장에서 생산시기에 따라 출하되는 다양한 작물에 대한 운영기법을 검증할 수 있는 기회를 확대할 수 있어 유리하다. 따라서 앞으로 상업적 모델이 확정될 때 이에 대한 적극적인 사업적 활용이 필요할 것이며 정책적 지원도 요구된다.

SUMMARY

1. Development of economical model of container type CA storage

In this experiment, we focused to develop a container type CA storage. Air tight room was prepared by polyuretane insulated panel. The temperature was controlled by electric expansion valve. Dry fog apparatus was introduced to control the humidity of storage. Due to the exact control of temperature, it is expected not to use the humidifier when about 80% of the storage volume is filled by fresh commodities. Nitrogen generator was prepared by hollow membrane filter system. The production rate of nitrogen was 17.8L/min at 97% purity. The operation of nitrogen generator is designed to be controlled by U or P type. The input of nitrogen gas is controlled by the concentration of carbon dioxide. It is required to be simplified the data collection and record for storage environment but, in pilot model, data of temperature, humidity, and carbon dioxide concentration is collected and recorded in real time schedule into PC. When commercial storage is designed, this technique will be adapted to analyze the optimum condition of container type CA storage.

2. Development of management technique for commercialization of container type CA storage.

This experiment was focused on the fresh products which had potential of positive CA response in mid-and/or short-term storage. Five fruit vegetables, 3 leafy vegetables, 1 mushroom and 1 fruit crop are selected. Horticultural crops which showed fast deterioration propertied after harvest were selected.

The composition of CA was determined on the basis of published data and control limit of container type CA storage. Results obtained from this research is as following.

(1) There was a significant decrease of weight loss regardless of crops examined in this experiment, probably resulting from much more exact control of humidity in CA environment.

(2) In operation of pilot CA storage, there was no difference between target values of temperature, humidity, and carbon dioxide concentration and collected data. Thus, the pilot CA storage is appeared to have the planned function.

(3) There was some difference in CA responses between crops. Those including eggplant and squash showed excellent in keeping quality whereas CA application was much less effective in cucumber. In green chillies, decay of fruit stalk was the major problem responsible for loss of freshness and CA decreased the decay in both fruit surface and fruit stalk. CA storage was also effective on inhibiting minor cracking on fruit surface in paprika fruits probably due to over-ripening.

(4) Chinese cabbage developed soft rot on outer or crushed leaves when storage duration is extended resulting in the severe trim loss. CA storage was clearly effective on reduction of trim loss. CA environment was also effective on keeping freshness through preventing yellowing of florets in broccolli.

(5) Opening of fruit body in Agaricus mushroom resulted in the quality loss during storage and postharvest handling. CA storage delayed the phenomenon. Browning of fruit body was also a problem in Agaricus mushroom. CA storage also was effective on reduction of the discoloration but not perfect. It is required to determine a different CA combination.

(6) In nectarines, CA storage was very effective on inhibiting firmness loss resulting in keeping freshness. CA was positive in keeping other quality factors such as color and soluble solid content.

In overall, CA technology showed a strong and positive effect on keeping

freshness and quality in all crops examined in this experiment. Differences between crops and harvest season in a same crop were also found. In general, CA response seemed to be higher in crops produced in cold or winter season than those in summer or high temperature season. Results indicate that the container type CA storage developed from this research has a strong potential on increasing market competition of horticultural crops through extending marketing opportunity.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction of research project ····· 15

Chapter 2. Overview of domestic and worldwide CA technology ····· 17

Chapter 3. Results and Discussion ····· 24

I. Target of research ····· 24

II. Control of gas composition in container type CA storage ····· 25
1. CA storage industry in Korea ····· 25
1) CA storage ····· 25
2) Low temperature storage ····· 25
2. Basic design of container type CA storage ····· 26
1) Overall concept for container type CA storage ····· 27
2) Development of constant temperature and humidity ····· 30
(1) Temperature control ····· 30
(2) humidity control ····· 33
(3) Calculation of refrigeration tons ····· 35
2) Development of air tight sealing ····· 36
3) Target specification of pilot CA storage ····· 38
(1) Nitrogen generator ····· 40
(2) Control system of gas concentration ····· 46
3) Program of gas control ····· 49
4) Display of data and records/ ····· 51

III. Examination of CA technology in selected crops ····· 55
1. Introduction ····· 55
2. Material and methods ····· 55
1) Composition of CA environment ····· 55
2) Selection pf plant materials and quality determination ····· 57
3. Results and discussion ····· 58
1) Survey of CA technologies for commercialization ····· 58
2) Determination of CA technology in selected crops ····· 63
(1) Application of container type CA storage ····· 63

(2) Positive and negative effects of CA technology ····· 66
3) Effect of CA application in selected crops ····· 69
(1) Fruit vegetables ····· 69
(2) Leafy vegetables ····· 88
(3) Agaricus mushroom ····· 99
(4) Peach fruit ····· 101
Reference ····· 104

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 15

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 17

제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과 ····· 24

제 1 절 기술개발의 목표 ····· 24

제 2 절 콘테이너형 보급모델의 CA 대기 조성시스템 개발 ····· 25

1. 국내 기술 및 CA저장고 운영 동향 ····· 25

1) 기존 CA 저장고 ····· 25

2) 기존 저온 저장고 ····· 25

2. 보급형 CA 콘테이너 기초설계 ····· 26

1) 보급형 CA 콘테이너 저장고 개발 방향 ····· 27

2) 저온고습환경 유지기술 개발 ····· 30

(1) 온도유지기술 ····· 30

(2) 습도유지기술 ····· 33

(3) 냉각부하 계산 ····· 35

2) 기밀 유지기술 개발 ····· 36

3) 시작품의 목표사양 설정 ····· 38

(1) 질소발생장치 ····· 40

(2) 저장고 가스농도 제어시스템 ····· 46

3) 가스제어 로직 ····· 49

4) Data의 표시 및 기록장치 ····· 51

제 3 절 몇 가지 작물에 대한 CA 효과 검토 ····· 55

1. 서론 ····· 55

2. 연구 수행 방법 ····· 55

1) CA 조성 ····· 55

2) 식물 재료 선정 및 품질 조사 ····· 57

3. 연구결과 및 고찰 ····· 58

1) CA 기술의 상업적 활용을 위한 자료 검토 ····· 58

2) 보급형 CA 콘테이너 활용을 위한 대상 작물 선정과 CA 적용 효과 검토 ····· 63

(1) 보급형 CA 저장고의 활용 방향 ····· 32
(2) CA 처리가 작물의 품질에 미치는 긍정적인 효과와 부정적 효과 ····· 66
3) 몇 가지 작물에 대한 CA 처리 효과 검토 ····· 69
(1) 과채류 (오이, 가지, 고추, 파프리카, 애호박) ····· 69
(2) 몇 가지 엽채류에 대한 CA 효과 검토 ····· 88
(3) 양송이버섯 저장에 대한 효과 ····· 99
(4) 복숭아의 CA 저장반응 비교 ····· 101
인용문헌 ····· 104

여 백

제 1 장 연구개발과제의 개요

수확한 신선 청과물은 여러 가지 원인에 의하여 빠르게 신선도를 상실하기 쉬운데 이러한 신선도 상실의 원인은 부적절한 온·습도 관리 및 수확한 작물을 거칠게 다룸으로써 빚어지는 물리적 손상, 청과물의 유전적 특성을 고려하지 않은 무리한 장기저장 등이 포함된다. 그러나 청과물의 신선도를 확보하며 저장기간을 증대시키는 것은 유통기회를 확대한다는 측면에서 매우 중요하며 따라서 관행적인 저온저장이외에 대기조성을 달리하여 청과물의 신선도를 높게 유지시켜 동일한 저장기간에서도 품질을 높이므로 청과물 유통에서 경쟁력을 확보하고자하는 노력을 기울여왔다. 이러한 노력의 일환으로 발전한 것이 CA(controlled atmosphere) 저장기법인데 기존 저온저장기술에 저장고 내부의 공기조성을 강제적으로 조절하는 기법을 결합한 저장기법으로 농업선진국의 경우 1960년 이후 상업화되어 널리 활용되고 있다.

국내에서도 1990년경 상업적 규모의 CA 저장고가 도입되어 일부 작물에 적용되었지만 국내산 작물의 CA 환경 적응성에 대한 이해가 부족하여 CA 저장한 작물의 신선도 증진 효과를 뚜렷하게 얻지 못하였거나 오히려 부적절한 가스조성에 따른 생리적 장해가 발생하여 CA 저장의 효과에 대한 부정적 인식을 확산시키는 결과를 초래하였다. 또한 CA저장에 관련된 설비와 장치는 국내에서 생산을 하지 못하여 전체를 수입에 의존하였으므로 CA저장고 도입 가격이 상승하여 경제적 타당성마저 흔들리는 결과를 얻었다. 이러한 여건에서 국내의 신선 청과물 수확 후 관리를 위한 설비로 적극적 냉각 및 저온저장 시설이 확산되어 보편화되었으나 CA기술은 아직 답보상태에 머물러 있다. 그러나 WTO 및 FTA 체결로 인한 농산물 교역확대가 더욱 자유로워짐에 따라 중국 등 인근국가로부터의 농산물 수입이 더욱 활발해짐에 따라 경쟁력 강화를 위한 신선도 관리를 통한 품질 차별화가 더욱 중요하게 되었다.

본 연구에서는 국내에서 개발 가능한 CA 설비의 국산화를 통한 경쟁력 제고 및 관련 기술력 향상과 CA 저장 기술 적용을 확대할 수 있는 방안을 찾고자 하였다. 본 연구에서 개발하고자 하는 보급형 콘테이너형 CA 저장고는 경제적인 모델이 될 것으로 기대하며 추후 CA 관련 기술을 축적하기 위한 단계적 조치로 예상된다. 본 연구에서 개발되는 CA 저장고를 활용하여 국내에서 생산되는 여러 가지 원예작물에

대한 CA 효과를 검토하여 앞으로 국내 CA 기술의 보급 확대와 앞으로 활용 증대 방안을 모색하고자 하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

CA 저장기술은 저장고 내의 대기조성을 인위적으로 조절하여 저장 농산물의 호흡 및 생리활동을 최대한 억제시켜 저장기간 연장은 물론 품질 저하를 최소화하는 기술로 유럽 및 미국 등에서는 이미 일반화되어 있다.

대기조성을 인위적으로 조절하기 위해서는 저장고 내부의 기밀을 유지하기 위한 기밀화 기술과 정상적인 대기(질소78%, 산소 21%, 이산화탄소 0.03% 등)를 청과물 저장에 가장 적합한 인위적인 가스 조성 상태로 바꾸어주기 위한 질소 가스 생산 및 각 가스 유형 별 농도 제어 기술이 필요하다. 현재 CA 관련 필요장치는 모두 국내 기술진에 의하여 자체 제작할 수 있는 수준이 아니어서 외국의 기술을 도입하여 활용하므로 제작비가 많이 들고 따라서 경제성이 결여되었다. 우리와 경쟁관계에 있는 중국의 경우 최근 CA 저장기술과 저장고 보급이 확대되고 있는 반면 국내에서는 관련 기술이 제한적으로 적용되고 있어 CA 관련기술이 중국보다도 뒤져 있는 실정이다.

CA 저장에서 얻는 품질 차별화 효과는 작물의 종류, 품종, 생산시기, 수확상태, 성숙도 등에 따라 많은 차이가 있을 수 있다(Brecht 등, 2003; Saltveit, 2003). 따라서 CA 기술이 보편화되어 있는 국가의 경우 작물의 생육특성 또는 경작년에 따른 예상되는 문제점을 미리 파악하여 관리기술의 가이드라인을 제시하거나 관련 정보를 제공하는 시스템을 구축하고 있다. 우리나라의 경우 1990년대 초반 상업적 규모의 CA기술이 도입될 당시에는 국내에서 생산한 작물의 특성을 충분히 이해하지 못한 상태이었으므로 유사한 작물에 대한 결과를 그대로 적용한 결과 저장산물의 품질이 떨어지거나 또는 기대한 만큼의 신선도 증진 효과를 얻지 못한 결과를 보여 국내 저장산업계에 CA 기술에 대한 부정적인 인식이 확산되는 결과를 낳았다. 그 이후 계속된 연구에서 국내산 과실, 특히 사과의 생리적 특성과 CA적용기술이 개발되었으나 아직 적극적으로 활용되지 않고 있다. 따라서 국내 원예산물에 대한 보다 광범위한 적용효과를 검토하고 현장에서 적용할 수 있는 운전의 최소범위를 규정하여 관련 기술이 확산될 수 있는 기회를 확대하는 것이 앞으로 우리나라 청과물의 수확 후 관리기술을 향상시키는데 필요하다.

국내 원예작물의 유통환경에 급격한 변화가 일어나고 있는 현실을 고려할 때 장기 저장 뿐아니라 저장기간이 짧지만 가격 등락의 편차가 큰 작물을 대상으로 단기간 CA 저장을 통한 부가가치 증진을 이루는 것도 매우 중요하다. 특히 우리나라의 원예산물 수출은 일본시장이 주를 이루고 있는데 수출 작물에는 딸기, 토마토, 가지 등의 과채류와 배추, 들깨 잎과 같은 엽채류가 포함되고 있으나 이들은 신선도 저하가 빠르게 일어나며 경우에 따라 부패 등으로 손실율이 높다. 또한 저렴한 중국한 농산물과의 가격 경쟁력을 상실하여 많은 어려움이 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 국내 유통뿐 아니라 수출농산물에 대한 품질 차별화 기술을 확보하여 이를 현장에 적용하는 것이 요구된다. 따라서 기존의 예냉과 저온저장환경보다 나은 환경에서 수확 후 관리를 실시할 필요가 있으며 체계적인 수송을 위한 관리방안으로 보급형 CA장비와 시설을 도입할 필요가 있다. 그러나 국내에서 생산된 이들 작물에 대한 CA 효과가 충분히 검토되지 않아 새로운 기술의 개발 현장접목에 어려움이 있다. 또한 투자비가 많이 소요되는 대규모 시설보다 경제적인 모델을 개발하여 활용하며 관련 기술을 축적하고 이를 점차 확대하는 것이 유리할 것으로 예상된다.

원예산물에 대한 CA의 효과는 대략 6가지 요인에 의하여 발생하는데 여기에는 온도, 습도, O_2 및 CO_2 농도, 에틸렌제어, 저장기간이 포함된다(Slatveit, 2003). CA 저장이 원예산물의 신선도 또는 저장성에 미치는 효과는 긍정적인 면과 부정적인 면을 모두 가지고 있는데 긍정적인 효과로는 원예산물의 노화지연, 호흡억제, 연화지연, 구성성분변화 억제, 에틸렌에 대한 반응 억제, 생리적 장해 억제, 부패감소 등이 포함되며 부적절한 CA 환경을 조성하였을 경우 나타나는 부정적인 효과로는 무기호흡증가에 따른 발효발생, 생리적 장해 및 부패 증가 등이 고려될 수 있다(Calderon과 Barkei-Golan, 1990). 또한 최근의 연구결과에서 CA 저장한 작물을 시장 출하할 때 CA 환경을 유지시키지 못하는 점을 개선하기 위하여 CA 저장 효과를 출하과정에서 연결시키고자 하는 방안이 모색되고 있다(Brecht 등, 2003).

원예산물의 상품성에 미치는 요인은 작물에 따라 매우 다양하고 각각의 품질 구성요인의 중요도 또한 다르기 때문에 모든 품질구성요소를 만족스럽게 유지한다는 것은 매우 어렵다(Arthey, 1975). 이들 품질 구성요소 중 상품성에 직접적인 영향을 미치는 요인 또는 소비자의 구매욕구 결정에 중요한 요인에 대한 관리가 무엇보다 중요하며 이들 품질 결정 요인은 결국 출하하는 원예산물의 가격을 결정하는 중요한 요인으로

작용한다. 국내의 CA 활용기술 수준이 아직 미흡한 점을 고려할 때 중단기 저장이 요구되는 수출 가능 작물을 대상으로 CA 활용을 높이며 점차 관련 기술을 축적하고 이들을 바탕으로 장기저장성을 높이는 방향으로 기술개발을 확대하는 것이 필요하다. 우리의 원예산업 환경을 고려할 때 외국산 농산물의 수입이 점차 증가하며 국내시장은 물론 해외시장에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 가격경쟁보다 품질경쟁에 더욱 주력하지 않을 수 없다. 따라서 이러한 현실적 요구를 수용할 수 있는 기술 개발과 개발된 기술의 실용화를 위한 연구가 반드시 필요하다. 본 연구에서는 보급형 CA 장비 개발과 이의 활용을 높이기 위한 분야에 대한 집중적인 연구를 통하여 우리나라 원예산물 유통환경의 수준을 높이고 아울러 일본시장에 대한 고품질 원예산물의 수출확대를 위한 방안을 모색할 필요가 있다.

농산물의 주년 안정 공급을 달성하기 위해서는 안정된 중장기 저장기술의 확보가 선결되어야 한다. 장기 저장기술로 이미 유럽 또는 미국 등지의 활용사례를 통해 검증된 CA 저장기술이 국내에서는 일부 연구기관에 보급된 실험용 시설을 제외하고는 상업적인 활용이 미미한 실정이다. 이러한 현실적인 원인은 무엇보다 국내 실정에 맞는 모델 개발에 소홀한 채로 외국 설비 일체를 무리하게 국내 현실에 적용하려고 시도하므로 국내 운영환경에 대한 고려가 적었고 따라서 운영조작 미숙으로 인한 문제, 초기 설치비 부담 가중, 투자비 회수 가능성에 대한 불안감, 국내에서 생산된 농산물에 대한 적절 CA 환경에 대한 이해 부족 등으로 뚜렷한 CA의 효과를 현장에서 얻지 못한 경우가 발생하였으며 이러한 원인이 CA기술을 널리 보급되는 데 장해 요인이 되었다. 따라서 국내 생산 농산물 품질을 차별화 시킬 수 있는 분야에서 우선 적용하여 그 활용을 높이는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 이러한 노력은 날로 경쟁이 치열해지는 여건에서 우리나라 농산물의 경쟁력을 확보하고 현재 일본 시장으로 수출이 가능한 딸기, 토마토, 엽채류 등의 수출을 증대시킬 수 있는 가능성을 높이는 것은 기술적 뒷받침이 선행되어야 하기 때문에 경제적 모델의 CA기술 개발은 국내 농업환경의 안정과 발전을 위하여 절실히 필요하다. 최근 중국의 대단위 원예산물 재배단지에서도 CA 장비가 보급되기 시작하여 앞으로 일본 시장에 대한 원예산물 수출에서 더욱 심한 경쟁이 예상되는 바 원예산물의 품질관리 기술을 향상시켜 국제경쟁력을 증진시킬 필요가 있다. 또한 개발된 보급형 CA 장비는 중국, 동남아 시장 등에 대한 수출 가능성도 있어 국내 원예산물 수확 후 관리시설 및 장비 업체의 활성화에도 기여할 것으로 예상된다.

이에 본 연구에서는 해외의 유통선진국에서 적용되고 있는 고가 모델을 그대로 국내에 적용하여 생긴 폐단들을 개선하고자 국내 보급에 가장 적절한 경제적 모델을 구상하고 콘테이너형을 도입한 상업화 모델을 개발하고자 한다. 본 연구의 결과를 토대로 CA의 효과에 대한 국내 인식을 전환시키고 CA의 요소 기술을 축적하여 점진적으로 다양한 CA 설비가 국내에 보급될 수 있도록 하고자 한다. 또한 국내의 원예산물과는 그 품질 특성이 상이한 산물을 기준으로 개발된 운영 know-how를 무리하게 국내 산 작물에 적용할 때 많은 문제점들이 발생하고 이로 인해 CA 효과 자체에 대한 불신까지 생기게 된다는 것을 관련 분야 종사자들은 익히 경험해 온 실정이다.

본 연구를 성공적으로 완료하여 국내 및 수출 농산물 시장에 CA의 효과에 대한 확신을 심어주고 고가의 해외 CA 설비로 인한 폐단들을 성공적으로 극복하고자 하며 고품질 농산물의 안정적 공급 및 수출농산물의 품질 경쟁력 확보에 기여하고자 한다.

대형할인점 등을 통해 농산물 유통시장이 급속히 확대되고 있고 점차 일반 소비자들의 인터넷을 이용한 구매율이 높아짐에 따라 계절에 구애를 받지 않고 연중 안정적으로 농산물이 공급되어야 할 필요성이 높아지고 있다. 이는 주년 안정 생산을 그 목표로 하는 시설원예기술과 함께 안정적인 장기저장을 가능하게 하는 저장유통기술이 해결되어야 활성화되며 이는 곧 농가의 소득 증대로 연결될 것으로 판단된다. 현재 생산지를 중심으로 농산물 물류의 변화가 크게 일어나고 있고 이것이 기존의 농산물 유통환경의 변화를 촉진하고 있다. 이러한 변화는 생산과 수확 후 관리를 분리시키는 체계를 구축할 때 가능한데 최근 산지농협을 중심으로 생산과 수확 후 관리를 분리하여 체계화함으로써 원예산물의 규격화를 가능하고자 하는 움직임이 활발해지고 있다. 따라서 생산 농가는 품질이 우수한 원예산물 생산에 주력하고 수확 후 관리를 통한 품질 차별화는 산지단위농협 또는 작목반 단위에서 필요한 관리시설을 도입하고 이를 전문화시키므로 출하농산물을 집산화시키고 품질 차별화에 의한 가격 교섭력 증대를 통한 농가소득 향상에 기여하고 있다. 결국 출하 농산물의 품질 차별화는 농가소득 증대는 물론 생산 농가에게 여가를 제공하므로 삶의 질을 높이는 결과를 얻을 것으로 기대되기 때문에 농촌지역의 사회 또는 문화적 환경을 증대시키는데도 기여할 것으로 예상된다. 본 연구결과에서 얻어지는 보급형 CA장비의 최종 수요처는 생산농가 뿐아니라 이러한 산지단위조합 또는 작목반 단위의 수확 후 관리센터를 대상으로 하기 때문에 상업화 가능성이 매우 높다.

국내의 CA 기술은 하드웨어적인 면은 물론 소프트웨어적인 면에서도 기술 수준이 아직 낮은 실정이다. 이러한 원인은 그 동안 CA 기술이 서구를 중심으로 이루어져 국내에서 새로운 기술개발을 통한 우수한 제품을 생산할 수 있는 여건이 되지 못하였고 CA 관련 소프트웨어도 연구소 및 대학에서 연구 수준의 기술만 축적되었을 뿐 상업적 활용을 위한 기술이 충분히 축적되어 있지 못하기 때문이다. 그러나 일부 CA 환경을 변형하여 적용하므로 딸기와 같은 작물에서는 신선도 증진에 크게 기여하고 있으며 대일본 수출을 위한 장기 수송조건에서 상품화가 가능할 정도의 신선도를 확보할 수 있게 되었다.

CA 장비구성은 공기 조성 제어를 위한 질소 발생 또는 분리 기술과 이를 정확히 제어하기 위한 controller로 구성되며 기밀성이 유지되는 밀폐 공간이 요구된다. 외국의 CA 기술은 신속하고 미세한 공기 환경 조성을 이룰 수 있는 rapid CA, ultra low oxygen CA 등의 기술이 확립되어 상업적 규모로 적용되고 있으며 CA 조성을 위한 장비로 대기 중의 산소를 연소방식에 의하여 제거하는 연소식에서 시작되어 현재는 PSA(Pressure swing adsorption), hollow-fiber membrane을 이용한 방식까지 다양한 장비가 개발되어 활용되며(Calderon과 Barkei-Golan, 1990) 대규모 저장시설 뿐아니라 원예산물 선박 수송용 콘테이너까지 CA 기술을 적용하고 있는 실정이다. 그러나 국내에서는 상업적인 측면에서 CA 활용은 아직 초보적인 수준에 머물고 있다. 이러한 원인은 작물에 따른 적절한 CA 환경에 차이가 있고 특히 같은 품종의 작물일지라도 경우에 따라 상이하기 때문에 CA 도입 당시 충분한 기술 축적이 이루어지지 않은 상태에서 지나치게 많은 기대를 하였기 때문으로 추정된다. 그동안 국내의 CA 연구는 장기저장을 목표로 사과, 배, 감 등의 작물에서 저장 기간 확대에 치중하였다. 그러나 CA의 효과는 단기간 저장에서도 품질 차별화에 기여할 수 있지만 이러한 분야에 대한 기술 축적은 미흡하다. CA 환경에 대한 작물별 내성을 조사한 결과(Mitcham 등, 1992) 저산소 또는 고이산화탄소 환경에 대한 내성을 활용하여 단기간 처리로 병해충 방제를 이루고 또한 품질을 증진시킬 수 있는 가능성을 제시하고 있으며(Ahumada 등, 1996; Cantwell 등, 1990; Ke, 등, 1992) 이러한 자료를 활용하여 수출 농산물의 methyl bromide 훈증을 대체할 가능성도 있다. 메틸브로마이드 훈증은 일반적으로 상온에서 처리되기 때문에 작물에 많은 화학적 스트레스를 가하여 품질을 급격히 저하시키는 원인이 된다. 또한 마른 고추와 같이 저장 중 충해의 피해가 크고 색의 변화에 따른 품질 저하가 예상되는 작물에서도 화학적 훈증을 피하고 품질을 유지할 수

있는 분야까지 CA기술이 확대될 수 있다.

최근 많은 변화를 보이고 있는 우리나라의 청과물 유통환경을 고려할 때 고가의 장비보다는 국내 현실에 적합한 중장기저장을 목표한 CA기술을 개발하는 것이 필요하며 특히 국제 경쟁력을 확보한 작물을 중심으로 이러한 기술을 적용하는 것이 중요하다. 따라서 상업적 측면에서는 최고 수준의 CA기술보다는 중단기 저장에 적합한 저비용의 CA 기술부터 확립하고 이를 점차 확대할 필요가 있다.

CA 기술의 근간은 대기조성을 변화시켜 원예산물의 저장성을 높이는 것이지만 모든 작물에 일괄적인 기술을 적용할 수 없으며 같은 작물일지라도 품종에 따라 CA 반응에 많은 차이가 있다(Saltveit, 2003). 따라서 CA기술을 상업적으로 활용하고 있는 외국에서도 CA에 대한 실용화에 대한 의견에 대한 이견이 있다. 이러한 원인은 작물의 유형에 따라 품질을 결정하는 요인에 차이가 있고 경제적 부가가치 획득에 대한 차이가 있기 때문이며 실용적 측면에서 장기저장이 반드시 높은 수익을 보장하는 것도 아니기 때문이다. 그러나 CA 환경을 이용하여 저장할 경우 비록 단기간일지라도 엽록소 및 비타민 C 분해억제, 건조 방지, 에틸렌 합성억제를 통한 연화억제, 갈변억제, 부패방지 등(Ratanachinakorn, 1997)의 효과를 얻을 수 있기 때문에 국내외 유통환경에서 보다 품질이 우수한 원예산물을 공급하는 수확 후 관리체계를 구축하는데 필요하다. 국내에서 CA 저장에 관한 그 동안의 연구결과는 실험실 수준과 상업적 규모에서 차이를 보이는 경우가 흔하였는데 이러한 결과는 전술한 바와 같이 작물의 종류, 동일 작물에서도 품종, 생산시기, 생산한 작물의 저장 전 상태(숙기) 등에 따라 적절한 CA 환경에 많은 차이가 있을 수 있으며(Brecht 등, 2003; Saltveit, 2003) 또한 각 작물의 품질을 구성하는 요인도 서로 차이가 있기 때문으로 판단된다(Arthey, 1975). 본 연구 수행 중 개발할 CA 장비는 이러한 어려움을 해소하기 위하여 작물별로 품질 결정요인 중 가장 핵심적인 요인에 대한 효과를 중심으로 보다 광범위한 수준에서 활용할 수 있는 CA 장비 생산과 활용에 대한 DB 구축이 요구된다.

현재 국내실정에 적합한 CA기술 개발과 보급은 아직 미흡하다. 이러한 원인은 전술한 바와 같이 우리나라 원예산물에 대한 수확 후 관리기술이 축적되지 않은 상태에서 CA 기술에 대하여 지나친 기대로 장기저장에 대한 효과에만 치중함으로 오히려 부적절한 환경조성에 따른 생리적 장해를 일으키는 경우도 있어 CA관련 기술개발과

이의 실용화가 지연되는 결과를 낳았다. 그러나 치열해지는 원예산물의 국제 경쟁은 물론 국내에서도 높은 품질에 대한 소비자의 요구가 증대되고 있는 현실을 고려할 때 우수한 수확 후 관리기술의 현장 적응성을 높이기 위한 연구개발과 실용화 방안을 구축하는 것이 매우 절실하다.

제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 기술개발의 목표

농산물 저장기술의 향상을 목적으로 저장고 내의 인위적 대기조성 기술인 CA(Controlled Atmosphere) 저장기술을 사용하여 저장고의 성능을 극대화하고 이와 관련된 기반기술향상을 목표로 한다. 본 과제에서는 첫째로 CA저장기술이 널리 보급될 수 있도록 하기 위하여 기존에 주로 사용되던 고가의 외산 제품 사용을 배제하고 일부 기술을 국산화하여 초기 설치비 부담을 경감시킬 수 있는 보급형모델 개발에 초점을 맞추어 연구를 수행하였다. 둘째로 CA 저장기술을 적용했을 때 저장 효과가 큰 작물을 선정하여 우리나라에서 부정적 인식이 확산되어 있는 CA저장 기술에 대한 긍정적 효과를 유도하고 CA기술의 다양한 접목 가능성을 제시하고자 하였다. 셋째로는 CA 저장기술의 보급을 목적으로 보급모델의 표준화 작업을 수행하여 CA저장고의 기본이 되는 저온고습환경유지기술, 기밀유지기술, 저가 대기조성기술 등에 대한 표준안을 마련토록 연구를 수행하였다. 위의 세 가지 기본 방향을 설정, 기초실험을 수행하여 시작품의 1차 목표조건을 다음과 같이 설정하였다.

표 1. 시작품 목표 사양

	온도	상대습도	CO_2 농도	O_2 농도
조건	0-10℃	80-95%	1-10%	1-5%

본 연구가 성공적으로 수행될 경우 현재 우리나라의 농산물 저온 저장고의 문제점을 해결하는데 다소 도움이 될 것으로 생각된다. 국내에 보급된 많은 저온저장고를 살펴볼 때 냉각기 입출구 온도차가 크게 설계되어 일정한 습도상태를 유지하기가 거의 불가능하여 일부 품목을 제외한 농산물 저장에 있어 우수한 효과를 나타내지 못하는 것이 현실이다. 본 연구의 수행으로 저온고습 환경유지기술, 기밀유지기술이 표준화되어 저장고의 성능을 한 단계 업그레이드시킬 수 있으며 CA 저장기술의 보급을 확대시킴으로서 관련 기술의 저변 확대, 초기설치비 부담 완화 등의 효과가 기대된다. 추후 관련된 연구를 통해 이동 가능한 CA컨테이너를 설계, 생산할 경우 농산물 유통

산업의 발전에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

제 2 절 콘테이너형 보급모델의 CA 대기 조성시스템 개발

1. 국내 기술 및 CA저장고 운영 동향

그동안 국내에 도입된 CA저장고는 관련 설비 일체를 외산으로 수입하여 설치하는데 불과하였다. 따라서 가격은 물론 유지보수 측면에서 즉각적인 반응을 하지 못하여 많은 어려움이 있었고 비용 또한 증가하는 문제점이 있었다. 또한 국내의 CA저장고 운영 know-how 축적이 저조하여 도입한 저장고의 활용이 다양하게 이루어지지 못하여 지나치게 한정된 품목에 적용하는 경우가 흔하였다. 일부 품목은 CA효과를 충분히 얻지 못하거나 생리적 장해가 심하게 발생하여 저장물량을 확보하지 못하거나 생산자와 조합 등 CA저장고 운영 주체와 갈등이 발생하기도 하였다. 본 연구에서 개발하고자 하는 소형 보급형 CA저장고는 소량의 품목이라도 즉시 시장 변화에 대응할 수 있는 유통환경을 구축하는데 기여할 수 있도록 하고자 하지만 소형 시설은 연구용 이외에 보급된 실적이 없다.

1) 기존 CA 저장고

주요 작물이 사과와 밤 같은 과실을 대상으로 도입하였으며 저장기간이 6개월-1년으로 긴 경우가 대부분이다. 이를 위해서는 정밀한 가스제어 및 온습도 제어가 필요하여 고가의 외산 센서 및 analyzer가 필수적이다. 이 경우 경제성을 확보하기 위한 상업적 규모는 200평 이상 면적에 층고를 7m이상인 대형 저장고가 필수적으로 저온고습환경을 유지하기 위해서는 브라인 냉동기를 이용한 방식으로 시설하는 것이 바람직하다. 아래 그림 1은 대형 CA저장고의 전면 모습이다.

2) 기존 저온 냉장고

현재 일반 냉장시설에서 주로 쓰는 냉각방식은 직접 팽창식으로 실내온도와 냉각기 표면의 온도차가 10~15℃이상 되는 경우가 대부분이다. 이는 초기투자비를 줄이기 위해 전열면적이 작고 온도차가 큰 열교환기를 쓰기 때문이다. 그러나 이러한 경우

저장물은 냉해를 입기 쉬우며 냉각기 표면에 성애가 생겨 제상운전을 자주하게 되어 저장고 온도 편차를 크게 만들고 에너지 효율 측면에서도 좋지 않은 결과를 초래한다. 이러한 방식은 특히 저온고습 환경을 유지시키는데 많은 문제를 갖고 있다.

그림 1. 국내 도입한 대형 CA저장고 전경

고내의 상대 습도를 90%대로 유지하려면 가습량도 커질 수밖에 없다. 또한 기존 저온 저장고는 기밀성능이 현저히 떨어지는 경우가 많다. 현재의 전기 요금 체계에서는 농업용 전기요금이 높지 않아 경제적 부담이 크지 않으나 발전소의 민영화로 농업용 전기요금이 올라갈 경우 그 차이는 커질 수밖에 없다. 결국 기밀성능을 갖추어야하는 CA저장고의 경우에는 전열면적이 비교적 크고 냉각기의 입출구 온도차는 적으며 제어성능이 좋은 장비를 사용하는 것이 필수적이다.

2. 보급형 CA 콘테이너 기초설계

보급형에 알맞은 소규모 CA 콘테이너의 저가 공급을 목표로 개발에 착수하였다. 과채류의 가격동향을 살펴보면 단기간 급등락을 되풀이하고 있는 경우가 흔한데 이러

한 이유는 유통체계의 구조적 문제점에서 찾을 수도 있으나 중단기 저장한 작물일지라도 저장고의 성능이 좋지 않아 상품의 질이 현저히 떨어지기 때문에 생기는 경우도 있다. 따라서 생산지 소규모 물량 또는 소비지 소규모 거래량을 안전하게 다룰 수 있는 설비 도입이 필요하다. 보급형 CA 콘테이너는 기존 CA 설비에 비해 저렴한 장비를 사용하여 과채류를 중단기 저장하는 형태의 콘테이너를 목표로 하는 것이 바람직하다고 사료된다. 이를 위해서는 과실류 중심의 CA저장기술 개발에서 해외와 마찬가지로 취급 품목을 다변화시킬 필요가 있다. CA기술의 확산을 위한 보급형 CA저장고의 기초 설계에 필요한 기술은 저온고습환경 유지기술, 저장고기밀유지기술, 가스농도제어기술 등이 포함된다.

1) 보급형 CA 콘테이너 저장고 개발 방향

CA 저장기술은 정확한 산소, 이산화탄소 농도조절, 에틸렌과 같은 유해가스 제거 등의 기술이 병행되어야 하는데 본 연구에서 개발하고자하는 보급형 CA 콘테이너의 경우 모든 제어기능을 부여할 경우 경제성이 떨어지므로 최소한의 기능으로 최대의 효과를 얻기 위한 기술적 접근이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

본 개발의 방향을 설정하기 위하여 현재 선박수송용 CA 콘테이너의 장단점을 비교하여 본 연구에 개발할 보급형 CA 콘테이너형 저장고 설계에 반영하고자 하였다. 현재 보고된 바로는 약 6개의 회사로부터 선박용 CA 콘테이너가 보급되어 활용되고 있는데 각 제품의 구성과 운영 면에서 차이가 있는 것으로 비교되었다. 공통적으로 membrane filter 또는 PSA 방식을 활용한 질소 발생기를 채택하고 있으나 이산화탄소 및 에틸렌 제어를 위한 방식에는 제품 간 차이가 있었다.

이러한 제품은 대부분 정밀한 제어보다 간편한 사용을 전제로 포괄적인 적용을 위한 사양을 갖추고 있는 것으로 판단되므로 본 연구에서도 가스 환경의 정밀제어보다는 중단기 저장환경에서 저장산물의 신선도 유지 기능을 높이기 위한 최소 사양과 국내의 생산지 현실을 고려할 때 운영방식이 간편하도록 제품이 설계되어야 할 것으로 판단된다.

표 2. 선박용 CA 콘테이너 사양 비교

제품구분	작 동 특 성	비 고
A	초기 혼합가스 충진 고농도 CO_2 충진 가능 CO_2 농도조절: 석회 제거기 활용 O_2 농도조절: 공기 주입	매회 가스 충전 필요 혼합가스 충전용 설비 필요
B	PSA 방식 도입 CO_2, ethylene scrubber 장착 저온도 O_2 및 CO_2 농도 조절 가능	모든 사양을 갖출 경우 가격 증가 고농도 O_2 환경 조성: 별도 CO_2 cylinder 필요
C	Membrane type 질소발생기 CO_2 제어: 질소발생기로부터 purge 방식	고농도 CO_2 환경 조성: 별도 CO_2 cylinder 필요
D	PSA 방식 CO_2, ethylene scrubber 장착	고농도 CO_2 처리 불가
E	Membrane type 질소발생기 잔류산소농도 3%로 제한	고농도 CO_2 처리 불가

이러한 환경을 고려할 때 본 연구에서 개발하고자 하는 보급형 CA 콘테이너 저장고는 질소발생기, 부가적 CO_2 cylinder(제품의 용도에 따라 부가 사양 제공), CO_2 및 O_2 제어장치 등을 장착하며 최소 경비로 제작이 가능해야 상업적 활용이 이루어질 것으로 예상된다. 즉, 질소발생기를 이용한 질소발생방식을 결정하고 가스의 순도를 측정하여 혼합된 가스의 산소농도를 일정 수준으로 유지할 수 있어야 한다. 이는 현재 보급되고 있는 질소발생기의 단위 시간당 질소 발생량을 결정함으로 일정한 농도의 산소를 포함한 혼합가스를 지속적으로 생산할 수 있다(Chapon 등, 2004). 단지 보급형 CA 콘테이너의 경제성을 고려하여 질소발생기의 유형과 단위시간당 질소 발생량 및 산소 농도를 비교, 검토하여 모델을 결정하여야 할 것으로 판단된다.

표 3. 보급형 CA 콘테이너 저장고의 기본 요구 사양

구 성	기본요구사양
질소발생기	Membrane filter 또는 molecular seive 장착 PSA 내구연한, 운영의 간편성, 운영경비 등 고려
산소농도조절	N_2 가스 purge 방식 저장초기 목표 농도 설정 및 운영 중 산소 추가 공급을 위한 제어 프로그램 필요
이산화탄소 조절	위험 농도이상으로 증가할 경우 산소 농도 고려하여 질소발생기로부터 생산한 혼합가스(N_2+O_2)가스로 purge하여 제어할 수 있는 제어 프로그램 필요
에틸렌제거	추가 장치 없이 질소발생기로부터 생산한 혼합가스를 이용하여 purge시킴으로 제어
습도관리	냉동기 용량 및 냉매가스 증발량 제어로 정밀온도 및 습도 제어
CO_2 cylinder 장착	고이산화탄소가 요구되는 경우 저장초기부터 추가적인 CO_2 공급을 위하여 선택사양으로 제공

또한 신선 작물의 경우 일정 수준의 이산화탄소 농도에서는 장해를 일으키거나 산소농도가 일정 수준이하로 낮아질 경우 무기호흡에 따른 생리적 장해가 발생할 우려가 있으므로(Beandry, 1999;, Hansen 등, 2001) 산소 또는 이산화탄소 농도를 감지하여 질소 가스로 purge할 수 있는 제어 프로그램이 반드시 요구된다. 에틸렌 가스 또는 CA저장에서 제어의 대상이 되고 있으나 본 연구에서 개발하고자 하는 CA 저장고는 작물의 특성을 고려하여 에틸렌 축적이 우려될 때에는 질소발생기로부터 생산된 가스를 purge 하는 방식으로 제어할 수 있을 것으로 판단되므로 적극적인 에틸렌 제거장치는 생략되어도 무방할 것으로 예상된다.

특히 규모가 비교적 작은 CA 저장고임을 고려할 때 온도편차를 줄이기 위한 냉매의 증발량을 조절할 수 있는 전자밸브를 채택하는 것이 유리할 것으로 판단되며 공기팽창과 수축에 따른 저장고 기밀성 유지를 위한 안전장치가 포함되어야 할 것이다. 1차년도 연구 개발방향에 대한 문헌자료 검토 결과를 대상으로 본 연구에서 목표한

보급형 CA콘테이너 저장고는 다음과 같이 개발 방향을 설정하여 추진하였다.

2) 저온고습환경 유지기술 개발

(1) 온도유지기술

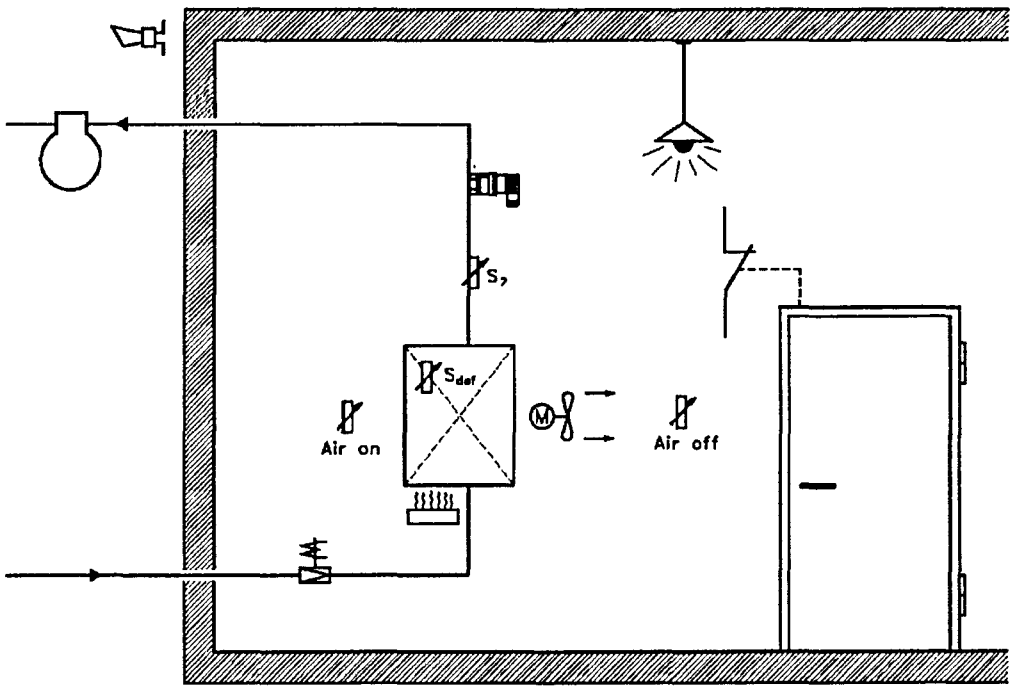
온도관리는 청과물 저장에 있어 가장 중요한 품질 제어 요인임에도 불과하고 정밀한 온도 제어가 간과되는 경우가 종종 있는데 고내의 온도는 여러 포인트에서 다르다는 것과 현재의 온도 외에도 과거의 온도도 중요하다는 점이다. 고내의 온도가 여러 개라는 것은 고내의 여러 지점의 온도를 파악하여 일정한 편차로 유지해야한다는 것이다. 전술한 바와 같이 기존 저온저장고는 냉각기 입출구 온도차가 크고 소형냉동기의 경우 냉동기 자체에서 용량제어성능이 좋지 않기 때문에 고내의 온도편차가 클 수 밖에 없는 구조로 되어 있다. 그래서 대형 CA저장고의 경우에서는 브라인 냉각기를 사용하여 제어성능을 향상시키는 간접냉각방식을 사용하는 것이 보통이다. 그러나 소형시스템에 이러한 방식을 적용할 경우 시스템의 크기도 커지고 비용도 급격히 증가하는 문제가 발생된다. 과거의 온도도 중요하다는 것은 아무리 현재의 온도가 지속적으로 잘 유지된다 하더라도 일정 시간 동안 온도가 제어되지 않았다면 저장효과가 현저히 떨어지는 것을 의미할 수 있다.

이를 해결하기 위해 본 연구에서는 첫째로 전자팽창변을 사용하였다. 이는 용량제어를 가능하게 만들고 과열도를 제어하여 효율을 높게 유지시켜주며 온도의 급등락을 막아주는 기능을 한다. 둘째로 열교환 면적이 큰 냉각기를 사용하였다. 이는 고내의 온도편차에서 오는 여러 가지 장애를 해결할 수 있다. 셋째로 여러 개의 온도센서를 각각 다른 위치에 설치하여 온도분포가 적정한지를 지속적으로 제어할 수 있도록 하였다. 넷째로 과거의 온도 데이터가 계속 저장되도록 설계하여 온도 제어 이력을 확인할 수 있도록 하였다. 다섯째 온도 급등락의 원인이 되는 제상을 최대한 줄일 수 있도록 열교환기 표면온도에 따라 제상 스케줄이 변경될 수 있도록 제어시스템을 구성하였다. 여섯째로 제상할 때에는 냉각기의 FAN이 정지하도록 설계하여 고내온도가 상승하는 것을 최소화하였다.

그림에서는 여러 개의 온도센서를 설치하여 냉각기 입출구온도, 고내온도, 열교환기

표면온도 등을 확인할 수 있도록 구성한 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 저장성 확보을 위해 과거 온도데이타를 그래프로 확인 가능한 제어기기를 사용하였으며 이로써 제어되는 전자팽창변을 사용함으로써 온도로 인한 저장성능의 저하를 최소화하도록 설계하였다. 또한 수시로 각 지점의 온도를 파악할 수 있고 고내의 한 지점에 한해서는 온도가 실시간으로 계속 기록될 수 있도록 온도제어시스템을 구성하여 현재의 온도뿐 아니라 과거의 온도변화를 알 수 있도록 하였다. 일반적으로 저장 초기에는 냉방부하가 많이 발생하고 서리도 많이 끼는 경향이 있어 저장 전에 고내온도를 충분히 낮춘 후(기준치보다 조금 낮게) 사용하도록 설계하여 급격한 온도변화로 인한 냉해를 방지하도록 하였으며 제상할 때 발생하는 습도 저하를 최대한 줄일 수 있도록 하였다.

그림 2의 상단은 전자팽창밸브를 제어하는 제어 판넬로 제상, 과열도 제어, FAN제어 등의 기능을 수행할 수 있도록 구성되어 있으며 그림 2의 하단은 전자팽창변으로 냉각기(UNIT COOLER)에 들어가서 냉각을 해주는 냉매의 팽창을 제어하는 구동기 역할을 수행한다. 그 외에 각종 센서들과 연동되도록 시스템을 구성하였다.



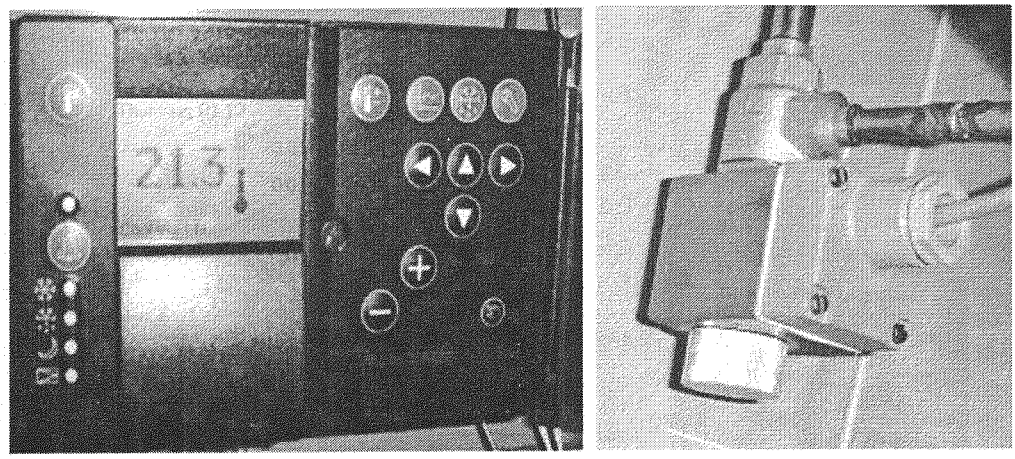


그림 2. 전자팽창밸브를 통한 고내온도 제어(상: 온도제어방식, 하: 전자팽창변)

(2) 습도 유지기술

고습환경을 유지하기위한 가습기로 기존 저온 저장고는 일반 원심식 가습기를 사용한다. 원심식 가습기는 저렴하고 제어가 쉬운 반면 가습되는 물입자의 크기가 커서 습도제어 성능은 현저히 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 또한 대부분의 가습기가 습도센서 없이 스케줄 운전 방식으로 작동하여 습도제어 성능에는 한계가 있을 수밖에 없는 구조로 되어 있다. 본 연구에서는 버섯 재배사에서 주로 사용되는 드라이 포그 가습기를 사용하여 물입자의 크기가 커지는 것을 막을 수 있도록 설계하였다(그림 3).

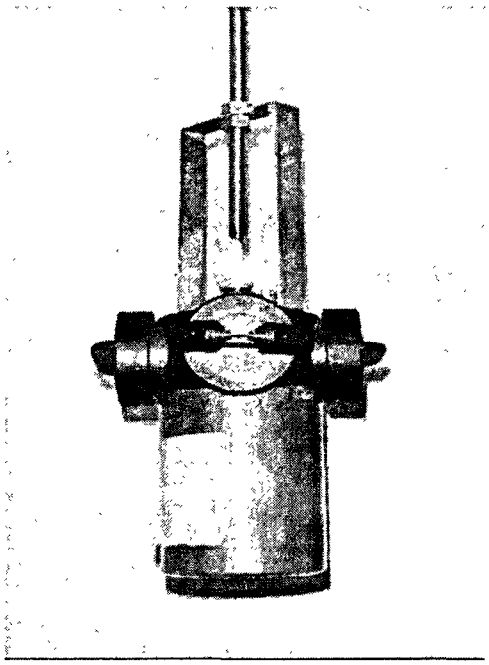


그림 3. 드라이 포그 가습장치

드라이 포그 가습기는 물과 압축공기를 함께 분무하는 방식으로 동작하기 때문에 공기압축기가 필요하여 원심식 가습기에 비해 가격면에서 큰 차이를 보인다. 그러나 CA 저장고에는 기본적으로 질소발생을 위한 공기압축기가 설치되어야 하므로 추가비용을 최대한 줄일 수 있다. 그림 4는 드라이 포그 가습기의 설치 상세도이다. 압축공기 라인 상에 습도제어가 가능하도록 솔레노이드 밸브가 설치되어 있으며 물라인 상

에도 밸브가 설치되어 있다.

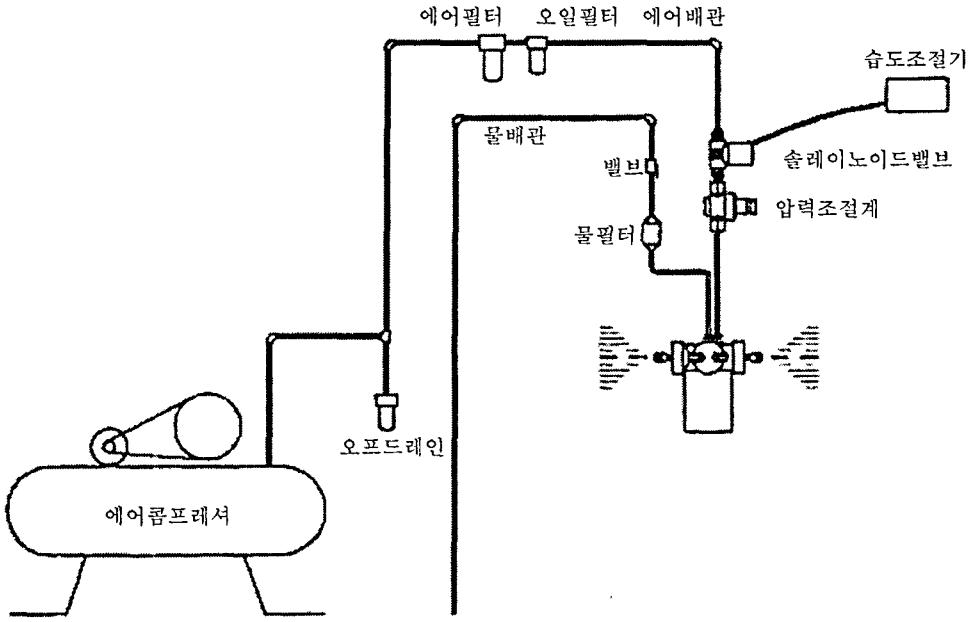


그림 4. 드라이포그 가습기

자동제어를 위해서는 저장고에 설치된 습도센서에서 실제 습도를 입력받아 명령을 내릴 수 있는 제어기가 필요하며 자동제어가 가능한 밸브가 설치되어야 한다. 물 라인에는 수질이 나쁠 경우 분무노즐에 스케일이 발생하여 노즐이 막히는 경우가 많아 물필터를 설치하여 노즐의 내구성에 문제가 생기지 않도록 설계하였으며 에어노즐도 마찬가지로 압축기에서 압축된 공기에 있을 수 있는 기름기와 먼지 등을 걸러낼 수 있도록 에어필터와 오일필터를 설치하도록 설계하였다. 또한 압축할 때 생길 수 있는 응축수를 제거할 수 있도록 드레인 밸브를 설치하도록 설계하였다. 전술하였듯이 에어라인의 경우 이러한 여러 가지 부수장치들이 질소발생기내에 추가될 수 있도록 설계하여 추가비용부담을 최소화시켰다.

그림 5는 온도센서와 습도센서를 냉각기 입구 측에 설치한 그림으로 일반적으로 고

내의 온습도라 함은 이곳의 온습도를 뜻하며 습도센서에 의한 값을 가지고 그림 4의 가습기를 통해 가습되어 고내의 습도를 제어하게 된다. 가습장치는 네 개의 노즐 중 한 개의 전면 노즐만 개방하여 두개의 라인에서 물과 압축공기가 함께 분사되도록 설

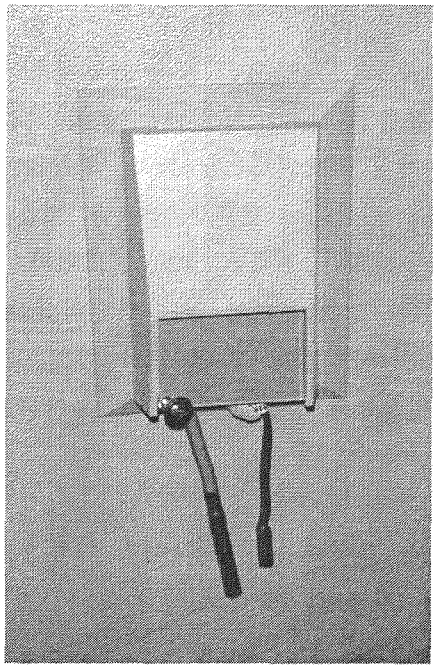


그림 5. 온습도센서

계하였다. 압력에 따라 전후좌우로 12m까지 분사가 가능하나 시작품에서는 한 개만을 개방하여 약 4m 범위에서 분사되도록 하였다.

(3) 냉각부하 계산

냉각부하란 CA저장고에 저장품목을 채운 후 온도를 유지하기위해 필요한 열량을 의미하는 것으로 이를 계산하여 냉각시스템의 사양을 정한다. 단열재의 열전달율, 벽체의 면적, 호흡열, 입고품의 비열, 입고량, 용적, 입고품목 등을 고려해 냉각부하를 계산하는 데 CA저장고는 기본적으로 기밀유지가 필요하므로 단열성능이 좋고 고내의 O_2 함량이 적으므로 호흡이 일반 저온저장고보다 작다. 마지막으로 유니트쿨러의 FAN 발열량, 내부조명 등의 내부발열을 고려하여 총 냉각부하를 계산한 후 유니트쿨

러의 전열면적을 산출한다. 유니트쿨러의 전열면적 계산이나 CA저장고의 냉각부하는 참고문헌으로 대체하기로 한다.

2) 기밀 유지기술 개발

지금까지 저온저장고는 주로 콘크리트 건물에 단열재를 붙이는 방식이었다. 그러나 콘크리트 벽 자체가 가스류를 투과시키고 있기 때문에 기물유지에 전혀 도움이 되지 않는다. CA냉장고 기밀유지의 키포인트는 바닥과 벽, 벽과 천정, 벽과 벽 사이의 이음매를 완전 밀봉이 되도록 시공해야 한다는 것이다. 이를 위해 유럽에서 가장 많이 사용하는 CA냉장고의 건축재료인 우레탄 발포 샌드위치 패널을 사용하여 기밀성을 유지하기로 하였다. DOOR의 경우 문턱이 없는 미닫이형의 문을 사용해야 하지만 소형 CA저장고의 특성상 적합하지 않고 고가이므로 기존 소규모 저온창고에 사용되는 OVER LAP DOOR에 기밀성능의 향상을 목적으로 특수하게 제작한 방식의 DOOR를 설계 사용키로 하였다.

그림 6은 배관 및 전선의 고내외 관통부에 대한 마감상세로 관통부위 주변을 실리콘으로 마감하도록 하였다. 이는 기밀유지 성능을 발휘하기 위해 적용하였다.

그림 7과 8은 저장고의 기밀성능을 시험하기 위해 질소를 주입한 후 압력차를 측정하고 있는 사진으로 초기압력차를 유지하고 있는 시간을 측정함으로써 기밀유지 성능을 파악할 수 있다. 방열문 및 조립부자재에 대한 기밀성능을 실험하였으며 초기설계된 방열문의 기밀성능이 현저히 떨어져 재설계후 제작하여 다시 실험을 실시하여 일정시간동안 압력을 유지하도록 설계에 반영하였다. 기밀유지 못지않게 중요한 안전장치가 필요하기 때문에 두개의 가스켓과 스프링으로 구성하여 초기 온도조절시 발생

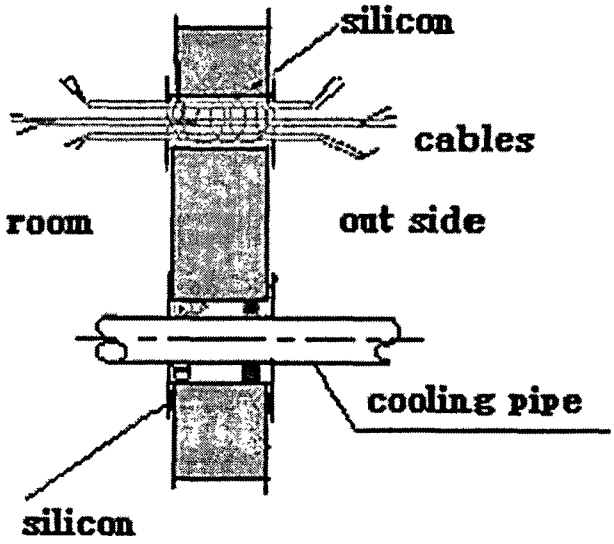


그림 6. 관통부위 상세

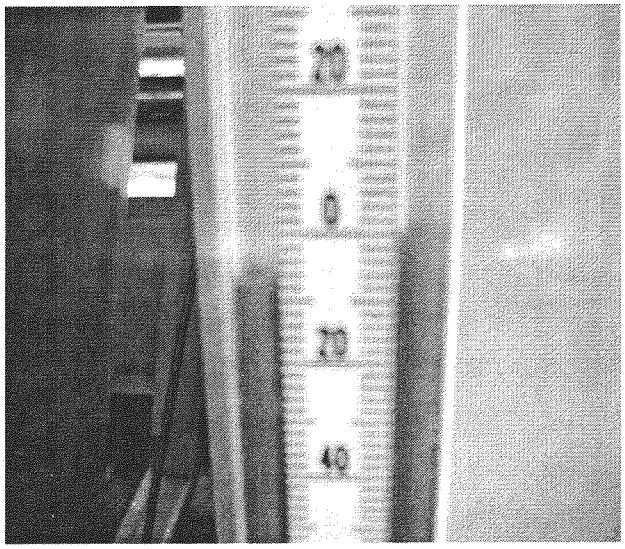


그림 7. 고내외 압력차 측정

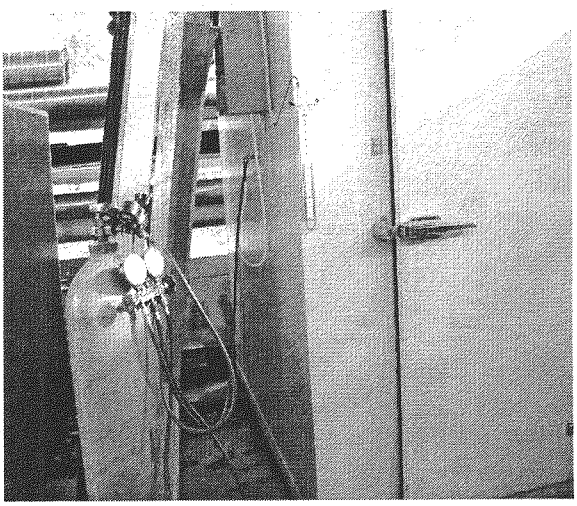


그림 8. 질소주입 장면

하는 음압에 대응할 수 있을 뿐 아니라 고내의 온도상승으로 인한 압력상승으로 발생되는 양압에도 대응할 수 있도록 설계하였다. 또한 압력계를 설치하여 항상 고내의 압력이 표시되어 확인할 수 있도록 하였다.

3) 시작품의 목표사양 설정

CA저장고 제작비용 중 대부분은 gas control에 사용된다. 고가의 외산 장비인 가스농도 분석기, 질소발생기, CO_2 제거기 등이 전체 비용의 절반 이상을 차지한다. 소형 저온창고가 평당 150만원 가량의 비용이 들기 때문에 저장성능을 고려하더라도 가격경쟁을 하기위해서는 평당 300만원 정도의 비용으로 생산이 가능해야할 것으로 사료된다. 초기단계에서는 비용절감에 무리가 있어 12평형을 기준으로 6,000만원 정도를 예상하여 설계에 반영하였으나 초기설계비용을 제외하고 추후 절감분이 발생하면 저장고 각겨을 더욱 낮출 수 있을 것으로 예상된다. 이를 바탕으로 질소발생기와 CO_2 센서를 기본으로 사용하여 장기저장이 아닌 중단기 저장 성능의 개선을 목표로 설정하였다. 다음은 참고 자료를 기초로 하여 설정된 저장고의 온습도 및 가스제어 조건을 나타낸 것으로 작물에 대한 실험을 직접 수행하여 조절하였다(표 4).

표 4. 시작품의 1차 목표 조건

	온도	상대습도	CO2 농도	O2 농도
조건	0-10℃	80-95%	1-10%	1-5%

대기 조성 기술

주요대기조성 기술은 그림 9과 같은 재순환 방식과 그림 10와 같은 질소 퍼지방식으로 크게 나눌 수가 있는데 질소 퍼지방식은 각 대기구성요소(질소, 이산화탄소, 에틸렌)를 각각 조절할 수 있는 재순환 방식에 비해 일반적인 제어성능은 좋지 못하나 초기투자비가 적고 소형으로 구성가능하다. 에틸렌 제거기, 이산화탄소 제거기는 외산

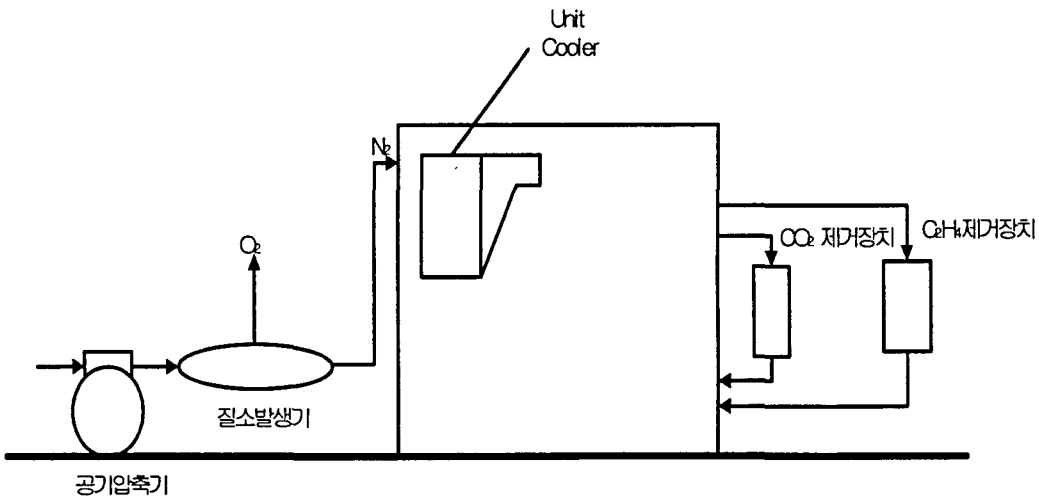


그림 9. 재순환 방식

의 고가 장비이고 소형으로 구성하여 사용하기가 어렵기 때문에 재순환 방식의 경우에는 정밀제어를 요하는 장기저장용 대형 저장고의 경우에 알맞은 방식이라 할 수 있다. 본 연구에서는 농가 보급형의 중단기 저장용을 목표로 하였기 때문에 질소 퍼지 방식을 사용하기로 하였다.

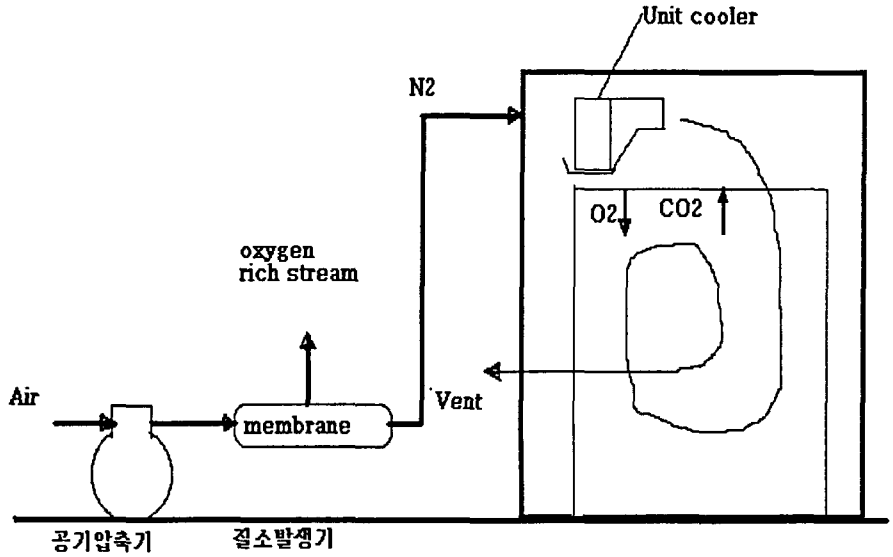


그림 10. 질소 퍼지방식

(1) 질소발생장치

질소발생장치는 질소 퍼지방식의 경우 유일한 대기조성의 조작부 역할을 수행하므로 그 선정이 매우 중요하다. 질소발생방식은 여러 가지가 있으나 대표적으로 PSA(Pressure Swing Adsorption Air Separators)방식, IGG(Inert Gas Generator)방식, membrane 방식이 있다.

그림 11은 PSA 질소발생장치 계통도이다. 그림에서 가압 건조된 공기는 산소를 흡착하고 그 동안 질소를 통과시키는 물질(Carbon molecular sieve bed)을 강제로 통과하게 된다. 수분 후 베드내의 물질은 산소로 포화상태가 되고 산소는 대기로 방출되며 두 번째 베드로 압축공기가 흐르게 된다. 이처럼 흡착기를 번갈아 사용하면서 질소 탱크에 질소를 충전하는 방식으로 사용된다. 이때 흡착기가 수분에 한번 씩 교차되며 소음을 발생하고 이 부위에 내구성이 현저히 떨어지는 것으로 알려져 있다. 또한 비교적 외형이 크고 무거운 단점이 있다. IGG(Inert Gas Generator)방식은 propane burner를 이용하는 방식이 사용되어 왔으나 최근 화재의 위험으로 그 사용이 급감하는 추세이다.

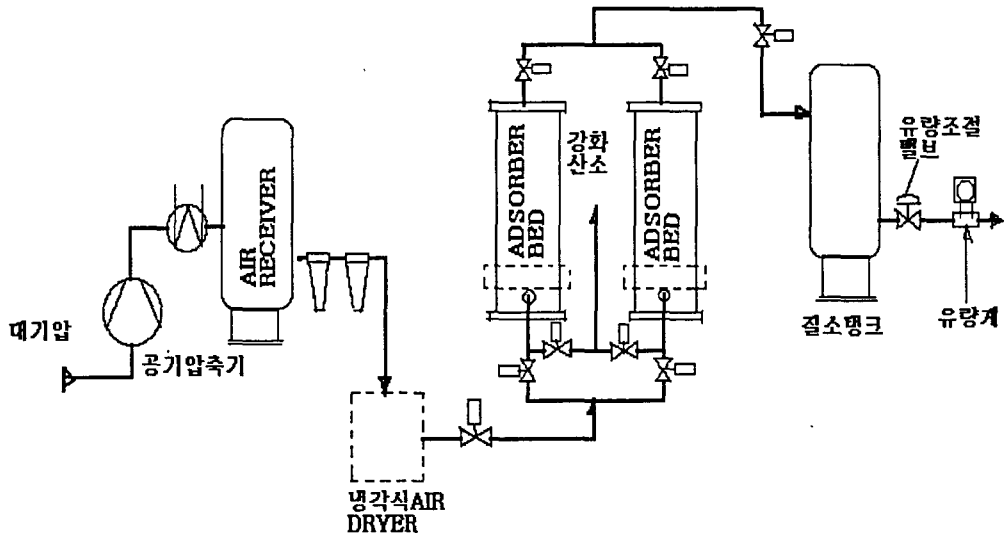


그림 11. PSA 질소발생장치

표 5는 각 질소발생 시스템별 장단점을 비교한 표로서 보급형 CA저장고에 알맞은 모델을 선정하기 위해 작성되었다. 질소탱크를 사용함에 있어서는 초기투자비는 적은 장점을 가지고 있으나 상업용으로 쓰기엔 운전비가 많이 드는 단점이 있다.

표 5. 질소발생 시스템 비교표(일반적인 경우)

	질소탱크 사용	Membrane 방식	PSA 방식	IGG 방식
초기투자비	매우 저가	비교적 고가	비교적 저가	비교적 저가
운전비	고가	저가	저가	보통
내구성	좋음	좋음	나쁨	보통
제어성능	보통	좋음	보통	좋음
소음	작음	작음	비교적 큼	보통
위험	비교적 큼	작음	작음	큼
외형 크기	비교적 큼	작음	비교적 큼	보통
특징	소형 실험용으로 적합	대형에 적합	유지 관리가 필요함	화재위험이 큼

Membrane 방식은 상업용으로 사용하기에 적합하나 비교적 고가의 장비로 소형엔 적용상 어려움이 있었다. 국내여건상 소형 질소발생장치의 수요가 제한적이어서 PSA 방식의 경우에 한해 발생량이 적은 제품이 제작되고 있어 membrane방식으로 제작할 때보다 가격이 저렴하나 내구성과 소음에 문제가 있어 농가 보급형의 경우 A/S가 어렵고 외형이 비교적 큰 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 최소형 Membrane 모듈만을 수입하여 국내 주문 제작하는 방식을 택하였다.

그림 12는 hollow fiber membrane 질소발생기의 그림으로 보는 바와 같이 압축공기를 불어넣어 산소를 분리하여 CA저장고에 사용될 질소를 모은다. CO_2, O_2와 N_2는 분자속도가 달라 분자속도가 빠른 CO_2, O_2는 membrane 관벽을 투과하지만 N_2는 관벽을 투과하지 못하고 끝까지 간다. 질소발생기의 원리로 이 점을 이용한 membrane 방식은 PSA시스템에 비해 활동부위가 없으므로 매우 간단하게 운전할 수가 있고 질소의 순도도 99.9%까지 생산이 가능하다.

본 연구에 도입한 질소발생장치의 주요 사양은 다음과 같다.

①질소 발생량 및 순도: Purity 97% 1Nm³/h

②유형: Membrane type

③펌프: Oilless air comp. (1HP)

④공기 및 질소 탱크: 각 40L

⑤기타 Air dryer, Filter 포함

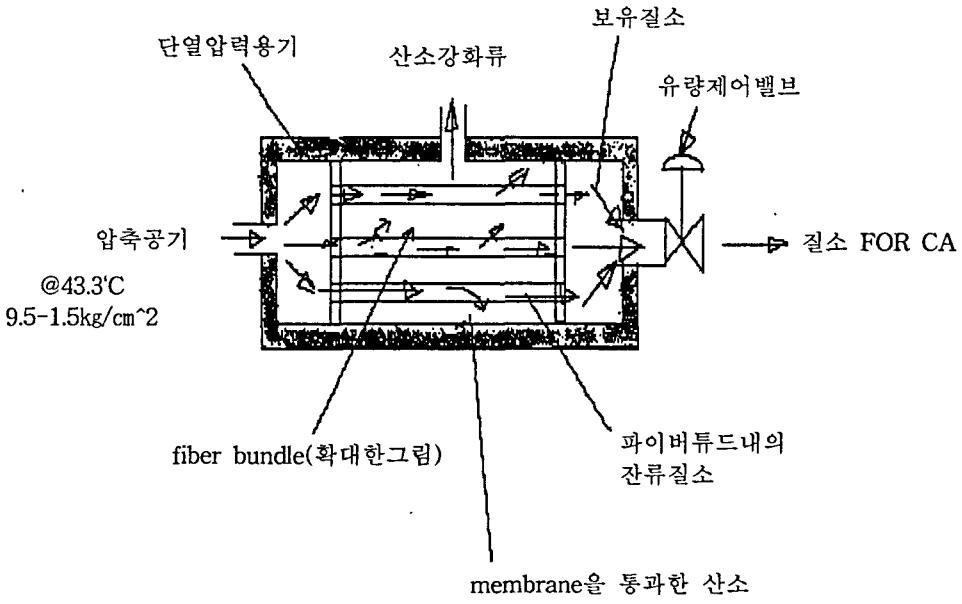


그림 12. Hollow fiber membrane 질소발생기

본 연구에서 설계한 질소발생기의 외형도는 그림 13에 제시하였다. 즉, 보급형 CA 저장고용 질소발생기 외형도로 각종 부가 장치를 하나의 프레임에 포함하여 외형을 줄이도록 설계하였다. 외형도에는 공기탱크와 질소탱크가 있어서 압축기를 거쳐 공기탱크에 압축공기가 저장된 후 일정 압력에 도달하여 질소 탱크에 질소가 저장되고 산소는 배출되도록 설계되어있는 것을 나타내고 있다. 본 연구에서 개발한 질소발생기 각 제어장치는 다음 그림 13, 14, 15, 16에 각각 제시하였다.

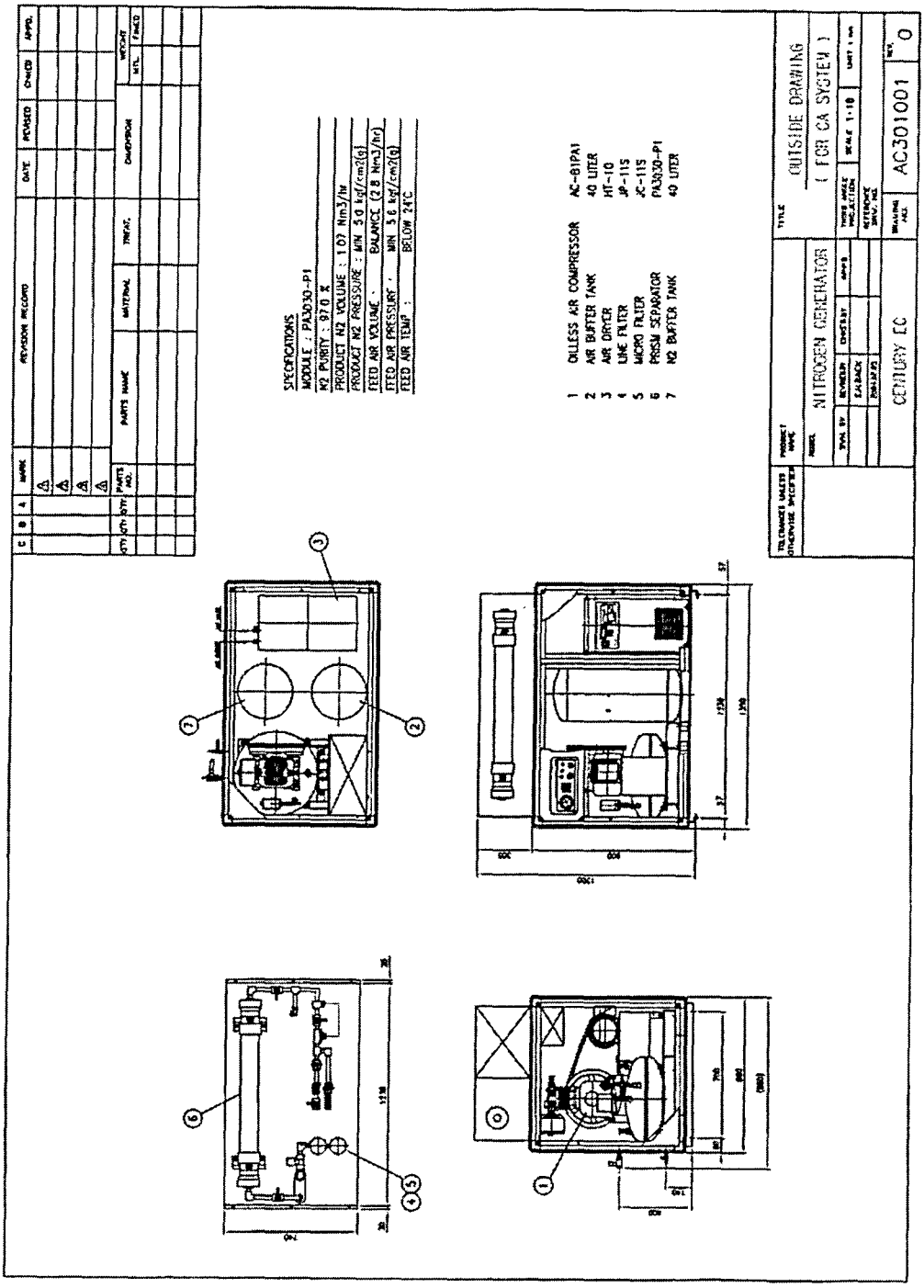


그림 13. 질소발생기 외형도

질소가 일정 압력에 도달하며 압축기가 무부하로 작동하거나 정지하고(두 가지 모드로 설계되어 있음)은 질소를 사용하면 바로 탱크가 채워지도록 설계하였다. 질소발생기는 초기설계 비용이 발생하여 제품 가격에 추가되는 경향이 있어 시작품 제작에 많 설계 비용이 발생하여 제품 가격에 추가되는 경향이 있어 시작품 제작에 많 비용이 지출되었으나 향후 상업화될 때에는 더 낮은 가격으로 공급할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 14는 위의 도면대로 설계되어 설치된 시제품의 정면을 나타낸 것으로 에어드라이어와 에어필터 등이 설치된 것을 볼 수 있다. 그림 16은 질소발생기 게이지들의 화면을 나타낸 것으로 질소탱크의 압력과 공기탱크의 압력이 표시되며 SAMPLE GAS의 용적을 게이지를 통해 확인하여 순도를 확인할 수 있다.

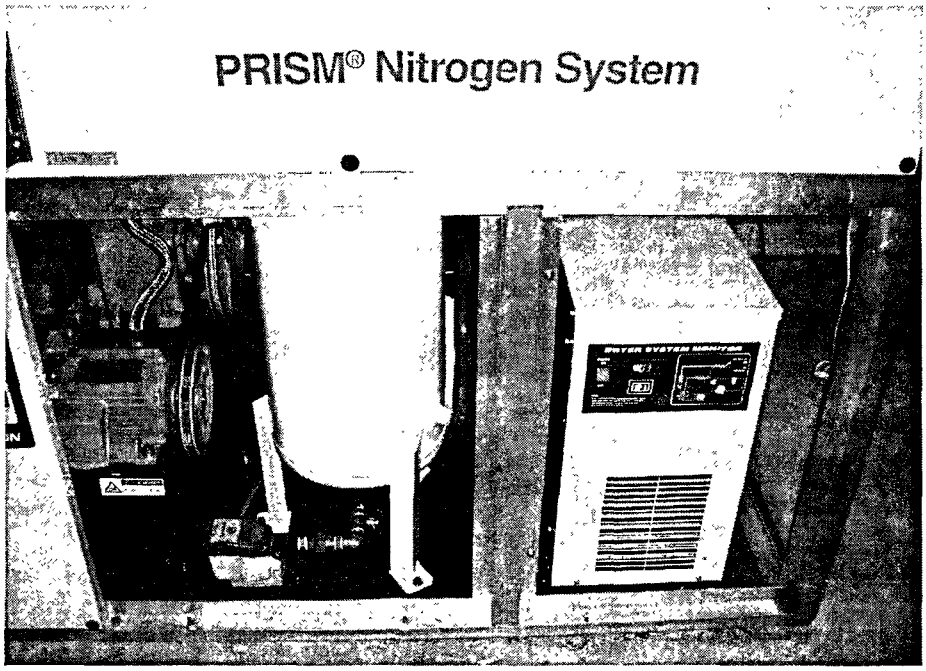


그림 14. 질소발생기(공기압축기:좌, 제습장치:우)

질소발생기의 특성상 순도와 발생량이 반비례하는 경향이 있어 발생량을 일정하게 조절하면 그에 따른 순도가 정해진다. 이러한 방식으로 순도를 측정한 표가 있어 이에 근거해서 순도를 설정하여 사용하는데 이는 용량별로 조금씩 다른 특성을 갖는다.

본 연구에서 개발한 질소발생기의 질소 순도와 생산량 관계는 다음 표 6에 정리하였다.

그림 15는 질소발생기의 기동반을 보여주는 것으로 P타입과 U타입으로 되어 있어 무부하 운전할 때에도 꺼지지 않고 계속해서 기동하거나 일정한 압력에 도달하면 정지하거나 할 수 있도록 기동방식을 선택할 수 있고 운전에 있어 일정한 질소압력을 유지할 수 있도록 설계되었다.

표 6. 질소발생기 순도와 생산량 관계(공기 압력 5.5 bar 기준)

질소(%)	발생량(L)	가용량(L/min)
99	597	10.0
98	842	14.0
97	1070	17.8
96	1300	21.7
95	1550	25.8

운전시간은 필터 등의 교체주기를 확인하는데 사용된다. 초기 토출압력은 5kgf/㎠으로 설정되어 그 이하인 경우 계속 운전되면서 일정압력을 유지한다.

(2) 저장고 가스농도 제어시스템

그림 17은 가스농도 제어시스템을 나타낸 것으로 회색으로 표시된 부분이 제어를 담당하는 기기들로 고내의 가스농도를 측정하여 질소발생기를 ON/OFF제어하도록 구성되어 있다. 일차적으로 가스제어시스템의 O_2농도 범위를 1~10%, CO_2 농도 범위를 2~15%로 가정하여 최대한 자동제어가 가능하도록 제어시스템을 구성하였다.

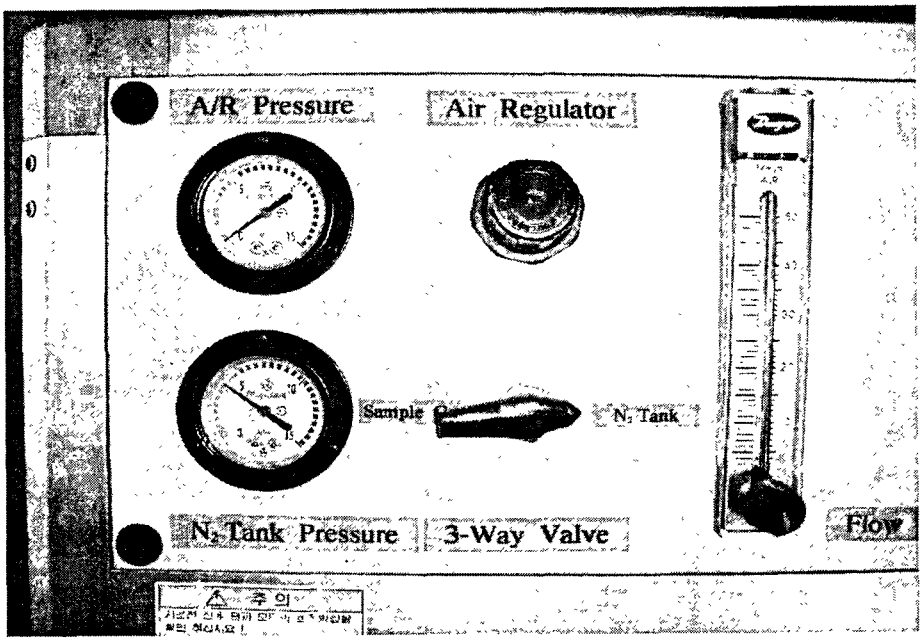


그림 15. 질소발생기 제어 장치 구성

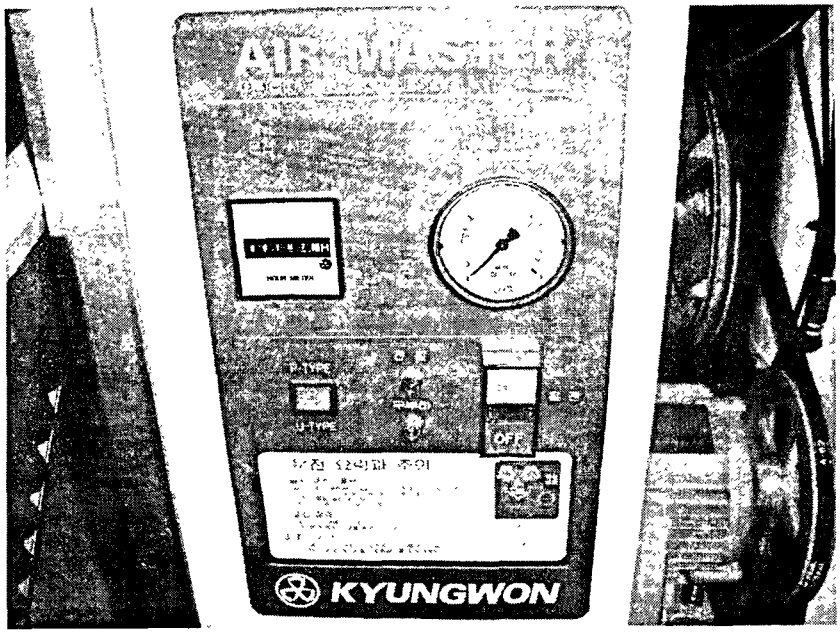


그림 16. 공기압축기

실험 측정용으로 CO_2/O_2 Analyzer를 설치하여 ROOM의 농도를 감시하도록 하였으며 고이산화탄소 환경이 필요한 작물의 경우를 대비하여 빠른 시간 내에 이산화탄소 농도를 높여주기 위해 CO_2 Tank를 설치하였다(그림 18).

질소발생기의 농도는 타임스케줄에 맞추어 조절이 가능하여 O_2농도가 최저한계를 넘지 않도록 제어할 수 있다. 일부 작물의 경우 산소 농도에 매우 민감한 경우가 있는데 이 경우에는 O_2 sensor를 추가로 설치할 수 있도록 설계에 반영하였다. 이렇게 가스제어시스템을 구성한 경우 퍼지방식으로 설계하면 일정한 농도의 질소와 산소가스가 계속 고내로 들어오다가 일정한 농도에 도달하면 주입이 정지된다. 시간이 지나면 호흡에 의해 다시 산소가 이산화탄소로 변화하는데 이 경우는 고내센서에 의해 다시 일정 농도의 질소와 산소가 계속 주입된다.

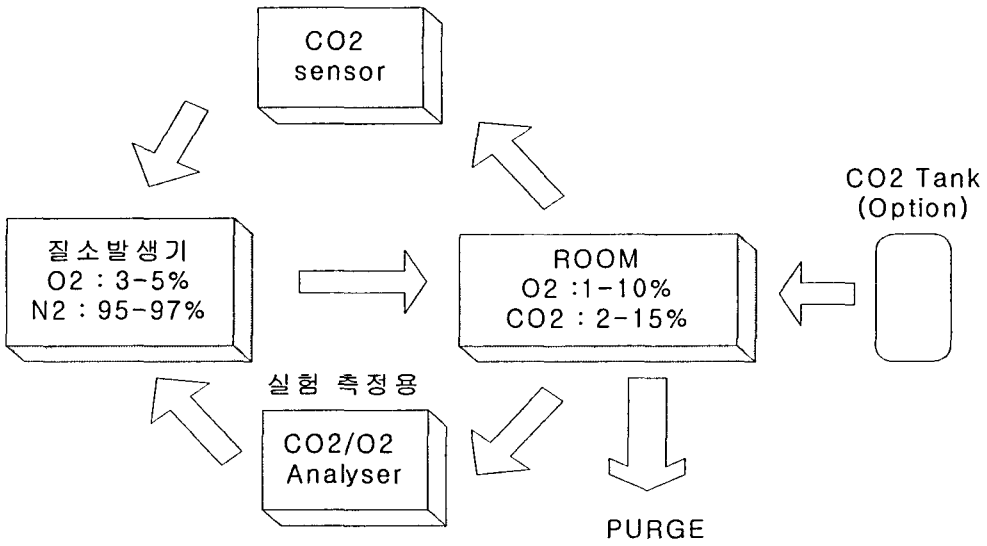


그림 17. 가스제어시스템

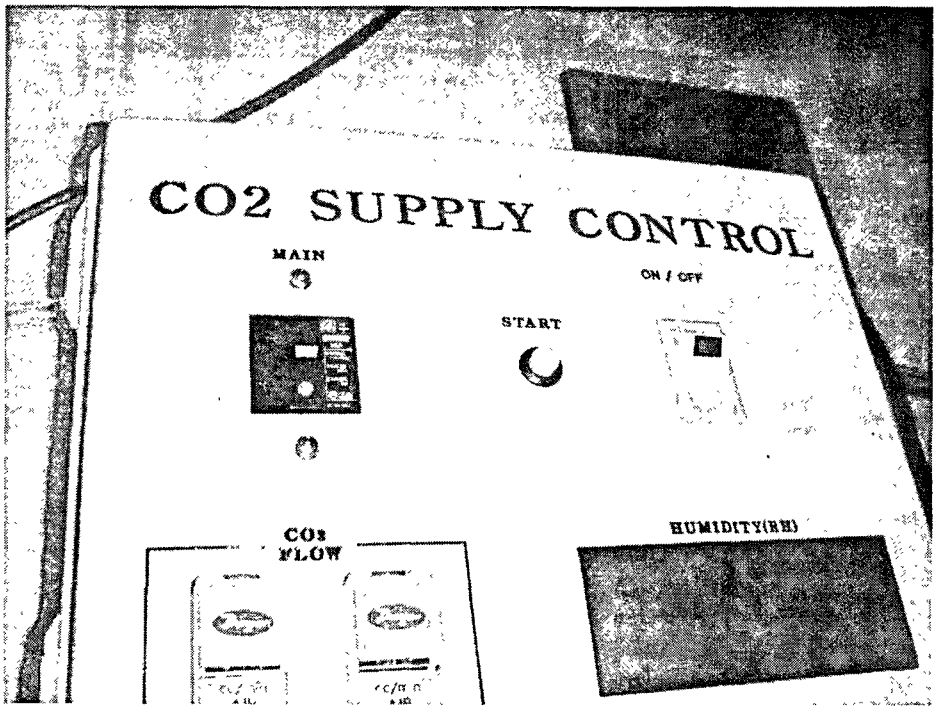


그림 18. 이산화탄소공급장치

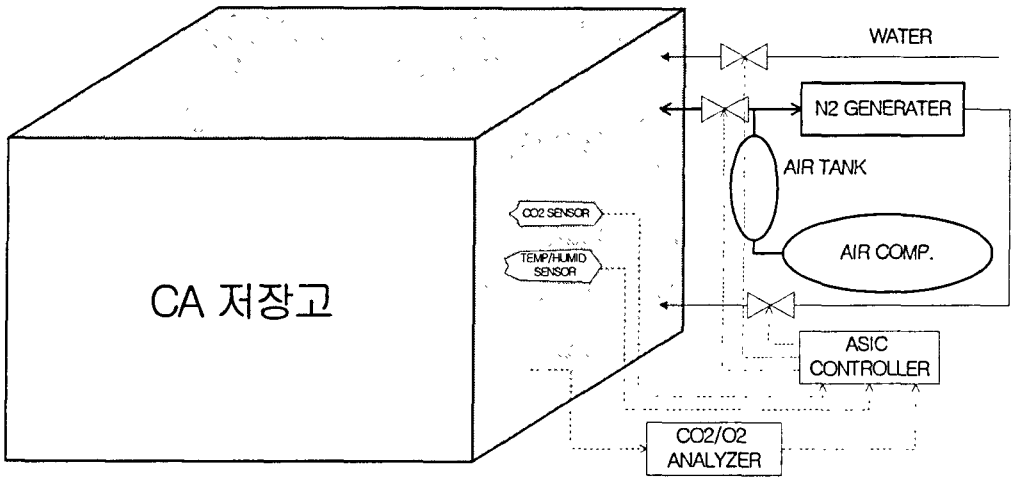
가스제어시스템의 어려운 점은 제어기기들의 수명이 현저히 짧다는 것이다. 특히 고습환경에서는 센서의 감도 저하가 우려되며 이는 저장성에 문제를 일으킬 수 있다. 에어펌프, 에어필터, 히터가 내장된 Analyser로 센서의 감도가 저하되는 것을 감시하고 질소발생기와의 연동에 문제가 없는지 확인해가며 제어 로직을 수정하였다. 표 7은 시작품을 위한 입출력 리스트로 입력리스트는 시작품의 제어판넬 DISPLAY UNIT에서 계속 확인할 수 있도록 설계하였다.

3) 가스제어 로직

그림 20은 제어로직을 위한 제어시스템 상세도로써 각 포인트들의 명칭을 쉽게 알 수 있도록 작성한 것이다. 각 로직의 문장들은 제어시스템의 최종 로직을 구성하기 위해 일차적으로 작성된 문장들이다. 설정 값들을 조정하고 순서를 적절히 조합하여 최종 로직을 만들기 위한 작업을 진행 중에 있으며 이는 DDC(Direct Digital Controller)에 프로그램밍되어 대기조성시스템과 습도제어시스템을 제어할 예정이다.

표 7. 입출력 리스트

NO	Input	Output	비 고
1	Temp.	Water line 2way V/V	
2	Humid.	Air line 2way V/V	
3	CO_2 sensor	N_2 line 2way V/V	
4	CO_2 Analyzer		



INPUT
IN1-TEMP.
IN2-HUMID.
IN3-CO2 SENSOR
IN4-CO2 ANALYZER
IN5-O2 ANALYZER

OUTPUT
OUT1-WATER LINE 2WAY V/V
OUT2-AIR LINE 2WAY V/V
OUT3-N2 LINE 2WAY V/V

그림 19. 제어로직을 위한 제어시스템 상세도

LOGIC 1)만약 IN2<Setpoint-5%이면 OUT1과 OUT2가 열립니다.
LOGIC 2)만약 IN2>Setpoint+5%이면 OUT1과 OUT2가 닫힙니다.
LOGIC 3)만약 IN3>Setpoint+0.1%이면 OUT3가 열립니다.
LOGIC 4)만약 IN3<Setpoint-0.1%이면 OUT3가 닫힙니다.
LOGIC 5)만약 IN5<Setpoint-0.1%이면 OUT2가 열립니다.
(단 초기기동후 N시간 동안 미작동, N시간 설정가능)
LOGIC 6)만약 IN5>Setpoint+0.1%이면 OUT2가 닫힙니다.
LOGIC 7)LOGIC은 M분마다 한번씩 실행됩니다.

온도데이타는 온도 제어시스템에 대한 보정용으로 Display만 되도록 구성될 예정이고 실제 제어는 앞서 언급한 전자 팽창변 제어를 통한 온도제어시스템에 의해 제어되도록 구성하였다. 시제품에 사용된 DDC는 여러 개의 저장고를 제어할 수 있도록 하여 저장 품목별로 혹은 출고일자별로 제어할 수 있도록 하였다.

4) Data의 표시 및 기록장치

데이터의 기록은 실험용 CA저장고에서 대단히 중요하지만 보급형 CA저장고를 목표로 할 경우에는 중요성이 떨어진다. 그러나 여러 작물에 대한 결과를 해석하고 실용화할 수 있는 모델을 개발하기 위하여 저장방법 또는 저장고 운영방식에 대한 정밀한 기록을 토대로 저장효과를 검토하기 위하여 시제품에는 실시간 환경 측정자료를 수집할 수 있도록 설계하였다. 다시 말해 실험 수행을 위해서는 실시간으로 Data가 기록될 수 있는 시스템을 구축하는 것이 중요하였다. 본 과제의 특성상 보급형 모델에는 이를 추가할 경우 비용 상승이라는 문제가 발생하여 시제품에 적용할 순 없으나 연구용으로 사용할 수 있도록 시스템을 구축할 필요성이 대두되어 DDC에 들어온 각종 Data를 PC에 저장하여 그래프를 생성, 쉽게 연구 성과를 볼 수 있도록 하였다(그림 20, 21).

그래픽 소프트웨어들은 일반적으로 Data를 한눈에 알 수 있고 기록 저장 등이 쉬운 장점이 있으나 소프트웨어를 사용하여 적절한 프로그램을 짜야하기 때문에 별도의 비용이 소요된다. 실험의 용이성을 위해 본 연구에서는 이를 적용하였다. 시제품에 사용

된 DDC와 PC를 연결하여 GUI에 실시간으로 Data가 기록 저장될 수 있도록 프로그래밍 하였으며 보급형 모델에서는 판넬 전면에 부착된 Display Unit을 사용하여 Data를 볼 수 있고 온도에 한해서 전자팽창변 제어기에 부착된 스크린에서 기록이 가능하도록 시스템을 구축하여 경제적인 모델을 만들었다. GUI에는 표 7에 나타낸 모든 입출력 리스트들이 모아져 입력 값을 보여주도록 하였다. 시운전 결과 Analyser와 DDC와 PC간에 Data가 이동하면서 Noize가 발생하여 0.2%내외의 오차가 발생하였으나 연구진행에 문제가 없다고 판단되어 1%이하 오차가 있는 데이터는 오차를 무시하고 PC에 저장된 Data를 기초로 연구를 진행하였다.

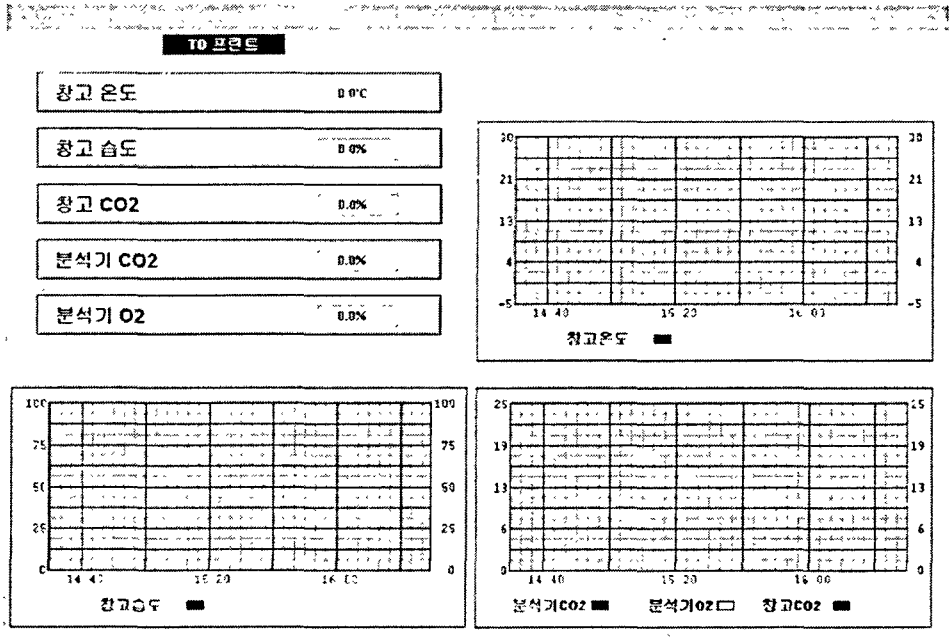


그림 20. CA저장고 운영프로그램에 의한 데이터 출력화면

그림 21은 데이터 출력화면으로 DDC에서 노트북으로 데이터가 전송되어 기록되는 그래픽소프트웨어를 그림으로 나타낸 것으로 현재의 값들과 그래프가 실시간으로 표현되는 것을 볼 수 있으며 각 그래프의 시간대를 자유자재로 변경할 수 있어 저장환경의 상태를 과거의 기록까지도 쉽게 알 수 있도록 구성되어 있다. 창고온도는 중요

한 제어인자여서 전자팽창변 제어화면에도 표시되도록 구성하여 두개의 센서를 비교하여 센서의 이상 유무를 파악할 수 있도록 하였으며 같은 방식으로 CO_2센서와 Analyzer의 표시량을 비교하여 이상 유무를 파악할 수 있도록 하였다. 이러한 그래픽 소프트웨어지원은 연구용에 한해서 옵션으로 지원되도록 하였으며 보급형의 TEST를 위해서 설계하여 구성하였다. 연구용의 경우에는 실험환경을 쉽게 확인할 수 있도록 원격감시가 가능하다. TO 프린터를 클릭하면 데이터 출력화면이 생성되어 원본 데이터 혹은 그래프 등으로 출력이 가능하고 파일로도 저장이 가능하도록 프로그램을 구성하였다.

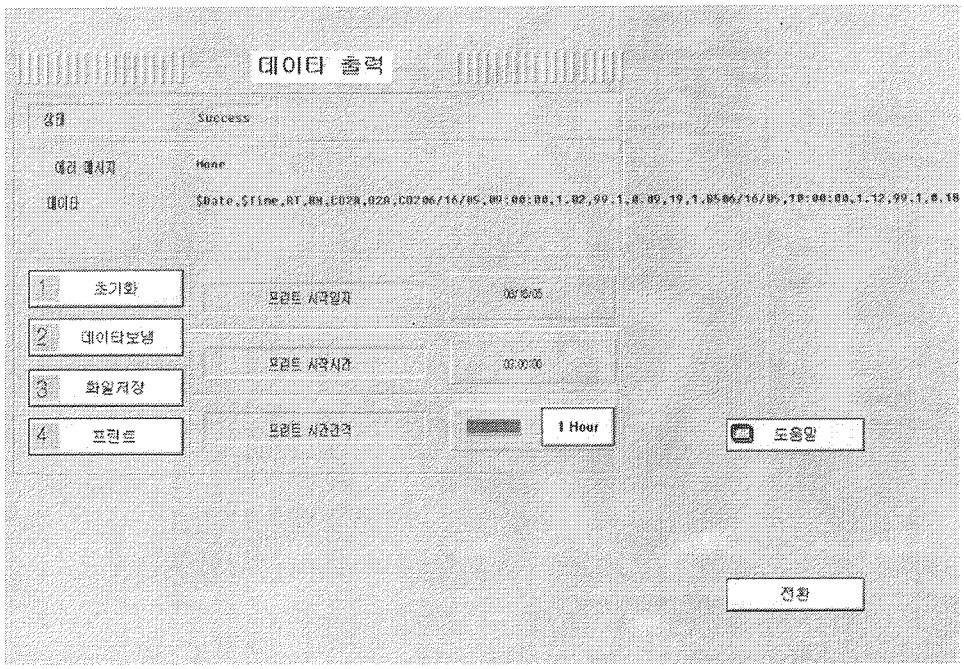


그림 21. 데이터관리 상태

주어진 환경설정 조건(온도 0-2℃, 습도 95%, CO_2 2%)으로 작동하였을 경우 시작품 저장고 환경조건에 대한 자료를 수집한 결과로 온도, 습도 및 이산화탄소 제어가 비교적 정밀하게 이루어지고 있는 결과를 보여주고 있다(그림 22).

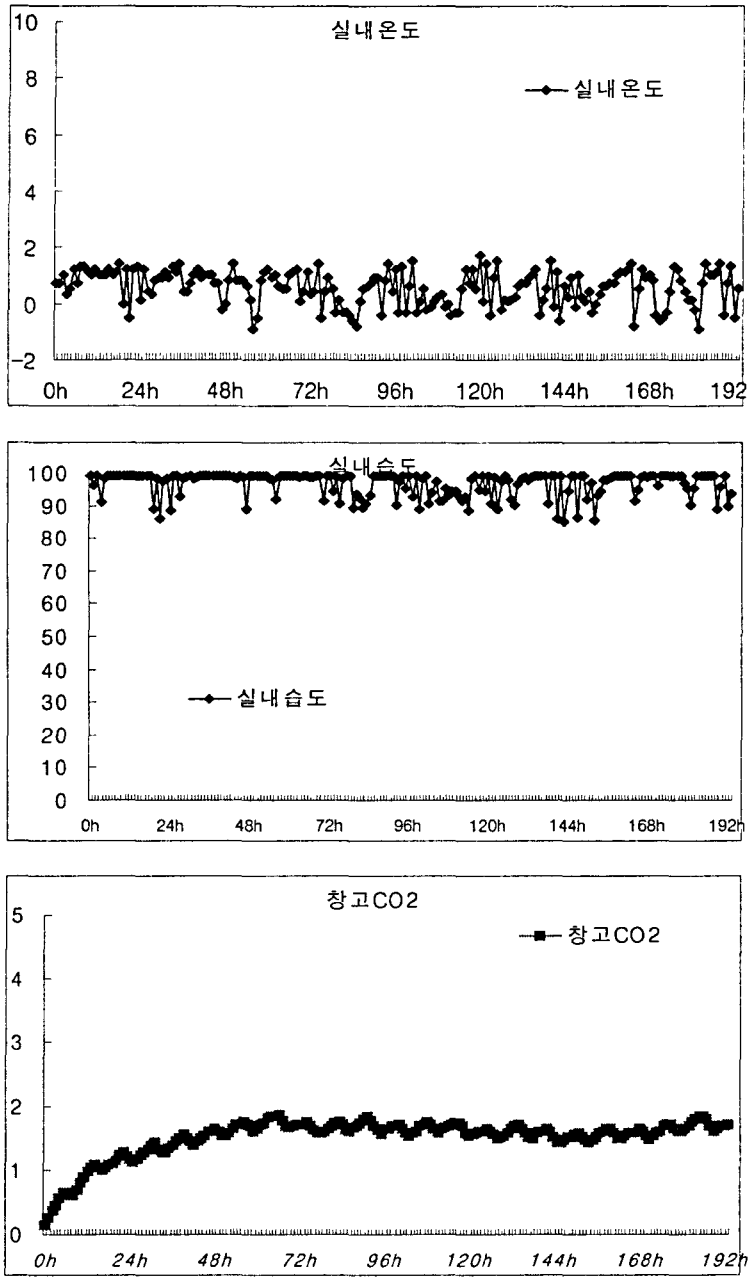


그림 22. 시작품 CA저장고 내부환경 제어 결과

(설정값: 온도 0-2℃, 습도 90%, CO_2 2%)

제 3 절 몇 가지 작물에 대한 CA 효과 검토

1. 서론

CA기술은 저장 기술 중 가장 앞선 기술로 평가되고 있으며 세계적으로 널리 실용화되고 있는 추세이지만 국내의 CA관련 산업은 매우 저조한 형편이다. 이러한 원인 때문에 CA 관련기술의 개발과 발달도 매우 저조하여 필요한 부품 등 대부분 국내 기술이 아직 취약한 현실이므로 이를 개선하기 위하여 국산화 가능성이 낮거나 경제성이 떨어지는 분야를 제외하고 가급적 국내 기술을 도입하여 CA 기술 활용에 있어 경제성을 높이고 관련기술이 국내에 확산될 수 있는 계기를 마련하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구는 전술한 주관연구기간의 개발하고자 하는 보급형 CA 콘테이너의 상업적 활용을 위한 방향을 제시하기 위하여 국내에서 생산되는 선택된 작물에 대한 중단기 CA 처리효과를 조사하여 CA기술 적용에 의한 품질 차별화 가능성을 찾고자 하였다.

2. 연구 수행 방법

1) CA 조성

본 연구에서 개발하고자 하는 CA 저장고와 유사한 환경에서 신선작물의 저장성을 검토하기 위하여 가스유량계를 이용한 혼합가스장치를 만들어 질소탱크, CO_2 탱크 및 공기압축기를 활용하여 가스 혼합성능을 비교하였다. 1차년도에서는 pilot 저장고를 만들지 못한 상태이므로 실험실 규모에 적합한 모델을 만들어 비교하였다.

혼합가스의 정밀도는 예상치에 다소 미흡한 것으로 나타났는데(표 8) 특히 질소나 이산화탄소 봄베의 압력이 낮아질 때 혼합가스의 혼합 비율의 편차가 발생하는 것으로 판단된다. 총유량을 높일 경우 압력 감소에 따른 가스 혼합의 편차가 더욱 발생하여 이를 최소화하기 위하여 총유량을 분당 1L로 결정하였다. 1차년도 연구에서는 pilot 규모의 CA과 자동제어 시스템을 운영할 수 없으므로 전술한 모의실험환경에서 얻어진 결과를 토대로 CA 콘테이너의 운영방안을 모색하고자 하였다. CA 처리용 밀폐통은 20L 프라스틱 제품을 이용하였으며 혼합가스는 표에서와 같이 여러 조건으로 혼합하여 예측치를 결정한 다음 혼합가스의 조성을 비교하였다. Inlet 가스와 outlet 가스를 분석하여 적정 혼합가스 유량을 결정하였다.

표 8. 가스조성의 예측과 실측치 비교

혼합비율(ml/min)			예측치(%)		실측결과(%)		총유량	비고
Air	N_2	CO_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	(ml/min)	
200	780	20	2	4	2.1~2.3	4.3~4.5	1000	
300	670	30	3	6	2.8~3.2	6.0~6.3	1000	
400	560	40	4	8	4.3~4.5	7.9~8.2	1000	
500	450	50	5	10	5.1~5.5	9.6~10.2	1000	
500	400	100	10	10	9.8~10.2	9.2~9.5	1000	
0	150	850	15	0	13.5~14.2	0.0~0.1	1000	

(주) 가스조성에 필요한 총 유량을 결정하고 혼합비율을 설정하여 만들어진 혼합가스의 CO_2 및 O_2 농도를 측정함. 가스 측정은 휴대용 장치를 이용함.

규모를 높인 실험에서는 투입가스량을 높였는데 1회 가스 교환시간은 작물의 호흡속도와 용기의 크기를 고려하여 4시간에 1회 순환될 수 있도록 조절하였다. 배추의 경우 처리한 용기의 용적이 850L로 혼합가스 투입은 2.5L/분의 유량을 지속적으로 투입하였다. 혼합가스유량을 높일 경우 각 가스성분을 비례적으로 높여 혼합한 다음 농도를 조사하여 안정적인 범위 이내로 접근하였을 때 실험을 실시하였다.

가스 조성 방법을 검토한 이후 CA 효과를 검토하기 위하여 선정된 작물은 350L의 밀폐형 용기에 넣어 소형 저온 챔버에서 각 작물별로 적절한 온도환경을 부여하고 저장하였다. 시작품 CA 콘테이너가 제작된 다음 CA콘테이너 환경제어 능력을 검토하기 위하여 목표한 가스 농도, 온도 및 습도 환경의 변화를 조사하여 설정값과 실측값을 비교하여 반복적으로 CA조성 기법을 수정하였다.

작물별로 적용한 CA조성 결정은 문헌자료를 활용하여 결정한 다음 본 연구에서 개발하고자 하는 보급형 CA 콘테이너 제어 한계를 고려하고 본 연구 수행에서 활용할 수 있는 저온실 수량을 고려하여 결정하였다. 실험은 시기별로 구입이 용이한 작물을 구입하여 실험을 수행하였으며 풋고추, 배추, 애호박, 상추 등은 각각 생산시기를 달리하여 2회에 걸쳐 실험을 수행하였다.

2) 식물 재료 선정 및 품질 조사

(1) 식물재료

1차년도에는 주로 대전도매시장에서 경매당일에 구입하여 물리적 손상 또는 부적합한 개체를 제거하고 육안으로 살펴 크기와 상태가 균일한 시료를 선별하여 사용하였다. 하계 실험에서는 주로 도매시장에서 구입한 재료를 이용하였고 동계 실험은 생산농가를 방문하여 수확당일 구입한 작물을 실험실로 즉시 수송하고 선별한 다음 실험에 이용하였다.

2차년도에는 생산 농가로부터 수확당일에 시료를 구입하여 실험실로 옮긴 다음 부적합한 개체를 제거하고 실험에 이용하였다. 실험은 작물에 따라 동일한 실험을 2회 반복하였는데 시기적 차이를 고려하였다. 품질 조사를 위한 분석은 작물 종류에 관계없이 pooled sample에 대하여 3반복으로 실시하였다. 실험에 이용한 작물은 실험을 진행하는 시기에 생산된 작물 중 배추를 제외하고는 수확한 다음 품질 변화가 빠르게 진행하는 과채류, 엽채류를 선정하였다. 과채류로는 오이, 애호박(시기적으로 2회), 가지, 고추(시기적으로 2회), 파프리카 등 5종을 대상으로 실시하였고, 엽채류로는 상추, 배추, 브로콜리 등 3종, 기타 양송이, 천도복숭아를 선정하여 실험을 수행하였다.

(2) 품질 조사 및 방법

품질 결정 인자로 무게감량, 색택, 엽록소, 경도를 조사하였는데 감량은 저장직전의 무게에서 저장 후 무게를 제하여 백분율로 나타내었고 색택의 변화는 색차계(CR-200, Minolta)를 이용하여 L, a b 값을 구하여 비교하였다. 경도는 Rheometer를 이용하여 조사하였다. 엽록소는 acetone으로 추출한 다음 645, 667nm에서 흡광도를 비교하여 단위 무게당으로 환산하였다. 외형관찰은 육안으로 작물의 외형 또는 필요한 경우 절단면을 조사하여 특정적인 장해 또는 증상을 살펴 조사하였다. 가용성 고형물은 식물조직을 착즙하여 얻은 주스를 대상을 굴절당도계로 조사하였다(Atago 100). 산도는 고형물 조사를 위해 얻은 주스를 대상으로 0.1N NaOH로 적정한 다음 사과산으로 환산하여 표시하였다. 성분별 유리당 함량, 비타민 C 및 산 함량은 HPLC를 이용하였는데 당의 경우 IR detector, 비타민 C의 경우 UV detector를 이용하였다. 호흡은 3.5L 밀폐용기(배추의 경우 20L 용기)에 작물 넣어 4시간 가스를 포집한 다음 head space에서 표본을 취하여 TCD를 장착한 GC로, 에틸렌 가스는 FID를 장착한 GC로 분석하였다. 실험용 CA콘테이너의 유출입 가스 조사는 휴대용 가스분석기(편차 0.5%)로 조사하였다.

전반적인 외형 품질결정은 저장 직후 육안으로 작물의 상태를 살펴 특정적인 이상이 발생하였는지를 조사하고 생리적 장해(갈변 등), 이취 발생, 부패반점 등의 발생여부를 살펴 전반적인 품질을 결정하였다.

3. 연구결과 및 고찰

1) CA 기술의 상업적 활용을 위한 자료 검토

CA를 이용한 신선 작물의 저장성을 향상하고자 하는 노력은 오래 전부터 수행되어 왔으며 국내에서도 CA 기술을 활용한 신선 원예산물의 저장성을 향상하고 품질을 높게 유지시키고자 하는 노력을 기울여 왔다. 그러나 국내에서는 초기 상업적 CA저장고 도입에 따른 많은 문제점이 도출되어 CA 기술에 대한 부정적 인식이 확산됨에 따라 CA 관련기술의 개발과 연관기술의 현장 적용에 많은 어려움을 겪어 왔다. 이러한 원인은 CA설계 기술의 미숙함, 후지 사과와 같이 CA환경에 부적절한 품종의 선택 및 저장산물에 대한 생리적 이해 부족(Park과 Lee, 2003), CA 저장고 운영기법의 미숙함 등에 의하여 초기에 많은 시행착오를 거듭하게 되었고 CA 설비 도입에 따른 기대 심리를 충족하지 못하여 비롯된 것으로 판단된다. 특히 후지 사과의 경우 적절한 CA조건의 확립에 대한 연구가 미흡하여 연구자에 따라 서로 다른 결과를 도출하였고 그 후의 연구에서 CA저장에서 발생하는 갈변의 원인(Agrenta 등, 2000; 2003)과 적절한 CA 환경설정에 대한 연구가 지속되어 Park과 Lee(2003)는 장해발생을 예측하기 위한 제안을 하였다.

우리나라 농업환경은 수입 개방 확대에 따라 국내산 농산물의 품질 증진에 의한 경쟁력 강화를 강하게 요구받고 있는 실정이므로 해외에서 널리 활용되는 CA 기술의 접목이 어느 때보다도 절실하게 요구되고 있다. 그동안 국내에서도 CA에 관한 연구가 간헐적으로 수행되어 딸기(Hwang 등, 1999; Kim과 Wills, 1998; Yang과 Lee, 1999), 사과(Kweon 등, 1999), 복숭아(Park, 2002), 호박(Lee와 Yang, 1998), 배(Park, 1999), 고추(Yang과 Lee, 1997, 1998), 배추(Yang과 Park, 1996) 등 작물에 대한 연구결과가 보고되었으며 일반 저온저장에 비하여 CA저장에 의한 품질 향상의 가능성을 제시하였다. 딸기의 경우 최근 냉각과 더불어 고이산화탄소를 처리하는 기법이 도입되어 실용화를 위한 단계에 접근하였지만 기타의 작물에 대한 적극적인 CA기술의 도입은 이루어지지 않고 있는 실정이며 대안으로 플라스틱 필름 포장에 의한 신선도 증진 연구가 수행되고 있다. 따라서 적극적인 CA기술 개발을 위한 보다 광범위한 작물

에서의 효과를 검토할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 기존에 발표된 CA에 관한 자료를 검토하여 국내 실정에 적합한 보급형 CA 설계의 기초 자료로 삼고 제어 장치 등을 단순화하여 현장에서 쉽게 활용할 수 있는 경제적 모델 개발을 목표로 삼고 있다. 이러한 노력을 통하여 보급형 CA 저장고 설계 및 제작 능력을 향상하고 앞으로 CA 기술의 확산을 위한 기반을 마련하고자 한다.

해외에서 발표된 자료를 검토한 결과, CA 기술은 다양한 분야로 확대되고 있어 고산소처리 기법, 초저산소 환경의 활용(Lau, 1990), 고이산화탄소 처리 또는 저산소 및 고이산탄소 병행 처리를 이용한 화학적 훈증 대체기법(Jameson, 1993; Lau, 1990; Saltveit, 2003), 육류 수송성 증진(Bailey 등, 1998), 병원성미생물 증식억제(Bennik 등, 1998; Chervin 등, 1998) 등 다양한 활용 가능성이 검토되고 있다. 또한 밀폐된 CA저장 중인 작물의 품질을 원격 평가하여 적절한 저장기간을 결정하고자하는 시도가 이루어지고 있고 이러한 시스템을 자동화하기 위한 기술 개발(Markarian 등, 2003)도 병행되고 있을 정도로 CA 기술의 활용이 국내의 정체된 CA 환경에 비하여 현저히 앞서 있는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 범용으로 활용할 수 있는 보급형 CA 저장고 개발이 목표이므로 국내외에서 발표된 자료를 검토하여 장기저장보다 중단기 저장에 적용하기 위한 CA 기술 개발이 바람직할 것으로 예상되며 이러한 기술 축적을 통하여 지금까지의 CA저장 기법에 대한 부정적 이미지를 제고하고 CA 산업의 활성화는 물론 관련 기술을 널리 확산하는데도 기여할 수 있는 기반을 마련하고자 한다. 이를 위하여 국내에서 실용적으로 단기저장마저 어려운 일부 작물에 대한 CA 효과를 검토하고 이를 단순화할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

몇 가지 작물에 대한 최소 산소 및 최대 이산화탄소 적용 한계를 조사한 결과(표 9), 본 연구에서 연구대상으로 삼고자 하는 작물 대부분이 산소환경 또는 높은 이산화탄소 환경에 대한 적응성이 높아 비교적 넓은 가스 조성 범위에서 품질의 저하를 일으키지 않은 것으로 판단되어 운전 중 제어장치의 이상이 발생할 경우에도 이를 수정할만한 시간적 여유가 있을 것으로 판단된다. 즉, 본 연구에서 개발하고자 하는 CA 콘테이너 저장고의 경우, 비교적 세밀한 제어 정밀도가 요구되지 않아도 실용적인 문제점이 발생하지 않아야 한다. 따라서 본 연구에서는 질소발생기의 경우 순도 97%, 산소 3%를 목표로 하고 있기 때문에 최소한 3%의 산소가 확보되므로 이산화탄소 농도를 제어하여 질소 purge를 결정하는 방식이 바람직할 것으로 예상된다.

기밀이 유지되는 상태에서 작물에 의하여 발생된 에틸렌 제어가 요구되는데 작물의 종류에 따른 에틸렌 발생량에 많은 차이를 보이고 에틸렌에 대한 민감성에도 차이를 나타내므로(표 10) 에틸렌에 대한 고려를 하지 않을 경우 축적된 에틸렌에 의한 CA 효과가 감소될 우려가 있으므로(Hansen 등, 2001; Watkin과 Whitaker, 2000) 운영 프로그램개발에 있어 에틸렌 농도를 최소화할 수 있는 가스 투입 프로그램이 도입되어야 할 것으로 판단된다. 그러나 본 연구 수행 중 진행한 단기 저장에서는 에틸렌에 의한 피해가 발생한 경우가 없었으며 특히 혼합가스를 단속적으로 공급한 경우에도 배출되는 가스의 에틸렌은 매우 낮거나 거의 검출되지 않아 에틸렌제거를 위한 특별한 배려를 하지 않아도 큰 문제가 발생할 우려가 없는 것으로 추정되었다.

전술한 바와 같이 국내 CA 기술 도입단계에서 CA 관련기술이 미흡하였음에도 불구하고 지나친 기대감과 장기저장을 목표로 접근하였으므로 많은 시행착오를 거듭하게 되었으므로 이러한 미흡점을 감안하여 중단기 저장에 적합한 작물과 생산현장에서 수확 후 관리에 어려움을 겪고 있거나 수확 후 관리가 미흡한 작물을 중심으로 CA관련기술을 검토하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서 중점적으로 고려하고자 하는 작물은 주로 중단기 저장을 통한 출하 조절이 가능하고 단기간에 걸쳐 가격 등락이 심한 작물, 계절적 영향을 많이 받는 작물, 수출작물 중 지속적인 선적을 위한 단기저장이 요구되는 작물, CA환경을 이용한 유통기간 연장이 가능한 작물 등에 대한 운영 프로그램을 도입하고 여기에서 얻어진 결과를 토대로 CA 활용기술을 점차 정밀화하거나 확산하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

특히 딸기의 경우 현재 상업적 규모로 고이산화탄소 처리가 시도되고 있는데 처리실의 기밀성 부족, 부적절한 처리 장비 채택으로 인하여 CA 환경 처리에 따른 효과를 최대로 얻지 못하거나 처리 비용이 증가하여 현장 적응에 어려움이 있다. 이러한 현실을 고려할 때 주요 관리 작물에 따른 반응과 적절한 처리 방안을 검토할 필요가 있으며 단시간 고이산화탄소 환경을 조성하기 위해서는 추가적인 이산화탄소공급장치를 반영할 필요가 있어 이를 시작품 제작에 반영하였다.

표 9. 몇 가지 작물의 CA 허용 한계 기준

작물명	온도	CA 조성		한계기간 (일)
		O_2(%)	CO_2(%)	
살구	0	0.3		12
	6	0.3		5
	15	1		6
브로콜리	0	0.02		9
	0	0.5		21
	3	0.02		4
	3	0.5		21
	0		30~50	2
	5		30~50	2
포도	5	0.5	35~45	6
양상추	0	0.02		13
	0	0.5		21
	5	0.02		11
	5	0.5		21
	0		30~50	5
	5		30~50	3
복숭아	0	0.02		40
	0	0.25		>40
	5	0.02		14
	5	0.25	60	14
	0	8	80	7
	0	4.2	99	6
	0	1		3
	0	0.21	99	19
	0	0.21		5
	20	0.25	99	3
	20	0.21		4
자두	0	8	60	7
	5	0.02		32
	5	0.25		41
	6	0.3		15
	10	0.02		9
	10	0.25		14
	0	1	99	5
	5	4.2	80	6
딸기	0	0.02		6
	0	0.25		10
	5	0.25		8
	5	1		>10
	0~5		20	10~15
	0~5	4.2~10	50~80	8

(주) CA'97 proceedings Vol.1:CA technology and disinfestation studies 자료 발췌

표 10. 중단기 CA 적용이 가능한 작물의 권장 CA 조성

작물명	저장온도 (℃)	습도 (%)	에틸렌 발생 (Index)	에틸렌 민감성 (Index)	권장 CA 조성 (%)	저장기간 (일)
살구	-0.5~0	90~95	M	H	2~3(O_2)+ 2-3(CO_2)	7~21
아스파라거스	2.5	95~100	VL	M	5~12 CO_2	14~21
미숙두류	4~7	95	L	M	2~3(O_2)+ 4~7(CO_2)	7~10
딸기	0	90~95	L	L	5~10(O_2)+ 15~20(CO_2), <15(CO_2)	7~10
브로콜리	0	95~100	VL	H	1~2(O_2)+ 5~10(CO_2)	10~14
배추	0	95~100	VL	M, H	1~2(O_2)+ 0~5(CO_2)	2~3(월)
콜리플라워	0	95~98	VL	H	2~5(O_2)+ 2~5(CO_2)	21~28
오이	10	85~90	L	H	3~5(O_2)+ 0~5(CO_2)	10~14
가지	10	85~90	L	M	3~5(O_2)	7~14
파슬리	0	95~100	VL	H	5~10(O_2)+ 5~10(CO_2)	1~2(월)
파	0	95~100	L	H	2~4(O_2)+ 10~20(CO_2)	21
고추	5~10	85~95	L	M	3~5(O_2)+ 5~10(CO_2)	14~21
파프리카	7~10	95~98	L	L	2~5(O_2)+ 2~5(CO_2)	14~21
양송이	0	90	VL	M(?)	3~21(O_2)+ 5~15(CO_2)	7~14

(주) 에틸렌 생합성량은 VL: 매우 낮음(<0.1*ul*/kg · hr at 20℃), L: 낮음(0.1~1.0*ul*/kg · hr), M: 중간(1.0~10*ul*/kg · hr), H: 높음(10~100*ul*/kg · hr), VH: 매우 높음(>100*ul*/kg · hr)의로 구분하였으며 민감성은 L: 낮음, M: 중간, H: 높음으로 구분함

표 10. 계속

작물명	저장온도 (℃)	습도 (%)	에틸렌 발생 (Index)	에틸렌 민감성 (Index)	권장 CA 조성 (%)	저장기간 (일)
복숭아	0	90~95	M	M	1~2(O_2)+ 3~5(CO_2)	14~21
자두	-0.5~0	90~95	M	M	1~2(O_2)+ 0~5(CO_2)	14~35
애호박	7~10	95	L	M	3~5(O_2)+ 5~10(CO_2)	7~14
토마토(완숙)	8~10	85~95	H	L	3~5(O_2)+ 2~3(CO_2)	7~21

2) 보급형 CA 콘테이너 활용을 위한 대상 작물 선정과 CA 적용 효과 검토

(1) 보급형 CA 저장고의 활용 방향

최근 산지농협을 중심으로 packing house 수준의 수확 후 처리시설, 즉 예냉기, 저온저장고, 선별기 등의 장비가 도입되고 있으나 CA 장비의 도입은 거의 이루어지지 않고 있다. 소규모 또는 중규모 packing house의 경우 주 작물을 출하하고 난 다음에는 시설의 활용이 거의 이루어지지 않고 있는데 이는 1일 출하물량이 비교적 적어 적은 물량을 감당할 수 있는 시설이 보급되어 있지 못하여 전체적인 시설 활용율이 떨어지는 원인이 되고 있다. 특히 소규모 생산농가가 분산되어 있는 경우에는 이들 생산물을 처리할 시설을 갖추지 못하여 앞으로의 농업 활동에서 품질 규격화 또는 관리기반 확충에 걸림돌이 되고 있다.

지역에 따라 과채류 또는 채소 작물의 경우 1일 생산 규모가 적어 적극적인 수확 후 관리를 하지 못하고 생산 당일 출하하는 방식을 취하므로 기후 특성에 따라 가격 등락의 변화에 대한 탄력적 대응이 어렵다. 또한 이러한 원예산물의 경우 수확한 다음 신선도 상실 속도가 빨라 일반 저온 저장으로는 단기간 저장에서도 충분한 품질유지가 어렵다. 수확한 과채류 또는 엽채류 작물이 단기간에 신선도를 상실하는 주된 원인으로는 부적절한 냉각 설비에 따른 과도한 건조, 과습에 따른 물러짐 현상 등이 관찰되고 있으며 이를 위해서는 정확한 습도와 온도관리가 중요하다. 하지만 앞으로 청과물에 대한 경쟁력이 더욱 심화될 것으로 예상되므로 온·습도 관리이외에 추가적

으로 품질을 증진시키기 위한 조치가 필요할 것으로 예상되며 현재로서는 저장고 가스조성 변화로 신선도 증진 효과를 얻을 수 있는 CA저장이 가장 타당성 있는 대안으로 판단된다.

CA 기술 적용은 장기 저장을 위한 과실이외에도 표 10에 정리한 바와 같이 다양한 작물에 확대, 적용되고 있으며 중단기 저장이 요구되는 작물의 경우에도 그 활용이 점차 확대되고 있는 추세이다. 우리나라에서 주요 소득 작물로 인식되고 있는 과채류, 채소 및 저장성이 취약한 일부 과수작물(예, 복숭아)의 경우 출하기의 계절적 요인, 수출 작물의 경우 수출 물량 조절을 위한 중단기 저장이 요구되지만 현재의 저장설비로는 단기저장에서도 품질의 악화가 심하게 발생하여 출하 조절을 통한 소득증대의 소기 목적을 이루지 못하는 경우가 흔하다. 특히 하우스 재배하는 과채류 또는 엽채류의 경우 계절적 영향을 많이 받는 작물로 출하시기의 기상 상태에 따라 가격의 등락이 심한 작물에 속한다. 이러한 원인은 저온저장고의 규모에 비하여 출하물량이 적거나 또는 저장고 설비가 부적절하여 적극적인 활용이 제한되는 경우도 있으므로 생산지역의 특성을 고려한 경제적인 저장설비 등이 도입될 필요가 있다. 특히 과채류 중 가지, 딸기, 착색 단고추(파프리카) 등은 대일본 수출이 지속적으로 이루어지고 있는 작물로 품질 고급화와 더불어 수출 경쟁력을 강화하기 위해서는 보다 선진적인 수확 후 관리와 출하 조절을 위한 새로운 관리 기술의 도입이 매우 절실히 요구된다.

해외에 수출되는 단고추의 경우 부적절한 수확 후 관리에 의하여 수입국에서 유통되는 과정에서 품질이 떨어지거나 변색 등의 생리적 장해가 관찰되고 있다(일본 오까야마도매시장 관계자). 따라서 국내 CA 기술 축적과 운영 수준이 낮은 점을 고려할 때 장기저장보다 중단기 저장을 통한 CA 운영기술 축적을 통하여 앞으로 보다 고급한 CA 기술의 개발과 확산에 기여하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

본 연구 수행 중 자료 통하여 검토한 작물의 특성에 따른 CA 반응을 비교한 결과, 동일한 작물일지라도 품종에 따른 차이가 인정되며 작물의 성숙상태에 따른 반응에도 차이가 있는 것으로 보고되었다. 특히 본 연구에서 적용하고자 하는 작물은 저장성이 약하거나 저장을 시도한 사례가 적은 작물이므로 기존의 자료를 검토하여 접근방법을 모색하고자 한다. 표 10에 정리한 바와 같이 에틸렌에 민감한 살구의 경우 저장가능 기간에 많은 차이를 보이고 있는데 이는 과실의 성숙단계에 따라 에틸렌 발생량과 경도에 차이가 크기 때문으로 추정된다.

브로콜리의 경우도 작물 자체의 에틸렌 발생량은 매우 적지만 에틸렌 민감성이 매우 높은 작물로 분류되어 저장기간이 매우 짧은 특성을 보인다(Hansen 등, 2001). 그

러나 생산현장에서는 1주일 정도의 짧은 저장기간 중에도 많은 품질의 변화를 보이므로 출하시기 조절이 어렵고 따라서 시장상황에 관계없이 출하해야되는 경우가 흔하다(제주고산농협관계자).

복숭아는 일반 저온저장을 할 경우 출하조절이 다소간 가능하지만 수확당시의 숙기에 따라 많은 편차를 보이는 것으로 밝혀진 바 있으며(미발표 자료) 관리방식이 부적절할 경우 특정적인 생리적 장해인 wooliness의 발생으로 품질이 급격히 저하될 수 있다(Wang 등, 2005). 이러한 장해는 저온에서 활성산소 생성이 증가하지만 이들을 제거하는 시스템이 결여될 때 더욱 심해진다. 복숭아 주산지 조치원농협 APC 관계자에 따르면 냉각과 저온저장을 할지라도 품질의 변화가 심하여 수확한 과실의 저장을 통한 출하조절은 거의 이루어지지 않고 있어 이에 대한 대책이 필요하다는 의견을 개진하고있다. 이와 같은 원인은 부적절한 수확시기 및 수확 후 관리에 따른 문제발생이 따르지만 이외에 저장환경의 부적합성이 원인인 경우도 흔하다. 이러한 점을 고려하고 본 연구에서 개발하고자 하는 보급형 CA 콘테이너의 경우 대규모보다 중소규모의 설비를 목표로 하고 있기 때문에 각 생산지 실정에 적합한 모델을 개발하여 현재 활용 중인 주된 시설과 연계하여 활용하는 방안을 모색하는 것이 바람직할 것으로 예상된다.

해외의 자료를 분석한 결과, CA 기술의 적용은 단순히 저장기간 확대를 위한 방안을 마련하기 위한 것뿐 아니라 화학적 훈증을 대체할 수 있는 가능성을 모색한 결과가 보고되고 있는데(표 9) 이러한 기술적 접근은 소비자에게 보다 안전한 농산물 공급을 위한 새로운 CA 기법으로 판단된다. 즉, 저산소 또는 고이산화탄소 처리를 병행하므로 검역의 문제점과 훈증에서 발생하는 품질 저하의 문제를 해소하고자 하는 노력을 기울이고 있다. 특히 고온에 대한 내성이 있는 작물의 경우 저산소 및 고이산화탄소 환경에 비교적 짧은 시간을 노출시켜도 해충 구제 효과가 있는 것으로 나타나 작물별 저산소 또는 고이산화탄소 환경에 대한 내성을 고려할 경우 훈증을 대체할 가능성도 있을 것으로 예상된다. 연구 수행 중 생산현장을 방문하였을 때 건표고같은 작물에서도 훈증제 사용을 남용하거나 부적절하게 사용하므로 안전농산물 공급체계 구축에 불합리한 경우도 관찰되었다. 따라서 국내 CA기술 발전이 확대될 때 다양한 분야에서 신선도 증진은 물론 안전농산물 공급 체계 구축에도 기여할 것으로 판단된다.

대일본 수출이 많이 이루어지고 있는 착색 단고추(파프리카)의 경우 과실자루의 부패 또는 균사의 생장으로 품질이 저하되거나 클레임이 발생하는 경우가 흔하게 발생하여 이를 해결하고자 하는 노력을 기울이고 있으나(수출업체 면담) 아직 이에 대한

뚜렷한 결과를 얻지 못하고 있다. 국내 연구결과에서는 아직 이러한 분야에 대한 CA 기술의 적용사례는 거의 찾아보기 어렵다. 특히 수출한 파프리카의 경우 과실자루의 부패가 클레임의 주원인이 되는 것으로 알려져 있는데 이는 수확한 파프리카를 부적절한 환경에서 다루므로 선적기간 중에 장해가 발생하는 것으로 판단된다.

(2) CA 처리가 작물의 품질에 미치는 긍정적인 효과와 부정적 효과

CA기술의 적용은 모든 작물에서 우수한 효과를 나타내는 것은 아니어서 작물의 유형에 따라 효과적인 그룹과 탁월한 효과를 얻지 못하는 그룹으로 구분되는데 탁월한 효과를 얻지 못하는 그룹일지라도 작물 유형에 따라 일반 저온저장에 비하여 유사한 저장기간동안 부패 억제, 황화 등 노화 억제 등을 통한 신선도 유지에 효과적인 것으로 보고되었다. 즉, 복숭아의 경우 CA를 활용할 경우에도 저장기간은 14일에서 21일에 불과하고 CA를 통한 획기적인 저장기간 연장의 효과는 기대할 수 없지만 조직의 내부갈변을 억제하는 효과가 인정되고(Cristo 등, 1995; Michell과 Kader, 1989; Park, 2002; Zhou 등, 2000) 일부 만생종을 제외하고는 현실적으로 출하조절을 위한 단기저장조차 전혀 실시하지 못하고 있는 점을 고려할 때 생산현장의 어려움을 해소하는데 도움이 될 것으로 예상된다.

이러한 효과는 다른 작물에서도 가능할 것으로 예측되는데 브로콜리의 황화 억제(Hansen 등, 2001; McKenzie 등, 2004), 콜리플라워 변색방지(McKenzie 등, 2004), 오이의 노화지연(Wang과 Qi, 1997), 양송이 갈변억제(Villaescusa와 Gil, 2003), 애호박의 노화억제, 오이의 저장장해억제, 고추의 저장성 증진 및 저온장해억제, 양배추 부패억제 등 긍정적인 효과가 보고되어 있다(Ke와 Saltveit, 1989; Meir 등, 1995; Menniti 등, 1997). 이외에도 딸기 저장성 향상(Hwang 등, 1997; Kim과 Wills, 1998) 및 블루베리 부패억제(Veazie와 Collins, 2002) 등의 효과도 보고되어 있다. 그런 CA저장이 반드시 긍정적인 면만 가지고 있는 것은 아니어서 부적절한 조건을 부여할 경우 양상추의 반점형성(Ke와 Saltveit, 1989), 양파의 아로마 상실(Uddin과 MacTavish, 2003), 사과의 갈변 및 cavity 형성(Argenta 등, 2002; Lau, 1998; Park, 2002; Park과 Lee, 2003) 등 품질저하의 원인이 되기도 한다.

CA 기술 적용에 아직 불안정한 요소가 있지만 국내 산지의 수확 후 관리 규모를 고려할 때 대단위 설비보다 중소단위 설비가 도입될 필요가 흔한데 이러한 산지의 경우 생산농가의 수익을 높이고 생산품의 품질 관리를 보다 적극적으로 하기 위해서는 중소형 설비도 보강되어야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

대규모 수확 후 관리 처리장에서 다루기 어려운 작물의 특성을 살펴 본 결과, 일부 작물에서 저장기간을 탁월하게 연장시키는 효과가 없는 경우일지라도 동일한 저장기간에 전반적으로 CA 환경은 저장 산물의 품질을 증진시키는데 기여하는 것으로 나타나 이러한 작물을 중심으로 CA 활용성을 높이는 방향으로 앞으로 실용화를 위한 연구를 진행시키는 것이 유리할 것으로 보인다.

표 11. 작물 유형에 따른 CA 반응 비교

작물명	CA조건	유·불리점	비 고
복숭아 천도복숭아	6%(O_2)+17%(CO_2)	내부갈변 억제	품종, 숙기에 따른 반응 차이
브로콜리	1-2%(O_2)+5-10%(CO_2)	황화 및 노화억제	저산소 조건에서 이취발생. 환기량을 높임
배추, 양배추	2.5%(O_2)+2.5-6%(CO_2)	향기유지, 뿌리생장 억제	양배추 <2.5% O_2 배추 <1% O_2 : 발효 발생
콜리플라워		꽃덩이 변색 억제	탁월한 효과 없음
샐러리	2-4%(O_2)+3-5%(CO_2)	노화억제	<2% O_2, >10% CO_2: 이취 또는 내부갈변발생
오이	3-5%(O_2)	부패억제, 노화지연	기간연장효과 적음
가지	3-5%(O_2)	부패억제	기간연장효과 적음
양상추	1-3%(O_2)	노화지연효과적	>2% CO_2; 장해
양송이	3%(O_2)+10%(CO_2) 10%(CO_2)	갈변억제	저장기간 증진
파	2%(O_2)+5%(CO_2)	부패억제	상이한 결과 보고 기간연장효과
토마토	3-5%(O_2)	성숙지연, 부패억제, 표피장해억제	낮은 O_2환경이 높은 CO_2 환경보다 유리
애호박	3-5%(O_2) 10% (CO_2)	노화억제 저온장해억제	기간연장효과 적음
고추	3%(O_2)+5% (CO_2)	부패억제	탁월한 효과적음
시금치	7-10%(O_2)+5-10%(CO_2)	황화억제	
딸기	10-15%(CO_2)	부패억제, 경도 증진	

3) 몇 가지 작물에 대한 CA 처리 효과 검토

(1) 과채류 (오이, 가지, 고추, 파프리카, 애호박)

예비실험으로 CA처리 후 혼합가스 투입구와 토출구의 가스 농도를 분석한 결과 표 12와 같이 작물 사이의 차이가 크지 않아 실험수행에 적합한 환경이 조성된 것으로 판단하였다. 그러나 예측치보다 CO_2 값이 다소 높은 것은 작물의 호흡에 의한 것으로 판단할 수 있다.

본 연구는 하계절에 생산된 과채류를 대상으로 실시한 결과로 오이의 경우 저장기간이 10일 내외로 제시되어 있는데 CA저장과 저온저장을 비교할 때 조직 경도는 처리간 차이가 크지 않았으나 산소 2% 처리구에서 세 번의 조사 일에서 모두 다소 높았다(표 12). 가지의 경우 저장당일에 비하여 저장 5, 10일에 각각 조직의 경도가 높게 조사되었는데 무처리의 경우 저장당일 1.35kg에서 저장 5일에 1.93kg으로 증가한

표 12. 작물유형과 저장온도에 따른 혼합가스 유출입구의 가스 조성 비교

작물명	처리기간 (일)	유입구 가스조성(%)		토출구 가스조성(%)	
		O_2	CO_2	O_2	CO_2
오이	0	3.0	0.0	3.1	0.3
	1	3.2	0.0	3.3	0.4
	2	3.1	0.0	3.0	0.2
가지	0	3.0	0.0	3.2	0.3
	1	3.0	0.0	3.5	0.1
	2	3.2	0.0	3.3	0.2
풋고추	0	3.0	2.9	3.1	3.1
	1	3.1	3.1	3.5	3.1
	2	3.3	3.3	3.4	3.3
애호박	0	3.1	2.9	3.2	3.4
	1	3.0	3.2	3.4	3.0
	2	3.2	3.1	2.9	3.3

반면 O_2 3% 조건에 저장한 경우 저장 10일에 대조구와 같은 수준으로 높게 조사되었다. 저장한 가지의 경도가 증가한 원인은 명확하지 않으나 무게감량을 살펴보았을 때

증산에 의한 감량 발생으로 부드러운 조직이 다소 질겨지기 때문으로 추정된다. 그러나 애호박은 저장기간이 길어짐에 따라 경도가 점진적으로 감소한 것으로 나타났는데 그 정도는 O_2 3%+CO_2 3% 처리구에서 저온저장처리보다 낮은 경향을 보였다. 가용성 고형물의 경우 CA 처리한 애호박의 경우 1.35% 증가하였으나 대조구의 경우 변화가 크지 않았다. 가지와 오이의 경우 처리에 관계없이 저장이후 가용성 고형물 수준이 다소 증가하였다.

표 13. CA 저장이 몇 가지 과채류의 경도, 고형물 및 무게감량에 미치는 영향

작물명	저장온도 (℃)	처리	기간(일)	경도(kg)	가용성고형물 (%)	무게감량 (%)
애호박	7	Air	0	2.68±0.05	6.10±0.17	0
			5	2.29±0.09	4.30±0.55	1.18±0.11
			10	2.38±0.04	6.00±0.12	2.19±0.32
		O_2 3%+ CO2 3%	0	3.87±0.05	6.10±0.17	0
			5	3.29±0.04	6.20±0.24	1.03±0.04
			10	3.09±0.04	7.45±0.07	1.75±0.06
가지	10	Air	0	1.35±0.07	4.20±0.11	0
			5	1.93±0.03	3.80±0.20	1.61±0.05
			10	1.74±0.08	4.10±0.13	3.28±0.24
		O_2 3%+ CO_2 0%	0	1.35±0.03	4.20±0.11	0
			5	1.65±0.13	3.78±0.20	1.28±0.06
			10	1.93±0.11	4.50±0.24	1.81±0.15
오이	10	Air	0	3.87±0.11	4.10±0.07	0
			5	3.15±0.06	3.72±0.13	1.06±0.14
			10	3.07±0.06	4.20±0.12	3.19±0.32
		$O_2$2%+ CO_2 0%	0	3.87±0.05	4.10±0.07	0
			5	3.29±0.04	3.90±0.15	0.42±0.03
			10	3.09±0.04	4.59±0.07	1.05±0.06

종류에 관계없이 무게감량의 변화는 CA처리구에서 대조구에 비하여 명확히 낮게 유지되었다. 그러나 처리간 편차가 심한 경우도 관찰되었는데 저장산물을 육안으로 관찰하였을 때 반복간 편차를 일으킨 원인은 구입당시 작물의 건전성 때문인 것으로 추정된다.

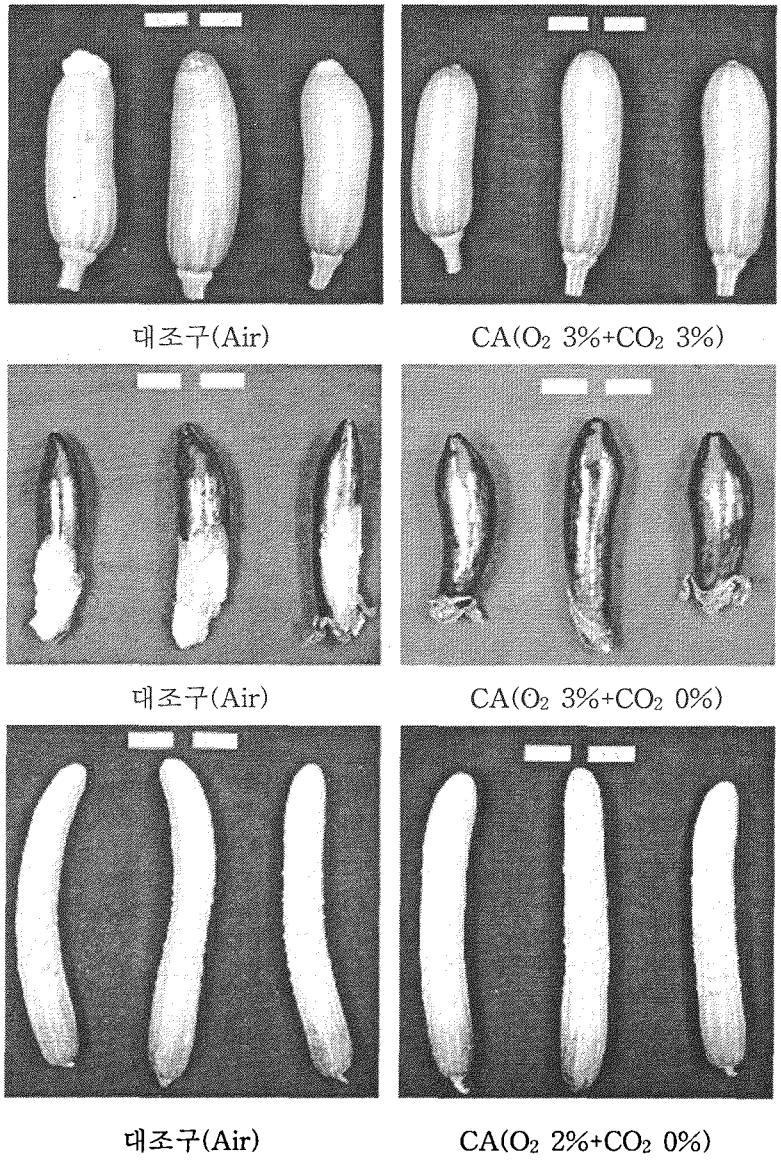


그림 23. CA 처리가 애호박, 가지 및 오이 저장에 미치는 영향

본 연구에서 조사한 애호박, 가지, 및 오이 모두 무처리구에서는 전반적으로 부패가 심하게 진행된 과실이 관찰되었으나 CA처리구에서는 부패한 과실이 전혀 관찰되지 않았고 특히 표피 광택이 우수하게 유지되었으며 과실자루에서도 부패한 경우가 전혀 관찰되지 않아 상품가치가 우수하게 유지되었다. 특히 가지의 경우 대조구 과실에서 전반적으로 심하게 부패한 경우가 있었으나 CA처리구에서는 이러한 과실이 전혀 관찰되지 않았다. 애호박의 경우에도 표피가 변색되는 장해가 저온 저장한 과실에서 관찰되었지만 CA처리구에서는 그 정도가 현저히 완화되어 육안으로 살펴본 상품가치에 많은 차이를 보였다.

애호박, 가지, 및 오이의 과실 표피 색택을 조사한 결과(표 14), 색도차계에 의한 조사로는 처리간 뚜렷한 차이를 찾을 수 없었다. 그러나 전술한 바와같이 전체적인 외관을 살필 때에는 명확한 차이를 보여주었다. 즉, 본 연구에서 검토한 채소 유형에 관계없이 전반적으로 CA처리구 채소의 표피는 저온 저장한 과채류의 표피에 비해 광택이 감돌고 표피에 반점과 같은 장해가 관찰되지 않거나 적은 반면 대조구 작물은 표피가 거칠거나 마른 듯한 느낌을 주는 경우가 많았다.

저장산물의 호흡과 에틸렌발생 특성을 비교한 결과(표 15), 처리간 또는 작물간 일정한 경향을 찾을 수 없었다. 반면에 에틸렌 발생량은 유의차는 없을지라도 CA처리구에서 다소 낮은 것으로 관찰되었다. 호흡 유형의 차이를 보이지 않은 것은 주어진 CA 환경에서 작물에 저산소 또는 고이산화탄소 스트레스를 경험할 수준이 아니었기 때문으로 판단되며 특히 에틸렌 발생량이 CA처리구에서 다소 낮았던 것이 이러한 추정을 뒷받침하는 것으로 생각된다.

상기한 실험조건에서 살펴본 애호박, 가지, 오이의 전반적인 품질과 CA반응을 검토한 결과(표 16), 애호박의 경우 꽃자리 부근의 조직이 마르지 않은 상태이었으므로 부패가 심하게 진행된 경우가 확인되었는데 CA처리에서는 이러한 현상이 현저히 적었으며 특히 부패한 과실도 그 정도 심하지 않았다. 가지의 경우 지장 10일에 조사한 부패율은 대조구에서 13.3%이었고 표피가 물러지고 변색하여 상품가치를 상실한 경우가 13.3%으로 전체 26.6%의 과실이 상품가치를 상실하였는데 CA처리에서는 과실이 서로 밀착된 부위가 변색되어 품질이 떨어진 것이 5.6%이었을 뿐 부패는 발생하지 않았다. 대조구의 가지에서 발생한 부패는 대부분 과실자루의 포엽에서 시작되어 확산되는 경향을 보였다. 특히 대조구의 경우 건전한 과실일지라도 과실 표면이 광택을 상실하여 건조한 느낌을 주는 과실이 많았지만 CA처리구에서는 이러한 과실이 현저히 적었다.

표 14. CA 처리가 몇 가지 작물의 저장 중 표피 색택에 미치는 영향

작물명	저장온도(℃)	처리	기간(일)	Hunter value		
				L	a	b
애호박	7	Air	0	107.4±0.8	-26.9±0.3	58.0±0.7
			5	104.5±2.6	-26.7±0.6	56.0±1.1
			10	107.6±5.5	-26.8±0.3	56.0±1.6
		O_2 3%+ CO_2 3%	0	107.4±0.8	-26.9±0.3	58.0±0.7
			5	106.5±12.8	-27.5±0.2	58.6±0.3
			10	108.3±1.2	-28.1±0.3	59.6±0.6
가지	10	Air	0	53.5±0.4	9.9±0.3	-6.3±0.1
			5	51.7±1.3	10.0±0.8	-6.1±0.2
			10	55.1±0.2	8.6±0.4	-6.4±0.1
		O_2 3%+ CO_2 0%	0	53.5±0.4	9.0±0.3	-6.3±0.1
			5	54.0±0.4	10.0±0.7	-6.0±0.4
			10	55.4±0.3	8.9±0.4	-6.3±0.1
오이	10	Air	0	113.8±2.0	-22.7±0.7	55.0±0.9
			5	114.3±1.6	-22.3±0.9	55.4±1.0
			10	122.2±2.5	-20.0±1.0	52.0±1.2
		O_2 3%+ CO_2 0%	0	113.8±2.0	-22.7±0.7	55.0±0.9
			5	109.9±2.8	-22.5±0.7	54.4±1.0
			10	123.7±2.9	-20.2±0.7	53.2±1.0

표 15. CA처리가 몇 가지 채소작물의 저장 중 호흡과 에틸렌 발생과 미치는 영향

작물명	저장온도 (℃)	처리	기간(일)	호흡 (CO_2ml/kg/hr)	에틸렌 (ul/kg/hr)
애호박	7	Air	0	47.9±1.4	0.214±0.016
			5	41.1±0.3	0.937±0.060
			10	55.6±0.3	0.138±0.003
		O_2 3%+CO_2 3%	0	47.9±1.4	0.214±0.016
			5	38.5±0.5	trace
			10	56.2±5.5	0.570±0.002
가지	10	Air	0	53.5±0.4	0.206±0.008
			5	49.1±2.1	trace
			10	51.0±1.8	trace
		O_2 3%+CO_2 0%	0	53.5±0.4	0.206±0.008
			5	34.6±5.1	trace
			10	58.8±0.1	trace
오이		Air	0	50.3±0.5	trace
			5	41.9±1.1	1.000±0.154
			10	50.8±6.3	trace
		O_2 3%+CO_2 0%	0	50.3±0.5	trace
			5	44.6±2.9	0.072±0.003
			10	46.6±4.8	trace

오이는 대조구에서도 손상받은 부위(특히 가시에 찔려 상처를 받은 부위)외에는 부패하거나 장해가 발생하지 않았지만 과실자루에서는 잿빛곰팡이로 추정되는 균에 의하여 약하게 부패하는 증상이 관찰되었다.

표 16. CA 처리에 따른 몇 가지 과채류의 전반적인 품질 평가

작물명	처리	부패(%)	생리적 장해 (%)	비 고
애호박	Air	23.1	11.5	전반적으로 꽃자리 부패가 심하고 과실자루 갈변, 손상받은 과피 물러짐
	CA	12.3	0	전반적으로 우수한 외관 유지
가지	Air	13.3	13.3	과실자루 부패, 손상받은 부위 물러지며 변색
	CA	0	0	과실이 겹쳐진 조직에서 약하게 물러짐
오이	Air	11.2	0	손상받은 조직 외엔 장해가 관찰되지 않으나 과실자루가 약하게 부패
	CA	0	0	장해나 부패가 관찰되지 않음

이러한 결과를 살펴볼 때 CA저장은 애호박, 가지 등과 같이 수확 후 품질 변화가 심한 작물의 단기 저장에서도 효과적으로 신선도를 유지시킬 수 있는 가능성이 높은 것으로 판단된다.

풋고추 또한 널리 소비되는 과채류의 하나이지만 저장성이 매우 약하여 출하조절이 어려운 작물의 하나이다. 따라서 홍수출하기에는 미처 수확하지 못하거나 수확한 경우에도 가격이 폭락하여 폐기시키는 사례도 흔히 발생한다. 또한 고추는 주년생산이 이루어지는 작물이므로 생산시기에 따른 차이를 검토하고자 하였다.

1차년도에 실시한 풋고추 저장온도는 7℃, CA 조성은 O_2 3%+CO_2 3%로 하였다. 저장한 풋고추의 경우 과실의 탄성을 손으로 눌러 관찰하였을 때(표 17) 무처리구의 과실은 저장 5일후 이미 과실이 부드러운 느낌을 주며 탄성이 약해진 것을 알 수 있었다. 반면에 CA처리구 과실은 저장 10일까지 비교적 탄력적으로 느껴져 우수한 결과를 보였다. 무게감량을 비교하였을 때 CA처리구보다 대조구 과실은 약 40% 감량이 많은 것으로 나타나 조직의 탄성 상실과 무게감량은 비례적인 것으로 추정되었다.

호흡과 에틸렌 발생량을 조사하였을 때(표 18) 두 처리구 모두 호흡율이 다소 감소하는 경향이었는데 무처리구보다 CA처리구의 감소폭이 다소 적은 결과였다. 반면에 에틸렌 발생은 뚜렷한 차이를 보여주었는데 대조구의 경우 저장기간이 길어질수록

표 17. CA 처리가 저장 중 풋고추의 경도와 무게감량에 미치는 영향

처리	기간(일)	무게감량 (%)	비 고
Air	0	0	저장 5일부터 과실 탄성 감소
(7℃)	5	1.18±0.03	
	10	3.18±0.26	
O_2 3%+CO_2 3%	0	0	저장 10일까지 과실은 우수한 외관과 탄력적임
(7℃)	5	1.03±0.04	
	10	1.92±0.05	

에틸렌 발생량이 증가하였는데 CA처리구에서는 이와 반대로 에틸렌 발생량이 현저히 감소하였다. 무처리구의 에틸렌 발생이 증가한 것은 과실의 생리적 상태에 따른 차이

표 18. CA 처리가 저장 중 풋고추의 호흡과 에틸렌 발생에 미치는 영향

처리	기간(일)	호흡 (CO_2ml/kg/hr)	에틸렌 (ul/kg/hr)
Air	0	69.9±1.6	0.255±0.027
(7℃)	5	49.1±3.8	0.438±0.029
	10	50.9±6.7	3.041±0.034
O_2 3%+CO_2 3%	0	69.9±1.6	0.255±0.027
(7℃)	5	56.2±4.9	0.012±0.000
	10	64.1±5.7	0.022±0.000

에 기인한 것으로 보이는데 무처리구 과실은 과실자루에 부패 증상을 보이거나 과실 표피에 작은 반점이 형성되는 장해를 받은 과실이 다수 관찰되었기 때문에 에틸렌 발생이 증가한 결과를 초래한 것으로 판단된다(그림 24). 반면에 CA처리의 경우 이러한 증상이 현저히 완화되었고 대부분의 고추는 건전한 상태를 유지하고 있었다.

색도차계로 조사한 과피색은 처리간 차이가 현저하지 않았다. 반면에 무처리의 고추는 저장 10일 후에 착색이 진행된 고추가 관찰되었으나 CA처리구에서는 이러한 과실이 전혀 관찰되지 않았다.

표 19. CA처리가 저장 중 풋고추 과피색에 미치는 영향

처리	기간(일)	Hunter value		
		L	a	b
Air	0	76.1±1.8	-20.6±0.4	34.7±1.1
	5	79.8±1.3	-21.3±0.7	32.5±1.7
	10	80.2±1.2	-21.0±0.9	34.1±1.9
O_2 3%+ CO_2 3%	0	83.6±1.2	-20.6±0.4	34.7±1.1
	5	76.1±1.8	-21.3±0.7	33.3±1.7
	10	83.0±2.0	-21.0±0.9	33.1±2.4

그림 24. 저장 10일 후 비교한 풋고추 외관품질
(좌: 대조구, 우: O_2 3%+ CO_2 3%)

풋고추는 다른 작물에 비하여 CA처리구에서도 부패율이 다소 높게 나타났지만 대조구에 비하여 현저히 낮았으며 부패정도도 심하지 않았다. 고추의 부패는 과실자루 선단에서 시작되었으며 수확할 때 받은 손상부위에서 부패가 시작되는 것으로 추정된다. 또한 대조구의 일부 과실은 과피 조직이 물러지는 현상이 관찰되었다. 처리간 부패율을 비교하였을 때 무처리구의 경우 과실자루가 부패한 과실이 37.1%에 달하였고 과피 표면이 물러지는 현상이 관찰된 과실이 16.2%으로 나타나 상품가치가 손상되거나 상실한 과실비율이 53.3%이었다. 반면에 CA처리구의 경우 과실자루가 부패한 과실이 10.2%, 과실표면이 물리진 과실은 12.4%이었으며 부패정도도 현저히 낮았다. 또한 무게 감량도 CA처리구에서 낮은 경향을 보여 CA효과가 인정되었다(그림 25).

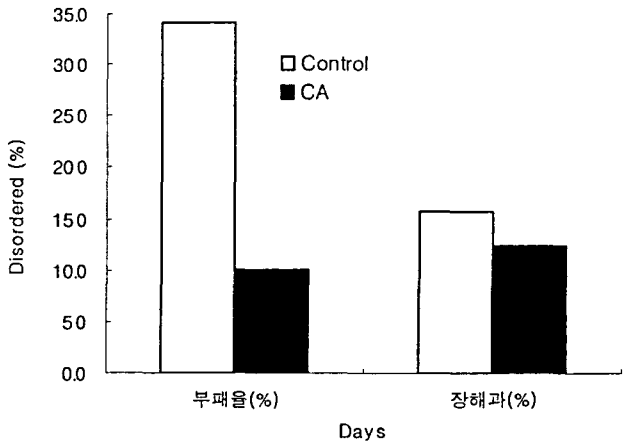


그림 25. CA처리가 풋고추 저장 중 부패와 생리적 장해 발생에 미치는 영향

CA 처리가 생산시기를 달리한 경우 애호박과 풋고추에 미치는 영향을 검토하기 위하여 11월 말에 수확한 풋고추와 애호박을 대상으로 실험을 실시하였다. 풋고추(품종명: 녹광)의 경우 구입한 과실을 크기에 따라 두 그룹으로 구분하여 실험에 이용하였다. 무게 감량의 경우 과실 크기에 따른 차이가 인정되었으나 기타 조사항목에서는 차이가 현저하지 않아 크기에 따른 구분 없이 실험을 진행하였다.

풋고추의 경우 무게감량은 1차 실험과 달리 처리간 차이는 크지 않았으나 과실 크기에 따른 차이는 처리에 관계없이 유사한 결과를 보여 작은 과실보다 큰 과실의 감량이 더욱 심하였다(그림 26). 과실 크기에 따른 차이가 있었던 것은 표면적 차이 때

문으로 추정되며 1차 실험과 달리 처리간 차이가 적은 것은 과실의 생산시기에 따라 육질에 많은 차이가 있기 때문으로 추정된다. 즉, 겨울철에 생산된 고추는 생장속도가

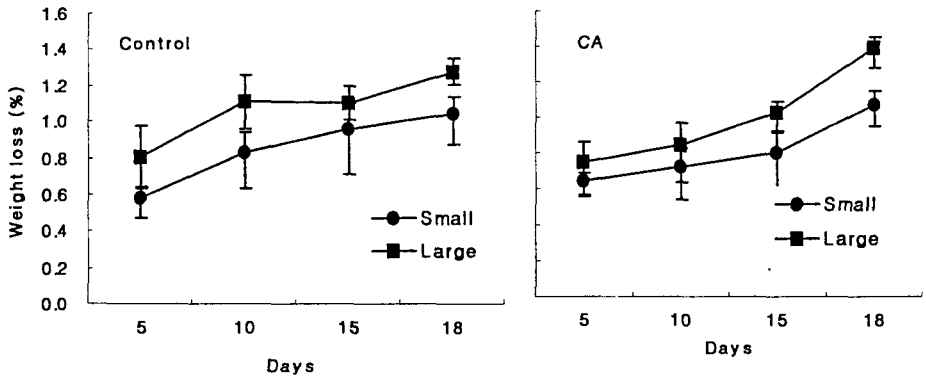


그림 26. CA 처리가 동절기에 생산한 풋고추 저장 중 무게 감량에 미치는 영향

늦기 때문에 조직의 밀도가 더욱 높을 것으로 판단되므로 이러한 조직의 차이가 처리간 차이를 극복하기 때문으로 생각할 수 있다.

저장기간에 따른 유리당 변화를 조사한 결과(그림 27, 28), 풋고추의 주요 유리당은 포도당으로 나타났으며 미량의 과당과 소량의 자당을 함유하고 있었다. 유리당 함량은 저장기간이 길어짐에 따라 감소하는 경향이었는데 처리간 차이는 명확하지 않았다. 반면에 포도당과 자당은 CA 처리구에서 오히려 높게 유지되었다.

과실의 엽록소 함량을 조사하였을 때(그림 29) 처리간에 일정한 경향을 보여주지 않아 대조구의 경우 저장초기에 다소 증가하였으나 후기에 감소하는 경향이었는데 CA처리구의 경우 저장이후 점증하여 최종 조사일인 수확 후 18일에 최고 수준으로 측정되었다. 이러한 결과가 CA에 의한 직접적인 영향인지는 확실하지 않으나 풋고추인 점을 고려할 때 노화가 지연된 고추로부터 엽록소가 적게 분해되어 얻어진 결과일 가능성도 있다.

호흡의 변화는 저장기간이 길어짐에 따라 감소하는 경향이었는데 통계적 유의차는 없으나 대조구의 호흡 감소폭이 CA처리구보다 빠르게 진행된 것으로 추정된다(그림 30).

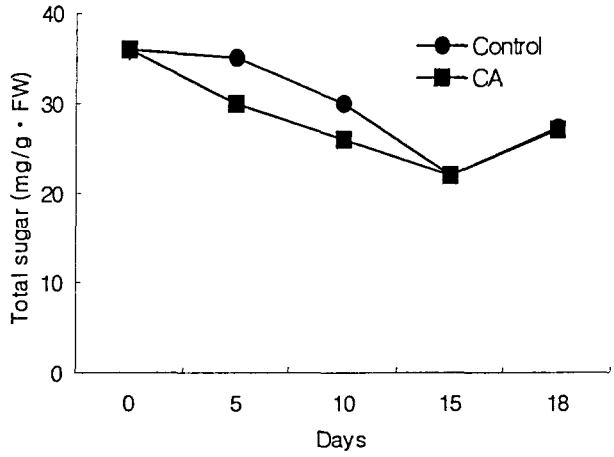


그림 27. CA 처리가 동절기에 생산한 풋고추 총당 변화에 미치는 영향

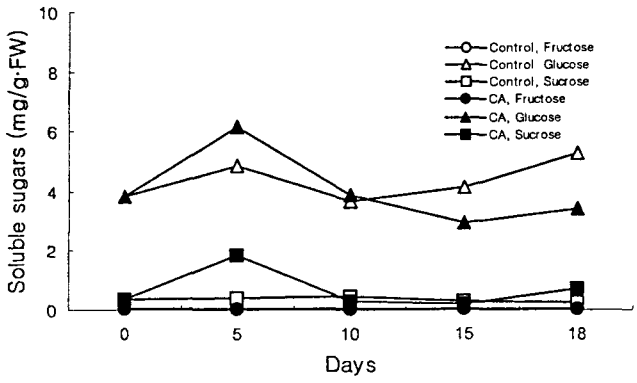


그림 28. CA 처리가 동절기에 생산한 풋고추의 유리당 변화에 미치는 영향

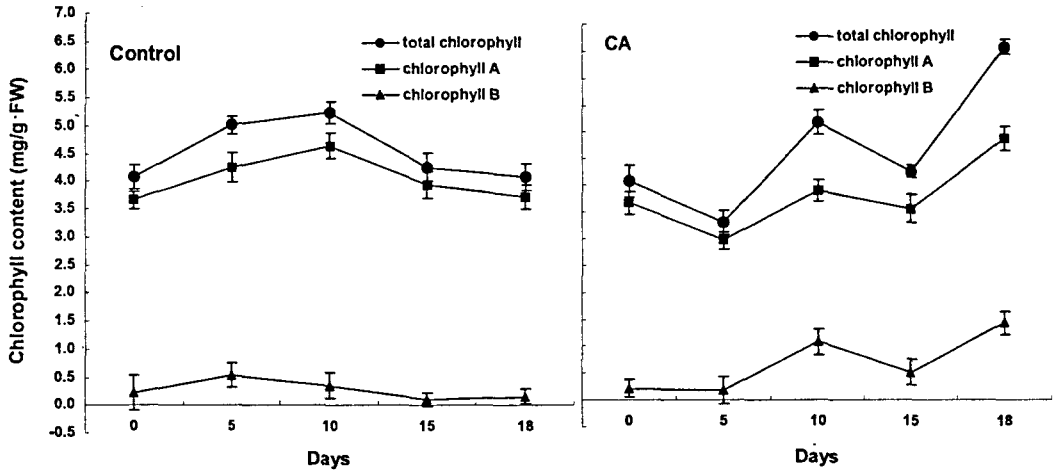


그림 29. CA처리가 동절기에 생산한 풋고추 저장 중 엽록소 함량에 미치는 영향

본 연구는 1차 실험과 달리 저장온도를 5℃로 하였으나 최종 조사일(수확 후 18일)까지 저온장해 증상은 관찰되지 않았다. 고추의 적정 저장온도는 10℃ 내외이지만 CA 환경에서는 저온내성이 증가하여 5℃에서도 저온장해를 일으키지 않은 것으로 밝혀진 바 있어 본 연구에서 조성한 CA 환경은 풋고추의 저온내성을 증진시킬 수 있는 조건이 될 수 있을 것으로 예상된다. 또한 생산시기에 따라 저장온도 및 CA조성의 폭을 넓힐 수 있을 것으로 예상된다.

동절기에 재배한 애호박을 대상으로 1차 실험과 유사한 실험을 진행하였다. 무게감량을 저장기간에 따라 조사하였을 때 풋고추와 마찬가지로 처리간 차이가 현저하지 않은 것으로 나타났다(그림 31). 1차 실험에서 하절기에 수확한 애호박의 경우 저장기간이 10일에 불과하였으며 무게감량도 2.1%이상이었으나 본 실험의 경우 최대 무게감량이 1.6%에 불과하였다. 따라서 동계에 생산한 애호박의 경우 저장 18일까지 상품가치를 유지하고 있어 생산시기에 따른 차이가 뚜렷하였다.

애호박의 가용성 고형물 함량은 처리가 일정한 경향을 지속적으로 보여주어 CA처리구에서 대조구에 비하여 낮은 경향을 나타내었다. 그러나 총당 함량을 조사한 결과에서는 그 차이가 현저하지 않았다(그림 32).

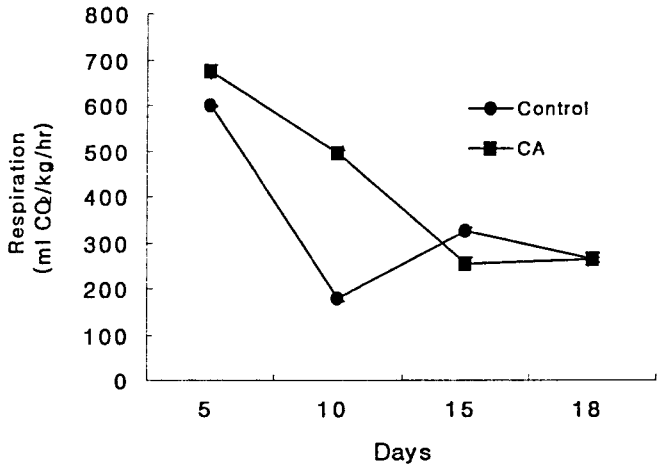


그림 30. CA 처리가 동절기에 생산한 고추의 호흡에 미치는 영향

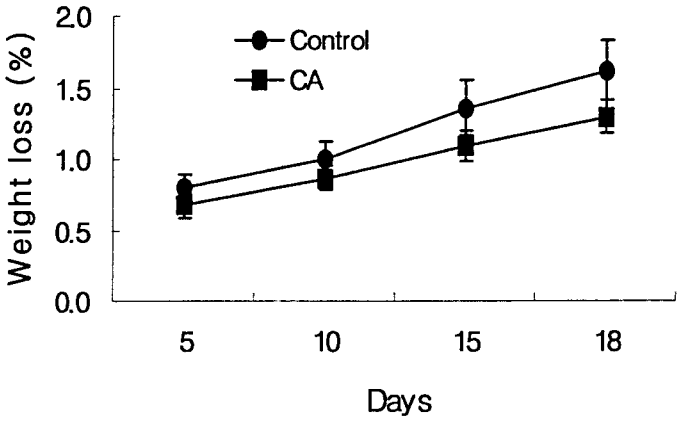


그림 31. CA 처리가 동절기에 생산한 애호박의 감량에 미치는 영향

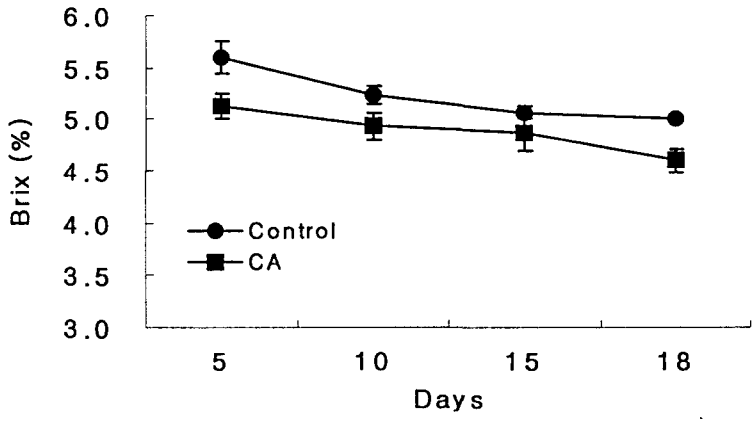


그림 32. CA 처리가 동절기에 생산한 애호박의 가용성고형물 함량에 미치는 영향

애호박의 총당함량과 유리당 조성을 비교하였을 때 총당은 두처리 모두 저장기간이 길어지며 감소하였는데 CA처리구의 수준이 다소 낮았다(그림 33). 본 연구에서 전분 함량을 비교하지 않았지만 CA처리에서 전분의 당화현상이 지연되었을 가능성이 있다. 과당과 포도당이 호박의 주요 유리당으로 나타났으며 자당은 상대적으로 적게 함유하고 있었다. 처리간 차이는 크지 않았으나 대체적으로 자당 함량이 CA저장한 과실에서 다소 높았으며 기타의 당류 함량에는 큰 차이를 나타내지 않았다(그림 34). 호흡을 비교한 결과에서 무처리구의 과실 호흡이 대조구에 비하여 다소 높게 조사되었는데(그림 35) 이러한 결과가 CA 저장한 애호박의 생리적 상태가 더욱 건전한 것을 의미하는 것인지는 명확하지 않다.

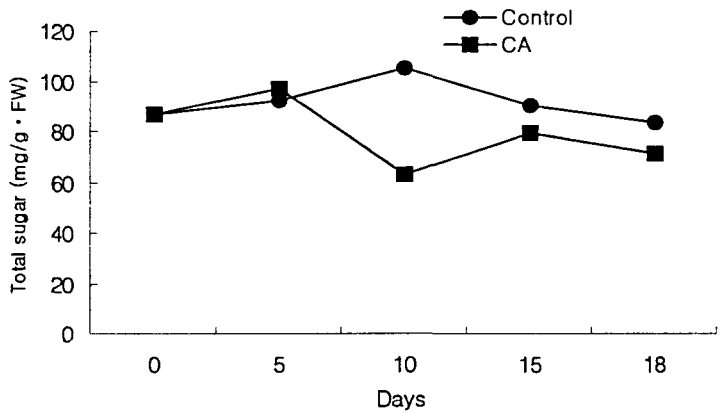


그림 33. CA 처리가 동절기에 생산한 애호박의 총당 함량에 미치는 영향

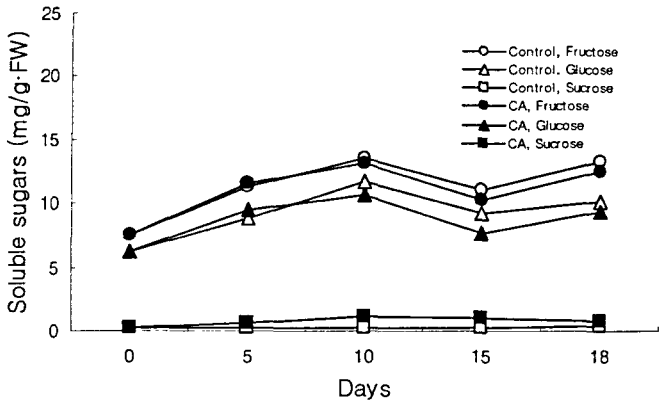


그림 34. CA처리가 동절기 생산한 애호박의 유리당 함량에 미치는 영향

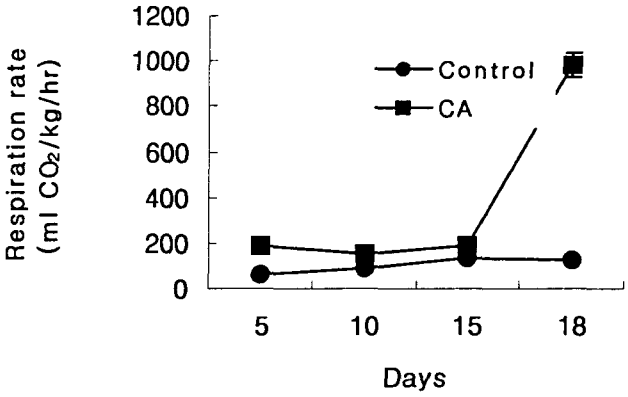


그림 35. CA 처리가 애호박의 호흡에 미치는 영향

과실 경도는 과피 직하의 조직과 내부 조직을 나누어 비교하였다(그림 36). 조직의 경도는 저장기간이 경과함에 따라 점차적으로 감소하는 추세를 보여주었는데 내부 조직의 경도는 변화가 크지 않았으며 처리간 차이도 명확하지 않았다. 반면에 외곽조직은 대조구에서는 많은 편차를 보이며 감소한 반면 CA처리구 과실은 점진적으로 감소하였지만 대조구보다 높게 유지되었다.

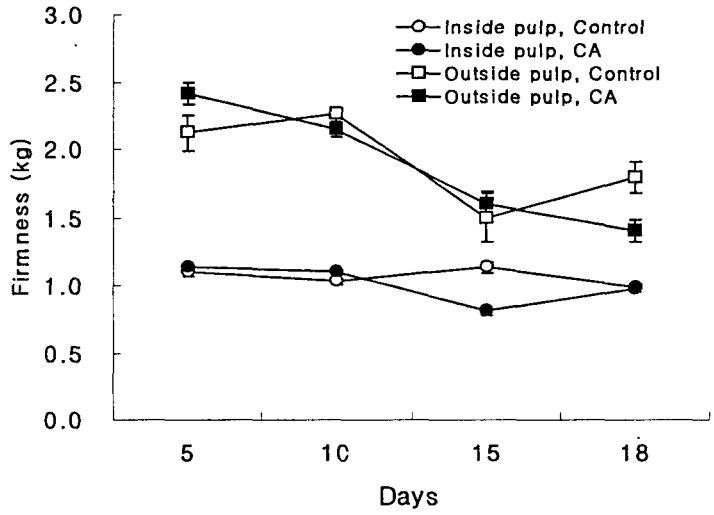


그림 36. CA처리가 동절기에 생산한 애호박의 경도에 미치는 영향

파프리카는 최근까지 일본 시장에 대한 수출을 확대함으로써 고소득 작물로 인식되어왔다. 수출이외에 국내시장에서도 파프리카의 출하가 증가하고 있고 고급 양채류로서 소비도 증가하고 있다. 그러나 짧은 유통기간 중에도 과실 자루 또는 과피에 장해를 일으켜 상품가치가 상실되는 경우가 흔히 발생한다. 따라서 단기저장에서의 CA 효과를 검토하였다.

다른 작물과 마찬가지로 무게감량에 대한 효과는 탁월하여 저장 15일간 대조구의 절반수준에 불과하였다(그림 37). 따라서 15일 이후 대조구 과실은 마른 느낌을 주는데 비하여 CA저장한 과실은 신선함을 그대로 유지하고 있었다.

가용성 고형물 수준의 변화는 조사시기에 따라 다소 차이가 있었는데(그림 38) CA처리구에서 일정하게 대조구보다 높은 수준으로 나타났다. 그러나 저장기간에 따라서는 두 처리 모두 다소 감소하는 경향이었다. 그러나 총당 함량을 비교하였을 때 저장 10일까지는 일정한 수준이었으나 15일 조사에서 대조구는 당함량이 증가한 반면 CA처리구에서는 거의 유사한 수준으로 유지되었다. 총당은 단위 생체중당 가용성 당 함량을 의미하므로 대조구의 경우 저장 15일에는 무게 감량이 2%를 넘은 수준이었으므로 당함량이 증가한 것으로 나타났을 가능성이 있다. 한편 본 연구에서 조사대상으로

삼지 않았지만 저장물질의 일부(예, 전분)가 노화가 빠른 대조구에서 가수분해가 빨랐기 때문에 얻어진 결과일 가능성도 배제할 수 없다.

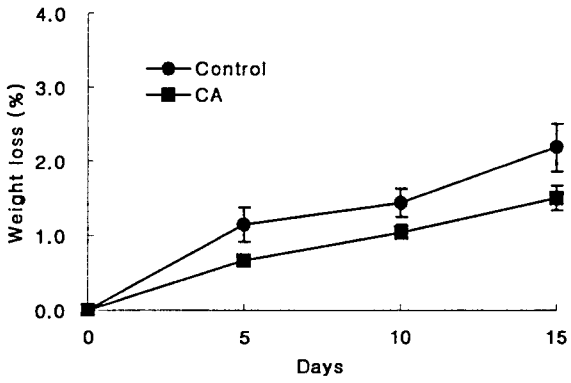


그림 37. CA 처리가 파프리카 저장 중 무게감량에 미치는 영향

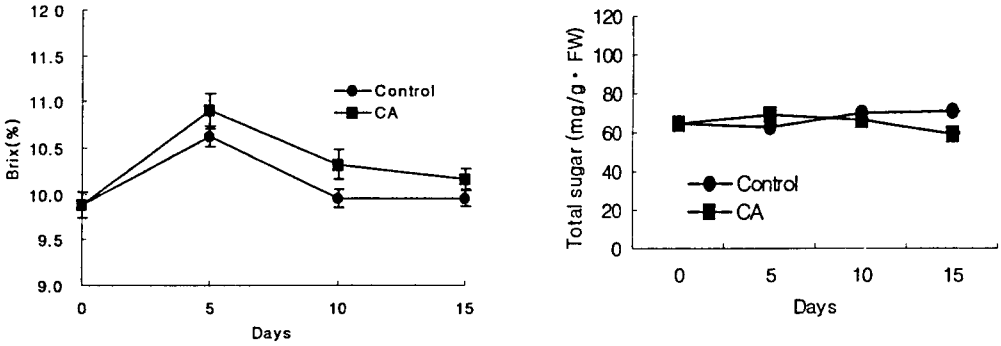


그림 38. CA 처리가 파프리카 저장 중 가용성 고형물 함량과 총당 함량에 미치는 영향

과실의 호흡을 살펴 본 결과(그림 39) 처리간 일정한 경향을 보이지 않았으나 대조구의 경우 호흡이 저장 5일부터 낮게 조사된 반면 CA처리구는 저장 10일까지 일정한 수준이었고 최종 조사일인 15일에 대조구 수준으로 낮게 나타났다. 이러한 호흡의 차이가 품질에 미치는 영향을 해석하기 어렵지만 저장 15일에 두 처리 모두 호흡이 감소한 것은 노화의 진행에 따른 결과일 가능성이 있다.

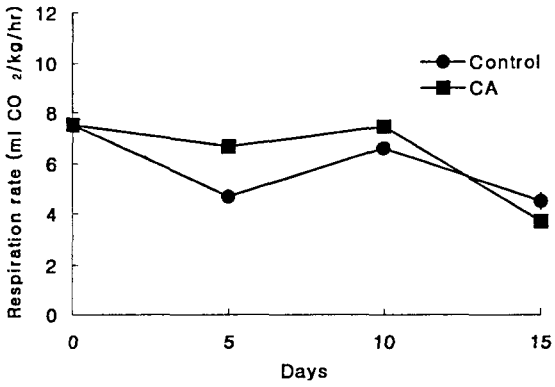


그림 39. CA저장이 파프리카 저장 중 호흡에 미치는 영향

과실 색을 비교하였을 때 처리간 차이가 나타났는데 L값의 경우저장 5일까지 차이가 없었으나 10일부터 CA처리구의 L값이 낮게 나타났다. 적색을 나타내는 a값 또한 대조구에서 높게 나타났다(그림 40). 특히 두 처리 모두 저장 10일까지 점증하고 있는데 그 정도가 대조구에서 높았다.

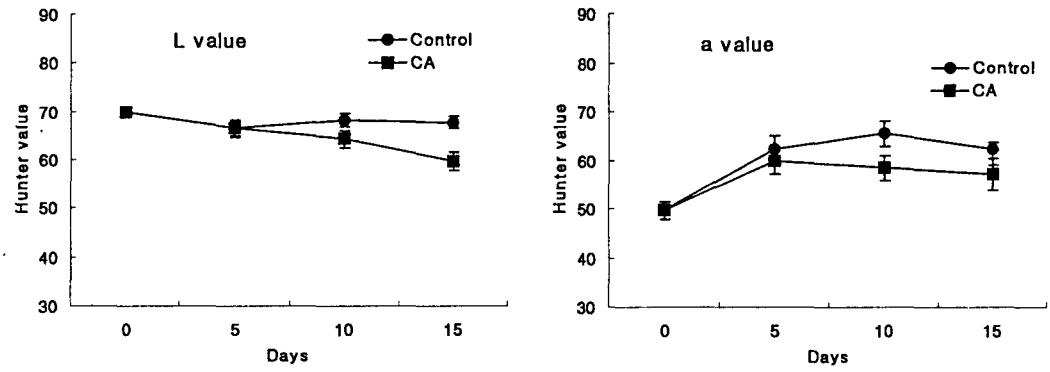
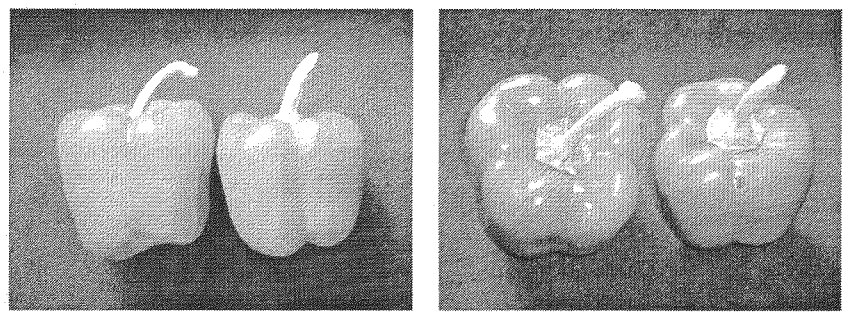


그림 40. CA처리가 파프리카 저장 중 과피색에 미치는 영향

그러나 육안으로 과실 외관을 살펴보았을 때(그림 41), 대조구에서는 부패가 시작되었고 꼭지가 마르는 것이 확인될 정도이었지만 CA처리구에서는 이러한 증상이 관찰되지 않았다. 특히 대조구 과실은 저장 15일에 과피면이 작게 잘라지는 증상이 나타났으나 CA처리구에서는 이러한 증상이 관찰되지 않았다.



CA 무처리 CA 무처리

그림 41. CA 처리가 파프리카 외관 품질에 미치는 영향(저장 15일 후 조사)

따라서 파프리카에서도 고추와 마찬가지로 단기저장에서도 CA는 전반적으로 과실의 품질을 높게 유지시켜 유리하였다.

(2) 몇 가지 엽채류에 대한 CA 효과 검토

브로콜리는 근래에 들어 고급 양채류로 인식되어 생산량도 증가하고 소비도 널리 확산되고 있다. 국내의 브로콜리는 제주도를 비롯한 여러 지역에서 생산되고 있으나 품질관리가 어려운 작물의 하나로 인식되어 있다. 따라서 출하시기에는 출하관리를 위한 저장은 거의 실시하지 않고 전량 수확 즉시 출하하는 방식을 취한다. 일부 산지 농협을 중심으로 출하시기 조절을 위한 저장을 실시하였으나 탁월한 효과를 내지 못하고 있다. 수확한 브로콜리가 품질을 상실하는 주된 원인은 소화가 개화하여 황변되기 때문인데 이러한 현상은 브로콜리는 생리적으로 어린 시기에 수확하므로 조직의 생장과 발육을 제어하지 못하면 수확한 이후에도 꽃이 피게 되어 일어나는 현상이다. 또한 에틸렌에 노출될 때 황화현상이 심하게 발생하므로 저온과 에틸렌 제거가 수확 후 관리기술로 적극 권장되고 있다. Hansen 등(2001)은 브로콜리 저장 7일(10℃)에서 황화현상이 관찰되며 CA조건에서는 2주까지 황화현상을 지연시킬 수 있다고 하였다. McKenzie 등(2004)도 5% O_2+10% CO_2 환경이 브로콜리 품질 향상에 긍정적이며 이

러한 기작으로 CA처리는 액포의 당류 소비에 있어 막투과성을 조절하므로 얻어진다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 브로콜리에 대한 CA효과를 검토하여 단시간 저장에서 품질 유지효과를 확인하고자 하였다.

무게감량은 CA처리에서 대조구에 비하여 다소 적은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 전술한 다른 작물에서 관찰된 것과 마찬가지로 저장환경이 고습도를 유지하였기 때문으로 생각된다. 특히 꽃덩이를 손으로 만졌을 때 대조구의 브로콜리는 탄성을 잃어 부드러운 느낌이었으나 CA처리구의 것은 탄력적으로 느껴져 우수한 상태를 유지하고 있었다(그림 42).

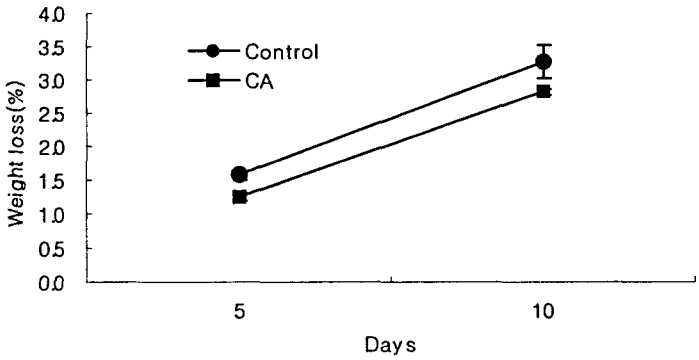


그림 42. CA처리가 저장 중 브로콜리의 무게감량에 미치는 영향

대조구의 브로콜리는 꽃송이의 소화가 황화된 것을 명확히 보여주었으나 CA처리구의 것은 뚜렷한 녹색을 유지하고 있었다(그림 43, 44). 따라서 소화의 엽록소 수준을 비교하였을 때 표 43에서와 같이 CA처리구의 브로콜리의 엽록소가 저장 10일에는 35%이상 높게 나타났다.

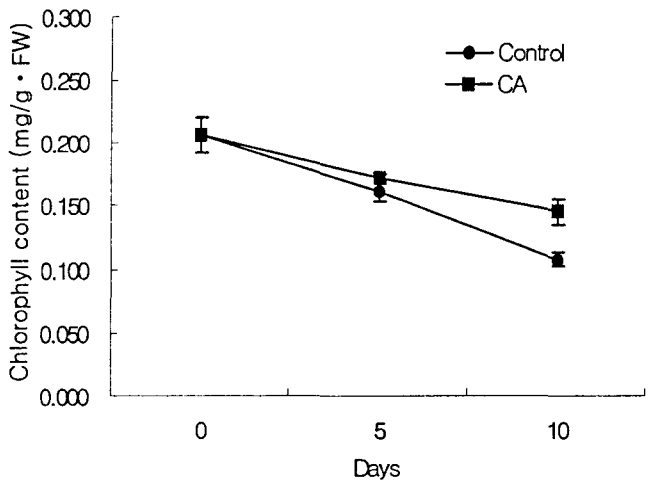
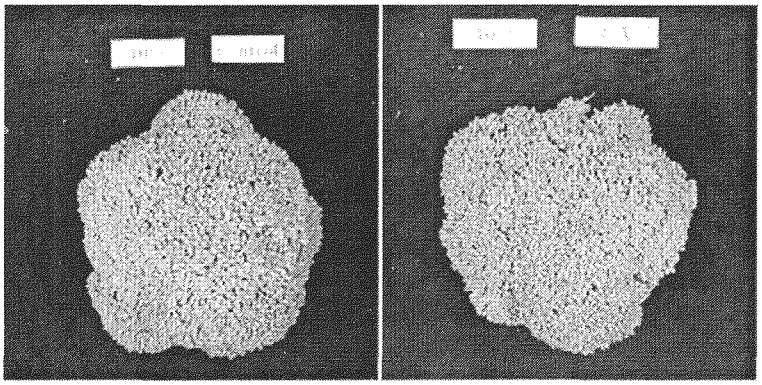


그림 43. CA처리가 브로콜리 소화의 엽록소 함량이 미치는 영향

저장 10일후 조사한 전반적인 품질은 대조구에 비하여 CA처리구의 경우 건전한 외관을 유지하고 있으며 꽃송이도 단단한 상태를 유지하고 있었다. 이러한 결과는 CA처리가 브로콜리와 같이 품질 저하가 쉽게 발생하는 작물에 있어 단기저장 중에서 CA기술의 접목은 품질 증진을 통한 경쟁력 강화에 도움이 될 것으로 예상된다.



대조구(Air)　　CA(O_2 3%+CO_2 10%)

그림 44. CA처리가 브로콜리 저장 중 외형 품질에 미치는 영향
(저장 10일 후 관찰한 결과임)

배추는 우리나라 엽채류 중 매우 중요한 경제적 위치를 차지하고 있는 작물이지만 최근 부분 가공한 중국산 배추의 수입 급증으로 인하여 많은 어려움을 겪고 있다. 배추 저장은 부분적으로 실시되고 있지만 가을배추의 경우 생산이 과잉되는 경우가 흔하며 따라서 출하 성기에 생산 과잉으로 가격이 폭락하면 수확을 포기하는 경우도 흔하다. 따라서 품질을 높게 유지시키며 저장 기간을 연장할 수 있는 방안을 모색하여야 할 것으로 판단된다.

배추를 일반 저온 저장할 경우 저장 중 지나친 건조 또는 무름병 등의 발생으로 저장을 마친 다음 비가식부를 제거하기 위하여 다듬기 작업을 할 경우 손실이 심하여 저온 저장의 효과가 그리 크지 않은 것으로 알려져 있다. 이러한 손실이 발생하는 주 원인은 겉잎이 잘 마르지 않았을 배추를 그대로 저장할 경우 다루는 과정에서 생긴 물리적 손상으로 겉잎으로부터 부패가 심하게 진행되거나 표면건조를 잘 시켜 저장한 경우에도 저장 중 무게감량이 심하여 상품화율이 낮은 문제점을 지적하고 있다(조치원농협 관계자). 따라서 본 연구에서는 CA기술을 적용하여 이러한 문제를 개선하고자 하였다.

저장 3개월간 발생한 무게감량을 비교한 결과 대조구에 비하여 CA처리구의 감량은 1.04%로 대조구의 4.47%에 비하여 23% 수준에 불과하였다(그림 45). 이러한 결과는 CA저장의 경우 저장고의 밀폐도가 상대적으로 우수하기 때문과 품질이 높게 유지됨에 따라 감량이 적게 발생한 것으로 추정할 수 있다. 그러나 잎 조직의 경도를 비교

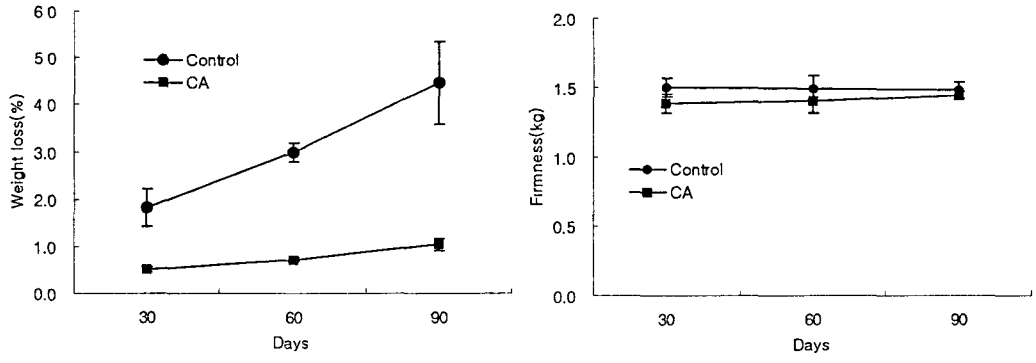


그림 45. CA 처리가 배추의 저장 중 무게감량과 경도에 미치는 영향

하였을 때 처리간 차이가 확인되지 않아 유사한 수준으로 조사되었다.

이러한 원인은 잎의 경도 조사는 중간 부위 잎을 대상으로 실시하였기 때문으로 추정되는데 대조구의 경우에도 겉잎에 싸여있는 내부 조직의 세포벽 조직의 연화는 현저하지 않은 것으로 판단할 수 있다.

조직의 엽록소 수준은 처리간 차이가 뚜렷하여 대조구의 경우 저장 중 감소한 결과이었으나 CA처리의 경우 오히려 높게 나타나 저장 중 엽록소 손실이 거의 발생하지 않은 것으로 추정할 수 있다(그림 46).

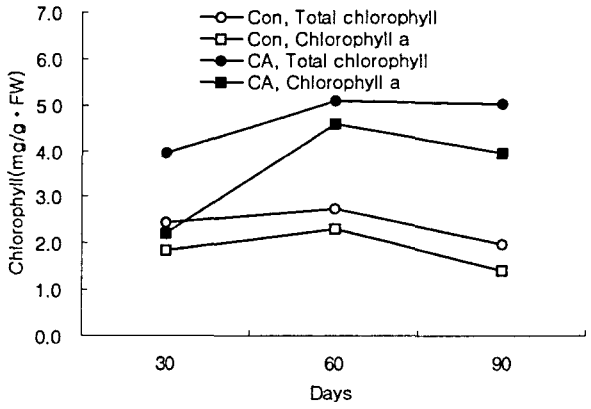


그림 46. CA처리가 배추의 엽록소 함량이 미치는 영향

색도를 비교하였을 때 L 값은 대조구에서 다소 높았고 반면에 b값은 차이는 크지 않으나 CA 처리구에서 다소 높게 나타나 CA처리가 배추의 색택 변화를 지연시킨 것으로 판단된다(그림 47).

반면에 호흡은 CA처리구에서 월등히 높은 수준이었는데 이러한 결과는 CA저장한 배추의 전반적인 생리적 상태가 우수하였기 때문으로 추정할 수 있다(그림 48).

배추의 총당 함량을 조사하였을 때(그림 49) 대조구의 경우 저장 60일에 다소 증가한 다음 다시 감소하는 경향이었는데 CA처리구에서는 일정한 수준으로 유지되었다. 따라서 CA처리에서 당함량 수준의 변화가 관찰되지 않은 것은 대사작용이 억제되므로 내적 성분의 변화가 제한되기 때문으로 추정할 수 있다.

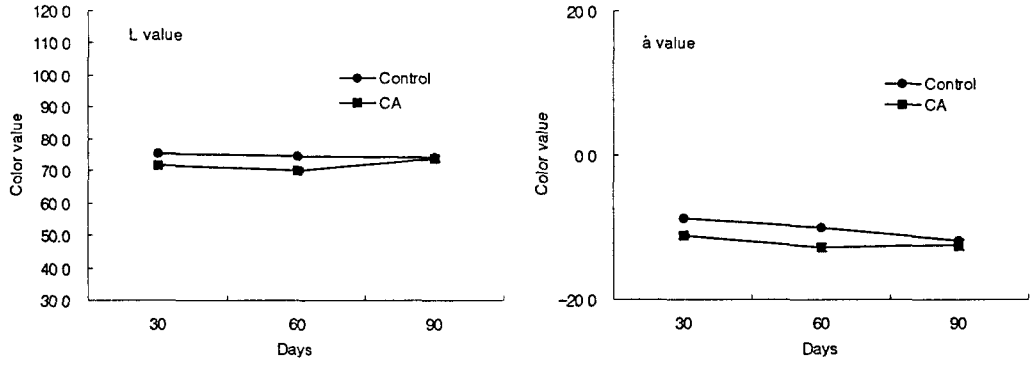


그림 47. CA처리가 배추 저장 중 과피색에 미치는 영향

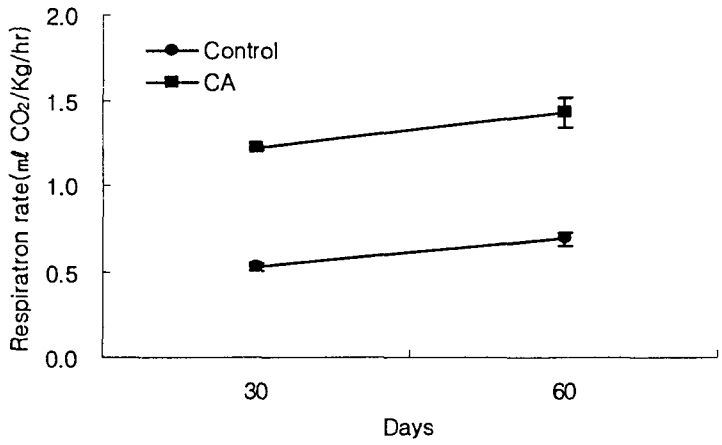


그림 48. CA처리가 배추의 호흡에 미치는 영향

저장한 배추의 가식부 비율을 조사한 결과에서 처리간 차이가 현저하게 나타났는데 대조구의 경우 저장 30일에 이미 다듬기 작업으로 20.9%의 손실이 발생하였고 90일에는 35.3%의 손실이 발생한 반면 CA저장한 경우 저장 30일에 9.8%이었으며 60일에도 14.1%에 불과하였다. 그러나 저장 90에는 24.1%로 대조구의 35.3%보다 낮았지만 많은 증가를 보였다. 특징적으로 대조구의 배추는 건조한 겉잎과 물러진 잎이 많아 담듬기로 많은 부분이 제거된 반면 CA의 경우 눌려있는 조직이 물러진 경우가 대부분이었다(그림 50).

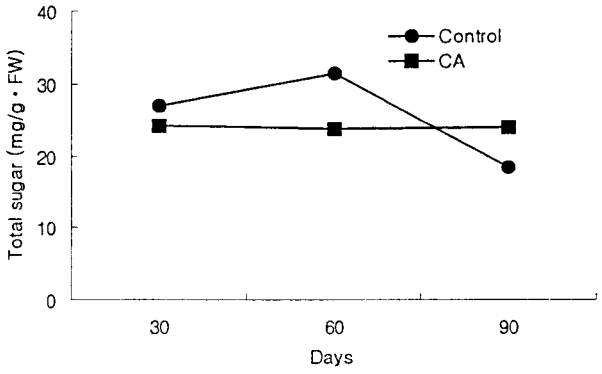


그림 49. CA처리가 배추의 총당 함량에 미치는 영향

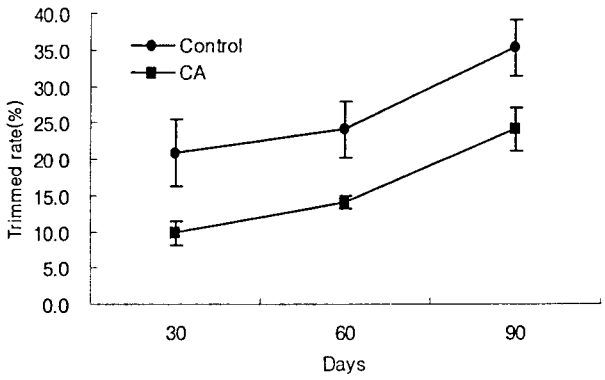


그림 50. CA처리가 배추의 감모율에 미치는 영향

저장을 마친 배추에 대하여 다듬기 작업을 하고 외형을 비교하였을 때(그림 51), 처리간 차이가 명확하였는데 이는 그림 50에서와 같이 다듬기 작업으로 발생하는 손실이 CA처리구에서 월등히 적었던 것과 마찬가지로 대조구의 배추는 겉잎이 3장 이상 건조하여 가식부위가 줄어 든 반면 CA처리구의 배추는 건조가 억제된 만큼 기식부위 비율이 높게 나타났다. 특히 처리간 외형을 살펴보았을 때 개체간 차이가 컸지만 대조구에서는 저장할 때 배추를 포개 놓아 눌린 부위가 물러지는 경우가 많았는데 CA처리구에서는 이러한 개체가 현저히 적었다. 또한 배추에서 깻씨무늬병과 유사한 반점이 중륵에 나타난 개체가 관찰되었으나 처리가 일정한 경향을 없었다. 본 연구는 2회에 걸쳐 실시하였는데 결과가 유사하여 본 보고서에는 1차 결과만 보고하였다.

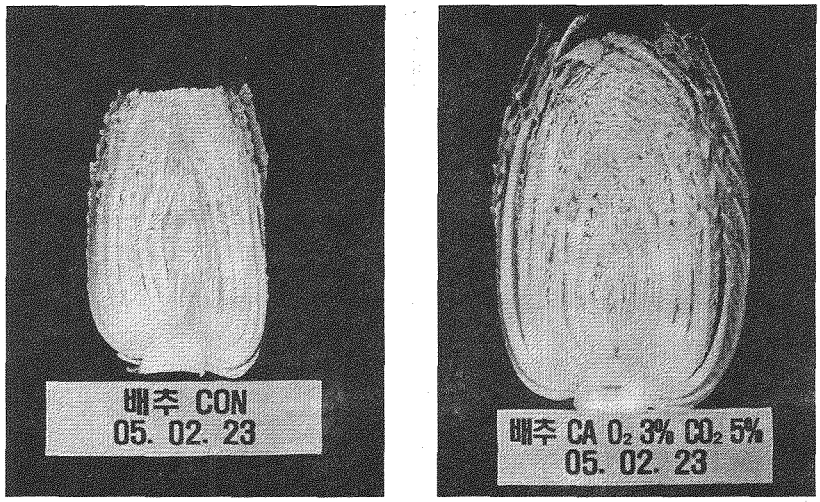


그림 51. CA처리가 배추의 품질에 미치는 영향(90일 저장 후 모습)

상추는 엽채류 중 연중 소비가 많은 작물의 하나이다. 그러나 잎이 얇고 육질이 유연해서 수확한 다음 관리가 부적절할 때 쉽게 물러지거나 말라 상품가치를 상실하게 된다. 따라서 일반적으로 건조를 방지하기 위해 골판지 상자에 담기 전에 플라스틱 필름으로 싸거나 소극적 MA포장을 하여 출하하고 있다. 상추 또한 출하시기의 기상조건에 따라 가격 진폭이 매우 큰 작물의 하나이다. 따라서 생산농가 또는 단위농협

등의 유통센터에서는 상추의 단기 저장에 의한 출하시기 조절에 대한 필요가 있으나 적극적인 수확 후 관리 기술이 적극적으로 수용되지 않고 있는 작물 중 하나이다.

상추에 대한 CA저장 효과를 검토한 결과(그림 52) 무게감량은 다른 작물과 마찬가지로 CA처리에서 유의하게 적은 것으로 나타났으며 저장 18일에서 조사한 결과 대조구의 감량은2.67%이었으나 CA처리구는 1.56%이었다. 따라서 다른 작물과 마찬가지로 감량 방지에 대한 CA처리 효과는 명확하였다.

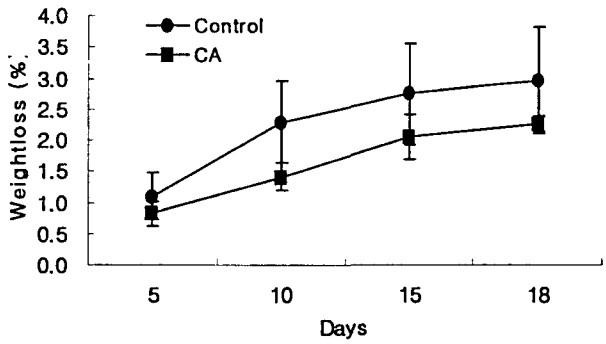


그림 52. CA 처리가 저장 중 상추의 무게감량에 미치는 영향

상추의 호흡은 비교적 높은 편이었는데 조사시기에 따른 경향이 일정하지 않았지만 CA처리 호흡이 항상 대조구보다 낮았다(그림 53). 이러한 결과는 배추와 전혀 다른 양상이었다.

엽록소는 수확 후 빠르게 분해되는 성분의 하나인데 처리간 엽록소 수준을 비교하였을 때(그림 54), 총 엽록소 수준 처리에 관계없이 저장 5일에 급격히 감소하여 저장 15일을 제외하고는 비교적 일정한 수준으로 유지되었다. 그러나 같은 시기에서 엽록소 수준은 CA 처리에서 항상 높게 유지되었다. 또한 처리에 관계없이 엽록소 a의 감소가 뚜렷하였고 엽록소 b는 상대적으로 감소폭이 적었다.

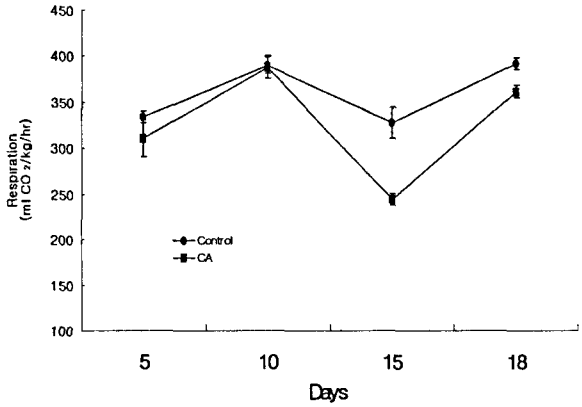


그림 53. CA 처리가 저장 중 상추의 호흡량에 미치는 영향

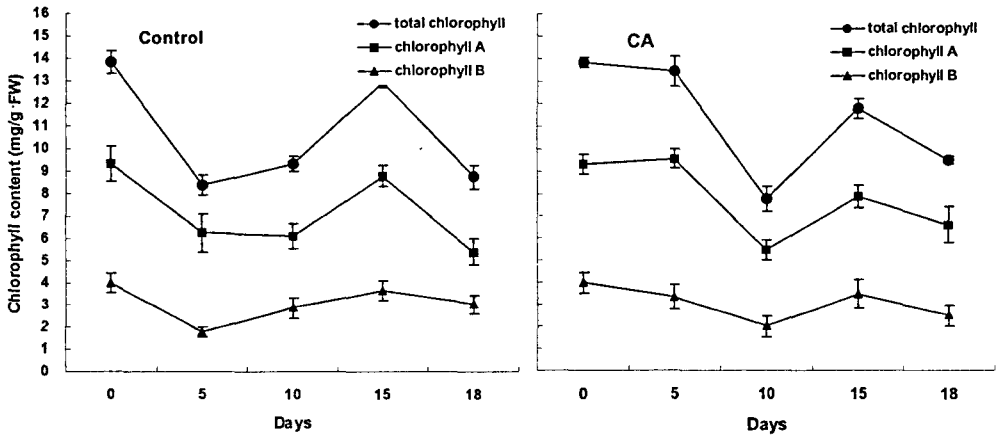


그림 54. CA 처리가 저장 중 상추의 엽록소 함량에 미치는 영향

저장기간에 따른 총당 함량은 일정한 변화를 보이지 않아 대조구의 경우 비교적 일정한 수준으로 유지되었는데 비하여 CA처리구의 총당은 저장 15일까지 점증하였으며 최종 조사일인 18일에는 오히려 대조구보다 낮은 수준이었다(그림 55). 호흡과 비교할 때 CA처리구의 호흡이 대조구에 비하여 높았음에도 총당 수준이 높았던 것은 해석하기 어려운 면이 있어 추후 구체적인 연구가 필요할 것으로 예상된다. 당의 조성에 대한 조사에서 두 처리 모두 과당이 가장 많았고 상대적으로 자당은 적었다. 처리간에

는 일정한 경향이 관찰되지 않았으나 대체적으로 과당은 시기적 차이는 있었으나 처리간 차이가 크지 않았고 단지 CA처리에서 포도당이 약간 높은 수준이었다. 자당의 처리간 차이가 거의 없었다.

상추는 배추와 마찬가지로 2회에 걸쳐 실시하였는데 두 실험 모두 유사한 결과를 얻어 본 보고서에는 1차 실험 결과만 제시하였다. 특히 저장기간이 길어지면서 결로가 생겨 상추 잎이 적은 경우 물러지는 현상이 관찰되었다. 이러한 증상은 두 처리 모두 심하지 않았으나 부분적으로 잎이 단단하게 붙어 겹쳐진 경우에 발생하였다. 본 연구에서 제시한 결과는 청치마 상추이었는데 적치마 상추의 경우도 저장 20일까지 품질이 유지되었다(재료 미제시).

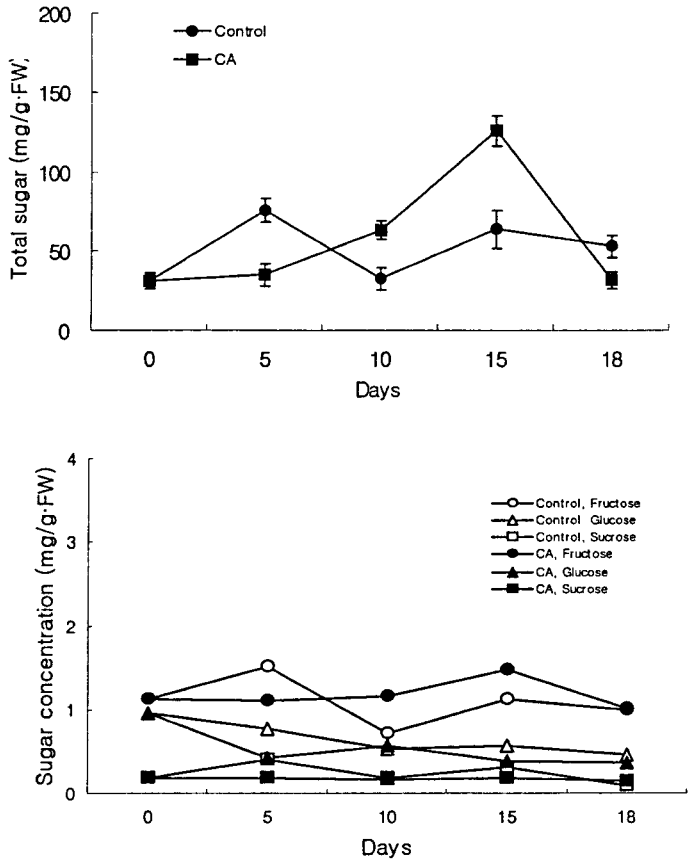


그림 55. CA 처리가 저장 중 상추의 총당과 당조성 변화에 미치는 영향

(3) 양송이버섯 저장에 대한 효과

양송이는 유통기간이 매우 짧은 특성을 지니므로 수확 이후 수일간의 판매조건에서도 품질 저하에 따라 상품가치가 저하되는 경우가 흔하다. 따라서 생산현지에서는 간이식 소형 저온실에 수확한 버섯을 넣어 출하할 때까지 일시적으로 보관하지만 출하 기조절을 위한 2~3일의 보관도 현장에서는 어려운 실정이다.

본 연구에서는 단기저장성을 확보하여 출하시기 조절을 위한 방안으로 양송이의 CA 적응성을 검토하였다. 최대 10일간 저장하여 처리간 품질을 비교하였을 때 전반적인 외관 품질이 대조구에 비하여 우수하였다.

갓 조직의 경도(탄성)는 CA처리에 따른 현저한 차이를 보이지 않았으나 색택은 유의차가 인정될 정도로 우수한 경향을 보였다(표 20). 무게감량 또한 저장 5일에 대조구의 경우 7.38%, CA처리구는 3.18%로 현저히 낮은 결과를 보여주었으며 저장 10일에도 유사한 결과이었다. 특히 표면 색택은 CA처리구의 경우 구입당시 눌리거나 손상을 받은 부위를 제외하고는 변색되지 않았으나 대조구의 경우 탈색되어 원래의 미색에서 흰색으로 변한 양상을 보여주었다(표 21). 그러나 대의 경우 다소 물러진 느낌을 주었는데 그 정도는 대조구에서 심하였고 CA처리구에서는 다소 완화되었으나 완전히 방지되지 않았다.

표 20. CA처리가 양송이의 경도, 무게감량, 호흡 및 에틸렌 발생에 미치는 영향

처리	기간 (일)	경도 (kg)	무게감량 (%)	호흡 (ml CO_2/kg/hr)	에틸렌 (ul/kg/hr)
Air	0	0.64±0.01	0	107.9±6.2	ND
	5	0.34±0.02	7.38±1.14	95.9±7.0	ND
	10	0.21±0.01	12.69±1.23	-	ND
O_2 3%+	0	0.64±0.01	0	107.9±7.0	ND
CO_2 10%	5	0.42±0.02	3.68±0.29	106.4±7.8	ND
	10	0.35±0.02	6.95±0.32	-	ND

표 21. CA 처리가 양송이 저장 중 표면 색택에 미치는 영향

처리	기간(일)	Hunter value		
		L	a	b
Air	0	87.0±1.01	-2.20±0.28	17.6±0.99
	5	90.4±0.85	-2.50±0.11	18.1±1.84
	10	98.6±5.45	-3.53±1.21	20.4±1.56
O_2 3%+ CO_2 10%	0	87.0±1.01	-2.20±0.28	17.6±0.99
	5	87.4±2.43	-2.81±0.31	22.5±0.72
	10	90.5±4.44	-3.01±0.42	22.6±0.65

(주) 저장온도 0℃, 습도 98% 이상

대조구의 경우 자실체의 부피가 전반적으로 증가한 경향을 보여주었는데 이는 수확한 다음에도 자실체가 자라기 때문으로 추정되며 그림 56에서와 같이 자실체의 갓이 벌어지는 결과를 나타내었다. 반면에 CA처리의 경우 저장당시와 유사한 모양을 유지하고 있었다. 본 연구에서 이용한 양송이의 경우 도매시장에 출하된 상품을 대상으로 실시하였기 때문에 수확즉시의 기대치보다 전반적으로 품질이 다소 낮은 상태이었음에도 불구하고 10일간의 저장기간 중 CA처리구의 경우 전반적으로 상품가치가 크게 손상되지 않은 점을 고려할 때 단기저장에 의한 출하기간 연장의 목적을 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

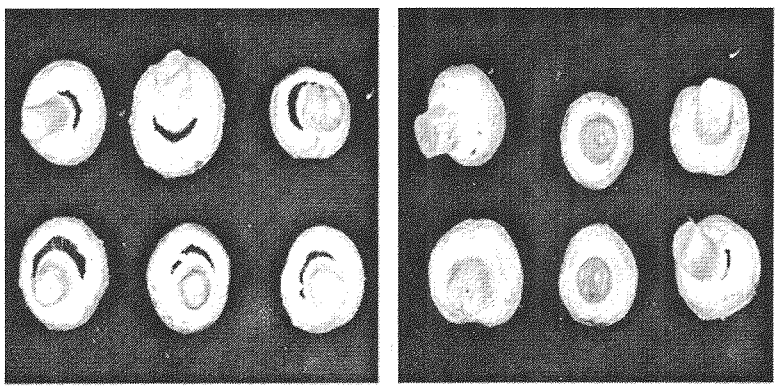


그림 56. 저장 10일 후 양송이 외관 비교(좌: 대조구, 우: CA저장)

(4) 복숭아의 CA 저장반응 비교

복숭아 수확 후 관리에서 가장 심각한 장해는 wooliness 발생에 따른 품질 저하이다. 천도복숭아에서도 유사한 장해가 발생하여 일반적으로 복숭아는 생산시기가 고온기인 만큼 적극적인 냉각 또는 저장을 회피하고 출하하는 방식을 취하고 있다. 복숭아에서 널리 발생하는 wooliness 장해는 저온 저장할 때 발생하며 이의 방지를 위하여 다양한 수확 후 처리기법이 검토되었다. Zhou 등(2000a)은 천도복숭아를 수확한 다음 20℃에서 48시간 방치한 다음 저장할 때 장해 발생을 억제시키며 CA저장(O_2 3%+CO_2 10%)가 유리하다고 하였다. 이들은 또 다른 연구에서 wooliness 발생은 pectin의 가수분해 결과이며 장해를 받은 조직이 건조해 보이는 것은 chelator pectin이 젤리를 형성하기 때문이라고 하였다. 이러한 장해가 있음에도 불구하고 복숭아에 대한 CA처리 효과는 인정되고 있다.

본 연구에서 개발하고자 하는 CA 조건에서 천도복숭아를 대상으로 그 효과를 검토하였다. 무게감량은 철간 현저한 차이를 보여 CA처리구의 감량은 저장 20일까지 대조구의 1/3수준으로 유지되었다(그림 57). 과육 경도는 두 처리 모두 저장기간이 길어짐에 따라 감소하는 경향이었는데 그 감소폭은 대조구에서 빠르게 진행되어 저장 5일

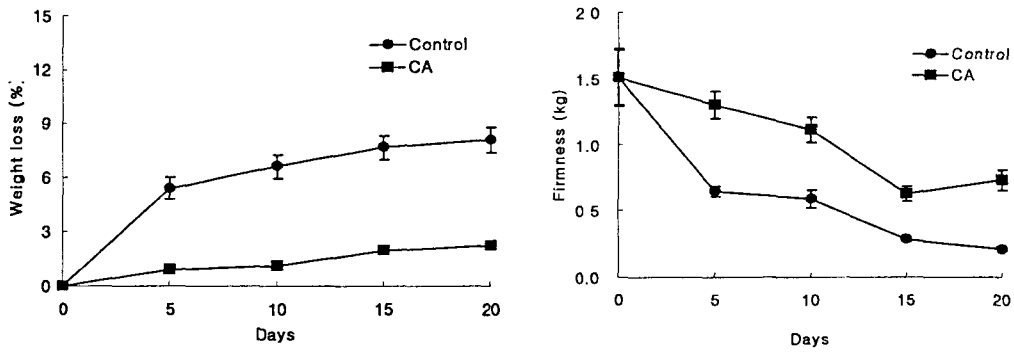


그림 57. CA처리가 복숭아 저장 중 감량과 경도 변화에 미치는 영향

에 이미 관능적으로 느낄 수준으로 물러졌다. 반면에 CA 처리과실은 저장 15일에도 대조구보다 높은 수준으로 유지되었다. 따라서 저장 20일의 과육 경도도 현저히 높은 수준이었다.

과실 색도를 조사하였을 때 CA 처리구의 과실은 대조구에 비하여 L 값이 높게 유지되어 과색이 밝게 유지된 것을 알 수 있었다. 반면에 대조구는 과색이 짙어지는 경향을 육안으로 확인할 수 있었다. 한편 적색을 나타내는 a값은 최종 조사일에는 처리간 차이간 차이가 없었으나 저장 5일부터 대조구에서 높게 조사되어 대조고 과실의 색이 더욱 많이 발현되는 것으로 나타났다(그림 58). 이러한 결과는 CA조건에서 과실의 대사생리가 제한되어 착색 진행이 지연된 것으로 생각된다.

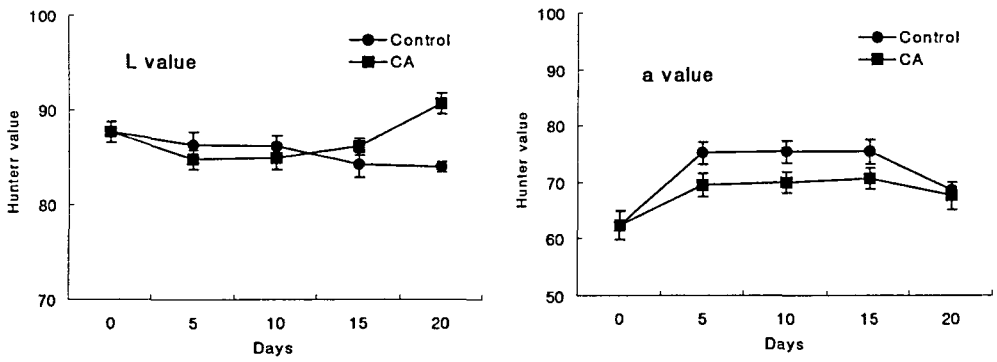


그림 58. CA 처리가 복숭아의 과색의 변화에 미치는 영향

처리간 가용성 고형물 수준의 변화를 살펴보았을 때 저장 5일후를 제외하고는 점차 감소하는 경향이 두 처리에서 모두 관찰되었다. 그러나 처리간에는 저장15일까지는 CA처리에서 감소폭이 적어 더욱 높은 수준이었다(그림 59).

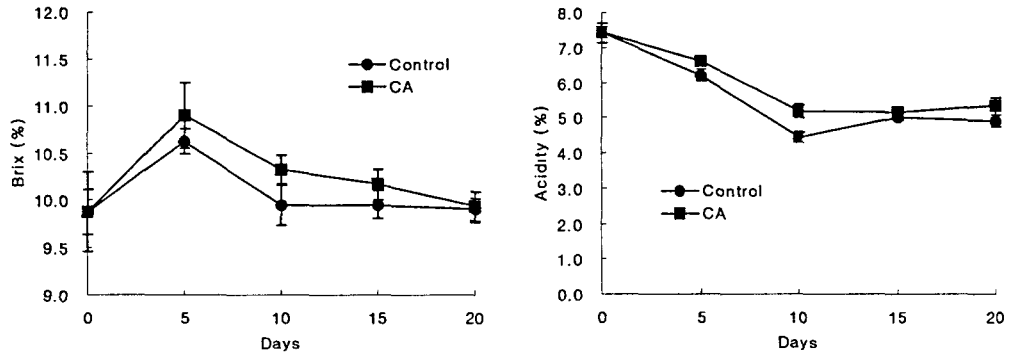


그림 59. CA처리가 복숭아의 가용성 고형물 및 적정산 함량 변화에 미치는 영향

저장 중 호흡과 에틸렌 발생량을 조사하였을 때(그림 60), 저장 5일까지 변화가 없었으나 그 이후 감소하는 경향이었는데 대조구의 경우 최종조사일인 저장 20일에 다시 호흡이 급등하였으나 CA처리구에서는 이러한 현상이 관찰되지 않았다. 에틸렌의 경우 호흡과 달리 대조구의 경우 저장 10일부터 다소 발생량이 증가하였으며 15일부터 급격히 증가되어 에틸렌 클라이맥터릭현상이 관찰되었다. CA처리의 경우 유사한 경향이었지만 그 폭이 현저히 작았고 급등 현상도 지연되었다.

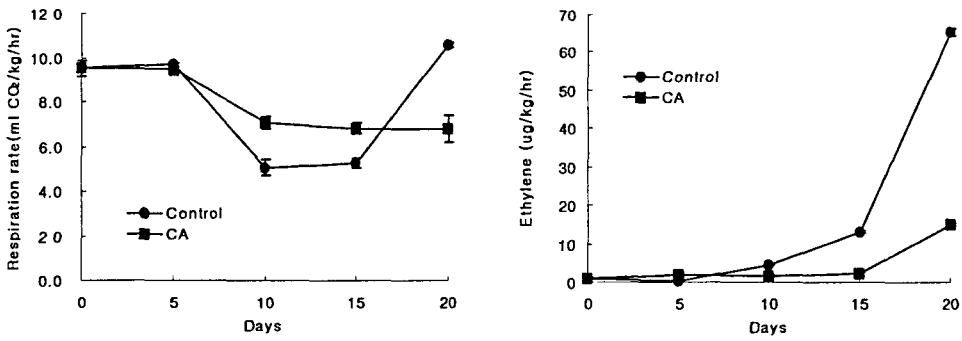


그림 60. CA처리가 복숭아 저장 중 호흡과 에틸렌 발생에 미치는 영향

총당의 변화는 처리간 차이를 나타내었는데(그림 61) 대조구의 경우 저장기간이 길어져도 단위 생체중당 당함량에는 큰 변화를 보이지 않은 반면 CA처리구의 경우 저장기간이 길어질수록 감소한 것으로 나타났다. 본 연구에서 검출한 총당은 알콜용해성 당류로 이것이 복숭아의 맛에 영향을 주는 당성분을 모두 나타내는 것인지 여부는 명확하지 않았지만 가용성 고형물과 다른 결과이었다.

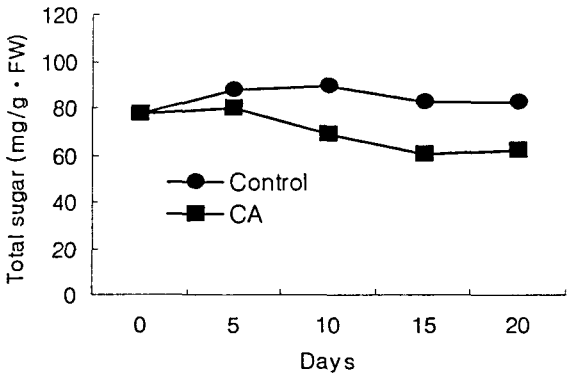
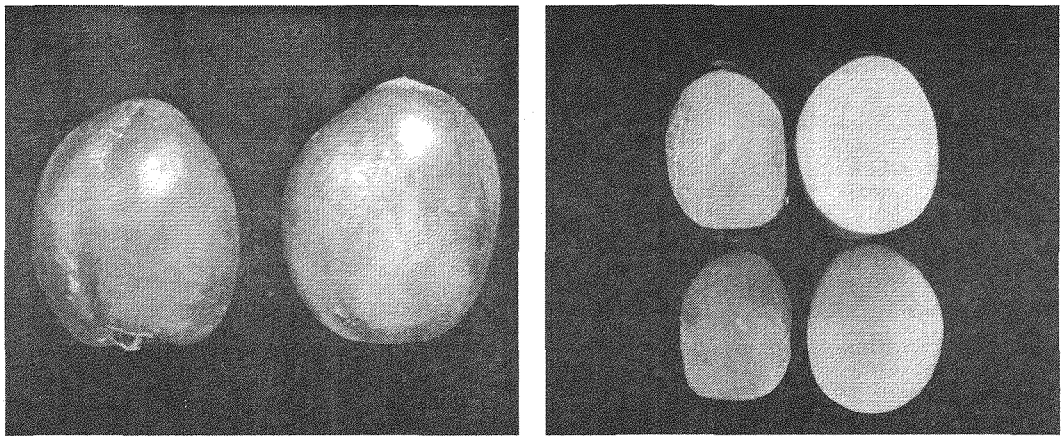


그림 61. CA처리가 복숭아 저장 중 총당 함량에 미치는 영향

복숭아의 전체적 외관 품질을 살펴보았을 때 처리간 차이가 명확하였다. 즉, 대조구의 경우 과육이 수침상을 일으키며 붕괴된 모습을 보여주었으나 CA처리 과실은 비교적 신선한 상태를 유지하고 있었다(그림 62).

천도복숭아에 대한 CA처리 효과를 전반적으로 검토할 때 CA처리는 복숭아의 노화를 지연시키며 특히 관능적 품질을 높게 유지시키므로 매우 유리한 수확 후 관리기술의 하나로 평가되었다.



Control CA Control CA

그림 62. 복숭아 외관 및 절단 단면 비교(저장 20일)

이상의 결과를 살펴 볼 때 본 연구에서 개발하고자 하는 수준의 CA 저장고일지라도 다양한 원예산물에 있어 저장 중 신선도 증진에 효과적인 것으로 밝혀졌다. 특히 본 연구에서 목적인 중단기 저장으로 출하조절을 꾀할 수 있는 과채류, 엽채류 등에 있어 소기의 목적을 달성함은 물론 CA저장기술 개발에도 기여할 것으로 예상된다. 또한 본 연구에서 개발된 보급형 콘테이너 CA저장고 활용에 대한 보다 다양한 연구가 지속되어 CA저장기술의 know-how를 축적할 필요가 있으며 이러한 노력은 최근 산업현장에서 도입하고자하는 규모화한 CA저장고의 활용을 확대하고 보다 다양한 관리 기술 축적을 이루는데 기여할 것은 물론 국내 원예산물의 수확 후 관리기술 개발과 발전에 기여할 것으로 예상된다.

인용문헌

Argenta, L., X. Fan, and J. Mattheis. 2000. Delaying establishment of controlled atmosphere or CO_2 exposure reduces 'Fuji' apple CO_2 injury without excessive fruit quality loss. Postharvest Biol. Technol. 20:221-229

Argenta, L.C., X.Fan, and J.P.Mattheis. 2002. Responses of 'Fuji' apples to short and long duration exposure to elevated CO_2 concentration. Postharvest Biology and Technology 24: 13-24.

Bailey, C.G., D.S. Jayas, R.A. Holley, L.E. Jeremiah, and C.O. Gill. 1998. Design, fabrication, and testing of a returnable, insulated, nitrogen-refrigerated shipping container for distribution of fresh red meat under controlled CO_2 atmosphere. PII: S0963-9969 00037-4.

Beaudry, R.M. 1999. Effect of O_2 and CO_2 partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. Postharvest Biol. Technol. 15:293-303.

Beecher, T.M., N. Magan, and K.S. Burton. 2001. Water potentials and soluble carbohydrate concentrations in tissues of fleshly harvested and stored mushrooms (*Agaricus bisporus*). Postharvest Biol. Technol. 22:121-131.

Bennik, M.H.J., W. Vorstman, E. J. Smid, and L.G.M. Gorris. 1998. The influence of oxygen and carbon dioxide on the growth of prevalent *Enterobacteriaceae* and *Pseudomonas* species isolated from fresh and controlled-atmosphere-stored vegetables. Food Microbiology 15:459-469.

Burdon. J., N. Lallu, D. Billing, D. Burmeister, C. Yearsley, M. Wang, A. Gunson, and H. Young. 2005. Carbon dioxide scrubbing systems alter the ripe fruit volatile profiles in controlled-atmosphere stored Hayward kiwifruit. Postharvest Biol. Technol. 33:133-141.

Chapon, J.F., C. Blanc, and P. Varoquaux. 2004. A modified atmosphere system using a nitrogen generator. Postharvest Biol. Technol.31:21-28.

Chervin, C., S. Kulkarni, S. Kreidl, F. Birrell, and D. Glenn. 1997. A high temperature/low oxygen pulse improves cold storage disinfestaion. Postharvest Biology and Technology 10:239-245.

Crisosto, C.H., F.G. Mitchell, and R. S. Johnson. 1995. Factors in fresh market stone fruit quality. Postharvest News and Information 6:17-21N.

Dijkink. B.H., M.M. Tomassen., J.H.A. Willemsen, and W.G. Vav Doorn. 2004. Humidity control during bell pepper storage, using a hollow fiber membrane contactor system. Postharvest Biol. Technol. 32:311-320.

Drosinos, E.H., C. Tassou, K. Kakiomenou, and G.E. Nychas. 2000. Microbiological, physio-chemical and proganoleptic attributes of a country tomato salade and fate of *Salmonella enteritidis* during storage under aerobic and modified atmosphere packaging condition at 4°C and 10°C. Food Control 11:131-135.

Hansen, M.E., H. Sorensen, and M. Cantwell. 2001. Changes in acetaldehyde, ethanol and amino acid concentrations in broccoli florets during air and controlled atmosphere storage. Postharvest Biol. Technol. 22:227-237.

Hwang, Y.S., Y.A. Kim, and W.S. Lee. 1999. Effect of postharvest CO_2, application time on the flesh firmness and quality in 'Nyoho' strawberries. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:179-182.

Imahori, Y., M. Kota, Y. Ueda, M. Ishimaru, and K. Cachin. 2002. Regulation of ethanolic fermentation in bell pepper fruit under low oxygen stress. Postharvest Biol. Technol. 25:159-167.

Jacxsens. L., F. Devlieghere, and J. Debevere. 2002. Predictive modelling for

packaging design: equilibrium modified atmosphere packages of fresh-cut vegetables subjected to a simulated distribution chain. Intern. J. Food Microbiol. 73:331-341.

Jameson, J. 1993. CA storage technology in the 1990's. Postharvest news and information vol.4 No.1

Ke, D. and M.E. Saltveit, Jr. 1989. Carbon dioxide-induced brown stain development as related to phenolic metabolism in iceberg lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 144(5):789-794.

Kedar, A.A. and S. Ben-Yehoshua. 2000. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables (Review). Postharvest Biol. Technol. 20:1-13.

Kim, J.K. and R. B. H. Wills. 1998. Interaction of enhanced carbon dioxinde and reduced ethylene on the storage life of strawberries. J. Hort. Sci. Biotechnol. 73: 181-184.

Kweon, H.J., H.Y. Kim, O.H. Ryu, and Y.M. Park. 1999. Effect of CA storage procedures and storage factors on the quality and the incidence of physiological disorders of ' Fuji ' apples. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:35-39.

Lammertyn. J., N. Scheerlinck, P. Jancók, B.E. Verlinden, and B.M. Nicolaï. 2003. A respiration-diffusion model for Conference pears II. Simulations and relation to core breakdown. Postharvest Biol. Technol. 30:43-55.

Larsen. M. and C.B. Watkins. 1995. Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. Postharvest Biol. Technol. 5:39-50.

Lau, O.L. 1985 Storage procedures, low oxygen, and low carbon dioxide

atmospheres on storage quality of 'Golden Delicious' and 'Delicious' apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci 110:541-547.

Lau, O.L. 1990. Tolerance of three apple cultivars to ultra-low levels of oxygen. HortScience 25:1412-1414.

Lau, O.L. 1998. Effect of growing season, harvest maturity, waxing, low O2 and elevated CO2 on flesh browning disorders in 'Braeburn' apples. Postharvest Biol. Technol. 14:131-141.

Lee, K.A. and Y.J. Yang. 1998. Effects of low temperature and CA on quality changes and physiological characteristics of chilling injury during storage of squash(*Cucurbita moschata*). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:402-407.

Markarian, N.R., C. Vigneault, Y. Gariepy, and T.J. Rennie. 2003. Computerized monitoring and control for a research controlled-atmosphere storage facility. Computers and Electronics in Agriculture 39:23-37.

McKenzie, M.J., L.A. Greer, J.A. Heyes, and P.L. Hurst. 2004. Sugar metabolism and compartmentation in asparagus and broccoli during controlled atmosphere storage. Postharvest Biol. Technol. 32:45-56.

Meir, S., I. Rosenberger, Z. Aharon, S. Grinberg, and E. Fallik. 1995. Improvement of hte postharvest keeping quality and colour development of bell pepper(cv.'Maor') by packaging with polyethylene bags at a reduced temperature. Postharvest Biol. Technol. 5:303-309.

Menniti, A.M., M. Maccaferri, and A. Folchi. 1997. Physio-pathological responese of cabbage stored under controlled atmospheres. Postharvest Biol. Technol. 10:207-212.

Miar-Uddin. M.D. and H.S. MacTavish 2003. Controlled atmosphere and regular storage- induced S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides and alliinase activity in onion bulbs (*Allium cepa* L. cv. Hysam). Postharvest Biol. Technol. 28:239-245.

Nahor. H.B., W. Schotsmans, N. Scheerlinck, and B.M. Nicolaï. 2005. Applicability of existing gas exchange models for bulk storage of pome fruit: assessment and testing. Postharvest Biol. Technol. 35:15-24.

Pariasca. J.A.T., T. Miyazaki, H. Hisaka, N. Nakagawa, and T. Sato. 2000. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and controlled atmosphere (CA) storage on the quality of snow pea pods (*Pisum sativum* L. var. *saccharatum*). Postharvest Biol. Technol. 21:213-223.

Park, Y.M. 2002. Effects of precooling and modified atmosphere packaging on the fruit quality changes of mid-season nectarines during short-term storage and marketing. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43:512-517.

Park, Y.M. and S.G. Lee. 2003. Evaluation on the prediction model for incidence of controlled atmosphere-related internal browning disorders in Fuji apples. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44:412-417.

Park. Y.S. 1999. Effects of storage temperatures and CA conditions on firmness, fruit composition, oxygen consumption and ethylene production of Asian pears during storage. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:559-562.

Porter, K.L. and K.G. Collins. 2003. Chilling injury limits low temperature storage of 'Yuki' Chinese cabbage. Postharvest Biol. Technol. 28:153-158.

Saltveit, M.E. 2003. Is it possible to find an optimal controlled atmosphere?. Postharvest Biol. Technol. 27:3-13.

Saquet. A.A., J. Streif. and J.F. Bangerth. 2003. Energy metabolism and membrane lipid alterations in relation to brown heart development in 'Conference' pears during delayed controlled atmosphere storage. Postharvest Biol. Technol. 30:123-132.

Shmulevich I., R. Ben-Arie, N. Sendler, and Y. Carmi. 2003. Sensing technology for quality assessment in controlled atmospheres. Postharvest Biol. Technol. 29:145-154.

Sånchez, M., Cåmara, and · P. Díez-Marqués. 2003. Extending shelf-life and nutritive value of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.), by controlled atmosphere storage: micronutrients. Food Chem. 80:317-322.

Toivonen, P.M.A. and J.R. DeEll. 2001. Chlorophyll fluorescence, fermentation product accumulation, and quality of stored broccoli in modified atmosphere packages and subsequent air storage. Postharvest Biol. Technol. 23:61-69.

Uddin, Md.M. and S.H. MacTavish. 2003. Controlled atmosphere and regular storage-induced changes in S-alk(en)yl-cystein sulfoxides and alliinase activity in onion bulbs (*Allium cepa* L. cv. Hysam). Postharvest Biol. Technol. 28:239-245.

Veazie. P.P. and J.K. Collins. 2002. Quality of erect-type blackberry fruit after short intervals of controlled atmosphere storage. Research note. Postharvest Biol. Technol. 25: 235-239.

Villaescusa, R. and M.I. Gil. 2003. Quality improvement of *Pleurotus* mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. Postharvest Biol. Technol. 28:169-179.

Wang, C.Y. and L. Qi. 1997. Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumber. Postharvest Biol. Technol. 10:195-200.

Wang. Y.S., S.P. Tian, and Y. Xu. 2005. Effects of high oxygen concentration on pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruits during postharvest periods. Food Chem. 91:99-104.

Watkins, C.B., J.F. Nock, and B.D. Whitaker. 2000. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air controlled atmosphere storage conditions. Postharvest Biol. Technol. 19:17-32.

Yang, Y.J. and K.A. Lee. 1997. Physiological characteristics of chilling injury and CA effect on its reduction during cold storage of pepper fruit. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:478-482.

Yang, Y.J. and K.A. Lee. 1998. Thiabedazole and CA effects on reduction chilling injury during cold storage in pepper fruit. Kor. Soc. Hort. Sci.39:680-683
Yang, Y.J., K.A. Lee. 1999. The changes of acetaldehyde, ethanol and firmness during CA storage of strawberries. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:303-305.

Yang, Y.J. and U.H. Pek. 1996. Effect of CA storage on postharvest quality and color changes of chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*). Kor. Soc. Hort. Sci. 37:662-665.

Zhou, H.Z. and S. Lurie, A. Lers, A. Khatchitski, L. Sonego, R.B. Arie. 2000. Delayed storage and controlled atmosphere storage of nectarines: two strategies to prevent woolliness. Postharvest Biol. Technol. 18:133-141.

Zhou, H.Z., S. Lurie, A. Lers, A. Khatchitski, L. Sonego, and R.B. Arie. 2000. Delayed storage and controlled atmosphere storage of nectarines: two strategies to prevent woolliness. Postharvest Biology and Technology 18:133-141.

Zhou. H.W., R. Ben-Arie, and S. Lurie. 2000. Pectin esterase, polygalacturonase and gel formation in peach pectin fractions. Phytochemistry 55:191-195.