2019년도 한국전자파학회 하계종합학술대회 논문집 Vol. 7, No. 1 2019. 8. 22~24

Boris 알고리듬을 이용한 자기장이 인가된 플라즈마의 FDTD 해석

임영준°, 노태건, 남상욱
서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신공동연구소
yjlim@ael.snu.ac.kr

1. 서론

본 논문에서는 유한차분 시간영역(FDTD) 방법을 이용하여 자기장이 인가된 플라즈마에서의 전파 특성을 시뮬레이션 하였다. 전자의 운동방정식에서 벡터의 외적으로 표현되는 자기력의 계산을 수월하게 하기 위해 Boris 알고리듬을 이용하였다.

2. 본론

충돌을 무시할 수 있는 저온 플라즈마의 경우, 전자의 운동방정식은 아래와 같다.

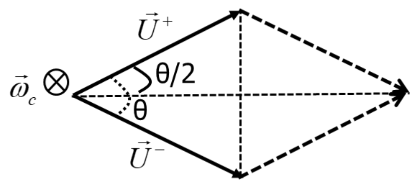
$$\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} = \frac{q_e}{m_e}(\vec{E} + \vec{U} \times \vec{B}) \qquad (1)$$

이 때, $\vec{U}$, $\vec{E}$, *그리고* $\vec{B}$는 각각 전자의 속도, 전기장의 세기, 인가된 자기장의 세기이다. q_e과 m_e는 각각 전자의 전하량과 질량이다. 식 (1)을 효과적으로 계산하기 위해, 보조 변수 $\vec{U}^+$와 $\vec{U}^-$를 아래와 같이 선언하였다.

$$\vec{U}^+ = \vec{U}^{n+0.5} - \frac{\Delta t q_e \vec{E}^n}{2m_e} \qquad (2)$$

$$\vec{U}^- = \vec{U}^{n-0.5} + \frac{\Delta t q_e \vec{E}^n}{2m_e} \qquad (3)$$

식 (2), (3)의 보조변수를 이용하여 그림 1의 계산을 수행하면 전자의 속도 $\vec{U}^{n+0.5}$ 를 계산할 수 있다. Faraday rotation 현상을 시뮬레이션 하고 검증한 결과는 그림 2와 같으며 해석해와 일치하였다.



$$\vec{U}_0 = \vec{U}^- \times \vec{t} \qquad \vec{t} = \frac{\vec{\omega}_c}{|\vec{\omega}_c|}\tan(\theta/2)$$
$$\vec{U}_1 = \vec{U}^- + \vec{U}_0$$
$$\vec{U}_2 = \vec{U}_1 \times \vec{s} \qquad \vec{s} = \frac{\vec{\omega}_c}{|\vec{\omega}_c|}\sin\theta$$
$$\vec{U}^+ = \vec{U}^- + \vec{U}_2$$

그림 1. Boris 알고리듬을 이용한 전자의 속도 계산 절차

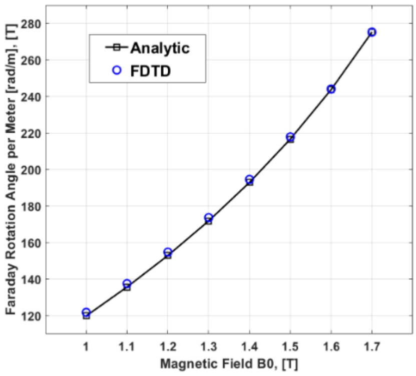


그림 2. Faraday rotation을 이용한 FDTD 코드 검증 결과

3. 결론

Boris 알고리듬과 FDTD 방법을 이용하여 자기장이 인가된 플라즈마를 효율적으로 시뮬레이션 하고 검증하였다.

Acknowledgement

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2019-0-00098, 차세대 전자파 해석 융합 소프트웨어 개발)