

# 레이저 기반 극초단 고에너지 전자빔 가속 기술

전기이료기기연구센터 | 김재훈

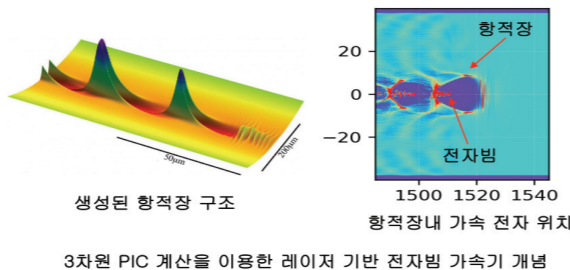
○ 본 기술은 전자 가속을 위한 에너지원으로 극초단 고출력 레이저를 사용하고 플라즈마를 가속 매개로 이용하여 전자를 가속하는 기술로 기존 대형 RF 기반 가속기 대체 기술.

- 기존 가속기의 한계인 가속장의 크기를 1000배 이상 강하게 할 수 있음(가속기 크기를 1000배 이하로 구현)
- 전자빔의 폭이 펨토초인 극초단 전자빔 생성(고 시간 분해능 진단기 개발이 가능)
- 기존 가속기 크기로 인해 제약이 있던 고에너지 전자빔을 활용하는 분야에 적용 가능(고에너지 전자빔 암치료기, 극초단 고해상도 시분해 x선 영상, 고에너지 비파괴 검사 장치에 응용 가능함)

## 기술개념 및 구성

### 기술개념

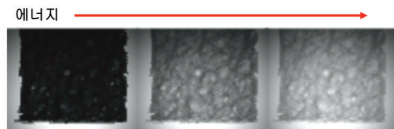
- 고출력 레이저와 플라즈마의 상호 작용에서 발생하는 플라즈마 항적장을 이용하여 전자를 가속하는 방법
- 고출력 펨토초 레이저가 플라즈마에 입사되면 플라즈마 내부에 항적장으로 불리는 물결파 형태의 밀도 구조가 생성됨
- 이 항적장은 전자를 가속할 수 있는 강한 가속장을 생성하며 최대 가속장의 크기는 기존 가속기의 1000배에 이릅니다
- 항적장의 특성으로 인해 가속 가능한 공간 구역이 수십 마이크로미터 영역으로 가속된 전자빔의 길이는 이보다 작은 영역이므로 펨토초의 극히 짧은 전자빔을 가속할 수 있음
- 가속된 전자의 에너지는 사용한 레이저와 플라즈마 밀도에 의해 결정되며 통상 응용 기술 개발이 용이한 수십 TW 급의 레이저를 사용하는 경우 수백 MeV의 전자빔을 가속할 수 있음



## 1. 기술 개요

### 기술개발의 필요성

- ▶ 기존 RF를 사용하는 고에너지 전자빔 가속기는 가속관 내의 손상으로 인해 가속하는 힘을 의미하는 가속장의 세기가 제한적이며 이를 극복하기 위하여 가속관의 길이가 길어져 장치가 거대해 지는 문제가 있음
- ▶ 고에너지 전자빔을 이용하면 많이 사용되는 x선 영상 장치의 투과도가 높아져 기존에 확인하지 못하던 영상 진단이 가능한 장점이 있음
- ▶ 현재 선형 가속기 기반의 전자빔 가속기는 장치의 크기 문제로 사용 가능한 전자빔의 에너지가 제한적임
- ▶ 또한 선형 가속기 기술이 포함되어 현재 기술로는 더 저렴한 비용의 선형 가속기 제작이 어려운 상황으로 전형적인 레드오션의 기술 분야로 진입한 상황임
- ▶ 기존 선형 가속기에 사용되는 많은 핵심 부품이 수입에 의존하고 있는 상황으로 새로운 기술 개발을 통한 산업 경쟁력 제고의 필요성이 대두 되고 있음



인체 뼈 모사체에서 에너지에 따른 해상도 변화  
→ 높은 에너지를 사용할 수록 뼈 내부의 상세 구조 측정이 가능함  
S.P.D. Mangle, Imperial University

## 2. 기술 내용

### 기술의 특징

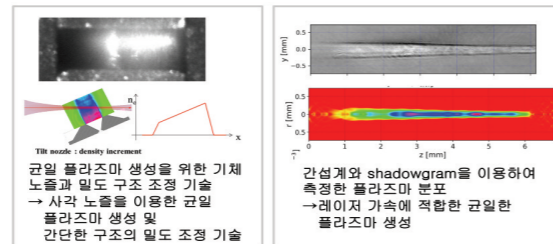
▶ 기술의 구성 요소



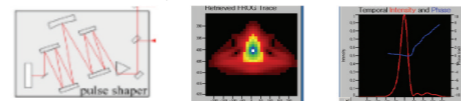
- 레이저 발생 플라즈마와 고출력 펨토초 레이저가 레이저 기반 전자빔 가속기의 핵심 기술 요소임

### 기술의 상세 규격

- 플라즈마 생성 및 측정 기술 : 레이저에 의해 발생하는 플라즈마의 밀도 구조 조정 기술 및 플라즈마 밀도 측정 기술 (시분해 < 40fs, 공간 분해 < 10μm)

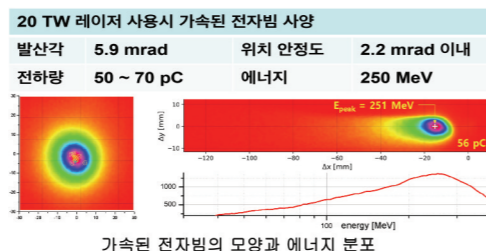


- 전자빔 가속을 위한 고출력 펨토초 레이저 기술 : 펨토초 레이저의 펄스 폭 조정/측정 기술과 레이저 균일화 및 집속 기술 (레이저 펄스 폭 < 35 fs, 집속 크기 < 직경 15 μm)



### 기술 현황

▶ 레이저 가속 고에너지 전자빔 현황



### 기존 기술과 차별성

- ▶ 국내외 유사 · 경쟁 기술 현황
- 고에너지 전자빔 가속 기술

국내	기술명	방사광을 위한 전자빔 가속기
	기술 내용	3.5 GeV, 10 GeV RF 기반 선형 가속기
국외	기술명	레이저 가속 기반 고에너지 전자빔 가속기
	기술 내용	방사광 대체를 위한 고에너지 전자빔 가속기

▶ 경쟁 기술 대비 우수성

경쟁기술	본 기술의 우수성
RF 기반 선형 가속기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강한 가속장을 이용한 소형 고에너지 전자빔 가속기</li> <li>• 복잡한 RF와 전송 장치가 필요없는 레이저를 이용한 간단한 구조의 전자빔 가속 가능</li> <li>• 기존 가속기 대비 소형 저비용 고에너지 전자빔 가속 가능 (병원등에 사용하는 10MeV 규모의 가속기를 대체시 300 MeV 전자빔 가속기 설치 가능)</li> </ul>
타 기관 레이저 기반 전자빔 가속기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동일 시스템 사양에서 전자의 에너지를 2배 증가 할수 있는 밀도 증가 구조를 이용한 높은 효율의 전자빔 가속 기술</li> <li>• 전동레이저를 이용하여 레이저 가속기에 적합한 레이저 사양 적용 가능</li> </ul>

## 3. 기술의 시장성

### 기술 응용분야 및 제품

- 고해상도 x선 영상 장치(병원용 x선 고해상도 진단 장비, 산업용 x선 진단 장치, 방사선 폐기물 내부 진단 장치, 감마선 진단 장비)
- 방사선 암 치료기(cyber knife 치료기, flash 암 치료기)
- 방사광용 고에너지 전자빔 가속기

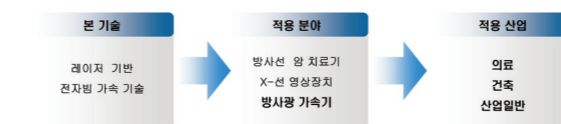


### 시장이슈

- 방사선 치료기는 외부 빔 방사선 치료기, 내부 빔 방사선 치료/근접 치료기, 전신 방사선 치료기로 구분되고, 이중 외부 방사선 치료기는 방사선 노출 위험이 감소하고 종양 표적화의 정확성이 향상되었다는 점에서 가장 큰 성장을 보일 것으로 예상됨
- 방사광 가속기의 경우 이미 연구 단계를 벗어나 산업과 기술개발에 적극 활용되고 있으며 선진국에서는 막대한 건설 비용에도 불구하고 산업 경쟁력 향상을 위해 더 고사양의 방사광 가속기를 건설하고 있음

### Supply chain

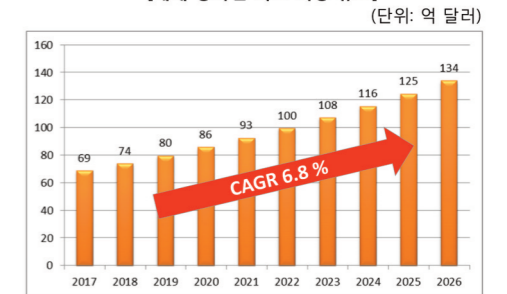
- 본 기술은 레이저 기반의 전자빔 가속 기술로 방사선 암치료기 ΔX-선 영상장치 방사광 가속기 등에 적용이 가능하여 △의료 △산업 △연구 등에 공급됨



### 수요전망

- 세계 방사선 치료기기 시장은 2017년 69억 달러에서 2026년 134억 달러로 연평균 6%의 성장률을 기록할 것으로 예상됨
- 국내 방사선 암 치료기는 연간 2~5기 이내 10년 주기로 장비를 교체하여 2030년 경 많은 장비 교체 수요가 발생할 것으로 예상됨

[세계 방사선 치료 시장 규모]



자료: Statistics MRC, Radiotherapy Market Size, 2018

## 4. 주요 연구성과

### 논문 및 핵심 특허 현황

구분	논문 및 특허명	국가	번호	년도
논문	Characteristics of electron beam in laser wakefield accelerator using pure nitrogen gas	Plas. Phys. Cont. Fusion	Vol. 60, 034008	2018
등록	플라즈마 밀도를 증가시켜 전자빔을 효과적으로 가속을 위한 장치	한국	10-2010-0119998	2010

### 기술의 완성도

- ▶ TRL 4 수준의 기술완성도 단계 : 개념 구현 완료
- ▶ 개발 범위 : 레이저 기반 고에너지 전자빔 가속기
- 레이저 기반 고에너지 전자빔 가속기 기술
- 레이저 플라즈마 발생 및 분석 기술
- 전자 가속을 위한 고출력 펨토초 레이저 기술
- ▶ 기술개발 완료 시기
- 2024년 : 암치료 전임상을 위한 레이저 기반 전자빔 암치료기 기술 개발

## 5. 기대 효과

### 기술 도입 효과

- ▶ 경제적인 효과
- 방사선 암치료기는 2015년 기준 전세계에서 8조원 규모의 시장을 형성하고 있으며 연평균 6% 이상으로 시장이 증가하고 있음
- 국내에서는 장비 도입 대수에 의해 결정되나 200억에서 600억 규모이나 국내 기술 부재로 전량 수입에 의존하고 있음
- 많은 부분을 수입에 의존하는 기존 RF 방식 가속기를 대체하여 기반 기술의 국내 개발을 통해 국가 기술 경쟁력 제고

### 기술 · 산업적 파급 효과

- ▶ 기술적 파급 효과
- 기존 기술은 이미 포화 상태로 더 이상의 획기적인 기술 개발이 어려우므로 새로운 방법의 가속기를 도입한 기술 개발이 관련 분야 국가 경쟁력 제고에 크게 기여할 수 있음
- 레이저 기반 고에너지 전자빔 기술은 고출력 레이저와 플라즈마 기술이 융합된 기술로 이 분야의 기술 개발 및 경쟁력 향상을 기대할 수 있음
- 레이저 가속기 기반의 소형 방사광 가속기 기술이 개발되면 이를 이용한 소재 개발 현장에서 바로 사용될 수 있어 기술 개발을 더 빠르게 하여 이 분야 산업 기술 고도화에 기여 할 수 있음