

협피치 BGA Test Socket용 고정밀 금형기술 개발(2) - 성형해석 및 통계적 기법을 활용한 변형저감 기술

정우철^{† 1} · 허영무¹ · 신광호¹ · 장성호¹ · 정태성²

¹한국생산기술연구원 정밀금형팀, ²재영솔루텍

Development of High Precision Mold for Narrow Pitch BGA Test Socket -Reduction Technology of Warpage using CAE and Statistical Techniques

Woo-Chul Jung^{† 1} · Young-Moo Heo¹ · Kwang-Ho Shin¹ · Sung-Ho Chang¹

Tae-Sung Jung²

¹Precision Molds & Dies Team, KITECH, ²JY-Solutech

Abstract : The technologies of mold design, manufacturing, injection molding process and computer aided engineering(CAE) are developed rapidly with the growth of plastic product market. Injection molding process optimum design can not be easily determined. This study was determined factors and levels which carried out to analyze an influence of narrow pitch BGA socket warpage and performed investigating the main effect and interaction effect between factors using design of experiment. The result of this paper is injection time and packing pressure are affect on narrow pitch BGA socket warpage at injection molding.

Key Words : BGA, CAE, Design of Experiment, Response surface Method, Injection Molding

1. 서 론

고분자의 가공 중 사출성형에 의해 제조되는 플라스틱 제품은 산업의 모든 분야에 활용되고 있다. 금속재료에 비해 경량화 및 가격경쟁력이 우수하며, 현대 산업사회에서 환경적 측면이 강조되어 재활용이 중요시되면서 사출성형으로 생산되는 제품은 더욱 널리 적용되어지고 있다. 그러나 사출성형 제품은 고유한 공정 특성 및 변수로 인해 제품의 품질을 예측하기 어렵고 불량 발생하는 경우, 가공된 금형을 수정하는 경우가 많은데 이러한 특성으로 인해 정확한 문제의 진단과 효과적인 해결방법 모색이 절실히 요구된다. 최상의 사출성형품을 얻어내기 위해서는 제품설계, 금형설계, 사출성형 등 복합적 단계를 거쳐야 하며, 각 단계별로는 다양한 요구사항들이 있으며 그에 맞는 기능들을 효과적으로 작용시키고 유기적으로 연결하여 단계별 기술 정보의 교환이 원활히 이루어질 수 있게 하는 것이 사출성형

CAE의 역할이다¹⁻³⁾.

BGA 콘넥터는 반도체 IC칩 제조과정 중 전수검사 과정에서 사용되는 테스트 소켓으로 제품에 IC칩을 안착시켜 고온테스트, 전기·전자적 테스트 등 여러 가지 테스트를 하여 IC칩의 이상유무를 확인할 때 사용되는 제품이다.

본 논문에 적용된 BGA 소켓은 Fig. 1과 같이 베이스부(base plate)와 중앙부(center plate)로 구성되어 조립되는 형태로 구성되어 있고, 제품의 중앙부는 0.5mm의 두께를 가지고 있으며, 이를 30개를 적층하여 베이스부에 조립하는 공정을 통하여 하나의 제품이 완성된다. Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 베이스부는 사출성형 공정을 통하여 제품을 생산하는데 큰 문제가 없는 형상을 가지고 있고, 중앙부와 조립되는 것 이외의 BGA 제품이 요구하는 중요기능은 없는 구조이다. 그러나 이와 달리 중앙부는 제품의 가장 중요 기능을 포함하고 있어 사출성형 후 제품 변형은 제품 성능에 매우 많은 영향을 끼치게 된다.

[†] bogus2@kitech.re.kr

본 연구에서는 CAE를 활용하여 사출성형 공정에서 발생하는 협피치 BGA 중앙부 제품 변형 특성을 파악 하였고 실험계획법을 활용하여 사출성형 공정시 변형발생에 큰 영향을 끼치는 변수를 선정하였다. 또한 요인배치법과 반응 표면법을 이용하여 사출성형 변수 고유 영향과, 변수들 간의 영향을 분석을 수행하였다.

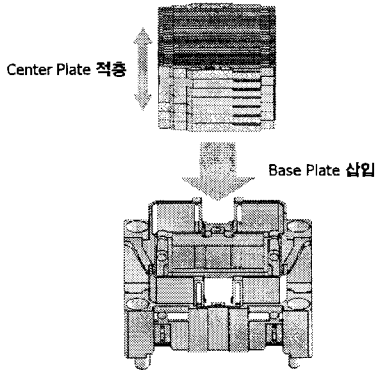


Fig. 1 Shape of narrow pitch BGA

2. 사용수지 및 해석모델 생성

2.1. 사용수지(PES)의 특징

협피치 BGA 중앙부의 사출성형에 적용된 수지는 PES(polyethersulfone)이다. PES는 영국 ICI사에서 개발한 고기능성 엔지니어링 플라스틱으로서 비결정성의 투명한 호박색이다. 현재는 일본의 스미토모 화학공업, BASF, 미쓰이화학, 테이진 아모코 엔지니어링 플라스틱 등에서 생산하고 있다. 디클로로디페닐설폰의 축중합반응에 의해 PES를 얻을 수 있다. PES는 비중이 1.24이고 역학적 성질은 질기고 단단한 엔지니어링 플라스틱 부류에 속한다. 열적성질은 150°C에서 연속사용에 견딜 수 있는 것으로 UL규격에서 인정되고 있다. 가장 큰 특징은 200°C 정도의 고온에서 치수변화나 물성저하를 일으키지 않고 장시간의 연속 사용에 견디는 고온특성이다. 또한 PES는 우수한 내열성을 지니면서도 일반성형기로도 성형이 가능한 특징이 있다. 1차 가공은 사출성형, 압출성형, 용액캐스트, 소결 등이 가능하며 2차 가공으로는 전기도금, 진공증착, 절삭가공, 진공성형, 초음파접착 등이 가능하다. 사출성형시의 수지의 흐름은 폴리카보네이트와 비슷하고 실제로 폴리카보네이트용 금형으로 용이하게 만들 수 있다. 사출성형을 하기 전 예비건조가 필요하며, 건조를

하지 않을 경우에는 PES의 습포기 때문에 제품에 기포나 은줄 등 외관 불량을 가져올 수 있다⁴⁾.

본 연구에 적용된 수지는 일본 미쓰이 화학(mitsui chemical)에서 생산된 SGP2020R이며, 유리 섬유가 20% 함유된 PES이다. SGP2020R의 점도 선도 및 PVT선도는 Fig. 2, Fig. 3에 도시하였다.

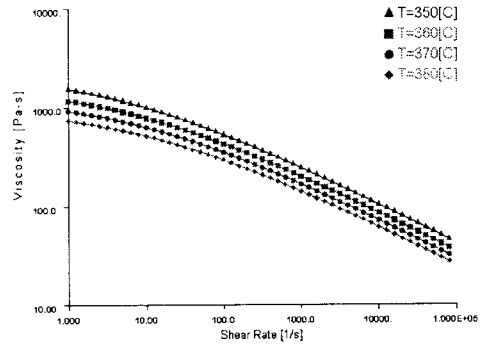


Fig. 2 Viscosity vs shear rate diagram of SGP2020R

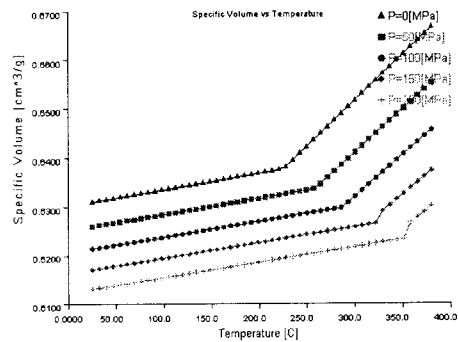


Fig. 3 Specific volume vs temperature diagram of SGP2020R

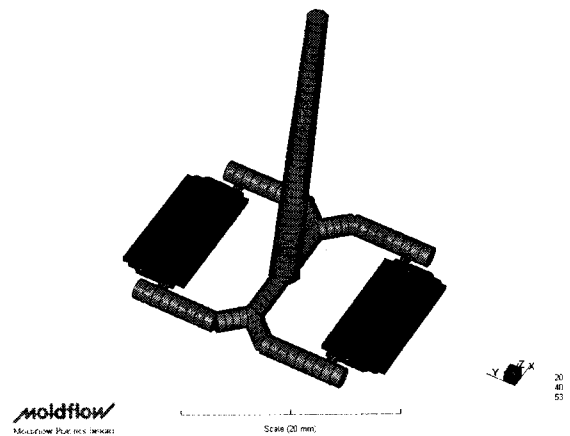


Fig. 4 Center plate and delivery system modeling for injection molding analysis

2.2. 해석모델 생성

BGA 중앙부 제품은 얇은 두께를 가지고 있으며, 중앙에 0.18mm × 4.7mm 사각형 포켓 24개가 등간격으로 배열되어있는 형태이다. 이러한 형상적인 요인으로 인하여 요소화 작업시 주의를 기울여야 할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 해석 모델 생성시 요소 생성 작업의 용이함과 불필요한 요소 생성을 방지하기 위하여 해석결과에 영향을 미치지 않는 부분의 미소 곡률을 제거 하였으며, 제품 요소 분할시 두께 및 미세 패턴 형상을 최대한 적용하기 위하여 요소사이즈를 0.1mm로 설정하여 분할하였다. 생성된 중앙부 요소에 빔 요소(beam element)를 이용하여 스프루(sprue), 런너(runner), 게이트(gate) 등 유동시스템(delivery system)을 설계형상과 동일하게 적용하여 최종 해석 모델을 생성하였으며, 생성된 해석 모델의 형상은 Fig. 4에 도시하였다.

3. 실험계획법을 이용한 통계적 분석

3.1. 실험계획법 개요

실험계획법(design of experiments)은 제품의 특성에 영향을 미치는 여러 가지 인자(factor)를 선정하고 이들의 관계를 알아보기 위한 실험을 실시하여 제품의 최적 제조조건을 경제적으로 찾아내는 기법이다. 실험계획법의 주요 목적은 어떤 요인이 반응에 유의한 영향을 주고 있는가를 파악하고 그 영향이 어느 정도 큰가를 알아내고 유의한 영향을 미치는 인자들이 어떤 조건을 가질 때 가장 바람직한 반응을 얻을 수 있는가를 알아내기 위해서 사용된다.

실험에 있어서 데이터 산포에 영향을 준다고 생각되는 무수히 존재하는 원인들 중에서 실험에 직접 취급되는 요인을 인자(factor)라고 부른다. 실험을 하기 위한 인자의 여러 가지 조건을 인자의 수준(level)이라고 한다. 실험의 목적을 달성하기 위해서는 실험을 실시하기 이전에 실험에 대하여 충분한 계획이 없으면 소기의 목적을 달성하기 어렵다. 실험계획법의 순서는 우선 목적함수를 정의한 후 인자와 수준수를 결정하고 실험배치법을 선택하여 실험을 실시한 후 실험에 대한 결과를 분석함으로써 최적값을 추정하는 내용으로 진행된다. 목적특성의 변화에 미친 여러 가지 인자들의 영향 정도를 정량적으로 평가하는 실험데이터 해석방법에는 분산분

석(ANOVA), 회귀분석(regression analysis), 요인배치 분석(factorial design analysis), 반응표면분석(response surface analysis), 혼합물분석(mixture analysis) 등이 있다. 이들 분석기법을 통하여 요인효과의 추정과 최적조합의 공정조건을 설정하고 설계방식을 표준화 할 수 있다⁵⁾.

3.2. 사출성형공정 인자 및 수준 선정

상기 언급한 바와 같이 실험계획법에 있어 인자 및 수준의 선정에 따라 통계분석 결과에 큰 영향을 미치게 된다. 본 논문에서 인자 선정은 일반적으로 플라스틱 사출성형 제품 변형에 영향을 끼치는 성형변수인 사출시간(injection time), 보압력(packing pressure), 수지온도(melt temperature), 금형온도(mold temperature), 냉각시간(cooling time) 등을 인자로 선정하였다. 선정된 인자의 수준을 결정하기 위해 기준해석 모델을 선정 한 뒤 CAE 해석 수행 후 그 결과를 근거로 하여 각 인자의 수준을 결정 하였다.

본 논문에서 목적함수는 제품의 변형이므로 사출성형 해석시 미성형이 발생할 경우 정확한 변형량 산출이 불가능하기 때문에 선정된 인자 수준은 반드시 미성형이 발생하지 않는 수준에서 선정되어야 필요가 있다. 따라서 사출시간의 수준을 결정하기 위하여 기준 모델을 이용하여 시간대별로 10회의 충전해석을 수행하였고 그 결과를 Fig. 5에 도시하였다. 인자의 수준을 결정하기 위한 기준모델의 해석조건은 아래의 Table 1에 제시하였다.

해석 결과를 토대로 하여 인자의 수준을 선정 하였다(Table 2). 사출시간은 Fig. 5에서 확인할 수 있듯이 0.7sec이상인 경우에는 미성형이 발생하였고, 최대 사출압력이 낮은 수준으로 선정하기 위하여 0.2sec와 0.4sec로 선정하였다. 보압력은 사출기의 사양 및 안정성을 고려하여 최대사출압력의 80%, 100% 로 선정하였으며, 수지온도, 금형온도 등은 수지의 흐름을 기준해석 모델보다 원활하게 하기 위하여 상향된 값으로 선정하였다. 냉각시간은 생산성을 고려하여 전체 사출공정이 10sec 수준에서 끝날 수 있게 7sec, 10sec로 선정하였다. 보압시간은 기준 모델의 해석 결과 중 게이트부 고화시간을 검토하여 선정된 결과이며 추후 수행된 해석에 모두 동일하게 0.25sec로 적용하였다.

Table 1. Filling analysis conditions for determine of levels

Parameters	Value
Analysis type	Filling
Injection time(sec)	0.1~1.0/0.1sec
Packing pressure(%)	MPI Recommended
Melt Temperature(°C)	
Mold Temperature(°C)	
V/P switch over	

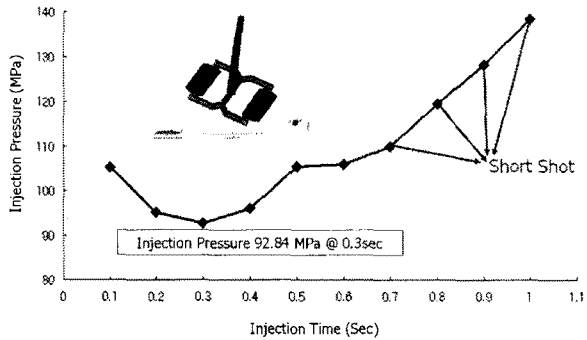


Fig. 5 Max. Injection pressure according to filling time

Table 2. Determine of Factors and level

Factor	LOW	HIGH
Injection Time(sec)	0.2	0.4
Packing Pressure(%)	80	100
Melt Temperature(°C)	365	370
Mold Temperature(°C)	160	165
Cooling Time(sec)	7	10
Packing Time(sec)	0.25	

Table 3. Orthogonal table 2⁵ (Resolution III) and analysis result

No.	A(sec)	B(%)	C(°C)	D(°C)	E(sec)	Warp.(μm)
1	0.2	80	365	165	10	81
2	0.4	80	365	160	7	51
3	0.2	100	365	160	10	43
4	0.4	100	365	165	7	28
5	0.2	80	370	160	7	81
6	0.4	80	370	165	10	60
7	0.2	100	370	160	7	46
8	0.4	100	370	165	10	34

3.3. 주효과 분석을 통한 주요 인자 선정

선정된 인자 중 주요 인자를 선정하기 위하여 직교배열표를 구성하였다. 인자의 수가 5개이고, 각 인자의 수준이 2이기 때문에 반복 없이 모든 인자

와 수준간의 해석을 수행하기 위해서는 2⁵, 총 32회의 해석을 수행하여야 하지만, 본 절에서는 주효과 분석을 통한 주요 인자를 선정하기 위함이 목적이므로, 2⁵ 직교배열표 중 해상도 III를 적용하여 총 8회의 해석을 수행하였다. 이에 따라 구성된 해석의 경우 및 해석결과를 Table.3에 나타내었다. 선정된 성형인자가 서로 상호작용을 가지고 있는지, 성형품 변형에 가장 영향을 미치는 인자는 무엇인지, 영향을 미친다면 어느 정도의 영향을 미치는지를 파악하기 위하여 요인분석을 수행하였다. 이는 주요 인자를 도출하고 성형품 변형에 큰 영향이 없는 인자를 제거함으로써 보다 정밀하고 정확한 결과를 제시하는데 있어 필수 조건이다.

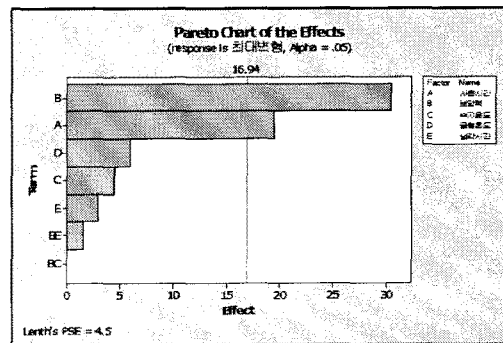


Fig. 6 Pareto chart of the effects

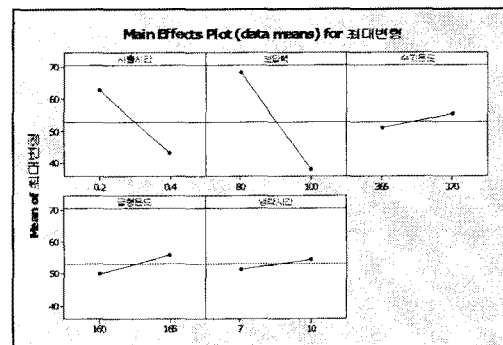


Fig. 7 Main effect plot for Max. warpage

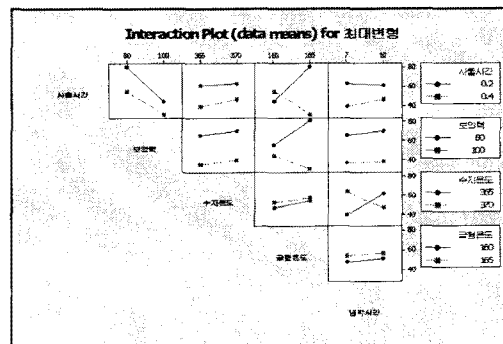


Fig. 8 Interaction plot for Max. warpage

해석 결과를 바탕으로 사출품의 변형에 대한 주 효과도와 상호 효과도를 Fig. 7, Fig. 8에 도시하였다. 도시된 결과로부터 성형품 변형에는 보압력이 가장 큰 영향을 미치고, 그 다음으로 사출시간에 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 상호 효과도에서는 변수간 교호작용을 확인 할 수 있다⁶⁾. 선도에서 서로 교차하는 항이 있으면 교호작용이 있는 것으로 판단 할 수 있는데, 선도로부터 사출시간과 금형온도, 수지온도와 냉각시간에 대해 서로 교호 작용이 있음을 확인 할 수 있다.

3.4. 주요인자 완전요인 분석

Fig.6에서 확인 할 수 있듯이 성형품의 변형에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 보압력과, 사출시간이다. Fig.7 주효과 분석을 통해 보압력, 사출시간 모두 증가함에 따라 최대변형은 작아지는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 Table 2.에 제시된 High 값을 중간값으로 하여 보압력과 사출시간의 수준을 선정하였고, 수지온도, 금형온도, 냉각시간 등은 Fig. 7에서와 같이 그 영향력은 크지 않으나 낮을수록 제품 변형이 작아지는 경향을 근거로 하여 각각 365℃, 160℃, 7sec로 고정하여 주요인자 완전요인 분석을 위한 해석을 수행하였다. 주요인자 완전요인 분석을 위한 수준, 직교배열표와 해석결과를 각각 Table 4.와 Table.5에 도시하였다.

Table 4. Main factor and Level determine for full factorial design

Factor	LOW	MID	HIGH
Injection Time(sec)	0.3	0.4	0.5
Packing Pressure(%)	90	100	110
Melt Temperature(℃)	365		
Mold Temperature(℃)	160		
Cooling Time(sec)	7.0		
Packing Time(sec)	0.25		

Table 5. Full factorial design with 3 point and analysis result

No.	Packing Pressure(%)	Injection Time(sec)	Warp.(μm)
1	90	0.3	56
2	90	0.4	44
3	90	0.5	34
4	100	0.3	43
5	100	0.4	32
6	100	0.5	24
7	110	0.3	30
8	110	0.4	23
9	110	0.5	15

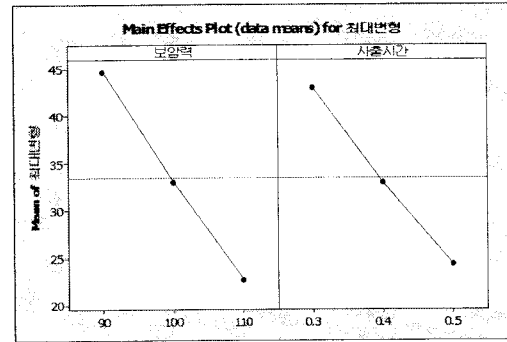


Fig. 9 Main effect plot for Max. warpage

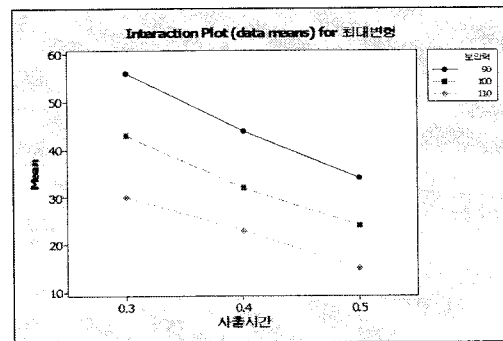


Fig. 10 Interaction plot for Max. warpage

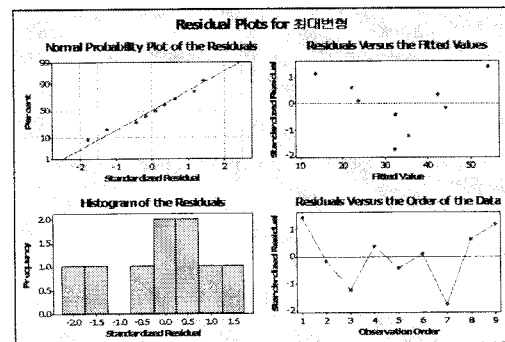


Fig. 11 Residual plot for Max. Warpage

해석결과를 토대로 하여 요인분석을 수행하였으며, 주효과 분석 및 상호작용 분석을 각각 Fig. 9, Fig. 10에 도시하였다. 또한 완전요인 분석결과에 대한 잔차 분석을 수행하였으며, 그 결과는 Fig. 11에 나타내었다. 잔차란 실제 값에서 회귀모형에 의해 적합된 값을 뺀 것을 의미하며 회귀모형의 적합도는 이러한 잔차의 정규성과 등분포산성에 의해 확보 된다⁶⁾. Fig. 11로부터 확인할 수 있듯이 정규확률도가 직선을 이루고 있으므로 정규분포를 따른다고 판단 할 수 있고, 잔차대 적합치가 특별한 특성을 보이지 않으므로 상수 분산을 갖는다고 판단 할 수 있다. 히스토그램에서 데이터가 특정 방향

으로 치우치지 않고 종 모양으로 그려지므로 정규 분포를 따르고, 잔차대 데이터 순서에 특별한 패턴이 없으므로 데이터 준비에 문제가 없음을 파악할 수 있다.

4. 반응표면법을 활용한 공정설계

4.1. 반응표면법 개요

반응표면분석(response surface analysis)은 분산분석이나 특히 요인배치 실험 등을 통하여 최적 조건을 찾았을 때 최적 조건 주위에서 입력 변수가 결과값과 어떤 관계식을 갖고 있는지 분석해 주는 방법이다. 반응변수에 곡률이 존재할 때 반응 표면설계를 이용한다. 반응표면법은 최적치라고 추정되는 값 주위에서 입력변수와 반응값과의 관계가 구해지면 이를 그림으로 명확하게 알 수 있어 새로운 최적점을 수할 수 있으며, 실험요인 수준을 가장 좋은 혹은 원하는 반응값이 되도록 조정할 수도 있다⁵⁾.

4.2. 사출성형공정 설계

분석된 내용을 통해 반응표면법 중 가장 일반적인 중심합성법을 사용하여 공정변수의 값을 제시하였다. 중심합성법은 효율적으로 1,2차 항을 추정하고자 할 때와 요인배치 실험 후에 추가 실험을 하여 곡률 반응변수를 모델화 할 때 많이 사용 된다⁵⁾. Fig. 12와 Fig. 13은 최대변형과 사출시간, 보압력 사이의 반응 경향성을 보여주고 있다. Fig. 15는 회귀모델의 의해 얻어진 최적 요인 수준을 나타내고 있으며, 그 결과는 보압력은 110%, 사출시간은 0.5sec 일 때 사출제품의 변형이 가장 작은 것으로 예측되어졌다.

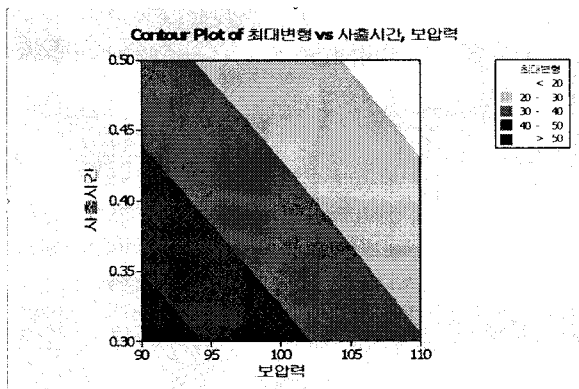


Fig. 12 Contour plot of Warpage vs injection time, packing pressure

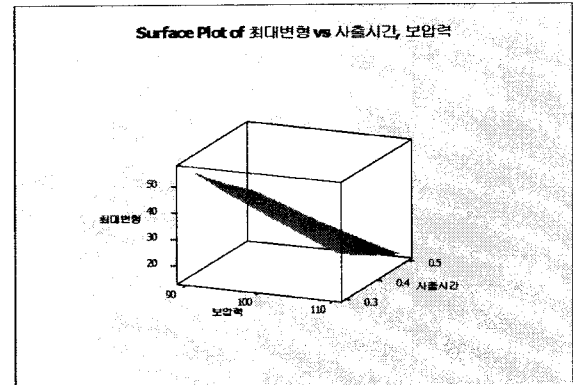


Fig. 12 surface plot of Warpage vs injection time, packing pressure

Optimal	Hi	보압력	사출시간
D	Cur	110.0	0.50
0.23472	Lo	[110.0]	[0.50]
		90.0	0.30
최대변형			
Minimum			
y = 15.3056			
d = 0.23472			

Fig. 14 Optimum injection molding process design

5. 결론

본 연구에서는 CAE와 실험계획법을 사용하여 협피치 BGA Socket 성형을 위한 사출성형 공정에 대한 통계적 분석을 수행하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 협피치 BGA Socket 변형 최소화를 위하여 CAE 해석을 수행하였다.
- 사출성형공정 변수 중 제품 변형에 영향을 끼치는 인자 및 수준을 선정하였으며, 선정된 인자의 효과도를 판단하기 위하여 2⁵ 직교배열표 중 해상도 III를 적용하여 총 8회의 해석을 수행하였다.
- 분석결과 선정된 인자 중 보압력, 사출시간이 제품 변형에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인 되었고, 보압력, 사출시간을 주요인자로 선정하여 완전요인분석법을 수행하였다.
- 완전요인분석 결과를 토대로 하여 반응표면법을 적용하여 선정된 인자의 수준에서 가장 최적의 사출성형 조건을 도출 하였다.

- 본 논문의 결과는 실제 사출성형 공정 설계 및 사출성형제품 품질관리 등에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 우수제조기술연구센터(ATC)사업비의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 정우철, 허영무, 장성호, 신광호, 정태성, “1089 Pin BGA 사출성형 해석에 관한 연구”, 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집, 378-382, 2007
- 2) 박영준, 전용, 박천수, “플라스틱 부품 개발 단계에서의 사출성형 CAE활용”, 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, 1980-1985, 2006
- 3) 최철주, 이호관, “사출성형산업의 CAE응용”, 대한기계학회지, 제31권, 제1호, 60-67, 1991
- 4) 이국노, “최신 플라스틱재료총람” 바우에이전시
- 5) 김의수, 이인수, 김병민, “실험계획법을 이용한 세탁기 플렌지 단면 최적설계”, 대한기계학회논문집 A권, 제31권, 제5호, 601-608, 2007
- 6) 김경태, 이근안, 최석우, 이형욱, 이용신, “반응표면법을 이용한 실린더 튜브 고탄성체 성형의 형상 정확도 예측”, 한국소성가공학회지, 제17권, 제3호, 218-224, 2008