

실험계획법을 이용한 이탈방지 스냅핏의 최적설계

손인서¹, 신동길^{2*}

¹영남대학교 대학원 기계공학과

²영남대학교 기계공학부

Optimum Design of Lock Snap-fit Using Design of Experiment

In-Seo Son¹, Dong-Kil Shin^{2*}

¹Graduate School of Mechanical Engineering, Yeungnam University

²School of Mechanical Engineering, Yeungnam University

요약 본 연구는 플라스틱 부품의 체결에 널리 활용되고 있는 스냅핏의 설계에 관하여 연구하였다. 이탈방지 기능이 우수한 이탈방지 스냅핏은 형상과 체결 메커니즘이 복잡하여 기존의 이론식에 기반한 체결력과 이탈력을 해석적으로 구할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 이탈방지 스냅핏에 대하여 체결 메커니즘을 분석하고, 실험계획법에 기반하여 체결력 및 이탈력을 측정하고, 분산분석을 통하여 회귀식을 도출하였다. 실험계획은 중심합성계획을 사용하였다. Polybutylene terephthalate를 이용하여 시편을 제작하여 미소인장시험기를 이용하여 체결력과 이탈력을 측정하였다. 설계인자는 Length, Width, Thickness, Interference 등 4개를 선정하였으며, 2차 회귀모형을 이용하여 체결력과 이탈력에 대한 회귀식을 도출하였다. Length와 Width가 증가할수록 체결력은 낮아졌으며, Thickness와 Interference는 증가할수록 체결력이 증가하였다. 이탈력은 체결력과 반대의 결과를 나타내었다. 유한요소법을 이용하여 체결 역학에 대하여 분석하였다. Width는 체결단계에서 단면관성모멘트의 증가를 통한 보의 강성 증가 효과 보다는, 오히려 길이 증가에 따른 연성증대로 인하여 체결력을 감소시키는 것으로 나타났다. 낮은 체결력과 높은 이탈력을 위한 인자들의 영향도는 서로 상반되는 것으로 나타났다. 적정 수준의 이탈력을 유지하면서 체결력을 최소화하는 설계가 필요한 것으로 나타났다.

Abstract This study investigated the design of a snap fit, which is widely used for fastening plastic parts. We analyzed the assembly mechanism of a lock snapfit, measured the assembly force and separation force based on the design of experiments, and derived aregression equation through an analysis of variance. The response surface methodology was also used. Polybutylene terephthalate was used to fabricate specimens, and the assembly force and separation force were measured using a micro-tensile tester. The length, width, thickness, and interference were considered as factors. A second-order regression model was used to derive the regression equation. The assembly force decreased with increasing length and width, but it increased with increasing thickness and interference. The finite element method was used to analyze the assembly mechanics. The width decreased the assembly force by increasing the ductility. The influences of the factors for low assembly force and high release force were shown to be opposite to each other. It was necessary to design a structure that minimized the assembly force while maintaining an appropriate level of separation force.

Keywords : Assembly Force, Central composite design, Design of experiments, Finite elements method, Lock snap-fit, Optimum Design, Separation Force

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(NRF-2015R1D1A1A01061205)

*Corresponding Author : Dong-Kil Shin(Yeungnam Univ.)

Tel: +82-53-810-2457 email: dkshin@yu.ac.kr

Received July 26, 2017

Revised August 16, 2017

Accepted August 17, 2017

Published August 31, 2017

1. 서론

여러 개의 플라스틱 조각이 조립되어 제품을 구성하는 기계부품들은 요구되는 성능이 높아지고 외형 디자인의 심미성을 고려하여 복잡한 형상을 가지게 됨에 따라 부품끼리의 결합이 중요시 되고 있다[1]. 제품 조립 시 체결의 편의성을 위하여 체결에 필요한 힘은 최소로 하면서도, 조립 완료 후에는 제품이 안정적인 작동을 할 수 있도록 이탈이 발생하지 않도록 이탈력은 최대가 되어야 한다. 또한 결합 부분에서의 작은 틈이나 이격은 진동/충격 시 손상이나 파손이 발생할 수 있으므로 이를 최소화하여야 한다[2].

스냅핏(snap-fit)은 부품 체결 기구 중 하나로써, 볼트, 리벳, 접착제 등의 다른 체결 방법들에 비해 간편하고, 비용이 낮으며, 적은 힘으로도 체결할 수 있고, 체결 후에는 쉽게 이탈되지 않으며, 필요에 따라 체결/이탈을 반복할 수도 있는 등의 장점이 있어서 다양한 분야에 활용되고 있다[1-3].

스냅핏의 특성에 관한 연구는 다양하게 진행되어왔다. 스냅핏을 조립과 분해가 가능한 체결 형상을 분류하여 신속제작 (Rapid Prototyping) 공법으로 만든 시편을 이용하여 실험과 시뮬레이션을 통해 인장실험과 실제 적용 가능 여부에 대한 연구를 진행하였다[4]. 기존의 cantilever hook타입의 이탈력을 개선시킨 post & dome 형태의 스냅핏에 대한 연구를 진행하였다[5]. 스냅핏 형상에 따른 체결 및 체결유지에 관한 모델링과 분석을 실시하였다. ABS 사출 성형 샘플을 이용한 실험을 진행하였고, 접촉면의 모서리부의 조건의 변화에 따라 최대 체결력 및 유지력이 큰 변화를 나타나는 것을 확인하였다[6].

최근 자동차용 플라스틱 제품의 경우 내충격/내진동 특성 향상을 위하여 이탈 방지 스냅핏이 많이 요구되고 있다[7, 8]. 이러한 이탈방지 스냅핏은 기존의 일반적인 hook type 스냅핏과 비교하여 체결력은 유사한 수준이지만, 이탈력이 커서 체결신뢰성이 매우 높은 장점이 있다. 또한 체결후에도 견고한 체결력으로 인하여 진동/충격으로 인한 손상이 감소하는 장점이 있다. 그런데 이러한 이탈방지 스냅핏은 형상이 비교적 복잡하여, 기존의 보이론(beam theory)에 기반한 체결력 계산 이론해와 경험식 등을 활용할 수 없는 제약이 있다. 이에 따라 설계 시에는 주로 제품 설계자의 경험과 직관에 의지하여 설계되거나, 복잡한 수치해석을 수행하여야 하는 등의 어

려움이 있다 [9, 10].

실험계획법과 유한요소해석법은 이론적으로 특성값을 예측하기 어려운 분야에 많이 활용되고 있다 [11, 12]. 본 연구에서는 이탈방지 스냅핏의 체결/이탈 특성을 실험계획법을 이용하여 연구하여 스냅핏의 설계를 최적화하고자 한다.

2. 스냅핏 시편 및 측정 시스템

스냅핏의 이탈력 및 체결력 측정을 위하여, 다양한 형태의 시편을 설계 후 제작하였고, 이를 측정하기 위한 시험기를 구축하였다.

2.1 이탈방지 스냅핏 시편

Fig.1.은 이탈방지 스냅핏 형상을 나타내었다. Beam 부품은 짧은 외팔보 루프 형태를 가진다. Mate 부품은 걸림부(retention feature)가 중심부에 있으며 양쪽에 계단모양의 어깨부를 가지고 있다. 체결된 형태는 Fig. 1(d)에 나타내었다. 주요 설계인자들은 a ~ f 와 같으며 Fig. 1 (a) ~ (c)에 표시하였다.

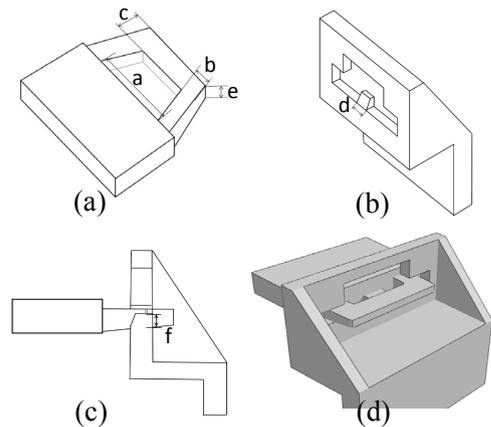


Fig. 1. Schematic of hybrid type snap-fit and design variables. (a) Beam part, (b) mate part, side view of assembled snap-fit, and (d) isometric view of assembled snap-fit

설계인자들 중 체결력과 이탈력에 크게 영향을 미치지 않는 2개의 인자들은 일반적으로 적용되는 치수로 고정하였다 (b=3.0 mm, d=3.0 mm). 여기서 b는 Beam 부

품의 연결부 두께이며, d 는 Mate 의 걸림부폭이다. 그 외 주요 인자들은 중심값에 대하여 특정 값 만큼 증가 또는 감소된 수준을 선정 하였다. Beam 부품에서의 주요 인자는, 체결시 굽힘이 발생하는 길이(Length, a), 폭 (Width, c), 두께 (Thickness, e)이다. 체결 후 두 부품간의 이탈 방지를 위한 걸림량 (Interference, f) 은 실제 Mate의 걸림부 높이를 변경하여 조정하였다. Table 1에는 본 연구에서 적용한 각 인자들의 치수를 나타내었다.

반응표면분석 (Response Surface Analysis)을 위하여 주요 변수 4개에 대한 실험 계획을 수립하였다. 실험 계획은 Minitab (Minitab Inc.)을 이용하여 수립하였다. Table 2는 본 연구에서 적용한 중심합성계획 (central composite design, CCD)을 적용한 실험계획표이다.

Table 1. Design variables and dimensions of snap-fit

Symbol	Name	Dimension(mm)
a	Length	8.5, 9, 9.5, 10, 10.5
b	(Quick fix)	3
c	Width	2, 2.5, 3, 3.5, 4
d	(Quick fix)	3
e	Thickness	0.85, 1, 1.15, 1.3, 1.45
f	Interference	1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4

Table 2. Design of experiment (central composite design)

Normal order	a(mm)	c(mm)	e(mm)	f(mm)
1	9	2.5	1	1.1
2	10	2.5	1	1.1
3	9	3.5	1	1.1
4	10	3.5	1	1.1
5	9	2.5	1.3	1.1
6	10	2.5	1.3	1.1
7	9	3.5	1.3	1.1
8	10	3.5	1.3	1.1
9	9	2.5	1	1.3
10	10	2.5	1	1.3
11	9	3.5	1	1.3
12	10	3.5	1	1.3
13	9	2.5	1.3	1.3
14	10	2.5	1.3	1.3
15	9	3.5	1.3	1.3
16	10	3.5	1.3	1.3
17	8.5	3	1.15	1.2
18	10.5	3	1.15	1.2
19	9.5	2	1.15	1.2
20	9.5	4	1.15	1.2
21	9.5	3	0.85	1.2
22	9.5	3	1.45	1.2
23	9.5	3	1.15	1
24	9.5	3	1.15	1.4
25	9.5	3	1.15	1.3
26	9.5	3	1.15	1.2

27	9.5	3	1.15	1.2
28	9.5	3	1.15	1.2
29	9.5	3	1.15	1.2
30	9.5	3	1.15	1.2
31	9.5	3	1.15	1.2

수립된 실험계획법에 따라서 스냅핏의 형상을 설계한 후 금형을 제작하고 트랜스퍼몰딩 (transfer molding)을 이용하여 시편을 제작하였다. 제작에 사용된 재료는 polybutylene terephthalate (PBT)이다. Table 2에서 총 실험 회수는 31회이고, 중심점에서의 반복횟수 6회를 고려하여 실제 샘플은 26종을 제작하였다. Fig. 2에는 제작된 시편의 일부를 나타내었다. Beam 부와 Mate부로 되어 있으며 각 부품들을 잘라서 필요로 하는 조합을 선택하여 체결 시험을 시행할 수 있도록 하였다.



Fig. 2. Manufactured Specimen

2.2 체결력 이탈력 측정 시험기

스냅핏의 이탈력 및 체결력을 측정하기 위해서 Fig. 3와 같이 미소인장시험기를 구축하였다. 시험기에 스텝모터를 장착한 후, 제어를 통하여 모터를 제어하였다. 변위는 0.5 mm/sec의 속도로 제어하였다. 정격하중 10.0 kgf의 로드셀(Dacell Co.) 을 장착하여 시편에 가해지는 하중데이터를 수집하였고 거리센서(Kaman Corp.)를 통해 시편의 변위 데이터를 수집하였다. 체결 시 위치 조정을 위하여 2대의 CCD 카메라를 장착하였으며 Fig. 4 (a) 및 (b)는 각각 시험기에 장착된 시편의 정면 및 측면부를 나타낸다.

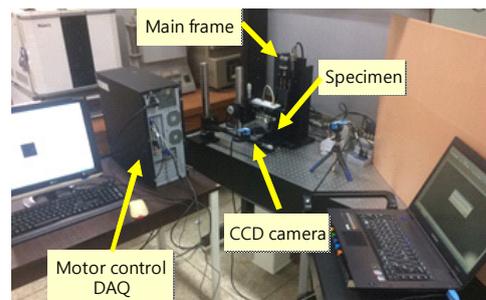


Fig. 3. Experimental equipments

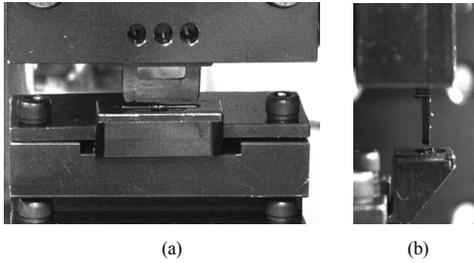


Fig. 4. Installed specimen. (a) Front view, and (b) side view.

3. 체결력 및 이탈력 측정

3.1 체결 및 이탈 역학

실험을 통하여 측정된 전형적인 변위-하중 선도는 Fig. 5와 같다. 여기에서 체결력과 이탈력은 동시에 그려졌다. 하부선도(파란색)가 체결, 상부선도(빨간색)가 이탈을 나타낸다. 위치 6.0 mm 일 때가 체결되기 전의 초기 상태이며, 음의 방향으로 이동하는 것이 체결조건이며, 체결이 완료된 후 (1 mm) 다시 양의 방향으로 이동하는 것이 이탈 조건이다.

체결 시 Beam 부품이 Mate의 걸림부 부분을 만나게 되면 ①, 체결력이 천천히 선형적으로 증가하게 된다(압축력이 작용되어 음(-)의 값을 가짐). 걸림부의 상단 점에 도달하였을 때 체결력이 가장 크며 ②, 이후에는 어느 정도 수치로 급격히 감소하였다가 ③, 이후 일정 하중을 유지하다가 점진적으로 감소하여 영(zero)에 이르게 된다 ④. 여기서 일정하중 영역은 Beam의 앞부분이 Mate부분을 미끄러져 들어가는 부분에 해당한다 (Fig. 1의 Width에 해당). 이후 역방향으로 이탈시에는 체결되어 있던 걸림부가 Beam의 이탈을 방지함에 따라 하중이 증가하게 되며 ⑤, 이후 큰 값에 이를 때 까지 증가하게 된다 ⑥. 걸림부가 더 이상 하중을 견딜 수 없을 때 Beam 부품에서 이탈하게 되어 하중이 급격히 줄어들게 된다 ⑦. 그러나 이 후에도 일정 거리 동안은 걸림부의 경사면에 놓여있기 때문에 음의 방향으로 힘이 존재하다가 완전히 이탈하게 되면 ⑧ 하중이 영(zero)으로 돌아오게 된다.

이상의 체결 과정에서 ②번 상태의 최대 압축력이 체결력에 해당하며 부호를 무시하고 양의 값으로 나타낸다. 이탈과정에서 ⑥번 상태에서의 최대 인장력이 이탈력에 해당한다.

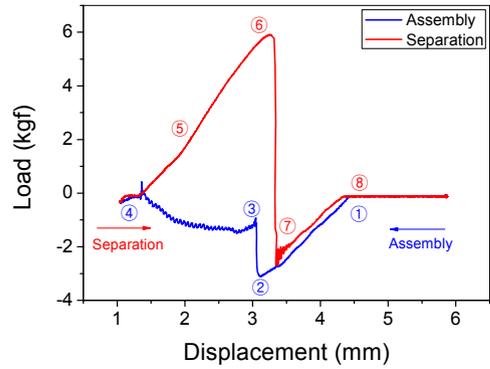


Fig. 5. Typical displacement - load curves during assembly and separation process

Fig. 5에서 체결 및 이탈 시 하중 선도가 특정 기울기를 가지는 것은, 1) Beam의 횡방향 부재의 굽힘 변형, 2) Mate의 걸림부 부분의 굽힘, 3) 걸림부를 지지하고 있는 기저부의 뒤로 밀림 현상, 및 4) 기타 부분의 탄성 변형에 기인하는 것으로 나타났다. 자세한 사항은 제 4장 유한요소 해석에서 상세 설명하였다.

체결/이탈 과정에서 Mate의 걸림부를 과대한 변형이 발생하는 것이 확인 되었다. 따라서 체결 과정 중에 소성 변형이 발생하여 이탈력을 저하시킬 수 있는지 평가가 필요하였다. 동일한 시편에 체결 이탈을 반복하여 반복 회수에 따라 하중에 변화가 있는지를 검사함으로써 소성 변형의 영향을 간접적인 방법으로 검증하였다. Fig. 6은 동일 시편을 4회까지 반복하였을 때의 체결력과 이탈력을 나타내었다. 3회까지는 동등한 체결/이탈력을 유지하였으며, 4회 반복하는 경우 이탈력 저하가 조금 나타나기 시작하였으나 큰 변화는 없었다. 이를 바탕으로 1회 체결/이탈에 의한 걸림부 손상은 크지 않은 것으로 판단된다.

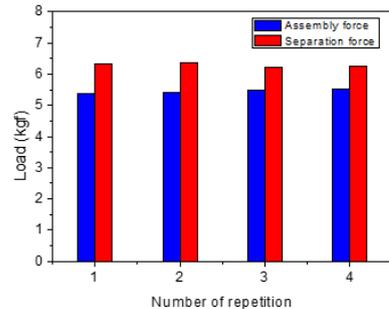


Fig. 6. Assembly force and separation force with respect to repeating time

3.2 체결력 분석

체결력에 대한 주요인 분석 결과는 Fig. 7과 같다. Length가 길수록, Width가 넓을수록 체결력이 감소하였다. 반면에 Thickness가 두꺼울수록, Interference가 클수록 체결력이 증가하였다. Length의 길이는 가로방향보의 굽힘 변형에 대하여 유연하게 한다. Thickness가 두꺼울수록 변형에 대하여 강하게 저항한다. Interference가 클수록 체결이 완료될 때 까지 많은 변형을 요구한다.

그런데 Width는 특이한 결과를 나타내었다. 일반적인 보의 굽힘 변형의 경우 Width는 단면2차관성모멘트(second moment of inertia) 증가를 유발하여 Width가 클수록 굽힘변형 작아지게 한다. 따라서 Width가 클수록 체결력이 커질 것으로 예상할 수 있다. 그런데, 본 연구의 스냅핏은 반대 결과가 나타났다. 그 이유는 체결력은 Fig. 5의 ②번의 값에 해당하는데, 이때의 상태는 가로방향보(Length에 해당하는 보)의 굽힘이 단면 전체적으로 작용하는 것이 아니라 끝부분에만 국부적으로 작용하고 있다. Width가 보의 굽힘에 가장 크게 영향을 미치는 구간은 실제로는 ③~④구간에서의 상태와 같이 보가 걸림부 윗면에 얹혀진 상태일 때 인데, 본 연구의 스냅핏은 실제 체결력이 결정되는 ②번에 미치는 영향은 제한적으로만 작용한다. 오히려 Width의 증가는 전체적으로 Beam의 길이를 증가시키고 결과적으로 길이방향 강성을 감소시켜 (연성을 증대시켜서) 최종적으로 체결력 감소 가져왔다. 이러한 현상은 4장 유한요소해석을 통하여 검증하였다.

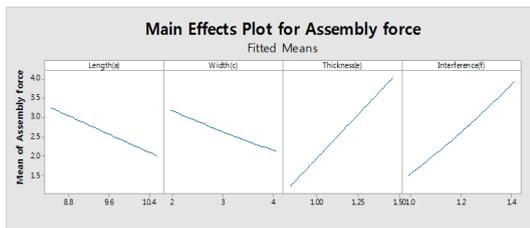


Fig. 7. Main factor analysis of assembly force

반응 표면 회귀 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 주인자의 1차 영향도는 모두 큰 것으로 나타났다 (P-값 0.005 이하). 2차 영향도는 0.9 이상의 값을 가지므로 크지 않은 것으로 나타났다. 다만 Interference의 2차항은 다른 인자들에 비하여 유의한 영향성을 가지고 있는 것

으로 나타났다. 교호작용의 영향도는 a^*c , a^*f , c^*f , e^*f 는 크고, a^*e , c^*e 는 작은 것으로 나타났다.

이러한 분석 결과를 바탕으로 영향도가 미미한 인자들을 제외하고 회귀 분석을 재실행하여 Table 5에 나타내었다.

체결력에 대한 잔차분석 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 잔차의 정규확률 분석 결과, 잔차가 직선에 근사하여 잔차가 정규 분포를 가짐을 알 수 있다. 잔차 히스토그램을 통하여 잔차의 크기가 비교적 정규분포를 따름을 알 수 있다. ‘잔차 대 적합치’에 대한 결과는 영(zero)을 중심으로 잔차가 랜덤하게 흩어져 있는 것을 확인할 수 있다. ‘잔차 대 순서’에 대한 분석 결과 영(zero)을 중심으로 잔차가 랜덤하게 흩어져 있는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 잔차가 독립적이고 임의의 순서대로 올바른 실험이 수행되었음을 확인할 수 있었다.

Table 4. Analysis of variance for assembly force (includes all variables)

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	14	23.1222	1.6516	7.86	0.000
Linear	4	22.7648	5.6912	27.08	0.000
Length(a)	1	2.1149	2.1149	10.07	0.006
Width(c)	1	1.5714	1.5714	7.48	0.015
Thickness(e)	1	11.0545	11.0545	52.61	0.000
Interference(f)	1	8.0239	8.0239	38.19	0.000
Square	4	0.0145	0.0036	0.02	0.999
Length(a)*Length(a)	1	0.0000	0.0000	0.00	0.995
Width(c)*Width(c)	1	0.0015	0.0015	0.01	0.933
Thickness(e)*Thickness(e)	1	0.0001	0.0001	0.00	0.985
Interference(f)*Interference(f)	1	0.0131	0.0131	0.06	0.806
2-Way Interaction	6	0.3430	0.0572	0.27	0.942
Length(a)*Width(c)	1	0.0276	0.0276	0.13	0.722
Length(a)*Thickness(e)	1	0.0006	0.0006	0.00	0.958
Length(a)*Interference(f)	1	0.0153	0.0153	0.07	0.790
Width(c)*Thickness(e)	1	0.0040	0.0040	0.02	0.892
Width(c)*Interference(f)	1	0.1796	0.1796	0.85	0.369
Thickness(e)*Interference(f)	1	0.1159	0.1159	0.55	0.469
Error	16	3.3620	0.2101		
Lack-of-Fit	10	3.3106	0.3311	38.68	0.000
Pure Error	6	0.0514	0.0086		
Total	30	26.4842			

Table 5. Analysis of variance for assembly force (includes selected variables)

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	23.1159	2.5684	16.01	0.000
Linear	4	22.7648	5.6912	35.48	0.000
Length(a)	1	2.1149	2.1149	13.19	0.002
Width(c)	1	1.5714	1.5714	9.80	0.005
Thickness(e)	1	11.0545	11.0545	68.92	0.000
Interference(f)	1	8.0239	8.0239	50.03	0.000
Square	1	0.0128	0.0128	0.08	0.781
Interference(f)*Interference(f)	1	0.0128	0.0128	0.08	0.781
2-Way Interaction	4	0.3384	0.0846	0.53	0.717
Length(a)*Width(c)	1	0.0276	0.0276	0.17	0.682
Length(a)*Interference(f)	1	0.0153	0.0153	0.10	0.760
Width(c)*Interference(f)	1	0.1796	0.1796	1.12	0.302
Thickness(e)*Interference(f)	1	0.1159	0.1159	0.72	0.405
Error	21	3.3683	0.1604		
Lack-of-Fit	15	3.3169	0.2211	25.83	0.000
Pure Error	6	0.0514	0.0086		
Total	30	26.4842			

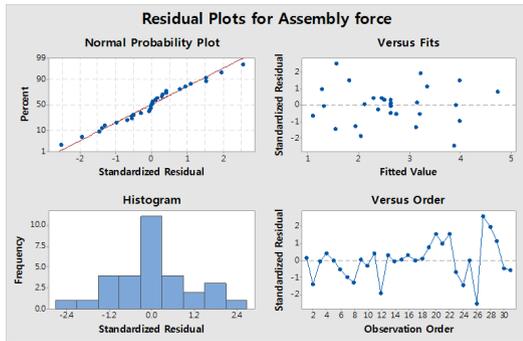


Fig. 8. Residual analysis of assembly force

체결력 분석 통하여 다음과 같은 회귀 방정식을 도출하였다. 이때 R^2 값은 87.28 % 로써 회귀식의 정확도가 우수하였다.

$$\begin{aligned} \text{체결력} = & -1.5 - 0.35a + 0.45c - 2.28e + 6.5 f + 2.08f^2 \\ & + 0.166a^2c - 0.62 a^2f - 2.12c^2f + 5.67e^2f \end{aligned}$$

(* a=length, c=width, e=thickness, f=interference)

3.3 이탈력 분석

유사한 방법으로 이탈력에 대하여 분석을 수행하였다. 다음 Fig. 9. 는 이탈력의 주요인 분석 결과이다. 짧은 외팔보 루프의 Length 와 Width 가 최소값을 가질 때, Thickness 와 Interference 가 최대값을 가질 때 이탈력이 가장 높아지는 것을 확인할 수 있다.

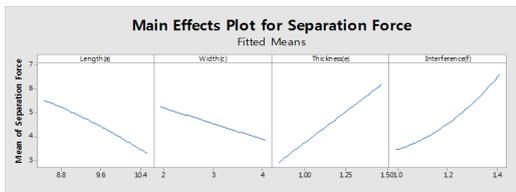


Fig. 9. Main factor analysis of separation force

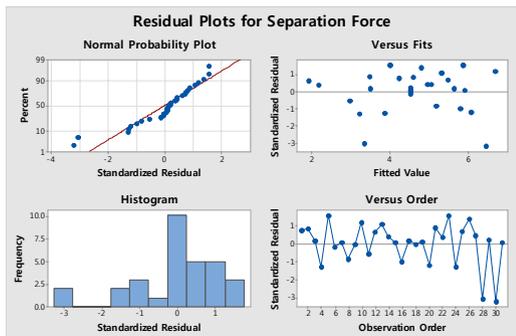


Fig. 10. Residual analysis of separation force

Fig. 10. 과 같이 이탈력에 대한 잔차 분석을 진행하였다. 각 잔차 분석의 결과가 앞서 진행하였던 체결력 잔차 분석의 결과와 유사하게 양호한 결과를 나타내었다.

이탈력에 대한 회귀방정식을 다음과 같이 얻었다. 이때 R^2 값은 82.63 %로써 체결력 회귀식 대비 다소 낮은 수준이었으나, 회귀식의 정확도는 비교적 우수한 것을 확인할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{이탈력} = & -21.5 - 0.64a + 3.07c + 24.6e + 14.8f - 0.121a^2a \\ & + 11.0f^2f + 1.62a^2e - 1.57c^2e - 1.61c^2f - 25.1e^2f \end{aligned}$$

(a=Length, c=Width, e=Thickness, f=Interference)

4. 유한요소해석

스냅핏의 거동을 분석하기 위하여 유한요소 해석을 수행하였다. Fig. 11 에 해석을 위한 유한요소 모델을 나타내었다(Abaqus, Dassault Systems). 대칭성을 고려하여 1/2 만 모델링 하였다. Beam부와 Mate부의 접촉 영역에는 마찰계수 0.1의 Finite Sliding 조건을 적용하였다. 해의 정확성을 위하여 접촉부를 포함한 대부분의 영역에는 육면체요소를 사용하였으며, 형태가 복잡한 일부 영역에는 사면체 요소를 사용하였다. 사용된 총 요소의 수는 1220개이다. Mate부의 하부 뒷면(점선 원)은 고정(encastre)하였으며, Beam의 체결부는 multi-point constraint (MPC)기능을 이용하여 체결/이탈에 필요한 거리 만큼의 변위 조건을 적용하였다.

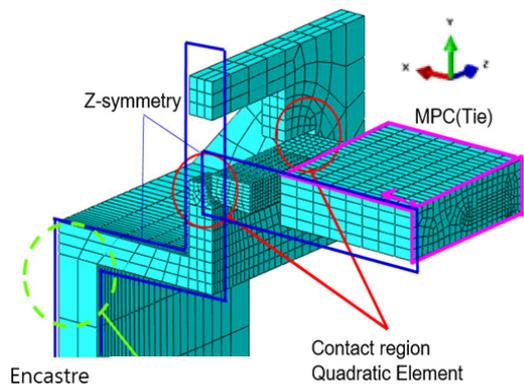


Fig. 11. Finite element model of snap-fit

다음 Fig. 12는 스냅핏이 체결 될 때의 von Mises 응

력 분포를 나타내었다. 걸림부의 경사면을 올라가고 있을 때의 상태는 Fig. 12 (a)에 나타내었다. Beam의 가로방향 보의 틸팅이 확인된다. 이때 걸림부는 뒤쪽으로 많이 밀려나는 것을 확인할 수 있다.

가로방향 보가 걸림부의 상부 윗면에 얹혀졌을 때의 상태를 Fig. 12 (b)에 나타내었다. 하부의 걸림부는 Fig. 12 (a) 대비 원래의 자리로 돌아와 있으며, 가로방향 보는 단순 굽힘의 형태를 가지면서 Beam과 Mate는 마찰력으로 인한 반력 정도의 체결력이 필요함을 알 수 있다.

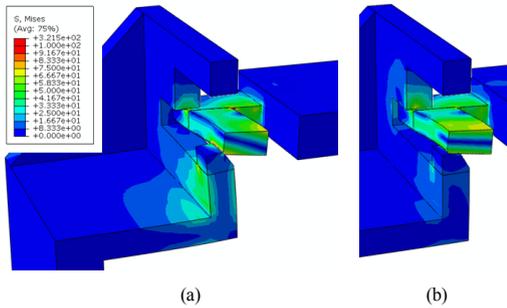


Fig. 12. von Mises Stress contours at (a) initial engaging status, and (b) horizontal sliding status

스냅핏의 Width 의 영향을 검증하기 위하여, Width 를 2 ~ 4mm 까지 0.5mm 단위로 바꾸어 주면서 체결력에 대한 해석을 진행하였다. 체결력 하중은 Fig. 13과 같다. 제 3 장에서의 실험 결과와 같이 Width의 값이 증가할수록 체결력이 작아지는 것을 확인할 수 있다.

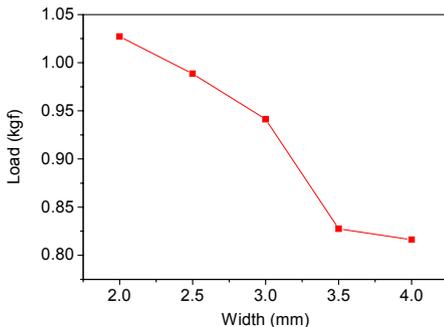


Fig. 13. Assembly force as a function of Width [c]

5. 결론

본 연구에서는 이탈방지 스냅핏의 체결 메커니즘을

분석하고, PBT시편을 제작하여 체결력과 이탈력을 측정하여, 회귀식을 도출하였다. 적정 이탈력을 유지하면서 체결력은 최소화할 수 있는 설계 조건을 찾을 수 있도록 하였다.

스냅핏의 최적 설계를 위하여 반응표면분석법 (RSM) 을 이용하였다. 체결력/이탈력에 대한 실험계획은 중심합성계획을 사용하였다. 중심합성계획으로 설계된 4개의 요인변수는 Length(a), Width(c), Thickness(e), Interference(f) 이다. 실험계획에 의한 실험 수는 31구간으로 설정하여 실험을 실시하였다. 회귀 방정식은 다음과 같다.

$$\text{체결력} = -1.5 - 0.35a + 0.45c - 2.28e + 6.5 f + 2.08f^2 + 0.166a*c - 0.62 a*f - 2.12c*f + 5.67e*f$$

$$\text{이탈력} = -21.5 - 0.64a + 3.07c + 24.6e + 14.8f - 0.121a*a + 11.0f*f + 1.62a*e - 1.57c*e - 1.61c*f - 25.1e*f$$

유한요소법을 이용하여 체결 역학을 분석하였다. Width 증가에 따라 체결력이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 Width 가 단면관성모멘트 증가에 따른 스냅핏의 강성증가에 미치는 영향 보다, Beam 부의 전체길이 증가로 인한 연성 증가로 인하여 결과적으로 체결력이 감소하는 것으로 나타났다.

References

- [1] P. R. Bonenberger, *The First Snap-Fit Handbook* 2nd edition, Hanser Gardner Publications, 2006.
- [2] G. Erhard, *Designing with plastics*, Hanser Gardner Publications, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.3139/9783446412828>
- [3] S. N. Kang, Y. J. Huh, "A study on the Snap-fit Design System in Injection Molding", *Journal of the Korea Academia-industrial cooperation Society*, pp. 1-5, 2001.
- [4] B. S. Park, M. S. Hong, "Intensity Analysis and Application of Integral Attachment in Snap-Fit" *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, pp. 44-49, 2006.
- [5] D. A. Nichols, A. F. Luscher, "Numerical Modeling of a Post & Dome Snap-Fit Feature" *Research in English Design*, pp. 103-111, 2000.
- [6] G. Suri, "A fundamental Investigation of Retention Phenomena in Snap-fit Features" *The Ohio State*

University thesis for a degree, 2002.

- [7] S. S. Lee, T. H. Kim, S. J. Hu, W. W. Cai, J. A. Abell, "Joining Technologies for Automotive Lithium-Ion Battery Manufacturing: A Review", *Proc. of ASME 2010 International Manufacturing Science and Engineering Conference*, October, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1115/MSEC2010-34168>
- [8] L. Amelia, D.A. Wahab, A. R. Ismail, C. H. C. Haron, "Disassembly time evaluation for enhancing the reusability of automotive components", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 115-119, Dec. 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEM.2009.5373411>
- [9] B. Willems, W. Dewulf, J. R. Dufloy, "Active snap-fit development using topology optimization", *International Journal of Production Research*, vol. 45, no. 18 - 19, pp. 4163-4187, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00207540701440311>
- [10] M. K. Billal, B. V. Moorthy, D. Aquilina, S. Schenten, "CAE Applications and Techniques used in Calculating the Snaps Insertions and Retentions Efforts in Automotive Trims", *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst.*, vol. 7, no. 2, pp. 829-837, 2014.
- [11] S. J. Ha, Y. K. Cho, M. W. Cho, K. C. Lee., W. H. Choi, "Process Capability Optimization of a LED Die Bonding Using Response Surface Analysis", *Journal of the Korea Academia-industrial cooperation Society*, pp. 4378-4384, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.4.175>
- [12] D. K. Shin, H. C. Kim, J. J. Lee, "Numerical analysis of the damage behavior of an aluminum/CFRP hybrid beam under three point bending", *Composites: Part B*, 56, pp. 397 - 407, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.030>

신 동 길(Dong-Kil Shin)

[정회원]



- 1992년 2월 : 연세대학교 기계공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 2011년 5월 : 삼성 전자 연구원
- 2014년 3월 ~ 현재 : 영남대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

부품신뢰성, 박막역학, 손상역학, 전자패키지

손 인 서(In-Seo Son)

[정회원]



- 2015년 2월 : 영남대학교 공과대학 기계공학부 (공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 영남대학교 대학원 기계공학과

<관심분야>

유한요소해석, 부품 신뢰성, 설계