

초음파 응답특성 분석에 의한 위장  
경화 진단 시스템에 관한 연구

연세대학교 대학원

의 공 학 과

김 은 근

초음파 응답특성 분석에 의한 위장  
경화 진단 시스템에 관한 연구

지도 윤 형 로 교수  
신 태 민 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2007년 6월 일

연세대학교 대학원

의 공 학 과

김 은 근

김은근의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

연세대학교 대학원

2007년 6월 일

## 감사의 글

항상 한결같은 가르침을 주시고 따뜻한 격려와 바른 길을 제시해 주신 신태민 교수님께 진심으로 감사드립니다. 부족한 저의 논문을 세심히 살피시고 지도해주신 윤형로 교수님과 서종범 교수님께 깊이 감사드립니다. 자상한 지도로 본 논문의 실험을 이끌어 주신 김한성 교수님, 임도형 교수님께 감사드립니다. 그리고 제가 나아가야 할 길을 인도해주시고 힘써주신 이용흠 교수님께 감사드립니다. 6년간의 학업을 통해 많은 가르침을 주신 이운선 교수님, 김동윤 교수님, 이경중 교수님, 김영호 교수님, 윤영로 교수님, 김법민 교수님, 김경환 교수님, 정병조 교수님, 김지현 교수님, 이상우 교수님, 임창환 교수님께 감사드립니다.

2년간의 대학원 생활동안 부족한 저에게 많은 도움을 주신 태균이형, 기훈이형, 균정이형, 덕현이형, 동하형, 봉근이형에게 감사드리며, 학부 동기이지만 대학원 선배로써 힘든 대학원 시절에 많은 도움을 준 진욱이, 용현이, 후배지만 대학원 선배인 선영이에게도 고마움을 전합니다. 연구실에 같이 들어와 어려움을 함께하고 같이 고생한 동기 현학이, 짧은 시간의 막내였지만 지금은 미국에서 꿈을 실현하고 있는 재우형에게도 고마움을 전합니다. 지금 막내로써 고생하고 있는 동국이, 재원이에게는 대학원에서 자신이 이루고자 하는 일들을 성취하여 좋은 결과가 있길 기원합니다. 그리고 같이 대학원에 들어와 고생한 승환이, 동희, 진수, 재영이형, 집민이, 용주에게도 앞으로 많은 행복이 있기를 기원합니다.

비록 같은 연구실은 아니지만 대학원 생활동안 학문적이고 인간적으로 많은 도움을 주신 승진이형, 호동이형, 성필이형, 광석이형, 상원이형, 승관이형, 창용이형, 자현누나, 정훈이, 미혜, 효기, 연식이, 현석이, 창근이, 원필이, 두희에게도 고마움을 전하며 그 외 대학원 분들에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 약간은 무미건조할 수 있는 대학원 시절에 농구 소모임을 함께 하며 정든 인철이형, 성필이형, 대곤이형, 성빈이형, 승덕이형, 진호, 성재, 범석이, 성식이, 주환이에게도 고마움을 전합니다. 저의 대학원 연구에 있어서 여러 가지 도움을 주신 RRC/TIC 분들에게도 감사드립니다.

대학원 생활에 있어서 항상 나를 격려해주고 외롭지 않도록 함께 해준 친구들 진호, 윤희, 정란이, 수정이, 영주에게도 항상 좋은 일이 함께하길 기원하며 항상 바른 말씀해주시고 정신적으로 큰 의지가 된 한샘이형에게도 진심으로 감사드립니다. 아울러 제 2의 고향인 원주에서 생활하며 저와 인연을 맺은 모든 분들께 고마움을 전합니다. 제가 대학원에 진학하게 된 것을 신기하게 여기며 대학생활 함께 풍류를 즐기던 멋진 대학 친구들 유승이, 희준이, 지상이, 세영이형, 왕민이, 세훈이, 지윤이, 기용이, 철호, 종민이, 귀철이, 승현이, 성열이, 은주, 상구, 정민이, 미선이, 수현이에게도 항상 축복이 있길 바라며 대학생활을 함께한 98동기들 및 선, 후배들에게도 행복한 미래가 있기를 기원합니다. 그리고 휴학시절 저를 육체적으로, 그리고 정신적으로 강인하게 키워주시고 많은 가르침을 주신 인생의 선배님이자 사부이신 변관철 관장님께도 진심으로 감사의 말씀드립니다.

고교시절 함께 했던 친구들 진섭이, 우석이, 민수, 치훈이, 정모, 승현이, 영배, 성년이, 중석이, 태진이에게도 고마움을 전하며 서로의 발전을 위해 끊임없이 노력하는 우용이, 현우, 준형이, 태영이에게도 앞날에 빛나는 행복이 가득하길 바랍니다.

본 논문을 진행하면서 많은 업무에도 불구하고 배려를 아끼지 않으셨던 허영박사님, 함께 동고 동락하고있는 전성채 박사님, 진승오 선임, 마미연씨, 박미경씨, 함께 일하는 학생들과 우리 한국 전기 연구원 식구들에게도 진심으로 감사의 말씀 전합니다.

집안의 장손이자 장남으로써 저를 항상 지켜봐주셨던 - 지금은 하늘에 계신 할머니, 할아버지께 감사드리며 어릴 적부터 저를 키워주신 외할머니께 진심으로 감사드립니다. 그리고 내 사랑하는 사촌동생들과 어린 시절 함께한 외사촌들, 친척분들께도 축복이 있길 기원합니다.

마지막으로 지금은 호주에서 외로이 유학생생활을 하고 있는 동생 우람이와 말썽부리고 애먹이던 저희 형제를 누구보다 믿어주시고 사랑해주신 저희 아버지, 어머니께 너무나 부족하지만 사랑한다는 말을 꼭 전하고 싶습니다. 많은 분들의 도움으로 이렇게 완성된 결실을 여러분들께 바치며 앞으로 사회에서도 부끄럽지 않고 당당히 살아갈 것을 다짐합니다.

2007년 녹음이 푸르른 여름날에...

김 은 근 드림

# 차 례

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 그림 차례                        | iii |
| 표 차례                         | iv  |
| 국문 요약                        | v   |
| 제1장 서론                       | 1   |
| 제2장 이론적 배경                   | 4   |
| 2.1. 기능성 위장장애                | 4   |
| 2.1.1. 기능성 위장장애의 정의          | 4   |
| 2.1.2. 발병기전                  | 5   |
| 2.1.3. 치료                    | 8   |
| 2.2. 한의학에서의 기능성 위장 장애        | 9   |
| 2.3. 의료용 초음파 진단의 원리          | 11  |
| 2.3.1. 초음파 에너지               | 11  |
| 2.3.2. 초음파의 전달 속도            | 13  |
| 2.3.3. 초음파의 반사와 굴절           | 17  |
| 제3장 영상진단 장비를 이용한 위장 관찰       | 20  |
| 3.1. 초음파 영상 진단 장비를 이용한 위장 관찰 | 20  |
| 3.2. 64채널 CT를 이용한 위장 관찰      | 21  |
| 제4장 하드웨어 및 시스템 구성            | 22  |
| 4.1. 전체 시스템 구성               | 22  |
| 4.2. 하드웨어 구성                 | 23  |
| 4.2.1. 초음파 진동자               | 24  |
| 4.2.2. 신호 발생 장치              | 25  |
| 4.2.3. 저잡음 증폭부와 대역통과 필터      | 26  |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 4.2.4. 시간에 따른 가변 이득 증폭기 | 27 |
| 4.2.5. 제어부              | 28 |
| 4.3. 시스템 펌웨어            | 29 |
| 4.4. 데이터 획득 및 처리        | 33 |
| 제5장 실험 및 결과             | 34 |
| 5.1. 시편실험을 통한 시스템 검증    | 34 |
| 5.1.1 시편준비              | 34 |
| 5.1.2 압축 실험과 분석         | 35 |
| 5.1.3. 팬텀 실험과 분석        | 37 |
| 5.2. 임상 실험              | 40 |
| 제6장 결론 및 고찰             | 43 |
| 참고문헌                    | 45 |
| ABSTRACT                | 49 |

## 그림 차례

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 그림 2.1 위장 위벽의 구조                      | 9  |
| 그림 2.2 정상인의 위벽과 기능성 위장장애 환자의 위벽       | 10 |
| 그림 2.3 초음파 반사 신호와 입사각의 반사 신호 형태 비교    | 17 |
| 그림 2.4 음파의 반사와 굴절                     | 18 |
| 그림 3.1 위 정전부의 초음파 영상                  | 20 |
| 그림 3.2 위체 상부의 초음파 영상                  | 20 |
| 그림 3.3 전면 촬영 영상                       | 21 |
| 그림 3.4 단면 촬영 영상                       | 21 |
| 그림 4.1 전체 시스템 블럭도                     | 22 |
| 그림 4.2 초음파 하드웨어 구성                    | 23 |
| 그림 4.3 제작된 초음파 진동자의 구성도               | 24 |
| 그림 4.4 신호 발생장치 회로도                    | 25 |
| 그림 4.5 증폭부와 필터부의 회로도                  | 25 |
| 그림 4.6 신호감쇠 보상을 위한 TGC                | 26 |
| 그림 4.7 CPLD(XC95108) 내부 구조            | 27 |
| 그림 4.8 CPLD 구현 알고리즘                   | 28 |
| 그림 4.9 CPLD 수행하는 루틴의 Timing Diagram   | 30 |
| 그림 4.10 CPLD로 구현한 하드웨어의 구조            | 31 |
| 그림 4.11 Labview 프로그래밍 데이터 분석 창        | 32 |
| 그림 5.1 Instron Microtest System과 시편   | 34 |
| 그림 5.2 초탄성 물질 모델의 응력-변형률 곡선           | 37 |
| 그림 5.3 정상시편과 경화된 시편의 초음파 응답 특성        | 38 |
| 그림 5.4 반사파의 최대 진폭에 대한 평균 및 표준편차       | 39 |
| 그림 5.5 개발된 장비를 이용한 환자의 복부에 대한 촉진 방법   | 40 |
| 그림 5.6 위장의 위치를 확인하기 위한 위체상부의 초음파 영상   | 41 |
| 그림 5.7 검출된 정상군과 환자군에 대한 대표적인 초음파 응답파형 | 41 |



## 표 차 례

|                           |           |    |
|---------------------------|-----------|----|
| 표 2.1 매질에 따른 초음파의 속도      | · · · · · | 15 |
| 표 2.2 생체조직의 부위별 경계면의 반사계수 | · · · · · | 19 |

## 국 문 요 약

### 초음파 응답특성 분석에 의한 위장 경화 진단 시스템에 관한 연구

현대인들은 불규칙한 식습관, 과도한 스트레스, 운동부족 등으로 명치끝이 답답하거나 음식이 잘 내려가지 않으며, 팽만감, 배변장애, 역류 등의 증상을 호소하는 기능성 위장 장애(functional gastrointestinal disorder)로 많은 고통을 받고 있다.

이러한 기능성 장애는 구조적, 생화학적인 원인보다 생리적인 기능 장애에 기인되므로, X-Ray 검사, 혈액검사나 내시경 검사와 같은 구조적, 생화학적 원인 규명을 위하여 개발된 기존의 진단 기술로는 기능성 위장 장애를 진단하는데 있어 한계점을 보이고 있다.

이러한 기능성 위장 장애에 대한 정확한 진단 기술의 부재로 인해 초기 치료에 있어서 어려움을 겪고 있으며, 이러한 현실은 환자의 상태를 만성 질환으로 악화시킬 수 있다. 따라서 기능성 위장 장애의 기전과 진단하는 방법에 대한 연구가 요구되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 한의학적인 가설에 바탕을 두어 기능성 위장 장애가 위장의 경화에 의해 발생한다고 가정하고 이러한 조직의 경화 현상을 객관적으로 측정하기 위해 초음파 센서를 이용하여 조직 간의 임피던스 차이에 따라 반사되는 신호를 분석해서 위장 부위의 경화를 진단하려고 한다. 설계된 초음파 위장 경화 진단 시스템은 펄스-에코법으로 인체 내부에서 반사되어 돌아오는 반사 신호의 진폭을 분석하고, 깊이에 따른 신호감쇠 보상을 위해 TGC를 사용하였으며 시편 실험을 통해 설계된 시스템의 성능을 검증받았다. 설계된 초음파 시스템을 이용하여 응답 신호를 분석한 결과 정상인과 기능성 위장장애를 앓고 있는 피검자에게 있어서

유의한 차이가 있다는 것이 확인 되었다. 반사 신호의 진폭이 정상인보다 기능성 위장장애 환자에게서 크게 나타났으며 이는 기능성 위장장애로 고통 받는 사람의 위장이 정상인보다 더 단단해 진다는 것을 의미한다.

본 연구에서는, 임상 실험을 통해 설계된 초음파 위장 경화 진단기의 신뢰성과 유효성을 확인할 수 있었으며, 경화도 진단에 있어서 초음파 진동자를 이용한 진단 기술을 개발하였다.

## 제 1장 서 론

현대인들은 불규칙한 식습관, 과도한 스트레스, 운동부족 등으로 명치끝이 답답하거나 음식이 잘 내려가지 않으며, 팽만감, 배변장애, 역류 등의 증상을 호소하는 기능성 위장 장애(functional gastrointestinal disorder)로 많은 고통을 받고 있다 [1]. 위장장애로 인해 종합병원을 찾는 환자의 2/3정도가 기능성 위장 장애 환자로 보고되고 있으며, 국내의 경우에는 최근에 한 대학병원 소화기내과 환자 14,700명 중에서 60%인 8,827명이 기능성 위장 장애 환자로 판명된 바 있다[2].

이들 환자들은 가슴이 답답하고 소화가 잘 되지 않으며, 가스가 차고, 자주 체하고, 편두통이나 오심, 구역감, 전신 피로, 안구 통증, 건망증, 치매 등의 전신적인 증상을 호소하고 있다. 이에 대하여 현대의학에서는 이러한 만성 위장 질환을 검사하기 위해 위 조영 검사나 위 내시경 검사 등을 시행하고 있다. 그러나 내시경 검사는 단순히 위 내부의 상태만을 확인할 수 있고 위 외벽 및 장벽 세포의 변성 정도를 진단할 수 없어 위 내부의 염증만을 판별할 수 있는 정도의 소견만 나타나는 경우가 대부분이며 별다른 소견이 나타나지 않는 경우도 자주 발생하고 있어서 신경성, 기능성 위장질환 또는 과민성 대장 증후군으로 분류되고 있다. 또한 이러한 기능성 장애는 구조적, 생화학적 원인보다 생리적인 기능 장애에 기인되므로[3, 4], X-Ray 검사, 혈액검사나 내시경 검사와 같은 구조적, 생화학적 원인 규명을 위하여 개발된 기존의 진단 기술로는 기능성 위장 장애를 진단하는데 있어 한계점을 보이고 있다. 이에 대한 치료 방법 또한 증상 완화를 위한 제산제나 위 점막 보호제, 소화제 등의 약물 치료에 의존하고 있으나, 그 원인 규명이 불분명하여 어떠한 치료가 효과적인지를 판단하는데 애로점이 많다[5,6]. 기능성 위장 장애에 대한 정확한 진단 기술의 부재로 인해 초기 치료에 있어서 어려움을 겪고 있으며, 이러한 현실은 환자의 상태를 만성 질환으로 악화시킬 수 있다. 따라서 기능성 위장 장애의 기전과 진단하는 방법에 대한 연구가 요구되고 있는 실정이다.

한의학적인 관점에서 기능성 위장장애는 인체에 해로운 노폐물에 의한 독소가 위 외벽에 쌓여서 위장을 경화를 유발하여 위장의 운동기능을 저해시킨다는 가설에 의해 설명될 수 있다. 기능성 위장장애의 증상은 과식과 불규칙한 식습관, 급식 등으로 인해 인체의 신진대사가 원활하지 못할 경우, 음식물의 소화 장애로 인해 복부 중앙에 생기는 적취(積聚)의 형태로 나타난다. 한의학에서 적취(積聚)는 “음식을 먹어서 체한 것이 배속에 오랫동안 쌓여 단단해지는 것”으로써 이러한 적취를 진단하는 일반적인 방법으로 한의사가 손으로 두드려 미세한 음향 차로 진단하는 타진법과 견고한 덩어리의 형태를 누름으로서 경화된 정도를 진단하는 촉진법이 있다. 그러나 아직까지 적취 현상을 객관적이고 정량적으로 증명할 수 있는 방법의 연구가 진행되지 않고 있으며 특정 전문의에 의해서만 진단이 이루어지고 있기 때문에 주관적 해석에만 의존하고 있다.

최근에는 실험용 쥐를 이용하여 음식물을 강제로 섭취시킴으로써 스트레스와 과식이 위의 경화에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되고 있다. 실제 실험에서 위장의 인장력 실험을 한 결과, 과식을 하거나 강제로 음식을 먹인 쥐의 경우에 적당량의 음식을 섭취한 쥐의 위장보다 단단해 진다는 사실을 확인할 수 있다[7]. 이러한 결과는 기능성 위장 장애가 위장의 경화에 의해 유발된다는 근거를 제시해 준다.

본 논문에서는 한의학적인 가설에 바탕을 두어 기능성 위장 장애가 위장의 경화에 의해 발생한다고 가정하고 이러한 조직의 경화 현상을 객관적으로 측정하기 위해 초음파 센서를 이용하여 조직 간의 임피던스 차이에 따라 반사되는 신호를 분석해서 위장 부위의 경화를 진단하려고 한다.

초음파는 음압(Acoustic pressure)의 형태로 생체조직에 인가되는 기계적 에너지로서, 현재 치료, 수술, 진단을 위하여 광범위하게 사용되고 있다[8]. 치료용 초음파는 1~3W/cm<sup>2</sup>의 강도를 가지며 생체조직에 상당한 양의 열을 발생시켜 근육의 경련과 통증을 감소시키고, 운동성을 증가시킨다. 수술용 초음파는 5~300W/cm<sup>2</sup>의 보다 높은 강도를 가지며, 백내장과 같은 병변 조직을 제거하는데 사용되고 있다. 또한 진단용 초음파는 다른 용도의 초음파보다 매우 낮은 1~50mW/cm<sup>2</sup>의 강도를 가지며 비침습적으로 생체내의 장기, 태아의 발육상태, 말초

혈액순환 등을 영상화하여 치료를 위한 보조수단으로서 이용되고 있다. 이때 생체 조직의 영상화를 위해 사용되는 초음파는 매우 낮은 강도를 가지므로, 비열 (Non-thermal)적이고 비파괴(Non-destruct)적인 특성을 가진다[9]. 최근 이러한 초음파의 특성들을 이용하여 다양한 임상 영역에서 치료용, 수술용, 진단용 초음파들이 개발되고 있으며, 그 효용성은 실제 임상 실험을 통하여 충분히 입증되고 있다 [10]. 이러한 사실들은 초음파를 이용한 기능성 위장장애 진단을 위한 의료기기 개발에 대한 도전과 그 가능성을 제시하여 준다.

최근 본 연구진에 의해 확인된 연구 결과에서, 복부 타진 및 촉진 시 기능성 위장장애 환자의 대다수가 정상인과 달리 위장벽이 단단하게 경화되는 특성을 나타내고 있는 것으로 확인되었다[11]. 따라서 본 연구는 초음파 응답특성 분석 기술을 기반으로 기능성 위장장애 환자의 위장 부위에서의 경화도(Rigidity)에 따른 특성을 정량화할 수 있는 진단기기를 개발하고자 하였다. 또한, 정상 모델과 경화 모델에 대한 기초 실험 및 임상실험을 통하여, 본 연구에서 개발한 기능성 위장 장애 진단기기가 실제 임상에서 효과적으로 이용 될 수 있을지에 대한 가능성을 확인하고자 하였다.

## 제 2장 이론적 배경

### 2.1 기능성 위장 장애

#### 2.1.1 기능성 위장장애의 정의

기능성 위장장애(functional gastrointestinal disorder)란 조직 병리적 및 생화학적 이상에 의한 기질적(organic) 병변이 아닌 기능적(functional) 소화불량을 말한다. 흔히 우리나라에서는 음식을 섭취하고 대변이 무르거나 설사를 할 경우에 소화 안된다고 한다. 그러나 의학적으로는 지속적이거나 반복적으로 상복부에 국한된 불편감이나 통증 등에 따르는 제반증상을 소화 불량(dyspepsia)이라고 하며, 여러 가지 증상이 포함된 질환으로써 한 가지 원인이나 병인으로 설명될 수 없는 복합적인 질환을 총칭한다. 위장 질환 환자 중에서 기질적 병변이 아닌 경우에 예전부터 여러 가지 어휘로 불리어 지고 있었으나 구미 지역에서는 소화성 궤양 증상을 호소하는 환자 중에서 내시경 검사 또는 방사선 검사상 궤양 소견이 없는 환자가 주종을 이루기 때문에 비궤양성 위장장애라는 어휘를 많이 쓰게 되었다. 그러나 기질적 병변이 아닌 소화불량 환자에서 궤양 증상 뿐 아니라 위식도 역류 증상 또는 상부위장관 운동 이상에 의한 증상을 나타내는 환자도 많기 때문에 비궤양성 소화불량이라는 어휘보다는 전체를 통칭할 수 있으며 기질적이라는 말에 대칭되는 기능성 위장장애가 점차 널리 사용되고 있다. 소화불량의 증상이 매우 다양하고 정도 또한 차이가 많을뿐더러 사람마다 표현하는 것이 다르다. 대표적인 소화불량의 증상으로는 식후 만복감, 식후 포만감, 식후 불편감(postprandial fullness or discomfort), 상복부 팽만감(epigastric bloating), 상복부 이물감, 상복부 종괴감(epigastric lump sensation), 조기만복감, 조기 포만감(early satiety), 구역, 오심(nausea), 구토(vomiting), 역류, 되새김(regurgitation), 트림(eructation or belching), 공복통(hunger pain), 식후 상복부 통증(postprandial epigastric pain), 가

슴쓰림, 가슴앓이(heartburn), 속쓰림(soreness), 식욕부진(anorexia) 등을 들 수 있다.

외국의 역학조사에 따르면 유병율이 약 20~30%에 달하며, 1년에 1%이상의 발생율을 나타내는 매우 흔한 질환이다[12]. 소화기계통의 질병이 많고, 특히 위장 질환의 발생빈도가 높은 우리나라에서는 대부분의 사람에게서 정도의 차이가 있겠지만 소화불량의 증상을 경험하리라고 추측된다. 최근 방사선 검사 및 내시경 검사 등에 의해 기질적 병변이 비교적 쉽고 간단하게 진단 가능하게 됨으로써 이러한 기질적 병변이 아닌 기능성 병변에 대한 관심이 고조되고 있다. 학자에 따라서 위장 질환의 어휘뿐 아니라 증상에 따른 아형 분류의 종류, 분류 기준 등에 아직 이견이 있으며, 병인도 다양하게 제시되고 있으나 어느 하나 정설이라기보다는 하나의 가설로 받아들여지고 있다. 기질적 병변을 배제한 증상에 따른 진단이기 때문에 진단기준에도 논란의 여지가 있으며, 치료 또한 증상의 완화목적을 위한 대증치료가 주종을 이루며 병인에 따른 원인적 치료는 연구단계에 불과하다.

### 2.1.2. 발병기전

기능성 소화불량의 발병기전은 아직까지 정확히 밝혀져 있지는 않으나, 여러 가지의 원인 인자가 제시되고 있다. 현재까지 제시된 중요한 인자들을 살펴보면 다음과 같다.

#### 헬리코박타 감염

1983년 Warren과 Marshall이 처음으로 인체에서 분리한 후 위염, 소화성 궤양을 비롯한 위장질환의 발생에 헬리코박타균 (*Helicobacter pylori*)이 관여된다고 알려져 있다. 기능성 소화불량환자의 상당수에서 헬리코박타와 동반된 위염 소견을 보이고, 헬리코박타를 박멸하면 위염의 정도가 호전되며 증상도 호전된다는 점 등으로 기능성 소화불량의 중요한 원인으로 지목되고 있다[13,14].

소화불량 증상이 헬리코박타와 관계가 있을것으로 생각하는 이유는 첫째, 헬리



코 박타의 급성 감염이 급성 소화불량을 일으키고 둘째, 기능성 소화불량환자에서 헬리코박타 감염이 많으며 셋째, 헬리코박타에 감염된 거의 모든 환자에서 만성활동성 위염을 일으키고 넷째, 소화성 궤양과 연관관계가 있다는 점이다[15]. 실제로 Marshall과 Morris등은 헬리코박타를 인위적으로 주입하여 소화불량이 발생함을 증명하였으며 과거에 바이러스성 위장염과 관계된 것으로 여겨졌던 증상과 유사하다는 보고도 있다. 많은 연구에서 기능성 소화불량증에서 헬리코박타 감염은 28%~87%로 정상 대조군에 비해 감염율이 높다는 보고가 많고 일부에서는 차이가 없다는 보고도 있다. Parsonnet등은 헬리코박타 감염과 비감염자에서 유사하게 증상이 나타나는 것으로 보고하여 소화불량증상과 헬리코박타와는 관계가 없다는 의견을 제시하였다. 이러한 성적을 평가하는 데 있어서 주의할 점은 대부분의 연구들이 대조군선정에 부적절했고 연령, 사회경제적 위치, 인종 등의 요소들을 감안하지 않았다는 점 등으로 결과의 해석에 신중을 기하여야 한다. 아직까지 이러한 문제점에 답을 줄 잘 이루어진 연구결과가 없기 때문에 기능성 소화불량의 증상과 헬리코박타 감염과의 연관관계는 확실하지 않다.

### 위 십이지장 운동의 이상

기능성 소화불량증의 원인으로써 제일 많이 논의되고 있는 병인은 위장관 운동의 이상이다. 위장관 운동의 장애로 생각하는 이유는 제반 증상들의 형태가 위 및 십이지장의 운동장애에 의해 일어나는 주가 되기 때문이다. Ress등[16]은 원인 불명의 상복부 팽만감을 호소하는 환자에서 위내압검사를 시행하여 위전정부에서 저진폭의 위상파가 나타나며, 고형식의 위배출이 현저히 지연되는 것과 연관성이 있음을 관찰하였다. Malagelada등[17]은 위내압검사와 위 배출시간을 동시에 실시하여 기능성 소화불량증 환자 가운데 60% 이상에서 위배출이 느려지며, 위전정부의 수축력이 떨어지고 위십이지장의 조화가 잘 이루어지지 않는 점을 보고하였다. You등[24]은 정상적인 위서파 대신 1분에 6회 이상의 불규칙하거나 규칙적인 빈맥이 자주 나타나며, 위빈맥시에는 정상적인 전정부의 수축과 연동운동이 일어나지 않고 오히려 위하부에서 위상부로 거꾸로 수축이 일어남을 관찰하였고, 위빈맥

의 경우 위 마비로 인한 만성적인 오심, 구토 등의 소화불량증을 초래한다고 보고하였다. 위배출의 지연 특히 고형식의 배출이 지연되는 경우가 50%내외의 환자에서 나타난다[18]. 고형식의 배출에 관여하는 위전정부의 기능이상이 약 1/3정도에서 나타나며 오히려 위내압을 조절하고 식후이완(adaptive relaxation)에 관여하는 위상부(proximal stomach)의 기능 이상이 더 중요하리라고 시사되고 있다.

기능성 위장장애 환자중 운동장애성 소화 불량증에 속하는 환자에서 위배출 시간과 위전도 검사를 시행하여 위배출시간과 위전도의 연관성에 대한 연구 내용에서는 위배출시간이 정상인 군에 비해 지연된 군에 있어서 식후 위부정맥이 증가하고 식후 위서파의 진폭 증가가 소실되었다는 사실은 위전도 검사가 기능성 소화불량증 환자의 원인 규명에 유용하다고 시사한다.

### **내장과민성(Visceral hypersensitivity)**

음식물이나 장내 가스등과 같은 자극에 대한 반응이 정상인에서보다 현저히 과민하게 나타나는 수가 많으므로 통증에 대한 역치(threshold)가 낮거나 통증에 대한 반응이 예민한 것을 가장 신빙성있는 병인의 하나로 최근 활발히 연구되고 있다. 즉 내장의 과민반응(visceral hypersensitivity) 또는 내장의 통각과민(visceral hyperalgesia)설이 강력하게 시사되고 있다[19]. 장내의 여러 가지 수용체와 내장구심경로(visceral afferent pathway)및 중추신경계가 서로 유기적으로 관여하게 되지만 개인마다 차이가 많고 복잡하기 때문에 일률적으로 설명하기가 곤란하다. 내장의 과민반응설에 따라서 기능성 통증질환(functional pain disorder)이라는 어휘를 사용하며 비심장성 흉통, 기능성 소화불량, 과민성 대장증후군이 속한다[20]. 자동 압력 조절장치인 위내 풍선 및 위압력 조절기(gastric barostat)를 이용한 위의 감각능 측정으로 내장의 과민반응을 설명할 수도 있다[21].

### **스트레스**

스트레스와의 관계가 오래전부터 논의되고 있으며 흔히 임상에서는 기질적인

병변이 아닌 기능성 병변인 경우에 단순히 신경성으로 간주하기도 한다. 스트레스가 면역기능에 영향을 미치고 점막의 혈액순환을 억제하여 허혈을 일으키기도 하며 장근육을 긴장시키거나 반복적인 위상성 수축을 일으킬 수 있다고 하며 이러한 작용에 의하여 내장구심경로에 영향을 미칠 수 있다고 한다[22]. 스트레스가 내장의 통각과민을 일으킨다는 근거는 소화관 증상이 스트레스와 직접 연관되어 악화되며, 불안 및 우울증에 대한 신경치료가 기능성 위장질환의 가장 효과적인 치료법의 하나라는 점을 들 수 있다.

### 2.1.3. 치료

기능성 위장장애는 뚜렷한 기질적 병변이 없이 여러 가지 다양한 소화불량 증상에 의한 진단이기 때문에 치료 또한 단순하지가 않다. 대부분의 증상이 호전과 악화를 반복하며 음식, 스트레스 등에 의해 변화가 심하므로 임상적으로 효과 판정이 어렵다. 더욱 위약(placebo)만을 투여하더라도 13~73%에서 증상의 호전이 있을 수 있으므로 어떠한 치료가 의의 있게 효과 있는지를 판단하는데 애로점이 많다[23].

치료의 기본은 우선 생활 습관의 변화 및 식이요법을 먼저 시행하면서 약물 치료와 필요에 따라서 정신과적인 치료의 병행 등 다각적인 치료방법을 환자에 따라서 시도하여야 한다. 술, 담배를 삼가며 커피나 탄산가스가 포함된 음료수의 과음을 금하는 것이 좋다. 규칙적인 생활과 적당한 운동은 비단 기능성 위장장애 환자뿐 아니라 누구에게나 권장되는 일반적인 건강 상식에 해당한다.

약물은 증상에 따라 다르게 사용될 수 있는데 궤양성 위장장애 시에는 제산제나 위산분비 억제제 등이 사용될 수 있고 운동이상성 위장장애에는 위장운동 개선제가 효과가 있다. 역류성 위장장애에는 강력한 위산분비 억제제와 위장운동 개선제의 복합 처방이 필요하다. 만일 위장관이 예민해졌다고 판단되거나 두근거림, 불면증, 우울, 불안 등의 증상이 동반되어 있을 때에는 신경안정제 등이 필요하기도 하다. 또한 최근 관심을 끌고 있는 헬리코박타라는 세균이 관련되어 있다면 항생제의 사용도 고려할 수 있다.

## 2.2 한의학에서의 기능성 위장 장애

한의학에서의 위장의 적취 현상은 과식이나 폭식, 과도한 스트레스 등으로 인해 소화되지 않은 비 대사 물질이 발효되고 부패하여 독소를 발생시키고, 이 독소가 위 점막 바깥쪽 4~5겹의 위벽이나 장벽 근육 세포에 축적되어 암 덩어리처럼 증식되고 딱딱하게 굳어지는 병적 문제를 말한다.

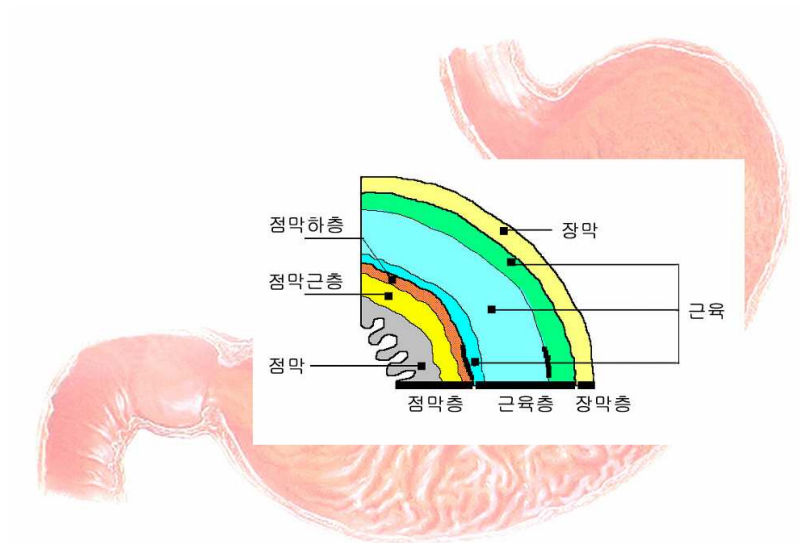


그림 2.1 위장 위벽의 구조

그림 2.1은 위벽 구조를 나타내고 있다. 위의 구조는 주로 근육으로 이루어져 있으며, 바깥쪽 세로근육과 안쪽 돌림 근육층이 위의 전체를 싸고 있다. 위에는 다른 소화관에는 없는 빗근육층이 있다. 위는 입안에서 잘게 부서진 음식물이 들어오는 들문부분(분문부)와 연동운동이 일어나 소화 작용이 일어나는 몸통(위저부), 소화가 된 음식물이 대장으로 나가는 날문부분(유문부)로 이루어져 있으며, 위저선은 위저부의 빗근육층의 단면을 나타내고, 유문선은 유문부의 빗근육층의 단면

을 각각 나타내고 있다. 소화되지 않은 음식물이 빗근육에서 부패하여 독소가 변성되고, 이 독소에 의해 위벽이 단단하게 굳어지게 된다.

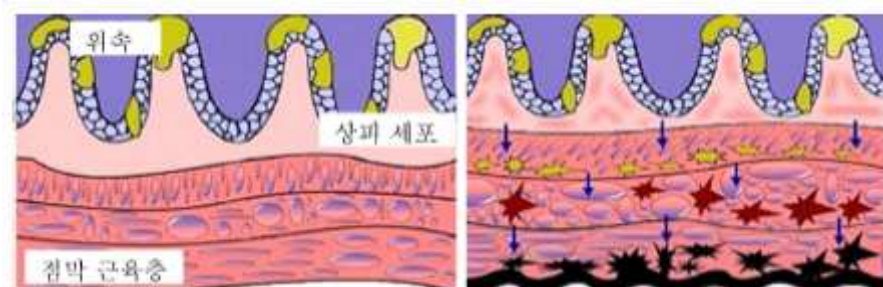


그림 2.2 정상인의 위벽(a)과 기능성 위장장애 환자의 위벽(b)

그림 2.2에서 (a)는 정상인의 위벽이고 (b)는 기능성 위장장애 환자의 위벽을 나타내고 있다. 그림 2-2(1) 같이 부패한 음식물의 독소에 의해 위벽이나 장벽이 굳어지면서 평활근의 운동성을 저하시키게 되며 운동성 저하로 인해 음식을 섭취해도 연동 운동이 원활히 이루어지지 않기 때문에 만성 위장 장애의 원인이 되기도 한다. 기능성 위장장애는 과로 및 과도한 스트레스나 신경이 예민하고, 운동량이 적어 신진대사가 원활하지 못하여 발생하기도 하며 과식과 불규칙한 식습관, 육류, 밀가루 음식 등 딱한 음식을 자주 섭취하는 식습관에 의해 더욱 심해지는 특성을 가진다[5, 6].

현대의학에서 만성 위장 질환을 진단하기 위해 사용하는 위 조영 검사나 위 내시경 검사는 위 내부의 상태를 확인 하는 것이지 위벽 경화도를 진단하기 어려워 위염이나 신경성 위장질환, 과민성 대장 증후군으로 분류되고 있다. 그러나 한의학적 관점에서는 이러한 위장 질환의 원인을 위 연동 운동을 주관하는 위벽의 경화로 지목하고 있다. 따라서 위장에서 일어나는 적취 현상으로 인한 경화가 위장 장애와 배변장애를 일으키는 원인이며, 각종 생리적 현상에 악영향을 주는 것으로 보고 있다.

## 2.3 의료용 초음파 진단의 원리

### 2.3.1 초음파 에너지

초음파 장비에서 펄스-에코(Pulse-Echo)방식으로 진단하는 경우에 있어서 진단의 해상도에 직접적인 관련을 가지고 있는 초음파 에너지는 초음파 발생에 의해 정지 매질이 진동을 시작하면 그것의 운동 에너지와 분자력에 의해 위치 에너지가 존재한다. 이 에너지는 진동과의 진행 방향에 대해 수직인 단위 면적을 단위 시간동안 통과하는 에너지 량으로 나타낸다. 매질 안을 전파하는 사인파의 강도를 나타내는 식을 구하면 질량  $m$ 의 질점이 단진동을 하고 있을 때, 그것에는  $K$ 인 운동 에너지와  $P$ 인 위치에너지가 존재하고 그 합은 항상 일정하다. 결국  $\varepsilon$ 인 합성 에너지는 식(2.1)의 관계가 된다.

$$\varepsilon = K + P \quad (2.1)$$

여기에서 파동의 진폭은  $A$ , 진동수를  $f$ 라 하고 그 최대 속도인 점을 구하면 식(2.2)가 된다.

$$\varepsilon = K + P = \frac{1}{2}m(A\omega)^2 = 2\pi^2mA^2f^2 \quad (2.2)$$

때문에 밀도  $\rho$ 의 매질 안에서는 진동에 의한 단위 체적 중의 에너지  $E$ 는 식(2.3)으로 주어진다.

$$E = 2\pi^2A^2f^2\rho \quad (2.3)$$

여기에서 음파의 전파속도를  $C$ 로 하면 단위 시간에 진행 방향으로 수직인 단위 면적을 진행하는 에너지량  $I$ 는 식(2.4)로 나타내어진다.

$$I = 2\pi^2 A^2 f^2 \rho C \quad (2.4)$$

단 앞의 식(2.2), (2.3)의  $m$ 은 밀도와 관련된 체적이고,  $C$ 는 음파의 전파 속도이다. 이와 같이 초음파의 강도(Intensity)는 중량  $m$ 이 결정되면 식(2.5)의 관계가 되고,

$$I \propto A^2 f^2 \quad (2.5)$$

진폭( $A$ )이 클수록 또 그 진동수( $f$ )가 많을수록 큰 에너지를 줄 수 있으며 이는 초음파 반사 신호를 측정할 때 해상도를 향상시킬 수 있는 기본 방법이 된다.

### 2.3.2 초음파의 전파 속도

초음파의 전파 속도는 초음파 진단에서 실제 인체를 투과하여 들어간 초음파가 인체 내의 반사체에서 돌아온 시간인 비행시간을 결정한다. 이것으로 반사체의 깊이가 결정된다. 초음파의 기체 중에서 음속은 그 온도에서 크게 변화한다. 뿐만 아니라 압력과 진동수에 의해서도 미묘하게 변화한다. 공기 중(유체 중)의 음속은 식(2.6)과 같다.

$$V = \sqrt{r \frac{R}{\rho}} \quad (2.6)$$

음속  $V$ [m/s], 압력  $P$ [N/m<sup>2</sup>], 밀도  $\rho$ [kg/m<sup>3</sup>]으로 나타낸다. 식(2.6)에서  $r$ 은 기체의 비열비를 나타내고, 식(2.7)로 나타낼 수 있다.

$$r = \frac{C_p [\text{cal}/\text{K} \cdot \text{mol}]}{C_v [\text{cal}/\text{K} \cdot \text{mol}]} = 1 + \frac{R}{C_v} \quad (2.7)$$

$C_p$ 는 정압 몰 비열[cal / K • mol],  $C_v$ 는 몰 비열[cal / K • mol],  $R$ 은 보편적 가스 상수이다. 0[°C]의 음속과 밀도를 각각  $V_0, \rho_0$ 로 하고  $t$ [°C]의 음속과 밀도를 각각  $V_t, \rho_t$ 로 하면 식(2.6)은 식(2.8), 식(2.9)와 같다.

$$V_t = \sqrt{r \frac{P}{\rho_t}} \quad (2.8)$$

$$V_t = \sqrt{r \frac{P}{\rho_0}} \quad (2.9)$$

음속  $V_t$ 와  $V_0$ 의 비는 식(2.10)과 같이 된다.



$$\frac{V_t}{V_0} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_t}} \quad (2.10)$$

밀도  $\rho_0$ 는  $\rho_0 = \rho_t(1 + \frac{1}{273}t)$ 이므로 식 (2.4)는 식(2.11)이 된다.

$$V_t = V_0 \sqrt{1 + \frac{1}{273}t} \quad (2.11)$$

근사 공식에 의하면  $-1 < x < 1$  일 때 임의의 실수  $m$ 에 대하여 식(2.12)와 같이 된다.

$$V_t = V_0(1 + \frac{1}{2} \times \frac{1}{273}t) = V_0(1 + \frac{1}{546}t) \quad (2.12)$$

따라서 온도를 일정하게 하면 보일의 법칙에 의해 압력  $P$ 와 밀도  $p$ [kg/m<sup>3</sup>]는 비례하므로 그 관계는  $P/p = \text{constant}$ 가 되고, 음속  $V$ 는 압력 변화에 영향을 받지 않게 된다. 특히, 생체 내를 진행하는 초음파의 속도  $V$ 는 매질의 밀도  $p$ , 용적 모듈러스(modulus)  $B$ 라고 하여 식(2.13)와 같이 정의된다.

$$V = \left(\frac{B}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

공기 중에서 330m/s, 물속에서 1480m/s, 연조직에서 1540m/s, 뼈속에서 4080m/s가 된다. 초음파가 매질을 통과할 때 매질에 의해 흡수, 산란, 반사 등에 의하여 초음파의 세기(진폭)가 감소하는 현상을 감(attenuation)라고 하며, 감쇠는 통과한 길이와 주파수에 영향을 받는다. 단위길이(cm)당, 단위 주파수(MHz)당 감쇠를 감쇠계수(attenuation coefficient)라고 정의한다. 초음파의 감쇠는 주파수 증

가에 따라 거의 직선적으로 증가하고 고주파수를 사용할수록 초음파의 투과깊이가 감소하게 된다. 따라서 생체 표면에서 깊은 부위를 관찰하고자 할 때는 2~3MHz의 낮은 주파수를 사용하며, 표면에서 가까운 부위를 관찰하고자 할 때는 7~10MHz의 높은 주파수를 사용한다.

매질의 특성인 음향 임피던스( $Z$ )는 물질의 밀도  $\rho$ 와 초음파의 속도  $V$ 의 곱으로 표시된다. 식(2.14)와 같다.

$$Z = \rho \cdot V (\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})) \quad (2.14)$$

음향 임피던스의 단위는  $\text{rayl} = \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 를 사용하고 있다.

| 매질     | 초음파 속도<br>( $\text{m}/\text{s}$ ) | 감쇠계수<br>( $\text{dB}/\text{MHz} \cdot \text{cm}$ ) | 음향임피던스<br>( $10^2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) |
|--------|-----------------------------------|--|---|
| 물      | 1480                              | 0.0025   | 1.48  |
| 공기     | 330                               | 12.000   | 0.0004  |
| 양수     | 1510                              | 0.007  | 1.5   |
| 지방     | 1410~1470                         | 0.35~0.78  | 1.34~0.39   |
| 연조직    | 1540                              | 0.81   | 1.62  |
| 간      | 1550                              | 0.96   | 1.66  |
| 심장     | 1560                              | 1.1  | 1.36  |
| 근육     | 1590                              | 1.5~3.3  | 1.71  |
| 비장     | 1550                              | 0.52   | 1.65  |
| 뼈      | 4080                              | 12.0   | 7.8   |
| 눈의 유리질 | 1520                              | 0.1  | 1.52  |

표 2.1 매질에 따른 초음파의 속도

표 2.1은 체내의 각 매질에 따른 초음파 속도, 감쇠 계수, 음향 임피던스를 나타내고 있다. 이를 이용하여 영상을 재구성하여 초음파 영상 진단에 사용한다. 초

음파 영상 진단기에서 이용되는 초음파 진동자는 고유의 파장을 가지며 고유 주파수가 해상도(resolution)를 결정한다.

$$\lambda = C / F \quad (2.15)$$

$$\Delta Z = \frac{n\lambda}{2} \quad (2.16)$$

식 (2.15)에서  $\lambda$ 는 초음파 진동자의 고유주파수( $f$ )와 초음파가 매질에서의 진행 속도( $C$ )로 결정된다.  $n$ 이 입력한 펄스의 수이며 식(2.16)에 의해 해상도( $\Delta Z$ )가 결정된다.

### 2.3.3 초음파의 반사와 굴절

초음파가 인체 내를 진행 할 때, 반사체에서 반사되어 돌아온 신호는 반사와 굴절과 산란 등이 일어나게 되고, 반사각과 굴절에 의해 가장 많은 영향을 받아 반사 신호의 형태가 결정되게 된다.

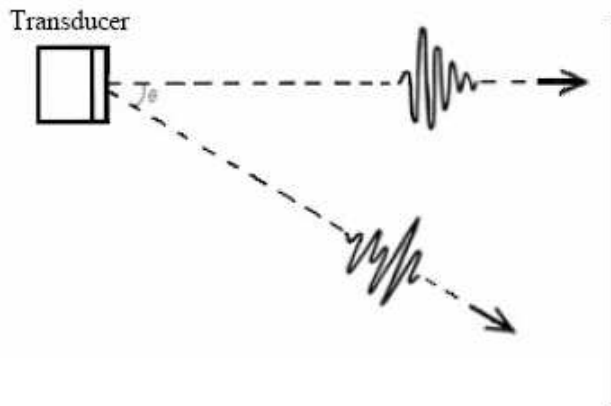


그림 2.3 초음파 반사 신호와 입사각과의 반사 신호 형태 비교

그림 2.3은 초음파 진동자에서 반사체로 입사될 때의 입사 각도에 따라 반사 신호의 형태가 결정됨을 보이고 있다. 반사체에 수직으로 입사된 초음파 진동은 초음파 진동자를 진동시킬 때 발생한 진동, 즉, 인체로 주입한 초음파 진동신호의 파형과 유사한 형태의 파형이 돌아오게 된다. 그러나 입사각이 커질수록 반사되어 돌아오는 신호의 형태는 입력 신호의 형태에서 다른 신호가 중첩된 형태를 가지게 된다.

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{V_1}{V_2} = \lambda_1\lambda_2 = n(\text{constant}) \quad (2.17)$$

초음파의 굴절의 법칙은 식(2.17)로 나타낸다. 식(2.17)에서  $\sin\theta_1$ 은 입사각

$\sin\theta_2$ 는 굴절각,  $V_1, \lambda_1$  및  $V_2, \lambda_2$ 는 입사 전의 매질, 입사 후의 매질에 의한 전파 속도 및 파장을 각각 나타내고 있다. 식(2.13)에서 보였듯이 초음파의 속도는 밀도가 높을수록 고유 임피던스가 높을수록 빠르다. 그림 2.4는 발생한 초음파의 진동파가 공기 중에서 수중으로 입사 될 때 반사파와 투과음파를 나타낸다.

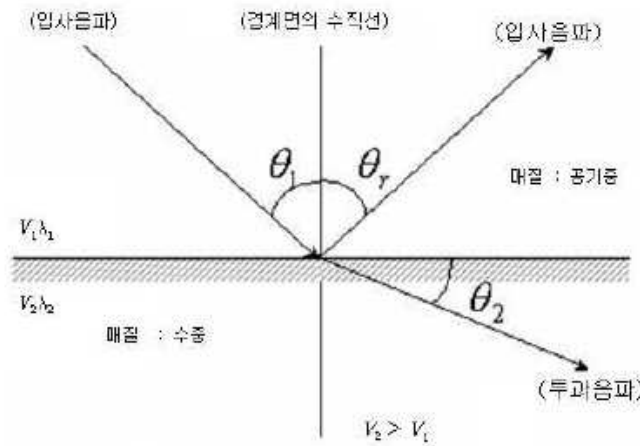


그림 2.4 음파의 반사와 굴절

전파 매질의 밀도를  $\rho$ , 음속을  $C$ , 파수(위상 상수)를  $K$ 라고 하면 고유 음향 임피던스  $Z_0$ 는 식(2.18)과 같다.

$$Z_0 = \frac{P}{v} = \frac{u\rho}{k} = \rho C \quad (2.18)$$

음의 파워 밀도  $I$ 는 식(2.19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I = Pv = \frac{P^2}{z_0} = v^2 Z_0 [W/m^2] \quad (2.19)$$

고유 음향임피던스가 높으면 파동 에너지가 잘 전파된다고 할 수 있다. 따라서 기체보다 액체가 액체보다 고체에서 음파는 더욱 잘 전파된다.

일반적인 초음파 진단 기술에서는 음향 임피던스가 다른 매질의 경계면에서 반사하는 초음파를 이용하고 있다. 음향 임피던스  $Z_1$ 의 매질에서  $Z_2$ 의 매질로 초음파가 입사할 때, 반사계수는 식 (2.20)과 같이 정의된다.

$$R = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1) \quad (2.20)$$

표 2.2는 생체의 여러 부위 경계면에서의 반사계수를 나타내고 있다. 연조직 PZT와의 경계면에서 반사계수는 0.89로 높음을 알 수 있다.

| 경계면의 매질    | 반사 계수 |
|------------|-------|
| 뇌-해골뼈      | 0.66  |
| 지방-뼈       | 0.69  |
| 지방-피       | 0.08  |
| 지방-신장      | 0.08  |
| 지방-근육      | 0.10  |
| 지방-간       | 0.09  |
| 근육-피       | 0.03  |
| 근육-신장      | 0.03  |
| 근육-간       | 0.01  |
| 연조직-물      | 0.05  |
| 연조직-공기     | 0.99  |
| 연조직-PZT5결정 | 0.89  |

표 2.2 생체조직의 부위별 경계면의 반사계수

## 제 3장 영상 진단 장비를 이용한 위장 관찰

### 3.1 초음파 영상 진단 장비를 이용한 위장 관찰

그림 3.1과 3.2는 초음파 장비(Pico, (주)메디슨)로 측정한 위 정전부와 위체 상부의 단축 상이다.



그림 3.1 위 정전부의 초음파 영상



그림 3.2 위체 상부의 초음파 영상

그림에서도 알 수 있듯이 초음파 장비를 통해서 위의 위치나 깊이 정도에 대해서는 파악이 가능하지만 영상으로 보았을 때 위벽의 두께와 단단한 정도를 알기는 매우 어렵다는 것을 알 수 있다.

### 3.2 64채널 CT를 이용한 위장 관찰

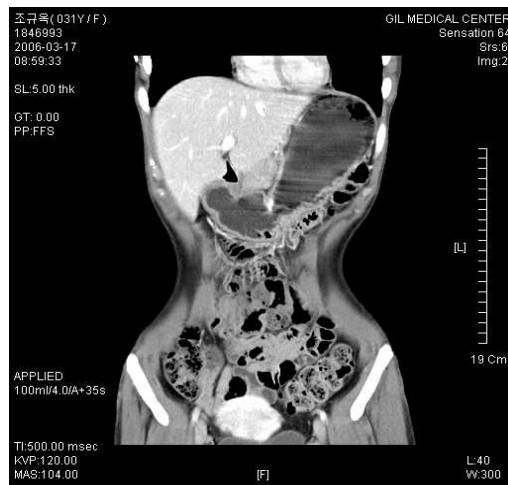


그림 3.3 전면 촬영 영상

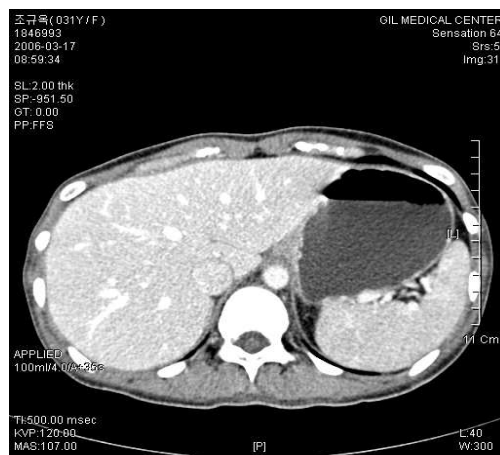


그림 3.4 단면 촬영 영상



그림 3.3과 3.4는 가천의과대학교 길병원에서 64채널 CT로 측정된 PACS 영상이다. 영상을 통해서 위의 모양새와 위치를 분명히 파악할 수는 있지만 위 벽의 밀도나 경화도와 같은 물리적인 값들은 확인할 수가 없다. 이러한 결과는 단지 주변의 장기와의 구별을 통한 영상 진단 장비로는 위장의 경화도를 측정할 수 없음을 시사한다. 이러한 근거로 위장의 위벽에서 나오는 반사 신호를 분석하는 시스템을 개발함으로써 위장의 경화도를 측정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

## 제 4장 하드웨어 및 시스템 구성

### 4.1 전체 시스템 구성

초음파 센서를 이용하여 인체 내부에서 반사되는 신호를 수집하여 위장의 경화도를 측정하기 위한 초음파 위장 경화 진단 시스템의 전체 블록도는 그림 4.1와 같다. 시스템의 구성은 초음파 진동자와 진동자에 가해주는 초음파 신호 발생 장치와 수신단, 하드웨어의 제어를 위한 제어부로 구성된 초음파 하드웨어와 PC기반의 데이터 수집 보드로 구성되어있다.

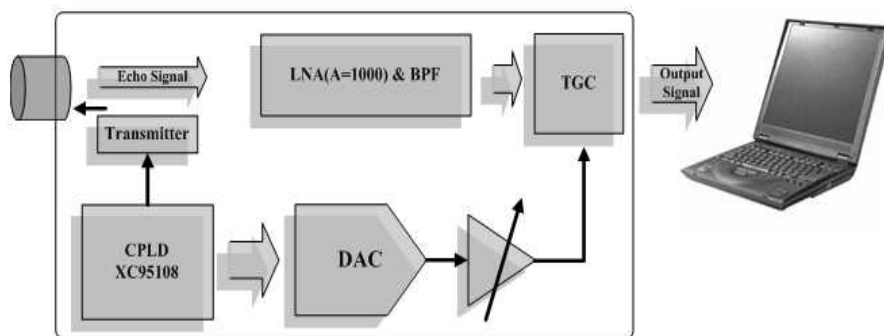


그림 4.1 전체 시스템 블록도

## 4.2 하드웨어 구성

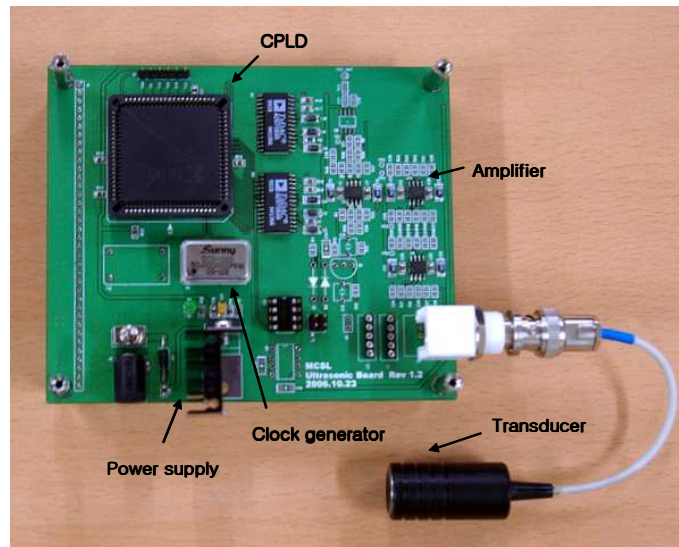


그림 4.2 초음파 하드웨어 구성

위장 경화의 유무와 정도를 정량화, 객관화하기 위해 초음파 진동자를 이용하여 진단장치를 설계 하였다. 설계된 위장 경화 진단기는 그림 4.2와 같이 초음파 진동자(Transducer), 진동자에 가해주는 초음파 신호발생장치(Transmitter), 반사 신호를 받아 신호처리에 알맞은 전압 레벨로 만들어 주는 저잡음 증폭부 (low-noise amplifier), 전원 잡음과 CMOS 소자에서 발생하는 잡음을 제거하기 위한 대역 통과 필터(Band-pass filter), 수신한 신호의 시간에 따른 감쇄를 보상하기 위한 가변 이득 증폭기(Time Gain Compensator, AD603) 그리고 제어기 (CPLD, XC95108)로 구성하였다.

#### 4.2.1 초음파진동자(Transducer)

초음파 진동자는 초음파 진단 장치에서 전기적인 신호를 물리적인 초음파 신호로 변환하여 인체로 전달하고, 인체 내부에서 반사된 물리적인 신호를 전기적인 신호로 변환한다. 초음파 진동자가 가지는 고유 주파수와 초음파 발생을 위한 펄스의 폭과 전압은 조직에서의 반사 신호의 진폭과 수신신호의 해상도를 결정하는 중요한 요인이 된다.

초음파 진동자의 구조를 살펴보면 그림 4.3와 같이 진동자의 중앙에 위치하는 PZT를 진동시켜 초음파를 발생시킨다. 발생된 신호는 인체와 PZT의 임피던스 차이로 인해 발생 될 수 있는 반사를 최소화 하기 위해 정합층(matching layer)을 거치면서 인체로 전달된다. PZT를 진동시키면서 진동자의 후면으로 발생된 진동이 반사되어 울림 현상을 만들어 최종 출력신호의 해상도를 감소시킨다. 이를 방지하기 위해 뒷면에 흡입층(backing layer)이 설계되어있다.

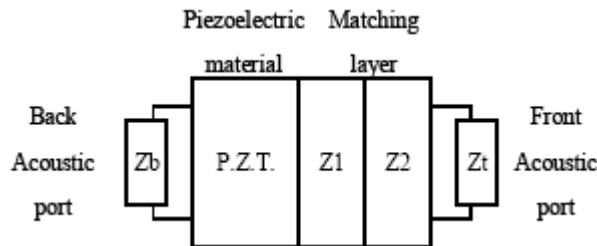


그림 4.3 제작된 초음파 진동자의 구성도

설계된 하드웨어에 사용된 진동자는 (주)하기소닉의 5MHz 의료용 초음파 진동자로 주문 제작된 제품이다. 설계된 초음파 진동자는 초음파의 회절을 최소화시키고, 진동자의 후면으로 발생된 진동이 반사되어 발생하는 울림을 최소화 할 수 있도록 설계되었다. 이 때, 진동자는 12mm의 직경과 4.93MHz의 중심 주파수(그림 4.4)를 가지며, -6dB에서의 펄스-에코(Pulse-echo) 대역폭은 중심주파수의 약 47%였다.

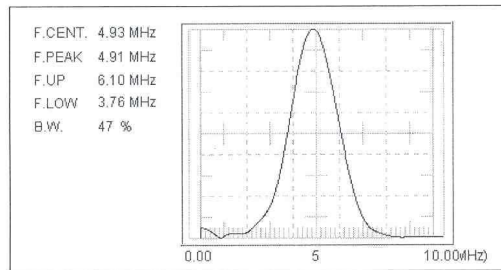


그림 4.4 제작된 초음파 진동자의 주파수 대역

#### 4.2.2 신호 발생 장치(Transmitter)

신호 발생 장치는 초음파 진동자를 진동시켜 초음파를 발생시킨다. 본 시스템에서는 진동자를 진동시킬 때, 수신신호의 해상도의 향상을 위해 펄스폭을 조절하였으며 송신신호의 전압을 TC4428 Power Mosfet으로 높임으로써 초음파의 파형이 향상된 해상도를 갖도록 인가하였다. 파형 분석과 주파수 분석을 용이하게 하기 위해 일반적으로  $1/2f$ 의 주파수로 입력하게 되는데 그러한 결과로 100ns의 펄스 폭과 12V의 진폭을 가지는 임펄스 신호를 1ms의 반복 주기로 인가하도록 설계되었다.

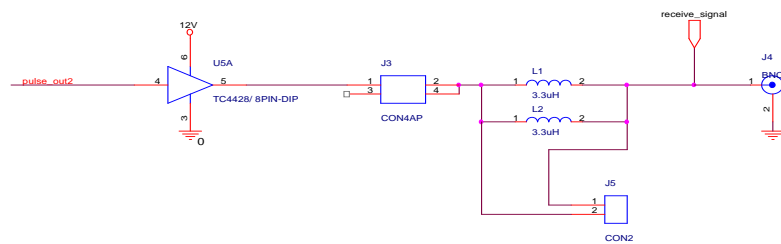


그림 4.5 신호 발생장치(Transmitter) 회로도

그림 4.4는 설계된 신호 발생 장치의 회로도이다. 회로에 사용된 인덕터는 초음파 센서와 접촉하는 조직 사이에서 발생하는 임피던스 차에 의한 신호왜곡을 최소화하기 위해 사용되었으며 적절한 인덕터 값을 사용하여 울림을 적게 하였다.

### 4.2.3 저잡음 증폭부와 대역통과 필터

인체 내의 조직 경계면에서 반사되어 발생하는 반사 신호는 수 uV에서 수 mV의 미약한 전압이기 때문에, 이러한 신호로부터 유의한 정보를 확인하기는 매우 어렵다. 따라서 증폭부에서는 이러한 수신 신호를 적절히 증폭시켜주는 역할을 담당한다. 증폭률은 실험을 통하여 약 500배로 결정하였으며, 적절히 증폭된 신호는 대역 통과 필터로 전달되도록 설계되었다.

증폭부에서 증폭된 신호의 신호대 잡음비(Signal to noise ratio: SNR)를 최대화시키기 위하여, 차단(cut-off) 주파수가 4.5MHz~5.5MHz인 4차 대역통과 필터를 설계하였다. 결과적으로 제어기로 인하여 발생하는 고주파 잡음과 전원 잡음을 최소한으로 줄일 수 있었다. 또한 아날로그 필터 모듈을 통과한 신호의 감쇄를 보상하기 위하여, 필터를 통과한 신호를 가변 이득 보상기단으로 전달 될 수 있도록 설계하였다.

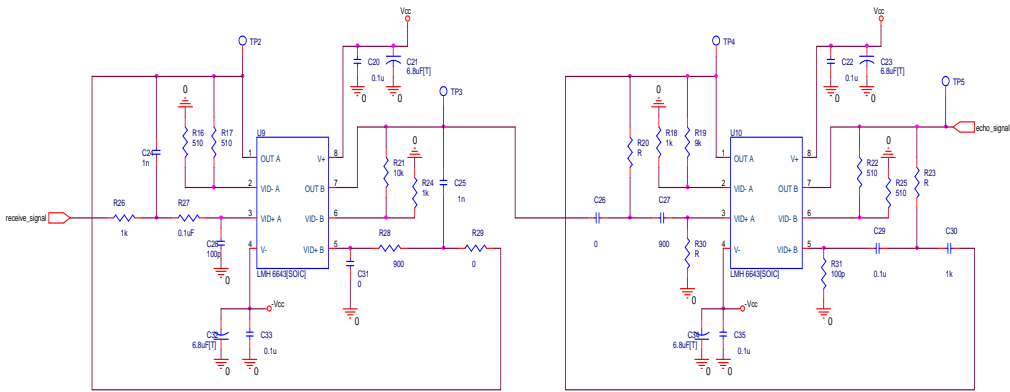


그림 4.6 증폭부와 필터부의 회로도

#### 4.2.4 시간에 따른 가변 이득 증폭기(Time Gain Compensator: TGC)

인체 내부를 통과하는 초음파 신호는 조직의 감쇄 계수에 따라 신호 감쇄가 급격히 일어난다. 따라서 인체 내부에 위치한 장기로부터 돌아온 반사 신호는 미약한 신호만이 측정된다. 이를 보상하기 위해 설계된 초음파 가변 이득 증폭기는 초음파 신호가 인체 내부로 방사 되어 진행한 시간에 따라 이득을 가변 하도록 설계하였다. 그림 4.6은 시간에 따른 가변 이득 증폭기의 구성도를 나타내고 있다. 초음파 진동자에서의 진동과 발생과 동시에 제어기에서 이미 설정된 감쇄 보상 기울기에 의한 디지털 값을 제어기와 연산 증폭기를 통하여 아날로그 신호로 변환 시킨 후, AD603의 가변 이득 증폭기로 입력되도록 설계하였다. 이때 사용한 가변 이득 증폭기는 저 잡음의 특성을 가지고 단위 이득에 대하여 90MHz의 대역 이득(gain bandwidth)을 가지도록 하였으며, 그 이득이 최소 -1dB에서 41dB로 가변이득 증폭이 가능 하도록 설계하였다. 이렇게 설계된 가변 이득 증폭기는 실험에 의해 반사 신호의 진폭이 동일하게 출력되게 하는 보상값의 기울기를 적용하여, 진동자에 의해 수신된 초음파 응답신호를 증폭하고 출력하게 하였다.

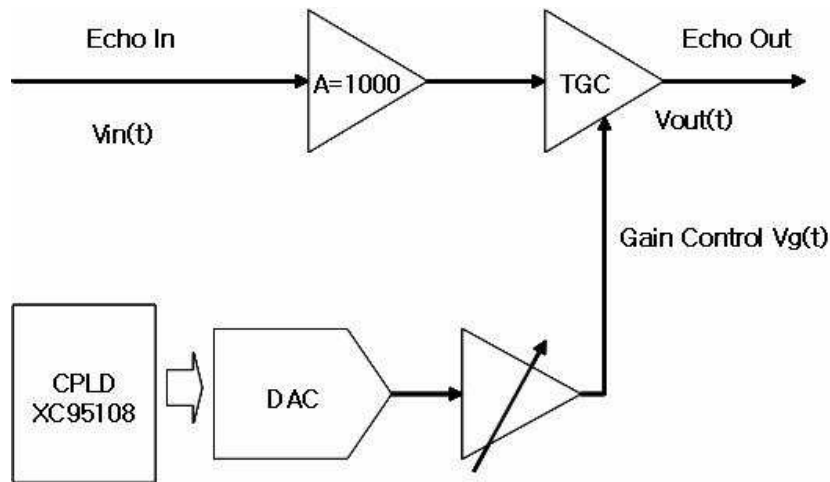


그림 4.7 신호감쇄 보상을 위한 TGC(Time Gain Compensator) 블럭도

#### 4.2.5 제어부(Timing Control)

제어부는 100ns 펄스 폭으로 구형파를 생성하여 진동자를 진동시키며, 가변 이득 증폭기의 증폭률을 0~255(8bit)개의 값으로 출력하여 이득을 결정하도록 하였다. 50MHz의 속도로 제어가 가능하여 짧은 임펄스를 발생시킬 수 있고, 펄스의 인가와 가변 이득 증폭기를 제어하는 타이밍을 최대한 정확하게 계산하기 위해 Xilinx사의 CPLD(XC95108)을 사용하였다. 타이밍 제어를 위해 사용한 CPLD는 10,000번 이상을 쓰고 지울수 있으며 7.5ns의 login delay를 가지고, 2400개의 gate를 108개의 macrocell에 포함하고 있다. 또한 여러 타입의 Package를 가지고 있어 고성능이지만 선택의 폭이 넓다는 장점을 지닌다. 그림 4.7는 XC95108의 구조를 나타낸다.

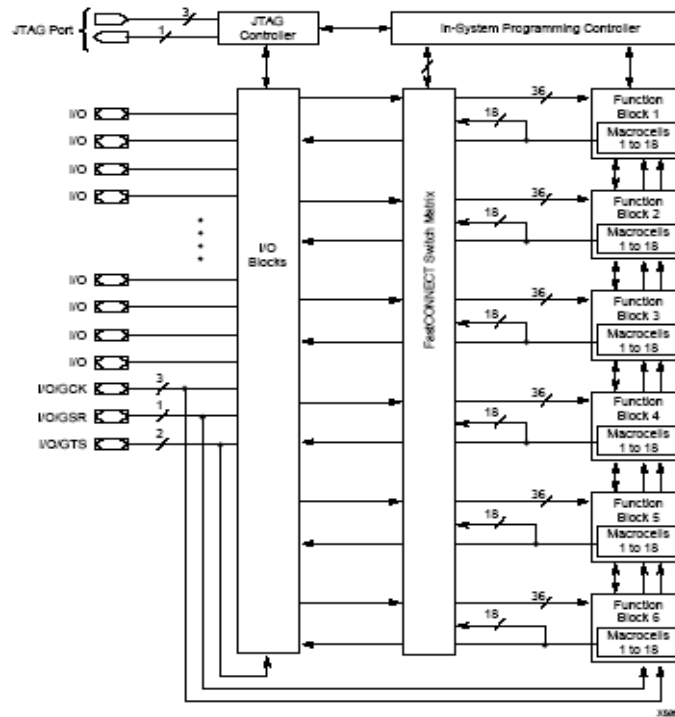


그림 4.8 CPLD(XC95108) 내부 구조

## 4.3 시스템 펌웨어

초음파 위장 경화 진단 시스템을 구동하는 CPLD 구현 알고리즘은 그림 4.8와 같다.

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

entity pulse_tgc_fix is
    Port ( clk : in std_logic;
          pulseOut : out std_logic;
          tgcOut : out std_logic_vector(7 downto 0);
          tgcClk : out std_logic);
end pulse_tgc_fix;

architecture Behavioral of pulse_tgc_fix is
    signal pulse_tmp : std_logic := '0';
    signal clkdiv : std_logic := '0';
    signal tgc_tmp : std_logic_vector(7 downto 0) := "00000000";
    signal tgc_enable : std_logic;
    signal clkdiv_cnt : std_logic_vector(7 downto 0) := "00000000";
    constant duty : integer := 5; -- 100 ns (20ns*5)
    constant pulse_width : integer := 5; -- 20 ns * 5 = 100ns
    constant pulse_period : integer := 50000; -- 20 ns * 50,000 = 1,000,000 = 1ms;

begin
    pulseOut <= pulse_tmp;
    tgcOut <= tgc_tmp;
    tgcClk <= clkdiv;

    process (clk, tgc_enable) -- divided clock for TGC
        variable clk_cnt : integer range 0 to 320;

    begin

        if clk'event and clk = '1' then
            clk_cnt := clk_cnt + 1;
            if clk_cnt <= duty then
                clkdiv <= '1';
            elsif clk_cnt <= (duty + 2) then
                clkdiv <= '0';
            else
                clk_cnt := 0;
            end if;
        end if;
    end process;

    process(clkdiv_cnt,clk) -- pulse
        variable clk_cnt1 : integer range 0 to 1000000;
    begin
        if clkdiv_cnt = 254 then
            tgc_enable <= '0';
        elsif clk'event and clk = '1' then
```



```

process(clkdiv_cnt,clk) -- pulse
variable clk_cnt1 : integer range 0 to 1000000;
begin
if clkdiv_cnt = 254 then
tgc_enable <= '0';
elsif clk'event and clk = '1' then
clk_cnt1 := clk_cnt1+1;
if clk_cnt1 <= pulse_width then
pulse_tmp <= '1';
tgc_enable <= '1';
elsif clk_cnt1 > pulse_width and clk_cnt1 < pulse_period then
pulse_tmp <= '0';
elsif clk_cnt1 = pulse_period then
clk_cnt1 := 0;
end if;
end if;
end process;
process(tgc_enable, clkdiv) -- tgc
begin
if tgc_enable = '0' then
tgc_tmp <= "00000000";
elsif clkdiv'event and clkdiv = '1' then
if tgc_tmp = "11111111" then
tgc_tmp <= "00000000";
else
tgc_tmp <= tgc_tmp + "00000001";
end if;
end if;
end process;
process(clkdiv_cnt, clkdiv)
begin
if clkdiv_cnt = 254 then
clkdiv_cnt <= "00000000";
elsif clkdiv' event and clkdiv = '1' then
if tgc_enable = '1' then
clkdiv_cnt <= clkdiv_cnt + 1;
end if;
end if;
end process;
end Behavioral;

```

그림 4.9 CPLD 구현 알고리즘

진동자에 100ns의 Duty를 가진 펄스 신호를 1ms의 주기로 반복해서 입력해주는 루틴과 TGC 신호를 만들어주기 위한 업카운터 루틴으로 나누어져 있으며 두 루틴 모두 메인 클럭을 분주한 보조 클럭에 동기 된다. 그림 4.9는 펄스와 업 카운터 루틴에 대한 타이밍도 이다.

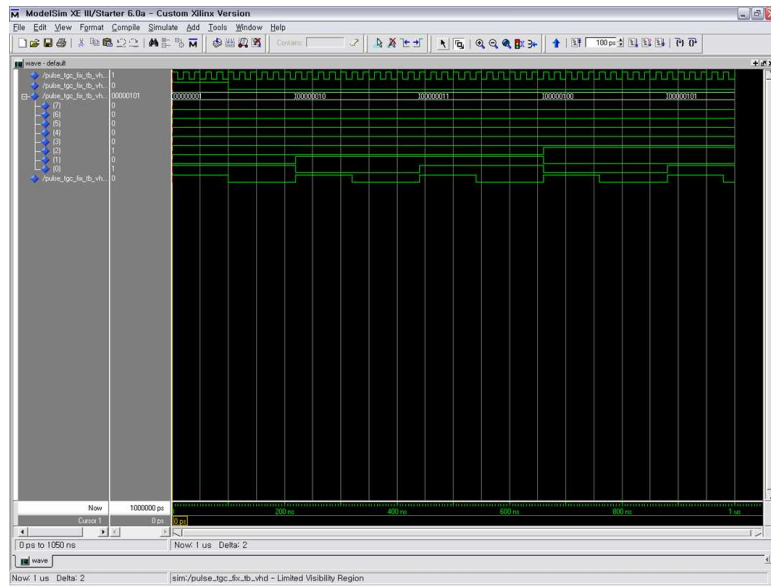


그림 4.10 CPLD 수행하는 루틴의 Timing Diagram

CPLD는 일종의 Programmable Logic Device이기 때문에 VHDL로 작성된 구문은 게이트 레벨에서의 표현이 가능하며 CPLD로 구현한 하드웨어 구조는 그림 4.11와 같다. 그림 4.11(a)는 최상위레벨에서의 Entity 부분이며 내부 블록 구조는 아래 (b), (c)와 같다.

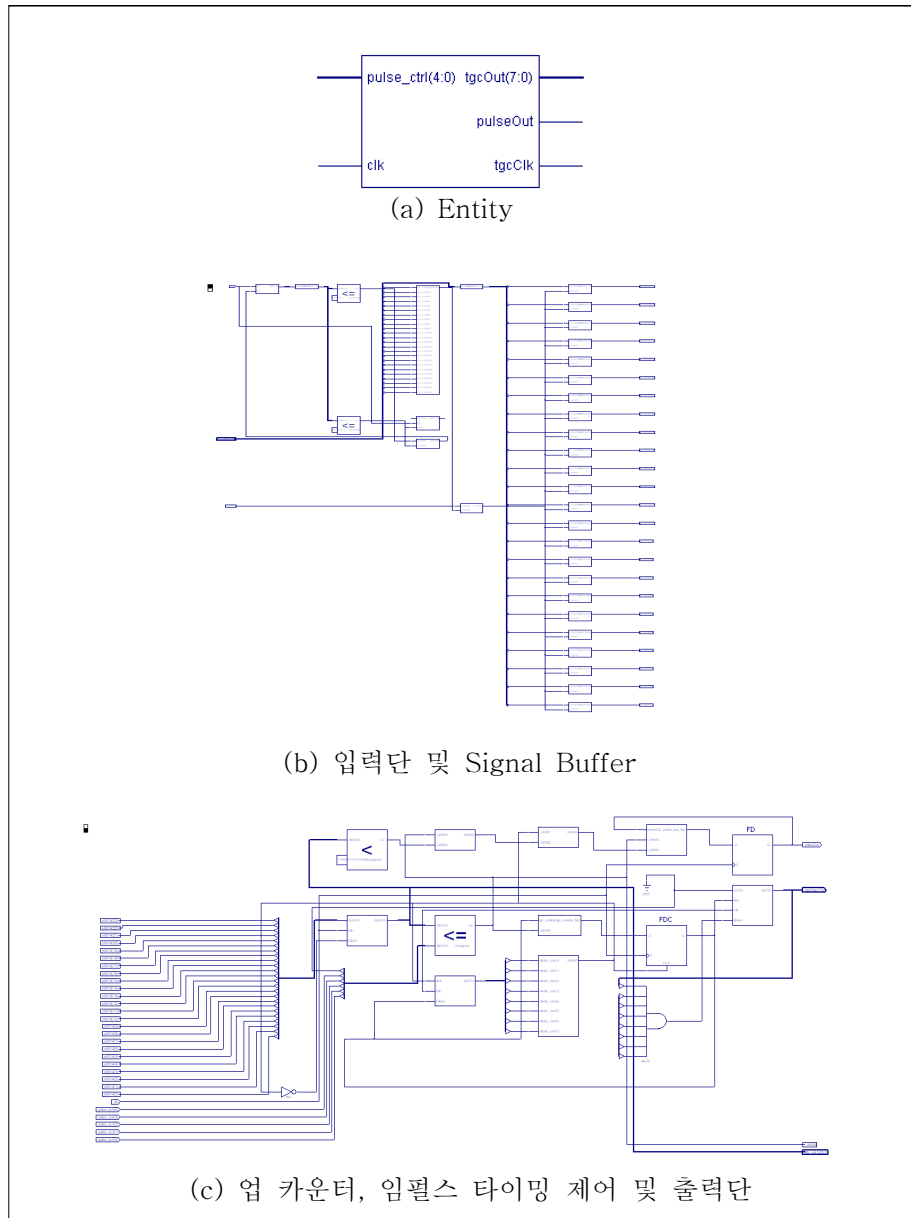


그림 4.11 CPLD로 구현한 하드웨어의 구조

#### 4.4 데이터 획득 및 처리

초음파 위장 경화 진단 시스템으로부터의 아날로그 신호는 National Instrument사의 DAQ 보드에 의해 디지털로 변환되어지고 저장된다. DAQ 보드에서 지원하는 디바이드 드라이버를 이용해서 Labview로 실시간 파형을 관찰할 수 있다. 그림 4.11는 Labview로 구성된 데이터 획득 및 처리 프로그램이며 이를 통해서 실시간으로 인체에서 나오는 반사 신호를 확인할 수 있다. 초음파 반사 신호는 프로브의 인체 입사각에 따라 많은 변화가 있기 때문에 6개 이상의 데이터를 수집함으로써 최적의 신호를 얻을 수 있게 하였다.

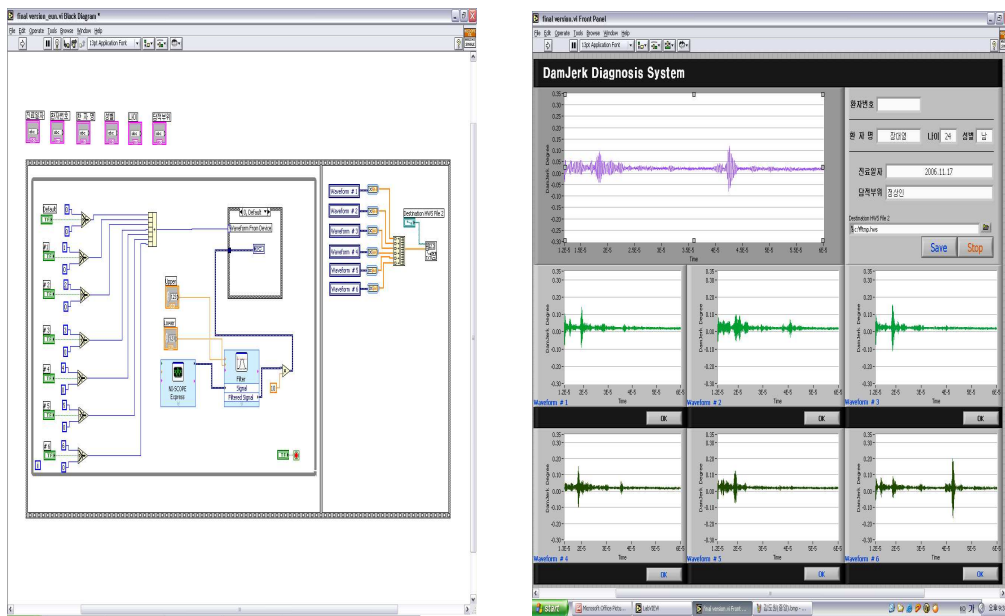


그림 4.12 Labview 프로그래밍 데이터 분석 창

## 제 5장 실험 및 결과

### 5.1 시편실험을 통한 시스템 검증

#### 5.1.1 시편준비(Specimen Preparation)

그림 5.1(b)와 같이 피부, 지방, 근육 3개의 층으로 구성된 총 10개의 시편을 돼지로부터 적출하였고, 모든 시편의 크기를 20×20×21(가로×세로×두께)mm 절제하였다. 이때, 적출한 모든 시편 중 5개의 시편의 지방과 근육 층 사이의 경계면에 화학처리를 하여, 인위적으로 근육 층을 경화시켰다. 경화된 조건을 만들어주었으며, 본 연구에서는 이러한 인위적 경화를 기능성 위장 장애에 의한 위장벽의 경화 또는 강직현상으로 가정하였다.

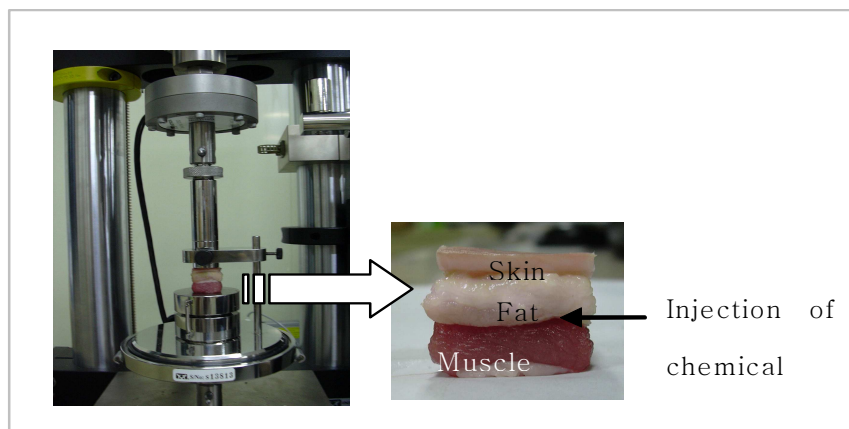


그림 5.1 (a)Instron Microtest System 과 (b)시편

### 5.1.2 압축 실험과 분석(Compressive Test and Analysis)

위의 팬텀 실험에서 사용된 시편에서 정상시편에서의 조직의 강도에 비교하여 경화된 시편에서의 조직의 강도 변화를 확인하기 위하여, 그림 5.1(a)와 같이 정상 시편과 경화된 시편들에 대한 압축 실험을 인스트론사의 초미니 실험 기기 (Instron microtest system, 5848 series, Instron, Norwood, MA, USA)를 이용하여 수행하였다. 이때, 압축 실험에서의 압축 시험속도는 생체 연 조직의 기계적 특성을 분석한 연구들에서 이용된 시험속도에 근거하여 설정하였다[24,25]. 모든 시편에 대하여 동일한 0.01s<sup>-1</sup> 변형률의 압축 시험속도를 인가하였다. 이러한 압축 실험으로부터 모든 시편에 대한 응력-변형률 곡선(Stress-Strain curve)을 구하였으며, 그러한 응력-변형률 값에 기반하여 시편의 비선형성(Nonlinearity)과 초탄성성(Hyperelasticity)의 기계적 특성을 정량화 하였다. 이러한 시편의 비선형성과 초탄성성의 정량화를 위하여 일차 오그덴 재료 모델(First order ogden model)을 사용하였다[26]. 일차 오그덴 모델은 다음의 식(5.1)의 변형률 에너지 함수(Strain energy function, U)로 표현된다.

$$U = \frac{2\mu_1}{\alpha_1^2} (\bar{\lambda}_1^{\alpha_1} + \bar{\lambda}_2^{\alpha_1} + \bar{\lambda}_3^{\alpha_1} - 3) + \frac{1}{D} (J^{el} - 1)^2 \quad (5.1)$$

식(5.1)에서 U는 기준 부피 단위당 변형률 에너지(Strain energy per unit of reference volume),  $\mu_1$ ,  $\alpha_1$ , 그리고 D는 온도에 종속적인 재료 상수(Temperature-dependent material constants),  $J^{el}$ 은 탄성 부피율(elastic volume ratio), 그리고  $\bar{\lambda}_i$ 는 편차 연신률(Deviatoric stretch)이다. 여기서  $\bar{\lambda}_i$ 는 다음의 식(5.2)로부터 얻어진다.

$$\bar{\lambda}_i = J^{-1/3} \lambda_i \quad (5.2)$$

식(5.2)에서  $\lambda_i$ 는 주 연신률(principal stretch)이다.

재료상수  $\mu_1$ 와  $\alpha_1$ 는 압축 실험으로부터 계산된 응력-변형률 결과를 최소자승법(Least Square Method)을 이용하여 위의 식(5.1)로부터 유도된 공칭 응력-변형률(Nominal stress-strain) 관계식에 적합(Fitting) 시켜 계산하였으며, 재료상수  $D$ 는 0.5의 포아송비(Poisson's ratio)에 부합하는 생체 연 조직의 비압축성(incompressibility)에 근거하여 0로 설정하였다. 공칭 응력-변형률은 가상일의 원리(Principal of virtual work)를 이용하여, 위의 변형률 에너지 함수 식(5.1)로부터 아래의 식(5.3)으로 유도된다[26]. 이때, 정상시편과 경화시편 사이의 통계적 유의성을 확인하기 위하여 양측분포 대응표본 T 검정을 수행하였다. T 검정에 있어서 유의수준( $\alpha$ )은 0.05로 설정하였다.

$$\sigma_U = \frac{2\mu_1}{\alpha_1^2} (\lambda_U^{\alpha_1-1} - \lambda_U^{-\frac{1}{2}\alpha_1-1}), \quad \lambda_1 = \lambda_U, \quad \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_U^{\frac{1}{2}}, \quad \lambda_U = 1 + \varepsilon_U \quad (5.3)$$

식(5.3)에서  $\sigma_U$ 와  $\varepsilon_U$ 는 단축방향(Uni-axial)에서의 공칭 응력(Nominal Stress)과 공칭 변형률(Nominal strain)을 나타낸다. 본 연구에서의 압축 실험은 단축방향에서 수행되었기 때문에, 단지 단축방향에 대한 공칭 응력 및 응력율이 고려되었다.

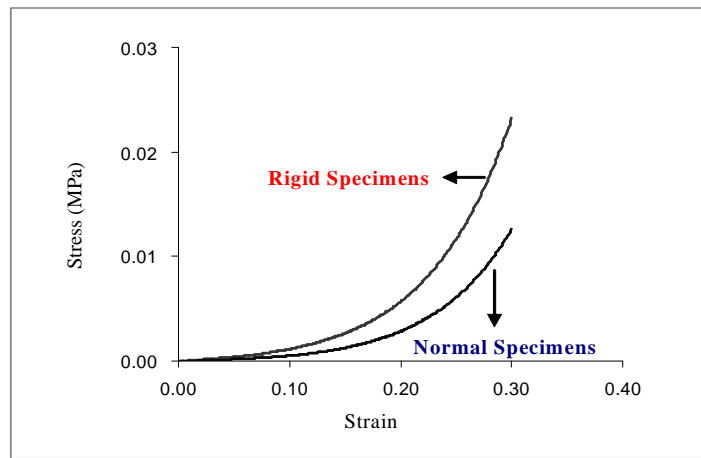


그림 5.2 초 탄성 물질 모델의 응력-변형률 곡선

그림 5.2는 시편의 압축 실험을 통해서 얻어진 비선형 초탄성 물질 모델의 응력-변형률 곡선이다. 정상시편의 압축 실험 결과로부터 계산된 재료상수  $\mu_1$ 은  $0.5 \pm 0.3$ (평균 $\pm$ 표준편차)MPa 그리고  $\alpha_1$ 은  $19.5 \pm 1.9$ 였다. 경화된 시편의 압축 실험으로부터 계산된 재료상수  $\mu_1$ 은  $1.1 \pm 0.2$ MPa 그리고  $\alpha_1$ 은  $18.5 \pm 2.4$ 였다. 정상시편의 재료상수  $\mu_1$ 에 비교하여 경화된 시편의  $\mu_1$ 은 2.2배 증가하였으나( $p < 0.05$ ), 재료상수  $\alpha_1$ 에 있어서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p > 0.05$ ). 이러한 결과는 인위적으로 경화된 시편이 정상시편보다 기계적 강도가 크다는 것을 나타내며, 본 연구에서 시편의 경화를 유도하기 위하여 사용된 방법에 대한 신뢰성을 정량적으로 뒷받침하여 줄 수 있을 것이라 판단된다.

### 5.1.2 팬텀 실험과 분석(Phantom Test and Analysis)

본 연구에서 개발한 위장 경화 진단 기기의 검증을 팬텀 실험(Phantom test)을 통하여 수행하였다. 이러한 검증을 위하여 정상시편과 경화된 시편의 “지방과 근육 층 사이의 경계면” 그리고 “피부와 지방 층 사이의 경계면”에서의 초음파 응답특성들을 측정하여 서로 비교 분석하였다. 이때, 결과 값의 정량화와 비교의 편



의성을 위하여 초음파 응답특성 중 반사파의 최대진폭(Maximum amplitude)의 변화를 비교 분석하였다. 또한, 정상시편과 경화된 시편에서 측정된 각각의 초음파 응답특성 사이의 통계적 유의성을 확인하기 위하여 양측분포 대응표본 T 검정을 수행하였다. T 검정에 있어서 유의수준 ( $\alpha$ )은 0.05로 설정하였다.

그림 5.3는 본 연구에서 개발한 위장 경화 진단기기를 사용하여 측정된 정상시편과 경화된 시편에서의 “실제 초음파 응답특성”이고 그림 5.4는 “지방과 근육 층 사이의 경계면에서의 반사파의 최대진폭에 대한 평균 및 표준편차”를 나타낸다.

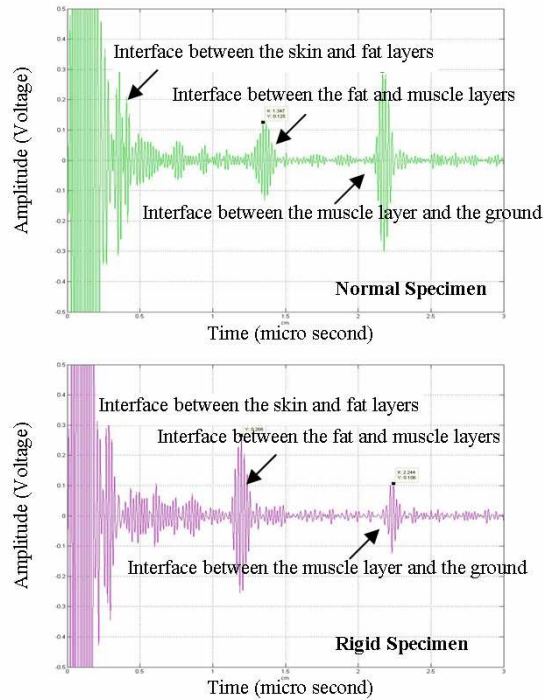


그림 5.3 정상시편과 경화된 시편의 초음파 응답특성

정상시편의 “피부와 지방 층 사이의 경계면” 에서 반사되는 초음파 반사파의 최대진폭( $0.23 \pm 0.05V_{p-p}$ )은 경화된 시편의 “피부와 지방층 사이의 경계면” 에서의

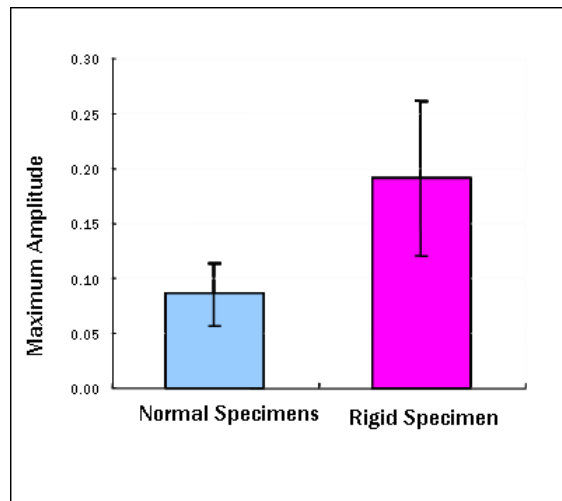


그림 5.4 반사파의 최대 진폭에 대한 평균 및 표준편차

초음파 반사파의 최대진폭( $0.33 \pm 0.05 \text{Vp-p}$ )과 유사하였다( $p > 0.05$ ). 그러나 “지방과 근육 층의 경계면”에서의 최대진폭은 정상시편( $0.09 \pm 0.03 \text{Vp-p}$ )보다 경화된 시편( $0.19 \pm 0.07 \text{Vp-p}$ )에서 약 10배 정도 작게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다( $p < 0.05$ ). 이때, 정상시편의 경우 “지방과 근육 층 사이의 경계면”에서의 최대진폭은 “피부와 지방 층 사이의 경계면”에서의 최대진폭과 비교하여  $62.4 \pm 10.9\%$  감소하였으며, 경화된 시편의 경우에 있어서는  $36.9 \pm 27.7\%$  감소하였다. 이러한 정상시편과 경화된 시편의 최대 진폭을 비교한 결과, 평균 25.5%의 차이가 나는 것을 확인할 수 있었으며 그 결과 값 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). 정상시편과 비교하여 경화된 시편에서의 “지방과 근육 층 사이의 경계면”에서 반사된 초음파 반사파의 최대진폭의 감소가 더 작은 이유는 근육의 경화로 인하여 정상시편에서 보다 근육 층으로의 초음파 신호의 전달이 방해되기 때문이라 판단된다. 이러한 결과들에 근거하여, 본 연구에서 개발한 위장 경화 진단 기기는 기능성 위장 장애를 가진 환자의 위장벽에서의 초음파 응답특성의 정량화를 통하여, 환자의 기능성 위장 장애를 정량적으로 진단할 수 있도록 도와 줄 수 있을 것이라 판단된다.

## 5.2 임상 실험

본 연구에서 개발한 초음파 위장 경화 진단기기를 이용하여 실제 임상에서 기능성 위장장애를 진단할 수 있는 지에 대한 여부를 최종적으로 확인하기 위하여, 기능성 위장 장애를 가진 환자와 그렇지 않은 환자를 상대로 임상실험을 수행하였다. 피검자는 총 10명을 대상으로 선정하였으며, 5명의 정상인군과 기능성 위장 장애로 인하여 복통을 호소하는 5명의 환자군으로 나누어 실험을 수행하였다.

실험 방법은 촉진을 통해서 위장 부위가 단단해진 곳을 선택한 후, 그 부분에 개발한 초음파 진단 시스템을 적용하여 정상인군과 환자군의 초음파 응답을 검출하였다(그림 5.5). 이때 초음파 응답 특성을 LABVIEW 7.1(National Instruments, Austin, Texas, USA)을 기반으로 개발한 모니터링 프로그램을 사용하여 획득하였고 정상인군과 환자군의 초음파 응답특성을 분석하였다.



그림 5.5 개발된 장비를 이용한 환자의 복부에 대한 촉진 방법



그림 5.6 위장의 위치를 확인하기 위한 위체상부의 초음파 영상

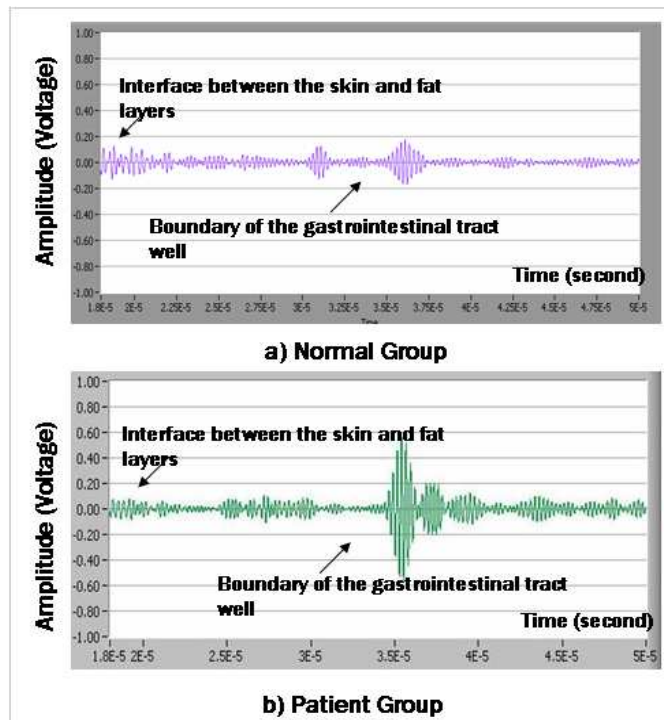


그림 5.7 개발된 위장 경화 진단기기를 이용하여 검출된 정상군과 환자군에 대한 대표적인 초음파 응답 파형, a) 정상군, b) 환자군

그림 5.5는 초음파 진단 장비로 위장 부위를 측정할 영상이다. 피부에서부터 위까지의 거리를 보면 약 2.5cm 정도의 깊이에 위장이 있다는 사실을 확인할 수 있다. 설계된 초음파 시스템을 이용하여 피검자를 측정하였을 때에도 마찬가지로 2.5cm에서 3.5cm의 깊이에서 반사 신호가 검출되었다. 이는 개발된 측정 장비가 실제 위장의 위치에서 반사되는 신호를 측정하는 것이 가능하다는 사실을 뒷받침해 준다.

그림 5.6은 정상인군과 환자군의 위장 부위에서의 초음파 응답 특성을 나타내고 있다. 정상인군의 위장 부위에서 초음파 반사파의 최대 진폭 값은 0.4V<sub>p-p</sub>였으며 환자의 경우는 위장부위에서 초음파 반사 신호의 최대 진폭 값이 0.6V<sub>p-p</sub>였다. 이러한 결과는 환자의 위장 경계 부위에서 반사되는 초음파 응답의 최대 진폭이 정상인군보다 높게 나타나는 것을 의미하며, 이는 기능성 위장 장애로 인하여 위장이 경화될 수 있다는 것을 의미한다.

## 제 6장 결론 및 고찰

본 연구에서는 기능성 위장 장애로 인하여 발생할 수 있는 위장 부위에서의 경화현상을 진단할 수 있는 초음파 위장 경화 진단기기를 개발 검증하였다. 비록 기능성 위장 장애에 따른 환자의 통증을 정량화 하는 것이 현재의 기술로는 매우 어렵기 때문에 개발된 위장 진단기기를 사용하여 기능성 위장 장애의 정도를 분석 할 수는 없었지만, 처음으로 초음파 응답특성을 이용하여 기능성 위장 장애를 진단 할 수 있는 하나의 방법론과 그 가능성을 제시하고 검증하였다는 점에 본 연구의 의의가 있을 것이라 사료된다.

최근 들어서 기능성 위장 장애로 인한 환자들이 증가하고 있다. 기능성 위장 장애는 위장의 운동성 저하로 인하여 복통, 구역질, 변비, 소화불량, 복부 팽창, 구토, 설사, 장염, 소화불량 등을 수반하여 위장 부위에서의 만성적인 통증과 비정상적인 위장의 운동성 저하를 유발시킨다[5,6]. 이러한 비정상적인 위장의 운동성 저하는 음식물 찌꺼기를 위장벽에 흡착시켜 독소를 생성하여 위장부위에서의 위장의 운동성과 관련된 일부 신경과 세포의 기능을 연속적으로 파괴 할 수 있을 것이라 판단된다. 최근, Takaki[27] 등과 Min과 Leabu[28]의 연구 결과를 통해 카할간질세포(Interstitial cells of Cajal, ICC)가 세포내(Intracellular)  $Ca^{2+}$  이온 농도의 조절에 중요한 역할을 담당하는 것으로 보고되었다. 비록, 근소포체(sarcoplasmic reticulum)의  $Ca^{2+}$ -ATPase, IP3 수용체, 리아노딘(ryanodine) 수용체 그리고 세포막 이온 채널(plasma membrane ion channels)등의 다양한 요소들이  $Ca^{2+}$  의 흡수-방출 주기(release-refilling cycle)에 영향을 주지만, 위장의 운동성에 있어서는 카할간질세포에 의한  $Ca^{2+}$  의 흡수-방출 기능의 조절이 중요한 요소로 인식되고 있다[27-29]. 이러한 카할간질세포는 식도부터 항문까지를 포함하는 소화기관에 분포되어 있으며, 특히 위장부위의 점막 아래, 근육 내에 광범위하게 분포되어 있다. 따라서, 만약 어떠한 기전에 의하여 위장부위의 카할간질세포의 파괴로 인하여 평활근(smooth muscle)의 세포질내에 비정상적인  $Ca^{2+}$  이온 농도가 연속적으로 발생되면, 위장벽을 구성하는 평활근이 비정상적이고 연속적인 수

축에 의해 경직되는 현상이 발생 할 수 있을 것이라 사료된다. 이러한 이유는 근육의 수축이  $Ca^{2+}$  펌프에 의해 발생하는 수축 이완 작용에 의해 조절되기 때문이다[30]. 따라서, 이러한 결과는 결국 위장의 경화를 유발하여 기능성 위장 장애의 원인으로 간주될 수 있을 것이라 판단된다. 또한 이러한 사실은 기능성 위장 장애를 가진 환자의 촉진 시 정상인보다 위장부위에서 단단함이 확인된 본 연구의 선행 그리고 현재 연구 결과와도 부합된다.

비록 본 연구의 선행연구에서[11], 기능성 위장 장애를 가진 환자의 위장부위가 단단해진다는 사실을 확인하였지만, 그 기전에 대한 평가가 다양한 방법에서 더 확인되어야 할 것이라 사료된다. 따라서 본 연구의 후속 연구에서, 실제 경화된 평활근의 물성치 변화의 정확한 기전과 그 정도를 정량화하기 위한 다른 방법으로서 미소기계학적(Micro-mechanics) 그리고 분자생물학적(Molecular biology) 분석을 수행하고자 한다. 그러한 후속 연구는 현재 연구의 타당성과 신뢰성을 증대시켜 줄 수 있을 것이라 사료된다. 본 연구는 앞에서 언급하였던 것처럼, 처음으로 기능성 위장 장애를 가진 환자의 진단을 위하여, 기계학적 관점에서 초음파 응답 특성을 이용한 진단의 가능성을 시도 그리고 검증 하고자 하였다는 점에서 의의가 있다.

## 참고문헌

- [1] Longstreth GF, "Irritable Bowel Syndrome: A Multibillion-Dollar Problem." Gastroenterology, vol. 109, 2029-2042, 1995.
- [2] The Hankoyreh, "About the Functional Gastrointestinal Disturbance", Article of The Hankoyreh, Available to [http:// www.hani.co.kr/ section-005100031/ 2004/ 02/ 005100031200402241950615. html](http://www.hani.co.kr/section-005100031/2004/02/005100031200402241950615.html), Feb. 24, 2004.
- [3] 정애숙, 최서형, "담적(淡積)제거를 통한 만성위염, 두통, 어지럼증 등의 한방치료 효과" 보고서, 하나한방병원 하나동서의학연구소 발간, 2004.
- [4] 조준식, "상복부 질환의 초음파 진단", J Korean Acad Fam Med Vol. 19, No.5, May, 1998.
- [5] 서정길, "적취의 병리에 관한 문헌적 고찰", 대한한의학회지, 제15권, pp.42-45, 1978.
- [6] 김규동 저, 동의내과학, 여강출판사. pp.96-100, 1992.
- [7] D. G. Woo. "Relationship between Functional Gastrointestinal Disorders and Risk Factors" J. Applied Mathematics and Computer Sciences, 2007, vol.4, 762-764.
- [8] C. Rubin, M. Bolander, J. Ryaby, and M. Hadjiargyrou. "The use of low-intensity ultrasound to accelerate the healing of fractures". J. Bone Joint Surg., vol. 83A, 259-270, 2001.



- [9] R. St John Brown. "How safe is diagnostic ultrasonography". J Can Med. Assoc., vol. 131, 307-311, 1984.
- [10] T.A. Whittingham, "Medical diagnostic applications and sources". Progress in Biophysics and Molecular Biology, vol. 93, 84-110, 2007.
- [11] Q.J. Lee, Y.H. Lee, T.M. Shin, "The Development and Response Characteristic Analysis of Dam Jerk Diagnosis System Using Ultrasonic Sensor", J. KIEE, vol. 55D(4), 189-194, 2006.
- [12] Colin-Jones DG : Dyspepsia update. Scand J Gastroenterol 1995;30(Suppl 210):32
- [13] Lambert J : The role of Helicobacter pylori in nonulcer dyspepsia : a debate- for gastroenterol Clin N Am 1993;22:141.
- [14] Dooley CP, Cohen H, Fizgibbons PL, Bauer M, Appleman MD, Perez GI, et al.:Prevalence of Helicobacter pylori infection and histologic gastritis in asymptomatic persons. N 엡히 J Med 1989; 321:1562.
- [15] 유중선: 비궤양성 소화불량에서 Helicobacter pylori의 치료. 대한소화기학회지 1997; 29 (suppl 1): 1.
- [16] Rees WDW, Miller LD, Malagelada JR : Dyspepsia, antral motor function, and gastric stasis of solid. Gastroenterol 1980; 78:360.
- [17] Malagelada JR, stanghellini V: Manometric evaluationof functional upper gut symptoms. Gastroenterol 1985; 88:1223.

- [18] Lockerman ZS, Maurer A, Siegel J : clinical profiles for idiopathic diabetic and postsurgical gastroparesis : a disorder occurring predominantly in women. *Gastroenterol* 1987;92:1508
- [19] Jebbink HJA, Smout AJPM, Van Berge GP : Pathophysiology and treatment of functional dyspepsia. *Scand J Gastroenterol* 1993; 28 (Suppl 200): 8
- [20] Richter JE, Barish CF, Castell DO : Abnormal sensory perception in patients with chest pain. *Gastroenterol* 1994; 106: A1038.
- [21] Leman M, Dederling JP, Flourie B, et al : Abnormal perception of visceral pain in response to gastric distension in chronic idiopathic dyspepsia. The irritable stomach syndrome *Dig. Dis Sci* 1991;36:1249
- [22] Hui WM, Shin LP, Lam SK : The perception of life events and daily stress in non-ulcer dyspepsia. *AM J Gastroenterol* 1986;3:292.
- [23] Sander JO, Veldhuyzen VZ, Cynthia C, et al. : Drug treatment of functional dyspepsia: a systemic analysis of trial methodology with recommendations for design of future trials. *Am J Gastroenterol* 1996;91:660.
- [24] Y. C. Fung, *Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues*, 2nd Edition, New York, USA, Springer-Verlag, 1993, pp. 269-277.
- [25] J. B. Park and R. S. Lakes, *Biomaterials: An Introduction*, 2nd Edition, New York, USA, Plenum Press, 1992, pp. 185-222.

[26] ABAQUS, Elastic Mechanical Properties: Hyperelasticity In ABAQUS Analysis User's Manual of ABAQUS Version 6.6 Documentation, Providence, USA, ABAQUS Inc., 2006, pp. Section 17.7.

[27] K. D. Keef, D. C. Murray, K. M. Sanders, and T. K. Smith. "Basal release of nitric oxide induces an oscillatory motor pattern in canine colon" *J. Physiol.*, vol. 499, 773-786, 1997.

[28] K. W. Min, and M. Leabu. "Interstitial Cells of Cajal (ICC) and Gastrointestinal Stromal Tumor (GIST): facts, speculations, and myths." *J. Cell Mol Med.* , vol. 10, 995-1013, 2006.

[29] T. K. Smith, J. B. Reed, and K. M. Sanders. "Interaction of two electrical pacemakers in the muscularis of the canine proximal colon" *Am. J. Physiol.*, vol. 252, C290-C299, 1987.

[30] M. Takaki. "Cut pacemaker cells: the interstitial cells of cajal (ICC)" *J. Smooth Muscle Res.*, 2003, vol. 39, 137-161.

## *ABSTRACT*

### *A Study on Gastrointestinal Diagnosis System based on Ultrasonic Response Characteristic*

Kim, Eun - Geun

Dept. of Biomedical Engineering

The Graduate School

Yonsei University

Functional gastrointestinal disorders affect millions of people spread all age regardless of race and sex. There are, however, rare diagnostic methods for the functional gastrointestinal disorders because functional disorders show no evidence of organic and physical causes. Our research group identified recently that the gastrointestinal tract in the patients with the functional gastrointestinal disorders becomes more rigid than healthy people when palpating the abdominal regions overlaying the gastrointestinal tract. Aim of this study is, therefore, to develop a diagnostic system for the functional gastrointestinal disorders based on ultrasound technique, which can quantify the characteristic above related to the rigidity of the gastrointestinal tract.

Ultrasound system was designed. The system consisted of transmitter, ultrasonic transducer, receiver, TGC, and CPLD, and verified via a phantom test. For the phantom test, ten soft-tissue specimens were harvested from porcine. Five of them were then treated chemically to mimic a rigid condition of gastrointestinal tract, which was induced by functional gastrointestinal disorders. Additionally, the specimens were tested mechanically to identify if

the mimic was reasonable. The customized ultrasound system was finally verified through application to human subjects with/without functional gastrointestinal disorders (Normal and Patient Groups).

It was identified from the mechanical test that the chemically treated specimens were more rigid than normal specimen. This finding was favorably compared with the result obtained from the phantom test. The phantom test also showed that ultrasound system well described the specimen geometric characteristics and detected an alteration in the specimens. The maximum amplitude of the ultrasonic reflective signal in the rigid specimens ( $0.2 \pm 0.1V_{p-p}$ ) at the interface between the fat and muscle layers was explicitly higher than that in the normal specimens ( $0.1 \pm 0.0V_{p-p}$ ). Clinical tests using our customized ultrasound system for human subject showed that the maximum amplitudes of the ultrasonic reflective signals near to the gastrointestinal tract for the patient group ( $0.6V_{p-p}$ ) were generally higher than those in normal group ( $0.4V_{p-p}$ ). These results suggest that newly designed diagnostic system based on ultrasound technique may diagnose enough the functional gastrointestinal disorders.