韓國精密工學會 2000年度 秋季學術大會論文集 pp.453~456 KSPE 00F102

UV-Vacuum Casting의 최적 공정 변수 선정

김태완(부산대 대학원 지능기계공학과), 우승목(부산대 기계공학부)
이 석(부산대 기계공학부)

The Selection of Optimal Process Variables in UV-Vacuum Casting

T. W. Kim(Mech. Eng. Dept., PNU), S. M. Woo(Mech. Eng. Dept., PNU)
S. Lee(Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

This paper presents experimental results on selecting optimal process parameters for UV-Vacuum casting. The UV-Vacuum casting is a relatively new process that allows very rapid mold preparation and part duplication via UV curing. Effect of various process variables such as pressure and temperature on mold strength and part accuracy was evaluated by using Taguchi method.

Key Words : Vacuum Casting, Ultra Violet, UV-Urethane, Taguchi Method, Orthogonal Table

1. 서론

제품개발의 초기 단계에서 시제품 제작은 필수적이다. 라이프 사이클이 줄어만 가고 있는 현실에서 보다 빠른 제품개발은 기업의 경쟁력과 직결된다. 그러므로 빠르고 정확한 Prototype을 만들어 내는 것이 무엇보다 요구된다. 만일 하나의 모델만 필요하다면 Rapid Prototyping을 이용한 쾌속조형이 가능하다. 만일 하나가 아닌 다수의 Prototype이 필요한 경우 금형을 제작해야 하지만 수량이 그리 많지 않은 경우에 대해서는 Rapid Tooling을 이용하여 제품을 복제해내고 있다. Rapid Tooling의 대표적인 방법으로 RTV 실리콘을 이용한 간이 금형을 많이 이용한다. 상온에서 경화가 가능하며 원본의 복사능력이 탁월하다. 또한 비용이 금형 제작에 비해 훨씬 저렴하므로 많이 사용되고 있다.

현재 국내에서 많이 사용되는 RTV 실리콘은 2액 부가반응형이며 파트용 플라스틱 수지 또한 2액 부가 반응형 재료를 많이 사용한다. 이 방법은 특성상 서서히 반응이 일어나므로 금형 제작 시간과 파트 제작 시간이 많이 소모된다. 본 연구에서는 UV가 투과하는 투명한 RTV 실리콘 금형에 UV에 반응하는 우레탄을 이용한 1액 반응형 공정을 채택하여 보다 빠른 파트를 제작할 때 고려해야할 공정변수를 선정하고 다구찌 실험계획을 사용하여 최적의 공정변수를 선정하고자 한다.

2. UV-Vacuum Casting

2.1 UV-Vacuum Casting의 개요

산업현장에서 일반적으로 사용되고 있는 진공주형은 주재와 경화재를 적절한 비율로 혼합하는 2액 부가형 RTV 실리콘을 사용하여 몰드를 제작한다. 일반적인 공정 순서는 먼저 마스터 모델을 케이스에 위치시킨다. 또한 두 액상의 실리콘을 교반하여 케이스에 고루 붓는다. 케이스에 붓기 전에 교반으로 인해 기포가 발생하게 되며 이 기포의 제거를 위해 일반적으로는 진공 상태를 유지하여 탈포를 하거나 가압 상태를 유지하여 탈포를 행한다. 본 연구에서는 진공압이 아닌 가압방식으로 탈포를 한다. 완성된 몰드를 상·하로 탈형하고 마스터 모델을 꺼내면 간이 실리콘 몰드가 완성된다.

탈포가 끝나고 경화가 완전히 되면 분할된 몰드를 조립하여 마스터가 들어있던 공동부에 파트용 플라스틱수지를 주입하여 몰드 내에서 경화시켜 제작한다.

본 연구에서는 RTV 실리콘 몰드를 사용하는 것에 있어서는 일반적인 진공주형과 동일하지만 UV를 투과해야 하므로 투명한 재질을 사용한다. 또한 서로 반응하는 플라스틱 재료를 사용하는 것이 아닌 UV에 경화되는 1액 반응형 재료를 주입하여 제작한다.

전체적인 공정은 그림 1과 같다.

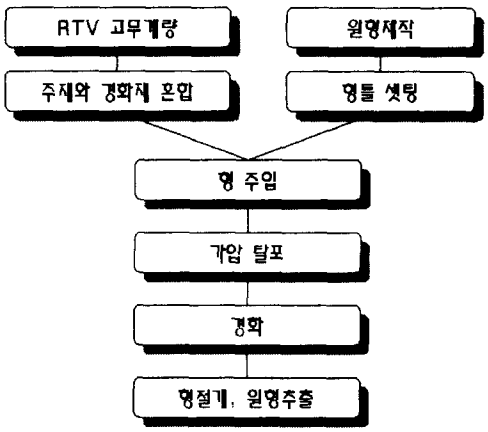

Fig 1. Process of RTV Silicon mold

2.2 실리콘 몰드와 UV-Urethane특성

UV 진공주형에 사용되는 RTV 실리콘은 신에츠화학제품으로 물성치는 표1과 같다.

	KE1606 (주재)	CAT-RG (경화재)
외관	투명	투명
점도(25℃,P)	500	N/A
혼합비	10	1
작업가능시간(25℃,min)	120	

Table 1. Properties of RTV Silicon

파트용 UV-Urethane은 365nm의 UV램프에 의해 경화되며 그 물성치는 표2와 같다

	UV-Urethane White
외관	흰색 불투명
점도(25℃,P)	14,000
비중	1.192
UV 경화시간	5~10분

Table 2 Properties of UV-Urethane

2.3 공정 변수 선정

진공 주형기를 사용하여 실리콘 몰드를 제작할 때 고려해야할 요인은 여러 가지가 있으나 탈포 작업에서의 압력, 가속제 사용비율, 경화 시간, 주재와 경화재의 혼합비등이 영향을 많이 미치고 있다. 또한 제작된 몰드에서 파트를 제작할 때도 최적의 파트를 만들기 위한 요인으로 액상의 UV-Urethane 수지의 온도와 기포 제거를 위해 요구되는 진공압, 탈포 시간, 그리고 마지막으로 경화시간이 영향을 미친다.

2.4 RTV 몰드 실험

RTV몰드의 최적 공정 변수를 선정하기 예비실험을 통해 4인자 2수준계의 직교배열표를 작성하였다. 예비실험과 경험을 바탕으로 압력, 가속제, 경화시간, 혼합비의 네 가지 주요인과 압력과 가속제의 상호작용, 압력과 경화시간의 상호작용이 크게 작용할 것으로 판단되므로 최적 공정 변수를 선정하기 위한 인자와 수준을 표3에 나타내었다.

다구찌 실험계획법을 적용하여 파라미터 설계를 하였으며 본 연구에서는 $L_8(2^7)$ 직교배열표 모델을 사용하여 파라미터를 설계하였다. 인장강도의 실험결과는 ASTM D412에 근거하여 표준시편을 만들어 측정하였다.

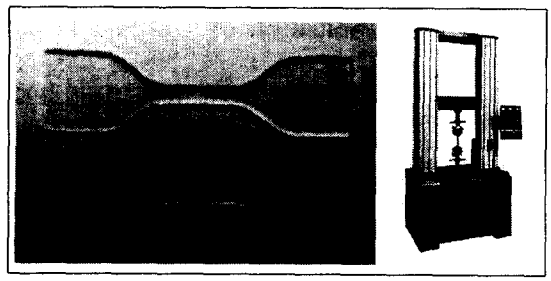

Fig 2. Test sample & Tester

제어인자		수준1 (0)	수준2 (1)
압력	A	45psi	25psi
가속제	B	1%	3%
경화시간	C	5시간	10시간
혼합비	D	10:1 (1/11)	9:2 (2/11)

비제어인자	
인장강도	Instron 4485이용한 측정(KN)
연신율	Instron 4485이용한 측정(%)

다구찌 실험계획법에 의한 직교배열표

	내측배열						외측배열	
배치	A	B	A×B	C	A×D	e	인장강도 (KN)	S/N
열번호 / 실험번호	1	2	3	4	5	6		
1	0	0	0	0	0	0	5.076	14.11
2	0	0	0	1	1	1	2.965	9.44
3	0	1	1	0	0	1	4.649	13.35
4	0	1	1	1	1	0	5.193	14.31
5	1	0	1	0	1	1	5.414	14.67
6	1	0	1	1	0	0	5.098	14.15
7	1	1	0	0	1	0	3.265	10.28
8	1	1	0	1	0	1	5.518	14.84

Table 3. Tables of orthogonal arrays

Source	Variation	DF	mean square	F
A	0.9283	1	0.9283	39.0989
A×B	2.1060	1	2.1060	88.7000
A×C	7.4969	1	7.4969	315.7525
D	14.3419	1	14.3419	604.0487
e	0.0712	3	0.0237	

Table 4. ANOVA tables for S/N data

F검증을 통해 D, A×C, A×B, A의 순서로 유의하며 나머지 인자들은 크게 영향력이 없으므로 오차항에 포함(polling)되었다. A×B (압력과 가속제의 상호작용) A×C(압력과 경화시간의 상호작용)는 각각의 경우를 표로 다시 만들어 평가하면 표5와 같다.

	A_0	A_1
B_0	23.55	**28.81**
B_1	27.64	25.1
C_0	27.45	24.94
C_1	23.74	**28.97**

Table 5. Interaction of two variables

변수별 최적수준을 살펴보면 $A_1B_0C_1D_0$가 된다. 연신율에 대해서도 같은 실험을 수행하였다.

	내측배열						외측배열	
배치	A	B	A×B	C	A×D	e	연신율 (%)	S/N
열번호 / 실험번호	1	2	3	4	5	6		
1	0	0	0	0	0	0	286.3	49.14
2	0	0	0	1	1	1	281.2	48.98
3	0	1	1	0	0	1	257.5	48.21
4	0	1	1	1	1	0	337.1	50.56
5	1	0	1	0	1	1	312.7	49.90
6	1	0	1	1	0	0	286.7	49.15
7	1	1	0	0	1	0	275.3	48.79
8	1	1	0	1	0	1	295.9	49.42

Table 6. Tables of orthogonal arrays

Source	Variation	DF	mean square	F
A×B	0.2750	1	0.2750	4.6416
C	0.5317	1	0.5317	8.9756
A×C	0.6659	1	0.6659	11.2405
D	1.8817	1	1.8817	31.7653
e	0.1777	3	0.0595	

Table 7. ANOVA tables for S/N data

	A_0	A_1
C_0	97.19	98.69
C_1	99.53	**98.56**
B_0	98.11	**99.04**
B_1	98.76	98.21

Table 8. Interaction of two variables

F검증을 통해 D, A×C, C, A×B의 순서로 유의함을 알 수 있다. A×C, A×B의 경우에 대해 이원표를 만들고 평가하면 최적수준은 $A_1B_0C_1D_0$가 되며 앞서 실시한 인장강도와 일치함을 알 수 있다.

2.5 UV-Urethane Part 실험

UV-Urethane Part는 최적 공정 조건으로 선정된 몰드 조건에 의해 제작되었고 마스터의 크기는 100×100×3.03 (mm) 크기의 얇은 판으로 결정하였다.

온도, 진공압, 탈포시간, 경화시간의 네 가지 주요인과 온도와 진공압의 상호작용, 온도와 탈포시간의 상호작용으로 직교배열표를 작성하였다.

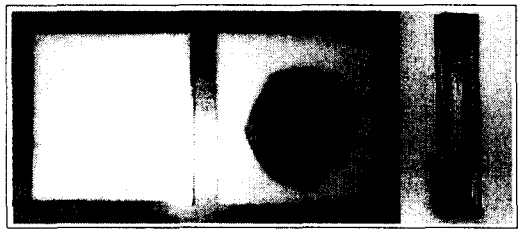

Fig 3. Test sample & Tester

제어인자		수준1 (0)	수준2 (1)
온도	A	70 ℃	55 ℃
압력	B	-25 inHg	-15 inHg
탈포시간	C	5분	10분
경화시간	D	10분	20분
비제어인자			
치수변화도	원본에 대한 복제품의 치수변화도-대각선 및 두께(%)		
충격 강도	Instron 930-I Data Acqu. System을 이용한 측정(KN)		

다구찌 실험계획법에 의한 직교배열표

	내측배열						외측배열		
배치	A	B	A×B	C	A×D	e	치수 변화도 (%)		S/N
열번호 / 실험번호	1	2	3	4	5	6	두께	대각	
1	0	0	0	0	0	0	91.1	99.0	39.54
2	0	0	0	1	1	1	89.4	99.3	39.46
3	0	1	1	0	0	1	90.7	98.7	39.50
4	0	1	1	1	1	0	89.0	98.9	39.43
5	1	0	1	0	1	1	89.2	99.1	39.44
6	1	0	1	1	0	0	89.8	98.8	39.46
7	1	1	0	0	1	0	89.2	99.1	39.44
8	1	1	0	1	0	1	89.9	99.3	39.49

Table 9. Tables of orthogonal arrays

Source	Variation	DF	mean square	F
A	0.0011	1	0.0011	10.0805
B	0.0002	1	0.0002	1.8866
A×B	0.0011	1	0.0011	10.5448
C	0.0009	1	0.0009	8.7023
A×C	0.0060	1	0.0060	57.4754
e	0.0002	2	0.0001	

Table 10. ANOVA tables for S/N data

F검증을 통해 A×C, A×B, A, C, B 순서로 유의하다. 주요인 D가 오차항에 풀링되므로 경화시간은 치수변화에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. A×B, C, A×C의 경우에 대해 표를 만들고 평가한다면 최적수준 조건은 $A_0B_0C_0$이 된다. D는 유의하지 않으므로 강도실험을 하여 강도가 크게 나오는 조건을 최적으로 하여 평가하기로 한다.

	A_0	A_1
C_0	**79.03**	78.88
C_1	78.87	78.94
B_0	**78.98**	78.92
B_1	78.90	78.92

Table 11. Interaction of two variables

	내측배열						외측배열	
배치	A	B	A×B	C	A×D	e	충격강도 (KN)	S/N
열번호 / 실험번호	1	2	3	4	5	6		
1	0	0	0	0	0	0	0.331	-5.336
2	0	0	0	1	1	1	0.541	-9.604
3	0	1	1	0	0	1	0.438	-7.875
4	0	1	1	1	1	0	0.404	-7.164
5	1	0	1	0	1	1	0.474	-5.008
6	1	0	1	1	0	0	0.352	-6.490
7	1	1	0	0	1	0	0.562	-7.378
8	1	1	0	1	0	1	0.428	-9.064

Table 12. Tables of orthogonal arrays

Source	Variation	DF	mean square	F
B	3.1776	1	3.1776	3.7643
C	5.6518	1	5.6518	6.6955
D	2.8527	1	2.8527	3.3794
e	3.3765	4	0.8441	

Table 12. ANOVA tables for S/N data

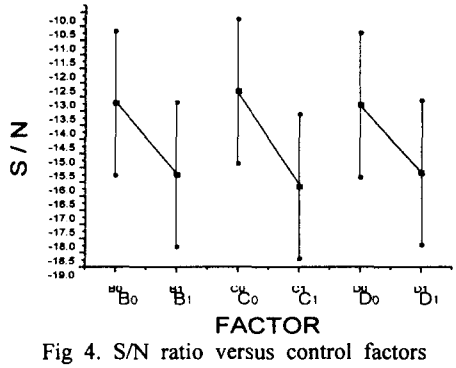

Fig 4. S/N ratio versus control factors

F검증을 통해 C, B, D의 순서로 유의하다. 그림 4에 의해 최적조건을 찾아보면 $B_0C_0D_0$ 가 되며 최종 결과는 $A_0B_0C_0D_0$ 가 된다.

3. 실험 결과 및 평가

RTV 실리콘 몰드의 최적조건은 $A_1B_0C_1D_0$이 되며 압력 45psi, 가속제 1%, 경화시간 10시간, 혼합비 10:1이 된다. 인장강도는 재료자체의 특성이므로 혼합비가 가장 큰 영향을 미치며 경화시 압력과 시간의 상호작용이 탈포를 용이하게 하여 상대적으로 인장강도를 크게 하는 것으로 나타난다.

UV-Urethane 파트의 최적조건은 $A_0B_0C_0D_0$이며 온도 70℃, 진공압력 -25inHg, 탈포시간 5분 경화시간 10분이다. 주입시 70℃정도로 가열하여 점도를 떨어뜨려 유동성을 확보하는 것과 최적의 탈포환경을 제공하는 것이 중요하다. 경화시간은 재료의 강도에 영향을 미치고 치수에는 크게 영향을 주지 않는다. 즉 경화되기 전에 얼마나 기포를 제거하는가가 치수의 정밀도에 영향을 미친다.

4. 결론

본 연구에서는 RTV 실리콘 금형과 UV-Urethane 파트 제작시 공정 변수를 고려하고 최적 공정 변수를 선정하기 위해 다구찌 실험계획법을 사용하여 실험하였고 최적의 몰드 제작을 위한 공정변수를 제시하였다. 또한 UV를 사용한 파트 제작 시 치수정밀도와 파트의 강도를 향상시키는 최적 공정변수를 제시하였다. 본 연구는 UV를 이용한 Rapid Tooling에 관한 기본 연구로써 향후 UV에 반응하는 RTV 실리콘 몰드와 파트에 관한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Genichi Taguchi, Elsayed A.Elsayed, Thomas Hsiang, "Quality Engineering in production systems" McGraw-Hill CIRP, Vol. 39, pp. 24-39, 1989.
2. 박성현, "현대실험계획법"민영사, pp.634-652, 1995
3. 정해도, "적층조형시스템" 성안당, pp. 150-155, 1996.
4. Paul F.Jacobs, "Streolithography and Other RP&M Technologies" ASME press, pp. 282-285, 1991.