

포항방사광가속기의 초전도 3차 하모닉 RF 공동기의 설계 (Design of Third Harmonic Superconducting RF Cavity for Pohang Light Source)

손영욱*, 김은산, 박인수, 김경렬, 전명환, 김형균

포항가속기연구소

경북 포항시 남구 효자동 산 31번지 포항공과대학교, E-mail: younguk@postech.edu

Abstract

포항방사광가속기의 전자빔수명을 연장하기 위한 3차 하모닉 초전도 RF 공동기를 개발하고 있다. 저장링 빔물리 계산에 따르면 3차 하모닉 초전도 RF 공동기를 설치할 경우 전자빔의 수명이 약 2.3배 증가하는 것으로 나타났다. 또 이 공동기를 설치할 경우 란다우(Landau) 감쇄(damping)에 의한 빔의 안정화도 개선되는 효과가 있다. 본 논문은 이것을 실현하기 위한 초전도 RF 공동기의 전자기장 분포와 고차원 전자장 계산을 통하여 최적의 공동기의 모양 결정과 설계 특성에 대한 것을 보고하고자 한다.

1. 서론

1994년 12월에 포항방사광가속기(PLS: Pohang light source)가 운전을 개시한 이후 현재 30기의 빔라인이 각종 연구를 위한 이용자(이하 user) 서비스를 하고 있으며 3기가 건설중에 있다. 2007년 말까지 총 40기의 빔라인이 가동될 예정으로 이제 방사광의 양적확대는 물론 질적인 면에서도 빔의 안정화 개선이 이루어져 현재 가속기 설계값에 거의 근접한 성능을 보여 주고 있다. 그러나 방사광 user들은 더욱 개선된 빔을 요구하고 있으나 그 요구를 실현하기 위해서는 현재 저장링(원형 가속기)의 자석배치구조를 바꾸어야 하는 설계변경에 해당된다. 즉 전자빔 에미턴스(emittance: 전자빔의 크기 척도)를 현재 16 nm에서 10 nm로 줄이는¹⁾ 것을 고려하고 있다. 이 경우 저장링에서 궤도운동을 하고 있는 전자빔의 수명이 현재 평균 20시간(200 mA)에서 약 10시간 이하로 줄어들어 방사광 이용 효율이 현저히 감소되는 결과를 초래한다. 수동(passive)으로 작동하는 하모닉(harmonic) RF 공동기를 설치하면 궤도운동하는 전자빔에 의해서 유도되는 하모닉 전압에 의해서 전자다발(bunch)이 길어지고 이로 인하여 Touscheck 수명이 연장된다. 부가적으로 Landau damping이 발생되어 빔의 안정화를 개선되는 효과도 있다.

2. 초전도 3차 하모닉 RF 공동기의 설계요구조건

가속기 빔운동학 (beam dynamics)에 의거한 계산으로 설계요구조건을 도출하였다 [E.-S Kim, et al, EPAC 2004]. PLS의 전자빔의 설계에너지 2.5GeV에서 공진주파수 500MHz의 주 RF 공동기에서 2.0MV의 전압을 발생시키는 조건으로 계산하였다. 이 경우 3차하모닉 공동기의 공진주파수는 1500Mz이고 필요한 하모닉 전압은 약 0.56MV가 된다. 계산에 의하면 전자다발의 길이가 약 2.2배 길어지고 전자빔의 수명을 약 2.3배 길어진다.

3. 기하형상 결정

1) 전자빔의 에미턴스를 줄이면 방사광의 크기가 작아서 flux가 높고 잘 focus 된 빛을 얻을 수 있음.

3차 하모닉 RF 공동기는 상전도로 할 수가 있으나 초전도 공동기의 경우 운전중에 공동기 변형에 의한 고차원 전자장(HOM: higher-order modes) 발생적어서 전자빔에 대한 악영향을 줄일 수 있으며 저장링에서 차지하는 공간을 절약하여 같은 직선구간에 방사광 발생기인 삼입장치와 같은 다른 기기장치를 동시에 설치할 수 있는 잇점이 있다. 또 같은 하모닉 전압을 유도하는 상전도 공동기에 비해 전제 제작설치비는 거의 비슷한 수준이다. 따라서 본 연구에서 초전도 RF 공동기를 선택하였다. 초전도 RF 공동기는 그림 1에서 보는 것과 같이 가장 일반적인 형태인 타원형으로 저 손실형 (low loss type)으로 하고 빔파이프를 크게 하여 HOM이 공동기 밖으로 쉽게 빠져나오게 설계하였다. 적절한 모양을 선정하기 위해서 몇 가지의 형상에 대하여 2차원 전자장 해석 코드인 SUPERFISH를 이용하여 평가하였다. SUPERFISH는 설계 공진주파수에 해당하는 반주기 (π -mode) 크기의 공동기 길이를 근간으로 공동기의 형상을 미소하게 조절(tuning)하여 원하는 공진주파수를 발생시킬 수 있게 해준다. 그림 2는 전자빔의 궤도에 따라 발생하는 가속 전기장 (Eacc)을 보여 주고 있다.

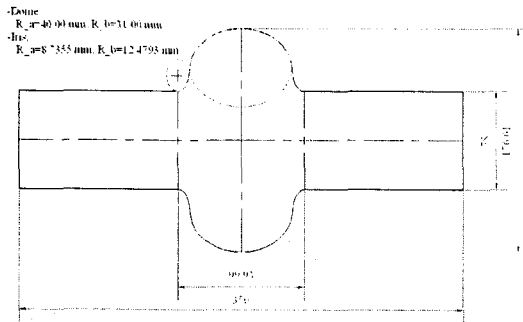


그림 1 초전도 3차 하모닉 공동기의 형상

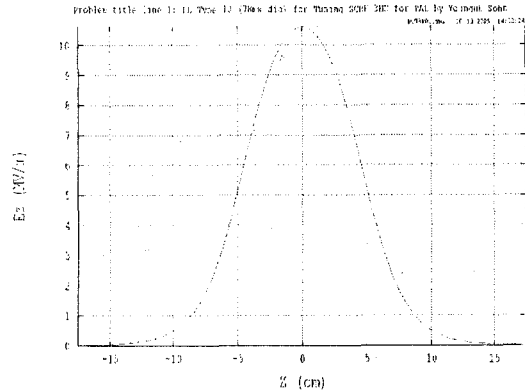


그림 2 공동기 축방향의 가속 전기장의 분포

4. 3차원 계산을 통한 RF공동기 설계변수 검증 및 계산

전자장 해석 컴퓨터코드인 MAFIA를 통하여 3차원 2차원 계산으로 결정한 공동기 형상을 검증하였다. 또 HOM 세기의 척도가 되는 R/Q (공동기에 저장된 에너지에 대한 전자빔이 가져가는 에너지비)를 평가하여 HOM 주파수를 찾아 그분포를 평가하여 공동기 외부로 적절히 빠져나갈 수 있는 지 여부를 검증하였다. 그림 3은 공동기의 3차원 형상이며 그림 4와 5는 축방향 (longitudinal)과 횡방향 (transverse)의 HOM 분포를 보여 주고 있다.

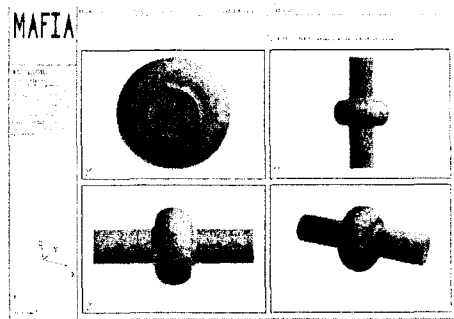


그림 3 3차원 공동기의 모델

5. 향후계획

상기의 초전도 공동기는 현재 실험용 prototype 제작을 하고 있다. 2005년 말까지 제작을 완료하

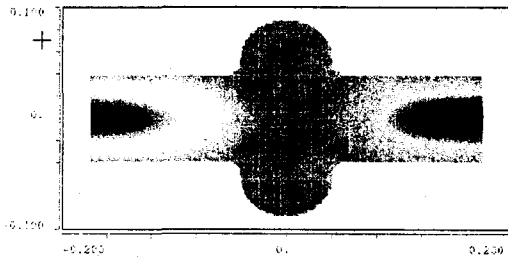


그림 4 주파수 3004.4MHz (R/Q=51)에서 축방향 HOM 전기장 분포 (HOM 제거장치로 제거가능)

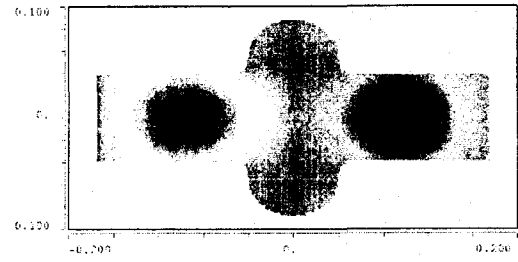


그림 5 주파수 2436.2 MHz (R/Q=17)에서 횡방향 HOM 전기장 분포 (HOM 제거 장치로 제거 가능)

고 2006년에 이를 이용한 시험을 통하여 기본적인 파라메타의 적절성을 검증하고 이를 통해서 HOM 제거장치와 주파수 조절장치(tuner)를 설계할 예정이다. 이러한 일련의 과정들을 거쳐서 2007년에 본 제품을 제작할 계획이다.