

수치해석을 통한 SEM 챔버내의 이차전자 거동해석 및 이차전자 검출기의 최적 장착 위치 선정

부경석*, 전종업⁺

(논문접수일 2007. 10. 29, 심사완료일 2008. 3. 28)

The Behavior of Secondary Electrons and Optimal Mounting Position of a Secondary Electron Detector in SEM with a Numerical Analysis

Kyeung Seok Boo*, Jong Up Jeon⁺

Abstract

Secondary electron detectors used in scanning electron microscope accept secondary electrons emitted from the specimen and convert them to an electrical signal that, after amplification, is used to modulate the gray-level intensities on a cathode ray tube, producing an image of the specimen. In order to acquire images with good qualities, as many secondary electrons as possible should be reached to the detector. To realize this it is very important to select an appropriate mounting position and angle of the detector inside the chamber of scanning electron microscope. In this paper, a number of numerical simulations are performed to explore the relationships between detection rates of secondary electrons and the values of some parameters, such as distances between the detector and sample, relative mounting positions of scintillator positioned inside the detector with respect to detector cover, two types of mounting angles of the detector. The relationships between detection rates and applied voltages to corona ring and faraday cage, and energies of secondary electrons are investigated as well.

Key Words : Scanning electron microscope(주사전자현미경), Electron detector(전자검출기), Secondary electron(2차전자), Detection rate(검출율)

1. 서론

마이크로 및 나노기술이 비약적으로 발전함에 따라 주사

전자현미경(SEM, scanning electron microscope)에 대한 수요가 급격히 증가하고 있으며, 최근 들어 이러한 미세구조물의 관찰에 필수적인 장비인 SEM 장비를 국산화하고자 국내

* 울산대학원 기계자동차공학과
⁺ 교신저자, 울산대학교 기계자동차공학부 (jueon@ulsan.ac.kr)
주소: 680-749 울산광역시 남구 무거2동 산29번지

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. SEM은 1965년에 처음으로 상용화가 이루어진 이래⁽³⁾ 그 동안 장치 개선에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으며 현재는 주로 산업계를 중심으로 연구개발이 이루어지고 있다. 이와 같이 이차전자 검출기의 장착위치에 관한 연구를 포함하여 SEM 장비와 관련된 연구개발이 산업체를 중심으로 이루어지고 있는 까닭에 기술보안상의 문제 등을 이유로 산업체에서 자세한 연구 결과를 발표하는 것을 꺼리고 있어 연구결과에 관한 정보를 입수하기가 매우 어려운 실정이다. 즉, SEM 장비의 지속적인 국산화를 실현하기 위해 참고할 만한 기존 연구 결과를 확보하기가 매우 어려운 실정이고, 따라서 국내에서 자체적으로 한 단계씩 단계를 밟아가며 SEM 장비 관련 기술을 축적해 나아가야만 한다. 이에 본 논문에서는 SEM 장비의 성공적인 국산화에 일조하고자 시편 표면 영상의 질을 최대화하기 위한 이차전자 검출기의 최적 장착위치에 관한 연구를 수행하였으며 그 결과에 대해 논하고자 한다.

본 논문에서는 SEM 챔버 내 검출기의 최적 장착 위치를 선정하기 위해 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출기내의 신틸레이터와 시편간의 거리, 신틸레이터의 검출기 내 장착 위치, 2가지 형태의 검출기 장착 각도 등을 변화시키며 수치해석을 통해 검출율 시뮬레이션을 수행하였으며, 이 외에도 패러데이 케이지 인가전압, 코로나 링 인가전압, 이차전자 방출 에너지 등이 변화함에 따라 검출율이 어떠한 변화 추이를 보이는지에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 이차전자의 검출원리

SEM은 높은 에너지를 가지는 전자빔을 시료 표면에 조사함으로써 시료로부터 방출되는 여러 가지 전자들(이차전자, 오제이전자(auger electron), 반사전자(후방산란전자, back scattered electron), X선, 가시광선, 투과전자, 회절 전자, 흡수 전자 등) 중 주로 이차 전자(때때로 반사전자)를 검출하여 영상을 만들어 내는 장치이다^(3,4). Fig. 1은 이러한 이차전자를 검출하기 위한 검출기의 검출원리에 대한 개략도이다. 시료표면으로부터 방출된 이차전자는 패러데이 케이지(faraday cage)에 인가된 +300V의 전압에 의해 패러데이

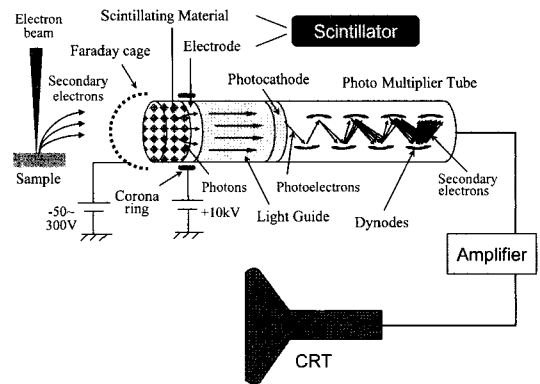


Fig. 1 Detection principle of secondary electrons

케이지 안으로 끌어들여지고, +10kV의 고전압이 인가된 코로나 링(corona ring)에 의해 가속되어 신틸레이터(scintillator)와 충돌하게 된다. 가속된 이차전자가 신틸레이터와 충돌하면 신틸레이터로부터 광자가 발생하고, 이 광자는 라이트 가이드(light guide)를 따라 이동하여 광전자증배관(PMT, photomultiplier tubes)의 광음극(photo-cathode)에 부딪치게 된다. 이 때 광음극으로부터 전자가 발생하고 이 발생된 전자는 광전자증배관 안의 다이노드(dynodes)를 거치면서 크게 증폭되어 전류 신호로 바뀌게 된다. 이 전류신호는 전류-전압 변환회로 등의 증폭회로에 의해 전압신호로 바뀌고 이를 CRT(cathode ray tube)를 통해 디스플레이함으로써 시료표면의 정보는 영상화된다.

앞에서는 패러데이 케이지를 사용한 검출기에 대하여 이차전자의 검출원리를 기술하였으나, 패러데이 케이지를 사용하지 않아도 이차전자를 검출하는 것은 가능하다. 후술하는 검출율에 대한 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 오히려 패러데이 케이지를 사용하지 않는 경우에 이차전자의 검출율이 더 높게 나타난다. 그러나, 반사전자만의 영상을 얻고자 할 경우에는 반드시 패러데이 케이지를 사용하여야 하며, 이 때 패러데이 케이지에 인가되는 전압은 음의 전압(일반적으로 -50V)이어야 한다.

3. 챔버내 이차전자의 거동해석 및 검출기의 최적위치 선정 시뮬레이션

3.1 챔버내 이차전자의 거동해석

SEM의 진공 챔버내 검출기의 최적위치를 선정하기 위하여, 이차전자들의 거동을 파악할 필요성이 있다. 이를 위해

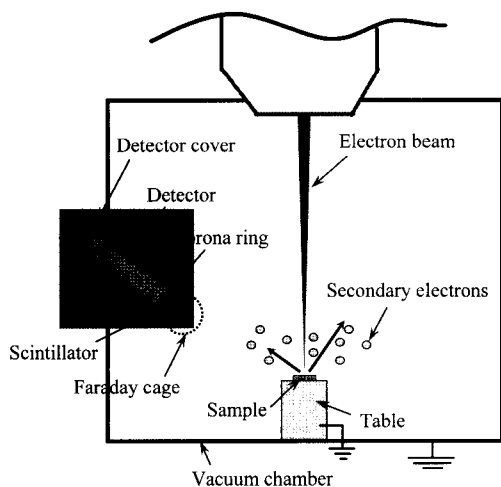


Fig. 2 Configuration of sample and electron detector inside vacuum chamber

OPERA-3D(OPERA-3D는 맥스웰방정식을 중심으로 전자 기학과 관련된 다수의 공식들의 해를 수치적으로 구하는 전자기장 해석프로그램으로, 3차원 모델러(3D modeller), 전/후처리기(pre & post processor), 다양한 정적 및 동적 해석 모듈(analysis modules)을 갖추고 있음)를 이용하여 이차전자의 거동 해석을 수행하였다. Fig. 2는 시뮬레이션에 사용된 진공챔버 내의 샘플 및 이차전자 검출기 등의 구성 및 배치를 나타낸 것이며 Table 1은 해석에 사용된 파라미터들(이 파라미터들은 추후에 그 값의 변화에 따른 검출율의 변화를 파악하는 데에 사용됨)의 기준 값을 나타낸다. 진공챔버의 크기는 반경 145mm, 높이 300mm이다. 파라미터의 기준값으로 검출기의 신틸레이터와 시편간의 거리는 80.7 mm, 신틸레이터의 검출기 내 위치는 검출기 커버(cover)의 샘플 쪽 면을 기준으로 안쪽으로 5.5mm 지점, 검출기의 장

Table 1 Basis values of simulation parameters

Parameters	Value
Distance btw. scintillator and sample	80.7mm
Relative mounting position of scintillator wrt. detector cover	-5.5mm
Mounting angle of detector	45°
Energy of secondary electron	50eV
Applied voltage to faraday cage	300V
Applied voltage to corona ring	10kV

착 각도는 45°를 취하였다. 본 시뮬레이션의 경계조건입과 동시에 해석 파라미터인 이차전자 에너지, 패러데이 케이지 인가전압, 코로나 링 인가전압의 기준값으로는 각각 50eV, 300V, 10kV를 취하였다. 또 하나의 경계조건으로 테이블 및 검출기 커버, 챔버의 전위값을 각각 0V로 하였다. 시뮬레이션을 수행하는 과정은 다음과 같다. 먼저 모델러를 이용하여 Fig. 2의 기하학적 형상을 입력한 후 메쉬(mesh) 작업을 수행한다. 본 연구에서는 OPERA-3D에서 제공하는 자동메쉬(auto mesh)기능을 이용하여 메쉬 작업을 수행하였다. 메쉬 작업이 완료된 후 상기한 경계조건을 입력하고 해석을 수행한다. 이 때 이차전자를 -90°(Fig. 2에 있어서 왼쪽 방향)에서 3°씩 증가시키며 90°까지, 총 61개를 방출시키고 그 중 검출기의 신틸레이터에 도달하는 이차전자의 수를 카운트한다. 이차전자가 방출되는 각도 및 해당 각도에서의 이차전자 방출량은 전자빔이 시편 표면에 조사되는 각도에 따라 달라지게 된다. 그러나 본 연구에서는 3.2절에서 기술하는 검출율에 관한 시뮬레이션이 검출율의 구체적인 수치보다는 파라미터 값의 변화에 따른 검출율의 변화추이를 보는 것을 목적으로 하고 있기 때문에 시뮬레이션의 간소화를 위해 -90°에서 90°까지 이차전자가 균일하게 분포되어 방출된다고 가정하였다. Fig. 3은 패러데이 케이지를 사용하지 않는 경우에 대하여 이상의 절차를 거쳐 이차전자의 거동해석을 수행한 결과이다. 그림으로부터 시편에서 방출된 이차전자가 어떤 궤적으로 그리며 검출기에 도달하는지 알 수 있다. 본 해석의 경우, 시편에서 방출된 61개의 이차전자 중 22개의 이차전자가 신틸레이터의 표면에 도달하였으며 이는 약 36%(=22개/61개*100%)의 검출율에 해당한다.

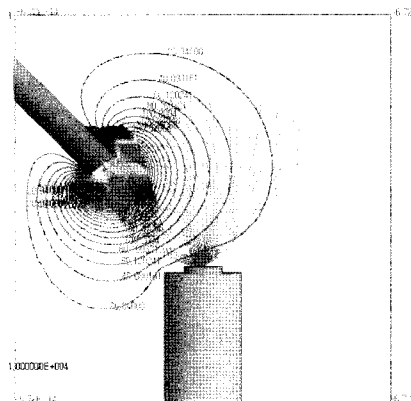


Fig. 3 A simulation result showing the equipotential lines and the trajectories of secondary electrons

3.2 검출율 시뮬레이션 및 결과

본 연구에서는 검출기의 최적 위치를 선정하기 위하여 3.1절에서 언급한 해석 파라미터 중 검출기의 신틸레이터와 시편간의 거리, 신틸레이터의 검출기 내 장착 위치, 2가지 형태의 검출기의 장착 각도 등의 파라미터 값을 변화시키며 (변화시키는 해석 변수 이외의 파라미터들의 값으로는 상기한 기준 값을 사용) 각각의 경우에 대한 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 최적의 인가전압을 선정하기 위해 패러데이 케이지의 인가전압 및 코로나 링의 인가전압을 변화시키며 검출율 시뮬레이션을 수행하였으며, 추가로 이차전자의 에너지에 따른 검출율의 추이를 파악하고자 이차전자의 방출 에너지를 변화시키며 시뮬레이션을 수행하였다. 그 해석 절차 및 결과에 대하여 기술한다.

1) 검출기의 신틸레이터와 시편간 거리에 따른 검출율

검출기의 신틸레이터와 시편간 거리에 따라 검출율이 어떻게 변화하는지 파악하여 검출기의 최적 위치를 선정하기 위해 기준해석 파라미터 값 중 검출기의 신틸레이터와 시편간의 거리를 50.6mm부터 190.5mm까지 증가시키며 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 4는 해석 결과이다. 그림으로부터 패러데이 케이지가 없을 때가 있을 때보다 더 높은 검출율을 보임을 알 수 있다. 또한 패러데이 케이지 유무에 관계없이 신틸레이터와 시편간의 거리가 가까워질수록 검출율이 높아짐을 알 수 있다. 이는 신틸레이터, 즉 검출기와 시편간의 거리가 가까워질수록 패러데이 케이지나 코로나

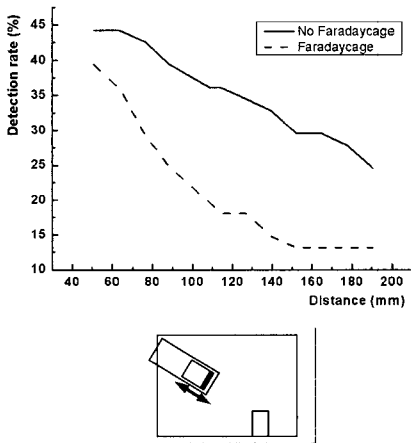


Fig. 4 Detection rate versus distance between scintillator (detector) and sample

링에 인가된 전압에 의해 생성되는 전기장이 더욱 강하게 형성되어 이차전자를 신틸레이터 쪽으로 끌어 당기는 힘이 더욱 강해지기 때문인 것으로 판단된다. 이상의 해석결과로부터 높은 검출율이 얻기 위해서는 가능한 한 신틸레이터, 즉 검출기를 시편 가까이 위치시키는 것이 바람직함을 알 수 있으나 검출기와 시편 간의 거리가 과도하게 가까워지면, 검출기의 코로나 링에 인가된 고전압 또는 패러데이 케이지에 인가된 전압에 의해 발생된 강한 전기장이 시편에 입사되는 일차전자빔의 궤적에 영향을 줄 수 있으므로 검출기를 시편 가까이 위치시키는 데에는 한계가 있다.

2) 신틸레이터의 검출기 커버 내의 장착 위치에 따른 검출율

신틸레이터의 검출기 커버 내의 장착 위치에 따라 검출율이 어떻게 변화하는지 파악하여 검출기내 신틸레이터의 최적 장착 위치를 선정하기 위해 기준해석 파라미터 값 중 신틸레이터의 검출기 커버 내의 장착 위치를 -12.6mm에서 11.7mm(신틸레이터가 검출기 커버의 샘플 쪽 면과 같은 평면에 장착되었을 때를 0으로 하고, '-'는 이를 기준으로 신틸레이터가 검출기 커버 안쪽에 위치함을 의미하며, '+'는 커버 바깥쪽에 위치함을 의미함)까지 변화시켜 가며 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 5는 그 결과이다. Fig. 5로부터 패러데이 케이지가 없을 때가 있을 때보다 높은 검출율을 보이고 패러데이 케이지가 없을 때는 신틸레이터가 검출기 커버 안쪽으로 약 5.5mm에 위치할 때 가장 높은 검출율을 보이며 패러데이 케이지가 있을 때는 -7.2mm부터 4.5mm까지 일

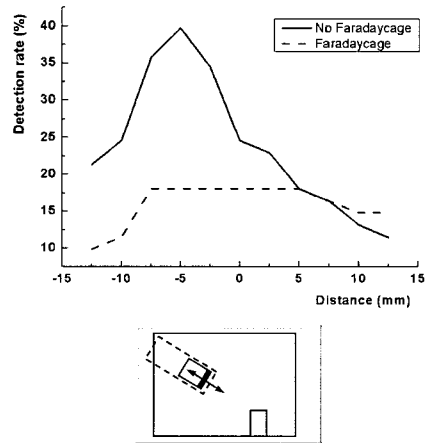


Fig. 5 Detection rate versus relative mounting position of scintillator with respect to detector cover

정한 검출율을 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 패러데이 케이지가 없는 경우, 신틸레이터는 검출기 커버 안쪽으로 5.5mm 기준위치에 설치하여야 하고, 패러데이 케이지가 있는 경우에는 -7.2mm부터 4.5mm 구간 내에서는 어느 위치에 설치하여도 무방하다.

3) 검출기의 장착 각도(type 1) 변화에 따른 검출율

검출기 장착 각도(type 1) 변화에 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 증가시켜 가며 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 6은 그 결과이다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 패러데이 케이지가 없을 때가 있을 때보다 검출율이 높고 패러데이 케이지가 없을 때는 45°에서 가장 높은 검출율을 보이며 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.

4) 검출기 장착 각도(type 2) 변화에 따른 검출율

검출기 각도 변화(type 2)에 따른 검출율의 변화를 파악하여 검출기의 최적위치를 선정하기 위해 Fig. 7의 밑 부분에 나타난 바와 같이 검출기가 항상 시편에 대면하는 상태를 유지하면서 검출기 전체를 회전시킴으로써 검출기의 각도에 변화를 주었다. 각도 변화는 0°~80°범위 내에서 0°부터 5°

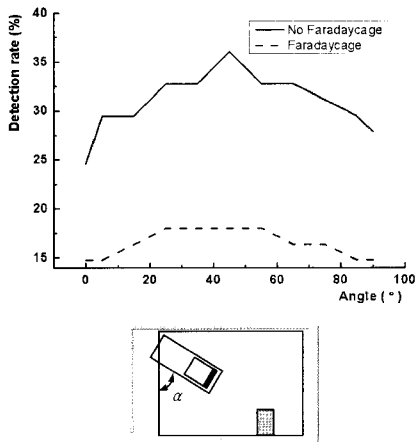


Fig. 6 Detection rate versus mounting angle of detector (type 1)

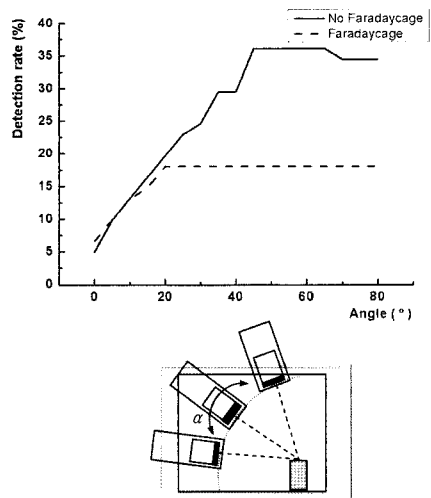


Fig. 7 Detection rate versus mounting angle of detector (type 2)

씩 증가시키며 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 7은 그 결과이다. Fig. 7로부터 패러데이 케이지가 없을 때 패러데이 케이지가 있을 때보다 검출율이 높게 나타남을 알 수 있다. 패러데이 케이지가 없는 경우는 약 45°일 때 최대 값에, 패러데이 케이지가 있는 경우에는 약 20°일 때 최대 값에 도달하였으며 이로부터 패러데이 케이지가 있을 때 패러데이 케이지가 없을 때보다 최대 값에 포화되는 각도가 작음을 알 수 있다. 이상으로부터 패러데이 케이지를 사용하지 않고 검출기의 각도를 45°보다 크게 할 때 가장 높은 검출율이 얻어짐을 알 수 있다.

5) 코로나 링 인가전압 변화에 따른 검출율

코로나 링 인가전압의 변화에 따른 검출율의 변화를 파악하여 코로나 링의 최적 인가전압을 알아보기 위해 기준해석 파라미터 값 중 코로나 링에 인가되는 전압을 1kV~15kV 범위 내에서 1kV부터 1kV씩 증가시키면서 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 8은 그 결과이다. Fig. 8로부터 패러데이 케이지가 없을 때가 패러데이 케이지가 있을 때보다 검출율이 높게 나타남을 알 수 있다. 패러데이 케이지가 없을 때는 코로나 링에 인가되는 전압이 8kV일 때 검출율이 최대 값에 도달하고 있으나 그 이하에서는 전압이 커질수록 검출율이 증가하고 있다. 이는 전압이 커질수록 이차전자를 신틸레이터 쪽으로 끌어 당기는 전기장의 세기가 커지기 때

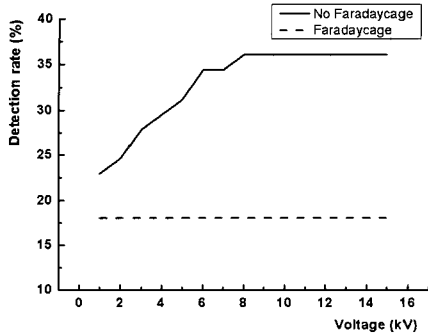


Fig. 8 Detection rate versus applied voltage to corona ring

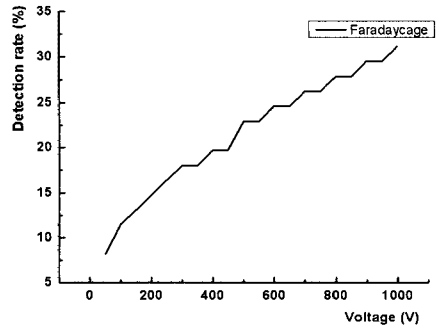


Fig. 9 Detection rate versus applied voltage to faraday cage

문인 것으로 판단된다. Fig. 8로부터 알 수 있듯이 패러데이 케이지가 있을 때 검출율은 코로나 링의 인가전압과 무관하게 일정한 값을 보이고 있다. 이는 패러데이 케이지가 코로나 링을 감싸고 있기 때문에 코로나 링에 인가된 전압에 의해 형성된 전기장이 이차전자의 거동에는 아무런 영향을 미치지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 비용, 안정성, 크기 등의 관점에서 가능한 한 저전압을 사용하는 것이 바람직하므로, 패러데이 케이지가 없을 때에는 코로나 링에 8kV 정도의 전압을 인가하면 되고(8kV 이상에서는 검출율이 일정해지므로 굳이 8kV 이상의 전압을 인가할 필요가 없음), 패러데이 케이지가 있을 때에는 코로나 링에 1kV 이하의 전압을 인가하여도 충분한 검출율을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

6) 패러데이 케이지 인가전압 변화에 따른 검출율

패러데이 케이지 인가전압의 변화에 따른 검출율의 변화를 파악하여 패러데이 케이지의 최적 인가전압을 선택하기 위해 기준해석 파라미터 값 중 패러데이 케이지에 인가되는 전압을 50V~1kV범위 내에서 50V부터 50V 증가시키며 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 9는 그 결과이다. Fig. 9로부터 패러데이 케이지에 인가되는 전압이 클수록 검출율이 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 전압이 커질수록 이차전자를 신틸레이터 쪽으로 끌어 당기는 전기장의 세기가 커지기 때문인 것으로 판단된다. 해석 결과로부터 패러데이 케이지에는 가능한 한 높은 전압을 인가하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 그러나, 지나치게 높은 전압은 시편에 입사되는 일차전자빔의 궤적에 영향을 줄 수 있으므로 전압을 높이는 데에는 한계가 있다.

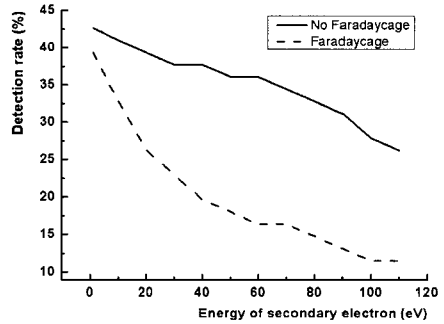


Fig. 10 Detection rate versus energy of secondary electron

7) 이차전자의 에너지에 따른 검출율

이차전자의 에너지에 따른 검출율의 추이를 파악 하고자 기준해석 파라미터 값 중 이차 전자의 방출 에너지 값을 1eV~110eV의 범위 내에서 1eV부터 10eV씩 증가시키며 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 10은 그 결과이다. Fig. 10으로부터 패러데이 케이지가 없을 때가 있을 때보다 검출율이 높고 패러데이 케이지가 있을 때와 없을 때 모두 이차전자의 에너지가 작을수록 높은 검출율을 보임을 알 수 있다. 이는 이차전자의 에너지가 작을수록 패러데이 케이지나 코로나 링에 인가된 전압에 의해 이차전자가 검출기의 신틸레이터 쪽으로 더 끌여 당겨지기 쉽기 때문인 것으로 판단된다.

4. 검출율 시뮬레이션 결과의 검증실험

앞서 수행된 검출율 시뮬레이션 결과에 대한 검증 실험을

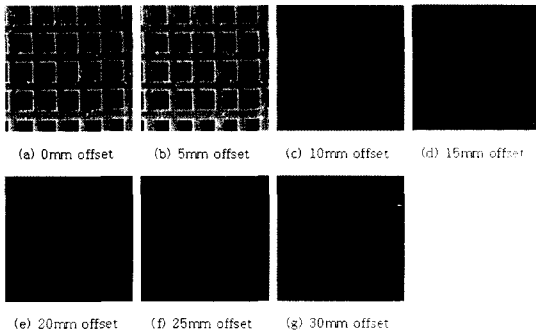


Fig. 11 SEM images acquired by changing the offset distances of detector from sample

수행하였다. 본 연구를 통해 수행된 시뮬레이션 결과에 완벽한 신뢰성을 부여하기 위해서는 Fig. 4에서 Fig. 10까지의 모든 시뮬레이션 결과에 대해 검증실험을 수행하여야 하지만, 본 저자가 처한 실험 환경의 여건상 모든 결과에 대해 검증실험을 수행하는 데에는 어려움이 있어서 본 연구에서는 Fig. 4의 검출기와 시편간 거리에 따른 검출율 시뮬레이션 결과에 한하여 검증실험을 수행하였다. 또한 시뮬레이션의 검증은 검출율의 구체적인 수치에 대한 검증이 아닌 검출율의 경향, 즉 검출기와 시편간의 거리가 멀어짐에 따라 검출율이 감소하는 경향만을 검증하는 데에 국한하였다.

Fig. 11은 검출기와 시편간의 거리를 임의의 기준거리로부터 5mm씩 30mm까지 오프셋시켜 가며, 즉 검출기를 시편으로부터 5mm씩 멀리 위치시키며 그물 망 형상의 표준시편을 측정하는 사진이다. 그림으로부터 검출기가 시편으로부터 멀어짐에 따라 영상이 점점 어두워지고 있음을 알 수 있다. 이는 검출기가 시편으로부터 멀어짐에 따라 이차전자의 검출율이 점점 떨어지고 있음을 의미하는 것으로 Fig. 4의 시뮬레이션과 같은 경향을 보이는 결과이다. 이상의 측정결과는 본 연구를 통해 수행된 시뮬레이션 결과가 충분한 신뢰성을 가지고 있음을 보여 주는 결과인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 SEM 챔버 내 검출기의 최적 장착 위치를 선정하기 위해 검출기내의 신틸레이터와 시편간의 거리, 신틸레이터의 검출기 내 장착 위치, 2가지 형태의 검출기 장착 각도 등의 파라미터 값을 변화시키며 패러데이 케이지가 있는 경우와 없는 경우 각각에 대하여 검출율 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 패러데이 케이지가 없는 경우

가 있는 경우보다 검출율이 높게 나타났다. 따라서 반사전자가 아닌 이차전자만을 검출하는 경우에는 패러데이 케이지를 사용하지 않는 것이 이차전자의 검출율을 높이는 데에 바람직하다고 할 수 있다. 또한, 시뮬레이션 결과 검출기가 시편에 가깝게 장착될수록 검출율은 높게 나타났으며, 신틸레이터의 검출기 내 장착 위치와 검출기 장착 각도(type 1)에 대해서는 검출율을 최대화시키는 최적의 값이 존재하였다. 검출기 장착 각도(type 2)의 경우에는 임의 크기의 각도 이상에서 검출율은 최대값에 포화되었다.

본 논문에서는 상기 이외에도 최적의 인가전압을 선정하기 위해 패러데이 케이지와 코로나 링의 인가전압을 변화시키며 검출율 시뮬레이션을 수행하였고, 추가로 이차전자의 에너지에 따른 검출율의 추이를 파악하고자 이차전자의 방출 에너지를 변화시키며 시뮬레이션 작업을 수행하였다. 패러데이 케이지가 없는 경우 임의 크기의 코로나 링 인가전압 이상에서 검출율은 최대값에 포화되었고 패러데이 케이지가 있는 경우 코로나 링 인가전압은 검출율에 아무런 영향을 미치지 못하였다. 또한, 패러데이 케이지를 장착한 경우 이 케이지에 인가되는 전압이 커질수록 검출율은 증가하는 경향을 보였으며 이차전자의 에너지가 커질수록 검출율은 감소하는 경향을 보였다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) Oh, H. J., Chang, D. Y., Yang, H. N., Kim, D. H., Park, M. J., Shim, C. H., and Kim, C. S., 2005, "The Development of Scanning Electron Microscopy," *Proc. KSMTE Spring Conf.*, pp. 15~18.
- (2) Park, M.-J., Kim, D. H., Kim, Y.-D., Jang, D. Y., and Han, D.-C., 2007, "Design and Control of Mini-Scanning Electron Microscope," *Proc. KSME Spring Ann. Meeting*, pp. 1271~1276.
- (3) Lee, R. E., 1993, *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- (4) Knoll, G. F., 2000, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, pp. 219~305.