

◆특집◆ Machine Vision과 생산기술

Machine Vision을 이용한 3차원 치수측정

이상윤*, 임쌍근*

Three Dimensional Measurements Using Machine Vision

Sang-Yoon Lee*, Ssang-Gun Lim*

Key Words : 3D Measurements (삼차원 치수 측정), Optical Triangulation (광삼각법), Stereo-Vision(스테레오 비전), Moire (모아레), Meso-Technology (메조 기술)

1. 서론

머신 비전(machine vision)을 이용한 삼차원 치수 측정은 기계류 및 광학 부품들을 포함하는 정밀 가공물의 기하학적 치수 정밀도와 표면의 형상 정밀도를 검사하기 위한 생산기술로부터 출발하였으며, 당시 정밀가공을 위주로 하는 기계부품 제조산업을 주요 대상으로 하였다. 근래에는 기계부품만이 아니라 반도체와 컴퓨터 보조메모리 산업이 발달함에 따라 특수 공정에 의해 가공된 미세 패턴의 형상을 측정하기 위한 수요가 증대되고 있으며, 이 경우 요구되어지는 정밀도는 마이크로미터 이하 나노미터의 수준에 이르고 있다. 또한 비제조 사업분야에서의 수요도 급속히 증대되고 있는데, 그 대표적인 예로 의료, 의류 분야에서의 인체 측정과, 다양한 영상 매체에서 컴퓨터그래픽을 위한 삼차원 형상측정 수요 등을 들 수가 있다.

머신 비전을 이용한 삼차원 측정방법의 경우 여타 접촉식 측정방법과 비교하여 측정속도가 매우 빠르고, 복잡한 형상의 경우에도 자동 측정이 용이

하며, 프로브와의 접촉으로 인해 발생하기 쉬운 피 측정물 표면의 긁힘이나 오염 등을 방지할 수 있고, 탄/소성 변형이 쉬운 연성재료의 표면이나 박막의 경우에도 정확한 측정을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 한편으로는 측정표면의 색 변화나 반사율의 차이 등 측정 대상물의 광학적 특성에 따라 측정성능이 일정하지 않고, 각도 변화가 심한 물체의 경우 측정이 매우 어렵다는 단점을 동시에 가지고 있다.

또한, 머신 비전을 이용한 삼차원 측정 하나만을 놓고 보더라도 측정 원리와 이를 구현하는 방법에 따라 광 측정법, 슬릿빔 주사법, 영사식 모아레법, 백색광 주사 간섭법, 스테레오 비전 등 다양한 형태의 측정 방법들이 존재하며 이러한 방법들은 각기 다른 장단점들과 한계를 지니고 있다. 따라서 여타 다른 분야에서와 마찬가지로 삼차원 측정 분야에 있어서도 어느 하나의 원리를 사용한 측정 방법이 다른 측정 방법들보다 모든 경우에 있어서 항상 우월할 수는 없으며, 주어진 측정 환경과 측정 대상물에 따라 각 측정 방법들이 가지는 특징과 한계를 명확히 인식하고, 선택 가능한 모든 측정 방법들의 장단점을 비교 검토하여, 주어진 측정 목적에 가장 적합한 측정 방법을 선택하는 것만이 효율을 극대화하고 시행착오에서 오는 손실을 방지할 수 있다.

*인텍플러스 기술연구소

Tel. 042-863-8933, Fax. 042-863-8940

Email syl@intekplus.com

광학을 이용한 자동 검사장비, 삼차원 검사 장비 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

2. 측정 원리

2.1 광 측정법

광 측정법을 구현하기 위한 광학계의 구성은 Fig.1 에서와 같다. 레이저 다이오드에서 나온 레이저광이 투영 광학계를 거쳐 측정 물체 표면에 입사 되고, 표면으로부터 반사된 레이저광은 다시 결상 광학계를 거쳐 CCD의 촬상면에 하나의 광점으로 결상된다. 이때, 측정 대상물의 높이 변화에 따라 CCD 촬상면에 결상되는 광점의 위치가 변하게 되는데, 이러한 광점의 위치 변화로부터 기하학적 관계를 이용하여 광점에 대응하는 측정물체 상의 한 점의 높이 값을 구한다.

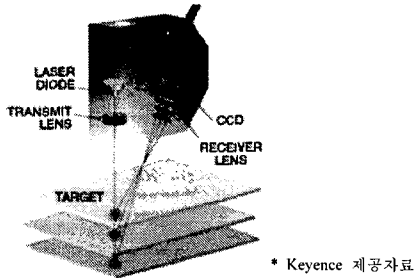


Fig. 1 Optical Stylus Probe

광점의 위치를 검출하기 위한 센서로는 CCD 대신 PSD 소자를 많이 사용되기도 하는데, PSD 소자를 사용하는 경우 응답 속도가 매우 빠르고, 전자 회로의 구성이 쉽다는 장점을 가지는 반면, 잡광의 영향에 매우 민감해져서 신호대잡음비가 떨어지는 단점 때문에 근래에는 CCD를 선호하는 추세이다.

광 측정법의 가장 큰 장점은 광학계의 구조가 간단하다는 것이다. 소형 프로브 형태로 모듈화가 가능하며, 따라서 별도의 시스템 없이 삼차원 측정기나 CNC 가공기 등 기존 장비에 쉽게 장착하여 사용할 수 있다. 또한 기존에 이미 프로브 형태로 상용화되어 판매되는 제품들이 많아서 직접 장비를 개발해야 하는 수고를 덜 수 있으며, 기본 원리가 간단하므로 측정 신뢰도 또한 높은 편이다.

반면 한번에 한 점만을 측정하므로 전체 삼차원 형상을 모두 측정하기 위해선 기계적인 XY 스캐닝 스테이지가 필요하게 되는데, 이때 구동 스테이지의 감가속 한계에 의하여 측정 속도가 제한을 받는다. 따라서 측정 속도가 비교적 느리다는 단점이

있다. 자유 곡면의 형상 측정과 같이 많은 측정점 데이터를 요구하는 경우에는 적합하지 않으며, 삼차원 측정기나, 가공기 등에 장착하여 제한된 숫자의 관리 치수만을 측정할 경우 유용하게 사용될 수 있다.

2.2 슬릿광 주사법

슬릿광 주사법은 광 측정식 방법이 가지는 단점들을 보완하기 위하여 개발된 방법으로 그 광학계의 구조는 Fig.2와 같다. 레이저 다이오드의 출력단에 원통형 렌즈(cylindrical lens)를 부착하여 레이저광을 슬릿의 형태로 퍼서 측정 물체에 주사하고, 측정 물체 표면의 높이 변화 따라 변형된 슬릿광의 영상을 결상 광학계를 통하여 CCD의 촬상면에 결상시킨다.

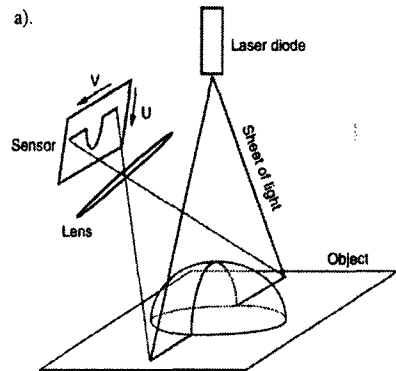


Fig. 2 Slit-beam Method

획득된 슬릿광 영상으로 부터 세선화(Thining) 작업이나 서브-픽셀링(Subpixeling) 작업을 거쳐 슬릿광의 중심 곡선을 찾은 후^[1], 광 측정식에서와 마찬가지로 기하학적 관계를 이용하여 슬릿광에 대응하는 한 단면의 높이 프로파일을 구하게 된다.

슬릿빔 방식의 경우 한번의 측정으로 하나의 단면 형상을 모두 구하므로 측정 단면의 수직한 방향으로 한 측만을 스캐닝 하면 된다. 따라서, 비교적 많은 양의 측정 데이터를 빠르게 측정할 수 있으며, 광 측정식과 마찬가지로 광학계의 구조가 매우 간단하여 소형 프로브의 형태로 다른 장비에 장착이 가능하다. 특히 압연 강판이나 타이어 고무, 펄프 등과 같이 컨베이어를 타고 연속적으로 흐르는

물체의 두께를 공정제어를 위한 측정에 많이 사용되며, 이밖에도 인체 측정, 자유 곡면의 측정 등 비접촉 삼차원 측정 전반에 걸쳐 현재 가장 널리 사용되는 방법이다. 측정 정확도는 슬릿광 중심 곡선을 찾는 방법에 따라 크게 좌우 되는데, 일반적으로 서브-픽셀링 방법이 세선화 방법보다 10배 이상 정확한 것으로 알려져 있다. 그러나, 측정 물체 표면의 색이나 반사율의 변화가 매우 심하다든지 하는 일부 열악한 측정 조건에서는 오히려 세선화 방법이 더 높은 신뢰성 보이는 경우도 있다. 측정 속도는 일반적으로 CCD 카메라의 영상 신호 전달 속도에 의해 제한을 받는데, NTSC 카메라를 사용할 경우 최대 초당 30개의 단면 형상을 얻을 수 있다. 측정 속도를 더욱 높이기 위해서 두 개 이상의 슬릿광을 동시에 사용하기도 하는데^[2], 이러한 경우엔 대신 높이 방향의 측정 영역이 그만큼 줄어들게 된다.

2.3 영사식 모아레법

영사식 모아레법^[3]의 경우, Fig.3에서 보이는 바와 같이 직선 형태의 격자를 측정 대상물에 투영시키고, 측정 대상물의 표면 형상에 따라 변형되어진 격자 무늬를 결상 광학계를 사용하여 기준 격자면에 결상한다. 기준 격자 사에서 겹쳐진 변형 격자 무늬와 기준 격자무늬는 다시 중계렌즈(Relay Lens)를 통하여 CCD 촬상면에 결상시킨다.

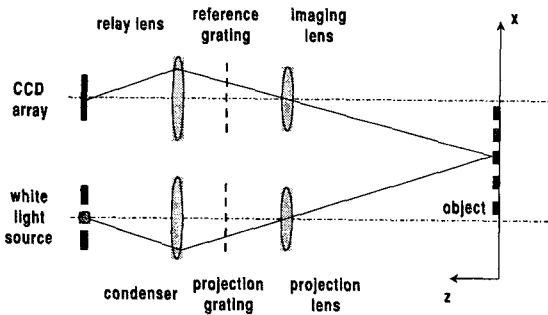


Fig. 3 Projection Moire Method

이때, 획득되어지는 영상은 측정 물체의 형상에 따라 변형된 격자 무늬와 직선의 기준 격자무늬가 서로간의 간섭을 일으켜 Fig.4와 같은 등고선 형태의 모아레 무늬를 형성하게 되는데 이러한 모아

레 무늬로부터 측정 물체의 삼차원 형상 정보를 이끌어 내는 방식을 영사식 모아레법이라 한다.

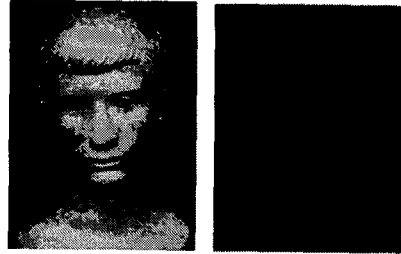


Fig. 4 Moire Fringe

정확한 측정을 위해선 격자를 일정 간격만큼 위상 이송을 시키면서 최소한 3장 이상의 영상을 획득하여 각 화소의 초기 위상을 구하는 위상 천이(Phase Shifting) 방법^[4]을 사용되며, 구해진 초기 위상으로부터 위상 펼침(Phase Unwrapping)^[5] 과정을 통하여 각 화소의 해당하는 측정 물체의 높이 데이터를 복원하게 된다.

슬릿빔 방식의 경우 한 화면의 영상 데이터로부터 한 단면의 삼차원 형상 정보만을 추출하는데 반해 모아레 방식의 경우 3장의 영상으로부터 화면 내 모든 화소의 삼차원 형상 정보를 얻는다. 따라서 측정 속도면에서 슬릿빔과는 비교할 수 없을 정도로 빠르며, 측정 정확도 면에서도 광 삼각법 보다 좋은 것으로 알려져 있다.

반면 단점으로는 위상 천이법을 적용함에 따라 필연적으로 발생하는 2π 모호성 문제^[6]로 인하여 급격한 단차를 가진 물체는 측정하기가 어렵고, 위상 펼침 알고리즘이 완벽하지 않을 경우 간혹 형상 데이터 복원에 실패하는 경우가 발생한다. 이러한 단점들을 극복하기 위하여 이중 파장 모아레법^[6]이 시도되기도 하는데, 이 경우 광학계가 복잡해 지고, 측정 속도가 저하된다는 단점이 있다.

2.4 스테레오 비전

스테레오 비전은 별도의 조명장치를 필요로 하지 않는 수동적(passive) 측정 방법으로, 그 원리는 사람이 두 눈의 시각 정보를 이용하여 물체의 원근을 인식하는 방법과 유사하다. 두 대의 CCD 카메라를 각기 다른 위치에 설치하고 동일한 대상물에 대한 영상을 획득하면 카메라가 놓여진 위치에 따라 두 영상 사이에 시각차(disparity)가 나타나게 된

다. 두 카메라로부터 멀리 떨어진 물체의 경우 시각차는 작게 나타나고 가까운 경우 크게 나타난다. 이를 삼각법을 사용하여 수학적으로 유도하면 대상물의 위치를 알 수 있게 된다. 별도의 추가 장비 없이 두 대의 CCD 카메라만으로 삼차원 형상 데이터를 측정할 수 있으므로 장치 구성이 매우 간단하고 경제적이다. 특히 능동적(active) 측정 방법의 경우에는 측정 대상물의 클 경우 전체 영역을 조명하는데 어려움이 있는데 반해 스테레오 비전의 경우 별도의 조명없이 측정 가능하므로 건물, 지형의 삼차원 형상 측정이나 이동 로봇의 장애물 회피용 시각 센서 등으로 많이 사용되고 있다. 그러나 두 영상간의 대응점(corresponding point) 추출 문제¹⁷⁾는 아직도 완벽하게 해결되지 않은 숙제로 남아 있으며, 따라서 항상 신뢰도 있는 측정 결과를 보장한다고 보기 어렵다. 측정 정확도면에서도 여타 능동적 측정 방법과 비교하여 많이 떨어지며, 계산과정이 복잡하여 형상 정보를 추출해 내는데 보통 수분에서 수십분의 계산 시간이 소요된다. 따라서 앞으로도 정확한 치수 측정을 필요로 하는 생산 공정보다는 전자 상거래, 3D 스튜디오 등 인터넷 관련 서비스 분야에 더 많은 활용이 예상된다.

3. 연구 현황 및 향후 전망

현재 머신 비전을 이용한 삼차원 치수측정 기술을 주도하고 있는 분야로는 인체 측정 분야와 반도체 패키징(Packaging) 및 표면실장에서의 삼차원 검사 분야를 들 수 있다.

의료, 의류, 신발 업계 그리고 영화 특수효과 및 전자오락을 포함하는 컴퓨터 그래픽 분야를 중심으로 인체의 부분 측정, 또는 전체 측정이 대한 관심이 고조되면서 일부 국내외 업체에서는 이미 인체의 전체 형상을 30초 이내에 비접촉 측정할 수 있는 장비들을 개발하여 상품화 하였다. 미국, 일본 등 일부 선진국에서는 이러한 전인체 측정기(Whole Body Scanner)를 이용한 국민 체형 표준화 작업에 박차를 가하고 있으며 우리나라에서도 이를 위한 컨소시엄 구성작업이 진행중인 것으로 알려져 있다. 또한, 구두 매장에서 발 형상을 측정하여 고객의 발 모양에 가장 알맞은 구두를 제공하는 맞춤형 구두사업이 조만간 현실화 될 전망이며 성형외과 정형외과, 치과 등 의료 분야에서 사용할 수 있는 부분인체 측정기도 곧 선보일 전망이다.

이를 위해 선결될 과제로는 인체 치수 추출을 위한 표준화 작업을 들 수가 있다. 머신 비전을 이용하여 인체를 측정하였을 때 나오는 일차 결과물은 소위 점 구름(Point Cloud)라고 일컫는 삼차원 점 데이터의 집합이며, 이러한 수많은 점 데이터들로부터 실제 유용한 치수, 예를 들어 허리둘레, 가슴둘레, 어깨 너비 등을 추출하는 것은 또 다른 문제를 안고 있다. 이는 측정기 생산 업체들이 독자적으로 해결할 수 있는 문제가 아니며 실수요자인 의류, 신발, 의료업계 관계자와 학계의 인체 전문가들이 서로 협력하여 해결해나가야 할 것으로 생각된다.

한편 반도체 산업 분야에서는 최근 칩(Chip)의 소형화와 다기능화에 힘입어 BGA(Ball Grid Array), CSP(Chip Scale Packaging), DCA (Direct Chip Attach)등 새로운 반도체 패키징 기술이 급속도로 확산되고 있고, 따라서 납 볼(Solder Ball)간의 등평면성(coplanarity)이 중요한 관리 치수로 등장하였으며, 이를 검사하기 위한 삼차원 검사 장비의 개발이 중요한 문제로 부각되고 있다. 이에 요구되는 검사 장비의 조건으로는 빠른 검사 속도와 장비의 신뢰도 등을 들 수가 있는데, 현재 플립 칩(Flip Chip)의 경우 시간당 웨이퍼 30장 이상을 BGA의 경우 시간당 만개 이상의 칩을 안정적으로 측정하여야 한다.

현재 해외 국내외 몇몇 업체들을 중심으로 광축 침식 방법이나 모아레법을 응용한 장비들이 선을 보이고 있는데 앞으로 반도체 공정기술의 발달로 더 빠른 측정 속도와 더 높은 측정 정확도가 요구될 경우 기존의 기술로는 원리적인 한계에 도달할 전망이며 이를 극복하기 위한 새로운 원리의 개발이 시급한 실정이다.

4. 결론

머신 비전을 이용한 삼차원 치수 측정기술을 원리별로 분류하여 각각의 장단점과 한계, 그리고 적용 가능 분야들을 살펴보고, 현재 진행되고 있는 연구의 현황 및 앞으로 해결되어야 할 문제점을 살펴보고자 한다.

지금까지의 연구가 개별적인 응용 분야를 중심으로 형상 데이터를 추출하기 위한 원리 개발 및 이를 구현하기 위한 기술 개발에 치우쳐 있었다고 한다면, 앞으로의 연구 방향은 통합적인 측면에서

기존의 측정 기술들을 원리별로 분리하고 체계화하는 측정 방법론적인 문제에 좀 더 많은 관심을 기울여야 할 것으로 생각된다. 이러한 연구가 진행되었을 경우 다양한 측정 조건, 측정 대상물, 측정 목적에 대응하여 최적의 검사 방법을 체계적으로 선택할 수 있으며, 하나의 원리만을 사용하는 것이 아닌 여러 개의 측정 원리를 복합하여 각 원리의 단점들을 서로 보완하는 새로운 원리의 개발을 기대할 수 있다.

참고문헌

1. 박현구, "슬릿광을 이용한 3차원 자유곡면 형상의 비접촉식 자동 측정 및 검사" 한국과학기술원 석사학위논문, 1994.
2. Y. Sato, H. Itagama, and H. Fujita, "Shape Measurement of Curved Objects Using Multiple Slit-ray Projections," IEEE Tran. Pat. Anal. Mach. Intel., Vol. PAMI-4, pp. 641~646, 1982.
3. Y. Yoshino and M. Tsukiji, "Moire Topography by means of a grating hologram," Applied Optics, Vol. 15, pp. 2414-2417, 1976.
4. M. Kujawinka, "Use of Phase-stepping Automatic Fringe Analysis in moire Interferometry," Applied Optics, Vol. 26, No. 22, pp. 4712-4714, 1987.
5. K. Creath, Y. Cheng and J. Wyant, "Two-wavelength phase shifting interferometry," Applied Optics, Vol. 23, pp. 4539-4543, 1988.
- 6 김승우, 최이배, 오정택, 정문식, "위상천이격자를 이용한 영사식 모아레," 한국기계학회논문집, 제22권, 제5호, pp. 850-857, 1998.
7. O. Faugeras, "Three-Dimensional Computer Vision," MIT Press, 1st ed., Chap. 6