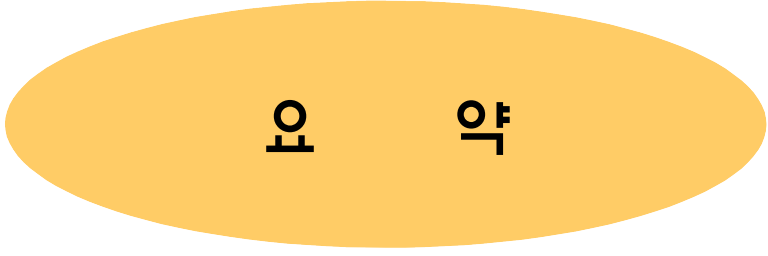


2010년도 예비타당성조사 보고서

# 4세대 (X-선 자유전자레이저) 방사광가속기 구축사업

2010. 8

공공투자관리센터  
한국개발연구원





## 요 약

### 제 1 장 4세대(X-선 자유전자레이저)방사광가속기구축사업 예비타당성조사 개요

#### 제1절 사업목적

- 21세기 첨단과학 영역인 나노와 펨토 영역의 동시 탐구로 세계 수준의 첨단과학기술을 선점하고 연구환경의 변화에 따른 방사광이용자의 연구의 질적 수준 제고에 따른 고휘도 방사광을 제공하기 위해 4세대 방사광가속기의 건립 필요.
- 이를 통해 생명과학, 나노과학, 재료분야 등의 국가연구개발사업의 실행력을 제고하고 가속기기술의 국내 개발을 통하여 산업기술 개발과 산업체의 발굴 육성을 도모할 수 있음.

#### 제2절 사업 추진경위

- '04년 2월 : 포항방사광가속기의 새로운 도약을 위한 공청회
- '04년 7월 : 대통령 포항가속기(연) 방문시, 4세대 방사광가속기 건설 추진 지시
- '07년 8월 ~ 11월 : 4세대 방사광가속기 구축을 위한 타당성 분석 실시
  - 타당성 분석결과 : 현형 스펙 0.3nm에서 0.1nm 이하로 하는 새로운 사업계획을 수립하여 추진하는 것이 타당(KISTEP 수행)
- '08년 12월 : 4세대 방사광가속기 개념설계 보고서(CDR) 완료

### 제3절 사업 개요

〈표 1〉 사업내용

구 분	4세대(X선 자유전자레이저)방사광가속기 구축사업
사업주체	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 주관부처: 교과부(관리감독)</li> <li>- 지자체: 경상북도, 포항시</li> <li>- 방사광가속기운영위원회: 사업계획 등 주요사항 심의</li> <li>- 포항가속기(연) : 사업 진행 및 운영</li> </ul> <p>※ 4세대 방사광가속기는 국가시설로 추진하되, 완공후 그 권리와 의무는 정부가 지정하는 법인에 승계</p>
주요 사업내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용 : 최첨단 X-선 자유전자레이저 광원발생장치 및 빔라인 구축</li> <li>• 사업물량 :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광음극 고주파 전자총 설치</li> <li>- 10GeV 선형가속기 설치</li> <li>- 0.1nm급 파장의 X-선 방사광 발생용 삽입장치 설치</li> <li>- 레이저 조사 및 실험시설인 빔라인 3기 설치</li> <li>- 지원 설비(터널, 공조, 실험공간 등) 건설</li> <li>- 연계 시설 건설 (가속기체험관, 게스트하우스, 과학영재프로그램구축)</li> </ul> </li> </ul>
부지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 65,835㎡ (포항공대 내 포항가속기연구소 부지)</li> </ul>
건축연면적	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 22,197㎡                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 선형가속기(4,620㎡), 언들레이터(2,871㎡), 빔라인(1,320㎡), 기술지원 시설(4,386㎡) 등 주요사업 13,197㎡</li> <li>- 가속기체험관(5,000㎡)과 게스트하우스(4,000㎡) 등 연계사업 9,000㎡</li> </ul> </li> </ul>
총사업비	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4,260억원 (국고(일반회계 거대과학기술개발): 4,000억원, 지자체: 260억원(연계사업에 소요되는 예산 전액), 민자: 부지 등)</li> </ul>
사업기간	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2011년~2014년(4년)</li> </ul>

〈표 2〉 소요예산 내역

구 분		건축비	장치비	예 산
주요시설 (국비)	선형가속기	346.5	2000	2346.5
	언들레이터	215.33	600	815.33
	빔라인	99	210	309
	기술지원	329.17	200	529.17
	소계	990	3,010	4,000
연계시설 (지자체)	기술체험관	125	25	150
	게스트하우스	100	-	100
	과학영재프로그램	0	10	10
	소계	-	35	260
계		1,215	3,045	4,260

## 제II장 기초자료 분석 및 조사의 주요 쟁점

### 제1절 사업대상지 현황

#### 가. 사업지역의 일반현황

- 입지환경
  - 대구까지 대구포항간고속국도 경유 시 1시간 정도 거리로 접근성이 양호하며, 철강공단과 영일만항, 포항공단 등 산업시설과 R&D기반이 잘 갖추어져 있음
- 인구 및 가구 현황
  - 포항시통계연보 기준으로 2005년 포항시의 총인구는 509,148명이며, 남자 259,060명, 여자 250,088명으로 경상북도의 18.8%를 차지함
- 경제적 환경
  - 2005년 현재 지역내총생산(GRDP)은 13조 818십억원으로 전국 대비 점유율은 1.6%, 1인당지역총생산은 2,697만원으로 전국 평균의 1.6배임
  - 우리나라 전체와 비교할 때 광·공업 비중이 매우 높은 편이며, 신성장산업과 첨단과학기술산업이 취약하여 경제산업구조가 취약한 실정임(대구경북연구원, 『대구경북 경제자유구역 포항지구 개발계획』, 2008).
- 광역교통망과 주변 교통여건
  - 도로망과 지역간 철도망은 잘 구비되어 있으나 대도시권 광역철도와 도시철도망은 미흡하고 수송 분담률도 낮아 광역도시권 발전에 어려움이 있음.
  - 도시간 연계는 주로 도로망을 이용한 자가용 차량 위주로 형성되어 있으며, 대중교통과 철도의 이용 비중이 낮음.

## 나. R&D 여건 분석

### □ 경상북도의 R&D 현황

- 경상북도의 연구개발비는 2008년 현재 1조 4,106억원으로 우리나라 연구개발비의 4.1%를 차지하고 있음. 이는 수도권과 대전·충남을 제외하고는 상대적으로 높은 수준이며, 포항은 경상북도 연구개발활동의 중심이라 할 수 있음.

### □ 포항가속기연구소, 포스텍, 포항산업과학연구원(RIST)을 중심으로 R&D 활동이 활발히 수행되고 있음.

- 포항가속기연구소는 7년간의 건설기간을 통하여 1994년 12월에 탄생한 포항 방사광가속기는 21세기 한국과학기술을 선도하는 중요한 첨단 연구시설로서, 한해 평균 1000명이 넘는 외부 연구인력들이 연구소를 방문하여 시설을 이용함으로써 각종 연구와 다양한 프로젝트를 수행하고 있음

### □ 이 외에도 경주양성자가속기센터, 막스플랑크 한국연구소(가칭) 등 R&D 인프라 확충을 추진 중

- 경주양성자가속기센터는 2012년 3월까지 100MeV급 가속기 설치를 완료할 계획임. 양성자가속기는 수소 원자에서 전자를 떼어낸 양성자를 가속관 안에서 전기장에 의해 빛의 속도로 가속시키는 장치로, 물질구조 연구와 물질구조 변경을 통해 신소재 개발과 암치료 등에 응용할 수 있음
- 세계 최고수준의 연구역량을 보유하고 있는 기초연구분야 세계 최고의 연구소 그룹인 독일 막스플랑크 재단은 경상북도 및 포항시와 공동으로 막스플랑크 한국연구소(가칭)를 설립을 위해 과학기술 연구협력에 관한 양해각서(MOU)를 체결.

## 제2절 사전용역연구 결과 검토

### □ 『제 4세대 방사광가속기구축사업 사전타당성조사 보고서』 (한국과학기술기획평가원, 2007)

- 제4세대 방사광가속기사업은 기초과학의 대형기본시설로서 기술적, 경제적 파급효과면에서 국가적으로 지원필요성이 인정되는 사업이나, 당시 추진 중인 계획에서 제시하고 있는 사업목표로서는 관련 분야에서 세계적으로 경쟁력있는 기술개발을 선도하거나 이용자의 요구수준을 충족하는데 한계가 있을 것으

로 판단되므로 사업목표를 0.1nm 이하로 하는 새로운 사업계획을 수립하여 향후에 추진하는 것이 바람직할 것으로 권고

- 『제4세대 방사광가속기 건설 타당성 연구』 (대구경북연구원, 2009)
  - 본 보고서는 부지매입비를 포함하여 총사업비를 4,243억원으로 추정하였으며, 편익은 4세대 방사광가속기를 건설하지 않았을 경우 해외에서 실험을 수행한다고 가정하고 해외이용대체효과를 추정하여 B/C를 1.056으로 계산.
- 『4세대 방사광가속기의 경제적 타당성 분석』, 서울대학교 산학협력단, 2009
  - 본 보고서는 컨조인트 분석방법론을 이용하여 잠재적 이용자들이 4세대 방사광가속기에 대해 지불하고자 하는 최대금액을 추정하는 방법을 통해 편익을 산정
  - 분석결과에 따르면 이용 건당 하루 평균 사용자 편익은 725만원~1,306만원으로 예측되었으며, 1년에 1,000건이 수행된다고 가정하고 연간 평균 사용자 편익을 73억원~131억원으로 예측

### 제3절 관련법 및 상위계획의 검토

- 「기초과학연구 진흥법」 제9조 8항에서 “정부는 기초과학연구의 진흥을 위한 여건조성을 위하여” “기타 연구환경조성 및 연구기반구축에 필요한 사항”에 대한 시책을 강구해야 한다고 규정에 근거
- 국가과학기술지도(NTRM)는 2002년 7월에 수립된 국가계획으로서 21세기 국가경쟁력 제고를 위한 필수적인 기술들을 확보하기 위해 우리나라의 전략적 선택을 담은 밑그림으로서, 4세대 방사광가속기를 활용한 연구는 국가기술지도 상의 핵심기술 전반에 직/간접적으로 활용될 수 있음.
- 이명박정부의 과학기술기본계획(2008~2012)은 국가 경쟁력의 핵심동력인 과학기술에 대한 체계적 계획으로서 과학기술기본계획의 7대 시스템 중 하나인 “과학기술 하부구조 고도화”의 일환으로서 연구시설·장비의 자체 개발 및 구축을 위한 투자 및 지원제도 개선을 과제로 삼고 있음.
  - 이에 따라, 정부는 동 계획의 일환으로 대형 연구시설·장비의 전략적 확충을 위해 현재 2010년까지 체계적인 대형 연구시설·장비 로드맵을 수립 중으로 4세대(X-선 자유전자레이저) 방사광가속기 구축사업은 대형 연구시설·장비 구축 로드맵을 고려하여 평가되는 것이 바람직함. 따라서 주관부처와의 긴밀한 연계 하에 로드맵의 논의 사항을 최대한 반영할 필요가 있음.

- 4세대 방사광가속기는 미국, 일본, 독일, 영국 등 주요 선진국들이 이미 2000년초부터 국가 중요정책(대형장비로드맵 등)으로 선정 구축 중
- 정부는 지난 2009년 5월 관계부처 합동으로 국가산업발전을 위한 신성장동력추진 계획(2008~2012)을 발표하였는데, 녹색기술산업 부문의 신재생에너지, LED 응용, 그린수송시스템 등의 산업, 첨단융합산업 부문의 로봇응용, 신소재나노융합, 바이오 제약 의료기기 등의 산업이 4세대 방사광가속기의 건설 및 활용을 통해서 도출되는 기술과 직접적인 연계성을 가지고 있음.

### 제4절 관계기관 방문 결과

〈표 3〉 관계기관 방문 결과

방문기관	내용
교육과학기술부	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가속기는 여러 대형연구장비 중 과학적 필요성이나 활용도 양 측면에서 볼 때 가장 중요한 연구장비</li> <li>· 방사광가속기는 다른 가속기에 비해 활용가치가 뛰어나기 때문에 본 사업이 반드시 추진되어야 함</li> </ul>
경상북도/포항시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 경상북도는 본 사업을 성공적으로 추진함으로써 경주의 양성자가속기, 포항방사광가속기 등과 함께 가속기 중심지로서 향후 R&amp;D 역량 제고, 기술 기반 첨단산업 육성 등을 위해 노력</li> </ul>
포항공대 가속기연구소	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 4세대 방사광가속기는 울트라패스트사이언스이자 울트라스몰사이언스의 영역에 대한 연구를 가능하게 함으로써 과학의 새로운 장을 열게 될 것임.</li> </ul>
한국원자력연구원 양성자기반공학기술 개발사업단	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 방사광가속기, 중이온가속기, 양성자가속기 등 여러 가속기 중에서 활용도 측면에서 가장 광범위한 것은 방사광가속기임.</li> <li>· 부지측면의 문제는 특별히 없음. 미국의 스텐포드대학에 있는 LCLS 역시 캘리포니아 지진대에 위치</li> <li>· 현재 가속기 장비구축 관련 전문가는 25명 정도 수준으로 3-4개의 가속기가 동시다발적으로 건설될 경우 인력운용의 문제점이 야기될 수 있음.</li> </ul>
KISTEP 타당성조사 (2007) 연구책임자	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 포항의 연약 지반의 문제가 논란이 될 수 있으므로 대규모 투자를 위해서는 문제가 없다는 객관적 증거를 확보할 필요가 있음.</li> <li>· 3세대방사광가속기와 4세대방사광가속기의 지리적 인접성으로 인한 시너지효과가 별로 없기 때문에 굳이 4세대방사광가속기를 포항에 건설할 이유가 없음.</li> <li>· 중이온가속기(과학비즈벨트), 양성자 가속기, 치료용 중이온 가속기 사업들과 대형 방사광 가속기 사업의 동시 설계 및 건설이 가능한지 여부에 대해 논란이 많음 (경험있는 기술, 건설 인력이 부족할 가능성이 높음)</li> <li>· R&amp;D 투자에 있어 대형 장비(H/W) 건설 및 연동 되는 사업이 폭증하고 있어 실제 개인 및 집단연구에 지원한 soft money는 크게 부족한 편임</li> </ul>
기초과학지원연구원 국가연구시설 장비진흥센터	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 4세대 방사광가속기는 현재 이용자가 거의 없기 때문에 현재 한국 실정에 서는 3.5세대 방사광가속기나 중국의 경우와 같은 중이온-방사광 복합가속기를 건설하는 것이 타당함.</li> <li>· 4세대 방사광가속기를 구축하는 데 있어서도 마찬가지로의 한계를 지닐 것임.</li> <li>· 특정 대학에 독점권을 줄 경우 공동활용에 한계가 있음.</li> </ul>

<표 계속>

방문기관	내용
한국물리학회	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 과학계는 대형연구장비는 예산과 인력이 허락하는 한 많을수록 좋다는 입장을 보임. 시급성에 대해서는 찬·반론자에 따라 다른데, 찬성론자들은 과학기술을 모방하는 단계에서 탈모방적 단계로 치고 나가기 위해서는 지금 바로 지어야 한다는 입장인 반면, 반대론자들은 현재 4세대방사광가속기보다는 3.5세대가 더 필요하다는 입장임.</li> </ul>
전문가 자문회의	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가속기 관련 전문가 중 본 사업에 대한 찬/반 입장, 가속기 장치 관련 전문가인가 이용자 입장에서의 전문가인가 등 여러 요인을 고려하여 한국물리학회장의 추천을 받아 선정된 전문가 7인, 교과부 및 기재부 담당자와 함께 자문회의를 진행</li> <li>· 건설과정에서 기술적 성공가능성과 관련해서 3세대 방사광가속기, 하나로 건설 등 과거 대형 연구장비 건설 과정에서 축적된 기술과 지식을 고려할 때 기술적 리스크는 크지 않다는 의견이 제시</li> <li>· 4세대 방사광가속기를 건설하는 것이 현재 과학기술적 상황을 고려하여 판단할 때 적절인가 하는 현재 방사광이용자들이 가장 필요로 하는 가속기는 4세대 방사광가속기보다는 세계 최고 수준을 가진 3세대 방사광가속기라는 주장도 제기</li> <li>· 반대로 현재 4세대 방사광가속기의 수요가 적은 이유는 아직 4세대 방사광가속기를 이용해보지 못했기 때문이며, 3세대 방사광가속기를 건설했을 당시와 유사하게 4세대 방사광가속기 역시 급속도로 이용자수가 확대될 것이라는 의견도 제시</li> <li>· 3세대 방사광가속기 성능향상사업의 성공가능성에 대해서는 회의적인 관점과 동시에 성공적으로 진행되기를 바라는 기대를 동시에 표현</li> <li>· 이 외에 방사광가속기의 운영과정에서의 투명성 및 효율성 제고 방안 마련, 향후 4세대 방사광가속기 이외에 여러 가속기가 건설될 것으로 예상되는 데 가속기 관리의 효율성 제고를 위한 관리 체계 개선안 마련의 필요성 등에 대한 문제 제기</li> </ul>

### 제5절 해외 사례

- 미국, 일본, 유럽 등 선진국을 중심으로 본 예비타당성조사의 대상인 X-선 자유전자레이저 방사광 시설의 건설을 추진되고 있음.
  - 미국 LCLS(Linac Coherent Light Source)는 기존 50GeV 선형가속기를 운영하고 있는 스탠퍼드 선형가속기센터에 3,000억원의 예산을 들여 건설('08년)하여 시운전 중
  - 일본 SCSS(SPring-8 Compact SASE Source)는 하리마과학공원도시 내의 8 GeV 3세대 방사광가속기 시설인 SPring-8 캠퍼스 내에 건설을 추진
  - 유럽 European X-FEL은 독일 입자물리연구소(DESY)가 설치 운영하고 있는 대형입자가속기 부지 내에 건설을 추진

〈표 4〉 주요 4세대 (X-FEL) 방사광가속기 프로젝트 비교

구 분	LCLS (미국)	European X-FEL(독일)	SCSS (일본)	PAL-XFEL (한국)	
프로젝트 기간	2005~2008	2007~2014	2007~2010	4년	
빔 에너지 (GeV)	14.3	10~20	2~8	10	
건설 예산	615 M\$	9.8 B Euro	37 BYen	4000 억	
방사광 파장 (nm)	1.5~0.15	6~0.085	6~0.08	0.1	
선형가속기 길이 (km)	1.0	2.1	0.4	0.7	
총 길이 (km)	1.6	3.4	0.7	0.9	
가속기 형태	Cu cavity (2.856 GHz)	초전도 cavity (1.2 GHz)	Cu cavity (5.7 GHz)	Cu cavity (2.856 GHz)	
펄스 반복률 (Hz)	120	10	60	60	
방사광 침투 출력 (GW)	8~17	24~135	4.5	6	
빛의 밝기 (광자수/s mrad <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> 0.1% b.w)	3.0 x 10 <sup>32</sup>	6.0 x 10 <sup>32</sup>	6x10 <sup>32</sup>	1.2x10 <sup>32</sup>	
Undulator 형태	Out Vacuum	Out Vacuum	In-Vacuum	In-Vacuum	
삽입장치	주기 (mm)	30	38	15	22.3
	gap (mm)	6.8	10	3.5	5.3
	길이 (m)	113	133	90	90

## 제6절 조사의 주요 쟁점

### □ 국가차원의 대형장비 로드맵 측면에서의 타당성 검토

- 현재 국제과학비즈니스벨트에 중이온가속기(2010-2014년, 4,600억원), 한국원자력연구원에 양성자가속기(2002-2012년, 2,890억원, 현재 기존 사업의 10배 규모로 양성자가속기 구축 추진 중), 동남권원자력의학원에 중입자가속기(2010-2015년, 1,839-2,169억원) 등 4세대 방사광가속기를 포함하여 현재 4개의 가속기가 건설 중이거나 최근 4-5년 이내에 건설을 계획 중임.
- 이와 같이 거의 같은 시기에 3-4개의 가속기가 건설될 계획인 바, 이에 따른 재정 및 인력 운용 측면에서 문제가 될 소지가 있기 때문에 범정부 차원의 연구시설·장비 로드맵을 고려하여 투자 우선순위에 다른 전략적인 투자가 요구되는 상황임.
- 교과부에서 “대형 연구시설·장비 구축 로드맵”을 수립하여 국과위 보고 예정인 바, 추후 관계부처와의 긴밀한 관계를 통해 본 내용을 예비타당성조사시 반영할 필요가 있음.

- 국내 기술수준에서의 4세대 방사광가속기의 적합성 및 구축성공가능성 검토
  - 4세대 방사광가속기의 기술적 적합성과 관련하여 포항가속기연구소를 포함하여 찬성하는 입장은 나노와 펄스 영역의 동시 탐구를 통해 세계 수준의 첨단 과학기술을 선점하고 연구환경의 변화에 따른 방사광이용자의 연구의 질적 수준 제고에 따라 4세대 방사광가속기의 구축이 필요하다고 주장
  - 반면, 4세대 방사광가속기의 경우 아직 국내에 이용자층이 적고 가까운 일본에서 이미 4세대 방사광가속기를 구축하고 있기 때문에 현재 단계에서는 일본과의 공동이용을 추진하고 국내에서는 3.5세대 방사광가속기를 구축하는 것이 실용적이라는 주장도 또한 제기되고 있는 상황임.
  - 4세대 가속기를 현재 기술적 수준에서 자체적인 기술로 구축할 수 있는지 여부에 대한 판단 필요.
- 4세대 방사광가속기의 바람직한 거버넌스 구조에 대한 제언
  - 현재 3세대·4세대 방사광가속기의 기부체납이 논의되고 있는 바, 이와 관련하여 바람직한 거버넌스 구조 및 공동활용의 효율성을 제고할 수 있는 방안 모색이 중요
- 부지 측면의 문제
  - 현재 가동 중인 3세대 방사광가속기의 주요 시설이 절토된 지반위에 위치함에도 불구하고 지반에서 미세한 변형현상이 지속적으로 발생함으로 인해 가속기를 이용한 연구의 질을 저하시키는 등의 문제 제기에 대한 기술적 해결 방안 검토
  - 포항의 지리적 위치가 국토의 동남쪽에 치우쳐있어 이용의 불편함에 따른 비효용의 문제가 제기됨. 이에 대해서는 3세대 방사광가속기와 4세대 방사광가속기의 지리적 인접성이 주는 시너지 효과 및 비용의 절감효과와 포항의 지리적 측면의 불리함을 비교하여 판단
- 기초대형연구장비에 적절한 편익추정 방법 모색
  - 본 시설을 이용하여 수행되는 R&D에 대한 편익과 건설·운영과정에서 파생되는 편익으로 구분
  - 본 시설을 이용하여 수행되는 R&D에 대한 편익은 사업 미시행시 해외 가속기를 이용하여 연구를 수행할 경우에는 해외이용대체효과로, 사업 미시행시 국내 대체장비를 이용하여 연구를 수행할 경우에는 방사광가속기를 이용하여 연

구를 수행할 경우와의 연구성과 차이 편익으로, 사업 미시행시 연구를 포기할 경우에는 추가적 연구에 의한 편익으로 분류

- 연구의 성격 측면에서는 기초연구와 응용/개발연구로 구분하여 각각의 성격에 맞는 편익추정방법 모색

□ 사업의 활용도를 제고하기 위한 대안 모색

- 일본이나 유럽의 경우 총 5기의 빔라인을 건설할 계획인 반면, 본 사업은 현재 3기의 빔라인만을 건설할 계획인 바, 활용도 제고를 위한 대안을 모색할 필요.

□ 비용추정방법과 관련하여 사업비의 3/4을 차지하고 있는 설비 및 장비의 비용을 평가할 수 있는 전문가가 부족하며 구체적인 수준에서 장비 비용의 적절성을 평가하기에는 시간이 절대적으로 부족

- 이에 대해서는 현재 양성자방사광사광을 건설하고 있는 전문가에게 개략적인 수준에서 비용의 적절성을 평가하고, 해외 유사사례와 비교하여 연구진이 종합적으로 판단

## 제7절 대안 및 시나리오 설정

□ 빔라인 개수와 관련하여 적절한 대안의 제시

- 본 사업은 사업개요에 기술한 바와 같이 사업주체가 제시한 총사업비 4,260억 원 중 선형가속기 비용이 2,000억원으로 가장 큰 비중을 차지하고 있음.
- 활용도를 극대화하기 위해서 본 사업에서는 기술적으로 4세대 방사광가속기의 성능을 최대한 저하시키지 않으면서 연구개발수요를 충족시켜줄 수 있는 적절한 빔라인 개수와 관련하여 대안의 모색이 필요
- 본 조사에서는 일본이나 유럽 등 유사사례의 경우를 참고하여 원안에서 제시한 경 X-선 빔라인 3기 이외에 추가적으로 연 X-선 빔라인과 자외선 빔라인 각 1기, 그리고 포항가속기연구소에서 세계 최초로 제안한 아토초 빔라인 1기를 추가적으로 건설하는 안을 대안으로 제시.

- 다만, 추가적으로 건설할 빔라인 3기는 원안의 성공적인 가동과 수요의 추이를 고려하여 원안의 사업완료 후 5년인 2020~2022년에 건설하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

〈표 5〉 대안별 주요 사업내용 요약

	원안	대안
사업기간	2011-2014(4년)	1단계 2011-2014(4년) 완공 후 2단계로 2020-2022년 진행
주요 사업내용	최첨단 X-선 자유전자레이저 광원발생장치 및 경 X-선 빔라인 3기 건설	원안에 추가하여, 빔라인 3기 추가 건설
빔라인 개수	3기(경 X-선)	6기(경 X-선 3기, 연 X-선 1기, 자외선 1기, 아토초 1기)
부지	65,835㎡	65,835㎡
건축연면적	22,197㎡	24,009㎡

- 과제당 연구비 증가율에 대한 가정에 따라 시나리오 제시
  - 각 연구과제 당 연구비 증가율에 따라 편인추정 결과는 상당한 차이를 보이기 때문에 적절한 연구비 증가율의 선택이 매우 중요
- 세계적으로 4세대 방사광가속기의 공급이 충분히 이루어지는 시점에 따른 시나리오 제시
  - 해외이용대체효과에 의한 편익 산정 시, 해외 가속기를 이용하고자 할지라도 이용신청이 탈락되는 경우가 많을 것으로 예상됨에 따라 사업의 완료 후 초기 년도에는 해외 방사광가속기 이용신청 탈락률을 50%로 가정하고 일정 시간이 지남에 따라 탈락률이 0%가 될 것임.
  - 그러나 해외 4세대 방사광가속기 이용신청 탈락률이 0%가 되는 시점을 몇 년으로 설정하는가에 따라 편익은 상당한 영향을 받는 것으로 나타남에 따라 본 조사에서는 세계적으로 4세대 방사광가속기의 공급이 충분히 이루어지는 시점에 따른 시나리오를 제안

〈표 6〉 시나리오 요약

세계적으로 4세대 방사광가속기의 공급이 충분히 이루어지는 시점			시나리오 I	시나리오 II
			15년	30년
과제당 연구비 증가율				
소극적 시나리오	1	변화없음	I-1	II-1
기준 시나리오	2	2.14% <sup>1)</sup>	I-2	II-2

주: 1) 1998~2008년 국가연구개발사업(국방 및 인문사회 제외) 과제당 연구비 증가율

## 제Ⅲ장 기술적 타당성 분석

### 제1절 기술적 타당성 분석 개요

- 기술적 타당성 분석에서는 기술개발계획의 적절성, 기술개발 성공가능성, 기존 기술 및 사업과의 중복성 검토

〈표 7〉 R&D부문 예비타당성조사의 기술적 타당성 분석 평가항목

대항목	중항목	소항목	비고
기술적 타당성 분석	기술개발계획의 적절성	목적/목표의 적절성	
		수행체계의 적절성	
		기대성과의 구체성	
	기술개발 성공가능성	기술수준	
		기술개발 성공가능성	
	기존기술 및 사업과의 중복성	기술측면에서의 중복성	
사업 측면에서의 중복성			

### 제2절 기술개발계획의 적절성 검토

- 방사광가속기 개요
  - 방사광가속기는 가장 가벼운 입자인 전자의 운동에너지를 증가시켜서 운동에너지의 일부를 빛으로 변환시키는 장치로서, 전자가 진공튜브 내에서 빛의 속도에 가까운 속도로 가속시킨 후, 운동에너지가 매우 큰 전자의 진행궤도를 바꾸면 전자의 운동에너지가 빛으로 변환되어 강한 엑스선을 방출시킴.
  - 이렇게 만들어진 빛이 빔라인을 통하여 단색광으로 만들어져 화학, 생물, 환경, 기초 의학 분야에서 여러 종류의 가속기 중 가장 광범위하게 사용되고 있으며, 특히 생명 및 환경 분야의 이용자가 빠른 속도로 증가하는 추세에 있음.
- 제3세대 방사광 가속기는 11개국 17기가 운영 중이며, 12개국 12기가 기존시설 성능향상 또는 신규건설을 통해 건설·계획 중임.

- 최근 건설되는 방사광가속기는 밝은 빛을 내기위해 빔-에미턴스 5nm-rad 이하, 링전류 300~500mA, 삽입장치 빔라인 길이 증가 추세

〈표 8〉 가동중인 주요 3세대 방사광가속기 시설 비교

방사광 이름 (국가)	에너지 (GeV)	둘레 (m)	링 전류 (mA)	에미턴스 (nm-rad)	건설비	운영비	완공
SPring-8 (일본)	8	1,436	100	5.6	1,100억¥	122억¥	1997
APS (미국)	7	1,104	100	3.5	467M\$	107M\$	1994
ESRF (유럽공동)	6	844	200	3.8	458M€	80M€	1994
Diamond (영국)	3	560	300	2.7	263M£	-	2006
PLS (한국)	2.5	280	200	18	1,500억원	250억원	1994

□ 포항방사광가속기(PLS; Pohang Light Source)

- 3세대 포항방사광가속기(PLS; Pohang Light Source)는 정부에서 596억, 포항제철에서 864억, 기타 40억 등 총 1500억원의 예산으로 1988년부터 건설을 시작하여 1994년 12월 세계에서 다섯 번째로 성공적 건설
- 포항방사광가속기를 설립, 운영하면서 노하우와 기술력이 축적됨에 따라 운전 성과도 좋아지고 있음.
- 포항방사광가속기가 완공된 첫 해인 1995년 방사광가속기 이용자수(연인원 기준)는 78명이었으나, 15년이 지난 2009년에는 2,881명으로 증가하여 연평균 30% 정도의 증가율을 보임.
- 과제 수 역시 1995년 18건에서 2009년 845건으로 크게 증가하였으며, 이에 따라 포항방사광가속기를 이용한 논문건수 역시 1996년 국내 15건, 해외 11건에서 2009년 국내 237, 해외 293건으로 증가
- 포항방사광가속기의 이용이 양적으로 크게 증가했음에도 불구하고 약한 기반 위에 건립되어 지반 침하로 인한 분석 성능의 질 저하, 시설의 노후화로 인한 경쟁력 약화 등으로 인해 연구자들에게 좋은 분석 결과를 보여주는 데 있어서 한계를 지님.

□ 포항방사광가속기 성능향상사업(2009~2011)이 1,000억원의 예산으로 진행 중임.

- 포항가속기연구소는 PAL 성능향상사업의 주요 사업목표를 현재의 2.5GeV,

200mA, 18.9nm rad에서 3GeV, 400mA, 5.8nm rad로 향상시킬 것이라고 제시하고 있음. 이러한 목표가 성공적으로 실현될 경우 NSLS II 보다는 뒤떨어지지 만 DIAMOND와 유사한 수준의 성능을 보여줄 수 있을 것임.

- 그러나 포항가속기연구소가 제시하는 PAL 성능향상사업의 성공가능성에 대해 일부 이용자들은 회의적 의견 제시(4세대(X-선 자유전자레이저)방사광가속기 구축사업 예비타당성조사 기술자문회의, 2010. 2)
- 3세대 방사광가속기는 과학계의 입장에서 보면 기반시설인데 반해, 4세대방사광가속기는 첨단시설임. 만약 PAL 성능향상사업이 당초의 목표를 달성하지 못하여 이용자의 요구에 부응하지 못하게 되는 반면, 제4세대(X-선 자유전자레이저) 방사광가속기가 건설된다면, 기반시설은 제대로 갖추지 못한 채 첨단 시설만 갖추게 되는 상황이 발생
- 그러나 현재 성능향상사업이 진행되고 있으며, 성능향상사업이 얼마나 성공할 수 있을 것인가에 대해서는 전문가들 사이에 견해가 엇갈리고 있으며, 성능향상사업이 첨단 3세대방사광가속기에 대한 이용자의 필요를 어느 정도 만족시켜 줄 수 있을지에 대해서는 현재 시점에서 판단하기 어려움.

〈표 9〉 PLS II 성능향상사업 주요 목표

구 분	PLS	PLS-II
에너지	2.5 GeV	3.0 GeV
저장링 둘레	280.56 m	281.82 m
에미턴스	18.9 nm·rad	5.8 nm·rad
빔전류	200 mA	400 mA
삽입장치 수용개수	10	20
방사광 밝기	~2X10 <sup>18</sup>	~10 <sup>20</sup>
Lattice type	TBA	DBA
타연구소 대비 특장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Full-energy LINAC 도입(길이단축)</li> <li>· 2.5GeV 에너지(자외선, X-선 활용)</li> <li>· Low emittance 시도</li> <li>· Al 소재 저장링 진공 챔버</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Compact DBA구조(ID 20 기 확보)</li> <li>· 초전도 RF Cavity</li> <li>· In-vacuum Undulator</li> <li>· High Current</li> <li>· Compact Ring에 Low emittance</li> </ul>

□ 4세대(X-선 자유전자레이저) 방사광가속기의 특성

- 4세대 방사광원인 자유전자 레이저는 기존 3세대 방사광원에 비해 100억 배 높은 휘도, 1000배 더 짧은 시간대인 펨토초 영역의 광 펄스폭, 그리고 이전에는 불가능했던 완벽한 횡축 방향의 광 결맞음 특성을 갖는 최첨단 대형과학시설
- 연 X-선 및 경 X-선 영역의 고출력 결맞음 광원의 활용은 기존의 방사광원과 일반 레이저 광원을 이용하는 연구와 함께 원자 및 기초물리학, 응집물리학 및 재료과학, 펨토 화학, 구조생물학, 그리고 다양한 기술 분야와 같은 순수 기초 및 응용 과학연구의 새로운 지평을 열어 매우 광범위하고도 심오한 과학 탐구가 가능

<표 10> 3세대 방사광가속기와 4세대 방사광가속기 비교

구분	3세대 방사광가속기	4세대 방사광가속기	비고
빛의 밝기	태양의 1억 배	3세대의 100억 배	
시간 분해능	피코( $10^{-13}$ )초	펨토( $10^{-15}$ )초	물질의 동적현상 실시간 관측 가능
빛의 성질	낮은 결맞음의 백색광 (적외선, 가시광선, 자외선, 연X-선, 경X-선)	결맞음이 우수한 X-선 레이저 (0.1nm급 X-선)	물질 분석자료 고해상도 제공 실시간 3차원 구조분석, 나노급 해상도
연구 분야	정적 연구	펨토초 동적 연구가능	긴 펄스 3세대 방사광의 정적 분석 한계를 넘어 동적 현상 관측 - 동력학 화학분석으로 촉매, 녹색에너지연구 분야 개척
시료 크기	거대 결정(1015개)	단분자 가능	
세포분석	냉동 절단 세포	원 상태(살아있는 세포까지 가능)	다양한 물질 분석 가능 (비결정물질 포함) 3세대 방사광은 결정(시료)이 가능한 물질 중 일부만 분석 가능(단백질 : 20%만 결정 가능)

□ 4세대 방사광가속기 구축사업의 적절성 검토

- 현재 방사광 이용자들이 가장 필요로 하는 것은 세계 최고 수준의 3세대 방사광가속기이며, 4세대 방사광가속기는 건설 초기에는 첨단 연구장비를 이용한 심도있는 과학탐구를 수행할 연구수요가 크지 않을 것이라는 데에 대다수 과학자들이 동의

- 그러나 3세대 방사광가속기가 처음 설립되었을 당시 수요가 거의 없었으나, 연평균 30%라는 경이적인 증가율을 보인 것과 마찬가지로, 4세대 방사광가속기 역시 초기에는 수요가 많지 않을 수 있지만 시간이 지나면서 빠른 속도로 증가할 것으로 예상
- 또한 현재 방사광이용자들이 가장 필요로 하는 것은 성능 좋은 3세대 방사광가속기이기 때문에 세계 최고 수준의 3세대 방사광가속기를 새로 건설하는 주장에 대해서는 포항방사광가속기 성능향상사업의 성공 여부가 불분명한 상황에서 새로 3세대 방사광가속기를 건설하는 것은 중복투자의 문제가 있을 수 있음.
- 정상적으로 운영되고 있는 4세대방사광가속기가 현재는 존재하지 않기 때문에 아직 국내에는 4세대 방사광가속기를 사용해 본 사용자가 없음. 따라서 4세대 방사광가속기의 활용에 대한 명확한 그림이 부재하며, 4세대 방사광가속기에 대한 수요는 역시 불분명할 수밖에 없음.
- 그러나 미국 스탠포드 대학에 건설된 LCLS의 경우 현재 일부 빔라인만 테스트단계에 있음에도 불구하고 놀라운 실험결과들이 나오고 있으며, 이러한 경험이 축적되면 향후 수요는 충분히 커질 것으로 예상됨.
- 방사광 수요는 급격히 증가할 것인데 반해, 4세대 방사광가속기의 경우 선형가속기라는 특징으로 인해 빔라인을 최대 40개까지 설치할 수 있는 원형가속기와는 달리 5개 이하의 빔라인만을 설치할 수 있다는 한계로 인해 방사광에 대한 수요를 양적인 측면에서 충족시켜 줄 수 없을 수 있다는 점을 지적하기도 함. 이와 관련하여, 방사광을 효율적으로 이용할 수 있는 방안의 모색이 매우 중요한 과제임
- 4세대 방사광가속기의 건설이 미국, 일본, 유럽에 비해 4~6년 정도 뒤이지만, 새로운 과학연구를 개척하는 효과는 대단히 클 것으로 예상되며, 기초과학의 여러 분야에서 프론티어 수준의 성과를 창출할 수 있을 것으로 기대할 수 있음.

### 제3절 기존사업과의 과학기술적 중복성 검토

#### □ 다양한 가속기간의 중복성 검토

- 방사광가속기의 주요 기능은 물질을 관찰하는 것인 반면, 중이온가속기, 양성자가속기는 물질의 구조와 성질을 바꾸는 것으로서 기능적 측면에서 중복되지 않으며, 방사광가속기가 다른 가속기에 비해 활용도가 가장 광범위하다는 것이 전문가들의 일반적인 견해임.

- 물질의 관찰 측면에서 중성자와 양성자 가속기의 경우 나오는 중성자와 양성자빔을 시료에 조사해서 회절신호를 통해 구조에 대한 직접적인 정보를 제공해주고 거의 모든 시료에 대해 사용가능하지만 진공을 요하므로 실제 응용에서는 제한이 있으며 시간분해능이 거의 없으므로 시간분해능을 요하는 실험에는 사용 곤란
- 3세대 방사광 가속기에 비해 4세대 방사광가속기는 100억배 높은 휘도, 1000배 짧은 시간대인 펨토초 영역의 광 펄스폭, 완벽한 횡축 방향의 광 결맞은 특성을 갖음으로써 물질 분석자료에 있어서 나노급의 고해상도를 제공해주며 살아있는 세포까지 분석이 가능하고 고도의 시간분해능으로 동적 현상을 관찰할 수 있게 해줌으로써 선도적 연구가 가능
- 그러나 100MeV급 양성자가속기(2002~2012년)가 2890억원의 예산 규모로 경주에 건설 중이며, ‘국제과학비즈니스벨트 종합계획’과 관련하여 중이온가속기(2012~2015년) 건설계획도 4,600억원의 예산규모로 논의 중인 바, 가속기 전문인력이 제한적인데 반해, 짧은 기간 동안 여러 가속기 건설사업이 중복될 경우 전문인력의 부족 문제가 발생할 수 있기 때문에 가용한 인력 및 예산을 고려하여 건설 시기의 조정 필요.

□ 기존 대형연구장치와의 차별성

- 4세대 방사광가속기와 다른 연구 장비들과의 특성을 비교하면 <표 11>과 같음.

<표 11> 연구 장비별 특성비교

특성 \ 장비	초고전압 투과전자 현미경	차세대 자기공명장 치	하나로	양성자 가속기	광양자빔 장치	3세대 방사광 가속기	4세대 방사광 가속기
최종 방출입자	전자빔	라디오파	중성자	양성자	광자(빛)	X-선	X-선
전형적인 시료상태	고체	액체, 고체 (기체)	고체,액체, 기체	고체,액체, 기체	고체,액체, 기체	고체,액체, 기체	고체,액체, 기체
구조에 대한 직접적인 정보	이미징· 회절 가능	간접적으로 가능	회절을 통해 가능	회절을 통해 가능	간접적 으로 가능	회절을 통해 가능	회절을 통해 가능
시간 분해능	거의 없음	미사용 (밀리초 가능)	미사용 (밀리초 가능)	미사용 (밀리초 가능)	30 펨토초	100 피코초	100 펨토초
진공 필요 여부	진공	상압	진공	진공	국부진공 필요	상압	상압

- 나노과학과 펨토과학을 동시에 가능하게 할 4세대 방사광가속기는 3세대에 비해 100억 배나 밝은 광원을 이용함으로써 물질 내부에서 일어나는 현상을 실시간으로 관측할 수 있고, 이를 통해 화학반응의 중간과정들을 펨토( $10^{-15}$ )초의 시간분해능으로 관측이 가능
- 나노물질의 구조적인 정보를 얻는데 가장 많이 사용되는 전자현미경(TEM)은 시간분해능을 제공하지 못하므로 안정적인 구조만을 볼 수 있고, 다이내믹스, 즉 동력학적인 정보를 얻어낼 수 없을 뿐만 아니라, 시료를 준비하는데 용이하지 않은 점과 고체만 가능하고 또한 진공상태에서만 측정가능하기 때문에 살아있는 생물세포 등을 관측하기 어렵다는 한계가 있음.
- 자기공명장치(NMR)는 기존의 다른 정보들의 해석을 통해 간접적으로 분석하는 방식으로서 직접적인 정보를 제공하는 연구장비가 아니기 때문에 4세대 방사광가속기와는 기능면에서 차이가 있으며, 대부분의 측정에서 시간분해능을 사용하지 않고 있고, 시간분해능이 대부분의 경우에 밀리초에 그치고 있고 이 또한 다차원 측정의 경우에는 적용이 불가능하다는 한계를 갖고 있음.
- 하나로(HANARO)는 중성자가 물질 깊숙이 통과하는 것과 중성자 산란, 중성자 회절 등의 특징을 이용하여 물질 내부 구조 분석 및 측정이 주 목적이거나 X-선보다 투과 깊이가 깊고 유·무기 물질 모두에 사용 가능하나 중성자가 연속으로 발생되어 물질 내부 구조를 시간적인 변화나 동력학적인 특성을 측정할 수 없음.
- 광양자빔장치는 펨토초대의 강력한 펄스를 제공하므로 펨토초대의 시간분해능을 제공할 수 있고 원론적으로는 모든 시료에 사용 가능하지만, X-선 회절이 아니라 분광학적인 방법으로 동력학적인 정보를 제공하므로 물질 내부구조에 대한 직접적인 정보를 제공할 수 없다는 단점이 존재
- 요약하면, 4세대(X-선 자유전자레이저)방사광가속기는 분석 대상 및 분석자료의 제공 측면에서 기존의 대형장비와 차별성을 갖고 있음.

## 제4절 기술개발 성공가능성 검토

- 4세대 (X-선 자유전자레이저)방사광가속기 기술목록 및 우리나라의 기술수준
  - X-선 레이저 개발을 위해서는 전자선형가속기 기술, 고휘도 전자빔 발생 기술, 펨토초 길이 전자빔 생성 및 진단기술, 레이저 기술, X-선 레이저 발생 및 측

정 기술 등은 State-of-art 수준의 기술이 필요

- X-선 레이저 개발 연구의 한 축인 전자선형가속기 기술은 포항방사광가속기의 성공적인 건설과 지속적인 연구 개발로 일정 수준 확보된 상태
- 포항가속기연구소의 2.5 GeV 선형가속기는 DESY TTF FEL과 동급의 전자빔 에너지를 제공할 수 있어 수 nm 파장의 X-선 FEL 개발에 필요한 기반 기술은 상당 부분 확보된 상태
- 가속기에 관련된 기술은 포항가속기연구소에서 지난 10년간 연구 개발로 축적된 기술을 활용하고, 필요한 기술개발을 위해서 연구 역량을 집중하고 외국 연구소와 공동연구를 추진하면 짧은 시간(2~3년)에 전자빔의 품질이 설계치 또는 목표치에 도달할 수 있을 것으로 기대
- X-선 레이저 발생 및 측정 기술은 국내뿐만 아니라 국제적으로도 연구가 필요한 분야이므로 국제공동연구를 활성화할 필요가 있으며, 또한 4세대 방사광으로 각광받고 있는 X-선 FEL은 선진국도 연구 초기 단계에 있으므로 이에 대한 연구가 진행된다면 건설이 완료될 5년 후에는 선진국과 대등한 수준에 이를 수 있을 것으로 기대

〈표 12〉 주요장치 사양 및 개발현황

구 분		목 표	기술개발현황
전자총	광음극 전자총	에미턴스 : < 1 mm·rad	에미턴스 : 1.5 mm·rad (소내 fs-THz 빔라인 적용 중)
	레이저 시스템	Ti-Sapphire, 150fs, 3 mJ	기 확보 기술
선형 가속기	상전도 가속관	현재 가속관 시스템과 동일	기 확보 기술
	모듈레이터	상 동	개발 완료
	마이크로웨이브	위상정밀도 : <0.1 deg	개발 중
언듈레이터		최소값 : 5 mm	개발 중(성능향상사업)
정밀 빔진단 장치		Cavity BPM < 100 nm	개발 중
초정밀 기계정렬 기술		< 10 mm	기 확보 기술
초정밀 전자석 기술			기 확보 기술

자료: 포항가속기연구소, 「4세대(X-선 자유전자레이저)방사광가속기 구축사업 예비타당성조사 - KDI 제출자료」, 2010.1

<표 13> 핵심기술 선진국과 기술 수준 비교

구분	핵심 기술	국내수준	선진국 수준	격차
선형가속기 / 레이저 발생장치 기술	고휘도 광음극 전자총 기술	빔에미턴스 : 2 m~mrad	빔에미턴스 : 1mm~mrad	1년
	고안정 전자빔 제어기술	빔궤도안정도 : 3 μm	빔궤도안정도 : 1~3μm	0년
	초정밀 기계 정렬 기술	기계 정렬 : < 150 μm	기계 정렬 : < 150 μm	0년
	클라리스트론용 펄스전원기술	펄스 안정도 : 0.01%	펄스 안정도 : 0.05%	0년
	펄스 전자빔 진단 기술	전자빔 위치 측정 정밀도 : 50 μm	전자빔 위치 측정 정밀도 : 10 μm	1년
	초고진공 기술	10 <sup>-10</sup> torr	10 <sup>-10</sup> torr	0년
	엔들레이터 제작 기술	- Out Vacuum Type		0년
		- In Vacuum Type		2년

자료: 포항가속기연구소, 『4세대(X-선 자유전자레이저) 방사광가속기 건설사업 기획보고서』, 2009.7

□ 기술개발 성공가능성

- 포항가속기연구소는 130여명에 달하는 자체 연구인력을 확보하고 있으며, 특히 포항가속기연구소는 1988~1994년 기간 동안 자체적으로 포항방사광가속기(PLS)를 건설하였으며, 과거 15년 동안 가속기를 운영하면서 가속장치의 유지 보수 및 성능개선, 차세대 가속기 연구, 새로운 빔라인 건설 작업 등을 통해 기술력을 축적하여 왔음.
- 포항가속기연구소는 3세대 방사광가속기 건설을 통하여 확보된 기술력과 숙련된 인력을 활용하고, 기 보유하고 있는 2.5 GeV 선형가속기를 활용한다면 X-FEL 방사광가속기의 성공적 개발이 가능할 것으로 주장
- 포항가속기 외부의 국내 가속기 관련 장치전문가들은 대체로 과거 전혀 경험 이 없었던 상황에서 포항방사광가속기를 건설하는데 성공하였으며, 현재는 포항방사광가속기 건설 및 운영경험, 하나로 등 대형연구장비의 건설 경험 등으로 기술수준이 많이 향상되어 건설 측면에서 기술적으로 어려운 점은 거의 없다고 평가하고 있음(4세대(X-선 자유전자레이저)방사광가속기 예비타당성조사 기술자문회의, 박주식 국가핵융합연구소 ITER사업단 사업본부장)

- 그러나 사용자 입장에서는 포항의 연약지반으로 인해 포항방사광가속기의 성능에 수차례 문제제기가 있었던 바, 본 사업의 추진과정에서도 이로 인한 문제가 발생하지 않도록 기술적 보완이 필요하다는 의견이 제기되었음. 이에 대해 포항가속기연구소 측은 4세대(X-선 자유전자레이저)방사광가속기는 선형가속기로서 구조적으로 연약지반의 문제가 3세대방사광가속기보다 영향을 덜 받으며, 기술적으로도 이를 보완하려는 계획을 갖고 있음.
- 이용자 입장에서 제기될 수 있는 문제들에 대해 기술적 측면 및 구현가능한 성능에 대한 구체적인 정보를 제공하는 등의 방법을 통해 이용자의 신뢰도를 제고하는 노력 필요

### 제5절 기술적타당성 분석 종합

- 기술개발계획의 적절성 측면에서 볼 때, 4세대 방사광가속기는 첨단연구장비로서 현재 수준에서는 연구수요가 크지 않을지라도, 시간이 지나면서 빠른 속도로 증가할 것으로 예상됨.
  - 현재 진행되고 있는 포항방사광가속기 성능향상사업의 성공여부가 불분명한 상황에서 새로 3세대 방사광가속기를 건설하는 것은 중복투자의 문제가 있음.
  - 4세대 방사광가속기의 경우 선형가속기라는 특징으로 인해 5개 이하의 빔라인만을 설치할 수 있다는 한계로 인해 활용도를 높이는 문제가 제기됨에 따라 효율적 이용방안의 모색이 중요한 과제
- 기존의 다른 사업과의 과학기술적 중복성과 관련해서는 초고전압투과전자현미경, 차세대 자기공명장치, 하나로, 양성자가속기, 광양자빔장치, 3세대방사광가속기 등과 비교 검토한 결과 4세대 방사광가속기는 분석 대상 및 분석자료의 제공 측면에서 기존의 대형연구장비와 차별성을 갖고 있음.
- 기술개발 성공가능성 검토 측면에서는 국내 가속기 관련 장치전문가들의 의견 청취 결과, 포항방사광가속기의 건설 및 운영경험, 하나로 등 대형연구장비의 건설 경험 등으로 기술수준이 많이 향상되어 건설 측면에서 기술적 어려움은 거의 없는 것으로 판단됨.

## 제Ⅳ장 비용 추정

### 제1절 비용추정의 접근법

〈표 14〉 사업비 산정 연구절차 및 방법

단계	연구절차	연구방법
I	사업개요검토	- 사업부지 개요 설정 - 총사업비의 항목별 구분
II	시설규모검토	- 포항가속기연구소에서 제공받은 기획보고서를 근거로 시설의 규모를 설정
III	비용추정방법 및 기준검토	- 부지매입비용, 공사비용, 부대비용 등의 추정방법설정 - 각 비용추정의 기준 설정
IV	사업비 산정	- 세부항목별 비용산정 근거제시 - 총사업비 산출 및 연차별 투입비용 산출

### 제2절 사업의 개요 및 대안 설정

□ 사업비는 건축비 1,215억원, 장비비 3,045억원을 합하여 4,260억원임.

〈표 15〉 총사업비 개요

구 분		건축비	장비비	예 산
주요시설 (국비)	선형가속기	346.5	2000	2346.5
	언듈레이터	215.33	600	815.33
	빔라인	99	210	309
	기술지원	329.17	200	529.17
	소계	990	3,010	4,000
연계시설 (지자체)	기술체험관	125	25	150
	게스트하우스	100	-	100
	과학영재프로그램	0	10	10
	소계	-	35	260
계		1,215	3,045	4,260

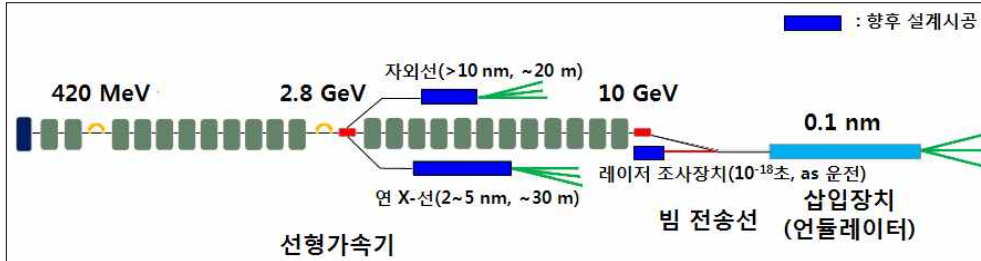
□ 대안의 설정

- 편익을 극대화하기 위해서는 방사광가속기를 이용하여 얼마나 많은 연구개발을 할 수 있는가에 달려 있음.
- 일본과 유럽의 경우 모두 경 X-선 빔라인 3기와 연 X-선 및 자외선 빔라인 2기를 합쳐 총 5개의 빔라인을 건설할 계획
- 본 사업계획에서 제출한 대로 경 X-선 빔라인 3기만을 건설하는 계획안은 2,000억원의 대규모 비용이 소요되는 선형가속기를 건설한 후 활용도를 낮추는 것으로 판단됨.
- 따라서 본 예비타당성조사에서는 사업주체 측과 기술적 사안에 대해 협의하고 연구개발수요를 고려하여 사업완료 후 5년 후 연 X-선 및 자외선 빔라인 각 1기씩과 아토초 빔라인 1기를 추가적으로 건설하는 것을 대안으로 제안
- 해외 대비 우수성을 강조할 수 있는 주요 장치로서 아토초 빔라인 1기 건설을 포함

<표 16> 대안 사업내용 개요

	연 x-선 빔라인	자외선 빔라인	아토초 빔라인	비고
빛의 파장영역	2~5nm	>10nm	0.1nm	
엔드레이터 수	1기	1기	-	
엔드레이터 길이	30m	20m		
빔라인 수	1기	1기	1기	연x-선, 자외선 빔라인은 각각 3기까지 가능
추가건축면적	780㎡ (터널 330㎡, 실험hall 450㎡)	792㎡ (터널 342㎡, 실험 hall 450㎡)	240㎡ (laser room 240㎡)	
사업기간	2020~2022년(3년)			

[그림 1] 한국의 XFEL 구조와 향후 설계 구성도



### 제3절 시설규모 검토

- 사업계획과 지형의 경사도와 형태를 비교·조사한 결과 필요 대지면적은 118,588㎡로 추정
- 건축물 시설면적은 포항가속기연구소에서 제시한 기획보고서의 시설면적이 적정하다고 판단

<표 17> 4세대 방사광 가속기 시설 및 규모

시설 구분	건축용도	건축연면적(㎡)	
		원안	대안
선형가속기시설	가속기연구소	4,620	4,620
언듈레이터시설		2,871	2,871
빔라인시설		1,320	3,132 <sup>주)</sup>
기술지원시설		4,386	4,386
소 계		13,197	15,009
게스트하우스건립		4,000	4,000
가속기체협관 건립		5,000	5,000
합 계		22,197	24,009

주: 빔라인의 연건축면적 중 1,320㎡는 2011~2014년에 건설되고 1,812㎡는 자외선, 연 X-선 및 아토초 빔라인을 위한 것으로서 2020~2022년 기간 동안 추가적으로 건설될 예정임.  
 자료: 포항가속기연구소, 『4세대 방사광가속기 구축사업 기획보고서』, 2009. 7

### 제4절 비용추정 방법 및 기준 검토

- 부지매입비, 지장물보상비, 시설공사비 및 부대비용 등은 『예타당성조사 일반 지침(제 5판)』에 근거하여 산출

□ 대략적인 수준에서 가속기 장치 관련 전문가에게 검토를 의뢰하여 적정성 여부를 검증하고, 국내 4세대 방사광가속기와 사양이 유사한 미국의 LCLS와 일본의 SCSS의 비용 자료를 검토하였음.

〈표 18〉 사업비용별 추정방법 및 기준

대분류	소분류	추정방법 및 기준
용지보상비	용지구입비	경상북도청 개별공시지가 근거 추정
	지장물보상비	부지매입비의 15%로 추정
공사비	시설공사비	2008년도 조달청 유형별 공사비로 추정
	부지조성공사비	관련 전문용역사 자문 추정
부대비	설계비 및 감리비	건축사용역의 범위와 대가기준으로 추정
	측량비 및 조사비	건축사용역의 범위와 대가기준으로 추정
장비비		대략적인 수준에서 가속기 장치 관련 전문가에게 검토를 의뢰 미국과 일본 유사사례의 비용 자료를 검토

## 제5절 사업비 산정

〈표 19〉 총사업비

(단위: m<sup>2</sup>, 백만원)

구분	원 사업계획서	원안		대안			증감 (%)	
		증감 (%)	1단계 (2011~2014)	2단계 (2020~2022)	합계	증감 (%)		
공사비	시설공사비	-	45,009	-	45,009	3,533	48,542	
	부지조성공사비	-	26,040	-	26,040	0	26,040	
	부가가치세	-	7,105	-	7,105	353	7,458	
	소계	121,500	78,154	-35.7	78,154	3,886	82,040	-32.5
부대비	기본설계비	-	1,163	-	1,163	55	1,218	
	실시설계비	-	1,744	-	1,744	83	1,827	
	감리비	-	657	-	657	34	691	
	조사 및 측량비	-	710	-	710	0	710	
	부가가치세	-	427	-	427	17	445	
	소계	-	4,701	-	4,701	189	4,891	
장비비	장비비	304,500	334,504	9.9	334,504	48,660	383,164	
	부가가치세 <sup>1)</sup>	-	22,083	-	22,083	4,866	26,949	
	소계	304,500	356,587		356,587	53,526	410,113	34.7
중계		426,000	439,442	3.0	439,442	57,602	497,044	16.0
예비비(10%)		-	43,944	신설	43,944	5,760	49,704	
총사업비 <sup>2)</sup>		426,000	483,387	14.0	483,387	63,362	546,748	28.3

주: 1) 장비비의 경우 국산화율을 고려하여 부가세 적용, 2) 본 시설은 포항공대 포항가속기연구소 부지에 건설하기로 계획되어 있어 용지보상비는 총사업비에 포함되지 않음.

〈표 20〉 총비용

(단위: m<sup>3</sup>, 백만원)

구분	원 사업계 획서	원안		대안				
			증감 (%)	1단계 (2011~2014)	2단계 (2020~2022)	합계	증감 (%)	
공사비	시설공사비	-	45,009	-	45,009	3,533	48,542	
	부지조성공사비	-	26,040	-	26,040	0	26,040	
	소계	121,500	71,049	-41.5	71,049	3,533	74,582	-38.6
부대비	기본설계비	-	1,163	-	1,163	55	1,218	
	실시설계비	-	1,744	-	1,744	83	1,827	
	감리비	-	657	-	657	34	691	
	조사 및 측량비	-	710	-	710	0	710	
	소계	0	4,274	-	4,274	172	4,446	
장비비	장비비	304,500	334,504	9.9	334,504	48,660	383,164	
	소계	304,500	334,504		334,504	48,660	383,164	25.8
용지 보상비	부지매입비	-	27,563		27,563	0	27,563	
	지장물보상비	-	4,134		4,134	0	4,134	
	소계	2,339	31,697	1,255.2	31,697	0	31,697	1,255.2
중계	428,339	441,524	3.0	441,524	52,365	493,889	15.3	
예비비(10%)		44,152	신설	44,152	5,237	49,389		
총사업비	428,339	485,677	14.0	485,677	57,602	543,279	26.8	

### 제6절 총사업비의 연차별 투입계획

〈표 21〉 총사업비 연차별 배분계획(VAT 포함, 원안)

(단위: 백만원, %)

구분	2011	2012	2013	2014	합계
건설비용	7,815 (10%)	31,262 (40%)	15,631 (20%)	23,446 (30%)	78,154
설계비	2,558 (80%)	639 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	3,197
감리비	72 (10%)	289 (40%)	145 (20%)	217 (30%)	723
측량 및 지반조사비	625 (80%)	156 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	782
소계	11,071 (13%)	32,347 (39%)	15,775 (19%)	23,663 (29%)	82,856
장비비	57,592 (16%)	110,002 (31%)	127,828 (36%)	60,065 (17%)	356,587
중계	68,663 (16%)	142,348 (32%)	143,604 (33%)	83,728 (19%)	439,443
예비비(10%)	6,866	14,235	14,360	8,373	43,944
합계	75,529 (16%)	156,583 (32%)	157,964 (33%)	92,101 (19%)	483,387

〈표 22〉 총사업비 연차별 배분계획(VAT 포함, 대안)

(단위: 백만원, %)

구분	2011	2012	2013	2014	2015-2019	2020	2021	2022	합계
건설비용	7,815 (10%)	31,262 (38%)	15,631 (19%)	23,446 (29%)	0 (0%)	777 (1%)	1,943 (2%)	1,166 (1%)	82,040
설계비	2,558 (76%)	639 (19%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	121 (4%)	30 (1%)	0 (0%)	3,349
감리비	72 (10%)	289 (38%)	145 (19%)	217 (29%)	0 (0%)	7 (1%)	19 (2%)	11 (1%)	760
측량 및 지반조사비	625 (80%)	156 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	782
소계	11,071 (13%)	32,347 (37%)	15,775 (18%)	23,663 (27%)	0 (0%)	906 (1%)	1,992 (2%)	1,177 (1%)	86,931
장비비	57,592 (14%)	110,002 (27%)	128,928 (31%)	60,065 (15%)	0 (0%)	10,705 (3%)	21,410 (5%)	21,410 (5%)	410,113
중계	68,663 (14%)	142,348 (29%)	144,704 (29%)	83,728 (17%)	0 (0%)	11,611 (2%)	23,403 (5%)	22,588 (5%)	497,044
예비비	6,866	14,235	14,470	8,373	0	1,161	2,340	2,259	49,704
합계	75,529 (14%)	156,583 (29%)	159,174 (29%)	92,101 (17%)	0 (0%)	12,773 (2%)	25,743 (5%)	24,846 (5%)	546,748

### 제7절 인건비, 운영비 추정

- 인건비는 인력운용계획을 기준으로 포항가속기연구소의 2008년 직급별 평균연봉을 반영하여 계산하였으며, 경상운영비는 2008년 경상운영비를 인력비율로 반영하였고, 가속기운영비는 3세대 방사광가속기의 운영비를 기준으로 전력비율과 건설예산 비율을 고려하여 계산하였음.

〈표 23〉 4세대 방사광가속기 인건비 및 운영비 추정 결과

(단위: 백만원)

년도	인건비	경상운영비	가속기운영비	합계
2015	3,805	894	13,120	17,820
2016	4,302	1,010	13,120	18,433
2017	4,799	1,126	13,120	19,046
2018 이후	5,166	1,209	13,120	19,495
2023년 이후 (대안 2단계)	6,424	1,507	14,854	22,785

## 제8절 연구비 추정

- 본 사업은 거대연구장비로서, 본 장비를 이용하여 연구개발을 수행하고 이를 통해 편익을 얻게 됨.
- 본 장비를 운영하는 포항가속기연구소 소속 연구원들은 본 장비의 성능향상 등을 위해 자체적으로 연구를 수행하기도 하지만, 이는 인건비 및 경상운영비로 충당
- 인건비 및 경상운영비와는 별도로, 포항가속기연구소 내·외부에서 본 가속기를 이용하여 연구개발을 수행하게 되는데, 이 때 투입되는 연구비를 비용으로 추정.
- 연구비 추정은 4세대(X-선 자유전자레이저)방사광가속기가 1년 동안 수행할 것으로 예상되는 과제수를 먼저 추정한 후, 이 중 4세대(X-선 자유전자레이저)방사광가속기를 설립하지 않아도 해외 설비나 국내 다른 설비를 이용하여 연구개발을 수행할 경우의 연구비는 비용에 포함시키지 않고, 4세대(X-선 자유전자레이저)방사광가속기가 설립되지 않으면 연구를 포기하는 경우만 비용에 포함.

## 제9절 성능향상사업비 추정

- 3세대 방사광가속기의 경우 건설한 지 15년 정도 지나면 성능향상사업을 수행하는 것이 일반적임. 본 사업의 경제성 분석 대상기간은 사업 완료 후 30년으로서 15년 후 한차례 성능향상사업을 수행한다고 가정하는 것이 타당함<sup>1)</sup>.
- 3세대 방사광가속기의 총사업비 1500억을 GDP 디플레이터를 이용하여 2008년 가격으로 총사업비를 추정하고, 현재 진행되고 있는 3세대 방사광가속기 성능향상사업비 1000억원을 사회적 할인율을 고려하여 현가로 계산한 후 총사업비 대비 비율을 계산
  - 899억원/2,804억원=0.3207
- 현재 4세대 방사광가속기 건설 총사업비(부지매입비 제외)에 위에서 계산한 비율을 곱하여 성능향상사업비를 계산
  - 4,508억원×0.3207=1,446억원

1) 포항가속기연구소에 질의한 결과 경상운영비에 포함된 성능향상비용은 일상적으로 행해지는 유지보수의 성격이 짙음.

## 제10절 비용흐름표

〈표 24〉 비용흐름표 (원안) 시나리오 1-2

(단위: 백만원)

	운영비	사업비	성능향상 사업	잔존가치	연구개발비	비용합계	비용합계 현재
2011		106,076				106,076	90,336
2012		145,842				145,842	117,726
2013		148,316				148,316	113,482
2014		85,443				85,443	61,967
2015	17,819				3,025	20,844	14,329
2016	18,432				4,947	23,379	15,234
2017	19,045				5,451	24,496	15,129
2018	19,494				5,921	25,415	14,879
2019	19,494				6,354	25,848	14,343
2020	19,494				6,748	26,242	13,803
2021	19,494				7,099	26,593	13,258
2022	19,494				7,405	26,899	12,712
2023	19,494				7,661	27,155	12,164
2024	19,494				7,865	27,359	11,616
2025	19,494				7,541	27,035	10,880
2026	19,494				7,200	26,694	10,183
2027	19,494				6,840	26,335	9,522
2028	19,494		43,372		6,462	69,329	23,761
2029	19,494		57,830		6,065	83,389	27,090
2030	19,494		43,372		6,195	69,061	21,266
2031	19,494				6,327	25,821	7,537
2032	19,494				6,463	25,957	7,181
2033	19,494				6,601	26,095	6,843
2034	19,494				6,742	26,236	6,521
2035	19,494				6,886	26,380	6,215
2036	19,494				7,033	26,528	5,924
2037	19,494				7,184	26,678	5,647
2038	19,494				7,338	26,832	5,384
2039	19,494				7,494	26,989	5,133
2040	19,494				7,655	27,149	4,894
2041	19,494				7,818	27,313	4,667
2042	19,494				7,986	27,480	4,451
2043	19,494				8,156	27,651	4,245
2044	19,494			-27,563	8,331	262	38
합계	581,638	485,677	144,574	-27,563	204,793	1,389,120	698,359

주: 시나리오 1-2는 세계적으로 4세대 방사광가속기가 연구수요를 충족시켜줄 정도로 공급되는 시점을 15년으로, 연구개발비를 과거 10년간 국가연구개발사업(인문사회 및 국방 제외)의 실질연구개발비 증가율(2.14%)로 가정한 것임. 자세한 사항은 5장 참고

〈표 25〉 비용흐름표 (대안) 시나리오 1-2

(단위: 백만원)

	운영비	사업비	성능향상 사업	잔존가치	연구개발비	비용합계	비용합계 현가
2011		106,076				106,076	90,336
2012		145,842				145,842	117,726
2013		148,316				148,316	113,482
2014		85,443				85,443	61,967
2015	17,819				2,718	20,537	14,118
2016	18,432				4,444	22,876	14,906
2017	19,045				4,897	23,942	14,787
2018	19,494				5,319	24,813	14,526
2019	19,494				5,708	25,202	13,985
2020	19,494	11,611			6,062	37,168	19,550
2021	19,494	23,403			6,378	49,275	24,566
2022	19,494	22,588			6,652	48,734	23,030
2023	22,785				8,012	30,796	13,795
2024	22,785				8,877	31,661	13,443
2025	22,785				8,728	31,513	12,682
2026	22,785				8,540	31,325	11,950
2027	22,785				8,311	31,096	11,244
2028	22,785		43,372		8,038	74,195	25,429
2029	22,785		57,830		7,718	88,333	28,696
2030	22,785		43,372		8,062	74,219	22,854
2031	22,785				8,416	31,201	9,107
2032	22,785				8,782	31,567	8,733
2033	22,785				8,970	31,755	8,327
2034	22,785				9,162	31,947	7,941
2035	22,785				9,358	32,142	7,573
2036	22,785				9,558	32,343	7,223
2037	22,785				9,762	32,547	6,890
2038	22,785				9,971	32,756	6,572
2039	22,785				10,184	32,969	6,270
2040	22,785				10,402	33,187	5,983
2041	22,785				10,624	33,409	5,709
2042	22,785				10,852	33,636	5,448
2043	22,785				11,084	33,869	5,199
2044	22,785			-27,563	11,321	6,543	952
합계	654,033	543,279	144,574	-27,563	246,908	1,561,231	754,997

주: 시나리오 I-2는 세계적으로 4세대 방사광가속기가 연구수요를 충족시켜줄 정도로 공급되는 시점을 15년으로, 연구개발비를 과거 10년간 국가연구개발사업(인문사회 및 국방 제외)의 실질연구개발비 증가율(2.14%)로 가정한 것임. 자세한 사항은 5장 참고

## 제 V 장 편익 추정

### 제 1 절 편익추정방법

- 4세대 방사광가속기의 편익항목은 기본적으로 가속기를 이용하여 연구개발을 수행함으로써 발생하는 편익과 가속기를 건설·운영하는 과정에서 축적되는 기술 능력에 의한 편익으로 구분할 수 있음.
  - 가속기를 이용하여 연구개발을 수행하는 경우 발생하는 편익은 가속기를 건설하지 않았을 경우 ① 해외에 나가서 연구개발을 수행할 경우는 해외이용대체효과로, ② 국내 대체연구장비를 활용하여 연구개발을 수행하는 경우는 가속기를 이용할 경우 연구성과가 향상되는 부분으로, ③ 연구개발을 포기하는 경우는 추가적 연구개발에 따른 성과로 추정

〈표 26〉 편익항목의 설정

구 분		편익 항목	
가속기를 이용한 R&D에서 오는 편익	가속기가 없을 경우 해외 이용 대체	해외이용대체효과	
	가속기가 없을 경우 국내 대체장비 이용	가속기를 이용할 경우 연구성과의 상승으로 인한 편익	- 기초연구투자자로 인한 사회적수익 - 응용/개발연구투자자로 인한 직접산업화에 따른 부가가치
	가속기가 없을 경우 연구 개발을 포기	추가적 R&D의 투입에 따른 연구성과	
가속기 건설·운영과정에서 축적되는 기술능력에 의한 편익		가속기 기술의 자체산업화를 통해 창출되는 부가가치	

- 연구개발의 성과는 기초연구와 응용/개발연구로 분류하여, 기초연구에 대한 성과는 사회적 수익률의 개념으로, 응용/개발연구에 대한 성과는 예상되는 매출액에 기인한 부가가치의 발생을 예측

- 가속기를 건설·운영하는 과정에서 축적되는 기술능력에 의한 편익은 가속기를 활용한 암치료기기 시장에서의 부가가치 발생을 예측
- 4세대 방사광가속기를 건설한 후에도 3세대와 4세대를 동시에 이용하여 연구개발을 하는 경우에는 4세대 방사광가속기에 의한 편익을 2/3로 간주
- 3세대방사광가속기 이용자를 대상으로, 가속기가 없을 경우 연구개발을 어떻게 수행할 것인지, 연구개발의 액수와 성격에 대한 설문을 통해 관련 변수를 구함.

〈표 27〉 편익분석대상 구분을 위한 설문결과

만약 3세대 방사광가속기가 국내에 없을 경우 어떻게 하시겠습니까? 4세대 방사광가속기가 어느 정도 필요하십니까?	해외의 가속기를 활용하여 연구 수행	대체장비를 활용하여 연구수행	연구를 수행하지 않음	4세대 방사광가속기에 의한 편익인정 비율
4세대(X-선 자유전자레이저) 방사광가속기로 옮겨간다.	12.0%	5.6%	1.6%	100%
3세대와 4세대(X-선 자유전자레이저) 방사광가속기를 함께 사용한다.	59.2%	19.2%	2.4%	66.6%
편익항목 설정	해외이용대 체효과	가속기를 이용할 경우 연구성과의 상승으로 인한 편익	추가적 R&D의 투입에 따른 연구성과	

〈표 28〉 연구 유형 별 과제 당 연간 연구개발비

연구유형	과제 당 연간 연구개발비(백만원)
기초	228.36
응용	114.93
개발	222.78

〈표 29〉 연구유형 별 방사광가속기와 대체장비 간의 연구성과달성을 차이

연구유형	연구성과달성을 차이(%)
기초	49
응용	48
개발	43

- 최대 과제수행 가능 건수
  - 경 X-선: 빔라인 개수(3) × 최대가동일수(193일/1년) ÷ 1회실험일수(0.9044일<sup>2)</sup>) = 약 544건<sup>3)</sup>
  - 연 X-선 및 자외선: 빔라인 개수(2) × 최대가동일수(193일/1년) ÷ 1회 실험일수(1.4331일<sup>4)</sup>) = 약 229건
  - 아토초빔라인: 세계적으로 전례가 없어 수요 추정이 불가능하기 때문에 연간 최대 50과제로 가정
- 초기년도는 시험운전을 고려하여 최대가동률의 30%, 2차 년도는 최대가동률의 50%를 가정하고 점차 가동률이 증가하여 10년째에 최대 가동률을 달성하는 것으로 가정

□ 시나리오 설정

- 해외이용대체효과 분석대상 과제 중 일부는 당분간 해외 4세대 방사광가속기의 공급이 부족할 것으로 예상되기 때문에 이용신청을 하더라도 채택되지 못할 가능성이 높음. 초기년도의 탈락률을 50%로 가정하고 4세대 방사광가속기의 공급이 충분히 이루어져 탈락률이 0%가 되는 시점에 따라 시나리오 설정
- 연구과제당 연구비의 증가율 가정에 따른 시나리오 설정: 과제당 연구비 증가율이 0%라는 가정은 향후 2010~2040년 기간 동안 한국의 실질GDP 증가율이 2.78%라는 전망을 고려할 때 현실적이지 않음. 따라서 최근 10년간 국가연구개발사업(인문사회 및 국방 제외)의 과제당 연구비를 GDP 디플레이터를 이용하여 과제당 연구비 실질증가율을 계산하면 2.14%<sup>5)</sup>

---

2) 4세대방사광가속기의 1회 실험에 필요한 예상 빔타임을 3세대방사광 가속기의 경 X-선(2.7132일)의 1/3수준으로 간주하였다. 가속기에서 나오는 빔의 성능은 4세대방사광가속기에 비해 100억배 밝음에도 불구하고 분석 시 시료의 교체 등에 시간이 소요될 수밖에 없으며, 3세대의 경우 빔타임 신청 기준단위가 24시간인 반면, 4세대의 경우 빔타임 신청 기준단위를 8시간으로 운영할 계획이라는 점을 고려하여 3세대의 1/3 수준이 적절하다고 판단하였음.

3) 본 보고서의 p.129의 참고자료에서 포항가속기연구소는 본 시설의 적정과제수를 900개로 예측하고 있음. 900과제로 제시하고 있는 근거는 연간 가동일수를 200일, 과제당 빔타임 시간을 16시간으로 가정함에 근거함. 그러나 본 조사에서는 연간 가동일수를 3세대 방사광가속기의 연간 가동일수와 같은 193일로 가정하였으며, 과제당 빔타임시간은 3세대 방사광가속기가 1과제 최저일수로 24시간을 배정하는데 반해 4세대 방사광가속기는 8시간을 최저일수로 한다는 점에 착안하여 3세대 방사광가속기의 과제당 평균빔타임시간인 2.7132일×1/3=0.9044일로 가정하였음.

4) 4세대방사광가속기의 1회 실험에 필요한 예상 빔타임을 경 X-선의 경우와 마찬가지로 3세대방사광 가속기의 연 X-선(4.2993일)의 1/3수준으로 간주하였다.

5) 기준시점에 따라 과제당연구비의 연평균 증가율이 편차가 있으나, 분석기간 30년이라는 장기적 시계를 고려하여 현재 이용가능한 자료 중 가장 장기인 1998-2008년의 연평균증가율을 채택

〈표 30〉 과제당 국가R&D 투자액 및 GDP 추이

	GDP 디플레이터	과제수(건)	투자액(억원)	과제당 투자액(억원)	과제당 실질투자액 (억원)	
1998	86.9	13,715	25,312	1.85	2.12	
1999	86.0	14,284	27,013	1.89	2.20	
2000	86.8	16,812	30,746	1.83	2.11	
2001	90.2	21,237	45,283	2.13	2.36	
2002	93.1	22,921	46,984	2.05	2.20	
2003	96.4	25,794	49,036	1.90	1.97	
2004	99.4	26,514	59,847	2.26	2.27	
2005	100.0	30,425	77,904	2.56	2.56	
2006	99.9	26,351	72,989	2.77	2.77	
2007	101.9	28,880	80,034	2.77	2.72	
2008	104.9	30,452	83,831	2.75	2.62	
연평균 증가율	1998-2008		8.30%	12.72%	4.08%	2.14%
	2000-2008		7.71%	13.36%	5.25%	2.78%
	2003-2008		3.38%	11.32%	7.69%	5.88%
	2004-2008		3.52%	8.79%	5.09%	3.68%

주: 국가R&D 과제수 및 투자액은 인문사회 및 국방을 제외하였음.  
 자료: 국가R&D 과제수 및 투자액은 KISTEP 내부자료; GDP 및 GDP 디플레이터는 국가통계포털

- 세계적으로 4세대 방사광가속기의 공급이 충분히 이루어지는 시점과 과제당 연구비 증가율이라는 두 가정을 매치하여 다음과 같은 네 개의 시나리오 제시

〈표 31〉 시나리오의 구분

세계적으로 4세대 방사광가속기의 공급이 충분히 이루어지는 시점			시나리오 I	시나리오 II
			15년	30년
과제당 연구비 증가율				
소극적 시나리오	1	변화없음	I-1	II-1
기준 시나리오	2	2.14% <sup>주)</sup>	I-2	II-2

주: 1998~2008년 국가연구개발사업(국방 및 인문사회 제외) 과제당 연구비 증가율

## 제2절 항목별 편익 추정

### 1. 해외이용대체효과의 편익 추정

- 4세대 방사광가속기를 이용하여 수행되는 연구과제 중 사업 미시행시 해외 가속기를 이용하여 연구를 수행할 것으로 예상되는 과제에 대해 해외이용대체효과에 따른 편익 산정

$$\text{해외이용대체효과를 고려한 편익} = \text{연간수행연구과제수} \times \text{평균실험인원/유저1팀} \times \text{평균해외경비/1인}$$

- 포항가속기연구소 측에 문의한 결과 1회 실험에 필요할 것으로 예상되는 평균 일수는 1.16일이며, 유저 1팀의 평균 실험인원은 4.5명임.
- 실험인원 1인의 평균해외경비 추정을 위하여 왕복항공운임, 일비/3일, 숙박비/2일, 식비/3일을 고려함. 현재 운영(예정)중인 미국, 독일, 일본의 시설을 이용한다는 가정으로 3개 국가 이용비용의 산술평균을 실험인원 1인당 해외경비로 계산함.

〈표 32〉 실험인원 1인당 해외경비

국가	왕복항공 운임 (천원)	일비/3일 (US\$)	숙박비/2일 (US\$)	식비/3일 (US\$)	총액 <sup>6)</sup> (천원)
미국	2649	105	240	234	3,288
일본	554.3				1,193
독일	3171.3				3,810
평균	2124.9	105	240	234	2,764

주: 국외 여비는 책임연구원 기준임.

자료: 교육과학기술부 정책연구비 산정기준 개정(안) 2009.1

6) 총액은 2008년 말 기준이며, US 1\$=1103.36(2008년 평균환율)로 계산함.

〈표 33〉 해외이용대체효과의 편익분석 관련 변수 정보

항목	필요일수(일)/ 1회실험	해외경비(천원)/ 1인	실험인원(명)/ 유저1팀
수치	1.16	2,764	4.5

## 2. 투입이 예상되는 연구개발비를 고려한 편익

### 가. 기초연구투자의 사회적 수익을 고려한 편익

□ 기초연구개발투자에 대한 사회적 수익률 산출은 Mansfield(1991)의 개념을 준용하나, 미국과 한국의 연구개발의 생산성 및 과급효과의 차이를 고려하기 위하여 해당 논문에서 제시된 28%에 연구원 백명당 논문 발표수와 논문 1편당 피인용횟수 현황의 차이를 고려하여 보정

- Mansfield(1991)의 사회적 수익률(28%) × 한국과 미국의 연구원 백명당 논문 발표수의 차이(16.03/23.90) × 한국과 미국의 논문 1편당 피인용횟수 차이 (3.28/6.68) × 한국 평균 대비 포항방사광가속기를 이용한 논문 1편당 피인용 횟수 차이 (9.94/5.17) = 17.46%

기초연구투자의 사회적수익 =

$$X_i = \frac{C_i}{\sum_{t=5}^9 \frac{1}{(1+i_i)^t}}, \quad X_{II} = X_i \sum_{t=7}^{14} \frac{1}{(1+r)^t}, \quad r = 0.055$$

- 기초연구개발투자로 인한 사회적 편익의 흐름 X는 『에비타당성조사 일반지침 (제5판)』에서 제시한 지침을 준용하여, 연구개발이 투자된 시점과 5년의 회임 기간 및 5년의 편익 발생기간을 가정함.
- 이 때, 사업운영기간을 기준으로 연구개발비가 투입되는 것으로 분석함에 따라 사업운영기간 이후 발생하는 편익은 경제성 분석의 마지막 년도 기준 (2044년)으로 현재가치화하여 반영

### 나. 응용/개발연구투자로 인한 부가가치를 고려한 편익

- 응용/개발연구투자로 인한 부가가치를 고려한 편익을 추정함.
  - 사업화성공률, 매출발생배수, 부가가치율을 고려하여 응용/개발연구투자의 사업화성공률로 인해 창출되는 부가가치를 고려한 연도별 편익을 산정함.

응용/개발연구투자의 사업화성공률 고려한 편익  
 = 응용/개발연구투자비 × 사업화성공률 × 매출발생배수 × 부가가치율

- 한국산업기술평가원(2008)에 따르면 기술료 징수대상 과제 1,885건의 사업화 성공률을 45.1%로 보고하고 있음. 따라서 해당 보고서의 분석대상이 된 전체 과제 2,292건의 사업화 성공률은 45.1%에 1885/2292를 곱한 37.09%로 산출됨.
- R&D 투자대비 매출액의 경우, 동 보고서에 보고된 사업별 매출액 성과에 의하면 전체 2,292건의 사업을 살펴봤을 때, 870,000백만원에 대한 매출 실적이 4,371,230백만원이다. 따라서 870,000백만원의 37.09%가 사업화에 성공하고, 사업화에 성공한 경우 4,371,230백만원의 매출 실적으로 이어짐을 감안하여 R&D 투자대비 매출액 비율은 13.55배로 산출할 수 있음.
- 부가가치율은 한국은행 국민계정상의 기본부문별 총산출과 부가가치액을 참고로 하여 4세대 방사광가속기와 관련된 부문을 선정하여 관련 부문의 총산출 합과 부가가치의 합을 구하여 가중평균된 부가가치율을 산출
- 응용/개발연구투자로 인한 부가가치를 고려한 편익산정을 위한 관련한 변수 정보는 다음과 같이 정리할 수 있음.

<표 34> 응용/개발투자로 인한 부가가치를 고려한 편익분석 관련 변수 정보

항목	사업화성공률 (%)	매출발생배수	부가가치율 (%)
수치	37.09	13.55	26.38

- 응용/개발연구투자로 인한 부가가치는 『예비타당성조사 일반지침(제5판)』을 준용하여 연구개발비 투입 후 3년의 회임기간을 두고 발생하며, 발생편익은 기초연구와는 달리 한번 발생하는 것으로 산출함.

### 3. 가속기 자체 산업화에 따른 편익

□ 가속기 자체 산업화를 고려한 편익분석을 위하여 현재 일부 선진국에서 산업화된 모델인 의료기기분야를 선정하여 편익을 산정함.

$$\begin{aligned} & \text{가속기 자체 산업화에 따른 편익} \\ & = \text{세계시장규모} \times \text{국내업체 예상점유율} \times \text{부가가치율} \times \text{기술기여율} \\ & \quad \times \text{4세대 방사광 가속기의 기여율} \end{aligned}$$

○ 해당 산업의 연도별 세계시장규모의 추정을 위하여 다음과 같은 과정을 거침.

- 가속기를 활용한 암치료기기의 세계시장규모 = 중입자가속기를 활용한 치료기기의 세계시장규모 + 양성자가속기를 활용한 치료기기의 세계시장규모

$$\begin{aligned} & \text{중입자가속기를 활용한 치료기기의 연도별신규세계시장규모} = \\ & \text{연도별 전세계 암환자수} \times \text{방사선 치료비율} \times \text{입자선치료방식 환자비율} \\ & \times \text{중입자 치료방식비율} \div \text{1기기당 연간치료가능 환자수} \\ & \times \text{중입자가속기를 활용한 치료기기의 대당 가격} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{양성자가속기를 활용한 치료기기의 연도별신규세계시장규모} = \\ & \text{연도별 전세계 암환자수} \times \text{방사선 치료비율} \times \text{입자선치료방식 환자비율} \\ & \times \text{양성자 치료방식비율} \div \text{1기기당 연간치료가능 환자수} \\ & \times \text{양성자가속기를 활용한 치료기기의 대당 가격} \end{aligned}$$

〈표 35〉 가속기를 활용한 암치료기기의 세계시장규모 추산을 위한 변수정보

변수	정보
방사선 치료비율 (%)	2008년 26%를 시작으로 2044년까지 연간 0.5% 성장. 2044년 = 44%
입자선치료방식 환자비율 (%)	2008년 1%를 시작으로 직선형 성장을 가정하여 2044년 15%에 도달
중입자 치료방식비율 (%)	20
양성자 치료방식비율 (%)	80
1기기당 연간치료가능 환자수 (명)	831
중입자가속기를 활용한 치료기기의 대당 가격 (억원)	1,400
양성자가속기를 활용한 치료기기의 대당 가격 (억원)	480

자료 : 한국개발연구원, 『중입자 가속기 기술개발사업 예비타당성조사』, 2009.

〈표 36〉 편익분석 결과(원안) - 시나리오 1-2

(단위: 백만원)

년도	해외이용 대체효과	기초연구의 사회적수익	응용/개발 연구의 직접상업화 성과	가속기자체산업화 (암치료용 의료기기)	총편익	편익 현가
2015	474				474	326
2016	846				846	551
2017	1,015				1,015	627
2018	1,199		2,242	1,891	5,332	3,122
2019	1,396		3,666	1,378	6,441	3,574
2020	1,608	5,456	4,040	1,510	12,614	6,635
2021	1,833	14,377	4,388	1,652	22,250	11,093
2022	2,073	24,206	4,709	1,803	32,792	15,496
2023	2,327	34,882	5,001	1,965	44,175	19,788
2024	2,595	46,341	5,261	2,138	56,335	23,919
2025	2,708	53,053	5,488	2,322	63,571	25,584
2026	2,821	56,934	5,678	2,520	67,953	25,922
2027	2,933	60,458	5,829	2,728	71,948	26,015
2028	3,046	63,597	5,589	4,022	76,254	26,134
2029	3,159	66,322	5,336	3,616	78,433	25,480
2030	3,159	67,752	5,070	3,895	79,876	24,596
2031	3,159	67,933	4,789	3,341	79,223	23,123
2032	3,159	66,916	4,789	3,530	78,395	21,688
2033	3,159	64,754	4,591	3,730	76,234	19,991
2034	3,159	61,508	4,689	3,939	73,296	18,219
2035	3,159	59,081	4,790	4,160	71,189	16,772
2036	3,159	57,507	4,892	4,391	69,950	15,621
2037	3,159	56,826	4,997	4,635	69,617	14,737
2038	3,159	57,076	5,103	5,971	71,310	14,308
2039	3,159	58,296	5,213	5,596	72,265	13,744
2040	3,159	59,543	5,324	5,925	73,951	13,331
2041	3,159	60,817	5,438	5,420	74,834	12,787
2042	3,159	62,117	5,554	5,659	76,490	12,389
2043	3,159	63,446	5,673	5,909	78,187	12,003
2044	3,159	460,351	22,093	6,170	491,773	71,561
합계	77,421	1,749,550	150,231	99,818	2,077,020	519,134

주: 시나리오 1-2는 세계적으로 4세대 방사광가속기가 연구수요를 충족시켜줄 정도로 공급되는 시점을 15년으로, 과제당 연구비 증가율을 국가R&D사업(인문사회 및 국방 제외)의 과거 10년간 과제당 실질연구비 증가율(2.14%)로 가정한 것임.

<표 37> 편익분석 결과(대안) - 시나리오 1-2

(단위: 백만원)

년도	해외이용 대체효과	기초연구의 사회적수익	응용/개발 연구의 직접상업화 성과	가속기자재산업화 (암치료용 의료기기)	총편익	편익 현가
2015	474				474	326
2016	846				846	551
2017	1,015				1,015	627
2018	1,199		2,242	1,891	5,332	3,122
2019	1,396		3,666	1,378	6,441	3,574
2020	1,608	5,456	4,040	1,510	12,614	6,635
2021	1,833	14,377	4,388	1,652	22,250	11,093
2022	2,073	24,206	4,709	1,803	32,792	15,496
2023	2,709	34,882	5,001	1,965	44,557	19,959
2024	3,260	46,341	5,261	2,138	57,000	24,201
2025	3,489	53,053	5,488	2,322	64,352	25,898
2026	3,724	56,934	6,609	2,520	69,788	26,622
2027	3,967	60,458	7,323	2,728	74,476	26,929
2028	4,217	65,863	7,200	4,022	81,302	27,865
2029	4,475	72,223	7,045	3,616	87,359	28,380
2030	4,576	77,574	6,856	3,895	92,902	28,607
2031	4,677	81,915	6,631	3,341	96,564	28,184
2032	4,778	85,245	6,631	3,530	100,184	27,717
2033	4,778	85,297	6,650	3,730	100,455	26,343
2034	4,778	82,972	6,943	3,939	98,632	24,516
2035	4,778	81,634	7,245	4,160	97,816	23,046
2036	4,778	81,384	7,400	4,391	97,953	21,875
2037	4,778	82,329	7,558	4,635	99,301	21,020
2038	4,778	84,200	7,719	5,971	102,670	20,600
2039	4,778	87,098	7,885	5,596	105,357	20,037
2040	4,778	89,700	8,053	5,925	108,456	19,551
2041	4,778	91,991	8,225	5,420	110,415	18,867
2042	4,778	93,959	8,401	5,659	112,798	18,269
2043	4,778	95,968	8,581	5,909	115,237	17,691
2044	4,778	696,328	33,418	6,170	740,694	107,783
합계	107,660	2,331,387	201,168	99,818	2,740,033	645,383

주: 시나리오 1-2는 세계적으로 4세대 방사광가속기가 연구수요를 충족시켜줄 정도로 공급되는 시점을 15년으로, 과제당 연구비 증가율을 국가R&D사업(인문사회 및 국방 제외)의 과거 10년간 과제당 실질연구비 증가율(2.14%)로 가정한 것임.

## 제VI장 경제성 분석

### 제1절 경제성 분석의 전제

- 경제성 분석방법은 『예비타당성조사 일반지침(제5판)』에서 제시한 지침을 적용함.
  - 분석기준년도 : 2008년 말로 설정
  - 경제성 분석기간 : 30년으로 설정
  - 사회적 할인율 : 5.5% 적용

### 제2절 경제성 분석 결과

- 경제성 분석 결과 B/C 비율이 0.57 ~ 1.03로, 기초대형연구장비의 특성을 반영하듯이 대안 II-2를 제외하고는 모두 1 미만인 것으로 분석되었음.
- 기준시나리오인 대안 I-2의 B/C 비율은 0.85로 나타났음.
- 시나리오 I-2를 기준시나리오로 설정한 이유는
  - 첫째, 원안에 비해 대안이 더욱 경제성 측면에서 타당성이 있고,
  - 둘째, 4세대 방사광가속기가 세계적으로 연구수요를 충족시켜줄 수 있을 정도로 공급되는 시점이 15년이라는 가정이 무리라고 판단되지는 않으며,
  - 셋째 과제당연구비 증가율이 향후 30년동안 변화가 없을 것이라는 가정은 지나치게 소극적이며 Global Insight의 2010~2040년 동안 우리나라의 GDP 증가율 전망이 2.78%라는 점과 고려할 때 과제당 연구비 증가율 2.14%는 높은 수준은 아니라고 판단되기 때문임.

<표 38> 시나리오 별 경제성 분석 결과

	4세대 방사광가속기 공급	과제당 연구비 증가율	B/C	NPV(백만원)	IRR(%)
원안	I (15년)	1 (변화없음)	0.57	- 293,870	0.80%
		2 (2.14%)	0.74	- 179,225	3.22%
	II (30년)	1 (변화없음)	0.67	- 228,305	2.30%
		2 (2.14%)	0.89	- 80,806	4.60%
대안	I (15년)	1 (변화없음)	0.64	- 265,578	1.92%
		2 (2.14%)	0.85	- 109,614	4.34%
	II (30년)	1 (변화없음)	0.76	- 176,642	3.42%
		2 (2.14%)	1.03	25,806	5.74%

### 제3절 민감도 분석

- 사업을 계획하면서 예측하지 못했던 기술적·경제적 요인으로 인해 발생할 수 있는 불확실한 요인들을 감안하여 요인별로 민감도 분석을 병행 실시할 필요가 있음.
  - 실질 사회적 할인율, 비용, 편익의 변화를 가정으로 하여 민감도 분석을 수행함.
    - 할인율의 변화를 5.5%를 기준으로 ±1% 상하 2개씩 적용함.
    - 비용 및 편익에 대해서는 제시된 금액을 기준으로 ±10% 상하 2개씩 적용함.
  - 원안에 비해 대안이 더욱 경제성 측면에서 타당성이 있고, 4세대 방사광가속기가 세계적으로 연구수요를 충족시켜줄 수 있을 정도로 공급되는 시점을 15년으로 가정하고 연구비 변화를 중간 수준으로 가정한 대안의 시나리오 I-2를 기준시나리오로 설정하고 민감도 분석 실시

〈표 39〉 대안 시나리오 1-2의 민감도 분석결과

구분		B/C	NPV(백만원)	IRR(%)
할인율의 변화	3.5%	1.13	124,141	4.41%
	4.5%	0.98	-14,452	4.37%
	5.5%	0.85	-109,614	4.34%
	6.5%	0.74	-174,300	4.31%
	7.5%	0.65	-217,509	4.27%
비용의 변화	-20%	1.19	100,824	6.69%
	-10%	1.00	-680	5.49%
	0%	0.85	-109,614	4.34%
	10%	0.74	-225,977	3.21%
	20%	0.65	-349,770	2.09%
편익의 변화	-20%	0.55	-341,952	2.66%
	-10%	0.69	-232,236	3.55%
	0%	0.85	-109,614	4.34%
	10%	1.03	25,917	5.04%
	20%	1.23	174,355	5.69%

〈표 40〉 시나리오 I-2의 비용편익흐름표(원안)

(단위: 백만원)

년도	총비용	비용현가	총편익	편익현가
2011	106,076	90,336		
2012	145,842	117,726		
2013	148,316	113,482		
2014	85,443	61,967		
2015	20,844	14,329	474	326
2016	23,379	15,234	846	551
2017	24,496	15,129	1,015	627
2018	25,415	14,879	5,332	3,122
2019	25,848	14,343	6,441	3,574
2020	26,242	13,803	12,614	6,635
2021	26,593	13,258	22,250	11,093
2022	26,899	12,712	32,792	15,496
2023	27,155	12,164	44,175	19,788
2024	27,359	11,616	56,335	23,919
2025	27,035	10,880	63,571	25,584
2026	26,694	10,183	67,953	25,922
2027	26,335	9,522	71,948	26,015
2028	69,329	23,761	76,254	26,134
2029	83,389	27,090	78,433	25,480
2030	69,061	21,266	79,876	24,596
2031	25,821	7,537	79,223	23,123
2032	25,957	7,181	78,395	21,688
2033	26,095	6,843	76,234	19,991
2034	26,236	6,521	73,296	18,219
2035	26,380	6,215	71,189	16,772
2036	26,528	5,924	69,950	15,621
2037	26,678	5,647	69,617	14,737
2038	26,832	5,384	71,310	14,308
2039	26,989	5,133	72,265	13,744
2040	27,149	4,894	73,951	13,331
2041	27,313	4,667	74,834	12,787
2042	27,480	4,451	76,490	12,389
2043	27,651	4,245	78,187	12,003
2044	262	38	491,773	71,561
합계	1,389,120	698,359	2,077,020	519,134

주: 시나리오 I-2는 세계적으로 4세대 방사광가속기가 연구수요를 충족시켜줄 정도로 공급되는 시점을 15년으로, 과제당 연구비 증가율을 국가R&D사업(인문사회 및 국방 제외)의 과거 10년간 과제당 실질연구비 증가율(2.14%)로 가정한 것임.

〈표 41〉 시나리오 I-2의 비용편익흐름표(대안)

(단위: 백만원)

년도	총비용	비용현가	총편익	편익현가
2011	106,076	90,336		
2012	145,842	117,726		
2013	148,316	113,482		
2014	85,443	61,967		
2015	20,537	14,118	474	326
2016	22,876	14,906	846	551
2017	23,942	14,787	1,015	627
2018	24,813	14,526	5,332	3,122
2019	25,202	13,985	6,441	3,574
2020	37,168	19,550	12,614	6,635
2021	49,275	24,566	22,250	11,093
2022	48,734	23,030	32,792	15,496
2023	30,796	13,795	44,557	19,959
2024	31,661	13,443	57,000	24,201
2025	31,513	12,682	64,352	25,898
2026	31,325	11,950	69,788	26,622
2027	31,096	11,244	74,476	26,929
2028	74,195	25,429	81,302	27,865
2029	88,333	28,696	87,359	28,380
2030	74,219	22,854	92,902	28,607
2031	31,201	9,107	96,564	28,184
2032	31,567	8,733	100,184	27,717
2033	31,755	8,327	100,455	26,343
2034	31,947	7,941	98,632	24,516
2035	32,142	7,573	97,816	23,046
2036	32,343	7,223	97,953	21,875
2037	32,547	6,890	99,301	21,020
2038	32,756	6,572	102,670	20,600
2039	32,969	6,270	105,357	20,037
2040	33,187	5,983	108,456	19,551
2041	33,409	5,709	110,415	18,867
2042	33,636	5,448	112,798	18,269
2043	33,869	5,199	115,237	17,691
2044	6,543	952	740,694	107,783
합계	1,561,231	754,997	2,740,033	645,383

주: 시나리오 I-2는 세계적으로 4세대 방사광가속기가 연구수요를 충족시켜줄 정도로 공급되는 시점을 15년으로, 과제당 연구비 증가율을 국가R&D사업(인문사회 및 국방 제외)의 과거 10년간 과제당 실질연구비 증가율(2.14%)로 가정한 것임.

#### 제4절 재무성 분석 및 민자 유치 가능성 검토

- 최적 대안의 B/C가 0.9를 상회하는 사업에 대해서는 1단계 Check List와 2단계 정성적 평가 및 재무성 분석을 통해 ‘민간투자 가능성’ 검토를 수행하나, 본 사업의 경우 B/C가 0.9 미만으로 경제적 타당성을 확보하지 못하는 것으로 분석되었음.
- 따라서 민간투자 가능성 검토대상 사업에 해당하지 않으므로 1단계 Check List와 2단계 정성적 평가 및 재무성 분석을 수행하지 않음.

## 제Ⅵ장 정책적 분석

### 제1절 정책적 분석의 필요성

- 본 사업과 같이 대형 연구장비 구축사업의 경우, 경제성 분석의 모형이 정립되어 있지 못하고 기존 분석사례가 부족할 뿐 아니라 경제성 분석을 위한 기초자료도 부족하기 때문에 경제성 분석과 병행하여 정책적 측면의 타당성 검토가 중요
- 본 예비타당성조사에서는 지역균형발전, 정책의 일관성 및 추진의지, 사업추진상의 위험요인 등 KDI의 예비타당성조사 표준지침(제5판)의 기본평가항목들을 통해 정책적 분석을 수행하였음.

### 제2절 지역균형발전

- 사업지역의 낙후도 평가
  - 본 사업의 대상지역인 포항시(168개 시·군 중 44위)는 상대적으로 낙후되지 않은 것으로 나타났지만, 포항시가 포함된 경상북도(16개 광역시·군 중 13위)의 경우는 다른 광역시·도에 비해 상대적으로 낙후되어 있는 것으로 나타나, 사업의 시행여부를 판단함에 있어서 사업지역인 포항시와 경상북도의 지역낙후도 측면은 어느 정도 고려될 필요가 있는 것으로 판단됨.

〈표 42〉 경상북도·포항시의 지역낙후도 지표 및 지역낙후도 지수 순위

	인구		경제			기반시설			종합
	인구 증가율	노령화 지수	재정 자립도	제조업 종사자비율	승용차 등록 대수	도로율	인구당 의사수	도시적 토지 이용율	지역낙후도 지수
경상북도	-0.736	68.618	24.608	9.772	23.158	0.608	0.091	1.966	-0.533
(순위)	(13)	(15)	(13)	(3)	(8)	(15)	(16)	(15)	(13)
포항시	-0.316	38.057	47.518	7.454	26.499	0.759	0.111	4.286	0.504
(순위)	(63)	(42)	(25)	(50)	(10)	(78)	(39)	(52)	(44)

□ 지역경제 파급효과 분석

- 지역경제 파급효과 분석을 위한 투입비는 건축공사비, 부대비, 부지조성비만을 포함하였음.
- 4세대(X-선 자유전자레이저) 방사광가속기를 대안대로 건설할 경우 전국적으로 약 1천908억원의 생산유발효과가 있는 것으로 추정되며 본 사업권의 직접적인 영역인 경북지역에는 약 1천27억원의 생산유발효과가 있는 것으로 추정됨.
  - 고용유발효과는 전국적으로 1,042명의 고용창출이 발생하고 경북 지역에서는 566명의 고용유발 효과가 있을 것으로 추정
  - 임금유발효과도 전국적으로 284억원, 경북지역에서는 154억원에 이를 것으로 예상됨.
- 지역경제 활성화 지수는 0.0649%로 나타났으며, 이는 2007년도 40개 예비타당성조사의 평균값인 0.17796% 보다 낮게 나타났음.

### 제3절 정책의 일관성 및 추진의지

□ 관련계획 및 정책방향과의 일치성

- 국가과학기술지도(NTRM), 이명박정부의 「과학기술기본계획(2008~2012)」, 국가산업발전을 위한 신성장동력추진계획(2008~2012) 등의 관련 계획 등에서 강조하고 있는 기술 및 산업분야는 4세대(X-선 자유전자레이저) 방사광가속기를 활용한 연구를 통해 구현될 수 있다는 점에서 정부의 정책방향과 일치

- 「제3차 경상북도 종합계획 수정계획(안)」은 경상북도의 미래전략적 지역산업 발전정책이나 과학기술 및 혁신정책은 경상북도의 산업정책에서 중심적인 역할을 하는 것으로 보이지는 않으나, 경제자유구역 지정, 자유무역지역 지정, 첨단의료복합단지 건설 등 전략산업을 발굴·육성하려는 노력은 꾸준히 이루어지고 있어 본 사업과 지역산업발전정책과 부합하는 측면이 있음.

□ 사업추진의지 및 선호도 평가

- 주무부처인 교육과학기술부는 본 사업의 과학기술적 우수성 및 활용성이라는 측면에서 긍정적으로 평가
- 지자체 역시 연계사업에 소요되는 260억원을 분담할 계획이며, 본 사업을 성공적으로 추진하여 기 운영중인 포항방사광가속기, 경주에 건설 중인 양성자 가속기 등과 함께 가속기 벨트를 구축하여 향후 R&D 역량 제고, 기술기반 첨단산업을 육성하고자 하는 의지를 표명
- 본 사업의 진행 및 운영을 담당할 포항공대와 포항가속기연구소는 포항방사광가속기에 대한 기부체납 의결, 가속기 관련 법안 마련, 관계 부처와의 적극적인 협의, 예비타당성조사 수행과정에서의 적극적인 자료 협조 등으로 볼 때 강한 추진의지를 갖다고 판단됨.

□ 사업의 준비 정도

- 본 사업은 2002년부터 여러 학회 및 공청회를 통한 의견 조율, 수차례의 타당성조사를 통해 체계적으로 준비해왔음.
- 그러나 건설 및 기술적 측면, 특히 빔라인 및 실험장치의 구성, 이용자 빔타임의 공정하고 효율적인 운영 방안 제시 등에 대한 더욱 세밀한 계획이 필요할 것으로 판단됨.

## 제4절 사업추진 상의 위험 요인

□ 재원조달 가능성

- 정부의 R&D 투자는 다른 부문과 비해 높은 증가율을 보였으며, 앞으로도 지속적으로 확대할 계획임. 특히, 기초·원천 투자를 확대하여 창조적 R&D를 활성화하고 거대기술분야에 대한 지원을 확대하고자 계획하고 있는 것으로 미루어보아 본 사업의 재원조달 가능성은 비교적 원활할 것으로 예상됨.

- 지방정부가 부담하는 재원은 260억으로 지방정부의 예산에 비해 적은 비중이기 때문에 재원분담이 크게 부담되지 않을 것으로 판단됨.

□ 환경성 평가

- 본 사업은 포항공대 내에 위치하고 있고 사업대상부지에 포함되는 임야도 자연녹지지역으로 분류되어 있어 사업추진 과정에서 주민이나 환경단체로부터와의 갈등이나 법률적인 문제는 발생하지 않을 것으로 판단됨.
- 다만, 사업대상부지에 포함되는 임야를 개간할 때 산림훼손 등 환경파괴가 발생할 수 있기 때문에 임야훼손을 최소화할 수 있도록 친환경적인 개간을 모색

## 제Ⅷ장 종합결론 및 정책제언

### 1. 종합결론

- 본 사업계획은 4세대 방사광가속기를 포항공대 내 포항가속기연구소 65,835m<sup>2</sup>부지에 총사업비 4,260억원(국고 4,000억원, 지자체 260억원)으로 2011~2014년에 걸쳐 건설하는 것임
- 최적대안의 선정
  - 기술적으로 4세대 방사광가속기의 성능을 최대한 저하시키지 않으면서 연구개발수요를 충족시켜줄 수 있는 적절한 빔라인 개수를 찾는 방향의 대안을 모색하여 사업완료 후 5년 후 연 X-선 및 자외선 빔라인 각 1기씩과 아토초 빔라인 1기를 추가적으로 건설하고, 4세대 방사광가속기의 공급 시점이 15년 후이고 연구비 증가율이 2.14%인 대안을 최적대안으로 선정
- 4세대 방사광가속기 건설의 타당성을 평가하기 위해 기술적 타당성 분석, 경제성 분석, 정책적 분석을 시행함
  - 기술개발계획의 적절성, 기술개발 성공가능성, 기존 기술 및 사업과의 중복성 측면에서 검토한 결과, 4세대 방사광가속기 건설은 기술적 타당성을 가지고 있는 것으로 판단됨
  - 최적대안의 경제성 분석 결과
    - 총사업비 : 5467.48억원
    - B/C : 0.85
    - IRR : 4.34%
    - NPV : -1096.14억원
  - 정책적 분석의 결과, 4세대 방사광가속기 구축사업은 생산유발효과를 통한 지역경제 파급효과를 가지고 있으며 국가의 관련계획 및 정책방향과의 일치성을 보임

□ AHP 분석 결과

- 최적대안에 대한 AHP평가 결과를 종합한 결과 ‘사업시행’ 평점이 0.575로 ‘사업미시행’ 평점인 0.425보다 높게 나타남

〈표 43〉 AHP 평가결과

평가자	사업 시행	사업 미시행
종합	0.575	0.425
평가자 1	0.560	0.440
평가자 2	0.638	0.362
평가자 3	0.604	0.396
평가자 4	0.638	0.362
평가자 5	0.557	0.443
평가자 6	0.430	0.570

## 2. 정책제언

- 4세대 방사광가속기 구축사업의 타당성을 평가하기 위해 경제성, 기술적 타당성, 정책적 분석을 실시함.
  - 본 예비타당성조사의 경제성 분석에서 B/C 비율이 0.85로 나온 것은 (기초)과학연구사업의 경우로는 상당히 양호한 수준임.
  - 우리나라는 1990년대 이래로 제 3세대 가속기를 운영해오고 있으며, 이를 통한 운영경험과 연구 성과를 바탕으로 판단했을 때, 기술적 타당성이 확보되어 있음.
  - 향후 우리나라의 과학기술체제가 중점을 두고자 하는 창조적 연구에 필요한 과학기술 인프라 구축을 위한 정부의 재정투자는 정당성이 있을 것으로 판단되며, 따라서 정책적 타당성을 가진다고 볼 수 있음.
- 우리나라 정부의 R&D 예산은 크게 확대되고 있는 추세이며, 이에 따라 자칫 과

학 분야의 방만한 재정투자를 초래할 우려가 있어 다음 몇 가지 사항들의 개선이 필요함.

- 과학연구 프로젝트는 순수 기초연구와 경제적 가치 두 가지 측면에서 모두 평가 가능해야 함.
- 경합하는 과학연구 프로젝트들간의 우선순위를 예비타당성조사 결과만으로 정하는 것은 한계가 있으므로, 과학계의 자체평가가 선행된 다음 외부기관의 메타 평가가 이루어지는 방식이 바람직할 것임.
- 과학연구 장비와 시설 관련 재정지출에 대한 보다 직접적인 근거를 마련하고 이를 토대로 관련기관의 운영체제를 일관되게 정비하는 것이 필요함

<표 44> 예비타당성조사 결과 요약

구분	주무부처 사업계획서	예비타당성조사							
		원 안				대 안			
사업위치	경상북도 포항시 남구 효자동 산31번지 포항가속기연구소 부지								
사업규모	연면적 22,197㎡				연면적 24,009㎡				
총사업비	4,260 억원	4,833.87 억원				5,467.48 억원			
사업기간	2011~2014년	2011년~2014년				1단계 2011년~2014년 2단계 2020년~2022년			
사업주체	주관부처 : 교육과학기술부, 지자체 : 경상북도, 포항시								
재원조달	- 구축사업비: 국비(4,000억원), - 연계사업비: 지자체(260억) - 부지: 민자	- 구축사업비: 국비, - 연계사업비: 지자체(경상북도·포항시) - 부지: 민자							
분석 시나리오	-	I-1	I-2	II-1	II-2	I-1	I-2	II-1	II-2
B/C	-	0.57	0.74	0.67	0.89	0.64	0.85	0.76	1.03
AHP	-						0.575		
대안별 특징	-	경 X-선 빔라인 3기 건설				1단계 경 X-선 3기, 2단계 연 X-선 1기, 자외선 1기, 아토초 1기 등 총 6기 빔라인 건설			