

# 플라즈몬 도파로를 위한 유한차 시간영역 방법의 병렬 구현

## Parallel Implementation of the Finite-Difference Time-Domain Method for a Plasmon Waveguide

전경원, 정영주\*

광주과학기술원 정보통신공학과

\*ychung@kjist.ac.kr

광전소자의 나노화 추세에 따라 광회로의 집적화를 위한 광도파로 또한 회절에 의한 한계를 극복하는 나노화가 필수적이다. 이는 평면형 광도파로, 광결정 등으로는 구현이 어려우며 나노 사이즈의 금속 입자를 이용한 플라즈몬 도파로가 주목을 받고 있다.<sup>[1]</sup> 본 논문에서는 유한차 시간영역 (FDTD) 분석의 병렬 처리를 통한 플라즈몬 도파로의 수치해석적 분석에 관해 논하고자 한다.

플라즈몬 도파로는 분산특성을 갖는 나노 크기의 금속 입자들로 이루어지고, 이들 금속 입자는 각각 작은 공진기의 역할을 하기 때문에 도파로의 동작 주파수는 이들 입자의 모양에 크게 영향을 받는다.<sup>[2]</sup> 이러한 특성을 갖는 도파로를 모의실험하기 위해서는 금속의 분산특성과 3차원적 구조물의 모양을 정확히 표현할 필요가 있다. 유한차 시간영역 (FDTD) 방법은 이러한 특징을 잘 구현할 수 있지만, 이 경우 과도한 메모리 요구량으로 인해서 일반적인 von Neumann식 아키텍처로는 이를 구현하기가 쉽지 않다. 본 연구에서는 이를 위해 Beowulf 기반의 환경에서 single-instruction multiple-data (SIMD) 아키텍처를 통해 병렬 FDTD를 구현하였다.

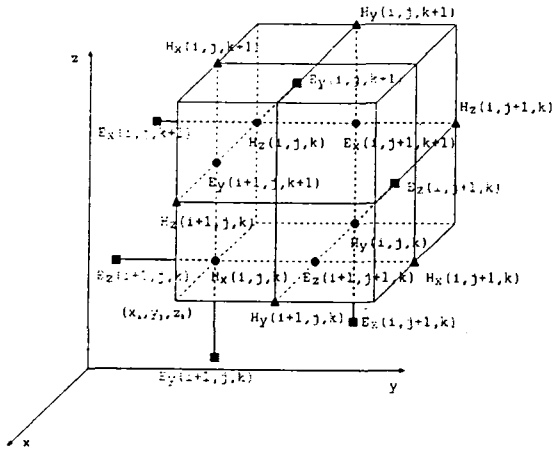
### 알고리즘과 구현

먼저 가시광선과 근적외선 영역에서 귀금속의 광학적 분산특성을 표현하기 위해서 Yee 알고리즘의 전기장 업데이트 알고리즘과 Drude 모델로부터 유도한 유전율을 constitutive relation을 통해 결합하였다. 기존의 업데이트 알고리즘은 자기장으로부터 전기장을 바로 업데이트하지만, 새로운 업데이트 알고리즘은 자기장으로부터 전기선속을 업데이트하고, 이 전기선속을 이용해 전기장을 다시 업데이트한다. 3차원 FDTD 알고리즘에 필요한 메모리 요구량은 Message Passing Interface (MPI)를 이용한 병렬구현을 이용해 해결하였다. 병렬화에 따른 프로그램 구조의 복잡성을 해소하기 위해서 기존의 Yee 격자를 [그림 1]과 같이 변형하였다. 각각의 계산 노드에는 이 격자로 구성된 직육면체 형태의 계산영역이 할당된다. 각 노드의 경계면에 위치한 사각형 점들은 자기장을 업데이트하기 전에 이웃한 노드에서 값들을 받아오는 반면 경계면에 위치한 삼각형 점들은 전기장을 업데이트하기 전에 이웃한 노드에서 값들을 받아온다. 이와 같은 격자구조를 사용할 경우 계산영역 마주보는 경계면의 경계조건이 달라지지만, 각 노드의 프로그램 구조는 일관성을 유지할 수 있다.

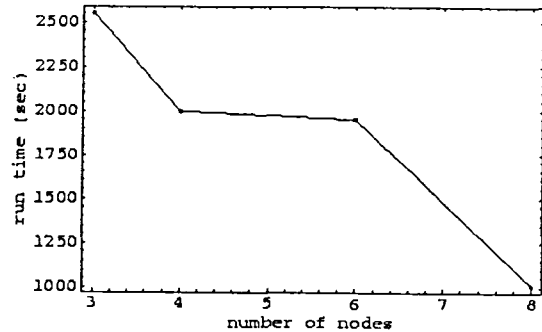
### 적용과 결과

구리 혹은 금으로 이루어진 플라즈몬 도파로를 앞서 구현한 FDTD를 이용해 가상실험한 결과, 기존의 결과<sup>[3]</sup>와 동일한 범위를 갖는 결과를 산출할 수 있었다. 가상실험에 사용한 도파로는 9개의 지름 50nm 귀금속 구입자를 중심 간격 75nm로 배열한 구조를 가지고 있다. [그림 3]은 플라즈몬 도파로의

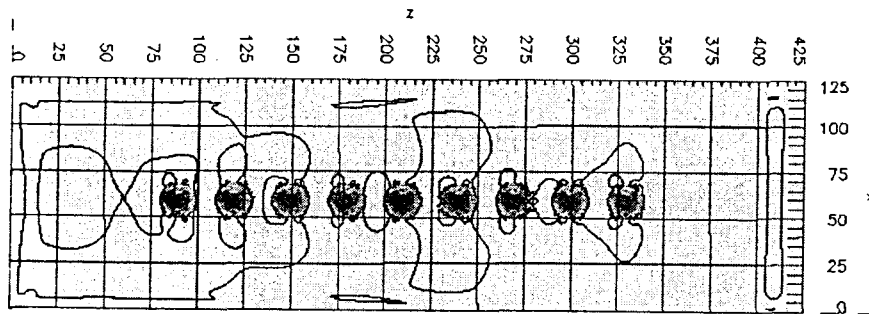
전자가 에너지 유폐(幽閉) 현상을 보여준다. 플라즈몬 모드의 전송 손실은 2~4dB/100nm 정도의 결과를 보여주었는데, 이는 기존의 결과와 동일한 범위이다. 병렬 구현을 통한 계산 성능의 향상과 결과의 동일성을 확인하기 위해서 위의 시스템을 3, 4, 6, 8개의 노드에 나눠서 계산했고 모든 경우에 동일한 결과를 산출했다. 계산 노드의 수에 따른 계산 성능의 증가는 나누어진 계산 영역의 모양에 관계하긴 하지만, 일정한 범위 안에서 선형적인 증가를 보였다[그림 2].



[그림 1] 병렬구현을 위해 변형한 Yee 격자



[그림 2] 노드의 증가에 따른 계산 시간의 감소



[그림 3] 9개의 금 나노입자로 이루어진 플라즈몬 도파로의 가상실험 결과. Longitudinal 모드<sup>[4]</sup>의 전기장 진폭 등고선.

본 연구는 그리드 미들웨어 최적화 기술연구의 일부지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. S. A. Maier *et al.*, "Local detection of electromagnetic energy transport below the diffraction limit in metal nanoparticle plasmon waveguides," *Nature Materials*, vol. 2, pp. 229-232 (2003).
2. C. F. Bohren and D. R. Huffman, *Absorption and Scattering Light by Small Particles* (Wiley, New York, 1983).
3. S. A. Maier, P. G. Kik, and H. A. Atwater, *Phys. Rev. B*, vol. 67, no. 20, pp. 1-5 (2003).
4. M. L. Brongersma, J. W. Hartman, and H. A. Atwater, *Phys. Rev. B*, vol 62, pp. R16356-R16359 (2000)