한국산학기술학회논문지
Vol. 12, No. 3 pp. 1319-1326, 2011

초소형 자유전자레이저 모듈에 있어서 위글러 구조에 따른 전자빔 특성 연구

김영철[1], 안성준[2], 김대욱[3], 김호섭[3], 안승준[3*]
[1]을지대학교 안경광학과, [2]선문대학교 정보통신공학과, [3]선문대학교 정보디스플레이학과

Study on the Characteristics of Electron Beam Dependent with the Structure of Wiggler in the Miniaturized Free Electron Laser Module

Young Chul Kim[1], Seong Joon Ahn[2], Dae-Wook Kim[3], Ho-Seob Kim[3] and Seungjoon Ahn[3*]
[1]**Department of Optometry, Eulji University**
[2]**Department of I&C Engineering, Sun Moon University**
[3]**Department of Information Display, Sun Moon University**

요 약 상업용 3-D simulation tool(OPERA)을 이용하여 슬릿형 위글러가 장착된 초소형 자유전자레이저 모듈에 있어서 위글러 구조에 따른 전자빔 특성을 조사하였다. 전자렌즈의 중앙 전극에 일정한 potential을 인가하여 전자빔이 평행빔이 되도록 divergence를 줄여서 위글러에 입사시켰으며 위글러의 구조 의존성에 따른 위글러 내부에서의 전기장 과 potential 분포를 계산하여 위글러에서의 전자빔 궤적의 변화를 조사하였다.

Abstract We have investigated the characteristics of the electron beam (e-beam) in the miniaturized free electron laser module by using the commercial 3D simulation tool OPERA. The e-beam was made parallel before entering the slit-type wiggler by the negative bias applied to the central electrode of the electron lens. With respect to the different structures of the wiggler, we obtained the inner distributions of the electrical potential and the electric field, which was, in turn, used to calculate the trajectory of the e-beam in the wiggler.

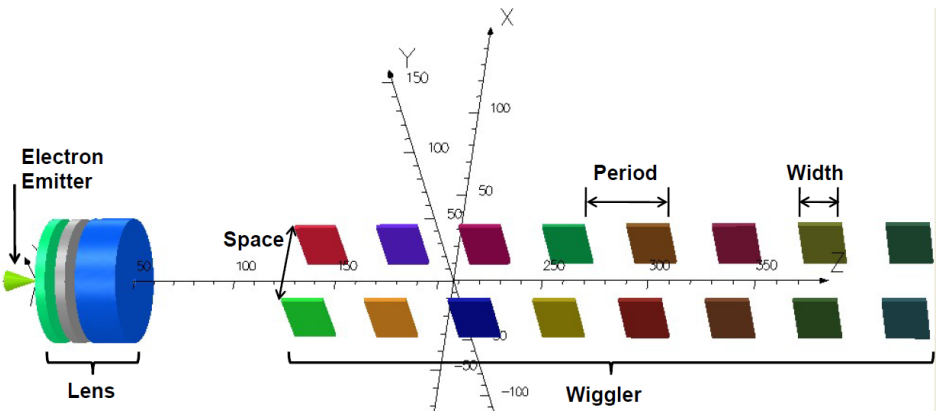
Key Words : Structure of wiggler, Electron beam, Microcolumn, Free electron laser, THz Source

1. 서론

초소형 자유전자레이저 모듈은 크게 전자 발생장치와 위글러(wiggler) 부분으로 나눈다. 전자발생장치는 전자방출원과 전자빔을 제어하여 위글러로 전자빔을 내보내는 전자렌즈로 이루어졌으며 전자방출원은 일반적으로 상온형(CFE; cold cathode field emitter), 고온형(TFE; thermally assisted field emitter), 쇼트키형(SE; Schottky field emitter)으로 나눌 수 있다. 상온형인 경우 전자방출원에 음(-)의 전압을 인가하여 전자를 방출하는 방식으로, 상대적으로 높은 전압이 요구된다. 고온형인 경우, 전자방출원에 가해진 열에너지에 의해 전자가 방출된다.

쇼트키형은 상온형과 고온형의 중간 형태로, 열에너지가 가해진 상태에서 낮은 전압을 인가하여 전자를 방출하는 방식이다. 이 경우 열에너지가 가해지기 때문에 전자들이 전위 장벽을 쉽게 뛰어 넘을 수 있어 전자방출원에 낮은 전압을 인가하더라도 전자를 방출할 수 있다. 하지만 방출되는 전자들의 특성이 다소 고르지 못한 단

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0016331)
*교신저자 : 안승준(sjan@sunmoon.ac.kr)
접수일 11년 01월 25일 수정일 11년 02월 21일 게재확정일 11년 03월 10일



[그림 1] 초소형 자유전자레이저 모듈의 설계를 위한 3-D 전산모사 모델.

점이 있다.

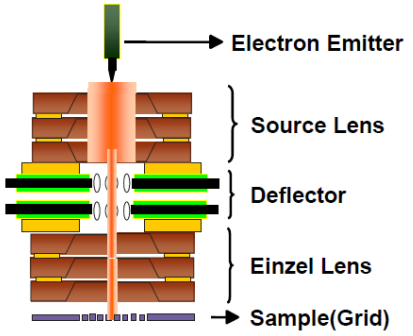
그림 1은 초소형 자유전자레이저 모듈을 설계하기 위하여 상업용 전산모사 tool인 OPERA를 사용하여 전자빔의 궤적을 3차원(3-D)으로 전산모사한 모델이다. 본 연구에서는 전자방출원에 열을 가하지 않고 전압만을 인가하여 전자를 방출시키는 상온형 방식을 채택하였으며 전자방출원에 -200 V를 인가하였다. 전자방출원에 음(-)의 전압을 인가하고 extractor에 양(+)의 전압 또는 그라운드 전압을 인가하면 전자방출원과 extractor 사이에 전기장이 형성된다. 전기장은 전자방출원으로부터 전자를 잡아끄는 힘을 가하여 전자가 방출된다[1-3].

전자방출원에서 방출된 전자들은 세 개의 전극으로 구성된 전자렌즈를 통과하여 위글러를 지난다. 위글러에는 주기적으로 변하도록 각 위글러 전극에 전압이 인가되며 전자들은 sine 파동처럼 주기적으로 그 궤적이 바뀌어 가속되기 때문에 이 구간에서 방사광(radiation)이 방출된다.

본 연구에서는 초소형 자유전자레이저 모듈의 최적화된 설계를 위하여 위글러 내부에서의 전기장 성분 및 전압 분포를 분석함으로써 전자빔 궤적의 의존성을 조사하였으며 위글러의 매개 인자인 깊이(D, Depth), 너비(W, Width), 주기(P, Period), 그리고 간격(S, Space)에 따른 전자빔의 특성을 조사하였다.

2. 전자렌즈

전자방출원에서 방출된 전자는 인가된 전압에 의해 제어되는 전자렌즈 내부를 통과한다. 전자렌즈(source lens)는 전자방출원으로부터 차례대로 extractor, accelerator, limiting aperture라는 세 개의 전극[4, 5]으로 이루어져 있다[그림 2]. 전자방출원의 가까운 쪽에 위치한 전극을 extractor라고 하고 양(+)의 전압 또는 그라운드 전압이 인가된다. Extractor는 전자를 방출시키는 역할을 함과 동시에 전자방출원에서 횡 방향으로 넓게 퍼지는 전자를 걸러주는 역할을 한다. 즉 광축에 대하여 큰 각으로 발산되는 전자를 걸러줌으로써 위글러에 도달하는 전자빔의 특성을 개선시킨다. Extracor를 통과한 전자들은 전자렌즈 내부를 통과하면서 accelerator와 limiting aperture를 차례대로 지난다.



[그림 2] 전자렌즈(source 렌즈와 Einzel 렌즈)의 구조

Accelerator와 limiting aperture에 그라운드 전압이 인가되는 것이 일반적인데, 본 연구에서는 limiting aperture에는 그라운드 전압을 인가하는 것은 똑같지만 accelerator에 -180V를 인가하였다. Accelerator에 전압을 인가한 이유는 이렇게 함으로써 전자들을 모아주는 효과를 얻기 위함이다. 즉 적절한 전압을 인가하면 전자빔들을 평행빔에 가까워질 수 있기 때문이다. Divergence를 줄여서 전자빔의 특성이 개선될 뿐만 아니라, 보다

많은 전자들이 위글러에 도달할 수 있다.

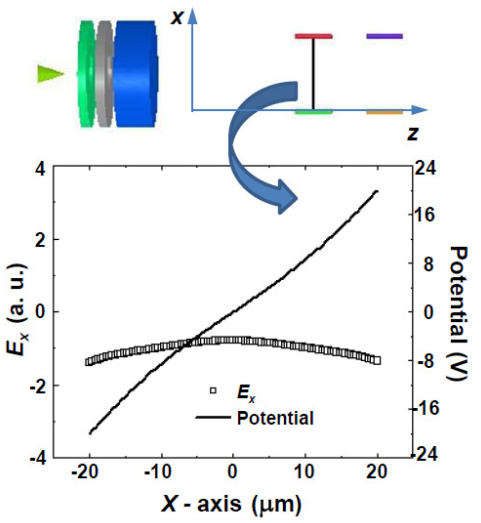
전자빔을 평행빔의 상태로 만든다는 것은 중요한 의미를 지닌다. 위글러를 통과하는 전자들은 위글러에 인가된 전압에 의하여 궤적인 주기적으로 변하면서 가속되어 방사광을 방출[6, 7]하게 되는데, 전자빔의 특성이 안정적이지 못하면 방출되는 방사광의 특성 역시 안정적이지 못하기 때문이다. 물론 최종적으로 자유전자 레이저에서 방출되는 빔은 공진기의 공진 조건을 만족하는 것만이 방출되겠지만 전자빔의 특성을 개선할 수 있다면 원천적으로 강하고 특성이 안정된 빛을 얻을 수 있을 것이다.

Accelerator의 제어에 의해 평행빔으로 된 전자빔은 limiting aperture를 통과하면서 다시 한 번 걸러진다. 일반적으로 limiting aperture의 직경이 매우 작은데, 이는 광축에 근접한 전자만을 통과시키기 위함이다. 전자빔이 평행빔이라 하더라도 광축으로부터 멀리 떨어진 전자들과 광축에 가까운 전자들은 위글러에 의해 형성된 전기장 때문에 광축에서 멀리 떨어져 있는 전자들과 가까이 있는 전자들에게서 방출된 방사광의 특성이 다르게 되기 때문에 이러한 효과를 제거하기 위하여 본 연구에서는 limiting aperture의 직경을 ~5 μm로 하였다.

3. 위글러 내부의 전기장 특성

마주보는 한 쌍의 위글러 사이의 실선(x 축)을 따라서 전기장 및 potential 분포가 그림 3에 나타나 있다. 전기장은 거의 일정한 값을 갖지만 중앙($x=0$)에서 가장 약하고, 위글러 전극에 가까워질수록 절대값이 점점 커지는 것을 알 수 있다. 전체적으로 전기장 성분이 음(-)의 값을 갖는 이유는 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 $+x$ 축 방향의 위글러에 양(+) 전압을 인가하였고 맞은편의 전극에 음(-)의 전압을 인가하여 전기장의 방향은 위에서 아래 방향 즉, $-x$ 축 방향이기 때문이다. 일반적으로 평행판 축전기인 경우 두 전극의 넓이가 두 판 사이의 간격에 비해 매우 넓어서 두 판 사이의 전기장의 세기가 일정한 값을 갖는다. 하지만 본 연구에서의 위글러 폭이 간격에 비해 넓지 않기 때문에 내부에서의 전기장의 세기가 위치에 따라 변하는 것을 볼 수 있다.

또한 전압은 $-x$ 축 방향에서 $+x$ 축 방향으로 갈수록 점차 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 아래 전극에 음(-)의 전압이 인가되고 위 전극에 (+) 전압이 인가되었기 때문이다.



[그림 3] 마주보는 위글러 한 쌍 사이의 x 축에 대한 전기장과 potential.

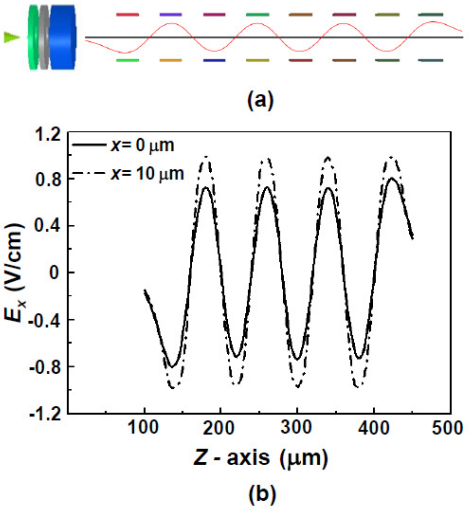
본 연구에서는 슬릿 모양의 위글러 8쌍을 설치하여 위글러 내부에서 형성된 전기장과 potential이 전자에 미치는 영향을 조사하였다. 한 쌍의 위글러의 마주 보는 전극에는 서로 반대의 전압을 인가하였고, 인근 위글러 쌍에는 전극에 가해지는 전압을 반대의 전압을 교차하여 인가하였으며 각 위글러 전극에 인가된 전압은 ± 20 V이다. 그림 4 (a)는 위글러 구간에서 z 축 방향의 광축에 따른 전기장 분포를 보여주고 있다. 위글러 극판에 인가된 전압이 주기적으로 변함에 따라 전기장의 세기와 방향이 주기적으로 변하는 것을 볼 수 있다. 전기장에 의해 전자가 받는 힘의 방향 역시 주기적으로 변하게 되어 이 구간에서 방사광이 방출된다. 방사광의 파장은 위글러의 주기와 전자들의 운동에너지에 밀접한 관계가 있다. 방사광의 파장 λ는

$$\lambda = P(\beta^{-1} - \cos\theta) \tag{1}$$

으로 주어진다. 여기서 P는 그리드 주기, $\beta = v/c$로 v와 c는 각각 전자의 속력과 진공에서의 빛의 속력을 나타낸다.

또한 θ는 광축에 수직한 방향을 $\theta = 0$으로 한 측정각 이다. 따라서 초소형 자유전자 레이저의 출력 파장에 따라서 위글러의 주기를 결정하면 된다. 그림 4의 전기장 세기는 광축에 따른 변화를 나타낸 것인데, 그림 4 (b)에서 보여주는 바와 같이 광축에서 전극 쪽으로 가까워질수록 전기장의 세기가 변한다. 따라서 광축을 지나는 전자와 위글러 전극에 가까운 곳을 지나는 전자는 각

기 크기가 다른 힘에 의하여 영향을 받게 된다. 따라서 방사광의 특성을 좋게 유지하기 위해서는 전자들의 궤적이 크게 다르지 않게 하는 것이 필요하기 때문에 전자렌즈의 limiting aperture의 직경을 작게 하거나 두께를 크게 하여 광축에 근접한 전자들만을 통과시키는 것이 필요할 것으로 판단된다.

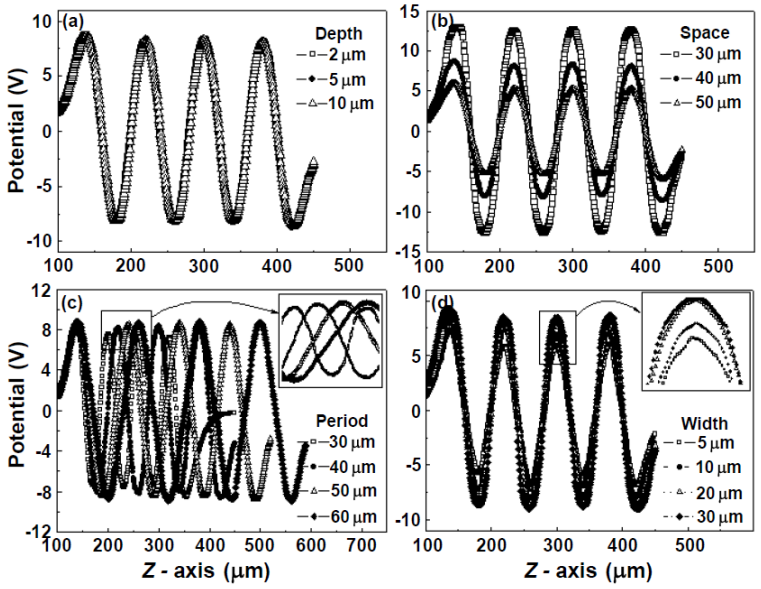


[그림 4] 광축에 따른 위글러 내부에서의 전기장 분포

4. 위글러 구조에 따른 전자빔 의존성

위글러의 기하학적 구조에 따른 전기장과 potential의 분포와 그에 따른 전자빔의 특성 변화를 관찰하기 위하여 z 축($x=10$, $y=0$)에 대한 potential 분포를 계산하였다 그림 5. 광축($x=0$)이 아닌 $x=10$ μm인 축을 따라 potential 분포를 그린 이유는 마주보는 전극의 전압의 세기는 같고 부호가 다르기 때문에 광축에서는 potential이 모두 0이기 때문이다. 그림 5의 (a)는 위글러 전극의 깊이에 따른 potential 분포인데, 깊이는 potential의 분포에 거의 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다. 위글러 전극을 가공할 때 보통 유전체 위에 전도성 물질을 성장시키거나 증착시켜 제작하게 되는데 위글러 전극의 높이가 제작상의 관심거리가 될 수 있다. 본 결과에 의하면 전극의 높이는 전압분포에 큰 영향을 주지 않기 때문에 전자빔의 궤적에도 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 따라서 제작 또는 가공 상의 허락되는 범위 내에서 자유롭게 제작할 수 있다.

그림 5(b)는 마주보는 한 쌍의 위글러 간격(space)에 따른 전압 분포를 나타낸 것이다. 위글러에 인가전압을 ±20 V로 고정한 상태로 두 전극 사이의 간격을 변화시키면, 위글러 간격이 작을수록 위글러 사이에 상대적으로 높은 potential이 걸려서 전자들이 큰 힘을 받게 되기 때문에 간격이 좁으면 낮은 전압으로 전자의 궤적을

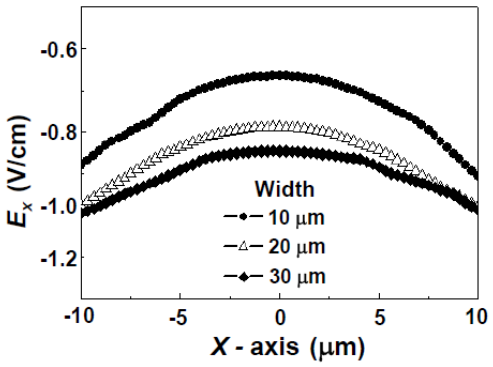


[그림 5] 위글러 내부에 있어서 z-축(x=10 μm, y=0)에 따른 potential 분포.
(a) depth, (b) space, (c) period, (d) width.

제어할 수 있다. 그러나 전자들이 위글러 구간을 지나면서 광축으로부터 한 방향으로 편향되는데, 위글러 간격이 좁으면 많은 전자들이 위글러 극판에 부딪쳐서 흡수된다. 따라서 많은 전자들이 위글러 구간을 빠져나가지 못하고 중간에 손실되는 결과를 초래하기 때문에 간격을 어느 정도 유지하도록 설계해야 한다.

그림 5(c)는 위글러 주기(period)에 따른 potential 분포이다. Potential 분포에는 큰 차이가 없지만 주기가 변하면서 이에 따라 potential의 분포 주기가 따라서 변하는 것을 볼 수 있다. 전자빔의 궤적 역시 이 주기에 맞추어 변하게 되고 이는 방출되는 방사광의 파장에 직접적인 영향을 주게 될 것이다. 따라서 출력 방사광의 파장이 결정되면 식 (1)에 의한 위글러 주기를 맞춰 주는 것이 필요하다.

그림 5(d) 위글러 전극 폭(width)에 따른 potential 분포이다. 위글러의 주기는 40 μm로 고정하고 위글러 전극의 폭을 5, 10, 20, 30 μm로 변화시키면서 potential 변화를 조사하였다. 위글러의 중심은 변하지 않으므로 potential 최고치의 위치는 변하지 않고 일정하였다. 다만 주기는 일정한 상태로 폭이 변하면서 한 위글러와 인접한 위글러 사이의 틈이 좁아지게 된다. 그림 6에 나타나 있는 바와 같이, 위글러 폭이 넓어짐에 따라 한 쌍의 위글러를 가로 지르는 x 축을 따른 전기장의 세기는 변화가 적어지고 일정한 값에 가까워진다.

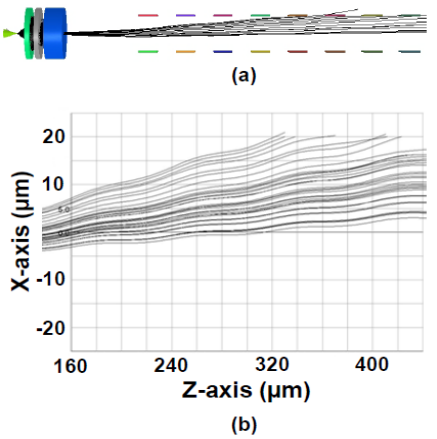


[그림 6] 위글러 폭 변화에 따른 전기장 세기의 분포

그림 7(a)는 초소형 자유전자레이저 전 구간에서의 전자빔의 궤적을 그린 것이다. 앞에서 언급한 그림 4, 5, 6에서의 전기장의 세기 분포와 potential의 분포에 의하여 위글러 구간에서 전자들의 궤적이 주기적으로 변화하는 것을 볼 수 있다. 그림 7(b)는 전자 궤적에 대하여 위글러 효과를 좀 더 자세히 확인하기 위하여 위글러 구간에서 확대한 것이다. 전자 궤적이 주기적으로 변하면서 점차 한 쪽으로 치우치는 것을 알 수 있다. 전자렌즈 구간을 빠져나온 전자가 위글러 구간으로 진입할 때, 양(+)의 전압이 인가된 $+x$ 축 방향으로 편향된다. 전자가 두 번째 위글러 구간을 지날 때는 반대방향 $-x$ 축 방향으로 힘을 받아 반대 방향으로 꺾어지지만 이미 편향된 전자는 원래의 위치까지 되돌아가지 못한 채 다음 위글러에 도달하여 다시 $+x$ 축 방향으로 힘을 받는다. 편향 정도를 알아보기 위하여 첫 번째 위글러 쌍 내에서 전자의 x 축 방향 가속도 a_x는

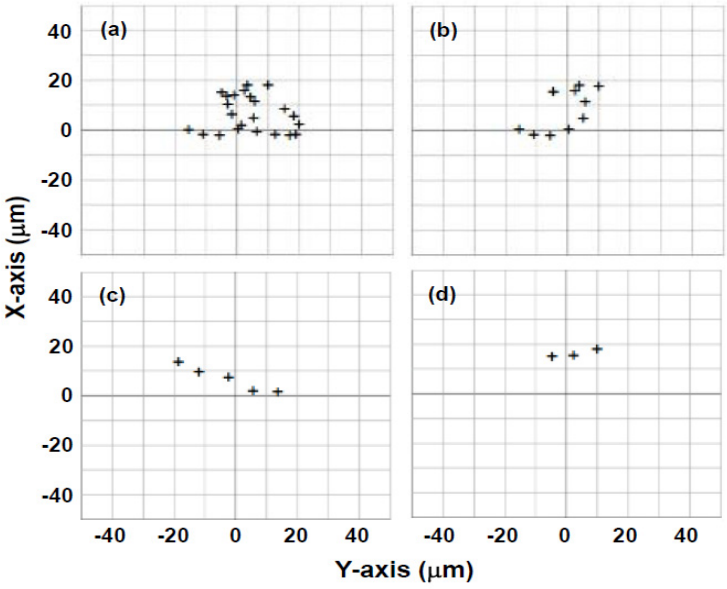
$$a_x = \frac{F_x}{m} = \frac{eE_x}{m} = \frac{2e\,V_w}{mS} \tag{2}$$

가 된다. 위글러 내에서 전기장의 세기 E_x는 그림 6에서 보는 바와 같이 일정한 값이 아니지만 분석의 편의의 위하여 일정한 값으로 가정하였다. 여기서 m, e, S, V_w는 각각 전자의 질량, 전자의 전하량, 위글러 간격, 그리고 위글러에 인가된 전압을 나타낸다. 이제 첫 번째 위글러를 지나는 동안 전자의 편향 거리 Δx는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 7] 전자빔의 궤적 (a) 모듈 전 영역 (b) 위글러 내부

$$\begin{aligned}\Delta x &= \frac{1}{2}a_x t^2 \\ &= \frac{1}{2}\left(\frac{2e\,V_w}{mS}\right)\left(\frac{W}{v}\right)^2 \\ &= \frac{1}{2}\left(\frac{2e\,V_w}{mS}\right)W^2\frac{m}{2e\Delta V} \\ &= \frac{1}{2}\frac{V_w}{S\Delta V}W^2\end{aligned} \tag{3}$$



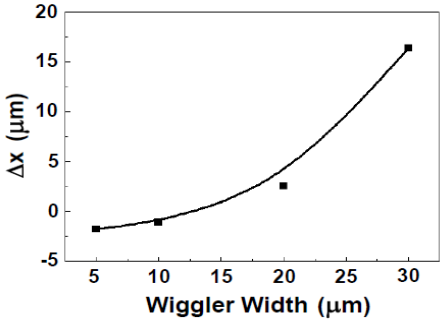
[그림 8] z=450 μm에 있어서 위글러 폭에 따른 전자빔 분포.
(a) 5 μm, (b) 10 μm, (c) 20 μm, (d) 30 μm.

여기서 W는 위글러 전극의 폭(width)이고 ΔV는 전자방출원과 위글러 내부의 potential 차이다. 식 (3)으로부터 첫 번째 위글러를 지나면서 전자가 x 축으로 편향되는 정도는 위글러 폭의 제곱에 비례하고 위글러 전극에 인가된 potential에 비례함을 알 수 있다.

전자가 위글러에 입사하여 첫 번째 위글러를 지나 이어지는 위글러 구간을 지나면서 점차 한쪽으로 편향되고 일부 전자는 위글러 전극에 부딪치게 된다. 따라서 한 쌍의 위글러 간격을 잘 고려하여 위글러 전극에 적절한 전압을 인가하여야 많은 전자들이 위글러 구간을 통과할 수 있게 된다.

그림 8은 z=450 μm인 x-y 평면에서 전자빔의 위치를 나타낸 것이다. 위글러 폭이 5 μm에서 30 μm로 점차 넓어질수록, x-y 평면에 도달하는 전자의 수가 적어진다. 이것은 위글러 폭이 넓어지면 전자들의 보다 크게 편향되어 많은 전자들이 위글러 구간을 다 통과하지 못하고 위글러 표면에 부딪히게 되기 때문이다. 또한 위글러 폭이 넓어질수록 전자들이 점차 한 쪽으로 보다 크게 편향되는 것을 볼 수 있다.

그림 9는 위글러 폭에 따른 편향거리를 도해한 graph로 그림 8 (a), (b), (c), (d)의 아래의 세 점들의 x-좌표 평균으로 그린 것이다. 아래의 세 점만을 이용한 이유는 그림 8(d)의 경우 위글러 폭이 넓어 많은 점들은 크게 편향되어 이미 위글러 밖으로 빠져 나갔기 때문에 나머지 데이터에서도 같은 전자에 대해서 비교하는 것이 타당하기 때문이다. 그림 9에서 볼 수 있는 바와 같이 위글러 폭에 따른 편향 거리는 급격히 증가하는데, 식 (3)의 편향 거리는 위글러 폭의 제곱에 비례하는 결과와 잘 일치하며 위글러의 폭은 20 μm 이하로 하는 것이 적절하다고 판단된다.



[그림 9] 위글러 폭에 따른 x 축의 편향거리

5. 결 론

본 연구에서는 슬릿형 위들러가 장착된 초소형 자유전자 레이저 모듈에 있어서 위글러의 기하학적인 구조

에 따른 전자빔 특성을 조사하였다. 세 개의 전극으로 구성된 전자렌즈의 중앙 전극에 -180 V의 전압을 인가하여 전자방출원에서 방출된 전자빔을 평행빔으로 제어하여 위글러에 입사시켰다. 위글러 내부에서의 전압 및 전기장 분포를 계산하여 분석한 결과 제작상의 중요 인자인 위글러 전극의 깊이는 potential 분포에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었으며 비교적 구조 의존성이 적은 간격과 주기는 분석 결과를 토대로 ~40 μm로 결정하였다.

위글러 내부에서의 전압 및 전기장 분포는 광축에 따라 사인함수처럼 주기적으로 변하는데, 이로 인하여 전자의 궤적이 주기적으로 변함과 동시에 한 쪽으로 편향되는 것을 확인하였다. 전자빔의 편향에 민감하게 영향을 주는 인자는 위글러 폭, 위글러에 인가된 potential, 그리고 전자방출원과 위글러 내부에서의 potential 차이다. 특히 편향거리는 위글러 폭의 제곱에 비례하기 때문에 위글러의 매개변수(위글러 간격 및 인가 potential)를 적절하게 조절하여야만 많은 전자들이 위글러 구간을 통과하여 방사광을 방출할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] M. Nagel, P. Haring Bolivar, M. Brucherseifer, H. Kurz, A. Bosserhoff and R. Buttner, “Integrated THz technology for label-free genetic diagnostics”, Appl. Phys. Lett., Vol. 80, pp. 154-156, 2002. 1.

[2] Sushi Kumar, Benjamin S. Williams, Stephen Kohen, Qing Hu, and John L. Reno, “Continuous-wave operation of terahertz quantum-cascade lasers above liquid-nitrogen temperature", Appl. Phys. Lett., Vol. 84, pp. 2494-2496, 2004. 4.

[3] C. Kang, C.-S. Kee, I.-B. Sohn, and J. Lee, "Spectral properties of THz-periodic metallic structures," J. Opt. Soc. Korea, Vol. 12, pp. 196-199, 2008. 12.

[4] Seungjoon Ahn, Dae-Wook Kim, Ho Seob Kim, Seong Joon Ahn, Jaewon Cho, “Fabrication of a miniaturized electron lens system and laser micro-machining condition for silicon membrane", Microelectronic Engineering, Vol. 69, pp. 57-64, 2003. 8.

[5] 안승준, 김대욱, 김영철, 안성준, 김영정, 김호섭, “초소형 전자칼럼의 제작 및 특성 연구", 한국재료학회지 Vol. 14, No. 3, pp. 186-190, 2004. 3.

[6] H. Jeong, J. Jeong, G. H. Song, and Y.-D. Jho, "Excitation wavelength dependence of terahertz radiation from InAs: UV versus IR," J. Korean Phys. Soc., Vol. 56, pp. 262-264, 2010. 1.

[7] F. Floreani, H. W. Koops, and W. Elsaber, “Concept of a miniaturised free-electron laser with field emission source", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Vol. 483, pp. 488-492, 2002. 5.

김 영 철(Young Chul Kim) **[정회원]**

- 1991년 2월 : 인하대학교 물리학과(이학사)
- 1993년 2월 : 인하대학교 물리학과(이학석사)
- 2000년 8월 : 인하대학교 물리학과(이학박사)
- 2001년 8월 : 충북대학교 박사후 연구원
- 2002년 2월 : 한국표준과학연구원 위촉연구원
- 2003년 9월 : 선문대학교 정보디스플레이학과 강의교수
- 2010년 9월 ~ 현재 : 을지대학교 안경광학과 조교수

<관심분야>
Microcolumn, 전자빔 기술, 디스플레이광학, 빛의 비고전성, 빛의 얽힘성

안 성 준(Seong Joon Ahn) **[정회원]**

- 1987년 2월 : 서울대학교 물리학과(이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학석사)
- 1992년 8월 : 한국과학기술원 물리학과(이학박사)
- 1992년 9월 : 삼성전자 반도체연구소 선임연구원
- 1996년 5월 : 한전전력연구원 선임연구원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 부교수

<관심분야>
반도체 공정, 광섬유 통신 및 센서, 전자빔 기술, 레이저 미세가공, 접지기술

김 대 욱(Dae-Wook Kim) **[정회원]**

- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
- 1988년 2월 : 서울대학교 물리학과(이학석사)
- 1992년 2월 : 서울대학교 물리학과(이학박사)
- 1993년 3월 : 선문대학교 정보디스플레이학과 교수

<관심분야>
레이저 스펙트로스코피, 반도체 및 나노과학

김 호 섭(Ho Seob Kim) **[정회원]**

- 1984년 2월 : 인하대학교 물리학과(이학사)
- 1986년 12월 : 미국 미조리주립대학교 물리학과(이학석사)
- 1992년 5월 : 미국 미조리주립대학교 물리학과(이학박사)
- 1996년 10월 : IBM Watson Research Center 연구원
- 1999년 2월 : Etec System, Inc 전자빔 리소그라피 설계/제작 팀장
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보디스플레이학과 교수

<관심분야>
전자빔 리소그라피, Microcolumn, Multi microcolumn, 전자빔 기술, 반도체 장비

안 승 준(Seungjoon Ahn) **[정회원]**

- 1985년 2월 : 경북대학교 자연과학대학 물리학과(이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학석사)
- 1993년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학박사)
- 1989년 2월 ~ 1997년 2월 : 삼성전자 반도체연구소 선임연구원
- 1993년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보디스플레이학과 교수

<관심분야>
반도체 공정 및 장비기술, 레이저 annealing, 레이저 미세가공, 전자빔 기술