

SMT 공정 Nonwet 불량 인자에 대한 연구

윤찬형[†]

삼성전자 DS TSP Quality Team

A Study on the Nonwet Defective Factors of the SMT Process

Yun Chanhyung[†]

TSP Quality team, DS, Samsung Electronics Co., 158 Baebang-ro, Baebang-eup, Asan-si, Chungcheongnam-do 31489, Korea

(Received May 15, 2020: Corrected September 2, 2020: Accepted September 17, 2020)

초 록: Nonwet (Head in Pillow) 불량은 SMT(surface mount technology) 공정 불량 유형 중 하나로 이 불량은 solder paste misalign, reflow 조건, package warpage, package ball size 등과 같은 인자에 따라 불량이 발생을 한다. 이에 본 논문은 Nonwet 발생 인자 중 ① reflow 조건 ② package ball & solder paste misalign ③ package ball 크기 type에 대한 인자를 선정하여 nonwet 실험을 진행하였다. 먼저 reflow 조건의 경우 soldering 시간이 길 경우 nonwet risk가 증가를 하나, reflow 공정에 N₂를 적용할 시 solder ball 산화 억제에 따른 nonwet 개선을 확인 할 수 있었다. 또한 package ball과 solder paste misalign 발생 시 ball과 paste의 접촉 깊이가 20 μm 이하의 경우 nonwet에 취약 했으며, package ball 체면적이 작을수록 nonwet 관점 개선됨을 확인 할 수 있었다.

Abstract: Nonwet (Head in Pillow) defect is one of the defects in SMT (surface mount technology) process, the defect is caused by several factors, such as solder paste misalignment, reflow condition, package warpage and package ball size. This paper focused on ① reflow condition ② package ball & solder paste misalignment ③ package ball size for nonwet experiment. The first, on the case of reflow condition, there would be high risk of nonwet defect when the soldering time was increased, but N₂ was adopted to reflow process, there could be no or low risk of nonwet defect because of oxidation barrier control. And when the contact depth between Solder ball and solder paste was below 20 μm, there could be high risk of nonwet defect. Also smaller package ball would have low risk of nonwet defect.

Keywords: Nonwet, Head in Pillow, Small ball, Reflow, Soak time, keeping time, ball misalignment

1. 서 론

SMT(surface mount technology) 공정 중 reflow 내에서 solder ball과 solder paste 간 wetting이 되지 않고 계면 형성이 될 때 nonwet (Head in pillow) 불량이라고 일컫는다. SMT 산업에 solder가 halogen free 제품 사용 이후로 nonwet 불량이 크게 제기되어 왔으며 최근 package의 경우 경박단소화 됨에 따라 ball pitch가 미세화 되는 등 nonwet 관점 risk가 증대하고 있다.

SMT 공정 중 nonwet과 상관관계가 있는 인자는 Fig. 2와 같이 4가지를 들 수 있다.^{1,2)}

첫 번째 인자로 package ball과 paste간의 misalign을 말할 수 있다. misalign은 package가 PCB pad위로 mount 시 misalign 발생할 경우, solder paste가 PCB pad위 printing

시 misalign이 발생할 경우가 있다. 이렇게 misalign이 발생할 경우 package ball과 solder paste 간의 접촉 면적이 줄어들음에 따라 paste 안에 포함되어 있는 flux가 ball 표면의 산화막을 제거할 수 있는 능력이 떨어진다. 또한 ball과 paste간 soldering 진행 시 misalign 발생할 경우 package ball이 PCB pad위로 self-align되는데 misalign이 증가 할수록 장력 또한 감소 되어 이는 nonwet risk를 증가시킨다. 두 번째 인자로 PCB & package warpage를 말할 수 있다. 이 경우에도 고온에서 warpage가 발생할 경우 soldering이 되어야 하는 구간에서 ball과 paste간의 gap 발생으로 인하여 nonwet 관점 취약해지게 된다.

세 번째 인자로는 reflow 조건을 들 수 있다. Reflow 구간은 ball과 paste를 soldering 시켜 주는 구간을 말하며 reflow 분위기(air/N₂), soak time(paste내 flux가 ball 산화막

[†]Corresponding author

E-mail: chanhyung.yun@samsung.com

© 2020, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

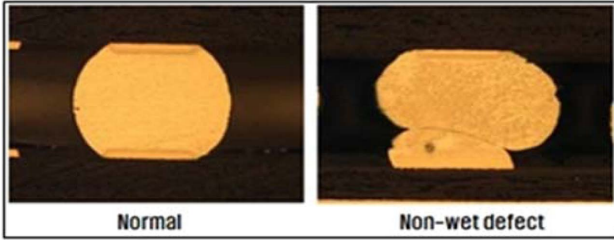


Fig. 1. Nonwet image.

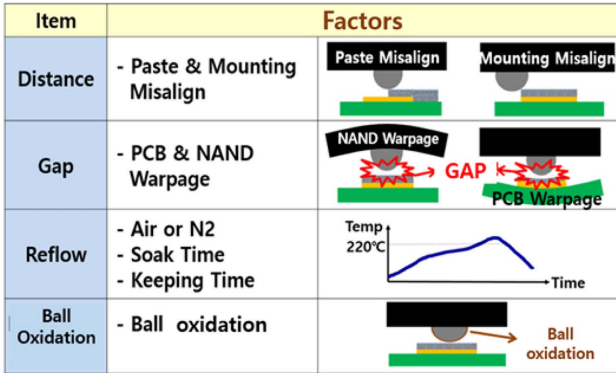


Fig. 2. Nonwet factors.

을 제거시켜주는 구간), keeping time(soldering 구간)의 조건에 따라서 nonwet 불량과 큰 연관성이 있다.

네 번째 인자로는 package ball 산화를 말할 수 있다. 산화막이 증가할 경우 soldering 시 산화막 제거 시간 및 flux 양이 증가해야 하기 때문에 nonwet 불량과 상관성이 있다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 상기와 같은 상관 인자 중 solder paste & package ball misalign에 따른 “Distance”와 “Reflow 공정”에서의 keeping & soak time, N₂조건과의 상관관계 그리고 산화막 제거 능력 비교를 위해 normal ball과 small ball을 이용한 “ball 표면적”의 인자를 선정하여 진행하였다.

2. 본 론

2.1. Nonwet 재현 평가

2.1.1. SMT scope를 통한 nonwet 재현

본 실험에 앞서 nonwet 재현을 위한 기본조건 확립이 필요하여 soldering 진행 현황을 촬영할 수 있는 SMT Scope를 이용, nonwet을 재현해 보았다. 평가 방법으로는 Fig. 3과 같이 간이 stencil을 이용 평가 PCB에 solder paste printing 한 후 package를 그 위에 올리고 각 reflow 조건 별로 평가를 하여 nonwet 재현 평가 진행을 하였다. 그 결과 Fig. 4와 같이 reflow 기준에서 구간별 time을 증가하여 평가 진행을 하였으나 nonwet 발현이 어려워 가혹 조건으로 reflow 전 aging공정 (solder paste 내 flux를 증발)을 추가하여 평가 진행을 하였으며 그 결과 200°C aging 공정 5분 진행 시 nonwet이 재현됨을 확인 하였다.

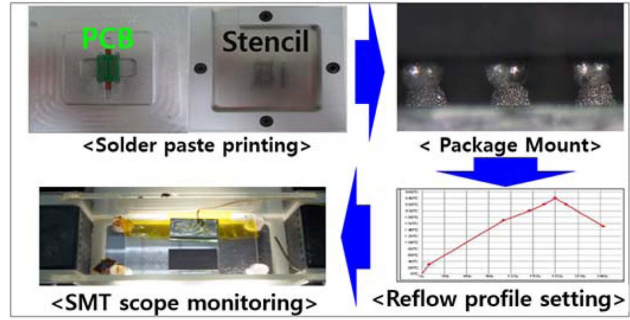


Fig. 3. SMT scope experiment process.

Condition	Aging Time	Reflow time					Nonwet
		30~170°C (sec)	170~200°C (sec)	200~220°C (sec)	220°C ↑ (sec)	Max Temp.	
Spec	X	70~140	20~50	-	25~50	235~245°C	
Reg1	X	100	35	20	30	240°C	X
Reg2	X	100	70	20	30	240°C	X
Reg3	X	100	70	20	70	240°C	X
Reg4	3min	100	35	20	30	240°C	X
Reg5	5min	100	35	20	30	240°C	O

■ Stencil design
Thickness : 0.1mm, shape : Square, size : 0.5mm x 0.5mm

Fig. 4. results of SMT scope nonwet experiment.

이와 같이 재현 조건을 수립한 후에 본 연구에서 선정된 nonwet 인자 간의 상관관계 평가를 진행할 수 있었고, nonwet 발생 시의 soldering 동영상을 확보하여 nonwet 거동을 확인 할 수 있었다.

2.1.2. nonwet 평가 기본 조건 수립

SMT 공정 내 nonwet 발생 상관 인자를 동일한 조건으로 비교평가를 하기 위해서 nonwet 발생 할 수 있는 공정을 찾기 위하여 평가를 진행 하였다. 먼저 package는 11.2 mm × 14 mm, 108BGA (450 μm ball attach, ball간격 0.8 mm)를 사용하였다. 또한 PCB의 경우 reflow 진행 시 warpage가 발생하여 nonwet 발생 noise를 유발할 수 있다. 이런 noise 제거하기 위해 Fig. 5와 같이 평가용 PCB (pad size 400 μm)를 SMT 진행 시 고온 변형에 강한 durostone Jig 위에 PCB를 loading하고 내열 tape을 이용하여 고정 후 평가 진행을 하였다. 또한 nonwet을 쉽게 발생 시킬 수 있도록 paste volume 최소화를 위해 stencil open size(circle 250 μm or 300 μm)를 축소하였으며, reflow 조건은 평가 인자에 해당됨에 따라 normal 기준(30~170 °C: 70~140 sec, 170~200°C: 20~50 sec, 220°C 이상: 25~50 sec, Max: 235~245°C)으로 setup 하였으며, reflow 전 aging time 별 평가를 진행하였다. 그 결과 paste aging을 130 °C, 20분까지 진행함에도 불구하고 nonwet 미 발생됨에 따라, 이 조건을 nonwet 기본(normal) 조건으로 지정하였다.

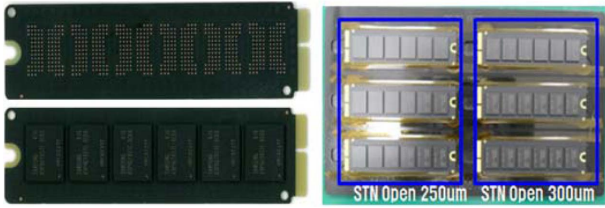


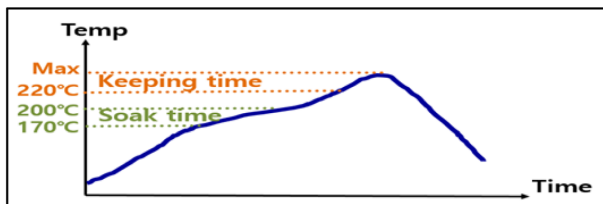
Fig. 5. Board & Jig of nonwet experiment.

2.2. Reflow 조건 별 nonwet 거동 분석

본 평가에서는 paste내 flux가 산화막을 제거시켜 주는 soak 구간(170~200°C), soldering 되는 keeping 구간(220°C 이상) 시간을 기준으로 Fig. 6과 같이 평가 온도를 setup 하였다.

평가 결과 Fig. 7에서 보여주듯이 soak time이 증가 할 수록 nonwet 불량률이 증가하였는데 그 이유로는 soldering 진행 전 flux가 산화 됨에 따라 soldering 시 flux가 ball산화막 제거 능력이 취약해져 nonwet 불량률이 증가함을 알 수 있었다

또한 keeping time(soldering 구간)이 증가할수록 nonwet 발생이 증가함을 알 수 있었다. package는 고온에서 warpage가 발생하며 이때 각 ball과 PCB pad간의 거리는 달라지게 되고 고온(warpage가 가장 심한 경우)에서 일부 ball은 Fig. 9의 모식도처럼 solder paste와 접촉이 이루어 지지 않는다. Ball이 paste에 접촉하지 않을 경우 solder



Reflow time				
Temp.	30~170°C (sec)	170~200°C (sec)	220°C ↑ (sec)	Max Temp.
Spec.	70~140	20~50	25~50	235~245°C
Normal	108	34	41	240.7
Soak	98	51	39	240.3
	104	76	44	241.1
Keeping	106	41	72	239.7
Soak + Keeping	98	88	68	241.6

Fig. 6. Reflow temperature condition.

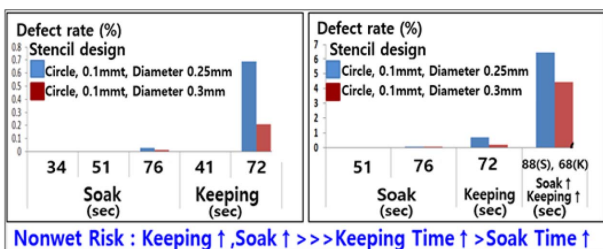


Fig. 7. Result of reflow experiment.

paste 내 flux가 ball의 산화막을 제거를 해주는 기능이 떨어지고 ball의 산화막이 증가함에 따라 keeping time (soldering 시간)이 증가할수록 nonwet 불량률이 증가함을 확인하였다.

이와 같이 keeping time 증가에 따른 nonwet 불량률은 실 사례로 field 불량에서 확인 할 수 있었다. Fig. 10이 그 대표적인 사례이며 reflow 조건 확인 시 긴 keeping time이 nonwet 불량을 가속화 하였다고 볼 수 있었다.

Reflow 조건 중 nonwet을 가장 쉽게 개선 하는 방법은 N₂를 적용하여 reflow 내에서 ball 산화 생성을 억제하는 방법이다. 이에 본 실험에서 nonwet 불량 가장 취약 조건 (keeping ↑, soak ↑)으로 평가 해본 결과, Fig. 11에서 보여 주듯이 N₂ 적용 할 경우(O₂농도 750 ppm) nonwet 미 발생하여 확실한 개선 조건으로 확인 되었다.

또한 N₂적용에 따른 O₂ 농도 별 평가 결과 Fig. 12에서와 같이 O₂ 농도 1,500 ppm 이하에서는 불량률이 미 발생하였으며, 1만 ppm 이상 시 nonwet불량이 발생하였다. 결론적으로 reflow 조건에 따른 nonwet 평가는 각 reflow

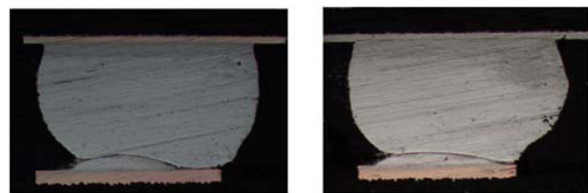


Fig. 8. nonwet image after reflow.

Temp	210°C	250°C	210°C
Package Warpage			
	-15μm	-73μm	-18μm
Solder Ball			

Fig. 9. 3D profile of package at high temperature.

Reflow time				
Temp.	30~170°C (sec)	170~200°C (sec)	220°C ↑ (sec)	Max Temp. (°C)
Spec. (No nonwet)	70~140	20~50	25~50	235~245
Field condition (Occur nonwet)	94	38	88	241.6

Fig. 10. Reflow condition when nonwet occurs on field.

O2 concentration	Air		750ppm	
Stencil diameter (Thickness : 100μm Shape : Circle)	0.25mm	0.3mm	0.25mm	0.3mm
Defect rate	6.45%	4.45%	0%	0%

Fig. 11. The results of N₂ reflow nonwet experiment.

Stencil	Open shape circle, Thickness 0.1mm, diameter 0.25mm			
O ₂ concentration	350ppm	1000~1500ppm	10,000~20,000ppm	Air
Defect rate	0%	0%	0.31%	1.54%

Fig. 12. The results of O₂ concentration reflow nonwet experiment.

zone 별 시간에 따라 nonwet 상관성이 있으나 Reflow공정에 N₂적용(O₂ 농도 1,000 ppm 이하) 시 Nonwet 관점 최적의 nonwet 개선 조건으로 확인 되었다.

2.3. Ball Misalign에 따른 Nonwet 거동 분석

SMT 공정 중 package mount 공정에서 package가 misalign발생 할 경우 ball & paste 간 거리가 발생함에 따라 접촉 면적 및 접촉 깊이가 줄어들게 된다. 이에 misalign에 따른 접촉 깊이와 nonwet 상관성에 대하여 하기와 같은 수식을 활용하여 nonwet 관점 유의 차를 확인 하였다.

$$L = r1 + r2 - \sqrt{(D + r2 - h2 - (h1 - r1))^2 + d^2} \quad (1)$$

여기에서 L은 ball & paste간의 접촉 깊이를 나타내며, r1, r2는 ball & paste의 반지름, h1 & h2는 ball & paste의 높이, d는 misalign 값, D는 soldering 후 전체 높이를 나타낸다.

L값은 paste volume 2조건(0.005 mm³, 0.007 mm³)과 ball misalign 3조건(0 μm, 50 μm, 100 μm)로 조합 하였을 시 13, 18, 20, 27, 30 μm로 확인 되었으며 이 조건으로 nonwet 평가결과 Fig. 14에서 보여주듯이 L값이 18 μm 이하일

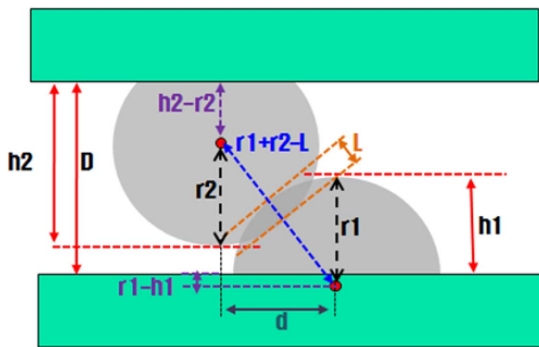


Fig. 13. L value = contact depth between solder ball and paste.

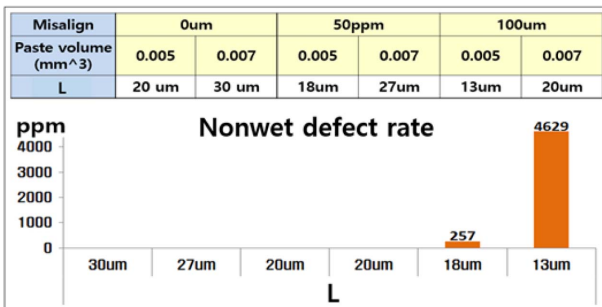


Fig. 14. The trend of nonwet rate.

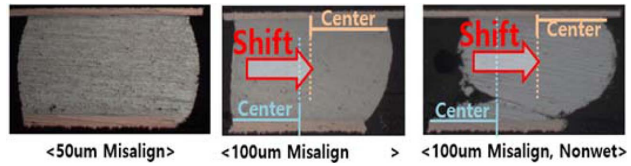


Fig. 15. Soldering images after package misalignment

때 nonwet 발생 함을 알 수 있었다. 이에 접촉 깊이를 20 μm로 한다면 misalign에 따른 nonwet 연관성 없다는 것을 확인하였다.

또한 soldering 진행 후 해당 ball X-section 결과 Fig. 15와 같이 misalign 발생한 만큼 soldering 형상 또한 package pad center와 PCB pad center가 일치하지 않고 shift 발생함을 확인할 수 있었다.

2.4. Small ball 적용에 따른 nonwet 거동 분석

현재 NAND의 경우 density 증가를 위하여 chip 수가 증가함에 따라 package 두께 만족 및 수율 향상을 위해서 다단 chip이 적용되는 고용량 package의 경우 small ball이 적용되어 있다. 이에 normal ball 대비 small ball에 대한 nonwet 관점 연구를 하게 되었다.

평가 조건은 reflow의 경우 nonwet 관점 가장 취약한 조건(keeping ↑, soak ↑)으로 진행 하였다. 또한 package는 동일 pad에 450 μm(normal), 300 μm(small) solder ball attach한 package를 사용하였으며, ball attach 후 Package ball의 height는 0.32 mm, 0.14 mm이다. 자세한 평가 조건은 비교 자료는 Fig. 16와 같다.

평가 결과 Fig. 16에서 보여주듯이 normal ball 대비

Ball type	Normal ball (attach 0.45mm solder ball)			Small ball (attach 0.3mm solder ball)	
Ball height	0.32mm			0.14mm	
Solder Ball surface area (mm ²)	0.5024 (100%)			0.2426 (48%)	
Stencil	Shape	Square	Circle	Circle	Circle
	Diameter (mm)	0.5	0.25	0.3	0.25
	Thickness (mm)	0.1	0.1	0.1	0.1
Flux volume in the solder paste (mm ³)	0.0125	0.0024	0.0035	0.0024	0.0035
Flux volume rate per ball surface area	100%	19%	28%	39%	58%
Nonwet defect rate	0%	6.45%	4.45%	0.15%	0%

Fig. 16. Small ball experiment condition.

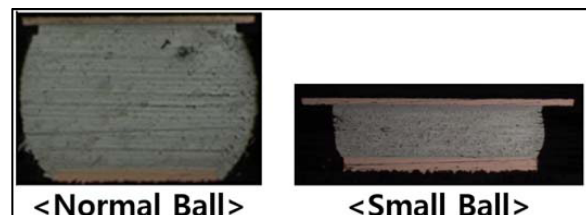


Fig. 17. Normal & small ball Soldering image.

small ball 적용제품에서 nonwet이 크게 개선된 점을 알 수 있었다. 그 원인으로는 solder ball 체면적 대비 solder paste 내 flux volume을 이야기 할 수 있다. ball에 산화막이 형성 시 paste 내 flux가 이를 제거해 주는 역할을 한다. 이에 ball의 체면적 당 flux 양이 클수록 ball 산화막을 제거하는데 더 효과적임을 알 수가 있어 Package ball attach 시 small ball(직경 0.3 mm)을 적용할 경우 기존 ball(0.45 mm) 대비 nonwet 관점 우세함을 알 수 있었다.

3. 결 론

Nonwet 유발 인자 상관성 규명 및 SMT 공정 nonwet 예방을 위한 최소 공정 조건 수립을 위하여 평가 진행 결과 ① reflow 공정은 keeping 구간 시간이 50 sec 이상일 경우 soak 구간 및 keeping 구간이 늘어날 수록 nonwet 관점 취약하고. ② package misalign의 경우 ball & paste 간의 접촉 깊이가 20 um 미만일 때 nonwet 관점 취약하다 확인되었으며 ③ package에 small ball 적용에 따른 nonwet 관점 확인 결과 ball 체면적이 작을수록 nonwet 관점 개선 할 수 있음을 확인 하였다. 또한 nonwet 품질 안정화를 위해서는 비용이 추가 되더라도 N₂ 적용하여 O₂ 농도 1,000 ppm 이하 관리가 필요하다.

물론 상기 평가는 동일한 package로 평가 진행 한 것으로 다른 warpage 값을 가지고 있는 package를 적용 시 상

기 평가결과와 유사한 수준을 보일 것으로 예측되나, 측정 결과 값(reflow 온도, ball & paste 접촉 깊이 등)은 상이 할 수 있다.

현재 SMT 공정 중 nonwet 불량 발생 시 test 및 외관 검출이 매우 어렵다. nonwet 사고의 주된 유형을 보면 paste volume 축소, reflow air 분위기 적용, misalign 발생이 주 원인이었다. 이에 본 연구를 통하여 공정에 맞는 nonwet 예방 공정 기준을 수립하였으며, nonwet 품질 확보를 하였다.

References

1. C. Chen, J. Cai, Q. Wang, Y. Wang, G. Zou, Z. Zhao, and C. Y. Park, "Characterization of after-reflow misalignment on Head-in-Pillow defect in BGA assembly", Proc. 15th International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT), Chengdu, China, IEEE (2014).
2. K. Peng, W. Yang, L. Lai, W. Xu, and L. Feng, "Dynamic Warpage Characterization and Reflow Soldering Defects of BGA Packages", Proc. 66th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), Las Vegas, NV, USA, IEEE (2016).
3. A. Arazna, G. Koziol, W. Stepleski, and K. Lipiec, "Head on pillow defects in BGAs solder joints", 3rd Electronics System Integration Technology Conference (ESTC), Berlin, Germany, IEEE (2010).