

실험계획법을 이용한 Reel Tape Packaging 공정조건 분석

김재경^{*}·나승준^{**}·권준환^{**}·전의식^{*,**†}

^{*}공주대학교 생산기술연구소, ^{**†}공주대학교 대학원 기계공학과

Analysis of Reel Tape Packing process conditions using DOE

Jae Kyung Kim^{*}, Seung Jun Na^{**}, Jun Hwan Kwon^{**} and Euy Sik Jeon^{*,**†}

^{*}Industrial Technology Research Institute, Kongju National University,

^{**†}Graduate School of Mechanical Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

Today's placement machines can pick and place thousands of components per hour with a very high degree of accuracy. The packaged semiconductor chips are inserted into a carrier at regular intervals, covered with a tape to protect the chips from external impact, and supplied in a roll form. These packaging processes also progress rapidly in a consistent direction, affecting the peelback strength between the cover tape and carrier depending on the main process conditions. In this paper, we analyzed the main process variables that affect peelback strength in the reel tape packaging process for packaging semiconductor chips. The main effects and interactions were analyzed. The peelback strength range required in the packaging process was set as the nominal the best characteristics, and the optimum process condition satisfying this was derived.

Key Words : Reel Tape Packaging, Peelback Strength, DOE, Process Optimization

1. 서 론

전자 산업에서 표면 실장 기술은 많은 연구와 기술개발이 이루어지고 있다.

자동화된 구성요소 배치에 의한 비용 절감 및 패키지 크기의 축소에 의한 PCB 레이아웃이 고밀도화 되고 있다. 근래의 자동화 장비는 매우 높은 정밀도로 시간당 수천의 구성 요소를 제거하거나 배치가 가능하다. 이 성능을 달성하기 위한 구성 요소 공급 시스템의 요구에 명확하게 대응하는 일관된 방향으로 빠르게 부품을 공급할 수 있어야 한다. 이러한 동향에 부응하여 고속형 칩마운터 및 칩 부품 이송장치인 테이프 피더와 같은 주변장치의 기술개발에 대한 필요성이 더욱 절실하게 요구되고 있다[1-4].

반도체 칩이 일정 간격으로 삽입된 캐리어 테이프는 칩을 외부 충격으로부터 보호할 수 있도록 비닐이 부착되어 있고 룰(Roll) 형태로 공급된다[5]. 공급되기 전 반도체 칩은 다양한 검사 공정을 거치게 되고 검사 완료 후 반도체 칩은 플라스틱 트레이이나 Reel & Tape 등과 같은 Carrier에 담겨 포장된 후 PCB 실장 공정에 투입된다. 포장하는 공정 또한 일관된 방향으로 빠르게 진행이 되며 주요 공정조건에 따라 Cover tape와 carrier 간의 접합 강도에 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 반도체 칩을 포장하기 위한 Reel tape packaging 공정에서 Peelback 강도에 영향을 미치는 주요 공정변수에 대하여 분석을 실시하였다. 주효과 분석 및 교호작용을 분석하였으며 Peelback 강도 예측을 위한 회귀식을 도출하였다. 패키징 공정에서 요구되는 Peelback 강도 범위를 망목조건으로 설정하여 이를 만족하는 최적 공정조건을 도출하였다.

[†]E-mail: osjun@kongju.ac.kr

2. Reel Tape Packaging 시스템 구성 및 공정변수 설정

2.1 시스템 구성

반도체 칩을 포장하기 위한 Reel tape packaging 시스템 구성은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 칩을 보관하기 위한 Cavity tape와 밀봉 및 보호를 위한 Cover tape로 이루어 진다. 공정은 순차적으로 수행되며 검사를 마친 칩이 Cavity tape에 담긴 후 Cover tape가 Cavity tape 위에 덮인 후 밀봉을 위해 Heating blade unit을 이용하여 일정 온도와 압력으로 가압하게 된다. 이 때 Heating block unit의 온도가 너무 높을 경우 Cover tape가 온도를 견디지 못해 손상되는 문제가 있으며 너무 낮은 경우 접합이 제대로 이루어지지 않는 문제가 있다. 접합이 제대로 이루어 지지 않는 문제는 누르는 압력, 시간, 블레이드의 두께와 관련이 있으며 기초 시험을 통하여 주요 공정변수별 범위를 설정하였다. Fig. 2는 기초 시험 결과에 따른 결과를 나타낸다.

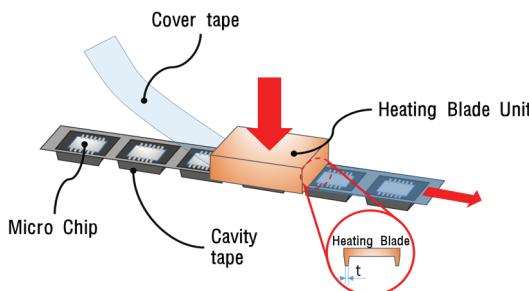


Fig. 1. Schematic diagram of reel tape packaging process.

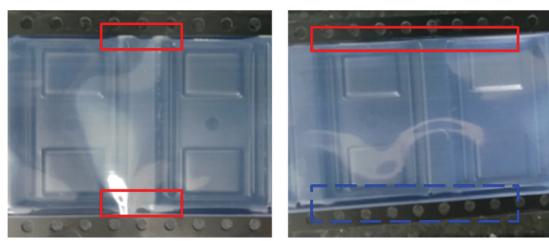


Fig. 2. Appearance inspection results of basic test.

2.2 공정변수 설정

Cover tape와 Cavity tape의 재질은 각각 PET+PE와 PS로 구성되며 주요 공정변수로 Heating blade unit의 온도, 압력, 가압시간, Blade의 두께로 설정하였다. 반응변수로는 Cavity tape와 Cover tape의 접합강도 평가를 위한 Peelback 강도로 설정하였다. Table 1은 Reel tape packaging 공정의 주요 파라

미터와 범위를 나타낸다. 공정변수 중 Blade의 두께는 공정 진행 시 고온으로 인하여 분해 조립이 원활하지 않으며 냉각까지의 시간과 실험을 위한 온도 상승까지 시간이 많이 소요됨에 따라 블록으로 구성하여 공정범위를 설정하였다.

Table 1. Reel tape packaging parameters and levels

Group	Factors	Level		
		1	2	3
A	Pressing time(sec)	0.1	0.15	0.2
B	Pressure(MPa)	0.2	0.3	0.4
C	Temperature(°C)	170	180	190
Blocks	Blade thickness(mm)	1	2	3

2.3 실험 방법

반응표면분석(Response surface analysis)은 분산분석이나 특히 요인배치 실험 등을 통하여 최적 조건을 찾았을 때, 최적 조건 주위에서 입력변수 x_1, \dots, x_n 가 결과 y 값과 어떤 관계식을 갖고 있는지 분석해주는 방법이다[6]. 중심합성법은 반응표면설계에서 가장 일반적으로 사용되어지는 방법이며 효율적으로 1차, 2차항을 추정하고자 할 때와 요인 배치 실험 후에 추가 실험하여 곡률 반응변수를 모델화 할 때 많이 사용한다[7].

본 논문에서 설정된 파라미터인 가압시간, 압력, 온도, 블레이드의 두께가 Peelback 강도에 미치는 관계를 규명하고 최적화 도출을 위해 반응표면분석법(Response Surface Method)을 사용하였으며 실험 횟수를 줄이기 위해 중심합성법으로 설계 및 실험을 진행하였다. 본 실험에서 요인 점 3개, 꼭지점 16, 입방체의 중앙점 8, 축점 12, 축의 중앙 점 4, 전체 블록수 3, 반복실험 2회로 하여 Table 2와 같이 실험계획을 수립하였으며 총 40번의 실험을 수행하였다.

Table 2. Experimental conditions for each process

Std. order	Run order	Pt Type	Blocks	Pressing time	Pressure	Temp.
11	1	0	2	0.15	0.3	180
7	2	1	2	0.20	0.2	170
12	3	0	2	0.15	0.3	180
28	4	1	2	0.10	0.4	170
27	5	1	2	0.20	0.2	170
9	6	1	2	0.10	0.2	190
32	7	0	2	0.15	0.3	180
10	8	1	2	0.20	0.4	190
30	9	1	2	0.20	0.4	190
:						
22	38	1	1	0.20	0.4	170
4	39	1	1	0.10	0.4	190
23	40	1	1	0.20	0.2	190

3. 실험결과 및 분석

3.1 Peelback 강도 시험

Cover tape와 Cavity tape의 접합 강도 평가를 위해 Peelback 강도 시험을 실시하였다. 시험 방법은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 165° ~ 180° 의 각도로 Cover tape를 잡아당기며 Cavity tape는 $300 \pm 10\text{mm/min}$ 의 속도로 이송 시킨다. 이때 도출되는 강도 값은 0.2N에서 0.7N 사이에 있어야 하며 이는 PCB 실장 공정에 투입 시 문제없이 Cover tape를 분리할 수 있다. Fig. 4는 Peelback 강도 시험을 시스템 구성을 나타낸다.

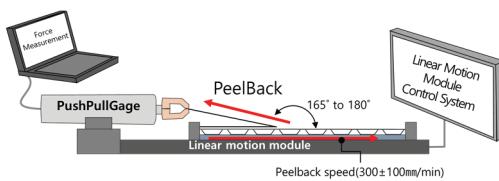


Fig. 3. Schematic diagram of peelback strength test.



Fig. 4. Picture of peelback strength test.

3.2 실험결과 분석

설계 조건표에 따라 수행한 실험결과에 대하여 분산분석을 실시하고 각 인자별 유의성 및 교호작용항의 유의성을 검토하였다. 95%의 신뢰수준을 바탕으로 P-value가 0.05보다 낮은 값들은 Error term으로 Pooling하고 유의한 항들만 확인하였다. Table 3은 실험 순서에 따른 Peelback 강도 측정 결과를 나타내며 Fig. 5는 95% 신뢰 수준에서 유의성을 갖는 인자를 나타내고 있다. Blade의 두께 또한, Peelback 강도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 블록요인을 Pooling 하였으며 온도, 압력, 가압시간 순으로 Peelback 강도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. Fig. 6은 공정변수별 Peelback 강도에 미치는 주효과를 나타내며 Fig. 7은 각 공정별 교호작용에 대한 그래프를 나타낸다. 공정조건별 서로 교호작용은 없으며 주효과 그래프 분석 결과 온도는 2차함수 형태로 강도에 영향 미치는 것을 알 수 있었다. 가압시간은 유의성이 나타나지 않음에 따라 공정시간을 최소로 가져갈 수 있는 시간으로 설정하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

Table 3. Experimental results

Std. order	Run order	Peelback strength
11	1	0.21
7	2	12.76
12	3	0.19
28	4	1.18
27	5	3.10
9	6	0.19
32	7	0.17
10	8	0.38
30	9	0.40
	:	
22	38	0.17
4	39	0.13
23	40	0.4

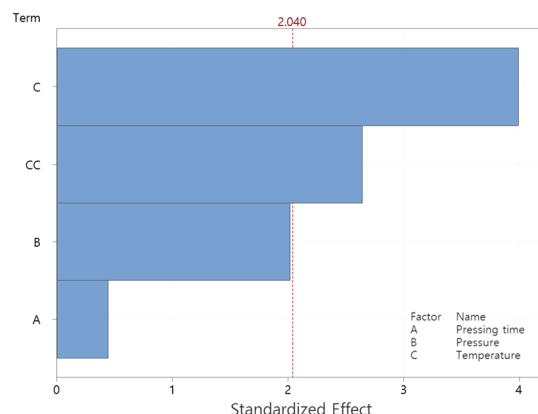


Fig. 5. Pareto chart of the standardized effects($\alpha = 0.05$).

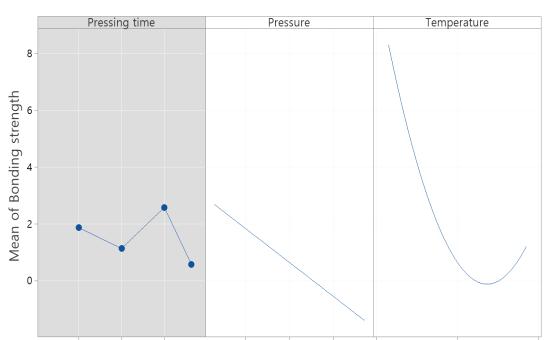


Fig. 6. Main effects plot for peelback strength.

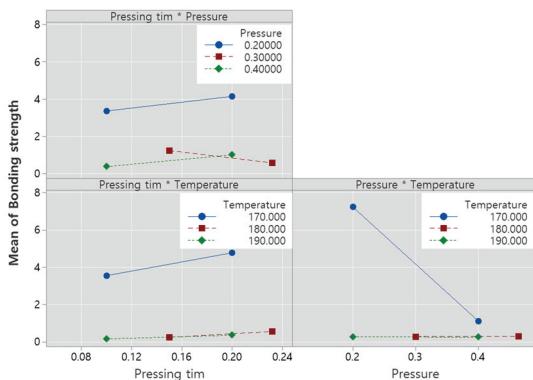


Fig. 7. Interaction plot for peelback strength.

Table 4. Response surface analysis results for three factors

Source	DF ₁₎	Adj SS ₂₎	Adj MS ₃₎	F-Value ₄₎	P-Value ₅₎
Model	4	205.481	51.370	7.07	0.000
Linear	3	146.919	48.973	6.74	0.001
Pressing time	1	1.437	1.437	0.20	0.660
Pressure	1	29.543	29.543	4.07	0.053
Temp.	1	115.584	115.584	15.90	0.000
Square	1	50.658	50.658	6.97	0.013
Temp * Temp.	1	50.658	50.658	6.97	0.013
Error	31	225.290	7.267		
Lack-of-Fit	10	49.183	4.918	0.59	0.807
Pure Error	21	176.107	8.386		
Total	35	430.771			
Model summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
2.69581	47.7%	40.95%	19.03%		

1) DF: Degree of freedom

2) Adj SS: Sum of squares

3) Adj MS: Mean of square

4) F-Value: MSTR/MSE

5) P-Value: The criterion for determining the significance level and the reference value is less than 0.05

실험 후 Minitab을 이용하여 수준별 결과를 분석하였다. R^2 값은 결정계수로 전체변화에 대해 설명된 변화량의 비로 정의할 수 있으며 이 값은 모델식의 적합도를 나타내는 척도이고 R^2 (Coefficient of determination)값이 100%에 가까울수록 실험모델식이 실제 값에 가깝게 일치함을 의미한다. 유의성이 없는 가압시간을 제외한 2가지의 공정변수에 따른 Peelback 강도 예측 회귀식의 R^2 값은 47.70%로 유의수준 5%이내에서 유의성이 나타남을 확인하였다. Table 4는 분산분석표를 나타낸 것이며 식(1)과 같이 Peelback 강

도 예측을 위한 회귀식을 도출하였다.

$$\text{Peelback strength} = 503 - 11.00B - 5.33C + 0.01423C^2 \quad (1)$$

Where, B : Pressure(Mpa)
C : Temperature($^{\circ}$ C)

Fig. 8에서 Probability plot은 잔류 플롯이 거의 직선으로 그려져 정규모형을 따르고 Versus Fits은 값들이 어떤 특성을 보이지 않는다. Histogram은 데이터가 적으나 정규 형식을 보이며 Versus order는 어떤 특성없이 나타나므로 실험이 무작위하게 잘 수행되었다고 볼 수 있다.

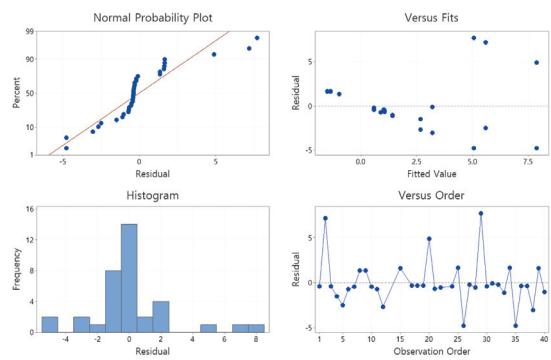


Fig. 8. Residual plots for peelback strength.

3.3 표면도 분석

Fig. 9는 공정변수에 따른 Peelback 강도의 Surface plot을 나타낸다. Peelback 강도는 온도의 변화에 따라 곡률효과를 보이는 것을 확인하였으며 압력에 대해서는 비례하는 것으로 확인하였다.

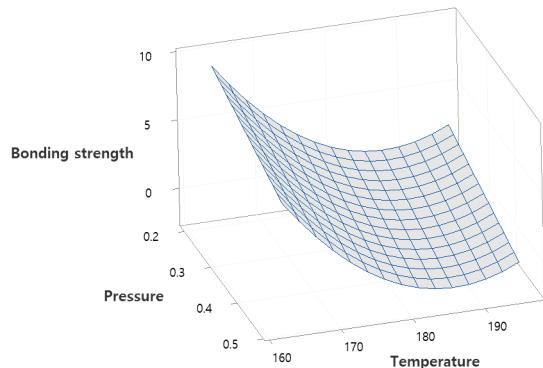


Fig. 9. Response surface analysis results for peelback strength versus temperature and pressure.

3.4 공정조건 최적화

실험계획법의 중심합성법을 통해 얻은 결과 값으로 반응최적화도구(Response optimization)를 이용하여 반도체 Reel tape packaging 공정에서 요구되는 Peelback 강도 범위인 0.2N~0.7N의 값을 얻을 수 있는 공정조건을 도출하였다. 가압시간은 공정시간 단축을 위해 0.1sec로 고정하였으며 온도는 178°C와 196°C로 선택이 가능하나 소모되는 에너지를 고려하여 178°C로 설정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 최종적으로 반도체 칩의 크기와 공정 환경에 따라 요구되는 강도에 맞춰 밀봉하는 압력의 크기를 0.31Mpa~0.35Mpa로 설정할 수 있게 된다. Fig. 10은 Peelback 최소 및 최대 강도를 만족하는 공정조건을 나타낸다.

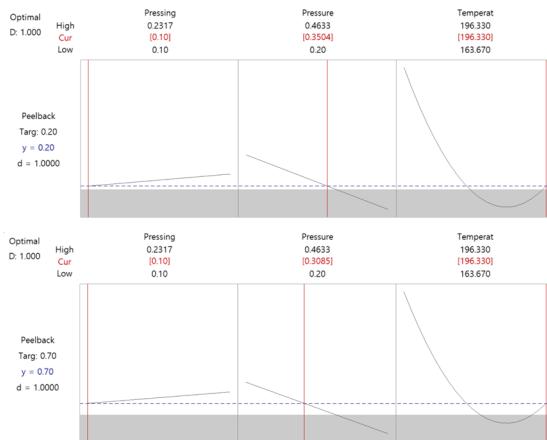


Fig. 10. Optimization plot minimum and maximum peelback strength.

4. 결 론

본 논문에서는 반도체 칩 포장을 위한 Reel tape packaging 공정에서의 공정조건에 따른 Peelback 강도 변화를 분석하였다.

1. Peelback 강도에 영향을 미치는 주요 공정으로 온도, 압력, 가압시간 순으로 나타남을 확인하였다.
2. Peelback 강도 예측을 위한 회귀식을 도출하였으며 R^2 값은 47.70%로 유의수준 5%이내에서 유의성이 나타남을 확인하였다.
3. Reel tape packaging 공정에서 요구되는 Peelback 강도를 만족하기 위해 가압시간은 공정시간 단축을 위해 0.1sec로 설정하며 온도는 178°C, 압력은 0.2N이 목표일 때 0.31Mpa, 0.7N이 목표일 때 0.35Mpa으로 최적

공정조건을 도출하였다.

감사의 글

본 연구는 2019년 중소벤처기업부의 기업연계형 연구개발 인력양성사업(S2755803)과 수출기업기술개발사업(S2605585)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. Song, J. S. and Park, T. H., "A Path Planning Algorithm for Dispenser Machines in Printed Circuit Board Assembly System", Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol. 6, No. 6, pp. 506-513, 2000.
2. Choi, J. H., Jeon, B. C., Cho, M. W., Moon, C. Y. and Lee, S. J., "A Study on the Performance Analysis for a Tape Feeder with Cam-slider Mechanism", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 177-183, 2006.
3. K.P. Ellis, F.J. Vittes, J.E. Kobza, "Optimizing the performance of a surface mount placement machine", IEEE Transactions on Electronic Packaging Manufacturing, Vol. 24, No. 3, pp. 160-170, 2001.
4. K. Lyou, Y. Moon, etc., "A Study on the Inspection Algorithm of FIC Device in Chip Mounter", Journal of Control, Automation and System Engineering, Vol. 4, No. 3, pp. 384-391, 1998.
5. Lee, S. J., Kang, S. M., Lee, C. H., and Kim, Y. Y., "Mechanical Design and Evaluation of Linear Tape Feeder for Chip Mounter", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 155-161, 2006.
6. Il-Hyoung Cho, Nae-Hyun Lee, Soon-Woong Chang, "Analysis of Characteristics and Optimization of Photo-degradation Condition of Reactive Orange 16 Using a Box-Behnken Method", Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 28, No. 9, pp. 917-925, 2006.
7. Jeon, Y. W., Kim, Y. S. and Jeon, E. S., "Analysis of Joule-heat Characteristics according to the DC-link Capacitor Film Geometrics", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 19, No. 1, pp. 42-48, 2020.

접수일: 2020년 6월 26일, 심사일: 2020년 6월 26일,
제재확정일: 2020년 6월 26일