

# 최종보고서

## [기관고유연구사업]

과제고유번호	1510240-1	연구분야 (코드)	I-4	지원 프로그램	창의 (모험연구)과제	공개가능여부 (공개, 비공개)	공개
연구사업명	국립암센터 기관고유연구사업						
연구과제명	토모테라피용 정위적 방사선수술시스템 및 치료기술 개발						
과제책임자	성명	박정훈	소속	양성자치료센터	직위	의학물리학직	
세부과제	구분	과제명			과제책임자		
	(1세부)				성명	소속(직위)	전공
	(2세부)						
	(3세부)						
총연구기간	2015년 03월 ~ 2015년 12월 (총 10개월)	해당단계 참여 연구원 수	총: 11 명 내부: 11 명 외부: 0 명	해당단계 연구개발비	연구비: 30,000천원 민간: 0천원 계: 30,000천원		
		총연구기간 참여 연구원 수	총: 11 명 내부: 11 명 외부: 0 명		총연구개발비	연구비: 30,000천원 민간: 0천원 계: 30,000천원	
연구기간 및 연구비 (단위:천원)	구분	연구기간	계	국립암센터	기업부담금		
	계	2015.03.01. ~ 2015.12.31	30,000	30,000	소계	현금	현물
	제1차	~					
	제2차	~					
	제3차	~					
참여기업	참여기업명 :						
국제공동연구	상대국명:				상대국 연구기관명:		
위탁연구	연구기관명:				연구책임자:		

- 토모테라피용 뇌정위 프레임 고정시스템 디자인을 위해 Brainlab 정위 프레임의 사양분석 및 프레임 고정시스템 디자인
- Brainlab 정위 프레임 고정시스템 및 자체 정위 프레임시스템 설계
- 토모테라피용 Brainlab 고정시스템 및 뇌정위 프레임 고정시스템 개발 완료
- 정밀 방사선수술기법 개발을 위한 고정시스템의 방사선 조사 실험 진행중

2015 년 11 월 4 일

과제책임자 : 박정훈 (인)

국립암센터원장 귀하

< 국문 요약문 >

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>뇌정위적 방사선수술은 양성, 악성, 전이성뇌종양 병소에 12-25 Gy의 고선량을 1-5회에 조사하여 병소의 괴사를 일으킴으로써 환자를 치료하는 방사선치료기법이지만 토모테라피를 위한 이용가능한 뇌정위 프레임 고정시스템이 없음. 이를 위해서 토모테라피용 뇌정위 프레임 고정시스템과 정밀 방사선수술 기법을 개발하여 양성/악성/전이성 뇌종양 환자의 방사선수술에 적용함으로써 환자치료의 정확성 및 효과성을 높이는데 목적을 둠</p>										
<p>연구개발성과</p>	<p>&lt;정량적 성과<sup>1)</sup>&gt;</p> <table border="1" data-bbox="464 719 1380 804"> <tr> <td data-bbox="464 719 772 763">SCI 논문 편수<sup>2)</sup></td> <td data-bbox="772 719 1046 763">IF 합<sup>2)</sup></td> <td data-bbox="1046 719 1380 763">기타 성과<sup>3)</sup></td> </tr> <tr> <td data-bbox="464 763 772 804"></td> <td data-bbox="772 763 1046 804"></td> <td data-bbox="1046 763 1380 804"></td> </tr> </table> <p>&lt;정성적 성과&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Brainlab 프레임 장착가능한 방사선수술시스템 개발</li> <li>- 정위프레임이 결합된 토모테라피 방사선수술장치 개발</li> <li>- 토모테라피에서 정위프레임을 사용한 방사선수술 가능</li> <li>- 토모테라피를 이용한 뇌종양 방사선수술 환자의 치료정확도 향상</li> <li>- 뇌정위 방사선수술 시행방법의 다양성 증가</li> </ul>					SCI 논문 편수 <sup>2)</sup>	IF 합 <sup>2)</sup>	기타 성과 <sup>3)</sup>			
SCI 논문 편수 <sup>2)</sup>	IF 합 <sup>2)</sup>	기타 성과 <sup>3)</sup>									
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토모테라피에서 정위적 프레임을 이용한 뇌정위방사선수술 시행 가능             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 환자 셋업 정확도를 0.5mm 이내로 할 수 있어서 정밀한 방사선수술/치료 가능</li> <li>- 국립암센터의 뇌정위방사선수술 가능한 장비의 성능 부족으로 외부에 의뢰되는 환자를 흡수할 경우 수익 증가 기대</li> </ul> </li> <li>○ 뇌정위방사선수술/치료 시행방법의 다양성 증가로 최적의 치료 프로토콜 모색 가능</li> <li>○ Couch 고정장치를 수정하면 양성자치료기에서의 뇌정위방사선수술/치료에 응용가능</li> </ul>										
<p>중심어 (5개 이내)</p>	<p>토모테라피</p>	<p>정위적 프레임</p>	<p>뇌정위방사선수술</p>								

< 영문 요약문 >

< SUMMARY >

<p>Purpose&amp; Contents</p>	<p>Stereotactic radiosurgery aims to kill benign or malignant brain tumors by irradiating high radiation dose of 12-25 Gy in a 1-5 fractions. But, there is no reported patient fixation system dedicated for TomoTherapy system. This project intended to develop robust and rigid stereotactic patient fixation system for TomoTherapy and radiosurgical planning techniques with new system, so that the accuracy and effectiveness of the treatment could be improved</p>				
<p>Results</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Development of detachable radiosurgery system for Brainlab stereotactic frame</li> <li>- Development of TomoTherapy radiosurgery system incorporating native patient fixation mechanism</li> <li>- Execution of brain radiosurgery or radiotherapy with TomoTherapy system</li> <li>- Improvement of accuracy and precision in brain radiosurgery with TomoTherapy system</li> <li>- Diverse delivery methods for brain radiosurgery were obtained</li> </ul>				
<p>Expected Contribution</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Accurate and precise radiosurgery or radiotherapy with ~0.5 mm setup error</li> <li>○ Increase of revenue by hosting referred patient to other hospitals caused by shortage of radiosurgery machines</li> <li>○ Optimized treatment protocol could be found with diverse delivery methods for brain stereotactic radiosurgery</li> <li>○ Possible extension to the proton therapy system for proton radiosurgery system</li> </ul>				
<p>Keywords</p>	<p>TomoTherapy</p>	<p>Stereotactic System</p>	<p>Stereotactic Radiosurgery System</p>		

## < 목 차 >

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

### <별첨> 자체평가의견서

※ 여러개의 세부과제로 과제가 구성된 경우 위 목차와 동일하게 세부과제별로 작성함

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

<본문작성 양식>

### 1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

- 토모테라피용 뇌정위 프레임 고정시스템과 정밀 방사선수술 기법을 개발하여 양성/악성/전이성 뇌종양 환자의 방사선수술에 적용

1-2. 연구개발의 필요성

- 뇌정위적방사선수술은 양성, 악성, 전이성뇌종양 병소에 12-25 Gy의 고선량을 1-5회에 걸쳐서 조사하여 병소의 괴사를 일으킴으로써 환자를 치료하는 방사선치료기법임. 따라서 방사선량이 처방대로 정확하게 전달되어야 함은 물론, 방사선수술 장비의 공간적 정확도가 약 0.5 mm 이하가 되어야 한다고 미국의학물리학회 보고서(AAPM TG-142)에서 권고하고 있음



그림 1 다양한 방사선수술장비의 예

- 국립암센터에는 아직 방사선수술 전용장비가 없고 일반 선형가속기가 3대 있어서 장비의 노후화로 인해 기계적 Isocenter의 정확도가 1.0 mm 이상 차이가 나며, 특히 환자셋업 확인에 필수적인 진단용 kV X선장치가 없어서 방사선수술 목적으로는 치료의 정확도가 떨어짐.



그림 2 국립암센터 선형가속기 (좌: 2100CD-2001년, 중: 211X-2006년, 우: 21EX-2007년)

- 환자의 움직임을 최소화하기 위해 양성자치료센터에서 보유중인 Brainlab 프레임으로 pin 또는 마스크를 이용하여 환자를 고정한 후 치료를 시행함. 그러나 Brainlab 시스템을 사용하는 치료실 또한 MV EPID 촬영과 MLC 모양 확인으로 환자셋업을 걸쳐왔고 있어, 정밀한 치료에는 한계가 있음.



그림 3 Brainlab 프레임과 마스크를 이용한 환자셋업(좌)과 MLC (우)

- 따라서 국립암센터의 여건상 위의 문제점을 극복하면서 뇌정위 방사선수술을 시행하려면, 기계적 정확도가 보장되면서도 실시간 영상확인이 가능한 방사선치료 장비와 정위적 프레임이 결합되어야 함.

## 2. 국내외 기술개발 현황

- 양성자치료센터의 토모테라피 장비는 CT와 선형가속기가 결합된 복합장비로 64개의 binary MLC의 정밀한 움직임을 이용하여 원하는 모양의 방사선 분포를 만들어냄.



그림 5 토모테라피의 구조(좌)와 MLC(중), 나선형 방사선분포 (우)

- 토모테라피는 치료전 MVCT를 찍어서 치료계획 CT와 비교하여 환자셋업을 확인, 치료기 couch를 6축으로 보정하는 기능을 갖고 있음. 따라서 방사선수술에 필수적인 IGRT(Image Guided Radiation Therapy) 기능이 이미 갖추어진 장비임.

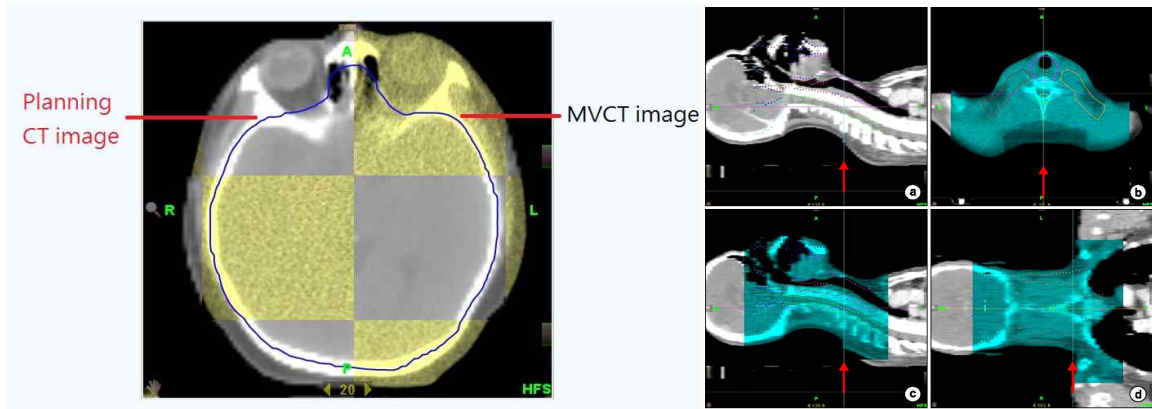


그림 7 뇌종양(좌)과 두경부(우) 환자 치료에서 MVCT와 치료계획CT 비교 기능

- 토모테라피는 CT처럼 나선형 회전과 couch가 이동하는 동안 방사선이 전달되므로 MLC의 움직임에 따라 다양한 방사선분포를 얻을 수 있음. 아래와 같이 비슷한 범위를 이동하며 치료하더라도 다발성 전이성뇌종양의 치료계획을 단일 전이성뇌종양의 치료계획과 비슷한 시간에 완성할 수 있으며, 치료시간에도 큰 차이가 없음.

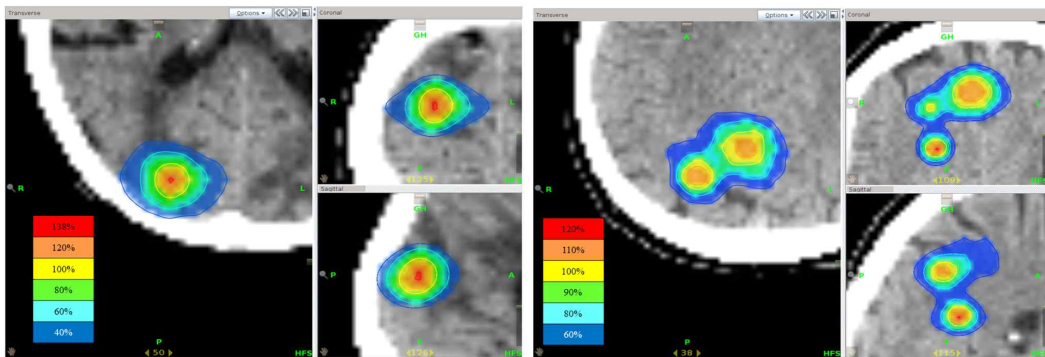


그림 8 단일 전이성뇌종양(좌), 다발성 전이성뇌종양(우)의 토모테라피 치료계획

- 특히 IMRT 기능을 이용하여 보호하고 싶은 중요조직에는 선량을 줄이고, 병소에는 선량을 늘리는 치료계획이 자유롭게 가능함. 아래의 그림은 전뇌방사선치료(whole brain RT)시 hippocampus에는 선량을 최소화하면서 oligometastasis 부위에는 boost 선량을 함께 전달하는 치료계획의 사례임.

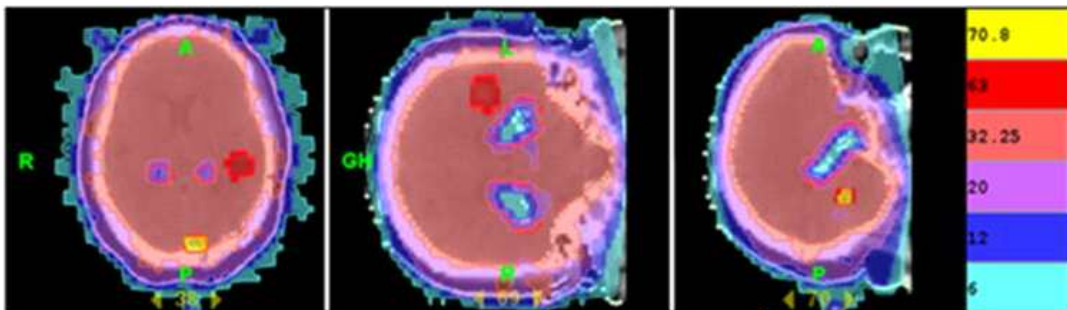


그림 9 Hippocampal saving whole brain RT with simultaneous boost

- 국내외 문헌조사 결과, 이미 토모테라피에서 고정장치를 이용한 간, 폐, 척추 등에 대한 SBRT (정위적 체부방사선치료) 사례가 다수 보고되고 있음.

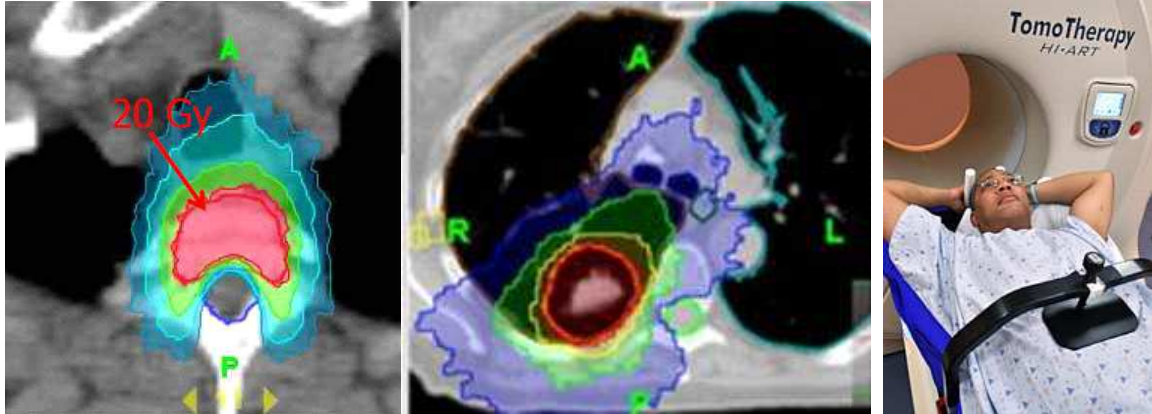


그림 10 척추종양(좌), 폐암(중)에 대한 토모테라피 치료계획과 SBRT용 고정장치(우)

- 따라서 토모테라피의 장비정확도(0.5-1.0 mm), MVCT 촬영기능, 치료계획의 유연성, 타 부위 치료사례 등을 고려할 때, 뇌정위 프레임을 토모테라피에 장착할 수 있다면 정확도를 향상시키면서 장비의 장점을 극대화할 수 있을 것으로 판단됨.

### 3. 연구수행 내용 및 결과

#### 3-1. 추진전략

- 기술정보 수집 및 문헌 연구
  - 토모테라피를 이용한 정위적 체부방사선치료, 방사선수술 사례 조사
  - 토모테라피의 기계적, 선량적 특성과 한계 조사
  - 방사선수술 전용장비와 치료계획시스템 벤치마킹을 통한 설계 반영
- 유연한 시스템 설계와 신뢰할 수 있는 제작업체 선정
  - Carbon fiber를 이용한 couch 개발 경험과 제작 능력
  - CT/MRI용 시스템과 토모테라피용 시스템 간의 제작 오차 최소화
  - 타 시스템으로 확장이 용이한 구조로 설계 및 제작

#### 3-2. 추진방법 및 내용

##### (1) 정위적 프레임 고정장치 설계

- Brainlab 정위적 프레임의 사양 및 기존 고정장치 분석: Brainlab 프레임은 locking 장치를 이용하여 LINAC의 어댑터에 장착하도록 제작되어 있음. 유사한 어댑터를 강화플라스틱으로 제작하고 carbon fiber plate에 결합하여 프레임이 견고하게 고정될 수 있도록 함. 프레임 어댑터는 향후 기타 프레임 타입에 맞게 추가 장착이 가능하도록 설계함.



- Carbon fiber plate를 이용한 환자 및 프레임 고정대 설계: 투과하는 방사선의 세기 변화를 최소화 하는 carbon fiber plate를 이용하여 환자 고정대를 제작하고 그 위에 탈부착이 가능한 프레임 어댑터를 설치함. 또한 CT에서 촬영한 치료계획용 영상의 환자셋업이 토모테라피 couch에서도 재현될 수 있는 고정시스템(lock bar, locking mechanism)를 제작함.

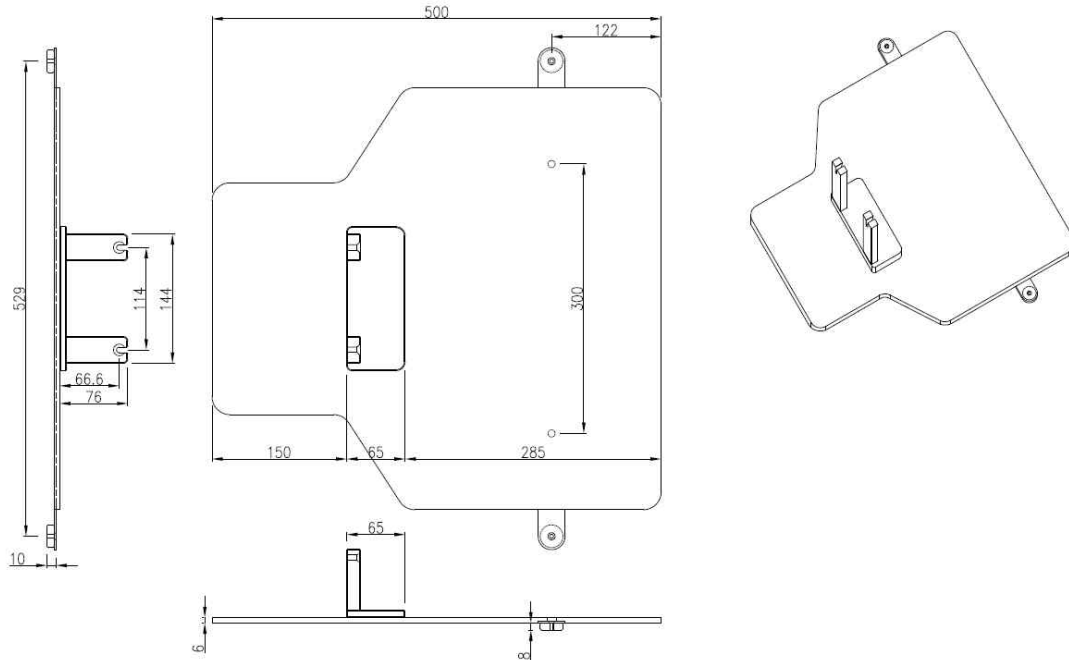


그림 11 Brainlab 프레임 고정대의 설계도

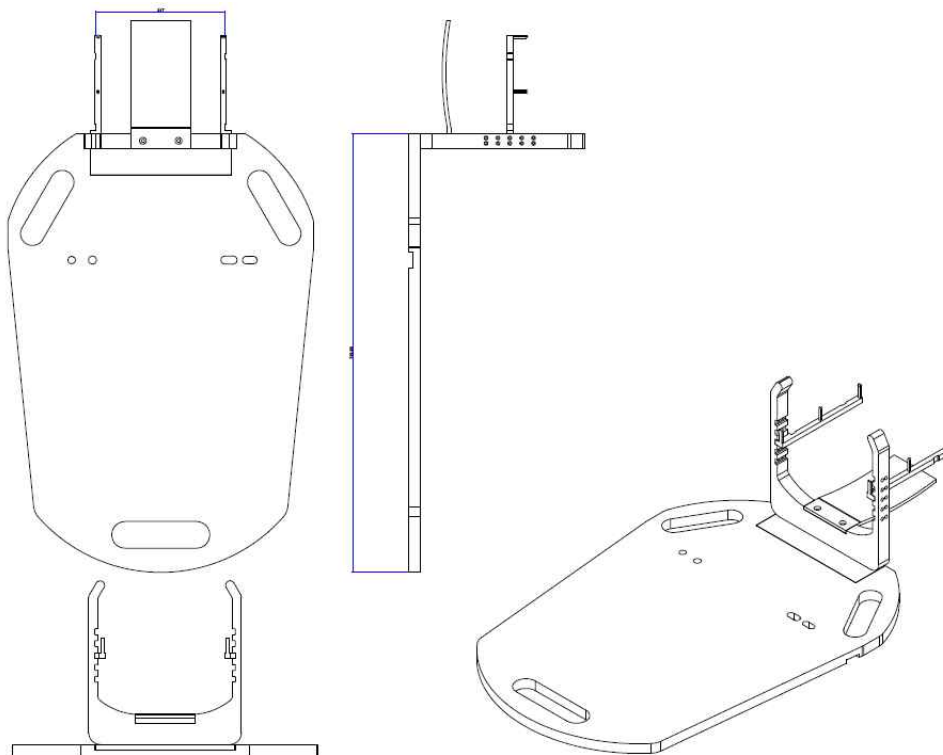


그림 12 Mask 지지대가 내장된 Tomo용 Couch

- 연구과제 수행중 Brainlab frame의 mask holder를 자체 내장한 couch 아이디어를 고안하여 2가지 방식의 정위프레임 시스템을 설계함. 치료방법 및 치료횟수에 따라 가장 적합한 시스템을 선택하여 치료가 가능함. Brainlab 프레임고정대는 couch 고정대를 CT/TOMO용으로 별도 설계하여 1대의 시스템으로 CT/TOMO 모두 사용가능함.



그림 13 CT/TOMO용 고정대(lock bar)의 제작

(2) 정위적 프레임 고정장치 개발

- Brainlab 프레임 고정시스템을 개발하여 CT 및 TomoTherapy 장착시험함

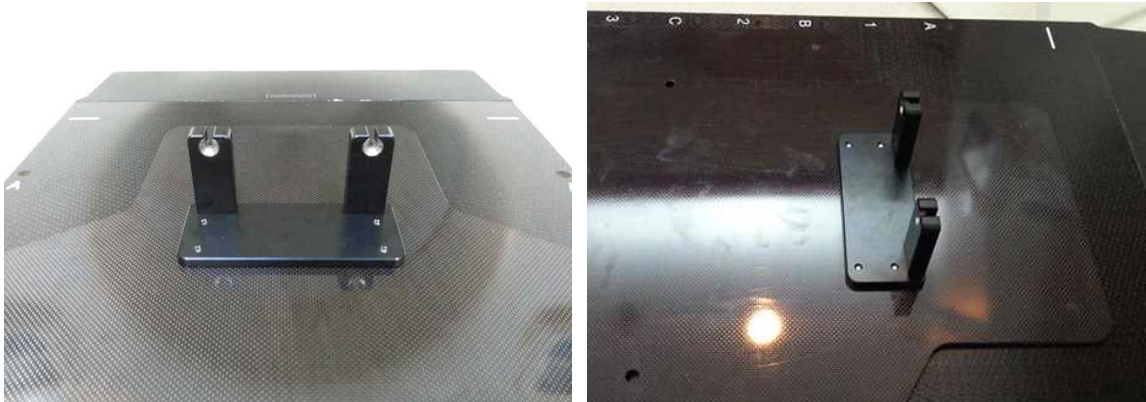


그림 14 Brainlab 프레임 docking mechanism 개발





그림 16 Brainlab 프레임과 고정장치, lockbar를 이용하여 CT에 장착한 모습

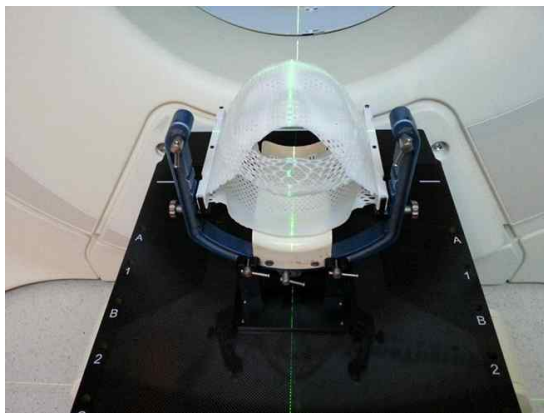


그림 17 Brainlab 프레임, 고정시스템, lockbar를 이용하여 TomoTherapy 시스템에 장착한 모습으로 CT와 동일한 setup 재현이 가능함.

- Brainlab 프레임의 환자고정 mechanism을 참고하여 couch와 프레임이 합쳐진 TOMO 전용 방사선 수술 couch를 개발함



그림 18 Brainlab 프레임의 환자고정장치를 장착한 TOMO couch의 모습



그림 19 Brainlab 전용 환자고정mask를 시험장착한 모습





그림 21 TOMO용 방사선수술 couch가 lockbar와 결합되어 TomoTherapy에 장착된 모습

(3) 정밀 방사선수술 치료계획 기법 개발

- 토모테라피 장비의 빔분포 특성 분석: 토모테라피는 선형가속기에 flattening filter가 없는 FFF(flattening filter free) 빔을 사용하므로 횡방향 profile을 측정하면 가운데가 볼록한 모양을 가짐. 축방향 profile의 경우 선택가능한 field width가 1 cm, 2.5 cm, 5 cm으로, width가 넓어질수록 빔의 penumbra가 작아지는 경향이 있음.

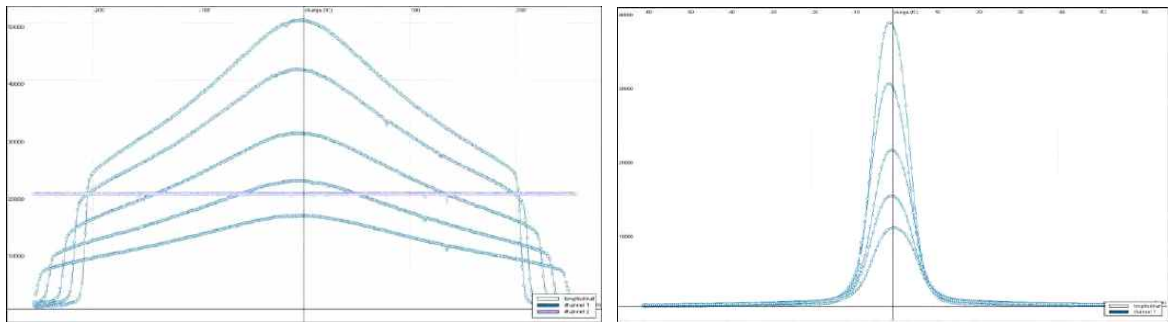


그림 22 1cm field width 빔의 횡방향(좌), 축방향(우) profile

- Beam modulation factor에 따른 치료시간 차이와 빔 주변 선량 분포: 일반 토모테라피 방사선 치료는 PTV에 균일한 선량을 조사하는 것이 목적이므로 위의 횡방향 선량분포를 MLC 움직임을 통해 가능한 평평하게 만드는 방향으로 치료계획이 만들어짐. Modulation factor는 선형가속기에서 조사되는 볼록한 방사선을 평평하게 만드는 정도를 나타내는 파라미터로서, 방사선수술에서는 modulation이 없는 빔을 그대로 사용하는 것이 유리함. 그러나 modulation이 줄어들면 환자 setup 오차에 따른 선량분포의 변화가 심해지므로 최적의 값을 찾아야 함.

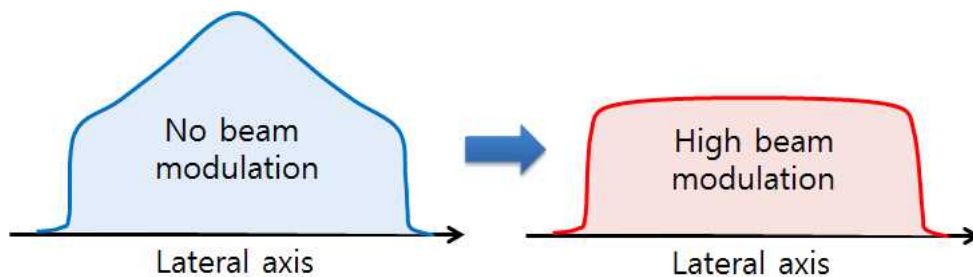


그림 23 Modulation factor에 따른 횡방향 profile의 변화

- Pitch 조절에 따른 치료시간 및 선량분포 분석: 토모테라피는 나선형으로 회전하면서 couch의 움직임으로 방사선분포를 조절하므로, CT와 같이 pitch가 선량분포에 큰 영향을 미침. Pitch가 작을수록 couch가 미세하게 움직여서 정밀한 선량분포가 가능하나 치료시간이 길어지고 장비의 X선관에 무리를 주게 됨. 반대로 pitch가 커지면 치료시간이 짧아지는 반면 선량분포는 나빠지므로 정밀 분석을 통해 최적의 pitch 값을 찾아야 함.

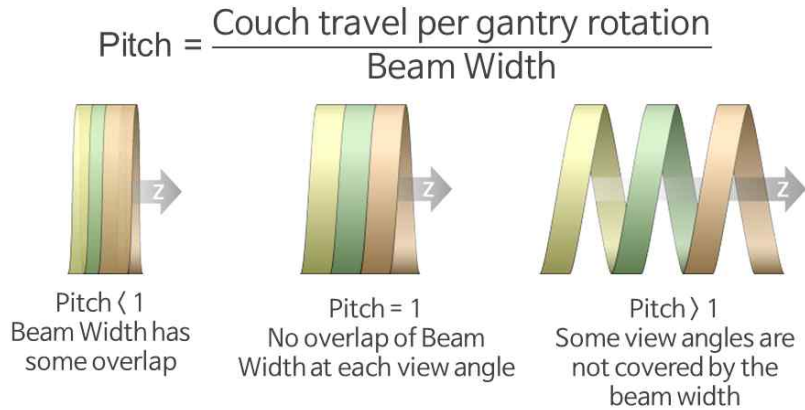
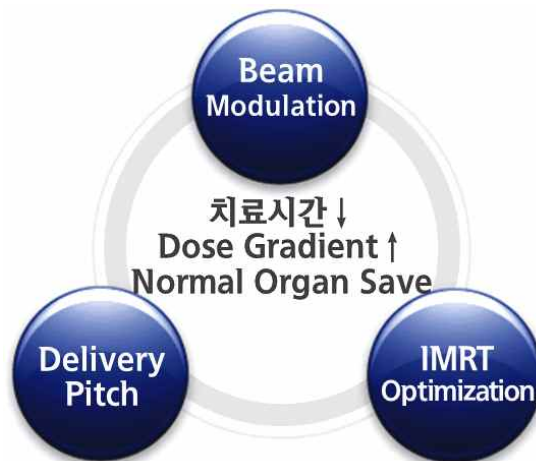
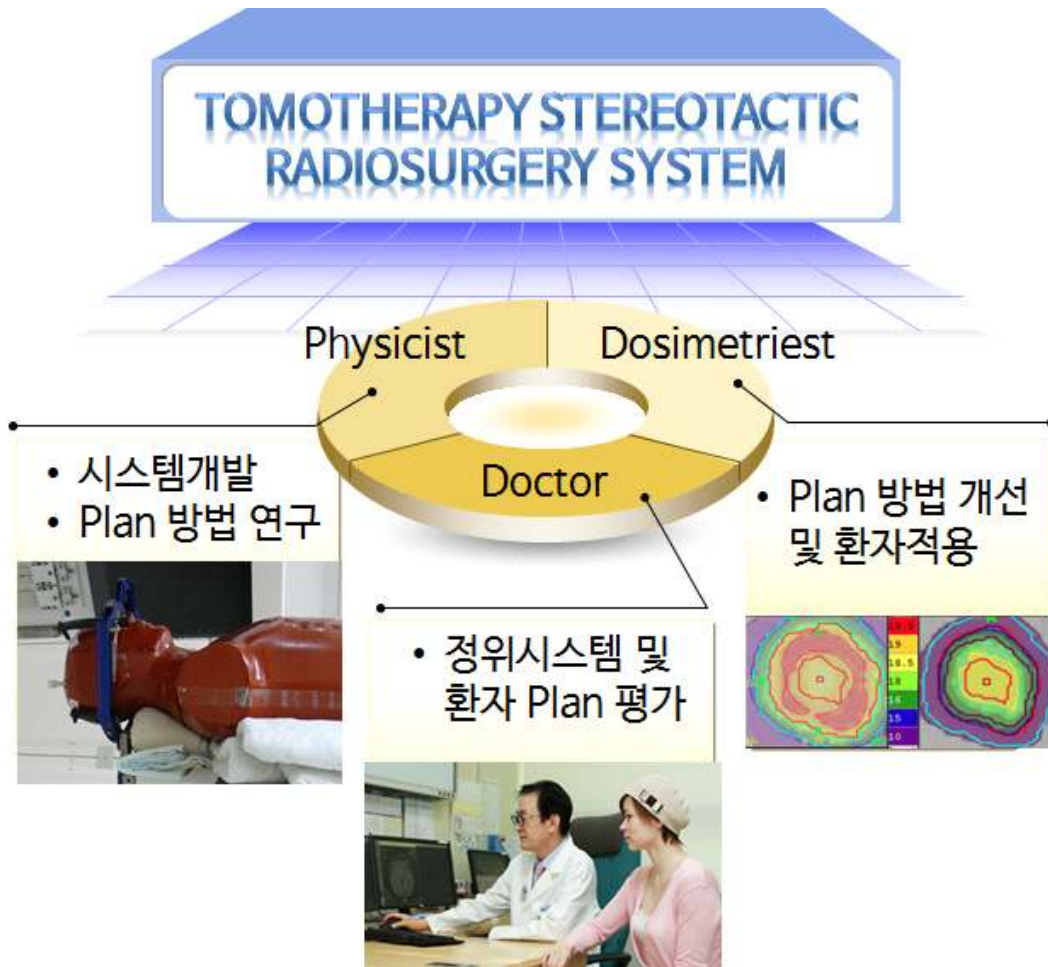


그림 24 토모테라피 pitch의 개념과 선량전달 특성

- 토모테라피 선량분포를 방사선수술 전용장비와 유사하게 만드는 방법 연구: 치료계획시스템에서 가상(pseudo) 타겟을 적절히 만들고 IMRT 최적화 파라미터를 조절하여, 환자 치료시간은 최대한 짧게, PTV주변 선량차이는 최대한 크게, 중요조직의 선량은 최대한 적게 들어가는 치료계획을 얻는 방법을 연구함.



3-3. 연구사업의 추진체계



3-4. 연구사업의 추진일정

세부연구목표	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
뇌정위 프레임 고정시스템 디자인										
뇌정위 프레임 고정시스템 개발										
정밀 방사선수술기법 개발										

4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

4-1. 목표달성도

구분	세부연구목표	가중치 (%)	평가의 착안점 및 척도	달성도 (%)
1차년도 (2015)	뇌정위 프레임 고정시스템 디자인	20	뇌정위 프레임과 고정시스템의 정상 탈부착 여부	100%
	뇌정위 프레임 고정시스템 개발	50	진단용, 치료용 뇌정위 프레임 고정시스템 개발 여부	100%
	정밀 방사선수술기법 개발	30	토모테라피용 방사선수술기법 개발여부	40%

#### 4-2. 관련분야 기여도

##### 가. 토모테라피에서 정위적 프레임을 이용한 뇌정위방사선수술 시행

- 토모테라피는 CT와 선형가속기가 결합된 장비로, 치료전 환자셋업을 CT로 확인/보정이 가능하므로 뇌정위 방사선수술시 환자 셋업을 정확하게 할 수 있음.
- 국립암센터의 뇌정위방사선수술 가능한 장비의 성능 부족으로 외부에 의뢰되는 환자를 흡수할 경우 수익 증가를 기대할 수 있음

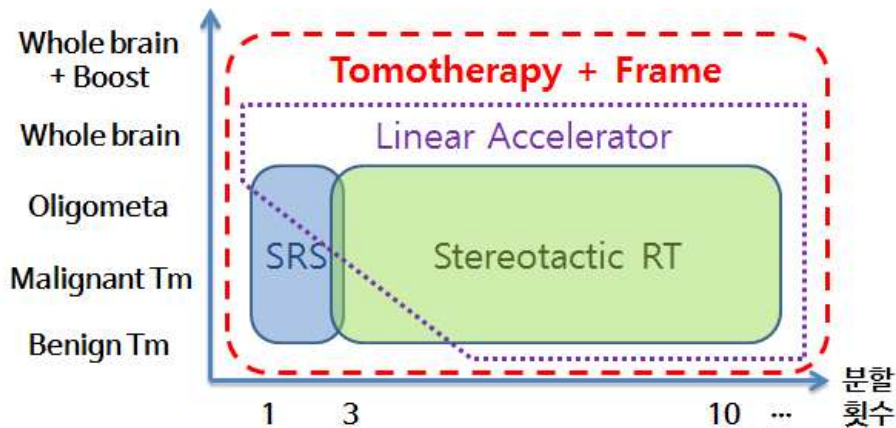
##### 나. 뇌정위방사선수술 환자의 치료정확도 향상

- 일반 선형가속기 MLC를 이용한 방사선수술의 정확도는 약 1.0 mm로 알려져 있으나, 토모테라피의 정확도는 약 0.5-1.0 mm로 방사선수술 전용 선형가속기와 유사한 정확도를 가짐.
- 정위적프레임을 사용하여 치료할 경우 환자 셋업의 정확도가 0.5 mm 정도로 향상되어 정밀한 방사선수술/치료가 가능 (감마나이프: 0.3 mm)

정확도	1 mm	0.5mm	0.3mm
장비	일반 선형가속기	SRS용 선형가속기 사이버나이프 토모테라피	감마나이프
		→ 토모테라피 + 프레임	

##### 다. 뇌정위방사선수술/치료 시행방법의 다양성 증가로 최적의 치료 프로토콜 모색 가능

- 분할치료횟수, 치료범위, 치료장비에 따른 뇌정위방사선수술/치료 방법의 선택이 다양해짐



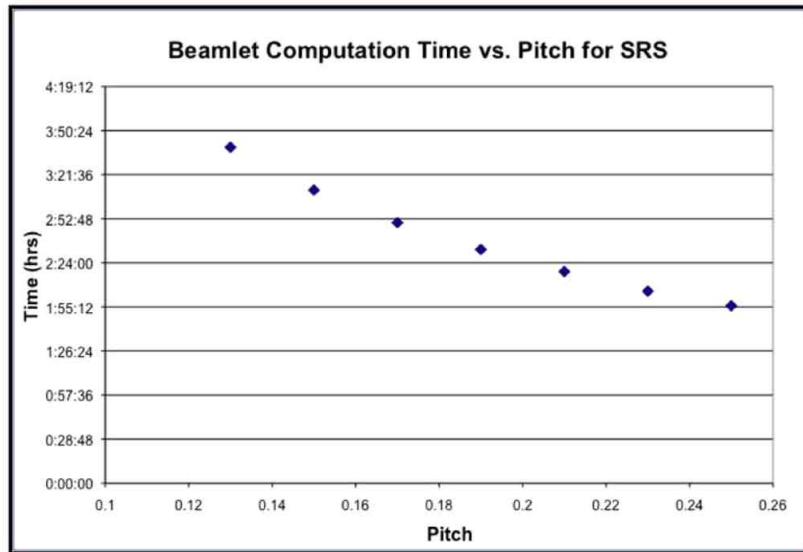
### 5. 연구결과의 활용계획

- TomoTherapy 뇌정위방사선수술/치료시 정위프레임시스템 적극활용
  - 1 fraction 치료시: Brainlab 프레임 고정장치와 invasive 프레임/핀 시스템 이용
  - 3-10 fraction 치료시: TomoTherapy 전용 프레임 시스템과 mask 고정장치를 이용한 치료 시행
- Couch 고정장치(lock bar)를 수정하여 양성자치료기에서 뇌정위방사선수술/치료에 응용
- Leksell 프레임 등 원내 보유한 정위적 프레임 어댑터 추가고려: 정위적생검 후 방사선수술 등



## 6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

- 뇌정위적 방사선수술에서의 치료의 정확성을 위한 리포트로부터 개발된 고정 장치의 검증을 위해 사용함.
  - 참고자료: “AAPM Report No 54: Stereotatic Radiosurgery “: 고정 장치의 재현성 및 정확도에 대한 한계값
- Tomotherapy에서 뇌정위적 방사선수술을 적용하기 위한 치료계획에 대한 파라메타 최적화에 대한 참고자료로서 사용됨
  - 참고자료: Emilie et.al, “A Technique for Stereotatic Radiosurgery Treatment Planning with Helical Tomotherapy.
  - 상기 논문은 Helical tomotherapy에서 뇌정위적 방사선수술에서 효율적이고 효과적인 치료계획 기술을 개발하는데 목적을 두고 있으며 개발된 내용은 국립암센터에서 활용할 수 있음
  - 아래표에서 보는 것처럼 Tomotherapy에서 빔렛 계산 시간과 카우치속도에 따른 비교표를 통해서 암센터에 적용가능한 최적의 파라메터 값을 도출하는데 유용함



- 개발된 고정 장치의 검증을 위해서 “Accuracy of SRS Dose Delivery using the Tomotherapy Hi-Art System” 을 참고함
  - 아래 그림처럼 고정장치의 정확도 측정을 위한 팬텀 제작을 위한 레퍼런스로 사용할 수 있을것으로 사료됨



- 뇌정위적 방사선수술의 치료계획 검증을 위해서 “Evaluation of Stereotactic Radiosurgery Conformity Indices for 170 target volumes in Patients with Brain Metastases” 를 참고하여 RTOG Conformity Index, Lomax Conformity Index를 고려함



## 9. 기타사항

- 2015년 12월까지 제품의 임상적용을 완료하고, 2016년에 관련 연구결과를 국내외 저널에 발표할 예정임
- 제품제작업체와 제품개선 및 특허출원 협의중

## 10. 참고문헌

- Emilie T. Soisson et al., "A Technique for Stereotactic Radiosurgery Treatment Planning with Helical Tomotherapy," *Med Dosim.*, 36(1), pp. 45-56, 2011
- V. Thakur et al., "Delivery Accuracy of Stereotactic Radiosurgery (SRS) with Tomotherapy as Compared to Linear Accelerator and Robotic-based Radiosurgery," *International Journal of Radiation Oncology*, 84(3), pp. 828, 2012.
- Kelley N. Tipton et al., "Stereotactic Body Radiation Therapy," AHRQ Technical Report, No. 10(11)-EHC058-EF, May 2011
- Han C et al., "Dosimetric comparisons of helical tomotherapy treatment plans and step-and-shoot intensity-modulated radiosurgery treatment plans in intracranial stereotactic radiosurgery," *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006;65:608-616.
- Guitierrez A et al., "Integrated Subvolume Boosting Technique to Reduce Normal Tissue Irradiation During SBRT Treatment Planning Using Helical Tomotherapy," *Med Phys* 2008;25:2957.
- Yartsev Y et al., "Tomotherapy planning of small brain tumors," *Radiother Oncol* 2005;74:49-52.
- Cozzi L et al, "Comparison of advanced irradiation techniques with photons for benign intracranial tumours," *Radiother Oncol* 2006;80:268-273.
- Lax I, "Target dose versus extratarget dose in stereotactic radiosurgery," *Acta Oncol* 1993;32:453-457.
- Holmes TW et al., "Stereotactic image-guided intensity modulated radiotherapy using the Hi-ART II helical tomotherapy system," *Med Dos* 2008;33:135-148.
- TomoTherapy Incorporated. Field Safety Notice 3449. 2008. Available at:[http://tomoexchange.tomo.com/documentation/category/product\\_advisory\\_notices](http://tomoexchange.tomo.com/documentation/category/product_advisory_notices)
- Woch K et al., "Acceleration of Tomotherapy Treatment Delivery by Increasing Pitch and Decreasing Modulation," *Med Phys* 2008;35:2636-2637.
- Soisson ET et al. "Quality assurance of an image guided intracranial stereotactic positioning system. *Technol Cancer Res Treat*, vol. 8, pp. 39-49, 2009.
- Bichay T et al., "TomoTherapy for Cranial Radiosurgery/Radiotherapy," *IFMBE Proceedings* 2007, pp. 1852-1855.
- Kissick MW et al., "On the making of sharp longitudinal dose profiles with helical tomotherapy," *Phys Med Biol* 2007;52:6497-6510.
- Tomo® Planning Guide Version 3x. TomoTherapy, Inc; Madison, WI: 2007.
- Shaw E et al., "Radiation Therapy Oncology Group: Radiosurgery Quality Assurance Guidelines," *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1993;27:1231-1239.
- van't Riet A, "A conformation number to quantify the degree of conformality in brachytherapy and external beam irradiation: application to the prostate," *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;37:731-736.
- Nakamura JL et al., "Dose Conformity of Gamma Knife Radiosurgery and Risk Factors for Complications," *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;51:1313-1319.
- Paddick I, "A simple scoring ratio to index the conformity of radiosurgical treatment plans," Technical note. *J Neurosurg* 2000;93:219-222.
- Chen Y et al., "Dynamic Jaw for Helical Tomotherapy Delivery," *Med Phys* 2008;35:2744-2745.
- Flickinger JC et al., "Estimation of complications for linear accelerator radiosurgery with the

integrated logistic formula," Int J Radiat Oncol Biol Phys 1990;19:143-148.

- Korytko TK et al., "12 Gy gamma knife radiosurgical volume is a predictor for radiation necrosis in non-AVM intracranial tumors," International Journal of Radiation Oncology\*Biophysics 2006;64:419-424.

<별첨작성 양식>

[별첨]

## 자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호			
사업구분	기관고유연구사업				
연구분야	I-4		과제구분	단위	
사업명	기관고유연구사업			주관	
총괄과제			총괄책임자		
과제명	토모테라피용 정위적 방사선수술시스템 및 치료기술 개발		과제유형		개발
연구기관	국립암센터		연구책임자		박정훈
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	연구비	민간	계
	1차년도	2015.3.1.~ 2015.12.3	30,000 (천원)	0	30,000 (원)
	2차년도				
	3차년도				
	계				
참여기업					
상대국		상대국연구기관			

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망


2. 평가일 : 2015.11.4

3. 평가자(과제책임자) :

소속	직위	성명
국립암센터	의학물리학직	박정훈

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.

확 약	
-----	---

## I. 연구개발실적

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

### 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

2가지 방식의 토모테라피 전용 방사선수술 시스템을 설계, 개발하여 팬텀실험 및 환자적용을 앞두고 있음. 기존 환자고정방식에 비하여 견고하고 안정성이 뛰어나 정밀한 방사선수술시행이 가능할 것으로 기대됨.

### 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

새로 개발된 정위프레임시스템과 토모테라피 시스템의 우수한 IGRT(영상유도방사선치료)기능과 IMRT(세기변조방사선치료) 기능을 활용하여 정밀하고 정확한 뇌정위 방사선수술을 시행할 수 있을 것으로 기대됨

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

토모테라피 뇌정위 방사선수술시 환자 치료방법 및 횟수에 따라 brainlab 프레임 및 핀을 이용한 1회 치료 또는 뇌정위 couch 시스템을 이용한 3-10회 치료 등으로 용도에 맞게 2가지 시스템을 활용할 수 있음. Brainlab 고정시스템은 CT/TOMO 공용으로 사용가능하며, 뇌정위 couch 시스템은 2세트 제작하여 실제 환자치료시 활용도를 높임.

### 4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

병원 환자치료지원, 연수과정 지도 등 기존 업무와 병행하면서도 2가지 종류의 정위프레임 시스템을 설계/개발하는 등 매우 성실하게 과제를 수행하였다고 평가됨

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

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

짧은 연구기간으로 인해 아직까지 논문게재 및 지적소유권 출원이 미흡하였으나, 팬텀실험 및 환자적용 사례를 추가하여 2016년중 전문학술지 논문게재 및 제작업체와 협의하여 지적소유권 출원 예정임

## II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
뇌정위 프레임 고정시스템 디자인	20	100%	2가지 방식의 정위프레임 시스템 설계 및 개발을 성공적으로 완료함
뇌정위 프레임 고정시스템 개발	50	100%	
정밀 방사선수술기법 개발	30	40%	11-12월중 임상시험 완료예정
합계	100점	82점	12월까지 과제목표 달성에 특별한 문제가 없을 것으로 예상함

## III. 종합의견

### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

토모테라피는 CT와 LINAC이 결합되어 IGRT, IMRT가 가능한 매우 우수한 방사선치료장비임. 중요 정상 조직을 최대한 보호해야하는 뇌정위 방사선수술을 토모테라피를 이용하여 시행할 수 있도록 2가지 방식의 환자 고정시스템을 개발하였고, CT 및 TOMO에 장착하였을 때 계획한대로 사용가능함을 확인하였음. 이후 팬텀검증을 거쳐 환자치료에 적용하는데 전혀 문제가 없을 것으로 사료되며 관련 결과는 논문게재 및 지적재산권 출원할 예정으로, 최초계 획한대로 과제를 성공적으로 마무리할 수 있을 것으로 확신함.

### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

3월-10월의 8개월동안 제품설계 및 제작에 많이 시간이 소요되어 예비보고서에 팬텀실험 및 환자적용에 대한 부분을 진행하지 못하였음. 남은 11-12월에 제품검증을 완료하고 최종보고서 최초 계획한 내용들을 포함하여 보고할 예정임.

### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

새로 개발된 뇌정위 고정시스템들은 팬텀을 이용한 선량분포 측정 및 비교실험를 거쳐 이상없음이 확인되면 환자치료시 적용될 예정이며, 기존 고정장치에 비해 월등히 뛰어난 안정성과 정확도를 제공할 것으로 기대됨. 이를 바탕으로 관련 전문학술지에 논문게재 예정이며, 제작업체와 협의를 거쳐 지적재산권을 출원할 예정임.

#### IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

##### 1. 연구책임자의 의견

--

##### 2. 연구기관 자체의 검토결과

--