

## 반응표면법을 이용한 MLCC 자동 정렬 시스템의 운영조건 최적화

김재민\*, 정원지<sup>+</sup>, 신오철<sup>++</sup>

(논문접수일 2010. 1. 4, 심사완료일 2010. 8. 11)

### Application of Response Surface Method for Optimal Transfer Conditions of MLCC Alignment System

Jae Min Kim\*, Won Ji Chung<sup>+</sup>, O Chul Shin<sup>++</sup>

#### Abstract

This paper presents the Application of Response Surface Method for Optimal Transfer Conditions of MLCC Alignment System. his paper is composed of two parts: (1) Testing performance verification of MLCC alignment system, compared with manual operation; (2) Applying response surface method to figuring out the optimal transfer conditions of MLCC transfer system. Based on the successfully developed MLCC alignment system, the optimal transfer conditions have been explored by using RSM. The simulations using ADAMS<sup>®</sup> has been performed according to the cube model of CCD. By using MiniTAB<sup>®</sup>, we have established the model of response surface based on the simulation results. The optimal conditions resulted from the response optimization tool of MiniTAB<sup>®</sup> has been verified by being assigned to the prototype of MLCC alignment system.

**Key Words** : MLCC(적층세라믹커패시터), Alignment system(정렬시스템), MiniTab(미니탭), ADAMS(아담스), regression(회귀), Response surface(반응표면)

## 1. 서론

현대 사회에 있어 휴대폰, 디지털 카메라, MP3 등은 일상

생활에 없어서는 안 될 생활필수품이며 날이 갈수록 소형화, 경량화되고 있다. 더 작고, 가벼우면서도 그 기능을 극대화한 제품의 요구가 증가하고 있음에 따라 이를 충족시키기

\* 창원대학교 기계설계공학과 대학원 (jaemins0@hanmail.net)  
주소: 641-241 경상남도 창원시 사림동 소나무 5길

+ 창원대학교 메카트로닉스공학부

++ 솔로몬 메카닉스(주)

위하여 메모리, CPU와 같은 소자들이 점점 소형화 되고 집적화 되고 있다. 이를 위해, MLCC(Multi-Layer-Ceramic Capacitor)라는 새로운 기술이 등장하게 되고 MLCC를 통하여 초경량 전자제품을 생산할 수 있는 기반이 마련되었다. 또한, 자동차 등의 수송기계와 산업현장에 적용되는 공작기계 등은 날이 갈수록 기능이 복잡해짐에 따라 이를 제어하기 위한 제어시스템의 전용 보드화 및 콤팩트화를 위해 MLCC의 적용이 증가되었다. 이에 따라 시장 전반에 걸쳐 MLCC의 수요가 지속적으로 늘어나게 되었고, MLCC 생산 관련 업체에서 제조 기술 및 생산 기술의 개발 및 연구를 지속적으로 추진하고 있다. 하지만 MLCC의 생산 공정 중 공정간 즉, 전 공정과 후 공정을 이어주는 공정의 자동화 구축은 공정별 자동화에 비해 연구 및 개발이 낮은 실정이다. 특히, MLCC 생산 공정 중, 후 공정에 속하는 칩을 절단하고 나서 2차 소성을 하기 위해 소성판에 칩을 정렬하는 공정은 수작업으로 이루어지고 있다<sup>(1)</sup>.

본 연구에서는 기존 수작업 방식에서 자동화로 전환하기 위하여 칩 정렬공정의 자동화 시스템을 개발하고 개발된 장치를 실제 생산공정에 적용하기 위한 성능검증을 실시하고, 핵심 요소인 Parts Feeder 장치에 의한 칩 이송에 관련한 최적 공정 조건을 제시하고자 한다. 칩 이송의 최적 조건 제시를 위해 통계학 소프트웨어인 MiniTAB<sup>®</sup>을 사용하여 반응표면 실험의 인자들을 찾아내고 찾아낸 실험인자들을 MSC. ADAMS<sup>®</sup>를 이용하여 시뮬레이션하고 최종적으로 반응표면법을 통해 찾아낸 최적의 공정 조건을 실제 개발한 MLCC 정렬 자동화 시스템에 적용하여 그 결과를 검증하였다.

## 2. MLCC 정렬 자동화 시스템 개발 및 성능평가

2차 소성을 위한 MLCC 정렬 자동화 시스템의 주요 구성은 소재를 공급하는 공급부, 공급된 소재의 공급량을 검사하기 위한 중량 측정부, 공급부에서 공급된 소재를 중량 측정부로 이송하기 위한 컨베이어 장치, 소재를 이송하면서 정렬하기 위한 정렬부, 정렬된 소재를 이송하기 위해 1차로 정렬하는 정렬부 및 컨베이어 벨트 도피부, 정렬된 소재를 소성판으로 이송시키기 위한 트랜스퍼부로 구성된다<sup>(2)</sup>. Fig. 1은 실제로 개발한 MLCC 정렬 자동화 시스템이다.

개발된 MLCC 자동 정렬 시스템에 대한 성능검증을 수행하고 성능검증 결과에 따라 향후 상용화를 위해 다양한 소재(MLCC)를 적용하여 그 실용성 검증에 대한 실험을 수행하였다. 실용성 검증을 위한 실험은 사용된 MLCC는 3216,

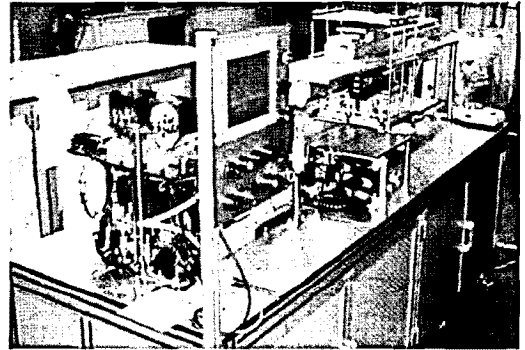


Fig. 1 MLCC Alignment System

Table 1 Testing chips of MLCC

Items		Conditions		
M	Model	3216	2012	3818
	Size(LWH)	3.2*1.6*1.2	2.0*1.2*1.2	3.8*1.8*1.8
C	Area(Cm3/EA)	0.0512	0.024	0.069
C	Weight(g/EA)	0.034	0.016	0.045
Cycle time		8s		

Table 2 Alignment Reference for Testing chips

Alignment	Quantity(EA)		Weight(g)	
	100%	90%	100%	90%
MLCC				
3216	4,688	4,219	159.38	143.44
2012	10,000	9,000	160.00	144.00
3818	3,428	3,089	154.46	139.02

2012, 소성 전 칩인 3818 규격의 MLCC를 적용하여 각 모델별로 10회 실험을 통해 정렬된 칩의 중량, 수량과 소성판의 정렬면적대비 정렬 비율과 10회 실험 평균값에 대한 각 실험 횟수 별 중량과 수량의 차이를 분석하였다.

실험에 사용된 MLCC 각 모델별로 정렬된 칩의 수량 및 중량을 측정하기 위해서는 CAS 사의 MW-200 모델의 전자저울을 사용하였다. Table 1에는 적용된 MLCC 모델별 사양을 나타내었고, Table 2에는 소성판 정렬 면적(20cm \* 12cm)에 대한 기준값을 나타내었다.

각 모델별 10회 실험결과에 대한 평균 정렬수량 및 정렬밀도는 3216은 정렬수량 4,453개, 정렬밀도 95%, 2012는 정렬수량 8,853개, 정렬밀도 88.5%, 3818의 정렬수량은

Table 3 Results of testing experiments

Test	Class	3216		2012		3818	
		Quantity	Alignment Rate	Quantity	Alignment Rate	Quantity	Alignment Rate
1		4,439	94.7	8,829	88.3	3,098	90.3
2		4,491	95.8	8,843	88.4	3,122	91.0
3		4,439	94.7	8,858	88.6	3,106	90.5
4		4,467	95.3	8,877	88.8	3,127	91.1
5		4,456	95.1	8,863	88.6	3,132	91.3
6		4,490	95.8	8,918	89.2	3,137	91.4
7		4,424	94.4	8,745	87.5	3,116	90.8
8		4,482	95.6	8,860	88.6	3,102	90.4
9		4,433	94.6	8,878	88.8	3,161	92.1
10		4,409	94.1	8,856	88.6	3,083	89.8
Average		4,453	95.0	8,853	88.5	3,119	90.8

3,119개, 정렬률도 90.8%로 측정 되었다. 이는 기존 수작업 공정의 평균 80%보다 향상된 결과이다. Table 3은 성능평가에 대한 결과를 나타낸 것이다.

### 3. 반응표면 실험 계획

반응표면분석(Response Surface Analysis)은 1951년 Box 와 Willson에 의하여 처음으로 시작된 분석 방법으로 여러 개의 설명변수  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ 가 복합적인 작용을 함으로써 어떤 반응변수  $\eta$ 에 영향을 주고 있을 때, 이러한 반응의 변화가 이루는 반응표면에 대한 통계적인 분석방법을 말한다. 본 논문에서는 개발된 MLCC 정렬 자동화 시스템의 핵심 장치라 할 수 있는 Parts Feeder 장치의 운동에 대해 vel1, vel2, length를 실험 인자로 선정하고 실험인자의 최적화된 값을 찾기 위해 반응 표면법을 사용하였다<sup>(3)</sup>. 칩은 3818을 대상으로 선정하였다.

실제 MLCC 정렬 자동화 시스템에서는 3818의 경우, 1회 동작 시 약 3000여개 이상의 칩 정렬이 가능하지만, MSC. ADAMS를 이용한 가상 실험에서는 30개만의 칩을 이용하여 실험하였다. 이는 더 많은 칩을 사용해 실험 할 경우, 컴퓨터의 성능 한계로 인해 1회 실험시 많은 시간이 소요되기 때문이다. 실험시 각 칩 간에 contact 조건을 부여하여 실제 시스템과 동일한 시스템 운영 조건을 만들었다. 각 실험의 동일 제약 조건으로는 Parts Feeder에 의한 운동시간을 개발한 시스템과 동일한 8sec, step은 900으로 제한하였다. Fig. 2

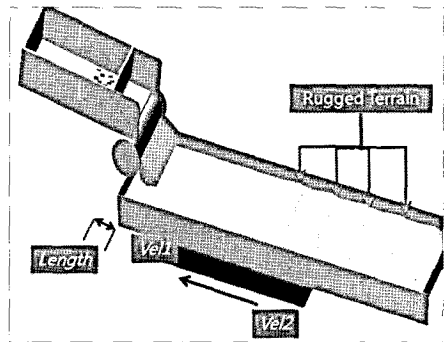


Fig. 2 Schematic of MLCC Alignment System

Table 4 Initial factors

	Vel1(m/s)	Vel2(m/s)	Length(mm)
Initial factors	0.015	0.043	4.000

는 시뮬레이션 대상인 Parts feeder와 칩, 그리고 각 실험 인자들을 나타낸 것이다.

시뮬레이션은 좌측 상단의 바구니로부터 자유낙하 운동에 의해 Parts feeder 위에 칩이 떨어지게 되고 Parts feeder가 Fig. 2에 표기된 방향으로 vel1, vel2의 속도로 왕복운동을 하게 되어 칩을 우측으로 이송시키게 된다. Table 4는 실제 개발된 MLCC 정렬 자동화 시스템의 Parts Feeder 장치의 기본적으로 설정된 운동 조건이다.

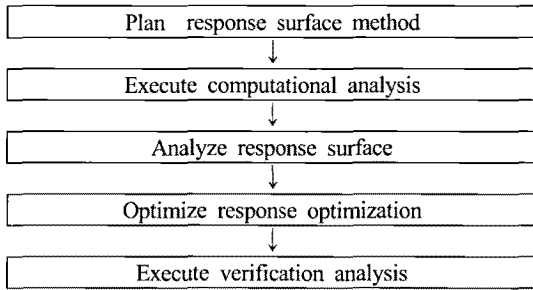


Fig. 3 Flowchart for response surface method

Table 5 Cube Model of CCD

Cube points	8
Center points in cube	6
Axial point	6
Center points in axial	1
$\alpha$	1.682

Table 6 Range of design variables

Design variable	Lower	Upper
Vel1(m/s)	0.005	0.020
Vel2(m/s)	0.030	0.060
Length(mm)	3.000	6.000

반응표면 실험은 Fig. 3과 같은 순서로 진행하였다.

반응표면실험 설계를 위한 실험계획법으로 중심합성계획법(Central Composite Design)을 사용하였다<sup>(4)</sup>. 중심합성계획법은 적은 횟수의 실험으로 반응변수의 수준변화에 따라서 발생하는 설명변수의 변화량을 추정하기 위하여 중심점과 축점을  $2^k$  요인법에 추가시킨 실험계획법이다. 중심합성법에는 Cube 모형과 Axial 모형이 있으며 본 실험에서는 Cube 모형으로 Table 5와 같이 설계하였고, Table 6과 같은 인자 범위를 선정하여 총 20회 실험하였다. 20회의 실험은 3개의 실험인자를 가질 시에 실험횟수는  $2^k+2k$ +Axial point 로 선정되어진다.

#### 4. 반응표면실험

반응표면 실험을 통해 얻어진 실험 결과값(Transfer Credit)은 칩이 정해진 지점(4곳)을 통과할 때마다 점수(1점)를 부

Table 7 Simulation Result

No.	Vel1	Vel2	Length	Transfer Credit
1	0.0050000	0.0600000	6.00000	28
2	0.0251134	0.0450000	4.50000	0
3	0.0050000	0.0600000	3.00000	0
4	0.0125000	0.0197731	4.50000	0
5	0.0125000	0.0450000	4.50000	0
6	0.0125000	0.0450000	4.50000	0
7	0.0050000	0.0300000	3.00000	21
8	0.0200000	0.0300000	6.00000	0
9	0.0125000	0.0450000	4.50000	120
10	0.0200000	0.0600000	6.00000	0
11	0.0125000	0.0450000	4.50000	95
12	0.0125000	0.0450000	7.02269	115
13	0.0001134	0.0450000	4.50000	0
14	0.0200000	0.0300000	3.00000	0
15	0.0125000	0.0702269	4.50000	90
16	0.0125000	0.0450000	4.50000	105
17	0.0125000	0.0450000	4.50000	105
18	0.0125000	0.0450000	4.50000	0
19	0.0125000	0.0450000	1.97731	3
20	0.0200000	0.0600000	3.00000	0

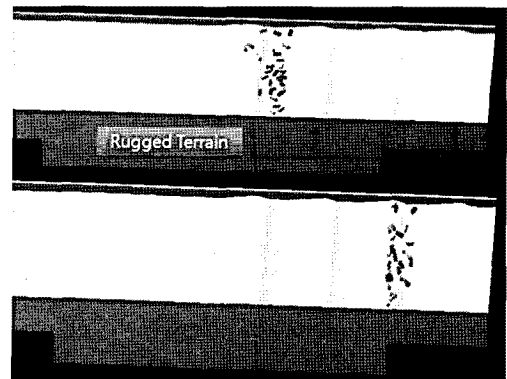


Fig. 3 Simulation of ADAMS®

여하여 나온 결과로서 모든 칩이 정렬구역으로 이동되었을 때의 점수는 120점이다. 실제 MLCC 자동 정렬 시스템에서는 수천 여개의 칩이 이송하게 되고 칩들 상호간에 영향을

주어 정해진 굴곡지점을 통과 할 때 칩들 간에 밀어내는 작용을 통해 굴곡을 넘어가기에 용이한 점이 발생하지만, MSC. ADAMS<sup>®</sup>를 통한 시뮬레이션 상에서는 30개의 칩만으로 실험하기 때문에 실제와는 어느 정도 차이가 날 수밖에 없어 몇몇 실험에서는 칩이 굴곡지점을 통과하지 못하여 Transfer Credit이 0이 되는 경우가 발생하게 되었다. Table 7은 각 실험인자(vel1, Vel2, length)에 대한 MSC. ADAMS<sup>®</sup>를 이용한 시뮬레이션 결과이고, Fig. 3은 MSC. ADAMS<sup>®</sup>를 이용한 시뮬레이션 모습이다<sup>(5)</sup>.

### 5. 반응 표면법

MSC. ADAMS<sup>®</sup>에서의 시뮬레이션 결과값 해석을 위해 반응표면법을 사용하였다. 결과값에 대한 반응표면모형은 각 항에 대한 P값을 확인하고 가장 P값이 큰 것부터 한번에 하나씩 풀링 시켜 모형을 적합 시켰고, 모형 적합 후, R-sq와 Lack-of-fit 값을 확인하여 R-sq값이 95% 이상의 적합도를 만족 시킬 때까지 반복하였다. 그 결과, 유의 하지 않은 것으로 나타난 Vel1\*Vel2, Vel2\*Length, Vel1\*Length를 풀링 시켜 R-sq의 값 95.2%를 구하였다. 반응표면 모형에 대한 적합성을 평가하기 위해 잔차분석과 분산분석 결정계수를 이용하였다<sup>(6,7)</sup>. Fig. 4는 최종모델에 대한 반응표면 분석결과이고, Fig. 5는 잔차분석 그래프, Table 8 분산 분석표를 나타내었다.

잔차 분석 결과, 정규 분포를 잘 따르고, 분산 분석 결과 적합성 결어가 0.114로 0.005보다 크므로 선택한 회귀모형은 적합한 것으로 판단된다. 결정 계수 R-sq도 95.2%로 반응표면 결과의 유효성을 나타내고 있다. 이상의 결과를 바탕으로 전산 해석시 Vel1, Vel2, Length에 따른 칩의 이송 정도를 나타내는 2차 다항식을 최소제곱법을 이용하여 구하면 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$T = -27.63 + 13009 V_1 + 6669 V_2 + 60L - 640664 V_1 V_2 - 64466 V_2^2 - 4L^2 \quad (1)$$

### 6. 최적화 및 실제 적용

식 (1)은 Transfer Credit에 관계되는 식으로 식의 결과가 120에 가까울수록 칩의 이송이 원활하여 보다 개선된 정렬도를 얻을 수 있다. 식 (1)에 설명 변수들의 최적의 값을 찾기 위하여 MiniTAB<sup>®</sup>의 반응 최적화 툴을 사용하였다. 본 논

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-27.6300	21.7001	-1.986	0.019
Vel1	13009	5264	2.471	0.028
Vel2	6559	4593	1.428	0.177
Length	50	46	1.094	0.004
Vel1*Vel1	-540664	201222	-2.687	0.019
Vel2*Vel2	-64455	50306	-1.281	0.222
Length*Length	-4	5	-0.891	0.039

S = 0.2270    R-Sq = 95.2%    R-Sq(adj) = 92.7%

Fig. 4 Final model of response Surface Regression

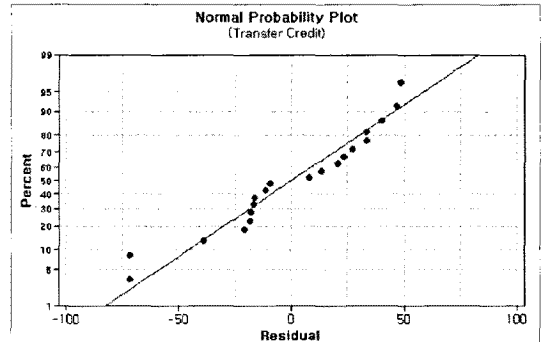


Fig. 5 Normal probability plot of the residuals for Transfer Credit

Table 8 ANOVA Table for Transfer Credit

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	10	29.1757	29.1757	2.91751	38.03	0.000
Linear	4	25.0150	4.2156	1.05390	13.74	0.000
Square	2	1.7278	1.7278	0.86391	11.26	0.001
Interaction	4	2.4329	2.4329	0.60822	7.93	0.001
Residual Error	19	1.4577	1.4577	0.07672	-	-
Lack of fit	14	1.3038	1.3038	0.09313	3.03	0.114
Pure Error	5	0.1539	0.1539	0.03078	-	-
Total	29	30.6334				

문의 경우 반응변수는 망대특성을 가짐으로 최대화를 선택하였다. 반응변수 값이 최대가 되는 최적의 해는 Vel1 0.0119, Vel2 0.0505, Length 5.5454로 Fig. 6과 같이 선정되었다.

앞의 반응표면법을 거쳐 선정된 최적의 design factor(Vel1, Vel2, Length)를 실제 개발한 MLCC 정렬 자동화 시스템에 적용하여 보았다. 반응표면법의 대상으로 선정하였던 3818

칩을 10회에 걸쳐 실험해 보았고, Table 9와 같은 실험 결과를 얻을 수 있었다. 10회 실험 결과 평균 0.8% 정도의 칩 정렬도를 향상 시킬 수 있었다. Fig. 7은 초기 운영조건에서의 칩 정렬 사진과 최적화한 운영조건에서의 칩 정렬 사진을 비교한 것이다.

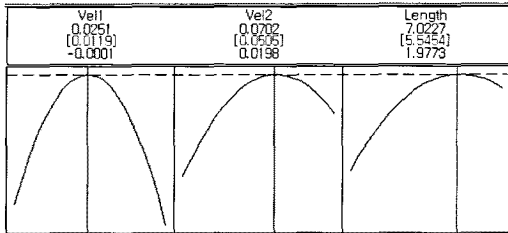


Fig. 6 Optimal conditions resulted from MiniTAB®

Table 9 Comparison of operations using initial and Optimal conditions

Test No.	3818(Initial conditions)		3818(optimal conditions)	
	Quantity	Alignment Rate	Quantity	Alignment Rate
1	3,098	90.3	3,125	91.1
2	3,122	91.0	3,144	91.6
3	3,106	90.5	3,153	91.9
4	3,127	91.1	3,152	91.8
5	3,132	91.3	3,139	91.5
6	3,137	91.4	3,149	91.7
7	3,116	90.8	3,147	91.7
8	3,102	90.4	3,134	91.3
9	3,161	92.1	3,154	91.9
10	3,083	89.8	3,128	91.1
Average	3,119	90.8	3,240.00	91.60

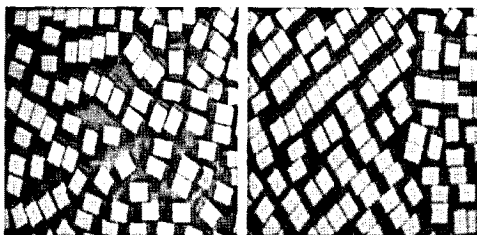


Fig. 7 Intial conditions(Left) & Optimalconditions(Right)

3818에 대한 최적화 운영 조건을 바탕으로 3216, 2012에 대해서도 실험을 하였다. 그 결과, 초기 운영 조건에 비해 성능이 오히려 저감되거나 거의 향상되지 못한 것을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 앞서 최적화한 결과는 3818칩에 대해서만 유효하고, 크기가 다른 칩들에 대해서는 유효하지 않다는 것을 알 수 있었다.

## 7. 결론

본 연구는 개발한 MLCC 정렬 자동화 시스템의 Chip 이송량과 칩 정렬도를 향상시키기 위한 Parts feeder의 운영 조건 최적화에 관한 것이다.

개발한 시스템에 대한 성능평가를 실시하여 도출한 data를 바탕으로 MiniTAB®을 이용하여 반응표면법을 실시하여 인자의 변화에 대한 회귀식을 제시하였다. 찾아낸 회귀식을 통하여 3818 칩에 대한 최적의 공정 변수 조건을 찾아내었으며, 실제 시스템에 적용해 본 결과 집합도가 0.8%정도 향상되었다. 또한 앞서 찾아낸 회귀식에 대한 최적값은 3818 칩에 대해서만 적용이 가능하고, 크기가 다른 칩들에 대해서는 적용되지 않는다는 것을 알 수 있었다.

## 후기

이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았음.

본 연구는 지식경제부에서 지원한 지역산업공통기술개발사업 “적층 세라믹 Capacitor의 2차 소성을 위한 칩 정렬 자동화 시스템 개발”으로 수행되었으며, 기술개발을 위한 연구에 도움을 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고 문헌

- (1) Shin O. C., Jung S. H., Jung S. R., Chung W. J. and Kim J. M., 2009, “A Study on the Practicality for MLCC Alignment Automatic System Commercial Business,” KSME Autumn Conference 2009 pp. 329-330.
- (2) Kuk K. H., Park Y. T., 2003, “Planning of Part Feeder and Design of a Data Base for Part Feeder Planning System,” Journal of the KSPE, Vol. 19, No. 7, pp. 116-124.
- (3) LeeS. B., 2002, “Minitab User Handbook”

- (4) Lee S. H., 2006 "*Engineering data Analysis with statistics taken to MiniTAB*" pp. 627~675.
- (5) Song C. G., Jo B. G., 2007, "*MSC. ADAMS For multi-body dynamics analysis*"
- (6) Kim W. C., Kim J. J., Park B. W., Park S. H., Park T. S., Song M. S., Lee S. Y., Lee Y. J., Jeon J. W. and Cho S. S., 2005 "*Introduction to Statistics*" pp. 275~307.
- (7) Jung D. W., Chung W. J., Kim H. C., Bang Y. M. and Yoon Y. M., 2006, "Six Sigma Robust Design of Fork Park for LCD Transfer System," World-multi conference on systemics, and cybernetics, informatics, pp. 347~352.