

CCM 인라인 조립을 위한 CO₂ Cleaning 기초연구

*김필기¹, 정봉수¹, 유동인¹, 석종원¹, 오병준², 박병해², 손상은³
¹중앙대학교 기계공학부, ²(주)에이앤아이, ³(주)유니셈

Fundamental study of CO₂ Cleaning for CCM inline packaging

*P. Kim¹, B. S. Jung¹, D. I. Yu¹, J. Soek¹, B. J. Oh¹, B. H. Park¹, S. E. Son¹
¹Sch. of Mech. Eng., Chung-Ang Univ., ²ANI CO., LTD., ³UNISEM CO., LTD.

Key words : CCM(Compact camera module), Cryogenic CO₂ cleaning, Particle contaminants, Dry-ice, de-Laval nozzle

1. 서론

초소형 장치의 생산 공정에서 미세 오염물은 장치의 성능과 수율에 치명적인 영향을 미친다. 장비로부터의 오염 및 공정진행 중의 반응물 또는 생성물에 의한 오염 등 다양한 오염원으로부터 발생하는 파티클, 유기오염물, 금속오염물과 같은 오염물은 적절한 세정 공정을 적용하여 반드시 제거되어야 한다.¹⁾

미세 오염물을 제거하는 세정 방법은 크게 습식세정(Wet cleaning)과 건식세정(Dry cleaning)으로 나눌 수 있다. 습식세정은 물과 화학제를 이용하여 세정하는 방법으로서 대표적인 세정액에는 APM(Ammonia peroxide mix), HPM(Hydrochloric peroxide mix) 그리고 DHF(Diluted hydrofluoric acid) 등이 있다.²⁾³⁾ 반면, 건식 세정은 불활성 가스, 레이저, 플라즈마 등을 이용한 방법으로 습식세정의 단점인 각종 분위기로부터 유발되는 재오염 및 제품 손상의 예방과 저온 공정을 지향하며, 후속공정과 일관된 연속성을 유지하도록 하는 세정 방법으로서 습식 세정의 한계를 보완할 수 있는 대안으로 제시되고 있다.⁴⁾⁵⁾

CCM(Compact camera module)의 조립 공정에서도 파티클은 수율을 악화시키는 중요한 원인 중의 하나이다. 특히, 고온에서 오염된 파티클과 세정이 어려운 미세 파티클이 문제가 되고 있으며, 이러한 파티클은 조립 공정 중에 발생하기도 하지만 조립 공정에 들어가기 전에 이미 오염되어 있는 경우도 있다. 카메라 렌즈에는 고온에서 오염된 파티클이 제거되지 않은 경우가 많으며 제품의 불량률을 초래하고 있다.

본 연구에서는 CCM 인라인 조립 공정에 적합한 세정 공정을 도출하고 이를 CCM 조립 공정에 적용하기 위하여 건식 세정 중 불활성 기체인 극저온 CO₂ 세정에 대한 기초 연구를 진행하였다. 이를 위해 극저온 CO₂ 세정의 기본 메커니즘에 대해 알아보고 효율적인 장치 구성을 위한 세정 실험을 병행하였다. 또한 세정 장치의 보완 및 개선을 위한 극저온 CO₂ 분사 노즐의 원리를 연구하였다.

2. 극저온 CO₂ 세정 실험

2.1 극저온 CO₂ 세정의 원리

극저온 CO₂ 세정은 고압에서 저압으로의 유동에서 생성되는 극저온의 고체 CO₂(드라이아이스, Dry-ice)를 이용하여 파티클 간의 충돌로 인한 모멘텀 전달에 의해 미세 파티클을 제거하는 세정 방법이다.

극저온 CO₂ 세정에서는 상온 고압 상태(약 60bar)의 액체 CO₂가 노즐을 통과하여 저압의 분위기로 분사되게 되는데 이 과정에서 CO₂의 온도가 급격히 하강하여 액체 CO₂는 극저온의 기체와 고체 상태로 상변화가 일어난다.⁶⁾

노즐을 통과하면서 생성되는 2상(two-phase) CO₂는 대상 표면에 직접 분사되어 미세 파티클을 세정하게 되는데 이 과정에서 CO₂의 두 가지 상(phase) 모두 세정 작용에 중요한 역할을 한다. 고체 CO₂는 노즐 출구에서 일정 속도로 분사되어 대상 표면의 미세 파티클과 충돌하게 되고 이 때 파티클에 전달된 힘이 파티클의 대상 표면에 대한 점착력(Adhesion force)보다 큰 경우 대상

파티클은 표면으로부터 제거될 수 있다. 이러한 고체 CO₂의 모멘텀 전달은 극저온 CO₂ 세정에서 가장 중요한 세정 메커니즘이다.⁷⁾ 기체 CO₂도 항력(Drag force)을 일으켜 파티클을 제거하는 작용을 하지만 대상 표면에 경계층(Boundary layer)을 형성하여 고체 CO₂의 속도를 감속시킨다.⁶⁾ 그러므로 미세 파티클을 성공적으로 제거하기 위해서는 경계층을 통과한 고체 CO₂가 미세 파티클에 충분한 힘을 전달할 수 있도록 분사 속도, 분사각 등을 적절하게 제어하여야 한다.

극저온 CO₂ 세정은 파티클 이외에도 유기 오염물을 제거하는 효과가 있다. 고체 CO₂가 대상 표면과 충돌할 때 고체 CO₂와 표면 사이에 큰 압력이 발생하여 고체 CO₂의 일부분이 순간적으로 액체로 변하게 된다. 충돌 후 다시 튀어 오르는 과정에서는 CO₂와 표면 사이의 압력은 다시 감소하고 액화되었던 부분이 고체로 상변화 한다. 이 때 액체 CO₂는 유기물을 녹이는 용제 역할을 하고 다시 고체화된 CO₂는 유기오염물과 함께 대상 표면을 이탈하게 된다.⁸⁾

2.2 극저온 CO₂ 분사 노즐의 원리

극저온 CO₂ 세정 장치에서 분사 노즐은 고체 CO₂ 생성에서 핵심적인 역할을 한다. 액체 상태의 CO₂가 고체 CO₂로 형성되는 과정은 일종의 핵형성 과정이라고 할 수 있다. 액체 CO₂가 노즐을 통과하면 압력 강하가 발생하고 이에 따른 기체 버블의 폭발로 분산된 액체 CO₂가 상변화 하여 고체 CO₂를 생성하게 된다.

또한 노즐은 분사 속도를 증가시켜 세정력을 증대시키는 역할을 한다. 노즐은 압력에너지를 속도에너지로 변환시키는 장치이며 노즐 입구에서의 유체의 유동이 마하 수 Ma<1인 아음속유동인 경우 속도는 증가하고 압력은 감소하는 반비례 관계를 보인다. Ma=1을 제외한 모든 경우에도 이러한 반비례 관계는 항상 성립하며 이 원리를 이용한 것이 라발(de-Laval) 노즐이라 불리는 축소-확대노즐이다. 라발 노즐은 축소관-노즐 목(throat)-확대관을 통해 아음속 유동을 초음속 유동(Ma>1)으로 바꿀 수 있으며 실제 로켓 분사구등 산업의 여러 분야에 널리 응용되고 있다.⁹⁾ 극저온 CO₂ 분사노즐에도 이 원리가 적용되어 적은 유속으로도 큰 유속을 얻을 수 있어 세정력 및 세정 효율을 향상시킨다.

2.3 극저온 CO₂ 세정 장치 구성

효율적인 극저온 CO₂ 세정 조건을 구현하기 위해 Fig. 1과 같이 CO₂ 세정 장치를 구성하였다

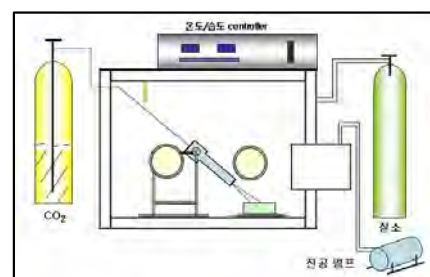


Fig. 1 Cryogenic CO₂ cleaning equipment

CO₂ 압력용기의 밸브가 열리면 액체 CO₂는 금속 호스를 통하여 2상 CO₂를 분출하는 분사장치에 도달한다. 분사 장치는 노즐과 프레임으로 구성되어 있으며 노즐에는 유량 조절 장치가 있어 이를 통해 분사 속도를 조절할 수 있다. 알루미늄 프로파일로 제작된 프레임은 노즐의 각도 및 위치를 조절할 수 있도록 구성하여 세정 실험 시 임의의 분사 각도와 분사 거리를 설정할 수 있도록 하였다. 또한 세정 실험의 행정 자동화를 위해 x-y stage를 사용하였다.

극저온 CO₂ 세정 실험을 정밀하게 하기 위해서는 외부의 환경과 분리된 청정한 분위기와 적절한 온 습도를 제어할 수 있는 공간이 필요하다. 이를 위해 Lab-scale의 세정 장치인 Cleaning chamber를 구성하였다

본 연구를 위한 Chamber의 외벽은 아크릴로 제작되었으며 상부의 온·습도 컨트롤러에서 Chamber 내부의 온·습도를 조절할 수 있게 설계하였다. 또한, Chamber 내부를 청정한 분위기로 만들기 위하여 불활성 가스인 N₂가스를 지속적으로 투입하여 Chamber 내부의 공기를 N₂ 가스로 치환하도록 하였다. 이는 공기 중 이물질의 재오염과 수분 응축 문제를 해결한다. 또한 파티클 카운터를 설치하여 N₂ 가스 치환 중의 Chamber 내부 공기의 변화를 정량적으로 파악할 수 있게 하였다.

2.4 극저온 CO₂ 세정 실험 및 결과

실험 중 외기에 의한 오염을 방지하기 위하여 다음과 같이 Cleaning chamber 내부의 분위기를 조절하였다. N₂ 가스 치환을 통해 Chamber 내의 청정도를 약 1,000 class로 유지하였으며 습도는 약 10% 내외로 설정하였고 온도는 상온인 25℃로 일정하게 유지하였다. 실험에 사용한 실리콘 웨이퍼 시편은 희석된 알루미늄 슬러리에 의해 오염되었다. 극저온 CO₂ 세정의 파티클 제거 효과를 평가하기 위하여 실험노즐 토출구와 시편 간의 CO₂ 분사거리(l)와 분사속도(v) 및 분사각(θ)에 대한 세정 실험이 진행되었고 이들 실험 파라미터와 개략도를 각각 Table. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

Table.1 Experimental parameters

분사거리	3cm	5cm	7cm
분사속도	23.5m/s	26.5m/s	28.5m/s
분사각	30°	60°	90°

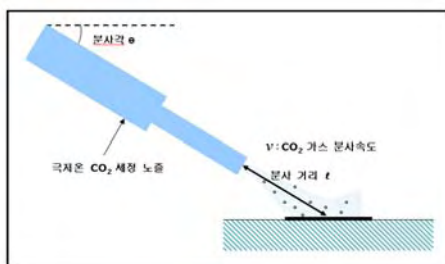


Fig.2 Schematic figure for experimental parameters

상기 세가지 실험 파라미터와 세가지 실험조건을 조합하여 총 27가지 경우에 대하여 세정 전·후의 시편 표면의 파티클을 관찰하였다. Fig. 3는 광학 현미경으로 관찰된 극저온 CO₂ 세정 전 후의 시편 사진이다. 실험 결과, 분사각 90°에서 제거되지 않은 파티클의 수가 가장 많은 것으로 관찰되었고 분사각 60°, 분사각 30° 순으로 제거 효율이 높아지는 것이 확인되었다. 실험 파라미터 중 분사속도와 분사각에 대한 파티클 제거 효과는 상호 유사한 결과를 보였다. 또한 CO₂ 내 불순물에 의한 시편의 재오염 정도는 분사각이 90°일 때 가장 많은 것으로 나타났다. 따라서 본 실험 조건 하에서는 표면의 손상 정도 및 단위 시간

당 제거 효율을 고려할 때 분사 거리는 클수록, 분사속도는 낮을수록 세정에 적절한 조건이라는 결론을 낼 수 있다.

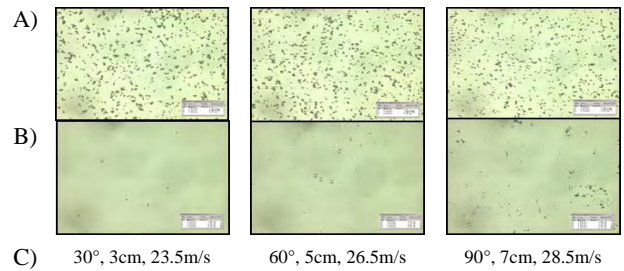


Fig. 3 Specimen images before(A) and after(B) the cryogenic CO₂ cleaning for the injection distances, angles and velocities.

3. 결론

본 연구에서는 건식 세정 중 극저온 CO₂를 이용한 세정법의 연구를 통해 CCM 인라인 조립 공정에 적합한 세정 공정을 도출하고자 하였다. 이를 위해 극저온 CO₂ 세정의 기본 메커니즘에 대한 연구를 수행하였다. 또한 효율적인 극저온 CO₂ 세정 조건을 구현하기 위해 Lab-scale의 세정 장치를 구성하고 극저온 CO₂의 분사거리, 분사속도 및 분사각을 각각 세가지 조건으로 나누어 CO₂ 세정 실험을 진행하였다.

실험 결과 분사각이 작을수록 높은 세정 효율을 보였으며 시편 손상의 최소화과 시간 당 제거 효율을 고려할 경우 본 연구에서 설정한 실험조건 내에서는 긴 분사거리와 낮은 분사속도에서 효율적인 세정 효과를 보이는 것으로 평가할 수 있었다.

한편, 본 연구에서 실험 파라미터로 설정한 분사거리, 분사속도 및 분사각 이외에도 노즐부의 기하학적 형상 등 세정 효율에 큰 영향을 줄 수 있는 다른 실험인자에 대한 연구도 추후 진행되어야 한다고 생각된다. 또한 세정 효율을 극대화하고 CCM 인라인 조립 공정의 최종 세정 조건에 실제적인 적용이 가능할 수 있도록 경제성 및 현장 적용성을 고려한 세정 장치 개발 및 개선이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 산업자원부 지원 중기거점기술개발사업("CCM 인라인 조립장비 개발")의 지원으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. W. R. Runyan , K. E. Bean, "Semiconductor Integrated Circuit Processing Technology," pp. 12-19, Addison-Wesley Publishing company.
2. A. Goetzberger, W. Shockley, J. Appl. Phys. 31, 1821, 1960.
3. W. Kern, D.A. Puotinen, RCA Rev. 31, 187, 1970.
4. T. Ohmi, J. Electroche. Soc. 2957, 143, 1996.
5. M. Itano, F. W. Kern, Jr. R. Reed, W. Roseberg. M Miyashita, I. Kawanabe, and T. Ohmi, IEEE Trans. Semic. Manuf. 5, 114, 1992.
6. S. Baberjee, A. Campbell, "Principles and mechanisms of sub-micrometer particle by CO₂ cryogenic technique", Eco-System, J. adhes. sci. technol, v19, no.9, 739-752, 2005.
7. S. Baberjee, CC Lin, H.F. Chung, "Cryogenic aerosol cleaning of photomasks", Eco-System, 2005.
8. R. Sherman, P. Adams, "Carbon dioxide snow cleaning - The next generation of clean," Precision cleaning, 1996.
9. Frank. M. White, "Fluid Mechanics", Mcgraw-Hill, 2002.