

Insertion Device

60201525

조현민

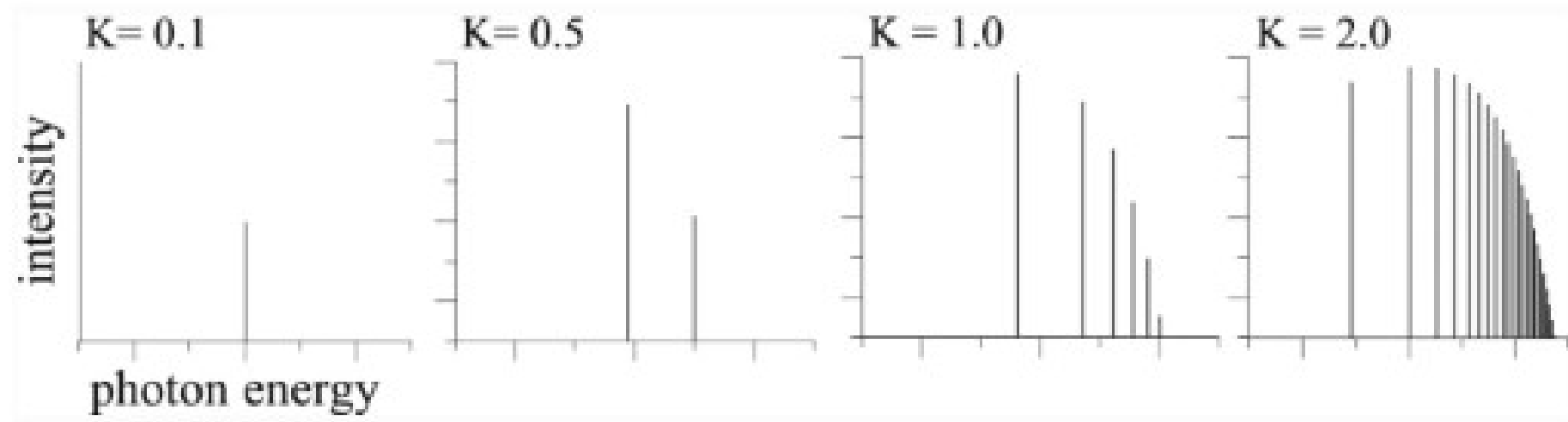
목차

- 삽입장치
- Wiggler
- Undulator
- 영상자료

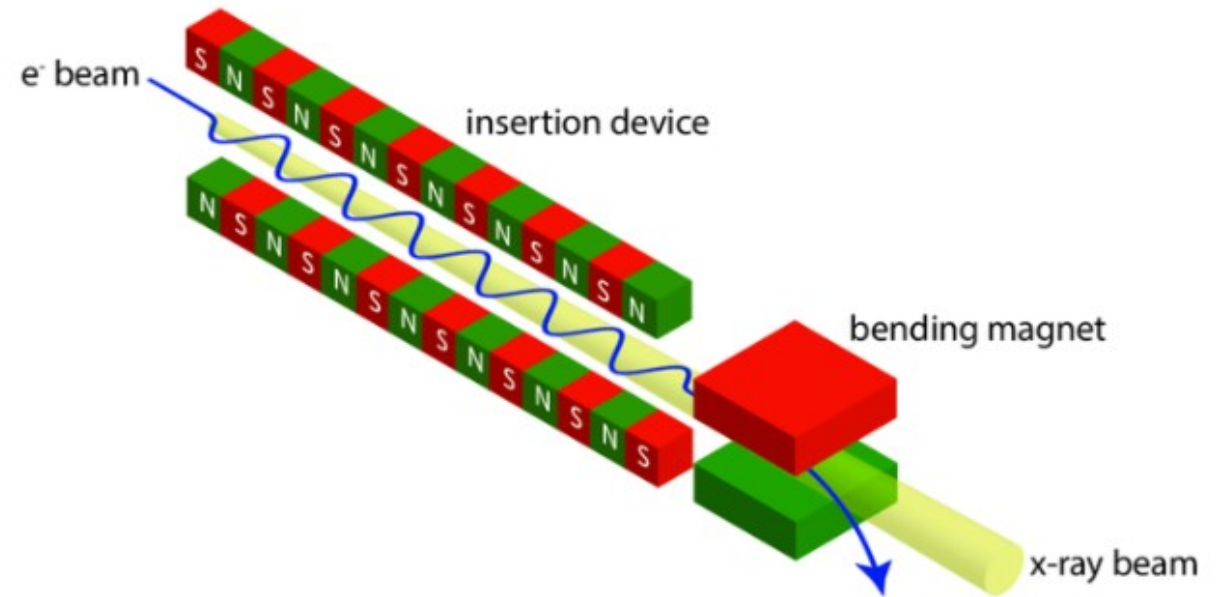
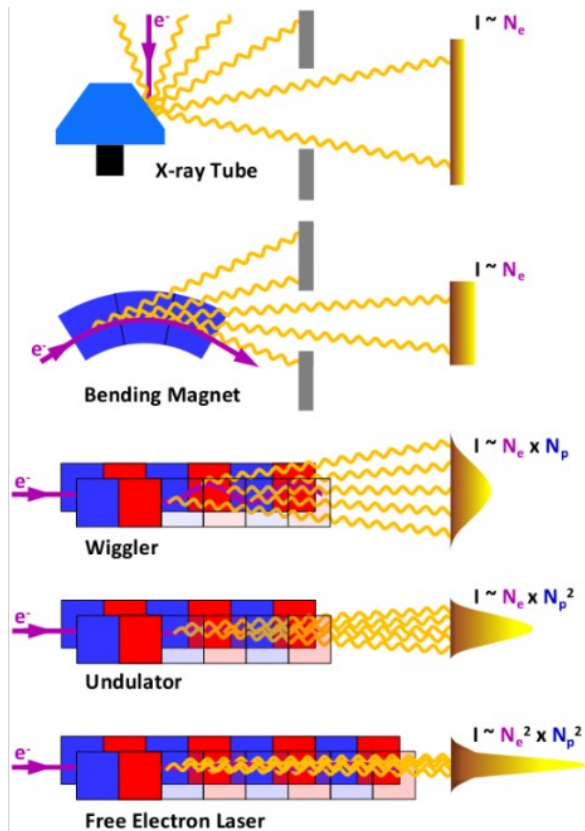
삽입장치

- 삽입장치는 N극-S극의 극성이 반복해서 교대로 바뀌도록 일직선상에 배열된 여러 개의 자석들로 이루어져 있음
- 이 장치를 저장링의 직선 부위에 설치하여 자석들의 자장이 전자 궤도에 수직이 되도록 정렬한 것
- 빛의 속도에 가까운 전자가 이 삽입장치를 통과하면 사인파에 가까운 궤도를 그리면서 방사광을 방출함
- 이때 나오는 방사광의 성질은 힘자석에서 방출되는 것과는 다른 특성을 가짐
- 쏠림 파라미터(deflection parameter) K 가 $K \gg 1$ 인 경우는 위글러, $K \leq 1$ 인 경우는 언둘레이터
- 3세대 방사광 가속기의 주요 방사광원(2세대 가속기보다 1,000만 배 밝은 방사광)

삽입장치



삽입장치



삽입장치의 기능

1. 잘 집속되고 높은 선속밀도의 전자를 발생시키는 기능 전자총에 의해 이루어진다
2. 전자총에서 발생한 전자빔을 전자뭉치들로 나누어 빛의 속도에 가까운 속도로 가속시키는 기능
3. 다발로 된 전자빔을 거의 일정한 속도로 입사에너지까지 가속시키는 기능
4. 가속된 전자를 가속장치로부터 전송관으로 보내는 것은 고속 스위치 기능이 장착된 펄스 입력에 의해 작동되는 휨자석이나 직류 휨자석에 의해 이루어진다.
5. 전송관을 따라 입사되는 전자빔을 저장링에 입사시키는 기능은 차개와 특별히 고안된 휨자석(셰텀 전자석)에 의해 이루어진다.

삽입장치의 역할

- 저장링의 직선 구간에 설치되어 전자 빔의 경로를 주기적으로 변화시켜 강력한 방사광을 생성
- 위글러와 언듈레이터가 있음 (전자 빔의 운동 방식과 방출되는 방사광의 특성에 따라 구별)
- 삽입장치의 도입으로 다양한 파장과 세기의 방사광을 생성할 수 있으며 물질의 구조 분석, 생명과학 연구 등 다양한 분야에 활용
- 삽입장치로 방사광가속기의 성능을 획기적으로 향상시켜 다양한 과학 산업 분야의 연구를 가능하게 함
- 포항가속기연구소의 PLS-II는 삽입장치를 활용해 높은 밝기의 방사광을 제공
- 방사광가속기의 세대를 구분하는 중요 요소 제 3세대 방사광가속기는 낮은 에미턴스(전자빔의 질을 나타내는 파라미터)와 삽입장치의 활용으로 이전 세대와 차별화

Wiggler

원리

- 전자 빔이 **강한 자기장 속에서 큰 폭으로 진동**하며 진행
- 이때 전자가 방향을 바꿀 때 **다양한 파장의 방사광**이 방출됨
- **여러 개의 자기장이 독립적으로 작용**하여 코히런트한 간섭 효과가 없음

특징

- 넓은 주파수 스펙트럼의 강한 방사광 생성
- **고속 촬영, X-ray 영상 기술, 생물학 및 재료 과학 연구에 사용**
- 싱크로트론 방사광 시설에서 일반적으로 사용됨

응용 분야

- **의료 X-ray 영상 및 단층 촬영(CT)**
- **재료 분석 및 나노 구조 연구**
- **플라즈마 물리 및 고온 초전도체 연구**

Undulator

원리

- 전자 빔이 **약한 자기장 속에서 작은 폭으로 진동**하며 진행
- 위글러와 달리 **전자기파 간섭 효과**로 인해 특정 파장의 강한 방사광을 발생시킴
- 언둘레이터 내 전자기파는 위상이 정렬(간섭 효과)되어 **코히런트(Coherent)한 X-ray** 또는 **극초단파(Microwave) 방사 가능**

특징

- 특정 파장의 X-ray를 강하게 방출 → **싱크로트론보다 더 정밀한 X-ray 회절 분석 가능**
- **자유전자 레이저(FEL)의 핵심 기술**
- 높은 에너지 효율성과 정밀도를 요구하는 실험에 적합

응용 분야

- **FEL(자유전자 레이저) 연구 및 개발**
- **X-ray 회절 분석, 나노 구조 연구**
- **초고해상도 X-ray 현미경 및 바이오 이미징**

공통점

- 전자기장(자석 배열)을 사용해 전자 빔을 진동
- 전자 빔 진동으로 싱크로트론 방사 발생
- 입자 가속기의 일부로 삽입되어 작동
- X-ray, 자외선, 가시광선 등의 고에너지 광원 생성

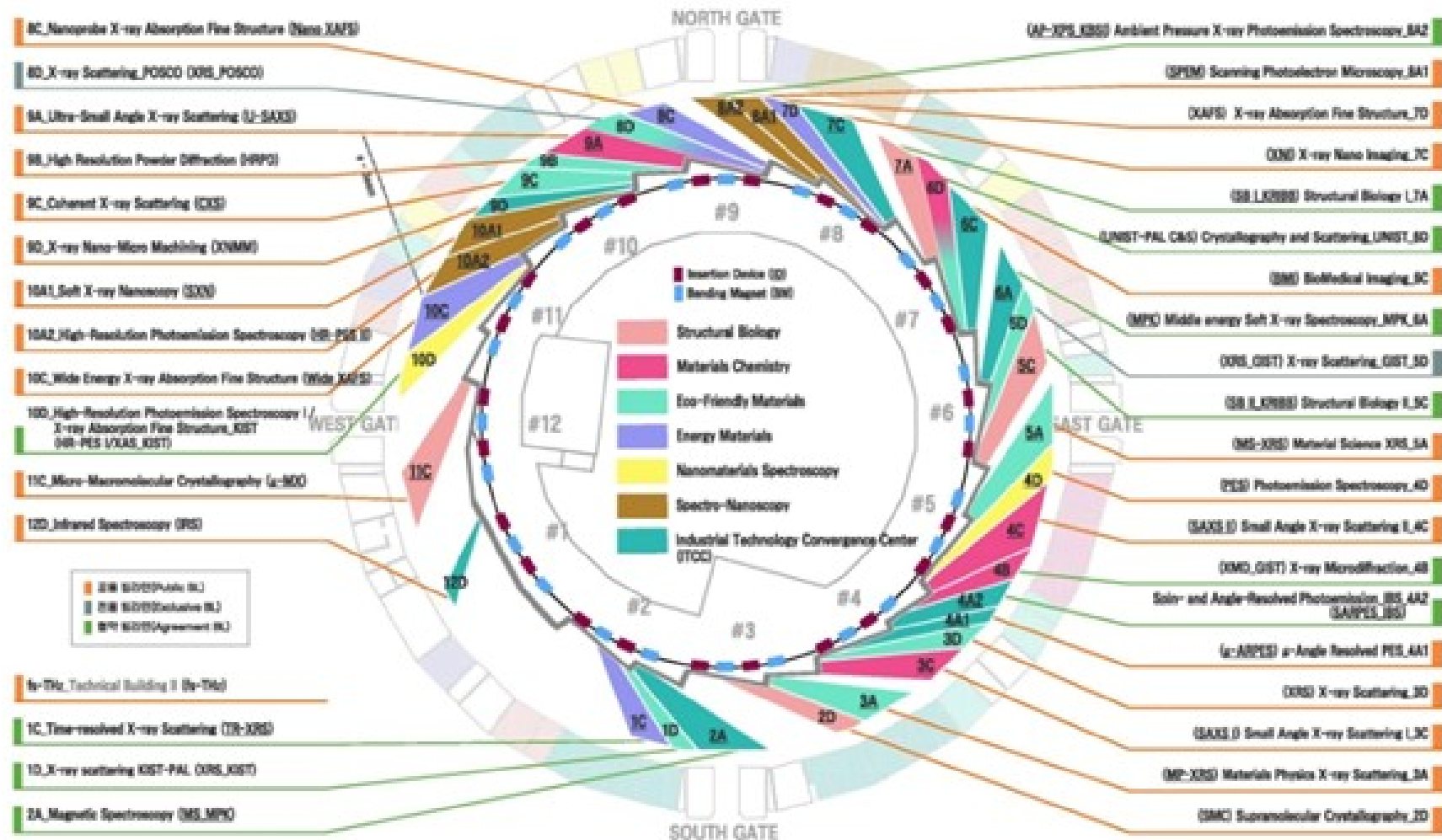
차이점

구분	위글러(Wiggler)	언둘레이터(Undulator)
자기장의 세기	강한 자기장	상대적으로 약한 자기장
전자 빔의 진동 폭	크고 불규칙함	작고 정렬된 진동
방출되는 광	넓은 스펙트럼(연속)	협대역 스펙트럼(단일 주파수 성분 포함)
위상 간섭	간섭 없음 > 비코히런트(Coherent X-ray 없음)	위상이 정렬됨 > 코히런트 X-ray 생성 가능
사용 분야	일반적인 싱크로트론 광원	자유전자 레이저(FEL), 고해상도 X-ray

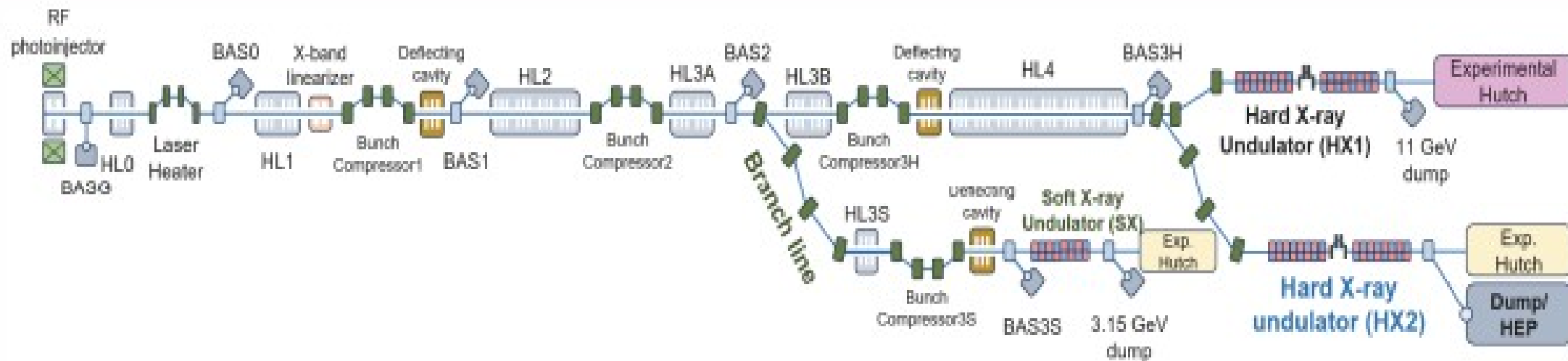
선택기준

사용 목적	적절한 장치
강한 X-ray 발생	Wiggler
특정 파장(단일 주파수)에서 강한 X-ray 생성	Undulator
생물학 및 의학 X-ray 영상	Wiggler
초정밀 나노 구조 분석 및 고해상도 X-ray 회절	Undulator
자유전자 레이저(FEL) 기반 연구	Undulator

포항가속기연구소 삽입장치 구조 (3세대)



포항가속기연구소 삽입장치 구조 (4세대)



영상자료

- 안될과학 방사선 가속기 랩미팅1

추가자료

방사광과학입문 – 이동녕 2002 (도서관 2권)

물리학과첨단기술 2025년 3월 34권 3호

고에너지물리 연구를 위한 포항 4세대 방사광 가속기 빔시험시설 구축 제안

포항가속시연구소 홈페이지

25.04.24 2025 KPS spring meeting

PAL-XFEL에서 아토초 소프트 X선 펄스를 생성하기 위한 전자 빔의 종방향 위상 공간 최적화

심치현 (포항 가속기 연구소 가속기 제어팀) sch0914@postech.ac.kr