

고품질 건농산물(무, 당근 등)
연속가공처리시스템 개발

Development of Continuous Processing System
for High Quality of Dried Agricultural Products
(carrots, radishes)

(주)부 전

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “고품질 건농산물(무, 당근 등) 연속가공처리시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2009년 6월 20일

주관연구기관명 : (주)부전
주관연구책임자 : 박 범 순
세부연구책임자 : 한 충 수
세부연구책임자 : 조 성 찬
선 임 연 구 원 : 강 태 환
연 구 원 : 리 혁
연 구 원 : 홍 현 기
연 구 원 : 녕 효 봉
연 구 원 : 김 영 찬
연 구 원 : 김 무 중
연 구 원 : 박 상 용

요 약 문

I. 제 목

고품질 건농산물(무, 당근 등) 연속가공처리시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 건농산물이 대량으로 수입되고 있고, 이로 인한 건조제품의 품질, 안전성 문제 등이 제기되고 있는 실정이다. 더욱이 국내에서는 일부 농산물의 과잉생산 및 가격폭락이 되풀이되고 있다. 따라서 본 연구에서는 국산 농산물에 대한 고부가 가치 창출, 소비자에게 안전한 농산물 제공, 정부의 산지폐기 보전금 절감 및 건농산물 수입대체 효과 등을 위하여 국산 농산물을 이용한 고효율 건농산물 연속가공처리시스템을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

가. 국산 농산물(무, 당근 등)을 이용한 건농산물 연속가공처리시스템 단위 기계설계·제작(1차년도)

- 공기방울을 이용한 연속식 1차 세척시스템 설계·제작 및 성능평가
- 브러시 회전을 이용한 2차 세척시스템 설계·제작 및 성능평가
- 칼날 회전식 세절기 설계·제작 및 성능평가
- 벨트 컨베이어식 원적외선 건조기(2단) 설계·제작
- 당근, 무의 원적외선 건조특성 구명 및 적정 건조조건 확립
- 포장장치 설계·제작 및 성능평가

나. 국산 농산물(무, 당근 등)을 이용한 건농산물 연속가공처리시스템 보완제작 및 시운전(2차년도)

- 브러시 및 금강사 롤러 회전을 이용한 2차 세척시스템 보완제작 및 적정 세척방법 확립
- 2차 세척시스템에 재활용할 수 있는 세척수 재활용 장치 설계·제작
- 세절기 세절특성 분석 및 적정 칼날의 선정
- 마이크로파를 이용한 무, 당근의 예열시스템 설계·제작 및 적정 예열조건 확립
- 연속가공처리시스템의 시료 이송장치 설계·제작
- 연속가공처리시스템 시운전

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 무, 당근의 세척시스템 설계·제작 및 성능평가

- 브러시와 금강사 롤러를 이용한 세척장치를 제작하였고, 금강사 롤러의 수량, 회전속도, 세척시간 등에 따른 무, 당근에 대한 세척도 및 감모량을 구명하여 적정 세척조건을 확립하였다. 개발된 세척장치의 총 처리용량은 2.5~3.0ton/일이었으며, 연속가공처리시스템의 주요 단위기계로서 사용 가능한 것으로 판단된다.
- 2차 세척수를 1차 세척수로 재활용하는 세척수 재활용 시스템을 설계·제작하였으며, 세척량에 따른 적정 세척수 사용량을 구명하였다. 또한 2750kg/일의 무나 당근을 세척할 경우 2365ℓ/일의 물을 재이용하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 무, 당근의 세절시스템 설계·제작 및 성능평가

- 세절시스템은 칼날회전 방식으로 칼날길이 및 형식 등을 선정한 후 평균 절단길이, 절단효율, 안전성, 처리능력 등을 고려하여 세절기를 설계·제작하였다.
- 4종류의 칼날에 의해 세절한 무, 당근의 건조 및 품질 특성을 구명하고, 세절칼날을 선정하여 적정 세절방법을 확립하였다.

3. 마이크로파를 이용한 예열시스템 설계·제작 및 성능평가

- 켄베이어식 마이크로파 예열장치(24 kW)를 제작하였고, 예열장치의 벨트속도, 배습량이 무, 당근의 예열효과에 미치는 영향을 구명하여 적정 예열방법을 확립하였다.
- 칼날별 마이크로파 처리시간에 따른 예열특성을 구명하고, 적정 예열조건을 확립하였으며, 무, 당근의 예열시간은 20~35분이 적정한 것으로 나타났다.

4. 원적외선 건조시스템 설계·제작 및 성능평가

- 켄베이어식 원적외선 건조기[L(7000mm)×W(1950mm)×H(1600mm)]를 제작하였고, 피건조물과 방사판 사이의 간격조절 및 고온 원적외선 방사판을 이용하여 건조효율 향상시켰다.
- 건조조건별 농산물의 이화학적 특성, 표면색도, 수축율, 복원력 분석 및 현재 시판되는 건농산물과의 품질을 비교 평가하여 건조온도 70℃, 송풍속도 0.8m/s를 적정 건조조건으로 선정하였다.

5. 건농산물(무, 당근) 포장시스템 성능평가

- 포장기를 설계·제작한 후 무, 당근의 포장실험을 실시하여 성능을 평가하였다.

6. 활용에 대한 건의

- 본 연구는 고품질 건농산물을 생산하기 위하여 농산물 세척시스템, 세절시스템, 마이크로파를 이용한 예열시스템, 원적외선 건조시스템, 포장시스템 및 이송켄베이어 등을 설계·제작하여 건농산물 연속가공처리시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 활용으로서 협동

기관과 상품화를 위한 기술지원을 통해 농협 또는 영농법인을 선정하고 시운전할 필요가 있다고 판단된다. 단, 전체 시스템의 운반, 설치 및 시운전에 대한 비용지원이 필요하다.

SUMMARY

I. Title

Development of Continuous Processing System for High Quality of Dried Agricultural Products(carrots, radishes)

II. Objectives and Necessity of R/D

Currently, a large amount of dried agricultural products has been imported, and it has been issued that the problems of the quality and the safety of imported dried agricultural products. It has been also issued that the problems of unstable or/and low market price of agricultural products, resulting from overproduction in domestic market.

The objectives of this research was to develop the continuous processing system for high quality of dried domestic agricultural products. The continuous processing system could give higher value-added on domestic agricultural products for farmers, and provide the safe products for consumers, and the substitution effects of imported dry agricultural products and the saving effects of government budgets by reducing dumping away over-produced agricultural products for government.

III. Contents and Scope of R/D

A. Design and manufacture of the unit machine of continuous processing system for dry agricultural products by using domestic agricultural products(carrots, radishes, etc) : 1'st year

- Design and manufacture of the continuous water and bubble-washing system(1'st processing) and evaluate of efficiency of system.
- Design and manufacture of the brush roller washing system(2'nd processing) and evaluate of efficiency of system.
- Design and manufacture of the blade turning type chopper and evaluate of efficiency of system.
- Design and manufacture of the belt conveyer type far infrared dryer (two-stage) and evaluate of efficiency of system.
- Establish optimum drying condition and define the drying characteristics of the belt conveyer type far infrared dryer.
- Design and manufacture of the packing machine and evaluate of efficiency of system.

B. Complement and test of the continuous processing system for dry agricultural products by using domestic agricultural products(carrots, radishes)

- Design and manufacture of the emery and brush roller washing system(2nd processing)
- Design and manufacture of water recycling system using washed water coming from the second washing system.
- Analysis of cutting characteristics of chopper and selection of optimum blade size.
- Design and manufacture of the microwave preheating system, and establish of optimum preheating condition.
- Design and manufacture of the conveyance device.
- Test of the continuous processing system.

IV. Suggestions of the results and application

1. Design and manufacture of the washing system for carrots and radishes and evaluate the efficiency of the system

- The emery and brush roller apply to washing part of the washing system using. Optimum washing condition of carrots and radishes established a number of emery roller, revolution speed of roller, washing degree and decreased weight depended on washing time position. Washing capacity of developed washing system was 2.5~3.0ton/day, washing device could be used the main unit machine of continuous processing system for the dry agricultural products processing.
- Washed water recycling system was manufactured to recycle the waste water that came out from second washing processing. This waste water send to the water first washing processing by filtering. And optimum amount of washing water established to washing by amount of carrot and radish. Washed water recycling system could be saved water of the 2365ℓ/day to washing the carrots and radishes of 2750kg/day

2. Design and manufacture of the chopping machine for carrots and radishes and evaluate the efficiency of machine

- The chopping machine was manufactured in consideration of average cutting length, cutting efficiency, safety, and cutting capacity after selecting the blade lengths and types.
- Investigated the characteristics of dry conditions and quality of carrots and radishes cut by four kinds of blade, and established the optimum cutting method by selecting the optimum blade.

3. Design and manufacture of the microwave preheating system and evaluate the efficiency of system

- Manufacture the microwave preheating system(24kW) for agricultural products, and establish optimum preheating method and condition by investigating the effects of belt speeds and amount of moisture on preheating of carrots and radishes.
- It was found that 20~35 minute was the optimum preheating time for cut carrots and radishes. This result was based on the investigations of preheating characteristics of carrots and radishes according to microwave processing times and blade types.

4. Designing and manufacturing far infrared ray dryer system and evaluate the efficiency of system

- In order to improve dry efficiency, far infrared rays dryer of conveyer type using high temperature far infrared heater was manufactured and the space between far infrared heat and belt conveyer was reduced.
- It was investigated the drying characteristics of carrots and radishes such as drying rate and energy consumption. Evaluation of quality for dried carrots and radishes were conducted by physical characteristics, color difference, re-hydration ratio comparing with dried carrots and radishes in the market.

5. Evaluate the efficiency of packing system for dried carrots and radishes

- Design and manufacture of packing system of carrots and radishes and evaluate the efficiency of system

6. How to apply

- In this study, continuous processing system were developed for high quality of dried agricultural products(focused on carrot, radish, etc.) by manufacturing many sub-systems such as washing system of agricultural products, system of chopping, preheating system using microwave, dry system of far infrared ray, packing system, conveyer.
- It is suggested to test the continuous processing system for general use. For this, Nong-Hyup or agricultural corporation might be the best and it is necessary to economical and technical support for the test.

CONTENTS

Chapter I Introduction	1
Section 1 Significance	1
1. Technical aspects	1
2. Economic and industrial aspects	1
3. Social and cultural aspects	3
Section 2 Objectives	4
Section 3 Scope	4
Chapter II Research development status	5
1. Domestic situation	5
2. Foreign situation	6
Chapter III Results and discussions	7
Section 1 Components of processing system for dried agricultural products	7
Section 2 Design and manufacture of washing system	12
1. Bubble-washing system(1'st processing) and efficiency evaluation	12
2. Brush roller washing system (2'nd processing) and efficiency evaluation	15
1) Materials and methods	15
2) Results and discussion	18
1) Changes of weight according to washing time	18
2) Changes of color difference according to washing time	21
다. Conclusion	24
3. Washed water recycling system	25
Section 3 Development of cutting machine system	28
1. Design and Manufacture of cutting machine	28
2. Efficiency evaluation	28
1) Materials	28
2) Methods	28
3) Results and discussion	32
(1) Cutting capacity of four kinds of blade	32

(2) Drying time according to different size carrots and radishes	32
(3) Color difference	34
(4) Carotene contents	34
4) Conclusions	35
Section 4 Development of drying systems using far infrared rays	36
1. Design and manufacture of the far infrared rays dryer of conveyer type	36
2. Drying characteristics of carrots using far infrared rays dryer	42
1) Materials	42
2) Methods	42
3) Results and discussion	48
(1) Drying characteristics of carrots	48
(2) Temperature of materials and predicted model	57
(3) Color difference	63
(4) Rehydration ratio and predicted model	70
(5) Browning degree	80
(6) Carotene contents	83
(7) Energy consumption	86
(8) Drying model	88
(9) Optimum drying condition	95
4) Conclusions	98
3. Drying characteristics of radish using far infrared rays dryer	100
1) Materials and methods	100
2) Results and discussion	100
(1) Drying characteristics of radish	100
(2) Rehydration ratio	107
(3) Color difference	108
(4) Browning degree	109
(5) Energy consumption	110
Section 5 Development of microwave pre-heating systems	112
1. Design and manufacture of the microwave preheating system	112
2. Materials and methods	116
3. Results and discussion	118

1) Microwave pre-heating characteristics of carrot	118
(1) Moisture content	118
(2) Color difference	118
(3) Hardness	122
(4) Carotene contents	122
(5) Energy consumption	123
2) Drying and quality characteristics of pre-heated carrot	124
1) Drying characteristics	124
2) Carotene contents	124
3) Browning degree	125
4) Rehydration ratio	125
5) Energy consumption	125
3) Microwave pre-heating characteristics of radish	127
(1) Moisture content	127
(2) Color difference	127
(3) Hardness	128
(4) Energy consumption	129
4) Drying and quality characteristics of pre-heated radish	130
1) Drying characteristics	130
2) Browning degree	130
3) Color difference	131
4) Rehydration ratio	131
5) Energy consumption	131
4. Conclusions	133
Section 6 Development of packing systems	135
Chapter IV Research goal attainment and contribution to related area	138
Chapter V Plan for application of research results	141
Chapter VI References	143

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발의 필요성	1
1. 기술적 측면	1
2. 경제·산업적 측면	1
3. 사회·문화적 측면	3
제 2 절 연구개발의 목적	4
제 3 절 연구내용 및 범위	4
제 2 장 국내외 기술개발 현황	5
1. 국내의 경우	5
2. 국외의 경우	6
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	7
제 1 절 건농산물 연속가공처리시스템 구성	7
제 2 절 세척시스템 설계·제작 및 성능평가	12
1. 공기 방울을 이용한 1차 세척기	12
2. 2차 세척시스템 제작 및 성능평가	15
가. 공시재료 및 실험장치	15
다. 결과 및 고찰	18
1) 세척시간에 따른 중량 변화	18
2) 세척시간에 따른 색차 변화	21
다. 요약 및 결론	24
3. 세척수 재활용 장치	25
제 3 절 세절 시스템 제작 및 성능평가	28
1. 세절기 설계·제작	28
2. 성능시험	28
가) 공시재료	28
나) 실험방법	28
다) 결과 및 고찰	32
(1) 칼날별 세절성능	32

(2) 세절 크기별 건조시간	32
(3) 세절 크기별 건조 후 색도변화	34
(4) 세절 크기별 건조 후 카로틴함량	34
라) 요약 및 결론	35
제 4 절 원적외선 건조기를 이용한 무, 당근의 건조특성	36
1. 컨베이어 원적외선 건조기 설계·제작	36
2. 컨베이어 원적외선 건조기를 이용한 당근의 건조특성	42
가. 공시재료	42
나. 실험방법	42
다. 결과 및 고찰	48
1) 당근의 건조특성	48
2) 당근 품종과 예측모델	57
3) 색도	63
4) 재수화특성과 예측모델	70
5) 갈변도 변화	80
6) Carotene 함량	83
7) 에너지 소비량	86
8) 건조모델	88
9) 적정 건조조건	95
라. 결론 및 요약	98
3. 컨베이어 원적외선 건조기를 이용한 무의 건조특성	100
가. 실험방법	100
나. 결과 및 고찰	100
1) 무의 건조특성	100
2) 재수화율	107
3) 색도 변화	108
4) 갈변도 변화	109
5) 에너지 소비량	110
제 5 절. 마이크로파 예열장치를 이용한 무, 당근의 예열특성	112
1. 마이크로파 예열장치 설계·제작	112
2. 공시재료	116
3. 실험방법	116

4. 결과 및 고찰	118
가. 마이크로파 예열장치에 의한 당근의 건조특성	118
1) 당근의 함수율 변화	118
2) 당근의 색도 변화	118
3) 당근의 강도 변화	122
4) 카로틴함량	122
5) 에너지 소비량	123
나. 마이크로파 예열 후 당근의 원적외선 건조 및 품질특성	124
1) 원적외선 건조특성	124
2) 카로틴 함량 변화	124
3) 갈변도 변화	125
4) 재수화율	125
5) 에너지소비량	125
다. 마이크로파 예열장치에 의한 무의 예열특성	127
1) 함수율 변화	127
2) 무의 색도변화	127
3) 무의 강도변화	128
4) 에너지 소비량	129
라. 마이크로파 예열 후 무의 원적외선 건조 및 품질특성	130
1) 원적외선 건조특성	130
2) 갈변도 변화	130
3) 색차 변화	131
4) 재수화율 변화	131
5) 에너지소비량	131
5. 요약 및 결론	133
제 6 절 무, 당근의 포장시스템	135
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	138
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	141
제 6 장 참고문헌	143

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

건조 채소류는 식생활 패턴이 점차 서구화, 다양화되면서 인스턴트식품의 소비증가와 함께 부재료로 첨가되는 등 소비가 증가되고 있다. 그 중 당근은 영양가 높은 근채류로서 연간 128,163ton(2000~2006년)이 생산되고 있고, 인스턴트식품의 증가 추세에 따라 건조무, 당근의 소비가 매년 증가하고 있다(농림수산식품부, 2008).

무, 당근 건조는 일반적으로 열풍건조를 이용하고 있고, 건조 중에 수축, 표면경화, 낮은 복원력, 색상 및 영양성분 파괴 등의 품질 저하가 발생된다(윤광섭과 최용희, 1996). 기존의 무, 당근 건조에 관한 방법은 전처리와 열풍건조방법에 제한되어 있기 때문에 열풍건조의 단점을 보완할 수 있는 새로운 건조기술 개발이 필요하다. 최근에는 식품 및 농산물의 건조 공정에 사용하고 있는 원적외선은 20~30%의 에너지 절감 효과, 건조시간 단축 및 건조의 균일화로 생산성 향상과 제품의 고부가가치화에 크게 기여하고 있다. 따라서 원적외선 건조방법은 농산물의 경쟁력 강화를 위해 고품질 건조농산물 생산이 가능하고, 농산물의 부가가치 향상을 위해 매우 필요한 기술이다. 따라서 건조효율, 건조속도 및 건조품질 향상, 청정에너지 사용 및 에너지를 절약할 수 있는 원적외선 건조기의 개발과 농수산물의 건조특성을 구명하는 것이 필요하다.

2. 경제·산업적 측면

정부가 농협이 수매하여 폐기하고 있는 국내 채소류의 보전금은 평균 110억원/년 정도이다. 농림수산식품부의 “최저보장가격제도”에 의하면 정부와 농협이 지원한 산지폐기 보전금은 1999년에 13억 6천 5백만원에서 2008년 65억 6천 4백만원으로 증가하였고, 연평균 보전금은 114억 1천 1백만원으로 보고되고 있다.(표 1참조) 또한 배추의 경우 산지에서 폐기하면 비교적 쉽게 분해되지만, 무, 양파, 양배추 등은 분해 속도가 느려 다음 경작에 지장을 초래할 수 있다. 따라서 과일 생산 농산물의 산지폐기로 인한 정부와 농협의 보전금 절감 및 농민의 영농비용 회수를 위한 처리시설이 절실히 필요하다.

표 1 정부와 농협 최적보장가격제도에 의한 채소류 수매(폐기) 보전금

(단위:백만원)

연 도	정부 보전금	농협 보전금	합 계
1999	720	1,572	2,292
2000	19,938	1,322	21,260
2001	30,479	753	31,232
2002	9,444	599	10,043
2003	1,093	966	2,059
2004	4,572	2,956	7,527
2005	7,731	2,578	10,309
2006	4,129	2,435	6,564
합 계	78,106	13,181	91,287

농림부 통계자료에 의하면 2001, 2006, 2008년에 폐기 농산물 중 가을무 폐기량은 각각 16,305, 36,139, 27,552 톤이고, 이에 따른 정부 및 농협의 보전금은 각각 1,185, 2,051, 1,814 백만원으로 보고되었다. 또한 가을무 폐기량을 유통가격(2001, 2006, 2008에 각각 134원/kg, 203원/kg, 210원/kg)으로 환산한 금액과 정부 보전금과의 차이는 각각 999, 2,791, 1,877 백만원 정도 정부 보전금이 적은 것으로 분석되었다. 따라서 가을무 폐기량의 10% 정도만 무말랭이(2000원/200g)로 가공하여 판매하면 과잉 생산된 생무를 27,552톤 판매한 금액과 같은 효과를 얻을 수 있으므로(그림 1 참조) 국내 농산물의 부가가치 향상과 농가 수익증대에 기여할 수 있다.

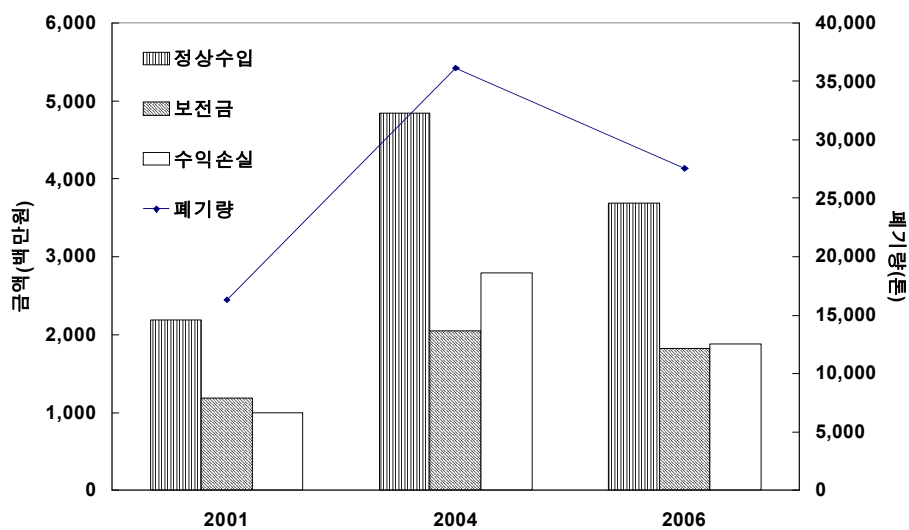


그림 1. 가을무 폐기량에 따른 농가소득 손실분석.

최근 외국으로부터 수입되는 무말랭이 양은 표 2에서와 같이 2008년 약 2,711톤 이고, 건조 당근은 1,457톤(함수율 15% 기준)정도로 대량 수입되고 있다. 한편 국내에서 일부 농산물(무, 배추, 당근, 양파 등)의 과잉생산량은 1999년 13,650톤에서 2006년 105,213톤으로 대폭 증가하였고, 연평균 과잉생산량은 75,724톤으로 보고되고 있다. 따라서 국내 건농산물의 외국 건농산물에 대한 경쟁력을 확보하기 위하여 독자적인 새로운 건농산물 생산가공시스템 개발이 필요하다.

표 2 중국산 건농산물 수입 현황

(단위: 중량(ton), 금액(천불))

연도	건조 무		건조 당근		건조 양파		건조 감자	
	물 량	금 액	물 량	금 액	물 량	금 액	물 량	금 액
2000	2,768	1,314	713	1,604	1,080	1,497	161	225
2001	1,920	744	976	2,067	356	440	197	237
2002	1,743	673	1,087	2,311	854	981	147	203
2003	3,358	1,560	1,260	2,582	928	918	112	196
2004	2,401	1,008	1,405	2,878	1,488	2,093	149	251
2005	2,796	1,265	1,417	2,865	2,517	3,091	103	190
2006	3,157	1,601	1,078	2,226	749	1,092	124	248
2007	2,811	1,488	1,356	2,729	1,665	2,843	173	347
2008	2,711	1,613	1,457	3,398	608	1,297	80	176
2009	1,399	771	569	1,254	229	574	63	160

출처 : 농수산물유통공사(2009)

3. 사회·문화적 측면

농산물의 과잉생산은 농가에 소득손실, 자원 낭비, 환경오염, 정부 부담금 증가, 산지 후작 문제 등으로 안정적인 농업생산을 크게 위협하고 있는 실정이다. 또한 기존의 과잉 농산물은 일부를 제외하고 주로 산지에서 폐기 처리하므로 환경오염뿐만 아니라 농가 후작에도 큰 영향을 미친다. 따라서 건농산물 생산가공시스템을 이용하여 과잉 농산물을 재활용하면 환경오염을 방지할 수 있고, 후작문제도 해결할 수 있어 농업생산의 안전성을 확보할 수 있다.

제 2 절 연구개발의 목적

현재 건농산물이 대량 수입되고 있고, 이로 인한 건조제품의 품질, 안전성 문제 등이 제기되고 있는 실정이다. 더욱이 국내에서는 일부 농산물의 과잉생산 및 가격폭락이 연례행사처럼 되풀이되고 있다. 따라서 본 연구에서는 국산 농산물에 대한 고부가 가치 창출, 소비자에게 안전한 제품 제공, 정부 산지폐기 보전금 절감 및 건농산물 수입대체 효과 등을 위하여 국산 농산물을 이용한 고효율 건농산물 연속가공처리시스템을 개발하는 것이 목적이다.

제 3 절 연구내용 및 범위

가. 국산 농산물(무, 당근 등)을 이용한 건농산물 연속가공처리시스템 단위 기계설계·제작(1차년도)

- 공기방울을 이용한 연속식 1차 세척시스템 설계·제작 및 성능평가
- 브러시 회전을 이용한 2차 세척시스템 설계·제작 및 성능평가
- 칼날 회전식 세절기 설계·제작 및 성능평가
- 벨트 컨베이어식 원적외선 건조기(5단) 설계·제작
- 당근, 무의 원적외선 건조특성 구명 및 적정 건조조건 확립
- 포장장치 설계·제작 및 성능평가

나. 국산 농산물(무, 당근 등)을 이용한 건농산물 연속가공처리시스템 보완제작 및 시운전(2차년도)

- 브러시 및 금강사 롤러 회전을 이용한 2차 세척시스템 보완제작 및 적정 세척방법 확립
- 2차 세척시스템에 재활용할 수 있는 세척수 재활용 장치 설계·제작
- 세절기 세절특성 분석 및 적정 세절 칼날 선정
- 마이크로파를 이용한 무, 당근의 예열시스템 설계·제작 및 적정 예열조건 확립
- 연속가공처리시스템의 시료 이송장치 설계·제작
- 연속가공처리시스템 시운전

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국내의 경우

현재 국내에서 폐기 채소나 농업 부산물을 이용하여 사료화, 비료화에 대한 연구는 일부 있지만, 농산물을 대량으로 세척, 세절 및 건조할 수 있는 연속가공처리시스템에 관한 기술개발은 보고된 바가 없다. 특히 산지 잉여 농산물을 이용하여 식용으로 생산가공하는 연구 및 개발된 제품은 전무한 상태이다. 특히 농산물의 원적외선 응용 건조 기술은 발전단계라고 할 수 있으며, 여러 산업분야에서 응용되고 있다. 최근 협동기관에서 개발한 컨베이어식 원적외선 건조기에 관한 기술은 농산물 건조에 널리 응용할 수 있다.

표 3 국내 기술개발 현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
제주전문대학	감귤 부산물로 사일리지 제조 연구(1984) 외 4편	일부 활용
강원대학교	농수산물 시장의 폐기 채소를 대상으로 채소류 폐기물의 처리시스템 개발(1996)	활용 추진 중
축산기술연구소	감자 및 고구마 줄기, 배추 및 무 부산물 등을 벃짚과 혼합하여 사일리지로 제조하는 기술과 자가 혼합 사료로의 이용 기술을 검토하였음(2001)	일부 활용
상주대학교 식품생물공학과	폐기 감의 과피로부터 천연식용색소를 개발하는 연구에서 carotenoids 함량을 최대로 하는 영역의 추출온도와 추출시간을 각각 29℃, 93min으로 결정했음(2001)	일부 활용
신라대학교	농산 부산물인 양파와 감자껍질을 이용한 천연 향균제 및 식품 보존제로서의 개발 가능성이 높다고 보고되었음(2003)	미활용
경상대학교 식품공학과	감귤 부산물을 급여한 제주 재래 돼지고기의 섭취가 흰쥐 혈청의 HDL 및 L이-콜레스테롤 함량을 증가했다고 보고됨(2006)	미활용

2. 국외의 경우

국외의 연구는 일본이 가장 활발한 것으로 알려져 있고, 일본에서도 채소 잔유물이나 농업 부산물을 이용하여 사료화, 비료화에 대한 연구는 일부 있지만, 산지 잉여 농산물을 이용하여 식용으로 생산·가공하는 연구 및 개발된 제품은 없는 실정이다. 일본의 경우 산지 잉여 농산물을 현장에서 폐기하고, 폐기량에 대한 자료는 공개된 것이 없다.

표 4 국외 기술개발 현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
三木씨 등	수산 계통의 잔유물 처리(Recycle)의 상태와 과제(水産系残滓處理 (リサイクル)の現状と課題)에 대한 보고가 있음	미활용
일본 아이치(愛知) 전기 주식회사	복합간접예열방식을 도입하여 수산 계통의 잔유물 용량이 500-6000kg/회 정치식 건조시스템을 개발하여 유기질비료 생산이 가능한 시스템을 판매하고 있음	제품으로서 판매
생연기구 기초기술연구부	채소 잔유물 또는 농업부산물을 컴포스트화하는 장치를 개발함	일부 활용

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 건농산물 연속가공처리시스템 구성

1. 무, 당근 2~2.5톤/일 처리량의 자동화 건농산물 생산가공시스템 구성

가. 세척부

그림 2와 사진 1에서 보는 바와 같이 무, 당근의 세척을 위한 세척기는 장치 ①(세척조), ②(금강사 및 브러시 롤러 세척기)를 이용하였다. 흙이 많은 무, 당근의 1차 세척은 장치 ①과 같이 공기방울 및 초음파를 이용하여 세척하고, 2차 세척은 장치 ②와 같이 금강사 롤러와 브러시 롤러를 이용하여 세척하였다. 또한 장치 ①과 장치 ②는 세척하고자 하는 무와 당근의 수확 상태에 따라 사용가능 여부 및 교체가 가능하도록 설계 제작하였다.

나. 세절부

세척된 무와 당근은 세절장치 ③을 이용하여 세절하였다. 세절장치는 세절부의 칼날을 교환함으로써 세절되는 무 및 당근의 두께와 폭을 조절할 수 있고, 크기별 세절이 가능하다.

다. 건조부

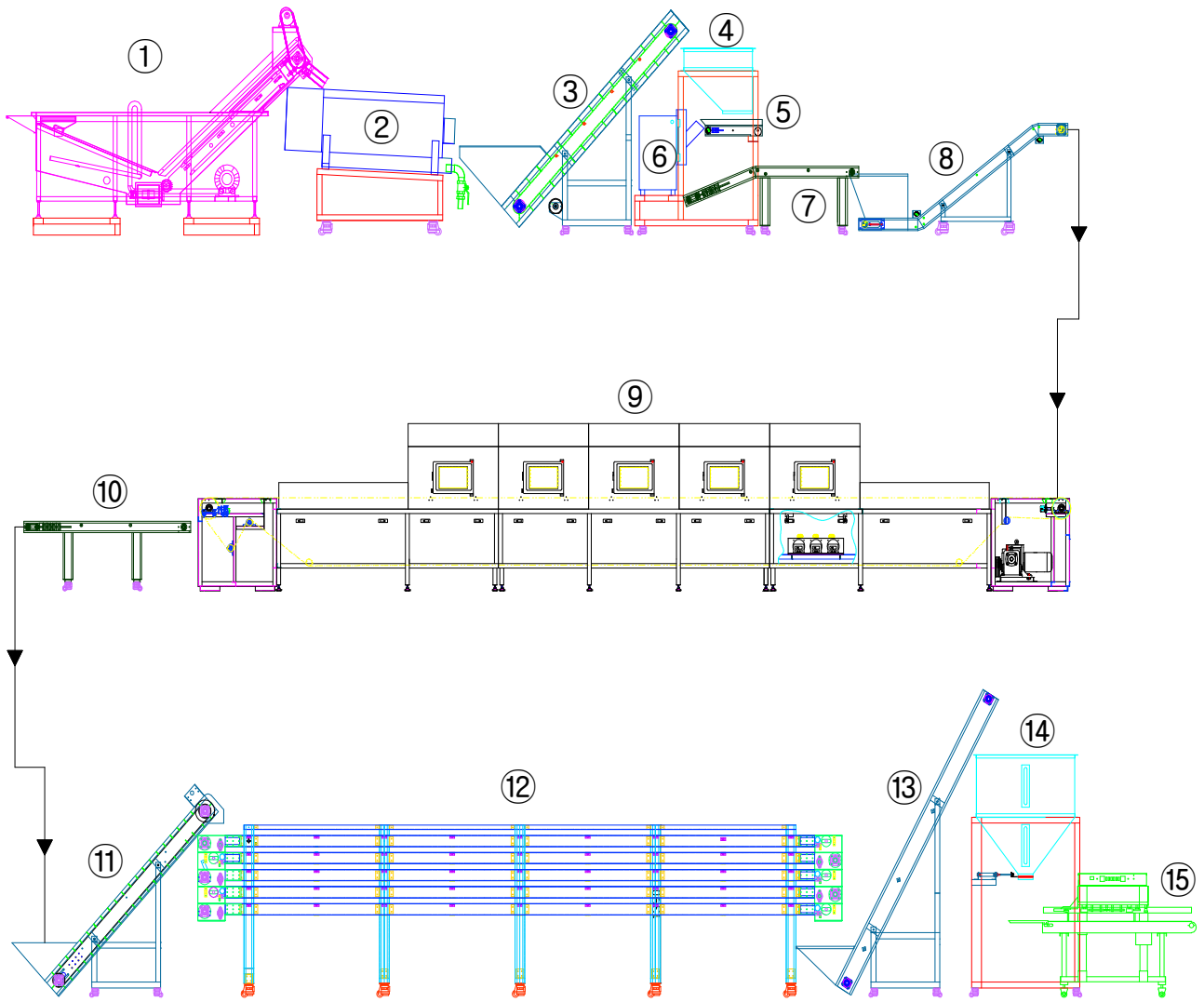
세절된 농수산물은 1차로 벨트 컨베이어식 마이크로파 건조장치 ⑥을 이용하여 예건을 수행한 후, 2차로 벨트 컨베이어식 원적외선 건조장치 ⑧을 이용하여 마무리 건조를 수행하였다. 벨트 컨베이어식 마이크로파 예열장치와 벨트 컨베이어식 원적외선 건조장치는 건조용량에 따라 벨트속도, 풍량 및 건조실 온도를 조절할 수 있다.

라. 포장부

건조된 피건조물은 제품 탱크로 이송되고, 포장장치 ⑮를 이용하여 포장하여 제품으로 생산하였다.

마. 이송장치

무, 당근의 이송은 그림 2와 사진 1에서 보는 바와 같이 ③ 승강기(I), ⑤ 원료 이송컨베이어, ⑦ 벨트컨베이어(I), ⑧ 승강기(II), ⑩ 벨트컨베이어(II), ⑪ 승강기(II) 및 ⑬ 승강기(III) 등의 장치로 한다.



- ①세척조 ②금강사 및 브러시 롤러 세척기 ③승강기(I) ④원료탱크 ⑤원료 이송컨베이어
 ⑥세절기 ⑦벨트컨베이어(I) ⑧승강기(II) ⑨마이크로파 건조기 ⑩벨트컨베이어(II)
 ⑪승강기(III) ⑫원적외선 건조기 ⑬승강기(IV) ⑭제품탱크 ⑮제품포장기

그림 2. 건농산물 가공처리시스템 단위기계 및 흐름도



a. 건농산물 연속가공처리시스템



(a) 1차 세척조



(b) 2차 금강사 및 브러시 롤러 세척기
b. 세척부



c. 세절부



d. 마이크로파 예열장치



e. 컨베이어식 원적외선 건조기



f. 제품탱크 및 포장기



g. 벨트 컨베이어



h. 시스템 제어부

사진 1. 건농산물 연속가공처리시스템의 단위기계

제 2 절 세척시스템 설계 · 제작 및 성능평가

1. 공기 방울을 이용한 1차 세척기

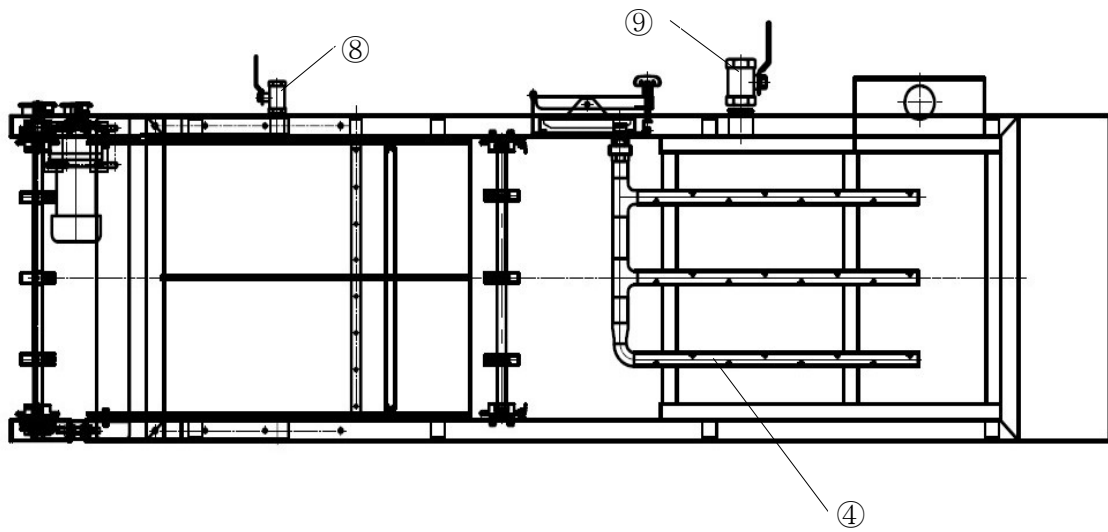
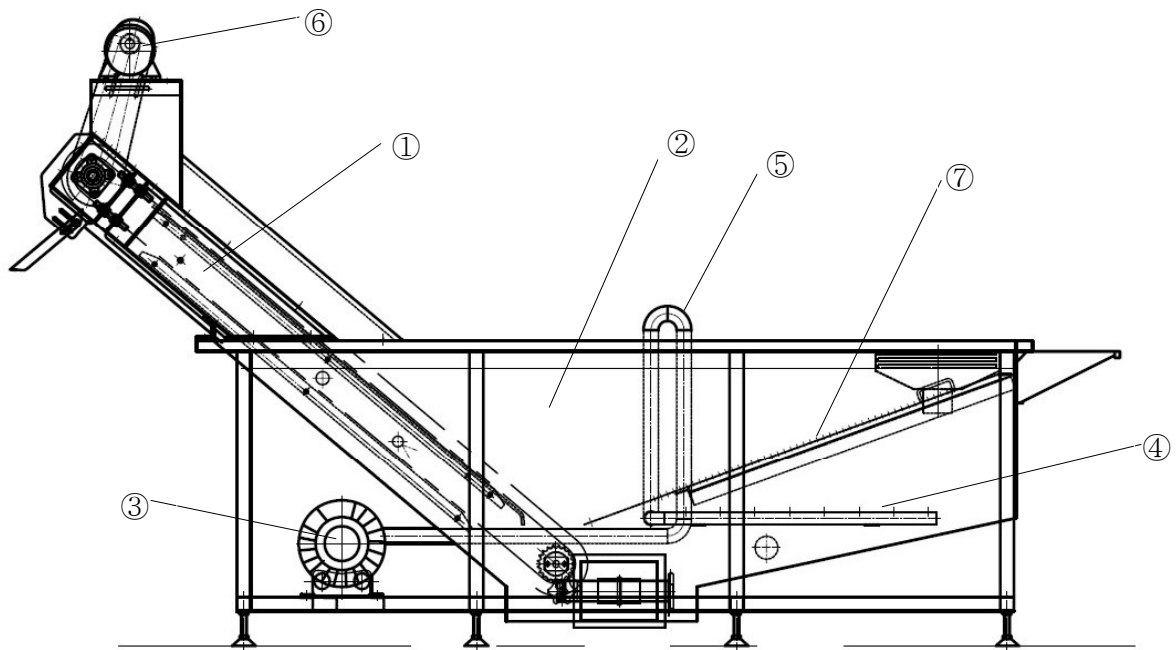
공기방울을 이용한 1차 세척조는 그림 3에서 보는 바와 같이 승강기, 공기방울 발생장치 및 수조 등으로 구성되어 있다. 수조하부에는 기포발생장치가 내장되어 있다. 기포발생장치에서 발생된 기포는 수조 하부의 공기 이송 배관 및 다공판을 통해 상향 분출되고, 세척조에 투입된 무와 당근은 기포에 의해 표면의 흠이 세척된다. 또한 1차 세척된 무와 당근은 승강부의 컨베이어에 의해 2차 세척부로 이송된다. 공기방울 세척기의 개략도 및 각 구성부분의 사양은 그림 3과 표 5, 6에서 나타내었다.

표 5 승강기 컨베이어 및 모터사양

아이템	사양	
컨베이어	종류	Mesh chain
	체인모델	RS2050×3,810L
	내폭	700mm
	벨트속도	Max, 3.8m/min
구동모터	출력	0.4kw, 1/100, 3P

표 6 수조 및 공기방울 발생장치 사양

아이템	사양	
수조	투입수조	2410(L)×700(W)×800(H)mm
	급수소켓	25A Ball V/V
	배수소켓	50A Ball V/V
	물받이	700(L)×700(W)×80(H)mm
공기방울 발생장치	송풍기	0.4kw, 3P, 1.4m ³ /min
	공기 이송 배관	SUS 304, Φ 50.8



- ①승강기 ②수조 ③송풍기 ④⑤공기 이송배관 ⑥승강기 구동 모터
 ⑦공철판 ⑧급수소켓 ⑨배수소켓

그림 3. 1차 세척조의 개략도



(a) 1차 세척조에서 공기방울을 이용한 당근 세척



(b) 세척 전



(c) 세척 후

사진 2. 1차 세척조를 이용한 당근 세척 및 세척 전·후 비교

2. 2차 세척시스템 제작 및 성능평가

가. 공시재료 및 실험장치

1) 실험재료

본 실험에 사용된 공시재료는 청주시 농수산물시장에서 구입한 제주도산 무와 당근으로서, 물리적 특성을 표 7에 나타내었다.

표 7 실험에 사용된 무, 당근의 물리적 특성

종류	길이(mm)	직경(mm)	무게(kg)	함수율%(w.b.)
무	150~250	98.9~114.4	1.22~1.76	92~94
당근	190~215	45.1~54.8	6.21~2.67	89~91

2) 실험장치

사진 3은 1차 년도에 사용된 브러시 세척기로서 사양은 표 8에 나타냈다.

시험에 사용된 세척기는 7개의 브러시 롤러가 장착되어 있고, 급수관을 따라 물이 공급된다. 구동모터는 2마력으로서 각각의 브러시 롤러 끝단에 연결된 스프로킷을 체인으로 회전시켜 재료를 세척한다.

표 8 세척기의 제원 및 사양

종류	크기	재질	모터	브러시	용량
세척기	1500mm×620mm×685mm	SUS 304	2HP	7ea	50~60Kg

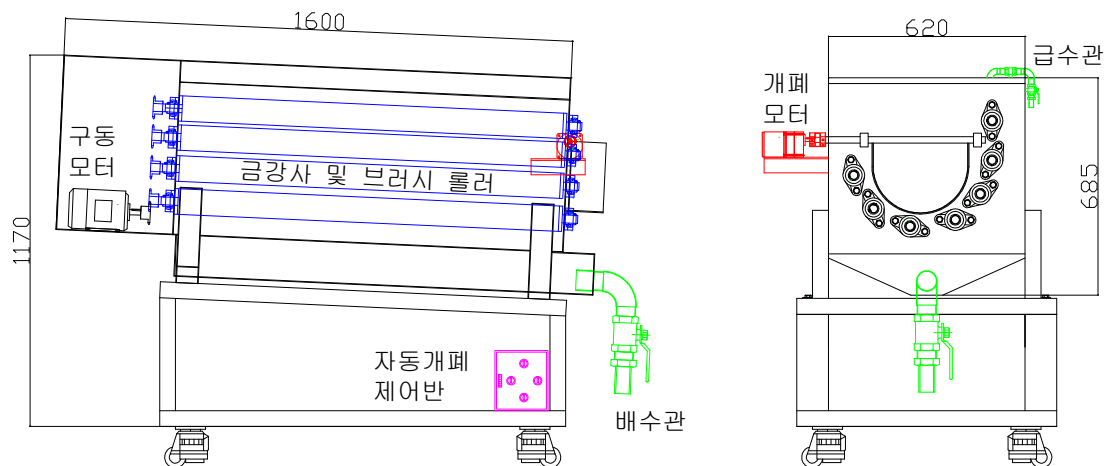


그림 4. 브러시 및 금강사 롤러를 이용한 2차 세척기 개략도

1차년도 세척기에 사용된 브러시 롤러는 원형부의 목재에 플라스틱 브러시를 일정 간격으로 삽입하여 제작한 것으로서 사용 후 브러시 사이에 이물질이 남아 부패 및 악취의 원인이 되고, 또한 브러시 마모에 따른 교체를 해야 하는 단점이 있다.

따라서 2차년에는 위생 및 세척효율을 높이고, 브러시 마모율을 감소시키기 위하여 금강사 롤러(#36, #42)를 제작하여 브러시 롤러와 혼용하여 사용하였다. 또한 금강사 및 브러시 롤러의 회전속도에 의한 무, 당근의 세척도를 구명하기 위하여 구동모터에 인버터(SV-IG, LG, Korea)를 장착하였다. 세척기 좌대는 세척 후 이송이 용이하도록 5° 기울기로 제작하였다. 한편, 연속식 세척을 위하여 세척시간에 따라 제어되는 자동개폐장치를 설치하였고, 세척수 재활용을 위하여 재순환 배수관을 설치하였다.

사진 3과 4는 2차 년도에 사용된 금강사 롤러 교체 및 인버터 부착 후의 세척기이다.



사진 3. 1차년도 브러시 롤러 세척기

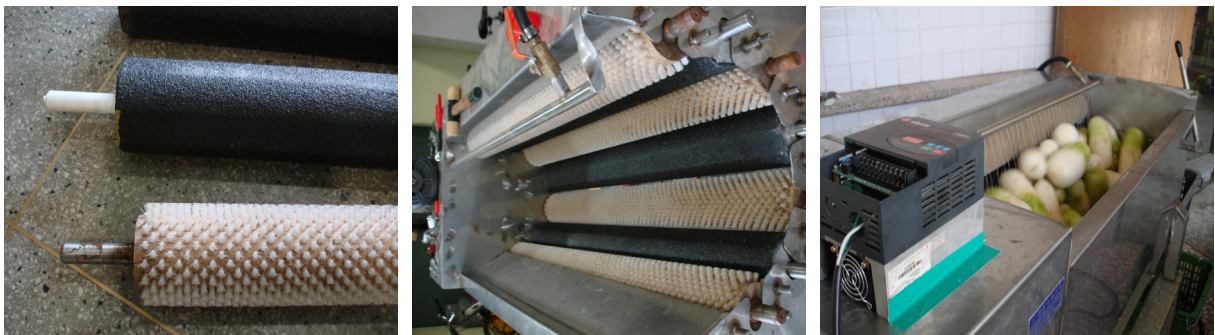


사진 4. 2차년도 금강사 롤러 교체 및 속도제어에 의한 세척

나. 실험방법

금강사 롤러는 일반적으로 식품세척에 사용되는 롤러로써 표면거칠기가 #36(입자수/1 inch), #42 2가지 3개와 기존의 브러시 롤러 4개를 함께 사용하였다. 세척시스템의 회전속도는 인버터를 사용하여 40, 50, 60 Hz로 각각 조절하여 실험하였다.

금강사 및 브러시 롤러에 의한 적정 세척조건 및 세척시간 구명은 금강사 롤러의 표면 거칠기와 회전속도에 따라 세척시간, 중량감소율 및 색차 변화를 측정하였다.

1) 중량변화

중량변화는 금강사 및 브러시 롤러 세척기에 1회 40Kg의 원료를 투입하여 1분 단위로 중량변화를 측정하였고, 식(1)을 이용하여 세척시간에 따른 중량변화율을 계산하였다.

$$\text{Weight loss rate(\%)} = \frac{(W_s - W_n)}{W_s} \times 100 \quad (1)$$

여기서, W_s : 세척 전 무게(g)

W_n : 세척 후 무게(g)

2) 색차

색차는 색도색차계(JX-777, C.T.S., Japan)를 사용하였고, 색도 측정용 샘플을 선정하여 세척시간에 따라 몸통 부위 5곳의 L(명도), a(적색도), b(황색도) 값을 측정한 후 평균값으로 나타냈다. 또한 L, a, b의 변화 값을 종합적으로 나타내는 색차 ΔE 값은 식(2)를 이용하여 산출하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (2)$$

여기서, ΔE : 건조 후 당근이 색차

ΔL : 초기 명도 값과 건조 후 명도 값의 차

Δa : 초기 적색도 값과 건조 후 적색도 값의 차

Δb : 초기 황색도 값과 건조 후 황색도 값의 차

다. 결과 및 고찰

1) 세척시간에 따른 중량 변화

그림 5는 금강사 롤러의 표면 거칠기와 기존의 브러시 롤러에 따른 세척시간별 중량 변화를 나타낸 것이다.

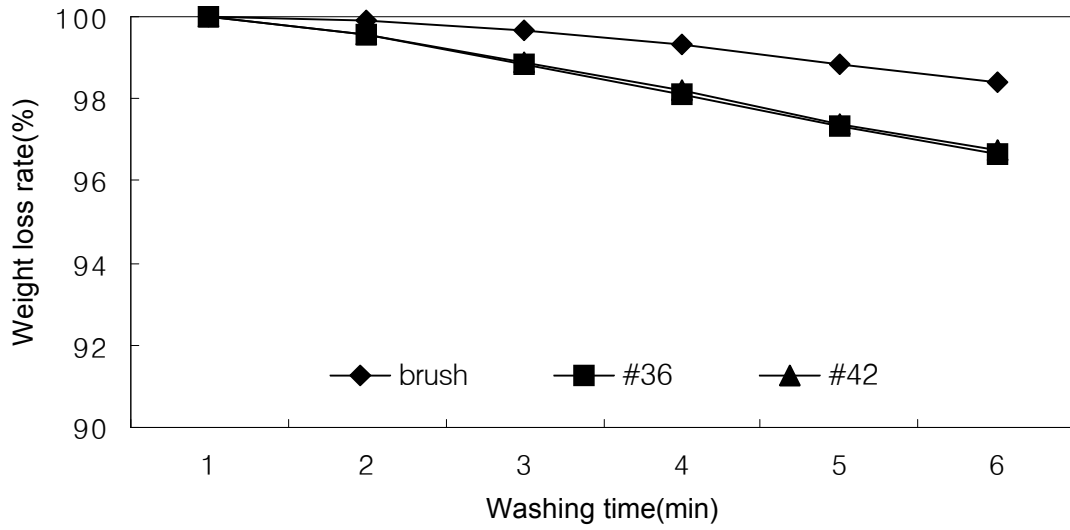
그림 5에서 알 수 있듯이 중량은 모든 조건에서 세척시간이 경과할수록 감소하는 것으로 나타났다. 또한 기존의 브러시 롤러만을 사용한 세척조건이 금강사와 브러시 롤러를 혼용하여 세척한 조건보다 중량감소가 적은 것으로 나타났다.

롤러의 회전속도에 따른 중량 변화는 기존 브러시 롤러, #42번 금강사 롤러와 브러시 롤러 혼용(이하 #42-B로 표기), #36번 금강사 롤러와 브러시 롤러 혼용(이하 #36-B로 표기)의 조건 순으로 크게 나타났고, 시간에 따른 무게변화는 모든 조건에서 세척 2분까지는 큰 차이를 나타내지 않았지만 이후 금강사와 브러시 롤러를 혼용한 세척조건이 기존 브러시 롤러만을 사용한 세척 조건보다 중량 감소가 큰 것으로 나타났다.

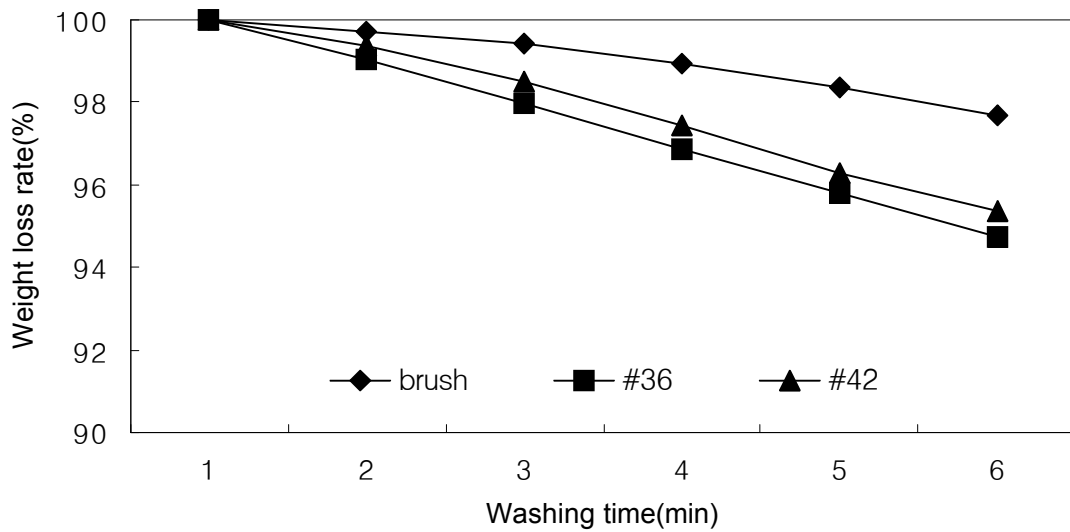
중량 변화가 가장 적은 세척조건은 기존 브러시-40Hz 조건이었고, 가장 큰 변화를 보인 것은 #36-B의 60 Hz 세척조건으로 나타났다.

롤러의 회전속도가 40 Hz인 경우 세척시간 6분경과 후의 중량 변화는 기존 브러시 롤러, #36-B, #42-B의 세척조건에서 각각 1.6, 3.4, 3.2% 감소하였다. 50 Hz인 경우 기존 브러시 롤러, #36-B, #42-B의 세척조건에서의 중량변화율은 각각 2.4, 5.3, 4.4% 감소하였다. 또한, 롤러 회전속도 60 Hz에서는 각각 2.8, 6.5, 6.1%로 기존 브러시 롤러, #36-B, #42-B 세척조건 순으로 중량감소가 큰 것으로 나타났다.

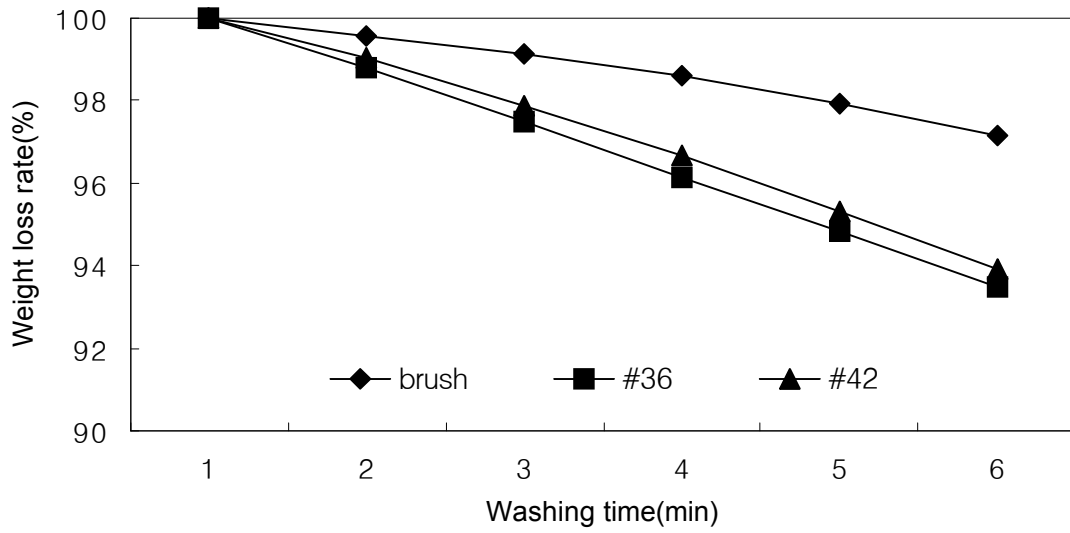
기존 브러시 롤러가 금강사 롤러에 비해 세척시 중량변화가 작은 것은 부드러운 솔이 무와 당근의 표피를 박리시키지 않고 세척하기 때문에 중량감소가 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 한편, 금강사 롤러의 경우에는 세척시 무와 당근의 표피를 연마하는 형태로 세척하기 때문에 무, 당근의 표피의 박리가 많기 때문에 감소율이 큰 것으로 나타났다.



(a) 회전속도 40Hz



(b) 회전속도 50Hz



(c) 회전속도 60Hz

그림 5. 세척 브러시 종류와 세척시간에 따른 중량 변화.

2) 세척시간에 따른 색차 변화

그림 6에 세척 브러시 종류에 따른 세척시간별 색차 변화를 나타냈다.

그림 6에서 알 수 있듯이 색차는 모든 조건에서 세척 시간이 경과할수록 낮아지는 것으로 나타났다. 기존 브러시 롤러의 세척조건이 #36-B와 #42-B 세척조건보다 색차 변화가 작은 것으로 나타났다.

롤러의 회전 속도에 따른 색차 변화는 기존의 브러시 롤러만을 이용한 세척조건이 회전속도가 빠를수록 변화가 큰 것으로 나타났고, 금강사 롤러 세척조건인 경우에는 회전속도에 따라 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

세척 시간에 따른 색차 변화는 기존 브러시 롤러만을 이용한 세척조건이 비교적 일정하게 감소하는 경향을 보였고, 금강사와 브러시 롤러를 혼용한 세척조건인 경우에는 세척 초기부터 2분까지 색도 변화가 큰 것으로 나타났다.

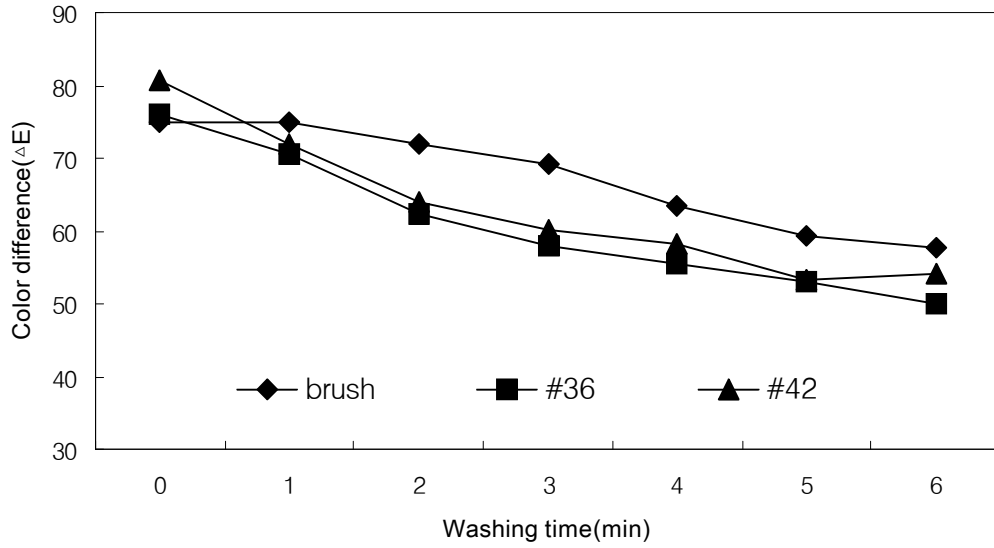
세척시간에 따른 색차 변화가 가장 작은 조건은 기존 브러시 롤러- 회전속도 40 Hz의 세척 조건이었고, 색차 변화가 가장 큰 조건은 #42-B, 회전속도-60 Hz이었다.

롤러 회전속도 40 Hz, 세척시간이 6분인 경우의 색차 변화는 초기 색차에 비하여 기존 브러시 롤러, #36-B, #42-B의 세척조건에서 각각 17.3, 26.0, 26.6으로 기존 브러시 세척조건인 색차 변화가 가장 작은 것으로 나타났다.

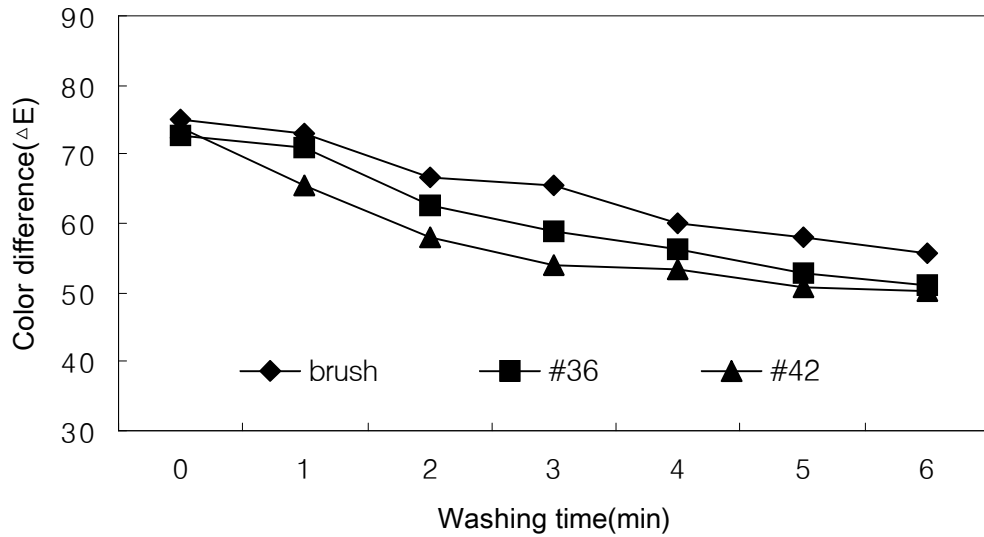
회전속도 50 Hz인 경우에는 기존 브러시 롤러, #36-B, #42-B 세척조건이 초기 색차보다 각각 19.4, 21.7, 23.7 감소한 것으로 나타났고, 금강사 롤러의 경우 회전 속도 40 Hz 조건보다 색차변화가 작은 것으로 나타났다. 60 Hz에서의 색차 변화는 기존 브러시 롤러, #36-B, #42-B 세척조건이 초기 색차 76.8, 72.4, 76.3에서 각각 51.1, 49.7, 47.3으로 감소하였다.

색차 변화가 기존 브러시 롤러 세척조건보다 금강사 롤러 조건이 큰 것은 기존 브러시 롤러 솔보다 표면거칠기가 큰 금강사에 의해 표면이 연마되어 세척전 표면과 비교하여 색차가 큰 것으로 나타났다. 그러나 기존 브러시 롤러와 금강사 롤러에 의해 세척된 무, 당근의 표면은 육안으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

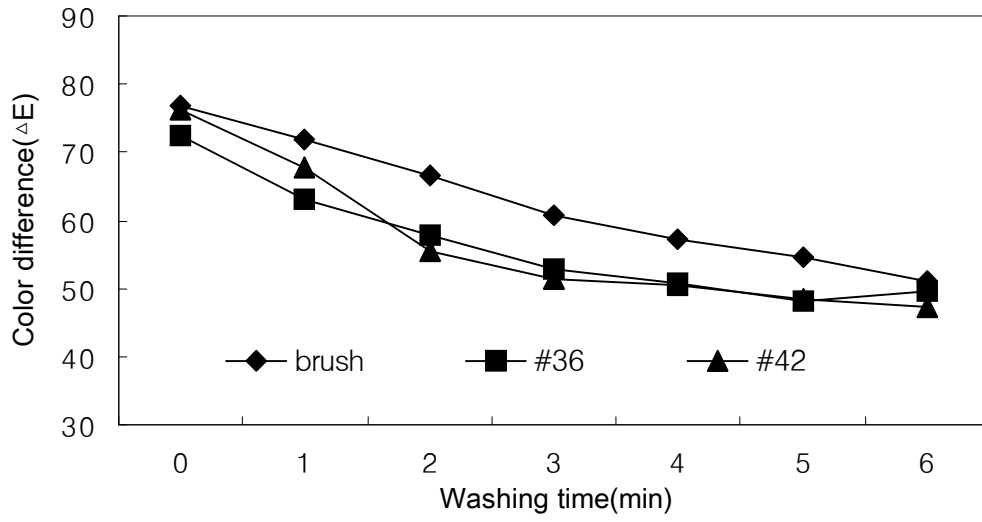
따라서 중량변화, 색차변화 및 세척효과 등을 종합적으로 고려하면 #42-회전속도 50 Hz 세척조건이 가장 효과적인 것으로 판단된다.



(a) 회전속도 40Hz



(b) 회전속도 50Hz



(c) 회전속도 60Hz

그림 6. 세척시간에 따른 브러시 종류별 색차 변화

다. 요약 및 결론

실험에 사용된 세척기는 세척 효율을 높이기 위하여 기존 브러시 롤러와 표면 거칠기가 #36, #42의 금강사 롤러를 사용하였고, 롤러의 회전 속도를 40, 50, 60 Hz로 조절하여 중량 변화 및 색차 변화를 측정하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가) 중량은 모든 조건에서 세척시간이 경과할수록 감소하는 것으로 나타났다. 또한 기존 브러시 롤러 세척조건이 #36-B, #42-B 세척조건보다 중량감소가 적은 것으로 나타났다.

나) 롤러 회전속도에 의한 중량 변화는 기존 브러시 롤러, #42-B, #36-B 세척조건 순으로 변화가 큰 것으로 나타났다.

다) 세척 시간에 따른 중량변화는 모든 세척 조건에서 세척 2분까지는 큰 차이가 없는 것으로 나타났고, 이후 #36-B, #42-B 세척조건이 기존의 브러시 롤러보다 약간 크게 나타났지만 큰 차이는 없었다.

라) 색차는 모든 세척 조건에서 세척 시간이 경과할수록 변화가 큰 것으로 나타났으며, 기존 브러시 롤러 세척조건이 다른 #36-B, #42-B 세척 조건보다 색차 변화가 작은 것으로 나타났다.

마) 롤러 회전속도에 따른 색차 변화는 기존 브러시 롤러 세척조건이 회전속도가 빠를수록 변화가 큰 것으로 나타났고, 금강사 롤러 세척조건은 속도에 따라서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

바) 이상으로 중량변화, 색차변화 및 세척효과를 종합적으로 고려하면 금강사 롤러의 표면 거칠기 #42번과 기존의 브러시 롤러를 혼용하고 롤러의 회전속도가 50 Hz인 세척조건이 가장 효과적인 것으로 판단된다.

3. 세척수 재활용 장치

금강사 및 브러시 롤러 세척기에서 무, 당근 세척시 발생하는 폐수의 양은 세척량 10kg/min에 대해 8.6ℓ/min으로서 시간당 516ℓ이다. 따라서 세척기에서 발생하는 폐수를 그대로 방류하지 않고 재이용하기 위하여 세척수를 필터링하고 세척조로 보내어 사용할 수 있는 세척수 재순환 장치를 제작하였다.

그림 7은 세척수 필터링 장치를 나타낸 것이다.

그림 7에서 나타낸 바와 같이 세척수 필터링 장치는 2개의 수조로 구성되어 있고, 크기는 1300mm(가로)×1080mm(세로)×1500mm(높이)로서 약 2160ℓ의 물을 담을 수 있는 크기이고, 약 4시간 이상 세척과정에서 발생하는 폐수를 저장할 수 있도록 설계하였다.

한편, 2개의 수조사이에는 금강사 및 브러시 롤러 세척기로부터 나온 폐수를 필터링할 수 있는 필터(600mm×600mm×25mm) 2장이 장착되어 있다. 필터는 다겹의 나일론 섬유재질로 제작하였다. 또한 필터에 부착되는 무나 당근의 표면 껍질을 청소할 경우에 들어오는 폐수를 막지 않고 연속적으로 필터링을 하기 위해서 필터를 2장 장착하였다.

금강사 및 브러시 롤러 세척기로부터 나온 폐수와 필터링 후 정수는 펌프(I)과 (II)를 이용하여 세척조 및 물탱크로 이송된다. 펌프의 사양 및 제원은 표 9에 나타내었다.

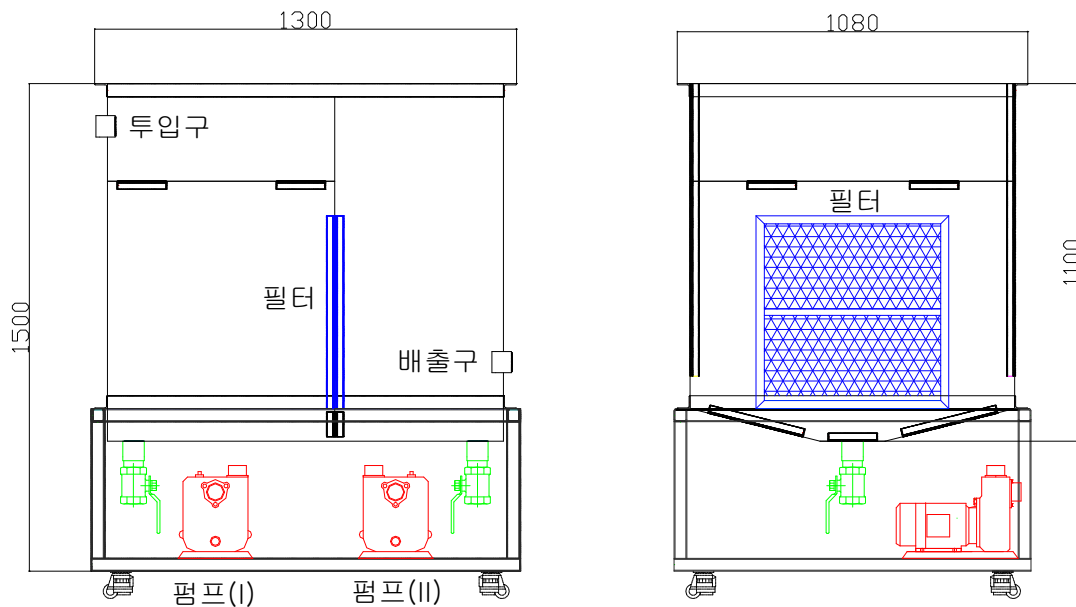


그림 7. 세척수 필터링 장치

표 9 펌프의 제원 및 사양

모델	정격출력	전양정	최대양수량	흡상고	압상고	크기(가로×세로×높이)
PA-430	1/2HP	14m	15,000ℓ/h	8m	6m	200mm×292mm×340mm

그림 8은 세척수 재순환 장치의 흐름도를 나타낸 것이다.

그림 8에 나타낸 바와 같이 세척수 재순환 장치는 세척수 필터링 장치, 펌프 2대, 물탱크 (3000ℓ) 및 5개의 밸브로 구성되어 있고, 금강사 및 브러시 롤러 세척기로부터 나오는 폐수를 필터링하여 세척조 또는 물탱크로 이송시키는 장치이다.

세척수 재순환 장치의 흐름을 보면 금강사 및 브러시 롤러 세척기에서 발생한 폐수는 밸브 (i)와 펌프(I)을 통과하여 세척수 필터링 장치로 유입된다. 유입된 폐수는 필터링 후 (A) 정수를 세척조로 이송시킬 경우에는 밸브(iii)과 밸브(v)를 잠근 상태에서 밸브(ii)와 펌프(II) 및 밸브(iv)를 통하여 세척조로 이송된다. 또한 (B) 세척조가 만수 상태인 경우에는 밸브(iii)과 밸브(iv)를 잠근 상태에서 밸브(ii)와 펌프(II) 및 밸브(v)를 통하여 정수가 물탱크로 이송된다. (C) 만약 물탱크의 예비 정수를 세척조로 이송시킬 경우에는 밸브(ii)와 밸브(v)를 잠근 상태에서 밸브(iii)과 펌프(II) 및 밸브(iv)를 통하여 세척조로 이송된다.

이와 같은 세척수 재순환 장치를 이용함으로써 2750kg/day의 무나 당근을 세척할 경우 2365 ℓ/day의 물을 재이용하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

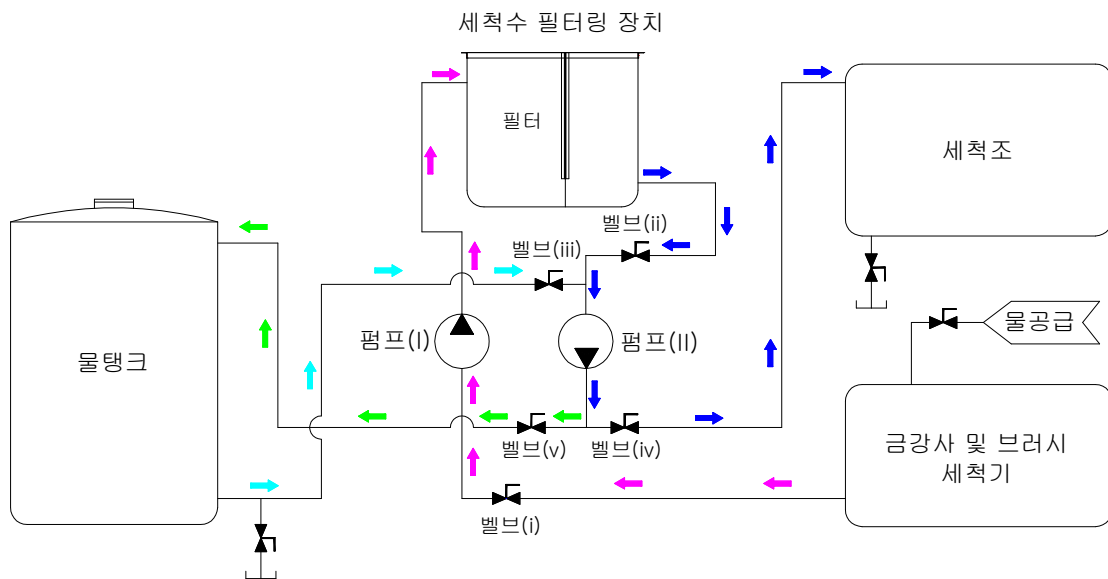
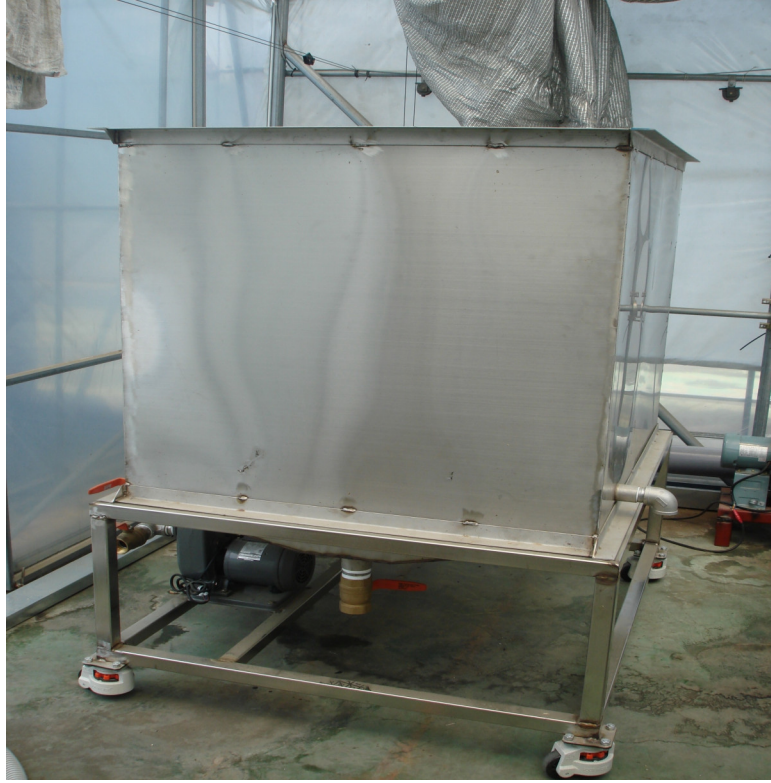


그림 8. 세척수 재순환 장치의 흐름도



(a) 세척수 재활용 장치의 외관



(b) 세척수 재활용 장치의 내부

사진 5. 세척수 재활용 장치

제 3 절 세절 시스템 제작 및 성능평가

1. 세절기 설계 · 제작

그림 9와 사진 6은 세절장치(480(L)×500(W)×770(H)mm)의 개략도와 외형을 나타낸 것이다.

그림 9와 사진 6에 나타낸 바와 같이 세절 장치는 구동 모터(1.0ps/220V), 시료 투입구, 회전판, 칼날, 가압핸들로 구성되어 있다. 세절은 본체의 케이스 전면에 부착된 투입구에 무, 당근을 넣은 후 앞판에 부착된 가압핸들을 이용하여 무와 당근을 투입하면 회전판에 부착된 회전칼에 의해 세절된다.

세척기를 통과한 무, 당근은 원료 탱크로 투입되고, 원료 공급벨트에 의해 일정량이 세절기로 공급된다. 세절날은 그림 9에서와 같이 회전판에 평판형 채칼과 톱니형 세절 칼날이 한 세트 구성되어 있고, 세절기에는 두 세트가 대칭으로 부착되어 있다. 따라서 회전판이 모터에 의해 회전하여 무와 당근이 회전판에 장착된 평판형 채칼과 톱니형 세절 칼날에 의해 세절된다. 세절된 무와 당근은 배출구로 배출되고, ⑦벨트컨베이어(I)와 ⑧승강기(II)에 의해 어 마이크로파 예열장치로 이송되도록 제작하였다.

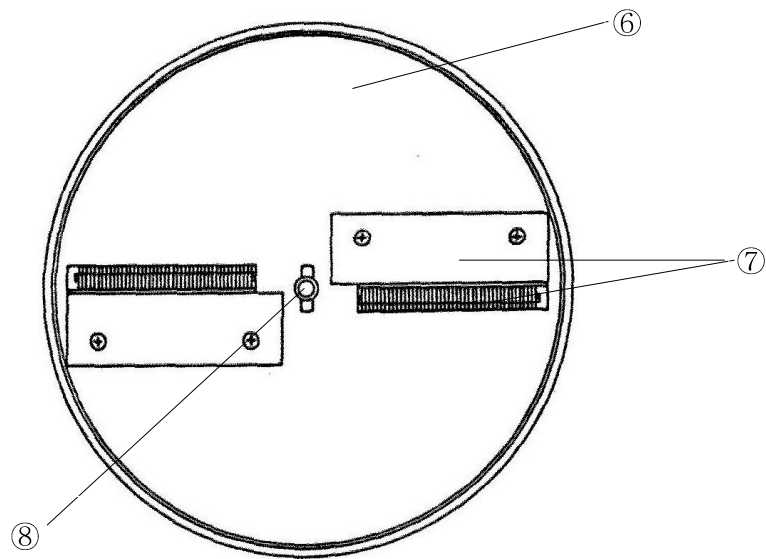
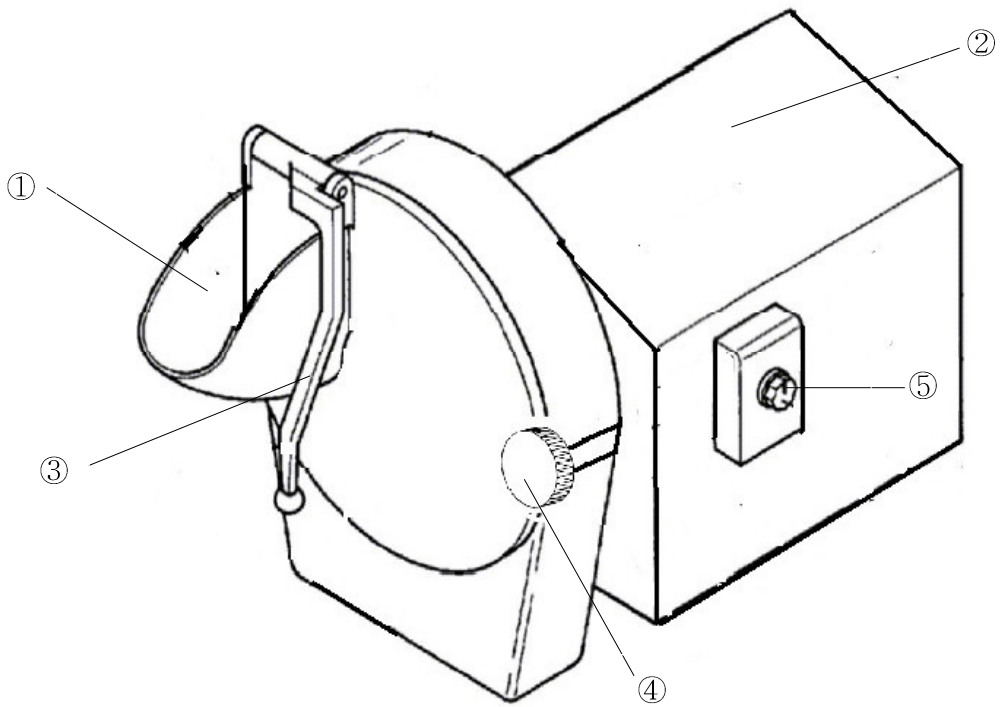
2. 성능시험

가) 공시재료

세절실험에 사용된 무와 당근은 길이가 각각 150~250mm, 190~215mm, 직경은 각각, 98.9~114.4mm, 45.1~54.8mm, 중량은 각각 1.22~1.76Kg, 2.21~2.67Kg, 수분함량은 각각 94.16, 89.94%인 것을 사용하였다. 또한 세절 후 대편(8.76×8.47×50mm), 중편(7.00×5.50×50mm), 소편(6.53×4.94×50mm)당근을 건조 및 건조 후 품질평가 실험에 사용하였다.

나) 실험방법

세절 칼날의 실험은 사진 7과 같이 4종류의 칼날을 제작하여 시간당 세절성능, 세절칼날별 건조시간, 색도변화 및 당근의 카로틴 함량을 조사하였다. 세절성능은 시간당 세절량을 중량비로 조사하였다. 칼날별 무, 당근의 건조시간은 컨베이어식 원적외선 건조기를 이용하였고, 건조 조건은 대표적으로 50℃-0.8m/s, 80℃-0.4m/s에서 건조시간 및 건조속도를 측정하였다. 또한 세절크기별 건조 후 색도변화는 각 샘플의 L, a, b 값들을 측정하였으며, 종합적으로 색도변화를 반영하는 색차 ΔE 는 건조 전의 시료를 기준으로 하여 식 (2)으로 계산하였다.



- ①시료 투입구 ②구동 모터 및 케이스 ③가압핸들 ④덮개 고정너트 ⑤스위치
⑥회전판 ⑦갈날 ⑧회전축

그림 9. 세절장치 개략도



사진 6. 세절장치의 외관 및 칼날 장착

칼날 No.	1	2
사진		
칼날사양 (폭×두께)	8.76×8.47mm	7.00×5.50mm
칼날 No.	3	4
사진		
칼날사양 (폭×두께)	9.06×5.42mm	6.53~4.94mm

사진 7. 세절 장치 칼날의 종류







칼날 No.	1	2
세절 후 사진		
		
칼날사양 (폭×두께)	8.76×8.47mm	7.00×5.50mm
칼날 No.	3	4
세절 후 사진		
칼날사양 (폭×두께)	9.06×5.42mm	6.53~4.94mm

사진 8. 세절칼날별 당근과 무의 세절 상태 비교

다) 결과 및 고찰

(1) 칼날별 세절성능

그림 10은 칼날별 세절성능 및 손실률을 나타낸 것이다.

그림 10에서 보는 바와 같이 시료처리능력은 당근의 경우 칼날 1, 2, 3 및 4에 따라 각각 455, 352, 334 및 282 kg/hr로 나타났고, 세절칼날의 폭과 길이가 클수록 작업성능이 높은 것으로 나타났다. 이것은 회전판 회전속도가 일정한 조건에서 칼날의 폭과 길이가 클수록 세절 개체의 체적이 크기 때문 세절성능이 높은 것으로 판단된다.

손실률은 세절 단면적이 작을수록 약간 증가하는 경향을 나타내었지만, 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이와 같이 세절 면적이 작을수록 손실률이 약간 증가하는 이유는 무, 당근의 세절 폭과 길이가 작을수록 세절 중에 수분이 많이 손실되었기 때문이라고 판단된다.

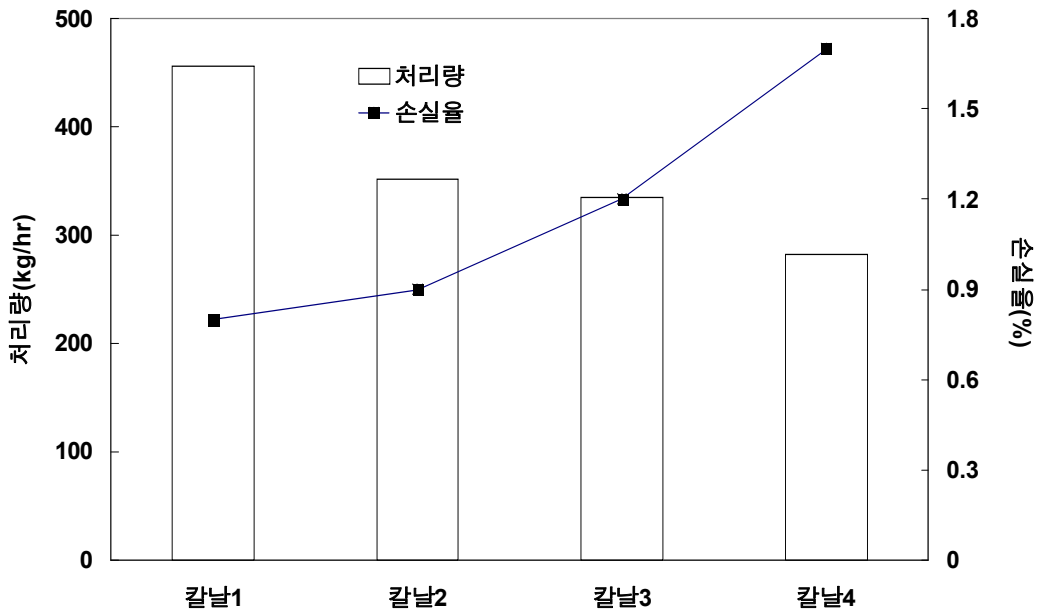


그림 10. 칼날별 세절량 및 손실률

(2) 세절 크기별 건조시간

그림 11과 12는 건조온도 50°C, 풍속 0.8 m/s와 건조온도 80°C, 풍속 0.4 m/s의 건조조건에서 대편(칼날1), 중편(칼날2), 소편(칼날4)으로 세절한 당근의 건조특성 곡선을 나타낸 것이다.

그림 11과 12에서 보는 바와 같이 건조온도 50°C, 풍속 0.8 m/s의 건조조건에서 대, 중, 소편 당근을 최종 함수율 6±0.5%까지 건조할 경우 소요시간은 각각 330, 240, 175분으로 나타났다. 건조온도 80°C, 풍속 0.4 m/s의 경우의 소요시간은 대, 중, 소편에서 각각 160, 140, 110분으로 세절한 당근의 건조속도는 세절 크기에 반비례함을 알 수 있다.

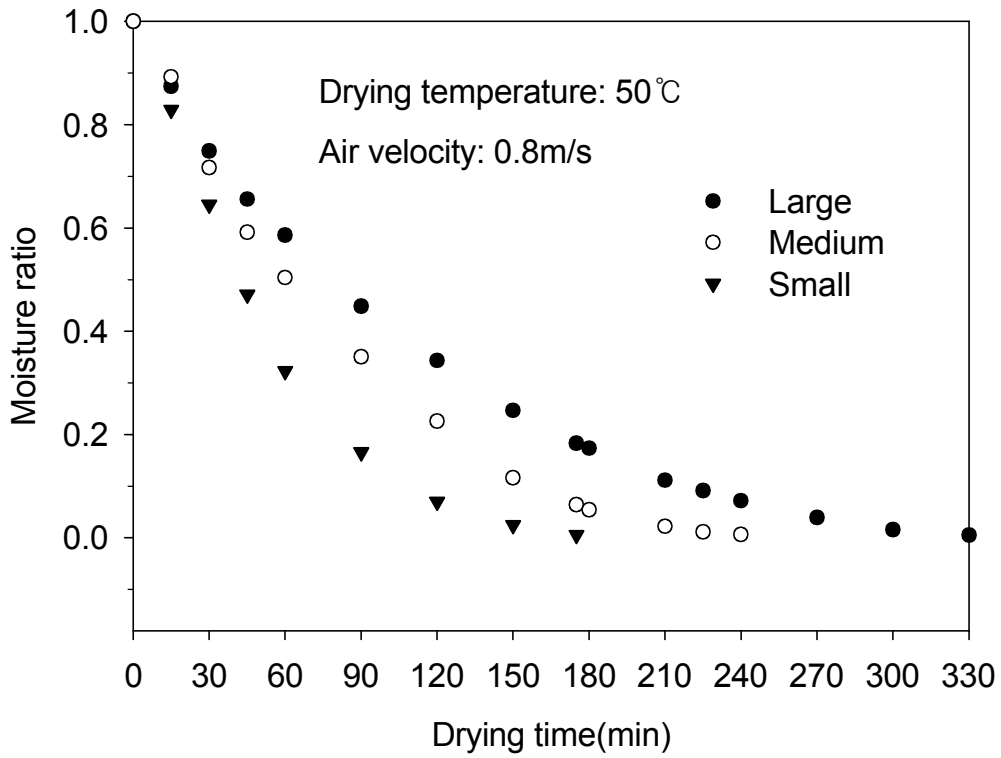


그림 11. 세절 크기에 따른 당근의 건조특성 곡선(50°C-0.8m/s)

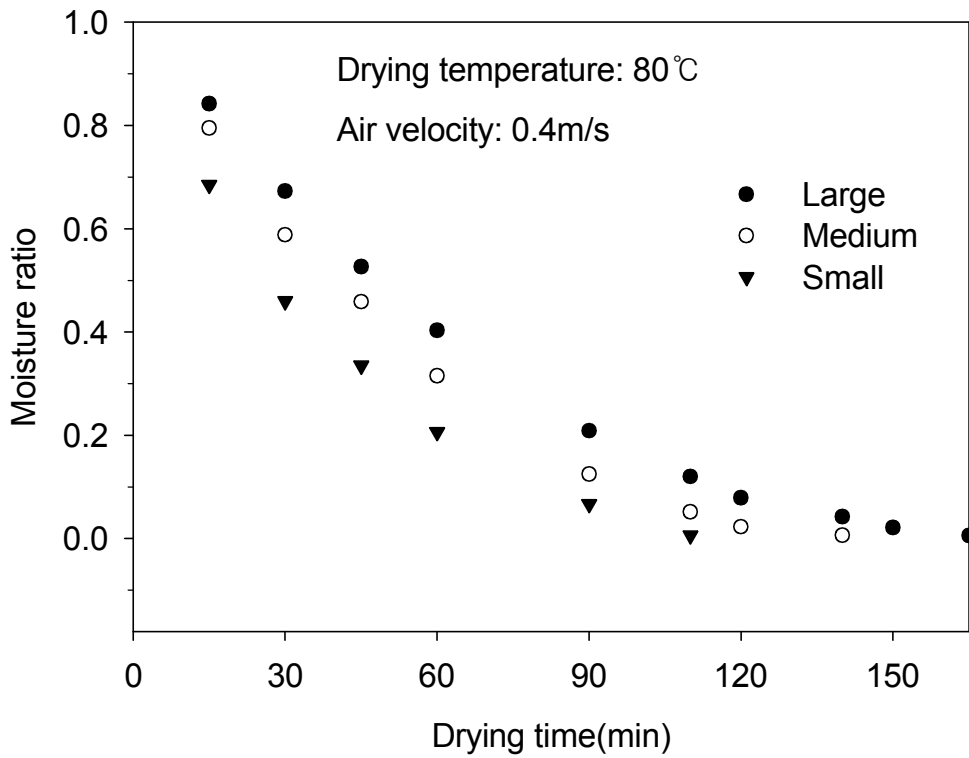


그림 12. 세절 크기에 따른 당근의 건조특성 곡선(80°C-0.4m/s)

(3) 세절 크기별 건조 후 색도 변화

그림 13은 세절 크기별 건조 후 색도변화를 나타낸 것이다.

그림 13에서와 같이 대, 중, 소편에 따른 색차(ΔE)는 각각 10.91, 9.88, 10.19로 세절한 당근의 폭과 길이가 작을수록 건조 후 색차는 약간 작아지는 경향을 나타내었다. 이것은 당근의 폭과 길이가 클수록 건조시간이 길어 갈변현상이 더 심하기 때문이라고 판단된다.

(4) 세절 크기별 건조 후 카로틴함량

그림 14는 세절 크기별 건조 후 카로틴함량을 나타낸 것이다.

그림 14에서와 같이 대, 중, 소편에 따른 건조 후 당근의 카로틴함량은 50°C-0.8m/s 인 경우 각각 370.05, 376.04, 378.09 $\mu\text{g/g}$ 로 세절한 당근의 폭과 길이가 작을수록 건조 후 카로틴함량은 약간 많아지는 경향을 나타내었다. 또한 80°C-0.4m/s 건조조건에서도 같은 경향을 나타내었다. 이것은 당근의 폭과 길이가 클수록 건조시간이 길어 카로틴 성분이 더 많이 분해되었기 때문으로 판단된다.

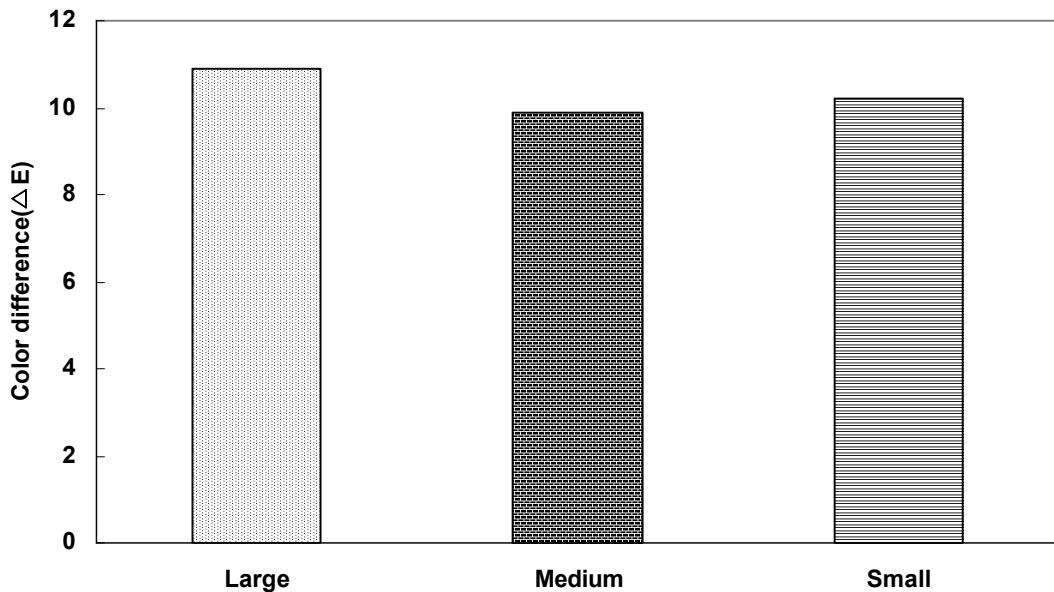


그림 13. 세절 크기별 건조 후 색도변화

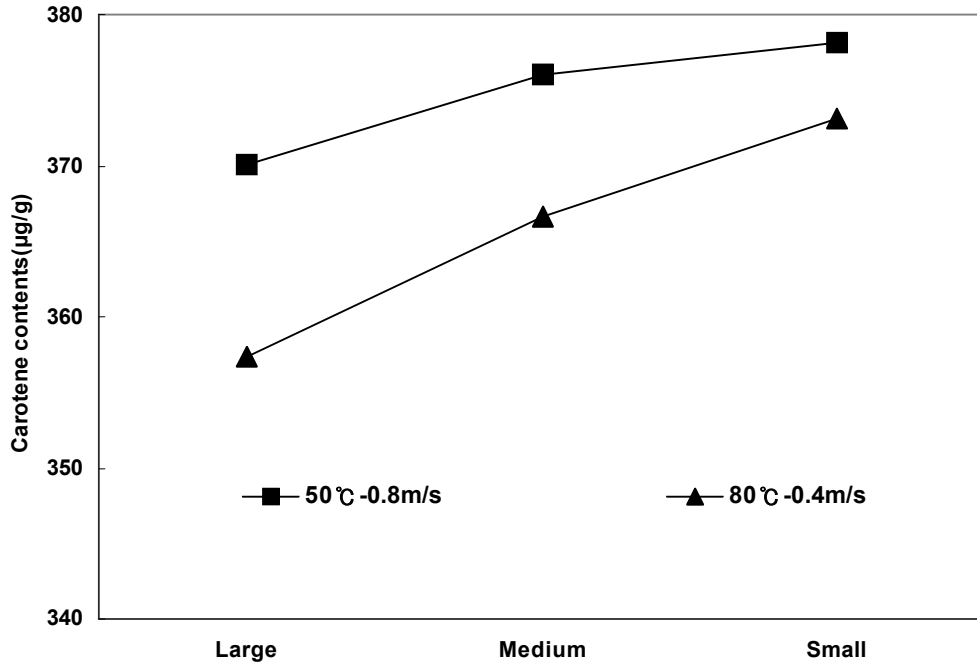


그림 14. 세절 크기별 건조 후 카로틴 함량 변화

라) 요약 및 결론

세절기의 성능을 평가하기 위하여 4종류의 세절칼날을 제작하여 시간당 세절성능, 세절칼날별 건조시간, 색도변화 및 당근의 카로틴 함량을 조사하였다. 또한 세절 크기별 무, 당근의 건조속도를 켄베이어식 원적외선 건조기를 이용하여 측정하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 세절 성능은 세절칼날의 폭과 길이가 클수록 좋은 것으로 나타났고, 손실률은 세절 단면적이 작을수록 약간 증가하는 경향을 나타내었지만, 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- (2) 당근의 세절 크기별 건조속도는 칼날의 폭과 길이가 클수록 건조시간이 긴 것으로 나타났다.
- (3) 세절 크기별 건조 후 당근의 색차는 폭과 길이가 작을수록 약간 작아지는 경향을 나타내었다.
- (4) 세절 크기별 건조 후 당근의 카로틴함량은 폭과 길이가 작을수록 건조시간이 단축되어 적게 분해되는 것으로 나타났다.
- (5) 세절기의 세절성능, 세절한 당근의 건조속도, 색차 및 카로틴함량 등을 종합적으로 고려할 때 4가지 칼날 중 칼날 2(7.00×5.50mm)와 칼날 3(9.06×5.42mm)이 무와 당근의 세절에 적절한 것으로 판단된다.

제 4 절 원적외선 건조기를 이용한 무, 당근의 건조특성

1. 컨베이어식 원적외선 건조기 설계 · 제작

가. 컨베이어식 원적외선 건조기

사진 9, 그림 15 및 표 10은 본 실험에 사용된 벨트 컨베이어식 원적외선 건조기의 사진, 개략도 및 제원을 나타낸 것이다. 이 실험장치의 주요 구성요소는 원적외선 방사체(MEP-550, Restoration, Korea), 건조실, 이송 벨트 컨베이어(5단), 송풍팬(DTB-402, DongKun, Korea) 및 제어반으로 구성되어 있다.

건조원리는 세절된 무, 당근이 투입장치를 통하여 이송 컨베이어에 고르게 투입되면서 저속으로 상층(1단)에서부터 하층(5단)으로 이송된다. 이때 매단 건조실 내부 상·하층에 컨베이어 로터 50 mm 간격으로 설치된 원적외선 방사판(방사율: 0.92)에서 방사되는 원적외선에너지, 당근 이송방향에 대해서 수직 상향으로 송풍되는 건조공기에 의해서 건조가 이루어진다. 원적외선 방사체 온도와 벨트 컨베이어 이송속도는 제어부에서 조절하였으며, 송풍팬은 각 단마다 각각 1개씩 설치하였고, 송풍속도는 인버터(FR-E520, Mitsubishi, Japan)의 주파수를 변화시켜 조절하였다.



사진 9. 컨베이어식 원적외선 건조기 (L7000mm×W1950mm×H1600mm)

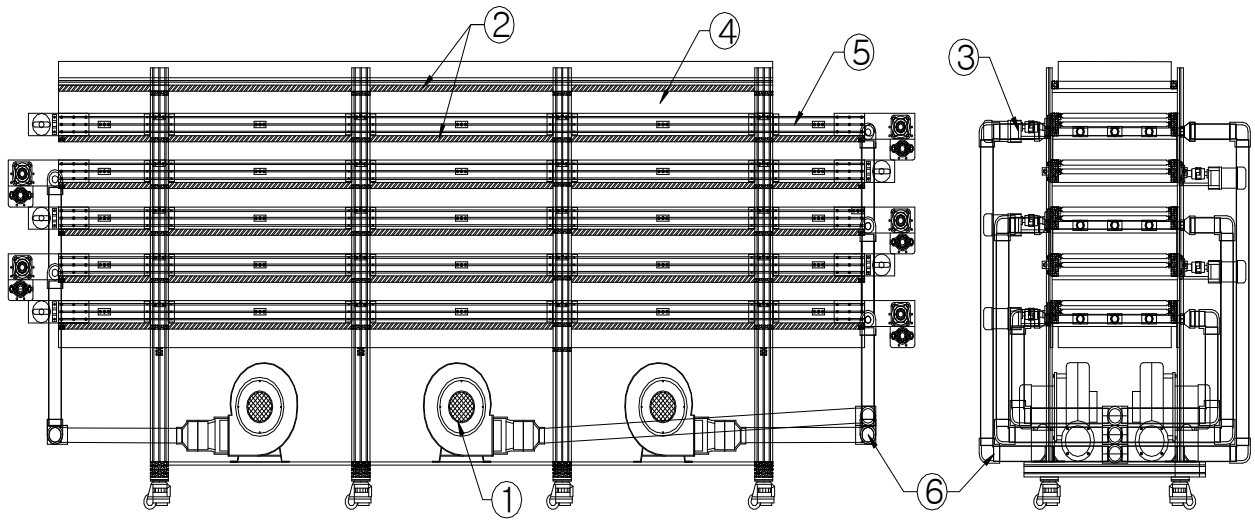


그림 15. 컨베이어식 원적외선 건조기 개략도

표 10 컨베이어식 원적외선 건조기 사양

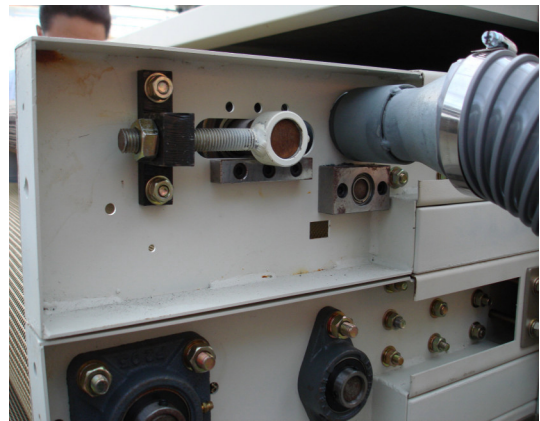
항목	사양	항목	사양
① 송풍팬	1.0kW, 10.5 m ³ /min 5EA	④ 건조실(L×W×H)	7,000×1,000×50 mm
② 원적외선 방사판	750W×40EA	⑤ 벨트 컨베이어(L×W)	1,430×1,000 mm
③ 모터	9SDG2-120F1G, 120W 90/1700 rpm	⑥ 송풍파이프	Outside∅50 mm



(a) 제작중인 컨베이어식 원적외선 건조기



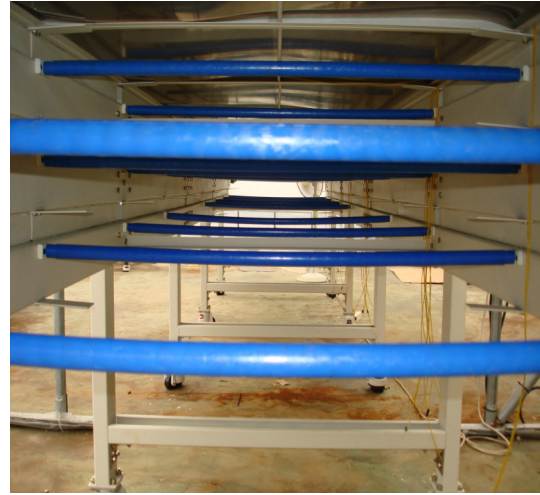
(b) 구동 모터



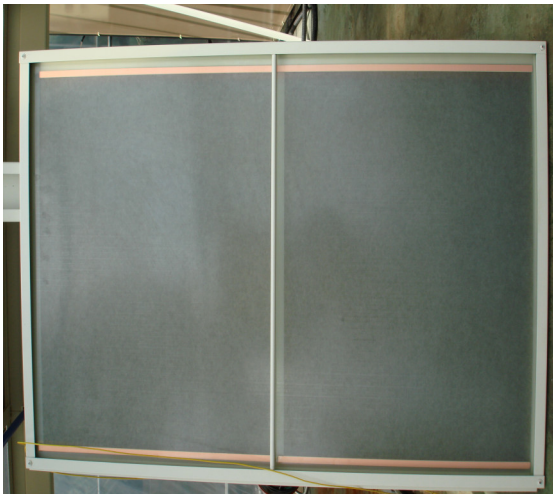
(c) 벨트 텐션 조정 장치



(d) 벨트 컨베이어



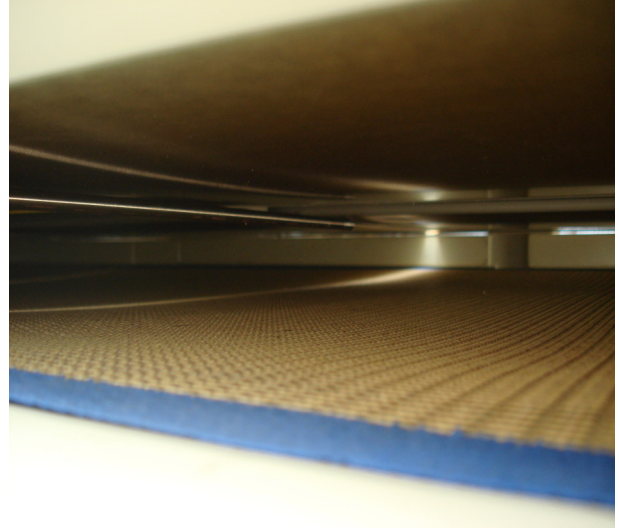
(e) 회전 아이들러



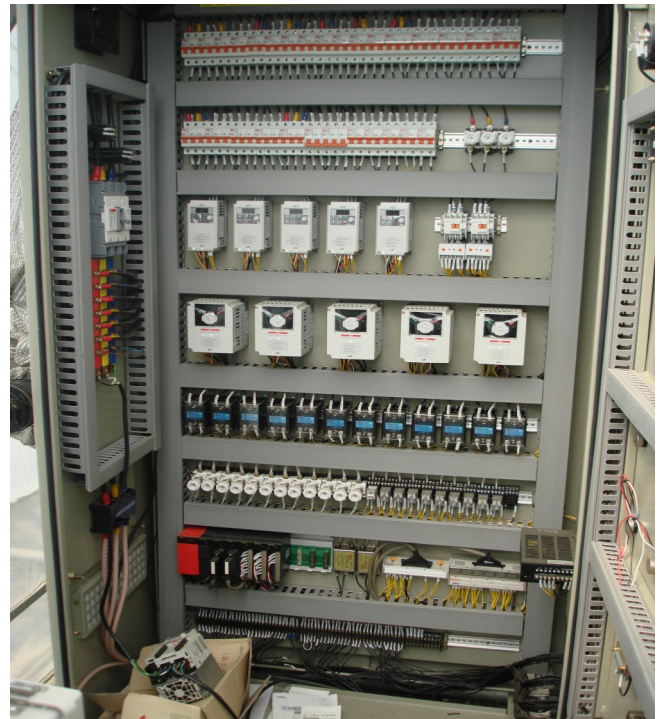
(f) 원적외선 면상 발열체



(g) 송풍장치



(h) 건조기 내부온도 측정 장치



(i) 원적외선 건조기 제어반

사진 10. 컨베이어식 원적외선 건조기 구성요소 및 제어반

2. 컨베이어 원적외선 건조기를 이용한 당근의 건조특성

가. 공시재료

공시재료는 2008년 부산지역에서 수확한 품종이 베타리치인 당근을 사용하였다. 당근은 세척기로 세척한 후 세절기로 각각 대편(8.76×8.47×50mm), 중편(7.00×5.50×50mm), 소편(6.53×4.94×50mm)의 크기별로 세절하여 공시재료로 사용하였다.

나. 실험방법

1) 건조 방법

원적외선 건조는 당근의 세절 크기별로 1회 건조 시료량을 2 kg 사용하였고, 최종 함수율이 6±0.5%(w.b.)(이하 %로 표시)가 되도록 건조하였다. 처리요인은 세절한 당근의 크기별 3수준, 건조온도 50, 60, 70, 80℃ 4수준, 송풍속도는 0.4, 0.6, 0.8 m/s 3수준으로 건조하였다.

대조구로는 대편 당근만을 이용하여 열풍건조 및 동결건조와 비교분석하였다. 열풍건조의 경우 상용화된 열풍건조기(BOPP-1.5, Shinheung Co., Korea)를 사용하였으며, 1회 시료량은 16 kg, 건조 후 최종 함수율은 원적외선 건조와 동일하게 하여 2회 반복 실험하였다. 건조온도는 60, 70℃, 송풍속도 0.8 m/s로 하였다.

동결건조는 시료를 -60℃에서 약 2일간 동결시킨 뒤, 동결건조기(Clean vac 8, BioTron, Korea)에서 48시간 동안 10 mmHg의 압력으로 -76℃를 유지하며 건조하였다.

2) 측정항목

가) 함수율 측정

함수율은 상압예열건조법(식품의약품안전청, 2005)에 따라 세절한 당근을 무작위로 채취하여 세절한 후 전자저울(HF-200GD, AND, Japan)로 10±0.5 g 무게를 측정하고, 실험용건조기(WFO-600ND, TOKYO RIKAKAI Co., Japan)에서 105℃, 24시간 건조한 후 중량비로 계산하여 습량기준함수율로 나타내었다.

나) 건조속도

건조속도는 시료를 일정시간 간격으로 채취하여 전자저울로 무게를 측정하고, 무게변화를 건량기준 함수율변화로 환산한 후 식(5)와 (6)을 이용하여 함수율비로 나타내었다.(Henderson and Perry 1976; Keum et al, 2003). 건조시간에 따른 중량변화는 건조시작 후 1시간 동안은 15분 간격으로 측정하였고, 1시간 이후부터는 30분 간격으로 측정하였다.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (5)$$

$$M_e = \frac{M_0 \cdot M_f - M_m^2}{M_0 + M_f - 2M_m} \quad (6)$$

여기에서, MR: 함수율비

M_t : 순간함수율(dec, d.b.)

M_e : 평형함수율(dec, d.b.)

M_0 : 초기함수율(dec, d.b.)

M_m : 중간함수율(dec, d.b.)

M_f : 최종함수율 (dec, d.b.)

다) 품온

당근의 품온은 세절의 길이 및 두께방향 중간위치에 열전대(T-type, OMEGA, USA)를 삽입하여 온도기록계(DA100-D3-1F, Yokogawa, Japan)를 이용하여 1분 간격으로 컴퓨터에 자동기록 하였다.

라) 색도

색도는 건조당근을 분쇄하여 약 20 g을 비닐 팩(PE, 두께 0.1 mm)에 넣고 시료의 두께를 균일하게 한 후 색채색차계(JX-777, C.T.S., Japan)를 이용하여 측정하였다. 측정시 각 샘플의 L(black[0] to light[100]), a(red [60] to green [-60]), b(yellow [60] to blue [-60]) 값들을 측정하였으며, 이 때 사용한 표준 백색판의 L, a, b 값은 각각 98.81, 0.08, 0.06이었다. 또한 종합적으로 색도변화를 반영하는 색차 ΔE 는 건조 전의 시료를 기준으로 하여 식 (7)로 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (7)$$

여기서, ΔE : 건조 후 당근이 색차

ΔL : 초기 명도 값과 건조 후 명도 값의 차

Δa : 초기 적색도 값과 건조 후 적색도 값의 차

Δb : 초기 황색도 값과 건조 후 황색도 값의 차

마) 재수화율

재수화율은 일정량의 건조당근을 100°C 증류수에 넣어 동결건조는 20분, 원적외선과 열풍건조는 40~60분 후에 무게를 측정하여 수분 흡수량과 건조시료의 초기 건물무게를 식 (8)을 이용하여 산출하였다. 재수화 중 시료온도는 비커를 100°C의 water bath에 침지하여 유지하였고,

재수화한 시료의 표면수는 Büchner funnel을 이용하여 제거하였다.

$$RR = \frac{W_f - W_i}{m_d} \quad (8)$$

여기서, RR : 재수화율(Rehydration ratio, g)
 W_f : 재수화 후 시료 무게(g)
 W_i : 초기 시료무게(g)
 m_d : 초기 시료의 건물무게(g)

바) 갈변도

당근 분말시료 약 1.3 g을 취해 증류수 40 mL와 10% trichloroacetic acid 용액 10 mL을 첨가하여 잘 현탁시킨 후 2시간 동안 실온에서 정치하였다. 이후 용액을 여과지(Whatman No.1)로 여과하고, 갈변도는 분광광도계(CE393, Cecil Co., USA)를 이용하여 420 nm에서 흡광도를 측정 후 흡광도 값으로 나타내었다.(Hendel et al. 1950).

사) 카로틴

(1) 정량방법

시료를 미세하게 분쇄시킨 후 0.1 g에 n-hexane과 acetone 혼합액(6:4, v:v) 20 mL를 첨가하여 반복 추출하고, Methanol 30 mL을 첨가한 후 glass filter로 여과하여 색소를 추출하였다. 이후 증류수를 가해 추출액을 분리한 다음 상등액을 채취하여 분광광도계(CE393, Cecil Co., USA)로 436 nm에서 흡광도를 측정 후 검량선에 의해 카로틴함량을 정량하였다(AOAC, 1990).

(2) 검량선 작성

표준물질 β -carotene 0.001 g을 20 mL의 n-hexane과 acetone 혼합액(6:4, v:v)에 용해시키고, 이것을 각각 0, 100, 200, 300, 400, 600 및 800 μ L를 채취하여 acetone: hexane 혼합액(6:4, v:v)을 각각 2000, 1900, 1800, 1700, 1600, 1400 및 1200 μ L 넣어 2 mL로 정량 후 436 nm에서 흡광도를 측정하여 검량선을 작성하였다.

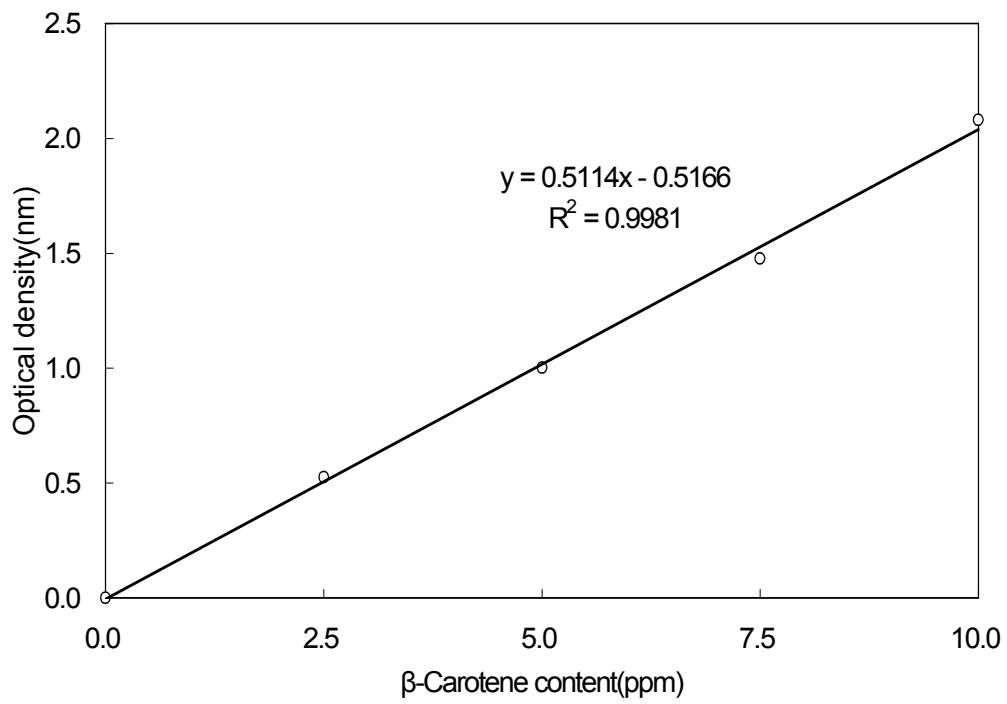


그림 16. 카로틴함량 분석 검량선

아) 에너지 소비량분석

원적외선건조에 의한 에너지 소비량은 적산전력계(Energy Monitor 2720, SOAR, Italy)를 이용하여 측정하였고, 수분 1 kg을 제거하는데 필요한 에너지 소비량으로 환산하여 나타내었다. 열풍건조의 에너지 소비량은 건조에 소모된 등유의 무게를 측정하였고, 등유 발열량을 42.8 MJ/kg로 하여 수분 1 kg을 제거하는데 필요한 에너지 소비량으로 환산하여 나타내었다.

3) 건조모델

벨트 컨베이어식 원적외선 건조기를 이용한 당근의 건조모델을 개발하기 위하여 기존의 건조방정식 중 널리 사용되고 있는 Page(1949)의 옥수수 박층 건조실험에 적용한 모델, Lewis(1921)의 Newton 냉각법칙을 이용한 건조모델, Henderson(1952)의 수분확산법칙 해에 기초한 건조모델 및 Thompson(1967)의 건조모델 등 4개의 건조모델을 선정하였다. 이 모델들은 식 (9)~(12)로 표시된다.

$$\text{Page 모델} \quad MR = \exp(-P \cdot t^Q) \quad (9)$$

여기서, MR : 함수율비(dec, d.b.)

P : 실험상수(무차원)

t : 건조시간(min)

Q : 실험상수(무차원)

$$\text{Lewis 모델} \quad MR = \exp(-k_1 \cdot t) \quad (10)$$

여기서, k_1 : 실험상수(무차원)

$$\text{Henderson 모델} \quad MR = A_1 \cdot \exp(-k_2 \cdot t) \quad (11)$$

여기서, A_1 : 실험상수(무차원)

k_2 : 실험상수(무차원)

$$\text{Thompson 모델} \quad t_2 = A_2 \cdot \ln(MR) + B \cdot [\ln(MR)]^2 \quad (12)$$

여기서, t_2 : 건조시간(hr)

A_2 : 실험상수(무차원)

실험상수의 결정은 함수율비의 실험값을 모델에 적합시켜 SAS의 비선형 회귀분석 프로그램 중 DUD(Doesn't Use Derivatives)방법을 이용하여 결정하였다. 건조모델의 실험상수 P, Q, k₁, A₁, k₂, A₂ 및 B는 당근의 체적, 건조온도 및 송풍속도의 함수로 가정하고 식 (13)으로 설정하였다(김종덕, 1999).

$$\begin{aligned} \text{실험상수} = & a_0 + a_1 \cdot (V) + a_2 \cdot (T) + a_3 \cdot (AV) + a_4 \cdot (V)^2 + a_5 \cdot (T)^2 + \\ & a_6 \cdot (AV)^2 + a_7 \cdot (V \cdot T) + a_8 \cdot (T \cdot AV) + a_9 \cdot (V \cdot AV) \end{aligned} \quad (13)$$

여기서, V : 당근의 체적(cm³)
T : 건조온도(°C)
AV : 송풍속도(m/s)

식 (13)에서 변수들의 조합은 SAS의 PROC STEPWISE를 이용하여 결정하였다. 또한 함수율비의 실험값과 건조모델을 이용한 예측값 사이의 결정계수 R² (Coefficient of determination)과 평균오차제곱근 RMSE(Root mean square error)로 모델의 적합성을 비교 검증하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 당근의 건조특성

가) 원적외선 건조온도 및 송풍속도의 영향

그림 17~23은 당근을 원적외선건조 할 경우 건조시간에 따른 건조온도와 송풍속도가 함수율비 변화에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

그림 17~23에서 보는바와 같이 원적외선 건조조건 80℃-0.8 m/s에서 건조시간이 140분으로 가장 빠른 것으로 나타났고, 50℃-0.4 m/s 건조조건에서 390분으로 가장 늦은 것으로 나타났다.

그림 17~19는 동일한 송풍속도에서 원적외선 건조온도가 건조속도에 미치는 영향을 분석한 것이다.

그림 17에서 알 수 있듯이 송풍속도가 0.4 m/s일 때 원적외선 건조온도 50, 60, 70, 80℃에서 건조시간은 각각 390, 270, 210, 165분 이었고, 건조온도 80℃가 건조온도 50℃, 60℃, 70℃보다 각각 225, 105, 45분정도 단축되어 건조온도가 높을수록 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다.

그림 18에 나타난 바와 같이 송풍속도를 0.6 m/s로 고정하고, 원적외선 건조온도가 5℃, 60℃, 70℃, 80℃인 경우 건조시간이 각각 360, 240, 180, 150분으로 나타나 그림 30에서와 같이 동일한 송풍속도에서는 원적외선 건조온도가 높을수록 건조시간이 단축되는 경향을 나타내었다.

그림 19는 송풍속도가 0.8 m/s일 때 건조온도 별 건조시간에 따른 원적외선건조의 함수율비 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 보는바와 같이 건조온도 50℃, 60℃, 70℃, 80℃에서 건조시간은 각각 330, 230, 165, 140분으로 나타나 앞서 서술한 바와 같이 동일한 송풍속도에서 원적외선 건조온도가 높을수록 건조시간이 단축되는 경향을 나타내었다. 이것은 건조온도가 높을수록 복사에너지가 증가되어 수분증발에 이용되는 잠열량이 많아 건조속도가 빨라지는 것이라고 판단된다.

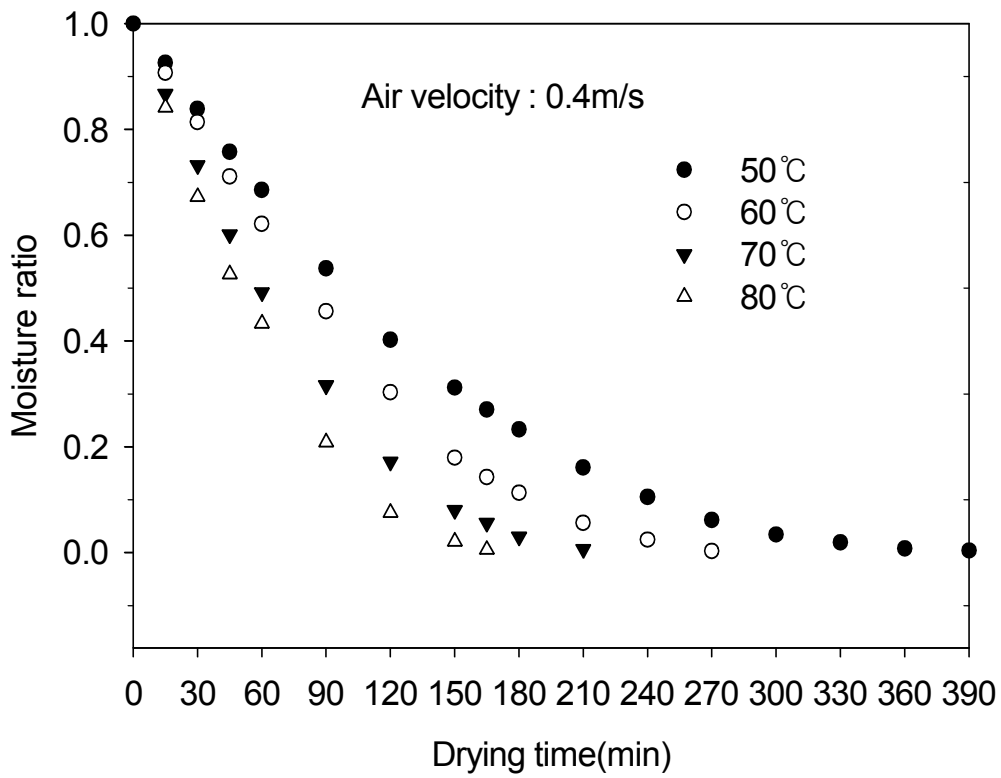


그림 17. 송풍속도 0.4m/s에서 건조온도별 건조시간에 따른 대편당근의 건조곡선

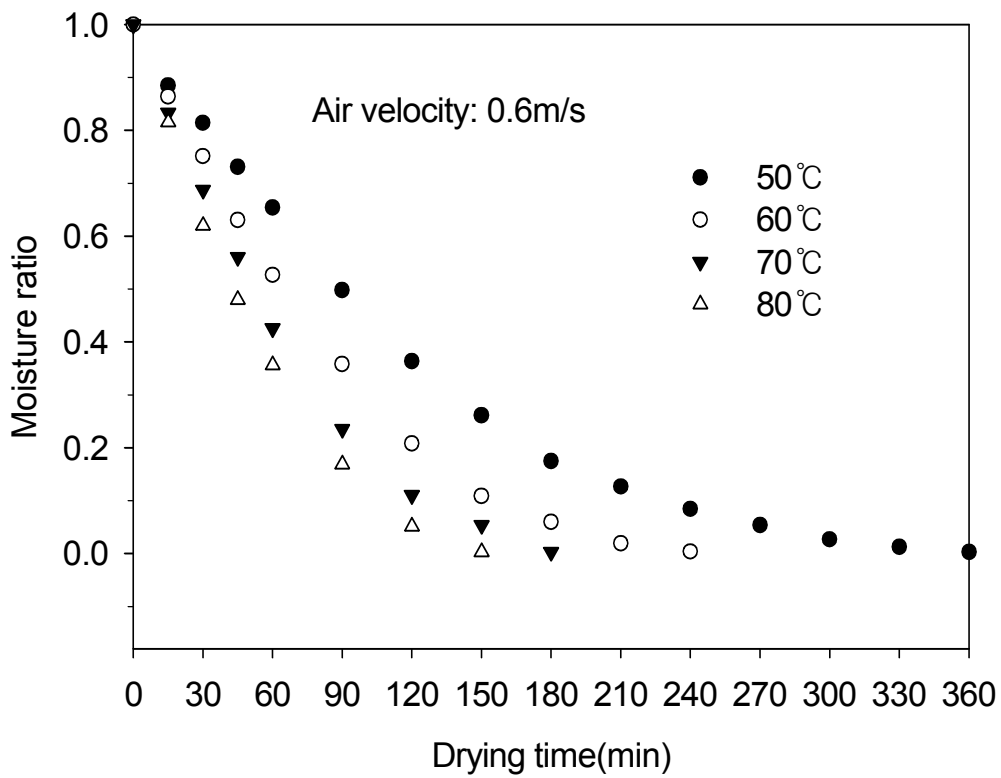


그림 18. 송풍속도 0.6m/s에서 건조온도별 건조시간에 따른 대편당근의 건조곡선

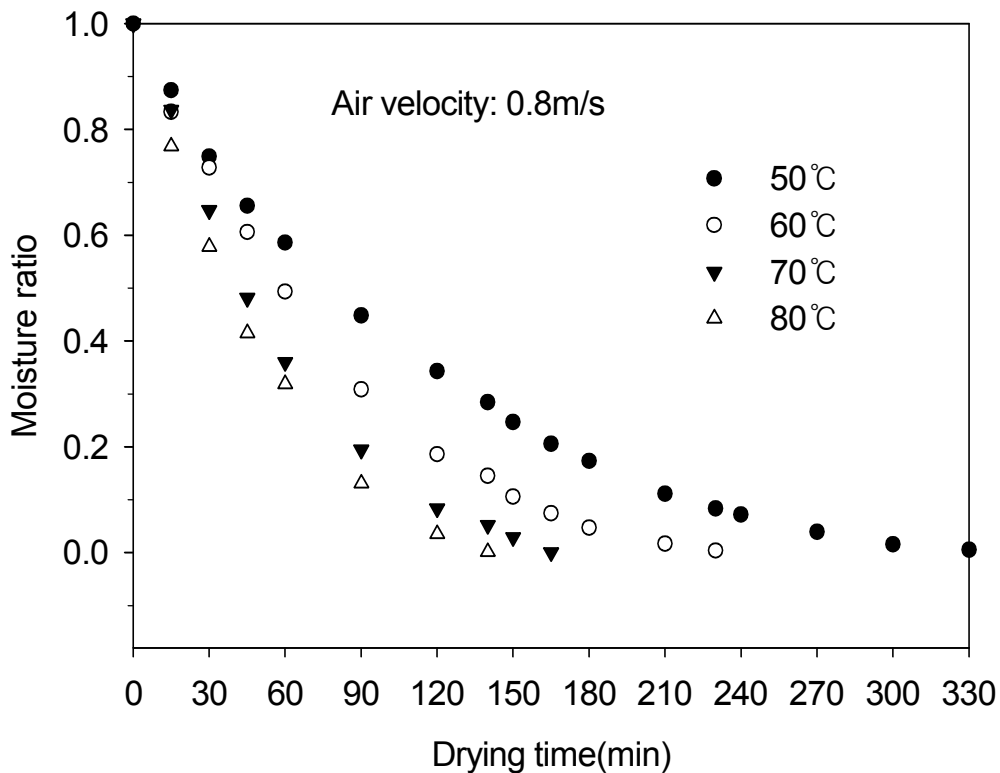


그림 19. 송풍속도 0.8m/s에서 건조온도별 건조시간에 따른 대편당근의 건조곡선

그림 20~23에 동일한 원적외선 건조온도 조건에서 송풍속도가 건조속도에 미치는 영향을 나타내었다.

그림 20에서 알 수 있듯이 원적외선 건조온도가 50°C일 때 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서 건조시간은 각각 390, 360, 330분으로 나타나 풍속이 증가 할수록 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다.

그림 21에서 보는 바와 같이 건조온도 60°C에서 송풍속도가 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 때 건조시간은 각각 270, 240, 230분으로 그림 20에서와 같이 송풍속도가 빠를수록 건조시간이 단축되는 경향을 나타내었다. 한편 풍속 0.6, 0.8 m/s가 0.4 m/s보다 건조시간이 각각 30, 40분 정도 단축되는 것으로 나타났다. 이와 같이 송풍속도가 빠를수록 건조시간이 단축되지만, 앞에서 서술한 건조온도가 건조속도에 미치는 영향보다는 현저히 작은 것으로 판단된다. 또한 풍속이 증가 할수록 건조시간 단축효과가 작은 것은 낮은 온도에서 풍속이 빠를수록 피건조물 건조에 필요한 현열 및 잠열이 손실되었기 때문이라고 사료된다.

그림 22는 원적외선 건조온도가 70°C인 경우 송풍속도 별 건조시간에 따른 원적외선 건조의 함수율비 변화를 나타낸 것이다. 원적외선건조의 송풍속도가 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 때 건조시간은 각각 210, 180, 165분으로 나타나 송풍속도가 빠를수록 건조속도가 약간 빨라지는 경향을 나타

내었다.

그림 23에서와 같이 원적외선 건조온도 80℃ 송풍속도가 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 때 건조시간은 각각 165, 150, 145분로, 앞에서 서술한 바와 같이 송풍속도가 빠를수록 건조속도가 빨라지는 경향을 나타냈으나, 건조시간 단축효과는 건조온도 50℃, 60℃, 70℃에서 송풍속도에 의한 영향보다 적게 나타났다. 이것은 온도가 높을수록 수분증발에 이용되는 잠열량이 많아 풍속 영향이 적었기 때문이라고 사료된다.

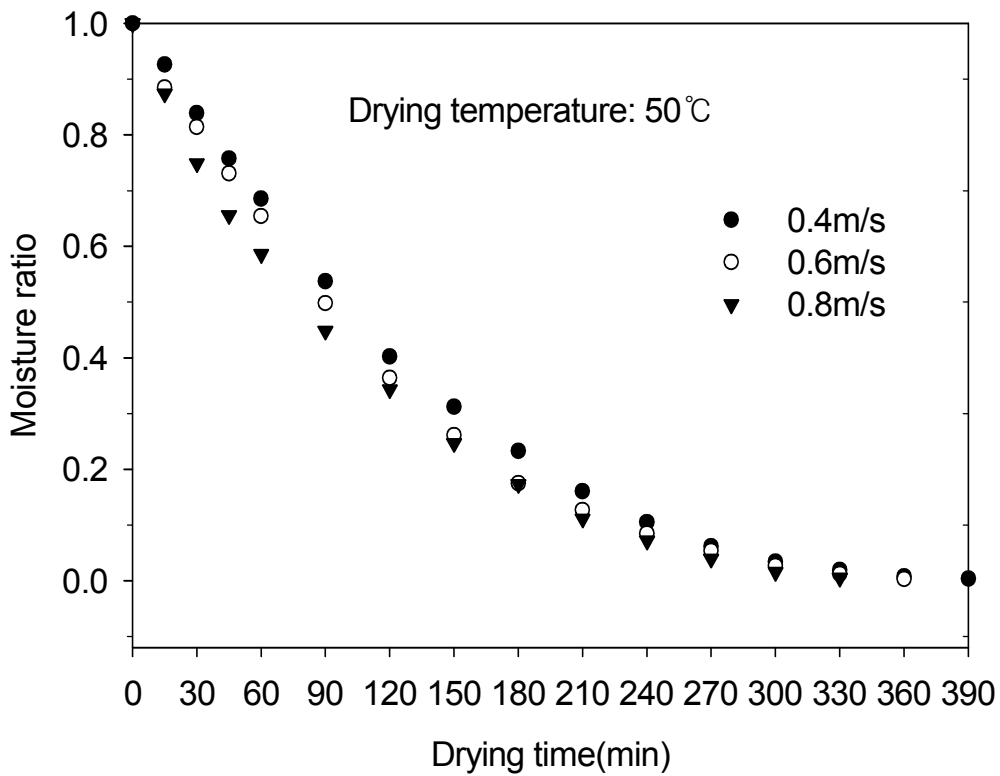


그림 20. 건조온도 50℃에서 송풍속도별 건조시간에 따른 대편 당근의 건조곡선

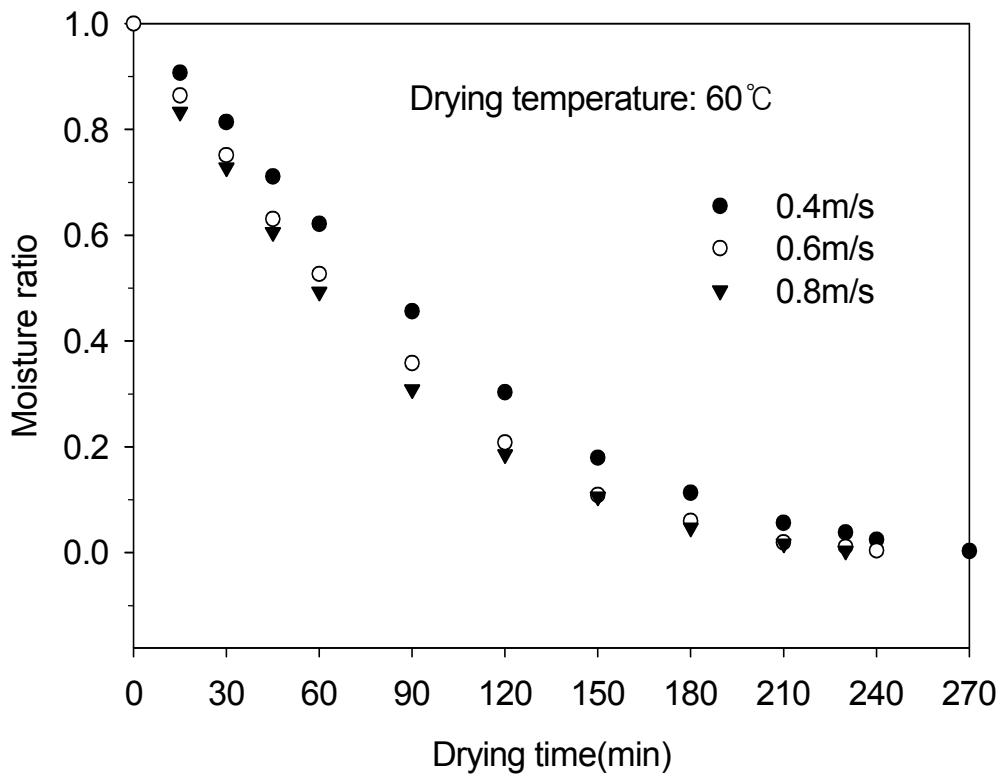


그림 21. 건조온도 60°C에서 송풍속도별 건조시간에 따른 대편 당근의 건조곡선

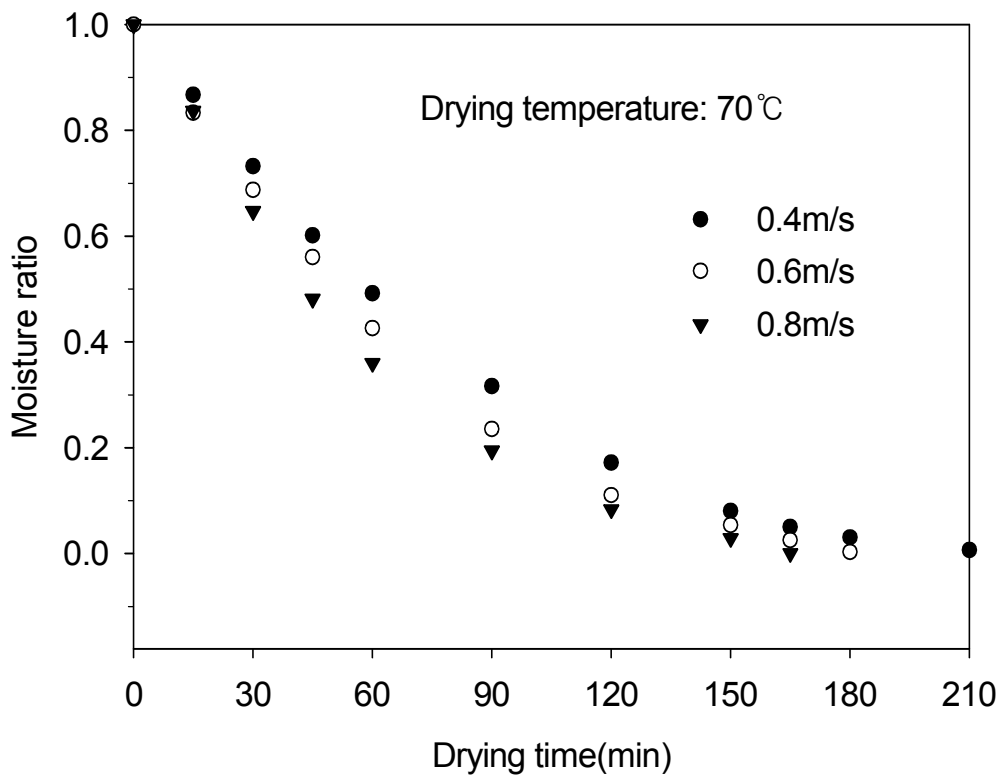


그림 22. 건조온도 70°C에서 송풍속도별 건조시간에 따른 대편 당근의 건조곡선

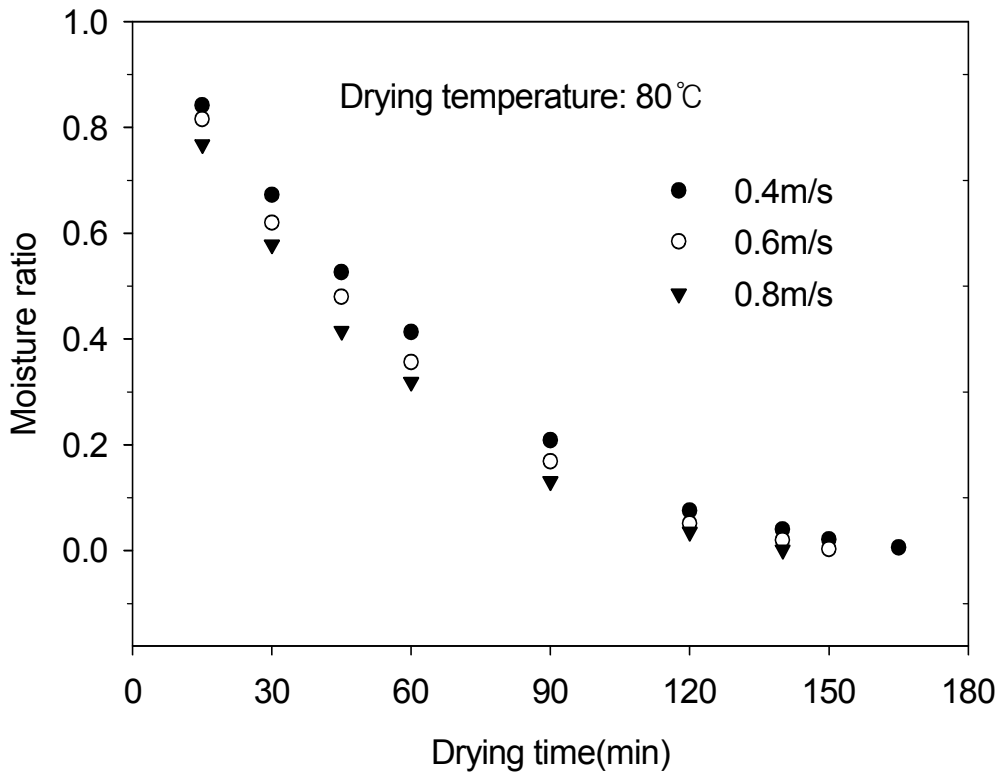


그림 23. 건조온도 80°C에서 송풍속도별 건조시간에 따른 대편 당근의 건조곡선

나) 당근 크기의 영향

그림 24, 25는 건조온도 50°C, 풍속 0.8 m/s와 건조온도 80°C, 풍속 0.4 m/s의 건조조건에서 대편, 중편, 소편 당근의 건조특성곡선을 나타낸 것이다.

그림 24에서 보는 바와 같이 건조온도 50°C, 풍속 0.8 m/s의 건조조건에서 대, 중, 소편 당근을 최종 함수율 $6 \pm 0.5\%$ 까지 건조할 경우 소요시간은 각각 330, 240, 175분으로 나타났다.

그림 25에서와 같이 건조온도 80°C, 풍속 0.4 m/s의 경우 소요시간은 대, 중, 소편에서 각각 160, 140, 110분으로 세절한 당근의 건조속도도 크기에 반비례함을 알 수 있다.

표 11은 대, 중, 소편으로 세절한 당근의 건조시간 및 최종 함수율을 나타낸 것이다.

표에서 보는바와 같이 대편의 경우 건조온도 50°C, 풍속 0.4 m/s의 건조조건에서 건조시간이 390분으로 가장 긴 것으로 나타났고, 소편의 경우 건조시간은 건조온도 80°C, 풍속 0.8 m/s의 건조조건이 75분으로 가장 짧은 것으로 나타났다. 또한 건조속도는 건조온도에 의한 영향이 송풍속도보다 큰 것으로 나타났다. 한편 중, 소편에서도 대편의 건조특성과 같이 건조온도 및 송풍속도의 증가함에 따라 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다.

이것은 최병민(1992)이 박피 인삼을 건조 할 경우 동일한 건조온도에서 건조공기의 풍속이 증가 할수록 건조속도는 빨라진다는 결과와 30°C에서 60°C까지 건조온도를 높일 경우 건조속도는 빨라진다는 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

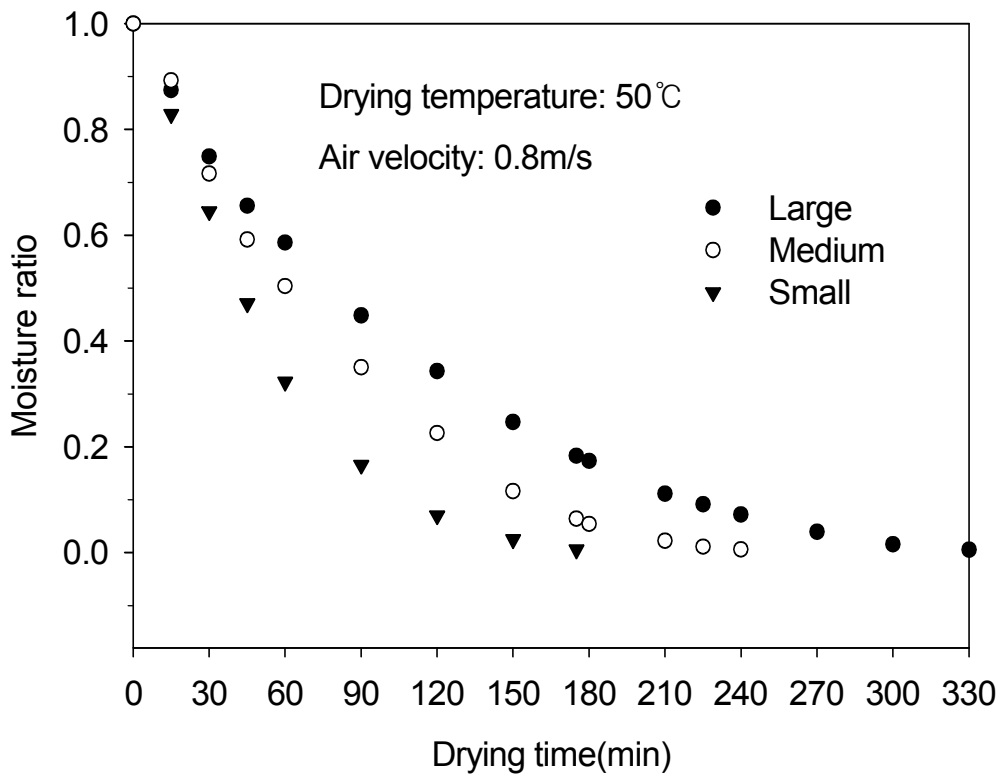


그림 24. 건조조건 50°C-0.8m/s에서 세절한 당근 크기별 건조곡선

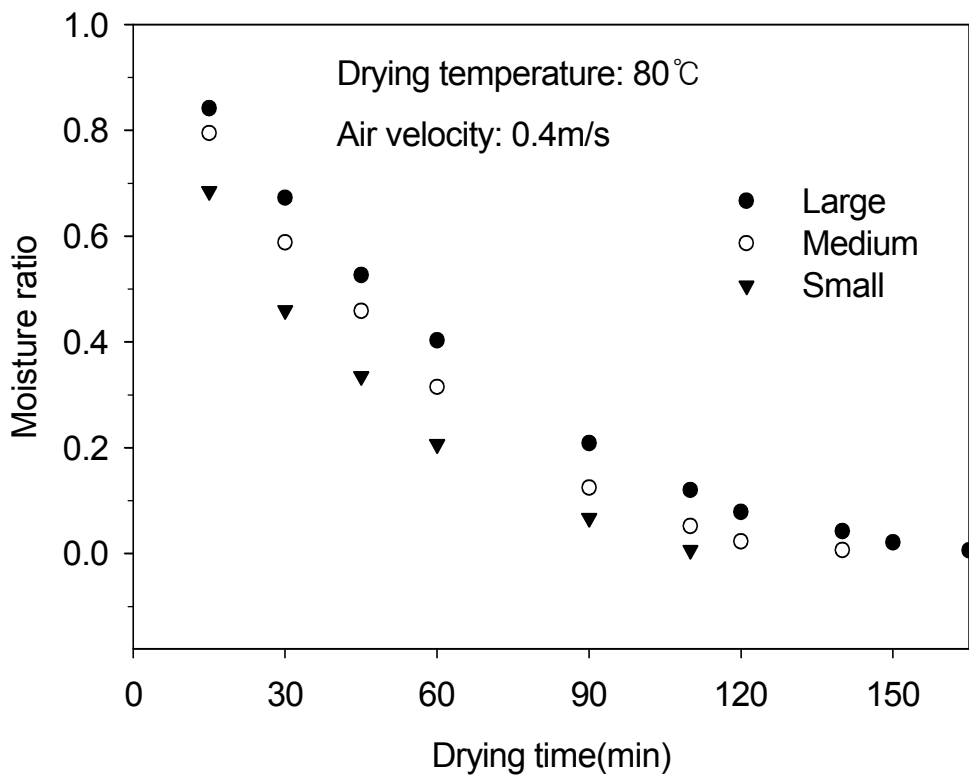


그림 25. 건조조건 80°C-0.4m/s에서 세절한 당근 크기별 건조곡선

표 11 세절한 당근 크기별 각 건조조건외 건조시간 및 최종함수율

건조 온도 (°C)	송풍 속도 (m/s)	세절 크기	함수율 (%)	건조 시간 (min)	건조 온도 (°C)	송풍 속도 (m/s)	세절 크기	함수율 (%)	건조 시간 (min)		
50	0.4	small	6.08	190	70	0.4	small	5.82	130		
		medium	6.13	300			medium	6.41	175		
		large	6.05	390			large	5.81	210		
	0.6	small	6.54	195		0.6	small	6.07	110		
		medium	6.25	255			medium	6.10	165		
		large	5.87	360			large	6.05	180		
	0.8	small	6.06	175		0.8	small	6.05	95		
		medium	6.22	225			medium	6.32	150		
		large	5.87	330			large	6.02	165		
	60	0.4	small	6.26		155	80	0.4	small	6.01	110
			medium	6.14		210			medium	6.05	140
			large	6.01		270			large	6.03	165
0.6		small	6.10	150	0.6	small		6.04	90		
		medium	5.85	175		medium		6.24	105		
		large	6.10	240		large		5.84	150		
0.8		small	6.29	135	0.8	small		5.89	75		
		medium	6.21	155		medium		6.36	110		
		large	6.11	230		large		5.76	140		

다) 건조방법에 따른 당근의 건조특성

그림 26은 건조온도 60°C, 70°C, 송풍속도 0.8 m/s에서 최종 함수율 6±0.5%까지 건조하는 경우 원적외선건조와 열풍건조의 함수율비 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 보는바와 같이 건조속도는 원적외선건조가 열풍건조보다 빠른 것으로 나타났다. 건조속도 지표가 되는 반건시간(MR=0.5)에 도달하는 시간은 원적외선건조의 경우 건조온도 60°C, 70°C, 송풍속도 0.8 m/s에서 각각 60, 47분, 열풍건조는 각각 100, 85분으로 원적외선건조가 열풍건조보다 건조속도가 빠른 것으로 나타났다. 최종 건조시간은 원적외선건조가 열풍건조보다 각각 70, 45분 정도 단축된 것으로 나타났다. 이것은 원적외선 복사에너지가 열효율이 높아 피건조물 내부온도 상승이 빠르고, 수분증발에 필요한 잠열량이 크기 때문이라고 사료된다.

한편 동결건조의 경우 48시간 소요되어 원적외선 및 열풍건조보다 건조시간이 긴 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 김환주(1999)가 향기의 원적외선 및 열풍건조 성능비교 연구에서 같은 온도에서는 원적외선에 의한 건조속도가 열풍에 의한 건조속도 보다 빠르게 나타났다는 결과와 리혁(2006)이 상자형 원적외선 건조기를 이용한 산삼배양근의 건조연구에서 원적외선건조가 동일한 건조조건인 열풍건조보다 80분정도 건조시간이 단축되었다는 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

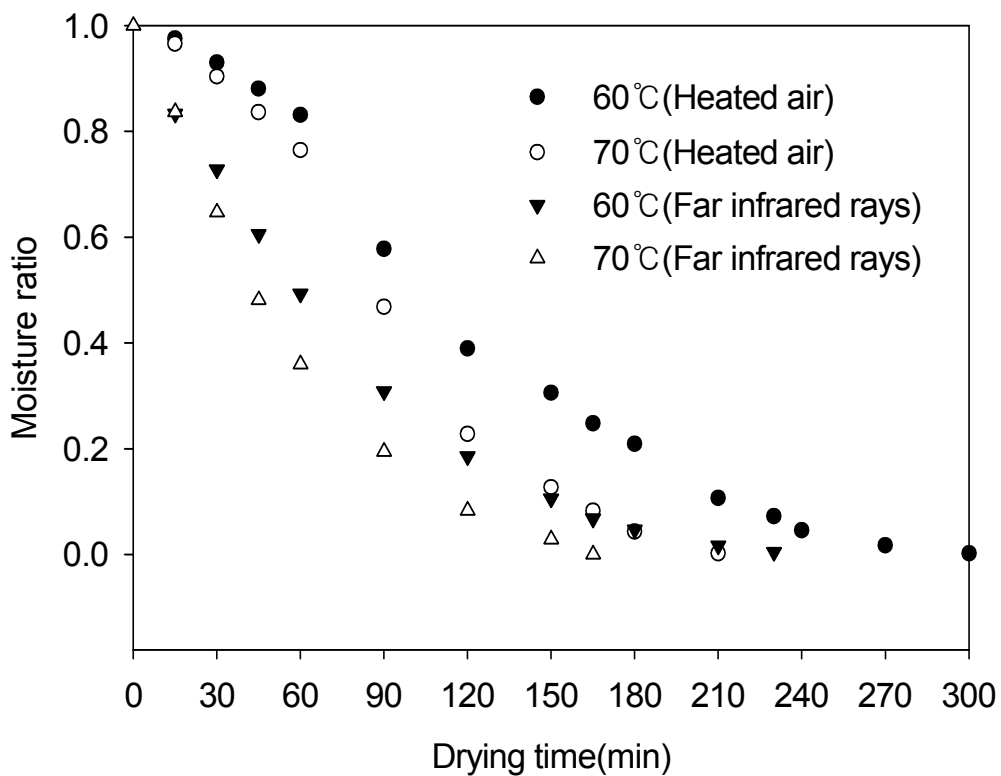


그림 26. 건조방법에 따른 당근의 건조곡선

2) 당근 품온과 예측모델

그림 27, 28에 원적외선 건조조건 및 건조방법별 건조시간에 따른 피건조물의 품온 변화를 나타내었다.

그림 27에서 알 수 있듯이 원적외선건조의 경우 일정한 건조온도에서 송풍속도가 빠를수록 품온 상승이 빠른 것으로 나타났고, 일정한 송풍속도 조건에서도 건조온도가 높을수록 품온의 상승이 빠른 것으로 나타났다.

원적외선 건조조건별 설정온도에 도달시간을 비교한 결과, 건조온도가 50℃, 송풍속도가 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 때 설정온도에 도달시간은 각각 145, 121, 104분으로 나타났고, 건조온도 60℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 경우 각각 147, 130, 117분으로 나타났다. 건조온도 70℃, 송풍속도가 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 경우 설정온도에 도달시간은 각각 120, 110, 99분으로 나타났고, 건조온도 80℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서 설정온도 도달시간은 각각 144, 135, 125분으로 나타났다. 이와 같이 동일한 건조온도에서 송풍속도가 빠를수록 설정온도에 도달하는 시간이 빠르고, 건조속도가 빨라지는 것은 세절한 당근의 개체간 공극이 많아 송풍속도가 빠를수록 대류에 의한 열전달이 잘되기 때문이라고 판단된다.

또한 동일한 풍속조건하에서 건조온도가 높을수록 피건조물 내부온도 상승이 빠른 것은 건조온도가 높을수록 원적외선 방사판의 표면온도가 높아 복사에너지가 증가하였기 때문이라고 판단된다.

그림 28에서 보는바와 같이 원적외선건조는 건조온도 60℃, 70℃에서 설정온도에 도달하는 시간은 각각 117, 99분으로 열풍건조의 설정온도 도달시간 280, 190분 보다 91~163분 정도 단축되는 것으로 나타났다. 따라서 원적외선건조의 경우 설정온도 도달시간이 열풍건조보다 빠른 것은 원적외선은 복사 열전달방식으로 열효율이 열풍의 대류 열전달보다 높기 때문이라고 판단된다.

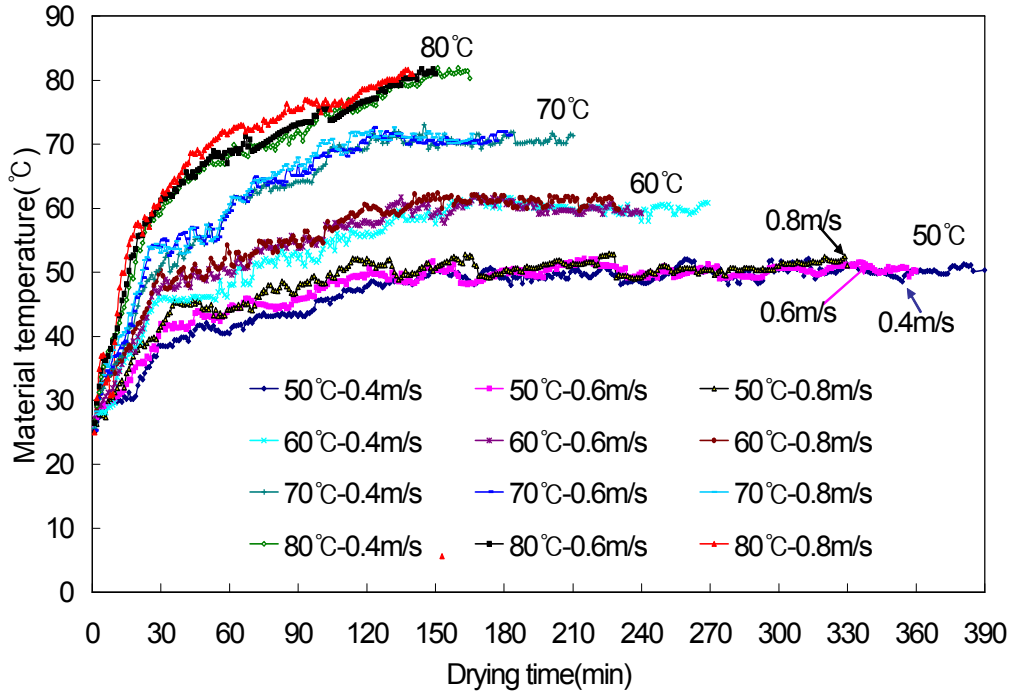


그림 27. 원적외선 건조조건에 따른 당근 품온 변화

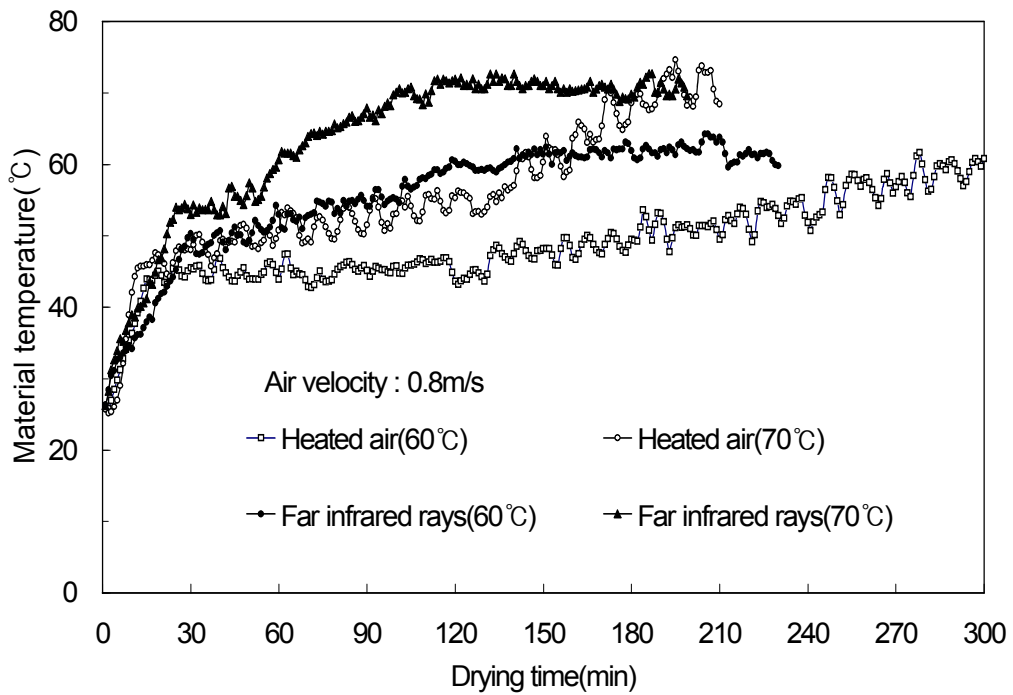


그림 28. 건조방법별 당근의 온도 변화

당근 품온 변화는 당근을 건조하는 경우 건조속도 및 품질에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 정확한 품온 예측모델을 개발하기 위하여 당근의 온도변화를 건조온도, 송풍속도 및 건조시간의 함수로 표시되는 식 (14)를 실험모델로 설정하였다(금동혁, 2005).

$$TR = \frac{T_c - T_{ci}}{T_d - T_{ci}} = A(1 - \exp(-B \cdot t)) \quad (14)$$

여기서, TR : 온도비

T_c : 건조시간에 따른 당근내부의 평균온도(°C)

T_{ci} : 당근의 초기온도(°C)

T_d : 건조시간에 따른 건조실 온도(°C)

t : 건조시간(min)

A, B : 실험상수

온도 측정값을 실험모델에 적합시켜 SAS(Ver. 8.2)의 비선형 회귀분석 프로그램을 이용하여 실험상수를 결정하였다. 실험모델의 실험상수 A, B는 당근 건조온도와 송풍속도의 함수로 가정하고 다음 식 (15)로 설정하였다.

$$A, B = a_0 + a_1 \cdot (T_d) + a_2 \cdot (AV) + a_3 \cdot (T_d)^2 + a_4 \cdot (AV)^2 + a_5 \cdot (T_d \cdot AV) \quad (15)$$

여기서, $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$: 실험상수

T_d : 건조시간에 따른 건조실 온도(°C)

AV : 송풍속도(m/s)

식 (14)의 실험상수는 SAS의 다중선형회귀분석 프로그램을 이용하여 선정하였다. 당근의 온도 측정치와 모델에 의한 예측치 사이의 적합성은 결정계수와 평균오차제곱근 RMSE (Root Mean Square Error)를 이용하여 검정하였다.

당근 건조시간에 따른 내부온도 예측모델의 실험상수와 결정계수는 다음의 표 12에 나타내었다.

표에서와 같이 실험상수 A의 결정계수는 0.8278이었고, B의 결정계수는 0.9435로 높은 값을 나타내었다.

당근 건조시간에 따른 내부온도 예측모델의 적합성을 검정하기 위하여 각 건조조건별 실험값과 예측값 간의 결정계수와 RMSE를 표 13에 나타내었다. 표에서와 같이 결정계수는 모든 건조조건에서 0.9424이상으로 나타났으며, RMSE는 0.0528이하로 온도비의 측정치 값이 0~1.05 사이의 값을 고려할 때 허용 가능한 수준으로 판단된다.

그림 29와 30은 송풍속도 0.6 m/s, 건조온도 60°C, 70°C에서 건조시간에 따른 측정값과 모델에 의한 예측값을 비교한 것이다.

그림에서 보는바와 같이 건조온도 60, 70°C에서 건조시간 중반에 예측값과 측정과 사이에 약간 오차가 나타났으나 전반적으로는 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발된 식 (15)의 예측모델을 이용하여 건조시간에 따른 당근의 품온을 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

표 12 온도 예측모델의 실험상수

결정계수	R ²
$A = 0.43972 + 0.02180(T_d) - 0.31438(AV) - 0.000171117(T_d^2) + 0.37344(AV^2) - 0.00151(T_d \cdot AV)$	0.8278
$B = 0.07630 - 0.00268(T_d) + 0.06403(AV) + 0.00002475(T_d^2) - 0.01938(AV^2) - 0.00036(V_d \cdot T)$	0.9435

표 13 건조온도에 따른 예측치와 실측치의 결정계수 및 RMSE의 비교

건조온도(°C)	송풍속도(m/s)	R ²	RMSE
50	0.4	0.96545	0.04207
	0.6	0.96514	0.04078
	0.8	0.94235	0.05282
60	0.4	0.96057	0.04921
	0.6	0.96822	0.04391
	0.8	0.95191	0.05282
70	0.4	0.97991	0.03687
	0.6	0.96642	0.04592
	0.8	0.96597	0.04828
80	0.4	0.96511	0.04492
	0.6	0.96618	0.04323
	0.8	0.97251	0.04082

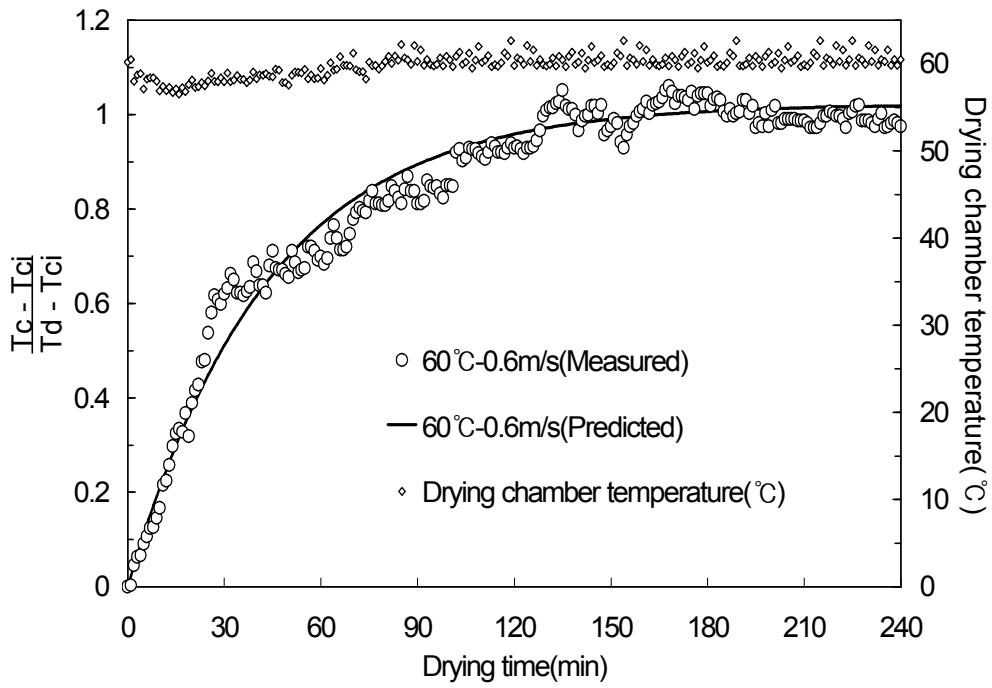


그림 29. 건조조건 60°C-0.6m/s의 예측온도와 실측온도 비교

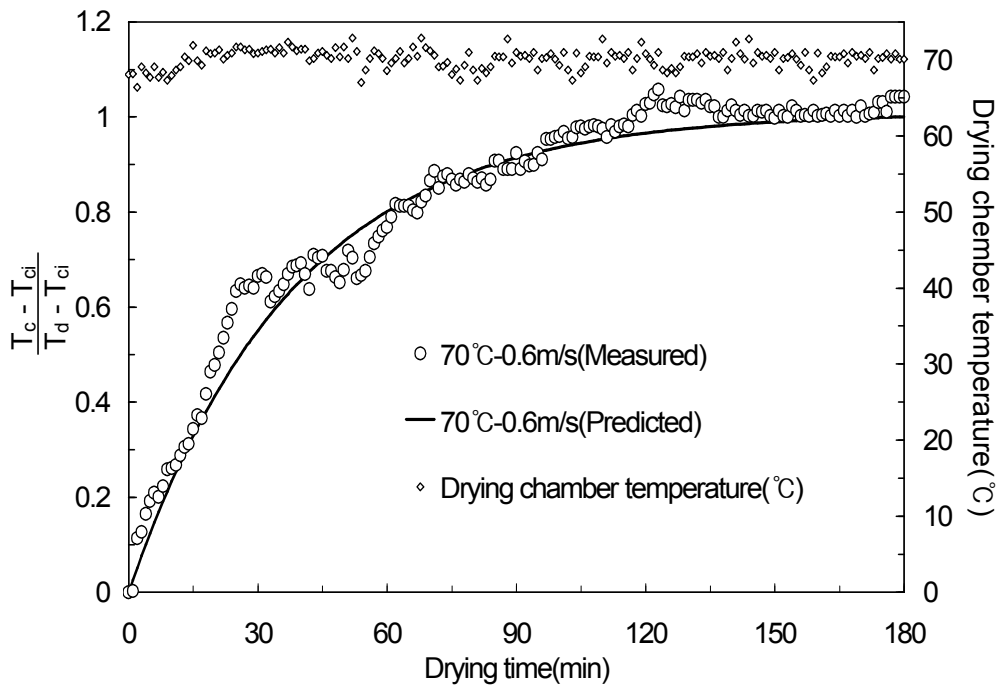


그림 30. 건조조건 70°C-0.6m/s의 예측온도와 실측온도 비교

3) 색도

당근에 존재하고 있는 carotenoid계 색소는 황색, 황적색, 적색으로, 적색을 나타내는 a 값과 황색을 나타내는 b 값, 명도를 나타내는 L 값을 측정하여 건조전후의 ΔE 값으로 건조당근의 색도를 비교해 보았다.

표 14, 15와 그림 31~34에는 세절한 당근 크기 및 건조방법에 따른 건조 후 색도변화를 나타낸 것이다.

표 21에서 나타냈듯이 L, a, b 값의 변화는 건조조건에 관계없이 건조 후 모두 감소하는 것으로 나타났다. 또한 온도가 높을수록 적색을 나타내는 a 값이 낮아져 건조온도가 높을수록 건조과정에 탈색되는 정도가 심한 것으로 나타났다.

그림 31은 대편 당근의 건조온도에 따른 ΔE 값을 나타낸 것이다.

그림에서 보는바와 같이 건조온도 50°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서 ΔE 값은 각각 9.53, 8.83, 8.73으로 나타났다. 건조온도 60°C인 경우 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서 각각 9.71, 9.40, 8.78로 나타내었으며, 건조온도 70°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서는 각각 11.34, 10.76, 10.75 정도로 나타났다. 또한 건조온도 80°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 경우 각각 16.95, 16.26, 14.14정도로 50°C, 60°C, 70°C보다 높은 ΔE 값을 나타내어 건조온도 증가함에 따라 ΔE 값이 증가하고, 풍속이 빠를수록 ΔE 값이 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 윤광섭과 최용희(1996)가 삼투처리한 당근의 건조특성에 관한 연구에서 L 값은 건조온도가 높을수록 낮은 값을 보여 어두운 색으로 변색되고, 또한 전반적 색차는 건조온도가 높아짐에 따라 높은 값을 보여 줬다는 연구결과와 황금택과 이종환(1994)의 연구결과와도 일치하였다.

그림 32은 중편 당근의 건조온도에 따른 ΔE 값을 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 중편 당근의 건조조건에 따른 ΔE 값은 건조조건 50°C-0.8 m/s에서 8.91로 제일 작은 것으로 나타났고, 80°C-0.4 m/s에서 14.89로 제일 큰 것으로 나타나, 대편 당근의 색차변화와 같은 경향을 나타내었다.

그림 33는 소편 당근의 건조온도에 따른 ΔE 값을 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 각 건조조건에 따른 소편 당근의 ΔE 값은 8.77~18.11정도로 대, 중편과 같은 경향을 나타내었다.

건조조건이 ΔE 값에 미치는 영향을 DUNCAN의 다중검정 방법으로 검정한 결과 건조온도에 의한 p-값이 0.001로 유의수준 0.05보다 작기 때문에 유의성이 인정되었지만, 송풍속도에 의한 영향은 p-값이 0.372로 유의성이 없는 것으로 나타났다.

표 15와 그림34는 건조방법에 따른 색도 변화를 나타낸 것이다.

표에서 보는바와 같이 원적외선과 열풍건조의 경우 L, a, b 값이 모두 감소하는 것으로 나타났지만, 동결건조의 경우 L 값은 증가하고, a, b 값은 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 또한

ΔE 값은 동결건조가 6.96으로 가장 적은 것으로 나타났다. 또한 원적외선건조는 송풍속도 0.8 m/s, 건조온도 60℃, 70℃에서 열풍건조의 ΔE 보다 각각 2.41, 1.40정도 작은 것으로 나타나, 열풍건조가 원적외선건조보다 색도 변화가 약간 큰 것으로 나타났다.

건조방법이 ΔE 값에 미치는 영향을 DUNCAN의 다중검정 방법으로 분석한 결과 검정통계량 P-값이 0.0001로 유의수준 0.05보다 매우 작기 때문에 유의성이 있는 것으로 나타났다.

표 14 건조조건에 따른 당근의 색도변화

건조온도(°C)	송풍속도(m/s)	세질크기	L	a	b	△E
50	-	-	66.48	37.50	55.56	-
		small	60.94	35.42	46.04	11.20
		medium	64.66	36.22	46.14	9.67
	0.4	large	62.81	36.56	46.22	10.07
		small	62.83	35.04	46.64	9.94
		medium	65.85	37.72	46.93	8.66
	0.6	large	64.72	37.04	46.91	8.83
		small	63.93	36.66	47.21	8.77
		medium	66.38	37.49	46.65	8.92
	0.8	large	64.02	37.16	47.19	8.73
		small	62.089	33.34	46.18	11.16
		medium	63.23	35.99	45.50	10.68
60	0.4	large	63.51	36.81	46.34	9.71
		small	62.99	34.62	46.63	10.01
		medium	64.91	36.67	45.18	10.53
	0.6	large	65.76	36.22	46.27	9.41
		small	62.81	38.15	46.94	9.39
		medium	65.87	36.74	45.50	10.11
	0.8	large	65.09	37.03	46.90	8.78

건조온도(℃)	송풍속도(m/s)	세절크기	L	a	b	△E
70	0.4	small	61.37	31.98	44.25	13.59
		medium	62.71	35.79	44.67	11.47
		large	61.22	36.78	45.53	11.35
	0.6	small	61.82	32.93	46.37	11.28
		medium	63.30	35.99	44.94	11.19
		large	62.77	36.70	45.49	10.76
	0.8	small	62.28	34.33	46.83	10.19
		medium	64.36	36.29	45.98	9.88
		large	60.85	34.99	46.56	10.91
80	0.4	small	52.96	36.17	43.57	18.11
		medium	57.16	36.01	44.05	14.89
		large	56.02	30.04	44.49	16.95
	0.6	small	53.06	35.21	43.17	18.41
		medium	58.52	37.13	44.85	13.35
		large	56.87	29.71	45.01	16.26
	0.8	small	54.81	34.36	44.36	16.48
		medium	59.14	36.51	45.90	12.17
		large	57.66	33.71	45.17	14.14

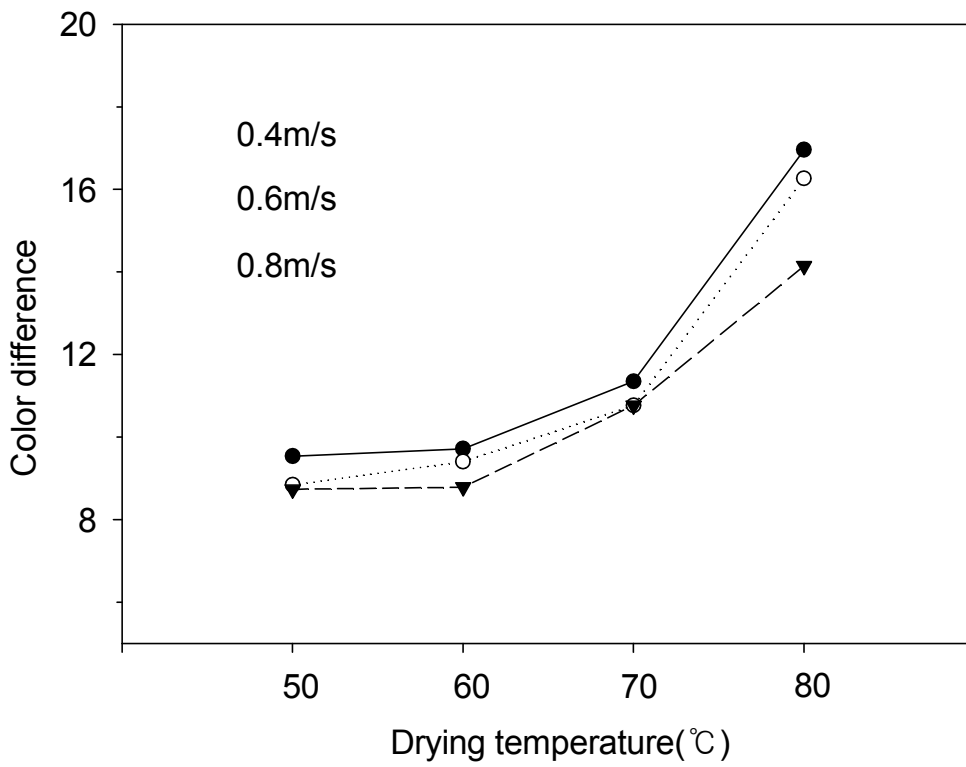


그림 31. 건조조건에 따른 대편 당근의 색도변화

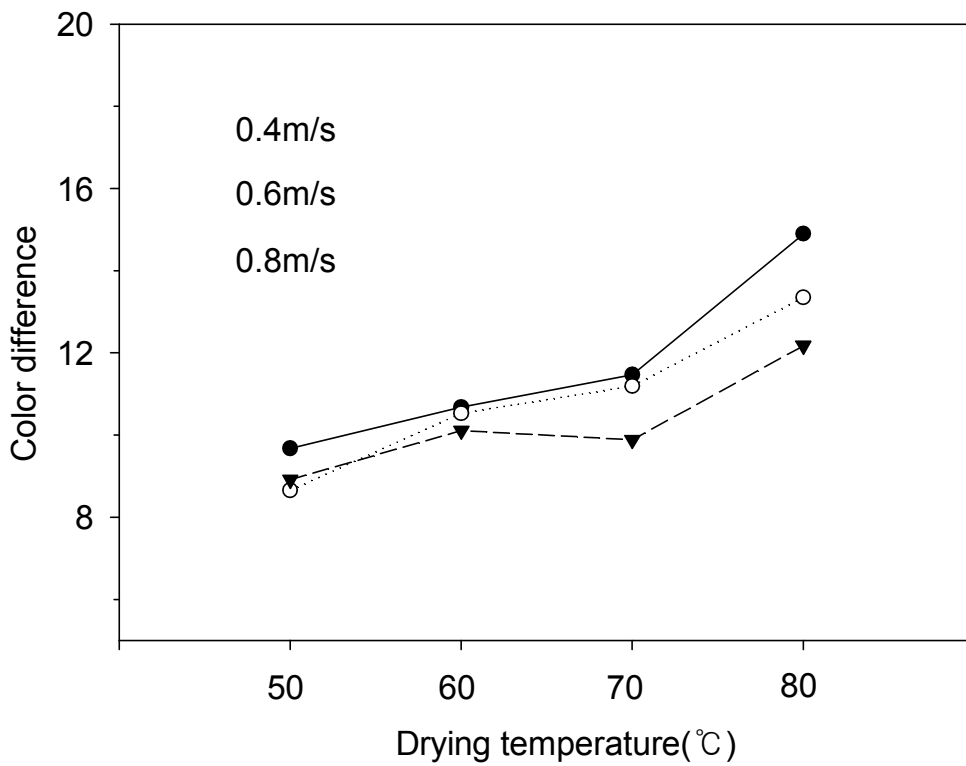


그림 32. 건조조건에 따른 중편 당근의 색도변화

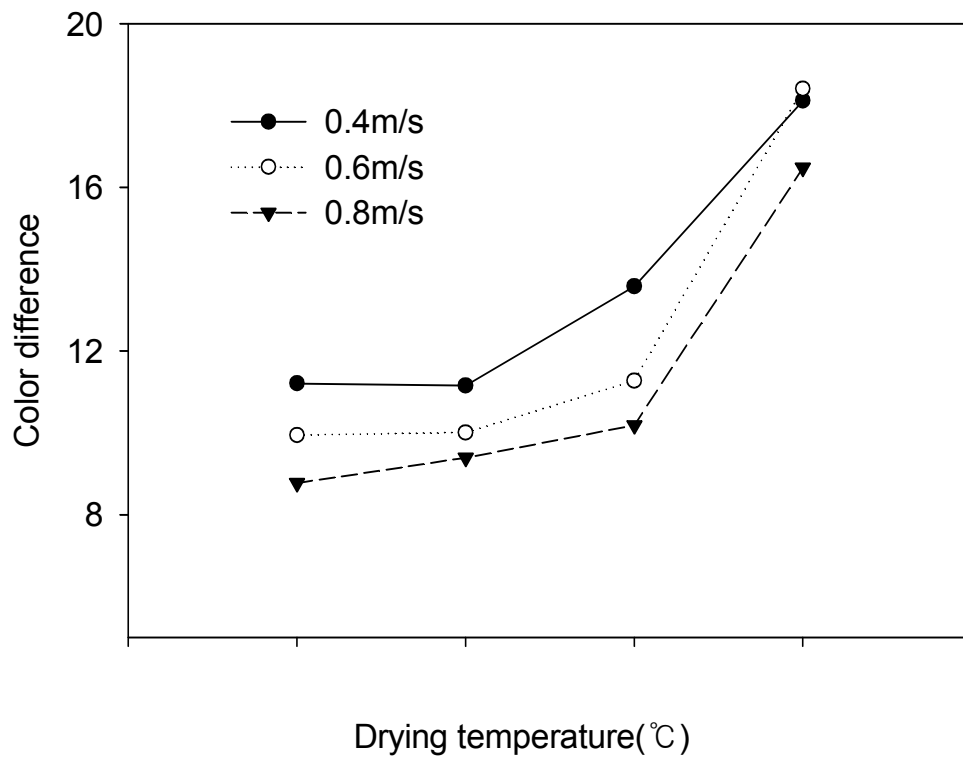


그림 33. 건조조건에 따른 소편 당근의 색도변화

표 15 건조방법에 따른 대편당근의 색도변화

건조방법	온도(°C)	L	a	b	ΔE
건조 전	-	66.48	37.50	55.56	-
원적외선 건조	60	65.09	37.03	46.90	8.78
	70	60.85	34.99	46.56	10.91
열풍건조	60	58.23	35.03	48.40	11.19
	70	61.90	28.96	47.94	12.31
동결건조	-76	71.91	33.49	53.82	6.96

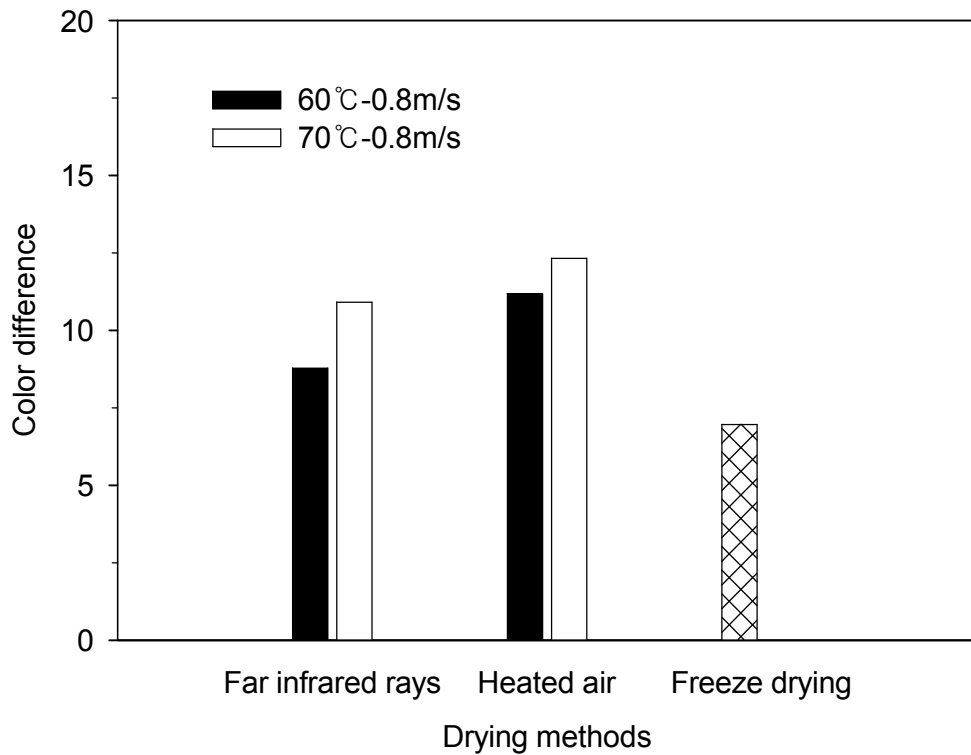


그림 34. 건조방법 따른 대편 당근의 색도변화

4) 재수화특성과 예측모델

그림 35~37은 송풍속도 0.8 m/s일 경우 건조온도가 당근의 재수화율에 미치는 영향을 분석한 것이다.

그림 35에서 보는바와 같이 재수화 시간에 따른 대편 당근의 재수화율은 건조온도 50℃, 60℃, 70℃, 80℃에서 각각 1.64~3.46, 1.60~3.48, 1.62~3.57, 1.65~3.73 g-water/g-dry matter (이후 g/g으로 표시)로 나타났고, 건조온도변화에 따른 재수화율의 차이는 0.02~0.27 g/g 정도로 차이가 미미한 것으로 나타났다.

그림 36에서 보는바와 같이 재수화 시간에 따른 중편 당근의 재수화율은 건조온도 50℃, 60℃, 70℃, 80℃에서 4.08~5.01 g/g으로 대편과는 달리 건조온도가 증가 할수록 재수화율이 증가하는 것으로 나타났다. 한편 소편 당근의 경우 그림 37에서와 같이 재수화율은 4.93~5.27 g/g으로 건조온도가 증가할수록 재수화율이 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

따라서 원적외선 건조당근의 재수화율은 건조온도 증가에 따라 다소 증가하는 경향을 보였지만 대체적으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 황 등(1994)이 낮은 온도에서 건조한 것이 더 높은 환원율을 보인다는 연구결과와 차이가 있지만, 이는 원적외선 건조온도 증가에 따라 건조시간이 단축되고, 또한 원적외선 건조 중 품온이 균일하게 유지되어 당근조직의 열손상이 적었기 때문이라고 판단된다.

그림 38~40은 건조온도 70℃에서 송풍속도가 건조당근의 재수화율에 미치는 영향을 분석한 것이다.

그림 38에서와 같이 대편 당근의 건조 후 재수화 시간에 따른 재수화율은 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서 각각 1.51~3.26, 1.51~3.29, 1.62~3.57 g/g으로 송풍속도에 의한 재수화율은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 한편 그림 39와 40에서는 송풍속도가 중, 소편 건조당근의 재수화율에 미치는 영향을 나타낸 것으로, 대편과 같이 송풍속도가 재수화율에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다. 이것은 앞에서 서술한 바와 같이 건조시간 단축효과는 송풍속도가 건조온도의 영향보다 매우 작기 때문이라고 판단된다.

그림 41은 건조방법별 재수화 시간에 따른 대편 당근의 재수화율을 나타낸 것이다.

그림에 나타난 바와 같이 원적외선건조와 열풍건조는 유사한 경향으로 완만한 재수화 곡선을 보였으나, 동결건조 당근의 경우 10분 이내에 재수화가 완료되었다. 원적외선 건조한 것의 재수화율은 3.04~5.2 g/g이었고, 열풍건조한 것은 2.97~4.75 g/g으로 원적외선 건조한 것보다 약간 낮은 것으로 나타났고, 동결건조 당근은 6.05~6.20 g/g 정도로 가장 높은 재수화율을 나타내었다. 이것은 이정숙 등(2003)이 건조 방법에 따른 예비열처리 당근의 저장 중 품질 특성 연구에서 동결건조 당근의 재수화율이 6~8 g/g으로 열풍건조 당근의 3.2 g/g 보다 높다는 보고와 일치하였다.

한편 동일한 건조조건에서 원적외선건조가 열풍건조보다 재수화율이 높은 것은 원적외선건조의 경우 건조 중 품온을 균일하게 유지하였고, 건조시간이 열풍건조보다 짧아 당근조직의 열손상이 적었기 때문이라고 판단된다.

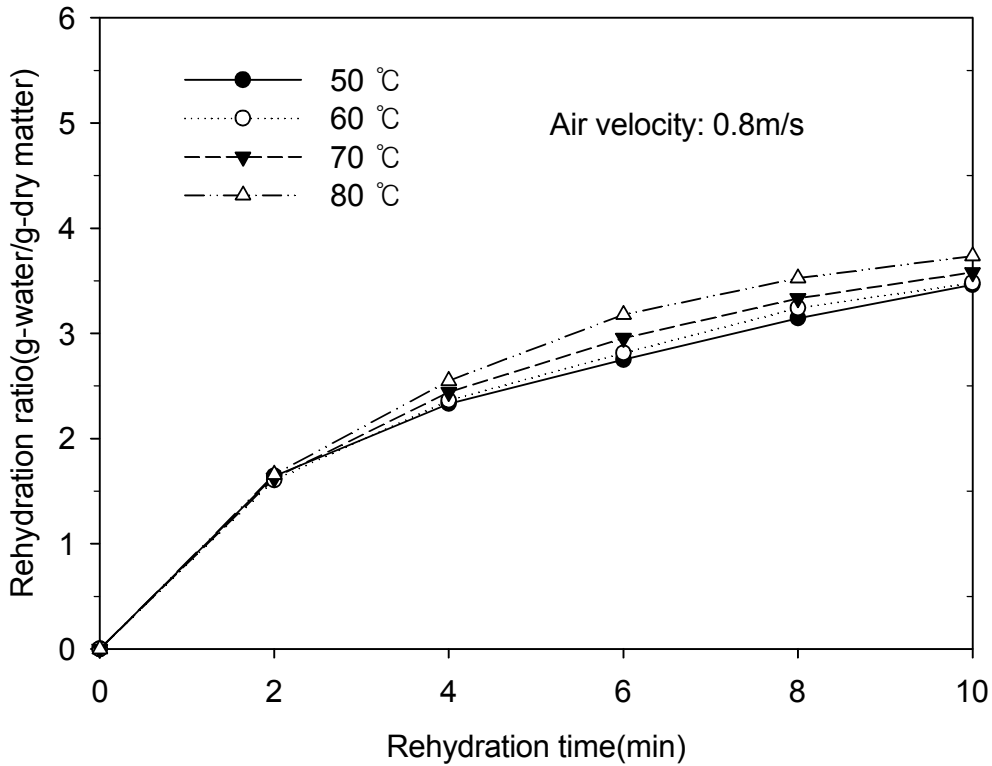


그림 35. 건조온도별 건조시간에 따른 대편 당근의 재수화율

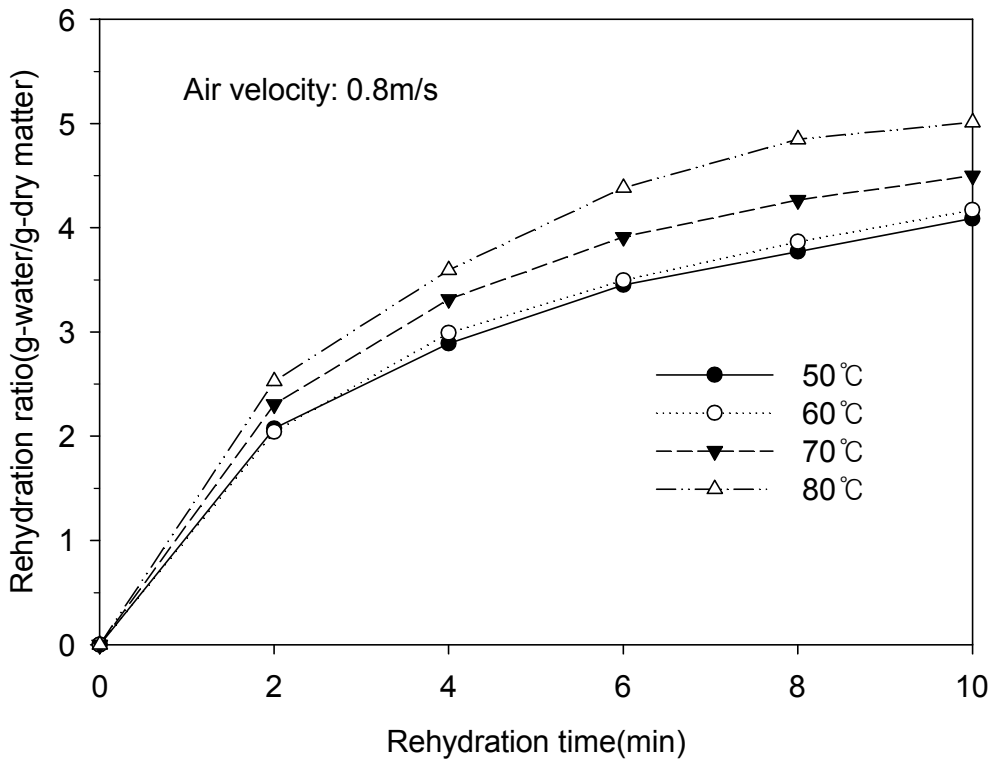


그림 36. 건조온도별 건조시간에 따른 중편 당근의 재수화율

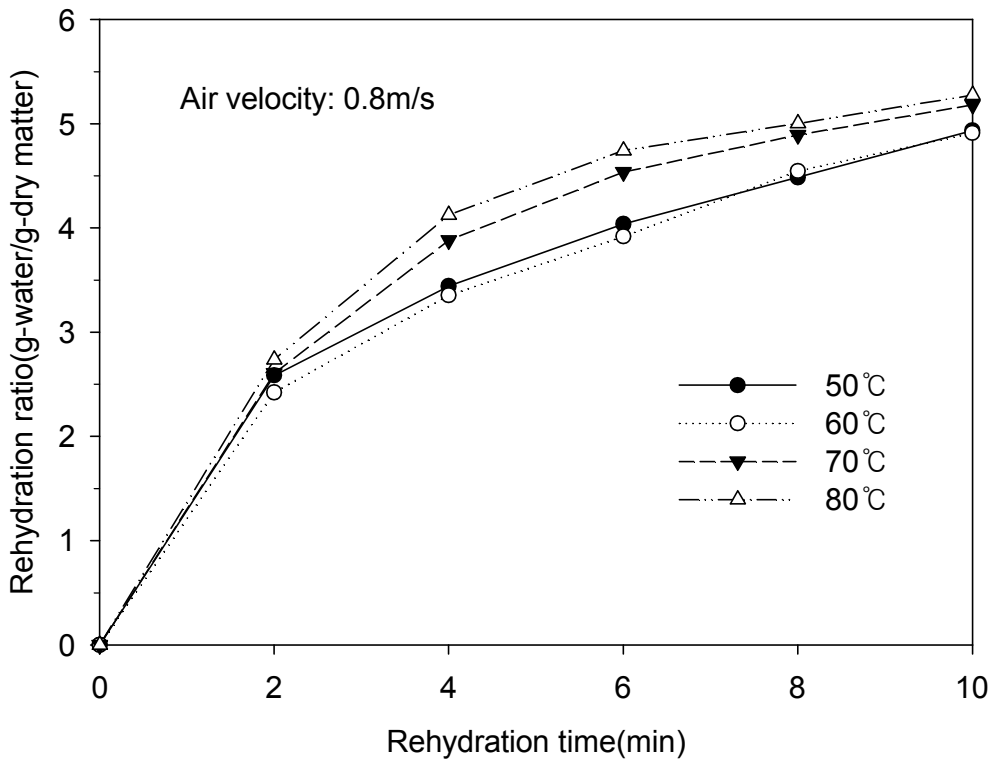


그림 37. 건조온도별 건조시간에 따른 소편 당근의 재수화율

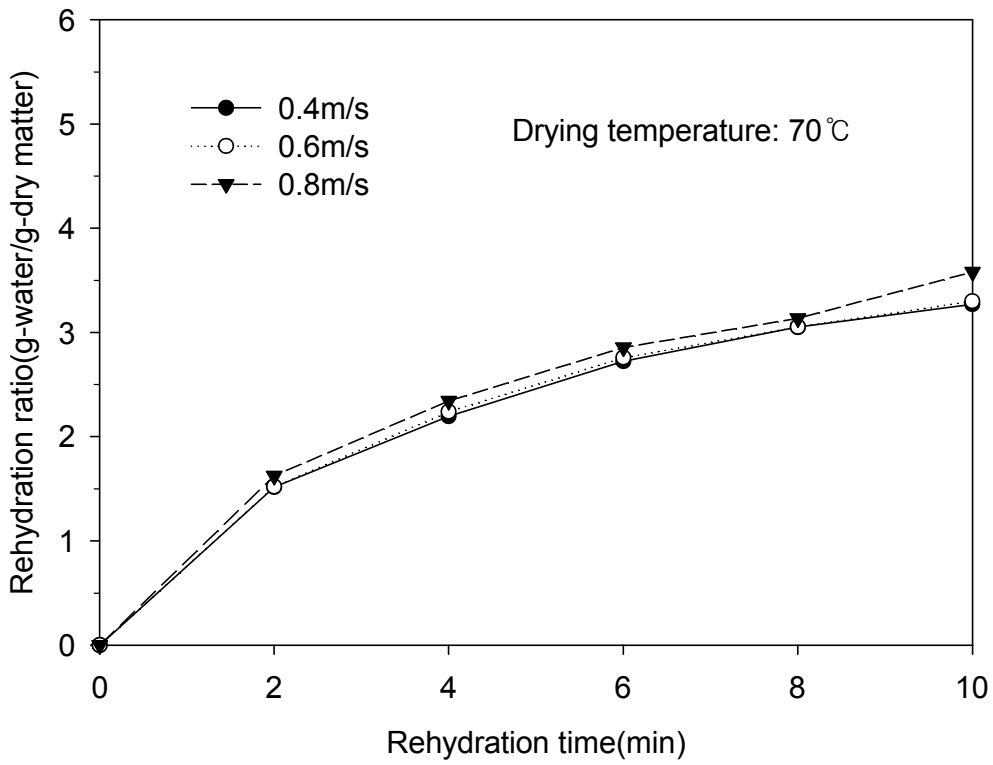


그림 38. 송풍속도별 건조시간에 따른 대편 당근의 재수화율

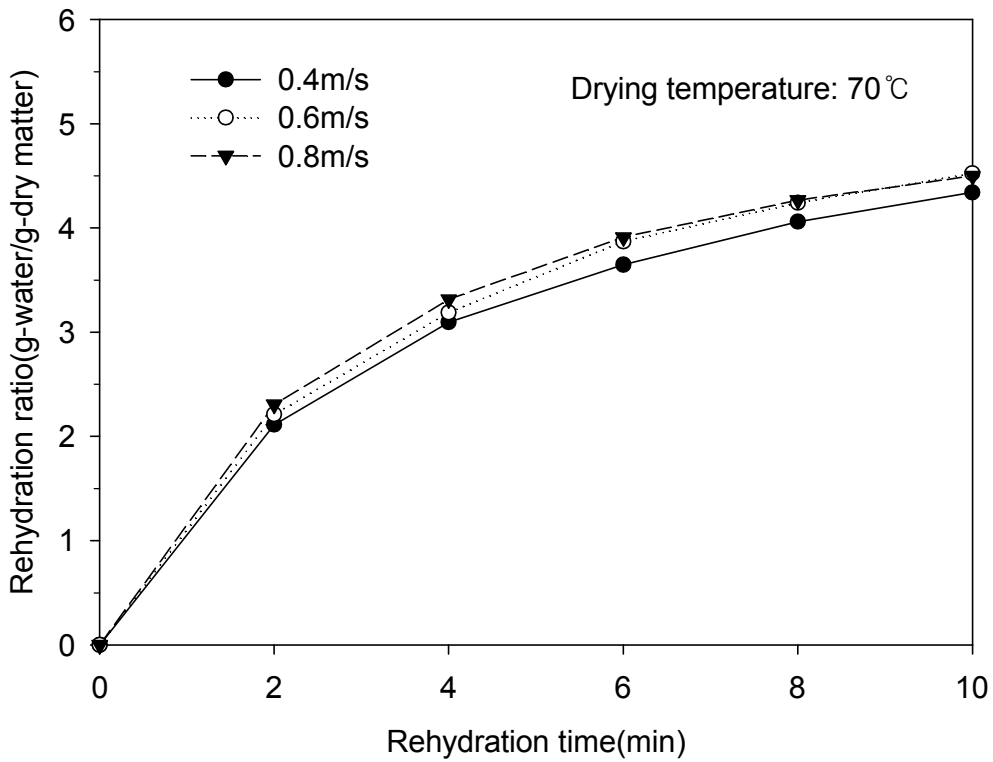


그림 39. 송풍속도별 건조시간에 따른 중편 당근의 재수화율

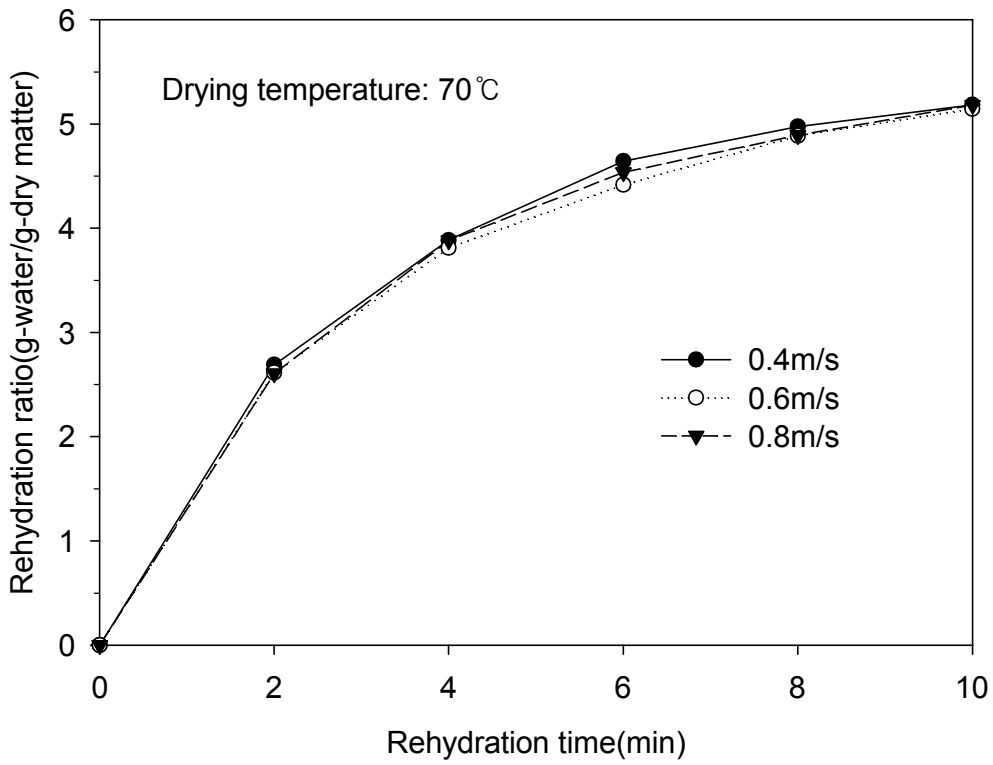


그림 40. 송풍속도별 건조시간에 따른 소편 당근의 재수화율

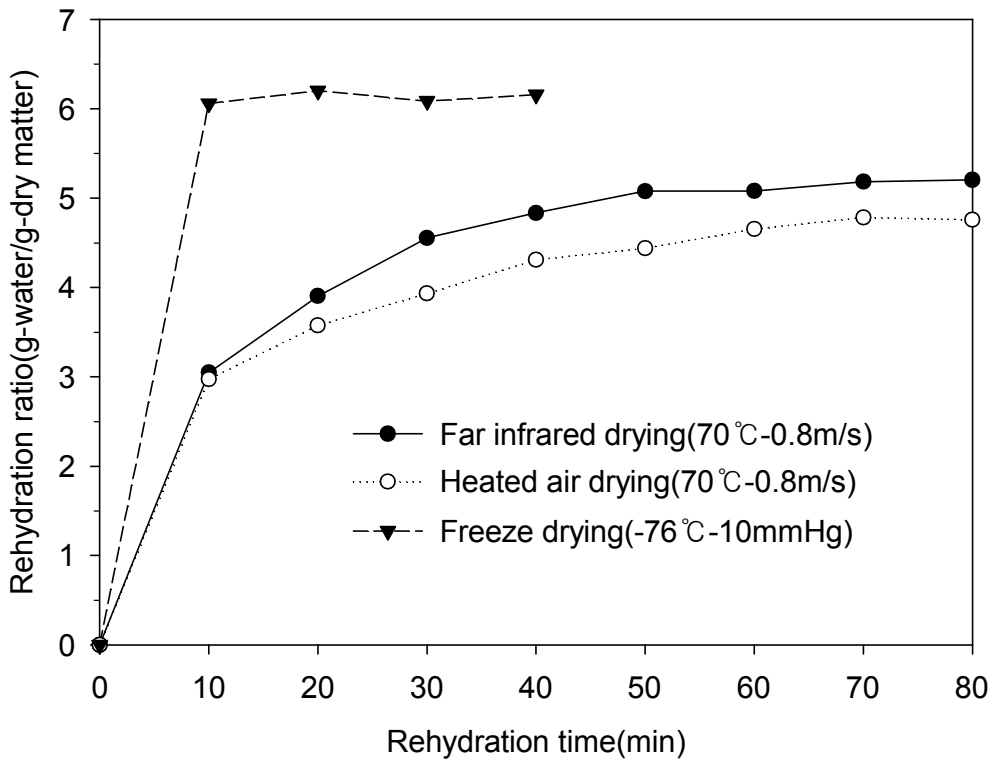


그림 41. 건조방법별 건조시간에 따른 대편 당근의 재수화율

재수화율은 당근을 건조하는 경우 품질평가에 중요한 요소다. 정확한 재수화율의 예측모델을 개발하기 위하여 재수화율 예측모델의 함수로는 세절한 당근의 체적, 건조온도 및 건조시간으로 나타내고, 송풍속도는 재수화율에 큰 영향을 미치지 않는 점을 감안하여 제외하였다. 실험 모델은 다음 식 (16)로 설정하였다(홍남운, 1999).

$$RR = P(1 - \exp(-Q \cdot t)) \quad (16)$$

여기서, RR : 재수화율(Rehydration ratio)

t : 재수화시간(min)

P, Q : 실험상수

식 (16)의 실험상수를 결정하기 위하여 재수화율 측정값을 실험모델에 적합시켜 SAS(Ver. 8.2)의 비선형 회귀분석 프로그램을 이용하여 실험상수를 결정하였다. 실험모델의 실험상수 P, Q은 당근체적과 건조온도의 함수로 가정하고 다음 식 (17)로 설정하였다.

$$P, Q = a_0 + a_1 \cdot (V) + a_2 \cdot (T) + a_3 \cdot (V)^2 + a_4 \cdot (T)^2 + a_5 \cdot (V \cdot T)^2 \quad (17)$$

여기서, $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$: 실험상수

V : 세절한 당근의 체적(cm^3)

T : 건조온도($^{\circ}\text{C}$)

식 (17)의 실험상수는 SAS의 다중선형회귀분석 프로그램 STEPWISE PROC를 이용하여 선정하였다. 또한 모델의 적합성 검정은 재수화율 측정값과 모델에 의한 예측값 사이의 결정계수와 평균제곱근오차 RMSE(Root Mean Square Error)를 이용하여 분석하였다.

재수화율의 예측모델 실험상수와 결정계수는 다음의 표 16에 나타내었다. 표에서와 같이 실험상수 P의 결정계수는 0.8746로 나타났고, Q의 결정계수는 0.9619로 높은 값을 보였다.

표 17에서는 건조시간에 따른 재수화율 예측모델의 적합성을 검정하기 위한 각 건조조건별 측정값과 예측값 간의 결정계수와 RMSE를 나타낸 것이다. 표에서와 같이 결정계수는 모든 건조조건에서 0.9846이상으로 나타났으며, RMSE는 0.2478이하로 재수화율의 측정값이 0~5 g/g 사이의 값을 고려할 때 높은 적합성을 나타낸 것으로 판단된다.

그림 42~44은 건조시간에 따른 당근의 대, 중, 소편 재수화율 측정값과 예측모델에 의한 예측값을 비교한 것이다.

그림 42에서 보는바와 같이 대편인 경우 건조온도 50°C 에서 재수화 시간 후반에 예측값과

측정값 사이에 다소 오차가 나타났으나 다른 온도영역에서는 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 그림 43에서와 같이 중편 당근은 건조온도 70℃에서 예측값과 측정값 사이에 잘 일치하는 것으로 나타났고, 다른 온도영역에서 다소 오차가 나타났지만 전반적으로는 잘 일치하는 것으로 나타났다.

그림 44는 소편 당근의 건조시간에 따른 재수화율 측정값과 예측모델에 의한 예측값을 비교한 것으로 앞에서 서술한 중편 당근과 같이 잘 일치하는 것으로 나타났다.

표 16 당근의 재수화율 모델 실험상수

실험상수	R ²
$P = 6.90501 - 2.10004(V) + 0.33487(V^2) + 0.00024423(T^2) - 0.00410(V \cdot T)$	0.8746
$Q = 0.38529 + 0.06028(V) - 0.00424(T) - 0.00733(V^2) + 0.00005075(T^2) - 0.00083554(V \cdot T)$	0.9619

표 17 재수화율 예측모델의 결정계수 및 RMSE

Drying conditions	Size	R ²	RMSE
50°C-0.8 m/s	Small	0.99319	0.11628
	Medium	0.99486	0.12074
	Large	0.98465	0.24785
60°C-0.8 m/s	Small	0.99650	0.08519
	Medium	0.99137	0.16038
	Large	0.98848	0.21537
70°C-0.8 m/s	Small	0.99855	0.05687
	Medium	0.99859	0.07581
	Large	0.99871	0.07823
80°C-0.8 m/s	Small	0.99918	0.04509
	Medium	0.99112	0.19989
	Large	0.99557	0.14895

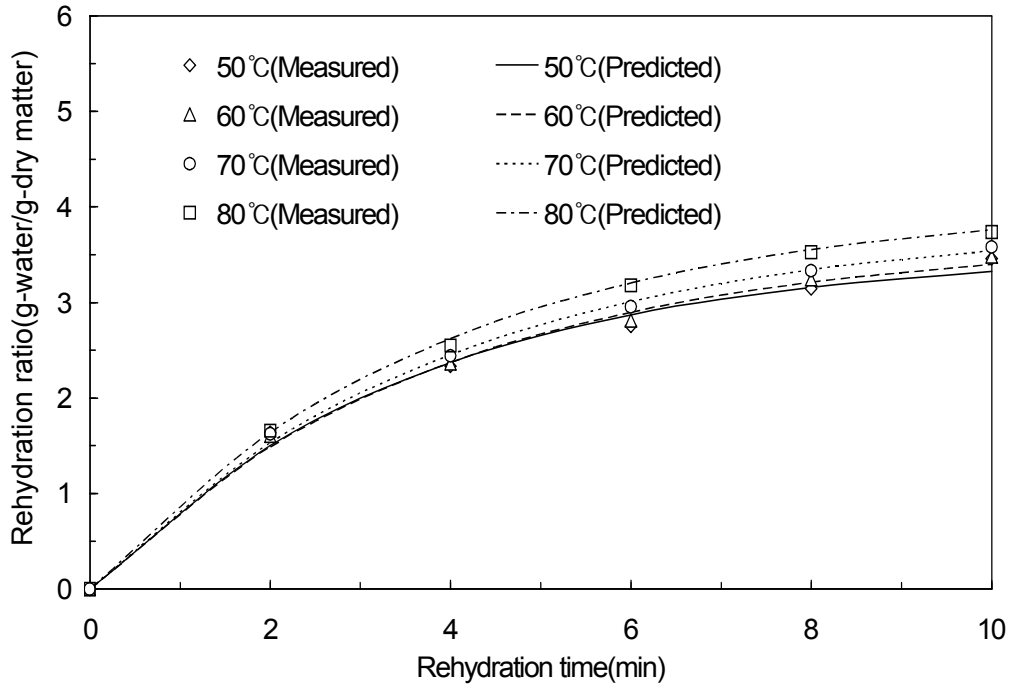


그림 42. 건조온도별 재수화 시간에 따른 대편 당근의 재수화율

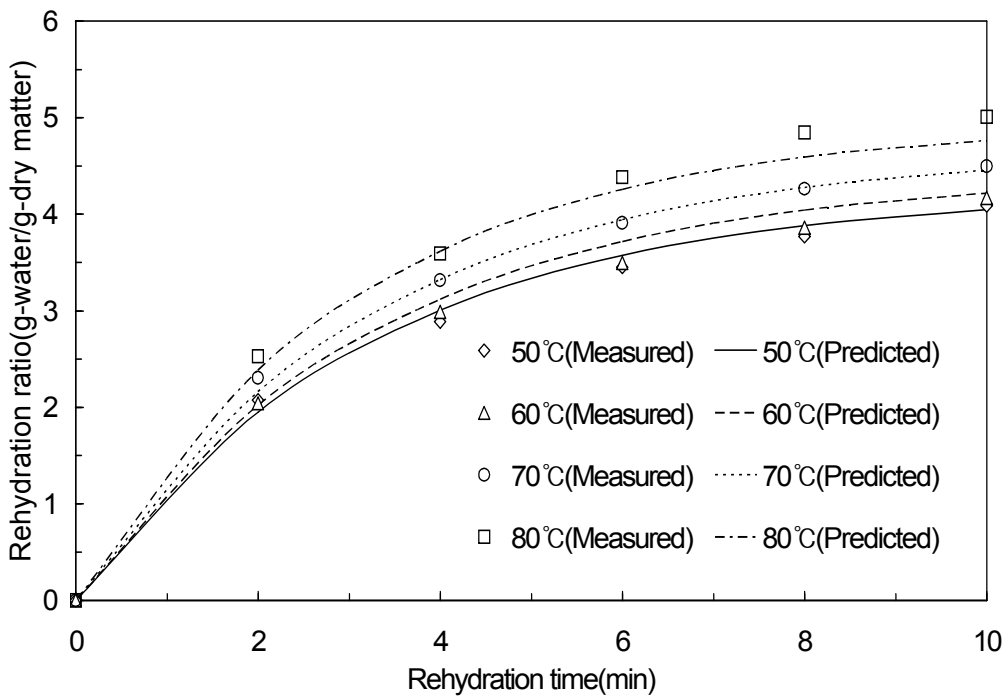


그림 43. 건조온도별 재수화 시간에 따른 중편 당근의 재수화율

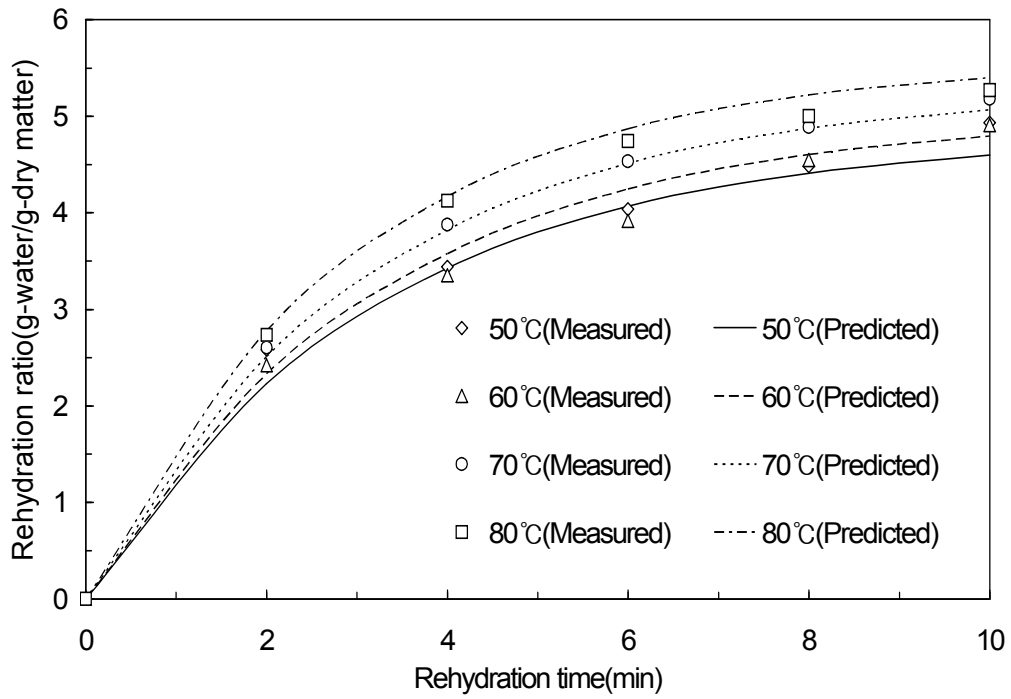


그림 44. 건조온도별 재수화 시간에 따른 소편 당근의 재수화율

5) 갈변도 변화

그림 45~48은 건조 후 건조조건에 따른 당근의 갈변도를 나타낸 것이다.

그림 45에서 보는바와 같이 건조 후 대편 당근의 갈변도는 건조온도 50℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서 각각 0.0315, 0.0425, 0.0460으로 나타났다. 건조온도 60℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서는 각각 0.0520, 0.0485, 0.0530으로 나타났고, 건조온도 70℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 경우 각각 0.0320, 0.0520, 0.0530으로 나타났다. 또한 건조온도 80℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 경우 각각 0.1255, 0.1315, 0.1470으로 50℃, 60℃, 70℃보다 높은 갈변도 값을 나타내었다. 따라서 전반적으로 갈변도는 건조온도 및 송풍속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.

그림 46은 중편 당근의 건조조건에 따른 갈변도 값을 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 중편 당근의 건조조건에 따른 갈변도 값은 건조조건 50℃-0.8 m/s에서 0.0430으로 가장 작은 것으로 나타났고, 80℃-0.6 m/s에서 0.1760으로 가장 크게 나타나, 전반적인 경향은 앞에서 서술한 대편 당근과 유사하였다.

그림 47에 소편 당근의 건조조건에 따른 갈변도 값을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 건조온도 50℃, 60℃, 70℃, 80℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서 0.0400~0.0575로 나타나 대, 중편의 건조당근과 달리 각 조건간의 갈변도 값이 유사하게 나타났다. 이것은 소편 당근의 경우 건조시간이 75~190분 정도로 대편 건조시간 140~390분, 중편 건조시간 110~300분 보다 단축되어 열에 노출시간이 짧았기 때문이라고 판단된다.

원적외선 건조조건이 갈변도 값에 미치는 영향을 DUNCAN의 다중검정 방법으로 검정한 결과 온도조건에 의한 p-값이 대, 중, 소편 모두 유의수준 0.05보다 작기 때문에 유의성이 인정되었고, 송풍속도에 의한 유의성이 인정되지 않았다.

그림 48은 건조방법에 따른 건조당근의 갈변도를 나타낸 것이다.

그림에서 나타난 바와 같이 동결건조와 원적외선 건조(70℃)한 것의 갈변도는 각각 0.048, 0.053으로 비슷하였고, 열풍건조의 갈변도는 건조온도 60, 70℃에서 각각 0.14, 0.15로 동결건조와 원적외선 건조(70℃)한 것보다 크게 나타났다. 따라서 검정 통계량 p-값이 0.001로 유의수준 0.05보다 작아 유의성이 인정되어, 원적외선 및 동결건조가 열풍건조보다 품질이 양호한 것으로 판단된다.

한편 동일한 건조조건에서 원적외선건조가 열풍건조보다 갈변도가 작은 것은 원적외선건조의 경우 건조시간이 열풍건조보다 단축되어 시료가 열에 노출되는 시간이 짧아 산화반응이 적게 일어났기 때문이라고 판단된다.

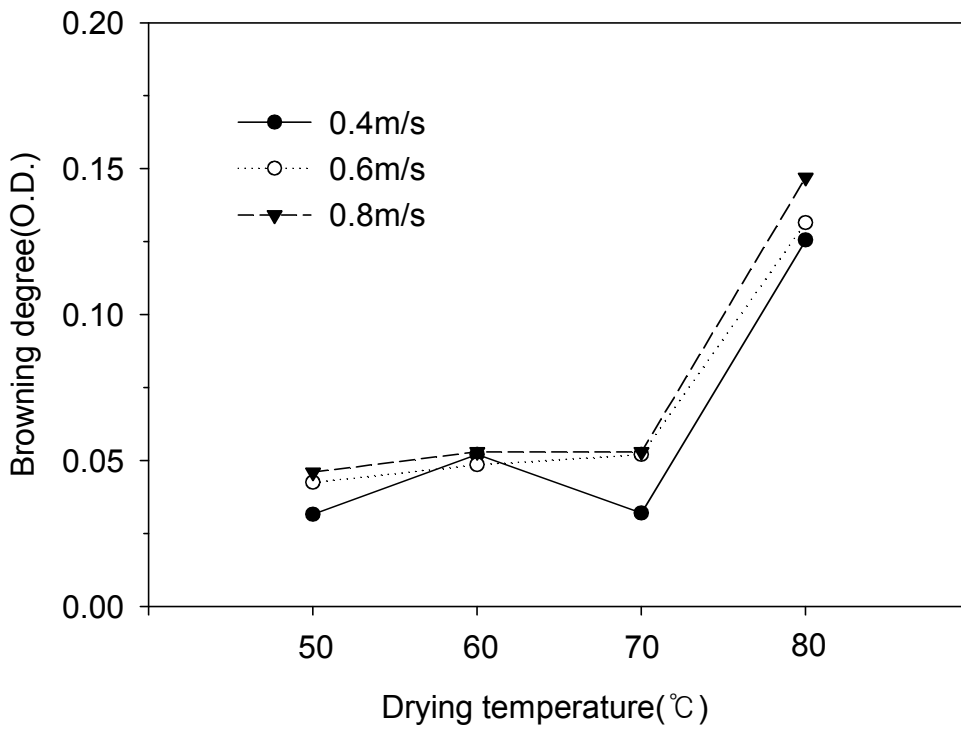


그림 45. 건조조건별 대편 당근의 갈변도

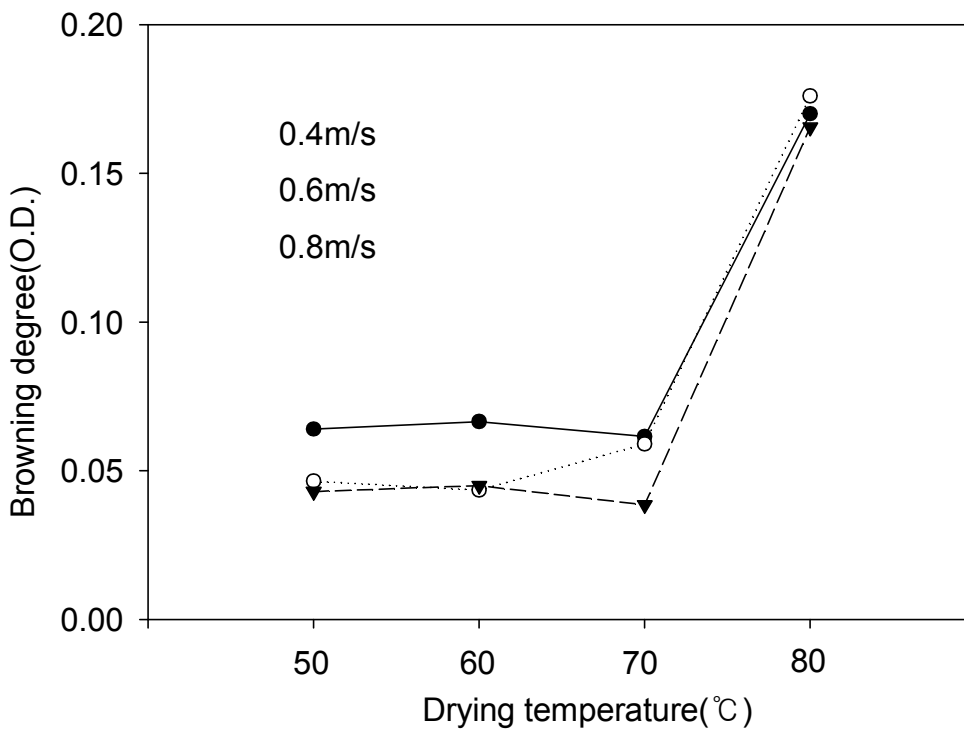


그림 46. 건조조건별 중편 당근의 갈변도

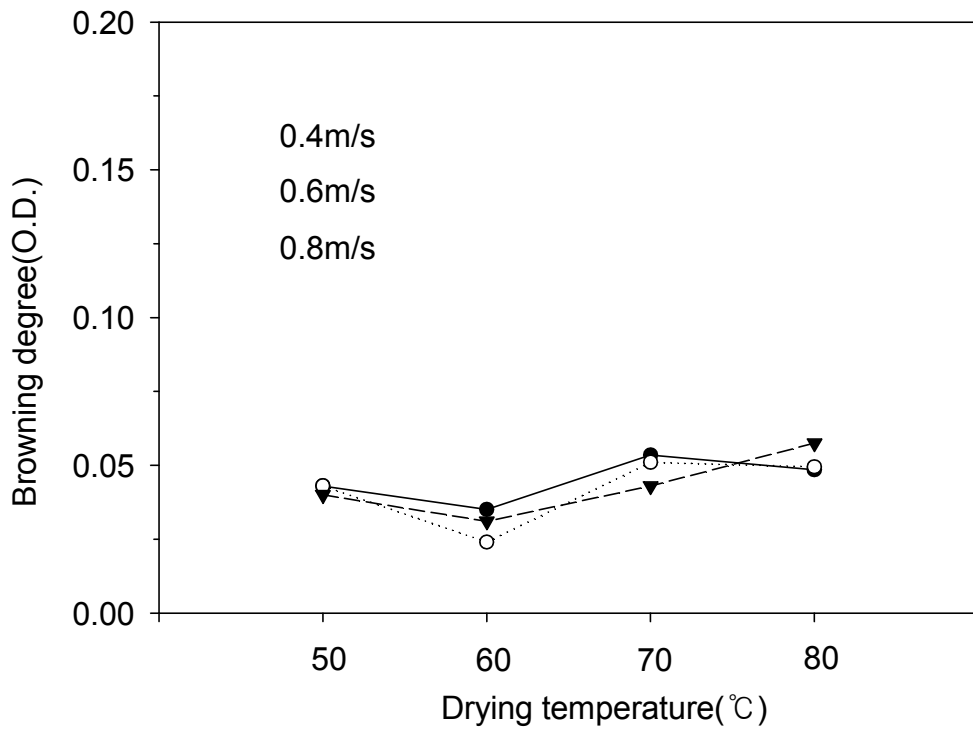


그림 47. 건조조건별 소편 당근의 갈변도

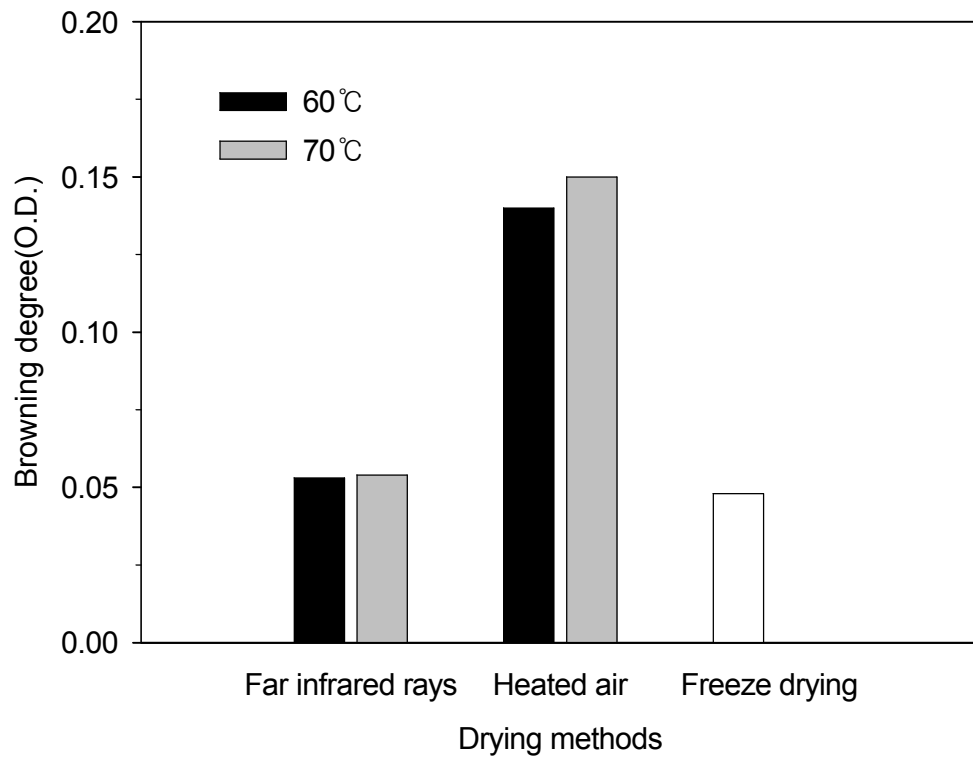


그림 48. 건조방법별 대편 당근의 갈변도

6) Carotene 함량

표 18은 원적외선 건조조건에 따른 크기별 건조당근의 carotene 함량을 나타낸 것이다.

표에서와 같이 carotene 함량은 건조조건에 관계없이 건조 후 모두 감소된 것으로 나타났다. 건조 후 대편 당근의 carotene 함량은 건조온도 50°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서 각각 381.05, 386.14, 408.38 µg/100g으로 나타났고, 건조온도 60°C인 경우 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서 각각 370.89, 379.78, 370.47 µg/100g, 건조온도 70°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 경우 각각 367.50, 369.19, 374.70 µg/100g으로 나타났다. 또한 건조온도 80°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서는 각각 357.33, 356.91, 359.03 µg/100g으로 50°C, 60°C, 70°C보다 낮은 carotene 함량을 나타내었다. 따라서 carotene 함량은 건조온도가 높아짐에 따라 점차 낮아지는 경향을 나타내었고, 송풍속도가 증가함에 따라 잔류량이 약간 많은 것으로 나타났다.

중편 당근의 carotene 함량은 361.15~376.04 µg/100g으로 건조온도가 높아짐에 따라 잔류량은 거의 차이가 없는 것으로 나타났고, 소편의 경우 carotene 함량은 372.37~397.57 µg/100g으로 앞에서 서술한 대, 중편과 달리 건조온도가 높아질수록 잔류량이 약간 많은 것으로 나타났다. 이것은 소편의 경우 건조시간이 대편, 중편보다 매우 짧아 carotene 성분이 적게 분해되었기 때문이라 사료된다.

표 19는 건조방법에 따른 건조당근의 carotene 함량을 나타낸 것이다. 표에서 나타난 바와 같이 동결건조 후 건조당근의 carotene 함량은 681.63 µg/100g으로 가장 큰 것으로 나타났다. 원적외선의 경우 60°C, 70°C에서 각각 370.47, 374.70 µg/100g으로 나타났고, 열풍건조의 carotene 함량은 341.45, 327.89 µg/100g으로 원적외선건조가 열풍건조보다 잔류량이 많은 것으로 나타났다. 따라서 검정통계량 p-값이 0.000으로 유의성이 인정되어 동결건조한 당근의 품질이 가장 우수하고, 다음은 원적외선건조, 열풍건조 순으로 나타났다.

이것은 Della 등(1965)이 건조방법에 따른 당근의 β-carotene의 함량변화 연구에서 열풍건조한 당근의 carotene 함량이 가장 낮고, 그 다음이 삼투건조, 동결건조한 당근의 carotene 함량이 가장 높았다는 결과와 유사하였다.

한편 동일한 건조조건에서 건조 후 원적외선건조가 열풍건조보다 carotene 함량이 많은 것은 원적외선건조의 경우 건조시간이 열풍건조보다 단축되어 시료가 열에 노출되는 시간이 짧아 카로틴성분 분해가 적게 일어났기 때문이라고 판단된다.

표 18 건조조건에 따른 당근 카로틴함량 비교

시료종류	건조온도(°C)	송풍속도(m/s)	카로틴함량 (µg/100mg, dry matter)
건조 전	-	-	761.62
소편	50	0.4	375.55a
		0.6	373.01a
		0.8	378.09a
	60	0.4	372.37a
		0.6	378.72a
		0.8	374.28a
	70	0.4	383.38a
		0.6	384.02a
		0.8	387.62a
	80	0.4	378.09a
		0.6	394.61a
		0.8	397.57a
중편	50	0.4	369.62a
		0.6	375.76a
		0.8	376.04a
	60	0.4	366.86a
		0.6	362.84a
		0.8	362.84a
	70	0.4	361.15a
		0.6	367.92a
		0.8	376.40a
	80	0.4	366.65a
		0.6	367.50a
		0.8	367.92a

시료종류	건조온도(℃)	송풍속도(m/s)	카로틴함량 ($\mu\text{g}/100\text{mg}$, dry matter)
대편	50	0.4	381.05a*
		0.6	386.14a
		0.8	407.38a
	60	0.4	370.89a
		0.6	379.78a
		0.8	370.47a
	70	0.4	367.50a
		0.6	369.19a
		0.8	374.70a
	80	0.4	357.33b
		0.6	356.91b
		0.8	359.02b

표 19 건조방법에 따른 카로틴함량 비교

건조방법	건조온도(℃)	송풍속도(m/s)	카로틴함량 ($\mu\text{g}/100\text{mg}$, dry matter)
원적외선 건조	60	0.8	370.47a*
	70		374.70a
열풍건조	60	0.8	341.45b
	70		327.89b
동결건조	-76	-	681.63c

7) 에너지 소비량

그림 49는 대편 당근의 원적외선건조와 열풍건조에 따른 에너지 소비량을 비교 분석한 것이다.

그림 49에서 알 수 있듯이 원적외선건조의 경우 대편 당근의 에너지 소비량은 건조온도 50℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s인 경우 각각 4,455, 4,269, 3,825 kJ/kg-water이었고, 건조온도 60℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서는 각각 4,004, 3,607, 3,582 kJ/kg-water로 나타났다. 또한 건조온도 70℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 때 에너지 소비량은 각각 3,863, 3,592, 3,555 kJ/kg-water로 나타났고, 건조온도 80℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s의 경우 에너지 소비량은 각각 3,598, 3,258, 3,090 kJ/kg-water로 나타났다.

따라서 에너지 소비량은 원적외선 건조온도(80℃)가 높고 송풍속도(0.8 m/s)가 빠른 조건이 3,090 kJ/kg-water로 가장 적은 것으로 나타났고, 건조온도(50℃)가 낮고 송풍속도(0.4 m/s)가 느린 조건이 4,455 kJ/kg-water로 가장 많은 것으로 나타났다. 이것은 전자가 후자보다 에너지 소비량이 30.64% 절감된 것으로 판단된다.

한편 중, 소편 건조 후 에너지 소비량은 각각 2,340~3,096 kJ/kg-water, 1,872~2,520 kJ/kg-water의 범위를 나타내었고, 건조조건에 따라 대편과 같이 건조온도가 높고 송풍속도가 빠를수록 에너지 소비량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 건조온도가 높고 송풍속도가 빠를수록 건조시간이 단축되었기 때문이라고 판단된다.

열풍건조의 에너지 소비량은 건조온도 60℃, 70℃, 송풍속도 0.8 m/s에서 각각 5,366, 4,827 kJ/kg-water로 같은 원적외선 건조조건에 비해 각각 1,764, 1,260 kJ/kg-water 높은 것으로 나타나, 원적외선건조가 열풍건조보다 에너지 소비량이 26.3~32.2% 절감되는 것으로 나타났다. 이것은 열풍건조의 대류 열전달에 비해 원적외선의 복사에너지는 절대온도의 4제곱에 비례하여 에너지 전달이 이루어져 복사 열전달량이 많기 때문이라고 판단된다.

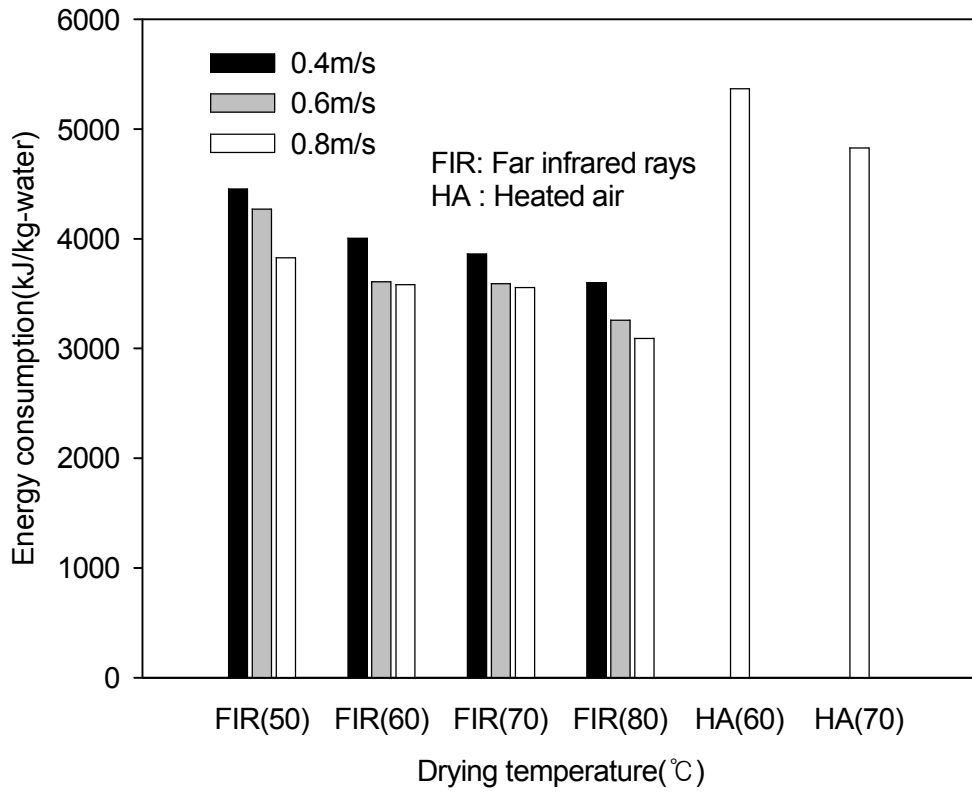


그림 49. 건조조건별 대편 당근의 에너지 소비량 비교

8) 건조모델

세절한 당근의 건조속도를 예측하기 위한 Page, Lewis, Henderson, Thompson 등 4가지 건조모델의 실험상수와 결정계수는 표 20과 같이 나타내었다.

표에서와 같이 각 모델의 실험상수는 세절한 당근의 체적과 건조온도 및 송풍속도의 함수로 나타내었다. Thompson 및 Lewis 건조모델 실험상수의 결정계수는 0.9807이상으로 높은 값을 나타냈으며, Page 모델 실험상수 Q의 결정계수는 0.8442로 Thompson 및 Lewis 건조모델보다 다소 낮은 값을 나타내었다. 또한 Henderson 모델의 실험상수 A_1 은 0.6365로 가장 낮은 것으로 나타났다.

4개 건조모델의 적합성을 검정하기 위하여 전체 36개 실험구의 함수율비 실험값과 예측값간의 RMSE와 결정계수를 표 21~23에 나타내었다.

표에서와 같이 Thompson 모델은 전체 실험구에서 결정계수가 0.9577이상, RMSE는 0.0765이하로 나타났고, Page 모델의 경우 대편 50°C 건조조건을 제외한 모든 실험구에서 결정계수는 0.9343이상, RMSE는 0.0949이하로 나타났다. Lewis 모델과 Henderson 모델의 경우 결정계수가 각각 0.9078, 0.9266이상, RMSE는 0.114, 0.110이하로 나타나 Page 모델과 Thompson 모델에 비해 다소 적합성이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 함수율비의 값이 0~1사이의 값을 고려할 때 RMSE를 기준으로 건조모델의 적합성을 판단할 경우 Thompson 건조모델이 전체 실험구에서 다른 3개 건조모델에 비해 적합성이 높은 것으로 나타났다.

그림 50과 51은 건조온도 60°C, 70°C, 송풍속도 0.8 m/s에서 중편 당근의 함수율비 실험값과 각 모델에 의한 예측값을 비교한 것이다.

그림에서와 같이 Page 모델과 Thompson 모델에 의한 예측값은 전체 건조시간에 걸쳐서 함수율비의 실험값과 잘 일치하는 것으로 나타났지만, Lewis 모델과 Henderson 모델은 다소 오차가 있는 것으로 나타났다.

그림 52는 건조온도 70°C, 송풍속도 0.6 m/s에서 당근 크기에 따른 함수율비의 실험값과 Thompson 건조모델을 이용한 함수율비의 예측값을 비교한 것이다.

그림에서와 같이 대편에서 함수율비의 실험값과 예측값은 다소 오차가 있는 것으로 나타났지만 중, 소편에서는 잘 일치하는 것으로 나타났다.

그림 53는 당근 크기가 대편인 경우 송풍속도 0.6 m/s에서 건조온도에 따른 함수율비의 실험값과 Thompson 건조모델을 이용한 함수율비의 예측값을 비교한 것이다.

그림에서와 같이 건조온도 50°C에서 건조초기에 함수율비의 실험값과 예측값은 다소 오차가 있는 것으로 나타났지만 다른 온도영역에서는 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 컨베이어식 원적외선 건조기를 이용하여 당근을 건조할 경우 건조온도, 송풍속도 및 당근의 크기에 따른 건조속도는 Thompson 건조모델로 정확히 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

표 20 당근의 각 건조모델 실험상수

Models	Experimental coefficients	R ²
	$P = -0.02776 + 0.02013(V) + 0.00001134(T)^2 - 0.00039845(V \cdot T) + 0.00014472(T \cdot AV)$	0.9421
Page	$Q = 2.45847 - 0.75432(V) - 0.01143(T) + 0.12045(T)^2 + 0.00327(V \cdot T) - 0.02537(V \cdot AV)$	0.8442
Lewis	$K_1 = 1.38189 - 1.02949(V) + 0.31819(V)^2 + 0.00046062(T)^2 - 0.01300(V \cdot T) + 0.01194(T \cdot AV) - 0.15615(V \cdot AV)$	0.9891
Henderson	$A_1 = 0.98344 - 0.00102(T) + 0.00204(V)^2$ $K_2 = 1.45792 - 1.15693(V) + 0.33629(V)^2 + 0.00044986(T)^2 - 0.01243(V \cdot T) + 0.01127(T \cdot AV) - 0.1444(V \cdot AV)$	0.6365 0.9889
Thompson	$A_2 = -3.38790 - 2.43846(V) + 0.12031(T) + 0.41177(AV) + 0.27705(V)^2 - 0.00080525(T)^2 + 0.01009(V \cdot T)$ $B = -0.45789 - 0.25643(V) + 0.01632(T) + 0.02521(V)^2 - 0.00011194(T)^2 + 0.00113(V \cdot T) + 0.01888(V \cdot AV)$	0.9870 0.9807

Note) V : Volume of carrot slice(cm³). T : Drying temperature(°C). AV : Air velocity(m/s)

표 21 각 건조모델에 의한 대편 당근의 함수율비 변화 예측치와 실측치 간의 결정계수 및 RMSE

모델	50°C			60°C			70°C			80°C		
	0.4m/s	0.6m/s	0.8m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.8m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.8m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.8m/s
R^2	0.86305	0.81086	0.76271	0.93438	0.99149	0.98447	0.95878	0.99203	0.99690	0.98856	0.97329	0.97800
RMSE	0.13931	0.16290	0.18175	0.09493	0.03332	0.04522	0.07508	0.03345	0.02098	0.04144	0.0635	0.05720
R^2	0.90789	0.96927	0.92986	0.97232	0.97549	0.97895	0.98789	0.98951	0.99013	0.97812	0.97213	0.98378
RMSE	0.11424	0.06565	0.09881	0.06165	0.05657	0.05261	0.04069	0.03839	0.03745	0.05732	0.06489	0.04911
R^2	0.92665	0.93755	0.94097	0.96674	0.97117	0.97417	0.97598	0.97733	0.97835	0.95814	0.94890	0.96550
RMSE	0.10195	0.09361	0.09065	0.06758	0.06136	0.05828	0.05701	0.05645	0.05547	0.07928	0.08788	0.07162
R^2	0.98642	0.99743	0.99174	0.99601	0.99744	0.99719	0.99912	0.99952	0.99844	0.99647	0.99261	0.99655
RMSE	0.04386	0.01830	0.03389	0.02340	0.01830	0.01924	0.01096	0.00815	0.01487	0.02302	0.03341	0.02265

표 22 각 건조모델에 의한 중편 당근의 함수율비 변화 예측치와 실측치 간의 결정계수 및 RMSE

모델	50°C			60°C			70°C			80°C		
	0.4m/s	0.6 m/s	0.8m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.8 m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.8m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.8m/s
Page	R ²	0.94494	0.98564	0.99320	0.99351	0.99539	0.99673	0.99571	0.99650	0.99779	0.99749	0.99569
	RMSE	0.08577	0.04385	0.03058	0.02881	0.02436	0.02071	0.02411	0.02170	0.01736	0.01863	0.02446
Lewis	R ²	0.98018	0.97717	0.97867	0.99271	0.99370	0.99465	0.98997	0.98794	0.98617	0.99296	0.99441
	RMSE	0.05145	0.05528	0.05418	0.03053	0.02848	0.02647	0.03688	0.04028	0.04347	0.03126	0.02789
Henderson	R ²	0.96968	0.96951	0.97088	0.98613	0.98724	0.98735	0.97662	0.97582	0.97219	0.97548	0.98086
	RMSE	0.06365	0.06388	0.06329	0.04211	0.04053	0.04070	0.05631	0.05705	0.06163	0.05833	0.05377
Thompson	R ²	0.98673	0.99814	0.99677	0.99597	0.99531	0.99408	0.99383	0.99427	0.99472	0.95779	0.96585
	RMSE	0.04210	0.03376	0.02109	0.02271	0.02458	0.02785	0.02872	0.02778	0.02684	0.07654	0.06889

표 23 각 건조모델에 의한 소편 당근의 함수율비 변화 예측치와 실측치 간의 결정계수 및 RMSE

Models	50℃			60℃			70℃			80℃			
	0.4m/s	0.6m/s	0.8m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.8m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.8m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.8m/s	
Page	R ²	0.87950	0.95855	0.98476	0.98966	0.98831	0.98676	0.96482	0.97745	0.98779	0.99760	0.99735	0.99306
	RMSE	0.11786	0.07009	0.04187	0.03566	0.03833	0.04122	0.06778	0.05498	0.0405	0.01828	0.02023	0.03476
Lewis	R ²	0.97121	0.97139	0.97006	0.98443	0.98207	0.98129	0.98018	0.98194	0.98632	0.99755	0.99728	0.99672
	RMSE	0.05761	0.05823	0.05869	0.04374	0.04745	0.04899	0.05088	0.04919	0.04287	0.01848	0.02049	0.02389
Henderson	R ²	0.96056	0.96130	0.96054	0.97032	0.96885	0.96711	0.96021	0.96311	0.97038	0.98598	0.98264	0.98198
	RMSE	0.06742	0.06773	0.06738	0.06041	0.06256	0.06498	0.07208	0.07031	0.06307	0.04419	0.05175	0.05600
Thompson	R ²	0.99765	0.99632	0.99693	0.99635	0.99810	0.99721	0.99448	0.98714	0.97569	0.98598	0.99717	0.98916
	RMSE	0.01642	0.02086	0.01879	0.02118	0.01544	0.01893	0.02685	0.04152	0.05713	0.04419	0.02091	0.04344

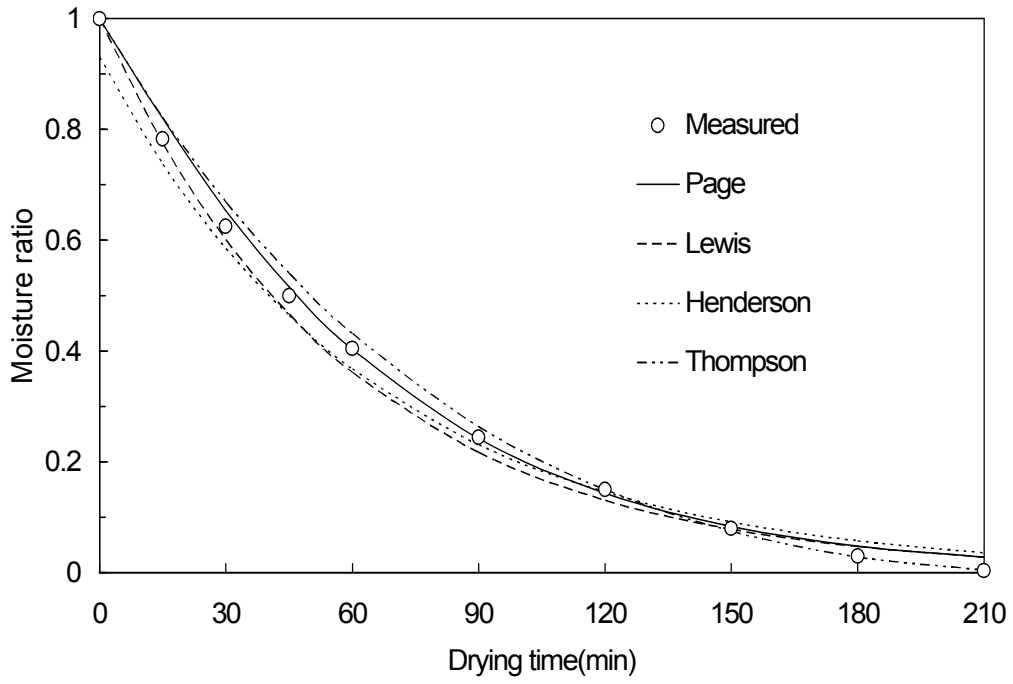


그림 50. 60°C 0.8m/s에서 각 예측모델에 의한 예측건조곡선 비교

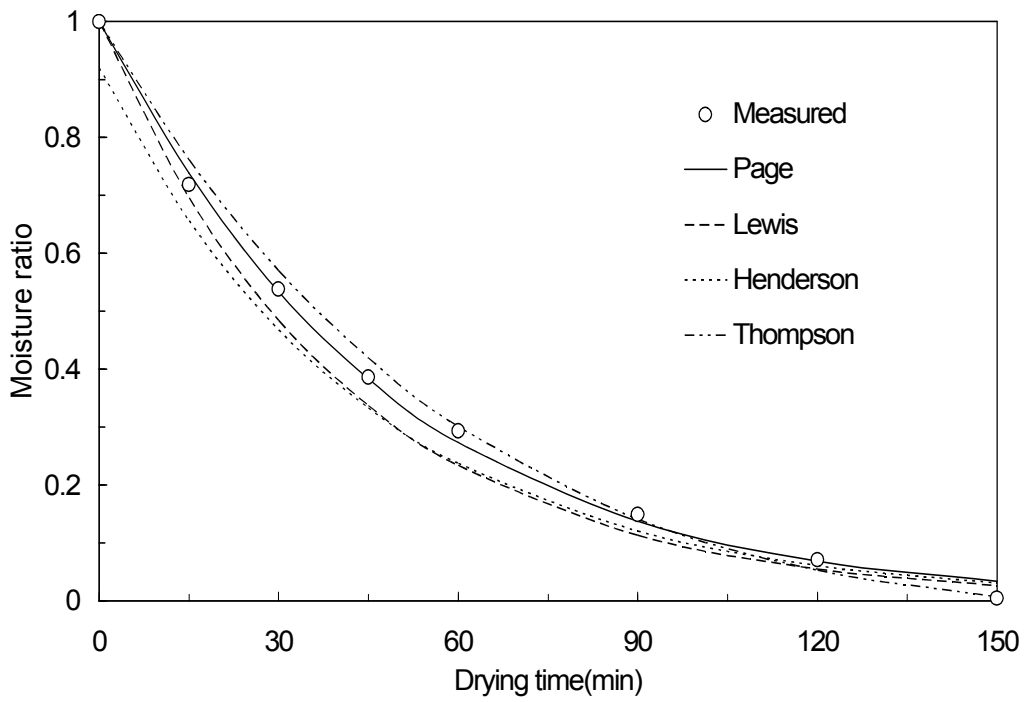


그림 51. 70°C-0.8m/s에서 각 예측모델에 의한 예측건조곡선 비교

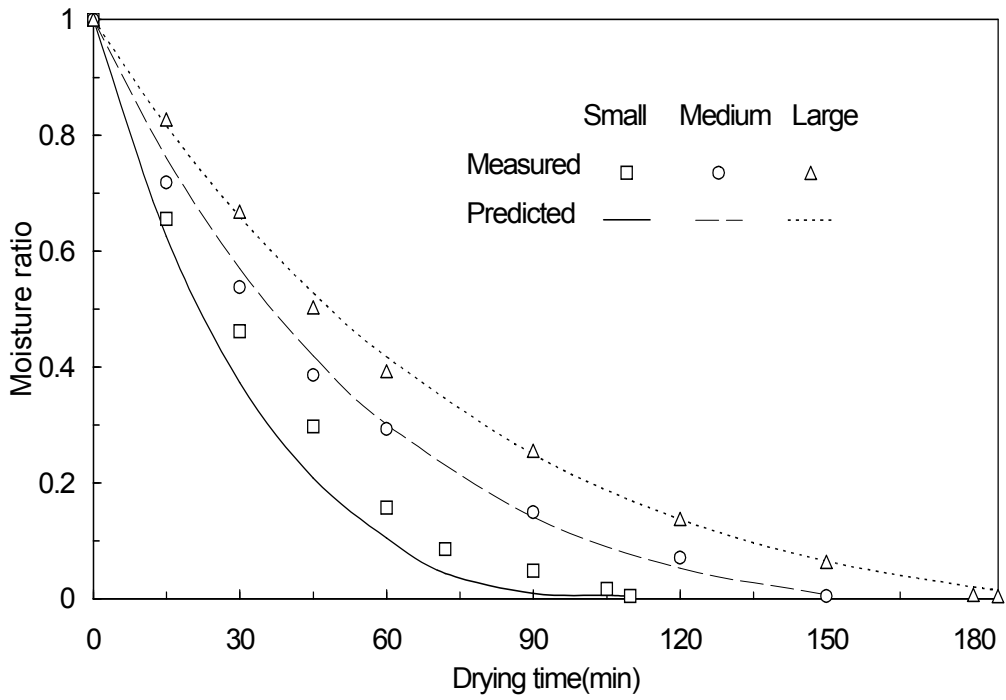


그림 52. 70°C-0.6m/s에서 당근 크기별 예측모델에 의한 예측건조곡선 비교

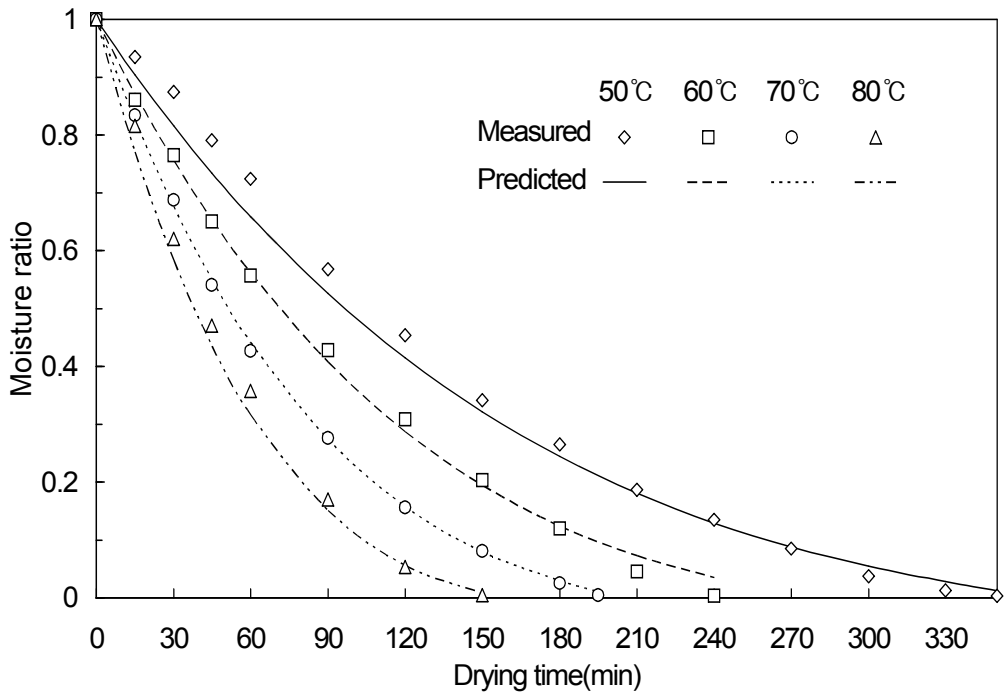


그림 53. 송풍속도 0.8m/s에서 건조온도별 예측모델에 의한 예측건조곡선 비교

9) 적정 건조조건

적정 건조조건은 각 원적외선 건조조건 of 건조시간, 에너지 소비량 및 건조품질지표 등을 본 실험에서 대조구로 실험을 실시한 일반적인 열풍 건조방법(이병우 등, 1989)과 비교하여 결정하였다.

그림 54에서는 대편 당근인 경우, 열풍건조의 건조시간, 에너지 소비량, 색차, 갈변도 및 카로틴 감소율 등을 기준(100%)으로 하고, 원적외선 건조조건 of 각 측정항목을 열풍건조의 백분율로 환산하여 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 각 측정항목에서 원적외선 건조온도 50℃, 60℃의 건조시간과 80℃의 색도변화가 열풍건조보다 큰 것으로 나타났다고, 기타 측정항목에서는 원적외선건조가 열풍건조보다 모두 낮은 것으로 나타났다.

건조온도 50℃의 경우 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에 따른 각 측정항목의 열풍에 대한 백분율의 평균값은 각각 93.6, 89.3 및 83.9%로 나타났고, 60℃의 경우 각각 83.0, 77.2, 76.1%로 나타났다. 건조온도 70℃일 때는 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에 따라 각각 76.8, 74.5, 70.7%로 나타났고, 80℃에서는 각각 93.5, 90.39 및 86.3%로 나타났다.

전체 실험구 중에서 건조온도 50℃, 송풍속도 0.4 m/s 건조조건 of 각 측정항목과 열풍에 대한 백분율의 평균값은 93.7%로 제일 큰 것으로 나타났고, 건조온도 70℃, 송풍속도 0.8 m/s 건조조건이 73.1%로 가장 작은 것으로 나타났다. 따라서 건조온도 70℃, 송풍속도 0.8 m/s를 적정 건조조건으로 선정하였다.

한편 원적외선 건조온도 70℃, 송풍속도 0.8 m/s 건조조건 of 건조시간은 열풍건조보다 45분 단축되었고, 에너지 소비량은 26% 절감되는 것으로 나타났다. 또한 색차, 갈변도 및 카로틴 감소율은 열풍건조보다 각각 1.4, 0.097 및 6.14% 적은 것으로 나타나, 품질이 열풍건조보다 양호한 것으로 나타났다.

그림 55와 56은 중, 소편 당근인 경우, 앞에서 서술한 대편과 같이 열풍건조의 건조시간, 에너지 소비량, 색차, 갈변도 및 카로틴 감소율 등을 기준(100%)으로 하고, 원적외선 건조조건 of 각 측정항목을 열풍건조의 백분율로 환산하여 나타낸 것이다.

그림에서 분석한 결과 중, 소편 당근의 경우 건조온도 70℃, 송풍속도 0.8 m/s 건조조건 of 각 측정항목과 열풍에 대한 백분율의 평균값이 각각 65.2%와 57.3%로 가장 작은 것으로 나타났다. 따라서 건조온도 70℃, 송풍속도 0.8 m/s를 중, 소편의 적정 원적외선 건조조건으로 선정하였다.

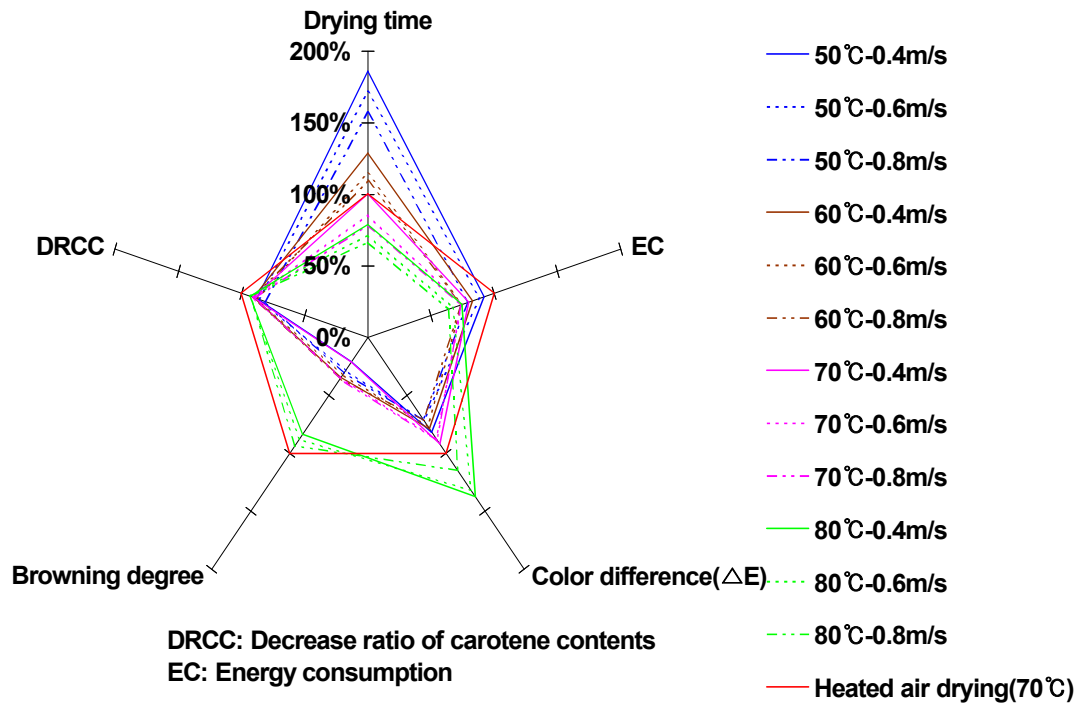


그림 54. 대편 당근의 적정 건조조건 선정

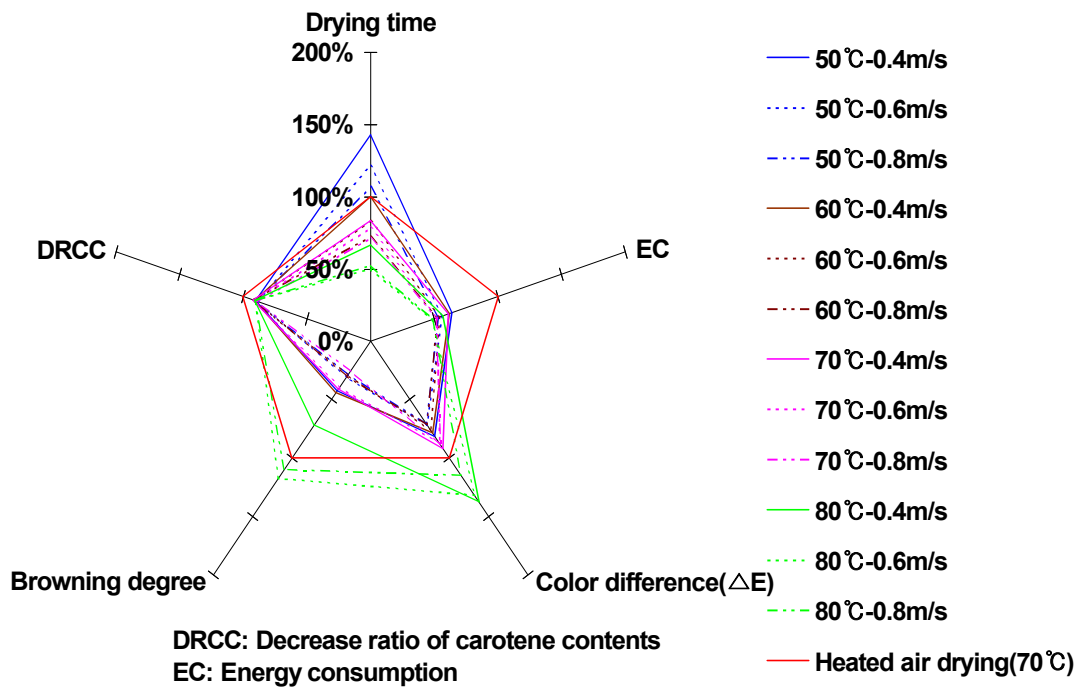


그림 55. 중편 당근의 적정 건조조건 선정

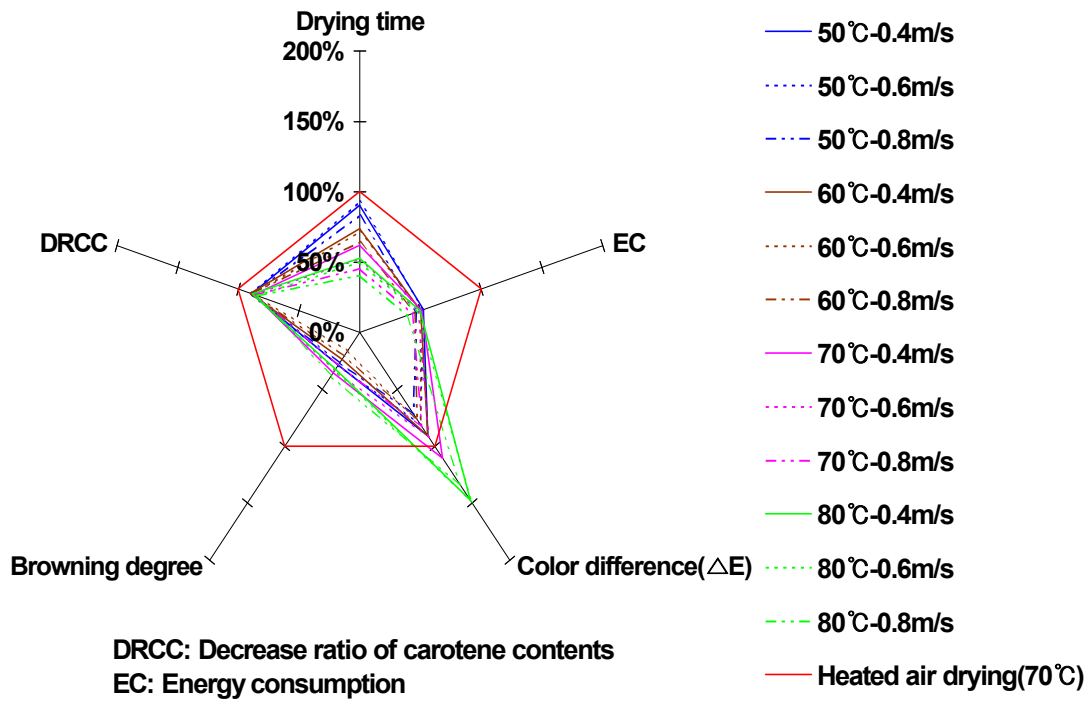


그림 56. 소편 당근의 적정 건조조건 선정

라. 결론 및 요약

본 연구에서는 원적외선 건조온도 50℃, 60℃, 70℃ 및 80℃ 4수준, 송풍속도 0.4, 0.6 및 0.8 m/s 3수준, 세절한 당근크기 대, 중, 소편 3수준에서 당근의 건조 및 품질특성을 구명하고, 열풍건조 방법과 비교하여 적정 건조조건을 확립하였다. 또한 당근의 품온 및 재수화율 예측모델, 건조모델을 개발하고 적합성을 검증하였다.

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 당근 대, 중, 소편의 건조속도는 모두 원적외선 건조온도 및 송풍속도가 증가 할수록 빨라지고, 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다. 전 실험구에서 대편 당근이 건조조건 50℃-0.4 m/s에서 390분으로 건조시간이 가장 긴 것으로 나타났고, 소편이 건조조건 80℃-0.8 m/s에서 75분으로 건조시간이 제일 짧은 것으로 나타났다.
- (2) 건조속도는 송풍속도보다 건조온도의 영향이 지배적인 것으로 나타났다. 건조온도 60℃, 70℃, 송풍속도 0.8 m/s 건조조건에서 원적외선 건조속도가 열풍건조보다 빠른 것으로 나타났고, 건조시간은 원적외선이 각각 70, 45분 단축되는 것으로 나타났다. 한편 동결건조의 경우 48시간 소요되어 원적외선 및 열풍건조보다 건조시간이 긴 것으로 나타났다.
- (3) 당근 대, 중, 소편의 경우 에너지 소비량은 각각 3,090~4,455, 2,340~3,096, 1,872~2,520 kJ/kg-water의 범위이었고, 모든 원적외선 건조온도 및 송풍속도가 증가할수록 에너지 소비량이 적어지는 경향을 나타내었다. 한편 같은 건조조건에서 원적외선의 에너지 소비량은 열풍건조보다 26.34~32.24% 정도 절감되는 것으로 나타났다.
- (4) 색차, 갈변도 및 carotene 감소율은 모두 송풍속도와 관계없이 건조온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었고, 건조온도 80℃에서 다른 건조온도보다 높은 값을 나타내었다. 동결 건조한 당근의 색차, 갈변도 및 carotene 감소율이 제일 적은 것으로 나타났고, 같은 건조 조건에서 원적외선건조가 열풍건조보다 작은 것으로 나타났다.
- (5) 재수화율은 건조온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었다. 재수화율의 예측모델을 개발하였으며, 실험상수는 건조온도 및 세절한 당근의 체적을 함수로 하여 나타내었다. 전체 실험구에서 재수화율 예측모델의 결정계수는 0.9884이상으로 높게 나타났고, RMSE는 0.0451이하로 나타나, 적합도가 높은 것으로 판단된다.
- (6) 당근의 품온은 일정한 건조온도에서 송풍속도가 빠를수록 품온 상승이 빠른 것으로 나타났고, 일정한 송풍속도 조건에서도 건조온도가 높을수록 품온의 상승이 빠른 것으로 나타났다. 품온의 예측모델을 개발하였으며, 실험상수는 건조온도 및 송풍속도를 함수로 하여 나타내었다. 품온 예측모델은 모든 건조조건에서 결정계수가 0.9423이상으로 높게 나타났고, RMSE는 0.0368이하로 나타나 적합도가 높은 것으로 나타났다.

- (7) 4개의 건조모델 중 Thompson 모델은 전체 실험구에서 결정계수가 0.9577이상, RMSE는 0.0765이하로 나타났고, Page 모델의 경우 대편 당근의 50℃ 건조조건을 제외한 모든 실험구에서 결정계수는 0.9343이상, RMSE는 0.0949이하로 나타났다. Lewis 모델과 Henderson 모델의 경우 결정계수가 각각 0.9078, 0.9266이상, RMSE는 0.114, 0.110 이하로 나타나 Page 모델과 Thompson 모델에 비해 다소 적합성이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 전체 실험구에서 적합성을 판단할 경우 Thompson 모델이 다른 3개 건조모델에 비해 적합성이 높은 것으로 나타났다.
- (8) 적정 건조조건은 원적외선건조한 대, 중, 소편 당근의 각 측정항목과 열풍건조에 대한 백분율의 평균값이 각각 73.1, 65.2, 57.3%로 가장 작은 값을 나타낸 건조온도 70℃, 송풍속도 0.8 m/s를 선정하였다.

3. 컨베이어 원적외선 건조기를 이용한 무의 건조특성

가. 실험방법

실험장치 및 실험방법은 앞에서 서술한 당근의 건조와 동일하다.

나. 결과 및 고찰

1) 무의 건조특성

가) 원적외선 건조온도 및 송풍속도의 영향

그림 57~63은 무의 건조온도와 송풍속도를 조절하여 건조시간에 따른 함수율 변화를 나타낸 것이다.

그림 57~63에서 보는바와 같이 건조시간이 모든 건조조건에서 80℃-0.8m/s 조건이 200분으로 가장 빠른 것으로 나타났고, 50℃-0.4m/s 건조조건에서 390분으로 가장 느린 것으로 나타났다.

그림 57~59에서는 동일한 송풍속도에서 건조온도가 건조속도에 미치는 영향을 분석한 것이다.

그림 57에서 알 수 있듯이 송풍속도가 0.4m/s일 때 건조온도 50, 60, 70, 80℃에서 건조시간은 각각 390, 320, 250, 225분이었고, 건조온도 80℃가 건조온도 50℃, 60, 70℃보다 각각 165, 95, 25분 정도 단축되어 건조온도가 높을수록 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다.

그림 58에 나타난 바와 같이 송풍속도를 0.6m/s로 고정하고, 건조온도 50, 60, 70, 80℃에서 건조시간이 각각 360, 315, 230, 210분으로 나타나 그림 69에서와 같이 동일한 송풍속도에서는 건조온도가 높을수록 건조시간이 단축되는 경향을 나타내었다.

그림 59는 송풍속도가 0.8m/s일 때 건조온도 별로 건조시간에 따른 함수율 변화를 나타낸 것이다.

그림 59에서 보는바와 같이 건조온도 50, 60, 70, 80℃에서 건조시간은 각각 330, 270, 225, 200분으로 나타나 앞서 서술한 바와 같이 동일한 송풍속도에서 원적외선 건조온도가 높을수록 건조시간이 단축되는 경향을 나타내었다.

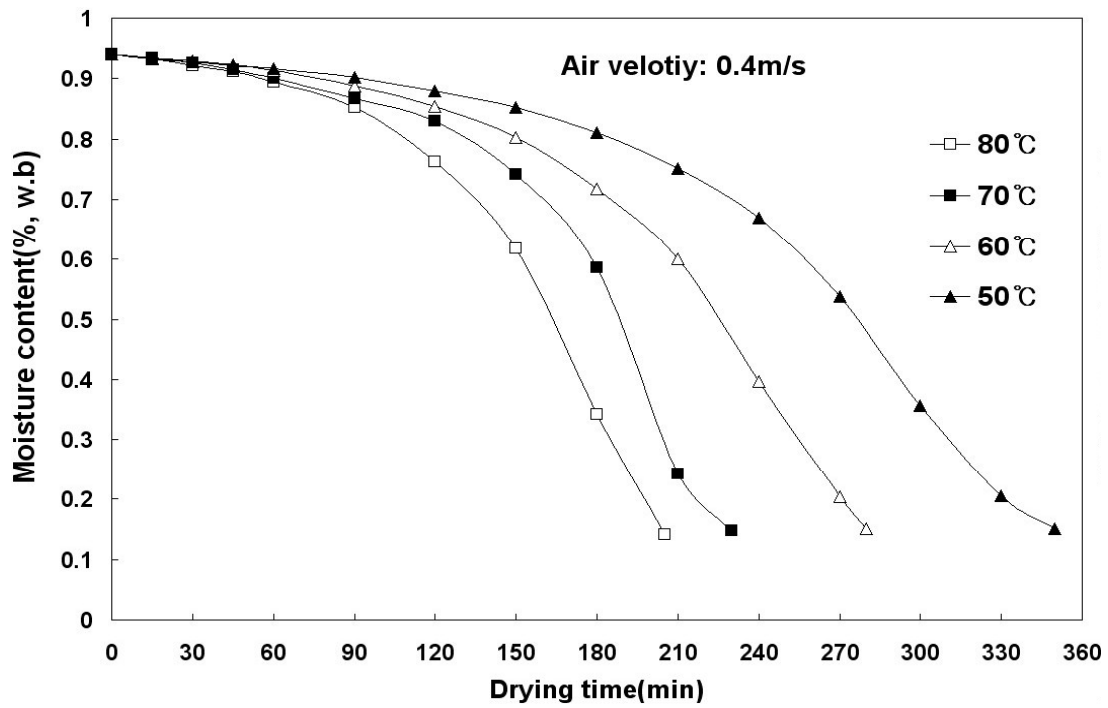


그림 57. 송풍속도가 0.4m/s일 때 건조온도별 건조시간에 따른 함수율 변화

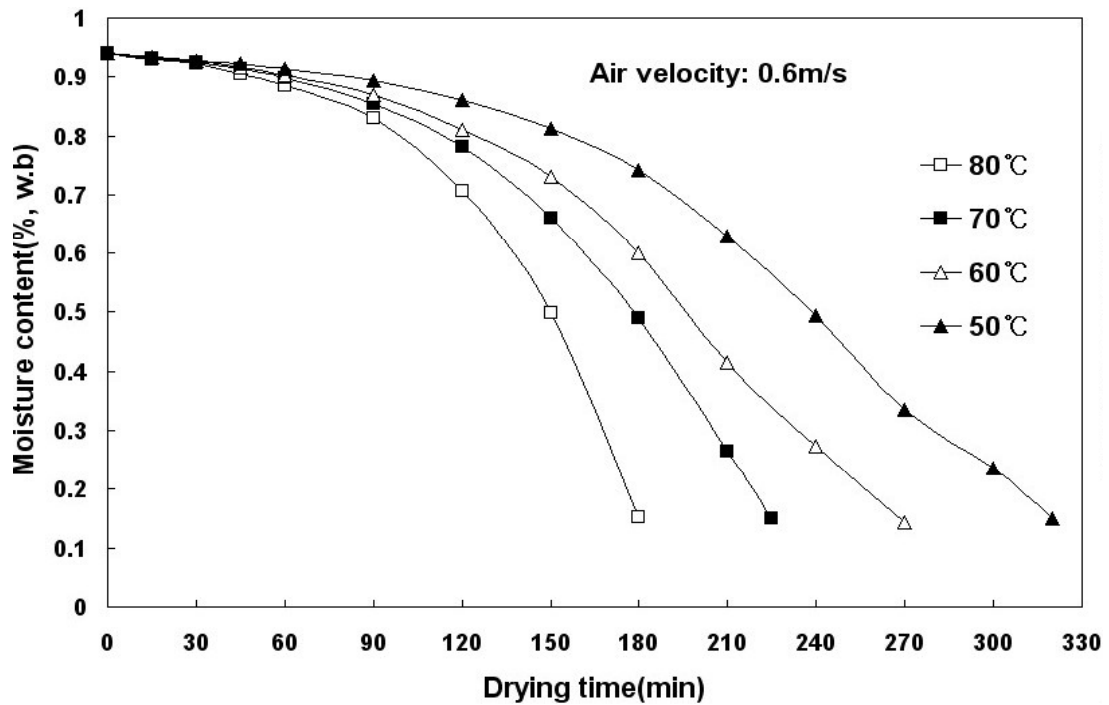


그림 58. 송풍속도가 0.6m/s일 때 건조온도별 건조시간에 따른 함수율 변화

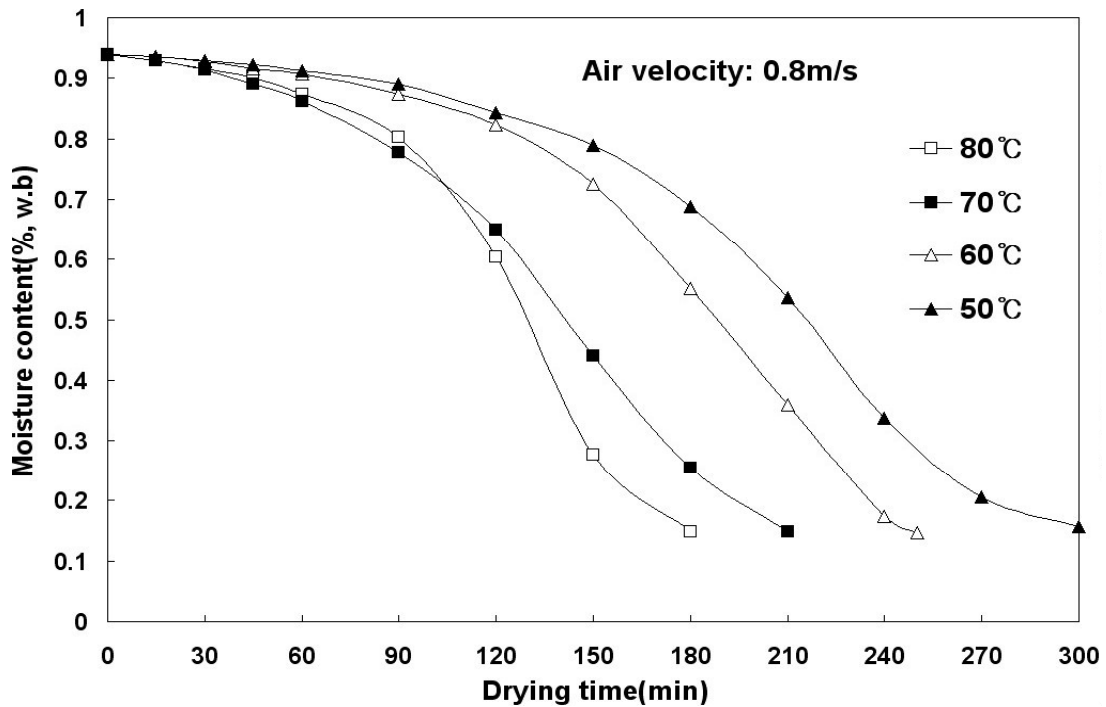


그림 59. 송풍속도가 0.8m/s일 때 건조온도별 건조시간에 따른 함수율 변화

그림 60~63에 동일한 건조온도 조건에서 송풍속도가 건조속도에 미치는 영향을 나타내었다. 그림 60에서 보는바와 같이 건조온도가 50°C일 때 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s에서 건조시간은 각각 390, 360, 330분으로 나타나 풍속이 증가할수록 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다.

그림 61의 건조온도 60°C에서 건조의 송풍속도가 0.4, 0.6, 0.8m/s일 때 건조시간은 각각 320, 315, 270분으로 그림 60에서와 같이 송풍속도가 빠를수록 건조시간이 단축되는 경향을 나타내었다. 한편 풍속 0.8m/s가 0.4, 0.6m/s보다 건조시간이 각각 55, 60분정도 단축된 것으로 나타났다.

그림 62는 건조온도가 70°C인 경우 송풍속도별 건조시간에 따른 원적외선 건조의 함수율 변화를 나타낸 것이며, 송풍속도가 0.4, 0.6, 0.8m/s일 때 건조시간은 각각 250, 230, 225분으로 나타나 송풍속도가 빠를수록 건조속도가 빨라지는 경향을 나타내었다.

그림 63은 건조온도 80°C 송풍속도가 0.4, 0.6, 0.8m/s일 때 건조시간은 각각 225, 210, 200분로 앞에서 서술한 바와 같이 송풍속도가 빠를수록 건조속도가 빨라지는 경향을 나타냈다. 송풍속도가 빨라질수록 건조시간이 단축되는 이유는 무로부터 수분을 빠르게 증발시켰기 때문으로 판단된다.

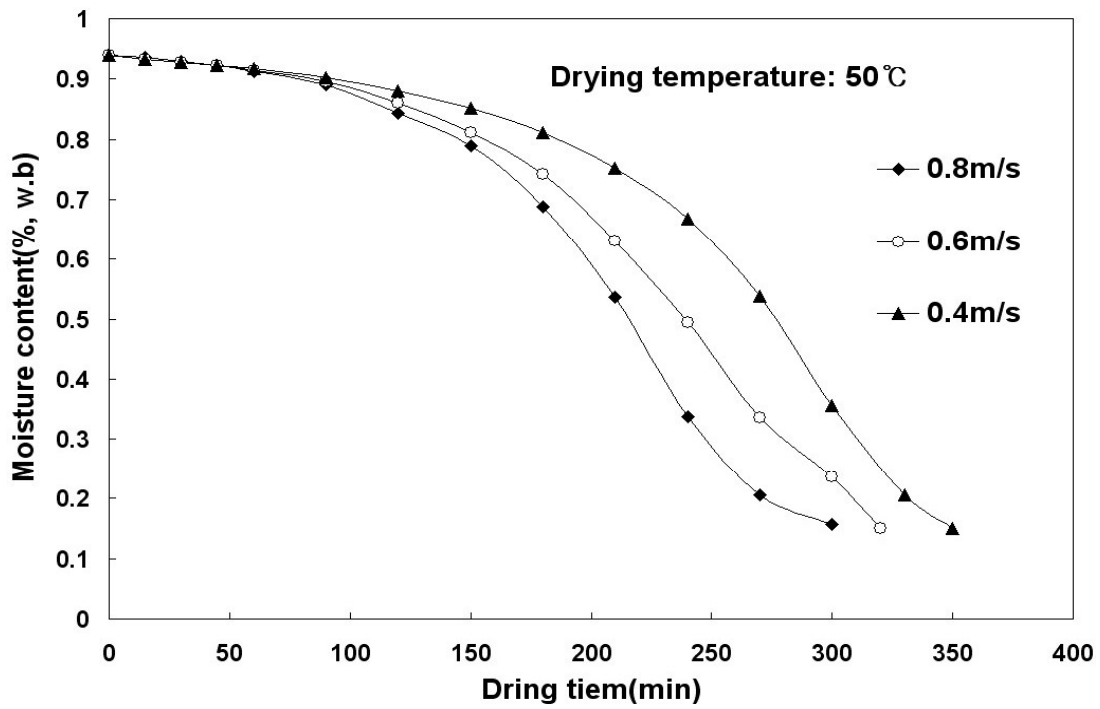


그림 60. 건조온도가 50°C일 때 송풍속도별 건조시간에 따른 함수율 변화

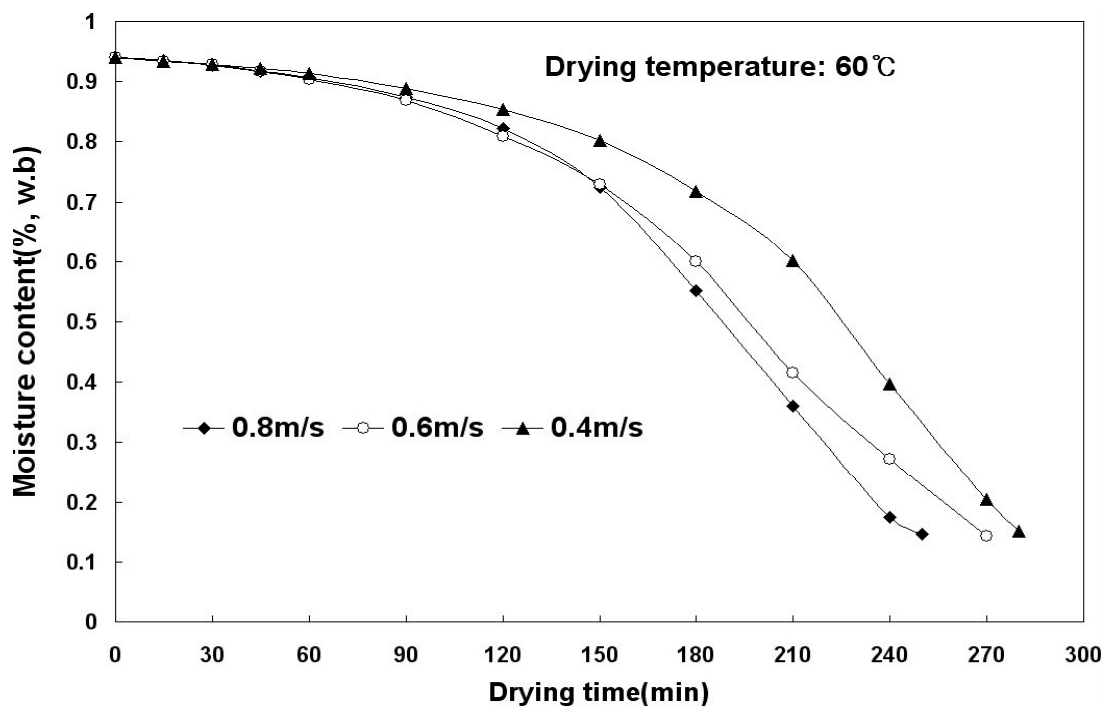


그림 61. 건조온도가 60°C일 때 송풍속도별 건조시간에 따른 함수율 변화

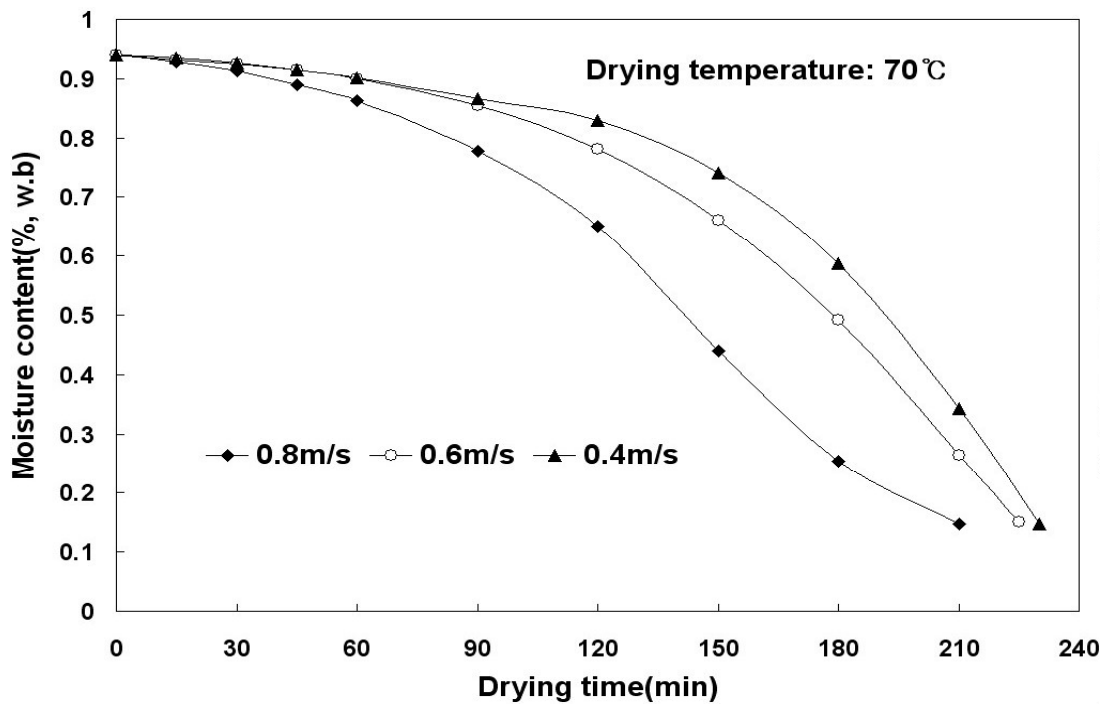


그림 62. 건조온도가 70°C일 때 송풍속도별 건조시간에 따른 함수율 변화

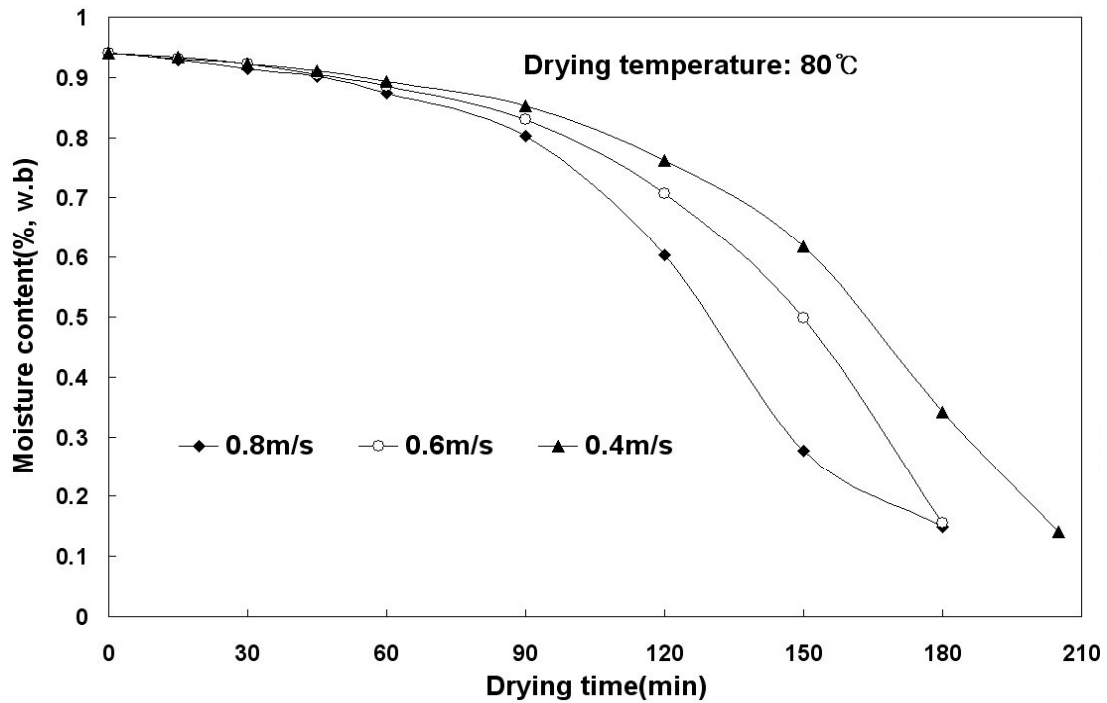


그림 63. 건조온도가 80°C일 때 송풍속도별 건조시간에 따른 함수율 변화

나) 세절크기에 따른 건조속도

그림 64~65는 건조온도 50℃, 풍속 0.6m/s와 건조온도 80℃, 풍속 0.4m/s의 조건에서 무 세절크기에 따른 함수율 변화를 나타낸 것이다.

그림 64에서 알 수 있듯이 온도 50℃ 풍속 0.6m/s의 조건에서 대편, 중편, 소편의 당근을 습량기순 함수율 15±0.5%까지 건조시키는데 소요된 시간은 각각 360, 320, 290분으로 나타났다.

그림 65에서와 같이 건조온도 80℃, 풍속 0.4m/s의 경우 건조 소요시간은 대, 중, 소편에서 각각 225, 205, 175분으로 건조속도는 세절 크기에 반비례함을 알 수 있다.

표 24는 함수율 15±0.5%까지 건조하는데 소요되는 시간 및 함수율 변화를 나타낸 것이다.

표 24에서 보는바와 같이 대편은 건조온도 50℃, 풍속 0.4m/s의 건조조건에서 390분으로 건조시간이 가장 긴 것으로 나타났고, 소편이 온도 80℃, 풍속 0.8m/s의 건조조건에서 160분으로 건조시간이 가장 짧은 것으로 나타났다. 또한 표에서 보는바와 같이 건조속도는 건조온도에 의한 영향이 송풍속도보다 큰 것으로 나타났다. 중, 소편에서도 대편의 건조특성과 같이 건조온도 및 송풍속도의 증가함에 따라 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다.

이것은 최병민(1992)이 박피 인삼건조에서 동일한 건조온도에서 건조공기의 풍속이 증가 할수록 건조속도는 빨라진다는 결과와 30℃에서 60℃까지 건조온도를 높일 경우 건조속도는 빨라진다는 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

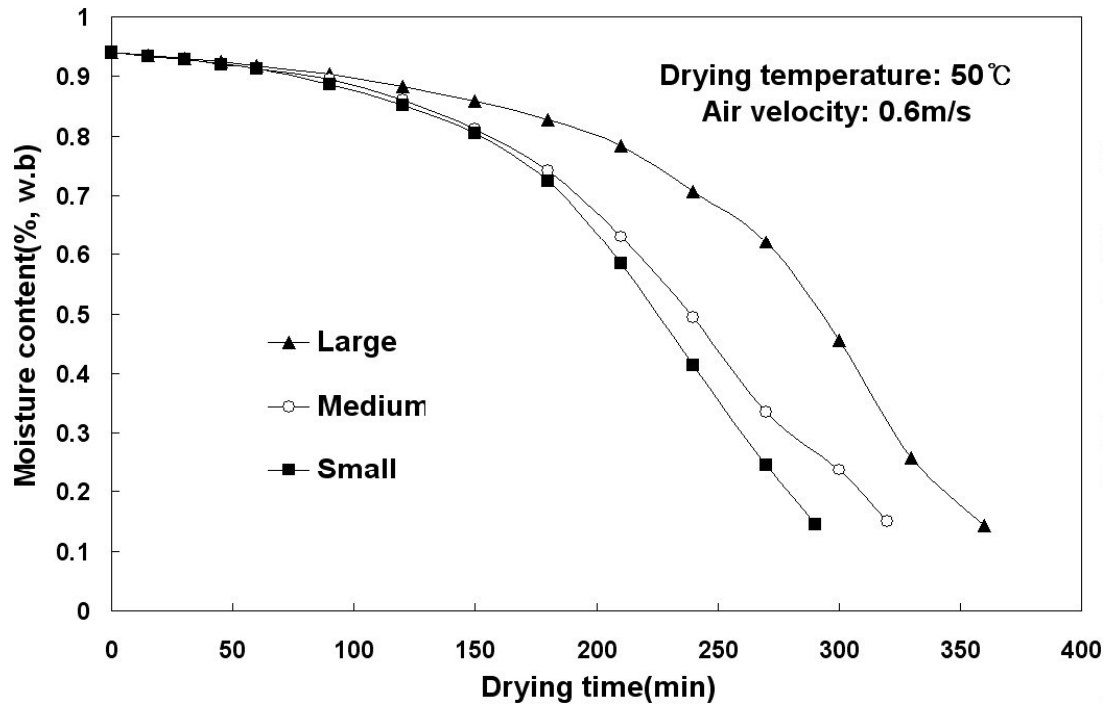


그림 64. 건조온도가 50°C일 때 크기별 건조시간에 따른 함수율 변화(0.6m/s)

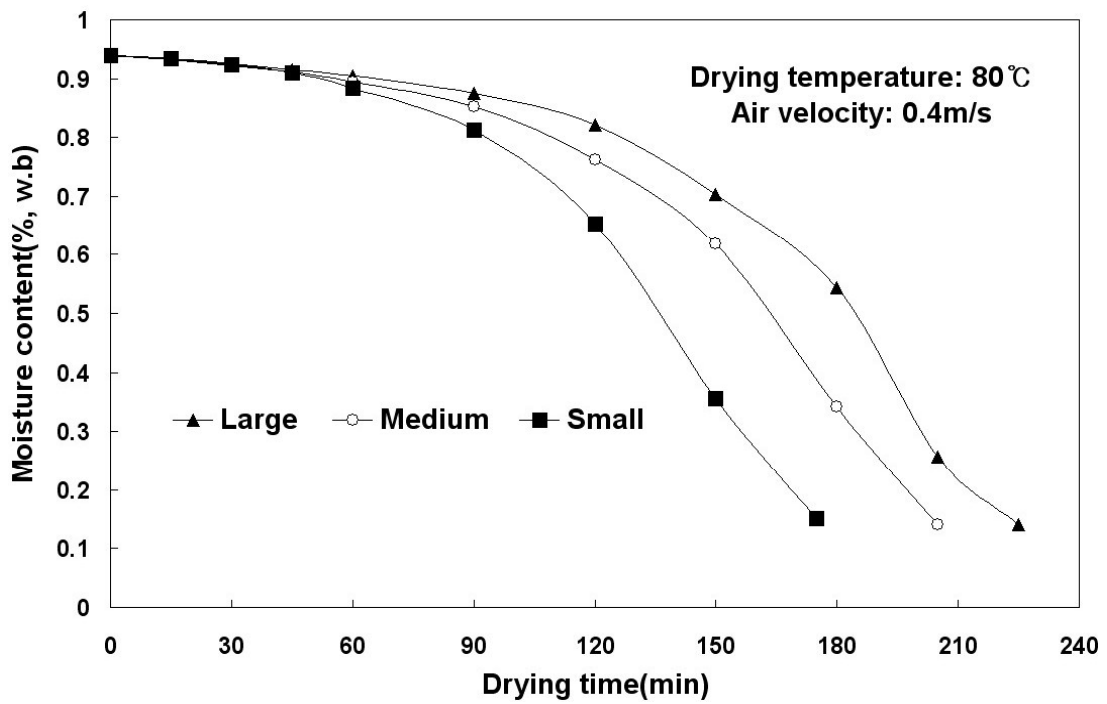


그림 65. 건조온도가 80°C일 때 크기별 건조시간에 따른 함수율 변화(0.4m/s)

표 24 세절 무의 원적외선 건조조건에 따른 건조시간

온도 (°C)	풍속 (m/s)	세절크기	함수율 (%)	건조시간 (min)	온도 (°C)	풍속 (m/s)	크기	함수율 (%)	건조시간 (min)
50	0.4	소	15.6	315	70	0.4	소	15.1	220
		중	15.0	350			중	14.7	230
		대	14.9	390			대	14.7	250
	0.6	소	14.6	290		0.6	소	15.6	210
		중	14.9	320			중	15.0	225
		대	14.4	360			대	13.4	230
	0.8	소	14.8	290		0.8	소	15.6	205
		중	15.6	300			중	14.8	210
		대	15.4	330			대	14.7	225
60	0.4	소	14.3	250	80	0.4	소	15.1	175
		중	15.0	280			중	14.1	205
		대	15.1	320			대	14.0	225
	0.6	소	14.8	240		0.6	소	16.0	160
		중	14.3	270			중	15.1	180
		대	14.8	315			대	15.3	210
	0.8	소	16.3	240		0.8	소	14.3	160
		중	14.6	250			중	14.8	180
		대	15.1	270			대	14.8	200

2) 재수화율

그림 66은 건조조건에 따른 대편 무의 재수화율을 나타낸 것이다.

그림 66에서 보는바와 같이 건조 후 무의 재수화율은 건조온도 50°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s에서 각각 3.900, 3.777, 3.602로 나타났고, 건조온도 60°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s에서 각각 3.848, 4.023, 4.222 이었다. 한편, 건조온도 70°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s인 경우에는 각각 4.017, 3.956, 4.194 정도, 건조온도 80°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s일 때 각각 4.039, 4.194,

4.575 정도로 건조온도 80℃가 건조온도 50℃, 60℃, 70℃보다 약간 높은 값을 나타내었다.

따라서 원적외선 건조무의 재수화율은 건조온도 증가에 따라 다소 증가하는 경향을 나타내었지만 대체적으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 황 등(1994)이 낮은 온도에서 건조한 것이 더 높은 환원율을 보인다는 연구결과와 차이가 있지만, 이는 원적외선 건조온도 증가에 따라 건조시간이 단축되어 무 조직의 열손상이 적었기 때문이라고 판단된다.

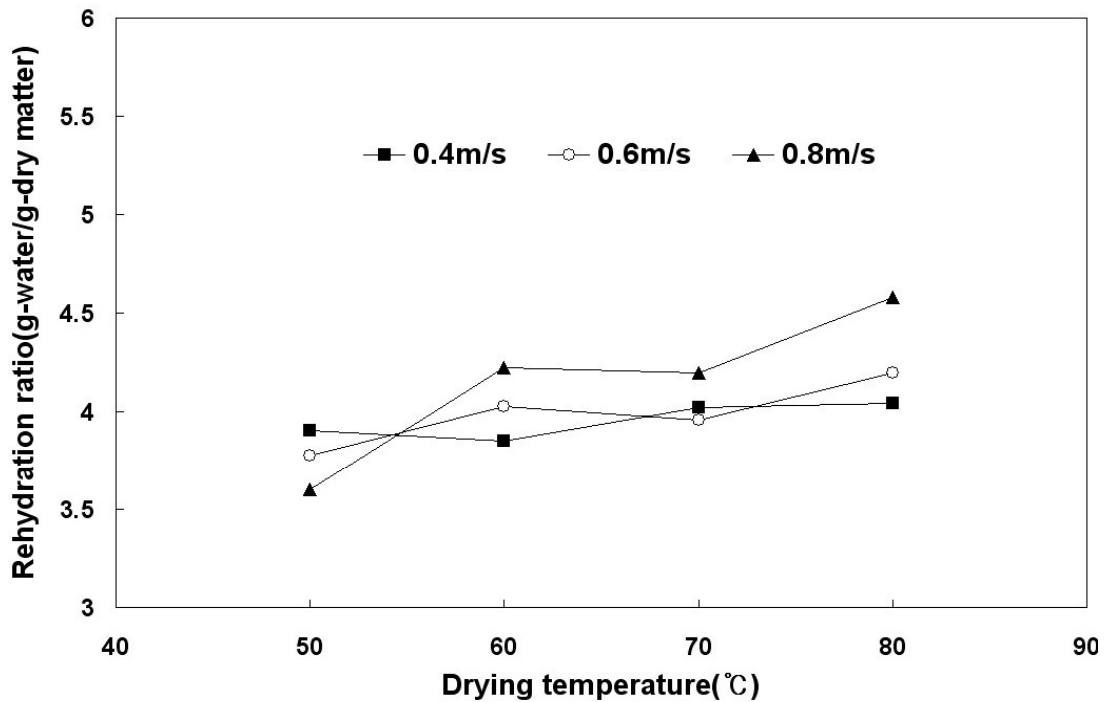


그림 66. 건조조건에 따른 대편 무의 재수화율 변화

3) 색도 변화

그림 67은 건조조건에 따른 대편 무의 색도 변화를 나타내는 ΔE (색차) 값을 나타낸 것이다.

그림 67에서 보는바와 같이 무 대편의 건조에 의한 ΔE 값은 건조온도 50℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s인 경우 각각 4.94, 4.00, 2.58의 값을 보였고, 건조온도 60℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s에서는 각각 5.70, 5.60, 5.05로 나타났다.

건조온도 70℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s일 때 ΔE 값은 각각 5.78, 4.76, 4.39으로 나타났고, 송풍속도 0.4m/s조건이 0.6, 0.8m/s조건보다 각각 1.02, 1.39정도 큰 것으로 나타났으며, 건조온도 80℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s의 경우 ΔE 값은 각각 6.94, 6.74, 5.34로 나타났다.

전반적 건조조건에 따른 ΔE (색차) 값은 건조온도가 높고 송풍속도가 느릴수록 증가하는 것으로 나타나, 색상 변화가 심해지는 것으로 판단된다.

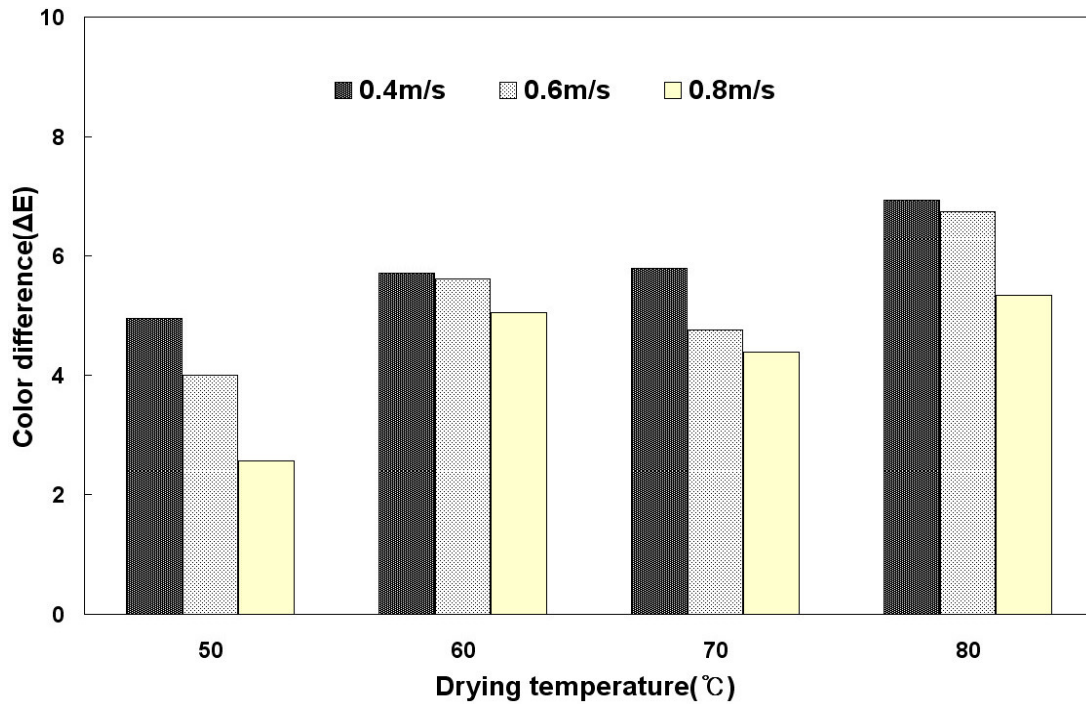


그림 67. 건조조건에 따른 대편 무의 색도 변화

4) 갈변도 변화

그림 68은 건조 후 건조조건에 따른 대편 무의 갈변도를 나타낸 것이다.

그림 68에서 보는바와 같이 건조 후 무 갈변도는 건조온도 50°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s에서 각각 0.0349, 0.0964, 0.0359로 나타났고, 건조온도 60°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s에서 각각 0.0556, 0.0558, 0.1194정도이고, 건조온도 70°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s일 경우 각각 0.1037, 0.1254, 0.1301정도로 나타났다. 또한 건조온도 80°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s일 경우 각각 0.1078, 0.1711, 0.2056정도로 50°C, 60°C, 70°C보다 높은 갈변도 값을 나타내었다. 따라서 전반적 갈변도는 건조온도 및 송풍속도 증가함에 따라 값이 증가하는 경향을 나타내었다.

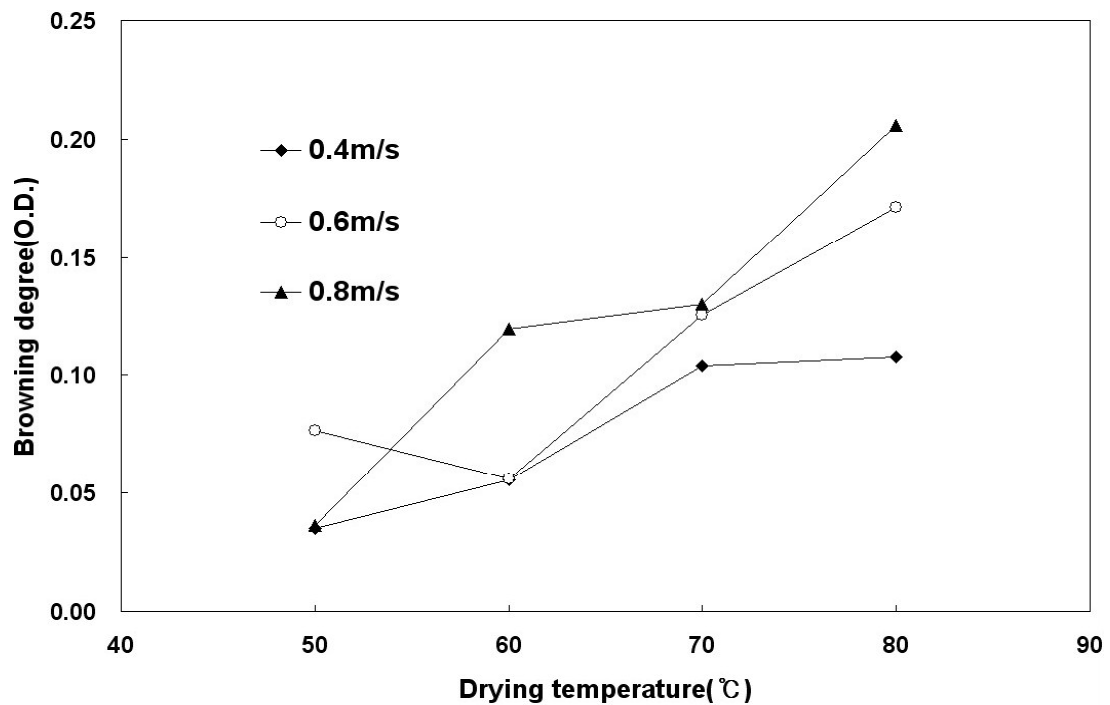


그림 68. 건조조건에 따른 대편 무의 갈변도 변화

5) 에너지 소비량

그림 69는 대편 무의 건조조건에 따른 에너지 소비량을 비교분석한 것이다.

그림 69에서 알 수 있듯이 무 대편 건조에 의한 에너지 소비량은 건조온도 50°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s인 경우 각각 5083.2, 4587.6, 4360.8kJ/kg(water)이었고, 건조온도 60°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s에서는 각각 4620.2, 4416.6, 3976.8kJ/kg(water)으로 나타났다. 또한 건조온도 70°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s일 때 에너지 소비량은 각각 3618.4, 3508.8, 3027.6kJ/kg(water)으로 나타났고, 건조온도 80°C, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8m/s의 경우 에너지 소비량은 각각 3196.8, 3015.6, 2841.6kJ/kg(water)로 나타났다. 또한 중, 소편 건조 후 에너지 소비량은 각각 2519.6~4778.9kJ/kg(water), 2237.6~3928.6kJ/kg(water)으로 각 건조조건에 따라 대편과 같은 경향을 나타내었다.

건조조건에 따른 에너지 소비량은 건조온도가 높고 송풍속도가 낮을수록 에너지 소비량이 약간 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 일반적인 건조과정의 경우 건조온도를 높일수록 에너지 효율 측면에서는 유리하다는 정설과는 유사하였다.

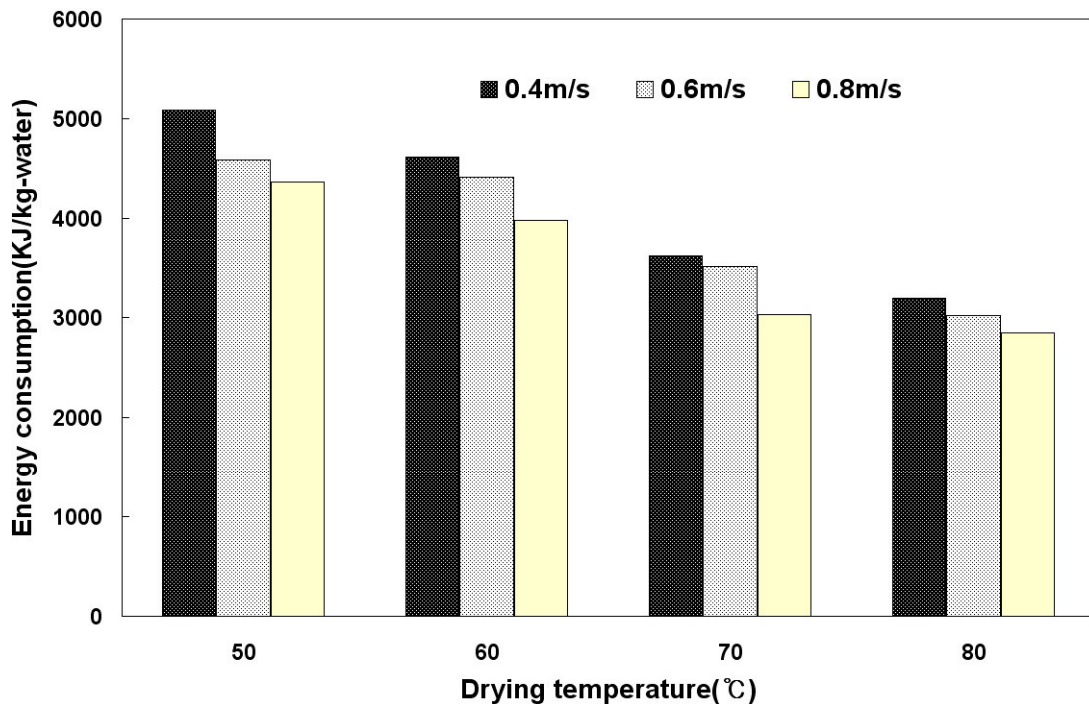


그림 69. 건조조건에 따른 대편 무의 에너지 소비량 변화

다. 결론 및 요약

본 연구는 원적외선 건조온도 50°C, 60°C, 70°C 및 80°C의 4수준, 송풍속도 0.4, 0.6 및 0.8m/s 3수준에 대하여 무 세질 크기별 건조특성을 분석하였다.

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 건조속도는 원적외선의 건조온도 및 송풍속도가 증가 할수록 건조속도는 빨라지고, 건조시간이 단축되는 것으로 나타났고, 송풍속도보다는 건조온도의 영향이 큰 것으로 나타났다. 전 실험구에서 대편 무가 건조조건 50°C~0.4m/s에서 390분으로 건조시간이 가장 긴 것으로 나타났고, 소편이 건조조건 80°C~0.8m/s에서 160분으로 건조시간이 제일 짧은 것으로 나타내었다.
- 2) ΔE (색차)값은 건조온도가 높고 송풍속도가 빠를수록 증가하는 것으로 나타났고, 갈변도, 재수화율은 건조온도 상승에 따라 다소 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 에너지 소비량은 모두 건조조건에서 건조온도가 높고 송풍속도가 빠를수록 에너지 소비량이 감소하는 것으로 나타났다.
- 4) 원적외선의 적정 건조조건은 건조시간, 품질평가 등으로 판단할 경우 건조온도는 70°C, 송풍속도는 0.8m/s 조건이 가장 적합하다고 판단된다.

제 5 절. 마이크로파 예열장치를 이용한 무, 당근의 예열특성

1. 마이크로파 예열장치 설계 · 제작

그림 70은 마이크로파 예열장치의 개략도를 나타낸 것이다.

그림 70에서와 같이 마이크로파 예열장치는 구동 모터(Y802-4, HanSheng, China), 투입부, 배출부, 마이크로파 발진부, 마이크로파 차단부, 배기팬, 변압장치, 컨베이어 및 제어반으로 구성되어 있다. 발진부는 마그네트론(2M244, Panasonic, China)을 이용한 마이크로파 발진장치로 주파수 2450MHz, 출력 26kW~30kW의 마이크로파를 발생시킨다. 배기팬은 피건조물 예열시 예열장치 내부수분을 외부로 배출시키며, 제어반은 출력 및 벨트 속도 등을 조절할 수 있도록 되어 있다.

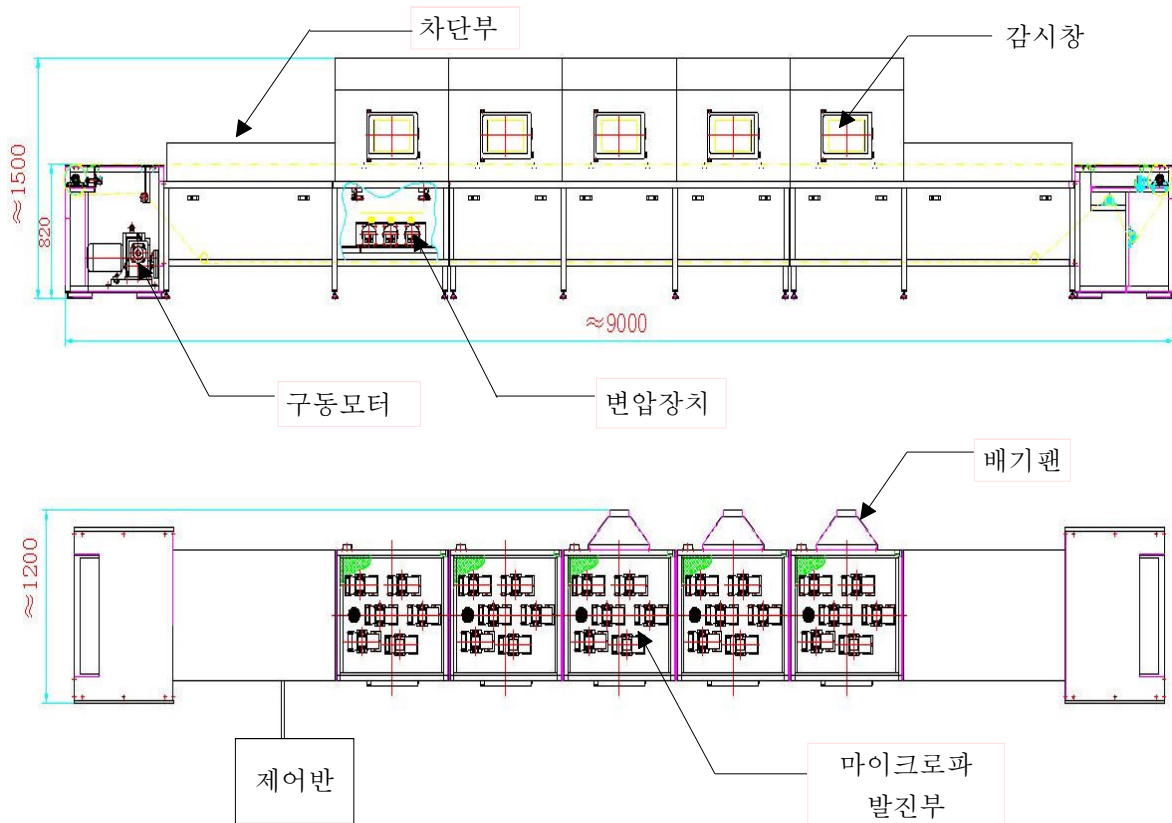


그림 70. 마이크로파 예열장치의 개략도

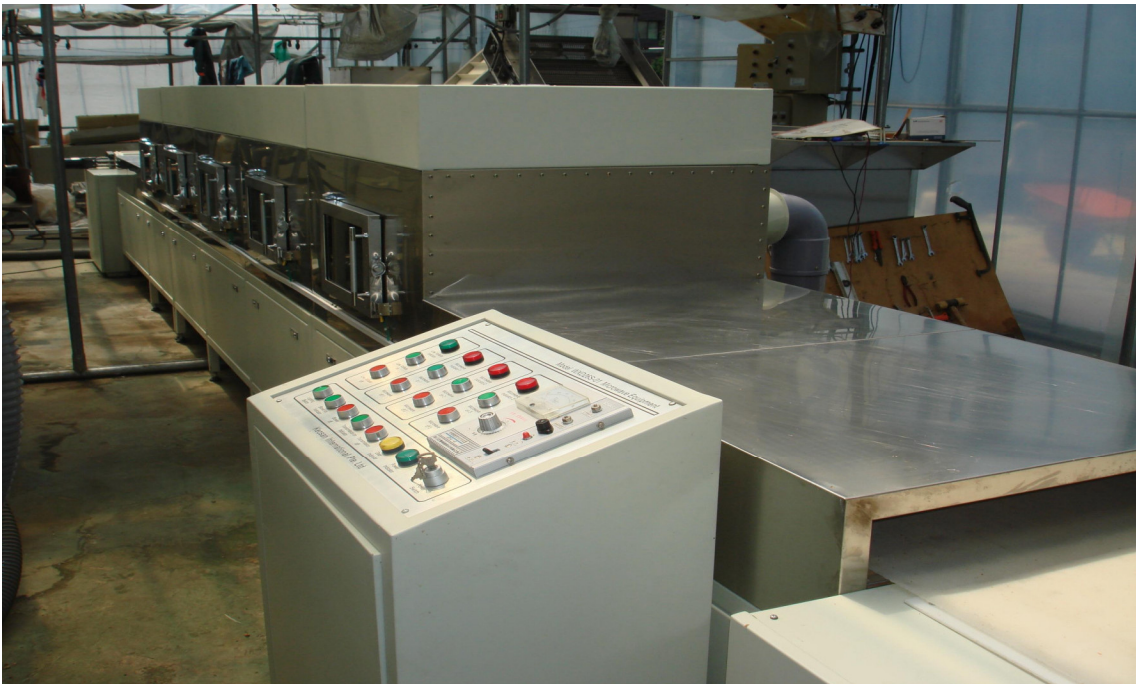
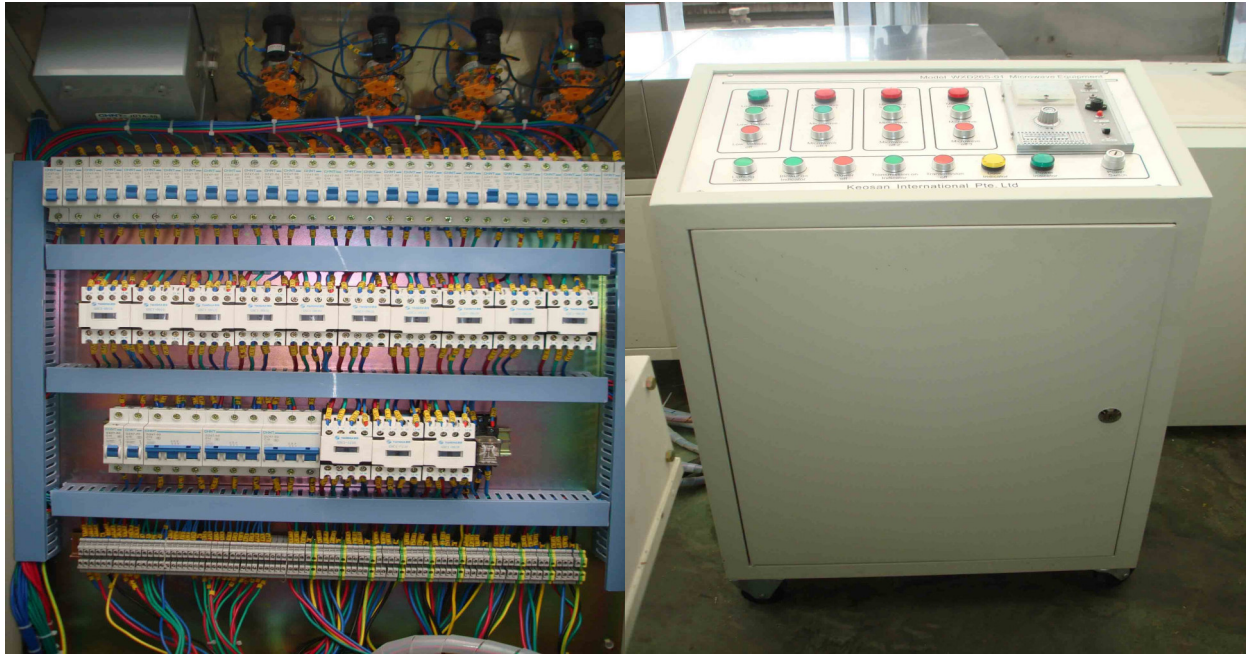
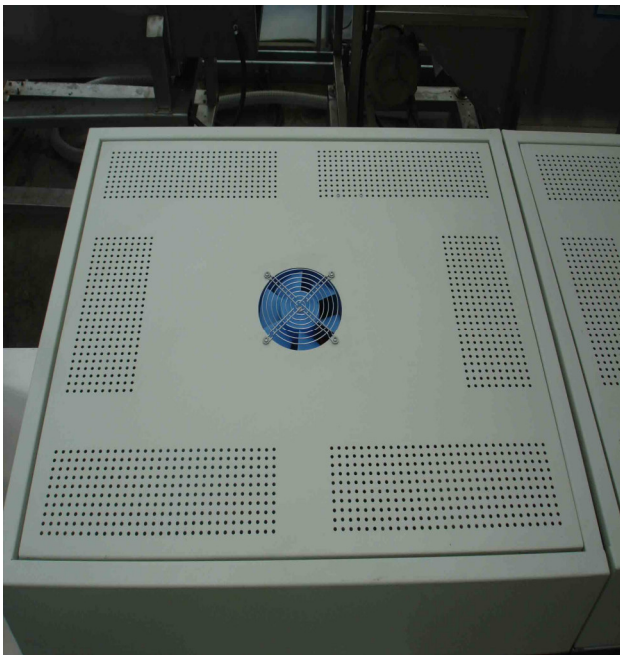


사진 11. 마이크로파 예열장치의 외관



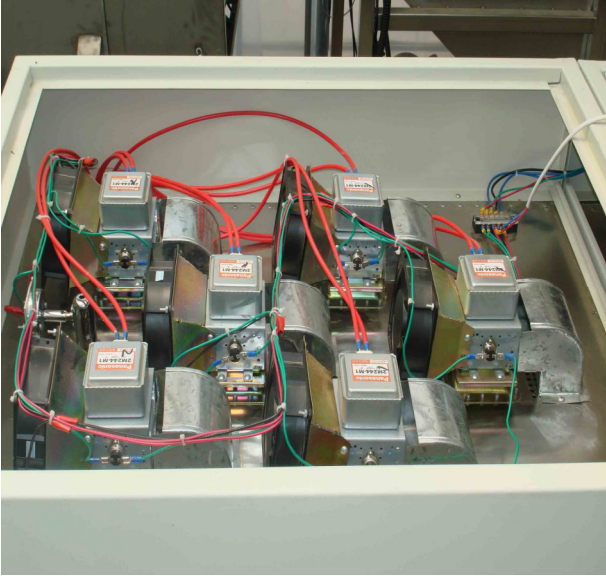
(a) 마이크로파 예열장치 제어반



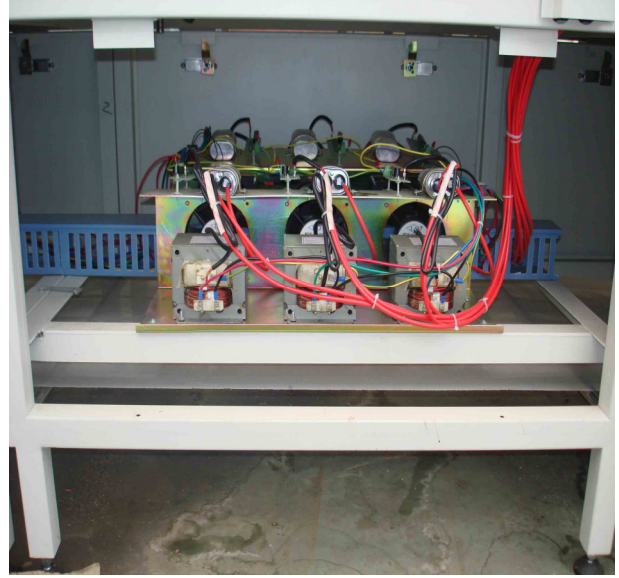
(b) 마그네트론 냉각장치



(c) 배습팬



(e) 마이크로파 발진부



(f) 변압 장치



(g) 구동 모터



(h) 예열장치 내부

사진 12. 마이크로파 예열장치

2. 공시재료

마이크로파 예열장치를 이용한 예열실험에 사용된 공시재료는 3절에서 세절한 무, 당근을 이용하였다.

3. 실험방법

가. 실험방법

당근의 예열실험을 위한 1회 시료량은 10kg 이었고, 마이크로파 예열 시간은 6 조건(4분, 8분, 12분, 16분, 20분, 24분)으로 수행하였다. 무 예열실험의 경우에는 1회 시료량 10kg을 사용하였고, 마이크로파 예열 시간은 6 조건(5분, 10분, 15분, 20분, 25분, 30분)으로 수행하였다.

나. 측정항목

1) 함수율

함수율은 측정은 오븐법(Oven method)을 사용하였고, 건조온도는 상업예열건조법(식품의약품안전청 2007)과 105℃ 건조법(한국담배인삼공사 1989)을 이용하였다. 시료는 무작위로 선택하여 세절한 후, 전자저울(EK-120G, AND, Japan)로 20±0.5g 칭량하고, 실험건조기((WFO-600ND, Tokyo Rikakai Japan)에서 건조한 후 중량비를 계산하여 함수율로 나타내었다.

2) 색도 측정

색도는 예열 당근을 분쇄하여 약 20g을 비닐 팩(PE, 두께 0.1mm)에 넣고 시료의 두께를 균일하게 하여 색도색차계(JX-777, C.T.S., Japan)로 측정하였다. 측정시 각 샘플의 L(black[0] to light[-100]), a(red [60] to green [-60]), b(yellow [60] to blue [-60]) 값들을 측정하였으며, 색차 ΔE 는 전술한 식(2)로 계산하였다(Rhim et al. 1989).

3) 강도

강도 측정은 Rheometer(CR-100D, Sun Scientific Co., Japan)를 사용하여 샘플 표면에 probe가 5mm 침투하도록 설정하였고, 샘플 8개를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

4) 카로틴함량

시료를 미세하게 분쇄한 후 1g을 취하여 n-hexane과 acetone 혼합액(6:4, v:v) 20 mL를 첨가해서 반복 추출한 다음 Methanol 30 mL을 첨가해 glass filter로 여과하여 색소를 추출하였다. 또한 증류수를 가해 추출액을 분리한 다음 상등액을 채취하여 spectrophotometer(CE393,

Cecil Co., USA)를 이용하여 436 nm에서 흡광도를 측정하여 β -carotene을 표준물질로 하여 카로틴함량을 정량하였다(AOAC, 1990).

5) 에너지 소비량

마이크로파 예열에 의한 에너지 소비량은 적산전력계(Energy Monitor 2720, SOAR, Italy)를 이용하여 측정하였고, 수분 1 kg을 제거하는데 필요한 에너지 소비량으로 환산하여 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

가. 마이크로파 예열장치에 의한 당근의 건조특성

1) 당근의 함수율 변화

그림 71은 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 예열조건별 함수율 변화를 나타낸 것이다.

그림 71에서 보는바와 같이 예열시간에 따른 당근의 함수율 변화는 세질 크기에 관계없이 감소량이 일정한 것으로 나타났다. 함수율 변화는 초기함수율 89.94%의 당근이 예열 4분부터 16분까지 4%정도 일정하게 감소하였으며, 예열 시간이 20, 24분인 경우는 각각 6, 8%정도 감소하였고. 증량변화로 보면 401, 441g/kg 정도 감소하는 것으로 나타났다. 예열 28분까지 당근의 함수율은 세질 크기 대, 중, 소편에서 각각 80.7, 80.5, 80.4%로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

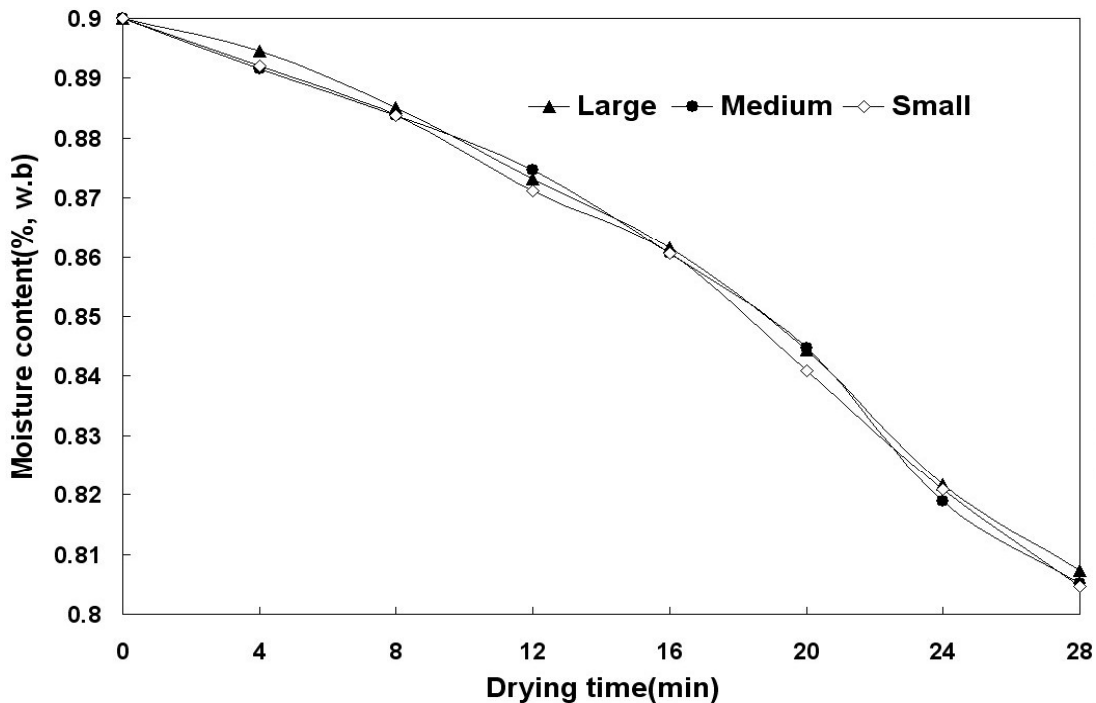


그림 71. 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 세질 크기별 함수율 변화

2) 당근의 색도 변화

그림 72~75는 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 세질 크기별 색도 변화를 나타낸 것이다.

그림 72~75에서 알 수 있듯이 당근 색도 L(명도)값과 a(적색도)값은 예열 4분부터 20분까지 증가하는 경향을 보였고, 20분 후에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. b(황색도)값이 예열 시간에 따른 변화가 없는 것으로 나타났다. ΔE (색차)값이 세질 크기와 관계없이 증가하는 경향을 보였다. 한편, 사진 11에서 보듯이 마이크로파 예열시간이 20분 이상인 경우는 변색되는 부분이 점점 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 마이크로파 당근 예열시간을 20분 이하로 예열하는 것이 바람직하다고 판단된다.



사진 13. 예열 시간에 따른 당근 세절 크기별 색도 변화

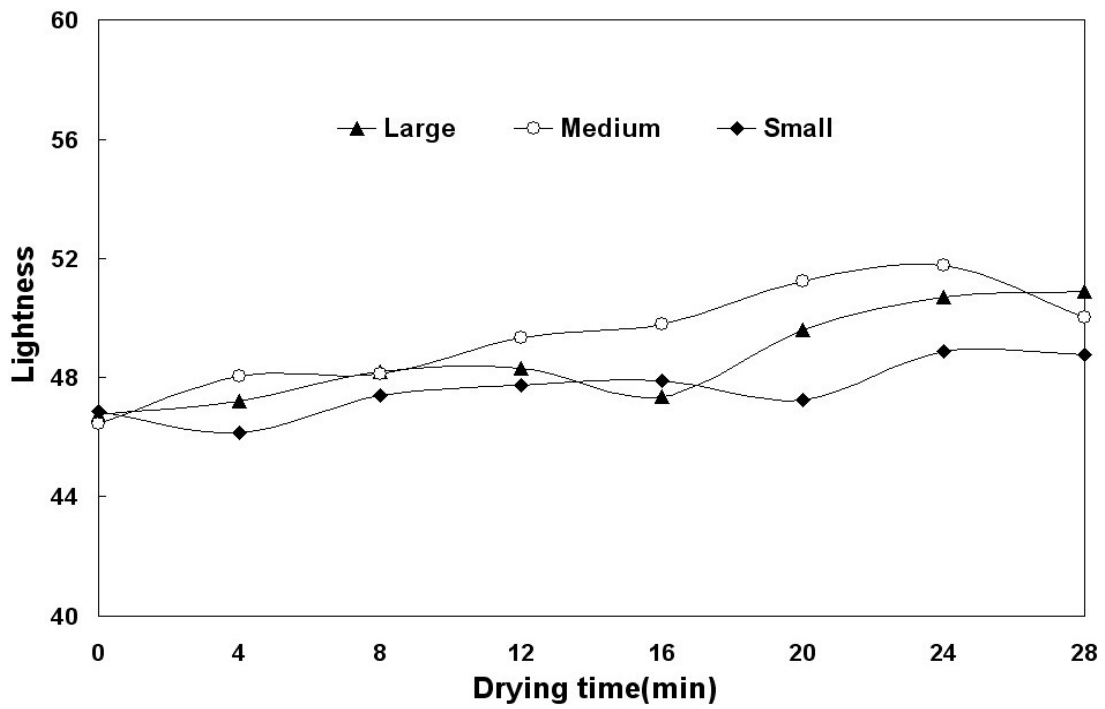


그림 72. 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 세질 크기별 명도 변화

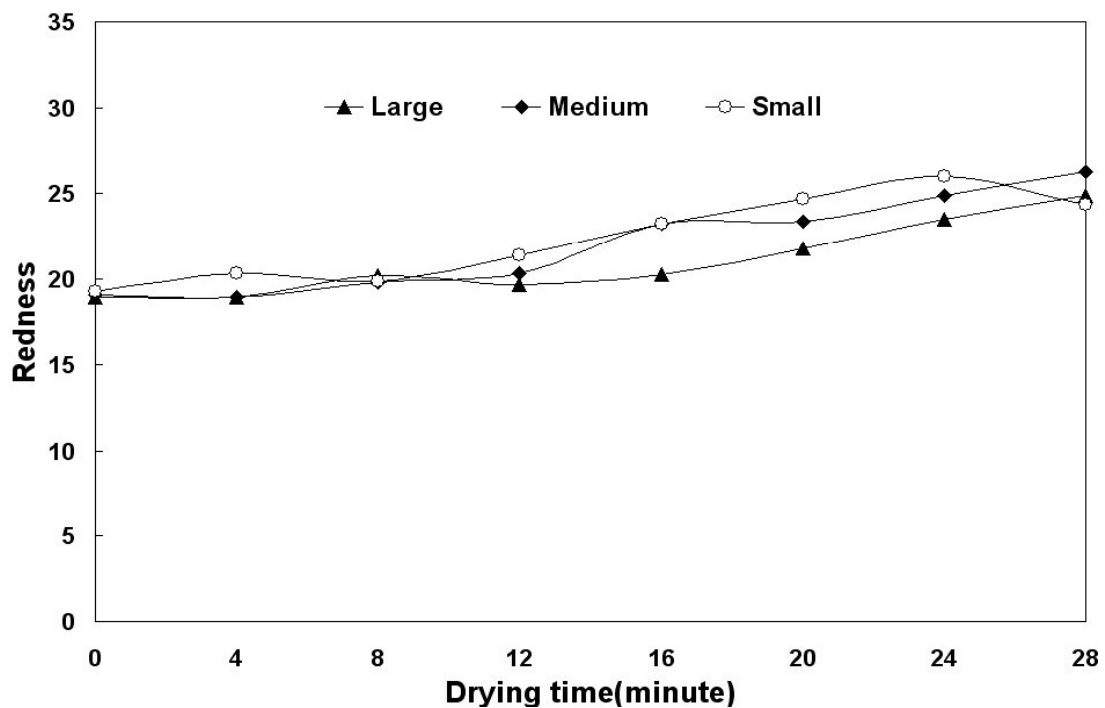


그림 73. 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 세질 크기별 적색도 변화

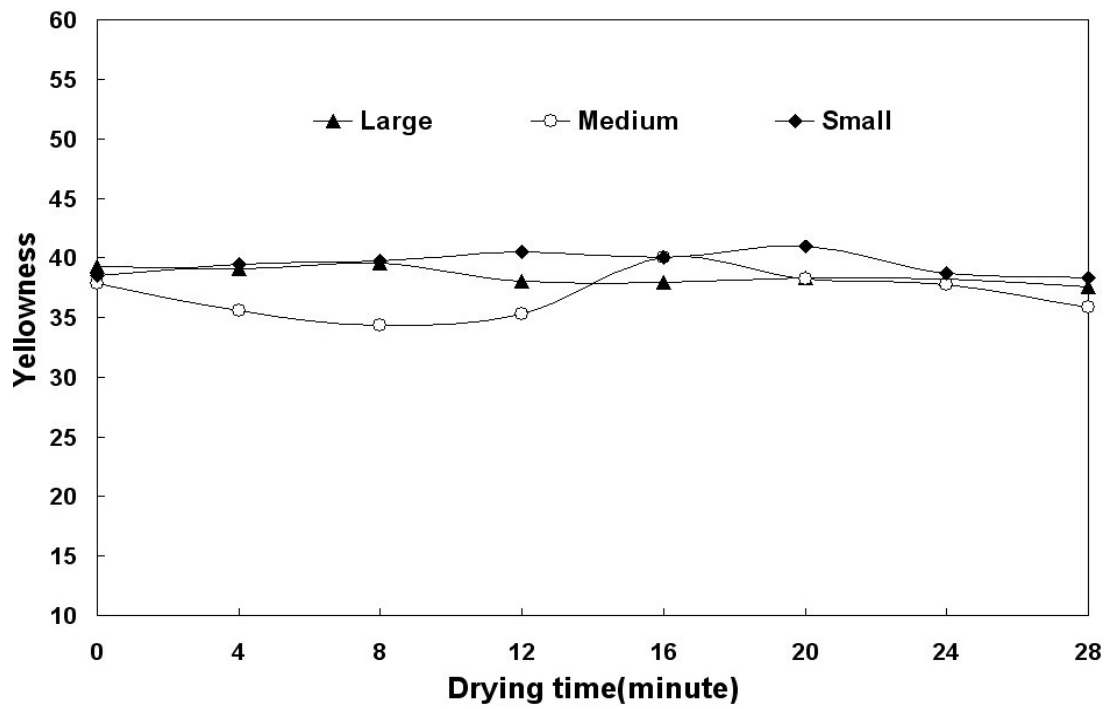


그림 74. 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 세질 크기별 황색도 변화

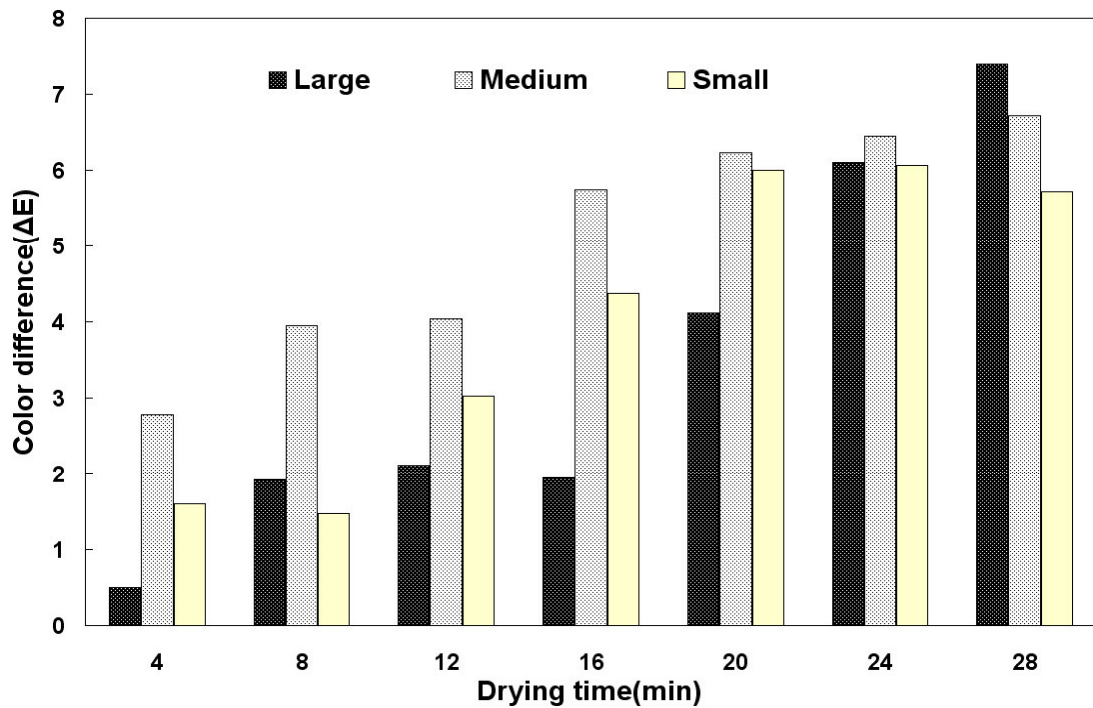


그림 75. 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 세질 크기별 색차 변화

3) 당근의 강도 변화

그림 76은 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 세질 크기별 강도 변화를 나타낸 것이다.

그림 76에서 알 수 있듯이 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 강도는 세질 크기별로 차이가 크지 않는 것으로 나타났다. 당근의 예열 초기부터 4분까지의 강도는 평균 2.5kg/cm² 감소하였으며, 예열 4분~8분까지 평균 8kg/cm² 강도가 약해지는 경향을 보였다. 예열 8분~20분까지의 강도는 평균 4.2kg/cm²씩 비교적 일정하게 감소하고, 예열 20분 이후부터는 평균 0.8kg/cm²가 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 예열시간 20분까지 강도가 감소하는 것은 예열로 인하여 조직이 연화되었기 때문이고, 예열시간 20분 이후부터 강도가 증가하는 것은 예열시간이 길어질수록 함수율이 감소함에 따라 조직이 경화되었기 때문으로 판단된다.

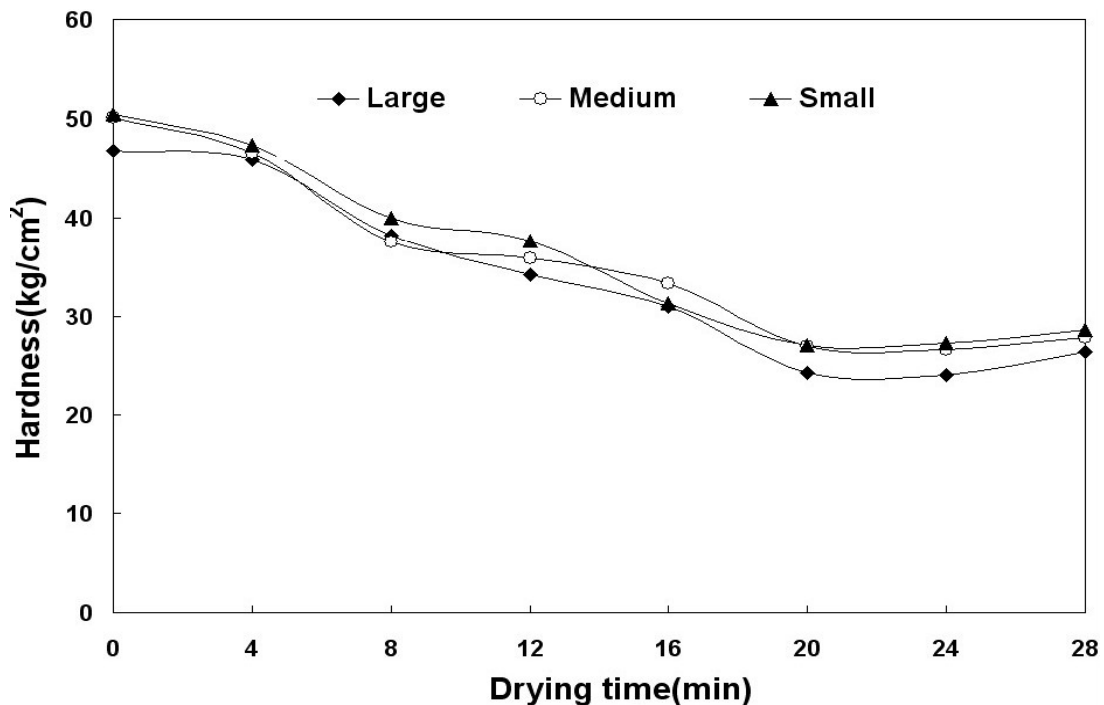


그림 76. 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 세질 크기별 강도 변화

4) 카로틴함량

그림 77은 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 카로틴함량 변화를 나타낸 것이다.

그림 77에서 알 수 있듯이 당근의 카로틴 함량은 초기시료에서 515.52μg/g 이었고, 예열 28분후에는 498.09μg/g로 나타나 예열시간이 길수록 감소하는 경향을 보였다. 이것은 예열시간이 길수록 시료가 열에 노출되는 시간이 길어 카로틴이 분해되었기 때문이라고 판단된다.

5) 에너지 소비량

그림 78은 당근의 세절 크기별 마이크로파 예열시간에 따른 에너지 소비량을 비교한 것이다.

그림 78에서 보는바와 같이 당근의 에너지 소비량은 당근의 세절 크기 대, 중, 소편에서 각각 1.67~1.94, 1.51~1.92, 1.45~1.79kWh/kg-water로 나타났고, 대편이 중편 및 소편보다 예열 에너지 소비량이 다소 큰 것으로 나타났다. 또한 모든 세절 크기 조건에서 16~20분 예열의 경우 수분 1kg을 제거하는데 필요한 에너지 소비량은 1.45~1.71kWh/kg-water로 나타났고, 다른 예열시간대 보다 약간 작은 것으로 나타났다.

이와 같이 예열 초기부터 16분까지 수분 1kg을 제거하는데 필요한 마이크로파 에너지 소비량이 큰 이유는 마이크로파 에너지가 당근 내부온도를 상승시키기 위해 현열로 사용되었기 때문이다. 또한 예열시간 16~20분 사이에서 수분 1kg을 제거하는데 필요한 마이크로파 에너지 소비량이 적은 이유는 마이크로파 에너지가 당근 건조를 위한 잠열로 사용되어 수분 증발량이 많았기 때문으로 판단된다. 한편, 24분 이후 수분 1kg을 제거하는데 필요한 마이크로파 에너지 소비량이 증가하는 이유는 건조가 진행됨에 따라 표면 경화로 인하여 수분 증발이 원활하게 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다.

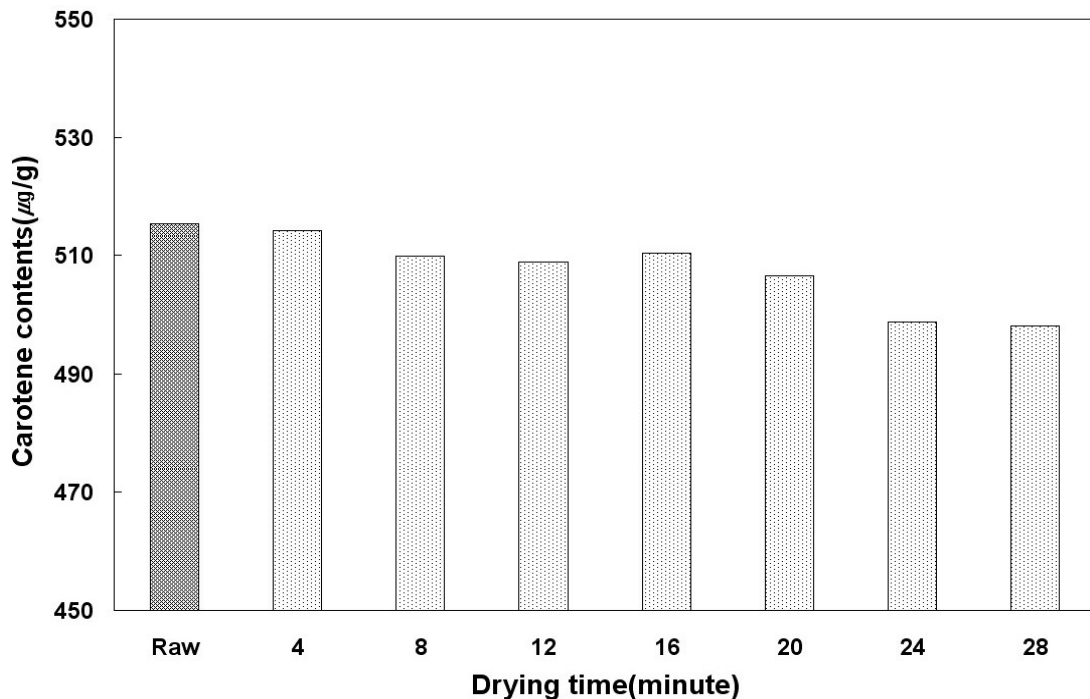


그림 77. 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 카로틴 변화

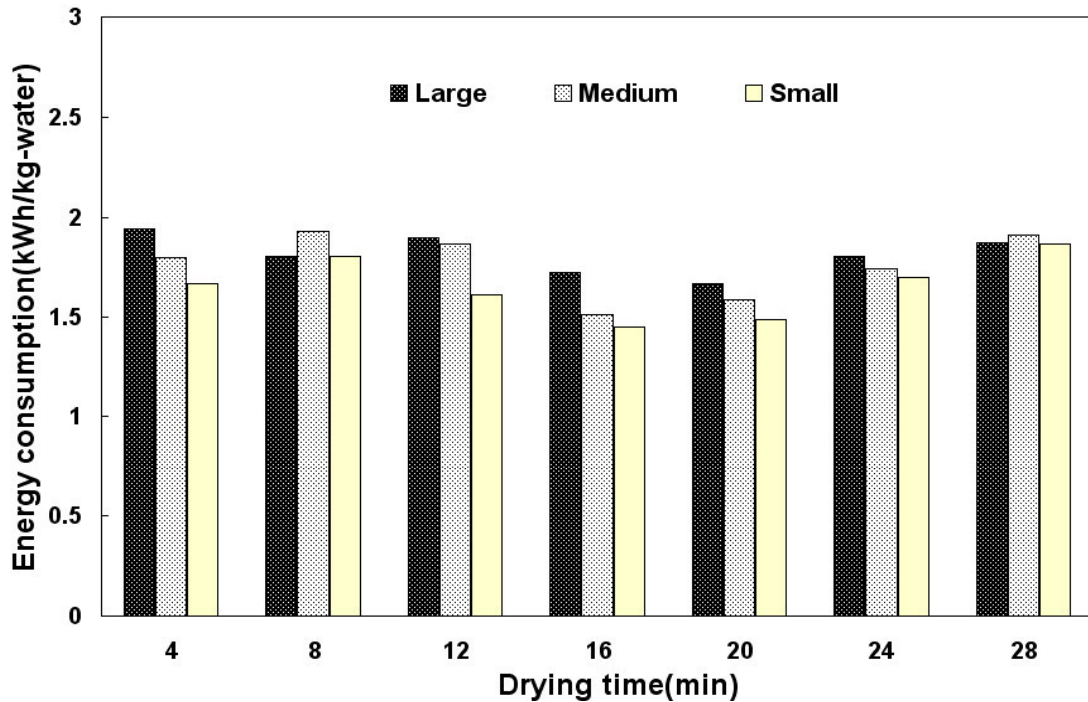


그림 78. 마이크로파 예열시간에 따른 당근 세질 크기별 에너지 소비량 변화

나. 마이크로파 예열 후 당근의 원적외선 건조 및 품질특성

1) 원적외선 건조특성

표 25는 건조온도 70°C, 송풍속도 0.8m/s의 조건에서 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 원적외선 건조에 소요되는 시간 및 최종함수율을 나타낸 것이다.

표 25에서 보는바와 같이 건조 후 함수율은 모든 건조조건에서 약 14.0~16.2% 정도로 나타났다. 예열처리하지 않은 당근의 건조시간은 세질 크기가 대, 중, 소편인 경우 각각 240, 210, 175분으로 나타났다. 마이크로파 예열처리 당근의 건조시간은 세질 크기가 대, 중, 소편에서 각각 230~145분, 200~130분, 170~115분 정도로 예열시간이 길수록 건조시간이 감소하는 것으로 나타났다. 한편, 28분 마이크로파 예열한 당근의 건조시간은 크기가 대, 중, 소편일 때에 각각 145, 130, 115분 소요되어 예열처리하지 않은 당근보다 90~60분정도 단축되는 것으로 나타났다. 이것은 마이크로파 예열처리 당근의 경우 원적외선 건조 전 짧은 시간에 수분이 많이 감소되었기 때문이라고 판단된다.

2) 카로틴 함량 변화

표 26은 마이크로파 예열 처리 후 원적외선 건조에 따른 대편 당근의 카로틴함량 변화를 나타낸 것이다.

표 26에서 보는 바와 같이 마이크로파 예열한 당근의 카로틴함량은 463.3~496.9 μ g/g로 마이

크로파 예열시간에 따라 원적외선 건조 후 카로틴함량 변화는 차이가 없는 것으로 나타났다. 전술한 마이크로파 예열 조건의 경우 예열시간이 길수록 카로틴 함량이 감소하는 것으로 나타났다지만, 마이크로파 예열 후 원적외선으로 건조한 경우에 카로틴 함량변화가 없는 이유는 원적외선 건조시간이 마이크로파 예열시간보다 길어서 예열조건에 관계없이 카로틴 분해가 거의 동일하게 이루어졌기 때문으로 판단된다.

3) 갈변도 변화

표 26에 마이크로파 예열처리 후 원적외선 건조에 따른 갈변도 변화를 나타내었다.

표 26에서 보는 바와 같이 마이크로파 예열 조건에 따른 원적외선 건조 후 건조 당근의 갈변도는 0.043~0.071로 나타나, 예열처리하지 않은 당근의 갈변도 0.066과 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

4) 재수화율

표 26은 마이크로파 예열처리 조건에 따른 원적외선 건조 후 재수화율 변화를 나타낸 것이다.

표 26에 나타난 바와 같이 원적외선 건조 후 당근의 재수화율은 마이크로파 예열처리 시간 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28분에 따라 4.013~3.950g-water/g-dry matter로 예열시간이 길수록 재수화율이 작아지는 경향을 보였고, 예열처리하지 않은 당근의 재수화율 4.167g-water/g-dry matter 보다 작은 것으로 나타났다. 이것은 마이크로파 예열온도가 높아 당근 조직의 열손상이 있기 때문이라고 판단된다. 또한 황등(1994)이 낮은 온도에서 건조한 것이 더 높은 환원율을 보인다는 연구결과와 유사하였다.

5) 에너지소비량

표 26에 마이크로파 예열처리 후 원적외선 건조에 따른 에너지 소비량을 나타내었다.

표 26에서 보는 바와 같이 마이크로파 예열한 당근의 원적외선 건조시 소요된 에너지 소비량은 3520~3445kJ/kg-water로 예열시간이 길수록 감소하는 것으로 나타났고, 마이크로파로 예열처리하지 않은 무의 원적외선 건조시 에너지 소비량 3555kJ/kg-water보다 작은 것으로 나타났다. 이것은 마이크로파 예열한 무의 건조속도가 빨라 건조시간이 단축되었기 때문이라고 판단된다.

표 25 당근 예열조건에 따른 원적외선 건조시간

마이크로파 예열시간 (min)	함수율(%)			원적외선 건조시간(min)		
	소	중	대	소	중	대
0	15.1	14.6	15.2	175	210	240
4	15.2	14.0	15.9	170	200	230
8	14.3	15.8	14.1	165	190	220
12	15.9	15.5	16.2	150	185	200
16	14.3	15.2	15.3	140	170	180
20	14.1	14.3	15.7	135	160	165
24	15.1	14.7	15.3	130	155	150
28	15.1	14.4	15.9	115	130	145

표 26 예열조건에 따른 원적외선 건조 후 대편 당근의 품질변화

마이크로파 예열시간 (min)	카로틴함량 ($\mu\text{g/g-dry matter}$)	갈변도 (O.D.)	재수화율 (g-water/ g-dry matter)	에너지 소비량 (kJ/kg-water)
0	478.4	0.066	4.167	3027
4	463.3	0.043	4.013	3001
8	496.9	0.068	4.328	2930
12	467.2	0.059	4.302	2863
16	480.7	0.069	4.157	2832
20	480.8	0.078	3.911	2798
24	482.8	0.067	4.001	2782
28	481.2	0.071	3.950	2736

다. 마이크로파 예열장치에 의한 무의 예열특성

1) 함수율 변화

그림 79는 마이크로파 예열시간에 따른 무의 예열조건별 함수율 변화를 나타낸 것이다.

그림 79에서 알 수 있듯이 마이크로파 예열 시간이 길수록 무의 함수율이 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 예열시간이 15분인 경우 초기함수율(94%)보다 3% 정도, 예열 시간이 20분인 경우는 5% 내외 감소하였고, 예열 시간이 25, 30분인 경우는 각각 8, 10%정도 감소하였고. 중량변화로 보면 529, 637g/kg 정도 감소하는 것으로 나타났다. 한편 중, 소편 당근은 대편 당근보다 함수율 감소 폭이 큰 것으로 나타나 세절한 당근의 예열속도는 크기에 반비례함을 알 수 있다.

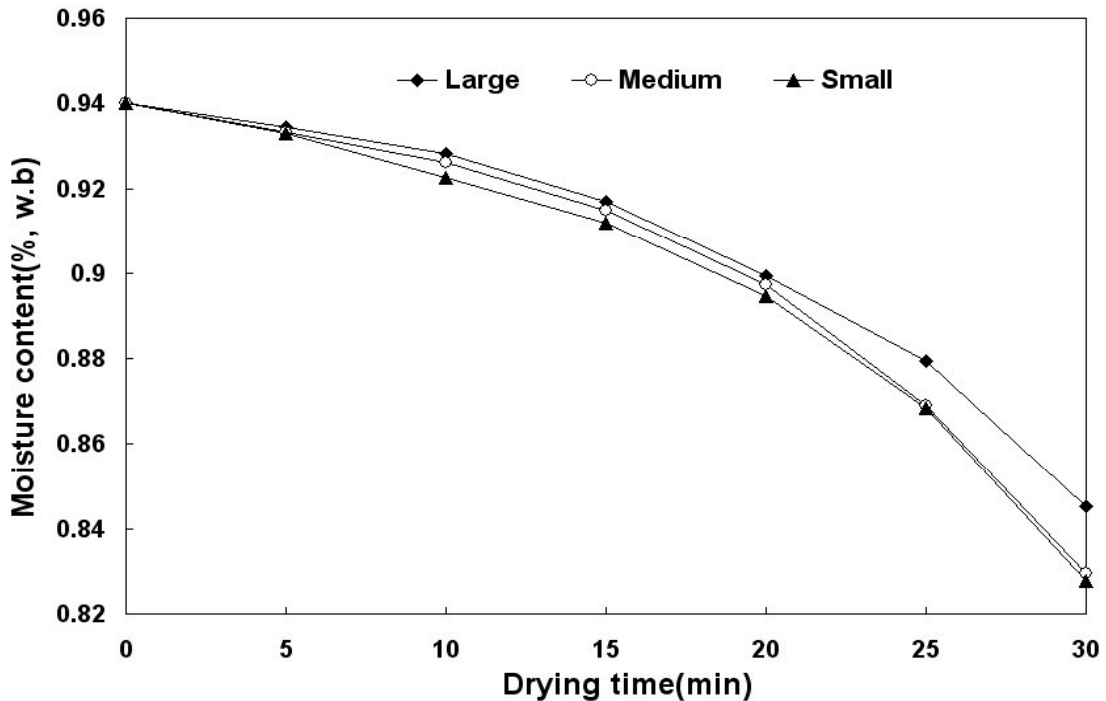


그림 79. 마이크로파 예열시간에 따른 무의 함수율 변화

2) 무의 색도변화

표 27은 마이크로파 예열시간에 따른 무의 색도 변화를 나타낸 것이다.

표 27에서 보듯이 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 L(명도)값은 약간 감소하는 경향을 보였고, a(적색도)값은 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 b(황색도)값은 증가하는 것으로 나타나 전체 색도변화를 나타내는 색차 값은 세절한 무의 크기와는 관계없이 예열시간이 길수록 증가하는 것으로 나타났다.

표 27 마이크로파 예열시간에 따른 색도 변화

시료종류	예열시간 (minute)	L(명도)	a(적색도)	b(황색도)	ΔE(색차)	
건조 전	-	50.238	-1.587	2.67		
	대	5	50.238	-1.452	2.451	1.389
		10	48.875	-1.972	2.373	3.462
		15	46.504	-1.690	2.196	3.261
		20	42.106	-1.551	2.352	4.648
		25	45.597	-1.772	3.113	4.892
		30	47.766	-1.623	4.446	5.890
중	5	53.942	-1.541	2.908	2.657	
	10	53.697	-1.446	2.834	2.406	
	15	49.677	-1.692	2.798	1.678	
	20	48.321	-1.695	3.581	3.217	
	25	47.958	-1.683	3.293	3.461	
	30	48.114	-1.632	3.611	3.400	
소	5	51.026	-1.423	3.092	0.877	
	10	50.267	-1.584	3.268	3.926	
	15	47.146	-1.446	3.101	4.123	
	20	46.382	-1.503	3.294	3.425	
	25	47.658	-1.611	3.971	3.412	
	30	47.872	-1.687	4.366	4.565	

3) 무의 강도변화

그림 80은 마이크로파 예열시간에 따른 무의 강도 변화를 나타낸 것이다.

그림 80에서 보는바와 같이 당근의 예열 초기부터 25분까지의 평균 강도는 무의 세질 크기 대, 중, 소편에서 각각 3.29, 2.69, 2.28kg/cm² 감소하는 것으로 나타났고, 대편이 중편과 소편보다 감소량이 큰 것으로 나타났다. 또한 예열 25분~30분의 강도는 무의 세질 크기 대, 중, 소편에 따라 각각 3.57, 1.95, 0.23kg/cm² 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 예열시간 25분까지 강도가 감소하는 것은 예열로 인하여 조직이 연화되었기 때문이고, 예열시간 25분 이후부터 강도가 증가하는 것은 예열시간이 길어질수록 함수율이 감소함에 따라 조직이 경화되었기 때문으로 판단된다.

4) 에너지 소비량

그림 81은 무의 세질 크기별 마이크로파 예열시간에 따른 에너지 소비량을 비교한 것이다.

그림 81에서 보는바와 같이 무의 에너지 소비량은 무의 세질 크기 대, 중, 소편에서 각각 1.45~1.92, 1.43~1.75, 1.48~1.74 kWh/kg-water로 나타났고, 대편이 중편 및 소편보다 예열 에너지 소비량이 다소 큰 것으로 나타났다. 또한 모든 세질 크기 조건에서 20~30분 예열의 경우 수분 1kg을 제거하는데 필요한 에너지 소비량은 1.43~1.58kWh/kg-water로 나타났고, 다른 예열시간대 보다 약간 작은 것으로 나타났다.

이와 같이 예열 초기부터 15분까지 수분 1kg을 제거하는데 필요한 마이크로파 에너지 소비량이 큰 이유는 마이크로파 에너지가 무 내부온도를 상승시키기 위해 현열로 사용되었기 때문이다. 또한 예열시간 15분 후에서 수분 1kg을 제거하는데 필요한 마이크로파 에너지 소비량이 적은 이유는 마이크로파 에너지가 무 건조를 위한 잠열로 사용되어 수분 증발량이 많았기 때문으로 판단된다. 한편 무의 경우 수분함량이 당근보다 높기 때문에 앞서 서술한 당근의 에너지 소비량의 변화와 달리 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

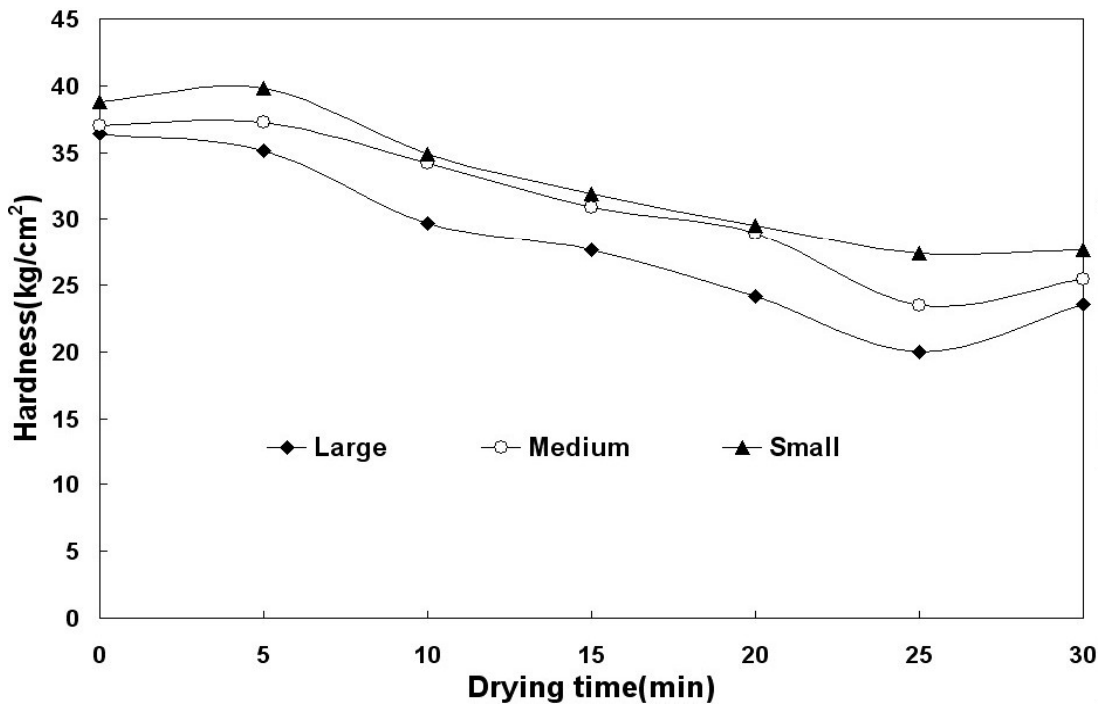


그림 80. 마이크로파 예열시간에 따른 무의 세질 크기별 강도 변화

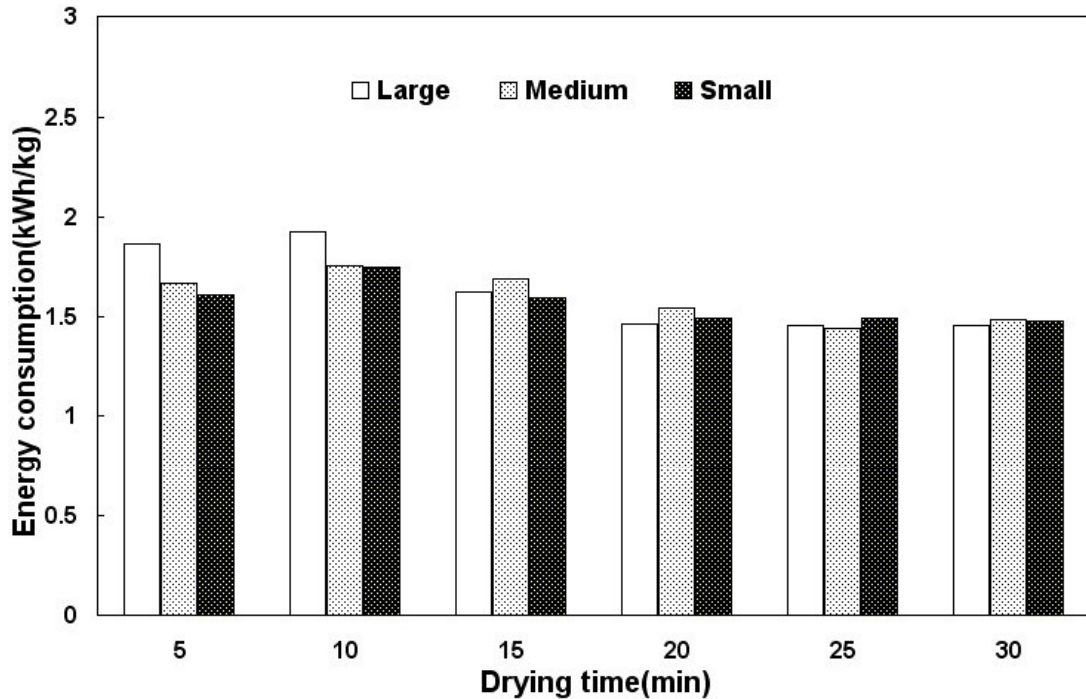


그림 81. 마이크로파 예열시간에 따른 무의 세질 크기별 에너지 소비량

라. 마이크로파 예열 후 무의 원적외선 건조 및 품질특성

1) 원적외선 건조특성

표 28은 건조온도 70℃ 송풍속도 0.8m/s의 조건에서 마이크로파 예열시간에 따른 무의 원적외선 건조에 소요되는 시간 및 최종 함수율을 나타낸 것이다.

표 28에서 보는바와 같이 건조 후 함수율은 모든 건조조건에서 약 14.2~15.9%정도로 나타났다. 세질 크기가 대편, 중편, 소편무의 건조시간은 각각 225~160분, 200~135분, 190~105분 정도로 예열시간이 길수록 건조시간이 감소하는 것으로 나타났다. 한편 마이크로파로 30분 예열한 무의 건조시간은 세질 크기가 대, 중, 소에서 각각 160, 135, 105분 소요되어 예열처리하지 않은 무의 건조시간 230, 210, 195분보다 90~70분 단축되는 것으로 나타났다. 이것은 마이크로파 예열처리한 무의 경우 원적외선 건조 전 짧은 시간에 수분이 많이 감소되었고, 품온이 예열하지 않은 무보다 높았기 때문이라고 판단된다.

2) 갈변도 변화

표 29에는 마이크로파 예열처리 건조에 따른 원적외선 무의 갈변도 변화를 나타낸 것이다.

표 29에서 알 수 있듯이 마이크로파 예열한 무의 갈변도는 예열시간에 따라 0.74~1.53로 예열시간이 길수록 갈변도가 작아지는 경향을 나타내었고, 예열 10분 후의 건조무가 예열처리하지 않은 무의 갈변도 0.130보다 작은 것으로 나타났다. 이것은 무의 마이크로파 브랜칭 효과로

무 표면의 여러 가지 산화효소를 불활성화시켜 건조과정에서 산화반응이 적게 일어났기 때문이라고 판단된다.

3) 색차 변화

표 29에 마이크로파 예열처리 후 원적외선 건조에 따른 ΔE (색차) 변화를 나타내었다.

표 29에서 보는바와 같이 ΔE (색차)는 마이크로파 예열시간에 따른 28.25~29.36로 나타나, 예열처리하지 않은 무의 ΔE 값은 29.33보다 약간 작은 것으로 나타났지만, 육안상으로는 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

4) 재수화율 변화

표 29에는 마이크로파 예열처리 후 원적외선 건조에 따른 재수화율 변화를 나타낸 것이다.

표 29에 나타낸 바와 같이 원적외선 건조 후 무의 재수화율은 마이크로파 예열처리 시간 5, 10, 15, 20, 25, 30분에서 4.412~4.059g-water/g-dry matter로 예열시간이 길수록 재수화율이 작아지는 경향을 나타냈다. 한편 예열처리하지 않은 무의 재수화율은 4.419g-water/g-dry matter로 마이크로파 예열처리한 무보다 작은 것으로 나타났다. 이것은 무를 마이크로파 예열할 경우 온도가 높아 무의 조직 손상이 있기 때문이라고 판단된다.

5) 에너지소비량

표 29에 마이크로파 예열처리 후 원적외선 건조에 따른 에너지 소비량을 나타내었다.

표 29에서 보는 바와 같이 마이크로파 예열한 무의 원적외선 건조시 소요된 에너지 소비량은 3001~2736kJ/kg-water로 예열시간이 길수록 감소하는 것으로 나타났다. 또한 마이크로파로 예열처리하지 않은 당근의 원적외선 건조시 에너지 소비량 3027kJ/kg-water보다 0.8~9.6% 적은 것으로 나타났다. 이것은 마이크로파 예열한 당근의 건조속도가 빨라 건조시간이 단축되었기 때문이라고 판단된다.

표 28 마이크로 예열 시간에 따른 무의 원적외선 건조시간

항목 마이크로파 예열시간(min)	함수율(%)			원적외선 건조시간(min)		
	대	중	소	대	중	소
0	15.2	14.9	14.8	195	210	230
5	14.3	15.0	14.9	190	200	220
10	15.6	14.9	14.2	170	185	205
15	15.9	15.1	14.8	145	170	185
20	14.3	15.1	15.2	130	160	170
25	14.9	14.9	14.7	115	140	165
30	15.6	14.8	14.7	105	135	160

표 29 마이크로 예열 시간에 따른 원적외선 건조 무의 품질특성

마이크로파 예열시간(min)	갈변도(O.D.)	색차(ΔE)	재수화율 (g-water/ g-dry matter)	에너지 소비량 (kJ/kg-water)
0	0.130	29.33	4.419	3555
5	0.129	28.25	4.412	3520
10	0.153	29.36	4.106	3503
15	0.121	28.15	4.066	3472
20	0.074	27.36	4.098	3457
25	0.095	28.26	4.042	3452
30	0.110	28.67	4.059	3445

5. 요약 및 결론

가. 마이크로파 예열장치에 의한 당근의 예열특성

- 1) 마이크로파 예열 28분 후 당근의 함수율은 세절 크기 대, 중, 소편에서 각각 80.7, 80.5, 80.4%로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 2) ΔE (색차)값은 칼날 크기와 관계없이 예열 시간에 따라 약간 증가하는 것으로 나타났다. 또한 예열 20분 이상인 경우는 당근 표면에 탄화되는 부분이 점차 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 강도는 마이크로파 예열 초기부터 20분까지 감소하는 경향을 보였고, 20분후에는 약간 증가하는 것으로 나타났다.
- 4) 당근의 초기 카로틴함량은 $515.52\mu\text{g/g}$ 이었고, 4~28분의 예열시간에 따라 $514.34\sim 498.09\mu\text{g/g}$ 로 나타나 예열시간이 길수록 감소하는 경향을 보였다.
- 5) 당근의 에너지 소비량은 당근의 세절 크기 대, 중, 소편에서 각각 $1.67\sim 1.94$, $1.51\sim 1.92$, $1.45\sim 1.79\text{ kWh/kg-water}$ 로 나타났고, 대편이 중편 및 소편보다 예열 에너지 소비량이 다소 큰 것으로 나타났다.

나. 마이크로파 예열 후 당근의 원적외선 건조 및 품질특성

- 1) 28분 마이크로파 예열 후 당근의 건조시간은 당근세절 크기 대, 중, 소에서 각각 145, 130, 115분 소요되어 예열처리하지 않은 당근보다 90~60분정도 단축되는 것으로 나타났다.
- 2) 마이크로파 예열한 당근의 카로틴함량은 $463.3\sim 496.9\mu\text{g/g}$ 로 원적외선 건조 후 마이크로파 예열시간에 따른 당근의 카로틴함량 변화는 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 3) 원적외선 건조 후 마이크로파 예열 시간에 따른 건조 당근의 갈변도는 $0.043\sim 0.071$ 로 나타나, 예열처리하지 않은 당근의 갈변도 0.066 과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 4) 원적외선 건조 후 당근의 재수화율은 마이크로파 예열처리 시간 4~28분에서 $4.013\sim 3.950\text{g-water/g-dry matter}$ 로 예열시간이 길수록 재수화율이 작아지는 경향을 보였고, 예열처리하지 않은 당근의 재수화율 $4.167\text{g-water/g-dry matter}$ 보다 작은 것으로 나타났다.
- 5) 에너지 소비량은 마이크로파 예열한 당근의 경우 $3520\sim 3445\text{kJ/kg-water}$ 로 예열시간이 길수록 감소하는 것으로 나타났고, 마이크로파로 예열처리하지 않은 당근의 원적외선 건조시 에너지 소비량 3555kJ/kg-water 보다 $0.9\sim 3.1\%$ 작은 것으로 나타났다.

다. 마이크로파 예열장치에 의한 무의 건조특성

- 1) 마이크로파 예열 30분 후 대, 중, 소편무의 함수율은 각각 84.5, 82.9, 82.7%로 중과 소편이 대편보다 감소 폭이 큼 것으로 나타났다.

- 2) 색차 값은 세절한 무의 크기와는 무관한 것으로 나타났고, 예열시간이 길수록 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 강도는 예열 초기부터 25분까지 감소하는 경향을 보였고, 25분후에는 약간 증가하는 것으로 나타내었다.
- 4) 무의 에너지 소비량은 무의 세절 크기 대, 중, 소편에서 각각 1.45~1.92, 1.43~1.75, 1.48~1.74 kWh/kg-water로 나타났고, 대편이 중편 및 소편보다 예열 에너지 소비량이 다소 큰 것으로 나타났다.

라. 마이크로파 예열 후 무의 원적외선 건조 및 품질특성

- 1) 30분 마이크로파 예열 후 당근의 건조시간은 당근세절 크기 대, 중, 소에서 각각 160, 135, 105분으로 나타나 예열하지 않은 무의 건조시간 230, 210, 195분보다 90~70분정도 단축되는 것으로 나타났다.
- 2) 갈변도는 마이크로파 예열한 무의 경우 예열시간에 따라 0.74~1.53로 예열시간이 길수록 갈변도가 작아지는 경향을 나타내었다. 예열 10분 이상의 건조 무 갈변도가 예열처리하지 않은 무의 갈변도보다 작은 것으로 나타났다.
- 3) ΔE (색차)는 마이크로파 예열시간 5~30분에서 28.25~29.36로 나타나, 예열처리하지 않은 무의 ΔE 값은 29.33보다 약간 작은 것으로 나타났지만, 육안상으로는 큰 판별하기 어려운 것으로 나타났다.
- 4) 원적외선 건조 후 무의 재수화율은 마이크로파 예열처리 시간 5~30분서 4.412~4.059g-water/g-dry matter로 예열시간이 길수록 재수화율이 작아지는 경향을 나타내었다. 한편 예열처리하지 않은 무의 재수화율 4.419g-water/g-dry matter로 예열처리한 무보다 작은 것으로 나타났다.
- 5) 에너지 소비량은 마이크로파 예열한 무의 경우 3001~2736kJ/kg-water로 예열시간이 길수록 감소하는 것으로 나타났고, 마이크로파로 예열처리하지 않은 무의 원적외선 건조시 에너지 소비량 3027kJ/kg-water보다 작은 것으로 나타났다.(수정)

제 6 절 무, 당근의 포장시스템

1. 포장시스템

그림 82는 포장기의 개략도를 나타낸 것이다.

포장기는 열에 의해서 접착이 가능한 비닐을 연속식 예열 방식으로 접착하는 기계이며, 주로 이송 컨베이어, 접착부, 냉각부 및 구동 모터 등으로 구성되었다.

포장시 회전하는 쉘링밴드 투입구에 제품이 충전된 비닐팩을 접착 선에 맞추어 넣으면 비닐팩은 컨베이어벨트를 타고 이송되면서 접착이 자동으로 이루어지게 된다.

접착속도는 최대 15m/분으로 벨트의 속도 조절이 가능하다. 쉘링히터는 2개로 맞물려 있으며, 쉘링히터로 접착된 부분의 폭은 5mm 이다. 접착시 쉘링히터의 열판 온도는 0~390℃로 온도의 조절이 가능하다.

냉각 방식은 강제 공랭식이고, 소비전력은 1020W, 전류는 3.0A 기계중량은 128.5kg 이다. 이동 중 비닐팩의 윗부분은 폴리맥스 벨트에 의해 쉘링 벨트로 이송시켜 준다. 쉘링벨트로 이동된 비닐봉지는 쉘링히터의 열판에 의해 접착되며, 접착된 비닐봉지는 냉각바로 이송 되어 냉각된다. 접착·냉각된 비닐봉지는 컨베이어 벨트를 따라 배출된다.

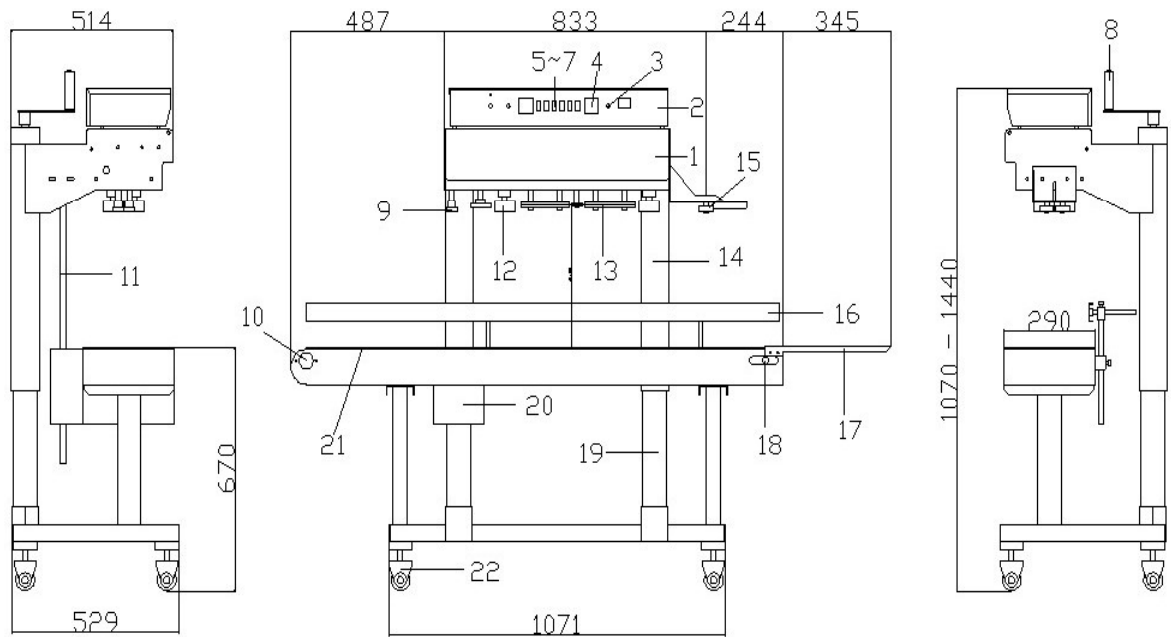


그림 82. 포장기 개략도

표 30 포장 시스템의 각부 명칭, 제원 및 사양

1	메인커버	12	폴리맥스 벨트(5M950)
2	컨트롤 박스(CONTROL BOX)	13	씰링 밴드(W20 ×L1140mm)
3	작업 속도조절기(WORKING SPEED)	14	파이프 B
4	접착 온도조절기(SEALING TEMP. CONTROLLER)	15	폴리맥tm 벨트 폴리(A)
5	메인 모터(MAIN MOTOR)	16	BAG GUIDE
6	접착히터(SEALING)	17	작업대
7	냉각(COOLING)	18	컨베이어 벨트 텐션 조절 볼트
8	접착 헤드 높이 조절 핸들	19	파이프A
9	폴리맥스 벨트 폴리(B)	20	메인 모터 & 커버
10	SB203베어링 & PFL 캡	21	컨베이어 벨트
11	STRETCH SHAFT	22	캐스터



(a) 제품포장 시스템



(b) 제품포장 전경
사진 14. 포장기

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연구개발목표의 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달성도(%)
공기방울을 이용한 1차 세척시스템 설계·제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1차 세척시스템 설계 제작 ○ 공기방울을 이용하여 무, 당근의 표면 흙 세척 ○ 처리량 200~250kg/시간 	100
세척수 재활용장치 설계·제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2차 세척수를 1차 세척에서 재활용 장치 성능평가 	98
2차 세척 장치 설계·제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 회전형 브러시 및 금강사 롤을 이용한 세척기 설계 제작 ○ 효과 성능분석 	100
농산물 세절 장치 설계·제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세절 장치 제작 ○ 적정 세절방법 확립 	100
마이크로파를 이용한 예열장치 설계 제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 예열 장치 제작 ○ 예열 후 품질평가에 의한 적정 예열조건 확립 	100
벨트 컨베이어식 원적외선 건조기 설계제작 (가로(1000mm)×세로(6000mm)×높이(1500mm)×5단)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 건조기 설계·제작 가로(1190mm)×세로(6560mm)×높이(1427mm)×5단, 	100
건조특성 및 품질 평가 후 세절 농산물 적정 건조조건 확립	<ul style="list-style-type: none"> ○ 피건조물 건조시간, 에너지 소비량 분석, 품질 평가 ○ 적정 건조조건 확립 	100
포장장치 제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 포장기 제작, 저장특성 분석 	95
전 공정 연속처리 실증 실험 및 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 단위 기계의 연계성 및 처리속도 보완 ○ 연속 생산 적용시험 	80

2. 관련분야 기여도

가. 에너지 및 생산 단가 절감과 경쟁력 확보

현재 우리나라 산업체에서 건조용으로 사용되는 에너지는 33%로서 이중 화석연료의 의존도가 약 83%로 매우 높은 실정이다. 특히 농산물에 사용되는 에너지원은 화석연료를 연소시켜서 얻어지는 열량을 이용한 열풍 건조가 대부분이다. 이러한 화석연료는 유가 상승이나 유류 파동이 일어나면 생산자에게는 생산 단가 상승이라는 큰 부담을 가중시킨다.

본 연구에서 개발한 고품질 건농산물 연속가공처리시스템 중 마이크로파 예열장치 및 고효율 상향송풍방식 컨베이어 원적외선 건조시스템은 화석연료가 아닌 청정의 전기 에너지를 이용하는 장치로서, 기존의 열풍 건조기를 사용하는 경우보다 에너지를 약 30%내외 절감할 수 있기 때문에 생산단가를 절감할 수 있고, 또한 그에 따른 경쟁력을 확보할 수 있다. 한편, 농산물 세척단계에서 발생하는 폐수를 재활용하는 할 수 있는 세척수 재활용시스템을 개발하였다. 이와 같은 세척수 재순환 장치를 이용함으로써 2750kg/day의 무나 당근을 세척할 경우 2365ℓ/day의 물을 재이용하여 사용할 수 있기 때문에 생산단가 절감 및 가격 경쟁력에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 고품질 건조제품 생산

국내 농산물 및 식품건조는 주로 열풍과 자연건조 방법이 이용되고 있고, 건조속도와 품질 면에서 다소 문제점이 제기되고 있으며, 건조 효율이 낮은 단점이 있다. 특히 열풍건조는 고온에서 장시간 피건조물을 건조하므로 품질열화가 발생하고, 자연 건조의 경우 자연의 상태에서 건조하기 때문에 일기불순과 부패로 인해 생산량이 감소하고, 세균 및 해충 등의 위생상 문제가 있다. 그러나 본 연구에서 개발된 고품질 건농산물 연속가공처리시스템의 경우 열풍건조나 자연건조에서 나타나는 품질 열화 및 위생상의 문제점을 해결하여 생산자에게 있어서 고품질 건조제품을 생산하여 고부가가치의 소득으로 경제성을 높일 수 있고, 소비자에게 고품질의 농산물 및 건조식품을 공급할 수 있을 것으로 판단된다.

다. 건조제품의 다양성 및 노동력 절감

본 연구에서 개발된 고품질 건농산물 연속가공처리시스템의 경우 농산물, 수산물, 식품, 한약재 등 여러 가지 제품을 세척부터 건조까지 일련의 과정을 통하여 완제품을 생산할 수 있기 때문에 농산물 건조제품을 대량으로 생산하는 건조공장, 농협 등의 집단 건조 가공시설 및 작목반 단위의 소규모 건조가공 처리장 등에서 초기 투자비를 적게 들여 다양한 제품을 생산할 수 있는 장점이 있다. 또한 고품질 건농산물 연속가공처리시스템은 모든 가공 공정의 자동화로 건조 완제품을 생산할 수 있기 때문에 노동력의 절감 및 이에 따른 생산단가를 낮출 수 있다.

라. 환경문제

현재 국제사회에서 부각되고 있는 지구온난화 방지협약과 환경보호조약에 따른 공해물질 배출 제한에 의해 화석연료의 사용을 제한하고 있기 때문에 환경보존 및 청정에너지를 이용한 건조기술 개발이 요구되고 있다.

본 고품질 건농산물 연속가공처리시스템은 청정에너지인 전기에너지만을 사용하여 농산물을 건조가공처리 할 수 있기 때문에 CO₂ 및 기타 환경오염 물질이 전혀 배출되지 않는 친환경적인 시스템으로서 기존의 화석연료를 사용한 농산물 및 식품의 열풍 건조시 발생하는 환경오염 문제를 해결할 수 있다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 연구개발결과의 활용방안

☞ 산업체

- (1) 설계 및 운영기술의 노하우를 협동연구기관으로부터 인수
 - 연구 종료 후 본 연구에 참여한 연구인력을 (주) 부전의 연구원으로 채용
 - 고품질 건농산물 연속가공처리시스템의 설계도 보완 수정
- (2) 기술 이전을 통해 고품질 건농산물 연속가공처리시스템을 상품화
 - 제품의 문제점 및 디자인 보완 제작
 - 환경 및 농수산 제품 관련 정부 보조사업 추진
 - 상품화 완료(수정 및 보완기간 약 1년 정도 예상)
- (3) 시험 판매
 - 농협 또는 영농법인을 선정하고 후불제 계약을 한 후 시운전하면서 성공하면 대금 회수
- (4) 해외 시장 수출
 - 일본 (주)쇼텐(현재 한국서 폐기물을 이용한 에너지 재활용기계를 한국에서 OEM으로 제작하여 일본시장에 판매하는 회사)을 통해 일본시장 진출

☞ 학계

- (1) 연구결과를 국내외 학회지에 발표
- (2) 고품질 건농산물 연속가공처리시스템을 강의교재 및 강의용으로 활용
- (3) 농업분야 이외의 산업분야로 응용연구 추진

☞ 기타

- (1) 산업재산권 출원 2건

2. 기대성과

가. 기술적 측면

- (가) 고부가치 및 고품질 건농산물 생산 가공 기술 확립.
- (나) 고품질 건농산물 연속가공처리시스템 개발로 인하여 식품으로서 농산물을 위생적이고 효율적으로 대량 처리할 수 있는 기술이 확보됨.
- (다) 무, 당근, 감자, 양배추, 애호박, 양파 등은 분해 속도가 느려 산지 폐기가 곤란한 과잉 농산물의 고품질 연속가공처리시스템을 개발함에 따라 폐기되는 과잉 농산물의 상품

화가 가능.

- (라) 화석연료를 대체할 수 있는 친환경적인 전기에너지를 이용한 과잉 농산물 재활용 처리 기술이 확립됨.

나. 경제적·산업적 측면

- (가) 소비자에게 안전한 국내산 건농산물 공급 가능

고품질 건농산물 연속가공처리시스템의 개발로 인하여 외국에서 수입되는 건농산물을 대체할 수 있어 외화 절약이 가능하고, 소비자에게 고품질의 안전한 국내산 건농산물을 공급 가능.

- (나) 고품질 건농산물 연속가공처리시스템을 개발함에 따라 과잉 경작으로 인한 농가의 경제적 피해를 줄일 수 있는 뿐만 아니라, 정부와 농협의 보전금도 절감할 수 있음.

- (다) 산지 폐기가 곤란한 과잉 농산물의 고품질 연속가공처리시스템을 개발함에 따라 산지 후작문제가 해결됨으로 연작으로 인한 생산성 저하방지 등 경제적 파급효과가 기대됨.

- (라) 국내 시장의 활성화:

개발된 고품질 건농산물 연속가공처리시스템의 국내시장 규모는 2010년도에 15억원(5셋트×3억원/셋트)으로 예상되며, 이후 매년 20%정도 증가가 예상되어 5년 후인 2015년의 시장규모는 30~40억원 정도로 사업화 가능.

- (마) 수출 가능:

해외시장 규모는 2012년도에 9억원(3셋트×3억원/셋트)정도로 예상되며, 이후 매년 10% 증가가 예상되며 5년 후인 2017년의 해외시장규모는 15~20억원 정도로 예상됨.

- (바) 식품 및 농산물 가공 산업 발전에 이바지함.

제 6 장 참고문헌

1. 김환주. 1999. 遠赤外線 및 熱風에 의한 穡기의 乾燥 性能比較 研究, 건국대학교 대학원 석사학위 논문.
2. 김종덕. 1999. 회귀분석, 부산시, 세종출판사.
3. 노정근·김희준·리혁·한충수·조성찬. 2006. “원적외선 면상발열체에 의한 온실 난방시스템의 열특성 분석,” 한국농업기계학회지, 31(6), 529-534.
4. 리혁. 2006. 정치식 원적외선 건조기를 이용한 산삼배양근의 건조특성, 충북대학교 대학원, 석사학위논문.
5. 류근태·박미연·배정설·조남철. 1999. 식품미생물학, 서울, 삼광출판사.
6. 리혁·한충수·김유호·최종민·강태환·조성찬. 2005. “원적외선 방사체를 이용한 발효녹차의 건조특성,” 한국산업식품공학회지, 9(3), 171-176.
7. 한문희, 안영수, 김시경, 서두원, 양준환, 1996. 원적외선 히터를 설치한 열풍건조로의 건조효과에 관한 연구 에너지 R&D. 18(1)
8. 한충수, 조성찬, 최대섭, 伊藤和彦. 1995. 원적외선 방사열의 예열, 건조 특성. 제1회 한·일 원적외선심포지움. 한·일 원적외선응용연구회
9. 安藤實, 1998. 원적외선 훈연건조에 의한 삼나무목재 건조법. 제4회 한·일 원적외선 심포지움. 한·일 원적외선응용연구회.
10. 최병민. 1992. 人蔘의 平衡含水率 및 乾燥모형, 전북대학교 대학원 박사학위 논문.
11. 西村誠, 1996. 예열건조에서 원적외선 효과의 예측. 제2회 한·일 원적외선심포지움. 한·일 원적외선응용연구회.
12. Henry L. Hackforth 저, 和田正信, 中野朝安 공역. 1974. 적외선공학. 근대과학사.
13. 상희선외 3인. 1999. 적외선을 이용한 피혁건조·탈취효과에 관한 연구. 제5회 한·일 원적외선심포지움. 한·일 원적외선응용연구회.
14. 한충수, 박완서 역. 1995. 원적외선 예열의 이론과 실제. 원적외선응용연구소
15. 한충수, 연광석, 조성찬, 김민호, 강태환, 이해철. 2003. 컨베이어 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯의 건조특성. 한국농업기계학회 2003년 동계 학술대회 논문집. 8(1):309~314.
16. 이혁, 연광석, 한충수, 조성찬, 김민호. 2004. 상향 송풍방식 컨베이어 원적외선 건조기를 이용한 농산물·식품의 건조특성(I)-표고버섯의 건조특성 및 품질 평가-. 한국농업기계학회 2004년 하계 학술대회 논문집. 9(2):294~297.

17. 임중환, 황금택. 1995. 산채의 건조특성에 관한 연구. 한국식품과학회지. 27:358-364.
18. 윤광섭, 최용희: 삼투처리한 당근의 건조특성. 한국식품과학회지, 28, 1126 - 1134 (1996)
19. 황금택, 임중환. 1994. 각종 전처리 및 건조방법이 건조채소류의 품질에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 26: 805-813.
20. 황금택·임중환. 1994. “각종 전처리 및 건조 방법이 건조 채소류의 품질에 미치는 영향,” 한국식품과학회지, 26(6), 805-813.
21. 홍남연. 1999. 표고버섯의 건조 및 품질변화 모델, 성균관대학교 대학원 석사논문.
22. 伊藤和彦 외 1인 1994. 遠赤外線による農産物の乾燥(I). 遠赤外線の加熱基礎特性, 農業施設 25(1)
23. 伊藤和彦 외 1인 1995. 遠赤外線による農産物の乾燥(II). ネギの乾燥特性, 農業施設 26(2)
24. 岩淺潔. 1996. 원적외선 기술과 응용. 차이의 건조
25. Della, E. S. and P. E. Mcdowell. 1965. “Comparison of beta Carotene Content of Dried Carrots Prepared by Three Dehydration Processes,” Food Technol, 19(5), 1597-1606.
26. Kim, K, H. and Chun, J. K. 1975. The effect of hot air heating of red pepper on the quality, Korean J. Food Sci. Technol, 7, 69.
27. Kim, D. Y., Rhee, C. O. and Shin, S.C. 1982. Color changes of red pepper by heating and milling method, J. Korean Agric. Chem. Soc, 25, 1.
28. Keum, D. H., J. G. Ro, S. R. Hong, K. M. Park, H. Kim and J. W. Han. 2003. “Drying Equation of Sarcodon Aspratus,” Proceeding of the Korean Society for Agricultural and Machinery 2003 Winter Conference, 8(1): 354-359.
29. Cho, R. K., Hong, J. H., Kim, H. K. and Park, M. H. 1990. Rapid quality evaluation of dried red pepper by near-infrared spectroscopy, Korean J. Food Sci. Technol, 22, 6.
30. Lee, D. S. and Kim, K, H. 1989. Carotenoid destruction and nonenzymatic browning red pepper during as function of average moisture content and temperature, Korean J. Food Sci. Technol, 21, 425.
31. Lee, D. S. and Park, M. H. 1989. Quality optimization in red pepper heating, Korean J. Food Sci. Technol, 21, 655.
32. Lewis, W. K.(1921), “The rate of drying of solid materials,” Ind. Engng. Chem., 13, 427-432.
33. Hoffman, P. G., Lego, M. C. and Galetto, G. 1983. Separation and quantitation of red pepper major heat principle by reverse-phase HPLC, J. Agric. Food Chem, 13.
34. Henderson, S. M. and R. L. Perry. 1976. “Agricultural Process Engineering,” AVI Publishing Company. Inc.

35. Hendel, C. E., G. F. Bailey and D. H. Taylor. 1950. "Measurement of Non-enzymatic Browning of Dehydrated Vegetable During Storage," *Food Technol*, 14(3), 344-356.
36. Page, C.(1949), "Factors influencing the maximum rate of drying shelled corn in layers," M. S. Thesis, Purdue Univ., W. Lafayette, IN.
37. Thompson, T. L. 1967. "Predicted performances and optimal designs of convection grain dryers," Ph. D. thesis, Purdue Univ., W. Lafayette, IN.

