

## Smith-Purcell 효과를 이용한 원적외선 광원에서 전자빔 군집의 효과

### Electron Beam Bunching Effect in Smith-Purcell Radiation as a FIR Light Source

임영경,이희재,김선국\*,이병철\*,정영욱\*,조성오\*,차병현\*,이종민\*

한양대학교 물리학과,\*한국원자력연구소

ex-yklim@nanum.kaeri.re.kr

가속된 전자빔을 금속회절격자의 위로 통과시킬 때 결맞은 복사광(coherent radiation)이 발생하는데 이를 Smith-Purcell 효과라고 한다. 이때 발생하는 전자기파의 파장은 회절격자의 주기, 전자빔의 속도 및 복사광의 방출각도에 관계된다<sup>(1)</sup>. 그리고 방출된 복사광의 출력세기는 전자빔의 군집을 고려하지 않는 경우, 회절이론(diffraction theory)에 의해 얻을 수 있는데, 그 세기는 입사시킨 전자빔의 전류세기에 선형적으로 비례한다<sup>(2)</sup>.

하지만 최근 Urata등이 발표한 실험결과에 따르면 측정된 복사광의 출력은 어떤 임계 전류값 이상에서는 전류세기에 선형적으로 비례하지 않고 지수적으로 증가한다<sup>(3)</sup>. 이러한 현상은 전자빔이 금속회절격자에 형성된 감쇄파(evanescent wave)와의 상호작용으로 인해 공간적으로 군집(bunch)을 이루고, 이웃한 전자빔들끼리 결맞은 상태가 되기 때문에 나타나는 것으로 여겨진다. 이와같은 현상을 해석적으로 알아보기 위해 우리는 전자빔과 금속회절격자 사이의 상호작용에 대한 몇가지 과정을 설정하였다. 우선, 상대론적인 전자빔이 금속회절격자 위를 지나갈 때, 전자빔은 격자 표면에 수직인 방향으로 감쇄하고 빔의 진행방향을 따라 느리게 전파하는 파들을 발생시킨다. 이렇게 발생한 파들 중에서 전자빔과 동일한 속도로 진행하는 파는 전자빔의 밀도를 변화시켜 군집을 이루게 하고, 이러한 전자빔은 자신이 가지고 있던 운동에너지를 동기화 되어있는 파(synchronous wave)에 전달한다. 이 과정을 통해 증폭된 파는 전자빔을 더욱 밀집시키고 파장 간격으로 전자빔 군집이 배열되게 한다.. 마지막 단계에서는 이러한 전자빔 군집이 금속회절격자 표면에 전류를 유도하고, 주기적인 전류의 발생이 결맞은 복사광을 만든다.

계산결과, 출력세기는 입사한 전자빔의 전류세기에 지수적으로 증가함을 확인할 수 있었고, Smith-Purcell 효과를 이용하여 소형이면서도 전압조절에 의해 주파수 튜닝이 가능한 원적외선 영역의 광원으로 사용 가능함을 엿볼 수 있었다.

1. S. J. Smith and E. M. Purcell, "Visible light from localized surface charges moving across a grating" , Phys. Rev., vol. 92, 1069 (1953)
2. P. M. van den Berg, "Smith-Purcell radiation from a line charge moving parallel to a reflection grating" , J. Opt. Soc. Am., vol. 63, 1588-1597 (1973)
3. J. Urata et al., "Superradiant Smith-Purcell emission" , Phys. Rev. Lett., vol. 80, 516-519 (1998)