

실험계획법을 이용한 전자부품 위치정렬장치 최적 운영조건 사례연구

이동헌* · 이미림** · 배석주***†

* 삼성전기 글로벌기술센터
** 홍익대학교 경영대학 경영학과
*** 한양대학교 산업공학과

A Study on Optimal Operation Conditions for an Electronic Device Alignment System by Using Design of Experiments

Dong Heon Lee* · Mi Lim Lee** · Suk Joo Bae***†

* Samsung Electro-Mechanics co Ltd, Global Technology Center
** College of Business Administration, Hongik University
*** Department of Industrial Engineering, Hanyang University

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to design a systematic method to estimate optimal operation conditions of design variables for an electronic device alignment system.

Method: The 2-level factorial design and the central composite design are used in order to plan experiments. Based on the experiment results, a regression model is established to find optimal conditions for the design variables.

Results: 3 of 5 design variables are selected as major factors that affect the alignment system significantly. The optimized condition for each variable is estimated by using a sequential experiment plan and a quadratic regression model.

Conclusion: The method designed in this study provides an efficient and systematic plan to select the optimized operation condition for the design variables. The method is expected to improve inspection accuracy of the system and reduce the development cost and period.

Key Words: Electronic Device Alignment System, Inspection Process, Design of Experiments, Factorial Design, Central Composite Design

● Received 14 July 2015, 1st revised 4 September 2015, accepted 11 September 2015

† Corresponding Author(quality@korea.ac.kr)

© 2015, The Korean Society for Quality Management

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.

1. 서론

최근 자동차, 통신기기, 공작기계 등 산업 전반에 걸쳐 전자 부품의 수요가 크게 증가하고 있다. 특히 휴대폰, 카메라, 노트북, 태블릿 기기를 비롯한 휴대용 전자 제품은 현대 사회에서의 생활필수품으로 자리매김하고 있으며, 이러한 전자 제품의 편의성 및 휴대성을 증대시키기 위해 다양한 기능을 제공하면서도 크기는 작게 만들고자 하는 노력이 계속되고 있다. 이에 따라 제품 개발에 필요한 CPU, 메모리, 적층 소자와 같은 전자부품 또한 점차 소형화되고 고집적화 되는 추세이며, 기업에서는 이러한 시장의 필요를 충족하는 동시에 보다 많은 이익을 내기 위해 혁신적이고 효율적인 제조기술 및 생산 공정을 개발하려 노력하고 있다.

전자부품을 보다 효율적으로 생산하기 위해서는 최적 공정 조건 아래에서 각 제조 공정이 수행되어야 하고, 이 최적 공정 조건을 찾는 일에는 다양한 실험계획법이 이용되어 왔다. Park 등(2002)은 정밀 전자부품 사출성형 공정의 최적설계를 위해, 일단 2-수준 완전요인배치법(full factorial design)을 사용하여 공정 결과에 영향을 미치는 주요 인자를 추려내고, 그 후 추려진 주요 인자에 대해 고려 수준 개수를 늘리거나 수준 값을 좁혀가며 운영 조건을 최적화하는 2단계 실험계획법을 적용하였다. Kim과 Park(2005)은 2차 전지 설계 최적화를 위해 2-수준을 가지는 4개 인자를 고려하면서 실험횟수는 8회로 제한하는 2-수준 부분요인배치법(fractional factorial design)을 사용하였다. Cho 등(2008)과 Park 등(2009)은 다구치 실험 계획법을 통한 SN비(Signal-to-noise ratio) 분석으로 각각 LCD 글래스를 최적 설계할 수 있는 방안과 초경 합금의 최적 레이저 가공조건을 연구한 바 있다.

본 논문은 이러한 실험계획법을 응용하여 전자부품 검사공정의 운영조건을 최적화하는 것을 목표로 한다. 검사공정은 고객에게 불량 제품이 공급되는 것을 막기 위한 제품 선별 작업으로 현재까지 많은 부분 작업자의 능력에 의지해 이루어지고 있었으나, 생산성 향상과 생산원가 절감을 위해서는 검사공정의 자동화가 절실히 필요하다. ‘칩 외관 검사기’는 전자부품 출하 직전 최종공정에서 사용되는 검사 자동화 장비로, 양산된 칩의 외관에 발생할 수 있는 여러 종류의 불량유형을 광학적 영상 취득 장치와 선별 알고리즘을 이용해 자동으로 식별한다. 크게 칩을 공급하는 공급 장치, 공급된 칩을 이동시키는 고속 회전판, 검사를 위한 광학시스템으로 구성되는 칩 외관검사기는 많은 양의 전자부품을 짧은 시간에 고속으로 검사하는 장비이며 공정 특성상 신뢰성 높은 불량 선별 능력이 요구되나, 전자 부품의 소형화 및 부품 공급 고속화에 따른 기계적 한계로 인해 발생할 수 있는 영상품질의 저하로 그 생산성 및 판단 정확성 향상에 한계가 있는 것이 현실이다. 따라서 본 논문에서는 영상품질의 향상을 돕고 장치의 생산성 한계를 극복하기 위해 칩 외관검사기 내 칩 위치 정렬장치를 위한 주요 설계 인자를 도출하고 그에 따른 최적 설계 조건을 효율적으로 탐색하는 체계적 실험계획방법론을 수립하고자 한다.

2. 연구 배경

전자 부품에서 대표적인 소자인 MLCC(Multi-Layer Ceramic Capacitor)의 제조공정은 세라믹 소재를 얇은 시트 형태로 인쇄하여 300~500층으로 쌓고, 제품단위로 절단하여 1차 소결, 전극 도포, 2차 소결, 검사, 출하 공정을 거친다. 본 논문 대상 공정은 위의 공정 중 검사공정에 해당하며, 특히 검사공정 장비의 불량 선별력 향상을 위한 칩 위치 정렬장치에서 주요 설계인자의 최적조건을 도출하는 것을 목표로 한다.

소형 전자부품을 영상을 통해서 검사하고 분류하는 검사장비에서 전자부품 공급장치에서 투입되는 부품의 자세

및 위치 정렬상태는 검사영상품질에 큰 영향을 주게 되고 검사장비의 선별 성능에도 영향을 주게 된다. 이러한 영상 품질의 향상을 위해서는 안정적인 전자부품의 정렬과 자세유지가 가능하도록 해주는 위치 정렬장치가 필요하며, 이러한 위치 정렬장치는 칩을 공급하는 장치와 칩을 이동하는 회전판이 고속으로 구동할 때 칩 틀어짐이 발생하지 않고 안정된 자세를 유지해 주는 장치인 정전기와 차압을 이용한 가이드로 구성된다. <Figure 1>은 칩 공급장치에서 부품이 공급될 때 회전하는 회전판에 올려지면서 위치변동이 발생하는 형태를 모델화하여 나타낸 것이다.

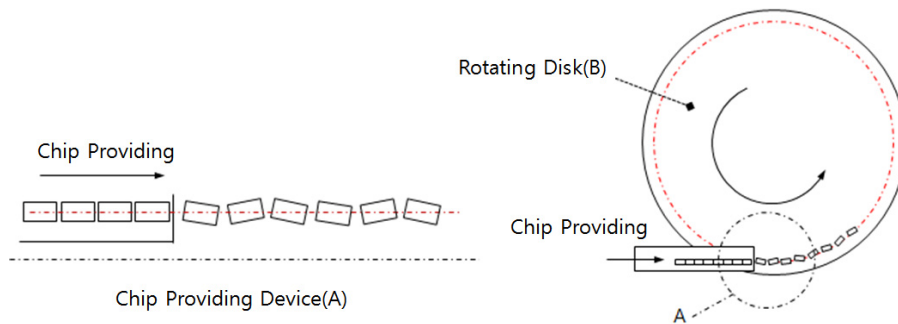


Figure 1. Chip Providing Model.

칩 공급장치로 부터 투입된 칩은 회전하는 회전판에 올려지고, 회전판의 이동에 따라서 검사영역에서 각 면을 검사하게 된다. 일반적으로 공급장치에서 투입되는 칩은 회전판에 올려질 때 공급장치의 진동과 칩 낙하시 충격으로 위치가 틀어지게 된다. 특히, 회전하는 회전판의 속도가 높아지면 공급된 칩 자세는 더욱 불안정해지는 현상이 있다. 검사장비의 선별 신뢰도는 영상을 얻기 위한 칩 자세의 안정이 매우 중요하며 이러한 칩 자세의 위치 편차를 최소화 하는 것이 중요한 설계 목표가 된다.

정전기를 이용한 정렬장치는 정전기 유도방식에 의한 칩과 회전판간의 분극 작용으로 상호간에 인력이 작용하여 칩 흔들림을 방지해주며 차압을 이용한 가이드는 칩을 차압이 작용하는 면으로 일정한 자세가 되도록 안내하는 역할을 한다(Choi et al. 2006, Jeon 2006). 일반적으로 이러한 정전기 힘을 이용하는 방식은 정전기 발생 전압과 유지 시간, 그리고 표면 저항에 영향을 받는다고 알려져 있다(Watanabe et al. 1992, 1993, 1994). 이러한 정전기 힘을 이용한 고정방식은 일반적으로 진공 챔버 내부에서 웨이퍼를 핸들링하거나 미세 이물을 포집하는 용도, 또는 벽을 오르는 로봇을 벽에 부착하는데 방식 등으로 산업계의 많은 분야에서 응용되고 있다(Asano et al. 2002, Koh et al. 2011, Hwang et al. 2005).

<Figure 2>는 대상 장치 관련 요인 및 특성치를 개략적으로 나타낸다. 회전판은 회전 모터에 장착되어 있으며 구동과 관련된 제어는 모션 제어기에서 이루어진다. 그리고 조건에 필요한 회전속도의 제어가 가능하게 하였다. 회전판(B)의 위에는 공급장치에서 투입된 전자부품(C)이 안착되고 위치 정렬장치를 이루는 정렬가이드(A)와 정전기 발생기(D)에 의해서 칩은 안정적인 자세를 유지하면서 카메라(E)에서 영상을 취득하고 내부 알고리즘을 이용하여 칩 제품의 불량여부를 판단하게 된다. 여기서, 카메라를 이용해서 취득한 영상이미지와 기준영상을 비교하여 위치변동이 허용범위를 벗어나는 것을 불량으로 판정하고 해당 수량을 특성치로써 출력 된다. 이때 동일 Lot, 수량을 반복하여 평가한다.

정전기 발생장치만 단독으로 사용할 경우 회전판에 정전 흡착된 상태로 회전하기 때문에 초기에 형성된 위치에서 변동이나 틀어짐을 최소화 할 수 있지만, 이 경우 칩은 투입 초기 자세를 유지할 뿐 그 위치가 완벽히 정렬되지는 않는다. 따라서 정확한 위치 정렬 품질을 확보하기 위해서 칩과 가이드가 마찰되는 부분에 별도의 차압을 형성할 수

있는 구조의 가이드 장치를 함께 구성한다. 차압을 사용한 가이드는 공급장치의 출구 뒷단에 위치하며 칩 투입 자세를 보조로 수정할 수 있도록 정전기 발생장치와 함께 사용된다(<Figure 3> 참조).

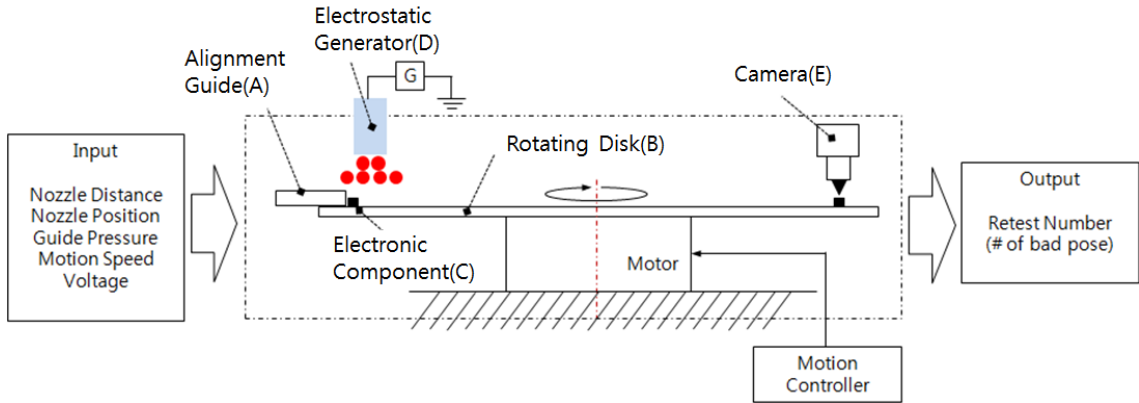


Figure 2. Input/Output Data of the Chip Inspection Device.

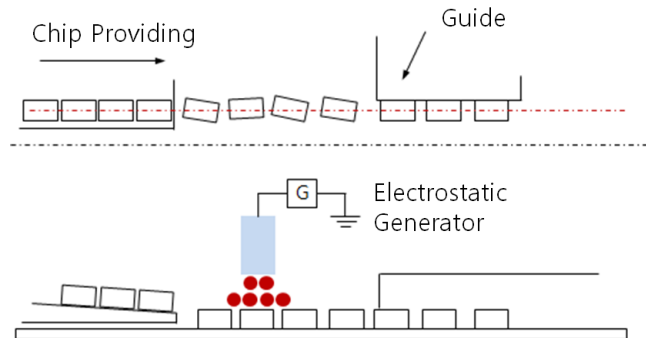


Figure 3. Position Alignment System.

3. 연구 방법

칩의 모델은 용량에 따라서 크기와 형상이 매우 다양하기 때문에 칩 모델에 따른 위치 정렬장치의 운영 조건은 모두 동일하지 않다. 따라서, 다양한 제어 가능 인자 조건과 위치 정렬 품질간의 관계를 효과적으로 분석하여 각 인자간의 최적 조합 및 조건을 선정해야만 한다. 이에, 3장에서서는 실험계획법을 통해 최소의 실험횟수로 최적의 정보를 얻을 수 있도록 하는 실험을 계획 및 실행하고, 분산분석을 통해 다양한 부품모델에 대응하기 위한 최적 위치 정렬장치의 설계 및 공정 조건을 발굴함으로써, 칩 공급 자세의 위치편차를 최소화하고 검사장비의 선별 능력을 향상시킬 수 있는 방법을 소개한다.

3.1 주요 설계 인자 선정 및 예비 분산 분석

실험을 실시한 후에 얻어지는 반응 특성치에 대해서 이에 영향을 미치고 있는 원인이 어떠한 관계가 있는지를 경험적 또는 이론적으로 명확히 알아내기는 매우 힘들다. 특성치에 영향을 미치는 원인은 무수히 많을 수 있고, 재료, 실험장치, 작업자의 숙련도 등의 차이에서 오는 다양한 산포가 존재하며, 환경조건의 변동, 표본오차(sample error) 등에 의해서도 특성치는 영향을 받기 때문이다.

실험계획법은 어떤 요인이 반응에 유의한 영향을 주고 있는가를 파악하고 그 영향력의 크기를 판단하며, 또한 유의한 영향을 미치는 요인들이 어떠한 조건을 가질 때 가장 바람직한 반응을 얻을 수 있는 가를 알아낼 수 있는 통계적 방법론이다. 실험에서 특성치 데이터의 산포에 영향을 줄 수 있는 무수한 원인들 중에 실험에 직접 관련되는 원인을 인자(factor)라고 부른다. 실험의 효율을 올리기 위하여 실험 환경을 층별(classified)한 원인도 인자라는 개념에 포함시키기도 한다.

실험을 실시하기 이전에 실험에 대한 충분한 계획이 없이는 원하는 실험의 목적을 달성하기 어렵다. 실험계획법(design of experiment)은 실험에 대한 계획방법을 의미하는 것으로, 해결하고자 하는 문제에 대하여 실험을 어떻게 행하고, 데이터를 어떻게 취하며, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험횟수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것이라고 정의할 수 있다.

본 장에서는 최적 위치 정렬장치의 주 설계인자를 찾아내기 위해 2-수준 요인배치법(2-level factorial design)을 이용하고, 얻어진 실험 결과를 통계적 기법인 분산분석(analysis of variance)을 사용하여 분석한다. 본래의 2-수준 요인배치법에서는 대상 인자의 수가 커짐에 따라 필요한 실험의 수가 기하급수적으로 증가하는데, 현실적으로 필요한 모든 실험을 실시하기는 어렵기 때문에 가능한 모든 인자의 수준조합을 모두 선택하지 않고 일부의 수준조합만 선택하여 실험을 설계하는 일부실시법(fractional factorial design)을 활용한다. 본 연구에서는 주요 인자의 주효과와 2-인자들의 교호작용을 확인할 수 있는 2^{v-1} 일부실시법을 실시하였다.

<Table 1>에는 실험에서 고려된 5개의 설계 변수와 각 설계 변수에 따른 수준이 설명되어있다. <Table 2>는 <Table 1>의 자료를 바탕으로 한 2^{v-1} 일부실시법의 실험 조합과 그에 따른 반응값(Y)을 나타낸다. 실험은 <Table 2>를 따라 총 $2^{v-1}=16$ 번을 실시하였다.

<Figure 4>는 여러 가지의 변수 중 반응변수에 유의한 영향을 끼치는 변수를 선별하기 위한 정규확률분포도를 나타내고 있으며, 직선에서 크게 떨어져 있는 주효과 A, D, E 그리고 교호작용 DE 가 중요한 설계인자임을 확인할 수 있다. <Table 3>은 실험의 데이터를 사용하여 분산분석을 실시한 결과이다. 여기에서도 주효과 Nozzle distance(A), Table speed (D), Generator Voltage(E), 그리고 D와 E의 교호작용이 5% 유의수준($p<0.05$)에 대하여 통계적으로 유의함을 알 수 있다. 이러한 결과를 근거로 A, D, E를 위치정렬의 품질에 영향을 주는 주요 인자로 판단하면, 아래와 같은 예비 회귀모델을 수립할 수 있다.

$$\hat{Y} = 250.06 + 30.19A - 37.44D - 39.06E - 38.06DE \quad (1)$$

Table 1. Factors and Levels

Factor	Description	Unit	Levels	
			-1	1
A	Nozzle distance	mm	-30	-10
B	Nozzle position	mm	-50	5
C	Guide pressure	Pa	-50	0
D	Motion speed	rpm	8	14
E	Voltage	kV	3	8

Table 2. 2_v^{5-1} Experiment

No	A	B	C	D	E=ABCD	Treatment Combination	Y
1	-	-	-	-	+	e	265
2	+	-	-	-	-	a	284
3	-	+	-	-	-	b	261
4	+	+	-	-	+	abe=cd	280
5	-	-	+	-	-	c	272
6	+	-	+	-	+	ace=bd	337
7	-	+	+	-	+	bce=ad	264
8	+	+	+	-	-	abc=de	337
9	-	-	-	+	-	d	257
10	+	-	-	+	+	ade=bc	231
11	-	+	-	+	+	bde=ac	70
12	+	+	-	+	-	abd=ce	294
13	-	-	+	+	+	cde=ab	100
14	+	-	+	+	-	acd=be	338
15	-	+	+	+	-	bcd=ae	270
16	+	+	+	+	+	abcde	141

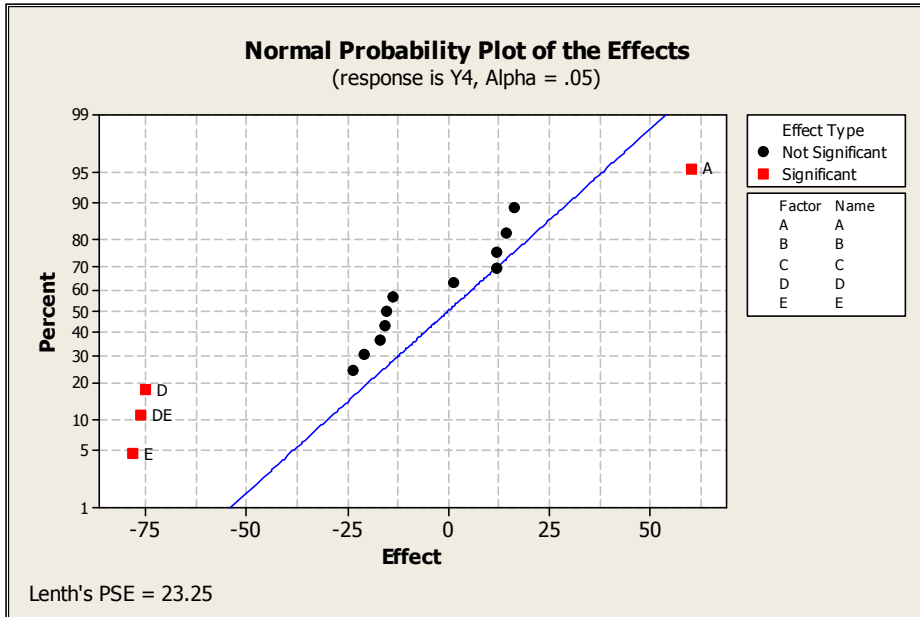


Figure 4. Normal Probability Plot of the Effects.

Table 3. ANOVA Table

Source	SS	DOF	MS	F ₀	p-Value
A	14581	1	14581	14.73	0.003
D	22425	1	22425	22.65	0.001
E	24414	1	24414	24.66	0.000
DE	23180	1	23180	23.41	0.001
Error	10891	11	990		
Total	95491	15			

3.2 중심점 추가를 통한 곡률효과 분석

2-수준 요인배치법에서는 각 변수가 두 수준에서만 실험이 되기에 요인분석을 위한 실험의 반복 횟수를 최소화할 수 있는 반면, 변수의 수준 변화에 따라 발생할 수 있는 반응치(Y)의 곡면적 변화는 감지할 수 없다. 따라서 이 장에서는 반응치에 크게 영향을 미친다고 판단된 A, D, E를 주요 설계변수로 설정하고 중심점을 추가하여 실험 한 후, 혹은 인자의 수준변화에 따른 곡률효과가 존재하는지 확인한다.

실험은 총 15회 실시되었으며, <Table 4>에 나타난 바와 같이 반응값에 영향을 주는 주요 3인자의 2수준에 따라 12개의 데이터를 얻고, 중심점에서 3번의 추가 실험을 통해 3개의 데이터를 얻었다. <Table 5>는 실험에 따른 분산 분석 결과를 나타내고 있으며, 중심점과 곡률 효과가 5% 유의수준(p<0.05)내에서 모두 통계적으로 유의한 것으로 해석될 수 있다. <Figure 5>의 그래프를 통해서도 3인자의 수준변화에 따른 곡률효과가 존재하는 것을 눈으로 확인

할 수 있다.

Table 4. Experiment with Center Points

No	A	D	E	Y
1	-	-	+	43
2	+	-	-	108
3	-	+	-	572
4	+	+	+	336
5	-	-	+	76
6	+	-	-	87
7	-	+	-	545
8	+	+	+	245
9	-	-	+	113
10	+	-	-	128
11	-	+	-	507
12	+	+	+	130
13	0	0	0	127
14	0	0	0	178
15	0	0	0	171

Table 5. ANOVA Table

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	p-Value
Constant		240.83	15.35	15.69	0.000
A	-137	-68.5	15.35	-4.46	0.001
D	296.67	148.33	15.35	9.66	0.000
E	-167.33	-83.67	15.35	-5.45	0.000
Ct Pt		-82.17	34.32	-2.39	0.038

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	p-Value
Main Effects	3	397256	404342	134781	47.68	0.000
Curvature	1	23289	23289	23289	8.24	0.017
Residual Error	10	28269	28269	2827		
Pure Error	10	28269	28269	2827		
Total	14	448814				

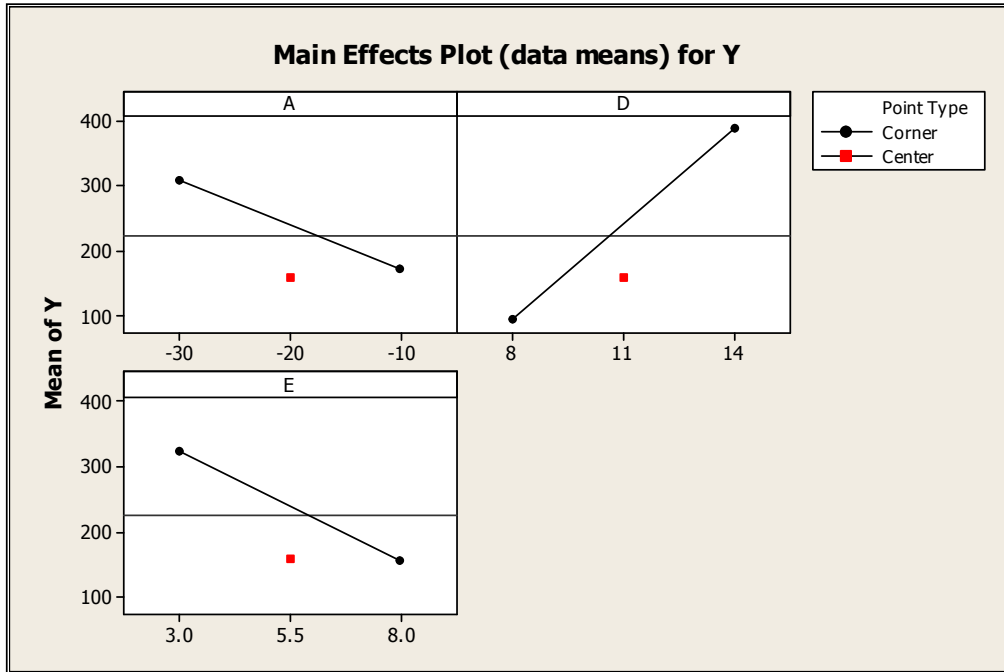


Figure 5. Main Effect Plot with Center Points.

3.3 중심합성계획법을 이용한 최적 인자 조건 탐색

3.2장에서 우리는 중심점을 추가한 2수준 요인배치법을 실시하여 각 인자에 따른 곡률효과가 존재하는 것을 확인하였다. 그러나 중심점만을 이용한 실험으로는 어떠한 효과가 어떠한 곡률변화를 초래하는지 알 수 없고 2차 회귀 모형에서 제곱항의 계수 또한 효율적으로 추정할 수 없다. 따라서 본 장에서는 이러한 단점을 보완하고 적은 횟수의 실험으로 곡면을 추정하기 위하여 중심점(center point)과 축점(axial points)을 2수준 요인실험에 추가시킨 중심합성계획법(CCD, central composite design)이라는 실험계획법을 도입한다(Park 2012, 364-496, Montgomery 1996, 290-353, Kim 2006).

중심합성계획법은 실험계획의 바람직한 특성인 직교 블록화(orthogonal blocking) 및 회전성(rotatability)의 구현이 용이하다. 또한, 축차실험(sequential experiments)이 가능하며, 실험자가 2수준 요인실험계획에 의하여 실험을 한 후에 반응표면에 관한 연구를 1차 회귀모형을 이용하여 진행하다가 모형의 수정이 필요할 경우 새롭게 2차 회귀모형을 추정하기 위하여 다른 실험계획법을 사용할 필요 없이 진행하였던 2수준 요인실험에 추가로 중심과 축에 새로운 자료점(data points)을 증가시키면 쉽게 실험을 진행할 수 있다(Park 2012, 364-496).

중심합성계획법에는 cube모형과 axial모형이 있으며 본 실험에서는 축점(axial point, 6개), 중심점(center point, 6개), 2수준 요인실험(cube point, 8개)을 갖는 cube 모형으로 설계하여 <Table 6>와 같이 총 20회의 실험을 실시하였다. <Table 7>은 이에 따른 반응회귀모형의 계수 추정값과 2차항의 유의 수준을 나타낸 것으로, 5% 유의수준 ($p < 0.05$) 안에서 D, E, AA, DD, EE, DE가 유의함을 알 수 있다. 따라서 최종적으로 위의 분석결과로부터 얻어진 위치결정품질 반응치에 대한 2차 회귀모형은 다음과 같다.

$$\hat{Y} = 996.283 - 97.47D - 69.348E + 0.271A^2 + 4.999D^2 + 6.576E^2 - 1.85DE \quad (2)$$

실험을 통해 얻어진 반응치에 대한 분산분석 결과(<Table 8> 참조), 분석을 통해서 얻어진 회귀식은 결정계수가 0.946로 나타나 회귀모형의 추정이 잘 이루어졌다고 볼 수 있으며, 적합결여에 대한 유의 확률도 0.719로 선택된 회귀모형이 적합하다고 판단된다.

Table 6. Central Composite Design

No	A	D	E	Y
1	-1	-1	-1	247
2	1	-1	-1	256
3	-1	1	-1	309
4	1	1	-1	313
5	-1	-1	1	180
6	1	-1	1	194
7	-1	1	1	190
8	1	1	1	191
9	-1.68179	0	0	179
10	1.68179	0	0	196
11	0	-1.68179	0	227
12	0	1.68179	0	248
13	0	0	-1.68179	293
14	0	0	1.68179	162
15	0	0	0	99
16	0	0	0	128
17	0	0	0	141
18	0	0	0	115
19	0	0	0	128
20	0	0	0	97

Table 7. Regression Coefficient and p-value

Term	Coef	p-Value
Constant	996.2828	< 0.001
A	12.1718	0.344
D	-97.47	0.019
E	-69.3476	0.000
AA	0.2714	0.000
DD	4.9989	0.000
EE	6.5761	0.000
AD	-0.0792	0.676
AE	-0.005	0.982
DE	-1.85	0.031

Table 8. ANOVA Table for CCD

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	83339	83339	9259.9	38.11	0.000
Linear	3	27552	27552	9184	37.80	0.000
Square	3	54201.6	54201.6	18067.2	74.35	0.000
Interaction	3	1585.4	1585.4	528.5	2.17	0.154
Residual Error	10	2429.9	2429.9	243		
Lack-of-Fit	5	889.9	889.9	178	0.58	0.719
Pure Error	5	1540	1540	308		
Total	19	85769				

결정된 2차 회귀모델 식 (2)를 통해 주요 설계 인자의 최적 조건을 추정하면, <Figure 6>에서 표현된 바와 같이 $A = -21.10$, $D = 10.86$, $E = 6.8$ 이라는 결과를 얻을 수 있고, 최종 실험결과를 종합하면 <Table 9>와 같은 최적 조건을 찾아낼 수 있다. 주요 인자 (A, D, E)는 추정된 최적 조건을 사용하며, 이외 인자의 수준은 설계 용이성과 개발 비용을 고려하여 판단하였다.

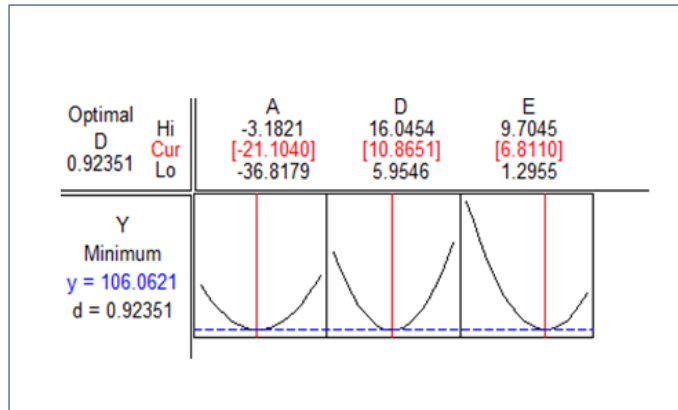


Figure 6. Optimal Condition of A, D, and E for Y

Table 9. Optimal Condition

Factor	Description	Initial Condition	Optimized Condition
A	Nozzle distance	-30.00 mm	-21.10 mm
B	Nozzle position	-50.0 mm	5.0 mm
C	Guide pressure	-50.0 Pa	0.0 Pa
D	Motion speed	8.0 rpm	10.86 rpm
E	Voltage	8.0 kV	6.8 kV

4. 결 론

전자제품 제조 과정 중 검사 공정에서는 많은 부분에 있어 작업자의 경험에 의한 판단에 의존하여 왔으며, 이러한 경험적 공정 운영에 따른 품질의 불균일성과 제품 품질의 저하는 지극히 지속적으로 문제가 되어왔다. 또한 신규 제조 공정 기술에 있어서는 기존 자료나 경험이 존재하지 않거나 부족하여 단순히 작업자의 판단에 따라 공정 조건을 설정하기 어렵기에 이를 보완하고 대체할만한 효율적이고 합리적인 공정 설계 인자 최적화 방법이 필요한 실정이다.

전자 칩 외관 검사장비에서 균일한 영상품질을 얻기 위한 부품 위치 정렬장치는 아직 실험 단계의 초보적인 기술이며 실용 데이터가 부족한 상태로, 본 연구에서는 이 위치 정렬장치 운영을 위한 주요 설계 인자를 도출하고 각 인자별 운영 조건을 최적화하는 것을 목표로 하였다.

축차 실험이 가능한 실험계획법을 토대로 한 본 연구는 위치 정렬장치의 운전조건을 체계적, 그리고 효율적으로 최적화 할 수 있는 기준을 제시하였다는 점에서 큰 의미가 있으며, 칩 모델 변화 시에도 신속한 최적공정조건 설정이 가능하고, 나아가 신규 제조 공정 개발 시 그 개발 기간을 단축하고 비용을 절감하는 데에 보탬이 될 것으로 기대된다.

마지막으로, 본 연구에서의 실험은 특정 칩 부품을 대상으로 실시하였으므로 칩의 소재, 크기 및 형상이 변경될 경우 주 설계인자들의 최적 수준 및 조합 또한 변경될 가능성이 있음을 밝혀둔다. 향후 칩 모델이 변경되면 대상이 되는 모델 별로 본 연구에서 제시된 실험계획법에 준하는 실험을 실시하여 변화에 따른 데이터를 체계적으로 확보해야 할 것이다.

REFERENCES

- Asano, Kazutoshi, Hatakeyama, Fumikazu, and Yatsuzuka, Kyoko. 2002. "Fundamental Study of an Electrostatic Chuck for Silicon Wafer Handling." *IEEE Transactions on Industry Applications* 38(3):840-845.
- Cho, Woong, Song, Chun-Sam, and Kim, Jong-Hyeong. 2008. "Optimal Design of the 6th Generation LCD Glass Using the Taguchi Method." *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers* 2(4):104-109.
- Choi, Jae Seok, Yoo, Jeong Hoon, Hong, Sang Joon, Kim, Tae Hyun and Lee, Sung Jin. 2006. "Physical Modeling and Characteristics of Johnsen-Rahbek Type Electrostatic Chuck." *Key Engineering Materials* 326:1221-1224.
- Hwang, S. C., Yoon, S. H., Han, B., and Kim, Y. J.. 2005. "A Study on the Characteristics for the Collecting Mist of Hybrid Electrostatic Precipitator Using Dielectric Coagulation System." *Proceeding of the 39th meeting of Korean Society for Atmospheric Environment* 5:429-431.
- Jeon, Jong-Up. 2006. "Electrostatic Suspension and Transportation Device of Glass Panels." *Journal of the Korean Society for Precision Engineering* 23(3):76-85.
- Kim, Hyuk-Joo and Park, Sung-Hyun. 2006. "Statistical Properties of Second type Central Composite Designs." *Korean Journal of Applied Statistics* 19(2):257-270.
- Kim, Seong-Jun, and Park, Jong-In. 2005. "An Optimum Design of Secondary Battery Using Design of Experiments with Mixture." *IE Interface* 18(4):402-411.
- Koh, Keng Huat, Kuppan Chetty, R. M., and Ponnambalam, S. G. 2011. "Modeling and Simulation of Electrostatic Adhesion for Wall Climbing Robot." *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)* 2031-2036.
- Montgomery, Douglas C. 1996. *Design and Analysis of Experiments*. New York: Wiley.
- Park, Keun, Ahn, Jong-Ho, and Choi, Sang-Ryun. 2002. "Application of Design of Experiments and Numerical Analysis to Optimal Design for Injection Molding Processes of Electrical Parts." *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A* 26(7):1348-1356.
- Park, K. B., Han, S. J., Hwang, J. D., and Jung, Y. G. 2009. "The Determination of the Optimal Laser Machining Condition for WC Using Taguch Experimental Method Design." Paper presented at the Korean Society for Precision Engineering 2009 Fall Conference, Daegu, Republic of Korea, November 245-246.
- Park, Sung Hyun. 2012. *Modern Design of Experiments*. Seoul: Minyongsa.
- Watanabe, Toshiya, Kitabayashi, Tetsuo, and Nakayama, Chiaki. 1992. "Electrostatic Force and Absorption Current of Alumina Electrostatic Chuck." *Japanese Journal of Applied Physics* 31:2145.
- Watanabe, Toshiya, Kitabayashi, Tetsuo, and Nakayama, Chiaki. 1993. "Relationship Between Electrical Resistivity and Electrostatic Force of Alumina Electrostatic Chuck." *Japanese Journal of Applied Physics* 32:864~871.
- Watanabe, Toshiya, Kitabayashi, Tetsuo, and Nakayama, Chiaki. 1994. "Electrostatic Charge Distribution in the Dielectric Layer of Alumina Electrostatic Chuck." *Journal of Material Science* 29(13):3510-3516.

