

◆특집◆ 지능형 정밀 장비

위상천이법을 이용한 납 도포상태의 3차원 검사기술 개발

김종형*, 한세현**, 고국원***, 고경철***

Development of 3-D Inspection Technology for Solder Paste Using PMP method

Jong-Hyeong Kim*, Se-Hyun Han**, Kuk-Won Koh***, and Kyung-Cheol Ko***

Key Words : Solder Paste (납 도포), PCB(인쇄회로기판), Phase shifting projection Moire (영사식 위상천이 모아레), Phase Measurement Profilometry (PMP, 위상측정 형상측정법)

1. 서론

최근 들어 전자 기기의 소형, 경량화, 고기능화에 따라 전자 부품들이 고밀도 프린터 회로 기판(printed circuit board, PCB)에 담기 위한 표면 실장 기술(Surface Mount Technology, SMT)의 개발이 다 방면으로 진행되고 있다. 표면 실장 기술은 PCB에 만들어진 전기적 도체 표면에 칩(chip) 형상의 부품 및 평면 IC등의 표면 실장형 부품을 납 도포(solder paste)를 바른 PCB 위에 탑재 후, 접착, 시키는 방법이다.

최근 기술동향으로는, 사용 부품의 크기가 더욱 작아져 1.0mm×0.5mm 크기의 칩 부품의 사용이 보편화되고, 차츰0.6mm×0.3mm 크기의 칩 부품의 사용이 시도되고 있다. 사용 칩 부품의 크기가 작아지고 PCB상의 부품의 밀도가 높아질수록, 단위 시간당 검사해야 할량은 많아지고, 검사의 정밀도가 증가 된다. 이러한 추세로 인하여 검사 방법도 고정밀화, 고속화, 비접촉화가 요구되어지고 있다.

표면 실장 공정에서 실시되는 검사 작업 중 납 도포 검사는 최종 제품의 품질을 좌우하는 매우 중요한 공정 중에 하나이다. 모든 SMT 공정에서 납 양에 관한 불량 과납, 소납, 쇼트, 오픈, 냉땀 불량은 전체 불량의 50%-60%이상을 점유하고 있다. 특히 0.4mm이하의 미소칩(Fine Pitch) QFP, BGA, CSP, 0603같은 극소 칩의 납 불량을 해결하기 위한 최적의 해결책이 필요하다. 또한 SMT 공정의 첫 단계인 Screen Printer 관리는 경험적 감각에만 의지해 왔을 뿐 정량적인 수치관리가 없고, 이로 인하여 발생하는 불량에 조속히 대응할 수 있는 대응책도 없고 Operator별, 라인 컨디션 별로 각각 다르게 나타나는 불량에 대처할 만한 방안이 없으며, Soldering 후 검사로 불량 검출을 하는 경우 Rework 작업이 어려울 뿐만 아니라 많은 비용과 생산성 저하가 유발하게 된다.

모든 납땀 불량原因的 90%는 납 도포에 있으며, 이를 해결하기 위해서는 납 도포 상태인 미납, 과납, 무납, 위치불량, 형상불량, Bridge, Co-planarity, 형상불량 등을 검사하는 것이 필요하다. 기존의 2D 검사는 위치 불량 검사에 그치며, 납땀 불량의 주 원인이 되고 있는 납량과 관련된 검사 항목은 제대로 검출하지 못하여, 보다 고속의 정밀한 3차원 형상 측정에 대한 연구가 많은 관심을 끌고 있다.¹⁻²⁰

"모아레(MOIRE)"란 말은 처음으로 프랑스인들에 의해 불려진 단어로써 고대 중국 수입된 비단 위에 새겨진 물결무늬(wave Pattern)을 일컫는 말이다. 이렇게 불려지던 모아레는 요즘에 들어서서

* 서울산업대학교 기계설계자동화공학부

Tel: 02-970-6357, Fax: 02-974-8270

Email: johnkim@snut.ac.kr

** (주) 코영테크

Tel: 02-2107-7421, Fax: 02-2107-7426

*** 선문대학교 기계 및 제어공학부

Tel: 041-530-2348, Fax: 041-530-2981

Email: kks2309@sunmoon.ac.kr

영상 처리를 이용한 시각 검사 자동화 및 지능화, 영상처리 시스템 개발, 인공지능에 관심을 두고 연구하고 있다.

두 개 이상의 주기적인 패턴(Periodic Pattern)이 겹쳐질 때 만들어지는 간섭무늬(interference fringe)를 지칭하는 말로서 다양한 분야에서 매우 광범위하게 사용되고 있다. 이렇듯 물결무늬를 의미하는 불어에서 유래된 모아레 무늬를 좀더 학문적 정의를 내리면 비슷한 주기를 갖는 여러 개의 격자가 겹쳐질 때 맥놀이(beatting)현상에 의해 발생하는 저주파의 고유한 무늬로 정의할 수 있다.

우리가 특히 모아레 무늬의 주목하는 부분은 모아레 무늬의 변화가 실제 물체의 움직임과 상당히 증폭해서 나타낼 수 있는 것과 이 모아레 무늬의 형성과정에 따라 물체의 형상에 대한 3차원 정보를 가지고 있다는 사실이다. 이러한 무늬는 비교적 짧은 시간에 광범위한 영역에서 취득할 수 있고, 무늬 자체가 뚜렷한 특징이 있어 영상처리 측면에서도 유리한 점이 많이 있어 새로운 3차원 측정법으로 많은 실용화 연구가 진행되고 있다.^{2-4, 6,7,15,20} 그러나 아직 기준 격자를 만들기 위한 효과적인 방법이나, 측정 정밀도를 높이기 위한 연구들이 요구되고 있다.^{8, 9}

본 논문은 모아레 기법을 이용하여, PCB상의 납 도포 상태를 검사하는 시스템과 알고리즘에 대한 연구이다. 논문의 주요 내용 및 구성은 다음과 같다. 2장에서는 영사식 모아레와 그림자식 모아레를 설명한다. 영사식 모아레에서 위상 천이법을 이용하여 기준격자를 제거하는 위상천이 영사식 모아레와 위상측정 형상측정법(Phase Measuring Profilometry, PMP) 시스템에 대한 소개, 기본개념, 측정원리 그리고 PMP 법에서 기준위상과 물체위상을 구하는데 사용되는 N-Bucket 알고리즘에 대하여 설명한다.

다음 3장에선 3차원 형상 측정에 PMP의 기본 원리에 근거한 광학 시스템을 설계하고, 광학계의 측정 원리를 기하학적인 관점에서 자세히 살펴본 후 이를 위해 우선 시스템을 설계하는데 필요한 각 설계 변수들을 정의하고 관계를 식으로 유도한다.

그리고, 4장에서는 SMT 공정의 첫 번째인 스크린 프린터 이후에 발생하는 납 형상 에러들에 대하여 구체적으로 고찰하고, 구성된 시스템에 검증을 위하여 표준시편과 공정에서 사용하고 있는 납이 도포된 PCB를 대상으로 적용하여, 이에 대한 절대정밀도와 반복정밀도를 분석하였다. 끝으로 5장에서는 제안 한 방법의 결론과 향후 과제에 대해 논의 하였다.

2. 위상천이 영사식 모아레 위상측정법

2.1 위상천이 영사식 모아레의 개요

일반적으로 영사식 위상천이 모아레법(Phase Shifting Projection Moire)은 그림 1에서와 같이 조명 광 앞에 다중 직선 줄무늬가 새겨진 투영격자를 설치하고 이를 일정량씩 이송시키며 각각 얻어지는 영상들을 이용하여 형상 정보 추출에 필요한 모아레 영상을 얻어내기 때문에 격자 이송기구가 필요하다. 또한 카메라 앞에 설치된 투영격자와 동일 크기인 기준 격자의 영상이 모아레 무늬와 함께 획득되기 때문에 기준 격자 영상을 제거해야 한다. 그래서 카메라 앞에 기준격자를 사용하지 않고 물체 형상에 따라 변형된 격자 무늬만을 획득하여 형상 정보를 추출하는 방법들로는 푸리에 변환 형상 측정법(Fourier Transform Profilometry, FTP), 위상측정 형상 측정법(Phase Measuring Profilometry, 향후 PMP로 표현)등이 연구되었다. 이중 PMP에 위상천이 기법을 적용한 위상천이 PMP는 영사식 위상천이 모아레법과 마찬가지로 측정점에 따른 반사도나 조명광 불 균일성에 둔감하게 고정도의 측정이 가능하다. 하지만 영사식 위상천이 모아레법에서는 투영 격자에 수직한 투영 광축과 카메라 광축이 서로 평행하게 배치되어 해석이 용이한 반면 위상천이 PMP에서는 투영 광축과 카메라 광축이 경사지게 배치되고 있어 해석이 다소 복잡하다는 문제점이 있다.

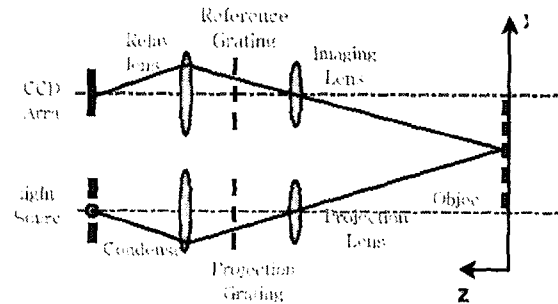


Fig. 1 Principle of Phase Shifting Projection Moire

2.2 위상천이 영사식 모아레의 이론적 해석

그림 2는 투영격자를 이용하여 측정 대상 물체에 격자 무늬를 형성하고 CCD카메라를 이용하여 이를 획득하기 위한 광학계를 나타낸다.

점 광원으로부터 투영격자상의 한 점 x_1 에 입사한 광은 투영격자를 통과한 후 측정 물체상의 한 점 $(x_0^h(x_0))$ 에 입사한다. 반사광은 필 홀 렌즈의 중심을 지나 CCD 카메라의 이미지 평면상

x_i 의 위치에 도달한다. 투영격자의 투과도 $T(x_g)$ 가 피치 g 를 주기로 갖는 다음과 같은 여현과 함수로 나타난다고 하자.

$$T(x_g) = 1 + \cos\left(\frac{2\pi}{g}(x_g + \Delta)\right) \quad (1)$$

이때 Δ 는 투영 격자의 초기위치를 나타낸다.

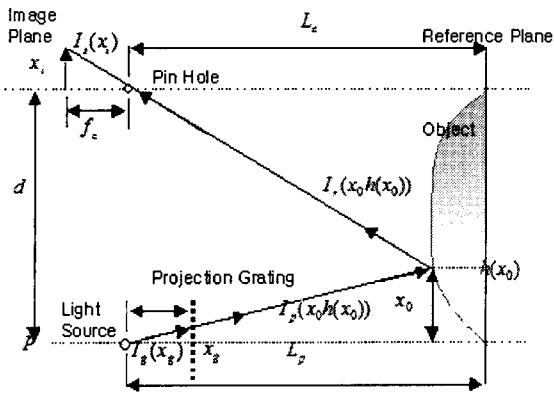


Fig. 2 Coordinate of Phase Shifting Projection Moiré

투영격자상의 한 점 x_g 에 입사하는 광의 밝기를 $I_g(x_g)$ 에 입사되는 광의 밝기 $I_p(x_0, h(x_0))$ 는 식(1)로부터 다음과 같다.

$$I_p(x_0, h(x_0)) = I_g(x_g)[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{g}(x_g + \Delta)\right)] \quad (2)$$

다음과 같은 기하학적 관계를 이용하면

$$f_p : x_g = (L_p - h(x_0)) : x_0 \quad (3)$$

$$\frac{x_g}{f_p} = \frac{x_0}{L_p - h(x_0)} \quad (4)$$

그러면 x_g 는 다음과 같이 표현된다.

$$x_g = f_p \frac{x_0}{L_p - h(x_0)} \quad (5)$$

식(5)로부터 식(2)는 다음과 같이 표현된다.

$$I_p(x_0, h(x_0)) = I_g(x_g)[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{g}\left(\frac{f_p x_0}{L_p - h(x_0)} + \Delta\right)\right)] \quad (6)$$

측정 대상물의 한 점 $(x_0, h(x_0))$ 의 반사도를 $R(x_0, h(x_0))$ 라고 할 때 CCD이미지 평면상의 한 점 x_i 에 입사하는 빛의 밝기 $I_s(x_i)$ 는 다음과 같다.

$$I_s(x_i) = R(x_0, h(x_0))I_p(x_0, h(x_0)) \quad (7)$$

$$= A_i[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{g}\left(\frac{f_p}{L_p - h_i}\left(d - \frac{x_i}{f_c}(L_c - h_i)\right) + \Delta\right)\right)]$$

여기서 다음과 같은 기하학적인 관계를 이용하면

$$f_c : x_i = (L_c - h(x_0)) : d - x_0$$

$$\frac{x_i}{f_c} = \frac{d - x_0}{L_c - h(x_0)} \quad (8)$$

x_i 에 입사하는 밝기는

$$I_s(x_i) = A_i[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{g}\left(\frac{f_p d}{L_p - h_i} - \frac{f_p}{f_c} \frac{L_c - h_i}{L_p - h_i} x_i + \Delta\right)\right)]$$

$$\text{단, } A_i \equiv R(x_0, h(x_0))I_g(x_g), \quad h_i \equiv h(x_0) \quad (9)$$

여기서 $L_p = L_c = L$, $f_p = f_c = f$ 일 경우 식(9)는 다음과 같다

$$I_s(x_i) = A_i[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{g}\left(\frac{fd}{L - h_i} - x_i + \Delta\right)\right)] \quad (10)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \frac{fd}{L - h_i} - x_i &= \frac{fd}{L - h_i} - \frac{fd}{L} + \frac{fd}{L} - x_i \\ &= \frac{fd}{L - h_i} h_i + \left(\frac{fd}{L} - x_i\right) \end{aligned}$$

이므로 $\left(\frac{fd}{L} - x_i\right) = x_i'$ 로 치환하면,

$$I_s(x_i) = A_i [1 + \cos(\frac{2\pi}{g} (\frac{fd}{L} h_i + x_i' + \Delta))] \quad (11)$$

식(11)로부터 이미지 센서로 획득된 빛의 밝기 $I_s(x_i)$ 는 측정점의 높이 h_i 에 따라 변화함을 알 수 있다. 전장에서 언급한 영사식 모아레 법은 CCD이미지 평면상에 기준격자를 설치하여 물체의 높이 정보에만 해당하는 등고선 무늬를 형성시킴으로써 높이 정보를 추출하는 방법이다.

투과도 $T_c(x_i) = 1 + \cos(\frac{2\pi}{g} x_i')$ 인 격자를 CCD이미지 평면 앞에 설치할 경우 CCD평면에 입사되는 광의 밝기는 $I_{sg}(x_i)$ 는 다음과 같다

$$I_{sg}(x_i) = T_c(x_i) I(x_i) \quad (12)$$

$$= A_i [1 + \cos(\frac{2\pi}{g} x_i')] * [1 + \cos(\frac{2\pi}{g} (\frac{fd}{L} h_i + x_i' + \Delta))]$$

식(12)을 전개하여 도출되는 곱셈 항 중 x_i' 에 무관한 모아레 무늬의 밝기 $I_m(x_i)$ 는 다음과 같이 나타난다.

$$I_m(x_i) = A_i [1 + \cos(\frac{2\pi}{g} (\frac{fd}{L} h_i + \Delta))] \quad (13)$$

점 광원 이외의 외부 조명이 있는 일반적인 경우, $\Delta = \Delta_j$ 에 대한 모아레 무늬의 밝기 I_{mij} 는 다음과 같다.

$$I_{mij} = I_m(x_i) |_{\Delta=\Delta_j} = B_i + C_i \cos(\phi_i + \frac{2\pi}{mg} \Delta_j)$$

단, $\phi_i = \frac{2\pi}{g} \frac{fd}{L} h_i$, $\phi_i \cong \frac{2\pi}{mg} \frac{d}{L} h_i, m \equiv \frac{L}{f}$ (14)

이때 ϕ_i 를 모아레 위상이라 한다. 위상천이 모아레법(Phase-Shifting Moire Topography)에서는 $\Delta_j (= \frac{g}{N} j, j=0,1,2,N-1)$ 에 대해 I_{ij} 을 측정하고 최소자승법 등을 이용하여 ϕ_i 을 구함으로써 높이 h_i 를 구한다. 이 방법의 경우 CCD이미지 평면상에 기준격자를 설치하여야 하고 식(12)와 같이

획득된 밝기 값 중에서 이미지 평면상의 위치 x_i' 에 무관한 모아레 무늬의 밝기만을 추출해야 하는 어려움이 있다.

2.3 위상측정 형상측정법

PMP법은 기준격자를 사용하지 않고 식(11)과 같은 변형 격자 무늬의 밝기로부터 물체의 높이 정보를 직접 추출하는 방식이다. 점 광원 이외의 외부 조명이 이는 일반적인 경우, $\Delta = \Delta_j$ 에 대한 변형 격자 무늬의 밝기 I_{ij} 는 다음과 같다.

$$I_{ij} = I(x_i) |_{\Delta=\Delta_j} = M_i + N_i \cos(\phi_i + \frac{2\pi}{mg} \Delta_j)$$

단, $\phi_i = \frac{2\pi}{g} \frac{d}{m} h_i + x_i', m \equiv \frac{L}{f}$ (15)

위상 ϕ_i 는 중첩위상 $\bar{\phi} = (-\pi < \bar{\phi} \leq \pi)$ 와 정수 n 에 대해 다음과 같이 표현되므로,

$$\phi_i = \frac{2\pi}{g} (\frac{d}{m} h_i + x_i') = \bar{\phi} + 2\pi n \quad (16)$$

h_i 가 0일 때 기준면 영상을 이용하여 얻은 기준 위상을

$$\phi_{im} (\equiv \phi_i |_{h_i=0} = 2\pi \frac{x_i'}{g}) \quad (16-1)$$

이라하고 측정 대상 물체에 대한 위상을 ϕ_{io} 라 할 때 두 위상 차이 ϕ_{im} 는 다음과 같으며 이는 식(14)의 모아레 위상 ϕ_i 와 같음을 알 수 있다.

$$\phi_{im} = \phi_{io} - \phi_{ir} = \frac{2\pi}{g} \frac{d}{m} h_i = \phi_i \quad (17)$$

그림 3에서 기준면을 정하고 N-bucket 알고리즘을 이용하여 기준면에 대한 위상 ϕ_o 을 구한 후 그 위에 측정하고자 하는 물체를 놓고 기준면에 대한 상대적인 위상 ϕ_o 이동량을 구한 후 식(17)을

이용하여 높이에 해당하는 위상 값을 구하게 된다.

2.4 N-bucket 알고리즘

모아래 무늬를 해석하는데 있어서 위상천이 법은 기준면 또는 측정 면을 원하는 위상만큼 이송기구를 이용해서 연속적으로 움직이면서 수광소자를 이용해서 3개 이상의 간섭무늬를 얻어서 기준 파에 대한 측정 파의 상대위상 차를 측정함으로써

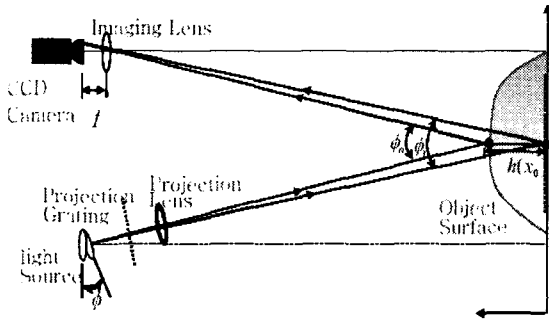


Fig. 3 Principle of Phase Measuring Profilometry (PMP)

$$h(x_0) = \phi(x_0) / 2k, \quad k = \frac{2\pi}{g} \quad (18)$$

식(18)의 관계에 의해서 높이를 측정하게 되는데 여기서 기준면과 측정면에 대한 상대위상차를 구하기 위해 2.3절에서 보인 것처럼 N-bucket 알고리즘을 사용한다.

위상천이 법을 사용할 경우 j번째로 위상을 이송한 후에 획득한 광강도를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_j = D + Dr \cos \phi \cos \delta_j + Dr \sin \phi \sin \delta_j \quad (19)$$

여기서 D는 평균 광강도를 나타내고 r은 격자의 가시성을 나타낸다. 위 식에서 광강도 I_j 위상 이송량 δ_j 에 대한 주기 2π 를 가지는 함수이므로 δ_j 를 0에서 2π 까지 N단계로 등간격으로 변화시키게 되면 광 강도는 다음과 같이 형성된다.

$$I_j = C_0 + C_1 \cos \delta_j + C_2 \sin \delta_j$$

$$\delta_j = 2\pi \frac{j-1}{N}, \quad j=1,2,3\dots N-1 \quad (20)$$

여기서

$$\begin{aligned} C_0 &= D \\ C_1 &= Dr \cos \phi \\ C_2 &= Dr \sin \phi \end{aligned} \quad (21)$$

식(20)은 평균 광강도와 δ_j 를 기본주파수로 하는 제 1차 조화 성분만을 가지는 푸리에 급수(Fourier Series)이므로 급수의 상수들은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} C_0 &= D = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I_j \\ C_1 &= Dr \cos \phi = \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N I_j \cos 2\pi \frac{(j-1)}{N} \\ C_2 &= Dr \sin \phi = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I_j \cos 2\pi \frac{(j-1)}{N} \end{aligned} \quad (22)$$

식(22)로부터 우리가 구하고자 하는 위상 ϕ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{C_2}{C_1} = \tan^{-1} \frac{\sum_{j=1}^N I_j \sin \delta_j}{\sum_{j=1}^N I_j \cos \delta_j} \quad (23)$$

식(23)은 기준면을 간섭무늬의 광강도가 형성되는 한 주기에 걸쳐서 등간격으로 이동시키면서 위상을 측정하는 임의의 N-bucket 알고리즘의 일반식이다 위의 일반 식을 이용하여 간섭무늬의 한 주기를 몇 등분하느냐에 따라서 3,4,5 버킷등의 알고리즘을 얻게 된다.

3. 납도포 검사 장치

3.1 장치 개요

제안된 시스템은 그림 4에서 보는 것처럼 크게 Projection 부와 수광부(이미지 획득) 그리고 이것을 구동하는 Algorithm으로 구성된다.

시스템은 고휘도 LED, 투영격자, Projection 렌즈, 검사대상(납이 발라진 PCB) 혹은 표준시편, CCD 카메라와 카메라 렌즈 그리고 Personal PC로

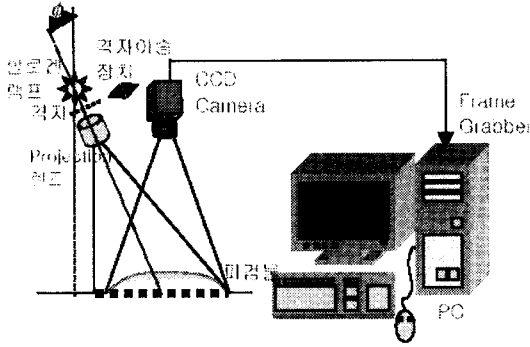


Fig. 4 Inspection Apparatus for Solder Paste

구성되며, 고휘도 LED는 일정한 각도를 갖고 격자를 비추고 격자를 통과한 빛은 Projection 렌즈를 지나 기준면을 비추게 된다. 이때 격자는 좌, 우로 이동할 수 있는 이동 메커니즘으로 설계하여 격자 1주기를 N-Bucket Algorithm에 따라 N번 등 간격으로 이송하며 Projection 된 격자는 고해상도 CCD카메라를 통해 N번 순차적으로 얻어진다. 얻은 영상은 PMP 알고리즘에 적용시켜 3차원 높이 위상을 얻게 되며 실험에선 위상을 높이값으로 변환하여 3D 이미지로 결과를 출력한다.

그림 5는 시스템의 주요 설계 변수를 보여준다. 주요 설계 변수로는 격자부터 Projection 렌즈의 중심까지의 거리(a), Projection 렌즈부터 기준평면까지의 거리(b), 격자의 주기(g), 그리고 f(Focal Length), W.D(Working Distance), FOV(Field of View)가 있다. 여기서 a, b의 거리와 따라 기준면에 영사되는 배율이 결정되며, Projection Lens 초점길이와의 기하학적인 관계에 의해서 격자 상이 기준면에 맺힐 수 있는지의 시스템 모델에서 중요한 변수가 된다. 또한 미세한 격자주기의 격자를 사용하기 때문에 설계변수의 정확도가 더욱더 요구된다. 그리고 검사영역(FOV)은 수광부의 배율과 해상도에 영향을 미친다.

3.2 광학시스템 설계 이론

광학 시스템 설계는 해석하기 용이하게 수광부와 Projection부 두 개로 나누어서 각각의 설계 변수들을 해석하였다.

3.2.1 수광부 설계 변수

수광부는 일정한 검사영역(FOV)를 중심으로 설계되었다. 인 라인 장비를 만들기 위해선 수광부 설계 변수의 많은 제약을 받는다. 먼저 렌즈

끝에서부터 기준평면까지의 거리(W.D)는 200mm가 넘으면 시스템이 부피가 커지므로 범위 내에서 설정해야 하며

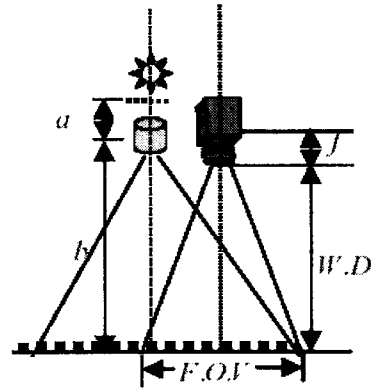


Fig. 5 Design Parameter of PMP

검사될 PCB에 특성을 고려하여 효율적인 분해능과 심도를 얻기 위해서는 배율 (= FOV / CCD size)은 3배 이하로 설정하며 시스템 전체에 비례하여 분해능이 저하되지 않는 내에서 렌즈 가격과 부피 또한 제한을 받는다.

수평 평면에 투사되는 이미지 영역 중에 격자의 가시도(visibility)가 가장 좋으며 렌즈의 왜곡이 가장 적은 영역인 이미지의 중앙 부분을 검사영역(FOV)으로 설정하며 설정된 배율을 얻기 위하여 스페이서를 가공하여 CCD 카메라와 렌즈 사이에 부착하였다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (24)$$

식(24)는 렌즈를 선택하기 위한 일반적인 공식이다. 시스템을 설계시 렌즈와 카메라 사양을 결정하기 위해 다음과 같은 방식을 적용하였다. 일단 BGA 볼(0.4mm*0.4mm)이나 차세대 부품인 0603 등에 solder 가 발라질 패드 면의 크기를 고려했을 때 최소한의 Pixel 분해능을 고려하여 CCD 카메라의 pixel Resolution을 설정하고, CCD 셀의 크기를 결정하게 되면 다음과 같이 배율을 얻을 수 있다.

$$\text{배율}(m) = \text{FOV} / \text{CCD} = \frac{25\text{mm}}{8.8\text{mm}} = 2.84 \quad (25)$$

여기서 CCD 크기는 일반적인 2/3 inch CCD 크기를 적용했으며, FOV는 25mm*20mm 수직과

수평 중에 CCD 수평으로 배율이 적용되었기 때문에 이에 맞추기 위해 FOV의 수평을 사용했다.

그리고 배율이 정해지고 W.D(200mm 미만)가 정해졌기 때문에 우리가 구하고자 하는 미지수는 b (CCD~렌즈초점)로 단축된다. b 를 구하기 위해 식2-26을 변형하면 시스템의 배율을 결정할 수 있기 때문에 다음과 같이 b 값을 결정할 수 있게 된다.

$$m = \frac{a}{b} = 2.84(m) = \frac{a}{b} = \frac{190}{b}, \quad b \cong 66.9 \quad (26)$$

b 값은 Lens 와 W.D 그리고 FOV를 줄여주는 Spacer와 서로 독립적이지 못하기 때문에 본 실험에서는 parameter들을 나열하고 변화해 가면서 System의 FOV, 배율에 만족하는 결과를 산출하였다. 결국 $b \cong 66.9$ 이므로 거리에 맞추기 위하여 65~70mm 렌즈를 사용해야 되는데 그러면 물체를 보는 화각이 매우 커지므로 이것을 고려한 50mm 렌즈와 17mm Spacer를 사용하였다.

3.2.2 Projection부 설계변수

Projection부 설계는 일정한 카메라 광 축과 수평으로 중심을 일치시킨 후 임의로 projection 중심축의 각도를 변경할 수 있도록 설계되었으며, shadow 영역을 제거하기 위하여 카메라 광축을 중심으로 좌측 또는 우측에서 projection 할 수 있도록 설계하였다.

Projection부도 마찬가지로 In-Line 시스템의 특성을 고려하여, 격자부터 기준평면까지의 거리는 전체 거리가 되므로 400mm 가 넘으면 시스템이 부피가 커지므로 그 이하로 설정해야 되며 검사될 PCB에 특성을 고려하여 효율적인 분해능을 얻기 위해서는 격자가 기준평면에 projection되는 배율은 10배 이하로 설정하며 시스템 전체에 비례하여 분해능이 저하되지 않는 내에서 렌즈 가격과 부피 또한 많은 제한이 있다.

그림 6은 실험을 위해 설계될 광학 parameter들을 보여준다. 그림 6에서 λ_{eq} 는 격자의 등가 파장으로서 모아레 시스템의 2π 모호성을 결정짓는 매우 중요한 변수이다. λ_{eq} 은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\lambda_{eq} = \tan \Phi * g * \text{배율} (m) \quad (27)$$

여기서 광 축을 따라 입사된 빛은 격자를 통과한 후 Projection렌즈를 지나 측정물체 또는 수평평면

을 비추게 된다.

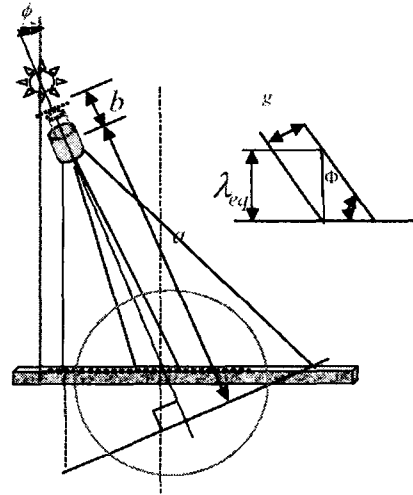


Fig. 6 Design Parameter of Projection Device

이들 중 격자의 가시도(visibility)가 좋으며 렌즈의 왜곡이 가장 적은 영역인 CCD카메라의 광 축과 맞추기 위하여 Projection렌즈와 격자의 각도를 임의로 조절할 수 있도록 설계를 하였다. 식(24)를 이용하면

$$\frac{1}{385} + \frac{1}{38.5} = \frac{1}{f}, \quad f \cong 35mm \quad (28)$$

단 이 공식에 적용할 때 격자의 위치를 CCD의 위치라 가정하고 a 와 b 를 다음과 같이 설정하였다. 이때 35mm의 렌즈를 사용하였으며, 3.5mm spacer를 추가하였으며 약간의 허용 오차를 감안하여 spacer를 2.5mm~4.5mm 까지 가변 수 있도록 안쪽에 탭을 내서 고정이 시켰다.

최종적으로 그림 7은 본 연구에서 모의 실험용 설비로 사용된 측정 시스템을 사진으로 보여주고 있다.

4. 납 형상 측정

4.1 납 도포 형상의 개요

스크린 프린터 이후에 발생하는 인쇄불량의 종류는 그림 8에서 보여주고 있다. 사용자가 요구한 값보다 적은 양의 납이 인쇄된 경우 납량이 부족하여 Soldering 후 부품이 떨어지거나 Clack이 발생할 수도 있으며 진행성 불량으로 이어지며, 사용자 요구보다 많은 양의 납이 인쇄된 경우 과

Table 1. Measurement results of solder paste sample

횟수	위치1	위치2	위치3	위치4	위치5	위치6	위치7	위치8	위치9
1	129.88	127.97	129.90	131.20	129.70	129.50	132.70	130.00	131.30
2	129.88	128.05	130.10	131.20	129.68	129.50	132.50	129.50	131.50
3	129.96	128.00	130.02	131.00	129.69	129.70	132.70	129.50	131.20
4	129.86	128.10	130.30	131.00	129.47	129.70	132.60	129.40	131.20
5	130.01	127.96	130.20	131.10	129.59	129.60	132.50	129.70	131.70
6	129.49	128.10	130.30	131.20	129.79	129.60	132.50	129.60	131.20
7	129.92	127.50	129.80	130.90	129.46	129.40	132.60	129.60	131.10
8	130.15	127.76	130.20	131.00	129.17	129.60	132.40	129.60	131.30
9	129.74	128.23	130.20	131.30	129.73	129.40	132.60	129.50	131.30
10	129.97	127.88	130.03	131.20	129.78	129.10	132.60	130.00	131.10
평균	129.89	127.95	130.13	131.15	129.61	129.55	132.60	129.60	131.35
3σ	0.53	0.614	0.482	0.34	0.578	0.52	0.29	0.63	0.58

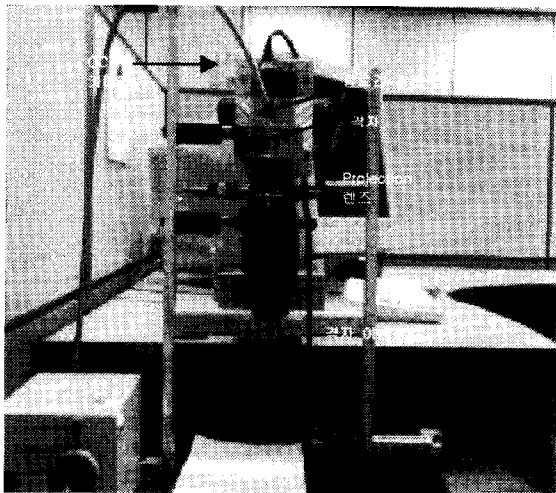


Fig. 7 Photo of Inspection Apparatus

납으로 인하여 주변은 다른 납으로 연결되어 short나 브리지 현상을 유발할 수 있다. 또한 스크린 프린터의 개구부의 막힘 등의 문제로 납이 빠져나가지 않아 Pad에 납이 인쇄되지 않는 경우 무 납이 되며, 지정한 값의 범위를 벗어난 다른 곳에 납이 인쇄된 경우를 위치 불량이라고 한다.

이러한 납 도포 불량은 정해진 위치에서 도포된 납 크립의 높이를 측정하여 판정하게 된다. 본 연구에서는 각 불량에 대한 검사 알고리즘 보다는, 실제한 검사 장치의 3차원 높이 측정의 성능 평가에 주안점을 두고자 한다.

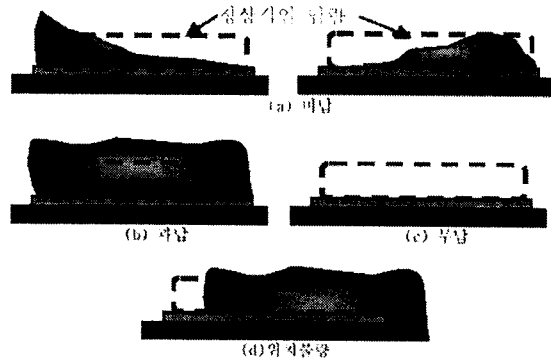


Fig. 8 Defect Sample of Solder Paste

4.2 높이 측정 실험

위상천이 영사식 모아레 기법을 이용한 본 검사 장치를 이용하여 납 도포 상태를 검사할 수 있는지 실제 납 도포 sample을 측정하여 그 성능을 검증하고자 한다. 측정 시험은 다음과 같이 진행했다. 우선 130um 의 높이의 시편을 FOV(Field of View)의 2차원 평면을 9등분한 후 9개의 위치에서 각각 실험을 해보았다. 표 1은 측정된 결과를 측정 평균값과 편차를 나타내었다. 측정 반복정밀도는 3σ [%] 기준으로 0.5 이하가 나온 것을 볼 수 있다. 절대 정밀도를 확인하기 위하여 FOV내에 임의의 위치로 이동하며 10회 반복 측정한 결과 3σ [%] 기준으로 2.7[%]이 나왔으며, 평균은 127.92um로 우수한 결과를 보인다. 실제 정상 납의 높이와 미납인 경우의 납 높이의 차이가 약 60um 정도인 것을 감안하면, 본 장치의 측정 결과는 충분히 양·불량을 구분할

수 뿐 아니라, 납의 량까지 측정할 수 있으므로 인해 보다 세밀한 분류가 가능하며, 최종적으로 PCB의 품질을 향상 시킬 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 SMT 공정의 납땜 도포 검사를 위한 위상천이 영사식 모아레 기법 (PMP)과 이를 이용한 3차원 높이를 측정할 수 있는 검사 장비 모듈 설계에 대해 기술하였다.

특히 실제 PCB 대상으로 설계 변수 들을 고찰하여 실제 값을 설정하여, 시험 장치를 구성하였다. 시편 측정 결과도 매우 우수하여, 충분히 납도포 상태의 양·불량을 구분할 수 있을 뿐 아니라, 실제 도포한 양까지 검사할 수 있다는 것을 검증하였다.

본 PMP 시스템은 사용 격자의 주기가 작을수록 정밀한 측정이 가능지만, 반면에 이것에 비례하여 기준면과 물체 면에 영사된 격자의 가시도가 떨어지기 때문에 측정의 오차가 증가하게 된다. 또한, 사용 격자의 위치 정밀도가 떨어지는 경우 입력 영상의 잡음인 줄 무늬가 나타나는 경우가 발생하는데 이러한 점은, 실제 검사 장치를 상품화 할 경우 개선되어야 할 과제이다.

참고문헌

1. Takasaki H, "Moire Topograph" Applied Optics, Vol.9 No.6 pp. 1467-1472, 1970
2. Y.Sato, H.K. Itagama and H.Futita, "Shape measurement of curved object using multiple slit-ray projection" IEEE tans. on Pat.Anal. and Mecha. intel. Vol. PAMI-4, pp. 641-646 1982.
3. M.idesawa, TYatagai, and T. Soma, "Scanning moire method and automatic Measurement of 3-D shape," Progress in Optics Vol. 26, pp.349-398,1988.
4. M.Kusawinska, "Use of phase-stepping automatic fringe analysis in Moire interferometry," App. opt. Vol. 26, No. 22, pp.4712-4714, 1987.
5. Y,B,Choi "Phase-shifting Moire Topography for Precision Measurement of 3-Dimensional Profiles. PH.D. Thesis, KAIST, 1997
6. Y.C Park, K.M. Jeong, "A Study on the Phase Measuring Profilometry with Parallel-optical -axes," Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 17. No.6, 2000
7. Park, Y. C., Jeong, K. M., Jang, S. J Park, K. K., "A Study on the Grating Projection Method using Polygon Mirror" Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 18,NO.6, June 2001.
8. Kim, S. W., "Technological Trends for Precision Optical Metrology" Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 17,NO.6, June 2000.
9. Park, Y. C., "The principle and Applications of Moire Phenomenon" Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 17, NO.6, June 2000.
10. Kim, S. W., Oh, J. T., Jung, M. S., Choi, Y. B., "Two - Wavelength Phase-Shifting Projection Moire Topography for Measurement of Three-Dimensional Profiles with High Step Discontinuities" Journal (A) of the Korean Society of Mechanical Engineering Vol. 23, NO. 7, pp.1129~1138, 1999.
11. Park, Y. C., Jeong, K. M., "Multiphase Homodyne Laser Interferometer with Four Bucket"Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 16, NO.10, October 1999.
12. Park, Y. C., Jeong, K. M., "High resolution Linear Encoder Using Interference Fringe" Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineer Vol.8, NO.4, pp.130-135, August 1999
13. Kim, S. W., Oh, J. T., Jung, M. S., Choi, Y. B., "Phase-Shifting Grating Projection Moire Topography" Journal (A) of the Korean Society of Mechanical Engineering Vol. 22, NO.5, pp.850~857, 1998.
14. Park, Y. C., Park, K. K., "A study on lattice pattern generation devices for 3-D projection profilometry" Engineering College Journal of Sunmoon University Vol.1, NO.1, June 1998
15. V. Srinivasan, Liu, H. C., Halioua "Automated phase-Measuring profilometry of 3-D diffuse Object" 15 September 1884, Vol.23, No.18 Applied Optics
16. Jingang Zhong. "Linear integer unconcerned phase-map profilometry by changing the projection angle of the grating" Optical Engineering, Vol. 40 No. 7, July 2001.
17. Jin, L. H., Y. Otani, T. Yoshizawa, "Shadow Moire profilometry by frequency sweeping" Optical Engineering, Vol. 40 No. 7, July 2001.
18. W. Li, X. Su, "Real-Time Calibration algorithm for phase shifting in phase -measuring profilometry" Optical Engineering, Vol. 40 No. 5, May 2001.
19. Mani maran Ratnam "Edge detection in a homogeneous background using the phase-shift fringe projection method" Optical Engineering, Vol. 39 No.

10, October 2000.

20. Jang, S. J., "A study on precision improvement of multi-wave phase measurement profilometry" M.S, Thesis , Sunmoon University, 2002