

(뒷면)

(앞면)

발간등록번호
11-1543000-001027-01

5cm
↓

고부가가치 식품가공 산업을 위한
밀리미터파 적용기술 연구
(Study of millimeter wave application
on food processing industry for
production of high value)

한국식품연구원

↑
9cm
↓

농림축산식품부

↑
4cm
↓

고부가가치 식품가공 산업을 위한 밀리미터파 적용기술 연구

농림축산식품부

↑
3cm
↓

주 의
(편집순서 8)

(15 포인트 고딕체열)

↑
6cm
↓

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “고부가가치 식품가공 산업을 위한 밀리미터과 적용기술 연구”의 보고서로 제출합니다.

2015 년 11 월 18 일

주관연구기관명 : 한국식품연구원

주관연구책임자 : 금 준 석

세부연구책임자 : 금 준 석

연 구 원 : 김 성 수

연 구 원 : 박 종 대

연 구 원 : 최 현 옥

연 구 원 : 성 정 민

연 구 원 : 서 동 호

연 구 원 : 이 현 유

연 구 원 : 김 미 선

요 약 문

I. 제 목

고부가가치 식품가공 산업을 위한 밀리미터파 적용기술 연구

II. 연구성과 목표 대비 실적

본 연구에서는 특허 출원 7건, 특허 등록 7건, 논문(SCI) 8건을 목표로 과제를 수행하였으며 목표대비 실적은 특허 출원 5건, 논문(SCI) 3건을 달성하였음.

III. 연구개발의 목적 및 필요성

밀리미터파(Millimeter wave ; MMW)는 30~300GHz 영역대의 주파수를 말하며 주파수에 따라 세분화하여 명칭을 달리하고 있다. 최근에는 밀리미터파를 바이오마이크로파(biomicrowave)로도 불리고 있다. 식품의 마이크로파 응용은 300MHz와 300GHz사이의 주파수대에서 발생하는 무수히 짧은 파장의 주파수가 식품 물질에 흡수되면서 진동열이 발생하는 원리에서 비롯되었고 이미 많은 부분이 산업화 되었다. 이 때 허용된 주파수는 사용 목적에 따라서 각 나라마다 조금씩 다르며 주로 $915 \pm 25\text{MHz}$ 와 $2450 \pm 50\text{MHz}$ 를 많이 사용하고 있다. 주파수는 산업계, 과학계, 의료계(industrial, scientific, and medical USE-ISM frequency)를 위해 Federal Communications Commission(FCC)에 의해 배정된다. 그 동안 세계적으로 수많은 응용기기가 식품용으로 개발, 보급되어 왔으나 밀리미터파를 이용한 식품 가공의 측면에서는 아직도 연구하고, 개척해야 할 영역이 수없이 남아 있기 때문에 식품의 밀리미터파 분야는 감히 초기단계라 해도 과언이 아니다. 그만큼 미래의 식품 분야에서 밀리미터파 응용에 거는 기대는 크다고 하겠다. 특히 식품공학 분야에서 마이크로파 가공에 응용될 수 있는 단위 조각의 영역은 넓은 편이며 이들 영역은 단독 또는 혼합적으로 작용하여 밀리미터파 가공을 더욱 유용성 있게 만들어 주는 것이다.

식품 저장 시 채소류는 과일류보다 강한 oxidase, phenolase, peroxidase 등을 함유하여 저장 중 효소의 작용으로 산화, 변색되어 영양이 저하되기 쉬우며 채소류 저장 중 껍질에 상처가 생겨 부패균(Rhizopusnigricans)이 침입하여 부식부식해지는 연부현상과 흑반균(Ceratostomellafimbriata)에 의해 내부에 검은 반점이 생기는 부패가 진행된다. 채소류를 냉장 보관하면 호흡작용이 약해지므로 오래 저장할 수 있을 것 같으나 부패균은 냉장 온도에서도 잘 번식하여 연부 등 부패가 진행된다. 그러나 MMW를 이용하면 채소류에 함유되어 있는 변색, 영양소 파괴의 주요 인자인 산화효소를 특이적으로 불활성 또는 파괴하여 장기 보관 중에도 신선함과 영양소를 보존하고 채소류에 오염되어 있는 부패균의 생육을 저해 또는 살균하여 장시간 저장해도 싱싱함을 그대로 유지 가능하다. 또한 광합성에 관여하는 효소를 활성화하여 냉장 보관 중에도 갓 수확한 채소류의 맛을 유지할 수 있다.

미생물에 대하여 생물학적 활성을 보이는 파장 영역은 4.11 mm ~ 8.34 mm이며, 밀리미터

파에 노출된 미생물의 생물학적 특성 변화는 유사성과 차이성을 보이고 있다. 광합성/비광합성 미생물에 밀리미터파를 조사할 경우 미생물의 성장과 바이오매스 생산의 촉진, 공진 효과, 방사변수-주로 파장-에 따른 생물학적 효과, 최적 파장 변경 시 성장 억제 또는 정지; 조사 대상물에 흡수된 미량의 에너지; 세포막 투과성 변화; 생물학적 활성물질의 합성 변화; 미생물의 종 및 속, 배양에 따른 활성 파장 공명 피크의 차이, 즉 밀리미터파 노출에 대한 분류학상 민감도; 돌연변이원성의 기여; 계대배양 시 촉진 효과의 연장 등이 보고되었다.

따라서 본 연구에서는 millimeter wave를 활용하여 식품(과채류)의 생리활성 및 저장성 증진 기술 연구, 식품군에 따른 MMW 유전 특성 확립하고자 한다. 또한 제품 개발을 위한 유효균주의 선택적 고효율 발효제품 개발을 위한 MMW 가공기술을 연구하고 식품용 millimeter wave system 개발을 하고자 한다.

IV. 연구개발 내용 및 범위

- 밀리미터파(MMW)의 주요 식품공정별(살균, 발효, 저장) 가공기술 연구
 - Millimeter wave를 이용한 저온살균 및 생산 공정 개발
 - 유효균주의 선택적 고효율 발효제품 개발을 위한 밀리미터 가공기술 연구
 - Millimeter wave를 활용한 식품의 생리활성 및 저장성 증진 기술 연구
 - Millimeter wave를 이용한 고효율 식품 신선저장 및 유통시스템 연구
 - 포장 후 밀리미터파 식품가공기술
 - 식품군에 따른 식품적용 특성 확립 기술
- 식품군에 따른 millimeter wave 유전 특성 및 구성성분에 따른 유전 특성 확립
 - 온도, 두께, 용량 및 형태 등에 따른 millimeter wave의 효과
 - 단백질, 지방, 탄수화물, 수분함량에 따른 millimeter wave 효과 및 유전특성 확립
- 식품산업용 millimeter wave system(MMWS) 개발
 - 식품산업용 millimeter wave 발생 장치 및 조절 프로그램 개발
 - 주요 공정별 MMWS 최적화
 - 식품산업용 millimeter wave system(MMWS) 개발
 - Millimeter wave system 적용이 가능한 식품 공정의 설정 및 경제성 분석
 - 주요 식품공정별 Millimeter wave system 확립 및 산업화 연구

V. 연구개발결과

1. Millimeter wave(MMW)처리를 이용한 쌀가루의 살균특성을 측정한 결과, MMW 살균처리 공정은 시료에 오염된 초기 미생물 수가 10^3 CFU/g 수준이하로 낮은 경우 단시간에 살균 처리하면 마이크로파로 살균처리 한 것보다 미생물수 감소에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 쌀가루의 수분함량을 5~6%범위와 11~12%범위로 설정하여 MMW를 주파수 50 GHz, 70 GHz, 100 GHz로 조사하였을 때 총균수는 50 GHz 주파수 영역대에서 총균수가 유의적

으로 감소하였다.

2. MMW를 이용하기 위해 살균 영역대 주파수 설정함에 있어 곡류 가루인 쌀가루와 대두가루, 녹두가루를 이용하여 살균특성을 측정한 결과, 밀리미터파를 조사하였을 때 일정 주파수 대를 벗어나게 되면 살균력이 감소하는 영역대가 존재하므로 이에 50 GHz 영역대가 최적영역대로 나타났다. 3가지 균주(*Campylobacter jejuni*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*)를 쌀가루에 오염시킨 후 MMW를 주파수 50 GHz로 0, 30, 60, 90, 120sec 처리한 효과는 모든 균에 대하여 유의적으로 차이를 나타내었으며 포장지의 열에 대한 내구성을 고려하여 90초를 밀리미터파의 최적 조사시간으로 선정하였다.
3. 쌀가루에 MMW를 조사하여 각각의 네 가지 포장방법(일반포장, 진공포장, 질소가스포장 및 이산화탄소가스포장)으로 포장하여 저장하였을 때 저장기간에 따른 쌀가루의 총균수를 측정한 결과, 이산화탄소가스로 포장한 경우 총균수가 안전한 수준인 것으로 나타났다. 저장기간의 증가에 따라 생육된 균의 양과는 일정한 상관관계를 보이지 않았다.
4. 수분함량에 따른 유전체 특성 변화는 유전상수 및 유전손실은 수분함량 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었으나 시료의 종류에 따라 측정 주파수 대역에 따라 약간씩 다른 특성을 나타내었다. 주파수 70 GHz, 100GHz 에서의 유전율과 유전상수는 산물밀도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. (삭제) 산물밀도 영향이 수분측정 장치의 정확도에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. 시료의 온도변화에 따른 유전특성은 각 함수율 조건에서 유전상수가 시료의 온도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다.
5. Millimeter wave를 딸기(베리류), 양송이버섯(버섯류), 양상추(엽채류)에 각각의 최적 주파수 54.47GHz 및 53GHz로 0, 30, 60, 300, 900, 1800s로 조사하여 4℃에서 7일 동안 저장하면서 품질특성을 측정한 결과, 딸기, 양송이버섯, 양상추 모두 MMW 조사에 의한 대장균군, 효모 및 곰팡이 그리고 저온균의 증식이 억제되는 경향을 나타내었다. 또한 딸기의 물러짐 지연, 양송이버섯의 갓 개열이 지연되고, 양상추의 생체중량 변화율이 낮게 나타나 MMW 조사가 딸기, 양송이버섯, 양상추의 저장성 향상 및 품질유지에 좋은 영향을 미치는 것으로 나타났다.
6. MMW를 주파수 54.67GHz로 감자(근채류)에 0, 30, 60, 300, 900, 1800s로 조사하여 4℃에서 28일(4주) 동안 저장하면서 품질특성을 측정한 결과, 감자의 미생물 증식 억제 및 조직감을 향상 시키는 것으로 나타났다. MMW를 주파수 54.47GHz로 현미(곡류)에 0, 30, 60, 300, 600, 1800s 조사하여 발아시킨 후 발아현미의 품질특성을 측정한 결과, MMW에 의해 발아율이 증가하였으며 생리활성 물질이 증가하는 것으로 나타났다.
7. 유효균주의 선택적 고효율 발효제품 개발을 위해 2종의 균주(*Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum*)에 millimeter wave를 주파수 60GHz, 70GHz로 조사하여 균주의 성장분석을 실시한 결과, 균주의 성장에 MMW가 유의적으로 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

8. 전통발효식품(장류), 유제품, 발효주의 유효균주에 대한 영향 평가로 청국장, 요구르트, 막걸리를 제조하는 전 과정에 MMW를 주파수 60GHz, 70GHz로 조사하여 제품의 품질특성을 측정하였다. 청국장의 품질특성 측정 결과, 점질물의 함량은 주파수 60GHz로 조사한 청국장에서 높게 나타났으며, 아미노태 질소 함량 및 아미노산 함량은 주파수 70GHz로 조사한 청국장에서 유의적으로 높았다.
9. 3종류의 starter(ABY-3, YF-L812, YC-X11)를 각각 접종하여 발효 기간 동안 MMW를 조사하여 제조한 요구르트의 품질특성을 측정한 결과, 3가지 starter와 MMW의 조사에 따른 요구르트의 산도는 0.51~0.61%의 범위로 적정범위보다 낮은 편이었다. 요구르트의 syneresis와 점도는 MMW의 조사 유무 및 주파수에 의한 영향을 나타내지 않았다. YC-X11 starter를 이용한 요구르트의 젖산균이 높게 나타났으며 70GHz(M70) 요구르트의 젖산균이 유의적으로 낮게 나타났다. ABY-3 starter를 접종한 요구르트의 총 아미노산의 함량은 millimeter wave가 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. YF-L812 starter를 접종한 요구르트의 총 아미노산 함량은 주파수 70GHz로 조사한 요구르트에서 유의적으로 높게 나타났으나 YC-X11 starter를 접종한 요구르트는 70GHz로 조사한 요구르트에서 낮은 함량을 나타내었다.
10. 막걸리의 제조는 2단 담금법으로 30℃에서 5일 동안 발효하였으며, 발효기간 동안 Millimeter wave의 주파수를 60GHz(M60) 및 70GHz(M70)로 조사하여 품질특성을 측정한 결과, 산도는 발효기간 동안 MMW 조사 및 주파수에 의한 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 유기산 함량은 발효 종료인 5일째에는 70GHz로 조사한 막걸리에서 아미노산이 높게 나타났다. 알코올 함량은 최종발효시 MMW 조사 막걸리가 control에 비해 높게 나타났으며 MMW 주파수에 따른 유의차를 나타내었다. 당도는 M60의 당도는 control과 M70에 비해 2단 담금 직후를 제외하고 유의적으로 높은 당함량을 나타내었다. 환원당 함량은 M60이 유의적으로 높은 당함량을 나타내었다. 발효기간동안 막걸리의 총균수 및 효모균수는 MMW 조사 유무 및 주파수에 따른 유의차를 나타내지 않았다.

VI. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구성과

○ 논문개재 성과

논문명 : Effect of millimeter waves on germination of brown rice

학술지 : Food science and Biotechnology

저자 : Dong-Ho Seo, Jun-Seok Kum, Mi-Seon Kim, Hyun-Wook Choi, Jung-Min Sung, Jong-Dae Park.

논문명 : Effect of millimeter waves on quality characteristics of Cheonggukjang

논문명 : Effect of millimeter waves on quality characteristics of yogurt

○ 특허출원

출원 번호 : 10-2014-0100780

발명자 성명 : 금준석 이현유 박종대 김영봉 김미선 김성수

발명의 명칭 : 밀리미터파를 이용하여 전처리된 베리류 및 이의 전처리 방법

출원 번호 : 10-2014-0100781

발명자 성명 : 금준석 이현유 박종대 김영봉 김미선 김성수

발명의 명칭 : 밀리미터파를 이용하여 전처리된 엽채류 및 이의 전처리 방법

출원 번호 : 10-2014-0100782

발명자 성명 : 금준석 이현유 박종대 김영봉 김미선 김성수

발명의 명칭 : 밀리미터파를 이용하여 전처리된 근채류 및 이의 전처리 방법

출원 번호 : 10-2014-0100783

발명자 성명 : 금준석 이현유 박종대 김영봉 김미선 김성수

발명의 명칭 : 밀리미터파를 이용하여 전처리된 벼싯류 및 이의 전처리 방법

출원 번호 : 10-2014-0100784

발명자 성명 : 금준석 이현유 박종대 김영봉 김미선 김성수

발명의 명칭 : 밀리미터파를 이용하여 전처리된 곡물류 및 이의 전처리 방법

2. 성과활용 계획

○ 기술적 측면

- Millimeter wave 원천기술의 개발은 microwave와 같이 식품산업 전반에 걸쳐 기술적 파급효과를 미칠 것으로 예상.
- 식품기계 및 전파 발생 기술 등과 융복합화되어 동반발전을 유도할 수 있음
- Millimeter wave를 적용한 건조, 살균, 추출, 발효 기술들은 신규성이 매우 높아 논문 및 특허 등 지적재산권의 확보가 용이함

○ 경제적·산업적 측면

- 에너지 사용량이 적은 millimeter wave는 에너지 소비가 많은 식품 가공공정을 개선할 수 있으며, 고품질화가 가능해 국내 식품산업의 고부가가치를 창출 할 수 있음
- Millimeter wave의 저변 확대는 식품산업에 원료를 제공하는 농수축산업에도 널리 활용될 것이며, 국내 농식품산업 전반에 걸쳐 지대한 파급효과를 나타낼 것임

SUMMARY

I. Research Title

Millimeter wave application technique research for value addition food processing industry.

II. Goal achievements Industrial research and purpose preparing result.

Goal achievement of this research is to applicate seven patents, to register seven patents and to publish eight SCI papers. Achievement against goal reaches five patent applications and three SCI paper.

III. The purpose and necessity of the research

Millimeter wave refers to the wave that their frequency domains are within 30~300GHz and its names are broken down according to the frequency. Recently, Millimeter waves are also called as biomicrowave. Their application of food originated from short wavelength that are absorbed by food material which creates the vibration-heat. At this time, permitted frequency is different for each country according to their usage purpose and mainly 915 25MHz and 2450 50MHz are frequently used. The frequency is assigned by FCC for industrial, scientific, and medical communities. Throughout the years, numerous application devices are developed for food and their supplies, but in therms of food processing by millimeter wave still need more research and many areas are remains to be developed and due to these reasons, it is not too much to say that millimeter wave is still in the early stage. In the future, the expectation of millimeter wave application in the food sector will be larger. In particular, areas of food engineering can be applied to the millimeter wave processing of food technology field is wide and its wide range will be more useful for millimeter wave processing as single or combination unit.

When storing food, the vegetables contains stronger enzymes that are stronger than fruits such as oxidase, phenolase, peroxidase and oxidation by the enzyme during storage is likely to degrade the nutrients and during the vegetable storage, it can be invaded by Rhizopusinigricans through the peel's scratch which causes softening and it also leads to corruption by Ceratosomellafimbriata. When keeping the vegetables in fridge, it seems it can be stored longer due to the weaker respiration but bacterias are also breeding well in fridge's temperature which leads to soft and corruption. However, when MMW is used,

oxidation enzyme, which is the main factor of discoloration and nutrient's destruction, can be specifically altered or disrupted so that its not only makes the vegetables more fresh and preserve the nutrients but also inhibits the growth of the vegetables bacteria. In result, freshness can be obtained even with long time storage. In addition, by activating the enzymes involved in photosynthesis, the freshness and nutrients can be maintained. The wave length of millimeter wave for activation on micro is 4.11mm ~ 8.34mm.

IV. Research Methods and Scope

- Development of Application Technique for Food processing process
 - Millimeter wave technology for sterilization
 - Millimeter wave technology for storage and extension of shelf life
 - Millimeter wave technology for fermentation

- Establishment of dielectric properties on food composition
 - Effect of millimeter wave on temperature, thickness, weight and shape of food
 - Effect of millimeter wave on amount of protein, lipid, carbohydrate and water content of food
 - Dielectric properties on frequency of millimeter wave

- Millimeter wave system construction of food processing
 - Development of equipment for millimeter wave generator and control program
 - Optimum condition of millimeter wave system on food processing process
 - Development of millimeter wave system and industrialization

V. Research Results

1. In Millimeter wave (MMW) applied rice flour, less than 10^3 CFU/g contaminated microbes were detected, indicating MMW is more effective than microwave in sterilization. When different frequencies (50GHz,70GHz,100GHz) of MMW were applied to two rice flour groups (the one of 5 to 6 percent in water content and the other of 11 to 12 percent), 50GHz turned out to be most effective in reducing the total number of bacteria.

2. To find the right MMW frequency for sterilization, rice flour, soybean flour and 녹두 flour were tested. The result showed that exposure to certain MMW frequency ranges rather increases the number of bacteria while exposure to 50 GHz reduces bacteria in flours. Further tests with 50 GHz application are needed. When 50 GHz of MMW were applied to three rice flour groups, each contaminated with *Campylobacterjejuni*,

Staphylococcus aureus and *Bacillus cereus*, for different amount of time (0, 30, 60, 90 and 120 seconds), each bacterium represented significantly different responses. Time wise, 90seconds seemed optimal, considering thermal resistance of packaging.

3. In order to find the relation between a storage period and bacteria proliferation depending on packaging, MMW treated rice flour was tested in four different packaging (general, vacuum, nitrogen gas, carbon dioxide). The result indicated that bacteria proliferation was least active in carbon dioxide packaging where the number bacteria was at the level that is consider to be safe. Still, no clear evidence was found to conclude that the longer the storage period, the more bacteria grow.
4. When it comes to the relation between dielectric properties and water content, it is safe to say that dielectric constant and dielectric loss factor increase as the water content goes up, even though that may be not the case depending on what flours and frequencies are used. When treated with 70 GHz and 100 GHz of MMW, dielectric properties and dielectric constant displayed a positive correlation with density. As for the relations between dielectric properties and sample temperature, a positive correlation was found between dielectric constant and sample temperature.
5. To the optimal MMW frequency of 54.47 GHz and 53 GHz, mushrooms and cabbages were exposed for different amount of time (0, 30, 60, 300, 900, 1800 seconds) and stored at four degrees Celsius for seven days. In all MMW treated samples, the proliferation of E-coli, yeast, mold and micro appeared to be contained. At the same time, the MMW exposure helped strawberries last longer without mushiness, delayed cracks of a champignon mushroom, kept cabbages' weight stable, all indicating that the MMW exposure enables the subjects last longer as well as their product quality.
6. With MMW at 54.67 GHz, Potatoes were treated for different amount of time (0, 30, 60, 300, 900, 1800 seconds) and stored at four degrees Celsius for 28 days (four weeks). As a result, subdued microbe proliferation and improved texture properties were observed with time. Meanwhile, to 54.67 GHz of MMW, brown rice was exposed for different amount of time (0, 30, 60, 300, 900, 1800 seconds) before germination. The result demonstrated that the MMW exposure enhanced germination rates and increased physiological activity materials.
7. In order to find the relation between MMW exposure and bacteria growth in an effort to develop selective high efficient fermenteted products of active bacteria, MMW at 60 GHz and 70 GHz was applied to two different bacteria's (*Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum*). The result showed that the MMW exposure did not have a significant effect on bacteria's growth.

8. To figure out what effect MMW exposure has on traditional fermented foods, dairy products and fermented beverage, 60 GHz and 70 GHz of MMW was applied to the whole production process of bean pasted soup prepared with ground fermented soybeans yogurt and rice wine. As a result, the bean pasted soup treated with 60 GHz of MMW displayed the highest paste while the bean paste soup treated with 70 GHz of MMW displayed significantly higher amino nitrate nitrogen and amino acid.
9. MMW was applied to three groups of yogurt, each treated with different starters (ABY-3, YF-L812 and YC-X11) during fermentation. The treated yogurt showed 0.51 percent to 0.61 percent of acidity, lower than appropriate levels. The MMW exposure at any frequency did not seem to have any relation with syneresis and viscosity of the yogurt. The YC-X11 applied group showed the highest level of lactic acid while the M70 group showed a significantly lower level of lactic acid. The ABY-3 applied group did not show any change in amino acid content. As for the YF-L812 treated group, when exposed to 70 GHz of MMW, significant amounts of amino acid were found. By contrast, for the YC-X11 applied group, when exposed to 70 GHz of MMW, lower levels of amino acid were found.
10. MMW at 60 GHz(M60) and 70 GHz(M70) was applied to rice wine during fermentation at 30 degrees Celsius for five days by using two step fermentation. Acidity remained quite the same not being affected by MMW exposure at any frequency. The organic acid content went up on the last fifth day in the 70 GHz treated group. The alcohol content was higher in the MMW applied group than in the control group at the final stage of fermentation while different frequencies resulted in different contents. Sugar was significantly higher in the M60 group than in the M60 and control group, except right after two step fermentation two step fermentation. A significantly higher reducing sugar content was found in the M60 group. During fermentation, MMW exposure at any frequency did not affect the total number of bacteria and yeast fungus.

CONTENTS

Chapter 1. Introductions of Research

I. Need for Research and Development

Chapter 2. Trends of Domestic and International Technical Developments

Chapter 3. Contents and Results of Research and Development

I. Millimeter wave system Construction of Sterilization and Development of Application Technique for Food Processing process

II. Millimeter wave system Construction of Storage and Development of Application Technique for Food Processing process

III. Millimeter wave system Construction of Fermentation and Development of Application Technique for Food Processing process

Chapter 4. Goal achievements and contributions to related area

I. Goal achievements and contributions

II. Main evaluation points of research

Chapter 5. Significant Research outcomes and future utilizations

I. Research outcomes

II. Future utilization plans of current research outcomes

Chapter 6. Oversee Scientific Technology Information Collected in the procedures Research and Development

Chapter 7. References cited

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 및 성과목표.....	12
제 1절 연구개발의 필요성.....	12
제 2 장 국내외 기술개발 현황.....	15
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과.....	17
제 1절 살균 Millimeter Wave System 구축 및 식품가공 공정에 대한 적용기술 개발.....	17
1. Millimeter wave(MMW)의 살균가공기술.....	23
2. 식품군에 따른 Millimeter wave(MMW)의 유전 특성.....	29
3. 식품살균용 Millimeter wave system (MMWS) 개발.....	34
제 2절 저장 Millimeter Wave System 구축 및 식품가공 공정에 대한 적용기술 개발.....	44
1. Millimeter wave(MMW)를 활용한 식품의 생리활성 및 저장성 증진 기술 연구.....	45
가. 채소류 및 곡류에 따른 최적 주파수 검색.....	45
나. 최적 주파수로 조사된 식품의 품질 조건 확립.....	46
2. Millimeter wave(MMW)의 기능성 증진 및 저장 가공기술 연구.....	51
3. 식품군에 따른 Millimeter wave 유전 특성 확립.....	82
4. 식품 저장용 Millimeter Wave System(MMWS) 개발.....	86
제 3절 발효 Millimeter Wave System 구축 및 식품가공 공정에 대한 적용기술 개발.....	97
1. Millimeter wave(MMW)의 발효 가공기술 연구.....	99
가. 유효균주의 선택적 고효율 발효제품 개발을 위한 밀리미터 가공기술 연구.....	99
나. 전통발효식품(장류), 발효주, 유제품의 유효균주에 대한 영향 평가.....	101
2. 주파수 영역에 따른 전열 물성 특성시험.....	126
3. 발효식품용 Millimeter wave system(MMWS) 개발.....	129
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도.....	132
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획.....	133
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보.....	135
제 7 장 참고문헌.....	140

[별첨 1] 특허, 논문, 제품(시장) 분석보고서

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구개발의 필요성

(1) Millimeter wave(밀리미터파)의 개념 및 중요성

Millimeter wave(밀리미터파)는 주파수 중 40~320 GHz 대역으로서 밀리미터(mm) 단위의 파장을 갖는 전자기파를 의미한다. 그 동안 군사용 및 통신용으로 널리 사용되었으며, 출입국시 공항 투시용 카메라 등에 이용되고 있다. 최근 microwave(전자레인지)에 비해 생물학적으로 안전하고 파장의 직진성이 좋아 의료용 및 농수축산업에 적용을 시도하고 있는 실정이다.

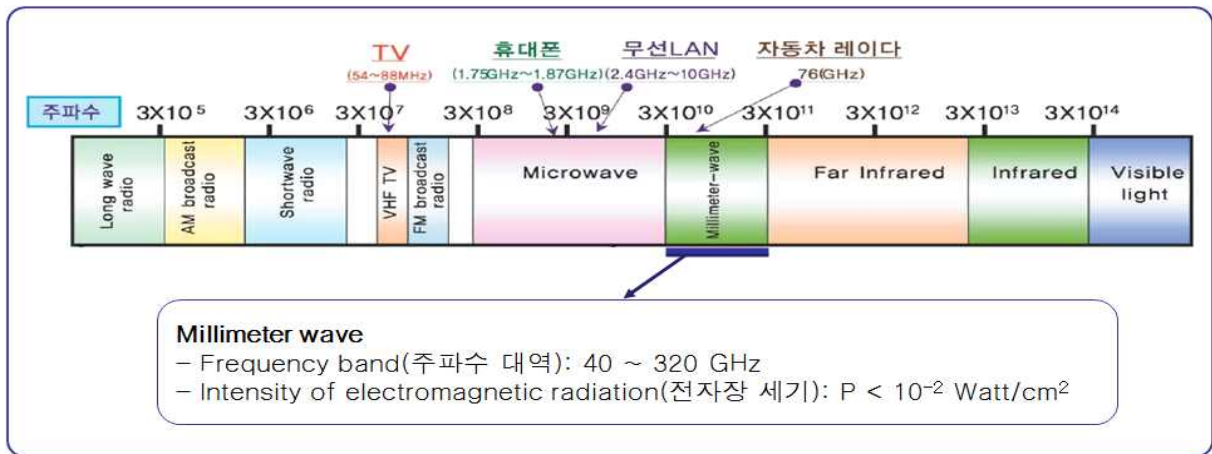


Fig.1. Millimeter wave(밀리미터파)의 주파수 영역 비교

(2) 과학·기술적 중요성

기존의 산업적으로 활용되고 있는 주파수들은 정부의 승인 하에 특정용도로만 사용될 수 있으나 57~64 GHz의 millimeter wave는 어떤 용도로든지 사용이 가능한 ‘용도미지정대역(FACS)’으로 허용되어 있다. Millimeter wave는 밀리미터(mm) 단위로 파장이 아주 작기 때문에 발생장치의 소형 경량화가 가능하며, 저전력(수십mW 단위)을 사용함으로 인체에 미치는 영향이 적어 안전하다. 군사 및 통신용에서 시작된 millimeter wave는 최근 들어 의료분야(암 진단 및 치료), 농수축산업(공장형 농장, 사육, 양식) 등에 활용되고 있다. 아직은 millimeter wave에 대한 개념이나 인식이 부족하고 이를 식품산업에 이용하고자 하는 시도는 세계적으로 이루어지지 않고 있다. Microwave(마이크로파)는 지난 30여년간 전자레인지 및 가공기술을 통해 식품산업에 지대한 영향을 미쳐왔듯이 millimeter wave 원천기술 또한 식품과학기술 측면에서 매우 선도적인 융복합 기술이다.

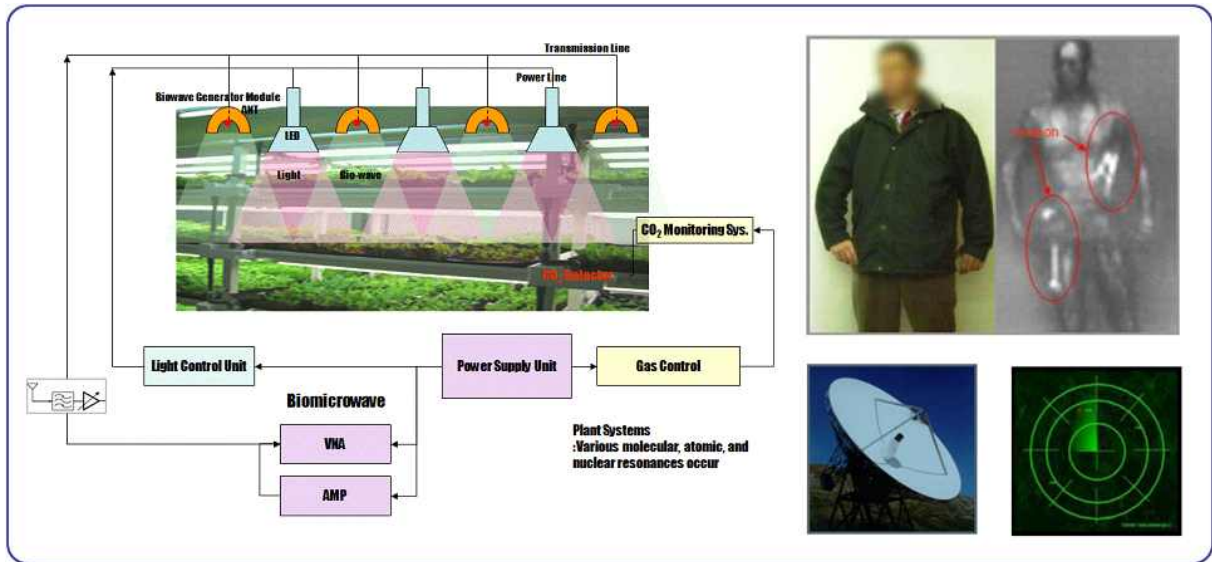


Fig. 2. Millimeter wave(밀리미터파)의 활용 사례

(3) 경제·산업적 중요성

Microwave는 잘 알려진 휴대폰 및 인터넷통신에 사용되는 파장 대역으로 이를 이용한 전자 레인지(2.4 GHz) 및 가공장비는 식품산업에 있어서 매우 중요한 비중을 차지하고 있다. Millimeter wave는 식품을 고르게 가열할 수 있으며, 인체에 대한 영향이 적고 온도를 세밀하게 조절할 수 있기 때문에 식품산업에 있어서 활용도가 매우 높을 것으로 기대된다. 최근 미국의 유명 군사장비 개발기업인 Raytheon은 군사용으로 개발한 millimeter wave 기술을 이용한 식품 저온살균 공정을 개발하였으며, 저에너지로 효과적인 살균이 가능하다고 보고하였다. 아직 세계적으로 millimeter wave를 이용한 식품가공기술 개발은 거의 전무한 상태로 본 기술을 선점하고 산업적으로 활용하는 것이 매우 시급하다.

식품산업은 가열, 살균, 저장, 추출 등 에너지 사용이 많은 공정들이 많아 저에너지 가공기술은 식품가공기술의 중요한 패러다임이 되고 있다. Millimeter wave는 에너지 소비량이 적고 세밀한 온도조절이 가능하며, 특히 식품성분의 파괴를 최소화하면서 선택적인 미생물의 살균 및 증식과 유효성분 추출이 가능하여 녹색성장 시대에 부합하는 유용한 식품가공기술이다. Millimeter wave 원천기술을 확보하고 식품산업에 적용하기 위해서는 식품과학기술 외에도 millimeter wave 발생 및 장치 기술이 융복합화가 되어야 하며, 이는 식품산업을 비롯한 관련 산업들에 큰 파급효과를 가진다. 이러한 millimeter wave 기술이 식품산업에 활용도가 높아질 것으로 예상되고 있어 이를 선점할 수 있도록 시기적절한 연구사업의 수행이 매우 중요한 요인이다.

(4) 식품산업적 중요성

○ 국내 식품산업의 저탄소 녹색성장 촉진

우리나라 정부는 저탄소 녹색성장을 새로운 국가비전으로 제시하고 농림수산식품부도 녹색

성장을 위한 국가식품시스템 구축을 중시하고 있다. 전통적으로 식품산업은 가열, 살균, 추출 등의 공정으로 인해 에너지 소비가 높은 산업분야로 저에너지 식품가공기술 개발이 절실한 실정이다. Millimeter wave는 에너지 소비가 낮으며, 효율적인 식품가공이 가능하여 국내 식품산업의 저탄소 녹색성장을 촉진하는 기폭제가 될 수 있다.

○ 세계 선도적인 식품가공 원천기술의 확보

국내 식품 및 식품장치산업은 그 동안 독자적인 원천기술의 확보보다는 해외의 선진기술을 도입하거나 응용하는 경우가 대부분이었다. 아직 미개척 분야인 millimeter wave를 식품산업에 적용할 수 있는 독자적인 원천기술의 확보가 시급하여 이는 국내 식품과학기술 발전에 기여한다. Millimeter wave(MMW) 추출 방법은 기존의 추출방법에 비해 추출시간의 단축, 사용되는 추출용매양의 감소 및 추출수율을 높일 수 있는 추출 방법으로, 공정이 단순하고 cost가 낮은 강력한 추출방법이다. MMW는 종래의 저장 수단에 비해 처리시간이 짧고 식품의 열손상 및 과도한 가열 등에 의한 영양성분 및 비영양 성분(색소 및 향미 성분)의 파괴 방지가 가능하며 부패성 및 병원성 미생물의 살균 및 멸균이 가능한 저장 수단임. 또한 살균에 대한 안전성과 재현성이 입증되면 MMW에 의한 살균처리공정 설계는 일반적인 대량생산 공정으로 활용 될 수 있다.

최근에 과채류에 대한 임상학적인 연구결과들에 의해 과채류에 들어있는 다양한 phytochemical들이 암, 고혈압, 당뇨, 염증 등 다양한 질병에 긍정적인 효과가 있는 것으로 보고되면서 과채류에 들어있는 새로운 기능성 물질의 발굴뿐만 아니라 기존에 알려진 기능성 물질의 함량을 증가시키는 연구가 꾸준히 진행되고 있음. 식물 스트레스 조절인자로서는 식물호르몬, elicitors, environmental stress 등이 있는데 MMW는 environmental stress로서 작용하여 식물재배에 있어 식물의 발아, 생장, 저항성, 생산성 증가를 일으킨다는 보고가 있음. 따라서 MMW를 이용한 생물학적 활성물질 생산 효율성 증가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

○ 식품가공기술의 융복합화 및 산업적 파급효과 극대화

현재 널리 이용되고 있는 microwave(전자레인지에 사용되는 파장)처럼 millimeter wave 또한 식품가공기술을 중심으로 전파 생성(마그네트론) 기술 등의 관련 기술의 융복합화가 필연적으로 이루어진다. 본 연구사업 수행을 통해 개발되는 원천기술들은 식품산업 뿐만 아니라 전자레인지와 같은 가정용 조리기구, 냉장고 등 관련 산업에도 적용될 수 있어 매우 큰 산업적 파급효과를 지녔다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 생산 및 시장현황

가. 국내 제품생산 및 시장 현황

일반적으로 식품의 조리법은 식품의 외부에서 열을 가하여 열전도에 의해 식품의 내부까지 가열, 조리하는 방법을 이용하고 있다. 그런데 일반적으로 식품은 열전도율이 낮기 때문에 조리시간을 짧은 경우 음식의 표면은 과열되어 조직이 파괴되고 타서 영양분이 손실되고, 음식의 중심부는 충분히 조리되지 못하는 문제가 있다.

식품산업에 널리 이용되고 있는 microwave 처리는 피조사체를 이온화시키지 않으면서 온도 상승효과만을 가져오는 비전이 방사선의 일종이다. 마이크로파가 발생하는 전자레인지에 이용한 가열조리는 유리, 도자기, 플라스틱과 같이 전자파를 통과시키기 쉬운 용기에 식품을 넣고 가열하면 용기를 통과한 마이크로파가 식품의 내부부터 가열되어 상기와 같은 문제점이 발생하지 않는다. 따라서 전자레인지를 이용한 식품의 조리는 효율이 높고 조리시간의 단축과 조리시간 동안 다른 일을 할 수 있을 뿐만 아니라, 식품의 비타민 잔존율도 높아지는 이점이 있어 전자레인지로 이용할 수 있는 요리가 계속적으로 증가하고 있다. 이와 같은 방법으로 millimeter waves의 방법으로 마이크로파 보다 더 작은 파장만을 식품에 이용하는 방법이 대두되고 있다. 이는 좀 더 적은 양으로도 충분히 식품에 적용시킬 수가 있어 적은 손실과 살균작용까지 나타내는 방법이다.

자료 : 식품음료신문(2012)

2) 국외 제품생산 및 시장 현황

2012년 미국 신제품 출시 성공을 위한 핵심은 제품의 성능을 증명해 소비자들을 설득하는 것이 관건이며, 편리성을 향상시킨 제품이 주종을 이루는 제품들이 많이 출시되고 있다. 대형 식품 제조업체인 크래프트사는 집에서 편리하고 손쉽게 먹을 수 있으며 요리시간을 절약할 수 있는 제품을 개발해 출시했다. 또 한 통밀과 유기농 식품 등 중-고급품을 전문적으로 생산 판매하는 Kashi사는 빠르고 편리하면서 건강하게 먹을 수 있는 제품을 출시했다. 이는 그 동안 경쟁업체들이 냉동식품을 판매로 확대에 어려움을 겪는 것에 대응해 건강하게 먹을 수 있는 냉동식품을 출시한 것으로 출시한 냉동식품은 특수포장 되어있어 봉지 그대로 마이크로웨이브에 넣어 5분 정도 가열한 후 즉시 먹을 수 있는 제품으로 맛과 영양의 균형을 맞춘 제품이다. 그리고 간식도 마찬가지로 마이크로웨이브를 이용한 편의식품이 출시되고 있는 실정이다. 이처럼 마이크로웨이브를 이용한 편의식품이 고급화 다양화 되어가고 있으며, 이와 비슷한 맥락으로 millimeter waves의 방법에 대한 연구가 진행 중이다.

자료 : 식품음료신문(2012)

Millimeter waves방법에 대한 소비자 인식 전환 및 신수요 창출을 위한 다양한 형태의 가공품을 개발하는 방향으로 연구를 추진하며, millimeter waves개발 기술, 해외연구인력, 수출입 유통업체 및 한인회 협력시스템을 구축하고 microwave를 이용한 제품으로 소비되는 시장규모를 millimeter waves의 제품시장으로 점진적으로 확대하여 신규시장을 형성하고자 함.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 살균 Millimeter Wave System 구축 및 식품가공 공정에 대한 적용기술 개발

마이크로파(Microwave)는 주파수 300MHz~300GHz(파장: 1mm~1m) 사이인 전파들을 총칭하며, 이중 30~300GHz 주파수대를 밀리미터파(millimeter wave)라 한다. 원래 마이크로파 기술은 1934년에 비행기 탐색을 위한 레이더에 처음 적용되었으며, 2차 세계대전이 끝난 직후인 1946년에 처음으로 식품을 조리하기 위한 새로운 장치에 응용되기 시작하였다. 최초의 식품용 기기는 미국의 제네랄 일렉트릭 회사가 제작한 마이크로파 오븐으로 당시에는 주로 소시지나 햄버거, 샌드위치 등을 데우는 목적에 이용되었다. 최근에는 밀리미터파(millimeter wave)30~300GHz 전자기 진동, 초고주파에 대한 관심이 집중되면서 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

식품의 마이크로파 응용은 300MHz와 300GHz사이의 주파수대에서 발생하는 무수히 짧은 파장의 주파수가 식품 물질에 흡수되면서 진동열이 발생하는 원리에서 비롯되었다. 이 때 허용된 주파수는 사용 목적에 따라서 각 나라마다 조금씩 다르며 주로 $915 \pm 25\text{MHz}$ 와 $2450 \pm 50\text{MHz}$ 를 많이 사용하고 있다. 주파수는 산업계, 과학계, 의료계(industrial, scientific, and medical USE-ISM frequency)를 위해 Federal Communications Commission(FCC)에 의해 배정된다. 그 동안 세계적으로 수많은 응용기기가 식품용으로 개발, 보급되어 왔으나 마이크로파를 이용한 식품 가공의 측면에서는 아직도 연구하고, 개척해야 할 영역이 수없이 남아 있기 때문에 식품의 마이크로파 분야는 감히 초기단계라 해도 과언이 아니다. 그만큼 미래의 식품 분야에서 마이크로파 응용에 거는 기대는 크다고 하겠다. 특히 식품공학 분야에서 마이크로파 가공에 응용될 수 있는 단위 조작의 영역은 넓은 편이며 이들 영역은 단독 또는 혼합적으로 작용하여 마이크로파 가공을 더욱 유용성 있게 만들어 주는 것이다.

돌을 표면이 잔잔한 호수에 던졌을 때 표면을 가르면서 한 지점으로부터 밖으로 퍼져 나오는 물결을 발견할 수가 있을 것이다. 또한 우리가 볼 수는 없지만 표면 밑이나 위에서 나오는 또 다른 파가 있다는 것을 그들의 상대 효과를 발견함으로써 알 수가 있다. 이러한 모든 것들을 통틀어 발산(radiation) 이라고 정의하며 파(wave) 또는 입자들의 형태로 에너지를 발산하는 과정을 가리킨다. 이러한 파들은 호수 표면의 물결처럼 한 점에서 바깥쪽을 향해 퍼져나간다. 또한 속도는 빛의 속도로 1초당 186,282 miles 의 속도로 퍼져 나감과 동시에 광자(photon) 라고 불리는 작은 에너지를 동반하여 진동을 하게 된다. Radiation 에는 다음과 같이 2가지 종류로 나뉘어진다.

표 1. Radiation 종류

Ionizing	Non-Ionizing
x-ray	radio waves
gamma ray	microwave
cosmic ray	infra-red waves
ultra-violet rays	

두 종류의 차이점은 ionizing radiation은 온도의 증가가 없거나 아주 미비하여 화학적 변성 정도의 변화만 일으키며 non-ionizing radiation은 온도의 증가를 가져오게 된다. 발열파(radiant waves)는 그들의 파장(wavelength)과 진동 주파수(frequency of vibration), 즉 1초 동안의 cycle 수에 의해 특징지어진다. 즉, 주파수가 증가할수록 파장은 짧아지게 된다. 마이크로파(microwave)는 1초에 수백만 번의 진동을 하게 되며 또한 매우 높은 주파수를 갖게 된다. 따라서 밀리미터파는 매우 짧은 파장을 가지게 된다. 마이크로파의 에너지는 마이크로파의 주파수에서 진동되어서 생긴 에너지를 가지고 빛의 속도로 움직인다. 이러한 과정에서 어떤 물질이 마이크로파를 흡수하게 되면 온도의 상승으로 나타내어진다. 현대 산업에 있어서는 가열에 의해 물질의 물리적, 화학적 성질이나 기계적 성질을 바꾸어서, 소재를 요구하는 성질이나 모양에 가깝게 가공해서 제품을 만들고 있으며, 일반적으로 물건을 만드는 과정에서 대개의 경우가열과 건조를 목적으로 하는 공정이 있다. 가열을 하는 방법으로는 중유나 가스의 연소에 의한 불꽃이나 온풍, 증기 혹은 전열등 적외선의 복사열이 이용되어 왔다. 이것들은 모두가 피가열체의 외측으로부터의 열원에 의해서 물체의 표면을 가열, 그 물체의 열전도에 따라 서서히 내부까지 가열되어지는 방법이다. 일반적으로 이 가열 방법을 외부 가열이라 한다. 이에 반해 마이크로파 가열은 유전체 손실에 의한 발열을 유효하게 이용하는 것으로 피가열물체가 발열체로 되어 물체 내부로 부터 가열이 되기 때문에, 내부 가열 또는 직접 가열이라 하고 있다. 이러한 내부 가열 방식은 일반적으로 열효율이 아주 높고 또 짧은 시간에 가열 할 수가 있는 것이다.

마이크로파를 이용한 물체의 가열은 물체에 직접 가열되는 현상이 아니고 공간을 통해 마이크로파를 방사하는 방법으로 물체에 열을 발생하게 된다. 전자파는 금속의 경우에는 표면에서 반사가 일어나고, 금속이 아닌 유전체의 경우는 전자파가 내부로 투과되어 전자파의 전계 작용에 의해 내부의 하전체인 전자나 원자핵 등을 이동시킨다. 유전체의 경우 내부의 하전체들이 속박되어 있으므로 자유로이 이동하는 것이 아니라 전계방향으로 변위를 일으킨다. 이러한 현상을 분극이라 하고 물질 내부에 속박되어 있는 하전체의 종류에 따라 분극의 종류도 달라진다. 전자 분극은 원자를 구성하고 있는 정전하의 원자핵과 그 주위를 회전하고 있는 부전하의 전자가 외부전계의 영향으로 편향되는 분극을 말한다. 즉, 원자 분극은 분자를 구성하고 있는 각 원자가 외부전계로 인하여 원자간 간격이 변위되는 분극을 말하며, 배향분극은 2종 이상의 원자가 결합한 분자인 쌍극자의 경우 외부전계에 의해 그 방향으로 쌍극자가 정렬되는 것을

말한다. 따라서 각종 분극이 전자파의 전계에 따라 반복운동 즉 진동이나 회전이 발생한다. 즉 전계가 가해지면 전기적 평형 상태에서 전계방향에 따라 분극 현상이 반복 발생한다. 분극 운동이 외부전계에 의해 반복적으로 일어날 때 분자 내의 마찰에 의해 열이 발생한다. 각 분극의 특성 주파수에서 전자 분극은 자외선 영역까지, 쌍극자분극은 밀리미터파 영역까지 갖는다. 즉 각종 분극에 대해 열이 발생하는 주파수 영역이 다르다. 마이크로파의 가열 유전체 손실각원리는 금속이나 반도체와 같이 전계가 가해지면 자유로이 움직이는 전자를 갖는 것이 전도체인 반면, 절연물은 전계 내에 있어도 전자의 움직임(전류)은 생기지 않고, 정전하와 부전하가 평형 위치로 부터 변위되어 전하가 분리하는 분극 현상을 일으킨다. 이와 같은 성질을 갖는 물질을 유전체라 하는데, 이 분극 현상이 높은 주파수의 전계에 의해서 반복되어질 때 전계의 에너지 중 일부가 유전체에 흡수되어 유전체 손실로 되어 발열된다. 마이크로파는 공간을 자유로이 전달하지만 금속면에서는 반사하고 전기적으로 절연물인 유전체 내에서는 그 에너지를 점차 잃어 가면서 전달한다. 이 에너지의 감소는 유전체에 의한 마이크로파의 흡수, 즉 마이크로파 가열로 나타난다. 유전체를 전계 내에 놓으면, 유전체의 도처에서 분극이 생긴다. 이들 분극이 합쳐 유전체의 표면에 전하를 띠게 하는데, 미시적으로 보면 분극은 몇 개의 서로 다른 구조로 이루어져 있다. 이들 구조 중에서 마이크로파 영역에서 가열에 기여하는 것은 배양분극(방위 분극)인데, 즉 이것은 분자나 이온에서 쌍극자를 갖는 H₂O, HCl 등의 물질에 전계를 가함에 따라 쌍극자가 전계의 방향으로 정렬해서 생기는 분극을 말한다. 유전체에 전파가 닿으면, 유전체를 구성하고 있는 분자(쌍극자)가 전파(전계)의 힘을 받아 전기적 평형 상태에서 전계방향의 변화에 따라 진동을 시작하는데, 이 분극 진동이 분자간의 마찰로 되어 발열 현상을 일으킨다. 즉 가해진 전자파 에너지가 분자의 진동 에너지로서 소비되어 물체 내에서 열로 바뀌어 가는 것이다. 공기에 놓여진 유전체에 마이크로파를 조사하면 그 단위체적당 소비전력 P을 계산 할 수 있으며 ϵ_r (비유전율), $\tan \delta$ (유전체 손실각)은 모두 고유의 값으로 온도나 주파수에 따라 변화한다. 마이크로파에서의 가열은 내부 가열이라 해도 전자파는 피가열물체의 표면에 조사되어 표면으로부터 들어가 유전 손실에 의해 흡수되어지면서 점차 내부로 전달되어 간다. 따라서 내부로 들어가는 만큼 전계는 약하게 되어 손실계수 ϵ_r , $\tan \delta$ 가 큰 물질 일수록 내부 가열이 어렵게 된다. 이와 같은 전자파의 침투성을 나타내는 데에 전력반감심도라는 값을 사용하고 있다. 이것은 물체에 조사된 마이크로파의 전력밀도가 물체의 표면에 있어서의 값보다 반으로 감쇠하는 거리를 나타내는 것이다. 물과 얼음의 ϵ_r , $\tan \delta$ 은 양 계수 모두 물이 얼음보다도 훨씬 큰 값을 가진다.

Millimeterwave(MMW)의 응용

표 2와 그림 1에서와 같이 밀리미터파는 주파수 30~300GHz 영역대의 주파수를 말하며 주파수에 따라 세분화하여 명칭을 달리하고 있다. 최근에는 밀리미터파를 바이오마이크로파(biomicrowave)로도 불리고 있다. 식품 저장 시 채소류는 과일류보다 강한 oxidase, phenolase, peroxidase 등을 함유하여 저장 중 효소의 작용으로 산화, 변색되어 영양이 저하되기 쉬우며 채소류 저장 중 껍질에 상처가 생겨 부패균(Rhizopusnigricans)이 침입하여 부식부식해지는 연부현상과 흑반균(Ceratostomellafimbriata)에 의해 내부에 검은 반점이 생기는 부패가 진행된다.

채소류를 냉장 보관하면 호흡작용이 약해지므로 오래 저장할 수 있을 것 같으나 부패균은 냉장 온도에서도 잘 번식하여 연부 등 부패가 진행된다. 그러나 MMW를 이용하면 채소류에 함유되어 있는 변색, 영양소 파괴의 주요 인자인 산화효소를 특이적으로 불활성 또는 파괴하여 장기 보관 중에도 신선함과 영양소를 보존하고 채소류에 오염되어 있는 부패균의 생육을 저해 또는 살균하여 장시간 저장해도 싱싱함을 그대로 유지 가능하다. 또한 광합성에 관여하는 효소를 활성화하여 냉장 보관 중에도 갓 수확한 채소류의 맛을 유지할 수 있다.

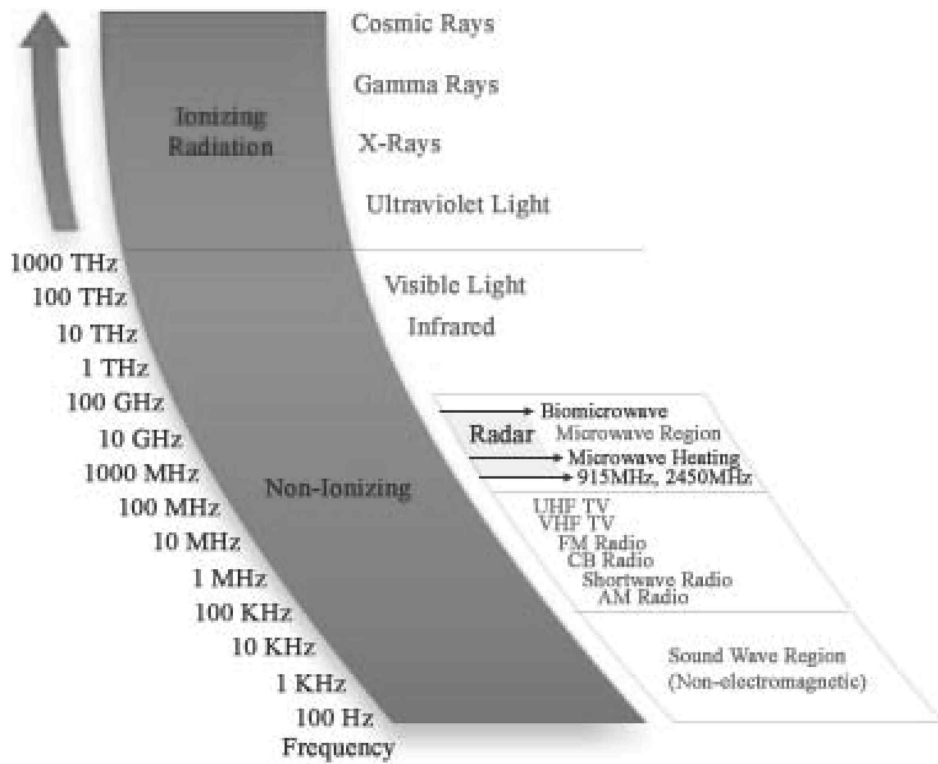


그림 1. 주파수에 따른 전자파 종류

표 2. 주파수에 따른 명칭, 용도

주파수	파장	명칭	주된용도	공업용도
300~3000MHz	0.1~0.01	SHF, 마이크로파	마이크로 통신	마이크로파 가열
3~30GHz	0.01~0.001	EHF, 밀리파	밀리파 통신	
30~300GHz	0.001~0.0001	밀리미터파		

■ Influence on plant growth and productivity

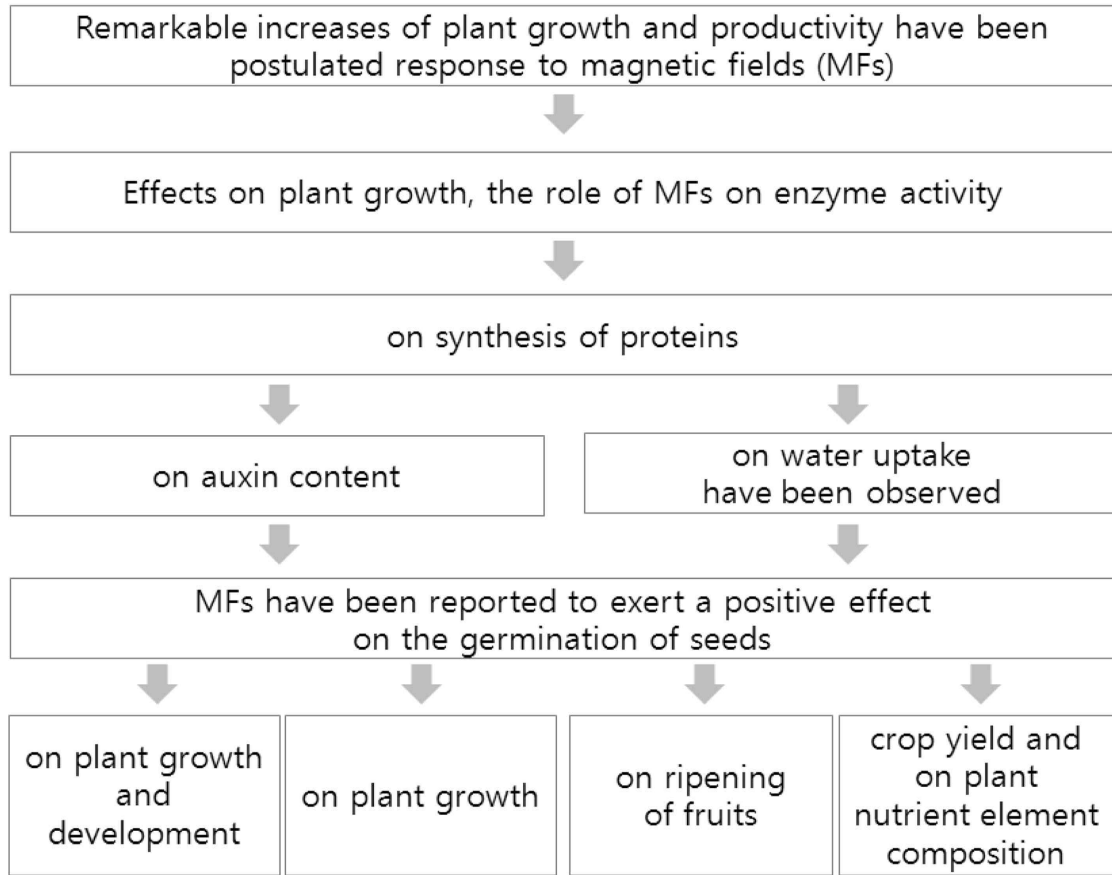


그림 2. 밀리미터파가 식물의 성장 및 생산에 미치는 영향

표 3. 밀리미터파가 식물의 성장률에 미치는 영향

Organism	Duration	Wave	Power	Effects
S.cerivisiae	50min	46GHz	0.03mW/cm ²	성장율에 있어 동요
Barley seed	20min	61.5GHz	0.1mW/cm ²	세포 분열 36% 증가
Spirulina platensis	30min	7.1mm	0.2mW/cm ²	성장율 두배 증가

밀리미터파의 물리 화학적 효과에 영향을 주는 인자는 고수분의 경우 주파수보다는 구조의 특정한 흡수율(special absorbance rate)로 온도, 두께 및 유전성(dielectric layers)에 많은 영향을 받는 것으로 보고되었다. 또한 성장률에 대한 효과를 보면 특정 작물에 대하여 성장률이 매우 높게 나타났으며 기능성 성분도 증가 또는 생성되는 것으로 보고되었다. 또한 표 4와 같이 이스트의 한 종류인 Candida albicans에 대한 영향을 살펴보면 특정 주파수에 따라 큰 차이를 보여주었다

표 4. 밀리미터파가 Candida albicans에 미치는 영향

Modulation	Duration	Wave		
		71.8GHz	72GHz	72.2GHz
1kHz	Short-term	No change	15% less	No change
CW	Long-term	No change	25% more	No change

유기체에 대한 적용 효과를 살펴보면 우선 동물을 상대로 한 실험 결과 피부치료에 관한 연구 결과는 부패시키는 균의 노출이 MMW를 조절하는 동안 연속적인 조사(continuous wave) 현저히 치료 시간의 감소를 나타냈다. 토끼를 이용한 실험에서 밀리미터파를 이용한 치료는 2.9일이 소요되었으며, 밀리미터파를 사용하지 않은 것 보다 7일 빠르게 시간이 단축되었으며 치료제 투입량도 현저히 감소하였다. 부상의 팽윤, 충혈, 침투 및 세균성 오염도 치료기간 동안 감소되었다. 밀리미터파는 임상에도 적용하여 효과들이 발표되었는데 심장 혈관 질병, 호흡기 질환, 피부병, 무력증, 신경통, 당뇨병, 심각한 바이러스성간염, 화학요법의 증독에 임상효과가 보고되었다.

안전성

1968년 10월 18일 의회에 의해 Public Law90-602(The Radiation Control for Health and Safety Act of 1968) 이 통과되어 발생하는 전자파의 양들이 규격(standard)에 의해 제한을 받게 되었다. 화창한 날에 지구에 도착한 태양열은 보통 60~100mw/cm³의 수치로 측정되므로 태양열이 마이크로파의 방열보다 더 위험스럽게 되며 태양열에 너무 노출되면 눈과 피부에 이상이 있거나 화상을 당하게 된다. 그러나 유출되는 마이크로파에 노출되는 시간이 지나치게 길면 눈의 질병을 가져오는 경우도 있으나 극히 드물고, Allen 박사는 마이크로파의 안정성에 대하여 달빛 아래서 선택하는 것과 같다고 비유하였다. 마이크로파에 의한 DNA 및 단백질 변화 반응 등의 증거로 그 원인이 단지 열 발생이 아닌 다른 현상(thermal effect)에 의한 것이라는 주장의 연구 보고가 있으나 현재까지의 정설로는 마이크로파의 상호 반응은 발생하는 열 효과에 의한 것으로 되어 있다. 인체에 조사된 마이크로파에 의한 열 효과로 고 수분 함량과 염류를 함유한 세포에는 해로운 영향을 받는데 특히 피 순환이 적어 방열이 안 되는 신체 부위에는 (예: 눈, 귀, 고환) 열에 의한 손상이 큰 것으로 알려져 있다. 그 증상으로 안구 내 렌즈 단백질의 변성 및 백내장 형성, 귀에 울림현상, 정자의 살균 증상이 보고되었다.

마이크로파를 이용한 전기 치료법(diathermy)에서는 조사량을 1,000mW/cm²으로 제한하고 있다. 동물의 경우 몸 전체 부위를 마이크로파 100mW/cm²로 노출시켰을 때 상당한 온도 상승이 있는 것으로 보고되었다. American National Standards Institute(ANSI)에서는 시간제한 없이 인체에 해가 없는 기준치를 10mW/cm² 이하로 정하였다.

1. Millimeter wave(MMW)의 살균가공기술

가. 재료 및 방법

(1) 재료

밀리미터파(MMW)의 살균에 관한 연구를 위하여 사용된 균주는 총 3가지로 *Campylobacter jejuni*(KCTC5327)와 *Staphylococcus aureus*(KCTC1621), *Saccharomyces cerevisiae*(KCTC7904)를 사용하였으며, 한국생명공학연구원 미생물 자원센터에서 분양받아 계대배양 후 사용하였다. 시료로 사용된 재료는 실험실에서 쌀(명칭 : 한눈에 반한쌀, 해남옥천농협), 대두(하나로마트), 녹두(하나로마트)을 롤밀과 핀밀로 분쇄 후 가루로 제조 후 사용하였다. 밀리미터파(MMW)를 위해 사용된 기기는 그림 3과 같이 러시아 MMW연구소에서 받은 기기를 사용하였으며 이를 통해 살균가공에 따른 연구를 진행하였으며, 사용 영역대는 30~300GHz이다.

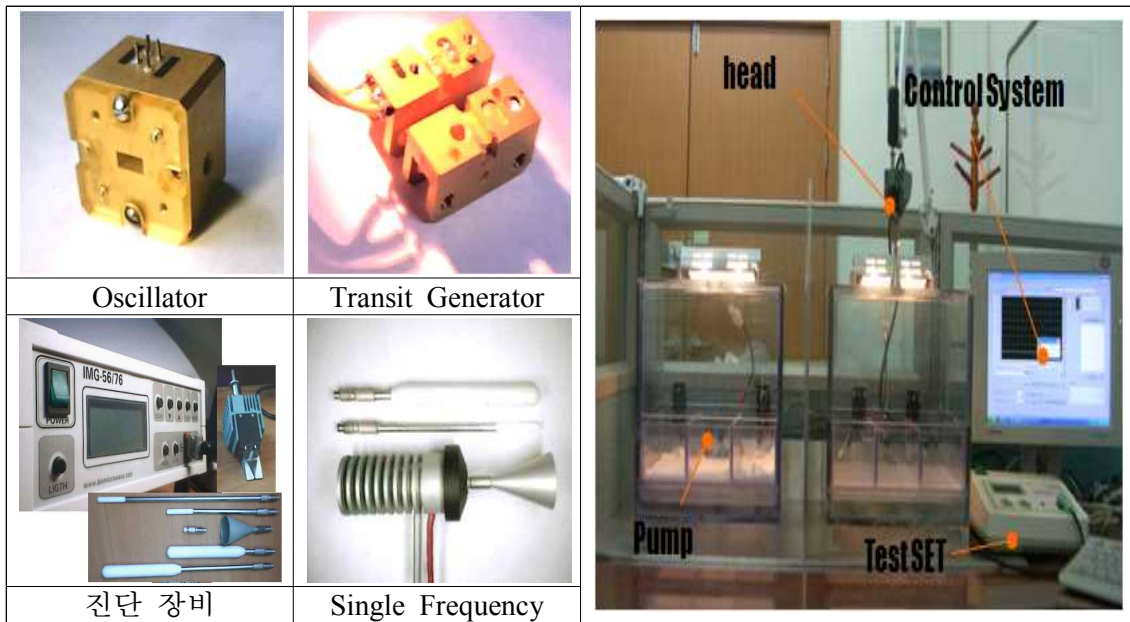


그림 3. 밀리미터파(MMW)기기

(2) 방법

밀리미터파(MMW) 가열

밀리미터파 가열은 250ml 비이커 내부를 여지로 감싸고 시료 100g을 넣어 여지로 덮은 후 밀봉하여 밀리미터파 기기로 0초, 60초, 120초, 180초, 300초 동안 각각 가열하여 시료로 사용하였다.

이화학적 특성 분석

일반성분(수분, 단백질, 회분, 지방)은 A.O.A.C. 법에 의하여 정량하였으며 수분결합력 및 수분용해도는 쌀가루 시료 2.5g에 30ml의 증류수를 넣어 원심분리 시키고 일정한 시간에 따라 흔들어서 24시간 방치한 다음 3000g에서 10분간 원심분리 하였다. 상등액은 미리 함량을 구한 수분 정량 수기에서 건조하여 고형분량을 수분용해도로 산출하였으며, 침전물의 무게를 수

분흡수도로 산출하였다. 광투과도는 0.2%현탁액을 가열 호화시켜 625nm에서 측정하였다.

밀리미터파(MMW) 를 이용한 원재료 살균

밀리미터파 살균은 실험실에서 사용 중인 러시아산 기기를 이용하여 시간별(0~5분) 처리후 미생물 수를 측정 하였다.

시료준비 및 미생물 접종

각각의 처리를 위해 시료를 약 20 g씩 소분 후 실험에 이용하였다. 시료에 균을 접종하기 위해 각각의 균주를 배양한 뒤 배양액을 5 mL centrifuge tube에 담은 후 4° C에서 8,000 × g의 조건으로 10분간 원심 분리하여 균체(cell pellet)만 수거하였다. 분리된 균체는 9 mL peptone water (Difco)에 현탁한 후, 20 g 당 현탁한 균을 0.1 mL씩 첨가하였다. 총균수(total viable cells)에 대한 효과 분석용 시료를 미생물을 오염시키지 않은 것을 사용하였다.

밀리미터파(MMW) 살균처리 및 포장

밀리미터파의 살균효과를 알아보기 위해 3종의 균이 접종된 쌀가루를 각각 멸균백(CSE Co., Ansansi, Korea)에 넣은 후 밀리미터파 기기를 이용하여 30초, 60초, 90초, 120초 동안 밀리미터파를 조사 살균하여 시간대별로 살균효과를 조사하였다. 균 접종을 하지 않은 시료와 *Staphylococcus aureus*와 *Saccharomyces cerevisiae*를 접종시킨 시료를 위와 동일하게 멸균백에 넣은 후 가정용 전자레인지에 하나씩 넣고 90초 동안 밀리미터파를 처리한 뒤, 살균된 시료를 4가지 포장법(일반포장, 진공포장, 질소가스포장, 이산화탄소가스포장)으로 포장하였다. 일반포장은 단순공기함유 포장으로 일반 테이프로 밀봉하였고, 진공포장은 가정용진공포장기(AnyVac, (주)CSE, Korea)로 공기를 제거하여 진공으로 포장하였으며, 질소가스포장과 이산화탄소가스포장은 위와 동일한 방법으로 진공포장 후 각각 질소가스와 이산화탄소가스를 주사기를 이용하여 주입시켜 포장하였다. 이렇게 4가지 포장을 한 각각의 시료를 실온(22±2° C)에서 1, 3, 5, 7일간 저장한 후 균수를 측정하였다.

미생물 분석

균수의 측정을 위하여 시료 20 g과 40 mL의 멸균생리 식염수를 stomacher bag에 넣어 stomacher (BagMixer®, Intersciencr, France)를 이용하여 120초 동안 균질화 한 후 균질화 된 시료를 각각의 배지에 도말 하였다. 미생물의 증식을 위해 37° C에서 3종의 균주를 배양하였으며, 총균수는 각각 24 ~ 48시간 동안 배양한 후 계수하였다.

나. 결과 및 고찰

(1) 쌀가루의 흡열 특성

쌀가루를 밀리미터파(MMW)로 가열하였을 때 온도와 수분함량을 나타낸 결과는 표 4와 같다. 밀리미터파 가열시간이 증가함에 따라 내부 온도는 증가하였고 수분함량은 감소하여 300초 동안 가열하였을 때 수분함량은 5.8%를 나타내었다. 이에 따라 수분함량의 차이는 밀리미터파 에너지 양 뿐만 아니라 시료의 흡수에너지에 따라서 달라진다고 사료된다.

표 4. 밀리미터파(MMW) 가열 시간에 따른 쌀가루의 흡열 특성

Heating time(s)	Sample quantity(g)	Microwave energy(cal/g)	Temperature(°C)	Moisture(%)
0	100	0.0	26.3±0.01	12.7±0.21
60	100	86.1	74.9±0.03	11.1±0.07
120	100	172.0	91.0±0.21	9.1±0.12
180	100	258.0	104.3±0.02	7.4±0.04
300	100	430.0	135.9±0.01	5.8±0.05

(2) 쌀가루와 쌀의 이화학적 특성

쌀가루와 쌀 일반성분은 표 5에 나타나듯이 밀리미터파 가열 시간에 따라 큰 차이는 없으며, 두 시료간의 차이 역시 뚜렷하게 나타나지 않았다. 수분 결합력은 밀리미터파 가열 시간이 증가할수록 현저히 증가하였고, 수분용해도 역시 증가하는 결과를 나타내었다. 이 결과는 물결합 능력의 경우 마이크로파를 통한 실험 연구와 같이 고구마 전분 및 밀가루의 결과값과 유사하게 나타났으며 수분용해도는 감자전분의 경우 마이크로파 가열시간이 증가하면 감소한다는 연구결과와는 상반된 결과를 나타내었다. 최대 흡광도는 가열 시간이 증가함에 따라 624nm에서 618nm로 이동 하였으며, 이는 아밀로오스와 지방산의 상호작용으로 아밀로오스와 지방산 복합체의 생성에 기인한 것으로 사료되어진다.

표 5. 밀리미터파(MMW) 가열시간에 따른 쌀가루와 쌀의 일반성분 및 이화학적 변화

Rice flour							
Heating time (s)	Protein(%)	Ash(%)	Lipid(%)	WBC(%)	WSI(%)	λ_{max} (O.D.)	Absorbance
0	7.14	0.43	0.44	190.23	0.32	624	0.473
60	7.14	0.43	0.44	216.42	0.37	621	0.463
120	7.14	0.43	0.44	221.63	0.41	621	0.462
180	7.14	0.43	0.45	235.27	0.46	618	0.459
300	7.14	0.43	0.47	269.67	0.49	618	0.421

Rice							
Heating time (s)	Protein(%)	Ash(%)	Lipid(%)	WBC(%)	WSI(%)	λ_{max} (O.D.)	Absorbance
0	7.14	0.43	0.42	190.11	0.28	626	0.469
60	7.14	0.43	0.43	215.74	0.31	622	0.464
120	7.14	0.43	0.44	224.35	0.37	621	0.461
180	7.14	0.43	0.45	231.71	0.40	619	0.455
300	7.14	0.43	0.47	265.43	0.51	618	0.426

(3) 쌀가루의 광투과도 변화

쌀가루의 광투과도 변화는 그림 4와 같다. 온도가 증가함에 따라 투과도는 증가하였으며, 광투과도로부터 구한 호화개시온도는 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.21$ 로 나타났다. 밀리미터파 가열시간이 증가함에 따라 광투과도는 증가하였고 60°C 부근에서 급격히 증가하였다.

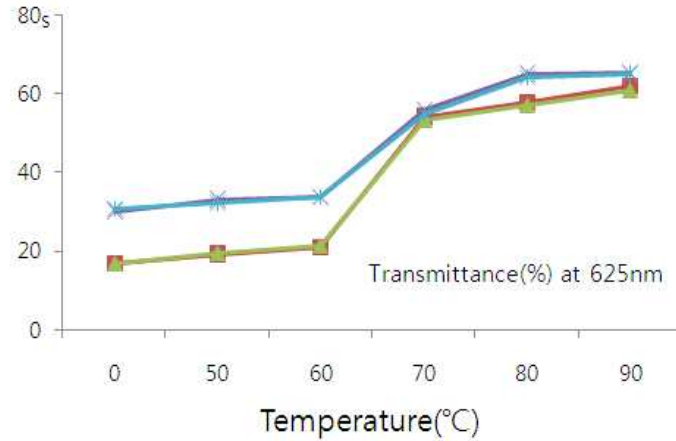


그림 4. 밀리미터파 가열 시 온도상승에 따른 쌀가루의 투과도 변화

(4) 밀리미터파를 이용한 쌀가루의 살균

밀리미터파(MMW) 살균을 위하여 필요한 실험 시간을 설정을 위해 쌀가루를 시료로 하는 살균을 행한 결과 표 6과 같은 결과를 나타내었다. 5분 처리 시 미생물의 생균수는 5.7×10^4 에서 1.5×10^1 CFU/g으로 감소하였다. 밀리미터파살균은 다른 살균에 비하여 짧은 시간에 오염된 미생물수를 감소시키는 것으로 사료된다. 일본의 경우 장유에 밀리미터파와 같은 맥락의 마이크로파를 이용하여 살균처리를 할 경우 1.4×10^3 CFU/g의 곰팡이류(곰팡이, 효모)의 수가 1.8×10 CFU/g으로 크게 감소했다는 보고가 있다. 그러나 아직까지는 밀리미터파가 살균처리로 이용되는 경우는 거의 없는 실정이다. 본 연구의 경우 밀리미터파 살균처리는 분말에 오염된 미생물수가 10^3 CFU/g 수준이하로 낮은 경우 단시간에 살균처리하면 마이크로파로 살균처리 한 것보다 미생물수 감소에 효과적일 것으로 사료된다.

표 6. 밀리미터파(MMW) 처리를 이용한 쌀가루의 살균특성

Time(min)	Viable cell count ¹⁾ (CFU/g)
0	$5.7 \pm 0.3 \times 10^4$
1	$5.1 \pm 0.4 \times 10^3$
2	$2.6 \pm 0.4 \times 10^{1**}$
5	$1.5 \pm 0.3 \times 10^{1**}$

¹⁾ The values were expressed as mean \pm S.D. by three experiments. **mean significant at $p < 0.01$ when compared with no-treated powder

(5) 쌀가루의 수분함량에 따른 밀리미터파(MMW) 주파수 영역별 살균력 측정

밀리미터파(MMW)실험을 하기 위해 살균력이 작용하는 특정 주파수 영역을 설정하기 위해 예비실험을 통한 영역을 설정하여 각각 50 GHz, 70 GHz, 100 GHz를 이용하였다. 우선 첫 번째 실험으로 쌀가루의 수분함량에 따라 총균수의 감소율을 측정하기 위해 수분량이 11~12%대의 쌀가루와 곡류전용 건조기를 이용하여 쌀가루의 수분을 5~6%로 낮춘 후 두 시료를 이용하여 실험 한 결과 표 7과 같이 나타났다. 전반적인 결과 초기 균수는 각각 $6.2 \pm 0.2 \times 10^4$ CFU/g와 $2.5 \pm 0.4 \times 10^4$ CFU/g로 5~6%대의 수분함량을 가진 쌀가루가 좀 더 높은 값을 나타내었으며, 밀리미터파(MMW) 주파수 영역별로 측정 후 50 GHz에서 각각 $2.8 \pm 0.4 \times 10^1$ 와 $3.4 \pm 0.1 \times 10^1$ CFU/g의 값으로 총균수가 많이 감소하였음을 나타내었다.

표 7. 쌀가루 수분함량에 따른 밀리미터파 영역별 살균력

Rice flour moisture(%)	Before viable cell count ¹⁾ (CFU/g)	After viable cell count (CFU/g)		
		50 GHz	70 GHz	100 GHz
5 ~ 6	$6.2 \pm 0.2 \times 10^4$	$2.8 \pm 0.4 \times 10^1$	$2.1 \pm 0.3 \times 10^3$	$3.6 \pm 0.2 \times 10^3$
11 ~ 12	$2.5 \pm 0.4 \times 10^4$	$3.4 \pm 0.1 \times 10^1$	$1.6 \pm 0.3 \times 10^3$	$2.8 \pm 0.3 \times 10^3$

¹⁾ The values were expressed as mean±S.D. by three experiments

(6) 살균과정의 밀리미터파(MMW) 주파수 설정을 위한 분말가루의 총균수 측정

밀리미터파를 이용하기 위해 살균 영역대 주파수 설정함에 있어 곡류 가루인 쌀가루와 대두 가루, 녹두가루를 이용하여 살균특성을 살펴보았다. 50 GHz, 70 GHz, 100 GHz인 총 3가지 주파수 영역대를 설정 하여 진행한 결과 표 8과 같았다. 전반적인 결과로는 50 GHz 영역대가 다른 두 영역대의 주파수 보다 총균수가 쌀가루의 경우 $4.9 \pm 0.2 \times 10^4$ CFU/g에서 $2.6 \pm 0.2 \times 10^1$ CFU/g로 크게 감소하였음이 측정되었으며, 일반적으로 주파수가 대가 높을수록 살균력이 더 좋아질 것으로 예상 하였으나, 70 GHz와 100 GHz 영역대는 각각 $3.2 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/g와 $4.3 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/g로 두 주파수 사이에 큰 차이를 나타내지 않았다. 밀리미터파의 경우 일정 주파수 대를 벗어나게 되면 살균력이 감소하는 영역대가 존재하므로 이에 50 GHz 영역대를 중심으로 살균력에 관한 추가적인 실험을 진행해야 할 것으로 사료된다.

표 8. 밀리미터파(MMW) 주파수 영역대 설정에 따른 곡류가루의 총균수 변화

Sample	Before viable cell count ¹⁾ (CFU/g)	After viable cell count (CFU/g)		
		50 GHz	70 GHz	100 GHz
Rice	$6.2 \pm 0.2 \times 10^3$	$1.8 \pm 0.3 \times 10^1$	$2.6 \pm 0.3 \times 10^3$	$4.6 \pm 0.3 \times 10^3$
Rice flour	$4.9 \pm 0.2 \times 10^4$	$2.6 \pm 0.2 \times 10^1$	$3.2 \pm 0.4 \times 10^3$	$4.3 \pm 0.4 \times 10^3$
Mung bean flour	$5.1 \pm 0.2 \times 10^4$	$3.4 \pm 0.2 \times 10^1$	$1.6 \pm 0.3 \times 10^3$	$6.6 \pm 0.2 \times 10^3$
Soybean flour	$5.4 \pm 0.2 \times 10^4$	$4.4 \pm 0.3 \times 10^1$	$1.5 \pm 0.1 \times 10^3$	$5.8 \pm 0.2 \times 10^3$

¹⁾ The values were expressed as mean±S.D. by three experiments

(7) 균 접종을 통한 밀리미터파의 살균효과

밀리미터파의 효과적인 살균력을 확인하기 위해 시료인 쌀가루를 가지고 대표적인 3가지 균주로 오염시킨 후 밀리미터파로 50 GHz 주파수로 처리한 효과는 표 9와 같다. 실험결과 *Campylobacter jejuni*의 경우 60초에서 나머지 균에서는 30초 처리 시에 유의차가 나타났으나 ($p \leq 0.05$) 균의 종류에 따라 살균시간에 따른 처리 효과에 차이가 나타났다. *Campylobacter jejuni*의 경우 초기균수가 7.60 log CFU/g였으며 60분 처리 후 2.57 log CFU/g로 5 log CFU/g 수준의 감소가 나타났다. *Staphylococcus aureus*와 *B. cereus*의 경우 처리 전 각각 7.81, 6.37 log CFU/g

수준이었으나, 처리 후 0.95, 0.92 log CFU/g로 6.5 log CFU/g 이상의 높은 살균효과가 나타났다. 이와 같은 실험의 예인 마이크로파 살균법은 일반 가열살균방법에 비해 빠른 온도의 상승에는 효과가 있으나 가열이 골고루 이루어지지 않는 제한점이 있어 한쪽 측면의 온도가 증가했다고 하더라도 다른 부분은 낮은 온도를 유지하는 문제점이 있다는 결과가 나타났다.(금준석과 조운성 2000). 이상의 결과로부터 가열하는 시간이 길어질수록 균이 살균되어 감소하는 정도가 증가 되는 것을 볼 수 있었으며, 밀리미터파는 병원성 세균에 오염된 쌀가루를 살균하는데 높은 효과가 있음을 알 수 있었다. 특히 60~90초를 처리 시 모든 균에서 오염된 병원성 세균을 5~6 log CFU/g 이상 감소시켜 높은 살균효과가 나타났다. 따라서 모든 균에 대하여 유의적으로 차이를 나타내었으며 포장지의 열에 대한 내구성을 고려하여 90초를 마이크로파의 최적 조사시간으로 선정하여 다음 실험에 이용하였다.

표 9. 밀리미터파를 이용한 균접종 쌀가루의 살균시간에 따른 살균효과

Pathogen	Treatment time (sec)				
	0	30	60	90	120
<i>Campylobacter jejuni</i>	7.60±0.09 ^{A1)a2)}	6.15±2.64 ^{Aa}	2.57±0.45 ^{Ab}	2.37±0.30 ^{Ab}	2.72±0.66 ^{Ab}
<i>Staphylococcus aureus</i>	7.81±0.41 ^{Aa}	4.04±3.50 ^{Aab}	0.95±1.64 ^{Bb}	2.70±1.80 ^{Ab}	2.72±2.65 ^{Ab}
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	6.37±0.34 ^{Aa}	2.76±1.32 ^{Ab}	0.92±1.59 ^{ABb}	0.63±1.10 ^{ABb}	0.59±1.03 ^{ABb}

¹⁾ Means with the same letter within a column are not significantly different ($p > 0.05$).

²⁾ Means with the same letter within a row are not significantly different ($p > 0.05$).

(8) 저온살균에 따른 미생물 종류별 저감효과 평가

밀리미터파의 효과적인 살균력을 확인하기 위해 저온살균방법을 가지고 온도 상승없이 시료인 쌀가루를 가지고 대표적인 3가지 균주로 오염시킨 후 밀리미터파로 낮은 주파수(30 GHz 주파수)로 처리한 효과를 평가가 진행 중이다. 예비실험결과 *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter jejuni*의 경우 초기균수에 비하여 차이를 나타내지 않았고 *Staphylococcus*

aureus 와 *B. cereus*의 경우에도 약간은 차이를 보였으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 따라서 밀리미터파 살균 시 미생물의 종류에 따라 살균방법 및 주파수 영역대를 선정하는 것이 매우 중요한 것으로 판단된다.

(9) 포장 후의 밀리미터파의 총균수 변화

표 10은 쌀가루에 밀리미터파를 조사하여 각각의 네 가지 포장방법(일반포장, 진공포장, 질소가스포장 및 이산화탄소가스포장)으로 포장하여 저장하였을 때 저장기간에 따른 쌀가루의 총균수를 측정된 결과를 나타내었다. 밀리미터파를 처리하기 전의 총균수는 5.27 log CFU/g 수준이었으며, 50 GHz 주파수 처리 후 1.31 log CFU/g 수준으로 감소하여 약 4 log CFU/g의 저해 효과가 관찰되었다. 밀리미터파로 처리된 쌀가루를 각각 포장을 달리하여 저장한 경우 이산화탄소가스로 포장한 쌀가루에서 7일 저장 후 5.90 log CFU/g의 균이 검출되어 다른 포장법과 비교하였을 때 상대적으로 낮은 균의 증식이 관찰되었다. 일반포장의 경우 7일 저장 후 8.49 log CFU/g 수준으로 많은 균이 검출되었으며 진공포장과 질소가스포장에서는 7일 저장 후 각각 7.56, 6.51 log CFU/g 수준의 균이 검출되었다. 이산화탄소가스 포장법을 제외하고 3일 후 총균수가 6 log CFU/g 이상으로 나타나 식품섭취 안전성 기준인 5 log CFU/g을 넘어서 위험성이 있는 것으로 나타났다. 그러나 이산화탄소가스로 포장한 경우는 5일 후 총균수가 2.38 log CFU/g 수준으로 나타나 총균수가 안전한 수준인 것으로 판단되었다. 하지만 저장기간의 증가와 생육된 균의 양이 완전한 상관관계를 보이지 않았다.

표 10. 밀리미터파 조사된 쌀가루의 종류별 포장법에 따른 총균수 변화

Package methods	Before Treatment	After Treatment	Storage time (days)			
			1	3	5	7
Air	5.27±0.10 ^{A2)ab3)}	1.31±0.01 ^{Ac}	2.61±1.50 ^{Abc}	6.04±1.96 ^{Aa}	7.46±0.58 ^{Aa}	8.49±0.19 ^{Aa}
Vacuum	5.27±0.10 ^{Aab}	1.31±0.01 ^{Ab}	3.03±1.75 ^{Ab}	5.72±2.28 ^{Abc}	5.69±1.80 ^{Aab}	7.56±0.68 ^{ABa}
N2	5.27±0.10 ^{Aab}	1.31±0.01 ^{Ac}	2.88±1.46 ^{Abc}	6.20±0.34 ^{Aa}	6.92±0.77 ^{Aa}	6.51±2.22 ^{BCa}
CO2	5.27±0.10 ^{Aab}	1.31±0.01 ^{Ad}	1.30±0.00 ^{Ad}	4.60±0.99 ^{Ab}	2.38±0.43 ^{Bc}	5.90±0.00 ^{Ca}

1) Data represent means ± standard deviations of three measurements.
 2) Means with the same letter within a column are not significantly different (p>0.05).
 3) Means with the same letter within a row are not significantly different (p>0.05).

2. 식품군에 따른 밀리미터파(MMW)의 유전특성

가. 밀리미터파 유전을 측정 방법

식품과 같은 유전체가 전자계 내에 있을 때의 복소유전율은 식(1)과 같이 실수부와 허수부로 나타낸다. 실수부는 유전상수로 유전체가 전기 에너지를 저장하는 능력을 나타내고, 허수부인 손실계수는 유전체 내에서의 전기 에너지 손실을 의미하며 열로 변환된다.

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \text{-----(1)}$$

여기서, ϵ 는 복소유전을 ϵ' 는 유전상수 ϵ'' 는 손실계수, j 는 $\sqrt{-1}$ 를 각각 나타낸다. 밀리미터파가 진행하는 경로에 식품과 같은 매질이 존재할 때 유전상수와 유전손실은 다음과 같이 표기된다.

$$\epsilon' = \left(1 + \frac{\Delta\Phi\lambda_0}{360d}\right)^2 \text{-----(2)}$$

$$\epsilon'' = \frac{\Delta A\lambda_0\sqrt{\epsilon'}}{8.686\pi d} \text{-----(3)}$$

여기서 λ_0 는 자유공간에서의 파장(m), d 는 매질의 두께(m), $\Delta\Phi$ 는 밀리미터파의 위상변화(radian), ΔA 는 밀리미터파 감쇠(dB)를 각각 나타낸다. 따라서 식 (2)와 식 (3)을 이용하여 자유공간상에서의 유전체를 투과하는 밀리미터파의 감쇠와 위상차를 측정함으로써 물체의 유전율을 구할 수 있게 된다.

실험에 사용된 식품은 쌀가루를 사용하였으며, 분말시료의 수분함량은 항온항습기 내에서 온도 35℃, 상대습도 75%조건에서 조절하였다. 시료의 수분함량은 진공건조 오븐에서 102℃의 온도조건에서 2시간 동안 건조하여 측정하였으며 습량기중함수율을 계산하였다. 밀리미터파 측정시 주위온도를 24±1℃로 일정하게 유지하였으며 실험이 수행되는 동안 수분함량이 변할 수 있기 때문에 수분 이내에 측정을 하였다. 시료의 조건은 산물밀도 3수준, 시료온도 3수준으로 하여 실험을 수행하였다.

나. 수분함량 측정모델 개발

실제의 밀리미터파 수분측정 장치개발에서 시료의 유전특성 변화를 측정하기 위해서는 신호처리와 알고리즘과 같은 부가적 노력들이 요구된다. 따라서 마이크로파 감쇠와 위상변화를 검출할 수 있는 하나의 통합 시스템을 구현하는 것이 바람직하다. 일정한 전압진폭(V_0)과 위상(ψ_0)을 갖는 밀리미터파가 매질을 투과하여 출력 전압 진폭과 위상이 변할 경우 감쇠량(A')과 위상변화($\Delta\psi$)는 다음과 같이 표현된다.

$$A' = -20 \cdot \log_{10}\left(\frac{V'}{V_0}\right) \text{-----(7)}$$

$$\Delta\psi = \psi' - \psi_0 \text{-----(8)}$$

여기서,

A' = 매질을 투과하여 나오는 밀리미터파의 감쇠(dB)

V_0 = 매질에 입사되는 밀리미터파 첨두전압(V)

V' = 매질을 투과하여 나오는 밀리미터파 첨두전압(V)

$\Delta\psi$ = 밀리미터파 위상변화(radian)

Ψ' = 매질을 투과하여 나오는 밀리미터파 위상(radian)

ψ_0 = 매질에 입사되는 밀리미터파 위상(radian)

따라서 상기 식 (7) 및 식 (8)로 표현되는 밀리미터파 감쇠와 위상변화가 회로망분석기로 측정되므로 분말시료의 수분에 따른 측정값과 비교를 통하여 수분측정 주파수를 선정하고자 하였다. 이때 시료의 산물밀도 범위의 영향을 보정하기 위하여 함수율과 산물밀도의 곱으로 표시되는 수분밀도를 이용하였다. 수분밀도는 다음과 같이 표시되며 단위부피당 수분의 절대량을 나타낼 수 있다.

$$\rho_m = MC(decimal) \times \frac{W_t}{V_s} \text{-----}(9)$$

여기서 ρ_m 은 수분밀도(kg/m^3), MC(decimal)는 시료의 습량기준 수분함량, W_t 는 시료의 무게, V_s 는 샘플홀더의 부피(m^3)를 각각 나타낸다. 수분측정에 적합한 주파수를 분석하기 위하여 수분밀도를 종속변수, 밀리미터파 감쇠 및 위상변화를 독립변수로 하여 선형 회귀분석을 실시하였다.

나. 결과 및 고찰

(1) 액상 및 얼음의 유전체 특성

액체의 유전체 완화시간은 얼음의 유전체 완화시간보다 훨씬 작게 적용됨을 나타낸다. 초반의 10^0 부터 10^2 까지 즉 무선 주파수 범위 30-300GHz의 공간에서 액체와 얼음의 유전 상수는 80에서 100 사이의 정적값과 같음을 나타냈다. 아래의 식 (1)은 이와 같은 유전체의 값을 나타내는 식으로서 무선 주파수대의 값과 상수 값을 적용하여 그림 5와 같은 그래프를 나타내었다.

$$\epsilon(f, \theta) = \Re\left(\epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_{\rightarrow\infty}(\theta) - \epsilon_{\rightarrow\infty}}{1 + j2\pi f\tau}\right) \text{-----}(1)$$

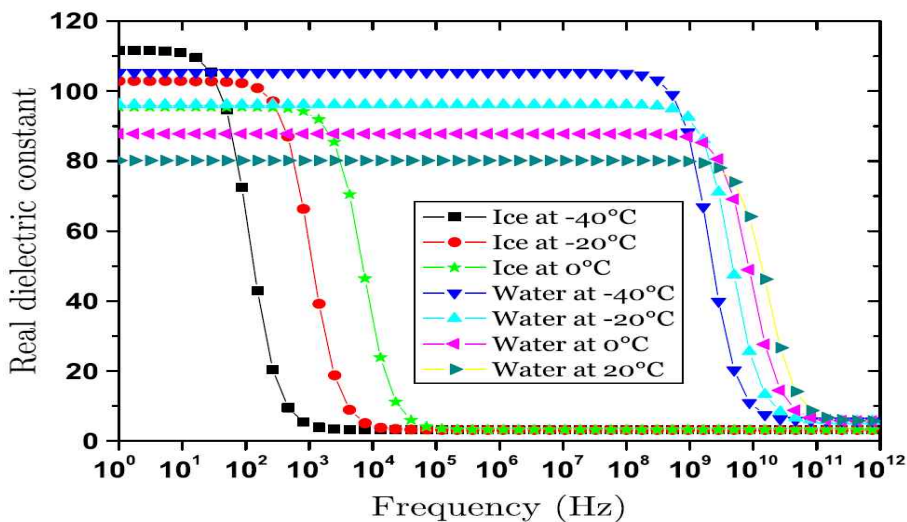


그림 5. 온도에 따른 물과 얼음의 유전체 특성비교

(2) 수분함량에 따른 유전체 특성 변화

그림 6과 7은 분말종류 별 측정된 유전특성으로서 쌀가루의 경우 시료의 산물밀도 범위 3 수준 중 중간범위에 해당하는 조건에서 수분함량 변화에 따라 유전특성의 변화를 나타낸 결과이다. 대체적으로 유전상수는 수분함량 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며 주파수가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 반면, 유전손실은 대체적으로 수분함량에 따라 그 값들이 증가하기는 하지만 분말의 종류에 따라 측정 주파수 대역에 따라 약간씩 다른 특성을 나타내는 것으로 분석되었다.

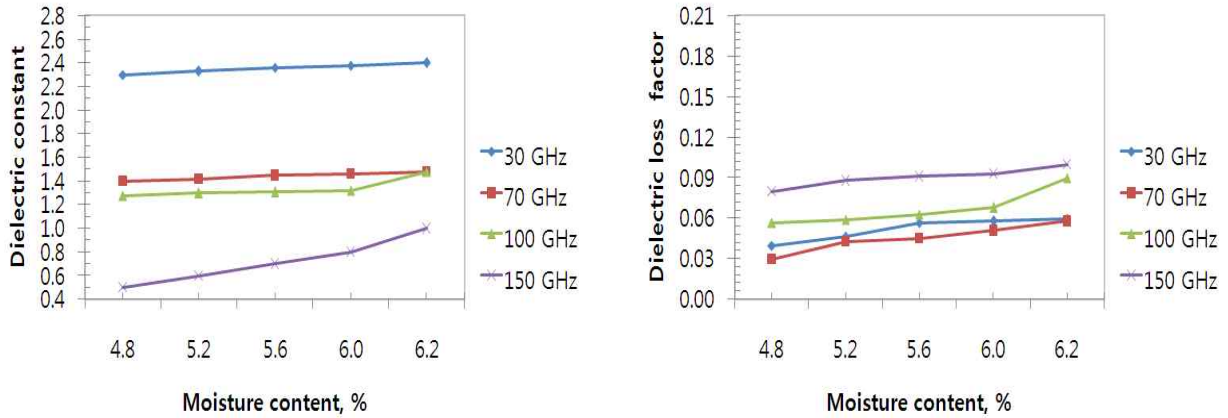


그림 6. 밀리미터파 주파수별 쌀가루 유전상수 및 유전손실

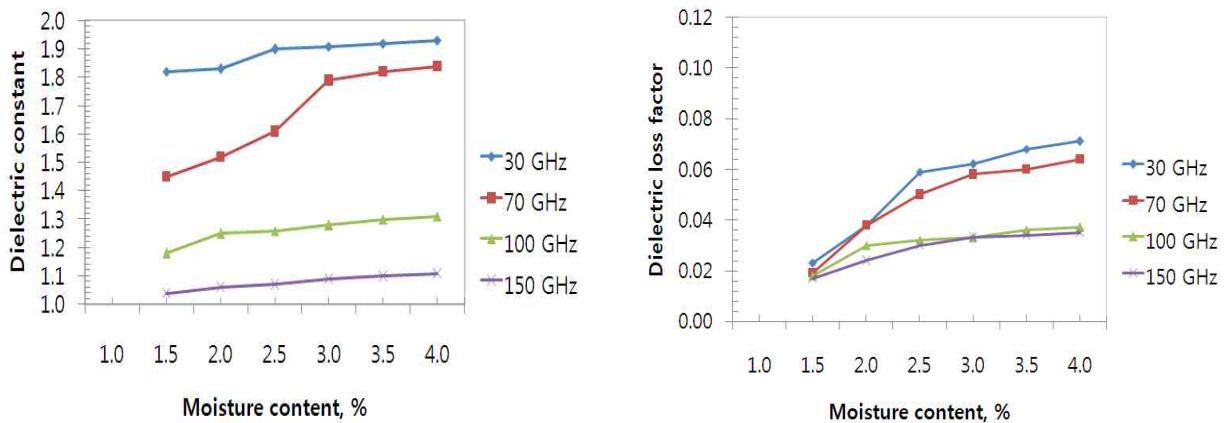


그림 7. 밀리미터 주파수별 밀가루 유전상수 및 유전손실

(3) 산물밀도 변화에 따른 유전특성 변화

그림 8과 그림 9는 전제 측정 주파수 중 70 GHz, 100GHz 에서의 측정 결과로 대체적으로 각 측정 주파수 대역에서 산물밀도가 증가함에 따라 유전율은 증가하는 경향을 나타내었다. 반면 유전손실은 뚜렷한 경향을 나타내지 않는 것으로 분석되었다. 이에 따라 실험 시 사용되는 시료의 양이 많아짐에 따라 유전상수가 증가하는 것이므로 이러한 산물밀도 영향이 수분측정 장치의 정확도에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

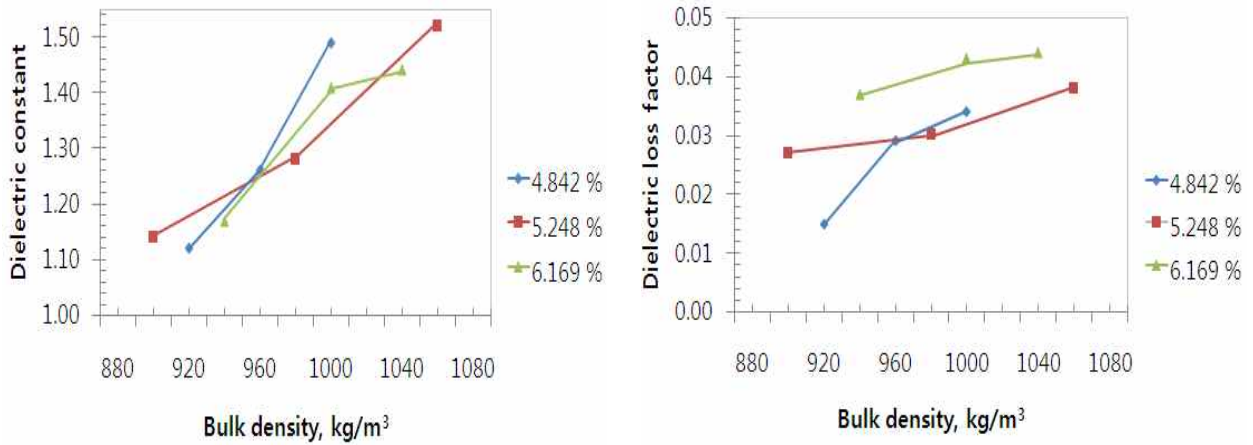


그림 8. 주파수 70GHz 영역의 산물밀도에 따른 유전상수와 유전손실

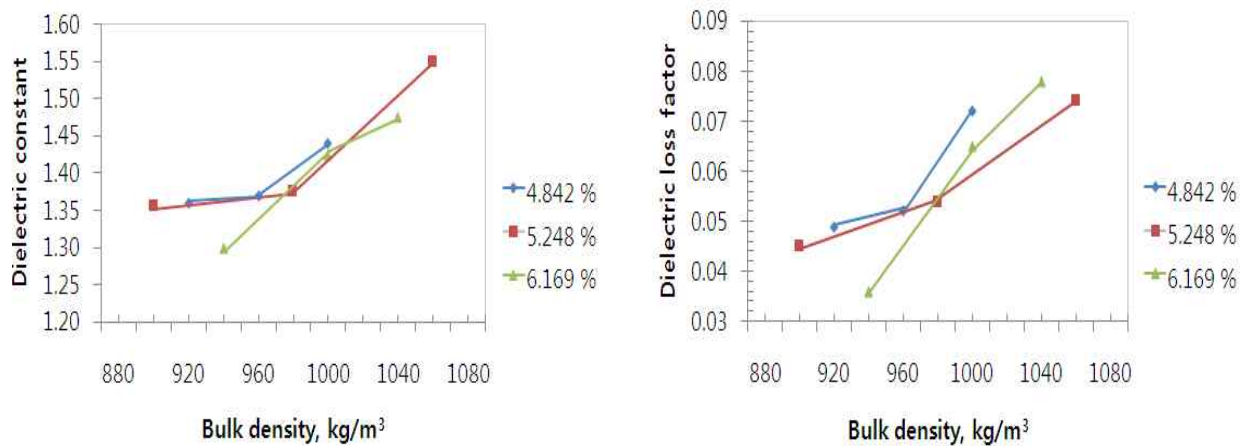


그림 9. 주파수 100GHz 영역의 산물밀도에 따른 유전상수와 유전손실

(4) 시료 온도변화에 따른 유전 특성 변화

항온항습기 내에서 일정시간이 지난 후 전자 온도계를 이용하여 시료의 온도를 측정하였다. 위의 실험에서와 같이 각각 70 GHz와 100 GHz를 기준으로 각 시료의 온도변화에 따른 유전특성은 그림 10와 11의 결과를 나타내었다. 각 함수율 조건에서 유전상수의 경우 시료의 온도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 전체 측정 주파수에서 온도에 따른 유전 상수의 변화가 나타났으나, 유전손실의 경우는 뚜렷한 경향을 나타내지는 않았다.

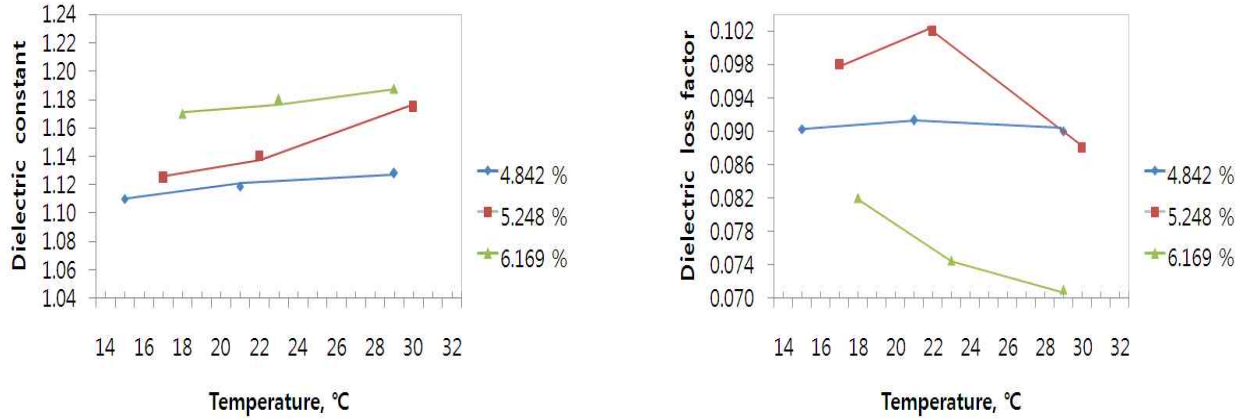


그림 10. 주파수 70GHz 영역의 보관중의 시료 온도 별 유전상수와 유전손실

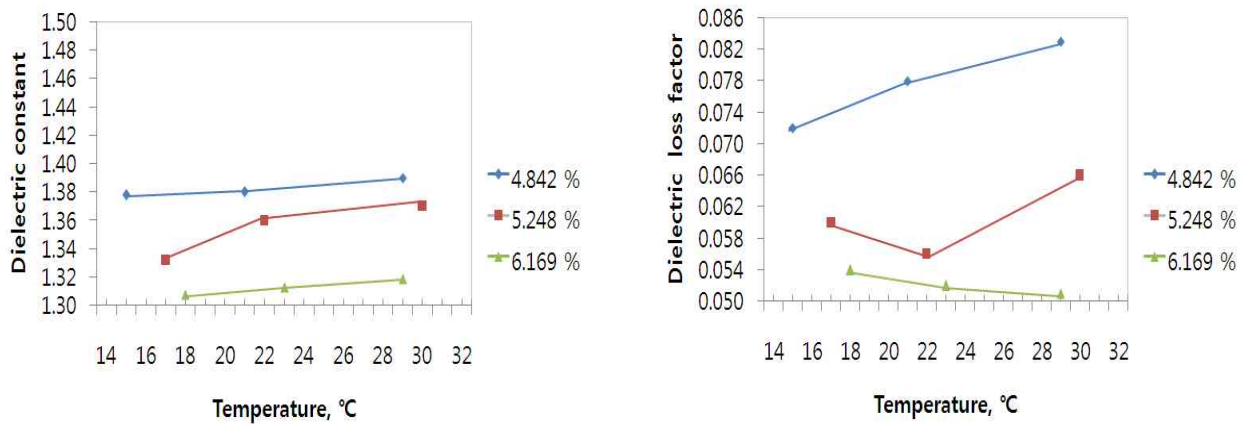


그림 11. 주파수 100GHz 영역의 보관중의 시료 온도 별 유전상수와 유전손실

3. 식품살균용 millimeter wave system (MMWS) 개발

현재 널리 이용되고 있는 microwave(전자레인지에 사용되는 파장)처럼 millimeter wave 또한 식품가공기술을 중심으로 전파 생성(마그네트론) 기술 등의 관련기술 융복합화가 필연적으로 이루어져야 한다. 이에 본 연구에서는 과제 수행을 통해 개발되는 원천기술들을 식품살균용과 더불어 전자레인지와 같은 가정용 조리기구 등의 관련 산업에도 적용하고자 표 8과 그림 12~19같은 프로그램 개발 테스트 적용 실시하였다.

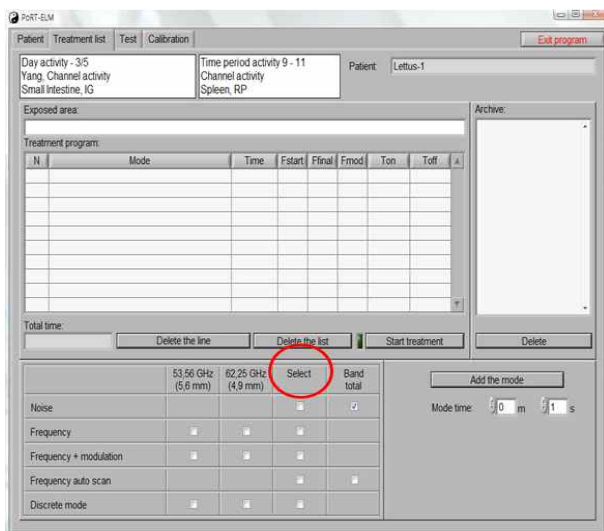
표 11. 최적의 주파수 영역별 프로그램 설정의 예

순서	설정 방법
1	전체 주파수 대역 선택
2	특정 주파수 대역 선택
3	실험 조건 저장
4	특정 주파수(single) 선택
5	특정 주파수 +주파수 변동폭 선택
6	특정 주파수 +자동 주파수 변동폭 선택
7	테스트 : 최대 주파수 흡수영역 스캔
8	테스트 : 두가지 다른 매질에 조사함 결과 후 가장 반응이 좋은 주파수 영역을 선정
9	테스트 : 최적의 주파수 선택 -> Auto Scan 자동으로 연동



그림 12. 식품살균용 밀리미터파 시스템 모델

1. 실험화면 : 모드선택



모드선택

- Noise : 전체 - 49 ~ 300 GHz
특정 - 임의 범위 선정
- Frequency
53.56 GHz / 62.25 GHz
특정 Single 주파수 선정
- Frequency + Modulation
Single 주파수 + 1 ~ 20 GHz
Single 주파수 + Scan
- Auto Scan Mode
매 30초 Scan / 1 GHz 인터벌
매 30초 Scan / Band Total
- Discrete Mode
on/off 주기적

그림 13. 식품살균용 밀리미터파 시스템 모델

2. Noise Select :

55~60 GHz 특정 주파수 대역 선택

3. Frequency: Frequency & Modulation 선택

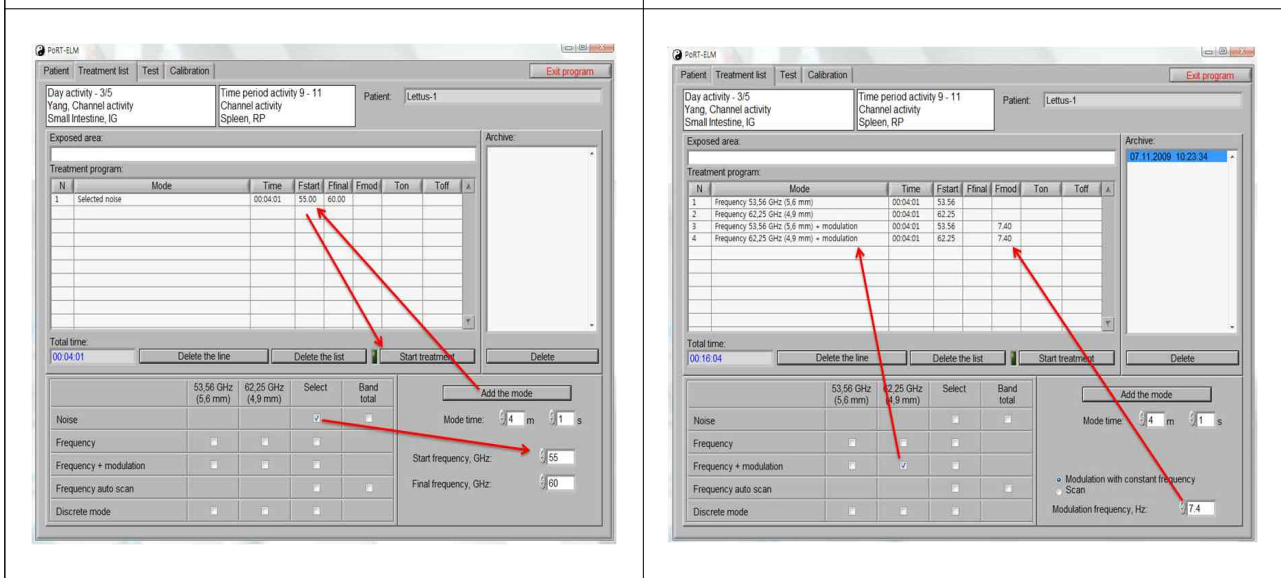


그림 14. 식품살균용 밀리미터파 시스템 모델

4. Test Mode : 최대 주파수 흡수 영역을 Scan

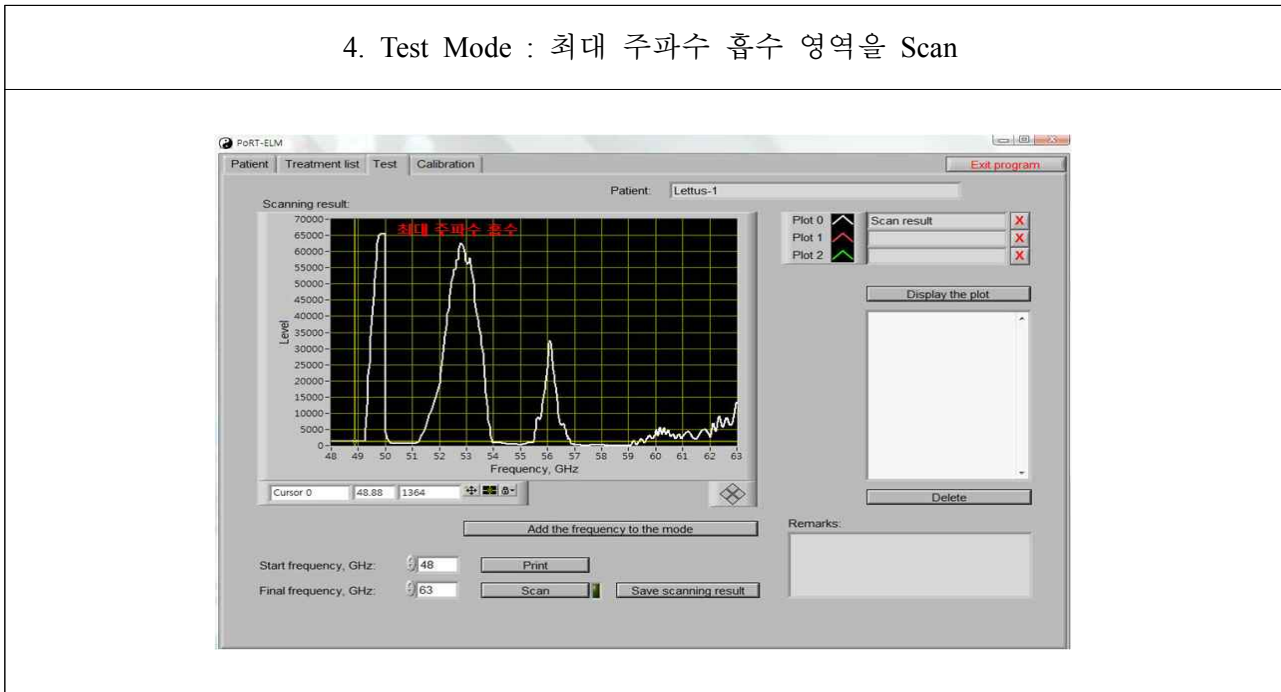


그림 15. 식품살균용 밀리미터파 시스템 모델

가. 밀리미터파 기기의 설계

기기를 사용함에 있어 기술적인 수치와 매개변수를 적용하여야 하므로 그 설정값을 정하는 것이 중요하다. 표 12에 나온 것처럼 지정할 수 있는 매개변수를 나타낸 것으로 밀리미터파 (MMW) 기기 장치 사용 시 중요한 변수가 될 수 있을 것으로 사료된다.

표 12. 기술적인 매개변수

Power Supply, V	220±22
Hz	50±0.5
Operating frequency range, GHz	30,6 - 300,0
Output power of portable head, mWatt	0,23 - 0,86
Setup time, min, no more than	1
Dimensions, mm	240x210x80
The Apparatus weight, not more than, kg	1,5
The Apparatus in casing weight, not more than, kg	6,6

(1) 구성과 장치의 SET : 장치는 다음과 같은 부분으로 구성 설계

- Generating head (microwave generator) connected with Control unit by flexible cable
- Cap №1 horn set (opening 10 cm²)
- Cap №2 horn set (opening 1,13 cm²)
- Cap №3 “aqua” set for liquid media
- Waveguide junction
- Support
- Control program on CD
- Frequency load
- Cable assembly (Com- Com), (COM-USB)
- Passport and Operating manual
- Set of Apparatus is placed in a plastic casing.

(2) 밀리미터파 발생기기의 설계


- 기기는 제어전압과 최대 흡수전력의 주파수를 감지할 수 있으며 공진 주파수를 찾아 제어 장치에 의해 조정MM밴드 전자파발진기를 포함한다.
- 장치의 제어 장치는 작동 모드를 표시하기위한 액정표시를 포함한다.
- 이동할 수 있는 발광헤드와 제어 장치, 유연한 케이블로 연결-장치는 두 가지 단위로 구성되어 있다.
- 발광헤드 MM밴드와 측정 단위의 입력부분의 저 강도 발진기를 포함한다.
- 기기의 처리컴퓨터(COM포트 또는USB포트로 연결)에 의해 영향을 받는다.
- 제어 장치는 전기 분대, 발진기의 제어 방식 및 측정 단위, 제어요소, 표시 및 보호의 주요 부분에 대한공급을 포함한다.
- 제어장치는 컴퓨터에 가진 효과데이터를 대상으로 아날로그 - 디지털 컨버터를 포함한다.
- 제어 장치의 페이스패널의 중앙 부분은 모드 표시에 대한 표시를 포함한다.
- 장치케이스는 PC연결부, 휴대용 모자와 지원을 하며, 헤드공급케이블의 발산과 제어 장치가 포함 되어있다.

밀리미터파 살균 기기의 기본모드 설계

- Noise mode within operating frequency band;
- Noise mode within selected frequency band;
- Single-frequency mode: fixed frequencies 53,56 GHz (5,6mm) or 60 GHz;
- Single-frequency mode: select frequency within operating band;
- Single-frequency mode with Low Frequency modulation:
- Select LF modulation (1 - 20 Hz);
- Scan of LF from 1 to 20 Hz;
- Single-frequency mode: auto-scan mode, when optimal resonance frequency is detected and tracked every 30 sec.;
- Single-frequency mode: auto-scan mode, within operating band with frequency tracking within 1GHz frequency range;
- Single-frequency mode: discrete mode.

컴퓨터와 데이터 교환에 대한 책임 DAC블록-제어 장치공급 장치, 제어 회로, 관리버튼, 액정 표시 및 안전플러그와 ADC를 포함하도록하고 액정 디스플레이 제어 장치의 전면 패널에 배치한다. 또한 정지 시에는 workless 위치에 이동할 수 있는 헤드, 그물케이블 및 변경캡은 케이스 안에 특수부서에 배치된다.

장치의 전면 패널은 다음 그림 16과 같다.

- START -프로그램을 시작
- STOP-프로그램을 강제로 대기 및 종료의 역할
-  - 연결포트 부분

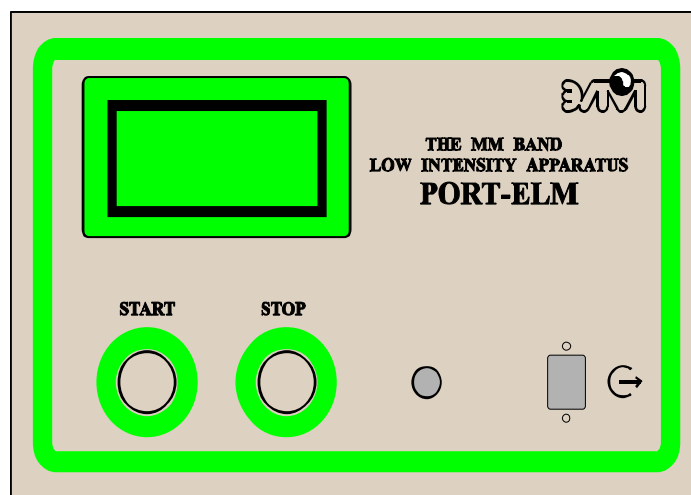
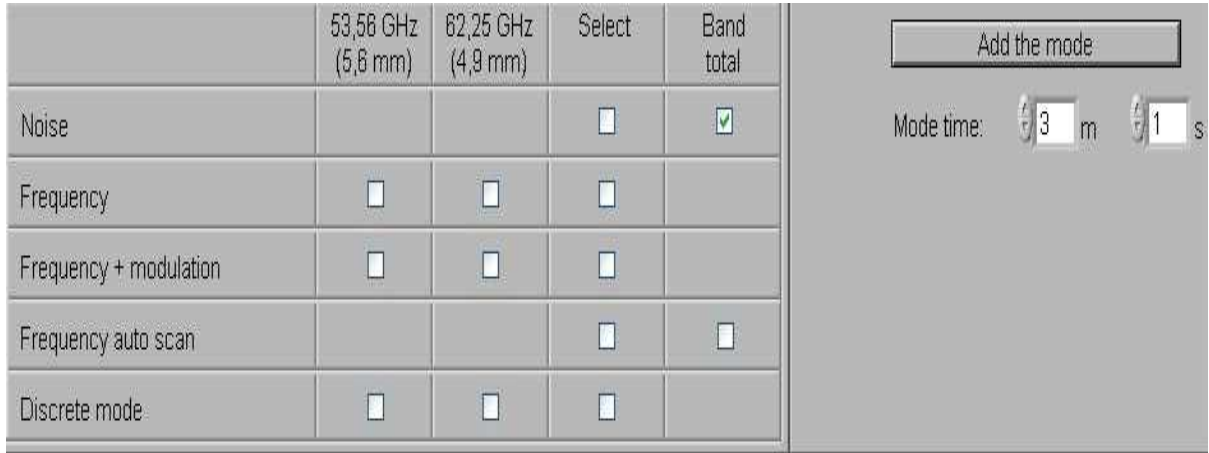


그림 16. 장치의 정면패널 부분

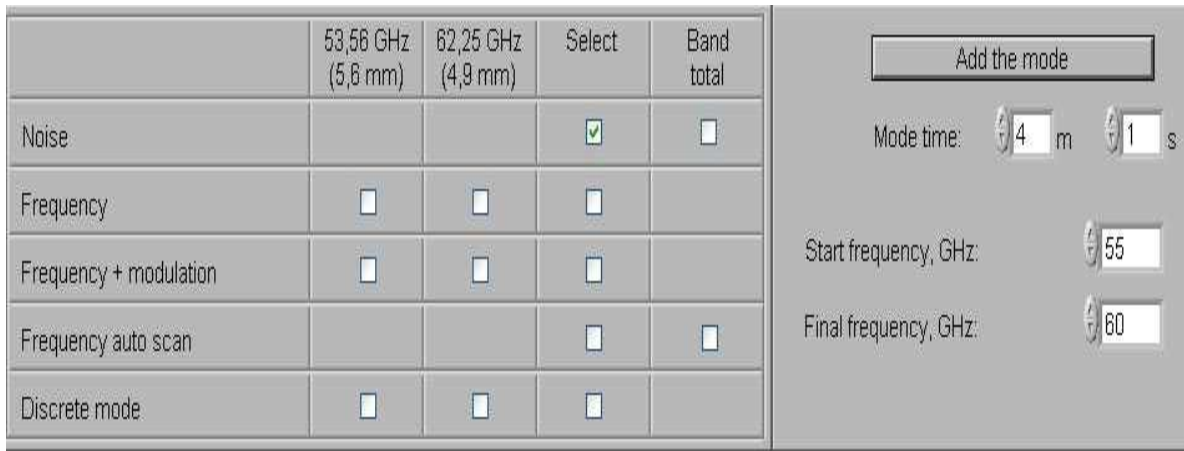
(3) MMW의 공정 기능 최적화

(가) Noise mode within operating frequency band; Noise mode within selected frequency band.



Example. Noise mode program within operating frequency band.

(나) Choose the row “Band total” in the line “Noise”. Set time for the mode. Press the button “add the mode”. The line with chosen mode will be added to the line of irradiation list.

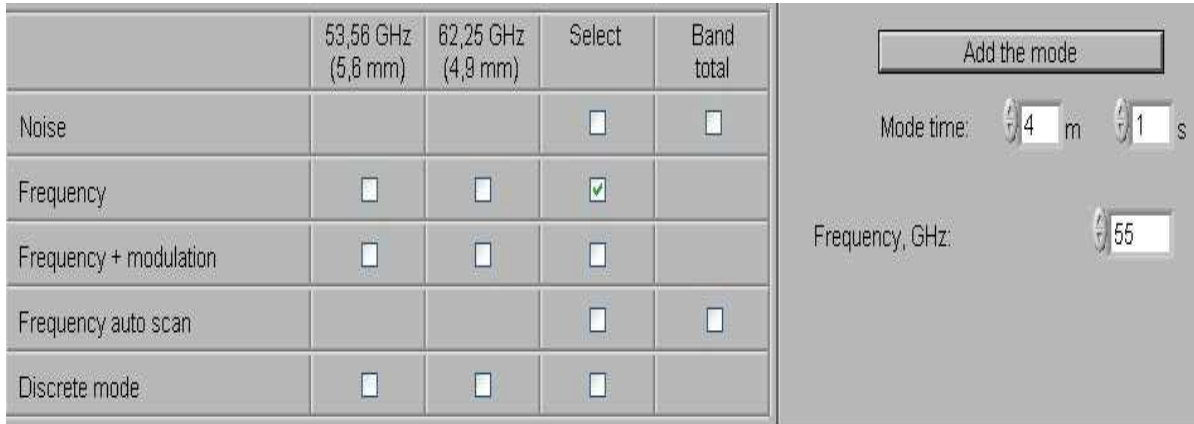


Example. Noise mode program within selected frequency band. Choose the row “select band” in the line “Noise”. Set time for the mode and choose start and final frequencies for operating band.

매개 변수버튼을 누르고 난 뒤 “모드추가”를 선택한다. 모드는 테이블 “irradia-TION 프로그램”에 추가된다. 잠음만 선택할 시 모드버튼을 누르면 “시작조사”를 사용하면 된다. 이 프로그램에서 선택한 모드를 저장하려면 확인버튼으로 저장되고 그 후 조사 프로그램은 제어 장치에 전송완료 된다. 그 다음 단계로 화면에 “READY” 표시 된다.

다음으로 시작하려면 처리장치의 제어장치에서 버튼을 “시작”을 누르면 살균공정이 시작된다. 액체 디스플레이 실험 및 시간 계산 시 적용되는 조사모드를 표시하는 것이다. 조사 프로그램을 마친 후 정지하고 조사목록의 첫 번째 줄(이번 실험의 경우 소음모드)로 돌아간다. 이 같은 모드에서 여러 영역 또는 시료를 조사하도록 되어 있다. 실험을 마친 후 또는 프로그램 창에서 다른 프로그램을 선택해야 할 경우버튼 마침모드로 들어간다. 이 경우 다른 버튼을 이용하여 다른 프로그램을 선택할 수 있다.

(다) Single-frequency mode : fixed frequencies 53,56 GHz (5,6mm) or 60 GHz / select frequency within operating band.

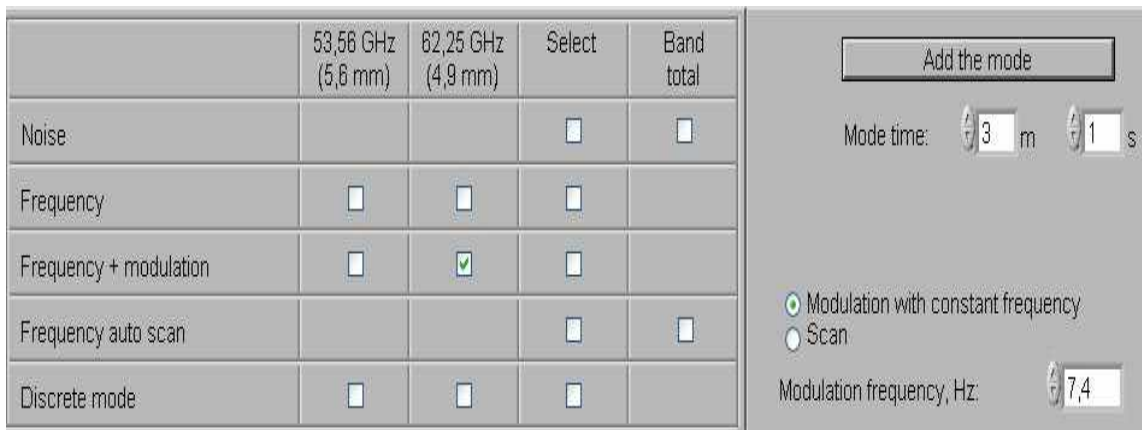


Example. Single-frequency mode program at fixed frequencies.

주파수 선택은 운영자가 자유로이 선택할 수 있다. 즉 “53,56“ 또는 “200,25“을 선택한다. 모드 시간을 설정하고 버튼 “모드추가“를 눌러 선택된 주파수는 조사목록에 추가시킨다. 다른 주파수를 선택해야 하는 경우, 주파수를 선택하고 오른쪽 창에서 운용대역 내에서 필요한 주파수를 선택한다.

저장하거나 아니면 프로그램을 저장할 수 없을 경우에 프로그램은 자동으로 제어장치에 전송하여 완료된다. 액정화면에서는 “READY“ 표시도 돌아간다.

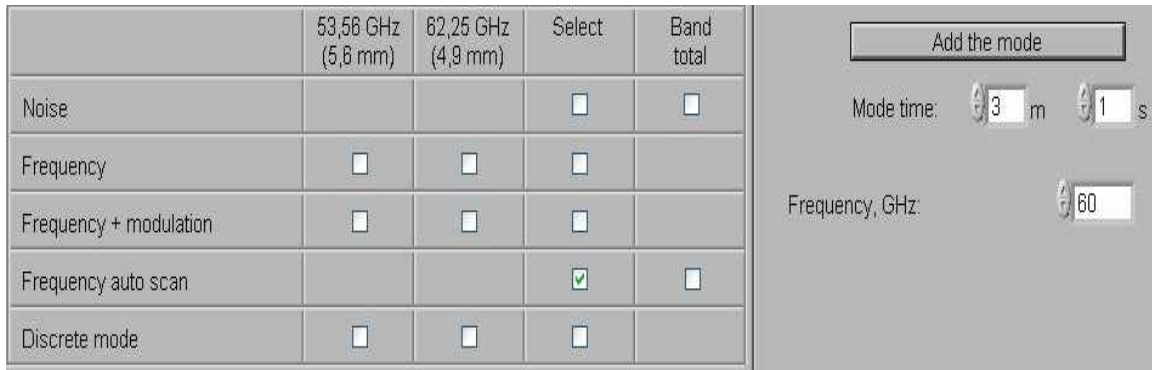
(라) Single-frequency mode with Low Frequency modulation : Select LF modulation (1 - 20 Hz); Scan of LF from 1 to 20 Hz



Example: Single-frequency mode with Low Frequency modulation

모드 테이블에서 변조주파수를 선택한다. 53,56 또는 200,25GHz의 주파수 고정을 선택하고 낮은 주파수 변조(고정 주파수 또는 스캔모드)와 시간을 선택하는 테이블의 오른쪽 부분으로 이동한다. 다른 주파수 표시줄을 선택하여 필요한 주파수를 설정 운용대역 내 및 낮은 주파수 변조와 시간을 선택한다. 버튼을 “프로그램추가“를 누른다. 선택한 모드는 실험목록에 추가된다.

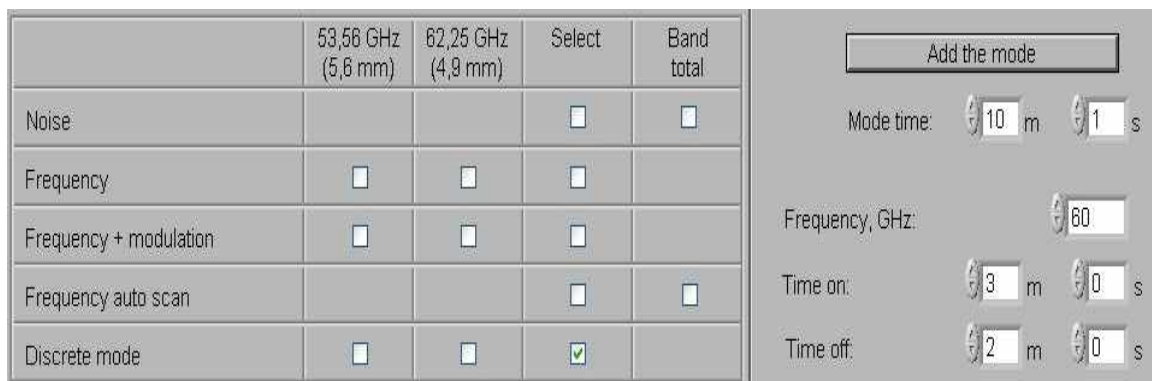
(마) Single-frequency mode: auto-scan mode, when optimal resonance frequency is detected and tracked every 30 sec.; Single-frequency mode: auto-scan mode, within operating band with frequency tracking within 1GHz frequency range.



Example: single-frequency mode with auto-scan, when optimal resonance frequency is de-tected and tracked every 30 sec.

본 기기는 테이블 모드라인 “주파수자동스캔“선택을 사용하여 주파수 및 실험을 위한 시간을 선택한다. 버튼 “모드추가“를 누르면, 이 경우 자동스캔간격 1 GHz로 주파수 근처에서 30 초마다 실행된다.

(바) Discrete mode



Example: Discrete mode.

테이블 모드라인 “개별모드“에서 “5,6mm“/ “4.9mm“/ “선택“을 선택한다. 이 모드는 단일 주파수 모드에서 데이터를 제공하기 위한 것이며, 이 모드는 억제내성 또는 매우 작은 외부요인 (전자방사)을 필요로 한다.

나. 경제성 분석

Microwave는 잘 알려진 휴대폰 및 인터넷통신에 사용되는 파장 대역으로 이를 이용한 전자 레인지(2.4GHz) 및 가공장비는 식품산업에 있어서 매우 중요한 비중을 차지하고 있다.

Millimeter wave는 식품을 고르게 가열할 수 있으며, 인체에 대한 영향이 적고 온도를 세밀하게 조절할 수 있기 때문에 식품산업에 있어서 활용도가 매우 높을 것으로 기대된다. 최근 미국의 유면 군사장비 개발업체인 P. aytheon은 군사용으로 개발한 millimeter wave 기술을 이용

한 식품 저온살균 공정을 개발 하였으며, 저 에너지로 효과적인 살균이 가능 하다고 보고하였 다. 아직 세계적으로 millimeter wave를 이용한 식품가공기술 개발은 거의 전무한 상태로 본 기술을 선점하고 산업적으로 활용하는 것이 매우 시급하다.

식품산업은 가열, 살균, 저장, 추출 등 에너지 사용이 많은 공정들이 많아 저에너지 가공기술 은 식품가공기술의 중요한 패러다임이 되고 있다. millimeter wave는 소비량이 적고 세밀한 온 도조절이 가능하며, 특히 식품성분의 파괴를 최소화 하면서 선택적인 미생물의 살균 및 증식과 유효성분 추출이 가능하여 녹색성장 시대에 부합하는 유용한 식품가공기술이다. millimeter wave 원천기술을 확보하고 식품산업에 적용하기 위해서는 식품과학기술 외에도 millimeter wave 발생 및 장치기술이 융복합화 되어야 하며, 이는 식품산업을 비롯한 관련 산업들에 큰 파급효과를 가질 것이다.

이러한 millimeter wave 기술이 식품산업에 활용도가 높아질 것으로 예상되고 있어 이를 선 점할 수 있도록 시기적절한 연구사업의 수행이 매우 중요한 요소로 작용하고 있다.

미국, 일본 등 선진국에서 소출력 비면허 대역으로 허용

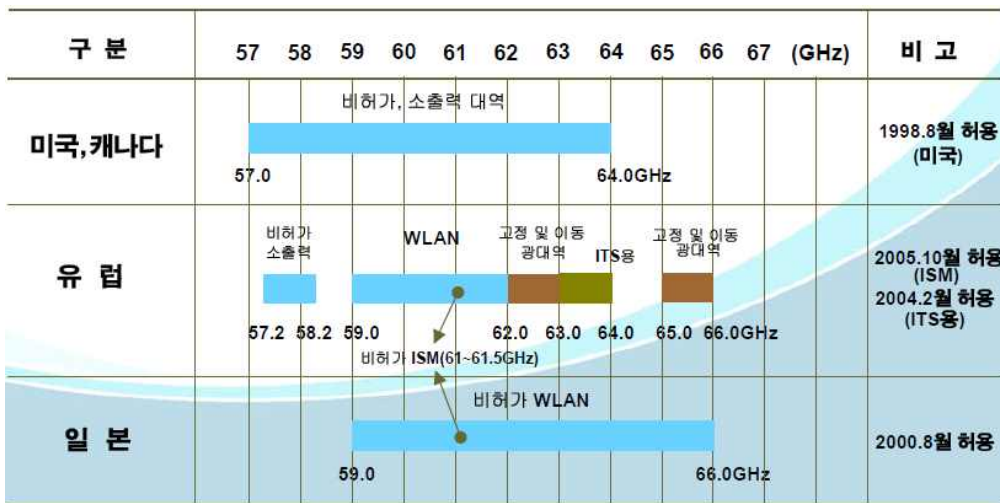


그림 17. 외국의 60GHz 주파수 분배동향

60/70GHz 주요 부품	세계현황 보유기업(국가)	국내현황	국내기술수준 (세계수준 100% 기준)
밀리미터파 MMIC	Velocium, TLC, UMS(미)	(기술보유:ETRI,MINT,FCI)	80%
Up/Down Converter	Millitech(미)	코모텍,(기술보유:ETRI)	95%
Local Oscillator	Millitech,Cernex(미),Elva(러)	코모텍,NRD Tech,(기술보유:ETRI)	90%
Filter/ Diplexer	K&L, Millitech(미)	(기술보유:ETRI,Telwave)	95%
Antenna	Millitech(미),Elva(러)	감마누, (기술보유:ETRI)	90%
ASK 송수신 시스템	Terabeam(미),Elva(러)	코모텍,NRD Tech,밀리시스	100%

그림 18. 국내 기술현황(Hybrid 기술)

우리나라 정부는 저탄소 녹색성장을 새로운 국가 비전으로 제시하고 농림수산식품부도 녹색 성장을 위한 국가시스템 구축을 중시하고 있다. 전통적으로 식품산업은 가열, 살균, 추출 등의

공정으로 인해 에너지 소비가 높은 산업분야로 저에너지 식품가공기술 개발이 절실한 실정이며, millimeter wave는 에너지 소비가 낮으며, 효율적인 식품가공이 가능하여 국내 식품산업의 저탄소 녹색성장을 촉진하는 기폭제가 될 수 있다. 국내 식품 및 식품장치산업은 그 동안 독자적인 원천기술의 확보보다는 해외의 선진기술을 도입하거나 응용하는 경우가 대부분이었다. 그리하여 아직 미개척 분야인 millimeter wave를 식품산업에 적용 할 수 있는 독자적인 원천기술의 확보가 시급하며 이는 국내 식품과학기술 발전에 기여 할 수 있으리라 사료된다. Millimeter wave(MMW) 추출 방법은 기존의 추출방법에 비해 추출시간의 단축, 사용되는 추출용매량의 감소 및 추출수율을 높일 수 있는 추출 방법으로, 공정이 단순하고 cost가 낮은 강력한 추출방법이다. MMW는 종래의 저장 수단에 비해 처리시간이 짧고 식품의 열손상 및 과도한 가열 등에 의한 영양성분 및 비영양 성분(색소 및 향미 성분)의 파괴 방지가 가능하며 부패성 및 병원성 미생물의 살균 및 멸균이 가능한 저장 수단임. 또한 살균에 대한 안전성과 재현성이 입증되면 MMW에 의한 살균처리공정 설계는 일반적인 대량생산 공정으로 활용 될 수 있을 것으로 사료된다.

최근에 과채류에 대한 임상학적인 연구결과들에 의해 과채류에 들어있는 다양한 phytochemical들이 암, 고혈압, 당뇨, 염증 등 다양한 질병에 긍정적인 효과가 있는 것으로 보고되면서 과채류에 들어있는 새로운 기능성 물질의 발굴뿐만 아니라 기존에 알려진 기능성 물질의 함량을 증가시키는 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 식물 스트레스 조절인자로서는 식물호르몬, elicitors, environmental stress 등이 있는데 MMW는 environmental stress로서 작용하여 식물재배에 있어 식물의 발아, 성장, 저항성, 생산성 증가를 일으킨다는 보고가 있으며 MMW를 이용한 생물학적 활성물질 생산 효율성 증가 연구가 필요할 것으로 사료된다. 현재 널리 이용되고 있는 microwave(전자레인지에 사용되는 파장)처럼 millimeter wave 또한 식품 가공기술을 중심으로 전파 생성(마그네트론) 기술 등의 관련 기술의 융복합화가 필연적으로 이를 통해 개발되는 원천 기술들은 식품산업뿐만 아니라 전자레인지와 같은 가정용 조리기구, 냉장고 등 관련 산업에도 적용 될 수 있어 매우 큰 산업적 파급효과를 지닌 것으로 사료된다.

제 2절 저장 Millimeter Wave System 구축 및 식품가공 공정에 대한 적용기술 개발

밀리미터파(Millimeter wave ; MMW)는 30~300GHz 영역대의 주파수를 말하며 주파수에 따라 세분화하여 명칭을 달리하고 있다. 최근에는 밀리미터파를 바이오마이크로파(biomicrowave)로도 불리고 있다. 식품 저장 시 채소류는 과일류보다 강한 oxidase, phenolase, peroxidase 등을 함유하여 저장 중 효소의 작용으로 산화, 변색되어 영양이 저하되기 쉬우며 채소류 저장 중 껍질에 상처가 생겨 부패균(Rhizopusnigricans)이 침입하여 부식부식해지는 연부현상과 흑반균(Ceratostomellafimbriata)에 의해 내부에 검은 반점이 생기는 부패가 진행된다. 채소류를 냉장 보관하면 호흡작용이 약해지므로 오래 저장할 수 있을 것 같으나 부패균은 냉장 온도에서도 잘 번식하여 연부 등 부패가 진행된다. 그러나 MMW를 이용하면 채소류에 함유되어 있는 변색, 영양소 파괴의 주요 인자인 산화효소를 특이적으로 불활성 또는 파괴하여 장기 보관 중에도 신선함과 영양소를 보존하고 채소류에 오염되어 있는 부패균의 생육을 저해 또는 살균하여 장시간 저장해도 싱싱함을 그대로 유지 가능하다. 또한 광합성에 관여하는 효소를 활성화하여 냉장 보관 중에도 갓 수확한 채소류의 맛을 유지할 수 있다.

과일은 수확 후 저장시 발효하여 방향이 좋아지고 연하게 되어 맛이 좋아지는 후숙이 일어난다. 과일에는 효모 이외에 초산균, 젖산균과 여러가지 곰팡이가 붙어 있어(포도-야생효모, 딸기-Aspergillus 속, Rhizopus 속, 오렌지-Penicillium 속) 과일의 성숙, 변색 및 부패에 관여하는데 저장 중 중요한 효소로는 oxidase, peroxidase, catalase, amylase, invertase, pectinase, esterase 등이 있다. 과일은 성숙함에 따라 성분이 변화하며, 수확 후 저장 중에도 일어나는데, 주로 전분이 포도당으로 되어 단맛이 증가하고 산과 어울려 tannic acid와 같은 떫은맛과 쓴맛은 물에 녹지 않는 염이 되며, 비타민류가 증가하나 과숙하면 오히려 감소된다. MMW는 과일에 오염되어 있는 유해 미생물의 생육을 특이적으로 저해 또는 살균하여 부패를 억제하여 장시간 신선 보관이 가능하다. 또한 MMW는 과일에 함유되어 있는 효소의 활성을 조절하여 전분을 분해하여 당도를 개선하며, 비타민류의 증가, 변색 방지 효과를 보인다.

최근에 과채류에 대한 임상학적인 연구결과들에 의해 과채류에 들어있는 다양한 phytochemical들이 암, 고혈압, 당뇨, 염증 등 다양한 질병에 긍정적인 효과가 있는 것으로 보고되면서 과채류에 들어있는 새로운 기능성 물질의 발굴뿐만 아니라 기존에 알려진 기능성 물질의 함량을 증가시키는 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 식물 스트레스 조절인자로서는 식물호르몬, elicitors, environmental stress 등이 있는데 MMW는 environmental stress로서 작용하여 식물재배에 있어 식물의 발아, 성장, 저항성, 생산성 증가를 일으킨다는 보고가 있다.

따라서 MMW를 활용하여 식품(과채류)의 생리활성 및 저장성 증진 기술 연구, 식품군에 따른 millimeter wave 유전 특성 확립을 하고자 한다.

1. Millimeter wave(MMW)를 활용한 식품의 생리활성 및 저장성 증진 기술 연구

가. 채소류 및 곡류에 따른 최적 주파수 검색

(1) 재료 및 방법

(가) 재료

본 연구에 사용된 채소류 및 곡류는 딸기(설향, 특, 담양군 봉산면), 양상추(사쿠라멘트, 특, 대, 의령군), 감자(천년의 숨씨 노을감자, 특, 왕특, 전북부안), 양송이버섯(굿뜨레 부여 양송이, 특, 부여), 현미(장호원)를 사용하였으며 주파수 조사는 millimeter wave(Nizhniy Novgorod, Russia)를 이용하였다.

(나) 최적 주파수 조사

MMW의 조사는 Port ELM 프로그램을 이용하였으며 실험대상의 최적 주파수 흡수 영역을 스캔하여 최적 주파수를 검색하였다(Fig. 1). 실험 대상으로는 채소류로 딸기, 양상추, 감자, 양송이버섯을 사용하였고 곡류로는 현미를 사용하였다.

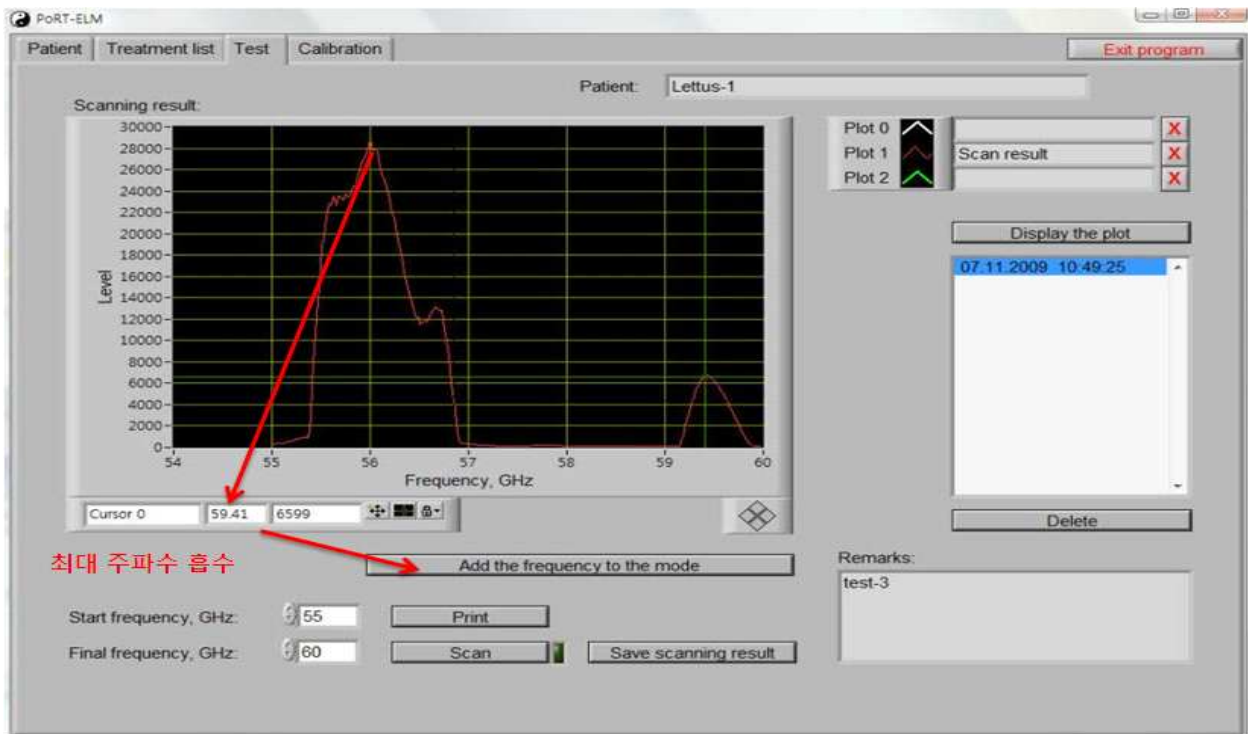
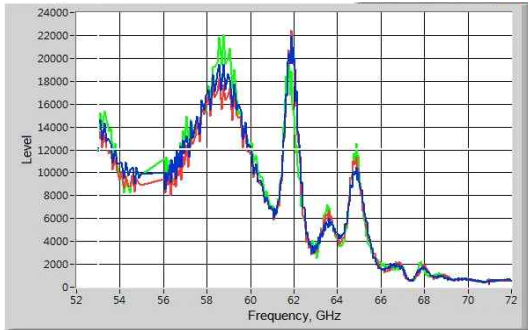


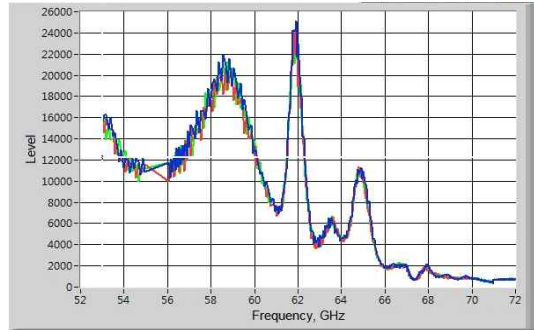
Fig. 1. 최적 주파수 흡수 영역 설정

(2) 결과 및 고찰

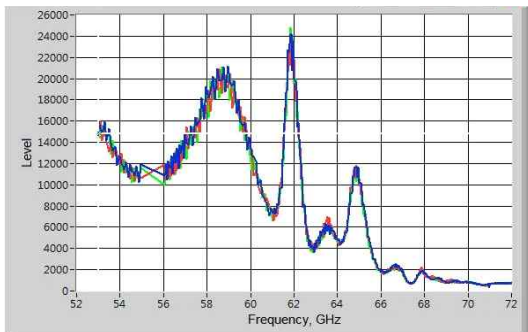
최적 주파수를 검색한 결과 Fig. 2와 같이 양상추는 53GHz, 감자는 54.67GHz, 양송이버섯은 54.47GHz, 현미는 54.47GHz의 최적 주파수 결과를 얻었다.



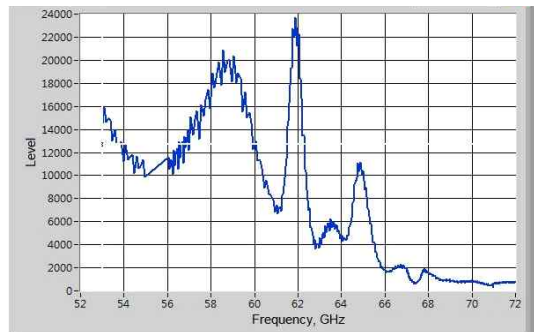
양상추 : 53GHz



감자 : 54.67GHz



양송이버섯 : 54.47GHz



현미 : 54.47GHz

Fig. 2. 채소류 및 곡류의 최적 주파수

나. 최적 주파수로 조사된 식품의 품질 조건 확립

(1) 재료 및 방법

(가) 재료

물성 측정 조건 확립에 사용된 채소류는 딸기(설향, 특, 담양군 봉산면), 양상추(사쿠라멘트, 특, 대, 의령군), 감자(천년의 숨씨 노을감자, 특, 왕특, 전북부안), 양송이버섯(부여)을 재료로 사용하였다.

(나) 방법

① 최적 주파수 조사

Port ELM 프로그램을 이용하여 실험대상의 최적 주파수 흡수 영역을 스캔하고 이를 Auto Scan에 연동하여 식품에 최적 주파수를 조사하였고(Fig. 3), 조사된 식품은 물성 측정에 사용하였다.

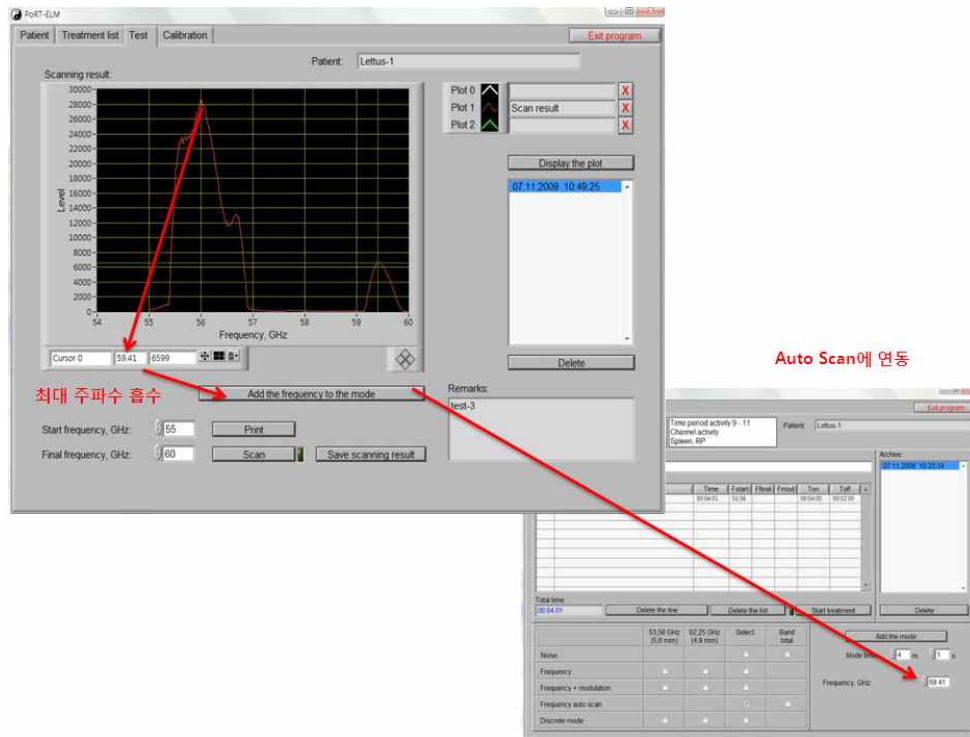


Fig. 3. Auto Scan에 연동하여 최적 주파수 조사

조직감 측정

딸기의 조직감 측정은 Texture Analyser(TX XT, Stable Micro Systems, England)를 사용하였으며 조건은 probe의 직경을 3mm, 5mm로 달리 하였으며 깊이는 과실의 중앙부에서 5mm, 10mm 로 달리하여 측정하였다. 양상추의 조직감 측정은 Texture Analyser(TA HD plus, Stable Micro Systems, England)를 사용하였으며, Kramer Shear Cell을 이용하여 Count Peaks(g)를 측정하였다. 측정 조건은 Pre-test speed : 2mm/sec, test speed : 2mm/sec, post-speed : 10mm/sec, Trigger force : 100g이며 Threshold는 0.5, 1, 5, 10, 20으로 설정하였다. 감자와 양송이버섯의 조직감 측정은 Texture Analyser(TA HD plus, Stable Micro Systems, England)를 사용하였으며, Blade with flat end를 이용하여 Pre-test speed : 2mm/sec, test speed : 4mm/sec, post-speed : 10mm/sec, distance : 45mm의 조건으로 측정하였다.

(2) 결과 및 고찰

(가) 최적 주파수로 조사된 딸기의 조직감 측정 조건 설정

딸기의 조직감 측정시 사용되는 probe와 과실의 중앙부에서 침투되는 깊이를 달리 설정하여 조직감을 측정하였다. probe는 직경이 3mm와 5mm로 설정하였으며 distance는 5mm, 10mm로 설정하여 측정한 결과는 Fig. 4와 같다. 일정한 지점에서 반복으로 나타나며 그래프 상에서 평평한 고원지대 구간을 관찰한 결과 probe 5mm로 distance 10mm의 조건으로 딸기의 조직감을 측정하는 것이 샘플간의 재연성이 높아 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

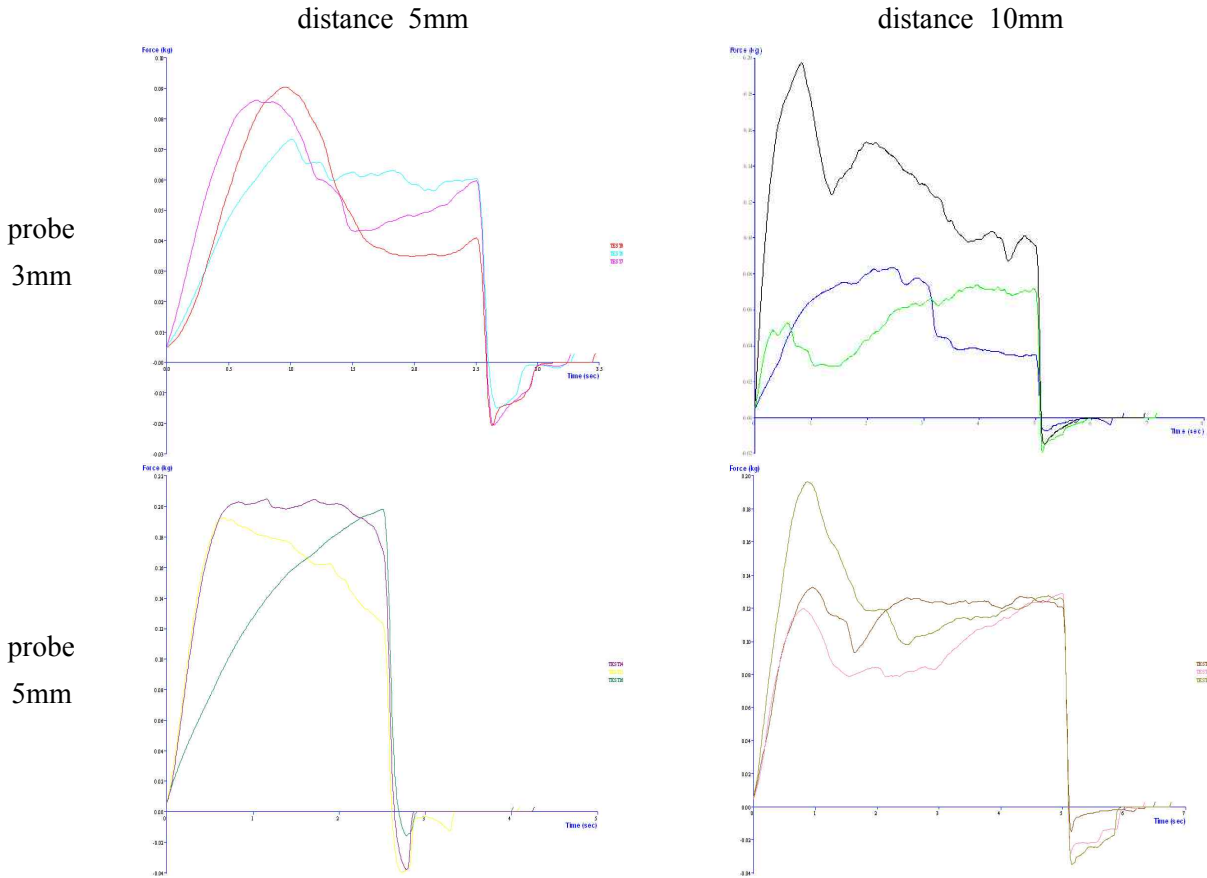


Fig. 4. probe와 distance를 달리 설정한 조직감 측정 그래프

(나) 최적 주파수로 조사된 양상추의 조직감 측정 조건 설정

양상추의 조직감은 아삭하게 씹히는 힘이 중요한 요소이므로 Kramer Shear Cell 이용하였으며 통제변인으로 pre-test speed, test speed, post-speed, trigger force를 앞의 조직감 측정 방법에서와 같이 설정하였으며 조작변인으로는 Threshold를 0.5, 1, 5, 10, 20으로 설정하여 측정하였다. 여기서 조작변인 threshold에 따라 조직감의 측정 결과로는 Force, Gradient, Area, Count peaks가 있다. Force(g)는 첫 번째 압축과정에서 나타나는 최적 peak로 시료가 변형될 때 필요로 하는 힘이다. Gradient(g/sec)는 0점에서부터 최고 피크 구간의 기울기로 시료가 같은 force를 나타내어도 기울기의 정도에 따라 물러지는 정도를 확인할 수 있다. Area(g)는 시료가 마지막까지 변형되는 힘을 전체 면적으로 나타낸다. Count peaks(g)은 시료가 blade와 접촉하면서 받는 힘을 나타내는 것으로서 시료의 아삭함, 바삭함 등이 여러 개의 피크로 나타난다. 피크의 수가 많을수록 시료가 더 아삭하거나 바삭하다는 것을 알 수 있다.

조작변인 Threshold를 달리 설정하여 force, gradient, area, count peak의 평균을 측정한 결과는 표 1과 같이 Force, gradient, area의 값은 일정하였으나 count peak의 값은 threshold의 값이 높을수록 감소하였으며 시료간의 표준편차가 작게 나타났다. 양상추를 kramer shear cell을 이용하여 조직감 측정시 threshold의 값을 20으로 설정하는 것이 시료간의 표준편차를 작게 나타내어 비교적 정확한 데이터를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. Threshold를 달리하여 측정된 양상추의 조직감 측정 결과

Threshold	Force	Gradient	Area	Count Peaks
0.5	61573.38	1693.27	265482.28	451.00±22.21
1	61573.38	1693.27	265482.28	439.20±32.65
5	61573.38	1693.27	265482.28	375.60±29.81
10	61573.38	1693.27	265482.28	281.80±13.1
20	61573.38	1693.27	265482.28	145.20±4.32

(다) 최적 주파수로 조사된 감자의 조직감 측정 조건 설정

조직감 측정시 test-speed는 속도가 너무 높으면 경도가 비현실적으로 높게 나타나 급격한 에너지가 샘플 내부로 제대로 전파되지 않고 변형에너지로 남아있을 수 있기 때문에 감자의 조직감 측정시 test-speed의 조건을 1, 2, 3, 4, 5 mm/sec로 설정하여 Fig. 5와 같은 결과가 나타났다. test-speed가 4 mm/sec일때 감자의 조직감 결과가 일정한 패턴으로 샘플간의 재현성이 높게 나타나 감자 내부의 심지 방향을 일정하게 놓고 test-speed를 4 mm/sec로 설정하여 조직감을 측정할 경우 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

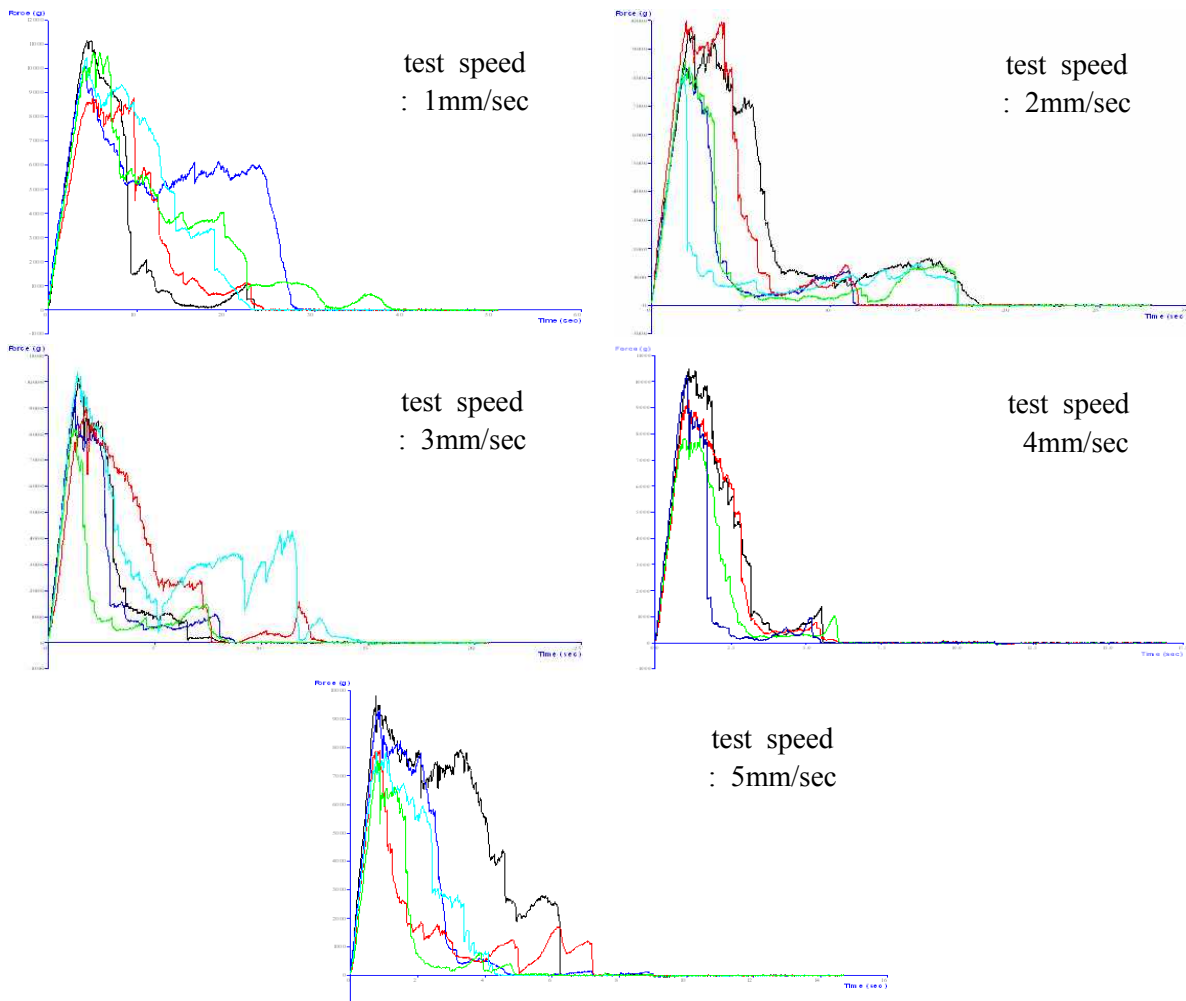


Fig. 5. test-speed를 달리하여 측정된 감자 조직감 그래프

(라) 최적 주파수로 조사된 양송이버섯의 조직감 측정 조건 설정

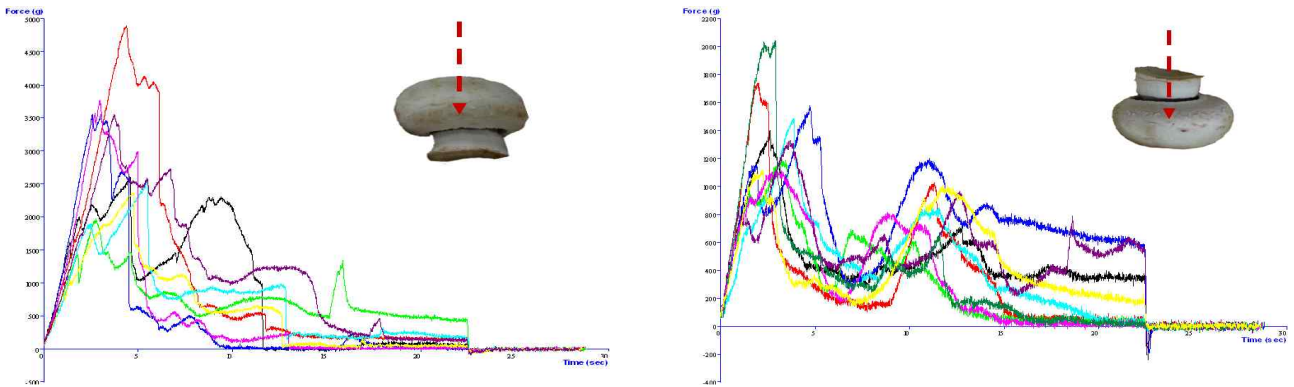


Fig. 6. 양송이 버섯 갓의 위치를 달리하여 측정된 조직감 그래프

Fig. 6은 양송이버섯의 조직감 측정시 갓의 위치를 위로하여 cutting하는 것과 아래로 하여 cutting하는 차이에 따른 조직감 패턴변화를 측정된 결과로 갓이 위로 향한 상태로 cutting 하는 경우 갓과 자루의 경계가 정확하게 나타나지 않으며 그래프가 형태가 각기 다른 형태를 띠어 재현성이 낮게 나타났으나 양송이버섯의 갓을 아래로 하여 cutting 하는 경우 자루 부분에 일정 힘이 가해진 후 갓 부분에 힘이 가해지는 경계가 나타나 양송이버섯의 조직감을 측정하는 경우 갓이 아래로 오게 하여 cutting하는 것이 샘플간의 재현성이 높게 나타나 비교적 정확한 데이터를 산출 할 수 있을 것으로 판단된다.

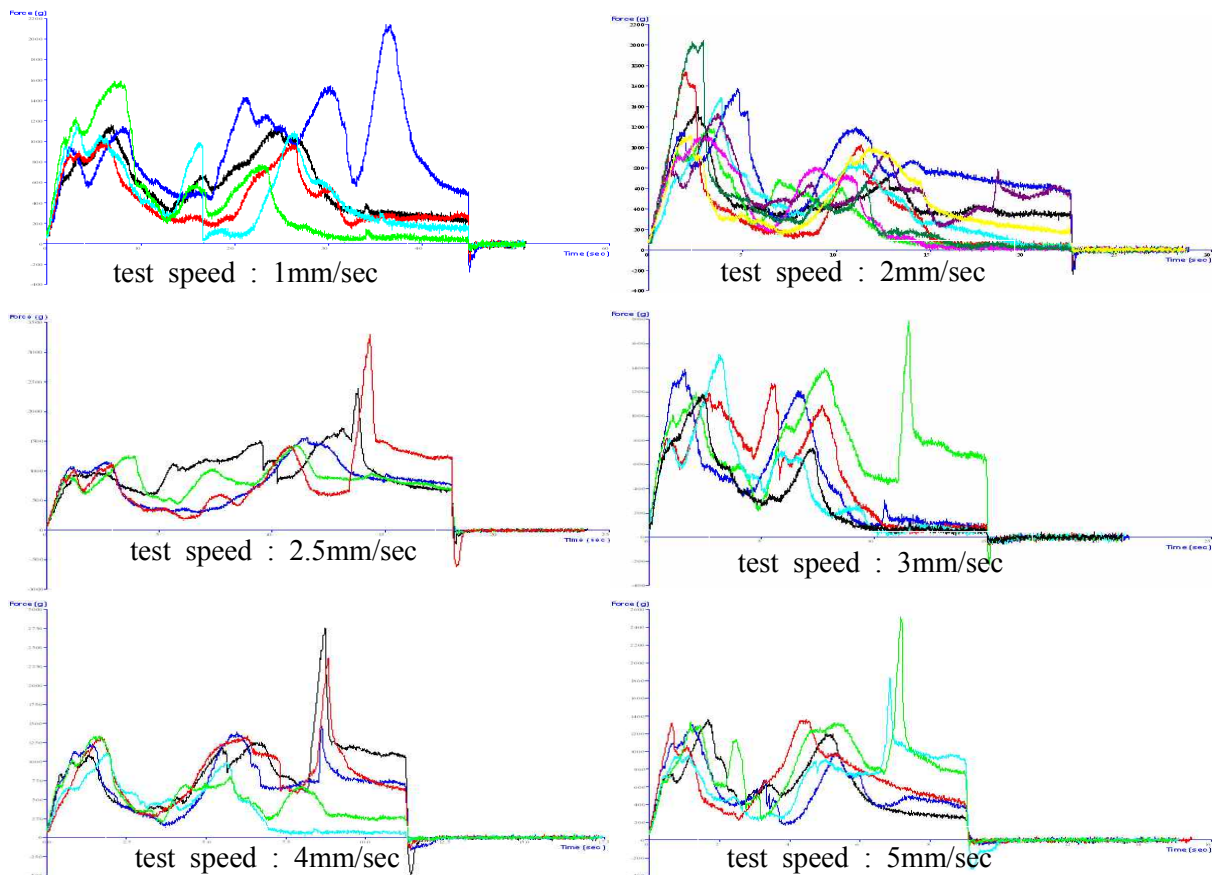


Fig. 7. test-speed를 달리하여 측정된 양송이버섯 조직감 그래프

Fig. 7은 Blade with flat end의 에너지가 샘플 내부로 제대로 전파될 수 있도록 test speed를 1, 2, 2.5, 3, 4, 5 mm/sec의 속도로 양송이버섯의 갓이 아래로 향하여 조직감을 측정할 결과로 4mm/sec의 제외 양송이버섯의 조직감의 경우 갓과 자루의 경계가 정확히 나타나지 않았으며 재현성이 낮게 나타났다. 4mm/sec의 속도로 측정한 경우 자루의 부분 자루와 갓의 중간 부분, 갓의 끝부분으로 힘을 받는 부분이 구분되는 것으로 나타났으며 샘플간의 재현성이 높게 나타나 양송이버섯의 조직감 측정은 갓이 아래로 향하고 test speed는 4mm/sec로 조직감을 측정하는 것이 재현이 높은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

2. Millimeter wave(MMW)의 기능성 증진 및 저장 가공기술 연구

가. 재료 및 방법

(1) 재료

본 실험에 사용된 채소류는 딸기(설향, 특, 담양군 봉산면), 양상추(사쿠라멘트, 특, 대, 의령군), 감자(천년의 숨씨 노을감자, 특, 왕특, 전북부안), 양송이 버섯(굿뜨레 부여 양송이, 특, 부여)이고, 곡류는 현미(장호원)를 성남농수산물도매시장에서 구입하여 사용하였다.

(2) Millimeter wave(MMW) 조사

MMW 조사는 러시아 MMW 연구소에서 구입한 millimeter wave(Nizhniy Novgorod, Russia)기로 control system, oscillator, Transit generator, single requency로 구성되어 있으며 제1절의 연구에서 조사한 채소류 및 곡류의 최적주파수 결과를 토대로 실온에서 0, 30, 60, 300, 900, 1800s 동안 각각의 최적주파수로 조사하였다.

(3) 시료준비

MMW로 조사한 채소류 시료는 PE 포장필름에 넣은 후 4℃에서 보관하면서 저장기간에 따른 변화를 조사하였다. 미생물, 색도, 물성, 당도, pH, 관능은 생시료를 이용하였고, 수소공여능, 총 폴리페놀 함량, Anthocyanin 함량, Chlorogenic acid 함량은 -70℃에서 동결시킨 뒤 5일 동안 동결건조한 후 분말로 만들어 밀봉하고 냉동 보관하면서 시료로 사용하였으며 딸기와 양송이버섯은 methanol로 추출하였으며, 양상추는 80% methanol, 감자와 현미는 80% ethanol로 추출하여 시료로 사용하였다.

(4) 실험 방법

(가) 미생물 분석

건조필름배지법을 이용한 미생물 분석을 위해, 시료 5 g을 취한 뒤 45 ml의 멸균된 0.85% 생리식염수를 혼합하여 stomacher(Bagmixer 400, Interscience, Co., Saint Nom, France)를 이용하여 3분간 균질화 시킨 후 각각의 시료액을 1 ml씩 취하여 9 ml의 희석액에 단계 희석하였다. 배지는 3M 주식회사(Minnesota, USA)로부터 구입하였으며, 건조필름배지는 총 균수(PAC, 3M), 대장균 및 대장균군수(PEC, 3M), 효모 및 곰팡이(PYM, 3M)를 사용하였으며, 균수는 시료 1 g당 log colony forming unit(log CFU/g)로 나타내었다.

(나) 물성 측정

딸기의 조직감 측정은 Texture Analyser(TX XT, Stable Micro Systems, England)를 사용하였으며 조건은 probe 5mm, Pre-test speed : 2mm/sec, test speed : 2mm/sec, post-speed : 10mm/sec, distance 10mm로 과실의 중앙부위를 측정하였다. 양상추의 조직감 측정은 Texture Analyser(TA HD plus, Stable Micro Systems, England)를 사용하였으며, Kramer Shear Cell을 이용하여 Count Peaks(g)를 측정하였다. 측정 조건은 Pre-test speed : 2mm/sec, test speed : 2mm/sec, post-speed : 10mm/sec, Trigger force : 100g, threshold 20이며, 양상추는 4×4 cm 크기로 절단하였으며 45g씩 사용하였다. 감자와 양송이버섯의 조직감 측정은 Blade with flat end를 이용하여 Pre-test speed : 2mm/sec, test speed : 4mm/sec, post-speed : 10mm/sec, distance : 45mm의 조건으로 측정하였다.

(다) 색도 및 pH 측정

시료의 색도는 Hunter 색도계(CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan)로 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 반복 측정하여 평균값으로 나타내었으며, 측정부위는 딸기는 표면의 중앙 부위 지점을 측정하였으며, 양상추는 시료 60g과 증류수 60g을 넣어 10초간 마쇄한 후 4겹의 거즈로 여과한 후 petridish(diameter 20×12mm)에 담아 측정하였다. 감자는 증류수로 3번 세척 후 과피의 중앙 부분을 측정하였으며 양송이버섯은 시료 갖의 상단 중심 부위를 측정하였다. 양송이버섯의 갈변도는 시료의 절단된 면 측정하여 나타내었다.

pH는 시료와 증류수의 비율을 1:1로 하여 10초간 마쇄한 후 4겹의 거즈로 여과한 후에 pH meter(Orion 520A, Orion Research Inc., Boston, MA, USA)로 측정하였다.

(라) 가용성 고형물 측정

당도는 과채류를 분쇄기로 분쇄하여 착즙한 후 착즙액을 일정량 취해 당도계(WM-7, Atago, Tokyo, Japan)로 측정하였다.

(마) 중량 감소율 측정

시료의 초기 중량에 대한 저장 시 측정된 중량의 차이를 전자저울로 측정하여 초기 중량에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

(바) 총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 화합물 함량은 Folin-Ciocalteu's의 방법에 따라 측정하였다. 동결건조한 시료 1 g에 solvent를 각각 9 mL씩 넣어 교반(150 rpm, 24h, 25°C) 후 원심분리(5,000 rpm, 20min)한 상등액 0.1 mL에 Folin-Ciocalteu's 시약(2N) 0.2 mL을 첨가하고 5% Na₂CO₃ 3 mL을 가하여 2시간 방치 후 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 gallic acid를 이용한 표준 검량식에 적용하여 시료 중 총 폴리페놀 함량을 구하였다.

(사) DPPH법에 의한 수소공여능 측정

추출한 시료 0.1 mL에 60 μM DPPH 용액 3.9 mL를 가한 뒤 vortex mixer로 10초간 진탕하고 실온에서 30분간 방치 한 후 spectrophotometer(Jasco V650, Tokyo, Japan)로 517 nm에서

흡광도를 측정하여 다음과 같은 계산식에 의해 환산하였다.

$$\text{Electron Donating Activity(\%)} = (1 - A/B) \times 100$$

A : Absorbance of sample, B : Absorbance of blank

(아) Anthocyanin 함량 측정

동결건조한 시료 1 g에 0.1% HCl이 포함된 methanol 10 mL씩 가하여 교반(150 rpm, 2h, 25°C) 후 원심분리(5,000 rpm, 20min)한 후 0.45µm filter로 여과한 액을 anthocyanin 분석 시료로 사용하였다. 위 추출물 1 mL에 0.025 M potassium chloride buffer(pH 1.0) 1 mL 또한 0.4 M sodium acetate buffer(pH 4.5) 1 mL을 각각 혼합하여 반응액의 흡광도 값을 510 nm와 700 nm에서 측정하였다. 총 안토시아닌 함량(mg/L)은 cyanidin-3-glucoside의 몰흡광계수($\epsilon = 26,900 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 아래의 식에 의해 산출하였다.

$$\text{Anthocyanin content(mg/L)} = A \times \text{MW} \times 1000 / \epsilon \times V$$

$$A(\text{Absorbance}) = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$$

$$\text{MW}(\text{Molecular weight of cyanidine-3-glucoside}) = 449.2$$

$$\epsilon = 26,900 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1} \quad V = \text{추출물의 부피}$$

(자) Chlorogenic acid 함량 측정

Chlorogenic acid의 함량은 sodium molybdate 방법으로 측정하였다. 시료의 80% ethanol 추출액 1mL에 2mL의 5% sodium molybdate solution(in 50% ethanol solution)과 혼합하고 2mL의 50% ethanol solution을 섞어 발색이 되도록 1시간 방치 후 370nm에서 흡광도를 측정하였다. 흡광도는 표준물질 chlorogenic acid의 standard curve에 적용하여 chlorogenic acid 함량을 구하였다.

(차) 비타민 C 함량 측정

비타민 C 분석은 시료 20 g을 식품공전의 미량 영양성분시험법에 따라 처리하였다.

(카) 식이섬유 함량 측정

현미의 식이섬유 함량 측정은 식품공전의 총식이섬유시험법을 이용하여 측정하였다.

(타) 관능검사

관능검사는 한국식품연구원내 패널 12명을 대상으로 관능평가를 실시하였다. 평가는 9점 척도를 이용하였으며 1점으로 갈수록 '매우 싫다'에서 9점에 가까울수록 '매우 좋다'를 표시하도록 하였다. 평가항목은 외관(appearance), 맛(taste), 조직감(texture), 전반적 기호도(overall acceptability)이었다.

(파) 통계 분석

모든 실험은 3회 이상 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들은 SPSS 12.0(Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) software를 이용하여 유의적 차이가 있는 항목에 대해서는 Duncan의 다중검정법으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의차 검정을 실시하였다.

나. 결과 및 고찰

(1) Millimeter wave 조사 시간에 따른 딸기의 품질특성

딸기는 과육이 연약하고 호흡률이 비교적 높은 과일로 수확 후 품질연화와 미생물에 의한 부패가 빠르게 진행되는데 국내산 딸기는 주로 소포장 폴라스티크(polystyrene (PS), polyvinylchloride (PVC)) 상자에 담겨져서 500 g, 800 g, 1 kg 단위로 유통, 판매되고 있으나 통기 상태이기 때문에 품질연화와 부패가 쉽게 일어나 유통기한이 매우 짧다. 실제 관행적인 유통기간도 상온에서 1-2일에 불과하여, 수확 후 소비자의 구매가 이루어지기 전까지 딸기의 초기품질을 유지시키고자 딸기에 millimeter wave를 0, 30, 60, 300, 600, 1800s로 조사한 후 4°C에서 7일간 저장하면서 딸기의 품질변화를 살펴보았다.

표 2는 millimeter wave를 조사한 딸기의 대장균군 변화를 나타낸 결과이다. 비조사구 및 조사구는 저장 5일째까지 대장균군이 나타나지 않았으나 저장 7일째에는 비조사구에서 4 CFU/g으로 나타났다. Solberg 등은 비가열 조리음식으로 대장균군수가 3 log CFU/g 이하로 적정 관리 기준을 제시하였으며 이 기준에 비하면 낮은 대장균군수이나 millimeter wave의 조사구에서는 전혀 나타나지 않았음에 비해 비조사구에서 나타나 millimeter wave의 조사가 저장 7일까지 대장균군의 증식을 억제되는 것으로 판단되었다.

표 2. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 대장균군 변화

(Unit : CFU/g)

Treatment time(s)	Storage time(days)				
	0	1	3	5	7
0					4
30					
60					
300			Not detected		
900					
1800					

표 3은 저장 7일 동안 millimeter wave를 조사한 딸기의 pH 변화를 측정된 결과이다. 딸기의 pH는 3.78~3.99로 저장 기간 동안 딸기의 pH 값이 증가하는 경향을 나타내었으나 변화율의 폭이 크게 나타나지 않았다. 저장초기에는 1800s 조사구의 pH가 유의적으로 높게 나타났으나 저장 1일째부터는 조사구에 비해 비조사구에서 높은 pH 값을 나타내었다.

표 3. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 pH

Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
	0	1	3	5	7	
0	3.73 ^{cB1)}	3.75 ^{aB}	3.78 ^{aB}	3.99 ^{aA}	3.99 ^{aA}	0.02
30	3.76 ^{bC}	3.73 ^{aD}	3.74 ^{bCD}	3.81 ^{bB}	3.86 ^{cdA}	0.01
60	3.74 ^{bcC}	3.72 ^{aD}	3.72 ^{bCD}	3.79 ^{bB}	3.88 ^{cA}	0.01
300	3.73 ^{cC}	3.72 ^{aD}	3.72 ^{bcC}	3.79 ^{bB}	3.95 ^{bA}	0.01
900	3.75 ^{bC}	3.74 ^{aC}	3.70 ^{cD}	3.90 ^{bA}	3.84 ^{dB}	0.02
1800	3.78 ^{aC}	3.72 ^{aD}	3.70 ^{cD}	3.82 ^{bB}	3.87 ^{cdA}	0.01
SEM ²⁾	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	

¹⁾Values with different letters within a column (a-d) and a row (A-D) differ significantly(p<0.05).

²⁾Standard error of the means(n=18). ³⁾Standard error of the means(n=15).

딸기의 가용성 고형분 함량 측정 결과 저장 0일째 millimeter wave 60s 조사구가 8.02 ° Brix로 유의적으로 낮게 나타났으며 1800s 조사구는 9.98 ° Brix로 가장 높은 함량을 나타내었다. 저장 7째는 비조사구에 비해 조사구 딸기의 가용성 고형분 함량이 비교적 높게 나타났다(표 4). 저장기간 동안 비조사구, 300s, 1800s 조사구의 가용성 고형분 함량이 감소하였으나 30s, 60s, 900s 조사구는 증가하였다. 60s 조사구는 증가의 폭이 1.28 ° Brix로 가장 크게 증가하였다.

표 4. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 가용성 고형분 함량

(Unit : °Brix)

Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
	0	1	3	5	7	
0	9.00 ^{bC1)}	11.38 ^{aA}	9.90 ^{abB}	9.35 ^{aBC}	8.78 ^{bC}	0.37
30	9.10 ^{bBC}	11.00 ^{aA}	9.93 ^{abB}	8.63 ^{aC}	9.62 ^{aB}	0.43
60	8.02 ^{cC}	9.50 ^{cA}	9.47 ^{bB}	8.73 ^{aB}	9.28 ^{abAB}	0.31
300	9.52 ^{abB}	10.72 ^{abB}	10.50 ^{aB}	8.93 ^{aA}	8.90 ^{abA}	0.30
900	9.10 ^{bB}	10.18 ^{bcA}	10.07 ^{abA}	7.88 ^{aC}	9.28 ^{abB}	03.5
1800	9.98 ^{aA}	10.13 ^{bcA}	10.28 ^{aA}	9.03 ^{aB}	9.22 ^{abB}	0.30
SEM ²⁾	0.31	0.38	0.35	0.35	0.34	

¹⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-C) differ significantly(p<0.05).

²⁾Standard error of the means(n=36). ³⁾Standard error of the means(n=30).

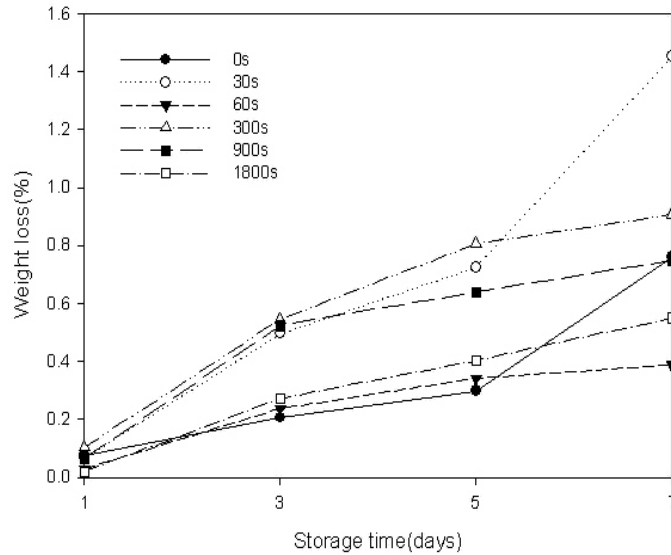


Fig. 8. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 생체중량변화율

Fig. 8은 저장기간 동안 딸기의 생체중량변화를 나타낸 결과로 비조사구와 조사구 모두 저장기간 동안 중량 감소율이 증가하는 경향을 나타내었으며 저장 5일째까지는 비조사구가 조사구에 비해 중량 감소율이 낮게 나타났으나 저장 7일째 유의적으로 증가하여 millimeter wave 60s 조사구와 1800s 조사구의 중량 감소율이 낮게 나타났으며 30s 조사구는 1.45%로 중량 감소율이 유의적으로 높게 나타났다.

저장기간 동안 딸기의 색도를 측정된 결과는 표 5와 같이 과피의 명도를 나타내는 Hunter L 값은 저장 0일째 30.82~33.77에서 저장 1일째 35.64~38.03로 증가하였으나 저장 5일째까지는 millimeter wave의 조사 유무에 따른 차이를 나타내지 않았으며 저장 7일째에는 비조사구에 비해 1800s 조사구가 높은 L 값을 나타내었다. 딸기의 L 값은 저장기간이 지속될수록 증가하는 경향을 나타내었다. 딸기의 적색도를 나타내는 a 값은 저장 초기에 31.53~33.86으로 나타났으며 저장 1일째에는 36.66~39.45로 증가하여 저장 7일까지 저장기간이 지속될수록 a 값의 변화가 유의차를 나타내지 않았다. b 값은 저장기간이 지속될수록 증가하는 경향을 나타내었으며 변화의 폭이 크게 나타났다.

표 5. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 색도

Color value	Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
		0	1	3	5	7	
L	0	30.82 ^{aB1)}	37.16 ^{aA}	37.46 ^{aA}	37.07 ^{aA}	38.07 ^{abA}	1.25
	30	30.95 ^{aB}	37.95 ^{aA}	38.17 ^{aA}	37.66 ^{aA}	38.20 ^{abA}	1.41
	60	33.77 ^{aB}	36.79 ^{aA}	36.26 ^{aA}	37.06 ^{aA}	35.71 ^{bAB}	1.01
	300	31.42 ^{aC}	36.89 ^{aAB}	38.60 ^{aA}	37.29 ^{aAB}	35.94 ^{bB}	1.22
	900	32.77 ^{aB}	38.03 ^{aA}	39.10 ^{aA}	38.70 ^{aA}	36.67 ^{abA}	1.38
	1800	30.96 ^{aC}	35.64 ^{aB}	36.69 ^{aAB}	37.12 ^{aAB}	39.09 ^{aA}	1.34
	SEM ²⁾	1.40	1.30	1.33	1.08	1.24	
a	0	31.89 ^{bC}	36.66 ^{bB}	38.92 ^{aA}	39.29 ^{aA}	39.43 ^{aA}	0.86
	30	32.46 ^{abB}	39.10 ^{aA}	39.34 ^{aA}	39.87 ^{aA}	39.34 ^{aA}	0.78
	60	33.86 ^{aB}	39.45 ^{aA}	38.44 ^{aA}	39.92 ^{aA}	39.81 ^{aA}	0.72
	300	32.01 ^{bC}	37.86 ^{abB}	39.49 ^{aA}	39.05 ^{aAB}	39.22 ^{aAB}	0.69
	900	32.85 ^{abB}	39.23 ^{aA}	38.73 ^{aA}	39.49 ^{aA}	38.99 ^{aA}	1.05
	1800	31.53 ^{bB}	38.97 ^{aA}	39.46 ^{aA}	40.02 ^{aA}	39.73 ^{aA}	0.68
	SEM	0.79	0.92	0.76	0.68	0.87	
b	0	13.39 ^{aC}	23.83 ^{bB}	28.41 ^{aA}	25.66 ^{aAB}	27.86 ^{abA}	1.87
	30	13.76 ^{aB}	28.33 ^{aA}	27.70 ^{aA}	27.30 ^{aA}	26.23 ^{abA}	1.74
	60	15.82 ^{aB}	26.05 ^{abA}	24.79 ^{aA}	27.13 ^{aA}	25.16 ^{abA}	1.51
	300	13.98 ^{aC}	26.01 ^{abAB}	28.58 ^{aA}	26.41 ^{aAB}	24.26 ^{bB}	1.22
	900	14.69 ^{aB}	27.58 ^{abA}	28.31 ^{aA}	28.44 ^{aA}	25.62 ^{abA}	1.80
	1800	13.42 ^{aB}	26.48 ^{bA}	26.13 ^{aA}	26.50 ^{aA}	28.77 ^{aA}	1.54
	SEM	1.09	1.82	1.79	1.65	1.68	

¹⁾Values with different letters within a column (a-b) and a row (A-C) differ significantly(p<0.05). ²⁾Standard error of the means(n=600). ³⁾Standard error of the means(n=500).

표 6은 딸기의 조직감 결과로 millimeter wave의 조사시간을 달리하였을 때의 변화를 나타내었다. 저장기간이 지속됨에 따라 딸기의 경도는 30s, 300s, 900s 조사구의 경도 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 저장초기에는 900s 조사구의 경도가 유의적으로 낮게 나타났으나 저장 7일째에는 30s 조사구가 0.22 kg 으로 높은 값을 나타내었으며 비조사구와 1800s 조사구는 유의적으로 낮은 경도 값을 나타내었다. Gradient(g/sec)는 0점에서부터 최고 피크 구간의 기울기로 시료가 같은 force를 나타내어도 기울기의 정도에 따라 물러지는 정도를 확인할 수 있는 값으로 딸기에 millimeter wave를 조사한 결과 경도의 결과와 같이 비조사구와 1800s 조사구의 기울기 값은 저장기간이 지속됨에 따라 변화의 폭이 유의적으로 크게 나타나 딸기의 물러짐이 진행됨을 알 수 있었으며 30s, 300s 조사구의 기울기 값은 유의적으로 증가하여 millimeter wave를 1800s 이하로 조사하는 것이 딸기의 조직감에 좋은 영향을 미치는 것으로 보였다.

표 6. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 조직감

	Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
		0	1	3	5	7	
Force (kg)	0	0.21 ^{1)aAB}	0.17 ^{bB}	0.23 ^{abA}	0.21 ^{abAB}	0.17 ^{bB}	0.02
	30	0.20 ^{abA}	0.20 ^{abA}	0.20 ^{abA}	0.19 ^{abA}	0.22 ^{aA}	0.02
	60	0.21 ^{aAB}	0.19 ^{abAB}	0.22 ^{abA}	0.17 ^{bB}	0.19 ^{abAB}	0.02
	300	0.17 ^{bB}	0.19 ^{abAB}	0.19 ^{bB}	0.23 ^{aA}	0.21 ^{abAB}	0.02
	900	0.19 ^{bA}	0.17 ^{abA}	0.21 ^{abA}	0.20 ^{abA}	0.20 ^{abA}	0.02
	1800	0.21 ^{aABC}	0.22 ^{aAB}	0.25 ^{aA}	0.18 ^{abBC}	0.17 ^{bC}	0.02
	SEM ²⁾	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	
Gradi- ent (kg/sec)	0	0.22 ^{aA}	0.16 ^{bB}	0.22 ^{aA}	0.20 ^{abAB}	0.15 ^{bB}	0.03
	30	0.19 ^{abA}	0.19 ^{abA}	0.18 ^{aA}	0.19 ^{abA}	0.21 ^{aA}	0.02
	60	0.22 ^{abAB}	0.15 ^{bC}	0.23 ^{aA}	0.17 ^{bBC}	0.18 ^{abABC}	0.02
	300	0.17 ^{bB}	0.19 ^{abAB}	0.18 ^{aB}	0.23 ^{aA}	0.20 ^{abAB}	0.02
	900	0.21 ^{abA}	0.16 ^{bB}	0.20 ^{aAB}	0.20 ^{abAB}	0.19 ^{abAB}	0.03
	1800	0.19 ^{abAB}	0.22 ^{aA}	0.24 ^{aA}	0.17 ^{bB}	0.16 ^{abB}	0.02
	SEM	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	

¹⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-C) differ significantly($p < 0.05$). ²⁾Standard error of the means($n=360$). ³⁾Standard error of the means($n=300$).

딸기에 millimeter wave를 0, 30s, 60s, 300s, 900s, 1800s 동안 조사하여 4°C 에서 7일 동안 저장하면서 관능 평가한 결과를 표 7에 나타내었다. millimeter wave를 조사한 직후 딸기의 외관은 6.50~7.50점으로 나타났으나 조사의 유무에 따른 차이를 나타내지 않았으나 저장 3일째에는 비조사구에 비해 조사구의 딸기 외관 점수가 높은 경향을 나타내었으며 저장 7일째는 6.00~7.50점으로 30s 조사구의 외관이 높은 점수를 받았다.

딸기의 맛은 저장 0일째 1800s 조사구의 딸기 맛이 7.50으로 높은 점수를 받았으며 다른 시료간의 차이는 나타나지 않았다. 저장기간동안 비조사구와 millimeter wave 900s 조사구의 딸기 맛이 6.50점, 6.25점으로 다른 시료에 비해 높은 점수를 받았으나 30s, 60s, 1800s 조사구는 저장기간이 지속됨에 따라 맛의 품질이 떨어지는 것으로 나타났다.

조직감은 비조사구가 저장기간이 증가함에 따라 점수가 증가하는 경향을 나타내었으나 통계상의 유의차는 나타나지 않았다. millimeter wave 900s 조사구는 저장초기와 마지막이 6.25점으로 딸기의 조직감이 유지되는 경향을 나타내었다. 1800s 조사구는 저장초기 7.50점으로 높은 점수를 받았으나 저장 7일째는 5.25점으로 딸기의 조직감 품질이 떨어지는 것으로 나타났다.

향, 맛, 조직감을 종합한 전체적인 기호도는 저장초기에 비조사구의 기호도가 4.75점으로 millimeter wave 조사구에 비해 유의적으로 낮은 점수를 받았으며 저장 7일째에는 900s 조사구가 6.25점으로 높은 점수를 받았다.

표 7. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 관능평가

	Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
		0	1	3	5	7	
appear- ance	0	6.50 ^{1)aa}	7.00 ^{aA}	4.50 ^{cB}	7.00 ^{aA}	6.75 ^{abA}	0.40
	30	7.50 ^{aA}	6.00 ^{aA}	7.00 ^{abA}	6.50 ^{aA}	7.50 ^{aA}	0.66
	60	7.00 ^{aAB}	7.00 ^{aAB}	8.00 ^{aA}	7.00 ^{aAB}	6.25 ^{bb}	0.47
	300	7.50 ^{aA}	6.25 ^{aAB}	5.50 ^{bcB}	6.50 ^{aAB}	6.50 ^{abAB}	0.79
	900	7.25 ^{aA}	7.00 ^{aA}	6.00 ^{bcA}	6.25 ^{aA}	6.00 ^{ba}	0.72
	1800	6.75 ^{aAB}	6.50 ^{ab}	8.00 ^{aA}	6.25 ^{ab}	6.25 ^{bb}	0.61
	SEM ²⁾	0.49	0.70	0.71	0.66	0.53	
taste	0	5.00 ^{ba}	6.00 ^{aA}	6.00 ^{bcA}	5.75 ^{aA}	6.50 ^{aA}	0.72
	30	5.75 ^{ba}	5.50 ^{aA}	6.50 ^{abA}	5.25 ^{aA}	5.75 ^{abA}	0.74
	60	6.00 ^{bb}	5.50 ^{aAB}	4.50 ^{cAB}	5.75 ^{aAB}	4.75 ^{ba}	0.62
	300	6.00 ^{ba}	6.75 ^{aA}	5.50 ^{bcA}	5.75 ^{aA}	5.25 ^{abA}	0.66
	900	6.25 ^{ba}	5.25 ^{aAB}	5.25 ^{bcB}	4.50 ^{ab}	6.25 ^{abA}	0.58
	1800	7.50 ^{aA}	6.25 ^{aAB}	7.75 ^{aA}	4.75 ^{ab}	5.50 ^{abB}	0.86
	SEM	0.54	0.79	0.68	0.76	0.73	
texture	0	5.00 ^{ba}	5.50 ^{aA}	6.00 ^{bcA}	5.75 ^{aA}	6.25 ^{aA}	0.65
	30	5.00 ^{bb}	5.00 ^{ab}	6.50 ^{abA}	5.75 ^{aAB}	5.25 ^{abAB}	0.59
	60	5.25 ^{baB}	5.25 ^{aAB}	5.50 ^{bcdAB}	6.25 ^{aA}	5.00 ^{bb}	0.49
	300	6.25 ^{abA}	6.25 ^{aA}	4.50 ^{db}	6.00 ^{aA}	5.25 ^{abB}	0.61
	900	6.00 ^{abA}	5.75 ^{aA}	5.00 ^{cdA}	5.25 ^{aA}	6.00 ^{abA}	0.43
	1800	7.00 ^{aA}	6.25 ^{aAB}	7.25 ^{aA}	5.50 ^{ab}	5.25 ^{abB}	0.66
	SEM	0.66	0.71	0.52	0.53	0.44	
overall accept-a bility	0	4.75 ^{ba}	5.75 ^{aA}	6.00 ^{bcA}	5.50 ^{aA}	5.25 ^{abA}	0.84
	30	5.75 ^{abAB}	5.00 ^{ab}	6.50 ^{abA}	5.75 ^{aAB}	5.25 ^{abAB}	0.61
	60	5.75 ^{abAB}	5.50 ^{aABC}	4.50 ^{cBC}	6.00 ^{aA}	4.25 ^{bc}	0.62
	300	6.25 ^{abA}	6.00 ^{aA}	5.50 ^{bcA}	6.00 ^{aA}	5.25 ^{abA}	0.70
	900	5.75 ^{abAB}	5.25 ^{aAB}	5.25 ^{bcAB}	4.75 ^{ab}	6.25 ^{aA}	0.51
	1800	7.25 ^{aAB}	6.00 ^{aABC}	7.75 ^{aA}	5.25 ^{aC}	5.50 ^{abBC}	0.84
	SEM	0.68	0.75	0.68	0.61	0.76	

¹⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-C) differ significantly(p<0.05). ²⁾Standard error of the means(n=360). ³⁾Standard error of the means(n=300).

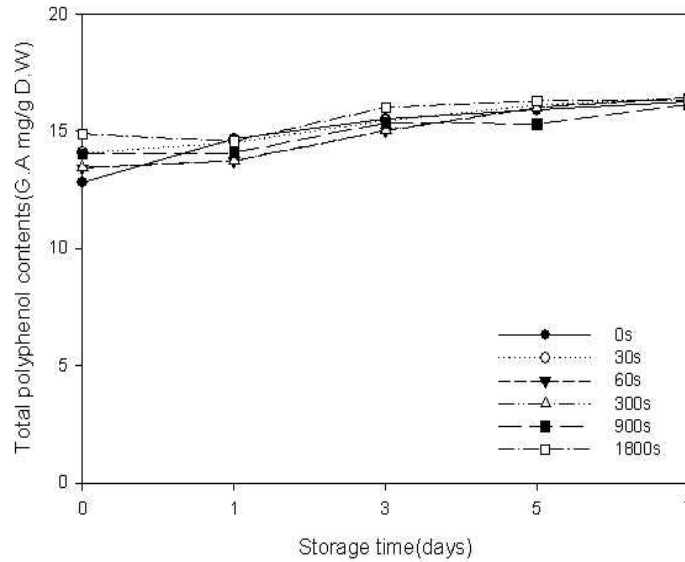


Fig. 9. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 총 폴리페놀 함량

Millimeter wave의 조사 시간에 따른 딸기의 총 폴리페놀 함량변화를 Fig. 9에 나타내었다. 딸기의 총 폴리페놀 함량은 저장0일째 비조사구는 12.82 G.A mg/g 으로 조사구(13.43~14.89 G.A mg/g)에 비해 유의적으로 낮은 함량을 나타내었으며 저장 7일째는 비조사구와 조사구가 16.15~16.44 G.A mg/g 으로 저장기간이 지속됨에 따라 딸기의 총 폴리페놀 함량이 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

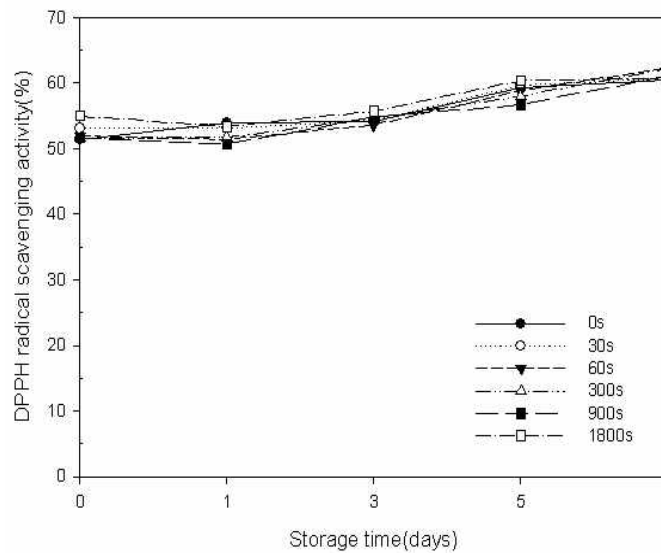


Fig. 10. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 DPPH 라디칼 소거능

Fig. 10은 딸기를 methanol로 추출하여 10mg/mL의 농도에서 DPPH 라디칼 소거능(수소공여능)을 측정된 결과로 딸기는 비조사구 및 조사구 모두 저장기간이 증가함에 따라 수소공여능이 증가하는 경향을 나타내었다. 저장 0일, 3일에는 millimeter wave의 조사 유무에 따른 차이를 나타내지 않았으나 저장 7일째에는 millimeter wave 60s, 300s 조사구가 각각 62.32% 62.22%로 유의적으로 높은 수소공여능을 나타내었다.

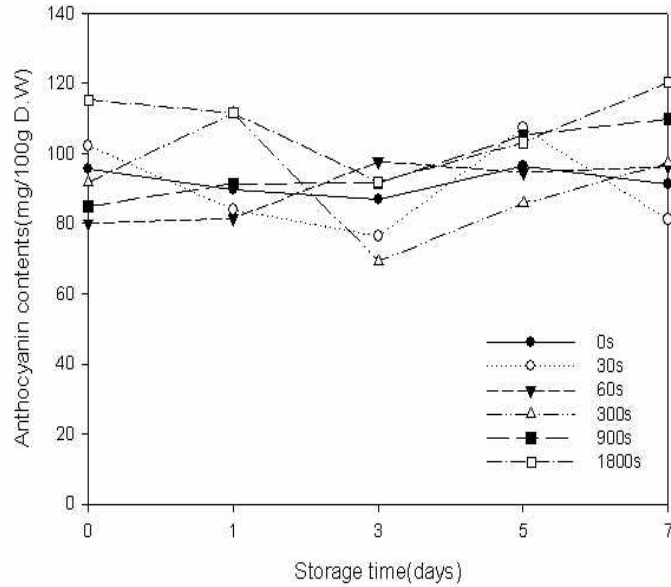


Fig. 11. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 안토시아닌 함량

딸기 과실의 안토시아닌 함량변화를 측정된 결과(Fig. 11) millimeter wave의 조사시간을 달리 하여 조사한 직후 과실의 안토시아닌 함량은 1800s 조사구가 115.34 mg/100g 으로 유의적으로 높은 함량을 나타내었다. 비조사구와 30s 조사구는 저장 7일째 안토시아닌 함량이 감소하는 경향을 나타내었으나 60s, 300s, 900s 조사구는 저장 기간 동안 함량이 증가하는 경향을 나타내었다.

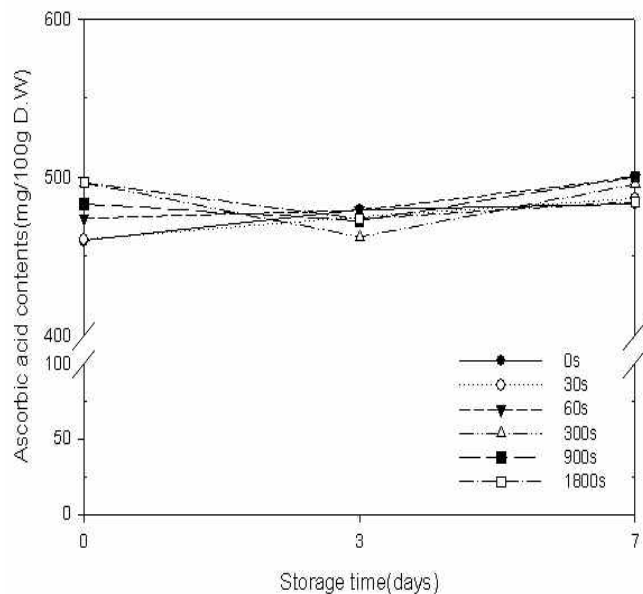


Fig. 12. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 딸기의 비타민C(아스코르브산) 함량

Fig. 12는 딸기의 비타민 C 함량을 측정된 결과로 저장기간 동안 비조사구는 459.78~483.02 mg/100g 으로 나타났으며 millimeter wave 조사구는 460.64~500.60 mg/100g 으로 비교적 높은 비타민C 함량을 나타내었다. 비조사구와 60s, 900s 조사구는 저장기간이 지날수록 함량이 증가하는 경향을 나타내었으나 30s, 300s, 1800s 조사구는 약감 감소하는 경향을 나타내었다.

(2) Millimeter wave 조사 시간에 따른 양상추의 품질특성

양상추에 millimeter wave를 0, 30, 60, 300, 600, 1800s로 조사한 후 4°C에서 7일간 저장하면서 품질변화를 살펴보았다.

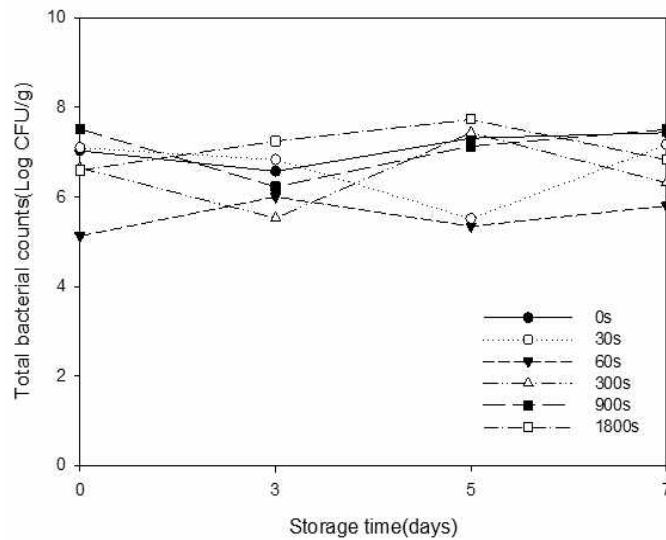


Fig. 13. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양상추의 총 호기성 세균수 변화

Fig. 13은 저장기간 동안 양상추의 총 호기성 세균수 변화를 나타낸 결과로 저장0일에 millimeter wave 60s 조사구는 비조사구에 비해 유의적으로 낮게 나타났으나 900s 조사구는 7.52 Log CFU/g 으로 높게 나타났다. 300s와 900s 조사구는 저장 5일째에 균수가 증가하였다가 7일째에는 감소하는 경향을 나타내었고 30s 조사구는 저장 5일째에 비해 저장 7일째 1.65 Log CFU/g의 균이 크게 증가하였다. Solberg 등은 비가열 조리음식의 일반세균수는 6 log CFU/g 이하로 제시하고 있어 양상추에 millimeter wave를 60s 동안 조사하는 것은 일반세균의 증식을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

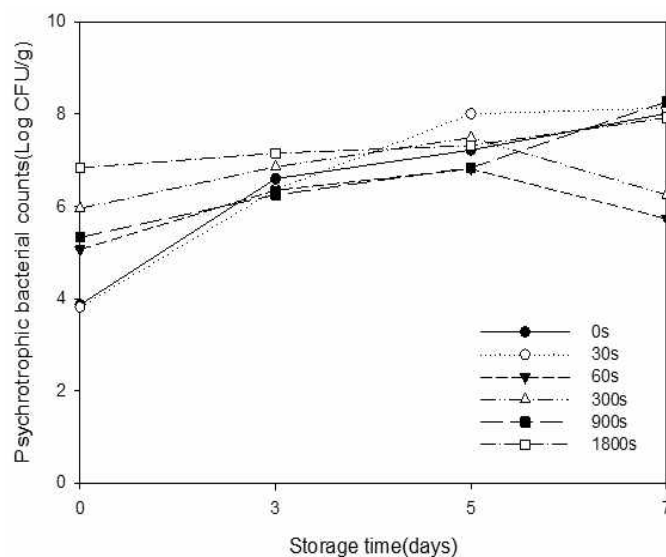


Fig. 14. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양상추의 저온균수 변화

양상추의 저온균수 변화를 측정한 결과, 저장 0일째 비조사구와 30s 조사구가 각각 3.87, 3.82 Log CFU/g 으로 유의적으로 낮은 균수를 나타내었으며 1800s 조사구가 6.84 Log CFU/g 으로 가장 높게 나타났다. 저장 7일째, 비조사구와 30s 조사구는 8.02, 8.14 Log CFU/g 으로 균 이 저장 초기에 비해 약 5 Log 정도 크게 증식하였다. millimeter wave 60s와 300s 조사구는 저장기간이 증가함에 따라 균의 증식이 각각 0.7, 0.3 log로 균의 증식이 작게 나타났다(Fig. 14).

표 8은 저장기간 동안 양상추의 pH 변화를 측정한 결과로, millimeter wave 조사 직후 양상 추의 pH는 조사시간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며 비조사구의 pH에 비해 조사구의 pH가 높게 나타났다. 저장기간이 지속될수록 비조사구와 0s, 30s 조사구는 유의적으 로 pH가 증가하는 것으로 나타났으며 1800s 조사구의 pH가 유의적으로 높은 값을 나타내었다.

표 8. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양상추의 pH 변화

Treatment time(s)	Storage time(days)				SEM ³⁾
	0	3	5	7	
0	6.12 ^{1)cC}	6.17 ^{abB}	6.19 ^{cA}	6.20 ^{cA}	0.00
30	6.13 ^{cD}	6.18 ^{aC}	6.21 ^{bB}	6.22 ^{bA}	0.00
60	6.12 ^{cD}	6.16 ^{bC}	6.19 ^{cB}	6.20 ^{cA}	0.01
300	6.18 ^{bA}	6.14 ^{cB}	6.15 ^{dB}	6.17 ^{dA}	0.00
900	6.19 ^{abA}	6.07 ^{dB}	6.18 ^{cA}	6.19 ^{cA}	0.00
1800	6.20 ^{aA}	6.13 ^{cA}	6.23 ^{aA}	6.32 ^{aA}	0.01
SEM ²⁾	0.01	0.01	0.01	0.00	

¹⁾Values with different letters within a column (a-d) and a row (A-D) differ significantly(p<0.05)

²⁾Standard error of the means(n=18). ³⁾Standard error of the means(n=12).

양상추의 고형분 함량은 1.20~1.73의 범위로 저장 초기와 비교했을 때 감소하는 경향을 나타 내었으나 millimeter wave 30s 조사구에서만 증가하는 경향을 나타내었으나 통계상의 유의차는 나타나지 않았다.

표 9. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양상추의 가용성 고형분 함량

(Unit : °Brix)

Treatment time(s)	Storage time(days)				SEM ³⁾
	0	3	5	7	
0	1.53 ^{1)ba}	1.43 ^{baB}	1.37 ^{bcB}	1.37 ^{cdB}	0.05
30	1.47 ^{ba}	1.57 ^{baA}	1.50 ^{baA}	1.57 ^{baA}	0.06
60	1.53 ^{ba}	1.30 ^{cdC}	1.43 ^{abB}	1.50 ^{abAB}	0.03
300	1.67 ^{baA}	1.20 ^{dc}	1.27 ^{cbC}	1.30 ^{db}	0.03
900	1.73 ^{baA}	1.33 ^{bcB}	1.47 ^{abB}	1.43 ^{bcB}	0.06
1800	1.47 ^{ba}	1.33 ^{bcB}	1.27 ^{cb}	1.30 ^{db}	0.04
SEM ²⁾	0.05	0.05	0.05	0.03	

¹⁾Values with different letters within a column (a-d) and a row (A-B) differ significantly($p < 0.05$). ²⁾Standard error of the means($n=18$). ³⁾Standard error of the means($n=15$).

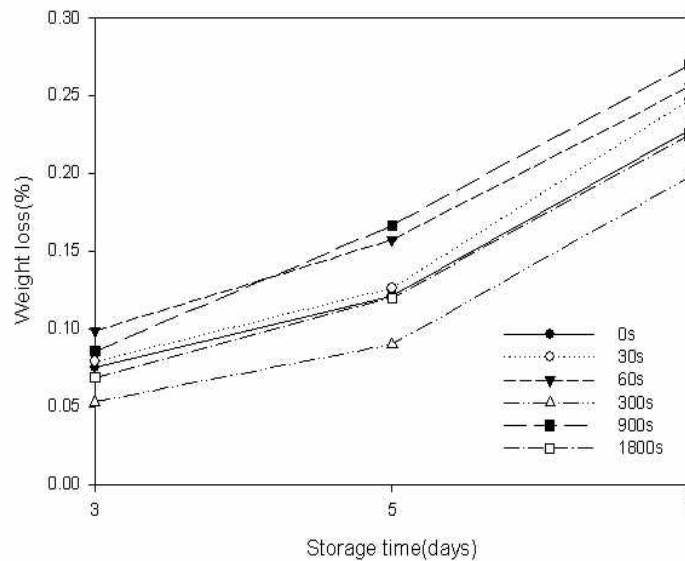


Fig. 15. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양상추의 생체중량 변화율

Millimeter wave가 조사된 양상추를 4°C에서 7일간 저장하며 생체중량의 변화율을 측정된 결과는 Fig. 15와 같다. 저장기간이 지속 될수록 양상추의 무게 손실률은 증가하였으며 300s 조사구의 양상추 무게 손실률은 0.05~0.20%로 다른 양상추에 비해 낮게 나타났으며 900s 조사구가 비교적 높은 손실률을 나타내었다.

양상추의 외부 색은 외관상의 품질을 판정하는데 중요한 요인 중 하나로 millimeter wave의 조사시간에 따른 양상추의 색도 변화를 측정된 결과는 표 10과 같다. L 값은 저장 초기에 60s 조사구가 높은 값을 나타내었고 900s 조사구는 낮은 값을 나타내었다. 저장 기간이 지속 될수록 비조사구와 60s 조사구는 L 값이 감소하는 경향을 나타내었으나 30s, 300s, 900s 조사구는 증가하는 경향을 나타내었고 1800s 조사구는 L값의 유의차를 나타내지 않았다. a 값은 비조사구가 저장기간에 따라 증가하는 경향을 나타내었으나 millimeter wave 조사구 모두 감소하는

경향을 나타내었으며 a 값의 변화량이 비조사구에 비해 조사구가 적은 변화량을 나타내어 양상추의 초록빛이 오래 유지 되는 것으로 판단된다. b값은 모든 시료가 저장 3일째 증가하였고 저장 7일 째에도 저장 초기에 비해 증가하는 경향을 나타내었으나 비조사구는 b 값이 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

표 10. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 조사한 양상추의 색도

Color value	Treatment time(s)	Storage time(days)				SEM ³⁾
		0	3	5	7	
L	0	31.00 ^{1)bcB}	32.06 ^{aA}	29.66 ^{cD}	30.69 ^{dC}	0.14
	30	31.85 ^{aC}	32.49 ^{aB}	31.46 ^{bC}	33.27 ^{aA}	0.26
	60	32.07 ^{aAB}	31.90 ^{aAB}	32.27 ^{aA}	31.51 ^{cB}	0.33
	300	31.50 ^{abcB}	32.42 ^{aA}	31.79 ^{abB}	32.26 ^{bA}	0.19
	900	30.89 ^{cC}	31.87 ^{aB}	31.53 ^{bBC}	32.89 ^{aA}	0.45
	1800	31.56 ^{abA}	31.98 ^{aA}	31.81 ^{abA}	31.53 ^{cA}	0.32
	SEM ²⁾	0.287	0.344	0.263	0.295	
	a	0	-4.90 ^{dB}	-3.61 ^{aA}	-3.76 ^{aA}	-3.69 ^{aA}
30		-3.87 ^{aA}	-4.20 ^{bA}	-4.72 ^{cB}	-4.30 ^{bAB}	0.23
60		-4.73 ^{cdAB}	-4.83 ^{cAB}	-4.59 ^{bcA}	-4.85 ^{cB}	0.11
300		-4.50 ^{bcA}	-5.33 ^{dD}	-4.93 ^{dB}	-5.10 ^{dC}	0.04
900		-4.21 ^{bA}	-5.24 ^{dB}	-5.24 ^{eB}	-4.29 ^{bA}	0.13
1800		-4.49 ^{bcA}	-5.33 ^{dC}	-4.48 ^{bA}	-4.97 ^{cdB}	0.11
SEM		0.16	0.17	0.09	0.07	
b		0	10.03 ^{aA}	10.10 ^{cA}	8.67 ^{bC}	9.63 ^{cB}
	30	9.50 ^{bcB}	10.67 ^{bcA}	10.48 ^{aA}	10.74 ^{bA}	0.27
	60	10.30 ^{aA}	10.61 ^{bcA}	10.76 ^{aA}	10.57 ^{bA}	0.26
	300	9.92 ^{abD}	11.63 ^{aA}	10.80 ^{aC}	11.19 ^{aB}	0.13
	900	9.37 ^{cB}	10.93 ^{bA}	10.99 ^{aA}	10.81 ^{abA}	0.3
	1800	10.17 ^{aB}	11.19 ^{abA}	10.78 ^{aAB}	10.43 ^{bB}	0.29
	SEM	0.236	0.277	0.256	0.209	

¹⁾Values with different letters within a column (a-e) and a row (A-D) differ significantly(p<0.05). ²⁾Standard error of the means(n=600). ³⁾Standard error of the means(n=400).

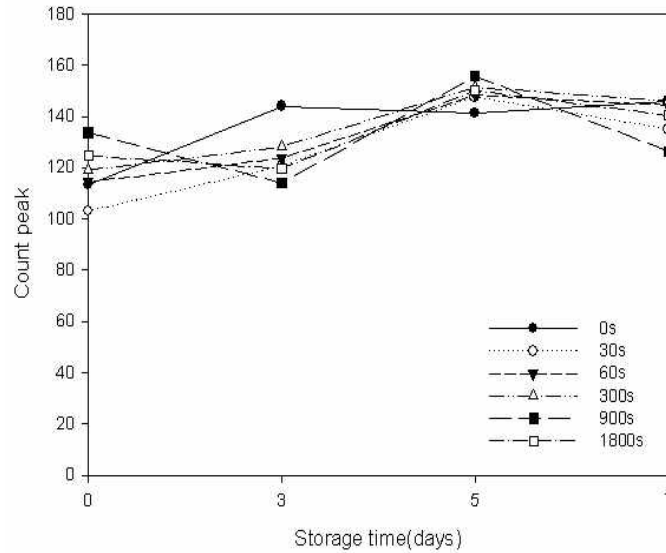


Fig. 16. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양상추의 조직감(Count peak)

Fig. 16은 양상추의 조직감을 측정된 결과로 TPA의 Count peak는 시료가 blade와 접촉하면서 받는 힘을 나타내는 것으로서 시료의 아삭함, 바삭함 등이 여러 개의 피크로 나는데 피크의 수가 많을수록 시료가 더 아삭하거나 바삭하다는 것을 알 수 있다. 양상추의 count peak는 저장 초기 millimeter wave 30s 조사구는 가장 낮은 값을 나타냈으며 900s 조사구는 가장 높은 값을 나타내어 양상추의 아삭함이 더 강하다는 것을 나타내었다. 저장 3일째는 저장초기와 달리 비조사구의 count peak가 유의적으로 높게 나타났으나 저장 5일째는 가장 낮은 값을 나타내었다. 반면 900s 조사구는 저장 3일째 114.00, 저장 5일째 155.67로 비조사구와 반대의 경향을 나타내었다. 저장 5일, 7일째는 비조사구와 조사구간의 유의차를 나타내지 않았다. 양상추의 count peak는 저장기간 동안 900s 조사구를 제외하고 나머지 시료는 증가하는 경향을 나타내었다.

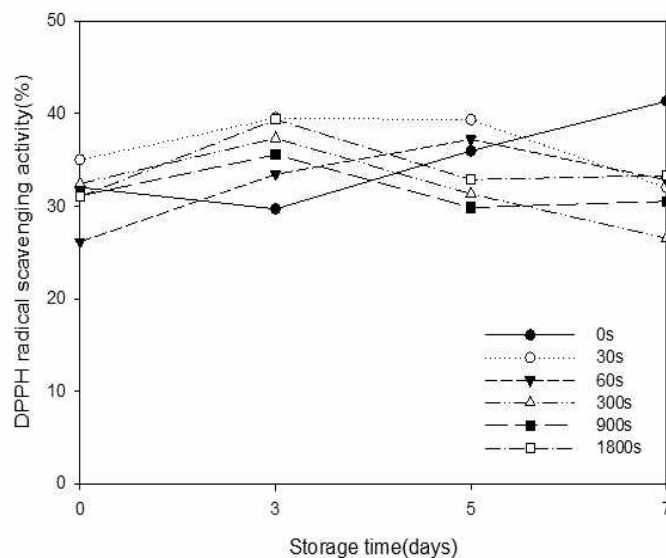


Fig. 17. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양상추의 DPPH 라디칼 소거능

Millimeter wave를 조사한 양상추의 DPPH 라디칼 소거능(수소공여능)을 측정한 결과는 Fig. 17과 같다. 양상추는 80% methanol에 추출하여 10mg/mL의 농도로 DPPH 라디칼 소거능을 측정한 결과 26.17~41.36%로 저장기간이 지속 될수록 비조사구의 수소공여능은 증가하는 경향을 나타내었으며 저장 7일째는 millimeter wave 조사구의 수소공여능이 비조사구에 비해 유의적으로 낮은 값을 나타내었다.

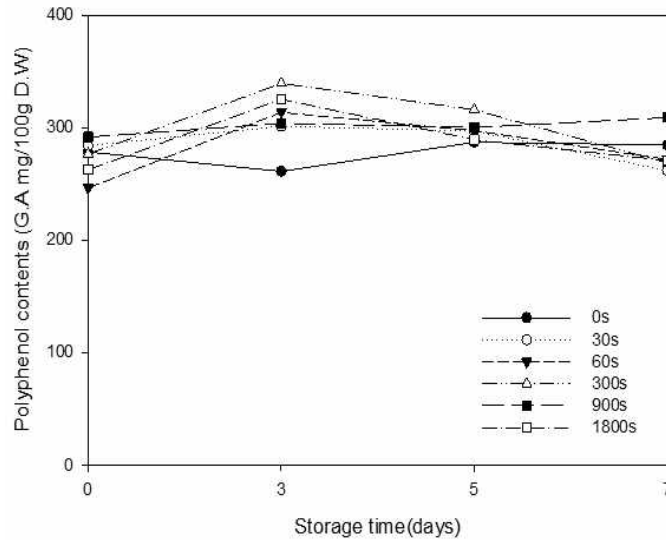


Fig. 18. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양상추의 총 폴리페놀 함량

양상추의 총 폴리페놀 함량을 측정한 결과 저장 0일째 millimeter wave 900s 조사구가 291.63 G.A mg/100g 으로 가장 높음 함량을 나타내었으나 60s 조사구는 246.35 G.A mg/100g 으로 가장 낮게 나타났다(Fig. 18). 저장 3일째에는 조사구가 비조사구에 비해 유의적으로 높은 총 폴리페놀 함량을 나타내었으나 저장 5일, 7일째 함량이 감소하는 경향을 나타냈었다. 반면 900s 조사구는 저장기간이 지속될수록 유의적으로 총 폴리페놀 함량이 증가하였다.

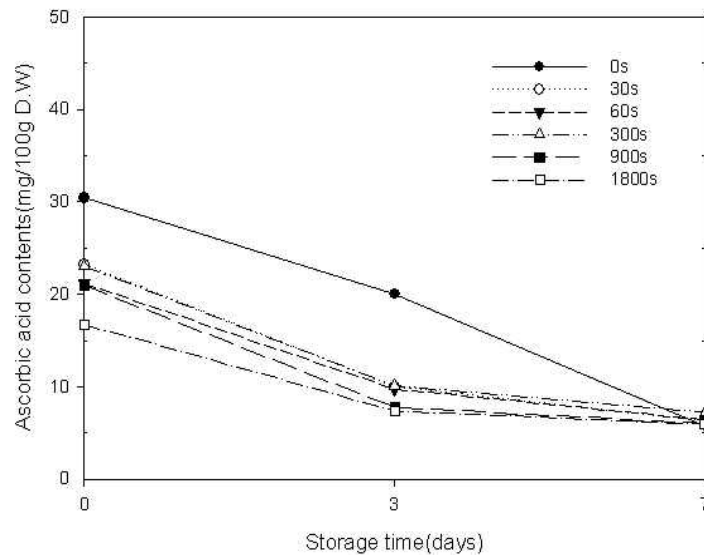


Fig. 19. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양상추의 Ascorbic acid 함량

Fig. 19는 Millimeter wave를 조사한 양상추의 Ascorbic acid(비타민 C) 함량을 나타낸 결과이다. 비타민 C 함량은 저장기간이 지속됨에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 저장 초기 비조사구는 비타민 C 함량이 조사구에 비해 높은 함량을 나타내었으며 저장 7일째는 큰폭으로 감소하여 조사구와 비슷한 함량을 나타내었다.

(3) Millimeter wave 조사 시간에 따른 감자의 품질특성

감자에 millimeter wave를 0, 30, 60, 300, 600, 1800s로 조사한 후 4°C에서 7일간 저장하면서 품질변화를 살펴보았다.

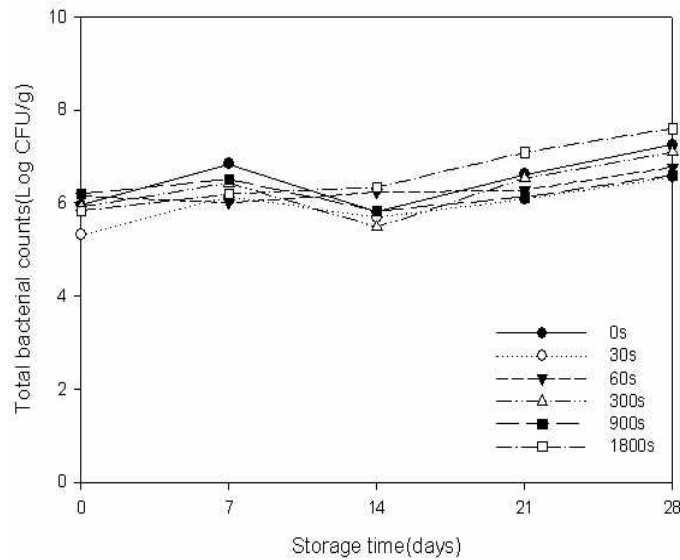


Fig. 20. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 감자의 총 호기성 세균수 변화

저장기간 동안 감자의 총 호기성 세균수 변화를 나타낸 결과는 Fig. 20과 같이 저장 0일에 millimeter wave 60s, 900s 조사구는 각각 6.15, 6.20 Log CFU/g 으로 유의적으로 높게 나타났다. 저장 14일에는 300s 조사구가 5.48 Log CFU/g 으로 낮게 나타났으며 30s, 300s, 900s 조사구의 총 호기성 세균수가 감소하는 것으로 나타났으나 저장 21일, 28에는 균수가 증가하였다. 저장 28일에는 1800s 조사구가 7.60 Log CFU/g로 총균수가 가장 높게 나타났다.

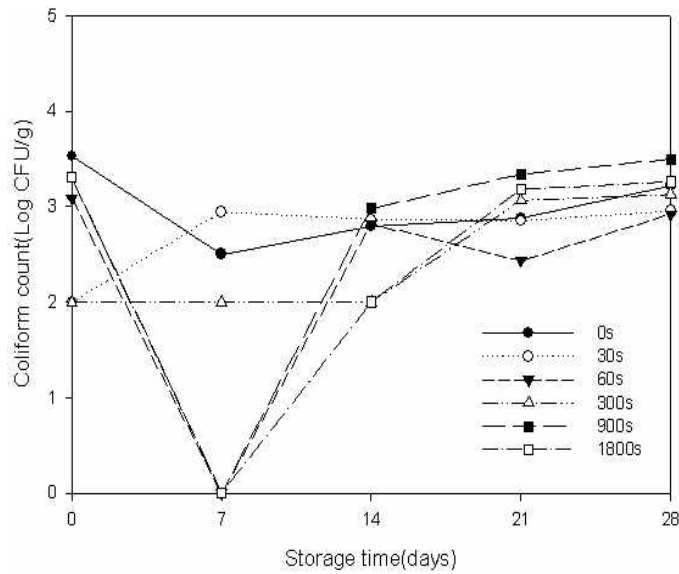


Fig. 21. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 감자의 대장균군 변화

Millimeter wave를 조사한 감자의 대장균군 변화를 관찰한 결과는 Fig. 21과 같다. Solberg 등은 비가열 조리 음식의 대장균군수는 3 log CFU/g 이하로 적정 관리 기준을 제시하였다. 본 연구결과에서는 저장초기 감자의 대장균군수가 비조사구에서 3.53 Log CFU/g 으로 조사구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며 30s, 300s 조사구는 2.00 Log CFU/g 으로 낮게 나타났으나 저장기간이 지속될수록 대장균군수가 증가하였다. 저장 7일째는 60s, 900s, 1800s 조사구에서 대장균군이 나타나지 않았으나 저장 14일째부터는 증식하였다. 저장 28일째는 비조사구에 비해 30s, 60s 조사구의 대장균군수가 2.95, 2.92 Log CFU/g 으로 증가하였으나 다른 시료에 비해 유의적으로 낮은 군수를 나타내었으며 적정 관리 기준 이하로 나타났다.

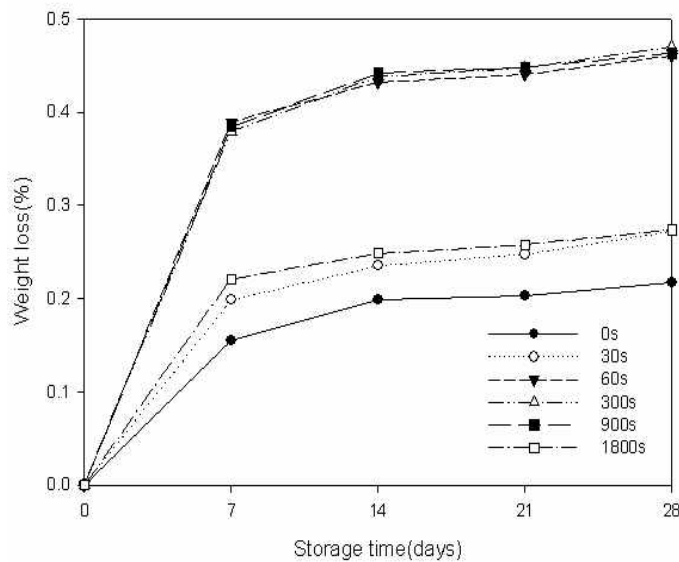


Fig. 22. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 감자의 생체중량 변화율

감자에 millimeter wave를 조사한 후 4℃에서 28일 동안 저장하며 생체중량 변화율을 측정

한 결과 저장기간 동안 60s, 300s, 900s 조사구의 무게 손실률은 비조사구와 30s, 1800s 조사구에 비해 약 2배정도 높게 나타났으며 비조사구의 생체중량 변화율이 가장 낮게 나타났다(Fig. 22).

표 11은 감자의 pH 변화를 측정된 결과로 6.27~6.65의 수준으로 나타났으며 저장기간이 지속될수록 millimeter wave 조사의 유무에 상관없이 감자의 pH가 감소하는 경향을 나타내었으며 300s 조사구는 저장초기 6.57에서 저장 28일째 6.27로 감소의 폭이 다른 시료에 비해 비교적 크게 나타났다.

표 11. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 감자의 pH

Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
	0	7	14	21	28	
0	6.65 ^{1)aA}	6.41 ^{aB}	6.26 ^{cC}	6.23 ^{dC}	6.44 ^{aB}	0.04
30	6.53 ^{bA}	6.43 ^{aA}	6.35 ^{bcA}	6.43 ^{abA}	6.46 ^{aA}	0.09
60	6.49 ^{bA}	6.31 ^{bC}	6.42 ^{abB}	6.20 ^{dD}	6.47 ^{aA}	0.01
300	6.57 ^{bA}	6.42 ^{aB}	6.38 ^{abcB}	6.33 ^{cBC}	6.27 ^{bC}	0.04
900	6.54 ^{bA}	6.41 ^{aC}	6.49 ^{aAB}	6.41 ^{bC}	6.47 ^{aB}	0.02
1800	6.56 ^{bA}	6.44 ^{aD}	6.51 ^{aB}	6.46 ^{aCD}	6.48 ^{aBC}	0.01
SEM ²⁾	0.03	0.02	0.06	0.02	0.07	

¹⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-D) differ significantly(p<0.05). ²⁾Standard error of the means(n=18). ³⁾Standard error of the means(n=15).

Millimeter wave를 조사한 후 28일 동안 저장하며 측정된 감자의 색도는 표 12와 같다. 감자의 표면을 측정된 L 값은 저장 초기에 65.93~69.00, 저장 28일째는 65.17~67.22로 millimeter wave의 조사유무에 따른 유의차를 나타내지 않았으며 저장기간이 지속될수록 비조사구와 60s 조사구는 L 값이 증가하는 경향을 나타냈으나 나머지 시료는 L 값이 감소하는 경향을 나타내었다. a 값은 60s 조사구가 1.30에서 0.33으로 증가하였으며 1800s 조사구는 -0.11에서 0.91로 증감이 크게 나타났다. b 값은 저장초기 60s 조사구가 27.22로 유의적으로 높은 값을 나타내었고 저장 28일째에도 28.50으로 높은 값을 나타냈으나 유의적 차이는 나타나지 않았다. 저장기간이 지속될수록 비조사구와 조사구의 감자는 b 값이 증가하는 경향을 나타내었으나 1800s 조사구의 b 값은 유의차가 나타나지 않았다.

표 12. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 조사한 감자의 색도

Color value	Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
		0	7	14	21	28	
L	0	66.42 ^{1)aA}	67.49 ^{cA}	66.97 ^{cA}	65.27 ^{cA}	67.22 ^{aA}	1.24
	30	69.00 ^{aA}	64.44 ^{bcC}	67.80 ^{bcAB}	68.73 ^{bcA}	66.06 ^{aBC}	1.06
	60	65.93 ^{aBC}	65.62 ^{bcC}	68.05 ^{abcAB}	69.21 ^{abcA}	66.11 ^{aBC}	1.09
	300	68.30 ^{aAB}	65.78 ^{bcB}	69.12 ^{abcA}	66.77 ^{abcAB}	65.86 ^{aB}	1.30
	900	67.40 ^{aA}	69.27 ^{abA}	66.40 ^{abA}	66.95 ^{abA}	65.85 ^{aA}	1.71
	1800	67.27 ^{aA}	66.25 ^{aA}	65.52 ^{aA}	66.18 ^{aA}	65.17 ^{aA}	1.43
	SEM ²⁾	1.62	1.28	1.09	1.23	1.35	
	a	0	0.77 ^{abA}	-0.02 ^{abA}	0.46 ^{aA}	0.39 ^{aA}	0.21 ^{aA}
30		-0.69 ^{bBC}	0.95 ^{aA}	-0.97 ^{bcC}	-0.17 ^{abcC}	0.23 ^{aAB}	0.52
60		1.30 ^{aA}	0.24 ^{abB}	0.02 ^{abB}	0.18 ^{abB}	0.33 ^{aAB}	0.50
300		0.25 ^{abA}	0.02 ^{abA}	-0.18 ^{abA}	0.81 ^{aA}	0.84 ^{aA}	0.53
900		0.08 ^{abA}	-0.69 ^{bA}	0.22 ^{aA}	0.54 ^{aA}	-0.05 ^{aA}	0.74
1800		-0.11 ^{abA}	0.03 ^{abA}	0.58 ^{aA}	0.56 ^{aA}	0.91 ^{aA}	0.60
SEM		0.72	0.51	0.48	0.57	0.50	
b		0	25.87 ^{abcC}	27.92 ^{aAB}	26.33 ^{dbcC}	29.60 ^{aA}	26.49 ^{aBC}
	30	25.38 ^{bcB}	28.46 ^{aA}	29.37 ^{aA}	28.03 ^{abA}	28.50 ^{aA}	0.84
	60	27.22 ^{aAB}	28.84 ^{aA}	28.18 ^{abcA}	26.01 ^{cb}	28.25 ^{aA}	0.86
	300	25.05 ^{cb}	28.22 ^{aA}	27.42 ^{bcdA}	28.19 ^{abA}	27.45 ^{aA}	0.83
	900	23.31 ^{dc}	27.55 ^{aAB}	29.09 ^{abA}	26.55 ^{bcB}	27.41 ^{aAB}	0.80
	1800	26.51 ^{abA}	27.08 ^{aA}	27.15 ^{cdA}	27.90 ^{abA}	27.40 ^{aA}	0.74
	SEM	0.67	0.87	0.83	0.83	0.92	

¹⁾Values with different letters within a column (a-d) and a row (A-C) differ significantly(p<0.05). ²⁾Standard error of the means(n=600). ³⁾Standard error of the means(n=500).

표 13은 감자의 조직감을 측정된 결과로 비조사구 및 조사구 모두 저장기간이 지속됨에 따라 감자의 경도가 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었으며 1800s 조사구의 경우 감소의 폭이 가장 크게 나타났다. Gradient(g/sec)는 0점에서부터 최고 피크 구간의 기울기로 시료가 같은 force를 나타내어도 기울기의 정도에 따라 물러지는 정도를 확인할 수 있는 값이다. 본 연구에서 모든 시료의 force는 저장기간이 지속됨에 따라 감소하는 경향을 나타내었으나 30s, 60s, 300s 조사구의 경우 gradient 값이 증가하는 경향을 나타내어 시료가 변형될 때의 힘은 감소하였으나 물러지지 않은 것으로 나타났다. 반면 비조사구와 1800s 조사구의 gradient 값은 감소하는 경향을 나타내었다. millimeter wave를 1800s 이하로 조사하는 것이 감자의 품질에 좋은 영향 미칠 것으로 생각된다.

표 13. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 감자의 조직감

	Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
		0	7	14	21	28	
Force (kg)	0	10.47 ^{1)abA}	9.33 ^{bB}	8.64 ^{aC}	8.49 ^{aC}	8.67 ^{aC}	0.22
	30	10.14 ^{abcA}	9.24 ^{bB}	8.52 ^{aBC}	7.83 ^{aC}	8.72 ^{aBC}	0.43
	60	9.38 ^{dA}	9.32 ^{bA}	8.58 ^{aB}	8.44 ^{aB}	8.77 ^{aB}	0.22
	300	9.88 ^{bcdA}	10.26 ^{aA}	8.83 ^{aB}	8.02 ^{aBC}	8.14 ^{bc}	0.36
	900	9.54 ^{cdA}	9.44 ^{bA}	8.44 ^{aB}	8.53 ^{aB}	8.07 ^{bb}	0.21
	1800	10.59 ^{aA}	9.65 ^{abB}	8.75 ^{aC}	8.51 ^{aC}	7.97 ^{bd}	0.25
	SEM2)	0.31	0.35	0.24	0.34	0.22	0.00
Gradi- -ent (kg/sec)	0	8.07 ^{abA}	7.83 ^{cA}	8.05 ^{aA}	8.78 ^{aA}	7.47 ^{ba}	0.60
	30	7.33 ^{bcA}	7.22 ^{cA}	8.08 ^{aA}	7.92 ^{abA}	8.33 ^{aA}	0.51
	60	6.33 ^{cB}	8.02 ^{bcA}	8.56 ^{aA}	7.84 ^{abA}	8.04 ^{abA}	0.57
	300	7.74 ^{abcB}	9.32 ^{aA}	8.45 ^{aAB}	7.33 ^{bb}	7.97 ^{abB}	0.54
	900	7.47 ^{bcBC}	9.12 ^{abA}	7.58 ^{aB}	7.79 ^{abB}	6.61 ^{cC}	0.42
	1800	8.96 ^{aA}	8.22 ^{abcAB}	7.94 ^{aAB}	7.81 ^{abAB}	7.48 ^{bb}	0.54
	SEM	0.66	0.52	0.53	0.56	0.34	0.00

¹⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-C) differ significantly(p<0.05). ²⁾Standard error of the means(n=360). ³⁾Standard error of the means(n=300).

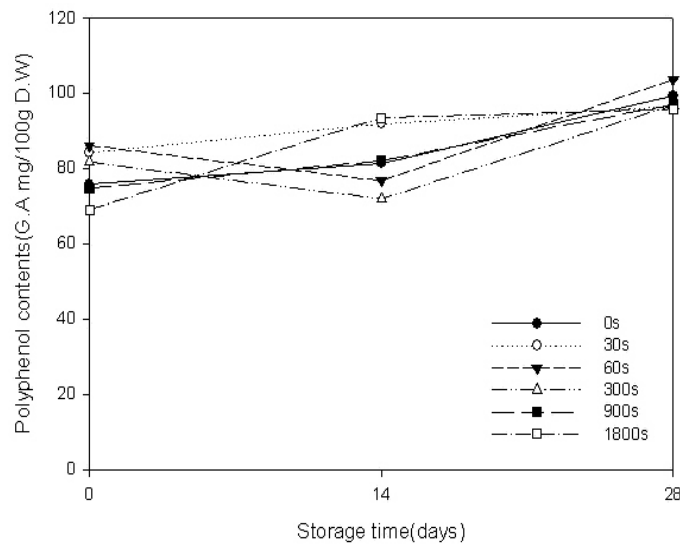


Fig. 23. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 감자의 총 폴리페놀 함량

Fig. 23은 감자에 millimeter wave를 시간별로 조사하고 저장하면서 측정한 총 폴리페놀 함량을 나타낸 결과이다. 감자의 총 폴리페놀 함량은 30s, 60s, 300s 조사구가 81.62~86.01 G.A mg/100g 으로 유의적으로 높은 함량을 나타내었으나 1800s 조사구는 69.00 G.A mg/100g 으로 가장 낮은 함량을 나타내었다. 저장기간이 지속될수록 millimeter wave 감자의 총 폴리페놀 함

량은 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었으나 비조사구 감자는 통계적인 유의차가 나타나지 않았다. 60s 조사구의 총 폴리페놀 함량은 저장기간 동안 유의적으로 높은 함량을 나타내었다.

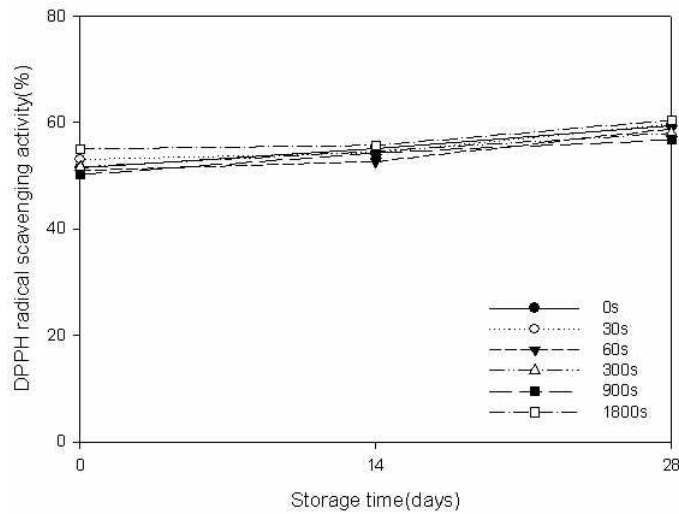


Fig. 24. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 감자의 DPPH 라디칼 소거능

감자를 80% ethanol로 추출하여 100mg/mL의 농도로 DPPH 라디칼 소거능(수소공여능)을 측정한 결과는 Fig. 24와 같다. 감자의 수소공여능은 50.17~60.37%로 저장기간이 지속될수록 비조사구 및 조사구 모두 수소공여능이 증가하였으며 millimeter wave를 1800s 동안 조사한 시료는 다른 시료에 비해 수소공여능이 유의적으로 높게 나타났다.

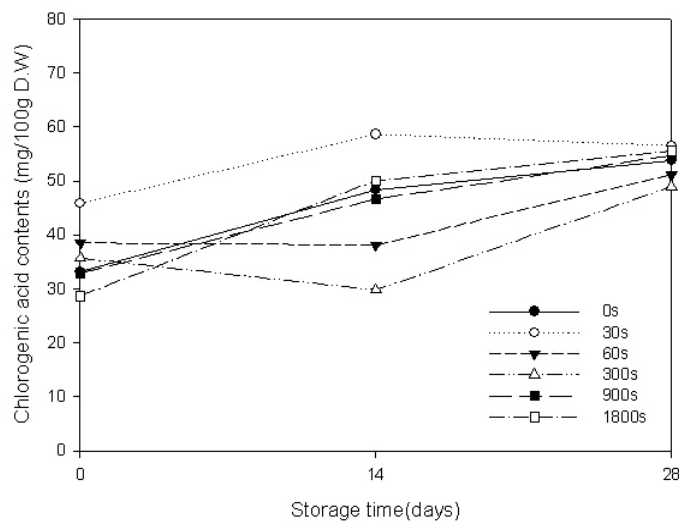


Fig. 25. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 감자의 Chlorogenic acid 함량

감자의 chlorogenic acid 함량의 측정 결과는 Fig. 25와 같이 millimeter wave를 30s 동안 조사한 감자는 45.84~56.50 C.A mg/100 으로 높은 chlorogenic acid 함량을 나타내었으며 300s 조사구의 함량이 비교적 낮게 나타났다.

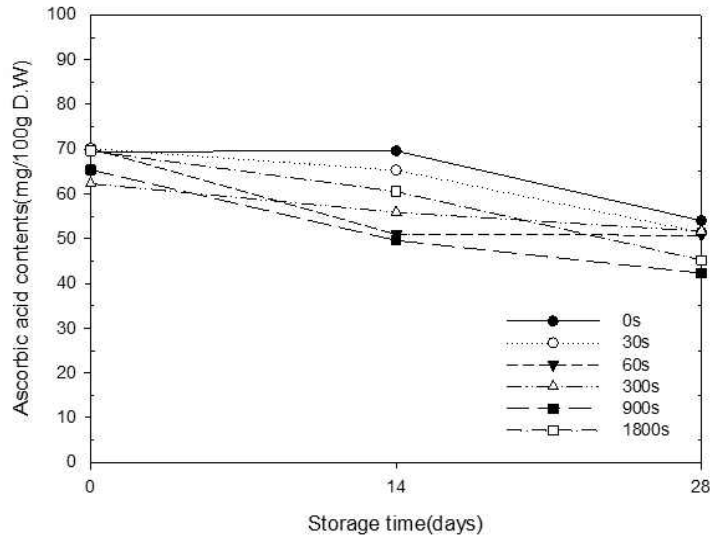


Fig. 26. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 감자의 Ascorbic acid(비타민 C) 함량

Millimeter wave를 조사한 감자의 비타민 C 함량 측정 결과 Fig. 26과 같이 저장기간이 지속됨에 따라 감자의 비타민 C 함량이 감소하는 경향을 나타내었으며 저장초기에는 30s, 60s 조사구의 함량이 높게 나타났으나 저장 28일째는 비조사구의 비타민 C 함량이 54.05 mg/ 100g 으 로 조사구(42.7~51.73 mg/100 g)에 비해 약간 높게 나타났다.

(4) Millimeter wave 조사 시간에 따른 양송이버섯의 품질특성

양송이버섯에 millimeter wave를 0, 30, 60, 300, 600, 1800s로 조사한 후 4°C에서 7일간 저장 하면서 품질변화를 살펴보았다. Tabel 14는 총 호기성 세균수를 측정한 결과로 저장기간이 지속됨에 따라 비조사구, 60s, 900s, 1800s 조사구의 총균수가 유의적으로 증가하는 경향을 나타 내었으며 증가의 폭이 크게 나타났으나 30s 조사구는 총균수가 감소하는 경향을 나타내었다.

표 14. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양송이버섯의 총 호기성 세균수 측정

(Unit : Log CFU/g)

Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
	0	1	3	5	7	
0	6.09 ^{cC}	6.54 ^{aB}	6.55 ^{aB}	6.58 ^{bB}	6.81 ^{bA}	0.05
30	6.20 ^{bA}	5.84 ^{cD}	5.92 ^{eC}	6.10 ^{eB}	6.13 ^{fB}	0.03
60	6.10 ^{cC}	5.68 ^{dE}	5.86 ^{eD}	6.24 ^{dB}	6.70 ^{cA}	0.06
300	6.53 ^{dA}	5.97 ^{bcC}	6.25 ^{cB}	6.49 ^{cA}	6.54 ^{dA}	0.04
900	5.71 ^{cC}	5.99 ^{bB}	6.03 ^{dB}	6.07 ^{eB}	6.44 ^{eA}	0.06
1800	6.05 ^{aD}	6.08 ^{bD}	6.34 ^{bC}	7.17 ^{aB}	6.97 ^{aA}	0.02
SEM ²⁾	0.05	0.06	0.04	0.03	0.04	

¹⁾Values with different letters within a column (a-e) and a row (A-D) differ significantly(p<0.05).

²⁾Standard error of the means(n=18). ³⁾Standard error of the means(n=15).

양송이버섯의 저온균 변화를 측정된 결과 저장기간이 지속됨에 따라 저온균수가 증가하는 경향을 나타내었으며 저장초기에는 비조사구에 비해 900s와 1800s의 저온균 수가 유의적으로 낮게 나타났으며 저장 5일, 7일째는 비조사구의 저온균수가 millimeter wave 조사구에 비해 유의적으로 많은 균수를 나타내었다(표 15).

표 15. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양송이버섯의 저온균 변화

(Unit : Log CFU/g)

Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
	0	1	3	5	7	
0	6.37 ^{1)bE}	6.65 ^{cD}	6.93 ^{bC}	7.63 ^{aB}	7.95 ^{aA}	0.09
30	6.66 ^{aD}	6.23 ^{eE}	6.75 ^{dC}	7.53 ^{aB}	7.67 ^{bA}	0.02
60	6.27 ^{cC}	6.33 ^{eC}	6.82 ^{eB}	7.50 ^{aA}	7.67 ^{bA}	0.14
300	6.42 ^{bD}	6.86 ^{bC}	6.94 ^{bC}	7.28 ^{aB}	7.60 ^{cA}	0.05
900	6.13 ^{eD}	6.94 ^{aC}	7.01 ^{aC}	7.27 ^{aB}	7.53 ^{dA}	0.10
1800	6.17 ^{deD}	6.51 ^{dC}	6.80 ^{eB}	7.58 ^{aA}	7.70 ^{bA}	0.13
SEM ²⁾	0.05	0.02	0.02	0.21	0.02	

¹⁾Values with different letters within a column (a-e) and a row (A-E) differ significantly(p<0.05).

²⁾Standard error of the means(n=18). ³⁾Standard error of the means(n=15).

Millimeter wave를 조사한 양송이버섯을 저장기간 동안 대장균균수의 변화를 측정된 결과가 표 16에 나타나있다. 저장초기에 대장균균수는 3.00~4.41 Log CFU/g 으로 비조사구의 대장균균수가 조사구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며 1800s 조사구는 저장 1일째부터 대장균균이 검출되지 않았다. 또한 비조사구의 대장균균은 저장기간이 지속될수록 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었는데 30s 조사구와 300s 조사구는 저장기간에 따른 대장균균수의 증감이 나타났으나 유의차는 나타나지 않았다. 감자에 millimeter wave를 1800s 동안 조사하는 경우 대장균균의 증식을 억제 할 수 있는 것으로 판단된다.

표 16. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양송이버섯의 미생물 생균수 변화(대장균군)

(Unit : Log CFU/g)

Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
	0	1	3	5	7	
0	4.41 ^{1)aA}	3.30 ^{aB}	3.50 ^{abB}	5.00 ^{aA}	5.00 ^{aA}	0.43
30	3.50 ^{abA}	3.97 ^{aA}	4.10 ^{aA}	4.31 ^{bA}	3.50 ^{dA}	0.42
60	3.50 ^{abB}	3.58 ^{aB}	3.00 ^{bB}	3.58 ^{cB}	4.44 ^{bA}	0.29
300	3.50 ^{abA}	3.83 ^{aA}	3.74 ^{aA}	3.65 ^{cA}	4.00 ^{cA}	0.28
900	3.50 ^{abC}	3.93 ^{aAB}	4.00 ^{aB}	5.02 ^{aA}	3.48 ^{dC}	0.21
1800	3.00 ^b	N/D	N/D	N/D	N/D	
SEM ²⁾	0.46	0.31	0.29	0.23	0.17	

¹⁾Values with different letters within a column (a-d) and a row (A-C) differ significantly(p<0.05). ²⁾Not detected within the deletion limit < 10² log CFU/g. ³⁾Standard error of the means(n=18). ⁴⁾Standard error of the means(n=15).

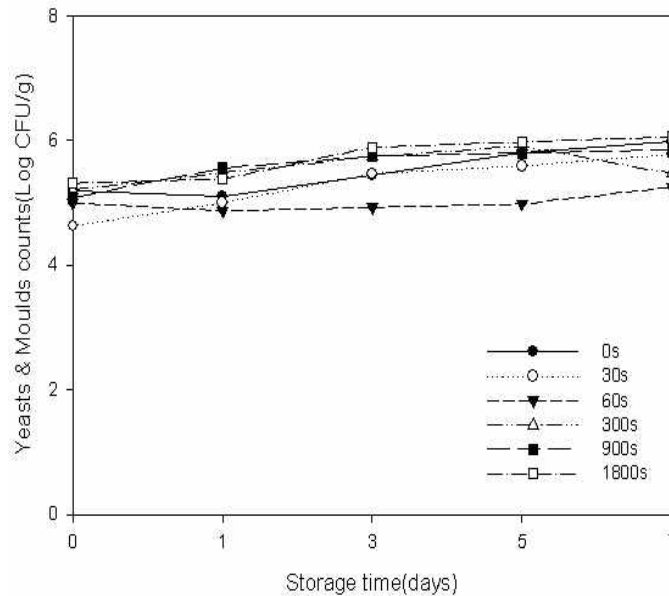


Fig. 27. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양송이버섯의 효모 및 곰팡이

Fig. 27은 저장기간 동안 millimeter wave가 조사된 양송이버섯의 효모 및 곰팡이 변화를 측정한 결과이다. 저장기간이 지속될수록 양송이버섯의 효모 및 곰팡이 수가 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었으며 60초 조사구가 저장5일째까지 유의적 감소를 나타내었으나 저장 7일째 증가하였다.

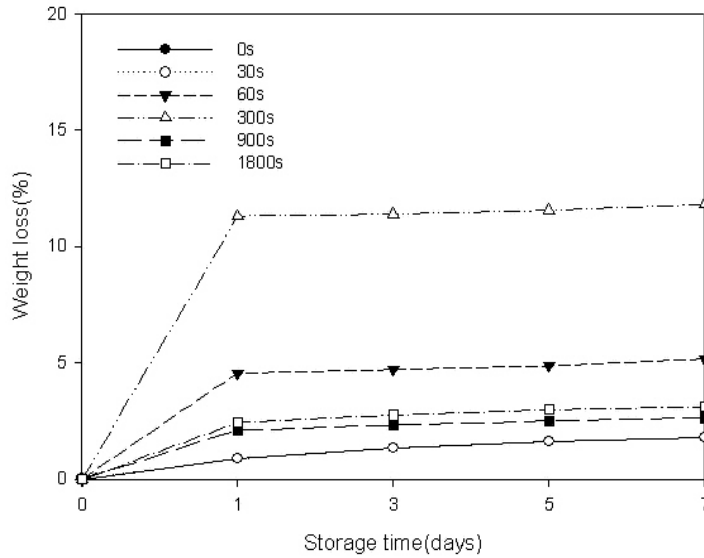


Fig. 28. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양송이버섯의 생체중량 변화율

저장기간 동안 양송이버섯의 생체중량 변화율을 측정된 결과는 Fig. 28과 같다. 300s초 조사구의 초기 무게 손실률은 11.30%로 다른 시료에 비해 높게 나타났으며 비조사구의 무게 손실률이 적게 나타났다.

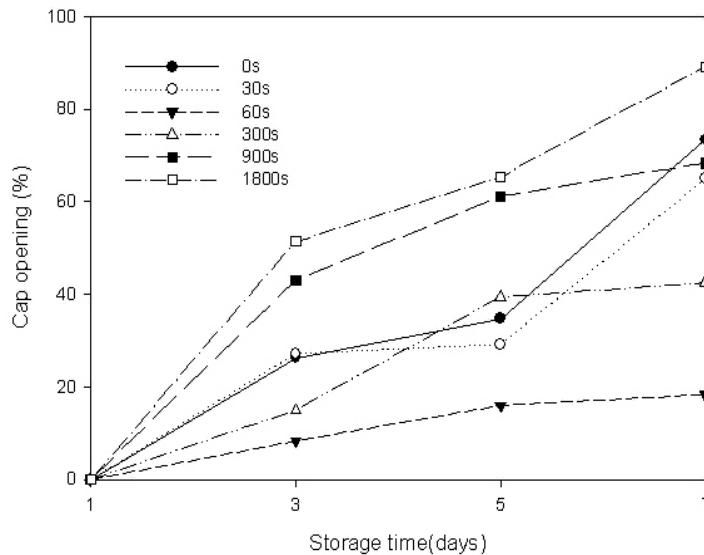


Fig. 29. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양송이버섯의 갓의 개열율

Millimeter wave를 조사한 양송이버섯의 갓 개열율을 측정하여 Fig. 29에 나타내었다. 60s 조사구는 8.33%에서 18.33%로 증가하였으며 가장 낮은 개열율 나타내었다. 1800s 조사구의 경우 저장 3일째에는 버섯의 갓이 50%이상 개열되어 양송이버섯의 품질에 저하가 올 수 있을 것으로 판단된다.

표 17은 양송이버섯의 색도 측정 결과로 명도를 나타내는 L 값은 저장초기 93.22~94.29로 millimeter wave의 조사 유무에 따른 유의차를 나타내지 않았으나 저장기간이 지속될수록 L 값이 감소하는 경향이 나타났으며 비조사구에 조사구의 L값이 높게 나타났다. a 값은 저장 0일째 -0.36~-0.58, 저장 3일째 -0.04~-0.37, 저장 7일째 -0.04~-0.45로 감소하는 경향이 있으며

millimeter wave의 조사유무에 따른 차이를 나타내지 않았다. b 값은 저장기간이 지속됨에 따라 양송이버섯의 b 값이 증가하는 경향을 나타내었으며 30s 조사구의 b 값은 9.32~12.04로 변화의 폭이 작게 나타났다.

표 17. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 조사한 양송이버섯의 색도

Color value	Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
		0	1	3	5	7	
L	0	93.22 ^{aA}	93.38 ^{aA}	93.62 ^{aA}	80.61 ^{bC}	90.36 ^{abB}	1.29
	30	94.29 ^{aA}	93.52 ^{aAB}	92.63 ^{abB}	90.87 ^{aC}	91.28 ^{aC}	0.48
	60	93.24 ^{aA}	92.59 ^{bA}	92.27 ^{abA}	92.30 ^{aA}	89.77 ^{abB}	0.45
	300	93.65 ^{aA}	93.54 ^{aA}	90.74 ^{bB}	91.88 ^{aAB}	90.16 ^{abB}	1.05
	900	93.95 ^{aA}	93.44 ^{aA}	92.06 ^{abB}	91.45 ^{aB}	89.98 ^{abC}	0.53
	1800	93.98 ^{aA}	92.76 ^{abAB}	91.81 ^{abB}	91.82 ^{aB}	89.40 ^{bC}	0.72
	SEM ²⁾	0.59	0.37	0.91	1.21	0.75	
	a	0	-0.36 ^{abB}	-0.30 ^{abB}	-0.36 ^{abB}	1.80 ^{aA}	-0.45 ^{aB}
30		-0.58 ^{aC}	-0.35 ^{bcBC}	-0.23 ^{abB}	0.31 ^{bA}	-0.34 ^{abC}	0.14
60		-0.58 ^{aA}	-0.49 ^{cA}	-0.37 ^{aA}	-0.19 ^{bA}	-0.19 ^{aA}	0.18
300		-0.43 ^{abB}	-0.39 ^{bcB}	-0.16 ^{aAB}	0.07 ^{bA}	-0.19 ^{aAB}	0.15
900		-0.56 ^{aC}	-0.28 ^{abB}	-0.06 ^{aAB}	0.04 ^{bA}	-0.21 ^{aAB}	0.13
1800		-0.46 ^{aA}	-0.15 ^{aA}	-0.04 ^{aA}	0.00 ^{bA}	-0.04 ^{aA}	0.21
SEM		0.14	0.08	0.15	0.39	0.24	
b		0	10.29 ^{abB}	10.19 ^{bcB}	9.80 ^{bB}	15.73 ^{aA}	14.48 ^{abA}
	30	9.32 ^{bB}	9.47 ^{cB}	10.28 ^{abB}	13.54 ^{abA}	12.04 ^{bA}	0.83
	60	11.25 ^{aB}	12.20 ^{aB}	12.44 ^{abB}	11.25 ^{bB}	14.89 ^{abA}	0.64
	300	10.44 ^{abB}	10.19 ^{bcB}	10.55 ^{abB}	11.59 ^{bB}	14.22 ^{abA}	1.13
	900	9.63 ^{abBC}	9.41 ^{cC}	10.61 ^{abBC}	11.52 ^{bB}	14.76 ^{abA}	0.95
	1800	9.29 ^{bC}	11.08 ^{bBC}	11.79 ^{abB}	11.09 ^{bBC}	15.57 ^{aA}	1.11
	SEM	0.76	0.55	1.10	1.12	1.30	

¹⁾Values with different letters within a column (a-b) and a row (A-C) differ significantly(p<0.05). ²⁾Standard error of the means(n=600). ³⁾Standard error of the means(n=500).

양송이버섯에 Millimeter wave의 조사 시간을 달리하여 조직감을 측정된 결과는 표 18과 같다. 저장 0일째 양송이버섯의 경도는 30s 조사구가 가장 높은 값을 나타내었으며 비조사구와 900s 조사구가 낮은 값을 나타내었다. 저장 7일째는 900s 조사구가 유의적으로 가장 낮은 경도 값을 나타내었다. 저장기간 동안 모든 시료의 경도는 감소하는 경향을 나타내었으며 300s 조사구는 저장 3일째 높은 경도 값을 나타내었다가 저장기간이 지속됨에 따라 감소하는 경향을 나타내었고 시료중에 높은 경도 값을 유지하였다. gradient 값은 저장기간이 지속됨에 따라 비조

사구 및 조사구 모두 감소하는 경향을 나타내었으며 저장 7일째는 gradient 값이 저장 초기에 비해 50%이상 감소하였는데 버섯의 신선도가 급격히 감소하는 것으로 보인다. 300s 조사구는 저장 3일째까지는 유의적으로 증가하여 양송이버섯의 조직감에 좋은 영향을 미쳤으나 저장 5일째부터는 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

표 18. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양송이버섯의 조직감

	Treatment time(s)	Storage time(days)					SEM ³⁾
		0	1	3	5	7	
Force (kg)	0	1.40 ^{cdA}	1.36 ^{cA}	1.35 ^{bA}	1.36 ^{cdA}	1.35 ^{cA}	0.09
	30	1.87 ^{aA}	1.33 ^{cb}	1.41 ^{bB}	1.43 ^{bcdB}	1.52 ^{abcB}	0.11
	60	1.50 ^{bcdAB}	1.65 ^{aA}	1.37 ^{bB}	1.63 ^{abA}	1.38 ^{bcB}	0.10
	300	1.74 ^{abB}	1.63 ^{abB}	2.00 ^{aA}	1.79 ^{aAB}	1.60 ^{aB}	0.12
	900	1.35 ^{dAB}	1.39 ^{bcA}	1.34 ^{bAB}	1.53 ^{bcA}	1.10 ^{dB}	0.12
	1800	1.62 ^{abcA}	1.79 ^{aA}	1.00 ^{cC}	1.30 ^{dB}	1.57 ^{abA}	0.12
	SEM ²⁾	0.12	0.12	0.12	0.10	0.09	
Gradient (kg/sec)	0	1.20 ^{bcA}	0.77 ^{bB}	0.58 ^{deBC}	0.56 ^{bBC}	0.48 ^{bcC}	0.11
	30	1.38 ^{abcA}	0.84 ^{bB}	0.87 ^{cB}	0.76 ^{abBC}	0.59 ^{abC}	0.10
	60	1.65 ^{aA}	1.41 ^{aAB}	1.11 ^{bB}	1.09 ^{aB}	0.56 ^{bcC}	0.17
	300	1.49 ^{abB}	1.30 ^{aBC}	1.93 ^{aA}	1.07 ^{aCD}	0.73 ^{aD}	0.18
	900	0.68 ^{dB}	1.02 ^{bA}	0.81 ^{cdAB}	0.75 ^{abB}	0.59 ^{abB}	0.12
	1800	1.08 ^{cB}	1.43 ^{aA}	0.50 ^{eC}	0.44 ^{bcC}	0.53 ^{bcC}	0.11
	SEM	0.17	0.14	0.11	0.16	0.06	

¹⁾Values with different letters within a column (a-e) and a row (A-E) differ significantly($p < 0.05$). ²⁾Standard error of the means($n=360$). ³⁾Standard error of the means($n=300$).

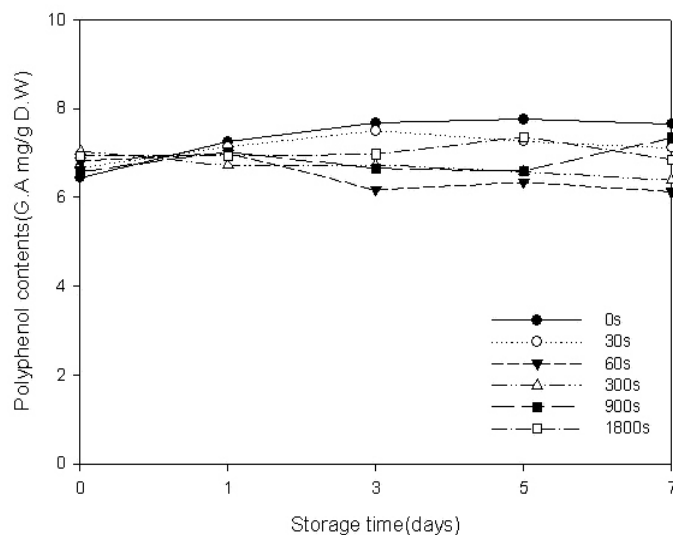


Fig. 30. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양송이버섯의 총 폴리페놀 함량

양송이버섯의 총 폴리페놀 함량을 측정한 결과를 Fig. 30에 나타내었다. 비조사구의 총 폴리페놀 함량은 저장 0일째 6.43 G.A mg/g으로 가장 낮은 함량을 나타내었으나 저장 1일째부터는 유의적으로 높은 함량을 나타내었다. millimeter wave 60s 조사구는 6.67 G.A mg/g에서 6.13 G.A mg/g 으로 폴리페놀 함량이 낮게 나타났다.

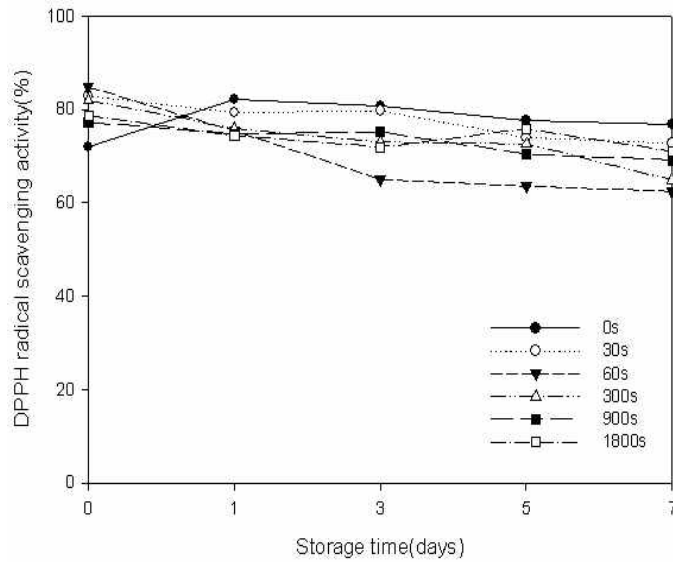


Fig. 31. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 양송이버섯의 DPPH 라디칼 소거능

Fig. 31은 millimeter wave를 조사한 양송이버섯의 DPPH 라디칼 소거능(수소공여능)을 측정한 결과로 앞선 총폴리페놀 함량 측정 결과와 비슷한 양상으로 비조사구의 수소공여능은 저장 0일에 72.02%로 가장 낮은 값을 나타내었으나 저장기간이 증가함에 따라 수소공여능의 값이 증가하였으나 millimeter wave 조사구들은 저장시간이 지남에 따라 값이 감소하는 경향을 나타내었다.

(5) Millimeter wave 조사 시간에 따른 발아현미의 품질특성

발아현미는 현미에 millimeter wave를 주파수 및 조사시간을 달리하여 조사하고 발아를 시킨 후 실험 측정을 하였다. MMW의 주파수 및 조사 시간을 달리한 현미의 발아율을 표 19에 나타냈다. 모든 실험군에서 현미의 발아율은MMW를 조사하지 않은 대조군에 비하여 유의적으로 증가하였다. MMW 비조사 대조군의 발아율이 80.0%로 나타났지만, MMW조사 실험군의 발아율은 91.5~94.8%로 나타났다. 하지만 주파수의 세기와 조사시간에 따른 발아현미의 발아율은 유의적 차이가 나지 않았다.

표 19. Millimeter wave의 주파수 및 조사 시간을 달리한 발아현미의 발아율

Sample	Germination percentage(%)
Control	80.00 ± 4.08 ^{1)b2)}
60GHz/6 hr	91.50 ± 4.04 ^a
60GHz/12 hr	93.75 ± 2.50 ^a
70GHz/6 hr	93.75 ± 2.06 ^a
70GHz/12 hr	94.75 ± 3.59 ^a

¹⁾Standard error of the means(n=18). ²⁾Values with different letters with in a column(a-c) differ significantly(p<0.05).

발아현미에MMW 주파수의 세기 및 시간에 따라 조사하였을 때, 식이섬유소의 양의 변화가 없음을 확인하였다 (표 20). 발아현미의 주요 기능성 물질인 GABA는 MMW를 처리 하였을 때, 처리하지 않은 대조군 보다 GABA의 함량이 감소한 것을 확인할 수 있었다 (표 21). 본 연구에서 발아 조건에서의 발아현미의 GABA함량은 27.96 mg/100g으로 나타났으며, MMW를 70GHz로 6시간 조사하였을 때 17.46 mg/100g으로 유의적으로 크게 감소하였다. MMW를 70GHz를 12시간 조사하였을 때는 GABA의 함량이20.96 mg/100g으로 6시간 조사 보다 증가함을 확인할 수 있다. 현미에 60 GHz의 주파수 세기로 6시간과 12시간 조사 시 각각 28.55mg/100g와 26.69 mg/100g의 GABA함량으로 나타났으며, 이는 70GHz 조사와 같이12시간 조사가 6시간 조사보다 GABA의 함량이 증가함을 확인하였다.

표 20. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 발아현미의 총식이섬유소 함량 및 GABA 함량

Sample	Dietary Fibers contents (g/100g)	GABA contents (mg/100g)
Control	3.77 ± 0.25 ^{1)a2)}	2.80 ± 0.08 ^{1)ab2)}
60GHz/6 hr	3.57 ± 0.11 ^a	2.67 ± 0.06 ^b
60GHz/12 hr	3.88 ± 0.35 ^a	2.86 ± 0.02 ^a
70GHz/6 hr	3.74 ± 0.21 ^a	1.75 ± 0.05 ^d
70GHz/12 hr	3.63 ± 0.15 ^a	2.09 ± 0.11 ^c

¹⁾Standard error of the means(n=18). ²⁾Values with different letters within a column (a-d) differ significantly(p<0.05).

MMW의 조사 조건에 따른 발아현미의total polyphenol content, flavonoids content and DPPH radical scavenging activity 를 표 21에 나타내었다. 주파수의 세기와 조사시간이 증가함에 따라 total polyphenol content가 증가하였으며, DPPH radical scavenging activity도 증가함을 확인하였다. 특히 70GHz 주파수로 MMW를 조사하였을 때 total polyphenol content는 48.0~49.5 G.A. mg/100g D.W으로 MMW 비조사 실험군 (45.2G.A. mg/100g D.W) 보다 유의적으로 증가하였으며, 이때DPPH radical scavenging activity의 IC₅₀값도 146.2~150.0 mg/mL로 MMW 비조사 실험군 (156.2 mg/mL) 보다 크게 감소하였다. 하지만, MMW조사 실험군의 발아현미 flavonoids content는 10.6~ 13.4 catechin mg/100g 으로 MMW 비조사 대조군 (11.5 catecchin mg/100g) 과 유의적 차이가 나지 않았다. 이는 현미의 발아 중 flavonoid content는 MMW 조사에 의하여 영

향을 받지 않음을 확인하였다.

표 21. Millimeter wave의 조사 시간을 달리한 발아현미의 총 폴리페놀 함량, DPPH 라디칼 소거능 및 플라보노이드 함량

Sample	Total polyphenol content (G.A mg/100g D.W)	DPPH radical scavenging activity (IC ₅₀ , mg/mL)	Flavonoids content (catechin mg/100g)
Control	45.17 ± 1.53 ^{1)bc2)}	156.15 ± 1.16 ^a	11.45 ± 3.20 ^a
60GHz/6 hr	43.68 ± 2.99 ^c	155.26 ± 3.35 ^{ab}	12.04 ± 1.95 ^a
60GHz/12 hr	46.16 ± 1.64 ^{abc}	149.93 ± 3.79 ^{bc}	11.06 ± 1.41 ^a
70GHz/6 hr	49.39 ± 0.53 ^a	146.21 ± 2.80 ^c	10.60 ± 1.85 ^a
70GHz/12 hr	47.98 ± 0.70 ^{ab}	149.99 ± 3.63 ^{bc}	13.35 ± 3.75 ^a

¹⁾Standard error of the means(n=18). ²⁾Values with different letters within a column (a-c) differ significantly(p<0.05).

3. 식품군에 따른 millimeter wave 유전 특성 확립

가. 밀리미터파 유전을 측정 방법

식품과 같은 유전체가 전자계 내에 있을 때의 복소유전율은 식(1)과 같이 실수부와 허수부로 나타나고 실수부는 유전상수로 유전체가 전기 에너지를 저장하는 능력을 나타내고, 허수부인 손실계수는 유전체 내에서의 전기 에너지 손실을 의미하며 열로 변환된다.

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \text{-----(1)}$$

여기서, ϵ 는 복소유전율 ϵ' 는 유전상수 ϵ'' 는 손실계수, j 는 $\sqrt{-1}$ 를 각각 나타내었다.

밀리미터파가 진행하는 경로에 식품과 같은 매질이 존재할 때 유전상수와 유전손실은 다음과 같이 표기된다.

$$\epsilon' = \left(1 + \frac{\Delta\phi \lambda_0}{360d}\right)^2 \text{-----(2)}$$

$$\epsilon'' = \frac{\Delta A \lambda_0 \sqrt{\epsilon'}}{8.686\pi d} \text{-----(3)}$$

여기서 λ_0 는 자유공간에서의 파장(m), d 는 매질의 두께(m), $\Delta\phi$ 는 밀리미터파의 위상변화(radian), ΔA 는 밀리미터파 감쇠(dB)를 각각 나타내었다.

따라서 식 (2)와 식 (3)을 이용하여 자유공간상에서의 유전체를 투과하는 밀리미터파의 감쇠와 위상차를 측정함으로써 물체의 유전율을 구할 수 있게 된다.

나. 수분함량 측정모델 개발

실제의 밀리미터파 수분측정 장치개발에서 시료의 유전특성 변화를 측정하기 위해서는 신호처리와 알고리즘과 같은 부가적 수식들이 요구된다. 따라서 밀리미터파 감쇠와 위상변화를 검

출할 수 있는 하나의 통합 시스템을 구현하는 것이 필요하다. 일정한 전압진폭(V_0)과 위상(ψ_0)을 갖는 밀리미터파가 매질을 투과하여 출력 전압 진폭과 위상이 변할 경우 감쇠량(A')과 위상 변화($\Delta\psi$)는 다음과 같다.

$$A' = -20 \cdot \log_{10}\left(\frac{V'}{V_0}\right) \text{-----}(7)$$

$$\Delta\psi = \psi' - \psi_0 \text{-----}(8)$$

여기서,

A' = 매질을 투과하여 나오는 밀리미터파의 감쇠(dB)

V_0 = 매질에 입사되는 밀리미터파 첨두전압(V)

V' = 매질을 투과하여 나오는 밀리미터파 첨두전압(V)

$\Delta\psi$ = 밀리미터파 위상변화(radian)

ψ' = 매질을 투과하여 나오는 밀리미터파 위상(radian)

ψ_0 = 매질에 입사되는 밀리미터파 위상(radian)

따라서 상기 식 (7) 및 식 (8)로 표현되는 밀리미터파 감쇠와 위상변화가 회로망분석기로 측정되므로 분말시료의 수분에 따른 측정값과 비교를 통하여 수분측정 주파수를 선정하고자 하였다. 이때 시료의 산물밀도 범위의 영향을 보정하기 위하여 함수율과 산물밀도의 곱으로 표시되는 수분밀도를 이용하였다. 수분밀도는 다음과 같이 표시되며 단위부피당 수분의 절대량을 나타낼 수 있다.

$$\rho_m = MC(decimal) \times \frac{W_t}{V_s} \text{-----}(9)$$

여기서 ρ_m 은 수분밀도(kg/m^3), MC(decimal)는 시료의 습량기준 수분함량, W_t 는 시료의 무게, V_s 는 샘플홀더의 부피(m^3)를 각각 나타낸다.

수분측정에 적합한 주파수를 분석하기 위하여 수분밀도를 종속변수, 밀리미터파 감쇠 및 위상변화를 독립변수로 하여 선형 회귀분석을 실시하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 단백질의 유전체 특성

구성성분이 단백질인 Beef, Pork를 Raw, Cooked, Cooked juice로 나누어 단백질 함량을 달리 하였다(표 24).

표 21. Protein content of sample in percent by weight

State	Sample	Protein(%)
Cooked	Beef	29.4
	Pork	31.1
Raw	Beef	22.7
	Pork	23.2
Cooked juice	Beef	4.6
	Pork	3.8

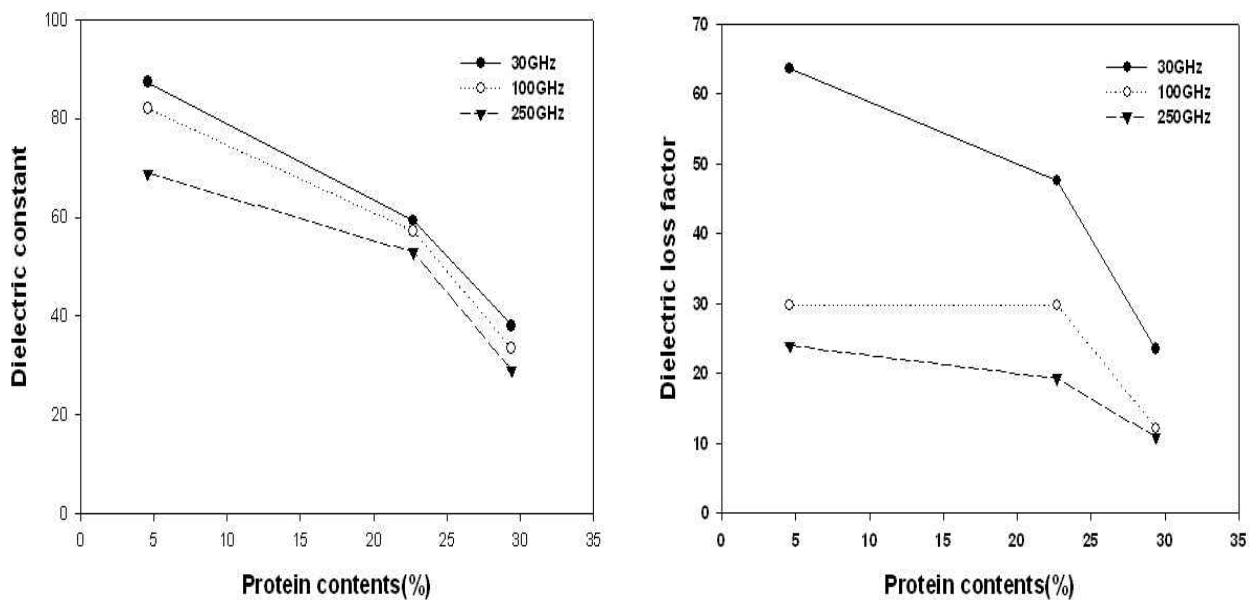


Fig. 32. Dielectric properties of beef products at three millimeter wave

Beef의 단백질 함량 변화에 따라 유전특성의 변화를 나타낸 결과는 Fig. 32이다. 유전상수는 단백질의 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며 주파수가 증가 할수록 유전상수가 감소하는 경향을 나타내었다. 유전손실은 단백질 함량에 따라 감소하는 경향을 나타내었고 높은 주파수보다는 낮은 주파수에서 유전손실이 크게 나타났으며 100GHz의 주파수에서는 일정단백질 함량까지는 유전손실 값이 유지되는 경향이 나타났다.

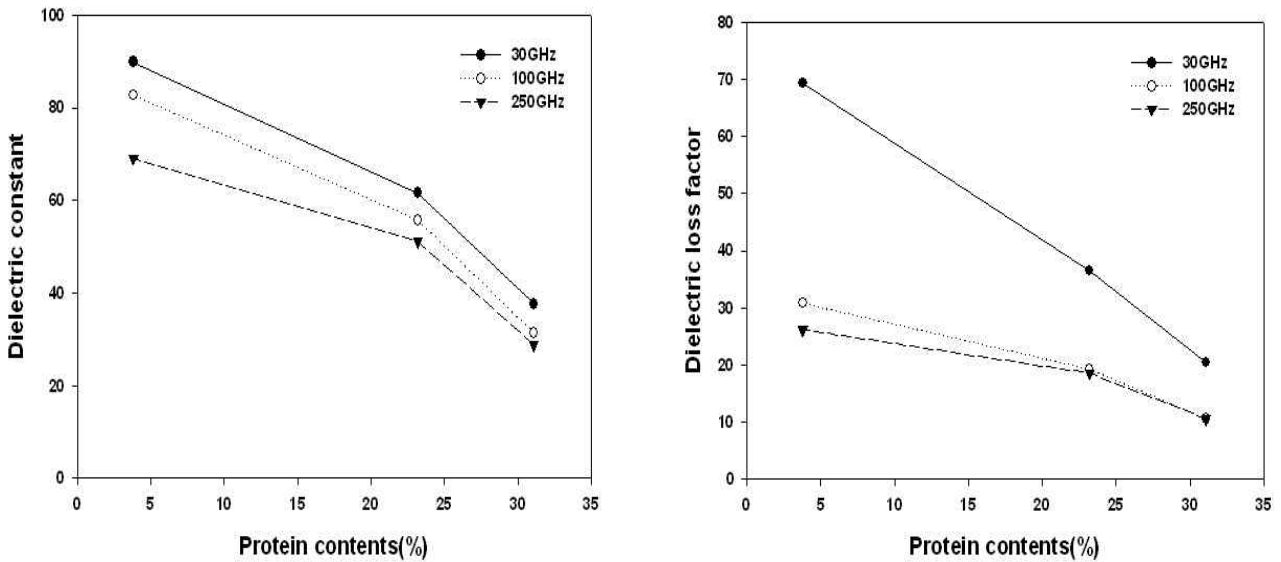


Fig. 33. Dielectric properties of pork products at three millimeter wave

Pork의 단백질 함량과 millimeter wave 주파수에 따른 유전특성 변화를 측정한 결과는 Fig. 33 와 같다. 유전상수의 결과는 beef의 단백질 함량 및 주파수에 따른 유전상수 결과와 비슷한 양상을 나타내었다. 반면 유전손실은 세가지 주파수에서 단백질 함량이 증가 할수록 감소하는 경향을 나타내었고 낮은 주파수의 유전손실의 감소량은 큰 주파수에 의한 영향보다 크게 나타났다.

2) 지방의 유전체 특성

지방의 유전체 특성 측정에 corn oil(매우 높은 polyunsaturated 지방 함유)과 cottonseed oil을 소재로 사용하였다.

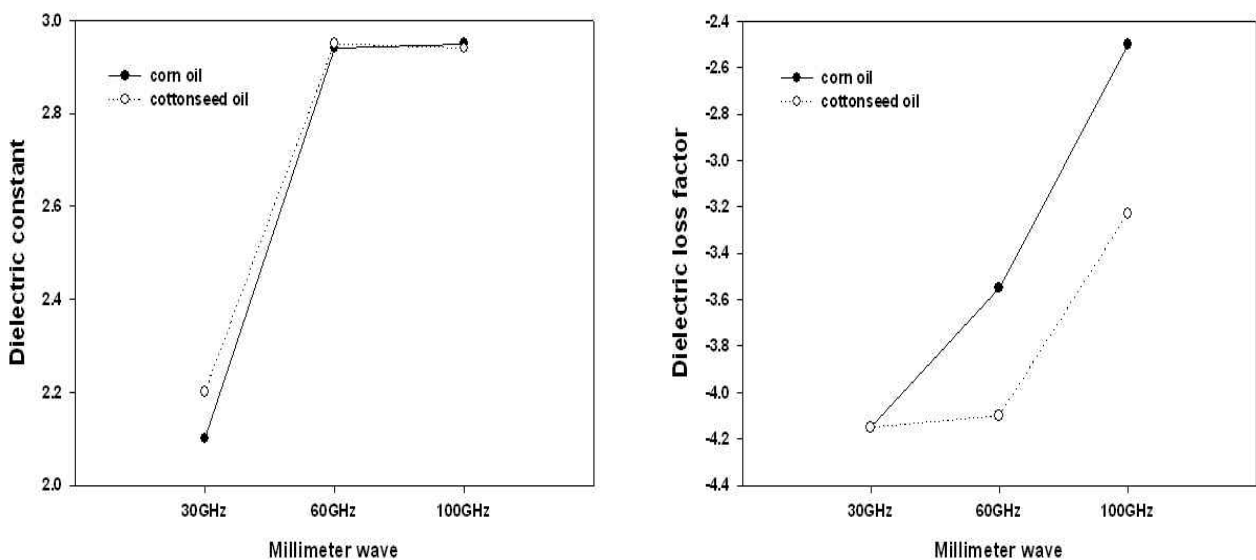


Fig. 34. Dielectric properties of oil products at three millimeter wave

corn oil과 cottonseed oil은 주파수가 증가함에 따라 유전상수가 증가하는 경향을 나타냈으나 일정 주파수 이상에서는 증가의 정도가 미미한 것으로 나타났다. 유전손실은 두 oil이 비슷한 경향을 나타내었으며 유전 손실의 변화 폭이 corn oil에서 크게 나타났다(Fig. 34).

3). 탄수화물(곡류)의 유전체 특성

탄수화물은 곡류로 Sorghum, Soybean, Barley를 소재로 하여 유전체의 특성 변화를 측정하였다(Fig. 35).

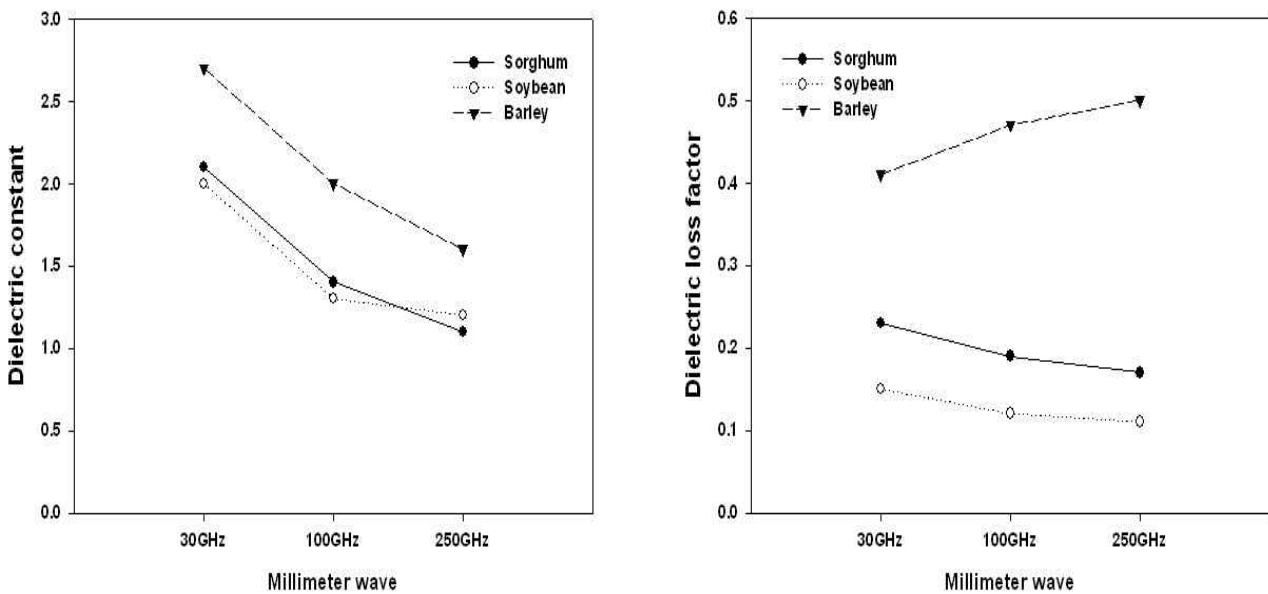


Fig. 35. Dielectric properties of grain products at three millimeter wave

곡류를 이용한 유전체의 특성 변화는 주파수가 증가함에 따라 유전 상수가 감소하는 경향을 나타내었으며 유전 손실은 barley의 경우 주파수 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났으나 soybean과 sorghum의 경우는 감소하는 경향을 나타내었다. 곡물의 종류와 주파수 대역에 따라 다른 특성을 나타내었다.

4. 식품 저장용 Millimeter Wave System(MMWS) 개발

가. Millimeter Wave System의 구성

(1) Block Diagram of Millimeter wave System

본 장비는 전자파를 이용한 피대상물의 생물학적 변화증진을 위한 것으로 초기 장비는 전자파를 조사하여 그것이 반사되어 오는 정보를 이용하여 대상물의 특성이나 환경을 조사하여 값을 보정하거나 활용한 후 각종 데이터로 이용하는 시스템구성이다. 각 시스템의 설계구성은 다음과 같다.

Block Diagram of Millimeter wave System

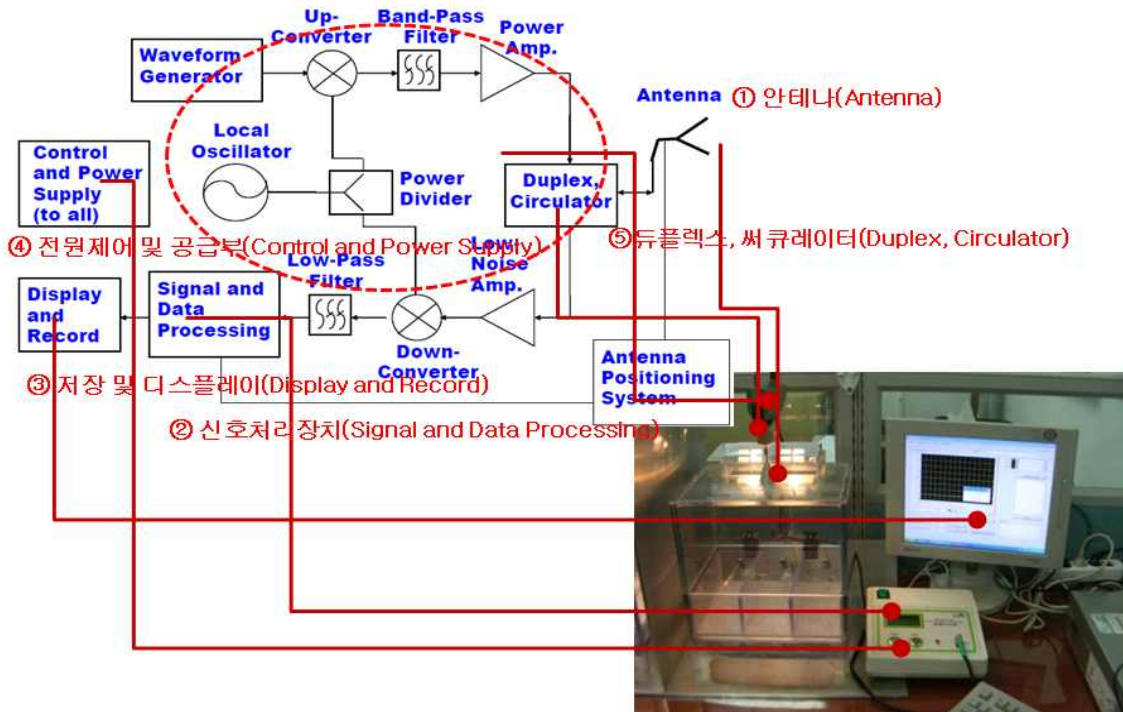
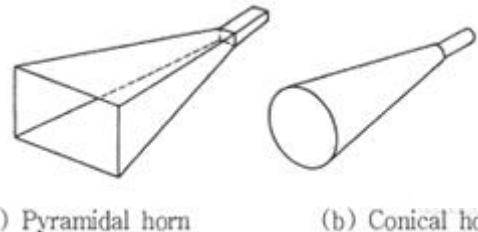


Fig. 36. Block diagram of millimeter wave system

(가) 안테나(Antenna)

안테나란 전자파 방사에서 필수적인 요소 중 하나로, 최종적으로 변복조된 신호를 교류하기 위한 최종 단 장비이다. 안테나는 철저히 크기와 구조, 파장에 비례하여 특성을 받는 구조물로서 circuit이 아니라 component 혹은 structure로 구분된다. 안테나의 동작 원리는 특정주파수의 에너지만 공진시켜서 대기 중에 뿌려주게 된다. 안테나는 용도와 크기, 방식에 따라 다양한 종류가 있으며, 혼 안테나(Horn Antenna)는 도파관의 선단을 펴서 나팔 모양으로 한 것으로 전자혼이라고도 하며, 3,000MHz 이상에서는 비교적 소형으로 중간 정도의 지향성을 쉽게 얻을 수 있고 주 빔 외에 2차적인 빔은 없는 것이 특징이다.



(나) 신호처리장치(Signal and Data Processing)

신호의 진폭이나 주파수, 페이스를 변환시켜주는 회로를 가지고 있는 기계장치로, FFT 등을 실행하는 신호처리 직접회로를 포함하고 있으며 신호처리를 하는 장치이다. 입출력 신호의 송수신 및 제어 정보에 따라 신호를 제어한다.

(다) 저장 및 디스플레이(Display and Record)

처리하고자 하는 명령이나 데이터를 메모리에 저장하는 장치이고 디스플레이는 데이터를 시각적으로 표현하는 작업. 흔히 표시라고 하며 모니터에 시각적으로 표현 또는 표시된 데이터를 시각적으로 화면에 출력하는 표시장치이다.

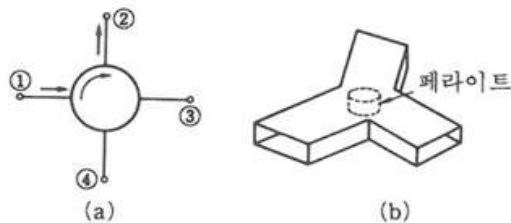
(라) 전원제어 및 공급부(Control and Power Supply)

시스템을 구성하고 있는 각 장치의 전원의 투입 절단 제어나 전원 이상 상태를 감시하는 시스템이다.

(마) 듀플렉스, 서큘레이터(Duplex, Circulator)

듀플렉스, 송신과 수신은 어느 방향으로든 전력을 보낼 수 있고 양쪽에서 동시에 전자파를 통할게 하는 장치이다.

서큘레이터는 입력 및 출력의 방향이 많은 단자 간에 순환적으로 정해져 있는 것과 같은 회로를 말하며, 기호는 그림 (a)와 같이 된다. 예를 들면, ①단자로부터의 입력 신호는 화살표 방향으로 진행하여 반사나 감쇠 없이 ②로만 출력으로 되어 나타나고, ②에 넣은 입력은 ③에만 나타난다.



(2) Power Divider의 구성

(가) 도파관(Waveguide)

사각형 또는 원형 금속관 내에 고주파신호를 가두고 전송하는 전송로이다. 주로 고출력 또는 millimeterwave 신호 전송에 많이 사용되며, 공차에 대한 가공 문제로 연구가 계속 진행 중이다.

도체 하나의 금속관 내에 전자기파를 유기시켜서 그 구조와 dimension에 의해 결정되는 특정 mode에 에너지를 실어 원하는 곳까지 신호를 전송한다. 단면은 방형의 것과 원형의 것이 있다. 마이크로파에서 도파관은 평행 2선이나 동축 케이블에 비해 손실(저항손, 방사손, 유전손)이 훨씬 적고, 같은 치수의 동축 케이블보다 훨씬 큰 전력을 보낼 수 있다. 도파관은 일종의 고역필터, 관내모드는 일정한 차단 파장을 가지며, 그보다 긴 파장의 전파는 통과시키지 않는다. 또, 관내에서는 여진(勵振) 파장과는 다른 관내 파장으로 전파한다.

$$\text{차단주파수 } f_c = \frac{c}{2a}$$



(나) 모드(Mode) : 반파와 등의 원동상태로 공진기 또는 도파관에서 전파가 특정 분포를 취하는 상태이다. 단일한 모드일 때 단일 모드라고 하며 그렇지 않을 때 다중 모드라고 한다.

TEM mode : 자유 공간이나 2선식 선로를 따라 전파하는 전자파는 그 진행 방향에 전계 성분도 자계 성분도 없는 전기적, 자기적 횡파인데, 이러한 모드를 말하는 것이다. 이 모드는 전송선로에서 전송되는 전자파가 나타내는 모드로서 전자 에너지의 수송을 맡고 있다. 도파관 내를 전파하는 파는 전기적 횡파(TE파) 또는 자기적 횡파(TM파)가 되어 그 모드를 표시하는데, TE_{mn} , TM_{mn} 이라는 기호를, 공동(空洞) 공진기의 경우는 TE_{lmn} , TM_{lmn} 이라는 기호를 쓴다. l, m, n은 경계 조건이 정해지는 전자파의 고유 값이며, 네모꼴 도파관에서 m, n은 횡단면 좌표 x, y에 따른 전계 또는 자계 변화의 반주기의 수를 가리킨다.

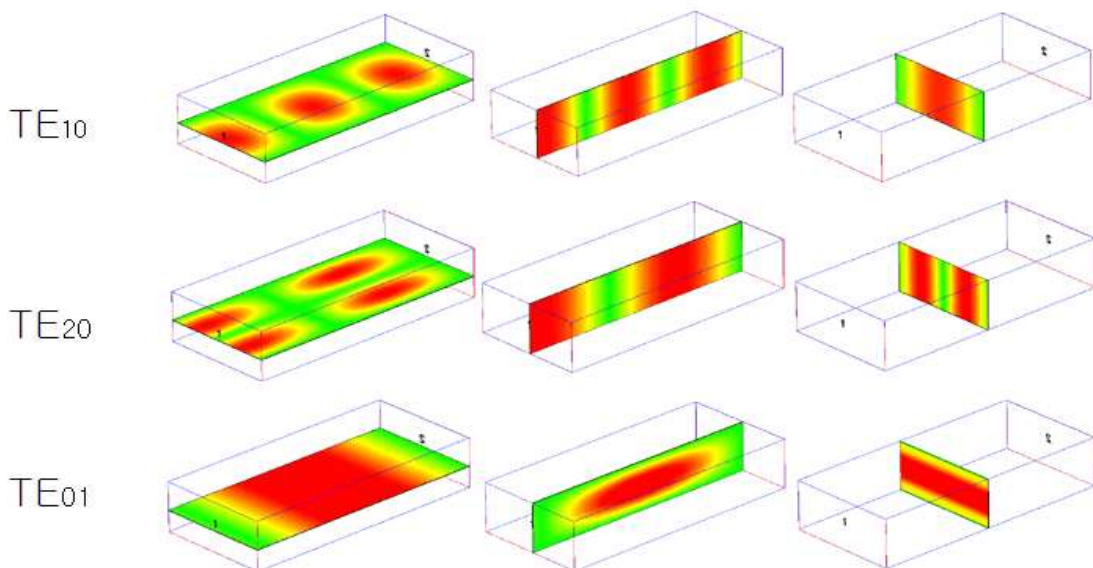
어떤 구조물에서 특정 주파수의 에너지가 집중되는 형태를 의미하며 구조특성에 따라 에너지가 특정 주파수에 집중되는 현상과 관련 있다. 따라서 mode는 결국 구조물의 형태에 의해 결정되어진다. 사용자가 특정 mode를 사용하기 위해서는, 그 mode에 원하는 주파수에너지가 수렴되도록 구조를 설계해야함으로 세계적으로 표준화된 기호를 정해서 주파수에 적합한 도파관을 사용한다.

(다) Mode의 종류

실제로 회로/구조물 설계에 많이 응용되는 propagation mode에는 크게 TEM, TE, TM 의 3가지 정도가 많이 사용된다. 이것은 전자기파가 진행하는 방향과 E,H field의 수직여부에 따라 결정된다.

- TEM (Transverse ElectroMagnetic) : 진행방향과 E field, H field가 수직인 경우
- TE (Transverse Electric) : 진행방향에 E field만 수직인 경우
- TM (Transverse Magnetic) : 진행방향에 H field만 수직인 경우

일반적인 금속 Waveguide(도파관)의 경우 형성되는 모드이며, transmission line과 달리 하나의 금속관 내에서 평면파의 특정 field 성분의 bounce효과가 일어나기 때문에, E field나 H field중 어느 한쪽은 진행방향에 수직일 수가 없으며 도파관의 TE, TM 모드는 구조특성에 따라 자동적으로 결정됨으로 특정한 모드를 사용하기 위해서는 도파관의 크기를 그에 맞게 결정한다.



본 millimeterwave System 설계에서 사용하는 도파관(Waveguide)는 표준도파관을 사용하고 있으며 사용하는 도파관은 Rigid Rectangular Waveguide Data 국제 표준을 사용하였다.

- 사용되는 주파수 영역 : V band
- 도파관 표준 : RG-98/U
- 도파관 규격(내부) : 3.759 x 1.880 mm
- 차단주파수 : 39.863 GHz : * 본 도파관은 39.863 GHz이상에서 사용
- 사용 권장 주파수대 : 49.9 ~ 75.8 GHz

(라) 임피던스 매칭(Impedance Matching)

높은 주파수를 사용하는 시스템에서는 임피던스에 의한 전송특성이 크게 변하기 때문에, 모든 연결 끝단은 반드시 임피던스가 동일하게 일치하여야 한다. 장비의 끝단은 특성임피던스인 50옴으로 떨어지지 않을 때가 많기 때문에 임피던스를 정합(matching)시켜야한다.

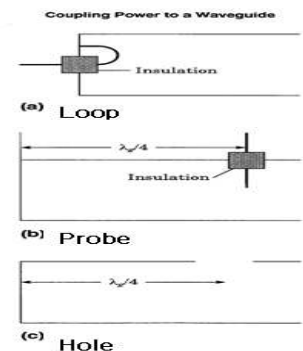
어떤 하나의 출력단과 입력단을 연결할 때, 서로 다른 두 연결단의 임피던스차에 의한 반사를 줄이려는 모든 방법을 임피던스 매칭이라 한다. 보통은 두개의 연결단 사이에 별도의 매칭단(matching unit)를 삽입하여 두 연결단 사이의 임피던스 차이를 보정해준다. 임피던스 매칭이 결국 하는 일은 두개의 다른 임피던스단 사이에, 두개의 임피던스를 완화하는 중간적인 장치가 필요하다.

(마) 도파관내 파워 커플링(Coupling Power to Guides)

커플링은 Excitation을 어떠한 것으로 하느냐에 따라 특성이 다르며 일반적으로 3가지의 커플링을 사용한다.

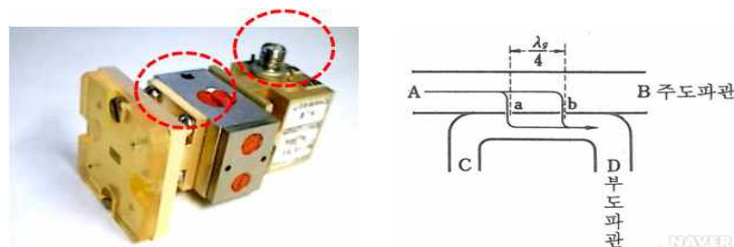
- Probe: at an E-field maximum
- Loop: at an H-field maximum
- Hole: at an E-field maximum

Millimeter wave system에서는 Gunn Diode을 사용하기 때문에 E-Field maximum 커플링을 사용하였다.



(마) 방향성 결합기(Directional Coupler)

입체회로 소자의 일종으로, 두 도파관을 적당히 조합시켜서 전자파 방향에 따라서 분리할 때 사용하는 것을 말한다. 아래 그림과 같이 주도파관 AB의 측벽에 $\lambda_g/4$ (λ_g : 파내파장)의 간격으로 작은 구멍 a, b를 뚫고, 부도파관 CD를 결합한 것이 있다. 이 경우는 주도파관의 A에서 들어온 입력은 D에는 분류하지만 C에는 전해지지 않는다. 또, B에서 들어온 전파는 C에만 전해진다는 성질이 있다. 이 때문에 방향성 결합기는 입사파와 반사파의 분리나 전송 전력의 감시, 임피던스의 측정, 정재파비의 측정 등에 이용되기도 한다

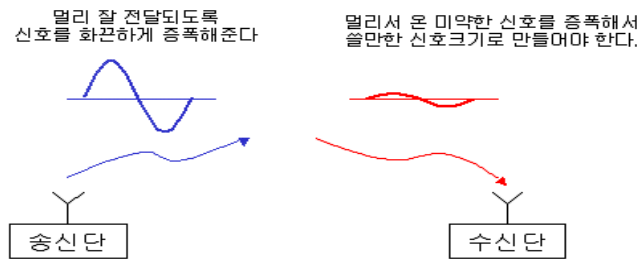


(사) 증폭기(Amp, Amplifier)

RF 증폭기의 에너지원은 DC 전원(Bias)이다. 아래 그림은 Tr을 이용한 증폭작용의 개념도이다.

신호증폭의 원리는, 바로 확대 복사이다. 입력신호가 직접 Tr을 통과하면서 크기가 커지는 것이 아니라, 입력의 신호변화 형상이 출력단에 확대되어 복사되는 것이다. DC전원은 Tr의 입력과 출력에 각각 전압/전류를 흐르게 하고, 입력단에 비해 출력단은 훨씬 큰 전류가 흐르게 되어 있다. Tr의 입력쪽과 출력 전류는 그 변화의 양상을 공유하게 되어 입력에 작은 RF신호가 들어오면 출력 쪽에서는 그 입력에 매우 민감하게 반응하게 된다.

증폭기란 신호가 작기 때문이 신호의 크기를 키워야 할 경우에 사용한다. millimeterwave는 무선의 저전력으로 공간상에 조사하고 반사되는 전력을 받는 것으로 신호가 작기 때문에 증폭기를 사용해야 한다. 전자파를 보내는 곳에 증폭기와 수신단의 증폭기는 서로 다르기 때문에 아래 그림은 증폭기를 사용해야하는 필요성을 나타내었다.



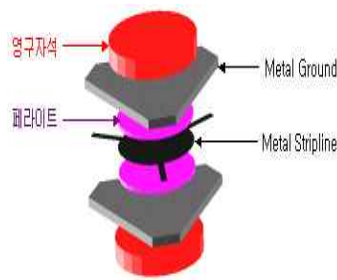
- 송신단 : 안테나에서 적절한 최적전력으로 에너지를 방출해야 원하는 곳까지 전자파가 도달할 수 있으므로 최종적으로 얼마만한 전력으로 증폭을 결정한다.
- 수신단 : 외부에서 수신된 신호는 그 크기가 매우 작으며 잡음들을 포함하고 있기 때문에 잡음을 최소화하면서 증폭하는 (Low Noise Amplification) 것이 중요하다.

(아) Circulator and Isolator

전송선로에서 어떤 포트에서 전력이 입력되면, 왼쪽 혹은 오른쪽 포트 중 어느 한쪽 포트에만 전력이 전달되고 나머지 포트는 전력이 전달되지 않는 것이 Circulator이다. 아래 그림에서 나타내었듯이 3가지 입사의 경우 circulator는 한쪽 방향으로 신호가 회전하듯이 방향성을 갖고 전달되는 것처럼 보이며 기호에서의 회전방향은 곧 포트별 전력 전달 방향을 의미한다.

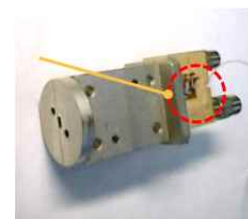
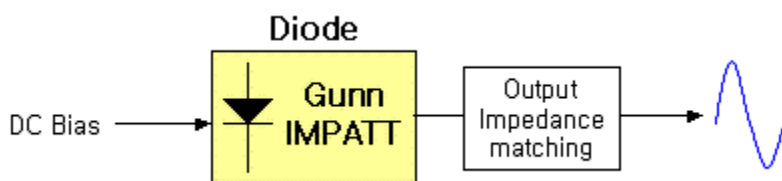
이러한 기능을 하는 circulator는 lumped element를 통한 구조로도 구현이 가능하지만, 가장 널리 사용되는 것은 바로 ferrite circulator(페라이트 써큘레이터)이다. 외부 자계의 영향에 따라 내부 자구의 방향이 배열되는 연자성체 페라이트를 이용한 것이다.

ferrite circulator의 구조는 3개의 포트를 가진 금속면 위/아래(때로 한쪽 방향만 쓰기도 합니다)에 페라이트를 위치하고, GND 금속판 다음에 그 겹으로 고정된 자석이 위치한다. 이 고정된 영구자석은 페라이트의 자화를 일으키거나 강화/고정시키는 용도로 사용되며, 경우에 따라 영구자석 없이 페라이트만 사용되기도한다 결국 이러한 circulator 동작의 핵심은 페라이트에 의한 공진패턴각의 변화이다.



(자) Diode Oscillator(Gunn Device)

Diode는 비선형 특성을 가진 능동소자에 속한다. 다만, diode는 bias 인가 없이도 비선형 동작특성을 할 수 있는데 그때는 수동소자에 속한다고 볼 수도 있다. 하지만 발진기에 사용되는 diode는 DC전원을 끌어다가 AC신호로 변환해야 하는 완전한 능동소자처럼 동작해야 한다. 모든 Diode를 이용하여 발진기를 만들 수 있는 것은 아니고 발진기용인 Diode가 바로 Gunn diode와 IMPATT diode가 그런 용도로 애용되는 diode입니다. 적절한 DC bias와 출력조건만 잡아주면 잘 발진한다. 다만 이 두 diode는 가격이 비싸고 구조적 크기 문제도 있기 때문에, 상용화된 대량생산용 RF보다는 품질 및 millimeter wave 고부가가치 분야에서 주로 사용한다.



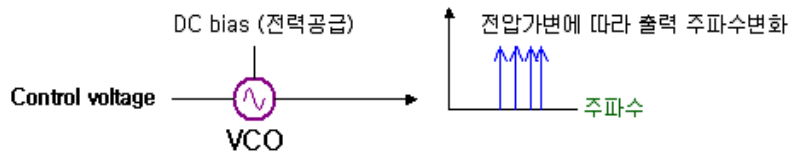
(차) 전압조정발진기(VCO-Voltage controlled Oscillator)

발진기는 단 하나의 주파수원을 만들어내는 것처럼 보이지만 시스템에서 하나의 주파수만 쓰는 경우는 별로 없다. 정해진 대역 (band) 내에서 여러 주파수를 골라가며 사용하는 경우가 많다. 실제 millimeterwave에서 다양한 주파수의 변조와 그에 따른 발진을 필요로 한다. 해당되는 주파수들을 만들어내는 발진기가 일일이 따로 있어야 한다. 주파수를 전압 조절에 의해 변화시킬 수 있다. 발진기의 원리와 같이, 주파수를 결정(또는 선택)하는 곳은 공진부이다. 공진이라는 말 자체가 특정 주파수만 선택하는 것이므로, 이 부분을 기변할 수 있다면

공진주파수를 바꿀 수 있다.

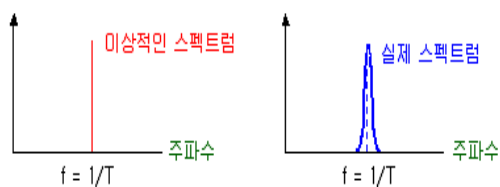
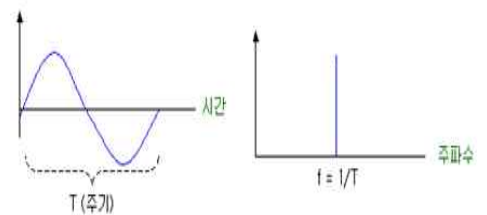
공진은 기본적으로 인덕턴스(L)와 캐패시턴스(C) 성분의 에너지교환에서 발생하며 공진부의 특성을 가변하려면, L이나 C에 해당할 만한 성분을 가변하게 된다. 따라서 어느 한쪽만 바꾸어도 공진주파수는 쉽게 가변 시킬 수 있다. 그중 가장 일반적이고도 흔히 사용되는 방식은 공진부의 캐패시턴스를 가변 시키는 방식이다. 그것은 배랙터(varactor)라는 편리한 다이오드를 이용하여 이루어진다.

배랙터 다이오드는 가해지는 전압에 따라 캐패시턴스 값이 변하는 다이오드이다. 쉽게 말해서 전압가변 캐패시터이다. millimeterwave 에서는 단일 주파수 방식에서는 Gunn Diode을 사용하고 가변형 주파수 변조에서는 VCO를 사용한다. 발진기의 발진주파수를 가변하는 과정은 전압변화 → 배랙터의 캐패시턴스 변화 → 공진부의 공진주파수 변화 → 발진주파수 변화로 나타난다. 실제로 VCO는 전압에 의해 가변되지만, 온도변화나 전압불안정과 같은 외부적 영향에 약하다는 문제점이 있다. 즉 원하는 발진주파수가 고정되지 않고 흔들리게 되는데, 원천적인 source가 흔들려 버리면 시스템이 정상적으로 동작하지 못한다. 그래서 VCO는 주파수안정성을 향상시키기 위해 사용 환경의 준수와 기술적으로 locking(락킹, 주파수고정)기술을 사용하는데 PLL(Phase locked loop)은 바로 이렇게 특정한 주파수원이 외부영향에 의해 변화되지 않고 고정시켜주기 위한 목적으로 RF에서 애용되는 회로구성법이다. 결과적으로 VCO와 같이 전압가변이 가능한 형태로 만들어 시스템을 구성한다.



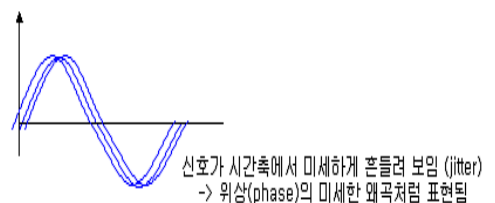
(카) 위상잡음(Phase Noise)

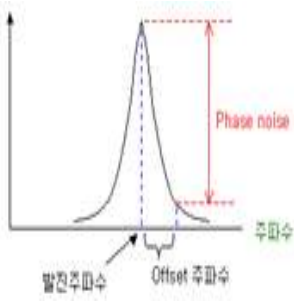
발진기에서 신호품질의 결정하는 것은 phase noise이다. 특정 주파수에서만 공진이 일어나도록 유도되어 만들어진 발진기 출력신호는 실제 한 가지 주파수만 발진되지 못한다. 아래 그림처럼 깨끗한 사인파형이라면, 그 주기의 역수만으로 FFT 하면 주파수 성분이 spectrum상에서 관찰된다.



하지만 실제로는 날카롭고 샤프하게 뜨지 못하고 주변에 Noise을 발생시킨다. 주파수 스펙트럼상에 주파수원 신호를 확대해보면 오른쪽 그림과 같은 형상으로만 나타난다.

설정된 주파수만이 한 개의 바처럼 나타나야하지만, 실제로는 그렇게 되지 못한다는 것이다. phase noise란 바로 불필요한 주파수에너지 성분들을 말하며 상기 Noise를 주파수원 신호와 시간 축에서 보면 마치 아래와 같은 그림으로 표현된다.





즉 이상적으로 위상이 일치하는 것이 아니라 시간 축 신호의 sine파형이 약간씩 밀리면서 조금씩 틀어지게 된다. 따라서 밀리는 현상 없이 발진시키는 것은 쉽지 않다. 시간 축에서 파형의 위상이 떨리는 현상을 흔히 jitter(지터)라고 부르며, 주파수 영역에서는 중심 주파수 옆의 다른 주파수 성분을 만들어 내게 된다. 이러한 위상잡음 지표는 특정 offset 주파수만큼 떨어진 거리에서의 전력값과 중심주파수와의 전력값의 차이로 읽히지며, 발진기의 가장 대표적인 spec이 된다.

나. Millimeter wave System의 주요 응용 분야

(1) 밀리미터파의 응용 분야는 다음과 같다.

- 의료 분야: 암 치료, 위장, 심장, 내분비계 진단 및 치료 등
- 축산/ 어업분야 : 낙농업, 양식, 사육, 질병 치료
- 제빵, 요구르트, 치즈 가공 분야
- 양조: 맥주 등
- 야채 과일 : 숙성, 저장, 유기 성분 활성화 등

(2) 밀리미터파의 사업화 영역

단기	중, 장기
냉장고 신선 야채 저장 시스템 및 용기 소형 식품 저장용기 및 저장고 (빵, 과일, 야채 등) Hair Care (탈모 방지), 유산균 발효 식품, 양조 식품의 활성화	농산, 축산 및 수산업 분야 확대 의료 분야 확대: 진단 및 처방 기기 氣치료 진단 및 치료 기기 수경재배 (신선야채 재배 시스템)

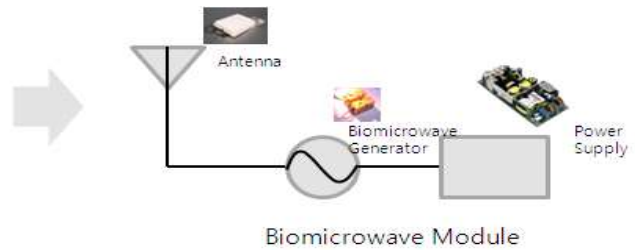
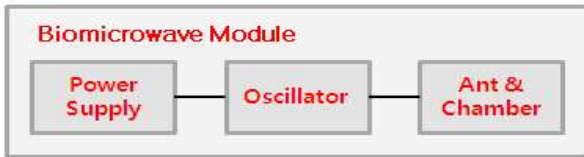
(3) 냉장고 신선 야채 저장 시스템

한국의 경우 비타민 필터 시스템을 이용한 비타민 분사 시스템, 수분케어 기술을 이용하여 냉장실(74%), 야채실(90%)을 신선하게 유지하는 수분케어 시스템, UV LED를 이용하여 태양광의 자외선효과를 이용한 시스템이 현재 사용 중에 있으며 일본의 경우 LED불빛 이용한 광합성, 나노티탄 시스템, 온도/습도 조절로 야채/과일 신선도 유지, 진공 chilled room을 이용한 야채/육류/생선의 신선도 유지 시스템이 있다. 따라서 향후 이를 대체할 중요한 방법으로 생각된다.

(4) Millimeter Wave를 이용한 신선 야채 시스템 구현 방법

(가) 구현방법

현재 Millimeter wave 장비는 넓은 주파수 영역에서 출력과 주파수를 제어하는 장비로 시험을 통하여 주파수와 파워가 결정되면 고정주파수를 사용하게 된다. 그 경우 전체적인 구성은 아래의 그림과 같다. 따라서 냉장고의 신선 야채실에 Millimeter wave Generator를 설치함으로써 고정주파수를 사용하여 야채/과일 등의 신선도 유지할 수 있게 된다.



효과로는 millimeter wave를 이용하여 야채/과일 시스템의 BioActivity 활성화, 활성물질 생성으로 인한 주요 영양 성분 증가, 장기 신선 보존 가능, 및 별도 비타민 필터 보충 불필요한 반 영구적/ 경제적 시스템이다.

(5) Millimeter wave를 적용한 다양한 시스템

□ Hair Care Solution

Millimeter wave조사를 통해 모근의 활성화
전기모자 등 다양한 제품화 가능
Hair Care 프랜차이즈

□ 영양 유전체학 (Nutrigenomics)와 연계

DNA 유전자분석을 통해 유전특성 분석
Hair Care 모자를 통한 지속 치료
영양 유전체학을 바탕으로 영양식품 제공

□ 소형 식품 저장 용기 시스템

쉽게 노화되고, 온/습도 조절이 어려워 보관이 어려운 빵류, 떡류의 저장 시스템
열전반도체 (Peltier)를 이용한 온도 조절
초음파 가습 장치를 이용한 습도 조절
Millimeter wave 조사를 통한 식품 활성화

□ 기타 시스템

소의 유방염 치료
병아리 부화
새싹 발아

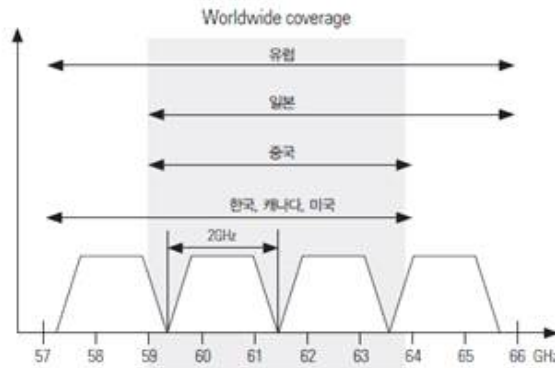
다. Millimeter wave의 주파수 안전성

주파수 이용에 있어 출력전력에 대한 제한이 없는 것이 특징이며, EIRP를 최적 43dBm(19.9W)까지 허용하지만, PSD를 13dBm/MHz로 제한하고 있다

우리나라의 경우 캐나다와 미국과 마찬가지로 57~64GHz 주파수를 용도 미지정 대역으로 분배하고 있다. 송신출력은 지향성 안테나를 사용하는 경우 최적 27dBm(500mW)까지 허용하지만, 무지향성 안테나를 사용하는 경우는 전 방향으로의 간섭 발생을 억제하기 위해 20dBm(100mW)으로 제한된 것이 타 국가들과 차별화되는 특징이다. PSD는 유럽과 마찬가지로 13dBm/ MHz로

제한하고, EIRP를 최적 43dBm(19.9W)까지 허용하며, 송신 스푸리어스 발사(40GHz 이상)가 -10dBm 이하가 되어야 함을 정의하고 있다.

우리나라의 경우 캐나다/미국과 마찬가지로 57~64GHz 주파수에서 최적 27dBm(500mW)까지 허용하기 때문에 안전성에는 전혀 문제가 없다. 또한 여러 선행연구를 통하여 식품 적용의 안전성이 밝혀지고 있다.



60GHz 대역 비허가 주파수 할당 기준

현재 Millimeter wave에서 사용하는 Oscillator는 상기 두개의 Oscillator를 사용하고 있다. Spec. Sheet에서 보듯이 Pout은 100~30mW미만이다.



8 mm range voltage-controlled oscillator

Technical parameters

Frequency range, GHz, 30 – 40
 Electron tuning band Δf , GHz 1-3
 P_{out} no less than, mW 100 - 30
 Consumed power P_{Max} , no more than, Watt, 6
 Supply voltage, V 3,5 – 5
 Oscillator diode AA 763
 Varicap AA 632



5 mm range voltage-controlled oscillator on Gunn diode

Technical parameters

Frequency range, GHz 52 – 62
 Electron tuning band Δf , GHz 10
 Δf at Pout 30 mW 3 GHz
 Δf at Pout 20 mW 5 GHz
 Δf at Pout 10 mW 10 GHz
 Consumed power P_{Max} , no more than, Watt, 6
 Supply voltage, V 4 – 6
 Weight, no more, gram 70
 Dimensions, mm 20x20x18
 Oscillator diode F14-DV-012-033

제 3절 Millimeter Wave System 구축 및 식품가공 공정에 대한 적용기술 개발

밀리미터파의 발효 미생물학적 응용

미생물에 대하여 생물학적 활성을 보이는 파장 영역은 4.11 mm ~ 8.34 mm이며, 밀리미터 파에 노출된 미생물의 생물학적 특성 변화는 유사성과 차이성을 보이고 있다. 광합성/비광합성 미생물에 밀리미터파를 조사할 경우 미생물의 성장과 바이오매스 생산의 촉진, 공진 효과, 방사변수-주로 파장-에 따른 생물학적 효과, 최적 파장 변경 시 성장 억제 또는 정지; 조사 대상물에 흡수된 미량의 에너지; 세포막 투과성 변화; 생물학적 활성물질의 합성 변화; 미생물의 종 및 속, 배양에 따른 활성 파장 공명 피크의 차이, 즉 밀리미터파 노출에 대한 분류학상 민감도; 돌연변이원성의 결여; 계대배양시 촉진 효과의 연장 등이 보고되었다. 밀리미터파 조사에 따른 미생물 반응의 차이점은 다음과 같이 보고되었다. 비광합성 미생물, 특히 효모는 밀리미터파를 반복 조사해야 생육 촉진 효과를 보이는 경우가 있는데, 이는 광합성 미생물에서는 관찰되지 않는 특징이 있다. 비광합성 미생물, 특히 효모와 버섯류는 세포의 구조적 변화가 유발되며, 이런 현상은 광합성 미생물에서는 관찰되지 않았다. 최근 미생물을 포함한 생물과 밀리미터파의 상호작용에 대한 관심이 고조되고 있는데 특히, 많은 과학자들이 관심을 갖고 있는 점은 미생물에서 진행되는 빛에너지의 광합성 전환 과정에 대한 전자기파 조사의 작용기전이다.

최근 자색세균 (purple bacteria)의 광합성 반응 중심의 triplet 상태 형성에 대한 밀리미터파 방사의 영향을 실험한 결과가 발표 되었는데 저자들은 *Rhodobacter sphaeroides*의 광합성 막과 막으로부터 분리된 반응중심을 대상으로 밀리미터파를 조사하여 그 영향을 관찰하였다. 그 결과, 밀리미터파 (4.04mm, P=30 mWatt/sm²)가 조사되면 반응중심의 단일항 (singlet) 상태의 활성화된 1차 이온 라디칼 쌍이 삼중항 (triplet) 상태로 전이되는 비열적 효과가 확인되었으며, 반응중심에서 삼중항 상태의 이온 라디칼 쌍이 카로티노이드 분자가 관여하는 반응에 의해서 제거되는 과정에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 초고주파 조사는 카로티노이드 삼중항의 수명을 유의적으로 (거의 2배 정도) 증가시키며 광합성 세균인 *Rhodobacter aphaeroides*의 반응중심에서 진행되는 퀴닌 수용 체계의 광유도 단백질 전자의 전이를 촉진한다는 결과가 보고되었다. Impulse spectroscopy를 이용하여 세균의 광합성 반응중심의 클로로필 함유 단백질에서 진행되는 광유도 반응의 특성과 호염성 세균인 *Halobacterium halobium*의 자색 막의 박테리오토프신 레티날 함유 단백질의 암 변성 (dark transmutation) 반응에 대한 초고주파 조사의 영향 (파장 4.04 mm, 출력30 mWtt/sm²,singleimpact지속시간 10분)을 조사한 결과, 초고주파 조사가 박테리오토프신 색소 형성의 초기 단계에서 전자 전달 속도를 30% 정도 촉진시키는 것으로 나타났다. 효모인 *Saccharomyces cerevisiae*에 7.17~7.21 mm 의 밀리미터파를 조사한 결과 뚜렷한 변화가 없었으며, 이는 실험에 사용된 주파수 영역이 활성 주파수가 아니기 때문으로 보고되었다. 또한 *E. coli* 세포에 밀리미터파를 조사한 결과 콜리신 생산, 증식, 세포 막 상태에 유의적 변화가 관찰되지 않았으며, 이는 밀리미터파 조사 대상물에 적합한 최적 조건 선택 실패에 기인한 것으로 생각된다. 따라서 밀리미터파 조사에 의한 촉진 효과를 살펴보기 위해서는 최적 조사영역대 선택에 많은 연구가 필요하다. 밀리미터파가 미생물의 광범위한 특성에 영향을 미치는 것을 보여 주었으며 밀리미터파의 조사 대상인 미생물의 종류나 특성별로 적합한 최적 파장 등이 있는 것으로 나타났다. 그 밖에, 미생물의 생명 기능이 약할수록 밀리미터파

조사의 영향이 더 커진다고 보고하였다.

표 1. 미생물군에 대한 밀리미터파의 영향

미생물	활성 파장 (mm)	조사 영향
원핵생물		
세균		
<i>Escherichia coli</i>	6,0-6,7; 7,1;5,6;	생육 촉진; 탈수에 대한 저항성 증가
<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Staphylococcus sp.</i>	6,0-6,7; 8,0 5,95-7,2	색소형성 감소; 콜로니 크기 감소
<i>Bacillus mucilaginosus</i>	5,95-7,2	생합성 반응 촉진
<i>Bacillus firmus</i>	5,95-7,2; 6,2	효소활성과 바이오매스 축적 증가
<i>Sulmonella typhimurium</i>	8,0	자유 라디칼 반응 촉진
<i>Rhodobacter sphaeroides</i>	4,04	반응중심의 삼중합 상태 증가; 삼중합 반감기 증가
<i>Halobacterium halobium</i>	4,04	전자 전달 증가
<i>Photobacterium leiognathi</i>	6,96; 4,16; 7,1; 4,46	생물발광 (Bioluminescence) 억제; 생물발광 촉진
방선균류		
<i>Streptomyces spheroides</i>	5,95-7,2	발효 생합성 활성 증가
<i>Streptomyces xanthochromogenes</i>	5,6; 4,6	콜로니 성장 촉진
<i>Nocardia sp.</i>	5,95-7,2	발효 생합성 활성 증가
<i>Cyanobacteria</i>		
<i>Spirulina platensis</i> <i>Spirulina maxima</i>	6,06; 6,25; 6,66; 7,1; 7,89; 8,34; 4,6; 5,6;	생육 촉진; 광합성 촉진
<i>Anacystis nidulans</i> <i>Anabaena variabilis</i> <i>Plectonema boryanum</i> <i>Fremyella diplosiphon</i>	8,34	생육 촉진
진핵생물		
곰팡이		
<i>Aspergillus oryzae</i>	5,95-7,2	바이오매스 축적과 발효 생합성 증 가
<i>Aspergillus awamory</i>	5,95-7,2	색소 형성 감소, 분생포자 형성 감소
유사효모 곰팡이		
<i>Endomyces fibuliger</i>	5,95-7,2	효모 세포 형성 촉진; glucoptyalin과 alphaptyalin 활성 증가
<i>Microfil fungi</i>		
<i>Dacthilyum dendraides</i>	5,95-7,2	단백질분해효소 활성 증가
효모		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	8,5; 7,17-7,21; 5,95-7,2	생육 촉진과 생합성 활성 촉진
<i>Saccharomyces Carlsbergensis (pastorianus)</i>	5,95-7,2; 6,035	생육 속도 증가; 시간 감소
조류		
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	7,1; 5,6	환경 독성 감소
<i>Platymonas viridis</i>	6,06; 7,1; 8,34	생육 촉진; 광합성 촉진

본 연구에서는 유효균주로서 미생물 성장에 millimeter wave가 미치는 영향을 조사하고 전통 발효식품(청국장), 발효주(막걸리), 유제품(요구르트)의 발효기간동안 Millimeter wave를 조사함으로써 청국장, 막걸리, 요구르트의 품질특성에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

1. 밀리미터파(MMW)의 발효 가공기술 연구

가. 유효균주의 선택적 고효율 발효제품 개발을 위한 밀리미터 가공기술 연구

(1) 재료 및 방법

(가) 사용 균주 및 배양 방법

본 실험에서 사용된 실험 균주는 *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum*이며 이 균주는 KCTC미생물자원센터로부터 제공받았다. 균주들은 각각 nutrient agar(NA) 사면배지와 Lactobacilli MRS agar 배지에 계대배양한 후 이를 4°C에서 보존하면서 사용하였으며, 전배양은 100mL 삼각플라스크에 10mL의 액체배지를 넣고 여기에 균주를 백금이로 1회 접종한 후 35°C에서 180rpm으로 배양하였다. 삼각플라스크 250mL에 100mL 씩 액체배지를 분주하고 여기에 배양된 시험균주를 1mL씩 접종하여 35°C에서 24hr 배양하였다. 이때 MMW를 조사하지 않은 균주를 control로 실험에 사용하였고 MMW 조사한 균주로는 MMW를 주파수 60GHz, 70GHz로 배양하는 동안 조사하여 각각 실험에 사용하였다.

(나) 균주의 성장 분석 방법

균주의 성장 정도는 spectrophotometer(Jasco V650, Tokyo, Japan)를 이용하여 600 nm에서 흡광도 (Optical density, OD)를 측정하여 확인하였다.

(2) 실험결과

(가) Millimeter wave에 의한 *Bacillus subtilis*의 성장분석

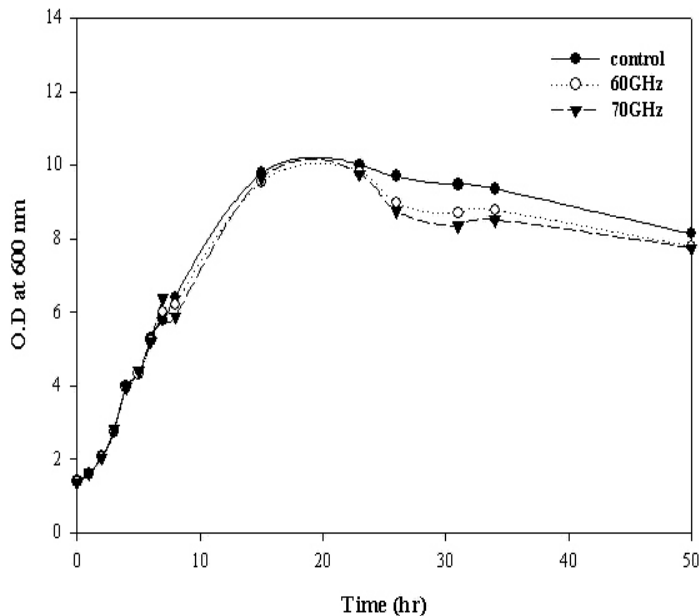


Fig. 1. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 조사한 *Bacillus subtilis*의 성장곡선

Millimeter wave의 조사유무 및 주파수(60GHz, 70GHz)에 의한 유효균주의 성장속도를 측정하

고자 *Bacillus subtilis*에 MMW를 조사하여 배양시간의 경과에 따른 배양액의 흡광도 변화를 측정하여 증식곡선을 작성한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. *Bacillus subtilis*는 MMW 조사와 12시간 까지 증식한 다음, stationary phage를 지나 30시간이 후 death phage에 도달한 것으로 나타났다. MMW 조사에 의하여 *Bacillus subtilis*의 성장의 차이는 없는 것으로 나타났으며, MMW 조사를 통하여 death phage에 비조사보다 조금 빨리 돌입하는 것으로 나타났다. 하지만, MMW 조사군이나 비조사군의 성장량 (OD값)이 거의 유사하고 cell 양이 최고로 증가된 시간과 O.D값이 동일한 것으로 보아, MMW는 *Bacillus subtilis* 성장에 유의적으로 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

(나) Millimeter wave에 의한 *Lactobacillus plantarum*의 성장분석

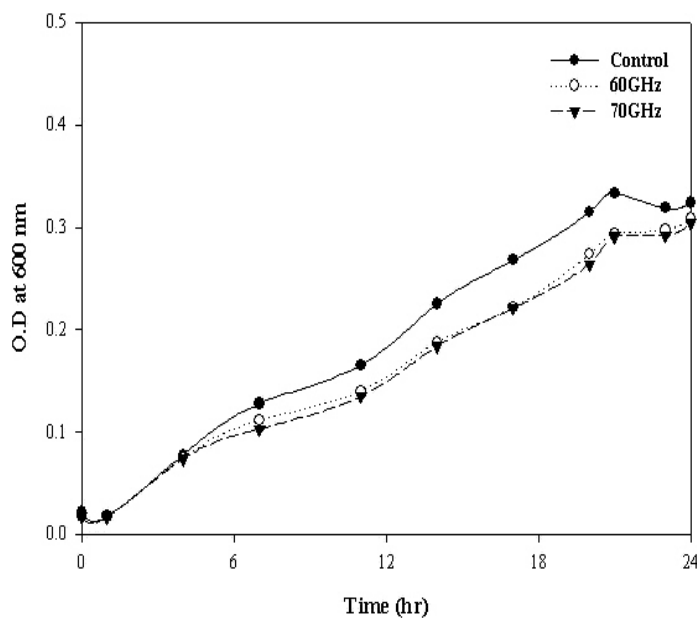


Fig. 2. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 조사한 Lactic acid bacteria의 성장곡선

*Lactobacillus plantarum*에 millimeter wave 주파수를 60GHz와 70GHz로 조사하여 배양시간의 경과에 따른 배양액의 흡광도 변화를 측정하여 증식곡선을 작성한 결과는 Fig. 2와 같다. *Lactobacillus plantarum*가 성장하면서 MMW 비조사 군의 O.D (cell density)값이 MMW 조사 실험군에 비하여 약간 높게 나타났다. 이는 MMW조사가 *Lactobacillus plantarum*가 성장에 미세하게 부정적인 영향을 미치는 것으로 사료 되지만 유의적으로 차이가 나지 않았으며, 24시간 배양후의 MMW 조사군과 비조사군의 cell density 값은 유사한 것으로 나타났다. 또한 MMW를 60 GHz와 70 GHz로 서로 다른 주파수에 따른 영향을 확인하였을 때, MMW 주파수에 따라 *Lactobacillus plantarum*의 cell density 값의 차이는 나타나지 않았다. 이를 통하여 MMW 주파수에 관계없이 *Lactobacillus plantarum*에 cell 성장에 큰 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다.

나. 전통발효식품(장류), 발효주, 유제품의 유효균주에 대한 영향 평가

(1) 재료 및 방법

(가) 재료

본 연구에서 청국장 제조에 사용된 재료는 청국장(전통청국장, 순창문옥레식품), 대두(백태, 국내산)를 사용하였다. 요구르트 제조에 사용된 starter는 CHRHANSEN사의 ABY -3, YF-L812, YC-X11로 총 3종을 구입하였으며 멸균우유(매일우유)을 사용하였다. 막걸리 제조용 백미는 추정 품종으로 구입하여 사용하였으며, 개량누룩, 효모를 사용하였다. 주파수 조사는 millimeter wave(Nizhniy Novgorod, Russia)를 이용하였다.

(나) 방법

㉠ 청국장 제조 및 방법

접종 균주는 시판 청국장을 멸균 증류수에 현탁시킨 후, Nutrient broth(Difco, Detroit, MI, USA)에 도말하고 37°C 에서 24시간 배양 후 나타난 독립된 colony를 Nutrient broth에 접종하여 37°C 에서 2시간 배양하여 접종균주로 사용하였다.

대두 2 kg을 수세하여 물에 24 hr 동안 침지한 후, 1시간 동안 수분을 제거하고, 121°C 에서 50 min 동안 가압 증자하여 50°C 내외 로 냉각하였다. 냉각된 대두에 균은 2 % v/w로 접종하여 골고루 혼합한 다음 37°C 에서 72 hr 동안 발효시켜 control로 실험에 사용하였다. Millimeter wave 조사균은 발효기간 동안 주파수 60 GHz와 70 GHz로 각각 조사하여 청국장 실험에 사용하였다.

㉡ 청국장의 미생물 측정

청국장의 미생물검사는 청국장시료 5 g을 취하여 멸균증류수로 10진 희석법에 따라 희석하여 생균수측정 시료로 사용하였다. 희석된 시료 1 mL를 건조필름배지(PAC, 3M, Minnesota, USA)에 균일하게 잘 혼합한 후 37°C 에서 24 ~ 48시간 동안 배양한 후 생균수를 시료 1 mL당 log colony forming unit(log CFU/mL)로 나타내었다.

㉢ pH 측정

pH는 청국장 10 g을 증류수 90 mL을 가하여 균질화 한 후 whatman No. 4 여과지로 여과한 후 여과액을 pH meter (920A, Thermo Orion, MA, USA)를 이용하여 pH를 측정하였다.

㉣ 점질물 측정

청국장의 점질물 측정은 청국장 10g에 증류수 20 mL을 가하여 140rpm, 25°C 에서 30분 진탕 후 원심분리(3,000 rpm, 15분)하여 얻은 상등액 5 mL을 105 °C 에서 증발 건조시켜 그 무게를 측정하였으며, 시료에 대한 건물량(%)으로 나타내었다.

㉤ 색도 측정

시료의 색도는 Hunter 색도계(CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan)로 명도(L,

lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

㉓ 아미노태 질소 함량

아미노태 질소 함량은 Formol 적정법에 준하여 측정하였다. 즉 상등액 10 mL에 0.1% phenolphthalein 지시약을 2~3방울 첨가한 후 0.1 N NaOH로 연분홍색이 될 때까지 적정하고, 포르말린용액 (35~40%) 5.4 mL를 첨가하여 연분홍색이 될 때까지 적정하여 소요된 0.1 N NaOH의 양으로 아미노태 질소 함량을 계산하였다.

Korea/a Foods Industry Association. 2009. Food code. Moonyongsa Co, Seoul, Korea. p 319-320.

㉔ 아미노산

아미노산은 HPLC 분석 방법에 따라 수행하였다.

② 요구르트 제조 및 방법

요구르트의 제조는 멸균우유 1000 mL에 3종류의 starter를 0.008% (w/v)으로 각각 첨가한 후 magnetic stirring을 이용하여 15 min 동안 혼합하였다. 혼합된 요구르트는 37 °C에서 24 hr 동안 발효되어 control로 실험에 사용하였다. 발효기간 동안 millimeter wave를 주파수 60 GHz와 70 GHz로 각각 조사하여 발효된 요구르트를 millimeter wave 조사군으로 실험에 사용하였다. Control 및 millimeter wave 조사군 요구르트 모두 발효가 종료된 후에는 4 °C에서 1 day 동안 저장한 후 품질 특성을 조사하였다.

㉕ pH 및 적정산도

요구르트 10 g을 취하여 증류수 40 mL를 가한 후, 핫플레이트(MSH-20D, DAIHAN Scientific, Korea)에 350 rpm에서 1분 용해한 뒤 whatman No. 4 여과지로 여과한 여액을 시료로 사용하였다. pH 측정은 여액을 pH meter (Star A211, Thermo Orion, Beverly, MA)로 측정하였으며, 적정 산도는 여액 10 mL에 0.1N NaOH 용액을 가하여 pH가 8.1에 도달할 때까지 소요된 양으로부터 산출하여 젖산의 함량으로 나타내었다.

㉖ Syneresis 측정

Syneresis 측정은 centrifugal method(Pluta et al. 1999)를 사용하여 측정하였다. 요구르트 100g을 1500rpm에서 10 min 동안 원심분리하여 분리되는 액의 무게를 측정하여 나타내었다.

㉗ 생균수 측정

시료 1.0 mL를 채취하여 10진 희석법에 따라 희석한 후 Lactobacilli MRS agar(Acumedica Manufacturers, USA)를 이용하여 Standard Plate Count법으로 37°C에서 48시간 배양 후 colony가 30 ~ 300개 범위로 나타난 plate들을 선별, 계수하고 결과는 log colony forming unit (CFU)/mL로 나타내었다.

㉘ 점도 측정

요구르트의 점도 측정을 위해 요구르트의 온도는 8-9°C를 유지하였으며 Brookfield viscometer (MODEL DV1, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Stoughton, MA, USA)의 spindle No.3을 사용하여 50 rpm에서 5분 동안 1분 간격으로 측정하여 평균치를 나타내었다.

㉞ 아미노산

아미노산은 HPLC 분석 방법에 따라 수행하였다.

㉞ 유기산

유기산은 HPLC 분석 방법에 따라 수행하였다.

㉞ 관능평가

요구르트 관능평가를 위해서 요구르트는 4°C의 온도를 유지하였으며 12명의 패널을 대상으로 실시하였다. 관능평가는 7점 척도법을 이용하여 색, 향, 맛, 조직감, 이취, 전반적인 기호도를 평가하였다.

③ 막걸리 제조 및 방법

본 연구에 사용된 막걸리는 쌀 438 g을 세척하여 2시간 동안 물에 침지한 후, 채에 받쳐 60분 동안 물기를 제거하였다. 물기를 제거한 쌀을 찹솥에 넣고 100°C에서 40분 동안 증자하고 10분 뜸을 들인 후 고두밥을 만들었다. 1단 담금은 고두밥, 누룩(25.5 g), 효모(0.79 g), 물(0.87 L)을 혼합시켜 25°C에서 48시간 동안 발효시켰다. 2단 담금은 쌀(875 g), 물(1.75 L)을 첨가하여 30°C에서 5일간 발효시켜 control로 제조하였다. 발효기간 동안 Millimeter wave를 주파수 60 GHz와 70 GHz로 각각 조사하여 제조한 막걸리를 실험에 사용하였다.

㉞ 시료 채취

제조된 막걸리의 이화학적 특성을 조사하기 위한 시료 채취는 다음과 같이 실시하였다. 제조된 막걸리를 80 mesh 체로 불용물질을 제거한 후 얻어진 여액으로 알코올 함량을 측정하였으며, 여액을 4000 rpm으로 20분간 원심분리한 후 상층액을 취하여 pH와 적정산도, 아미노산 함량, 당도를 측정하였다.

㉞ 총균수 측정

총균수 측정은 막걸리 시료를 균일하게 섞어 1 mL를 멸균한 생리 식염수에 10진 희석법에 따라 희석하고 희석된 시료 1 mL를 건조필름배지(PAC, 3M, Minnesota, USA)에 균일하게 잘 혼합한 후 37°C에서 24~48시간 동안 배양한 후 총균수를 시료 1 mL당 log colony forming unit(log CFU/mL)로 나타내었다.

㉞ 효모수 측정

효모수 측정은 막걸리 시료를 균일하게 섞어 1 mL를 멸균한 생리 식염수에 10진 희석법에 따라 희석하고 희석된 시료 1 mL를 건조필름배지(PYM, 3M, Minnesota, USA)에 균일하게 혼합

한 후 25℃에서 120시간 동안 배양한 후 효모수를 시료 1 mL당 log colony forming unit(log CFU/mL)로 나타내었다.

㉔ pH 측정

pH 측정은 여과한 시료 30 mL을 pH meter(Orion 520A, Orion Research Inc., Boston, MA, USA)로 총 3회 측정하였다.

㉕ 산도

산도 측정은 국제청의 주류분석규정에 명시된 방법으로 측정하였다. 시료 10 mL에 phenolphthalein 지시약을 2~3방울 떨어트린 후 0.1 N 수산화나트륨 용액으로 담홍색이 나타날 때까지 적정하여 적정 소비량을 측정한 후 시료중의 총산을 초산 함량(%)으로 측정하였다.
초산(%)=산도{a(적정량)×F(0.1 NaOH 역가)}×0.006×10

㉖ 아미노산 함량

아미노산 함량은 국제청의 주류분석규정에 의거하여 원심분리한 상층액 10mL를 취하여 페놀프탈렌지시약 2~3방울을 가하고 0.1N 수산화나트륨용액으로 담홍색이 될 때까지 중화한 후 여기에 중성포르말린용액 5 mL를 가하여 유리된 산을 0.1N 수산화나트륨 용액으로 담홍색이 될 때까지 적정하였다. 그 적정 양을 a라 하고 다음 식에 의하여 아미노산을 glycine으로 환산하였다.

$$\text{아미노산(g/100 mL)}=(a \times F(0.1 \text{ N NaOH 역가})) \times 0.0075 \times 10$$

㉗ 색도 측정

시료의 색도는 Hunter 색도계(CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan)로 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

㉘ 당도 측정

당도는 국제청 기술연구소 주류분석규정에 준하여 당도계(WM-7, Atago, Tokyo, Japan)로 측정하여 ° Brix로 나타내었다.

㉙ 알코올 함량

알코올 함량 측정은 메스실린더에 시료 100 mL를 취한 후 250 mL 삼각 플라스크에 옮긴 후 증류수 10 mL를 3회 나누어 시료를 담았던 100 mL 메스실린더에 씻은 후 그 액을 250 mL 삼각플라스크에 합친 후 알코올을 증류하였다. 증류 액이 70 mL가 되면 중지하고 증류수를 30 mL를 보충하여 메스실린더 눈금이 100 mL까지 정용한 후 주정계로 측정하여 주류분석법에 의해서 0.1도당 알코올 분 온도 환산표를 통해 측정하였다.

㉚ 총당

막걸리 시료 1 mL를 증류수로 1,000배 희석한 후 그 중에서 2 mL를 취한 후 5% phenol 용액 1 mL를 넣고 혼합시켰다. 여기에 95% 황산 5 mL 천천히 가하여 발열시킨 후 30분 동안 암

실 안에서 상온방치 후 spectrometer를 이용하여 470 nm에서 흡광도를 측정하였다. 당 정량은 glucose를 표준물질로 사용하여 표준 곡선에서 환산하였다.

㉑ 환원당

막걸리 시료를 증류수로 100배 희석한 후 1 mL를 취한 후 DNS reagent 1 mL를 혼합한 후 끓는 물에서 15분 동안 중탕 후 암실 안에서 상온방치 후 증류수 3 mL를 넣어 spectrophotometer(Jasco V650, Tokyo, Japan)를 사용하여 546 nm에서 광도를 측정하였다. 당 정량은 glucose를 표준물질로 사용하여 표준 곡선으로 환산하였다.

(2) 결과 및 고찰

(가) Millimeter wave 조사에 따른 청국장의 품질특성

Millimeter wave를 주파수 60GHz와 70GHz로 발효과정 동안 조사하여 제조한 청국장의 총균수를 측정한 결과는 표 2와 같다. control의 총균수는 10.35 log CFU/g으로 MMW 조사구의 총균수에 비해 유의적으로 높게 나타났으며 주파수 60GHz로 조사한 청국장의 총균수가 70GHz로 조사한 청국장에 비해 높게 나타났다. 일반적으로 청국장에 존재하는 미생물수는 약 10⁹ CFU/g 정도로 보고되고 있으며(Kim et al., 2005) 본 연구결과에서 청국장의 미생물수가 10.12~10.35 log CFU/g으로 나타나 발효가 잘 진행된 것으로 판단된다.

표 2. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 청국장의 pH와 총균수

Sample	Viable cell counts(Log CFU/g)	pH
Control	10.35 ± 0.01 ^{1)a2)}	7.85 ± 0.04 ^a
C60	10.27 ± 0.01 ^b	7.60 ± 0.01 ^b
C70	10.12 ± 0.01 ^c	7.51 ± 0.02 ^c

¹⁾Mean ± S.D. ²⁾Mean with different superscripts in each column(a-c) are significantly different (p < 0.05)

청국장의 점질물은 콩 탄수화물 분해물인 levan from fructan과 단백질 분해물 중합체인 polyglutamate의 혼합물로 알려져 있으며 일반적으로 2.15-6.03%가 함유되어 있다. 이는 쓴맛과의 역상관성이 높아서 점질물의 함량이 증가하면 쓴맛은 감소한다. Millimeter wave를 주파수 60GHz와 70GHz로 조사하여 발효한 청국장의 점질물을 측정한 결과는 표 3과 같이, control이 6.25%로 MMW 조사구에 비해 높은 점질물 함량을 나타냈다. MMW 조사구의 경우, 60GHz 조사 청국장의 점질물 함량이 70GHz 조사 청국장에 비해 유의적으로 높게 나타났다.

표 3. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 청국장의 점질물 함량

Sample	Viscous substance content(%)
Control	6.25 ± 0.41 ^{1)a2)}
C60	5.92 ± 0.09 ^{ab}
C70	5.52 ± 0.22 ^c

¹⁾Mean±S.D. ²⁾Mean with different superscripts in column(a-c) are significantly different (p<0.05)

Millimeter wave를 주파수 60GHz와 70GHz로 조사하여 발효한 청국장의 color value를 측정 한 결과 L(Lightness) 값은 C60이 60.79로 높게 나타났으며 control이 58.05로 유의적으로 낮은 값을 나타내었다(표 4). a(Redness) 값은 4.13~4.93 범위로 나타났으며 C60이 높은 값을 나타내 었다. b(Yellowness) 값은 C60이 17.23으로 가장 높게 나타났으며 C70이 16.78, control이 16.55 의 순서로 나타났다.

표 4. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 청국장의 색도

Sample	L	a	b
Control	58.05 ± 0.35 ^{1)c2)}	4.41 ± 0.08 ^b	16.55 ± 0.10 ^c
C60	60.79 ± 0.14 ^a	4.93 ± 0.03 ^a	17.23 ± 0.07 ^a
C70	59.15 ± 0.28 ^b	4.13 ± 0.05 ^c	16.78 ± 0.05 ^b

¹⁾Mean±S.D. ²⁾Mean with different superscripts in each column(a-c) are significantly different (p<0.05)

아미노태 질소 함량은 protease의 작용에 의하여 단백질이 아미노산의 형태로 분해되는 정도 를 나타낸 것으로 청국장의 발효도 평가 및 장류 발효식품의 품질과 구수한 맛의 지표로 사용 되고 있다. 현재 우리나라 식품공전의 규격에는 청국장의 아미노태 질소 함량을 280 mg% 이 상으로 규정하고 있다. 본 실험에서 제조한 청국장의 아미노태 질소함량은 표 5와 같이, millimeter wave를 주파수 70GHz로 조사하여 발효한 청국장에서 779.33 mg%로 가장 높게 나 타났으나 주파수 60GHz로 조사한 청국장은 499.33 mg%로 유의적으로 낮게 나타났다. 본 실험 에서 청국장의 아미노태 질소 함량은 식품공정의 규격을 만족시켰으며, 국내 시판 청국장의 아 미노태 질소 함량이 제품의 발효 정도에 따라 다양하게 분포되어 있으며 500.00~799.99 mg% 인 제품이 많은 것으로 나타났다는 보고(Ko et al., 2012)와 비슷한 수준의 함량을 나타내었다.

표 5. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 청국장의 아미노태 질소 함량

Sample	Amino-type nitrogen contents (mg %)
Control	714.00 ± 14.00 ^{1)b2)}
C60	499.33 ± 16.17 ^c
C70	779.33 ± 16.17 ^a

¹⁾Mean±S.D. ²⁾Mean with different superscripts in column(a-c) are significantly different (p<0.05)

Millimeter wave를 주파수 60GHz와 70GHz로 조사하여 발효한 청국장의 환원당 함량은 control과 C60이 각각 1.34, 1.32 %로 C70(1.13 %)에 비해 유의적으로 높게 나타났다(표 6). 전통 장류 제조업체에서 수집한 제품 18점의 환원당을 분석한 결과 0.51~0.24% 범위를 나타냈다는 보고(Kim et al, 1998)보다는 다소 높게 측정되었다. 환원당류들(Glucose, fructose, maltose 등)은 단맛을 부여하는 물질로 식품의 관능적인 품질 평가면 에서 대단히 중요하며 이러한 환원당류들은 미생물의 대사에 따른 효소력 변화와 밀접한 관계가 있어 미생물이 glucose를 대사에 이용하는 정도에 따라 환원당 함량의 변화가 생긴다.

표 6. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 청국장의 환원당 함량

Sample	Reducing sugar contents (%)
Control	1.34 ± 0.04 ^{1)a2)}
C60	1.32 ± 0.03 ^a
C70	1.13 ± 0.04 ^b

¹⁾Mean±S.D. ²⁾Mean with different superscripts in column(a-b) are significantly different (p<0.05)

청국장은 발효속성 중 *B. subtilis*의 작용으로 원료 콩 단백질을 분해시켜 생성한 구수한 맛을 내는 glutamic acid, aspartic acid, 쓴맛을 지닌 valine, isoleucine, leucine, methionine, phenylalanine 및 단맛을 내는 alanine, glycine, lysine 등의 17종의 아미노산이 어우러져 복합적인 청국장 특유의 맛이 형성되며, glutamic acid와 aspartic acid의 함량이 높으면 구수한 맛이 강해지며, alanine, glycine 및 lysine의 함량이 높으면 단맛이 강해진다(Kim et al., 1998). Millimeter wave를 60GHz와 70GHz 주파수로 조사하여 발효한 청국장의 아미노산을 분석한 결과는 표 7과 같다. Aspartic acid는 control과 M70이 유의적으로 높은 함량을 나타내었으며, glutamic acid는 M70이 9710.68 mg/100g으로 가장 높은 함량을 나타내었다. Glycine과 alanine은 control과 C70이 유의적으로 유사한 값을 나타내었으며 lysine은 M70이 높은 값을 나타내었다. 쓴맛을 내는 아미노산의 경우 C70이 control과 M60에 비해 높은 함량을 나타내었다. Millimeter wave를 주파수 70GHz로 조사한 청국장의 아미노산 함량이 주파수 60GHz로 조사한 청국장보다 유의적으로 높게 나타났다.

표 7. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 청국장장의 아미노산 함량

(단위 : mg/100g)

Amino acid	Control	C60	C70
Aspartic acid	4645.70 ± 0.30 ^{1)a2)}	4314.97 ± 58.44 ^b	4653.93 ± 61.21 ^a
Threonine	1463.19 ± 3.31 ^a	1411.57 ± 18.60 ^b	1412.12 ± 5.83 ^b
Serine	1758.84 ± 8.16 ^a	1694.42 ± 25.77 ^b	1581.24 ± 1.79 ^c
Glutamic	9397.30 ± 73.36 ^b	8509.57 ± 47.43 ^c	9710.68 ± 58.02 ^a
Proline	1780.40 ± 33.96 ^b	1764.87 ± 7.86 ^b	1909.37 ± 6.23 ^a
Glycine	1596.85 ± 5.44 ^a	1499.10 ± 24.87 ^b	1597.71 ± 15.05 ^a
Alanine	1628.34 ± 2.38 ^a	1556.97 ± 25.07 ^b	1677.81 ± 14.62 ^a
Valine	1585.62 ± 13.59 ^b	1497.07 ± 53.64 ^b	1844.72 ± 25.71 ^a
Methionine	474.66 ± 26.04 ^b	342.01 ± 18.82 ^c	574.93 ± 34.70 ^a
Isoleucine	1514.03 ± 27.22 ^b	1502.94 ± 10.22 ^b	1766.77 ± 48.47 ^a
Leucine	3042.17 ± 1.48 ^b	2899.01 ± 41.98 ^c	3223.79 ± 33.06 ^a
Tyrosine	1559.44 ± 21.01 ^b	1372.14 ± 3.84 ^c	1656.65 ± 7.25 ^a
Phenylalanine	2257.30 ± 14.81 ^b	2053.19 ± 17.35 ^c	2395.34 ± 40.27 ^a
Lysine	2491.63 ± 8.56 ^b	2236.87 ± 33.74 ^c	2624.44 ± 12.33 ^a
Histidine	1067.71 ± 0.97 ^b	968.84 ± 18.12 ^c	1157.93 ± 0.35 ^a
Arginine	2260.15 ± 9.05 ^a	2209.48 ± 13.34 ^b	2213.92 ± 21.33 ^{ab}
Total	38523.28 ± 182.66 ^b	35832.99 ± 392.42 ^c	40001.31 ± 243.22 ^a

¹⁾Mean±S.D. ²⁾Mean with different superscripts in each column(a-c) are significantly different (p<0.05)

(나) Millimeter wave 조사에 따른 요구르트의 품질특성

3종류의 starter(ABY-3, YF-L812, YC-X11)를 각각 접종하여 발효 기간 동안 millimeter wave를 조사하여 제조한 요구르트의 품질특성을 측정하였다. 표 8은 요구르트의 pH를 측정한 결과로서, ABY-3 starter를 이용하여 제조한 요구르트의 pH는 control이 4.51로 MMW 조사구의 pH(4.45)보다 유의적으로 높게 나타났다. YF-L812 starter를 이용한 요구르트의 pH는 4.46~4.49의 범위로 나타났으며 YC-X11 starter를 이용한 요구르트의 pH는 4.35~4.36의 범위로 나타났다. YF-L812과 YC-X11 starter를 이용한 요구르트의 경우 MMW의 조사유무 및 주파수가 요구르트의 pH에 유의적인 영향을 미치지 않았다. Chameber JV(1979)는 요구르트의 바람직한 pH 범위가 3.27~4.53라고 하였는데, 본 실험의 3가지 starter를 이용하고 MMW를 조사한 요구르트의 pH는 이 범위에 잘 일치하는 경향을 나타내었다.

ABY-3 starter를 이용하여 제조한 요구르트의 산도는 M60(0.57%)>M70(0.55%)>control(0.51%)의 순으로 유의적인 차이를 나타내었다. YF-L812 starter를 이용한 요구르트의 산도는 control이 0.56%로 MMW 조사구보다 유의적으로 높은 산도를 나타내었다. YC-X11 starter를 이용한

요구르트의 산도는 M60이 0.62%로 M70과 control에 비해 가장 높은 값을 나타내었다. 정상적인 제품의 적정산도는 Davis(1970)가 0.7 ~ 1.20%에서 나타났다고 하였고, Rasic과 Kurmann(1978)은 0.95 ~ 1.20% 범위에서 산미가 증가한다고 보고하였다. 본 실험의 3가지 starter와 MMW의 조사에 따른 요구르트의 산도는 0.51~0.61%의 범위로 적정범위보다 낮은 편이었다.

표 8. Millimeter wave의 주파수 및 starter를 달리하여 발효시킨 요구르트의 pH 및 산도

Sample	pH	Acidity (%)
ABY-3		
A_Control	4.51 ± 0.02 ^{1)a2)}	0.51 ± 0.00 ^c
A_M60	4.45 ± 0.02 ^b	0.57 ± 0.00 ^a
A_M70	4.45 ± 0.02 ^b	0.55 ± 0.00 ^b
YF-L812		
L_Control	4.46 ± 0.02 ^a	0.56 ± 0.00 ^a
L_M60	4.47 ± 0.06 ^a	0.54 ± 0.00 ^b
L_M70	4.49 ± 0.02 ^a	0.54 ± 0.00 ^c
YC-X11		
X_Control	4.35 ± 0.01 ^a	0.58 ± 0.00 ^c
X_M60	4.36 ± 0.01 ^a	0.62 ± 0.00 ^a
X_M70	4.36 ± 0.01 ^a	0.61 ± 0.00 ^b

¹⁾Mean ± S.D. ²⁾Mean with different superscripts in each column(a-c) are significantly different (p < 0.05)

표 9는 MMW를 조사하여 제조한 요구르트의 syneresis를 측정한 결과이다. Syneresis 현상은 액체의 삼출에 의한 젤의 동반된 수축으로 일어나는 현상으로 요구르트 저장 시에 일어나는 유청분리를 말한다. ABY-3 starter를 이용하여 제조한 요구르트의 Syneresis는 M60이 32.25 g/100g이 유의적으로 낮은 값을 나타내었으며, YF-L812과 YC-X11 starter를 이용한 요구르트의 경우 MMW의 조사유무 및 주파수가 요구르트의 syneresis에 유의적인 영향을 미치지 않았다.

MMW를 조사한 요구르트의 점도를 측정한 결과, ABY-3 starter를 이용한 요구르트의 점도는 1121.38~1188.58 cP로 나타났으며, YC-X11 starter를 이용한 요구르트의 점도는 1157.50~197.40 cP로 나타났으나 위의 starter를 이용한 요구르트의 점도는 MMW의 조사 유무 및 주파수에 의한 영향을 나타내지 않았다. YF-L812 starter를 이용한 요구르트의 점도는 M70이 989.58 cP, control이 1116.80 cP, M60이 1237.00 cP 순으로 높게 나타났다. Rasic & Kumann(1978)은 요구르트의 점도와 같은 물리적 성질에 영향을 미치는 주요 요인으로는 요구르트 믹스의 총고형분, 단백질, 염 함량과 산도, 균질 및 사용균주의 단백질 분해 능력 등이 있다고 보고된 바 있다.

표 8. Millimeter wave의 주파수 및 starter를 달리하여 발효시킨 요구르트의 Syneresis 및 점도

Sample	Syneresis (g/100g)	Viscosity (cP)
ABY-3		
A_Control	37.37 ± 1.82 ^{1)a2)}	1156.10 ± 10.32 ^a
A_M60	32.25 ± 0.18 ^b	1188.58 ± 82.05 ^a
A_M70	37.32 ± 0.67 ^a	1121.38 ± 85.45 ^a
YF-L812		
L_Control	36.15 ± 4.49 ^a	1116.80 ± 37.05 ^{ab}
L_M60	34.41 ± 0.18 ^a	1237.00 ± 59.40 ^a
L_M70	35.29 ± 0.00 ^a	989.58 ± 72.44 ^b
YC-X11		
X_Control	37.25 ± 0.49 ^a	1157.05 ± 23.26 ^a
X_M60	38.13 ± 1.22 ^a	1397.40 ± 35.64 ^a
X_M70	37.36 ± 1.58 ^a	1296.70 ± 125.44 ^a

¹⁾Mean ± S.D. ²⁾Mean with different superscripts in each column(a-c) are significantly different (p < 0.05)

발효기간 동안 MMW를 조사하여 제조한 요구르트의 젖산균을 측정된 결과는 표 10과 같다. ABY-3 starter와 YC-X11 starter를 이용한 요구르트의 젖산균은 8.28~8.75 log CFU/mL의 범위로 나타났으며 MMW의 조사유무 및 주파수에 의한 유의차는 나타나지 않았다. YC-X11 starter를 이용한 요구르트의 젖산균은 8.66~9.79 log CFU/mL으로 앞선 두 starter로 제조한 요구르트의 젖산균보다 높게 나타났으며 M70 요구르트의 젖산균이 유의적으로 낮게 나타났다. 발효유에서 유산균의 생균수는 풍미 등의 품질에 영향을 주기 때문에 제품에서의 생균수는 상당히 중요하다(Deeth & Y 1981). 우리나라에서 요구르트의 성분 규격은 신선한 액상 및 호상 요구르트의 생균수는 각각 10⁷과 10⁸ CFU/mL이상으로 되어 있다. 본 실험의 모든 실험군들의 젖산균수는 적정치 범위이상으로 성분 규격에 적합하였다.

표 10. Millimeter wave의 주파수 및 starter를 달리하여 발효시킨 요구르트의 젖산균

Sample	Lactic acid bacteria (Log CFU/mL)
ABY-3	
A_Control	8.52 ± 0.10 ^{1)a2)}
A_M60	8.47 ± 0.01 ^a
A_M70	8.31 ± 0.57 ^a
YF-L812	
L_Control	8.67 ± 0.16 ^a
L_M60	8.75 ± 0.55 ^a
L_M70	8.28 ± 0.30 ^a
YC-X11	
X_Control	9.68 ± 0.24 ^a
X_M60	9.79 ± 0.18 ^a
X_M70	8.66 ± 0.36 ^b

¹⁾Mean±S.D. ²⁾Mean with different superscripts in each column(a-c) are significantly different (p<0.05)

유제품에서 유기산은 그 속에 존재하는 유지방의 가수분해 및 유산균의 대사산물 등에 의해 생성되고, 요구르트에 있어서 유기산은 향기와 영양적 측면 이외에도 젖산균 생육 활성의 지표로서 아주 중요하다. Millimeter wave의 조사 및 주파수가 요구르트의 유기산 함량에 미치는 영향을 starter를 달리하여 제조하여 측정된 결과를 표 11에 나타내었다. 3종류의 starter를 이용하여 제조한 요구르트 모두 젖산의 양이 다른 유기산에 비해 비교적 높게 나타나 요구르트의 주요한 유기산임을 알 수 있었다. 젖산의 함량은 ABY-3 starter를 이용한 요구르트에서 M70이 100.04 mM, YF-L812 starter를 이용한 요구르트는 M60이 101.22mM, YC-X11 starter를 이용한 요구르트는 M60이 08.39mM로 높게 나타났다. ABY-3 starter를 이용한 요구르트의 초산 함량은 48.62~56.50 mM, YF-L812를 이용한 요구르트는 50.64~60.36 mM로 두 starter를 이용하여 제조한 요구르트의 초산함량은 M70이 높게 나타났다. YC-X11 starter를 이용한 요구르트는 50.83~55.66 mM의 수준으로 나타났다. 구연산의 함량은 3종류의 starter를 이용한 요구르트 모두 control에 비해 MMW 조사구의 함량이 높은 경향을 나타내었다.

표 11. Millimeter wave의 주파수 및 starter를 달리하여 발효시킨 요구르트의 유기산 함량

Sample	Lactic acid (mM)	Acetic acid (mM)	Citric acid (mM)
ABY-3			
A_Control	87.53	48.62	5.79
A_M60	86.87	49.36	5.89
A_M70	100.04	56.50	7.76
YF-L812			
L_Control	86.05	50.64	6.97
L_M60	101.22	54.56	8.55
L_M70	92.79	60.36	8.37
YC-X11			
X_Control	95.17	50.83	6.15
X_M60	108.39	54.90	7.84
X_M70	100.94	55.66	7.45

ABY-3 starter를 접종하여 발효기간 동안 millimeter wave를 60GHz와 70GHz로 조사하여 제조한 요구르트의 총 아미노산 함량을 분석한 결과는 표 12와 같다. Glutamic acid와 Tyrosine의 함량은 M60의 요구르트에서 유의적으로 낮게 나타났으나, 이 아미노산을 제외한 다른 아미노산들은 millimeter wave의 조사 유무와 주파수에 의한 영향을 나타내지 않았다. 총 아미노산의 함량에도 시료간의 유의적인 차이를 나타내지 않아 ABY-3 starter를 접종한 요구르트의 아미노산 함량에 millimeter wave가 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

표 12. Millimeter wave의 주파수 및 ABY-3 starter를 이용하여 발효시킨 요구르트의 아미노산 함량

(단위 : mg/100g)

Amino acid	Control	M60	M70
Aspartic acid	2072.92 ± 5.12 ^{1)a2)}	2046.82 ± 4.79 ^a	2066.51 ± 15.22 ^a
Threonine	1069.64 ± 3.32 ^a	1041.86 ± 35.76 ^a	1086.16 ± 6.44 ^a
Serine	1385.81 ± 4.34 ^a	1365.80 ± 26.30 ^a	1412.46 ± 5.66 ^a
Glutamic	6389.82 ± 7.37 ^{ab}	6257.83 ± 64.33 ^b	6418.73 ± 47.62 ^a
Proline	2243.07 ± 10.03 ^a	2210.12 ± 60.65 ^a	2236.02 ± 16.34 ^a
Glycine	489.42 ± 0.52 ^a	477.90 ± 6.60 ^a	489.65 ± 4.41 ^a
Alanine	880.66 ± 1.17 ^a	866.83 ± 6.97 ^a	872.62 ± 3.89 ^a
Valine	1297.37 ± 3.97 ^a	1293.09 ± 10.93 ^a	1325.46 ± 24.88 ^a
Methionine	716.67 ± 2.04 ^a	704.31 ± 4.92 ^a	707.90 ± 4.94 ^a
Isoleucine	1143.88 ± 5.81 ^a	1101.21 ± 71.76 ^a	1163.31 ± 17.92 ^a
Leucine	2612.84 ± 1.53 ^a	2537.72 ± 79.11 ^a	2638.59 ± 15.37 ^a
Tyrosine	1183.32 ± 8.68 ^{ab}	1164.29 ± 17.08 ^b	1211.44 ± 4.26 ^a
Phenylalanine	1273.54 ± 3.39 ^a	1244.77 ± 19.62 ^a	1277.12 ± 12.55 ^a
Lysine	2084.13 ± 4.93 ^a	2031.97 ± 67.29 ^a	2083.51 ± 8.22 ^a
Histidine	661.93 ± 2.00 ^a	635.23 ± 30.46 ^a	665.40 ± 7.15 ^a
Arginine	827.16 ± 5.56 ^a	816.34 ± 19.74 ^a	841.84 ± 0.65 ^a
Total	26332.13 ± 29.19 ^a	25796.05 ± 502.79 ^a	26496.66 ± 161.56 ^a

¹⁾Mean ± S.D. ²⁾column(a-c) Mean with different superscripts in each row(a-c) are significantly different (p<0.05)

YF-L812 starter를 접종하여 발효기간 동안 millimeter wave를 60GHz와 70GHz로 조사하여 제조한 요구르트의 총 아미노산 함량을 분석한 결과는 표 13과 같다. Proline, alanine, methionie의 함량은 MMW의 조사여부 및 주파수에 의한 영향을 받지 않는 것으로 나타났으나 그 외 아미노산은 M60 요구르트가 유의적으로 낮은 함량을 나타내었으며 control과 M70 요구르트는 유의적으로 높거나 비슷한 수준으로 나타났다. 총 아미노산의 함량은 M70>contorl>M60의 순으로 유의적인 차이를 나타내었다.

표 13. Millimeter wave의 주파수 및 YF-L812 starter를 이용하여 발효시킨 요구르트의 아미노산 함량

(단위 : mg/100g)

Amino acid	Control	M60	M70
Aspartic acid	2040.43 ± 3.24 ^{1) b2)}	2004.78 ± 17.66 ^b	2092.01 ± 16.19 ^a
Threonine	1055.17 ± 19.16 ^a	991.45 ± 8.27 ^b	1085.75 ± 7.91 ^a
Serine	1379.50 ± 17.60 ^a	1319.79 ± 13.04 ^b	1390.14 ± 14.31 ^a
Glutamic	6381.01 ± 32.27 ^{ab}	6210.37 ± 55.20 ^b	6575.21 ± 94.30 ^a
Proline	2263.49 ± 0.31 ^a	2229.47 ± 14.24 ^a	2290.60 ± 54.12 ^a
Glycine	484.97 ± 4.06 ^b	471.36 ± 4.21 ^b	500.79 ± 5.80 ^a
Alanine	861.16 ± 4.57 ^a	856.42 ± 11.46 ^a	879.10 ± 8.77 ^a
Valine	1342.42 ± 30.17 ^b	1067.59 ± 4.21 ^c	1437.50 ± 27.77 ^a
Methionine	707.91 ± 1.29 ^a	696.81 ± 8.41 ^a	718.36 ± 8.10 ^a
Isoleucine	1166.81 ± 1.95 ^b	949.42 ± 0.08 ^c	1275.22 ± 13.33 ^a
Leucine	2603.24 ± 30.36 ^b	2473.61 ± 25.77 ^c	2729.39 ± 26.33 ^a
Tyrosine	1202.98 ± 1.10 ^b	1187.83 ± 4.24 ^b	1249.26 ± 9.86 ^a
Phenylalanine	1255.80 ± 1.05 ^b	1226.75 ± 6.14 ^c	1295.95 ± 9.84 ^a
Lysine	2070.90 ± 32.85 ^a	1973.25 ± 1.58 ^b	2143.69 ± 22.68 ^a
Histidine	664.45 ± 13.42 ^b	625.39 ± 5.70 ^c	695.12 ± 3.11 ^a
Arginine	853.49 ± 4.07 ^b	811.25 ± 0.52 ^c	907.19 ± 5.56 ^a
Total	26333.71 ± 114.76 ^b	25095.51 ± 171.23 ^c	27265.26 ± 327.95 ^a

¹⁾Mean ± S.D. ²⁾Mean with different superscripts in each row(a-c) are significantly different (p < 0.05)

YC-X11 starter를 접종하여 발효기간 동안 millimeter wave를 60GHz와 70GHz로 조사하여 제조한 요구르트의 총 아미노산 함량을 분석한 결과는 표 14와 같다. 전반적인 아미노산의 함량은 control과 M60의 아미노산이 유의적으로 비슷한 함량을 나타내었으며 M70 요구르트의 아미노산은 낮은 함량을 나타내었다.

표 14. Millimeter wave의 주파수 및 YC-X11 starter를 이용하여 발효시킨 요구르트의 아미노산 함량

(단위 : mg/100g)

Amino acid	Control	M60	M70
Aspartic acid	2078.04 ± 12.05 ^{1)a}	2046.25 ± 21.90 ^a	1947.11 ± 5.50 ^b
Threonine	1064.52 ± 10.92 ^a	1067.48 ± 13.31 ^a	1021.42 ± 7.18 ^b
Serine	1377.45 ± 14.38 ^a	1379.13 ± 18.18 ^a	1279.81 ± 2.69 ^b
Glutamic	6436.03 ± 5086 ^a	6366.17 ± 53.29 ^a	6132.85 ± 42.59 ^b
Proline	2267.48 ± 0.10 ^a	2225.48 ± 82.67 ^a	2136.24 ± 38.08 ^a
Glycine	490.23 ± 3.22 ^a	483.62 ± 4.62 ^a	471.30 ± 1.65 ^b
Alanine	875.36 ± 5.06 ^a	859.25 ± 11.28 ^a	821.64 ± 4.45 ^b
Valine	1275.33 ± 9.98 ^c	1321.88 ± 11.18 ^b	1381.06 ± 4.65 ^a
Methionine	707.93 ± 0.57 ^a	710.38 ± 5.76 ^a	668.79 ± 1.06 ^b
Isoleucine	1136.17 ± 4.77 ^c	1165.16 ± 2.15 ^b	1257.05 ± 4.12 ^a
Leucine	2595.80 ± 4.36 ^a	2591.99 ± 20.01 ^a	2531.00 ± 1.83 ^b
Tyrosine	1152.40 ± 4.28 ^b	1172.58 ± 2.13 ^a	1122.89 ± 9.57 ^c
Phenylalanine	1266.58 ± 0.61 ^a	1255.30 ± 9.56 ^a	1215.15 ± 1.45 ^b
Lysine	2064.68 ± 2.81 ^a	2085.23 ± 21.51 ^a	2003.70 ± 1.00 ^b
Histidine	668.11 ± 3.68 ^a	667.14 ± 3.90 ^a	665.41 ± 1.27 ^a
Arginine	836.10 ± 3.12 ^a	839.94 ± 3.75 ^a	833.33 ± 6.16 ^a
Total	26292.16 ± 121.09 ^a	26236.92 ± 285.18 ^a	25488.70 ± 88.81 ^b

¹⁾Mean ± S.D. ²⁾Mean with different superscripts in each row(a-c) are significantly different (p < 0.05)

3 종류의 starter를 접종하고 millimeter wave를 조사하여 제조한 요구르트의 관능검사를 평가한 결과는 표 15와 같다. ABY-3 starter를 이용한 요구르트의 관능검사 결과, 색, 향, 맛, 조직감, 전반적인 기호도, 이취의 항목에서 control과 MMW 조사구의 유의차를 나타내지 않았으며 또한 MMW의 주파수에 의한 차이를 나타내지 않았다. YF-L812 starter를 이용한 요구르트의 관능검사 결과, 전반적인 기호도에서 control 요구르트에 비해 M60 요구르트의 기호도가 유의적으로 높게 나타났으나 보통 수준의 기호도를 나타내었다. YC-X11 starter를 이용한 요구르트의 관능검사 결과, ABY-3 starter를 이용한 요구르트와 유사한 경향을 나타내었다.

표 15. Millimeter wave의 주파수 및 starter를 달리하여 발효시킨 요구르트의 관능평가

	Color	Flavor	Taste	Texture	Overall	Off flavor
ABY-3						
A_Control	5.00 ± 0.00 ^{1)a2)}	5.17 ± 0.41 ^a	4.67 ± 0.52 ^a	5.00 ± 0.63 ^a	4.83 ± 0.41 ^a	2.00 ± 0.00 ^a
A_M60	5.17 ± 0.41 ^a	4.83 ± 0.41 ^a	4.83 ± 0.98 ^a	5.50 ± 0.55 ^a	4.83 ± 0.98 ^a	2.33 ± 1.03 ^a
A_M70	5.33 ± 0.52 ^a	4.50 ± 1.22 ^a	4.83 ± 0.75 ^a	5.50 ± 0.55 ^a	5.17 ± 0.75 ^a	1.50 ± 0.55 ^a
YF-L812						
L_Control	5.17 ± 0.41 ^a	4.17 ± 0.41 ^a	4.00 ± 0.63 ^a	4.50 ± 0.55 ^a	3.83 ± 0.75 ^b	2.33 ± 0.52 ^a
L_M60	5.17 ± 0.41 ^a	4.17 ± 0.41 ^a	4.83 ± 0.75 ^a	5.33 ± 1.03 ^a	5.17 ± 0.98 ^a	2.17 ± 0.98 ^a
L_M70	5.33 ± 0.52 ^a	4.67 ± 0.82 ^a	4.67 ± 1.21 ^a	4.83 ± 1.17 ^a	4.67 ± 1.21 ^{ab}	1.67 ± 0.52 ^a
YC-X11						
X_Control	5.00 ± 0.00 ^a	4.17 ± 0.41 ^a	4.00 ± 0.89 ^a	4.00 ± 0.89 ^a	4.00 ± 0.89 ^a	1.83 ± 0.41 ^a
X_M60	5.00 ± 0.63 ^a	4.67 ± 0.52 ^a	4.50 ± 0.55 ^a	5.00 ± 1.26 ^a	4.50 ± 0.55 ^a	2.50 ± 1.05 ^a
X_M70	5.17 ± 0.41 ^a	4.17 ± 1.17 ^a	4.33 ± 1.37 ^a	4.33 ± 1.03 ^a	4.33 ± 1.37 ^a	2.17 ± 1.17 ^a

¹⁾Mean±S.D.²⁾Mean with different superscripts in each column(a-b) are significantly different (p<0.05)

(다) Millimeter wave 조사에 따른 막걸리의 품질특성

막걸리의 제조는 2단 담금법으로 30℃에서 5일 동안 발효하였으며, 발효기간 동안 Millimeter wave의 주파수를 60GHz 및 70GHz로 조사하였다. 막걸리의 품질특성은 2단 담금 직후부터 1일 간격으로 시료를 채취하여 실험하였다.

막걸리의 pH는 막걸리의 발효과정 중 품질의 정도를 알 수 있는 중요한 지표일 뿐만 아니라 알코올 생성과정에서 복합적으로 생성되므로 막걸리의 발효진행 상황을 짐작할 수 있는 중요한 지표성분으로 막걸리의 pH는 발효과정에서 생성되는 여러 가지 유기산의 종류 및 농도, 기타 산 유래 물질에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. MMW 주파수의 조건을 달리하여 제조한 막걸리의 pH는 표 16 및 Fig. 3.과 같다. 발효기간 동안 막걸리의 pH는 control이 4.43~5.06, M60이 4.51~5.13, M70이 4.44~5.15로 나타났으며, 막걸리의 최종 pH는 4.46~4.49로 나타났다. 이는 보통 막걸리의 pH 범위(4.0~4.6) 내의 값으로 본 연구에서 막걸리는 정상발효가 진행된 것으로 보인다. 모든 막걸리 시료들은 발효 2일째까지 유의적으로 pH 값이 감소하였으며, 발효 2일째 이후로는 pH 값의 변화가 일정하게 유지되는 경향을 나타내었다. MMW 주파수 60GHz로 조사된 막걸리(M60)의 pH는 발효기간 동안 유의적으로 높은 경향을 나타내었으며 MMW를 조사하지 않은 막걸리(control)과 주파수 70GHz로 조사된 막걸리(M70)는 발효 3일째부터는 유의 차를 나타내지 않았다.

표 16. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 pH

Sample	Fermentation period (days)						SEM ³⁾
	0	1	2	3	4	5	
Control	5.06 ^{bA1)}	4.75 ^{aB}	4.48 ^{bC}	4.43 ^{bD}	4.45 ^{abD}	4.46 ^{bCD}	0.01
M60	5.13 ^{aA}	4.63 ^{bB}	4.51 ^{aC}	4.47 ^{aE}	4.47 ^{aE}	4.49 ^{aD}	0.01
M70	5.15 ^{aA}	4.74 ^{aB}	4.50 ^{aC}	4.44 ^{bE}	4.44 ^{bE}	4.46 ^{bD}	0.01
SEM ²⁾	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	

¹⁾Values with different letters within a column (a-b) and a row (A-E) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9). ³⁾Standard error of the means (n=18).

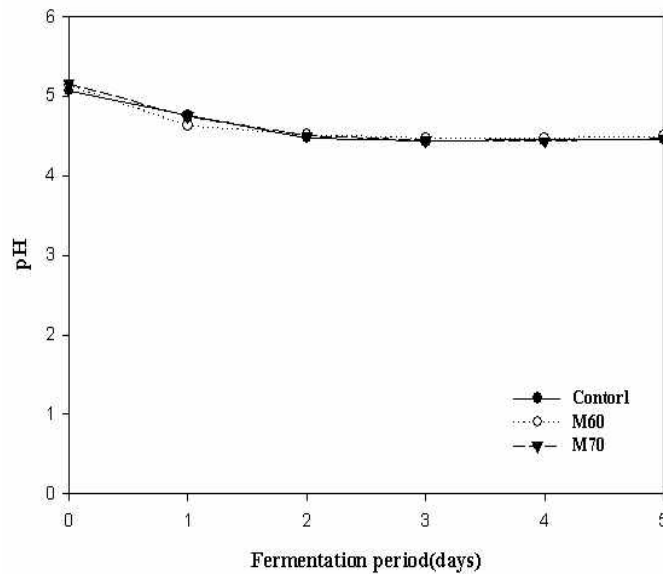


Fig. 3. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 pH

산도는 막걸리의 pH에도 영향을 미치며 휘발성 향기 성분과 함께 막걸리의 풍미와 보존성에 영향을 주는 중요한 요인으로, 발효가 진행되는 동안 술덧 중의 효모, 젖산균 등의 작용으로 생성된 유기산에 의해 증가하는데, 산도가 지나치게 높은 경우 발효가 과도하게 일어났음을 알 수 있고, 산도가 너무 낮으면 막걸리 특유의 산미를 느낄 수 없어 적정산도를 유지하는 것이 중요하다. 표 17 및 Fig. 4.는 막걸리의 산도를 측정된 결과로, 모든 막걸리 시료들은 2단 담금 직후(0일)부터 발효 기간 동안 산도의 함량이 0.15~0.35%로 유의적인 증가를 나타냈다. 발효 2 일째까지는 MMW 조사의 유무에 따른 차이를 나타내지 않았으며 발효 3일째부터는 MMW 조사구(M60, M70)의 산도 함량이 control보다 낮거나 유사하게 나타났으나 MMW 조사 및 주파수에 의한 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다.

표 17. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 산도

(단위 : %)

Sample	Fermentation period (days)						SEM ³⁾
	0	1	2	3	4	5	
Control	0.16 ^{aF1)}	0.19 ^{aE}	0.27 ^{aD}	0.31 ^{aC}	0.33 ^{aB}	0.35 ^{aA}	0.00
M60	0.15 ^{aF}	0.20 ^{aE}	0.27 ^{aD}	0.29 ^{bC}	0.32 ^{bB}	0.34 ^{aA}	0.00
M70	0.16 ^{aE}	0.20 ^{aD}	0.27 ^{aC}	0.29 ^{bB}	0.33 ^{aA}	0.33 ^{bA}	0.00
SEM ²⁾	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	

¹⁾Values with different letters within a column (a-b) and a row (A-F) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9). ³⁾Standard error of the means (n=18).

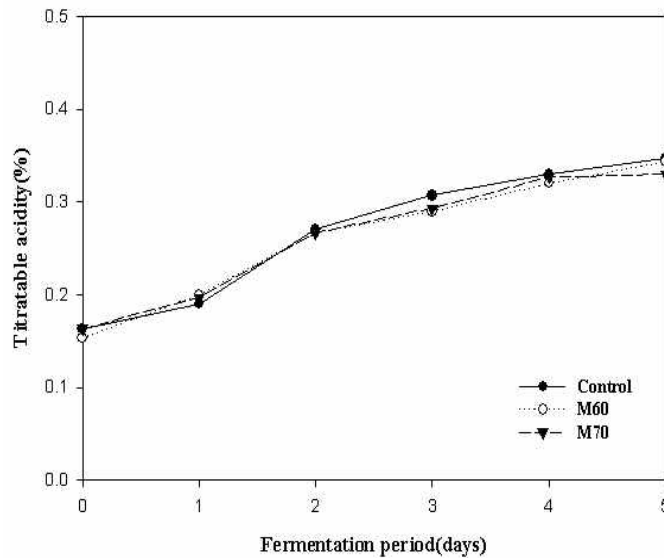


Fig. 4. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 산도

아미노산은 효모의 영양원으로 이용되며 fusel oil과 ester 등의 향기성분으로 변화하는 중요한 성분이다. 술에 감칠맛을 부여하나 지나치게 많이 생성될 때에는 술덧이 노주화된 것 같은 느끼한 맛을 나타내 주질을 하락시킨다. 막걸리의 아미노산 함량은 표 18과 Fig. 5와 같다. 2 단 담금 직후(0일)부터 발효기간 동안 모든 막걸리 시료의 아미노산 함량이 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 유기산의 함량은 0.05~0.09 g/100mL의 범위로 나타났다. 모든 막걸리 시료는 발효 4일째까지 MMW 조사의 유무 및 주파수에 따른 차이를 나타내지 않았으나 발효 종료인 5일째에는 M70>M60>control 순으로 아미노산 함량이 유의적으로 높게 나타났다.

표 18. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 유기산 함량

(단위 : g/100mL)

Sample	Fermentation period (days)						SEM ³⁾
	0	1	2	3	4	5	
Control	0.05 ^{aC1)}	0.05 ^{aC}	0.05 ^{aC}	0.06 ^{aB}	0.06 ^{aB}	0.07 ^{bA}	0.00
M60	0.04 ^{aC}	0.05 ^{aB}	0.05 ^{aB}	0.06 ^{aB}	0.06 ^{aB}	0.08 ^{abA}	0.00
M70	0.05 ^{aB}	0.05 ^{aB}	0.05 ^{aB}	0.06 ^{aB}	0.06 ^{aB}	0.09 ^{aA}	0.01
SEM ²⁾	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	

¹⁾Values with different letters within a column (a-b) and a row (A-C) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9). ³⁾Standard error of the means (n=18).

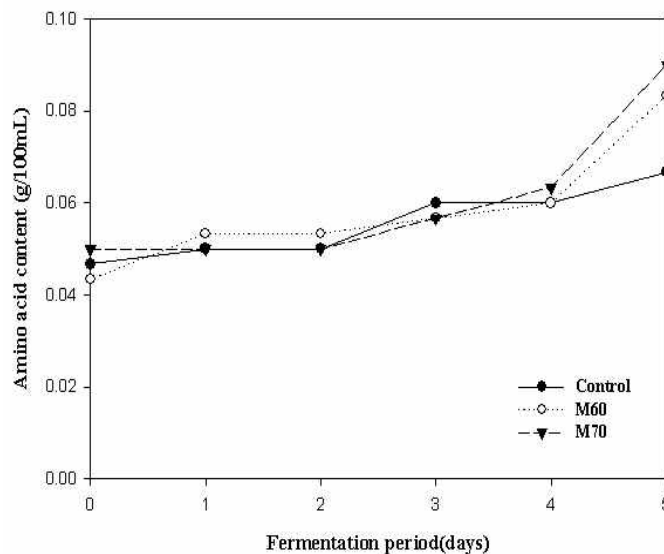


Fig. 5. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 유기산 함량

막걸리 제조 과정에서 생성되는 알코올은 누룩 중 amylase의 작용으로 원료의 전분을 당분으로 분해하고, 생성된 당분은 효모에 의한 알코올 발효의 기질로 이용되어 알코올이 생성되므로 발효 정도에 따라 알코올 함량이 결정된다. 본 연구에서 제조한 막걸리의 알코올 함량을 표 19 및 Fig. 6.에 나타내었다. 모든 막걸리 시료의 알코올 함량은 2단 담금 직후(0일)부터 최종 발효 기간 동안 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 발효 0일 및 1일째에는 control의 알코올 함량이 MMW 조사 막걸리의 알코올 함량에 비해 유의적으로 높게 나타났으며, 발효 2일 및 3일째에는 M70 막걸리의 알코올 함량이 높게 나타났다. 최종발효시 MMW 조사 막걸리의 알코올 함량이 control에 비해 높게 나타났으며 M60 막걸리의 알코올 함량이 M70 막걸리에 비해 높게 나타나 MMW 주파수에 따른 유의차를 나타내었다.

표 19. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 알코올 함량

(단위 : %)

Sample	Fermentation period (days)						SEM ³⁾
	0	1	2	3	4	5	
Control	6.57 ^{aF1)}	14.34 ^{aE}	15.38 ^{cD}	17.44 ^{bC}	20.91 ^{aB}	22.52 ^{cA}	0.02
M60	3.37 ^{cF}	12.23 ^{bE}	15.55 ^{bD}	15.57 ^{cC}	19.16 ^{bB}	23.67 ^{aA}	0.05
M70	4.73 ^{bF}	12.24 ^{bE}	16.97 ^{aD}	20.56 ^{aC}	20.83 ^{aB}	23.27 ^{bA}	0.03
SEM ²⁾	0.03	0.02	0.04	0.02	0.05	0.04	

¹⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-F) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9). ³⁾Standard error of the means (n=18).

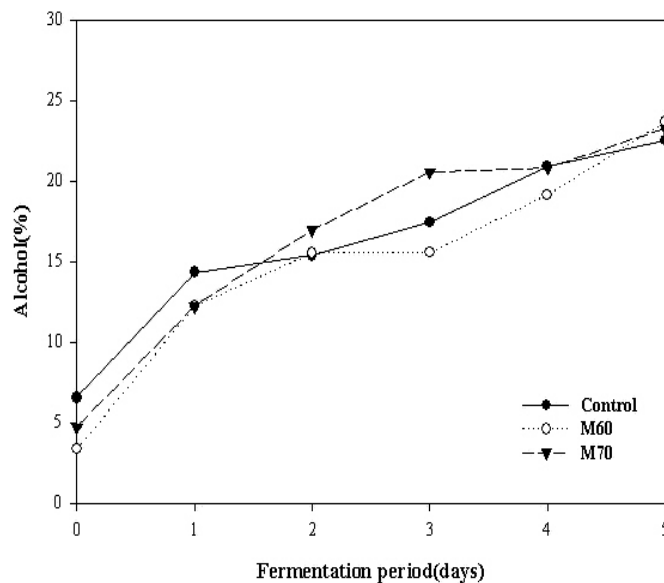


Fig. 6. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 알코올 함량

Millimeter wave를 이용하여 제조한 막걸리의 당도를 측정한 결과를 표 20과 Fig. 7에 나타내었다. 전통주의 당분은 미생물의 발효 기질로 이용되어 탁주의 에탄올 생성과 감미도에 관여하는 성분으로 중요시된다. 2단 담금 직후(0일) 막걸리의 당도는 control이 7.27 ° Birx, M60은 6.63 ° Birx, M70은 5.83 ° Birx 순으로 유의적으로 높게 나타났으며 발효 1일째에는 모든 막걸리 시료의 당도가 급증하였으며 M60의 당도가 10.47 ° Birx로 가장 높은 당 함량을 나타내었으나 발효 2일째부터는 모든 막걸리 시료의 당도가 감소하는 경향을 나타내었다. M60의 당도는 control과 M70에 비해 2단 담금 직후를 제외하고 유의적으로 높은 당함량을 나타내었다.

표 20. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 당도

(단위 : °Brix)

Sample	Fermentation period (days)						SEM ³⁾
	0	1	2	3	4	5	
Control	7.27 ^{aE1)}	9.87 ^{bA}	9.13 ^{cB}	8.50 ^{cD}	8.60 ^{bC}	8.47 ^{bD}	0.04
M60	6.63 ^{bF}	10.47 ^{aA}	9.77 ^{aB}	8.90 ^{aC}	8.80 ^{aD}	8.60 ^{aE}	0.03
M70	5.83 ^{cE}	9.73 ^{cA}	9.30 ^{bB}	8.77 ^{bC}	8.50 ^{bD}	8.47 ^{bD}	0.04
SEM ²⁾	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.04	

¹⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-F) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9). ³⁾Standard error of the means (n=18).

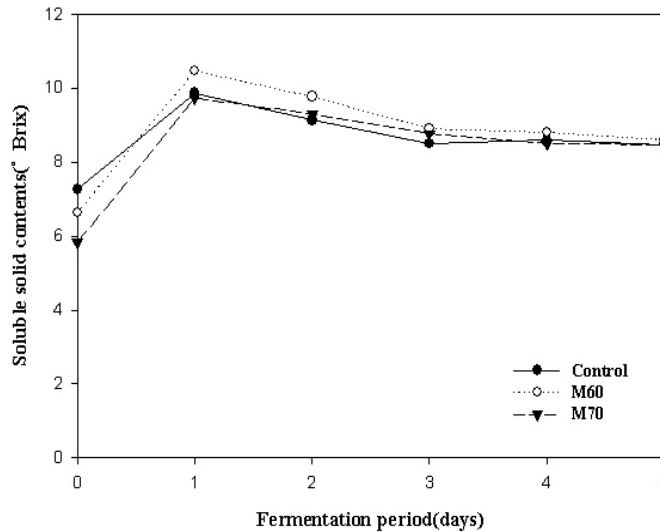


Fig. 7. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 당도

당은 환원당과 비환원당으로 나누며 이를 합하여 총당이라고 한다. 발효과정 중 총당 함량이 서서히 감소되는 이유는 당이 효모에 의하여 이용되거나, 당의 이용에 속도차이가 있음을 보여 준다. Amylase 작용으로 당분으로 분해됨과 동시에 효모의 영양원이나 발효 기질로 이용되므로 발효가 진행됨에 따라 총당 함량은 감소하게 된다. 표 21 및 Fig. 8.은 MMW를 조사하여 제조한 막걸리의 총당 함량을 측정된 결과이다. 막걸리의 총당 함량은 2단 담금 직후(0일)에 control이 5.54%로 높은 함량을 나타내었으며 M60과 M70은 낮은 당함량을 나타내었다. 발효 1 일째에는 모든 막걸리 시료의 총당 함량이 최대로 증가하였으며 발효 2일째부터 총당의 함량이 감소하여 최종발효 시점에서 Control은 0.62%, M60은 0.17%, M70은 0.86%로 나타났다. 초기에는 control의 총당 함량이 유의적으로 높았으나 발효 2일째부터는 M70의 총당 함량의 높게 나타났으며 M60은 발효 기간 동안 유의적으로 낮은 총당 함량을 나타내었다.

표 21. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 총당 함량

(단위 : %)

Sample	Fermentation period (days)						SEM ³⁾
	0	1	2	3	4	5	
Control	5.54 ^{cA1)}	5.76 ^{aA}	2.75 ^{bB}	1.32 ^{bC}	0.70 ^{bD}	0.62 ^{bD}	0.16
M60	1.77 ^{bB}	3.86 ^{bA}	1.94 ^{bB}	0.63 ^{bC}	0.31 ^{cC}	0.17 ^{cC}	0.31
M70	2.79 ^{aB}	5.16 ^{abA}	4.23 ^{aA}	2.89 ^{aB}	0.90 ^{aC}	0.86 ^{aC}	0.60
SEM ²⁾	0.32	0.62	0.54	0.42	0.05	0.04	

¹⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-D) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9). ³⁾Standard error of the means (n=18).

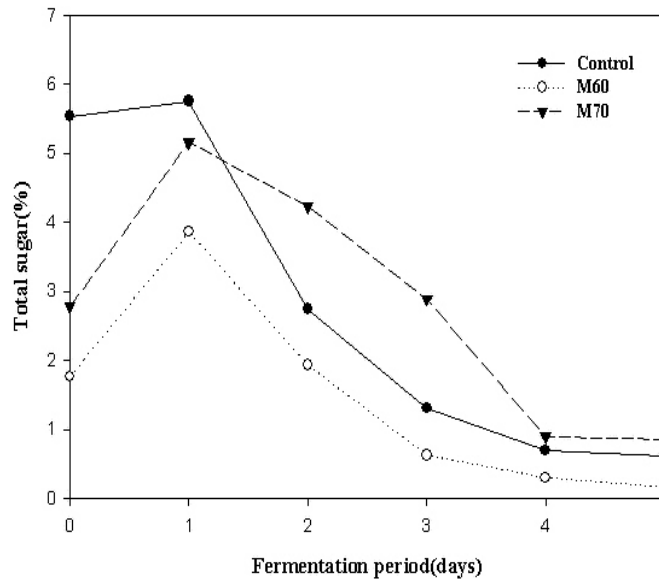


Fig. 8. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 총당 함량

환원당은 알코올 발효의 기질로 이용되며 감미도에 영향을 주는 중요한 성분이다. MMW 조사 막걸리의 환원당 함량을 측정한 결과를 표 22 및 Fig. 9.에 나타내었다. 2단 담금 직후(0일)의 환원당 함량은 control이 5.03%로 M60(4.06%)과 M70(2.83)에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 발효 1일째에는 control이 5.81%로 증가하였으며 MMW 조사 막걸리 시료는 5.05~5.06%로 증가하였으나 control의 환원당 함량에 비해 유의적으로 낮게 나타났다. 발효 2일째부터는 모든 막걸리 시료의 환원당 함량이 최종 발효 시까지 감소하는 경향을 나타내었으며 M60의 환원당 함량은 control과 M70에 비해 유의적으로 높은 당함량을 나타내었다.

표 22. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 환원당 함량

(단위 : %)

Sample	Fermentation period (days)						SEM ³⁾
	0	1	2	3	4	5	
Control	5.03 ^{bb1)}	5.81 ^{aA}	2.26 ^{bc}	0.95 ^{bd}	0.83 ^{be}	0.78 ^{be}	0.04
M60	4.06 ^{cb}	5.06 ^{ba}	2.69 ^{ac}	1.10 ^{ad}	1.05 ^{ad}	1.04 ^{ad}	0.14
M70	2.83 ^{ab}	5.05 ^{ba}	2.27 ^{bc}	0.95 ^{bd}	0.74 ^{be}	0.77 ^{bde}	0.08
SEM ²⁾	0.08	0.20	0.09	0.03	0.04	0.03	

¹⁾Values with different letters within a column (a-b) and a row (A-E) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9). ³⁾Standard error of the means (n=18).

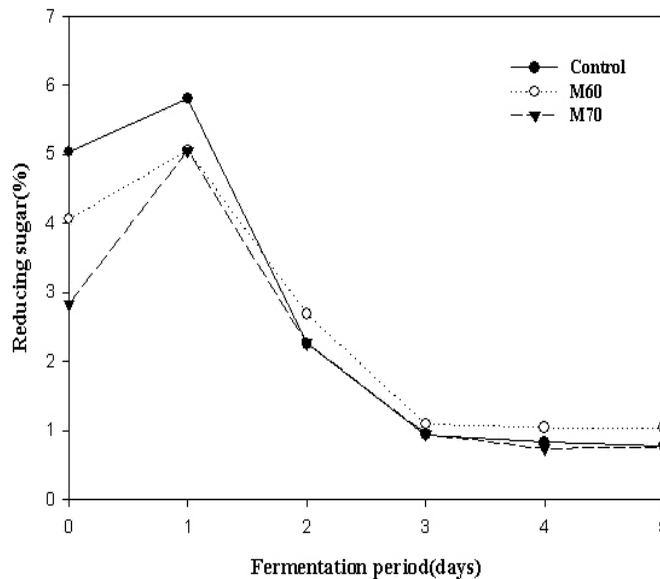


Fig. 9. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 환원당 함량

MMW를 조사하여 제조한 막걸리의 발효과정 중 총균수의 변화는 표 23 및 Fig.10.과 같다. MMW를 조사한 막걸리 M60과 M70의 총균수는 6.60~6.75 log CFU/mL의 수준으로 나타났으며 control은 6.68~6.85 log CFU/mL의 수준으로 발효기간동안 막걸리의 총균수 변화가 비슷한 양상을 나타내었으며 MMW 조사의 유무 및 주파수에 따른 유의차를 나타내지 않았다.

표 23. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 총균수 변화

(단위 : Log CFU/mL)

Sample	Fermentation period (days)						SEM ³⁾
	0	1	2	3	4	5	
Control	6.73 ^{aBC1)}	6.85 ^{aA}	6.68 ^{aC}	6.74 ^{aB}	6.70 ^{aBC}	6.71 ^{aBC}	0.02
M60	6.72 ^{aAB}	6.70 ^{cAB}	6.68 ^{aB}	6.60 ^{bC}	6.69 ^{aAB}	6.74 ^{aA}	0.02
M70	6.73 ^{aAB}	6.75 ^{bA}	6.68 ^{aAB}	6.72 ^{aAB}	6.67 ^{aB}	6.71 ^{aAB}	0.03
SEM ²⁾	0.04	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03	

¹⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-C) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9). ³⁾Standard error of the means (n=18).

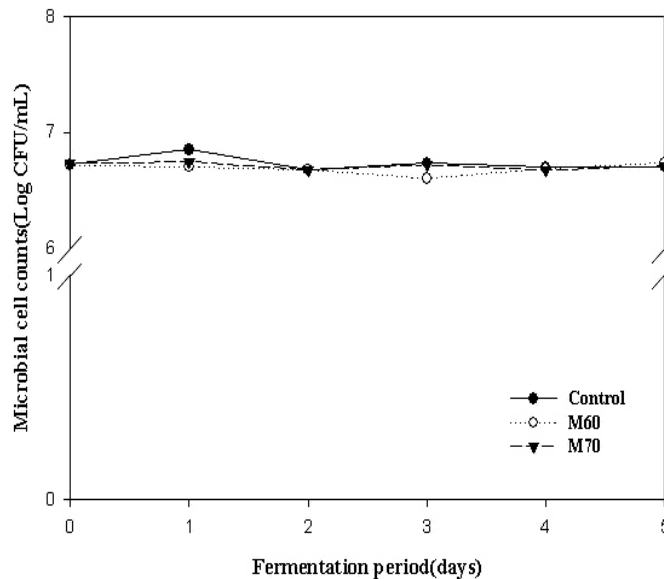


Fig. 10. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 총균수 변화

막걸리 발효가 진행됨에 따라 유기산이 생성되어 pH가 감소하고 알코올과 아미노산, 유기산이 상호반응을 하여 ester 등의 향미성분이 생성되며, 이때 알코올, 유기산 및 아미노산 등의 생성에 중요한 역할을 하는 것이 미생물이다. MMW를 조사한 막걸리의 효모균수 변화를 측정 한 결과를 표 24 및 Fig.11.에 나타내었다. MMW를 조사한 막걸리 M60과 M70의 효모균수는 2 단 담금 직후(0일)에 8.21 log CFU/mL로 control 8.17 log CFU/mL에 비해 유의적으로 높게 나타났으며 발효 1일째에는 모든 막걸리 시료는 8.91~8.95 log CFU/mL로 증가하였으나 MMW 조사 및 주파수에 의한 유의차는 나타나지 않았다. 발효 2일째부터 최종발효 시까지 모든 막걸리 시료의 효모균수는 감소하는 경향을 나타내었으며 MMW의 조사 유무 및 주파수에 따른 차이를 나타내지 않았다.

표 24. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 효모균수 변화

(단위 : Log CFU/mL)

Sample	Fermentation period (days)						SEM ³⁾
	0	1	2	3	4	5	
Control	8.17 ^{bA1)}	8.91 ^{aB}	8.84 ^{bC}	8.76 ^{aD}	8.80 ^{bE}	8.59 ^{aF}	0.02
M60	8.21 ^{aE}	8.95 ^{aA}	8.85 ^{aB}	8.81 ^{aBC}	8.79 ^{aC}	8.61 ^{aD}	0.02
M70	8.21 ^{aD}	8.92 ^{aA}	8.73 ^{aB}	8.72 ^{aB}	8.66 ^{aC}	8.63 ^{aC}	0.03
SEM ²⁾	0.01	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	

¹⁾Values with different letters within a column (a-b) and a row (A-F) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9). ³⁾Standard error of the means (n=18).

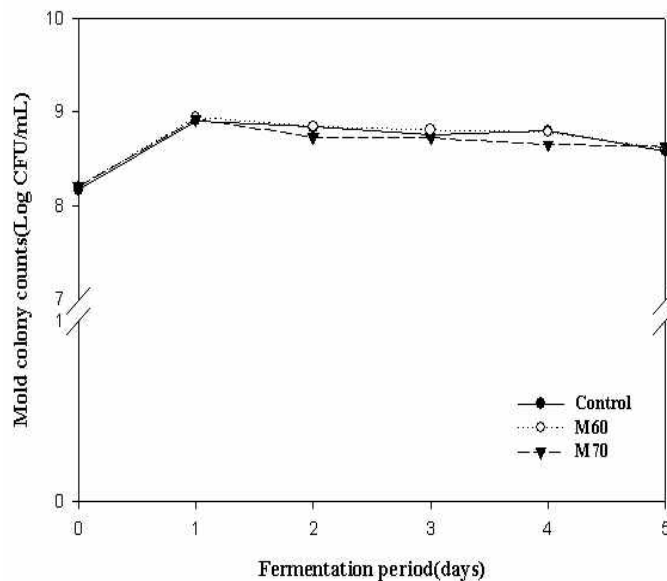


Fig. 11. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 효모균수 변화

표 25는 MMW를 주파수 60GHz 및 70GHz로 조사하여 제조한 막걸리의 색도를 나타낸 결과이다. 발효기간 동안 막걸리의 L(Lightness) 값은 2단 담금 직후(0일)에 M60과 M70은 각각 44.10, 43.45로 나타났으나 control은 49.84로 유의적으로 높게 나타났다. control과 M70이 발효 1일째까지 증가하였다가 발효 2일부터 감소하는 경향을 나타내었으며 M60은 발효 2일째까지 증가하는 경향을 나타내었다. M60의 L 값은 발효기간 동안 유의적으로 높은 경향을 나타내었고 M70은 낮은 L 값을 나타내었으나 최종발효 막걸리의 L 값은 MMW의 조사 유무 및 주파수에 따른 차이를 나타내지 않았다. a(Redness) 값은 모든 막걸리 시료가 발효 1일째에 감소하였다가 최종발효까지 증가하는 경향을 나타내었다. b(Yellowness) 값은 control이 2단 담금 직후 4.15에서 최종발효시 3.77로 증감의 폭이 작게 나타났으나 M60과 M70의 b 값은 2단 담금 직후 각각 2.62~4.58, 2.55~3.38로 발효기간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.

표 25. Millimeter wave의 주파수를 달리하여 발효시킨 막걸리의 색도

Color value	Sample	Fermentation period (days)						SEM ³⁾
		0	1	2	3	4	5	
L	Control	49.84 ^{aC1)}	51.11 ^{bA}	50.72 ^{bB}	50.18 ^{aC}	48.88 ^{aD}	49.00 ^{aD}	0.16
	M60	44.10 ^{bF}	51.59 ^{aB}	52.23 ^{aA}	49.84 ^{bD}	49.28 ^{aE}	50.89 ^{aC}	0.13
	M70	43.45 ^{cB}	49.64 ^{cA}	48.29 ^{cA}	47.68 ^{cA}	47.54 ^{bA}	48.87 ^{aA}	0.91
	SEM ²⁾	0.05	0.10	0.09	0.13	0.25	1.29	
a	Control	-1.41 ^{bA}	-1.60 ^{aD}	-1.57 ^{bD}	-1.50 ^{aC}	-1.46 ^{aBC}	-1.44 ^{aAB}	0.02
	M60	-1.29 ^{aA}	-1.62 ^{aE}	-1.58 ^{bDE}	-1.50 ^{aCD}	-1.45 ^{aBC}	-1.37 ^{aAB}	0.05
	M70	-1.45 ^{cA}	-1.64 ^{aC}	-1.48 ^{aAB}	-1.46 ^a	-1.46 ^{aAB}	-1.46 ^{aAB}	0.01
	SEM	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	
b	Control	4.15 ^{aA}	3.82 ^{aB}	3.72 ^{bB}	3.97 ^{aAB}	3.67 ^{aB}	3.77 ^{bB}	0.14
	M60	2.62 ^{bD}	3.35 ^{bC}	4.40 ^{aA}	3.71 ^{aB}	3.67 ^{aB}	4.58 ^{aA}	0.13
	M70	2.55 ^{bC}	3.12 ^{cAB}	3.18 ^{cAB}	2.92 ^{bB}	3.19 ^{aAB}	3.38 ^{bA}	0.16
	SEM	0.04	0.04	0.17	0.13	0.23	0.17	

¹⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-F) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9). ³⁾Standard error of the means (n=18).

2. 주파수 영역에 따른 전열 물성 특성시험

최근 기가급 밀리미터파 대역 특히 60GHz 대역을 이용한 새로운 차세대 기술이 사용되고 있다. 표준에서 정의한 통달 거리는 10m 정도이며 빔 포밍을 사용하여 에너지를 모아 주사하는 경우에는 최대 18m 정도이다. 따라서 밀리미터파 대역 특히 60GHz 대역의 전파 특성을 확인하는 것은 중요한 일이다. 밀리미터파 대역의 전파 특성 및 밀리미터파가 전파되는 과정에서 발생하는 현상들은 자유공간 손실 외에도 대기 감소, 반사, 회절 등이 있고, 그 중 대기 감소는 주로 산소 분자와 물 분자의 흡수에 기인한다. Fig. 13.과 같이 산소분자의 흡수선, 즉 흡수가 최대가 되는 주파수는 약 60 GHz, 118 GHz 이며, 물분자의 흡수선은 약 22 GHz, 193 GHz, 325 GHz 으로 나타났다. 따라서 밀리미터파 시스템은 이러한 물분자와 산소분자의 공진주파수를 이용하였다.

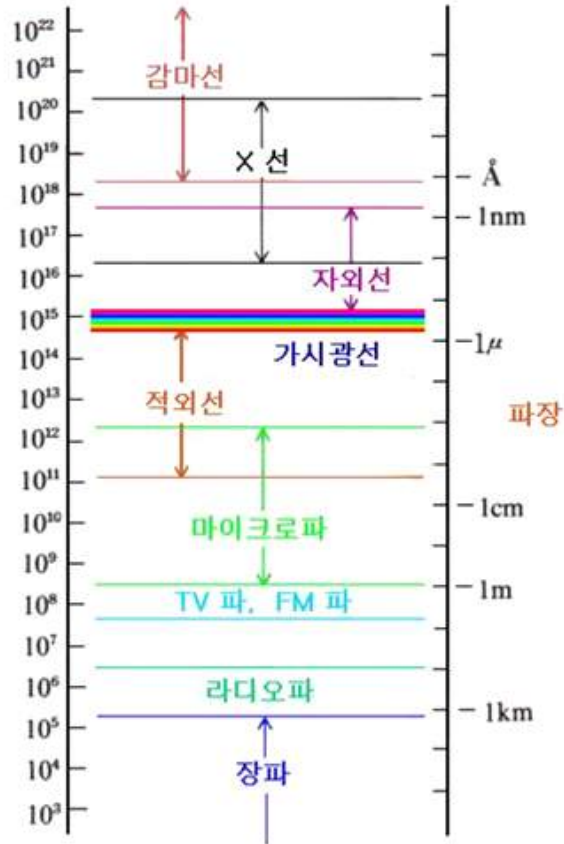


Fig. 12. 각 주파수 대역의 명칭

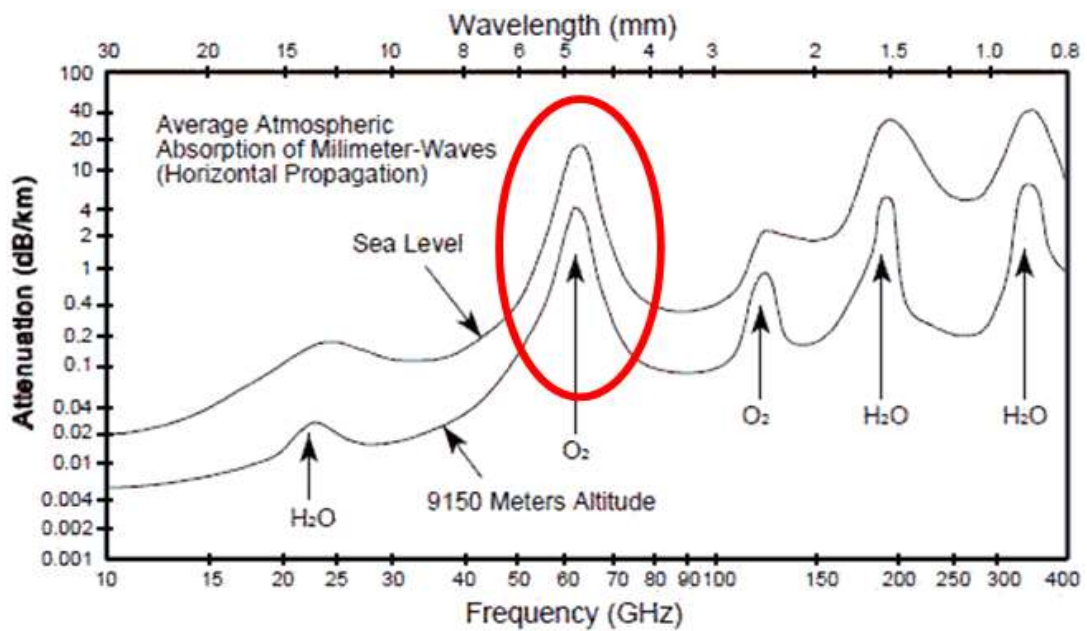


Fig. 13. 밀리미터파의 평균 대기 흡수

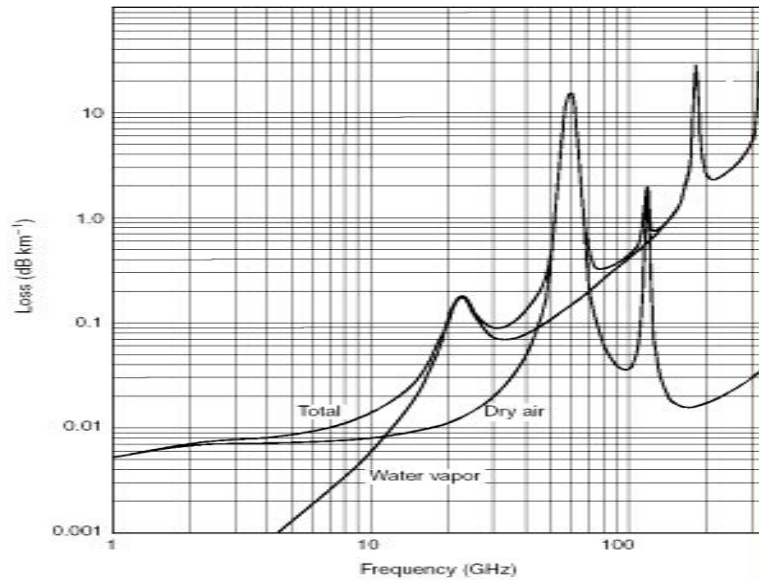


Fig. 14. 밀리미터파의 57-63GHz 대에서 산소에 의한 유전율 감소(15db/Km)

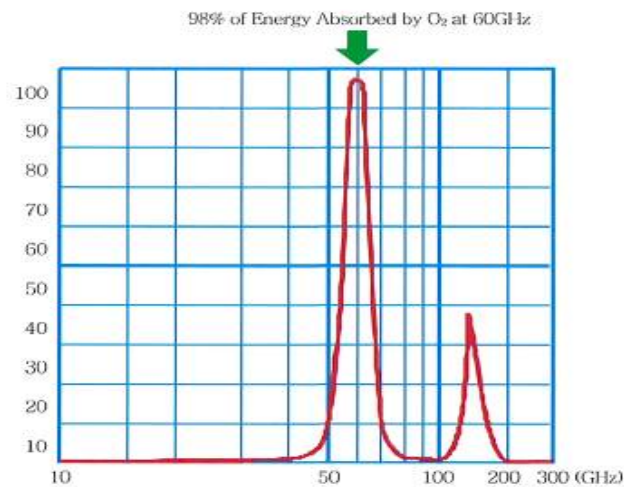


Fig. 15. 60GHz 대역의 특성

또한 공기 이외의 구성물질인 경우 유전율이 달라질 수 있다. 따라서 유전율을 질소와 산소로 구분하여 유전율을 측정된 결과는 다음과 같다.

표 26. 공기, 질소, 산소의 유전율

매질	공기	질소(20℃)	산소(20℃)
유전율	1.0006	1.00058	1.000494

주파수 대역에 따른 반사손실 특성은 크게 변화가 없었음을 확인할 수 있었으며 내부 매질의 변화에 따른 특성을 확인하기 위해 설계 중심주파수(Center Frequency, Fc)는 60GHz 로 진행하여, 내부 매질을 공기(Air), 질소(Nitrogen), 산소(Oxygen)로 각각 변경하여 특성을 확인한

결과 내부 매질 변경에 따른 주파수 변화는 거의 없었으며, 반사손실 특성도 거의 변화가 없었다. 실험에 사용된 60GHz resonator의 측정값을 통해 당초 기대하였던 반사 손실보다는 중심 주파수가 산소의 존재 유무와 주입되는 가스 압력에 따라 뚜렷하게 변화함을 확인할 수 있었다. 질소의 중심 주파수 변이는 주입되는 가스 압력과 거의 무관하나 산소의 경우에는 1kg/cm²의 경우에는 60GHz에서 59.98GHz과 59.99GHz로, 2kg/cm²의 경우에는 59.97GHz과 59.98GHz로 각각 주입되는 산소 압력과 중심 주파수 변이와 상관관계가 있음을 확인할 수 있었다. 향후 실제적인 활용을 위해 60GHz resonator를 소형화할 뿐 아니라 활용도를 높이기 위해 챔버에 산소를 주입하는 방식이 아닌 비접촉식으로도 산소농도를 변화시킬 수 있는 방법이 가능하다. 미국 등에서는 60GHz대 소형화된 상용시스템이 Terabeam사, 러시아 Elva사 등에 의해서 개발되어 상용화되고 있다. 60GHz 영역대는 국제적으로 주파수 사용 허가 없이 사용할 수 있으며 그중 57~66GHz 대역에 걸쳐 최대 9GHz에 달하는 넓은 대역을 이용할 수 있다. 60GHz 대역의 파장은 밀리미터 단위로 아주 작기 때문에 소형 경량화가 가능하다. 따라서 방출되는 전자파의 빔폭은 배출구의 지름에 반비례하므로 파장이 짧을수록 배출구를 작게 만들 수 있다. 또한 도파관과 같이 파장에 비례하는 크기를 가지는 소자들도 소형화 효과가 있으므로 장비의 소형화가 가능하다. 또한 60GHz 대역의 주파수는 기본적으로 저전력(수십mW단위)을 사용하게 되어 있으므로 인체에 미치는 영향이 작으며, 비록 인체에 전자파가 조사된다고 하더라도 피부 바깥에서 상쇄되어 버린다. 60GHz 대역의 회로가 상업적으로 경제성을 갖기 위해서는 어셈블리와 패키징이 중요한 문제가 된다. 어셈블리와 패키징은 높은 신뢰도와 생산성을 요구함과 동시에 경제성까지 가져야 한다. 종래에는 입출력에 도파관을 갖는 금속 모듈안에 장착하고 wire-bonding을 이용하여 회로를 연결하는 방식이 주로 사용되어 왔다. 이러한 방식은 고정밀도의 소량 생산에 사용하는 방식으로 대량 생산이 가능한 시스템 개발이 필요하다. 따라서 향후 밀리미터파의 60GHz 대역은 많은 연구 및 기술의 개선이 필요한 실정이다.

3. 발효식품용 millimeter wave system(MMWS) 개발

밀리미터파 즉 주파수 대역이 40 ~ 320 GHz 영역에 이르는 초고주파 영역의 전자기파로서, 회로부품 즉 generator의 소형화를 통하여, 다양한 산업 분야에 적용이 가능하다. 러시아에서는 의료분야 및 암진단, 치료 분야에 적용되고, 또한 수산, 축산, 농산 분야에도 다양하게 적용되어지고 있다. 따라서 식품분야의 제빵, 양조 등에도 적용 가능성이 매우 높다. 밀리미터파의 비열적 특성 및 그로 인한 생물학적인 활성화에 주는 영향을 이용하여, 야채의 발효 및 신선 저장, 변색방지 등에 대한 효과가 매우 크다. 밀리미터파 특성과 발생장치인 제너레이터를 활용한 ‘밀리미터파 발생 장치’를 개발하여 이를 식물의 생리조절 및 발효공정에 적용하여 발효특성 증가시키게 된다. 또한 ‘발생기 박스’를 신선 생물들의 특성에 맞게 적용할 제어알고리즘을 개발하는 것도 포함되어 발생기 박스의 제작과 기존 전자레인지에 적용하던 열적인 특성만을 이용하는 방식과는 달리 본 밀리미터파 적용 기술은 특히 열적인 특성이 아닌 비열적 특성을 이용하는 것임으로 현장 적용을 동시에 실시하여 밀리미터파를 이용하는 기술의 활용도와 사업성을 높이게 된다. 기존의 시스템은 주로 필터 시스템을 이용한 분사 시스템이며 일본의 경우 광합성(LED불빛 이용), 나노티탄 시스템을 병행하여 온도/습도 조절로 발효공정을 조절하였으나 밀리미터파 발효 시스템은 밀리미터파를 이용하여 식품의 bioactivity 활성화를 시켜 활성물질 생성으로 인한 주요 영양 성분을 증가시키면서 발효공정을 수행하고 따라서 장기

보존이 가능하고 반영구적인 경제적인 시스템으로 볼 수 있다. 따라서 본 시스템은 마이크로파를 지속적으로 투사하여, 유해 부패 미생물의 번식을 억제하고, 변색방지를 통해 발효공정의 다른 기술에 대비하여 경쟁적 우위에 있다.

가. 밀리미터파 분사 제너레이터가 장착된 시스템

밀리미터파를 발진시키는 발진부(1), 발진부와 연결되어 밀리미터파의 세기를 제어하는 제어부(2), 발진부와 연결되어 밀리미터파를 조사하도록 구성되어 시료에 자극을 가하는 도파관(3), 및 도파관을 통과한 밀리미터파가 시료에 조사되도록 구성된 접촉부로 시스템을 구성하였다.

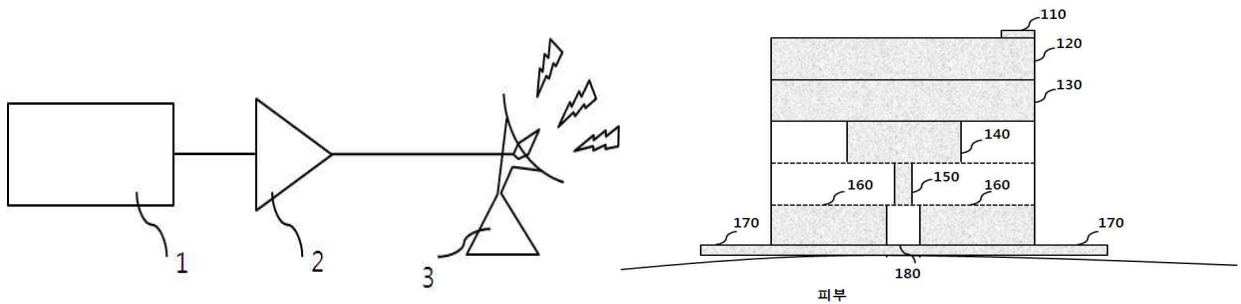
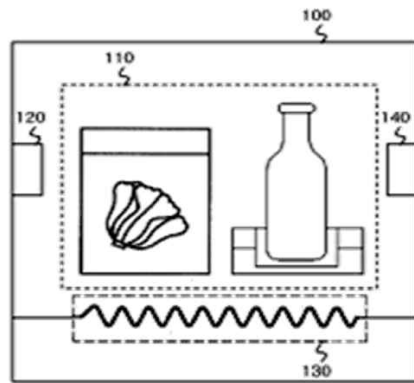
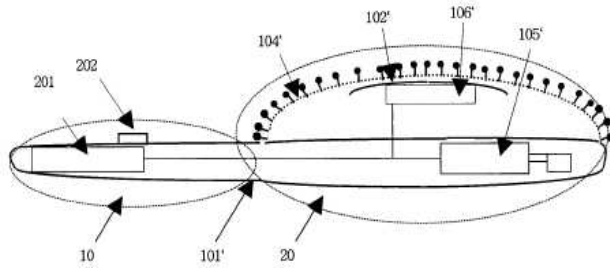


Fig. 16. 발효식품용 밀리미터파 시스템 구성도

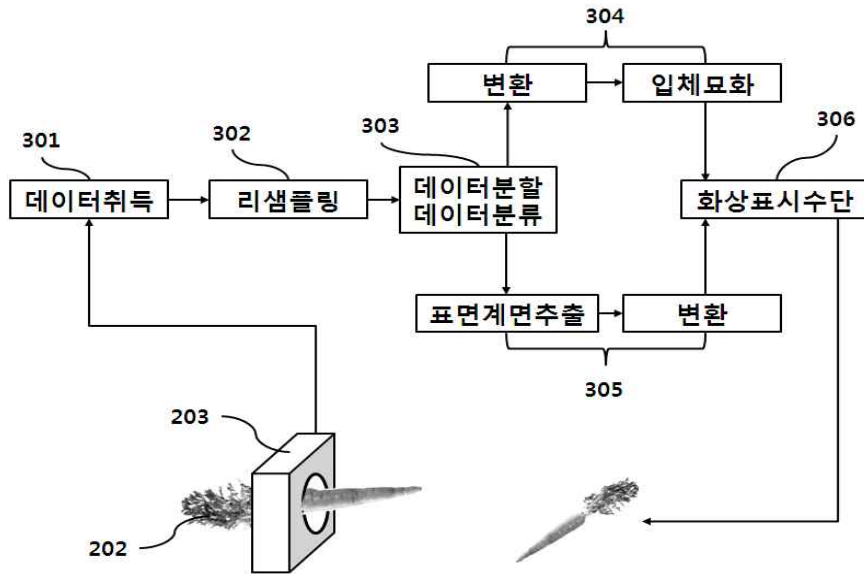
시료 주변의 온도 또는 시료 자체의 온도를 감지하는 파라미터 감지모듈, 밀리미터파를 발진 및 증폭시켜 시료에 조사하는 밀리미터파 가열모듈 (밀리미터파 발진부 및 증폭부로 구성), 및 파라미터 감지모듈에서 감지된 온도를 토대로 밀리미터파 가열모듈에서 출력되는 밀리미터파의 세기를 제어하는 제어모듈을 포함하는 장치로 시스템을 구성하였다.



또한 식품의 외관에 따라 구형 상태의 시료일 경우 구형형태의 프레임 및 휴대용 모양 프레임 두 종류의 밀리미터파 시스템이 가능하도록 설계하였다.



생체에 전자파를 조사 및 조사하지 않은 상태에서 측정되는 투과, 반사, 자발 전자파 데이터로부터 식품표면 및 내부의 전자파특성을 식품구성요소의 실측상태마다 분류 및 정리한 데이터베이스를 미리 준비하고, 시료의 실측상태정보를 데이터베이스 정보에 근거하여 획득하는 공정 또는 시료부위의 위치정보를 공정도와 관련짓는 공정, 화상표시하기 위한 공정을 가지는 방법과 표시장치로 대량생산 공정도를 설계하였다.



본 연구에서 개발 및 상품화 하고자 하는 것은 ‘밀리미터파 발생기 박스’와 박스가 장착되어 운용되는 ‘식품 가공 알고리즘’이다. 개발될 발생기 박스는 지속적으로 밀리미터파를 조사하는 박스로서, 전원 공급장치 및 Generator로 구성되어진다. 발효공정 등에 장착된 ‘밀리미터파 발생기 박스’의 ‘제어 알고리즘’을 가정용 및 산업용에 적합하게 구성되도록 할 예정이다. 본 연구에서 실험하였던 ‘밀리미터파 발생기 박스’는 국내.외에 발생기를 제작해서 공급하는 회사가 전무하다. 따라서 국내.외의 가정용 및 산업용에 적용될 ‘밀리미터파 발생기 박스’의 규모를 산정하면 다음과 같다.

구 분	현재의 시장규모 (2015년)	예상 시장규모 (2018년)
세계 시장 규모	700억원	2,000억원
한국 시장 규모	300억원	600억원

* 산출근거 : 발생기박스 5만원/대X300만대(국내출하 대수) x 20% 적용

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

○ 식품의 밀리미터파 가공특성 확립 및 가공처리 기술을 확립·적용함으로써 제품의 다양화 및 고급화를 최종목표로 3차년에 걸쳐 추진한 연구과제는 아래와 같이 정리된 연도별 연구개발목표에 근거하여 진행하였으며 이를 성공적으로 수행할 수 있었다.

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2012)	밀리미터파의 살균 가공 기술	살균 Millimeter Wave System 구축 및 식품가공 공정에 대한 적용기술 개발	100	밀리미터파 살균 가공 기술 식품특성에 따른 밀리미터파 전 이특성 식품살균용 시스템 개발
2차 년도 (2013)	밀리미터파(MM W)의 기능성 증진 및 저장 가공기술 연구	MMW를 활용한 식품의 생리활성 및 저장성 증진 기술 연구	100	MMW 적용에 따른 과채류(딸기, 양상추 등) 및 곡류(발아현미 등) 제품의 저장유통 시 품질 특성 연구
	식품군에 따른 millimeter wave 전이 특성 확립	식품 구성성분에 따른 MMW 효과 식품 저장용 millimeter wave system(MMWS) 개발 및 안전성 확립을 위한 문헌 조사	100	단백질, 지방, 탄수화물에 따른 MMW의 유전특성 확립 주요 공정별 MMWS 최적화 및 안전성 관련 문헌 조사 및 정리
3차 년도 (2014)	발효 Millimeter Wave System 구축 및 식품가공 공정에 대한 적용기술 개발	밀리미터파(MMW)의 발효 가공기술 연구	100	유효균주의 선택적 고효율 발효 제품 개발을 위한 밀리미터 가공 기술 연구 전통발효식품(장류), 발효주, 유제 품의 유효균주에 대한 영향 평가
		발효식품용 millimeter wave system(MMWS) 개발	100	주요 공정별 MMWS 최적화 발효공정용 millimeter wave system(MMWS) 개발 Millimeter wave system 적용이 가 능한 식품 공정의 설정 및 경제 성 분석 주요 식품공정별 Millimeter wave system 확립 및 산업화 연구

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 연구성과 목표

(단위 : 건수)

구분	특허		신품종				(예시) 유전자원 등록	(예시)논문		기타
	출원	등록	품종명칭 등록	품종생산 수입 신고	품종보호			SCI	비SCI	
1차년도	목표	1								
	달성									
2차년도	목표	3	1					3		
	달성									
3차년도	목표	3	3					5		
	달성									
4차년도	목표		3							
계		7	7					8		

2. 연구성과 활용

(단위 : 건수)

구분	기술실시(이전)	상품화	정책자료	교육지도	언론홍보	기타
활용건수	목표	1	3		10	5
	달성	1(예정)				

3. 특허 성과

출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
2014	밀리미터파를 이용하여 전처리된 베리류 및 이의 전처리 방법	금준석 이현유 박종대 김영봉 김미선 김성수	대한민국	10-2014-0100780
2014	밀리미터파를 이용하여 전처리된 열채류 및 이의 전처리 방법	금준석 이현유 박종대 김영봉 김미선 김성수	대한민국	10-2014-0100781
2014	밀리미터파를 이용하여 전처리된 근채류 및 이의 전처리 방법	금준석 이현유 박종대 김영봉 김미선 김성수	대한민국	10-2014-0100782
2014	밀리미터파를 이용하여 전처리된 버섯류 및 이의 전처리 방법	금준석 이현유 박종대 김영봉 김미선 김성수	대한민국	10-2014-0100783
2014	밀리미터파를 이용하여 전처리된 곡물류 및 이의 전처리 방법	금준석 이현유 박종대 김영봉 김미선 김성수	대한민국	10-2014-0100784

4. 논문게재 성과

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol(No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2015	Effect of millimeter waves on germination of brown rice	Dong-Ho Seo	Jun-Seok Kum	Mi-Seon Kim Hyun-Wook Choi Jung-Min Sung Jong-Dae Park	Food science and Biotechnology		심사중	
2015	Effect of millimeter waves on quality characteristics of <i>Chaeongjukjang</i>	Dong-Ho Seo	Jun-Seok Kum	Mi-Seon Kim Hyun-Wook Choi Jung-Min Sung Jong-Dae Park				
2015	Effect of millimeter waves on quality characteristics of yogurt	Dong-Ho Seo	Jun-Seok Kum	Mi-Seon Kim Hyun-Wook Choi Jung-Min Sung Jong-Dae Park				

4. 국내 학술발표 성과

게재연도	논문명	저자	학술지명
2014	Quality Characteristics of Strawberries by Millimeter wave Irradiation during Storage	Mi-Seon Kim, Dong-Ho Seo, Jung-Min Sung, Jun-Seok Kum, Jong-Dae Park	한국식품과학회
2014	Effect of Millimeter wave Irradiation on Quality Characteristics of Germinated Brown Rice	Mi-Seon Kim, Hyun-wook Choi, Dong-Ho Seo, Jung-Min Sung, Jong-Dae Park, Jun-Seok Kum	한국식품과학회
2014	Effect of Millimeter wave Irradiation on Microbiological Characteristics of mushroom (<i>Aquaricus bisporus</i>)	Mi-Seon Kim, Jun-Seok Kum, Hyun-Yu Lee, Jong-Dae Park	한국응용생명화학회
2014	Quality Characteristics of Potato by Millimeter wave Irradiation during Storage Period	Mi-Seon Kim, Hyun-wook Choi, Dong-Ho Seo, Jung-Min Sung, Jun-Seok Kum, Jong-Dae Park	한국식품영양과학회

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. ELM 공정협의 및 식품적용 제품기술조사 및 시장조사

- Portable ELM 제조공정 협의
- 1986년 설립하여 2000년부터 아시아, 미국에 기술독점권 진행
- 2003년에 International Microwave Group 구성하여 Vienna 대학 및 이탈리아 Consorciun Tebaid와 전략적 제휴 및 선진기술 컨소시엄 협약
- 주파수 영역대에 따른 MMW 발생기 및 구성품 제조공정 협의
식품적용제품 기술조사 및 시장조사
- 오스트리아, 러시아, 이탈리아 등 의료시장에 약 8,000여군데 사용 중
- 곡류(seed) 적용 연구결과
 - 제품 적용 사양 : 주파수 65 GHz, P 10-2 W/cm²
 - 결과 검토 : 수분함량 48,6%로 증가
 - 활성도 및 기능성 성분 증가(18,4%)
 - 발아율 증진(밀의 경우 2.4배)
- 소의 유방염 및 병아리 부화에도 적용
- 과채류에 적용
 - 야채/과일의 bioactivity 활성화
 - 활성물질 생성으로 인한 주요 영양 성분 증가 및 장기 신선 보존 가능

2. ELM 설비견학 및 식품적용 제품개발

- ELM 설비 견학
 - ELM Ltd의 주요 설비를 견학하고 실험실 및 테스트 설비 견학(사진2)
- 식품적용 제품개발 협의
 - 과채류는 수확 후 저장 시 발효하여 방향이 좋아지고 연하게 되어 맛이 좋아지는 후숙이 일어나며 과일에는 효모 이외에 초산균, 젖산균과 곰팡이 등이 붙어 있음 (포도-야생효모, 딸기-Aspergillus 속, Rhizopus 속, 오렌지-Penicillium 속). 과일의 저장 중 중요한 효소는 oxidase, peroxidase, catalase, amylase, invertase, pectinase, esterase 등으로 과일의 성숙, 변색 및 부패에 관여하고 성숙함에 따라 성분이 변화하며, 수확 후 저장 중에도 일어나는데, 주로 전분이 포도당으로 되어 단맛이 증가하고 산과 어울려 tannic acid와 같은 떫은맛과 쓴맛은 물에 녹지 않는 염이 되며, 비타민류가 증가하나 과숙하면 오히려 감소됨. 따라서 밀리미터파(milimeter wave :MMW)를 사용 할 경우 과일에 오염되어 있는 유해 미생물의 생육을 특이적으로 저해 또는 살균하여 부패를 억제하여 장시간 신선 보관이 가능하다고 함.
 - MMW는 과일에 함유되어 있는 효소의 활성을 조절하여 전분을 분해하여 당도를 개선하며, 비타민류의 증가, 변색 방지 효과가 있다고 함.

3. MMW 발생원리, 기기제조, 활용방법

■ MMW 발생원리 및 기기제조 협의

- 비엔나 대학은 1365년도에 설립되었으며 현재 19개 학부에 약 91,000명 정도의 학생이 등록하여 중유럽에서 가장 큰 대학으로 알려져 있다. 특히 물리학부(124명의 교수진)는 다음과 같은 분야에 연구가 진행 중이다.
- Complex Nanoscale Matter, Computational Physics, Gravitational and Mathematical Physics, Physics and the Environment, Quantum Optics, Quantum Nanophysics and Quantum Information, Theoretical Particle Physics
- 특히 Erich Schmid Institute of Materials Science (ESI Leoben), Institute for High Energy Physics (HEPHY) 등의 기관과 협력하여 산업체와 공동으로 산업체에서 필요로 하는 연구를 서로 협력하여 진행하고 있음. Physics of functional materials과(22명의 교수진)에서는 현재 진행 중인 millimeterwave에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있으며 ELM 회사와 긴밀한 공동 연구로 연구결과가 바로 산업체에 적용될 수 있도록 하고 있음. 흥미로운 것은 물리학적 신소재 분야에서도 기능성 물질을 생성 또는 증진 시킬 수 있는 분야에 집중되고 있음.

■ 60GHz-300GHz 이상의 주파수 분배 및 소출력으로 발생할 수 있는 원리 협의

■ 고주파대역 주파수 특성 협의(대기 중의 산소분자에 의한 흡수 능력)

■ MMW 적용대상 및 활용방법 협의

- 적용대상은 주로 의료분야에 적용하고 있음. Improving of immune status, Stress protection, Edermatic protection, Pain and inflammation protection, Radio protective effect, Poly therapy effect 등의 효과가 있다고 함. 그 이외에 축산 및 물고기 양식에 매우 효과적이라고 함.
- 특히 의료분야에서 알러지 치료에 많은 도움을 준다고 함. 주파수영역대는 50-80GHz 이며 운전 중 영역대 범위는 20Hz가 가장 효과가 크다고 함.
- 현재 Health Ministry에서 승인된 주파수는 42.2, 53.5, 65.0GHz 이며 운전 중 영역대 범위는 1-10Hz임.
- 소의 유선염 치료에 효과적으로 쓰이고 있으며 우유 생산량 증가에도 많은 도움을 준다고 함.(Teet cup을 우유 생산 시 안테나 형태로 제작하여 MMW를 발생시키는 장치 개발)

■ 수집자료

- FREQUENCY AND IRRADIATION TIME-DEPENDENT ANTIPROLIFERATIVE
- EFFECT OF LOW POWER MILLIMETER WAVES ON RPMI 7932 HUMAN MELANOMA CELL LINE
- LOW POWER MILLIMETER WAVES MODIFY PHOSPHOLIPID MODEL MEMBRANES STRUCTURE
- Experimental Evidence for the Fröhlich Hypothesis
- Millimeter Waves and Living Systems : Book

4. MMW 적용방법, 적용범위, 사용방법 습득 및 신제품개발

■ MMW 사용방법 습득

- 매뉴얼에 의한 사용방법 습득(사진3, 4)
- 실습에 사용한 기기의 주요 제원

PowerSource,V	220 ± 22
Hz	50 ± 0,5
Power consumption, no more than, Watt	15
Operating frequency band, GHz	56 - 76

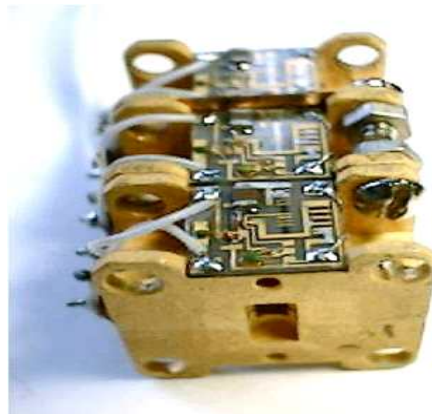
- - MMW 적용방법, 범위 및 신제품 개발 협의(사진 5)
 - 식물생장에 주로 적용하고 있으며 신속 성장으로 생육환경을 개선하고 기능성분의 활성화로 영양소 증진 및 기능성 성분 추출 확대를 도모하고 있음.
- 미생물 살균에 관한 협의
 - S. Cerevisiae, S. carlsbergensis, Spirostum sp. E. coli 등 살균방법 및 효과적인 주파수 영역대에 관한 자료 수집
 - MMW 적용범위는 채소나 작물생산, 토양 및 수경재배 식물, 기능물질 생성 촉진, 발아촉진, 씨앗의 살균 및 발아율 증진, 과채류의 신선도 증진 등
 - 향후 신제품 개발은 제빵, 요구르트, 치즈가공분야 등에 적용 연구가 진행 중이며 맥주 생산 시 효모의 살균등에 많은 연구가 진행 중임. 또한 과채류의 숙성, 저장, 기능성 성분 활성화 등에 관한 적용 연구도 계속 진행 중임.

■ 관련 사진

가. MMW 발생기 및 구성품



Voltage-controlled oscillator of 8mm range



Waveguide transistor amplifier of 8mm range

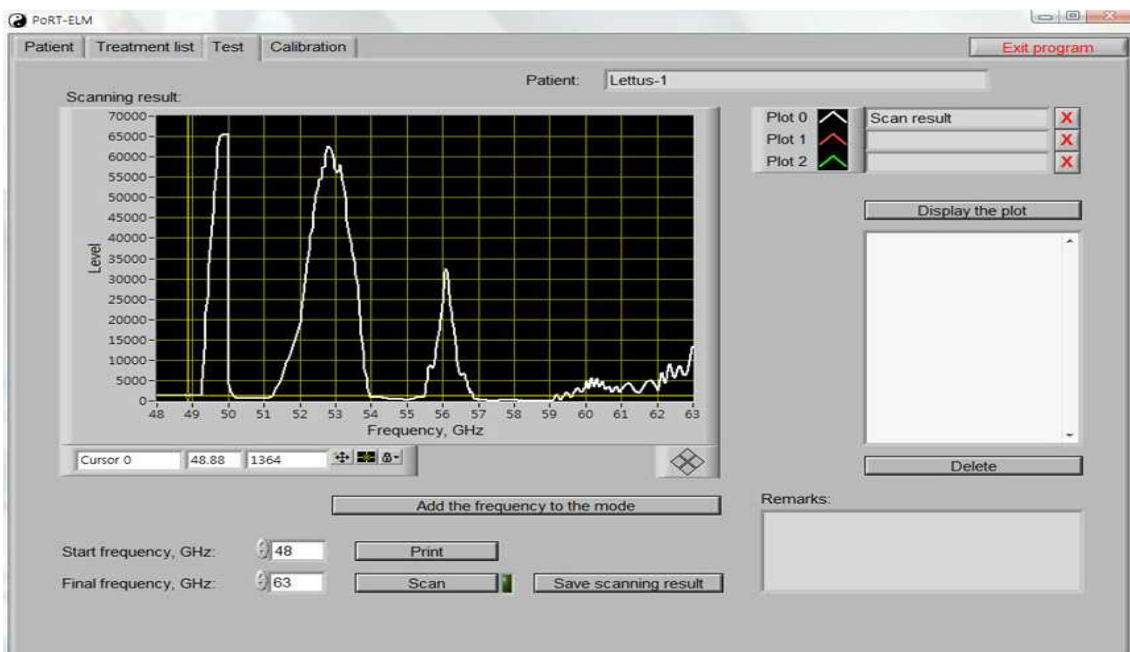
나. 테스트 설비



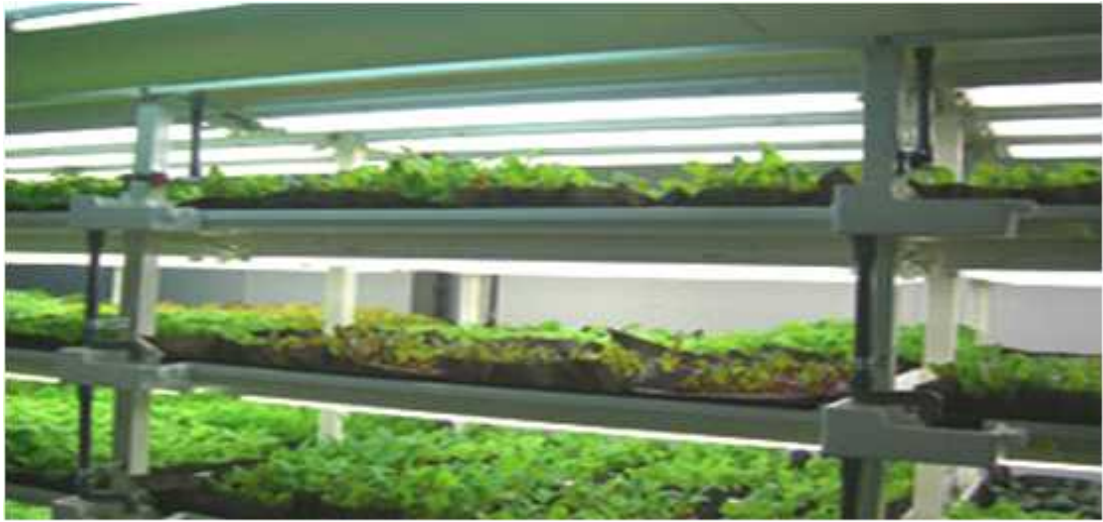
다. MMW 동작 상태



라. 최대주파수 흡수영역을 스캐닝 테스트 결과



마. MMW 적용방법, 범위(채소류 적용)



5. 후속 조치

출장목적 활용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 밀리미터파를 이용한 기기장치의 사용방법 습득으로 현재 진행되고 있는 밀리미터파 살균공정의 기본 자료로 활용할 것임. - 수집한 자료 및 정보는 차년도 실험에 적극 활용하도록 할 것임. - 적용대상 및 방법 등을 검토하여 식품산업의 신성장 동력 및 지속가능한 기술의 토대로 활용할 예정임(식품뿐만 아니라 가전생활용품에 적용 가능성 확인).
반영사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수집한 자료와 정보는 분석 정리하여 연차보고서에 제시하여 반영토록 할 것 임. 또한 국내 식품업체에 밀리미터파의 적용 가능성을 확인하고 생산공정에 긍정적 반응을 해줄 것으로 기대함.
복명서 내용의 첨부할 사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 차년도 연구에 금번 출장 결과를 토대로 향후 기능성 성분 생성 및 증진 등의 연구를 확대하고 유럽지역의 신소재 연구결과를 활용한 식품산업의 적용을 위하여 국제 교류 활성화와 네트워크 구축을 꾸준히 추구 하겠음.

제 7 장 참고문헌

1. IEEE 802.11 WLAN Very High Throughput in 60 GHz Task Group ad(TGad), <http://www.ieee802.org/11/>, Online Link.
2. Michael Marcus, Bruno Pattan. 2005. Millimeter Wave Propagation: Spectrum Management Implications. IEEE Microwave Magazine. 2: 54-62.
3. “ Dielectric Constants of Common Materials” ([http:// www.rafoeg.de/20,Dokumentenarchiv/20,Daten/dielectric_chart.pdf](http://www.rafoeg.de/20,Dokumentenarchiv/20,Daten/dielectric_chart.pdf)).
4. Iskin VD, Zavgorodniy Yu. V YatsenkoN. M. et. al., 1987. Millimeter-waves biological effects. Deposited in VINITI, Biophysics.
5. Betskiy O.V., Kislov V.V. Waves and cells - M.: Znaniye, 1990.
6. Kim DM, Kim SH, Lee JM, Kim JE, Kang SC. 2005. Monitoring of quality characteristics of Chungkookjang products during storage for shelf-life establishment. J Korean Soc Appl Biol Chem 48: 132-139.
7. Lee MY, Park SY, Jung KO, Park KY, Kim SD. 2005. Quality and functional characteristics of cheonggukjang prepared with various *Bacillus* sp. isolated from traditional cheonggukjang. J. Food Sci. 70: 191-196.
8. Park MO, Choi WY, Lim JY, Toshio H. 1994. Isolation and characterization of γ -polyglutamate-producing bacterium *Bacillus* sp. CLH 62. p. 149. In: Proceedings of 94' international symposium on agricultural biotechnology. October 14, Seoul National University, Suwon, Korea. The Korean Society for Applied Biological Chemistry, Korea
9. Kim YS. 2010. Quality characteristics of Cheonggukjang fermented by different starter culture. M.S. dissertation, Kunkuk University, Seoul, Korea.
10. Mann SY, Kim EH, Lee GY, Kim RU, Hwang DY, Son HJ, Lee BW, Lee CY and Kim DS. 2013. Characteristics of Chungkookjang Produced by *Bacillus subtilis* MC31. Journal of Life Science. 23: 560-568.
11. Ko YJ, Son YH, Kim EJ, Seo HJ, Lee GR, Kim DH, Ryu CH. 2012. Quality Properties of Commercial Chungkookjang in Korea. Journal of Agriculture & Life Science 46: 1-11.
12. Korean Food and Drug Administration. A Supplement Volue of Food Code. 1999. Moonyoung Co., Seoul, Korea, p.398-399.
13. Kim JS, Yoon SM, Choe JS, Park HJ, Hong SP, Chang CM. 1998. Phycochemical proeperties of traditional cheonggukjang produced in different regions. Agric. Chem. Biotech. 41: 377-383.
14. Lee HJ, Pak HO, Lee JM. 2006. Fermentation properties of yogurt added with rice bran. Korean J. Food Cookery Sci. 22: 488-494.
15. Chamber JV. 1979. Culture and processing techniques important to the manufacture of good quality yogurt. Cult. Dairy Prod. J. 14: 28-34.
16. Deeth HC, Y Tamime. 1981. Nutritive and therapeutic aspects. J Food Protect 44: 78-86.
17. Joo DS, Cho SY. 1998. Quality changes in seamustard Yankeng during al-foli wrapping

- storage and its food component analysis. J. East Coastal Res. 9:33-42.
18. Rasic JL, Kurmann JA. 1978. Yogurt. Scientific grounds, technology, manufacture and preparations. Technical Dairy Publishing House. p17
 19. Murti TW, Bouillanne C, Landon M, Desmazeamd MJ. 1992. Barterial growth and volatile compounds in yogurt-type products from soymilk containing bifidobacterim sp. J. food Sci. 57: 153.
 20. Kim YS, Kim MY, and Chun SS. 2008. Quality characteristics of domestic wheat white bread with substituted *Nelumbo nucifera* G. tea powder. Korean J. Food Nutr. 21: 448-456.
 21. Seo WT, Cho HK, Lee JY, Kim B, and Cho KM. 2012. Quality Characteristics of Wheat-Rice Makgeolli by Making of Rice Nuruk Prepared by *Rhizopus oryzae* CCS01. Korean Journal of Microbiology. 48: 147-155.
 22. Song JC, Park HJ, Shin WC. 1997. Changes of takju qualities by addition of cyclodextrin during the brewing and aging. Korean J. Food Sci. Technol. 29: 895-900.
 23. Yang HS, Hwang SJ, Lee SH, Eun JB. 2011. Fermentation characteristics and sensory characteristics of makgeolli with dried citron (*Citrus junos* SIEB ex TANAKA) peel. Korean J. Food Sci. Technol. 43: 603-610.
 24. Ji SH, Han WC, Lee JC, Kim BW, Jang KH. 2009. Fermentation characteristics of moru wine fermented with Rose rugoga Thun. Korean J. Food Sci. Technol. 41: 186-190.
 25. Jin TY, Wang MH, Yin Y, Eun JB. 2008. Effect of Citrus junos peel on the quality and antioxidant activity of traditional rice wine, jinyangju. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 37: 76-82.
 26. Lee SM, Lee TS. 2000. Effect of roasted rice and defatted soybean on the quality characteristics of Takju during fermentation. J Nat Sci 12: 71-79.
 27. Lee WY, Rhee CH, Woo CJ. 2004. Changes of quality characteristics in brewing of Chungju (Sambaekju) supplemented with dried persimmon and *Cordyceps sinensis*. Korean J Food Preserv 11: 240-245.
 28. Yang HS, Hwang SJ, Lee SH, Eun JB. 2011. Fermentation characteristics and sensory characteristics of Makgeolli with dried citron (*Citrus junos* SIEB ex TANAKA) peel. Korean J Food Sci Technol 43: 603-610.
 29. Lee ST, Kim MB, Song GW, Choi SU, Lee HJ, Heo JS. 2000. Effect of *Dunggulle* (*Polygonatum odoratum*) extracts on quality of Yakju. Korean J Postharvest Sci Technol 7: 262-266.

[별첨 1]

특허, 논문, 제품(시장) 분석보고서

신청과제명	고부가가치 식품가공 산업을 위한 밀리미터파 적용기술 연구		
주관연구책임자	금 준 석	주관기관	한국식품연구원

1. 본 연구관련 국내외 기술수준 비교

개발기술명	관련기술 최고보유국	현재 기술수준		기술개발 목표수준	비고
		우리나라	연구신청팀		
millimeter waves(mmW)를 이 용한 유통기한 연장기술	러시아	10%	10%	70%	
millimeter waves(mmW)를 이 용한 기능성물질 증가 및 유지기술	러시아	10%	10%	70%	

2. 특허분석

가. 특허분석 범위

대상국가	국내 국외(미국공개 UO, 미국등록 UP, 일본 PAJ, 유럽 EP, PCT WO)
특허 DB	특허정보원 DB(www.kipris.or.kr)
검색기간	19880101 ~ 20071231 (최근 20년간)
검색범위	제목, 초록, IPC 분류

나. 특허분석에 따른 본 연구과제와의 관련성

개발기술명		mm waves를 이용한 유통기한 연장기술	mm waves를 이용한 기능성물질 증가 및 유지기술	mm waves를 이용한 살균공정 최적화
Keyword		(mm wave* or microwave*) AND (Storag* or sheliflife* or shelf life*)	(mm wave* or microwave*) AND (Storag* or sheliflife*)	(mm wave* or microwave*) AND (Storag* or sheliflife* or shelf life* or pasteur* or steriliz*)
검색건수		60건	90건	90건
유효특허건수		20건	7건	10건
핵심특허 및 관련성	특허명	마이크로웨이브를 조사한 곡물처리방법	식품 및 다른 바이오물질을 열처리하는 방법 및 장치 그리고 그에 따라 제조된 생산품	전자레인지의 저온살균법
	보유국	대한민국	대한민국	대한민국
	등록년도	2001년	2007년	1995년
	관련성(%)	70%	50%	60%
	유사점	◦전자파장을 이용한 곡물의 유통기한 연장기술	◦기능성 물질의 연속적인 흐름을 통한 생산품 제조	◦과장을 이용한 저온살균 방법
차이점	◦microwave가 아닌 mm wave를 통한 조사방법 ◦장기보존 기술 및 포장 유통망에 적합한 관련기술 확립	◦mm wave 조사를 통한 기능성 물질의 손실 최소화 공정 확립 ◦곡물의 발효 및 발아 공정 시간 단축기술	◦microwave 보다 더 짧은 시간을 통한 저온살균방법 ◦mm wave를 이용한 고효율성 조사를 통한 살균공정 확립	
핵심특허 및 관련성	특허명	전자레인지 조리에 적합한 레토르트 식품 재료 및 이의제조방법	고급홍삼의 제조방법	전자레인지용 트레이 포장팔밥의 제조방법
	보유국	대한민국	대한민국	대한민국
	등록년도	2007년	1999년	1993년
	관련성(%)	50%	40%	50%
	유사점	전자파장을 이용한 식품의 유통기한 연장 기술	◦전자파장을 이용한 시료의 수율증대와 품질저하 방지	◦마이크로파를 이용 가능한 트레이에 포장된 팔밥
차이점	◦micro wave가 아닌mm wave를 통한 기술적 차이 ◦레토르트 식품뿐만이 아닌 전 식품에 적용가능성 연구	◦마이크로파보다 작은 밀리미터파의 파장을 이용하여 기은성물질 손실 최소화 ◦마이크로파와는 다른 차별화된 제품의 고급화 기술	◦포장 및 건조·살균 조건을 개선하여 품질개선 및 장기유통 기술	

3. 논문분석

가. 논문분석 범위

대상국가	국내 국외(미국공개 UO, 미국등록 UP, 일본 PAJ, 유럽 EP, PCT WO)
논문 DB	특허정보원 DB(www.kipris.or.kr)
검색기간	19880101 ~ 20071231 (최근 20년간)
검색범위	제목, 초록, IPC 분류

나. 논문분석에 따른 본 연구과제와의 관련성

개발기술명	mm waves를 이용한 유통기한 연장기술	mm waves를 이용한 기능성물질 증가 및 유지기술	mm waves를 이용한 살균공정 최적화	
Keyword	(mm wave* or microwave*) AND (Storag* or shelflife* or shelf life*)	(mm wave* or microwave*) AND (Storag* or shelflife*)	(mm wave* or microwave*) AND (Storag* or shelflife* or shelf life* or pasteur* or steriliz*)	
검색건수	110건	270건	611건	
유효논문건수	11건	18건	21건	
핵심논문 및 관련성	논문명	무균포장법의 Microwave Reheating 후의 품질 특성에 관한 연구	Microwave 처리에 의한 쌀 가공 부산물의 향산화반응의 변화	물리·화학적 처리에 의한 멸균 초콜릿 우유 오염균의 생육억제 효과
	학술지명	식품영양과학회지	한국식품영양과학회지	한국식품영양과학회지
	저자	금준석, 이창호, 이상효, 이현유	배성문, 김정한, 조철우, 정태준, 하정옥, 이승철	최문경, 윤소영, 이소영, 김꽃봉우리, 이청조, 정지연, 광지희, 김민지
	게재년도	1996년	2001년	2011
	관련성(%)	40%	70%	60%
	유사점	전자과장을 이용한 식품의 품질연구	전자과장을 이용한 쌀 가공 부산물의 기능성물질 연구	전자과장 살균방법을 통한 식품의 살균공정 파악
	차이점	mm waves를 통한 고효율성 식품기술 연구	microwave의 식품 처리방법과는 다른 mm wave를 통한 기술적 차이와 기능성 물질에 대한 손실 최소화	microwave의 고온 단시간 살균법과는 mm waves 방법을 통한 살균공정의 최적화 확립

개발기술명		mm waves를 이용한 유통기한 연장기술	mm waves를 이용한 기능성물질 증가 및 유지기술	mm waves를 이용한 살균공정 최적화
Keyword		(mm wave* or microwave*) AND (Storag* or shelflife* or shelf life*)	(mm wave* or microwave*) AND (Storag* or shelflife*)	(mm wave* or microwave*) AND (Storag* or shelflife* or shelf life* or pasteur* or steriliz*)
검색건수		84건	113건	102건
유효논문건수		5건	7건	8건
핵심논문 및 관련성	논문명	Security in Applications of Microwave Techniques in Food Processing	Multi-element Analysis of Food by Microwave Digestion and Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry	Some Discussions on Microwave Disinfect in Food Processing
	학술지명	Food science v.29	Journal of food composition and analysis	Food science v.27
	저자	LIU Xiaogeng ; CAO Chongjiang ; ZHOU Yijing ;	Dolan S.P. ; Capar S.G. ;	Yang Guofeng ; Zhou Jianxin ;
	게재년도	2008	2002	2006
	관련성(%)	30%	40%	30%
	유사점	전자파장을 이용한 살균의 분야 검증	다중원소분석을 위해 전자파장을 이용하여 하나의 프로그램 개발연구	전자파장 기기를 이용한 포장 및 온도 분포에 대한 기술적 연구
	차이점	mm waves와 microwave 공정간의 차이점연구	다양한 기능성소재연구에 mm wave방법을 적용하여 시간적인 단축과 고효율의 연구개발 창출	2차적인 섭취방법에 이용되는 전자파장에 국한되지 않고 제조공정에 접목시켜 살균공정에 도입

4. 제품 및 시장 분석

가. 생산 및 시장현황

1) 국내 제품생산 및 시장 현황

일반적으로 식품의 조리법은 식품의 외부에서 열을 가하여 열전도에 의해 식품의 내부까지 가열, 조리하는 방법을 이용하고 있다. 그런데 일반적으로 식품은 열전도율이 낮기 때문에 조리시간을 짧은 경우 음식의 표면은 과열되어 조직이 파괴되고 타서 영양분이 손실되고, 음식의 중심부는 충분히 조리되지 못하는 문제가 있다.

식품산업에 널리 이용되고 있는 microwave 처리는 피조사체를 이온화시키지 않으면서 온도상승효과만을 가져오는 비전이 방사선의 일종이다. 마이크로파가 발생하는 전자레인지에 이용한 가열조리는 유리, 도자기, 플라스틱과 같이 전자파를 통과시키기 쉬운 용기에 식품을 넣고 가열하면 용기를 통과한 마이크로파가 식품의 내부부터 가열되어 상기와 같은 문제점이 발생하지 않는다. 따라서 전자레인지를 이용한 식품의 조리는 효율이 높고 조리시간의 단축과 조리시간 동안 다른 일을 할 수 있을 뿐만 아니라, 식품의 비타민 잔존율도 높아지는 이점이 있어 전자레인지로 이용할 수 있는 요리가 계속적으로 증가하고 있다. 이와 같은 방법으로 millimeter waves의 방법으로 마이크로파 보다 더 작은 파장만을 식품에 이용하는 방법이 대두되고 있다. 이는 좀 더 적은 양으로도 충분히 식품에 적용시킬 수가 있어 적은 손실과 살균작용까지 나타내는 방법이다.

자료 : 식품음료신문(2012)

2) 국외 제품생산 및 시장 현황

2012년 미국 신제품 출시 성공을 위한 핵심은 제품의 성능을 증명해 소비자들을 설득하는 것이 관건이며, 편리성을 향상시킨 제품이 주종을 이루는 제품들이 많이 출시되고 있다. 대형 식품 제조업체인 크래프트사는 집에서 편리하고 손쉽게 먹을 수 있으며 요리시간을 절약 할 수 있는 제품을 개발해 출시했다. 또 한 통밀과 유기농 식품 등 중-고급품을 전문적으로 생산판매라는 Kashi사는 빠르고 편리하면서 건강하게 먹을 수 있는 제품을 출시했다. 이는 그 동안 경쟁업체들이 냉동식품을 판매로 확대에 어려움을 겪는 것에 대응해 건강하게 먹을 수 있는 냉동식품을 출시한 것으로 출시한 냉동식품은 특수포장 되어있어 봉지 그대로 마이크로웨이브에 넣어 5분 정도 가열한 후 즉시 먹을 수 있는 제품으로 맛과 영양의 균형을 갖춘 제품이다. 그리고 간식도 마찬가지로 마이크로웨이브를 이용한 편의식품이 출시되고 있는 실정이다.

이처럼 마이크로웨이브를 이용한 편의식품이 고급화 다양화 되어가고 있으며, 이와 비슷한 맥락으로 millimeter waves의 방법에 대한 연구가 진행 중이다.

자료 : 식품음료신문(2012)

나. 개발기술의 산업화 방향 및 기대효과

1) 산업화 방향(제품의 특징, 대상 등)

○ Millimeter waves방법에 대한 소비자 인식 전환 및 신수요 창출을 위한 다양한 형태의 가

공품을 개발하는 방향으로 연구를 추진하며, millimeter waves개발 기술, 해외연구인력, 수출입 유통업체 및 한인회 협력시스템을 구축하고 microwave를 이용한 제품으로 소비되는 시장규모를 millimeter waves의 제품시장으로 점진적으로 확대하여 신규시장을 형성하고자 함.

○ 장기유통이 가능한 millimeter waves제품은 식품의 안전성이나 편의식품의 고급화에 기여하여 큰 소비효과는 얻을 것으로 예상됨.

2) 산업화를 통한 기대효과

(단위 : 백만원)

항 목 \ 산업화 기준	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
직접 경제효과	4,000	5,000	7,000	9,000	10,000	35,000
경제적 파급효과	4,000	5,000	7,000	9,000	10,000	35,000
부가가치 창출액	84,000	10,000	14,000	18,000	20,000	146,000
합 계	92,000	20,000	28,000	36,000	40,000	216,000