

# 최종보고서 [기관고유연구사업]

과제고유번호	1410590-2	연구분야 (코드)	I-4	지원 프로그램	창의과제	공개가능여부 (공개, 비공개)	공개		
연구사업명	국립암센터 기관고유연구사업								
연구과제명	능동 힘제어 구현을 통한 안전한 고효율 초음파 스캔 보조로봇 개발								
과제책임자	성명	김광기	소속	의공학연구과	직위	책임연구원			
세부과제	구분	과제명			과제책임자				
					성명	소속(직위)	전공		
	(1세부)								
	(2세부)								
	(3세부)								
총연구기간	2014년 02월~ 2015년 12월 (총 2년)		해당단계 참여 연구원 수	총: 6명 내부: 1명 외부: 5명	해당단계 연구개발비	연구비: 80,000 천원 민간: 0 천원 계: 80,000천원			
			총연구기간 참여 연구원 수	총: 6명 내부: 1명 외부: 5명		총연구개발비	연구비: 160,000천원 민간: 0 천원 계: 160,000천원		
연구기간 및 연구비 (단위: 천원)	구분	연구기간	계	국립암센터	기업부담금				
					소계	현금	현물		
	계	2014.02~2015.12	160,000	160,000	-	-	-		
	제1차	2014.02~2014.12	80,000	80,000	-	-	-		
	제2차	2015.02~2015.12	80,000	80,000	-	-	-		
	~								
참여기업	참여기업명 :-								
국제공동연구	상대국명:-				상대국 연구기관명:-				
위탁연구	연구기관명:-				연구책임자:-				

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

2015년                  10월                  20일

과제책임자 : 김 광 기 (인)

국립암센터원장 귀하

## < 국문 요약문 >

연구의 목적 및 내용	<p>&lt;연구의 목적&gt;</p> <p>갑상선 초음파 검사를 위한 스캔 로봇을 개발하고 능동 힘 제어를 구현하여 검사 의 효율을 극대화 하고 환자의 안전을 보장</p> <p>&lt;각 년도별 연구내용&gt;</p> <p>가. 1차년도: 갑상선 초음파 검사용 로봇 시스템 컴포넌트의 설계 및 제작</p> <p>(1) 초음파 검사용 능동 힘제어기반 스캔 로봇의 임상적 요구사항 정리</p> <p>(2) 갑상선 초음파 검사용 다자유도 로봇 메커니즘 설계 및 제작</p> <p>(3) 실시간 힘 제어 지원 플랫폼 구축</p> <p>(4) 초음파 검사용 힘 제어기반 스캔 로봇의 성능 평가 지표 설정</p> <p>나. 2차년도: 갑상선 초음파 검사용 스캔 로봇 시스템 통합 및 성능 검증</p> <p>(1) 임상을 반영한 초음파 검사용 스캔 알고리즘 개발</p> <p>(2) 초음파 진단 스캔 로봇 시스템 통합</p> <p>(3) 스캔을 위한 힘 제어 기술 구현</p> <p>(4) 최종 개발된 힘 제어기반 스캔 로봇 시스템의 성능 검증</p>																
연구개발성과	<p>&lt;정량적 성과<sup>1)</sup>&gt;</p> <table><tr><td>구분</td><td>달성치/목표치<sup>1)</sup></td><td>달성도(%)</td></tr><tr><td>SCI 논문 편수</td><td>2</td><td>200</td></tr><tr><td>IF 합</td><td>2.052</td><td>200</td></tr><tr><td>기타 성과</td><td></td><td></td></tr></table> <p>1) 총연구기간 내 목표연구성과로 기 제출한 값</p> <p>&lt;정성적 성과&gt;</p> <p>-갑상선 진단용 초음파 스캔로봇을 설계하고 제작하였음</p> <p>-갑상선 진단용 초음파 스캔로봇과 상용화된 초음파 스캐너를 통합하였음</p> <p>-갑상선 진단용 초음파 스캔로봇의 스캔을 위한 힘 제어 기술을 구현하였음</p> <p>-초음파 영상을 분석하여 그 결과를 초음파 로봇에 피드백하는 알고리즘을 개발하 였음</p> <p>-개발된 초음파 스캔로봇 시스템을 갑상선 팬텀을 이용하여 그 성능을 검증함</p>					구분	달성치/목표치 <sup>1)</sup>	달성도(%)	SCI 논문 편수	2	200	IF 합	2.052	200	기타 성과		
구분	달성치/목표치 <sup>1)</sup>	달성도(%)															
SCI 논문 편수	2	200															
IF 합	2.052	200															
기타 성과																	
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<p>현재 임상위가 실시하고 있는 갑상선 초음파 검진단계를 기 개발된 로봇으로 대 체할 수 있는 가능성을 제시함. 본 연구에서 개발된 영상 분석 피드백 알고리즘 및 힘 제어 알고리즘은 완성된 로봇이나 다른 개발된 의료용 로봇에도 적용하여 활용할 수 있을 것으로 판단됨. 그러나 아직 시작단계이며 추가적으로 알고리즘 의 보완이나 환자의 안전, 검진의 효율을 증가시키는 로봇설계상의 변경이 필요 할 것으로 판단됨.</p>																
중심어 (5개 이내)	초음파 스캔	영상 분석	힘 제어	초음파 로봇	갑상선 진단												

## < 영문 요약문 >

Purpose& Contents	<p>&lt;Purpose of Research&gt;</p> <p>Maximize the efficiency of thyroid cancer screening by active force control of the ultrasound scanning robot and guarantee the safety of a patient.</p> <p>&lt;Research Content&gt;</p> <p>1. 1st year: Design and development of a thyroid ultrasound scanning robot system.</p> <p>(1)Accumulate the clinical needs about the thyroid ultrasound scanning robot.</p> <p>(2)Design and development of a multidimensional ultrasound scanning robot mechanism.</p> <p>(3)Development realtime support platform to the ultrasound scanning robot.</p> <p>(4)Establish the performance evaluation index of the ultrasound scanning robot.</p> <p>2. 2nd year: System integration and performance evaluation of the thyroid ultrasound scanning robot</p> <p>(1)Development of the ultrasound scanning algorithm reflecting the clinical needs.</p> <p>(2)Integration of the ultrasound scanning robot and commercial ultrasound scanner.</p> <p>(3)Active force control algorithm development for the ultrasound scanning robot.</p> <p>(4)Performance evaluation of the developed force control based ultrasound scanning robot.</p>																
Results	<p>&lt;Quantitative Outcome&gt;</p> <table><tr><td>Classification</td><td>Commitment/Target<sup>1)</sup></td><td>Commitment rate(%)</td></tr><tr><td>SCI paper number</td><td>2</td><td>200</td></tr><tr><td>IF summation</td><td>2.052</td><td>200</td></tr><tr><td>Others</td><td></td><td></td></tr></table> <p>&lt;Qualitative Outcome&gt;</p> <p>-Design and Development of the ultrasound scanning robot for the thyroid cancer screening.</p> <p>-Integration of the ultrasound scanning robot and commercial ultrasound scanner.</p> <p>-Development of the force control algorithm for the ultrasound scanning robot.</p> <p>-Development of the analysis method of the ultrasound image and its feedback to the movement of the ultrasound scanning robot.</p> <p>-Evaluation of the performance of the ultrasound scanning robot using a thyroid phantom</p>					Classification	Commitment/Target <sup>1)</sup>	Commitment rate(%)	SCI paper number	2	200	IF summation	2.052	200	Others		
Classification	Commitment/Target <sup>1)</sup>	Commitment rate(%)															
SCI paper number	2	200															
IF summation	2.052	200															
Others																	
Expected Contribution	<p>Suggests the possibility of using the developed ultrasound scanning robot for the screening of the thyroid cancer. And The developed force/position control algorithm and ultrasound image analysis algorithm can be applied to the other developed medical robot. However, this research is only its beginning stage and additional supplementation of the algorithm and modification of the ultrasound scanning robot is required for the safety of the patient and the efficiency of the screening of the thyroid cancer.</p>																
Keywords	Ultrasound Scanning	Image Analysis	Force Control	Ultrasound Scanning Robot	Thyroid Screening												

## < SUMMARY >

## < 목 차 >

1. 연구개발과제의개요	
2. 국내외 기술개발 현황 .....	1
3. 연구수행 내용 및 결과 .....	5
4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	17
5. 연구결과의 활용계획 등 .....	19
6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	19
7. 연구개발과제의 대표적 연구실적 .....	20
8. 참여연구원 현황 .....	22
9. 기타사항 .....	22
10. 참고문헌 .....	22

### <별첨> 자체평가의견서

※ 여러개의 세부과제로 과제가 구성된 경우 위 목차와 동일하게 세부과제별로 작성함

( I. 총괄과제, II. 제1세부과제, III. 제2세부과제..... )

## 1. 연구개발과제의 개요

### 1-1. 연구개발 목적

- 본 연구에서는 초음파 진단 시술자의 피로도 및 고통 저감과 환자의 안전을 도모하기 위한 갑상선 초음파 진단 로봇을 개발함. 본 연구에서 개발하고자 하는 로봇은 초음파 프로브가 장착되어 스캔을 수행 할 수 있을 뿐만 아니라 프로브가 환자에 가하는 힘을 능동적으로 제어하는 힘 제어(force control)기술을 구현하여 초음파 영상의 품질을 극대화 하고 환자의 안전을 보호. 이 연구를 통해 진단용 로봇에 대한 원천 기술 및 힘제어를 이용한 로봇의 진단에 대한 기반 기술 확보를 목표로 함.

### 1-2. 연구개발의 필요성

- 초음파 진단로봇은 다음 절에 기술하듯 선진국에서는 차세대 의료 로봇 중 하나로 많은 연구팀에서 개발되고 있으나 현재 국내에서는 거의 개발이 전무한 상황임.
- 해외의 선행연구결과에 따르면 로봇을 이용한 검진은 비전문가의 진단 정확도와 시간을 크게 단축시키며 따라서 로봇에 의한 초음파 진단은 시술자의 경험에 따른 시술 작업 효율성 차이를 최소화 하고 전체 시술시간과 비용을 절감 할 수 있음.
- 로봇을 이용한 초음파 스캔은 진단의 효율을 극대화 하며 환자의 불쾌감을 최소화 하고 안전을 보장 할 수 있음.
- 초음파 진단 외에도 다양한 진단에 적용 가능한 다목적 로봇 플랫폼의 개발.
- 능동 힘제어와 초음파 진단 로봇을 접목함으로써 다음의 효과를 기대할 수 있음:
  - 진단 효율 향상: 능동 힘제어를 이용하면 초음파 프로브와 환자간의 접촉을 안정적으로 유지 할 수 있으므로 기존의 진단 로봇에 비해 더 정확하고 선명한 영상을 획득 할 수 있음.
  - 환자 안전 보호: 프로브가 환자에 가하는 외력을 실시간으로 측정하고 제어함으로 환자에 지나친 힘이 가해지는 것을 미연에 방지하고 환자의 안전을 보장 할 수 있음.
  - 기반 기술 확보: 능동 힘제어 기반의 진단 로봇의 연구는 초기 단계이며 따라서 해외 선진 그룹에 대항하는 진단 로봇 개발 및 기반 기술 확보 가능.

### 1-3. 연구개발 범위

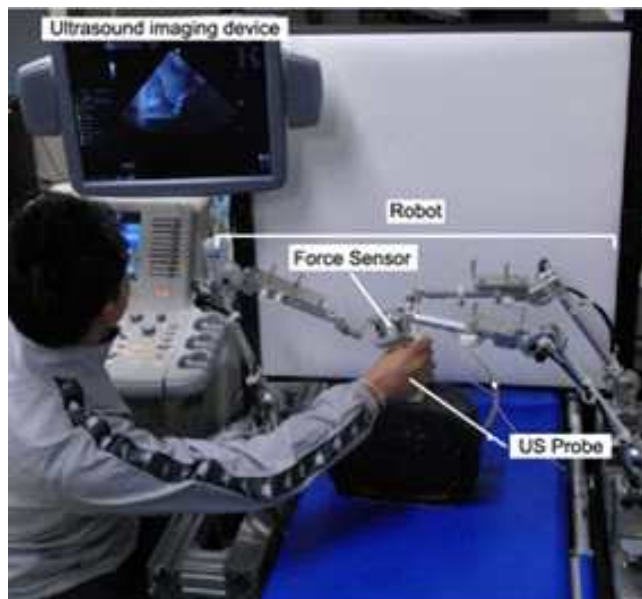
- 임상을 반영한 스캔 알고리즘 개발
- 로봇 H/W 개발
- 힘 제어 알고리즘 개발 및 적용
- 성능평가

## 2. 국내외 기술개발 현황

- 해외에서는 일본 등을 중심으로 많은 초음파촬영술용 로봇이 개발되어 왔음. 이러한 로봇들은 자동/반자동으로 동작하며 초음파 프로브로 진단하는 시술자의 피로도를 줄이고 환자의 안전을 보호함. 국내에서는 아직 초음파촬영술용 로봇이 개발된 사례는 없음.

#### ○ Tokyo University of Agriculture and Technology (일본)

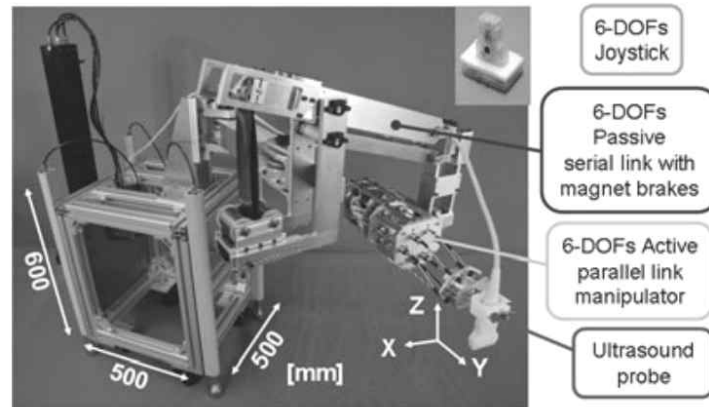
- 초음파용 프로브를 지지하여 주는 로봇을 개발. 이 로봇은 parallel mechanism으로 구성되어 있으며 초음파 프로브를 지지하여 줌으로써 시술자의 피로도를 줄여주도록 고안 되었다. 말단에 6축 F/T센서가 장착되어 있으며 compliance control를 구현하여 사용자가 쉽게 프로브를 움직이도록 하였다. 그러나 프로브를 이용한 스캔 작업은 여전히 사람에 의해 제어되며 3개의 모니터로 구성되어 있어 제어가 복잡하다는 단점이 있다.
- Reference: S. Onogi, Y. Urayama, S. Irisawa and K. Masuda. Robotic ultrasound probe handling auxiliary by active compliance control, Advanced Robotics, 27, 503-512, 2013



<그림 2> 일본 도쿄농업기술대학에서 개발한 로봇

#### ○ 와세대 대학 (일본)

- 총 12자유도를 가지는 초음파 프로브 로봇 WTA-1RII를 개발하였다. 이 로봇은 6개의 능동 관절 외에도 브레이크가 장착된 6개의 수동 관절로 이루어져 있으며 자동으로 초음파 스캔을 수행 할 수 있다. 또한 얻은 영상의 품질에 기반해 프로브를 제어함으로써 최적의 영상을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 총 12도의 자유도로 인해 로봇의 크기가 비대해 졌으며 힘제어가 불가능 하여 안정적인 영상을 얻는데 한계가 있다.
- Reference: R. Nakadate, J. Solis, A. Takanishi, M. Sugawara, K. Niki and E. Minagawa. Development of the ultrasound probe holding robot WTA-1RII and an automated scanning algorithm based on ultrasound image feedback, Robot design, dynamics and control, 524, 359-366, 2010



<그림 3> 일본 와세대 대학에서 개발한 로봇

#### ○ Autonomous University of the State of Mexico (멕시코)

- 초음파 스캔을 위한 master-slave 로봇 TERMI를 개발하였다. 이 로봇은 4자유도를 가지며 초음파 프로브의 위치 및 방향을 능동적으로 제어하도록 설계되었다. 그러나 힘제어가 불가능 하여 안정적인 영상 획득이 힘들며 로봇의 작업공간이 제한적이어서 실제 사용이 제한된다.
- Reference: A. Vilchis-Gonzalez, J.C. Avila-Vilchis, A. Garcia-Torres and J. Bernal. A robot for ultrasound examinations, Proc. of IV Latin American Congress on Biomedical Engineering, 693-696, 2007



<그림 4> 멕시코 Autonomous 대학에서 개발한 로봇

#### ○ UBC대학 (캐나다)

- 초음파 프로브를 위한 로봇을 개발하였다. 이 로봇은 가볍고 counter balance mechanism을 장착하여 비정상상태 시에도 사용자의 안전을 보호할 수 있다. 6축 F/T센서를 장착하여 힘, 위치 그리고 이미지 기반 제어를 통해 최적의 영상 값을 얻을 수 있으나 counter balance mechanism으로 인해 로봇

- 의 크기가 비대해 진다는 단점이 있다.
- Reference: P. Abolmaesumi, S.E. Salcudean, W.-H. Zhu, M.R. Sirouspour and S.P. DiMaio. Image-guided control of a robot for medical ultrasound, Transaction on Robotics and Automation, 18, 11-23, 2002



<그림 5> 캐나다 UBC 대학에서 개발한 로봇

#### ○ 캐나다 퀘벡 대학 ETS연구실 (캐나다)

- 자동 초음파 스캔을 위한 6자유도 로봇 MedRUE를 개발하였다. 이 로봇은 프로브의 방향 및 위치를 능동적으로 제어 가능하며 말단에 장착된 6축 F/T센서를 이용, 위치 및 힘제어를 구현 가능하다.
- Reference: A.K.W. Yen. Servo position control of robotic manipulator for 3-D echography of lower limb arteries, Master's thesis, Ecole de technologie superieure, 2011



<그림 6> 캐나다 퀘벡 대학에서 개발한 로봇



○ Henry Ford Hospital (미국)

- 수술 중 종양검출을 위한 robotic probe를 개발하였다. 이 프로브는 수술용 로봇 그리퍼(gripper)에 장착되어 사용되며 보조자가 아니라 시술자가 직접 스캔을 수행하도록 해줌으로써 종양 검출의 정확도를 높일 수 있다. 하지만 이러한 장비는 기존의 로봇에 장착되어 사용되어야 하며 자동화가 힘들다는 한계점이 있다.
- Reference: B.F. Kaczmarek, F. Petros, Q.D. Trinh, N. Mander, R. Chen, M. Menon and C.G. Rogers. Robotic ultrasound probe for tumor identification in robotic partial nephrectomy: initial series and outcomes, International Journal of Urology, 20, 172-176, 2012



<그림 7> 미국 Henry Ford 병원에서 개발한 로봇

### 3. 연구수행 내용 및 결과

○ 각 년차년도 세부과제 별 연구수행 내용 및 결과는 다음과 같다.

1. 1차년도 연구수행 내용 및 결과

(1) 초음파 검사용 능동 힘제어기반 스캔 로봇의 임상적 요구사항 정리

초음파 검사용 스캔로봇 제작 시 고려되어야 할 임상적 요구사항을 임상과의 함께 정리하였다. 그 내용은 다음과 같다.

-다양한 환자를 스캔할 수 있어야 한다. 즉, 갑상선 초음파 영상을 획득할 경우 각 환자들의 목의 길이나 두께가 차이가 있으므로 로봇의 최대 스트로크가 이러한 목의 두께나 길이를 커버할 수 있어야 한다. 로봇의 스트로크 설계시 이러한 사항이 고려되어야 한다.

-환자의 목의 길이에 따라서 그 굴곡에 차이가 있으므로 이러한 굴곡에 수직한 방향으로 스캔이 가능해야 한다. 즉, 피부의 수직방향으로 스캐너를 위치시키는 알고리즘이 개발되어야 한다.

-통상적으로 로봇의 환자에 대해 스캐너를 누르는 힘이 확보되어야 한다. 보통, 임상이가 환자를 스캐너로 누를 때의 힘은 1.0 ~ 5.0N 정도인데, 로봇의 각 관절의 모터를 설계 시 이러한 사항이 고려되어 모터의 용량이 로봇의 끝단에서 약 5.0N이상의 힘을 전달할 수 있게 확보되어야 한다.

-스캐너는 임상이가 일상적으로 많이 사용하는 스캐너를 사용해야 하며, 향후 스캐너의 교체시 다양한 스캐너와 결합될 수 있는 로봇이 설계되어야 한다.

-환자를 초음파 스캐너로 스캔할 경우 통상 윤활제를 바르고 스캔을 하는데 이러한 윤활제의 유무가 로봇제어나 초음파 영상분석 알고리즘에 영향을 미쳐서는 안된다. 그러므로 향후 로봇의 설계나 초음파 영상분석 알고리즘 개발 시 고려되어야 한다.

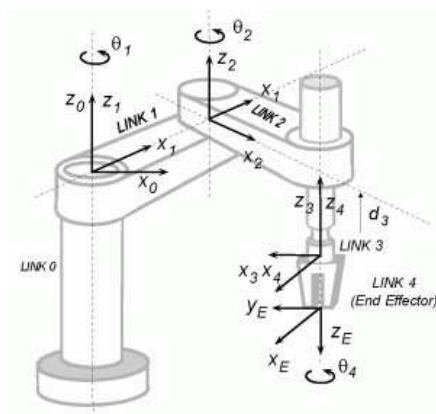
-로봇으로 환자를 스캔할 경우, 환자의 몸에 갑자기 이상이 생기거나 환자가 불편할 경우 즉시 스캔을 중단해야 하므로 로봇의 설계시 로봇을 환자의 몸에서 즉각 멀리 보낼 수 있도록 모터의 속도나 하모닉 드라이브의 사양을 정해야 한다.

## (2) 갑상선 초음파 검사용 다자유도 로봇 메커니즘 설계 및 제작

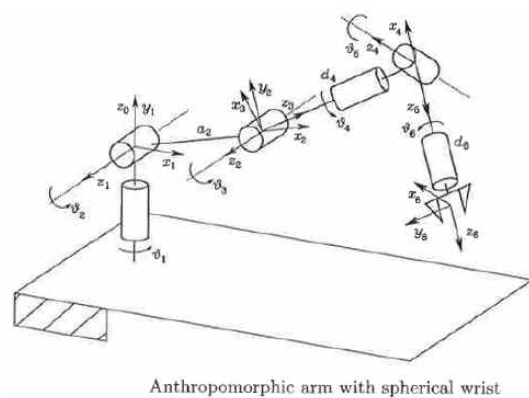
갑상선 초음파 검사용 다자유도 로봇 메커니즘을 설계 및 제작한다. 먼저 상기 임상이의 요구사항을 정리하여 여러 가지 설계 변수들 중 최적의 것을 선택하였다. 그것들은 다음과 같다.

### ① 로봇의 기본적 형태의 결정

로봇은 크게 병렬 매커니즘과 직렬 매커니즘이 존재하는데, 이미 외국에서 개발되어 있는 병렬매커니즘은 피하고 직렬 매커니즘으로 개발한다.



<그림 8> SCARA robot



<그림 9> Anthropomorphic robot

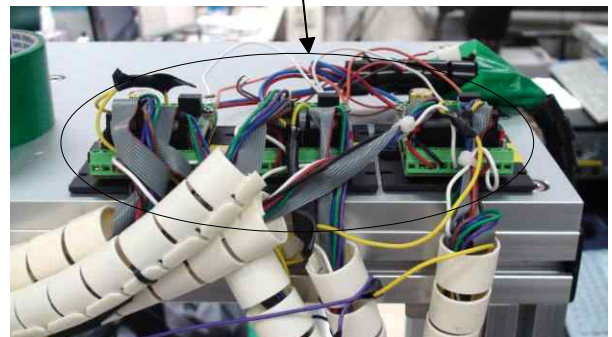
이러한 직렬 매커니즘은 크게 SCARA 타입과 Anthropomorphic 타입으로 나눌 수 있는데( 그림 8, 9 참조) 로봇의 워크스페이스를 고려하여 Anthropomorphic 타입으로 결정한다.

- ② 로봇의 총 자유도는 로봇의 방향 및 위치를 임의로 위치시킴을 가정해야 하므로 6자유도로 설계한다.
- ③ 로봇의 총 길이는 약 1m로 한다.
- ④ 로봇의 재질을 무게를 고려하여 알루미늄으로 한다.

이러한 설계상 변수를 결정 하여 캐드툴인 CATIA v5로 로봇을 설계하여 외주의뢰, 제작하였다. 제작된 로봇은 다음과 같다. 총 6자유도이며 길이는 약 0.95m 이다. 구동모터가 6개, 하모닉드라이브가 6개 장착되어 있다.

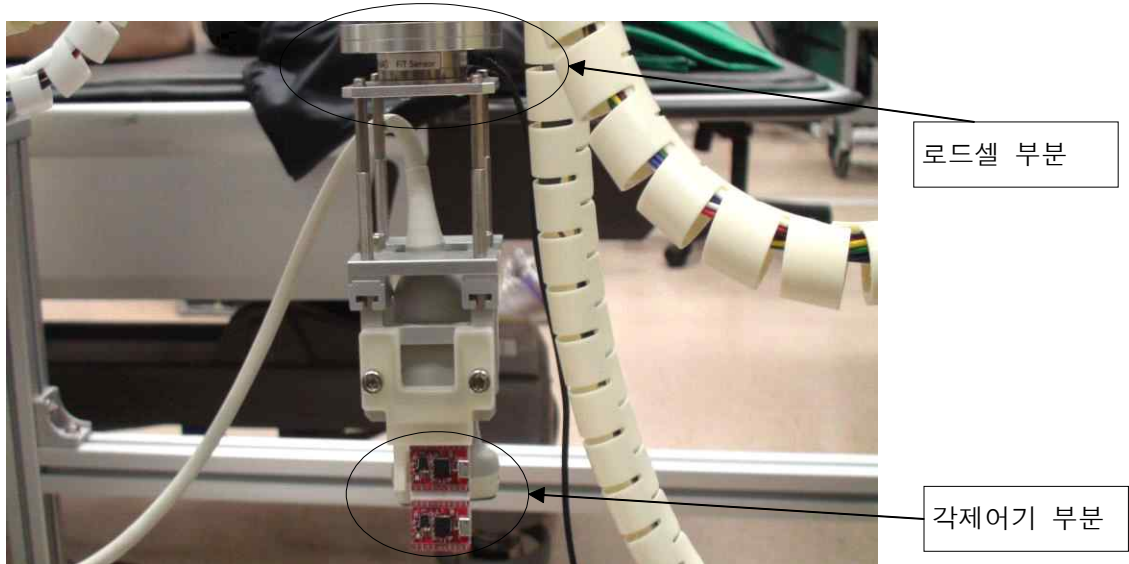


<그림 10> 개발된 초음파 스캔로봇



<그림 11> 개발된 초음파 스캔로봇 컨트롤러

그림 10의 동그라미가 그려진 부분이 로봇의 끝단이며 확대된 그림이 그림 12에 있다.

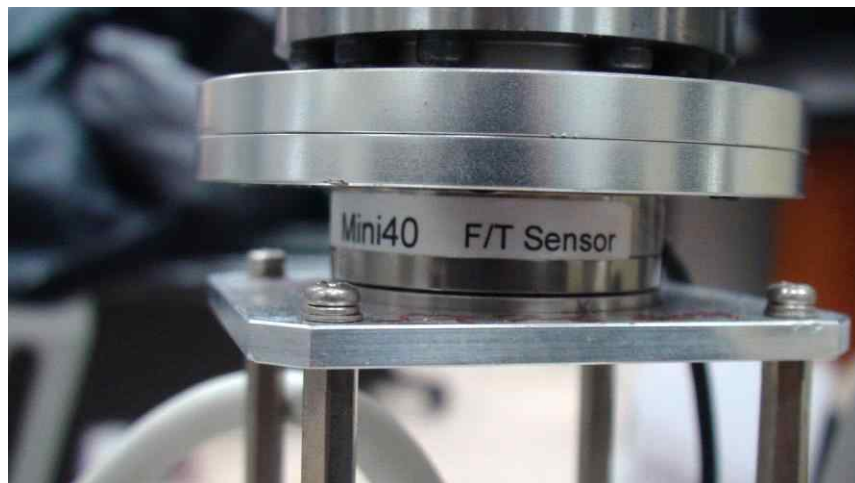


<그림 12> 개발된 초음파 스캔로봇의 End Effector(끝단) 부분

그림 12의 위의 동그라미 부분은 로드셀(ATI Co Ltd.)부분으로 로봇의 끝단에 작용하는 힘을 감지하는 부분이다. 총 6개 방향을 힘/토크를 감지할 수 있다. 그리고 그 밑에 초음파 스캐너 프로브 및 지지대가 있으며 밑의 동그라미가 End Effector(로봇 끝단)의 각을 제어하는 각제어기 부분이다. 로봇은 모두 조립된 후 다양한 위치 및 방향제어를 통하여 그 성능을 검증하였다.

### (3) 실시간 힘 제어 지원 플랫폼 구축

실시간 힘 제어 지원 플랫폼은 크게 3가지로 구분될 수 있다. 로봇의 힘을 센싱하는 센서부, 센싱된 힘신호를 변환하는 트랜스듀서 부분 그리고 마지막으로 트랜스듀서에서 나온 신호를 제어/처리하는 제어부분이 그것이다. 그림 13, 14, 15에 보면 이러한 구성요소가 나타나 있다.



<그림 13> 힘 센서 부분





<그림 14> 트랜스듀서 부분



<그림 15> 제어기 부분

#### (4) 초음파 검사용 힘 제어기반 스캔 로봇의 성능 평가 지표 설정

초음파 검사용 힘 제어기반 스캔 로봇의 성능 평가 지표를 설정하였다. 성능평가는 그림 16에 나타나 있는 초음파 감상선 팬텀을 스캔하여 임상의학가 그 결과를 평가하여 점수화하는 것으로 하였다. 점수는 5단계로 하되 임상의학가 스캔한 것을 5라고 하고 가장 안 좋은 스캔결과를 1이라고 하였다.

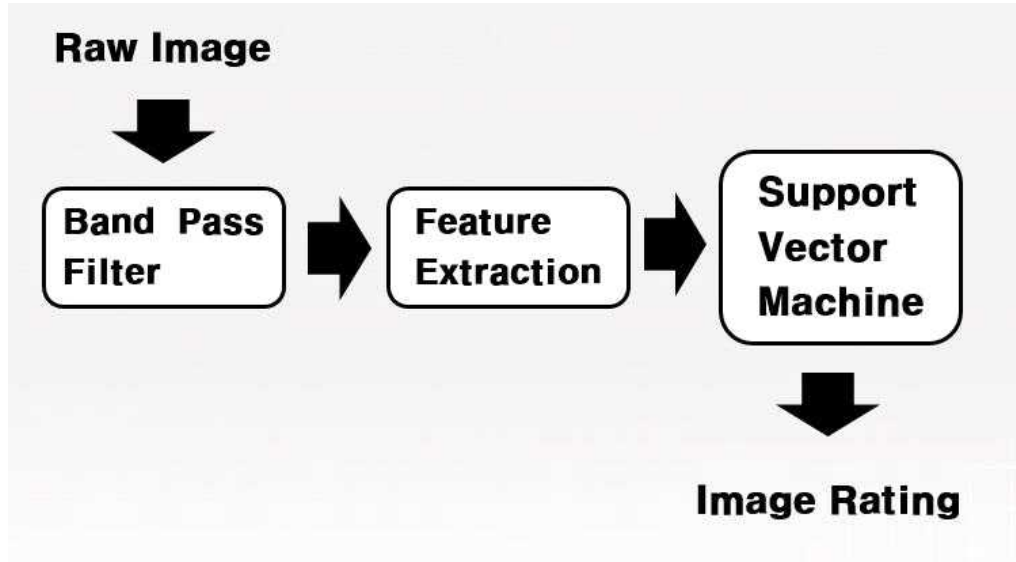


<그림 16> 초음파 감상선 팬텀

## 2. 2차년도 연구수행 내용 및 결과

### (1) 임상을 반영한 초음파 검사용 스캔 알고리즘 개발

초음파 검사용 스캔 알고리즘은 그림 17과 같다.



<그림 17> 초음파 검사용 스캔 알고리즘

그림 17을 보면 먼저 Raw Image를 초음파 스캐너가 스캔하면 후에 기술될 스캐너/로봇 통합 시스템을 거쳐서 제어기에 Raw Image가 들어가게 된다. 여기서 BandPass Filter를 이용하여 Speckling을 필터한다. 그리고 하기 그림 18에 나온 식을 이용하여 Feature를 추출하고 이러한 추출된 Feature를 Support Vector Machine(그림 19)을 이용하여 이미지를 분류한다. 이미지가 최종적으로 양질의 것이면 힘제어 알고리즘으로의 피드백을 끝내고 다음 위치로 이동하며 만일 이미지가 양질의 것이 아니면 다시 힘제어 알고리즘으로 피드백하여 이미지를 다시 받아 분류한다.

### 초음파 영상의 피쳐 분석 – Image Quality Index

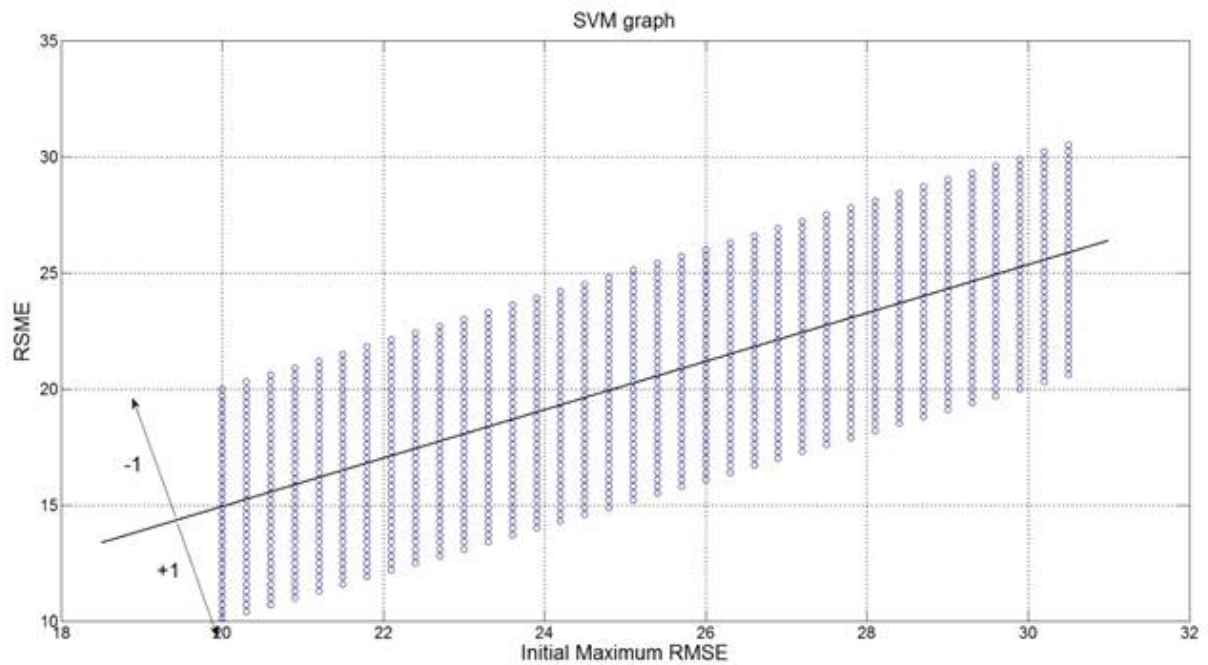
$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g_{i,j} - f_{i,j})^2$$

$$Q = \frac{\sigma_{gf}}{\sigma_f \sigma_g} \cdot \frac{2\bar{f}\bar{g}}{(\bar{f})^2 + (\bar{g})^2} \cdot \frac{2\sigma_f \sigma_g}{\sigma_f^2 + \sigma_g^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g_{i,j} - f_{i,j})^2}$$

$$GAE = \left( \prod_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \sqrt{g_{i,j} - f_{i,j}} \right)^{1/MN}$$

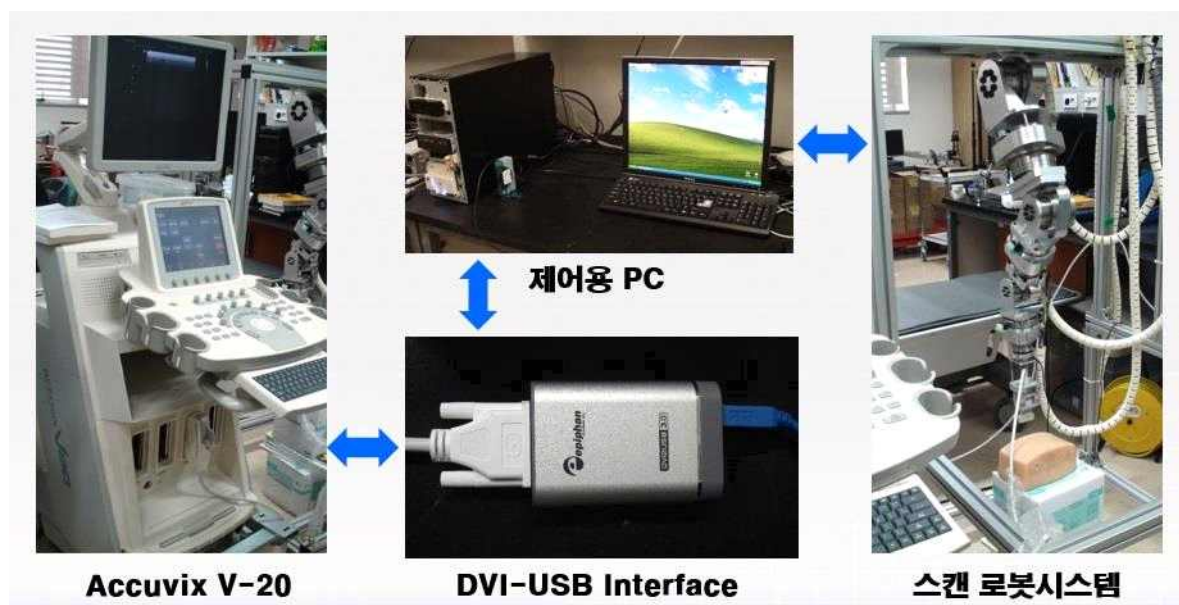
<그림 18> 초음파 영상분석에서 피쳐 추출을 위한 식



<그림 19> 초음파 영상분석에서 사용한 Support Vector Machine

## (2) 초음파 진단 스캔 로봇 시스템 통합

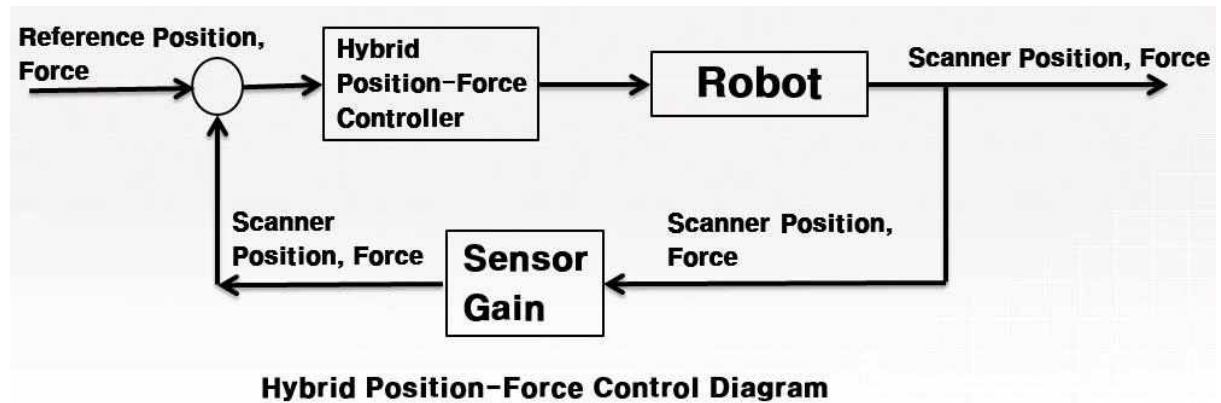
개발된 초음파와 스캔 로봇과 초음파 스캔기기(Medison Accuvix) 그리고 제어기 PC를 통합하였다. 통합된 시스템은 그림 20과 같다. 그림 20의 가운데 DVI-USB Interface기기는 초음파 스캔기기와 제어용 PC를 이어주는 인터페이스 기기이며 로봇과 제어용 PC는 IEEE 485프로토콜로 연결되어 있다.



<그림 20> 초음파 진단 로봇/스캐너 통합 시스템

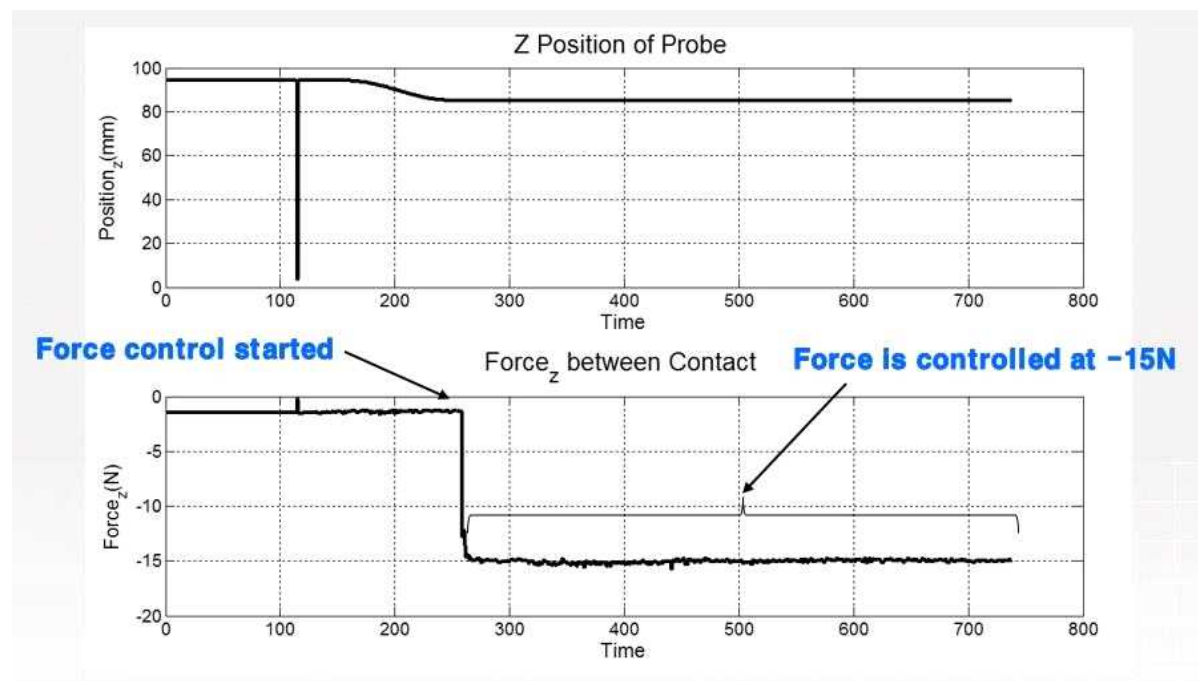
### (3) 스캔을 위한 힘 제어 기술 구현

초음파 영상 스캔을 위한 힘 제어 기술은 그림 21과 같이 구현하였다. 6축 힘/토크 센서를 이용하여 로봇 끝단에서 발생하는 힘을 피드백 받은 후 Hybrid Position/Force Control Algorithm을 이용하여 로봇 끝단에서의 힘을 일정하게 유지하면서 로봇을 이동시킬 수 있다.



<그림 21> Hybrid Position/Force Control Algorithm

이러한 Hybrid Position/Force Control Algorithm을 이용하여 그림 16의 초음파 팬텀을 스캔했을 때 결과는 그림 22와 같다. Z방향의 힘이 -15N으로 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다.

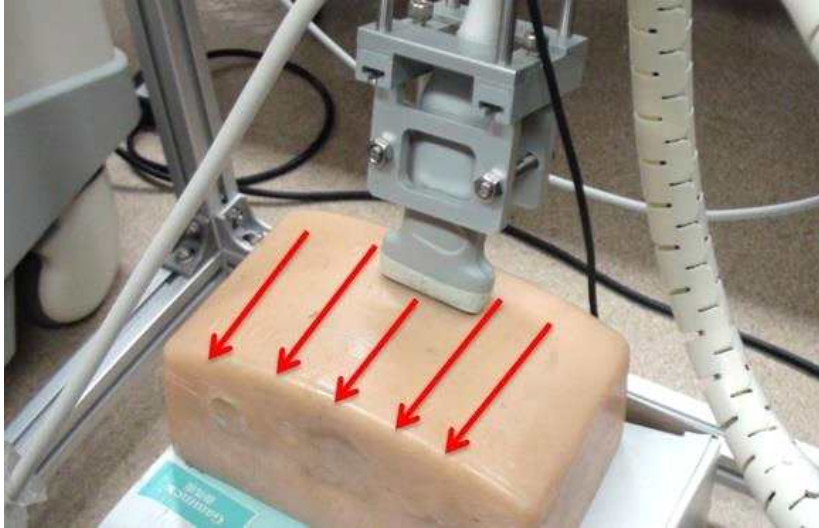


<그림 22> Hybrid Position/Force Control 실험 결과



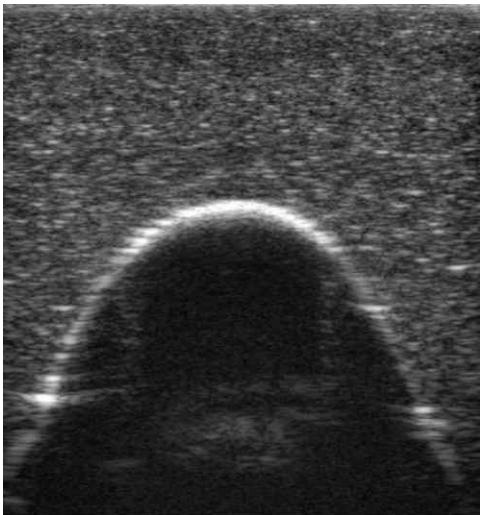
(4) 최종 개발된 힘 제어기반 스캔 로봇 시스템의 성능 검증

최종 개발된 힘 제어기반 스캔 로봇 시스템을 그림 16의 초음파 갑상선 팬텀을 이용하여 성능을 검증하였다. 갑상선 팬텀의 스캔방향은 그림 23과 같다.

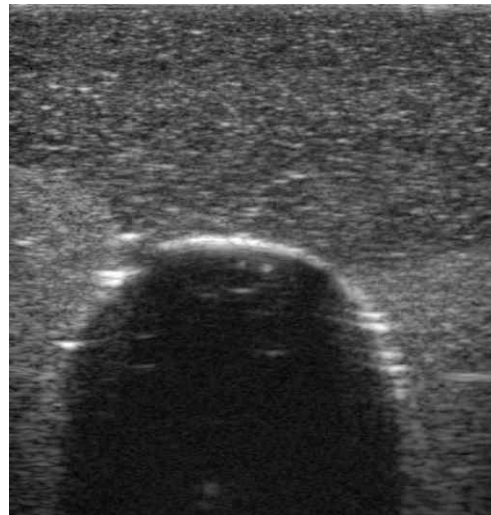


<그림 23> 갑상선 팬텀의 스캔방향

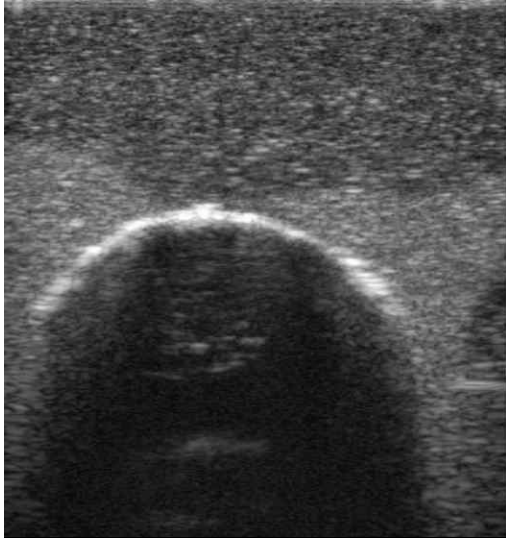
로봇을 그림 23의 빨간색 화살표 방향으로 움직이면서 스캔 알고리즘 및 로봇의 힘 제어 알고리즘을 이용하여 초음파 영상을 획득하였다. 획득된 영상은 그림 24~28과 같다.



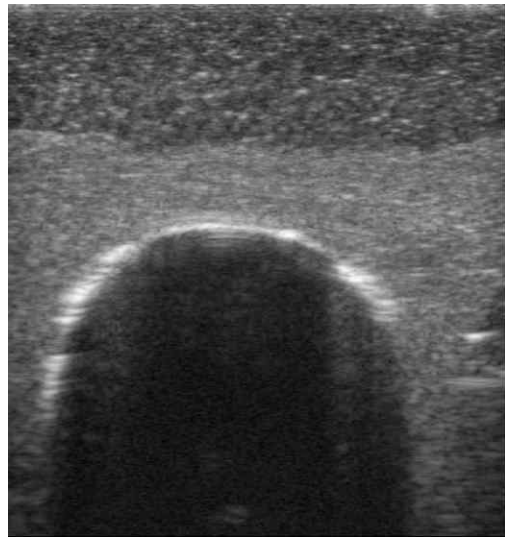
<그림 24> 획득된 영상 1



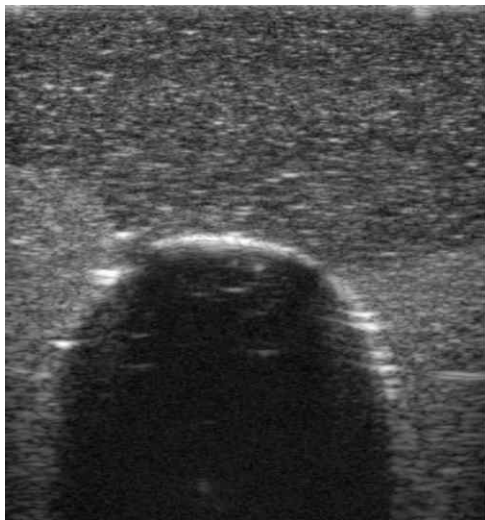
<그림 25> 획득된 영상 2



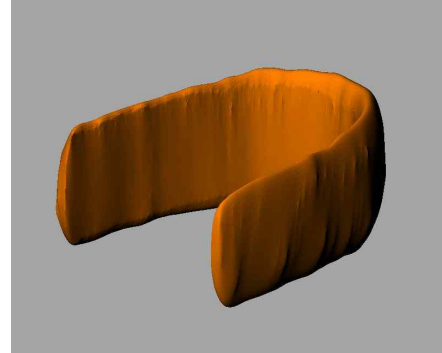
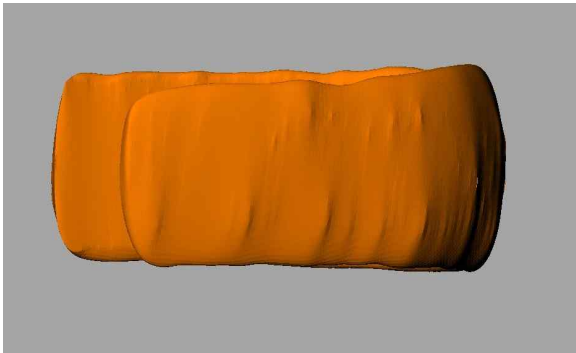
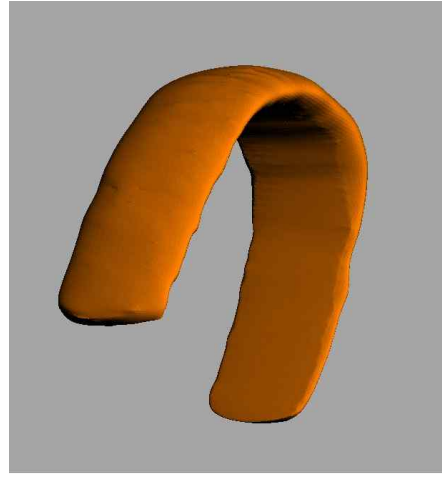
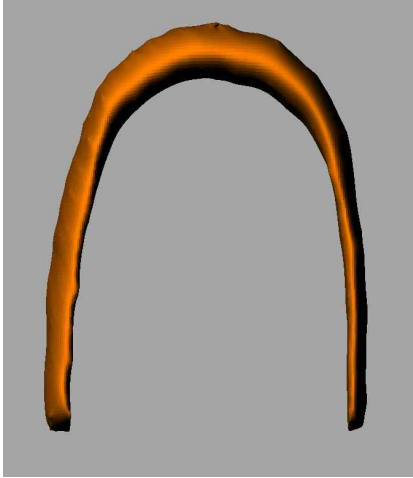
<그림 26> 획득된 영상 3



<그림 27> 획득된 영상 4



<그림 28> 획득된 영상 5



<그림 29> 3차원으로 표현한 영상

그림 24~28의 영상 1~5번은 각각 초음파 로봇이 팬텀을 그림 23의 방향으로 스캔했을 때 5개의 지점에 대해서 스캔 알고리즘 및 로봇의 힘 제어 알고리즘을 이용하여 구해진 영상들을 나타내고 있다. 각 영상에 대해서는 점수는 다음 표 1과 같다.

영상번호	1번 영상	2번 영상	3번 영상	4번 영상	5번 영상
점수 (5점 만점)	3.9	4.1	4.2	3.8	3.9

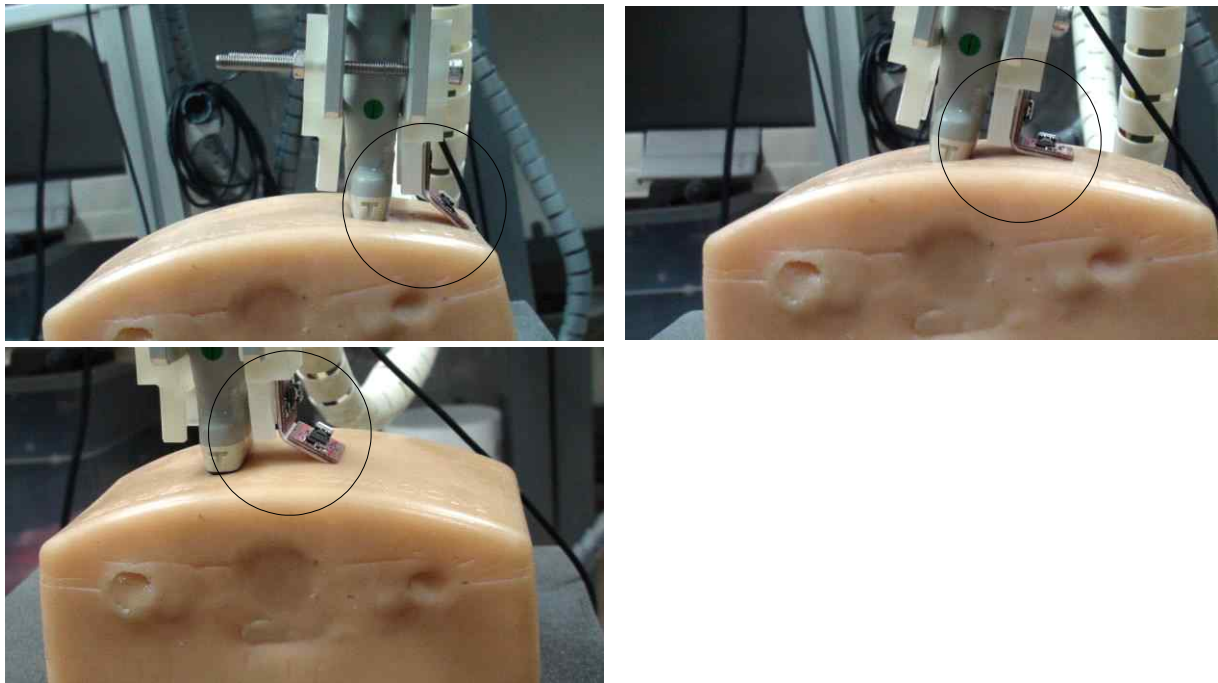
<표 1> 획득된 영상에 대한 점수

표 1의 점수를 보면 평균 4.0대로 비교적 높은 점수를 받고 있으나 임상적 수준의 수준에 로봇이 아직 미치지 못하는 것을 볼 수 있다. 향후 로봇 영상분석 알고리즘의 개선을 통하여 개선이 가능하며 점수를 임상적 수준의 수준을 5점 만점으로 향상시키는 것이 향후 과제라 할 수 있다.

**\*초음파 스캔 로봇 프로브의 기울기제어 \***

초음파 스캔 검사를 할 경우 대상의 면이 곡면인 경우가 있다. 특히 갑상선 암을 위한 검진으로 초음파 스캔 검사를 할 때 목이 비교적 짧은 환자는 상관없지만 목이 긴 환자는 목에 닿는 면을 곡면으로 가정하여 초음파 검사를 실시해야 한다. 이러한 경우, 초음파 프로브의 기울기를 닿는 면에 수직인 방향으로 제어함으로써 초음파 영상을 효과적으로 획득할 수 있다. 본 초음파 스캔 로봇 프로브의 기울기 제어는 프로브를 접촉면에 수직으로 제어한다.

그림 29를 보면 두 개의 빨간색의 IMU(Inertia Measuring Unit)가 직렬로 연결되어 있고 이것의 상대각을 일정하게 유지시킴으로 기울기제어를 실시하게 된다.



#### 4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

○ 목표달성도 -각 연차별 목표달성도는 다음과 같다.					
최종 목표	연차별목표		달성내용	달성도(%)	
				연차	최종
갑상선 초음파 스캔로 봇 시스템 개발	1 차 년 도	(1) 갑상선 초음파 검사용 다자유도 로봇 매커니즘 설계 및 제작	○ 로봇 구조부의 정적, 동적 안정성 확보 ○ 로봇 제어기 하드웨어 성능 확보 ○ 로봇 제어 프로그램 성능 검증	100	75
		(2) 실시간 힘 제어 지원 플랫폼 구축	○ 힘 제어를 위한 센서 선정 ○ 6축 힘/토크센서의 로봇장착 및 캘리브레이션		
		(3) 초음파 검사용 힘 제어기반 스캔 로봇의 성능평가 지표 설정	○ 임상과의 공동연구로 성능평가의 지표를 정리 ○ 성능평가 지표를 정량화		
		(4) 초음파 검사용 능동 힘제어기반 스캔 로봇의 임상적 요구사항 정리	○ 초음파 스캔로봇의 설계 시 필요한 임상적 요구사항 정리 ○ 설계 다변화 및 로봇의 성능향상을 위한 임상적 요구사항 정리		
	2 차 년 도	(5) 임상을 반영한 초음파 검사용 스캔 알고리즘 개발	○ 노이즈 필터링 알고리즘 개발 ○ 피쳐 추출 알고리즘 개발 ○ 영상의 질을 분석할 분류기의 개발	100	75
		(6) 초음파 진단 스캔 로봇 시스템 통합	○ 초음파 진단 스캔 로봇 시스템 통합을 위한 프로토콜 정리 ○ 초음파 진단 스캔 로봇 시스템의 구축을 위 한 하드웨어 확보 ○ 초음파 진단 스캔 로봇 시스템의 통합을 위한 소프트웨어 확보		
		(7) 스캔을 위한 힘 제어 기술 구현	○ 초음파 스캔로봇의 힘과 위치를 동시에 제어 할 수 있는 알고리즘 개발 ○ 초음파 스캔로봇의 힘과 위치제어 알고리 즘을 초음파 검사용 스캔 알고리즘과 통 합		
		(8) 최종 개발된 힘 제어기반 스캔 로봇 시스템의 성능 검증	○ 힘 제어기반 스캔 로봇 시스템을 초음파 팬텀을 이용해 성능검증 ○ 향후 개발을 위한 성능검증 결과 피드백		

○ 관련분야 기여도

1. 진료적인 측면

- 초음파 스캔 검사는 노동력이 많이 필요하면서 장기간 시술 작업을 시행할 경우 시술자의 근 골격계 질환 등에 노출될 위험성이 많음.
- 본 연구에서는 초음파 스캔 검사 시술 작업을 실시간 영상정보를 직접 확인하면서 로봇 시스템에 의해 시술 작업을 수행할 수 있도록 하여 시술자의 편리함과 안정성을 보장하는 환경을 구축하였음.
- 특히 시술자의 반복적 영상 장비 확인 과정과 환부의 스캔작업을 단일 과정으로 통합하면서 시술자가 직접 초음파 스캔 검사 시술을 수행하지 않고 컴퓨터에서 모든 작업을 직접 제어하여 전체 시술 과정에서의 시술 정확성과 시술자 편의성을 크게 증대하도록 하였음.
- 현재 국내에서는 국립암센터와 같이 임상환경과의 긴밀한 협력이 없이 초음파 스캔 로봇과 같은 형태의 연구 수행 자체가 불가능함.
- 본 연구에서는 국립암센터 의공학연구과에서 개발한 시스템을 초음파 팬텀을 이용한 환경에서 성능을 검증하였다는 점에서 큰 의미를 찾을 수 있으며, 이를 통해 얻어진 경험과 기술은 국내 로봇 초음파 스캔 분야에서 독자적인 위치를 확보하였다고 볼 수 있음.
- 시술자의 경험에 따른 시술 작업 효율성 차이를 줄이면서 향상된 시술을 만족시킬 수 있으며, 시술 작업 시간 및 시술 비용을 크게 절감 가능하리라 예측됨.

2. 지식 및 기술적 측면

- 본 초음파 로봇 시스템은 해외 그룹에서 보유하고 있던 로봇 기술을 실제 구현하고 적용해 봄으로서 자체 기술을 확보하였음.
- 또한 능동형 힘 제어 알고리즘과 영상 분석 알고리즘의 조합은 선진국 초음파 검사 로봇들의 하이브리드 형태로서의 기술로서 독자적 기술을 확보하였음.

3. 산업적 측면

- 장기적으로 초음파 스캔 로봇 시스템은 생검 로봇에 이은 차세대 먹거리 중 하나로 여겨지고 있는 의료용 로봇 시스템임.
- 본 연구결과는 향후 이러한 초음파 스캔 로봇 기술의 자동화가 산업화로 이어질 경우 빠르게 대처할 수 있는 기반을 구축하였음.

4. 다른 기술 향상에의 파급효과

- 본 연구결과는 차후 국립암센터에서 의료 영상과 로봇 또는 의료기기의 연동 시스템을 구축하는 데 필요한 기반기술로 볼 수 있으며, 동종의 역할을 하게 되는 시스템에 모두 적용 가능할 것으로 사료됨.

## 5. 연구결과의 활용계획

### (1) 연구종료 2년후 예상 연구성과

구 분	건 수	비 고
학술지 논문 게재	1	Impact Factor : 1
산업재산권 등록	1	국내특허
기 타	-	-

### (2) 연구성과의 활용계획

- 본 연구 성과는 향후 의공학연구과에서 개발할 첨단의료기기에서 기반 기술로 활용할 예정임.
- 개발된 시스템의 본체는 연구에 직접 활용하지 않을 경우는 실험실 내 전시를 통하여 국립암센터의 첨단 기술력을 홍보하는 데 활용할 예정임.

## 6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

- Homayoun Seraji, Adaptive Admittance Control: An Approach to Explicit Force Control in Compliant Motion", 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation , pp 2705-2712, 1994.
- Ganwen Zeng and Ahmad Hemami, "An overview of robot force control", Robotica, vol. 15, pp 473-482, 1997.
- Ganesh. U. L., M. Krishna, S. A. Hariprasad and Sravani Krishna Rau, "Review on Models for Generalized Predictive Controller", CCSEA 2011, CS & IT 02, pp. 418-424, 2011.
- John J. Craig and Marc H. Raibert, "A Systematic Method of Hybrid Position/Force Control of a Manipulator", Computer Software and Application Conference, 1979. Proceedings. COMPSAC 79. The IEEE Computer Society's Third International, pp. 446-451, 1979.
- Seven D. Eppinger and Warren P. Seering, "Understanding Bandwidth Limitations in Robot Force Control", Robotics and Automation. Proceedings. 1987 IEEE International Conference on, pp 904-909, 1987.
- Takashi Katsuragawa, Kiyoshi Ioi, Nobuyuki Kubota and Osamu Noro, "산업용 로봇에서의 하이브리드/콘프라이언스/역제어의 적용 ", 일본로봇학회지 Vol.12 No. 6, pp. 893-898, 1994.
- Gregory D. Glosser and Wyatt S. Newman, "The Implementation of a Natural Admittance Controller on an Industrial Manipulator", 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation vol.2, pp 1209-1215, 1994.
- Tsuneo Yoshikawa, "Force Control of Robot Manipulator", Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp. 220-226, 2000.
- S. Arimoto, S. Kawamura and F. Miyazaki, "Bettering Operation of Dynamic Systems by Learning: A New Control Theory for Servomechanism or Mechatronics Systems", Proceedings of 23rd Conference on Decision and Control, pp. 1064-1069, 1984.
- Y. Aoki, K. Kaneko, K. Ando and K. Masuda, "A study of scanning the ultrasound probe on the body surface by Hybrid control for robotic echography", 제 51회 자동제어연합강연회, pp. 88-91, 2008.
- Purang Abolmaesumi, Septimiu E. Salcudean, Wen-Hong Zhu, Mohammad Reza Sirouspour and Simon P. Dimaio, "Image-Guided Control of a Robot for Medical Ultrasound", IEEE Transactions on Robotics and Automation vol.18 no.1, 2002.

- Francois Pierrot, Etienne Dombre, Eric Degoulange, Loic Urbain, Pierre Caron, Sylvie Boudet, Jerome Gariepy and Jean Louis Megnien, "Hippocrate: a safe robot arm for medical applications with force feedback", Medical Image Analysis vol. 3 no. 3, pp. 285-300, 1999.
- Francois Conti, Jaeheung Park and Oussama Khatib, "Interface Design and Control Strategies for a Robot Assisted Ultrasonic Examination System", Experimental Robotics, Springer Tracts in Advanced Robotics 79, pp. 97-113.
- W. H. Zhu, S. E. Salcudean, S. Bachmann and P. Abolmaesumi, "Motion/Force/Image Control of a Diagnostic Ultrasound Robot", Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1580-1585, 2000.
- Etienne Dombre, Gilles Duchemin, Philippe Poignet and Francois Pierrot, "Dermarob: A Safe Robot for Reconstructive Surgery", IEEE Transactions on Robotics and Automation vol. 19 no. 5 pp. 876-884, 2003.
- Yusuke Aoki, Kenta Kaneko, Taro Sakai and Kohji Masuda, "A Study of Scanning the Ultrasound Probe on Body Surface and Construction of Visual Servo System Based on Echogram", Journal of Robotics and Mechatronics vol. 22 no. 3, pp. 273 - 279, 2010.
- Keiichiro Ito, Shigeki Sugano, Ryohei Takeuchi, Kyota Nakamura and Hiroyasu Iwata, "Usability and performance of a wearable tele-echography robot for focused assessment of trauma using sonography", Medical Engineering & Physics 35, pp. 165 - 71, 2013.
- Shinya Onogi, Toshio Yoshida, Yuki sugano, Takashi Mochizuki and Kohji Masuda, "Robotic Ultrasound Guidance by B-scan Plane Positioning Control", Procedia CIRP 5(2013) 100-103, 2013.

## 7. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	논문	Vision-based variable impedance control with oscillation observer for respiratory motion compensation during robotic needle insertion: a preliminary test	국립암센 터	제1저 자	THE INTERNATIO NAL JOURNAL OF MEDICAL ROBOTICS AND COMPUTER ASSISTED SURGERY	1.526	2014.12.23	중복사사	SCI
2	논문	A Modular Control Scheme for Hyper-redundant Robots	국립암센 터	제1저 자	Internatio nal Journal of Advanced Robotic Systems	0.526	2015.03.26	중복사사	SCI



구분 번호 (논문 /특허 /기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
3	학회 의료영상기반 다기능 침로봇 시스템개발	국립암센 터	제1저 자	대 한의용생 체공학회	-	2014.03	중복사사	비SCI
4	학회 연수막 암종증에서 뇌실로 약물을 주입하기 위한 브레인 케모포트의 설계	국립암센 터	제1저 자	대 한의용생 체공학회	-	2014.03	중복사사	비SCI
5	학회 초음파 수술기의 수술 효율성 향상을 위한 초음파 수술기 위상 측정에 따른 인체유래물에서의 조직 분류 연구	국립암센 터	제1저 자	대 한의용생 체공학회	-	2014.03	중복사사	비SCI
6	학회 내시경용 연속 봉합장치 대한의용생체공학회	국립암센 터	제1저 자	대 한의용생 체공학회	-	2015.03	중복사사	비SCI
7	학회 CT에서 폐암의 체적측정을 위한 3차원 반자동 분할 방법	국립암센 터	제1저 자	대 한의용생 체공학회	-	2015.03	중복사사	비SCI
8	학회 CT와 MRI 영상의 복강 내 림프절 영상 분할 및 3차원 정합의 유용성 연구	국립암센 터	제1저 자	대 한의용생 체공학회	-	2015.03	중복사사	비SCI
9	학회 유방촬영술에서의 흉근 검출 방법	국립암센 터	제1저 자	대 한의용생 체공학회	-	2015.03	중복사사	비SCI
10	특허 슬라이딩 캡 구조 기반의 가변강성 장 치 ( 출 원 번 호 10-2014-0161891)	국립암센 터	공동저 자	국내 특허	-	2014.11	단독사사	특허

8. 참여연구원 현황

번호	소속기관명	직위	생년월일	전공 및 학위		연구담당 분야
	성명	과학 기술인등록 번호	성별	취득 년도	학위 (전공)	과제참여 기간
	국립암센터 김광기					

9. 기타사항

☐

10. 참고문헌

☐

<별첨작성 양식>

[별첨]

## 자체평가의견서

### 1. 과제현황

		과제번호		1410590-2	
사업구분	기관고유연구사업				
연구분야	I-4		과제구분	단위	
사 업 명	기관고유연구사업			주관	
총괄과제	-		총괄책임자	김광기	
과 제 명	능동 힘제어 구현을 통한 안전한 고효율 초음파 스캔 보조로봇 개발		과제유형	응용	
연구기관	국립암센터 의공학연구과		연구책임자	김광기	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	연구비	민간	계
	1차년도	2014.02~2014.12	80,000	0	80,000
	2차년도	2015.02~2015.12	80,000	0	80,000
	3차년도	-	-	-	-
	계	2014.02~2015.12	160,000	0	160,000
참여기업	-				
상 대 국	-		상대국연구기관	-	

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2015 12 20

3. 평가자(과제책임자) :

소속	직위	성명
국립암센터 의공학연구과	책임연구원	김광기

4. 평가자(과제책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	--

## I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

### 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구에서는 초음파 스캔 검사 로봇을 자체 개발함과 동시에 로봇과 기존의 초음파 스캐너 시스템을 통합하여 통합 초음파 스캔 검사 시술 환경을 구축하였으며 독자적인 힘제어 및 영상분석 알고리즘을 통해서 이를 임상에 이용할 수 있게 하였다.

### 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구결과는 차후 의료영상과 로봇 또는 의료기기의 연동 시스템을 구축하는데 필요한 기반기술로 볼 수 있으며 동일하거나 비슷한 기종의 초음파 영상 기기를 기종의 개발된 로봇에 통합할 수 있을 것으로 생각됨.

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구를 통한 개발된 환경을 이용해서 초음파 영상 시술을 함에 있어서 시술자의 경험에 따른 시술 작업 효율성을 증대시키고 향상된 시술을 할 수 있을 것으로 생각됨. 하지만 아직 보다 안전하게 임상에 적용하기 위해서는 향상시켜야 할 기술적인 이슈들이 존재함.

### 4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구에서는 힘/위치제어가 가능한 로봇시스템을 제작함과 동시에 이 시스템을 기존의 초음파 영상 기기와 통합시켜야 할 필요가 있었고 또한 개발된 알고리즘은 기존의 알고리즘과 차별화할 필요성이 있었음. 이를 수행하기 위해 많은 노력이 필요했다고 생각됨.

### 5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

연구개발성과는 2편의 SCI논문이 있는데 하나는 Impact factor가 1.526이고 다른 하나는 0.526인데 더 높은 Impact factor인 저널이 아쉬운 부분임. 그리고 현재 특허실적이 국내실적만 있는데 이를 국제특허로 확대할 필요가 있다고 생각됨.

## II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
갑상선 초음파 검사용 다자유도 로봇 매커니즘 설계 및 제작	예시) 20	75	로봇의 하드웨어 성능을 확보함
실시간 힘 제어 지원 플랫폼 구축	20	75	6축 토크센서를 이용해 플랫폼 구축
임상을 반영한 초음파 검사용 스캔 알고리즘 개발	20	75	영상의 질적 평가를 위한 알고리즘 개발
초음파 진단 스캔 로봇 시스템 통합	20	75	하드웨어/소프트웨어적으로 로봇시스템 통합
스캔을 위한 힘 제어 기술 구현	10	75	힘과 위치를 동시제어하는 힘제어 알고리즘 구현
최종 개발된 힘제어기반 스캔 로봇 시스템의 성능 검증	10	75	초음파 팬텀을 이용한 성능검증 실시
합계	100점	75	

## III. 종합의견

### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

본 연구에서는 초음파 검사의 자동화를 위한 초음파 스캔 로봇을 자체 개발하고 사용하고 있는 초음파 기기와 통합하였다. 또한 초음파 로봇의 힘제어 및 초음파 영상의 분석 알고리즘을 자체개발함으로써 향후 초음파 시술을 자동화할 수 있는 지표를 얻 것으로 생각됨. 하지만 완전한 임상에서의 적용을 위해서 아직 풀어야 할 기술적 난관이 있으며 향후 추가적인 연구를 통해 이를 해결해야 할 것으로 생각됨.

### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

향후 평가시에는 좀 더 향상된 기능의 로봇을 볼 것을 기대함. 현재는 로봇이 너무 비대하며 힘 대비 무게가 큼. 좀 더 가볍고 안정성이 향상된 로봇을 설계할 것을 요구함. 또한 추가적으로 초기 초음파 스캐너를 위치시키는 방법이나 알고리즘을 제안하면 그 임상에서의 효과가 클 것으로 생각됨.

### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

본 연구결과를 바탕으로 좀 더 안정성이 향상된 로봇을 설계함으로 팬텀이 아닌 실제 사람을 대상으로 임상시험을 실시할 것을 권고함. 그리고 좀 더 향상된 자동화를 위하여 초기에 초음파 스캐너를 위치시키는 방법을 고안할 것을 제안함.

#### Ⅳ. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

##### 1. 연구책임자의 의견

--

##### 2. 연구기관 자체의 검토결과

--