

SEM에서 수치해석을 통한 이차전자 거동해석 및 검출기의 최적위치 선정

김지원¹, 전종업², *부경석¹, Ten Alexey-Deson¹, 박규열²

¹울산대학교 대학원 기계자동차공학부, ²울산대학교 기계자동차공학부

A Numerical Analysis on the Behavior of Secondary Electrons and Optimal Mounting Position of a Secondary Electron Detector in SEM

Ji Won Kim¹, Jong Up Jeon², *Kyeong Seok Boo¹, Ten Alexey-Deson¹ and Kyu Yeol Park²

¹Dept. of Mech. and Automotive Eng., Graduate School, Univ. of Ulsan, ²School of Mech. and Automotive Eng., Univ. of Ulsan

Key words : Scanning electron microscope, Electron detector, Secondary electron, Detection rate

1. 서론

마이크로 및 나노기술이 비약적으로 발전함에 따라 주사전자 현미경(SEM, Scanning Electron Microscope)에 대한 수요가 급격히 증가하고 있으며, 최근 들어 이러한 미세 구조물의 관찰에 필수적인 장비인 SEM 장비를 국산화하고자 국내 몇몇 연구기관에 의해 연구개발이 활발히 진행 중에 있다.^{1,2} SEM에 있어서 보다 양질의 영상을 획득하기 위해서는 시료로부터 방출된 이차전자(secondary electron) 중 가능한 한 많은 양의 이차전자가 이차전자 검출기에 도달하도록 하여야 하며, 이를 위해서는 최적의 위치에 이차전자 검출기를 장착하여야 한다. 본 논문에서는 검출기의 장착위치에 따른 이차전자의 검출율을 수치해석을 통해 시뮬레이션하였으며 그 결과에 대해 논하고자 한다.

2. 이차전자의 거동해석

SEM의 진공 챔버내 검출기의 최적위치를 선정하기 위해서는 이차전자들의 거동을 파악할 필요성이 있다. 이를 위해 본 논문에서는 전자기장 수치해석 프로그램인 Vector Fields사의 OPERA-3d를 이용하여 이차전자의 거동 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 파라미터의 기본 값으로 검출기의 신틸레이터(scintillator)와 시료간의 거리는 80.7mm, 신틸레이터의 검출기내 위치는 검출기 커버 안쪽 5.5mm 지점(기준위치), 검출기의 각도는 45°, 이차전자의 에너지는 50eV, 패러데이 케이지(faraday cage)의 인가전압은 300V, 코로나 링(corona ring)의 인가전압은 10kV를 취하였다. 테이블, 검출기 커버 및 챔버에는 각각 0V의 전압을 인가하였으며, 이차전자의 방출 각은 -90°~90°의 범위 내에서 -90°부터 3°씩 증가(총 방출 전자 수는 61개)시켰다. Fig. 1은 이상의 기본 해석 조건 하에서 이차전자의 거동해석을 수행한 결과이다. 그림으로부터 시료에서 방출된 이차전자가 어떤 궤적으로 그리며 검출기에 도달하는지 알 수 있다. 본 해석의 경우, 시료에서 방출된 61개의 이차전자 중 22개의 이차전자가 신틸레이터의 표면에 도달하였으며 이는 약 36%(=22개/61개×100%)의 검출율에 해당한다. 본 논문에서는 검출기의 최적 위치를 선정하기 위해, 상기한 해석 파라미터 중 검출기의 신틸레이터와 시료간의 거리, 신틸레이터의 검출기 내 위치, 검출기의 각도(2종류) 등의 파라미터 값을 변화시키며(변화시킨 파라미터 이외의 파라미터들의 값으로는 상기한 기본 값을 사용) 각각의 경우에 대한 검출율 시뮬레이션을 수행하였다.

3. 검출율 시뮬레이션 및 결과

검출기의 신틸레이터와 시료간 거리에 따라 검출율이 어떻게 변화하는지 파악하여 검출기의 최적 위치를 선정하기 위해 기본 해석 파라미터 값 중 검출기의 신틸레이터와 시료간의 거리를 47.2mm~195.5mm의 범위 내에서 47.2mm부터 13mm씩 증가시키며 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. Fig 2의 해석결과로부터 패러데이 케이지가 없을 때가 있을 때보다 더 높은 검출율을 보임을 알 수 있다. 또한 패러데이 케이지 유무에 관계없이 신틸레이터와

시료간의 거리가 가까워질수록 검출율이 높아짐을 알 수 있다. 이로부터 높은 검출율이 얻기 위해서는 가능한 한 신틸레이터를 시료 가까이 위치시키는 것이 바람직함을 알 수 있으나 신틸레이터(검출기)와 시료 간의 거리가 과도하게 가까워지면, 검출기에 인가된 고전압에 의해 발생된 강한 전기장이 시료에 입사되는 일차전자빔(primary electron beam)의 궤적에 영향을 줄 수 있으므로 신틸레이터(검출기)를 시료 가까이 위치시키는 데에는 한계가 있다.

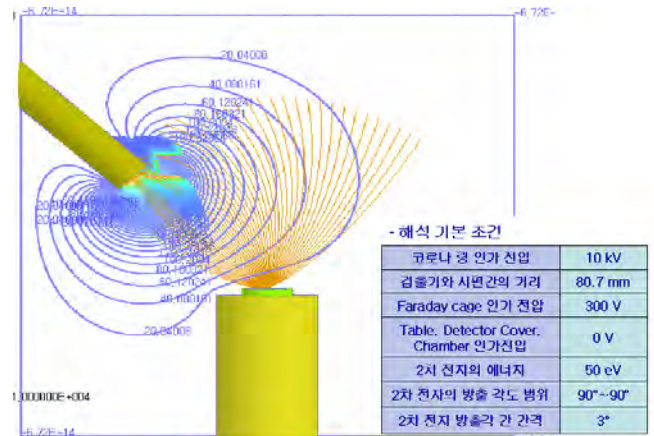


Fig. 1 A simulation result showing the equipotential lines and the behavior of secondary electrons

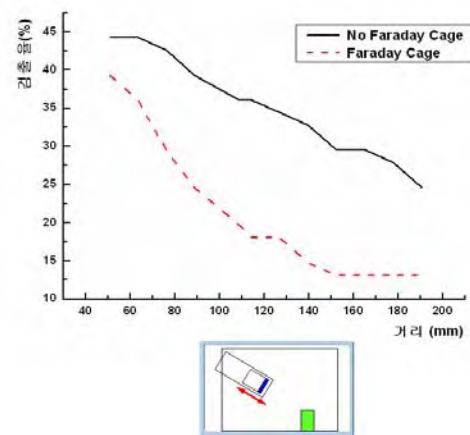


Fig. 2 Detection rate versus the distance between the scintillator (detector) and sample

신틸레이터의 검출기 커버에 대한 상대 위치에 따라 검출율이 어떻게 변화하는지 파악하여 검출기내 신틸레이터의 최적 위치를 선정하기 위해 기본해석 파라미터 값 중 신틸레이터 위치를 -27mm~63mm(기준 위치를 0으로 하고, '-'는 신틸레이터가 시료에 가까워짐을 의미하며, '+'는 시료로부터 멀어짐을 의미함)의

범위 내에서 -27mm부터 9mm씩 증가시키며 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 3으로부터 패러데이 케이지가 없을 때가 있을 때보다 높은 검출율을 보이고 패러데이 케이지가 없을 때는 기준위치에서 가장 높은 검출율을 보이며 패러데이 케이지가 있을 때는 -9mm부터 55mm까지 일정한 검출율을 보이고 있다. 따라서 패러데이 케이지가 없는 경우, 신틸레이터는 검출기 커버 안쪽 기준위치에 설치하여야 하고, 패러데이 케이지가 있는 경우에는 검출기 커버 안쪽 -9mm~55mm 구간 내에서는 어느 위치에 설치하여도 무방하다.

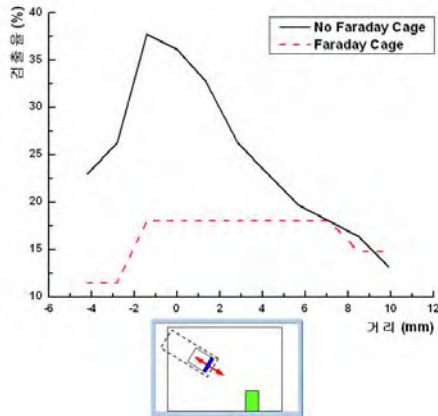


Fig. 3 Detection rate versus the relative mounting position of scintillator with respect to the detector cover

검출기 각도 변화(type 1)에 따른 검출율의 변화를 파악하여 검출기의 최적위치를 선정하기 위해 검출기와 챔버가 만나는 지점에 검출기를 고정하고 검출기의 각도를 고정점을 중심으로 0°~90°범위 내에서 0°부터 5°씩 증가하며 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. Fig 4에 나타난 바와 같이 패러데이 케이지가 없을 때가 있을 때보다 검출율이 높고 패러데이 케이지가 없을 때는 45°에서 검출율이 높으며 패러데이 케이지가 있을 때는 25°~55°에서 검출율이 높게 나타남을 알 수 있다. 따라서 검출기는 패러데이 케이지를 사용하지 않고 45°에 위치하여 검출하는 것이 가장 바람직하다.

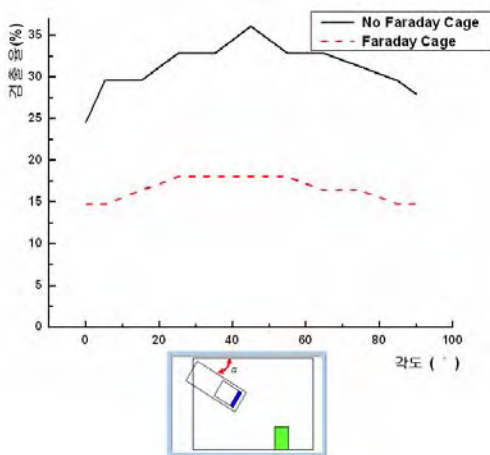


Fig. 4 Detection rate versus the mounting angle of detector(type 1)

상기한 검출기 각도 변화 방식과는 다른 방식으로 검출기의 각도를 변화시키며(type 2) 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. 즉, Fig.506

5의 밑 부분에 나타난 바와 같이 검출기가 항상 시료에 대면하는 상태를 유지하면서 검출기 전체를 회전시킴으로써 검출기의 각도에 변화를 주었다. 각도 변화는 0°~80°범위 내에서 0°부터 5°씩 증가시켰다. Fig 5는 시뮬레이션 결과이다. Fig 5로부터 패러데이 케이지가 없을 때가 패러데이 케이지가 있을 때보다 검출율이 높게 나타남을 알 수 있다. 패러데이 케이지가 없는 경우는 약 45°일 때 최대 값에 도달하며 패러데이 케이지가 있는 경우에는 약 20°일 때 최대 값에 도달한다. 패러데이 케이지가 있을 때는 패러데이 케이지가 없을 때보다 최대 값에 포화되는 각도가 작다. 따라서 패러데이 케이지를 사용하지 않고 검출기의 각도는 45°일 때 높은 검출율을 얻을 수 있다.

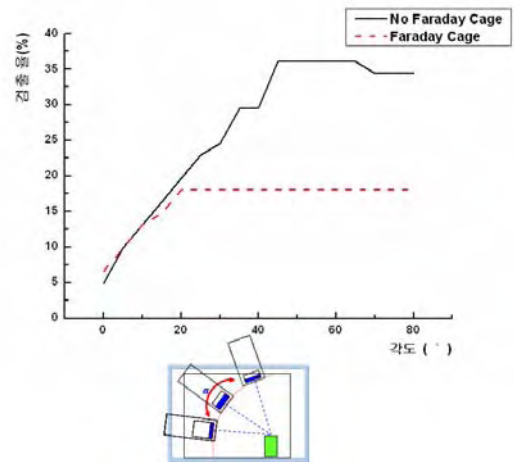


Fig. 5 Detection rate versus the mounting angle of detector(type 2)

본 논문에서는 이상에서 기술한 것 이외에도 최적의 인가전압을 선정하기 위해 코로나 링 및 패러데이 케이지의 인가전압을 변화시키며 검출율 시뮬레이션을 수행하였으며, 추가로 이차전자의 에너지에 따른 검출율 추이를 파악하고자 이차전자의 방출 에너지를 변화시키며 시뮬레이션을 수행하였다. 패러데이 케이지가 없는 경우에 검출율은 코로나 링에 인가되는 전압이 8kV일 때 최대 값에 도달하였으며 패러데이 케이지가 있는 경우에는 코로나 링의 인가전압(1kV~15kV)이 검출율과 무관함을 알 수 있었다. 또한 검출율은 50V~1000V의 범위 내에서 패러데이 케이지에 인가되는 전압이 클수록 높아짐을 알 수 있었으며, 1eV~110eV의 범위 내에서 이차전자의 에너지가 낮을수록 높은 검출율을 보임을 알 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 SEM 챔버 내 검출기의 최적위치를 선정하기 위해 신틸레이터와 시료간의 거리, 신틸레이터의 검출기 내 위치, 검출기의 각도 등의 파라미터 값을 변화시키며 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다.

후기

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업(총괄과제명: 이온빔 이용 나노가공용 장비 개발)의 위탁과제 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. 장동영의, "전계방출을 이용한 전자현미경의 설계 및 제작", 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집, 9-16, 2006.
2. 이상욱의, "SEM용 전자검출기의 설계 및 제작", 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집, 9-14, 2005.