

최 중
연구보고서

자기공명기술을 이용한 홍삼의
내부 품질 평가 시스템 개발

Development of Internal Quality
Evaluation System for Korean Red Ginseng using
Magnetic Resonance Techniques

주 관 연구 기 관
전 북 대 학 교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “자기공명기술을 이용한 홍삼의 내부 품질 평가 시스템 개발”과제 (세부과제 “홍삼 NMR 특성 측정 및 내부품질 측정 알고리즘 개발”, 협동과제 “홍삼 내부품질 인자의 물리화학적 특성 분석 및 MRI 시스템 경제성 분석”, 협동과제 “홍삼 내부품질 평가용 MRI 시스템 개발”)의 최종 보고서로 제출합니다.

2003년 11월 6일

주관연구기관명 : 전북대학교

총괄연구책임자 : 김 성 민

세부연구책임자 : 김 성 민

연 구 원 : 김 철 수

협동연구기관명 : KT&G 중앙연구원

협동연구책임자 : 김 천 석

협동연구기관명 : (주) 카이

협동연구책임자 : 김 경 한

요 약 문

I. 제 목

자기공명기술을 이용한 홍삼의 내부 품질 평가 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 목적

세부과제: 홍삼 NMR 특성 측정 및 내부품질 측정 알고리즘 개발

홍삼의 자기공명 특성을 측정하고, 자기공명 특성 인자들을 이용하여 홍삼의 내부품질을 판별할 수 있는 알고리즘을 개발한다.

제 1 협동과제: 홍삼 내부품질 인자의 물리화학적 특성 분석 및 MRI 시스템 경제성 분석

홍삼 내부조직의 물리화학적 특성을 분석하고 관행의 홍삼 품질 평가 방법을 분석하고 자기공명 기술과 다른 비파괴 품질평가 기술을 비교하여 경제성을 분석한다.

제 2 협동과제: 홍삼 내부품질 평가용 MRI 시스템 개발

저수분 시료(홍삼)의 품질 측정용 자기공명영상 장치의 주요 전자장치를 설계, 개발하고 홍삼 내부품질을 평가할 수 있는 자기공명영상 시스템을 개발한다.

2. 연구개발의 필요성

고려인삼은 전세계적으로 인정받고 있는 우리 나라의 대표적인 작물

이다. 또한 그 부가가치가 높기 때문에 중국, 미국, 캐나다, 일본 등에서는 최근 인삼생산량이 급속히 증가하고 있으며 고품질 가공을 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이에 대비하여 우리 나라도 약효성분이 월등히 뛰어난 고려인삼을 더욱 고품질화하여 외국산 인삼과 차별화를 꾀함으로써 인삼중주국이라는 자존심을 지켜나가야 할 것이다. 수삼을 장기간 저장하기 위한 목적으로 제조된 홍삼은 수분 함량이 13 % 이하로 가공하여 판매한다. 일반적으로 홍삼 제조용 인삼은 6년근 수삼을 사용하며, 국내에서 가장 큰 설비와 홍삼 제조 능력을 구비한 부여 고려 인삼제조창의 경우에 매년 2,800톤의 수삼을 가공하여 이중 302톤을 홍삼 제품으로 생산하고 있다. 홍삼의 원형은 품질에 따라 천삼(天蔘), 지삼(地蔘), 양삼(良蔘)의 3가지 등급으로 나뉘어 지는데, 이러한 직삼의 등급 선별의 기준은 머리, 몸통 및 다리의 체형을 보는 외관상의 분류와 조직의 치밀도, 색택, 표피, 수분함량 등도 기준으로 포함되어 있다. 지금까지 홍삼의 선별은 전문화된 인력에 의해서 외부 및 내부 품질을 평가하였는데, 내부 품질 평가에 있어서 관행의 방법은 빛이 차단된 암실에서 홍삼의 밑면에 강한 빛을 비추어 투광되는 상태를 보고 판별하는 육안 검사에 의존하고 있다. 이러한 방법은 객관적인 검사 기준이 있지만 검사원의 주관적인 성향에 따라 상이함이 존재할 수 있다. 이에 보다 객관적이고 판별 기준을 제시할 수 있는 검사 방법의 필요성이 대두되고 있다. 특히, 홍삼의 내부 품질 평가 요소에서 주요한 판별인자인 내공(內空)이나 내백(內白)과 같은 부분은 조직의 치밀도에 관련이 깊다고 할 수 있다.

기존의 비파괴 내부품질 평가방법인 X-ray, NIR, 기계시각, 초음파 기술로는 효과적으로 홍삼의 함수율, 내공, 내백 등 내부품질 인자를 효과적으로 측정하기 어렵다. 관행의 인력에 의한 홍삼 내부품질(내공과 내백) 평가방법을 대체할 수 있는 X-ray와 기계시각은 기본적으로 2차원 기술이므로 형태가 복잡한 3차원 물체의 내부상태를 측정하는데는 한계가 있다. 자기공명기술은 이러한 한계를 극복할 수 있는 3차원 기술로 현재 기초과학과 의료 분야에서 많이 쓰이고 있다. 최근 전자, 기계, 컴퓨터공학 분야의 첨단계측기술이 발전함에 따라 의료용 소형 MRI 장치들이 개발되고 있으며, 이들을 농업분야에 응용할 경우 홍삼의 내부품질 측정 및 판정 장치 개발의 가능성이 매우 높다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 세부과제: 홍삼 NMR 특성 측정 및 내부품질 측정 알고리즘 개발

홍삼 내부품질 측정에 적합한 RF coil의 설계, 개발한다. 시간영역에서 NMR 기술을 이용하여 함수율이 낮은 홍삼의 내부품질 인자를 측정할 수 있는 기술 개발하여 홍삼의 NMR 특성을 분석하여 홍삼의 내부품질에 따른 NMR 인자 (T_1 , T_2)의 변화 연구한다. FID와 SE를 이용한 홍삼의 내부품질 인자 측정 기술을 개발하고, 자기공명영상 기술을 이용하여 함수율이 낮은 홍삼의 내부품질 인자를 측정할 수 있는 기술 개발하고 1-D와 2-D 영상 분석을 통해 홍삼의 내부품질 인자를 측정할 수 있는 기술 개발을 개발한다. 또한 홍삼의 내부품질 인자측정 알고리즘을 완성하고 품질측정 소프트웨어를 구축한다.

2. 제 1 협동과제: 홍삼 내부품질 인자의 물리화학적 특성 분석 및 MRI 시스템 경제성 분석

정상적인 홍삼과 불량 홍삼의 내부조직의 물리화학적 특성을 분석하고 관행의 홍삼 제조 방법과 품질평가 방법을 분석하여 문제점 도출한다. 기존의 비파괴 검사 방법인 X-ray, NIR, 초음파, NMR 등의 한계성을 검토하고 자동 품질 측정 시스템의 경제성 분석을 분석하며 개발된 MRI 시스템의 실용화를 위한 실증실험을 실시한다.

3. 제 2 협동과제: 홍삼 내부품질 평가용 MRI 시스템 개발

기존의 의료용 MRI 전자회로를 분석하여 본 연구에 적합한 RF 발생기, pulse programmer, 동조회로, T/R network, RF amplifier, data subsystem 등의 전자회로를 저가에 보급이 가능하도록 MRI 전자회로 구성한다. 저수분 시료인 홍삼의 품질 측정용 MRI 시스템 구축하기 위해 magnet과 gradient coil을 적합하게 설계, 개발한다. 그리고 off-line 홍삼 내부품질 평가 시스템 구축하기 위해 NMR 분광법과 영상 기술을 통합한 소형의 홍삼 내부품질 평가 MRI 시스템의 설계, 개발한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

수행한 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

세부과제: 홍삼 NMR 특성 측정 및 내부품질 측정 알고리즘 개발

자기공명 기술을 이용하여 시간영역에서 홍삼의 내부품질 인자인 수분함량, 내공, 내백 등을 측정할 수 있는 펄스 시퀀스를 선택하여 내부품질 인자를 검출할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 홍삼 등급에 따른 내부품질 인자의 변화를 주성분 분석과 인공신경망 회로를 이용하여 분석하였다. 또한 저수분 상태의 홍삼으로부터 자기공명영상을 얻기 위해 고체 자기공명영상 펄스 시퀀스를 이용하여 영상을 획득하였고 이를 분석하여 내부품질 인자의 변화에 따른 영상신호의 변화를 측정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 그리고 이들 알고리즘을 구현할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

자기공명 시스템의 하드웨어를 개발하기 위한 기초 단계로 홍삼 분석에 적절한 RF coil과 RF 시스템, Gradient coil과 자석상자 등을 설계하였다.

제 1 협동과제: 홍삼 내부품질 인자의 물리화학적 특성 분석 및 MRI

시스템 경계성 분석

홍삼 내부조직의 물리화학적 특성을 분석하였다. 정상적인 홍삼과 불량 홍삼의 육안과 현미경 관찰, 색도, 비표면적, 총 당 함량, 총 패놀 함량, 조사포닌 함량, 아미노산 함량 등을 분석하였다. 관행의 홍삼 제조 방법과 품질평가 방법을 분석하여 문제점을 도출하였으며 품질 선별의 자동화 가능성을 연구하였다. 기존의 비파괴 검사 방법 중 soft x-ray, x-ray CT, NIR, 초음파, MRI 등의 기술을 이용하여 홍삼의 내부 조직의 차이에 대한 각 신호의 변화를 분석하고 각 기술들의 장단점을 분석하였다. 제 2 협동과제에서 개발된 시스템을 이용한 실증 실험은 실시하지 못하였으며, 대신 다른 부분의 연구를 심도있고 다양하게 추진하였다.

제 2 협동과제: 홍삼 내부품질 평가용 MRI 시스템 개발

기존의 의료용 MRI 전자회로를 분석하여 본 연구에 적합한 RF 발생기, pulse programmer, 동조회로, T/R network, RF amplifier, data subsystem 등의 전자회로를 저가에 보급이 가능하도록 설계하고 개발하였다. 개발된 각 장치들을 전기적으로 완벽하게 연결하여 작동하는 스펙트로미터를 개발하였다. 저수분 홍삼의 품질 측정에 적합한 MRI 시스템 구축하기 위해 magnet과 gradient coil을 저수분 시료인 홍삼의 내부품질 측정에 적합하게 개발하였다. 개발된 스펙트로미터, 자석, 그리고 코일 등을 연결하여 시료로부터 NMR 신호를 획득할 수 있는 NMR 시스템을 개발하였다. Off-line 홍삼 내부품질 평가 시스템 구축을 위해 NMR 분광법과 영상 기술을 통합한 컴퓨터 소프트웨어를 개발하였고 개발된 자기공명 분광기에서 작동하게 시스템을 통합하였다. 개발된 자기공명 시스템을 이용하여 분광 스펙트럼을 얻는데는 성공하였으나 연구사업 진행 중 개발사의 경제적인 어려움으로 자기공명영상을 얻는데는 성공하지 못했다.

S U M M A R Y

I. TITLE

Development of internal quality evaluation system for Korean red ginseng using magnetic resonance techniques

II. OBJECTIVES AND NECESSITY OF THE STUDY

1. Objectives

The First Section: Measurement of NMR Characteristics of Korean Red Ginsengs and Development of Internal Quality Evaluation Algorithm

Analyze NMR characteristics of Korean red ginsengs and develop grading algorithm according to internal quality using the acquired NMR factors.

The First Cooperative Section: Analysis of Physiochemical Characteristics of Korean Red Ginsengs and Economical Analysis of MRI System

Analyze physiochemical characteristics of Korean red ginseng tissues and current Korean red ginseng grading system. Compare nondestructive quality evaluation methods and perform economical analysis.

The Second Cooperative Section: Development of MRI System for Internal Quality Evaluation of Red Ginsengs

Design and develop electronic components for MRI system suitable to Korean red ginseng which includes low moisture. Develop Korean red ginseng quality evaluation MRI system

2. Necessity

Korean ginseng known worldwide is a typical Korean product and its

value added is so high that recent ginseng production of China, United States of America, Canada, and Japan is dramatically increasing and many researches about processing technology to increase the ginseng quality are undertaken. Provide for this, we have to develop the new processing technology for producing higher quality ginseng products than those of foreign countries. So we can keep our pride as a ginseng suzerain state. Current internal quality evaluation of Korean red ginsengs is done by an eye inspection of experienced inspectors. However, the eye inspection has several disadvantages such that eyes can be easily fatigued due to repeated works, eyes can not differentiate small color difference, there are too much differences about inspection standard to person by person. Thus the cost of Korean red ginseng products is so high and the credibility of Korean red ginseng quality is not so high.

Current nondestructive quality evaluation methods utilizing x-ray, NIR, machine vision, ultra sound can not measure internal quality factors effectively. Magnetic resonance techniques, which has about 50 year-old history, are widely used in various engineering fields in addition to basic scientific and medical areas recently due to relating hardware advances and hard works of many researchers in this field. NMR techniques can be applied to various biosystems such as agricultural products, food, and biomedical tissues due to its non-destructive and non-contacting nature. MRI, which is extension of 2 dimensional NMR, is now intensively used in medical area and applied to high moisture biosystems such as fruits and food. This technique is presently utilized as a tool to refine theoretical models for improving food processes such as canning, freezing, frying, drying, form and emulsion formulation, crystallization, and extrusion processes in food or chemical engineering areas. Recently developed solid MRI techniques open new era of the application of MRI to various solid like biosystems such as solid biological tissues, dried agricultural products, low moisture food systems etc. Also, MRI techniques are now being tried

and utilized in developing on-line quality monitoring and evaluating sensors.

III. SCOPE OF THE RESEARCH

1. The First Section: Measurement of NMR Characteristics of Korean Red Ginsengs and Development of Internal Quality Evaluation Algorithm

Design and develop NMR RF coils suitable to internal quality evaluation of Korean red ginsengs. Utilize time domain NMR data to measure internal quality factors and study NMR and MRI characteristics of Korean red ginsengs. Develop grading algorithm according to internal quality using the acquired NMR factors and quality evaluation software.

2. The First Cooperative Section: Analysis of Physiochemical Characteristics of Korean Red Ginsengs and Economical Analysis of MRI System

Analyze physiochemical characteristics of Korean red ginseng tissues and current Korean red ginseng grading system. Compare nondestructive quality evaluation methods such as x-ray, NIR, ultra sound, NMR and perform economical analysis. Perform field test using the developed MRI system.

3. The Second Cooperative Section: Development of MRI System for Internal Quality Evaluation of Red Ginsengs

Design and develop electronic components such as RF resonator, pulse programmer, resonant circuit, T/R networks, RF amplifier, data subsystem for MRI system suitable to Korean red ginseng which includes low moisture. Develop Korean red ginseng quality evaluation MRI system

IV. RESULTS AND RECOMMENDATION OF THE R&D

The First Section: Measurement of NMR Characteristics of Korean Red Ginsengs and Development of Internal Quality Evaluation Algorithm

Korean red ginseng grading algorithm according to internal quality using the acquired time domain NMR data acquired using proper pulse sequences was developed. Principle component analysis and artificial neural networks were used to analyze the data. MRI characteristics of Korean red ginsengs were measured using a solid state MRI pulse sequence. MR images were analyzed by an one dimensional profile and algorithms were developed to discriminate the different internal tissues. NMR RF coils, gradient coils, and magnet and magnet console suitable to internal quality evaluation of Korean red ginsengs were designed.

The First Cooperative Section: Analysis of Physiochemical Characteristics of Korean Red Ginsengs and Economical Analysis of MRI System

Physiochemical characteristics of Korean red ginseng tissues were measured and analyzed. Various physiochemical factors of normal and abnormal red ginsengs were analyzed by visual and microscopic inspection, color difference, sugar contents, phenol contents, saponin contents, amino acid contents. Current red ginseng processing and grading system were analyzed. Various nondestructive quality evaluation methods such as x-ray, NIR, ultra sound, NMR were compared and their advantages and disadvantages were discussed. Economical analysis was perform Perform Field test using the developed MRI system was not performed due to the incompleteness of the developed MRI system. However, profound researches were done on the other areas.

The Second Cooperative Section: Development of MRI System for Internal Quality Evaluation of Red Ginsengs

Electronic components such as RF resonator, pulse programmer, resonant circuit, T/R networks, RF amplifier, data subsystem for MRI system suitable to Korean red ginseng which includes low moisture were designed and developed. Proper magnet and magnet console, RF coils, and gradient coils were fabricated. NMR system for Korean red ginseng quality evaluation was developed. NMR spectrum was successfully acquired through GUI software running on the developed spectrometer. However, magnetic resonance imaging capability was not ported to the NMR spectrometer due to the financial problem of the participating company.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction

- Section 1. Objectives
- Section 2. General Background
- Section 3. Research scope

Chapter 2. The Present Status of Domestic and Foreign Technology

Chapter 3. Details and Results of the Research

- Section 1. Applications of Magnetic Resonance Techniques
- Section 2. Analysis of Physiochemical Characteristics of Red Ginsengs
- Section 3. Measurements and Analysis of NMR and MRI Characteristics of Red Ginsengs
- Section 4. Grading of Red Ginseng Using Artificial Neural Networks
- Section 5. Development of MRI System for Internal Quality Evaluation of Red Ginsengs
- Section 6. Economical Analysis of MRI System

Chapter 4. Degree of Achievement of the Goal and Contribution to the Related Field

Chapter 5. Application Plan of the Research and Development

Chapter 6. Foreign Technical Information Collected during the R&D

Chapter 7. References

Appendix

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	15
제 1 절 연구개발의 목적	15
제 2 절 연구개발의 필요성	16
제 3 절 연구개발의 내용 및 범위	19
제 2 장 국내외 기술개발 현황	22
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	26
제 1 절 자기공명기술의 활용	26
제 2 절 홍삼 내부품질 인자의 물리화학적 특성 분석	36
제 3 절 홍삼의 NMR 및 MRI 특성 측정 및 분석	54
제 4 절 인공신경망을 이용한 홍삼의 등급판정	96
제 5 절 홍삼 내부품질 평가용 MRI 시스템 개발	123
제 6 절 MRI 시스템 경제성 분석	173
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	191
제 1 절 목표달성도	191
제 2 절 관련분야에의 기여도	192
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	193
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	195
제 7 장 참고문헌	197
부 록	208

여 백

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

고려인삼은 전세계적으로 인정받고 있는 우리나라의 대표적인 작물이다. 또한 그 부가가치가 높기 때문에 중국, 미국, 캐나다, 일본 등에서는 최근 인삼생산량이 급속히 증가하고 있으며 고품질 가공을 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이에 대비하여 우리나라도 약효성분이 월등히 뛰어난 고려인삼을 더욱 고품질화 하여 외국산 인삼과 차별화를 꾀함으로써 인삼중주국이라는 자존심을 지켜나가야 할 것이다. 수삼을 장기간 저장하기 위한 목적으로 제조된 홍삼은 수분 함량이 13 %이하로 가공하여 판매한다. 일반적으로 홍삼 제조용 인삼은 6년근 수삼을 사용하며, 국내에서 가장 큰 설비와 홍삼 제조 능력을 구비한 부여 고려 인삼제조창의 경우에 매년 2,800톤의 수삼을 가공하여 이중 302톤을 홍삼 제품으로 생산하고 있다. 홍삼의 원형은 품질에 따라 천삼(天蔘), 지삼(地蔘), 양삼(良蔘)의 3가지 등급으로 나뉘어 지는데, 이러한 직삼의 등급 선별의 기준은 머리, 몸통 및 다리의 체형을 보는 외관상의 분류와 조직의 치밀도, 색택, 표피, 수분함량 등도 기준으로 포함되어 있다. 지금까지 홍삼의 선별은 전문화된 인력에 의해서 외부 및 내부 품질을 평가하였는데, 내부 품질 평가에 있어서 관행의 방법은 빛이 차단된 암실에서 홍삼의 밑면에 강한 빛을 비추어 투광되는 상태를 보고 판별하는 육안 검사에 의존하고 있다. 이러한 방법은 객관적인 검사 기준이 있지만 검사원의 주관적인 성향에 따라 상이함이 존재할 수 있다. 이에 보다 객관적이고 판별 기준을 제시할 수 있는 검사 방법의 필요성이 대두되고 있다. 특히, 홍삼의 내부 품질 평가 요소에서 주요한 판별인자인 내공(內空)이나 내백(內白)과 같은 부분은 조직의 치밀도에 관련이 깊다고 할 수 있다.

기존의 비파괴 내부품질 평가방법인 X-ray, NIR, 기계시각, 초음파 기술로는 효과적으로 홍삼의 함수율, 내공, 내백 등 내부품질 인자를 효과적으로 측정하기 어렵다. 관행의 인력에 의한 홍삼 내부품질(내공과 내백) 평가방법을 대체할 수 있는 X-ray와 기계시각은 기본적으로 2차원 기술이므로 형태가 복잡한 3차원 물체의 내부상태를 측정하는 데는 한계가 있다. 자기공명기술은 이

러한 한계를 극복할 수 있는 3차원 기술로 현재 기초과학과 의료 분야에서 많이 쓰이고 있다. 최근 전자, 기계, 컴퓨터공학 분야의 첨단측정기술이 발전함에 따라 의료용 소형 MRI 장치들이 개발되고 있으며, 이들을 농업분야에 응용할 경우 홍삼의 내부품질 측정 및 판정 장치 개발의 가능성이 매우 높다. 장 등(1998)은 홍삼의 용적밀도 및 내부 조직특성을 분별하기 위하여 핵 자기 공명(Nuclear Magnetic Resonance, 이하 NMR)을 이용하였다.

본 연구의 목적은 핵자기 공명기술(시간영역과 공간영역의 기술)을 이용한 저자장 자기공명영상 장치를 개발하여 홍삼의 내부품질 인자인 수분, 내백, 내공을 비파괴적으로 측정하여 홍삼의 품질을 평가 및 검사할 수 있는 시스템을 개발하는 것이다.

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

- ① 홍삼의 품질판정 및 선별공정은 인력에 의존하여 비효율적으로 수행되고 있어 객관적이고 일관된 기준에 의한 품질 자동판정시스템의 개발이 요구된다.
- ① 국내에서 개발한 인삼함수율측정기는 기존에 사용하던 일본 케트사의 함수율 측정기보다 정확도가 떨어진다는 평을 얻고 있는 실정이며 케트사의 함수율 측정계는 시료의 전기저항을 이용하여 함수율을 측정하므로 내부 조직에 따라 오차가 심하고, 검침 핀 길이상의 제약으로 인하여 내부 함수율 측정이 불가능하다.
- ① 국내외에서 과일 등의 선별을 위한 기계는 여러 가지 실용화가 되었으나, 국내에서만 생산되는 홍삼을 선별하는 기계는 개발되지 않았다.
- ① 기존의 비파괴 내부품질 평가방법인 X-ray, NIR, 기계시각, 초음파 기술로는 효과적으로 홍삼의 함수율, 내공, 내백 등을 측정하기 어렵다.
- ① 관행의 인력에 의한 홍삼 내부품질(내공과 내백) 평가방법을 대체할 수 있는 X-ray와 기계시각은 기본적으로 2차원 기술이므로 형태가 복잡한 3

차원 물체의 내부상태를 측정하는데는 한계가 있다.

- ① 홍삼제품의 전매 해제로 인삼 제조장이나 일반 홍삼 제조공장 등에서 홍삼 내부 품질인자의 정확한 판정에 의한 품질평가시스템 개발을 필요로 하고 있다.
- ② 따라서 홍삼 내부품질 판정 결과에 대한 정확한 평가를 할 수 있는 품질 기준을 확립하여야 하며, 객관적인 품질 판정 기술의 개발이 시급하다.
- ③ 또한 최근 전자, 기계, 컴퓨터공학 분야의 첨단계측기술이 발전함에 따라 의료용 소형 MRI 장치들이 개발되고 있으며, 이들을 농업분야에 응용할 경우 홍삼의 내부품질 측정 및 판정 장치 개발의 가능성이 매우 높다.

2. 경제·산업적 측면

- ① 홍삼 제품의 수출경쟁력을 제고시키기 위해서는 품질을 향상시키고 제조 원가를 낮출 필요가 있다.
- ① 부정확한 홍삼의 수분측정은 과다 건조로 인한 중량손실을 초래하고, 홍삼 선별에 투입되는 다수의 전문인력으로 인하여 대량의 인건비가 소요된다.
- ① 홍삼의 제조공정 중 원가 절감에 영향을 많이 미치는 홍삼의 함수율 조절에 관한 연구가 필요하며 홍삼제품 출하시 클레임이 발생하여 신뢰성을 떨어뜨릴 우려가 있기 때문에 전문노동력을 필요로 하는 품질판정 및 선별의 자동화에 관한 연구가 시급한 실정이다.
- ① 홍삼제품의 함수율만이라도 정확히 조절할 수 있으면 상당한 원가절감 효과가 있다. 수분 함량이 10% 제품을 수분함량 13%인 제품으로 수분 함량을 표준화 할 때에도 상당한 수익액을 높일 수 있다(표 1-1 참조).
- ① 따라서 홍삼의 부가 가치를 높여서 국내외적으로 경쟁력 있는 제품으로 만들고 아직까지 객관적인 내부품질 평가 장치가 이용되고 있지 않은 시점에서 인삼 종주국인 우리나라에서 홍삼의 비파괴 내부품질 평가 기술 및 검사 기술의 체계적인 확립이 필수적이다.

3. 사회·문화적 측면

- ① 고려인삼은 전세계적으로 인정받고 있는 우리나라의 대표적인 작물이다.

또한 그 부가가치가 높기 때문에 중국, 미국, 캐나다, 일본 등에서는 최근 인삼생산량이 급속히 증가하고 있으며 고품질 가공을 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이에 대비하여 우리나라도 약효성분이 월등히 뛰어난 고려인삼을 더욱 고품질화하여 외국산 인삼과 차별화를 꾀함으로써 인삼종주국이라는 자존심을 지켜나가야 할 것이다.

- 장시간 암실작업으로 선별사들의 건강 및 작업에 어려움이 많으며, 자동선별 기계 개발은 제품의 품질은 물론 작업환경의 개선에도 기여할 것이다.
- 특히 전매사업으로 한국담배인삼공사에 의해서만 조제, 가공되어 왔던 홍삼제품의 제조가 최근에 일반농가 및 가공업자에게도 개방됨으로서 효율적인 품질관리를 위하여 홍삼 품질자동판정 시스템의 개발이 시급한 실정이다.
- 인삼경지면적이 적은 한국은 인삼제품의 고품질화와 생산비 절감으로 경쟁력을 확보하는 정책이 필요하며 인삼제품의 고품질화를 위하여 핵심가공기술(건조, 선별, 품질평가 등) 개발을 통한 생산비 절감이 필요하다
- 홍삼 품질인증제도의 확대보급 및 유통질서의 확립을 위해 보다 객관적이고 정확한 품질 판정 기술이 개발되어야 한다.

Table 1-1 고려인삼창 연간 홍삼제품(천, 지, 양, 절삼) 생산량에 대한 원가 절감액.
수분 함량 13% 제품의 수분함량 10% 제품으로의 수분 표준화시

년도	구분	천삼	지삼	양삼	절삼	원가절감액 합 계
1995	생산량(kg)	16,898	22,287	13,750	14,057	
	수분 10% 대비 13%로 표준화시 순이익(원)	8억5천만	6억7천만	13억8천만	1억4천만	30억4천만
1996	생산량(kg)	5,185	9,351	41,391	15,966	
	수분 10% 대비 13%로 표준화시 순이익(원)	2억6천만	2억8천만	6억2천만	1억6천만	13억2천만
1997	생산량(kg)	10,088	17,769	52,065	23,387	
	수분 10% 대비 13%로 표준화시 순이익(원)	5억	5억3천만	7억8천만	2억3천만	15억9천만

제 3 절 연구개발의 내용 및 범위

제 1 차년도

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
[세부과제]	<ul style="list-style-type: none"> ○ NMR probe 개발 ○ 홍삼의 내부품질 측정 요소 기술개발 ○ 내부품질 측정 소프트웨어 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -저자장 NMR용 coil 설계 -NMR을 이용한 홍삼의 NMR 특성 측정 -홍삼 내부품질 측정 최적 펄스 시퀀스의 선택 -시간영역에서의 홍삼의 수분 측정 알고리즘 개발 -시간영역에서의 홍삼의 내공 및 내백 측정 알고리즘 개발
[제 1 협동과제]	○ 홍삼 내공 및 내백의 물리화학적 특성 연구	<ul style="list-style-type: none"> -홍삼의 물리적 특성 측정 -홍삼 내공의 물리적 특성 측정 -홍삼 내백의 물리화학적 특성 측정
[제 2 협동과제]	○ NMR 스펙트로미터 단위 장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> -Data processing control subsystem 제작 - Gradient coil 설계 및 제작 - transmitter board 제작 - Receiver board 제작 - Gradient board 제작

제 2 차년도

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
[세부과제]	<ul style="list-style-type: none"> ○ RF 시스템 및 MRI probe 설계, 개발 ○ 흉상의 내부품질 측정 요소 기술개발 ○ 내부품질 측정 소프트웨어 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - RF 시스템 설계 - 저자장 MRI용 coil 제작 -MRI를 이용한 내공 및 내벽 측정 -흉상의 내벽 및 내공 측정용 최적 이미징 펄스 시퀀스의 선택 -MRI를 이용한 내공 및 내벽 검출 알고리즘 개발
[제 1 협동과제]	<ul style="list-style-type: none"> ○MRI 시스템의 경제성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 관행의 내부품질 평가 방법 분석 - 비파괴 내부품질 평가 방법 비교 연구 - MRI 시스템의 경제성 분석
[제 2 협동과제]	<ul style="list-style-type: none"> ○MRI 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - RF 시스템 제작 - 통합 MRI 운용 소프트웨어 개발 - MRI 시스템 통합 - MRI 시스템 설치

제 3 차년도

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
[세부과제]	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최종 MRI 시스템의 기술적 성능 평가 ○ 내부품질 측정 소프트웨어 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -MRI 시스템의 효율성 검토 -MRI 시스템의 판정 정확도 분석 -MRI 시스템의 내부품질 판정 신속성 분석 -홍삼 내부품질 측정 알고리즘 통합 -사용자 인터페이스 개발 -홍삼 내부품질 평가 소프트웨어 개발
[제 1 협동과제]	<ul style="list-style-type: none"> ○ MRI 시스템 경제적 성능 평가 	<ul style="list-style-type: none"> -MRI 시스템의 실증실험 -MRI 시스템의 경제성 분석
[제 2 협동과제]	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최적 홍삼 내부품질 평가 MRI 시스템 개발 ○ 소프트웨어 개발 및 하드웨어 포팅 ○ 최적 홍삼 내부품질 측정용 probe 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -Off-line MRI 센서 개발 -홍삼 내부품질 표시 장치 개발 -통합 MRI 운용 소프트웨어 개발 -사용자 인터페이스 코딩 -홍삼 내부품질 측정 소프트웨어 프로그래밍 -최적 NMRI coil 제작

제 2 장 국내외 기술개발 현황

홍삼에 관한 연구는 주로 생화학 성분 분석과 조직학적으로 현미경 분석이 주로 이루어졌다. 도 등(1985)은 불량홍삼(내백삼)의 생화학적 및 조직학적 특성 연구가 수행되어 내백홍삼이 정상홍삼에 비해서 생화학적으로도 성분 차이가 있으며 인삼세포의 배열상태가 치밀하지 못함을 구명한 바 있다. 내부품질을 비파괴적으로 측정하고 시도한 연구는 거의 없으며, 자기공명 기술을 이용하여 농산물이나 식품을 대상으로 한 연구를 요약해 보면 다음과 같다.

○ 시간영역에서의 NMR 기술 이용

- ① Barry 등(1983)은 저 분해능 NMR을 이용하여 마른 아보카도(avocado) 육질의 오일 함량을 측정하였다. 그들은 이 결과가 화학적인 오일 추출 방법(S Soxhlet extraction)의 결과와 잘 일치함을 발견했다.
- ① 조 등(1993)은 10 MHz의 저 분해능 NMR을 이용하여 포도와 앵두의 T2를 측정하였는데 이 값들이 시료들의 당도 성분과 관계가 있다고 보고한 바 있다($r=0.62$). 즉, 시간 영역의 NMR 신호 분석에 의하여 비파괴적으로 시료의 당도 성분 예측이 가능함을 밝힌 바 있다.
- ① Ray 등(1993)은 5.35 MHz의 저 분해능 NMR을 이용한 FID 신호를 분석한 결과가 앵두의 당도 성분과 높은 상관 관계가 있다고 보고한 바 있다($r=0.95$).
- ① 장 등은 (1998) 20 MHz 장치를 이용하여 NMR 특성과 홍삼의 용적밀도 및 내부조직과의 관계를 구명한 바 있다.
- ① 조 등(1999)은 10 MHz 자장의 탁상용 pulsed NMR을 이용하여 얻은 FID 신호를 분석하여 밀가루의 함수율을 비파괴적으로 측정하는 실험을 수행하였다. (수분: $r^2 = 0.96$).

○ 공간영역에서의 NMR 기술 이용

- ① 자기공명영상 또는 공간 영역(spatial domain)에서의 NMR 기술의 활용은 의료 분야에서 활발히 이용되고 있다. 1970년대 중반에 알려진 자기

공명영상 기술은 현재 의료용으로 자기공명 미세 영상 (MR microimaging)과 f-MRI(현재 의료 분야에서 뇌 연구에 많이 쓰임) 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

- 자기공명영상을 이용한 식품과 농산물에 관한 연구는 McCarthy의 저서(1994)에 잘 소개되어 있으며 Schmidt 등(1996)이 최근의 MRI의 이용에 관한 많은 정보를 요약한 논문을 발표하였다. 현재 MRI는 농산물이나 식품을 연구하는 도구로 많이 이용되고 있으며 다양한 분야에서 고전적인 연구 분석 방법과 함께 이용되고 있다.
- Hinshaw 등(1979)은 MRI 방법을 이용하여 비파괴적으로 과일의 내부 구조 정보를 정확히 표현할 수 있음을 보였다. Wang 등(1988)은 자기공명영상의 농도변화에 의하여 사과와 정상 조직과 내부 밀병(watercore) 조직을 구분할 수 있다는 사실을 밝힌 바 있다. Chen 등(1989)은 MRI 기술이 농산물의 명, 국소 건조, 벌레 피해, 성숙도, 내부공백, 씨 등의 내부 결점을 검출하는데 효과적이라고 보고한 바 있다. Ishida 등(1989)은 MRI를 이용하여 토마토의 성숙 기간 중에 일어나는 생리적 변화를 측정하였으며 Kim 등(1994)은 토마토의 자기공명 영상을 분석하여 토마토의 firmness와 관련이 있는 인자를 구명하였다.
- Zion 등(1994)은 앵두의 1차원 자기공명 영상을 분석하여 앵두 씨의 존재 유무를 연구하여 이 방법이 고속의 온라인 센서 제작에 적합하다고 보고한 바 있다. Clark와 Forbes(1994)는 MRI를 이용하여 감의 냉장에 의한 장애를 연구하였고 Suzuki 등(1994)은 열대 과일인 파파야(papaya)의 열에 의한 장애를 연구하였다. 또한 MRI 기술은 식품의 안정성, 구조, 수분 이동, rheology, 상 변화 등의 연구에 새로운 분석 방법을 제시하였다(McCarthy, 1994, Kauten과 McCarthy, 1995, McCarthy와 McCarthy, 1996). McCarthy 등(1995)은 자기공명 영상을 이용하여 사과와 명(bruise)을 검출하였으며 명에 의해서 야기되는 영상의 농도에 관하여 분석하였다.

○ NMR과 MRI 기술을 이용한 비파괴 센서 기술

- NMR 기술을 이용한 온라인 센서는 비파괴적으로 대상체의 화학적 도

는 구조적 정보를 측정하여 대상체의 품질이나 현재의 상태를 추정할 수 있는 장점이 있다. NMR 기술을 이용한 온라인 센서를 개발하는데 있어 중요한 사항은 대상체의 이동 효과를 고려하는 것과 저가의 NMR 장치를 개발하는데 있다.

- 현재까지 NMR 기술을 이용한 온라인 센서 연구 대부분은 대상물의 수분의 양을 측정하는 연구였다. Pearson 등(1987, 1992)은 저 분해능의 NMR 장치를 이용하여 밀과 옥수수의 수분과 오일 함량을 측정하는 연구를 수행하였다. Nicholls와 Santos(1991)는 in-line 상태에서 수분의 양을 측정할 수 있는 NMR 센서를 개발하였다. 이들은 저자장의 NMR 장치를 이용하여 NMR 신호를 시간의 영역에서 분석하여 수분과 오일 등의 함량을 측정하였다.
- Kim(1995)은 그의 박사학위 논문에서 NMR 스펙트럼을 이용하는 고속의 NMR 온라인 품질 평가 센서를 설계하고, 제작하고, 그리고 실증실험을 실시하였다. 이 실험에서 사용된 NMR 장치는 자기장의 세기가 2 T인 NMR 분광과 영상을 수행할 수 있는 연구용 MRI 장치였다. 이송 장치는 자기장의 영향을 받지 않는 목재, 고무, 플라스틱 등의 재료를 이용하여 최대 25cm/s의 속도로 움직이도록 설계, 제작되었다. 이 논문은 움직이는 시료의 품질을 평가하는 온라인 센서로서 NMR 기술을 이용할 수 있다는 것을 실증실험을 통하여 밝혔다.
- Zion등(1997)은 NMR 분광 센서를 변형하여 염장 올리브(pickled olive)의 씨를 검출하는 MRI 센서로 사용하였다. 변경된 것은 MRI용 코일과 이에 적합한 이송 장치다. 동일한 NMR 장치를 사용하였으며 1차원 MRI영상을 얻기 위해 펄스 시퀀스를 바꿨다. 1차원 MRI영상을 얻기 위해 원통형 코일(bird cage type)을 이용하였으며 시료가 이 코일의 중심을 지나 이송되도록 이송 장치를 제작하였다. 씨 있는 올리브가 이송 될 때 얻은 1차원 MRI영상들을 분석하여 올리브 내부의 씨 존재 유무를 검사하였다. 최대 속도 25 cm/s에서의 결과는 4.4%의 판별 오차를 보였으며 정지 상태에서 얻은 영상을 이용한 결과는 2.4%의 판별 오차를 보였다.
- Kim 등(1999)은 MRI 센서를 이용하여 신선한 앵두(fresh Bing cherry)

의 씨를 검출하는 연구를 수행하였는데, 보다 더 간단한 분석 방법을 이용하였음에도 불구하고 Zion 등(1994)이 움직이지 않는 가공한 체리를 대상으로 하여 얻은 3.3%의 판별 불량율보다 낮은 1%의 판별 에러를 얻었다. 또한 이 연구에서는 앵두의 이송 속도를 증가시킬수록 더 낮은 판별 에러를 얻는다는 것을 발견했다. 이 결과는 MRI를 이용한 실용적인 센서의 개발에 매우 유용한 정보이다.

○ 종합

- NMR 분광법의 커다란 장점은 비파괴적인 품질평가기술이라는 것이다. 가시광선, 진동, X-ray, 마이크로웨이브, 초음파, 근적외선(NIR) 등을 이용한 기존의 비파괴 품질평가기술에 비하여, NMR 분광법은 농산물의 화학적 성분이나 내부 조직을 포함한 품질평가에 매우 유용하다.
- 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging, MRI)은 의료분야에서 매우 유용하게 사용되고 있으며, 최근에 컴퓨터 기술의 발달과 저가의 MRI 장치 개발과 함께 농업분야로의 응용이 시도되고 있다. MRI는 서로 내부의 화학적, 전기적 환경에 기초한 거시적 또는 미시적 공간 구조 정보를 제공한다.
- 현재 국내에서는 자기공명(NMR) 신호를 이용하여 농산물의 수분, 당도, 오일의 함량 등을 측정하는 초보적인 연구단계에 있으며 자기공명영상(MRI)을 이용한 연구는 극히 제한적이고 이론적인 연구수준이라 할 수 있다.
- 국외에서는 기존의 비파괴 품질측정 방법들이 해결하지 못했던 부분을 NMR과 MRI 기술로 극복하려는 연구가 많이 진행되고 있고 이용상 최대의 단점으로 여겨지고 있는 높은 구입가격은 장비가 전기, 전자, 컴퓨터공학의 발달로 급속히 떨어지고 있으며 저가 장비 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.
- 저자장의 MRI 시스템을 이용하여 함수율이 적은 (10%~15%) 농산물의 내부물성을 측정된 결과는 아직 없으며, 현재 구미 선진국에서도 자기공명을 이용한 농산물의 품질 평가 기술은 연구 단계이며 실용화 제품 개발단계에 이르지 못하고 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 자기공명기술의 활용

1. 서론

핵자기공명(nuclear magnetic resonance, NMR) 현상은 방사선을 방출하는 핵 물질과는 무관하고 라디오 주파수 영역에서 전자기복사선 흡수를 측정하는 데 기초를 두며 1946년에 원리가 발견된 이후, 1970년대의 전자공학, 컴퓨터, 전기공학의 발전과 아울러 장치의 획기적인 발전과 그 측정기술 및 응용분야가 확대되었다. 현재 이화학용 고분해능 분석기에 응용되고 있을 뿐만 아니라 의학 분야에서도 광범위하게 이용되고 있으며, 최근에는 고자장의 NMR대신 저자장의 비교적 저렴한 NMR 기기가 개발되어 농업과 식품산업에서 내부 품질 판정 장치로서 응용이 되고 있다. NMR에서 이용하는 주파수 대역은 1 MHz ~ 900 MHz로 이미 의료분야에서 대상체(인체)에 무해함이 증명되어 널리 이용되고 있다. 바이오시스템을 대상으로 하는 대부분의 비파괴 품질 측정 기술은 빛의 상호작용, 진동, X-ray, 마이크로웨이브, 초음파, 근적외선(near infra-red, NIR) 그리고 핵자기공명 등의 원리에 기초하고 있다. 수소 핵자기공명(Proton NMR)은 다양한 바이오시스템의 화학적 성분이나 내부 구조를 고려한 특성분석에 아주 유용하다는 것이 여러 연구자에 의해서 밝혀졌다(Kim, 1999a). 또한, 2차원 NMR의 변형인 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging, MRI)은 시료 내부의 화학적, 전기적 환경에 기초한 거시적 또는 미시적 공간 구조 정보를 제공한다. 최근에는 저수분의 고체상태 시스템을 자기공명영상 기법을 이용하여 분석할 수 있는 기술이 개발되어 자기공명을 이용한 활발한 연구가 진행되고 있다(Balcom *et al.*, 1996). 핵자기공명 현상은 방사선을 방출하는 핵 물질과는 무관하므로 일반인들에게 오해를 살 염려가 있어 최근에는 자기공명 현상으로 불린다.

2. 자기공명 현상 (Nuclear Magnetic Resonance)

양성자(proton)와 같이 자기 모멘트를 갖는 원자핵이 외부의 강한 자기장(B)에 놓이면 시료에는 거시적 자화(magnetization) M이 발생한다. M의 크기는 시료 안에

있는 양성자(^1H)의 수에 비례한다. 이 자화는 외부의 자기장과 같은 방향으로 생성된다. 이런 원자핵들의 자기 모멘트는 자기장의 방향으로 정렬하려는 성질이 있으며 외부의 자기장의 크기와 관련이 있는 특정한 주파수(ω)로 그들의 축에 대하여 세차운동(precess)을 한다. 자기공명 분광법의 원리는 Larmor 관계식이라고 알려진 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$\omega = \gamma B \quad \dots\dots\dots(1)$$

여기서 γ , gyromagnetic 비율,의 단위는 $\text{rads}^{-1}\text{gauss}^{-1}$ 이고 B 의 단위는 gauss이다. Gyromagnetic 비율은 원자핵의 종류에 따라 변하는 상수이다(^1H 의 γ 는 $2.68 \times 10^4 \text{ rads}^{-1}\text{gauss}^{-1}$ 다). 따라서 1 tesla(1,000 gauss)의 자장 크기의 자석에서 발생하는 proton 의 주파수는 42.65 MHz이다. 자화 M 은 추가적으로 라디오 주파수(radio frequency, RF) 펄스(pulse), B_1 ,을 입사(excitation)하여 검출할 수 있다. 외부에서의 펄스 입사 후 수신 코일에 유도되는 신호는 시간에 대하여 지수적(exponentially)으로 감소한다. 이 현상을 이완(relaxation)이라 부른다. 이완 현상이 발생하는 과정에 원자의 spin들은 에너지를 외부로 방출하며 에너지 평형상태로 돌아온다. 이완 현상은 두 과정으로 설명되어진다. 그 중 하나는 세로축 relaxation (spin-lattice 또는 T_1 relaxation)이고 다른 하나는 가로축 relaxation (spin-spin 또는 T_2 relaxation)이라 부른다. 이 T_1 과 T_2 시간상수 값이 물질의 화학적, 물리적 상태에 따라 변하며 다양한 물질의 특징을 나타내는 NMR 특성치이다.

실제로 시료 내부에서는 외부 자기장의 영향으로 인한 화학적, 전자적 환경의 변화로 생긴 국소적 자기장의 변화가 원자핵들에 영향을 미친다. 그러므로 proton을 포함하는 오일, 당분, 그리고 수분 등과 같은 다양한 분자들은 각기 다른 주파수의 신호를 발생한다. 이렇게 같은 원자라 할지라도 분자구조에 따라 다른 신호를 발생하는 현상을 chemical shift라 한다. 대부분의 바이오시스템은 ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{23}Na , ^{31}P 그리고 ^{39}K 같은 NMR 성질을 같은 원소들을 갖고 있다. 이들 원소 중 ^1H 은 모든 생물체에 가장 풍부하다. 그러므로 여기서는 ^1H 에 초점을 둔 수소 NMR과 MRI에 관하여 설명하겠다.

3. 자기공명영상 (Magnetic Resonance Imaging, MRI)

자기공명영상은 시료로부터 공간 위치의 함수로서 NMR 특성을 측정하는 실험 방법이다. 시료로부터 공간 위치에 따라 다른 주파수를 발생시키기 위해 선형의 자기장 gradient를 이용한다. 주파수와 자기장의 관계는 다음 식으로 나타낸다.

$$w = (B + Gx) \dots\dots\dots(2)$$

여기서 w 는 주파수(rad/sec), G 는 선형 자기장 (gradient, gauss/cm) 그리고 x 는 공간상의 거리(cm)이다. 예를 들어 공간상의 x 방향의 증가에 따라 자기장의 세기가 변하는 선형 자기장 gradient를 시료에 작용시키면 시료 내에 공간적으로 분포하고 있는 proton들은 자기장의 세기 변화에 따라 서로 다른 주파수로 세차운동을 한다. 이 주파수는 외부에서 가하는 균일한 자기장(B)과 선형 자기장과 공간 위치에 의해 발생하는 자기장(Gx)의 함수이다. 따라서 선형 자기장 gradient를 적절히 사용하여 시료 내의 NMR 신호를 1차원, 2차원 그리고 3차원으로 사상(mapping)할 수 있다.

시료 내부의 한 영역에 있는 운동성이 있는 proton의 농도에 비례하는 NMR 신호의 크기는 자기공명 영상의 농도나 밝기의 변화를 일으킨다. 즉, proton의 농도가 큰 수록 강한 신호를 발생한다. 이외에 relaxation 상수인 T_1 과 T_2 는 시료의 상태에 따라 변하는 중요한 영상 농도 변환 인자이다. 이 세 가지 인자는 대상체의 상태에 따라 변하는 인자들이다. 이들 인자 외에도 자기공명 영상의 농도는 온도, 확산(diffusion), 유체 속도, 자기 민감도(magnetic susceptibility) 등의 변화에 따라 변한다.

4. 자기공명영상 시스템 (MRI System)

자기공명기술은 1970년대 후반부터 기초 생명과학분야와 의료분야에서 사용되어 괄목할만한 기술적 성장을 이룩하였다. 여기에 최근 전기, 전자, 컴퓨터기술 분야의 비약적인 발달과 다양한 자기공명영상 기술의 개발로 실시간 자기공명영상(functional MRI), 미세 자기공명영상(MR microimaging), 고체 자기공명영상(solid MRI) 등의 기술이 속속 개발되어 다양한 분야의 연구에 응용되고 있다. 한마디로 자기공명영상 기술은 21세기를 대표하는 첨단 기술이라 할 수 있다. 현재 농산가공공

학, 식품공학, 화학공학 분야 등에서 공정제어와 물성분석에 활발히 응용되고 있다. 그림 3-1-1은 자기공명영상 시스템의 개략도를 보여주고 있다.

자기공명영상 기술은 어떤 대상체에 어떠한 목적으로 사용하는 따라 적절한 시스템을 선택하느냐가 중요하다. 선택기준 인자는 다양하나 중요한 것은 자석, 선형자기장 코일, 라디오파 코일 등의 선택이다.

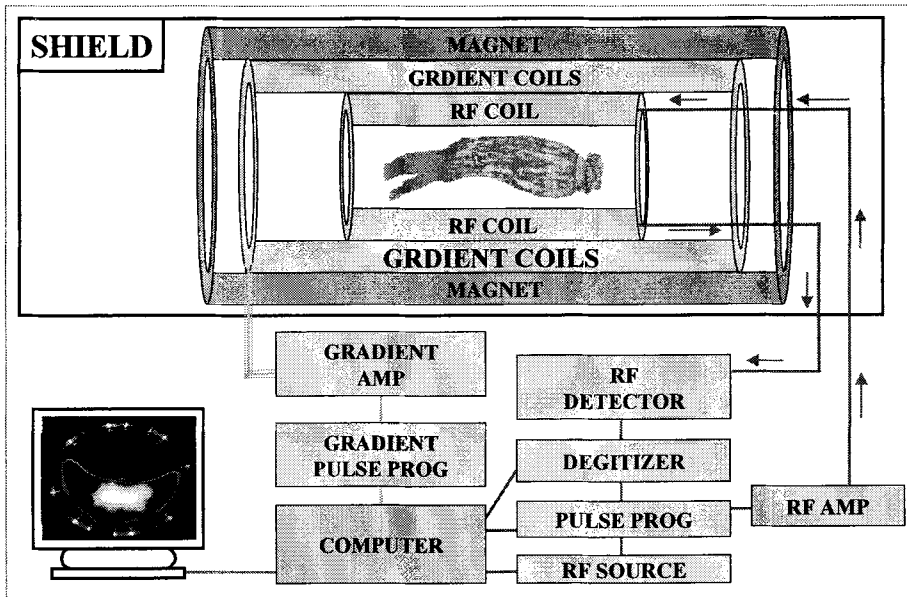


Fig. 3-1-1. Schematic diagram of magnetic resonance imaging system.

가. 자석 (Magnet)

주 자기장을 생성하는 자석은 영구자석, 전자석, 초전도자석 등 크게 세 가지로 나누어지며 자석이 발생하는 최적의 자기장 크기는 대상체와 연고자 하는 정보에 따라 변할 수 있다. NMR 분광법에서는 거대 분자, 고체 시료 등을 대상으로 하여 자기장의 세기가 센 초전도자석 NMR 시스템을 주로 사용하나 2차원 NMR 분광법의 연장인 자기공명영상 기술은 저자장의 자석을 이용해도 대상체 내부의 공간적 정보를 얻을 수 있다.

초전도자석은 초전도 현상을 유지하기 위해 극저온 상태를 필요로 하며 이를 위해 주기적으로 액체 헬륨이나 질소를 자석이 있는 밀폐된 공간에 채워주어야 한다. 따라

서 장치의 사용 유무에 관계없이 항상 장치를 가동하여야 하며 유지비가 많이 든다. 초전도자석은 아주 센 자장을 발생할 수 있으며 미세영상이나 고체영상에 유효하다. 현재 900 MHz (대략 210000 gauss) 자지공명 시스템이 개발되어 최첨단의 바이오 연구 분야에서 분자 구조의 분석에 활용되고 있다.

전자석은 자장을 발생하기 위해 구리나 알루미늄 전도 코일에 일정한 전류를 흘려 주어야 한다. 이 자석은 이동하거나 설치하기에 용이하나 무게가 많이 나가고 자장을 발생하기 위해 항상 전원을 공급하여야 하며, 균일한 자장을 얻기 위해 사용하기 전에 일정 시간의 준비 기간이 필요하다. 또한 전원을 오래 공급하면 자석이 가열되는 현상이 발생하여 자석을 냉각할 수 있는 장치가 필수적으로 필요하다.

영구자석은 다양한 형태의 자석을 만들 수 있고 자기장을 발생하기 위해 부가적인 전원이나 장치가 필요 없는 장점이 있다. 그러나 자기장의 세기가 큰 자석을 제작하기 힘들며 자장을 증가시키기 위해 특별한 장치를 부착하는 경우도 있다. 현재 저분해능 MRI를 이용한 응용분야에서 가장 많이 사용되고 있는 자석이다.

나. 자기장 코일 (Gradient coil)

자기장 코일은 주 자기장에 위치한 시료로부터 발생한 NMR 신호를 공간적인 정보를 얻기 위해 자기장을 생성해주도록 설계되었다. 그림 1에서 보는 바와 같이 시료와 주 자기장을 생성하는 자석 사이에 위치하며 3차원 정보를 얻기 위해 3 축의 선형자기장 코일이 필요하다. 선형자기장 코일은 고분해능 자기공명영상분광 기기에 다양하게 사용되며 저분해능 자기공명분광에서도 시료의 diffusion을 측정하기 위해 사용되기도 한다. 저수분 상태의 바이오시스템의 영상을 얻을 때에는 자석은 저자장을 발생하는 영구자석을 사용할 수도 있으나 선형자기장 코일은 센 선형자기장(60 Gcm^{-1} 이상)을 발생할 수 있는 선형자기장 코일이 필수적이다. 일반적인 고수분 시스템의 영상을 위해서는 10 Gcm^{-1} 이하의 선형 자장을 발생할 수 있는 선형자기장 코일이면 충분하다.

다. 라디오파 코일 (Radio Frequency, RF, coil)

라디오파 코일은 시료가 놓여진 자석이 발생하는 주파수와 같은 주파수를 생성할 수 있는 공명기(resonator)이다. 일반적으로 레이더에서 음파를 발생하여 추적체에서 반사되는 음파를 수집하여 분석하는 것과 유사한 원리로 작동한다. 이 코일의 회로는

일반적인 RLC 회로(저항-인덕터-커패시터 회로)로 고순도의 구리선과 nonmagnetic 커패시터로 구성한다. 그림 2-1에서 보는 바와 같이 코일 안이나 위에 시료를 놓고 라디오파를 보내고 시료에서 발생한 미약한 NMR 신호를 감지한다. 신호의 SNR(signal to noise ratio)를 높이기 위해 시료의 형상과 크기에 따라 적절한 코일을 선택하여야만 한다. 다양한 코일의 설계에 필요한 구체적인 요인들은 Link(1992)의 논문을 참조하기 바란다.

5. 자기공명영상 기술을 활용한 바이오시스템 연구

NMR 기술은 50년 넘게 생물체를 연구하는데 쓰이고 있다. 이제 NMR 분광법은 화학자나 생물학자에게는 필수적으로 쓰이는 물질 분석법이 되었다. MRI는 80년대 초반부터 의료분야에서 이용되고 있으며 점차 X-ray에 의한 진단법을 대체하고 있다. MRI의 역사가 25년 밖에 되지 않음을 감안할 때 놀라운 일이라 할 수 있다. NMR 기술의 주요 특징으로는 첫째, 비파괴 기술이다. 둘째, 거의 모든 생물체에 적용할 수 있다. 셋째, 원하는 원소의 정보를 선택적으로 취할 수 있다. 마지막으로 이 기술은 대상체의 물리적 구조, 화학적 조성에 따라 변하는 정보를 제공한다.

1970년대 중반에 알려진 자기공명영상 기술은 현재 자기공명 미세영상 (NMR microimaging)과 f-MRI(functional MRI)을 이용한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. f-MRI 기술을 이용하여 실시간으로 인간의 뇌가 다양한 주위 환경의 변화에 따라 변하는 것을 연구할 수 있다. 또한 자기공명 미세영상을 이용하여 과일 내부의 수분의 이동 변화와 당도의 분포를 알 수 있으며 현재 동물과 식물 단세포를 MRI를 이용하여 분석할 수 있는 단계에 있다. 연구자들은 이 방법으로 세포벽의 투과도(permeability)를 측정할 수 있으리라 생각된다. 또는 저장이나 가공 중에 일어나는 세포의 재구성 과정도 연구할 수 있다. 식품 내에서 수분의 역할과 이동을 NMR과 MRI 기술을 이용하여 효과적으로 연구할 수 있으며, 농산물에 관한 최근의 연구는 농산물의 생리적 변화와 품질 평가 센서로 NMR 기술을 이용하는데 있다. 이 방법은 비파괴적이고 신호를 얻기 위해 센서가 시료와 접촉할 필요가 없기 때문에 바이오시스템의 품질 측정 센서로 적합하다(Kim, 2001).

가. MRI를 이용한 고수분 바이오시스템 연구

자기공명영상 기술로서 잘 알려진 공간 영역(spatial domain)에서의 NMR 기술은 현재 의학 분야에서 가장 활발히 사용되어 지고 있다. 1970년대 중반에 그 기술이 발견되어 Hinshaw 등(1977)에 의해 최초로 자기공명영상 기술이 Nature지에 발표된 이후 Hinshaw 등(1979)에 의해 다양한 바이오시스템을 대상으로 자기공명영상이 가능함을 보였다. 자기 공명 영상 기술은 1980년대부터 지금까지 의료분야에 사용되기 시작하면서 급속도로 발전하고 있다. 현재 MRI는 농업과학 및 식품관련 분야에서도 농산물이나 식품의 생리적 현상, 물질의 이동 및 품질의 측정 등의 다양한 연구 분야에서 고전적인 연구 분석 방법과 함께 이용되면서 기존에 알 수 없었던 현상을 규명하는데 많이 쓰이고 있으며 앞으로 많은 분야에서 그 활용도를 찾을 수 있는 기술이다. 최근에 식품에 대한 자기 공명 영상 기술의 응용에 대한 연구는 다음과 같다.

Duce 등(1995)은 버터, 콩, 리가토니, 파스타 그리고 스낵류의 수화(hydration)를 자기공명영상에 의해 비 침투적으로 영상화하였다. 시료에 흡수되는 수분의 비율과 변화를 관찰하였으며, 영상 신호의 강도와 수분 함량 사이의 관계도 조사되어졌다. Sonogo 등(1995)은 증상이 매우 심해져도 외부적으로 나타나지 않는 복숭아의 질병인 woolly breakdown을 관찰하기 위해 저온 저장 상태 하에서, 파괴적인 방법(펙틴 조성)과 비파괴적인 방법(NMR 영상과 X-선)을 사용하였다. Woolly breakdown은 낮은 프로톤 밀도에 상응하는 어두운 영역이 NMR 영상으로 발견되어졌으나, woolly 진행 단계에서 복숭아 조직 내에서의 수분의 이동에 영향을 주지 않았다. Clark 등(1996)은 수확한 감을 5주 동안 저장할 때, 이완 특성에 대한 시간과 저장시의 대기 상태의 효과에 대해서 조사하였다. 냉해 과정의 초기 단계에서 영상의 시각적인 검사나 이완 특성의 변화로는 확인할 수 없었으나, MA(Modified Atmosphere) 처리된 과실에 있어서 감소된 호흡으로부터 발생하는 용해성 대사산물의 증가된 농도는 T_1 보다는 T_2 에 더욱 민감한 징후를 나타내었다. Kerr 등(1997)은 덜 익은 키위의 결빙 과정을 자기 공명 영상으로 관찰하였는데, 과실의 표피에서 시작하여 서서히 중심방향으로 동결이 진행되는 부분은 신호의 감소에 의해 영상화되어졌다. 이 실험에서 동결이 된 후 T_2 이완 상수의 현저한 감소는 저온 저장시 장애를 입은 과실을 선별하는 on-line 센서의 설계가 가능함을 시사하였다. Clark 등(1998)은 저온 저장 중에 감소되는 후지 사과와 밀병을 관찰하는 데 있어서 횡단면 및 종단면에서 수집된 2차원 multi-slice 영상과 사과 전체에 대한 3차원 데이터 배열의 조작성 기초로 한 자기

공명 영상을 이용하였다. Song 등(1998)은 낱알 밀의 3차원적인 수분 분포에 대해서 비파괴적으로 측정할 수 있음을 증명하기 위해서 연구를 수행했는데, 3D MRI 기술이 12% 저장습도(wet basis)상태에서 낱알 밀을 조사하기 위해 적용되어졌다. 3D projection reconstruction (3 DPR) 기술은 고 해상도 프로톤 밀도 영상을 획득하기 위해서 사용되어 졌으며, 영상의 공간 분해능은 $94 \times 94 \times 94 \text{ m}^3$ 이었다. 3D 프로톤 밀도 영상은 밀에서의 3D 수분 분포에 관련되었으며, 12% 수분 함량에서, 밀의 녹말 내배유(endosperm)에서 수분 분포는 균일하지는 않았다. Kerr 등(1998)은 식품이 동결하는 동안에 얼음이 형성되는 과정을 MRI에 의해 조사하였는데, 얼음의 형성은 공간상에 위치한 NMR 신호 강도의 감소로서 관찰되어졌다. 토마토, 당근, 완두콩과 닭다리 등이 350 m 의 해상도로 연구되어졌으며, 수분 또는 지방의 함유에 따라 강조되어졌던 내부 구조들은 자기공명영상에 의해 구분되어졌다. 이 실험으로, MRI는 동결 시간과 동결 과정에서 식품 구조에 대한 중요성을 평가할 수 있음을 제시하였다. Kim 등(1999a)은 초전도 자기공명영상 시스템을 이용하여 컨베이어 벨트 위에 놓여져 움직이는 체리의 1차원 영상을 획득하고 이를 분석하여 체리 내부에 씨의 유무를 확인할 수 있는 MRI 센서의 가능성에 관한 연구를 시도하였다. 컨베이어 벨트는 초당 최대 250 mm까지 구동되었으며 이 속도에서도 자기공명영상 신호가 크게 왜곡되지 않음을 밝혔다. 또한 Kim(1999b)은 자기공명영상 기법을 이용하여 소고기의 이완시상수를 공간적으로 얻을 수 있는 방법을 제시하여 다양한 부위의 자기공명특성을 일련의 영상을 통해 쉽고 빠르게 얻을 수 있었다. Lim 등(2003)은 자기공명영상 기술과 디지털 영상처리 기법을 이용하여 수삼의 연근을 추정하고 내부의 이상 조직을 검출할 수 있는 방법도 제시하였다.

나. MRI를 이용한 저수분 바이오시스템 연구

자기공명영상은 다양한 분야에서 상대적으로 긴 자기공명 이완상수값들을 갖는 대상체의 내부구조를 시각화할 수 있는 좋은 방법이다. 그러나 수분 함량이 낮은 고체상태의 시스템은 매우 짧은 이완상수값을 갖게 되어 새로운 영상기법의 도입이 시도되고 있다. 저수분 시스템 연구에 사용된 기존의 자기공명영상 기법들은 영상을 얻기 위해 시간이 많이 걸리고 3차원 영상을 얻는데 문제점이 많이 있었다. 그러나 최근에 개발된 새로운 자기공명영상 기법들은 영상 시간을 단축시키고 3차원의 영상 신호를 얻을 수 있어 폴리머, 고체 생체조직, 가스 성분 등의 저수분 시스템을 연구하는데

많은 도움을 준다(Balcom, 1998).

Balcom(1998)은 고체 자기공명영상 기법의 일종인 SPRITE(single-point ramped imaging with T_1 enhancement) 기법을 이용하여 spin-spin 이완상수 변형인 T_2^* 가 약 130 μ s인 콘크리트 시료의 영상을 얻는데 성공하였고 가스상태의 ^{19}F 의 영상을 얻는데 성공하였으며 ^{31}P 영상을 통해 뼈의 3차원 영상을 얻는데 성공하였다. Seo 등(1998)은 기존의 자기공명영상 기법인 gradient-echo(GE)와 spin-echo(SP) 기법을 이용하여 고체 생체조직의 영상획득이 어렵다는 것을 발견하였고 CTI(constant-time-imaging) 기법을 이용하여 뼈, 연골, 이빨 등의 고체 생체조직을 연구하였다. Cornillon과 Salim(2000)은 저자장의 영구자석 MRI 장치에서 SPRITE 기법을 이용하여 저수분의 cereal과 쿠키가 수분을 흡수하는 과정을 연구하였다. 1차원 SPRITE 기법을 통하여 시간 변화에 따른 자기공명영상 신호의 변화를 분석하였고 기존의 MRI 영상기법과 비교하여 각각의 방법의 이점을 설명하였다. Lim과 Kim(2003)은 고자장의 초전도 MRI 시스템에서 고체 자기공명영상 기법의 하나인 SPI(single-point-imaging) 기법을 이용하여 수분이 약 13%인 홍삼의 영상을 얻어 내부구조 변화에 따른 영상 신호의 변화를 분석하였다. 그림 3-1-2는 SPI 기법을 이용하여 얻은 3차원 자기공명영상으로 영상범위는 40 x 40 x 80 mm이며 해상도는 0.315 mm이다. 홍삼의 경우 T_2^* 가 약 300 μ s로 일반적인 MRI 시스템을 이용하면 영상을 얻기 힘들다. 이 기법을 이용하면 시료 주위를 감싸고 있는 종이 테이프에서도 신호가 발생함을 알 수 있었다.



Fig. 3-1-2. 2D MR images of heaven grade red ginseng.

6. 결론

대략 30년 정도의 역사를 갖고 있는 자기공명영상 기술은 최근 비약적인 하드웨어의 발전으로 기초 과학과 의학 분야뿐만 아니라 공학분야에도 많이 응용되고 있다. 간략하게 자기공명과 자기공명영상 기술의 원리에 관하여 알아보았으며 이 기술들을 이용한 다양한 연구에 관하여도 알아보았다. 비파괴적이며 비접촉 방식의 자기공명영상 기술은 식품, 재료, 의공학 등 다양한 공학분야에서 그 활용도가 무궁무진하다. 농산물이나 식품의 물리적 또는 화학적 정보를 대상체의 손상 없이 얻을 수 있으며 식품의 분석에서는 기존의 분석 방법과 연계하면 새로운 연구 분석 방법을 제시할 뿐만 아니라 농산물과 식품의 저장, 가공 중에 일어나는 여러 과정을 좀더 명확히 연구할 수 방법을 제공한다. 최근에는 고체 상태의 시스템을 영상으로 분석할 수 있는 다양한 방법이 개발되어 이 기술을 이용한 연구 영역은 급속도로 확산되고 있다. 또한 MRI 기술을 이용한 센서는 기존의 센서들이 제공하지 못했던 새로운 차원의 정보를 제공한다.

현재 역사가 일천한 NMR 기술은 날로 새로운 연구 기술과 방법을 제공하고 있으며 가장 큰 약점으로 작용하고 있는 MRI 장치의 가격도 전자 공학, 물리학, 컴퓨터 기술 등의 발달과 사용자 저변의 확대로 가격이 급격히 하락하고 있어 최근에는 해외에서 다양한 분야에서 활발히 이용되고 있으며 연구용뿐만 아니라 산업 현장에서도 사용이 되고 있다. 국내에서도 이미 의료분야에서는 많이 사용하고 있으며 최근에는 농산물과 식품을 대상으로 하는 초보 단계의 연구가 진행되고 있으며 앞으로 농산물과 식품 연구 분야에 활발히 이용되리라 기대가 된다.

제 2 절 홍삼 내부품질 인자의 물리화학적 특성 분석

1. 서 언

고려인삼은 예로부터 영초, 신초, 선초등과 같은 찬사를 받으며 오랜 세월동안 신비의 영약으로 복용되어 왔다. 근래에 이르러 수많은 약리효능이 과학적으로 입증되면서 의약품 및 건강식품으로써 세계적으로 인정받고 있다¹⁻⁵⁾.

홍삼은 가공방법과 성상에 따라 원형유지 홍삼과 가공홍삼으로 분류할 수 있으며 특히 원형유지 홍삼에서는 외관, 성상 등의 품질요소를 중요시하고 있으며, 홍삼의 품질을 더욱 향상시키고 가공방법 및 가공기술을 발달시켜 제품의 다양화를 꾀하고 있다.

홍삼은 내부조직의 내공, 내백 및 표피 등의 유무에 따라 등급 판정의 기준으로 하고 있기 때문에 우수한 홍삼으로서의 품질향상과 수율 제고를 위해서는 품질 저해 요인을 최소화시킬 필요성이 있다. 홍삼을 제조하는 과정에서 전체가 암갈색 및 갈색으로 내공, 내백, 생내백이 없는 것을 정상조직, 정상조직과 경계가 뚜렷한 백색이나 정상조직과 경계과 뚜렷하지 않으면서 다공성 백색을 띠는 것을 내백 조직 그리고 정상조직보다 백색을 띠나 육안으로 다공성이 보이지 않는 것을 생내백 조직 홍삼이라고 부르고 있다. 최근에는 생내백 조직홍삼이 품질저해 요인으로 많이 지적되고 있다.

내백 및 내공의 발생은 주로 재배적 측면과 가공과정으로 구별할 수 있는데, 재배 환경에 관한 연구로서 밝 등⁶⁾은 채굴시 생주율이 높을수록 내백이 적어지고, 낙엽율이 높은 실험구는 수량이 낮고 내백율이 높으며, 낙엽이 지연될수록 건 비중과 수용성 단백질이 증가되면서 내백이 감소한다고 보고하였다. 특히 월동전후 급격히 변화되는 성분은 주로 탄수화물이었으며, 이것은 성장기에 재충전되지 않으면 내백이 발생하는 것으로 생각되며 실제로 내백이 발생한 인삼의 경우 조직이 치밀하지 않을 뿐만 아니라 전분 함량이 적다고 보고하였다. 밝 등⁷⁾은 채굴시기가 늦을 경우 근아가 많이 성장하는데 이 근아의 생장은 내공과 관계가 없으나 토양의 수분이 적을 때 조직이 치밀하지 못하거나 다경종에서 내공이 많이 발생한다고 하였고, 또한 홍 등⁸⁾도 내공의 원인을 뿌리에서 양분 소화에 의한 영양부족 때문이라고 보고 엽경제기 실험을 한 결과 당과 아미노산이 현저하게 감소하는 것을 확인하였지만, 내공발생과

직접적인 관계는 없는 것으로 보고하였다.

홍삼의 가공과정에서 품질면에 미치는 영향인자로서 홍삼제조 가공시 온도와 시간 그리고 건조시 온도와 시간이 내백, 생내백, 내공 및 균열 등에 영향을 미치는 것으로 추측하고 있으나 이에 대한 과학적인 기초연구가 부족한 편이고, 지금까지 재배적인 환경위주로 에서 내공과 내백홍삼 연구가 수행되어 왔으며 가공과정시 일어나는 내백, 내공 및 생내백과 관련된 연구는 거의 없는 실정이다

따라서 본 연구에서는 6년근 고려홍삼의 품질저해 요인이 되는 내백 및 생내백조 직홍삼과 정상조직홍삼과 비교하여 각 조직간의 육안관찰, 입도의 크기에 따른 색상, 갈색도, 비표면적 및 전자현미경 관찰을 하였으며, 아미노산 및 사포닌 등을 정상홍삼조직과 비교 조사하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시료

홍삼은 한국인삼공사에서 1999년 10월에 수매한 6년근 수삼을 홍삼제조 규정에 의하여 제조한 후 크기와 굵기가 비슷한 것을 선별하여 연구용 시료로 사용하였다. 시료전처리는 정상, 내백 및 생내백 부분을 가진 홍삼시료를 각 부위별로 분리하여 시료로 사용하였다.

나. 분말의 색도 측정⁹⁾

각 시료의 색도 조사는 Chroma meter (Minolta, CR-200, Japan)를 사용하여 측정하였으며, 표준광원은 D₆₅로 하였고 측정된 값은 Hunter's color value로 나타내었으며 L값은 100(white)에서 0(black)까지, b는 +60(yellow)에서 -60(blue)까지, a는 +60(red)에서 -60(green)까지, 전체 색차는 ΔE(overall difference)로 나타내었다. 이때 사용된 표준값은 L은 97.67, a는 -0.57, b는 2.70이었다.

다. 비표면적(Specific surface area, SSA)¹⁰⁾

홍삼분말 약 0.5 g를 취하여 비표면적분석기(ASAP 2000, Micrometrics U.S.A) 내부에 장착된 시험관에 투입한 다음 헬륨(He)으로 충전하고 80 °C에서 48시간 건조하여 수분을 완전히 제거한 후 측정하였으며 다음 식에 의하여 비표면적을 구하였다.

$$A = a_m \cdot n_m \cdot N \text{ ----- (1)}$$

여기서 A : 비표면적(m²/g)

a_m : monolayer에서 흡착질 1분자가 차지하는 단면적(Å²)

N : Avogadro상수 (6.023 × 10²³/mol)

n_m : 흡착제 1g당 소요되는 흡착물질의 몰 수

비표면적을 단분자층 흡착 증량(X_m)으로부터 환산하면 다음과 같다.

$$A(m^2/g) = (X_m / M) a_m N \times 10^{-20} \text{ ----- (2)}$$

여기서 M은 분자량이다.

비표면적을 단분자층 흡착용량(V_m)으로부터 환산하면

$$A(m^2/g) = \frac{V_m}{22414} \times 6.023 \times 10^{23} \times 16.2 \times 10^{-20} \text{ ----- (3)}$$

이때 적용되는 흡착 기체 한 분자가 차지하는 면적을 표 3-2-1에 정리하였다.

Table 3-2-1 Cross sectional area adsorbate

Gas	Area(Å ²)	Temperature (K at 760 torr)
Nitrogen	16.2	77

라. 전자현미경 관찰

각 시료의 표면구조를 조사하기 위하여 각 시료를 수직 및 수평으로 절단하여 stage에 carbon 양면 tape를 이용하여 접착시킨 후 고진공증착기(Polaron SC502 sputter coater)에서 gold coating한 후 주사현미경(DSM960A, Zeiss)을 이용하여 각 배수별로 확대하여 관찰하였다.

마. 총당 및 환원당

총당 및 환원당 함량은 dinitrosalicylic acid(DNS) 방법¹¹⁾으로 측정하였다.

바. 총 페놀성 화합물¹²⁾

Caffeic acid는 Sigma사 제품을 사용하였고, 총 페놀성 화합물을 비색정량하기 위

하여, Folin-denis법 일부를 변경하여 사용하였다. 정상, 내백 및 생내백홍삼을 각 조 직별로 분리한 후 시료 약 0.5 g에 추출용매를 25 ml를 가하여 80 °C에서 1시간 추출한 후 여과하고, 5배 희석하여 분석용 시료로 사용하였다. 시료 1 ml와 Folin 시약 1 ml를 혼합하여 실온에서 3분간 정치한 후 10% NaHCO₃ 용액 1 ml를 가하여 혼합하고 실온에서 1시간 정치한 후 700 nm에서 흡광도를 조사하였다.

아. 조사포닌 및 Ginsenosides

조사포닌의 분리 및 정량은 Namba¹³⁾와 Ando¹⁴⁾ 등의 몰포화부탄올 추출법에 준하였다. 즉, 시료 3 g에 80% 메탄올 50 ml를 가하여 75 °C에서 1시간씩 4회 추출하고 4 °C에서 8,000 rpm으로 30분간 원심분리한 후 상정액을 50 °C 이하에서 감압 농축하였다. 농축물에 50 ml의 증류수를 가하여 용해한 후 에테르 50 ml를 가하고 진탕한 후 ether층으로 이행되는 지용성 물질을 제거하였다. 물층에 50 ml의 수포화 n-BuOH를 가하여 3회 반복 추출하고 50 ml의 증류수를 2회 세척한 후 55 °C에서 감압농축하고 105 °C에서 2시간 건조하여 조사포닌 함량으로 하였다. 각 ginsenosides 함량은 조사포닌을 methanol에 용해한 후 0.45 μm Millipore filter로 여과하여 표 3-2-2의 HPLC 조건으로 분석하였다. HPLC 크로마토그램 상의 peak 면적을 검량선과 대조하여 각 ginsenosides 함량을 구하였다.

Table 3-2-2 The operating conditions of HPLC for analysis of ginsenoside

Items	Conditions
Instrument	Analytical HPLC/ALC-244
Column	Lichrosorb NH ₂ (Merck Co., 10μm, 4mm I.D. × 250mm)
Mobile phase	Acetonitrile/distilled water/n-Butanol (80 : 20 : 10)
Flow rate	1.0ml/min
Chat speed	0.5cm/min
Detector	RI-401(differential refractometer)

자. 구성 및 유리 아미노산

Herbert 등의 방법¹⁵⁾에 준하여 시료 150 mg을 정밀하게 취하여 ampoule에 넣고 6N 염산 2 ml를 가한 다음 진공 상태에서 밀봉하여 110 °C에서 22시간 동안 가수분해하였다. 가수분해물을 감압농축한 뒤 pH 2.2의 sodium citrate 완충용액 3 ml를 가하여 용해한 후 0.20 µm Millipore filter로 여과하고 여액 1 ml를 SepPak C₁₈으로 처리하여 표 3-2-3의 조건으로 아미노산 자동분석기(Pharmacia LKB 4150, Alpha)로 분석하였다.

Table 3-2-3 The operating conditions of amino acid analyzer

Items	Conditions
Instrument	LKB 4150 Alpha
Column	Ultrapac II cation exchange resin (11µm ± µm) 220mm
Flow rate	Buffer 40ml/hr, ninhydrin 25ml/hr
Buffer change	pH 3.20 to pH 4.25 : between alanine and cystine pH 4.25 to pH 10.0 : after phenylalanine
Column temperature	80°C
Chart speed	50mm/min
Analyzing time	90min

차. 향기성분 분석

건조온도 및 등급별 휘발성 성분 함량 비교는 시료를 30 g씩을 사용하여 SPM(Solid -Phase Microextraction)법에 의해 70 °C에서 30분간 추출하여 GC-MS로 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 각 조직의 육안적 관찰

그림 3-2-1은 정상, 내백, 생내백 홍삼의 내부 절단면을 보여주고 있다. 정상홍삼의 조직은 내백, 생내백 및 내공이 전혀 없고 홍삼고유의 황갈색을 나타내었다. 내백

은 주로 중심부에 많이 발생하고, 흰색을 띄면서 정상조직과 경계가 뚜렷하였다. 그러나 생내백조직은 경계가 뚜렷하지 않으며 정상조직보다 백색을 띄나 육안으로 다공성이 보이지 않는 것으로 관찰되어 생내백조직은 내백조직으로 변화하는 중간단계인 것으로 추측된다.

윤 등⁶⁾에 의하면 홍삼의 내공조직은 주피부나 중심부의 경계를 이루는 형성층에 생기는 형성층형이 약 70%이고 26% 정도는 중심부에 나머지 4%는 주피부에 생긴다고 보고하고 있다. 이런 결과를 볼 때 내공조직이 형성층형에 많다는 것은 뿌리전체의 소질보다는 주피부와 중심부간의 물리적 또는 화학적 소질이 다르기 때문에 생기는 것으로 추측된다. 박 등⁷⁾은 정삼수삼의 중심부 조직과 내백 수삼 조직의 성분을 조사한 결과 전분, 환원당, 총단백질의 함량이 총량적으로 내백 부위가 적다고 보고한 바 있다.

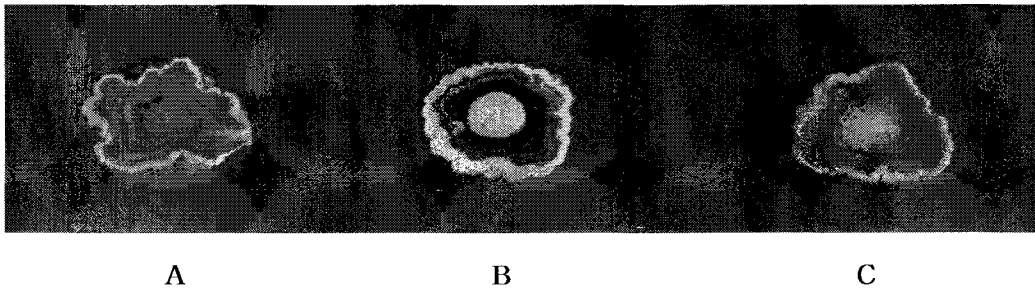


Fig. 3-2-1. Internal appearances of normal, naeback and saengnaeback part in red ginseng part in red ginseng. A : Normal B : Naeback C : Saengnaeback.

나. 각 조직의 분말 색도

정상, 내백 및 생내백조직홍삼의 입자크기에 따른 육안적 색상을 조사한 결과는 그림 3-2-2와 같다. 입자의 크기가 클수록 색상이 진하게 나타났고, 색상의 강도는 정상, 생내백, 내백조직 순으로 조사되었다. 또한 입자크기에 따른 색상을 Chroma meter로 측정된 결과는 표 3-2-4와 같다. 입자크기에 따른 각 조직간의 색도 조사 결과 L값은 정상조직홍삼의 경우 14~40 mesh일 때 52.11에서 70 mesh이하일 때는 62.58로 입자가 작아질수록 명도 값이 증가하였고, 내백삼의 경우 14~40 mesh일 때 68.32에서 70 mesh이하일 때는 64.80으로 감소하였으며 생내백조직홍삼은 정상조직홍삼과 비슷한 경향을 나타내었다. a값은 정상조직 홍삼의 경우 14~40 mesh일 때

Table 3-2-4 Hunter color values of normal, naeback and saengnaeback part in red ginseng

Part	Sieve No.	ΔE	E-L	E-a	E-b	L	a	b
Normal	14-40mesh	50.73	-45.56	8.28	20.74	52.11	7.71	23.44
Naeback	14-40mesh	35.87	-29.35	4.31	20.18	68.32	3.74	22.88
Saengnaeback	14-40mesh	44.22	-37.81	6.66	21.96	59.86	6.09	24.66
Normal	40-70mesh	48.57	-44.82	5.09	18.02	52.85	4.52	20.72
Naeback	40-70mesh	35.43	-28.95	3.83	20.07	68.72	3.26	22.77
Saengnaeback	40-70mesh	47.97	-46.37	5.00	16.68	51.30	4.43	19.38
Normal	70mesh under	37.77	-35.09	1.50	13.90	62.58	0.93	16.60
Naeback	70mesh under	36.09	-32.87	1.76	14.82	64.80	1.19	17.52
Saengnaeback	70mesh under	38.39	-35.65	1.74	14.15	62.02	1.17	16.85

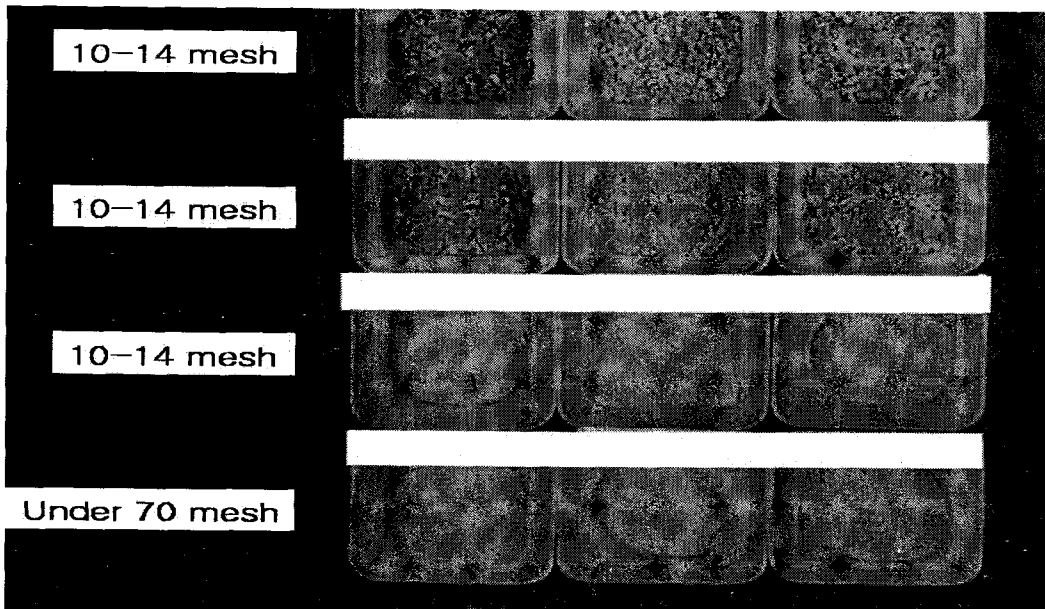


Fig. 3-2-2. Appearances of normal, naeback and saengnaeback part in red ginseng powder by particle size. A : Normal B : Naeback C : Saeng naeback.

7.71에서 70 mesh이하일 때 0.93으로 감소하였고, 내백과 생내백조직도 입도가 작아질수록 감소되었다. 홍삼의 주된 색소인 적색의 강도는 정상, 생내백 및 내백조직의 순으로 나타났고, 이러한 결과를 볼 때 조직의 색도는 조직의 구조에 따라 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 금 등⁸⁾은 쌀가루의 색도 및 이 등⁹⁾이 연구한 제분기 종류별로 만들어진 보리분말의 색도도 입자가 작을수록 L값은 증가하고 a, b값은 감소한다는 실험 결과와 비슷한 경향이었다.

다. 각 조직의 비표면적 비교

정상, 내백 및 생내백조직홍삼의 비표면적을 조사한 결과는 표 3-2-5와 같다. 각 조직간의 비표면적을 조사한 결과 정상조직홍삼은 3.02 m²/g, 생내백조직홍삼은 3.33 m²/g로 정상조직홍삼과 비슷한 경향이었으나, 내백조직홍삼은 6.55 m²/g로 정상 및 생내백조직홍삼 보다 2배정도 높았다.

NMR측정인자와 용적밀도의 상관성 실험에서 용적밀도가 0.8이하인 경우는 백피 또는 내백정도가 아주 심하였고, 주사현미경으로 관찰했을 때 정상조직홍삼은 막물질이 충분하여 연속성을 보이고 표면이 상당히 매끄러운 특성을 지니고 있었으나, 내백조직홍삼은 막과 막사이에 미세 동공이 많이 생성되어 있고 막 물질 표면에 주름이 많이 나타났다고 보고하고 있어 정상조직홍삼은 구조적 특징으로 미루어 볼 때 용적밀도가 높은 홍삼은 낮은 홍삼에 비해 내부조직홍삼이 더욱 충실한 상태 즉, 치밀한 조직을 가진 상태라고 할 수 있다. 조직이 치밀한 경우 양자가 흡수한 에너지를 주위의 격자에 공급하는 과정에서 Larmor세차운동과 더 밀접히 부합하므로 이완이 촉진된다고 보고하고 있다.¹⁶⁾

Table 3-2-5 Specific surface area of normal, naeback and saengnaeback part in red ginseng

Part	Specific surface area (m ² /g)
Normal	3.02
Naeback	6.55
Saengnaeback	3.33

라. 각 조직의 전자현미경 관찰

정상, 내백 및 생내백조직홍삼의 내부조직의 구조 특성을 조사하기 위하여 주사전자 현미경으로 관찰한 결과는 그림 3-2-3, 3-2-4 및 3-2-5와 같다. 수직 및 수평절단면 모두 2000배까지 확대하여 관찰한 결과 정상조직홍삼은 막 물질이 충분하여 연속성을 보이고 표면이 상당히 매끄러운 것이 특징이고, 빛의 투과도가 양호하면서 치밀한 면을 유지하고 있으나, 내백조직홍삼은 수직 및 수평절단면을 관찰한 결과 100배 절단면에서 육안으로 동공이 관찰되지 않았지만 2000배 확대에서는 막과 막 사이에 동공이 많이 생성되어 있고, 막 물질 표면에 주름이 있으며 빛의 연속성도 보이지 않았다. 현미경으로 내백부위를 확대하여 미세구조를 관찰하였을 때 내백부위의 전분 입자 또는 얇은 막 물질의 크기와 배열상태가 정상부위와 차이 있는 것으로 관찰되었다. 또한 생내백조직 홍삼은 미세한 균열 및 틈으로 인한 난 반사로 조직의 투명도가 낮아지며 절단하여 관찰했을 때 정상보다 약간 백색으로 보이는 것으로 나타나 내백으로 가는 전 단계인 것으로 추측된다. 수삼을 증삼하여 홍삼으로 제조할 때 호화된 홍삼의 전분이 건조과정에서 그대로 치밀하게 건조된 것은 정상조직 홍삼이 되

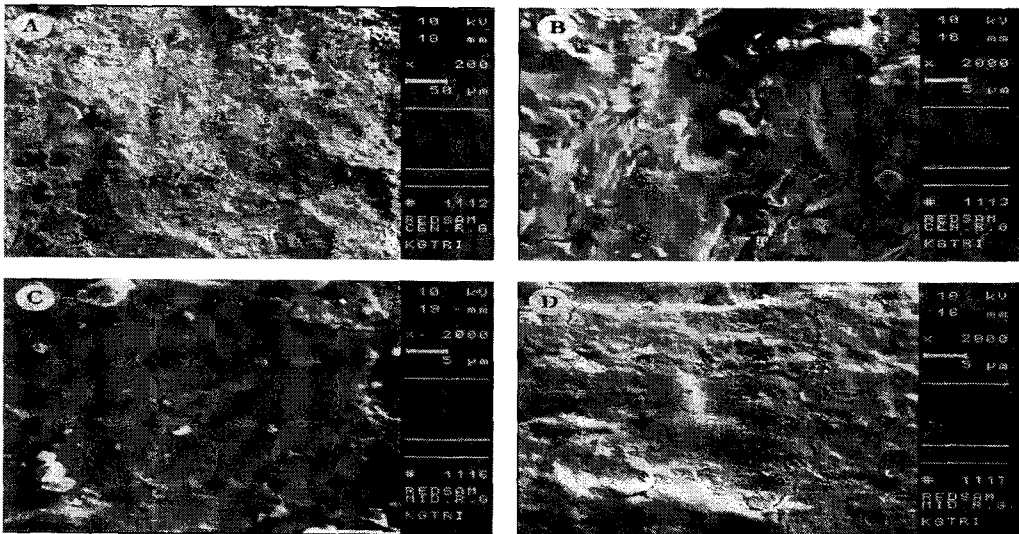


Fig. 3-2-3. Scanning electron micrographs of normal part in red ginseng. Vertical section(Pith layer: A x 200, B x 2000, Cortex layer C x 2000) Horizontal section (Cortex layer D x 2000).

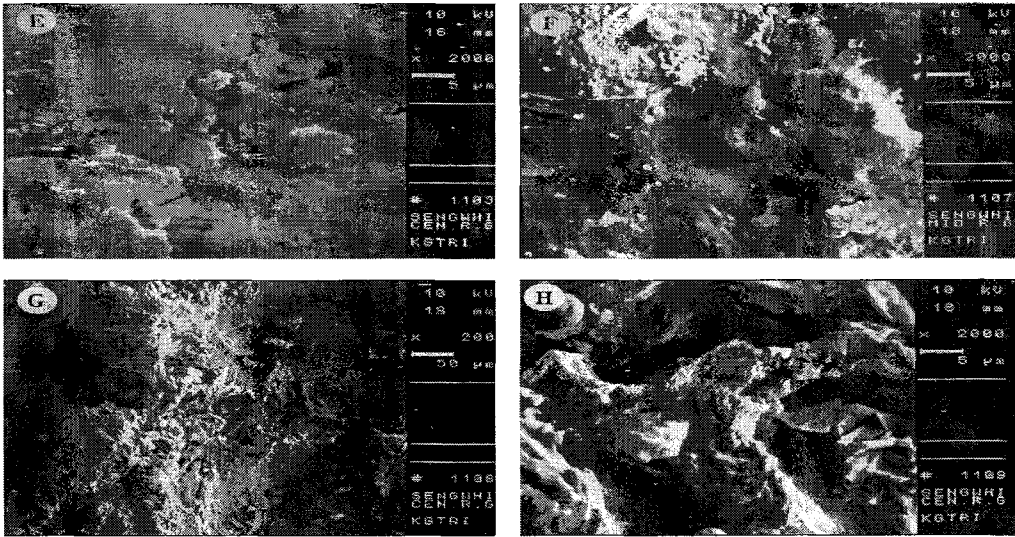


Fig. 3-2-4. Scanning electron micrographs of naeback part in red ginseng.
 Vertical section (Pith layer : E×2000)Horizontal section(Cortex
 layer : F, Pith layer : H×2000, G×200).

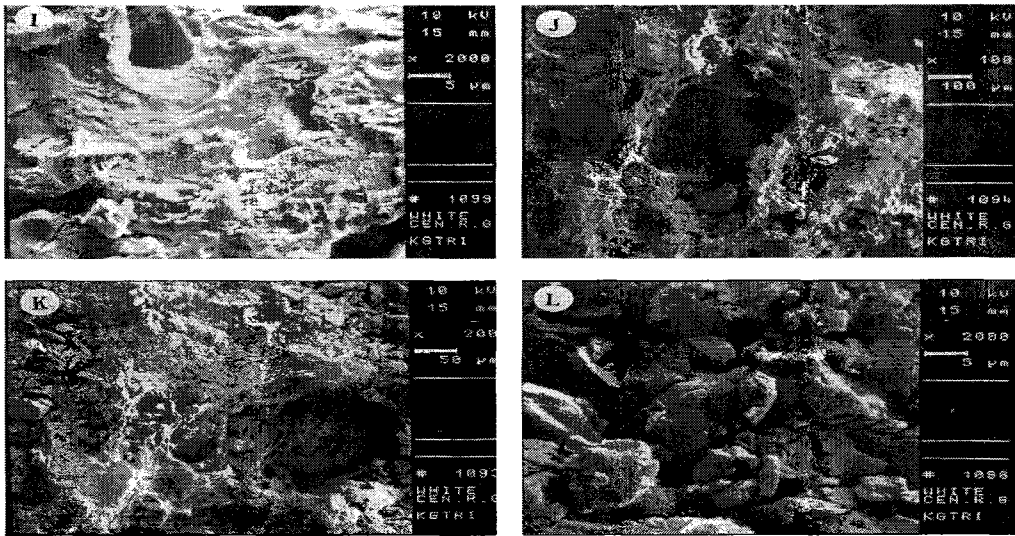


Fig. 3-2-5. Scanning electron micrographs of saengnaeback part in red ginseng.
 Vertical section (Cortex layer : I x 2000) Horizontal section (Cortex
 layer : J x 100, K x 200, L x 2000).

고, 전분입자의 부족으로 내부조직이 치밀하게 형성하지 못한 것은 내백 및 생내백조직이 되는 것으로 사료되며, 내백의 원인은 전분의 부족에도 부분적으로 연유하겠지만 이들 막 물질의 부족에 의한 것이라고 판단된다. 수용성 단백질이 전분보다 더 깊게 내백의 원인이 되는 것은 막 물질의 결손에 대한 막의 부실로 홍삼제조시 내부의 어떤 홍삼 특유의 필수구조가 이루어지지 못하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 원인에 대해 재배학적인 환경에서 이 등¹⁷⁾이 보고한 평균기온 차이(산지별), 토질, 낙엽시기가 빠를 때, 수광량이 많을 때, 체형계수(인삼동체의 직경과 길이의 비)가 클수록, 비중이 적을수록 내백 홍삼이 많이 생기며, 동화, 이화량의 차이가 시기적으로 또는 양적으로 클 때는 내공이 많이 생기나 그 차이가 시기적으로 천천히 일어나거나 양의 차이가 적을 때에는 적게 생긴다고 보고한 바와 같은 결과를 생리적 영향에 의한 저장물질량, 주로 전분의 함량차이 때문인 것으로 추정하고 있다. 밝 등¹⁸⁾은 홍삼의 내백조직은 X-선 흡수가 적었으며, 정상홍삼조직은 X선 투과량이 적었고, 요오드 반응 실험 결과 내공 및 내백조직은 전분 결핍에서 오는 것으로 추정하였다.

마. 총당 및 환원당 함량

정상, 내백 및 생내백조직홍삼의 환원당 및 총당 함량을 분석한 결과는 표 3-2-6과 같다. 총당 함량을 보면 정상조직홍삼 61.7%, 내백조직 홍삼 52.1% 그리고 생내백조직홍삼은 56.1%로 나타났고, 환원당 함량은 정상조직 홍삼은 19.2%, 내백조직홍삼은 16.3% 그리고 생내백조직 홍삼은 20.1%로 나타났다. 총당 함량은 정상, 생내백 및 내백조직 홍삼 순으로 함유하고 있었다. 특히 정상조직 홍삼은 내백조직 홍삼보다 약 10% 더 많이 함유하고 있으나 생내백조직홍삼과는 약 6%의 차이가 있었다. 그리고 환원당 함량은 내백조직 홍삼이 정상 및 생내백조직홍삼 보다 약 4%적게 함유하고 있었다.

밝 등¹⁹⁾은 정삼수삼의 중심부 조직과 내백수삼 조직의 성분을 조사한 결과 전분, 환원당, 총단백질의 함량이 총량적으로 내백부위가 적다고 보고하여 본 연구결과와 유사한 경향이었고, 한편, 도 등²⁰⁾도 정상홍삼과 내백홍삼의 탄수화물 관련물질에 대해서 조사한 결과 총당 함량은 정상홍삼 조직에 비해 내백홍삼 조직이 약 15% 정도, 환원당 함량은 약 3%정도 부족하고, 조섬유 함량은 16% 정도로 부족한 것으로 보고하고 있어 본 연구결과와 유사한 경향으로 나타났다. 이러한 결과들은 내백 홍삼 및 생내백 홍삼은 정상 홍삼 조직에 비해서 조직의 치밀성 적으며 인삼세포내의 전분입

자나 단백질이 양적으로 적게 함유되어 있기 때문인 것으로 사료되고, 생내백 조직은 내백 조직으로 변화하는 중간단계인 것으로 사료된다.

Table 3-2-6 Contents of total sugar and reducing sugar of normal, naeback and saengnaeback part in red ginseng (Unit : %)

Part	Total sugar	Reducing sugar
Normal	61.7	19.2
Naeback	52.1	16.3
Saengnaeback	56.1	20.0

바. 총 페놀성 화합물

정상, 내백 및 생내백조직 홍삼의 총 페놀성 화합물 함량을 분석한 결과는 표 3-2-7과 같다. 총 페놀성 화합물 함량은 정상조직 홍삼 0.46%, 내백조직 홍삼 0.46% 그리고 생내백조직 홍삼은 0.48%로 비슷하게 나타났다. 일반적으로 표피부분에 페놀성 화합물이 많이 존재하는 것으로 보고하고 있으며, 특히 정상조직 홍삼과 내백 및 생내백조직 홍삼의 색깔 차이가 있어 조직에 따라 차이가 있을 것으로 판단되어 분석하였으나 조직간의 차이가 없는 것으로 조사되었다. 인삼의 페놀계 성분들은 항산화효과 이외에도 항피로효과 및 노화억제에 관련된 효능들이 있는 것으로 밝혀졌으며^{21,22)} 일반적으로 고려홍삼에는 maltol(3-hydroxy-2-methyl- γ -pyrone), salicylic acid 그리고 vanillic acid 등 10여종 이상의 자연 항산화 성분인 페놀성 물질을 함유하고 있으며 특히 이중 maltol 성분은 수삼에서는 발견되지 않고 있으며 홍삼의 증숙과정 중 열처리에 의해 2차적으로 생성되는 특유의 성분으로 알려지고 있다²³⁾. 또한 정상 홍삼보다 적변삼의 경우 페놀성 화합물의 양이 15%정도 높으며, 특히 표피부분에 많이 존재하는 것으로 보고하였다²⁴⁾.

Table 3-2-7 Contents of total phenolic compounds of normal, naeback and saengnaeback part in red ginseng (Unit : %)

Part	Normal	Naeback	Saengnaeback
Total phenolic compounds	0.46	0.46	0.48

사. 조사포닌 및 Ginsenosides 함량

홍삼의 조직별 사포닌 함량을 분석한 결과는 표 3-2-8과 같다. 조사포닌 함량을 보면 정상조직 홍삼 5.24%, 내백조직 홍삼 4.81% 그리고 생내백조직 홍삼은 4.96%로 나타났으나 조직간에 큰 차이는 없었다. 그리고 PD/PT 비율은 정상조직 홍삼이 1.39, 내백조직 홍삼이 1.41, 생내백조직 홍삼이 1.38로 나타나 조직간에 큰 차이는 없는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 내백 홍삼과 정상 홍삼을 비교한 도 등²⁰⁾이 보고한 결과와 비슷한 경향이였다.

Table 3-2-8 Contents of crude saponin and ginsenosides of normal, naeback and saengnaeback part in red ginseng (Unit : %)

Part	Rb ₁	Rb ₂	Rc	Rd	Re	Rf	Rg ₁	Total	Crude saponin	PD/PT
Normal	0.47	0.21	0.23	0.12	0.27	0.08	0.39	1.77	5.24	1.39
Naeback	0.46	0.21	0.24	0.12	0.28	0.08	0.37	1.76	4.96	1.37
Saengnaeback	0.43	0.22	0.24	0.12	0.28	0.07	0.38	1.76	4.33	1.41

아. 구성 및 유리 아미노산

정상, 내백 및 생내백조직 홍삼의 구성 및 유리아미노산 함량을 분석한 결과는 표 3-2-9 및 3-2-10과 같다. 각 시료의 구성 아미노산은 모두 19종이 검출되었으며, 구성 아미노산 함량은 정상조직 홍삼 1487.56 mg%, 내백조직 홍삼 691.91 mg% 그리고 생내백조직 홍삼은 636.95 mg%로 나타나 정상조직 홍삼이 내백 및 생내백조직 홍삼 보다 약 2배 정도 많은 것으로 조사되었다. 각 아미노산 성분 조성을 고찰하면 arginine이 정상조직 홍삼에서 219.49 mg%, 내백조직 홍삼에서 110.02 mg%, 생내백조직 홍삼에서 31.29 mg%로 가장 많이 함유하고 있고, 그 다음으로는 glutamic acid가 정상조직 홍삼에서 215.37 mg%, 내백조직 홍삼에서 89.98 mg%, 생내백조직 홍삼에서 74.86mg%로 나타나 각 조직의 주 아미노산으로 조사되었으며, 정상조직 홍삼이 내백조직 홍삼 보다 약 2-2.5배 정도 많이 함유하고 있었다. 그 외의 아미노

산도 정상조직 홍삼이 내백 및 생내백조직 홍삼 보다 많은 것으로 조사되었다. 내백 조직 홍삼과 생내백조직 홍삼의 구성 아미노산의 큰 차이점은 cystein 및 arginine 성분이 내백조직 홍삼에 2-3배 정도 더 많이 함유하고 있으며, 그 외 성분의 조성비는 거의 비슷한 경향으로 나타났다.

각 시료의 유리 아미노산은 모두 19종이 검출되었으며, 유리 아미노산 함량은 정상조직 홍삼 786.41 mg%, 내백조직 홍삼 893.77 mg% 그리고 생내백조직 홍삼은 607.98mg%로 나타나 내백조직 홍삼이 생내백 및 정상조직 홍삼 보다 적은 것으로 조사되었다. 각 아미노산 성분 조성을 고찰하면 arginine이 정상조직 홍삼 356.98 mg%, 내백조직 홍삼 429.13 mg%, 생내백조직 홍삼이 285.05 mg%로 가장 많이 함유하고 있으며 내백조직 홍삼이 정상조직 및 생내백조직 홍삼 보다 더 많이 함유하고 있었다. 그 다음으로는 glutamic acid가 정상조직 홍삼 193.14 mg%, 내백조직 홍삼 124.04 mg%, 생내백조직 홍삼이 121.36 mg%로 나타나 각 조직의 주 아미노산 성분으로 조사되었으며, 정상조직 홍삼이 내백조직 및 생내백조직 홍삼 보다 약 1.7 배 정도 많이 함유하고 있었다. 그 외 성분도 내백조직 홍삼이 생내백 및 정상조직 홍삼 보다 많은 것으로 조사되었다. 정상조직 홍삼, 내백조직 홍삼 및 생내백조직 홍삼의 유리아미노산의 큰 차이점은 cystein 및 arginine이 내백조직 홍삼에 더 많이 함유되어 있으며, 그 외 성분의 조성비는 거의 비슷한 경향으로 나타났다.

따라서 정상조직 홍삼, 내백조직 홍삼 및 생내백조직 홍삼의 구성 및 유리 아미노산 함량을 분석한 결과 구성 아미노산에서는 정상조직 홍삼이 가장 많았으며, 유리아미노산은 내백조직 홍삼에 가장 많은 것으로 나타났으나 구성아미노산 성분이 내백 및 생내백조직 홍삼에 크게 작용하는 것으로 사료된다.

Table 3-2-9 Contents of constituent amino acid components of normal, naeback and saengnaeback part in red ginseng (Unit: mg%)

Amino acids	Normal	Naeback	Saengnaeback
Cys	3.18	30.28	14.50
Asp	169.77	69.43	53.92
Glu	215.37	89.98	74.86
Ser	60.64	40.33	31.83
Gl.	62.21	42.27	42.71
His.	61.94	41.40	35.91
Arg	219.49	110.02	31.29
Thr	88.62	45.37	48.82
Ala	103.02	45.78	36.68
Pro	84.90	70.78	96.50
Tyr	10.15	1.86	7.30
Val	67.51	23.68	28.48
Met	13.69	6.25	11.68
Cys2	1.70	0.29	1.51
Ile	58.02	18.39	29.81
Leu	106.97	25.44	39.57
Phe	80.45	19.82	38.85
Trp	28.82	8.43	9.96
Lys	51.11	2.11	2.77
Total amount	1,487.56	691.91	636.95

Table 3-2-10 Contents of free amino acid components of normal, naeback and saengnaeback part in red ginseng (Unit: mg%)

Amino acid	Normal	Naeback	Saengnaeback
Cys.	26.42	14.85	14.40
Asp	51.70	82.42	56.05
Glu	193.14	124.04	121.36
Ser	14.65	49.88	10.23
Gly	2.07	1.56	1.01
His	6.30	16.72	5.12
Arg	356.98	429.13	285.05
Thr	5.79	11.70	5.54
Ala	48.21	65.11	44.20
Pro	3.47	7.82	3.86
Tyr	11.85	17.10	9.36
Val	5.70	6.92	4.24
Met	5.71	5.51	5.59
Cys.	0.14	0.26	0.09
Ile	4.13	5.45	2.72
Leu	4.16	6.47	3.66
Phe	6.20	6.84	4.45
Trp	36.30	34.86	26.96
Lys	3.49	7.13	4.09
Total amount	786.41	893.77	607.98

자. 향기성분 분석

GC-Mass로 향기성분을 분석한 결과는 다음 표 3-2-11과 같다. 55℃ 건조에 비하여 75℃ 건조 홍삼의 acetic acid 함량이 높은 경향을 나타내었고, 천삼과 지삼간의 향기성분 조성은 거의 차이가 없었다. 천·지삼에 비해 양삼에서는 Acetic acid의 함량이 높게 나타났고, 홍삼중 가장 높은 함량을 보이고 있는 Bicyclogermacrene, α -Gurjunene, α -Humulen 및 α -Humulene 등은 천·지삼에 비해 양삼에서 낮게 나타났다. 천·지·양삼류 간에 향기성분의 pattern은 유사하였다.

Table 3-2-11 Volatile components analysis of each red ginseng grade

No	향기성분	향강도	Area %						특성
			천삼		지삼		양삼		
			55	75	55	75	55	75	
1	Acetic acid	****	2.40	3.40	2.40	2.41	4.92	7.11	신냄새, strong, pungent, sour
2	β -Panasinene	*	3.96	4.56	4.53	4.35	3.62	3.69	인삼특유향
3	β -Elemene	***	8.45	8.44	7.86	7.11	7.53	6.44	mild woody balsamic, spicy
4	Calarene		4.53	5.11	4.94	5.54	4.84	4.46	테르펜 계
5	α -Gurjunene		6.82	7.75	8.31	8.23	6.21	6.17	mild woody balsamic
6	β -Farnesene	***	4.33	5.95	3.80	4.5	9.16	5.02	green vegetative
7	α -Humulene		5.10	5.85	6.07	5.63	4.83	4.73	Mild woody with earth, weak spice
8	β -Caryophyllene	***	4.97	5.69	5.83	5.57	4.46	4.18	woody, spicy, dry odor, slight bitter
9	Bicyclogermacrene	*	15.56	17.18	19.09	19.70	13.65	13.61	peel oil of Citrus junos
10	Butylhydroxytoluene		1.53	0.80	1.29	0.89	2.15	1.41	
11	Maltol	*	0.64	0.86		0.55	2.31	0.85	sweet, fruity, berry, caramellic odor
12	Ginsenosol	**	0.57	0.54	0.49	0.53	0.39	0.39	인삼향

3. 결 론

본 연구의 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 가. 홍삼의 조직을 육안으로 관찰한 결과 내백은 주로 중심부에 내공은 주로 형성층에서 발생함을 알 수 있었다.
- 나. 조직의 색도는 조직의 구조에 따라 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있었다.
- 다. 조직간의 비표면적을 조사한 결과 정상조직 홍삼과 생내백조직홍삼은 비슷한 경향이었으나, 내백조직홍삼은 정상 및 생내백조직 홍삼 보다 2배정도 높았다.
- 라. 전자현미경을 이용하여 관찰한 결과 정상조직홍삼은 막 물질이 충분하여 연속성을 보이고 표면이 상당히 매끄러운 것이 특징이고 내백조직 홍삼은 막과 막 사이에 동공이 많이 생성되어 있다. 또한 생내백조직 홍삼은 미세한 균열 및 틈으로 인한 난 반사로 조직의 투명도가 낮아지며 절단하여 관찰했을 때 정상보다 약간 백색으로 보이는 것으로 나타나 내백으로 가는 전 단계인 것으로 추측된다.
- 마. 총 당 함량은 정상, 생내백 및 내백조직홍삼 순으로 함유하고 있었다.
- 바. 총 페놀성 화합물 함량은 정상조직홍삼 0.46%, 내백조직홍삼 0.46% 그리고 생내백조직 홍삼은 0.48%로 비슷하게 나타났다.
- 사. 조사포닌 함량을 보면 정상조직 홍삼 5.24%, 내백조직 홍삼 4.81% 그리고 생내백조직 홍삼은 4.96%로 나타났으나 조직간에 큰 차이는 없었다.
- 아. 정상조직 홍삼, 내백조직 홍삼 및 생내백조직 홍삼의 구성 및 유리 아미노산 함량을 분석한 결과 구성 아미노산에서는 정상조직 홍삼이 가장 많았으며, 유리아미노산은 내백조직 홍삼에 가장 많은 것으로 나타났으나 구성아미노산 성분이 내백 및 생내백조직 홍삼에 크게 작용하는 것으로 사료된다.

제 3 절 홍삼의 NMR 및 MRI 특성 측정 및 분석

1. 서 론

측정하고자 하는 물질 내에 포함되어 있는 원자핵(atomic nucleus)은 외부에서 강한 자기장(magnetic field)을 형성해 주면 원자핵이 어떤 일정한 주파수의 고주파를 방사하게 되는데 일부 낮은 상태의 원자핵이 고주파에너지를 흡수하여 높은 에너지 상태로 전이(轉移)하는 공명(resonance)현상을 일으키게 된다. 이때에 사용되는 고주파는 공명시키고자 하는 원자핵의 세차운동의 회전 주파수에 일치하는 것으로서 이를 공명 주파수(Lamor frequency)라고 하며 핵 자기 공명(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)은 이러한 원자핵의 공명 상태 하에서 특정 주파수의 신호인 공명 주파수를 송신하고 이로부터 수신되는 신호를 수신하여 물질 내에 포함되어 있는 정보를 획득하여 분석하는 시스템을 일컫는다. NMR의 가장 큰 장점으로서는 대상물에 손상을 가하지 않고 화학적, 물리적 성분에 대한 정보를 정밀하고 정확하게 측정할 수 있으며, 시료에 특별한 제약이 없고, 생물체의 경우 거의 대부분에 활용이 가능하다. 또한 대상물의 특정 원소에 대한 정보를 선택적으로 얻을 수 있다는 것이다.

역시, 비파괴적인 측정 장치인 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging, MRI)은 2차원 자기공명분광(Magnetic Resonance Spectroscopy, MRS)의 진보된 기술로 시료로부터 공간위치의 함수로서 NMR 특성을 측정하는 것을 말한다. 이렇게 측정된 정보는 신호처리 과정을 거쳐 우리가 원하고자 하는 부분의 영상을 컴퓨터 모니터를 통하여 확인할 수 있게 된다. MRI는 이와 유사한 영상 장치인 X선(X-ray)과 달리 방사선 장해가 없어 대상체에 무해하며, 단층 영상에 대한 해부학적인 구조뿐만 아니라 분자구조의 구별도 가능하고, 한번에 한 장의 슬라이스를 획득하는 X선과 CT(컴퓨터 단층 촬영, computerized axial tomography)와는 달리 다양한 방향의 입체적 영상이 가능하다. 이러한 NMR과 MRI의 두드러진 장점에도 불구하고 장비의 높은 가격과 사용의 어려움으로 인해 의료용과 같은 한정된 분야에서 이용되어 왔다. 하지만 근래에 들어서 컴퓨터 기술의 발달과 저가의 장비개발로 인해 점차 그 활용분야가 확대되어지고 있으며, 농산물을 대상으로 연구 또한 활발히 이루어지고 있다.

인삼을 가공 방법에 따라 분류해 보면 수삼, 백삼 및 홍삼으로 분류할 수 있는데 이중 홍삼은 4~6연근 수삼을 원료로 하여 가공한 삼을 일컫는다. 홍삼이 제조되기

시작한 것은 약 1,000년 전으로 거슬러 올라가며, 역사적인 기록으로는 고려도경(高麗圖經)에 “인삼지간 역유생숙이등(人蔘之幹 亦有生熟二等)…”이라 하여 인삼을 증숙(蒸熟)한 것과 날것이 있다고 한테서 유래되었다고 말할 수 있다. 1895년에 고종에 의해 홍삼 법이 공포되었으며, 1908년 홍삼전매법 및 동시행령이 제정되어 최근까지 수정 및 보완되어 시행되어져 왔다. 홍삼은 정부만이 제조할 수 있는 전매품이었으나 1996년부터는 제조 설비를 구비한 사람은 누구나 홍삼을 가공하여 판매할 수 있게 되었다. 홍삼의 사전적 의미는 “인삼을 증숙 또는 팽숙하거나 기타의 방법으로 인삼의 녹말을 호화한 것을 말한다”라고 정의하고 있다.

국내에서 가장 큰 설비와 홍삼 제조 능력을 구비한 부여 고려 인삼제조창의 경우에 매년 2,800톤의 수삼을 가공하여 이중에서 약 302톤의 뿌리 홍삼을 제조하여 다양한 제품으로 생산하고 있다. 홍삼 원료인 수삼은 한국인삼공사에서 재배지를 선정하고 비배 관리 및 기술 지도등을 받으며 엄격한 관리 하에서 이루어지고 있다. 홍삼 제조용 인삼은 매해 7월중에 6연근에 대해서 수확 예상량을 조사하여 7~8월중 수삼 수확 및 수매 가격을 결정하고 9~10월중에 공사사원의 입회 하에 수매에 들어가게 된다. 이렇게 수매된 수삼은 품질 검사 및 계량 후에 고려 인삼창으로 운송되어 수납된 것으로 홍삼을 제조하게 된다.

홍삼의 제조과정을 살펴보면 채굴된 수삼을 물로 깨끗이 세척하고 일정한 용기에 넣어 가열된 수증기를 이용하여 크기에 따라 일정시간 증숙하게 된다. 증삼(蒸蔘)된 삼은 1차 열풍 건조 후부터는 태양열을 이용하거나 기타 다른 방법을 이용하여 수분이 12.5~13.5% 정도가 될 때까지 건조하며 잔뿌리(홍미삼)를 제거하고 모양을 가다듬어 등급별로 선별하게 된다. 홍삼은 백삼과는 달리 표피를 제거하지 않고 증기로 찌서 익혀 말리는 과정을 거치게 되면서 갈색화 반응이 일어나게 되어 담황갈색 또는 담적갈색의 색상을 띄게 된다. 이렇듯 수분 함량이 높은 수삼을 건조시킴으로써 수분함량이 14%이하가 되면 장기간 저장이 가능하며 제조 과정 중에 있어서 인체에 유익한 다양한 성분들이 생성되게 된다. 또한 홍삼의 적응소(adaptogen;適應素)효과는 주위환경으로부터 오는 각종 유해작용인 누병(淚病) 및 각종 스트레스 등에 대해 방어능력을 증가시켜 생체가 보다 쉽게 적응하도록 하는 능력이 있다는 것이 연구를 통해 밝혀지고 있다.

각 등급별로 선별된 홍삼은 지별(支別) 및 중량의 기준에 따라 진공 포장된다. 한국 인삼 공사에서 판매되는 뿌리 홍삼 제품인 정관장(正官庄) 제품의 경우에 있어

서, 10지에 600g를 기준으로 한 최고급 홍삼인 천삼의 권장소비자 가격이 288만원인데 비해 두 번째 등급인 지삼은 이 가격의 절반인 144만원이며 양삼은 지삼 가격의 약 1/3가적인 47만원에 판매되고 있어 각 등급별 가격의 편차가 타 농산물에 비해서 크다는 것을 알 수 있다 (2002년 한국인삼공사 자료). 이렇듯 고부가가치의 홍삼 제품 중 천삼 등급의 홍삼은 그 양이 전체 가공량 중 1% 남짓이기에 그 만큼 신중을 기해서 선별되어야 한다. 특히 한국인삼공사의 정관장의 경우 90% 이상이 일본, 중국, 홍콩, 대만 등의 외국으로 수출되기에 이러한 고가의 제품을 구입하는 외국인에게 있어서도 홍삼 품질에 대한 지속적인 신뢰감을 심어줄 수 있도록 해야한다.

지금까지 홍삼의 선별은 전문화된 인력에 의해서 외부 및 내부 품질을 평가하고 있다. 인삼 산업법 시행규칙의 별표6에 기재된 홍삼 직삼의 등급 선별 기준표에는 크게 다섯 가지 검사 기준 항목을 두어 천삼, 지삼, 양삼 및 등외삼인 절삼으로 등급을 구분하고 있다.

외형적인 선별에 있어서 체형에 대한 기준은 다음과 같다. 머리와 몸통은 굵기가 비슷하고 건설한 것인지, 몸통은 일정 길이 이상으로서 균열과 흠집이 없는지 그리고 다리는 몇 개가 존재하고 있으며 그 수는 몇 개인지에 따라 등급별로 구분하고 있다. 또 다른 외형적인 선별 기준으로서 색택과 표피가 있는데, 색택은 전체적인 홍삼의 외형 색깔이 담적갈색·담황갈색·다갈색 또는 농다갈색의 색깔이 얼마나 균일한지를 판단하며, 표피의 경우에 있어서는 윤기의 여부와 황피·백피가 전체 표면적에 대한 점유율로서 등급간에 차이를 두고 있다. 이러한 외형적인 선별기준은 어느 정도의 수치화가 되어있기는 하지만 그것이 객관성을 증명할 만큼 과학적인 것이 아니기에 인력에 의한 선별과정에 있어서 개개인의 이견차이가 발생할 수 있다.

내부적인 선별 항목인 내부 조직 및 함수율에 있어서는 그 과정 자체가 상품의 보존성을 위해 비파괴적으로 이루어져야만 하기에 선별되어지는 과정이 외형적인 선별 기준과는 달리 기준이 더욱더 난해하게 설정되어 있다. 제시된 기준으로서 내부조직이 치밀하고 견고한지를 검사하고, 내공(內空)이 의심 가는 홍삼은 머리 밑 부분을 사선으로 절단하여 구멍의 크기와 진행 길이에 따라 등급을 분류하고 있다.

현재 내부 품질 평가에 있어서 관행의 방법은 빛이 차단된 암실에서 홍삼의 밑면에 강한 빛을 비추어 투광되는 상태를 보고 판별하는 식으로 검사를 수행해 오고 있다. 이러한 방법은 객관적인 검사 기준이 있지만 검사원의 주관적인 성향에 따라 상이함이 존재할 것이다. 또한 장시간 암실에서 근무하는 검사자의 경우에 있어서 눈의

피로와 그로 인한 집중력의 감퇴는 정확한 선별에 장애 요소가 될 수도 있을 것이다. 이에 보다 객관적이고 판별 기준을 제시할 수 있는 검사 방법의 필요성이 대두되고 있으며 그러한 방법을 위해 새로운 검사 기기의 도입 및 자동화된 등급 판정 기술의 개발이 시급하다. 특히, 홍삼의 내부 품질 평가 요소에서 주요한 판별인자인 내공이나 내백(內白)과 같은 부분은 조직의 치밀도에 관련이 깊다고 할 수 있으며 이러한 육안 검사로는 불량조직의 검출에 한계가 있다.

따라서, 본 논문에서는 최근 농산물의 비파괴적인 내부 품질 평가 기술로 사용되고 있는 핵 자기 공명 기술을 이용하여 홍삼의 자기 공명 특성 및 영상을 측정하여 내부 품질 평가를 위한 가능성을 검토하여 보았다. 홍삼의 내부 품질 평가를 위한 핵 자기 공명 특성 및 영상의 응용에 관한 관한 연구 및 분석은 다음과 같이 세 부분으로 나누어 볼 수 있다.

1. 홍삼의 NMR 특성인자인 T_1 , T_2 및 T_2^* 와 계산된 FID(Free Induction Decay)ratio를 이용하여 홍삼의 각 등급에 따른 차이점과 상호 연관성을 조사하였다.
2. 획득된 NMR 특성인자 값들을 측정 변수로 하고 각각의 홍삼 시료를 관측 대상으로 하여 다변량 통계 분석 기법중의 하나인 주성분 분석법을 사용하여 등급별 분포도를 파악하였다.
3. MRI를 이용하여 홍삼의 3차원 내부 단면 영상을 비파괴적으로 획득하여 실제의 절단면 영상과 비교하여 내부 품질 평가 가능성을 제시하였다. 또한 획득된 자기 공명 영상에 대하여 중심부를 지나서 x축과 y축의 한 라인을 영상 농도 그래프로 나타내어 비정상적인 조직인 내공 및 내백부의 검출을 용이하게 하는 데 적용하여 보았다.

2. 문헌개요

가. 연구사

1) 농산물과 식품에 대한 시간 영역에서의 NMR 기술 이용

시간 영역에서의 NMR 기술의 이용은 비교적 자기장의 세기가 약한 소형의 NMR장치를 이용함으로써 고 분해능 NMR이나 고 자장의 MRI 시스템에 비하여 가격 면에서도 저렴하고 특수한 RF shielding room이 필요하지 않아 식품의 지방이나 당 성분을 측정하는 측정 기기로서 활용되어 지고 있다. 이러한 장점으로 인해서 산업현장에서는 온라인 센서로서 활용기

위해 다양한 기초 연구가 시도되고 있으며 최근의 식품에 대한 시간 영역에서의 NMR 기술을 이용한 연구를 요약하면 다음과 같다.

Roudaut 등(1998)은 빵 내부에 포함되어 있는 지질의 이동을 연구하였는데, 온도와 함수 량의 함수로서 이완 시간(T_1 및 T_2)과 병진 확산 계수(D)를 측정하기 위해 저 분해능 NMR(20 MHz)을 사용하였다. Ruan 등(1998)은 식품 중합체에서의 유리전이과정(glass transition process)을 조사하기 위해서 저 자장 NMR 기술을 이용하였는데, 검사된 식품 중합체(빵, 케이크와 크래커)의 스핀-스핀 이완 시간 상수(T_{2s})와 스핀-격자 이완 시간 상수(T_1)가 유리전이 상태 하에 있을 때, 역동적으로 변화함을 증명했다. 역동적으로 T_{2s} 와 T_1 가 변할 때 쌍일차 회귀 모델(bilinear regression model)을 사용하여 근접된 온도를 간단히 결정할 수 있었으며, 시차주사 열량계(DSC) 또는 기계적 열 분석기(DMTA)에 의해 밝혀진 유리전이온도에 대해서도 매우 유사하게 찾을 수 있었다. 중합체에서 수분의 가소화(plasticization) 효과는 유리전이에서 중요한 현상으로 관찰되어졌으며, NMR 기술에 의해 관찰된 이완 시간 상수들의 독특한 변화는 각기 다른 물리적 상태로 변화하는 중합체의 부분적 움직임에 기인하였음을 밝혔다. Cornillon 등(2000)은 NMR relaxometry와 고체 영상 기술이 적용된 저 분해능 탁상용 NMR을 이용하여 적은 수분을 지니고 있는 식품인 곡류와 쿠키에서의 수분 섭취와 이동의 작용에 대하여 연구하였다. 옥수수의 녹말/물 시스템에서 T_1 과 T_2 는 온도가 30°C에서 60°C로 증가하고 녹말의 농도가 증가함에 따라 감소하였으나, 60°C 이상으로 온도가 상승하면, 이완 시간은 호화현상(gelatinization)동안에 고분자 사슬의 더 많은 이동과 굴절을 보이며 증가되었다. Curtis 등(2000)은 NMR을 이용하여 Garna Padano 치즈의 숙성도에 관한 연구를 수행하였는데, 저 분해능 NMR(20 MHz)은 식품 내에 있는 수분 위치와 변위에 대한 정보를 제공하였으며, 고 분해능 NMR(500.137 MHz)은 치즈 내에 존재하는 모든 아미노산들을 평가하는데 이용되어졌다. Brown 등(2000)은 저 자장 NMR(20 MHz)을 이용하여 CPMG (Carr-Purcell-Meiboom-Gill) 방법으로 획득된 돼지고기(등심근)의 NMR 스핀-에코 붕괴와 돼지고기의 품질을 평가하기 위해서 주로 사용되는 14 가지 기술적인 변수들의 값들 사이의 비편향 상관(unbiased correlations) 관계를 밝히기 위해 사용되어졌다.

2) 농산물과 식품에 대한 주파수 영역에서의 NMR 기술 이용

고 분해능 NMR 또는 주파수 영역에서의 NMR 기술은 유기, 무기 및 생화학 분야에서 널리 응용되고 분포되어져 있다. 이러한 고 분해능 분광기는 연속파동(CW)과 순간 파동 또는 Fourier 변환(FT NMR)이라는 두 종류가 사용되고 있다. 주파수 영역에서 NMR 신호를 분석하기 위해서는 최소한 자기장의 세기가 2 Tesla(85 MHz)이상인 NMR 분광기를 이용해야 하며 현재는 21 Tesla(900 MHz)급의 NMR 장비가 개발되어 최첨단 연구 분야에서 활용되고 있다. 이 기술을 이용하기 위해서는 주위 온도가 일정한 온도로 제어되어야 하며, 외부 라디오파를 차단할 수 있는 shielding room이 필요하게 된다. 최근에 있어서, 식품에 대한 주파수 영역에서의 NMR 기술을 이용한 사례는 다음과 같다.

Belton 등(1996)은 고 자장 프로톤 NMR(600 MHz)를 이용하여 유체 상태의 식품에서 저분자형 화합물의 분석을 위한 연구를 수행했는데, 이러한 기술은 감도가 매우 높고, 화합물의 폭 넓은 범위를 조사하는데 이점이 있음을 보여주었다. Jung 등(2000)은 향 감소와 향기 특성의 변화가 향 화합물과 식품 폐놀릭 사이의 내부 분자간 상호작용에 기여할 수 있다는 것을 조사하기 위하여 온도 제어 장치가 부착된 500 MHz NMR 분광기를 적용하였다.

3) 농산물과 식품에 대한 자기 공명 영상 기술의 이용

자기 공명 영상기술로서 잘 알려진 공간 영역(spatial domain)에서의 NMR 기술은 현재 의학 분야에서 가장 활발히 사용되어 지고 있다. 1970년대 중반에 그 기술이 발견되어 Hinshaw 등(1977)에 의해 최초로 레몬의 자기 공명 영상이 Nature지에 발표된 이후, 자기 공명 영상 기술은 1980년대부터 지금까지 의료분야에 사용되기 시작하면서 급속도로 발전하고 있다. 현재 MRI는 농업과학 분야에서 농산물이나 식품의 생리적 현상, 물질의 이동 및 품질의 측정 등의 다양한 연구 분야에서 고전적인 연구 분석 방법과 함께 이용되면서 기존에 알 수 없었던 현상을 규명하는데 많이 쓰이고 있으며 앞으로 많은 분야에서 그 활용도를 찾을 수 있는 기술이다. 최근에 식품에 대한 자기 공명 영상 기술의 응용에 대한 연구는 다음과 같다.

Duce 등(1994)은 버터 쿵, 리가토니 파스타 그리고 스낵류의 수화(hydration)를 NMR 영상에 의해 비 침투적으로 영상화하였다. 샘플에 흡수되는 수분의 비율과 변화를 관찰하였으며, 영상 신호의 강도와 수분 함량 사이의 관계도 조사되어졌다. Sonogo 등(1995)은 증상이 매우 심해져도 외부적으로 나타나지 않는 복숭아의 질병

인 woolly breakdown을 관찰하기 위해 저온 저장 상태 하에서, 파괴적인 방법(펙틴 조성)과 비 파괴적인 방법(NMR 영상과 X-선)을 사용하였다. Woolly breakdown은 낮은 프로톤 밀도에 상응하는 어두운 영역이 NMR 영상으로 발견되어졌으나, woolly 진행 단계에서 복숭아 조직 내에서의 수분의 이동에 영향을 주지 않았다. Clark 등(1996)은 수확한 감을 5주 동안 저장할 때, 이완 특성에 대한 시간과 저장시의 대기 상태의 효과에 대해서 조사하였다. 냉해 과정의 초기 단계에서 영상의 시각적인 검사나 이완 특성의 변화로는 확인할 수 없었으나, MA(Modified Atmosphere) 처리된 과실에 있어서 감소된 호흡으로부터 발생하는 용해성 대사산물의 증가된 농도는 T_1 보다는 T_2 에 더욱 민감한 징후를 나타내었다. Kerr 등(1997)은 털 익은 키위의 결빙 과정을 자기 공명 영상으로 관찰하였는데, 과실의 표피에서 시작하여 서서히 중심방향으로 동결이 진행되는 부분은 신호의 감소에 의해 영상화되어졌다. 이 실험에서 동결이 된 후 T_2 이완 상수의 현저한 감소는 저온 저장시 장애를 입은 과실을 선별하는 on-line 센서의 설계가 가능함을 시사하였다. Clark 등(1998)은 저온 저장 중에 감소되는 후지 사과와 밀병을 관찰하는 데 있어서 횡단면 및 종단면에서 수집된 2차원 multi-slice 영상과 사과 전체에 대한 3차원 데이터 배열의 조작을 기초로 한 자기 공명 영상을 이용하였다. 영향을 받지 않은 조직($T_E=20$ ms, $T_R=200$ ms)과는 대조적으로 포화된 조직을 식별하거나, 포화된 조직과 관(vascular) 조직($T_E=5$ ms, $T_R=150$ ms)의 구별은 T_E 와 T_R 의 변경에 의해서 획득되어졌다. Song 등(1998)은 낱알 밀의 3차원적인 수분 분포에 대해서 비파괴적으로 측정할 수 있음을 증명하기 위해서 연구를 수행했는데, 3D MRI 기술이 12% 저장습도(wet basis)상태에서 낱알 밀을 조사하기 위해 적용되어졌다. 3D projection reconstruction (3 DPR) 기술은 고 해상도 프로톤 밀도 영상을 획득하기 위해서 사용되어졌으며, 영상의 공간 분해능은 $94 \times 94 \times 94 \mu\text{m}^3$ 이었다. 3D 프로톤 밀도 영상은 밀에서의 3D 수분 분포에 관련되었으며, 12% 수분 함량에서, 밀의 녹말 내배유(endosperm)에서 수분 분포는 균일하지는 않았다. Kerr 등(1998)은 식품이 동결하는 동안에 얼음이 형성되는 과정을 MRI에 의해 조사하였는데, 얼음의 형성은 공간상에 위치한 NMR 신호 강도의 감소로서 관찰되어졌다. 토마토, 당근, 완두콩과 닭다리 등이 $350 \mu\text{m}$ 의 해상도로 연구되어졌으며, 수분 또는 지방의 함유에 따라 강조되어졌던 내부 구조들은 자기공명영상

에 의해 구분되어졌다. 이 실험으로, MRI는 동결 시간과 동결 과정에서 식품 구조에 대한 중요성을 평가할 수 있음을 제시하였다.

4) 홍삼에 대한 품질 판정 연구

지금까지 홍삼의 품질 판정에 관한 연구는 크게 외형적인 기준에 의한 선별과 내부 조직의 판별로 나누어 볼 수 있다. 외형적인 등급 선별에 있어서는 기계시각을 이용한 연구가 주를 이루었고 내부 조직의 판별에 있어서는 다양한 방법들이 시도되어지고 있다.

김 등(1997)은 홍삼 선별의 자동화를 추진하는데 필요한 기초연구로서 홍삼의 1차 등급 판정 과정을 광학적 및 기하학적 특성에 근거한 객관적이고 일관성 있는 방법으로 개선하기 위한 연구를 수행하였다. 분광광도계를 이용하여 홍삼의 각 부위별 분광 반사 특성을 측정·분석하여 등급 판정에 활용할 수 있는 가능성을 검토하였다. 이 자료를 토대로 하여, 450 nm 대역 통과 필터를 장착하였을 때 가장 효율적인 문턱값 처리 결과를 획득할 수 있는 새로운 영상 처리 기법을 개발하였다. 장 등(2001)은 영상 처리를 이용한 홍삼의 외형 선별 시스템 개발에 관한 연구를 수행하였다. CCD 카메라를 이용하여 획득한 홍삼 영상은 너두 존재율, 다리의 존재유무 및 표면 색택을 통하여 천삼, 지삼, 양삼 및 등외삼의 선별 시스템을 개발하였다. 선별 정확도는 74.7%로 나타났으며, 검사원들의 육안 판정의 평균값인 95.8%와 비교했을 경우에 21.1%의 선별율 차이를 보였다.

홍삼의 내부 조직에 관한 연구로서는 홍삼 품질에 가장 큰 영향을 미치는 내공 및 내백에 관한 연구가 주를 이루었다. 도 등(1985)은 홍삼의 품질 불량 요인을 규명하기 위하여 정상홍삼과 내백홍삼의 구성성분, DPPH 환원력, 사포닌 패턴(saponins pattern) 및 조직등을 비교하였는데, 성분 면에서는 정상 홍삼이 내백 홍삼에 비하여 총당 및 유리당 함량이 많았으며, amylose/DPPH 환원력에 있어서는 큰 차이가 없었다. 비중은 정상홍삼이 약 두 배정도 높았으며 사포닌 패턴은 발견할 수 없었다. 윤 등(1992)은 재배 조건이 홍삼의 내공 발생에 미치는 원인을 규명하고자 하였는데, 홍삼에서 내공발생률이 27.5%이상일 때는 천삼 및 지삼을 저하와 밀접한 관계가 있었으며, 토양 수분과 내공 발생율의 관계는 내공 발생율이 27.5% 이상으로 심할 때는 부상관(負相關)이고 그 이하에서는 정상관(正相關)을 보여, 토양 수분은 내공 발생이 많을 때에는 내공 요인으로 크게 기여하는 것으로 보이며, 토양 공극률도 같은 경향

이 있음을 밝혔다. 박 등(1988)은 정상 홍삼 절편과 내백삼 절편의 중심부위를 주사 전자현미경으로 관찰한 결과, 내백부는 전분괴의 수가 적고 크기도 작았으며 주름이 많고 얇은 막 물질을 가지고 있다고 보고하였다. 최근에는 홍삼에 대한 비파괴적인 품질 검사가 이루어지고 있는데, 장 등(1998)은 저 자장 영역의 프로톤 NMR(20 MHz)을 이용하여 홍삼 시료에 대한 NMR 특성인자 값을 측정하였는데, 각기 다른 용적밀도를 가지는 홍삼과 T_1 값은 상관계수가 $r = -0.8934$ 로 높은 음의 상관관계를 나타냄을 밝혀냈다. 또한 이 등(2002)은 홍삼의 NMR 특성 인자를 측정하여 이 값들을 인경 신경망에 적용하여 등급 판별을 시도하였는데, 2등급으로 선별한 결과에 있어서는 정상 홍삼이 76.02%, 불량 홍삼이 85.65%의 판정 성공률을 나타냄을 보여주었다. 그 외의 비파괴적인 연구로서는 손 등(2002)은 고품질의 홍삼 선별 자동화 장치를 개발하기 위한 연구의 일환으로 내부 품질 판정 인자 중 내공을 검출하기 위해 X-선 투과 영상을 이용하여 내공 판정에 적합한 전처리 영상 기술을 연구하였다.

나. 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)

주성분 분석은 직교 최소 제곱(orthogonal least squares)의 개념에 기초하여 p차원 공간에 흩뜨려져 있는 점들을 가장 잘 적합시키는 평면을 찾기 위한 기하적 최적화(optimization)의 문제로서 Pearson(1901)에 의해 제기되었다. 그 후 1930년대 Hotelling(1933, 1936)은 변수들간의 상관구조(correlation structure)를 분석하기 위한 노력의 일환으로 원래 p개 반응 변수들의 간을 근사적으로 결정하게되는 더 낮은 차원의 서로 독립적인 요인을 상정하여 이를 성분(component)이라 불렀으며, 원래 변수들이 가진 전체변이에 대한 각 성분의 공헌도(contribution)를 순차적으로 최대화하도록 선택된 성분(주성분)을 유도하여 이에 기초한 분석을 주성분분석이라고 불렀다.

이와 같이 주성분분석은 여러 개($p \geq 2$)의 양적 변수(quantitative variable)들 사이의 공분산 행렬(covariance matrix)과 상관 행렬(correlation matrix)을 이용하여 이 변수들의 선형 결합으로 표시되는 주성분을 찾고, 이 중에서 중요한 $m(\leq p)$ 개의 주성분으로 전체변동의 대부분을 설명하고자 하는 다변량 분석법이다. 각 변수의 단위가 같을 경우에는 공분산 행렬법을 이용하고 다를 경우에는 상관 행렬법을 이용하게 된다. 즉, 상관 행렬을 이용하면 변수를 표준화시키므로 변수단위가 무시되지만, 공분산 행렬을 이용하면 변수를 표준화시키지 않고 원자료를 기준으로 계산되므로 변수의 단위가 그대로 있게 된다.

이러한 주성분분석은 회귀분석(regression analysis)에 포함시킬 설명변수의 수를 결정하

거나 군집분석(cluster analysis)의 입력변수를 정할 때, 인자분석(factor analysis)에서 인자수를 구할 때, 주성분들의 산점도(scatter diagram) 및 Q-Q plot를 이용 정규성 검정 및 이상치 탐색에 이용된다. 주성분 개수의 선택 기준은 누적공헌도, 고유값(λ)의 크기 또는 도형을 이용하는 방법을 사용한다.

NMR 분야에 있어서 주성분 분석의 응용은 주로 주파수 영역에서 획득되어진 측정 변수들을 이용하여 분석이 이루어졌으며 다음과 같은 연구 사례들이 있다.

Vogels 등(1996)은 오렌지 주스의 신뢰성 결정을 위한 선별 도구로서 고 자장의 프로톤 NMR 분광기(400 MHz)의 응용을 설명하였는데, 순수한 오렌지 주스와 당이 첨가된 주스 사이의 판별을 위해 패턴 인식 기술인 주성분 분석과 판별 분석을 이용하였다. Belton 등(1998)은 각각 다른 품종으로부터 생산된 사과 주스들을 선별하기 위해서 고 분해능 500 MHz NMR로 획득되어진 주스의 분광에 대해 주성분 분석과 선형 판별 분석을 이용하였다. 5개의 주성분을 사용했을 때, 26개의 샘플 중에 적어도 24개의 샘플이 분류되어졌으며, 최적의 조건 하에서는 100%의 성공률을 달성하였다. 주성분 로딩(loading)의 검사에서는 능금산(malic acid)과 자당(sucrose)의 레벨이 중요한 화학적 변수임을 보여주었다. Sacchi 등(1998)은 고 자장(600 MHz) 프로톤 NMR 분광기를 이탈리아 4개 지역에서 추출된 55개의 extra virgin 올리브유의 분석에 적용하였다. 다변량 통계분석(주성분 분석 및 계층적 군집 분석)을 이용하여, 각기 다른 품종과 지리적인 원산지의 특성에 있어서 프로톤 NMR의 가능성 있는 기여를 할 수 있음을 제시하였다.

3. 재료 및 방법

가. 실험 재료

1) NMR System

실험에 사용된 NMR 장비는 한국식품개발연구원(Korean Food Research Institute, KFRI)에서 보유하고 있는 장비로서, NMR 전문 생산업체(NMS 110, Bruker, Germany)에서 제작한 10 MHz pulsed NMR system을 사용하였다. NMR 장비는 중심자장이 0.23 Tesla인 영구 자석(permanent magnet)이 장착되어 있으며 사용된 sample tube의 직경은 40 mm인 유리관을 사용하였다. 그림 3-3-1은 사용된 장비의 전체적인 시스템의 구성을 나타낸 것이고, 자세한 재원은 표 3-3-1에 나타내었다.

Table 3-3-1 Specifications of NMR equipment

Manufacturer	Bruker, Germany
Model	NMS 110
Magnetic magnitude	0.23 Tesla
Proton frequency	10 MHz
Magnet	Permanent magnet
Tube size	$\phi = 40 \text{ mm}, 50 \text{ mm}$

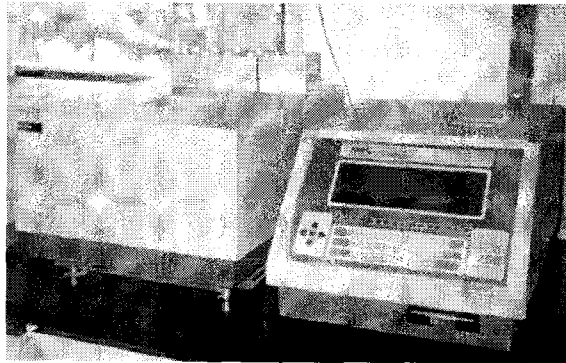


Fig. 3-3-1. Appearance of NMR system.

2) MRI system

본 실험에서는 University of California, Davis의 NMR Facility에서 보유하고 있는 7 T 초전도 자기 공명 영상 시스템(superconducting MRI system)을 사용하였다. 자기공명영상을 얻기 위해 사용한 코일은 직경이 35 mm인 microimaging용 코일을 사용하였다. 자기공명영상 시스템의 외관과 제원은 그림 3-3-2와 표 3-3-2에 나타내었다.

Table 3-3-2 Specifications of MRI system

Manufacturer	Bruker, Germany
Spectrometer	Biospec-7T
Magnetic magnitude	7.05 Tesla
Proton frequency	300 MHz
Magnet	Actively-shielded super-conducting magnet
RF-coils	Microimaging coil($\phi = 35, 15 \text{ mm}$)
	Imaging coil($\phi = 100, 125 \text{ mm}$)
Primary use	In vivo, spectroscopy, imaging

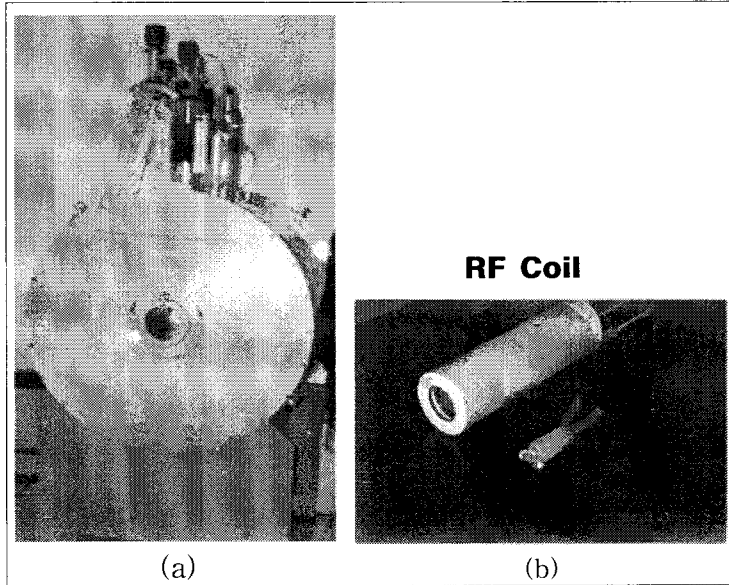


Fig. 3-3-2. (a) Horizontal bore superconducting MRI system (b) RF microimaging coil.

3) 홍삼 시료

NMR 실험에 사용된 시료는 부여 고려인삼장에서 제조하고 홍삼 선별 전문가에 의해서 분류된 세 등급의 홍삼을 사용하였다. 분류 기준은 체형과 같은 외형적인 기준보다는 내부조직을 기준으로 선별된 홍삼을 사용하였다. 각각 세 등급으로 분류된 홍삼은 정상(normal) 홍삼이 30편, 중간(media) 홍삼(이 10편, 불량(undergrade) 홍삼이 39편으로 총 79편을 사용하였다. MR image를 획득하기 위해 사용된 홍삼 시료는 3편이 준비되어졌다. 천삼 1편과 양삼 2편의 홍삼을 사용하였다. 양삼의 경우 내부 조직 상태에 따라 내공삼과 내백삼을 사용하였다. 실험에 사용된 시료들은

Table 3-3-3 Sample numbers for NMR and MRI tests

	For NMR test		For MRI test	
	Grade	Normal grade	30	Heaven's grade
Medium grade		10	Good grade	cavity inside
Undergrade		39		white part inside
Total	79		3	

표3-3-3에 정리하여 나타내었다.

나. NMR 특성 인자 측정

1) Pulse sequence

본 실험에서는 T_1 값을 측정하기 위해 사용된 pulse sequence는 Inversion recovery pulse sequence를 사용하였다. 180° pulse를 부여하고 inversion time을 0.05 msec로 지연한 후 90° pulse를 주고 그 후 재초점 pulse로 180° pulse를 사용하여 데이터를 획득하였다. 데이터 포인트 획득에 있어서 포인트 수는 20으로 하였으며 pulse sequence를 5번 적용하여 그 평균의 값을 이용하였다. 또한 시간 간격은 최소 0.1 msec에 데이터 획득 후 매번 1.6배를 하여 시간 간격을 넓혀 갔다.

T_2 값을 측정하기 위하여 CPMG(Carr-Purcell-Meiboom-Gill) pulse sequence를 사용하였다. 데이터 포인트 수는 30으로 했으며 echo time = 0.1 msec로 하였다.

T_2^* 의 측정에 있어서 사용한 FID 신호 획득 간격은 0.0273 msec로 하였고 데이터 획득 포인트 수는 256으로 했으며, pulse sequence를 5번 적용하여 그 평균의 값을 이용하였다.

2) 실험 시료의 처리

본 실험에 있어서 홍삼의 NMR 측정에 있어서 홍삼의 투입 방향은 그림 3-3-3에서 보는 바와 같이 뇌두 부분이 sample tube의 바닥을 향하도록 투입하였다. 본 실험에 있어서는 그림 3-3-4에서 보는 바와 같이 두 차례의 NMR 측정이 이루어졌다. 1차 NMR 측정에 있어서는 뇌두를 제거한 후 측정하였으며, 2차 NMR 측정에 있어서는 뇌두가 제거된 몸통으로부터 하단부로 약 10 ~ 15 mm 정도 제거한 후 측정하였다. 각각의 측정에 있어서 자기 공명 신호의 신뢰성을 높이기 위해서 한 시료에 대하여 3회 반복 측정을 하였으며 자장의 균일성 및 시료 형태의 불규칙성을 감안하여 첫 번째에는 홍삼을 튜브에 삽입한 후 두 번째 측정 시에는 시료를 120° 회전시키고 마지막으로 세 번째 측정 시에는 240° 를 회전시켜서 측정하였다.

이와 같이 홍삼의 뇌두 및 뇌두 하단부 이하를 절단하여 각각 측정한 이유는 뇌두가 존재하는 동체 시작부는 조직이 엉성하여 상위등급의 홍삼일지라도 내백이나 내공이 존재하기에, 인력에 의한 검사에 있어서 실제 검사 부위 위치와 NMR 장치에 있어서

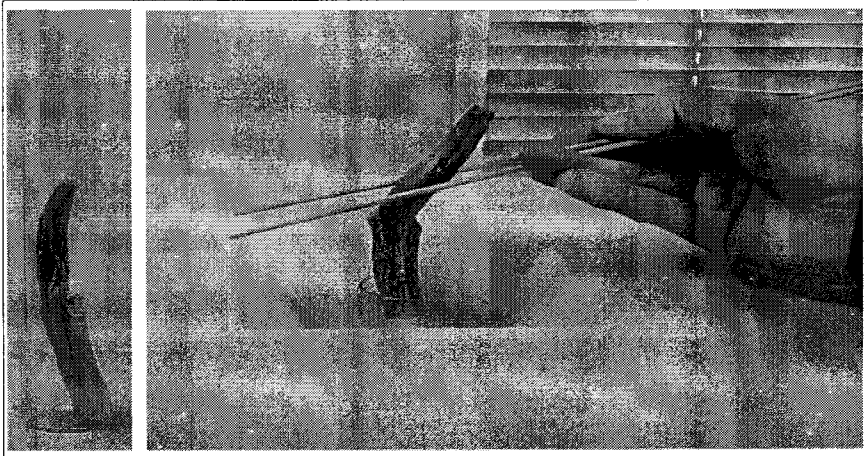


Fig. 3-3-3. Figure of red ginseng sample inserting into tube.

자장의 균일성(Homogeneity)이 높게 나타나는 hot spot의 위치를 일치시켜 검사하고 자하는 부위의 정확한 자기 공명 신호를 찾기 위해서였다. 또한 홍삼의 부위별 NMR 특성인자의 차이가 발생하는지를 관찰하기 위해서였다. 측정에 사용된 NMR 장비의 hot spot의 위치는 sample tube의 바닥에서 1 inch(25.4 mm) 내에 존재하는 것으로 알려져 있다.

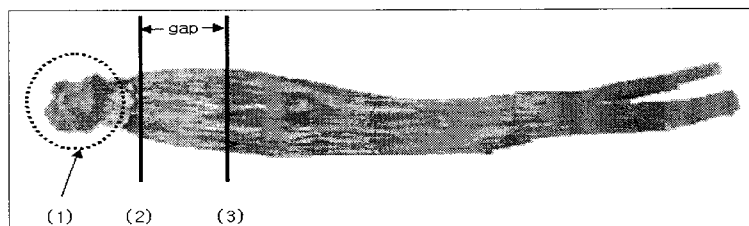


Fig. 3-3-4. (1) rhizome removal (2) 1st NMR measurement
(3) 2nd NMR measurement, gap = 10~15 mm.

3) Exponential curve fitting program

NMR spectrometer에 저장된 각각의 측정 데이터는 주 컴퓨터로 옮겨져 분석되어 졌다. 획득된 데이터는 상용 프로그래밍(MATLAB version 5.3, Mathworks, USA)소

소프트웨어를 사용하여 T_1 , T_2 및 T_2^* 값을 측정하였다. 사용된 graphical user interface(GUI)는 그림 3-3-5와 같다. 그래프에서 곡선으로 연결된 부분은 exponential function으로 나타내어진 근삿값이며 '+' 로 표시된 점은 실제 실험에 의해서 측정된 값을 나타내고 있다.

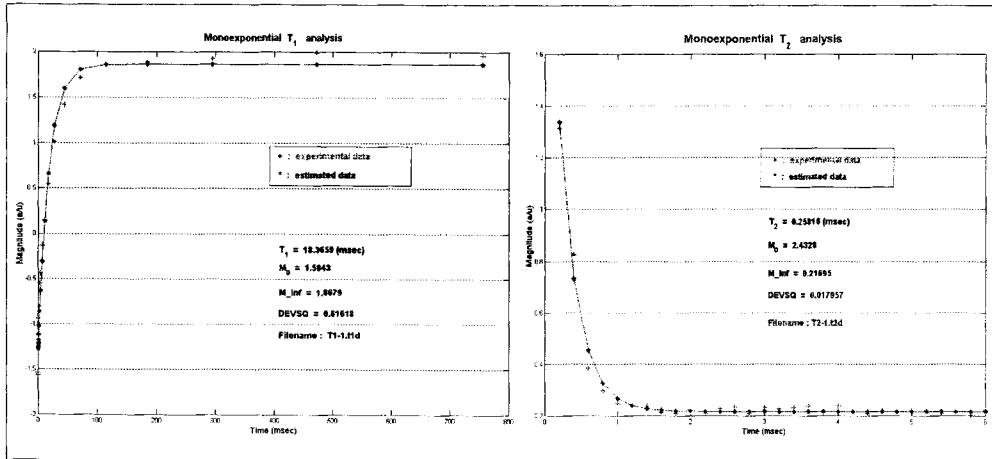


Fig. 3-3-5. GUI examples of T_1 , T_2 curve fitting calculation
(left : T_1 curve fitting, right : T_2 curve fitting).

4) FID ratio 계산

계산된 FID ratio 값은 그림 3-3-6과 같이, 각 홍삼 시료의 T_2^* 값에 임의의 수(a)를 곱하여 이것을 다시 최대 FID 신호 값으로 나눈 비율 값을 이용하였다. 이때 a는 0.6에서 6.3까지 0.3 간격으로 하였으며 본 연구에서는 a값이 2.4일 때의 값을 이용한 FID ratio 값을 사용하였다. 본 연구에 있어서 FID 신호의 ratio를 구한 이유는 실험에 사용한 홍삼의 크기는 모두 다르고, 그렇기 때문에 동일한 내부 조직 상태를 가지는 시료라 할 지라도 크기에 의한 FID 신호의 차이가 발생하기 때문에, 각 샘플의 서로 다른 크기로 인해 발생하는 신호의 차이를 상쇄시키기 위해서이다. FID ratio 계산은 상용 프로그래밍(MATLAB version 5.3, Mathworks, USA) 소프트웨어를 사용하였다.

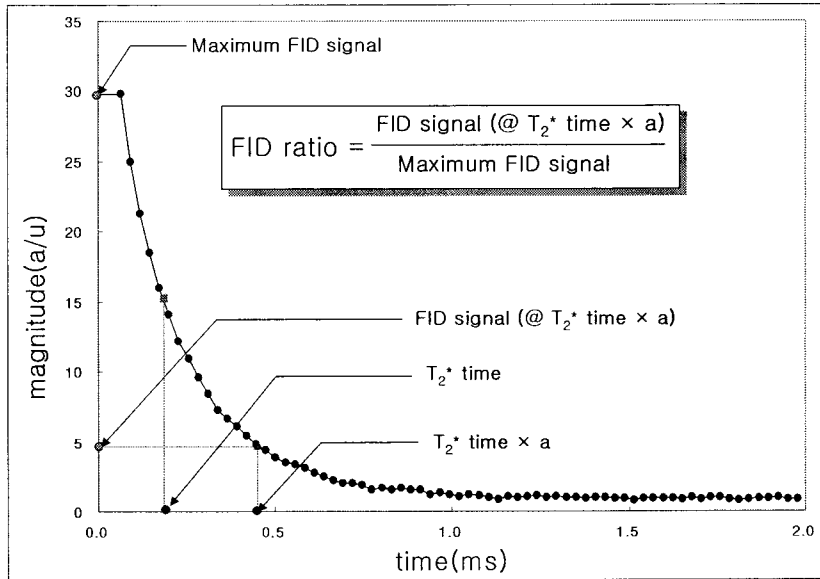


Fig. 3-3-6. Calculation method of FID ratio.

다. MR image의 획득

1) Single point imaging(SPI) pulse sequence

홍삼과 같이 수분 함량이 낮은 시료의 영상을 획득하기 위해서는 일반적인 Imaging pulse sequence의 적용은 어렵게 된다. 강한 이중 극자(dipolar)의 스핀-스핀 상호작용과 시료 내에서의 이온 결합과 상자성(常磁性 ; paramagnetism)의 일반적인 존재로 인해서 홍삼과 같은 고체상태의 시료는 매우 짧은 횡이완 시간인 T_2 를 가지게 된다. FID의 이러한 급속한 탈해상(dephasing)은 영상에 대하여 만만치 않은 장벽과 같은 것을 취하게 된다. 고체 내에서 공명선폭(resonance line width)은 획득할 수 있는 분해능을 제한하는 주요한 요소이다.

이러한 고체상태의 시료의 영상을 획득하기 위해 최근에 적용되고 있는 펄스 시퀀스로는 SPI(Single Point Imaging) 펄스 시퀀스로서 이 기술은 위상 부호화(phase-encoding)의 경사자계가 모든 공간 정보를 제공하게 된다. 그렇기에 대역폭이나 이완 시간에 제한 받지 않는다. 그러나, 각 복셀(voxel)에 대한 세 개로 분리된 위상 부호 단계는 상당히 긴 획득 시간과 매우 높은 의무 주기의 결과를 초래하게 된다. 따라서 이러한 SPI 펄스 시퀀스는 홍삼과 같이 거의 고체상태의 물질에 적합하

다고 볼 수 있다.

2) MRI의 각종 변수

SPI 펄스 시퀀스를 사용하여 획득된 영상은 3차원 영상이다. 그림 3-3-7에서와 같이 3차원 영상의 획득방향은 횡단면(axial), 시상면(sagittal) 및 관상면(coronal)으로 획득되어질 수 있으며, 본 연구에 있어서 분석된 방향은 주자장 B_0 에 대하여 수직으로 획득한 단면인 횡단면방향의 영상에 대하여 분석하였다.

그림 3-3-8은 획득되어진 영상 범위(field of view, FOV)를 나타내는 것으로서, FOV가 작으면 해상도(resolution)는 증가하나 신호 대 잡음비(signal to noise ratio :

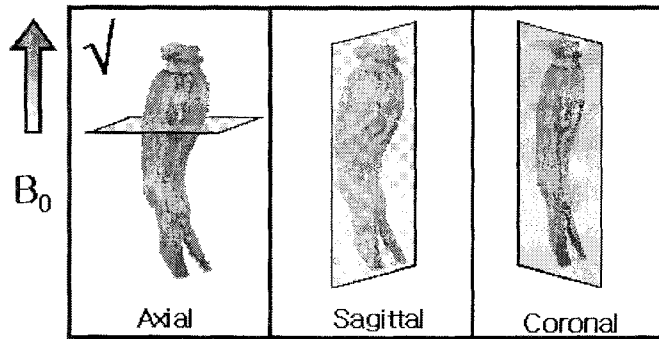


Fig. 3-3-7. Directions of MR image acquisition.

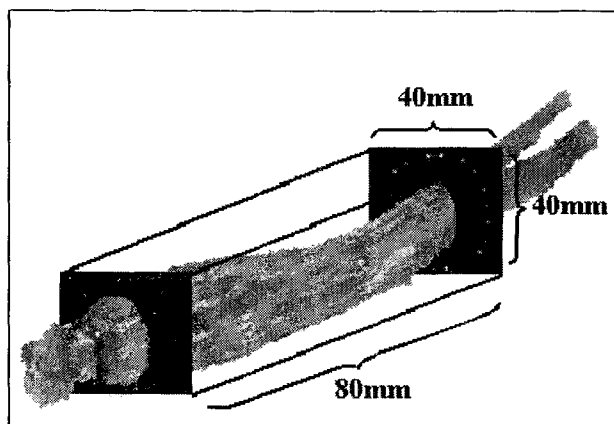


Fig. 3-3-8. Field of view(FOV) of imaging.

SNR)는 감소하게 된다. 본 실험에 있어서는 가로와 세로가 각각 40 mm이고, 길이가 80 mm의 3차원 영상의 FOV를 설정하였다. 획득되어진 영상의 크기는 128×128 voxel이었다. 절편 두께(slice thickness)는 2.5 mm로서 총 32장의 영상으로 분석되었으며 영상의 평면 해상도(resolution)는 0.31 mm/voxel이다(그림 3-3-9 참조).

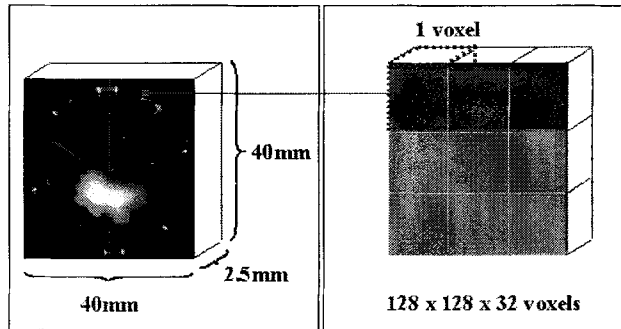


Fig. 3-3-9. Description of MR image size.

3) MR image 획득 프로그램

그림 3-3-10은 획득된 데이터를 분석 및 영상화하기 위해서 상용 프로그래밍 (MATLAB version 5.3, Mathworks, USA)소프트웨어를 이용하여 제작된 프로그램

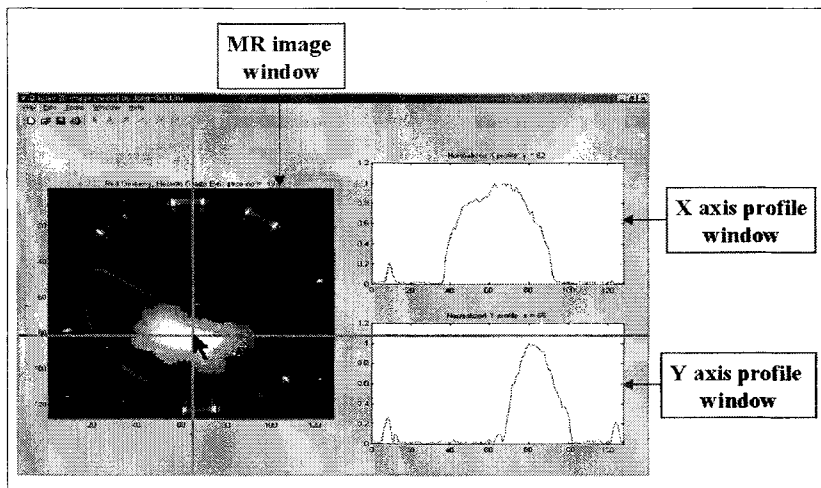


Fig. 3-3-10. GUI for 1D profile and image of red ginseng.

으로서 좌측에는 MR 영상을 나타내는 창이 있으며, 우측 상단에는 x축에 대한 1차원 영상 프로파일을, 우측하단에는 y축에 대한 1차원 영상 프로파일을 계산하여 도시하였다.

라. 주성분 분석의 측정 변수 및 관측 대상

주성분 분석법을 이용하여 NMR 측정 인자들인 T_1 , T_2 , T_2^* 및 FID ratio를 측정변수로 하였다. 3차례의 실험에 대하여 획득되어진 각각의 측정인자들을 T_1 (1st), T_1 (2nd), T_1 (3rd), T_2 (1st), T_2 (2nd), T_2 (3rd), T_2^* (1st), T_2^* (2nd), T_2^* (3rd), FID ratio(1st), FID ratio(2nd), FID ratio(3rd)로 하여 총 12개의 측정 변수를 설정하였다. 관측 대상으로는 정상, 중간 및 불량 의 79편의 홍삼 시료로 하였으며 주성분 분석의 score plot을 이용하여 분포된 각각의 홍삼 시료의 위치를 추적하여 세 등급에 대한 분포도를 파악하였으며, 홍삼의 내부 품질과 주성분(Principal Component)과의 연관성을 도출하고자 하였다. 이러한 분석은 상용 프로그래밍 (MATLAB & PLS Toolbox, version 5.3, Mathworks, USA)소프트웨어를 이용하였다. 그림 3-3-11은 PCA를 실행한 윈도우 화면을 보여준다.

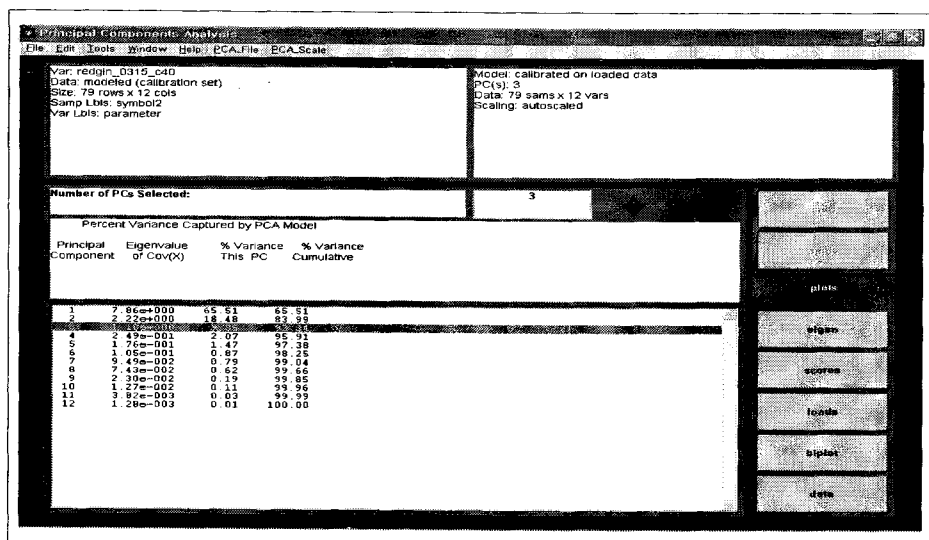


Fig. 3-3-11. GUI for PCA.

4. 결과 및 고찰

가. 홍삼의 자기 공명 특성

NMR 데이터의 기본적인 분석으로서 각각의 등급에 해당하는 NMR 측정 인자의 평균 및 표준 편차의 값을 표 3-3-4와 표 3-3-5에 나타내었다. 표 3-3-4는 1차 측정 후 NMR 인자들인 T_1 , T_2 , T_2^* 및 FID ratio 값을 나타낸 것이고, 표 3-3-5는 2차 측정후의 NMR 인자를 나타낸 것이다.

그림 3-3-12의 그래프에서와 같이, T_1 값의 경우에 있어서 홍삼의 내부 품질이 양호하지 않은 홍삼일수록 그 값이 증가하는 경향이 있었으며 각각의 등급에 해당하는 홍삼의 평균 및 표준편차의 값은 정상 홍삼의 경우 17.786 ± 3.983 msec(1차 측정) 및 18.807 ± 4.099 msec(2차 측정)이었으며, 중간 홍삼의 경우 18.757 ± 6.384 msec(1차 측정) 및 20.178 ± 6.644 msec(2차 측정)의 수준으로 1차보다는 2차 측정에 있어서 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 불량 홍삼의 경우에 있어서는 26.131 ± 6.970 msec(1차 측정)에서 25.798 ± 6.608 msec(2차 측정)으로 감소하는 경향을 나타내었다. FID ratio의 경우에 있어서는 그림 3-3-13에서와 같이, 정상 홍삼 : 0.150 ± 0.008

Table 3-3-4 NMR parameters of red ginsengs(1st measurement)

Grade	Parameters	T_1 (msec)			T_2 (msec)			T_2^* (msec)			FID ratio		
		1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Normal red ginsengs (30 samples)	Mean	17.903	17.811	17.644	0.354	0.354	0.355	0.207	0.202	0.208	0.151	0.150	0.150
	Std. dev.	3.950	4.009	3.994	0.047	0.052	0.049	0.018	0.016	0.019	0.008	0.008	0.008
	Mean	17.786			0.355			0.206			0.150		
	Std. dev.	3.983			0.049			0.016			0.008		
Medium red ginsengs (10 samples)	Mean	18.920	18.756	18.594	0.301	0.301	0.307	0.181	0.185	0.184	0.160	0.161	0.160
	Std. dev.	6.308	6.403	6.447	0.014	0.027	0.015	0.018	0.017	0.017	0.011	0.010	0.011
	Mean	18.757			0.303			0.184			0.161		
	Std. dev.	6.384			0.018			0.015			0.010		
Undergrade red ginsengs (39 samples)	Mean	26.686	26.057	25.651	0.287	0.301	0.298	0.168	0.163	0.169	0.179	0.180	0.178
	Std. dev.	7.024	6.921	7.014	0.040	0.060	0.045	0.031	0.027	0.030	0.022	0.021	0.020
	Mean	26.131			0.295			0.167			0.179		
	Std. dev.	6.970			0.039			0.029			0.021		

Table 3-3-5 NMR parameters of red ginsengs(2nd measurement)

Grade		Parameters	T ₁ (msec)			T ₂ (msec)			T ₂ [*] (msec)			FID ratio		
			1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Normal red ginsengs (30 samples)	Mean	19.006	18.884	18.752	0.292	0.296	0.299	0.200	0.190	0.189	0.154	0.155	0.154	
	Std. dev.	4.075	4.119	4.115	0.023	0.021	0.020	0.018	0.018	0.019	0.008	0.010	0.009	
	Mean	18.807			0.296			0.193			0.154			
	Std. dev.	4.099			0.020			0.016			0.009			
Medium red ginsengs (10 samples)	Mean	20.520	20.171	19.843	0.257	0.261	0.265	0.170	0.174	0.176	0.165	0.164	0.163	
	Std. dev.	6.629	6.723	6.588	0.014	0.014	0.020	0.017	0.015	0.01	0.010	0.012	0.010	
	Mean	20.178			0.261			0.173			0.164			
	Std. dev.	6.644			0.014			0.016			0.010			
Undergrade red ginsengs (39 samples)	Mean	26.233	25.739	25.422	0.253	0.260	0.259	0.157	0.153	0.158	0.180	0.179	0.180	
	Std. dev.	6.690	6.523	6.628	0.036	0.043	0.030	0.029	0.025	0.029	0.022	0.021	0.022	
	Mean	25.798			0.257			0.156			0.180			
	Std. dev.	6.608			0.033			0.027			0.021			

msec(1차 측정), 0.154 ± 0.009 msec(2차 측정) < 중간 홍삼 : 0.161 ± 0.010 msec(1차 측정), 0.164 ± 0.010 msec(2차 측정) < 불량 홍삼 : 0.179 ± 0.021 msec(1차 측정), 0.180 ± 0.021 msec(2차 측정)의 1차 및 2차 측정에 있어서 각 등급의 홍삼의 평균값이 증가하는 경향을 나타내었다.

그림 3-3-14와 그림 3-3-15에서 보는 바와 같이 T₂와 T₂^{*}의 값은 내부 품질이 저하될수록 그 값도 하락함을 관찰할 수 있다. 특히, T₁이나 FID ratio와는 달리 1차보다는 2차 측정에 있어서 T₂와 T₂^{*}의 각 등급별 값이 전체적으로 낮아짐을 관찰할 수 있으며 T₂^{*}의 경우, 정상 홍삼은 1차 측정에 있어서 0.206 ± 0.016 msec에서 2차 측정에 있어서는 0.013 msec가 낮아진 값이 0.193 ± 0.016 msec로 측정되었으며, 중간 홍삼은 0.184 ± 0.015 msec(1차 측정) 및 0.173 ± 0.016 msec(2차 측정)이며, 불량 홍삼은 0.167 ± 0.029 msec(1차 측정) 및 0.156 ± 0.027 msec(2차 측정)으로 분석되어졌다.

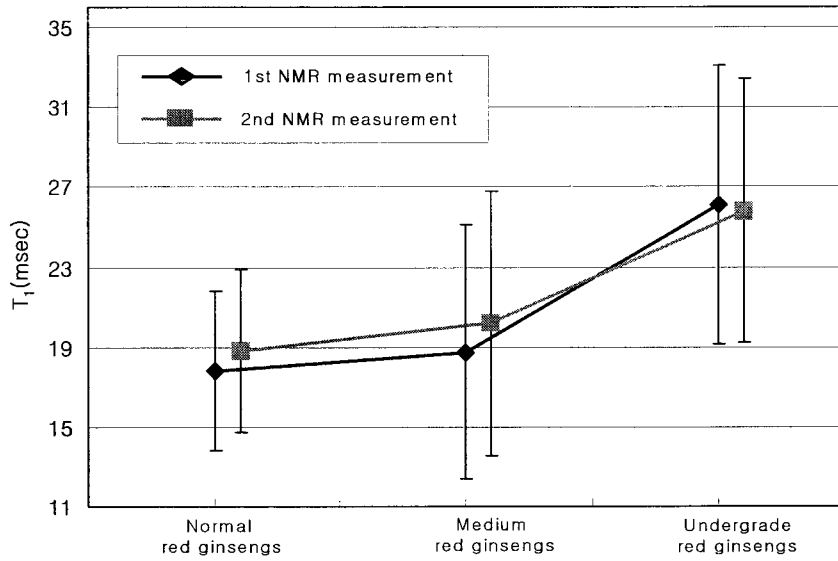


Fig. 3-3-12. T₁ values of red ginsengs.

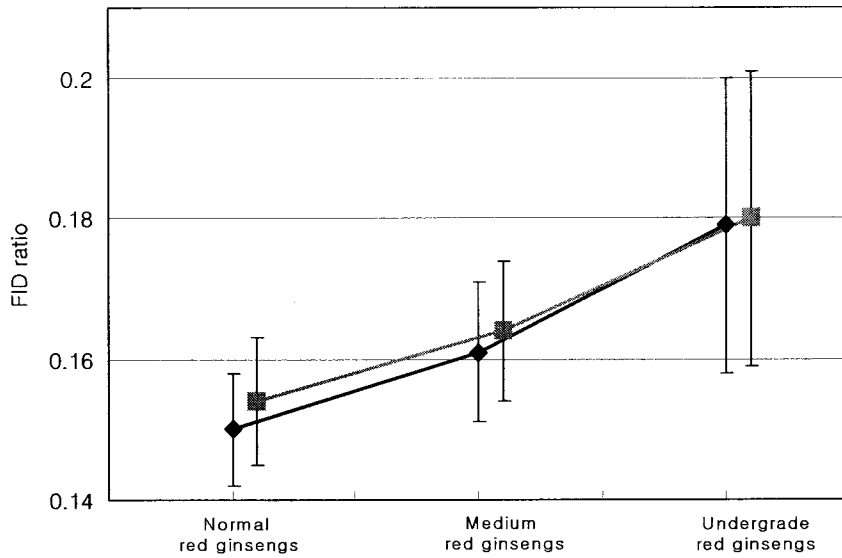


Fig. 3-3-13. FID ratio of red ginsengs.

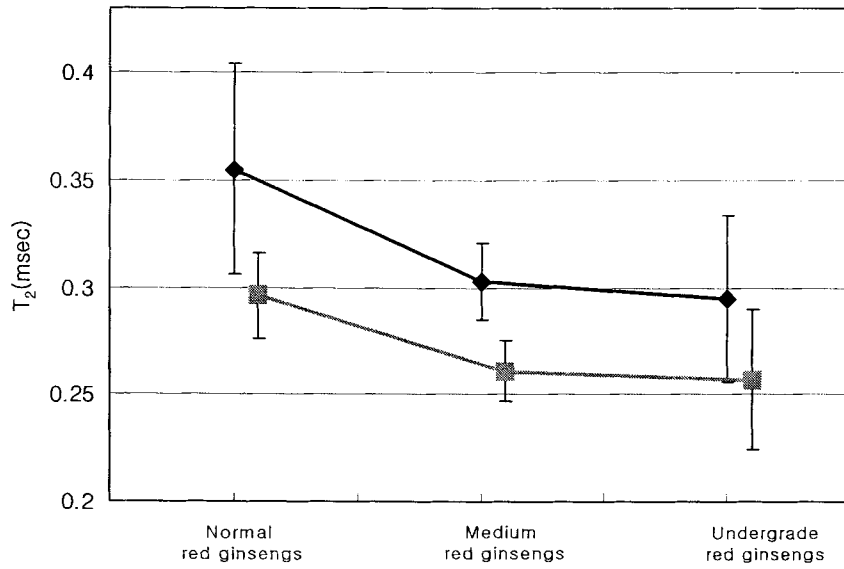


Fig. 3-3-14. T₂ values of red ginsengs.

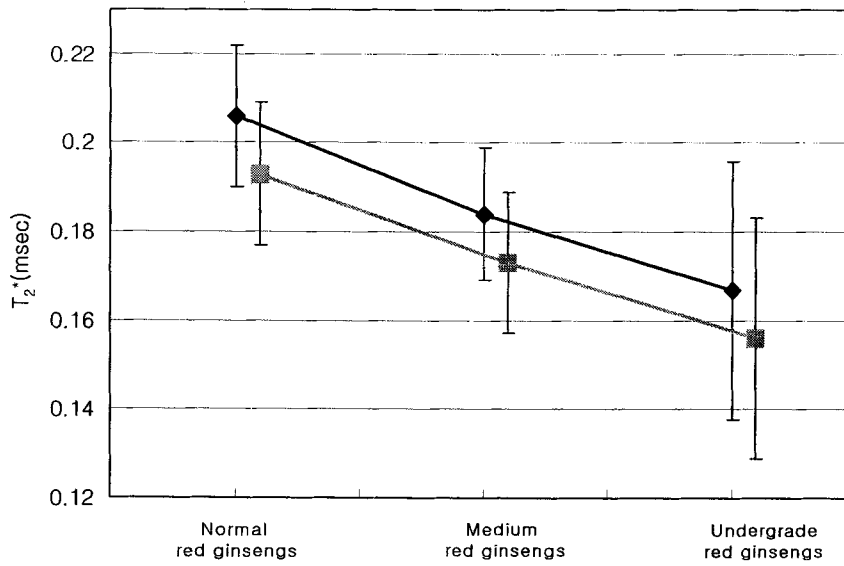


Fig. 3-3-15. T₂^{*} values of red ginsengs.

나. 주성분 분석을 이용한 홍삼 등급별 분포

정상, 중간 및 불량외 세 등급으로 분류된 홍삼에 대해서 주성분 분석을 이용하여 각 홍삼 시료에 대한 등급을 파악하기 위해서 주성분 분석을 실시하였다. 주성분 분석에 있어서 입력변수로는 T_1 의 3번 반복 측정값, T_2 의 3번 반복 측정값,

T_2^* 의 3번 반복 측정값 및 FID ratio에 있어서 3회 반복 계산된 값을 모두 변수로 설정하여 총 12개의 변수로 설정하였다. 관측 대상으로서는 실험에 사용했던 총 79개의 홍삼을 이용하였다.

표 3-3-6과 표 3-3-7은 1차 및 2차 NMR 측정에 있어서 주성분 분석의 고유치, 분산 및 분산 누적율을 나타내고 있다. 본 주성분 분석에 있어서 1차 NMR 측정은 PC1~PC3가 전체 분산 누적율의 93.84%를 점유하고 있으므로 이 세 개의 PC가 홍삼의 내부 품질과 관련하여 NMR 측정인자와의 관계를 설명하는 데 가장 유의성이 높은 변수로서 채택되어 질 수 있다. 2차 NMR 측정에 있어서도 PC1~PC3까지의 분산 누적율이 93.76%로서 전체 분산의 대부분을 차지하고 있기에 홍삼의 내부 품질과 측정 변수와의 관계를 설명하는데 유력하다.

Table 3-3-6 Eigen-value PCA of 1st NMR measurement

Principal component	Eigen-Value (auto-scaled)	Variance(%)	Cumulative variance(%)
1	7.86e+000	65.51	65.51
2	2.22e+000	18.48	83.99
3	1.18e+000	9.85	93.84
4	2.49e-001	2.07	95.91
5	1.76e-001	1.47	97.38
6	1.05e-001	0.87	98.25
7	9.49e-002	0.79	99.04
8	7.43e-002	0.62	99.66
9	2.30e-002	0.19	99.85
10	1.27e-002	0.11	99.96
11	3.82e-003	0.03	99.99
12	1.28e-003	0.01	100.00

Table 3-3-7 Eigen-value PCA of 2nd NMR measurement

Principal component	Eigen-Value (auto-scaled)	Variance(%)	Cumulative variance(%)
1	7.66e+000	63.80	63.80
2	2.03e+000	16.88	80.68
3	1.57e+000	13.08	93.76
4	2.41e-001	2.01	95.77
5	1.74e-001	1.45	97.22
6	1.39e-001	1.16	98.38
7	8.54e-002	0.71	99.09
8	6.43e-002	0.54	99.63
9	2.77e-002	0.23	99.85
10	1.44e-002	0.12	99.97
11	1.76e-003	0.01	99.99
12	1.30e-003	0.01	100.00

그림 3-3-16과 그림 3-3-17은 각각 1차 및 2차 NMR 실험에 있어서 주성분 분석에 사용된 12개의 측정 변수와 PC1의 상관관계를 나타낸 것이다. 각각의 그래프에서 관찰할 수 있듯이 x축에는 분석에 사용된 12개의 변수들이 순서대로 나열되어 있으며, y축에는 가장 기여율이 높은 PC1을 기준으로 하여 각 변수들의 분포 상태에 따른 상관성을 파악하였다. 그림 3-3-16과 그림 3-3-17이 서로 비슷한 경향을 나타냈는데, y축의 PC1의 0을 기준으로 하여 양의 영역에는 T_1 과 FID ratio가 분포되어 있으며, 음의 영역에는 T_2 와 $\sim T_2^*$ 가 분포되어 있음을 관찰할 수 있다. 즉, 앞에서 선행된 그래프 분석과 같은 결과로서 홍삼 등급이 저하될수록 T_1 과 FID ratio는 증가하는 정의 상관관계를 나타내며, T_2 와 T_2^* 는 홍삼 등급이 저하될수록 같이 감소하는 부의 상관관계를 나타내는 것을 관찰할 수 있다.

그림 3-3-18과 그림 3-3-19는 1차 NMR 측정에서 얻은 인자들을 측정 변수로 하고 79개의 홍삼 시료를 관측 대상으로 하여 주성분 분석을 실시한 것이다. 그림 3-3-18과 그림 3-3-19에서 x축은 분산이 가장 높은 PC1을 기준으로 하였으며, y축

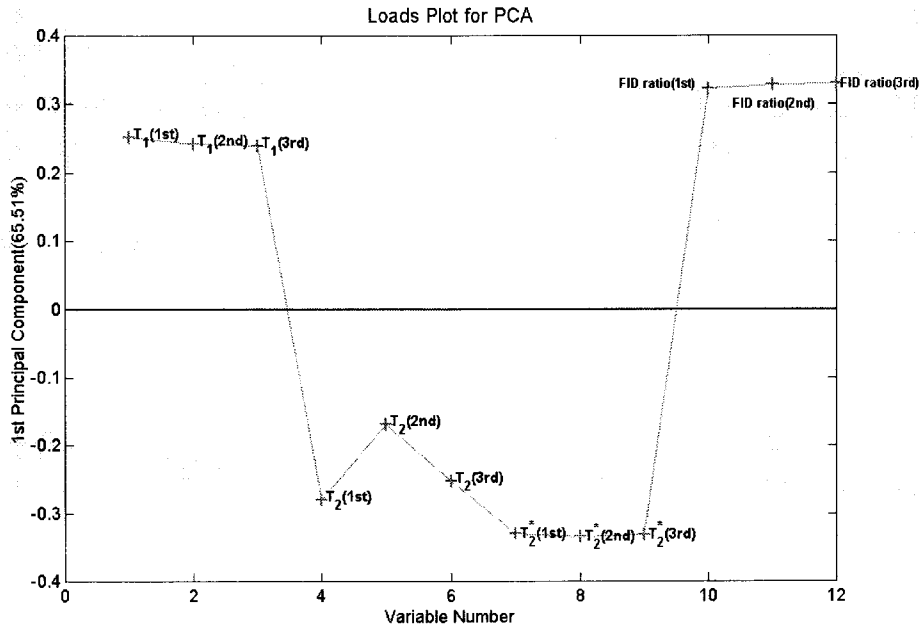


Fig. 3-3-16. Loads plot of 1st NMR measurement.

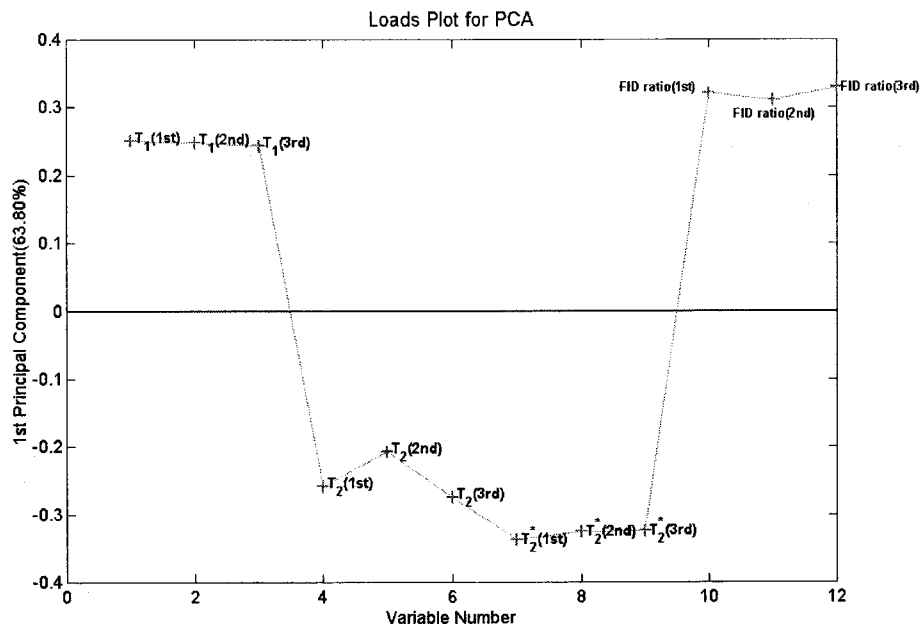


Fig. 3-3-17. Loads plot of 2nd NMR measurement.

은 각각 PC2와 PC3을 각각 도시하여 그 경향을 관찰하였다. 각각의 scores plot에서 보듯이 PC1의 분산이 약 65% 이상으로 홍삼의 등급별 분포 추이에 있어서 높은 신뢰성을 가질 수 있으며, 그림 3-3-18과 그림 3-3-19의 PC1의 0을 중심으로 하여 좌측의 (-)영역에는 정상 홍삼이 분포되어 있으며 중간 등급은 PC1 축의 중앙에 불량 등급은 PC1 축의 우측에 분포되어 있었다. 전체적인 홍삼 등급의 변화에서 파악되듯이 PC1의 0을 기준으로 하여 좌측인 (-)영역에서 우측의 (+)영역으로 이동할수록 홍삼의 내부 품질이 하락하는 홍삼이 분포되어 있다고 볼 수 있다. 그림 3-3-20과 그림 3-3-21은 2차 NMR 측정 인자들을 대상으로 하여 주성분 분석을 실시한 것이다. 1차 NMR 측정과 거의 유사한 결과를 보임을 관찰할 수 있으며 특히, 정상 홍삼의 경우 그 분포도가 1차에 비해서는 한 영역에 군집화되어 있음을 알 수 있다. 이는 2차 NMR 측정에 있어서 뇌두 하단 부에서 10~15 mm 정도 제거한 후 측정된 홍삼의 부위가 실제 검사 부위와 거의 일치하는 부분으로서 NMR 측정값에 있어서도 상당히 유력한 데이터가 검출되었다고 사료할 수 있다.

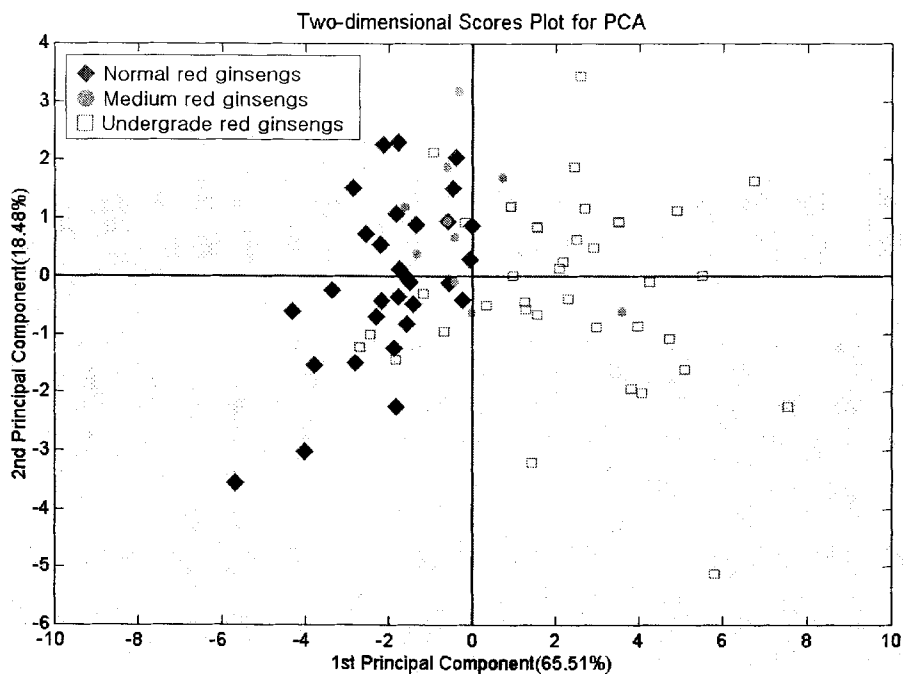


Fig. 3-3-18. Scores plot of 1st NMR measurement(PC1 & PC2).

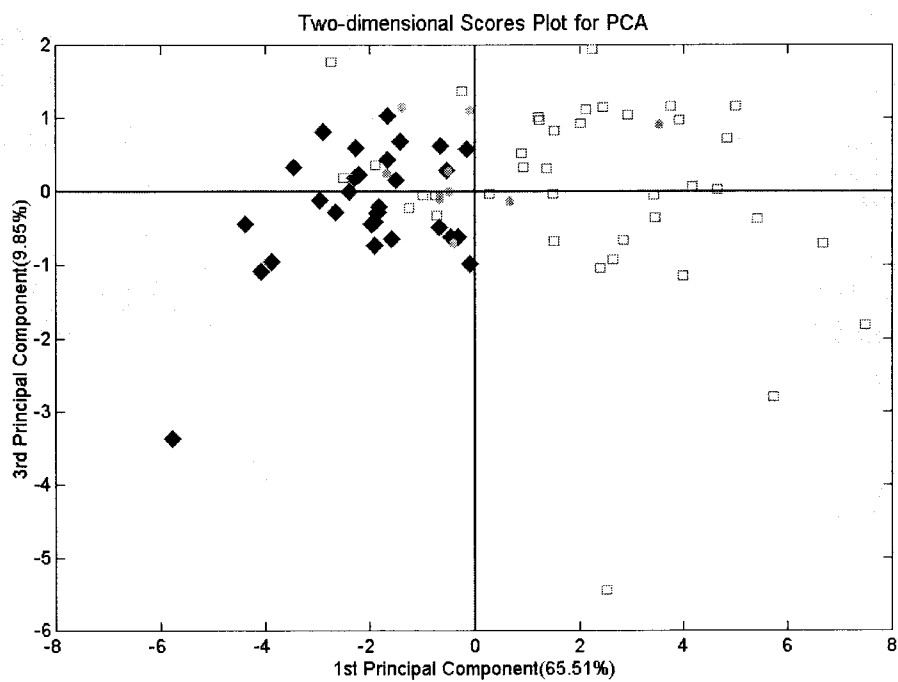


Fig. 3-3-19. Scores plot of 1st NMR measurement(PC1 & PC3).

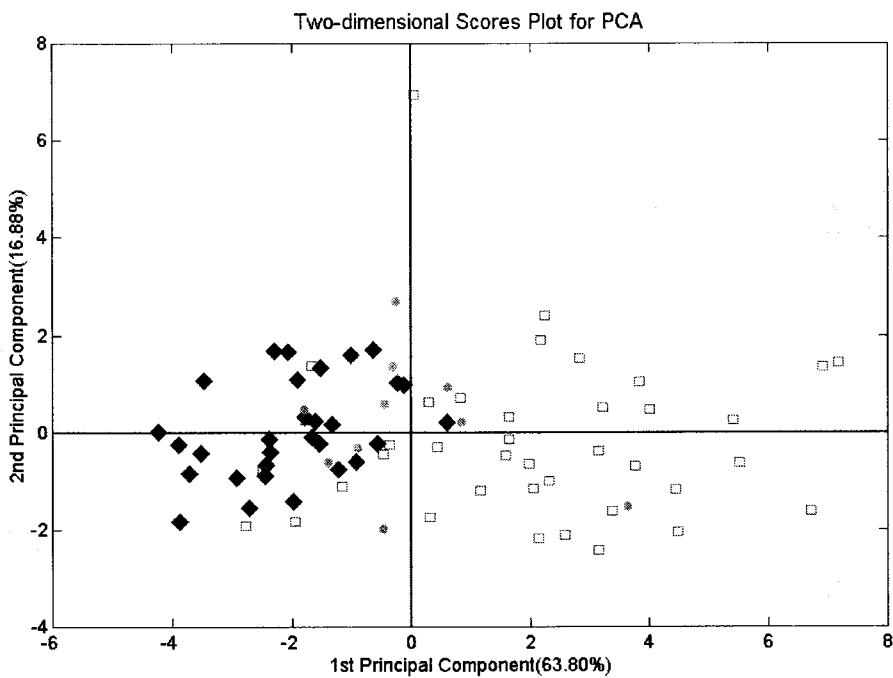


Fig. 3-3-20. Scores plot of 2nd NMR measurement(PC1 & PC2).

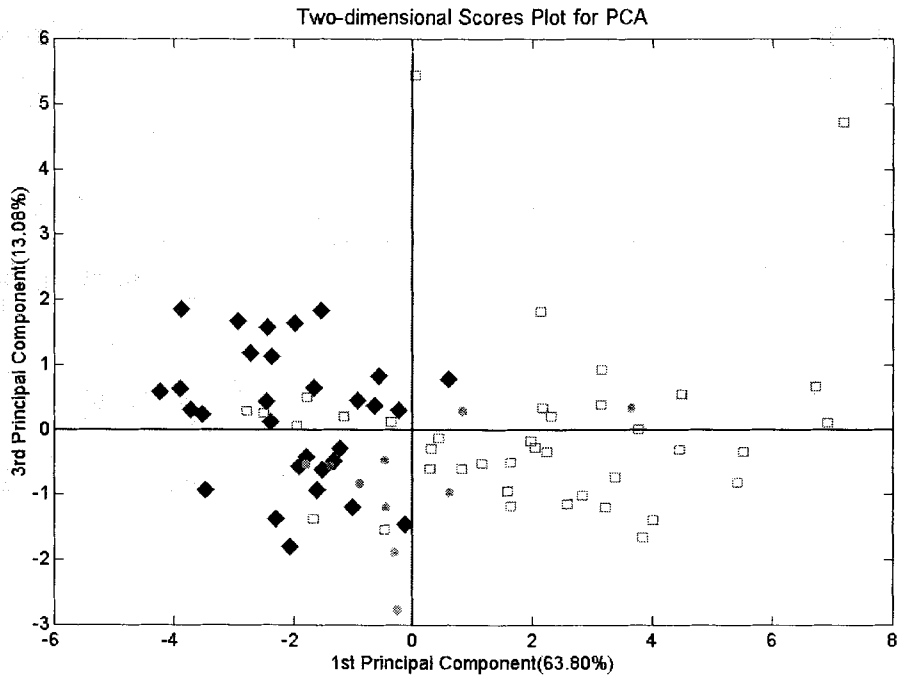


Fig. 3-3-21. Scores plot of 2nd NMR measurement(PC1 & PC3).

다. 홍삼의 자기공명영상

1) 홍삼의 MR image에 대한 분석

그림 3-3-22는 반전된 MR image와 반전된 영상을 비교해 놓은 것으로서, 반전된 영상에 있어서 테프론으로 된 받침대 위에 홍삼이 놓여 있고, 홍삼을 고정하기 위한 테이프가 둘러 쌓여 있으며 가장 바깥쪽으로 RF 코일의 역할을 하는 프로브의 영상을 확인할 수 있다. 여기서, 고체 물질에 대한 영상 획득 방법인 SPI 펄스 시퀀스를 이용하여 영상을 취득하였을 때 테이프, 프로브 및 홍삼은 MR image에 나타났으나 테프론은 재질의 특성상 신호가 나오지 않았다. 따라서 저수분 시료를 이용한 실험을 할 경우에 있어서는 테프론과 같은 재질의 시료 고정대의 선택이 중요하다.

천삼(H-#), 내공이 포함된 양삼(GC-#) 및 내백이 포함된 양삼(GW-#)을 대상으로 하여 SPI 펄스 시퀀스를 이용하여 획득된 3차원 MR image는 시료 당 총 32장의 영상이 획득되어졌다. 그림 3-3-23, 그림 3-3-24 및 그림 25에서 영상들은 시각적인 편의를 위해 반전된 영상이며 실제적인 홍삼 단면에 대한 영상으로 간주할 수 있는 MR image는 천삼의 경우 #8에서 #26이며, 내공이 포함된 양삼의 경우는 #8에서 #22

이고, 내백이 포함된 양삼의 경우는 #9에서 #26이었다. 또한 획득된 영상의 순서는 동체 하단부에서 시작하여 뇌두로 진행되어지는 MR image로서 천삼과 내공 및 내백이 포함된 양삼의 경우에 있어서, 뇌두 하단부에서는 공통적으로 속이 비어있는 상태의 부분이 관찰되어져 있었으며 이는 내공이라고 말할 수 없다. 실제 검사과정에 있어서도 뇌두 하단부에서 2~3 cm아래로 검사가 시작되고 이 부분에서의 정상부분과 내공 및 내백부의 존재여부로 등급을 판정하게 된다.

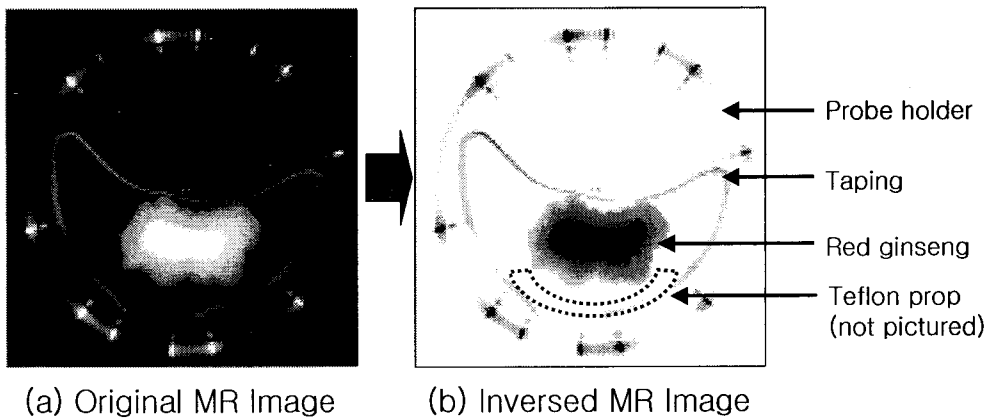


Fig. 3-3-22. Comparison with original and conversed MR image.

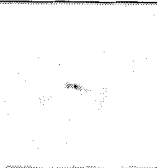

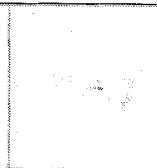
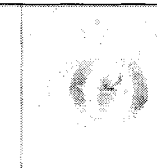
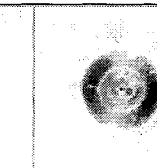
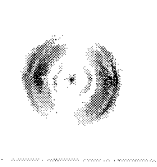
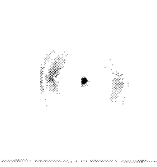
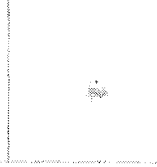
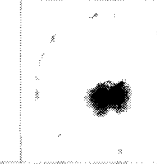
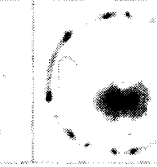
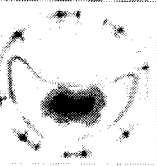
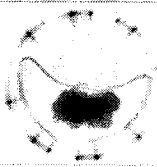
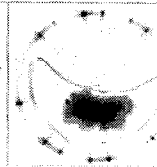
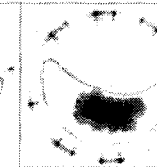
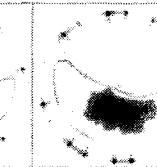
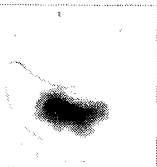
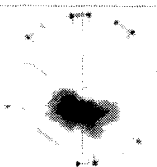
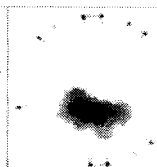
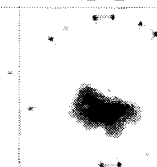
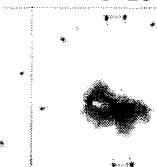
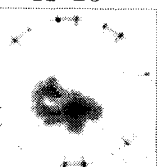
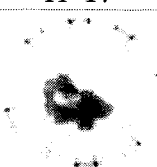
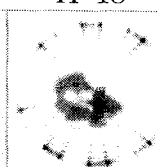
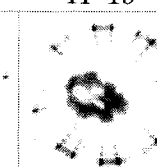
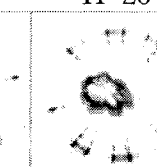
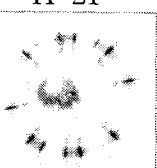
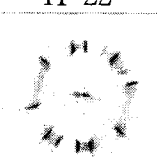
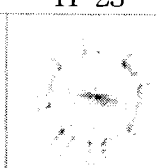
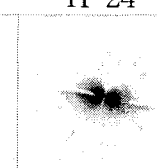
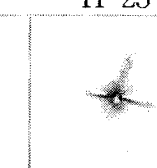
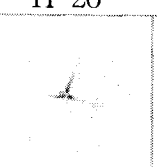

				
H-1	H-2	H-3	H-4	H-5
				
H-6	H-7	H-8	H-9	H-10
				
H-11	H-12	H-13	H-14	H-15
				
H-16	H-17	H-18	H-19	H-20
				
H-21	H-22	H-23	H-24	H-25
				
H-26	H-27	H-28	H-29	H-30
		H - # : Heaven grade red ginseng - number		
H-31	H-32			

Fig. 3-3-23. All MR images of Heaven grade.

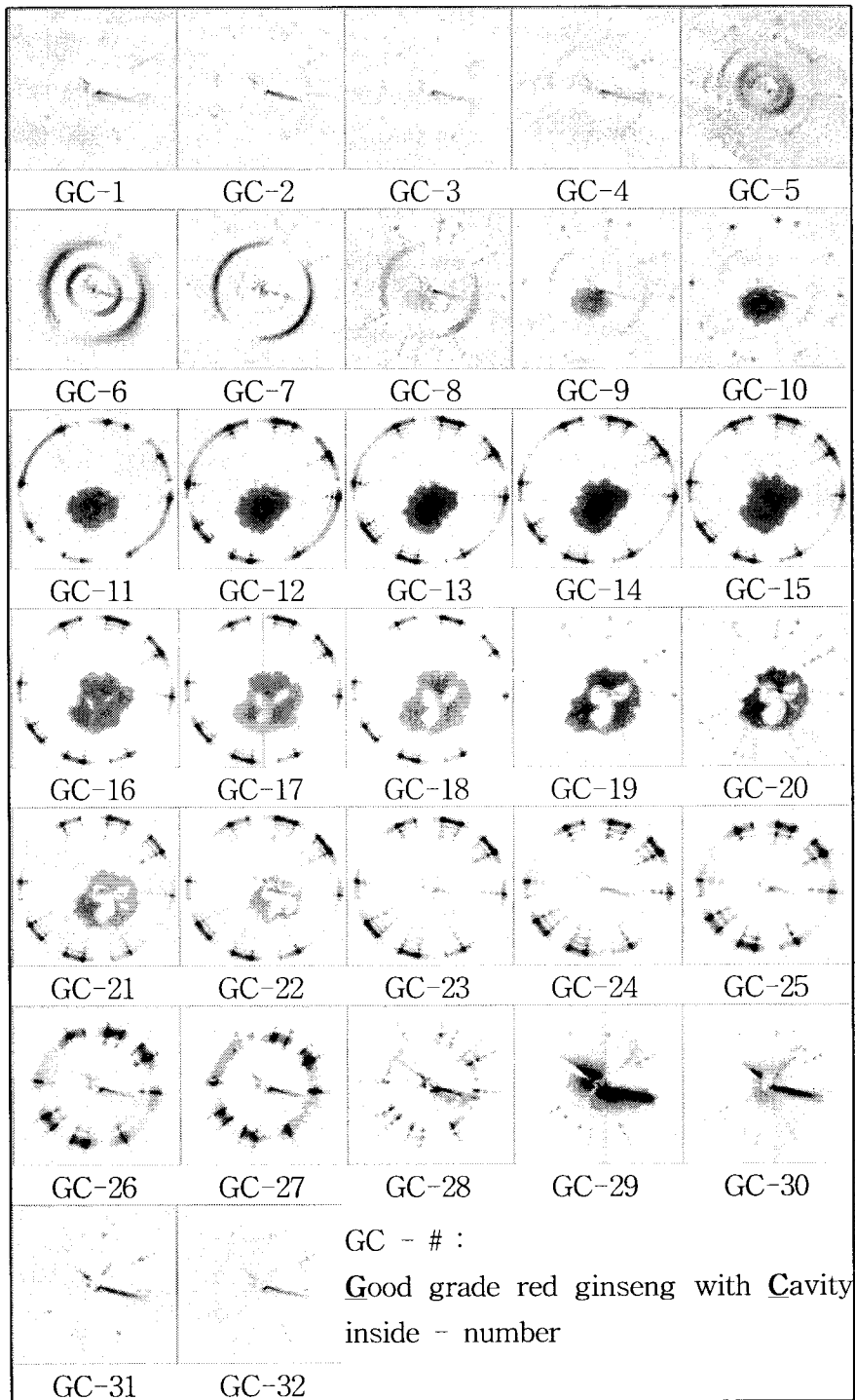


Fig. 3-3-24. All MR images of good grade with cavity inside.

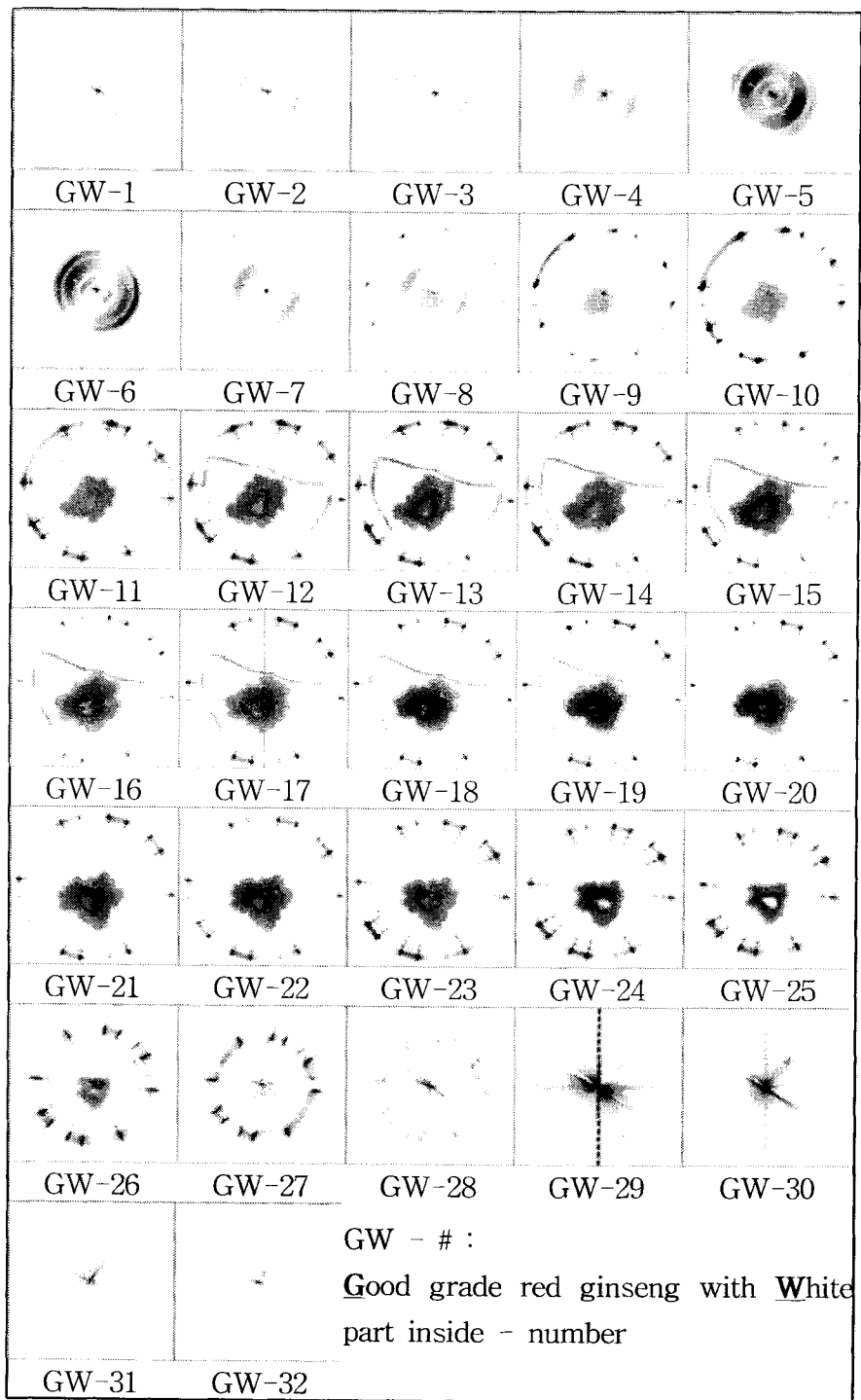


Fig. 3-3-25. All MR images of good grade with white part inside.

2) 홍삼의 실제 단면 영상과 MR image와의 비교

그림 3-3-26, 그림 3-3-27 및 그림 3-3-28은 MR image를 획득하기 위해 사용되어진 홍삼의 외형, 절단면의 실제 영상 및 MR image를 비교해 놓은 것이다. 여기에서 MR image는 실제 영상에 대하여 시각적으로 선명한 영상을 획득하기 위하여 흑백이 서로 반전되어 있음을 밝혀둔다.

각각의 그림에서 보듯이 상단에는 홍삼 전체의 외형의 모습이며 하단에는 MRI 측정이 완료된 홍삼을 직접 절단하여 실제 영상을 CCD 카메라로 촬영한 것과 그 부위에 해당하는 MR image를 서로 배치해 놓은 것이다. 각각의 실제 단면 영상과 MR image에서 관찰할 수 있듯이 측정된 3편의 홍삼들은 뇌두 하단 부에서는 조직이 치밀하지 못하여 내공이나 내백과 같은 상태를 보였으며, 하단 부로 내려갈수록 각각의 홍삼의 특성에 해당되는 상태가 나타남을 관찰할 수 있었다.

그림 3-3-26은 천삼의 단면 영상으로서 실제 내부 품질 검사가 이루어지는 (a) 및 (b)부분의 내공 및 내백부가 점차 사라짐을 관찰할 수 있었다. 이는 MR image에서도 보듯이 (a) 및 (b) 단면의 영상에서는 정상적인 조직의 중심부가 같은 세기의 MR 신호를 발생하여 농도가 일정함을 알 수 있다. (c)와 (d)부분은 뇌두 하단부로서 천삼

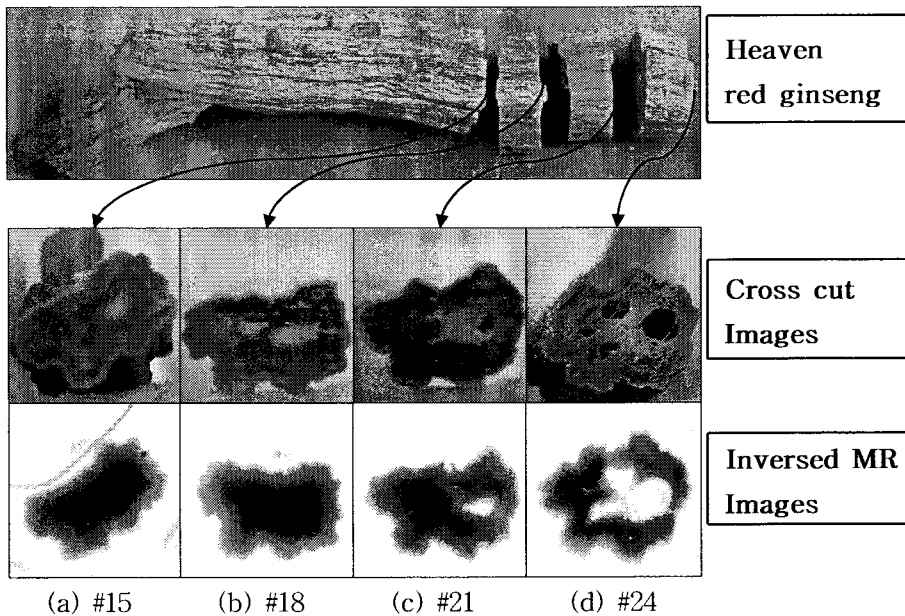


Fig. 3-3-26. Comparison of cross cut images and MR images of heaven grade red ginseng.

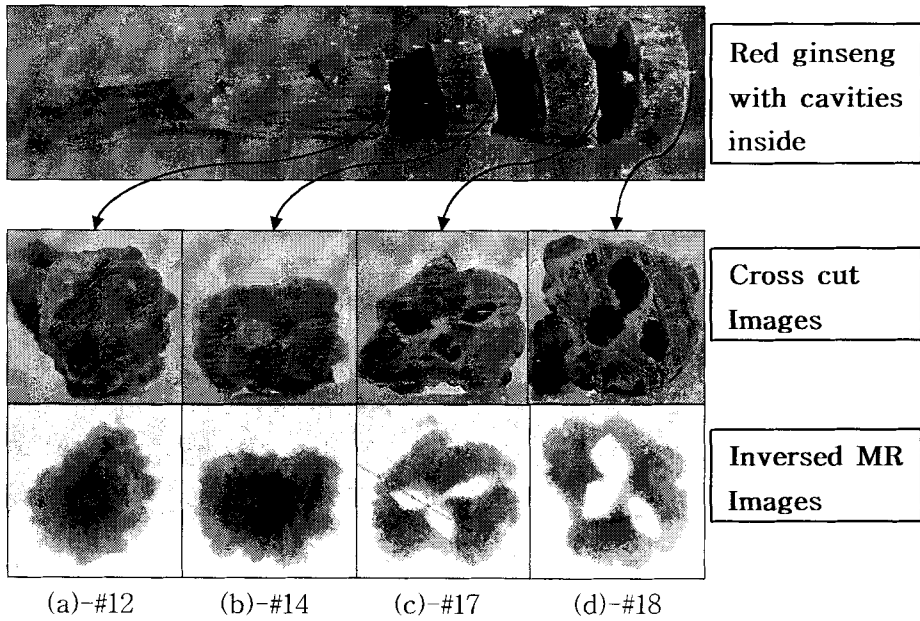


Fig. 3-3-27. Comparison of cross cut images and MR images of good grade red ginseng with cavity inside.

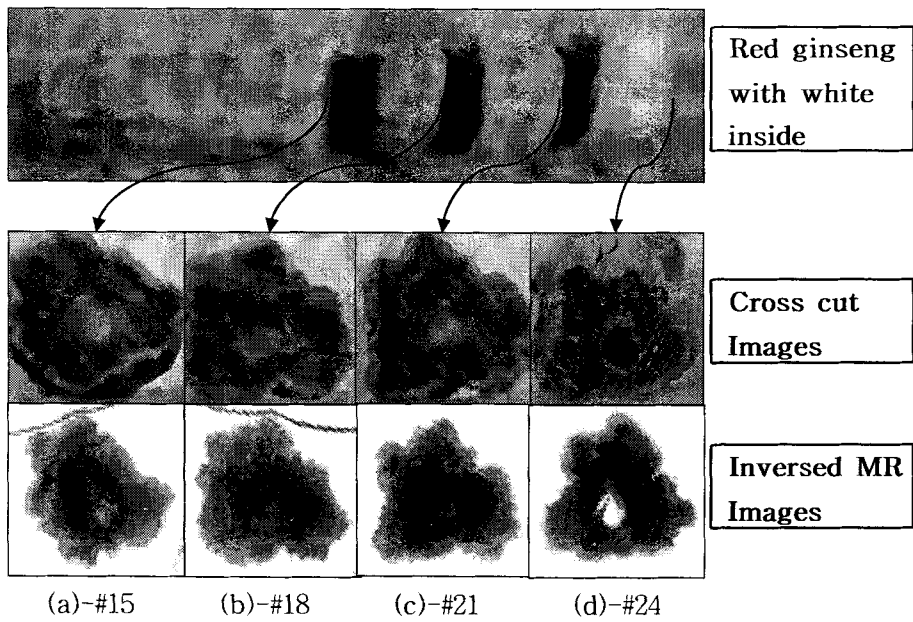


Fig. 3-3-28. Comparison of cross cut images and MR images of good grade red ginseng with white part inside.

의 경우에 있어서도 조직이 치밀하지 못하여 내공이나 내백부로 관찰되어질 수 있으나 이는 모든 홍삼에서 발생하는 부분으로서 실제 검사과정에서는 이 부분의 검사를 배제하게 된다. 그림 3-3-27은 내공이 존재하는 양삼의 단면 영상으로서 (c)부분의 실제 단면 영상과 MR image에서 내공이 존재함을 발견할 수 있었다. 특히, (C)부분의 MR image에 있어서 내공으로 판단되는 부분의 영상 농도가 정상 조직과 상이함을 관찰할 수 있는데 이러한 영상농도의 차이는 등급 선별의 기초 자료가 될 것으로 사료된다. 그림 3-3-28은 내백이 존재하는 양삼의 단면 영상으로서 (a), (b) 및 (c)의 MR image 단면의 중심부에서 신호의 세기가 약하여 농도의 변화가 있는 부분이 내백으로 추정되며 실제 단면에서도 조직이 치밀하지 못함을 관찰할 수 있었다. 내백부는 내공부분과 달리 기존의 등급 선별 과정에서도 난해한 과정으로서 실제 단면 영상에서도 보듯이 중심부의 색상이 타 부분에 비해서 희미한 것을 알 수 있다. 즉, 기존의 검사 방법인 빛의 투광으로서 홍삼을 절단하지 않은 채로, 이러한 내부의 상태를 짐작하여 판별하기에는 무리가 있다고 생각되어진다. 반면에 MR image를 이용하였을 경우에는, MR 신호와 조직 치밀도와와의 연관성을 도출하여 내백과 같은 이상 조직을 검출하는 데 있어서 이상적이라고 할 수 있을 것이다. 즉, 홍삼 제품에 외상을 가하지 않은 채로 내부 상태를 관찰할 수 있음을 시사하고 있는 것이다.

3) 홍삼 MR image에 대한 1D profile 분석

그림 3-3-29, 그림 3-3-30 및 그림 3-3-31은 측정된 홍삼의 MR image에 대하여 홍삼의 중심부를 지나는 x축과 y축의 한 라인을 영상농도 그래프(one dimensional profile, 1D profile)로 나타낸 것이다. 그림 3-3-29는 천삼, 그림 3-3-30은 내공이 포함된 양삼, 그림 31은 내백이 포함된 양삼으로서 각 그림에서 좌측의 MR image는 128×128 voxel의 데이터 포인트로 획득되어졌으며 화면 중심부의 어두운 부분이 촬영된 홍삼의 MR image이다. 또한 각각의 그림에서 우측 상단은 y축에 대한 x값의 1D profile이며 하단은 x축에 대한 y값의 1D profile을 표현한 것이다. 1D profile의 그래프에서 y축의 영상 농도의 값은 0에서 1사이의 값으로 표준화(normalization)된 것이다. 즉, y축에 있어서 최솟값 0은 MR image에 있어서 아무런 신호가 나오지 않는 부분으로서 보이는 영상에서는 백색으로 나타나있으며, 최댓값 1은 MR 신호가 가장 높은 부분으로서 신호가 강할수록 검은색에 가까워짐을 알 수 있다. 즉 홍삼에 있어서 조직의 치밀도가 높고 정상 조직인 경우에는 각각의 x축 및 y축의 1D profile

의 값이 1에 가깝다고 말할 수 있다.

그림 3-3-29는 천삼에 대한 1D profile을 분석한 것이다. 천삼의 MR image 중심부를 지나는 1D profile의 경우에 조직이 전체적으로 치밀하여 영상 농도의 변화가 완만함을 관찰할 수 있다. 이는 내부 조직에 있어서 정상적으로 제조된 홍삼이며 천삼으로서의 가치가 있다고 예측하는데 중요한 근거 자료가 될 수 있을 것이다. 그림 3-3-30은 내공이 존재하는 양삼의 1D profile을 나타낸 것으로서 우하단의 x축과 y축에 대한 1D profile에서 보듯이 내공이 존재하는 부분에서의 값이 거의 0에 근접함을 알 수 있다. 또한 그림 3-3-29의 천삼의 완만한 1D profile과 달리 내공이 존재하는 양삼의 경우에는 그래프의 형태가 내공부분에서 급격히 하락함을 관찰할 수 있다. 그림 3-3-31은 내백이 존재하는 양삼의 1D profile로서, 좌상단의 MR image는 내백으로 판단할 수 있는 영상이고 좌하단의 MR image는 내공이 존재하는 것으로 판단할 수 있는 영상이다. 즉, 내백이 존재하는 부분에서의 영상 농도는 정상 조직에 비하여 낮으며, 완만한 곡선의 천삼에 비하여 1D profile 자체가 불규칙함을 관찰할 수 있었다.

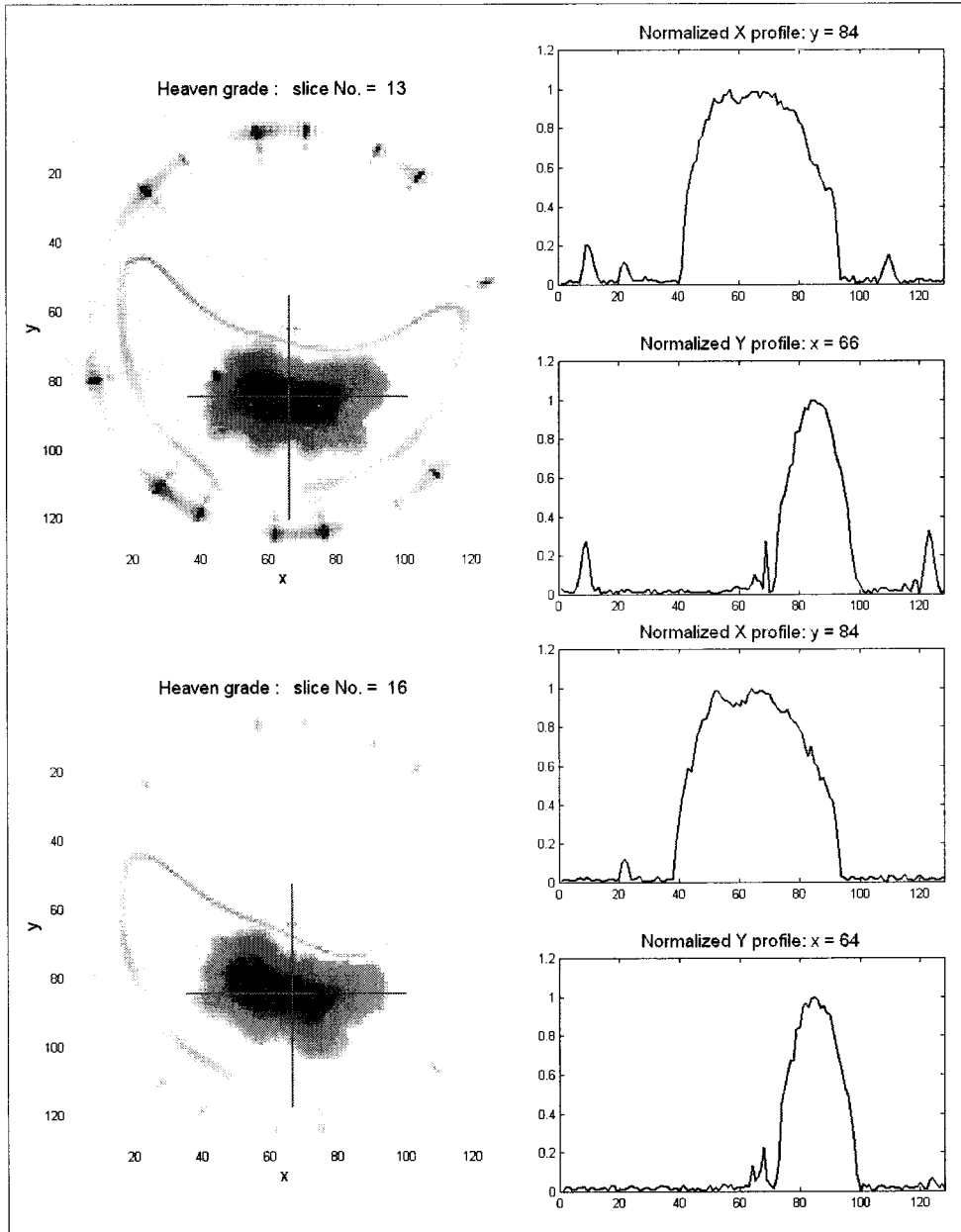


Fig. 3-3-29. 2D images and their selected 1D profiles of heaven grade red ginseng.

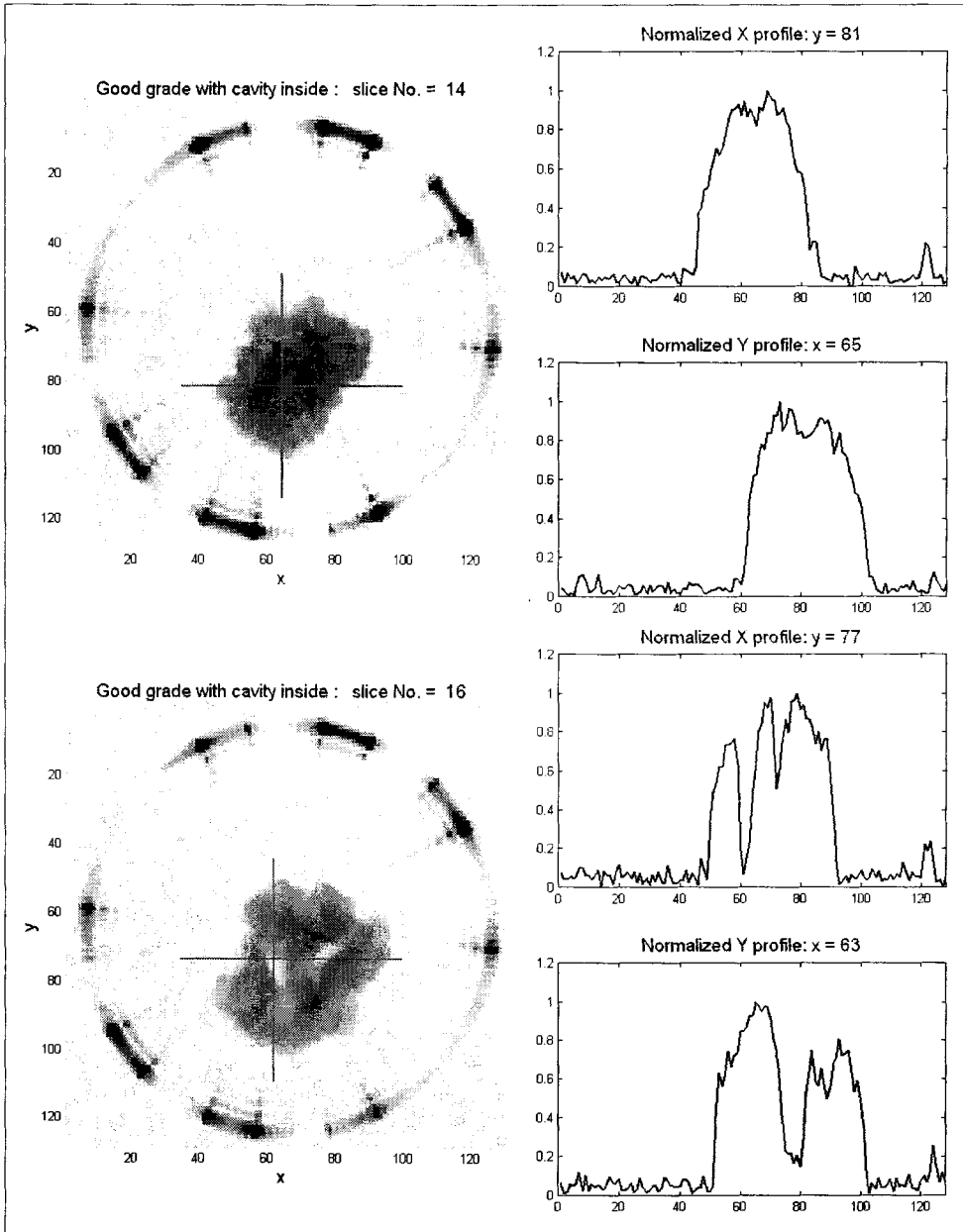


Fig. 3-3-30. 2D images and their selected 1D profiles of good grade red ginseng with cavity inside.

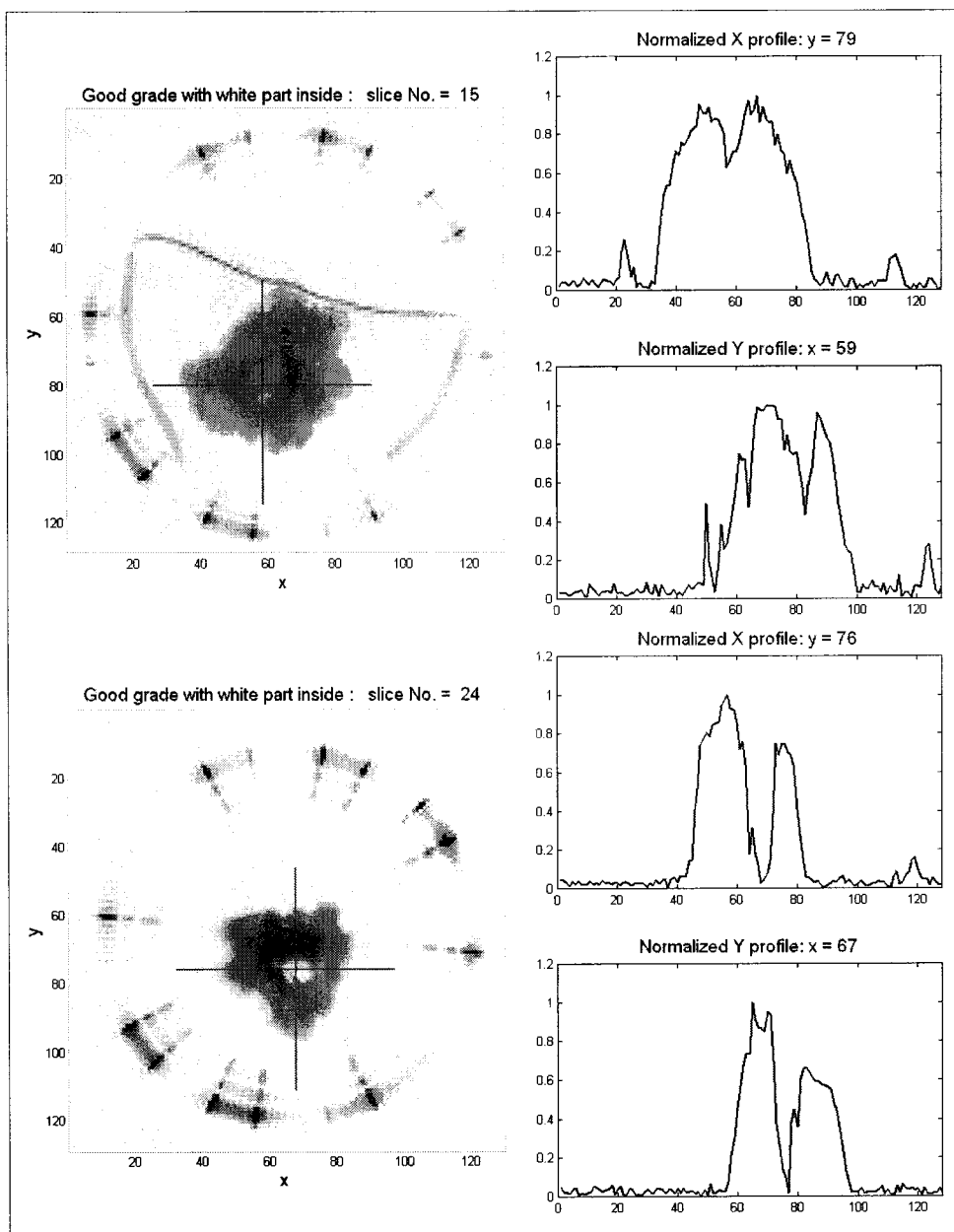


Fig. 3-3-31. 2D images and their selected 1D profiles of good grade red ginseng with white part inside.

5. 결론

본 논문에서는 최근 농산물의 비파괴적인 내부 품질 평가 기술로 사용되고 있는 핵 자기 공명 기술을 이용하여 홍삼의 자기 공명 특성 및 영상을 측정하여 내부 품질 평가를 위한 가능성을 검토하여 보았다.

홍삼의 내부 품질 평가를 위한 핵 자기 공명 특성 및 영상의 응용에 관한 관한 연구 및 분석은 다음과 같이 세 부분으로 나누어 볼 수 있다.

1. 저 자장용 10 MHz pulsed NMR장치를 이용하여 홍삼의 자기 공명 특성 인자들을 측정하여 내부 품질과의 연관성을 도출하여 보았다. 선별 전문가에 의해서 세 등급으로 분류된 79편의 홍삼 시료에 대하여 두 차례에 걸쳐 실험하였으며, 각각 3회 반복으로 수행되어졌다. 1차 및 2차 NMR 측정에 있어서, 획득된 자기 공명 특성 인자들로서는 T_1 , T_2 , T_2^* 및 FID ratio 값들이 측정 및 계산되어졌다. T_1 값 및 FID ratio 계산 값의 경우 1차와 2차의 실험에 있어서 전체 그룹간의 평균값의 크기가 불량>중간>정상의 순으로 나타났다. T_2 및 T_2^* 값의 경우 정상>중간>불량의 순으로 나타났다.

2. 홍삼의 등급별 분포도를 파악하기 위해서 다변량 통계기법인 주성분 분석을 이용하였다. 측정 변수로는 획득된 T_1 , T_2 , T_2^* 및 FID ratio 값을 이용하였으며 관측 대상은 정상, 중간 및 불량으로 분류된 79편의 홍삼으로 하였다. 1차 및 2차 NMR 측정의 주성분 분석 결과에 있어서 PC1~PC3의 분산이 각각 전체 분산의 90%이상을 점유하고 있었다. 주성분 분석의 scores plot을 이용하여 홍삼 시료에 대해 그 분포 경향을 관찰하여 본 결과, PC1의 0을 기준으로 하였을 경우에 좌측의 음의 영역에는 정상홍삼 그룹이 분포하고 있었으며 우측의 양의 영역으로 갈수록 불량 홍삼이 분포하고 있음을 관찰할 수 있었다.

3. MRI 시스템을 이용하여 홍삼의 3차원 내부 단면 영상을 비파괴적으로 획득하여 실제의 절단면 영상과 비교하여 내부 품질 평가 가능성을 제시하였다. 천삼, 내공이 존재하는 양삼 및 내백이 존재하는 양삼에 대하여 실제 단면 영상과 MRI를 비교 검토해 본 결과, 비파괴적으로 홍삼 내부의 영상을 확인할 수 있었으며 내부 품질 평가

에 있어서 주요한 판별인자가 될 것으로 사료된다. 또한 획득된 MRI의 중심부를 지나는 부분에 대하여 1D profile을 실시하여 분석해 본 결과에서 알 수 있듯이 정상 조직과 비정상 조직인 내공이나 내백부의 구분이 용이하게 관찰됨을 관찰할 수 있었다. 즉, 홍삼의 내부 품질 평가에 있어서 비교적 용이하게 진행될 수 있는 1D profile을 적용한다면, 전체의 MRI를 획득하는데 있어 소요되는 시간 및 절차를 줄이고 효과적인 판별 가능성을 제시할 수 있었다.

제 4 절 인공신경망을 이용한 홍삼의 등급판정

1. 서론

인삼은 가공 방법에 따라 수삼, 홍삼, 태극삼, 백삼 등으로 분류할 수 있으며 이 중에서 홍삼은 수삼을 증기 또는 기타방법으로 찌서 익혀 말린 것을 말한다.(인삼산업법) 홍삼의 원료로는 6년근 수삼을 사용하며 밭에서 채굴한 원료수삼을 세척한 후 제조 과정을 거치며 담황갈색 또는 담적갈색의 색상을 띤다. 홍삼은 품질 등급의 순위에 따라 천삼, 지삼, 양삼으로 분류할 수 있으며 이 중에서 천삼은 총 홍삼 제조시 소량으로 생산된다.

홍삼 10지에 무게를 600 g으로 기준하였을 때 천삼의 판매가격이 252만원인데 비해 지삼은 113만원, 양삼은 25만원으로 책정되어 있어(2001년 10월, 한국담배인삼공사 홍삼류 판매가격표 참조), 판매 가격에 있어서 다른 농산물에 비해 높을 뿐 아니라, 등급간의 가격 차이 또한 최대 10배 정도로 정확한 등급 판별이 다른 어떤 농산물 보다 중요하다.

이렇듯 고부가가치의 홍삼에 있어서 등급 판정은 인삼산업법의 등급 판정 기준에 의거하여 숙련된 검사원의 오관에 의한 판능검사 방법으로 이루어지며, 홍삼의 뇌두의 크기와 견실도, 주근 및 지근의 크기와 길이, 표피의 색택과 병해충에 의한 손상 여부 등의 외관상태에 의해 1차 분류가 이루어지고, 1차 분류된 홍삼을 대상으로 내부 조직의 치밀도, 내공 및 내백 유무를 검사하여 최종 등급을 판정하게 된다. 여기서 내공은 몸통 또는 다리내부에 공간이 생긴 것을 말하며 내백은 몸통 또는 다리내부에 갈색화 되지 아니한 백색의 부분, 혹은 백색의 다공성으로 되어 있는 부분을 말한다(박, 1996).

홍삼의 등급 판정을 전적으로 인력에 의존함으로써 발생하는 문제점은 판정 전문가를 양성하기 위해 많은 비용과 장기간의 교육이 필요하며, 인간의 감각에 의존하므로 작업시간에 한계가 있고, 개인별로 편차가 있기 때문에 등급을 판정하는데 객관성을 확보하는데 어려움이 있으며, 지속적인 품질관리가 용이하지 않다. 그러므로 객관적이고 일관성 있는 등급판정을 위해서는 자동화된 등급판정 기술의 개발이 시급하다.

NMR(Nuclear Magnetic Resonance: 핵자기공명)은 외부의 강한 자기장 하에서 물

질을 구성하고 있는 원자들이 각 원자의 구조에 따라 서로 다른 공명신호를 발생시키는 현상으로 이를 이용하여 분자단위에서 모든 물질의 성분, 구조, 대사상태 등에 관한 정보를 알아내는 방법으로 이용되며, 의학, 화학, 생물 등의 분야에서 NMR을 이용한 연구가 50년 넘게 널리 이루어져 왔다. NMR의 가장 큰 장점으로서는 대상물에 손상을 가하지 않고 화학적, 물리적 성분에 대한 정보를 정밀하고 정확하게 측정할 수 있으며, 생물체의 경우 거의 대부분에 활용이 가능하다. 또한 대상물의 특정 원소에 대한 정보를 선택적으로 얻을 수 있다는 것이다. NMR의 이러한 장점 등에도 불구하고 측정장치의 가격이 다른 측정장치에 비하여 비싸고, 측정에 사용할 수 있는 시료의 크기의 제약 때문에 농산물이나 식품류의 분석에 폭넓게 활용되지 못하였다. 그러나, 최근의 기술 발달로 인해 측정장비의 가격이 저렴해 지고, 측정할 수 있는 시료의 크기도 커져 농산물에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(김, 1999).

현재까지 홍삼의 등급판정 자동화에 관한 연구는 컴퓨터 시각을 이용한 분광 반사 특성이나, 외형, 표면 색택, 표면 결함 등 외관상태를 측정하여 선별하는 것에 국한되었으며, 내부 조직 상태에 의한 등급판정에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 조직 상태를 비접촉식, 비파괴적인 방법으로 측정할 수 있는 가장 강력한 방법중 하나인 NMR을 이용하여 현재 인삼 검사장에서 실시되고 있는 선별 방법을 대체할 등급판정 시스템을 개발하기 위하여 수행되었으며, 구체적인 연구목적은 공인된 방법으로 생산되고, 선별된 홍삼에 대해 상용 저자장 NMR 스펙트로미터를 이용 NMR 특성인자를 측정하여, 등급과의 상관관계를 조사하고, 확보한 홍삼의 NMR 특성인자를 인공지능망에 적용하여 홍삼을 등급별로 분류하는 알고리즘을 개발하고자 한다.

2. 문헌개요

가. 연구사

지금까지 인삼류(홍삼, 백삼, 태극삼)의 등급 판정 자동화에 관한 구체적인 연구는 기계 시각을 이용하여 등급을 판정하는 연구가 대다수를 차지하고 있으며, 구체적인 연구 성과는 다음과 같다.

김 등은(1997) 홍삼의 분광반사 특성 및 기하학적 특성을 이용 홍삼의 등급을 판정할 수 있는 기초 연구를 수행하여 홍삼 등급 판정을 위한 컴퓨터 영상 처리 시스템을 구성하고 중요한 품질 특징 즉, 분광반사 특성과 기하학적 특징 추출 알고리즘

을 개발한 바 있다.

김 등은(1998) 백삼의 등급 판정에 기계시각을 이용하여 분광 특성 및 기하학적 특성을 측정하고 인공 신경망을 이용한 등급 판정에 대한 연구를 수행하여 4~5개의 입력층과 1개의 은닉층을 가지고 74 %의 성공률을 나타내는 인공신경망을 개발하였다.

장 등은(2001) 외형 선별 자동화에 대한 연구에서 기계 시각을 이용하여 홍삼의 외형, 색택 균일도, 표면 상태를 측정하고 선별 시스템을 개발하여 74.7 %의 선별 정확도를 나타내는 시스템을 개발하였다.

홍삼에 관한 연구에 있어서 대부분의 연구는 홍삼의 효능, 성분 분석, 외부 물성치를 이용한 등급간 비교 분석, 전통적인 방법을 이용한 불량 조직과 정상 조직간의 성분 분석 및 광학현미경, 주사 전자 현미경을 이용한 조직상태 비교에 관한 것이다.

홍삼의 내백 조직과 정상 조직간의 차이점은 일반적으로 성분상의 큰 차이는 없다(박 등, 1988; 도 등, 1985). 도 등(1985)은 광학 현미경을 이용 내백 조직상태와 정상 조직 상태를 비교하여 내백 조직이 정상조직에 비해 구성이 치밀하지 못하고 비중은 각각 0.79, 0.39로 내백 조직이 정상 조직에 비해 1/2 수준의 값을 나타낸다는 연구 결과를 발표하였다. 박 등(1988)은 광학 현미경을 이용 내백 조직을 관찰하여 정상 조직은 막 물질이 층만하여 연속성을 보이며 그로 인해 빛의 투과가 양호한데 반해 내백 조직은 얇은 막 뿐이고 막과 막 사이에 미세 공동이 많이 생겨서 빛의 연속이 없게 된다고 보고하였다.

홍삼에 NMR을 적용한 예로는 장등(1998)은 MRS로 홍삼의 T_1 , T_2 를 측정하여 용적밀도와 상호관계를 규명하고, MRI(Magnetic Resonance Imaging, 자기 공명 영상)를 이용 불량홍삼과 정상홍삼의 내부 조직을 촬영하여 비교하였으나, 아직까지 홍삼을 대상으로 NMR를 이용한 연구는 초기단계이다.

나. NMR 개요

NMR에서 이완 상수인 스핀-격자 이완시간(Spin-lattice relaxation time, T_1)과 스핀-스핀 이완 시간(Spin-spin relaxation time, T_2)은 측정 대상물의 종류와 상태에 따라 일정한 값을 가지는 중요한 NMR 특성인자들로써 T_1 , T_2 의 측정은 NMR 연구에 기초가 되는 것이다.

NMR을 이용하여 측정된 이완시간은 측정 대상체의 물리화학적 성질을 나타내는

계수로 만약 측정 대상체가 균일한 물질로 이루어지지 않은 경우 측정된 이완시간은 대상물의 평균성질을 나타낼 뿐이다. 따라서 측정 대상물이 상이한 이완시간을 가지는 여러 물질로 구성되어 있는 경우 정량적인 해석을 어렵게 한다. 다시 말해 식 1과 같이 측정된 이완시간($T_{observe}$)에는 MR 신호에 기여하는 모든 인자(a, b, c,...)들이 포함되어 있다.

$$\frac{1}{T_{observe}} = \frac{1}{T_a} + \frac{1}{T_b} + \frac{1}{T_c} + \dots$$

그래서 실험자가 원하는 인자의 측정을 위하여, Gaussian-exponential model을 이용하여 여러 개의 이완시간으로 분리하는 과정을 거치거나, 관찰하고자 하는 인자의 상태를 대표할 수 있는 FID signal의 특정 시간에서의 신호값을 이용하기도 한다.

다. 이완시간(Relaxation time)

1) 스핀-격자 이완시간(Spin-lattice relaxation time, T_1)

T_1 은 Fig. 3-4-1에 나타난 것과 같이 RF pulse 에 의해 흥분된 프로톤이 평형 상태로 돌아가는데 까지 걸린 시간을 말한다. T_1 의 결정에 영향을 미치는 요인으로는, 핵의 형태, 온도, 관찰 대상이 되는 스핀의 점성도, 큰 분자의 존재 유무 등을 들 수 있다. 따라서 측정 대상물의 조직이 치밀할수록, 온도가 높을수록, 점도가 클수록 양성자가 흡수한 에너지를 주위 격자에 공급하는 과정에서 이완이 촉진되어 T_1 시간은 짧아지게 된다.

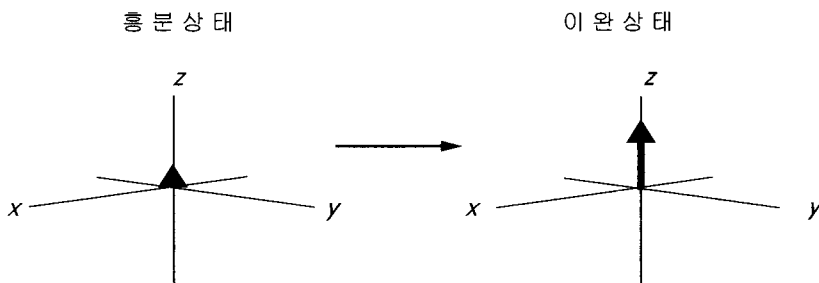


Fig. 3-4-1. Longitudinal magnetization relaxation process.

장 등(1998) 은 각기 다른 용적밀도를 가지는 홍삼을 대상으로 NMR 특성인자를 측정하여 용적밀도와 T_1 과의 관계는 1% 수준에서 유의한 부의 상관관계가 있음을 확인하였으며, Chen 등은(1997) 빵의 건조 실험에서 수분이 증발하여 빵의 firmness 가 증가할 수록 T_1 값은 감소한다는 연구 결과를 발표하였다.

2) 스핀-스핀 이완 시간(spin-spin relaxation time, T_2), T_2^*

그림 3-4-2에서 보듯이 스핀들이 RF 펄스에 의해 흥분된 후 초기에는 응집(inphase)되어있다(그림 3-4-2 A 참조). 그러나, 시간이 지나면서, 응집된 M_x 는 세차운동을 시작하며, 분산(dephase)되면서 신호강도가 줄어들기 시작한다(그림. 3-4-2 B→D 참조). 이 분산과정은 T_1 과 무관하게 이루어진다.

이처럼 T_2 는 RF pulse 직후 프로톤들 간의 상호작용의 위상 응집력이 상실되고 횡자화 M_{xy} 와 MR 신호를 상실하는데 걸린 시간을 말한다. 기체 혹은 액체의 T_2 값은 T_1 값과 거의 같은 값을 가지며, 특히 순수한 증류수의 경우 T_1 과 T_2 값은 3초로 같다. 그러나, 고체나 점성이 높은 액체에서는 T_1 에 비해 상대적으로 낮은 값을 가진다. 또한 T_1 과 마찬가지로 고체상이 액체상에 비해 짧은 T_2 값을 가지며, 점도가 높을수록 T_2 값은 짧아진다.

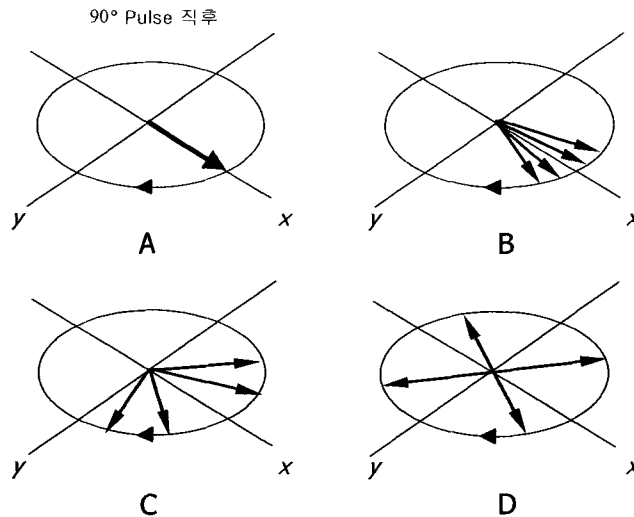


Fig. 3-4-2. Distribution of Magnetization (dephase) after RF pulse.

T_2 를 농산물에 적용한 예로는 조 등(1993)은 포도와 체리의 당도를 예측하기 위한 연구에서 10MHz NMR을 이용 예측 모델을 개발하였다. 저분해능 NMR을 이용, T_2 값과 당도와의 상관관계를 예측하여 비파괴적 방법으로 신속한 당도측정이 가능함을 제시하였다. 그림 3-4-3에서 보듯이 90° pulse 직후 이상적인 환경이라면 자화는 T_2 시간으로 dephase 되지만 실제로 측정을 해보면 T_2 시간보다 더 짧은 시간으로 분산이 이루어진다. 이는 다른 홀수의 전자로부터 또는 다른 핵 때문에 인접한 자기 모멘트가 국소적으로 일으킨 정적진동자장과 주자장의 불균일성 때문에 발생하는 것이며(이 등, 1998), 이때 측정된 T_2 값을 T_2^* 라 한다.

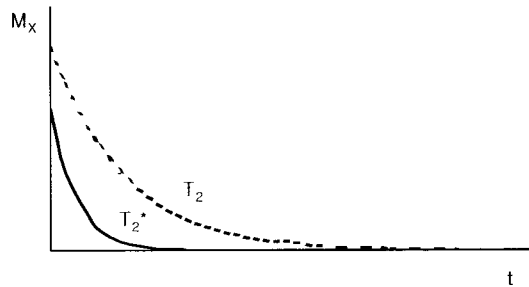


Fig. 3-4-3. Comparison of T_2 and T_2^*

라. FID Signal

FID(Free Induction Decay, 자유 유도 감쇠) 는 그림 3-4-4에서 보듯이 90° pulse로 스핀의 횡자화(M_{xy}) 가 발생하게 되면 일시적인 NMR 신호가 발생하고 특징적인 시간 상수(T_2^*)로 붕괴하게 되는데 이 붕괴되는 신호를 말한다.

FID 신호는 단일 펄스 파형을 이용하는 NMR의 가장 기본적인 신호의 형태로 펄스 파형중 가장 간단하게 측정 할 수 있기 때문에 NMR 개발 초기부터 지금까지 화학, 생물, 농업 분야에서 많은 연구가 이루어져 왔다. FID 신호 자체를 이용하거나, FID 신호를 푸리에 변환하여 성분 분석 등에 널리 이용되고 있다. 또한, 실시간으로 측정이 가능하므로 온라인 판정에 유용하게 사용될 수 있다. 일반적으로 자장의 영향으로 인한 오차를 줄이기 위해 반복 측정한 후 분석한다.

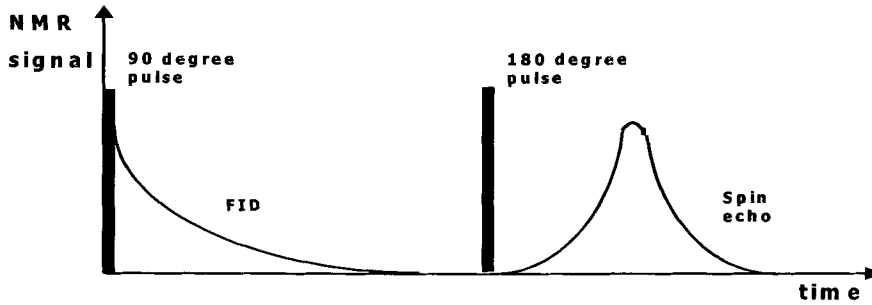


Fig. 3-4-4. Spin-echo pulse sequence.

마. 펄스 파형(Pulse sequence)

1) Inversion recovery

Inversion recovery pulse sequence 는 T_1 을 측정하기 위해 사용되는 일반적인 RF 펄스 파형이다. 펄스 파형은 그림 3-4-5와 같이 $180^\circ \rightarrow$ delay time 1(τ) $\rightarrow 90^\circ \rightarrow$ delay time 2 \rightarrow 반복 의 형태를 나타낸다. 첫 180° 파는 종축 자기화(M_0)를 반대 방향으로 반전시킨다. 이 반전된 자화는 시간이 지남에 따라 T_1 이완하여 원래 상태로 회복하게 되며, 이때 종축 자기화가 회복되는 속도는 측정 대상물의 T_1 에 따라 달라지게 된다. 첫 180° RF pulse를 발생시킨 후 delay time 1(τ) 기다렸다가 90° RF pulse를 쏘아 신호를 획득한다. 이 기법은 delay 시간(delay time 2)을 충분히 길게 하여 파형이 반복되는 사이 자화가 완전히 평형으로 돌아갈 수 있도록 해야 하기 때문에 측정시 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. T_1 의 측정을 간단한 단일 지수 방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$M_z(t) = M_0[1 - 2 \exp(-t/T_1)]$$

여기서, M_0 = maximum FID signal

M_z = 특정 시간에서의 FID 신호의 크기

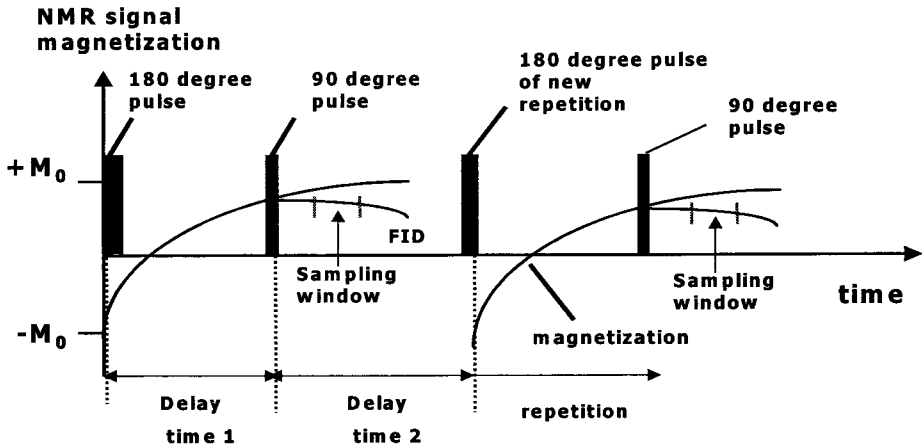


Fig. 3-4-5. Inversion recovery pulse sequence.

2) C.P.M.G.(Carr Purcell Meiboom Gill)

C.P.M.G. 펄스 기법은 Meiboom 과 Gill 에 의해 1958년에 개발된 다 스핀에코 기법(Multi spin echo pulse)의 일종으로 T_2 를 측정하기 위해 현재 가장 널리 쓰고 있는 방법이다. 단일 스핀 에코 펄스를 이용할 경우 동일한 방향으로 계속 펄스를 형성하여 180° 펄스에 의한 오차가 계속 누적되는 단점이 있는데, CPMG pulse sequence는 이를 보완한 것으로 그림 3-4-6에서 보듯이 90° 펄스 후 180° 펄스는 x축으로 형성한 후 y축으로 180° 펄스를 지속적으로 형성하여 신호를 검출하는 방식이다.

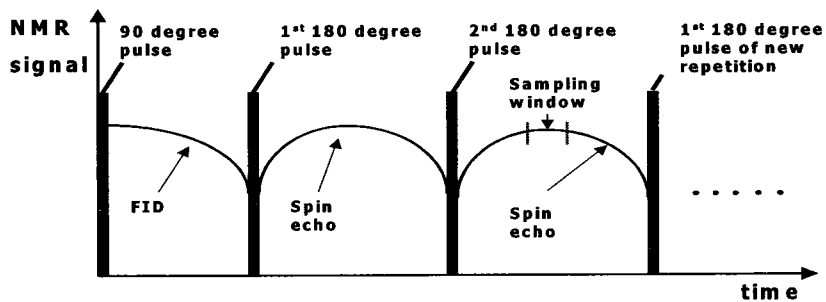


Fig. 3-4-6. CPMG pulse sequence.

바. 인공 신경망

1) 인공 신경망의 개요

인공 신경망(Artificial Neural Network)이란 인간 두뇌의 신경망 조직을 모델링(modeling)한 것이다. 인간의 신경계의 최소 단위는 뉴런(neuron)으로, 이 뉴런이 신경계의 흥분 및 전달을 담당하며, 각 뉴런들은 인접한 뉴런들과 상호 병렬적으로 연결되어 있는 구조를 가지고 있다. 외부의 자극이 일정한 임계치 이상 주어지게 되면 뉴런들은 반응을 하게 되고 이 반응을 말단 신경계에서 중추 신경계로 전달하게 된다. 또한, 외부의 자극의 변화에 따라 각 뉴런간의 연결강도는 변하게 된다. 이러한 변화 과정을 거쳐 장기 기억 형태가 되면 연결강도는 더 이상 변하지 않고 고정되게 된다.

인공신경망 역시 인간의 신경계와 유사한 구조, 반응, 전달, 학습의 과정을 가지게 된다. 인공신경망 모델을 이용할 경우 문제의 성격에 따라 시행착오 방식으로 최적의 신경망의 구조를 결정해야 하는 단점이 있으나, 일단 학습이 되면 주어진 입력자료에 대하여 단순한 가중치 계산과정에 의해 출력값이 생성되어 신속한 결과를 얻을 수 있기 때문에 실시간 정보처리가 가능하며, 다량의 정보처리가 요구되거나 작업 변화에 따른 적응이 필요한 문제들, 잡음이 내재되거나 비구조적인 작업상황하에서의 정보 처리, 학습에 의한 잡음 및 불확실한 정보의 처리 등에 효율적으로 적용될 수 있기 때문에 의학, 수학, 전자등 다양한 학문 분야에서 수십년 동안 연구되고 있다.

농산물의 등급판정에 인공신경망이 관심을 끌고 있는 이유는 농산물의 경우 작업대상을 표준화하기 어렵고, 선형적인 함수로 모델을 개발하기 곤란한 경우가 많기 때문이다. 또한 농수축산 분야의 경우 대상체의 물성정보를 정밀하게 계측하는 것 못지 않게 불확실한 정보를 대략적이지만 안정적으로 처리하는 것이 등급판정 및 선별 작업에 있어서 대단히 중요하며,(황 등, 1994) 인공신경망을 이러한 조건을 충족시켜주는 강력한 방법이다.

특히 NMR을 이용한 연구에 있어서, 앞서 설명한 바와 같이 측정값 내에 많은 정보가 포함되어 있어 유의미한 정보를 분리하기가 용이하지 않으며 정자기장의 변화를 비롯한 다양한 형태의 요인이 신호에 외란(Disturbance)으로 작용하기 때문에 인공신경망의 이용은 이러한 영향 하에서 효과적인 등급 판정 알고리즘을 개발하기에 가장 적합한 방법이다. 조 등(1995)은 저자장의 NMR을 이용한 과일의 당도 측정에

관한 연구에서 과일의 FID 신호를 획득 후, 신호 분석을 위해 인공 신경망을 이용하였으며, 3 등급 정도의 과일의 당도 선별이 가능하다는 연구 결과를 발표하였다.

2) 오류 역전파와 인공 신경망

현재 여러 분야에서 가장 널리 쓰이는 신경회로망인 오류역전파 신경망(Back propagation, BP 신경망)은 다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron)의 하나로써 입력값과 목적값을 한 쌍으로 하여 출력값과 목적값과의 오류(error)를 계산하여 입력층에 이르기까지 역방향으로 수정시키는 역전파 방식을 사용한다. 이 과정 중에 각 층의 유닛의 연결강도는 변경되며, 최종적으로 오류가 목적값 이하로 줄어들면 학습을 종료하고 연결강도를 저장하게 된다. 이때 역전파는 학습 과정에서만 발생하는 것으로 학습이 종료된 후에는 오직 순방향으로만 과정이 진행된다. 오류 역전파 인공신경망의 일반적인 구조는 입력층(input layer)-은닉층(hidden layer)-출력층(output layer)을 가진다.

은닉층의 개수가 많아질수록 패턴의 분류를 잘되는 반면 구조가 복잡해지고 학습과 계산에 많은 시간이 소요되는 단점이 있으며, 유닛(unit)의 수가 많을수록 패턴 분류가 용이하나 학습과 계산에 있어서 많은 시간이 소요된다. 그러나, 동일한 데이터의 분석에 있어서 층(layer)의 수, 유닛의 수의 증가가 항상 더 좋은 결과를 나타내는 것은 아니며, 오히려 더 나쁜 결과를 나타내기도 한다.

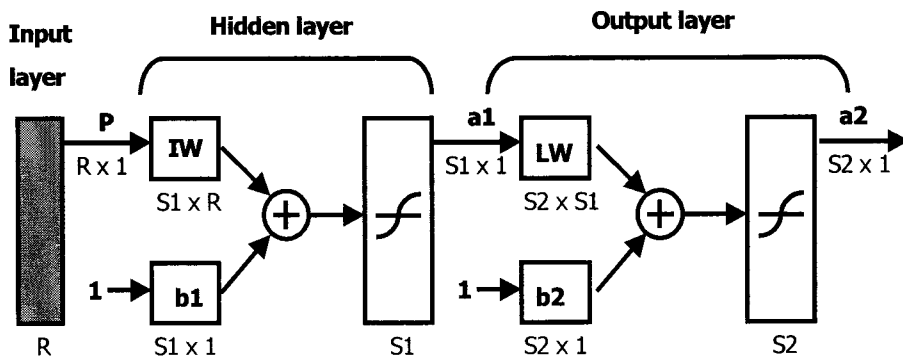


Fig. 3-4-7. Schematic diagram of back propagation network.

그림 3-4-7은 하나의 은닉층을 가지는 오류 역전파 인공 신경망의 개략도를 나타낸 것으로 R 은 입력 표본의 입력 벡터, P 는 입력 벡터와 등급 판정 인자로 구성된 행렬, IW 와 $b1$ 은 은닉층의 가중치와 편차, LW 와 $b2$ 는 출력층의 가중치와 편차, $S1$ 과 $S2$ 는 은닉층과 출력층의 뉴런 개수이다. $a1$ 은 은닉층의 전달함수(transfer function)로 구해진 결과이며, $a2$ 는 출력층의 전달함수로 구해진 결과이다.

3) 전달 함수(Transfer function, Active function)

일반적으로 다층 퍼셉트론 신경망에서 은닉층의 전달 함수는 시그모이드(sigmoid) 함수를 사용하며, 출력층 전달함수는 시그모이드 혹은 선형(linear) 함수를 사용한다.

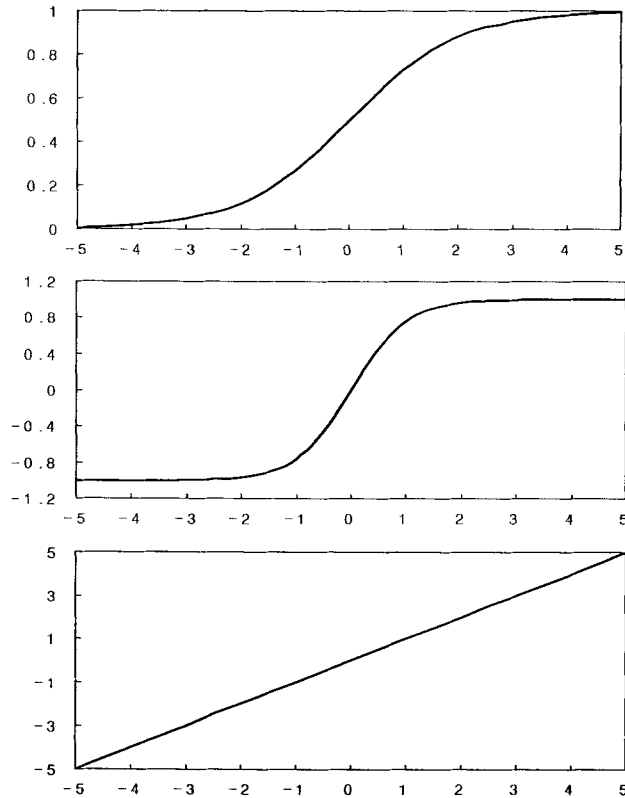


Fig. 3-4-8. Transfer Function. top : log sigmoid function, middle : tangent sigmoid function, bottom : pure linear function.

전달함수는 다음 식으로 표현할 수 있으며, Fig. 3-4-8은 각 전달함수를 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 3-4-3.에서 보듯이 각 전달함수의 출력값은 log-sigmoid 는 0~1, tan-sigmoid 는 -1~1, 선형 함수는 $-\infty \sim \infty$ 의 범위의 값을 가진다.

$$\text{[linear]} \quad f(\text{net}) = \text{net}$$

$$\text{[log-sigmoid]} \quad f(\text{net}) = \frac{1}{1 + e^{(-\text{net})}}$$

$$\text{[tan-sigmoid]} \quad f(\text{net}) = \frac{e^{\text{net}} - e^{-\text{net}}}{e^{\text{net}} + e^{-\text{net}}}$$

4) 인공 신경망의 학습상태

인공 신경망에서 학습은 신경망 내부의 연산과정에서 계산된 출력값과 목적값을 비교, 오차(error)를 계산하여 실험자가 원하는 수준이하로 오차가 줄어들면 학습을 종료하게 된다. 이때 오류의 계산에는 SSE(Sum Square Error) 법, RMS 법(Root Mean Square error), MSE 법(Mean Square Error) 등 다양한 방법이 사용되며, 신경망 오류 계산에 가장 널리 쓰이는 MSE 방식은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다. 신경망의 학습 과정에서 목표값과 출력값 간의 차이를 계산하여 원하는 방향으로 학습이 진행된다면 MSE 값은 작아지게 된다.

$$MSE = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q (t(k) - a(k))^2$$

여기서,

Q = 패턴수

$t(k)$ = 출력값

$a(k)$ = 목표값

3. 재료 및 방법

본 연구에서 사용된 NMR 장비, 펄스 시퀀스, T_1 , T_2 및 T_2^* curve fitting program은 제3절의 내용을 참조하기 바란다.

가. 실험 재료

부여 고려인삼창에서 공인된 방법으로 제조하고 홍삼 선별 전문가에 의해서 천삼 (heaven's grade), 지삼(earth's grade), 양삼(good grade) 세 등급으로 분류된 137편 (片)의 홍삼을 사용하였다. 양삼의 경우 조직 상태에 따라 내공(internal cavity), 내백(inside white part)이 포함된 일반 양삼(Good grade-normal)과 생내백 양삼(Good grade-half white part inside)으로 분류하였다. UCD 홍삼의 경우 NMR 실험 완료후 동체를 절단하였으며, 절단면을 홍삼 선별 전문가가 육안으로 확인하여 재 선별한 것이다. NMR 측정 실험에 사용된 각 등급별 홍삼의 샘플 수는 표 3-4-2 에 나와있다.

Table 3-4-2 Quantity of red ginseng for NMR measurement according to grade

	Grade					
	Regular ginseng			Inferior ginseng(good grade)		
	HG	EG	total	NGG	HGG	total
UCD test	10	13	23	20	9	29
KFRI test	20	20	40	15	30	45
Total	30	33	63	35	39	74

HG : Heaven's Grade

EG : Earth's Grade

NGG : Good Grade - normal

HGG : Good Grade - Half white part inside

나. FID ratio 계산

측정한 홍삼의 FID 신호를 이용하여 등급간 구분이 가능하며 UCD 실험, 한식연 실험간 동일한 등급 분포를 가지는 있는 FID ratio를 구하고, 이를 인공 신경망의 입력 데이터로 이용하기 위하여 다음 과 같은 실험을 실시하였다.

- 1) 각 샘플의 T_2^* 를 구하고 그림 3-4-12와 같이 T_2^* 를 기준으로 y 를 곱한 시간에서 FID signal($y \times T_2^*$) 과 T_2^* 시간에서 signal의 비율로 FID ratio를 구하였다. 이때 y 는 0.6~6.3 까지 0.3 간격으로 하였다.

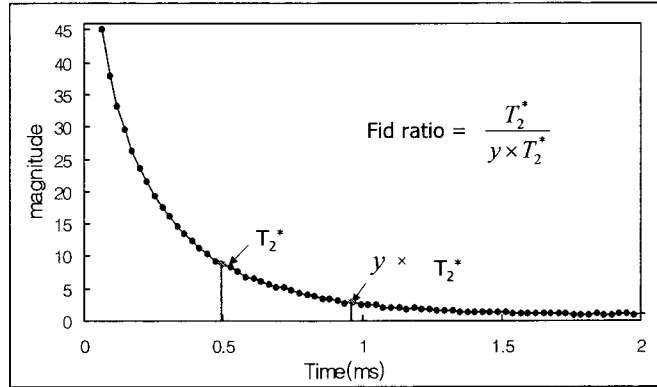


Fig. 3-4-12. FID ratio calculation Method i .

2) 그림 3-4-13과 같이 FID ratio 는 최대 FID signal 값과 T_2^* 를 기준으로 y 를 곱한 시간에서 FID signal($y \times T_2^*$) 과의 비율로 하였다. 이때 y 는 0.6~6.3 까지 0.3 간격으로 하였다.

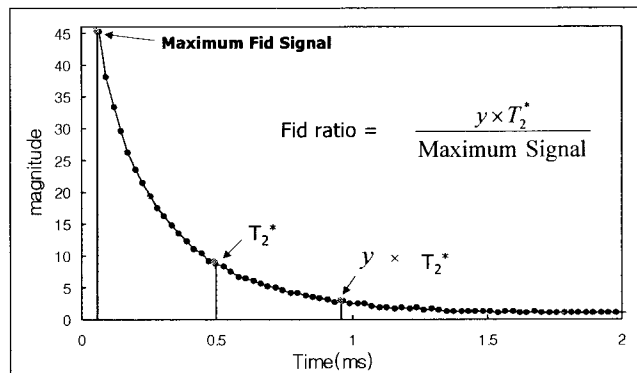


Fig. 3-4-13. FID ratio calculation Method ii .

3) 그림 3-4-14에서 보듯이 FID ratio는 임의의 시간, y ,에서의 signal 값과 최대 signal 값의 비율로 하였다. y 는 0.03~1.02 msec 까지 0.03 msec 간격으로 FID ratio 값을 구하였다.

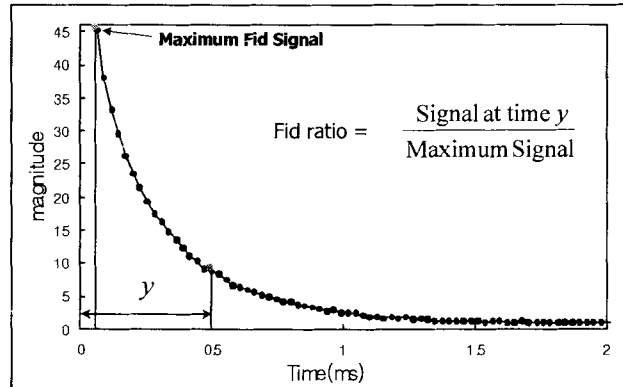


Fig. 3-4-14. FID ratio calculation Method iii.

FID ratio 계산 실험에 사용한 소프트웨어는 MATLAB(version 5.0 for window, Mathworks) 이었다. 본 실험에서 FID 신호의 ratio를 구한 이유는 실험에 사용한 홍삼의 크기는 모두 다르고, 그렇기 때문에 동일한 내부 조직 상태를 가지는 시료라 할 지라도 크기에 의한 FID signal 의 차이가 발생하기 때문에, 각 샘플의 서로 다른 크기로 인해 발생하는 신호의 차이를 상쇄시키기 위해서이다.

다. 인공 신경망에 의한 등급 판정

1) 등급 판정

본 연구에서 인공신경망을 이용한 등급판정은 정상삼(천삼, 지삼)과 불량삼(양삼)을 분류하는 2등급 판정 실험과 천삼, 지삼, 양삼을 분류하는 3등급 판정 실험을 수행하였다. 인공 신경망의 학습에는 한국식품개발연구원 실험에서 측정된 홍삼 샘플 중 각 등급 별로 50% 정도의 홍삼을 학습 샘플로 하였으며, 나머지 한식연 실험 홍삼을 검증 샘플로 이용하였다. 각 등급별 학습 샘플 및 검증 샘플의 수량은 표 3-4-3 에 나와있다.

또한 한식연 홍삼을 이용하여 학습된 신경망 중 등급 판정 결과가 양호한 신경망을 이용하여 UCD 홍삼의 등급을 판정하는 성능평가를 실시하였다. 등급 판정은 2등급 판정, 3등급 판정을 실시하였으며, 등급 판정에 사용한 UCD 홍삼의 샘플 수량은 표 3-4-4에 나타내었다.

Table 3-4-3 Quantity of training and validation sample for KFRI test

		Grade					
		Regular Ginseng			Inferior Ginseng(Good grade)		
		HG	EG	total	NGG	HGG	total
Training sample	10	10	20	8	16	24	
Validation sample	10	10	20	7	14	21	
Total	20	20	40	15	30	45	

Table 3-4-4 Quantity of validation sample of UCD test

		Grade					
		Regular Ginseng			Inferior Ginseng(Good grade)		
		HG	EG	total	NGG	HGG	total
Quantity	10	13	23	20	9	29	

2) 인공 신경망 구성

본 연구에서는 사용한 인공 신경망은 1개의 은닉층을 가지는 오류 역전파 인공 신경망으로 은닉층의 유니트의 수와 입력 유니트를 조합하여 등급 판정에 가장 적절한 신경망 알고리즘을 구성하고자 하였다.

또한, 학습 시간을 단축시키고 지역 최소 문제(local minima)를 극복하기 위해 개선된 역전파 (Improved back propagation) 알고리즘을 사용하였다. 이 알고리즘은 고정된 학습율(learning rate) 대신 오차의 감소율(gradient)을 판단하여 자체적으로 학습율이 증가 혹은 감소하는 것으로, 인공신경망의 학습과정에서 학습율이 너무 작으면 학습시간이 오래 걸리고, 반대로 너무 크면 결과값에 수렴하지 못하고 진동하는 현상을 나타내게 된다. 본 실험에서는 초기 학습률을 0.01로 하고 학습율에 대한

증가율은 1.05, 학습율에 대한 감소율은 0.7로 설정하였다.

지역 최소 문제(Local minima)를 해결하기 위해 모멘텀 방법(momentum)을 이용하였다. 모멘텀 계수(momentum constant)가 0 이면 가중치(weight)의 변화는 전적으로 오차의 감소율에 따라 결정되고, 1이면 새로운 가중치의 변화는 이전 가중치의 변화와 동일하며 오차 감소율은 무시된다. 모멘텀 계수를 적절히 설정하면 가중치의 변화는 오차의 감소율과 이전 가중치의 변화에 적절히 반응하여 가중치를 변화시킨다. 본 연구에서는 모멘텀 계수를 0.9로 설정하였다.

신경망 구성 및 학습, 검증에 사용한 프로그램은 Matlab(version 5.0 for window, Matworks)을 이용하였다.

3) 인공 신경망의 학습 및 검증

입력 노드는 NMR 특성 인자인 T_1 , T_2 , T_2^* 와 FIDratio를 이용하였다. 입력 노드는 최대 4개에서 최소 2개로 하여 입력 노드의 수와 조합을 다르게 하여 실험하였다. 각 입력 노드의 조합에 대하여 프로그래밍을 통해 뉴런의 수는 2, 3, 4, 5, 입력-은닉층 전달함수는 log-sigmoid function, tan-sigmoid function, 은닉-출력층 전달함수는 linear function, log-sigmoid function, tan-sigmoid function을 조합하여 실험하였다.

2등급 실험의 경우 출력 값은 정상삼([1 0])과 불량삼([0 1])으로 하여 최종적인 정상/불량 판정은 학습된 연결강도를 거치면서 계산된 출력값 중에서 가장 큰 수가 나온 유니트의 자리수로 결정하였으며, 3등급 실험의 경우 출력값은 천삼([1 0 0]), 지삼([0 1 0]), 양삼([0 0 1])으로 하였다. 반복 횟수는 2등급 실험의 경우 20000번, 목표 오차값은 0.01, 3등급 실험의 경우 30000번, 목표 오차값은 0.01 로 설정하였다.

또한, 인공 신경망의 내부 연산에 각 입력 뉴런이 동등한 권리를 가지기 위해, 모든 입력 노드는 다음 식과 같이 정규화(normalizing) 하였다.

$$\text{normalized } T = \frac{\frac{T(\text{UCD test})}{\text{mean of } T(\text{UCD test})}}{\frac{T(\text{KFRI test})}{\text{mean of } T(\text{KFRI test})}},$$

여기서,

T = NMR characteristic

위 식과 같이 한식연 실험의 데이터와 UCD 실험의 데이터를 분리하여 정규화 한 것은 한식연 실험과, UCD 실험에서 측정한 NMR 특성인자의 범위가 서로 다르기 때문이다.

4. 결과 및 고찰

가. NMR 특성 인자의 등급별 특징

1) UCD 실험

UCD 실험 결과 NMR 특성인자중 T_1 의 경우 다른 NMR 특성인자 들에 비해 편차가 크게 나타났다. 홍삼의 경우 내부 조직의 특성의 차이에 의해 넓은 범위의 T_1 을 가지는 것으로 보고되었다.(Jang 등, 1998) 실험 결과 일반 양삼의 T_1 이 등급 중에서 가장 편차가 큰 것으로 나타났다.

표 3-4-5는 각 등급별 홍삼의 날짜별 NMR 특성인자를 나타낸 것으로 전체 평균은 T_1 의 경우 17.784 msec, T_2 는 0.234 msec, T_2^* 는 0.108 msec 의 값을 나타내었다. 각 등급별로 T_1 값은 생내백 양삼 > 일반양삼 > 천삼 > 지삼 순으로 높았으며, T_2 , T_2^* 값은 지삼 > 천삼 > 일반양삼 > 생내백 양삼 순으로 높은 것으로 나타나 일반 양삼, 생내백삼은 천삼, 지삼에 비해 T_1 값은 작고 T_2 , T_2^* 값은 큰 것으로 나타났다.

일반적으로 홍삼의 내부 조직의 치밀도는 정상삼 > 생내백삼 > 내공, 내백삼 순으로 높은 것으로 알려져 있으며, UCD 실험 결과는 이와 부합하는 것으로 나타났다. T_2 와 T_2^* 를 비교해 보면 표 3-4-5에서 보듯이 T_2^* 는 T_2 에 비해 약 46 % 정도의 값을 나타내었다.

홍삼의 처리 방법에 따른 실험 결과는 처리 방법에 따라 값의 차이가 있을 것으로 기대됐으나, T_1 의 경우 0.3755 msec , T_2 의 경우 0.0058 msec, T_2^* 의 경우 0.0129 msec 의 값의 차이를 나타내 각 처리 방법 별로 값의 차이는 크지 않았다. 또한, 등급별로 값의 차이 역시 크지 않았으며, 뚜렷한 경향도 나타나지 않았다. 단 T_2^* 의 경우 모든 등급에서 2nd 의 경우 1st, 3rd 에 비해 0.01776 msec 낮은 값을 나타냈다. 이는 측정 위치의 변화뿐 아니라 NMR 장비의 자장의 불균일 때문에 차이를 나타낸 것으로 사료된다. T_2^* 측정에 있어서 동일한 장비를 사용할 경우에도

주위 환경의 변화 등에 의해 다른 값이 나올 수 있는 가능성이 높으므로, 홍삼의 등급 판정에 있어 T_2^* 값을 이용할 경우 측정 NMR 장비의 안정성이 우선 되어야 할 것으로 생각된다. 이 결과로 볼 때 동체 시작부에 존재하는 내백 및 내공부는 홍삼의 특성인자의 결정에 큰 기여를 하지 않는 것으로 생각된다.

Table 3-4-5 NMR characteristics of UCD test

Characteristics \ Grade		HG	EG	NGG	HGG
T_1 (msec)	Mean	16.959	14.604	17.980	21.596
	Std.	2.483	3.6481	5.0325	2.4929
T_2 (msec)	Mean	0.2645	0.2855	0.2221	0.1649
	Std.	0.0250	0.0537	0.0554	0.0241
T_2^* (msec)	Mean	0.1184	0.1338	0.1011	0.0804
	Std.	0.0131	0.0197	0.0202	0.0097

2) 한식연 실험

표 3-4-6은 각 등급별 홍삼의 측정 방향에 따른 NMR 특성인자를 나타낸 것으로 전체 평균은 T_1 의 경우 22.751 msec, T_2 는 0.2766 msec, T_2^* 는 0.18780 msec 의 값을 나타내었다. T_1 의 경우 UCD 실험과 마찬가지로 다른 NMR 특성인자에 비해 편차가 크며, 일반 양삼의 T_1 이 홍삼 등급 중에서 편차가 가장 큰 것으로 나타났다.

각 등급별로 T_1 값은 일반 양삼 > 천삼 > 생내백 양삼 > 지삼 순으로 높았으며, T_2 은 지삼 > 천삼 > 생내백 양삼 > 일반 양삼, T_2^* 값은 천삼 > 지삼 > 생내백 양삼 > 일반 양삼 순으로 높은 값을 나타내나 T_2 , T_2^* 의 경우 정상삼(천삼, 지삼) 이 불량삼(생내백 양삼, 일반 양삼)에 비해 높은 값을 가지는 것으로 나타났다.

Table 3-4-6 NMR characteristics of KFRI test

Grade parameters		HG	EG	NGG	HGG
		T ₁ (msec)	Mean	23.481	20.920
Std.	4.929		4.884	5.831	3.240
T ₂ (msec)	Mean	0.2892	0.2937	0.2563	0.2674
	Std.	0.0269	0.0203	0.0221	0.0275
T ₂ [*] (msec)	Mean	0.2028	0.1943	0.1740	0.1804
	Std.	0.0242	0.0177	0.019	0.0207

또한, T₂^{*} 는 T₂의 약 67 %의 값을 나타내었다. 그러나, UCD 실험과 마찬가지로 표준편차를 고려해 볼 때 각 등급간 뚜렷한 차이가 있다고 말하기는 곤란하다.

측정 방향에 따른 특성인자의 값의 차이는 T₁ 의 경우 0.3518 msec, T₂ 의 경우 0.0045 msec, T₂^{*} 의 경우 0.00348 msec 의 값을 나타내어 측정 방향에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다.

3) UCD와 한식연 실험의 비교

표 3-4-7은 NMR 특성인자 및 FID ratio 와 등급간의 관계를 통합하여 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 한식연 실험의 T₁을 제외하고 모든 NMR 특성인자에서 정상삼과 불량삼으로 구분 지을 수 있으며, 정상삼의 경우 T₁, FID ratio 값은 작고, T₂, T₂^{*} 값은 큰 것을 볼 수 있다.

그러나, 각 실험별 NMR 특성인자의 등급별 분포에서 보듯이 정상삼과 불량삼의 경우 중첩되는 부분이 존재하여 등급을 분류하기 위한 구분점을 정하기가 용이하지 않았으며, 천삼과 지삼, 일반양삼 과 생내백 양삼을 구분하기는 더 어려운 것으로 나타났다. 이것은 NMR 특성인자의 결정에 조직의 치밀한 정도뿐만 아니라 다양한 인

Table 4-3-7 Relationship of ginseng grade and NMR Characteristic

Characteristics		Mean value of each grade high ← → low			
		T ₁ (msec)	UCD test	HGG	NGG
KFRI test	NGG		HG	HGG	EG
T ₂ (msec)	UCD test	EG	HG	NGG	HGG
	KFRI test	HG	EG	HGG	NGG
T ₂ [*] (msec)	UCD test	EG	HG	HGG	NGG
	KFRI test	HG	EG	HGG	NGG
FID ratio	UCD test & KFRI test	HGG	NGG	EG	HG

Inferior ginseng
 Regular ginseng

자들이 포함되어 구분을 어렵게 하는 것으로 생각된다.

또한 UCD 실험이 한식연 실험에 비해 T₁ 은 4.967 msec, T₂ 는 0.0424 msec, T₂^{*}는 0.0794 msec 낮은 값을 가지는 것으로 나타났다. 이것은 실험에 사용된 홍삼의 차이에 의한 것보다 실험 장비 상의 문제로 인해 발생한 결과로 생각된다. 특히, 값의 차이가 T₂^{*}가 T₂에 비해 더 큰 것은 자장의 불균형에 의해 발생한 오차까지 포함되었기 때문으로 생각된다. T₁, T₂는 대상체의 상태와 종류에 따라 일정한 값을 나타내는 것으로 측정 방법 혹은 장비의 차이에 의해 값의 차이가 발생하지 않는 것으로 알려져 있으나, 본 실험에서는 이와 다른 결과를 얻었으며, 향후 이에 대한 연구가 보완되어야 할 것으로 생각된다.

나. FID ratio

UCD 실험과 한식연 실험에서 등급간 구분이 가능하며, 두 실험간 등급의 경향이

유사한 FID ratio를 찾기 위한 실험을 수행하였다.

실험결과 두 실험간 등급별 경향이 가장 유사한 것은 FID 계산 방법 ii를 이용하여 계산한 것으로 T_2^* 의 2.4 배인 지점에서의 FID ratio 이었다. Fig. 3-4-18에서 보듯이 두 실험 모두 생내백 양삼 > 일반 양삼 > 지삼 > 천삼 순으로 높은 값을 가지며, 천삼과 지삼, 생내백 양삼과 일반 양삼 간의 값의 차이는 작고 지삼과 일반 양삼의 값의 차이는 상대적으로 커 정상삼과 불량삼의 구분이 용이한 것을 볼 수 있다. FID ratio 역시 NMR 특성인자와 마찬가지로 UCD 실험이 한식연 실험에 비해 평균 0.0295 정도 낮은 값을 가지는 것으로 나타났다.

이 실험의 결과를 인공 신경망을 이용한 등급 판정에 NMR 특성인자와 함께 입력 노드로 활용하였다.

다. 등급 판정

1) 2등급 판정

표 3-4-8은 한식연 데이터를 이용하여 실험 결과 판정 성공률이 70 % 이상인 결과중 각 입력 노드별로 판정률, 오차값, 실행 시간 순으로 우선 순위를 두어 가장 좋은 결과를 나타낸 신경망 구조 및 오판정 수를 나타낸 것이다. 이 중 가장 성능이 좋은 신경망 구조는 입력 노드는 T_1 , T_2 , T_2^* , FID ratio, 은닉 노드 수는 4개, 실행 함수는 logsig-purelin 이며, 정상삼 판정 성공률 80 %, 불량삼 판정 성공률 76.19% 이었고, 이때 오차값 은 0.0887, 실행 시간은 106.34 초 였다.

표 3-4-9는 한식연 샘플을 이용하여 판정 결과 판정 성공률이 70 % 이상인 신경망 조직을 이용하여 UCD 샘플을 대상으로 등급 판정을 검증한 결과중 일부를 나타낸 것이다.

가장 성능이 좋은 신경망 구조 및 판정률은 입력 노드 T_1 , T_2 , T_2^* , FID ratio, 은닉 노드 수는 4개, 실행 함수는 logsig-tansig 일 때 정상삼 판정 성공률 91.30 %, 불량삼 판정 성공률은 75.86 %로 나타났으며, 이때 오차값 은 0.08852, 실행 시간은 111.39 초 였다.

Table 4-3-8 Two grade judgment for KFRI test

Input node	Hidden node	Hidden function	Output function	MRG out of 20	MIG out of 21	MSE error	Running time(sec)
T ₁ , T ₂ , T ₂ *, FID ratio	4	logsig	purelin	4	5	0.0887	106.34
T ₁ , T ₂ *, FID ratio	4	logsig	purelin	4	5	0.1242	106.5
T ₂ , T ₂ *, FID ratio	2	tansig	purelin	6	3	0.1352	102.06
T ₂ , T ₂ *	3	logsig	tansig	4	6	0.1575	116.06
T ₂ , FID ratio	4	tansig	tansig	4	6	0.1776	110.95
T ₂ *, FID ratio	2	logsig	purelin	5	4	0.2093	103.92

MRG : Misjudgment quantity of regular ginseng

MIG : Misjudgment quantity of inferior ginseng

Table 4-3-9 Two grade judgment for UCD test

Input node	Hidden node	Hidden function	Output function	MRG out of 23	MIG out of 29	MSE error	Running time(sec)
T ₁ , T ₂ , T ₂ *, FID ratio	4	logsig	tansig	2	7	0.0885	111.39
T ₁ , T ₂ *, FID ratio	2	tansig	purelin	4	7	0.1296	110.56
T ₂ , T ₂ *, FID ratio	2	tansig	purelin	6	9	0.1416	109.19
T ₂ , T ₂ *	3	logsig	tansig	2	7	0.17913	108.75
T ₂ , FID ratio	2	logsig	purelin	4	5	0.2141	111.45

2) 3등급 판정

표 3-4-10은 한식연 실험 샘플을 이용하여 학습 및 검증 결과 천삼/지삼/양삼 판정 성공률이 40% 이상인 결과중 각 입력 노드 별로 판정률, 오차값, 실행 시간 순으로 우선 순위를 두어 가장 좋은 결과를 나타낸 신경망 구조 및 판정률을 나타낸 것이다. 3등급 판정 결과 가장 성능이 좋은 신경망 구조 및 판정률은 입력 노드는 T_2 , T_2^* , 은닉 노드 수는 5개, 실행 함수는 tansig-linear 일때 천삼 판정 성공률 60%, 지삼 판정 성공률 60%, 양삼 판정 성공률 80.95%로 나타났으며, 이때 오차값은 0.1125, 실행 시간은 171.53 초였다.

한식연 실험 결과를 UCD 홍삼 샘플에 적용하여 실험한 결과 가장 성능이 좋은 신경망 구조 및 판정률은 입력 노드 T_2 , T_2^* , 은닉 노드 수는 3개, 실행 함수는 tansig-linear 일 때 천삼 판정 성공률 30%, 지삼 판정 성공률 69.23%, 양삼 판정 성공률 72.41 % 로 나타났으며, 이때 오차값은 0.1521, 실행 시간은 163.19 초였다.

Table 3-4-10 Three grade judgement for KFRI test

input node	hidden node	hidden function	output function	MHG out of 10	MEG out of 10	MGG out of 21	MSE error	running time
T_1, T_2, T_2^* , FID ratio	4	tansig	tansig	8	8	9	0.1284	184.00
T_2, T_2^* , FID ratio	4	tansig	logsig	5	4	4	0.1125	171.53
T_2, T_2^*	5	tansig	tansig	4	4	4	0.1445	177.03
T_2 , FID ratio	2	tansig	tansig	6	4	5	0.1371	162.25

MHG : Misjudgment quantity of heaven's grade ginseng

MEG : Misjudgment quantity of earth's grade ginseng

MGG : Misjudgment quantity of good grade ginseng

2) 성능 평가

그림 3-4-15는 2등급 판정 성공률과 3등급 판정 성공률을 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 2 등급 판정의 경우 정상/불량 판정 성공률은 75% 이상의 결과를 나타내었으며, 한식연 실험과 UCD 실험의 결과는 서로 비슷한 수준의 결과를 나타내어 안정적으로 등급을 판정 할 수 있었다.

3 등급 판정의 경우 한식연 실험 은 양삼은 2등급 판정과 비슷한 판정 성공률을 나타내었으나, 천삼, 지삼의 판정률은 60% 정도였으며, 또한 한식연 실험과, UCD 실험의 판정률 차이는 천삼은 30%, 지삼과 양삼은 10% 이내의 차이가 있는 것으로 나타나 3등급 판정은 2등급 판정에 비해 판정 성공률이 높지 않으며 특히 천삼의 경우 효과적인 등급판정이 이루어졌다고 보기 어렵다. 이는 그림 3-4-15~그림 3-4-18에서 보듯이 천삼과 지삼의 특성인자의 분포는 서로 구분이 힘들고, 학습 샘플 역시 양삼에 비해 50% 정도 적었기 때문에 판정 성공률이 낮은 것으로 생각된다.

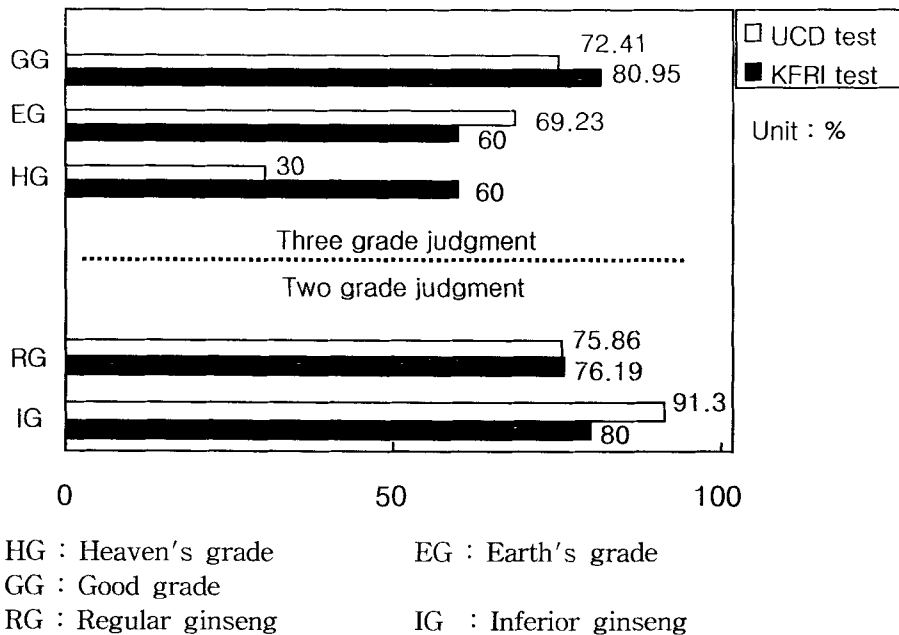


Fig. 3-4-15. Comparison of grade judgement between UCD test and KFRI test.

본 연구에서 홍삼의 등급 판정은 전적으로 홍삼의 내부 상태에 의존한 것이다. 서론에서도 설명했듯이 홍삼의 등급 판정은 내부조직 상태 뿐 아니라, 홍삼의 체형, 선택, 표피의 상태 및 균열, 흠집 유무 등 외부 상태에 의해서도 결정되므로, 신경망을 이용한 홍삼의 등급 판정 알고리즘 개발에 있어서 NMR 특성인자와 함께 외부 요소 인자를 입력노드에 적용하고, 학습 샘플의 수를 충분히 늘린다면 판정 성공률이 높아질 것으로 생각되며, 등급 판정 자동화에 충분한 가능성이 있다고 판단된다.

5. 결론

본 연구는 NMR을 이용하여 인삼 검사장에서 실시되고 있는 선별 방법을 대체할 등급판정 시스템을 개발하기 위해 수행되었다. NMR spectrometer를 이용하여 홍삼의 NMR 특성인자를 측정하고, 등급과의 상관관계를 조사하였다. 측정한 홍삼의 NMR 특성인자들을 인공 신경망에 적용, 2 등급, 3 등급 판정 알고리즘을 구성하여 등급판정 가능성을 알아보았다. 구체적인 연구 결과는 다음과 같았다.

가. UCD 실험에서 측정한 홍삼의 NMR 특성인자의 평균값은 T_1 은 17.784 msec, T_2 는 0.234 msec, T_2^* 는 0.108 msec 이었으며, 한식연 실험 결과 측정한 홍삼의 NMR 특성인자의 평균값은 T_1 은 22.751 msec, T_2 는 0.276 msec, T_2^* 는 0.187 msec 이었다. 각 특성인자별로 UCD 실험 결과가 한식연 실험 결과에 비해 낮은 값이 측정되었다.

나. 한식연 실험과 UCD 실험간 유사한 등급 분포를 나타내는 인자를 찾기 위해 다양한 방법으로 FID ratio를 계산하였으며, 각 샘플의 $2.4 \times T_2^*$ 의 값과 최대 FID 신호의 비율을 계산한 FID ratio를 구한 실험 결과, 두 실험 모두 천삼 > 지삼 > 일반 양삼 > 생내백 양삼 순의 등급 분포를 나타내었다. FID ratio를 이용하여 두 실험간 등급의 경향이 유사한 것을 확인하였다.

다. 조직 상태가 정상적인 홍삼의 경우 낮은 T_1 , FID ratio와 높은 T_2 , T_2^* 를 가지는 것으로 나타났다.

라. NMR 특성인자를 이용하여 등급을 구분하면 정상삼(천삼, 지삼)과 불량삼(일반 양삼, 생내백 양삼)의 구분은 효과적으로 이루어지나 천삼, 지삼, 양삼의 구분은 특성인자가 넓게 분포하여 등급간 구분이 곤란하였다.

마. 인공 신경망을 이용하여 등급을 판정한 결과 2 등급 판정의 경우 정상삼 76.02%, 불량삼 85.65% 의 판정 성공률을 나타내었으며, 한식연 실험과 UCD

실험간의 판정 성공률의 차이는 거의 없었다.

바. 3 등급 판정의 경우 판정 성공률은 천삼 45%, 지삼 64.61%, 양삼 76.68% 로 나타나, 3 등급 판정은 2 등급 판정에 비해 효과적이지 않았다.

제 5 절 홍삼 내부품질 평가용 MRI 시스템 개발

1. 자기공명 시스템의 구성

개발한 홍삼 내부품질 평가용 NMRI 시스템은 크게 (A) Console, (B) Spectrometer, (C) TX & RX lines, 그리고 (D) Magnet & Probe로 구분할 수 있다. 신호 및 영상을 획득하기 위해서는 그림 3-5-1과 같은 구성을 필요하게 된다.

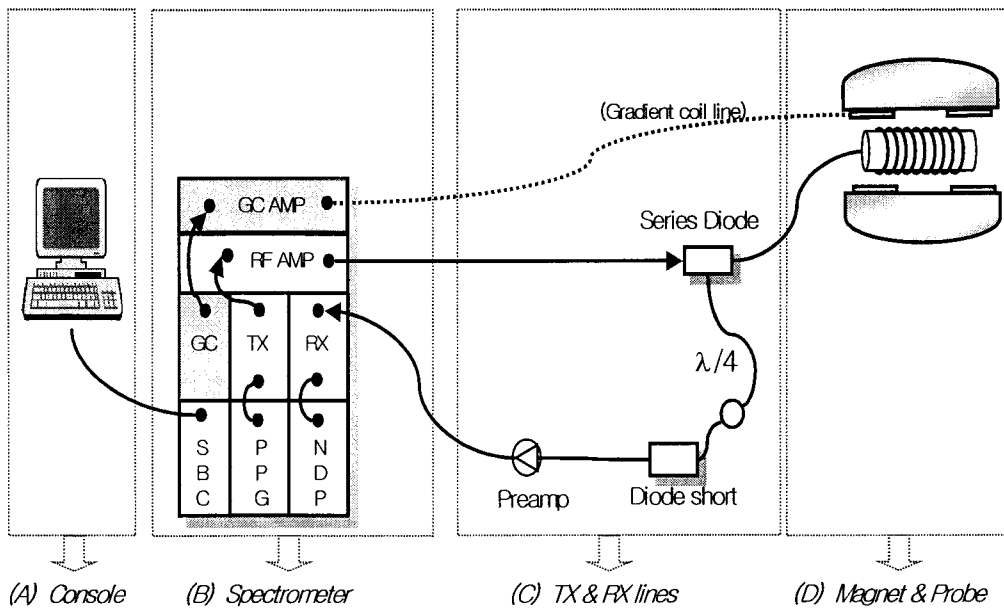


Fig. 3-5-1. Schematic diagram of NMRI system.

가. Console

Console은 주 컴퓨터(Main computer)로서, Spectrometer의 SBC(Single Board Computer)와 이더넷(ethernet) 라인으로 연결되어 통신을 수행한다. Console에는 전체적인 하드웨어 시스템의 제어 및 펄스 프로그래밍을 위한 GUI(Graphical User Interface)를 제공한다. 즉, 신호 및 영상을 획득하기 위해 사용되는 펄스의 편집 및 수행에 관한 소프트웨어를 내장하고 있으며, 획득된 자료를 처리하는 기능도 수행하게 된다.

나. Spectrometer

Spectrometer 부분은 크게 VMEp subsystem과 VME subsystem으로 나눌 수 있는데, VMEp subsystem에는 TX, RX 및 GC board로 구성되어 있으며, VME subsystem에는 SBC, Clock, PPG, NDP 및 BAM으로 구성되어 있다. 그 외에 10MHz Clock PTS(Precise Timing Synchronizer)와 Power Supply등도 부착되어져 있다. 그림 3-5-2는 전체 NMRI system 과 spectrometer사이의 계층적 관계를 나타내고 있다.

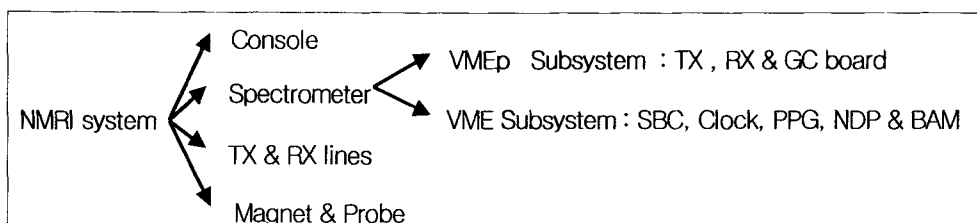


Fig. 3-5-2. Hierarchic diagram of NMRI spectrometer.

다. TX & RX lines

Transmitter와 Receiver 사이의 전체적인 라인 시스템은 그림 3-5-3에서 보는 바와 같은 체계로 이루어져 있다. TX board에서 생성된 펄스는 RF 증폭기에서 입력의

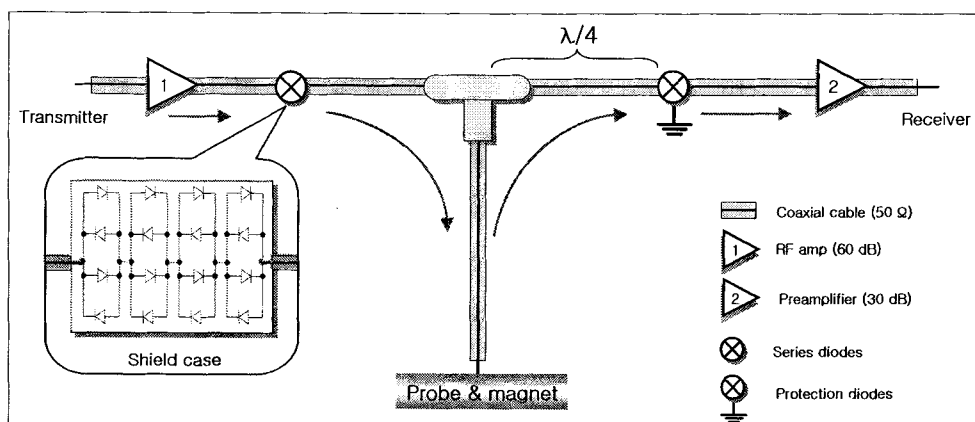


Fig. 3-5-3. Transmission lines of NMRI system.

60 dB 상승되어 출력되어 Probe로 강한 펄스 신호를 전달하게 되며, 샘플로부터의 미약한 공명 신호는 다시 Preamplifier를 거쳐 RX board로 수신하게 된다.

라. Magnet과 Probe

Magnet은 자기공명시스템에서 주 자장을 생성하는 것으로 초전도 자석, 전자석, 영구자석 등으로 만들 수 있으나 본 연구에서는 운영비가 들지 않고 소형으로 제작할 수 있는 영구자석 형태의 자석을 채택하였다. 그림 3-5-4는 다양한 형태의 자석에 따른 시료의 투입 방법을 나타내고 있다. 따라서, 자석의 형태와 종류에 따라 적절한 probe의 선택이 필수적이다.

Probe는 시료에 전자기 펄스를 가하고 시료로부터 발생하는 자기공명 신호를 획득하는 역할을 한다. Probe는 주 자장의 크기를 결정하는 magnet의 세기에 의해 결정되는 주파수에 일치하는 공명 주파수를 가져야한다. RF coil의 종류로는 Solenoid, Saddle, Birdcage, Surface Coil 등이 있으며 측정하고자 하는 대상체에 따라 그 용도와 목적이 상이하므로 coil에 관한 연구 개발 또한 활발히 이루어지고 있다. 그림 3-5-5에는 다양한 형태의 RF coil을 형태를 보여주고 있다.

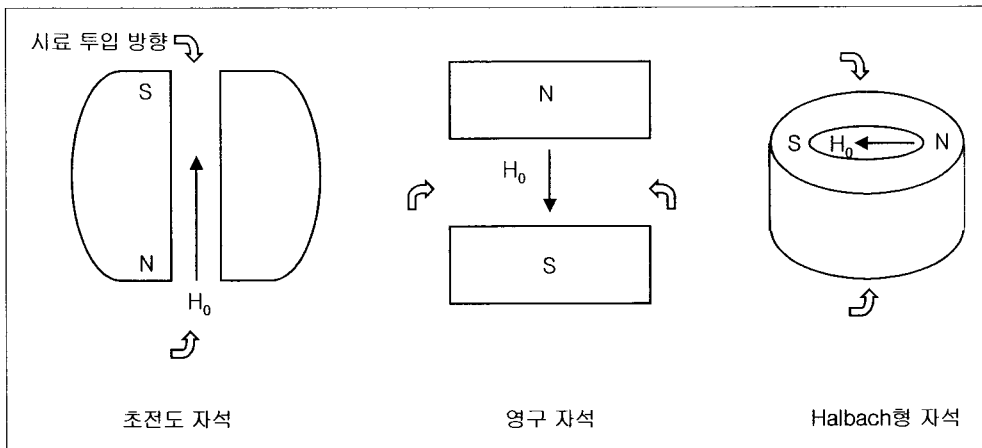


Fig. 3-5-4. Sample loading direction according to various magnet types.

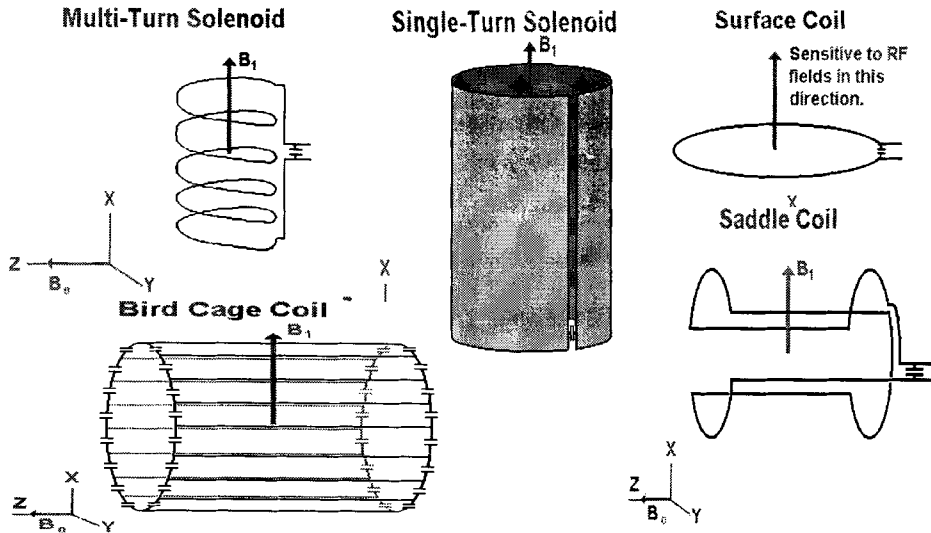


Fig. 3-5-5. Various RF coils.

2. RF 시스템 및 자석 설계

가. NMR Probe 설계

Magnet가 만든 외부자장에 자화되어 Lamor 주파수로 회전하는 proton에 동일한 주파수의 고주파 RF(radio frequency) pulse를 인가하면 자기공명현상이 일어나, proton은 신호를 방출한다. Coil은 이 RF pulse를 인가하고 proton으로부터의 신호를 받는 안테나역할을 한다. Coil은 크게 RF-Pulse를 보내고 (transmission, TX), 수신 (Receive, RX)하는 일을 함께 하는 TX/RX 겸용과 TX와 RX만 하는 송신, 수신 전용 coil로 나눌 수 있다. 일반적으로 TX/RX 겸용 RF coil을 많이 사용하며 본 연구에서도 TX/RX 겸용 RF coil을 개발하였다.

RF coil의 공명 주파수(ν)는 inductor-capacitor 회로에서 inductance(L)와 capacitance(C)에 의해 결정되어진다.

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

여기서 L은 tube의 inductance이고, C는 tube 사이에서의 간격 또는 spanning 간격에서의 capacitor에 의해 생성된 capacitance이다.

RF probe는 NMR 분광기에 있어서 주요한 구성품 중의 하나이다. RF probe의 최

적의 설계는 분광기 측정에 있어 최대의 효과를 얻을 수 있게 한다. 그러나 RF probe의 수행에 있어 몇 가지 요소들 사이에 적용되어야 할 절충안이 있음을 명심해야 한다. 이상적인 RF probe는 짧은 90° 파장(P90), 짧은 소멸시간(Dead1), 높은 감도, 높은 수준의 강인성(robustness)이 요구되어 진다. 하지만 이러한 많은 요구 사항은 서로 상반적이기에, 예를 들어 RF probe에 같은 파장을 지속시키는 동안에 소멸 시간을 감소시키는 것은 불가능하다. 게다가, Probe의 기하학적 형태는 표본 측정을 하는 동안 영구 자석에 의해 형성된 B_0 장에 직각의 B_1 장이 발생되어야 한다. 발생된 B_1 장은 표본 체적 전체에 있어 가능한 한 homogeneous 해야 하는 물리적인 특성을 지녀야만 한다.

NMR용으로 많이 사용되는 rf coil의 형태는 solenoid coil, saddle type coil, single turn coil 등이다. RF 자기장을 만드는 coil로서 solenoid형은 제작이 쉽고 rf 자기장의 공간적 균일성이 좋다는 장점이 있으며 biplanar 영구자석을 이용한 자기공명시스템에서는 solenoid-type의 coil이 적당하다. 따라서, 본 연구에서는 solenoid-type의 coil을 선택하고자 한다. 그림 3-5-6은 solenoid형 RF coil인 multi-turn solenoid 와 single-turn solenoid과 B_0 및 B_1 장의 형성 방향을 도식화한 것이다.

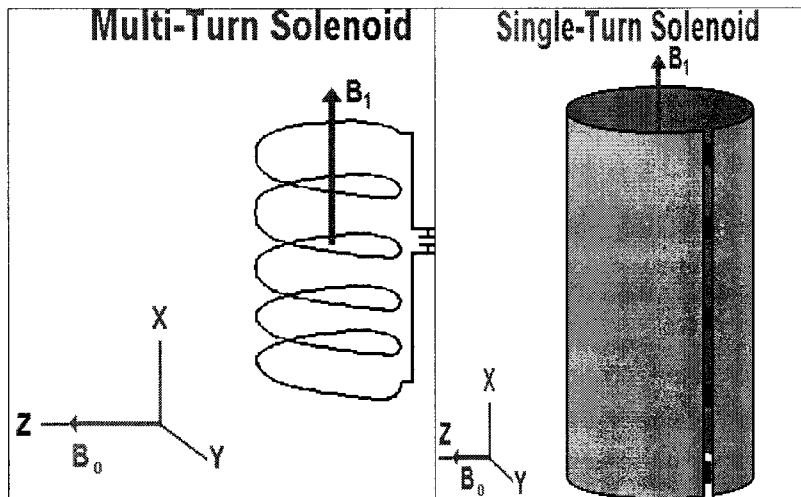


Fig. 3-5-6. Multi and single-turn solenoid coils.

1) Single-turn solenoid 형 코일 설계

Single-turn solenoid형은 tube의 길이에 따라 작용하는 capacitive 간격과 관모양의 inductor로 구성된다. single-turn solenoid 형은 절단면의 형태가 원형, 난형, 정사각형, 직사각형 또는 비대칭의 구조로 형성되어 질 수 있으며, 공명 장치의 결합을 위해서 두 개 또는 그 이상으로 tube가 결합되어지기도 한다. 여기서, single-turn solenoid 형에 있어서 원통형 inductor의 inductance(L)는 tube 반경(r), 길이(l)에 의해서 구해질 수 있다.

$$L = \frac{\mu\pi r^2}{l}$$

여기서, μ 는 투자율 상수($4\pi \times 10^{-7} N/A^2$)이다.

또한 폭이 w , 높이 h , 길이 l 인 직사각형 inductor의 inductance는 다음과 같다.

$$L = \mu wh(1 + \delta)^{-1}$$

여기서 δ 는 실험적인 상수이고 wh 는 tube 절단면의 면적이다.

전형적인 single-turn solenoid 형은 PVC와 같은 절연체에 구리 foil을 부착시켜서 제작된다. 공급되는 전원은 결합된 루프에 의한 resonant 회로의 내부나 외부에 결합되어진다. Resonant 회로의 impedance는 루프와 Inductor사이의 거리에 변화를 줌으로써 조절되어질 수 있다. 따라서, 결합된 Capacitor는 회로에 반드시 필요하지는 않는다.

2) Multi-turn solenoid 형 코일 설계

그림 3-5-7에서와 같이 병렬 공진회로는 직렬 공진 회로와는 달리 인덕터와 커패시터가 서로 병렬로 연결되어 있으며 전원으로부터의 전류는 인덕터와 커패시터에 각각 분리되어 흐르게 된다. 병렬 공진 회로는 공명 주파수에서 가장 높은 임피던스를 가지게 되며 서로 다른 주파수에서 낮은 임피던스를 가지게 된다. 그렇기 때문에, 전원으로부터의 전류는 공명 주파수에서 최소가 되고, LC 회로를 지나는 전압은 최대가 된다. 현재 제작중인 NMRI system에서 영구자석의 경우 0.5176 Tesla(22.036 MHz)의 정 자장하에 있다.

solenoid coil의 인덕턴스는 아래의 식에 의해서 계산되어질 수 있다.

$$L(\mu H) = \frac{(n^2 a^2)}{(23a + 25b)}$$

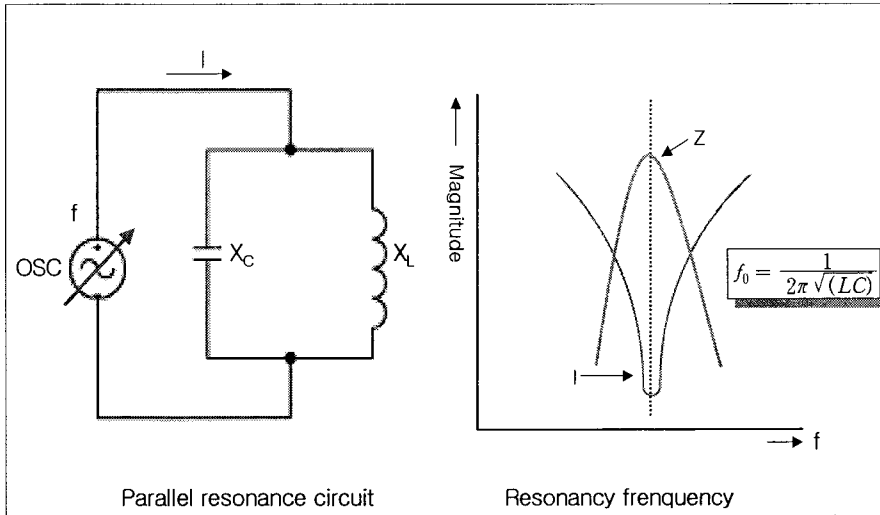


Fig. 3-5-7. Theoretical LC circuit.

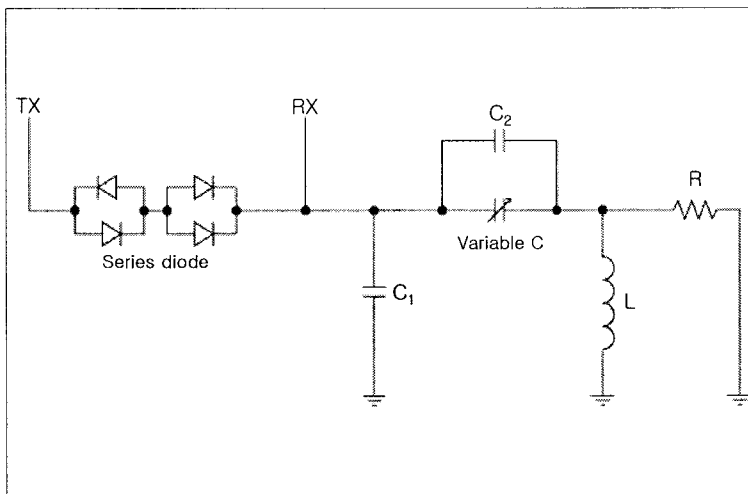


Fig. 3-5-8. Circuit wiring diagram of RF probe.

여기서, L 은 인덕턴스(μH), a 는 코일의 직경(cm), b 은 코일의 길이(cm), n 은 코일을 감은 회수가 된다.

그림 3-5-8은 강한 전압의 펄스 신호가 입력되는 TX line과 공명된 신호를 감지하여 RX line으로 전달하는 probe의 회로도이며, 샘플 튜브는 내부 직경 20mm로 제

작되어졌다.

나. RF 시스템 설계

RF 증폭기에서 나오는 강한 전압의 신호가 Probe로 가는 대신에 RX line으로 유입하게 되면 Preamplifier에 손상을 주게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, Probe를 기준으로 해서 TX line에는 series diode를 부착시켰으며, RX line에는 접지된 protection diodes를 위치시켰다. 또한 임피던스(impedance) 정합에 대한 해결책으로서 RX line에 $\lambda/4$ (Quarter wave) 길이의 케이블을 사용하였다(그림 5-3 참조). 동축 케이블은 내도체경과 외도체경 및 절연물의 유전율로 임피던스가 결정되는데 본 연구에서는 50 Ω 의 동축 케이블(RG-223/U)을 사용하였으며, 공명주파수 22.036 MHz를 맞추기 위해 10 Hz에서 500 MHz까지 조정할 수 있는 Network/Spectrum Analyzer(HP4195A, HP, USA)를 이용하여 동축선의 길이를 조정하였다.

다. 자석 상자의 설계

핵 자기 공명 영상 장치에서 강한 자성을 형성하는 방법으로는 영구자석과 전자석(electro magnet)으로 나눌 수 있다. 다시 전자석을 이용하는 방법으로는, 상전도형 자석(Resistive Magnet)과 초전도형 자석(Superconductive Magnet)으로 분류할 수 있다. 자기공명 장치에서 주로 사용되고 있는 자석의 배열은 자석이 형성하는 주자장(B_0)의 방향을 결정짓는다(그림 3-5-9 참조). 표 3-5-1에 자석의 종류에 따른 장점과 단점을 비교, 표시하였다. 본 연구에서는 경제성과 유지성 등을 감안하여 영구자석 형태의 자석을 채택하였다.

자석 재료의 자기적 성질은 재료내의 전하에 의해 결정되는데 재료내의 전하가 외부에서 전압을 인가시 재료내에서 자기쌍극자(Magnetic-dipole)를 이루면서 자기적 성질을 갖게된다. 또한 외부 자기장이 가해지면 이들 자기쌍극자가 외부자기장에 따라 배열되고 이 외부자기장을 제거한 후에도 특성이 변하지 않는다. 이러한 재료 특성을 가지는 것을 강자성체라 하며 다른 말로는 영구자석이라 한다.

홍삼의 내부 품질 평가용으로 이용될 자석은 영구 자석을 채택하였다. 영구 자석은 저 자장에 주로 이용되며 초전도 자석에 비하여 저가이며 별도의 냉각장치와 같은 공간상의 제약도 크지 않다. 영구 자석의 성능 평가는 형성되어 지는 자기장의

Table 3-5-1 종류별 자석의 장단점

종류	장점	단점
영구 자석	가격이 저렴하다 유지비가 적다 주위 자장의 영향이 적다	제한된 자장강도를 갖는다 고정된 자장의 세기를 갖는다 매우 무겁다
Resistive Iron core	가격이 저렴하다 코일의 유지 보수가 쉽다 주위 자장의 영향이 적다	전력소모가 높다 수냉식으로 물소비가 많다 자장영역이 불안정하다
Resistive Air core	가격이 저렴하다 무게가 가볍다 코일의 유지보수가 쉽다	전력소모가 높다 수냉식으로 물소비가 많다 주위 자장이 중요한 요소로 작용한다
초전도 자석	높은 자장을 얻을 수 있다 균등한 고자장을 유지할 수 있다. 전력 소모가 낮다	가격이 고가이다 냉각체인 액체 헬륨이 고가이다 주위 자장에 매우 민감하다

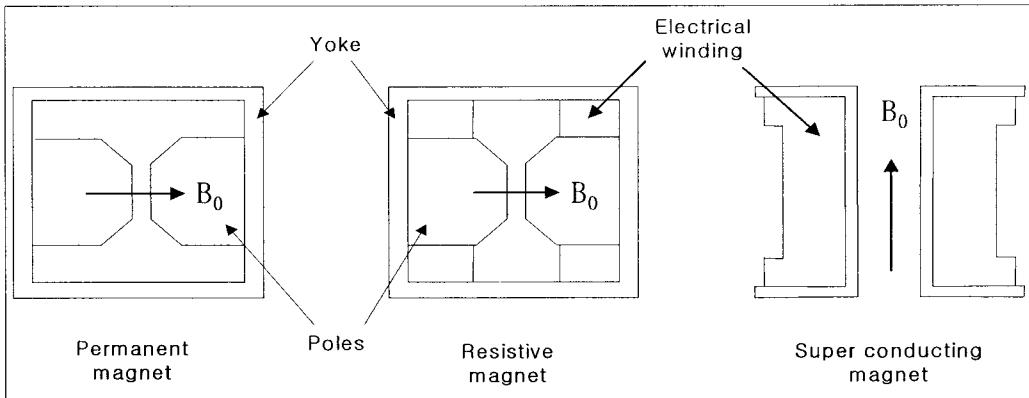


Fig. 3-5-9. Various types of magnet and direction of B_0 .

세기(magnetic flux)와 자기장의 균일도(homogeneity)가 가장 큰 영향을 주게 된다. 본 연구에서 제작 중인 자석은 쌍극자(dipole) 형태의 영구 자석의 설계에 바탕을 두고 있으며, 영구자석의 품질제어(Quality control)를 위한 핵 자기 공명용 정자기장 발생장치(영구자석) 및 정자기장의 균일도를 높이는 데에 주안점을 두었다.

최적화 된 자석 설계를 위하여 자기장(magnetic field) 이론식을 적용하여 자기 회로(magnetic circuit)를 구성하였다. 필요한 자기장의 세기를 가지는 영구자석의 기하학적인 치수를 결정하기 위하여 병렬 자기 회로(parallel magnetic circuit)의 형태로 식을 전개하였다.

그림 3-5-10은 본 과제에서 제작하게 될 병렬자기회로 경우로서, 영구자석으로 에너지가 공급되는 형태이다. 대부분의 고려사항이 위의 전자석에 대한 경우와 많이 비슷하지만 여기서는 Air gap l_g 가 있으며 이에 따라서 gap에 형성되는 자속 밀도의 세기가 결정되는 특징이 있다. 구체적으로 써보면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_1 = \pi r^2 B_g = \frac{H_m l_m}{\frac{l_2}{\mu_0} + \frac{l_g}{\mu_0}} \approx \frac{H_m l_m \mu_0 \pi r^2}{l_g}$$

따라서

$$B_g \approx \frac{\mu_0 H_m l_m}{l_g}$$

이며 원하는 자속 밀도가 결정되어있을 때, 이에 따라서 Air gap 과 자석의 두께가 어느 정도 결정된다.

여기서 한가지 짚고 넘어가야 할 사항이 있는데 자석의 부피문제이다. 자석이 커짐에 따라서 이에 사용되는 비용이 상당히 커지게 된다. 부피를 적게 하기 위해서 사용될 자석은 에너지 Product $H_m B_m$ 이 큰 Hysteresis를 가지는 자성재료로 만들어져야 한다. 이를 구체적으로 언급해보면 다음과 같다.

Air gap에 형성되는 자기장에 의하여 공간에 저장되는 에너지는 Air gap 의 부피 $\pi r^2 l_m$ 와 에너지밀도 $\frac{1}{2\mu_0} B_g^2$ 와의 곱으로 나타내어진다. 그러면

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\mu_0} \pi r^2 l_g B_g^2 &= \frac{1}{2} (H_g l_g) (\pi r^2 B_g) \\ &\approx \frac{1}{2} (H_m l_m) (\pi r^2 B_m) = \frac{1}{2} (H_m B_m) (\pi r^2 l_m) \end{aligned}$$

이 된다. 위의 결과 식으로 볼 때 Air gap의 크기와 그곳에 형성될 자기장의 크기가 결정되어 있다면 자석의 부피($\pi r^2 l_m$)를 줄이기 위해서 에너지 Product ($H_m B_m$)가 큰 자성재료를 사용해야 한다.

Table 3-5-2 자기 공명 영상 장치에 사용된 영구 자석의 사양

Construction	Rare earth permanent magnet, Thermally stabilized
Field	Nominally 0.52 Tesla(22 MHz Proton frequency)
Resonance adjustment	Digital, By automatic adjustment of RF frequency
Pole diameter	150 mm
Pole gap	30 mm

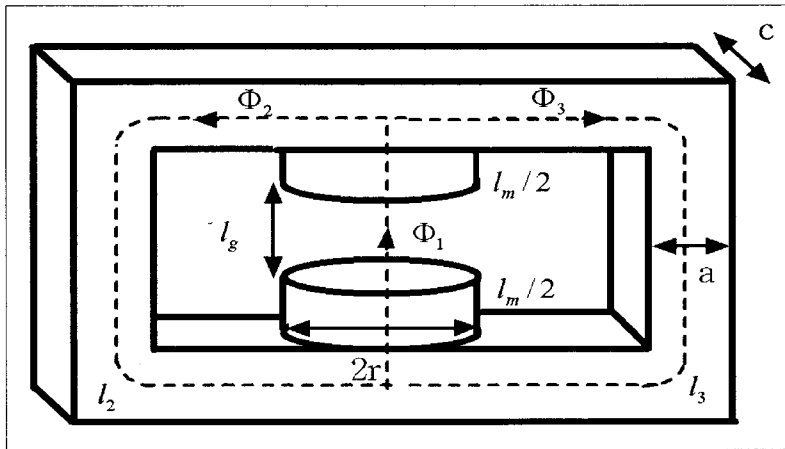


Fig. 3-5-10. Schematic diagram of parallel magnetic circuit.

마지막으로 한가지 고려사항으로서 yoke에 자속이 잘 흐를 수 있도록 yoke의 단면의 넓이가 자석의 넓이보다 커야한다는 사실이다. 즉, $\pi r^2 > (ac + ac)$

이런 조건을 만족해야 한다. 위의 여러 고려사항들에 따라서 설계한 자석의 사양은 표 3-5-2와 같다. 표에서와 같이 자석의 재질은 Rare earth(Nd-Fe-B, Sm-Co)계열로서 상대적으로 고가인 반면에 고자 장을 형성할 수 있으며 온도에 대한 안정성이 떨어지며 산화되기 쉬운 단점을 지니고 있다. 이러한 영구 자석의 특성은 그림 3-5-11의 자기이력선도(Magnetic Hysteresis loop) 또는 그림 3-5-12의 감자곡선(demagnetization curve)로서 나타낼 수 있다.

그림 3-5-11에서 보듯이, 자석을 자장 중에 놓고 "0"의 위치에서부터 자장을 서서

히 증가시키면 자장중의 자속밀도가 급격히 증가하지만 어느 점 이상에서는 외부 자장을 가하여도 자속밀도는 급격히 증가하지 않고 가해진 자장만큼만 증가하게 되는데 이 상태를 포화라 하고 점 "a"가 된다. 이 상태에서 외부 자장을 점차 줄이면 자속밀도는 a→b로 감소하고 외부자장을 0(Zero)으로 하면 "b"점에 오게 되고 0b의 자속밀도가 남게 된다. 이 값을 잔류 자속밀도(Residual Induction)라 부르고 Br로 표시하며 단위는 G(Gauss)이다. 더욱 역방향의 외부자장을 가하면 점점 자속 밀도가 감소하여 "c" 점에 오게 되는데, 이 "c" 점에 오게 하기 위한 필요한 역방향의 외부자장의 강도를 보자력 또는 항자력(Coercive Force)이라 부르고 Hc로 표시하며 단위는 Oe(Oersted)이다. 계속 역방향의 외부자장을 증가시키면 "d"점에서 다시 포화되고 e→f→a→b→c와 같은 Cycle을 이루며 이 곡선을 자기이력곡선이라 부른다.

실제로 영구자석을 설계하고 해석하는 경우에 있어서는 대부분 그림 3-5-11의 자기이력곡선의 b→c의 제 2상한을 이용한다. 이 부분을 감자곡선이라 부른다. 그림 3-5-11의 곡선은 감자곡선을 나타내는데 곡선상의 임의의 점 "A"에서의 "B"와 "H"의 값은 Ba와 Ha가 되는데 이 점에 있어서 사용상의 Energy는 Ba×Ha가 되고 이것을 Energy적이라 부른다. 곡선상의 Ba×Ha가 최대가 되는 점 "D"에서의 Bd× Hd를 최대 Energy적이라 부르고 "BHmax"로 표시하며 그 단위는 "×106GOe"를 사용한다. 감자곡선 상의 임의의 점의 Energy적을 쉽게 알기 위하여 같은 B×H가 되는 점을 연결하여 미리 그려 놓는다

그림 3-5-13은 제작에 사용되고 있는 Rare earth의 Nd-Fe-B(Neodymium Iron Boron)재질의 감자곡선 특성을 나타낸 것으로서, y축은 자속 밀도(B[gauss])이고, x축은 자화력(H[Oersted])을 나타내고 있다.

현재 자석은 (주)자화전자에 제작 중에 있으며 균질성은 수십 ppm을 목표로 하고 있으며 그림 3-5-14는 제작 중인 영구 자석의 전체적인 윤곽을 나타내어 주고 있다. 그림 3-5-14에서 보듯이 dipole 형태의 영구 자석이며 재질은 앞서 언급했듯이 Rare earth의 Nd-Fe-B계열이며, 두 자석 사이의 공극(airgap)은 30 mm이다. 그림에서 보듯이, 각 자석의 돌출된 부분에는 Pole Face를 위치시키는데 이것은 장의 균일성을

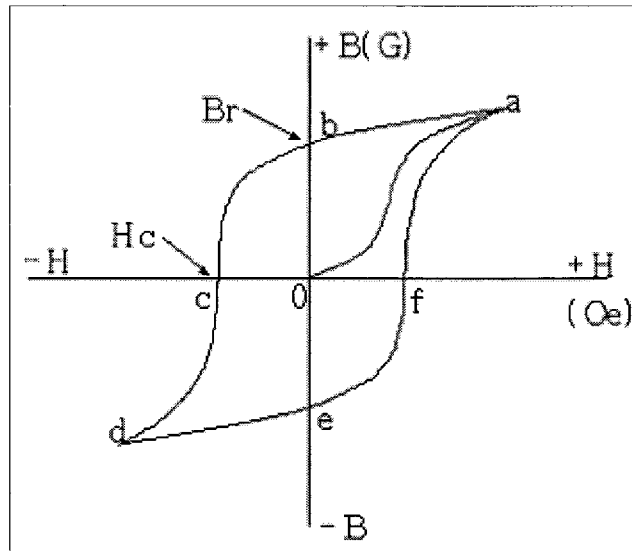


Fig. 3-5-11. Magnetic Hysteresis loop.

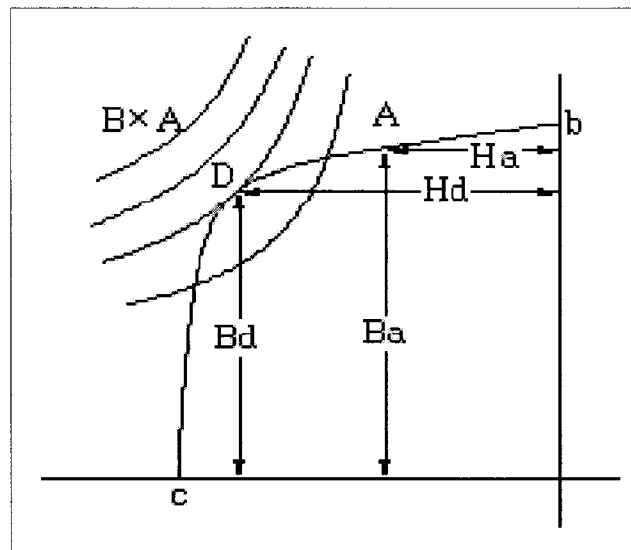


Fig. 3-5-12 Demagnetization curve.

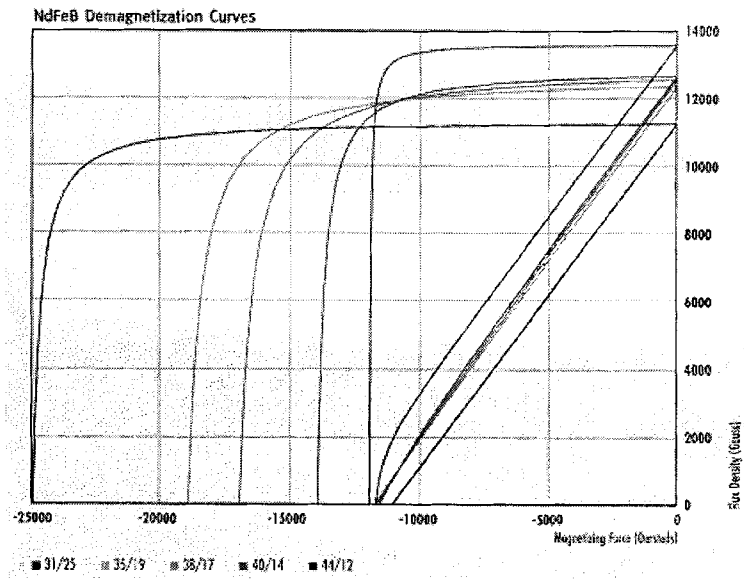


Fig. 3-5-13. Demagnetization curve of Nd-Fe-B material.

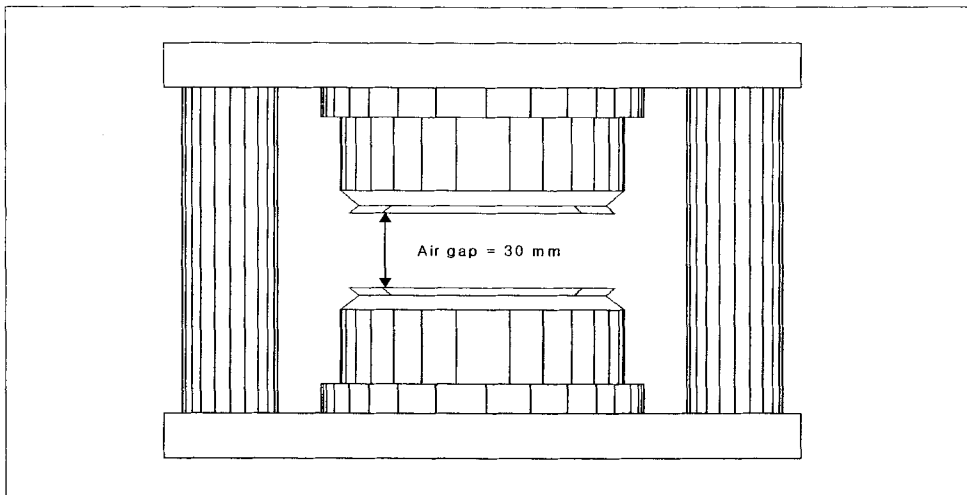


Fig. 3-5-14. Permanent magnet in progress.

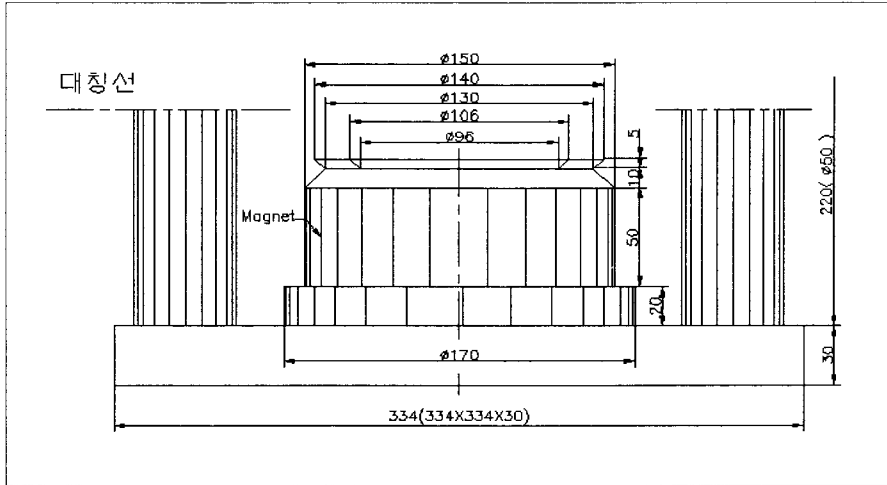


Fig. 3-5-15. Detail standards and dimensions of permanent magnet.

증가시키기 위하여 자기장 방향과 모양에 도움을 주기 위하여 설계된 철판이다. 또한 자기장의 균일성(Homogeneity)을 향상시키기 위하여 Adjusting Screws나 다른 Shimming장치를 설치하기도 한다. 각 자석을 연결해 주는 장치를 iron Yoke라 하는데, 이것의 설치목적은 자석의 안정성, 자장의 휨 방지, 자장을 강하게 해주기 위해서이다. 그림 3-5-15는 설계된 영구 자석의 세부 규격 및 치수를 나타낸 것으로서 자석은 직경 150 mm이고 두께는 50 mm의 원형으로 제작되었다.

본 연구에서는 2차원, 3차원 형상에 대한 구조, 전자기장, 열, 유체 분석에 많이 쓰이는 유한요소해석 프로그램(ANSYS, USA)을 이용하였다. 그림 3-5-16은 제작 중인 영구 자석을 포함한 magnet console을 유한요소 분석(FEM, Finite Element Analysis)을 실시한 결과를 나타낸 것이다. xz 평면의 2차원에 대하여 모의적으로 유한 요소 분석을 실시한 것으로 자석의 중심부에서 자장의 흐름이 균일함을 관찰할 수 있다. 그림 3-5-17에서 볼 수 있듯이 중앙의 30 mm 영역에서 자장이 균일함을 알 수 있었다. 그림 3-5-18은 유한요소 분석 프로그램을 이용하여 3차원으로 magnet console을 설계하여 자장의 변화를 분석하는 프로그램의 결과이다.

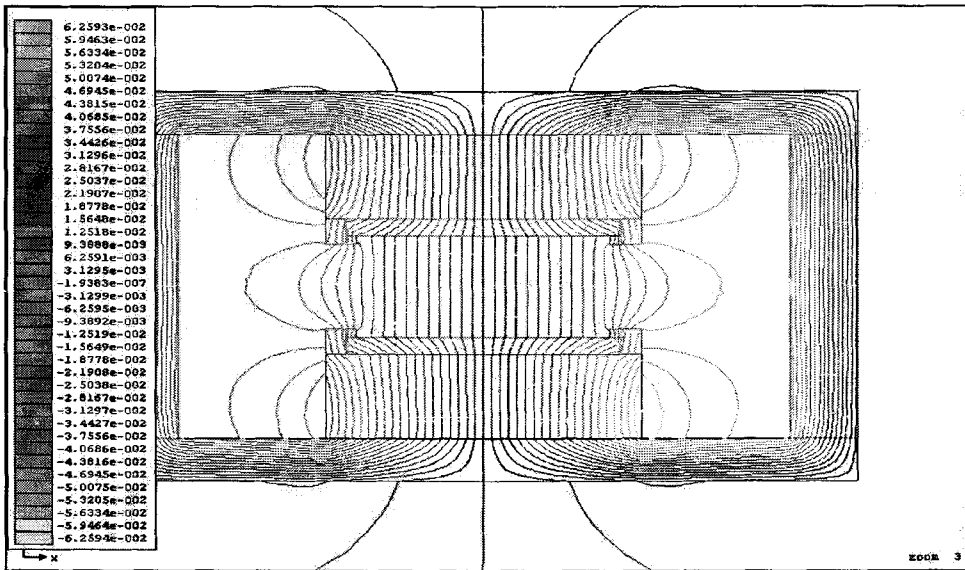


Fig. 3-5-16. The simulation result of XZ plane with magnetic flux.

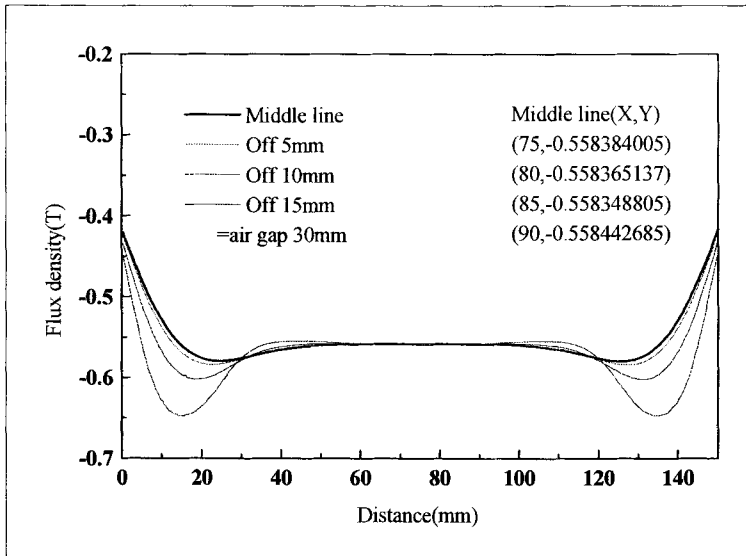


Fig. 3-5-17. The simulation result of XZ plane between flux density and distance.

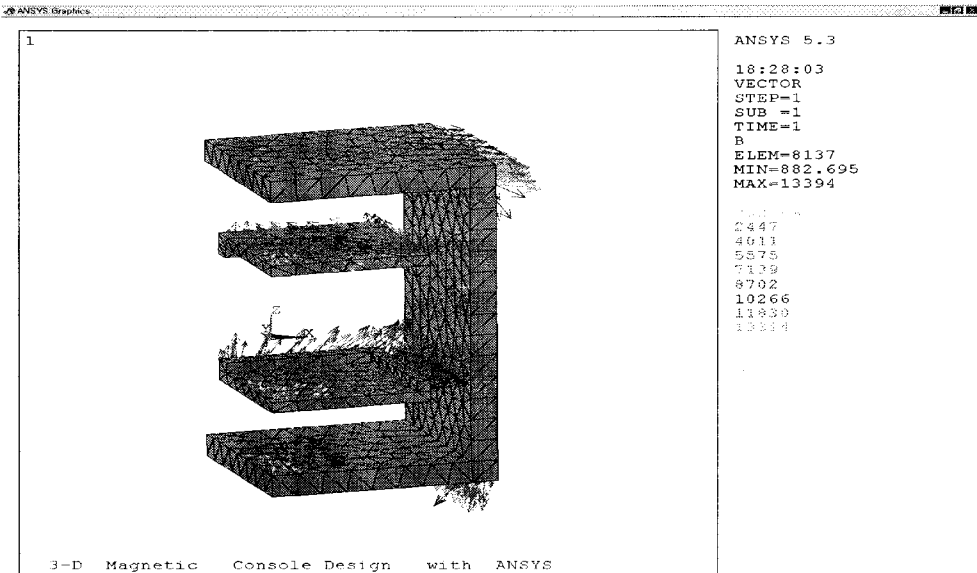


Fig. 3-5-18. Simulation output of magnet console.

라. Gradient coil의 설계

홍삼 품질 평가용 자기 공명 분광 장치에 홍삼 시료의 영상을 획득하기 위해서 경사 자계 코일(gradient coil)을 제작하여 실험하였다. 경사 자계 코일은 세 개의 직교 경사 자계인 G_x , G_y 그리고 G_z 를 적용하여 3차원 공간의 물체를 인식하고 영상으로 재생하는 장치이다. 그림 3-5-19는 개발 중인 전체 NMRI 시스템에서 경사 자계 코일의 위치 및 영상을 획득하기 위해 필요한 구성 장치의 구성도이다. 구성도에서 영상 획득을 위해 console에서 명령된 펄스 시퀀스가 GC board에서 생성되어 gradient 증폭기를 거쳐 각각 x, y, z 방향의 경사 자계 코일로 전달되는 과정은 굵은 실선으로 나타내었다. 기존의 자기 공명 분광 시스템에서 PPG(pulse programmer) 보드를 추가로 장착했다.

자기 공명 영상 시스템에서 영상획득을 위하여 크게 세 부분에 주안점을 두고 연구 및 개발을 하고 있다. 첫 번째로, Console에서 영상을 획득하기 위해 사용되는 펄스의 편집 및 수행에 관한 그래픽 사용자 인터페이스(GUI, Graphic User Interface, 이하 GUI)의 제공하고 획득된 자료를 처리하는 기능도 수행하는 경사자

계 제어(Gradient controller)부분이다. 경사자계 제어 부분에는 펄스열을 발생시키는 PPG(Pulse Programmar) 보드도 포함되어 있다. 두 번 Gradient controller에서 전달된 펄스를 증폭시키는 경사자계 증폭기(Gradient amplifier)부분과 마지막으로 x, y, z 방향으로의 경사자계 구배를 발생시키는 경사자계 코일(gradient coil)부분이다. 자기장이 변화한다면, 프로톤 핵의 세차하는 주파수도 변화할 것이다. 경사 자계는 공간에서 자기장을 변화시키는 것이다. 즉, 자유유도감쇄(FID, Free Induction Decay)신호의 공간에 대한 정보를 획득하기 위해 경사자계(Magnetic Gradient Field)를 경사자계 코일을 사용하여 가한다. 즉 공간적인 위치(x, y, z 좌표)에 따라 자기 공명 신호의 주파수를 다르게 하는 방식으로 공간정보를 획득한다. 그림 3-5-20은 자기 공명 분광과 자기 공명 영상의 획득 원리를 도식화해놓은 것이다. 경사자계는 균일한 주자장(B_0)에 임의의 방향으로 거리에 비례하여 선형적으로 변하는 자장을 더해 주어 자기 공명 신호의 주파수도 비례하여 증가 또는 감소하게 만드는 자장을 말한다. 따라서 경사자계의 기울기만 알고 FID의 주파수를 안다면 거리에 비례하는 성질을 이용하여 검출신호의 위치정보를 알 수 있는 것이다.

그림 3-5-21에서와 같이, 위치에 따라서 부가된 경사 자장이 다른 경우에는 주파수 또한 다르게 나타나게 된다. 즉, 공명 주파수가 $\omega_0 = \gamma \cdot B$ 로 표시될 때, 경사 자계(G)가 부가되었다면, 그림 5-21에서와 같이 홍삼의 머리, 몸통, 다리의 위치에 서로

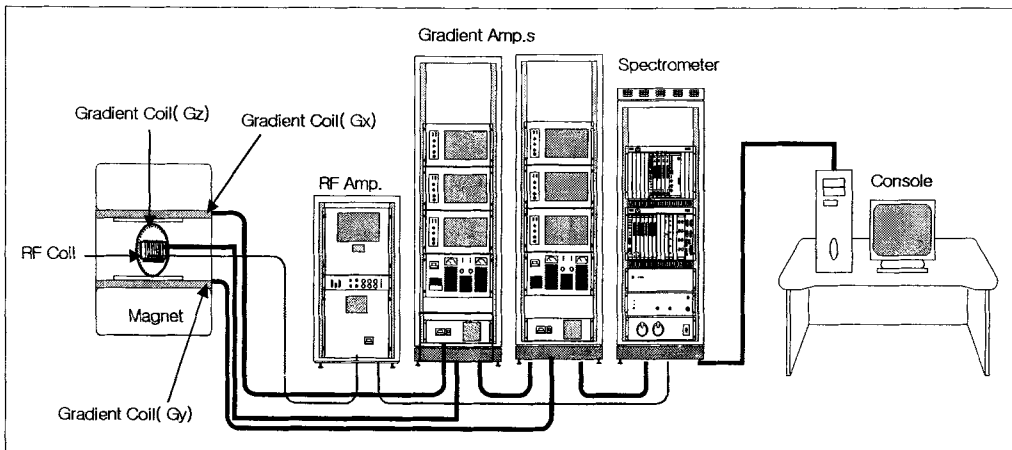


Fig. 3-5-19. Magnetic resonance imaging system lines.

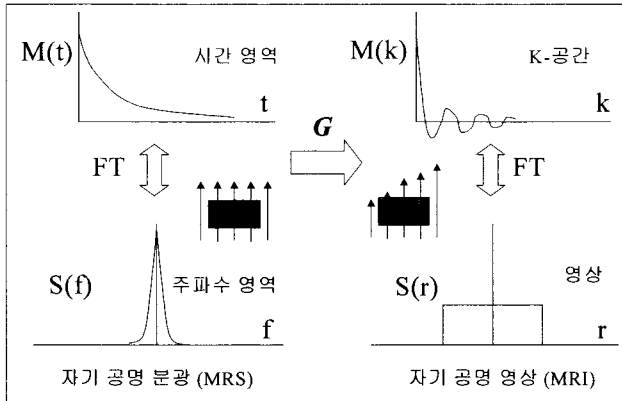


Fig. 3-5-20. Principles of NMR and MRI.

다른 G 를 곱해야만 해당 위치에서의 주파수를 구할 수 있다. 만약 균일한 자장을 형성하는 영구자석의 경우에 0.5 T에서 중 주파수(medium frequency)가 21.3 MHz이고 경사자계가 10 G/cm라면 이것은 1 cm 당 10 G의 기울기 변화가 있다는 것을 의미한다. 즉, 머리에 해당하는 고 주파수(high frequency)의 위치는 몸통에서 5cm 떨어져 있고, 10 G/cm에서 50G/5cm이 되며 자기장의 세기는 5000 G(0.5 T)였으므로 머리에서의 경사자계는 주자장에 50 G를 더한 것이 되므로 5050 G가 된다. 따라서 여기서 획득되어지는 공명주파수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\omega_0 = \gamma \cdot B_0 = 42.6[\text{MHz}/10000\text{G}] \times 5050[\text{G}] = 21.5\text{MHz}$$

경사 자계를 이용하여 스핀의 공간정보를 얻기 위한 slice selection, thickness, phase encoding, readout encoding을 할 수 있다. 한 평면내의 spin을 선택적으로 여기(excitation)시키기 위해서는 slice Selection Gradient를 가하면서 좁은 주파수 영역을 갖는 RF Pulse를 가한다. 절편 선택(Slice selection)은 경사 자계장의 강도 또는 경사(steeptness)와 적용된 RF 펄스의 대역폭에 의해서 결정되어진다. 만약 경사 자기장의 크기가 증가한다면, 절편 두께는 감소한다. 하지만, RF 펄스의 대역폭이 증가한다면, 절편 두께도 또한 증가한다.

$$BW \propto 1/(\text{Time period})$$

절편의 회전(orientation)은 절편 경사 자계의 회전에 의해서 결정되어지는데, 그림 3-5-22는 주자장(B_0)에 대하여 획득되어지는 axial, sagittal, coronal 방향의 영상

단면 위치를 보여주고 있다. 경사 자계코일은 자석의 모양과 크기에 따라 그 제작을 달리 한다. 시료 투입 방향에 따라서 경사 자계 코일의 선택 및 제작에 영향을 끼친다. 기존의 대부분의 경사 자계 코일의 연구 및 제작은 초적도 자석 위주로 설계되고 있다.

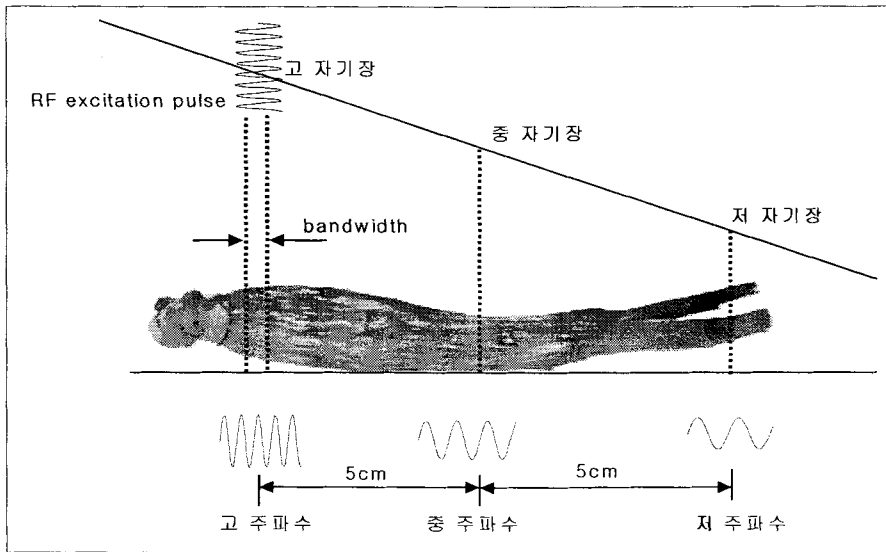


Fig. 3-5-21. Relationship between frequency and inhomogeneous magnetic field.

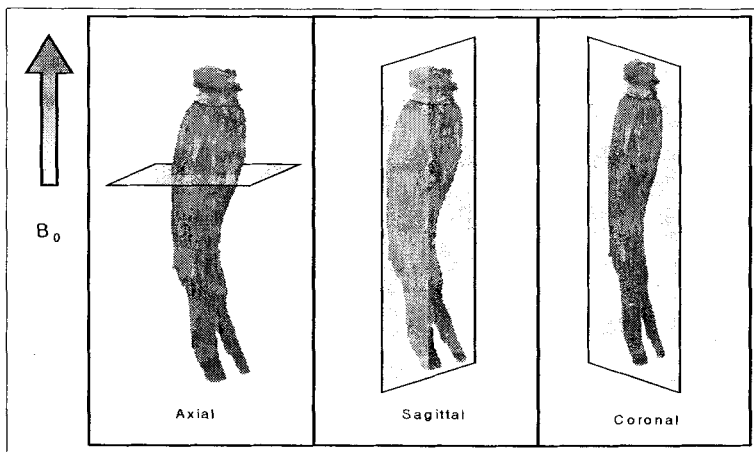


Fig. 3-5-22. Axial, sagittal and coronal directions of MRI.

주자장(B_0)의 변화의 공간적인 비율은 아래의 식으로 나타낼 수 있다. 경사 자기장은 자기장이 더 이상 균일하지 않기에 제어되어지고 예측되어질 수 있는 형태로 주자장을 변화시킨다. 식에서 $\frac{\partial B_x}{\partial x}$, $\frac{\partial B_x}{\partial y}$, $\frac{\partial B_x}{\partial z}$ 에서 주자장에 대한 x, y, z 방향에 대한 경사자기장은 각각 G_x , G_y , G_z 로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \frac{\partial B_x}{\partial x} & \frac{\partial B_x}{\partial y} & \frac{\partial B_x}{\partial z} \\ \frac{\partial B_y}{\partial x} & \frac{\partial B_y}{\partial y} & \frac{\partial B_y}{\partial z} \\ \frac{\partial B_z}{\partial x} & \frac{\partial B_z}{\partial y} & \frac{\partial B_z}{\partial z} \end{bmatrix}$$

경사 자기장은 영상화되는 구(sphere)내의 물리적인 위치 및 영상 절편(slice)의 회전을 제어하고, 또한 공간적인 정보를 지닌 송신 및 수신되는 RF 신호를 부호화(encoding)한다. 경사 자기장은 위치를 지닌 일정한 비율로서 자기장을 변화시키며, 체적의 각 절(section)은 각기 다른 자장과 라모어 주파수를 경험하게 된다.

본 연구에서는 다양한 형태의 경사자기 코일을 제작하여 실험하고자 하였다. 초전도 자석에 사용되는 경사자기 코일은 그림 3-5-23와 그림 3-5-24에서 보는 것과 같이, x-y 축의 코일은 Golay 형태로, z 축을 위한 경사 자기장 코일의 제작은 Maxwell Pair 형태로 설계하여 제작한다.

1) XY-Gradient Coil

Z축 총 길이 = 2 cm 이고 $L1 = 0.78 R$, $L2 = 2.13 R$ 이라고 하면,

$L1/2 + L2 = 1$ 이다. 따라서 $0.78R/2 + 2.13R = 1$

$R = 0.39$ cm 이다. 그러므로 $L1/2 = 0.15$ cm 이고 $L2 = 0.83$ cm 이다.

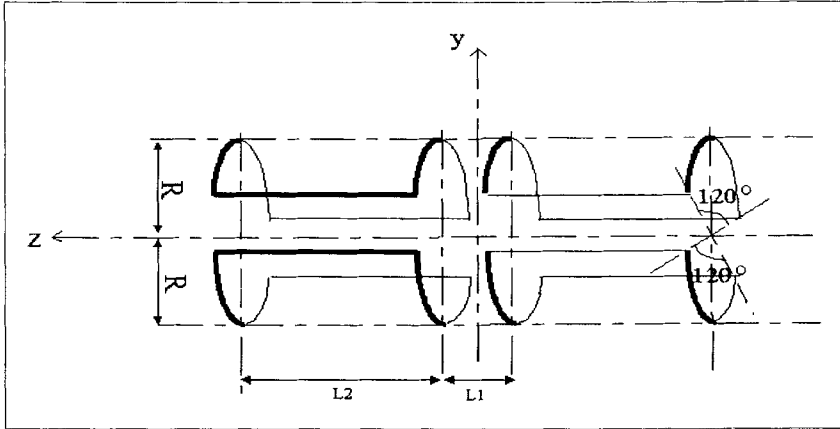


Fig. 3-5-23. Geometry of x-y gradient coil.

2) Z-Gradient Coil

z축 경사 자기장 발생을 위한 Maxwell pair 코일에 대한 설계 원리는 다음과 같다. 중심에서 코일까지 떨어진 거리(L)은

$$L = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 0.39 = 0.337 \text{ cm 이다.}$$

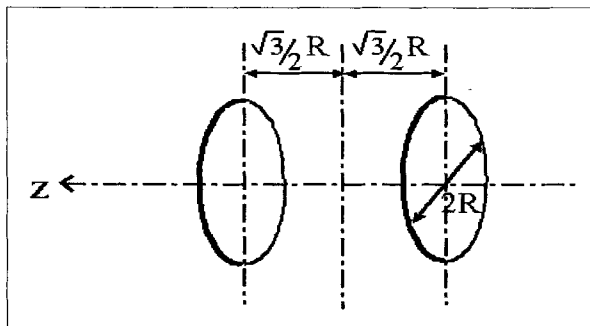


Fig. 3-5-24. Geometry of z gradient coil.

3. 자기공명영상 시스템 개발

자기공명기술을 이용한 홍삼의 내부품질평가 시스템은 분광(NMR)이 가능한 영상(MRI)시스템, 즉 NMRI system으로 표현될 수 있다. 흔히 상품으로 존재하는 시스템

은 아니므로 익숙한 이름인 병원의 영상 진단용 MRI처럼, MRI system 개발의 제하
 로 하였다. 홍삼뿐 아닌 다른 농작물의 NMR 분광 및 MRI 영상을 이용한 품질실험
 에도 쓰일 수 있도록 고려를 하였다. 이 품질실험은 기본적으로 고도의 지식을 요구
 하는 분광(NMR) 및 영상 (MRI)방법을 사용하므로, 저가의 농민을 위한 상품화 이전
 단계로서, 고도의 난이도 및 넓은 범위의 실험이 가능한 시스템을 목표로 한다.

이상의 개념으로 구현된 MRI system은 상품화를 위한, 대상물 (홍삼 또는 다른
 농작물 등)의 분광 및 영상 변수 및 방법 설정을 가능하게 한다. 일단 변수 및 방법
 이 설정되면 구현된 MRI system은 목적에만 맞게 단순, 저가의 상품화를 추구하게
 된다.

가. RF coil 제작

인덕턴스 L 값을 계산하기 위해, 제작에 사용된 구리선은 wire gauge number가
 #14로서 직경이 1.628 mm(0.06408 inch)이며, 사용된 sample tube는 직경 20 mm의
 유리관을 사용하였다. 제작된 코일은 테프론 관에 감았으며 주어진 식에서 a 는 2.4
 cm가 되며 코일이 감긴 길이 b 는 9.1 cm이며 감긴 수 $n=10$ 회로 하여 계산된 값은
 0.369 μH 가 구해졌으며, LCR 미터(Z9216, HC, Korea)를 이용하여 측정된 인덕턴스
 값은 0.34 μH 이었고 Q 는 20.80이 측정되어졌다. 여기서 Q 값은 다음과 같은 방법으
 로도 계산되어질 수 있다.

$$Q = \frac{2\pi f_0 L}{R}$$

여기서, R 은 LCR 미터를 이용하여 측정된 코일의 저항값이다. Q 는 주어진 공명
 주파수를 위한 인덕턴스를 최대로 하고 저항을 최소로 하여 증가시킬 수 있으며, 이
 것은 펄스 되는 동안 H_1 을 최대로 하고 NMR 신호에 대한 코일의 감도를 증가시킨
 다.

이렇게 구해진 L 값과 가변 커패시터(C)를 조정하여 공명 주파수($f = 22.036$
 MHz)값에 근접하도록 Probe를 튜닝하였다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

샘플 튜브는 내부 직경 20 mm로 제작되어졌다. 그림 3-5-25는 각기 다른 형태의 절단면을 갖는 제작된 solenoid-type RF-coil들이다.

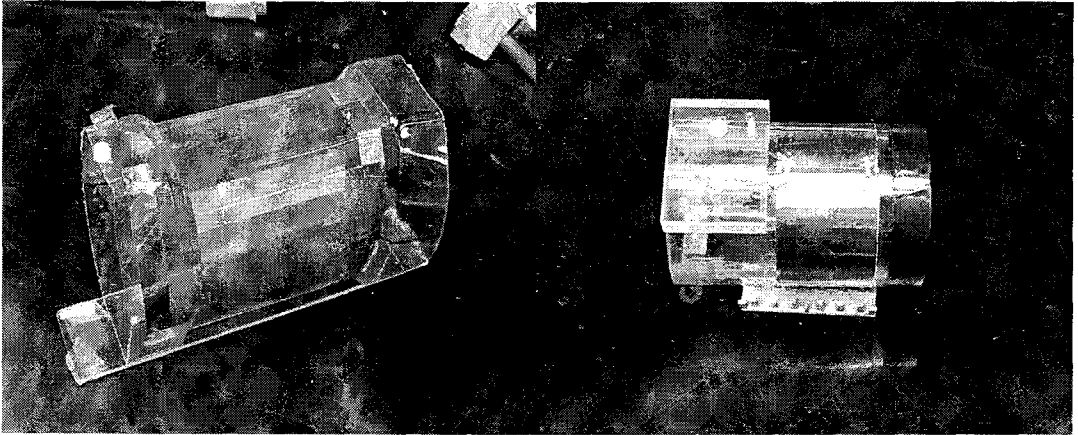


Fig. 3-5-25. Solenoid type RF-coils.

나. Gradient 제작

본 과제에 two pole magnet에는 평면형 경사 자계 코일을 설계, 제작한다. 이러한 평면 경사 자계 코일의 설계는 target field기법을 사용하며, 그 원리는 다음과 같다. 적분변환의 한 예라고 할 수 있는데, 이는 문제 공간에서 직접 해답공간으로 가기 힘들 때 다른 공간을 우회하여 해답공간으로 가는 방법인 것이다.

$$\begin{array}{ccc}
 B_z(c, \phi, z) & \xrightarrow{\text{dashed}} & J(c, \phi, z) \\
 \downarrow & & \uparrow \\
 b_z^{(m)}(c, k) & \xrightarrow{\text{solid}} & j_\phi^{(m)}
 \end{array}$$

위의 도식에서 볼 수 있듯이 우리가 B_z 를 만들어 주는 J 를 알고 있을 때 직접해를 구하는 것은 쉽지 않다. 먼저 z 공간에 대한 푸리에 공간으로 이동하고 여기서 이 b_z 로부터 j 는 그저 기본 대수적인 관계로 구해지며, 이렇게 알게된 j 를 적분변환하여 해답공간의 J 를 구하게 되는 것이다.

그리고 FOV가 10 cm이고 1 mm이하의 두께에 대하여 영상을 얻기 위해서 경사

자계의 크기는 다음과 같아야 한다. 예를 들어서 rf pulse의 bandwidth가 1 kHz이고 두께가 0.42 mm라면 경사자기장의 크기는 48 mT/m 이상이어야 한다.

$$G_{\text{slice}} = \frac{\text{Bandwith}}{\gamma \text{ Thickness}} = \frac{1(\text{kHz})}{42.58(\text{MHz/T}) \times 0.42(\text{mm})} = 48(\text{mT/m})$$

1) 기계적규격

그림 3-5-26은 planar 형태의 gradient를 설치한 모습을 도식적으로 보여주고 있으며 그림 3-5-27은 target field method를 pole자석에 적합하도록 설계된 planar 경사 자계 코일의 1/4에 해당하는 문양을 보여 주고 있다. 구체적인 길이는 자석의 dimension에 맞게 결정될 수 있다.

2) 전기적 규격

경사 자계 코일의 인덕턴스와 저항은 다음과 같다.

- 인덕턴스 : 0.5 mH 이하
- 저항 : 100 mΩ 이하

Gradient coil은 균일한 주자장(B_0)에 임의의 방향으로 거리에 비례하여 선형적으로 변하는 자장을 더해 주어 자기 공명 신호의 주파수도 비례하여 증가 또는 감소하게 만드는 자장을 발생하게 한다. 따라서 gradient coil에 의해 발생하는 경사자계의 기울기만 알고 FID의 주파수를 안다면 거리에 비례하는 성질을 이용하여 검출신호의 위치정보를 알 수 있는 것이다. 경사자계장 코일은 기하학측면에서 수직 자장용 과수평 자장용으로 크게 나뉜다. 초전도자석은 수직 정자장이므로 Maxwell pair와 Golay type 이 주로 채택되며, 영구자석은 수평 정자장이므로 planar type과 Quadrupole type이 주로 채택된다. 본과제 및 이어지는 상품화에서는 쌍극자 영구자석을 먼저 채택하고, 이후 상품화는 할바크 타입 영구자석의 채택이 가능성이 높으므로 planar type과 quadropole type이 모두 고려되었다.

라디오 주파수 하부계통은, NMR probe, preamplifier, passive TR switch 및 RF amplifier가 포함되며 경사자계장 하부계통은 Gradient Coil 및 Gradient amplifier가 포함되며, 그림 3-5-30에 자석내외에 설치된 모습을 보여준다.

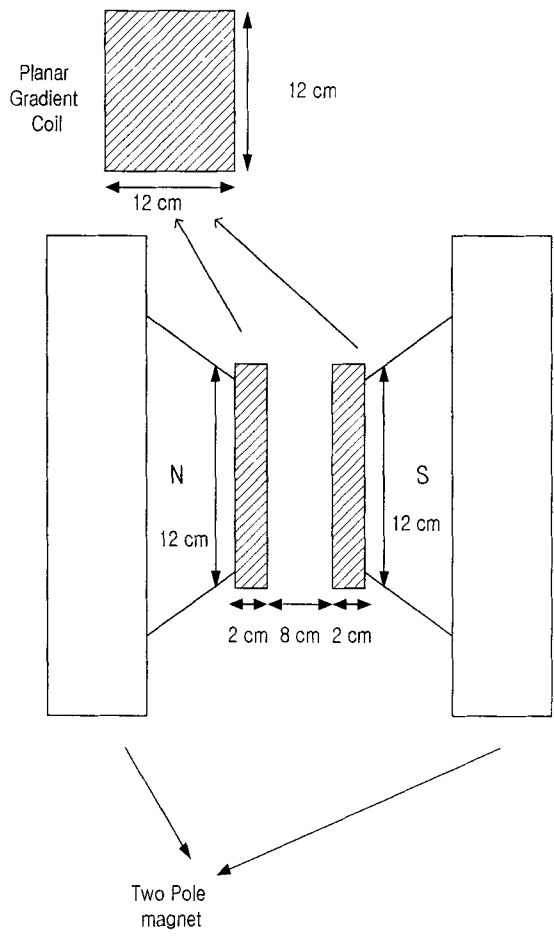
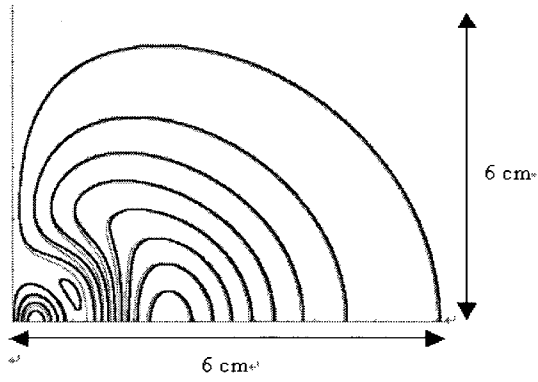
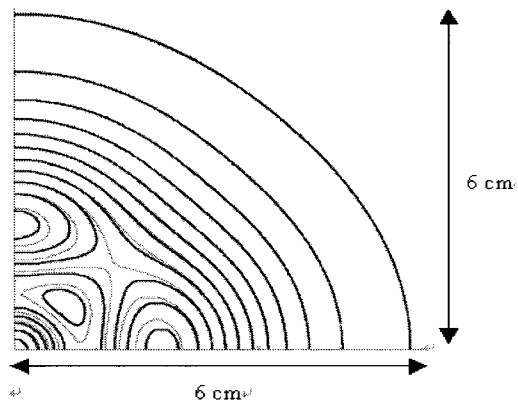


Fig. 3-5-26. Planar type gradient coil.

X 경사자계 코일 문양



Y 경사자계 코일 문양



Z 경사자계 코일은 Maxwell pair 를 사용한다.

Fig. 3-5-27. Field distribution of gradient coil

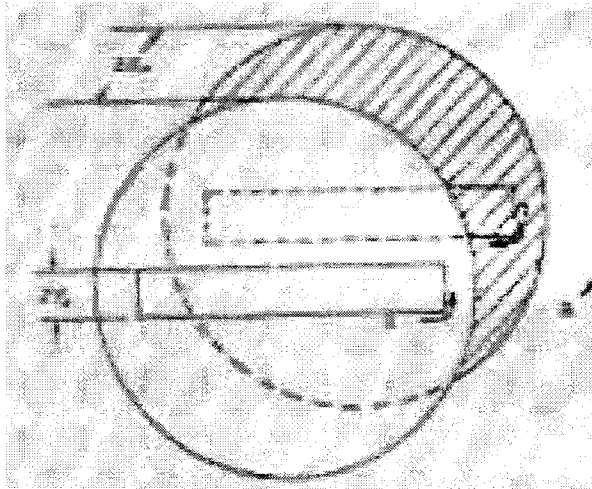


Fig. 3-5-28. Planar type gradient producing G_z .

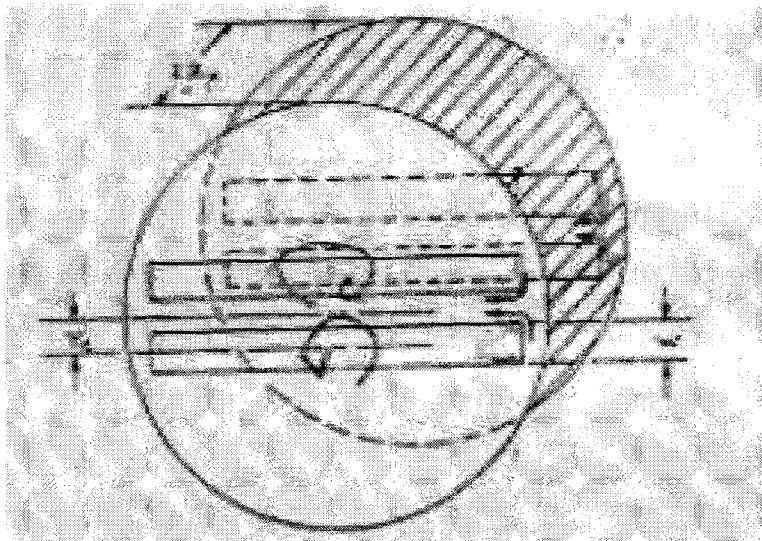


Fig. 3-5-29. Planar type gradient producing G_x and G_y .

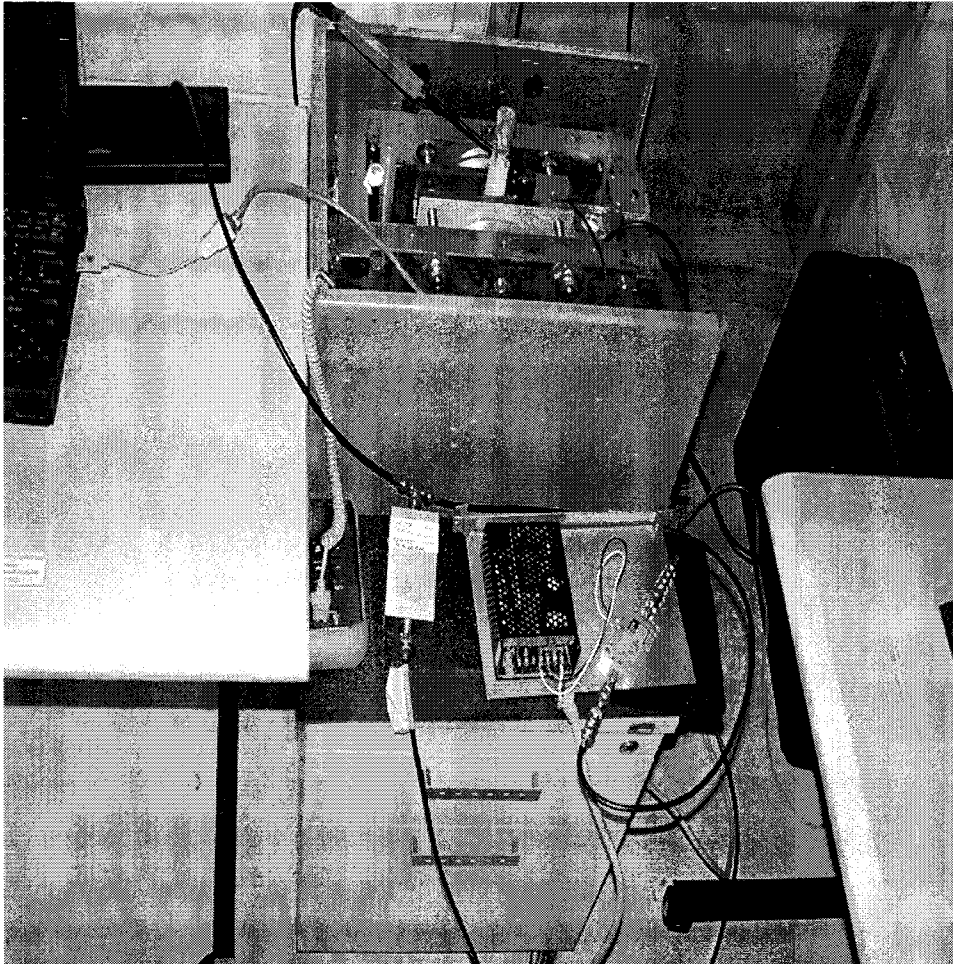


Fig. 3-5-30. Installation of gradient coils and RF subsystem to magnet.

다. Magnet console 제작

MRI 시스템에서 사용되는 자석은 보통 전자석, 영구자석, 초전도자석 등 3가지 종류가 있다. 일반적으로 1 T (10,000 gauss) 이상의 고자장을 요하는 시스템에서는 초전도자석을 사용하며, 그 이하의 저자장 시스템에서는 전자석과 영구자석을 사용한다. 초전도자석은 고자장을 발생시킬 수 있으나 자석의 초전도 현상을 유지하기 위해 액체 헬륨이나 질소를 이용하므로 유지비가 많이 들고 가격이 고가이다. 전자석은 항상 자장을 발생하지 않고 사용할 때마다 자장을 발생하여 사용할 수 있는 장점이 있으나 자석의 크기가 커지고 자석 코일에서 발생하는 열을 냉각하기 위한 냉각장치가

필요하다. 영구자석은 이에 비해 크기를 작게 할 수 있고 (같은 자장을 발생한다면) 자석을 작동하기 위한 별도의 전원이 필요하지 않아 유지비가 가장 적게 든다. 그러나 영구자석의 자장의 변화는 온도에 따라 변하므로 일정한 온도에서 자석이 작동될 수 있도록 항온장치가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 영구자석을 이용한 magnet console을 설계, 제작하고자 한다.

1) 영구자석의 재질

영구자석은 사용되는 재료에 따라 Rare-Earth 계열의 Nd-Fe-B와 Sm-Co 그리고 Ceramic 계열로 나뉜다. Rare-Earth 계열은 상대적으로 고가인 반면 고자장을 발생할 수 있고 Ceramic 계열은 저가로 저자장을 발생한다. 영구자석의 특징은 투자율(μ , magnetic permeability)로 표현될 수 있으며, 보통 B-H 선도로 표시된다. 이러한 영구자석의 B-H 선도는 자석의 주변 온도에 따라 약간의 변화를 보이는데 보통 상온 썩씨 20도 기준의 B-H 선도가 이용된다. 본 연구에서는 Rare-Earth 계열의 Nd-Fe-B 자석을 설계, 제작하고자 한다.

2) 영구자석의 자장 크기

영구자석이 발생하는 자장의 크기는 magnet console의 전체적인 규모와 관계가 깊다. 일반적으로 발생하는 자장의 크기를 크게 하려면 자석의 크기가 커진다. 보통 1 T의 자장의 세기를 갖는 NMR 시스템에서 proton은 약 42.65 MHz의 NMR 신호를 발생한다. 본 연구에서는 약 22 MHz의 NMR 신호를 발생할 수 있는 0.52 T의 자석을 설계하고자 한다.

3) 영구자석의 자장 균일도

Proton이 발생하는 신호의 주파수는 주위 자장의 크기에 따라 변하므로 MRI 시스템에 사용되는 자석은 일정한 공간 안에서 균일한 자장을 갖고 있어야 한다. 보통 일정한 공간 안의 균일한 자장을 갖고 영역을 Field-Of-View(FOV)라 하는데 본 연구에서는 FOV가 x, y, z 방향으로 8 cm 가 되도록 설계하고자 한다. 이 FOV 안에서 자장의 균일도는 30 ppm 이하로 잡았다.

4) Magnet 및 console의 제작

많은 물리, 화학, 생물학적 변수 및 data의 품질판정목적에 맞는 처리문제가 있으나 상품화에 가장 중요한 변수는 대상물의 물리적크기이며, 자석사이의 Probe에 삽입될 시료의 크기는 자석 양극간의 간격에 의존하고, 그 크기는 비용상 그리고 기술상으로 한계가 뚜렷하다. 본 과제에서는 쌍극자 영구자석 (dipole permanent magnet)를 목표로 하였으며, 상품화에는 할바크 영구자석(Halbach permanent magnet)이 계획되었다.

쌍극자 영구자석은 흔히 보는 말굽자석을 탁상용 PC정도의 크기로 만든 것이며, 국내에는 높은 자장 균일도를 보장하는 제작기술이 없었다. 본과제의 협동기관인 핵자기공명분광연구소에서는 일본, 유럽 및 북미선진국의 모든 기술을 현지에서 검토하였으나, 비용이 너무들어 경제성이 없거나 경쟁사의 제동으로 공급조차 가능하지가 않음을 알게 되었다.

할바크 자석은 쌍극자 영구자석과는 달리 원통형 구조를 취할수 있고, 같은 크기에 더 센 자기장을 낼 수 있어서, 검토대상이 되었다. 이번 과제를 통해 현재 국내에서 제작중인 쌍극자 영구자석이 탁상용 크기에서 핵자기공명실험에 적합함이 판정되면, 상품화에 근접할 것으로 기대된다. 그러므로 할바크 자석은 핵자기 공명기술을 이용한 내부 품질평가 시스템의 상품화에 가장 적합할 것으로 사료된다. 그 제작의 난이도는 쌍극자 자석보다 높으므로, 쌍극자 영구자석의 상품화가 적합 판정(원가가 고려되어야 함) 이후에 개발이 적합하다고 사료된다.

홍삼의 내부 품질 평가용으로 이용될 자석은 영구 자석을 채택하였다. 영구 자석은 저 자장에 주로 이용되며 초전도 자석에 비하여 저가이며 별도의 냉각장치와 같은 공간상의 제약도 크지 않다. 영구 자석의 성능 평가는 형성되어 지는 자기장의 세기(magnetic flux)와 자기장의 균일도(homogeneity)가 가장 큰 영향을 주게 된다. 제작 중인 자석은 쌍극자(dipole) 형태의 영구 자석의 설계에 바탕을 두고 있으며, 영구 자석의 품질제어(Quality control)를 위한 핵 자기공명용 정자기장 발생장치(영구자석) 및 정자기장의 균질도(homogeneity)를 높이는 데에 주안점을 두었다.

자석의 재질은 rare earth계열의 Nd-Fe-B(Neodymium Iron Boron)재질로서 상대적으로 고가인 반면에 고자 장을 형성할 수 있으며 온도에 대한 안정성이 떨어지며 산화되기 쉬운 단점을 지니고 있다.

자석의 균질성은 수십 ppm을 목표로 하고 있으며 그림 3-5-31은 제작 중인 영구 자석의 전체적인 윤곽을 나타내어 주고 있다. 그림 3-5-31에서 보듯이 쌍극자

(bipolar) 형태의 영구 자석이며 재질은 앞서 언급했듯이 rare earth의 Nd-Fe-B계열이며, 자장의 세기는 0.5 T, 두 자석 사이의 공극(airgap)은 30 mm이다. 설계된 영구 자석의 치수는 직경 150 mm이고 두께는 50 mm의 원형으로 제작되었다.

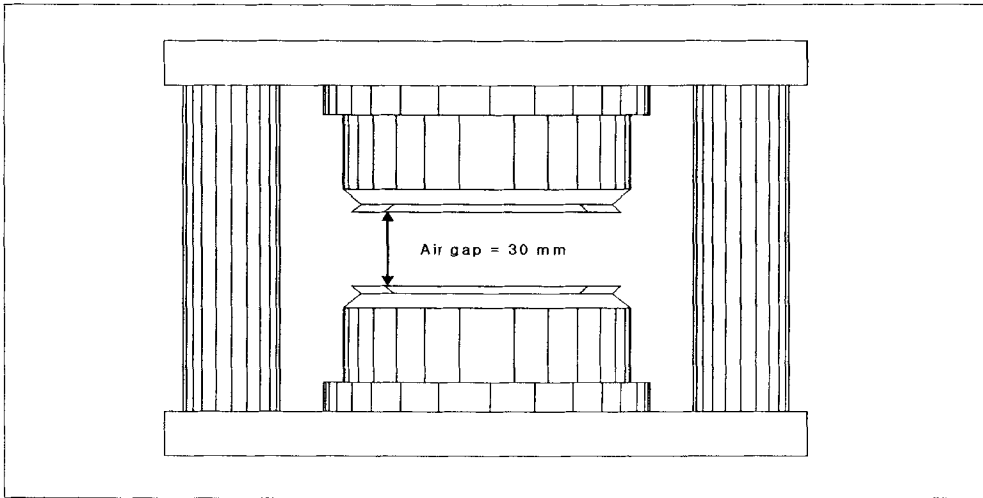


Fig. 3-5-31. Permanent magnet and console under development.

라. Spectrometer 제작

현재 개발 중인 CHI NQC system은 host, spectrometer(console), magnet/probe로 구성되어 있다. Host는 personal computer기반에 Windows NT로 구성되며 사용자로부터 pulse sequence와 parameter 등을 입력받아 spectrometer에게 전달하고 spectrometer로부터 digital화 된 signal값을 전달받아 출력한 후 사용자의 요구에 따라 data를 가공한다. Spectrometer는 digital part와 analog part로 구성되어 있으며 digital part에서는 timing control(PPG, pulse programmer)과 1차 data 가공(NDP, NMR data processor)을 담당하고 analog part에서는 해당 RF signal을 발생(TX)시키거나 시료로부터 들어온 signal을 digital로 변환(RX) 하여 준다.

1) VMEp Subsystems

VMEp subsystem은 Transmitter (TX), Receiver (RX), Gradient Controller (GC) board들로 구성된다.

가) TX board

TX board는 RF pulse의 phase, shape, frequency, amplitude, gating등이 조절 가능한 programmable RF generator로서 logic board로부터 제어 명령(PPG instruction set)을 전달받아 실시간으로 변형된 RF파를 발생시키며 전달받은 제어명령을 RX board로 전달하는 역할도 한다. 이 board는 DDS(Direct Digital Synthesizer), gate등으로 구성되어 있으며 PLL(Phase Locked Loop)을 이용하여 frequency를 제어한다. TX MCU block은 board를 test하고 calibration하는 block으로서 DC power의 안전성을 검사하고 TX-RX board 출력단의 전압을 일정범위로 유지시키기 위하여 calibration 하고 real-time control 기능이 제대로 동작되는지 검사하여 준다. 그림 3-5-32는 TX board의 구성도를 보여준다. 개발한 Tx Board의 주요 사양을 표 3-5-3 에 나타내었다. 기존 제품들의 transmitter에서 발생하는 signal은 일정 frequency에 고정되어 있지만 개발한 CHI의 transmitter에서 발생하는 signal은 5 MHz에서 200 MHz까지 조정이 가능하도록 설계 개발하였다.

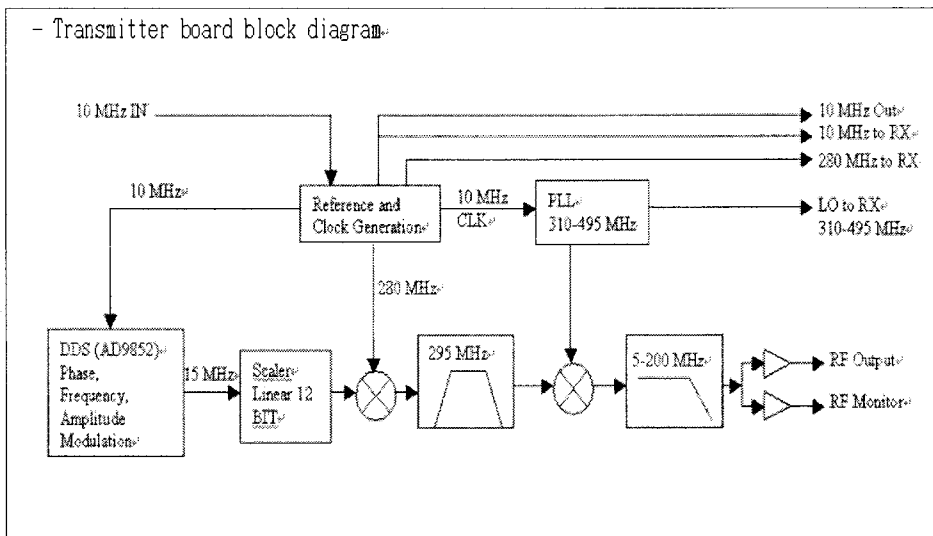


Fig. 3-5-32. Transmitter board block diagram.

Table 3-5-3 Specification of TX board

	Specification
Frequency Range	5~200 MHz (0.2~4.7T)
Peak Output	+4 dBm
Frequency Resolution	0.016 Hz (70 MHz DDS Clock/32 Bits)
Instantaneous Bandwidth	500 KHz
Phase Resolution	14 Bits
Amplitude Modulation	12 Bits, 60 dB
Amplitude Scaler	12 Bits, 60 dB
Gate On/Off Ratio	>100 dB
DDS Clock	70 MHz
DDS Output Frequency	15~16 MHz

나) RX board

그림 3-5-33은 RX board의 구성도를 보여준다. RX board는 probe에서 얻어진 공명신호(RF signal)를 받아 A/D converting하는 ADC board이다. 이 board는 TX로부터 전달된 명령을 해석하여 8.75 MHz 속도로 sampling 하다가 DDC(Digital Down Converter)를 통하여 입력된 RF 주파수를 감소시키며, logic board의 제어에 의하여

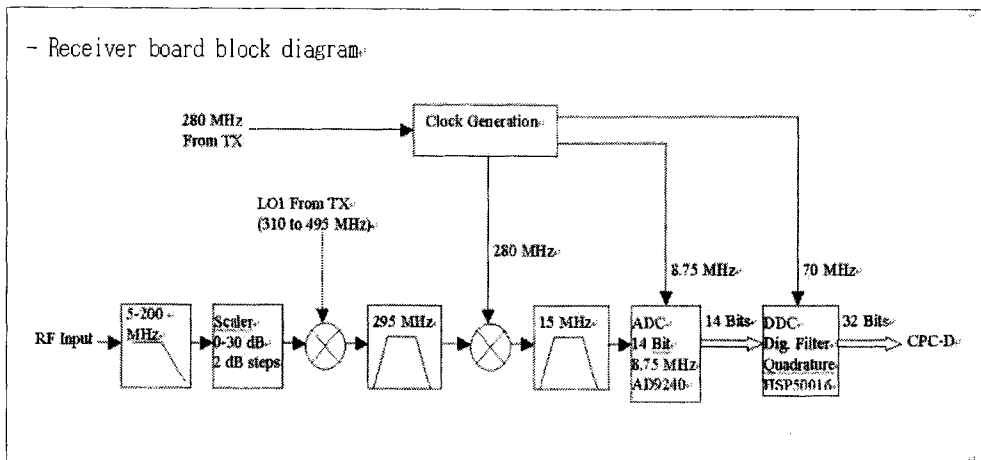


Fig. 5-33. Receiver board block diagram.

Table 5-4 Specification of RX board

	Specification
Input Frequency Range	5-200 MHz (0.2~4.7T)
Peak Input	0 dBm
Gain Range	30 dB in 2 dB steps
Output Resolution	16 Bits
Spurious Free Dynamic Range	96 dB
Maximum Instantaneous Bandwidth	600 KHz
Noise Figure	< 25 dB
Frequency Resolution	0.008 Hz (70 MHz DDC Clock/33 Bits)
Phase Resolution	10 Bits
Phase Stability	< 1%
Amplitude Stability	< 1%

선택된 sample을 전송한다. 개발한 Rx Board는 위의 변동 가능한 주파수영역에서 모두 신호를 받을 수 있도록 설계되어 있으며, 주요 사양은 표 3-5-4에 나타내었다.

다) GC board

그림 3-5-33은 GC board의 구성도를 보여준다. Gradient controller는 primary shim과 gradient 신호를 출력해 주는 programmable voltage generator로서 gradient controller, primary shim(X, Y, Z) controller, pre-emphasis controller, micro controller 등 4개의 subsystem으로 설계된다. 개발한 GC Board는 위의 변동 가능한 주파수영역에서 모두 신호를 받을 수 있도록 설계되어 있으며, 주요 사양은 표 3-5-5에 나타내었다. 그림 3-5-35는 개발되어 제작된 VMEp subsystem의 각 board를 보여주고 있다.

Table 3-5-5 Specification of GC board

	Specification
Harmonic Output	less than 60 dBc
Spurious output	less than 60 dBc
Phase over amplitude	1
T/R turnaround time	5 μ sec
Gain switching time	50 μ sec
Gradient FSR	+/- 10 V
Analog Output Current	+/- 20 mA
Resolution	16 Bits (0.0015% FSR)
DC offset	+/- 0.5 mV Differential
INT Shim (X, Y, Z, B0) FSR	+/- 1.25% of gradient FSR
EXT Shim (0-5) FSR	+/- 10 V Differential
INT/EXT Shim absolute accuracy	+/- 2%
INT/EXT Static shim resolution	12 Bits (0.024% FSR)
INT/EXT drift	0.005% of FSR/degree $^{\circ}$ C
Slew rate	Hardware Limit set at 5 V/100 μ sec
Slew rate absolute accuracy	+/- 20%
Time constant span	1 msec ~ 1.25 sec
T.C. reproducibility	0.02%
T.C. absolute accuracy	+/- 7%
T.C. relative settability	+/- 2.5%
T.C. settable resolution	7 Bits (0.78% of FSR)
T.C. drift	0.03% of FSR/degree $^{\circ}$ C
T.C. amplitude reproducibility	0.02%
T.C. amplitude absolute accuracy	+/- 2.5%
T.C. amplitude relative settability	+/- 2.5%
T.C. amplitude settable res.	12 Bits (0.024% of FSR)
T.C. amplitude drift	0.005% of FSR/degree $^{\circ}$ C

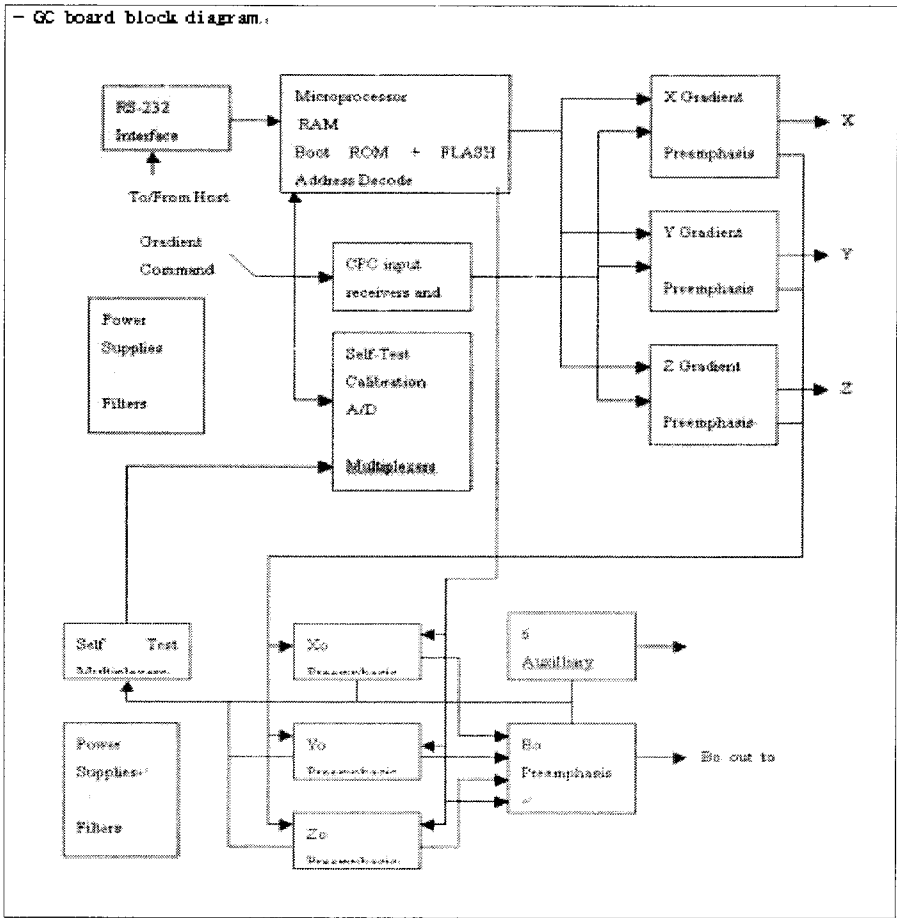
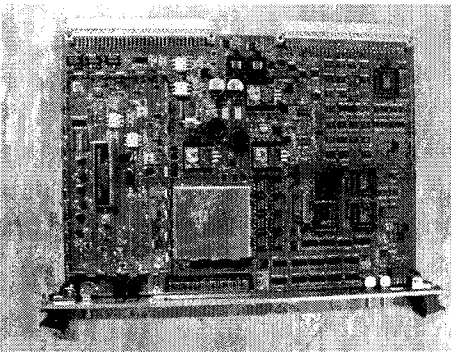
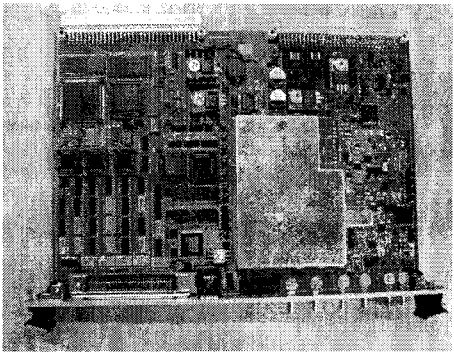
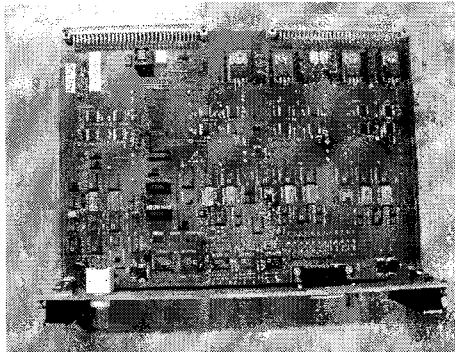


Fig. 3-5-34. GC board block diagram.



(a) TX Board (Transmitter Board)

(b) RX Board (Receiver Board)



(c) GC (Gradient Controller)

Fig. 3-5-35. VMEp Subsystem Developed (a) TX board, (b) RX board, (c) GC board

2) VME Subsystem

VME subsystem은 pulse program을 실행시켜 실시간으로 VMEp subsystem을 구동하여 pulse를 발생시키고, data를 받아와 가공하는 장치들로서 SBC, clock board, PPG, NDP, BAM 등이 있다.

가) SBC (Single Board Computer)

SBC는 한 장으로 구성된 computer로서 network을 통하여 GUI와 대화하고 VME와 serial을 통하여 주변 장치들을 제어 및 감시하는 장치이다. 이 board에는 OS9이라는 operating system을 탑재하고 있다.

나) PPG (Pulse ProGrammer)

PPG는 Pulse sequence execution file을 수행하기 위한 board로서 TX, RX board 등을 control 한다. 이 board는 고속의 연산과 data처리가 가능한 DSP로 구성되어 있으며 PPG OS 운영체제하에서 작동된다. 개발된 PPG board의 주요 사양은 표 3-5-6에 나타내었다.

Table 3-5-6 Specification of PPG board

	Specification
Clock speed	40 MHz (CPC-P) 33 MHz (CPC-D)
MIPS	16.7-20 (million instructions/s)
MFLOPS	50-60 (million floating point operations/s)
MOPS	165-190 (million operations/s)
Interrupts/s	2.78 million
1 k real FT	0.8 ms (33 MHz DSP)
1 k complex FT	1.57 ms
Internal ram	8 k bytes
Internal rom	8 k bytes (boot prog., sin, cos LUT)
ALU registers	27 (32 bits)
Address registers	24 (32 bits)

다) NDP (NMR Data Processor)

NDP는 RX board로부터 들어온 digital data를 가공하여 주는 장치로서 고속의 연산과 data처리가 가능한 DSP로 구성되어있으며 NDP OS라는 운영체제가 작동된다. NDP board는 입력단과 데이터메모리영역으로 나눌 수 있는데, 자세한 사양은 표 3-5-7에 나타내었다.

Table 3-5-7 Specification of NDP board

		Specification
Input port	Differential data lines	32
	Differential input clk	DAV (from ADC)
	Differential output clk	SA (acq trigger)
	FIFO size	2 k words
	Maximum input data rate	20 Mwords/s (to fifo depth)
	Maximum sustained input rate	8-16 M words/s (33 MHz DSP)
Data Memory	Type	70 ns fast-page DRAM
	Packaging	N by 8 SIMMS
	SIMM sockets	8
	Total onboard memory	4, 8, 16, 32, (64), (128) M bytes
	Page access	0 wait state
	Random access	3 wait states
	DRAM refresh	automatic interrupt-driven process

라) BAM (Bulk Access Memory)

BAM은 NDP로부터 가공된 data를 기억하는 장치로서 SBC로 data를 전달하는데 사용한다. 이것은 데이터의 양이 많아서 한번에 처리가 가능하지 않을 경우 잠시 저장해 두었다가 처리하는 역할을 한다.

마) Clock Board

Clock board는 외부에서 10 MHz를 받아 1개의 10 MHz와 4개의 100 MHz를 발생해 주는 것을 장치로 아래와 같이 그 과정을 블록도면도로 간략히 도시하였다. 여기서 발생한 10 MHz는 VMEp System의 Tx Board로 전달되고 100 MHz sine wave는 PPG board에 전달된다. 그림 3-5-36은 clock board의 구성도를 보여준다. 그림 3-5-37은 개발되어 제작된 VMEp subsystem의 각 board를 보여주고 있다.

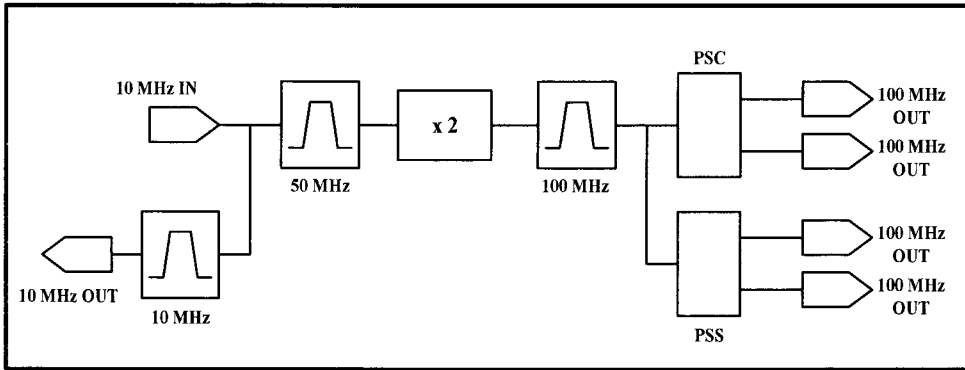
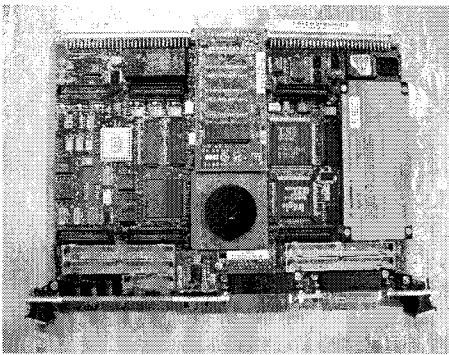
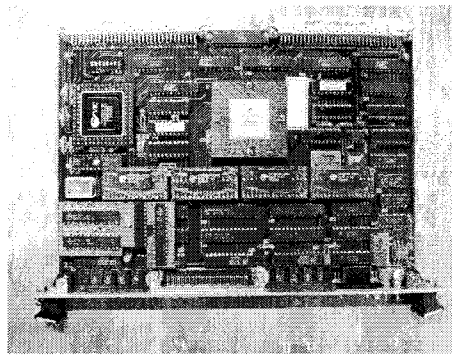


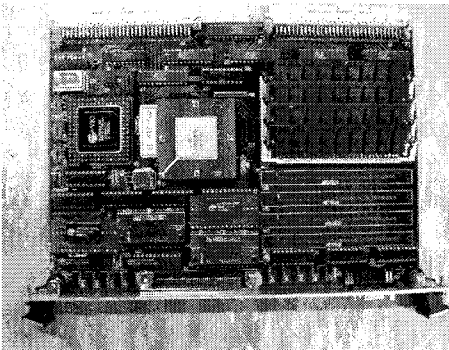
Fig. 3-5-36. Clock board block diagram.



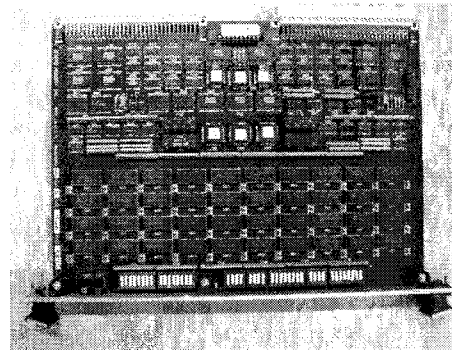
(a) SBC (Single Board Computer)



(b) PPG (Pulse ProGrammer)



(c) NDP (NMR Data Processor)



(d) BAM (Bulk Access Memory)

Fig. 3-5-37. VME Subsystem (a) SBC, (b) PPG, (c) NDP, (d) BAM boards.

3) 스펙트로미터 테스트

자체 개발된 spectrometer를 이용하여 테스트를 하였다. 일반적으로 NQC에서 많이 사용하는 pulse sequence는 single pulse와 spin echo pulse이다. 본 테스트에서는 single pulse sequence를 이용하여 신호를 획득함으로써 제작된 스펙트로미터를 테스트하였다. 그림 3-5-38과 그림 3-5-39는 각각 개발한 스펙트로미터로부터 얻은 물의 FID(free induction decay)와 이를 FFT한 스펙트럼 결과이다. FID 신호는 외부 잡음으로부터 큰 영향을 받지 않았고 이를 이용하여 FFT한 결과 스펙트럼의 line width가 30 ppm 이하로 처음에 설정한 기준에 준하는 결과를 얻었다. 또한 스펙트로미터로부터 FID 신호를 얻기 위해 사용자 인터페이스를 개발하였다.

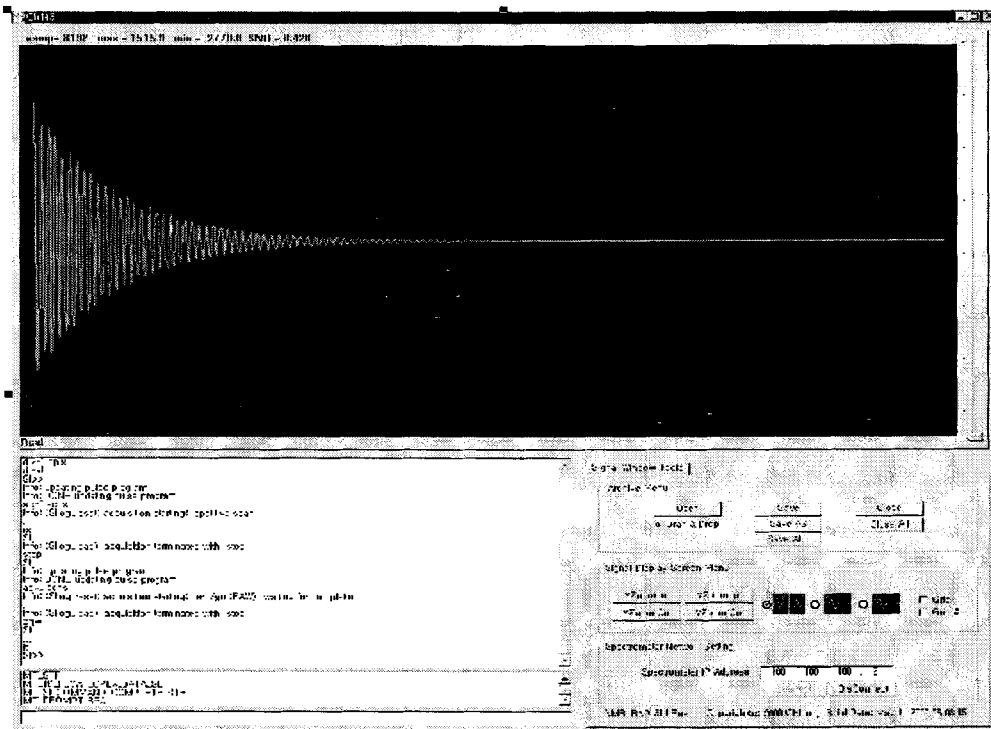


Fig. 3-5-38. Free induction decay signal of the developed NMR spectrometer.

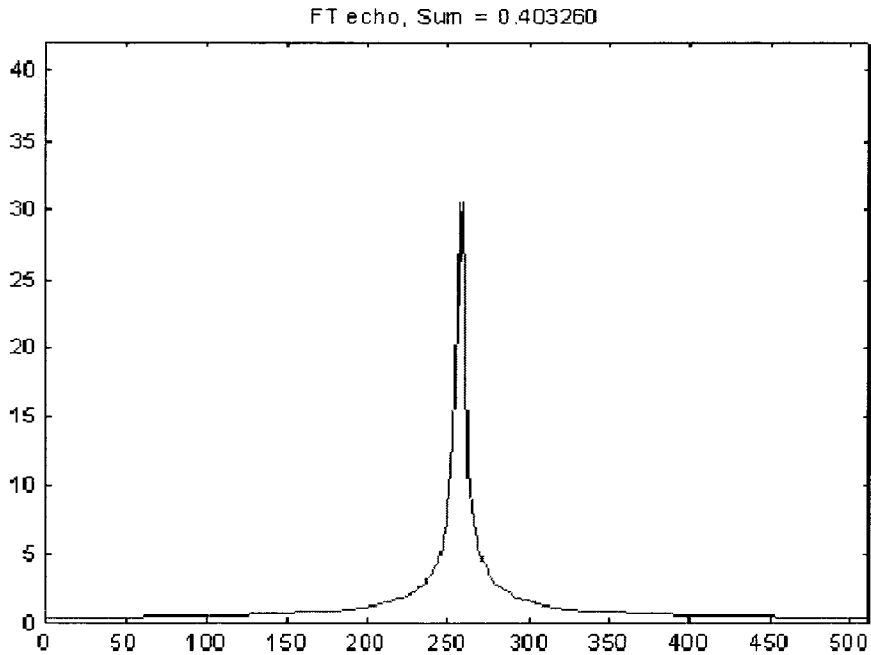


Fig. 3-5-39. FFT spectrum of acquired FID signal.

마. 운영 소프트웨어 개발

운영 SW는 좁은 의미에서는 Operating System 소프트웨어와 같은 시스템 소프트웨어를 말하나, 여기서는 사용자 측면에서의 응용 소프트웨어(application software)를 포함하여 지칭한다. 즉, NMR 하드웨어를 운영하기 위한 소프트웨어는 운영 소프트웨어와 응용소프트웨어가 공유되는 부분이 많은 특수성이 있으므로 2차 년도의 운영 소프트웨어개발과 3차 년도의 응용 소프트웨어개발로 편의상 칭하였다.

NMR 운영상 가장 필요한 부분은 응용소프트웨어에 해당하는 Human Interface (더욱이 편의성을 위한 GUI, Graphical User Interface)와 NMR 펄스 열(pulse sequences)이 있다.

1) 사용자 접속 (Human Interface)

분광 변수(spectroscopy parameter)들은 주파수, 펄스상수들의 입력, 하드웨어 제어 (HW control)등을 포함하고 있으며, 이러한 변수의 조작으로 인해 결과로서 나타나는 신호의 획득 및 분석을 위해 가칭 NCI, NMR Console Interface가 개발되었으며

그 모양은 그림 3-5-40과 같다. 그림 3-5-40은 실행된 NCI화면으로서 획득된 신호를 화면상에 출력하는 signal display window, 작동되고 있는 분광기(spectrometer)의 상태를 관찰할 수 있는 spectrometer monitor, 각종 변수에 대한 수정 및 입력을 기입할 수 있는 command line input window, 획득된 신호에 대하여 분석을 담당하는 data processing panel 및 NCI 기본 설정 및 파일 입출력을 담당하는 setting & file panel로 나눌 수 있다.

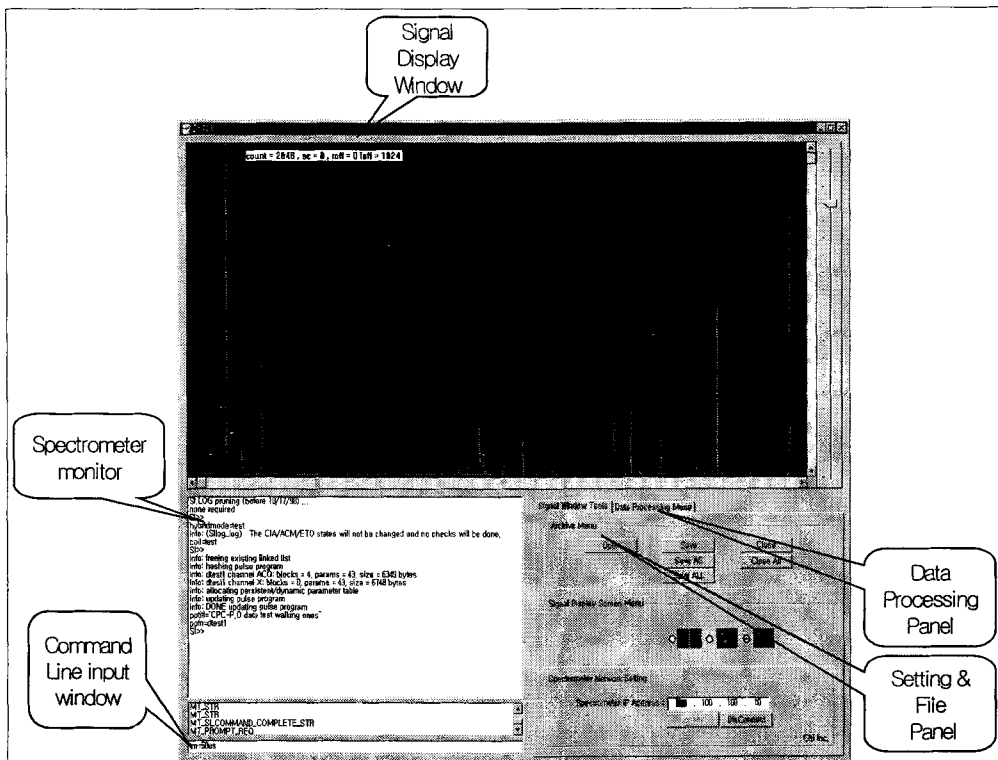


Fig. 3-5-40. Execution window of NCI(Nuclear magnetic resonance Console Interface).

2) 이미징 펄스 시퀀스

핵자기 공명 영상은 back projection 방법과 k-space imaging 방법 / q-space 영상 방법 등을 들 수 있고, 3차원적 구조적 영상이외에도 흐름현상의 정량화 (quantization flow) 및 molecular mobility 에 이르기까지 다양한 응용을 갖는다.

MRI 운용 소프트웨어의 핵심요소는 펄스열(Pulse Sequence)이며, 이는 라디오주파수 펄스열과 공간 3방향에 대한 경사자계장 펄스열(Gradient Pulse sequence)를 핵자기공명영상에서는 모두 포함한다.

그림 3-5-41은 Spin Echo Pulse sequence의 개념도를 나타내었고, 그림 5-42는 실제 펄스발생시간 (pulse timing)을 고려한 timing flow chart를 보인다. 자장의 균일도가 더욱 요구될 경우 off set current mode로의 전환 및 와전류의 능동적 방지(eddy current compensation)가 고려되었으나 본 보고서에는 그 내용이 방대하여 생략하였다.

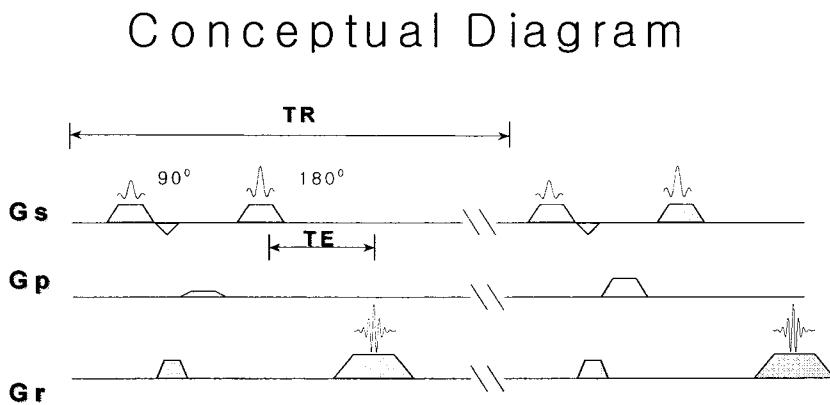
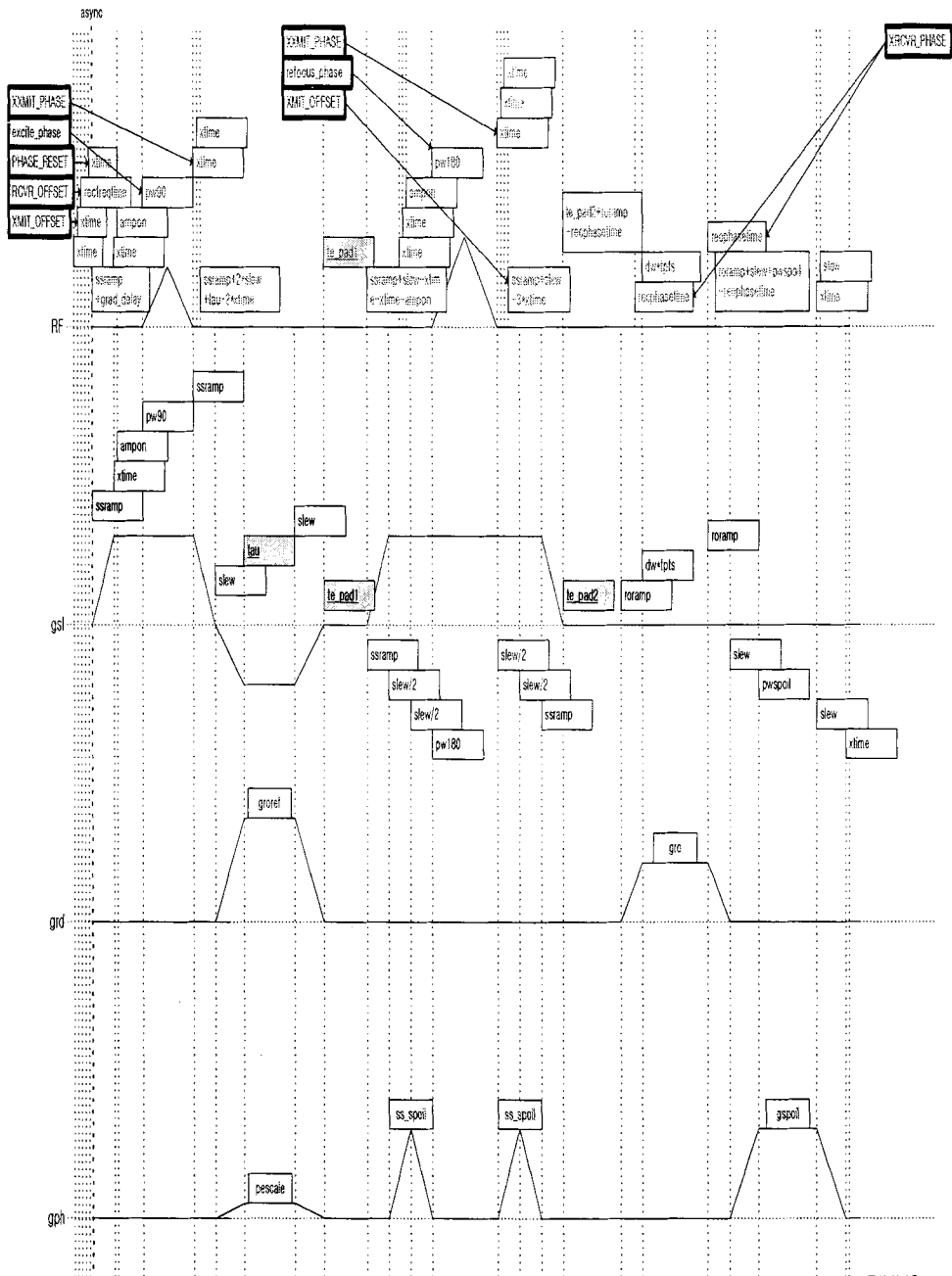


Fig. 3-5-41. Diagram of spin echo pulse sequence.



작성: 이민우
작성일: 2000/11/28

Fig. 3-5-42. Spin echo pulse sequence timing diagram.

바. 시스템 통합

시스템 통합은 그림 3-5-43의 부품들을 요구하며, 현재 완성된 분광기, 영구자석, RF amplifier, Gradient amplifier 및 Host computer가 주요구성원이 된다. 분광기 (spectrometer)의 구성은 그림 3-5-43의 RF source, pulse programmer, digitizer, gradient pulse programmer등이 해당된다. 그림 3-5-44에는 통합된 시스템의 외양을 보여준다.

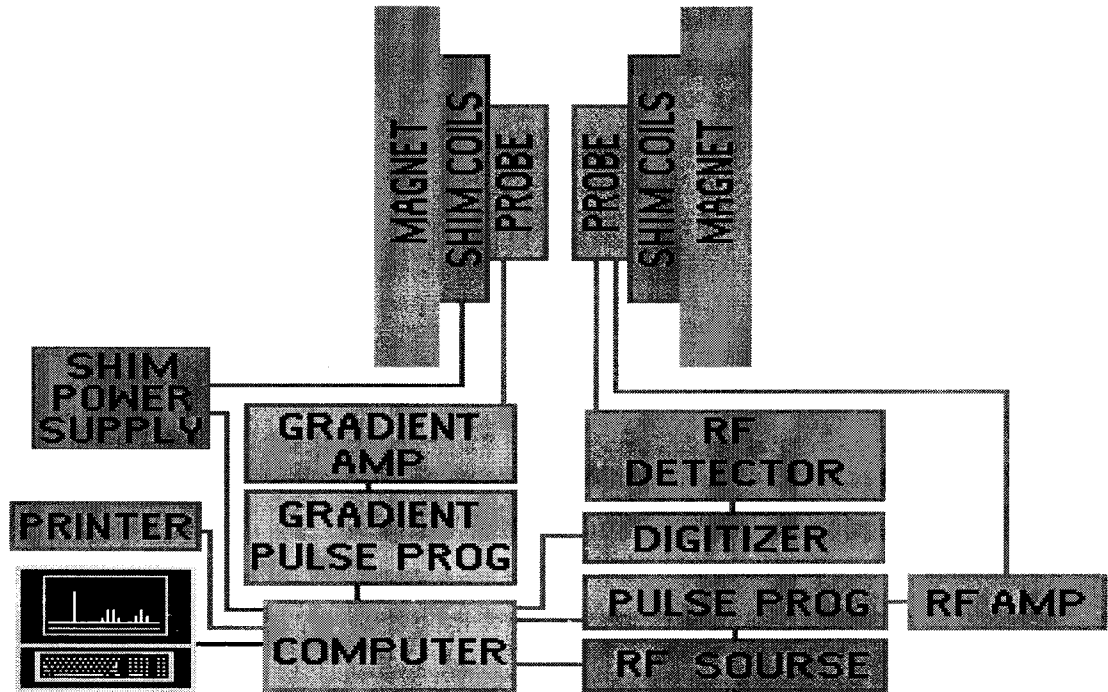


Fig. 3-5-43. Schematic diagram of magnetic resonance imaging system.

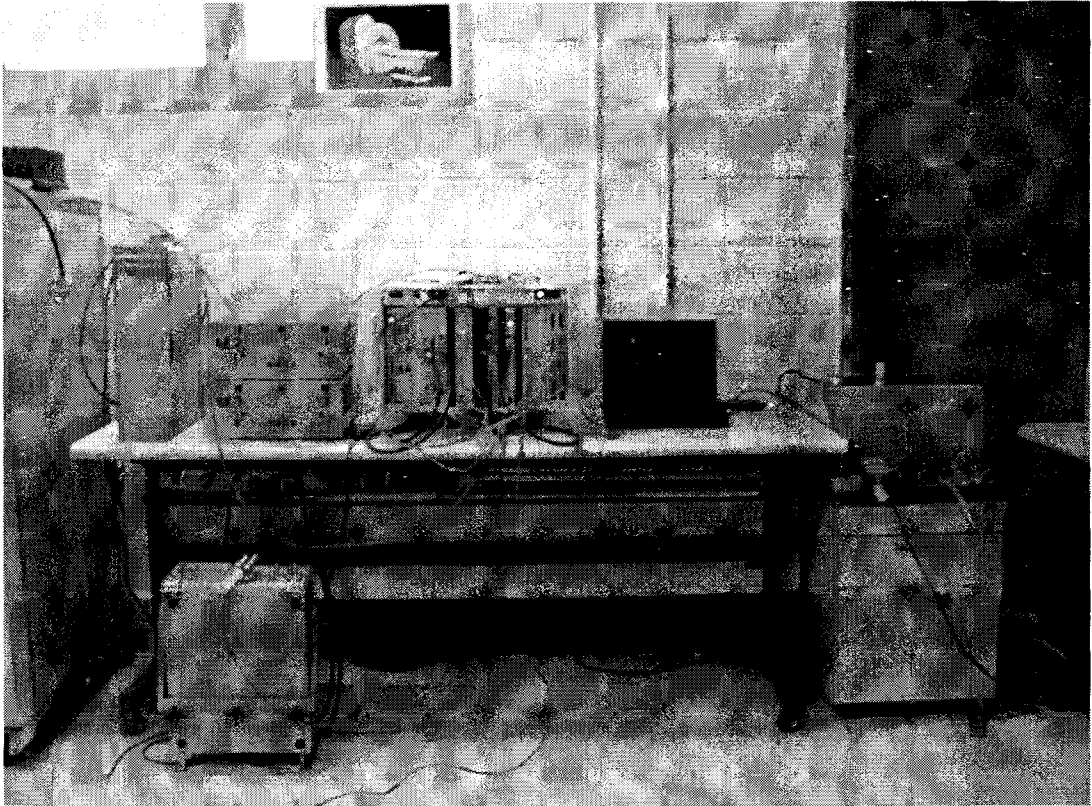


Fig. 3-5-44. Instrumentation of magnetic resonance system developed.

왼쪽에서부터 RF amplifier, Gradient amplifiers, spectrometer, host computer 및 자석을 보이며 다음과 같은 주요한 부품사양이 실험을 통한 분광과 영상의 변수와 방법론과 더불어 도출되기를 기대한다.

- RF amplifier 출력 (현규격 300 W at 6~220 MHz)
 - Gradient amplifier 출력 및 3-차원공간 영상 을 최소 1차원공간 영상으로 최소화 가능성 (현 규격 100 W at $\pm 5A$)
 - Spectrometer 및 Host computer의 간략화 기술요점
 - Probe RF coil 및 Gradient coil의 균일한 품질로 제작기술 요점
- 그림 3-5-45는 개발된 분광기 (spectrometer)의 결선도를 보인다.

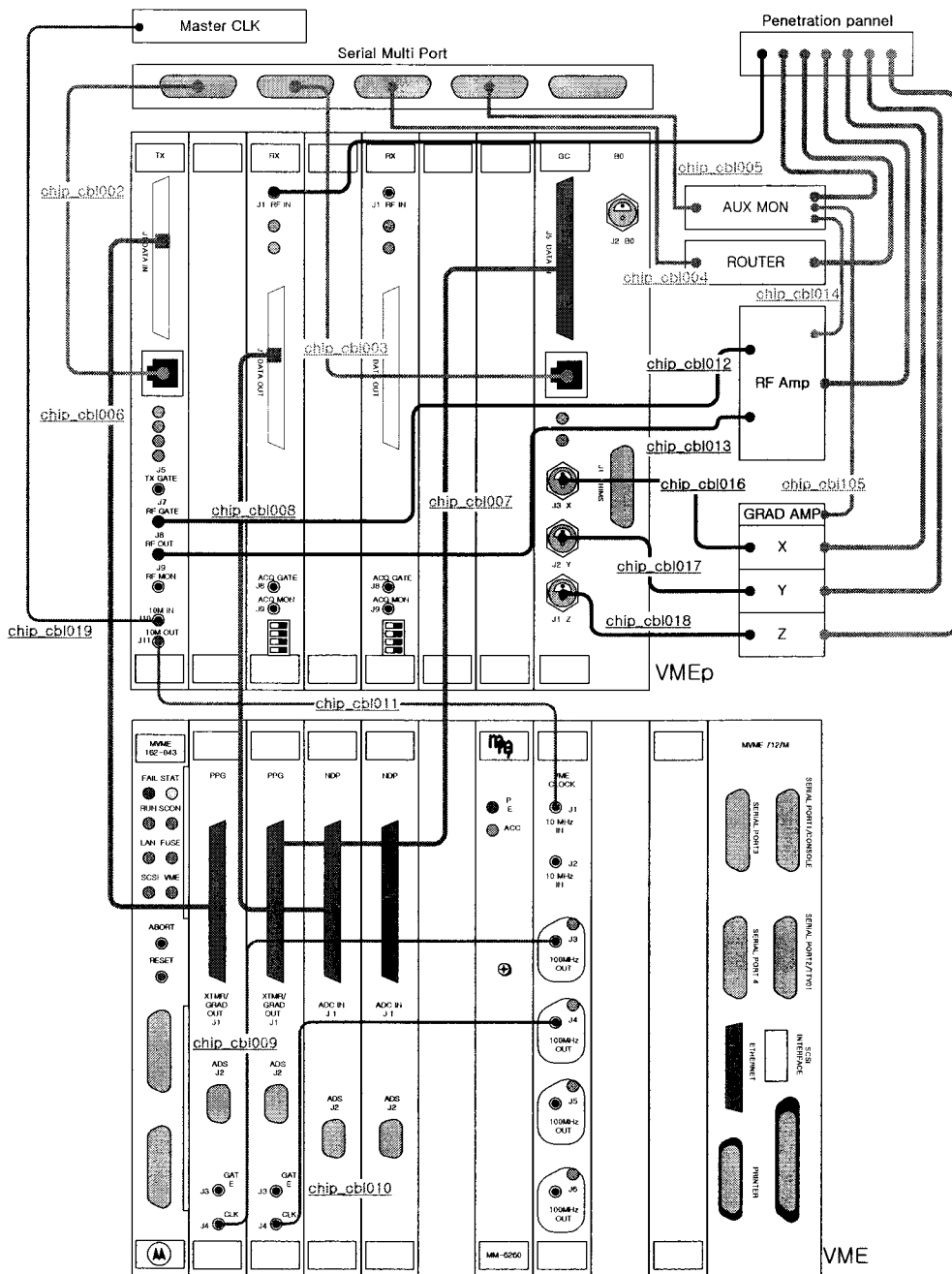


Fig. 3-5-45. Wiring diagram of NMR spectrometer.

4. 결 론

기존의 의료용 MRI 전자회로를 분석하여 본 연구에 적합한 RF 발생기, pulse programmer, 동조회로, T/R network, RF amplifier, data subsystem 등의 전자회로를 저가에 보급이 가능하도록 설계하고 개발하였다. 개발된 각 장치들을 전기적으로 완벽하게 연결하여 작동하는 스펙트로미터를 개발하였다. 저수분 홍삼의 품질 측정에 적합한 MRI 시스템 구축하기 위해 magnet과 gradient coil을 저수분 시료인 홍삼의 내부품질 측정에 적합하게 개발하였다. 개발된 스펙트로미터, 자석, 그리고 코일 등을 연결하여 시료로부터 NMR 신호를 획득할 수 있는 NMR 시스템을 개발하였다. Off-line 홍삼 내부품질 평가 시스템 구축을 위해 NMR 분광법과 영상 기술을 통합한 컴퓨터 소프트웨어를 개발하였고 개발된 자기공명 분광기에서 작동하게 시스템을 통합하였다. 개발된 자기공명 시스템을 이용하여 분광 스펙트럼을 얻는데는 성공하였으나 연구사업 진행 중 개발사의 경제적인 어려움으로 자기공명영상을 얻는데는 성공하지 못했다.

제 6 절 MRI 시스템 경제성 분석

1. 서언

가. 연구동기 및 필요성

현재 홍삼의 내부조직 선별은 주관적이어서 각 선별원간 판단이 다르며, 표피를 절개하고 내부를 봄으로써 표피에 심한 상처가 생기고, 육안선별의 정확도는 80~85% 수준이다. 천삼이나 지삼에 양삼 혼입도 문제지만 양삼에 천·지삼이 혼입되어 경제적으로 큰 손실이 되고 있고, 양삼에 천·지삼이 5%만 혼입되어도 큰 경제적 손실을 초래하게 된다. 2000년도 기준 양삼 생산량 80톤의 5%인 4톤을 천·지삼 20지 평균 가격(71 만원/600 g)으로 환산하면 약 48억원에 달하게 되며, 이를 양삼 20지(30만원)로 환산하면 연간 약 20억원의 경제적 손실을 가져오게 된다. 또한, 홍삼의 2차 선별 방법이 개발되면 객관적으로 정확한 등급 구분을 할 수 있어서 홍삼 내부조직의 선별을 표준화할 수 있으므로 연구개발이 필요하다.

나. 홍삼의 제조공정 분석

1) 홍삼의 제조 공정

홍삼의 제조공정은 그림 3-6-1과 같다. 보통 등급이 분류된 6년근의 수삼을 구입하여 세척 후 1차 건조과정이 이루어지고 잔뿌리를 제거한 후 2차 건조가 이루어진다. 2차 건조후 저장과정을 거쳐 홍삼의 모양을 만드는 정형과정이 이루어진다. 그 다음 외형을 기준으로 1차 선별이 이루어지며, 내부조직의 이상 유무를 기준으로 다시 2차 선별이 실시된다. 2차 선별이 이루어진 홍삼은 다시 크기별로 선별이 이루어지고 다시 가습 후 압착하여 사각형 모양으로 정형한 후 재건조하여 수분 검사를 실시한 후 포장하여 소비자에게 판매하고 있다.

2) 수삼의 수분함량 변화

최종적인 홍삼 제품을 만들기 위해서는 수삼의 수분을 증삼과정을 거쳐 수분을 70~75%로 낮추고, 1차 건조과정을 거쳐 45~55% 다시 낮추고, 2차 건조과정을 거쳐 최종적으로 수분 함량이 12~14%인 홍삼을 만든 후, 정형과 1차, 2차 선별과정을 거쳐 홍삼을 만든다.

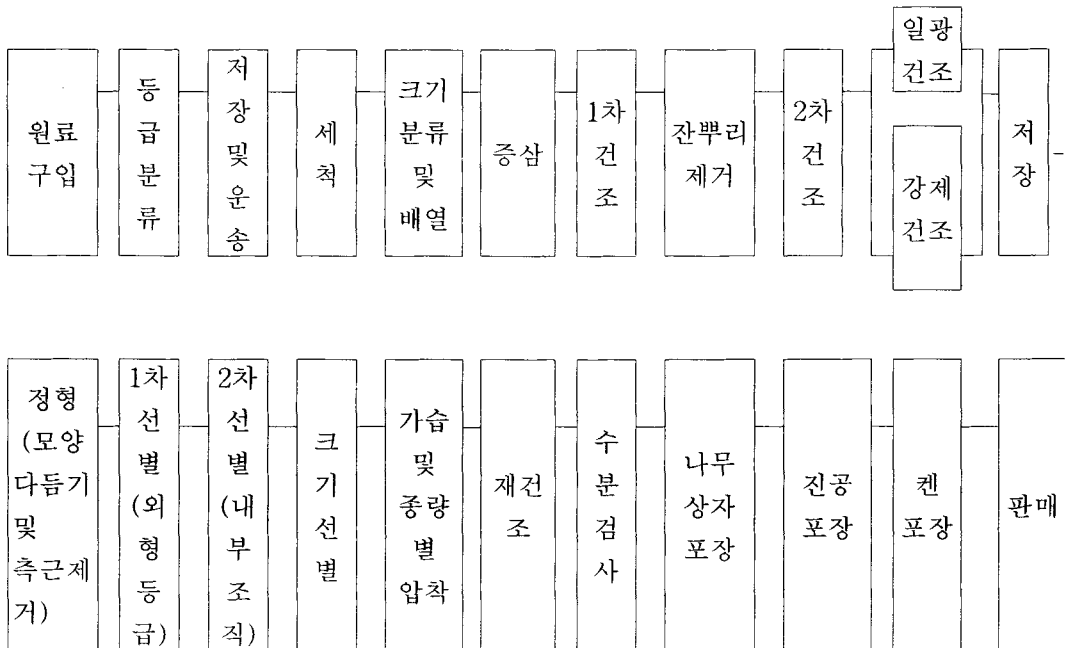


Fig. 3-6-1. Diagram of making Korean red ginseng.

3) 홍삼의 등급분포 및 관행의 내부조직검사(2차선별) 분석

가) 국내 홍삼 생산량 및 저급삼에 고급삼 혼입에 따른 손실액

한국인삼공사 고려인삼창에서 생산되고 있는 홍삼의 최근 3년간 생산량을 표 3-6-1에 표시하였다. 2000년에는 578 톤, 2001년에는 655 톤, 그리고 2003년에는 583 톤으로 그 해의 작황에 따라 생산량에 변동이 있다. 또한 국내의 인삼조합에서 생산되고 있는 홍삼의 생산량은 약 300 톤 정도로 추산되고 있다(표 3-6-2 참조). 국내에서 생산되는 양삼의 추정량은 약 130 톤으로 이중에 약 15%의 천삼이 혼입되어 있다고 추정하면 그 양은 약 19,545 kg으로 이를 금액으로 환산하면 약 230 억원 가량이 된다(표 3-6-3 참조).

Table 3-6-1 한국인삼공사 고려인삼창의 최근 3년간 홍삼 생산량 (단위 : kg)

	2000년도	2001년도	2002년도
생산량	578,000	655,000	583,000

Table 3-6-2 국내 홍삼 생산량

(단위 : ton)

구분	금산개 인공장 합계	진안개 인공장 합계	개성 인삼 조합	김포 인삼 조합	전북 인삼 조합	강원 인삼 조합	영동 인삼 조합	충북 인삼 조합	금산 인삼 조합	계
생산 량	100톤 추정	80톤 추정	30톤 추정	15톤 추정	15톤 추정	15톤 추정	15톤 추정	15톤 추정	15톤 추정	300 톤 추정

Table 3-6-3 국내 양삼중 천지삼 혼입에따른 손실액

구분	국내 양삼 추정량 (kg)	양삼중 천지삼 혼입 추정량 (15% 혼입예상). (kg)	혼입으로인한 손실액 (천원)
추정량 및 손실액	130,300	19,545	23,128,250

나) 내부조직 검사이전의 전처리 단계

(1) 정형

1·2차 선별 및 포장을 위하여 뇌두를 다듬고 불필요한 지근을 절단하여 형태를 다듬는 공정으로 1인기준 시간당 처리량은 약 4.38 kg/hr이다.

(2) 1차 선별

각 등급을 외형으로 구분하여 천·지·양·잡삼으로 분류되고, 1인기준 시간당 처리량은 약 13.8 kg/hr이다. 육안에 의한 선별 방법을 표 3-6-4에 표시하였다.

Table 3-6-4 육안에 의한 홍삼 1차 선별방법

구분	천삼	지삼	양삼
머 리	몸통 굽기와 비슷하며 건 실	몸통 굽기와 비슷하며 건실	몸통 굽기와 비슷하며 건실
몸 통 의 형	길이가 3.5cm 이상 균열과 흠집이 없는 것	길이가 3.5cm 이상 균열과 흠집이 전체표면적 의 1/4이하인 것	길이가 3.5cm 이상 균열과 흠집 제한 없 음
다 리	1개 이상 잘 발달되었고 균열이 다리길이의 1/3이 하며, 길이가 몸통길이의 3/4이하인 것	1개 이상 잘 발달되었고 균 열이 다리길이의 1/2이하 며, 길이가 몸통길이의 3/4 이하인 것	다리가 없거나 불균형 한 다리가 있는 것

다) 국내 관행의 2차선별의 분석

(1) 2차선별 방법과 장단점 비교

정형 및 1차 외형선별 후 암실에서 불빛에 비추어 2차원의 투광을 비교로 내부품질선별(2차선별)을 육안선별로 진행한다. 암실에서 램프의 빛이 slit을 통하여 나오도록 하고 이 slit에 홍삼을 비추어 내부품질을 선별함으로써 간단한 기구로 선별이 가능하고, 구분방법은 표 3-6-5와 같다.

Table 3-6-5 육안에 의한 홍삼 내부조직 선별방법

구분	투광시 형체
정상	굵기에 따른 빛의 투광량이 일치
내공	두께에 비하여 투광량이 많다
내백	두께에 비하여 투광량이 적거나 불투명하다.

(2) 선별의 정확도 결과

육안에 의한 선별의 정확도를 검사하기 위해 선별되어진 홍삼을 절단하여 다시 선별한 결과를 표 3-6-6에 표시하였다. 전반적으로 육안에 의한 판정의 정확도는 약 87% 정도이다. 천삼으로 분류된 홍삼이 양삼이라면 홍삼 생산자에게는 이득이지만 소비자들에게 제품의 품질이 균일하지 못해 불만의 대상이 될 것이며, 반대로 낮은 등급으로 판정된 제품이 윗 등급이라면 생산자에게는 큰 손실이 될 것이다.

Table 3-6-6 비파괴 선별 후 절단에 의한 정확도 확인 결과

종류	등급판별내용	정확율(%)
최고급천삼	10개중 2개 양삼	86
일반천삼	10개중 3개 양삼	85
고급지삼	10개중 1개 양삼	90
일반지삼	10개중 3개 양삼	88
고급양삼	15개중 2개 천삼	87
일반양삼	15개중 2개 지삼	87

(3) 2차선별원의 평균 연봉 및 홍삼내부조직 등급선별 관리시스템

홍삼의 2차 선별원의 연봉과 홍삼선별 관리 시스템에 대하여 표 3-6-7에 표시하였다. 홍삼 선별원 연봉은 교육생은 30,000 천원, 중간 숙련자는 37,500 천원, 그리고 숙련자는 47,500 천원으로 숙련도에 따라 상당히 높은 대우를 받고 있다.

Table 3-6-7 2차 선별원 및 홍삼선별 관리 시스템

구 분	평균 연봉	선별원 및 홍삼선별 관리 시스템	근무 시간
교육생	30,000천원	홍삼 1차선단계에서 경험을 쌓은 자로 교육생이 선정되며, 숙련자가 전체 선별량을 재선별하여야 하고 교육생에게 오판의 문제점 지적	1일 근무시간은
중간 숙련자	37,500천원	숙련자가 무작위 샘플링하여 재검사 후 문제점 지적	7~8시간으
숙련자	47,500천원	재선별 없음	로 동일

(4) 내부조직 선별공정의 내용 및 경제성

1차선별에서 외형에 의하여 천·지삼으로 분리된 홍삼을 내부조직을 선별하여 천·지·양·잡삼으로 재분류하게 되는데, 내부조직 검사의 숙련자 기준 처리량은 1일 약 68.6 kg이고, 시간당 약 9.8 kg을 선별한다. 연간(290일) 처리량은 19,894 kg으로 추정된다. 선별사의 연봉은 약 47,500 천원으로서 하루당 약 163,793.1원으로 계산되고, 따라서 1 kg(홍삼 20지 기준)선별 시 소요되는 임금은 약 2,387.7원으로 계산된다.

(5) 관행의 2차선별 분석 후 결론

국내 홍삼 총생산량은 약 580 톤에 달하며, 천삼과 지삼은 전체홍삼의 2~5%이고 양삼은 약 15%로 선별된다. 천삼이나 지삼에 약 10% 이상 혼입되는 저급 홍삼도 문제지만 오판정으로 인하여 3~8배에 해당하는 양삼에 혼입되는 10%의 고급 홍삼이 더욱 큰 경제적 손실이다. 기존의 인력에 의한 육안선별은 선별원 개인별 안목이 다르고, 정확도가 90% 이하이다. 또한 고 임금이며, 오랜 숙련과정을 거쳐야 하며, 표피가 두꺼운 경우 표피를 절개하고 내부를 봄으로써 표피에 심한 상처가 생겨 품질이 저하된다(그림 3-6-2 참조).

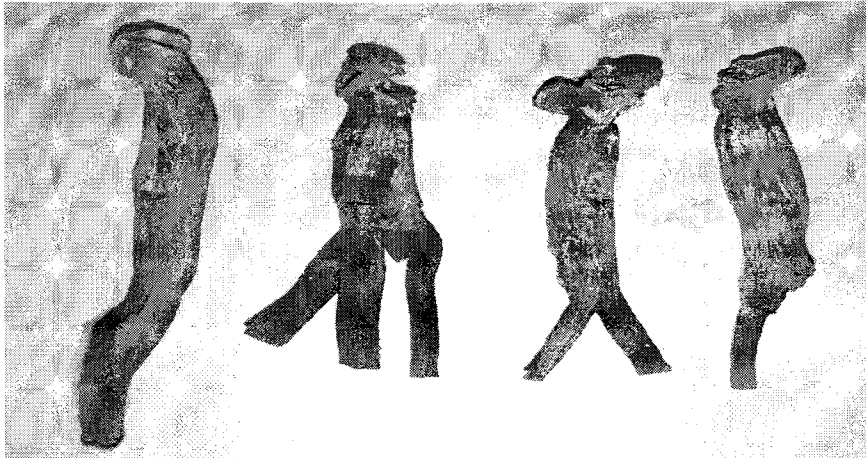


Fig. 3-6-7. 표피 절개로 인하여 생긴 상처.

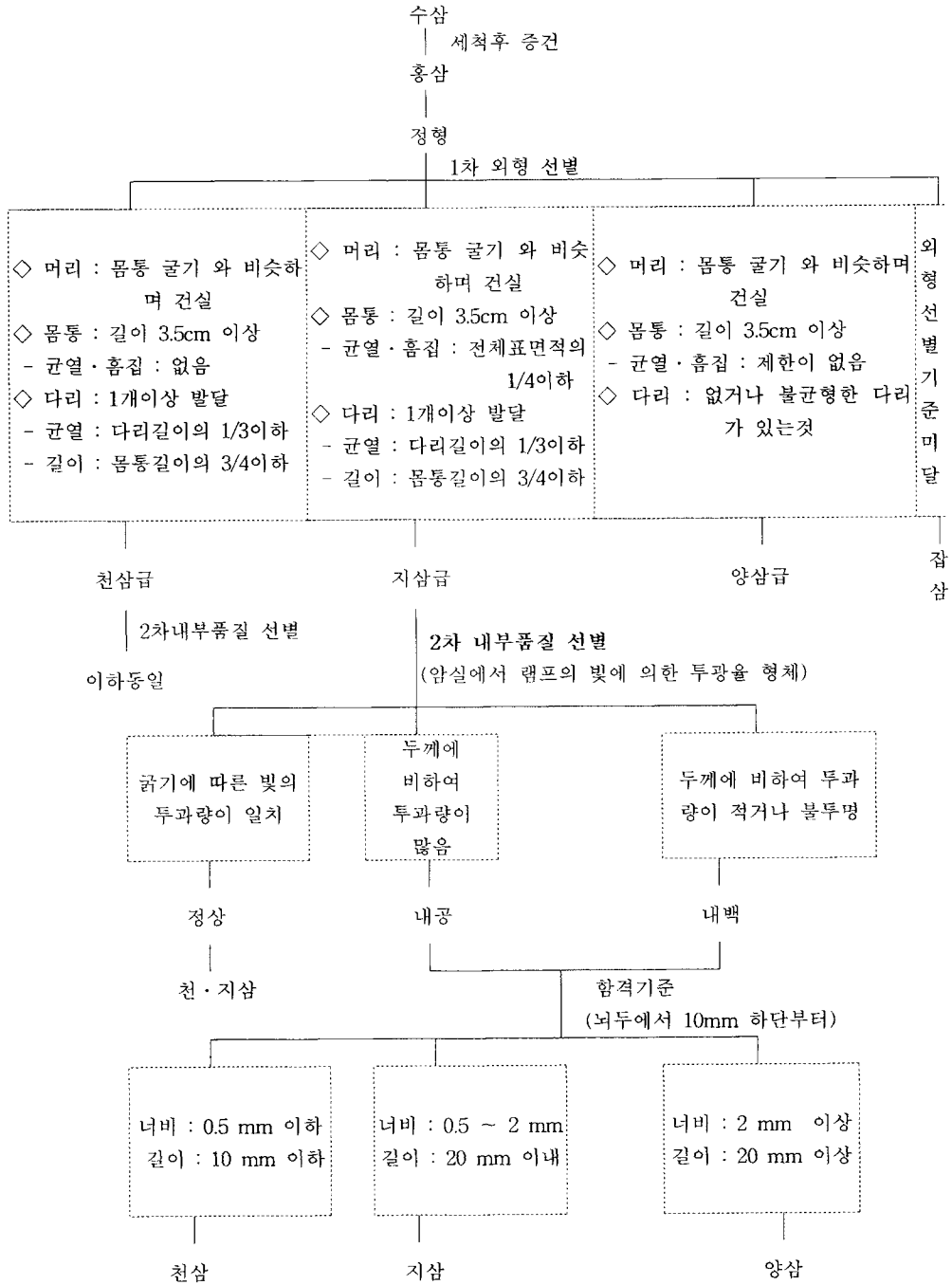
다. 2차(내부조직)의 비파괴 측정기기에 의한 선별방법 비교검토

홍삼의 품질검사 및 평가의 정확성, 객관성, 신속성을 확보한 홍삼 선별의 자동화를 위하여 1차 선별은 형태, 색상 등의 인자에 대한 기계화 곤란으로 현행방법으로 유지할 것이고, 2차 선별에 기기를 도입하는 것이 적합하다고 판단된다(표 3-6-8과 표 3-6-9 참조).

Table 3-6-8 홍삼 선별의 자동화공정 단계별 검토

현행 1차 선별	1차선별 검토	현행 2차 (내부조직) 선별	2차(내부조직) 선별 자동화 검토	선별 기준
천, 지, 양, 잡삼으로 육안구분	현행 유지	천, 지, 양, 잡삼으로 암실 광투과 방법으로 육안구분	-비파괴 측정기기에 의한 선별 천삼(1차선별삼) 지삼(1차선별삼) 정상 부적합 정상 부적합 천삼 양삼 지삼 양삼	-정상, 내공, 내백 -정상 및 부적합 (내공, 내백, 균열등) 선별로 등급 판정

Table 3-6-9 Flow chart of red ginseng grading by eye inspection



2. 재료 및 방법

가. 재료

본 실험에 사용된 시료는 2002년 수확된 6년근 홍삼으로 뇌두로부터 1.5 cm 이하에서 길이를 약 3.0 ± 0.5 cm로 절단 후 조직 특성별로 정상, 내공 및 내백 홍삼으로 분류하여 사용하였다.

나. Soft x-ray에 의한 2차선별 가능성 조사

실험은 soft x-ray(Hitex international, Japan)를 이용하여 시험을 실시하였으며, 기장치의 특성은 다음과 같다.

- 1) X-ray generator : X-ray 발생장치 kV, 5-10 mA, microfocus 0.1x0.1 mm
- 2) Imaging system TV camera : 영상처리, software에 의한 자동판정
- 3) 방사선 차단 캐비닛 : 2중 납판, 1uSV이내
- 4) Loader : 시료공급 장치

다. X-ray CT 촬영에 의한 내공삼의 검사

시험에 사용한 기기는 XSECTOR NIC-301을 이용하여 시험하였다.

라. 초음파를 이용한 선별시험

2, 3 등급으로 수매된 수삼을 초음파 선별기로 선별한 다음 증삼, 건조 과정을 거쳐 홍삼을 만든 후 결함을 조사하였다.

마. NIR(Near Infra Red)를 이용한 2차선별 가능성 조사

시험에 사용한 기기는 투과식 NIR 측정 System을 이용하여 시험을 실시하였고, 검사판별의 기준은 600~1200 nm 파장사이에 투광된 스펙트럼의 패턴을 이용하였다.

바. MRI를 이용한 내부 품질검사

1) 기기

한국기초과학지원연구원(KBSI, 대전)가 보유하고 있는 NMR/MRI system (Bruker DMX 600, resonator diameter = 10 mm)로 직경 8 mm의 홍삼을 측정하였다.

2). Pulse sequence

MR image를 얻기 위하여 Spin-echo pulse sequence중 Proton density 강조영상을 이용하여 image를 측정하였다.

3) 변수

영상방향(Image direction)은 횡단면(axial), 영상 크기(Image size) 64*64 픽셀(pixel)이었다. 영상영역(Field of view, FOV)은 25 mm * 25 mm, 평균 회수(NEX)는 1, 슬라이스 두께(slice thickness)는 조건별로 3 mm, 5 mm, 10 mm로 측정하였다. 그 외의 변수(parameter)는 각 시료에 따라 상이하다.

사. 홍삼의 수분측정

같은 조건에서 제조된 홍삼을 잘게 분쇄하여 상압 가열건조법으로 수분을 측정하였다. 홍삼 시료 내 평균 수분 함량은 $10 \pm 0.5\%$ 로 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

가. Soft X-ray에 의한 2차선별 가능성 조사

검사판별의 기준은 X선 영상의 농도 차를 기준으로 영상의 차이로 판별하였다. 그림 3-6-3과 같이 정상부분은 밀도가 높고 농도가 진한 검은색으로 나타나고, 내공부위는 밀도가 낮아 농도가 약한 백색으로 나타나며, 내백과 생내백은 내공보다는 밀도가 높으나 정상보다 밀도가 낮아 약한 농도이며, 내공보다 진한 농도로 나타났다.

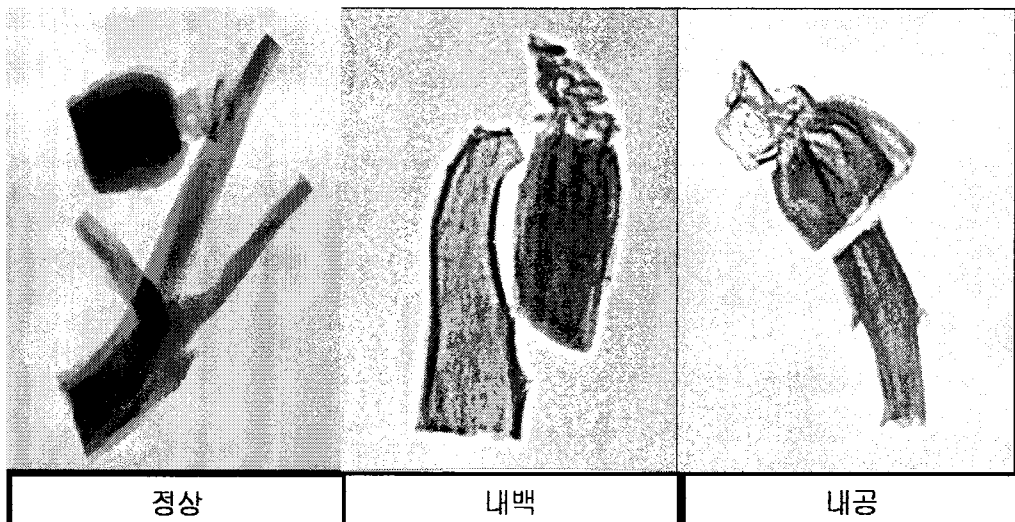


Fig. 3-6-3. X-ray images of various red ginsengs

그러나 X-Ray는 홍삼의 형태중 원형이 아닌 경우 잘못된 판정이 발생되며, 2차원의 영상이 제공되므로 굵기나 지근의 겹침 및 굽어짐에 따라 밀도에 따른 농도곡선의 폭이 변화하여 자동화에 어려움이 있다. 선별시 일정한 크기 (대, 중, 소)로 구분하여 투입하되 크기에 따라 장치의 조건을 구분 설정하였으나 아직 정확하지 못하다. 또한 방사선을 사용하므로 제품의 이미지를 낮출 수 있다.

나. X-ray CT 촬영에 의한 내공삼의 검사

그림 3-6-4에 x-ray CT를 이용하여 찍은 내공삼과 정상삼의 영상을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 확실히 내공 부분에서 신호가 적게 나오거나 나오지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 이것도 x-ray와 마찬가지로 방사선 사용에 대한 거부감이 존재한다.



Fig. 3-6-4. X-ray CT images of red ginsengs with cavities.

다. 초음파를 이용한 선별시험

물체에 초음파를 투과시켜 투과되는 시간을 측정하면 물체 내 결함 또는 물체의 성질을 알 수 있고, 물체의 성질에는 밀도, 함수율, 성분 등이 포함된다. 수삼상태에서 내공을 가지고 있는 것도 있지만 내공이 원래 없더라도 증삼, 건조 과정 중에 내공이 나타날 가능성이 많은 수삼이 있다. 이러한 수삼은 정상적인 수삼에 비해 조직

성분과 밀도가 다르고 함수율도 다르기 때문에 초음파의 투과시간도 다르게 나타날 것으로 예상되어 모두 124지의 대편 수삼을 선별하여 초음파를 측정 한 결과는 표 3-6-10과 같다. 수삼의 초음파 전달 속도의 비율은 치밀도 분포에서 B와 C등급이 각각 23%와 48%로 대부분을 차지하였다. 대편 기준으로 증삼 건조한 후 치밀도 등급 별로 발생한 결함비율은 아래 표 3-6-11과 같다. 정상급 홍삼은 C급이 57%, B급이 18%, A급이 7%인데 비해 재료삼의 비율은 C급이 48%, B급이 23%, A급이 10%였다. A, B급은 홍삼 비율이 줄고 C급만 늘었다. 따라서 정상은 C급에서 더 많이 나타났다고 할 수 있다. 대신 A, B급은 내공과 균열이 발생하였다. A, B급 즉 밀도가 높은 삼에서 내공과 균열이 많이 나타난다고 할 수 있는 반면 생내백, 통내백, 백피는 밀도가 낮은 C, D, E, 급에서 나타났다. 따라서 지금 건조공정이 C급에 적당하므로 A, B급을 위해서는 다른 약간 변형된 건조 공정이 필요할 것으로 사료된다. A, B등급은 C급보다 밀도가 높은 삼이다.

초음파를 이용한 홍삼의 품질 선별은 대상체를 정확히 측정하기 위해서는 면이 평면일수록 좋는데 반하여 홍삼은 면이 일정치 않아 측정이 불가능하였고, 지금 사용한 탐촉자는 목재, 콘크리트용이므로 수삼에 맞는 소형 탐촉자의 개발이 필요하고, 이러한 장비는 초음파전달속도만으로 선별하였는데 감소율, 초음파 신호의 크기 등 여러 가지 사양을 종합적으로 이용하여도 선별이 어려웠다. 결과적으로 초음파를 이용한 선별은 수삼에서는 간편한 내부밀도 측정기기로써 가능성이 있었으나, 홍삼에서의 2차 선별은 불가능하였다.

Table 3-6-10 증삼처리된 재료 수삼의 초음파 선별비율

치밀도 등급	초음파전달속도 (m/s)	수삼 비율
A	360-390	10%
B	330-360	23%
C	300-330	48%
D	270-300	13%
E	240-270	7%

Table 3-6-11 삼의 치밀도 등급에 따른 결함발생 양상

등급	정상	내백	내공	균열	생내백	통내백	백피
A	7%	4%	67%	50%			
B	18%	30%	33%	50%			
C	57%	59%			100%		60%
D	14%	6%				100%	40%
E	4%	2%					
합계	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

라. NIR(Near Infra Red)를 이용한 2차선별 가능성 조사

시료를 정상, 내백, 내공으로 분류하여, 광원 75 W 할로겐 램프를 사용하여 직광되는 빛만 측정된 결과, 600~1200 nm 파장사이에서 조직 특성별로 투과된 빛의 세기가 다름을 알 수 있었다. Fig. 는 조직내용별 스펙트럼의 평균 패턴이다. 조직 특성별 패턴의 차이는 정상은 750 nm사이의 투과도가 830 nm부근의 투과도 보다 높았고, 내백은 750 nm사이의 투과도가 830 nm부근의 투과도 보다 낮았다. 내공시료는 750 nm사이의 투과도와 830 nm부근의 투과도가 거의 비슷한 세기를 보였다. 이와 같이 측정된 스펙트럼을 SIMCA(유사성분분석법)으로 분석한 결과는 약 83%의 정확도를

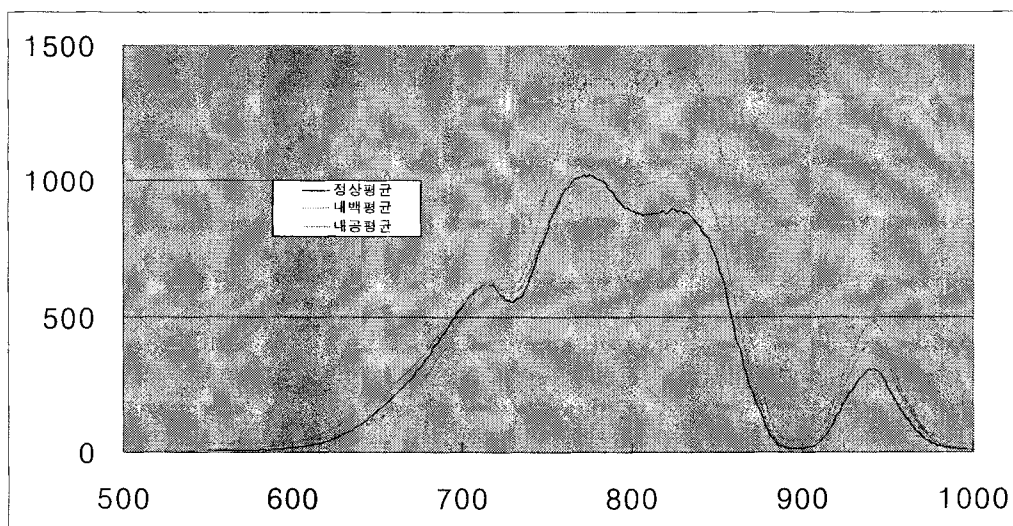


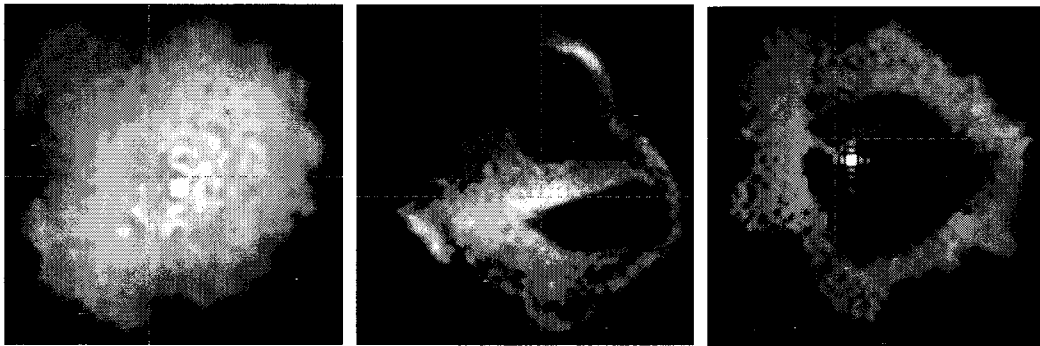
Fig. 3-6-5. NIR spectra of red ginsengs.

나타내었다. NIR(Near Infra Red) Spectrom에 의한 분석법은 현행 2차선별과 비슷한 정확도를 나타내는 것으로 판단된다. 그리고 고체 NMR이나 MRI에 의한 측정보다 기계설비 및 장치가 용이하고, 가장 저렴하게 자동화장치를 할 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 조직 특성별 고유의 패턴과 시료의 굵기에 의한 투과량의 차이가 명확하게 구분되기 어려우므로 오판할 가능성이 높다고 생각된다.

마. MRI를 이용한 내부 품질검사

1) Single point imaging(SPI)에 의한 영상 획득

3차원 고체 자기공명영상 기법인 SPI(single point imaging)를 사용하여 실험 방법¹⁾과 동일한 실험 조건에서 실시한 결과는 그림 3-6-6과 같이 세 가지 종류의 내부 구조 차이를 뚜렷하게 구분 할 수 있었다. 본 실험시간은 좋은 해상도의 이미지를 얻기 위해서 각각에 대해 20분 정도가 소요되었다.



(a) normal

(b) inside cavity

(c) inside white

Fig. 3-6-6. Single point images of various red ginsengs.

2) Spin echo에 의한 영상 획득

가) TR의 변화에 따른 자기공명영상 신호의 변화

자기공명 영상 기술을 이용하여 홍삼의 내부조직선별의 가능성 확인 및 판별시간 단축을 위하여 실험을 실시하였다. 사용한 펄스 시퀀스는 spin echo 펄스 시퀀스를 사용하였다. 그림 3-6-7에 있는 영상은 TE(echo time)를 2.23 ms, TR(repetition time)은 각각 50 ms, 100 ms, 150 ms로 하여 얻은 것이다. 총 영상획득 시간은 좌측에서부터 3초, 6초, 9초가 소요되었다.

자기공명영상의 변수인 TE은 일정한 값으로 고정시키고, TR을 조절함으로써 영상을 얻었다. 측정된 결과 TR이 50 ms 일때는 자기공명 신호가 아주 미약한 상태이고, 100 ms에서는 신호가 부족하여 선명한 자기공명영상 얻을 수 없었지만 최소 150 ms 이상에서는 자기공명영상이 왜곡됨이 없이 내부 조직을 측정할 수 있었다.

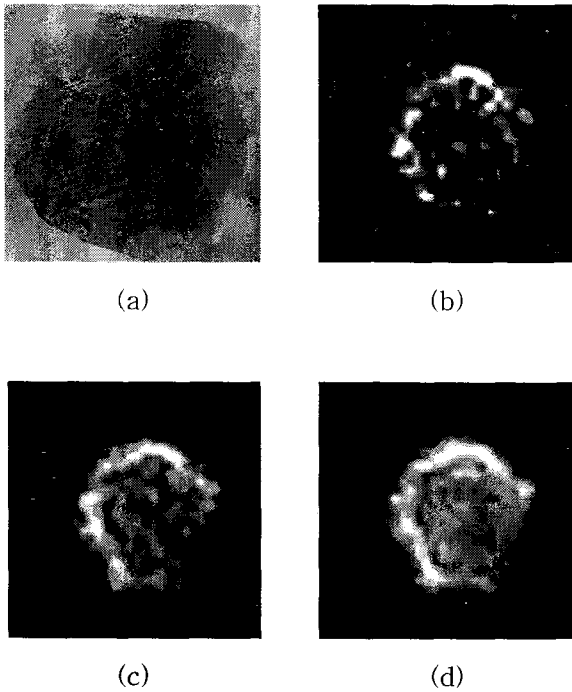


Fig. 3-6-7. MR image of red ginseng by horizontal section.

(Sample condition : temperature 25℃, slice thickness 10 mm)

(a) The section picture of the area on acquired MR image

(b) The MR image were acquired by TR/TE 50ms/2.23 ms, total time 3 second

(c) The MR image were acquired by TR/TE 100ms/2.23 ms, total time 6 second

(d) The MR image were acquired by TR/TE 150ms/2.23 ms, total time 9 second

나) 절편두께의 변화에 따른 자기공명영상 신호의 변화

절편두께는 검사하고자 하는 단면에 신호가 발생된 화적소의 폭을 말한다. 절편의 두께가 증가할수록 화적소의 크기가 증가하며 강한 신호를 얻을 수 있다. 절편두께는 경사자장의 기울기와 RF pulse 주파수의 폭에 의해 변화되고 영상의 공간 해상력과 신호대 잡음비에 큰 영향을 준다. 절편두께는 영상이 측정되는 단면으로부터 평균 범위이므로 절편두께가 얇을수록 그 절단면에 대하여 더 정확한 값을 나타내지 만, 홍삼의 경우 수분이 적어 같은 시간에서 단위 면적 당 양성자의 수가 적기 때문에

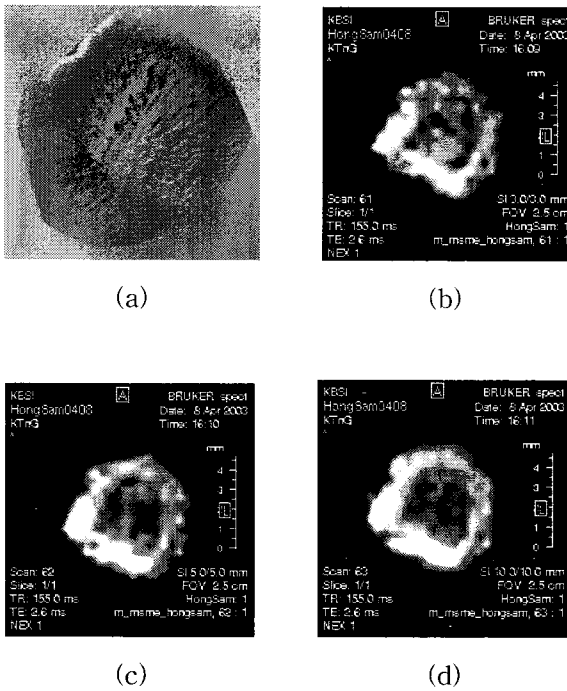


Fig. 3-6-8. MR image of red ginseng by horizontal section

(Sample condition : temperature 25 °C, time : TR/TE 150 ms/2.23 ms

(total time : 9 second)

- (a) The section picture of the area on acquired MR image
- (b) The MR image were acquired by slice thickness 3 mm
- (c) The MR image were acquired by slice thickness 5 mm
- (d) The MR image were acquired by slice thickness 10 mm

영상획득 시간이 길어진다. 같은 시간의 TR에서 ST(slice thickness)가 두꺼울수록 단시간에 영상을 얻을 수 있었고, ST가 얇으면 총 실험 시간(평균회수)을 길게 해야 했다.

절편두께가 자기공명영상에 어떤 미치는 영향을 알아보기 위하여 같은 조건 하에서 절편두께를 3 mm, 5 mm, 10 mm로 측정하여 영상을 획득하였다. 절편두께가 10 mm 일 때 9초에서 내부 조직을 판별할 수 있는 가장 좋은 영상을 얻을 수 있었다. 그러나 ST가 두꺼울수록 측정 이미지에 대한 정확도는 떨어지게 되고, 영상에 대한 왜곡이 있을 수 있을 것으로 사료된다.

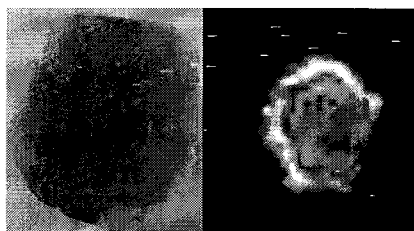
홍삼의 불량요인이 되는 내백, 내공 조직은 시료 내에서 횡 방향이 아닌 종 방향으로 형성되므로 ST가 10 mm의 측정 구간내의 미세 부위에 대한 정밀도는 떨어지지만 불량 유무의 측정이 가능하다. 이로서 시간을 단축하여 내부조직선별의 가능성이 있을 것으로 생각된다.

다) 시료 온도 차이에 따른 자기공명영상의 변화

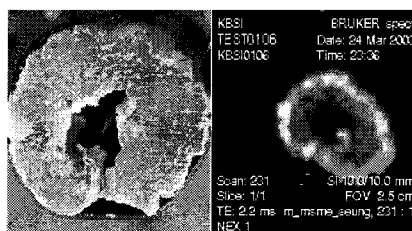
상온(25 ℃)에서 측정한 자기공명영상과 온도 55 ℃로 약 30분간 가온 하여 측정한 자기공명영상을 그림 3-6-9와 그림 3-6-10에 각각 나타내었다. 온도 변화별로 내부 조직을 관찰한 결과, 내공은 상온 또는, 가온 처리에서도 내공 조직으로 판명되었다. 그러나 정상부위와 내백부의 비교에 있어서 상온에서는 정상조직도 내백 조직처럼 중심부위의 신호가 약한 것으로 나타났으나, 가온 후에 측정된 영상을 가온 전과 비교하여 보았을 때 정상홍삼은 내부조직이 신호가 증가하였다. 내백 조직은 내부의 다공성¹²⁾에 의하여 신호가 미약하게 측정되어 정상홍삼과 내백 홍삼의 차이를 짧은 시간 내에 구별 할 수 있었다.

이는 자기공명영상과 수분활성(water activity)이 image 측정에 밀접한 관계를 갖기 때문에 나타나는 현상이다. 시료의 수분은 액체적 성질을 가지는 자유수(free water)와 고체적 성질을 가지는 결합수(Bound Water) 및 온도 조건에 의하여 상 전이가 가능한 중간성질을 갖는 수분으로 나누어진다.

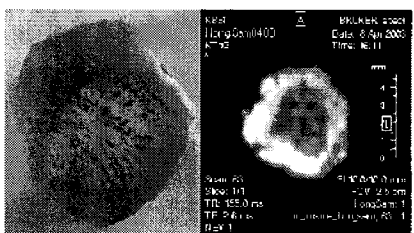
장시간 가온 시키면 자유수로 있던 수분이 증발하여 더 건조하게 되지만, 적절한 온·습도와 시간을 조절하면 자유수와 결합수의 중간 형태의 수분이 자유수의 형태로 변화되어 자기공명 신호를 더 많이 방출 할 것이므로 단시간 내의 자기공명영상 측정에 도움이 된다고 사료된다.



(a) Normal



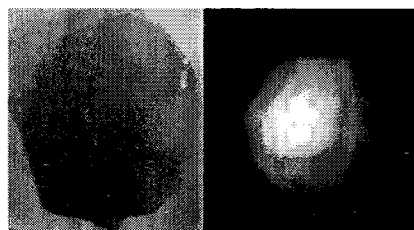
(b) Inside cavity



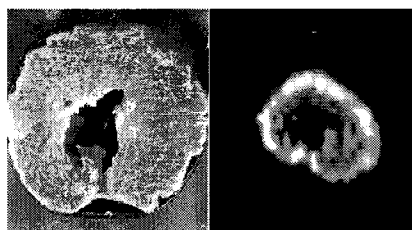
(c) Inside white

Fig. 3-6-9. 25 °C at acquired MR image of red ginseng

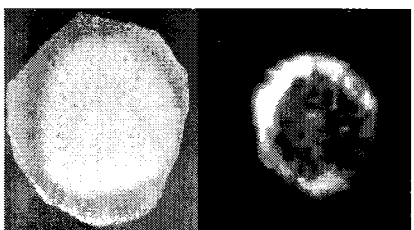
(Sample condition : Slice thickness 10mm, time : TR/TE 150ms/2.23ms(total time 9 second), left : the section picture of the area on acquired MR image , right : MR image)



(a) Normal



(b) Inside cavity



(c) Inside white

Fig. 3-6-10. 55 °C, 30 minutes heat after acquired MR image of red ginseng

(Sample condition : Slice thickness 10 mm, time : TR/TE 150 ms/2.23 ms(total time 9 second), left : the section picture of the area on acquired MR image , right : MR image)

4. 결 론

본 연구에서는 관행의 홍삼제조 과정을 분석하여 홍삼 선별의 자동화가 1차 선별이 끝난 후 2차 선별시에 적용되면 적절할 것으로 판단하였다. 홍삼의 등급판정 오판으로 인해 저급 홍삼에 속한 고급 홍삼을 가려낸다면 연간 약 200 억원 가량의 손실을 이득으로 얻을 수 있으며, 품질의 균일화로 소비자에게 신뢰감을 줄 수 있다. 기존의 인력에 의한 육안선별은 선별사 개인별 안목이 다르고, 정확도가 90% 이하이다. 또한 고 임금이며, 오랜 숙련과정을 거쳐야 하며, 표피가 두꺼운 경우 표피를 절개하고 내부를 봄으로써 표피에 심한 상처가 생겨 품질이 저하된다. 홍삼 선별 전문가에 의한 선별 비용은 1 kg(홍삼 20지 기준)선별 시 약 2,387.7원으로 계산된다.

Soft x-ray, x-ray CT, 초음파, 근적외선 분광, 그리고 자기공명영상 등을 이용하여 홍삼을 비파괴적으로 분석하고 각 방법의 장단점을 비교하였다. X-ray를 이용한 기술은 대상체의 밀도에 의해 영상 신호를 얻으므로 soft x-ray를 이용한 방법은 홍삼과 같이 외관이 불균일한 대상체의 영상을 얻어 분석하기 어려우며, x-ray CT는 비교적 내부의 물리적인 정보를 선명하게 보여주나 방사선을 사용하므로 제품의 이미지를 낮출 수 있다. 초음파를 이용한 홍삼의 품질 선별은 대상체를 정확히 측정하기 위해서는 면이 평면일수록 좋은데 반하여 홍삼은 면이 일정치 않아 측정이 불가능하고 홍삼에서의 2차 선별은 불가능하였다. 근적외선 스펙트럼을 이용한 결과 등급판정 일치율은 약 83%로 상당히 높았으나 조직 특성별 고유의 패턴과 시료의 굵기에 의한 투과량의 차이가 명확하게 구분되기 어려우므로 오판할 가능성이 높다고 생각된다. 자기공명영상 기법 중 SPI와 spin echo 펄스 시퀀스를 이용하여 홍삼의 내부 영상을 얻었다. Spin echo 펄스 시퀀스를 이용한 실험에서는 홍삼의 내부조직을 적절히 관찰하기 위해 TR이 150 ms이고 ST가 10 mm가 적절하였으며 영상을 얻는데 걸린 시간은 9초였다. 또한 시료의 온도를 변경하면서 실시한 실험에서는 정상부위와 내백부의 비교에 있어서 상온(25 ℃)에서는 정상조직도 내백 조직처럼 중심부위의 신호가 약한 것으로 나타났으나, 온도 55 ℃로 약 30분간 가온 후에 측정된 영상을 가온 전과 비교하여 보았을 때 정상홍삼은 내부조직이 신호가 증가하였다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표달성도

1. 세부과제

자기공명 기술을 이용하여 시간영역에서 홍삼의 내부품질 인자인 수분함량, 내공, 내백 등을 측정할 수 있는 펄스 시퀀스를 선택하여 내부품질 인자를 검출할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 홍삼 등급에 따른 내부품질 인자의 변화를 주성분 분석과 인공신경망 회로를 이용하여 분석하였다. 또한 저수분 상태의 홍삼으로부터 자기공명영상을 얻기 위해 고체 자기공명영상 펄스 시퀀스를 이용하여 영상을 획득하였고 이를 분석하여 내부품질 인자의 변화에 따른 영상신호의 변화를 측정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 그리고 이들 알고리즘을 구현할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

자기공명 시스템의 하드웨어를 개발하기 위한 기초 단계로 홍삼 분석에 적절한 RF coil과 RF 시스템, Gradient coil과 자석상자 등을 설계하였다.

2. 제 1 협동과제

홍삼 내부조직의 물리화학적 특성을 분석하였다. 정상적인 홍삼과 불량 홍삼의 육안과 현미경 관찰, 색도, 비표면적, 총 당 함량, 총 페놀 함량, 조사포닌 함량, 아미노산 함량 등을 분석하였다. 관행의 홍삼 제조 방법과 품질평가 방법을 분석하여 문제점을 도출하였으며 품질 선별의 자동화 가능성을 연구하였다. 기존의 비파괴 검사 방법 중 soft x-ray, x-ray CT, NIR, 초음파, MRI 등의 기술을 이용하여 홍삼의 내부조직의 차이에 대한 각 신호의 변화를 분석하고 각 기술들의 장단점을 분석하였다. 제 2 협동과제에서 개발된 시스템을 이용한 실증 실험은 실시하지 못하였으며, 대신 다른 부분의 연구를 심도있고 다양하게 추진하였다.

3. 제 2 협동과제

기존의 의료용 MRI 전자회로를 분석하여 본 연구에 적합한 RF 발생기, pulse programmer, 동조회로, T/R network, RF amplifier, data subsystem 등의 전자회로를 저가에 보급이 가능하도록 설계하고 개발하였다. 저수분 홍삼의 품질 측정에 적

합한 MRI 시스템 구축하기 위해 magnet과 gradient coil을 저수분 시료인 홍삼의 내부품질 측정에 적합하게 개발하였다. Off-line 홍삼 내부품질 평가 시스템 구축을 위해 NMR 분광법과 영상 기술을 통합한 컴퓨터 소프트웨어를 개발하였고 개발된 자기공명 분광기에서 작동하게 시스템을 통합하였다. 개발된 자기공명 시스템을 이용하여 분광 스펙트럼을 얻는데는 성공하였으나 연구사업 진행 중 개발사의 경제적인 어려움으로 자기공명영상을 얻는데는 성공하지 못했다.

제 2 절 관련분야에의 기여도

자기공명 기술을 이용하여 홍삼의 수분, 내공, 그리고 내백 등 내부품질 인자를 측정할 수 있는 기술을 확보하였으며 홍삼과 같이 저수분 상태 시료의 영상 획득 및 분석할 수 있는 기술을 확보하였다. 홍삼의 신속 정확한 수분 측정 및 내부조직 선별기술 개발로 품질표준화 및 건조과정 효율화를 기대할 수 있으며 NMR 기술을 이용한 수분 측정을 할 경우 동체 및 지근 전체에 대한 완전한 비파괴 수분측정이 가능하다. 여타 농축산물의 비파괴 내부 품질 측정 및 검사에 사용할 수 있는 NMR과 MRI 기초 기술 확보하였다. 농업과 식품가공 분야에 응용 가능한 저가의 MRI 시스템 개발 기술 확보하였다. 무엇보다도 아직 선진국에서도 연구개발 단계에 있는 자기공명기술의 농업 및 식품분야에 응용할 수 있는 실용화 기술을 확보하였다.

홍삼제품의 정확한 함수율 측정만으로도 상당한 원가절감 효과가 예상되며 홍삼 제조의 전매 해제로 홍삼을 제조하는 농민조합에 설치시 농민소득 증대에 기여할 수 있다. 홍삼 등급 세분화 및 규격화를 통해 생산자의 소득향상 뿐만 아니라 수출 대상국에서 요구하는 규격상품을 제공함으로써 수출물량 증대에 크게 기여할 수 있다. 신속 정확한 측정방법 개발에 따라 출하 홍삼의 클레임을 차단할 수 있다. 홍삼 내부조직 자동선별로 인건비 절감 및 홍삼의 고품질 유지로 구매욕구를 증가시킬 수 있다. 선진국에 농산물 품질평가 시스템용으로 수출시 부가가치가 높은 수출품이 될 가능성이 높다. 또한 세계시장을 대상으로 할 때 외화가득 효과는 무한하다고 할 수 있으며 국내 기술이 축적됨으로서 원활한 사후봉사가 가능할 것이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구에서는 홍삼의 내부품질을 현재에 활용되고 있는 최첨단 기술의 하나인 자기공명 기술을 이용하여 측정할 수 있는 방법을 연구하였으며 이에 적합한 하드웨어 장치를 설계, 개발하였다. 또한 체계적으로 홍삼의 물리화학적 성분을 분석하였고 기존의 홍삼 선별과정을 분석하여 선별작업을 객관적으로 자동화할 수 있는 방법을 연구하였다.

자기공명 기술 중 시간영역의 신호획득 기법을 이용하여 홍삼으로부터 정보를 얻어 주성분분석과 인공신경망회로를 이용하여 홍삼의 등급에 따른 자기공명신호의 변화를 분석하였고, 최신 자기공명영상 기법의 하나인 고체자기공명영상 기법을 이용하여 홍삼의 영상을 얻어 내부품질 변화에 따른 영상신호의 변화를 분석하였다. 특히 본 연구에서 얻어진 연구 결과는 홍삼과 같은 저수분의 농산물이나 식품 또는 폴리머와 같은 유기합성물의 특성을 분석하는데 유용하게 쓰일 수 있으며, 뼈와 연골 같은 생체조직의 특성을 구명하는데 유용하게 활용될 수 있다.

그 동안 전매사업으로 분류되어 홍삼의 물리화학적 특성, 홍삼의 제조 및 선별과정 등이 세밀하게 발표된 적이 없으나 본 연구를 통하여 얻어진 연구 결과는 홍삼의 전매사업 해제와 더불어 고부가가치 상품인 홍삼 제조에 관심이 많은 일반 생산자와 연구자들에게 귀중한 정보를 제공할 수 있게 되었다. 또한 본 연구의 결과는 홍삼 제조시 가공비가 가장 많이 드는 건조과정의 최적화를 마련할 수 있는 가능성을 제시하였고, 장래에 홍삼선별 전문가의 부족과 선별의 객관화를 통한 우수한 품질의 홍삼 제품을 생산할 수 있는 홍삼품질 자동화의 길을 제시하였다. 또한 대한민국의 대표적인 수출 상품인 홍삼 제품의 명성도에 걸맞은 품질판정 기술을 확보함으로써 고부가가치 상품의 수출활로에 밝은 전망을 제시할 수 있다. 현재 홍삼의 수분 함량만이라도 정확히 측정할 수 있다면 연간 수십 억원의 생산비 감소 효과가 있어 앞으로 이 기술을 이용한 수분 함량 측정 연구를 KT&G 중앙연구원과 지속적으로 수행할 예정이다.

자기공명 기술은 전문가들이 21세기 기술이라 언급하였으며 기초과학, 의학 분야에서 널리 이용되고 있으며, 현재 새로운 기술들이 많은 연구자들에 의해 개발되어지고 있는 최첨단 기술이라 할 수 있다. 세계적으로 자기공명장치 개발 기술을 보유하고

있는 나라는 5 개국 이내로, 이 기술을 개발하기 위해서는 상당히 많은 분야의 전문가들이 필요하다. 본 연구에서 연구, 개발된 자기공명 장치 기술은 그 자체만으로도 상당한 성과라 할 수 있다. 본 연구에서 연구, 개발된 자기공명장치는 개발 기술은 농산물이나 식품의 품질 판정 또는 제조 과정의 공정 최적화와 자동화에 응용될 수 있으며, 화학공정 자동화, 환경오염 감시 등에도 활용될 수 있으리라 생각된다.

본 연구에서 수행된 연구 내용은 외관이 불균일하고 수분의 함량이 아주 적은 홍삼을 대상으로 하여 다른 분야에 적용하기는 더욱 쉬우며, 지속적인 연관 연구가 수행된다면 현재 관심이 많은 바이오 관련 연구에 유효하게 활용될 수 있다. 그리고 개발된 홍삼 품질측정 장치는 현재 정부에서 추진중인 농산물의 품질인증제도의 확립에 크게 기여할 것이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

자기공명 기술은 비파괴적으로 대상체 내부의 정보를 얻을 수 있는 몇 가지 안 되는 기술의 하나로 근적외선이나 x-ray를 이용한 기술해 비해 대상체에 물리화학적 변화를 일으키지 않고 복잡한 대상체의 3차원적인 정보를 얻을 수 있다. 현재 선진국에서 이 기술을 활용하여 다양한 곳에 응용을 하기 위해 연구, 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 자기공명분광 기술은 1950년대부터 기초과학 분야에 활용되고 있으며 자기공명영상 기술은 1970년대 초반에 발견되어 현재 의료 분야에서 널리 활용되고 있다. 특히 1990년대 중반에 원리가 발견된 고체 자기공명영상 기법은 현재 생체분석, 고분자분석, 재료분석 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 1980년대 후반부터 컴퓨터와 전기, 전자 공학의 발전으로 상대적으로 저가의 자기공명 장치들이 보급되었고, 농림, 식품, 공학 등 여러 연구 분야에서 활발하게 활용하기 시작했다.

자기공명 기술을 이용한 센서 기술은 1990년대 초반부터 미국과 영국 등지에서 연구가 시작되었고 1990년대 중반에는 미국 캘리포니아주 샌디에고시 소재 Quantum Magnetics사에서 대학과 국립연구소와의 산학연 공동연구로 감자의 물리적 성질을 자기공명 기술을 이용하여 빠른 시간 안에 얻을 수 있는 방법을 연구하였고, 전자석을 이용한 저가의 시스템을 개발하였다. 현재는 2차 시작기를 개발하였고 후속적인 관련 연구가 계속 진행되고 있다. 영국의 SMIS사에서는 온라인 상태에서 가공식품의 품질을 측정할 수 있는 자기공명영상 시스템을 개발하였다. 미국의 Foxboro사에서는 자기공명 기술을 이용한 시스템을 개발하여 생산품의 100%를 검사할 수 있는 제품을 개발, 시판하고 있으며 이 시스템의 성능을 향상시키기 위해 자기공명 센서의 성능을 분석할 수 있는 소프트웨어 개발에 노력을 기울이고 있다. 또한, 미국의 Southwest Research Institute에서는 단면 자석을 이용하여 컨베이어 벨트 위에 놓여진 대상체의 함수율을 측정할 수 있는 시스템을 연구하고 있다. 미국 캘리포니아대 Davis分校의 McCarthy 교수는 현재 자기공명 기술을 이용한 소형의 센서를 개발하여 식품이나 화공 공정에 사용할 수 있는 자기공명 센서를 개발하고 있다. 현재 초기의 분석 도구로서의 자기공명 기술 활용의 개념에서 센서 개념의 활용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

고체 자기공명영상 기술은 1990년대 중반에 개발되어 현재 고체재료 분석, 생체조직 분석, 가스상 시료 분석 등에 활발히 응용되고 있으며 국내에서는 거의 초보적인 연구 단계에 있다.

자기공명 기술을 분석 도구가 아닌 센서의 개념으로 활용하기 위한 연구가 현재 활발히 진행되고 있으며 국내에서도 이에 맞추어 연구를 활발히 수행할 수 있는 여건을 갖추는 것이 무엇보다도 중요하다.

제 7 장 참고문헌

2 장

1. 김성민. 1999. 농업 분야의 자기공명 기술 활용. 한국농업기계학회지 제24권 3호. pp.275-288.
2. 김성민. 1999. 자기공명영상을 이용한 농축산물의 비파괴 내부품질 평가. 한국농업기계학회지 제24권 6호. pp.523-530.
3. 김성민. 1999. 자기공명영상을 이용한 소고기의 내부 구조 평가. 한국농업기계학회지 제24권 6호. pp.531-538.
4. 도재호, 김상달, 성현순. 1985. 불량홍삼(내백삼)의 생화학적 및 조직학적 특성. Korean J. Ginseng Sci. Vol. 9. No. 2. pp.256-263.
5. 박훈, 이미자, 조병구, 이종률. 1994. 내백 수삼 전분의 특성. Korean J. Ginseng Sci. Vol. 18. No. 3. pp.191-195.
6. 장기철, R. Ruan. 1998. NMR을 이용한 홍삼의 용적밀도 측정 및 내부 판별. Korean J. Ginseng Sci. Vol. 22. No. 2. pp.96-101.
7. ASAE. 1994. Nondestructive Technologies for Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. ASAE. St. Joseph, Michigan.
8. Barry, G., B. Brown, and L. Barker. 1983. The Use of Low Resolution Nuclear Magnetic Resonance for Determining Avocado Maturity by Oil Content. J. Food Technology 18: 401-410.
9. Chen, P., M.J. McCarthy and R. Kauten. 1989. NMR for Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. Transactions of the ASAE. 32(5): 1747-1753.
10. Chen, P., M.J. McCarthy, R. Kauten, Y. Sarig, and S. Han. 1993. Maturity Evaluation of Avocados by NMR Methods. J. Agric. Engng Res. 55: 177-187.
11. Chen, P., M.J. McCarthy, S.M. Kim, and B. Zion. 1996. Development of a High-speed NMR Technique for Sensing Maturity of Avocados. Transactions of ASAE. ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659 USA. Vol. 39(6): 2205-2209.
12. Cho, S.I., R.L. Stroshine, I.C. Baianu, and G.W. Krutz. 1993. Nondestructive

- Sugar Content Measurements of Intact Fruit using Spin-spin Relaxation Time (T_2) Measurements by Pulsed ^1H Magnetic Resonance. Transactions of the ASAE Vol. 36(4): 1217-1221.
13. Clark, C.J., and S.K. Forbes. 1994. Nuclear Magnetic Resonance Imaging of the Development of Chilling Injury in 'Fuyu' Persimmon (*Diospyros Kaki*). New Zealand J. of Crop and Horticultural Science 22: 209-215.
 14. Hinshaw, W.S., P.A. Bottomly, and G.N. Holland. 1979. A Demonstration of the Resolution of NMR Imaging in Biological Systems. *Experientia* 35: 1268-1269.
 15. Ishida, N., T. Kobayashi, M. Koizumi, and H. Kano. 1989. ^1H -NMR Imaging of Tomato Fruits. *Agric. Biol. Chem.* 53(9): 2363-2367.
 16. Kauten, R. and M.J. McCarthy. 1995. Applications of NMR Imaging in Processing of Foods. In: *Food Processing: Recent Development*. Ed. Gaonkar, A.G. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp: 1-22.
 17. Kim, S.M., M.J. McCarthy, and P. Chen. 1994. Feasibility of Tomato Quality Grading and Sorting using Magnetic Resonance. 1994 ASAE International Winter Meeting. Paper No. 946519.
 18. Kim, S.M. 1995. Magnetic Resonance for Food Quality Evaluation. Ph. D. Dissertation. University of California, Davis. Davis, CA.
 19. Kim, S.M., M. J. McCarthy, and P. Chen. 1996. Swiss-type Cheese Structure and Texture Analysis from Magnetic Resonance Images. 1996 ASAE Annual International Meeting. Paper No. 966062.
 20. Kim, S.M., P. Chen, M.J. McCarthy, and B. Zion. 1999. Fruit Internal Quality Evaluation using On-line NMR Sensor. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 74, 293-301.
 21. McCarthy, M.J. 1994. *Magnetic Resonance Imaging in Foods*. Chapman & Hall. New York, NY.
 22. McCarthy, M.J., B. Zion, P. Chen, S. Ablett, A.H. Darke, and P.J. Lillford. 1995. Diamagnetic susceptibility changes in apple tissue after bruising. *J. Sci. Food Agric.* 67: 13-20.

23. McCarthy, M.J. and K.L. McCarthy. 1996. Applications of Magnetic Resonance Imaging to Food Research. *Magnetic Resonance Imaging*. Vol. 14: 799-802.
24. Nicholls, C., and A. De Los Santos. 1991. Hydrogen Transient Nuclear Magnetic Resonance for Industrial Moisture Sensing. *Drying Technology*. 9: 849-873.
25. Pearson, R., L. Ream, C. Job, and J. Adams. 1987. The Use of Small Magnetic Resonance Spectrometers for On-line Process Control. *Cereal Foods World*. 32: 822-826.
26. Pearson, R., and C. Job. 1992. Process Control by Nuclear Magnetic Resonance. *Food Processing Automation II*. ASAE. 40-47.
27. Ray, J.A., R.L. Stroshine, G.W. Krutz, and W.K. Wai. 1993. Quality Sorting of Sweet Cherries using Magnetic Resonance. ASAE Paper No. 936071.
28. Schmidt, S.J., X. Sun, and J.B. Litchfield. 1996. Applications of Magnetic Resonance Imaging in Food Science. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 36(4): 357-385.
29. Suzuki, K., T. Tajima, S. Takano, T. Asano, and T. Hasegawa. 1994. Nondestructive Methods for Identifying Injury to Vapor Heat-Treated Papaya. *J. Food Science* 59(4): 855-857.
30. Tellier, C. and F. Mariette. 1995. On-line Applications in Food Science. In: *Annual Reports on NMR Spectroscopy*. Vol. 31: 105-122. Ed. Webb G.A., P.S. Belton, and M.J. McCarthy. Academic Press. San Diego, CA.
31. Wang, S.Y., P.C. Wang, and M. Faust. 1988. Non-destructive detection of watercore in apple with nuclear magnetic resonance imaging. *Scientia Horticulture* 35: 227-234.
32. Zion, B., M.J. McCarthy, and P. Chen. 1994. Realtime Detection of pits in processed cherries by magnetic resonance projections. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie (Food Science and Technology)* 27(5): 457-462.
33. Zion, B., P. Chen, and M. McCarthy. 1995. Nondestructive quality evaluation of fresh prunes by NMR spectroscopy. *J. Sci. Food Agric*. 67: 423-429.

34. Zion, B., S.M. Kim, P. Chen, and M.J. McCarthy. 1997. Detection of Pits in Olive under Motion by Nuclear Magnetic Resonance. *J. of Science of Food and Agriculture*. 75: 496-502.

3 장 제 1 절

1. Balcom, B.J., R.P. MacGregor, S.D. Beyea, D.P. Green, R.L. Armstrong and T.W. Bremner. 1996. Single-point ramped imaging with T_1 enhancement (SPRITE). *Journal of magnetic resonance, series A* 123: 131-134.
2. Balcom, P. 1998. SPRITE Imaging of Short Relaxation Time Nuclei. In: *Spatially Resolved Magnetic Resonance*. Blümmler et al. (ed.). Wiley-VCH, New, York, USA. pp. 75-86.
3. Clark, C.J. and J.S. MacFall. 1996. Magnetic resonance imaging of persimmon fruit (*Diospyros kaki*) during storage at low temperature and under modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology* 9: 97-108.
4. Clark, C.J., J.S. MacFall, and R.L. Bielecki. 1998. Loss of watercore from 'Fuji' apple observed by magnetic resonance imaging. *Scientia Horticulturae* 73: 213-227.
5. Cornillon, P. and L.C. Salim. 2000. Characterization of water mobility and distribution in low- and intermediate-moisture food systems. *Magnetic Resonance Imaging* 18: 335-341.
6. Duce, S.L. and L.D. Hall. 1995. Visualization of the Hydration of Food by Nuclear Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Food Engineering* 26: 251-257.
7. Hinshaw, W.S., P.A. Bottomly and G.N. Holland. 1977. Radiographic thin-section image of the human wrist by nuclear magnetic resonance. *nature* 270: 722-723.
8. Hinshaw, W.S., P.A. Bottomly and G.N. Holland. 1979. A Demonstration of the resolution of NMR imaging in biological systems. *Experientia* 35: 1268-1269.
9. Kerr, W.L., C.J. Clark, M.J. McCarthy and J.S. de Ropp. 1997. Freezing effects in fruit tissue of kiwifruit observed by magnetic resonance imaging. *Scientia*

- Horticulturae 69: 169-179.
10. Kerr, W.L., R.J. Kauten, M.J. McCarthy and D.S. Reid. 1998. Monitoring the Formation of Ice During Food Freezing by Magnetic Resonance Imaging. *Lebensm. Wiss. u. Technol* 31: 215-220.
 11. Kim, S.M., P.C. Chen, M.J. McCarthy and B. Zion. 1999. Fruit Internal Quality Evaluation using On-line Nuclear Magnetic Resonance Sensors. *J. Agric. Engng Res* 74: 293-301.
 12. Kim, S.M. 1999a. Applications of Magnetic Resonance Techniques in Agriculture. *J. of KSAM* 24(3): 275-288.
 13. Kim, S.M. 1999b. Evaluation of Internal Structure of Beef Using Magnetic Resonance Imaging. *J. of KSAM* 24(6): 531-538.
 14. Kim, S.M. 2001. Magnetic Resonance Techniques and Food Engineering. *Food Engineering Progress* 5(4): 258-265.
 15. Lim, J.G., C.S. Kim, S.J. Lee and S.M. Kim. 2003. Internal Quality Evaluation and Age Identification of Fresh Korean Ginseng using Magnetic Resonance Imaging. *J. of KSAM* 28(2): 157-166.
 16. Lim, J.G. and S.M. Kim. 2003. Analysis of Magnetic Resonance Characteristics and Images of Korean Red Ginseng. *J. of KSAM* 28(3): 253-260.
 17. Link, J. 1992. The Design of Resonator Probes with Homogeneous Radiofrequency Fields, *NMR Basic Principles and Progress*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 26.
 18. Seo, Y., H. Takamiya, H. Ishikawa, T. Nakashima, Y. Sharf and G. Navon. 1998. NMR Imaging of Rigid Biological Tissues. In: *Spatially Resolved Magnetic Resonance*. Blümler et al. (ed.). Wiley-VCH, New, York, USA. pp. 445-457.
 19. Sonogo, L., R. Ben-Arie, J. Raynal and J.C. Pech. 1995. Biochemical and physical evaluation of textural characteristics of nectarines exhibiting woolly breakdown: NMR imaging, X-ray computed tomography and pectin composition. *Postharvest Biology and Technology* 5: 187-198.

20. Song, H.P., S.R. Delwiche and M.J. Line. 1998. Research Note : Moisture Distribution in a Mature Soft Wheat Grain by Three-Dimensional Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Cereal Science* 27: 191-197.

3 장 제 2 절

1. Watanabe, J., K.W. Oh, H.S. Kim, M. Tanahashi and H. Kaneto : *J. Pharmacobio-Dyn.*, 11, 453 (1988).
2. Park, S.C., Y.H. Noh, and J.H. Koo : *Korean J. Ginseng Sci.* 19, 212 (1995).
3. Kim, C.H., M.S. Lee and K.H. Lee : *Korean J. Ginseng Sci.* 19, 27 (1995).
4. Kim, C.H., Lee, K.H. and Byun, E.K. : *J. Ginseng Res.* 22, 188 (1998).
5. Lee, J.H. and Park, H.J. : *J. Ginseng Res.* 22, 173 (1998).
6. Park, H., Y.H. Kim and C.B. Yong : *Korean J. Ginseng Sci.*, 17, 224 (1993)
7. Park, H., B.G. Cho, and J.S. Lee : *Korean J. Ginseng Sci.*, 12, 153 (1988)
8. 홍정주, 남기열 : 인삼연구보고서, 고려인삼연구소, p. 37 (1978)
9. 강석호 : 분체공학, 회중당 (1955)
10. ASTM committee : D-1925-70, D-1729-607, American Society for Testing & Materials, Philadelphia D-1925-70, D-1729-607 (1975)
11. Colowick, S.P. and N.O. Kaplan : *Methods in enzymology. Academic Press Inc.* New York. p. 1-149 (1955).
12. Gutfinger, T. : *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 58, 966-968 (1958)
13. Namba, T., M. Yoshizaki, T. Tomimori, K. Kobashi, K. Matsui and J. Hase : *Japan Yakugaku Zasshi.* 94, 252 (1974)
14. Ando, T., Tanaka, O. and Shibata, S. : *Japan Soyakugaku, Zasshi.* 25, 28 (1971)
15. Herbert, A.S. : *Handbook of Biochemistry*, 2nd. Edn. Chemical Rudder Co., Ohio, p. 121 (1970).
16. Jang, G.C. and R. Ruan: *Korean J. Ginseng Sci.*, 22, 96 (1998)
17. 이종화, 신동양, 김명수 : 인삼연구보고서, 전매기술연구소, p. 783 (1977)
18. Park, H., Cho, B.G. and Lee, M.K. : *Korean J. Ginseng Sci.*, 8, 167 (1984)
19. Park, H. Lee, M.J. Cho, B.G. and Lee, J.R. : *Korean Ginseng Sci.*, 18, 191

- (1994).
20. Do, J.H., S.D. Kim and H.S. Sung : *Korean J. Gingeng Sci.*, 9, 256 (1985).
 21. 한병훈, 한용남, 박명환 : *Advances in Chinese Medical Materials Res.*, 485 (1985).
 22. 박종대 : 성균관대학교 대학원 박사학위 논문 (1987).
 23. Kitagawa, H. and D. Iwaki : *Folia Pharmacol. Japan.* 59, 348 (1963).
 24. 이성식, 이명구, 최광태 : *고려인삼학회지*, 23, 61 (1999).

3 장 제 3 절

1. 김명직 역. 2000. 자기공명영상의 원리. *고려의학*. 11~78.
2. 김연형, 이기훈. 1993. 통계자료분석. 자유아카데미. 377~399.
3. 김종섭. 1998. SAS(Windows)를 이용한 통계자료분석방법. 학문사. 403~408.
4. 김철수, 이중용. 1997. 인삼선별의 자동화를 위한 컴퓨터 시각장치: 등급 자동판정을 위한 영상처리 알고리즘 개발. *한국농업기계학회지*. 22(2):227~236.
5. 남기열. 1996. 최신고려인삼(성분 및 효능편). 한국인삼연초연구원. 226~ 239.
6. 노형진. 1999. 한글 SPSSWIN에 의한 다변량 데이터의 통계분석. 석정. 537~558.
7. 도재호, 김상달, 성현순. 1985. 불량홍삼(내백삼)의 생화학적 및 조직학적 특성. *고려인삼학회지* 9(2):256~263.
8. 박훈, 조병구, 이준성. 1988. 홍삼의 정상 및 내백부의 미세구조. *고려인삼학회지*. 12(2):153~157.
9. 손재룡, 최규홍, 이강진, 최동수, 김기영. 2002. 홍삼 내공검출을 위한 X-선 영상처리기술(I) : 내공검출에 적합한 전처리방법. *한국농업기계학회지*. 27(4):341~348.
10. 윤중혁, 김재정, 박훈. 1992. 재배조건이 홍삼의 내공발생에 미치는 영향. *한국토양비료학회*. 25(2):175~180.
11. 이성우, 은충기, 문치웅, 박수성. 1998. 최신 자기 공명 영상학. 여문각. 32~76.
12. 이승조. 2002. 핵자기 공명과 인공 신경망을 이용한 홍삼의 내부 품질 평가. 석사학위논문. 전북대학교.
13. 장기철, R. Ruan. 1998. NMR을 이용한 홍삼의 용적밀도 측정 및 내부 조직 판별. *고려인삼학회지*. 21(2):96~101.
14. 장동일, 방승훈, 장요한, 한원석, 송영호. 2001. 영상처리를 이용한 홍삼의 외형

- 선별 시스템 개발. 한국농업기계학회지. 26(1):324~330.
15. 최광태. 1996. 최신고려인삼(재배편). 한국인삼연초연구원. 318~ 328.
 16. Balcom, B. J. , R. P. MacGregor, S. D. Beyea, D. P. Green, R. L. Armstrong, and T. W. Bremner. 1996. Single-point ramped imaging with T_1 enhancement(SPRITE). Journal of magnetic resonance, series A 123:131~134.
 17. Belton, Peter S., Ivonne Delgadillo, Elaine Holmes, Andrew Nicholls, Jeremy K. Nicholson, and Manfred Spraul. 1996. Use of High-Field ^1H NMR Spectroscopy for the Analysis of Liquid Foods. J. Agric. Food Chem. 44:1483-1487.
 18. Brown, Robert J. S., Francesco Capozzi, Claudio Cavani, Mauro A. Cremonini, Massimiliano Petracci, and Giuseppe Placucci. 2000. Relationships between ^1H NMR Relaxation Data and Some Technological Parameters of Meat : A Chemometric Approach. Journal of Magnetic Resonance. 147:89-94.
 19. Clark, C.J., and Janet S. MacFall. 1996. Magnetic resonance imaging of persimmon fruit (*Diospyros kaki*) during storage at low temperature and under modified atmosphere. Postharvest Biology and Technology. 9:97-108.
 20. Clark, C.J., J.S. MacFall, and R.L. Bielecki. 1998. Loss of watercore from 'Fuji' apple observed by magnetic resonance imaging. Scientia Horticulturae. 73:213-227.
 21. Cornillon, Paul, and Linda C. Salim. 2000. Characterization of water mobility and distribution in low- and intermediate-moisture food systems. Magnetic Resonance Imaging. 18:335-341.
 22. Curtis, S. de Angelis., R. Curini, M. Delfini, E. Brosio, F. D'Ascenzo, and B. Bocca. 2000. Amino acid profile in the ripening of Grana Padano Cheese: a NMR study. Food Chemistry. 71:495-502.
 23. Duce. S.L., and L.D. Hall. 1995. Visualization of the Hydration of Food by Nuclear Magnetic Resonance Imaging. Journal of Food Engineering. 26:251-257.
 24. Hinshaw, W. S., P. A. Bottomly, and G. N. Holland. 1979. A Demonstration of the resolution of NMR imaging in biological systems. Experientia 35:1268~

1269.

25. Hinshaw, W. S., P. A. Bottomly, and G. N. Holland. 1977. Radiographic thin-section image of the human wrist by nuclear magnetic resonance. *nature* 270:722~723.
26. Jung, Da-Mi, Jeffrey S. de Ropp, and Susan E. Ebeler. 2000. Study of Interactions between Food Phenolics and Aromatic Flavors Using One- and Two-Dimensional ^1H NMR Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 48:407-412.
27. Kerr, William L., C. J. Clark, M. J. McCarthy and J. S. de Ropp. 1997. Freezing effects in fruit tissue of kiwifruit observed by magnetic resonance imaging. *Scientia Horticulturae.* 69:169-179.
28. Kerr, William L., Robert J. Kauten, Michael J. McCarthy and David S. Reid. 1998. Monitoring the Formation of Ice During Food Freezing by Magnetic Resonance Imaging. *Lebensm. Wiss. u. Technol.* 31:215-220.
29. Pablo J. Prado, Bruce J. Balcom, and Mohamed Jama. 1999. Single-point magnetic resonance imaging study of water adsorption in Pellets of Zeolite 4A. *Journal of magnetic resonance* 137:59~66.
30. Ruan, R. Roger, Zhenzhong Long Aijun Song, and Paul L. Chen. 1998. Determination of the Glass Transition Temperature of Food Polymers Using Low Field NMR. *Lebensm. Wiss. u. Technol.* 31:516-521.
31. Sacchi, Raffaele, Luisa Mannina, Paolo Fiordiponti, Piero Barone, Livio Paolillo, Maurizio Patumi, and Annalaura Segre. 1998. Characterization of Italian Extra Virgin Olive Oils Using ^1H -NMR Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 46:3947-3951.
32. Sonogo, L., R. Ben-Arie, J. Raynal, and J. C. Pech. 1995. Biochemical and physical evaluation of textural characteristics of nectarines exhibiting woolly breakdown: NMR imaging, X-ray computed tomography and pectin composition. *Postharvest Biology and Technology.* 5:187-198.
33. Song. H. P., S. R. Delwiche and M. J. Line. 1998. Research Note : Moisture Distribution in a Mature Soft Wheat Grain by Three-Dimensional Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Cereal Science.* 27:191-197.

34. Vogels, Jack T. W. E., Loes Terwel, Albert C. Tas, Frans van den Berg, Fred Dukel, and Jan van der Greef. 1996. Detection of Adulteration in Orange Juices by a New Screening Method Using Proton NMR Spectroscopy in combination with Pattern Recognition Techniques. *J.Agric.Food Chem.* 44:175-180.

3 장 제 4 절

1. 김철수, 이종호, 박승제, 김명호. 1998. 백삼 등급 자동판정 알고리즘 개발. *한국농업기계학회지*. 23(1):450~457.
2. 김철수, 이종용. 1997. 인삼선별의 자동화를 위한 컴퓨터 시각장치- 등급 자동판정을 위한 영상처리 알고리즘 개발-. *농업기계학회지*. 22(2):227~236.
3. 김성민. 1999. 자기공명영상을 이용한 농축산물의 비파괴 내부품질 평가. *한국농업기계학회지*. 24(6):523~530.
4. 노대현. 1998. 수소 핵자기 공명을 이용한 고춧가루의 수분 및 지방함량 측정 알고리즘 개발. 석사학위논문. 서울대학교.
5. 도재호, 김상달, 성현순. 1985. 불량홍삼(내백삼)의 생화학적 및 조직학적 특성. *고려인삼학회지*. 9(2):256~263.
6. 박명규. 1996. 최신고려인삼(성분 및 효능편). *한국인삼연초연구원*. 22 5~239.
7. 백국현. 1996. 컴퓨터 시각에 의한 잎담배의 등급판정. 석사학위논문. 충북대학교.
8. 밝훈, 조병구, 이준성. 1988. 홍삼의 정상 및 내백부의 미세구조. *고려인삼학회지*. 12(2):153~157.
9. 오창석. 1996. *뉴로컴퓨터, 지성출판사*:189~207.
10. 이성우, 은충기, 문치용, 박수성. 1998. 최신 자기 공명 영상학. *여문각*. 32~80.
11. 이수희. 1994. 신경회로망을 이용한 과일 선별 알고리즘 개발에 관한 연구. 석사학위논문. 서울대학교.
12. 장기철, R. Ruan. 1998. NMR을 이용한 홍삼의 용적밀도 측정 및 내부 조직 판별. *고려인삼학회지*. 21(2):96~101.
13. 장동일, 방승훈, 장요한, 한원석, 송영호. 2001. 영상처리를 이용한 홍삼의 외형 선별 시스템 개발. *한국농업기계학회지*. 6(1):324~330.
14. 조성인, 정창호. 1996. 수소 핵자기공명을 이용한 과일의 비파괴 당도 측정 시작

- 기의 개발. 한국농업기계학회지 21(3):336~442.
15. 장용근. 1994. 인공 신경망을 이용한 생물공정 시스템에서의 패턴 인식 및 이의 응용. 화학공업과 기술. 12(3):21~29.
 16. 한영수. 1999. 라인스캔 카메라를 이용한 현미의 온라인 품위판정 시스템 개발. 석사학위논문. 서울대학교.
 17. 황현, 이충호. 1994. 벼삭 전후면과 꼭지부 상태의 자동인식. 한국농업기계학회지. 19(2):124~137.
 18. Brusewitz, G. H. and M. L. Stone. 1987. Wheat Moisture by NMR. Transactions of ASAE. Vol. 30(3):858~863.
 19. Davenel, A. and P. Marchal. 1992. Discrimination Analysis Applied To Moisture Determination in Raw Materials For Animal Feed By Pulsed NMR. Transactions of ASAE. Vol.35(6):1891~1897.
 20. Gadian, G. 1982. Nuclear magnetic resonance and its applications to living system. Oxford University Press:128~129.
 21. P. Chen, M. J. McCarthy and R. Kauten. 1989. NMR for Internal Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. Transactions of ASAE. Vol. 32(5):1747~1753.
 22. Timothy, M. 1993. Practical Neural Network Recipes in C++. Academic Press.

부 록

1. MATLAB program source

- 1-1) Calculation of T_1 values
- 1-2) Calculation of T_2 and T_2^* values
- 1-3) Calculation of FID ratio
- 1-4) Subfunctions

2. NMR raw data

- 2-1-1) T_1 values of first measurement
- 2-1-2) T_1 values of second measurement
- 2-2-1) T_2 values of first measurement
- 2-2-2) T_2 values of second measurement
- 2-3-1) T_2^* values of first measurement
- 2-3-2) T_2^* values of second measurement
- 2-4-1) FID ratio(at 2.4) of first measurement
- 2-4-2) FID ratio(at 2.4) of second measurement

3. 홍삼 단면 사진

- 3-1) 너두 제거 후 단면 사진 (1차 NMR 측정)
- 3-2) 너두 하단부(10~15 mm)제거 후 단면 사진 (2차 NMR 측정)

1. Matlab program source

1-1) Calculation of T_1 values

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%과 일 명 : all_T1.m  
%작성일자 : 2002년 5월 27일  
%작성 자 : lim jong guk  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
function all_T1  
global T Data DEVSQ;  
  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%폴더의 패스를 uigetfile로 지정받아서 폴더안의  
%모든 파일 이름을 filename에 저장  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
[ extrafilename, filepath ] = uigetfile( '*.*', '폴더안의 파일지정' );  
filename = dir( filepath );  
filename([1 2]) = [];  
  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%while문으로 모든 파일을  
%종류에 맞게 분석  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
index = 1;  
  
while index <= length( filename );
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%데이터를 Relax_data에 저장
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
fn=[filepath filename(index).name]
```

```
fid=fopen(fn,'r');
```

```
n = 0;
```

```
while 1
```

```
line = fgetl(fid);
```

```
if ~isstr(line), break, end
```

```
n=n+1;
```

```
%disp(line)
```

```
Relax_data(n,:)=str2num(line);
```

```
end
```

```
fclose(fid);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%데이터를 걸러서 필요부분 찾아냄
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
Relax_data=sortrows(Relax_data);
```

```
T=Relax_data(:,1);
```

```
Data=Relax_data(:,2);
```

```
% T1 일 경우
```

```
a=-5.8;b=18;c=4.5;
```

```
options(14)=5000;
```

```

est=fmins('mono_T1',[a,b,c],options);
Edata=est(1)*(1-2*exp(-T/est(2)))+est(3);
M_inf=est(1)+est(3);

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%string을 만듦

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

T1 일 경우

```

```

    tm{index} = sprintf( 'filename : %s \tM_0 = %s \tT_1 = %s%c\n',
filename(index).name, num2str(est(1)), num2str(est(2)), char(13) );

```

```

    index = index+1;

```

```

    clear Relax_data;

```

```

end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

% 저장 파일 위치와 파일 이름을 받아 저장

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

[ savefile, savepath ] = uiputfile( '*.txt', '저장할 곳을 선택하세요?' );

```

```

fid = fopen( [savepath savefile], 'w' );

```

```

fprintf( fid, '%s', tm{:} );

```

```

fclose('all');

```

1-2) Calculation of T_2 and T_2^* values

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

% 파일명 : all_T2.m

```

```

% 작성일자 : 2002년 5월 30일

```

```

%작 성 자   : lim jong guk
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function jongkuk
global T Data DEVSQ;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%폴더의 패스를 uigetfile로 지정받아서 폴더안의
%모든 파일 이름을 filename에 저장
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

[ extrfilename, filepath ] = uigetfile( '*.*', '폴더안의 파일지정' );
filename = dir( filepath );
filename([1 2]) = [];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% while문으로 모든 파일을
%종류에 맞게 분석
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

index = 1;

while index <= length( filename );

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 데이터를 Relax_data에 저장
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

    fn=[filepath filename(index).name]
    fid=fopen(fn,'r');

```

```

n = 0;

while 1
    line = fgetl(fid);
    if ~isstr(line), break, end
    n=n+1;
    Relax_data(n,:)=str2num(line);
end

fclose(fid);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 데이터를 걸러서 필요부분 찾아냄
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Relax_data=sortrows(Relax_data);

T=Relax_data(:,1);
Data=Relax_data(:,2);

% T2, T2_star 일 경우
a=2.8;b=0.355;c=0.2;
options(14)=5000;
est=fmins('mono_T2',[a,b,c],options);
Edata=est(1)*exp(-T/est(2))+est(3);
M_inf=est(3);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% string을 만듦
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

% T2, T2_star 일 경우
    tm{index} = sprintf( 'filename : %s \tM_0 = %s \tT_2 = %s%c\n',
filename(index).name, num2str(est(1)), num2str(est(2)), char(13) );
    index = index+1;
    clear Relax_data;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 저장 파일 위치와 파일 이름을 받아 저장
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

[ savefile, savepath ] = uiputfile( '*.txt', '저장할 곳을 선택하세요?' );
fid = fopen( [savepath savefile], 'w' );
fprintf( fid, '%s', tm{:} );
fclose('all');

```

1-3) Calculation of FID ratio

% 2002_12_23 논문 발표용으로 수정함.

```

function new_fid_search
global T Data DEVSQ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 폴더의 패스를 uigetfile로 지정받아서 폴더안의
% 모든 파일 이름을 filename에 저장
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

[ extrafilename, filepath ] = uigetfile( ' *.*', '폴더안의 파일지정' );
filename = dir( filepath );

```

```
filename([1 2]) = [];
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% while문으로 모든 파일을
```

```
% 종류에 맞게 분석
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
index = 1;
```

```
while index <= length( filename );
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% 데이터를 Relax_data에 저장
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
    fn=[filepath filename(index).name];
```

```
    fid=fopen(fn,'r');
```

```
    n = 0;
```

```
while 1
```

```
    line = fgetl(fid);
```

```
    if ~isstr(line), break, end
```

```
    n=n+1;
```

```
    Relax_data(n,:)=str2num(line);
```

```
end
```

```
    fclose(fid);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% 데이터를 걸러서 필요부분 찾아냄
```


%%

```
Relax_data=sortrows(Relax_data);
```

```
T=Relax_data(:,1); %sig 파일에 있어서 첫번째 열은 시간(ms)
```

```
Data=Relax_data(:,2); %sig 파일에 있어서 두번째 열은 세기(a/u)
```

```
%T2*일 경우
```

```
a=2.8;b=0.355;c=0.2;
```

```
options(14)=5000;
```

```
est=fmins('mono_T2',[a,b,c],options);
```

```
Edata=est(1)*exp(-T/est(2))+est(3);
```

```
M_inf=est(3);
```

%%
T2_star 시간에서의 signal 값을 보간 %%%%%%%%%%

%%

```
Fid_result=zeros(1,20); % 1*20의 0행렬을 만듦
```

%%
T2_star 시간에서의 signal 값을 보간 %%%%%%%%%%

```
Time1=find(T(1:end)<=est(2));
```

```
Time2=find(T(1:end) >est(2));
```

```
Time_ex=[Time1(end) Time2(1)];
```

```
T_1=T(Time_ex(1));T_2=T(Time_ex(2));
```

```
Signal1=Data(Time_ex(1));Signal2=Data(Time_ex(2));
```

```
T2_signal=((Signal1-Signal2)*(est(2)-T_2))/(T_1-T_2)+Signal2;
```

%%

```
Fid_result=zeros(1,20);
```

```
for i=1:20
```

```

    K=0.3+i*.3;
    %%%% K 배 를 T2 star 에 곱한 후 signal 값을 보간 %%%%
    dup_T2=est(2)*K;
    TTime1=find(T(1:end)<=dup_T2);
    TTime2=find(T(1:end) >dup_T2);
    TTime_ex=[TTime1(end) TTime2(1)];
    SSignal1=Data(TTime_ex(1));SSignal2=Data(TTime_ex(2));
    TT_1=T(TTime_ex(1));TT_2=T(TTime_ex(2));
    dup_T2_signal=((SSignal1-SSignal2)*(dup_T2-TT_2))/(TT_1-TT_2)+SSignal2;
    %%%%%%%%%%%%%%%

    if T2_signal < dup_T2_signal
        Fid_result(i)=dup_T2_signal/T2_signal;
    else
        Fid_result(i)=T2_signal/dup_T2_signal;
    end

    %%%%%%%%%%%%%%%
    % string 을 만듬
    %%%%%%%%%%%%%%%

    result=num2str(Fid_result(:)');
    tm{index} = sprintf( 'filename : %s \tT2_star %s \tResult %s%c\n',
filename(index).name, num2str(est(2)),...
        result, char(13) );
    index = index+1;
    clear Relax_data Fid_result ;

end

end

```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% 저장 파일 위치와 파일 이름을 받아 저장
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
[ savefile, savepath ] = uinputfile( '*.txt', '저장할 곳을 선택하세요?' );
```

```
fid = fopen( [savepath savefile], 'w');
```

```
fprintf( fid, '%s', tm{:} );
```

```
fclose('all');
```

1-4) Subfunctions

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% subfunction mono_T1
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
function b=mono_T1(v)
```

```
global T Data DEVSQ;
```

```
M_o = v(1);
```

```
T1 = v(2);
```

```
M_off = v(3);
```

```
b=M_o*(1-2*exp(-T/T1))+M_off-Data;
```

```
b=sum(b.^2);
```

```
DEVSQ=b;
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% subfunction mono_T2
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
function b=mono_T2(v)
global T Data DEVSQ;

M_o = v(1);
T2 = v(2);
M_if = v(3);

b=M_o*exp(-T/T2)+M_if-Data;
b=sum(b.^2);
DEVSQ=b;
```

2-1-1) T₁ values of first measurement

(msec)

정상홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
A01	21.806	22.017	21.766	21.863	0.135
A02	24.852	25.178	25.011	25.013	0.163
A03	18.120	17.659	17.568	17.782	0.296
A04	15.990	15.910	15.841	15.914	0.075
A05	19.671	19.901	19.782	19.785	0.115
A06	22.159	22.058	21.802	22.006	0.184
A07	21.841	21.515	21.387	21.581	0.234
A08	10.285	10.230	10.046	10.187	0.125
A09	15.969	16.136	15.784	15.963	0.176
A10	17.741	17.397	17.293	17.477	0.235
A11	18.345	18.240	18.088	18.224	0.129
A12	21.695	21.526	21.526	21.582	0.098
A13	18.027	17.846	17.485	17.786	0.276
A14	17.263	16.839	16.659	16.920	0.310
A15	20.296	20.185	20.003	20.161	0.148
A16	21.356	21.292	21.066	21.238	0.152
A17	15.050	14.945	14.760	14.918	0.147
A18	13.824	13.703	13.596	13.708	0.114
A19	16.851	16.474	16.569	16.632	0.196
A20	11.038	10.735	10.790	10.854	0.161
A21	20.033	19.932	19.889	19.951	0.074
A22	12.845	12.841	12.597	12.761	0.142
A23	9.851	9.831	9.670	9.784	0.099
A24	13.574	13.267	13.230	13.357	0.189
A25	22.766	22.817	22.766	22.783	0.029
A26	16.951	16.865	16.658	16.824	0.151
A27	23.113	23.119	23.103	23.112	0.008
A28	15.672	15.776	15.432	15.627	0.176
A29	20.899	21.186	20.460	20.848	0.366
A30	19.203	18.909	18.686	18.933	0.259
평균	17.903	17.811	17.644	17.786	0.165
표준편차	3.950	4.009	3.994	3.983	0.081

중간홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
B01	15.133	14.815	14.715	14.888	0.218
B02	17.211	16.670	16.157	16.679	0.527
B03	16.933	16.947	16.544	16.808	0.229
B04	19.504	19.368	19.279	19.384	0.113
B05	25.459	25.396	25.411	25.422	0.033
B06	21.163	20.812	20.867	20.947	0.189
B07	19.286	18.949	18.728	18.988	0.281
B08	31.694	31.979	31.872	31.848	0.144
B09	13.925	13.699	13.481	13.701	0.222
B10	8.894	8.925	8.881	8.900	0.022
평균	18.920	18.756	18.594	18.757	0.198
표준편차	6.308	6.403	6.447	6.384	0.144

분량홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
C01	27.579	27.091	26.908	27.193	0.347
C02	24.212	24.077	23.231	23.840	0.532
C03	21.643	21.324	21.120	21.362	0.263
C04	29.875	29.392	28.771	29.346	0.554
C05	30.400	29.598	29.395	29.798	0.531
C06	28.267	26.168	26.420	26.952	1.146
C07	20.701	20.470	20.506	20.559	0.124
C08	23.902	23.718	23.256	23.625	0.333
C09	23.204	23.260	22.922	23.128	0.181
C10	32.118	30.794	29.935	30.949	1.100
C11	24.120	23.101	23.021	23.414	0.613
C12	27.884	28.356	27.735	27.992	0.324
C13	21.946	21.067	20.500	21.171	0.728
C14	20.665	20.793	20.703	20.720	0.066
C15	42.323	41.383	41.914	41.874	0.471
C16	20.054	19.633	19.095	19.594	0.481
C17	20.415	20.130	19.974	20.173	0.223
C18	12.326	12.334	12.087	12.249	0.140
C19	26.473	25.599	25.414	25.828	0.566
C20	26.744	26.433	26.506	26.561	0.163
C21	24.200	24.073	23.641	23.972	0.293
C22	26.595	22.847	21.536	23.659	2.625
C23	23.740	23.728	23.446	23.638	0.166
C24	34.798	33.556	32.876	33.743	0.974
C25	28.243	27.218	26.812	27.424	0.738
C26	25.077	24.168	23.827	24.357	0.646
C27	24.582	23.373	23.741	23.899	0.620
C28	37.685	37.935	36.400	37.340	0.823
C29	26.552	26.112	25.803	26.156	0.377
C30	34.268	33.606	33.109	33.661	0.581
C31	31.610	30.608	30.576	30.931	0.588
C32	32.795	32.586	32.284	32.555	0.257
C33	8.258	7.596	6.888	7.581	0.685
C34	38.939	37.387	38.694	38.340	0.835
C35	27.479	26.743	23.225	25.816	2.274
C36	36.694	36.764	36.363	36.607	0.214
C37	20.218	19.990	19.712	19.973	0.253
C38	36.238	35.682	35.187	35.702	0.526
C39	17.946	17.535	16.847	17.443	0.556
평균	26.686	26.057	25.651	26.131	0.588
표준편차	7.024	6.921	7.014	6.970	0.515

2-1-2) T₁ values of second measurement

(msec)

정상홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
A01	23.847	22.460	22.574	22.960	0.770
A02	25.431	25.350	25.563	25.448	0.108
A03	18.904	18.653	18.183	18.580	0.366
A04	17.686	17.283	17.234	17.401	0.248
A05	21.022	21.135	20.511	20.889	0.333
A06	22.542	22.701	22.158	22.467	0.279
A07	22.484	22.936	22.820	22.747	0.235
A08	11.148	10.861	10.913	10.974	0.153
A09	16.471	16.196	15.759	16.142	0.359
A10	18.656	18.763	18.364	18.594	0.207
A11	19.011	18.935	18.774	18.906	0.121
A12	22.528	22.255	22.079	22.287	0.226
A13	17.342	17.276	17.350	17.323	0.040
A14	19.446	19.041	17.951	18.813	0.773
A15	22.213	22.017	21.723	21.984	0.246
A16	23.568	23.700	22.884	23.384	0.438
A17	15.934	15.890	15.537	15.787	0.217
A18	14.939	14.614	14.442	14.665	0.252
A19	17.839	17.704	17.869	17.804	0.087
A20	11.721	11.575	11.454	11.583	0.134
A21	21.520	21.557	21.089	21.388	0.260
A22	13.935	13.697	13.539	13.724	0.199
A23	10.999	10.780	10.524	10.767	0.238
A24	14.659	14.452	13.862	14.324	0.413
A25	23.986	24.235	23.806	24.009	0.216
A26	17.604	17.328	17.129	17.354	0.239
A27	23.867	23.970	23.803	23.880	0.084
A28	16.873	16.790	16.209	16.624	0.362
A29	23.316	22.763	22.997	23.025	0.278
A30	20.680	20.420	20.063	20.387	0.310
평균	19.006	18.844	18.572	18.807	0.273
표준편차	4.075	4.119	4.115	4.099	0.167

중간홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
B01	16.929	16.795	16.627	16.784	0.151
B02	19.204	18.645	18.342	18.730	0.437
B03	18.123	17.935	17.344	17.800	0.407
B04	21.566	20.835	20.377	20.926	0.600
B05	27.130	26.910	26.737	26.926	0.197
B06	23.855	22.713	22.684	23.084	0.668
B07	20.476	20.449	20.249	20.391	0.124
B08	33.466	33.733	32.762	33.320	0.502
B09	14.871	14.406	14.358	14.545	0.283
B10	9.581	9.287	8.948	9.272	0.317
평균	20.520	20.171	19.843	20.178	0.369
표준편차	6.629	6.723	6.588	6.644	0.187

불량홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
C01	27.861	27.730	27.384	27.658	0.247
C02	24.944	24.437	23.708	24.363	0.621
C03	22.307	21.771	21.878	21.985	0.284
C04	30.478	30.252	30.041	30.257	0.219
C05	32.216	30.538	31.056	31.270	0.859
C06	29.912	28.616	28.772	29.100	0.708
C07	20.644	20.255	20.024	20.308	0.314
C08	24.128	23.796	23.662	23.862	0.240
C09	23.803	23.124	23.314	23.414	0.350
C10	29.506	28.971	28.691	29.056	0.414
C11	22.820	22.468	21.843	22.377	0.495
C12	29.039	28.587	28.247	28.624	0.397
C13	21.209	20.373	19.321	20.301	0.946
C14	20.980	20.617	20.467	20.688	0.264
C15	39.444	38.694	38.813	38.984	0.403
C16	20.065	19.619	19.049	19.578	0.510
C17	21.049	20.411	20.293	20.584	0.407
C18	13.249	12.976	12.817	13.014	0.219
C19	29.148	29.258	27.968	28.791	0.715
C20	27.606	26.989	26.419	27.004	0.594
C21	24.796	24.557	24.282	24.545	0.257
C22	20.348	19.854	19.497	19.900	0.427
C23	23.983	23.793	23.616	23.797	0.183
C24	32.568	32.597	32.334	32.500	0.144
C25	25.811	25.121	24.864	25.265	0.489
C26	24.263	24.168	23.124	23.852	0.632
C27	22.594	22.586	22.487	22.555	0.059
C28	37.179	36.733	36.041	36.651	0.573
C29	25.637	24.602	24.128	24.789	0.771
C30	32.801	33.203	31.618	32.541	0.824
C31	29.546	29.267	29.057	29.290	0.245
C32	31.730	31.629	31.400	31.586	0.169
C33	7.928	8.032	6.939	7.633	0.603
C34	35.893	35.333	35.250	35.492	0.349
C35	27.331	26.833	26.932	27.032	0.264
C36	37.548	35.259	35.499	36.102	1.258
C37	19.048	19.164	18.769	18.993	0.203
C38	35.686	34.264	34.676	34.875	0.732
C39	17.982	17.357	17.177	17.505	0.423
평균	26.233	25.739	25.422	25.798	0.457
표준편차	6.690	6.523	6.628	6.608	0.258

2-2-1) T₂ values of first measurement

(msec)

정상흡삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
A01	0.324	0.315	0.323	0.321	0.005
A02	0.400	0.402	0.385	0.396	0.009
A03	0.353	0.368	0.353	0.358	0.009
A04	0.325	0.336	0.352	0.338	0.014
A05	0.360	0.360	0.374	0.365	0.008
A06	0.349	0.348	0.347	0.348	0.001
A07	0.350	0.337	0.357	0.348	0.010
A08	0.306	0.306	0.312	0.308	0.004
A09	0.339	0.330	0.310	0.326	0.015
A10	0.347	0.343	0.357	0.349	0.007
A11	0.515	0.539	0.550	0.535	0.018
A12	0.381	0.381	0.377	0.380	0.002
A13	0.439	0.449	0.379	0.422	0.038
A14	0.342	0.326	0.330	0.333	0.008
A15	0.309	0.319	0.328	0.318	0.009
A16	0.313	0.301	0.309	0.308	0.006
A17	0.388	0.400	0.394	0.394	0.006
A18	0.340	0.355	0.355	0.350	0.009
A19	0.346	0.364	0.365	0.358	0.011
A20	0.333	0.334	0.338	0.335	0.003
A21	0.346	0.340	0.350	0.345	0.005
A22	0.318	0.299	0.311	0.309	0.009
A23	0.316	0.307	0.316	0.313	0.005
A24	0.356	0.334	0.347	0.346	0.011
A25	0.365	0.356	0.361	0.361	0.004
A26	0.312	0.314	0.311	0.313	0.002
A27	0.453	0.457	0.456	0.455	0.002
A28	0.292	0.309	0.300	0.301	0.009
A29	0.356	0.337	0.345	0.346	0.009
A30	0.356	0.354	0.367	0.359	0.007
평균	0.354	0.354	0.355	0.355	0.008
표준편차	0.047	0.052	0.049	0.049	0.007

중간흡삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
B01	0.311	0.317	0.321	0.317	0.005
B02	0.286	0.281	0.288	0.285	0.003
B03	0.311	0.325	0.317	0.318	0.007
B04	0.303	0.314	0.297	0.305	0.009
B05	0.312	0.300	0.317	0.310	0.008
B06	0.315	0.333	0.327	0.325	0.009
B07	0.315	0.306	0.317	0.313	0.006
B08	0.281	0.241	0.281	0.268	0.023
B09	0.289	0.306	0.306	0.300	0.009
B10	0.283	0.281	0.300	0.288	0.011
평균	0.301	0.301	0.307	0.303	0.009
표준편차	0.014	0.027	0.015	0.018	0.005

불량홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
C01	0.292	0.304	0.293	0.296	0.007
C02	0.310	0.289	0.302	0.300	0.011
C03	0.263	0.291	0.310	0.288	0.024
C04	0.254	0.272	0.271	0.266	0.010
C05	0.246	0.259	0.258	0.254	0.007
C06	0.226	0.201	0.239	0.222	0.019
C07	0.327	0.278	0.307	0.304	0.025
C08	0.357	0.335	0.343	0.345	0.011
C09	0.353	0.337	0.358	0.349	0.011
C10	0.226	0.259	0.297	0.261	0.035
C11	0.335	0.332	0.302	0.323	0.018
C12	0.278	0.293	0.314	0.295	0.018
C13	0.340	0.247	0.278	0.288	0.048
C14	0.357	0.362	0.362	0.360	0.003
C15	0.316	0.577	0.301	0.398	0.155
C16	0.273	0.279	0.275	0.276	0.003
C17	0.281	0.268	0.282	0.277	0.008
C18	0.294	0.291	0.302	0.296	0.006
C19	0.257	0.280	0.257	0.265	0.013
C20	0.290	0.307	0.284	0.294	0.012
C21	0.352	0.346	0.368	0.355	0.012
C22	0.253	0.306	0.310	0.290	0.032
C23	0.324	0.331	0.330	0.328	0.004
C24	0.296	0.344	0.346	0.329	0.028
C25	0.224	0.235	0.234	0.231	0.006
C26	0.246	0.260	0.268	0.258	0.011
C27	0.287	0.260	0.252	0.266	0.019
C28	0.255	0.293	0.239	0.262	0.028
C29	0.271	0.271	0.280	0.274	0.006
C30	0.253	0.281	0.292	0.275	0.020
C31	0.273	0.308	0.258	0.280	0.026
C32	0.251	0.294	0.257	0.267	0.023
C33	0.319	0.253	0.450	0.341	0.100
C34	0.264	0.386	0.263	0.304	0.071
C35	0.230	0.241	0.285	0.252	0.029
C36	0.281	0.290	0.265	0.279	0.013
C37	0.336	0.345	0.355	0.345	0.010
C38	0.326	0.352	0.369	0.349	0.022
C39	0.261	0.288	0.280	0.276	0.014
평균	0.287	0.301	0.298	0.295	0.023
표준편차	0.040	0.060	0.045	0.039	0.029

2-2-2) T₂ values of second measurement

(msec)

정상흡삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
A01	0.299	0.292	0.293	0.295	0.004
A02	0.331	0.305	0.310	0.315	0.014
A03	0.285	0.293	0.305	0.295	0.010
A04	0.273	0.290	0.288	0.283	0.009
A05	0.309	0.311	0.324	0.315	0.008
A06	0.321	0.324	0.333	0.326	0.006
A07	0.326	0.329	0.301	0.318	0.015
A08	0.272	0.279	0.282	0.277	0.005
A09	0.289	0.297	0.291	0.292	0.004
A10	0.274	0.282	0.278	0.278	0.004
A11	0.308	0.310	0.306	0.308	0.002
A12	0.317	0.318	0.331	0.322	0.008
A13	0.312	0.324	0.317	0.318	0.006
A14	0.278	0.279	0.305	0.287	0.015
A15	0.278	0.275	0.280	0.278	0.003
A16	0.268	0.300	0.285	0.285	0.016
A17	0.320	0.317	0.323	0.320	0.003
A18	0.276	0.279	0.294	0.283	0.010
A19	0.300	0.300	0.315	0.305	0.009
A20	0.295	0.287	0.285	0.289	0.005
A21	0.295	0.303	0.300	0.299	0.004
A22	0.265	0.264	0.276	0.268	0.007
A23	0.254	0.274	0.270	0.266	0.011
A24	0.280	0.288	0.272	0.280	0.008
A25	0.303	0.313	0.323	0.313	0.010
A26	0.278	0.266	0.278	0.274	0.007
A27	0.322	0.347	0.331	0.333	0.012
A28	0.238	0.262	0.266	0.256	0.015
A29	0.294	0.275	0.288	0.286	0.010
A30	0.297	0.300	0.308	0.302	0.006
평균	0.292	0.296	0.299	0.296	0.008
표준편차	0.023	0.021	0.020	0.020	0.004

중간흡삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
B01	0.270	0.285	0.290	0.282	0.011
B02	0.259	0.242	0.264	0.255	0.012
B03	0.272	0.255	0.256	0.261	0.010
B04	0.264	0.267	0.287	0.272	0.012
B05	0.253	0.274	0.268	0.265	0.011
B06	0.271	0.266	0.287	0.275	0.011
B07	0.264	0.267	0.272	0.268	0.004
B08	0.237	0.268	0.232	0.246	0.019
B09	0.243	0.252	0.257	0.250	0.007
B10	0.234	0.240	0.239	0.238	0.003
평균	0.257	0.261	0.265	0.261	0.010
표준편차	0.014	0.014	0.020	0.014	0.005

분량홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
C01	0.256	0.270	0.263	0.263	0.007
C02	0.241	0.247	0.268	0.252	0.014
C03	0.232	0.255	0.242	0.243	0.012
C04	0.251	0.221	0.249	0.240	0.017
C05	0.223	0.233	0.218	0.225	0.008
C06	0.199	0.214	0.256	0.223	0.029
C07	0.283	0.252	0.249	0.261	0.019
C08	0.279	0.295	0.273	0.283	0.011
C09	0.261	0.267	0.277	0.269	0.008
C10	0.196	0.213	0.246	0.218	0.025
C11	0.266	0.290	0.281	0.279	0.012
C12	0.233	0.261	0.261	0.252	0.016
C13	0.232	0.262	0.222	0.239	0.021
C14	0.297	0.298	0.298	0.298	0.000
C15	0.237	0.238	0.185	0.220	0.031
C16	0.281	0.251	0.260	0.264	0.016
C17	0.246	0.255	0.254	0.252	0.005
C18	0.279	0.259	0.272	0.270	0.011
C19	0.260	0.223	0.288	0.257	0.033
C20	0.247	0.252	0.264	0.254	0.009
C21	0.269	0.289	0.292	0.283	0.012
C22	0.253	0.288	0.264	0.268	0.018
C23	0.298	0.291	0.294	0.294	0.003
C24	0.206	0.249	0.225	0.226	0.022
C25	0.204	0.224	0.241	0.223	0.019
C26	0.215	0.254	0.215	0.228	0.023
C27	0.212	0.217	0.216	0.215	0.003
C28	0.221	0.230	0.281	0.244	0.032
C29	0.263	0.225	0.248	0.245	0.019
C30	0.219	0.210	0.228	0.219	0.009
C31	0.263	0.257	0.253	0.258	0.005
C32	0.230	0.227	0.232	0.230	0.003
C33	0.383	0.439	0.350	0.391	0.045
C34	0.285	0.359	0.251	0.298	0.055
C35	0.246	0.263	0.256	0.255	0.008
C36	0.271	0.233	0.270	0.258	0.021
C37	0.289	0.297	0.314	0.300	0.013
C38	0.275	0.301	0.268	0.281	0.017
C39	0.281	0.231	0.263	0.258	0.025
평균	0.253	0.260	0.259	0.257	0.017
표준편차	0.036	0.043	0.030	0.033	0.012

2-3-1) T_2^* values of first measurement

(msec)

정상흡삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
A01	0.324	0.315	0.323	0.321	0.005
A02	0.400	0.402	0.385	0.396	0.009
A03	0.353	0.368	0.353	0.358	0.009
A04	0.325	0.336	0.352	0.338	0.014
A05	0.360	0.360	0.374	0.365	0.008
A06	0.349	0.348	0.347	0.348	0.001
A07	0.350	0.337	0.357	0.348	0.010
A08	0.306	0.306	0.312	0.308	0.004
A09	0.339	0.330	0.310	0.326	0.015
A10	0.347	0.343	0.357	0.349	0.007
A11	0.515	0.539	0.550	0.535	0.018
A12	0.381	0.381	0.377	0.380	0.002
A13	0.439	0.449	0.379	0.422	0.038
A14	0.342	0.326	0.330	0.333	0.008
A15	0.309	0.319	0.328	0.318	0.009
A16	0.313	0.301	0.309	0.308	0.006
A17	0.388	0.400	0.394	0.394	0.006
A18	0.340	0.355	0.355	0.350	0.009
A19	0.346	0.364	0.365	0.358	0.011
A20	0.333	0.334	0.338	0.335	0.003
A21	0.346	0.340	0.350	0.345	0.005
A22	0.318	0.299	0.311	0.309	0.009
A23	0.316	0.307	0.316	0.313	0.005
A24	0.356	0.334	0.347	0.346	0.011
A25	0.365	0.356	0.361	0.361	0.004
A26	0.312	0.314	0.311	0.313	0.002
A27	0.453	0.457	0.456	0.455	0.002
A28	0.292	0.309	0.300	0.301	0.009
A29	0.356	0.337	0.345	0.346	0.009
A30	0.356	0.354	0.367	0.359	0.007
평균	0.354	0.354	0.355	0.355	0.008
표준편차	0.047	0.052	0.049	0.049	0.007

중간흡삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
B01	0.311	0.317	0.321	0.317	0.005
B02	0.286	0.281	0.288	0.285	0.003
B03	0.311	0.325	0.317	0.318	0.007
B04	0.303	0.314	0.297	0.305	0.009
B05	0.312	0.300	0.317	0.310	0.008
B06	0.315	0.333	0.327	0.325	0.009
B07	0.315	0.306	0.317	0.313	0.006
B08	0.281	0.241	0.281	0.268	0.023
B09	0.289	0.306	0.306	0.300	0.009
B10	0.283	0.281	0.300	0.288	0.011
평균	0.301	0.301	0.307	0.303	0.009
표준편차	0.014	0.027	0.015	0.018	0.005

별량홍십	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
C01	0.292	0.304	0.293	0.296	0.007
C02	0.310	0.289	0.302	0.300	0.011
C03	0.263	0.291	0.310	0.288	0.024
C04	0.254	0.272	0.271	0.266	0.010
C05	0.246	0.259	0.258	0.254	0.007
C06	0.226	0.201	0.239	0.222	0.019
C07	0.327	0.278	0.307	0.304	0.025
C08	0.357	0.335	0.343	0.345	0.011
C09	0.353	0.337	0.358	0.349	0.011
C10	0.226	0.259	0.297	0.261	0.035
C11	0.335	0.332	0.302	0.323	0.018
C12	0.278	0.293	0.314	0.295	0.018
C13	0.340	0.247	0.278	0.288	0.048
C14	0.357	0.362	0.362	0.360	0.003
C15	0.316	0.577	0.301	0.398	0.155
C16	0.273	0.279	0.275	0.276	0.003
C17	0.281	0.268	0.282	0.277	0.008
C18	0.294	0.291	0.302	0.296	0.006
C19	0.257	0.280	0.257	0.265	0.013
C20	0.290	0.307	0.284	0.294	0.012
C21	0.352	0.346	0.368	0.355	0.012
C22	0.253	0.306	0.310	0.290	0.032
C23	0.324	0.331	0.330	0.328	0.004
C24	0.296	0.344	0.346	0.329	0.028
C25	0.224	0.235	0.234	0.231	0.006
C26	0.246	0.260	0.268	0.258	0.011
C27	0.287	0.260	0.252	0.266	0.019
C28	0.255	0.293	0.239	0.262	0.028
C29	0.271	0.271	0.280	0.274	0.006
C30	0.253	0.281	0.292	0.275	0.020
C31	0.273	0.308	0.258	0.280	0.026
C32	0.251	0.294	0.257	0.267	0.023
C33	0.319	0.253	0.450	0.341	0.100
C34	0.264	0.386	0.263	0.304	0.071
C35	0.230	0.241	0.285	0.252	0.029
C36	0.281	0.290	0.265	0.279	0.013
C37	0.336	0.345	0.355	0.345	0.010
C38	0.326	0.352	0.369	0.349	0.022
C39	0.261	0.288	0.280	0.276	0.014
평균	0.287	0.301	0.298	0.295	0.023
표준편차	0.040	0.060	0.045	0.039	0.029

2-3-2) T_2^* values of second measurement

(msec)

정상홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
A01	0.188	0.177	0.164	0.177	0.012
A02	0.194	0.200	0.205	0.200	0.006
A03	0.212	0.205	0.198	0.205	0.007
A04	0.199	0.197	0.176	0.191	0.013
A05	0.193	0.212	0.179	0.194	0.017
A06	0.212	0.199	0.201	0.204	0.007
A07	0.201	0.182	0.181	0.188	0.012
A08	0.177	0.197	0.177	0.183	0.012
A09	0.179	0.156	0.174	0.170	0.012
A10	0.192	0.169	0.198	0.186	0.015
A11	0.217	0.214	0.218	0.216	0.002
A12	0.209	0.198	0.181	0.196	0.014
A13	0.224	0.196	0.218	0.212	0.015
A14	0.164	0.179	0.155	0.166	0.012
A15	0.203	0.189	0.178	0.190	0.013
A16	0.175	0.160	0.164	0.166	0.008
A17	0.217	0.219	0.212	0.216	0.003
A18	0.201	0.163	0.211	0.192	0.025
A19	0.232	0.211	0.208	0.217	0.013
A20	0.216	0.196	0.213	0.209	0.011
A21	0.213	0.187	0.215	0.205	0.016
A22	0.183	0.170	0.172	0.175	0.007
A23	0.201	0.187	0.175	0.188	0.013
A24	0.201	0.181	0.175	0.186	0.014
A25	0.225	0.207	0.191	0.207	0.017
A26	0.194	0.192	0.172	0.186	0.012
A27	0.232	0.219	0.211	0.221	0.011
A28	0.168	0.170	0.166	0.168	0.002
A29	0.202	0.165	0.211	0.193	0.024
A30	0.179	0.199	0.179	0.186	0.012
평균	0.200	0.190	0.189	0.193	0.012
표준편차	0.018	0.018	0.019	0.016	0.005

중간홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
B01	0.187	0.194	0.191	0.191	0.004
B02	0.167	0.166	0.167	0.166	0.001
B03	0.175	0.170	0.172	0.172	0.003
B04	0.192	0.184	0.211	0.196	0.014
B05	0.177	0.187	0.197	0.187	0.010
B06	0.146	0.163	0.178	0.162	0.016
B07	0.181	0.192	0.174	0.183	0.009
B08	0.139	0.148	0.150	0.146	0.006
B09	0.163	0.176	0.161	0.167	0.008
B10	0.166	0.161	0.161	0.163	0.003
평균	0.170	0.174	0.176	0.173	0.007
표준편차	0.017	0.015	0.019	0.016	0.005

불량홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
C01	0.181	0.171	0.180	0.177	0.005
C02	0.164	0.165	0.152	0.160	0.007
C03	0.155	0.154	0.157	0.156	0.002
C04	0.143	0.151	0.143	0.146	0.004
C05	0.161	0.167	0.174	0.167	0.007
C06	0.101	0.108	0.101	0.104	0.004
C07	0.159	0.155	0.162	0.159	0.004
C08	0.204	0.178	0.208	0.196	0.016
C09	0.176	0.169	0.171	0.172	0.004
C10	0.120	0.109	0.121	0.117	0.007
C11	0.182	0.172	0.187	0.181	0.007
C12	0.156	0.155	0.155	0.156	0.001
C13	0.134	0.149	0.139	0.141	0.008
C14	0.216	0.197	0.194	0.202	0.012
C15	0.136	0.135	0.121	0.130	0.008
C16	0.168	0.175	0.163	0.169	0.006
C17	0.185	0.164	0.190	0.180	0.014
C18	0.184	0.174	0.189	0.182	0.008
C19	0.137	0.150	0.133	0.140	0.009
C20	0.169	0.163	0.163	0.165	0.004
C21	0.218	0.202	0.215	0.212	0.009
C22	0.143	0.144	0.147	0.145	0.003
C23	0.216	0.217	0.224	0.219	0.004
C24	0.149	0.135	0.148	0.144	0.008
C25	0.122	0.121	0.124	0.122	0.002
C26	0.139	0.148	0.148	0.145	0.005
C27	0.139	0.138	0.145	0.141	0.003
C28	0.134	0.133	0.134	0.133	0.001
C29	0.157	0.157	0.159	0.158	0.001
C30	0.133	0.121	0.136	0.130	0.008
C31	0.154	0.143	0.160	0.153	0.009
C32	0.150	0.151	0.148	0.149	0.002
C33	0.135	0.116	0.145	0.132	0.015
C34	0.102	0.108	0.096	0.102	0.006
C35	0.154	0.156	0.156	0.155	0.001
C36	0.143	0.156	0.164	0.154	0.011
C37	0.195	0.170	0.199	0.188	0.016
C38	0.167	0.169	0.158	0.165	0.006
C39	0.135	0.140	0.144	0.140	0.005
평균	0.157	0.153	0.158	0.156	0.006
표준편차	0.029	0.025	0.029	0.027	0.004

2-4-1) FID ratio(at 2.4) of first measurement

(fraction)

정상흡삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
A01	0.157	0.148	0.154	0.153	0.005
A02	0.151	0.154	0.147	0.151	0.003
A03	0.157	0.157	0.158	0.158	0.001
A04	0.146	0.147	0.148	0.147	0.001
A05	0.148	0.144	0.148	0.147	0.003
A06	0.149	0.151	0.148	0.149	0.001
A07	0.166	0.163	0.164	0.164	0.001
A08	0.150	0.144	0.144	0.146	0.004
A09	0.162	0.169	0.158	0.163	0.006
A10	0.149	0.151	0.153	0.151	0.002
A11	0.140	0.137	0.135	0.137	0.002
A12	0.150	0.153	0.152	0.152	0.001
A13	0.141	0.141	0.140	0.141	0.001
A14	0.171	0.165	0.169	0.168	0.003
A15	0.145	0.152	0.146	0.148	0.004
A16	0.161	0.155	0.159	0.158	0.003
A17	0.140	0.141	0.139	0.140	0.001
A18	0.147	0.148	0.145	0.147	0.001
A19	0.142	0.144	0.141	0.142	0.002
A20	0.149	0.144	0.147	0.146	0.003
A21	0.145	0.143	0.143	0.144	0.001
A22	0.165	0.163	0.164	0.164	0.001
A23	0.155	0.153	0.153	0.154	0.001
A24	0.159	0.151	0.153	0.154	0.004
A25	0.143	0.148	0.141	0.144	0.004
A26	0.148	0.148	0.147	0.148	0.000
A27	0.137	0.134	0.135	0.135	0.002
A28	0.156	0.154	0.159	0.156	0.002
A29	0.154	0.150	0.154	0.153	0.002
A30	0.150	0.156	0.148	0.151	0.004
평균	0.151	0.150	0.150	0.150	0.002
표준편차	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001

중간흡삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
B01	0.149	0.155	0.150	0.151	0.003
B02	0.169	0.170	0.177	0.172	0.004
B03	0.156	0.160	0.157	0.158	0.002
B04	0.152	0.151	0.144	0.149	0.004
B05	0.147	0.149	0.169	0.155	0.012
B06	0.169	0.166	0.153	0.163	0.008
B07	0.155	0.154	0.157	0.155	0.002
B08	0.182	0.180	0.177	0.180	0.002
B09	0.157	0.160	0.156	0.157	0.002
B10	0.167	0.169	0.160	0.165	0.005
평균	0.160	0.161	0.160	0.161	0.005
표준편차	0.011	0.010	0.011	0.010	0.003

불량홍삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
C01	0.164	0.158	0.164	0.162	0.004
C02	0.168	0.173	0.164	0.168	0.005
C03	0.171	0.177	0.170	0.173	0.004
C04	0.196	0.198	0.186	0.193	0.007
C05	0.164	0.173	0.166	0.168	0.005
C06	0.213	0.224	0.212	0.216	0.006
C07	0.176	0.178	0.175	0.176	0.001
C08	0.161	0.161	0.161	0.161	0.000
C09	0.165	0.162	0.162	0.163	0.001
C10	0.208	0.196	0.194	0.200	0.008
C11	0.169	0.168	0.172	0.170	0.002
C12	0.170	0.168	0.161	0.166	0.005
C13	0.188	0.197	0.182	0.189	0.008
C14	0.147	0.151	0.150	0.149	0.002
C15	0.225	0.224	0.210	0.220	0.008
C16	0.167	0.169	0.169	0.168	0.001
C17	0.153	0.152	0.156	0.154	0.002
C18	0.160	0.158	0.159	0.159	0.001
C19	0.167	0.172	0.175	0.171	0.004
C20	0.158	0.163	0.165	0.162	0.003
C21	0.157	0.151	0.149	0.152	0.004
C22	0.185	0.189	0.189	0.187	0.003
C23	0.141	0.144	0.140	0.142	0.002
C24	0.197	0.202	0.194	0.198	0.004
C25	0.187	0.178	0.189	0.185	0.006
C26	0.194	0.193	0.187	0.192	0.004
C27	0.197	0.200	0.184	0.194	0.009
C28	0.187	0.185	0.190	0.188	0.002
C29	0.165	0.173	0.169	0.169	0.004
C30	0.199	0.202	0.195	0.199	0.004
C31	0.171	0.171	0.177	0.173	0.004
C32	0.177	0.180	0.187	0.181	0.005
C33	0.231	0.213	0.226	0.223	0.010
C34	0.225	0.224	0.234	0.228	0.005
C35	0.171	0.172	0.177	0.173	0.003
C36	0.185	0.182	0.183	0.183	0.002
C37	0.155	0.158	0.156	0.156	0.002
C38	0.170	0.168	0.174	0.170	0.003
C39	0.192	0.194	0.192	0.193	0.001
평균	0.179	0.180	0.178	0.179	0.004
표준편차	0.022	0.021	0.020	0.021	0.002

2-4-2) FID ratio(at 2.4) of second measurement

(fraction)

정상흡삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
A01	0.160	0.164	0.162	0.162	0.002
A02	0.156	0.152	0.152	0.153	0.002
A03	0.151	0.155	0.158	0.155	0.004
A04	0.152	0.153	0.159	0.155	0.004
A05	0.153	0.150	0.152	0.152	0.002
A06	0.147	0.150	0.146	0.148	0.002
A07	0.162	0.161	0.159	0.161	0.001
A08	0.150	0.152	0.153	0.152	0.001
A09	0.173	0.175	0.164	0.171	0.006
A10	0.154	0.160	0.152	0.155	0.004
A11	0.141	0.141	0.138	0.140	0.002
A12	0.148	0.151	0.154	0.151	0.003
A13	0.142	0.143	0.140	0.141	0.002
A14	0.169	0.172	0.167	0.169	0.002
A15	0.152	0.154	0.153	0.153	0.001
A16	0.168	0.177	0.173	0.173	0.004
A17	0.146	0.141	0.140	0.142	0.003
A18	0.156	0.165	0.157	0.159	0.005
A19	0.147	0.144	0.147	0.146	0.002
A20	0.149	0.150	0.145	0.148	0.003
A21	0.148	0.150	0.147	0.148	0.001
A22	0.158	0.164	0.164	0.162	0.004
A23	0.152	0.154	0.156	0.154	0.002
A24	0.160	0.161	0.163	0.161	0.002
A25	0.146	0.146	0.145	0.145	0.001
A26	0.149	0.151	0.153	0.151	0.002
A27	0.138	0.140	0.138	0.139	0.001
A28	0.163	0.161	0.163	0.162	0.001
A29	0.161	0.170	0.157	0.163	0.006
A30	0.157	0.153	0.156	0.155	0.002
평균	0.154	0.155	0.154	0.154	0.003
표준편차	0.008	0.010	0.009	0.009	0.001

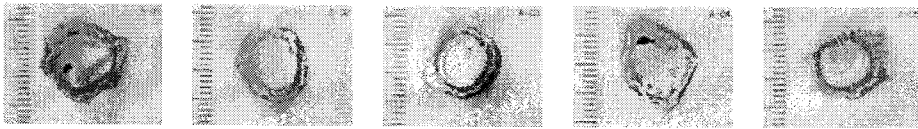
중간흡삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
B01	0.158	0.155	0.159	0.157	0.002
B02	0.174	0.176	0.173	0.174	0.002
B03	0.162	0.159	0.159	0.160	0.001
B04	0.157	0.161	0.150	0.156	0.005
B05	0.152	0.151	0.149	0.151	0.002
B06	0.181	0.171	0.172	0.175	0.005
B07	0.158	0.152	0.155	0.155	0.003
B08	0.179	0.187	0.180	0.182	0.005
B09	0.165	0.157	0.164	0.162	0.004
B10	0.168	0.167	0.165	0.167	0.001
평균	0.165	0.164	0.163	0.164	0.003
표준편차	0.010	0.012	0.010	0.010	0.002

불량항삼	1st	2nd	3rd	평균	표준편차
C01	0.157	0.157	0.157	0.157	0.000
C02	0.177	0.176	0.176	0.176	0.001
C03	0.170	0.174	0.175	0.173	0.003
C04	0.194	0.189	0.193	0.192	0.003
C05	0.174	0.171	0.169	0.171	0.003
C06	0.222	0.221	0.226	0.223	0.003
C07	0.169	0.172	0.173	0.172	0.002
C08	0.161	0.157	0.154	0.157	0.004
C09	0.171	0.169	0.167	0.169	0.002
C10	0.191	0.207	0.197	0.198	0.008
C11	0.164	0.168	0.162	0.165	0.003
C12	0.171	0.167	0.173	0.170	0.003
C13	0.190	0.182	0.195	0.189	0.006
C14	0.151	0.146	0.148	0.148	0.003
C15	0.211	0.213	0.210	0.211	0.001
C16	0.173	0.170	0.170	0.171	0.002
C17	0.156	0.153	0.153	0.154	0.002
C18	0.157	0.158	0.157	0.157	0.000
C19	0.194	0.172	0.195	0.187	0.013
C20	0.162	0.164	0.166	0.164	0.002
C21	0.147	0.152	0.154	0.151	0.004
C22	0.199	0.189	0.190	0.193	0.006
C23	0.147	0.145	0.146	0.146	0.001
C24	0.193	0.190	0.191	0.191	0.001
C25	0.185	0.187	0.178	0.183	0.005
C26	0.189	0.185	0.187	0.187	0.002
C27	0.200	0.192	0.194	0.195	0.004
C28	0.184	0.182	0.189	0.185	0.004
C29	0.169	0.169	0.170	0.170	0.001
C30	0.199	0.203	0.204	0.202	0.002
C31	0.173	0.177	0.175	0.175	0.002
C32	0.177	0.174	0.182	0.178	0.004
C33	0.221	0.233	0.212	0.222	0.010
C34	0.250	0.232	0.245	0.242	0.010
C35	0.171	0.173	0.179	0.174	0.004
C36	0.181	0.176	0.183	0.180	0.004
C37	0.157	0.164	0.154	0.159	0.005
C38	0.179	0.178	0.174	0.177	0.003
C39	0.188	0.199	0.195	0.194	0.005
평균	0.180	0.179	0.180	0.180	0.004
표준편차	0.022	0.021	0.022	0.021	0.003

3. 홍삼 단면 사진

3-1) 뇌두 제거 후 단면 사진(1차 NMR 측정)

정상홍삼



A-01

A-02

A-03

A-04

A-05



A-06

A-07

A-08

A-09

A-10



A-11

A-12

A-13

A-14

A-15



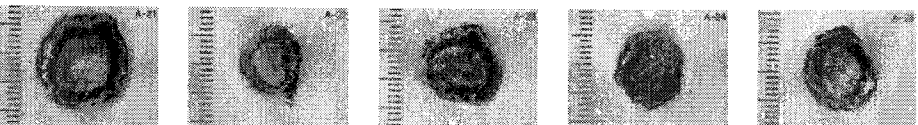
A-16

A-17

A-18

A-19

A-20



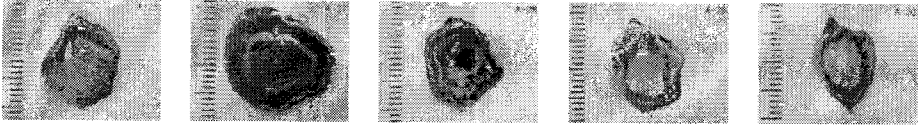
A-21

A-22

A-23

A-24

A-25



A-26

A-27

A-28

A-29

A-30

중간홍삼



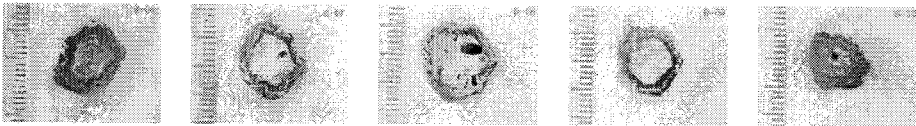
B-01

B-02

B-03

B-04

B-05



B-06

B-07

B-08

B-09

B-10

불량홍삼



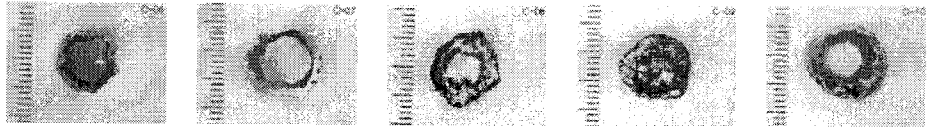
C-01

C-02

C-03

C-04

C-05



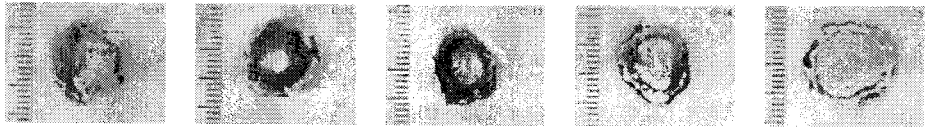
C-06

C-07

C-08

C-09

C-10



C-11

C-12

C-13

C-14

C-15



C-16

C-17

C-18

C-19

C-20



C-21

C-22

C-23

C-24

C-25



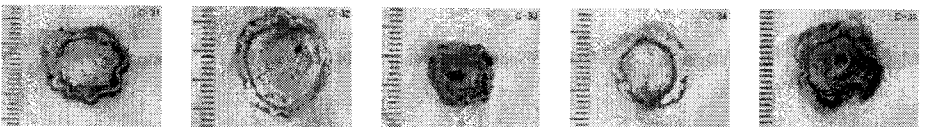
C-26

C-27

C-28

C-29

C-30



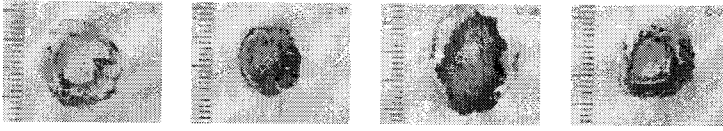
C-31

C-32

C-33

C-34

C-35



C-36

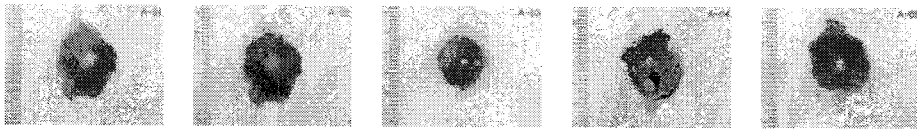
C-37

C-38

C-39

3-2) 뇌두하단부(10~15 mm)제거 후 단면 사진(2차 NMR 측정)

정상홍삼



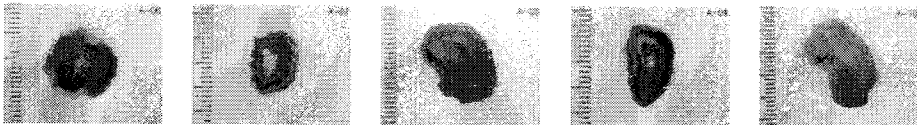
A-01

A-02

A-03

A-04

A-05



A-06

A-07

A-08

A-09

A-10



A-11

A-12

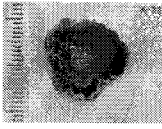
A-13

A-14

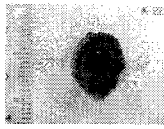
A-15



A-16



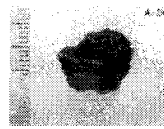
A-17



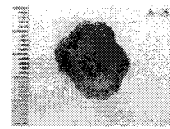
A-18



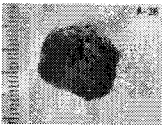
A-19



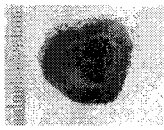
A-20



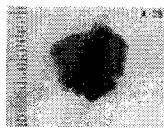
A-21



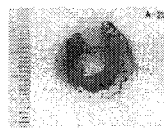
A-22



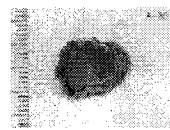
A-23



A-24



A-25



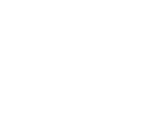
A-26



A-27



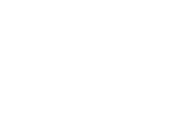
A-28



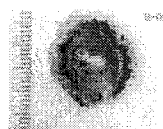
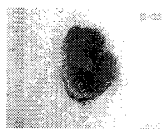
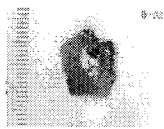
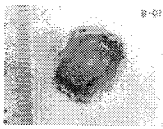
A-29



A-30



중간홍삼



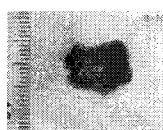
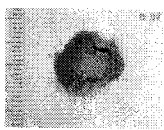
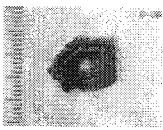
B-01

B-02

B-03

B-04

B-05



B-06

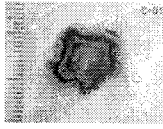
B-07

B-08

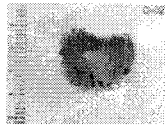
B-09

B-10

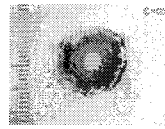
불량홍삼



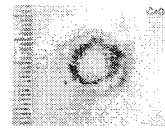
C-01



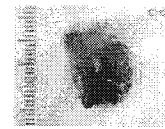
C-02



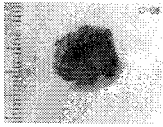
C-03



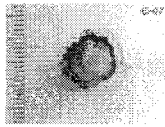
C-04



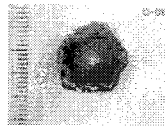
C-05



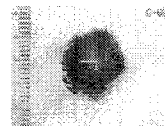
C-06



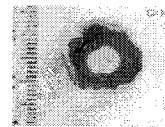
C-07



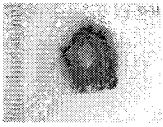
C-08



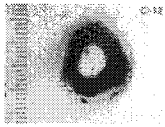
C-09



C-10



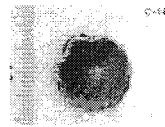
C-11



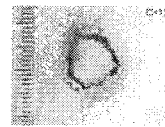
C-12



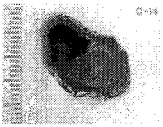
C-13



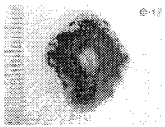
C-14



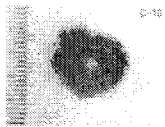
C-15



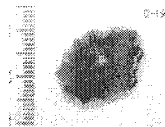
C-16



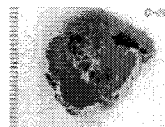
C-17



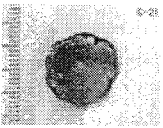
C-18



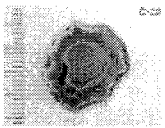
C-19



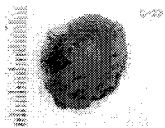
C-20



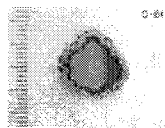
C-21



C-22



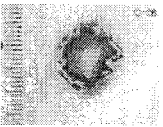
C-23



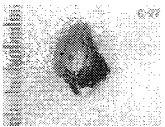
C-24



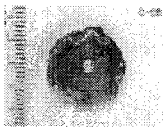
C-25



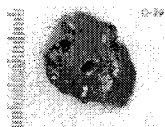
C-26



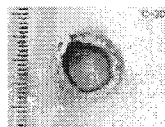
C-27



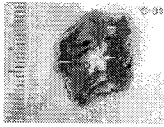
C-28



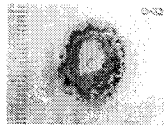
C-29



C-30



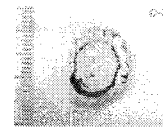
C-31



C-32



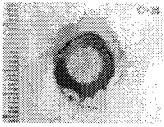
C-33



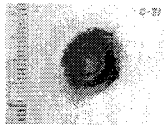
C-34



C-35



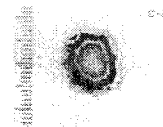
C-36



C-37



C-38



C-39